แบบจำลองสัญญาแบบจูงใจให้ผู้รับเหมางานก่อสร้างถนนลดการปล่อยมลพิษทางอากาศ

นายเมธากุล มีธรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2562

INCENTIVE CONTRACTING MODEL FOR A ROAD CONSTRUCTION TO REDUCE AIR POLLUTION EMISSIONS

Mathagul Metham

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy of Engineering in Civil Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2019

แบบจำลองสัญญาแบบจูงใจให้ผู้รับเหมางานก่อสร้างถนนลดการปล่อยมลพิษทางอากาศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาดุษฎีบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.พิชญ์ สุธีรวรรธนา)
ประธานกรรมการ

(รศ. ดร.วชรภูมิ เบญจโอฬาร)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ศ. ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข)
กรรมการ

(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร)
กรรมการ

(อ. ดร.ฉัตรเพชร ยศพล)
กรรมการ

(ศ. ดร.สันติ แม้นศิริ)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เมธากุล มีธรรม : แบบจำลองสัญญาแบบจูงใจให้ผู้รับเหมางานก่อสร้างถนนลดการปล่อยมลพิษทางอากาศ (INCENTIVE CONTRACTING MODEL FOR A ROAD CONSTRUCTION TO REDUCE AIR POLLUTION EMISSIONS) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.วชรภูมิ เบญจโอฬาร, 203 หน้า.

ตลอดทศวรรษที่ผ่านมาปัญหาการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศสู่ชั้นบรรยากาศได้รับความสนใจอย่างมากจากประชาคมโลกรวมถึงประเทศไทย งานก่อสร้างถือเป็นส่วนสำคัญหนึ่งที่ปล่อยมลพิษฯ จากการดำเนินกิจกรรมของโครงการก่อสร้าง หน่วยงานภาครัฐพยายามรณรงค์ให้ลดการปล่อยมลพิษฯ อย่างจริงจัง แต่ผู้ปฏิบัติที่เกี่ยวข้องไม่ค่อยร่วมมือ สาเหตุหลักมาจากต้นทุนค่าดำเนินงานที่เพิ่มขึ้นแต่ผู้ดำเนินการหรือผู้รับเหมาไม่ได้รับผลตอบแทนที่เหมาะสมต่อความร่วมมือนั้น แม้จะมีการเสนอสัญญา A+C เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวแต่พบว่ายังมีข้อจำกัดในการนำไปปฏิบัติ การศึกษานี้จึงได้พัฒนาสัญญา A+C ด้วยเกณฑ์การคัดเลือกผู้รับจ้างงานของรัฐด้วยแบบจำลองสัญญาแบบจูงใจเพื่อกระตุ้นผู้รับเหมางานก่อสร้าง โดยเฉพาะงานก่อสร้างถนนให้ร่วมมือในการลดการปล่อยมลพิษจากกิจกรรมในโครงการฯ ที่เรียกว่า “Green Road Incentive Procurement” (GRIP) แบบจำลองนี้จะนำเสนอตัวเลือกเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ (options for emissions reduction) ให้ผู้รับเหมานำไปปฏิบัติจำนวน 6 วิธีทางเลือก ประกอบด้วย 1) การเลือกใช้น้ำมันไบโอดีเซลแทนการใช้น้ำมันดีเซล 2) การเลือกใช้แหล่งวัสดุใกล้สถานที่ก่อสร้าง 3) การเลือกเทคนิคการก่อสร้างที่เหมาะสม 4) การเปลี่ยนใช้เครื่องจักรรุ่นใหม่ทดแทน 5) การเปลี่ยนใช้เครื่องจักรแบบไฮบริด และ 6) การติดตั้งอุปกรณ์ลดการปล่อยก๊าซฯ แก่เครื่องจักร วิธีที่ถูกเลือกจะนำมาคิดเป็นผลตอบแทนแก่ผู้รับเหมาผ่านการประกวดราคางานก่อสร้างด้วยการเสนอราคาแบบปิด (sealed bid auction) ผลตอบแทนที่เสนอนี้สามารถช่วยให้ผู้ร่วมประกวดราคาที่ไม่ได้เสนอราคาต่ำสุดเป็นผู้ชนะการประกวดราคาได้ รวมทั้งมีการเพิ่มขั้นตอนของการปรับโทษเข้าไว้ด้วย เพื่อความเป็นธรรมในกรณีที่ผู้ชนะการประกวดราคาไม่ปฏิบัติตามวิธีทางเลือกใด ๆ ที่ตนเสนอ การปรับโทษนี้จะเป็นการปรับเงินที่มีอัตราปรับแปรผันตามความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น

อย่างไรก็ตาม การประเมินผลตอบรับจากผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งในส่วนของเจ้าของโครงการและผู้รับเหมาในงานก่อสร้างถนนมีความสำคัญต่อการพิจารณาความเหมาะสมของการนำสัญญาแบบจูงใจนี้ไปปฏิบัติ ดำเนินการเก็บข้อมูลจากผู้ที่เกี่ยวข้องในโครงการงานก่อสร้างถนนของกรมทางหลวงด้วยแบบสอบถาม แบบสอบถามในรอบแรกถูกประเมินและให้ข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 6 ท่าน แบบสอบถามในรอบที่ 2 ภายหลังการปรับปรุงจะใช้สัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 88 ท่าน คำตอบของแบบสอบถามนี้ถูกวิเคราะห์ผลโดยเทคนิคการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (AHP technique) ผลการวิเคราะห์เมื่อพิจารณารายละเอียดเป็นรายกลุ่มพบว่ากลุ่มตัวอย่างที่เป็น

ผู้รับเหมาให้ค่าน้ำหนักความสำคัญ 0.403 และกลุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนเจ้าของโครงการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญ 0.432 สำหรับทางเลือกที่ 1 ให้นำสัญญา GRIP นี้มาใช้ได้ทันที โดยเกณฑ์ที่ผู้ตอบแบบสอบถามให้ค่าน้ำหนักความสำคัญมากที่สุดคือความพร้อมของผู้ใช้งาน เกณฑ์ด้านนี้มีผู้รับเหมาให้ค่าน้ำหนักความสำคัญเท่ากับ 0.154 และเท่ากับ 0.181 สำหรับเจ้าของโครงการ ในขณะที่คำถามปลายเปิดชี้ว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ 92.05% ยินดีดำเนินการตามสัญญาแบบ GRIP นี้หากมีการประกาศใช้งานจริง ดังนั้นผลตอบรับของการนำสัญญาแบบจูงใจนี้ไปปฏิบัติจริงจากกลุ่มตัวอย่างดังกล่าวสามารถสะท้อนในเบื้องต้นว่าผู้ที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมงานก่อสร้างถนนพร้อมปรับตัวตามสัญญาจูงใจนี้หากมีการประกาศใช้งานจริง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2562 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

MATHAGUL METHAM : INCENTIVE CONTRACTING MODEL FOR A ROAD CONSTRUCTION TO REDUCE AIR POLLUTION EMISSIONS. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. VACHARAPHOOM BENJAORAN, Ph.D., 203 PP.

ANALYTIC HIERARCHY PROCESS/BID EVALUATION/INCENTIVE PROCUREMENT/AIR POLLUTION EMISSIONS/ROAD CONSTRUCTION

The past decade, the air pollution emissions have become a nationwide concern, included Thailand. The governmental actions to reduce the emissions have been an attempt seriously. A construction industry that is a part of the emitters has also tried to alleviate this problem. However, the voluntary operation has rarely met a construction practice because of its obvious increase in project costs. A+C bidding method was proposed to solve the problem but lack of procedures for practitioners was a disadvantage of the A+C. The major aim of this research endeavor is to develop the contracting and propose to be an incentive contracting model, especially the road construction sector named “Green Road Incentive Procurement” (GRIP). This proposed contracting model offers emission reduction options and incentives for participating bidders, a benefit in this contracting model derived from the bidder’s preference reduction options. Initially, GRIP proposed six highly-potential alternative construction methods of emission reduction for which bidders could choose as their preference. Punishment as a financial penalty will also be specified in the GRIP contracting model as a part of this procedure.

A questionnaire survey is also carried out in this research to evaluate the collaboration. A feedback on a survey questionnaire is solicited from the road

construction stakeholders. The sample group is represented by eighty-eight participants. They are interviewed both parties of construction firms and owner who work into administrative and operating responsibility in the road construction sector. A preliminary questionnaire is recommended by six experts. The final questionnaire, four points-scale is used to reflect the viewpoint of the sample groups. The Analytical Hierarchy Process (AHP) was used to evaluate an opinion by three options based on eight criteria. The questionnaire was designed and responded by two sets of forty-four samples of contractors and public owners.

The results showed that both contractors and the public owners gave the highest weight for the GRIP full-implementation alternative as 0.403 and 0.432, respectively. The users' readiness was an AHP criterion, which both parties were mutually concerned as the highest significance at 0.154 for the contractors and 0.181 for the owners. For descriptive responses, 92.05% of respondents agreed to collaborate with the new procurement model, GRIP. These results confirmed that both involved parties agreed with the concept of GRIP and were pleased to cooperate the GRIP implementation.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Civil Engineering Student's Signature _____

Academic Year 2019 Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์การศึกษานี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีก็ด้วยจากความกรุณาจากคณาจารย์ทุกท่านในสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในการประสิทธิ์ประสาทความรู้ที่มีคุณค่ายิ่งเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ โดยเฉพาะรองศาสตราจารย์ ดร.วชรภูมิ เบญจโอฬาร ที่กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ให้คำชี้แนะ และให้คำปรึกษาที่ดีเสมอมา อีกทั้งศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร และอาจารย์ ดร.ฉัตรเพชร ยศพล ที่ได้กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึงผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญ์ สุธีรวรรธนา ที่เป็นกรรมการจากหน่วยงานภายนอกมหาวิทยาลัยฯ จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จเสร็จสิ้น

ขอขอบคุณความร่วมมือเป็นอย่างดีของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ในการให้ข้อมูลมาประกอบการศึกษา ทั้งหน่วยงานภายในและภายนอกกรมทางหลวง ดังนี้

กรมทางหลวงหน่วยงานต้นสังกัดของผู้ศึกษาเองที่ได้ให้โอกาสในการลาศึกษาในครั้งนี้ และรวมถึงกำลังใจของผู้บังคับบัญชา จากนายช่างโครงการฯ นายเอกพงศ์ เศรษฐมานพ และรองผู้อำนวยการสำนักก่อสร้างทางที่ 2 นายฉัตรชัย อำนาจบุดดี ด้วยดีเสมอมา

โครงการก่อสร้างทางหลวงฯ สังกัดสำนักก่อสร้างทางที่ 1, 2 และสำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวง ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลและอำนวยความสะดวกในการลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลความคิดเห็นต่อการนำงานวิจัยไปปฏิบัติจริง รวมถึงข้อมูลของโครงการก่อสร้างของกรมทางหลวง ที่นำมาเป็นโครงการกรณีศึกษา

บริษัทผู้รับเหมาก่อสร้างงานของกรมทางหลวงที่ผู้ศึกษาได้เข้าพบและขอข้อมูลความคิดเห็นและตอบแบบสอบถามในครั้งนี้

รวมถึงอีกหลายหน่วยงานที่มิได้เอ่ยชื่อ ณ ที่นี้ อีกทั้งบุคคลผู้ที่ซึ่งจะลืมเสียมิได้ที่ข้าพเจ้ามีความโชคดีเป็นอย่างยิ่งที่มีท่านอยู่เคียงข้างคอยสนับสนุนตลอดเวลาเรื่อยมา คือบิดา นายทวีป มีธรรม และมารดา นางยุวดี มีธรรม ผู้ซึ่งได้ให้การสนับสนุนทั้งทุนทรัพย์ และกำลังใจยามเหนื่อยล้าเสมอมา จนวิทยานิพนธ์การศึกษานี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เมธากุล มีธรรม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ค

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ญ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฏ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 5

1.4 ขอบเขตของการวิจัย 5

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

2.1 มลพิษทางอากาศ 7

2.2 วิธีการประเมินการปล่อยมลพิษทางอากาศ 8

2.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต 9

2.2.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิต 10

2.2.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต 10

2.2.4 การแปรผลลัพธ์ 11

2.3 ปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ในงานก่อสร้าง 12

2.3.1 การปล่อยมลพิษฯ ในงานก่อสร้างอาคาร 13

2.3.2 การปล่อยมลพิษฯ ในงานก่อสร้างถนน 14

2.4 ความพยายามเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ในงานก่อสร้าง 16

2.4.1 ความพยายามเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ในงานก่อสร้างอาคาร 16

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.2 ความพยายามเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ในงานก่อสร้างถนน 18
2.4.3 มาตรการลดการปล่อยมลพิษทางอากาศ 19
2.5 การใช้สัญญาแบบจูงใจในงานก่อสร้างถนน 23
2.6 การตัดสินใจแบบหลายทางเลือกในงานก่อสร้างถนน 28
2.7 สรุปปัญหาและอุปสรรคจากงานวิจัยในอดีต 32
3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 36
3.1 แนวคิดของการศึกษา 36
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง 40
3.2.1 เงื่อนไขของสัญญาแบบจูงใจ 40
3.2.2 วิธีประเมินปริมาณมลพิษฯ ที่ลดลงของวิธีการก่อสร้างทางเลือก 41
3.2.3 การกำหนดผลตอบแทน 42
3.2.4 การประเมินความเป็นไปได้ของวิธีการให้ผลตอบแทน 42
3.2.5 การประเมินผลตอบรับต่อการใช้แบบจำลองสัญญาแบบใหม่ 43
4 แบบจำลองสัญญาจูงใจเพื่อลดการปล่อยมลพิษทางอากาศ 45
4.1 แนวคิดของแบบจำลองสัญญา GRIP 45
4.2 รายละเอียดของแบบจำลองสัญญา GRIP 46
4.2.1 เกณฑ์ตัดสินผู้ชนะการประกวดราคาตามแบบจำลองสัญญา GRIP 46
4.2.2 มูลค่าสำคัญที่ใช้ในการคำนวณ 47
4.3 การดำเนินการตามแบบจำลองสัญญา GRIP 62
4.3.1 ขั้นตอนที่ 1 การเสนอราคาค่าก่อสร้าง 62
4.3.2 ขั้นตอนที่ 2 การเสนอวิธีการก่อสร้างทางเลือกเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ 62
4.3.3 ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณมูลค่าของการลดการปล่อยมลพิษฯ 63
4.3.4 ขั้นตอนที่ 4 การคำนวณมูลค่าราคาประกวดเสมือน 63
4.3.5 ขั้นตอนที่ 5 การติดตามตรวจสอบการทำงาน 63
4.3.6 ขั้นตอนที่ 6 การคำนวณเงินจ่ายค่างานหลังคิดค่าปรับโทษแล้ว 64

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5 การประเมินความสามารถเบื้องต้นของแบบจำลองสัญญา GRIP 65
5.1 การประเมินความเป็นไปได้ของเงื่อนไขจูงใจในแบบจำลองสัญญา GRIP 65
5.1.1 ลักษณะทั่วไปของโครงการกรณีศึกษา 65
5.1.2 การกำหนดแบบฟอร์มเอกสารในวันเสนอราคา 66
5.1.3 ตัวอย่างการคำนวณมูลค่า E ของโครงการกรณีศึกษา 68
5.1.4 รายละเอียดการจำลองการเสนอวิธีทางเลือกของโครงการกรณีศึกษา 72
5.1.5 ตัวอย่างการคำนวณมูลค่า Pa ของโครงการกรณีศึกษา 73
5.2 การประเมินผลตอบรับต่อการนำแบบจำลองสัญญา GRIP ไปปฏิบัติ 74
5.2.1 ข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการประเมินผลตอบรับ 75
5.2.2 การกำหนดโครงสร้างเชิงลำดับชั้น 76
5.2.3 การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง 79
5.2.4 การรวบรวมความคิดเห็นจากกลุ่มตัวอย่าง 80
5.2.5 การตรวจสอบความสมเหตุสมผล (consistency) 82
5.2.6 ผลการประเมินผลตอบรับ 83
6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 86
6.1 สรุปผลการวิจัย 86
6.2 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ 89
รายการอ้างอิง 91
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. ข้อมูลประกอบการคำนวณมูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ 102
ภาคผนวก ข. ข้อมูลการทดสอบแบบจำลองสัญญา GRIP กับโครงการกรณีศึกษา 119
ภาคผนวก ค. ข้อมูลรายละเอียดการประเมินความคิดเห็นด้วยเทคนิค AHP 139
ภาคผนวก ง. แบบฟอร์มเก็บข้อมูลความคิดเห็นด้วยเทคนิค AHP 147
ภาคผนวก จ. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ 169
ประวัติผู้เขียน 203

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 อุปสรรคต่อการดำเนินงานโครงการใหม่ที่รวบรวมจากงานวิจัยในอดีต 31
4.1 ข้อมูลสำคัญในการดำเนินการแบบจำลองสัญญา GRIP 47
4.2 ราคาต่อหน่วยของต้นทุนการป้องกันมลพิษเสมือน (TUDelft, 2019) 49
4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณค่าลดการปล่อยมลพิษฯ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล (bd) 52
5.1 ราคาค่าก่อสร้างของโครงการกรณีศึกษาที่ผู้รับเหมาแต่ละรายยื่นเสนอ 66
5.2 ปริมาณการใช้ทรัพยากรและระยะทางการขนส่งวัสดุ 69
5.3 อัตราการปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลงได้เมื่อเปลี่ยนเครื่องจักรใหม่กว่า Tier1 (R_m) 70
5.4 อัตราการปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลงได้เมื่อเปลี่ยนเครื่องจักรไฮบริด (R_{rh}) 71
5.5 อัตราการปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลงได้เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ลดการปล่อยมลพิษฯ (R_{id}) 71
5.6 จำลองการเสนอราคาประกวดเสมือนของโครงการกรณีศึกษา 72
5.7 ข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการประเมินผลตอบรับ 75
5.8 ค่าสเกลการให้น้ำหนักระดับ 1 ถึง 4 ของ Strager และ Rosenberger (2006) 77
5.9 คำอธิบายรายละเอียดของเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ 78
5.10 ค่าดัชนีความไม่สอดคล้องแบบสุ่ม (RI) 82
5.11 ผลรวมคะแนนทางเลือกการตัดสินใจของกลุ่มตัวอย่าง 84

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 กรอบแนวคิดงานวิจัยเพื่อพัฒนาสัญญาแบบ GRIP 3
2.1 กรอบการดำเนินงาน LCA ตาม ISO 14040: 2006 9
2.2 วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์งานก่อสร้างถนน 12
2.3 การดำเนินการตาม Green Performance Contracting 20
2.4 ตัวอย่างของมาตรการลดการปล่อยก๊าซฯ จากงานวิจัยในอดีต 21
2.5 การจ่ายเงินค่างานของสัญญา lane rental 24
2.6 เกณฑ์ตัดสินผู้ชนะการประกวดราคาของสัญญา A+B 24
2.7 ข้อดีและข้อจำกัดของสัญญา A+B+C 26
2.8 ข้อดีและข้อจำกัดของสัญญา A+C 26
2.9 ข้อจำกัดของแนวคิดการรับประกัน 28
2.10 สรุปปัญหา อุปสรรคจากงานวิจัยในอดีตและนำเสนอแนวทางแก้ไขปัญหา 35
3.1 ขั้นตอนประกวดราคาจ้างงานก่อสร้างสัญญาแบบดั้งเดิม 37
3.2 ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษา 38
3.3 เกณฑ์พิจารณาผู้ชนะการประกวดราคาของสัญญาจูงใจแบบใหม่ 41
3.4 โครงสร้างลำดับชั้นของการประเมินผลตอบรับแบบจำลองสัญญาฯ ไปปฏิบัติ 44
4.1 a) การคิดมูลค่าที่ใช้ตัดสินผู้ชนะการประกวดของสัญญาแบบ A+C
b) แนวคิดมูลค่าที่ใช้ตัดสินผู้ชนะของแบบจำลองสัญญาจูงใจแบบใหม่ 46
5.1 ตัวอย่างแบบฟอร์มกรอกข้อมูลสำคัญในวันประกวดราคา 67
5.2 การทดสอบหาอัตราปรับโทษเพิ่ม (x) ที่เหมาะสมในอัตราปรับแบบที่สอง 73
5.3 โครงสร้างลำดับชั้นเพื่อประเมินสัญญา GRIP 76

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	=	มูลค่างานก่อสร้าง
AADT	=	ปริมาณการจราจรต่อวันเฉลี่ยตลอดปี
AHP	=	เทคนิควิเคราะห์เชิงลำดับชั้น
AP	=	ปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศ
B	=	มูลค่าจากเวลาก่อสร้าง
B20	=	น้ำมันไบโอดีเซลบี20
BOQ	=	บัญชีแสดงปริมาณงาน
C	=	มูลค่าจากปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศ
C_C	=	มูลค่างานก่อสร้างที่ยื่นเสนอในแบบจำลองสัญญา GRIP
CI	=	ค่าดัชนีความสอดคล้อง
CO	=	ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์
CO_2	=	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
CO_2eq	=	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
CR	=	ค่าอัตราส่วนความสอดคล้อง
CR_B	=	การก่อสร้างชั้นพื้นทางด้วยวัสดุหินคลุก
DOC	=	ตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันดีเซล
DOT	=	กรมการขนส่งสหรัฐอเมริกา
DPF	=	ตัวกรองอนุภาคดีเซล
E	=	มูลค่าลดการปล่อยมลพิษทางอากาศ
E’	=	มูลค่าลดการปล่อยมลพิษทางอากาศในสนาม
EF	=	ตัวคูณการปล่อยมลพิษทางอากาศ
EGR	=	ตัวเพิ่มการหมุนเวียนก๊าซไอเสีย
ER_1	=	อัตราการปล่อยมลพิษฯ กรณีฐานของเครื่องยนต์ดีเซล Tier1
ER_B	=	อัตราการปล่อยมลพิษฯ กรณีฐานจากเทคนิคที่ปล่อยมลพิษฯ น้อยที่สุด
FC	=	อัตราบริโภคน้ำมันที่ใช้ขนส่ง
FSB	=	การหมุนเวียนวัสดุผิวทางเดิมกลับมาใช้ใหม่ด้วยการเติมโฟมแอสฟัลท์
FU	=	หน่วยหน้าที่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

GJ	=	จิกกะจูล
GPC	=	สัญญาการดำเนินงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
HC	=	ก๊าซไฮโดรคาร์บอน
HMA	=	แอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมร้อน
ISO	=	องค์การมาตรฐานอุตสาหกรรม
I-O	=	อินพุท-เอ้าท์พุท
L	=	ลิตร
LCA	=	การประเมินตลอดวัฏจักรชีวิต
LCI	=	การวิเคราะห์บัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิต
LCIA	=	การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต
LL	=	พิกัดเหลว
M	=	ปริมาณวัสดุที่ใช้ก่อสร้างงานชั้นพื้นทาง
MJ	=	เมกกะจูล
MT CO_2eq	=	เมกกะตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
N	=	จำนวนประชากร
NOx	=	ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์
O_3	=	ก๊าซโอโซน
OD	=	ระยะทางขนส่งวัสดุที่ผู้รับเหมาเลือกใช้งาน
OP	=	เปอร์เซ็นต์หรือปริมาณที่จะดำเนินการตามวิธีการทางเลือก
P	=	มูลค่าเงินปรับโทษ
Pa	=	มูลค่าเงินจ่ายค่างาน
Pb	=	สารตะกั่ว
PCU	=	หน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคล
PI	=	ดัชนีสภาพพลาสติก
PM	=	ฝุ่นละออง
P_{max}	=	มูลค่าเงินปรับโทษสูงสุด
Q	=	ราคาประกวดเสมือน
Q_1	=	มูลค่าราคาประกวดเสมือนของผู้ชนะการประกวดราคา
Q_1'	=	มูลค่าราคาประกวดเสมือนที่ทำจริงในสนามของผู้ชนะการประกวดราคา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

Q_2	=	มูลค่าราคาประกวดเสมือนต่ำสุดลำดับสอง
RI	=	ค่าดัชนีความไม่สอดคล้องแบบสุ่ม
RD	=	ระยะทางขนส่งวัสดุจากแหล่งแนะนำ
R_{id}	=	อัตราการปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลงได้จากการติดตั้งอุปกรณ์กำจัดมลพิษฯ
R_{rn}	=	อัตราการปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลงได้จากการเปลี่ยนเครื่องจักรรุ่นใหม่
R_{rh}	=	อัตราการปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลงได้จากการเปลี่ยนเครื่องจักรแบบไฮบริด
SCR	=	ตัวเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเครื่องยนต์
SDGs	=	เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน
SF_6	=	ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์
SMB	=	อิฐดินดิบ
SO_2	=	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
S_{pt}	=	การก่อสร้างชั้นพื้นทางด้วยวัสดุดินซีเมนต์ผสมในโรงผสม
S_{pc}	=	การก่อสร้างชั้นพื้นทางด้วยวัสดุดินซีเมนต์ผสมในที่
T	=	จำนวนเที่ยวการขนส่งทั้งหมด
T CO_2eq	=	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
TEC	=	เปอร์เซ็นต์การปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลงได้จากการเลือกเทคนิคการก่อสร้าง
TOR	=	ร่างขอบเขตของงาน
WMA	=	แอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมอุ่น
a	=	สูตรผสมไบโอดีเซล
b	=	เปอร์เซ็นต์การใช้งานไบโอดีเซลในโครงการ
e	=	ค่าระดับความเชื่อมั่น
e-bidding	=	การจัดหาพัสดุด้วยวิธีประกวดราคาอิเล็กทรอนิกส์
e-market	=	การจัดหาพัสดุด้วยวิธีตลาดอิเล็กทรอนิกส์
eco-cost	=	ต้นทุนการป้องกันมลพิษเสมือนต่อหน่วยน้ำหนัก
h	=	จำนวนชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักร
hp	=	กำลังแรงม้าของเครื่องจักร
i	=	ลำดับที่ i ของวิธีทางเลือกเพื่อลดการปล่อยมลพิษทางอากาศ
i_d	=	เปอร์เซ็นต์การติดตั้งอุปกรณ์ลดมลพิษทางอากาศ
km	=	กิโลเมตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

kW	=	กิโลวัตต์
n	=	จำนวนตัวอย่างที่ต้องการ
m	=	จำนวนของตัวเลขที่ต้องการหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิต
m^2	=	ตารางเมตร
m^3	=	ลูกบาศ์กเมตร
p	=	ราคาต่อหน่วยของต้นทุนการป้องกันมลพิษเสมือน
r_n	=	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเครื่องจักรใหม่กว่า Tier1
r_h	=	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเครื่องจักรไฮบริด
x	=	อัตราบวกเพิ่มเงินปรับโทษแบบที่สอง
y	=	ค่าของตัวเลขที่ 1 ถึงค่าของตัวเลขที่ m ของการหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิต
η	=	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์การปล่อยมลพิษทางอากาศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ปัญหามลพิษทางอากาศเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจจากประชาคมโลก เพราะถือเป็นปัญหาด้านคุณภาพชีวิตในทุกระดับ (WHO, 2016; World Bank, 2016) สำหรับประเทศไทยการดำเนินนโยบายรัฐบาลก็ตระหนักถึงปัญหามลพิษฯ นี้ตลอดมา เพราะส่งผลกระทบต่อสุขภาพและการพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชากรไทยเช่นกัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2559) ในขณะที่เศรษฐกิจโลกกำลังพัฒนาแต่ปัญหามลพิษฯ กลับยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ เช่น การผลิตไฟฟ้าด้วยลิกไนต์ น้ำมันปิโตรเลียม และก๊าซธรรมชาติ ก่อให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulphur dioxide: SO_2) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide: CO_2) การกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมก่อให้เกิดก๊าซ CO_2 และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (nitrogen oxides: NOx) การทำเหมืองหินและปูนซีเมนต์ก่อให้เกิดฝุ่นละออง (particular matter: PM) เป็นต้น นำมาซึ่งปัญหามลพิษฯ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของประชากรโลก (กรมควบคุมมลพิษ, 2554) แสดงให้เห็นว่าปัญหามลพิษฯ เป็นปัญหาที่รุนแรงต่อสังคมและเศรษฐกิจในหลายระดับและควรเร่งแก้ไขโดยเร็ว แนวทางจัดการปัญหานี้คือการลดการปล่อยมลพิษฯ จากกิจกรรมของมนุษย์ (anthropogenic emissions) เนื่องจากงานก่อสร้างแต่ละโครงการมีปริมาณการปล่อยมลพิษฯ จำนวนมากจากการใช้พลังงานและวัสดุอุปกรณ์ในกิจกรรมต่าง ๆ (Park และคณะ, 2003) ภาคอุตสาหกรรมการก่อสร้างจึงมีบทบาทสำคัญต่อการลดการปล่อยมลพิษฯ ที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ โดยการดำเนินการที่เห็นผลในวงกว้างควรเป็นการเริ่มต้นจากภาครัฐ โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานก่อสร้างระบบโครงสร้างพื้นฐานของรัฐซึ่งมีการใช้งบประมาณจำนวนมหาศาลในแต่ละโครงการ (EU, 2012; สำนักงบประมาณ, 2562)

ความพยายามเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ จากงานก่อสร้างถูกนำเสนอในหลายรูปแบบ เช่น การแสวงหาความเป็นไปได้ที่จะลดการปล่อยมลพิษฯ ในขั้นตอนการออกแบบถนนผิวคอนกรีตด้วยการปรับเปลี่ยนวัสดุก่อสร้างและระยะทางขนส่งวัสดุ (Santero และคณะ, 2013) หรือในขั้นตอนระหว่างการก่อสร้างที่ประเมินจากประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และวิธีการหรือเทคนิคการก่อสร้าง (Ortiz และคณะ, 2009) หรือจากการนำวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมอื่น ๆ มาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างเทียบกับการใช้วัสดุจากธรรมชาติทั่วไป (Mroueh และคณะ, 2001; Kua และคณะ, 2016)

หรือการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีเครื่องยนต์รุ่นใหม่ (EPA, 2005; EPA, 2007) หรือจากการติดตั้งอุปกรณ์ลดการปล่อยมลพิษฯ (EDF, 2005; World Bank, 2014) และจากการพัฒนาสัญญาก่อสร้างที่กำหนดเงื่อนไขให้ผู้รับเหมาลดการปล่อยมลพิษฯ จากกิจกรรมในงานก่อสร้างถนนของรัฐ (Cui และคณะ, 2011) แสดงให้เห็นว่าหน่วยงานภาครัฐซึ่งเป็นเจ้าของโครงการสามารถมีบทบาทสำคัญในการปรับ เปลี่ยนเพิ่มเติมเงื่อนไขพิเศษเพื่อให้ผู้รับเหมาลดการปล่อยมลพิษฯ ได้ตามนโยบายที่ต้องการผลักดัน

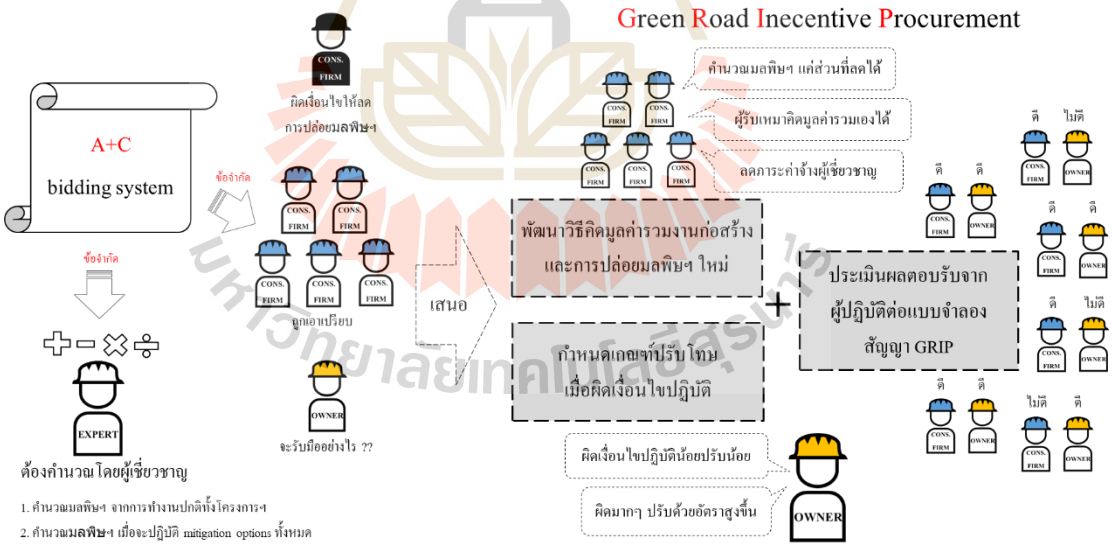
แม้ว่าจะมีผลการศึกษาจำนวนมากที่แสดงถึงความเป็นไปได้ในการลดการปล่อยมลพิษฯ จากทุกขั้นตอนการก่อสร้าง แต่ยังไม่ค่อยมีผู้รับเหมานำมาปฏิบัติด้วยความสมัครใจมากนัก (Ahn, 2012) สาเหตุสำคัญมาจากภาระต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจากการดำเนินการตามวิธีการหรือมาตรการดังกล่าว (Ahn และคณะ, 2013) ทางออกที่เป็นไปได้คือเจ้าของโครงการต้องปรับเปลี่ยนรูปแบบการแข่งขันประกวดราคาจ้างงานก่อสร้างและเพิ่มเงื่อนไขพิเศษด้านสิ่งแวดล้อม และจูงใจผู้รับเหมาด้วยการให้ค่าชดเชย โดยที่ค่าชดเชยนี้หมายถึงค่าตอบแทนต่อภาระต้นทุนการดำเนินการที่เพิ่มขึ้นของผู้รับเหมา ซึ่งอาจเสนอในรูปของมูลค่าเงินหรือสิทธิประโยชน์ก็ได้ ค่าชดเชยที่ใช้จูงใจจึงเป็นเงื่อนไขพิเศษที่ควรถูกเพิ่มเข้าไปในสัญญางานก่อสร้างเพื่อกำหนดใช้เป็น “การประกวดราคาจ้างงานก่อสร้างแบบมีเงื่อนไขจูงใจ” หรือเรียกย่อว่า “สัญญาแบบจูงใจ” โดยที่สัญญาแบบจูงใจที่นำผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมาร่วมเป็นเกณฑ์พิจารณาในการคัดเลือกผู้รับเหมานำไปสู่การจัดซื้อจัดจ้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย (Bouwer และคณะ, 2011; EU, 2016b; MOE, 2017; MNRE, 2018)

ตัวอย่างที่น่าสนใจของความพยายามนำสัญญาแบบจูงใจเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ มาปรับใช้กับงานก่อสร้างถนน คือ งานวิจัยของ Ahn และคณะ (2013) ที่เสนอสัญญาแบบเอพลัสซี (A+C) ด้วยการนำปริมาณการปล่อยมลพิษฯ มาบวกเพิ่มเป็นราคารวมงานก่อสร้างของผู้รับเหมางานก่อสร้างถนน โดยมีเจตนาให้ผู้รับเหมาเสนอการลดการปล่อยมลพิษฯ จากการใช้เชื้อเพลิงและวัสดุอุปกรณ์ของตนเพื่อแลกกับโอกาสเป็นผู้ชนะการประกวดราคามากขึ้น แต่วิธีการดังกล่าวต้องคำนวณปริมาณการปล่อยมลพิษฯ จากการดำเนินงานทั้งหมดที่ผู้รับเหมาแต่ละรายเสนอในการประกวดราคา ในขณะที่ข้อมูลประกอบการคำนวณถูกจำกัดการเข้าถึง (Hendrickson และคณะ, 2006; Crawford, 2011) เป็นภาระที่ผู้รับเหมาต้องจ่ายค่าจ้างให้ผู้เชี่ยวชาญคำนวณ ซึ่งผู้รับเหมาไม่สามารถปรับเปลี่ยนวิธีลดการปล่อยมลพิษฯ ที่เสนอได้ทันภายในวันประกวดราคาและทำให้สัญญา A+C ถูกลดความน่าสนใจลง

นอกจากนี้สัญญา A+C ยังมีความท้าทายสำคัญของการไม่ได้กำหนดมาตรการรองรับหากผู้ชนะการประกวดไม่ดำเนินการตามที่เสนอไว้ (Song และคณะ, 2016; Asgari และคณะ, 2017) ส่งผลให้ผู้รับเหมาทุกรายจะจงใจผิดเงื่อนไขปฏิบัติเพราะได้ประโยชน์จากช่องโหว่นี้ แม้ว่างานวิจัยของ

Asgari และคณะ (2017) เสนอให้ใช้บริษัทรับประกัน (surety company) ทำหน้าที่คัดกรองเบื้องต้นและรับประกันว่าผู้รับเหมารายนั้น ๆ มีความพร้อมดำเนินการลดการปล่อยมลพิษฯ ได้จริง แต่ค่าเบี้ยประกัน (surety bond) คือภาระต้นทุนที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นข้อจำกัดเหล่านี้จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุง

อย่างไรก็ตาม การนำสัญญา A+C ที่ปรับปรุงแล้วไปสู่การปฏิบัติจำเป็นต้องมีการประเมินผลตอบรับจากผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงเพราะเป็นกลุ่มคนที่ต้องนำสัญญาไปปฏิบัติ คนกลุ่มนี้คือ ผู้รับเหมาและเจ้าของโครงการ เนื่องจากการยอมรับเพื่อร่วมดำเนินการสิ่งใหม่ ๆ อาจไม่ใช่เรื่องง่าย (Beierle, 1998) การขาดประสบการณ์และความชำนาญในเทคโนโลยีการก่อสร้างที่แตกต่างคือความเสี่ยงที่ผู้รับเหมาพยายามหลีกเลี่ยงในงานก่อสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Nelms และคณะ, 2005) ทำให้ผลตอบรับจากผู้รับเหมาขึ้นอยู่กับความน่าสนใจของค่าชดเชย (Shi และ Chen, 2011) โดยค่าชดเชยที่คุ้มค่าคือเงื่อนไขสำคัญต่อการตัดสินใจของผู้รับเหมา ในขณะที่เจ้าของโครงการกังวลว่าขั้นตอนปฏิบัติที่เพิ่มขึ้นของสัญญาจูงใจแบบใหม่จะมีความยุ่งยาก (ฐิตาภรณ์ พ่อบุตรดี และคณะ, 2555) นอกจากนี้ค่าชดเชยและบทลงโทษต้องเป็นธรรมต่อผู้เข้าร่วมประกวดราคาทุกราย



รูปที่ 1.1 กรอบแนวคิดงานวิจัยเพื่อพัฒนาแบบจำลองสัญญา GRIP

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเสนอแบบจำลองสัญญาจูงใจแบบใหม่ให้ผู้รับเหมางานก่อสร้างถนนลดการปล่อยมลพิษทางอากาศที่เรียกว่า “Green Road Incentive Procurement” หรือ GRIP แบบจำลองสัญญานี้เป็นเครื่องมือจูงใจผู้รับเหมาให้ลดการปล่อยมลพิษฯ ในงานก่อสร้าง

ถนนอย่างสมัครใจและจริงจังมากขึ้น เพื่อให้เกิดผลดีกับสิ่งแวดล้อมสอดคล้องกับแผนพัฒนาประเทศ (กรมควบคุมมลพิษ, 2562; สศช, 2560) และการดำเนินการตามนโยบายสิ่งแวดล้อม (กรมบัญชีกลาง, 2556) แม้จะต้องจัดหางบประมาณเพื่อจ่ายค่าก่อสร้างเพิ่มก็ตาม โดยแบบจำลองนี้พัฒนามาจากพื้นฐานสัญญา A+C ของ Ahn และคณะ (2013) ร่วมกับการป้องกันผู้ชนะการประกวดราคาทำผิดเงื่อนไขปฏิบัติที่เสนอโดย Asgari และคณะ (2017) โดยทำการปรับปรุงข้อจำกัดของสัญญาเดิม 3 จุดสำคัญ คือ 1) ปรับปรุงการคำนวณมูลค่ารวมงานก่อสร้างจากวิธีดำเนินการเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ด้วยสมการอย่างง่าย 2) เพิ่มการกำหนดมาตรการลงโทษปรับเงิน (financial penalty) เพื่อความเป็นธรรมต่อผู้ร่วมประกวดราคาทุกราย 3) ทำการประเมินผลตอบรับเบื้องต้นจากผู้รับเหมาและเจ้าของโครงการต่อการใช้แบบจำลองสัญญา GRIP ด้วยเทคนิค AHP ดังนั้นสามารถสรุปให้เห็นปัญหาการวิจัย ที่มาของปัญหา ทางแก้ปัญหาและสิ่งที่นำเสนอในงานวิจัย โดยแสดงกรอบแนวคิดการวิจัยในรูปที่ 1.1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ภาพรวมของงานวิจัยนี้ต้องการพัฒนาแบบจำลองสัญญาแบบจูงใจให้ผู้รับเหมางานก่อสร้างถนนลดการปล่อยมลพิษฯ ในกิจกรรมของตน เพื่อบรรลุตามเป้าหมายการวิจัยนี้จึงกำหนดวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

1.2.1 พัฒนาแบบจำลองการคำนวณมูลค่ารวมงานก่อสร้างและมูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ ให้สามารถคิดได้ด้วยมูลค่าสำคัญที่เสนอในวันประกวดราคาโดยผู้รับเหมาเองแทนที่การคำนวณโดยผู้เชี่ยวชาญการประเมินการปล่อยมลพิษฯ

1.2.2 กำหนดอัตราปรับโทษที่เหมาะสมกับผู้รับเหมาที่ชนะการประกวดราคา แต่หลีกเลี่ยงหรือไม่สามารถปฏิบัติเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ครบถ้วนตามที่เสนอไว้

1.2.3 ประเมินความเป็นไปได้ของการใช้มูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ เป็นเงื่อนไขจูงใจให้ผู้รับเหมาแข่งขันลดการปล่อยมลพิษฯ ด้วยการจำลองการประกวดราคาด้วยสัญญาแบบใหม่ที่พัฒนาขึ้น

1.2.4 ประเมินผลตอบรับเบื้องต้นจากผู้ที่เกี่ยวข้องต่อการนำแบบจำลองสัญญาแบบใหม่ไปปฏิบัติก่อนนำไปทดลองใช้จริง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.3.1 สามารถนำแบบจำลองเพื่อคิดมูลค่ารวมงานก่อสร้างและมูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ ไปตัดสินใจเลือกวิธีทางเลือกใด ๆ ได้ด้วยผู้รับเหมาเอง เพื่อลดภาระค่าจ้างผู้เชี่ยวชาญมาประเมินการปล่อยมลพิษฯ

1.3.2 สามารถลดการฉวยโอกาสจากการเสนอวิธีทางเลือกเพียงเพื่อชนะการประกวดราคาแต่ไม่อาจทำได้จริงให้น้อยลงได้ เพื่อป้องกันการใช้มูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ ผิดวัตถุประสงค์

1.3.3 ทราบถึงความสามารถของมูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ ในแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นเพื่อนำมาใช้เป็นเงื่อนไขจูงใจให้ผู้รับเหมาแข่งขันปฏิบัติตามเงื่อนไขของวิธีทางเลือกเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ

1.3.4 ทราบถึงผลตอบรับเบื้องต้นของผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการฯ ต่อการใช้แบบจำลองสัญญาแบบใหม่ เพื่อนำไปปรับปรุงสัญญาก่อนนำไปทดลองใช้จริง

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

กำหนดขอบเขตการวิจัยของกระบวนการพัฒนาแบบจำลองสัญญาแบบใหม่ ดังต่อไปนี้

1.4.1 มลพิษทางอากาศในการศึกษานี้ ประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ (CO) ก๊าซไฮโดรคาร์บอน (HC) และฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM)

1.4.2 วิธีทางเลือกเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ถูกกำหนดจากวิธีลดการปล่อยมลพิษฯ ช่วงระหว่างการก่อสร้างถนนเฉพาะวิธีที่มีการแสดงค่าปริมาณหรือเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงได้ไว้แล้วจากเอกสารงานวิจัยในอดีตเท่านั้น

1.4.3 วิธีการคำนวณปริมาณมูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ ใช้การคำนวณจากข้อมูลการใช้พลังงานและวัสดุในโครงการฯ ที่อ้างอิงจากบัญชีแสดงปริมาณงาน (BOQ) และรายงานการปฏิบัติงาน (daily report) โดยไม่ได้ใช้เครื่องมือตรวจวัดปริมาณการปล่อยมลพิษฯ จริง

1.4.4 ตัวอย่างโครงการก่อสร้างที่ใช้ในการพัฒนาเป็นโครงการก่อสร้างถนนสายหนึ่ง เนื่องจากเป็นโครงการฯ ที่ทราบผลการประกวดราคาแล้ว สามารถจำลองการใช้สัญญาแบบใหม่เพื่อทดสอบความสามารถของมูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ ได้

1.4.5 กลุ่มตัวอย่างของการประเมินผลตอบรับคือตัวแทนเจ้าของโครงการและผู้รับเหมางานของกรมทางหลวง เนื่องจากเป็นกลุ่มบุคคลที่ทำงานเกี่ยวข้องกับโครงการก่อสร้างถนนมากที่สุดในประเทศไทย

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาค้นคว้าจากตำราและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วยงานวิจัยที่เกี่ยวกับมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากโครงการก่อสร้าง และงานวิจัยที่เกี่ยวกับรูปแบบของสัญญาจูงใจในงานก่อสร้าง โดยเฉพาะงานก่อสร้างถนนที่ได้เคยมีผู้ทำวิจัยมาก่อนหน้านี้ รวมถึงนิยามและวิธีการที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วยการปล่อยมลพิษฯ ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง มาตรการลดการปล่อยมลพิษฯ ในงานก่อสร้าง (emissions reduction measure) การใช้สัญญาแบบจูงใจในโครงการก่อสร้างภาครัฐ (incentive contract) และการประเมินความคิดเห็นต่อการดำเนินการด้วยเทคนิควิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (analytical hierarchy process: AHP) ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

2.1 มลพิษทางอากาศ

ปัญหามลพิษทางอากาศเป็นปัญหาจากการปล่อยสารมลพิษที่สำคัญ ได้แก่ ฝุ่นละออง (particular matter: PM) สารตะกั่ว (lead: Pb) ก๊าซไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon: HC) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (nitrogen oxides: NOx) ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ (carbon monoxide: CO) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide: CO_2) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulphur dioxide: SO_2) และก๊าซโอโซนบนพื้นดิน (ozone: O_3) เป็นต้น (WHO, 2016; Ritchie และ Roser, 2019) โดยมีแหล่งกำเนิดที่สำคัญ คือ โรงงานอุตสาหกรรม 20.8% โรงงานผลิตไฟฟ้า 38.8% การคมนาคมขนส่ง 31.2% บ้านเรือนและแหล่งพาณิชย์ 4.3% และจากแหล่งอื่น ๆ 4.9% (นิรมล สุธรรมกิจ, 2557) มลพิษฯ เหล่านี้ส่งผลกระทบในหลายด้าน แสดงตัวอย่างประเภทผลกระทบของมลพิษฯ โดยอ้างอิงการจำแนกผลกระทบจากข้อมูลของ ISO14044 (2006) และ TUDelft (2019) และข้อมูลของกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2562) ดังนี้

- ควัน ทำให้เกิด ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (human toxicity)
- ฝุ่นละออง ทำให้เกิด ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์
- สารตะกั่ว ทำให้เกิด ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์
- ก๊าซไฮโดรคาร์บอน ทำให้เกิด ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์

- ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ทำให้เกิด ฝนกรด (acidification) ปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี (eutrophication)
- ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ ทำให้เกิด ผลกระทบต่อสุขภาพ (human toxicity)
- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เกิด ภาวะโลกร้อน (global warming)
- ก๊าซซัลเฟอร์ไดอออกไซด์ ทำให้เกิด ฝนกรด และผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์
- ก๊าซโอโซน ทำให้เกิด ภาวะโลกร้อน

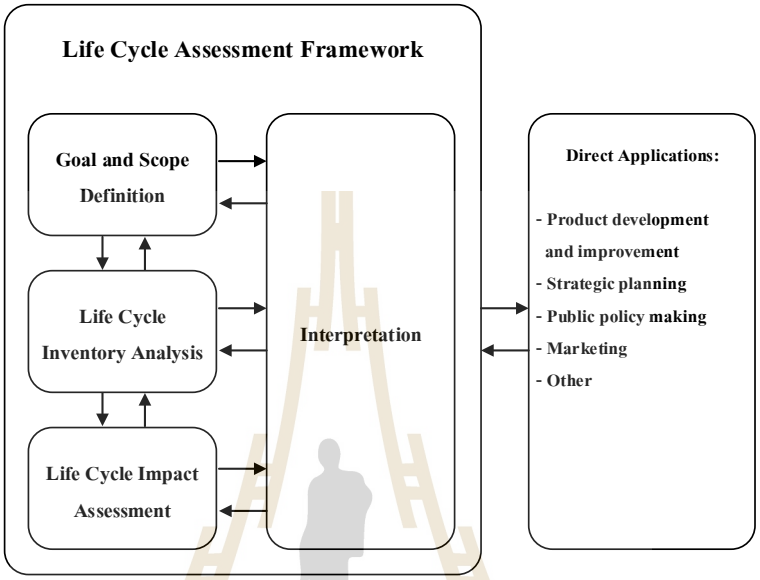
มลพิษฯ ดังกล่าวนี้เกิดจากการกระทำของมนุษย์เป็นส่วนใหญ่ เช่น ก๊าซ HC เป็นสารประกอบที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ดีเซล และ PM เป็นมลพิษฯ ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการใช้งานเครื่องจักรกลหนักในงานก่อสร้าง เป็นต้น

2.2 วิธีการประเมินปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศ

วิธีการประเมินปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ที่ยอมรับตามมาตรฐานสากลว่าเป็นวิธีที่โปร่งใสและตรวจสอบได้วิธีการหนึ่งที่ได้รับความนิยม คือ วิธีการประเมินตลอดวัฏจักรชีวิต (life cycle assessment: LCA) เพราะเป็นวิธีการที่สามารถเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากผลิตภัณฑ์ซึ่งต่างรูปแบบกันได้ (Crawford, 2011) นอกจากนี้วิธีการ LCA มีการแบ่งออกเป็นหลายวิธีด้วยกัน เช่น โพรเซสเบส (process-based) อินพุท-เอ้าท์พุทเบส (I-O based) และวิธีไฮบริด (hybrid method) เป็นต้น การเลือกใช้วิธีการใด ๆ นั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในแต่ละช่วงวัฏจักรชีวิต โดยทั่วไปวิธีไฮบริด LCA มักถูกนำมาใช้ในงานก่อสร้าง กล่าวคือ ช่วงการผลิตวัสดุจะถูกประเมินด้วยวิธีอินพุท-เอาท์พุทเบส ในขณะที่ช่วงระหว่างการก่อสร้างและการขนส่งจะถูกประเมินด้วยวิธีโพรเซสเบส (Hong และคณะ, 2014) ซึ่งสามารถคำนวณได้ง่ายด้วยการนำตัวคูณการปล่อยมลพิษฯ (emission factor: EF) คูณกับปริมาณต่อหน่วยของสารขาเข้า เช่น พลังงาน และวัสดุที่ถูกใช้ในกระบวนการของงานก่อสร้างนั้น ๆ

โดยทั่วไปแนวคิดของการประเมิน LCA เป็นการประเมินตั้งแต่เกิดจนตาย (cradle-to-grave) หรือตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงการทำลายซากในขั้นตอนสุดท้ายเมื่อสิ้นอายุการใช้งาน (end-of-life) (Finkbeiner และคณะ, 2006) แต่มีหลายงานวิจัยทำการประเมินเฉพาะในขั้นตอนที่สนใจศึกษา (Cole, 1998; White และคณะ 2010; Cass และ Mukherjee, 2011) การประเมิน LCA ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันเป็นการปฏิบัติภายใต้กรอบแนวคิดการดำเนินงานขององค์การมาตรฐานอุตสาหกรรม (International Organization for Standardization: ISO) อนุกรมมาตรฐาน ISO14040: 2006 และ ISO14044: 2006 ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.1 คือ การกำหนด

เป้าหมายและขอบเขต (goal and scope definition) การวิเคราะห์บัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิต (life cycle inventory analysis: LCI) การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (life cycle impact assessment: LCIA) และการแปรผลลัพธ์ (interpretation) มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.1 กรอบการดำเนินงาน LCA ตาม ISO14040: 2006

2.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (goal and scope definition)

2.2.1.1 การกำหนดเป้าหมาย คือ การกำหนดวัตถุประสงค์ในการประเมิน LCA ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกที่มีความจำเป็นและเปรียบเสมือนการกำหนดทิศทางในการประเมิน ดังนั้นการกำหนดเป้าหมายต้องสามารถแสดงถึงประโยชน์จากการประเมิน LCA ว่าต้องการนำผลการประเมินไปเพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ หรือพัฒนากระบวนการผลิตให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

2.2.1.2 การกำหนดขอบเขต คือ การกำหนดขอบเขตการประเมินของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ รวมถึงกำหนดรายละเอียดของสิ่งที่ต้องการประเมิน ขอบเขตการประเมินต้องมีรายละเอียดครบถ้วนมากพอที่จะสามารถประเมินได้ข้อมูลตรงตามเป้าหมายที่กำหนดขึ้นในขั้นตอนแรก ซึ่งขอบเขตของการประเมินควรประกอบด้วย

1) การกำหนดหน่วยหน้าที่ (functional unit: FU) คือ การกำหนดหน่วยหน้าที่ที่ผลิตภัณฑ์จะถูกนำไปใช้งานเพื่อใช้อ้างอิงหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเปรียบเทียบในหน่วยหน้าที่เดียวกัน เช่น หน่วยการทำงานของถนนอาจกำหนดเป็นต่อช่องจราจร-กิโลเมตร เป็นต้น

2) การกำหนดขอบเขตของระบบ (system boundary) คือ การกำหนดหน่วยของกระบวนการผลิตซึ่งเป็นการจัดกลุ่มของพลังงานหรือสารขาเข้าและของเสียหรือสารขาออกที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตที่ต้องการประเมินตามเป้าหมาย

3) การกำหนดคุณภาพของข้อมูล (data quality requirements) คือ กำหนดลักษณะของข้อมูลที่ต้องการนำมาใช้ประเมิน โดยสิ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพของข้อมูลที่ต้องการควรจะประกอบด้วย ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลเพื่อการประเมิน พื้นที่ที่ต้องการประเมิน เทคนิคที่ใช้ประเมิน ความถูกต้องของตัวแทนข้อมูลที่ใช้ประเมิน สามารถนำข้อมูลมาประเมินซ้ำได้ แหล่งของข้อมูลและที่มาของตัวแทนข้อมูล และความไม่แน่นอนของข้อมูลที่นำมาใช้ประเมิน

4) การเปรียบเทียบระหว่างระบบ (comparisons between systems) คือ การประเมินเปรียบเทียบก่อนการแปรผลลัพธ์ภายใต้หน่วยการทำงานเดียวกัน แต่ปรับเปลี่ยนขอบเขตของระบบ คุณภาพของข้อมูล วิธีการปันส่วนและผลกระทบที่เกิดขึ้น เพื่อศึกษาถึงความเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์เหล่านี้ ผลลัพธ์ดังกล่าวควรถูกนำเสนอในรายงานในขั้นตอนสุดท้ายด้วย

5) การพิจารณาทบทวนผลการประเมิน (critical review considerations) คือ เทคนิคที่ใช้เพื่อตรวจสอบผลการประเมิน LCA ตามมาตรฐานสากล การพิจารณาทบทวนอาจดำเนินการโดยผู้เชี่ยวชาญอิสระทั้งจากภายในหรือผู้ที่ต้องการนำผลการประเมินไปใช้ประโยชน์และจากภายนอกหรือผู้ที่ไม่ได้นำผลการประเมินไปใช้ประโยชน์ด้วยก็ได้ อีกทั้งผลการทบทวนนี้ควรถูกนำเสนอไว้ในรายงานผลลัพธ์ขั้นสุดท้ายด้วย

2.2.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิต (life cycle inventory analysis: LCI)

การวิเคราะห์บัญชีรายการเป็นการรวบรวมข้อมูลและคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตภัณฑ์ทั้งสารขาเข้า (พลังงานและวัตถุดิบ) และสารขาออก (ผลิตภัณฑ์และของเสีย) การแปรผลลัพธ์จะใช้ข้อมูลจากขั้นตอนนี้ซึ่งขึ้นอยู่กับเป้าหมายและขอบเขตของการประเมิน LCA ที่กำหนดไว้แล้ว ข้อมูลที่รวบรวมได้จะทำให้ผู้ประเมินเข้าใจระบบที่กำหนดขึ้นได้ดียิ่งขึ้นซึ่งทำให้ทราบถึงข้อจำกัดที่เกิดขึ้น และอาจนำไปสู่ความต้องการเปลี่ยนข้อมูลที่ต้องการใหม่เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตรงตามเป้าหมายที่ต้องการได้

2.2.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (life cycle impact assessment: LCIA)

การประเมินผลกระทบเป็นการประเมินถึงศักยภาพในการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการวิเคราะห์บัญชีรายการ ประกอบด้วย การจำแนกประเภทผลกระทบ (classification) เป็นการจำแนกสารขาออกว่าส่งผลกระทบด้านใดต่อสิ่งแวดล้อม การกำหนดบทบาทของผลกระทบ (characterization) เป็นการจัดกลุ่มผลกระทบเดียวกันให้อยู่ในรูปของค่าความสามารถในการเกิดผลกระทบใด ๆ พร้อมทั้งทำการเทียบขนาดผลกระทบกับค่าฐานอ้างอิง

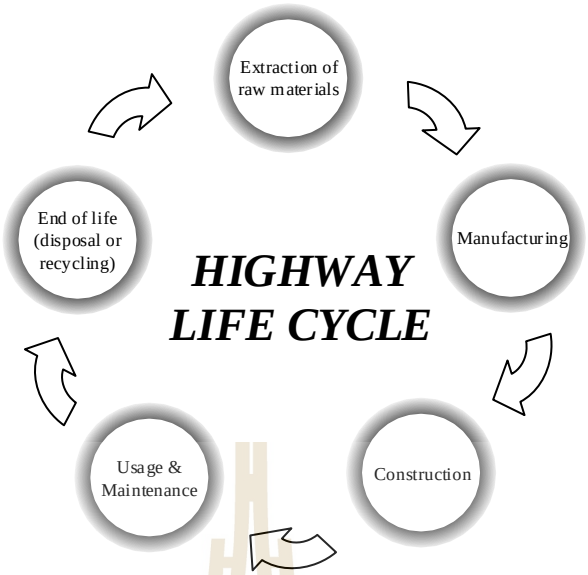
(normalization) ให้อยู่ในหน่วยเดียวกันซึ่งในการเทียบขนาดผลกระทบอาจมีการให้ค่าน้ำหนักผลกระทบ (weighting) ตามวัตถุประสงค์ของผู้ประเมินด้วยก็ได้ และจัดกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อม (grouping) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการ

2.2.4 การแปรผลลัพธ์ (interpretation)

การแปรผลลัพธ์เป็นการนำข้อมูลจากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการและการประเมินผลกระทบเพื่อแสดงข้อสรุปของการประเมิน LCA ทั้งนี้การแปรผลลัพธ์ควรต้องมีข้อสรุปและข้อเสนอแนะที่สอดคล้องกับเป้าหมายของการประเมินที่ตั้งไว้ การแปรผลลัพธ์อาจเป็นกระบวนการที่มีการทบทวนและทำซ้ำกระบวนการประเมินก็ได้ ซึ่งอาจมีการปรับเปลี่ยนขอบเขตของการประเมินและคุณภาพของข้อมูลให้สอดคล้องตามเป้าหมายที่วางไว้ด้วย อีกทั้งควรมีการทดสอบความอ่อนไหวและความไวของข้อมูลต่อการเปลี่ยนแปลงด้วย ผลลัพธ์สุดท้ายที่ถูกนำเสนอจะนำไปสู่การตัดสินใจและดำเนินการใด ๆ เพื่อปรับปรุงกระบวนการและผลิตภัณฑ์ให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

จากขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น ขั้นตอน LCI ถือเป็นขั้นตอนสำคัญของการรวบรวมปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องตลอดวัฏจักรชีวิต เพราะเป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนที่กระบวนการผลิตจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนถัดมา ในงานก่อสร้างการประเมิน LCA สามารถดำเนินการได้ทั้งช่วงก่อนก่อสร้างโดยผู้ออกแบบ ผู้กำหนดนโยบายและแผน เพื่อประกอบการพิจารณาตัดสินใจเลือกแบบก่อสร้างที่เหมาะสม และช่วงหลังก่อสร้างโดยผู้ปฏิบัติงานภาคสนาม และผู้ประเมินโครงการ เพื่อประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจริง แหล่งข้อมูลที่จะนำเข้าสู่บัญชีรายการก็จะแตกต่างกันตามช่วงที่จะประเมินด้วย กล่าวคือหากทำการประเมินช่วงก่อนก่อสร้างข้อมูลปริมาณทรัพยากรในบัญชีรายการจะได้มาจากการออกแบบ (ข้อมูลจาก BOQ) ส่วนการประเมินช่วงหลังก่อสร้างข้อมูลในบัญชีรายการก็จะเป็นปริมาณทรัพยากรจากการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้งานจริง (ข้อมูลจากรายงานภาคสนาม) ระหว่างการดำเนินการก่อสร้าง

การประเมินการปล่อยมลพิษฯ ในงานก่อสร้างเป็นการคำนวณจากปริมาณสารขาเข้าทั้งพลังงานและวัสดุที่ถูกใช้ตลอดกระบวนการตั้งแต่การสกัดวัตถุดิบ (extraction of raw materials phase) การผลิตวัสดุและ/พลังงาน (manufacturing phase) การก่อสร้าง (construction phase) การใช้งานและการบำรุงรักษา (usage and maintenance phase) ตลอดจนการกำจัดซากหรือการนำกลับมาใช้ใหม่ (disposal or recycling phase) ของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ และยังสามารถใช้กับกิจกรรมในงานก่อสร้างถนนได้ด้วยว่ามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไรบ้าง (SETAC, 2009; Crawford, 2011; Hong และคณะ, 2014) ดังแสดงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในงานก่อสร้างถนนในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์งานก่อสร้างถนน (ปรับปรุงจาก Crawford, 2011)

แม้ว่าช่วงการก่อสร้างจะไม่ได้เป็นช่วงที่มีปริมาณการปล่อยมลพิษฯ มากที่สุด แต่ก็เป็นช่วงที่ผู้เกี่ยวข้องในงานก่อสร้างทั้งผู้ประกอบการขนาดเล็กและขนาดใหญ่สามารถดำเนินการใด ๆ ที่เป็นการปรับตัวเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ จากกิจกรรมในโครงการก่อสร้างของตนได้โดยไม่ยากนัก อีกทั้งการดำเนินการในช่วงการก่อสร้างยังสามารถทำได้หลากหลายรูปแบบ เช่น การเลือกใช้เชื้อเพลิงที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่า การเลือกใช้วัสดุที่มีการปล่อยมลพิษฯ ในขั้นตอนการผลิตน้อยลง การเลือกเทคนิคการก่อสร้างที่ใช้พลังงานน้อยลง การเลือกแหล่งวัสดุที่ใกล้สถานที่ก่อสร้าง และการเลือกใช้เครื่องจักรที่มีเทคโนโลยีประหยัดพลังงานมากขึ้น เป็นต้น ในขณะที่การลดการปล่อยมลพิษฯ ช่วงอื่น ๆ อาจทำได้ยากหรือมีต้นทุนดำเนินการที่สูงกว่า

2.3 ปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ในงานก่อสร้าง

การประเมินการปล่อยมลพิษฯ มีวัตถุประสงค์ให้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจเลือกผลิตภัณฑ์ หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีกระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดเพื่อความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้นได้ (Curran, 2006) และช่วยให้ผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับการออกแบบหรือการกำหนดนโยบายใด ๆ สามารถนำไปใช้เพื่อระบุถึงสิ่งที่ต้องปรับปรุงในตัวผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังเป็นเครื่องมือเพื่อเปรียบเทียบปริมาณมลพิษฯ ที่ประเมินจากผลิตภัณฑ์ต่างชนิดกันในหน่วยหน้าที่ (functional unit: FU) เดียวกันได้ อุตสาหกรรมการผลิตทั่วไปมีการประเมินปริมาณมลพิษฯ อย่างแพร่หลายมานานหลายปี อีกทั้งยังมีการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปอีก

มากมาย แต่ส่วนใหญ่จะอ้างอิงฐานข้อมูลจากประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรป เช่น โปรแกรม BEES, ELP, Eco-Quantum, BEAT, EcoEffect, SimaPro, Athena เป็นต้น (Forsberg และ von Malmborg, 2004) ในขณะที่การประเมินการปล่อยมลพิษฯ กับอุตสาหกรรมการก่อสร้างส่วนใหญ่เป็นการประเมินเกี่ยวกับความยั่งยืน กล่าวคือ เป็นการประเมินเพื่อให้คะแนน (rating) อาคาร หรือสิ่งก่อสร้างที่บ่งบอกถึงความเป็นอาคารเขียว (green building) ส่วนการประเมินในงานระบบโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ถนน หรือสะพาน มีการประเมินบ้างแต่คิดเป็นสัดส่วนที่น้อยกว่างานอาคาร (Barandica และคณะ, 2013; Buyle และคณะ, 2013)

2.3.1 การปล่อยมลพิษฯ ในงานก่อสร้างอาคาร

งานก่อสร้างอาคารมีสัดส่วนการใช้งานเครื่องจักรกลต่อแรงงานคนไม่มากนักเมื่อเทียบกับงานก่อสร้างถนน หากพิจารณาในช่วงระหว่างการก่อสร้างพบว่าปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ส่วนใหญ่จะเกิดจากการใช้งานวัสดุก่อสร้าง ในงานวิจัยของ Suzuki และคณะ (1994) ทำการศึกษาปริมาณการใช้พลังงานและการปล่อยมลพิษฯ จากการก่อสร้างอาคารพักอาศัย 3 รูปแบบ ประกอบด้วย อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก (คสล.) อาคารโครงสร้างไม้ และอาคารโครงสร้างเหล็ก คำนวณปริมาณการใช้พลังงานและการปล่อยมลพิษฯ จากตารางค่าอินพุท/เอ้าท์พุทเฉพาะของญี่ปุ่น พบว่ามีการใช้พลังงานต่อพื้นที่อาคาร 8 - 10 GJ/m^2 สำหรับอาคาร คสล. 3 GJ/m^2 สำหรับอาคารโครงสร้างไม้ และ 4.5 GJ/m^2 สำหรับอาคารโครงสร้างเหล็ก ผลการศึกษาชี้ว่าอาคารโครงสร้างไม้ใช้พลังงานในการก่อสร้างน้อยที่สุดคิดเป็น 1 ใน 3 ของพลังงานในการก่อสร้างอาคาร ค.ส.ล. และประมาณ 60% ของพลังงานในการก่อสร้างอาคารโครงสร้างเหล็ก อีกทั้งยังพบว่าการก่อสร้างอาคารพักอาศัยเดี่ยวปล่อยมลพิษฯ เพียง 11% ของการก่อสร้างอาคารพักอาศัยรวม อาคารทั้ง 3 แบบมีการปล่อยมลพิษฯ เท่ากับ 850 kg/m^2 สำหรับอาคาร ค.ส.ล. เท่ากับ 250 kg/m^2 สำหรับอาคารโครงสร้างไม้ และ 400 kg/m^2 สำหรับอาคารโครงสร้างเหล็ก

งานวิจัยของ Cole (1998) ได้ศึกษาปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ที่แตกต่างกันจากวัสดุก่อสร้างของอาคารแต่ละชนิดในช่วงการก่อสร้าง วัสดุก่อสร้างในการศึกษานี้ประกอบด้วย คอนกรีต เหล็ก และไม้ จากการก่อสร้างพื้นหรือผนังต่อพื้นที่ 1 m^2 กระบวนการก่อสร้างด้วยวัสดุแต่ละชนิดมีการใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ พลังงานที่ใช้ ปริมาณการปล่อยมลพิษฯ และของเสียที่ต่างกัน การศึกษานี้พิจารณาการใช้พลังงานเพื่อการขนส่งวัสดุ อุปกรณ์ และแรงงานไปยังสถานที่ก่อสร้างมาคิดร่วมด้วย การคำนวณการใช้น้ำมันดีเซลของพาหนะเพื่อการขนส่งจากแหล่งวัสดุไปยังสถานที่ก่อสร้างเป็นพลังงานต่อหน่วยการทำงาน (MJ/m^2) การศึกษานี้ไม่สามารถระบุระยะทางจริงของการขนส่งวัสดุทั้ง 3 ชนิดได้ จึงตั้งสมมุติฐานว่ามีระยะทางขนส่งเฉลี่ย 40 km/trip (จากการสอบถามผู้จัดหาวัสดุว่ามีระยะทาง 40 - 50 km) ระยะทางการขนส่งแรงงาน 25 km/trip ผลกระทบสิ่งแวดล้อมถูกนำเสนอในรูปของปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2eq) ผล

การศึกษาพบว่าวัสดุคอนกรีตมีการใช้พลังงานรวมในการก่อสร้างและปล่อยมลพิษฯ ต่อหน่วยมากที่สุด คือ 20 - 120 MJ/m^2 และ 5 - 20 kg/m^2 ตามลำดับ โดยการใช้พลังงานเพื่อการขนส่งแรงงานคิดเป็นสัดส่วนมากที่สุดของพลังงานทั้งหมด

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Kofoworola และ Gheewala (2008) ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อหาปริมาณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากตัวแทนการศึกษาซึ่งเป็นอาคารพาณิชย์ในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลปริมาณงานจากบัญชีปริมาณงาน (BOQ) เพื่อระบุถึงแหล่งที่มีอิทธิพลต่อการปล่อยมลพิษฯ จากงานก่อสร้างอาคาร และหาแนวทางในการลดผลกระทบเพื่อนำไปสู่งานก่อสร้างเพื่อความยั่งยืน รวมถึงงานวิจัยของนิกร เจียมวรพงศ์ และธนิต ธงทอง (2555) ทำการประเมินปริมาณการปล่อยมลพิษฯ จากการเก็บข้อมูลวิจัยของวิธีการที่มีผู้เคยใช้ประเมินปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ในอดีตแต่ละวิธีมาเปรียบเทียบกัน พบว่ามีความแตกต่างกันของผู้ประเมินแต่ละรายในการกำหนดขอบเขต และรายละเอียดของช่วงกิจกรรมการก่อสร้างที่จะนำมาพิจารณาอยู่ใน 2 ช่วงหลัก ๆ คือ ช่วงการได้มาซึ่งวัตถุดิบรวมกระบวนการผลิต และช่วงระหว่างการก่อสร้าง ผลการศึกษาพบว่าการกำหนดขอบเขตที่แตกต่างกันส่งผลโดยตรงต่อปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ที่ประเมินได้ ดังนั้นหากพิจารณาตั้งแต่ช่วงการได้มาซึ่งวัตถุดิบรวมกระบวนการผลิตด้วยแล้วจะมีปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ที่สูงกว่าเมื่อพิจารณาแค่ช่วงระหว่างการก่อสร้าง

จากการศึกษาดังกล่าวพบว่ามีผลลัพธ์ที่สอดคล้องกัน กล่าวคือ ในการก่อสร้างอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีการปล่อยมลพิษฯ มากที่สุด และอาคารโครงสร้างไม้มีการปล่อยมลพิษฯ น้อยที่สุด สาเหตุหลักมาจากวัสดุก่อสร้างที่ต่างชนิดกันจะมีการใช้วิธีการก่อสร้าง เครื่องมือ และพลังงานต่างกัน อีกทั้งในกรณีที่นำเอาการใช้พลังงานเพื่อการขนส่งแรงงานมาคิดร่วมจะมีการปล่อยมลพิษฯ มากกว่าด้วย รวมถึงการก่อสร้างที่ต้องใช้กระบวนการและระยะเวลาการก่อสร้างที่มากกว่าจะส่งผลต่อปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ที่มากกว่าด้วยเช่นกัน

2.3.2 การปล่อยมลพิษฯ ในงานก่อสร้างถนน

สำหรับงานก่อสร้างถนนต้องใช้เครื่องจักรกลหนักเป็นส่วนใหญ่ ตัวอย่างเช่น รถขุดดิน รถตักดิน รถบรรทุกเทท้าย รถเกลี่ยดิน รถปูยาง เป็นต้น เครื่องจักรเหล่านี้ต้องใช้พลังงานจำนวนมาก การศึกษาเพื่อหาปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ก็จะพิจารณาจากการใช้พลังงานเป็นสำคัญ ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Park และคณะ (2003) ได้ประเมินการปล่อยมลพิษฯ ของโครงการก่อสร้างถนนจากข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณงานจาก BOQ เพื่อวิเคราะห์ถึงกระบวนการก่อสร้างที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยแบ่งช่วงวัฏจักรชีวิตออกเป็น 4 ช่วง คือ ช่วงการผลิตวัสดุ (material acquisition/manufacturing phase) คิดปริมาณวัสดุจากหน้าตัดโครงสร้างทางทั่วไป (general section) ของถนนเป็นข้อมูลประกอบ ช่วงการก่อสร้าง (construction phase) เป็นข้อมูลจากการใช้งานเครื่องจักรกลที่ใช้พลังงานแปรผันตามขนาด สภาพเครื่องจักร และทักษะของ

ผู้ปฏิบัติงาน ช่วงการบำรุงรักษา/ซ่อมแซม (maintenance phase) พิจารณาเฉพาะการซ่อมแซมผิวทางทุก ๆ 7 ปีต่อครั้ง และปูผิวทางใหม่ทุก ๆ 20 ปีเท่านั้น เนื่องจากการซ่อมแซมลักษณะอื่น ๆ นั้นยากที่จะระบุช่วงเวลาที่จะทำการซ่อมแซมได้ และช่วงสุดท้ายคือช่วงการกำจัดซาก/นำกลับมาใช้ใหม่ (disposal or recycling phase) เมื่อสิ้นอายุการใช้งานถูกวิเคราะห์จากการใช้พลังงานของเครื่องจักรกลในการรื้อถอน สมมุติให้กำจัดซากทิ้ง 65% คิดการใช้พลังงานจากการขนส่งไปทิ้งแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ 35% คิดการใช้พลังงานทั้งน้ำมันและไฟฟ้าที่โรงงานเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่ ผลลัพธ์การประเมินชี้ว่าปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ในช่วงการผลิตมีปริมาณมากที่สุดเท่ากับ 1,391.4 T CO_2eq จากปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ทั้งหมด 2,438.5 T CO_2eq อีกทั้งยังพบว่าช่วงการผลิตวัสดุประเภทซีเมนต์มีการใช้พลังงานมากที่สุด (ประมาณ 56.9% ของปริมาณการใช้พลังงานรวมทั้งหมด) ลำดับถัดมาคือช่วงการบำรุงรักษา/ซ่อมแซมในระยะเวลา 20 ปี (39.9%) ช่วงการก่อสร้าง (1.9%) และลำดับสุดท้ายคือช่วงการกำจัดซาก/นำกลับมาใช้ใหม่ (1.3%) เมื่อพิจารณาตามลักษณะงานที่นำวัสดุไปใช้งานพบว่างานก่อสร้างผิวทาง (pavement work) มีการใช้พลังงานมากที่สุดคิดเป็น 60.82% ของการใช้พลังงานทั้งหมด แต่หากพิจารณาจากการใช้พลังงานของเครื่องจักรกลในช่วงก่อสร้างพบว่าการทำงานในหมวดงานดิน (earth work) มีการใช้พลังงานมากที่สุด โดยที่การทำงานของรถบรรทุกดิน (dump truck) มีการใช้พลังงาน 92.7% ของการใช้พลังงานทั้งหมดในหมวดงานดิน และการทำงานของรถบรรทุกดินนี้คิดเป็นการใช้พลังงาน 94.5% ของพลังงานรวมที่ใช้ทั้งหมด

งานวิจัยของ Cass และ Mukherjee (2011) ทำการศึกษาปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ของโครงการซ่อมบำรุงและบูรณะถนนจากช่วงการผลิตและช่วงการก่อสร้าง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นข้อมูลให้ผู้วางนโยบายภาครัฐหาวิธีลดการปล่อยมลพิษฯ และลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในระยะยาวได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมถึงการนำไปใช้เพื่อเลือกออกแบบผิวทางในรูปแบบต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสมทั้งผิวทางคอนกรีตและผิวทางแอสฟัลต์ โดยพิจารณาจากบัญชีรายการที่แสดงข้อมูลการใช้วัสดุและเครื่องจักรกลระหว่างการดำเนินการก่อสร้าง การดำเนินงานเริ่มด้วยการรื้อผิวทางคอนกรีตเดิมออกแล้วก่อสร้างใหม่ การศึกษานี้ได้เก็บรวบรวมข้อมูลการใช้งานเครื่องจักรกล วัสดุ และพลังงาน ณ สถานที่ก่อสร้างเพื่อประเมินปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ผลการศึกษาพบว่ามีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) รวมเป็นปริมาณ 787.19 MT CO_2eq/lane-mile สำหรับวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบไฮบริด-แบบที่ 1 (hybrid LCA model 1) และปริมาณ 1,383.28 MT CO_2eq/lane-mile สำหรับวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบไฮบริด-แบบที่ 2 (hybrid LCA model 2) โดยเมื่อพิจารณาแยกออกเป็นแต่ละช่วงวัฏจักรชีวิตพบว่าช่วงการผลิตมีสัดส่วนการปล่อยมลพิษฯ มากที่สุด (90 - 94%) ในขณะที่การขนส่ง (on-site และ to-site) มีปริมาณการปล่อยมลพิษฯ คิดเป็น 6 - 10% ของปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ตลอดการก่อสร้างนี้

แม้ว่าการประเมินการปล่อยมลพิษฯ จากงานก่อสร้างถนนส่วนใหญ่มักจะเป็นการประเมินเพื่อเปรียบเทียบวัสดุก่อสร้างที่ต่างชนิดกัน ซึ่งจะทำให้มีวิธีการและการใช้ทรัพยากรก่อสร้างต่างกันโดยปริยาย แต่อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยบางส่วนที่ได้มุ่งเน้นที่เทคนิคหรือวิธีการก่อสร้างเป็นการเฉพาะ เช่น การศึกษาของ White และคณะ (2010) ได้เสนอกระบวนการเพื่อจำลองรูปแบบผลกระทบที่ทำให้โลกร้อนจากการผลิตวัสดุก่อสร้างถนนและจากการก่อสร้างถนนด้วยผิวทางต่างชนิดกัน ซึ่งหลัก ๆ ประกอบด้วยผิวทางคอนกรีต (rigid pavement) และผิวทางแอสฟัลต์ (flexible pavement) พิจารณาการบริโภคทรัพยากรตั้งแต่ขั้นตอนกระบวนการผลิตวัสดุอย่างเช่น มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด แอสฟัลต์ซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ เถ้าลอย และเศษยาง รวมถึงการใช้พลังงานเพื่อการขนส่งและการก่อสร้างด้วย นอกจากการประเมินการปล่อยมลพิษฯ แล้ว การศึกษานี้ยังได้ทดลองปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ของรูปแบบจำลองเพื่อให้สามารถออกแบบผิวทางบนพื้นฐานของทรัพยากรในท้องถิ่น เงื่อนไขสภาพภูมิอากาศ ปริมาณการจราจร การบำรุงรักษา และความต้องการพลังงานได้อย่างเหมาะสมได้ด้วย

จากงานวิจัยในอดีตดังกล่าวพบว่าการปล่อยมลพิษฯ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงการผลิตวัสดุ (materials manufacturing) ซึ่งเป็นการปล่อยมลพิษฯ จากการใช้งานเครื่องจักรกลและการใช้พลังงานเป็นหลัก ดังนั้นการใช้งานเครื่องจักรกลจึงส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้พลังงานและการปล่อยมลพิษฯ ในงานก่อสร้างถนนด้วย อีกทั้งการเลือกเทคนิคการก่อสร้างที่ต่างกันในช่วงการก่อสร้าง (construction phase) ก็ส่งผลต่อปริมาณการปล่อยมลพิษฯ จึงทำให้การพิจารณาเลือกเทคนิคการก่อสร้างที่เหมาะสมจะสามารถช่วยลดการปล่อยมลพิษฯ ได้ด้วย

2.4 ความพยายามเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ในงานก่อสร้าง

2.4.1 ความพยายามเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ในงานก่อสร้างอาคาร

การดำเนินการเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ จากกิจกรรมใด ๆ มีการดำเนินการมาแล้วหลากหลายรูปแบบ เช่น การลดการใช้พลังงานเมื่อไม่จำเป็นในอาคารบ้านเรือน การใช้พลังงานสะอาดหรือพลังงานรูปแบบอื่น ๆ ทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิล การบริหารการใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในองค์กรภาคอุตสาหกรรม เป็นต้น สำหรับในงานก่อสร้างอาคารพบว่ามีผลการศึกษาเพื่อลดปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ของนักวิจัยบางส่วน เช่น งานวิจัยของ Eštoková และ Porhinčák (2012) ที่ได้ทำการประเมินการปล่อยมลพิษฯ จากการเปรียบเทียบวัสดุทั่วไปกับวัสดุทางเลือกชนิดอื่นเพื่อแสดงถึงศักยภาพในการลดปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ลงได้ด้วยการเปลี่ยนทดแทนวัสดุในงานก่อสร้างอาคาร ผลการศึกษาพบว่าสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 13.5% และลดการปล่อยก๊าซ CO_2eq ที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนลงได้ 3.7% เมื่อเปลี่ยนใช้วัสดุอื่นทดแทน

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Venkatarama Reddy (2009) ที่ได้ประเมินเปรียบเทียบการใช้พลังงานของงานก่อสร้างในประเทศอินเดีย โดยพิจารณาจากการผลิตวัสดุและการนำมาใช้ก่อสร้างอาคาร การศึกษานี้ชี้ว่าการเลือกใช้วัสดุทดแทนจะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 50% และจะส่งผลให้ปล่อยมลพิษฯ ลดลงด้วย อีกทั้งยังชี้ว่าการลดการปล่อยมลพิษฯ ต้องพึ่งพาเทคโนโลยีและกระบวนการที่ทันสมัยเพื่อลดการใช้พลังงานและการขนส่งให้น้อยลงจึงจะช่วยลดการปล่อยมลพิษฯ ลงได้อย่างชัดเจน ตัวอย่างเช่น การใช้ซีเมนต์ที่ผสมด้วยเถ้าลอย (coal fly ash) หรือผสมด้วยตระกรันเตาหลอม (slag) เพื่อลดการใช้ซีเมนต์แบบเดิม (ลดการใช้ซีเมนต์สูงสุดถึง 40%) ที่มีการใช้พลังงานอย่างมากในช่วงการผลิต ตลอดจนการใช้อิฐ SMB (stabilized mud brick) แทนการใช้อิฐดินเผา (ลดการใช้พลังงานในการเผาอิฐได้ 60 - 70%) เป็นต้น

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงการกำจัดซากเมื่อสิ้นอายุการใช้งานอาคาร พบว่าการใช้พลังงานในช่วงการใช้งานอาคารมีสัดส่วนการปล่อยมลพิษฯ มากที่สุด (60 - 90%) ของวัฏจักรชีวิต แต่แหล่งปล่อยมลพิษฯ สำคัญมาจากการใช้พลังงานเพื่อทำความร้อนหรือทำความเย็น (Buyle และคณะ, 2013) ซึ่งไม่ได้อยู่ในกระบวนการก่อสร้าง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Utama และ Gheewala (2008) ที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารในประเทศอินโดนีเซีย โดยเปรียบเทียบวัสดุที่ผลิตจากดินเหนียว (clay-based) และผลิตด้วยซีเมนต์ (cement-based) เป็นหลัก วัสดุเหล่านี้ใช้เพื่อก่อสร้างผนังและหลังคาของอาคาร พบว่าช่วงการใช้งานของวัสดุที่ผลิตด้วยซีเมนต์มีความคงทนกว่าและจะไม่มีการซ่อมแซมหรือเปลี่ยนทดแทนตลอดอายุอาคาร 40 ปี แต่วัสดุที่ผลิตจากดินเหนียวถูกสมมุติให้มีการซ่อมเมื่อมีการใช้งานอาคารมาระยะหนึ่ง (20 ปี) การศึกษานี้ชี้ว่าวัสดุที่ผลิตจากดินเหนียวจะทำให้การใช้พลังงานของอาคารตลอดอายุการใช้งานอาคารน้อยกว่าการก่อสร้างด้วยวัสดุที่ผลิตจากซีเมนต์ (ต่างกัน 9 - 14%) สาเหตุสำคัญมาจากพลังงานที่ใช้ในช่วงการใช้งานอาคารที่ผนังผลิตจากซีเมนต์มีมากกว่า แม้ว่าการใช้งานอาคารที่ผนังผลิตจากดินเหนียวจะต้องมีการซ่อมแซมก็ตาม

จากงานวิจัยเหล่านี้ชี้ว่าหากพิจารณาเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ช่วงการใช้งานอาคาร (ซึ่งค่อนข้างยาวนาน 40 - 50 ปี) การเลือกใช้วัสดุที่มีการใช้พลังงานในการผลิตน้อยกว่าอาจไม่ช่วยลดการปล่อยมลพิษฯ ได้มากเท่ากับการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างที่ทำให้มีการใช้พลังงานของอาคารน้อยลง (จากเครื่องทำความร้อน/ความเย็น) แต่เมื่อพิจารณาช่วงการก่อสร้างพบว่าหากเลือกใช้เทคนิควิธีการ เทคโนโลยีวัสดุ และการขนส่งที่มีการใช้พลังงานน้อยลงจะสามารถลดการปล่อยมลพิษฯ ในขั้นตอนการก่อสร้างได้ ดังนั้นการลดการปล่อยมลพิษฯ จากอาคารต้องพิจารณาถึงสมดุลที่จะดำเนินการควบคู่กันไปด้วย

2.4.2 ความพยายามเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ในงานก่อสร้างถนน

สำหรับงานก่อสร้างถนนก็มีหลายงานวิจัยที่พยายามเสนอแนวทางเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ งานวิจัยของ Liu และคณะ (2013) ทำการศึกษาเพื่อหาปริมาณการปล่อยมลพิษฯ จากงานก่อสร้างถนนของโครงการงานซ่อมและบูรณะผิวทาง โดยเปรียบเทียบการก่อสร้างด้วย hot mix asphalt (HMA) กับวัสดุ 2 ชนิดจากการหมุนเวียนวัสดุผิวทางเดิมกลับมาใช้ใหม่ (foam stabilized base: FSB และ warm mix asphalt: WMA) การศึกษาพบว่า FSB และ WMA สามารถลดการปล่อยมลพิษฯ ในช่วงการก่อสร้างลงได้ 50% และ 40% ตามลำดับ ซึ่งปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลงเป็นผลโดยตรงจากวัสดุ (การผลิตวัสดุปล่อยมลพิษฯ 70% ของการปล่อยมลพิษฯ ทั้งหมด) ที่เลือกใช้ การศึกษานี้ชี้ว่าการเลือกวัสดุก่อสร้างผิวทางที่ต่างกันส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการลดการปล่อยมลพิษฯ รวมตลอดวัฏจักรชีวิต อีกทั้งระบุว่าเมื่อมีปริมาณการจราจรต่อวันเฉลี่ยตลอดปี (annual average daily traffic: AADT) เพิ่มสูงขึ้นปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ในช่วงการใช้งานถนนก็จะมีสัดส่วนเพิ่มขึ้น กล่าวคือถ้า AADT ประมาณ 10,000 หน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (passenger car unit: PCU) ส่งผลให้ช่วงการใช้งานถนนจะมีสัดส่วนการปล่อยมลพิษฯ มากกว่า 97% และผลจากการเลือกวัสดุก่อสร้างจะลดความสำคัญต่อการปล่อยมลพิษฯ ลง โดยมีปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ต่างกัน 1% หากเลือกก่อสร้างด้วยวัสดุ FSB หรือ WMA เมื่อ AADT เพิ่มมากขึ้น

นอกจากนี้มีงานวิจัยของ Ahn และคณะ (2013) ที่คิดนำปริมาณมลพิษฯ ที่ลดได้จากการเลือกวิธีลดการปล่อยมลพิษฯ ที่ต่างกันมาเป็นเครื่องมือจูงใจผู้รับเหมางานก่อสร้างถนนสมัครใจร่วมมือลดการปล่อยมลพิษฯ แล้วทำการเปรียบเทียบกับกรณีไม่ดำเนินการใด ๆ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวคิดการประกวดราคาด้วยสัญญาแบบเอพลัสซี (A+C) เมื่อให้เทอม A เป็นมูลค่างานก่อสร้าง (construction cost) และเทอม C เป็นมูลค่าการปล่อยมลพิษฯ (environmental cost) ที่นำปริมาณมลพิษฯ ที่ลดลงได้ในแต่ละวิธีทางเลือกมาทำการแปลงเป็นมูลค่าเงิน ปริมาณมลพิษฯ ดังกล่าวถูกคำนวณจากวิธีการที่สามารถลดการปล่อยมลพิษฯ จำนวน 5 วิธีประกอบด้วย การเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรเก่าด้วยเครื่องจักรใหม่ลดค่าเทอม C ลงได้ 5.7 - 7.2% การติดตั้งอุปกรณ์เสริมที่ช่วยลดการปล่อยไอเสียจากเครื่องจักรลดค่าลง 0.9 - 7.6% การใช้น้ำมันไบโอดีเซลบี20 แทนน้ำมันดีเซลลดค่าลง 4.8% การเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรเก่าด้วยเครื่องจักรไฮบริดลดค่าลง 21.8% และการเลือกใช้วัสดุจากแหล่งวัสดุที่ใกล้สถานที่ก่อสร้างมากขึ้นสามารถลดค่าลงได้ 5.5 - 11.2% อย่างไรก็ตามหากจะดำเนินการตามแนวคิดนี้ยังมีข้อจำกัดที่เจ้าของโครงการหรือผู้รับเหมาทั่ว ๆ ไปไม่สามารถคำนวณค่าเทอม C นี้ได้ แต่ต้องใช้ผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในการประเมินการปล่อยมลพิษฯ จึงจะสามารถทำได้ อีกทั้งรายละเอียดขั้นตอนของวิธีการไม่มากพอที่จะสามารถนำไปปฏิบัติได้ในขณะนี้

พิจารณาจากงานวิจัยในอดีตพบว่าการใช้พลังงานมีส่วนสำคัญต่อปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ในงานก่อสร้างถนน และพลังงานส่วนใหญ่ถูกใช้ในช่วงการผลิตวัสดุโดยเฉพาะเพื่อการผลิตซีเมนต์ ส่งผลให้การเลือกใช้วัสดุที่มีการใช้พลังงานในช่วงการผลิตน้อยกว่าจะมีศักยภาพที่จะลดการปล่อยมลพิษฯ ลงได้มากกว่า ส่วนช่วงการก่อสร้างพบว่าการทำงานของรถบรรทุกดินในการทำงานหมวดงานดินเป็นเครื่องจักรกลที่ใช้พลังงานมากที่สุด ในขณะที่ช่วงบำรุงรักษาและบูรณะพบว่าการก่อสร้างที่ใช้วัสดุที่ต้องบำรุงรักษามากกว่าอาจมีการใช้พลังงานมากกว่าด้วย สอดคล้องกับช่วงสิ้นสุดอายุการใช้งานด้วยการกำจัดซาก/การนำกลับมาใช้ใหม่ซึ่งพบว่าเมื่อมีการใช้วัสดุที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้สามารถช่วยลดการปล่อยมลพิษฯ ได้ด้วยเช่นกัน ดังนั้นหากต้องการลดการปล่อยมลพิษฯ ในงานก่อสร้างถนนช่วงการก่อสร้างนั้น การทำงานของเครื่องจักรกลต้องใช้พลังงานน้อยลงแต่มีประสิทธิภาพมากขึ้น หรือติดตั้งอุปกรณ์กำจัดไอเสียเพื่อให้เครื่องจักรกลเหล่านี้มีปริมาณการปล่อยมลพิษฯ น้อยลงนั่นเอง

2.4.3 มาตรการลดการปล่อยมลพิษทางอากาศ

ความพยายามที่เกิดจากความตระหนักถึงการปล่อยมลพิษฯ ที่ส่งผลให้เกิดมลภาวะถูกสะท้อนผ่านมาตรการดำเนินการเพื่อลดการปล่อยมลพิษทางอากาศอย่างแพร่หลายมากขึ้น การดำเนินการนี้สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การลดการใช้ (reduce) การใช้ซ้ำ (reuse) การนำกลับมาใช้ใหม่ (recycle) ตลอดจนการเลือกใช้ทรัพยากร/พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น พัฒนากระบวนการในอุตสาหกรรมให้ใช้พลังงานและวัสดุน้อยลง การเลือกใช้พลังงานทดแทนและลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลให้น้อยลง (นิรมล สุธรรมกิจ และลดาวัลย์ พวงจิตร, 2552) หรือหลักการ 5Rs ที่ใช้ดำเนินการกับเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งประกอบด้วย การติดตั้งอุปกรณ์ลดมลพิษ (retrofit) การเพิ่มกำลังเครื่องยนต์ (repower) การใช้น้ำมันหรือพลังงานทางเลือก (refuel) การเปลี่ยนใหม่ (replace) และการซ่อมบำรุงตามรอบกำหนดอย่างสม่ำเสมอ (repair/rebuild) (ICF, 2005) เป็นต้น โดยมีเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (sustainable development goals: SDGs) ภายใต้กรอบแนวคิดบนหลักการของการพัฒนาที่มุ่งไปสู่เศรษฐกิจสีเขียว (สศช, 2560)

นอกจากนี้ มีการดำเนินการสร้างกระบวนการพัฒนาที่ยั่งยืนโดยบูรณาการระหว่างเศรษฐกิจ สังคมและทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่องของประเทศไทย โดยเริ่มจัดทำแผนปฏิบัติการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมควบคู่กับแผนพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 7 จนถึงปัจจุบันฉบับที่ 12 เพื่อบรรลุเป้าหมายของคุณภาพชีวิตที่ดีจึงเป็นแนวทางสำคัญของการพัฒนาประเทศไทย (สศช, 2553; สศช, 2560) รวมถึงมาตรการภายใต้แผนอนุรักษ์พลังงานและการใช้พลังงานทดแทนได้รับการสนับสนุนจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน โดยประเทศไทยได้ลงทุนด้านการอนุรักษ์พลังงานและส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2538 และยังได้กำหนดเป้าหมายในระยะยาวของการเพิ่มสัดส่วนการใช้

พลังงานทดแทนโดยคาดว่าภายในปี พ.ศ.2565 จะเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนให้เป็น 20% ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย ด้วยการส่งเสริมเทคโนโลยีที่มีอยู่ พัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทนใหม่ ๆ ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา หน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและเอกชนได้ร่วมมือดำเนินการส่งเสริมกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม เช่น โครงการจัดซื้อจัดจ้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของภาครัฐของกรมควบคุมมลพิษซึ่งมีเป้าหมายให้มีการจัดซื้อจัดจ้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างสมบูรณ์ภายในปี พ.ศ.2554 โครงการสาธารณสุขรวมใจรณรงค์ลดโลกร้อนของกระทรวงสาธารณสุขซึ่งส่งเสริมให้หน่วยงานของกระทรวงทั้งในส่วนกลางและส่วนภูมิภาคดำเนินการเป็นแบบอย่างที่ช่วยลดผลกระทบของโลกร้อนต่อสุขภาพ หรือยุทธศาสตร์ลดโลกร้อนของชุมชนเมือง เช่น กรุงเทพฯ ขอนแก่น เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2562)

Level	Strategy
I	L1-01 Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) L1-02 Other Material Recycling or Reusing L1-03 Sustainable Material Treatment L1-04 Material Waste Management L1-05 Material Life-Cycle Management
II	L2-01 Equipment Retrofit Technology L2-02 Engine Repower and Upgrade L2-03 Idling Reduction L2-04 Alternative Fuels L2-05 LED Lighting L2-06 Equipment Operation and Maintenance L2-07 Equipment Selection and Vehicle Electrification L2-08 Work Zone Traffic Management L2-09 Employee Commuting Reduction
III	L3-01 Green Road Rating System L3-02 Climate Impact Analyses L3-03 Climate Adaptation Design
IV	L4-01 Highway-related Solar Energy L4-02 Highway-related Wind Turbine

รูปที่ 2.3 การดำเนินการตาม Green Performance Contracting (Cui และคณะ, 2011)

Technology	Category	Actions	EPA (2002)	EPA (2005)	EDF (2005)	ICF (2005)	EPA (2007)	MECA (2007)	DOE/EERE (2010)	CS (2011)	Theinnoi, K. (2012)	Ahn, C. et al. (2013)	EOP (2013)	World Bank (2014)	Thomas Tanton (2015)	DOE/EERE (web site)	Metham, M. and Benjaoran, V. (2017)
Usage Management	Enabling	Productivity Improvement				●											
		Tax Deduction				●											
		Increase Tax/Fee (Fuel/Parking)								●							
		Construction Techniques															●
		Change to Nearest of Material Sources										●					
		Equipment Operator Training					●										
		Inspection and Maintenance Programs			●		●							●		●	
		Prevention of Vehicle Overloading												●			
		Basic & Applied Research													●		
Engine & Vehicle Technologies	End-use	Proposed New Standard (Vehicle / Fuel)				●				●			●				
		NOx Adsorbers or Nox Traps (LNT)						●	●								
		Lean-NOx Catalysts (LNC) or HC-SCR			●			●	●							●	
		Exhaust Gas Recirculation (EGR+DPF)		●													
		Exhaust Gas Recirculation (EGR)			●			●								●	
		Emerging (SCR+DOC) or (SCR+DPF)			●						●	●					
		Selective Catalytic Reduction (SCR)		●	●	●		●	●		●	●				●	
		Diesel Particulate Filters (DPFs)		●	●	●	●	●	●		●	●		●		●	
		Diesel Oxidation Catalyst (DOCs)		●	●	●	●	●	●		●	●		●		●	
		Vehicle Replacement (Hybrid Engine)		●			●			●		●				●	
		Vehicle Replacement (Newer Tier, Newer)		●	●	●	●			●		●		●		●	
		Engine Rebuild & Replace		●	●	●	●			●						●	
		Aredynamic Equipment														●	
		Idle Reduction Devices			●	●	●			●				●		●	
		Carbon Capture & Storage													●		
		Gas Flare Reducing Technologies													●		
		Combined Heat & Power													●		
		Other Efficiency								●					●		
		Advanced Technology Vehicles								●					●		
Fuel Technologies	Non-Hydrocarbon	Synthetic Diesel (from coal, biomass)							●								
		Nitrous Oxides Reducing Technologies													●		
		Fluorocabons Reducing Technologies													●		
		Sulphur Hexafluoride Reducing Technologies													●		
		Ethanol													●		
		Renewables (biodiesel B20)	●		●		●		●			●	●		●	●	
		Renewables (biodiesel B10)	●		●								●				
		Biomass/ Alternative Fuels				●									●		
	Fuel Substitution	Synthetic Diesel (from natural gas)				●			●				●				
		Cleaner Fuel or Low Sulphur (LSD or ULSD)			●	●	●			●				●		●	
		Liquified Natural Gas (LNG)			●	●									●	●	
		Fugitive Gas Reducing Technologies													●		
		Landfill Gas (i.e. methane)													●		
		Nuclear											●		●		
		Shale Gas													●		

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างของมาตรการลดการปล่อยมลพิษฯ จากงานวิจัยในอดีต

ตัวอย่างการดำเนินการเหล่านี้ถูกนำเสนอจากหลายหน่วยงาน ส่วนหนึ่งเป็นแนวทางที่กำหนดเป็นยุทธศาสตร์ของประเทศโดยหน่วยงานรัฐ เช่น แผนปฏิบัติการด้านสภาวะอากาศของกรมการขนส่งแห่งมลรัฐแมรี่แลนด์ (CS, 2011) แผนปฏิบัติการด้านสภาวะอากาศของสหรัฐ (EOP, 2013) และเอกสารเรื่องทิศทางของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช, 2553) เป็นต้น รวมถึงมีการเสนอแนวทางเพื่อป้องกันและบรรเทาปัญหาการปล่อยมลพิษฯ ที่มุ่งเน้นการเสนอแนวทางการลดการปล่อยมลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซล (ICF, 2005; EDF, 2005; EPA, 2005; EPA, 2007; World Bank, 2014) เช่น ICF (2005) เสนอรายงานต่อ EPA ถึงการดำเนินการเพื่อปรับปรุงเครื่องจักรให้สอดคล้องกับมาตรฐานการปล่อยมลพิษของสหรัฐว่าการใช้พลังงานทางเลือก การติดตั้งอุปกรณ์ลดมลพิษ การเปลี่ยนเครื่องจักรใหม่ จะช่วยลดการปล่อยมลพิษฯ จากเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในงานก่อสร้างได้ หรือรายงานการศึกษาของ EPA (2007) ระบุถึงวิธีการดำเนินการที่จะช่วยลดการปล่อยมลพิษฯ จากการใช้เครื่องจักรกลหนักงานก่อสร้างที่มีต้นทุนไม่สูงมากนัก ด้วยการแนะนำให้ใช้พลังงานที่สะอาดอย่างน้ำมันไบโอดีเซล หรือน้ำมันกำมะถันต่ำ หรือการบำรุงรักษาเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ หรือการฝึกอบรมผู้ใช้งานเครื่องจักรให้มีประสิทธิภาพ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการเสนอให้ผนวกการดำเนินการดังกล่าวเป็นเกณฑ์คุณภาพของสัญญางานก่อสร้างเพื่อสิ่งแวดล้อมด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (Cui และคณะ, 2011) โดยในรูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างของมาตรการลดการปล่อยมลพิษฯ ดังกล่าวจากการรวบรวมผ่านงานวิจัยในอดีต

กล่าวโดยสรุปได้ว่าการดำเนินงานนี้มักเป็นการลงทุนโดยใช้เทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ประหยัดพลังงาน และสนับสนุนการใช้พลังงานทดแทน หรือการส่งเสริมการบริโภคที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (EU, 2016a) สร้างระบบหมุนเวียนวัสดุที่ใช้แล้วที่มีประสิทธิภาพผ่านมาตรการต่าง ๆ เช่น การปฏิรูประบบภาษีและค่าธรรมเนียมเพื่อสิ่งแวดล้อม การกำหนดมาตรฐานและฉลากสินค้า เป็นต้น การดำเนินการบางส่วนเป็นการเตรียมพร้อมเพื่อรับมือและปรับตัวเพื่อเพิ่มศักยภาพในการลดการปล่อยมลพิษฯ ให้กับทุกภาคส่วน อุตสาหกรรมการก่อสร้างเองก็มีความเชื่อมโยงจากนโยบายการพัฒนาของประเทศโดยเฉพาะการพัฒนาระบบโครงสร้างพื้นฐานทางด้านพลังงาน และการคมนาคมขนส่ง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเร่งผลักดันนโยบายและแผนที่เกี่ยวข้องให้มีผลในทางปฏิบัติ เช่น กำหนดมาตรฐานประสิทธิภาพขั้นต่ำในการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร หรือสร้างแรงจูงใจด้วยการลดหรือคืนภาษีสำหรับผู้ซื้อในภาคประชาชนและภาคธุรกิจให้ปรับเปลี่ยนไปใช้ยานพาหนะที่ใช้พลังงานน้อยลง (รถยนต์ไฮบริด รถยนต์ดีเซลประสิทธิภาพสูง และรถยนต์ไฟฟ้า) เพื่อการเดินทางหรือขนส่งสินค้า หรือการกำหนดสัดส่วนขั้นต่ำในการจัดซื้อจัดจ้างสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (green procurement) ของภาครัฐ (Anthonissen และคณะ, 2015; OECD, 2015) หรือการกำหนดบทลงโทษสำหรับรายที่ดำเนินงาน

ได้ต่ำกว่ามาตรฐานและมีรางวัลสำหรับรายที่ดำเนินการได้เกินมาตรฐานที่กำหนดในแต่ละปี เป็นต้น

อย่างไรก็ตามการดำเนินงานตามมาตรการอย่างเป็นรูปธรรมยังคงไม่ค่อยเกิดขึ้น (COG, 2010) โดยเฉพาะกับอุตสาหกรรมก่อสร้างที่ผู้ประกอบการมุ่งเน้นการจัดหาเครื่องจักรกลที่เพียงแค่ให้สามารถทำงานได้ เครื่องจักรกลเหล่านี้จึงมีความหลากหลายทั้งในแง่ของประสิทธิภาพในการทำงาน อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน และปริมาณการปล่อยมลพิษฯ หรืออาจกล่าวได้ว่าการดำเนินธุรกิจของผู้รับเหมางานก่อสร้างที่มุ่งหวังเพิ่มผลกำไรและลดต้นทุนของบริษัททำให้การจัดหาเครื่องจักรใหม่ การจัดหาเครื่องจักรที่ปล่อยมลพิษฯ น้อยลงเพื่อหวังลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมยังเกิดขึ้นได้ยาก ดังนั้นการกำหนดวิธีการที่ผู้รับเหมาสามารถดำเนินการได้โดยไม่เป็นการเพิ่มภาระ (ต้นทุนและขั้นตอนการทำงาน) มากนัก อีกทั้งผู้รับเหมาจะได้รับค่าชดเชยที่คุ้มค่าจากความร่วมมือโดยสมัครใจจะเป็นกลไกสำคัญที่ช่วยให้การดำเนินงานเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ในงานก่อสร้างถนนเกิดขึ้นได้ง่ายขึ้น

2.5 การใช้สัญญาแบบจูงใจในงานก่อสร้างถนน

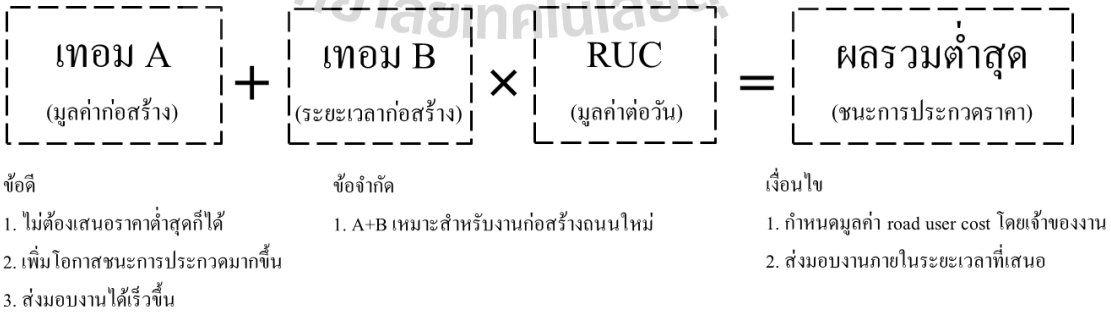
สัญญาในงานก่อสร้างถูกนิยามว่าเป็นความตกลงร่วมกันที่มีความสำคัญ และมีความผูกพันตามกฎหมายระหว่างคน 2 กลุ่ม คือ เจ้าของโครงการและผู้รับเหมา (Pellicer และคณะ, 2014) ข้อผูกพันในสัญญาอาจประกอบด้วยข้อกำหนด (specifications) ในการประกวดราคา หรือร่างขอบเขตของงาน (terms of reference: TOR) ในการประกวดราคาด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยทั่วไปข้อผูกพันนี้ คือ ข้อกำหนดทั่วไป ข้อกำหนดลำดับความสำคัญของเอกสาร คุณภาพฝีมือแรงงาน เครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง คุณภาพผลงาน กำหนดวันแล้วเสร็จ อัตราค่าปรับ การจ่ายเงินค่างาน การหักเงินประกันผลงาน นอกจากนี้อาจมีข้อกำหนดเพิ่มเติมตามวัตถุประสงค์ของเจ้าของโครงการได้ เช่น ข้อกำหนดในการจัดการสิ่งแวดล้อมที่เป็นมลภาวะทางเสียง ทางอากาศ หรือทางน้ำ เป็นต้น

สัญญาแบบจูงใจถูกกำหนดขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของเจ้าของโครงการด้วยข้อกำหนดเพิ่มเติมจากสัญญาแบบดั้งเดิม อีกทั้งยังกำหนดเป็นเงื่อนไขในการคัดเลือกผู้รับจ้างงานก่อสร้างได้ด้วยเช่นกัน (Puri และ Tiwari, 2014) การนำสัญญาแบบจูงใจมาใช้ในงานก่อสร้างได้ผลตอบรับที่ดีจากผู้รับเหมางานก่อสร้างในสหรัฐอเมริกา (El-Reyes, 2001; El-Reyes และ Kandil, 2005) ได้แก่ โครงการก่อสร้างงานถนนของกรมการขนส่งของสหรัฐอเมริกา (Department of Transportation: DOT) ในรัฐมินิโซต้าและรัฐมิชิแกนได้ทดลองกำหนดเงื่อนไขพิเศษในการจ่ายค่างาน ตัวอย่างการจ่ายค่างานที่กำหนดเงื่อนไขพิเศษเพื่อเร่งการส่งมอบงาน คือ สัญญาแบบเลนเร็นทอล (lane rental) ซึ่งคิดหักมูลค่าเงินจ่ายค่างานจากเวลาส่วนเกินที่ต้องปิดการจราจรเกินกว่า

แผนงานเพื่อทำการซ่อมบำรุงถนนในรูปแบบการคิดค่าเช่าพื้นที่ (rental fee) ออกจากราคาค่าก่อสร้างที่เสนอ สัญญาดังกล่าวนี้มีรูปแบบของการจูงใจที่ให้ผลตอบแทนเพิ่มขึ้นเมื่องานแล้วเสร็จก่อนกำหนด และคิดค่าเช่าพื้นที่เพิ่มขึ้นเมื่องานล่าช้าเป็นรายวัน หรือรายชั่วโมง สัญญานี้เหมาะกับงานซ่อมบำรุงถนนที่ไม่สามารถปิดถนนเป็นเวลานาน จึงใช้เงื่อนไขการเช่าพื้นที่เพื่อจูงใจให้ผู้รับเหมาส่งมอบงานให้เร็วขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5

รูปที่ 2.5 การจ่ายเงินค่างานของสัญญา lane rental

อีกตัวอย่างหนึ่ง คือ การกำหนดเงื่อนไขพิเศษในการประกวดราคา สัญญาแบบเอพลัสบีหรือคอสพลัสไทม์ (A+B หรือ cost+time) ตัดสินผู้ชนะการประกวดราคาด้วยเกณฑ์ราคารวมต่ำสุดของราคาค่าก่อสร้างกับระยะเวลาส่งมอบงานที่แปลงเป็นมูลค่าเงินที่เรียกว่ามูลค่าต้นทุนผู้ใช้ถนน (road user cost) สัญญานี้พิจารณาระยะเวลาส่งมอบงานร่วมด้วยนี้จึงเป็นมาตรการจูงใจที่กระตุ้นให้โครงการมีระยะเวลาก่อสร้างสั้นลงกว่าปกติได้ ผู้รับเหมาที่เสนอส่งมอบงานเร็วกว่าจะมีโอกาสชนะการประกวดราคามากกว่า แต่กำหนดบทลงโทษปรับเงินหากส่งมอบงานล่าช้ากว่าที่เสนอ ซึ่งเป็นลักษณะเงื่อนไขแบบจูงใจที่มีทั้งผลตอบแทนเพิ่มและค่าปรับโทษ (incentives/disincentives) (Mn/DOT, 2008; MDOT, 2015) ดังแสดงในรูปที่ 2.6

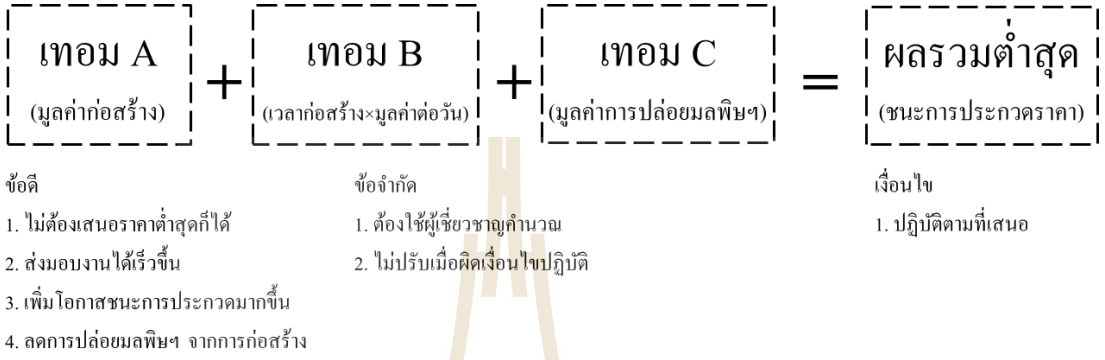


รูปที่ 2.6 เกณฑ์ตัดสินผู้ชนะการประกวดราคาของสัญญา A+B

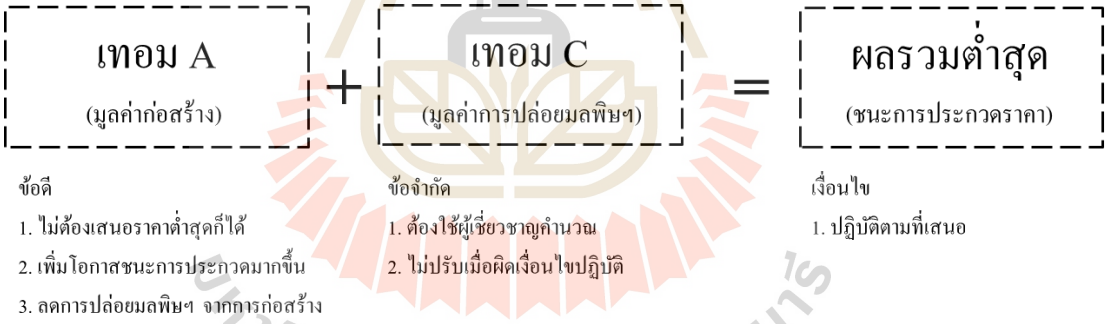
ฐิตาภรณ์ พ่อบุตรดี และคณะ (2555) ทำการศึกษาวิเคราะห์หารูปแบบสัญญาจูงใจที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในทางปฏิบัติกับโครงการก่อสร้างถนนของภาครัฐในประเทศไทย โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นหรือเทคนิค AHP ด้วยการสอบถามความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญด้านงานก่อสร้างจำนวน 15 ราย ประกอบด้วยผู้ที่มีประสบการณ์การทำงานในงานก่อสร้างถนนไม่น้อยกว่า 20 ปี ผลการศึกษาชี้ว่าสัญญาจูงใจแบบ A+B มีความเหมาะสมในการนำมาใช้สำหรับงานก่อสร้างถนน พิจารณาในภาพรวมจากผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ให้น้ำหนักความสำคัญกับข้อจำกัดทางด้านกฎหมายหรือข้อกำหนดของทางราชการว่าจะส่งต่อการนำสัญญาแบบจูงใจมาปฏิบัติจริง เนื่องจากมองว่าการแก้กฎหมายนั้นทำได้ค่อนข้างยาก ในขณะที่เมื่อพิจารณาเฉพาะฝ่ายผู้รับเหมากลับมีความกังวลถึงข้อกำหนดเพิ่มเติม (เกณฑ์การกำหนดระยะเวลา) ที่จะนำมาใช้ประกอบสัญญาจูงใจ โดยกล่าวว่าการกำหนดระยะเวลาก่อสร้างให้สั้นลงจะส่งผลให้ส่งมอบงานไม่ทันกำหนดและอาจถูกลงโทษปรับเงินได้ ถึงกระนั้นการกำหนดเกณฑ์ข้อกฎหมายให้สอดคล้องกับการนำสัญญาแบบจูงใจมาใช้ก็สามารถเกิดขึ้นได้ไม่ยากเพราะภาครัฐเองก็มีการสนับสนุนสัญญาแบบใหม่ ๆ อยู่แล้ว ตัวอย่างเช่น ในประเทศไทยมีการกำหนดหลักเกณฑ์การประเมินคุณภาพต่อราคาในการจัดซื้อจัดจ้างภาครัฐด้วยอิเล็กทรอนิกส์เพื่อจัดหาพัสดุด้วยวิธีตลาดอิเล็กทรอนิกส์ (e-market) และด้วยวิธีประกวดราคาอิเล็กทรอนิกส์ (e-bidding) ซึ่งกำหนดปัจจัยต่าง ๆ เพิ่มเติมไว้เพื่อใช้ในการประเมินค่าประสิทธิภาพต่อราคาซึ่งจะช่วยส่งเสริมให้ผู้เสนอราคาที่เสนอพัสดุที่มีคุณภาพแต่ไม่ได้เสนอราคาต่ำสุดสามารถชนะการประกวดราคาทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ และสอดคล้องกับหลักการบริหารพัสดุภาครัฐที่ดี (สำนักนายกรัฐมนตรี, 2558) เป็นต้น หลักเกณฑ์ดังกล่าวสอดคล้องกับการมีเงื่อนไขเพิ่มเข้าไว้ในการพิจารณาผู้ชนะการประกวดราคา จึงเป็นช่องทางที่สามารถลดข้อกังวลทั้งด้านข้อกฎหมายและด้านระยะเวลาได้เป็นอย่างดี

การผลักดันให้เกิดนวัตกรรมด้านสัญญาของภาครัฐเพื่อรับมือกับปัญหาดังกล่าวก็ได้ถูกนำเสนอเช่นกัน เช่น Cui และคณะ (2011) ทำการศึกษาการดำเนินการเพื่อรับมือกับปัญหาการปล่อยมลพิษฯ จากกิจกรรมในงานก่อสร้างถนนเพื่อนำเสนอต่อสำนักงานทางหลวงแห่งมลรัฐแมรี่แลนด์ (Maryland State Highway Administration) โดยมีวัตถุประสงค์ 3 ข้อคือ ลดการปล่อยมลพิษฯ และพร้อมปรับตัวกับสภาวะโลกร้อน เกิดผลด้านบวกต่อสิ่งแวดล้อม และปรับปรุงคุณภาพชีวิตทั้งด้านเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อมและสังคม ซึ่งเป็นแนวคิดของการส่งมอบงานที่มีความยั่งยืนมาผนวกรวมเข้าไว้ในสัญญางานก่อสร้าง โดยใช้เกณฑ์ชี้วัดจำนวน 7 ข้อด้วยกัน คือ 1) ศักยภาพการลดการปล่อยมลพิษฯ 2) ต้นทุนการดำเนินการ 3) ความเหมาะสมของเทคโนโลยีที่ใช้ 4) ความพร้อมของผู้ดำเนินงาน 5) การยอมรับของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย 6) ผลกระทบต่อภาพรวมของโครงการ และ 7) ความเสี่ยงและความไม่แน่นอนของการประเมิน เกณฑ์ดังกล่าวจะถูกนำไปประเมินเพื่อชี้วัดการดำเนินงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่เรียกว่า Green Performance Contracting (GPC) จำนวน 19

ข้อด้วยกัน (ดังแสดงในรูปที่ 2.3) ตัวอย่างของการดำเนินการนี้ เช่น การนำวัสดุผิวทางเดิมกลับมาใช้ใหม่ การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรกล การใช้พลังงานทางเลือก เป็นต้น รูปแบบสัญญาที่กำหนดขึ้นนี้แสดงให้เห็นว่าภาครัฐซึ่งเป็นเจ้าของโครงการเองก็มีความพร้อมที่จะพัฒนารูปแบบและเงื่อนไขในการดำเนินงานก่อสร้างตามวัตถุประสงค์ในบริบทที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 2.7 ข้อดีและข้อจำกัดของสัญญา A+B+C

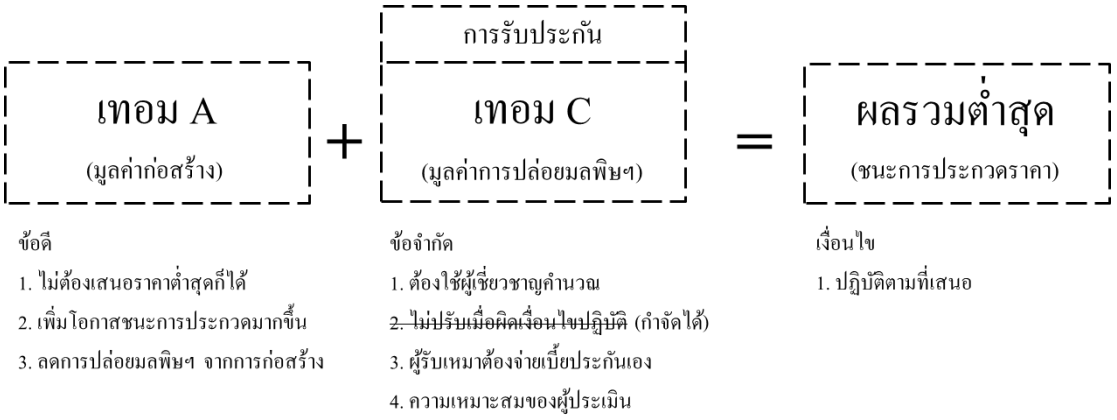


รูปที่ 2.8 ข้อดีและข้อจำกัดของสัญญา A+C

ตัวอย่างความพยายามใช้สัญญาจูงใจให้ผู้รับเหมาร่วมมือลดการปล่อยมลพิษฯ ที่น่าสนใจ คือ การเสนอแนวคิดของสัญญาแบบ A+B+C และ A+C ที่ถูกเสนอโดย Ahn และคณะ (2013) สัญญาแบบ A+B+C ถูกประยุกต์จากสัญญาแบบ A+B เดิม โดยกำหนดให้เทอม A เป็นราคาค่าก่อสร้างและเทอม B ยังคงเป็นมูลค่า time cost จากระยะเวลาก่อสร้างตามเดิม แต่เพิ่มเทอม C ซึ่งในรูปของมูลค่าเงินด้วยการแปลงปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ต่าง ๆ จากการดำเนินงานก่อสร้างที่เรียกว่ามูลค่าต้นทุนการป้องกันมลพิษเสมือนต่อหน่วยปริมาณมลพิษฯ (eco-cost) ที่เสนอโดย Vogtländer และคณะ (2009) ผู้รับเหมาแต่ละรายคำนวณมูลค่าการปล่อยมลพิษฯ ของตนจาก

ทางเลือกปฏิบัติ 5 ตัวเลือก คือ 1) การเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรเก่าในระดับชั้น Tier1 ด้วยเครื่องจักรใหม่ระดับชั้น Tier3 ลด eco-cost ลง 5.7% และ 7.2% สำหรับเปลี่ยนทดแทนด้วยเครื่องจักรใหม่ระดับชั้น Tier4 2) การติดตั้งอุปกรณ์ลดการปล่อยมลพิษฯ แก่เครื่องจักรด้วยอุปกรณ์ DOC สามารถลด eco-cost ลงได้ 0.9% และติดตั้งอุปกรณ์ร่วม 2 ชนิดคือ SCR+DOC สามารถลด eco-cost ลง 7.6% 3) การใช้น้ำมันไบโอดีเซล B20 แทนน้ำมันดีเซลปกติสามารถลด eco-cost ลง 4.8% 4) การเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักรเก่าด้วยเครื่องจักรไฮบริดสามารถลด eco-cost ลงได้ 21.8% และ 5) การเลือกใช้วัสดุจากแหล่งที่ใกล้สถานที่ก่อสร้างมากกว่าสามารถลด eco-cost ลง 5.5% สำหรับโรงผสมคอนกรีต และลดลง 11.2% สำหรับแหล่งวัสดุมวลรวมที่ใกล้กว่าเมื่อเทียบกับการดำเนินการก่อสร้างแบบปกติ ในขณะที่สัญญาแบบ A+C กำหนดให้เทอม A เป็นราคาค่าก่อสร้าง แต่เทอม B จะถูกแทนที่ด้วยเทอม C ซึ่งเป็นมูลค่า eco-cost สัญญาที่เสนอเหล่านี้จะพิจารณาตัดสินผู้ชนะการประกวดราคาด้วยเกณฑ์ราคารวมต่ำสุดเช่นเดียวกับสัญญาแบบ A+B ตามที่กล่าวมาข้างต้น สัญญาที่นำข้อดีของเกณฑ์ด้านสิ่งแวดล้อมมาพิจารณาร่วมกับเกณฑ์ด้านราคาถือเป็นการเริ่มต้นที่น่าสนใจ รูปที่ 2.7 และรูปที่ 2.8 แสดงข้อดีและข้อจำกัดของสัญญา A+B+C และสัญญา A+C ตามลำดับ

แนวคิดของสัญญาแบบ A+B+C และ A+C ถูกพัฒนาต่อโดย Asgari และคณะ, 2017 การพัฒนาให้ความสำคัญกับการป้องกันผู้ร่วมประกวดราคาเสนอมูลค่าการปล่อยมลพิษฯ น้อยกว่าความเป็นจริง และมองว่าบริษัทขนาดเล็กที่เสนอมูลค่านี้จากวิธีลดการปล่อยมลพิษฯ ที่มีต้นทุนสูงอาจไม่สามารถดำเนินการตามที่เสนอได้จริง เงื่อนไขการรับประกัน (suretyship) คือสิ่งที่ถูกเสนอเพื่อแก้ปัญหาการเสนอมูลค่าเทอมซีเกินจริงในงานวิจัยดังกล่าว การรับประกันนี้เป็นความตกลงร่วมกัน 3 ฝ่ายระหว่างเจ้าของโครงการในฐานะผู้เอาประกัน (obligee) ผู้รับเหมาในฐานะผู้ซื้อประกัน (principal) และบริษัทประกันภัยในฐานะผู้รับประกัน (surety) ว่าผู้รับเหมาที่ตนรับประกันจะมีความสามารถจริงตามที่เสนอ บทบาทสำคัญของผู้รับประกันคือการแบกรับความเสี่ยงจากการปฏิบัติไม่ได้ตามที่เสนอของผู้รับเหมาและจ่ายค่าปรับโทษแทนด้วย แนวคิดการหาผู้รับประกันมาประเมินผู้รับเหมาแทนเจ้าของโครงการเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ แต่อย่างไรก็ตามมีข้อจำกัดของการใช้บริษัทรับประกัน คือ ต้นทุนค่ารับประกัน (premium bond) จะถูกรวมไว้ในต้นทุนค่าก่อสร้างหรือผู้รับเหมาจะแบกรับไว้เอง อีกทั้งการให้บริษัทประกันซึ่งไม่ใช่หน่วยงานรัฐมาทำหน้าที่รับรองผู้รับเหมาอาจส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของวิธีการนี้ รวมถึงความสามารถในการเข้าถึงข้อมูลเพื่อประเมินผู้รับเหมาในหลายมิติ ทั้งด้านการเงิน การบริหารโครงการ ประวัติการทำงาน เครื่องจักรและบุคลากรของผู้รับเหมารายนั้น ๆ อาจไม่ใช่เรื่องง่าย รูปที่ 2.9 แสดงข้อจำกัดของแนวคิดการรับประกัน



รูปที่ 2.9 ข้อจำกัดของแนวคิดการรับประกัน

ดังนั้น ในภาพรวมสัญญาแบบจูงใจที่ใช้เกณฑ์การพิจารณาผู้รับเหมางานก่อสร้างของภาครัฐจึงต้องมีความยืดหยุ่น และสามารถกำหนดเงื่อนไขพิเศษขึ้นให้สอดคล้องกับความต้องการของเจ้าของโครงการได้ด้วย อีกทั้งนอกจากการแข่งขันด้านราคาแล้วเงื่อนไขพิเศษที่เพิ่มเข้ามาสามารถจูงใจผู้รับเหมาที่เข้าร่วมประกวดราคาให้เห็นความสำคัญต่อการแข่งขันด้านคุณภาพ หรือด้านอื่น ๆ รวมถึงด้านสิ่งแวดล้อมตามความต้องการของเจ้าของงานเพิ่มขึ้นได้ด้วย แม้ว่าสัญญารูปแบบจูงใจจะได้รับผลตอบรับที่ดีจากผู้รับเหมา แต่ผลสัมฤทธิ์ด้วยการใช้สัญญาแบบจูงใจต้องให้ความสำคัญกับการกำหนดผลตอบแทนที่น่าสนใจด้วย (Shi และ Chen, 2011) ในที่นี้อาจหมายถึงจำนวนเงินจ่ายชดเชยต้นทุนที่ผู้รับเหมาต้องจ่ายเพื่อดำเนินการตามเป้าหมายของเจ้าของโครงการนั้นเพียงพอหรือคุ้มค่ากับการลงทุนของผู้รับเหมาหรือไม่ หรือโอกาสให้ผู้รับเหมาที่ลดการปล่อยมลพิษฯ มีงานทำอย่างต่อเนื่องด้วยการเพิ่มโอกาสเป็นผู้ชนะการประกวดราคามากขึ้น ผู้รับเหมายินดีร่วมมือมากขึ้นหากภาครัฐสนับสนุนและสามารถชี้ให้เห็นผลตอบแทนที่น่าสนใจได้ (Rustom, 2014) ดังตัวอย่างในสัญญา A+C ก่อนหน้านี้ การศึกษานี้จึงได้เสนอแบบจำลองสัญญา GRIP (แสดงรายละเอียดในบทที่ 4) ที่เสนอผลตอบแทนเช่นเดียวกับสัญญา A+C แต่จะพัฒนาการคำนวณมูลค่ารวมดังกล่าวใหม่ และเสนอสมการคำนวณอย่างง่ายเพื่อให้ผู้รับเหมาสามารถประเมินความสามารถของตนได้ง่ายขึ้น ไม่ต้องแบกรับภาระค่าจ้างผู้เชี่ยวชาญมาคำนวณมูลค่าดังล่าวให้

2.6 การตัดสินใจแบบหลายทางเลือกในงานก่อสร้างถนน

แม้ว่าจะมีการเสนอค่าชดเชยที่คุ้มค่าในสัญญาแบบจูงใจ แต่ไม่อาจแน่ใจได้ว่าผู้รับเหมาจะยินดีดำเนินการอย่างสมัครใจ การประเมินความคิดเห็นจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด โดยทั่วไปแบบสอบถามถึงการตัดสินใจเพื่อดำเนินการใด ๆ คือเครื่องมือหนึ่งที่ใช้กัน

(Charnley และ Engelbert, 2005) ในกรณีที่ต้องมีการตัดสินใจจากทางเลือกต่าง ๆ การวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายทางเลือกได้กลายมาเป็นเครื่องมือที่ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น (Simons และ Wiegel, 2009; Datta และคณะ, 2011; Kurka และ Blackwood, 2013) โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจแบบหลายทางเลือกที่น่าสนใจอยู่มากมาย ดังนี้

ฐิตาภรณ์ พ่อบุตรดี และคณะ (2555) ทำการศึกษาโดยใช้เทคนิค AHP ด้วยการสอบถามความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญด้านงานก่อสร้างถนนจำนวนหนึ่ง กำหนดเป้าหมาย (goal) ของการสอบถามเป็นค่าลำดับความสำคัญของรูปแบบสัญญาจูงใจที่เหมาะสม มีเกณฑ์พิจารณา (criteria) จำนวน 9 ด้านประกอบด้วย เกณฑ์ด้านการกำหนดระยะเวลา เกณฑ์ด้านการกำหนดผลตอบแทนและค่าปรับ เกณฑ์ด้านความเป็นธรรมต่อผู้ว่าจ้างและผู้รับจ้าง เกณฑ์ด้านความยุ่งยาก เกณฑ์ด้านความสามารถในการลดระยะเวลาก่อสร้าง เกณฑ์ด้านข้อจำกัดของกฎหมาย เกณฑ์ด้านผลกระทบต่อคุณภาพของงาน เกณฑ์ด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม และเกณฑ์ด้านผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของโครงการ โดยพิจารณาทางเลือก (alternatives) รูปแบบสัญญาจูงใจจำนวน 4 รูปแบบ คือ 1) A+B bidding 2) incentive/disincentive 3) A+B with incentive/disincentive และ 4) lane rental ผลการศึกษาพบว่าสัญญาแบบ A+B bidding มีค่าลำดับความสำคัญสูงสุดเท่ากับ 0.295 และมีค่าลำดับความสำคัญของเกณฑ์ด้านข้อจำกัดทางกฎหมายหรือข้อกำหนดของทางราชการสูงสุดเท่ากับ 0.08 ซึ่งแสดงว่าจะส่งต่อการนำสัญญาแบบจูงใจมาใช้กับโครงการก่อสร้างถนนของรัฐ

Javid และคณะ (2014) ทำการศึกษาหาแนวทางการลดการปล่อยมลพิษฯ จากการขนส่งทางถนน กรณีศึกษาถูกจำแนกออกเป็นการขนส่งในเมืองและนอกเมือง ทางเลือกที่เหมาะสมถูกวิเคราะห์แบบ multi-criteria ด้วยการใช้เทคนิค AHP และให้คะแนนความสำคัญระดับ 1 ถึง 9 (AHP measurement scale) มีเป้าหมายเพื่อหาส่วนผสมของมาตรการลดการปล่อยมลพิษฯ ที่เหมาะสมที่สุด กำหนดเกณฑ์พิจารณา 4 ด้าน คือ เกณฑ์ด้านมลภาวะทางอากาศ เกณฑ์ด้านการจราจรที่ติดขัด เกณฑ์ด้านต้นทุน เกณฑ์ด้านสิ่งแวดล้อม กำหนดทางเลือก 3 ทางเลือก คือ การลด (reduce) การหลีกเลี่ยง (avoid) และการทดแทน (replace) การศึกษานี้ได้รวบรวมความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญรวมทั้งสิ้นจำนวน 71 ราย แบ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านการขนส่ง 61% ร่วมกับผู้เชี่ยวชาญด้านสภาวะโลกร้อน 39% ผลการศึกษาชี้ว่าทางเลือกที่จะลดมีค่าความสำคัญมากที่สุดเท่ากับ 0.40 ทั้งการขนส่งในเมืองและนอกเมือง และเมื่อดำเนินการทุกทางเลือกร่วมกันพบว่ามาตรการลดการปล่อยมลพิษฯ ที่เหมาะสมที่สุด คือ มาตรการลด (เปลี่ยนพาหนะทุก 4 ปี) มาตรการหลีกเลี่ยง (ทำงานที่บ้าน) มาตรการทดแทน (เปลี่ยนพาหนะจำนวน 12% ภายใน 20 ปี)

จากผลการศึกษาเหล่านี้พบว่ามีการนำเทคนิค AHP มาใช้วิเคราะห์เชิงลำดับชั้นเพื่อช่วยตัดสินใจกรณีหลายทางเลือก มีงานวิจัยที่กล่าวถึงข้อดีของการใช้เทคนิค AHP ว่าสามารถสังเคราะห์ความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามจากความรู้สึกส่วนบุคคล (subjective judgment) ออกมาเป็น

ตัวเลขของค่าลำดับความสำคัญ (numerical scale) ได้ และในภาพรวมก็ได้รับการนำมาใช้เป็นวิธีในการตัดสินใจที่ง่ายต่อการดำเนินการและทำความเข้าใจ (Bhushan และ Rai, 2004; Saaty, 2006) จากงานวิจัยของ Sara และคณะ (2015) โดยใช้เทคนิค AHP เป็นส่วนหนึ่งของเครื่องมือในการศึกษาอุปสรรคที่มีต่อโครงการดักจับและกักเก็บคาร์บอน (carbon capture and storage: CCS) ผ่านการกำหนดปัจจัยอุปสรรคจากการรวบรวมงานวิจัยในอดีต โดยที่ปัญหาของงานวิจัยในอดีตที่ Sara และคณะ (2015) ทำการศึกษาคือ ปัจจัยอุปสรรคส่วนใหญ่ไม่มีการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (pairwise comparisons) การจัดลำดับความสำคัญไม่มีค่าน้ำหนักความสำคัญ (degree of importance) ไม่มีการประเมินความสอดคล้องของผลลัพธ์ (consistency of responses) แต่เทคนิค AHP สามารจัดการกับปัญหาดังกล่าวได้เป็นอย่างดี อีกทั้งการศึกษานี้ยังกำหนดให้ปัจจัยอุปสรรคซึ่งอยู่ในชั้นของเกณฑ์ (criteria) ของโครงสร้าง AHP ที่นำมาประเมินมีจำนวนระหว่าง 7±2 จำนวนโดยอ้างถึงงานวิจัยของ Bahurmoz (2006) ว่าจำนวนปัจจัยที่มากจะทำให้ความถูกต้องของการตัดสินใจลดลง ผลจากการศึกษาชี้ว่าอุปสรรคสำคัญคือปัญหาด้านการเงิน เช่น การกำหนดราคาคำนวณคาร์บอน และผลตอบแทนเพื่อจูงใจต่ำเกินไป เป็นต้น นอกจากนี้ Sara และคณะ (2015) กล่าวว่าค่าลำดับของอุปสรรคที่ได้จากผู้ตอบแบบสอบถามที่เกี่ยวข้องกับโครงการผ่านการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AHP สามารถชี้ถึงอุปสรรคต่อการดำเนินงานโครงการดังกล่าวและนำไปสู่การแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างแม่นยำมากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Strager และ Rosenberger (2006) ที่ได้มีการนำเทคนิค AHP มาใช้ในงานวิจัยแต่มีการดัดแปลงการใช้งานตามบริบทของผู้ตอบแบบสอบถามด้วย กล่าวคืองานวิจัยนี้ได้ทำการปรับลดช่วงการให้คะแนนความสำคัญจากเดิมของ Saaty's scale ระดับ 1 ถึงระดับ 9 ลดลงเหลือแค่ระดับ 1 ถึงระดับ 4 โดยให้เหตุผลของการลดลงนี้ว่าจะทำให้ผู้ตอบแบบสอบถามเข้าใจได้ง่ายและแสดงความเห็นได้ถูกต้องมากขึ้น ดังนั้นการสะท้อนความคิดเห็นของผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียในกระบวนการก่อสร้างถนนเพื่อตัดสินใจดำเนินการสัญญาจูงใจที่นำเสนอโดยการใช้เทคนิค AHP เพื่อแสดงค่าลำดับความสำคัญที่อาจประยุกต์สเกลการให้คะแนนตามประสบการณ์ของผู้ตอบแบบสอบถามได้นั้น จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับการศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้ได้เป็นอย่างดี ตารางที่ 2.1 แสดงปัจจัยอุปสรรคต่อการดำเนินงานโครงการใหม่ ๆ ที่รวบรวมจากงานวิจัยในอดีตเพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นเกณฑ์การตัดสินใจในการศึกษานี้

ตารางที่ 2.1 อุปสรรคต่อการดำเนินงานโครงการใหม่ที่รวบรวมจากงานวิจัยในอดีต

References	Description
Shi และ Chen, 2011	Lack of the public awareness
	Grant mechanism to share the cost
	To encourage to take low carbon transport
	Avoid in maximum transportation distances of construction materials
	Design alteration
Cui และคณะ, 2011	Financial consideration
	Technological maturity
	Organizational readiness
	Industrial and public acceptance
	Emission reduction potential
	Impact on project performance
	Risk
Rustom, 2014	Lack of public awareness
	Lack of demand
	Lack of incentives
	Higher in investment cost
	Risk of investment
	Higher final price
	Higher injuries rate
	Lack of design and construction team
	Lack of expertise
	Lack of professional knowledge
	Lack of technology
	Lack of building codes and regulation
	Lack of government support
Sara และคณะ, 2015	Liability of CO_2 storage
	Financial incentives
	CO_2 price
	Technological uncertainties
	Public acceptance
	Political support
	Cooperation among actors

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.1 อุปสรรคต่อการดำเนินงานโครงการใหม่ที่รวบรวมจากงานวิจัยในอดีต (ต่อ)

References	Description
ฐิตาภรณ์ พ่อบุตรดี และคณะ, 2555	ปัจจัยด้านการกำหนดระยะเวลา ปัจจัยด้านการกำหนดผลตอบแทนและค่าปรับ ปัจจัยด้านความเป็นธรรมต่อผู้ว่าจ้างและผู้รับจ้าง ปัจจัยด้านความยุ่งยาก ปัจจัยด้านความสามารถในการลดระยะเวลาก่อสร้าง ปัจจัยด้านข้อจำกัดด้านกฎหมาย ปัจจัยด้านผลกระทบต่อคุณภาพของงาน ปัจจัยด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม ปัจจัยด้านผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของโครงการ

2.7 สรุปปัญหาและอุปสรรคจากงานวิจัยในอดีต

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตดังกล่าวของงานก่อสร้าง สำหรับงานก่อสร้างอาคารพบว่าอาคารที่ก่อสร้างด้วยวัสดุต่างชนิดกันจะส่งผลต่อวิธีการก่อสร้าง เครื่องมือ พลังงาน ซึ่งทำให้มีปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ต่างกัน อีกทั้งรูปแบบการก่อสร้างที่ต้องใช้กระบวนการและระยะเวลาการก่อสร้างที่มากกว่าจะส่งผลต่อปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ที่มากกว่าด้วย ในขณะที่งานก่อสร้างถนนพบว่าการปล่อยมลพิษฯ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงการผลิตวัสดุโดยเฉพาะเพื่อผลิตซีเมนต์ การเลือกใช้วัสดุที่มีการใช้พลังงานในการผลิตน้อยกว่าจะมีศักยภาพที่จะลดการปล่อยมลพิษฯ ได้ แต่หากจะพิจารณาในช่วงการก่อสร้างพบว่าการทำงานของรถบรรทุกดินในการทำงานและการขนส่งในหมวดงานดินเป็นเครื่องจักรกลที่ใช้พลังงานมากที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าการใช้พลังงานของเครื่องจักรกลมีส่วนสำคัญต่อปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ในการก่อสร้างถนน ดังนั้นการใช้งานเครื่องจักรกลจึงส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้พลังงานและการปล่อยมลพิษฯ ในงานก่อสร้างถนนด้วย อีกทั้งการเลือกเทคนิคการก่อสร้างที่ต่างกันก็ส่งผลต่อปริมาณการปล่อยมลพิษฯ จึงทำให้การพิจารณาเลือกเทคนิคการก่อสร้างที่เหมาะสมจะสามารถช่วยลดการปล่อยมลพิษฯ ได้ด้วย หากพิจารณาเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ในช่วงการก่อสร้างด้วยการเลือกใช้เทคนิควิธีการ เทคโนโลยีวัสดุ และการขนส่งที่มีการใช้พลังงานน้อยลงจะสามารถลดการปล่อยมลพิษฯ ในขั้นตอนการก่อสร้างถนนได้นั่นเอง

อย่างไรก็ตามการดำเนินงานเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ อย่างเป็นรูปธรรมยังคงไม่ค่อยเกิดขึ้น โดยเฉพาะกับอุตสาหกรรมก่อสร้างถนนที่ผู้ประกอบการมีข้อจำกัดด้านผลกำไรของการลงทุน ส่งผลให้การจัดหาเครื่องจักรกลที่ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อหวังลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมาใช้งานยังเกิดขึ้นได้ยาก ดังนั้นการกำหนดวิธีการที่ผู้รับเหมาสามารถดำเนินการได้

โดยไม่เป็นการเพิ่มภาระ (ต้นทุนและขั้นตอนการทำงาน) มากนัก อีกทั้งผู้รับเหมาจะได้รับผลตอบแทนจากความร่วมมือจะเป็นกลไกสำคัญที่ช่วยให้การดำเนินงานเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ในงานก่อสร้างถนนเกิดขึ้นได้ง่ายขึ้น โดยใช้สัญญาแบบจูงใจเป็นเครื่องมือช่วยกำหนดเงื่อนไขพิเศษขึ้นให้สอดคล้องกับความต้องการ (จูงใจผู้รับเหมาแข่งขันลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม) ของเจ้าของโครงการได้ ถึงกระนั้นผลสัมฤทธิ์ในการจูงใจผู้รับเหมามาใช้สัญญาแบบจูงใจต้องให้ความสำคัญกับการกำหนดผลตอบแทนที่น่าสนใจด้วย การนำเทคนิค AHP มาใช้เพื่อประเมินความคิดเห็นของผู้เกี่ยวข้องในงานก่อสร้างถนนทุกฝ่าย จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับการศึกษาในครั้งนี้ ดังจะแสดงในขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในบทที่ 3 ต่อไป

ผู้วิจัยสามารถรวบรวมข้อมูลที่แสดงถึงแหล่งปล่อยมลพิษฯ อุปสรรคและแนวทางการแก้ไขในอดีตของภาคส่วนงานก่อสร้างโดยเฉพาะงานก่อสร้างถนน รวมถึงความพยายามใช้เงื่อนไขปฏิบัติของสัญญาจูงใจในการประกวดราคางานก่อสร้าง สรุปข้อจำกัดการแก้ปัญหาภาวะโลกร้อนในงานก่อสร้างถนนในอดีต และเสนอแนวคิดพัฒนาสัญญาจูงใจ ดังนี้

1) ปัญหาของการศึกษา คือ การดำเนินมาตรการลดการปล่อยมลพิษฯ ในภาคก่อสร้างมีหลากหลายรูปแบบ เช่น การก่อสร้างด้วยวัสดุทดแทน (Mroueh และคณะ, 2001) การนำวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอื่นมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง (Kua และคณะ, 2016) การนำวัสดุเดิมกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ (Eštoková และ Porhinčák, 2012; Venkatarama Reddy, 2009) การเลือกใช้เทคนิคการก่อสร้างที่ปล่อยมลพิษฯ น้อยลง (Ortiz และคณะ, 2009) การเลือกแหล่งวัสดุใกล้สถานที่ก่อสร้างเพื่อลดการใช้พลังงานในการขนส่ง (Santero และคณะ, 2013) การใช้เทคโนโลยีเครื่องจักรกลรุ่นใหม่ที่ปล่อยมลพิษฯ น้อยลง (EDF, 2005; World Bank, 2014) รวมถึงการกำหนดใช้สัญญาที่นำเกณฑ์ด้านสิ่งแวดล้อมมาพิจารณาร่วมด้วย (Ahn และคณะ, 2013; Anthonissen และคณะ, 2015; OECD, 2015) และการใช้สัญญาการจัดซื้อจัดจ้างสีเขียว (EU, 2016a; MOE, 2017) เป็นต้น สัญญาจูงใจแบบ A+C ที่ถูกนำเสนอโดย Ahn และคณะ (2013) สามารถขับเคลื่อนมาตรการเหล่านี้ได้ ข้อดีคือการเสนอผลตอบแทนด้วยการเพิ่มโอกาสชนะการประกวดมากขึ้น แต่พบว่ามีข้อจำกัดคือผู้รับเหมาจะมีต้นทุนเพิ่มขึ้นเมื่อต้องเสนอมูลค่าการปล่อยมลพิษฯ ร่วมกับค่าก่อสร้าง และอีกปัญหาคือผู้ร่วมประกวดราคาบางรายฉวยโอกาสยื่นเสนอวิธีลดการปล่อยมลพิษฯ เพียงเพื่อต้องการชนะการประกวดราคาแต่ไม่สามารถปฏิบัติได้จริงตามที่เสนอไว้ (Asgari และคณะ, 2017) ปัญหานี้ถือเป็นช่องโหว่ที่ส่งผลต่อความไม่เป็นธรรมของการเสนอวิธีลดการปล่อยมลพิษฯ ในสัญญานี้ด้วย

2) ที่มาของปัญหา คือ เมื่อพิจารณารายละเอียดการคำนวณมูลค่าการปล่อยมลพิษฯ ของสัญญาดังกล่าว พบว่าต้องคำนวณปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ของทุกกิจกรรมในโครงการฯ ทั้งในกรณีไม่ดำเนินการใด ๆ คือก่อสร้างด้วยวิธีปกติ และกรณีที่ดำเนินวิธีลดการปล่อยมลพิษฯ ตามวิธี

ทางเลือกที่ Ahn และคณะ (2013) เสนอ ซึ่งผู้รับเหมาไม่สามารถคำนวณได้เองโดยง่ายแต่ต้องเสียค่าจ้างให้ผู้เชี่ยวชาญคำนวณ และอีกปัญหาเกิดจากการไม่มีมาตรการป้องกันเมื่อผู้รับเหมาผิดเงื่อนไขปฏิบัติลดการปล่อยมลพิษฯ ทำให้ผู้ร่วมประกวดราคารู้สึกเสียเปรียบและยื่นเสนอวิธีลดการปล่อยมลพิษฯ เพียงเพื่อต้องการชนะการประกวดราคาบ้าง

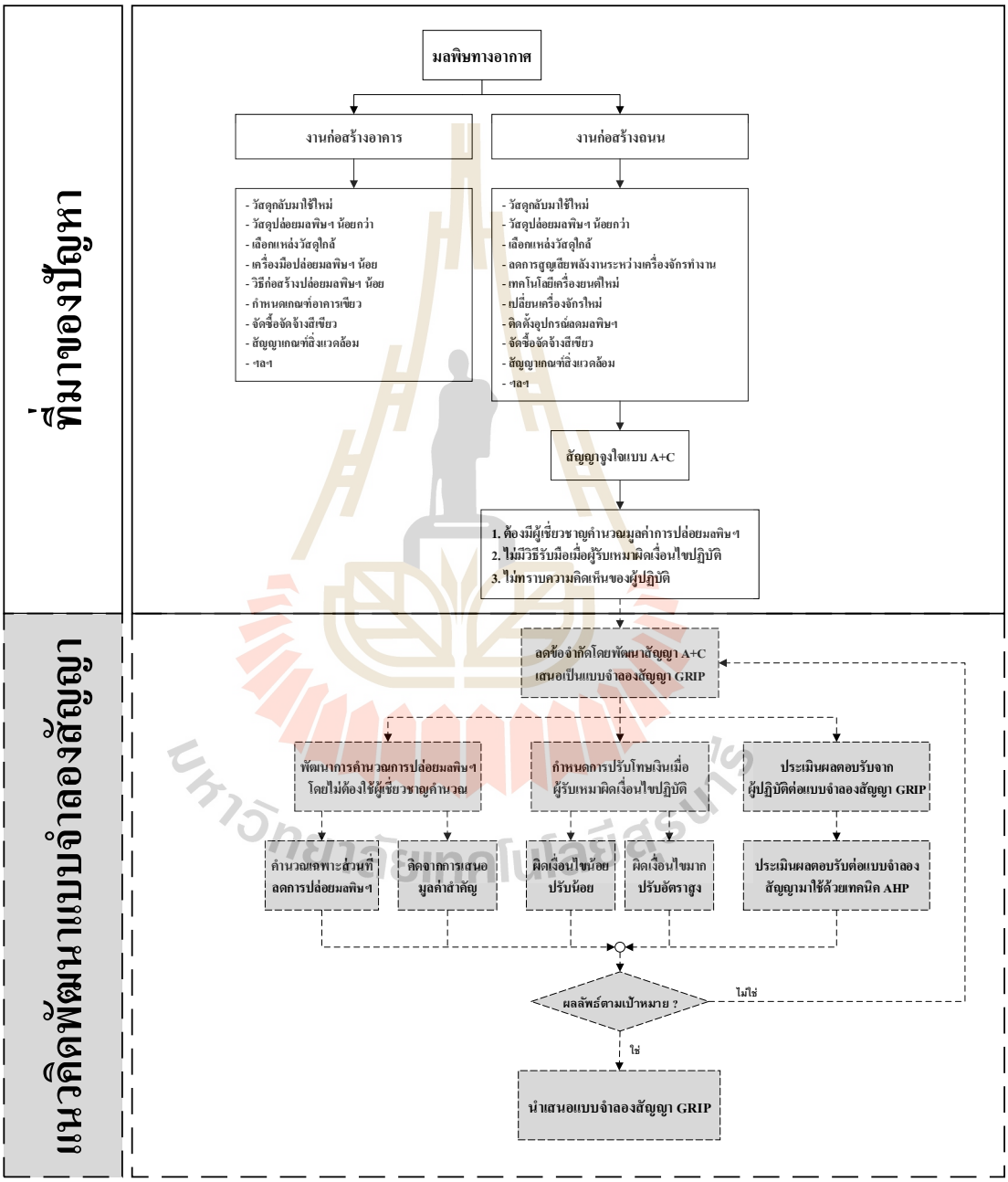
แม้ว่างานวิจัยของ Asgari และคณะ (2017) ได้แสดงความกังวลว่าผู้ร่วมประกวดราคาบางรายอาจไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข บริษัทรับประกันถูกเสนอให้เป็นผู้ทำหน้าที่คัดกรองและรับรองผู้รับเหมาว่ามีความสามารถตามที่เสนอจริง บริษัทรับประกันจะรับผิดชอบจ่ายค่าปรับแทนหากผู้รับเหมาผิดเงื่อนไขปฏิบัติ ข้อจำกัดของข้อเสนอนี้คือผู้รับเหมาต้องแบกรับค่าใช้จ่ายการซื้อประกันความเสี่ยงนี้เอง อีกทั้งบริษัทประกันอาจไม่สามารถประเมินผู้รับเหมาได้จริงตามแนวคิดนี้เพราะไม่ใช่หน่วยงานรัฐทำให้เข้าถึงข้อมูลของผู้รับเหมาได้ไม่ครบทุกด้าน

นอกจากนี้ความกังวลของผู้รับเหมาซึ่งเป็นผู้ปฏิบัติแต่ไม่ได้รับผลตอบแทนโดยตรงจากการดำเนินตามวิธีลดการปล่อยมลพิษฯ (COG, 2010) หรือผลตอบแทนที่ได้รับไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนมากพอที่จะจูงใจให้ดำเนินการโดยสมัครใจ (Ahn และคณะ, 2013) ในขณะที่เจ้าหน้าที่รัฐซึ่งเป็นผู้ปฏิบัติอีกกลุ่มหนึ่ง แม้จะไม่ได้รับผลกระทบจากการดำเนินวิธีลดการปล่อยมลพิษฯ มากเท่ากับผู้รับเหมาเพราะต้องปฏิบัติหน้าที่กำกับดูแลตามภารกิจของหน่วยงานอยู่แล้ว แต่การศึกษาในอดีตเปิดเผยข้อคิดเห็นถึงขั้นตอนในการดำเนินวิธีการใหม่ ๆ ว่าขั้นตอนที่ยุ่งยากเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการดำเนินการภาคสมัครใจ (ฐิตาภรณ์ พ่อบุตรดี และคณะ, 2555) ดังนั้นสัญญาจูงใจที่ปรับปรุงแล้วควรมีการประเมินความคิดเห็นจากผู้ปฏิบัติเพราะจะช่วยปรับปรุงและพัฒนาสัญญาดังกล่าวให้ดียิ่งขึ้นได้อีกด้วย

3) แนวทางการแก้ปัญหาเพื่อลดข้อจำกัดในการดำเนินการลดการปล่อยมลพิษฯ จากงานก่อสร้างถนนที่นำเสนอ คือ การหาวิธีการให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าแก่ผู้รับเหมาในฐานะผู้ปฏิบัติด้วยการใช้เงื่อนไขของสัญญาจูงใจให้ผู้รับเหมาดำเนินการอย่างสมัครใจได้ แม้ว่าสัญญาจูงใจที่เสนอโดย Ahn และคณะ (2013) ที่พิจารณาค่าดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อมร่วมกับราคาค่าก่อสร้างจะเป็นทางเลือกที่น่าสนใจแต่ควรมีการพัฒนาเพื่อลดข้อจำกัด การศึกษานี้จึงพัฒนาสัญญาจูงใจด้วยการปรับปรุงการคำนวณมูลค่ารวมค่าก่อสร้างกับค่าการปล่อยมลพิษฯ จากเดิมซึ่งต้องคำนวณปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ทั้งหมดโดยผู้เชี่ยวชาญ มาเป็นการคำนวณเฉพาะส่วนการดำเนินวิธีที่สามารถลดการปล่อยมลพิษฯ ได้ด้วยสมการอย่างง่าย

อีกทั้งได้กำหนดเกณฑ์การปรับโทษเพื่อความเป็นธรรมต่อผู้รับเหมาที่ร่วมประกวดราคาทุกรายไว้ในเงื่อนไขของสัญญาจูงใจด้วย โดยมีสมมุติฐานว่าผลตอบแทนที่คุ้มค่าต่อการลงทุนของผู้รับเหมา มีขั้นตอนปฏิบัติที่ไม่ยุ่งยากและเป็นธรรมจะสามารถจูงใจให้เกิดการดำเนินการลดการปล่อยมลพิษฯ ภาคสมัครใจได้ง่ายขึ้น ถึงกระนั้นเพื่อให้มั่นใจว่าสิ่งที่นำเสนอจะเพิ่มการดำเนินการ

ภาคสมัครใจขึ้นได้จริง การประเมินความคิดเห็นจากตัวแทนผู้รับเหมาและเจ้าของโครงการในฐานะผู้ปฏิบัติภาคสนามเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องดำเนินการ การศึกษานี้จะใช้การวิเคราะห์ความคิดเห็นด้วยเทคนิค AHP เพื่อสังเคราะห์ความคิดเห็นต่อทางเลือกถึงความเหมาะสมในการนำสัญญาจูงใจดังกล่าวมาทดแทนสัญญาแบบดั้งเดิม ท้ายที่สุดสามารถสรุปเป็นผังดำเนินการดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 สรุปปัญหาจากงานวิจัยในอดีต และนำเสนอแนวทางแก้ไขปัญหา

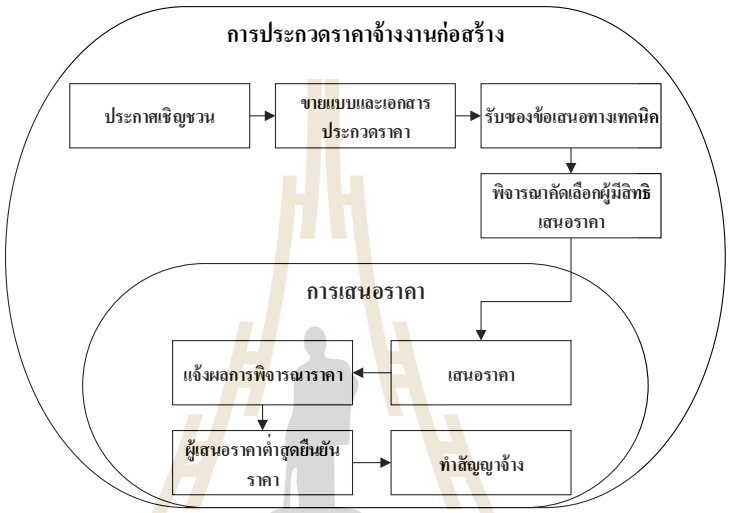
บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิจากการรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย ข้อกำหนดงานก่อสร้างถนน เอกสารแนะนำสินค้า (เครื่องจักรกลงานก่อสร้าง) ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดการปล่อยมลพิษฯ จากการใช้งานเครื่องจักรกลในงานก่อสร้างทั้งในและต่างประเทศ ข้อมูลดังกล่าวนำไปสู่การกำหนดวิธีการก่อสร้างทางเลือกในแบบจำลองสัญญาแบบใหม่ให้ผู้รับเหมางานก่อสร้างถนนนำไปปฏิบัติซึ่งแต่ละวิธีจะมีศักยภาพเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ต่างกัน ขั้นตอนต่อมาเป็นการกำหนดค่าชดเชยให้แก่ผู้รับเหมาผ่านการประกวดราคาจ้างงานก่อสร้าง โดยจะมุ่งเน้นการนำแนวคิดดังกล่าวมาใช้กับโครงการก่อสร้างถนนของรัฐเป็นสำคัญ ผลจากการศึกษาสามารถแสดงให้ผู้รับเหมาที่ไม่ได้เสนอราคาต่ำสุดเห็นถึงโอกาสชนะการประกวดราคาได้ แต่ถึงกระนั้นผลสัมฤทธิ์ในการนำแบบจำลองสัญญาจูงใจแบบใหม่นี้ไปปฏิบัติจะขึ้นอยู่กับความคุ้มค่าของผลตอบแทนและความยุ่งยากที่เพิ่มขึ้นจากสัญญาแบบดั้งเดิมด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการประเมินความสามารถเบื้องต้นของวิธีการฯ ด้วยการจำลองสถานการณ์การประกวดราคากับโครงการกรณีศึกษา ผลลัพธ์จะแสดงถึงความเป็นไปได้ของการสร้างแรงจูงใจที่เสนอในแบบจำลองสัญญาแบบใหม่ นอกจากนี้งานวิจัยยังได้ทำการประเมินผลตอบรับจากตัวแทนผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเพื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมในการนำแบบจำลองสัญญาจูงใจนี้มาปฏิบัติจริง ผู้วิจัยจะเก็บข้อมูลปฐมภูมิด้วยการนำเสนอรายละเอียดของแบบจำลองสัญญาและเก็บข้อมูลผลตอบรับจากผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งในส่วนของเจ้าของโครงการและผู้รับเหมาในงานก่อสร้างถนน การดำเนินการนี้จะทำผ่านแบบสอบถามจากกลุ่มผู้ที่เกี่ยวข้องในงานโครงการก่อสร้างของกรมทางหลวง โดยใช้เทคนิคกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (analytic hierarchy process: AHP) เป็นเครื่องมือประเมินผลตอบรับดังกล่าว ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์และสรุปผลก่อนการนำเสนอแบบจำลองสัญญาแบบใหม่ที่ปรับปรุงแล้ว

3.1 แนวคิดของการศึกษา

การศึกษานี้เป็นความพยายามพัฒนาสัญญา A+C เพื่อใช้เป็นแบบจำลองสัญญาจูงใจให้ผู้รับเหมาลดการปล่อยมลพิษฯ จากการก่อสร้างถนน โดยมีแนวคิดว่าผู้รับเหมาจะมีต้นทุนเพิ่มขึ้นเมื่อดำเนินการตามวิธีลดการปล่อยมลพิษฯ แต่หากมีการให้ค่าชดเชยที่น่าสนใจมากพอจะสามารถ

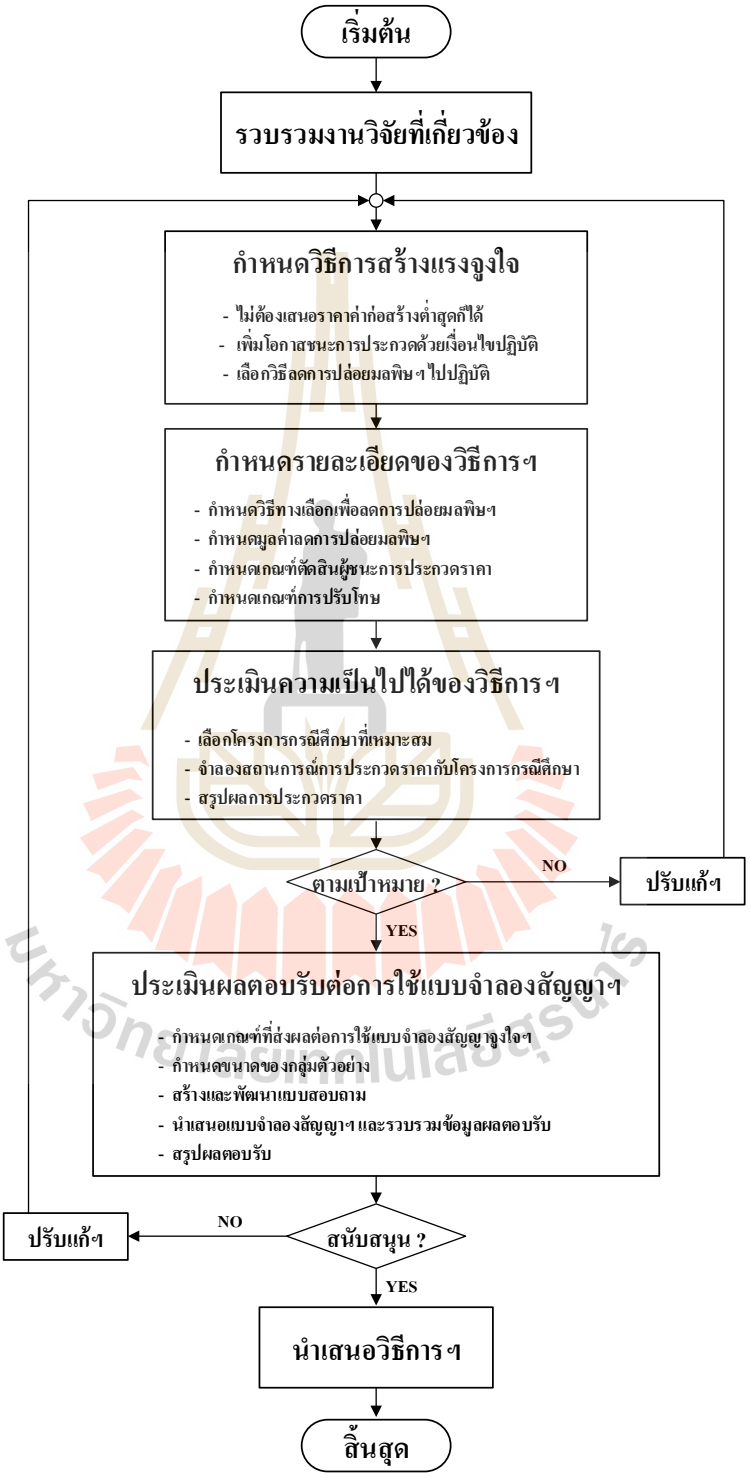
จูงใจให้ผู้รับเหมาสมัครใจร่วมมือในกระบวนการลดการปล่อยมลพิษฯ มากขึ้น การประกวดราคางานก่อสร้าง (ดังแสดงในรูปที่ 3.1) จะถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองสัญญาแบบจูงใจที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้รายละเอียดการปฏิบัติ ขั้นตอนการคำนวณและเกณฑ์การตัดสินผู้ชนะการประกวดราคาจะถูกกำหนดขึ้นด้วยมุมมองของเจ้าของโครงการเพื่อให้แบบจำลองสัญญาจูงใจนี้เป็นธรรมต่อผู้แข่งขันทุกรายทั้งผู้แพ้และผู้ชนะการประกวดราคา



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการประกวดราคาจ้างงานก่อสร้างสัญญาแบบดั้งเดิม (กรมทางหลวง, 2549)

ส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนหลักในการศึกษานี้ คือ ส่วนที่ 1) การนำเสนอรายละเอียดของขั้นตอนการประกวดราคาของแบบจำลองสัญญาจูงใจแบบใหม่ด้วยการกำหนดวิธีการก่อสร้างทางเลือกเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ที่ยืดหยุ่นต่อการปฏิบัติ เพื่อนำมูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ มาเป็นเครื่องมือจูงใจตามเงื่อนไขปฏิบัติ รวมถึงกำหนดเกณฑ์การปรับโทษ (penalty) จากผู้รับเหมาที่ผิดเงื่อนไขปฏิบัติ องค์ประกอบสำคัญของแบบจำลองสัญญาจูงใจที่เสนอนี้ คือ การกำหนดวิธีการก่อสร้างทางเลือกเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ และการกำหนดเกณฑ์การปรับโทษเงิน และส่วนที่ 2) การประเมินความสามารถเบื้องต้นของแบบจำลองสัญญานี้ว่าสามารถช่วยให้ผู้รับเหมามีโอกาสชนะการประกวดได้มากขึ้นหรือไม่ด้วยการจำลองสถานการณ์ผ่านโครงการกรณีศึกษา และการประเมินผลตอบรับจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการก่อสร้างถนนถึงการนำแบบจำลองสัญญาจูงใจแบบใหม่ไปปฏิบัติ ผลการประเมินนี้จะถูกนำไปปรับปรุงขั้นตอนรายละเอียดของแบบจำลองสัญญาอีกครั้งหนึ่งก่อนนำไปทดลองใช้จริง ในท้ายที่สุดแบบจำลองสัญญาจูงใจแบบใหม่สามารถนำไป

ปฏิบัติได้โดยมีขั้นตอนรายละเอียดที่จำเป็น ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาทั้งหมดสามารถแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

แบบจำลองสัญญาจูงใจแบบใหม่นี้มีวัตถุประสงค์สำคัญเพื่อต้องการผลักดันให้เกิดการแข่งขันเพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมร่วมกับการแข่งขันด้านราคาค่าก่อสร้าง ตามวัตถุประสงค์ดังกล่าวการเสนอวิธีลดการปล่อยมลพิษฯ จึงต้องมีความยืดหยุ่นและปรับเปลี่ยนได้ง่ายเหมือนการปรับราคาค่าก่อสร้าง และผู้รับเหมาสามารถคำนวณเองโดยไม่ต้องว่าจ้างผู้เชี่ยวชาญ การพัฒนาแบบจำลองสัญญานี้เริ่มต้นจากการรวบรวมและศึกษางานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับวิธีลดการปล่อยมลพิษฯ ลำดับถัดมาเป็นการกำหนดขั้นตอนปฏิบัติในการเสนอราคาด้วยการประยุกต์ใช้ขั้นตอนปฏิบัติของการประกวดราคาแบบดั้งเดิมร่วมกับเกณฑ์ราคารวมต่ำสุดของสัญญา A+C ขั้นตอนการกำหนดรายละเอียดในแบบจำลองสัญญาจูงใจแบบใหม่ที่สำคัญ คือ การกำหนดรูปแบบและรายละเอียดของขั้นตอนปฏิบัติซึ่งประกอบด้วย การเสนอราคาค่าก่อสร้าง (construction bid) การเลือกวิธีการก่อสร้างทางเลือกเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ (reduction options) การแปลงปริมาณมลพิษฯ ที่ลดลงได้เป็นมูลค่าเงิน (emission deduction) การคำนวณราคาประกวดเสมือน (equivalent bid) เพื่อตัดสินผู้ชนะการประกวดราคา การกำหนดเกณฑ์การปรับโทษ (penalty criteria) เมื่อผู้รับเหมาผิดเงื่อนไขปฏิบัติ และการคิดเงินจ่ายค่างานแก่ผู้รับเหมาหลังหักเงินปรับโทษแล้ว (payment) ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

การศึกษาในช่วงต่อมาภายหลังจากกำหนดรายละเอียดของแบบจำลองสัญญาฯ คือการนำไปประเมินความสามารถด้วยการจำลองการประกวดราคากับโครงการกรณีศึกษา ซึ่งในการศึกษานี้เลือกใช้โครงการก่อสร้างถนนสายหนึ่งที่ได้ผู้ชนะการประกวดราคาด้วยเงื่อนไขการประกวดราคาแบบดั้งเดิมของกรมทางหลวงแล้ว เพราะเป็นโครงการในความรับผิดชอบของหน่วยงานที่ทำงานเกี่ยวข้องกับโครงการฯ มากที่สุดในประเทศไทย ลำดับถัดมาเป็นการประเมินผลตอบรับจากผู้เกี่ยวข้องในงานก่อสร้างถนน แนวคิดของการประเมินคือการสอบถามจากผู้ที่ต้องนำแบบจำลองสัญญาจูงใจแบบใหม่ไปปฏิบัติโดยตรง ผู้รับเหมาในฐานะผู้ต้องปฏิบัติตามวิธีการก่อสร้างทางเลือกและเจ้าของโครงการในฐานะผู้ที่ต้องควบคุมและประเมินผลการปฏิบัติของผู้ชนะการประกวดราคา ดังนั้นการตั้งคำถามกับกลุ่มตัวอย่างเพื่อนำข้อมูลที่เป็นประโยชน์มาปรับปรุงแบบจำลองสัญญาจูงใจแบบใหม่ให้เป็นที่ยอมรับของผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายจึงเป็นการดำเนินการที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง

การประเมินผลตอบรับนี้จึงมีแนวคิดเพื่อประเมินความคิดเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อรูปแบบที่เหมาะสมในการนำแบบจำลองสัญญาจูงใจแบบใหม่มาปฏิบัติ แต่การสอบถามผู้ที่เกี่ยวข้องจำนวนมากมีค่าใช้จ่ายที่สูงตามไปด้วย การศึกษานี้จึงเลือกกลุ่มตัวอย่างเบื้องต้นเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับโครงการก่อสร้างของกรมทางหลวงในประเทศไทย ซึ่งประกอบด้วย ตัวแทนบริษัทผู้รับเหมางานก่อสร้างถนนและตัวแทนเจ้าของโครงการ (ในที่นี้คือเจ้าหน้าที่กรมทางหลวง) กำหนดคุณสมบัติเบื้องต้นให้ผู้ตอบแบบสอบถามต้องมาจากบริษัทซึ่งจดทะเบียนเป็นผู้รับเหมางาน

ชั้นพิเศษของกรมทางหลวงเท่านั้น โดยเป็นบุคคลากรในระดับผู้บริหารขององค์กร (กรรมการผู้จัดการหรือผู้จัดการโครงการ) และบุคคลากรในระดับปฏิบัติ (วิศวกรโครงการหรือวิศวกรสนาม) เช่นเดียวกับบุคคลากรของกรมทางหลวงผู้ที่ตอบแบบสอบถามจะมีทั้งระดับบริหาร (ผู้อำนวยการสำนักฯหรือผู้จัดการโครงการ) และระดับปฏิบัติ (นายช่างโครงการหรือนายช่างควบคุมงาน) เช่นกัน โดยกลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามดังกล่าวต้องมีประสบการณ์ทำงานมากพอที่จะให้ความคิดเห็นได้ตามเป้าหมาย ในการศึกษานี้จึงกำหนดให้กลุ่มตัวอย่างต้องมีประสบการณ์ทำงานไม่น้อยกว่า 10 ปี และยังมีตำแหน่งงานที่เกี่ยวข้องกับโครงการงานก่อสร้างถนนของกรมทางหลวงอยู่ในขณะตอบแบบสอบถามด้วย โดยขั้นตอนการประเมินผลตอบรับเริ่มจากการรวบรวมเกณฑ์ที่ส่งผลต่อการดำเนินการวิธีการใหม่ ๆ จากงานวิจัยในอดีต เพื่อกำหนดเป็นเกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น แบบสอบถามจะถูกสร้างและพัฒนาเพื่อเป็นเครื่องมือรวบรวมความคิดเห็น ข้อมูลความคิดเห็นที่ได้จะถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AHP และสรุปผลตอบรับ หากผลลัพธ์ส่วนใหญ่สนับสนุนการใช้แบบจำลองสัญญาแบบใหม่ ก็แสดงถึงความเป็นไปได้ว่าแบบจำลองสัญญาแบบใหม่นี้ได้ถูกพัฒนาในทิศทางที่ถูกต้องและได้รับการยอมรับจากผู้ที่เกี่ยวข้องเมื่อต้องนำไปทดลองใช้จริง

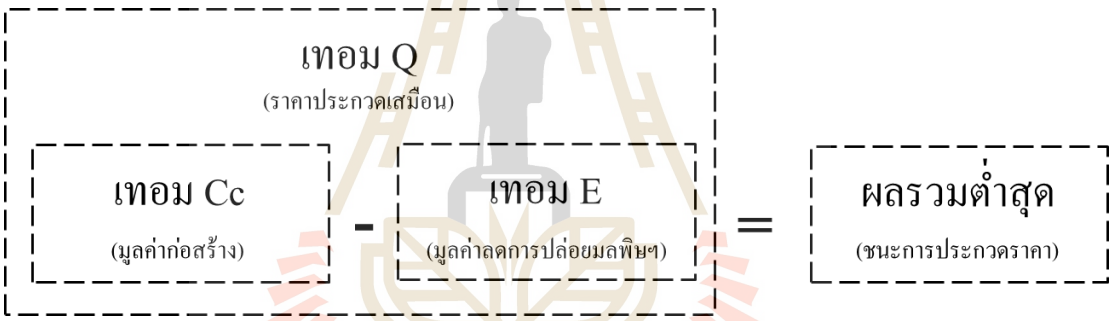
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง

วัตถุประสงค์สำคัญของแบบจำลองสัญญาจูงใจแบบใหม่ คือ การพัฒนาวิธีการคำนวณมูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ โดยให้ผู้รับเหมาคำนวณเองได้ และกำหนดบทลงโทษในกรณีที่ผู้รับเหมาผิดสัญญาหรือลดการปล่อยมลพิษฯ ไม่ได้ตามที่เสนอไว้ ตลอดจนการประเมินผลตอบรับจากผู้ที่เกี่ยวข้องทั้ง 2 ฝ่าย ถึงรูปแบบที่เหมาะสมในการนำแบบจำลองสัญญาจูงใจแบบใหม่ไปปฏิบัติ หัวข้อนี้จะกล่าวถึงเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองสัญญาจูงใจดังกล่าว คือ เงื่อนไขของสัญญาแบบจูงใจ วิธีประเมินปริมาณมลพิษฯ ที่ลดได้ และการกำหนดผลตอบแทนต่อการปฏิบัติตามวิธีการก่อสร้างทางเลือก รวมถึงเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินผลตอบรับ ดังนี้

3.2.1 เงื่อนไขของสัญญาแบบจูงใจ

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่าผู้รับเหมาไม่ค่อยให้ความร่วมมือเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ เพราะไม่ได้รับผลตอบแทนที่เป็นรูปธรรม (Ahn และคณะ, 2013) ในขณะที่การศึกษาอีกส่วนหนึ่งระบุว่าการประกวดราคาด้วยสัญญาแบบ lane rental และแบบ A+B ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของสัญญาแบบจูงใจได้รับผลตอบสนองที่ดีจากผู้รับเหมางานก่อสร้างถนนในประเทศสหรัฐอเมริกา (Arditi และคณะ, 1997; El-Rayes, 2001) การศึกษานี้จึงได้เสนอแบบจำลองสัญญาจูงใจเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ผ่านการประกวดราคาโดยประยุกต์ใช้เกณฑ์พิจารณาผู้ชนะการ

ประกวดราคาจากราคารวมต่ำสุดของสัญญาแบบ A+C ซึ่งเป็นการนำรายละเอียดการปฏิบัติงานของโครงการมาคิดเป็นมูลค่าเงินและนำมารวมเป็นต้นทุนราคาที่ยื่นเสนอในการประกวดราคา (Ahn และคณะ, 2013) แต่ผู้รับเหมาที่ดำเนินการก่อสร้างตามปกติจะถูกรวมต้นทุนส่วนเพิ่มนี้มากที่สุดซึ่งทำให้เกิดความรู้สึกว่าตนเสียประโยชน์จากการใช้สัญญาแบบนี้ อีกข้อจำกัดของสัญญา A+C คือยังเป็นแค่แนวคิดที่เสนอขึ้นมาโดยยังไม่มีรายละเอียดเพียงพอให้นำไปปฏิบัติได้จริง อีกทั้งการใช้สัญญาจูงใจต้องพิจารณาถึงความคุ้มค่าของค่าชดเชยซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการดำเนินการในมุมมองผู้รับเหมา ในขณะที่เจ้าของโครงการกังวลว่าขั้นตอนปฏิบัติที่เพิ่มขึ้นจะมีความยุ่งยาก (ฐิตาภรณ์ พ่อบุตรดี และคณะ, 2555) ดังนั้นแบบจำลองสัญญาจูงใจแบบใหม่ที่เสนอในการศึกษานี้จึงจูงใจผู้รับเหมาด้วยการเสนอผลตอบแทนที่เหมาะสมและเป็นธรรมทั้งต่อผู้รับเหมาที่ชนะและผู้ที่แพ้การประกวดราคา เงื่อนไขนี้รวมถึงการปรับโทษเมื่อผู้รับเหมาที่ชนะการประกวดราคาไม่ปฏิบัติตามวิธีทางเลือกที่เสนอด้วย



รูปที่ 3.3 เกณฑ์พิจารณาผู้ชนะการประกวดราคาของแบบจำลองสัญญาจูงใจแบบใหม่

3.2.2 วิธีประเมินปริมาณมลพิษฯ ที่ลดลงของวิธีการก่อสร้างทางเลือก

ปริมาณของมลพิษฯ ที่ลดการปล่อยลงได้ก่อนนำมาแปลงเป็นมูลค่าเงินในขั้นตอนถัดไปมีที่มาจากการรวบรวมวิธีลดการปล่อยมลพิษฯ ในงานก่อสร้างถนน ปริมาณเหล่านี้คำนวณบนพื้นฐานของการประเมิน LCA แบบโพรเซสเบสซึ่งจะนำปริมาณพลังงานที่ใช้หรือสารขาเข้าในการดำเนินการก่อสร้างแต่ละรายการคูณกับค่า EF ซึ่งควรเป็นข้อมูลที่มีการปรับปรุงค่าอยู่เสมอ การศึกษานี้เลือกใช้ค่า EF ของ IPCC (IPCC, 2006a; IPCC, 2006b) ซึ่งไม่ถูกจำกัดการเข้าถึงสามารถสืบค้นได้โดยง่ายจากเว็บไซต์ของ IPCC (2006b) และมีการปรับปรุงค่าอยู่เสมอ ปริมาณมลพิษฯ ที่ลดลงได้เป็นผลต่างของวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมกับวิธีทางเลือก มูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ ที่ได้ภายหลังแปลงปริมาณนี้สามารถนำมาหักออกจากราคาค่าก่อสร้างที่เสนอได้ทันทีโดยไม่ต้องประเมินปริมาณมลพิษฯ ที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการก่อสร้างแบบดั้งเดิมอีกดังแสดงในรูปที่ 3.3 การ

กำหนดให้คำนวณเฉพาะส่วนที่ลดได้โดยไม่ต้องคำนวณปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ทั้งโครงการฯ จะช่วยให้คิดคำนวณได้ง่ายขึ้นเพราะลดภาระการคำนวณลงมากกว่าวิธีการคำนวณของสัญญา A+C เดิม ดังนั้นการพิจารณาเลือกวิธีการทางเลือกและนำมาคำนวณมูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ ของผู้รับเหมาจึงทำได้ง่ายขึ้นกว่าการคำนวณปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ทั้งโครงการฯ กับทุกวิธีการก่อสร้างตามแบบสัญญา A+C ที่เสนอโดย Ahn และคณะ (2013)

3.2.3 การกำหนดผลตอบแทน

ผลตอบแทนหรือค่าชดเชยการปฏิบัติเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ถูกเสนอในหลายรูปแบบ เช่น การให้เงินทุนสนับสนุนโครงการเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ที่เรียกว่าคาร์บอนทรัสท์ (carbon trust) การติดป้ายแสดงปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เรียกว่าฉลากคาร์บอน (carbon label) และการลดภาษีเงินได้จากการขายเครื่องมือหรือเทคโนโลยีที่ช่วยลดการปล่อยมลพิษฯ (carbon tax) เป็นต้น ในมุมมองผู้รับเหมาเมื่อกล่าวถึงผลตอบแทนที่สามารถจูงใจในงานก่อสร้างคือผลกำไร ซึ่งอาจอยู่ในรูปของมูลค่าเงิน หรือโอกาสในการดำเนินกิจการอย่างต่อเนื่อง ในกลุ่มประเทศพัฒนาแล้วการจ่ายเงินชดเชยหรือจ่ายเงินเพิ่มเพื่อจูงใจผู้รับเหมาปฏิบัติตามเงื่อนไขลดการปล่อยมลพิษฯ อาจทำได้ไม่ยาก เพราะรัฐบาลมีเงินทุนสนับสนุนกิจกรรมเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ได้ แต่ในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนาการเสนอโอกาสให้บริษัทมีงานทำอย่างต่อเนื่อง เช่น การเพิ่มโอกาสเป็นผู้ชนะการประกวดราคางานก่อสร้างมากขึ้นแก่ผู้รับเหมาที่ลดการปล่อยมลพิษฯ เป็นทางเลือกที่น่าสนใจมากกว่าการให้เงินอุดหนุน

การศึกษานี้เลือกกำหนดผลตอบแทนเป็นการเพิ่มโอกาสเป็นผู้ชนะการประกวดราคามากขึ้นแม้จะไม่ได้เป็นผู้เสนอราคาค่าก่อสร้างต่ำที่สุด ขั้นตอนนี้เป็นการพิจารณามูลค่าก่อสร้างร่วมกับมูลค่าลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่คำนวณจากปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลงได้ของผู้รับเหมาแต่ละราย มูลค่าเงินของมลพิษฯ ต่อหน่วยน้ำหนักมีที่มาจากต้นทุนการดำเนินการเพื่อลดมลพิษฯ (TUDelft, 2019) โดยต้นทุนนี้ถูกนำไปหักออกจากราคาค่าก่อสร้างที่เสนอเพื่อทำให้เสมือนว่าราคาที่เสนอต่ำลงตามมูลค่าของมลพิษฯ ที่ลดการปล่อยลงได้ ผู้รับเหมาที่ดำเนินการลดการปล่อยมลพิษฯ ตามวิธีทางเลือกมากกว่าก็มีโอกาสเป็นผู้ชนะการประกวดราคามากกว่า เกณฑ์การตัดสินผู้ชนะการประกวดราคานี้ถูกกำหนดเป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองสัญญาจูงใจแบบใหม่ที่ถูกพัฒนาขึ้น

3.2.4 การประเมินความเป็นไปได้ของวิธีการให้ผลตอบแทน

ดังที่กล่าวก่อนหน้านี้แล้วว่าผลตอบแทนของแบบจำลองสัญญาแบบใหม่ คือ การเพิ่มโอกาสให้ผู้รับเหมาชนะการประกวดราคาโดยแลกกับเงื่อนไขปฏิบัติเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ดังนั้นมูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของแบบจำลองสัญญาแบบใหม่ที่พัฒนาแล้วนี้จำเป็นต้องมีการประเมินความสามารถตามเป้าหมาย เพราะจะเป็นการประเมินถึงประสิทธิภาพ

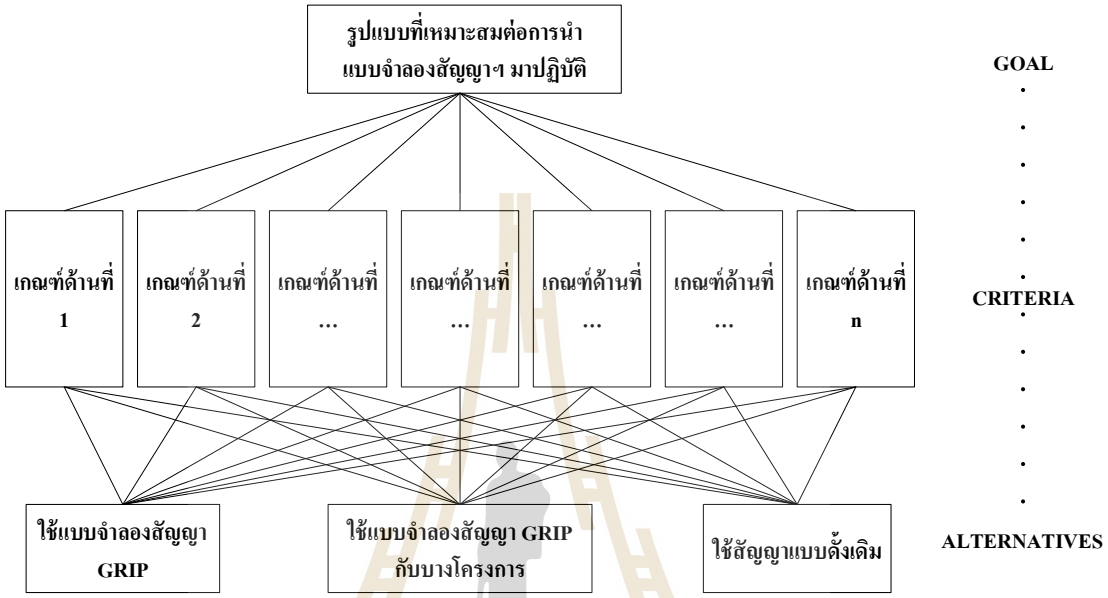
เบื้องต้นของแบบจำลองสัญญาแบบใหม่ด้วย การประเมินนี้ถูกดำเนินการผ่านการจำลองการประกวดราคาด้วยสัญญาแบบใหม่กับโครงการกรณีศึกษาที่ทราบผลการประกวดราคาด้วยวิธีปกติแล้ว การจำลองจะมีแนวคิดว่าสมมุติให้ผู้รับเหมาที่เสนอราคาค่าก่อสร้างต่ำสุดไม่ปฏิบัติตามวิธีลดการปล่อยมลพิษฯ ใด ๆ เลยเพราะมั่นใจว่าตนจะชนะการประกวด ในขณะที่ผู้รับเหมาที่เสนอราคาค่าก่อสร้างสูงสุดจะปฏิบัติวิธีลดการปล่อยมลพิษฯ มากที่สุดจนกว่าตนจะชนะการประกวดราคา หากผลจำลองสถานการณ์การประกวดราคาสามารถทำให้ผู้รับเหมาที่ไม่ได้เสนอราคาค่าก่อสร้างต่ำสุดเป็นผู้ชนะการประกวดได้ อาจสรุปในเบื้องต้นได้ว่าแบบจำลองสัญญาแบบใหม่มีความสามารถตรงตามเป้าหมายการพัฒนาที่วางไว้ แต่หากผลการจำลองแสดงว่าไม่สามารถช่วยให้ผู้รับเหมาที่ปฏิบัติวิธีลดการปล่อยมลพิษฯ จำนวนมากแล้วชนะการประกวดได้ก็ควรต้องทำการปรับปรุงแบบจำลองสัญญาใหม่จนกว่าจะได้ผลลัพธ์ตามเป้าหมาย ทั้งนี้ผลการประเมินยังสามารถนำไปแสดงให้ผู้ที่เกี่ยวข้องเห็นถึงประสิทธิภาพของแบบจำลอง เพื่อสร้างแรงจูงใจในการสมัครใจปฏิบัติตามวิธีลดการปล่อยมลพิษฯ ได้ชัดเจนยิ่งขึ้นด้วย

3.2.5 การประเมินผลตอบรับต่อการใช้แบบจำลองสัญญาแบบใหม่

การประเมินข้อมูลนี้เป็นขั้นตอนสำคัญเพื่อทราบความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างต่อการใช้แบบจำลองสัญญาแบบใหม่ การศึกษานี้เลือกใช้เทคนิค AHP เป็นเครื่องมือประเมินผลตอบรับ และกำหนดการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญเลือกใช้สเกลระดับ 1 ถึง 4 ของ Strager และ Rosenberger (2006) แทนที่สเกลระดับ 1 ถึง 9 (AHP measurement scale) เดิมของ Saaty (2006) เพื่อลดความสับสนและยุ่งยากในการตัดสินใจ การรวบรวมข้อมูลความคิดเห็นนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากนักวิชาการด้านการบริหารงานก่อสร้าง ผู้เชี่ยวชาญในงานก่อสร้างถนนซึ่งเป็นผู้บริหารองค์กรในบริษัทรับเหมาก่อสร้างงานถนนและผู้บริหารฝ่ายเจ้าของโครงการที่ทำงานเกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างถนนมากกว่า 10 ปี รวมทั้ง 2 รอบจำนวน 88 ท่านเป็นผู้ให้น้ำหนักเกณฑ์แต่ละด้านเพื่อทำการจัดลำดับเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาด้วยสเกลระดับ 1 ถึง 4

รูปที่ 3.4 แสดงโครงสร้างลำดับชั้นของการประเมินผลตอบรับการนำแบบจำลองสัญญาแบบใหม่ไปปฏิบัติ โดยในรอบแรกกำหนดให้มีเป้าหมาย (goal) คือการได้ทราบถึงทางเลือกที่มีคะแนนสูงสุดต่อการนำแบบจำลองสัญญาแบบใหม่ไปปฏิบัติ กำหนดเกณฑ์ที่ใช้พิจารณา (criteria) ออกเป็น n เกณฑ์ (กล่าวถึงรายละเอียดในบทที่ 5 ต่อไป) ผลคะแนนที่ได้จะเป็นค่าน้ำหนักของเกณฑ์แต่ละด้าน รวมถึงข้อเสนอแนะถึงการเพิ่มหรือลดเกณฑ์พิจารณาใด ๆ ในขณะที่แบบสอบถามรอบที่ 2 จะมีเป้าหมายเพื่อต้องการทราบผลการตัดสินใจของกลุ่มตัวอย่าง แต่เกณฑ์การวิเคราะห์อาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญในรอบแรก และกำหนดทางเลือก (alternatives) ให้กลุ่มตัวอย่างตัดสินใจเพื่อดำเนินการ 3 ทางเลือก คือ 1) คิดเห็นว่าควรใช้แบบจำลองสัญญาแบบใหม่ทันทีกับทุกโครงการ 2) คิดเห็นว่าควรใช้แบบจำลองสัญญาแบบใหม่

กับบางโครงการ และ 3) คิดเห็นว่าควรใช้สัญญาแบบดั้งเดิม ผลลัพธ์สุดท้ายจะสะท้อนถึงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพื่อนำไปพัฒนาแบบจำลองสัญญาจูงใจให้ผู้รับเหมาลดการปล่อยมลพิษฯ ต่อไป



รูปที่ 3.4 โครงสร้างลำดับชั้นของการประเมินผลตอบรับแบบจำลองสัญญาฯ ไปปฏิบัติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
แบบจำลองสัญญาจูงใจเพื่อลดการปล่อยมลพิษทางอากาศ

กระบวนการศึกษานี้เป็นการพัฒนาสัญญาแบบ A+C เพื่อเสนอใช้เป็นแบบจำลองสัญญาจูงใจแบบใหม่ที่เรียกว่าแบบจำลองสัญญา GRIP (Green Road Incentive Procurement) ให้เป็นแบบจำลองสัญญาก่อสร้างที่มีข้อกำหนดเงื่อนไขพิเศษ รูปแบบจูงใจของสัญญาแบบ A+C ถูกพัฒนาเป็นแบบจำลองสัญญา GRIP เพื่อตอบสนองความต้องการของเจ้าของโครงการที่ต้องการสนับสนุนผู้รับเหมาลดการปล่อยมลพิษฯ ด้วยข้อกำหนดการปฏิบัติ แต่ผู้รับเหมาอาจมีภาระต้นทุนเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้อาจเสียโอกาสเป็นผู้เสนอราคาต่ำสุดและไม่ชนะการประกวดราคาในที่สุด ดังนั้นแบบจำลองสัญญา GRIP จึงกำหนดวิธีการจูงใจผู้รับเหมาด้วยการเสนอค่าชดเชยจากการปฏิบัติตามเงื่อนไขพิเศษเพิ่มเติม โดยเพิ่มโอกาสเป็นผู้ชนะการประกวดราคาได้แม้ไม่ได้เสนอราคาค่าก่อสร้างต่ำสุด อีกทั้งขั้นตอนดำเนินการถูกประยุกต์ขั้นตอนปฏิบัติของสัญญาแบบดั้งเดิม เพื่อให้ผู้ปฏิบัติสามารถทำความเข้าใจและดำเนินการตามแบบจำลองสัญญา GRIP ได้โดยง่าย

4.1 แนวคิดของแบบจำลองสัญญา GRIP

แบบจำลองสัญญา GRIP นี้ประยุกต์จากการประกวดราคางานก่อสร้างแบบดั้งเดิมและเพิ่มเกณฑ์พิจารณาผู้ชนะการประกวดด้วยผลรวมราคาที่เสนอตามสัญญา A+C แต่ปรับปรุงเป็นการนำมูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ มาหักออกจากราคาค่าก่อสร้างที่เสนอแทน หรือ C_C-E ดังแสดงก่อนหน้านี้ในรูปที่ 3.3 การคิดแบบนี้จะช่วยลดภาระการคำนวณมูลค่าการปล่อยมลพิษฯ ของผู้รับเหมาลงได้ ซึ่งเดิมต้องคำนวณทั้งโครงการจากการดำเนินงานปกติและจากการดำเนินงานเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ทำให้ผู้รับเหมามีภาระงานมากขึ้น

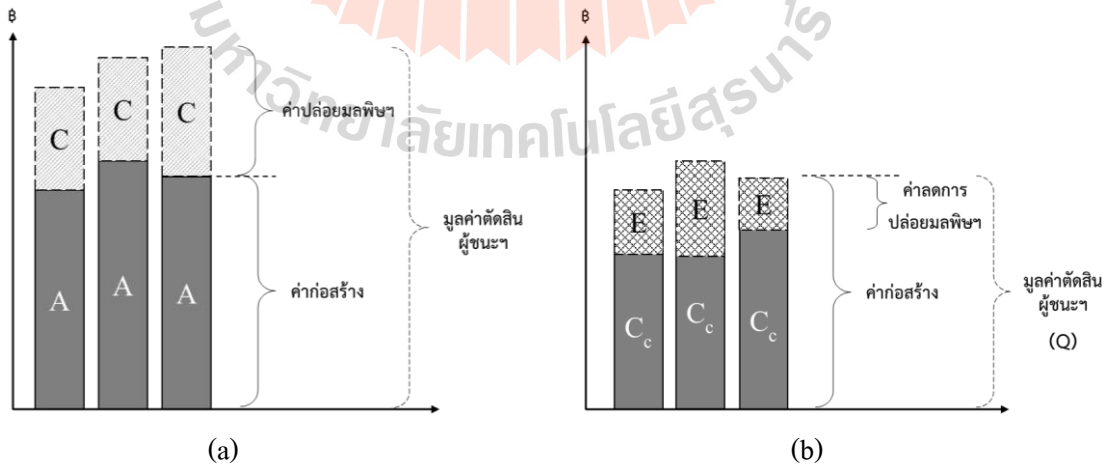
วัตถุประสงค์สำคัญของการพัฒนาแบบจำลองสัญญานี้ คือ เพื่อต้องการผลักดันให้เกิดการกำหนดผลตอบแทนแก่ผู้รับเหมาหากสมัครใจลดการปล่อยมลพิษฯ ระหว่างก่อสร้าง โดยมีมูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ ที่กำหนดขึ้นใหม่ (จากเดิมไม่มีการกำหนดสมการเพื่อการคำนวณในแต่ละวิธีทางเลือก) เป็นมูลค่าสำคัญของการตัดสินผู้ชนะการประกวด ทำให้ผู้รับเหมาสามารถประเมินความสามารถในการเข้าร่วมของตนเองได้ง่ายขึ้น ตลอดจนมีการกำหนดเงื่อนไขเงินปรับโทษเป็นมาตรการรองรับในกรณีที่ผู้รับเหมาผิดสัญญาหรือลดการปล่อยมลพิษฯ ไม่ได้ตามเป้าหมายด้วย

4.2 รายละเอียดของแบบจำลองสัญญา GRIP

แบบจำลองสัญญาแบบใหม่กำหนดให้เกณฑ์ตัดสินผู้ชนะการประกวดและมูลค่าสำคัญที่ยื่นเสนอเป็นส่วนประกอบสำคัญของการศึกษา หัวข้อนี้จะกล่าวถึงส่วนประกอบดังกล่าวของแบบจำลอง คือ เกณฑ์ตัดสินผู้ชนะการประกวดราคาตามแบบจำลองสัญญา GRIP และมูลค่าสำคัญที่ใช้ในการคำนวณเพื่อยื่นเสนอราคา มีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 เกณฑ์ตัดสินผู้ชนะการประกวดราคาตามแบบจำลองสัญญา GRIP

เกณฑ์ตัดสินผู้ชนะการประกวดราคาตามแบบจำลองสัญญา GRIP เกี่ยวข้องกับค่าตัวแปรสำคัญในรูปของมูลค่าเงิน ได้แก่ 1) ราคาค่าก่อสร้าง (construction bid: C_C) เป็นราคางานก่อสร้างที่ผู้ร่วมประกวดราคาเสนอโดยจะครอบคลุมทั้งต้นทุนและค่าดำเนินการทั้งหมด 2) มูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ (emission deduction: E) เป็นมูลค่าเงินที่คำนวณจากผลคูณของปริมาณมลพิษฯ ที่ลดลงทั้งหมดจากวิธีก่อสร้างทางเลือกต่าง ๆ ที่ผู้ร่วมประกวดราคาเสนอเข้ามากับต้นทุนการป้องกันมลพิษเสมือนต่อหน่วยปริมาณมลพิษฯ (eco-cost) ค่าส่วนลดนี้จะนำมาเป็นค่าชดเชยสำหรับต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจากการก่อสร้างด้วยวิธีทางเลือกต่าง ๆ ของผู้ร่วมประกวดราคา 3) ราคาประกวดเสมือน (equivalent bid: Q) เป็นมูลค่าที่ใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินผู้ชนะการประกวดราคา โดยผู้ร่วมประกวดราคาที่เสนอค่า Q ต่ำที่สุดจะเป็นผู้ชนะการประกวดราคา ซึ่งคำนวณจากค่า C_C ลบกับค่า E การศึกษานี้กำหนดให้แบบจำลองสัญญา GRIP ใช้ค่า Q เป็นเกณฑ์ตัดสินแทนค่า C_C หรือราคาค่าก่อสร้างที่ใช้ในการประกวดราคางานก่อสร้างดั้งเดิม แสดงแนวคิดค่าดังกล่าวนี้ในรูปที่ 4.1 และคำนวณได้จากสมการอย่างง่ายด้วยสมการที่ 4.1



(a) (b)

รูปที่ 4.1 a) การคิดมูลค่าที่ใช้ตัดสินผู้ชนะการประกวดของสัญญาแบบ A+C
b) แนวคิดมูลค่าที่ใช้ตัดสินผู้ชนะของแบบจำลองสัญญาจูงใจแบบใหม่

$$Q = C_C - E \quad (4.1)$$

โดยที่ Q คือ มูลค่าราคาประกวดเสมือนสำหรับตัดสินผู้ชนะการประกวดราคา

C_C คือ มูลค่าราคาค่าก่อสร้างที่ผู้รับเหมายื่นเสนอ

E คือ มูลค่าส่วนลดการปล่อยมลพิษฯ จากวิธีทางเลือกที่เสนอ

4.2.2 มูลค่าสำคัญที่ใช้ในการคำนวณ

การดำเนินการตามแบบจำลองสัญญา GRIP มีมูลค่าที่อยู่ในรูปของมูลค่าเงินที่สำคัญและจำเป็นต้องพิจารณาดังกล่าวข้างต้นอยู่ด้วยกันจำนวน 6 ค่า คือ มูลค่าราคาค่าก่อสร้าง (C_C) มูลค่าการลดการปล่อยมลพิษฯ (E) มูลค่าราคาประกวดเสมือน (Q) มูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ ในสนาม (E') มูลค่าเงินปรับโทษ (P) และมูลค่าเงินจ่ายค่างาน (Pa) ซึ่งมีรายละเอียดที่มาของความสำคัญที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนการตัดสินผู้ชนะการประกวดราคา การพิจารณาคิดค่าปรับโทษและการคำนวณเงินจ่ายค่างานดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลสำคัญในการดำเนินการแบบจำลองสัญญา GRIP

ข้อมูลสำคัญ	ตัวแปร	รายละเอียด	ความสำคัญที่เกี่ยวข้อง
ราคาค่าก่อสร้าง (construction bid)	C_C	เป็นราคาค่างานที่ผู้รับเหมาแต่ละรายประมาณการจากแบบก่อสร้างและแสดงเป็นบัญชีปริมาณงาน ของโครงการนั้น ๆ โดยได้รวมกำไรและค่าดำเนินการอื่น ๆ แล้ว	- ตัดสินผู้ชนะการประกวดราคา
มูลค่าของการลดการปล่อยมลพิษฯ (emission deduction)	E	เป็นมูลค่าของการลดการปล่อยมลพิษฯ จากการรวบรวมงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง และนำมากำหนดเป็นทางเลือกเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ในงานก่อสร้างถนนตามแบบจำลองสัญญา GRIP แล้วจึงนำปริมาณมลพิษฯ ที่ลดลงได้ดังกล่าวมาแปลงเป็นมูลค่าเงินเพื่อให้สอดคล้องกับขั้นตอนการประกวดราคา	- ตัดสินผู้ชนะการประกวดราคา - พิจารณาคิดค่าปรับโทษ
มูลค่าราคาประกวดเสมือน (equivalent bid)	Q	เป็นมูลค่าราคาประกวดเสมือนที่จะใช้เพื่อตัดสินผู้ชนะการประกวดราคาแทนราคาค่าก่อสร้างเพียงอย่างเดียว	- ตัดสินผู้ชนะการประกวดราคา

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลสำคัญในการดำเนินการแบบจำลองสัญญา GRIP (ต่อ)

ข้อมูลสำคัญ	ตัวแปร	รายละเอียด	ความสำคัญที่เกี่ยวข้อง
มูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ ในสนาม (actual emission deduction)	E'	เป็นการรวบรวมข้อมูลภาคสนามเพื่อตรวจสอบว่าผู้รับเหมารายนั้น ๆ สามารถปฏิบัติได้จริงตามที่ได้เสนอไว้ในขั้นตอนของการประกวดราคาก่อนหน้านี้หรือไม่	- พิจารณาคิดค่าปรับโทษ
เงินปรับโทษ (penalty)	P	เป็นค่าปรับโทษที่จะเกิดขึ้นเมื่อผู้รับเหมาที่ชนะการประกวดราคาไม่ดำเนินการลดการปล่อยมลพิษฯ ตามที่เคยเสนอไว้	- พิจารณาคิดค่าปรับโทษ
เงินจ่ายค่างาน (payment)	Pa	เป็นเงินจ่ายค่างานที่จ่ายให้ผู้รับเหมาเมื่อทำงานแล้วเสร็จ เงินจ่ายค่างานต้องหักเงินปรับโทษเสียก่อน แต่ผู้รับเหมาอาจได้รับเงินค่างานเต็มจำนวนที่เสนอมาหากไม่มีการปรับโทษ	- คำนวณเงินจ่ายค่างาน

4.2.2.1 มูลค่าราคาค่าก่อสร้าง (C_C) เป็นราคาค่าก่อสร้างที่ผู้รับเหมาแต่ละรายเสนอในวิธีประประกวดราคางานก่อสร้างแบบปกติ โดยราคาก่อสร้างนี้เป็นราคาค่างานที่ผู้รับเหมาคำนวณจากแบบก่อสร้างของโครงการนั้น ๆ ซึ่งเป็นราคาที่ได้รวมกำไรและค่าดำเนินการอื่น ๆ ไว้แล้วด้วย การคำนวณราคานี้ผู้รับเหมาจะได้รับทราบถึงราคากลางงานก่อสร้าง (owner's estimated cost) เพื่อเป็นแนวทางในการเสนอราคาด้วย การประกวดราคาด้วยแบบจำลองสัญญา GRIP จะต้องนำค่า C_C มาอ้างอิงในการพิจารณาด้วย แต่จะไม่ใช้ค่า C_C ต่ำสุดเป็นเกณฑ์ในการตัดสินผู้ชนะการประกวดราคา ดังนั้นในแบบจำลองสัญญา GRIP นี้แม้ผู้รับเหมาจะไม่ได้เสนอราคาค่าก่อสร้างต่ำสุดก็สามารถเป็นผู้ชนะการประกวดราคาได้

4.2.2.2 มูลค่าของการลดการปล่อยมลพิษฯ (E) เป็นมูลค่าเงินสำคัญที่สุดของการดำเนินงานตามแบบจำลองสัญญา GRIP เพราะเป็นมูลค่าที่จะนำไปคิดราคาประกวดเสมือนเพื่อตัดสินผู้ชนะการประกวด มูลค่า E นี้ถูกคำนวณจากการนำปริมาณการลดการปล่อยมลพิษฯ (ในหน่วยน้ำหนักของมลพิษฯ) คูณกับราคาต่อหน่วยของต้นทุนการป้องกันมลพิษเสมือนต่อหน่วยน้ำหนักของมลพิษฯ (€/kg) ที่เรียกว่า virtual pollution prevention costs หรือเรียกว่า eco-costs เสนอแนวคิดโดย Vogtländer และคณะ (2009) โดยที่ค่า eco-cost คือมูลค่าจากการลงทุนหรือการดำเนินงานเพื่อป้องกันหรือลดการปล่อยมลพิษนั้น ๆ เช่น ก๊าซ CO_2 มีมูลค่า eco-cost เท่ากับ 0.116 €/kg ซึ่งหมายถึงต้องใช้เงินลงทุนด้วยมาตรการต่าง ๆ จำนวน 0.116 ยูโรเพื่อป้องกันการปล่อยก๊าซ CO_2 จำนวน 1 กิโลกรัม การแปลงเพื่อหามูลค่า E สามารถใช้ราคาต่อหน่วยน้ำหนักมลพิษฯ จาก

แหล่งใดก็ได้ แต่เพื่อง่ายต่อการนำเสนอในแบบจำลองนี้ผู้วิจัยจึงได้ยกตัวอย่างค่า Eco-cost2017 จากเว็บไซต์ของ Delft University of Technology (TUDelft, 2019) ซึ่งไม่ถูกจำกัดการเข้าถึง ทำให้ง่ายต่อการนำมาใช้งานและสามารถปรับปรุงค่านี้ในแบบจำลองได้ในอนาคต มูลค่าดังกล่าวที่จะนำมาใช้ในการศึกษานี้ต้องถูกแปลงเป็นค่าเงินบาทเพื่อให้สอดคล้องกับราคาค่าก่อสร้างที่จะใช้ในการจำลองสัญญา GRIP กับโครงการกรณีศึกษา และนำเสนอเป็นราคาต่อหน่วยของต้นทุนการป้องกันมลพิษเสมือนต่อหน่วยน้ำหนักของมลพิษฯ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ราคาต่อหน่วยของต้นทุนการป้องกันมลพิษเสมือน (TUDelft, 2019)

Unit eco-costs	CO_2eq	NOx	HC	PM	CO
€/kg	0.116	4.940	1.410	35.000	0.270
*$/kg	0.162	6.916	1.974	49.000	0.378
*฿/kg	5.139	218.842	62.463	1,550.500	11.961

* อัตราแลกเปลี่ยนจากธนาคารแห่งประเทศไทย ณ วันที่ 4 กรกฎาคม 2554 (1 ยูโร คือ 1.4 ดอลล่าร์สหรัฐ, 1 ยูโร คือ 44.3 บาท)

การกำหนดมูลค่า E ดังกล่าวนี้ต้องใช้ข้อมูลอ้างอิงถึงปริมาณที่สามารถลดการปล่อยมลพิษฯ ได้ด้วย ดังนั้นการคำนวณมูลค่า E ในการศึกษานี้จึงเลือกข้อมูลความสามารถในการลดการปล่อยมลพิษฯ ที่น่าจะปรับใช้ได้กับโครงการก่อสร้างถนนจากแหล่งข้อมูลที่แสดงปริมาณอย่างชัดเจนของงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น เอกสารข้อแนะนำจากหน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อม (DOE, 2010; EPA, 2005; EPA, 2007) เอกสารแนะนำสินค้าจากผู้ผลิตเครื่องจักร (Caterpillar, 2013; Hitachi, 2015; Komatsu, 2001; Ochiai และ Ryu, 2008; Volvo, 2008) เอกสารข้อมูลสินค้าของอุปกรณ์ลดการปล่อยมลพิษฯ (DCL, 2015; EPA, 2005; Johnson Matthey, 2015) และเอกสารงานวิจัยต่าง ๆ (กัมปนาท เทียนน้อย, 2555; MECA, 2007; World Bank, 2014) เป็นต้น ข้อมูลดังกล่าวถูกเสนอเป็นวิธีก่อสร้างทางเลือกที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างถนนโดยตรงสำหรับการคำนวณมูลค่า E ไว้จำนวน 6 วิธีเพื่อเป็นตัวอย่างนำร่องสำหรับใช้ในแบบจำลองสัญญา GRIP ที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้ ได้แก่ 1) การเลือกใช้น้ำมันไบโอดีเซลแทนน้ำมันดีเซล 2) การเลือกใช้แหล่งวัสดุใกล้สถานที่ก่อสร้าง 3) การเลือกใช้เทคนิคการก่อสร้างชั้นพื้นทาง 4) การเลือกใช้เครื่องจักรรุ่นใหม่ 5) การเลือกใช้เครื่องจักรแบบไฮบริด และ 6) การติดตั้งอุปกรณ์ลดการปล่อยมลพิษฯ ที่เครื่องจักร วิธีดังกล่าวข้างต้นไม่ได้กำหนดเป็นข้อบังคับต่อผู้รับเหมาแต่ถูกเสนอให้เป็นทางเลือก วิธีที่ผู้รับเหมาเลือกนำไปปฏิบัติจะทำให้มูลค่า E ของผู้รับเหมาเปลี่ยนไปและส่งผลให้มูลค่า Q ลดลงและอาจเป็นผู้ชนะการประกวดราคาได้

ส่วนสำคัญของการคำนวณหามูลค่าส่วนลดการปล่อยมลพิษฯ ของวิธีทางเลือก หรือมูลค่า E คือการคำนวณหาปริมาณการปล่อยมลพิษฯ การศึกษานี้ใช้การคำนวณตามวิธีการประเมินแบบโพรเซสเบส LCA (ISO, 2006a) เพราะคำนวณได้ด้วยสมการอย่างง่ายจากผลคูณของค่า emission factor (EF) ต่อหน่วยกับปริมาณการดำเนินกิจกรรม ดังแสดงในสมการที่ (4.2)

$$AP = \text{Activities Data} \times EF \qquad (4.2)$$

โดยที่ AP คือ ปริมาณการปล่อยมลพิษฯ (kg)
Activities Data คือ ปริมาณกิจกรรมในการดำเนินการก่อสร้างแต่ละรายการ
EF คือ ตัวคูณการปล่อยมลพิษฯ (kg/hph, L, km)

มูลค่าการปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลงได้เป็นการคำนวณปริมาณลดการปล่อยมลพิษฯ ให้อยู่ในรูปผลต่างระหว่างวิธีก่อสร้างดั้งเดิมที่ปล่อยมลพิษฯ มากกว่า (conventional air pollution emissions) เป็นกรณีฐาน และเปรียบเทียบกับวิธีการทางเลือกที่ปล่อยมลพิษฯ น้อยกว่า (alternative air pollution emissions) นอกจากนี้ค่าตัวแปร E นี้เป็นค่าผลรวมของค่าส่วนลดการปล่อยมลพิษฯ ที่คำนวณได้จากวิธีก่อสร้างทางเลือกทั้ง 6 วิธีและแปรผันตามการเลือกปฏิบัติ ดังนั้นแนวคิดการพัฒนาการคำนวณมูลค่า E_i ในแบบจำลองนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือ 1) ปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ที่ลดได้จากวิธีการทางเลือกทั้ง 6 วิธี 2) มูลค่าราคาต่อหน่วยของต้นทุนการป้องกันมลพิษเสมือน (p) ซึ่งจะผันแปรตามชนิดของมลพิษฯ ที่วิธีการทางเลือกนั้น ๆ สามารถลดได้ 3) เปอร์เซ็นต์หรือปริมาณที่จะดำเนินการตามวิธีทางเลือกนั้น ๆ ดังแสดงในสมการที่ (4.3) ซึ่งจะสังเกตุได้ว่ามีแนวคิดแตกต่างจากการหามูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ ของวิธีทางเลือกในสัญญา A+C ที่ต้องคำนวณจากปริมาณมลพิษฯ ที่ปล่อยทั้งหมดไม่ว่าจะปฏิบัติตามวิธีทางเลือกหรือไม่ก็ตาม ดังนั้นแนวคิดการคำนวณหามูลค่า E ของแบบจำลองสัญญา GRIP จึงสามารถคำนวณได้ง่ายกว่าสัญญา A+C แบบเดิม

$$E = \text{Sum}(E_i) = \text{Sum}((\text{conventional APs} - \text{alternative APs})_i \times OP \times p) \qquad (4.3)$$

โดยที่ E คือ มูลค่าส่วนลดการปล่อยมลพิษฯ ของวิธีทางเลือก
i คือ วิธีทางเลือกที่ 1 ถึงวิธีทางเลือกที่ 6 ที่ผู้ประกวดราคายื่นเสนอ
conventional APs คือ ปริมาณมลพิษฯ ที่ถูกปลดปล่อยจากวิธีก่อสร้างดั้งเดิม
alternative APs คือ ปริมาณมลพิษฯ ที่ถูกปลดปล่อยจากวิธีก่อสร้างทางเลือก
OP คือ เปอร์เซ็นต์หรือปริมาณที่จะดำเนินการตามวิธีทางเลือก

p คือ ราคาต่อหน่วยของต้นทุนการป้องกันมลพิษเสมือน (฿/kg)

วิธีทางเลือกที่ 1 การเลือกใช้น้ำมันไบโอดีเซลแทนน้ำมันดีเซล โดยทั่วไปงานก่อสร้างถนนใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่จำนวนมาก เครื่องจักรเหล่านี้ขับเคลื่อนด้วยพลังงานจากน้ำมันดีเซลเป็นหลัก ซึ่งเป็นต้นเหตุของการปล่อยมลพิษฯ โดยตรง การศึกษาในอดีตของ Ahn และคณะ (2013) ได้เสนอให้นำข้อดีจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลทดแทนน้ำมันดีเซลด้วยการอ้างอิงข้อมูลงานวิจัยในอดีตของ Pang และคณะ (2009) ว่าการใช้น้ำมันไบโอดีเซลบี 20 สามารถลดการปล่อยก๊าซ CO_2 ลงได้ 9% ลด PM ลงได้ 11.8% และลด CO ลงได้ 4.1% แต่เพิ่มการปล่อย NOx ขึ้นอีก 1.6% ส่งผลให้มีมูลค่า eco-costs ที่ลดลงได้จากปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลง (เทอม C) เท่ากับ 4.8% เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล การนำข้อดีของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลของ Ahn และคณะ (2013) ยังมีข้อจำกัดในการนำมากำหนดเป็นวิธีการก่อสร้างทางเลือกของแบบจำลองสัญญา GRIP เพราะการคำนวณมูลค่าเทอม C ต้องคิดจากกรณีใช้น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันไบโอดีเซลบี 20 เปรียบเทียบกัน ส่งผลให้การคำนวณ eco-costs นี้ต้องทำซ้ำ 2 ครั้ง ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวสามารถลดทอนลงได้ด้วยการคำนวณเฉพาะกรณีการใช้น้ำมันไบโอดีเซลเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังมีอีกหนึ่งข้อจำกัดคือความหลากหลายของสูตรผสมน้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ในปัจจุบัน เช่น ในประเทศสหรัฐฯ มีน้ำมันไบโอดีเซลบี 5 บี 10 และบี 20 จำหน่าย ขณะที่ประเทศแม็กซิโกมีการจำหน่ายแค่บี 3 เพียงสูตรเดียว ส่วนประเทศไทยมีการจำหน่ายแค่สูตรบี 5 และภาครัฐเพิ่งเริ่มมีนโยบายสนับสนุนการจำหน่ายบี 20 เพิ่มขึ้นเมื่อไม่นานมานี้เอง เป็นต้น ดังนั้นการคำนวณ eco-costs นี้จึงควรกำหนดเป็นสมการที่แปรผันตามสูตรผสมไบโอดีเซลที่มีจำหน่ายในแต่ละภูมิภาคด้วย รวมถึงปริมาณการบริโภคเชื้อเพลิงและอัตราการปล่อยมลพิษฯ ของเครื่องจักรเหล่านี้ก็ขึ้นอยู่กับจำนวน กำลังแรงม้า ชั่วโมงการทำงาน และรุ่นปีที่เครื่องจักรผลิตด้วย หากผู้รับเหมาสามารถเปลี่ยนการใช้เชื้อเพลิงดีเซลเป็นเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่สะอาดขึ้นได้ ปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ก็จะลดลงได้ เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลมีอัตราการปล่อยมลพิษฯ น้อยกว่าน้ำมันดีเซล (EPA, 2002)

การศึกษานี้จึงเสนอสมการอย่างง่ายในการคำนวณเฉพาะปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลงได้จากปริมาณการเลือกใช้น้ำมันไบโอดีเซล เพื่อให้ผู้รับเหมาที่ไม่มีความรู้ด้านการประเมินปริมาณการปล่อยมลพิษฯ สามารถคำนวณมูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ (เทอม E) ของวิธีทางเลือกนี้และสมัครใจดำเนินการตามแบบจำลองสัญญา GRIP ได้โดยง่ายและไม่เป็นการเพิ่มภาระมากนัก สมการที่เสนอถูกประยุกต์จากสมการคำนวณของ EPA (2002) จากกราฟดังแสดงในรูปที่ ก.1.1 อย่างไรก็ตาม การใช้น้ำมันไบโอดีเซลจะให้ค่าความร้อนต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล การคำนวณนี้จึงต้องเผื่อปริมาณการใช้น้ำมันไบโอดีเซลด้วยการชดเชยค่าในสมการนี้ตามข้อเสนอแนะของ EPA (2002) ก่อนแทนค่าราคาต้นทุนการป้องกันมลพิษเสมือนต่อหน่วยน้ำหนักมลพิษฯ (p)

เข้าในสมการของ EPA ตามรูปที่ ก.1.1 ด้วย นอกจากนี้สมการคำนวณค่า E_1 ที่เสนอได้กำหนดให้สามารถคำนวณแปรผันตามสูตรผสมที่หลากหลายของไบโอดีเซล (บี 1 ถึงบี 100) ที่มีการจำหน่ายด้วย ทั้งนี้เพื่อให้มูลค่า E_1 สามารถจูงใจผู้รับเหมาสนับสนุนการใช้น้ำมันที่ปล่อยมลพิษฯ น้อยลง การศึกษานี้จึงมีสมมุติฐานเชิงอนุรักษ์ต่อเครื่องจักรที่ใช้งานด้วย โดยสมมุติให้เครื่องจักรทั้งหมดที่คำนวณค่า E ในวิธีทางเลือกนี้เป็นเครื่องจักรในระดับชั้น Tier1 (รุ่นปีผลิตก่อนปี ค.ศ.2002) ก่อนการเลือกใช้น้ำมันไบโอดีเซล ปรากฏเป็นตัวเลขค่าคงที่ในสมการหาค่า E_1 ของวิธีทางเลือกที่ 1 ดังแสดงในสมการที่ (4.4)

$$E_1 = \sum_{bd=I}^{IV} \left[\left(1 + \left\{\exp\left[-0.008189 \times (a)\right] \times \left[0.88 \times (a/100) + 0.85 \times (1 - a/100)\right]/0.85\right\}\right) \times \left(\left\{\exp\left[\eta \times (a)\right] - 1\right\} \times 100\%\right) \times ER_1 \times hp \times h \times b \times p \right]_{bd} \quad (4.4)$$

โดยที่ a คือ สูตรผสมไบโอดีเซล (เช่น บี1, a คือ 1; บี20, a คือ 20)

η คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์การปล่อยมลพิษฯ ดูตารางที่ 4.3 (EPA, 2002)

ER_1 คือ อัตราการปล่อยมลพิษฯ ของเครื่องยนต์ดีเซล Tier1

hp คือ กำลังแรงม้าของเครื่องจักร (hp)

h คือ จำนวนชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักร (hrs)

b คือ เปอร์เซ็นต์การใช้งานไบโอดีเซลในโครงการ

p คือ ราคาต่อหน่วยของต้นทุนการป้องกันมลพิษเสมือน (฿/kg)

ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณค่าลดการปล่อยมลพิษฯ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล (bd)

Emissions parameter	NOx (I)	HC (II)	PM (III)	CO (IV)	Unit
η	0.0009794	-0.011195	-0.006384	-0.006561	-

นอกจากพารามิเตอร์ดังกล่าวแล้วยังมีพารามิเตอร์สำคัญก่อนการคำนวณค่า E ในวิธีทางเลือกนี้ คือ ปริมาณการใช้น้ำมันทั้งโครงการ ซึ่งกำหนดใช้เป็นกรณีฐานการปล่อยมลพิษในวิธีทางเลือกนี้ โดยเป็นการคำนวณผลคูณของอัตราการบริโภคน้ำมันของเครื่องจักรแต่ละชนิดกับจำนวนเครื่องจักรทำงานทั้งหมด จำนวนเครื่องจักรทำงานดังกล่าวมีที่มาจากปริมาณงานทั้งหมดที่แสดงใน BOQ (รูปที่ ก.2.4) หารด้วยผลงานต่อวันของเครื่องจักร 1 ชุด ซึ่งในชุดเครื่องจักรก็จะ

ประกอบไปด้วยชนิดและจำนวนเครื่องจักรแตกต่างกันไปตามประเภทของงาน (รูปที่ ก.2.5) การคำนวณแสดงในสมการที่ (4.5)

ปริมาณใช้น้ำมัน = (ปริมาณงานทั้งหมด / ผลงานต่อวัน) x อัตราบริโภคต่อวัน (4.5)

วิธีทางเลือกที่ 2 การเลือกใช้แหล่งวัสดุใกล้สถานที่ก่อสร้าง เนื่องจากจำเป็นต้องใช้ปริมาณวัสดุก่อสร้างคันทางจากโรงโม่หินหรือบ่อลูกรังเป็นจำนวนมากในการก่อสร้างถนน ได้แก่ ชั้นดินถม ชั้นวัสดุคัดเลือก “ก” ชั้นวัสดุคัดเลือก “ข” ชั้นรองพื้นทาง ชั้นพื้นทาง ระยะทางขนส่งวัสดุจากแหล่งวัสดุถึงสถานที่ก่อสร้างจึงเป็นปัจจัยสำคัญหนึ่งที่ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณการปล่อยมลพิษฯ การศึกษาในอดีตของ Ahn และคณะ (2013) ได้เสนอว่าการใช้แหล่งวัสดุใกล้สถานที่ก่อสร้างมากกว่าจะลดการปริมาณการใช้เชื้อเพลิงและปริมาณการปล่อยมลพิษฯ จากการขนส่งวัสดุได้ โดย Ahn และคณะ (2013) ได้สมมุติระยะทางการขนส่งเพื่อแสดงถึง eco-costs ที่ลดลงได้จากการเลือกแหล่งวัสดุที่ใกล้กว่า

ข้อดีดังกล่าวถูกนำมากำหนดเป็นวิธีการทางเลือกที่ 2 การศึกษานี้จึงเสนอสมการอย่างง่ายที่คำนวณจากผลต่างของระยะทางที่กำหนดในแบบก่อสร้างกับระยะทางที่ผู้รับเหมาเลือกใช้จริง โดยอ้างอิงข้อมูลที่ได้จากกรมทางหลวงว่าในแบบก่อสร้างจะกำหนดแหล่งวัสดุแนะนำสำหรับแต่ละโครงการไว้เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการคำนวณราคากลางของงานโครงการฯ นั้น ๆ ซึ่งในทางปฏิบัติผู้รับเหมาอาจเลือกใช้วัสดุจากแหล่งอื่นที่ใกล้หรือไกลกว่าระยะทางจากแหล่งแนะนำนี้ก็ได้ เพราะระยะทางขนส่งที่ใกล้กว่าอาจไม่ได้ทำให้ราคารวมต่อหน่วยของวัสดุนั้นๆ ถูกลงและทำให้ผู้รับเหมาอาจตัดสินใจเลือกใช้วัสดุจากแหล่งไกลว่ามาใช้ในงานก่อสร้างแทน หากพิจารณาเฉพาะระยะทางขนส่งวัสดุที่ไกลกว่าย่อมทำให้มีปริมาณการปล่อยมลพิษฯ มากขึ้น ในทางกลับกัน ระยะทางขนส่งวัสดุที่ใกล้กว่าจะช่วยลดปริมาณการปล่อยมลพิษฯ จากการขนส่งลงได้ ดังนั้นระยะทางขนส่งที่สั้นลงนี้จึงเหมาะสมนำมาเป็นวิธีทางเลือกที่ 2 นอกจากจำนวนเที่ยวการขนส่งของรถบรรทุกที่คำนวณจากปริมาณการขนส่งวัสดุทั้งหมดหารด้วยขนาดความจุของรถบรรทุก ดังแสดงในสมการที่ (4.6) แล้ว ยังมีปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ต่อหน่วยน้ำมันที่เครื่องจักรบริโภค และอัตราการบริโภคน้ำมันของรถบรรทุกที่ใช้ขนส่งวัสดุก็เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ด้วย ในการศึกษานี้จึงเสนอสมการคำนวณมูลค่าจากปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลงของวิธีทางเลือกที่ 2 ดังแสดงในสมการที่ (4.7)

T = ปริมาณวัสดุที่ขนส่งทั้งหมด / ความจุของรถบรรทุกที่ใช้งาน (4.6)

$$E_2 = \sum_{j=1}^{n}\left[\left(RD_j - OD_j\right)\times EF \times FC \times T_j \times p\right] \quad (4.7)$$

โดยที่ RD คือ ระยะทางขนส่งวัสดุจากแหล่งแนะนำ (km)
OD คือ ระยะทางขนส่งวัสดุที่ผู้รับเหมาเลือกใช้งาน (km)
EF คือ ตัวคูณการปล่อยมลพิษฯ ของการบริโภคน้ำมันดีเซล (kg/L)
FC คือ อัตราบริโภคน้ำมันที่ใช้ขนส่ง (L/km)
T คือ จำนวนเที่ยวการขนส่งทั้งหมด
p คือ ราคาต่อหน่วยของต้นทุนการป้องกันมลพิษเสมือน (฿/kg)

วิธีทางเลือกที่ 3 การเลือกเทคนิคการก่อสร้างที่เหมาะสม เทคนิคการก่อสร้างมีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว ผู้เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมการก่อสร้างได้นำเอาเทคนิคการก่อสร้างใหม่ ๆ เหล่านี้มาใช้ในกระบวนการก่อสร้างเพื่อพัฒนาคุณภาพผลงานของตน เทคนิคการก่อสร้างที่หลากหลายนำไปสู่การใช้เครื่องจักร พลังงาน และวัสดุที่แตกต่างกัน ตลอดจนส่งผลให้มีปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ที่ต่างกันด้วย (เมธากุล มีธรม และวชรภูมิ เบญจโอฬาร, 2559) วิธีทางเลือกที่ 3 นี้จึงได้นำข้อดีของการเลือกใช้เทคนิคการก่อสร้างที่ปล่อยมลพิษฯ น้อยลงจากวิธีการก่อสร้างปกติมาคำนวณค่า E_3

วิธีทางเลือกนี้ได้กำหนดให้เทคนิคการก่อสร้างที่ปล่อยมลพิษฯ มากที่สุดในงานก่อสร้างนั้น ๆ เป็นเทคนิคการก่อสร้างกรณีฐานเพื่อใช้เปรียบเทียบหาปริมาณลดการปล่อยมลพิษฯ ของเทคนิคการก่อสร้างอื่น ๆ ผู้รับเหมาจึงสามารถสามารถเลือกเทคนิคการก่อสร้างได้ตามความพร้อมของตน ทำนองเดียวกับ 2 วิธีทางเลือกก่อนหน้านี้ มูลค่าต่อหน่วยน้ำหนักของมลพิษฯ ที่ถูกปลดปล่อย ปริมาณวัสดุ และเชื้อเพลิงทั้งหมดที่ใช้ก่อสร้างชิ้นงานนั้น เป็นตัวแปรสำคัญเพื่อกำหนดสมการหาค่า E_3 ในสมการที่ (4.8) ด้วย โดยมีพารามิเตอร์สำคัญประกอบด้วย 1) เปอร์เซ็นต์การปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลงได้กำหนดให้เป็นตัวแปร TEC 2) อัตราการปล่อยมลพิษฯ เมื่อใช้เทคนิคการก่อสร้างกรณีฐานกำหนดให้เป็นตัวแปร ER_B และ 3) ปริมาณวัสดุที่ใช้ก่อสร้างงานชิ้นงานนั้น ๆ

$$E_3 = TEC \times ER_B \times M \times p \quad (4.8)$$

โดยที่ TEC คือ เปอร์เซ็นต์การปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลงได้จากการเลือกเทคนิคการก่อสร้าง
ER_B คือ อัตราการปล่อยมลพิษฯ กรณีฐานจากเทคนิคที่ปล่อยมลพิษฯ น้อยที่สุด
M คือ ปริมาณวัสดุที่ใช้ก่อสร้างงานชั้นพื้นทาง (m^3)

p คือ ราคาต่อหน่วยของต้นทุนการป้องกันมลพิษเสมือน (฿/kg)

วิธีทางเลือกที่ 4 การเปลี่ยนใช้เครื่องจักรรุ่นใหม่ทดแทน วิธีทางเลือกนี้มีที่มาจากการศึกษาในอดีตของ Ahn และคณะ (2013) ที่ชี้ว่าข้อกำหนดมาตรฐานการปล่อยมลพิษฯ ของ EPA ต่อเครื่องจักรรุ่นใหม่นั้นมีความเข้มงวดมากขึ้นเพื่อบังคับให้มีการปล่อยมลพิษฯ ได้น้อยลงกว่าเครื่องจักรที่มีขนาดเครื่องยนต์เท่ากันในรุ่นปีผลิตที่เก่ากว่า (ดังแสดงในรูปที่ ก.3.1) โดยงานวิจัยของ Ahn และคณะ (2013) ได้ประยุกต์ใช้ข้อมูลการประเมินปริมาณการปล่อยมลพิษฯ จากงานวิจัยในอดีตของ Cass และ Mukherjee (2011) ที่ประเมินโดยใช้แบบจำลอง NONROAD ของ EPA (2008) และสมมุติให้เครื่องจักรเดิมที่ใช้อยู่จัดอยู่ในระดับ Tier3 (รุ่นปีผลิต 2008) ทั้งหมด โดยที่ Ahn และคณะ (2013) สมมุติให้อยู่ในระดับ Tier1 แทน แล้วจำลองการเปลี่ยนเครื่องจักรใหม่เป็นระดับ Tier3 และ Tier4 (รุ่นปีผลิต 2012) ทดแทนเครื่องจักรเดิม ผลการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนทดแทนด้วยเครื่องจักรระดับ Tier3 ลดค่า eco-costs ลงได้ 5.7% และลดลงได้ 7.2% สำหรับเครื่องจักรในระดับ Tier4 อย่างไรก็ตาม การประเมินปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ด้วยแบบจำลอง NONROAD ในทางปฏิบัติพบข้อจำกัดต่อการนำมากำหนดใช้เป็นวิธีทางเลือกในแบบจำลองสัญญา GRIP เนื่องจากการใช้แบบจำลองนี้ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการคำนวณ และต้องคำนวณซ้ำทุกครั้งเพื่อเปรียบเทียบค่า eco-costs เมื่อมีการเปลี่ยนเครื่องจักรใหม่ในแต่ละ Tier อีกด้วย ดังนั้นหากสามารถลดข้อจำกัดด้วยการเสนอสมการคำนวณปริมาณการปล่อยมลพิษฯ และค่า eco-costs ได้ง่ายขึ้น ก็สามารถนำมากำหนดใช้เป็นวิธีทางเลือกที่ 4 ในแบบจำลองสัญญา GRIP ได้ด้วย นอกจากนี้การเปลี่ยนเครื่องจักรเก่าทดแทนเครื่องจักรใหม่ ตามรายงานของ EPA (2005) และ EPA (2007) ที่เปรียบเทียบเครื่องยนต์ขนาดเท่ากัน พบว่าเครื่องจักรใหม่มีการใช้พลังงานน้อยลง และปล่อยมลพิษฯ น้อยลงด้วย แต่การนำค่าการปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลงได้เข้าไว้ในสมการยังขาดข้อมูลปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ของเครื่องจักรในแต่ละ Tier ดังนั้นการศึกษานี้จึงประยุกต์ใช้ข้อกำหนดมาตรฐานการปล่อยมลพิษฯ ในรูปที่ ก.3.1 มาเป็นค่าการปล่อยมลพิษฯ ในวิธีทางเลือกที่ 4 นี้ นอกจากนี้ข้อมูลที่ EPA ทำการจำแนกความใหม่ของเครื่องจักรออกเป็น 5 ระดับชั้นจากเก่าสุดไปใหม่สุด (ระดับชั้น Tier1, 2, 3, 4i (รุ่นปีผลิต 2012-2013) และ 4f (รุ่นปีผลิต 2014)) ส่งผลให้การเปลี่ยนเครื่องจักรที่ใหม่ขึ้นสามารถทำได้หลากหลายขึ้นตามไปด้วย

ดังนั้นการศึกษานี้จึงนำเสนอข้อดีของการเปลี่ยนเครื่องจักรใหม่เป็นวิธีทางเลือกที่ 4 โดยสมมุติให้เครื่องจักรที่ผู้รับเหมาใช้งานอยู่เดิมเป็นระดับ Tier1 ทั้งหมด และกำหนดให้เป็นปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ของเครื่องจักรกรณีฐานด้วย จำนวนเครื่องจักรเดิมนี้จะถูกเปรียบเทียบกับจำนวนการเปลี่ยนเครื่องจักรใหม่กว่า Tier1 (เช่น Tier2, 3, 4, 4i และ 4f) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเครื่องจักรใหม่ของผู้ร่วมประกวดราคาแต่ละราย เนื่องจากชนิดและปริมาณที่ลดลงของ

มลพิษฯ ของเครื่องจักรแต่ละระดับชั้นแตกต่างกัน เปอร์เซ็นต์การปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลงได้สำหรับเครื่องจักรแต่ละระดับชั้นจึงถูกนำมาคำนวณค่า E_4 ร่วมด้วย นอกจากนี้ตัวแปรสำคัญที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร คือ กำลังแรงม้าของเครื่องจักรที่จะใช้งานในโครงการนั้น ๆ รวมถึงชั่วโมงการทำงานทั้งหมดได้จากการประมาณการตามบัญชีรายการงาน (BOQ) และเปอร์เซ็นต์การดำเนินการในวิธีทางเลือกนี้ ในลักษณะเช่นเดียวกับวิธีทางเลือกที่ 1 ถึงวิธีทางเลือกที่ 3 มูลค่าต่อหน่วยน้ำหนักของมลพิษฯ ที่ถูกปลดปล่อยจะถูกนำมาพิจารณาร่วมด้วย ดังแสดงในสมการที่ (4.9)

$$E_4 = \sum_{n=tier\,1}^{tier\,4\,f} \left[\left(\sum_{rn=I}^{IV} R_{rn} \times ER_1 \times hp \times h \times p \right) \times r_n \right] \tag{4.9}$$

โดยที่ R_{rn} คือ อัตราการปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลงได้จากการเปลี่ยนเครื่องจักรรุ่นใหม่

r_n คือ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเครื่องจักรใหม่กว่า Tier1 ตั้งแต่ 0% ถึง 100%

ER_1 คือ อัตราการปล่อยมลพิษฯ กรณีฐานของเครื่องยนต์ดีเซล Tier1

hp คือ กำลังของเครื่องจักร (hp)

h คือ จำนวนชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักร (hrs)

p คือ ราคาต่อหน่วยของต้นทุนการป้องกันมลพิษเสมือน (฿/kg)

วิธีทางเลือกที่ 5 การเปลี่ยนใช้เครื่องจักรแบบไฮบริด ระบบเครื่องยนต์ไฮบริดเป็นเทคโนโลยีของเครื่องจักรกลและยานยนต์สมัยใหม่ จุดเด่นคือการผสมผสานระหว่างพลังงานจากน้ำมันและพลังงานจากไฟฟ้าเข้าด้วยกัน การใช้พลังงานร่วมสามารถลดการใช้น้ำมันลงได้ จึงช่วยลดการปล่อยมลพิษฯ ลงได้ด้วย (Ochiai และ Ryu, 2008) การศึกษาในอดีตของ Ahn และคณะ (2013) ได้อ้างอิงข้อมูลการใช้งานเครื่องจักรไฮบริดของ Komatsu (2008) ว่าสามารถลดการใช้พลังงานและการปล่อยมลพิษฯ ลงได้ 30% แต่กล่าวว่าผลจากการใช้เครื่องจักรไฮบริดยังไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่ชัด งานวิจัยดังกล่าวจึงสมมุติให้การใช้เครื่องจักรไฮบริดสามารถลดค่า eco-costs ลงได้ 21.8% อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของงานวิจัยดังกล่าวคือการใช้แบบจำลอง NONROAD โดยผู้เชี่ยวชาญคือภาระต้นทุนที่เพิ่มขึ้นของผู้รับเหมาหากนำมาใช้ในแบบจำลองสัญญา GRIP อีกทั้งยังจำเป็นต้องคำนวณซ้ำเพื่อเปรียบเทียบกันระหว่างกรณีดำเนินงานโดยใช้เครื่องจักรปกติและใช้เครื่องจักรที่ปล่อยมลพิษฯ น้อยลงควบคู่กันไปเช่นเดียวกับที่เป็นข้อจำกัดในทางเลือกอื่น ๆ ก่อนหน้านี้

การศึกษานี้จึงเสนอสมการอย่างง่ายเพื่อนำข้อดีของการดำเนินงานก่อสร้างโดยใช้เครื่องจักรไฮบริดมากำหนดเป็นวิธีทางเลือกที่ 5 ของแบบจำลองสัญญา GRIP เนื่องจากเทคโนโลยี

ไฮบริดเป็นสิ่งใหม่ การคำนวณค่า E_5 จึงใช้พื้นฐานเดียวกับวิธีทางเลือกที่ 4 แต่เพิ่มปริมาณลดการปล่อยมลพิษฯ ลงได้อีก จากข้อมูลของผู้ผลิตเครื่องจักรที่มีชื่อเสียง พบว่าเครื่องจักรไฮบริดลดการปล่อยมลพิษฯ ได้มากกว่าเครื่องจักรปกติประมาณ 15% - 30% สำหรับเครื่องจักรฮิตาชิ 25% - 41% สำหรับเครื่องจักรโคมัตสุ 25% - 33% สำหรับเครื่องจักรแคทเทอร์พิลล่าร์ และ 10% สำหรับเครื่องจักรวอลโว่ ดังแสดงในรูปที่ ก.4.1 และในรูปที่ ก.4.2 (Komatsu, 2001; Volvo, 2008; Caterpillar, 2013; Hitachi, 2015) การศึกษานี้เลือกใช้ค่าเชิงอนุรักษ์ (conservative value) ที่เป็นค่าต่ำสุด คือค่า 10% ของเครื่องจักรวอลโว่ (ดังแสดงในรูปที่ ก.4.3) เพราะเป็นค่าที่เป็นไปได้ง่ายที่สุดในทางปฏิบัติ ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงตั้งสมมุติฐานว่าเครื่องจักรไฮบริดจะถูกจัดให้อยู่ในระดับ Tier4f (รุ่นปีผลิตหลังปี ค.ศ.2013) เพื่อแสดงปริมาณมลพิษฯ ที่ลดได้เบื้องต้นตามวิธีทางเลือกที่ 4 ก่อน แล้วบวกเพิ่มปริมาณลดการปล่อยมลพิษฯ อีก 10% ในภายหลัง ดังนั้น สามารถคำนวณค่า E_5 ดังแสดงในสมการที่ (4.10)

$$E_5 = \left(\sum_{rh=I}^{IV} R_{rh} \times ER_1 \times hp \times h \times p \right) \times r_h \tag{4.10}$$

โดยที่ R_{rh} คือ อัตราการปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลงได้จากการเปลี่ยนเครื่องจักรแบบไฮบริด

r_h คือ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเครื่องจักรไฮบริด ตั้งแต่ 0% ถึง 100%

ER_1 คือ อัตราการปล่อยมลพิษฯ กรณีฐานของเครื่องยนต์ดีเซล Tier1

hp คือ กำลังของเครื่องจักร (hp)

h คือ จำนวนชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักร (hrs)

p คือ ราคาต่อหน่วยของต้นทุนการป้องกันมลพิษเสมือน (฿/kg)

วิธีทางเลือกที่ 6 การติดตั้งอุปกรณ์ลดการปล่อยมลพิษฯ แก่เครื่องจักร ปริมาณการปล่อยมลพิษฯ จากเครื่องจักรสามารถลดได้โดยตรงจากการติดตั้งอุปกรณ์พิเศษแก่เครื่องจักร อุปกรณ์ดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยมลพิษฯ ที่แตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณของมลพิษฯ ต้นทุนการติดตั้งและบำรุงรักษาก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ควรถูกคำนึงถึง ดังนั้นการติดตั้งอุปกรณ์เหล่านี้จึงมีความหลากหลาย รวมทั้งรูปแบบการติดตั้งแบบอุปกรณ์เดี่ยว หรือติดตั้งอุปกรณ์ร่วมกับอุปกรณ์อื่นมากกว่าหนึ่งชนิดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้มากขึ้นได้ ตัวอย่างของการติดตั้งอุปกรณ์แบบเดี่ยว เช่น ตัวกรองอนุภาคดีเซล (diesel particulate filter: DPF) ตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันดีเซล (diesel oxidation catalyst: DOC) และตัวเร่งปฏิกิริยา (selective catalytic reduction: SCR) ช่วยให้การเผาไหม้ของเครื่องยนต์สมบูรณ์มากขึ้น ส่งผลให้ช่วยลดปริมาณการปล่อยมลพิษฯ

ลงได้ เป็นต้น ตัวอย่างของการติดตั้งอุปกรณ์แบบร่วม 2 ชนิด เช่น การติดตั้งตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับตัวกรองอนุภาคดีเซล หรือการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มการหมุนเวียนก๊าซไอเสีย (exhaust gas recirculation: EGR) ร่วมกับตัวกรองอนุภาคดีเซล เป็นต้น การศึกษาในอดีตของ Ahn และคณะ (2013) อ้างถึงข้อมูลของ EPA (2006) ว่าการติดตั้งอุปกรณ์เดี่ยว DOC ลดค่า eco-costs ลงได้ 0.9% และการติดตั้งร่วม 2 ชนิด SCR+DOC ลดค่า eco-costs ลงได้ 7.6%

มูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ ของวิธีทางเลือกนี้คำนวณด้วยสมการที่ (4.11) และสังเกตุได้ว่า การคำนวณค่า E_6 ของวิธีทางเลือกที่ 6 นี้มีความคล้ายคลึงกับวิธีทางเลือกที่ 5 อย่างมาก แต่ในทางปฏิบัติอุปกรณ์ลดการปล่อยมลพิษฯ อาจไม่ต้องติดตั้งกับเครื่องจักรในระดับชั้นที่ใหม่มาก (Tier4f) หรือติดตั้งในระดับชั้น Tier1 หรือ Tier2 หรือ Tier3 ก็ได้ เพราะเครื่องจักรใหม่ ๆ นั้นมีระดับการปล่อยมลพิษฯ น้อยกว่าเครื่องจักรเก่าอยู่แล้ว ดังแสดงในวิธีทางเลือกที่ 4 ก่อนหน้านี้แล้ว

$$E_6 = \sum_{n=S_1}^{C_2} \left[\left(\sum_{id=I}^{IV} R_{id} \times ER_1 \times hp \times h \times p \right) \times i_d \right] \tag{4.11}$$

โดยที่ R_{id} คือ อัตราการปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลงได้จากการติดตั้งอุปกรณ์กำจัดมลพิษฯ

i_d คือ เปอร์เซ็นต์การติดตั้งอุปกรณ์ลดมลพิษตั้งแต่ 0% ถึง 100%

ER_1 คือ อัตราการปล่อยมลพิษฯ กรณีฐานของเครื่องยนต์ดีเซล Tier1

hp คือ กำลังของเครื่องจักร (hp)

h คือ จำนวนชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักร (hrs)

p คือ ราคาต่อหน่วยของต้นทุนการป้องกันมลพิษเสมือน (฿/kg)

4.2.2.3 มูลค่าราคาประกวดเสมือน (Q) เป็นมูลค่าตัวแทนของการเสนอราคาค่าก่อสร้างร่วมกับการดำเนินการเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ มูลค่า Q นี้เป็นมูลค่าจากการลบมูลค่า C_C ด้วยมูลค่า E ราคาประกวดเสมือนตามแบบจำลองสัญญา GRIP นี้เป็นราคาเทียบเท่าจากการดำเนินการตามวิธีก่อสร้างทางเลือกใด ๆ มูลค่า Q นี้เป็นมูลค่าที่ใช้เพื่อตัดสินผู้ชนะการประกวดราคางานก่อสร้างตามแบบจำลองสัญญา GRIP ท้ายที่สุดผู้ร่วมประกวดราคาที่มีมูลค่า Q ต่ำสุดจะถูกตัดสินให้เป็นผู้ชนะการประกวดราคาแม้ว่าจะไม่ได้เสนอค่า C ต่ำสุดก็ตาม

4.2.2.4 มูลค่าของการลดการปล่อยมลพิษฯ ในสนาม (E') เป็นมูลค่าเงินที่คำนวณมาจากปริมาณการลดการปล่อยมลพิษฯ ในสนาม เพื่อตรวจสอบว่าผู้รับเหมารายนั้น ๆ สามารถปฏิบัติได้จริงตามที่ได้เสนอไว้ในขั้นตอนของการประกวดราคาก่อนหน้านี้หรือไม่ มูลค่านี้มีความสำคัญในการพิจารณาเงินปรับโทษผู้รับเหมาที่ชนะการประกวด หากไม่มีการบันทึกและ

ตรวจสอบปริมาณการใช้วัสดุ เชื้อเพลิงและเครื่องจักรในสนามที่ดีพอจะส่งผลให้การดำเนินงานตามแบบจำลองสัญญานี้ลดความน่าเชื่อถือลงได้

4.2.2.5 มูลค่าเงินปรับโทษ (P) การศึกษานี้เสนอการกำหนดเงื่อนไขการปรับโทษเข้าไว้ในแบบจำลองสัญญา GRIP ด้วย การปรับโทษนี้เป็นการประยุกต์จากแนวคิดของสัญญาแบบ incentives/disincentives ที่จะเกิดขึ้นเมื่อผู้รับเหมาที่ชนะการประกวดราคาไม่ดำเนินการลดการปล่อยมลพิษฯ ตามที่เคยเสนอไว้ หรือไม่ดำเนินมาตรการลดการปล่อยมลพิษฯ อย่างครบถ้วนทุกประการตามที่ตกลงในสัญญา ซึ่งถือว่าผู้รับเหมาทำผิดสัญญา (breach of contract) และควรถูกปรับค่าปรับ (Penalty: P) มูลค่าเงินค่าปรับมีที่มาจากการที่ผู้รับเหมาที่ชนะการประกวดราคาแต่ภายหลังไม่สามารถดำเนินการก่อสร้างได้ตามวิธีการทางเลือกที่ได้เสนอมาอย่างครบถ้วนสมบูรณ์ ซึ่งทำให้ค่า actual emission deduction (E') ที่ทำได้จริงมีมูลค่าน้อยกว่าค่า proposed emission deduction (E) ที่เสนอไว้ จึงเป็นการเอาเปรียบผู้ร่วมเสนอราคารายอื่นที่แพ้การประกวดราคา จะเห็นได้ว่าการใช้แบบจำลองสัญญา GRIP ให้เกิดความเป็นธรรม จะต้องเพิ่มการตรวจสอบวิธีก่อสร้างจริงและประเมินปริมาณลดการปลดปล่อยมลพิษฯ ที่ทำได้จริง ซึ่งจะตรวจสอบด้วยข้อมูลรายงานภาคสนามของผู้รับเหมา (ผู้ที่ชนะการประกวดราคา) ร่วมกับข้อมูลจากบันทึกการทำงานของผู้ควบคุมงาน (เจ้าของโครงการ) ในระหว่างดำเนินโครงการ รวมถึงการบังคับใช้ค่าปรับอย่างเคร่งครัดก็ถือเป็นประเด็นสำคัญอย่างยิ่งและทำให้แบบจำลองสัญญา GRIP สมเหตุสมผล อัตราการปรับโทษถูกกำหนดไว้สองรูปอัตราขึ้นอยู่กับขนาดความแตกต่างระหว่างค่า E' กับ E

ในกรณีที่ค่า E' แตกต่างกับค่า E ไม่มาก โดยราคาประกวดเสมือนที่ทำได้จริง (actual equivalent bid of lowest bid: Q_1') ยังคงต่ำกว่าราคาประกวดเสมือนที่ต่ำที่สุดลำดับสอง (equivalent bid of second lowest bid: Q_2) กล่าวคือ Q_1' มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ Q_2 จำนวนเงินปรับโทษจะเท่ากับผลต่างของ Q_1' กับ Q_1 การปรับเงินแบบนี้พิจารณาว่าการดำเนินงานเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ในสนามอาจน้อยกว่าที่เสนอไว้ได้ แต่ปริมาณนี้จะต้องไม่มากจนทำให้ผู้ที่เสนอ Q_2 เสียโอกาสในการเป็นผู้ชนะการประกวดราคา สังเกตุได้ว่าหากค่า E' กับค่า E มีค่าใกล้เคียงกันมากจะทำให้ค่า P มีค่าน้อยตามไปด้วย ในขณะที่เมื่อมูลค่า Q_1' สูงกว่า Q_2 มูลค่าเงินปรับโทษจะเพิ่มขึ้นกว่าอัตราแรก การปรับเงินแบบนี้พิจารณาว่าผู้ชนะการประกวดราคารายนี้ไม่ควรเป็นผู้ชนะตั้งแต่แรก จึงกำหนดการปรับโทษให้สูงขึ้นกว่าอัตราปรับโทษแบบแรกเนื่องจากเป็นการทำให้ผู้ประกวดราคารายอื่นเสียโอกาส อัตราปรับโทษที่สูงขึ้นนี้นอกจากการคิดเอาผลต่างของ Q_1' กับ Q_1 แล้วยังมีการบวกเพิ่มจากผลต่างนี้ด้วย

การศึกษานี้เสนออัตราบวกเพิ่ม (x) อยู่ในช่วง 5% - 10% โดยมีสมมุติฐานว่าในกรณีที่ผู้รับเหมาทำผิดเงื่อนไขปฏิบัติบางส่วนเพียง 50% จากที่เสนอไว้ กำหนดให้มูลค่าจ่ายค่างาน Pa ต้องไม่มากกว่าค่า C_C ของผู้รับเหมาที่เสนอราคาต่ำสุด ซึ่งพบว่าอัตราบวกเพิ่มที่เหมาะสมกรณีนี้

เท่ากับ 10% และมีสมมุติฐานว่าในกรณีที่ผู้รับเหมาทำผิดเงื่อนไขปฏิบัติจนทำให้ค่า E' เท่ากับศูนย์ ค่าปรับ P ต้องมีค่ามากกว่าค่า E หรือผลประโยชน์ที่เคยได้รับจากการเสนอราคาก่อนหน้านี้นั่นเอง ซึ่งพบว่าอัตราบวกเพิ่มที่เหมาะสมกรณีนี้เท่ากับ 5% อัตราปรับเพิ่มที่เสนอนี้เป็นอัตรานำร่องที่ได้จากการจำลองในโครงการกรณีศึกษาเพื่อทดลองหาอัตราค่าปรับเพิ่มที่เหมาะสม (แสดงรายละเอียดในบทที่ 5) โดยอัตราบวกเพิ่มที่เหมาะสมนี้ไม่ควรน้อยเกินไปจนผู้ร่วมประกวดราคาจะยอมถูกปรับ แต่ก็ไม่ควรมากไปจนไม่สามารถจ่ายได้หากผู้ประกวดราคารายนั้นๆ ทำผิดเงื่อนไขปฏิบัติ การปรับอัตรานี้จะทำให้ค่า P ยิ่งเพิ่มสูงขึ้นหากค่า E' น้อยมาก ๆ ดังแสดงในสมการที่ (4.12) จำนวนเงินค่าจ้างที่ผู้รับเหมาจะได้รับจากการทำงานก่อสร้างเมื่อแล้วเสร็จทั้งหมดเท่ากับราคาก่อสร้าง C_C หักออกด้วยค่าปรับสูงสุด (maximum penalty: P_{max}) โดยที่ค่าปรับสูงสุดนี้มีที่มาจากสมมุติฐานว่าผู้รับเหมาไม่นำวิธีทางเลือกใดมาปฏิบัติเลยแม้จะเสนอวิธีทางเลือกมาแล้วในขั้นตอนการเสนอราคาก็ตาม ค่า E' จึงมีค่าเท่ากับศูนย์ทำให้ค่า Q_1' มีค่าเท่ากับค่า C_C และสามารถคำนวณค่า P_{max} ได้ด้วยสมการที่ (4.11) จากอัตราปรับโทษแบบที่สอง

$$P = \begin{cases} Q_1' - Q_1 & , \; for \quad Q_1' \le Q_2 \\ x(Q_1' - Q_1) & , \; for \quad Q_1' > Q_2 \end{cases} \tag{4.12}$$

โดยที่ P คือ มูลค่าเงินปรับโทษ

Q_1 คือ มูลค่าราคาประกวดเสมือนของผู้ชนะการประกวดราคา

Q_2 คือ มูลค่าราคาประกวดเสมือนต่ำสุดลำดับสอง

Q_1' คือ มูลค่าราคาประกวดเสมือนที่ทำจริงในสนามของผู้ชนะการประกวดราคา

x คือ อัตราบวกเพิ่มเงินปรับโทษแบบที่สอง

4.2.2.6 มูลค่าเงินจ่ายค่างาน (Pa) การจ่ายเงินค่างานก่อสร้างเป็นการจ่ายเงินตามเงื่อนไขของสัญญาเพื่อเป็นค่าจ้างให้แก่ผู้รับเหมาที่ส่งมอบงานตามผลงานที่แล้วเสร็จ แต่หากผู้รับเหมาที่ชนะการประกวดราคาไม่ดำเนินการเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ตามที่เสนอไว้จะได้รับเงินจ่ายค่างานน้อยลง มูลค่าการจ่ายเงินค่างาน (payment) ในแบบจำลอง GRIP เป็นมูลค่าที่หักเงินค่าปรับโทษแล้ว ผู้รับเหมาที่ชนะการประกวดราคาสามารถได้รับเงินค่าก่อสร้างสูงสุดเท่ากับมูลค่า C_C ที่เสนอ ขณะเดียวกันผู้รับเหมาอาจได้รับเงินค่าก่อสร้างน้อยกว่ามูลค่า C_C ที่เสนอไว้ หากดำเนินการเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ไม่ได้ตามวิธีที่เสนอไว้

มูลค่าสำคัญที่ใช้ในแบบจำลองนี้ประยุกต์ใช้มูลค่าจากการคัดเลือกผู้รับเหมาของสัญญาแบบดั้งเดิม แต่มุ่งให้ความสำคัญเฉพาะขั้นตอนที่เกิดขึ้นภายหลังจากหน่วยงานเจ้าของ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โครงการ คือ การเผยแพร่ประกาศเชิญชวนและเอกสารประกวดราคาเพื่อให้ผู้ที่สนใจขอรับหรือซื้อเอกสารและเข้าร่วมประกวดราคาแล้ว โดยผู้เข้าร่วมประกวดราคาจะถูกประเมินคุณสมบัติเบื้องต้น (pre-qualification) ตามที่เจ้าของโครงการประกาศคุณสมบัติของผู้เข้าร่วมประกวดราคาที่ต้องการ เช่น ประสบการณ์ในงานประเภทเดียวกัน จำนวนบุคลากร จำนวนเครื่องจักร และสถานะทางการเงินเพื่อคัดกรองความเหมาะสมของผู้เข้าร่วมประกวดราคา ผู้รับเหมาที่สามารถแสดงเอกสารหลักฐานครบถ้วนตามเกณฑ์คุณสมบัติเท่านั้นที่จะมีสิทธิ์เข้าร่วมการเสนอราคา มูลค่า E จะถูกคำนวณจากสมการที่ (4.4) ถึงสมการที่ (4.11) โดยเจ้าของโครงการเพื่อหาผู้ชนะการประกวดราคาที่มีค่า Q ต่ำสุด ตามแบบจำลอง GRIP ผู้เข้าร่วมประกวดราคาต้องเตรียมยื่นเสนอราคาด้วยเอกสารสำคัญที่ต้องยื่นเสนอคือราคาค่าก่อสร้างที่รวมกำไรและค่าดำเนินการไว้แล้ว และวิธีทางเลือกเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ที่จะปฏิบัติ ซึ่งสามารถเลือกได้มากกว่าหนึ่งวิธี ผู้ร่วมประกวดราคาต้องประเมินความพร้อมของตนเองในด้านต่าง ๆ ตามกรอบทางเลือกที่ช่วยลดการปล่อยมลพิษฯ ของแบบจำลอง GRIP ทั้ง 6 วิธี เช่น การเลือกใช้เทคนิควิธีการก่อสร้างชั้นพื้นทาง แหล่งวัสดุใกล้สถานที่ก่อสร้าง และการจัดหาเครื่องจักรใหม่ ๆ วิธีทางเลือกเหล่านี้ถูกกำหนดให้มีความยืดหยุ่นตามความสามารถของผู้ร่วมประกวดราคาเท่าที่ตนจะทำได้ ด้วยการให้เสนอในรูปเปอร์เซ็นต์ของการดำเนินการ ข้อมูลสำคัญที่ผู้รับเหมาต้องเสนอมีรายละเอียดดังนี้

- วิธีทางเลือกที่ 1 ยื่นเสนอสูตรผสมน้ำมันไบโอดีเซล (a) และเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซล (b) ที่จะใช้ทั้งโครงการ
- วิธีทางเลือกที่ 2 ยื่นเสนอระยะทางขนส่งวัสดุจากสถานที่ก่อสร้างถึงแหล่งวัสดุที่จะเลือกใช้ (OD)
- วิธีทางเลือกที่ 3 ยื่นเสนอเทคนิคการก่อสร้างที่จะเลือกใช้ในการก่อสร้างชิ้นงานนั้น ๆ (TEC)
- วิธีทางเลือกที่ 4 ยื่นเสนอเปอร์เซ็นต์จำนวนเครื่องจักรรุ่นใหม่กว่า Tier1 ที่จะใช้ในการก่อสร้างทั้งหมด (r_n)
- วิธีทางเลือกที่ 5 ยื่นเสนอเปอร์เซ็นต์จำนวนเครื่องจักรไฮบริดที่จะใช้ในการก่อสร้างทั้งหมด (r_h)
- วิธีทางเลือกที่ 6 ยื่นเสนอเปอร์เซ็นต์จำนวนและชนิดของอุปกรณ์ลดการปล่อยมลพิษฯ ที่จะติดตั้ง (i_d)

อย่างไรก็ตาม การติดตามตรวจสอบการทำงานในสนามเป็นการติดตามผลการดำเนินกิจกรรมของโครงการก่อสร้างถนนตามแบบจำลอง GRIP ที่สำคัญต่อมูลค่า Q_1' ข้อมูลดังกล่าวถูกใช้ประกอบการพิจารณาถึงปริมาณการปล่อยมลพิษฯ เพื่อการตรวจสอบว่าผู้รับเหมาราย

นั้นสามารถปฏิบัติได้จริงตามที่ได้เสนอไว้ในขั้นตอนการเสนอราคาก่อนหน้านี้หรือไม่ หากไม่สามารถทำได้จะนำไปสู่การปรับโทษเงินก่อนการจ่ายค่างานในขั้นตอนถัดไป ข้อมูลนี้มีที่มาจากรายงานปฏิบัติงานภาคสนามของผู้ควบคุมงานในฐานะตัวแทนเจ้าของโครงการร่วมกับรายงานการใช้วัสดุและเครื่องจักรกลของผู้รับเหมา ข้อมูลภาคสนามต้องมีการจัดเก็บทั้งส่วนของเจ้าของโครงการและผู้รับเหมาเพื่อเป็นการตรวจสอบซ้ำ ส่วนของผู้รับเหมามีหน้าที่เสนอรายงานประจำทุกเดือนเพื่อแสดงปริมาณการใช้น้ำมันทั้งไบโอดีเซลและดีเซลปกติที่ใช้จริงของโครงการ ปริมาณวัสดุที่ใช้จากแต่ละแหล่งวัสดุที่ผู้รับเหมาเลือกใช้ ปริมาณงานชั้นพื้นทางที่ใช้เทคนิคการก่อสร้างแต่ละแบบ จำนวน ชนิด ขนาด รุ่นปีที่ผลิตของเครื่องจักรที่ใช้ทำงานในแต่ละวันตลอดทั้งเดือน รวมถึงจำนวนและชนิดของอุปกรณ์ลดการปล่อยมลพิษฯ ที่ใช้จริง ส่วนของเจ้าของโครงการต้องทำรายงานการตรวจสอบ (check list) ประจำวันของผู้ควบคุมงานที่บันทึกการใช้งานเครื่องจักรกลและวัสดุในการก่อสร้างเพื่อสอบเทียบกับรายงานที่ผู้รับเหมาจัดทำขึ้น

4.3 การดำเนินการตามแบบจำลองสัญญา GRIP

รายละเอียดของแบบจำลองสัญญา GRIP ดังที่กล่าวมาข้างต้นแสดงถึงที่มาของวิธีการ ความหมาย และขั้นตอนปฏิบัติเพื่อให้เป็นพื้นฐานต่อการนำไปปรับใช้กับงานก่อสร้างรูปแบบอื่น ๆ ได้ รายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินการตามแบบจำลองนี้ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

4.3.1 ขั้นตอนที่ 1 การเสนอราคาค่าก่อสร้าง

การเสนอราคาค่าก่อสร้าง (construction bid submission) โดยกำหนดให้ตัวแปร C เป็นราคาค่าก่อสร้างที่ผู้รับเหมาแต่ละรายเสนอ แบบจำลองสัญญา GRIP ประยุกต์วิธีประกวดราคาแบบปกติจึงต้องมีองค์ประกอบสำคัญเช่นเดียวกัน คือ ราคาก่อสร้างซึ่งเป็นราคาค่างานที่ผู้รับเหมาแต่ละรายประมาณการจากแบบก่อสร้างและแสดงเป็นบัญชีปริมาณงาน (bill of quantities: BOQ) ของโครงการนั้น ๆ โดยได้รวมกำไรและค่าดำเนินการอื่น ๆ ไว้แล้วด้วย หากเป็นการประกวดราคาด้วยวิธีปกติราคาค่าก่อสร้างนี้จะใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินผู้ชนะการประกวดราคาด้วยราคาค่าก่อสร้างต่ำสุด แต่ในแบบจำลองสัญญา GRIP นี้แม้ผู้รับเหมาจะไม่ได้เสนอราคาค่าก่อสร้างต่ำสุดก็สามารถเป็นผู้ชนะการประกวดราคาได้

4.3.2 ขั้นตอนที่ 2 การเสนอวิธีการก่อสร้างทางเลือกเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ

การเสนอวิธีการก่อสร้างทางเลือกเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ (submission of a proposal of reduction options) เป็นการกำหนดให้ผู้รับเหมาเสนอวิธีลดการปล่อยมลพิษฯ ที่ตนเลือกเพิ่มเข้ามาพร้อมกับการเสนอราคาค่าก่อสร้างด้วย โดยผู้รับเหมาสามารถเลือกได้มากกว่าหนึ่งทางเลือกและจะถูกนำมารวมกันเป็นในภายหลัง วิธีก่อสร้างทางเลือกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและลดการปล่อย

มลพิษฯ กว่าวิธีก่อสร้างแบบดั้งเดิม จะถูกเรียกว่า “วิธีก่อสร้างทางเลือก” โดยทั่วไปแล้วจะมีสาเหตุเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานเชื้อเพลิง ดังนั้นโครงการก่อสร้างถนนที่ต้องใช้ทั้งเครื่องจักรกลขนาดใหญ่และบริโภคเชื้อเพลิงจำนวนมหาศาล การเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจึงส่งผลอย่างมีนัยสำคัญได้ วิธีก่อสร้างทางเลือกนี้จะเป็นการหาทางเลือกที่เป็นไปได้ที่ได้รวบรวมงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง โดยประยุกต์ให้มีความยืดหยุ่นต่อการให้ผู้รับเหมานำไปปฏิบัติเท่าที่ตนจะทำได้ด้วยการกรอกข้อมูลสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ ข.1.4 (แสดงตัวอย่างการป้อนข้อมูลในรูปที่ ข.1.5 ถึงรูปที่ ข.1.5.7) เช่น เสนอในรูปเปอร์เซ็นต์ของเครื่องจักรที่จะเปลี่ยนทดแทนหรือครอบครองอยู่ หรือเปอร์เซ็นต์ของการติดตั้งอุปกรณ์ลดการปล่อยมลพิษฯ เป็นต้น วิธีก่อสร้างทางเลือกนี้จะถูกกำหนดขึ้นเพื่อให้เกิดความเป็นธรรมว่าทุกทางเลือกจะถูกคำนวณบนพื้นฐานวิธีการเดียวกัน และไม่เป็นการเพิ่มภาระแก่ผู้รับเหมาที่จะต้องหาผู้เชี่ยวชาญด้านการประเมินการปล่อยมลพิษฯ มาช่วยพิจารณาในการตัดสินใจ แต่ในทางกลับกันผู้รับเหมาจะสามารถพิจารณาทางเลือกนั้น ๆ ได้ด้วยการประเมินความพร้อมของตนเองที่จะดำเนินการด้วยวิธีทางเลือกใดในขณะก่อสร้างเท่านั้นเอง

4.3.3 ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณมูลค่าของการลดการปล่อยมลพิษฯ

การคำนวณมูลค่าของการลดการปล่อยมลพิษฯ (emission deduction calculation) กำหนดให้ตัวแปร E เป็นมูลค่าของการลดการปล่อยมลพิษฯ จากการรวบรวมงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องและนำมากำหนดเป็นวิธีก่อสร้างทางเลือกในงานก่อสร้างถนนตามแบบจำลองสัญญา GRIP พบว่าแต่ละทางเลือกจะลดปริมาณและประเภทของการปล่อยมลพิษฯ ต่างกันด้วย การนำมาใช้ในแบบจำลองสัญญา GRIP จึงนำปริมาณมลพิษฯ ที่ลดลงได้ดังกล่าวมาแปลงเป็นมูลค่าเงินเพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลการเสนอราคาที่จะใช้ในขั้นตอนต่อไป โดยการใช้ราคาต่อหน่วยของต้นทุนการป้องกันมลพิษเสมือนเป็นตัวคูณแปลงค่า (฿/kg) โดยที่มูลค่า E ดังกล่าวนี้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.4) ถึงสมการที่ (4.11)

4.3.4 ขั้นตอนที่ 4 การคำนวณมูลค่าราคาประกวดเสมือน

การคำนวณมูลค่าราคาประกวดเสมือน (equivalent bid calculation) เป็นขั้นตอนการคำนวณมูลค่าราคาประกวดเสมือนโดยกำหนดให้เป็นตัวแปร Q ราคานี้จะถูกนำมาใช้ตัดสินผู้ชนะการประกวดราคาแทนมูลค่า C_C อีกทั้งมูลค่าราคาประกวดเสมือนนี้จะแปรผันตามมูลค่า E ที่ผู้รับเหมาแต่ละรายเลือกนำไปปฏิบัติและกำหนดให้มูลค่า Q นี้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินผู้ชนะการประกวดราคาตามแบบจำลองสัญญา GRIP ด้วย

4.3.5 ขั้นตอนที่ 5 การติดตามตรวจสอบการทำงาน

การติดตามตรวจสอบการทำงานเป็นติดตามการดำเนินกิจกรรมของโครงการก่อสร้างในสนาม (field monitoring) ที่ใช้แบบจำลองสัญญา GRIP โดยในขั้นตอนนี้จะเป็นการรวบรวมข้อมูล

ภาคสนาม ได้แก่ ปริมาณวัสดุ ลักษณะของเครื่องจักร การติดตั้งอุปกรณ์ลดการปล่อยมลพิษฯ การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ตลอดจนการเลือกวิธีการก่อสร้าง ข้อมูลดังกล่าวถูกใช้ประกอบการพิจารณาถึงปริมาณการปล่อยมลพิษฯ หลังการก่อสร้าง ขั้นตอนนี้จึงเป็นการติดตามตรวจสอบการดำเนินกิจกรรมของโครงการก่อสร้างถนนที่ใช้แบบจำลองสัญญา GRIP เพื่อพิจารณาว่าผู้รับเหมารายนั้น ๆ สามารถปฏิบัติได้จริงตามที่ได้เสนอไว้ในขั้นตอนของการประกวดราคาก่อนหน้านี้หรือไม่

4.3.6 ขั้นตอนที่ 6 การคำนวณเงินจ่ายค่างานหลังคิดค่าปรับโทษแล้ว

การคำนวณเงินจ่ายค่างานหลังคิดค่าปรับโทษแล้ว (financial penalty and payment calculation) การคิดเงินปรับโทษกำหนดเป็นตัวแปร P ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.12) และนำมาคิดเงินจ่ายค่างาน โดยที่มูลค่าของเงินจ่ายค่างานต้องหักเงินปรับโทษเสียก่อน แต่ผู้รับเหมาอาจได้รับเงินค่างานเต็มจำนวนที่เสนอมาหากไม่มีการปรับโทษ หรือ P เท่ากับศูนย์นั่นเอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
การประเมินความสามารถเบื้องต้นของแบบจำลองสัญญา GRIP

กระบวนการศึกษานี้เป็นการประเมินความเป็นไปได้ในการนำแบบจำลองสัญญา GRIP ไปปฏิบัติจริง โดยเป็นการประเมินที่มีความจำเป็นต่อการพัฒนาและเสนอแบบจำลองสัญญาแบบใหม่ 2 ส่วนสำคัญ คือ การประเมินความเป็นไปได้ของการใช้มูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ เป็นเงื่อนไขจูงใจให้ผู้รับเหมาแข่งขันลดการปล่อยมลพิษฯ ด้วยการจำลองการประกวดราคาด้วยแบบจำลองสัญญา GRIP ที่พัฒนาขึ้น และการประเมินผลตอบรับเบื้องต้นจากผู้ที่เกี่ยวข้องต่อการนำแบบจำลองสัญญา GRIP ไปปฏิบัติก่อนนำไปทดลองใช้จริง การประเมินนี้ถือเป็นการประเมินความสามารถเบื้องต้นของแบบจำลองสัญญา GRIP ก่อนการกำหนดใช้แทนสัญญาแบบเดิมด้วย รายละเอียดการประเมินแสดงได้ดังนี้

5.1 การประเมินเป็นไปได้ของเงื่อนไขจูงใจในแบบจำลองสัญญา GRIP

ก่อนการนำเสนอแบบจำลองสัญญา GRIP ต้องมีการทดสอบว่าเกณฑ์ตัดสินผู้ชนะการประกวดราคาของแบบจำลองสัญญานี้สามารถทำให้ผู้รับเหมาที่ไม่ได้เสนอราคาค่าก่อสร้างต่ำสุดเป็นผู้ชนะการประกวดได้ตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้หรือไม่ หากผลการทดสอบแบบจำลองสัญญานี้พบว่าไม่มีความสามารถตามเป้าหมายต้องมีการปรับปรุงรายละเอียดของแบบจำลองสัญญา แต่หากมีความสามารถตรงตามเป้าหมายแล้วขั้นตอนต่อไปจะเป็นการประเมินผลตอบรับด้วยเทคนิค AHP ผ่านแบบสอบถามในหัวข้อที่ 5.2 ต่อไป การทดสอบถูกดำเนินการผ่านโครงการกรณีศึกษาตัวอย่าง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1.1 ลักษณะทั่วไปของโครงการกรณีศึกษา

กรณีศึกษาซึ่งมีลักษณะเป็นโครงการก่อสร้างถนนของกรมทางหลวงสายหนึ่งที่มีการประกวดราคาและได้ผู้ชนะการประกวดราคาด้วยราคาค่าก่อสร้างต่ำสุดแล้วเมื่อปี พ.ศ. 2554 ตามเกณฑ์ พ.ร.บ. จัดซื้อจัดจ้าง พ.ศ. 2535 และที่แก้ไขเพิ่มเติม (กรมบัญชีกลาง, 2549) โครงการกรณีศึกษานี้เป็นงานก่อสร้างเพื่อขยายถนนทางหลวงจาก 2 ให้เป็น 4 ช่องจราจร ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ระยะทางประมาณ 27.700 กิโลเมตร ประกวดราคา ณ เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2554 ระยะเวลาก่อสร้างตามสัญญา 720 วัน มีผู้ยื่นเสนอราคาจำนวน 4 รายประกอบด้วย ผู้รับเหมา ก. ถึงผู้รับเหมา ง. ด้วยราคาค่าก่อสร้างจากต่ำสุด 419,500,100.00 บาท จนถึงราคาสูงสุด 442,258,730.00

บาท ตามลำดับ ผลต่างของราคาที่เสนอของผู้ชนะการประกวดราคา (ผู้รับเหมา ก.) เทียบกับผู้เสนอราคารายอื่นเรียงจากน้อยไปหามากคิดเป็น 1.27% สำหรับผู้รับเหมา ข. ถึง 5.43% สำหรับผู้รับเหมา ง. ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ราคาค่าก่อสร้างของโครงการกรณีศึกษาที่ผู้รับเหมาแต่ละรายยื่นเสนอ

ผู้ร่วมประกวดราคา	ราคาค่าก่อสร้าง (บาท)	ผลต่างราคาที่เสนอ (บาท)	% ผลต่าง
ผู้รับเหมา ก.*	419,500,100.00	-	-
ผู้รับเหมา ข.	424,812,875.00	5,312,775.00	1.27%
ผู้รับเหมา ค.	425,271,970.00	5,771,870.00	1.38%
ผู้รับเหมา ง.	442,258,730.00	22,758,630.00	5.43%

หมายเหตุ: * ผู้ชนะการประกวดราคาด้วยเกณฑ์ราคาค่าก่อสร้างต่ำสุด

5.1.2 การกำหนดแบบฟอร์มเอกสารในวันเสนอราคา

แบบจำลองสัญญา GRIP นี้กำหนดให้ผู้ร่วมประกวดราคาเสนอวิธีทางเลือกเพื่อคำนวณค่า E ของตนเป็นขั้นตอนที่เพิ่มขึ้นจากการเสนอราคาค่าก่อสร้างเพียงอย่างเดียวในการประกวดราคาแบบปกติ ข้อมูลที่สำคัญในขั้นตอนดังกล่าว (ดังแสดงในหัวข้อที่ 4.2.2) จำเป็นต้องถูกเก็บรวบรวมใน 2 ช่วง คือ ช่วงเสนอราคาและช่วงระหว่างก่อสร้าง ข้อมูลเหล่านี้ส่งผลโดยตรงต่อการตัดสินผู้ชนะการประกวดราคาและการคิดค่าปรับโทษก่อนจ่ายค่างาน ตามลำดับ สำหรับการรวบรวมข้อมูลในช่วงระหว่างการก่อสร้างนั้นสามารถใช้ข้อมูลจากการบันทึกการทำงานที่ผู้รับเหมานำเสนอเป็นประจำทุกเดือนเพื่อแสดงถึงการดำเนินการจริงในสนามระหว่างก่อสร้าง ในขณะที่ข้อมูลสำคัญช่วงการเสนอราคาผู้ร่วมประกวดราคาแต่ละรายอาจมีการเสนอมาในรูปแบบที่แตกต่างกันได้ (ดังแสดงในรูปที่ ข.1.1 ถึงรูปที่ ข.1.3) เพื่อความสะดวกในการเสนอข้อมูลสำคัญนี้และทำให้ข้อมูลที่ผู้ร่วมประกวดราคาทุกรายเสนอเข้ามาสามารถนำมาคำนวณค่า E และเปรียบเทียบกันได้โดยง่ายจึงควรมีการเสนอข้อมูลนี้ด้วยแบบฟอร์มเอกสารเดียวกันทุกราย

การศึกษานี้ได้เสนอแบบฟอร์มเอกสารที่ใช้ในการนำเสนอข้อมูลสำคัญเหล่านี้ในรูปแบบตารางเสนอข้อมูล ตารางนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ส่วนของรายการข้อมูลสำคัญของแต่ละวิธีทางเลือกทั้ง 6 วิธี โดยส่วนนี้เป็นการแสดงรายการข้อมูลสำคัญเพื่อให้ผู้ร่วมประกวดราคาสามารถประเมินการปฏิบัติตามแนวทางลดการปล่อยมลพิษฯ ของแบบจำลองสัญญา GRIP ที่ตนสามารถทำได้ การแสดงรายการให้ผู้เสนอราคาเห็นภาพรวมข้อมูลทั้งหมดจะช่วยให้การตัดสินใจเลือกวิธีทางเลือกใด ๆ ทำได้ง่ายขึ้น และส่วนที่ 2 ส่วนของปริมาณการดำเนินการหรือการปฏิบัติใช้ตามวิธีทางเลือกของแบบจำลองสัญญา GRIP (ปริมาณที่เสนอในช่องที่

(2)) ข้อมูลในส่วนนี้เป็นส่วนสำคัญที่ผู้เสนอราคาต้องป้อนปริมาณที่อาจแสดงในรูปเปอร์เซ็นต์ของการใช้งานและการปฏิบัติ หรืออาจแสดงในรูปของปริมาณต่อหน่วยก็ได้ เช่น ปริมาณการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในวิธีทางเลือกที่ 1 จำนวน 1,000 L หรือการก่อสร้างชั้นพื้นทางด้วย S_{pt} หรือ S_{pc} หรือ CR_B ในวิธีทางเลือกที่ 3 จำนวน 30,000 m^3 หรือเครื่องจักรที่ใหม่กว่า Tier1 ที่ใช้งานในวิธีทางเลือกที่ 4 จำนวน 2 คัน หรือจำนวนเครื่องจักรไฮบริดที่ใช้งานในวิธีทางเลือกที่ 5 จำนวน 5 คัน หรือในวิธีทางเลือกที่ 6 ป้อนข้อมูลการติดตั้งอุปกรณ์ DOC จำนวน 1 คัน และติดตั้งอุปกรณ์ SCR+DPF จำนวน 3 คัน เป็นต้น ปริมาณดังกล่าวสามารถแสดงในรูปเปอร์เซ็นต์การปฏิบัติได้ด้วยการนำปริมาณมาคำนวณเปรียบเทียบกับปริมาณทั้งหมด (ช่องที่ (1)) จากการคำนวณและแสดงไว้โดยเจ้าของโครงการก่อนวันเสนอราคา ตัวอย่างรายละเอียดของแบบฟอร์มตารางนำเสนอข้อมูลสำคัญตามแบบจำลองสัญญา GRIP ในวันประกวดราคาดังกล่าวแสดงในรูปที่ 5.1

ตัวอย่างแบบฟอร์มกรอกข้อมูลสำคัญตามแบบจำลองสัญญา GRIP

สัญญาเลขที่ .....

ชื่อโครงการฯ .....

ชื่อผู้ประกอบการที่เสนอข้อมูล .....

ที่	วิธีทางเลือก	ข้อมูลสำคัญ		ปริมาณ	
		ตัวเลือกการดำเนินการตามแบบจำลองสัญญา GRIP	สัญลักษณ์	ทั้งหมด (หน่วย) (1)	ที่เสนอ (หน่วย) (2)
1	การเลือกใช้น้ำมันไบโอดีเซลแทนน้ำมันดีเซล	1.1 สูตรผสมน้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ได้	a	..... %	..... %
		1.2 ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ได้	b	..... ลิตร	..... ลิตร
2	การเลือกใช้แหล่งวัสดุใกล้สถานที่ก่อสร้าง	2.1 ระยะทางขนส่งวัสดุจากสถานที่ก่อสร้างถึงแหล่งวัสดุที่เลือกใช้ได้	OD	..... กม.	..... กม.
3	การเลือกเทคนิคการก่อสร้างที่เหมาะสม	3.1 ปริมาณการก่อสร้างชั้นพื้นทางด้วย Soil Cement Base (mix-in-plant) ที่เลือกใช้ได้	S_{pt}	..... ลบ.ม.	..... ลบ.ม.
		3.2 ปริมาณการก่อสร้างชั้นพื้นทางด้วย Soil Cement Base (mix-in-place) ที่เลือกใช้ได้	S_{pc}	..... ลบ.ม.	..... ลบ.ม.
		3.3 ปริมาณการก่อสร้างชั้นพื้นทางด้วย Crushed Rock Base ที่เลือกใช้ได้	CR_B	..... ลบ.ม.	..... ลบ.ม.
4	การเปลี่ยนใช้เครื่องจักรรุ่นใหม่ทดแทน	4.1 จำนวนเครื่องจักรใหม่กว่า Tier 1 ที่ใช้ได้	n_n	..... คัน	..... คัน
5	การเปลี่ยนใช้เครื่องจักรแบบไฮบริด	5.1 จำนวนเครื่องจักรไฮบริดที่ใช้ได้	n_h	..... คัน	..... คัน
6	การติดตั้งอุปกรณ์ลดการปล่อยก๊าซฯ แก่เครื่องจักร	6.1 จำนวนการติดตั้งอุปกรณ์แต่ละชนิดที่ใช้ได้	i_d	..... คัน	..... คัน

คำชี้แจง:
1. จำนวนชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรทั้งหมดคำนวณจาก "อัตราการทำงานของชุดมาตรฐานเครื่องจักรก่อสร้างทาง 1 ชุด (ข้อมูลปี พ.ศ.2548)" ของกรมทางหลวง
2. ช่องที่ (1) ปริมาณน้ำมันและวัสดุที่ใช้งานทั้งหมดคำนวณจากชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักร
3. ช่องที่ (1) จำนวนเครื่องจักรที่ใช้งานคิดจากจำนวนเครื่องจักรขั้นต่ำตามเกณฑ์การประเมินผู้รับหมาเบื้องต้นของกรมทางหลวง
4. ช่องที่ (1) จะถูกป้อนข้อมูลก่อนการเสนอราคาโดยตัวแทนเจ้าของโครงการ
5. ช่องที่ (2) จำนวนเครื่องจักรที่เสนอโดยผู้เสนอราคาแต่ละราย

รูปที่ 5.1 ตัวอย่างแบบฟอร์มกรอกข้อมูลสำคัญตามแบบจำลองสัญญา GRIP ในวันประกวดราคา

5.1.3 ตัวอย่างการคำนวณมูลค่า E ของโครงการกรณีศึกษา

ตัวอย่างการคำนวณมูลค่า E ของโครงการกรณีศึกษา เป็นการจำลองสถานการณ์เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นต่อการคำนวณหาค่า E_1 ถึง E_6 ในสมการที่ (4.4) ถึงสมการที่ (4.11) ด้วยสมมุติฐานและข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

วิธีทางเลือกที่ 1 ปริมาณน้ำมันที่ใช้ทั้งโครงการของกรณีศึกษา คำนวณด้วยสมการที่ (4.5) โดยใช้ข้อมูลวัสดุจาก BOQ และคำนวณเป็นปริมาณน้ำมันที่ต้องใช้ทั้งโครงการเท่ากับ 1,067,504 L ดังแสดงในรูปที่ ข.1.2 จากสมมุติฐานการคำนวณให้รถบรรทุกสิบล้อรุ่น ฮิโน่ P11CU-VU เป็นตัวแทนของรถบรรทุกดินและรถบรรทุกน้ำ และให้รถบดดินรุ่น CASE 1107 EX เป็นตัวแทนของรถบดอัดดินขนาด 10 ตันทุกประเภทที่ใช้ในการคำนวณนี้ นำมาใช้เปรียบเทียบกับปริมาณที่ผู้รับเหมาเลือกวิธีทางเลือกนี้ไปปฏิบัติ ดังแสดงตัวอย่างการคำนวณมูลค่า E_1 ของผู้รับเหมา ง ในรูปที่ ข.2.1 และของผู้รับเหมา ค ในรูปที่ ข.2.2

วิธีทางเลือกที่ 2 คำนวณระยะทางการขนส่งวัสดุ เป็นการนำเอาระยะทางขนส่งวัสดุทั้งหมดจาก BOQ มาสร้างเป็นแผนที่จำลองระยะทางขนส่งวัสดุทั้งหมด (รูปที่ ก.2.1) ทีละแหล่งวัสดุจนครบตามปริมาณวัสดุที่ต้องใช้งานทั้งโครงการ เพื่อทำการเปรียบเทียบระยะทางรวมจากแหล่งแนะนำกับแหล่งที่ผู้รับเหมาเลือกใช้ การจำลองนี้มีข้อจำกัดถึงการกำหนดแหล่งวัสดุดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสมมุติให้ระยะทางแนะนำทั้งหมดเท่ากับ 10 km ในขณะที่ระยะทางที่ผู้รับเหมา ง เลือกใช้เท่ากับ 3 km และระยะทางที่ผู้รับเหมา ค เลือกใช้เท่ากับ 2.5 km สำหรับค่า EF ในแบบการจำลองนี้สมมุติใช้ค่า 2.711 kg CO_2eq/L จากข้อมูลของ IPCC (2006b) ซึ่งเป็นค่าที่ผู้รับเหมาสามารถเข้าสืบค้นได้โดยง่ายจากเว็บไซต์เมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงค่านี้ในอนาคต และสมมุติใช้ค่า FC เท่ากับ 0.245 L/km จากข้อมูลรถบรรทุกเช่นเดียวกับวิธีทางเลือกที่ 1 ด้วยข้อมูลสถิติอัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถบรรทุกจากสำนักเครื่องกลและสื่อสาร กรมทางหลวง (กรมทางหลวง, 2558) ใช้สมการที่ (4.6) และสมการที่ (4.7) คำนวณมูลค่า E_2 ดังแสดงในรูปที่ ข.2.1 และในรูปที่ ข.2.2 ตามลำดับ

วิธีทางเลือกที่ 3 โครงการกรณีศึกษานี้ถูกสมมุติให้นำเอาลักษณะการก่อสร้างชั้นพื้นทาง (base course) ในงานก่อสร้างถนนที่ให้พิจารณาเลือกเทคนิคการก่อสร้างตามความเหมาะสมของแต่ละโครงการฯ ได้มาเป็นมูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ หรือตัวแปร TEC ในสมการที่ (4.7) ของแบบจำลองสัญญา GRIP โดยที่มูลค่าดังกล่าวของวิธีทางเลือกนี้มีที่มาจากการเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยมลพิษฯ เมื่อก่อสร้างชั้นพื้นทางของถนนโดยใช้เทคนิคการก่อสร้าง 3 เทคนิค คือ การก่อสร้างชั้นพื้นทางด้วยวัสดุหินคลุก (crushed rock base: CR_B) การก่อสร้างชั้นพื้นทางด้วยวัสดุดินซีเมนต์ผสมในโรงผสม (soil cement base mix in-plant: S_{pt}) และการก่อสร้างชั้นพื้นทางด้วยวัสดุดินซีเมนต์ผสมในที่ (soil cement base mix in-place: S_{pc}) ปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ด้วยเทคนิคทั้ง

3 ถูกคำนวณจากปริมาณทรัพยากรที่ใช้งานในเทคนิคนั้น ๆ (ดังแสดงในตารางผนวกที่ ก.2.1 และรูปที่ ก.2.7) การใช้ทรัพยากรดังกล่าวประกอบด้วย 1) วัสดุที่คำนวณปริมาณวัสดุจากการประมาณด้วยปริมาณงานจากหน้าตัดทั่วไปของกรณีศึกษา ซึ่งแสดงการคำนวณในรูปที่ ก.2.2 และรูปที่ ก.2.3 2) เครื่องจักรกลที่คำนวณจำนวนเครื่องจักรใช้งานจากอัตราการทำงานของชุดเครื่องจักรมาตรฐานต่อปริมาณงาน โดยใช้ข้อมูลอ้างอิงจากอัตราการทำงานของชุดมาตรฐานเครื่องจักรในรูปที่ ก.2.4 การจัดชุดทำงานของเครื่องจักรในรูปที่ ก.2.5 ของกรมทางหลวง และอัตราการทำงานของเครื่องจักรที่โรงงานผสมในรูปที่ ก.2.6 จากข้อมูลการสัมภาษณ์และเก็บข้อมูลในสนาม และ 3) พลังงานซึ่งมีปริมาณพลังงานที่ใช้คำนวณจากระยะทางขนส่งวัสดุจากการคำนวณในรูปที่ ก.2.1 และประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรกลหนักแต่ละชนิดที่ได้จากคู่มือประสิทธิภาพของผู้ผลิต (Caterpillar, 2014) ร่วมกับเอกสารข้อมูลสถิติอัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถบรรทุกจากสำนักเครื่องกลและสื่อสาร กรมทางหลวง รวมถึงจากการสัมภาษณ์ผู้รับจ้างถึงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่โรงงานผสมวัสดุด้วย พลังงานที่ใช้ถูกป้อนเป็นข้อมูลสารขาเข้าในโปรแกรม SimaPro เวอร์ชั่น 8.0 (SimaPro, 2013) ดังแสดงในรูปที่ ก.2.1 ถึง รูปที่ ก.2.8 เพื่อคำนวณปริมาณสารขาออก หรือปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ในแต่ละเทคนิค ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ปริมาณการใช้ทรัพยากรและระยะทางการขนส่งวัสดุ

Description	Materials			Energy		Transport	Emission	Reduction
	agg. (ton)	soil (ton)	cement (ton)	diesel (kg)	electricity (GJ)	hauling dist. (km/trip)	CO_2eq (kg/km)	(%)
CR_B	11,525	-	-	9,811	-	66.0	$9.955x10^4$	50.3
S_{pc}	-	16,249	203.1	13,031	-	16.0	$16.818x10^4$	16.1
S_{pt}	-	16,249	203.1	12,351	369	20.1	$20.045x10^4$	-

หมายเหตุ: * สมมุติให้ดินที่ใช้มีค่า LL. และ PI. ไม่เกินค่ากำหนดที่ต้องเติมปูนขาวเป็นวัสดุผสมเพิ่มอีก

ปริมาณการปล่อยมลพิษฯ แสดงว่าการก่อสร้างด้วย CR_B เป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดในการลดการปล่อยมลพิษฯ และเทคนิค S_{pt} มีการปล่อยมลพิษฯ มากที่สุดเมื่อเทียบกับการก่อสร้างด้วยเทคนิคอื่น ๆ ดังนั้น ในกรณีศึกษานี้เทคนิค S_{pt} ถูกกำหนดเป็นการก่อสร้างวิธีปกติกรณีฐาน โดยที่ให้เทคนิค S_{pc} และเทคนิค CR_B เป็นวิธีทางเลือก ปริมาณการปล่อยมลพิษฯ จากการเลือกเทคนิคการก่อสร้างมีค่าลดลง 0%, 16.1% และ 50.3% เมื่อผู้รับเหมาเลือกเทคนิค S_{pt}, S_{pc} และ CR_B ตามลำดับ ทำนองเดียวกับ 2 วิธีทางเลือกก่อนหน้านี้ มูลค่าต่อหน่วยน้ำหนักของมลพิษฯ ที่ถูกปลดปล่อยและปริมาณวัสดุทั้งหมดที่ใช้ก่อสร้างงานชั้นพื้นทางจะถูกนำมาเป็นตัวแปรสำคัญเพื่อหาค่า E_3 ในสมการที่ (4.7) ด้วย โดยมีพารามิเตอร์สำคัญประกอบด้วย เปอร์เซ็นต์การปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลงได้

หรือ TEC (0%, 16.1%, 50.3% /m^3) อัตราการปล่อยมลพิษฯ เมื่อใช้เทคนิค S_{pt} เป็นเทคนิคกรณีฐาน เท่ากับ 60 kg CO_2eq/m^3 และปริมาณวัสดุที่ใช้ก่อสร้างงานชั้นพื้นทาง 67,500 m^3 แสดงตัวอย่างการคำนวณมูลค่า E_3 ด้วยสมการที่ (4.8) ของผู้รับเหมา ง ผู้รับเหมา ค และของผู้รับเหมา ข ในรูปที่ ข.2.1 ถึงรูปที่ ข.2.3 ตามลำดับ

วิธีทางเลือกที่ 4 พิจารณาจากการเก็บข้อมูลการใช้งานเครื่องจักรในสนาม พบว่าเครื่องจักรในงานก่อสร้างถนนส่วนใหญ่มีขนาดเครื่องยนต์ 100 – 175 hp (อยู่ในช่วง 75 – 130 kW ในรูปที่ ก.3.1) ดังนั้นในการจำลองกรณีศึกษานี้จึงเลือกขนาดของเครื่องยนต์ในช่วง 100 – 175 hp นี้เป็นตัวแทนเพื่อกำหนดปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ในแต่ละ Tier และกำหนดค่าการปล่อยมลพิษฯ จากปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ที่ยอมให้ตามข้อกำหนดมาตรฐานการปล่อยมลพิษของ EPA (2016) เพื่อคำนวณปริมาณลดการปล่อยมลพิษฯ ของการเปลี่ยนเครื่องจักรใหม่ในแต่ละ Tier เปรียบเทียบกับเครื่องจักรกรณีฐานต่อไป เช่น ปริมาณลดการปล่อย NOx จากเครื่องจักร Tier1 มาใช้เครื่องจักร Tier4f ในตารางที่ 5.3 มีค่าเท่ากับ 95.7% โดยคำนวณจากปริมาณการปล่อย NOx ของเครื่องจักร Tier4f เท่ากับ 0.4 g/kW เปรียบเทียบกับค่าการปล่อย NOx ของเครื่องจักร Tier1 เท่ากับ 9.2 g/kW เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ลดการปล่อยมลพิษฯ ที่ทำได้ หรือแสดงเปอร์เซ็นต์ดังกล่าวในรูปตัวเลขเท่ากับ ((9.2 – 0.4)/9.2)×100% คือ 95.7% เป็นต้น ทำการคำนวณในลักษณะเดียวกันกับทุกระดับชั้น Tier แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ลดการปล่อยมลพิษฯจากระดับชั้น Tier1 กับ Tier2 Tier3 Tier4 และ Tier4f ในตารางที่ 5.3 เพื่อนำมาจำลองและแสดงตัวอย่างการคำนวณหามูลค่า E_4 ด้วยสมการที่ (4.9) ของผู้รับเหมา ง ในรูปที่ ข.2.1 และผู้รับเหมา ค ในรูปที่ ข.2.2

ตารางที่ 5.3 อัตราการปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลงได้เมื่อเปลี่ยนเครื่องจักรใหม่กว่า Tier1 (R_m)

Emissions reduction	NOx (I)	HC (II)	PM (III)	CO (IV)
Tier 1	-	-	-	-
Tier 2	-	-	62.5%	9.1%
Tier 3	62.0%	-	62.5%	9.1%
Tier 4i	62.0%	69.2%	97.5%	9.1%
Tier 4f	95.7%	85.4%	97.5%	9.1%

วิธีทางเลือกที่ 5 สามารถทำการคำนวณมูลค่า E_5 ได้ลักษณะเดียวกับวิธีทางเลือกการเปลี่ยนเครื่องจักรใหม่ก่อนหน้านี้ แต่วิธีทางเลือกนี้สมมุติให้เครื่องจักรในระดับ Tier1 ก่อนการเปลี่ยนทดแทนมาเป็นเครื่องจักรในระดับ Tier4f แล้วบวกเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเครื่องยนต์

ไฮบริดอีก 10% ของเครื่องจักรวอลโว่รุ่น L220F Hybrid แสดงค่าอัตราการปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลงได้เมื่อเปลี่ยนเครื่องจักรไฮบริด ดังตารางที่ 5.4 และแสดงตัวอย่างการคำนวณมูลค่า E_5 ของผู้รับเหมา ข ในรูปที่ ข.2.2

ตารางที่ 5.4 อัตราการปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลงได้เมื่อเปลี่ยนเครื่องจักรไฮบริด (R_{rh})

Emissions reduction	NOx (I)	HC (II)	PM (III)	CO (IV)
Tier4f+Hybrid	100%	93.9%	100%	10.1%

วิธีทางเลือกที่ 6 จากการทบทวนงานวิจัยและเอกสารผู้ผลิตหลายราย พบว่าอุปกรณ์เหล่านี้มีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยมลพิษฯ ต่างกันในแต่ละผู้ผลิต (DCL, 2015; EPA, 2005; Johnson Matthey, 2015; MECA, 2007; World Bank, 2014) ซึ่งมีค่าระหว่าง 5% - 90% ดังแสดงในรูปที่ ก.5.1 เพื่อคำนวณมูลค่า E_6 ของวิธีทางเลือกนี้ตามแบบจำลองสัญญา GRIP ควรต้องพิจารณาถึงความคุ้มค่าต่อการลงทุนร่วมด้วย การจำลองนี้จึงมีสมมุติฐานต่อความคุ้มค่าในการลงทุนว่าจะเลือกพิจารณาเฉพาะอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพลดการปล่อยมลพิษฯ (NOx และ PM) ลงได้มากกว่า 50% ขึ้นไป (แสดงในรูปที่ ก.5.2) มาใช้ในทางเลือกนี้เท่านั้น นอกจากนี้ ยังมีสมมุติฐานถึงระดับชั้น Tier ของเครื่องจักรที่จะติดตั้งว่าทั้งหมดจัดอยู่ในระดับชั้น Tier1 ก่อนเช่นเดียวกับวิธีทางเลือกที่ 5 และวิธีทางเลือกที่ 6 ก่อนหน้านี้ แล้วจึงบวกเพิ่มประสิทธิภาพของการลดการปล่อยมลพิษฯ (ดูตารางที่ 5.5) อีกครั้งหนึ่งตามชนิดของอุปกรณ์ที่ติดตั้ง แล้วใช้สมการที่ (4.11) คำนวณมูลค่า E แสดงตัวอย่างการคำนวณมูลค่า E_6 ของผู้รับเหมา ค ในรูปที่ ข.2.2

ตารางที่ 5.5 อัตราการปล่อยมลพิษฯ ที่ลดลงได้เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ลดการปล่อยมลพิษฯ (R_{id})

Emissions reduction	NOx (I)	HC (II)	PM (III)	CO (IV)
Tier3+DOC (S_1)	62%	-	68.75%	15.47%
Tier3+DPF (S_2)	62%	-	100%	14.56%
Tier3+SCR (S_3)	100%	-	78.13%	13.65%
Tier3+SCR+DPF (C_1)	100%	-	100%	17.29%
Tier3+EGR+DPF (C_2)	99.2%	-	100%	14.56%

5.1.4 รายละเอียดการจำลองการเสนอวิธีทางเลือกของโครงการกรณีศึกษา

รูปแบบการเสนอราคาประกวดเสมือนเพื่อนำมาตัดสินผู้ชนะการประกวดราคาของโครงการกรณีศึกษาถูกจำลองโดยให้สมมุติฐานว่า ผู้รับเหมารายที่เสนอราคาค่าก่อสร้างสูงสุด (ผู้รับเหมา ง.) จะเลือกวิธีการก่อสร้างทางเลือกหลายวิธีพร้อมกัน 4 วิธี คือ วิธีทางเลือกที่ 1 ร่วมกับวิธีทางเลือกที่ 2, 3 และ 4 (E_1, E_2, E_3, E_4) ลำดับถัดมาสมมุติให้ผู้รับเหมาที่เสนอราคาสูงสุดลำดับที่ 2 (ผู้รับเหมา ค.) เลือกวิธีทางเลือกหลายวิธีแต่ละวิธีเลือกทำเพียงเล็กน้อย คือ วิธีทางเลือกที่ 1 ร่วมกับวิธีทางเลือกที่ 2, 3, 4 และ 6 และให้ผู้รับเหมาที่เสนอราคาต่ำสุดลำดับที่ 2 (ผู้รับเหมา ข.) เลือกวิธีทางเลือกที่ดำเนินการได้ง่ายเพียง 2 วิธี คือ วิธีทางเลือกที่ 3 และ 5 ในขณะที่ผู้รับเหมารายที่เสนอราคาค่าก่อสร้างต่ำสุด (ผู้รับเหมา ก.) จะไม่เลือกปฏิบัติวิธีการก่อสร้างทางเลือกใด ๆ เลย มูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ (Q) สามารถคำนวณจากบัญชีปริมาณงาน (BOQ) ดังแสดงรูปที่ ข.1.2 ถึงรูปที่ ข.1.3 และจากข้อมูลสำคัญที่ยื่นเสนอในรูปที่ ข.1.5 ถึงรูปที่ ข.1.7 ขั้นตอนรายละเอียดมูลค่า E_1 ถึง E_6 ของผู้รับเหมา ง. ถึงผู้รับเหมา ข. แสดงในรูปที่ ข.2.1 ถึงรูปที่ ข.2.3 ตามลำดับ ข้อมูลสรุปมูลค่าสำคัญเพื่อหาราคาประกวดเสมือนของโครงการกรณีศึกษานี้แสดงในรูปที่ ข.2.4 และนำเสนอผลการประกวดราคาด้วยเกณฑ์ของแบบจำลองสัญญา GRIP แสดงในตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 จำลองการเสนอราคาประกวดเสมือนของโครงการกรณีศึกษา

ผู้ร่วมประกวดราคา	ราคาค่าก่อสร้าง (C_C)	ผลต่างราคาที่เสนอ	% ผลต่าง	มูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ (E)	ราคาประกวดเสมือน (Q)
ผู้รับเหมา ก.*	419,500,100.00	-	-	-	419,500,100.00
ผู้รับเหมา ข.	424,812,875.00	5,312,775.00	1.27%	8,070,977.27	416,741,897.73
ผู้รับเหมา ค.	425,271,970.00	5,771,870.00	1.38%	20,437,231.97	404,834,738.03
ผู้รับเหมา ง.**	442,258,730.00	22,758,630.00	5.43%	41,589,587.14	400,669,142.86

หมายเหตุ: 1) * ผู้ชนะการประกวดด้วยเกณฑ์ราคาค่าก่อสร้างต่ำสุด, 2) ** ผู้ชนะการประกวดด้วยเกณฑ์แบบจำลองสัญญา GRIP

ผลจากการจำลองสถานการณ์การประกวดราคาเพื่อทดสอบแบบจำลองสัญญา GRIP กับโครงการกรณีศึกษา พบว่าสัญญาแบบใหม่ที่นำเสนอนี้มีความสามารถตรงตามวัตถุประสงค์ของการใช้มูลค่า E ให้เป็นมูลค่าสำคัญต่อการตัดสินให้ผู้ร่วมประกวดราคาที่ไม่ได้เสนอราคาค่าก่อสร้างต่ำสุดเป็นผู้ชนะการประกวดราคาได้ โดยที่ผู้ร่วมประกวดราคารายนั้นต้องเสนอวิธีทางเลือกมากพอที่จะทำให้มูลค่า E มีค่ามากกว่าผลต่างของราคาค่าก่อสร้างของตนกับผู้ร่วมประกวดราคารายที่เสนอราคาค่าก่อสร้างต่ำสุด หรือกล่าวได้ว่ามากพอที่จะทำให้มูลค่าราคา

ประกวดเสมือนของตนมีค่าต่ำสุดได้นั่นเอง ดังนั้นเงื่อนไขพิเศษที่เพิ่มในแบบจำลองสัญญา GRIP สามารถใช้เป็นเครื่องมือของภาครัฐในการสนับสนุนการดำเนินการลดการปล่อยมลพิษฯ ได้อย่างน่าพอใจระดับหนึ่ง

5.1.5 ตัวอย่างการคำนวณมูลค่า Pa ของโครงการกรณีศึกษา

การคำนวณมูลค่า Pa ต้องมีการคำนวณมูลค่าสำคัญที่จำเป็นก่อนหน้า คือ ค่าปรับโทษ และเพื่อป้องกันการผิดเงื่อนไขปฏิบัติการกำหนดอัตราปรับโทษต้องมีความเหมาะสมด้วย การกำหนดมูลค่าเงินปรับโทษในการศึกษานี้กำหนดไว้สองอัตราขึ้นอยู่กับความคลาดเคลื่อนของปริมาณการปล่อยมลพิษฯ ที่เสนอไว้กับที่ปฏิบัติจริงในสนาม อัตราปรับแบบแรกคิดเฉพาะส่วนที่ต่างจากที่เสนอไว้ในวันประกวดราคาทำให้การคำนวณทำได้โดยง่าย แต่อัตราปรับโทษแบบที่สองต้องมีการคิดอัตราปรับโทษบวกเพิ่ม (x) เข้าไปอีกเพื่อป้องกันผู้รับเหมาจงใจโดนปรับหากค่าปรับนั้นน้อยกว่าผลประโยชน์ที่ตนได้รับ ดังนั้นการจำลองหาอัตรา x นี้จึงมีความสำคัญอย่างมาก การศึกษานี้จำลองการปรับโทษเพิ่มด้วยอัตรา 5% 10% 15% 20% 30% 50% และ 100% ซึ่งก็หมายถึงผู้รับเหมาจะไม่ปฏิบัติตามวิธีการทางเลือกใด ๆ ที่ได้เสนอมาเลย เพื่อแสดงให้เห็นถึงเงินที่ผู้รับเหมาจะถูกปรับจากการผิดเงื่อนไขปฏิบัติของตนด้วยการปรับโทษแบบที่สองการจำลองการปรับโทษจึงถูกเสนอดังแสดงในรูปที่ 5.2

ตารางทดสอบเพื่อหาค่าการปรับโทษเพิ่ม (X)

กรณีค่า E' > E	ราคาประกวดเสมือน (Q_1)	มูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ		ราคาประกวดเสมือน	ค่าปรับเพิ่ม (x)				หมายเหตุ
		ที่เสนอ (E)	ในสนาม (E')	ในสนาม (Q_1')	5%	10%	15%	20%	
5%	400,669,142.86	41,589,587.14	39,510,107.78	402,748,622.22	2,079,479.36	2,079,479.36	2,079,479.36	2,079,479.36	แบบที่ 1
10%	400,669,142.86	41,589,587.14	37,430,628.43	404,828,101.57	4,158,958.71	4,158,958.71	4,158,958.71	4,158,958.71	
10.1%	400,669,142.86	41,589,587.14	37,389,038.84	404,869,691.16	4,410,575.72	4,620,603.13	4,830,630.55	5,040,657.96	ช่วงเปลี่ยน
25%	400,669,143.86	41,589,587.14	31,192,190.36	411,066,540.65	10,917,266.62	11,437,136.46	11,957,006.30	12,476,876.14	แบบที่ 2
50%	400,669,144.86	41,589,587.14	20,794,793.57	421,463,938.43	21,834,533.25	22,874,272.93	23,914,012.61	24,953,752.28	
75%	400,669,144.86	41,589,587.14	10,397,396.79	431,861,335.22	32,751,799.87	34,311,409.39	35,871,018.91	37,430,628.43	
100%	400,669,144.86	41,589,587.14	-	442,258,732.00	43,669,066.50	45,748,545.85	47,828,025.21	49,907,504.57	

หมายเหตุ : 1) ทดสอบการปรับโทษเพิ่มให้ X อยู่ในช่วง 5% - 20%
2) เมื่อค่า E' คลาดเคลื่อนในช่วง 5% - 100%
3) มีค่า Q_2 = 404,834,738.03 บาท

รูปที่ 5.2 การทดสอบหาอัตราปรับโทษเพิ่ม (x) ที่เหมาะสมในอัตราปรับแบบที่สอง

จากการจำลองสถานการณ์ว่าหากผู้รับเหมาไม่ปฏิบัติวิธีการทางเลือก ที่ตนเสนอมาตั้งแต่เล็กน้อยจนถึงไม่ปฏิบัติเลยนั้นจะส่งผลอย่างไร เพื่อหาผลลัพธ์ดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้ทำการ

ทดลองใช้อัตราปรับโทษเพิ่มตั้งแต่ 5% 10% 15% และ 20% นั้น พบว่าเมื่อผู้รับเหมาผิดเงื่อนไขปฏิบัติส่งผลให้ E' น้อยกว่า E เพียงเล็กน้อย (ไม่เกิน 10%) และเมื่อเริ่มผิดเงื่อนไขปฏิบัติมากขึ้นตั้งแต่ 10.1% ขึ้นไปจะทำให้อัตราปรับโทษเปลี่ยนจากการปรับแบบแรกไปเป็นการปรับแบบที่สอง สามารถคำนวณการปรับทั้งสองแบบด้วยสมการที่ (4.12)

จากรูปที่ 5.2 แสดงให้เห็นว่ากรณีผู้รับเหมาผิดเงื่อนไขปฏิบัติทั้งหมด การปรับด้วยอัตราบวกเพิ่มเพียง 5% จะส่งผลให้ผู้รับเหมาต้องจ่ายค่าปรับโทษเท่ากับ 43,669,066.50 บาท ซึ่งเป็นค่าปรับโทษที่สูงกว่าผลประโยชน์ที่ตนเคยได้รับจากการเสนอมูลค่า E (41,589,587.14 บาท) และจะได้รับเงินจ่ายค่างานเท่ากับ 398,589,663.50 บาท ซึ่งเป็นมูลค่าที่น้อยกว่ามูลค่าราคาก่อสร้าง (C_C) ที่ผู้รับเหมาทุกรายเสนอมาด้วย หรือกรณีผู้รับเหมาผิดเงื่อนไขปฏิบัติเพียงบางส่วน 50% อัตราปรับโทษเพิ่ม 10% จะทำให้เงินจ่ายค่างานหลังหักเงินปรับโทษแล้วมีมูลค่าน้อยกว่ามูลค่าราคาก่อสร้างที่ผู้รับเหมา ก เสนอมาด้วย ดังนั้น สามารถสรุปในเบื้องต้นว่าด้วยการกำหนดอัตราปรับโทษเพิ่ม 5% - 10% เพียงพอที่จะป้องกันไม่ให้ผู้รับเหมาเสนอวิธีทางเลือกเพียงเพื่อชนะการประกวดราคาแต่ไม่สามารถทำได้จริง และไม่มากเกินไปจนลดความน่าสนใจของผลตอบแทนที่เสนอให้ในแบบจำลองสัญญา GRIP นี้ด้วย ในขณะที่ความร่วมมือต่อการดำเนินการตามสัญญานี้จะต้องประเมินผลตอบรับจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียซึ่งเป็นผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการก่อสร้างถนนของกรมทางหลวงในลำดับถัดไป

5.2 การประเมินผลตอบรับต่อการนำแบบจำลองสัญญา GRIP ไปปฏิบัติ

ขั้นตอนนี้เป็นการประเมินผลตอบรับต่อการนำแบบจำลองสัญญา GRIP ไปปฏิบัติ โดยแบบจำลองสัญญา GRIP ควรถูกประเมินก่อนการนำมาใช้แทนสัญญาแบบดั้งเดิม การประเมินผลตอบรับจากผู้ปฏิบัติทั้งผู้รับเหมาและเจ้าของโครงการก่อนนำสัญญาแบบจูงใจใหม่ที่เพิ่มเงื่อนไขพิเศษเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ไปใช้แทนสัญญาแบบดั้งเดิมมีความสำคัญอย่างมาก เพื่อต้องการทราบผลการประเมินความคิดเห็นต่อการใช้แบบจำลองสัญญา GRIP อาจต้องพิจารณาในหลายด้านและต้องใช้การวิเคราะห์แบบหลายทางเลือกมาเป็นเครื่องมือก่อนการตัดสินใจ วิธีการหนึ่งที่นิยมใช้เป็นเครื่องมือตัดสินใจแบบหลายทางเลือก คือ กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (AHP) เพราะเป็นกระบวนการที่สามารถทำความเข้าใจและนำไปปฏิบัติได้ง่าย (Saaty, 1980; Wang และคณะ, 2009) และในการบริหารงานก่อสร้างมีการนำเทคนิค AHP มาใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการคัดเลือกเบื้องต้น (pre-qualification) ผู้รับเหมางานก่อสร้าง (Al-Harbi, 2001; Abudayyeh และคณะ, 2007) รวมถึงใช้เป็นเครื่องมือตัดสินใจแบบหลายทางเลือกที่ได้รับความนิยมนำมาใช้กับปัญหางานวิจัยในการบริหารงานก่อสร้างหลายรูปแบบ (Jato-Espino และคณะ, 2014; Darko และคณะ, 2018) การศึกษา

นี้รวบรวมความคิดเห็นผ่านแบบสอบถามและใช้เทคนิค AHP เป็นเครื่องมือประเมินความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่าง

5.2.1 ข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการประเมินผลตอบรับ

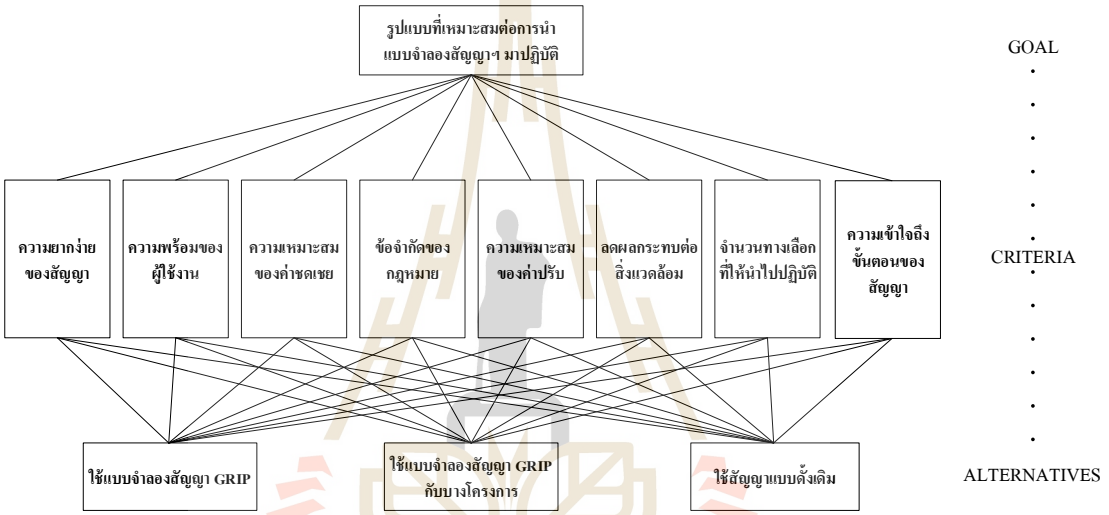
ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินผลตอบรับต่อรูปแบบที่เหมาะสมในการนำแบบจำลองสัญญาจูงใจไปปฏิบัติ คือ ข้อมูลจากแบบสอบถามที่รวบรวมจากตัวแทนผู้ที่เกี่ยวข้องในงานก่อสร้างถนนของกรมทางหลวงจำนวนหนึ่งด้วยเทคนิค AHP โดยแบ่งออกเป็นการสอบถามเพื่อคัดเลือกเกณฑ์เบื้องต้นที่ได้จากการรวบรวมงานวิจัยในอดีตจากผู้เชี่ยวชาญ (รอบแรก) จำนวน 1 ท่าน แล้วจึงปรับปรุงเกณฑ์ตามข้อแนะนำ แล้วจึงทำการสอบถามเพื่อคัดเลือกเกณฑ์ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง รวมถึงประเมินความถูกต้องของแบบสอบถามเบื้องต้นในรอบแรกจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 6 ท่าน และเมื่อได้ข้อเสนอแนะจึงนำมาพัฒนาแบบสอบถามเพื่อใช้กับกลุ่มตัวอย่างจริงในรอบที่ 2 จำนวน 88 ท่าน (รายละเอียดในหัวข้อที่ 5.2.3) ข้อมูลสำคัญที่ใช้ในขั้นตอนนี้แสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการประเมินผลตอบรับ

ข้อมูลสำคัญ	**รายละเอียด**	**ที่มา**
แบบสอบถาม ผู้เชี่ยวชาญ (รอบแรก)	ข้อเสนอแนะและความคิดเห็นของนักวิชาการด้านบริหารงานก่อสร้าง ที่ศึกษาการใช้แบบสอบถามเก็บข้อมูลด้วยเทคนิค AHP	ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 1 ท่าน
แบบสอบถาม ผู้เชี่ยวชาญ (รอบที่ 2)	ข้อเสนอแนะและความคิดเห็นของนักวิชาการด้านบริหารงานก่อสร้าง ผู้รับเหมาก่อสร้างงานถนน และเจ้าหน้าที่ระดับบริหารของกรมทางหลวง ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างถนนมากกว่า 20 ปี	ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 6 ท่าน
แบบสอบถามกลุ่มตัวอย่าง	ความคิดเห็นของบุคคลากรของบริษัทรับเหมาก่อสร้างงานถนน และเจ้าหน้าที่กรมทางหลวง ทั้งระดับบริหารและระดับปฏิบัติ ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างถนนมากกว่า 10 ปี	ผู้บริหารและผู้ปฏิบัติงานภาคสนาม จำนวน 88 ท่าน

5.2.2 การกำหนดโครงสร้างเชิงลำดับชั้น

โครงสร้างเชิงลำดับชั้นของเทคนิค AHP ถือเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ส่งผลต่อการประเมินความคิดเห็น องค์ประกอบดังกล่าวนี้มี 3 ส่วนดังแสดงในรูปที่ 5.3 ส่วนที่ 1 เป้าหมาย (goal) คือวัตถุประสงค์ของการประเมิน เป้าหมายในการศึกษานี้เพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสมต่อการนำแบบจำลองสัญญา GRIP ไปปฏิบัติจริง ส่วนที่ 2 เกณฑ์ (criteria) คือเกณฑ์ด้านต่าง ๆ ใช้พิจารณาประกอบการตัดสินใจ ในการศึกษานี้ใช้เกณฑ์เพื่อพิจารณาจำนวน 8 เกณฑ์ เกณฑ์ทุกด้านถูกเปรียบเทียบกันเป็นรายคู่เพื่อให้ค่าน้ำหนักความสำคัญ



รูปที่ 5.3 โครงสร้างลำดับชั้นเพื่อประเมินผลตอบรับการใช้งานแบบจำลองสัญญา GRIP

การศึกษานี้ใช้ค่าน้ำหนักความสำคัญจำนวน 4 ระดับที่เสนอโดย Strager และ Rosenberger (2006) ซึ่งประยุกต์จากค่าระดับความสำคัญที่เสนอโดย Saaty (2006) เดิมจำนวน 9 ระดับ ตัวเลือกค่าระดับความสำคัญที่ลดลงช่วยให้ตัดสินใจได้ง่ายขึ้น (Strager และ Rosenberger, 2006) สอดคล้องกับการศึกษาของ Bahurmoz (2006) ที่แนะนำว่าตัวเลือกที่ง่ายต่อการตัดสินใจควรมีจำนวนระหว่าง 7±2 ค่าระดับความสำคัญนี้ประกอบด้วย ค่าน้ำหนัก 1 คือ สำคัญเท่ากัน ค่าน้ำหนัก 3 คือ สำคัญกว่าเล็กน้อย ค่าน้ำหนัก 6 คือ สำคัญกว่ามาก และค่าน้ำหนัก 9 คือ สำคัญกว่าอย่างมาก (ดังแสดงในตารางที่ 5.8) และส่วนที่ 3 ทางเลือกการตัดสินใจ (alternatives) คือทางเลือกใด ๆ ของการประเมิน ในการศึกษานี้กำหนดทางเลือกการตัดสินใจเป็น 3 ทางเลือก ทางเลือกที่ 1 คือ นำแบบจำลองสัญญา GRIP มาปฏิบัติเต็มรูปแบบ ทางเลือกนี้เป็นการเสนอให้นำแบบจำลองสัญญา GRIP มาปฏิบัติใช้ทันทีกับทุกโครงการ ทางเลือกที่ 2 คือ นำแบบจำลองสัญญา GRIP มาปฏิบัติใช้

กับบางโครงการ ทางเลือกนี้เสนอให้เริ่มนำแบบจำลองสัญญา GRIP ไปปฏิบัติกับบางโครงการที่มีความพร้อมก่อน เช่น โครงการขนาดใหญ่ซึ่งบริษัทผู้รับเหมาและเจ้าของโครงการมีความพร้อมดำเนินงานตามขั้นตอนของแบบจำลองสัญญา GRIP ได้มากกว่าโครงการขนาดเล็ก และทางเลือกสุดท้ายทางเลือกที่ 3 คือ คงใช้สัญญาแบบดั้งเดิม ทางเลือกนี้เสนอให้ยังคงใช้สัญญาแบบดั้งเดิมและชะลอการใช้แบบจำลองสัญญา GRIP ออกไปก่อน ทางเลือกการตัดสินใจจะถูกเปรียบเทียบกันรายคู่และให้ค่าน้ำหนักของทางเลือกทั้ง 3 ทีละเกณฑ์จากเกณฑ์ที่ 1 ถึงเกณฑ์ที่ 8 ท้ายที่สุดผลรวมคะแนนของทางเลือกที่มีค่าสูงสุดจากการถ่วงน้ำหนักรายเกณฑ์คือคำตอบของการตัดสินใจของกลุ่มตัวอย่าง

ตารางที่ 5.8 ค่าสเกลการให้น้ำหนักระดับ 1 ถึง 4 ของ Strager และ Rosenberger (2006)

Traditional pairwise intensities		Simplified choices	
1	Equal	1 Equal	สำคัญเท่ากัน
2	Barely prefer		
3	Weakly prefer	2 Somewhat prefer	สำคัญกว่าเล็กน้อย
4	Moderately prefer		
5	Definitely prefer		
6	Strongly prefer	3 Prefer	สำคัญกว่ามาก
7	Very strongly prefer		
8	Critically prefer		
9	Absolutely prefer	4 Strongly prefer	สำคัญกว่ามากที่สุด

เกณฑ์แต่ละด้านมีความสำคัญต่อการตัดสินใจทางเลือกใด ๆ กล่าวคือ เกณฑ์ที่ดีควรต้องสอดคล้องกับเป้าหมาย ครอบคลุมประเด็นสำคัญทุกด้านตามเป้าหมาย ไม่มีรายละเอียดซึ่งซ้อนทับกันเองระหว่างเกณฑ์ สื่อสารและทำความเข้าใจได้โดยง่าย ดังนั้นการคัดเลือกเกณฑ์จึงมีความสำคัญด้วย โดยทั่วไปเกณฑ์เหล่านี้มีที่มาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีตแล้วคัดเลือกเฉพาะเกณฑ์ที่สอดคล้องกับเป้าหมายของการประเมิน การคัดเลือกเกณฑ์มีหลายวิธี เช่น วิธีเดลไฟ วิธีกำลังสองน้อยที่สุด และวิธีคัดเลือกจากความเห็นผู้เชี่ยวชาญ เป็นต้น บทความนี้ใช้การคัดเลือกเกณฑ์ด้วยความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ (LIU, 2016) เพราะเป็นวิธีที่สะดวกและนิยมมากที่สุด การคัดเลือกดำเนินการจำนวน 2 รอบ การกำหนดเกณฑ์เบื้องต้นผู้วิจัยได้คัดเลือกเกณฑ์เฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานวิธีการใหม่ ๆ จากงานวิจัยในอดีต เกณฑ์เหล่านี้มีจำนวน 9 ข้อ ประกอบด้วย 1) ความยากง่ายของแบบจำลองสัญญา GRIP 2) ความพร้อมของผู้ใช้งาน 3) ความ

เหมาะสมของผลตอบแทนที่เสนอ 4) ข้อจำกัดทางกฎหมาย 5) ความเหมาะสมของค่าปรับ 6) ประโยชน์ต่อการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม 7) จำนวนทางเลือกเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ที่เสนอ 8) ความเข้าใจถึงหลักการของแบบจำลองสัญญา GRIP และ 9) ต้นทุนการดำเนินงานตามแบบจำลองสัญญา GRIP คำอธิบายของเกณฑ์ทั้งหมดในการศึกษานี้แสดงในตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 คำอธิบายรายละเอียดของเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ

ที่	เกณฑ์	คำอธิบาย
1.	ความยากง่ายของแบบจำลองสัญญา GRIP	ความยากหรือง่ายในการดำเนินการแบบจำลองสัญญา GRIP เมื่อจะนำไปปฏิบัติจริง
2.	ความพร้อมของผู้ใช้งาน	ความพร้อมของเจ้าของโครงการและผู้รับเหมา ทั้งด้านการเงิน ความสามารถของบุคลากร และด้านเทคนิค
3.	ความเหมาะสมของผลตอบแทนที่เสนอ	ความเหมาะสมของผลตอบแทนที่เสนอให้มีโอกาสชนะการประกวดราคามากขึ้น แม้ไม่ได้เสนอค่างานต่ำสุด
4.	ข้อจำกัดทางกฎหมาย	การกำหนดเป็นข้อกฎหมายต้องรอระยะเวลาเพื่อให้มีการบัญญัติรายละเอียดตามแบบจำลองสัญญา GRIP ขึ้น
5.	ความเหมาะสมของค่าปรับ	ความเหมาะสมของค่าปรับโทษเงินที่เสนอไว้เป็นธรรมต่อทั้งผู้ปฏิบัติทุกฝ่าย โดยเริ่มปรับน้อยและปรับมากขึ้นตามเงื่อนไขของแบบจำลองสัญญา GRIP
6.	ประโยชน์ต่อการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม	ความสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก หรือมลพิษทางอากาศต่าง ๆ
7.	จำนวนทางเลือกเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ที่เสนอ	จำนวนทางเลือกที่ได้เสนอไว้ในแบบจำลองสัญญา GRIP ทั้งหมดมี 6 ทางเลือก
8.	ความเข้าใจถึงหลักการของแบบจำลองสัญญา GRIP	ความเข้าใจถึงหลักการ แนวคิด และวัตถุประสงค์ของแบบจำลองสัญญา GRIP อย่างถูกต้อง
9.*	ต้นทุนการดำเนินงานตามแบบจำลองสัญญา GRIP	ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นเมื่อการดำเนินการตามวิธีการทางเลือกของแบบจำลองสัญญา GRIP

หมายเหตุ: * คือเกณฑ์ที่ถูกตัดออกโดยความเห็นของผู้เชี่ยวชาญในคัดเลือกรอบแรก

เกณฑ์เหล่านี้ถูกคัดเลือกโดยผู้เชี่ยวชาญ 1 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญท่านนี้คือวิศวกรโยธาระดับวุฒิวิศวกรซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญที่ทำงานในกรมทางหลวงมากกว่า 30 ปี มีผลงานเกี่ยวข้องกับการบริหารสัญญาโครงการก่อสร้างทางหลวง จึงมีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการประเมินคัดเลือกเกณฑ์ดังกล่าวนี้ ในรอบนี้ทำการรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถามในรูปที่ ง.1.1 ถึงรูปที่ ง.1.8 โดยผู้เชี่ยวชาญได้ตัดเกณฑ์ข้อที่ 9 ออกทำให้เหลือเกณฑ์จำนวน 8 ข้อ โดยกล่าวว่าต้นทุนการดำเนินงาน

ตามแบบจำลองสัญญา GRIP ไม่สามารถประเมินว่าเป็นผลจากแบบจำลองสัญญา GRIP ได้โดยตรง เพราะการดำเนินการจะทำให้เครื่องจักรจะมีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้นด้วยจึงเป็นผลประโยชน์ร่วมต่อผู้รับเหมานั่นเอง ดังนั้นเกณฑ์ด้านต้นทุนการดำเนินงานจึงไม่ควรใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษานี้ การดำเนินการถัดมาผู้วิจัยขอให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 6 ท่านมาคัดเลือกเกณฑ์อีกครั้งหนึ่ง ตลอดจนขอให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 6 ท่านประเมินความถูกต้องและความแม่นยำของแบบสอบถามในครั้งนี้ด้วย (ประเมินแบบสอบถามรอบแรก) ด้วยแบบสอบถามในรูปที่ ง.2.1 ถึงรูปที่ ง.2.7 โดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญดังกล่าวประกอบด้วยนักวิจัยด้านการบริหารงานก่อสร้างซึ่งมีประสบการณ์มากกว่า 10 ปีจำนวน 2 ท่าน ผู้บริหารบริษัทผู้รับเหมางานก่อสร้างทางของกรมทางหลวงซึ่งมีประสบการณ์การทำงานมากกว่า 25 ปีจำนวน 2 ท่าน และผู้บริหารระดับรองผู้อำนวยการสำนักก่อสร้างทางของกรมทางหลวงซึ่งมีประสบการณ์การทำงานมากกว่า 30 ปีจำนวน 2 ท่าน ภายหลังการให้ความคิดเห็นจากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญในรอบนี้ ผู้วิจัยได้ทำการปรับเปลี่ยนบางคำถามในแบบสอบถาม และเพิ่มการแสดงตัวอย่างของการใช้แบบจำลองสัญญา GRIP ในแบบสอบถามมาใช้เป็นแบบสอบถามในรอบที่ 2 เพื่อเก็บข้อมูลความคิดเห็นจากกลุ่มตัวอย่างด้วย (แสดงในรูปที่ ง.3.1 ถึงรูปที่ ง.3.6) ท้ายที่สุดเกณฑ์ที่ใช้ในการศึกษานี้มีจำนวน 8 เกณฑ์ (เกณฑ์ที่ 1 ถึง 8) ดังแสดงในตารางที่ 5.9

โครงสร้าง AHP นี้ถูกกำหนดเพื่อหาทางเลือกรูปแบบที่เหมาะสมต่อการนำแบบจำลองสัญญา GRIP ไปปฏิบัติ ขั้นตอนการวิเคราะห์ทางเลือกนี้เป็นการวิเคราะห์ทีละชั้น การตัดสินใจจะถูกวิเคราะห์จากการเปรียบเทียบรายคู่ของเกณฑ์ทั้ง 8 ด้านเป็นชั้นแรก และเปรียบเทียบรายคู่ของทางเลือกทั้ง 3 เป็นชั้นถัดไป การเปรียบเทียบในชั้นของเกณฑ์เป็นการให้ค่าความสำคัญของเกณฑ์ทีละคู่ด้วยค่าตัวเลขความสำคัญในตารางที่ 5.8 โดยมีจำนวนคู่ที่ต้องเปรียบเทียบในชั้นเกณฑ์เท่ากับ 28 คู่ และมีจำนวนคู่เปรียบเทียบในชั้นทางเลือกเท่ากับ 3 คู่ เกณฑ์ด้านใดส่งผลต่อการเลือกดำเนินการแบบจำลองสัญญา GRIP มากกว่าก็จะมีค่าตัวเลขความสำคัญมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบเกณฑ์จนครบทุกด้านจะได้ค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์แต่ละด้าน การเปรียบเทียบในชั้นถัดมาคล้ายกับการเปรียบเทียบในชั้นแรกแต่ตัดสินใจจากการพิจารณาเกณฑ์ทีละด้าน โดยตัดสินใจว่าทางเลือกใดเหมาะสมกว่ากันเมื่อพิจารณาจากเกณฑ์แต่ละด้าน ทางเลือกที่เหมาะสมกว่าก็จะมีค่าตัวเลขความสำคัญมากกว่าด้วย เมื่อเปรียบเทียบครบทุกเกณฑ์จะได้ค่าน้ำหนักของแต่ละทางเลือกภายใต้เกณฑ์นั้น ๆ โดยที่ผลรวมของค่าน้ำหนักต้องเท่ากับ 1.0 ขั้นตอนสุดท้ายค่าคะแนนรวมของการตัดสินใจคือผลรวมทั้งหมดของค่าน้ำหนักแต่ละเกณฑ์ที่คูณด้วยค่าน้ำหนักของแต่ละทางเลือกเป็นรายเกณฑ์

5.2.3 การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง

การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมส่งผลโดยตรงต่อผลการประเมินผลตอบรับ ประชากรในการศึกษานี้เป็นผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานโครงการก่อสร้างถนนของกรมทางหลวง

ในประเทศไทย ประชากรดังกล่าวคือผู้ที่ต้องปฏิบัติและจะได้รับผลกระทบจากการใช้แบบจำลองสัญญา GRIP โดยตรงแบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย กลุ่มที่ 1 ตัวแทนบริษัทผู้รับเหมาก่อสร้าง กำหนดคุณสมบัติเป็นผู้รับเหมาที่เป็นผู้รับจ้างงานในโครงการก่อสร้างทางของกรมทางหลวง มีประสบการณ์ทำงานมากกว่า 10 ปีและยังคงเป็นผู้รับเหมางานก่อสร้างทางที่ขึ้นทะเบียนกับกรมทางหลวงอยู่ในปัจจุบัน (ปี พ.ศ.2560) การศึกษานี้เลือกผู้รับเหมางานทางชั้นพิเศษเพราะผู้รับเหมากลุ่มนี้มีศักยภาพสูงสุด ข้อมูล ณ วันที่ 4 พ.ย. 2559 มีบริษัทชั้นพิเศษที่ถูกขึ้นทะเบียนกับกรมทางหลวงไว้จำนวน 50 บริษัท (กรมทางหลวง, 2559) และกลุ่มที่ 2 ตัวแทนเจ้าของโครงการคือ ผู้ที่ต้องนำแบบจำลองสัญญา GRIP ไปปฏิบัติเพื่อกำกับดูแลในทุกขั้นตอน โดยถือว่าตัวแทนเจ้าของโครงการคือเจ้าหน้าที่ของกรมทางหลวงที่ปฏิบัติงานในโครงการก่อสร้างทาง เจ้าหน้าที่กรมทางหลวงจากสำนักก่อสร้างทางที่ 2 ซึ่งมีจำนวนบุคคลากรด้านการควบคุมงานก่อสร้างทางมากที่สุดของกรมทางหลวงถูกเลือกเป็นประชากรของการศึกษานี้ โดยผู้ให้ความคิดเห็นต้องมีประสบการณ์ทำงานมากกว่า 10 ปีและยังคงทำงานที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างถนนอยู่ในปัจจุบัน

การศึกษานี้เลือกใช้วิธีหาขนาดตัวอย่างที่ทราบจำนวนประชากรแล้วของทาโร่ ยามาเน่ (Yamane, 1973) การหาขนาดเริ่มจากกลุ่มที่ทราบจำนวนประชากรแน่นอนแล้วคือกลุ่มบริษัทผู้รับเหมาก่อสร้าง จากสูตรของทาโร่ ยามาเน่ในสมการที่ (5.1) ทำการแทนค่าด้วยระดับความเชื่อมั่น 95% (eคือ0.05) และจำนวนประชากร 50 บริษัท (Nคือ50) ได้จำนวนตัวอย่างที่ต้องการเท่ากับ 44 บริษัท (nคือ44) กลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มถูกกำหนดให้มีขนาดเท่ากันเพื่อให้มีน้ำหนักของคำตอบเท่ากัน ดังนั้นจำนวนตัวอย่างที่ต้องรวบรวมความคิดเห็นในการศึกษานี้ทั้งหมดเท่ากับ 88 ตัวอย่าง

$$n = \frac{N}{1+Ne^2} \tag{5.1}$$

โดยที่ n คือ จำนวนตัวอย่างที่ต้องการ

N คือ จำนวนประชากร

e คือ ระดับความเชื่อมั่น 95% (e=0.05)

5.2.4 การรวบรวมความคิดเห็นจากกลุ่มตัวอย่าง

การศึกษานี้ใช้การเก็บข้อมูลความคิดเห็นผ่านแบบสอบถาม แบบสอบถามนี้มีคำถาม 2 รูปแบบ คือ คำถามปลายเปิดใช้เพื่อแสดงความคิดเห็นแบบเปิดกว้าง และคำถามปลายปิดที่ให้เลือกคำตอบจากตัวเลือกที่เตรียมไว้เท่านั้น คำถามทั้ง 2 ส่วนนี้อยู่ในหลายส่วนของ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

แบบสอบถาม ภาพรวมแบบสอบถามแบ่งเป็น 5 ส่วนหลัก ส่วนที่ 1 คำถามข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบ คือ ตำแหน่งงาน ประสบการณ์การทำงาน และประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการลดการปล่อยมลพิษฯ คำถามทั้งหมดในส่วนนี้เป็นคำถามแบบปลายปิด ส่วนที่ 2 การอธิบายภาพรวมของแบบจำลองสัญญา GRIP คือ การอธิบายแนวคิด ขั้นตอน และตัวอย่างการใช้งานแบบจำลองสัญญา GRIP ส่วนนี้ของแบบสอบถามเป็นข้อมูลสำคัญที่สื่อสารให้ผู้ตอบแบบสอบถามได้เข้าใจแบบจำลองสัญญา GRIP ก่อนตอบแบบสอบถาม ส่วนที่ 3 การให้ค่าน้ำหนักความสำคัญแก่เกณฑ์รายคู่ คือ คำถามที่ให้ผู้ตอบแบสอบถามเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างเกณฑ์รายคู่ คำถามส่วนนี้เป็นการเปรียบเทียบความสำคัญรายคู่ระหว่างเกณฑ์ที่ 1 กับเกณฑ์ที่ 2 ถึงเกณฑ์ที่ 8 จนกระทั่งเปรียบเทียบครบ 28 คู่ ส่วนที่ 4 การให้ค่าน้ำหนักความสำคัญแก่ทางเลือก คือ คำถามที่ให้ผู้ตอบแบสอบถามให้ค่าน้ำหนักระหว่างทางเลือกทั้ง 3 รายคู่ โดยพิจารณาทางเลือกตามเกณฑ์ทีละด้านจนครบ 8 เกณฑ์ และส่วนสุดท้ายคือส่วนที่ 5 คำถามถึงความร่วมมือต่อแบบจำลองสัญญา GRIP เป็นคำถามปลายเปิดที่เปิดโอกาสให้เลือกคำตอบ (ร่วมมือ หรือไม่ร่วมมือ หรือไม่แน่ใจ) และแสดงเหตุผลว่า “ถ้าแบบจำลองสัญญา GRIP ถูกนำมาใช้จริงจะร่วมมือหรือไม่” การรวบรวมความคิดเห็นถูกดำเนินการในช่วงเดือนมกราคมถึงมิถุนายน พ.ศ.2560 การให้ความคิดเห็นของกลุ่มผู้รับเหมาเกิดขึ้นที่สำนักงานโครงการฯ ที่บริษัทดำเนินงานก่อสร้างอยู่ ส่วนการให้ความคิดเห็นของกลุ่มเจ้าของโครงการเกิดขึ้นที่สำนักงานโครงการฯ และที่สำนักงานใหญ่ของกรมทางหลวงร่วมกัน

เนื่องจากผู้ตอบแบบสอบถามแต่ละคนให้คำตอบซึ่งมีค่าน้ำหนักต่างกัน การหาค่าตัวแทนของคำตอบด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิตจึงไม่เหมาะสม ในขณะที่ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (geometric mean) เป็นการหาค่าเฉลี่ยที่แปรผันกับน้ำหนักของคำตอบแต่ละค่า ดังนั้นค่าเฉลี่ยเรขาคณิตจึงถูกใช้หาค่าเฉลี่ยของคำตอบจากแบบสอบถามในการศึกษานี้ คำตอบที่ได้จากแบบสอบถามทั้งหมด 88 ตัวอย่างถูกรวบรวมสู่ตารางเมตริกซ์เปรียบเทียบและคำนวณค่าน้ำหนักเฉลี่ยของเกณฑ์ทั้งหมด ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตสามารถคำนวณได้ด้วยสมการที่ (5.2)

$$\left(\prod_{i=1}^{m} y_i\right)^{\frac{1}{m}} = \sqrt{y_1 y_2 \cdots y_m} \tag{5.2}$$

โดยที่ m คือ จำนวนของตัวเลขที่ต้องการหาค่าเฉลี่ย

y คือ ค่าของตัวเลขที่ 1 ถึงค่าของตัวเลขที่ m

นอกจากการสรุปความคิดเห็นด้วยค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมดแล้ว การศึกษานี้ยังได้สรุปค่าเปอร์เซ็นต์ความคิดเห็นจากคำตอบในส่วนที่ 5 ของแบบสอบถามด้วย และแสดงผลการรวบรวมความคิดเห็นในรูปที่ ค.10 และรูปที่ ค.11

5.2.5 การตรวจสอบความสมเหตุสมผล (consistency)

การตรวจสอบความสมเหตุสมผล (consistency) ของข้อมูลมีความจำเป็น การตรวจสอบนี้จะใช้อัตราส่วนความสอดคล้อง (consistency ratio: CR) ที่คำนวณด้วยสมการที่ (5.3) เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (consistency index: CI) ด้วยค่าดัชนีความไม่สอดคล้องแบบสุ่ม (random inconsistency index: RI) ของ Saaty (2006) ที่แปรผันตามจำนวนของเกณฑ์ที่พิจารณาดังแสดงในตารางที่ 5.10 อีกครั้งหนึ่ง หากค่า CR ไม่เกิน 0.1 หรือ 10% ถือว่าน้ำหนักเกณฑ์ที่ได้มามีความสอดคล้องสามารถใช้ได้ แต่ถ้ามีค่า CR เกินจากที่กำหนดแสดงว่าเกณฑ์ที่ได้มาไม่มีความสอดคล้องกันต้องทำการปรับหรือให้ค่าน้ำหนักเกณฑ์ใหม่ก่อนนำน้ำหนักเกณฑ์ไปใช้ในแบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่างในรอบที่ 2 ในแบบสอบถามนี้จะมีการสอบถามข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ โดยมีลักษณะเป็นการให้ข้อมูลแบบเนื้อหาปลายเปิด (open-ended) เพื่อรับฟังเป็นทางเลือกในการเพิ่มเกณฑ์เข้ามาในแบบประเมินทั้งข้อดีและอุปสรรคของการนำแบบจำลองสัญญา GRIP มาใช้งานจริงด้วย

$$CR = CI / RI \tag{5.3}$$

โดยที่ CR คือ ค่าอัตราส่วนความสอดคล้อง
CI คือ ค่าดัชนีความสอดคล้อง
RI คือ ค่าดัชนีความไม่สอดคล้องแบบสุ่ม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 5.10 ค่าดัชนีความไม่สอดคล้องแบบสุ่ม (RI)

n	RI	n	RI	n	RI
1	0.00	6	1.24	11	1.51
2	0.00	7	1.32	12	1.48
3	0.58	8	1.41	13	1.56
4	0.90	9	1.46	14	1.57
5	1.12	10	1.49	15	1.59

5.2.6 ผลการประเมินผลตอบรับ

จากการรวบรวมความคิดเห็นผู้เกี่ยวข้องในงานก่อสร้างถนนต่อทางเลือกที่เหมาะสมในการนำแบบจำลองสัญญา GRIP ไปปฏิบัติ ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AHP ถูกแสดงในตารางที่ 5.11 ประกอบด้วยค่าน้ำหนักเฉลี่ยเรขาคณิตและคะแนนรวมการตัดสินใจจากตัวแทนเจ้าของโครงการ 44 ตัวอย่าง ตัวแทนผู้รับเหมา 44 ตัวอย่าง และคะแนนรวมของทั้ง 2 กลุ่ม ดังแสดงตัวอย่างการคำนวณในรูปที่ ค.1 ถึงรูปที่ ค.7 และสรุปผลการความคิดเห็นรายเกณฑ์ในรูปที่ ค.8 และความคิดเห็นรายทางเลือกในรูปที่ ค.9 พิจารณาเฉพาะกลุ่มตัวแทนเจ้าของโครงการผลรวมคะแนนแสดงให้เห็นว่าความคิดเห็นที่ให้นำแบบจำลองสัญญา GRIP มาปฏิบัติใช้ทันทีกับทุกโครงการ (ทางเลือกที่ 1) คือทางเลือกที่มีค่าคะแนนรวมสูงสุดเท่ากับ 0.432 ลำดับถัดมาคือทางเลือกที่ให้นำแบบจำลองสัญญา GRIP มาปฏิบัติใช้กับบางโครงการ (ทางเลือกที่ 2) มีค่าคะแนนรวม 0.402 และทางเลือกที่ให้ยังคงใช้สัญญาแบบดั้งเดิมไปก่อน (ทางเลือกที่ 3) มีค่าคะแนนรวมต่ำสุดเท่ากับ 0.166 เมื่อพิจารณาเกณฑ์ทั้ง 8 ด้านพบว่าเกณฑ์ที่มีค่าน้ำหนักสูงสุดเท่ากับ 0.181 คือเกณฑ์ด้านความพร้อมของผู้ปฏิบัติ ในขณะที่เกณฑ์ที่มีค่าน้ำหนักต่ำสุดเท่ากับ 0.074 คือจำนวนทางเลือกเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ที่ให้นำไปปฏิบัติ ผลรวมความคิดเห็นจากตัวแทนผู้รับเหมาก่อสร้าง 44 ตัวอย่าง ค่าคะแนนรวมสูงสุดยังคงเป็นทางเลือกที่ 1 โดยมีค่าคะแนนรวม 0.403 ลำดับถัดมาคือทางเลือกที่ 3 และ 2 มีค่าคะแนนรวม 0.307 และ 0.290 ตามลำดับ เกณฑ์ที่มีค่าน้ำหนักสูงสุดเท่ากับ 0.154 คือเกณฑ์ด้านความพร้อมของผู้ปฏิบัติ ในขณะที่เกณฑ์ที่มีค่าน้ำหนักต่ำสุดเท่ากับ 0.094 คือเกณฑ์ด้านการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สังเกตุได้ว่าเกณฑ์ด้านความพร้อมของผู้ปฏิบัติเป็นสิ่งที่กลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มให้ความสำคัญมากที่สุดและผู้ให้ความคิดเห็นมองว่าผู้ปฏิบัติมีความพร้อมที่จะดำเนินการตามแบบจำลองสัญญา GRIP นั่นเอง

ผลการประเมินผลตอบรับรวมของกลุ่มผู้เกี่ยวข้องในงานก่อสร้างถนนทั้งหมด 88 ตัวอย่างด้วยเทคนิค AHP ต่อทางเลือกทั้ง 3 ทางเลือกและเกณฑ์ทั้ง 8 ด้านถูกแสดงในตารางที่ 5.8 ความคิดเห็นส่วนใหญ่ให้นำแบบจำลองสัญญา GRIP มาปฏิบัติใช้ทันทีกับทุกโครงการว่าเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดโดยมีค่าคะแนนรวม 0.425 ลำดับถัดมาคือทางเลือกที่ให้นำแบบจำลองสัญญา GRIP มาปฏิบัติใช้กับบางโครงการมีค่าคะแนนรวม 0.348 และทางเลือกที่ให้ยังคงใช้สัญญาแบบดั้งเดิมไปก่อนมีค่าคะแนนรวมน้อยที่สุดเท่ากับ 0.227 เมื่อพิจารณาเกณฑ์ที่มีค่าน้ำหนักสูงสุด 3 ลำดับแรกคือ เกณฑ์ด้านความพร้อมของผู้ปฏิบัติ เกณฑ์ข้อจำกัดของกฎหมาย และเกณฑ์ความเข้าใจหลักการของแบบจำลองสัญญา GRIP โดยมีค่าน้ำหนักเท่ากับ 0.168, 0.145 และ 0.130 ตามลำดับ ในขณะที่เกณฑ์ที่มีค่าน้ำหนักต่ำสุดเท่ากับ 0.092 คือเกณฑ์ด้านความเหมาะสมของค่าปรับ ค่าคะแนนรวมสูงสุดที่มีต่อทางเลือกที่ 1 สะท้อนว่าความคิดเห็นส่วนใหญ่สนับสนุนการนำแบบจำลองสัญญา GRIP มาใช้งานจริง โดยให้ความสำคัญต่อความพร้อมของผู้ปฏิบัติว่าจะส่งผล

ต่อความสำเร็จในการนำแบบจำลองสัญญา GRIP มาปฏิบัติจริง อย่างไรก็ตามแม้ว่าเกณฑ์ด้านความพร้อมของผู้ปฏิบัติจะมีค่าน้ำหนักสูงสุดแต่เกณฑ์ 2 ลำดับถัดมาก็มีค่าน้ำหนักใกล้เคียงกัน ดังนั้น ข้อจำกัดของกฎหมายและความเข้าใจหลักการของแบบจำลองสัญญา GRIP จึงส่งผลอย่างมากต่อผลคะแนนรวมสูงสุดของทางเลือกที่ 1 นี้ด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 5.11 ผลรวมคะแนนทางเลือกการตัดสินใจของกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง	ความยากง่ายของสัญญา	ความพร้อมของผู้ใช้งาน	ความเหมาะสมของค่าชดเชย	ข้อจำกัดของกฎหมาย	ความเหมาะสมของค่าปรับ	ลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม	จำนวนวิธีก่อสร้างทางเลือก	ความเข้าใจขั้นตอนของสัญญา	ผลรวมคะแนน
เจ้าของงาน	**0.116**	**0.181**	**0.124**	**0.160**	**0.086**	**0.141**	**0.074**	**0.119**	
ทางเลือกที่ 1	0.265	0.324	0.548	0.308	0.469	0.656	0.569	0.419	0.432
ทางเลือกที่ 2	0.560	0.498	0.332	0.427	0.401	0.227	0.317	0.420	0.402
ทางเลือกที่ 3	0.175	0.177	0.120	0.265	0.129	0.117	0.115	0.161	0.166
ผู้รับเหมา	**0.125**	**0.154**	**0.128**	**0.129**	**0.097**	**0.093**	**0.135**	**0.140**	
ทางเลือกที่ 1	0.325	0.301	0.538	0.335	0.380	0.533	0.361	0.475	0.403
ทางเลือกที่ 2	0.272	0.375	0.255	0.287	0.335	0.226	0.286	0.260	0.290
ทางเลือกที่ 3	0.403	0.324	0.207	0.377	0.284	0.240	0.353	0.265	0.307
ผลรวม	**0.121**	**0.168**	**0.127**	**0.145**	**0.092**	**0.115**	**0.101**	**0.130**	
ทางเลือกที่ 1	0.309	0.317	0.548	0.326	0.431	0.600	0.475	0.454	0.425
ทางเลือกที่ 2	0.412	0.439	0.294	0.354	0.374	0.230	0.315	0.336	0.348
ทางเลือกที่ 3	0.280	0.244	0.159	0.320	0.196	0.170	0.210	0.210	0.227

นอกจากนี้ คำถามส่วนที่ 5 ของแบบสอบถามที่ถามถึงความร่วมมือต่อแบบจำลองสัญญา GRIP พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 81 จาก 88 ตัวอย่างคิดเป็น 92.05% ตอบว่าจะร่วมมือหากแบบจำลองสัญญา GRIP ถูกกำหนดให้นำมาปฏิบัติจริง ผู้ตอบแบบสอบถาม 2 จาก 88 ตัวอย่างคิดเป็น 2.27% ตอบว่าจะไม่ร่วมมือ และผู้ตอบแบบสอบถาม 5 จาก 88 ตัวอย่างคิดเป็น 5.68% ตอบว่ายังไม่แน่ใจ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าความคิดเห็นส่วนใหญ่ของผู้ตอบแบบสอบถามทั้งการประเมินด้วยเทคนิค AHP และจากคำถามส่วนที่ 5 ของแบบสอบถามเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือสมัครใจปฏิบัติตามเงื่อนไขของแบบจำลองสัญญา GRIP หากถูกนำมาใช้งานจริง

วิเคราะห์ถึงเหตุผลประกอบการตัดสินใจของคำถามในส่วนที่ 5 มีที่มาจากหลายสาเหตุ เหตุผลของตำตอบที่ร่วมมือ เช่น สามารถเป็นผู้ชนะการประกวดราคาได้ อยากมีส่วนช่วยลดภาวะเรือนกระจก อยากช่วยลดภาวะโลกร้อน อยากช่วยส่งเสริมคุณภาพชีวิตของผู้อยู่อาศัยในบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง ต้องการปรับตัวเข้ากับเกณฑ์ด้านสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวดขึ้น และอยากสนับสนุนให้ภาคเอกชนหันมาใส่ใจสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เป็นต้น เหตุผลของคำตอบที่จะไม่ร่วมมือ คือ ทางเลือกที่ให้ปฏิบัติอาจมีต้นทุนสูง และผู้รับเหมาอาจไม่สามารถทำตามเงื่อนไขได้ และเหตุผลสำหรับคำตอบไม่แน่ใจ เช่น ไม่แน่ใจความคุ้มค่าต่อการลงทุน ไม่แน่ใจรายละเอียดของแบบจำลอง

สัญญา GRIP และไม่พร้อมลงทุนกับเครื่องจักรใหม่ เป็นต้น เหตุผลของผู้ตอบแบบสอบถามเหล่านี้ไม่เพียงแค่เพื่อผลประโยชน์ของตนเองในแง่ของการลงทุน แต่ยังมีเหตุผลเพื่อส่วนรวมด้วย คือ เพื่อต้องการสนับสนุนให้เกิดความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเหตุผลทั้งหมดดังกล่าวมาข้างต้นสามารถสะท้อนมุมมองของผู้ที่เกี่ยวข้องในโครงการงานก่อสร้างถนนว่ามีความพร้อมที่จะปรับตัวเพื่อรับมือปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมในอนาคตอันใกล้นั่นเอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 6
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ การพัฒนาสัญญาแบบ A+C มาใช้เป็นแบบจำลองสัญญาจูงใจให้ผู้รับเหมาลดการปล่อยมลพิษฯ แทนการใช้สัญญาแบบดั้งเดิม และการประเมินความน่าสนใจของเงื่อนไขจูงใจด้วยการจำลองสถานการณ์ประกวดราคาและการประเมินผลตอบรับจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อการนำแบบจำลองสัญญาแบบใหม่ที่พัฒนาขึ้นเสนอแทนสัญญาแบบเดิม ที่มาของการวิจัยเกิดจากความต้องการผลักดันให้มีการดำเนินงานเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ อย่างกว้างขวาง แต่การสนับสนุนให้ดำเนินงานลดการปล่อยมลพิษฯ ที่ผ่านมาในอดีตยังไม่มีการเสนอรายละเอียดวิธีการที่สามารถนำไปปฏิบัติได้อย่างครบถ้วน หรือผู้ปฏิบัติไม่ได้รับค่าชดเชยต้นทุนการดำเนินงานที่เพิ่มขึ้นอย่างคุ้มค่า แม้ว่าจะมีงานวิจัยส่วนหนึ่งพยายามเสนอค่าชดเชยด้วยการเพิ่มโอกาสเป็นผู้ชนะการประกวดราคามากขึ้นเพื่อแลกกับการดำเนินงานเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ภาคสมัครใจ แต่ผู้ปฏิบัติก็ยังมีความกังวลถึงความยุ่งยากของขั้นตอนปฏิบัติ ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้พัฒนาสัญญาแบบ A+C และเสนอเป็นแบบจำลองสัญญาแบบจูงใจที่เรียกว่าสัญญา GRIP (Green Road Incentive Procurement) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเงื่อนไขการประกวดราคาแบบจูงใจที่ผู้รับเหมางานก่อสร้างถนนของรัฐสมัครใจแข่งขันกันเพื่อลดปริมาณการปล่อยมลพิษฯ จากกิจกรรมในโครงการฯ แทนที่การแข่งขันด้านราคาเพียงอย่างเดียว รวมถึงกำหนดรายละเอียดและแบบฟอร์มเอกสารประกอบการประกวดราคาแบบใหม่ที่นำไปปฏิบัติได้โดยไม่เพิ่มภาระงาน และทำการประเมินผลตอบรับของผู้ปฏิบัติต่อการนำการประกวดราคาแบบใหม่ไปปฏิบัติ

การศึกษาในส่วนแรกคือการกำหนดรายละเอียดขั้นตอนของแบบจำลองสัญญา GRIP ราคาประกวดเสมือน คือ เงื่อนไขพิเศษที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินผู้ชนะการประกวดราคางานก่อสร้างตามแบบจำลองสัญญาแบบใหม่นี้ ราคาประกวดเสมือนเป็นราคาค่าก่อสร้างที่ถูกหักส่วนลดการปล่อยมลพิษฯ จากวิธีทางเลือกของผู้เสนอราคารายนั้น ๆ เลือกไปปฏิบัติ มูลค่าที่ลดต่ำลงดังกล่าวสามารถช่วยให้ผู้รับเหมาเป็นผู้ชนะการประกวดได้แม้ไม่ได้เสนอราคาก่อสร้างต่ำสุดตั้งแต่ต้น ผู้รับเหมาจะได้รับเงินค่างานตามที่เสนอมาซึ่งเป็นการจ่ายเงินค่าชดเชยต่อการลงทุนเพิ่มโดยตรงแก่ผู้รับเหมา ทำให้ผู้ปฏิบัติสามารถเข้าใจและเกิดแรงจูงใจได้มากกว่าการพิจารณาจากการให้น้ำหนักเทอมดำเนินการเพื่อสิ่งแวดล้อมในงานวิจัยของ Gransberg และ Lopez del Puerto (2017)

และในเกณฑ์การประเมินค่าประสิทธิภาพต่อราคาด้วยวิธีประกวดราคาอิเล็กทรอนิกส์ (สำนักนายกรัฐมนตรี, 2558) มูลค่าส่วนลดการปล่อยมลพิษฯ นี้คำนวณได้จากวิธีทางเลือกเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ นำร่องที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างถนนจำนวน 6 วิธีที่เจ้าของงานกำหนดขึ้นดังสมการที่ (4.4) ถึง (4.11) แบบจำลองสัญญาแบบใหม่มีขั้นตอนการดำเนินการที่ยืดหยุ่นเพื่อให้ง่ายต่อการดำเนินการในสนามส่งผลให้ผู้เข้าร่วมประกวดราคาสามารถเลือกวิธีทางเลือกใด ๆ ไปปฏิบัติได้เองตามความพร้อมของตน เมื่อเปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณหามูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ ในแบบจำลองนี้พบว่ามีจำนวนและความซับซ้อนน้อยกว่าการใช้แบบจำลอง NONROAD อีกทั้งการเสนอเปอร์เซ็นต์ดำเนินการที่เสนอในแบบจำลองนี้มีความยืดหยุ่นกว่าการกำหนดให้ดำเนินการลดการปล่อยมลพิษฯ ทั้งโครงการอย่างในงานวิจัยของ Ahn และคณะ (2013) อีกด้วย นอกจากนี้ ในแบบจำลองสัญญา GRIP นี้ได้เพิ่มมาตรการปรับโทษเงินโดยตรงจากผู้รับเหมาที่ชะการประกวดราคาแล้วไม่สามารถปฏิบัติได้ครบถ้วนตามที่เสนอมา โดยที่บทลงโทษปรับเงินนี้เป็นมาตรการลงโทษด้วยอัตราค่าปรับที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองกับโครงการกรณีศึกษา และไม่จำเป็นต้องเพิ่มผู้ร่วมดำเนินการเช่นเดียวกับการใช้บริษัทรับประกันในงานวิจัยของ Asgari และคณะ (2017) ในตอนท้าย ความสามารถของแบบจำลองสัญญา GRIP ก็จะถูกทำการทดสอบด้วยการจำลองสถานการณ์การประกวดราคาและการจ่ายค่างานก่อนการนำเสนอแบบจำลองสัญญานี้ไปปฏิบัติจริง

การจำลองสถานการณ์ถูกดำเนินการผ่านกรณีศึกษาซึ่งเป็นงานโครงการก่อสร้างถนนสายหนึ่งของกรมทางหลวงที่มีการเสนอราคาเสร็จสิ้นและได้ผู้ชนะการประกวดราคาไปแล้ว ณ เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2554 ในสถานการณ์จำลองวิธีทางเลือกนำร่องที่เสนอในแบบจำลองสัญญา GRIP นั้นสามารถเลือกปฏิบัติพร้อมกันได้ตามความพร้อมของตน กรณีศึกษาถูกจำลองสถานการณ์ให้ผู้รับเหมารายที่เสนอราคาค่าก่อสร้างสูงสุด (ผู้รับเหมา ง.) เลือกวิธีการก่อสร้างทางเลือกที่มีมูลค่ามากที่สุด คือ วิธีทางเลือกที่ 1 ร่วมกับวิธีทางเลือกที่ 2, 3 และ 4 (E_1, E_2, E_3, E_4) และเลือกปฏิบัติวิธีการก่อสร้างทางเลือกน้อยลงในรายถัดมา จนถึงผู้รับเหมารายที่เสนอราคาค่าก่อสร้างต่ำสุด (ผู้รับเหมา ก.) จะไม่เลือกปฏิบัติวิธีการก่อสร้างทางเลือกใด ๆ เลยจนทำให้ตนเองมีราคาประกวดเสมือนสูงสุดและไม่เป็นผู้ชนะการประกวดราคาตามแบบจำลองสัญญา GRIP ในที่สุด

ผลการทดสอบแบบจำลองสัญญา GRIP กับโครงการกรณีศึกษาด้วยการจำลองรูปแบบการเสนอมูลค่าลดการปล่อยมลพิษฯ และใช้เกณฑ์ราคาประกวดเสมือน พบว่ามีความสามารถเปลี่ยนผลการประกวดราคาให้ผู้ที่ไม่ได้เสนอราคาค่าก่อสร้างต่ำสุดเป็นผู้ชนะการประกวดราคาได้ อีกทั้งยังชี้ว่าสัญญาแบบใหม่นี้มีความสามารถตรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการใช้มูลค่า E ให้เป็นมูลค่าสำคัญต่อการตัดสินให้ผู้ร่วมประกวดราคาที่ไม่ได้เสนอราคาค่าก่อสร้างต่ำสุดเป็นผู้ชนะการประกวดราคาได้ โดยที่ผู้ร่วมประกวดราคารายนั้นต้องเสนอวิธีทางเลือกมากพอที่จะทำให้มูลค่า E

มีค่ามากกว่าผลต่างของราคาค่าก่อสร้างของตนกับผู้ร่วมประกวดราคารายที่เสนอราคาค่าก่อสร้างต่ำสุด (ตามสัญญาปกติ) หรือกล่าวได้ว่ามากพอที่จะทำให้มูลค่าราคาประกวดเสมือนของตนมีค่าต่ำสุดได้นั่นเอง ดังนั้นเงื่อนไขพิเศษที่เพิ่มในแบบจำลองสัญญา GRIP สามารถใช้เป็นเครื่องมือของภาครัฐในการสนับสนุนการดำเนินการลดการปล่อยมลพิษฯ ได้อย่างน่าพอใจ ยิ่งไปกว่านั้นบทลงโทษปรับเงินในแบบจำลองสัญญา GRIP จะช่วยป้องกันไม่ให้ผู้ที่ชนะการประกวดราคาด้วยการเสนอวิธีทางเลือกที่ตนเองไม่อาจปฏิบัติได้จริงอีกด้วย

การศึกษาถัดมาคือการประเมินผลตอบรับต่อการนำแบบจำลองสัญญา GRIP มาใช้งานจริงด้วยเทคนิค AHP แนวคิดของการประเมินเกิดจากความร่วมมือต่อการดำเนินการแบบจำลองสัญญาแบบใหม่นี้อาจไม่ใช่เรื่องง่าย เนื่องจากความกังวลต่อความยุ่งยากในการปฏิบัติ ความคุ้มค่าต่อการลงทุน และความเป็นธรรมของวิธีการอาจทำให้การนำแบบจำลองสัญญา GRIP มาปฏิบัติจริงไม่ได้รับความร่วมมือ การประเมินความคิดเห็นของผู้ที่เกี่ยวข้อง คือ ผู้รับเหมาก่อสร้าง และเจ้าของโครงการจึงมีความจำเป็น ความคิดเห็นถูกรวบรวมผ่านแบบสอบถามและประเมินผลด้วยเทคนิค AHP ภาพรวมผลการประเมินชี้ว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่คิดว่าให้นำแบบจำลองสัญญา GRIP มาใช้ทันทีและยินดีร่วมมือหากแบบจำลองสัญญานี้ถูกนำมาใช้ปฏิบัติจริง โดยการศึกษานี้ประเมินผลตอบรับ 2 รูปแบบคือ แบบที่ 1 แบบเฉลี่ยค่าน้ำหนักทั้งหมดด้วยเทคนิค AHP ดังแสดงในตารางที่ 5.8 เป็นการนำค่าน้ำหนักทั้งหมดของผู้ตอบแบบสอบถามมาหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิตเป็นตัวแทนเพื่อหาค่าคะแนนรวมของกลุ่มตัวอย่าง และแบบที่ 2 แบบสรุปเปอร์เซ็นต์ของคำตอบ เป็นการสรุปความคิดเห็นด้วยค่าเปอร์เซ็นต์จากคำตอบในส่วนที่ 5 ของแบบสอบถาม ผลประเมินความคิดเห็นส่วนใหญ่เมื่อประเมินผลทั้ง 2 แบบมีความเห็นในทิศทางเดียวกัน คือ เลือกทางเลือกที่ 1 ให้นำแบบจำลองสัญญา GRIP มาใช้ทันทีมีค่าน้ำหนักความสำคัญ 0.425 สำหรับการประเมินแบบที่ 1 ในขณะที่การประเมินแบบที่ 2 ผลตอบรับว่ายินดีร่วมมือคิดเป็น 92.05% แต่ก็มีผลประเมินความคิดเห็นบางส่วนที่ให้ใช้สัญญาแบบดั้งเดิมไปก่อนหรือไม่ร่วมมือคิดเป็น 2.27% และมีความคิดเห็นว่าไม่แน่ใจต่อการใช้แบบจำลองสัญญา GRIP คิดเป็น 5.68% ของผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด

ผลการประเมินแสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิค AHP นอกจากสามารถประเมินหาสัญญาที่เหมาะสมกับงานก่อสร้างถนนจากงานวิจัยของฐิตาภรณ์ พ่อบุตรดี และคณะ (2555) แล้วยังสามารถประเมินผลรูปแบบอื่น ๆ ในการศึกษานี้ได้ด้วย ผลการประเมินความคิดเห็นนี้สะท้อนถึงความเป็นไปได้ของการดำเนินงานวิธีการใหม่ ๆ ว่าสามารถทำได้โดยใช้เทคนิค AHP ดังนั้นหากต้องการประเมินความร่วมมือใด ๆ สามารถใช้เทคนิคนี้ได้ด้วยเหมือนกัน เพราะเป็นการประเมินผลตอบรับจากความคิดเห็นของผู้ที่เกี่ยวข้องและเป็นผู้ปฏิบัติโดยตรง ค่าน้ำหนักสูงสุดของเกณฑ์ด้านต่าง ๆ และเหตุผลของคำตอบในส่วนที่ 5 ของแบบสอบถามแสดงให้เห็นว่าหากมีวิธีการปฏิบัติเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ที่เหมาะสมและเป็นธรรมผู้ปฏิบัติก็พร้อมที่จะให้ความร่วมมือ ในขณะที่ความกังวล

ถึงต้นทุนที่เพิ่มขึ้นและความไม่แน่ใจต่อรายละเอียดของสัญญาคือสิ่งสำคัญต่อการนำสัญญาแบบใหม่ใด ๆ มาใช้งานจริง

ท้ายที่สุดอาจกล่าวสรุปได้ว่าแบบจำลองสัญญา GRIP แบบใหม่นี้จะเป็นอีกหนึ่งแรงผลักดันให้ผู้รับเหมางานก่อสร้างถนนเกิดความตื่นตัวในการแข่งขันเพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมไปพร้อมกับการแข่งขันด้านราคา หรือเป็นการร่วมมือให้เกิดการก่อสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้นได้ในที่สุด โดยผลลัพธ์จากการประเมินความคิดเห็นจากผู้ที่เกี่ยวข้องพบว่าความคิดเห็นส่วนใหญ่เห็นว่าแบบจำลองสัญญา GRIP เหมาะสมที่จะถูกนำไปปฏิบัติจริงแทนสัญญาแบบดั้งเดิม เมื่อเจ้าของโครงการมีความต้องการผลักดันและสนับสนุนให้เกิดการดำเนินการเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ในโครงการก่อสร้างถนนมากขึ้น

6.2 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะของการศึกษานี้สรุปได้ดังนี้

1) จำนวนวิธีทางเลือกที่กำหนดในการศึกษานี้เพียง 6 วิธีเป็นเพียงการกำหนดเพื่อเป็นวิธีก่อสร้างทางเลือกนำร่อง วิธีทางเลือกเหล่านี้อาจไม่หลากหลายและสอดคล้องกับการดำเนินธุรกิจของผู้รับเหมาบางราย อีกทั้งต้นทุนที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นอุปสรรคต่อการดำเนินกิจการของบริษัทด้วย เทคโนโลยีการก่อสร้างและวัสดุอาจมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วและมีราคาถูกลง แต่หากจะนำวิธีทางเลือกอื่น ๆ ที่มีในปัจจุบัน อย่างเช่น แนวคิดการนำวัสดุรีไซเคิลปรับปรุงคุณภาพกลับมาใช้ใหม่หรือวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอื่น ๆ ให้เป็นวิธีทางเลือกในแบบจำลองสัญญานี้ก็จะติดปัญหาข้อจำกัดด้านข้อกำหนดและกฎหมาย เป็นต้น ดังนั้นการศึกษาในอนาคตอาจสามารถนำเทคโนโลยีดังกล่าวมากำหนดเป็นวิธีทางเลือกเพิ่มเติมได้อีก หรือเมื่อเทคนิควิธีการใช้วัสดุรีไซเคิล หรือเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพวัสดุเหลือทิ้งมาใช้งานที่ผ่านกระบวนการกำหนดให้เป็นข้อกำหนดงานก่อสร้างตามกฎหมายก็สามารถเป็นตัวเลือกเพิ่มเติมได้ในอนาคตเช่นกัน ซึ่งจะทำให้การดำเนินการเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ในงานก่อสร้างถนนของสัญญานี้มีความยืดหยุ่นเพิ่มมากยิ่งขึ้น

2) อัตราปรับโทษเพิ่มเมื่อไม่ปฏิบัติตามวิธีทางเลือกที่เสนอ อัตราที่กำหนดเป็นอัตราปรับเพิ่มนำร่องในการศึกษานี้คือ 5% - 10% อัตราปรับโทษเงินแก่ผู้รับเหมาที่ผิดสัญญามีความจำเป็นต้องกำหนดในช่วงที่เหมาะสม การกำหนดให้ปรับเพิ่มเล็กน้อยอาจทำให้ผู้รับเหมารายนั้นยอมถูกปรับเงินเพื่อจะได้เป็นผู้ชนะการประกวดราคา แต่หากปรับเพิ่มมากเกินไปอาจทำให้ผู้รับเหมาไม่สนับสนุนการดำเนินการเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ ของสัญญานี้ได้เลย ผู้วิจัยเสนอแนะว่าในอนาคตควรมีการศึกษาถึงอัตราปรับเพิ่มที่เหมาะสมอีกครั้งหนึ่งด้วยการเก็บข้อมูลการปรับโทษเพิ่มเมื่อสัญญามีการนำไปใช้งานจริง แล้วนำมาปรับแก้เป็นอัตราปรับโทษเพิ่มใหม่จะลดปัญหาดังกล่าวมาข้างต้นได้เป็นอย่างดี

3) ความกังวลต่อความพร้อมของผู้ปฏิบัติเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการนำแบบจำลองสัญญา GRIP ไปใช้งานจริง ดังนั้นเพื่อให้ความกังวลหมดไปควรเพิ่มการประชาสัมพันธ์ให้ข้อมูลแก่ผู้ที่เกี่ยวข้องถึงประเด็นที่กังวลทั้งด้านต้นทุนที่เพิ่มขึ้นว่าจะถูกชดเชยด้วยโอกาสเป็นผู้ชนะการประกวดราคามากขึ้นแม้ไม่ได้เสนอราคาค่าก่อสร้างต่ำสุด และแสดงข้อมูลรายละเอียดขั้นตอนปฏิบัติอย่างครบถ้วน

4) ความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่ยังไม่ครอบคลุมถึงผู้ปฏิบัติส่วนใหญ่ของอุตสาหกรรม ถึงแม้ว่าผลการประเมินของกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กจะชี้ว่ายินดีร่วมมือเมื่อนำแบบจำลองสัญญา GRIP มาปฏิบัติจริง แต่ก็เป็นเพียงความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับโครงการงานก่อสร้างถนนของกรมทางหลวงในประเทศไทยเท่านั้น ดังนั้นผลลัพธ์นี้อาจเปลี่ยนไปหากมีการประเมินกับกลุ่มตัวอย่างกลุ่มอื่น ๆ ความแตกต่างของการดำเนินธุรกิจและข้อกฎหมายในแต่ละประเทศคือตัวแปรสำคัญที่อาจส่งผลต่อความคิดเห็นที่เปลี่ยนไปได้ ผู้วิจัยเสนอแนะว่าหากการศึกษาในอนาคตสามารถประเมินความคิดเห็นของผู้ปฏิบัติที่เกี่ยวข้องในระดับสากลจากภายนอกประเทศ อาจทำให้ได้ผลลัพธ์ที่เป็นตัวแทนของผู้ปฏิบัติในอุตสาหกรรมก่อสร้างจริง ๆ มากขึ้น ถึงกระนั้นการประเมินความคิดเห็นด้วยข้อมูลในระดับสากลต้องพิจารณาถึงความคุ้มค่าต่อต้นทุนการดำเนินการสำรวจที่เพิ่มขึ้นด้วย

5) แนวคิดของแบบจำลองนี้เป็นการชดเชยค่าลงทุนของผู้รับเหมาด้วยการเพิ่มโอกาสเป็นผู้ชนะการประกวดราคาและจ่ายเงินค่าก่อสร้างเพิ่ม (จากมูลค่า E ที่เสนอและทำได้จริงตามนั้น) ซึ่งเงินที่จ่ายเพิ่มนี้อาจถูกมองเป็นภาระทางด้านงบประมาณ แม้ว่ารัฐบาลยินดีสนับสนุนงบประมาณส่วนที่เพิ่มขึ้นนี้แต่การประมาณการเงินงบประมาณดังกล่าวทุกโครงการฯ อาจทำได้ยากเพราะเงินที่จ่ายเพิ่มจะทราบได้เมื่อมีผู้เสนอมูลค่า E มาแล้วในทุกโครงการเท่านั้น ดังนั้นหากมีการศึกษาในอนาคตที่สร้างทางเลือกให้สามารถเปลี่ยนการจ่ายเงินเพิ่มจากการให้ผู้รับเหมาเลือกปฏิบัติและเสนอมูล่คา E เองภาคสมัครใจ ไปเป็นการดำเนินงานภาคบังคับด้วยการประเมินงบประมาณค่าก่อสร้างที่บวกเพิ่มต้นทุนดำเนินการเพื่อลดการปล่อยมลพิษฯ เข้าไว้กับราคากลางงานก่อสร้างด้วยเลย ก็จะสามารถประมาณการงบประมาณที่ต้องจ่ายเพิ่มให้ทุกโครงการฯ ได้ง่ายขึ้น

รายการอ้างอิง

กัมปนาท เทียนน้อย. (2555). **การควบคุมปริมาณมลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซลด้วยกระบวนการซีเล็คทีฟแคทตาลิสต์รีดักชั่น.** วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์, 4(3), 124-139.

กรมควบคุมมลพิษ. (2554). **รู้รอบทิศมลพิษทางอากาศ บทเรียน แนวคิด และการจัดการ.** กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร.

กรมควบคุมมลพิษ. (2559). **สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงของประเทศไทย ปี 2559.** กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร.

กรมควบคุมมลพิษ. (2562). **ยุทธศาสตร์การจัดการมลพิษ 20 ปี และแผนจัดการมลพิษ พ.ศ.2560-2564.** กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร.

กรมทางหลวง. (2549). **คู่มือเพื่อปฏิบัติตามแนวทางและวิธีปฏิบัติตามระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการพัสดุด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ พ.ศ.2549 ของกรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม.** [ออนไลน์] ได้จาก http://www.doh.go.th/doh/images/law/bid/auction1.zip. (7 มิถุนายน 2560)

กรมทางหลวง, สำนักเครื่องกลและสื่อสาร. (2558). **สถิติการใช้งานเครื่องจักร.** กระทรวงคมนาคม. กรุงเทพมหานคร.

กรมทางหลวง, สำนักมาตรฐานและประเมินผล. (2559). **รายชื่อผู้รับเหมางานก่อสร้างชั้นพิเศษ.** [ออนไลน์] ได้จาก http://hwstd.com/legacy/special.asp. (11 เมษายน 2559)

กรมบัญชีกลาง, สำนักพัฒนามาตรฐานระบบพัสดุภาครัฐ. (2549). **แนวทางการปฏิบัติตามระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรี ว่าด้วยการพัสดุด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ พ.ศ.2549.** กระทรวงการคลัง. กรุงเทพมหานคร.

กรมบัญชีกลาง, สำนักมาตรฐานการจัดซื้อจัดจ้างภาครัฐ. (2556). **ข้อมความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดซื้อจดจ้างสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของภาครัฐ.** กระทรวงการคลัง. กรุงเทพมหานคร.

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2562). **คลังความรู้ อากาศ: มลพิษทางอากาศ.** [ออนไลน์] ได้จาก https://www.deqp.go.th/knowledge/มลพิษทางอากาศ. (4 ตุลาคม 2562)

ฐิตาภรณ์ พ่อบุตรดี, นภดล จอกแก้ว, และ ธนิต ธงทอง. (2555). **การศึกษารูปแบบแรงจูงใจสำหรับงานก่อสร้างภาครัฐ: กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างถนน.** การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17, 9-11 พฤษภาคม 2555, อุดรธานี.

นิกร เจียมวรพงศ์ และธนิต ธงทอง. (2555). **การศึกษาแนวทางการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้าง**. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้ง ที่ 17, 9-11 พฤษภาคม 2555, อุดรธานี.

นิรมล สุธรรมกิจ และลดาวัลย์ พวงจิตร. (2552). **การเจรจาและแก้ไขปัญหาโลกร้อนของไทยและในเวทีโลก: Voluntary Carbon Market และ REDD.** กรุงเทพมหานคร: ห้างหุ้นส่วนจำกัดภาพพิมพ์.

นิรมล สุธรรมกิจ. (2557). ปัญหาสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย. **เอกสารประกอบการสอน คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.**: 6-6.

เมธากุล มีธรรม และวชรภูมิ เบญจโอฬาร. (2559). **การเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากงานก่อสร้างถนนโดยการเลือกเทคนิคการก่อสร้างที่ต่างกัน.** วารสารวิชาการครุศาตร์อุตสาหกรรม พระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 7(2), 1-9.

สำนักงบประมาณ. (2562). **งบประมาณฉบับประชาชน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563.** กระทรวงการคลัง. กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (สศช). (2553). **เอกสาร ทิศทางแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ ๑๑ (ฉบับชุมชน) "แผนฯ ๑๑ ... สู่สังคมแห่งความสุขอย่างมีภูมิคุ้มกัน".** สำนักประเมินผลและเผยแพร่การพัฒนา. กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (สศช). (2560). **สรุปสาระสำคัญแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่สิบสอง พ.ศ.๒๕๖๐-๒๕๖๔.** สำนักนายกรัฐมนตรี. กรุงเทพมหานคร.

สำนักนายกรัฐมนตรี. (2558). **ประกาศสำนักนายกรัฐมนตรี เรื่อง แนวทางปฏิบัติในการจัดหาพัสดุด้วยวิธีตลาดอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Market: e - market) และด้วยวิธีประกวดราคาอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Bidding: e - bidding).** ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 132 ตอนพิเศษ 29 ง. กรุงเทพมหานคร.

Abudayyeh, O., Zidan, S.J., Yehia, S., and Randolph, D. (2007). **Hybrid Prequalification-Based, Innovative Contracting Model Using AHP.** Journal of Management in Engineering, 23(2), 88-96.

Ahn, C. (2012). **An Integrated Framework for Sustainable Construction Processes: Understanding and Managing the Environmental Performance of Construction Operations.** Ph.D. Dissertation. University of Illinois at Urbana-Champaign, USA.

Ahn, C., Peña-Mora, F., Lee, S., and Arboleda, C. A. (2013). **Consideration of the Environmental Cost in Construction Contracting for Public Works: A+C and A+B+C Bidding Methods.** Journal of Management in Engineering, 29(1), 86-94.

Al-Harbi, K.M. (2001). **Application of the AHP in project management.** International Journal of Project Management, 19(2001), 19-27.

Anthonissen, J., Van Troyen, D., Braet, J., and Van den bergh, W. (2015). **Using Carbon Dioxide Emissions as a Criterion to Award Road Construction Projects: A Pilot Case in Flanders.** Journal of Cleaner Production, 102(2015), 96-102.

Arditi, D., Khisty, C.J., and Yasamis, F. (1997). **Incentive/Disincentive Provisions in Highway Contracts.** Journal of Construction Engineering and Management, 123(3), 302-307.

Asgari, S., Song, X., and Odeh, I. (2017). **Managing Greenhouse Gas Emissions in Civil Infrastructure Projects Using Green Performance Bond**. In Proceedings of the 2017 AACE International Conference on Sustainable Infrastructure, October 2017, New York, 231-243.

Bahurmoz, A. (2006). **The Analytic Hierarchy Process: A Methodology for Win-Win Management.** Journal of King Abdulaziz University: Economics and Administration, 2(1), 3-16.

Barandica, J.M., Fernández-Sánchez, G., Berzosa, Á., Delgado, J.A., and Acosta, F.J. (2013). **Applying Life Cycle Thinking to Reduce Greenhouse Gas Emissions from Road Projects.** Journal of Cleaner Production, 57(2013), 79-91.

Beierle, T.C. (1998). **Public Participation in Environmental Decisions: An Evaluation Framework Using Social Goals.** Discussion Paper 99-06. Resources for the Future, Washington, DC.

Bhushan, N., and Rai, K. (2004). **Strategic Decision Making - Applying the Analytic Hierarchy Process.** 1st ed. Springer-Verlag, London.

Bouwer, M., de Jong, K., Jonk, M., Berman, T., Bersani, R., Lusser, H., Nissinen, A., Parikka, K. and Szuppinger, P. (2011). **Green Public Procurement in Europe 2005 - Status overview.** Virage Milieu & Management bv, AJ Haarlem, Netherlands.

Buyle, M., Braet, J., and Audenaert, A. (2013). **Life Cycle Assessment in the Construction Sector: A Review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 26(2013), 379-388.

Cambridge Systematics (CS). (2011). **Maryland Climate Action Plan – MDOT Draft 2012 Implementation Plan.** Bethesda, MD.

Cass, D., and Mukherjee, A. (2011). **Calculation of Greenhouse Gas Emissions for Highway Construction Operations by using a Hybrid Life-Cycle Assessment Approach: Case Study for Pavement Operations.** Journal of Construction Engineering and Management, 137(11), 1015-1025.

Caterpillar (2013). **336EH hydraulic excavator.** Product Brochure. [Online]. Available: http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C811713. (Jan 10, 2016)

Caterpillar (2014). **Caterpillar Performance Handbook.** 44th ed. Illinois: Caterpillar.

Charnley, S., and Engelbert, B. (2005). **Evaluating Public Participation in Environmental Decision-Making: EPA's Superfund Community Involvement Program.** Journal of Environmental Management, 77(2005), 165-182.

Cole, R.J. (1998). **Energy and Greenhouse Gas Emissions Associated with the Construction of Alternative Structural Systems.** Building and Environment, 34(3), 335-348.

Crawford, R.H. (2011). **Life Cycle Assessment in the Built Environment.** Spon Press, New York.

Cui, Q., Zhu, X., Whitten, L., and Dason-Deane, R. (2011). **Innovative Contracting Strategies for Combating Climate Change – Maryland State Highway Administration – Final Report.** MD-11-SP009B4G, University of Maryland, MD.

Curran, M.A. (2006). **Life Cycle Assessment: Principles and Practice.** National Risk Management Research Laboratory, Ohio.

Darko, A., Chuen-Chan, A.P., Ameyaw, E.E., Owusu, E.K., Pärn, E., and Edwards, D.J. (2018). **Review of Application of Analytic Hierarchy Process (AHP) in Construction.** International Journal of Construction Management, 1-17.

Datta, A., Ray, A., Bhattacharya, G., and Saha, H. (2011). **Green Energy Sources (GES) Selected Based on Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA).** International Journal of Energy Sector Management, 5(2), 271-286.

DCL International Inc. (DCL). (2015). **Typical Conversion Efficiencies.** [Online]. Available: http://www.dcl-inc.com/catalyst-specifications/. (Jan 18, 2016)

Delft University of Technology (TUDelft). (2019). **Data on eco-costs, carbon footprint, and other indicators.** The Model of the Eco-costs/Value Ratio (EVR). [Online]. Available: http://ecocostsvalue.com/EVR/model/theory/subject/5-data.html. (Oct 28, 2019)

El-Rayes, K. (2001). **Optimum Planning of Highway Construction under A + B Bidding Method.** Journal of Construction Engineering and Management, 127(4), 261-269.

El-Rayes, K., and Kandil, A. (2005). **Time-Cost-Quality Trade-Off Analysis for Highway Construction.** Journal of Construction Engineering and Management, 131(4), 477-486.

Environmental Defense Fund (EDF). (2005). **Cleaner Diesel Handbook: Bring Cleaner Fuel and Diesel Retrofits into Your Neighborhood.** New York, NY.

Eštoková, A., and PorhinČák, M. (2012). **Reduction of Primary Energy and CO_2 Emissions through Selection and Environmental Evaluation of Building Materials.** Theoretical Foundations of Chemical Engineering, 46(6), 704-712.

European Union (EU). (2012). **Strategy for the Sustainable Competitiveness of the Construction Sector and Its Enterprises.** European Commission, Brussels, Belgium.

European Union (EU). (2016a). **Buying green! A Handbook on Green Public Procurement.** European Commission, Brussels, Belgium.

European Union (EU). (2016b). **The European Construction Sector: A Global Partner.** European Commission, Brussels, Belgium.

Executive Office of the President (EOP). (2013). **President Obama's Climate Action Plan.** The White House, Washington, DC.

Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, B.H.R., Christiansen, K., and Klüppel, H.-J. (2006). **The New International Standards for Life Cycle Assessment: ISO 14040 and ISO 14044.** International Journal of Life Cycle Assessment, 11(2), 80–85.

Forsberg, A., and von Malmborg, F. (2004). **Tools for Environmental Assessment of the Built Environment.** Building and Environment, 39(2), 223-228.

Gransberg, D.D., and Lopez Del Puerto, C. (2017). **Incentivizing Construction Contracts To Enhance Sustainability in Construction Projects.** In Proceedings of the 2017 AACE International Annual Meeting, June 2017, Orlando, Florida.

Hendrickson, C.T., Lave, L.B., and Matthews, H.S. (2006). **Environmental Life Cycle Assessment of Goods and Services: An Input-Output Approach.** Resources for the Future, Washington, DC.

Hitachi (2015). **New Generation Hybrid Excavator zh200-5b.** [Online]. Available: http://www.hitachi.com/environment/showcase/solution/industrial/hybrid_excavator.html . (Jan 10, 2016)

Hong, T., Ji, C., Jang, M., and Park, H. (2014). **Assessment Model for Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions during Building Construction.** Journal of Management in Engineering, 30(2), 226–235.

International Standard (ISO). (2006a). ISO 14040: 2006, **Environmental Management Systems – Life Cycle Assessment – Principles and Framework.** Switzerland.

International Standard (ISO). (2006b). ISO 14044: 2006, **Environmental Management Systems – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines.** Switzerland.

ICF Consulting (ICF). (2005). **Emission Reduction Incentives for Off-Road Diesel Equipment Used in the Port and Construction Sectors – Final Report.** Prepared for U.S. Environmental Protection Agency, Virginia.

Javid, R.J., Nejat, A., and Hayhoe, K. (2014). **Selection of CO_2 Mitigation Strategies for Road Transportation in the United States Using A Multi-Criteria Approach.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 38(2014), 960-972.

Jato-Espino, D., Castillo-Lopez, E., Rodriguez-Hernandez, J., Canteras-Jordana, J.C. (2014). **A Review of Application of Multi-Criteria Decision Making Methods in Construction.** Automation in Construction, 45(2014), 151-162.

Johnson Matthey (2015). **Diesel Exhaust Gas Treatment SCRT for Retrofitting.** [Online]. Available:http://www.jmdpf.com/pdfs-library/Johnson-Matthey-DPF-brochure-2015.pdf. (Jan 18, 2016)

Kofoworola, O.F., and Gheewala, S.H. (2008). **Environmental Lifecycle Assessment of a Commercial Office Building in Thailand.** International Journal of Life Cycle Assessment, 13(6), 498-511.

Komatsu (2008). **Mitigating Climate Change through Construction Equipment.** [Online]. Available: http://www.komatsu.com/CompanyInfo/csr/current_report/pdf/05.pdf. (Apr 10, 2010)

Komatsu (2001). **Mitigating Climate Change through Products and Services.** [Online]. Available: http://www.komatsu.com/CompanyInfo/csr/2009/pdf/13.pdf. (Jan 10, 2016)

Kua, T.A., Arulrajah, A., Horpibulsuk, S., Du, Y.J., and Suksiripattanapong, C. (2016). **Engineering and Environmental Evaluation of Spent Coffee Grounds Stabilized with Industrial By-Products as A Road Subgrade Material.** Clean Technologies and Environmental Policy, (2016), 1-13.

Kurka, T., and Blackwood, D. (2013). **Selection of MCA Methods to Support Decision Making for Renewable Energy Developments.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 27(2013), 225-233.

Liu, X., Cui, Q., and Schwartz, C. (2013). **Greenhouse Gas Emissions of Alternative Pavement Designs: Framework Development and Illustrative Application.** Journal of Environmental Management, 132(2014), 313-322.

LIU, K. (2016). **Prioritizing criteria for Evaluating Cultural Contents in EFL Textbooks trough AHP.** Journal of Language Teaching and Research, 7(5), 841-850.

Manufacturers of Emission Controls Association (MECA). (2007). **Emission Control Technologies for Diesel-Powered Vehicles.** Washington, DC.

Metropolitan Washington Council of Governments (COG). (2010). **Potential Federal Funding Sources for Environmental Mitigation Efforts.** Long-Range Transportation Planning, Washington, DC.

Michigan Department of Transportation (MDOT). (2015). **Innovative Construction Contracting Guide.** Lansing, MI.

Ministry of the Environment (MOE). (2017). **Act on Promoting Green Procurement.** Environment and Economy Division, Tokyo, Japan.

Ministry of Natural Resources and Environment (MNRE). (2018). **Procurement of Goods and Services Manual.** Pollution Control Department, Bangkok, Thailand.

Minnesota Department of Transportation (Mn/DOT). (2008). **Innovative Contracting Guidelines.** Office of Construction and Innovative Contracting. (Aug. 4, 2015).

Mroueh, U.-M., Eskola, P., and Laine-Ylijoki, J. (2001). **Life-Cycle Impacts of the Use of Industrial By-Products in Road and Earth Construction.** Waste Management, 21(3), 271-277.

Nelms, C., Russell, A.D. and Lence, B.J. (2005). **Assessing the Performance of Sustainable Technologies for Building Projects.** Canadian Journal of Civil Engineering, 32(1), 114-128.

Ochiai, M., and Ryu, S. (2008). **Hybrid in Construction Machinery.** In Proceedings of the 7th JFPS International Symposium on Fluid Power, 15-18 September 2008, Toyama, Japan, 41-44.

Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). (2015). **Going Green - Best Practices for Sustainable Procurement.** European Commission, Paris, France.

Ortiz, O., Castells, F., and Sonnemann, G. (2009). **Sustainability in the Construction Industry: A Review of Recent Developments Based on LCA.** Construction and Building Materials, 23(1), 28-39.

Pang, S., Frey, H.C., and Rasdorf, W.J. (2009). **Life Cycle Inventory Energy Consumption and Emissions for Biodiesel versus Petroleum Diesel Fueled Construction Vehicles.** Journal of Environmental Science and Technology, 43(16), 6398-6405.

Park, K., Hwang, Y., Seo, S., and Seo, H. (2003). **Quantitative Assessment of Environmental Impacts on Life Cycle of Highways.** Journal of Construction Engineering and Management, 129(1), 25-31.

Pellicer, E., Yepes, V., Teixeira, J.C., Moura, H.P., and Catalá, J. (2014). **Construction Management.** 1st ed. Wiley-Blackwell, Oxford.

Puri, D., and Tiwari, S. (2014). **Evaluating the Criteria for Contractors' Selection and Bid Evaluation.** International Journal of Engineering Science Invention, 3(7), 44-48.

Ritchie, H., and Roser, M. (2019). **Air Pollution.** [Online]. Available: https://ourworldindata.org/air-pollution. (Oct. 28, 2019)

Rustom, N.H. (2014). **Promoting Green Buildings Practices in Palestine.** M. Thesis No. 120120084, The Islamic University of Gaza, Palestine.

Saaty, T.L. (1980). **The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting and Resource Allocation.** McGraw-Hill, New York.

Saaty, T.L. (2006). **Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process.** 2nd ed. RWS Publications, New York.

Santero, N., Loijos, A., and Ochsendorf, J. (2 0 1 3). **Greenhouse Gas Emissions Reduction Opportunities for Concrete Pavements.** Journal of Industrial Ecology, 17(6), 859-868.

Sara, J., Stikkelman, R.M., and Herder, P.M. (2015). **Assessing Relative Importance and Mutual Influence of Barriers for CCS Deployment of the ROAD Project Using AHP and DEMATEL Methods.** International Journal of Greenhouse Gas Control, 41(2015), 336-357.

Shi, Q., and Chen, Z. (2011). **Research on Carbon Problems in the Construction Industry.** In Proceedings of the 2nd International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, MACE 2011, Inner Mongolia, China, 2460-2463.

SimaPro 8.0 (2013). **Introduction to LCA with SimaPro.** California: PRé Consultants.

Simons, L., and Wiegel, V. (2009). **Evaluating AHP as Multi-Stakeholder Decision Tool.** In Proceedings of the 2009 IEEE International Technology Management Conference, ICE 2009, 22-24 June 2009, Leiden, Netherlands, 1-9.

Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). (2009). **Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products.** [Online]. Available: http://www.unep.fr/scp /publications/details.asp?id=DTI/1164/PA. (Jan 10, 2016)

Song, X., Wang, T., Nie, T., and Guo, X. (2016). **Green Performance Bond: Managing Greenhouse Gas (GHG) Emissions in Construction Projects.** Journal of Engineering and Architecture, 4(1), 1-16.

Strager, M.P., and Rosenberger, R.S. (2006). **Incorporating Stakeholder Preferences for Land Conservation: Weights and Measures in Spatial MCA.** Ecological Economics, 58(2006), 79-92.

Suzuki, M., Tatsuo, O., and Okada, K. (1994). **The Estimation of Energy Consumption and CO_2 Emission Due To Housing Construction in Japan.** Energy and Buildings, 22(2), 165-169.

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006a). **Volume 1 General Guidance and Reporting.** 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, the Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan.

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006b). **EFDB: IPCC Emission Factor Database.** IPCC default data, Geneva, Switzerland. [Online]. Available: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php. (Nov 1, 2019)

United States Department of Energy (DOE). (2010). **Diesel Power: Clean Vehicles for Tomorrow.** DOE Energy Efficiency and Renewable Energy Vehicle Technologies Program.

United States Environmental Protection Agency (EPA). (2002). **A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions — Draft Technical Report.** EPA420-P-02-001, Office of Transportation and Air Quality, U.S. EPA, Washington, DC.

United States Environmental Protection Agency (EPA). (2005). **National Clean Diesel Campaign — Innovative Strategies for Cleaner Air — 2005 Progress Report.** EPA420-R-06-009, Office of Transportation and Air Quality, U.S. EPA, Washington, DC.

United States Environmental Protection Agency (EPA). (2006). **Recommendations for Reducing Emissions from the Legacy Diesel Fleet.** Clean Air Act Advisory Committee, Office of Transportation and Air Quality, U.S. EPA, Ann Arbor, MI.

United States Environmental Protection Agency (EPA). (2007). **Cleaner Diesels: Low Cost Ways to Reduce Emissions from Construction Equipment.** EPA 100-R-07-002, National Center for Environmental Innovation, U.S. EPA, Washington, DC.

United States Environmental Protection Agency (EPA). (2008). **NONROAD Model, Version 2008a.** Office of Transportation and Air Quality, U.S. EPA, Washington, DC.

Utama, A., and Gheewala, S.H. (2008). **Life Cycle Energy of Single Landed Houses in Indonesia.** Energy and Buildings, 40(10), 1911–1916.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Venkatarama Reddy, B.V. (2009). **Sustainable Materials for Low Carbon Buildings.** International Journal of Low-Carbon Technologies, 4(3), 175-181.

Vogtländer, J.G., Baetens, B., Bijma, A., Brandjes, E., Lindeijer, E., Segers, M., Witte, F., Brezet, J.C., and Hendiks, Ch. F. (2009). **LCA-Based Assessment of Sustainability: The Eco-costs/Value Ratio (EVR).** VSSD: Science and Technology, Delft Academic Press, Netherlands.

Volvo (2008). **Volvo Wheel Loader_l220f Hybrid.** [Online]. Available: http://www.volvoce.com/SiteCollectionDocuments/VCE/DocumentsGlobal/wheelloaders/brochureHybridloader_21A1004471_2008-02.pdf. (Jan 10, 2016)

Wang, J.-J., Jing, Y.-Y., Zhang, C.-F., and Zhao, J.-H. (2009). **Review on Multi-Criteria Decision Analysis Aid in Sustainable Energy Decision-Making.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(2009), 2263-2278.

White, P., Golden, J.S., Biligiri, K.P., and Kaloush, K. (2 0 1 0). **Modeling Climate Change Impacts of Pavement Production and Construction.** Resources, Conservation and Recycling, 54(11), 776-782.

World Bank (2014). **Reducing black carbon emissions from diesel vehicles: impacts, control strategies, and cost-benefit analysis.** Live Science, August 27, 2015.

World Bank (2016). **The Cost of Air Pollution: Strengthening the Economic Case for Action.** World Bank and Institute for Health Metrics and Evaluation, Washington, DC.

World Health Organization (WHO). (2016). **Ambient Air Pollution: A global assessment of exposure and burden of disease.** WHO Document Production Services, Geneva, Switzerland.

Yamane, T. (1973). **Statistics: An Introductory Analysis.** 3rd ed. Harper and Row Publications, New York.

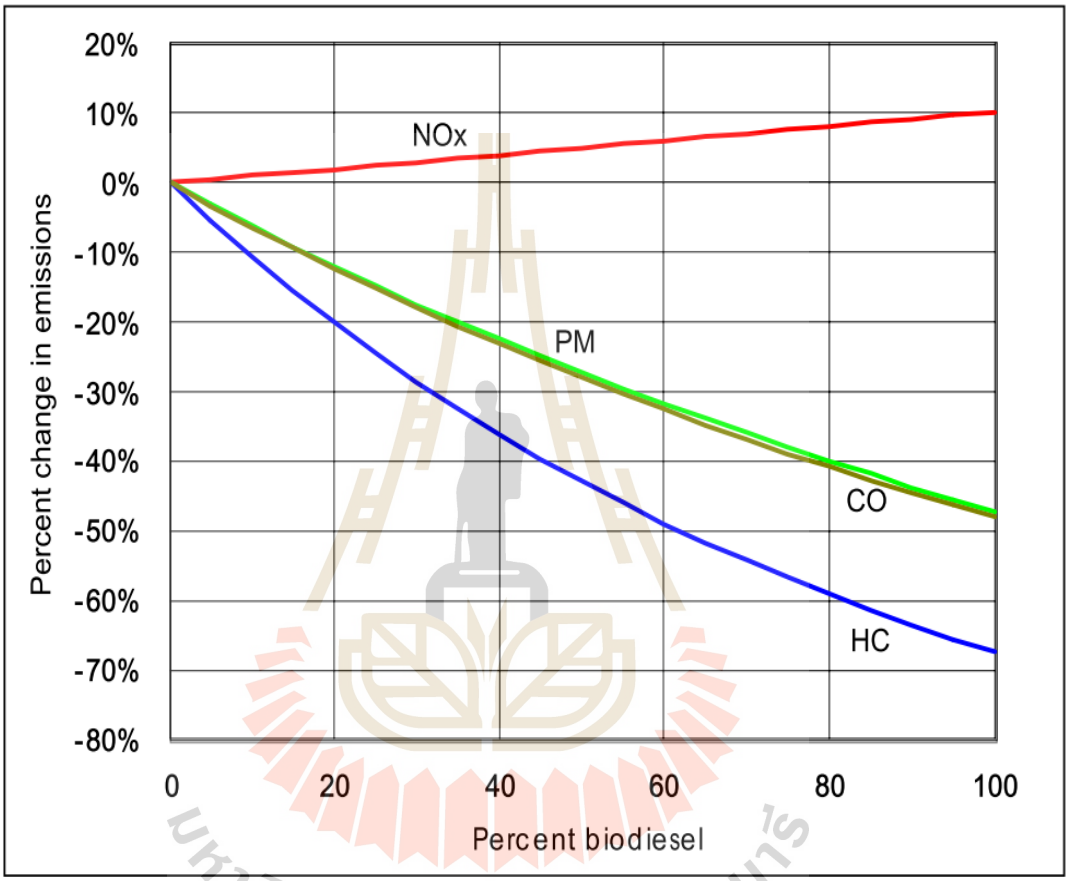
ภาคผนวก ก

ข้อมูลประกอบการคำนวณมูลค่าลดการปล่อยก๊าซฯ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.1 ข้อมูลประกอบการคำนวณวิธีทางเลือกที่ 1

Figure IV.A.1-1
Basic emission correlations



รูปที่ ก.1.1 ปริมาณการปล่อยก๊าซฯ จากน้ำมันไบโอดีเซล (EPA, 2002)

ก.2 ข้อมูลประกอบการคำนวณวิธีทางเลือกที่ 3

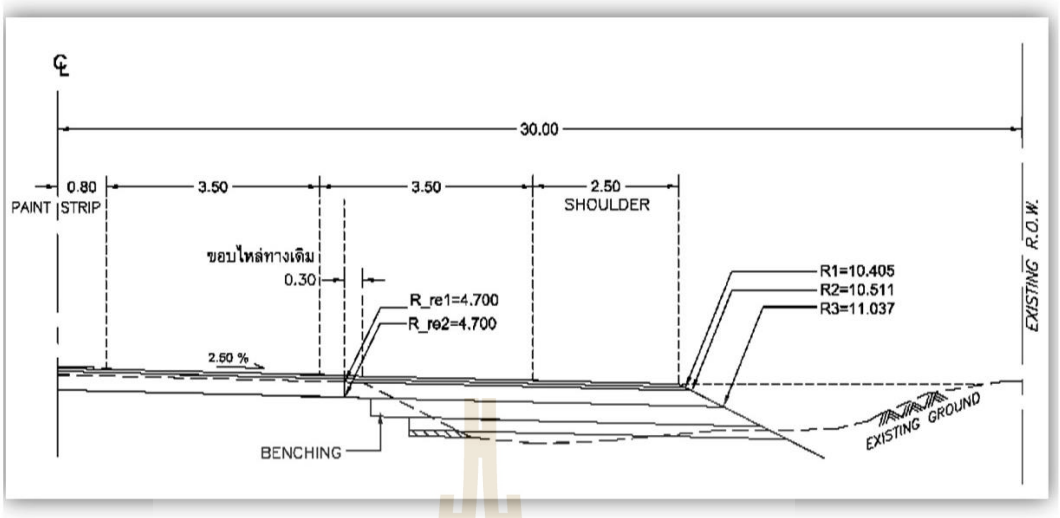
ตารางที่ ก.2.1 ความแตกต่างของทรัพยากรที่ต้องการในแต่ละเทคนิคทางเลือก

		Crushed Rock Base (CR)	Soil Cement Base mix in-place (S_{pc})	Soil Cement Base mix in-plant (S_{pt})
Materials	Aggregate*	•		
	Soil		•	•
	Cement		•	•
Machinery**	Motor grader	•	•	•
	Rubber tyre roller	•	•	•
	Vibrating roller	•	•	•
	Steel wheel roller	•		
	Cold recycler		•	
	Water truck	•	•	•
	Wheel loader			•
	Dump truck		•	•
	Electricity generator			•
Energy	Diesel	•	•	•
	Electricity			•

หมายเหตุ: * คือมวลรวมที่ไม่ได้แยกมวลรวมแต่ละขนาดออกจากกัน, ** คือความต้องการใช้งานโดยไม่ได้แสดงถึงจำนวนที่นำมาใช้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ก.2.1 ระยะทางขนส่งวัสดุถึงพื้นที่ก่อสร้างกรณีศึกษา (วิธีทางเลือกที่ 3)



Typical cross section - case study

$$R1 = 10.30 + \frac{0.050}{0.475} = 10.40526 \text{ ม.}$$

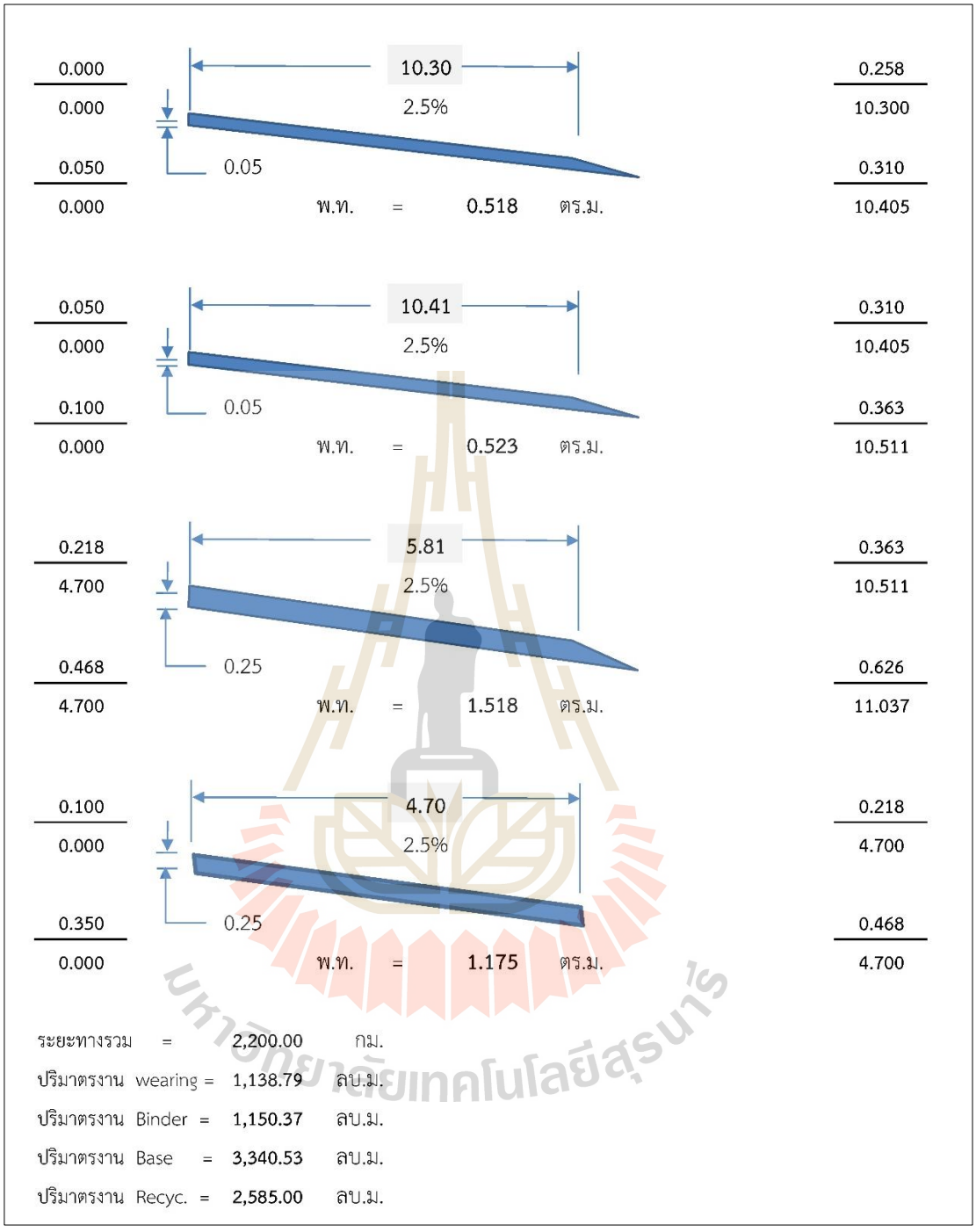
$$R2 = 10.30 + \frac{0.100}{0.475} = 10.51053 \text{ ม.}$$

$$R3 = 5.60 + \frac{0.350}{0.475} = 6.33684 + 4.70 = 11.03684 \text{ ม.}$$

$$R_re1 = 4.70 = 4.70000 \text{ ม.}$$

$$R_re2 = 4.70 = 4.70000 \text{ ม.}$$

รูปที่ ก.2.2 โครงสร้างชั้นทางกรณีศึกษา (วิธีทางเลือกที่ 3)



รูปที่ ก.2.3 ปริมาณวัสดุที่ใช้จากโครงการฯ กรณีศึกษา (วิธีทางเลือกที่ 3)

อัตราการทำงานของชุดมาตรฐานเครื่องจักรก่อสร้างทาง 1 ชุด (ข้อมูลปี พ.ศ.2548)

ลำดับ	ลักษณะงาน	ผลงานต่อวัน	หน่วย
1	งานถางป่าขุดต่อ (Clearing and Grubbin)		
	ขนาดเบา	11,000	ตร.ม.
	ขนาดกลาง	11,000	ตร.ม.
	ขนาดหนัก	7,000	ตร.ม.
2	งานตัดคันทาง (Roadway Excavation)		
	ดิน	600	ลบ.ม. ธรรมชาติ
	หินผุ	1,100	ลบ.ม. ธรรมชาติ
	หินแข็ง	300	ลบ.ม. ธรรมชาติ
3	งานดินถมคันทาง (Embankmen)	600	ลบ.ม. แน่น
4	งานวัสดุคัดเลือก, รองพื้นทางลูกรัง (Selected & Subbase)	500	ลบ.ม. แน่น
5	งานพื้นทางหินคลุก (Base Course)	290	ลบ.ม. แน่น
6	งานไหล่ทาง ลูกรัง หรือหินคลุก (Shoulder)	310	ลบ.ม. แน่น
7	งานราดยางไพรม์โค้ต (Prime Coat)	5,000	ตร.ม.
8	งานราดยางแทคโค้ต (Tack Coat)	3,500	ตร.ม.
9	งานผิวทางแบบบาง (Surface Treatmen)		
	ชั้นเดียว	4,945	ตร.ม.
	สองชั้น	2,730	ตร.ม.
10	งานผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต (Asphaltic Concrete)		
	เครื่องผสมแอสฟัลท์ติก (Mixing Plan)	430	ตัน
	การปูลาดและบดทับผิวแอสฟัลท์ติกหนา 5 ซม.	3,500	ตร.ม.
11	งานผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็ก		
	เครื่องผสมคอนกรีต (Concrete Pavemen)	175	ลบ.ม.
	การปูลาดผิวคอนกรีตหนา 25 ซม.	875	ตร.ม.
12	งานพื้นทางวัสดุผสม (Stabilized Base)	300	ลบ.ม. แน่น

หมายเหตุ

1. อัตราการทำงานนี้ใช้สำหรับคำนวณจำนวนวันทำการตามสัญญา สำหรับงานคันทางและโครงสร้างผิวทาง จำนวนวันทำงานสำหรับงานเบ็ดเตล็ด และอื่นๆ จะนำมารวมภายหลัง
2. หน่วย ลบ.ม. ธรรมชาติ เป็นหน่วย ลบ.ม. แน่นในสภาพธรรมชาติ (Bank volume)
3. หน่วย ลบ.ม. แน่น เป็นหน่วย ลบ.ม. แน่นภายหลังการบดทับ (Compacted volume)
4. จำนวนชั่วโมงทำงานต่อวันคิด 7.00 ชม./วัน

รูปที่ ก.2.4 อัตราการทำงานของเครื่องจักร (กรมทางหลวง)

ตารางการจัดชุดเครื่องจักร 1 ชุด

ลำดับ	ข้อพิจารณาก่อสร้าง	D8	D6	D4	Mg	B/E	Wl	Btr	Vr	Swr	Wt	Dm	Ac	Pb	Ab	Ad	Ast	SpCs	Dt	Pcm	Ap	Acp	Cmp	Cs	Cf	Csc	Sy	Cv	Eg	Cn	Csm	Sp
1	งานงานไม้ - ชุดพอ - ตรวดดินดิน																															
	ขนาดเบา				1																											
	ขนาดกลาง		1		1																											
	ขนาดหนัก	1	1		1																											
2	งานผิวทางหินคลุก																															
	ชุด - พอ - ชุ้น		1			1																										
	บดทับ				1			1	1		1																					
3	งานชุดทำผิวชั้นรูปโรงทางหิน																															
	ทำผุ		1				1																									
	ทำผุ		2				1																									
	ทำแกรี่	1					1						1																			
4	งานวัสดุต่อน้ำยาง - ลูกรัง																															
	ชุด - พอ - ชุ้น	1					1																									
	ผสม				1				1		1																					
	บดทับ				1				1																							
5	งานน้ำยางทาง ลูกรัง																															
	บดทับ				1			1	1		1																					
6	งานพื้นทาง หินคลุก																															
	ผสม				1																											
	บดทับ				1			1	1		1																					
7	งานติดตั้งเครื่องจักรใช้ พลาสติกงานดิน บดทับ																															
	ที่ม				1			1	1		1																					
8	งานชุดต่อต่อน้ำยางเพื่อชุดตัวบดทับ																															
	ถังลูกรัง 10 ซม.				1			1	1		1																					
	พื้นทาง 10 ซม.				1			1	1		1																					
	ชุด - พอ - ชุ้น ถังลอดชั้นหนา 5 ซม.				1		1																									
9	งานน้ำยางรีโต้										1			1	1	1																
10	งานยกรีโต้										1			1	1	1																
11	งานผิวทางยกยาง						1	2						1	1	1	2	1	3													
12	งานยกรีดยกผิวถังน้ำ						1													1												
13	งานผิวทางยกลอดชั้นคุ้มยกรีด						1	3	1	1	1			1	1		2		4		1	1						1			
14	งานผิวทางคุ้มยกรีด						1				1												1	1	1	1	1	4	1			
15	งาน Stabilized layer (In place)				1		1	1	2	1	3							1	2													
15.1	งาน Stabilized layer (In plant)				1		1	1	2	1	3								4													1

ที่มา 15 ที่มาจากประมวลการณ์ปี 210

รูปที่ ก.2.5 การทำงานของเครื่องจักรต่อชุด (กรมทางหลวง)

ข้อมูลจาก ผู้ปฏิบัติงานที่หน้างาน

- Plant Soil Cement			TOTAL
1. ใช้พลังงานไฟฟ้า			
- ชุด feed วัสดุ Soil Aggregate ลงสายพานใช้มอเตอร์ขนาด	7.5 HP	1 ตัว	7.5
- ชุดขับสายพานลำเลียง วัสดุ Soil Aggregate ลงสายพานใช้มอเตอร์ขนาด	7.5 HP	2 ตัว	15.0
- ชุด feed ปูนซีเมนต์ผง ใช้มอเตอร์ขนาด	3.0 HP	1 ตัว	3.0
- ชุด feed น้ำ ใช้มอเตอร์ขนาด	5.0 HP	2 ตัว	10.0
2. ใช้พลังงานน้ำมัน (ดีเซล)			
- ห้อง Mix วัสดุ แบบ Plug mill ใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาด	200.0 HP	1 ตัว	200.0
- อัตราสิ้นเปลือง	8 - 10	ลิตร/ชั่วโมง	
			235.5 HP

3. นน.วัสดุต่อหน่วยการผลิต (ตัน)		
- ปริมาณ Soil Aggregate แห้ง	189.966	ตัน/ชั่วโมง
- ปริมาณซีเมนต์	2.280	ตัน/ชั่วโมง
- ปริมาณน้ำที่ใช้ในส่วนผสม	14.418	ตัน/ชั่วโมง
- ปริมาณวัสดุรวมทั้งหมด (ดิน+ซีเมนต์+น้ำ)	206.664	ตัน/ชั่วโมง
(คิวแน่น = 2.280 ตัน/คิว)		
(คิวหลวม = 1.650 ตัน/คิว)		

อัตราการผลิต	1/2.280	=	0.44	คิวหลวม/ตัน
	0.44*206.664	=	90.932	คิวหลวม/ชั่วโมง

อัตราสิ้นเปลือง				
-น้ำมัน	8-10 L/hr	=	9	ลิตร/ชั่วโมง
เพราะฉนั้น	9/90.932	=	0.1	ลิตร/cu.m.
-ไฟฟ้า	1 hp = 0.745699872 kilowatts			
	235.5 hp/hr			
	235.5*0.746	=	1,742.28	kwh
เพราะฉนั้น	1742.28/90.932	=	19.16	kw/cu.m.

รูปที่ ก.2.6 อัตราการทำงานของเครื่องจักรที่โรงงานผสม

ปริมาณงานและระยะทางการขนส่งของงานแต่ละประเภท

ลำดับ	ลักษณะงาน	หน่วยน้ำหนัก	ปริมาณงาน	ปริมาณงาน	ปริมาณงาน	จำนวนวันทำงาน	จำนวนชม.ทำงาน	ระยะทาง (กม.,) stock to site	ระยะทาง (กม.,) stock to plant	ระยะทาง (กม.,) site to plant	ระยะทาง (กม.,) plant to site	ระยะทาง (กม.,) GRAND TOTAL	Fuel	Electricity
		kg/cu.m.	kg.	cu.m.	sq.m.								Litre	MW
1	งานพื้นทางหินคลุก (Base Course)			3,341		7	49						11,462	-
	- หินคลุก (Crushed Rock) เผื่อบดทับ 1.50 เท่า	2,300	11,524,829	5,011				66.0	-	-	-	66.0		
2	งานพื้นทางดินผสมซีเมนต์ (Soil Cement Base Course) - In place			3,341		12	84						15,223	-
	- ดิน (Soil Aggregate) เผื่อบดทับ 1.60 เท่า	1,900	10,155,211	5,345				-	3.3	-	4.5	7.8		
	- ซีเมนต์ (Cement) 2% by weight	1,400	203,104	145				8.2	-	-	-	8.2		
3	งานพื้นทางดินผสมซีเมนต์ (Soil Cement Base Course) - In plant			3,341		12	84						14,429	102.40
	- ดิน (Soil Aggregate) เผื่อบดทับ 1.60 เท่า	1,900	10,155,211	5,345				7.2	-	4.5	4.5	16.2		
	- ซีเมนต์ (Cement) 2% by weight	1,400	203,104	145				-	3.9	-	-	3.9		

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ก.2.7 ปริมาณงานและการขนส่งของงานแต่ละประเภท

ปริมาณสารขาเข้า (หน่วย m^3, litre, MW)

Description		Materials					Energy		Transportation
		agg. (m^3)	soil (m^3)	cement (ton)	bitumen (ton)	latex (ton)	diesel (litre)	electricity (MW)	hauling dist. (km/trip)
CRB	-	5,011	-	-	-	-	11,462	-	66
SCB*	In place	-	5,345	203.1	-	-	15,223	-	16
	In plant	-	5,345	203.1	-	-	14,429	102.4	20.1

ปริมาณสารขาเข้า (หน่วย ton, kg, GJ)

Description		Materials					Energy		Transportation
		agg. (ton)	soil (ton)	cement (ton)	bitumen (ton)	latex (ton)	diesel (kg)	electricity (GJ)	hauling dist. (km)
CRB	-	11,525	-	-	-	-	9,811	-	66
SCB*	In place	-	16,249	203.1	-	-	13,031	-	16
	In plant	-	16,249	203.1	-	-	12,351	369	20.1

รูปที่ ก.2.8 ข้อมูลปริมาณสารขาเข้าป้อนสู่โปรแกรม SimaPro 8.0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.3 ข้อมูลประกอบการคำนวณวิธีทางเลือกที่ 4

EPA United States Environmental Protection Agency

Office of Transportation and Air Quality
EPA-420-B-16-022
March 2016

Nonroad Compression-Ignition Engines: Exhaust Emission Standards

	Rated Power (kW)	Tier	Model Year	NMHC (g/kW-hr)	NMHC + NOx (g/kW-hr)	NOx (g/kW-hr)	PM (g/kW-hr)	CO (g/kW-hr)	Smoke [a] (Percentage)	Useful Life (hours /years) [b]	Warranty Period (hours /years) [b]
Federal	kW < 8	1	2000-2004	-	10.5	-	1.0	8.0	20/15/50	3,000/5	1,500/2
		2	2005-2007	-	7.5	-	0.80	8.0			
		4	2008+	-	7.5	-	0.40 [c]	8.0			
	8 ≤ kW < 19	1	2000-2004	-	9.5	-	0.80	6.6		3,000/5	1,500/2
		2	2005-2007	-	7.5	-	0.80	6.6			
		4	2008+	-	7.5	-	0.40	6.6			
	19 ≤ kW < 37	1	1999-2003	-	9.5	-	0.80	5.5		5,000/7 [d]	3,000/5 [e]
		2	2004-2007	-	7.5	-	0.60	5.5			
		4	2008-2012	-	7.5	-	0.30	5.5			
			2013+	-	4.7	-	0.03	5.5			
	37 ≤ kW < 56	1	1998-2003	-	-	9.2	-	-		8,000/10	3,000/5
		2	2004-2007	-	7.5	-	0.40	5.0			
		3 [f]	2008-2011	-	4.7	-	0.40	5.0			
		4 (Option 1) [g]	2008-2012	-	4.7	-	0.30	5.0			
		4 (Option 2) [g]	2012	-	4.7	-	0.03	5.0			
		4	2013+	-	4.7	-	0.03	5.0			
	56 ≤ kW < 75	1	1998-2003	-	-	9.2	-	-			
		2	2004-2007	-	7.5	-	0.40	5.0			
		3	2008-2011	-	4.7	-	0.40	5.0			
		4	2012-2013 [h]	-	4.7	-	0.02	5.0			
			2014+ [i]	0.19	-	0.40	0.02	5.0			
	75 ≤ kW < 130	1	1997-2002	-	-	9.2	-	-			
		2	2003-2006	-	6.6	-	0.30	5.0			
		3	2007-2011	-	4.0	-	0.30	5.0			
		4	2012-2013 [h]	-	4.0	-	0.02	5.0			
			2014+	0.19	-	0.40	0.02	5.0			

Continued

รูปที่ ก.3.1 ข้อกำหนดการปล่อยก๊าซฯ จากเครื่องยนต์ดีเซล (EPA, 2016)

	Rated Power (kW)	Tier	Model Year	NMHC (g/kW-hr)	NMHC + NOx (g/kW-hr	NOx (g/kW-hr	PM (g/kW-hr	CO (g/kW-hr)	Smoke [a] (Percentage)	Useful Life (hours /years) [b]	Warranty Period (hours /years) [b]
Federal	130 ≤ kW < 225	1	1996-2002	1.3 [j]	-	9.2	0.54	11.4	20/15/50	8,000/10	3,000/5
		2	2003-2005	-	6.6	-	0.20	3.5			
		3	2006-2010	-	4.0	-	0.20	3.5			
		4	2011-2013 [h]	-	4.0	-	0.02	3.5			
			2014+ [i]	0.19	-	0.40	0.02	3.5			
	225 ≤ kW < 450	1	1996-2000	1.3 [j]	-	9.2	0.54	11.4			
		2	2001-2005	-	6.4	-	0.20	3.5			
		3	2006-2010	-	4.0	-	0.20	3.5			
		4	2011-2013 [h]	-	4.0	-	0.02	3.5			
			2014+ [i]	0.19	-	0.40	0.02	3.5			
	450 ≤ kW < 560	1	1996-2001	1.3 [j]	-	9.2	0.54	11.4			
		2	2002-2005	-	6.4	-	0.20	3.5			
		3	2006-2010	-	4.0	-	0.20	3.5			
		4	2011-2013 [h]	-	4.0	-	0.02	3.5			
			2014+ [i]	0.19	-	0.40	0.02	3.5			
	560 ≤ kW < 900	1	2000-2005	1.3 [j]	-	9.2	0.54	11.4			
		2	2006-2010	-	6.4	-	0.20	3.5			
		4	2011-2014	0.40	-	3.5	0.10	3.5			
			2015+ [i]	0.19	-	3.5 [k]	0.04 [l]	3.5			
	kW > 900	1	2000-2005	1.3 [j]	-	9.2	0.54	11.4			
		2	2006-2010	-	6.4	-	0.20	3.5			
		4	2011-2014	0.40	-	3.5 [k]	0.10	3.5			
			2015+ [i]	0.19	-	3.5 [k]	0.04 [l]	3.5			

รูปที่ ก.3.1 ข้อกำหนดการปล่อยก๊าซฯ จากเครื่องยนต์ดีเซล (EPA, 2016) (ต่อ)

ก.4 ข้อมูลประกอบการคำนวณวิธีทางเลือกที่ 5

Fuel Reduction Potential of Hybrid Construction Machinery (by Literature reiview)

Represent	Type	Power	Comparing with	Model	Fuel Reduction	Source: Retrived date 10/1/2016
Hitachi	Excavator		ZX200-5B in P mode	ZH200-5B in PWR mod	15%	Hitachi (2015)
Hitachi	Excavator	20 tonne	ZX200-3	ZH200	20%	INTERMAT (2012) Edamura, M., et Al., (2013) Ohira, S., et Al., (2013)
Hitachi	Wheel Loader		convention	Hybrid	25%-30%	Ochiai, M., and Ryu, S., (2008)
Hitachi	Excavator		convention	Hybrid	25%	Ochiai, M., and Ryu, S., (2008)
Komatsu	Excavator		PC200-8	PC200-8S (Hybrid)	25%-41%	Inoue, H., (2008)
Komatsu	Excavator		PC200-8	PC200-8S (Hybrid)	31%	Komatsu (2008a)
Komatsu	Excavator		PC220	PC240LC-10	10%	Komatsu (2008) Komatsu (2012)
Komatsu	Bulldozer		DC65-16	DC65-17	5%	Komatsu (2008b) Komatsu (2012)
Komatsu	Dump Truck		previous Komatsu model	HM300-3	8%	Komatsu (2008b) Komatsu (2012)
Komatsu	Bulldozer	medium-sized	previous Komatsu model	D65PX-16/D65EX-16	10%	Komatsu (2001)
Komatsu	Wheel Loader	medium-sized	previous Komatsu model	WA470-6/WA480-6	15%	Komatsu (2001)
Volvo	Wheel Loader		L220F	L220F Hybrid	10%	Volvo (2008)
Caterpillar	Excavator	308	336E	336E H (Hybrid)	25%	Caterpillar (2013)
			336D	336E H (Hybrid)	33%	Caterpillar (2013)

Remark: Most of all are comparing with Tier 3 or 4

รูปที่ ก.4.1 ข้อมูลการลดการปล่อยก๊าซฯ จากเครื่องยนต์ไฮบริด (แต่ละผู้ผลิต)

Fuel Reduction Potential of Hybrid Construction Machinery (Summary)

Manufacturer	Engine	Reduction Potential	Average Reduction	Fuel Reduction in this research
Hitachi	Hybrid	15%-30%	23%	The 10% of fuel reduction potential is used in this research that is an pessimistic case.
Komatsu	Hybrid	25%-41%	33%	
Volvo	Hybrid	10%	10%	
Caterpillar	Hybrid	25%-33%	29%	

รูปที่ ก.4.2 ข้อมูลการลดการปล่อยก๊าซฯ จากเครื่องยนต์ไฮบริด (ภาพรวม)

	step 1		step 2	
Comparing	Tier 1 to 3		average (tier3) to hybrid	
(1.3-1.3)/1.3	0% for HC	(1.00 x 1.10) - 1 =	10%	for hybrid machinery (10% plus 0%)x64% of tier 1 and (10%)x36% of tier 3
(9.5-4)/9.5	58% for HC+Nox			not shown
(9.2-3.5)/9.2	62% for Nox	(1.62 x 1.10) - 1 =	78.2%	for hybrid machinery (10% plus 62%)x64% of tier 1 and (10%)x36% of tier 3
(0.8-0.3)/0.8	63% for PM	(1.63 x 1.10) - 1 =	79.3%	for hybrid machinery (10% plus 63%)x64% of tier 1 and (10%)x36% of tier 3
(5.5-5)/5.5	9% for CO	(1.09 x 1.10) - 1 =	19.9%	for hybrid machinery (10% plus 9%)x64% of tier 1 and (10%)x36% of tier 3

รูปที่ ก.4.3 ข้อมูลการลดการปล่อยก๊าซฯ จากเครื่องยนต์ไฮบริด (ภาพรวม)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.5 ข้อมูลประกอบการคำนวณวิธีทางเลือกที่ 6

GHG Reduction Potential of Retrofit Devices of Construction Machinery (by Literature reiview)

Represent	Type	Brand	Model	GHG Reduction	Source: Retrived date 18/1/2016
DOC	NOx	DCL International Inc.	-	Nil	DCL (2015)
	CO			70-95%	* Less than 50 ppm sulphur in diesel fuel is required for PM 10 conversion
	HC			70-90%	
	ALDEHYDES (ODOR CAUSING)			70-90%	
	PM10			10-40%	
DPF	NOx	DCL International Inc.	MINE-X SOOTFILTER®	NO2/NO ratio may increase	*PARTICULATE MATTER(PM10) MEASURED BY MASS
	CO			90%	
	HC			60-80%	
	PM10			> 85%	
DPF	NOx	DCL International Inc.	MINE-X SOOTFILTER® Bl	no change in NO2/NOx rati	*PARTICULATE MATTER(PM10) MEASURED BY MASS
	CO			-	
	HC			-	
	PM10			> 85%	
DOC	NOx	Nett Technologies, Inc.	-	5%	Nett Technologies, Inc. (2016a)
	CO			90%	
	HC			80%	
	PM			25%	
DPF	NOx	Nett Technologies, Inc.	-	5%	Nett Technologies, Inc. (2016b)
	CO			90%	
	HC			80%	
	PM			95%	
SCR	NOx	Nett Technologies, Inc.	-	70%	Nett Technologies, Inc. (2016c)
	CO			90%	
	HC			80%	
	PM			25%	
DPF	PM	ESW, Inc.	Skyline Off-Road	> 85%	Environmental Solutions Worldwide, Inc. (2016a)
	PM	ESW, Inc.	Phoenix DPF	> 85%	Environmental Solutions Worldwide, Inc. (2016b)
	PM	ESW, Inc.	ThermaCat DPF	> 95%	Environmental Solutions Worldwide, Inc. (2016c)
	CO		ThermaCat DPF	> 90%	
	HC		ThermaCat DPF	> 90%	
SCR+DPF	NOx	Johnson Matthey	-	70%	Johnson Matthey (2015)
	CO			90%	
	HC			90%	
	PM			90%	
DPF	NOx	Johnson Matthey	-	n/a	Johnson Matthey (2016)
	CO			n/a	
	HC			n/a	
	PM			>92%	*MEASURED BY MASS
DOC	NOx	-	-	-	World Bank
	CO			n/a	
	HC			n/a	
	PM			20-50%	
DPF	PM	-	-	85-95%	*MEASURED BY MASS

รูปที่ ก.5.1 ข้อมูลการลดการปล่อยก๊าซฯ จากการติดตั้งอุปกรณ์ลดมลพิษ

GHG Reduction Potential of Retrofit Devices of Construction Machinery (by Literature reiview)

Represent	Type	Brand	Model	GHG Reduction	Source: Retrived date 18/1/2016
DOC	CO			>90%	MECA (2007)
	HC			>70%	
	PM			25-50%	
DPF	PM			>90%	
	HC			>90%	
EGR	NOx			>50%	
LNC	NOx			10-40%	
LNT	NOx			80%	
SCR	NOx		-	>90%	
	HC			>50-90%	
	PM			30-50%	
DOC	CO	-	-	60-90%	EPA (2005)
	HC			60-90%	
	NOx			-	
	PM			20-50%	
DPF	NOx	-	-	-	
	CO			60-90%	
	HC			60-90%	
	PM			>90%	
LNC+DPF	NOx			25%	
	CO			60-90%	
	HC			60-90%	
	PM			>90%	
EGR+DPF	NOx			60-90%	
	CO			60-90%	
	HC			60-90%	
	PM			>90%	
CCV	NOx			-	
	CO			30-35%	
	HC			30-40%	
	PM			10-15%	
SCR	NOx		-	>90%	
	CO			50-90%	
	HC			50-90%	
	PM			30-50%	

รูปที่ ก.5.1 ข้อมูลการลดการปล่อยก๊าซฯ จากการติดตั้งอุปกรณ์ลดมลพิษ (ต่อ)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

GHG Reduction Potential of Retrofit Devices of Construction Machinery (Summary)

Types	Gases	Average Reduction Potent	Manufacturer in this research	GHG Reduction in this research		
DOC	NOx	5%	DCL International Inc.	-	1st Option for 1 Technology	
	CO	70-95%		70%	CO, HC	<-- Best for
	HC	70-90%		70%		
	PM	10-50%		10%		
DPF	NOx	5%	EPA (2005)	-	2nd Option for 1 Technology	
	CO	60-90%		60%	CO, HC	<-- Best for
	HC	60-90%		60%	PM	
	PM	85-95%		85%		
SCR	NOx	70-90%	EPA (2005)	70%	3rd Option for 1 Technology	
	CO	50-90%		50%	Nox	<-- Best for
	HC	50-90%		50%	CO, HC	
	PM	25-50%		25%		
SCR+DPF	NOx	70%	Johnson Matthey	70%	1st Option for 2 Technologies	
	CO	90%		90%	CO, HC, PM	<-- Best for
	HC	90%		90%		
	PM	90%		90%		
EGR	NOx	50%	MECA (2007)	50%		
LNC	NOx	10-40%	MECA (2007)	10%		
LNT	NOx	80%	MECA (2007)	80%		
LNC+DPF	NOx	25%	EPA (2005)	25%		
	CO	60-90%		60%		
	HC	60-90%		60%		
	PM	90%		90%		
EGR+DPF	NOx	60-90%	EPA (2005)	60%	2nd Option for 2 Technologies	
	CO	60-90%		60%	PM	<-- Best for
	HC	60-90%		60%		
	PM	90%		90%		
CCV	NOx	-	EPA (2005)	-		
	CO	30-35%		30%		
	HC	30-40%		30%		
	PM	10-15%		10%		

รูปที่ ก.5.2 สรุปการลดการปล่อยก๊าซฯ จากการติดตั้งอุปกรณ์ลดมลพิษ

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดสอบแบบจำลองสัญญา GRIP กับโครงการกรณีศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข.1 จำลองข้อมูลทดสอบแบบจำลองสัญญา GRIP กับโครงการกรณีศึกษา

ตารางแสดงแหล่งที่มาของข้อมูลปริมาณวัสดุ และเครื่องจักรในโครงการ

Description	Sources		Remark
	BOQ	Actual	
Materials			
1 Earth Work			
- Cement	: Break down ราคากลาง (สน.ก่อสร้าง)	: จากบันทึกการใช้จริง (โครงการฯ ร่วมกับ ผู้รับจ้าง)	Tons
- Embankment	: Break down ราคากลาง (สน.ก่อสร้าง)	: รายการส่งค่างาน (โครงการฯ ร่วมกับ ผู้รับจ้าง)	m^3
- Selected Material "A"	: Break down ราคากลาง (สน.ก่อสร้าง)	: รายการส่งค่างาน (โครงการฯ ร่วมกับ ผู้รับจ้าง)	m^3
- Soil Aggregate	: Break down ราคากลาง (สน.ก่อสร้าง)	: รายการส่งค่างาน (โครงการฯ ร่วมกับ ผู้รับจ้าง)	m^3
- Crushed Rock	: Break down ราคากลาง (สน.ก่อสร้าง)	: รายการส่งค่างาน (โครงการฯ ร่วมกับ ผู้รับจ้าง)	m^3
2 Pavement			
- Bitumen	: Break down ราคากลาง (สน.ก่อสร้าง)	: รายการส่งค่างาน (โครงการฯ ร่วมกับ ผู้รับจ้าง)	Tons
- Asphalt Concrete 5 cm. thick	: Break down ราคากลาง (สน.ก่อสร้าง)	: รายการส่งค่างาน (โครงการฯ ร่วมกับ ผู้รับจ้าง)	Tons
3 Structures			
- Ready-Mixed Concrete	: Break down ราคากลาง (สน.ก่อสร้าง)	: รายงานบันทึกการเทคอนกรีต (โครงการฯ ร่วมกับ ผู้รับจ้าง)	m^3
- Reinforce Steel	: Break down ราคากลาง (สน.ก่อสร้าง)	: จากบันทึกการใช้จริง (โครงการฯ ร่วมกับ ผู้รับจ้าง)	Tons
Equipment			
1 Quantity	: อัตราการทำงาน x ปริมาณงานที่ต้องการ (บริษัทผู้ผลิต, สน.ก่อสร้าง)	: รายงานบันทึกการทำงาน (โครงการฯ ร่วมกับ ผู้รับจ้าง)	each
2 Usage	: จำนวนเครื่องจักร x อัตราการบริโภคน้ำมันต่อชม. (สน.ก่อสร้าง)	: น้ำมันจากบันทึกการใช้งาน (โครงการฯ ร่วมกับ ผู้รับจ้าง)	hrs.

รูปที่ ข.1.1 แหล่งที่มาข้อมูลวัสดุตามแบบจำลองสัญญา GRIP

Tatal distance	27.7	km			
Bridge	5	each			
Box culvert	3	each			
U-Turn	10	each			
Project - GRIP TEST#1					
Resources		BOQ			
Material - Aggregate	Cement	-	tons		
	Embankment	339,900.00	m^3		
	Selected Material "A"	44,100.00	m^3		
	Soil Aggregate	97,000.00	m^3		
	Crushed Rock Base	67,500.00	m^3		
Material - Pavement	Bitumen	682,100.00	m^2		
	Asphalt Concrete 5 cm thick	632,900.00	m^2		
Material - Structure	Steel	182.49	tons		
	Concrete	1,902.81	m^3		
Material - Fuel	Diesel	1,067,504	Litre		

รูปที่ ข.1.2 ข้อมูลวัสดุของโครงการกรณีศึกษา

Project - GRIP TEST#1					
Resources	Minimum Requirements	BOQ			
		hp	Quantity	hours	hp- hrs.
Equipment - Earth Work					
Backhoe	95 hp	95	5	3,966	376,770
Bulldozer	120 5hp	120	4	5,941	712,920
Motor Grader	115 hp	115	4	12,890	1,482,350
Wheel Loader	95 hp	95	5	3,241	307,895
Equipment - Compaction					
Pneumatic Tire Roller	8 T **	100	8	12,225	1,222,500
Vibrating Roller	100 hp	100	8	9,694	969,400
2-3 Wheel Steel Roller	10 T **	100	5	3,753	375,300
Equipment - Transport & Service					
Water Truck	6,000 L *	380	10	10,863	4,127,940
Dump Truck	10 m^3 *	380	12	5,063	1,923,940
Equipment - Asphaltic Pavement					
Asphaltic Mixing Plant	60 T/hrs	N/A	1	1,266	N/A
Asphaltic Distributor	5,000 L	N/A	1	1,170	N/A
Asphaltic Paver	skid length > 2.5 m	N/A	1	1,266	N/A
Equipment - Concreting					
Concrete Transit Mixer	3.5 m^3	N/A	2	N/A	N/A
Equipment - Various					
Power Broom & Air Blower	Ø blower > 0.50 m	N/A	2	2,435	N/A
Truck Crane	N/A	N/A	1	N/A	N/A
Recycling	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

หมายเหตุ: 1) hrs. คำนวณจากตารางอัตราการทำงานของเครื่องจักรในตารางที่ ก.2.4 และ ก.2.5

2) minimum requirements มีที่มาจากหลักเกณฑ์การคัดเลือกคุณสมบัติเบื้องต้นของผู้รับเหมางานชั้นพิเศษ 2559 (กรมทางหลวง)

3) * ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ รุ่น ฮิโน่ P11C-VU เป็นตัวแทนของรถบรรทุกดินและรถบรรทุกน้ำ

4) ** ใช้รถขุดดิน CASE รุ่น 1107 EX เป็นตัวแทนของรถขุดอัดดินขนาด 10 ตันทุกประเภท

รูปที่ ข.1.3 ข้อมูลเครื่องจักรของโครงการกรณีศึกษา

ตัวอย่างแบบฟอร์มกรอกข้อมูลสำคัญตามแบบจำลองสัญญา GRIP

สัญญาเลขที่ .....

ชื่อโครงการฯ .....

ชื่อผู้ประกอบการที่เสนอข้อมูล .....

ที่	วิธีทางเลือก	ข้อมูลสำคัญ		ปริมาณ			
		ตัวเลือกการดำเนินการตามแบบจำลองสัญญา GRIP	สัญลักษณ์	ทั้งหมด (1)	(หน่วย)	ที่เสนอ (2)	(หน่วย)
1	การเลือกใช้น้ำมันไบโอดีเซลแทนน้ำมันดีเซล	1.1 สูตรผสมน้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ได้	a	.....	%	.....	%
		1.2 ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ได้	b	.....	ลิตร	.....	ลิตร
2	การเลือกใช้แหล่งวัสดุใกล้สถานที่ก่อสร้าง	2.1 ระยะทางขนส่งวัสดุจากสถานที่ก่อสร้างถึงแหล่งวัสดุที่เลือกใช้ได้	OD	.....	กม.	.....	กม.
3	การเลือกเทคนิคการก่อสร้างที่เหมาะสม	3.1 ปริมาณการก่อสร้างชั้นพื้นทางด้วย Soil Cement Base (mix-in-plant) ที่เลือกใช้ได้	S_{pt}	.....	ลบ.ม.	.....	ลบ.ม.
		3.2 ปริมาณการก่อสร้างชั้นพื้นทางด้วย Soil Cement Base (mix-in-place) ที่เลือกใช้ได้	S_{pc}	.....	ลบ.ม.	.....	ลบ.ม.
		3.3 ปริมาณการก่อสร้างชั้นพื้นทางด้วย Crushed Rock Base ที่เลือกใช้ได้	CR_B	.....	ลบ.ม.	.....	ลบ.ม.
4	การเปลี่ยนใช้เครื่องจักรรุ่นใหม่ทดแทน	4.1 จำนวนเครื่องจักรใหม่กว่า Tier 1 ที่ใช้ได้	r_n	.....	คัน	.....	คัน
5	การเปลี่ยนใช้เครื่องจักรแบบไฮบริด	5.1 จำนวนเครื่องจักรไฮบริดที่ใช้ได้	r_h	.....	คัน	.....	คัน
6	การติดตั้งอุปกรณ์ลดการปล่อยก๊าซฯ แก่เครื่องจักร	6.1 จำนวนการติดตั้งอุปกรณ์แต่ละชนิดที่ใช้ได้	i_d	.....	คัน	.....	คัน

คำชี้แจง:
1. จำนวนชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรทั้งหมดคำนวณจาก "อัตราการทำงานของชุดมาตรฐานเครื่องจักรก่อสร้างทาง 1 ชุด (ข้อมูลปี พ.ศ.2548)" ของกรมทางหลวง
2. ช่องที่ (1) ปริมาณน้ำมันและวัสดุที่ใช้งานทั้งหมดคำนวณจากชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักร
3. ช่องที่ (1) จำนวนเครื่องจักรที่ใช้งานคิดจากจำนวนเครื่องจักรขั้นต่ำตามเกณฑ์การประเมินผู้รับเหมาเบื้องต้นของกรมทางหลวง
4. ช่องที่ (1) จะถูกป้อนข้อมูลก่อนการเสนอราคาโดยตัวแทนเจ้าของโครงการ
5. ช่องที่ (2) จำนวนเครื่องจักรที่เสนอโดยผู้เสนอราคาแต่ละราย

ตัวอย่างแบบฟอร์มกรอกข้อมูลสำคัญตามแบบจำลองสัญญา GRIP

สัญญาเลขที่ ..... GRIP TEST#1/2562 .....

ชื่อโครงการฯ ..... GRIP TEST#1 .....

ชื่อผู้ประกอบการที่เสนอข้อมูล ..... ผู้รับเหมา ง. .....

ที่	วิธีทางเลือก	ข้อมูลสำคัญ		ปริมาณ			
		ตัวเลือกการดำเนินการตามแบบจำลองสัญญา GRIP	สัญลักษณ์	ทั้งหมด (1)	(หน่วย)	ที่เสนอ (2)	(หน่วย)
1	การเลือกใช้น้ำมันไบโอดีเซลแทนน้ำมันดีเซล	1.1 สูตรผสมน้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ได้	a	-	%	20	%
		1.2 ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ได้	b	1,067,504	ลิตร	533,752	ลิตร
2	การเลือกใช้แหล่งวัสดุใกล้สถานที่ก่อสร้าง	2.1 ระยะทางขนส่งวัสดุจากสถานที่ก่อสร้างถึงแหล่งวัสดุที่เลือกใช้ได้	OD	10	กม.	3	กม.
3	การเลือกเทคนิคการก่อสร้างที่เหมาะสม	3.1 ปริมาณการก่อสร้างชั้นพื้นทางด้วย Soil Cement Base (mix-in-plant) ที่เลือกใช้ได้	S_{pt}	67,500	ลบ.ม.	-	ลบ.ม.
		3.2 ปริมาณการก่อสร้างชั้นพื้นทางด้วย Soil Cement Base (mix-in-place) ที่เลือกใช้ได้	S_{pc}	-	ลบ.ม.	-	ลบ.ม.
		3.3 ปริมาณการก่อสร้างชั้นพื้นทางด้วย Crushed Rock Base ที่เลือกใช้ได้	CR_B	-	ลบ.ม.	67,500	ลบ.ม.
4	การเปลี่ยนใช้เครื่องจักรรุ่นใหม่ทดแทน	4.1 จำนวนเครื่องจักรใหม่กว่า Tier 1 ที่ใช้ได้	r_n	61	คัน	3	คัน
5	การเปลี่ยนใช้เครื่องจักรแบบไฮบริด	5.1 จำนวนเครื่องจักรไฮบริดที่ใช้ได้	r_h	10	คัน	-	คัน
6	การติดตั้งอุปกรณ์ลดการปล่อยก๊าซฯ แก่เครื่องจักร	6.1 จำนวนการติดตั้งอุปกรณ์แต่ละชนิดที่ใช้ได้	i_d	61	คัน	-	คัน

คำชี้แจง:
1. จำนวนชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรทั้งหมดคำนวณจาก "อัตราการทำงานของชุดมาตรฐานเครื่องจักรก่อสร้างทาง 1 ชุด (ข้อมูลปี พ.ศ.2548)" ของกรมทางหลวง
2. ช่องที่ (1) ปริมาณน้ำมันและวัสดุที่ใช้งานทั้งหมดคำนวณจากชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักร
3. ช่องที่ (1) จำนวนเครื่องจักรที่ใช้งานคิดจากจำนวนเครื่องจักรขั้นต่ำตามเกณฑ์การประเมินผู้รับเหมาเบื้องต้นของกรมทางหลวง
4. ช่องที่ (1) จะถูกป้อนข้อมูลก่อนการเสนอราคาโดยตัวแทนเจ้าของโครงการ
5. ช่องที่ (2) จำนวนเครื่องจักรที่เสนอโดยผู้เสนอราคาแต่ละราย

ตัวอย่างแบบฟอร์มกรอกข้อมูลสำคัญตามแบบจำลองสัญญา GRIP

สัญญาเลขที่ ..... GRIP TEST#1/2562 .....

ชื่อโครงการฯ ..... GRIP TEST#1 .....

ชื่อผู้ประกอบการที่เสนอข้อมูล ..... ผู้รับเหมา ค. .....

ที่	วิธีทางเลือก	ข้อมูลสำคัญ		ปริมาณ			
		ตัวเลือกการดำเนินการตามแบบจำลองสัญญา GRIP	สัญลักษณ์	ทั้งหมด (1)	(หน่วย)	ที่เสนอ (2)	(หน่วย)
1	การเลือกใช้น้ำมันไบโอดีเซลแทนน้ำมันดีเซล	1.1 สูตรผสมน้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ได้	a	-	%	10	%
		1.2 ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ได้	b	1,067,504	ลิตร	533,752	ลิตร
2	การเลือกใช้แหล่งวัสดุใกล้สถานที่ก่อสร้าง	2.1 ระยะทางขนส่งวัสดุจากสถานที่ก่อสร้างถึงแหล่งวัสดุที่เลือกใช้ได้	OD	10	กม.	2.5	กม.
3	การเลือกเทคนิคการก่อสร้างที่เหมาะสม	3.1 ปริมาณการก่อสร้างชั้นพื้นทางด้วย Soil Cement Base (mix-in-plant) ที่เลือกใช้ได้	S_{pt}	67,500	ลบ.ม.	-	ลบ.ม.
		3.2 ปริมาณการก่อสร้างชั้นพื้นทางด้วย Soil Cement Base (mix-in-place) ที่เลือกใช้ได้	S_{pc}	-	ลบ.ม.	67,500	ลบ.ม.
		3.3 ปริมาณการก่อสร้างชั้นพื้นทางด้วย Crushed Rock Base ที่เลือกใช้ได้	CR_B	-	ลบ.ม.	-	ลบ.ม.
4	การเปลี่ยนใช้เครื่องจักรรุ่นใหม่ทดแทน	4.1 จำนวนเครื่องจักรใหม่กว่า Tier 1 ที่ใช้ได้	r_n	61	คัน	1	คัน
5	การเปลี่ยนใช้เครื่องจักรแบบไฮบริด	5.1 จำนวนเครื่องจักรไฮบริดที่ใช้ได้	r_h	10	คัน	-	คัน
6	การติดตั้งอุปกรณ์ลดการปล่อยก๊าซฯ แก่เครื่องจักร	6.1 จำนวนการติดตั้งอุปกรณ์แต่ละชนิดที่ใช้ได้	i_d	61	คัน	1	คัน

คำชี้แจง:
1. จำนวนชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรทั้งหมดคำนวณจาก "อัตราการทำงานของชุดมาตรฐานเครื่องจักรก่อสร้างทาง 1 ชุด (ข้อมูลปี พ.ศ.2548)" ของกรมทางหลวง
2. ช่องที่ (1) ปริมาณน้ำมันและวัสดุที่ใช้งานทั้งหมดคำนวณจากชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักร
3. ช่องที่ (1) จำนวนเครื่องจักรที่ใช้งานคิดจากจำนวนเครื่องจักรขั้นต่ำตามเกณฑ์การประเมินผู้รับเหมาเบื้องต้นของกรมทางหลวง
4. ช่องที่ (1) จะถูกป้อนข้อมูลก่อนการเสนอราคาโดยตัวแทนเจ้าของโครงการ
5. ช่องที่ (2) จำนวนเครื่องจักรที่เสนอโดยผู้เสนอราคาแต่ละราย

ตัวอย่างแบบฟอร์มกรอกข้อมูลสำคัญตามแบบจำลองสัญญา GRIP

สัญญาเลขที่ ..... GRIP TEST#1/2562 .....

ชื่อโครงการฯ ..... GRIP TEST#1 .....

ชื่อผู้ประกอบการที่เสนอข้อมูล ..... ผู้รับเหมา ข. .....

ที่	วิธีทางเลือก	ข้อมูลสำคัญ		ปริมาณ			
		ตัวเลือกการดำเนินการตามแบบจำลองสัญญา GRIP	สัญลักษณ์	ทั้งหมด (1)	(หน่วย)	ที่เสนอ (2)	(หน่วย)
1	การเลือกใช้น้ำมันไบโอดีเซลแทนน้ำมันดีเซล	1.1 สูตรผสมน้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ได้	a	-	%	-	%
		1.2 ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ได้	b	1,067,504	ลิตร	-	ลิตร
2	การเลือกใช้แหล่งวัสดุใกล้สถานที่ก่อสร้าง	2.1 ระยะทางขนส่งวัสดุจากสถานที่ก่อสร้างถึงแหล่งวัสดุที่เลือกใช้ได้	OD	10	กม.	-	กม.
3	การเลือกเทคนิคการก่อสร้างที่เหมาะสม	3.1 ปริมาณการก่อสร้างชั้นพื้นทางด้วย Soil Cement Base (mix-in-plant) ที่เลือกใช้ได้	S_{pt}	67,500	ลบ.ม.	-	ลบ.ม.
		3.2 ปริมาณการก่อสร้างชั้นพื้นทางด้วย Soil Cement Base (mix-in-place) ที่เลือกใช้ได้	S_{pc}	-	ลบ.ม.	67,500	ลบ.ม.
		3.3 ปริมาณการก่อสร้างชั้นพื้นทางด้วย Crushed Rock Base ที่เลือกใช้ได้	CR_B	-	ลบ.ม.	-	ลบ.ม.
4	การเปลี่ยนใช้เครื่องจักรรุ่นใหม่ทดแทน	4.1 จำนวนเครื่องจักรใหม่กว่า Tier 1 ที่ใช้ได้	r_n	61	คัน	-	คัน
5	การเปลี่ยนใช้เครื่องจักรแบบไฮบริด	5.1 จำนวนเครื่องจักรไฮบริดที่ใช้ได้	r_h	10	คัน	1	คัน
6	การติดตั้งอุปกรณ์ลดการปล่อยก๊าซฯ แก่เครื่องจักร	6.1 จำนวนการติดตั้งอุปกรณ์แต่ละชนิดที่ใช้ได้	i_d	61	คัน	-	คัน

คำชี้แจง:
1. จำนวนชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรทั้งหมดคำนวณจาก "อัตราการทำงานของชุดมาตรฐานเครื่องจักรก่อสร้างทาง 1 ชุด (ข้อมูลปี พ.ศ.2548)" ของกรมทางหลวง
2. ช่องที่ (1) ปริมาณน้ำมันและวัสดุที่ใช้งานทั้งหมดคำนวณจากชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักร
3. ช่องที่ (1) จำนวนเครื่องจักรที่ใช้งานคิดจากจำนวนเครื่องจักรขั้นต่ำตามเกณฑ์การประเมินผู้รับเหมาเบื้องต้นของกรมทางหลวง
4. ช่องที่ (1) จะถูกป้อนข้อมูลก่อนการเสนอราคาโดยตัวแทนเจ้าของโครงการ
5. ช่องที่ (2) จำนวนเครื่องจักรที่เสนอโดยผู้เสนอราคาแต่ละราย

ภาคผนวก ข.2 ตัวอย่างการคำนวณราคาประกวดเสมือนกับโครงการกรณีศึกษา

การคำนวณมูลค่า E : ผู้รับเหมา ง

วิธีทางเลือกที่ 1

a = 20 %

b = 50 %

$$E_1 = \sum_{bd=I}^{IV}\left[(1+\{\exp[-0.0008189(a)]\times[0.88\times(a/100)+0.85\times(1-a/100)]/0.85\})\times(\{\exp[\eta\times(a)]-1\}\times100\%)\times ER_1\times hp\times h\times b\times p\right]_{bd}$$

E_1 = ((1+(EXP(-0.0008189×(20))×(0.88×(20/100)+0.85×(1-20/100))/0.85))×((EXP(0.00009794×(20/100))-1)×100))
×(6.9/100)×11499015×(50/100)×218.842

= -338,540.38 บาท <------ for Nox

E_1 = ((1+(EXP(-0.0008189×(20))×(0.88×(20/100)+0.85×(1-20/100))/0.85))×((EXP(0.011195×(20/100))-1)×100))
×(1/100)×11499015×(50/100)×62.463

= 1,602,505.68 บาท <------ for HC

E_1 = ((1+(EXP(-0.0008189×(20))×(0.88×(20/100)+0.85×(1-20/100))/0.85))×((EXP(0.006384×(20/100))-1)×100))
×(0.6/100)×11499015×(50/100)×1550.500

= 13,603,778.13 บาท <------ for PM

E_1 = ((1+(EXP(-0.0008189×(20))×(0.88×(20/100)+0.85×(1-20/100))/0.85))×((EXP(0.011195×(20/100))-1)×100))
×(4.1/100)×11499015×(50/100)×11.961

= 1,258,137.44 บาท <------ for CO

Total 16,125,880.87 บาท

วิธีทางเลือกที่ 2

RD = 10 km

OD = 3 km

$$E_2 = \sum_{j=1}^{n}\left[\left(RD_j - OD_j\right)\times EF\times FC\times T_j\times p\right]$$

E_2 = ((10-3)×2.711×0.245×(548500/10)×5.139)

= 1,310,535.81 บาท <------ for CO_2

Total 1,310,535.81 บาท

รูปที่ ข.2.1 การคำนวณมูลค่า E ของโครงการกรณีศึกษา (ผู้รับเหมา ง.)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การคำนวณมูลค่า E : ผู้รับเหมา ง (ต่อ)

วิธีทางเลือกที่ 3

Spt = - m^3

Spc = - m^3

CR_B = 67,500.00 m^3

$E_3 = TEC \times ER_B \times M \times p$

E_3 = ((0)×60×0×5.139)

= 0.00 บาท <------ for Spt

E_3 = ((16.1/100)×60×0×5.139)

= 0.00 บาท <------ for Spc

E_3 = ((50.3/100)×60×67500×5.139)

= 11,275,625.25 บาท <------ for CR

Total 11,275,625.25 บาท

วิธีทางเลือกที่ 4

Tier 1 = 58 คัน จากทั้งหมด 61 คัน

Tier 2 = - คัน จากทั้งหมด 61 คัน

Tier 3 = - คัน จากทั้งหมด 61 คัน

Tier 4i = 1 คัน จากทั้งหมด 61 คัน

Tier 4f = 2 คัน จากทั้งหมด 61 คัน

$E_4 = \sum_{n=tier\,1}^{tier\,4f} \left[\left(\sum_{rn=I}^{IV} R_{rn} \times ER_1 \times hp \times h \times p \right) \times r_n \right]$

E_4 = ((((0)×(6.9/100)×11499015×218.842)×(58/61)+(((0)×(1/100)×11499015×62.463)×(58/61)

+((((0)×(0.6/100)×11499015×1550.500)×(58/61))+(((0)×(4.1/100)×11499015×11.961)×(58/61)))

= 0.00 บาท <------ for Tier 1

E_4 = ((((0)×(6.9/100)×11499015×218.842)*(0/61))+(((0)×(1/100)×11499015×62.463)×(0/61))

+(((0.625)×(0.6/100)×11499015×1550.500)×(0/61))+(((0.91)×(4.1/100)×11499015×11.961)×(0/61))

= 0.00 บาท <------ for Tier 2

รูปที่ ข.2.1 การคำนวณมูลค่า E ของโครงการกรณีศึกษา (ผู้รับเหมา ง.) (ต่อ)

การคำนวณมูลค่า E : ผู้รับเหมา ง (ต่อ)

E_4 = (((0.62)×(6.9/100)×11499015×218.842)×(0/61))+(((0)×(1/100)×11499015×62.463)×(0/61))
+(((0.625)×(0.6/100)×11499015×1550.500)×(0/61))+(((0.91)×(4.1/100)×11499015×11.961)×(0/61))
= 0.00 บาท <------ for Tier 3

E_4 = (((0.62)×(6.9/100)×11499015×218.842)×(1/61))+(((0.692)×(1/100)×11499015×62.463)×(1/61))
+(((0.975)×(0.6/100)×11499015×1550.500)×(1/61))+(((0.91)×(4.1/100)×11499015×11.961)×(1/61))
= 3,640,285.52 บาท <------ for Tier 4i

E_4 = (((0.957)×(6.9/100)×11499015×218.842)×(2/61))+(((0.854)×(1/100)×11499015×62.463)×(2/61))
+(((0.975)×(0.6/100)×11499015×1550.500)×(2/61))+(((0.91)×(4.1/100)×11499015×11.961)×(2/61))
= 9,237,259.68 บาท <------ for Tier 4f

Total 12,877,545.21 บาท

<u>วิธีทางเลือกที่</u> 5

Hybrid = - คัน จากทั้งหมด 61 คัน

$E_5 = \left(\sum_{rh=I}^{IV} R_{rh} \times ER_1 \times hp \times h \times p \right) \times r_h$

E_5 = (((1)×(6.9/100)×11499015×218.842)×(0/61))
= 0.00 บาท <------ for Nox

E_5 = (((0.939)×(1/100)×11499015×62.463)×(0/61))
= 0.00 บาท <------ for HC

E_5 = (((1)×(0.6/100)×11499015×1550.500)×(0/61))
= 0.00 บาท <------ for PM

E_5 = (((0.101)×(4.1/100)×11499015×11.961)×(0/61))
= 0.00 บาท <------ for CO

Total - บาท

รูปที่ ข.2.1 การคำนวณมูลค่า E ของโครงการกรณีศึกษา (ผู้รับเหมา ง.) (ต่อ)

การคำนวณมูลค่า E : ผู้รับเหมา ง (ต่อ)

วิธีทางเลือกที่ 6

DOC	=	-	คัน	จากทั้งหมด	61 คัน
DPF	=	-	คัน	จากทั้งหมด	61 คัน
SCR	=	-	คัน	จากทั้งหมด	61 คัน
SCR+DPF	=	-	คัน	จากทั้งหมด	61 คัน
EGR+DPF	=	-	คัน	จากทั้งหมด	61 คัน

$$E_6 = \sum_{n=S_1}^{C_2}\left[\left(\sum_{id=I}^{IV} R_{id} \times ER_1 \times hp \times h \times p\right) \times i_d\right]$$

E_6 = (((0.62)×(6.9/100)×11499015×218.842)×(0/61)+(((0)×(1/100)×11499015×62.463)×(0/61)
+(((0.6875)×(0.6/100)×11499015×1550.500)×(0/61))+(((0.1547)×(4.1/100)×11499015×11.961)×(0/61))))
= 0.00 บาท <------ for DOC

E_6 = (((0.62)×(6.9/100)×11499015×218.842)×(0/61))+(((0)×(1/100)×11499015×62.463)×(0/61))
+(((1)×(0.6/100)×11499015×1550.500)×(0/61))+(((0.1456)×(4.1/100)×11499015×11.961)×(0/61))
= 0.00 บาท <------ for DPF

E_6 = (((1)×(6.9/100)×11499015×218.842)×(0/61))+(((0)×(1/100)×11499015×62.463)×(0/61))
+(((0.7813)×(0.6/100)×11499015×1550.500)×(0/61))+(((0.1365)×(4.1/100)×11499015×11.961)×(0/61))
= 0.00 บาท <------ for SCR

E_6 = (((1)×(6.9/100)×11499015×218.842)×(0/61))+(((0)×(1/100)×11499015×62.463)×(0/61))
+(((1)×(0.6/100)×11499015×1550.500)×(0/61))+(((0.1729)×(4.1/100)×11499015×11.961)×(0/61))
= 0.00 บาท <------ for SCR+DPF

E_6 = (((0.992)×(6.9/100)×11499015×218.842)×(0/61))+(((0)×(1/100)×11499015×62.463)×(0/61))
+(((1)×(0.6/100)×11499015×1550.500)×(0/61))+(((0.1456)×(4.1/100)×11499015×11.961)×(0/61))
= 0.00 บาท <------ for EGR+DPF

Total - บาท

รวมมูลค่า E ที่ ผู้รับเหมา ง ทำได้ = 41,589,587.14 บาท

รูปที่ ข.2.1 การคำนวณมูลค่า E ของโครงการกรณีศึกษา (ผู้รับเหมา ง.) (ต่อ)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การคำนวณมูลค่า E : ผู้รับเหมา ค

วิธีทางเลือกที่ 1

a = 10 %

b = 50 %

$$E_1 = \sum_{bd=I}^{IV}\left[(1+\{\exp[-0.0008189(a)]\times[0.88\times(a/100)+0.85\times(1-a/100)]/0.85\})\times(\{\exp[\eta\times(a)]-1\}\times 100\%)\times ER_1\times hp\times h\times b\times p\right]_{bd}$$

E_1 = ((1+(EXP(-0.0008189×(10))×(0.88×(10/100)+0.85×(1-10/100))/0.85))×((EXP(0.00009794×(10/100))-1)×100))
×(6.9/100)×11499015×(50/100)×216.89

= -169,664.37 บาท <------ for Nox

E_1 = ((1+(EXP(-0.0008189×(10))×(0.88×(10/100)+0.85×(1-10/100))/0.85))×((EXP(0.011195×(10/100))-1)×100))
×(1/100)×11499015×(50/100)×145.15

= 802,673.11 บาท <------ for HC

E_1 = ((1+(EXP(-0.0008189×(10))×(0.88×(10/100)+0.85×(1-10/100))/0.85))×((EXP(0.006384×(10/100))-1)×100))
×(0.6/100)×11499015×(50/100)×1125.05

= 6,815,585.81 บาท <------ for PM

E_1 = ((1+(EXP(-0.0008189×(10))×(0.88×(10/100)+0.85×(1-10/100))/0.85))×((EXP(0.011195×(10/100))-1)×100))
×(4.1/100)×11499015×(50/100)×9.85

= 630,183.78 บาท <------ for CO

Total 8,078,778.32 บาท

วิธีทางเลือกที่ 2

RD = 10 km

OD = 2.5 km

$$E_2 = \sum_{j=1}^{n}\left[\left(RD_j - OD_j\right)\times EF\times FC\times T_j\times p\right]$$

E_2 = ((10-2.5)×2.711×0.245×(548500/10)×5.535)

= 1,404,145.51 บาท <------ for CO_2

Total 1,404,145.51 บาท

รูปที่ ข.2.2 การคำนวณมูลค่า E ของโครงการกรณีศึกษา (ผู้รับเหมา ค.)

การคำนวณมูลค่า E : ผู้รับเหมา ค (ต่อ)

วิธีทางเลือกที่ 3

Spt = - m^3

Spc = 67,500.00 m^3

CR_B = - m^3

$E_3 = TEC \times ER_B \times M \times p$

E_3 = ((0)×60×0×5.535)

= 0.00 บาท <------ for Spt

E_3 = ((16.1/100)×60×67500×5.535)

= 3,350,884.95 บาท <------ for Spc

E_3 = ((50.3/100)×60×0×5.535)

= 0.00 บาท <------ for CR

Total 3,350,884.95 บาท

วิธีทางเลือกที่ 4

Tier 1 = 60 คัน จากทั้งหมด 61 คัน

Tier 2 = - คัน จากทั้งหมด 61 คัน

Tier 3 = - คัน จากทั้งหมด 61 คัน

Tier 4i = - คัน จากทั้งหมด 61 คัน

Tier 4f = 1 คัน จากทั้งหมด 61 คัน

$$E_4 = \sum_{n=tier\,1}^{tier\,4f}\left[\left(\sum_{rn=I}^{IV} R_{rn} \times ER_1 \times hp \times h \times p\right) \times r_n\right]$$

E_4 = ((((0)×(6.9/100)×11499015×216.89)×(60/61)+((((0)×(1/100)×11499015×145.14)×(60/61)

= +((((0)×(0.6/100)×11499015×1125.04)×(60/61))+((((0)×(4.1/100)×11499015×9.84)×(60/61)))

= 0.00 บาท <------ for Tier 1

E_4 = ((((0)×(6.9/100)×11499015×216.89)*(0/61))+((((0)×(1/100)×11499015×145.14)×(0/61))

= +(((0.625)×(0.6/100)×11499015×1125.04)×(0/61))+((((0.91)×(4.1/100)×11499015×9.84)×(0/61))

= 0.00 บาท <------ for Tier 2

รูปที่ ข.2.2 การคำนวณมูลค่า E ของโครงการกรณีศึกษา (ผู้รับเหมา ค.) (ต่อ)

การคำนวณมูลค่า E : ผู้รับเหมา ค (ต่อ)

E_4 = (((0.62)×(6.9/100)×11499015×216.89)×(0/61))+(((0)×(1/100)×11499015×145.14)×(0/61))
= +(((0.625)×(0.6/100)×11499015×1125.04)×(0/61))+(((0.91)×(4.1/100)×11499015×9.84)×(0/61))
= 0.00 บาท <------ for Tier 3

E_4 = (((0.62)×(6.9/100)×11499015×216.89)×(0/61))+(((0.692)×(1/100)×11499015×145.14)×(0/61))
= +(((0.975)×(0.6/100)×11499015×1125.04)×(0/61))+(((0.91)×(4.1/100)×11499015×9.84)×(0/61))
= 0.00 บาท <------ for Tier 4i

E_4 = (((0.957)×(6.9/100)×11499015×216.89)×(1/61))+(((0.854)×(1/100)×11499015×145.14)×(1/61))
= +(((0.975)×(0.6/100)×11499015×1125.04)×(1/61))+(((0.91)×(4.1/100)×11499015×9.84)×(1/61))
= 4,618,629.84 บาท <------ for Tier 4f

Total 4,618,629.84 บาท

<u>วิธีทางเลือกที่</u> 5

Hybrid = - คัน จากทั้งหมด 61 คัน

$$E_5 = \left(\sum_{rh=I}^{IV} R_{rh} \times ER_1 \times hp \times h \times p \right) \times r_h$$

E_5 = (((1)×(6.9/100)×11499015×216.89)×(0/61))
= 0.00 บาท <------ for Nox

E_5 = (((0.939)×(1/100)×11499015×145.14)×(0/61))
= 0.00 บาท <------ for HC

E_5 = (((1)×(0.6/100)×11499015×1125.04)×(0/61))
= 0.00 บาท <------ for PM

E_5 = (((0.101)×(4.1/100)×11499015×9.84)×(0/61))
= 0.00 บาท <------ for CO

Total - บาท

รูปที่ ข.2.2 การคำนวณมูลค่า E ของโครงการกรณีศึกษา (ผู้รับเหมา ค.) (ต่อ)

การคำนวณมูลค่า E : ผู้รับเหมา ค (ต่อ)

วิธีทางเลือกที่ 6

DOC	=	1	คัน	จากทั้งหมด	61	คัน
DPF	=	-	คัน	จากทั้งหมด	61	คัน
SCR	=	-	คัน	จากทั้งหมด	61	คัน
SCR+DPF	=	-	คัน	จากทั้งหมด	61	คัน
EGR+DPF	=	-	คัน	จากทั้งหมด	61	คัน

$$E_6 = \sum_{n=S_1}^{C_2}\left[\left(\sum_{id=I}^{IV} R_{id} \times ER_1 \times hp \times h \times p\right) \times i_d\right]$$

E_6 = (((0.62)×(6.9/100)×11499015×216.89)×(1/61)+(((0)×(1/100)×11499015×145.14)×(1/61)

= +(((0.6875)×(0.6/100)×11499015×1125.04)×(1/61))+(((0.1547)×(4.1/100)×11499015×9.84)×(1/61))))

= 2,984,793.35 บาท <------ for DOC

E_6 = (((0.62)×(6.9/100)×11499015×216.89)×(0/61))+(((0)×(1/100)×11499015×145.14)×(0/61))

= +(((1)×(0.6/100)×11499015×1125.04)×(0/61))+(((0.1456)×(4.1/100)×11499015×9.84)×(0/61))

= 0.00 บาท <------ for DPF

E_6 = (((1)×(6.9/100)×11499015×216.89)×(0/61))+(((0)×(1/100)×11499015×145.14)×(0/61))

= +(((0.7813)×(0.6/100)×11499015×1125.04)×(0/61))+(((0.1365)×(4.1/100)×11499015×9.84)×(0/61))

= 0.00 บาท <------ for SCR

E_6 = (((1)×(6.9/100)×11499015×216.89)×(0/61))+(((0)×(1/100)×11499015×145.14)×(0/61))

= +(((1)×(0.6/100)×11499015×1125.04)×(0/61))+(((0.1729)×(4.1/100)×11499015×9.84)×(0/61))

= 0.00 บาท <------ for SCR+DPF

E_6 = (((0.992)×(6.9/100)×11499015×216.89)×(0/61))+(((0)×(1/100)×11499015×145.14)×(0/61))

= +(((1)×(0.6/100)×11499015×1125.04)×(0/61))+(((0.1456)×(4.1/100)×11499015×9.84)×(0/61))

= 0.00 บาท <------ for EGR+DPF

Total 2,984,793.35 บาท

รวมมูลค่า E ที่ ผู้รับเหมา ค ทำได้ = 20,437,231.97 บาท

รูปที่ ข.2.2 การคำนวณมูลค่า E ของโครงการกรณีศึกษา (ผู้รับเหมา ค.) (ต่อ)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การคำนวณมูลค่า E : ผู้รับเหมา ข

<u>วิธีทางเลือกที่</u> 1

a = 0 %

b = 0 %

$$E_1 = \sum_{bd=I}^{IV}\left[(1+\{\exp[-0.0008189(a)]\times[0.88\times(a/100)+0.85\times(1-a/100)]/0.85\})\times(\{\exp[\eta\times(a)]-1\}\times100\%)\times ER_1\times hp\times h\times b\times p\right]_{bd}$$

E_1 = ((1+(EXP(-0.0008189×(0))×(0.88×(0/100)+0.85×(1-0/100))/0.85))×((EXP(0.00009794×(0/100))-1)×100))
×(6.9/100)×11499015×(0/100)×216.89

= 0.00 บาท <------ for Nox

E_1 = ((1+(EXP(-0.0008189×(0))×(0.88×(0/100)+0.85×(1-0/100))/0.85))×((EXP(0.011195×(0/100))-1)×100))
×(1/100)×11499015×(0/100)×145.15

= 0.00 บาท <------ for HC

E_1 = ((1+(EXP(-0.0008189×(0))×(0.88×(0/100)+0.85×(1-0/100))/0.85))×((EXP(0.006384×(0/100))-1)×100))
×(0.6/100)×11499015×(0/100)×1125.05

= 0.00 บาท <------ for PM

E_1 = ((1+(EXP(-0.0008189×(0))×(0.88×(0/100)+0.85×(1-0/100))/0.85))×((EXP(0.011195×(0/100))-1)×100))
×(4.1/100)×11499015×(0/100)×9.85

= 0.00 บาท <------ for CO

Total - บาท

<u>วิธีทางเลือกที่</u> 2

RD = 10 km

OD = 10 km

$$E_2 = \sum_{j=1}^{n}\left[\left(RD_j - OD_j\right)\times EF\times FC\times T_j\times p\right]$$

E_2 = ((10-10)×2.711×0.245×(548500/10)×5.535)

= 0.00 บาท <------ for CO_2

Total - บาท

รูปที่ ข.2.3 การคำนวณมูลค่า E ของโครงการกรณีศึกษา (ผู้รับเหมา ข.)

การคำนวณมูลค่า E : ผู้รับเหมา ข (ต่อ)

วิธีทางเลือกที่ 3

Spt = - m^3

Spc = 67,500.00 m^3

CR_B = - m^3

$E_3 = TEC \times ER_B \times M \times p$

E_3 = ((0)×60×0×5.535)

= 0.00 บาท <------ for Spt

E_3 = ((16.1/100)×60×67500×5.535)

= 3,350,884.95 บาท <------ for Spc

E_3 = ((50.3/100)×60×0×5.535)

= 0.00 บาท <------ for CR

Total 3,350,884.95 บาท

วิธีทางเลือกที่ 4

Tier 1 = 60 คัน จากทั้งหมด 61 คัน

Tier 2 = - คัน จากทั้งหมด 61 คัน

Tier 3 = - คัน จากทั้งหมด 61 คัน

Tier 4i = - คัน จากทั้งหมด 61 คัน

Tier 4f = - คัน จากทั้งหมด 61 คัน

$$E_4 = \sum_{n=tier\,1}^{tier\,4\,f}\left[\left(\sum_{rn=I}^{IV} R_{rn} \times ER_1 \times hp \times h \times p\right) \times r_n\right]$$

E_4 = ((((0)×(6.9/100)×11499015×216.89)×(60/61)+((((0)×(1/100)×11499015×145.14)×(60/61)

= +((((0)×(0.6/100)×11499015×1125.04)×(60/61))+((((0)×(4.1/100)×11499015×9.84)×(60/61)))

= 0.00 บาท <------ for Tier 1

E_4 = ((((0)×(6.9/100)×11499015×216.89)*(0/61))+((((0)×(1/100)×11499015×145.14)×(0/61))

= +(((0.625)×(0.6/100)×11499015×1125.04)×(0/61))+((((0.91)×(4.1/100)×11499015×9.84)×(0/61))

= 0.00 บาท <------ for Tier 2

รูปที่ ข.2.3 การคำนวณมูลค่า E ของโครงการกรณีศึกษา (ผู้รับเหมา ข.) (ต่อ)

การคำนวณมูลค่า E : ผู้รับเหมา ข (ต่อ)

E_4 = (((0.62)×(6.9/100)×11499015×216.89)×(0/61))+(((0)×(1/100)×11499015×145.14)×(0/61))
= +(((0.625)×(0.6/100)×11499015×1125.04)×(0/61))+(((0.91)×(4.1/100)×11499015×9.84)×(0/61))
= 0.00 บาท <------ for Tier 3

E_4 = (((0.62)×(6.9/100)×11499015×216.89)×(0/61))+(((0.692)×(1/100)×11499015×145.14)×(0/61))
= +(((0.975)×(0.6/100)×11499015×1125.04)×(0/61))+(((0.91)×(4.1/100)×11499015×9.84)×(0/61))
= 0.00 บาท <------ for Tier 4i

E_4 = (((0.957)×(6.9/100)×11499015×216.89)×(0/61))+(((0.854)×(1/100)×11499015×145.14)×(0/61))
= +(((0.975)×(0.6/100)×11499015×1125.04)×(0/61))+(((0.91)×(4.1/100)×11499015×9.84)×(0/61))
= 0.00 บาท <------ for Tier 4f

Total - บาท

<u>วิธีทางเลือกที่</u> 5

Hybrid = 1 คัน จากทั้งหมด 61 คัน

$$E_5 = \left(\sum_{rh=I}^{IV} R_{rh} \times ER_1 \times hp \times h \times p\right) \times r_h$$

E_5 = (((1)×(6.9/100)×11499015×216.89)×(1/61))
= 2,846,495.96 บาท <------ for Nox

E_5 = (((0.939)×(1/100)×11499015×145.14)×(1/61))
= 110,565.40 บาท <------ for HC

E_5 = (((1)×(0.6/100)×11499015×1125.04)×(1/61))
= 1,753,694.04 บาท <------ for PM

E_5 = (((0.101)×(4.1/100)×11499015×9.84)×(1/61))
= 9,336.92 บาท <------ for CO

Total 4,720,092.32 บาท

รูปที่ ข.2.3 การคำนวณมูลค่า E ของโครงการกรณีศึกษา (ผู้รับเหมา ข.) (ต่อ)

การคำนวณมูลค่า E : ผู้รับเหมา ข (ต่อ)

วิธีทางเลือกที่ 6

DOC	=	-	คัน	จากทั้งหมด	61 คัน
DPF	=	-	คัน	จากทั้งหมด	61 คัน
SCR	=	-	คัน	จากทั้งหมด	61 คัน
SCR+DPF	=	-	คัน	จากทั้งหมด	61 คัน
EGR+DPF	=	-	คัน	จากทั้งหมด	61 คัน

$$E_6 = \sum_{n=S_1}^{C_2}\left[\left(\sum_{id=I}^{IV} R_{id} \times ER_1 \times hp \times h \times p\right) \times i_d\right]$$

E_6 = (((0.62)×(6.9/100)×11499015×216.89)×(0/61))+(((0)×(1/100)×11499015×145.14)×(0/61)

= +(((0.6875)×(0.6/100)×11499015×1125.04)×(0/61))+(((0.1547)×(4.1/100)×11499015×9.84)×(0/61))))

= 0.00 บาท <------ for DOC

E_6 = (((0.62)×(6.9/100)×11499015×216.89)×(0/61))+(((0)×(1/100)×11499015×145.14)×(0/61))

= +(((1)×(0.6/100)×11499015×1125.04)×(0/61))+(((0.1456)×(4.1/100)×11499015×9.84)×(0/61))

= 0.00 บาท <------ for DPF

E_6 = (((1)×(6.9/100)×11499015×216.89)×(0/61))+(((0)×(1/100)×11499015×145.14)×(0/61))

= +(((0.7813)×(0.6/100)×11499015×1125.04)×(0/61))+(((0.1365)×(4.1/100)×11499015×9.84)×(0/61))

= 0.00 บาท <------ for SCR

E_6 = (((1)×(6.9/100)×11499015×216.89)×(0/61))+(((0)×(1/100)×11499015×145.14)×(0/61))

= +(((1)×(0.6/100)×11499015×1125.04)×(0/61))+(((0.1729)×(4.1/100)×11499015×9.84)×(0/61))

= 0.00 บาท <------ for SCR+DPF

E_6 = (((0.992)×(6.9/100)×11499015×216.89)×(0/61))+(((0)×(1/100)×11499015×145.14)×(0/61))

= +(((1)×(0.6/100)×11499015×1125.04)×(0/61))+(((0.1456)×(4.1/100)×11499015×9.84)×(0/61))

= 0.00 บาท <------ for EGR+DPF

Total - บาท

รวมมูลค่า E ที่ ผู้รับเหมา ข ทำได้ = 8,070,977.27 บาท

รูปที่ ข.2.3 การคำนวณมูลค่า E ของโครงการกรณีศึกษา (ผู้รับเหมา ข.) (ต่อ)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

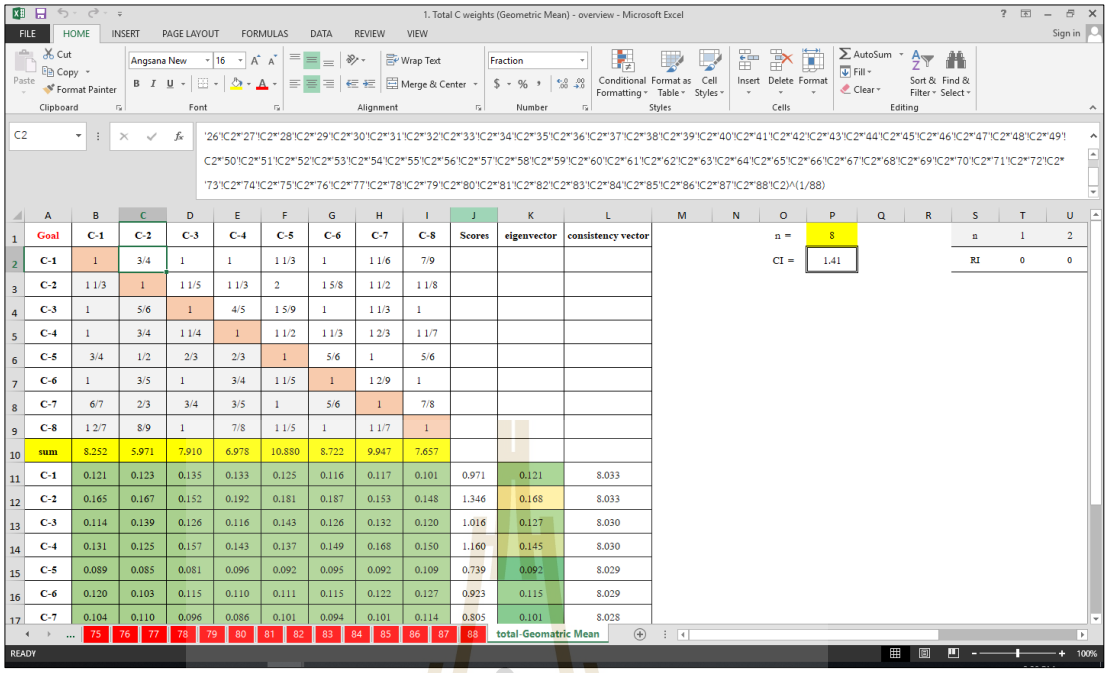
		วิธีทางเลือกที่ 1	วิธีทางเลือกที่ 2	วิธีทางเลือกที่ 3	วิธีทางเลือกที่ 4	วิธีทางเลือกที่ 5	วิธีทางเลือกที่ 6	รวม (sum E)	
มูลค่า E	ก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	ข	0.00	0.00	3,350,884.95	0.00	4,720,092.32	0.00	8,070,977.27	
	ค	8,078,778.32	1,404,145.51	3,350,884.95	4,618,629.84	0.00	2,984,793.35	20,437,231.97	
	ง	16,125,880.87	1,310,535.81	11,275,625.25	12,877,545.21	0.00	0.00	41,589,587.14	
มูลค่า C_C	ก			419,500,100.00					* ผู้ชนะฯ ด้วยสัญญาปกติ
	ข			424,812,875.00					
	ค			425,271,970.00					
	ง			442,258,730.00					
มูลค่า Q (C_C-E)	ก			419,500,100.00					
	ข			416,741,897.73					
	ค			404,834,738.03					
	ง			400,669,142.86					* ผู้ชนะฯด้วยสัญญา GRIP

รูปที่ ข.2.4 สรุปมูลค่า E, C_C และ Q ของโครงการกรณีศึกษา

ภาคผนวก ค

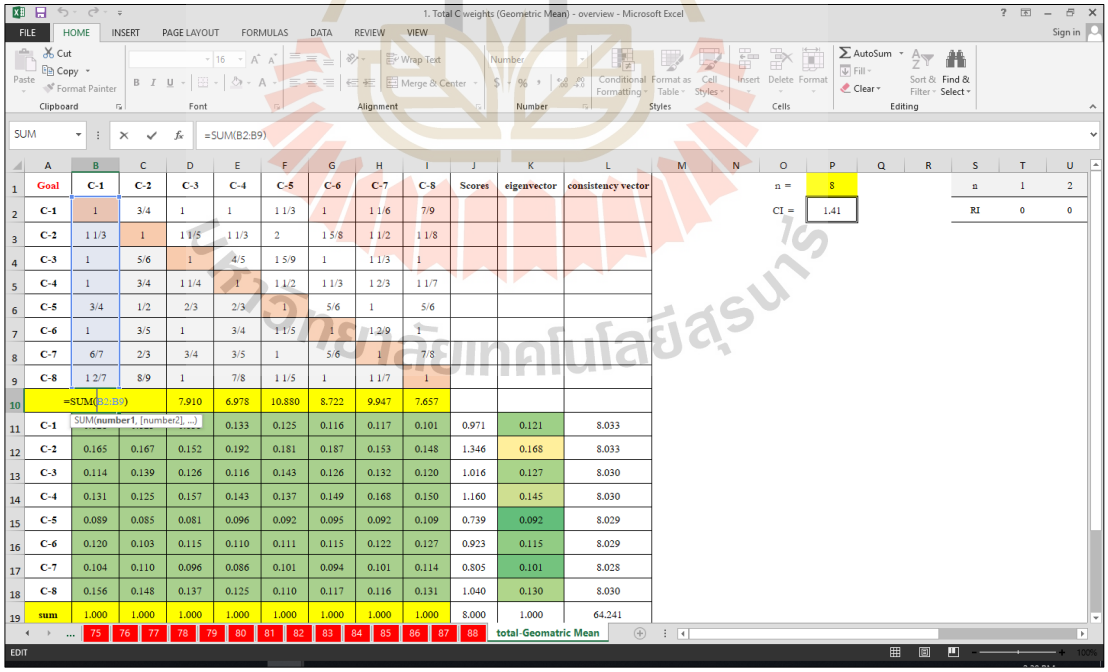
ข้อมูลรายละเอียดการประเมินความคิดเห็นด้วยเทคนิค AHP

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



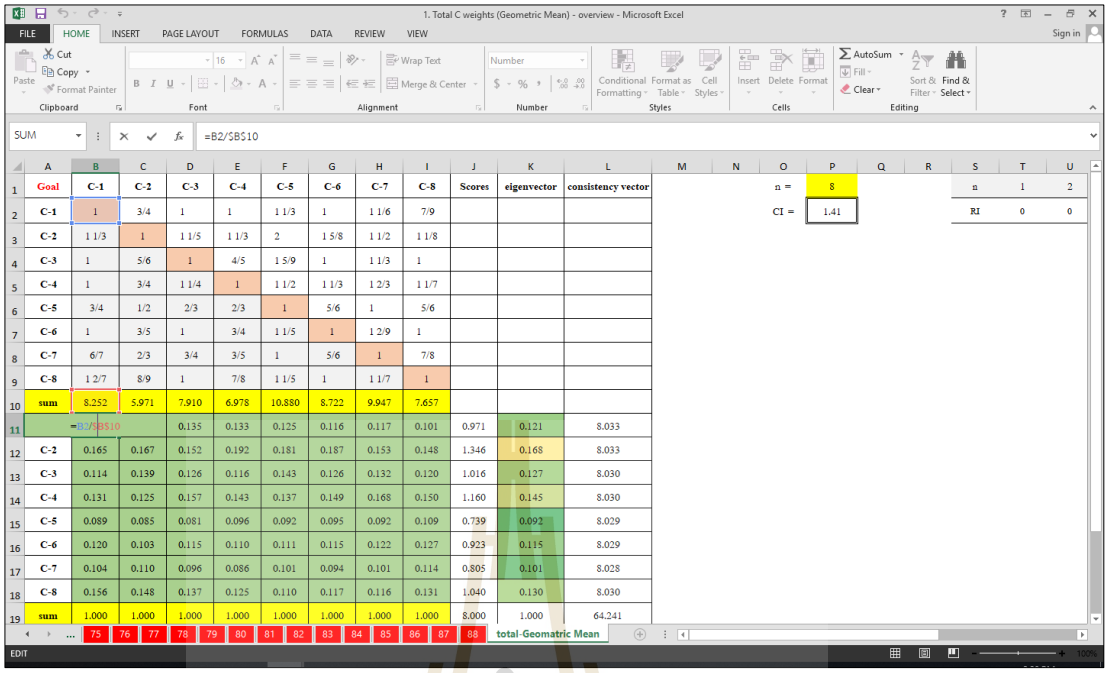
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	Goal	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	Scores	eigenvector	consistency vector			n =	8			n	1	2
2	C-1	1	3/4	1	1	1 1/3	1	1 1/6	7/9						CI =	1.41			RI	0	0
3	C-2	1 1/3	1	1 1/5	1 1/3	2	1 5/8	1 1/2	1 1/8												
4	C-3	1	5/6	1	4/5	1 5/9	1	1 1/3	1												
5	C-4	1	3/4	1 1/4	1	1 1/2	1 1/3	1 2/3	1 1/7												
6	C-5	3/4	1/2	2/3	2/3	1	5/6	1	5/6												
7	C-6	1	3/5	1	3/4	1 1/5	1	1 2/9	1												
8	C-7	6/7	2/3	3/4	3/5	1	5/6	1	7/8												
9	C-8	1 2/7	8/9	1	7/8	1 1/5	1	1 1/7	1												
10	sum	8.252	5.971	7.910	6.978	10.880	8.722	9.947	7.657												
11	C-1	0.121	0.123	0.135	0.133	0.125	0.116	0.117	0.101	0.971	0.121	8.033									
12	C-2	0.165	0.167	0.152	0.192	0.181	0.187	0.153	0.148	1.346	0.168	8.033									
13	C-3	0.114	0.139	0.126	0.116	0.143	0.126	0.132	0.120	1.016	0.127	8.030									
14	C-4	0.131	0.125	0.157	0.143	0.137	0.149	0.168	0.150	1.160	0.145	8.030									
15	C-5	0.089	0.085	0.081	0.096	0.092	0.095	0.092	0.109	0.739	0.092	8.029									
16	C-6	0.120	0.103	0.115	0.110	0.111	0.115	0.122	0.127	0.923	0.115	8.029									
17	C-7	0.104	0.110	0.096	0.086	0.101	0.094	0.101	0.114	0.805	0.101	8.028									

รูปที่ ค.1 การคำนวณค่าน้ำหนักของเกณฑ์ (Criteria) Step-1



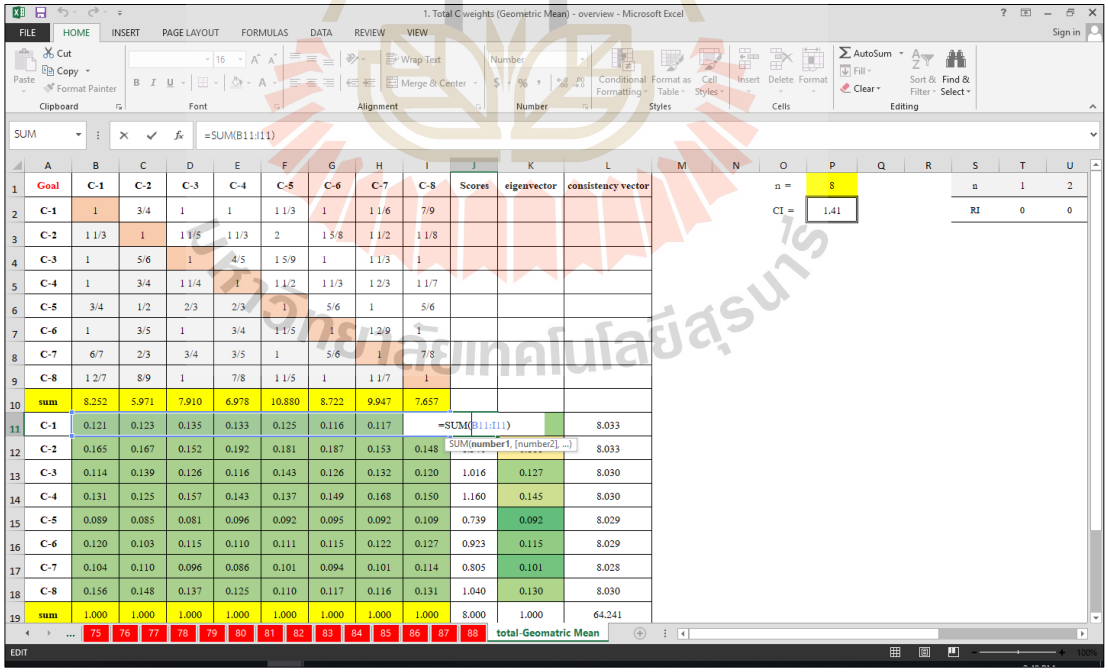
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	Goal	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	Scores	eigenvector	consistency vector			n =	8			n	1	2
2	C-1	1	3/4	1	1	1 1/3	1	1 1/6	7/9						CI =	1.41			RI	0	0
3	C-2	1 1/3	1	1 1/5	1 1/3	2	1 5/8	1 1/2	1 1/8												
4	C-3	1	5/6	1	4/5	1 5/9	1	1 1/3	1												
5	C-4	1	3/4	1 1/4	1	1 1/2	1 1/3	1 2/3	1 1/7												
6	C-5	3/4	1/2	2/3	2/3	1	5/6	1	5/6												
7	C-6	1	3/5	1	3/4	1 1/5	1	1 2/9	1												
8	C-7	6/7	2/3	3/4	3/5	1	5/6	1	7/8												
9	C-8	1 2/7	8/9	1	7/8	1 1/5	1	1 1/7	1												
10	=SUM(B2:B9)			7.910	6.978	10.880	8.722	9.947	7.657												
11	C-1				0.133	0.125	0.116	0.117	0.101	0.971	0.121	8.033									
12	C-2	0.165	0.167	0.152	0.192	0.181	0.187	0.153	0.148	1.346	0.168	8.033									
13	C-3	0.114	0.139	0.126	0.116	0.143	0.126	0.132	0.120	1.016	0.127	8.030									
14	C-4	0.131	0.125	0.157	0.143	0.137	0.149	0.168	0.150	1.160	0.145	8.030									
15	C-5	0.089	0.085	0.081	0.096	0.092	0.095	0.092	0.109	0.739	0.092	8.029									
16	C-6	0.120	0.103	0.115	0.110	0.111	0.115	0.122	0.127	0.923	0.115	8.029									
17	C-7	0.104	0.110	0.096	0.086	0.101	0.094	0.101	0.114	0.805	0.101	8.028									
18	C-8	0.156	0.148	0.137	0.125	0.110	0.117	0.116	0.131	1.040	0.130	8.030									
19	sum	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	8.000	1.000	64.241									

รูปที่ ค.2 การคำนวณค่าน้ำหนักของเกณฑ์ (Criteria) Step-2



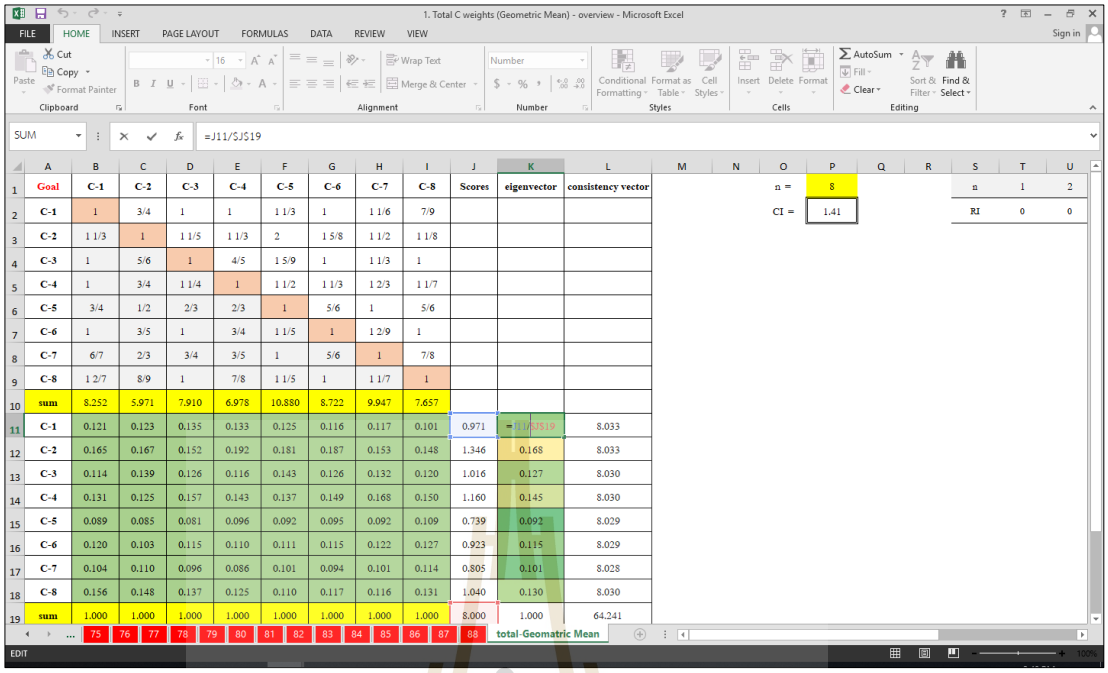
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	Goal	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	Scores	eigenvector	consistency vector			n =	8			n	1	2
2	C-1	1	3/4	1	1	1 1/3	1	1 1/6	7/9						CI =	1.41			RI	0	0
3	C-2	1 1/3	1	1 1/5	1 1/3	2	1 5/8	1 1/2	1 1/8												
4	C-3	1	5/6	1	4/5	1 5/9	1	1 1/3	1												
5	C-4	1	3/4	1 1/4	1	1 1/2	1 1/3	1 2/3	1 1/7												
6	C-5	3/4	1/2	2/3	2/3	1	5/6	1	5/6												
7	C-6	1	3/5	1	3/4	1 1/5	1	1 2/9	1												
8	C-7	6/7	2/3	3/4	3/5	1	5/6	1	7/8												
9	C-8	1 2/7	8/9	1	7/8	1 1/5	1	1 1/7	1												
10	sum	8.252	5.971	7.910	6.978	10.880	8.722	9.947	7.657												
11		=B2/$B$10		0.135	0.133	0.125	0.116	0.117	0.101	0.971	0.121	8.033									
12	C-2	0.165	0.167	0.152	0.192	0.181	0.187	0.153	0.148	1.346	0.168	8.033									
13	C-3	0.114	0.139	0.126	0.116	0.143	0.126	0.132	0.120	1.016	0.127	8.030									
14	C-4	0.131	0.125	0.157	0.143	0.137	0.149	0.168	0.150	1.160	0.145	8.030									
15	C-5	0.089	0.085	0.081	0.096	0.092	0.095	0.092	0.109	0.739	0.092	8.029									
16	C-6	0.120	0.103	0.115	0.110	0.111	0.115	0.122	0.127	0.923	0.115	8.029									
17	C-7	0.104	0.110	0.096	0.086	0.101	0.094	0.101	0.114	0.805	0.101	8.028									
18	C-8	0.156	0.148	0.137	0.125	0.110	0.117	0.116	0.131	1.040	0.130	8.030									
19	sum	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	8.000	1.000	64.241									

รูปที่ ค.3 การคำนวณค่าน้ำหนักของเกณฑ์ (Criteria) Step-3



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	Goal	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	Scores	eigenvector	consistency vector			n =	8			n	1	2
2	C-1	1	3/4	1	1	1 1/3	1	1 1/6	7/9						CI =	1.41			RI	0	0
3	C-2	1 1/3	1	1 1/5	1 1/3	2	1 5/8	1 1/2	1 1/8												
4	C-3	1	5/6	1	4/5	1 5/9	1	1 1/3	1												
5	C-4	1	3/4	1 1/4	1	1 1/2	1 1/3	1 2/3	1 1/7												
6	C-5	3/4	1/2	2/3	2/3	1	5/6	1	5/6												
7	C-6	1	3/5	1	3/4	1 1/5	1	1 2/9	1												
8	C-7	6/7	2/3	3/4	3/5	1	5/6	1	7/8												
9	C-8	1 2/7	8/9	1	7/8	1 1/5	1	1 1/7	1												
10	sum	8.252	5.971	7.910	6.978	10.880	8.722	9.947	7.657												
11	C-1	0.121	0.123	0.135	0.133	0.125	0.116	0.117	=SUM(B11:I11)			8.033									
12	C-2	0.165	0.167	0.152	0.192	0.181	0.187	0.153	0.148			8.033									
13	C-3	0.114	0.139	0.126	0.116	0.143	0.126	0.132	0.120	1.016	0.127	8.030									
14	C-4	0.131	0.125	0.157	0.143	0.137	0.149	0.168	0.150	1.160	0.145	8.030									
15	C-5	0.089	0.085	0.081	0.096	0.092	0.095	0.092	0.109	0.739	0.092	8.029									
16	C-6	0.120	0.103	0.115	0.110	0.111	0.115	0.122	0.127	0.923	0.115	8.029									
17	C-7	0.104	0.110	0.096	0.086	0.101	0.094	0.101	0.114	0.805	0.101	8.028									
18	C-8	0.156	0.148	0.137	0.125	0.110	0.117	0.116	0.131	1.040	0.130	8.030									
19	sum	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	8.000	1.000	64.241									

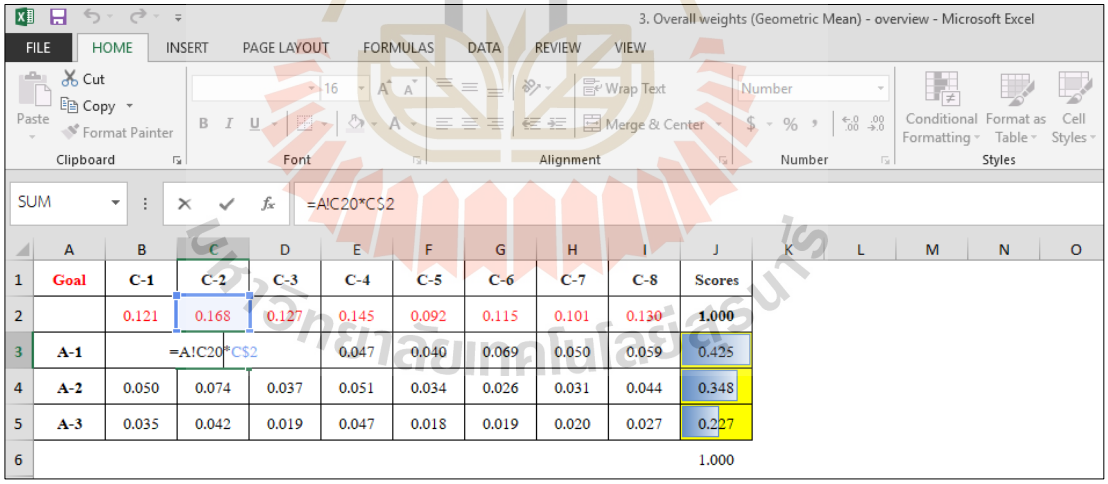
รูปที่ ค.4 การคำนวณค่าน้ำหนักของเกณฑ์ (Criteria) Step-4



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Goal	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	Scores	eigenvector	consistency vector
2	C-1	1	3/4	1	1	1 1/3	1	1 1/6	7/9			
3	C-2	1 1/3	1	1 1/5	1 1/3	2	1 5/8	1 1/2	1 1/8			
4	C-3	1	5/6	1	4/5	1 5/9	1	1 1/3	1			
5	C-4	1	3/4	1 1/4	1	1 1/2	1 1/3	1 2/3	1 1/7			
6	C-5	3/4	1/2	2/3	2/3	1	5/6	1	5/6			
7	C-6	1	3/5	1	3/4	1 1/5	1	1 2/9	1			
8	C-7	6/7	2/3	3/4	3/5	1	5/6	1	7/8			
9	C-8	1 2/7	8/9	1	7/8	1 1/5	1	1 1/7	1			
10	sum	8.252	5.971	7.910	6.978	10.880	8.722	9.947	7.657			
11	C-1	0.121	0.123	0.135	0.133	0.125	0.116	0.117	0.101	0.971	=J11/$J$19	8.033
12	C-2	0.165	0.167	0.152	0.192	0.181	0.187	0.153	0.148	1.346	0.168	8.033
13	C-3	0.114	0.139	0.126	0.116	0.143	0.126	0.132	0.120	1.016	0.127	8.030
14	C-4	0.131	0.125	0.157	0.143	0.137	0.149	0.168	0.150	1.160	0.145	8.030
15	C-5	0.089	0.085	0.081	0.096	0.092	0.095	0.092	0.109	0.739	0.092	8.029
16	C-6	0.120	0.103	0.115	0.110	0.111	0.115	0.122	0.127	0.923	0.115	8.029
17	C-7	0.104	0.110	0.096	0.086	0.101	0.094	0.101	0.114	0.805	0.101	8.028
18	C-8	0.156	0.148	0.137	0.125	0.110	0.117	0.116	0.131	1.040	0.130	8.030
19	sum	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	8.000	1.000	64.241

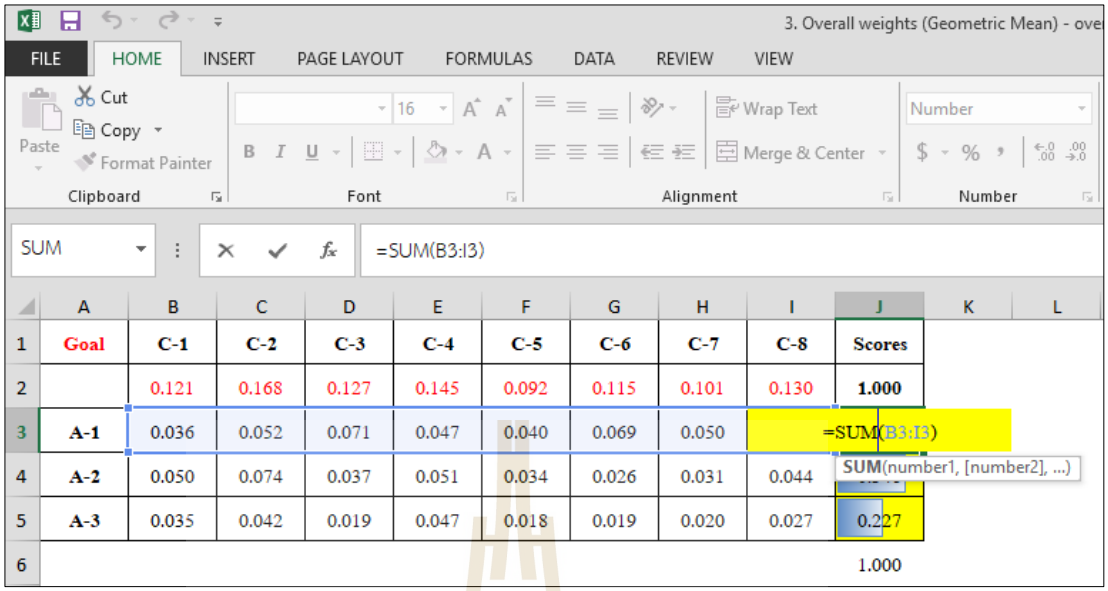
	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
			n =	8			n	1	2
			CI =	1.41			RI	0	0

รูปที่ ค.5 การคำนวณค่าน้ำหนักของเกณฑ์ (Criteria) Step-5



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Goal	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	Scores
2		0.121	0.168	0.127	0.145	0.092	0.115	0.101	0.130	1.000
3	A-1	=A!C20*C$2			0.047	0.040	0.069	0.050	0.059	0.425
4	A-2	0.050	0.074	0.037	0.051	0.034	0.026	0.031	0.044	0.348
5	A-3	0.035	0.042	0.019	0.047	0.018	0.019	0.020	0.027	0.227
6										1.000

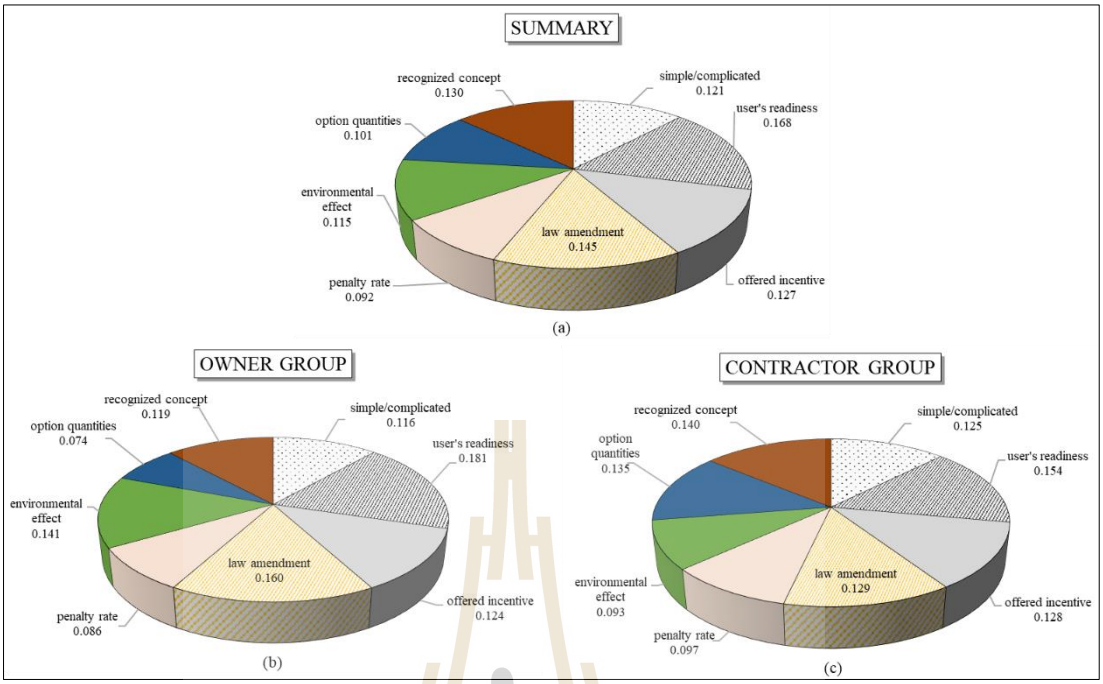
รูปที่ ค.6 การคำนวณค่าน้ำหนักทางเลือก (Alternatives) Step-1



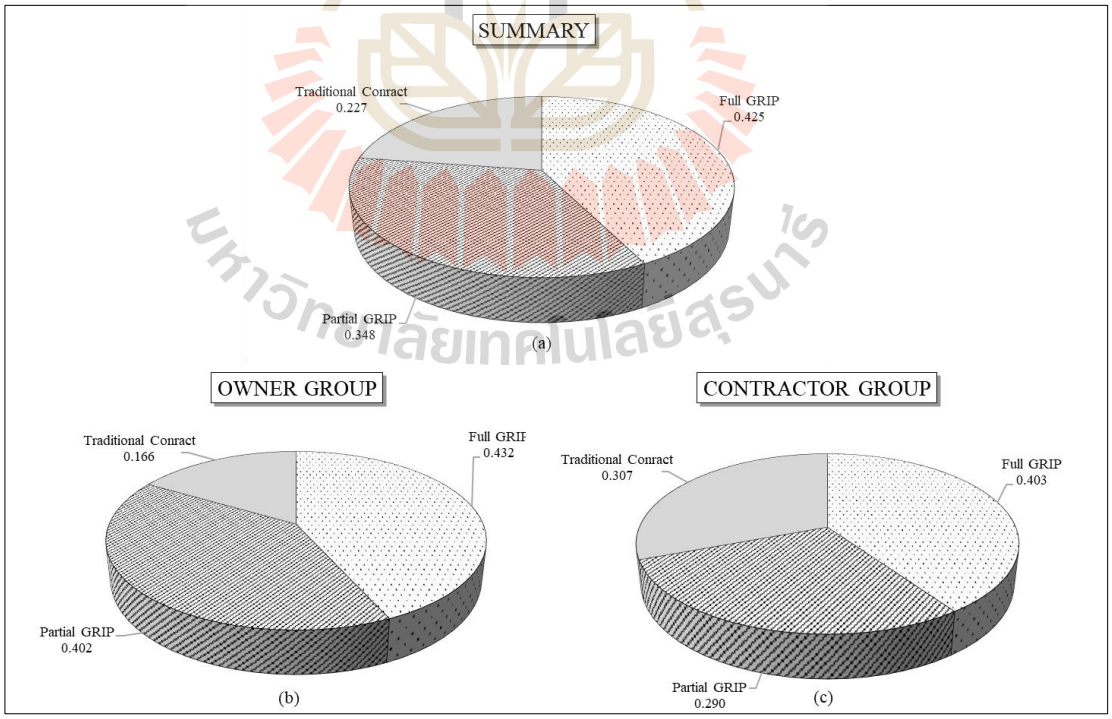
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	**Goal**	**C-1**	**C-2**	**C-3**	**C-4**	**C-5**	**C-6**	**C-7**	**C-8**	**Scores**		
2		0.121	0.168	0.127	0.145	0.092	0.115	0.101	0.130	**1.000**		
3	**A-1**	0.036	0.052	0.071	0.047	0.040	0.069	0.050		=SUM(B3:I3)		
4	**A-2**	0.050	0.074	0.037	0.051	0.034	0.026	0.031	0.044			
5	**A-3**	0.035	0.042	0.019	0.047	0.018	0.019	0.020	0.027	0.227		
6										1.000		

รูปที่ ค.7 การคำนวณค่าน้ำหนักทางเลือก (Alternatives) Step-2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ค.8 ผลลัพธ์ค่าน้ำหนักของเกณฑ์ (Criteria) จากกลุ่มตัวอย่าง



รูปที่ ค.9 ผลลัพธ์ค่าน้ำหนักทางเลือก (Alternatives) จากกลุ่มตัวอย่าง

CONTRACTOR

ความคิดเห็นเมื่อกำหนดให้ใช้วิธี GRIP				
ที่	คำตอบ ร่วมมือ	ไม่ร่วมมือ	ไม่แน่ใจ	เหตุผล
1	X			-
2	X			เพราะการก่อสร้างทุกอย่างจะมีการปล่อยก๊าซออกมา ที่เป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ส่วนการเลือกวิธีการลดปล่อยก๊าซไปปฏิบัติ น่าจะอยู่ในช่อ α_1 ถึง α_3 ส่วน α_4 ถึง α_6 น่าจะยากเพราะอาจใช้ค่าใช้จ่ายที่สูง
3		X		-
4			X	ต้นทุนการใช้เครื่องจักร
5	X			สถานการณ์ปัจจุบัน สภาพสิ่งแวดล้อมค่อนข้างมีผลกระทบต่อชีวิตของผู้คนในด้านสุขภาพและการอยู่อาศัย จำเป็นต้องช่วยกันลด การทำให้สิ่งแวดล้อมดีขึ้น
6	X			เป็นวิธีที่ดี เพื่อส่งผลดีให้กับทุกภาคส่วน ในการใช้ชีวิตประจำวันกับสิ่งแวดล้อม
7			X	ไม่แน่ใจว่าวิธีจะใช้ได้ผลจริง เพื่อความสมดุลกับการใช้งาน
8	X			บริษัททุกวันนี้ก็มีเครื่องจักรที่ใหม่ ๆ อยู่แล้ว ช่วยลดปริมาณก๊าซที่เสีย
9			X	เพราะยังไม่แน่ใจในวิธีการคิดประเมิณ CEP
10			X	ถ้าจะนำวิธีการลดมลภาวะสิ่งแวดล้อม ต้องปรับปรุงแก้เครื่องจักรดังกล่าวใหม่หมด
11	X			สามารถช่วยลดสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการใช้ก๊าซพิษที่มากจนเกินไป
12	X			เพื่อพัฒนาระบบการก่อสร้างควบคู่กับการพัฒนาด้านสิ่งแวดล้อม
13	X			เพื่อพัฒนาระบบการก่อสร้างให้มีประสิธิภาพมากขึ้น
14	X			จะได้มีส่วนร่วมการลดก๊าซเรือนกระจก (ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม)
15	X			ลดภาวะโลกร้อน เสริมสร้างชั้นโอโซนเพิ่มขึ้น
16	X			เพื่อลดภาวะโลกร้อนอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน
17	X			อยากให้สภาวะอากาศโลกปกติ ไม่แปรปรวน
18	X			ในอนาคตเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นเรื่องสำคัญ ไม่ช้าก็เร็วกฎเกณฑ์ในด้านรักษาสิ่งแวดล้อมต้องมีอยู่แล้วในด้านการบังคับใช้
19	X			อยากช่วยลดการปล่อยก๊าซ
20	X			อยากให้ช่วยลดมลภาวะฝุ่นละออง ควัน และก๊าซต่าง ๆ
21	X			ช่วยลดโลกร้อน
22	X			-
23	X			-
24	X			-
25	X			ลดการปล่อยก๊าซฯ
26-43	X			
44		X		
Total	38	2	4	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ค.10 ความคิดเห็นจากกลุ่มผู้รับเหมาในส่วนที่ 5 ของแบบสอบถาม

OWNER

ความคิดเห็นเมื่อกำหนดให้ใช้วิธี GRIP				
ที่	คำตอบ			เหตุผล
	ร่วมมือ	ไม่ร่วมมือ	ไม่แน่ใจ	
1	X			การลดมลพิษต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น จะส่งผลให้สมดุลทางธรรมชาติดีขึ้นด้วย แล้วยังช่วยลดพิบัติภัยต่าง ๆ ซึ่งเมื่อเกิดขึ้นแล้วมูลค่าความเสียหายต่อผู้คนและทรัพย์สินมีมาก
2	X			อยากให้ลดภาวะก๊าซเรือนกระจก
3	X			เป็นการช่วยลดผลกระทบปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อม
4	X			เพราะเป็นการสนับสนุนให้ภาคเอกชนหันมาใส่ใจกับสภาวะแวดล้อมมากขึ้น
5	X			เพื่อลดภาวะเรือนกระจก
6	X			ดีต่อคุณภาพชีวิตของประชาชน
7	X			เพื่อลดโลกร้อน และให้ได้ผู้รับจ้างที่มีคุณภาพ
8	X			ช่วยลดก๊าซและมลพิษทางอากาศ
9	X			เพื่อช่วยให้โลกนี้น่าอยู่ตลอดไปสำหรับประชากรชาวโลก
10	X			เพื่อสร้างนิสัยการคิดและการปฏิบัติงานเพื่อเอื้อผลประโยชน์ต่อส่วนรวม
11	X			ถ้าทำได้จะช่วยลดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมและประชาชนบริเวณนั้น
12	X			เป็นผลดีกับสิ่งแวดล้อมของเรา เป็นการฝึกให้ผู้รับจ้างตระหนักในผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่พวกเขามีส่วนสร้างขึ้น
13			X	ผู้รับจ้างจะไม่สามารถปฏิบัติตามเงื่อนไขค่าปรับได้
14	X			ช่วยลดมลภาวะที่เป็นพิษในอากาศ
15	X			อยากให้ลดภาวะโลกร้อน
16	X			เพื่อลดภาวะโลกร้อน
17	X			ทำให้ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้
18-44	X			
Total	43	0	1	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

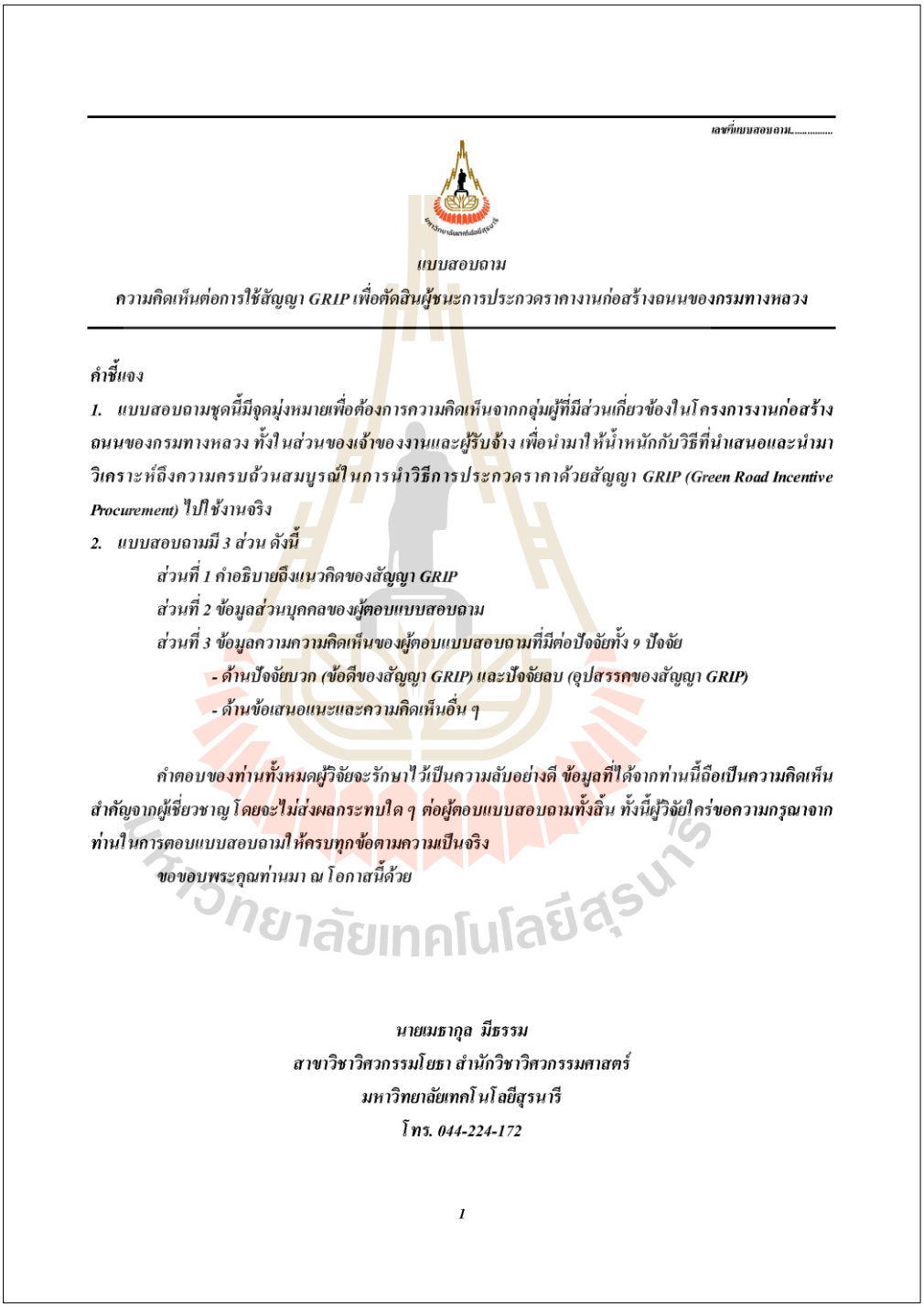
รูปที่ ค.11 ความคิดเห็นจากกลุ่มเจ้าของโครงการฯ ในส่วนที่ 5 ของแบบสอบถาม

ภาคผนวก ง

แบบฟอร์มเก็บข้อมูลความคิดเห็นด้วยเทคนิค AHP

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ง.1 แบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญ 1 ท่านรอบแรก



เลขที่แบบสอบถาม.....

แบบสอบถาม

ความคิดเห็นต่อการใช้สัญญา GRIP เพื่อตัดสินผู้ชนะการประกวดราคางานก่อสร้างถนนของกรมทางหลวง

คำชี้แจง

1. แบบสอบถามชุดนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อต้องการความคิดเห็นจากกลุ่มผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการงานก่อสร้างถนนของกรมทางหลวง ทั้งในส่วนของเจ้าของงานและผู้รับจ้าง เพื่อนำมาให้น้ำหนักกับวิธีที่นำเสนอและนำมาวิเคราะห์ถึงความครบถ้วนสมบูรณ์ในการนำวิธีการประกวดราคาด้วยสัญญา GRIP (Green Road Incentive Procurement) ไปใช้งานจริง

2. แบบสอบถามมี 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 คำอธิบายถึงแนวคิดของสัญญา GRIP

ส่วนที่ 2 ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 3 ข้อมูลความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีต่อปัจจัยทั้ง 9 ปัจจัย

- ด้านปัจจัยบวก (ข้อดีของสัญญา GRIP) และปัจจัยลบ (อุปสรรคของสัญญา GRIP)
- ด้านข้อเสนอแนะและความคิดเห็นอื่น ๆ

คำตอบของท่านทั้งหมดผู้วิจัยจะรักษาไว้เป็นความลับอย่างดี ข้อมูลที่ได้จากท่านนี้ถือเป็นความคิดเห็นสำคัญจากผู้เชี่ยวชาญ โดยจะไม่ส่งผลกระทบใด ๆ ต่อผู้ตอบแบบสอบถามทั้งสิ้น ทั้งนี้ผู้วิจัยใคร่ขอความกรุณาจากท่านในการตอบแบบสอบถามให้ครบทุกข้อตามความเป็นจริง

ขอขอบพระคุณท่านมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นายเมธากุล มีธรรม
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
โทร. 044-224-172

รูปที่ ง.1.1 แบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญในรอบแรก (หน้าที่ 1)

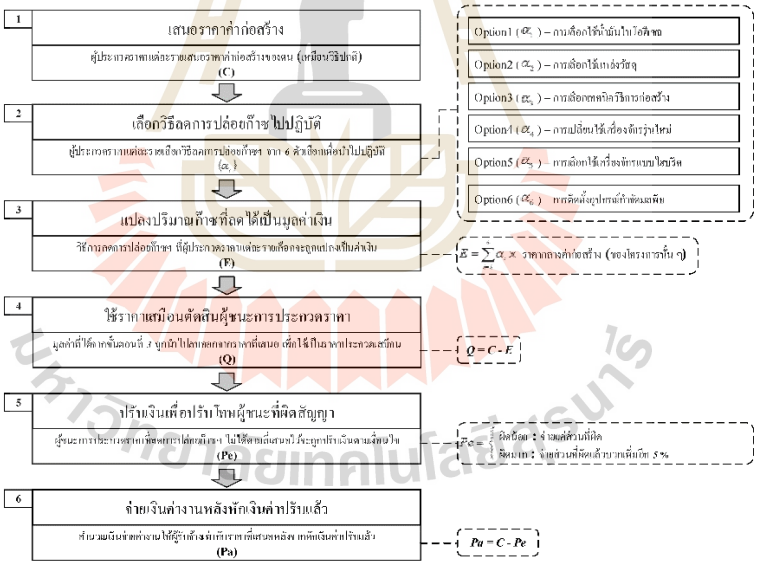
ส่วนที่ 1 : คำอธิบายถึงแนวคิดของสัญญา GRIP

หลักการคำนวณและพิจารณาผู้ชนะการประกวดราคาด้วยวิธี GRIP

ผู้วิจัยได้นำเสนอหลักการที่เสนอผลตอบแทนเพื่อจูงใจผู้รับเหมาที่เข้าร่วมประกวดราคาโครงการก่อสร้างถนนของกรมทางหลวง ได้หันมาให้ความร่วมมือเพื่อลดการปล่อยก๊าซฯ โดยมีหลักการสำคัญคือ

- *ให้ผลตอบแทนแก่ผู้ประกวดราคาที่ร่วมมือในการลดการปล่อยก๊าซฯ (คิดเป็นมูลค่าเงิน)*
- *ผู้ประกวดราคาสามารถร่วมมือด้วยการเลือกวิธีใด ๆ จาก 6 วิธี (α_1 ถึง α_6) ที่เสนอ*
- *ผลตอบแทนจะถูกนำไปรวมกับราคาประกวดราคาแล้วทำให้ราคาประกวดเสมือนมีค่าต่ำลงจากเดิม*
- *ผู้ที่ไม่ได้เสนอราคา (เริ่มต้น) ต่ำสุดแต่ลดการปล่อยก๊าซฯ มากสามารถชนะการประกวดราคาได้*
- *ผู้ชนะการประกวดราคาจะได้รับเงินจ่ายค่างานตามที่เสนอ (เหมือนวิธีปกติ)*
- *แต่ถ้าผู้ชนะการประกวดราคาไม่ทำตามเงื่อนไขที่เสนอไว้จะโดนปรับเงินจากค่างานที่จะจ่ายให้*

โดยแสดงกระบวนการในการดำเนินงานด้วยสัญญา GRIP ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบจำลองการดำเนินการประกวดราคาด้วยสัญญา GRIP กับโครงการงานก่อสร้างถนนของกรมทางหลวง

รูปที่ ง.1.2 แบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญในรอบแรก (หน้าที่ 2)

ส่วนที่ 2 : ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม

คำชี้แจง : กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ในช่อง ❒ ที่ตรงกับท่านมากที่สุดเพียงช่องเดียวเท่านั้น

1. เพศ

1. ❒ ชาย 2. ❒ หญิง

2. อายุ

1. ❒ ต่ำกว่า 20 ปี 2. ❒ 20 - 40 ปี
3. ❒ 41 - 50 ปี 4. ❒ 51 ปีขึ้นไป

3. วุฒิการศึกษา (โปรดระบุสาขา)

1. ❒ ต่ำกว่าปริญญาตรี 2. ❒ ปริญญาตรี .....
3. ❒ ปริญญาโท ..... 4. ❒ ปริญญาเอก .....

4. ใบประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม (กว.โยธา)

1. ❒ ไม่มี
2. ❒ มี (โปรดระบุระดับ) .....

5. ตำแหน่งงานของท่าน

❒ เจ้าพนักงานของรัฐ (กรมทางหลวง)

(ระดับบริหาร) 1. ❒ ผู้อำนวยการ/รองผู้อำนวยการฯ 2. ❒ ผู้จัดการโครงการฯ

(ระดับปฏิบัติการ) 3. ❒ นายช่าง/ผู้ช่วยนายช่างโครงการฯ 4. ❒ นายช่างควบคุมงาน

5. ❒ อื่นๆ .....

❒ บุคคลากรของผู้รับเหมา

(ระดับบริหาร) 1. ❒ หุ้นส่วนผู้จัดการบริษัทฯ/ห้างฯ 2. ❒ ผู้จัดการโครงการฯ

(ระดับปฏิบัติการ) 3. ❒ วิศวกรโครงการฯ/วิศวกรสนาม 4. ❒ โฟร์แมน

5. ❒ อื่นๆ .....

6. ประสบการณ์การทำงานในโครงการงานก่อสร้างถนนของกรมทางหลวง

1. ❒ ต่ำกว่า 5 ปี 2. ❒ 5 - 10 ปี
3. ❒ 11 - 15 ปี 4. ❒ มากกว่า 15 ปีขึ้นไป

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานเพื่อลดการปล่อยก๊าซฯ (เช่น ใช้วัสดุที่ช่วยลดโลกร้อน ฯลฯ)

1. ❒ ไม่มี
2. ❒ มี (โปรดระบุ) .....

.....

3

รูปที่ ง.1.3 แบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญในรอบแรก (หน้าที่ 3)

ส่วนที่ 3 : ข้อมูลความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามด้านต่าง ๆ

ระดับการให้น้ำหนักความสำคัญของเปรียบเทียบคู่ปัจจัยแต่ละคู่จะแบ่งน้ำหนักความสำคัญออกเป็น 9 ระดับดังนี้

ระดับความสำคัญ	ความหมาย	คำอธิบาย
1	สำคัญเท่ากัน	ทั้งสองปัจจัยมีความสำคัญเท่ากัน
2	สำคัญเท่ากันถึงสำคัญกว่าเล็กน้อย	ปัจจัยหนึ่งสำคัญกว่าอีกปัจจัยหนึ่งเท่ากันถึงเล็กน้อย
3	สำคัญกว่าเล็กน้อย	ปัจจัยหนึ่งสำคัญกว่าอีกปัจจัยหนึ่งเล็กน้อย
4	สำคัญกว่าเล็กน้อยถึงปานกลาง	ปัจจัยหนึ่งสำคัญกว่าอีกปัจจัยหนึ่งเล็กน้อยถึงปานกลาง
5	สำคัญกว่าปานกลาง	ปัจจัยหนึ่งสำคัญกว่าอีกปัจจัยหนึ่งปานกลาง
6	สำคัญกว่าปานกลางถึงมาก	ปัจจัยหนึ่งสำคัญกว่าอีกปัจจัยหนึ่งปานกลางถึงมาก
7	สำคัญกว่ามาก	ปัจจัยหนึ่งสำคัญกว่าอีกปัจจัยหนึ่งมาก
8	สำคัญกว่ามากถึงมากที่สุด	ปัจจัยหนึ่งสำคัญกว่าอีกปัจจัยหนึ่งมากถึงมากที่สุด
9	สำคัญกว่ามากที่สุด	ปัจจัยหนึ่งสำคัญกว่าอีกปัจจัยหนึ่งมากที่สุด

ภาพอธิบาย

ตัวอย่างการจับคู่ให้ค่าน้ำหนักความสำคัญ

- *กรณีที่ให้น้ำหนัก สำคัญกว่า >*
  พิจารณาปัจจัยด้านที่ 1 เทียบกับ ปัจจัยด้านที่ 2 หากท่านให้น้ำหนักความสำคัญปัจจัยด้านที่ 1 มากกว่าด้านที่ 2 โดยมีระดับความสำคัญกว่าเล็กน้อย ท่านต้องใส่ค่า 3 ในตารางช่องสีขาว (ส่วนช่องสีน้ำตาลอ่อนผู้วิจัยจะใส่ค่านี้เอง = 1/3)
- *กรณีที่ให้น้ำหนัก สำคัญเท่ากัน =*
  หรือเมื่อพิจารณาปัจจัยด้านที่ 1 เทียบกับ ปัจจัยด้านที่ 3 หากท่านให้น้ำหนักความสำคัญเท่ากันทั้ง 2 ปัจจัย โดยมีระดับความสำคัญเท่ากัน ท่านต้องใส่ค่า 1 ในตารางช่องสีขาว (ส่วนช่องสีน้ำตาลอ่อนผู้วิจัยจะใส่ค่านี้เอง = 1/1)
- *กรณีที่ให้น้ำหนัก สำคัญน้อยกว่า <*
  หรือเมื่อพิจารณาปัจจัยด้านที่ 2 เทียบกับ ปัจจัยด้านที่ 3 หากท่านให้น้ำหนักความสำคัญปัจจัยด้านที่ 2 น้อยกว่า โดยมีระดับความสำคัญน้อยกว่ามากที่สุด ท่านต้องใส่ค่า 1/9 ในตารางช่องสีขาว (ส่วนช่องสีน้ำตาลอ่อนผู้วิจัยจะใส่ค่านี้เอง = 9)

ปัจจัย	ด้านที่ 1	ด้านที่ 2	ด้านที่ 3
ด้านที่ 1	1.00	3	1
ด้านที่ 2	1/3	1.00	1/9
ด้านที่ 3	1/1	9	1.00

รูปที่ ง.1.4 แบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญในรอบแรก (หน้าที่ 4)

การเปรียบเทียบคู่ปัจจัยรายเกณฑ์

ปัจจัย	ความสะดวกต่อการนำไปใช้ในภาพรวม	ความง่ายและสะดวกในการคิดผลตอบแทนและค่าปรับ	ความเหมาะสมของเกณฑ์กำหนดผลตอบแทนและค่าปรับ	ความยืดหยุ่นของทางเลือกที่กำหนดให้	ความสามารถในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	ผลกระทบต่อต้นทุนของโครงการ	ความสามารถในการช่วยเพิ่มผลิตภาพของผู้รับเหมาทางอ้อม	ความเป็นธรรมต่อทั้ง 2 ฝ่าย	ข้อจำกัดทางด้านกฎหมาย
ความสะดวกต่อการนำไปใช้ในภาพรวม	1.00								
ความง่ายและสะดวกในการคิดผลตอบแทนและค่าปรับ		1.00							
ความเหมาะสมของเกณฑ์กำหนดผลตอบแทนและค่าปรับ			1.00						
ความยืดหยุ่นของทางเลือกที่กำหนดให้				1.00					
ความสามารถในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม					1.00				
ผลกระทบต่อต้นทุนของโครงการ						1.00			
ความสามารถในการช่วยเพิ่มผลิตภาพของผู้รับเหมาทางอ้อม							1.00		
ความเป็นธรรมต่อทั้ง 2 ฝ่าย								1.00	
ข้อจำกัดทางด้านกฎหมาย									1.00

การเปรียบเทียบคู่ปัจจัยรายทางเลือก

ด้านที่ 1 ความสะดวกต่อการนำไปใช้ในภาพรวม	การลด	การเพิ่ม	การกำจัด
การลด	1.00		
การเพิ่ม		1.00	
การกำจัด			1.00

5

รูปที่ ง.1.5 แบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญในรอบแรก (หน้าที่ 5)

ด้านที่ 2 ความง่ายและสะดวกในการคิดผลตอบแทนและค่าปรับ	การลด	การเพิ่ม	การกำจัด
การลด	1.00		
การเพิ่ม		1.00	
การกำจัด			1.00

ด้านที่ 3 ความเหมาะสมของเกณฑ์กำหนดผลตอบแทนและค่าปรับ	การลด	การเพิ่ม	การกำจัด
การลด	1.00		
การเพิ่ม		1.00	
การกำจัด			1.00

ด้านที่ 4 ความยืดหยุ่นของทางเลือกที่กำหนดให้	การลด	การเพิ่ม	การกำจัด
การลด	1.00		
การเพิ่ม		1.00	
การกำจัด			1.00

ด้านที่ 5 ความสามารถในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	การลด	การเพิ่ม	การกำจัด
การลด	1.00		
การเพิ่ม		1.00	
การกำจัด			1.00

6

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ง.1.6 แบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญในรอบแรก (หน้าที่ 6)

ด้านที่ 6 ผลกระทบต่อต้นทุนของโครงการ	การลด	การเพิ่ม	การกำจัด
การลด	1.00		
การเพิ่ม		1.00	
การกำจัด			1.00

ด้านที่ 7 ความสามารถในการช่วยเพิ่มผลิตภาพของผู้รับเหมาทางย้อม	การลด	การเพิ่ม	การกำจัด
การลด	1.00		
การเพิ่ม		1.00	
การกำจัด			1.00

ด้านที่ 8 ความเป็นธรรมต่อทั้ง 2 ฝ่าย	การลด	การเพิ่ม	การกำจัด
การลด	1.00		
การเพิ่ม		1.00	
การกำจัด			1.00

ด้านที่ 9 ข้อจำกัดทางด้านกฎหมาย	การลด	การเพิ่ม	การกำจัด
การลด	1.00		
การเพิ่ม		1.00	
การกำจัด			1.00

7

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ง.1.7 แบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญในรอบแรก (หน้าที่ 7)

ข้อเสนอแนะเบื้องต้นเมื่อท่านทราบถึงสัญญา GRIP และปัจจัยต่อความร่วมมือ

ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับหลักการของสัญญา GRIP ที่ท่านคิดว่าควรจะเพิ่มเติมเข้าไว้ด้วย

เช่น หลักการโดยรวมดีแล้ว แต่น่าจะเพิ่ม.... หรือควรจะตัด.....ออก เป็นต้น

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับปัจจัยต่อความร่วมมือที่ท่านคิดว่าควรจะเพิ่มเติมเข้าไว้ด้วย

เช่น ปัจจัยที่เสนอมาครบถ้วนแล้ว หรือน่าจะเพิ่มปัจจัย..... หรือควรตัดปัจจัย.....ในการพิจารณา เป็นต้น

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

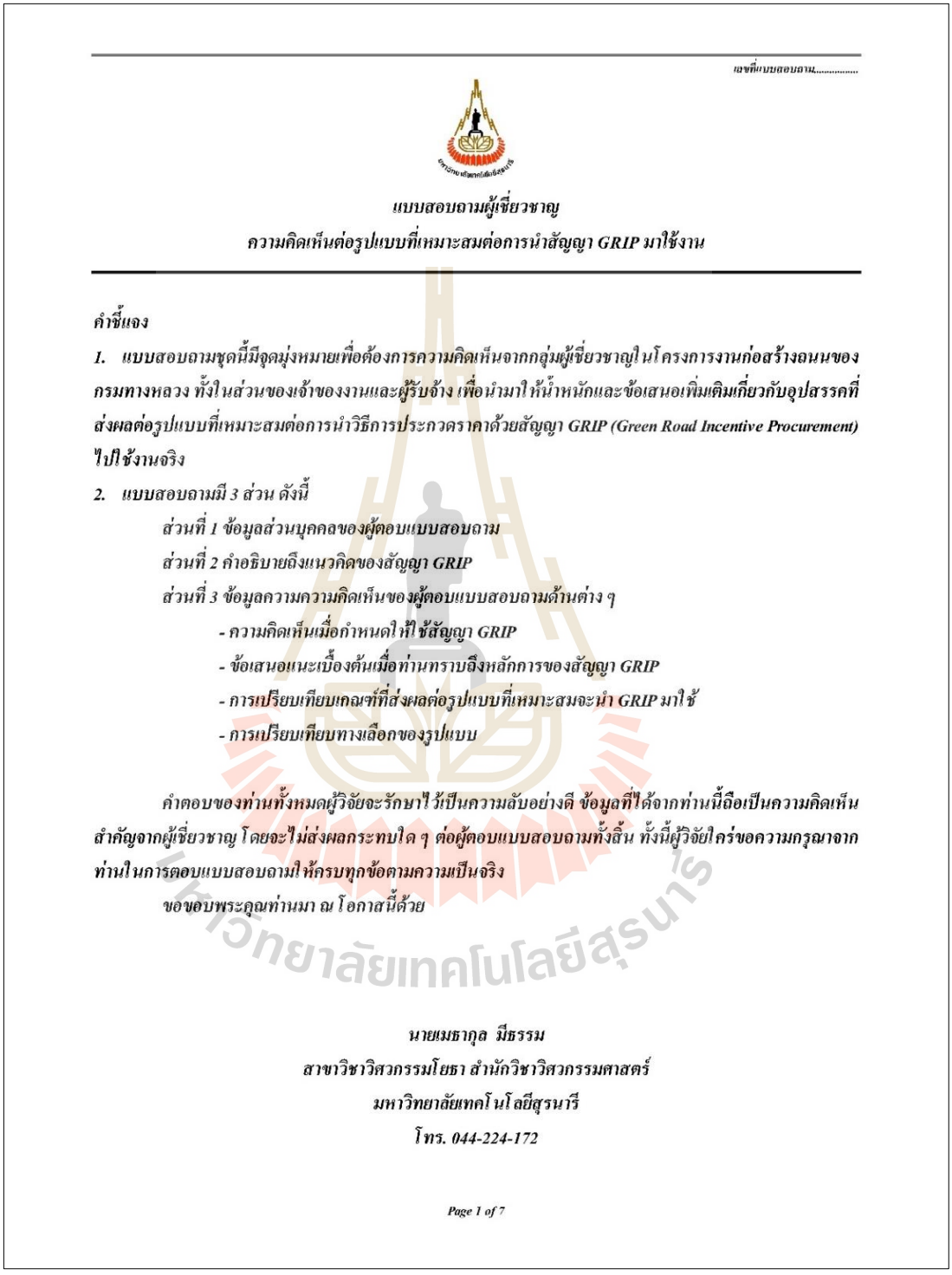
.....

.....

8

รูปที่ ง.1.8 แบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญในรอบแรก (หน้าที่ 8)

ง.2 แบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญ 6 ท่าน



เอกสารแบบสอบถาม.....

แบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญ

ความคิดเห็นต่อรูปแบบที่เหมาะสมต่อการนำสัญญา GRIP มาใช้งาน

คำชี้แจง

1. แบบสอบถามชุดนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อต้องการความคิดเห็นจากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญในโครงการงานก่อสร้างถนนของกรมทางหลวง ทั้งในส่วนของเจ้าของงานและผู้รับจ้าง เพื่อนำมาให้น้ำหนักและข้อเสนอเพิ่มเติมเกี่ยวกับอุปสรรคที่ส่งผลต่อรูปแบบที่เหมาะสมต่อการนำวิธีการประกวดราคาด้วยสัญญา GRIP (Green Road Incentive Procurement) ไปใช้งานจริง

2. แบบสอบถามมี 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2 คำอธิบายถึงแนวคิดของสัญญา GRIP

ส่วนที่ 3 ข้อมูลความความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามด้านต่าง ๆ

- ความคิดเห็นเมื่อกำหนดให้ใช้สัญญา GRIP

- ข้อเสนอแนะเบื้องต้นเมื่อท่านทราบถึงหลักการของสัญญา GRIP

- การเปรียบเทียบเกณฑ์ที่ส่งผลต่อรูปแบบที่เหมาะสมจะนำ GRIP มาใช้

- การเปรียบเทียบทางเลือกของรูปแบบ

คำตอบของท่านทั้งหมดผู้วิจัยจะรักษาไว้เป็นความลับอย่างดี ข้อมูลที่ได้จากท่านนี้ถือเป็นความคิดเห็นสำคัญจากผู้เชี่ยวชาญ โดยจะไม่ส่งผลกระทบใด ๆ ต่อผู้ตอบแบบสอบถามทั้งสิ้น ทั้งนี้ผู้วิจัยใคร่ขอความกรุณาจากท่านในการตอบแบบสอบถามให้ครบทุกข้อตามความเป็นจริง

ขอขอบพระคุณท่านมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นายเมธากุล มีธรรม

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โทร. 044-224-172

Page 1 of 7

รูปที่ ง.2.1 แบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญในรอบที่ 2 (หน้าที่ 1)

ส่วนที่ 1 : ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม

คำชี้แจง : กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ในช่อง ❒ ที่ตรงกับท่านมากที่สุดเพียงช่องเดียวเท่านั้น

1. ตำแหน่งงานของท่าน

❒ เจ้าพนักงานของรัฐ (กรมทางหลวง)

(ระดับบริหาร) 1. ❒ ผู้อำนวยการ/รองผู้อำนวยการฯ 2. ❒ ผู้จัดการโครงการฯ

(ระดับปฏิบัติการ) 3. ❒ นายช่าง/ผู้ช่วยนายช่างโครงการฯ 4. ❒ นายช่างควบคุมงาน

5. ❒ อื่นๆ .....

❒ บุคคลากรของผู้รับเหมา

(ระดับบริหาร) 1. ❒ หุ้นส่วน/ผู้จัดการบริษัทฯ/ห้างฯ 2. ❒ ผู้จัดการโครงการฯ

(ระดับปฏิบัติการ) 3. ❒ วิศวกรโครงการฯ/วิศวกรสนาม 4. ❒ โฟร์แมน

5. ❒ อื่นๆ .....

2. ประสบการณ์การทำงานในโครงการงานก่อสร้างถนนของกรมทางหลวง

1. ❒ ต่ำกว่า 20 ปี 2. ❒ ตั้งแต่ 20 ปีขึ้นไป

3. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานเพื่อลดการปล่อยก๊าซฯ (เช่น ใช้วัสดุที่ช่วยลดโลกร้อน ฯลฯ)

1. ❒ ไม่มี

2. ❒ มี (โปรดระบุ) .....

.....

ส่วนที่ 2 : คำอธิบายถึงแนวคิดของสัญญา GRIP

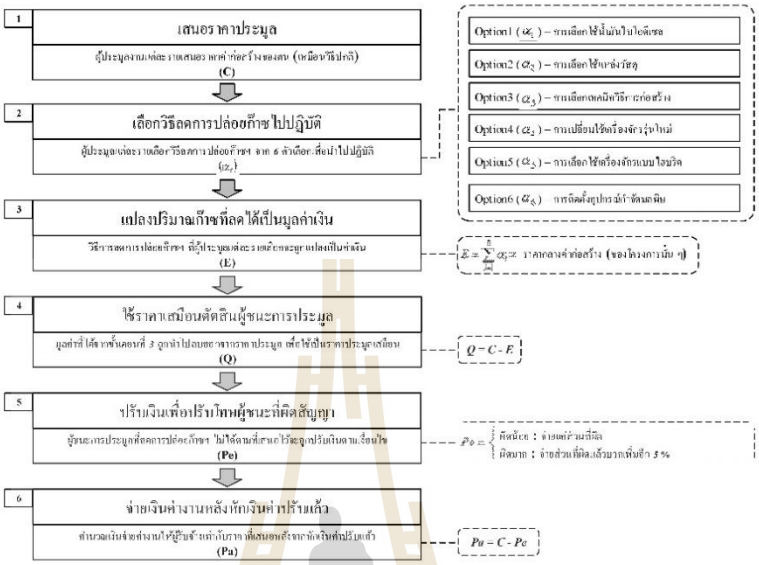
หลักการคำนวณและพิจารณาผู้ชนะการประกวดราคาด้วยสัญญา GRIP

ผู้วิจัยได้นำเสนอหลักการที่เสนอผลตอบแทนเพื่อจูงใจผู้รับเหมาที่เข้าร่วมประกวดราคาโครงการก่อสร้างถนนของกรมทางหลวง ได้หันมาให้ความร่วมมือเพื่อลดการปล่อยก๊าซฯ โดยมีหลักการสำคัญคือ

- ให้ผลตอบแทนแก่ผู้ประกวดราคาที่ร่วมมือในการลดการปล่อยก๊าซฯ (คิดเป็นมูลค่าเงิน)
- ผู้ประกวดราคาสามารถร่วมมือด้วยการเลือกวิธีใด ๆ จาก 6 วิธี (α_1 ถึง α_6) ที่เสนอ
- ผลตอบแทนจะถูกนำไปรวมกับราคาประกวดราคา แล้วทำให้ราคาประกวดราคาเสมือนมีมูลค่าต่ำลงจากเดิม
- ผู้ที่ไม่ได้เสนอราคาประกวดราคา (เริ่มต้น) ต่ำสุดแต่ลดการปล่อยก๊าซฯ มากสามารถชนะการประกวดราคาได้
- ผู้ชนะการประกวดราคาจะได้รับเงินจ่ายค่างานตามที่เสนอ (เหมือนวิธีปกติ)
- แต่ถ้าผู้ชนะการประกวดราคาไม่ทำตามเงื่อนไขที่เสนอไว้จะถูกปรับเงิน

รูปที่ ง.2.2 แบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญในรอบที่ 2 (หน้าที่ 2)

โดยแสดงกระบวนการในการดำเนินงานด้วยสัญญา GRIP ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบจำลองการคำนินการประกวดราคาด้วยสัญญา GRIP กับโครงการงานก่อสร้างถนนของกรมทางหลวง

ตัวอย่างการประกวดราคาด้วยสัญญา GRIP :

- สมมุติให้มีผู้เข้าประกวดราคาโครงการฯ จำนวน 5 ราย แต่ละรายเสนอราคาดังแสดงในตารางที่ 1

- ถ้าเป็นวิธีปกติผู้รับเหมา A จะชนะการประกวดราคา แต่ถ้าใช้การประกวดราคาด้วยสัญญา GRIP ผู้รับเหมา E จะชนะการประกวดราคาเพราะเสนอวิธี (α_1 ถึง α_6) ที่จะลดการปล่อยก๊าซฯ ได้มากกว่า ในขณะที่ผู้รับเหมา A ไม่มีส่วนลดก๊าซฯ

- กรณีผู้รับเหมา E ชนะการประกวดราคาด้วยสัญญา GRIP จะได้รับเงินค่างาน 115 ล้านบาท

- แต่กรณีผู้รับเหมา A ชนะการประกวดราคาด้วยวิธีปกติจะได้รับเงินค่างานแค่ 100 ล้านบาท

- กรณีผู้รับเหมา E ไม่ทำตามที่เสนอไว้จะถูกปรับเงิน

ผู้รับเหมา A ได้รับเงินค่างาน 100 ลบ.

ผู้รับเหมา E ได้รับเงินค่างาน 115 ลบ. (แต่ต้องลดก๊าซตามที่เสนอมา)

ตารางที่ 1 มูลค่าที่ผู้รับเหมาแต่ละรายเสนอ

มูลค่า (หน่วยล้านบาท)	*ผู้รับเหมา A*	*ผู้รับเหมา B*	*ผู้รับเหมา C*	*ผู้รับเหมา D*	*ผู้รับเหมา E*
ราคาที่เสนอ	*100 ลบ.*	*107 ลบ.*	*110 ลบ.*	*111 ลบ.*	*115 ลบ.*
มูลค่าจาก GRIP	*0 ลบ.*	*9 ลบ.*	*8 ลบ.*	*10 ลบ.*	*19 ลบ.*
ราคาที่ตัดสินผู้ชนะ	*100 ลบ.*	*98 ลบ.*	*102 ลบ.*	*101 ลบ.*	*96 ลบ.*

Page 3 of 7

รูปที่ ง.2.3 แบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญในรอบที่ 2 (หน้าที่ 3)

ส่วนที่ 3 : ข้อมูลความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามด้านต่าง ๆ

ความคิดเห็นเมื่อกำหนดให้ใช้สัญญา GRIP

คำชี้แจง : กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ในช่อง ○ ที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุดเพียงช่องเดียวเท่านั้น

คำถาม : ท่านคิดว่าเมื่อหน่วยงานภาครัฐกำหนดให้ใช้สัญญา GRIP ในการประกวดราคา ท่านจะยินดีร่วมมือลดการปล่อยก๊าซฯ หรือไม่?

คำตอบ : ○ *ร่วมมือ* ○ *ไม่ร่วมมือ* ○ *ไม่แน่ใจ*

เหตุผล .....

.....

ข้อเสนอแนะเบื้องต้นเมื่อท่านทราบถึงหลักการของสัญญา GRIP

ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับหลักการของ GRIP ที่ท่านคิดว่าควรจะเพิ่มเติมเข้าไว้ด้วย

เช่น หลักการโดยรวมดีแล้ว แต่น่าจะเพิ่ม.... หรือควรจะตัด.....ออก เป็นต้น

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับเกณฑ์ที่ส่งผลต่อรูปแบบที่เหมาะสมจะนำ GRIP มาใช้ ที่ท่านคิดว่าควรจะเพิ่มเติมเข้าไว้ด้วย

เช่น เกณฑ์ที่เสนอมาครบถ้วนแล้ว หรือน่าจะเพิ่มเกณฑ์..... หรือควรตัดเกณฑ์.....ในการพิจารณา เป็นต้น

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Page 4 of 7

รูปที่ ง.2.4 แบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญในรอบที่ 2 (หน้าที่ 4)

คำอธิบายเกณฑ์ที่ส่งผลต่อรูปแบบที่เหมาะสมจะนำ GRIP มาใช้

อันดับ	เกณฑ์	ชื่อ	คำอธิบาย
	1	ความยากง่ายของ GRIP	ความยากง่ายในการดำเนินการตามสัญญา GRIP เมื่อจะนำไปปฏิบัติจริง
	2	ความพร้อมของผู้ใช้งาน	ความพร้อมของผู้ใช้งานทั้งด้านการเงิน ความสามารถของบุคลากร และด้านเทคนิค
	3	ความเหมาะสมของผลตอบแทน	ความเหมาะสมของผลตอบแทนที่เสนอให้เป็นผู้ชนะการประกวดราคา
	4	ข้อจำกัดของกฎหมาย	การกำหนดเป็นข้อกฎหมายต้องใช้ระยะเวลา
	5	ความเหมาะสมของค่าปรับ	ความเหมาะสมของค่าปรับโทษเงินที่เสนอไว้เพื่อความเป็นธรรมต่อทั้งผู้แพ้และผู้ชนะ
	6	ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	ต้องการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ลดการปล่อยก๊าซหรือนกระจกหรือก๊าซพิษต่าง ๆ
	7	จำนวนทางเลือกที่ให้นำไปปฏิบัติ	จำนวนทางเลือกที่ได้เสนอไว้ในสัญญา GRIP ทั้งหมดมี 6 ทางเลือก
	8	ความเข้าใจถึงหลักการ GRIP	ความเข้าใจถึงหลักการ แนวคิด และวัตถุประสงค์ของ GRIP อย่างถูกต้อง

หมายเหตุ: ท่านควรเขียนเพื่อจัดอันดับก่อนว่าอันดับที่ 1 - 8 คืออะไร ช่วยให้ผลการเปรียบเทียบจะไม่สับสน เช่น เปรียบเทียบอันดับที่ 1 กับอันดับที่ 8 ก็ตอบมากกว่ามากที่สุด แต่ถ้าเปรียบเทียบอันดับที่ 1 กับอันดับที่ 3 อาจตอบว่ามากกว่าหลักน้อยในขณะที่ถ้าเปรียบเทียบอันดับที่ 1 กับอันดับที่ 2 อาจตอบว่าเท่ากัน หรือ มากกว่าหลักน้อยก็ได้เป็นต้น

คำอธิบายทางเลือกของรูปแบบ

ทางเลือก	ชื่อ	คำอธิบาย
1	ใช้สัญญา GRIP	คิดเห็นว่าเมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ด้านนั้น ๆ แล้วสัญญา GRIP มีความเหมาะสมจะนำมาใช้ได้เลยทันที (100%) กับทุกโครงการฯ
2	ควรนำมาใช้บางโครงการ	คิดเห็นว่าเมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ด้านนั้น ๆ แล้ว อาจมีผู้รับเหมาและเจ้าของงานบางส่วนต้องการเวลาเพื่อปรับตัวกับการแข่งขัน จึงควรเริ่มใช้สัญญา GRIP กับบางโครงการฯ ก่อน เช่น นำร่องโดยใช้เฉพาะกับผู้รับเหมาชั้นพิเศษ หรือเฉพาะกับผู้รับเหมาชั้น 1 ในช่วงแรก เป็นต้น
3	ใช้สัญญาแบบเดิม	คิดเห็นว่าเมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ด้านนั้น ๆ แล้ว ทุกฝ่ายอาจยังไม่พร้อมจะใช้สัญญา GRIP ในขณะนี้ จึงน่าจะชะลอการนำมาใช้ออกไปก่อนสักระยะเวลาหนึ่ง

หมายเหตุ: ท่านควรเขียนเพื่อจัดอันดับที่ 1 – อันดับที่ 3 เช่นเดียวกัน กับเกณฑ์ทั้ง 8 ข้อ (ในหน้าที่ 2 ของแบบสอบถาม)

รูปที่ ง.2.5 แบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญในรอบที่ 2 (หน้าที่ 5)

การเปรียบเทียบเกณฑ์ที่ส่งผลต่อรูปแบบที่เหมาะสมจะนำ GRIP มาใช้

คำชี้แจง : กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ในช่อง ○ ที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุดเพียงช่องเดียวเท่านั้น โดยให้ยึดเกณฑ์ด้านซ้ายมือเป็นหลัก แล้วให้น้ำหนักความสำคัญเพื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ด้านขวามือ

เช่น เห็นว่า ความยากง่ายของ GRIP มีความสำคัญน้อยกว่ามาก (-2) เมื่อเทียบกับ ความพร้อมของผู้ใช้งาน ให้ท่านทำเครื่องหมายในช่องที่ 6 นับจากซ้ายมือ

หรือ เห็นว่า ความยากง่ายของ GRIP มีความสำคัญกว่ามากที่สุด (+3) เมื่อเทียบกับ ความเหมาะสมของผลตอบแทน ให้ท่านทำเครื่องหมายในช่องที่ 1 นับจากซ้ายมือ เป็นต้น

เกณฑ์	สำคัญกว่ามากที่สุด (+3)	สำคัญกว่ามาก (+2)	สำคัญกว่าเล็กน้อย (+1)	สำคัญเท่ากัน 0	สำคัญน้อยกว่าเล็กน้อย (-1)	สำคัญน้อยกว่ามาก (-2)	สำคัญน้อยกว่ามากที่สุด (-3)	เกณฑ์	
ความยากง่ายของ GRIP	○	○	○	○	○	○	○	ความพร้อมของผู้ใช้งาน	1
ความยากง่ายของ GRIP	○	○	○	○	○	○	○	ความเหมาะสมของผลตอบแทน	2
ความยากง่ายของ GRIP	○	○	○	○	○	○	○	ข้อจำกัดของกฎหมาย	3
ความยากง่ายของ GRIP	○	○	○	○	○	○	○	ความเหมาะสมของค่าปรับ	4
ความยากง่ายของ GRIP	○	○	○	○	○	○	○	ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	5
ความยากง่ายของ GRIP	○	○	○	○	○	○	○	จำนวนทางเลือกที่ให้นำไปปฏิบัติ	6
ความยากง่ายของ GRIP	○	○	○	○	○	○	○	ความเข้าใจถึงหลักการ GRIP	7
ความพร้อมของผู้ใช้งาน	○	○	○	○	○	○	○	ความเหมาะสมของผลตอบแทน	8
ความพร้อมของผู้ใช้งาน	○	○	○	○	○	○	○	ข้อจำกัดของกฎหมาย	9
ความพร้อมของผู้ใช้งาน	○	○	○	○	○	○	○	ความเหมาะสมของค่าปรับ	10
ความพร้อมของผู้ใช้งาน	○	○	○	○	○	○	○	ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	11
ความพร้อมของผู้ใช้งาน	○	○	○	○	○	○	○	จำนวนทางเลือกที่ให้นำไปปฏิบัติ	12
ความพร้อมของผู้ใช้งาน	○	○	○	○	○	○	○	ความเข้าใจถึงหลักการ GRIP	13
ความเหมาะสมของผลตอบแทน	○	○	○	○	○	○	○	ข้อจำกัดของกฎหมาย	14
ความเหมาะสมของผลตอบแทน	○	○	○	○	○	○	○	ความเหมาะสมของค่าปรับ	15
ความเหมาะสมของผลตอบแทน	○	○	○	○	○	○	○	ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	16
ความเหมาะสมของผลตอบแทน	○	○	○	○	○	○	○	จำนวนทางเลือกที่ให้นำไปปฏิบัติ	17
ความเหมาะสมของผลตอบแทน	○	○	○	○	○	○	○	ความเข้าใจถึงหลักการ GRIP	18
ข้อจำกัดของกฎหมาย	○	○	○	○	○	○	○	ความเหมาะสมของค่าปรับ	19
ข้อจำกัดของกฎหมาย	○	○	○	○	○	○	○	ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	20
ข้อจำกัดของกฎหมาย	○	○	○	○	○	○	○	จำนวนทางเลือกที่ให้นำไปปฏิบัติ	21
ข้อจำกัดของกฎหมาย	○	○	○	○	○	○	○	ความเข้าใจถึงหลักการ GRIP	22
ความเหมาะสมของค่าปรับ	○	○	○	○	○	○	○	ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	23
ความเหมาะสมของค่าปรับ	○	○	○	○	○	○	○	จำนวนทางเลือกที่ให้นำไปปฏิบัติ	24
ความเหมาะสมของค่าปรับ	○	○	○	○	○	○	○	ความเข้าใจถึงหลักการ GRIP	25
ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	○	○	○	○	○	○	○	จำนวนทางเลือกที่ให้นำไปปฏิบัติ	26
ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	○	○	○	○	○	○	○	ความเข้าใจถึงหลักการ GRIP	27
จำนวนทางเลือกที่ให้นำไปปฏิบัติ	○	○	○	○	○	○	○	ความเข้าใจถึงหลักการ GRIP	28

Page 6 of 7

รูปที่ ง.2.6 แบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญในรอบที่ 2 (หน้าที่ 6)

การเปรียบเทียบทางเลือกของรูปแบบ

คำชี้แจง : กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ในช่อง ○ ที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุดเพียงช่องเดียวเท่านั้น โดย เป็นการพิจารณาทางเลือกจากเกณฑ์ทั้ง 8 ทีละข้อ

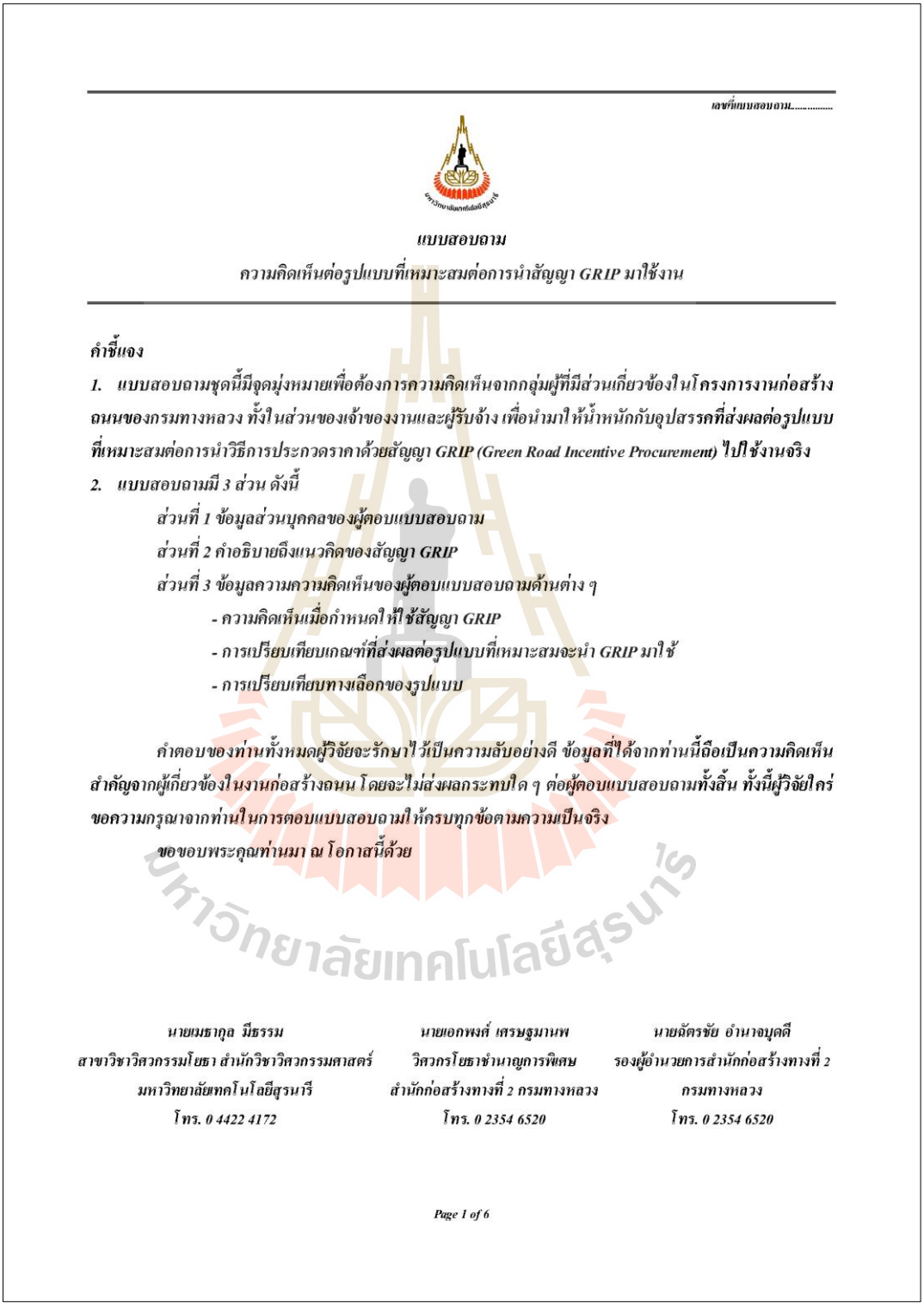
เช่น เห็นว่า การนำมาใช้ทันที <u>เหมาะสมกว่ามาก (+2)</u> เมื่อเทียบกับ นำมาใช้บางโครงการ จากการพิจารณาตามเกณฑ์ด้านการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ให้ท่านทำเครื่องหมายในช่องที่ 2 นับจากซ้ายมือ เป็นต้น

ทางเลือก	*เหมาะสมกว่ามากที่สุด (+3)*	*เหมาะสมกว่ามาก (+2)*	*เหมาะสมกว่าเล็กน้อย (+1)*	*เท่ากัน 0*	*เหมาะสมน้อยกว่าเล็กน้อย (-1)*	*เหมาะสมน้อยกว่ามาก (-2)*	*เหมาะสมน้อยกว่ามากที่สุด (-3)*	*ทางเลือก*	
ความยากง่ายของ GRIP									*1*
นำมาใช้ทันที	○	○	○	○	○	○	○	*ควรนำมาใช้บางโครงการ*	
นำมาใช้ทันที	○	○	○	○	○	○	○	*ชะลอการนำมาใช้*	
ควรนำมาใช้บางโครงการ	○	○	○	○	○	○	○	*ชะลอการนำมาใช้*	
ความพร้อมของผู้ใช้งาน									*2*
นำมาใช้ทันที	○	○	○	○	○	○	○	*ควรนำมาใช้บางโครงการ*	
นำมาใช้ทันที	○	○	○	○	○	○	○	*ชะลอการนำมาใช้*	
ควรนำมาใช้บางโครงการ	○	○	○	○	○	○	○	*ชะลอการนำมาใช้*	
ความเหมาะสมของผลตอบแทน									*3*
นำมาใช้ทันที	○	○	○	○	○	○	○	*ควรนำมาใช้บางโครงการ*	
นำมาใช้ทันที	○	○	○	○	○	○	○	*ชะลอการนำมาใช้*	
ควรนำมาใช้บางโครงการ	○	○	○	○	○	○	○	*ชะลอการนำมาใช้*	
ข้อจำกัดของกฎหมาย									*4*
นำมาใช้ทันที	○	○	○	○	○	○	○	*ควรนำมาใช้บางโครงการ*	
นำมาใช้ทันที	○	○	○	○	○	○	○	*ชะลอการนำมาใช้*	
ควรนำมาใช้บางโครงการ	○	○	○	○	○	○	○	*ชะลอการนำมาใช้*	
ความเหมาะสมของค่าปรับ									*5*
นำมาใช้ทันที	○	○	○	○	○	○	○	*ควรนำมาใช้บางโครงการ*	
นำมาใช้ทันที	○	○	○	○	○	○	○	*ชะลอการนำมาใช้*	
ควรนำมาใช้บางโครงการ	○	○	○	○	○	○	○	*ชะลอการนำมาใช้*	
ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม									*6*
นำมาใช้ทันที	○	○	○	○	○	○	○	*ควรนำมาใช้บางโครงการ*	
นำมาใช้ทันที	○	○	○	○	○	○	○	*ชะลอการนำมาใช้*	
ควรนำมาใช้บางโครงการ	○	○	○	○	○	○	○	*ชะลอการนำมาใช้*	
จำนวนทางเลือกที่ให้นำไปปฏิบัติ									*7*
นำมาใช้ทันที	○	○	○	○	○	○	○	*ควรนำมาใช้บางโครงการ*	
นำมาใช้ทันที	○	○	○	○	○	○	○	*ชะลอการนำมาใช้*	
ควรนำมาใช้บางโครงการ	○	○	○	○	○	○	○	*ชะลอการนำมาใช้*	
ความเข้าใจถึงหลักการ GRIP									*8*
นำมาใช้ทันที	○	○	○	○	○	○	○	*ควรนำมาใช้บางโครงการ*	
นำมาใช้ทันที	○	○	○	○	○	○	○	*ชะลอการนำมาใช้*	
ควรนำมาใช้บางโครงการ	○	○	○	○	○	○	○	*ชะลอการนำมาใช้*	

Page 7 of 7

รูปที่ ง.2.7 แบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญในรอบที่ 2 (หน้าที่ 7)

ง.3 แบบสอบถามผู้รับเหมาและเจ้าของโครงการรวม 88 ท่าน



เลขที่แบบสอบถาม.....

แบบสอบถาม

ความคิดเห็นต่อรูปแบบที่เหมาะสมต่อการนำสัญญา GRIP มาใช้งาน

คำชี้แจง

1. แบบสอบถามชุดนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อต้องการความคิดเห็นจากกลุ่มผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการงานก่อสร้างถนนของกรมทางหลวง ทั้งในส่วนของเจ้าของงานและผู้รับจ้าง เพื่อนำมาให้น้ำหนักกับอุปสรรคที่ส่งผลต่อรูปแบบที่เหมาะสมต่อการนำวิธีการประกวดราคาด้วยสัญญา GRIP (Green Road Incentive Procurement) ไปใช้งานจริง

2. แบบสอบถามมี 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2 คำอธิบายถึงแนวคิดของสัญญา GRIP

ส่วนที่ 3 ข้อมูลความความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามด้านต่าง ๆ

- ความคิดเห็นเมื่อกำหนดให้ใช้สัญญา GRIP

- การเปรียบเทียบเกณฑ์ที่ส่งผลต่อรูปแบบที่เหมาะสมจะนำ GRIP มาใช้

- การเปรียบเทียบทางเลือกของรูปแบบ

คำตอบของท่านทั้งหมดผู้วิจัยจะรักษาไว้เป็นความลับอย่างดี ข้อมูลที่ได้จากท่านนี้ถือเป็นความคิดเห็นสำคัญจากผู้เกี่ยวข้องในงานก่อสร้างถนน โดยจะไม่ส่งผลกระทบใด ๆ ต่อผู้ตอบแบบสอบถามทั้งสิ้น ทั้งนี้ผู้วิจัยใคร่ขอความกรุณาจากท่านในการตอบแบบสอบถามให้ครบทุกข้อตามความเป็นจริง

ขอขอบพระคุณท่านมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นายเมธากุล มีธรรม
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
โทร. 0 4422 4172

นายเอกพงศ์ เศรษฐมานพ
วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ
สำนักก่อสร้างทางที่ 2 กรมทางหลวง
โทร. 0 2354 6520

นายฉัตรชัย อำนาอบุคดี
รองผู้อำนวยการสำนักก่อสร้างทางที่ 2
กรมทางหลวง
โทร. 0 2354 6520

Page 1 of 6

รูปที่ ง.3.1 แบบสอบถามผู้รับเหมาและเจ้าของโครงการ (หน้าที่ 1)

ส่วนที่ 1 : ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม

คำชี้แจง : กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ในช่อง ❒ ที่ตรงกับท่านมากที่สุดเพียงช่องเดียวเท่านั้น

1. ตำแหน่งงานของท่าน

❒ *เจ้าพนักงานของรัฐ (กรมทางหลวง)*

(ระดับบริหาร) *1.* ❒ *ผู้อำนวยการ/รองผู้อำนวยการฯ* *2.* ❒ *ผู้จัดการโครงการฯ*

(ระดับปฏิบัติการ) *3.* ❒ *นายช่าง/ผู้ช่วยนายช่างโครงการฯ* *4.* ❒ *นายช่างควบคุมงาน*

5. ❒ *อื่นๆ .....*

❒ *บุคคลากรของผู้รับเหมา*

(ระดับบริหาร) *1.* ❒ *หุ้นส่วนผู้จัดการบริษัทฯห้างฯ* *2.* ❒ *ผู้จัดการโครงการฯ*

(ระดับปฏิบัติการ) *3.* ❒ *วิศวกรโครงการฯวิศวกรสนาม* *4.* ❒ *โฟร์แมน*

5. ❒ *อื่นๆ .....*

2. ประสบการณ์การทำงานในโครงการงานก่อสร้างถนนของกรมทางหลวง

1. ❒ *ต่ำกว่า 20 ปี* *2.* ❒ *ตั้งแต่ 20 ปีขึ้นไป*

3. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานเพื่อลดการปล่อยก๊าซฯ (เช่น ใช้วัสดุที่ช่วยลดโลกร้อน ฯลฯ)

1. ❒ *ไม่มี*

2. ❒ *มี (โปรดระบุ) .....*

.....

ส่วนที่ 2 : คำอธิบายถึงแนวคิดของสัญญา GRIP

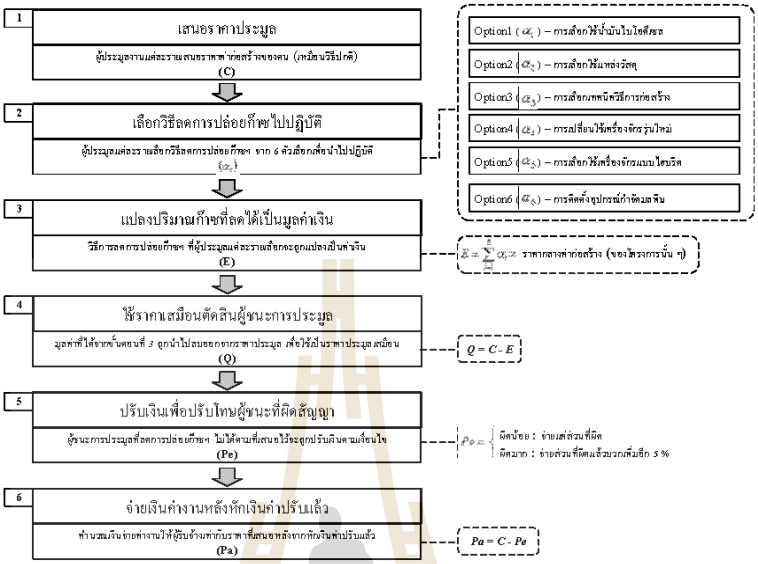
หลักการคำนวณและพิจารณาผู้ชนะการประกวดราคาด้วยสัญญา GRIP

ผู้วิจัยได้นำเสนอหลักการที่เสนอผลตอบแทนเพื่อจูงใจผู้รับเหมาที่เข้าร่วมประกวดราคาโครงการก่อสร้างถนนของกรมทางหลวง ได้หันมาให้ความร่วมมือเพื่อลดการปล่อยก๊าซฯ โดยมีหลักการสำคัญคือ

- *ให้ผลตอบแทนแก่ผู้ประกวดราคาที่ร่วมมือในการลดการปล่อยก๊าซฯ (คิดเป็นมูลค่าเงิน)*
- *ผู้ประกวดราคาสามารถร่วมมือด้วยการเลือกวิธีใด ๆ จาก 6 วิธี (α_1 ถึง α_6) ที่เสนอ*
- *ผลตอบแทนจะถูกนำไปรวมกับราคาที่เสนอ แล้วทำให้ราคาประกวดเสมือนมีมูลค่าต่ำลงจากเดิม*
- *ผู้ที่ไม่ได้เสนอราคาประกวด (เริ่มต้น) ต่ำสุดแต่ลดการปล่อยก๊าซฯ มากสามารถชนะการประกวดราคาได้*
- *ผู้ชนะการประกวดราคาจะได้รับเงินจ่ายค่างานตามที่เสนอ (เหมือนวิธีปกติ)*
- *แต่ถ้าผู้ชนะการประกวดราคาไม่ทำตามเงื่อนไขที่เสนอไว้จะถูกปรับเงิน*

รูปที่ ง.3.2 แบบสอบถามผู้รับเหมาและเจ้าของโครงการ (หน้าที่ 2)

โดยแสดงกระบวนการในการดำเนินงานด้วยสัญญา GRIP ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบจำลองการดำเนินการประกวดราคาด้วยสัญญา GRIP กับโครงการงานก่อสร้างถนนของกรมทางหลวง

ตัวอย่างการประกวดราคาด้วยสัญญา GRIP :

- สมมุติให้มีผู้เข้าประกวดราคาโครงการฯ จำนวน 5 ราย แต่ละรายเสนอราคาดังแสดงในตารางที่ 1

- ถ้าเป็นวิธีปกติผู้รับเหมา A จะชนะการประกวดราคา แต่ถ้าใช้การประกวดราคาด้วยสัญญา GRIP ผู้รับเหมา E จะชนะการประกวดราคาเพราะเสนอวิธี (α_1 ถึง α_6) ที่จะลดการปล่อยก๊าซฯ ได้มากกว่า ในขณะที่ผู้รับเหมา A ไม่มีส่วนลดก๊าซฯ

- กรณีผู้รับเหมา E ชนะการประกวดราคาด้วยสัญญา GRIP จะได้รับเงินค่างาน 115 ล้านบาท

- แต่กรณีผู้รับเหมา A ชนะการประกวดราคาด้วยวิธีปกติจะได้รับเงินค่างานแค่ 100 ล้านบาท

- กรณีผู้รับเหมา E ไม่ทำตามที่เสนอไว้จะถูกปรับเงิน

ผู้รับเหมา A ได้รับเงินค่างาน 100 ลบ.

ผู้รับเหมา E ได้รับเงินค่างาน 115 ลบ. (แต่ต้องลดก๊าซตามที่เสนอมา)

ตารางที่ 1 มูลค่าที่ผู้รับเหมาแต่ละรายเสนอ

มูลค่า (หน่วยล้านบาท)	*ผู้รับเหมา A*	*ผู้รับเหมา B*	*ผู้รับเหมา C*	*ผู้รับเหมา D*	*ผู้รับเหมา E*
ราคาที่เสนอ	*100 ลบ.*	*107 ลบ.*	*110 ลบ.*	*111 ลบ.*	*115 ลบ.*
มูลค่าจาก GRIP	*0 ลบ.*	*9 ลบ.*	*8 ลบ.*	*10 ลบ.*	*19 ลบ.*
ราคาที่ตัดสินผู้ชนะ	*100 ลบ.*	*98 ลบ.*	*102 ลบ.*	*101 ลบ.*	*96 ลบ.*

Page 3 of 6

รูปที่ ง.3.3 แบบสอบถามผู้รับเหมาและเจ้าของโครงการ (หน้าที่ 3)

ส่วนที่ 3 : ข้อมูลความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามด้านต่าง ๆ

ความคิดเห็นเมื่อกำหนดให้ใช้สัญญา GRIP

คำชี้แจง : กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ในช่อง ○ ที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุดเพียงช่องเดียวเท่านั้น

คำถาม : ท่านคิดว่าเมื่อหน่วยงานภาครัฐกำหนดให้ใช้สัญญา GRIP ในการประกวดราคา ท่านจะยินดีร่วมมือลดการปล่อยก๊าซฯ หรือไม่?

คำตอบ : ○ *ร่วมมือ* ○ *ไม่ร่วมมือ* ○ *ไม่แน่ใจ*

เหตุผล .....

.....

.....

.....

คำอธิบายเกณฑ์ที่ส่งผลต่อรูปแบบที่เหมาะสมจะนำ GRIP มาใช้

อันดับ	*เกณฑ์*	*ชื่อ*	*คำอธิบาย*
	1	*ความยากง่ายของ GRIP*	*ความยากง่ายในการดำเนินการตามสัญญา GRIP เมื่อจะนำไปปฏิบัติจริง*
	2	*ความพร้อมของผู้ใช้งาน*	*ความพร้อมของผู้ใช้งานทั้งด้านการเงิน ความสามารถของบุคลากร และด้านเทคนิค*
	3	*ความเหมาะสมของผลตอบแทน*	*ความเหมาะสมของผลตอบแทนที่เสนอให้เป็นผู้ชนะการประกวดราคา*
	4	*ข้อจำกัดของกฎหมาย*	*การกำหนดเป็นข้อกฎหมายต้องใช้ระยะเวลา*
	5	*ความเหมาะสมของค่าปรับ*	*ความเหมาะสมของค่าปรับโทษเงินที่เสนอไว้ เพื่อความเป็นธรรมต่อทั้งผู้แพ้และผู้ชนะ*
	6	*ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม*	*ต้องการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก หรือก๊าซพิษต่าง ๆ*
	7	*จำนวนทางเลือกที่ให้นำไปปฏิบัติ*	*จำนวนทางเลือกที่ได้เสนอไว้ในสัญญา GRIP ทั้งหมดมี 6 ทางเลือก*
	8	*ความเข้าใจถึงหลักการ GRIP*	*ความเข้าใจถึงหลักการ แนวคิด และวัตถุประสงค์ของ GRIP อย่างถูกต้อง*

หมายเหตุ: ท่านควรเขียนเพื่อจัดอันดับก่อนว่าอันดับที่ 1 - 8 คืออะไร ช่วยให้ประหยัดเวลาเปรียบเทียบจะไม่สับสน เช่น เปรียบเทียบอันดับที่ 1 กับอันดับที่ 8 ก็ตอบมากกว่ามากที่สุด แต่ถ้าเปรียบเทียบอันดับที่ 1 กับอันดับที่ 3 อาจตอบว่ามากกว่าเล็กน้อย เป็นต้น

คำอธิบายทางเลือกของรูปแบบ

ทางเลือก	*ชื่อ*	*คำอธิบาย*
1	*ใช้สัญญา GRIP*	*คิดเห็นว่าเมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ด้านนั้น ๆ แล้วสัญญา GRIP มีความเหมาะสมจะนำมาใช้ได้เลยทันที (100%) กับทุกโครงการฯ*
2	*ควรนำมาใช้บางโครงการ*	*คิดเห็นว่าเมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ด้านนั้น ๆ แล้ว อาจมีผู้รับเหมาและเจ้าของงานบางส่วนต้องการเวลาเพื่อปรับตัวกับการแข่งขัน จึงควรเริ่มใช้สัญญา GRIP กับบางโครงการฯ ก่อน เช่น นำร่องโดยใช้เฉพาะกับผู้รับเหมาชั้นพิเศษ หรือเฉพาะกับผู้รับเหมาชั้น 1 ในช่วงแรก เป็นต้น*
3	*ใช้สัญญาแบบเดิม*	*คิดเห็นว่าเมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ด้านนั้น ๆ แล้ว ทุกฝ่ายอาจยังไม่พร้อมจะใช้สัญญา GRIP ในขณะนี้ จึงน่าจะใช้สัญญาแบบเดิมออกไปก่อนสักระยะเวลาหนึ่ง*

หมายเหตุ: ท่านควรเขียนเพื่อจัดอันดับที่ 1 – อันดับที่ 3 เช่นเดียวกัน กับเกณฑ์ทั้ง 8 ข้อ (ในหน้าที่ 6 ของแบบสอบถาม)

รูปที่ ง.3.4 แบบสอบถามผู้รับเหมาและเจ้าของโครงการ (หน้าที่ 4)

การเปรียบเทียบเกณฑ์ที่ส่งผลต่อรูปแบบที่เหมาะสมจะนำ GRIP มาใช้

คำชี้แจง : กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ในช่อง ○ ที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุดเพียงช่องเดียวเท่านั้น โดยให้ยึดเกณฑ์ด้านซ้ายมือเป็นหลัก แล้วให้น้ำหนักความสำคัญเพื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ด้านขวามือ

เช่น เห็นว่า ความยากง่ายของ GRIP มีความสำคัญน้อยกว่ามาก (-2) เมื่อเทียบกับ ความพร้อมของผู้ใช้งาน ให้ท่านทำเครื่องหมายในช่องที่ 6 นับจากซ้ายมือ

หรือ เห็นว่า ความยากง่ายของ GRIP มีความสำคัญกว่ามากที่สุด (+3) เมื่อเทียบกับ ความเหมาะสมของผลตอบแทน ให้ท่านทำเครื่องหมายในช่องที่ 1 นับจากซ้ายมือ เป็นต้น

เกณฑ์	สำคัญกว่ามากที่สุด (+3)	สำคัญกว่ามาก (+2)	สำคัญกว่าเล็กน้อย (+1)	สำคัญเท่ากัน 0	สำคัญน้อยกว่าเล็กน้อย (-1)	สำคัญน้อยกว่ามาก (-2)	สำคัญน้อยกว่ามากที่สุด (-3)	เกณฑ์	
ความยากง่ายของ GRIP	○	○	○	○	○	○	○	ความพร้อมของผู้ใช้งาน	1
ความยากง่ายของ GRIP	○	○	○	○	○	○	○	ความเหมาะสมของผลตอบแทน	2
ความยากง่ายของ GRIP	○	○	○	○	○	○	○	ข้อจำกัดของกฎหมาย	3
ความยากง่ายของ GRIP	○	○	○	○	○	○	○	ความเหมาะสมของค่าปรับ	4
ความยากง่ายของ GRIP	○	○	○	○	○	○	○	ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	5
ความยากง่ายของ GRIP	○	○	○	○	○	○	○	จำนวนทางเลือกที่ให้นำไปปฏิบัติ	6
ความยากง่ายของ GRIP	○	○	○	○	○	○	○	ความเข้าใจถึงหลักการ GRIP	7
ความพร้อมของผู้ใช้งาน	○	○	○	○	○	○	○	ความเหมาะสมของผลตอบแทน	8
ความพร้อมของผู้ใช้งาน	○	○	○	○	○	○	○	ข้อจำกัดของกฎหมาย	9
ความพร้อมของผู้ใช้งาน	○	○	○	○	○	○	○	ความเหมาะสมของค่าปรับ	10
ความพร้อมของผู้ใช้งาน	○	○	○	○	○	○	○	ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	11
ความพร้อมของผู้ใช้งาน	○	○	○	○	○	○	○	จำนวนทางเลือกที่ให้นำไปปฏิบัติ	12
ความพร้อมของผู้ใช้งาน	○	○	○	○	○	○	○	ความเข้าใจถึงหลักการ GRIP	13
ความเหมาะสมของผลตอบแทน	○	○	○	○	○	○	○	ข้อจำกัดของกฎหมาย	14
ความเหมาะสมของผลตอบแทน	○	○	○	○	○	○	○	ความเหมาะสมของค่าปรับ	15
ความเหมาะสมของผลตอบแทน	○	○	○	○	○	○	○	ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	16
ความเหมาะสมของผลตอบแทน	○	○	○	○	○	○	○	จำนวนทางเลือกที่ให้นำไปปฏิบัติ	17
ความเหมาะสมของผลตอบแทน	○	○	○	○	○	○	○	ความเข้าใจถึงหลักการ GRIP	18
ข้อจำกัดของกฎหมาย	○	○	○	○	○	○	○	ความเหมาะสมของค่าปรับ	19
ข้อจำกัดของกฎหมาย	○	○	○	○	○	○	○	ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	20
ข้อจำกัดของกฎหมาย	○	○	○	○	○	○	○	จำนวนทางเลือกที่ให้นำไปปฏิบัติ	21
ข้อจำกัดของกฎหมาย	○	○	○	○	○	○	○	ความเข้าใจถึงหลักการ GRIP	22
ความเหมาะสมของค่าปรับ	○	○	○	○	○	○	○	ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	23
ความเหมาะสมของค่าปรับ	○	○	○	○	○	○	○	จำนวนทางเลือกที่ให้นำไปปฏิบัติ	24
ความเหมาะสมของค่าปรับ	○	○	○	○	○	○	○	ความเข้าใจถึงหลักการ GRIP	25
ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	○	○	○	○	○	○	○	จำนวนทางเลือกที่ให้นำไปปฏิบัติ	26
ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	○	○	○	○	○	○	○	ความเข้าใจถึงหลักการ GRIP	27
จำนวนทางเลือกที่ให้นำไปปฏิบัติ	○	○	○	○	○	○	○	ความเข้าใจถึงหลักการ GRIP	28

Page 5 of 6

รูปที่ ง.3.5 แบบสอบถามผู้รับเหมาและเจ้าของโครงการ (หน้าที่ 5)

การเปรียบเทียบทางเลือกของรูปแบบ

คำชี้แจง : กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ในช่อง ○ ที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุดเพียงช่องเดียวเท่านั้น โดยเป็นการพิจารณาทางเลือกจากเกณฑ์ทั้ง 8 ทีละข้อ

เช่น เห็นว่า การใช้สัญญา GRIP เหมาะสมกว่ามาก (+2) เมื่อเทียบกับ นำมาใช้บางโครงการ จากการพิจารณาตามเกณฑ์ด้านการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ให้ท่านทำเครื่องหมายในช่องที่ 2 นับจากซ้ายมือ เป็นต้น

ทางเลือก	เหมาะสมกว่ามากที่สุด (+3)	เหมาะสมกว่ามาก (+2)	เหมาะสมกว่าเล็กน้อย (+1)	เท่ากัน 0	เหมาะสมน้อยกว่าเล็กน้อย (-1)	เหมาะสมน้อยกว่ามาก (-2)	เหมาะสมน้อยกว่ามากที่สุด (-3)	ทางเลือก	
ความยากง่ายของ GRIP									*1*
ใช้สัญญา GRIP	○	○	○	○	○	○	○	*ควรนำมาใช้บางโครงการ*	
ใช้สัญญา GRIP	○	○	○	○	○	○	○	*ใช้สัญญาแบบเดิม*	
ควรนำมาใช้บางโครงการ	○	○	○	○	○	○	○	*ใช้สัญญาแบบเดิม*	
ความพร้อมของผู้ใช้งาน									*2*
ใช้สัญญา GRIP	○	○	○	○	○	○	○	*ควรนำมาใช้บางโครงการ*	
ใช้สัญญา GRIP	○	○	○	○	○	○	○	*ใช้สัญญาแบบเดิม*	
ควรนำมาใช้บางโครงการ	○	○	○	○	○	○	○	*ใช้สัญญาแบบเดิม*	
ความเหมาะสมของผลตอบแทน									*3*
ใช้สัญญา GRIP	○	○	○	○	○	○	○	*ควรนำมาใช้บางโครงการ*	
ใช้สัญญา GRIP	○	○	○	○	○	○	○	*ใช้สัญญาแบบเดิม*	
ควรนำมาใช้บางโครงการ	○	○	○	○	○	○	○	*ใช้สัญญาแบบเดิม*	
ข้อจำกัดของกฎหมาย									*4*
ใช้สัญญา GRIP	○	○	○	○	○	○	○	*ควรนำมาใช้บางโครงการ*	
ใช้สัญญา GRIP	○	○	○	○	○	○	○	*ใช้สัญญาแบบเดิม*	
ควรนำมาใช้บางโครงการ	○	○	○	○	○	○	○	*ใช้สัญญาแบบเดิม*	
ความเหมาะสมของค่าปรับ									*5*
ใช้สัญญา GRIP	○	○	○	○	○	○	○	*ควรนำมาใช้บางโครงการ*	
ใช้สัญญา GRIP	○	○	○	○	○	○	○	*ใช้สัญญาแบบเดิม*	
ควรนำมาใช้บางโครงการ	○	○	○	○	○	○	○	*ใช้สัญญาแบบเดิม*	
ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม									*6*
ใช้สัญญา GRIP	○	○	○	○	○	○	○	*ควรนำมาใช้บางโครงการ*	
ใช้สัญญา GRIP	○	○	○	○	○	○	○	*ใช้สัญญาแบบเดิม*	
ควรนำมาใช้บางโครงการ	○	○	○	○	○	○	○	*ใช้สัญญาแบบเดิม*	
จำนวนทางเลือกที่ให้นำไปปฏิบัติ									*7*
ใช้สัญญา GRIP	○	○	○	○	○	○	○	*ควรนำมาใช้บางโครงการ*	
ใช้สัญญา GRIP	○	○	○	○	○	○	○	*ใช้สัญญาแบบเดิม*	
ควรนำมาใช้บางโครงการ	○	○	○	○	○	○	○	*ใช้สัญญาแบบเดิม*	
ความเข้าใจถึงหลักการ GRIP									*8*
ใช้สัญญา GRIP	○	○	○	○	○	○	○	*ควรนำมาใช้บางโครงการ*	
ใช้สัญญา GRIP	○	○	○	○	○	○	○	*ใช้สัญญาแบบเดิม*	
ควรนำมาใช้บางโครงการ	○	○	○	○	○	○	○	*ใช้สัญญาแบบเดิม*	

Page 6 of 6

รูปที่ ง.3.6 แบบสอบถามผู้รับเหมาและเจ้าของโครงการ (หน้าที่ 6)

ภาคผนวก จ

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ระดับชาติในระหว่างศึกษา

เมธากุล มีธรรม และวชรภูมิ เบญจโอฬาร (2558). **การประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อประเมินผลการดำเนินงานจริงในการก่อสร้างถนน.** วารสารวิศวกรรมศาสตร์ธรรมศาสตร์, ปีที่ 3, ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2558, หน้า 34-44.

เมธากุล มีธรรม และวชรภูมิ เบญจโอฬาร (2558). **ผลกระทบต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงานก่อสร้างถนนที่ล่าช้า.** การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20 (The 20th National Convention on Civil Engineering), โรงแรมเดอะซายน์ จ.ชลบุรี. 8-10 กรกฎาคม 2558.

เมธากุล มีธรรม และวชรภูมิ เบญจโอฬาร (2558). **การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยวิธีการ 2L-LCA สำหรับงานก่อสร้างถนน.** วารสารวิศวกรรมสาร มก., ปีที่ 28, ฉบับที่ 94 ตุลาคม-ธันวาคม 2558, หน้า 29-38.

เมธากุล มีธรรม และวชรภูมิ เบญจโอฬาร (2559). **กรอบแนวคิดการประมูลงานด้วยวิธีต้นทุนบวกก๊าซ (CPG) ในงานก่อสร้างถนน.** วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร, ปีที่ 11, ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2559, หน้า 93-100.

เมธากุล มีธรรม และวชรภูมิ เบญจโอฬาร (2559). **การเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากงานก่อสร้างถนนโดยการเลือกเทคนิคการก่อสร้างที่ต่างกัน.** วารสารวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 7, ฉบับที่ 2, กรกฎาคม-ธันวาคม 2559, หน้า 1-9.

เมธากุล มีธรรม และวชรภูมิ เบญจโอฬาร (2559). **ทางเลือกที่เหมาะสมเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากงานก่อสร้างถนนในประเทศไทย.** การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21 (The 21th National Convention on Civil Engineering), โรงแรมบีพี สมิหลา บีช จ. สงขลา. 28-30 มิถุนายน 2559.

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ระดับนานาชาติในระหว่างศึกษา

Mathagul Metham and Vacharapoom Benjaoran (2015), **The Assessment of Greenhouse Gas Emissions for Evaluating Actual Road Construction Operations.** proceedings of the 31st ARCOM2015: Association of Researchers in Construction Management, Lincoln, UK, September 7-9, 2015.

Mathagul Metham and Vacharapoom Benjaoran (2018), **Incentive Contracts for Road Construction to Reduce Greenhouse Gas Emissions.** Engineering Journal, 22(5): 105-122. DOI:10.4186/ej.2018.22.5.105

Mathagul Metham, Vacharapoom Benjaoran and Akepong Sedthamanop (2019), **An Evaluation of Green Road Incentive Procurement in Road Construction Projects Contract by Using the AHP.** International Journal of Construction Management. DOI: 10.1080/15623599.2019.1635757

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Engineering Journal issn: 0125-8281

Article

Incentive Contracts for Road Construction to Reduce Greenhouse Gas Emissions

Mathagul Metham [a] **and Vacharapoom Benjaoran**[b,*]

School of Civil Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand
E-mail: [a]D5740178@g.sut.ac.th, [b]vacharapoom@sut.ac.th (Corresponding author)

Abstract. Road constructions play a significant role in greenhouse gas (GHG) release into the atmosphere due to a large amount of materials consumption. To reduce emission has an effect on project costs. This research proposes an incentive measure named the Construction-Emission-Punishment (CEP) bidding method which offers emission reduction options and incentives for participating bidders. An equivalent bid price and a financial penalty will be specified in the construction contract as a part of this method. This penalty is applied when there is a failure to comply with binding obligations. The results show that the rates of the emission deduction from the six reduction options account for 0.115%-2.768% of the project cost. The case study also shows that a bidder who receives some emission deductions can be the winner. The effectiveness of the CEP method depends on the bid price gaps among the bidders and the emission deduction from the selected options.

Keywords: Bidding, incentives, emissions, greenhouse gas, road construction.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ENGINEERING JOURNAL Volume 22 Issue 5
Received 7 January 2018
Accepted 17 July 2018
Published 30 September 2018
Online at http://www.engj.org/
DOI:10.4186/ej.2018.22.5.105

DOI:10.4186/ej.2018.22.5.105

1. Introduction

Greenhouse gases (GHGs) are mainly responsible for the global warming issue [1, 2]. According to the GHG emissions ranking, the United States has been placed second behind China's emission level [1]. Energy consumption has been a key cause and the highest emissions sector. The construction industry ranks in the third highest emitter which accounts for 1.8% of the total of the U.S. GHG production [3]. Energy supplies were the main cause for developing countries to generate approximately 11.5% of global emissions between 1970 and 2004 [4]. Additionally, in Thailand, a report states that the energy sector has emitted the most GHGs, at about 13.4% of the total of Thailand's GHG production [5] while the manufacturing and construction industry is the third highest emitter. Most of the increasing GHG releases are caused by anthropogenic activities — mainly due to an increase in fossil energy consumption. Activities in construction projects, especially road constructions, require a great deal of energy, materials and equipment consumptions [6]. In 2006, road construction projects of the U.S. Interstate Highways used 1.5 billion metric tons of crushed rock aggregates, 35 million metric tons (Mt) of asphalt, 48 Mt of cement, and 6 Mt of steel in order to provide 73,000 kilometers of the highway system [7].

Undoubtedly, some construction stakeholders have been aware of this issue. As a result, made an effort to reduce the GHG emissions caused by anthropogenic activities. Several actions, depending on the characteristics of the construction works, have been carried out to alleviate this issue. For example, some building construction projects have attempted to deal with such emissions by focusing on inventing and innovating construction materials that consume less energy and/or produce less emission than conventional materials [8]. Road construction projects have also been carried out using more efficient management of energy, materials, and equipment consumptions [9, 10] and replaced dated models of machinery by newer ones. This includes installation of retrofit devices. Cass and Mukherjee [11] studied the possible GHG emission reductions at the construction phase of a road construction project by using the hybrid LCA approaches. Also, Santero et al. [12] have found that GHG releases were decreased by 10% when avoiding the negative effects of materials and by reducing the fuel consumptions of concrete pavement constructions. Nonetheless, road contractors have rarely used these reduction approaches in practice due to the lack of any incentives and benefits [9] so worthwhile benefits have to be offered to road contractors to encourage the participation. Puri and Tiwari [13] found that the project owners could achieve this by placing additional requirements in the bid evaluation criteria.

Hence, this study proposes incentive measures for road construction that encourages the reduction of GHG emissions through the bidding and contract-enforcing methods named Construction-Emission-Punishment (CEP). A surplus benefit and a modified bid evaluation should potentially lead to more participation. A privileged incentive offered to bidders plays an important role in this measure. The bidding process is targeted because it can push the awarded contractors to follow the GHG reduction operations through the contractual obligations. Some historical road construction projects in Thailand are used as case studies to demonstrate the application of the CEP method.

2. Related Literature

2.1. Emissions Evaluation of Constructions

Environmental impacts of the production of goods require an evaluation approach that is both reliable and internationally accepted. One of the widespread approaches of greenhouse gas emissions evaluation is the life cycle assessment (LCA) [14], according to the International Organization for Standardization (ISO) 2006 standard series: ISO14040: 2006 and ISO14044: 2006 [15]. The LCA approach is performed by converting the input data of each product's activity to its environmental impact. Materials and energy consumption of all products' processes are used as the input data. The processes are comprised of the extraction of raw materials, the manufacturing of materials and/or energy and the operation, and maintenance as well as the disposal or the recycling of the products or services. This approach can be evaluated in term of the environmental impacts of the construction activities as well [16, 17]. The LCA uses several methods, i.e. a process-based method, an input-output (I-O) based method and a hybrid method. The suitability of adopting the LCA method depends on how complicated and complete the data are. Generally, hybrid LCA has been deemed appropriate for construction work whose manufacturing of materials stage was evaluated by the I-O

DOI:10.4186/ej.2018.22.5.105

based method, while the construction and the transportation stages are usually evaluated by the process-based method [16].

2.2. Emissions Reduction in Constructions

Several strategies can be used to achieve the GHG emissions reduction. The government has launched some campaigns to encourage collaborations and participations in reducing the selves-emissions. For instance, the energy consumption in residences can be reduced to sufficient levels; the energy consumption in organizations can also be managed more efficiently; and fossil fuels can be substituted by more renewable and cleaner energy. As a part of these efforts, the EPA [18] has recommended several guidelines on reducing the emissions such as maintaining machinery frequently and punctually, installing retrofit devices, acquiring newer machinery and using low-sulfur fuel and/or biodiesel fuel. These operations follow the GHG reduction strategies arose not only from the voluntary parties who complied without compulsion but also from the parties who were forced to comply with the regulations.

Eštoková and Porhinčák [8] compared conventional materials to the alternative materials of a building construction project. This study revealed that the substitution of alternative materials affected the emission levels. To reduce the emissions in road construction, Ahn et al. [9] proposed five mitigation options, comprising the replacement of old equipment, an installation of retrofit devices, a fossil fuel substitution with biodiesel (B20), a replacement with hybrid machinery and a change of the materials sources to nearer sources. However, biodiesel is commonly used in the form of many blends, varying from B2 to B20 across the globe [19, 20]. In addition, Ahn et al. [9] recommended the replacement of machinery for the whole fleet and the installation of retrofit devices but these requirements would create excessive costs to the contractors. However, the approaches can be partially implemented depending on it being affordable to the participants.

Another example of how to reduce the emission in road construction comes from a study by Metham and Benjaoran [21]. The study evaluated different construction techniques of a base course and their associated environmental impacts. These techniques were employed in accordance with the standards for highway construction of the Thailand's Department of Highways (DOH). The results revealed that the dated construction techniques contributed to various negative environmental impacts. Therefore, it is worthwhile conducting research to mitigate these environmental impacts.

2.3. Green Public Procurement for Construction Project

GHGs emission becomes a particularly noteworthy issue. One of an adaptation is green public procurement (GPP) for a construction contract. Encouragement of governments has also adapted to establish an environmental innovation. For instance, Cui et al. [22] evaluated to solve the GHGs emission in a road construction project to Maryland State Highway Administration. The main objectives are: emission reduction and global warming adaptation, environmentally positive effect, and develop human life (economic, society and environment), which lead to a delivery for sustainable into a construction contract. There are seven evaluation criteria that include: 1) emission reduction potential, 2) financial consideration, 3) technological maturity, 4) organizational readiness, 5) industrial and public acceptance, 6) risk, and 7) impact on project performance. These criteria were defined in a decision-making model, named, Green Performance Contracting (GPC) that were used to select an appropriate green and sustainable performance contracting. A part of this implementation alternative, for instance, reclaimed asphalt pavement (RAP), equipment retrofitting, alternative fuels, etc. This established strategy shows that the owner also ready to adapt their performance conditions to alteration context.

Adriana et al. [23] proposed a green procurement framework for evaluating a contractor of a road construction project in Australia. This is based on interviews and procurement documents across five Australian states. This framework determines seven procurement stages for green procurement incentives throughout the delivery of a road construction project. Evaluation procedures attempt to persuade for proactively motivating behavioral change. These efforts is a green path to a sustainable contracting. The GPP is an evidence that it widely applies to meet environmental sustainability. There are not only Australian construction projects but also Malaysian [24] and Swedish construction industry [25].

Hence, a public's incentive contracting for a contractor qualification can adapt to serve special conditions, according to owner requirements. Besides, the incentive contracting not only provide a bid cost competition but also an extra requirement (quality of product and/or environment) that would convince contractors involved. The great response of the contractors, however, a worthwhile of return benefit is also an important

DOI:10.4186/ej.2018.22.5.105

deliberation of an incentive contracting [26]. There is little doubt as to the valuable of such an investment. Therefore, this concern has also become aware of the green contract that will be proposed in this study.

2.4. Incentive Contract of Construction

In recent years, many developments in new highway contracting methods have emerged from a combination of construction costs, time and quality [27]. The contracting method depends on some specific objectives of owners and contractual obligations for contractors. The incentives/disincentives determine the nature of the contract by providing a bonus or a penalty depending on how early or late the projects are delivered [28, 29]. In terms of incentive/disincentive contracts, a condition of a rental fee surcharge is included in some lane rental contracts. The surcharge is based on an estimated cost of the road users' delay. One interesting example of this innovative contract was proposed by the U.S. Department of Transportation (DOT) as cost plus time or named A+B bidding contract as shown in Eq. (1):

$$Total\ Bid = A + (B \times RUC) \tag{1}$$

where A = bidders' estimated cost
B = time bid
RUC = daily road user cost, as furnished by the owner.

The time bid is the estimated time to complete the project by bidders. The time bids of each bidder are multiplied by a road user cost in monetary units per day. Moreover, an A+C bidding contract was defined for environmental purpose. The C term instead of B is environmental cost in monetary units per kilogram unit of gas mass [9]. The combination of both values is the total bid. This contract considers the bid cost and time cost altogether. The bidder who proposes the lowest combined cost will be the winner. These incentive/disincentive contracts have been implemented and they have achieved a great success [30, 31].

Ahn et al. [9] considered the bid cost based on the A+C bidding contract. Their study combined the construction cost with the eco-costs. This type of costs has become a part of the contractor selection criteria. The eco-cost which was initially introduced by Vogtländer [32] was the costs converted from mitigation options or prevention measures. Obviously, these reduction options will increase the expenses of the project so a compensatory benefit should be offered in order to balance the cost of added responsibility. The CEP bidding method has been initiated and adopted according to these concepts.

3. CEP Bidding Method

This research initiates the CEP bidding method which is adapted from the conventional bidding method. The CEP method emphasizes the collaboration of contractors in reducing emissions in public road construction projects. A framework of the CEP method comprises six steps. The first to fourth steps are performed in the bidding phase while the fifth and sixth steps occur in the post-bidding phase. The details of these six steps are described as follows:

- Submission of construction bid: After all participant bidders estimate their own project prices based on the bill of quantity (BOQ), they have to submit their bid prices called Construction Bids (C) and enter into the bid competition. The government as a project owner has prepared their own estimate before. This estimate is called Owner's estimated cost (OC). Normally, the government limits their budget for a construction project to the OC.
- Submission of a proposal of reduction options: The bidders propose their own preference options for emission reduction together with the C on the bid date. The proposal should indicate the chosen options (from the six options available, which will be detailed later in this paper) and their associated parameters such as total amount of the biodiesel and preference blend formula between B5-B20, hauling distance of materials, total amount of base course material, an amount of the newer model machinery replacement than Tier3, an amount of the hybrid machinery replacement, the retrofit device installations, horsepower of machinery each type, and work hour each machinery, etc.
- Emission deduction calculation: All proposed options of each bidder in step 2 are used to estimate the value of GHG credits and then converted into a monetary term called Emission Deduction (E) according to Eq. (2) to (21).

DOI:10.4186/ej.2018.22.5.105

- Equivalent bid calculation: Equation (22) is simply used to calculate the Equivalent Bid (Q). Then, all bidders' Qs are compared in the bid evaluation procedure, instead of Cs. The first criterion is to award the lowest Q. In the case that several bidders offer equal lowest Qs, the highest E among them will become the next criterion for consideration.
- Field monitoring: This step is performed after the award of the contract. The winning bidder becomes the contractor and executes the construction work. They have an additional contractual obligation to carry out the reduction options as previously proposed. The achievement of the contractor is investigated and evidenced via the site monitoring and the data collection. If the contractor fails to fulfill the proposed options, they will be penalized.
- Penalty and Payment calculations: The amount of a Penalty (Pe) is calculated by using Eq. (23). Also, the project payment (Pa) which is calculated according to Eq. (24) is totally equal to the Construction Bid (C) subtract with the Penalty (Pe). The total amount is gradually paid to the contractor.

The CEP procedures include five monetary terms, namely Construction Bid (C), Emission Deduction (E), Equivalent Bid (Q), Penalty (Pe) and Payment (Pa). Their details and calculations are described in the following subsections.

3.1. Construction Bid (C)

In the conventional bidding method, bidders prepare their own bid prices according to the bill of quantity (BOQ) of the project. The Construction Bid (C) represents these bid prices, which should cover all their expenses and preferred markups. In advance, the owner's estimated cost (OC) is also prepared by the project owner. The OC is normally set as the owner's budget and formally announced to all bidders. In the CEP, the OC and C are used as references but the lowest C is not the winning criterion. A bidder who does not offer the lowest C can still be awarded the contract.

3.2. Emission Deduction (E)

The Emission Deduction (E) is a value in monetary terminology which is equal to an amount of GHG emission reduction (in kilogram unit of gas mass) multiplied with the unit eco-cost (proposed by Vogtländer [7]). The GHG reduction amount is determined by the options adopted by the bidder. Several approaches have a potential to reduce the emissions in road construction projects but the reduction options initially proposed for the CEP should suit the current capabilities of the participants and be easy enough to implement. However, these proposed reduction options can be gradually revised. As a result, the CEP method introduces six appropriate options for GHG emission reduction which are gathered from many sources such as recommendations of environmental agencies [33, 18, 34], guidance documents from machinery manufacturers [30-34], informative documents of retrofit devices [40, 18, 41], and previous research studies [42-44]. These six reduction options are grouped into three categories: the fuel technology is Option 1, the field management constitutes Options 2 and 3, and the engine technology includes Options 4, 5, and 6. These options are not compulsory but rather voluntary. Bidders who propose more options together with their submitted bids can increase this E value. Different bidders may prefer or be ready to implement different options on their submissions.

For each option, the amount of GHG emission is calculated based on the LCA process method. This is basically a multiplication of the overall energy, machinery and materials consumption by their emission factors (EF). These consumption amounts are calculated by assuming that the conventional and polluting construction method is used. For example, Option 1 is the total petroleum diesel consumption derived from the work hours and horsepower of the machinery; Option 2 is the total amount of hauling materials and recommended hauling distances as the input data, etc. After that, an amount of the emission reduction is also calculated. This varies depending on the particular factors of each option, such as the blend formula of biodiesel for Option 1 and the hauling distances saved from what are recommended for Option 2, etc. Eventually, these amounts of emission reductions are converted into monetary terms. All consumption parameters have to substitute into equations for E calculation. However, the direct calculation of E is quite complicated; hence, the CEP method provides a use of the relative coefficient for convenient purpose. The relative coefficient which is denoted as (α_i) is particularly prepared for each reduction option i. It is expressed in terms of a percentage of the OC of the current project. The E value is calculated by the following Eq. (2).

DOI:10.4186/ej.2018.22.5.105

$$E = \sum_{i=1}^{6} \alpha_i \times OC \tag{2}$$

where α = the relative coefficient of the option
i = the i th. reduction options
OC = the owner's estimated costs.

In addition, a simplified version of α_i is also determined which is called the representative coefficient of the option i (α_{Ri}). This representative coefficient is aimed to facilitate the calculation of E on the bid date or it can be spared as an alternative calculation method. The α_i variable in Eq. (2) can be simplified to α_{Ri} when an estimator would like to calculate an E by a representative coefficient. To demonstrate this concept, our research initiates this representative coefficient which is an average of α_i of three past projects selected as the base and representative projects. These three projects are just to demonstrate the concept. The number and the variety of these representative projects should be increased to generalize the result when being implemented. All the relevant data of these three base projects were collected and their values of GHG reduction have been thoroughly calculated beforehand. Then, the average value of the α_i were used to derive the calculation equations for the representative coefficients. The representative coefficient (α_{Ri}) is used to approximate the relative coefficient (α_i) by reducing some variables required in the formula. The details of the formula of the relative coefficient (α_i) and the representative coefficient (α_{Ri}) for the six reduction options are described as follows.

3.2.1. Option 1 - Use of biodiesel

It is known that biodiesel consumption pollutes the environment less than petroleum diesel. However, this depends upon the blend formula of the biodiesel. The more the proportion of biodiesel in the blend formula is, the more the emission reduction is. Besides, the availability of the blends varies among different countries, for example, B5, B10 and B20 are sold in the U.S., but only B3 is sold in Mexico, and only B5 is available in Thailand. To deal with these limitations, the E_1 calculation is described by Eq. (3) and some values are substituted in Eq. (4). This equation is based on the information on biodiesel emissions by EPA [45]. It relies on the percentage of biodiesel in the blend formulas. Likewise, it has already compensated for the consumption rate due to the lower heat energy of biodiesel. A markup is added as recommended by EPA [45]. Equation (4) has been normalized to Eq. (5) which is less complex.

$$\begin{aligned} E_1 = {} & (\text{diesel_consumption} - \text{biodiesel_consumption}) \times EF \times \text{horsepower} \\ & \times \text{work_hour} \times \text{unit_eco-cost} \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} E_1 = {} & \left(\left(1+\left(\exp\left[-0.008189\times(a)\right]\right)\times\left[0.88\times(a/100)+0.85\times(1-a/100)\right]/0.85\right)\right) \\ & \times\left(\left(\left\{\exp\left[\eta\times(a)\right]-1\right\}\times 100\%\right)\right)\times EF\times hp\times h\times p \end{aligned} \tag{4}$$

$$\alpha_1 = \frac{(0.1396\times(a)+0.207)\times hp\times h}{OC}\times 100\% \tag{5}$$

$$\alpha_{R1} = 0.0062\times(a) - 0.0091 \tag{6}$$

where η = coefficients for basic emission correlations — NOx = 0.0009794, HC = -0.011195, PM = -0.006384 and CO = -0.006561
a = the percentage of biodiesel in the blend formulas from B1 to B20
EF = emission factor of diesel engine in Tier 1 — NOx = 9.2, HC = 1.3, PM = 0.8, CO = 5.5 (g/kWh)
hp = horsepower of machinery (hp.)
h = work hours of machinery (hr.)
p = eco-cost of GHGs — NOx = 0.687, HC = 4.602, PM = 35.672, and CO = 0.312 (USD/kg)

DOI:10.4186/ej.2018.22.5.105

α_1 = the relative coefficient of the reduction Option 1 (expressed in a percentage of OC)
OC = the owner's estimated project cost (in USD, U.S. dollars)

Equation (5) can be further simplified by substituting the values of EF, hp, h and OC of the three base projects. These information were collected by each project owner representative. The substitution is carried out each project. Three value of α_i from Eq. (5) were calculated to an average relative coefficient or called representative coefficient (α_{Ri}). The average value gives the result of the representative coefficient as shown in Eq. (6). In the case of the highest blend B20 (a = 20), the maximum α_{R1} is equal to 0.115%.

3.2.2. Option 2 - Material sources location

Road construction requires a huge amount of raw materials, mostly including soil aggregates and crushed rocks, which are hauled to the construction site. Normally, the DOH recommends the location of material sources for a project but in practice the contractor always selects a different location. The locations of materials sources can impact the level of GHG emission [46]. The different distances between the recommended and the selected locations to the construction site are determined to calculate the emission reduction. The E_2 calculation is described by Eq. (7) and substituted later. Similarly, the relative coefficient (α_2) and the representative coefficient (α_{R2}) of this Option 2 are proposed in Eq. (8) and (9), respectively.

$$E_2 = (\text{recommended_distance} - \text{practical_distance}) \times EF \times \text{consumption_per_trip} \times \text{unit_eco-cost} \quad (7)$$

$$\alpha_2 = \frac{(RD - OD) \times 2.711 \times FC \times T \times p}{OC} \times 100\% \quad (8)$$

$$\alpha_{R2} = 0.0158 \times (b) - 0.0997 \quad (9)$$

where α_2 = the relative coefficient of the reduction Option 2 (expressed in a percentage of OC)
α_{R2} = the representative coefficient; FC = fuel consumption per hauling trip (given that the fuel consumption of a truck = 0.245 L/km)
RD = the recommended hauling distance (km)
OD = the practical hauling distance (km)
p = eco-cost of GHGs — CO_2eq = 0.176 (USD/kg)
T = number of hauling trips
b = the saving hauling distance (km) (or RD - OD).

Equation (8) shows that the α_2 is derived from the emission rate of diesel at 2.711 kgCO_2eq/L (as recommended by IPCC [47]), the different hauling distance, and the fuel consumption of the hauling trucks. Equation (9) is a simplified form of Eq. (8) when the three base projects are used as representatives. If the practical hauling distance is shorter than the DOH recommended (or the saving hauling distance (b)) in a range of 10 to 50 kilometers, the value of α_{R2} varies from 0.058 to 0.689%.

3.2.3. Option 3 - Construction techniques

The use of alternative construction techniques is another option that can reduce the negative environmental impacts. According to the DOH, three different construction techniques are approved for the base course work, namely soil-cement base mixed in-plant (SCB In-Plant), soil-cement base mixed in-place (SCB In-Place) and crushed rock base (CRB). These techniques, however, cause different GHG emission rates per cubic meter of materials [21] and the SCB-In-Plant produces the highest rate. The emission rates of CRB, SCB In-Place, and In-Plant from a previous research study by the authors is equal to 29.796, 50.338 and 59.997 kg/CO_2eq, respectively [21]. If SCB In-Plant is set as a base of comparison, the emission reductions of these techniques are in relative percentages of 0%, 16.1% and 50.3% for SCB In-Plant, SCB In-Place and CRB, respectively. The description of the E_3 calculation is presented in Eq. (10). These percentages are represented by the variable TEC as shown in Eq. (11). When simplifying the equation by the data from the three base projects, the α_{R3} in percentages is equal to 0%, 0.886% and 2.768% for SCB-In-Plant, SCB In-Place and CRB, respectively, as shown in Eq. (12).

DOI:10.4186/ej.2018.22.5.105

$$E_3 = \%reduction_by_technique \times EF_based_technique \times amount_of_materials \times unit_eco\text{-}cost \quad (10)$$

$$\alpha_3 = \frac{TEC \times ERB \times M \times p}{OC} \times 100\% \quad (11)$$

$$\alpha_{R3} = \begin{cases} 0\%, & SCB\ In-Plant \\ 0.886\%, & SCB\ In-Place \\ 2.768\%, & CRB \end{cases} \quad (12)$$

where α_3 = the relative coefficient of the reduction Option 3 (expressed in a percentage of OC)
α_{R3} = the representative coefficient
TEC = the relative percentages of emission reduction of the construction technique (0%, 16.1%, 50.3%)
ERB = the base emission rate of the SCB In-Plant technique which is equal to 59.997 $kgCO_2eq/m^3$
M = quantities of base course materials (m^3)
p = eco-cost of GHGs — CO_2eq = 0.176 (USD/kg).

3.2.4. Option 4 – Newer machinery replacement

A newer model of machinery is more environmentally friendly than an older one. According to EPA [18], diesel-based heavy machinery is classified into five tiers, namely Tier 1, 2, 3, 4i and 4f, which have different effects on GHG emission. Tier 1 machinery is considered the oldest and emits the highest level of GHG. Table 1 shows the percentages of GHG emission reduction based on the emission rate of the Tier 1 machinery where the machinery in a size range of 100 - 175 hp. is considered [18].

The list of machinery usage proposed by bidders shows the proportion of machines of different tiers together with their horsepower and working hours. The more the quantity and the newer the model of machinery proposed the greater the increase in the emission reduction will be. The bidders can achieve a higher emission reduction if they replace their old machines with newer machinery of a higher tier. To determine the emission reductions, the bidders have to propose a list of heavy construction machinery that will be used in the project. Therefore, a generated form of the E_4 calculation is presented in Eq. (13) and Eq. (14) which is used to calculate the relative coefficient of this option. While Eq. (15) is a simplified form where the machinery details of the three base projects (the replacement of Tier 1 by Tier 2, 3, 4i and 4f is assumed to be 20% equally) are used as representatives.

$$E_4 = \sum_{n=tier1}^{tier4f} \left(\sum_{each_gas} \%reduction_by_tier \times horsepower \times work_hour \times unit_eco\text{-}cost \right) \times \%newer_replacement \quad (13)$$

$$\alpha_4 = \frac{\sum_{n=tier1}^{tier4f} \left(\sum_{m=1}^{m} R_m \times hp \times h \times p \right) \times r_n}{OC} \times 100\% \quad (14)$$

$$\alpha_{R4} = \sum_{n=tier1}^{tier4f} (\alpha_{a4} \times r_n) \quad (15)$$

where α_4 = the relative coefficient of the reduction Option 4 (expressed in a percentage of OC)
α_{R4} = the representative coefficient
R_m = rate of emission reduction (NOx, HC, PM and CO) by Option 4 (see Table 1)
hp = horsepower of machinery (hp.)
h = work hours of machinery (hr.)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

DOI:10.4186/ej.2018.22.5.105

p = eco-cost of GHGs — NOx = 0.687, HC = 4.602, PM = 35.672 and CO = 0.312 (USD/kg)
r_n = the percentage of machinery replacement (newer model than Tier 1) between 0% to 100%
α_{a4} = the average of representative emission deductions by Option 4 (given that Tier 1 = 0, Tier 2 = 0.215, Tier 3 = 0.255, Tier 4i = 0.406 and Tier 4f = 0.436).

Table 1. Rates of emission reduction in case of newer machinery replacement (R_m).

GHGs reduction	NOx (I)	HC (II)	PM (III)	CO (IV)
Tier 1	-	-	-	-
Tier 2	-	-	62.5%	9.1%
Tier 3	62.0%	-	62.5%	9.1%
Tier 4i	62.0%	69.2%	97.5%	9.1%
Tier 4f	95.7%	85.4%	97.5%	9.1%

3.2.5. Option 5 – Hybrid machinery replacement

A hybrid machinery model has resulted in low emissions and high energy efficiency. According to some well-known manufacturers [35-37, 39], the hybrid systems can reduce emissions more than the Tier 4f diesel based engines, for example, by 15%-30% for Hitachi, by 5%-41% for Komatsu, by 25%-33% for Caterpillar, and by 10% for Volvo. With regard to this information, it is reasonable to set the 10% reduction conservatively on top of the percentage reduction of the Tier 4f machinery. Table 2 shows the results of the combined reduction rates in percentages for different GHGs [35, 37, 39]. As for the evaluation process, the bidders have to propose a list of heavy construction machinery that implements the hybrid technology. The hybrid machinery usage is proposed in terms of a percentage of the whole machinery fleet. The F_5 calculation is presented in Eq. (16). Meanwhile, Eq. (17) is the calculation of the relative coefficient and Eq. (18) is a simplified form. The maximum range of α_{R5} is equal to 0.451%, when all the machinery is substituted for the hybrid model.

$$F_5 = \left(\sum_{\text{each_year}} \%\text{reduction_hybrid} \times \text{horsepower} \times \text{work_hour} \times \text{unit_eco-cost} \right) \times \%\text{hybrid_usage} \tag{16}$$

$$\alpha_5 = \frac{\left(\sum_{rh=I}^{IV} R_{rh} \times hp \times h \times p \right) \times r_h}{OC} \times 100\% \tag{17}$$

$$\alpha_{R5} = 0.451 \times r_h \tag{18}$$

where α_5 = the relative coefficient of the reduction Option 5
α_{R5} = the representative coefficient
hp = horsepower of machinery (hp.)
h = work hours of machinery
p = eco-cost of GHGs
R_{rh} = rate of emission reduction (NOx, HC, PM, and CO) by Option 5 (see Table 2)
r_h = the percentage of hybrid model machinery usage between 0% to 100%.

DOI:10.4186/ej.2018.22.5.105

Table 2. Rates of emission reduction in case of hybrid machinery replacement (R_{ih}).

GHGs reduction	NOx (I)	HC (II)	PM (III)	CO (IV)
Hybrid	100%	93.9%	100%	10.1%

3.2.6. Option 6 – Retrofit devices installation

An installation of a retrofit device mitigates the emissions. The installed retrofits are either comprised of a single or combined technology. The single technology includes a diesel particulate filter (DPF), a diesel oxidation catalyst (DOC) and a selective catalytic reduction (SCR). The combined technology is a coalition of two single technologies such as an SCR and a DPF and an exhaust gas recirculation (EGR) and a DPF. The emission reduction depends upon the percentage of installation of the retrofit devices of the total machinery. Informative documents concerning the retrofit devices have presented various effects on reducing the emissions [18, 40-42, 44]. A DOC device is able to reduce the emissions of NOx by 5%, of CO by 70%-95%, of HC by 70%-90%, and of PM by 85%-95% [40]. A DPF device is claimed to reduce the emissions of NOx by 5%, of CO by 60%-90%, of HC by 60%-90% and of PM by 85%-95%. An SCR device can reduce the emissions of NOx by 70%-90%, of CO by 50%-90%, of HC by 50%-90% and of PM by 25%-50% [18]. Furthermore, combining devices such as an SCR+DPF device can reduce the emission of NOx by 70%, of CO by 90%, of HC by 90% and of PM by 90% [41]. An EGR+DPF device reduces NOx by 60%, CO by 60%, HC by 60%, and PM by 90% [18]. This study considers the devices that are expected to provide more than a 50% reduction.

An assumption is set up to generate the E_6 calculation in Eq. (19). At the same time, a reform contributes to the α_6 calculation in Eq. (20) in which the machinery is substituted in Tier 3 first and the retrofit devices are installed, as listed in Table 3 [18, 40, 42, 44]. This equation derives from the usage and the type of retrofit devices. The representative coefficient (α_{R6}) is in Eq. (21). Consequently, the installation of these retrofit devices have a maximum of 0.173%, 0.240%, 0.208%, 0.260%, and 0.250% reduction when machinery is installed with a DOC, a DPF, an SCR, an SCR+DPF and an EGR+DPF by 100%, respectively.

$$E_6=\left(\sum_{each\ gas} \%reduction_by_device\times horsepower\times work_hour\times unit_eco\text{-}cost\right) \times \%device_installation \tag{19}$$

$$\alpha_6 = \frac{\left(\sum_{id=1}^{n} R_{id}\times hp\times h\times p\right)\times i_d}{OC}\times 100\% \tag{20}$$

$$\alpha_{R6} = \alpha_{a6}\times i_d \tag{21}$$

where α_6 = the relative coefficient of the reduction Option 6
α_{R6} = the representative coefficient
hp = horsepower of machinery (hp.)
h = work hours of machinery
p = eco-cost of GHGs
R_{id} = rate of emission reduction (NOx, HC, PM and CO) by Option 6 (see Table 3)
i_d = the percentage of a retrofit device installation — DOC, DPF, SCR, SCR+DPF and EGR+DPF — between 0% to 100%
α_{a6} = the average of representative emission deductions by Option 6.

DOI:10.4186/ej.2018.22.5.105

Table 3. Rates of emission reduction in case of retrofit devices installation (R_{ki}).

GHGs reduction	NOx (I)	HC (II)	PM (III)	CO (IV)
Tier 3+DOC	62%	-	68.75%	15.47%
Tier 3+DPF	62%	-	100%	14.56%
Tier 3+SCR	100%	-	78.13%	13.65%
Tier 3+SCR+DPF	100%	-	100%	17.29%
Tier 3+EGR+DPF	99.2%	-	100%	14.56%

In addition, Table 4 shows the maximum range of the representative coefficient of these six reduction options when each of them is fully and individually implemented. These coefficients vary from 0.115% to 2.768%. Some options can be implemented together, whereas the others are mutually exclusive such as Option 4, 5 and 6. All possible combinations of these six reduction options are investigated. There are thirty-one possible combinations that a bidder can adopt, given that each option is fully implemented at its maximum value of α_{Ri}. In the case of a single-option adoption, Table 4 shows the maximum values of the representative coefficients of the six options. The maximum representative coefficient for a single-option adoption is in Option 3 which is equal to 2.768%. However, in the case of a two-option adoption, the combination of Option 2+3 results in a maximum representative coefficient of 3.457%. A three-option adoption of Option 2+3+5 gives a maximum of 3.908%. Lastly, a four-option adoption of Option 1+2+3+5 gives a maximum value of 4.023%.

Table 4. The maximum values of representative coefficients of the six options.

Option	1	2	3	4	5	6
α_{Ri}	0.115%	0.689%	2.768%	0.436%	0.451%	0.260%

3.3. Equivalent Bid (Q)

An Equivalent Bid (Q) is an amount which is considered in the bid evaluation. It is simply calculated by deducting E from C as shown in Eq. (22). The CEP bidding method employs the lowest Q as a criterion for winning instead of the lowest C in the conventional bidding method. A bidder who submits the lowest Q is the winner.

$$Q = C - E \tag{22}$$

where Q = equivalent bid
C = construction bid
E = emission deduction.

3.4. Penalty (Pe)

In order to ensure the integrity of the CEP method, a punishment measure must be incorporated and well enforced. The CEP method defines the punishment and includes it as a part of the contract. The punishment is adopted on a concept of the incentive/disincentive contract. The punishment should be fair to the next lowest bidder who loses the competition. The winning bidder (now a contractor) who fails to fulfill all their proposed options of the emission reduction will be considered to breach the contract agreements and be penalized. This contractor tends to actually produce more emissions than stated in the proposal so that their Emission Deduction (E) should be revised and reduced. Therefore, all field operations throughout the project, especially the ones related to the GHG emissions, need to be monitored by the owner's representatives or the inspectors. Materials, machinery and fuel consumptions on the site are mandatorily reported. The monitoring is necessary in order to examine the actual emission reduction. The actual equivalent bid (Q'_{wb})

DOI:10.4186/ej.2018.22.5.105

of the winner (now the contractor), which should be higher than the winning equivalent bid (Q_{wb}), is calculated.

A financial penalty (Pe) is particularly used as the punishment. The amount of the penalty depends on the actual emission reduction that has to be quantified during the construction phase. The equivalent bid of the next lowest bidder (Q_{nlb}), who could be the winner, is also used as a reference for the penalty calculation. The penalty is defined in two cases. In the first case, the penalty type-1 (Pe1) is applied when Q'_{wb} does not exceed Q_{nlb}. Pe1 is equal to the difference between Q'_{wb} and Q_{wb}. Although the contractor partly fails to reduce the emission through the proposed options, the amount of difference is trivial and it would not change the bid result. In another case, the penalty type-2 (Pe2) is applied when Q'_{wb} is greater than Q_{nlb}, if the contractors cannot implement the reduction options on offer. This contractor's failure is significant enough to prevent the next lowest bidder from being the true winner. The Pe2 amount should not include only the difference between the Q_{nlb} and the Q_{wb} but should also add a surplus of 5% on top. The penalty is shown in Eq. (23).

$$Pe = \begin{cases} Pe1 = Q'_{wb} - Q_{wb}, & Q'_{wb} \le Q_{nlb} \\ Pe2 = (Q_{nlb} - Q_{wb}) + \left[(Q'_{wb} - Q_{nlb}) \times (1 + 5\%)\right], & Q'_{wb} > Q_{nlb} \end{cases} \quad (23)$$

where Pe = financial penalty (USD)
Qwb = equivalent bid of winning bidder (USD)
Q_{nlb} = equivalent bid of next lowest bidder (USD)
Q'_{wb} = actual equivalent bid of winning bidder (USD).

As a result of having signed a written agreement, the punishment measure can be applied to those who fail to abide by the agreement (or contract).

3.5. Payment (Pa)

The payment is the total amount of money, which the project owner gradually pays to the contractor toward the project completion. The contractor will receive the maximum payment equal to C if they can achieve all emission reductions as proposed. In this case, there is no punishment. However, the contractor who fails to abide by the agreement will receive less payment from the owner and consequently, the punishment will be enforced. The penalty could be taken from a letter of bank guarantee, which must be provided on the date of signing the contract and should be enough to cover the maximum penalty. The payment (Pa) is simply calculated by the following Eq. (24).

$$Pa = C - Pe \quad (24)$$

where Pa = the total amount of payment received by the contractor
C = construction bid
Pe = penalty.

4. Practical Application

To illustrate the application of the CEP method, some case studies have been selected from historical public road construction projects for simulations of the CEP scheme. The first analysis is targeted on the price gaps between the lowest bid (1.B) and the next lowest bid (N1.B) on fourteen projects. All of these projects were owned by the Department of Highways of Thailand (DOH) and were awarded during the years 2014 to 2016. A traditional criterion for evaluating these bids was to consider the lowest bid price (or term C only). Table 5 shows the different numbers of participating bidders, the winning bid prices and the associated percentages of the price gaps in these biddings.

DOI:10.4186/ej.2018.22.5.105

Table 5. Price gaps between LB and NLB of the fourteen case studies.

Project	Participant bidders	Bid price of winning bidder (million USD)	% of Gap between LB and NLB
2014#1	8	16.93	0.52%
2014#2	7	22.53	0.21%
2015#1	5	13.79	9.03%
2015#2	9	13.08	7.75%
2015#3	10	9.80	3.66%
2015#4	7	9.06	2.48%
2015#5	12	8.38	1.61%
2016#1	15	4.97	2.45%
2016#2	9	7.40	0.04%
2016#3	5	10.22	9.92%
2016#4	3	18.20	0.22%
2016#5	2	18.42	0.09%
2016#6	2	33.39	0.19%
2016#7	4	30.87	3.11%
Average	7	15.50	2.95%

The results show that the gaps can vary dramatically from 0.04% to 9.92% with an average gap of about 2.95%. In most projects (9 of 14), the gaps are less than the average and in half of all the projects, the gaps are even less than 1%. This indicates that the Emission Deduction (E) for the Equivalent Bid (Q) could possibly change the winners of these biddings. To demonstrate this circumstance, two projects, i.e. 2014#1 and 2016#3 were chosen for a further simulation.

The simulation assumes that the two biddings are under the CEP scheme. In the bidding phase, all bidders still submit their own bid prices or Cs. Furthermore, all bidders except the lowest C ones submit their proposed Es together with their Cs. The details of the actual bid prices, which are considered as term C of the CEP, are shown in Table 6. Moreover, Table 6 shows simulated events which most bidders have proposed for their reduction options (considered as term E). The Equivalent Bids (Q) are calculated accordingly.

In the case of Project 2014#1, the result of the simulation indicated that Bidder H might have won the competition because they submitted the lowest Q. The bid result possibly changes, although Bidder H did not submit the lowest C but the highest C. This simulated case shows that the term E has much potential to make a bidder overcomes the other bidders. In this case, although Bidder H submitted the highest C and the highest E, they still won the competition because of the lowest Q.

However, the results of the other Project (2016#3) reveal that the winner was still Bidder I, even though Bidders J, K, L and M submitted their Es as high as possible in the competition. This can be explained by the fact that Bidder I submitted a very low C and produced a large price gap between LB and NLB i.e. 9.92%, which is beyond the effective range of the deduction E. Hence, the price gap was greater than 4%, so the eco-cost term should be applied with a higher weighting factor. In this hypothetical case of Project 2016#3, if five as a weighting factor was applied to the term E under the CEP scheme, Bidder J would become the winner.

Another simulation based on Project 2014#1 is cited to demonstrate the punishment clause of the CEP. The punishment measure as a penalty will be applied to the contractor who fails to fulfill the contract. In this case, Bidder H is the awarded contractor with the equivalent bid (Q_{wb}) of USD 16.66 million, and Bidder G is the next lowest bidder with the equivalent bid (Q_{nlb}) of USD 16.68 million. If it is assumed that Bidder H performs poorly and violates the contract. Then their actual emission reduction will be lower than their proposed rates. Thus the financial penalty will be applied as follows: in the case of the Q'_{wb} which is calculated based on the field monitoring data equal to USD 16.67 million, the penalty type-1 (Pe1), equal to (16.67-16.66) = USD 0.01 million, will be applied. However, if the contractor performs even worse, and their Q'_{wb}

DOI:10.4186/ej.2018.22.5.105

increases to USD 17.09 million, the penalty type-2 (Pe2) will be then applied. This penalty will increase to (16.68 – 16.66) + [(17.09 - 16.68) × 1.05] = USD 0.45 million. Figure 1 illustrates these simulated penalty calculations.

Table 6. Details of bid prices of the case studies of projects 2014#1 and 2016#3.

	Construction Bid (C)	Prices Gap	Emission Deduction (E)							Equivalent Bid (Q)
			E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_{Total}	
Case of 2014#1 (OC = 17.19)										
Bidder A	16.93	-	-	-	-	-	-	-	-	16.93
Bidder B	17.02	0.09	-	0.12	-	-	-	-	0.12	16.90
Bidder C	17.12	0.19	-	0.12	-	-	0.08	-	0.20	16.92
Bidder D	17.13	0.20	0.03	0.12	-	0.08	-	-	0.23	16.90
Bidder E	17.14	0.21	0.03	0.12	-	0.08	-	-	0.23	16.91
Bidder F	17.15	0.22	0.03	0.12	-	-	0.08	-	0.23	16.92
Bidder G	17.16	0.23	-	-	0.48	-	-	-	0.48	16.68
Bidder H	17.17	0.24	0.03	-	0.48	-	-	-	0.51	16.66
Case of 2016#3 (OC = 15.05)										
Bidder I	10.22	-	-	-	-	-	-	-	-	10.22
Bidder J	11.23	0.96	0.02	0.10	0.42	-	0.07	-	0.61	10.62
Bidder K	12.77	1.11	0.02	0.10	0.42	-	0.07	-	0.61	12.16
Bidder L	12.79	1.11	0.02	0.10	0.42	0.07	-	-	0.61	12.18
Bidder M	14.06	1.75	0.02	0.10	0.42	-	-	0.04	0.58	13.48

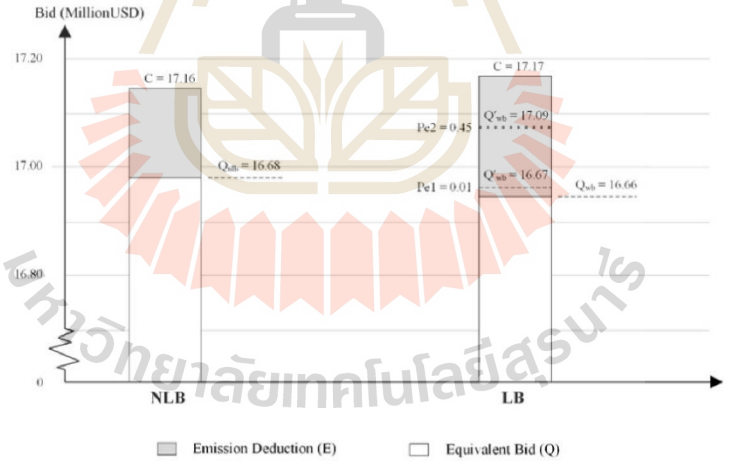


Fig. 1. Simulated punishment in the case study of project.

DOI:10.4186/ej.2018.22.5.105

5. Conclusion

In this study, the Construction-Emission-Punishment (CEP) bidding method is proposed as a means for reducing GHG emissions in road construction projects. The CEP method is designed to offer an incentive scheme to the contractors who improve their equipment and decrease their current energy consumption in order to achieve higher energy efficiencies. The method is an effective measure to encourage more voluntary participation in GHG reductions. It consists of six steps which will be performed as a part of the contractual obligation. These modified procedures are created to adapt the bid evaluation criterion. More conditions are added to the conventional bidding procedure. They are represented in terms of Emission Deduction (E) in six reduction options and punishment by two types of financial penalties (Pe).

Each of the six reduction options initiated in this research has its own different contribution to E. The option that can give a large E will increase the cost. For instance, Option 1, which uses biodiesel, does not incur extra cost due to a governmental subsidization and provides only a small E. However, Options 4 and 5, which involve machinery replacement, increase the costs considerably but give a larger E in return. Although the replacement options seem expensive, they will be requited by other benefits i.e. work productivity improvement and efficient energy consumption of the contractors. However an emission reduction of 0.2%-2.8% of the project costs seems too low to influence decisions and impact policymaking, it justifies a fair threshold. In future, developed technologies would also provide a cheaper cost and a larger E. Then, this CEP will also be more effective bidding method.

The CEP method procedures can be achieved when it is performed by a suitable contract and procurement method. Any form of competitive bidding that can combine terms of construction cost and environmental cost will serve the purpose. A unit-price contract and a sealed bid auction are recommended for the procurement method as well as they are a conventional method for public construction projects. This CEP method has a potential to be adopted on both public and private construction projects. For the owners who are aware of the environmental issue, this CEP is an interesting alternative.

The simulations of the case study show that the CEP method could change the bidding result through the incentive measures. The price gap between the lowest C and the next lowest C is a key factor. The small price gap can attract more competitors using a compensation for the term E. According to the historical bid data on road construction projects in Thailand, this price gap is normally less than 1%. In the case that the price gap is high, the weighting factor for the term E should be applied and its suitable value should be determined. The results from the case study reveals that the winning bidder could be changed under the CEP method if some reduction options were proposed to get enough E.

Nonetheless, the CEP method has some limitations such as a suitable weighting factor of the term E. This depends on the norm of the bid competitions which indicates the range of the price gaps in the bid. The use of a simplified form of relative coefficients heavily relies on the selected base projects which are used to determine the representative coefficients. Besides, six reduction options are quite a few. They are just initial suggestions for this research. Any recommendations from relevant parties should be gathered after the CEP is implemented for a while so that these reduction options can be revised accordingly. Moreover, in order to maintain the justification of this method and to implement it successfully, field monitoring and the punishment scheme is required in the post-bidding phase.

References

[1] The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), "Fifth assessment report - synthesis report," Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, 2014.

[2] United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCC). (1998). *Kyoto Protocol* [Online]. Available: http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php [Accessed: 16 Oct. 2015].

[3] United States Environmental Protection Agency (EPA), "Quantifying greenhouse gas emissions from key industrial sectors in the United States," Working Draft, U.S. EPA, Washington, DC, 2008.

[4] Union of Concerned Scientists (UCS). (2007). *Findings of the IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change Mitigation* [Online]. Available: http://www.ucsusa.org/assets/documents/global_warming/IPCC-WGIII-UCS-summary-72dpi.pdf [Accessed: 20 Nov. 2015].

[5] Office of National Environmental Policy and Planning (ONEP), "2nd Thailand's national GHG inventories report," (in Thai) Ministry of Natural Resources and Environment, Bangkok, 2010.

DOI:10.4186/ej.2018.22.5.105

[6] K. Park, Y. Hwang, S. Seo, and H. Seo, "Quantitative assessment of environmental impacts on life cycle of highways," *J. Constr. Eng. Manage.*, vol. 129, no. 1, pp. 25-31, 2003.
[7] United States Geological Survey (USGS), "Materials in use in U.S. interstate highways," Fact Sheet 2006–3127, U.S. Geological Survey, Denver, 2006.
[8] A. Eštoková and M. Porhinčák, "Reduction of primary energy and CO_2 emissions through selection and environmental evaluation of building materials," *Theor. Found. Chem. Eng.*, vol. 46, no. 6, pp. 704-712, 2012.
[9] C. Ahn, F. Peña-Mora, S. Lee, and C. A. Arboleda, "Consideration of the environmental cost in construction contracting for public works: A+C and A+B+C bidding methods," *J. Manage. Eng.*, vol. 29, no. 1, pp. 86-94, 2013.
[10] H. G. Avetisyan, E. Miller-Hooks, and S. Melanta, "Decision models to support greenhouse gas emissions reduction from transportation construction projects," *J. Constr. Eng. Manage.*, vol. 138, no. 5, pp. 631-641, 2012.
[11] D. Cass and A. Mukherjee, "Calculation of greenhouse gas emissions for highway construction operations by using a hybrid life-cycle assessment approach: case study for pavement operations," *J. Constr. Eng. Manage.*, vol. 137, no. 11, pp. 1015-1025, 2011.
[12] N. Santero, A. Loijos, and J. Ochsendorf, "Greenhouse gas emissions reduction opportunities for concrete pavements," *Int. J. of Ind. Eco.*, vol. 17, no. 6, pp. 859-868, 2013.
[13] D. Puri and S. Tiwari, "Evaluating the criteria for contractors' selection and bid evaluation," *Int. J. of Eng. Sci. Inv.*, vol. 3, no. 7, pp. 44-48, 2014.
[14] J. A. Fava, "Why take a life cycle approach?," the United Nations Publication, Nairobi, Kenya, 2004.
[15] M. Finkbeiner, A. Inaba, R. Tan, K. Christiansen, and H.-J. Klüppel, "The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 11, no. 2, pp. 80-85, 2006.
[16] T. Hong, C. Ji, M. Jang, and H. Park, "Assessment model for energy consumption and greenhouse gas emissions during building construction," *J. Manage. Eng.*, vol. 30, no. 2, pp. 226-235, 2014.
[17] Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), "Guidelines for social life cycle assessment of products," United Nations Publication, Nairobi, Kenya, 2009.
[18] United States Environmental Protection Agency (EPA), "National clean diesel campaign — Innovative Strategies for Cleaner Air — 2005 Progress Report," EPA420-R-06-009, Office of Transportation and Air Quality, U.S. EPA, Washington, DC, 2005.
[19] Global Renewable Fuels Alliance (GRFA). (2016). *Global Biofuel Mandates.* Available: http://globalrfa.org/biofuels-map/ [Accessed: 18 Jan. 2016]
[20] United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), "The state of the biofuels market: Regulatory, trade and development perspectives," Draft Advance Copy, UNCTAD/DITC/TED/2013/8, United Nations Publication, Geneva, Switzerland, 2014.
[21] M. Metham and V. Benjaoran, "Comparison greenhouse gas emissions due to different construction techniques on road construction project," (in Thai) *Technical Education Journal King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, vol. 7, no. 2, pp. 1-9, 2016.
[22] Q. Cui, X. Zhu, L. Whitten, and R. Dason-Deane, "Innovative Contracting Strategies for Combating Climate Change – Maryland State Highway Administration – Final Report," MD-11-SP009B4G, University of Maryland, MD, 2011.
[23] A. X. Sanchez, L. Lehtiranta, K. D. Hampson, and R. Kenley, "Evaluation framework for green procurement in road construction," *Smart and Sustainable Built Environment*, vol. 3, no. 2, pp. 153-169, 2014.
[24] A. A. M. Bohari, M. Skitmore, B. Xia, and M. Teo, "Green oriented procurement for building projects: Preliminary findings from Malaysia," *J. Clean. Prod.*, vol. 148, pp. 690-700, 2017.
[25] V. Annika, B. Berit, and C. Faith-Ell, "Environmental consideration in procurement of construction contracts: current practice, problems and opportunities in green procurement in the Swedish construction industry," *J. Clean. Prod.*, vol. 17, no. 13, pp. 1214-1222, 2009.
[26] Q. Shi and Z. Chen, "Research on carbon problems in the construction industry," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering*, MACE 2011, Inner Mongolia, China, pp. 2460-2463.
[27] K. El-Rayes and A. Kandil, "Time-cost-quality trade-off analysis for highway construction," *J. Constr. Eng. Manage.*, vol. 131, no. 4, pp. 477-486, 2005.

DOI:10.4186/ej.2018.22.5.105

[28] Michigan Department of Transportation (MDOT). (2015). *Innovative Construction Contracting Guide* [Online]. Available: http://www.michigan.gov/documents/mdot/Innovative_Construction_Contracting_340000_7.pdf. [Accessed: 4 Aug. 2015]
[29] Minnesota Department of Transportation (Mn/DOT). (2008). *Innovative Contracting Guidelines: Office of Construction and Innovative Contracting* [Online]. Available: http://www.dot.state.mn.us/const/tools/docs/Guidelines Dec 2008.pdf [Accessed: 4 Aug. 2015].
[30] D. Arditi, C. J. Khisty, and F. Yasamis, "Incentive/disincentive provisions in highway contracts," *J. Constr. Eng. Manage.*, vol. 123, no. 3, pp. 302-307, 1997.
[31] K. El-Rayes, "Optimum planning of highway construction under A + B bidding method," *J. Constr. Eng. Manage.*, vol. 127, no. 4, pp. 261-269, 2001.
[32] J.G. Vogtländer, *LCA-based assessment of sustainability: the Eco-costs/Value Ratio (EVR)*. Netherlands: VSSD, Science and Technology, Delft Academic Press, 2009.
[33] United States Department of Energy (DOE), "Diesel power: clean vehicles for tomorrow," DOE Energy Efficiency and Renewable Energy Vehicle Technologies Program, 2010.
[34] United States Environmental Protection Agency (EPA), "Cleaner diesels: Low cost ways to reduce emissions from construction equipment," EPA 100-R-07-002, National Center for Environmental Innovation, U.S. EPA, Washington, DC, 2007.
[35] Caterpillar. (2013). *336EH Hydraulic Excavator Product Brochure* [Online]. Available: http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C811713 [Accessed: 10 Jan. 2016]
[36] Hitachi. (2015). *New Generation Hybrid Excavator zh200-5b* [Online]. Available: http://www.hitachi.com/environment/showcase/solution/industrial/hybrid_excavator.html [Accessed: 10 Jan. 2016]
[37] Komatsu. (2001). *Mitigating Climate Change through Products and Services* [Online]. Available: http://www.komatsu.com/CompanyInfo/csr/2009/pdf/13.pdf [Accessed: 10 Jan. 2016]
[38] M. Ochiai and S. Ryu, "Hybrid in construction machinery," in *Proceedings of the 7th JFPS International Symposium on Fluid Power*, 15-18 September 2008, Toyama, Japan, pp. 41-44.
[39] Volvo. (2008). *Volvo Wheel Loader_l220f Hybrid* [Online]. Available: http://www.volvoce.com/SiteCollectionDocuments/VCE/DocumentsGlobal/wheelloaders/brochurel lybridloader_21A1004471_2008-02.pdf [Accessed: 10 Jan. 2016]
[40] DCL International Inc. (DCL). (2015). *Typical Conversion Efficiencies* [Online]. Available: http://www.dcl-inc.com/catalyst-specifications/ [Accessed: 18 Jan. 2016]
[41] Johnson Matthey. (2015). *Diesel Exhaust Gas Treatment SCRT for Retrofitting* [Online]. Available: http://www.jmdpf.com/pdfs-library/Johnson-Matthey-DPF-brochure-2015.pdf [Accessed: 18 Jan. 2016]
[42] Manufacturers of Emission Controls Association (MECA). (2007). *Emission Control Technologies for Diesel-Powered Vehicles* [Online]. Available: http://www.meca.org/galleries/files/MECA_Diesel_White_Paper_12-07-07_final.pdf [Accessed: 18 Jan. 2016]
[43] K. Theinnoi, "The control of nitrogen oxide emission from diesel engine using selective catalyst reduction-SCR," (in Thai) *Princess of Naradhiwas University Journal*, vol. 4, no. 3, pp. 124-138, 2012.
[44] World Bank. (2014). *Reducing Black Carbon Emissions from Diesel Vehicles: Impacts, Control Strategies, and Cost-Benefit Analysis* [Online]. Available: https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/17785/864850WP00PUBL0l0report002April2014.pdf [Accessed: 18 Jan. 2016]
[45] United States Environmental Protection Agency (EPA), "A comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions — Draft Technical Report," EPA420-P-02-001, Office of Transportation and Air Quality, U.S. EPA, Washington, DC, 2002.
[46] M. Metham and V. Benjaoran, "The assessment of greenhouse gas emissions for evaluating actual road construction operations," in *Proceedings of the 31st Annual Association of Researchers in Construction Management Conference*, 7-9 September 2015, ARCOM, Lincoln, U.K., pp. 257-266.
[47] The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), "Database on greenhouse gas emission factors (IPCC-EDB)," National Greenhouse Gas Inventories Programme, 2006.

DOI:10.4186/ej.2018.22.5.105

Appendix A. Notations for the CEP scheme

The following symbols are used in this paper:

A	=	bidders' estimated cost;
B	=	time bid;
C	=	construction bid;
E	=	emissions deduction;
EF	=	emission factor of diesel engine in Tier 1 — NOx = 9.2, HC = 1.3, PM = 0.8, CO = 5.5 (g/kWh);
ER_B	=	emission rates of base of a comparison (20.093 $kgCO_2eq/m^3$);
FC	=	fuel consumption per hauling trip (given that the fuel consumption of a truck = 0.245 L/km);
LB	=	lowest bid;
M	=	quantities of base course materials (m^3);
NLB	=	next lowest bid;
OC	=	owner's estimated cost;
OD	=	bidder's hauling distances (km);
Pa	=	payment;
Pe	=	financial penalty;
Q	=	equivalent bid;
Q_{nlb}	=	equivalent bid of next lowest bidder;
Q_{wb}	=	equivalent bid of winning bidder;
Q'_{wb}	=	actual equivalent bid of winning bidder;
RD	=	DOH's recommended hauling distances (km);
RUC	=	daily road user cost;
R_{id}	=	reduction rate of emissions by retrofit devices installation;
R_{rh}	=	reduction rate of emissions by hybrid model machinery usage;
R_{rn}	=	reduction rate of emissions by newer model (NOx, HC, PM and CO);
T	=	amounts of hauling trip;
TEC	=	the relative percentages of emission reduction of the construction technique (0%, 16.1%, 50.3%);
a	=	percentage of biodiesel in blend formulas from B1 to B20;
b	=	saving hauling distance (km) (or RD - OD);
h	=	work hour of machinery (hr.);
hp	=	horsepower of machinery (hp.);
i	=	the i th. reduction options;
i_d	=	percentage of retrofit devices installation (DOC, DPF, SCR, SCR+DPF and EGR+DPH) between 0% to 100%;
p	=	eco-cost — NOx = 6.877, HC = 4.602, PM = 35.672, CO = 0.312 and CO_2eq = 0.176 (USD/kg);
r_h	=	percentage of hybrid model machinery usage between 0% to 100%;
r_n	=	percentage of newer model than Tier 1 between 0% to 100%;
α_i	=	relative coefficient of the reduction Option i;
α_{ti}	=	representative coefficient of the reduction Option i;
α_{ai}	=	average of representative emission deductions by Option i; and
η	=	coefficients for basic emission correlations — NOx = 0.0009794, HC = -0.011195, PM = -0.006384 and CO = -0.006561

INTERNATIONAL JOURNAL OF CONSTRUCTION MANAGEMENT
https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1635757

Taylor & Francis
Taylor & Francis Group

Check for updates

An evaluation of Green Road Incentive Procurement in road construction projects by using the AHP

Mathagul Metham[a], Vacharapoom Benjaoran[a] and Akepong Sedthamanop[b]

[a]School of Civil Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand; [b]Bureau of Road Construction 2, Department of Highways, Bangkok, Thailand

ABSTRACT

Road construction is an important activity which emits a huge amount of greenhouse gases. Voluntary actions to reduce the emissions from construction practices have rarely received attention from contractors because eco-construction methods tend to incur extra project costs and induce the bidders' concern to lose the bidding competitions. This study developed an incentive procurement system named Green Road Incentive Procurement (GRIP) to persuade contractors to adopt environmental-friendly construction methods. Initially, GRIP proposed six highly potential alternative construction methods of emission reduction for which bidders could choose as their preference. To ensure the acceptance and collaboration of this new GRIP, a survey study was conducted on two directly involved parties of road construction projects, contractors and public owners, which were selected as a sample group. The Analytical Hierarchy Process (AHP) was used to evaluate an opinion by three options based on eight criteria. The results showed that both contractors and the public owners gave the highest weighted scores for the GRIP full implementation alternative. The users' readiness was an AHP criterion, which both parties were mutually concerned as the highest significance. These results confirmed that both involved parties agreed with the concept of GRIP and were pleased to cooperate with the GRIP implementation.

KEYWORDS

Analytic hierarchy process; bid evaluation; incentive procurement; emissions; road construction

Introduction

Construction work of public infrastructures requires huge budgets (EU 2012; MOF 2015) and has significant environmental impacts such as large greenhouse gas (GHG) emissions (IPCC 2014). However, the involved parties pay little attention to reducing this pollution. Public project owners do not request for more environmental-friendly construction process because of the fear of bringing increased costs (Varnäs et al. 2009). Contractors are not interested in doing it voluntarily because they have to bear a lot of extra costs (Ahn et al. 2013). The possible resolution is that public owners should initiatively take a leadership role in motivating contractors and providing compensations for the increased operating costs. These compensations may be offered in the form of money or benefits, although it is not easy to change the traditional and accustomed construction methods to a new eco-friendly one. The compensations may not be worthwhile and interesting enough (Ahn et al. 2013). Public owners can directly amend the procurement system and the bidding model. Some special environmental obligations, as well as, compensations can be added to the construction contract to formulate an incentive contract.

Some special provisions in an incentive contract state an exchange between the incentive and the contractor's performance requirements. This contract was set up for the specific purpose of project owners, such as environmental management requirements to reduce pollutions or requirements to accelerate delivery (Puri and Tiwari 2014). The contractor's performances have to be evaluated on the basis of commonly agreed criteria (Fuentes-Bargues et al. 2017). Cui et al. (2011) have developed a public construction contract to help reduce emissions from road construction activities and presented it to the Maryland State Highway Administration. The contract included seven criteria: GHG emission reduction potential, operating cost, appropriateness of technology used, contractor's readiness, stakeholder's acceptance, impact on project overview, and risk and uncertainty of evaluation.

CONTACT Vacharapoom Benjaoran vacharapoom@sut.ac.th
© 2019 Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group

These criteria were evaluated to measure the environmental performance of Green Performance Contracting (GPC). The outcomes were a recycle of the surface materials, machine efficiency improvement and a use of alternative energy. One example of such awareness is the EU's effort to reduce emissions. Green Public Procurement (GPP) is a voluntary instrument to achieve sustainable consumptions and productions in Europe (EU 2016a). In addition, UNEP (2017) reveals that four leading Asian countries (China, Japan, Korea and Thailand) have made great effort to deliver green products by using green public procurement and ecolabeling programmes into production strategies. It is evident that project owners are an important player in driving the policy and determining the special conditions that govern the contractor's reduction of emissions.

Successful examples of incentive contracts implemented in construction are such as The Department of Transportation (DOT) in the State of Minnesota and the State of Michigan have set incentive contracts specifying a special condition for expediting project delivery, called Lane Rental Contract (El-Rayes 2001; El-Rayes and Kandil 2005). It calculated the cost from the time required to close the traffic for maintenance or the so-called a Time Cost term that was submitted together with the proposed construction cost. Prospective contractors who offered a faster delivery tended to win the bid competition. However, fines are imposed if the delivery was delayed than proposed. This was a type of contract with both incentives and disincentives. Another contract was A+B or Cost+Time, which determines the winner of the bidding by the lowest total price of the construction price and the 'time cost' to complete the project (Mn/DOT 2008; MDOT 2015). Ahn et al. (2013) proposed the A+C contract which aimed to encourage contractors to reduce their emissions of pollutants. The 'C' term was the value of money spent on the conversion of emissions during construction, known as the eco-cost, as proposed by Vogtländer (2009). The A+C is a kind of best value award that allows the public owner to evaluate other than price criteria alone (Gransberg and López Del Puerto 2017). Nevertheless, Shi and Chen (2011) stated that the acceptances from contractors to an incentive contract depend on the attractiveness of the compensation.

Incentive or compensation for emission reduction was proposed in many forms, such as funding for projects to reduce emissions called Carbon Trust, labelling of emission details in various products called Carbon Label and reducing an income tax on the sale of tools or technologies that help reduce carbon emissions called Carbon Tax. For contractors, more profits and a greater chance to win the bidding can be an effective motivator, but for project owners, the latter is more attractive because it does not require additional funding to support activities to reduce emissions.

An incentive contract that brings environmental impacts into the selection criteria is a concept of green procurement. Green procurement refers to the procurement of goods and services where work processes reduce the environmental impact (Bouwer 2001; EU 2016b; MOE 2017; MNRE 2018). Anthonissen et al. (2015) initiated the award criteria for road construction bidding by using a 50% weight rating for the choice of CO_2-less construction technology and 50% weight for price criteria. Bidders who receive the highest total of both criteria would win a bid for the road restoration project. The results indicated that the proposed criteria could encourage contractors to reduce their emissions. However, a comprehensive tool for assessing the number of emissions was required and an equal 50–50 weight rating on both criteria might not reasonably reflect the extra expenses of the efforts. Another example in the Netherlands, the Ministry of Infrastructure and the Environment, has defined environmental criteria as a quality criterion, along with a price criterion called MEAT (the most economically advantageous tender) for selection of construction contractors to renovate the highway. Environmental criteria based on CO_2 emissions throughout the life cycle of this highway. Amount of emission reduction was converted to reduce the construction price in the bidding competition. It is estimated that this campaign can reduce emissions by 8,944 TCO_2eq within 50 years (OECD 2015). However, it is difficult to fairly determine the reduction values as contractors can propose their own construction methods to reduce emissions. Therefore, public owners should have predefined certain options for emissions reduction and the evaluation method to maintain the fairness of the competition to all bidders.

Beierle (1998) commented that although an incentive contract would offer good compensation for contractors, they might not accept it easily. Contractors would consider the worthiness of the compensation, while public owners would be concerned about the complexity of the procedure. In addition, the payment of compensation and penalties must be fair to all tenderers. An opinion survey of involved parties, particularly both contractors and public owners, should be

conducted before implementing the new incentive procurement.

Many aspects must be considered in order to replace a traditional contract with an incentive alternative, such as the worthiness of the incentive offered, the difficulty of the implementation, the fairness of the competition with multicriteria including price and environment terms. Multicriteria decision-making tools have been adopted in recent research such as Simons and Wiegel (2009), and Kurka and Blackwood (2013). Datta et al. (2011) used the multicriteria decision analysis to decide the best operation of the green energy sources. A questionnaire is used to collect data or opinions from relevant parties before making a decision (Charnley and Engelbert 2005). One of the most commonly used multicriteria decision-making tools over the past two decades is the Analytical Hierarchy Process (AHP) technique because of its practicality and simplicity (Saaty 1980; Wang et al. 2009). AHP breaks down a complicated decision-making into several simple pairwise comparisons. It can synthesize personal scattered decisions into numerical values. Applications of the AHP in project management were evident. Al-Harbi (2001) and Abudayyeh et al. (2007) used AHP for the selection of public construction projects and the contractor pre-qualification. Jato-Espino et al. (2014) and Darko et al. (2018) confirmed that the AHP was the most frequently used as a decision-making method in a wide range of problems in the construction management research.

This article is aimed to propose a Green Road Incentive Procurement (GRIP) as an incentive contract for reducing GHG emissions. It also reports an evaluation of GRIP by using the AHP technique. Data were collected through a questionnaire from two main parties: contractors and public owners.

Green Road Incentive Procurement (GRIP)

The traditional procurement method for public construction projects is based on the lowest bid price. For public owners who take a leading role to push an environmental-friendly construction, GRIP is an incentive contract that creates a mutual benefit between public project owners who initiate the reduction of GHG emissions in road construction, and contractors who receive a deduction to the submitted bid price and a chance to be the lowest price bidder. A GRIP contract includes special terms of obligations and incentives into a traditional contract. It is a conditional agreement that public owners will support contractors who propose emission reduction measures in the road construction process. Without support, these contractors will hardly be the lowest bidder and lose the bidding competition because contractors who have opted for eco-construction processes may incur additional costs more than conventional ones and must increase their bid prices. Therefore, GRIP offers compensations for the contractors by a deduction term to their submitted bid so that they can maintain the competitiveness and be the winner even if they are not the lowest bidder. Calculations for the deduction must be explicitly established and announced in advance to ensure the fairness of the competition. Public owners are a truly party who is responsible for these excess costs. In addition, the awarding criteria must be changed to the lowest 'equivalent' bid price rather than the lowest 'construction' bid price. However, some deceitful bidders may submit many alternative construction methods in order to obtain a large deduction and overwhelm other bidders. GRIP contract must define a penalty measure for contractors who do not completely comply with their own proposals. This penalty must be effective and fair. GRIP is developed from a traditional construction contract with some special conditions including four main parts: alternative construction methods, awarding criteria, calculation of deductions and penalty. Descriptions of GRIP are as follows.

Alternative construction methods

Alternative construction methods are an alternative to conventional methods that are environmentally friendlier by emitting less GHGs. These alternatives are generally related to a change in fuel consumption. Road construction projects require a large amount of heavy machinery. A change in fuel consumption pattern of this machinery can have a significant effect on GHG emissions. However, alternative methods can be varied, and new other methods can be created in the future. Public owners should define a certain set of alternative methods to ensure the fairness in the bidding competition. This research proposes six alternative construction methods as a pilot example for the newly developed GRIP. They are the use of alternative fuel biodiesel, a location of aggregate materials near the construction site, a construction technique for base courses, use of new model machinery, use of hybrid machinery and installation of retrofit devices on machinery. However, these proposed methods can be revised to suit future construction technology.

Awarding criteria

There are key variables involved in an establishment of the new awarding criteria for GRIP. Construction Price (C) is a bid price offered by a bidder, which covers both total cost and markup. In traditional bidding, the lowest C is commonly used as an awarding criterion. Emission Deduction (E) is a monetary value, which is a multiplication of the total volume of GHGs emission reduction from a bidder's proposal and the eco-cost per unit volume of GHG. Equivalent Bid Price (Q) is simply equal to C minus E and is used as a criterion for determining the winning bidder. A bidder who offers the lowest Q will be the winner under GRIP.

Calculations of deductions

There are a variety of alternative construction methods to reduce emissions. This research has initially proposed and defined six high-potential alternative methods in the development of GRIP. They are used for the determination of E. For each alternative method i, E_i is calculated from the eco-cost of the emission based on the Emission Factor (EF) proposed by IPCC (2006) and Emission Rate (ER) proposed by EPA (2005). The emission is calculated based on the Life-Cycle Assessment (LCA) method. E is expressed in Equation (1).

$$E = \text{Sum}\ (E_i) = \text{Sum}\ ((\text{Conventional GHGs} - \text{Alternative GHGs})_i x\ p) \quad (1)$$

where E = Emission Deduction$i$ = index of alternative construction method, for $i = 1$ to 6

Conventional GHGs = amount of GHGs emission from the conventional construction

Alternative GHGs = amount of GHGs emission from the alternative construction

p = eco-cost per unit volume of GHGs

Details of GRIP's alternative construction methods are as follows:

Method 1 a use of alternative fuel biodiesel: machinery used in road construction is usually powered by diesel which directly causes GHGs emissions. The amount of fuel consumed by these machines depends on the total amount of horsepower and machine working hours. The alternative construction method can be achieved by using eco-friendly biodiesel fuel instead of diesel. This helps reduce the amount of GHGs emissions because biodiesel has lower emissions than diesel according to EPA (2002). However, biodiesel is commercialized with a variety of formulas. The reducing emissions will vary with the blending biodiesel formula. Also, the lower heating values of biodiesel fuel must be compensated. The eco-cost per unit volume of GHGs proposed by Vogtländer (2009) is used for the conversion into a monetary term. Equation (2) expresses the Emission Deduction for alternative construction method 1 (E_1).

Table 1. Parameters for calculation in case of biodiesel substitution (bd).

GHGs parameter	NOx (I)	HC (II)	PM (III)	CO (IV)	Unit
H	0.0009794	−0.011195	−0.006384	−0.006561	–
ER_1	6.9	1.0	0.6	4.1	(g/hph)
P	6.877	4.602	35.672	0.312	(USD/kg)

$$E_1 = \sum_{bd=I}^{IV} [(1 + \{\exp[-0.008189 \times (a)] \times [0.88 \times (a/100) + 0.85 \times (1 - a/100)]/0.85\}) \times (\{\exp[\eta \times (a)] - 1\} \times 100\%) \times \text{ER}_1 \times hp \times h \times b \times p]_{bd} \quad (2)$$

where a = blending biodiesel formula (e.g. for B1, $a = 1$; for B20, $a = 20$)η = coefficients for basic emission correlations see Table 1 (EPA 2002)ER_1 = emission rate of diesel engine in Tier 1—NOx = 6.9, HC = 1.0, PM = 0.6, CO = 4.1 (g/hph) (EPA 2005)hp = total horsepower of all machines (hps)h = machine working hours (hours)b = a percentage of biodiesel to be used in the project$p$ = eco-cost per unit volume of GHGs (see Table 1)

Method 2 a location of aggregate materials near construction site: road constructions require a huge amount of aggregate materials, such as embankment soils, base, subbase and subgrade courses. Materials hauling distance from sources, such as borrow pits or stone quarries, to the site, are one major factor which impacts on the number of emissions. Normally, project owners will recommend the location of material sources for the project. In practice, contractors may choose other sources that are closer or farther than the recommended sources. The shorter hauling distance results in the less the amount of emissions, and vice versa. Therefore, a nearer location of aggregate materials to the site than recommended sources is considered as the second alternative method. Parameters involved in the calculation are the number of truck hauling trips calculated based on the total volume of materials required. The average fuel consumption rate of the trucks directly affects the amount of emission. The emission factor of fuel consumption, which is an estimation of the number of GHGs emission from the fuel consumed, is equal to 2.711 $kgCO_2eq$/liter (IPCC 2006). The Emission

Deduction of alternative construction method 2 is expressed in Equation (3).

$$E_2 = \sum_{j=1}^{n} \left[(\mathrm{RD}_j - \mathrm{OD}_j) \times 2.711 \times \mathrm{FC} \times T_j \times p \right] \quad (3)$$

where RD_j = material hauling distance from the jth recommended sources (km)OD_j = material hauling distance from the jth bidder's proposed sources (km)EF = emission factor of the fuel consumption is equal to 2.711 $\mathrm{kgCO_2eq/litre}$FC = average fuel consumption rate for dump truck (litre/km)T = total number of nth hauling trips$p$ = eco-cost per unit volume of GHGs (0.1755 $\mathrm{USD/kgCO_2eq}$).

Method 3 a construction technique for base courses: road construction techniques are evolving, and new construction techniques are being invented to improve the quality of work. Different construction techniques lead to different uses of machinery, energy and materials which resulting in different amounts of emissions. Method 3 is an initial advantageous example of using alternative construction techniques to reduce emissions. GRIP adopts Metham and Benjaoran (2016) that has conducted a comparative study of emissions of three different construction techniques for base courses, i.e. soil cement mixed in a batching plant (S_{pt}), soil cement mixed on site (S_{pc}) and crushed rock (CR). The study found that CR produced the least emissions, S_{pc} was the second, and S_{pt} produced the most emissions. Therefore, the S_{pt} technique was defined as the conventional construction method. A proportion of amounts of emission reduction of the three techniques in term of percentages are as 0%, 16.1% and 50.3% for S_{pt}, S_{pc} and CR, respectively. The Emission Deduction of alternative construction method 3 is expressed in Equation (4).

$$E_3 = \mathrm{TEC} \times \mathrm{ER}_B \times M \times p \quad (4)$$

where TEC = percentage reduction for the three methods (S_{pt} = 0%, S_{pc} = 16.1%, CR = 50.3%) $\mathrm{ER_B}$ = emission rate of the S_{pt} construction method for base course is equal to 60 $\mathrm{kgCO_2eq/m^3}$ (Metham and Benjaoran, 2016)M = total amount of materials required for base course ($\mathrm{m^3}$)p = eco-cost per unit volume of GHGs (0.1755 $\mathrm{USD/kgCO_2eq}$).

Method 4 a use of new model machinery: EPA (2005) and EPA (2007) stated that the same engine size of new machinery consumed less fuel and produced fewer emissions. EPA classifies machines into five categories, from the oldest to the newest as Tier-1, 2, 3, 4i and 4f. GRIP assumes that the conventional construction method uses all Tier-1 machines. The emission deduction will be offered if any bidder proposes to use newer machines than Tier-1. A list of proposed machines and their tiers will be evaluated, and the amount of emission reduction compared to the use of machine Tier-1 will be calculated. The calculation of Emission Deduction for method 4 incorporates different levels of emissions of GHGs, i.e. NOx, HC, PM and CO for each tier of machinery (EPA 2005). It depends on the percentage of replacement of Tier-1 machines with higher-tier machines. The other parameters are the total amount of horsepower and machine working hours. It is expressed in Equation (5).

Table 2. Rates of emission reduction in case of newer machinery replacement (R_{rn}).

GHGs reduction	NOx (I)	HC (II)	PM (III)	CO (IV)
Tier 1	–	–	–	–
Tier 2	–	–	62.5%	9.1%
Tier 3	62.0%	–	62.5%	9.1%
Tier 4i	62.0%	69.2%	97.5%	9.1%
Tier 4f	95.7%	85.4%	97.5%	9.1%

$$E_4 = \sum_{n=\mathrm{tier1}}^{\mathrm{tier4f}} \left[\left(\sum_{rn=I}^{IV} R_{rn} \times ER_1 \times hp \times h \times p \right) \times r_n \right] \quad (5)$$

where R_{rn} = percentage of emission reduction of NOx, HC, PM and CO for each tier, see Table 2 (EPA 2005)r_n = percentage of replacement of Tier-1 machines from 0% to 100%ER_1 = emission rate of diesel engine in Tier 1—NOx = 6.9, HC = 1.0, PM = 0.6, CO = 4.1 (g/hph) (EPA 2005)hp = total horsepower of all machines (hps)h = machine working hours (hours)p = eco-cost per unit volume of GHGs (NOx = 6.877, HC = 4.602, PM = 35.672, CO = 0.312 USD/kg).

Method 5 a use of hybrid machinery: hybrid engine technology is an eco-friendly technology of modern machinery and vehicles, which allows machines to use a combination of energy from oil and electricity. Therefore, hybrid machinery consumes low diesel and so does fewer emissions than a conventional engine (Ochiai and Ryu 2008). GRIP introduces this technology as the fifth alternative construction method. The calculation of Emission Deduction for this method is similar to the previous method, but this can add up the amount of emission reduction. According to prestigious machinery manufacturers, it was claimed that hybrid machines can reduce emissions up to 10% of conventional machinery, i.e. it is 5%–41% for Komatsu (2001), 10% for Volvo (2008), 25%–33% for Caterpillar (2013) and 15%–30% for Hitachi (2015). Since the hybrid machinery is a new technology and an enhancement

of Tier-4f engines (generation year after 2013), the rate of emission reduction is assumed as 10% fewer than that of Tier-4f machines (see Table 3). The calculation is shown in Equation (6).

$$E_5 = \left(\sum_{rh=I}^{IV} R_{rh} \times ER_1 \times hp \times h \times p \right) \times r_h \quad (6)$$

where R_{rh} = percentage of emission reduction of NOx, HC PM, and CO for hybrid machines, r_h = percentage of replacement of hybrid machines from 0% to 100%ER_1 = emission rate of diesel engine in Tier 1—NOx = 6.9, HC = 1.0, PM = 0.6, CO = 4.1 (g/hph) (EPA, 2005)hp = total horsepower of all machines (hps)h = machine working hours (hours)p = eco-cost per unit volume of GHGs (NOx = 6.877, HC = 4.602, PM = 35.672, CO = 0.312 USD/kg).

Method 6 an installation of retrofit devices on machinery: retrofit devices are installed into machines to reduce emissions. Various types of retrofit devices are designed to work and target different types of GHGs and they have different effect on reduction. Installation and maintenance costs are also varied. These devices can be installed as a single unit or more to obtain a combined treatment and enhance performance. Examples of single-unit installations include diesel particulate filter (DPF), diesel oxidation catalyst (DOC) and selective catalytic reduction (SCR). More complete examples of combined unit installations are such as DPF with SCR and DPF with an installation of exhaust gas recirculation (EGR). These retrofit devices of different manufacturers and types have different effectiveness in reducing emissions. Their reduction ranges are as wide as 5% to 90% (MECA 2007; World Bank 2014; Johnson Matthey 2015). This study filters out some devices and considers only reasonable and significant ones which can reduce more than 50% of NOx and PM emissions for this method 6. It is assumed that the retrofit devices are installed on top of Tier-3 machines (Johnson Matthey 2015), and the rates of emission reduction for the installation of retrofit devices are shown in Table 4. The calculation of Emission Deduction is shown in Equation (7).

$$E_6 = \sum_{n=S_1}^{C_2} \left[\left(\sum_{id=I}^{IV} R_{id} \times ER_1 \times hp \times h \times p \right) \times i_d \right] \quad (7)$$

whereR_{id} = percentage of emission reduction of NOx, HC, PM and CO for each devicei_d = percentage of installation of retrofit devices from 0% to 100% for each available type DPF, DOC, SCR, DPF + SCR and DPF + EGRER_1 = emission rate of diesel engine in Tier 1—NOx = 6.9, HC = 1.0, PM = 0.6, CO = 4.1 (g/hph) (EPA, 2005)hp = total horsepower of all machines (hps)h = machine working hours (hours)p = eco-cost per unit volume of GHGs (NOx = 6.877, HC = 4.602, PM = 35.672, CO = 0.312 USD/kg).

Table 3. Rates of emission reduction in case of hybrid machinery replacement (R_{rh}).

GHGs reduction	NOx (I)	HC (II)	PM (III)	CO (IV)
Hybrid	100%	93.9%	100%	10.1%

Table 4. Rates of emission reduction in case of retrofit devices installation (R_{id}).

GHGs reduction	NOx (I)	HC (II)	PM (III)	CO (IV)
Tier3 + DOC (S_1)	62%	–	68.75%	15.47%
Tier3 + DPF (S_2)	62%	–	100%	14.56%
Tier3 + SCR (S_3)	100%	–	78.13%	13.65%
Tier3 + SCR + DPF (C_1)	100%	–	100%	17.29%
Tier3 + EGR + DPF (C_2)	99.2%	–	100%	14.56%

Penalty clauses

A penalty clause in GRIP is a provision that obligates the defaulting contractors, who have won the bidding competition and later could not fulfil their own proposed bids successfully, to provide some compensations to the project owners. In this case, the actual Emission Deduction (E') will be less than the proposed Emission Deduction (E). The winning bidder who has offered the lowest equivalent bid price (Q_1) would take advantage of the other bidders. To achieve the fairness in the implementation of GRIP, the field observation and evaluation is required, and the actual emission reduction should be recalculated. The actual construction methods must be checked by the field inspectors through field reports throughout the project. Strict enforcement of the penalty clauses is a very crucial issue to maintain the integrity and creditability of GRIP. The penalty is defined into two rates, depending on the difference between E' and E. The equivalent bid of the second lowest bidder (Q_2) is referred to as a threshold of the penalty rates.

$$P = \begin{cases} Q'_1 - Q_1 & ,for \quad Q'_1 \le Q_2 \\ x(Q'_1 - Q_1) & ,for \quad Q'_1 > Q_2 \end{cases} \quad (8)$$

where P = penaltyQ_1 = equivalent bid of the contractor (or the lowest and winning bid)Q_2 = equivalent bid of the second lowest bidderQ_1' = actual equivalent bid of the contractor$x$ = extra proportion of fine for the second penalty rate.

Specific requirements

The procedure of GRIP is generally based on the traditional construction procurement procedure. Conventional processes such as prequalification of prospective bidders can be implemented. Project owners should establish and announce a set of qualifications required, such as the experience of related work, quantities of in-house staffs and equipment, and financial status. Contractors who can provide a proof of eligibility will only be entitled to participate in the bidding. As in the traditional construction procurement, GRIP including the deduction calculation must be supervised by the committee who are the public project owner's representatives. These committee members who are a government agency will assure all stakeholders that the process is fair, transparent and accountable. The integrity of the process will be maintained.

Awarding criteria for GRIP is shifted from the traditional ones. Compensations in terms of Emission Deduction (E) are calculated by the committee according to Equations (1) to (7) and using the proposed documents from bidders. Then, they calculate Qs and determine the lowest Q. The contract will be awarded to the lowest Q bidder. Only some specific requirements are added into GRIP procedure including a proposition of alternative construction methods, and an inspection of field practices. These specific requirements in the GRIP procedure are worth for describing as follows:

Qualified bidders must prepare a proposition of alternative construction methods together with Construction Price (C). Project owners arrange a form for them to fill in. Bidders must assess their own capability and readiness to perform the six alternative construction methods. Then, they can propose one or more methods. For some methods, they can propose a fraction of the full performance in terms of percentages. Therefore, information that must be submitted for the six alternative methods is as follows: a blending formula of biodiesel (a) and a percentage of biodiesel to be used in the project (b), material hauling distances from the bidder's proposed sources (OD), any proposed technique for the three methods (S_{pt}, S_{pc} or CR), a percentage of replacement of Tier-1 machines for each higher tier (r_n), a percentage of replacement of hybrid machines (r_h), and a percentage of installation of retrofit devices for each type (i_d).

Inspection of field practices must be carried out to determine the actual emission reductions. Field inspectors who are project owners' representative are responsible for monitoring the actual construction activities on site and appraising the conformation to contractors' proposals. They check the contractor's daily machinery utilization. Details are the number of types, horsepower, model, tier, manufacturing year, working hours and retrofit devices. For aggregate material utilization, details are locations of borrow pits, distances to the site and quantity of materials. Also, they check the actual consumption of both biodiesel and diesel. This field information is used to calculate the actual Emission Deduction (E') and the actual equivalent bid (Q_1'). Then, the penalty (P) is determined according to Equation (8).

Contract payment

Contractors under GRIP are entitled to a total contract payment equal to their proposed Construction Price (C). However, lagging performances on emission reduction will cause a penalty (P) which is calculated using Equation (8). The contractor must submit a bank guarantee equal to the maximum penalty to be used as collateral for the contract. Contract payment to contractors in accordance with the terms of the contract for delivering the construction work is equal to C minus P. Contractors will receive this as a progress payment.

An evaluation on GRIP using AHP

GRIP was evaluated by two main parties, project owners and contractors prior to the implementation. This study collected their opinions through a questionnaire and adopted the AHP technique for the analysis.

Hierarchical structure design

The hierarchical structure of AHP is an important element that influences the assessment. It is designed to consist of three levels: Goal, Criteria and Alternatives, as shown in Figure 1. The Goal level explicitly states the purpose of the analysis that is to decide the right choice of GRIP implementation.

The Criteria level distinguishes all criteria used in decision-making. These criteria are very important for making good decisions. Criteria should be aligned with the goals, comprehensive, covered all key aspects, and not overlapping, understandable. Criteria that were considered for making the decision on any new system implementation were reviewed from past research, and they are shown in Table 5. This study

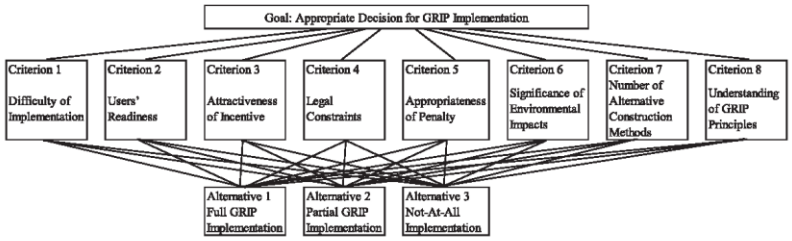


Figure 1. Hierarchical structure of AHP for GRIP implementation.

Table 5. List of barriers for a novel contract from literature review.

References	Description
Shi and Chen (2011)	Lack of the public awareness
	Grant mechanism to share the cost
	To encourage to take low carbon transport
	Avoid in maximum transportation distances of construction -materials
	Design alteration
Cui et al. (2011)	Financial consideration
	Technological maturity
	Organizational readiness
	Industrial and public acceptance
	Emission reduction potential
	Impact on project performance
	Risk
Pobutdee et al. (2012)	Determined duration
	Determination of benefit and penalty rate
	Fairness to contractor and owner
	Complicated
	Ability to early delivery
	Law amendment limitation
	Quality of product
	Environmental effect
	Cost
Sara et al. (2015)	Liability of CO_2 storage
	Financial incentives
	CO_2 price
	Technological uncertainties
	Public acceptance
	Political support
	Cooperation among actors

selectively derived nine criteria from the past research and then had an expert panel review and arranged the final list. This selection method is based on the expert panel's judgment (Liu 2016). This criteria selection process was conducted in two rounds. In the first round, all nine initial criteria were reviewed by an expert who holds a position of Senior Civil Engineer and has more than 30 years of work experience involved in contract administration of highway construction projects of the Department of Highways. He suggested excluding one criterion which was the Implementation Cost of GRIP because it can be considered as an investment which returns other indirect benefits. In the second round, six additional experts were asked to review the remaining eight criteria once again. These experts included two of over-10-years experienced construction management researchers, two of over-25-years experienced senior executives of contractors and two of over-30-years of experienced senior executives of the Department of Highways. This expert panel also commented on the questionnaire of AHP and advised to add some demonstration of the GRIP implementation into the questionnaire. Finally, eight criteria used in this study were namely Difficulty of Implementation, Users' Readiness, Attractiveness of Incentive, Legal Constraints, Appropriateness of Penalty, Significance of Environmental Impacts, Number of Alternative Construction Methods and Understanding of GRIP Principles.

The lowest level is the Alternative level. It distinguishes three decision choices of GRIP implementation, Full, Partial and Not-At-All implementations. Decision choice 1 is to fully implement GRIP on every new coming project. Instead, decision choice 2 is to implement GRIP only on some projects, such as large-scale projects of which contractors and project owners are more capable. Decision choice 3 is to continue traditional procurement procedures and to postpone the implementation of GRIP. A sample group was asked to make a pairwise comparison individually and give weights for these decision choices according to Criteria 1 to 8.

This study employed the 4-weighted significance scaling system proposed by Strager and Rosenberger (2006), which was adapted on the 9-scaling system originally proposed by Saaty (2006). Strager and Rosenberger (2006) and Bahurmoz (2006) suggested that fewer weight scales help experts easily decide the right weight. The weight scale 1 means the pair of choices is equally significant. The weight scales 2, 3 and 4 mean that the first choice is 'somewhat preferred', 'preferred' and 'strongly preferred' to the other choice, respectively.

Sample group

The population of this study is two main parties, contractors and public owners, involved in road construction projects of the Department of Highways in Thailand. The first sample group is qualified big contractors who have been long registered in Special Class with the Department of Highways for more than 10 years (Special Class is the highest rank of DOH's registered contractor classification apart from the 1st, 2nd, 3rd and 4th classes). This group is selected and targeted as a pioneer group because they have a large capital and are financially capable of adopting the GRIP. The other classes may have funding constraints. At the present, there are 50 registered contractors in this class (DOH 2016). The other sample group from public owners are the staff of the Department of Highways who have worked in road construction projects for more than 10 years and will be responsible for enforcing GRIP. Both sample groups must have experience working on a big road project (DOH defines a big project as its price is more than 300 million THB).

The sample size was determined using a Yamane's formula (Yamane 1973) (as shown in Equation (9). In case of the population size of the first group was known ($N = 50$) and the confidence interval was set at 95% ($e = 0.05$), the sample size of the first group was equal to 44 ($n = 44$). Also, the second group was set with the same sample size of 44 in order to equally balance the influence of both groups. The total sample size for this study was 88.

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \tag{9}$$

where n = sample size$N$ = population size$e$ = margin of error at a confidence interval 95% ($e = 0.05$).

Data collections

This study collected data from the sample group through a questionnaire which was divided into five sections. Section 1 gathered the respondent's personal information such as job title, work experience and the experience associated with emission reductions. All questions in this section were close-ended questions. Section 2 provided an overview of GRIP i.e. concept, procedure and examples of implementation of GRIP. This section communicated important information to prepare the respondent's understanding before responding to the next sections. Section 3 was for pairwise weighting the significance between every pair of criteria, for Criteria 1 to 8, so that there was a total of 28 pairs. Also, Section 4 was for pairwise weighting the degree of appropriateness between every pair of all three alternatives, for all eight criteria. Section 5 was an open-ended question for free opinions on GRIP.

Data collection was conducted from January to June 2017 at the site offices of construction projects and at the headquarters of the Department of Highways. The respondent weights in Sections 3 and 4 were analysed using the geometric mean via Equation (10).

$$\left(\prod_{i-1}^{n} x_i\right)^{\frac{1}{n}} = \sqrt{x_1 x_2 \cdots x_n n} \tag{10}$$

where n = numbers of data$x$ = value of the data.

Results and discussions

The results of the AHP are shown in Table 6, consisting of the geometric means of weights, and the total weighted scores from contractors, project owners and the overall. The group of project owners gave the highest total weighted score as 0.432 to Alternative 1 (Full GRIP Implementation) and the lowest one as 0.166 to Alternative 3 (Not-At-All Implementation). By considering each of the eight criteria, the Criterion 2 (Users' Readiness) received the highest weight of 0.181, while the Criterion 7 (Number of Alternative Construction Methods) received the lowest weight of 0.074.

The group of contractors also gave Alternative 1 the highest total weighted score as 0.403 but Alternatives 3 and 2 received a slightly different total weighted score as 0.307 and 0.290, respectively. The highest weighted criterion was also Criterion 2 (Users' Readiness) equal to 0.154. The lowest weighted criterion was Criterion 6 (Significance of Environmental Impacts) equal to 0.093.

The overall weighted score from both groups stated that Alternative 1 was the most preferable. This implied that they agreed with the concept of GRIP and support the full implementation. Criterion 2 was the overall highest weight. Both groups were concerned about the readiness of practitioners as a crucial factor of the success. The second and third highest weights were given to Criteria 4 (Legal Constraints) and 8 (Understanding of GRIP Principles) which were important contributors. These results are consistent with the previous research by Pobutdee et al. (2012) as the legal constraints of regulation amendment received the highest weighted

Table 6. AHP's total weighting of the sample group.

Sample Group	Difficulty of implementation	User's readiness	Attractiveness of incentive	Legal constraints	Appropriateness of penalty	Significance of environmental impacts	Number of alternative construction methods	Understanding of GRIP principles	Total weighted score
Owner	**0.116**	**0.181**	**0.124**	**0.160**	**0.086**	**0.141**	**0.074**	**0.119**	
Full GRIP	0.265	0.324	0.548	0.308	0.469	0.656	0.569	0.419	0.432
Partial GRIP	0.560	0.498	0.332	0.427	0.401	0.227	0.317	0.420	0.402
Not-At-All	0.175	0.177	0.120	0.265	0.129	0.117	0.115	0.161	0.166
Contractor	**0.125**	**0.154**	**0.128**	**0.129**	**0.097**	**0.093**	**0.135**	**0.140**	
Full GRIP	0.325	0.301	0.538	0.335	0.380	0.533	0.361	0.475	0.403
Partial GRIP	0.272	0.375	0.255	0.287	0.335	0.226	0.286	0.260	0.290
Not-At-All	0.403	0.324	0.207	0.377	0.284	0.240	0.353	0.265	0.307
Overall	**0.121**	**0.168**	**0.127**	**0.145**	**0.092**	**0.115**	**0.101**	**0.130**	
Full GRIP	0.309	0.317	0.548	0.326	0.431	0.600	0.475	0.454	0.425
Partial GRIP	0.412	0.439	0.294	0.354	0.374	0.230	0.315	0.336	0.348
Not-At-All	0.280	0.244	0.159	0.320	0.196	0.170	0.210	0.210	0.227

score. The lowest weighted criterion was Criterion 5 (Appropriateness of Penalty).

The analysis of the questionnaire's Section 5 indicated that 92% of respondents were keen to cooperate if GRIP was implemented. Only 2.27% told that they would not cooperate, and 5.68% hesitate. Therefore, the results from both AHP and free opinions were in the same direction that most respondents were willing to comply with the terms of GRIP. The rationale for such cooperation was varied, including they could increase a chance to win the bid, they want to reduce the greenhouse effect and global warming, or to help improve the quality of life of residents around the construction area, or to adapt to the stricter environmental regulations, or to encourage the private sector to pay more attention to the environment. On the other hand, reasons for not to cooperate or hesitancy were incurring costs for the alternative construction methods, or breach of bid proposals, or unworthy investment on new machinery, or unconvincing benefit from GRIP, or a need for more details of GRIP. These various opinions reflected the viewpoint of those involved in road construction on environmental problems and their adaptability in the near future.

The evaluation results indicate that the new procurement, GRIP, is accepted by both involved parties. An evaluation is necessary for any new development, particularly, the procurement of public projects. FHWA (2012) also evaluated their new PCfC contracting system after development. Ahn (2012) evaluated the efficiency of emission reduction for his proposed A+C bidding system. These preliminary evaluations must be conducted before implementing the novel system to gather opinions of the involved parties and reveal any operational difficulty in different aspects (Limsawasd and Athigakunagorn 2016; Asgari et al. 2017).

Conclusion and recommendations

This article initiates a novel GRIP and evaluates the implementation of GRIP by using the AHP technique. The concept of GRIP is to add some special provisions for contractors to perform the GHGs emission reduction in their construction operations. In return for these extra obligations, contractors shall receive some incentives as emission deductions applied to their proposed bid price. A set of six alternative construction methods which are highly potential emission reductions was established. The calculations of monetary value for an amount of GHGs reduction were also provided. Then, this value is employed as a deduction for calculating the equivalent bid price in the bidding competition. GRIP helps bidders who propose to work with cleaner construction methods to have more chances to win the competition although they do not offer the lowest construction cost. After contract awarding, GRIP enforces field monitoring during the construction to appraise the compliance of the contractors with their winning bid proposals. GRIP includes provisions of penalty as a punishment measure for any noncompliance. GRIP has improved the calculation of the emission reduction so that the bidders are requested to submit fewer parameters than the incentivizing construction contract proposed by Gransberg and López Del Puerto (2017). Also, GRIP allows bidders to propose only a fraction of an alternative construction method (parameters are in percentage) as they preferred. Thus, GRIP is more flexible to implement than the A+C contract proposed by Ahn et al. (2013).

However, acceptance and collaboration on this new procurement system may not gain easily. This study, therefore, aims to conduct an evaluation of the opinions of the two most relevant parties, contractors and public owners. Questionnaire is designed and used as

an instrument to collect data from the sample group. The AHP technique analyses these data to reveal the results. Most respondents decide to participate in the full implementation of GRIP as this alternative receives the highest weighted score among the other two alternatives, partial and not-at-all implementation. The AHP technique has effectively assessed the feasibility of implementation of a new system. It can collectively reflect opinions and decisions of the sample group. Another confirmation is that a result of 92% of respondents agrees to collaborate in GRIP. The result shows that if project owners provide adequate compensations and reasonable methods to reduce emissions, contractors are ready to cooperate. Concern and doubt about the details of the new procurement system need to be taken care of and eliminated by providing complete information about benefits and procedures to the involved parties.

The results of this study are limited to the sample group which is big companies who work in big projects in Thailand. Small companies may have different opinions because of their funding constraints. Results may differ by the company size and country. Different business practices and regulations in each country are vital factors that can affect the results. The future research could broaden a survey to cover the medium- and small-sized contractors via web-based questionnaire.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

References

Abudayyeh O, Zidan SJ, Yehia S, Randolph D. 2007. Hybrid prequalification-based, innovative contracting model using AHP. J Manage Eng. 23(2):88–96.

Ahn C, Peña-Mora F, Lee S, Arboleda CA. 2013. Consideration of the Environmental Cost in Construction Contracting for Public Works: A+C and A+B+C Bidding Methods. J Manage Eng. 29(1):86–94.

Ahn C. 2012. An Integrated Framework for Sustainable Construction Processes: Understanding and Managing the Environmental Performance of Construction Operations [dissertation]. Urbana (UC): University of Illinois at Urbana-Champaign.

Al-Harbi KM. 2001. Application of the AHP in project management. Int J Project Manage. 19(1):19–27.

Anthonissen J, Van Troyen D, Braet J, Van den Bergh W. 2015. Using carbon dioxide emissions as a criterion to award road construction projects: a pilot case in Flanders. J Cleaner Prod. 102:96–102.

Asgari S, Song X, Odeh I. 2017. [Managing Greenhouse Gas Emissions in Civil Infrastructure Projects Using Green Performance Bond]. Proceedings of the 2017 AACE International Conference on Sustainable Infrastructure, October 2017, New York, New York.

Bahurmoz A. 2006. The analytic hierarchy process: a methodology for win-win management. Econ Administration J. 2(1):3–16.

Beierle TC. 1998. Public participation in environmental decisions: an evaluation framework using social goals. Discussion Paper 99-06. Resources for the Future, Washington, DC.

Bouwer M, de Jong K, Jonk M, Berman T, Bersani R, Lusser H, Nissinen A, Parikka K, Szuppinger P. 2005. Green Public Procurement in Europe 2005 - Status overview. AJ Haarlem, Netherlands: Virage Milieu & Management bv.

Caterpillar. 2013. 336EH hydraulic excavator. Product Brochure. [accessed 2016 Jan. 10]. http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C811713.

Charnley S, Engelbert B. 2005. Evaluating public participation in environmental decision-making: EPA's Superfund Community Involvement Program. J Environ Manage. 77(3):165–182.

Cui Q, Zhu X, Whitten L, Dason-Deane R. 2011. Innovative contracting strategies for combating climate change – Maryland State Highway Administration – Final Report. MD-11-SP009B4G, University of Maryland, MD.

Darko A, Chuen-Chan AP, Ameyaw EE, Owusu EK, Pärn E, Edwards DJ. 2018. Review of Application of Analytic Hierarchy Process (AHP) in construction. International Journal of Construction Management.19(5):1–17.

Datta A, Ray A, Bhattacharya G, Saha H. 2011. Green Energy Sources (GES) selected based on multi-criteria decision analysis (MCDA). Int J Energy Sector Manage. 5(2):271–286.

[DOH] Department of Highways. 2016. [List of Contractors in Special Class: Bureau of Standards and Evaluation]. Bangkok, Thailand. Thai.

El-Rayes K. 2001. Optimum planning of highway construction under A+B bidding method. J Constr Eng Manage. 127(4):261–269.

El-Rayes K, Kandil A. 2005. Time-cost-quality trade-off analysis for highway construction. J Constr Eng Manage. 131(4):477–486.

[EU] European Union. 2012. Strategy for the sustainable competitiveness of the construction sector and its enterprises. Brussels, Belgium: European Commission.

[EU] European Union. (2016a). Buying green! A handbook on green public procurement. Brussels, Belgium: European Commission.

[EU] European Union. (2016b). The European Construction Sector: a global partner. Brussels, Belgium: European Commission.

[FHWA] Federal Highway Administration. 2012. Performance Contracting for Construction: A Guide to Using Performance Goals and Measures to Improve Project Delivery, Washington, DC.

Fuentes-Bargues JL, González-Cruz C, González-Gaya C. 2017. Environmental Criteria in the Spanish Public Works Procurement Process. IJERPH. 14(2):204–218.

Gransberg DD, López Del Puerto C. 2017. Incentivizing construction contracts to enhance sustainability in construction projects. In Proceedings of the 2017 AACE International Annual Meeting, June 2017, Orlando, Florida.

Hitachi 2015. New Generation Hybrid Excavator zh200-5b. [accessed 2016 Jan. 10]. http://www.hitachi.com/environment/showcase/solution/industrial/hybrid_excavator.html.

Jato-Espino D, Castillo-Lopez E, Rodriguez-Hernandez J, Canteras-Jordana JC. 2014. A review of application of multi-criteria decision making methods in construction. Autom Constr. 45(2014):151–162.

Johnson Matthey. 2015. Diesel Exhaust Gas Treatment SCRT for Retrofitting. [accessed 2016 Jan. 18]. http://www.jmdpf.com/pdfs-library/Johnson-Matthey-DPF-brochure-2015.pdf.

Komatsu. 2001. Mitigating Climate Change through Products and Services. [accessed 2016 Jan. 10]. http://www.komatsu.com/CompanyInfo/csr/2009/pdf/13.pdf.

Kurka T, Blackwood D. 2013. Selection of MCA methods to support decision making for renewable energy developments. Renewable Sustainable Energy Rev. 27(2013): 225–233.

Limsawasd C, Athigakunagorn N. 2016. [Consideration of the Optimal Weight for Environmental Cost in Construction Contracting for Large-Scale Transportation Projects]. Proceedings of the 16th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, July 2016, Osaka, Japan.

Liu K. 2016. Prioritizing criteria for evaluating cultural contents in EFL textbooks through AHP. JLTR. 7(5): 841–850.

[MECA] Manufacturers of Emission Controls Association. 2007. Emission Control Technologies for Diesel-Powered Vehicles, Washington, DC. [accessed 2016 Jan. 10]. http://www.meca.org/galleries/files/MECA_Diesel_White_Paper_12-07-07_final.pdf.

Metham M, Benjaoran V. 2016. [Comparison greenhouse gas emissions due to different construction techniques on road construction project]. Tech Educ J King Mongkut's Univ Technol North Bangkok. 7(2):1–9. Thai.

[MDOT] Michigan Department of Transportation. 2015. Innovative Construction Contracting Guide, Michigan.

[MOF] Ministry of Finance. 2015. [Annual Report 2015 Bureau of the Budget]. Bangkok, Thailand.

[MNRE] Ministry of Natural Resources and Environment. 2018. [Procurement of goods and services manual]. Pollution Control Department, Bangkok, Thailand.

[MOE] Ministry of the Environment. 2017. Act on Promoting Green Procurement, Environment and Economy Division, Tokyo, Japan.

[Mn/DOT] Minnesota Department of Transportation. 2008. Innovative Contracting Guidelines: Office of Construction and Innovative Contracting, Minnesota.

Ochiai M, Ryu S. 2008. Hybrid in construction machinery. Proceedings of the 7th JFPS International Symposium on Fluid Power, 15–18 September 2008, Toyama, Japan, 41–44.

[OECD] Organization for Economic Co-operation and Development. 2015. Going Green – Best Practices for Sustainable Procurement. European Commission, Paris, France.

Pobutdee T, Jokkaw N, Tongthong T. 2012. [The Incentive Format of Public Construction: A Case Study Highway Construction Project]. Proceedings of the 17th NCCE National Convention on Civil Engineering, Udon Thani, Thailand, CEM1-CEM10.

Puri D, Tiwari S. 2014. Evaluating the criteria for contractors' selection and bid evaluation. Int J Sci Eng Invest. 3(7):44–48.

Saaty TL. 1980. The analytic hierarchy process: planning, priority setting and resource allocation. New York: McGraw-Hill.

Saaty TL. 2006. Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process. 2nd ed. New York: RWS Publications.

Sara J, Stikkelman RM, Herder PM. 2015. Assessing relative importance and mutual influence of barriers for CCS deployment of the ROAD Project using AHP and DEMATEL methods. Int J Greenhouse Gas Control. 41(2015):336–357.

Shi Q, Chen Z. 2011. Research on carbon problems in the construction industry. Proceedings of the 2nd International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, MACE 2011, Inner Mongolia, China, 2460–2463.

Simons L, Wiegel V. 2009. Evaluating AHP as multi-stakeholder decision tool. Proceedings of the 2009 IEEE International Technology Management Conference, ICE 2009, 22–24 June 2009, Leiden, Netherlands, 1–9.

Strager MP, Rosenberger RS. 2006. Incorporating stakeholder preferences for land conservation: weights and measures in spatial MCA. Ecol Econ. 58(1):79–92.

[IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. Database on Greenhouse Gas Emission Factors (IPCC-EDB). National Greenhouse Gas Inventories Programme.

[IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. Fifth assessment report - synthesis report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.

[UNEP] United Nations Environment Programme. (2017). Comparative Analysis of Green Public Procurement and Ecolabelling Programmes in China, Japan, Thailand and the Republic of Korea: Lessons Learned and Common Success Factors. DTI/2083/PA, Paris, France.

[EPA] United States Environmental Protection Agency. (2002). A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions—Draft Technical Report. EPA420-P-02-001, Office of Transportation and Air Quality, U.S. EPA, Washington, DC.

[EPA] United States Environmental Protection Agency. 2005. National Clean Diesel Campaign—Innovative Strategies for Cleaner Air—2005 Progress Report. EPA420-R-06-009, Office of Transportation and Air Quality, U.S. EPA, Washington, DC.

[EPA] United States Environmental Protection Agency. 2007. Cleaner Diesels: Low Cost Ways to Reduce Emissions from Construction Equipment. EPA 100-R-07-002, National Center for Environmental Innovation, U.S. EPA, Washington, DC.

Varnäs A, Balfors B, Faith-Ell C. 2009. Environmental consideration in procurement of construction contracts: current practice, problems and opportunities in green

procurement in the Swedish construction industry. J Cleaner Prod. 17(13):1214–1222.
Vogtländer JG, et al. 2009. LCA-based assessment of sustainability: the eco-costs/value ratio (EVR), VSSD: science and technology. Netherlands: Delft Academic Press.
Volvo. 2008. Volvo Wheel Loader_l220f Hybrid. [accessed 2016 Jan. 10]. http://www.volvoce.com/SiteCollectionDocuments/VCE/DocumentsGlobal/wheelloaders/brochureHybridloader_21A1004471_2008-02.pdf.
Wang J-J, Jing Y-Y, Zhang C-F, Zhao J-H. 2009. Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. Renewable Sustainable Energy Rev. 13(9):2263–2278.
World Bank. 2014. Reducing Black Carbon Emissions from Diesel Vehicles: Impacts, Control Strategies, and Cost-Benefit Analysis, Washington, DC.
Yamane T. 1973. Statistics: an introductory analysis. 3rd ed. New York: Harper and Row Publications.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นายเมธากุล มีธรรม เกิดเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม พ.ศ. 2520 ที่อำเภอเมืองนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช ภูมิลำเนาปัจจุบันอาศัยอยู่ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี ด้านการศึกษาสำเร็จการศึกษาชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่โรงเรียนมานิตานุเคราะห์ อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนสุราษฎร์พิทยา อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) และประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ที่วิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี และระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (เกียรตินิยมอันดับ 2) ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร เขตหนองจอก แขวงกระทุ่มราย กรุงเทพมหานคร และศึกษาต่อระดับปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา (หลักสูตรการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค) ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปัจจุบันประกอบอาชีพข้าราชการพลเรือนสามัญตำแหน่งวิศวกรโยธาปฏิบัติการ สังกัดสำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์) ปฏิบัติราชการก่อสร้างทางที่ 2 ทำหน้าที่ผู้ช่วยนายช่างโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง สายบางปะอิน-สระบุรี-นครราชสีมา ช่วง กม.86+000.000 – 98+347.000 กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี