

การพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้างเพื่อลดปริมาณเศษเหล็ก

นายวีระยุทธ นีรันดรวัฒนเดชา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2553

**DEVELOPMENT OF STEEL BAR CUTTING PATTERN
TO REDUCE LOSS AT CONSTRUCTION SITE**

Veerayut Niranwattanadacha

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2010

การพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้างเพื่อลดปริมาณเศษเหล็ก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นหน่วยงานหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ. ดร.สุกัญญา หอพิบูลสุข)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.วชรภูมิ เบญจโอฬาร)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(รศ. ดร.อำนาจ อภิชาติวัลลภ)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ จำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

วีระยุทธ นิรันดร์วัฒนเดชา : การพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้าง
เพื่อลดปริมาณเศษเหล็ก (DEVELOPMENT OF STEEL BAR CUTTING PATTERN
TO REDUCE LOSS AT CONSTRUCTION SITE) อาจารย์ที่ปรึกษา :
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วชรภูมิ เบญจโอฬาร, 114 หน้า

การวิจัยนี้ศึกษาการพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้นเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กในโครงการก่อสร้าง โดยพิจารณาจากการตัดเหล็กเส้น (Cutting Stock) ให้เหมาะสมกับรูปแบบการใช้งานและก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยเหลือปริมาณเศษเหล็กน้อยที่สุด (Minimizing Trim Loss) เนื่องจากเหล็กเส้นเป็นวัสดุที่มีความสำคัญในโครงการก่อสร้าง มีการใช้งานในส่วนโครงสร้างเป็นจำนวนมากและมีราคาสูง การใช้งานเหล็กเส้นอย่างคุ้มค่าสามารถลดปัญหาทางด้านต้นทุนของโครงการก่อสร้างที่ต้องสูญเสียไปกับเศษเหล็กในปริมาณมาก ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาขั้นตอนที่ช่วยลดปริมาณเศษเหล็ก ซึ่งใช้วิธีการค้นหาแบบสุ่มมาช่วยวิเคราะห์หารูปแบบการตัดที่สามารถลดปริมาณเศษเหล็กในโครงการก่อสร้าง โดยการออกแบบโมเดลเพื่อสร้างรูปแบบการตัดและใช้การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณบนไมโครซอฟท์เอ็กเซล จากนั้นทำการทดสอบโปรแกรมพบว่าต้องใช้การประมวลผลประมาณ 5 ถึง 8 ครั้งในการคำนวณ เพราะผลที่เกิดขึ้นจากการสุ่ม ผลการทดสอบสามารถลดปริมาณเศษเหล็กได้ตามขอบเขตของเศษเหล็กที่ต้องการ

จากการศึกษางานก่อสร้างตัวอย่างขนาดประมาณ 20 ล้านบาทในเขตจังหวัดนครราชสีมา ที่ดำเนินการในปัจจุบัน จำนวน 3 โครงการพบว่ามีเศษเหล็กเส้น 20.3% 28.0% และ 38.0% โดยความยาว โครงการที่มีการวางแผนการตัดเหล็กอย่างมีระบบมีเพียงโครงการเดียวคือโครงการที่ 1 เมื่อใช้โปรแกรมการวางแผนการตัดที่พัฒนาขึ้น พบว่าสามารถลดปริมาณเศษเหล็กได้ 2.25% 7.2% และ 21.33% ตามลำดับ และสามารถลดเวลาในการคำนวณของวิศวกรที่ใช้อยู่เดิม

VEERAYUT NIRANWATTANADACHA : DEVELOPMENT OF STEEL
BAR CUTTING PATTERN TO REDUCE LOSS AT CONSTRUCTION
SITE. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. VACHARAPOOM
BENJAORAN, Ph.D., 114 PP.

STEEL BAR/CUTTING PATTERN/REDUCE LOSS/CONSTRUCTION SITE

This research aims to formulate a steel bar cutting model and to generate optimal cutting patterns which can minimize trim losses. The model is formulated based on the current practices and the constraints at construction site. A steel bar is an important construction material that is used in most reinforcing concrete structural components. A steel bar is a costly material and accounts for a large portion of the total construction budget. Their trim losses can give an impact on the project profit. This research develops the optimization algorithm which is based on the Random Search algorithm to minimize trim losses from the cutting process. The model and the algorithm are also verified with two real project case studies. A comparison of the model results and the manual field results shows that this model and algorithm can give efficient cutting patterns that can reduce trim losses within a reasonable calculation time.

School of Civil Engineering

Academic Year 2010

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วชรภูมิ เบญจโอฬาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่เมตตาให้โอกาส ให้การอบรม สั่งสอน ชี้แนะ ช่วยเหลือในการทำการศึกษาวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำในการเขียน และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ อภิชาติवलลภ กรรมการ ที่กรุณาให้การแนะนำให้คำปรึกษาและตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ และคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่านที่ให้คำปรึกษา

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัทกิจไพศาลก่อสร้าง ห้างหุ้นส่วนตั้งชุมชนเส่ง 2 คำว่าสดุ โครงการก่อสร้าง เจ เจ ทาวน์เฮาส์ และโครงการก่อสร้างที่เกี่ยวข้อง สำหรับคำปรึกษาและความช่วยเหลือด้านข้อมูล และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำหรับทุนการศึกษา และสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการทำวิจัยนี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่สาวที่ให้การอุปการะอบรมเลี้ยงดู ตลอดจนส่งเสริมการศึกษา ให้กำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมา ให้การสนับสนุนจนกระทั่งวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จ

วีระยุทธ นิรันดร์วัฒนเดชา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฉ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	6
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	6
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย	7
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 ปริมาณเศษเหล็กที่สูญเสียในโครงการก่อสร้าง	8
2.2 ประเภทของปัญหาการตัดและการบรรจุ (Classification of Cutting & Packing Problems)	10
2.3 แนวคิดที่เกี่ยวกับการลดปริมาณเศษเหล็ก	12
2.3.1 โปรแกรมเชิงเส้นตรง	12
2.3.2 หลักการของปัญหารูปแบบการตัด	14
2.4 สรุป	20
3 วิธีการดำเนินการวิจัย	21
3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย	21

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.1	ประเด็นปัญหาที่ทำการสำรวจ	21
3.1.2	โครงการก่อสร้างตัวอย่างที่ทำการศึกษา	21
3.2	เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	22
3.2.1	การกำหนดปัญหา (Formulating the Problem)	23
3.2.2	การสัมภาษณ์และสังเกตนํ้างานจริง	24
3.2.3	วิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจโครงการก่อสร้าง	24
3.3	ขั้นตอนการทำงานวิจัย	25
3.3.1	ศึกษาวิธีการที่ใช้ในการตัดเหล็กเส้นของโครงการก่อสร้างตัวอย่าง	26
3.3.2	ศึกษาแนวทางสำคัญเพื่อลดปริมาณความสูญเสียของเหล็กเส้น	26
3.4	แนวทางการสร้างรูปแบบการตัด	27
3.4.1	สมการเป้าหมาย (Objective function)	28
4	ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์	29
4.1	ลักษณะของโครงการตัวอย่างที่ทำการศึกษา	29
4.2	ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลเพื่อหา ปริมาณความสูญเสียเหล็ก	29
4.2.1	ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์หาความสูญเสีย ของเศษเหล็กของโครงการที่ 1	30
4.2.2	การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์หาความสูญเสีย ของเศษเหล็กของโครงการที่ 2	37
4.2.3	ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์หาความสูญเสีย ของเศษเหล็กของโครงการที่ 3	40
4.3	สาเหตุการสูญเสียปริมาณเหล็กเส้นจากการสังเกตโครงการตัวอย่าง	43
4.4	สรุป	46
5	การพัฒนาโปรแกรมการตัดเหล็กเส้นด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่ม	47
5.1	วิธีการค้นหาแบบสุ่มในการแก้ปัญหาการตัดวัสดุหนึ่งมิติ	47

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1.1 แนวคิดในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อสร้างรูปแบบการตัด	48
5.1.2 ขั้นตอนในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์	50
5.1.3 การทำงานของโปรแกรมการตัดเหล็กเส้น ด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่ม	51
5.1.4 การใช้โปรแกรมการตัดเหล็กเส้นด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่ม	54
5.2 การทดสอบโมเดลที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมการตัดเหล็กเส้น	60
5.3 การจำลองปัญหาเพื่อการทดสอบและวิเคราะห์โมเดล	61
5.3.1 จำลองปัญหาที่ 1 จำนวนครั้งในการประมวลผล ของโปรแกรม (Run Times).....	61
5.3.2 จำลองปัญหาที่ 2 วิเคราะห์ความยาวที่ต้องการที่แตกต่างกันมาก.....	66
5.3.3 จำลองปัญหาที่ 3 วิเคราะห์จำนวนที่ต้องการที่แตกต่างกันมาก	68
5.3.4 จำลองปัญหาที่ 4 วิเคราะห์ค่าขอบเขตของเศษที่เหมาะสม.....	73
5.4 สรุปข้อมูลที่ได้จากการจำลองปัญหา	75
5.5 การประเมินการใช้งานโปรแกรม	76
5.6 แนวทางการลดปริมาณความสูญเสียของเหล็กเส้นจากการก่อสร้างอาคาร	78
5.6.1 การออกแบบ	78
5.6.2 เทคโนโลยีมาใช้และวิธีการก่อสร้าง	78
5.6.3 การควบคุมงานของผู้ควบคุมงานก่อสร้าง	79
5.6.4 ทักษะในการทำงานของคนงาน	79
5.7 ข้อมูลเหล็กเส้นที่วิเคราะห์โดยโปรแกรม	79
5.7.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเหล็กเส้นของโครงการก่อสร้างที่ 1.....	79
5.7.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเหล็กเส้นของโครงการก่อสร้างที่ 2.....	82
5.7.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเหล็กเส้นของโครงการก่อสร้างที่ 3.....	85
5.8 ความแตกต่างในการสร้างรูปแบบการตัดของวิธีการค้นหาแบบสุ่ม กับการทำงานของวิศวกร	87
5.8.1 ตัวอย่างโครงการก่อสร้างกับการสร้างรูปแบบการตัด	87

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.9	เปรียบเทียบผลข้อมูลพิเศษหลักที่ได้จากการสำรวจและจากโปรแกรม	89
6	สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	91
6.1	สรุปผลการวิจัย	91
6.2	ข้อเสนอแนะ	92
รายการอ้างอิง.....		94
ภาคผนวก		
ภาคผนวก ก. รายละเอียดการเขียนโปรแกรม (Program List)		96
ภาคผนวก ข. รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่		103
ประวัติผู้เขียน		114

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	ดัชนีราคาเหล็กเส้น ปี 2543-2552 (x100 บาท/ ตัน)..... 3
1.2	เกณฑ์การเพื่อปริมาณเหล็กเส้นตามขนาดของเหล็กเส้น 5
2.1	สัดส่วนโดยปริมาตรของของการสูญเสียวัสดุในโครงการก่อสร้าง โดย Brooke Williams and Brain Goetz (2000)..... 9
2.2	ปริมาณการสูญเสียวัสดุ เมื่อมีการวางแผนจัดการและควบคุมงาน 9
4.1	ข้อมูลเหล็กเส้นที่ใช้ในโครงสร้างคานชั้นที่ 2 ของโครงการก่อสร้างที่ 1 30
4.2	แสดงผลการเก็บข้อมูลเหล็กเส้นที่ใช้ในโครงสร้างคานชั้นที่ 3..... 31
4.3	แสดงผลการเก็บข้อมูลเหล็กเส้นที่ใช้ในโครงสร้างคานชั้นที่ 1-2 37
4.4	แสดงผลการเก็บข้อมูลเหล็กเส้นที่ใช้ในโครงสร้างคานชั้นที่ 1-2 41
5.1	ข้อมูลเหล็กเส้นตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม 54
5.2	ตัวอย่างตัวแปรที่ทำการออกแบบข้อมูลตัวอย่างเพื่อทดสอบโมเดล 60
5.3	ข้อมูลตัวอย่างในการทดสอบวิเคราะห์โมเดลในเชิงรูปแบบค่าเพิ่มขึ้นคงที่ 62
5.4	ข้อมูลตัวอย่างในการทดสอบวิเคราะห์โมเดลในเชิงการทำงานเสมือนจริง ของโครงการก่อสร้าง 62
5.5	ผลการประมวลผลค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียกับจำนวนครั้งในการประมวลผล ในเชิงรูปแบบค่าเพิ่มขึ้นคงที่ 63
5.6	ผลการประมวลผลค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียกับจำนวนครั้งในการประมวลผล ของข้อมูลตัวอย่างในเชิงการทำงานเสมือนจริงของโครงการก่อสร้าง 65
5.7	ข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการประมวลผลที่มีความยาวที่ต้องการที่แตกต่างกันมาก 67
5.8	ผลการประมวลผลค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียกับความยาวที่ต้องการ ที่แตกต่างกันมาก..... 67
5.9	ข้อมูลตัวอย่างที่ 1 ที่ใช้ในการประมวลผลที่มีจำนวนที่ต้องการที่แตกต่างกันมาก 69
5.10	ตัวอย่างที่ 1 ผลการประมวลผลค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียกับจำนวนที่ต้องการ ที่แตกต่างกันมาก..... 70
5.11	ข้อมูลตัวอย่างที่ 2 ที่ใช้ในการประมวลผลที่มีจำนวนที่ต้องการที่แตกต่างกันมาก 71

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.12 ตัวอย่างที่ 2 ผลการประมวลผลค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียกับจำนวนที่ต้องการ ที่แตกต่างกันมาก.....	71
5.13 ข้อมูลตัวอย่างที่กำหนดให้ปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นไม่เท่ากับศูนย์	73
5.14 ผลการประมวลผลค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียด้วยการเปลี่ยนแปลงค่า ขอบเขตของเศษของข้อมูลตัวอย่างที่กำหนดให้ปริมาณเศษเหล็ก ที่เกิดขึ้นไม่เท่ากับศูนย์	74
5.15 ผลการประเมินจากการทดลองโปรแกรมจากกลุ่มตัวอย่าง	77
5.16 ข้อมูลหลักเส้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ของโครงการที่ 1	80
5.17 ผลของรูปแบบการตัดที่ได้จากโปรแกรมของโครงการที่ 1.....	81
5.18 ข้อมูลหลักเส้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ของโครงการที่ 2	83
5.19 ผลของรูปแบบการตัดที่ได้จากโปรแกรมของโครงการที่ 2.....	84
5.20 ข้อมูลหลักเส้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ของโครงการที่ 3	85
5.21 ผลของรูปแบบการตัดที่ได้จากโปรแกรมของโครงการที่ 3.....	86
5.22 เปรียบเทียบผลข้อมูลเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจากการตัดในแต่ละโครงการก่อสร้าง กับโปรแกรม	89

สารบัญรูป

รูปที่

หน้า

1.1	การใช้หลักในอุตสาหกรรมต่าง ๆ.....	1
1.2	กราฟวงกลมแสดงร้อยละการบริโภคหลักสำเร็จรูปแบ่งตามชนิดหลัก	2
1.3	เศษหลักจำนวนมากที่เกิดจากการตัดหลักเส้น.....	6
2.1	ความสัมพันธ์ของปัญหาการตัดและการบรรจุ	10
2.2	แสดงรูปแบบการตัดและขนาดมาตรฐาน	14
2.3	ตัวอย่างลักษณะรูปแบบการตัดที่เกิดขึ้นหลากหลาย	15
3.1	แผนภาพลำดับขั้นตอนของการวิจัยดำเนินงาน	23
3.2	แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานวิจัย	25
3.3	หลักเส้นที่วางรอการตัด มีการจำหน่ายเป็นขนาดมาตรฐาน	26
3.4	เศษหลักเส้นที่เกิดจากการตัดที่พบได้ตามโครงการก่อสร้าง.....	27
4.1	ตัวอย่างแบบที่เขียนขึ้นมาเพื่อใช้ทำงานในการถอดแบบหลักเส้นที่ใช้จริง	33
4.2	ตัวอย่างการคำนวณจริงก่อนให้คนงานตัดหลักเส้นของโครงการก่อสร้างที่ 1	36
4.3	ตัวอย่างแบบตัดหลักที่ใช้ในหน้างานจริงของโครงการก่อสร้างที่ 2.....	38
4.4	ตัวอย่างแบบตัดหลักที่ใช้ในหน้างานจริงของโครงการก่อสร้างที่ 3.....	42
4.5	ลักษณะโครงการก่อสร้างของโครงการก่อสร้างที่ 1.....	43
4.6	การตัดหลักเส้นในหน้างานจริงของโครงการก่อสร้าง	44
4.7	เศษหลักจำนวนมากที่เกิดจากการตัดหลักเส้น.....	45
4.8	เศษหลักที่พบได้ทั่วไปตามโครงการก่อสร้างที่ทำการสำรวจ.....	46
5.1	แผนภาพแสดงวิธีการค้นหาแบบสุ่มในการแก้ปัญหาการตัดวัสดุหนึ่งมิติ.....	52
5.2	การป้อนข้อมูลหลักที่ต้องการและจำนวนที่ต้องการ	55
5.3	การป้อนข้อมูลกำหนดขอบเขตเศษที่ต้องการ	55
5.4	ส่วนการประมวลผลข้อมูลที่ทำกรป้อนค่า.....	56
5.5	ตัวอย่างการแสดงผลรูปแบบการตัดที่เกิดขึ้น	57
5.6	ตัวอย่างเอกสารแสดงรูปแบบการตัดที่สามารถนำไปใช้งาน	58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.7	แสดงภาพรวมของโปรแกรมการตัดเหล็กเส้นด้วยวิธีค้นหาแบบสุ่ม..... 59
5.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งการประมวลผลกับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของเศษเหล็กที่เกิดขึ้นในเชิงรูปแบบค่าเพิ่มขึ้นคงที่ 64
5.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งการประมวลผลกับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของเศษเหล็กที่เกิดขึ้นของข้อมูลตัวอย่างในเชิงการทำงานเสมือนจริงของโครงการก่อสร้าง 66
5.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียกับความยาวที่ต้องการที่แตกต่างกันมาก 68
5.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียกับจำนวนที่ต้องการที่แตกต่างกันมาก 72
5.12	แสดงค่าเศษต่อหนึ่งรูปแบบการตัดที่ประมวลผลได้ 74
5.13	รูปแบบการตัดเหล็กเส้น RB6 ที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมของโครงการก่อสร้างที่ 1 88
5.14	แสดงแผนภูมิภาพเปรียบเทียบข้อมูลของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของเหล็ก..... 90

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

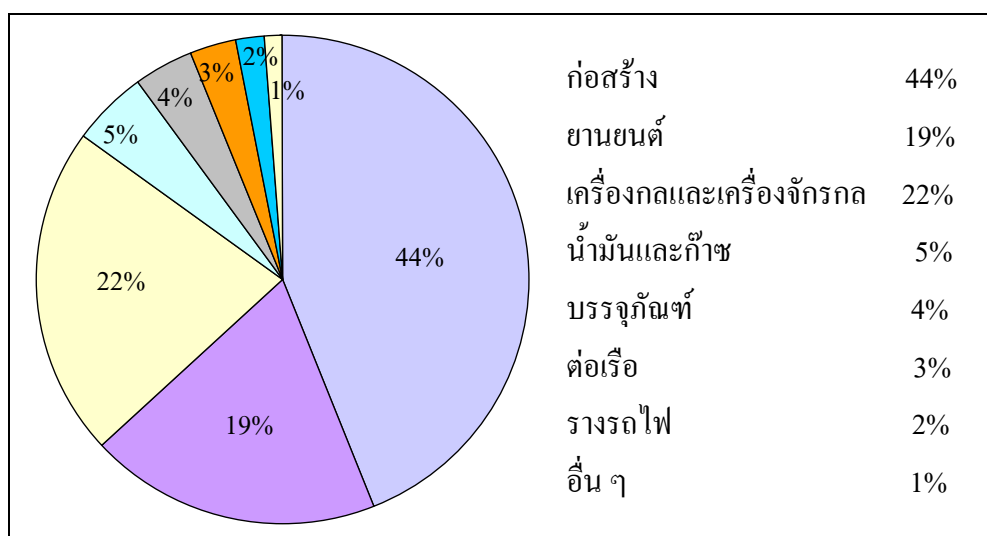
a_{ij}	=	สัมประสิทธิ์ในสมการเงื่อนไขที่ i ของค่าตัวแปรที่ j
B	=	ค่าขอบเขตของเศษเหลือที่ต้องการ (หน่วยเป็นเมตร)
b_i	=	จำนวนทรัพยากรในสมการเงื่อนไขที่ i
c_j	=	สัมประสิทธิ์ต้นทุนในสมการเป้าหมายที่ j
d_i	=	จำนวนเหล็กเส้นแต่ละขนาด
K	=	สมการช่วงปิดที่ใช้ในการสุ่มค่าจำนวนครั้งในการตัดของวิธีการค้นหาแบบสุ่มและต้องเป็นเลขจำนวนเต็ม
L_c	=	ขนาดความยาวมาตรฐานของเหล็กเส้น
m	=	จำนวนของสมการ
$\text{Max } Z$	=	รูปแบบสมการที่ให้เป้าหมายมากที่สุด
$\text{Min } Z$	=	รูปแบบสมการที่ให้เป้าหมายต่ำสุด
n	=	จำนวนของตัวแปร
N	=	จำนวนเหล็กเส้นที่มีความยาวที่แตกต่างกัน
T	=	เศษที่เกิดขึ้นจากการตัด
P_i	=	รูปแบบการตัดของเหล็กเส้นแต่ละชุด มีการเก็บค่าเป็น $P_i = (p_1 + p_2 + \dots + p_n)$
x_j	=	ตัวแปรต่าง ๆ
λ_i	=	ความยาวที่ต้องการของเหล็กเส้น

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

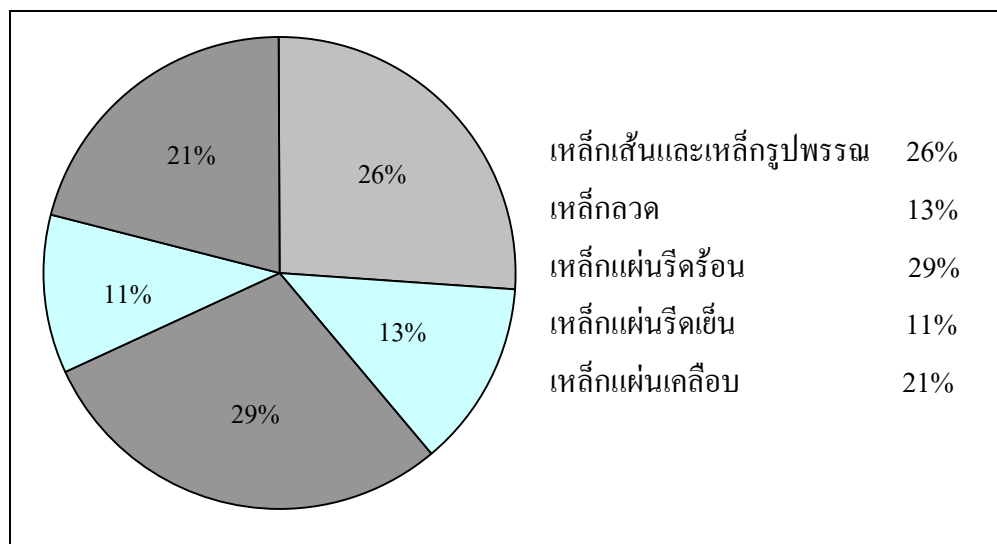
เหล็กเป็นวัสดุสำคัญที่ใช้ในงานในกลุ่มอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมการก่อสร้าง อุตสาหกรรมเครื่องกลและเครื่องจักรกล อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมน้ำมันและก๊าซ และอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น ทำให้เหล็กมีความต้องการใช้งานที่ขยายตัวมากขึ้น ซึ่งวัสดุเหล็กนั้นมีราคาสูงและต้องนำเข้าวัตถุดิบ เทคโนโลยี รวมถึงอุปกรณ์การผลิตจากต่างประเทศ จากรูปที่ 1.1 กลุ่มใหญ่ที่สุดที่ใช้วัสดุเหล็ก คือ อุตสาหกรรมการก่อสร้าง ซึ่งมีสัดส่วนการใช้เหล็กในงานก่อสร้างประมาณ 44% ของปริมาณวัสดุเหล็กที่นำเข้าในแต่ละปี รองลงมาเป็นกลุ่มเครื่องกลและเครื่องจักรกลต่าง ๆ



รูปที่ 1.1 การใช้เหล็กในอุตสาหกรรมต่าง ๆ (Arcelor-Mittal annual report, 2007)

อุตสาหกรรมการก่อสร้างสามารถจัดแบ่งออกได้ตามลักษณะของสิ่งก่อสร้างที่ทำ โดยเป็น สิ่งก่อสร้างทั้งที่อยู่อาศัย อาคารตึกสูงและระบบสาธารณูปโภค ซึ่งในแต่ละประเภทมีการใช้งาน วัสดุก่อสร้างต่าง ๆ จำนวนมาก โดยวัสดุก่อสร้างที่มีความสำคัญมากที่สุดในงานโครงสร้างอาคาร

คือ เหล็กเส้น (Steel Bar) จากรูปที่ 1.2 ในวัสดุเหล็กที่ใช้งานทั้งหมดนั้นอยู่ในรูปแบบเหล็กเส้นและเหล็กรูปพรรณมากถึง 26% ของวัสดุเหล็กทั้งหมด



รูปที่ 1.2 กราฟวงกลมแสดงร้อยละการใช้เหล็กสำเร็จรูปแบ่งตามชนิดเหล็ก

(Thailand's Customs department and ISIT analysis)

ประเทศไทยโดยเฉลี่ยแล้วนำเข้าเหล็กเส้นประมาณ 9.8 ล้านตันต่อปี (เฉลี่ยปี 2007-2008, WSA 2009) ซึ่งในการใช้งานจริง ถ้าเกิดมีการสูญเสีย 5% จะเป็นปริมาณเหล็กเส้นถึง 490,000 ตันต่อปี ในช่วงปีดังกล่าวมีราคาเหล็ก 21,230 บาทต่อตัน (ดัชนีเฉลี่ยราคาเหล็กเส้น ปี 2007-2008, สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า) จะเป็นเงินมูลค่าสูงถึง 10,402.7 ล้านบาทต่อปี ถ้าสามารถลดปริมาณการสูญเสียของเหล็กเส้น หรือเศษเหล็กให้ลดลงได้ จะช่วยลดการนำเข้าเหล็กของประเทศ และส่งผลดีต่อประเทศชาติโดยรวม

จากตารางที่ 1.1 จะเห็นว่าเหล็กเส้นในปัจจุบันนั้นมีราคาสูง ถ้าในปี 2543 ราคาเหล็กเส้นเฉลี่ยคิดเป็น 10,000 บาทต่อตัน จนถึงปี 2551 ราคาเหล็กเส้นสูงขึ้นถึง 14,650 บาทต่อตัน อีกทั้งราคายังมีความผันผวนเปลี่ยนแปลงได้ตลอด จากค่าเฉลี่ยราคาเหล็กเส้นของดัชนีราคาเหล็กเส้นตั้งแต่ปี 2543-2552 มีราคาเฉลี่ยสูงขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้ปัญหาจากการบริหารจัดการเหล็กเส้น มีผลกระทบทางด้านต้นทุนและทางด้านการใช้งานเหล็กเส้น

ตารางที่ 1.1 ดัชนีราคาเหล็กเส้น ปี 2543-2552 (x100 บาท/ ตัน) (สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์)

ปี/เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
2543	97.9	97.9	97.9	99.0	99.4	100.4	100.3	100.3	100.8	101.1	102.2	102.6	100.0
2544	100.9	103.2	103.5	104.8	105.8	107.9	108.7	107.8	106.8	104.6	104.6	104.3	105.4
2545	106.2	108.3	109.6	111.1	111.2	112.1	116.6	116.6	115.9	115.2	115.2	115.4	112.7
2546	118.9	125.0	131.1	129.9	126.9	125.8	128.3	128.3	128.1	129.5	129.5	136.6	127.9
2547	150.2	163.4	169.0	170.1	164.5	158.8	175.0	175.0	179.7	177.9	177.9	173.6	168.9
2548	173.6	173.3	173.8	174.4	170.8	158.6	156.2	156.2	159.1	156.0	156.0	152.9	163.8
2549	148.8	148.4	157.2	164.1	167.2	167.9	161.6	161.6	161.5	166.4	166.4	165.6	161.5
2550	163.1	170.7	175.5	175.8	176.1	178.3	173.2	173.2	175.2	192.6	192.6	195.6	178.1
2551	218.7	235.1	243.8	253.9	294.4	308.0	292.2	292.2	246.4	180.3	180.3	177.0	246.5
2552	166.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	166.8

เหล็กเส้นเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีความสำคัญสำหรับโครงการก่อสร้างโดยทั่วไป เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีปริมาณความต้องการใช้มาก และมีราคาต่อหน่วยสูง จึงทำให้ต้นทุนค่าเหล็กเส้นเป็นส่วนที่สูงของมูลค่าโครงการทั้งหมด ตัวอย่างเช่น โครงการอาคารเรียนรวมและปฏิบัติการภาควิชาสัตวศาสตร์อาคารเรียนรวม มีมูลค่าโครงการ 69,879,256 บาท เหล็กเส้นที่ใช้ในส่วนของการก่อสร้าง มีน้ำหนัก 548,808 กิโลกรัม มีมูลค่าเหล็ก 12,506,350 บาท คิดเป็น 17.89% ของมูลค่าโครงการทั้งหมด ถ้าหากลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นได้ ประมาณ 5% จะสามารถประหยัดเงินค่าเหล็กเส้นที่ต้องสูญเสียได้ถึง 625,317 บาท (ราคากลางอาคารเรียนรวมและปฏิบัติการภาควิชาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย) หรือตัวอย่าง

โครงการโรงพยาบาลสัตว์ใหญ่ มีมูลค่าโครงการ 35,934,510 บาท เหล็กเส้นที่ใช้ในส่วนของการก่อสร้าง มีน้ำหนัก 124,759 กิโลกรัม มีมูลค่าเหล็ก 2,874,335 บาท คิดเป็น 8% ของมูลค่าต้นทุนโครงการ เช่นเดียวกันถ้าสามารถลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นได้ 5% จะสามารถประหยัดเงินค่าเหล็กเส้นที่ต้องสูญเสียได้ถึง 143,717 บาท (ราคากลางอาคารเรียนรวมและปฏิบัติการภาควิชาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย)

การใช้งานเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้าง สามารถเกิดการสูญเสียได้ตลอด เพราะเกิดจากขั้นตอนการทำงานของเหล็กเส้น เช่น ปัญหาทางด้านการสั่งเหล็กไม่ตรงตามการใช้งาน ปัญหาทางด้านการขนส่งที่ราคาสูงขึ้น ปัญหาทางด้านการจัดเก็บต้องเผาระวังมากขึ้นหากมีเศษเหล็กเหลือจำนวนมาก รวมถึงปัญหาการขาดการควบคุมและการบริหารจัดการของผู้ควบคุมงาน เพื่อวางแผนการใช้เหล็กเส้นให้เกิดประสิทธิภาพ

เหล็กเส้นเป็นวัสดุที่มีราคาแพง ถ้าเกิดการสูญเสียเศษเหล็กในปริมาณมากจะทำให้ต้นทุนโครงการสูงขึ้น อีกทั้งแนวทางการควบคุมของผู้รับเหมาในปัจจุบันทำได้เพียงแก้ปัญหาเหล็กเส้นที่ปลายเหตุ เช่น รวบรวมเศษเหล็กเพื่อนำไปขาย หรือใช้งานในส่วนเสริมต่าง ๆ ที่ไม่จำเป็น เป็นต้น

ปริมาณของเศษเหล็กจากการก่อสร้างในปัจจุบันส่วนหนึ่ง เกิดจากขั้นตอนการทำงานที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ (Unavoidable Waste) เนื่องจากลักษณะของงานก่อสร้างในการใช้เหล็กเส้นจำเป็นต้องมีการตัด ดัด งอ ก่อนนำมาใช้งาน เพราะเหล็กเส้นที่มีจำหน่ายในท้องตลาดเป็นขนาดมาตรฐาน เมื่อต้องนำมาใช้งานตามความยาวที่ต้องการจำเป็นต้องตัดจากขนาดมาตรฐานทำให้เหลือเศษการตัดเหล็กเส้นที่ไม่วางแผนให้เหมาะสมทำให้เกิดการสูญเสีย เพิ่มค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นต่อผู้รับเหมา ทำให้ต้องมีการสั่งเหล็กเส้นเพิ่มขึ้นเกินกว่าที่ได้ประมาณไว้

การบริหารจัดการเหล็กเส้นจึงมีความจำเป็นในการช่วยลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้น เพราะถ้าหากมีการแก้ไขงานหรือตัดเหล็กผิดพลาดในหน่วยงานจะก่อให้เกิดเศษเหล็กในปริมาณมากซึ่งส่งผลกระทบต่อต้นทุนและเวลาของโครงการก่อสร้าง ในกรณีผู้ควบคุมงานไม่มีการบริหารจัดการเหล็กเส้นที่ดีพอ เมื่อเกิดปัญหาย่อมส่งผลเสียต่อผู้รับเหมา เนื่องจากปัจจุบันการแข่งขัน

ทางด้านการประมูลราคาต้นทุนโครงการก่อสร้างนั้น มีแนวโน้มการแข่งขันทางด้านราคาที่สูงขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์เพื่อหารูปแบบการตัดเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้น ทำให้เกิดการตัดเหล็กเส้นอย่างมีประสิทธิภาพด้วยวิธีการลดปริมาณเศษเหล็กให้เหลือน้อยที่สุด

จากแนวทางการวัดปริมาณงานก่อสร้าง (มาตรฐาน วสท. มกราคม, 2540) ผู้รับเหมามักใช้ข้อมูลเกณฑ์การเผื่อปริมาณเหล็กเส้น ตามตารางที่ 1.2 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประมาณราคากลางในการประมูลงานเพื่อแข่งขันราคากับผู้รับเหมารายอื่น ถ้าผู้รับเหมามีความรู้ความเข้าใจในการแก้ปัญหาการตัดเหล็กเส้นด้วยการสร้างรูปแบบการตัดให้มีปริมาณเศษลดลง จะทำให้ลดการสูญเสียเหล็กเส้นเนื่องจากการตัดได้มากขึ้นและผู้รับเหมาไม่จำเป็นต้องเผื่อปริมาณเหล็กเส้นตามเกณฑ์การเผื่อเหล็กเส้น ทำให้ผู้รับเหมาที่ใช้การบริหารจัดการเพื่อวางแผนสร้างรูปแบบการตัดมีโอกาสชนะการประมูลราคาแข่งขันกับผู้รับเหมารายอื่นมากขึ้น

ตารางที่ 1.2 เกณฑ์การเผื่อปริมาณเหล็กเส้นตามขนาดของเหล็กเส้น

ขนาดของเหล็กเส้น	เกณฑ์การเผื่อเหล็กเส้น (%)
เหล็กเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร	5
เหล็กเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร	7
เหล็กเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร	9
เหล็กเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร	11
เหล็กเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร	11
เหล็กเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตร	13
เหล็กเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร	13
เหล็กเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร	15

ผู้รับเหมาในปัจจุบันมักเพิกเฉยต่อปริมาณการสูญเสียเหล็กเส้นที่เกิดขึ้น และไม่ให้ความสำคัญในการเก็บข้อมูลการสูญเสียที่เกิดขึ้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีความรู้แนวทางจัดการที่ต้นเหตุของปัญหา คือ พัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้น เพื่อลดปริมาณเศษเหล็กให้น้อยที่สุดและการออกแบบการตัดเหล็กเส้นอย่างรอบคอบ โดยวางแผนการจัดรูปแบบการตัดเหล็กเส้นเข้ามาช่วยแก้ปัญหาเศษเหล็กที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้าง

การสร้างรูปแบบการตัดที่ให้ปริมาณเศษเหล็กน้อยที่สุดมีความจำเป็น เพราะถ้าใช้งานเหล็กเส้นโดยไม่วางแผนให้เหมาะสม มักทำให้ปริมาณเหล็กเส้นไม่พอต่อการใช้งานจากที่ได้ประมาณการไว้ จึงต้องสั่งเหล็กเส้นเพิ่ม ถึงแม้จะอยู่ในช่วงเวลาที่เหล็กเส้นมีราคาสูงขึ้นก็ตาม

เพราะเกิดจากการเร่งงานให้เสร็จตามสัญญา หรือสั่งเหล็กเส้นไม่ได้ตามจำนวนที่ต้องการโดยกลไกของตลาด หากพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจะพบว่าการสร้างรูปแบบการตัดเป็นวิธีที่สามารถใช้เป็นแนวทางให้ผู้รับเหมานำไปใช้งานเพื่อทำการตัดเหล็กเส้นให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้นได้

แนวทางในการทำงานจริงเพื่อลดปริมาณเศษเหล็ก ไม่เพียงแต่ควบคุมคนงานในการตัดเหล็กเส้นตามความต้องการอย่างเข้มงวด แต่ต้องทำการพัฒนารูปแบบการตัดให้เหมาะสม สามารถลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นให้น้อยที่สุด ถ้าหากใช้คนงานตัดเหล็กเส้นโดยไม่ได้ผ่านการบริหารจัดการ อาจจะทำให้คนงานตัดเหล็กตัดตามความต้องการเพื่อความสะดวกสบาย ซึ่งไม่คำนึงถึงการจัดรูปแบบการตัด ขอมส่งผลให้เกิดเศษเหล็กในปริมาณมาก ดังรูป 1.3 เป็นผลจากการตัดเหล็กเส้นอย่างสิ้นเปลือง ขาดการวางแผนในการตัดเหล็กเส้นที่มีประสิทธิภาพ



รูปที่ 1.3 เศษเหล็กจำนวนมากที่เกิดจากการตัดเหล็กเส้นที่ไม่เหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์

พัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้น เพื่อลดปริมาณเศษเหล็กเนื่องจากการตัด และเปรียบเทียบปริมาณเศษเหล็กที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริงในโครงการก่อสร้างโดยการปฏิบัติแบบเดิมกับวิธีการสร้างรูปแบบการตัดเหล็กเส้นที่พัฒนาขึ้นมาใหม่นี้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 พัฒนาวิธีการสร้างรูปแบบการตัดเหล็กเส้นที่เหมาะสม เพื่อลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้าง โดยศึกษาและพัฒนาวิธีการค้นหาแบบสุ่ม (Random Search)

1.3.2 เก็บข้อมูลจากโครงการก่อสร้างประเภทงานอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก จำนวน 3 ตัวอย่าง โดยเป็นโครงการก่อสร้างขนาดกลาง ที่ดำเนินการในปัจจุบันเพื่อเก็บข้อมูลวิธีการตัดเหล็กเส้นและการใช้เหล็กเส้นในโครงการก่อสร้าง

1.3.3 พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการสร้างรูปแบบการตัดจากวิธีการค้นหาแบบสุ่มที่สามารถลดปริมาณเศษเหล็กได้ แล้วเปรียบเทียบปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจริงกับรูปแบบการตัดที่พัฒนาขึ้น

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยให้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ตามที่กำหนดไว้มีดังนี้

1.4.1 ศึกษาทบทวนขั้นตอนวิธีการสร้างรูปแบบการตัดเหล็กเส้นจากงานวิจัยเดิม

1.4.2 ศึกษาสำรวจข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการตัดเหล็กเส้น รวมทั้งการวางแผนการตัดเหล็กเส้นที่เกิดขึ้นจริงในโครงการก่อสร้าง ศึกษากรณีตัวอย่างต่าง ๆ ด้วยการสัมภาษณ์ผู้บริหารโครงการและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลแผนการตัดเหล็กเส้นที่เป็นอยู่

1.4.3 พัฒนาขั้นตอนวิธีการสร้างรูปแบบการตัดเหล็กเส้น โดยพิจารณาปรับปรุงจากการตัดเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้างจริงและจากงานวิจัยเดิม

1.4.4 วิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนวิธีการสร้างรูปแบบการตัดเหล็กเส้นที่พัฒนาขึ้นกับขั้นตอนวิธีการตัดเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้างจริง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การวิจัยนี้เมื่อสำเร็จลุล่วงจะสามารถก่อให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆดังนี้

1.5.1 ทำให้ผู้รับเหมา ทราบถึงวิธีการตัดเหล็กเส้นได้อย่างคุ้มค่า ช่วยให้เกิดต้นทุนค่าใช้จ่ายที่มาจากเศษเหล็กเส้นที่ต้องสูญเสียไป

1.5.2 เป็นแนวทางในการทำงานเกี่ยวกับเหล็กเส้นให้แก่ผู้รับเหมา โดยมีความรู้ความเข้าใจในการจัดการปัญหาที่เกิดจากเหล็กเส้น ซึ่งเป็นวัสดุหลักในโครงการก่อสร้างอาคาร

1.5.3 สามารถประยุกต์ใช้กับการตัดวัสดุลักษณะ 1 มิติ อื่น ๆ ได้อีก เช่น ไม้ ท่อ สายยาง เป็นต้น

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปริมาณเศษเหล็กที่สูญเสียในโครงการก่อสร้าง

ปริมาณของเศษเหล็กส่วนหนึ่งเกิดจากการขาดการควบคุม การบริหารจัดการการใช้เหล็กเส้นให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น ถ้าขาดการควบคุมและการวางแผนการใช้งานที่ดีก็จะก่อให้เกิดผลเสียกับโครงการก่อสร้างทั้งทางด้านต้นทุนและด้านการจัดการวัสดุ รวมทั้งเวลาในการก่อสร้าง ดังนั้นเหล็กเส้นจึงเป็นวัสดุที่ต้องให้ความสำคัญ เพราะว่าการตัดเหล็กเส้นที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดการสูญเสียและยอมไม่ส่งผลดีต่อผู้รับเหมา ซึ่งต้องคำนึงถึงต้นทุนที่เกิดขึ้นเป็นหลัก

ปริมาณเศษเหล็กจำนวนมากที่เกิดขึ้นจากการตัด มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของโครงการดังนี้

- 1) การสูญเสียเหล็กเส้น ที่ขาดการจัดเก็บที่ดี ทำให้เกิดการเสียหาย
- 2) สูญเสียเวลาและแรงงาน เมื่อเกิดปัญหาการสั่งและการขนย้ายเศษเหล็กเส้นที่ตัดผิดพลาด
- 3) ขาดการบริหารจัดการที่ดี ใช้งานเหล็กเส้นสิ้นเปลืองทำให้เหลือเศษปริมาณมาก
- 4) เศษเหล็กที่เกิดขึ้นถูกขโมย โดยไม่ได้นำไปใช้งานหรือนำไปขาย

จากการศึกษาของ Williams and Goetz (2000) ที่ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในเมืองโตรอนโต ประเทศแคนาดา เพื่อรวบรวมข้อมูลสัดส่วนโดยเฉลี่ยของปริมาณเศษวัสดุในโครงการก่อสร้างตัวอย่างที่เกิดขึ้น ดังตารางที่ 2.1 พบว่ามีปริมาณเศษเหล็กที่สูญเสียเกิดขึ้นถึง 7.3% โดยปริมาตร

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนโดยปริมาตรของของการสูญเสียวัสดุในโครงการก่อสร้าง

(Williams and Goetz, 2000)

Material	Waste (% By Volume)
Wood	34.8
Glass, Ceramic, Rubber, Aggregate	26.9
Building Materials	16.6
Paper and Paperboard	7.8
Steel	7.3
Plastic	2.5
Miscellaneous	3.7

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการสูญเสียของวัสดุ ที่ศึกษาโดย Williams and Goetz (2000) กับ ที่ศึกษาโดย Johnston (1981); Pooster (1972) ถึงปริมาณการสูญเสียของเหล็กเส้นไว้ ดังตาราง ที่ 2.2 จากการเก็บข้อมูลการสูญเสียของเหล็กเส้น ถ้ามีการควบคุมการจัดการและการทำงานให้ดี แล้ว จะสามารถลดการสูญเสียเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้างได้ 5-6% โดยเฉลี่ย

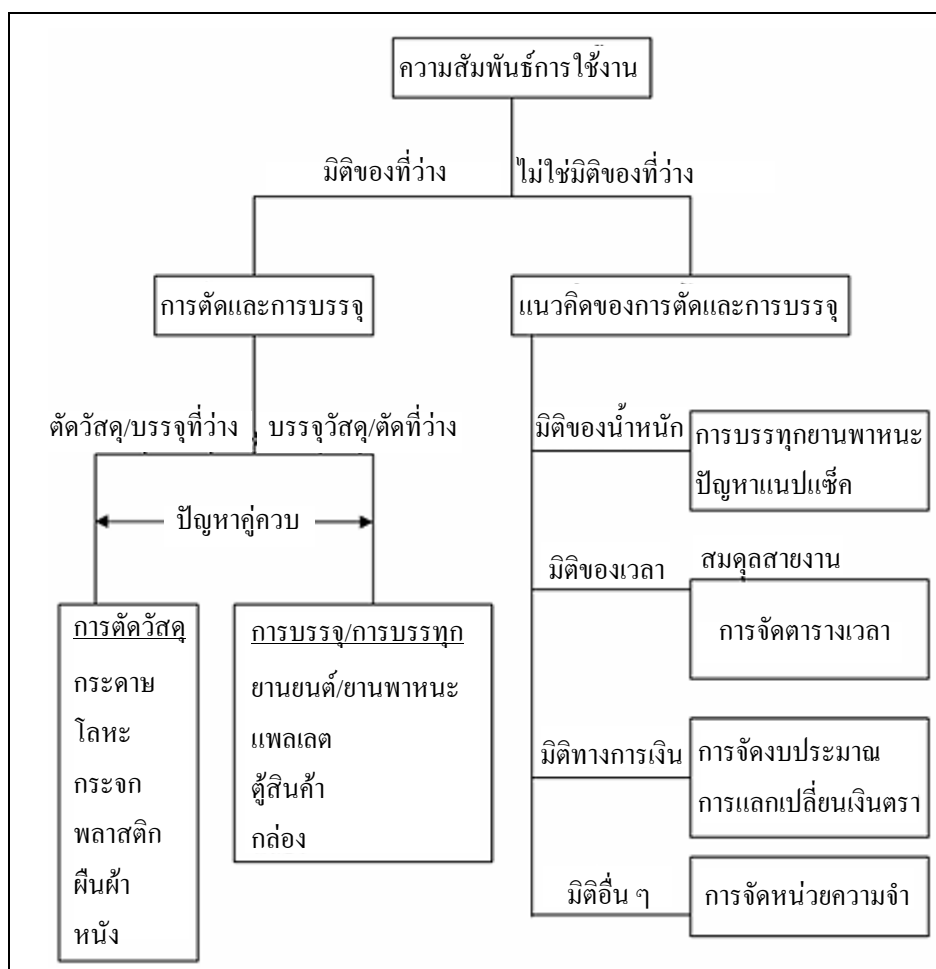
ตารางที่ 2.2 ปริมาณการสูญเสียวัสดุ เมื่อมีการวางแผนจัดการและควบคุมงาน

วัสดุ	การสูญเสีย	เอกสารอ้างอิง
Concrete	5%	Johnston (1981)
- Reinforcing Steel	5%	Johnston (1981)
	6%	Pooster (1972)
Brick Wall		
- Hollow	10%	Johnston (1981)
- Ordinary	2%	Milne (1980)

ทั้งนี้ปริมาณการสูญเสียเหล็กเส้นที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้าง เกิดจากเศษเหล็กที่มาจากการตัด ซึ่งปัญหาในลักษณะนี้เป็นปัญหาการตัดวัสดุหนึ่งมิติ (One-Dimensional Cutting Stock Problem, 1D-CSP) โดยปัญหาการตัดเหล็กเส้นสามารถจำแนกประเภทเพื่อความชัดเจนของปัญหาในการวิจัยได้

2.2 ประเภทของปัญหาการตัดและการบรรจุ (Classification of Cutting and Packing Problems)

การตัดเหล็กเส้นเป็นลักษณะปัญหาการตัดและการบรรจุ จากการศึกษาของ Dyckhoff (1990) ได้ทำการรวบรวมและจัดกลุ่มปัญหาในลักษณะการตัดและการบรรจุ โดยใช้โครงสร้างทางตรรกะของลักษณะปัญหาการตัดและการบรรจุเป็นการจัดกลุ่มประเภทของปัญหาเพื่อทำให้การระบุปัญหาในลักษณะนี้เกิดความชัดเจนมากขึ้น ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของปัญหาการตัดและการบรรจุ

จากลักษณะปัญหาการตัดและการบรรจุ สามารถสร้างรูปแบบการพิจารณาของปัญหาให้เป็นประเภทที่ชัดเจน ตามวิธีการหรือการใช้งานที่แตกต่างกันในการวิเคราะห์ โดยใช้สัญลักษณ์

4 ลำดับอักษร $\alpha/\beta/\gamma/\delta$ ที่บ่งบอกถึงจำนวนขนาดของมิติ การกำหนดชนิด ลักษณะของวัสดุ ขนาดใหญ่ และบอกลักษณะของวัสดุขนาดย่อยตามลำดับ แต่ละลำดับแบ่งได้ ดังนี้

ลำดับอักษรที่ 1 (α) จำนวนขนาดของมิติ แสดงผลเป็น ตัวเลข 1 2 3 N โดยที่

(1) หมายถึง วัสดุหนึ่งมิติ เป็นรูปแบบของการตัดหรือการบรรจุวัสดุในแนวเดียว เช่น การตัดเหล็กเส้น เชือก เหล็กม้วน ม้วนกระดาษ โดยคำนึงถึงเฉพาะช่วงความยาวในการตัดเท่านั้น

(2) หมายถึง วัสดุสองมิติ เป็นรูปแบบการตัดหรือการบรรจุวัสดุรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากขนาดต่าง ๆ ตามความต้องการจากวัสดุรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือลงในพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก เช่นเดียวกัน เช่น แผ่นโลหะ แผ่นกระจก แผ่นกราฟไฟท์ แผ่นพลาสติก เป็นต้น

(3) หมายถึง วัสดุสามมิติ เป็นรูปแบบของการตัดหรือการบรรจุวัสดุรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาดแตกต่างกัน ตามความต้องการจากวัสดุรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์หรือบรรจุลงในภาชนะรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์เช่นเดียวกัน เช่น การตัดแท่งโลหะ แท่งไม้ การบรรจุลงกล่อง การบรรจุตู้สินค้า คอนเทนเนอร์ เป็นต้น

(N) หมายถึง มากกว่าสามมิติ เป็นรูปแบบของการตัดหรือการบรรจุในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีตัวแปรมากกว่าสามตัวแปร

ลำดับอักษรที่ 2 (β) การกำหนดชนิด แบ่งเป็น

(B) หมายถึง เลือกวัสดุขนาดย่อย โดยกำหนดวัสดุขนาดใหญ่

(V) หมายถึง เลือกทั้งวัสดุขนาดใหญ่และขนาดย่อย

ลำดับอักษรที่ 3 (γ) ลักษณะของวัสดุขนาดใหญ่ แบ่งเป็น

(O) หมายถึง วัสดุขนาดใหญ่ชิ้นเดียว

(I) หมายถึง วัสดุขนาดใหญ่หลายชิ้นที่มีขนาดเท่ากัน

(V) หมายถึง วัสดุขนาดใหญ่หลายชิ้นที่มีขนาดแตกต่างกัน

ลำดับอักษรที่ 4 (δ) ลักษณะของวัสดุขนาดย่อย แบ่งเป็น

(F) หมายถึง วัสดุขนาดย่อยมีจำนวนน้อย และมีขนาดที่แตกต่างกันน้อย

(M) หมายถึง วัสดุขนาดย่อยมีจำนวนมาก และมีขนาดที่แตกต่างกันมาก

(R) หมายถึง วัสดุขนาดย่อยมีจำนวนมาก และมีขนาดที่แตกต่างกันน้อย

(C) หมายถึง วัสดุขนาดย่อยมีจำนวนมาก และมีขนาดที่ไม่แตกต่างกัน

จากลำดับอักษรทั้งหมดในปัญหาที่พิจารณา พบว่าปัญหาการตัดเหล็กเส้น ได้ถูกกำหนดเป็น ปัญหาการตัดวัสดุหนึ่งมิติ จัดอยู่ในประเภท $1/V/I/M$ หรือ ประเภท $1/V/V/M$ ซึ่งปัญหาตัดวัสดุหนึ่งมิติมีวัตถุประสงค์คล้ายคลึงกับปัญหาการบรรจุ โดยปัญหาการตัดจะลดปริมาณเศษที่เกิดจากการตัด ส่วนปัญหาการบรรจุจะลดปริมาณพื้นที่ที่เหลือจากการบรรจุ

2.3 แนวคิดที่เกี่ยวกับการลดปริมาณเศษเหลือ

การลดปริมาณเศษเหลือ มีแนวคิดมาจากการวิจัยดำเนินงาน (Operation Research) เรียกว่า ปัญหาการตัดหนึ่งมิติ สามารถจัดทำเป็นโปรแกรมเชิงเส้นตรงที่เป็นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming : ILP) ได้

2.3.1 โปรแกรมเชิงเส้นตรง

การแก้ปัญหาที่เกี่ยวกับระบบสมการโดยทั่วไปแล้วขึ้นอยู่กับรูปแบบของสมการ ซึ่งในการแก้สมการแต่ละรูปแบบมีวิธีที่แตกต่างกันไป บางกรณีก็มีวิธีแก้ที่หลากหลาย ในการแก้ปัญหายุ่งยากเกี่ยวกับระบบสมการ รูปแบบสมการโดยทั่วไป สามารถจำแนก ได้ดังนี้

กรณีที่ 1 จำนวนตัวแปรเท่ากับจำนวนสมการ ($n = m$) ในกรณีนี้จะให้คำตอบที่ถูกต้องเพียงคำตอบเดียวต่อตัวแปรหนึ่งตัว คือมีคำตอบเท่ากับจำนวนสมการ

กรณีที่ 2 จำนวนตัวแปรน้อยกว่าจำนวนสมการ ($n < m$) จะมีสมการที่ไม่เป็นอิสระกัน $= (n - m)$ สมการ ถ้าสมการถูกต้องแล้ว สามารถตัดสมการที่ไม่อิสระบางสมการออกได้ จนเหลือจำนวนสมการที่อิสระกัน จากนั้นจึงแก้สมการหาคำตอบ

กรณีที่ 3 จำนวนตัวแปรมากกว่าจำนวนสมการ ($n > m$) ในกรณีนี้ตัวแปรตัวหนึ่งจะมีหลายคำตอบที่เป็นไปได้ ในการที่จะลดจำนวนคำตอบของตัวแปรลง สามารถทำได้โดยกำหนดเงื่อนไขบางอย่างเข้าไป

สำหรับโปรแกรมเชิงเส้นตรงจะเกี่ยวข้องกับรูปแบบสมการในกรณีที่ 3 แต่มีบางอย่างที่แตกต่างออกไป คือ เครื่องหมายมากกว่าหรือเท่ากับ ($\geq$) และเครื่องหมายน้อยกว่าหรือเท่ากับ ($\leq$) เพิ่มขึ้นอีกอย่างจะมีสมการกำหนดเป้าหมายเพิ่มเข้ามาอีกหนึ่งสมการ ซึ่งมี 2 รูปแบบ คือ รูปแบบสมการเป้าหมายน้อยที่สุด (Min Z) และรูปแบบสมการที่ให้สมการเป้าหมายมากที่สุด (Max Z) ซึ่งทั้งสองรูปแบบของสมการเป้าหมายมีความสัมพันธ์กัน สามารถเขียนได้ ดังนี้

$$\text{Max } Z = - \text{Min } Z \quad (2.1)$$

ในการแก้สมการทั้งสองรูปแบบ จะเหมือนกันแต่มีเครื่องหมายตรงข้ามกันเท่านั้น ซึ่งรูปแบบมาตรฐานของโปรแกรมเชิงเส้นตรง สามารถเขียนได้ดังต่อไปนี้

1) สมการเป้าหมาย

$$\text{Min } Z = \sum_{j=1}^m c_j x_j \quad (2.2)$$

2) อสมการเงื่อนไข

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_{ij} \quad (< \text{หรือ} = \text{หรือ} >) b_i \quad (2.3)$$

และ $x_j \geq 0$ โดยที่

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

ในการสร้างรูปแบบของสมการในโปรแกรมเชิงเส้นตรงสามารถสรุปได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดตัวแปร (Variable, x_j) จากปัญหาที่ทำการศึกษาและเข้าใจปัญหาทำให้ทราบตัวแปรทั้งหมดมีกี่ตัวแปร (n) อะไรบ้าง ต้องพิจารณาตัวแปรต่าง ๆ ให้ครบทุกตัวในปัญหาที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างสมการเป้าหมาย (ในกรณีที่มีตัวแปรมากกว่าจำนวนสมการ จำเป็นที่จะต้องสร้างสมการขึ้นหนึ่งสมการเพื่อให้ได้ตัวแปรที่มีค่าตอบเดียวของการแก้ปัญหา 1 ครั้ง ซึ่งเรียกว่า สมการเป้าหมาย) ซึ่งมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ รูปแบบสมการเป้าหมายมากที่สุด และรูปแบบสมการเป้าหมายน้อยที่สุด ในกรณีนี้ปัญหาการตัดเหล็กเส้นจำเป็นต้องหาปริมาณการตัดตามรูปแบบการตัดเหล็กเส้นให้มีปริมาณเศษน้อยที่สุด โดยใช้รูปแบบของสมการเป้าหมายแบบน้อยที่สุด

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการสร้างสมการหรืออสมการ กำหนดเงื่อนไข ซึ่งมี 3 ลักษณะ คือ

- 1) จำกัดเงื่อนไขของอสมการน้อยกว่า หรือเท่ากับ ($\leq$) ตัวคงที่
- 2) จำกัดเงื่อนไขของสมการเท่ากับ ($=$) ตัวคงที่
- 3) จำกัดเงื่อนไขของอสมการมากกว่าหรือเท่ากับ ($\geq$) ตัวคงที่

ในกรณีการแก้ปัญหาต่าง ๆ สามารถมี 3 อย่างนี้ผสมกันได้ แต่กรณีแก้ปัญหาคัดเหล็กเส้น จำเป็นที่จะต้องกำหนดเงื่อนไขเท่ากับ ($=$) ตัวคงที่ คือ จำนวนที่ทำการวิเคราะห์จะต้องเท่ากับจำนวนที่ต้องการตัดของเหล็กเส้น

ขั้นตอนที่ 4 เป็นการกำหนดค่าตัวแปร (x_j) ซึ่งจะต้องมีค่าเป็นบวกและเป็นจำนวนเต็ม (Integer) เพราะในการจัดสรรทรัพยากร ต้องมีจำนวนเป็นบวกเสมอ

เมื่อสามารถสร้างรูปแบบของสมการโปรแกรมเชิงเส้นตรงแล้วจะสามารถแก้ไข
ปัญหาได้ โดยการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Solution) ซึ่งเป็นคำตอบที่เข้ากับสมการ
เป้าหมาย และสมการเงื่อนไขทั้งหมด

2.3.2 หลักการของปัญหารูปแบบการตัด

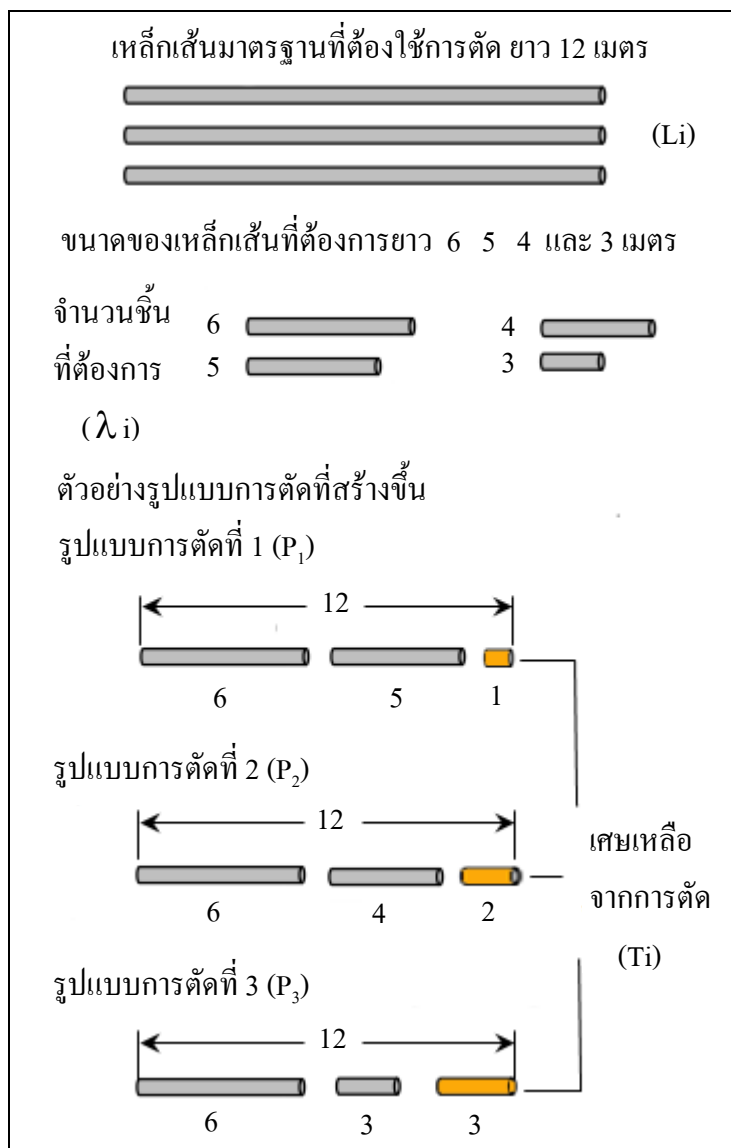
รูปแบบปัญหาการตัด หมายถึง การตัดเหล็กเส้นเพื่อให้ได้ขนาดตามความต้องการ
จากขนาดมาตรฐานที่มีอยู่ ซึ่งรูปแบบการตัดที่ต้องการแต่ละแบบจากขนาดมาตรฐาน จะได้จำนวน
ท่อนการตัดตามความยาวที่แตกต่างกัน รูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงรูปแบบการตัดและขนาดมาตรฐาน

การใช้งานในส่วนของโครงสร้างจำเป็นต้องมีการตัดเหล็กเส้นเพื่อนำมาใช้งาน
ตามความยาวเหล็กเส้นที่ได้ทำการออกแบบ เพราะการจำหน่ายเหล็กเส้นตามท้องตลาดทั่วไปนั้น
มีจำหน่ายเหล็กเส้นเป็นขนาดมาตรฐาน 10 และ 12 เมตร

โดยลักษณะปัญหาการตัดเหล็กเส้น สามารถอธิบายได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้ เหล็กเส้น
ขนาดมาตรฐาน 12 เมตร ต้องการตัดขนาดความยาว 6 5 4 และ 3 เมตร ตามลำดับ จำนวนอย่างละ
1 ท่อน โดยไม่ได้คำนึงถึงจำนวนของแต่ละความยาวที่ต้องการ ดังรูปที่ 2.3 แต่ต้องการแสดงให้เห็น
ว่าเศษที่เกิดขึ้นจากการตัดเมื่อมีความยาวที่ต้องการที่หลากหลาย และมีจำนวนที่ต้องการในปริมาณ
มากก็จะส่งผลให้เกิดเศษเหล็กมากขึ้นตามรูปแบบการตัดที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างลักษณะรูปแบบการตัดที่เกิดขึ้นหลากหลาย

ในโครงการก่อสร้างอาคารมีความต้องการในการใช้เหล็กเส้นที่มีขนาดและความยาวแตกต่างกันจำนวนมาก ทำให้ต้องใช้วิธีจัดรูปแบบการตัดที่หลากหลายมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้การสูญเสียเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจากรูปแบบการตัดจะมีความยาวที่แตกต่างกันไป

จากปัญหาในการตัดเหล็กเส้นซึ่งเป็นลักษณะปัญหาการตัดหนึ่งมิติ ที่มีรูปแบบการตัดที่หลากหลาย Gilmore and Gomory (1961) ได้เป็นผู้ริเริ่มหาวิธีการแก้ปัญหาคัด โดยวิธีการสร้างรูปแบบการตัด (Pattern Generation Technique) โดยใช้ทฤษฎีกำหนดการเชิงเส้นตรง ทำให้ปัญหาการตัดและวิธีการนี้เป็นที่สนใจกันอย่างกว้างขวางในเวลาต่อมา และได้นำเสนอแนวทางการ

แก้ปัญหาในลักษณะนี้โดยอาศัยโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบผ่อนคลาย (Linear Programming Relaxation) และในปี 1963 ได้เสนอวิธีการใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงโดยการใช้ปัญหาแนปแซค (Knapsack Problem) และวิธีการสร้างสดมภ์ (Column Generation) เป็นบทความต่อเนื่อง โดยเพิ่มข้อจำกัดด้านความสามารถในการผลิต และประยุกต์เทคนิคการสร้างสดมภ์เมื่อมีเงื่อนไขกำลังการผลิตเพิ่มเติม ซึ่งรายละเอียดของแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นตรงกำหนดให้ วัสดุขนาดมาตรฐานมีความยาว L ; $\max_{1 \leq i \leq n} l_i \leq L$ เวกเตอร์ของรูปแบบการตัดเป็น $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ ที่ประกอบด้วยขนาดความยาว l_i จำนวน a_i ชิ้น ขนาด l_2 จำนวน a_2 ชิ้น เป็นต้น

ซึ่งสามารถกำหนดเป็นปัญหาจำนวนเต็มเชิงเส้นตรงได้ ดังนี้

สมการเป้าหมาย

$$\text{Min } Z = \sum_{j=1}^m c_j x_j \quad (2.4)$$

ข้อจำกัด

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} x_j \geq d_j; 1, \dots, n \quad (2.5)$$

$x_j \geq 0$ และเป็นเลขจำนวนเต็ม (Integer)

โดยที่ $a_{ij} x_j$ คือ จำนวนชิ้นของขนาดความยาว l_i ที่ได้จากการตัดตามรูปแบบที่ j

c_j คือ สัมประสิทธิ์ต้นทุนในสมการเป้าหมาย

Haessler (1971) ได้เริ่มแนะนำวิธีการสร้างรูปแบบการตัดด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่ม (Random Search) ซึ่งเป็นวิธีการเลือกสร้างรูปแบบการตัดในเบื้องต้นที่คำนึงถึงการสูญเสียที่ต่ำสุดสามารถใช้ในจำนวนมากที่สุด และเก็บรูปแบบบางส่วนที่ยังคงใช้ได้ไว้เป็นส่วนประกอบของรูปแบบต่อไป

Vahrenkamp (1996) ได้พิจารณารูปแบบการตัดที่ให้เศษน้อยที่สุด โดยให้ความสำคัญในการสุ่มค่าในการจัดลำดับเพื่อหารูปแบบการตัดที่ดีที่สุดโดยปรับปรุงการคำนวณมาจาก Haessler and Sweeney (1991) โดยใช้การประมาณค่าเพื่อสร้างหลักเกณฑ์ในการใช้วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic) เพื่อแก้ปัญหการตัดหนึ่งมิติ

โดยการจับกลุ่มที่เป็นไปได้ตามเงื่อนไข โดยสุ่มค่าความยาวที่ต้องการของเหล็กเส้น (Random $\lambda_1, \dots, \lambda_n$) มาหนึ่งค่า เพื่อทำการวนรอบ (Loop) ตามเงื่อนไขจนกว่า $\lambda_i \leq L$ เพื่อเปรียบเทียบจำนวนครั้งในการตัดจากสมการช่วงปิด $[1, \text{Min}(Lc/\lambda_i), d_i]$ ให้ค่าเท่ากับ k ต้องเป็นเลขจำนวนเต็ม จากนั้นจึงทำการสุ่มค่าจำนวนครั้งที่ได้ นำมาตัดในขนาดมาตรฐาน

เมื่อมีการตัดในขนาดมาตรฐานเกิดขึ้น จะสามารถสร้างรูปแบบการตัดได้ และต้องทำการปรับค่าเหล็กเส้นขนาดมาตรฐานที่ทำการตัดไปแล้ว เพื่อใช้ในการตัดครั้งต่อไป โดยมีสมการดังนี้

สมการจำนวนครั้งในการตัด

$$p_i = k \quad (2.6)$$

สมการปรับค่าขนาดมาตรฐาน

$$Lc = Lc - k\lambda_i \quad (2.7)$$

จากนั้นเมื่อได้รูปแบบการตัดตามความต้องการและจำนวนของเหล็กเส้นแล้ว จะต้องทำการหาปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจากการตัด โดยมีสมการดังนี้

เศษที่เกิดจากการตัด

$$T = L - \sum p_i \lambda_i ; i = 1, \dots, n \quad (2.8)$$

โดยที่ T คือ เศษที่เกิดจากการตัด (Trim loss)

L คือ ขนาดมาตรฐานของเหล็กเส้น

$\sum p_i \lambda_i$ คือ ผลรวมของรูปแบบการตัดที่ p_i กับความยาว λ_i ที่ต้องการ

สันติ ชินานุวัตร (2543) ได้เสนอวิธีการควบคุมการสูญเสียหลักเส้น โดยใช้หลักการการจัดกลุ่มหลักเส้น ซึ่งคิดตามทฤษฎีความน่าจะเป็นในเรื่องการจัดหมู่ (Combination) ถ้าให้จำนวนของความยาวที่แตกต่างกันของหลักเส้น เท่ากับ N และจำนวนที่มาจับกลุ่มกัน เท่ากับ r จำนวนหนทางในการจัดกลุ่มทั้งหมด โดยไม่คำนึงถึงการเรียงลำดับและในการจัดกลุ่มแต่ละครั้ง ไม่มีการซ้ำกันและ $r < N$ สามารถเขียนสมการที่ใช้ในการประมาณรูปแบบที่เกิดขึ้นของการตัดได้ ดังสมการที่ 2.9

$$C_r^n = \frac{(N + r - 1)!}{(N - 1)!r!} \quad (2.9)$$

โดยที่ N คือ จำนวนของความยาวที่แตกต่างกันของหลักเส้น

R คือ จำนวนที่มาจับกลุ่มกันในการตัด

จากสมการสามารถประมาณรูปแบบการตัด โดยเมื่อ $N = 30$ และ $r = 5$ จะได้

$$C_r^n = \frac{(30 + 5 - 1)!}{(30 - 1)!5!} = 278,256$$

จะเห็นว่ารูปแบบการตัดที่เกิดขึ้นนั้นมีจำนวนมากถึง 278,256 จึงได้ใช้สมมุติฐานของ Sohail Raza (1983) ในการลดจำนวนรูปแบบการตัดที่เกิดขึ้นและคัดเลือกรูปแบบการตัดมาวิเคราะห์ในโปรแกรมเชิงเส้นตรง เพื่อหาหลักเส้นที่ให้เศษจากการตัดน้อยที่สุด ซึ่งรูปแบบการตัดมีแนวคิดการจัดกลุ่มหลักเส้น โดยสมมุติให้จำนวน (N) เป็นความยาวของหลักเส้นที่แตกต่างกันทั้งหมด มี 4 ความยาวที่แตกต่างกัน และจับกลุ่มกันไม่เกิน 3 ความยาว ($r = 3$) โดย ให้ตัวเลข 1 2 3 4 คือ ตัวแทนของหลักเส้นแต่ละความยาว ตัวเลข 0 หมายถึง ไม่มีความยาวที่ถูกจับคู่ในการจัดกลุ่มจะยึดตัวเลขตัวแรกเป็นหลักแล้วจะรวมกลุ่มกับความยาวตัวอื่นไปเรื่อย ๆ โดยไม่ให้เกิดการซ้ำกัน เช่น

ยึดความยาว 4 เป็นหลัก

400	411	422	433	444
401	412	423	434	
402	413	424		
403	414			
404				

จำนวนกลุ่มที่เกิด เท่ากับ 15

ยี่ดความยาวที่ 3 เป็นหลัก

300 311 322 333

301 312 323

302 313

303

จำนวนกลุ่มที่เกิด เท่ากับ 10

ยี่ดความยาวที่ 2 เป็นหลัก

200 211 222

201 212

202

จำนวนกลุ่มที่เกิด เท่ากับ 6

ยี่ดความยาวที่ 1 เป็นหลัก

100 111

101

จำนวนกลุ่มที่เกิด เท่ากับ 3

ยี่ดความยาวที่ 0 เป็นหลัก

000

จำนวนกลุ่มที่เกิด เท่ากับ 1

รวมจำนวนกลุ่มทั้งหมด เท่ากับ $1+3+6+10+15 = 35$ กลุ่ม

จากนั้นจึงนำรูปแบบการจัดกลุ่มที่วิเคราะห์มาแก้สมการในรูปเมทริกซ์ด้วยวิธีทางพีชคณิตที่อาศัยทฤษฎีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) เพื่อแก้ปัญหาให้เป็นระบบยิ่งขึ้น สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่มีผลต่อสมการเป้าหมาย โดยมีผลต่อเป้าหมายในทางที่เร็วที่สุด

จะเห็นว่าการจัดกลุ่มหลักเส้นของ สันติ ชินานุวัตินวงศ์ เป็นการจัดกลุ่มโดยการจัดเรียงเพื่อไม่ให้เกิดการจัดรูปแบบที่ซ้ำกัน ซึ่งเหมาะกับการนำไปใช้ในการตัดวัสดุที่มีการตัดชิ้นงานแบบซ้ำ ๆ กันหลายชิ้นในปริมาณมาก ซึ่งในความเป็นจริงรูปแบบการตัดที่เกิดขึ้นจะมี

ปริมาณมาก ถ้าคิดคำนวณโดยการจัดกลุ่มจะต้องใช้เวลานาน และอาจไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริง

เนื่องจากปัญหาการตัดวัสดุหนึ่งมิติเป็นปัญหาประเภท NP-Hard (Nondeterministic Polynomial-Time Hard) (Fleszar and Hindi, 2002) คือเป็นปัญหาที่ต้องใช้เวลาโพลิโนเมียลเพื่อที่จะพิจารณาคำตอบทุกคำตอบที่เป็นไปได้ ทำให้การประยุกต์ใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นตรง ซึ่งเป็นวิธีการในการหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบจริง (Exact Algorithms) ในการหาคำตอบอาจทำไม่ได้กับปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อน (Gupta and Ho, 1999) ดังนั้น การหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบประมาณจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมกว่า เช่น วิธีสุ่มค่า (Randomized Pattern Selection) วิธีเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms) เป็นต้น

2.4 สรุป

จากการทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่ารายละเอียดของโมเดลปัญหาจะแตกต่างกันออกไปมากมายตามแต่การประยุกต์ใช้วิธีการแก้ปัญหา (Algorithms) ที่มีอยู่จำนวนมาก ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก (Scholl et al, 1997) คือ วิธีการในการหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบจริงและแบบประมาณ (Approximation Algorithms) เนื่องจากปัญหาการตัดวัสดุหนึ่งมิติเป็นปัญหาแบบ NP-Hard การใช้แนวทางการแก้ปัญหาแบบประมาณย่อมให้ผลที่ดีและรวดเร็วกว่าสามารถแบ่งออกได้เป็น Heuristic และ Stochastic Approaches ตามวิธีการที่ต้องการวิเคราะห์ จะทำให้การแก้ปัญหามีประสิทธิภาพมากขึ้น

ลักษณะการใช้งานหลักเส้นในโครงการก่อสร้าง มีการใช้งานในความต้องการที่หลากหลายขนาด และซับซ้อนจึงจำเป็นต้องใช้การวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงมาช่วยในการหาปริมาณการตัดของรูปแบบการตัดที่ได้จากวิธีการค้นหาแบบสุ่ม ซึ่งเป็นวิธีการแก้ปัญหาแบบการประมาณจะช่วยให้การหารูปแบบการตัดที่ซับซ้อนเป็นเรื่องง่ายขึ้น

โดยแตกต่างจากทฤษฎีการจัดหมู่ที่จะต้องหารูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมดซึ่งมีจำนวนมากมาย เพื่อที่จะวิเคราะห์หารูปแบบการตัดที่ให้เศษน้อยที่สุด ซึ่งในส่วนของงานวิจัยนั้นจะพัฒนาทางด้านวิธีการสร้างรูปแบบการตัดหลักเส้นที่เหมาะสมกับหลักเส้นที่มีความต้องการที่หลากหลายโดยมีรูปแบบวิธีการดำเนินงานวิจัยในบทที่ 3

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ การโมเดลปัญหาเพื่อพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้น โดยมีหลักการคิดเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กจากการตัดให้เหลือน้อยที่สุด และการเก็บข้อมูลเหล็กเส้นที่ใช้ในโครงการก่อสร้าง รวมถึงวิธีการที่ใช้ในการวางแผนการตัดเหล็กเส้นและปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้างตัวอย่าง เพื่อนำข้อมูลปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นมาเปรียบเทียบกับวิธีการสร้างรูปแบบการตัดที่ได้พัฒนาขึ้น

3.1.1 ประเด็นปัญหาที่ทำการสำรวจ

ปัญหาการตัดเหล็กเส้นเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการทำงาน ซึ่งมักจะเกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการเหล็กเส้นที่ต้องการใช้ ถ้าขาดความเข้าใจในการลดปริมาณเศษเหล็กจะทำให้โครงการก่อสร้างเกิดความสูญเสียได้ เพราะเศษเหล็กที่เกิดขึ้นในปริมาณมากนั้น เกิดจากการขาดวิธีการวางแผนการตัดเพื่อลดปริมาณเศษเหล็ก เมื่อทำการสำรวจโครงการก่อสร้างหากพบว่าวิธีการตัดที่ใช้อยู่เดิมมีข้อบกพร่อง เช่น ไม่มีการวางแผนการตัดเหล็กเส้น ใช้การตัดเหล็กเส้นตามขนาดที่ต้องการไปเรื่อย ๆ จนครบตามความต้องการโดยไม่ได้คำนึงถึงเศษเหล็กที่น้อยที่สุด การทำการวิจัยจึงจำเป็นต้องหาทางพัฒนารูปแบบการตัดเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กให้มีประสิทธิภาพมากกว่า

อีกทั้งการสำรวจโครงการก่อสร้างยังมุ่งเน้นเพื่อหาแนวทางที่เกี่ยวข้องกับการเกิดความสูญเสียของเหล็กเส้น เพื่อหาสาเหตุและแนวทางการทำงานเกี่ยวกับเหล็กเส้นให้กับผู้รับเหมา โดยเฉพาะผู้รับเหมาที่มีความสนใจในการคิดแก้ไขปัญหา แต่ขาดความเข้าใจ ขาดแนวทาง และความรู้พื้นฐานที่จำเป็นเข้ามาช่วยแก้ปัญหา

3.1.2 โครงการก่อสร้างตัวอย่างที่ทำการศึกษา

โครงการก่อสร้างตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาต้องยังดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งจะใช้วิธีการสัมภาษณ์และการสังเกตหน้างาน โดยทำการศึกษาจำนวน 3 โครงการ เพื่อทำการเก็บข้อมูลเหล็กเส้นที่ใช้ในแต่ละโครงการ รวมถึงวิธีการที่แต่ละโครงการตัวอย่างใช้ในการวางแผนการตัดเหล็กเส้นและข้อมูลแบบการตัดเหล็กเส้นที่ใช้อยู่จริงในโครงการก่อสร้างตัวอย่าง

การเก็บข้อมูลการตัดเหล็กเส้นจะใช้การสุ่มตัวอย่างจากการสังเกตหน้างาน โดยกำหนดเลือกโครงการเอง (Purposive Sampling) โดยเลือกโครงการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่

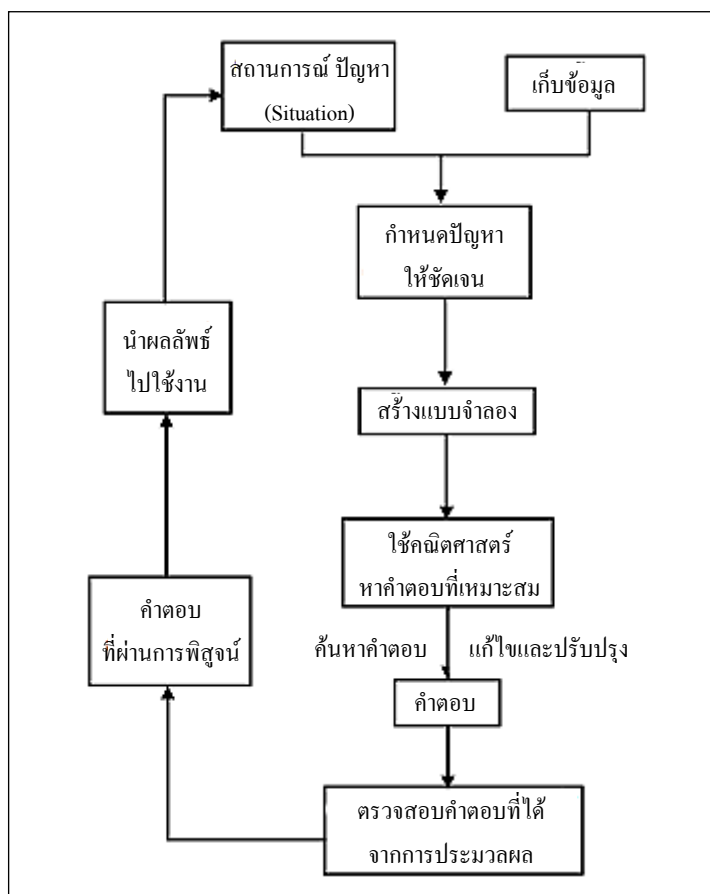
เป็นโครงการขนาดกลางหรือขนาดย่อม โดยอยู่ในระหว่างการทำงานเกี่ยวกับโครงสร้าง เพื่อความสะดวกและประโยชน์ต่อการเก็บข้อมูล โดยศึกษาข้อมูลหลักเส้นใช้เสริมในคอนกรีต โดยมีขั้นตอนที่สำคัญ คือ

- 1) เก็บข้อมูลจำนวนหลักเส้นที่ต้องการและจำนวนที่ต้องการในแต่ละช่วงงาน
- 2) การส่งหลักเส้นมาตรฐานและข้อจำกัดด้านที่เก็บ
- 3) การตัดหลักเส้นที่เกิดขึ้นและรูปแบบการตัดที่ใช้

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยได้ใช้หลักการวิจัยดำเนินงาน ซึ่งประกอบด้วยการกำหนดปัญหา (Problem Identification) ที่มีลักษณะรูปแบบ เงื่อนไขและสมมติฐานที่ชัดเจน โดยมีการเก็บข้อมูลจากการสำรวจกระบวนการที่ทำให้เกิดเศษเหล็ก จากนั้นเป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ที่สอดคล้องตรงตามลักษณะของปัญหาที่กำหนดขึ้น และจึงทำการรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ (Data Gathering)

จากนั้นจึงหาวิธีการคำนวณ (Algorithm for Solving) ที่ถูกต้องและเหมาะสมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และลักษณะของข้อมูลที่กำหนดไว้ ภายใต้เทคโนโลยีและเวลาในการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม เพื่อทำการแก้ปัญหาที่กำหนดไว้เบื้องต้น และจำเป็นที่จะต้องทดสอบความถูกต้องและแม่นยำของผลลัพธ์ที่ได้ (Testing the Solution) แล้วจึงนำผลลัพธ์ดังกล่าวไปประยุกต์ใช้งานจริง (Implementation) และพัฒนาวิธีการคำนวณ โดยศึกษาการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคำนวณในส่วนปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน และวิธีการใช้งานต้องตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน ผลสรุปตามรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพลำดับขั้นตอนของการวิจัยดำเนินงาน

3.2.1 การกำหนดปัญหา (Formulating the Problem)

ปัญหาการวางแผนการตัดเหล็กเส้นมีความซับซ้อน เพราะรูปแบบการตัดที่เกิดขึ้นมีมากมาย การกำหนดปัญหาให้ชัดเจนจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อหาสาเหตุและแนวทางการแก้ไข งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้น จำเป็นที่จะต้องสร้างรูปแบบโมเดลทางคณิตศาสตร์ (Constructing a Mathematical model) เมื่อกำหนดและเข้าใจปัญหาอย่างถูกต้องแล้ว ในการวิจัยดำเนินงานนิยมใช้ตัวแปรคณิตศาสตร์สำหรับแทนระบบของปัญหาโดยมีสมการต่าง ๆ แสดงความสัมพันธ์และมีโครงสร้าง ดังนี้

- 1) สมการเป้าหมาย (Objective Function)
- 2) ตัวแปรควบคุม (Decision Variable) และตัวแปรอิสระ (Independent Variable)
- 3) เงื่อนไข (Constraints)

การหาคำตอบ (Deriving a Solution) ในหลักการของการวิจัยดำเนินงาน เป็นการหาผลลัพธ์ที่ได้ผลดีเหมาะสมที่สุด ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด และทำการทดสอบรูปแบบทางคณิตศาสตร์และผลลัพธ์ (Testing the Model and Solution) ซึ่งการใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์จำเป็นต้องมีการทดสอบ จึงได้ทำการสำรวจโครงการก่อสร้างเพื่อทำการสำรวจข้อมูลปริมาณการสูญเสียหลักเส้นตามงวดงานที่เกิดขึ้นในช่วงนั้น เพื่อใช้ทดสอบรูปแบบการตัดหลักเส้นที่พัฒนาขึ้น

3.2.2 การสัมภาษณ์และสังเกตหน้างานจริง

ใช้การสัมภาษณ์และสังเกตหน้างานจริงเพื่อศึกษาถึงการใช้หลักเส้นในโครงการก่อสร้าง รวมทั้งศึกษาวิธีการตัดหลักเส้นเพื่อลดเศษเหล็กที่โครงการก่อสร้างใช้ในการตัดหลักเส้น โดยเน้นถึงข้อมูลของเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจากการตัดหลักเส้น จากนั้นต้องมีการบันทึกวัดเศษเหล็กที่เกิดขึ้น (Waste Quantification) รวมถึงวิธีการที่แต่ละโครงการตัวอย่างใช้ในการสร้างรูปแบบการตัดหลักเส้น เป็นกระบวนการเริ่มต้นที่จำเป็นในการลดปริมาณเศษเหล็ก (Waste Minimization) เพื่อใช้เปรียบเทียบกับคำตอบการพัฒนาโมเดลเพื่อสร้างรูปแบบการตัด

อีกทั้งได้วางแผนในการสัมภาษณ์ผู้ควบคุมงานก่อสร้าง เพื่อต้องการข้อเสนอแนะในการใช้งานโปรแกรมการสร้างรูปแบบการตัดหลักเส้นที่พัฒนาขึ้น โดยสาธิตการใช้งานโปรแกรมและประเมินประสิทธิภาพในการทำงานในการลดปริมาณเศษเหล็กจากการตัด และเปรียบเทียบความสะดวกในการทำงานวางแผนการตัดหลักเส้นจากวิธีเดิมกับการใช้งานโปรแกรม

3.2.3 วิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจโครงการก่อสร้าง

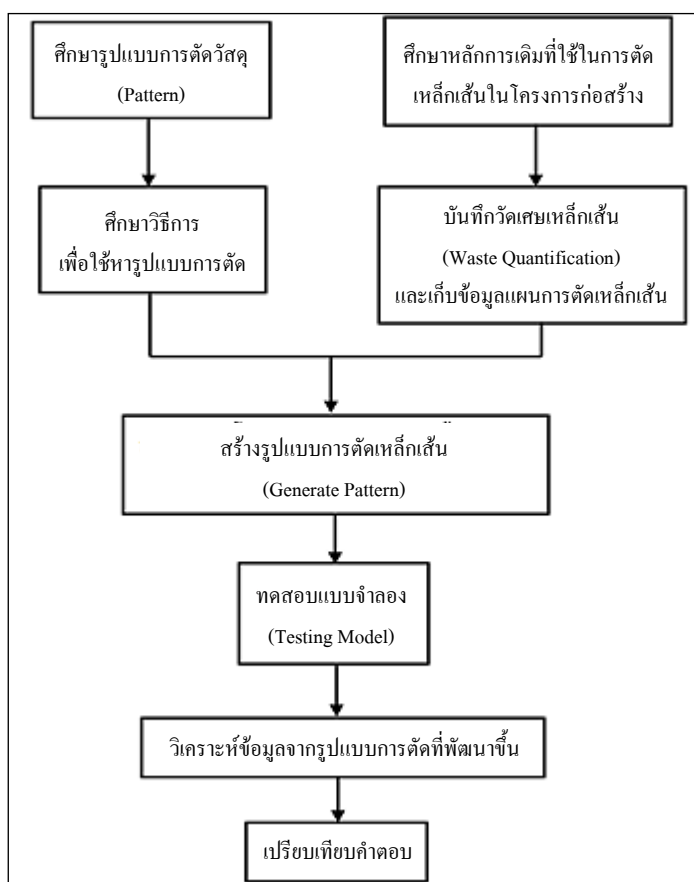
ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลหลักเส้น ปริมาณการสูญเสีย และวิธีการวางแผนสร้างรูปแบบการตัด ที่ได้จากการสัมภาษณ์และสังเกตหน้างาน ดังนี้

- 1) ศึกษาหลักการทำงานในการตัดหลักเส้นเพื่อใช้ในส่วนของโครงสร้าง โดยเป็นหลักการตัดหลักเส้นที่มีการปฏิบัติในลักษณะเดิม คือ ไม่ได้คำนึงถึงเศษที่เกิดขึ้นและศึกษาถึงจุดบกพร่องของการตัดหลักเส้นในโครงการก่อสร้างที่ทำการสำรวจ
- 2) คำนวณถึงปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจากแผนการตัดหลักเส้นที่ใช้ในโครงการก่อสร้างตัวอย่าง
- 3) ปรับปรุงแนวทางเดิมที่ใช้ในการตัดหลักเส้น ให้มีประสิทธิภาพและลดปริมาณเศษเหล็กได้

3.3 ขั้นตอนการทำงานวิจัย

ในการทำงานวิจัยสามารถแสดงขั้นตอนโดยแจกแจงเป็นแผนภาพได้ ดังรูปที่ 3.2 เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัยในการพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้น เพื่อลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้าง โดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 ศึกษารูปแบบการตัดเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กแล้วจึงนำมาพัฒนาใช้กับโครงการก่อสร้าง ขั้นตอนที่สองใช้การเก็บข้อมูลเศษเหล็กในโครงการก่อสร้าง จากการศึกษาถึงวิธีการที่โครงการก่อสร้างตัวอย่างใช้ในการทำงานเกี่ยวกับเหล็กเส้น โดยเฉพาะวิธีการที่ใช้ตัดเหล็กและใช้ในการวางแผนการตัดเหล็กเส้นเพื่อนำไปใช้งานในส่วนของการก่อสร้าง

จากนั้นขั้นตอนที่ 2 ทำการศึกษาวิธีการสร้างรูปแบบการตัดของเหล็กเส้น ที่สามารถทำให้เกิดเศษน้อยที่สุด ซึ่งศึกษาจากโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องเพื่อมาใช้ในการแก้ปัญหาที่ได้ทำการสำรวจมา รวมทั้งทำการเก็บข้อมูลเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจริงจากแผนการตัดเหล็กเส้นจากโครงการก่อสร้าง ใช้เป็นตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบกับผลของโมเดลที่ทำการสร้างรูปแบบการตัดขึ้น



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานวิจัย

3.3.1 ศึกษาวิธีการที่ใช้ในการตัดเหล็กเส้นของโครงการก่อสร้างตัวอย่าง

การทำรายการตัดเหล็กเส้น (Bar Cut List) ในโครงการก่อสร้างปัจจุบันนั้น ได้มาจากแบบรายละเอียดการเสริมเหล็ก (Shop drawing) ซึ่งจะใช้แบบก่อสร้าง (Construction drawing) เป็นหลัก ในการออกแบบเหล็กเส้นที่ใช้ในแต่ละส่วนของโครงสร้างอาคาร เพื่อแสดงขนาดที่ต้องตัดเหล็กเส้น ซึ่งจำเป็นต้องมีการตัดเนื่องจากในท้องตลาด มีความยาวเหล็กเส้นมาตรฐานจำหน่ายอยู่ 2 ขนาด คือ 10 เมตร และ 12 เมตร ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เหล็กเส้นที่วางรอการตัด มีการจำหน่ายเป็นขนาดมาตรฐาน

3.3.2 ศึกษาแนวทางสำคัญเพื่อลดปริมาณความสูญเสียของเหล็กเส้น

สำรวจหน้างานจริงของโครงการก่อสร้างในช่วงเวลาที่ทำกรตัดเหล็กเส้นเพื่อใช้ในงานโครงสร้าง ดังรูปที่ 3.4 โดยใช้ข้อมูลปริมาณการสูญเสียเหล็กเส้น จากแบบรายการตัดเหล็กเส้นตัวอย่างที่ทำการเก็บข้อมูล รวมทั้งศึกษาการทำงานการตัดเหล็กเส้นที่เป็นอยู่ของโครงการก่อสร้าง

ทำการสำรวจปัจจัยสำคัญที่เป็นสาเหตุของการเกิดเศษเหล็กในปริมาณมากของงานก่อสร้างงานอาคาร เพื่อเป็นแนวทางในการลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้น ซึ่งจะได้ประโยชน์ในส่วน of ข้อมูลปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นและวิธีการที่สามารถลดปริมาณเศษเหล็กเนื่องจากการตัดได้

บทที่ 4

ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์

การวิจัยนี้ทำการศึกษาการลดปริมาณเศษเหล็กในงานก่อสร้างอาคาร พัฒนาโปรแกรมการตัดเหล็กเส้นที่ให้เศษน้อยที่สุด ศึกษาการตัดเหล็กเส้นในงานก่อสร้างจริง ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและสัมภาษณ์ผู้บริหารโครงการ จำนวน 3 โครงการ เพื่อวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การสูญเสียของเหล็กเส้นที่ได้จากการศึกษาโครงการตัวอย่างที่เกิดขึ้นจริง เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับการสูญเสียโดยวิธีวางแผนการตัดที่เหมาะสม

4.1 ลักษณะของโครงการตัวอย่างที่ทำการศึกษา

โครงการตัวอย่างที่ผู้วิจัยได้ไปเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อหาปริมาณความสูญเสียเศษเหล็กที่เกิดขึ้น ทั้งหมด จำนวน 3 โครงการ เพื่อสำรวจและเก็บข้อมูลวิธีการที่โครงการก่อสร้างใช้ในการวิเคราะห์การตัดและการใช้งานเหล็กเส้นที่ปฏิบัติอยู่เดิม โดยโครงการก่อสร้างที่ 1 ลักษณะเป็นโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 3 ชั้น มีมูลค่าโครงการ 24 ล้านบาท โครงการก่อสร้างที่ 2 เป็นโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 2 ชั้น ลักษณะเป็นที่พักอาศัยทาวน์เฮาส์ ซึ่งมีมูลค่าโครงการ 24 ล้านบาท และสุดท้ายเป็นโครงการที่ 3 ลักษณะเป็นอพาร์ทเมนต์ หอพัก มูลค่าโครงการ 20 ล้านบาท

4.2 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลเพื่อหาปริมาณความสูญเสียเศษเหล็ก

ในการศึกษาวิจัยเพื่อหาปริมาณความสูญเสียของเศษเหล็กที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยได้เลือกโครงการตัวอย่าง 3 โครงการที่ดำเนินการก่อสร้างอยู่ในปัจจุบัน เพื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของเหล็กเส้นจากการใช้งานในหน้างานจริง

เนื่องจากงานก่อสร้างอาคารมีการทำงานหลายช่วงระยะเวลา ผู้วิจัยจึงได้เลือกศึกษาโครงการที่อยู่ในระหว่างการก่อสร้างงานโครงสร้าง เพราะต้องการศึกษาปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจากการทำงานแบบเดิมที่แต่ละโครงการได้ปฏิบัติมาโดยตลอด เพื่อหาแนวทางลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้น

4.2.1 ความต้องการและการตัดเหล็กเส้นของโครงการที่ 1

จากผลการเก็บรวบรวมข้อมูลการสูญเสียเศษเหล็กในโครงการก่อสร้างงานอาคารโครงการที่ 1 ซึ่งเป็นอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 3 ชั้น ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้ข้อมูลจากแบบการตัดเหล็กเส้น ใช้งานจริงในโครงการ 1 ได้แก่ งานส่วนของคานโครงสร้างชั้น 2 และ 3 ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์เหล็กเส้นตามขนาดที่ใช้ในองค์อาคาร ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เหล็กเส้นที่ใช้ในโครงสร้างคานชั้นที่ 2 ของโครงการก่อสร้างที่ 1

รายการเหล็กเส้น	ความยาว (ม.)	จำนวน (เส้น)	รายการเหล็กเส้น	ความยาว (ม.)	จำนวน (เส้น)
เหล็กคาน B-68	10	20	เหล็กคาน B-53	5	8
(DB25)	6.75	12	(DB25)	4	34
	5.8	4	ปลอก 6 ม.ม. (20x65)	1.7	156
	3	4	เหล็กคาน B-50	8.5	8
ปลอก 6 ม.ม. (15x65)	1.6	62	ปลอก 6 ม.ม. (15x65)	1.6	36
ปลอก 6 ม.ม. (15x35)	1	108	เหล็กคาน B-63	8.5	8
เหล็กคาน B-71	8.5	88	ปลอก 6 ม.ม. (15x65)	1.6	36
(DB25)	5	22	เหล็กคาน B-66	10	16
	3.5	22	(DB25)	6.5	12
ปลอก 6 ม.ม. (15x45)	1.2	40		6.45	4
เหล็กคาน B-59	10	20		5	2
(DB25)	3.75	20		4	16
	5	40		3.45	4
	6	20	ปลอก 6 ม.ม. (15x65)	1.6	78
	7.8	20	เหล็กคาน B-67	10	12
ปลอก 6 ม.ม. (15x45)	1.2	140	(DB20)	7	4
เหล็กคาน B-48	10	28		6.5	20
(DB20)	7.5	4		6.45	4

ตารางที่ 4.1 เหล็กเส้นที่ใช้ในโครงสร้างคานชั้นที่ 2 ของโครงการก่อสร้างที่ 1 (ต่อ)

รายการเหล็กเส้น	ความยาว (ม.)	จำนวน (เส้น)	รายการเหล็กเส้น	ความยาว (ม.)	จำนวน (เส้น)
	7	8		5	8
	6.5	16		4	16
	6	4		3.45	4
	5	8	ปลอก 6 ม.ม. (20x65)	1.7	78
	4	34	เหล็กคาน B-70	10	4
ปลอก 6 ม.ม. (15x65)	1.6	156	(DB20)	8.45	4
เหล็กคาน B-53	10	28		7.45	4
(DB20)	7.5	4		5	10
	7	8		3.5	4
	6.5	16	ปลอก 6 ม.ม. (15x65)	1.6	52
	6	4			

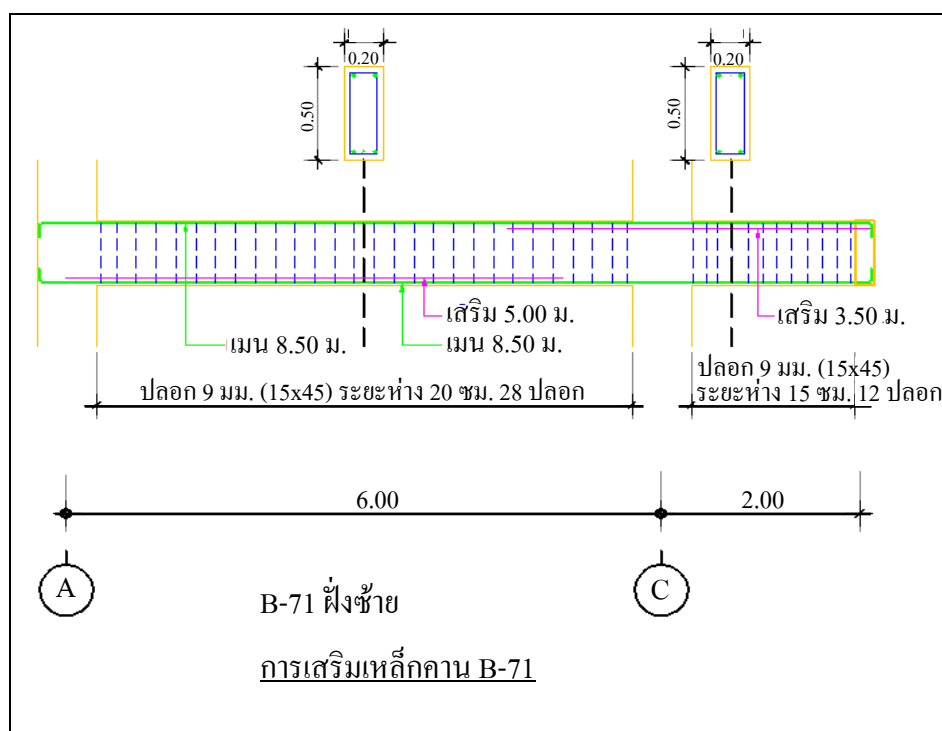
ตารางที่ 4.2 เหล็กเส้นที่ใช้ในโครงสร้างคานชั้นที่ 3 ของโครงการก่อสร้างที่ 1

รายการเหล็กเส้น	ความยาว (ม.)	จำนวน (เส้น)	รายการเหล็กเส้น	ความยาว (ม.)	จำนวน (เส้น)
เหล็กคาน BR-1	10	28	เหล็กคานBR-5	3.5	4
(DB20)	7	8	ปลอก 6 ม.ม. (15x55)	1.4	85
	7.5	4	เหล็กคานBR-6	10	24
	6.5	4	(DB25)	8	8
	6	6		6	12
	4	14		5.4	4
ปลอก 6 ม.ม. (15x55)	1.4	192		5	4
เหล็กคาน BR-2	10	28		2.4	4
(DB20)	7	8	ปลอก 6 ม.ม. (15x45)	1.2	148

ตารางที่ 4.2 เหล็กเส้นที่ใช้ในโครงสร้างคานชั้นที่ 3 ของโครงการก่อสร้างที่ 1 (ต่อ)

รายการเหล็กเส้น	ความยาว (ม.)	จำนวน (เส้น)	รายการเหล็กเส้น	ความยาว (ม.)	จำนวน (เส้น)
	7.5	4	เหล็กคานBR-7	8.5	88
	6.5	4	(DB25)	5	22
	6	12		3	22
	5	8	ปลอก 6 ม.ม. (15x45)	1.2	80
	4	34	เหล็กคานBR-8	10	12
ปลอก 6 ม.ม. (15x55)	1.4	234	(DB20)	7.8	12
เหล็กคาน BR-3	10	16		6	12
	6.45	4		5	18
เหล็กคาน BR-3	6	4		3.75	12
(DB25)	4	8	ปลอก 6 ม.ม. (15x35)	1	120
	3.45	4	เหล็กคานBR-12	10	12
ปลอก 6 ม.ม. (15x55)	1.4	96	(DB20)	7.8	12
เหล็กคาน BR-4	10	16		6	12
(DB25)	6.45	4		5	18
	6	4		3.75	12
	4	8	ปลอก 6 ม.ม. (15x35)	1	160
	3.45	4	เหล็กคาน BR-10	10	20
ปลอก 6 ม.ม. (15x65)	1.6	78	(DB25)	6.75	12
เหล็กคาน BR-5	10	4		5.8	4
(DB20)	8.45	4		3	4
	7.45	4	ปลอก 6 ม.ม. (15x65)	1.6	62
	5	10	ปลอก 6 ม.ม. (15x35)	1	108

ข้อมูลจำนวนเหล็กเส้นที่ได้จากการเก็บข้อมูลโดยการนำข้อมูลแบบตัดเหล็กเส้นที่โครงการก่อสร้างที่ 1 ใช้ทำงานจริงโดยการทำการถอดข้อมูลเหล็กเส้นมาจากแบบที่เขียนขึ้นมาเพื่อใช้ทำงานจริง ณ สถานที่ก่อสร้าง (Shop Drawing) ซึ่งการทำแบบตัดเหล็กเส้นจะใช้สัญลักษณ์สีแดงเหล็กต่าง ๆ ที่ต้องการตามรูปที่ 4.1 แล้วทำการถอดแบบมาได้ตามจำนวนที่ต้องการดังตารางแสดงผลการเก็บข้อมูลเหล็กเส้น



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างแบบที่เขียนขึ้นมาเพื่อใช้ทำงานในการถอดแบบเหล็กเส้นที่ใช้จริง

ในโครงการก่อสร้างที่ 1 มีการควบคุมค่อนข้างดี เมื่อได้จำนวนเหล็กเส้นที่ต้องการใช้จากรายการแบบตัดเหล็กเส้น จากนั้นได้ทำการจัดกลุ่มเหล็กเส้นซึ่งยังใช้คนในการจัดรูปแบบการตัด โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) ตัวแปรของวิธีที่ใช้ในโครงการก่อสร้างที่ 1

λ_i คือ ความยาวที่ต้องการ

d_i คือ จำนวนของความยาวที่ต้องการ

r_i คือ จำนวนท่อนที่ตัดได้จากความยาวมาตรฐานของเหล็กเส้น
(ครั้งในการตัด)

L_c คือ ความยาวมาตรฐานของเหล็กเส้น

N_i คือ จำนวนเหล็กที่ต้องนำไปใช้ในการตัดจริง

T_i คือ ความยาวรวมของเศษ

2) วิธีการหารูปแบบการตัดเหล็กเส้นของโครงการก่อสร้างที่ 1

- เลือกตัดท่อนที่ยาวที่สุดก่อน โดยเรียงลำดับจากความยาวเหล็กที่ต้องการจากมากไปน้อย
- ตรวจสอบจำนวนเศษที่เหลือทั้งหมดจากการคำนวณ
- แล้วจับคู่เศษที่เหลือที่ยาวพอ ที่จะตัดกับความยาวที่ต้องการที่สั้นกว่าได้

3) ขั้นตอนวิธีการตัดเหล็กเส้นของโครงการก่อสร้างที่ 1

- เรียงลำดับความยาวที่ต้องการ (λ_i) ทั้งหมดจากมากไปน้อย
- คำนวณ $r_i = \frac{L_c}{\lambda_i}$ ของทุกตัวจะทราบจำนวนเส้นที่ต้องใช้ (N_i) จาก $N_i = \frac{d_i}{r_i}$
- คำนวณ $T_i = L_c - (\lambda_i \cdot r_i)$ เศษที่เหลือของทั้งหมด ถ้าใช้ได้ให้นำไปใช้กับ

ความยาวที่ต้องการ (λ_i) ที่สั้นกว่าได้ โดยจำนวนเศษที่เหลือที่ใช้ได้หักออกจากจำนวนที่ต้องการ (d) ของความยาวที่สั้นกว่า (ถ้าใช้ไม่ได้ ซึ่งไม่มีความยาวที่ต้องการที่สั้นกว่าเศษนี้แล้ว ให้กลายเป็นเศษที่เหลือ)

- จากนั้นหาค่า ผลรวมของเหล็กทั้งหมดที่ต้องใช้เป็นจำนวนเส้น ($\sum N_i$) ซึ่งเป็นจำนวนเหล็กที่ต้องนำไปใช้ในการตัดจริง และหาผลรวมของเศษทั้งหมดด้วย ($\sum (T_i \cdot N_i)$)

4) ตัวอย่างการวิเคราะห์การตัดเหล็กเส้นในโครงการที่ 1

ความต้องการ เหล็ก DB12 (เรียงความยาวที่ต้องการจากมากไปน้อย) ความยาวมาตรฐานเหล็กเส้นที่ใช้ เท่ากับ 10 เมตร

ยาว 7.50 เมตร จำนวน 60 เส้น

ยาว 3.00 เมตร จำนวน 110 เส้น

ยาว 2.50 เมตร จำนวน 176 เส้น

ยาว 2.00 เมตร จำนวน 88 เส้น

ยาว 1.00 เมตร จำนวน 40 เส้น

เมื่อเรียงลำดับความยาวที่ต้องการได้แล้ว มีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

- คำนวณจำนวนครั้งในการตัด (r_i) จากสมการจะได้ว่า $r_i = \frac{L_c}{\lambda_i}$ แล้วหา

จำนวนเส้นที่ต้องใช้ (N_i) จาก $N_i = \frac{d_i}{r_i}$

$$\begin{array}{ll}
 r_1 = 10/7.50 = 1.33 (\sim 1) & \text{จะได้ } N_1 = 60/1 = 60 \\
 r_2 = 10/3.00 = 3.33 (\sim 3) & \text{จะได้ } N_2 = 110/3 = 36.67 (\sim 37) \\
 r_3 = 10/2.50 = 4 & \text{จะได้ } N_3 = 176/4 = 44 \\
 r_4 = 10/2.00 = 5 & \text{จะได้ } N_4 = 88/5 = 17.6 (\sim 18) \\
 r_5 = 10/1.00 = 10 & \text{จะได้ } N_5 = 40/10 = 4
 \end{array}$$

$$- \text{คำนวณเศษที่เกิดขึ้นจาก } T_i = Lc - (\lambda_i \cdot r_i)$$

$$T_1 = 10 - (7.50 \times 1) = 2.5 \quad \text{เหลือเศษ 2.50 ม. จำนวน 60 ท่อน}$$

$$T_2 = 10 - (3.00 \times 3) = 1 \quad \text{เหลือเศษ 1.00 ม. จำนวน 37 ท่อน}$$

$$T_3 = 10 - (2.50 \times 4) = 0$$

$$T_4 = 10 - (2.00 \times 5) = 0$$

$$T_5 = 10 - (1.00 \times 10) = 0$$

$$- \text{พิจารณาเศษที่สามารถนำมาใช้กับความยาวที่ต้องการอื่น ๆ ได้}$$

จะเห็นว่า T_1 เหลือเศษ 2.50 เมตร จำนวน 60 ท่อน ที่สามารถนำไปใช้แทนความยาวที่ต้องการ ที่ยาว 2.50 เมตรได้ จะได้ว่า ความยาวที่ต้องการ 2.50 เมตร จำนวน 176 – 60 เท่ากับ 116 ทำให้ไม่เหลือเศษในส่วนของ T_1 ความยาว 2.50 ม. จำนวน 60 ท่อน เพราะถูกใช้ไปหมด ($T_1' = 0$)

$$\text{คำนวณใหม่ } N_3' = 116/4 = 29$$

$$- \text{จำนวนเหล็กเส้นที่ต้องใช้ทั้งหมด และเศษรวมทั้งหมด}$$

$$\text{จำนวนเหล็กเส้นที่ต้องใช้ทั้งหมด}$$

$$\sum N_i = N_1 + N_2 + N_3' + N_4 + N_5$$

$$= 60 + 32 + 29 + 18 + 4$$

$$= 143$$

$$\text{ปริมาณเศษรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้น}$$

$$\sum (T_i \cdot N_i) = (1 \times 37) = 37$$

$$- \text{สรุปผล}$$

$$\text{ยาว 7.50 เมตร จำนวน 60 เส้น ใช้เหล็ก 60 เส้น ตัด 1 ท่อน/เส้น}$$

$$(\text{เหลือเศษใช้ได้ 2.50 เมตร})$$

$$\text{ยาว 3.00 เมตร จำนวน 110 เส้น ใช้เหล็ก 28 เส้น ตัด 3 ท่อน/เส้น}$$

$$\text{ยาว 2.50 เมตร จำนวน (176-60) เส้น ใช้เหล็ก 29 เส้น ตัด 4 ท่อน/เส้น}$$

$$\text{ยาว 2.00 เมตร จำนวน 88 เส้น ใช้เหล็ก 18 เส้น ตัด 5 ท่อน/เส้น}$$

$$\text{ยาว 1.00 เมตร จำนวน 40 เส้น ใช้เหล็ก 4 เส้น ตัด 10 ท่อน/เส้น}$$

จึงสรุปได้ว่า เบิกเหล็กที่ใช้ทั้งหมด 143 เส้น เหลือเศษ 1 เมตร 37 ท่อน คิดรวมเป็นเหลือเศษ 37 เมตร การคิดคำนวณดังตัวอย่างของโครงการที่ 1 นี้ เป็นการจัดกลุ่มโดยใช้คนจัด จากการคำนวณมีความยากลำบากหากต้องคิดคำนวณความต้องการเหล็กเส้นในจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องคิดคำนวณในจำนวนความต้องการที่น้อยลง เพื่อสะดวกต่อการคำนวณแต่ไม่ส่งผลให้ลดปริมาณเศษได้มากนัก จากตัวอย่างรูปแบบการคำนวณจริงของโครงการที่ 1 ดังรูป 4.2

งานเหล็กเส้น ท่อนที่

พ.ร. 1 ท่อ

RB 9

ยาว 10.00 ม. = 105 เส้น

ยาว 9.00 ม. = 45 เส้น

ยาว 8.00 ม. = 45 เส้น

ยาว 7.50 ม. = 60 เส้น

ยาว 7.00 ม. = 24 เส้น

ยาว 5.00 ม. = 60 เส้น

ยาว 4.25 ม. = 17 เส้น

ยาว 2.00 ม. = 112 เส้น

ยาว 2.50 ม. = 60 เส้น

ยาว 2.30 ม. = 33 เส้น

DB 12

ยาว 2.50 ม. = 172 เส้น

ยาว 2.00 ม. = 127 เส้น

ยาว 1.00 ม. = 86 เส้น

RB 6

ยาว 1.00 ม. = 86 เส้น

รวมทั้งหมด 143 เส้น

รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการคำนวณจริงก่อนให้คนงานตัดเหล็กเส้นของโครงการก่อสร้างที่ 1

จากการคิดคำนวณตามรูปแบบการจัดกลุ่มที่โครงการก่อสร้างที่ 1 ใช้งานจริงนั้น ในโครงสร้างส่วนของคานชั้นที่ 2 และ 3 นั้นสามารถสรุปได้ดังนี้

ความยาวเหล็กที่ต้องการทั้งหมด 11,565 เมตร

จำนวนเหล็กเส้นที่ต้องใช้ทั้งหมด 1,252 เส้น

เศษรวมทั้งหมด 938 เมตร

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแยกตามขนาด

- DB20 6.28%

- DB25 11.74%

- RB6 2.29%

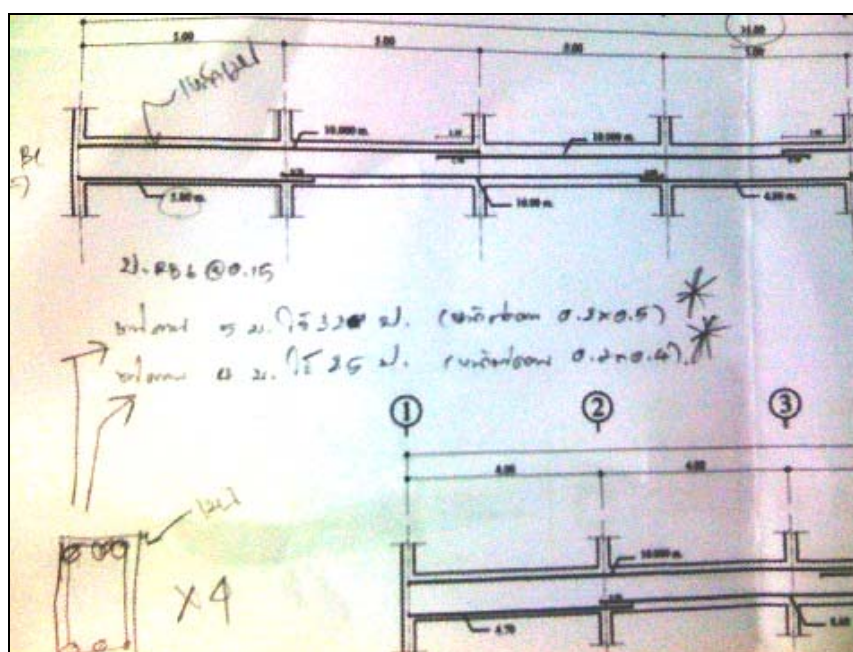
4.2.2 ความต้องการและการตัดเหล็กเส้นของโครงการที่ 2

โครงการก่อสร้างงานอาคารโครงการที่ 2 เป็นอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก สูง 2 ชั้น ลักษณะเป็นทาว์นเฮาส์ 4 เฟส สำหรับพักอาศัย ใช้ข้อมูลจากแบบก่อสร้างการตัดเหล็กเส้น ที่ใช้งานจริงในโครงการที่ 2 ได้แก่งานคานโครงสร้างชั้นที่ 1 และ 2 ได้ปริมาณเหล็กดังแสดงใน ตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เหล็กเส้นที่ใช้ในโครงสร้างคานชั้นที่ 1-2 ของโครงการที่ 2

รายการเหล็กเส้น	ความยาว (ม.)	จำนวน (เส้น)	รายการเหล็กเส้น	ความยาว (ม.)	จำนวน (เส้น)
เหล็กคาน B1	10	240	เหล็กคาน B4 (DB20)	2.9	64
(DB20)	7.5	48	ปลอก 6 ม.ม. (15x35)	1	400
	6.8	48	เหล็กคาน B5	1.3	616
	5.8	96	ปลอก 6 ม.ม. (15x35)	1	704
ปลอก 6 ม.ม. (15x45)	1.2	3,696	เหล็กคาน B6 (DB20)	10	32
เหล็กคาน B2	10	48		4.7	64
(DB20)	7.5	12	ปลอก 6 ม.ม. (10x30)	0.8	400
	6.8	12	เหล็กคาน B6-2 (DB25)	2.1	112
	5.8	24		0.5	112
ปลอก 6 ม.ม. (15x45)	1.2	924	ปลอก 6 ม.ม. (10x30)	0.8	196
เหล็กคาน B3	10	80	เหล็กคาน B7	10	180
(DB20)	8.6	120	(DB20)	7.5	36
	4.7	120		6.8	36
	2.9	80		5.8	72
ปลอก 6 ม.ม. (15x35)	1	2720	ปลอก 6 ม.ม. (15x45)	1.2	2772
เหล็กคาน B4	10	64	เหล็กคาน B8	1.8	40
(DB25)	8.6	80		1	80
	4.7	80	ปลอก 6 ม.ม. (10x30)	0.8	140

ข้อมูลเหล็กเส้นที่ใช้ในโครงการก่อสร้างที่ 2 ได้มาจากแบบตัดเหล็กเส้น โดยวิศวกรเป็นผู้ออกแบบและเขียนขึ้นที่หน้างาน เพื่อให้คนงานตัดเหล็กเข้าใจถึงความต้องการที่จะใช้เหล็กเส้นก่อนที่จะนำไปเป็นแบบใช้ในการตัดเหล็กเส้น ซึ่งแบบตัดเหล็กเส้นถูกเขียนขึ้นมาในแบบง่าย ๆ เขียนคำสั่งความต้องการเหล็กเส้นตามแบบด้วยมือให้สามารถเข้าใจในหน้างาน ดังตัวอย่างแบบตัดเหล็กเส้นที่ใช้จริงในหน้างาน ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างแบบตัดเหล็กที่ใช้ในหน้างานจริงของโครงการก่อสร้างที่ 2

โครงการก่อสร้างที่ 2 ไม่มีการจัดลำดับในการตัด ซึ่งใช้แผนการตัดเหล็กเส้นตามรูปแบบการตัดที่หน้างานตามความต้องการ ถ้าเหลือเศษจากการตัดให้รวบรวมไว้นำไปใช้งานเสริมในส่วนต่าง ๆ โดยไม่ได้พิจารณาถึงการจัดกลุ่มการตัดเหล็กเส้นเพื่อให้เหลือเศษเหล็กน้อยที่สุด โดยมีรายละเอียดการทำงานจริงในลักษณะดังนี้

4.2.2.1 การตัดเหล็กเส้นที่เกิดขึ้นจริงของโครงการก่อสร้างที่ 2

- ตัดเหล็กเส้นตามรูปแบบการตัดที่หน้างานต้องการ
- เลือกตัดตามลำดับในแต่ละความต้องการของเหล็กเส้นจนเสร็จ แล้ว

ทำการรวบรวมเศษเหล็กไว้ใช้งาน

4.2.2.2 ขั้นตอนวิธีการตัดเหล็กเส้นของโครงการก่อสร้างที่ 2

- คำนวณ $r_i = \frac{Lc}{\lambda_i}$ ของทุกตัว จะรู้จำนวนเส้นที่ต้องใช้ (N_i) จาก

$$N_i = \frac{d_i}{r_i}$$

- คำนวณ $T_i = Lc - (\lambda_i \cdot r_i)$ เศษที่เหลือของทั้งหมด เก็บรวบรวมไว้ใช้งาน
- จากนั้นหาค่า ผลรวมของเหล็กทั้งหมดที่ต้องใช้เป็นจำนวนเส้น ($\sum N_i$)

ซึ่งเป็นจำนวนเหล็กที่ต้องนำไปใช้ในการตัดจริง และหาผลรวมของเศษทั้งหมดด้วย ($\sum (T_i \cdot N_i)$)

4.2.2.3 ตัวอย่างการตัดเหล็กเส้นในโครงการที่ 2

ความต้องการเหล็ก DB20 ความยาวมาตรฐานเหล็กเส้นที่ใช้ เท่ากับ 10 เมตร

ยาว 7.50 เมตร จำนวน 120 เส้น

ยาว 6.80 เมตร จำนวน 90 เส้น

ยาว 2.50 เมตร จำนวน 150 เส้น

ยาว 5.50 เมตร จำนวน 55 เส้น

เมื่อเรียงลำดับความยาวที่ต้องการได้แล้ว มีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

- คำนวณจำนวนครั้งในการตัด (r_i) จากสมการจะได้ว่า $r_i = \frac{Lc}{\lambda_i}$ แล้วหา

จำนวนเส้นที่ต้องใช้ (N_i) จาก $N_i = \frac{d_i}{r_i}$

$$r_1 = 10/7.50 = 1.33 (\sim 1) \quad \text{จะได้} \quad N_1 = 120/1 = 120$$

$$r_2 = 10/6.80 = 1.47 (\sim 1) \quad \text{จะได้} \quad N_2 = 90/1 = 90$$

$$r_3 = 10/2.50 = 4 \quad \text{จะได้} \quad N_3 = 150/4 = 37.5 (\sim 38)$$

$$r_4 = 10/5.50 = 1.81 (\sim 1) \quad \text{จะได้} \quad N_4 = 55/1 = 55$$

- คำนวณเศษที่เกิดขึ้นจาก $T_i = Lc - (\lambda_i \cdot r_i)$

$$T_1 = 10 - (7.50 \times 1) = 2.5$$

$$T_2 = 10 - (6.80 \times 1) = 3.2$$

$$T_3 = 10 - (2.50 \times 4) = 0$$

$$T_4 = 10 - (5.50 \times 1) = 4.5$$

- จำนวนเหล็กเส้นที่ต้องใช้ทั้งหมด และเศษรวมทั้งหมด

จำนวนเหล็กเส้นที่ต้องใช้ทั้งหมด

$$\begin{aligned} \sum N_i &= N_1 + N_2 + N_3 + N_4 \\ &= 120 + 90 + 38 + 55 = 303 \end{aligned}$$

ปริมาณเศษรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้น

$$\sum (T_i \cdot N_i) = (2.5 \times 120) + (3.2 \times 90) + (4.5 \times 55) \\ = 835.5$$

- สรุปผล

ยาว 7.50 เมตร จำนวน 120 เส้น ใช้เหล็ก 120 เส้น ตัด 1 ท่อน/เส้น

ยาว 6.80 เมตร จำนวน 90 เส้น ใช้เหล็ก 90 เส้น ตัด 1 ท่อน/เส้น

ยาว 2.50 เมตร จำนวน 150 เส้น ใช้เหล็ก 38 เส้น ตัด 4 ท่อน/เส้น

ยาว 5.50 เมตร จำนวน 55 เส้น ใช้เหล็ก 55 เส้น ตัด 1 ท่อน/เส้น

จึงสรุปได้ว่า เบิกเหล็กขนาด DB20 ที่ใช้จำนวนทั้งหมด 303 เส้น ทำให้

เหลือเศษ 835.5 เมตร

จากการคิดคำนวณปริมาณเหล็กในโครงสร้างส่วนของคานชั้นที่ 1 และ 2 ที่ใช้ตามรูปแบบการทำงานจริงในโครงการก่อสร้างที่ 2 นั้นสามารถสรุปได้ดังนี้

ความยาวเหล็กที่ต้องการทั้งหมด 26,359 เมตร

จำนวนเหล็กเส้นที่ต้องใช้ทั้งหมด 2,837 เส้น

เศษรวมทั้งหมด 1,999.2 เมตร

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแยกตามขนาด

- DB20 10.50%

- DB25 14.24%

- RB6 3.27%

4.2.3 ความต้องการและการตัดเหล็กเส้นของโครงการที่ 3

จากผลการเก็บรวบรวมข้อมูลการสูญเสียเศษเหล็กในโครงการก่อสร้างงานอาคารโครงการที่ 3 ซึ่งเป็นอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 4 ชั้น ลักษณะเป็นอพาร์ทเมนต์ หอพัก ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้ข้อมูลจากแบบการตัดเหล็กเส้นที่ใช้งานจริงในโครงการที่ 3 ได้แก่งานส่วนของคานโครงสร้างชั้นที่ 1 และ 2 ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์เป็นดังนี้

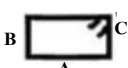
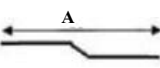
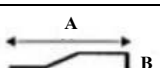
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการเก็บข้อมูลเหล็กเส้นที่ใช้ในโครงสร้างคานชั้นที่ 1-2

รายการเหล็กเส้น	ความยาว (ม.)	จำนวน (เส้น)	รายการเหล็กเส้น	ความยาว (ม.)	จำนวน (เส้น)
เหล็กคาน B-1	10	61	เหล็กคาน B-5	10	38
(DB20)	8.5	24	(DB25)	8.3	53
	7.5	12	(DB20)	4	32
	6.5	8		3.2	16
	5.8	18		2.4	26
ปลอก 9 ม.ม. (15x45)	1.2	296	ปลอก 6 ม.ม. (10x30)	1.5	230
เหล็กคาน B-2	10	80	เหล็กคาน B-6	8.3	46
(DB20)	8.5	23	(DB20)	7.2	42
	7.5	3		5.8	5
ปลอก 9 ม.ม. (15x45)	1.2	321		3.2	10
เหล็กคาน B-3	10	45		2.4	20
(DB20)	8.5	15	ปลอก 6 ม.ม. (15x45)	1	279
	7.5	9	เหล็กคาน B-7-1	8.3	56
	5.8	12	(DB20)	7.2	42
ปลอก 9 ม.ม. (15x60)	1.5	230		6.5	15
เหล็กคาน B-4	10	37		2.5	40
(DB25)	8.3	45	ปลอก 6 ม.ม. (15x45)	1.8	220
	7.5	10	เหล็กคาน B-7-2	6.7	60
เหล็กคาน B-4	6.5	12	(DB25)	3.2	37
(DB20)	4	32		2.5	40
ปลอก 6 ม.ม. (15x35)	1	308	ปลอก 6 ม.ม. (25x65)	1.8	234

ข้อมูลเหล็กเส้นที่ใช้ในโครงการก่อสร้างที่ 3 ได้มาจากแบบตัดเหล็กเส้น ซึ่งลักษณะการทำงานในการสั่งตัดเหล็กที่ต้องการใช้นั้นมีลักษณะใกล้เคียงกับโครงการที่ 2 แต่จะมี

ลักษณะที่เป็นแบบแผนมากกว่า ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งมีการวางแผนและใช้เอกสารที่ดูเป็นระเบียบเพื่อเป็นประโยชน์ในการตรวจสอบ แต่ขาดการคำนึงถึงปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้น

โดยโครงการที่ 3 ใช้การเก็บรวบรวมเศษเหล็กที่เกิดเพื่อมาสะสมไว้ใช้งานในส่วนขาดเหลือต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างทำงานหรือแก้ปัญหาหน้างาน มีหลายครั้งที่ต้องทำเก็บรวบรวมเศษเหล็กที่ไม่ได้ใช้งานขายเป็นเศษเหล็ก ซึ่งจะเห็นว่ายังขาดการใช้งานเหล็กเส้นให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

ตำแหน่งงาน	ชนิดโครงสร้าง	Drawing	Dimension/mm.				เกรด	ขนาดเหล็ก/มม.	ความยาวรวม/ม.	จำนวน/เส้น
			A	B	C	D				
STR 1	ปดอก ชั้น 1-5		260	350	70		SR24	9	1.36	2000
STR 01	ปดอก ชั้น 1-5		220	300	100		SD40	12	1.02	1000
C 1	เสา ชั้น 1-5		2500				SD40	25	2.50	850
C 01	เสา ชั้น 1-5		2500	250			SD40	20	2.75	850
S 1	พื้น ชั้น 1-5		6500				SD40	12	5.50	3500
S 01	พื้น ชั้น 1-5		5000	450			SD40	10	5.45	1000

รูปที่ 4.4 ตัวอย่างแบบตัดเหล็กที่ใช้ในหน้างานของโครงการก่อสร้างที่ 3

จากการคิดคำนวณปริมาณเหล็กในโครงสร้างส่วนของคานชั้นที่ 1 และ 2 ที่ใช้ตามรูปแบบการทำงานจริงในโครงการก่อสร้างที่ 3 นั้นสามารถสรุปได้ดังนี้

ความยาวเหล็กที่ต้องการทั้งหมด 10,124 เมตร

จำนวนเหล็กเส้นที่ต้องใช้ทั้งหมด 1,162 เส้น

เศษรวมทั้งหมด 1,497.2 เมตร

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแยกตามขนาด

- DB20 10.79%

- DB25 20.68%

- RB9 6.54%

4.3 สาเหตุการสูญเสียปริมาณเหล็กเส้นจากการสังเกตโครงการตัวอย่าง

ในโครงการก่อสร้างที่ 1 มีการควบคุมงานโดยมีวิศวกรเป็นผู้ควบคุมสั่งการในงานก่อสร้าง และส่งงานให้ผู้คุมคนงานในการจัดการงานเกี่ยวกับเหล็กเส้น โดยได้ทำการวางแผนงานในการใช้เหล็กเส้นในแต่ละช่วงของงานเท่าที่จะสามารถทำได้ ลักษณะของโครงการก่อสร้างที่ 1 ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ลักษณะโครงการก่อสร้างของโครงการก่อสร้างที่ 1

ผู้รับเหมาในโครงการก่อสร้างที่ 1 จากการสัมภาษณ์มีความเห็นตรงกันว่า การคำนึงถึงปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นเป็นเรื่องที่ต้องให้ความสำคัญ เพราะจากการทำงานที่ผ่านมาพบว่าเศษเหล็กที่เกิดขึ้นมีปริมาณมาก จึงมีความสนใจในการลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้น เพื่อปรับปรุงการทำงานในปัจจุบันที่ใช้การตัดเหล็กเส้นโดยคนงานที่หน้างาน ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การตัดเหล็กเส้นในหน้างานจริงของโครงการก่อสร้างที่ 1

โครงการก่อสร้างที่ 2 และ 3 การตัดเหล็กเส้นที่เกิดขึ้นหน้างานนั้น มีการตัดเหล็กเส้นตามลำดับ โดยวิศวกรทำการสั่งตามจำนวนเหล็กเส้นที่ต้องการ จากนั้นให้คนงานทำการตัดเหล็กเส้นโดยไม่คำนึงถึงการลดปริมาณเศษเหล็ก ทำให้เกิดเศษเหล็กเป็นจำนวนมาก ซึ่งการทำงานในโครงการก่อสร้างที่ทำการสำรวจขาดเป้าหมายในการลดปริมาณเศษเหล็ก เพราะไม่เห็นปัญหาของปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้น ถ้าทำการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลจะทราบว่าเศษเหล็กที่สูญเสียทั้งหมดนั้นมีมูลค่าสูงเมื่อเทียบกับเหล็กที่นำมาใช้

จากการสังเกตหน้างานและติดตามการใช้งานที่เกี่ยวกับเหล็กเส้น รวมทั้งการตัดเหล็กเส้นในหน้างานของโครงการตัวอย่างทั้ง 3 พบว่า สาเหตุสำคัญเกิดจากบุคลากรในการทำงานเกี่ยวกับเหล็กเส้นขาดความสามารถในการวิเคราะห์การตัดเหล็กเส้น โดยไม่คำนึงถึงการจัดรูปแบบการตัดเหล็กเส้นให้มีเศษเหลือน้อยที่สุด เพราะไม่มีการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณเศษเหล็กเส้นที่เกิดขึ้น แต่มักใช้วิธีการประมาณความสูญเสียจากประสบการณ์ทำงาน ทำให้การตัดเหล็กเส้นขนาดต่าง ๆ เหลือมีเศษในปริมาณมาก ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 เศษเหล็กจำนวนมากที่เกิดจากการตัดเหล็กเส้นของโครงการที่ 2

เมื่อโครงการก่อสร้างเกิดเศษเหล็กในปริมาณมากย่อมส่งผลเสียให้กับโครงการก่อสร้าง โดยเฉพาะทางด้านต้นทุนที่ต้องสูญเสียไปกับปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นและเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นต่อผู้รับเหมา

เศษเหล็กที่เกิดจากการตัดจำนวนมาก สามารถพบเห็นได้ทั่วไปจากการสำรวจโครงการก่อสร้างที่มีกองขยะกระจายตามพื้นที่โครงการ ดังรูปที่ 4.8 ถ้าสามารถลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นได้ ปัญหาในส่วนนี้จะลดน้อยลง แต่จำเป็นต้องใช้การวางแผนการตัดเหล็กเส้นอย่างเป็นระบบและให้เศษเหล็กลดน้อยที่สุด



รูปที่ 4.8 เศษเหล็กที่พบได้ทั่วไปตามโครงการก่อสร้างที่ทำการสำรวจ

4.4 สรุป

จากปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้น เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลทั้ง 3 โครงการ พบว่าปัญหาที่พบมีลักษณะเหมือนกัน คือ ปัญหาเกี่ยวกับการไม่ได้คำนึงถึงการลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นซึ่งทำให้เกิดการใช้งานเหล็กเส้นมากกว่าที่ประมาณการไว้ ทำให้สูญเสียต้นทุนการก่อสร้างทางด้านเหล็กเส้นมากขึ้น

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการสำรวจหน้างานจริงของเหล็กเส้นที่เกิดการสูญเสียเพื่อใช้เป็นแนวทางในการเปรียบเทียบผล พบว่าในแต่ละโครงการมีการสูญเสียมมากกว่าที่คาดการณ์ไว้ เพราะทั้ง 3 โครงการก่อสร้างไม่เคยทำการเก็บข้อมูลปริมาณเศษเหล็กที่สูญเสีย จึงให้ความสนใจในการลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้น โดยใช้การวิเคราะห์สร้างรูปแบบการตัดเพื่อให้ปริมาณเศษเหล็กลดน้อยลงได้

จากการสัมภาษณ์ผู้ควบคุมงาน ปัจจัยสำคัญที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดปริมาณเศษเหล็กจำนวนมากนั้น ผู้ควบคุมงานมักอ้างว่าการวางแผนการตัดเหล็กเส้นที่นำมาใช้งานให้มีเศษเหล็กลายนั้นใช้เวลามากในการวิเคราะห์ เพราะมีการคำนวณที่ซับซ้อนและใช้เวลาในการคำนวณมาก ทำให้ขาดความสนใจในการทำงานในส่วนนี้ เพราะในโครงการก่อสร้างขนาดเล็กหรือขนาดย่อม ผู้ที่ควบคุมงานนั้นมีหน้าที่รับผิดชอบหลายอย่าง การวิจัยจึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการพัฒนารูปแบบการตัดเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กให้ใช้งานได้ง่ายและมีประสิทธิภาพด้วยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณ



รูปที่ 3.4 เศษเหล็กเส้นที่เกิดจากการตัดที่พบได้ตามโครงการก่อสร้าง

3.4 แนวทางการสร้างรูปแบบการตัด

ปัญหาการตัดเหล็กเส้นจัดเป็นปัญหาการตัดวัสดุหนึ่งมิติ คือ กลุ่มปัญหาทั่วไปที่มีวัสดุเชิงเส้นหนึ่งมิติที่มีความยาวมาตรฐาน (L) และมีความต้องการในการตัดเหล็กเส้นนี้ออกเป็นท่อนที่มีความยาวต่าง ๆ กัน i ความยาว ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_i$) และมีจำนวนหลาย ๆ ท่อน ($d_1, d_2, d_3, \dots, d_i$)

โดยที่การตัดเหล็กเส้นนี้มักจะทำให้เกิดเศษการตัด (Trim Losses, T_j) ที่มีความยาวท่อนสั้นกว่าความยาวที่ต้องการที่สั้นที่สุด ($0 \leq T_j < L_{\min}$) การสร้างโมเดลปัญหามีเป้าหมายเพื่อหารูปแบบการตัดเหล็กเส้นที่ดีที่สุด และทำให้เกิดผลรวมของเศษจากการตัดน้อยที่สุด โดยแบ่งการสูญเสียตามขนาดของเหล็กเส้นแต่ละชนิด

รูปแบบการตัดวัสดุความยาวมาตรฐานเส้นที่ j ใด ๆ คือ $P_j = (p_1, p_2, p_3, \dots, p_n)$ โดยที่ p_i คือจำนวนท่อนของการตัดเหล็กเส้นที่มีความยาว λ_i ดังนั้น p_i จึงเป็นจำนวนเต็ม (Integer) ตั้งแต่ศูนย์ขึ้นไป

3.4.1 สมการเป้าหมาย (Objective function)

การพัฒนาโมเดลจำเป็นต้องมีเป้าหมายที่แน่ชัด เพื่อกำหนดสมการเป้าหมายให้มีความชัดเจนทำให้ได้คำตอบที่เหมาะสม โดยปัญหาการตัดเหล็กเส้นมีแนวทางพื้นฐานในการกำหนดสมการเป้าหมายเพื่อให้ปริมาณเศษที่เกิดจากรูปแบบการตัดมีค่าน้อยที่สุด ดังนี้

$$\text{Minimize } \left(\sum_j^m T_j \right) \quad (3.1)$$

Subject to

$$\left(\sum_j^m p_{ij} = d_i \right) \text{ สำหรับ } i \text{ ตั้งแต่ } 1 \text{ ถึง } n \quad (3.2)$$

โดยที่ d_i คือ จำนวนท่อนที่ต้องการของเหล็กเส้น

$\sum_j^m p_{ij}$ คือ ผลรวมรูปแบบการตัดเหล็กเส้นในความยาวมาตรฐานเส้นที่ j

ในการวิจัยเลือกใช้วิธีการค้นหาแบบสุ่ม นำมาสร้างโมเดลเพื่อสามารถสร้างรูปแบบการตัดในปริมาณมากและมีความซับซ้อน โดยไม่จำเป็นต้องคิดคำนวณรูปแบบการตัดเหล็กเส้นที่เป็นไปได้ทั้งหมด ซึ่งมีจำนวนมากตามปัญหาที่ซับซ้อนขึ้น อีกทั้งสามารถนำเสนอเศษที่เหลือมาคำนวณต่อเนื่องได้ โดยมีสมการเป้าหมายที่กำหนดให้เศษที่เกิดจากการตัดน้อยที่สุด

เมื่อวิธีการค้นหาแบบสุ่มสามารถหารูปแบบการตัดที่เกิดขึ้นได้แล้ว จากนั้นเลือกใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรง สร้างสมการเพื่อหาจำนวนเหล็กเส้นมาตรฐานที่ใช้ในแต่ละรูปแบบการตัดที่หามาได้ และสามารถตัดได้ตามจำนวนเหล็กเส้นที่ต้องการ โดยรูปแบบการตัดที่ถูกเลือกนำมาใช้จะต้องเป็นรูปแบบการตัดที่ให้เศษเหลือน้อย

บทที่ 5

การพัฒนาโปรแกรมการตัดเหล็กเส้นด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่ม

การพัฒนาโปรแกรมการตัดเหล็กเส้นด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่ม เพื่อสร้างรูปแบบการตัดที่สามารถลดปริมาณเศษเหล็กให้น้อยที่สุด ซึ่งได้ออกแบบโปรแกรมเป็นการทำงานอัตโนมัติผ่านการเขียนข้อมูลขึ้นมา เพื่อสะดวกในการทำงานกับการใช้งานเหล็กเส้นของโครงการ เพราะจากการสำรวจโครงการก่อสร้างการทำงานที่เกี่ยวกับเหล็กเส้นมักสร้างปัญหาเศษเหล็กเหลือในปริมาณมากให้กับผู้รับเหมาก่อสร้าง

การวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจโครงการก่อสร้างทั้ง 3 โครงการเพื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณการสูญเสียเหล็กเส้นจากการใช้วิธีเดิมที่แต่ละโครงการปฏิบัติกันมากับโปรแกรมค้นหารูปแบบการตัดแบบสุ่มที่พัฒนาขึ้น โดยทำการสรุปผลข้อมูลการสูญเสียเหล็กเส้นของแต่ละโครงการแยกตามขนาดของเหล็กเส้น

โดยโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์รูปแบบการตัดที่ให้ปริมาณเศษเหล็กน้อยที่สุด และให้ค่าปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจากข้อมูลเหล็กเส้นที่ทำการเก็บข้อมูลมา ซึ่งถูกวิเคราะห์ตามขนาดเหล็กเส้นที่แตกต่างกันโดยใช้การวิเคราะห์เหล็กเส้นที่ละขนาดและความยาวเหล็กเส้นที่ต้องการ

5.1 วิธีการค้นหาแบบสุ่มในการแก้ปัญหการตัดวัสดุหนึ่งมิติ

ในการสร้างรูปแบบการตัดเหล็กเส้น สามารถใช้วิธีการค้นหาแบบสุ่มเข้ามาช่วยในการแก้ปัญหานี้ได้ เพราะถ้าจำนวนความยาวที่ต้องการมีมากจะทำให้ไม่สะดวกในการคำนวณ โดยเฉพาะกรณีที่มีจำนวนเหล็กเส้นที่ต้องการมาก ๆ ปัญหาจะมีความซับซ้อนมากขึ้น จึงจำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการแก้ปัญหาซึ่งใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลในการเขียนโมเดล

โครงการก่อสร้างในปัจจุบันที่สำรวจศึกษาจะทำการตัดเหล็กเส้นโดยไม่คำนึงถึงการวางแผนสร้างรูปแบบการตัดเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้น และไม่ได้เก็บข้อมูลการสูญเสียที่เกิดขึ้นจึงไม่ตระหนักถึงมูลค่าที่สูญเสียไปกับเศษที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากในโครงการก่อสร้าง

การใช้วิธีการค้นหาแบบสุ่มเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์หารูปแบบการตัด จะช่วยให้เกิดความสะดวกในการทำงานและประหยัดเวลาสามารถลดภาระงาน การพึ่งพาบุคลากรในการคำนวณการนำเทคโนโลยีมาช่วยให้ช่วยอำนวยความสะดวกในการนำเข้าสู่ข้อมูลจำนวนมากอย่างต่อเนื่อง

ซึ่งจากการศึกษา VBA (Visual Basic Advance) ถูกนำมาใช้ในการเขียนโปรแกรมแมโครในไมโครซอฟท์เอ็กเซล ทำให้ผู้รับเหมาซึ่งเป็นผู้ใช้งานเกิดความคุ้นเคยและใช้งานได้ง่าย อีกทั้งวิธีการค้นหาแบบสุ่มสามารถหาค่าที่เหมาะสมของรูปแบบการตัดได้ โดยไม่จำเป็นต้องหารูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมด

5.1.1 แนวคิดในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อสร้างรูปแบบการตัด

การพัฒนาโปรแกรมเพื่อสร้างรูปแบบการตัด เพื่อช่วยลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้างเกิดจากการพบปริมาณเศษเหล็กในปริมาณมาก ซึ่งเป็นปัญหาส่งผลกระทบต่อต้นทุนโครงการ จึงจำเป็นที่จะต้องหาแนวคิดในการพัฒนาวิธีการที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเศษเหล็ก

ปัญหาเศษเหล็กที่เกิดขึ้นเกิดจากการตัดเหล็กเส้นในขนาดเหล็กเส้นมาตรฐาน ซึ่งวิธีที่จะช่วยลดปริมาณเศษเหล็กจะต้องหาวิธีการตัดเหล็กเส้น หรือการสร้างรูปแบบการตัดที่ให้ปริมาณเศษเหล็กน้อยที่สุด จากความยาวและจำนวนที่ต้องการของผู้ใช้ โดยลักษณะปัญหาการตัดเหล็กเส้นซึ่งเป็นปัญหาการตัดประเภทวิเศษหนึ่งมิตินั้น เป็นปัญหาประเภท NP-hard หมายความว่า เป็นปัญหาที่ต้องใช้เวลาโพลิโนเมียลเพื่อที่จะพิจารณาคำตอบทุกคำตอบที่เป็นไปได้ ซึ่งการประยุกต์ใช้วิธีนี้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบจริงอาจทำไม่ได้กับปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อน

วิธีการที่เหมาะสมในการนำมาวิเคราะห์ปัญหาประเภท NP-hard เป็นวิธีการแบบประมาณ (Approximation Algorithms) ซึ่งจะให้ผลในการวิเคราะห์รูปแบบการตัดที่รวดเร็วกว่า เพราะไม่จำเป็นต้องหารูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมด เพราะสามารถเลือกเฉพาะรูปแบบการตัดที่ให้เศษน้อยที่สุดได้ โดยใช้วิธีการค้นหาแบบสุ่มเป็นการสุ่มความยาวที่ต้องการนำมาตัดในเหล็กเส้นขนาดมาตรฐาน เมื่อค่าของการสุ่มความยาวที่ต้องการนั้นไม่สามารถตัดได้ในขนาดมาตรฐาน จึงจะทำการเก็บข้อมูลรูปแบบการตัดที่เกิดขึ้น

แนวคิดในการวิเคราะห์นั้นมีการทำงานแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 สร้างรูปแบบการตัดส่วนที่ซับซ้อนนั้นจะใช้วิธีการประมาณ ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาแบบสุ่มโดยจัดเรียงความยาวและจำนวนที่ต้องการเพื่อหารูปแบบการตัดที่ให้เศษเหล็กน้อยที่สุดซึ่งจะอธิบายอย่างละเอียดต่อไป ในขั้นตอนที่ 2 เมื่อได้รูปแบบการตัดแล้ว หาจำนวนเหล็กเส้นที่ใช้ตัดจริงโดยเข้าสู่วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นตรงเป็นวิธีการในการหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบจริง (Exact Algorithms)

โปรแกรมเชิงเส้นตรง ตามหัวข้อ 2.3.1 สามารถใช้หาปริมาณของเหล็กเส้นที่ใช้จริงกับรูปแบบการตัดที่ถูกคัดเลือกมาด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่ม ดังนี้

1) สมการเป้าหมาย

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n \lambda_i y_i \quad ; \quad y_i = \sum_{j=1}^n p_{ij} x_j \quad (5.1)$$

2) สมการเงื่อนไข

$$\sum_{j=1}^n p_{ij} x_j \geq d_i \quad ; \quad x_j \geq 0 \quad (5.2)$$

สมการเป้าหมายมีจุดประสงค์เพื่อให้ปริมาณเหล็กเส้นที่ใช้จริงกับรูปแบบการตัดน้อยที่สุดภายใต้สมการเงื่อนไข โดยที่

Z คือ สมการเป้าหมาย

$p_{ij} x_j$ คือ จำนวนท่อนของความยาว λ_i ที่ได้จากการตัดรูปแบบที่ j

x_j คือ จำนวนเหล็กเส้นมาตรฐานที่ใช้ในการตัดแต่ละรูปแบบการตัดที่ j

d_i คือ จำนวนที่ต้องการของความยาวที่ต้องการที่ i

λ_i คือ ความยาวของเหล็กเส้นแต่ละขนาดที่ i

ในการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย ได้นำเศษที่เกิดขึ้นแต่ละเส้นและจำนวนที่ต้องการส่วนเกินนำมาคำนวณเป็นเศษ ดังนี้

$$\%loss = \frac{Ta \times 100}{\sum_{j=1}^n x_j \times Lc} \quad (5.3)$$

$$Ta = \left[\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i y_i \right) + T_i \right] - \sum_{i=1}^n \lambda_i d_i \quad (5.4)$$

$\%loss$ คือ เปอร์เซนต์การสูญเสียของหลักเส้น

Ta คือ เศษทั้งหมดที่เกิดขึ้น

$\sum_{i=1}^n \lambda_i y_i$ คือ ผลรวมของความยาวที่ต้องการกับจำนวนที่ใช้จริง

$\sum_{i=1}^n \lambda_i d_i$ คือ ผลรวมของความยาวที่ต้องการกับจำนวนที่ต้องการ

5.1.2 ขั้นตอนในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์

วิธีการค้นหาแบบสุ่มสามารถลดเศษเหลือจากการตัด ช่วยในการจัดกลุ่มหลักให้มีเศษเหล็กลดน้อยที่สุด ถ้ามีจำนวนความยาวไม่มาก สามารถจัดกลุ่มโดยใช้เครื่องคำนวณธรรมดาได้ แต่ถ้าจำนวนความยาวมีมาก ตัวแปรจะมากทำให้ไม่สะดวกในการคำนวณ จึงจำเป็นต้องอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มาช่วยในการแก้ปัญหา

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถแบ่งขั้นเป็นตอนใหญ่ ๆ ได้ 3 ขั้นตอน คือ

1) ป้อนข้อมูลซึ่งได้แก่ ความยาวของหลักแต่ละขนาด (λ_i) และจำนวนที่ต้องการ (d_i) แต่ละความยาว

2) การคำนวณสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนได้ ดังนี้

2.1) สุ่มค่าความยาวของหลักแต่ละขนาด มาหนึ่งค่าทำการวนรอบตามเงื่อนไข เพื่อเปรียบเทียบจำนวนครั้งในการตัดจากสมการช่วงปิด $[1, \text{Min}(Lc/\lambda_i), d_i]$ ให้มีค่าเท่ากับ k จากนั้นทำการสุ่มค่าจำนวนครั้งที่สามารถตัดได้ในขนาดมาตรฐาน ให้ $p_i=k$ เมื่อได้จำนวนครั้งของการตัดในการสุ่มค่าแต่ละครั้งที่ i

2.2) ปรับค่าความยาวมาตรฐานล่าสุดที่เหลือจากการตัดไปแล้วจากค่าความยาวหลักที่สุ่มมาก่อนหน้า ตามสมการ $Lc=Lc-k\lambda_i$ แล้วทำการวนรอบเพื่อสุ่มค่าความยาวหลักที่ต้องการที่สามารถตัดได้ในขนาดมาตรฐานที่เหลือ

2.3) วนรอบจนค่าของการสุ่มความยาวที่ต้องการไม่สามารถตัดได้ในขนาดมาตรฐาน โดยตรวจสอบจาก $Lc < m, m = \text{Min}\{\lambda_i; i=1, \dots, n\}$ เมื่อเข้าตามเงื่อนไขจึงจะทำการเก็บข้อมูลรูปแบบการตัดที่เกิดขึ้น ตามสมการ $P_i = (p_i + p_i + \dots + p_n)$

2.4) จากนั้นวิเคราะห์รูปแบบการตัดโดยใช้ไมโครซอฟท์เอ็กเซลโซลวเวอร์ (Microsoft Excel Solver) เพื่อหาจำนวนหลักเส้นที่ใช้ในรูปแบบการตัดที่ให้เศษน้อยที่สุดจากกลุ่มรูปแบบการตัดที่สุ่มได้

3) แสดงจำนวนหลักเส้นที่ต้องใช้ในแต่ละรูปแบบการตัด และแสดงรูปแบบการตัดที่สามารถนำไปใช้งานจริงหน้างาน และผลเสียที่เกิดขึ้นจากการตัด

5.1.3 การทำงานของโปรแกรมการตัดหลักเส้นด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่ม

ในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต้องวางแผนการทำงานของโปรแกรมเพื่อให้ได้โปรแกรมที่สมบูรณ์และมีประสิทธิภาพ ต้องกำหนดตัวแปรต่าง ๆ

ตัวแปรที่สำคัญกำหนดตัวแปรด้วยลักษณะ “Range Name” เป็นชื่อที่ตั้งให้กับเซลล์เดียว หรือพื้นที่ตารางหลายเซลล์โดยตัวแปรที่สำคัญ มีดังนี้

1) “lambda” คือ ความยาวที่ต้องการที่แตกต่างกันของหลักเส้นที่ทำการป้อนข้อมูล โดยตัวแปรนี้จะรวมมาพร้อมกับจำนวนที่ต้องการ หรือ “need” ในตัวแปรของโปรแกรม เมื่อโปรแกรมทำการประมวลผลจะใช้วิธีสุ่มเลือกค่า “lambda_i” หรือ ความยาวที่ต้องการที่ i เพื่อใช้ในการประมวลผล

2) “need” คือ จำนวนที่ต้องการของความยาวที่ต้องการที่แตกต่างกันในการใช้งานหลักเส้น ควรที่จะมีการออกแบบจำนวนหลักเส้นที่ต้องการให้เพียงพอต่อโครงสร้างของงานในช่วงนั้น ๆ

3) “current_length” คือ ความยาวขนาดมาตรฐาน ที่ทำการป้อนข้อมูลจากผู้ใช้งาน โดยขนาดมาตรฐานของหลักเส้น ที่จำหน่ายทั่วไปมีขนาด 10 เมตร หรือ 12 เมตร ซึ่งโปรแกรมจะทำการคำนวณการตัดจากความยาวที่ต้องการที่สามารถตัดได้ในขนาดมาตรฐานที่ป้อนข้อมูล แล้วใช้การปรับค่าของความยาวขนาดมาตรฐานที่เกิดจากการตัดจนกว่าจะไม่สามารถตัดได้

4) “result_pattern” คือ รูปแบบการตัด ที่ได้มาจากการประมวลผลด้วยวิธีค้นหาแบบสุ่ม เป็นรูปแบบการตัดที่ไม่ซ้ำกันและให้ปริมาณเศษเหล็กล้นน้อยตามความต้องการของผู้ใช้จากการป้อนค่าขอบเขตของเศษที่ต้องการ ก่อนที่จะนำไปประมวลผลหารูปแบบการตัดที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานต่อไป

5) “Trimloss” คือ เศษที่เกิดจากการตัดในขนาดมาตรฐาน เมื่อไม่สามารถตัดความยาวที่ต้องการได้ในขนาดมาตรฐานส่วนที่เหลือจะเป็นเศษที่เกิดจากการตัด ซึ่งใช้เป็นตัวบ่งชี้ในกรณีประมวลผลหาจำนวนหลักเส้นที่ใช้ในการตัดของแต่ละรูปแบบการตัด เพราะโปรแกรมจะวิเคราะห์หารูปแบบการตัดที่ให้ปริมาณเศษเหล็กล้นน้อยที่สุดและได้จำนวนหลักเส้นตามความต้องการของผู้ใช้

โปรแกรมการตัดหลักเส้นด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่ม ในการออกแบบโปรแกรมจำเป็นต้องมีกระบวนการคิดเป็นแผนภาพผังงาน (Flowchart) ดังรูปที่ 5.1

เพื่อความเข้าใจโปรแกรมมากขึ้น สามารถอธิบายการทำงานของโปรแกรมได้โดยละเอียด ดังนี้

1) ทำการป้อนข้อมูล "ความยาวมาตรฐาน" "ความยาวที่ต้องการ" และ "จำนวนที่ต้องการ" ตามที่ได้ออกแบบงานหลักเส้นในแต่ช่วงโครงสร้างที่ต้องการใช้งาน และจำเป็นที่จะต้องป้อนข้อมูล "ขอบเขตของเศษที่ต้องการ" (B) จากนั้นโปรแกรมจะนำค่าที่ได้จากการป้อนข้อมูลซึ่งถูกกำหนดชื่อตัวแปรไว้แล้วตามช่องที่ป้อนข้อมูลเข้าสู่กระบวนการของโปรแกรม

2) เข้าสู่คำสั่ง do while ซึ่งมีการตรวจสอบเงื่อนไข ถ้าเงื่อนไขเป็นเท็จจะทำการออกจากการวนรอบลูปไปทำงานในคำสั่งถัดไป โดยมีเงื่อนไขว่า "จำนวนรูปแบบการตัดในปัจจุบัน" (current_pattern) น้อยกว่า "จำนวนรูปแบบการตัดที่ต้องการสูงสุด" (max_num_pattern) และ "ความยาวที่ต้องการในปัจจุบัน" (current_lambda) น้อยกว่า "ความยาวที่ต้องการสูงสุด" (max_num_lambda) ในการเริ่มคำสั่งจะเป็นจริงอยู่แล้วทำให้เข้าสู่คำสั่งถัดไปโดยอัตโนมัติ โดยเงื่อนไขนี้มีเพื่อกำหนดให้ข้อมูลที่ทำการป้อนข้อมูลจากผู้ใช้งานเข้าสู่กระบวนการของโปรแกรมต่อไป ซึ่งมีการกำหนดเงื่อนไขให้สอดคล้องกับการทำงานหลังจากประมวลผลเสร็จแล้วให้เข้าสู่คำสั่งสุดท้ายซึ่งเป็นการประมวลผลเพื่อหาจำนวนหลักเส้นที่ใช้ของแต่ละรูปแบบการตัด

3) เมื่อคำสั่งเป็นจริง จะเข้าสู่การสร้างตัวแปร "ความยาวมาตรฐานในปัจจุบัน" (current_length) เท่ากับ "ความยาวมาตรฐาน" (std_length)

4) เข้าสู่คำสั่ง do while โดยมีเงื่อนไขว่า ถ้าหาก "ความยาวมาตรฐานในปัจจุบัน" (current_length) มากกว่า "ความยาวมาตรฐานที่ตัดได้" (max_trim_length)

5) ถ้าเงื่อนไขเป็นจริงจะเข้าสู่คำสั่ง do while โดยมีเงื่อนไขว่า ถ้าหาก "ความยาวมาตรฐานในปัจจุบัน" มากกว่าหรือเท่ากับ "ความยาวที่ต้องการที่สั้นที่สุด" (min_lambda_length) หากเงื่อนไขเป็นจริง จะเข้าสู่คำสั่ง do while โดยมีเงื่อนไขว่า ถ้าหาก "ความยาวที่ต้องการ" มากกว่า "ความยาวมาตรฐานในปัจจุบัน" ถ้าเป็นจริงจะทำการหาค่าของความยาวที่ต้องการตามตัวแปรที่ผู้ใช้งานป้อนค่ามา เพื่อเข้าสู่วิธีการค้นหาแบบสุ่ม

6) วิธีการค้นหาแบบสุ่ม ทำการหา "จำนวนครั้งในการตัดที่เกิดขึ้น" (num_available) = $\text{Int}(\text{current_length} / \text{lambda_i})$ โดยหาค่าต่ำสุดของค่า "จำนวนครั้งในการตัดที่เกิดขึ้น" ที่ได้ กับ "จำนวนที่ต้องการ" (num_requested) จะทำให้ได้ "จำนวนครั้งในการตัดจริง" (num_cut) ในการหาค่าความยาวที่ต้องการในครั้งนั้น

7) เมื่อได้การตัดที่ได้จากการสุ่มค่าแล้ว จะทำการปรับค่า ความยาวมาตรฐานปัจจุบัน ที่เกิดจากการตัดไปแล้ว จากนั้นทำการวนรอบลูป เข้าสู่คำสั่งในข้อ 5. ปกติ ถ้าเป็นเท็จ จะเข้าสู่เงื่อนไข "ถ้า" (If) ความยาวมาตรฐานปัจจุบัน มากกว่า "เศษที่กำหนด" (Trimloss) หากเป็นจริง

จะทำการวนลูปเพื่อหาค่าความยาวที่ต้องการเพื่อนำมาตัดต่อไป แต่ถ้าเป็นเท็จจะเข้าสู่ "การกำหนดเศษที่เกิดขึ้น" (Set current_length = Trimloss)

8) จากนั้นทำการกำหนดรูปแบบการตัดที่เกิดขึ้นจากการหาค่า ซึ่งจะเข้าสู่เงื่อนไข ถ้าหาก "รูปแบบการตัดปัจจุบัน" (current_pattern) เท่ากับ "รูปแบบการตัดเดิม" (stored_pattern) ให้ทำการลบรูปแบบการตัดปัจจุบันที่เกิดขึ้น เพราะโปรแกรมไม่ทำการเก็บข้อมูลรูปแบบการตัดที่ซ้ำกัน ถ้าหากเป็นเท็จ ซึ่งหมายความว่ารูปแบบการตัดใหม่จะทำการเก็บค่าไว้เพื่อแสดงผล

9) เข้าสู่เงื่อนไข ถ้าหากมีการวนรอบลูปจนกว่า เงื่อนไข do while ในข้อ 2. เป็นเท็จ ซึ่งหมายความว่าไม่สามารถวนลูปตามเงื่อนไขได้แล้ว จะทำการประมวลผลหาจำนวนหลักเส้นที่ต้องตัดในแต่ละรูปแบบการตัดโดย MS Excel Solver ต่อไป

10) การใช้งาน MS Excel Solver ตามหลักการของการโปรแกรมเชิงเส้นตรง เพื่อหาจำนวนหลักเส้นที่ใช้ตัดจริงในรูปแบบการตัดที่ทำการหาได้ โดยมีการกำหนดเงื่อนไขของโปรแกรม MS Excel Solver ตามสมการที่ 5.1 และ 5.2

เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการแล้วโปรแกรมจะทำการแสดงผลรูปแบบการตัดที่ให้เศษน้อยที่สุด พร้อมทั้งจำนวนหลักเส้นที่ใช้ในการตัดแต่ละรูปแบบการตัด และจำนวนเศษที่เกิดขึ้นในแต่ละรูปแบบการตัดเพื่อสะดวกต่อการเก็บรวบรวมเศษหลักที่เกิดขึ้นและทราบถึงปริมาณเศษหลักหลังจากการนำไปตัดเพื่อใช้งาน

5.1.4 การใช้โปรแกรมการตัดหลักเส้นด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่ม

การใช้งานประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก การป้อนข้อมูล (Input) การประมวลผล (Process) และการแสดงผล (Output) ดังตัวอย่างที่สมมติขึ้นเพื่อประกอบคำอธิบาย ในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลหลักเส้นตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม

ลำดับ	ความยาวที่ต้องการ (เมตร)	จำนวนที่ต้องการ (ท่อน)
1	10.0	261
2	8.5	62
3	7.5	34
4	6.5	35
5	5.8	35
6	4.0	64
7	3.2	36
8	2.4	46

5.1.4.1 การป้อนข้อมูล

ผู้ใช้ป้อนข้อมูล ได้แก่ ความยาวเหล็กที่ต้องการ และจำนวนของความยาวเหล็กที่ต้องการ ตามตารางที่ 5.1 และเหล็กเส้นขนาดมาตรฐาน 10 เมตร แล้วจึงต้องกำหนดขอบเขตของเศษเหล็ก (B) ดังรูปที่ 5.3

ขนาดมาตรฐาน (ม.)		10
ลำดับ	ขนาดที่ต้องการ (ม.)	จำนวนที่ต้องการ (เส้น)
1	10	261
2	8.5	62
3	7.5	34
4	6.5	35
5	5.8	35
6	4	64
7	3.2	36
8	2.4	46

รูปที่ 5.2 การป้อนข้อมูลเหล็กที่ต้องการและจำนวนที่ต้องการ

ในช่อง “ขนาดมาตรฐาน (ม.)” โปรแกรมจะใช้ค่าจากช่องนี้เพื่อเป็นขนาดอ้างอิงในการตัดเหล็กเส้นตามช่อง “ขนาดที่ต้องการ (ม.)” ซึ่งจำเป็นต้องใส่ค่า ความยาวของเหล็กเส้นที่ต้องการเพื่อนำไปใช้งานและช่อง “จำนวนที่ต้องการ (ท่อน)”

Variables Table		
variable	value	description
B	2	ขอบเขตของเศษ
MaxLoop	100	จำนวนลูปที่จะพยายามหา ถ้าครบแล้วให้ออก
m	2.4	ความยาวที่สั้นที่สุดที่ต้องการ
n	8	จำนวนความยาวที่ต้องการ (Lambda)
C	0	
T	10	
	20	จน. Pattern ที่ต้องการ (1-20)
	200	จน. ลูปที่ค้นหา pattern ที่ต้องการสูงสุด

รูปที่ 5.3 การป้อนข้อมูลกำหนดขอบเขตเศษที่ต้องการ (B)

จากรูปที่ 5.3 ในส่วนนี้เป็นการกำหนดค่าตั้งต้นให้กับการประมวลผลของข้อมูลที่ป้อนเข้ามา โดยในแต่ละค่าที่ต้องทำการป้อนข้อมูลสามารถอธิบายได้ ดังนี้

1) “ขอบเขตของเศษ” หรือ B คือ เศษที่เป็นตัวกำหนดให้เป็นเศษค้ำที่สุด ที่ทำการประมวลผลในการตัดสำหรับตัวอย่างนี้กำหนดให้ $B = 2$

2) จำนวนวนรอบสูงสุด หรือ Max Loop เป็นค่าที่กำหนดให้ตั้งไว้ สำหรับการวนรอบรูปในการสุ่มค่าสูงสุด กำหนดค่าไว้เพื่อกรณีที่ไม่สามารถสุ่มค่าที่เหมาะสมได้ แล้วจึงทำการออกจากลูปเพื่อประมวลผลในคำสั่งต่อไป

3) สำหรับค่าตัวแปร (n C T) เป็นค่าที่จำเป็นในการประมวลผลของ โปรแกรมซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าที่ทำการป้อนข้อมูลมาจากผู้ใช้งาน โดยที่

n คือ จำนวนของความยาวที่ต้องการที่ป้อนข้อมูลในที่นี้ มีจำนวน 8 ค่าตามข้อมูลตัวอย่าง

m คือ ความยาวสั้นที่สุดที่ต้องการ

C คือ ค่าที่แสดงการนับจำนวนการวนรอบรูป

T คือ ค่าเริ่มต้นของขนาดมาตรฐานก่อนทำการประมวลผลในที่นี้ มีค่า 10 เมตร ตามข้อมูลตัวอย่าง

5.1.4.2 การประมวลผล

เมื่อป้อนข้อมูลครบแล้ว การประมวลผลจะเริ่มหารูปแบบการตัดที่ต้องการ ได้ทันที โดยผู้ใช้กดปุ่ม “START” ดังรูปที่ 5.4 โปรแกรมจะทำการประมวลโดยการจัดเรียงรูปแบบ การตัดที่ต้องการ โดยประมวลผลผ่านคอลัมน์ “Patterns” แล้วเก็บรูปแบบการตัดที่ให้เศษตามความ ต้องการในคอลัมน์ “P*” ซึ่งเป็นรูปแบบการตัดที่ได้ตามเงื่อนไข แล้วส่งข้อมูลรูปแบบการตัดไปเก็บ ไว้ในตารางแสดงผล ดังรูปที่ 5.5

START			pattern no.
patterns	P*	sum length	use> check
0	0	0	261
1	1	8.5	62
0	0	0	34
0	0	0	35
0	0	0	35
0	0	0	64
0	0	0	36
0	0	0	46
0	0	0	0

รูปที่ 5.4 ตารางการป้อนค่าข้อมูล

pattern#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
use>	12	0	0	1	261	34	62	1	0	0	0	34	5	35
piece/name	00000	00001	00000	00000	10000	00100	01000	00001	00000	00010	00000	00001	00000	00010
261	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
35	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
64	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
36	0	1	3	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1
46	0	0	0	1	0	1	0	1	4	1	1	0	2	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 5.5 ตัวอย่างการแสดงผลรูปแบบการตัดที่เกิดขึ้น

เมื่อได้รูปแบบการตัดที่ให้เศษเหล็กล้นน้อยที่สุด โปรแกรมจะหาจำนวนการตัดของแต่ละรูปแบบการตัด เพื่อให้ได้จำนวนที่ต้องการ และแสดงผลดังนี้

- 1) “Pattern#” คือ ลำดับของรูปแบบการตัด
- 2) “piece/name” มี 2 ข้อมูล คือ “piece” ในแนวดังเป็นจำนวนที่ต้องการของแต่ละความยาวเหล็กเส้น และ “name” เป็นชื่อที่ใช้ในการประมวลผล
- 3) “use” คือ จำนวนเหล็กเส้นที่ใช้จริงในแต่ละรูปแบบการตัด โดยโปรแกรมจะทำการคัดเลือกรูปแบบการตัดที่ให้เศษเหล็กล้นน้อยที่สุดและให้จำนวนเหล็กเส้นที่ต้องการ โดยรูปแบบการตัดที่ถูกเลือกจะปรากฏจำนวนที่ใช้ในช่อง “use” จากรูปที่ 5.5 รูปแบบการตัดที่ 1 ที่นำมาใช้ เป็นการตัดให้ได้ความยาว 4 เมตร จำนวน 2 ท่อน

5.1.4.3 การแสดงผล

ดังรูปที่ 5.6 แสดงผลสรุปของรูปแบบการตัด สำหรับนำไปใช้งานจริงอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เกิดความเข้าใจในการทำงานของคนงานตัดเหล็กเส้น และผู้ควบคุมงานให้มีความเข้าใจตรงกัน

ชื่องาน : ๐๐๐๐๐

วันที่ : ๐๐/๐๐/๐๐

รายละเอียดงาน :

ขนาดมาตรฐาน (m) :	10
ชนิดเหล็ก :	D825

รูปแบบการตัด :

จำนวนเหล็กเส้นที่ต้องใช้ : 445 เส้น

เศษรวมทั้งหมด : 145.9 m
3.27 %

ลำดับ	ขนาดที่ต้องการ	จำนวนที่ต้องการ
1	10	261
2	8.5	62
3	7.5	34
4	6.5	35
5	5.8	35
6	4	64
7	3.2	36
8	2.4	46
9		
10		
11		

จำนวน (เส้น)	รูปแบบการตัด	เศษรวม (m)
12	4 m *2,	24
1	4 m *1, 3.2 m *1, 2.4 m *1,	0.4
261	10 m *1,	0
34	7.5 m *1, 2.4 m *1,	3.4
62	8.5 m *1,	93
1	5.8 m *1, 2.4 m *1,	1.8
34	5.8 m *1, 4 m *1,	6.8
5	4 m *1, 2.4 m *2,	6
35	6.5 m *1, 3.2 m *1,	10.5

รูปที่ 5.6 ตัวอย่างเอกสารแสดงรูปแบบการตัดที่สามารถนำไปใช้งาน

การแสดงผลสรุป มีดังนี้

- 1) จำนวนเหล็กเส้นมาตรฐานและความยาวที่ต้องการที่ใช้
- 2) จำนวนเหล็กเส้นที่ต้องการ คือ จำนวนของเหล็กเส้นตามขนาดมาตรฐานที่ต้องใช้ในการตัดในแต่ละรูปแบบการตัดเพื่อให้ได้เหล็กตามความต้องการ
- 3) เศษรวมทั้งหมด คือ เศษที่เหลือจากการตัดตามรูปแบบการตัดที่ได้ และเปอร์เซ็นต์เศษเหล็กที่เกิดขึ้น จากข้อมูลตัวอย่างแสดงผล เศษเหล็กที่เกิดขึ้น 145.9 เมตร และเมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์เศษเหล็ก เท่ากับ 3.28%
- 4) แสดงการตัดตามรูปแบบการตัด โดยช่อง “จำนวน (เส้น)” คือ จำนวนเหล็กเส้นมาตรฐานที่ใช้ช่อง “รูปแบบการตัด” คือ จำนวนและความยาวที่จะตัด ตัวอย่าง เช่น 4 m*1, 2.4 m*2 หมายถึง ตัดเหล็กความยาว 4 เมตร จำนวน 1 ครั้ง และตัดเหล็กความยาว 2.4 เมตร จำนวน 2 ครั้ง

การใช้งานโปรแกรมตามที่ได้แสดงข้างต้น สามารถทำความเข้าใจภาพรวมดังรูปที่ 5.7 เมื่อเกิดความเข้าใจแล้ว สามารถที่จะใช้งานโปรแกรมการตัดเหล็กเส้นด้วยวิธีค้นหาแบบสุ่มได้อย่างมีประสิทธิภาพ

[illegible]

5.2 การทดสอบโมเดลที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมการตัดเหล็กเส้น

จากการพัฒนาโปรแกรมโดยใช้วิธีการค้นหาแบบสุ่มที่พัฒนาขึ้น มาทำการวิเคราะห์โดยหา ระดับความสำคัญที่มีผลในการวิเคราะห์ข้อมูลของโปรแกรมการตัดเหล็กเส้นด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่มเพื่อวิเคราะห์ว่าตัวแปรที่สำคัญตัวใดบ้างที่มีผลต่อการวิเคราะห์ค้นหารูปแบบการตัดเพื่อลด ปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้น

เมื่อได้ทำการเขียนโปรแกรมด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่ม พบว่าลักษณะในการวิเคราะห์ โปรแกรมมีผลของข้อมูลตัวอย่างร่วมด้วย จึงจำเป็นต้องออกแบบข้อมูลตัวอย่างให้มีความ หลากหลาย ซึ่งจะสามารถใช้วิเคราะห์แนวโน้มของโมเดลที่ใช้พัฒนาโปรแกรมจากนั้นจึงทำการ วิเคราะห์ตัวแปรของโมเดล โดยการจำลองสร้างลักษณะปัญหาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งได้ ออกแบบข้อมูลตัวอย่างในการประมวลผล ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ตัวอย่างตัวแปรที่ทำการออกแบบข้อมูลตัวอย่างเพื่อทดสอบโปรแกรม

ลำดับ	ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์	Run Times (ครั้ง)	ความยาวที่ ต้องการ (λ_i) (ม.)	จำนวนที่ ต้องการ (d) (ท่อน)	ขนาด มาตรฐาน (ม.)	ขอบเขต ของเศษ (B) (ม.)
1	จำนวนครั้งในการประมวลผล (run times) ตัวอย่างที่ 1	10	10 ลดทีละ 0.5	10	12	8
	จำนวนครั้งในการประมวลผล (run times) ตัวอย่างที่ 2	10	สุ่มค่า (10, 1)	สุ่มค่า (90, 20)	12	8
2	ความยาวที่ต้องการ ที่แตกต่างกันมาก	8	แตกต่างกัน ทุก 4 ลำดับ	10	12	8
3	จำนวนที่ต้องการ ที่แตกต่างกันมาก ตัวอย่างที่ 1	8	ลดทีละ 0.5 (10 ถึง 5.5)	4 ชุดข้อมูล แตกต่างกัน	12	8
	จำนวนที่ต้องการ ที่แตกต่างกันมาก ตัวอย่างที่ 2	8	ลดทีละ 0.5 (5.5 ถึง 1.0)	4 ชุดข้อมูล แตกต่างกัน	12	8
4	ค่าขอบเขตของเศษ (B)	8	กำหนด ไม่ให้เศษ เป็นศูนย์	10 เพิ่มทีละ 5	10	เพิ่มทีละ 2 ถึง 8

ข้อมูลตัวอย่างที่ได้ทำการออกแบบเพื่อทดสอบโปรแกรม ได้มาจากการคำนึงถึงตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการประมวลผลของโปรแกรม โดยจะวิเคราะห์จากการจำลองปัญหาที่แตกต่างกัน แล้วทำการสรุปผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาจากการจำลองปัญหา ซึ่งได้แบ่งเป็น 4 แบบ ดังนี้

1. จำนวนครั้งในการประมวลผลของโปรแกรม (Run Times)
2. วิเคราะห์ความยาวที่ต้องการ (λ_i) ที่แตกต่างกันมาก
3. วิเคราะห์จำนวนที่ต้องการ (d_i) ที่แตกต่างกันมาก
4. วิเคราะห์ค่าขอบเขตของเศษ (B) ที่เหมาะสม

5.3 การจำลองปัญหาเพื่อการทดสอบและวิเคราะห์โปรแกรม

การทดสอบโปรแกรมเมื่อทำการประมวลผลของข้อมูลตัวอย่างตามวิธีการจำลองปัญหาจะทำการบันทึกค่า จากนั้นหาค่าเฉลี่ยเพื่อวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่าง ๆ กับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ซึ่งได้แสดงแผนภูมิภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์กับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของเศษเหล็กที่เกิดขึ้น โดยการจำลองปัญหาเพื่อการทดสอบโปรแกรมแยกได้ดังนี้

5.3.1 จำนวนครั้ง (Run Times) ในการประมวลผลของโปรแกรม

เนื่องจากโมเดลที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมประมวลผลด้วยวิธีค้นหาแบบสุ่ม ทำให้การประมวลผลในแต่ละครั้งอาจได้คำตอบของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่แตกต่างกัน

แนวทางในการทดสอบโปรแกรมจำเป็นต้องจำลองปัญหาลงมาเพื่อความสะดวกหลายในการวิเคราะห์โปรแกรมซึ่งได้ทำการนำข้อมูลค่า “ความยาวที่ต้องการ” เพิ่มขึ้นคราวละ 2 ลำดับ เพิ่มจนถึงจำนวน 20 ลำดับ และกำหนดค่า “ขอบเขตของเศษ” ให้เป็นค่าคงที่ กำหนดความยาวมาตรฐานเป็น 12 เมตร จึงทำการประมวลผลเพื่อเก็บข้อมูล

จากการวิเคราะห์ข้อมูลได้ทำการกำหนดข้อมูลตัวอย่าง ในลักษณะข้อมูลเชิงรูปแบบค่าความยาวและจำนวนที่ต้องการเพิ่มขึ้นคงที่ ดังตารางที่ 5.3 และข้อมูลในเชิงการทำงานเสมือนจริง ดังตารางที่ 5.4 เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ผลของโมเดลที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลตัวอย่างในการทดสอบวิเคราะห์โปรแกรมในเชิงรูปแบบค่าเพิ่มขึ้นคงที่

ลำดับ	ความยาวที่ ต้องการ (λ_i) (ม.)	จำนวนที่ ต้องการ (d_i) (ท่อน)	ลำดับ	ความยาวที่ ต้องการ (λ_i) (ม.)	จำนวนที่ ต้องการ (d_i) (ท่อน)
1	10	10	11	5.0	10
2	9.5	10	12	4.5	10
3	9.0	10	13	4.0	10
4	8.5	10	14	3.5	10
5	8.0	10	15	3.0	10
6	7.5	10	16	2.5	10
7	7.0	10	17	2.0	10
8	6.5	10	18	1.5	10
9	6.0	10	19	1.0	10
10	5.5	10	20	0.5	10

จากตารางที่ 5.3 ลักษณะของข้อมูลตัวอย่างจากลำดับที่ 1 เป็นการลดลงของค่า “ความยาวที่ต้องการ” ทีละ 0.5 เมตร อย่างคงที่ และค่า “จำนวนที่ต้องการ” ให้มีค่า 10 ท่อน คงที่ทุกลำดับ เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลตัวอย่างในโจทย์ลักษณะที่มีจำนวนที่ต้องการเท่ากันหมด

ตารางที่ 5.4 ข้อมูลตัวอย่างในการทดสอบโปรแกรมในเชิงการทำงานเสมือนจริง
ของโครงการก่อสร้าง

ลำดับ	ความยาวที่ ต้องการ (λ_i) (ม.)	จำนวนที่ ต้องการ (d_i) (ท่อน)	ลำดับ	ความยาวที่ ต้องการ (λ_i) (ม.)	จำนวนที่ ต้องการ (d_i) (ท่อน)
1	10	58	11	3.5	21
2	8.5	24	12	3.2	85
3	7.5	45	13	3.1	21
4	6.5	29	14	3	24
5	5.8	24	15	2.9	77
6	5.2	25	16	2.6	36

ตารางที่ 5.4 ข้อมูลตัวอย่างในการทดสอบโปรแกรมในเชิงการทำงานเสมือนจริง
ของโครงการก่อสร้าง (ต่อ)

ลำดับ	ความยาวที่ ต้องการ (λ_i) (ม.)	จำนวนที่ ต้องการ (d_i) (ท่อน)	ลำดับ	ความยาวที่ ต้องการ (λ_i) (ม.)	จำนวนที่ ต้องการ (d_i) (ท่อน)
7	5.1	65	17	2.7	65
8	4.9	53	18	1.4	84
9	4.8	55	19	1.2	22
10	4.5	21	20	1.1	33

จากตารางที่ 5.4 โดยข้อมูลตัวอย่างในการทดสอบโปรแกรม มีความหลากหลายของข้อมูล เหล็กเส้นที่ต้องการและจำนวนที่ต้องการทั้งหมด 20 ลำดับ ซึ่งมีจำนวนมากเมื่อเทียบกับการ วิเคราะห์เหล็กที่ใช้แต่ละช่วงของงานโครงสร้างอาคารในโครงการขนาดกลางหรือขนาดย่อม

การจำลองปัญหาจะใช้ข้อมูลตัวอย่างจากตารางที่ 5.3 และตารางที่ 5.4 ทำการประมวลผล ต่อเนื่องจนกว่าโปรแกรมจะมีแนวโน้มในการได้คำตอบของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเหล็กเส้นคงที่ จึงทำการบันทึกข้อมูล จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสร้างกราฟข้อมูล

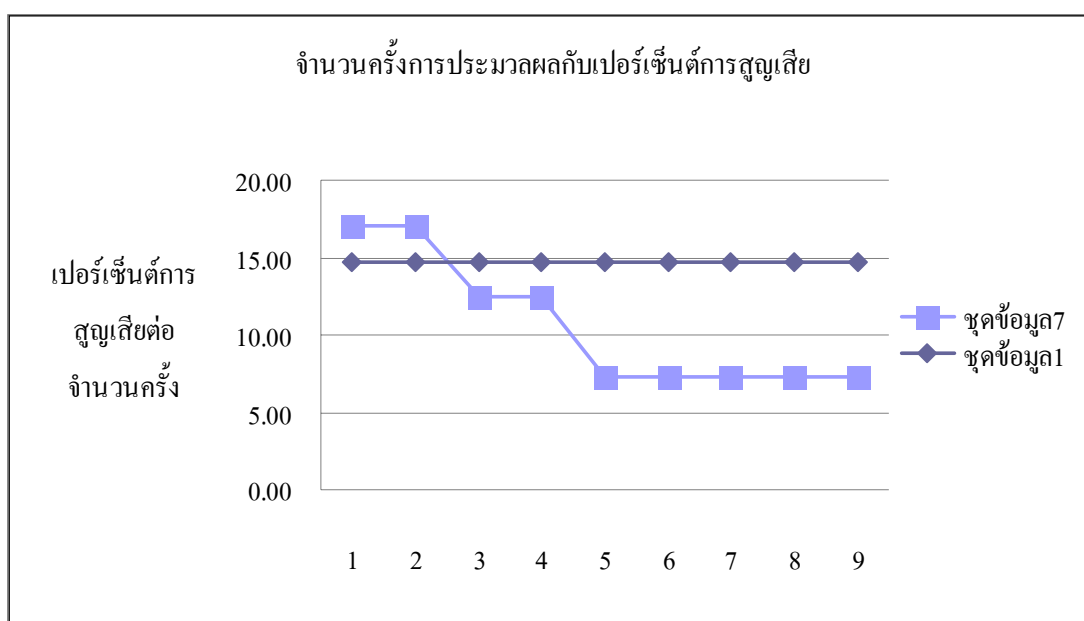
จากการประมวลผลข้อมูลตัวอย่างจากตารางที่ 5.3 ซึ่งเป็นข้อมูลตัวอย่างในเชิงรูปแบบค่า เพิ่มขึ้นคงที่ทั้งค่าความยาวที่ต้องการและจำนวนที่ต้องการ หลังจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย โปรแกรม จึงทำการบันทึกข้อมูล ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ผลการประมวลผลค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียกับจำนวนครั้งในการประมวลผล
ในเชิงรูปแบบค่าเพิ่มขึ้นคงที่

ลำดับ	ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	18.75	18.75	18.75	18.75	18.75	18.75	18.75	18.75	18.75
2	22.91	22.91	22.91	22.91	22.91	22.91	22.91	22.91	22.91
3	27.08	27.08	27.08	27.08	27.08	27.08	27.08	27.08	27.08
4	31.25	31.25	31.25	31.25	31.25	31.25	31.25	31.25	31.25
5	24.01	24.01	24.01	24.01	24.01	24.01	24.01	24.01	24.01
6	14.70	14.70	14.70	14.70	14.70	14.70	14.70	14.70	14.70
7	17.10	17.10	12.50	12.50	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35

ข้อมูลที่ทำให้การประมวลผลในแต่ละครั้งจะถูกระงับที่ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลเมื่อผลของค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียมีโอกาสสุ่มได้คำตอบที่เริ่มคงที่ การสร้างกราฟเพื่อดูข้อมูลแนวโน้ม ดังรูปที่ 5.8

สาเหตุที่มีชุดข้อมูล 7 ชุด เพราะเมื่อมีข้อมูลมากกว่านี้ไม่สามารถหาค่าได้ ซึ่งอาจเกิดจากกรณี ค่าจำนวนที่ต้องการที่เท่ากันทั้งหมดทำให้มีปัญหาในการหารูปแบบการตัด โดยจะทำการทดสอบค่าจำนวนที่ต้องการต่อไป



รูปที่ 5.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งการประมวลผลกับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของเศษเหลือที่เกิดขึ้นในเชิงรูปแบบค่าเพิ่มขึ้นคงที่

จากรูปที่ 5.8 พบว่าจำนวนครั้งในการประมวลผลกับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของเศษเหลือที่เกิดขึ้น ชุดข้อมูลที่ 1 มีความคงที่ของค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย เพราะ ในช่วงข้อมูลที่ 1 รูปแบบการตัดที่ให้ปริมาณเศษเหลือน้อยที่สุด มีไม่หลากหลายจึงได้ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่คงที่เช่นเดียวกับชุดข้อมูลที่ 2 ถึง 6

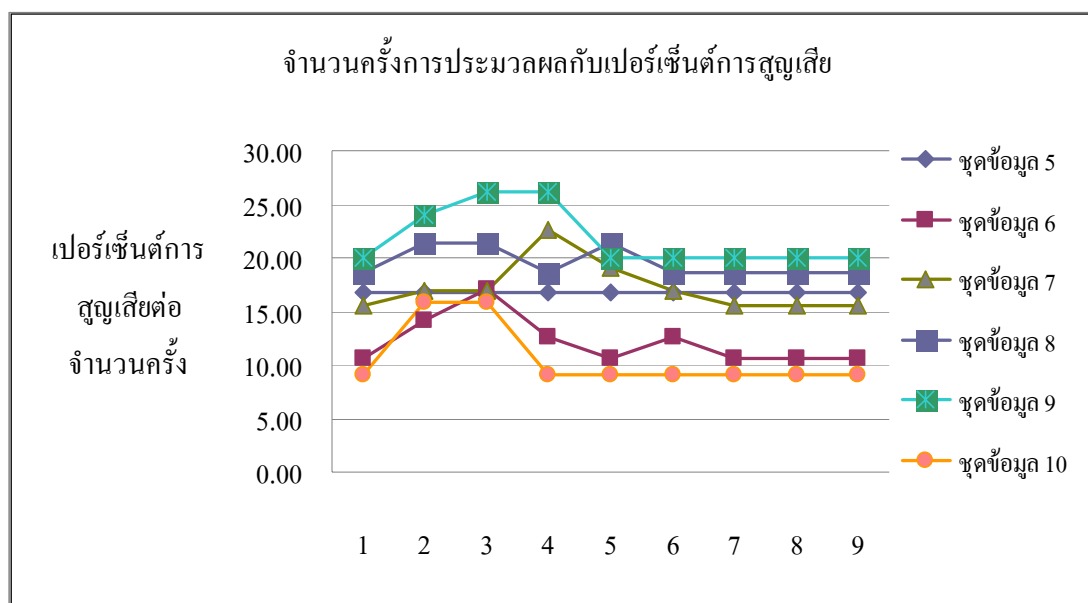
สำหรับข้อมูลชุดที่ 7 ซึ่งมีความหลากหลายของรูปแบบการตัดที่สามารถสุ่มค่าได้ ทำให้มีค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแตกต่างกัน แต่เมื่อทำการประมวลผลข้อมูลมากขึ้น พบว่าในครั้งที่ 5 ถึง 8 ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียมีแนวโน้มเริ่มคงที่

จากนั้นประมวลผลข้อมูลตัวอย่างที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นข้อมูลในเชิงการทำงานเสมือนจริงของโครงการก่อสร้าง ที่มีความหลากหลายของจำนวนความยาวที่ต้องการและจำนวนที่ต้องการ ทำให้วิเคราะห์การทำงานของโปรแกรมในแต่ละข้อมูลตัวอย่างได้ โดยมีข้อมูลจากการประมวลผลดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียกับจำนวนครั้งในการประมวลผลของข้อมูลตัวอย่างในเชิงการทำงานเสมือนจริงของโครงการก่อสร้าง

ลำดับ	ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	20.32	20.32	20.32	20.32	20.32	20.32	20.32	20.32	20.32
2	30.02	30.02	30.02	30.02	30.02	30.02	30.02	30.02	30.02
3	21.66	21.66	21.66	21.66	21.66	21.66	21.66	21.66	21.66
4	19.61	19.61	19.61	19.61	19.61	19.61	19.61	19.61	19.61
5	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70
6	10.62	14.14	17.11	12.57	10.62	12.57	10.62	10.62	10.62
7	15.50	16.90	16.90	22.54	19.04	16.90	15.50	15.50	15.50
8	18.66	21.42	21.42	18.66	21.42	18.66	18.66	18.66	18.66
9	19.94	24.06	26.23	26.23	19.94	19.94	19.94	19.94	19.94
10	9.08	15.92	15.92	9.08	9.08	9.08	9.08	9.08	9.08

การประมวลผลในแต่ละครั้งจะถูกรับบันทึกค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลเมื่อผลของค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียมีโอกาสสุ่มได้คำตอบที่เริ่มคงที่ จึงทำการสร้างกราฟเพื่อดูข้อมูลแนวโน้ม ดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งการประมวลผลกับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของเศษเหลือที่เกิดขึ้นของข้อมูลตัวอย่างในเชิงการทำงานเสมือนจริงของโครงการก่อสร้าง

จากรูปที่ 5.9 พบว่ากราฟแสดงจำนวนครั้งในการประมวลผลกับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของเศษเหลือที่เกิดขึ้น พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียมีแนวโน้มที่ให้ค่าที่คงที่ในช่วงการประมวลที่ 5 ถึง 8 แม้ว่าข้อมูลตัวอย่างจะมีหลากหลายและแตกต่างกัน

สำหรับโมเดลปัญหาวิเคราะห์รูปแบบการตัดด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่ม หากมีการประมวลผลของข้อมูลโดยได้ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่ลดลงจากการวิเคราะห์ข้อมูลดังที่กล่าวมา แนะนำต้องทำการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวน 8 ครั้งจะได้ค่าที่คงที่กว่า และสามารถแน่ใจได้ว่าผลที่ได้เป็นค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่เหมาะสมที่สุด

5.3.2 ความยาวที่ต้องการที่แตกต่างกันมาก

ในการวิเคราะห์ความยาวที่ต้องการที่แตกต่างกันมาก แล้วทำการประมวลผลเพื่อวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่เกิดขึ้น เพื่อศึกษาถึงแนวโน้มของค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียจากข้อมูลตัวอย่างที่แตกต่างกัน โดยใช้ข้อมูลตัวอย่าง ดังตารางที่ 5.7 เป็นข้อมูลตัวอย่างที่นำมาประมวลผลด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 5.7 ข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการประมวลผลที่มีความยาวที่ต้องการที่แตกต่างกันมาก

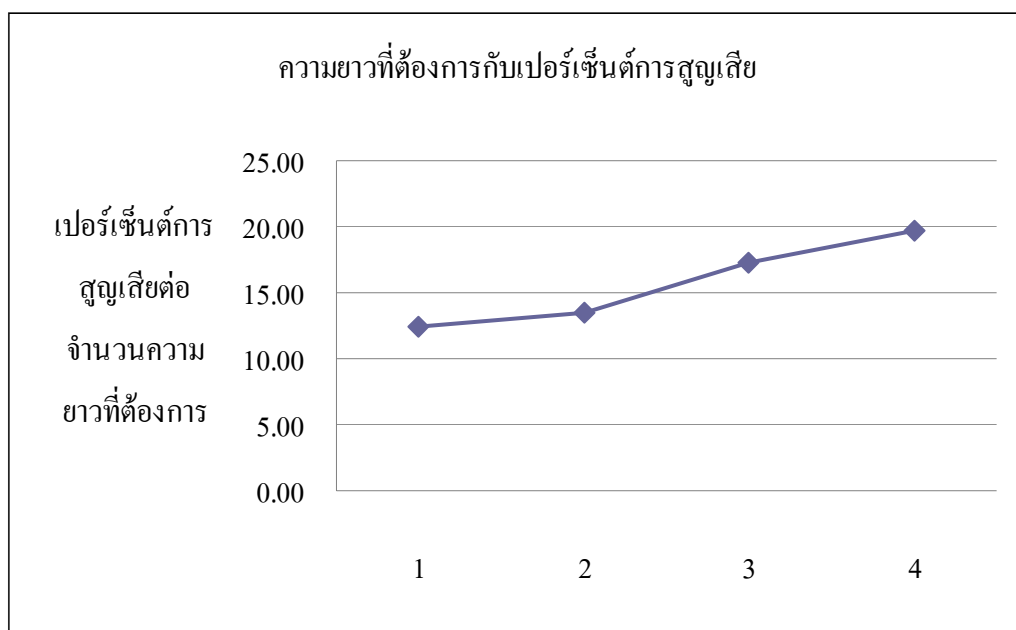
ลำดับ	ความยาวที่ ต้องการ (λ_i) (ม.)	จำนวนที่ ต้องการ (d_i) (ท่อน)	ลำดับ	ความยาวที่ ต้องการ (λ_i) (ม.)	จำนวนที่ ต้องการ (d_i) (ท่อน)
1	10	10	11	3.0	10
2	9.5	10	12	2.5	10
3	1.0	10	13	7.0	10
4	0.5	10	14	6.5	10
5	9.0	10	15	4.0	10
6	8.5	10	16	3.5	10
7	2.0	10	17	6.0	10
8	1.5	10	18	5.5	10
9	8.0	10	19	5.0	10
10	7.5	10	20	4.5	10

จากตารางที่ 5.7 นำข้อมูลมาประมวลผลทีละ 4 ลำดับข้อมูล เพราะอยู่ในช่วงของความยาวที่ต้องการที่แตกต่างกันมาก ซึ่งกำหนดให้ “จำนวนที่ต้องการ” คงที่ เท่ากับ 10 ท่อนทั้งหมด โดยทำการประมวลผลตามข้อมูลที่ได้จากการจำลองปัญหาที่ 1 จนกระทั่งได้ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่คงที่จึงทำการบันทึกข้อมูล จากนั้นทำการสร้างกราฟเพื่อวิเคราะห์แนวโน้มของค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่เกิดขึ้น โดยมีข้อมูลจากการประมวลผลดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 ผลการประมวลผลค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียกับความยาวที่ต้องการที่แตกต่างกันมาก

ลำดับ	ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย								ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50
2	16.67	12.50	12.50	16.67	12.50	12.50	12.50	12.50	13.54
3	17.96	17.96	12.50	17.96	17.96	17.96	17.96	17.96	17.28
4	20.45	20.45	20.45	17.64	20.45	17.64	20.45	20.45	19.75

ข้อมูลที่ทำกรประมวลผลในแต่ละครั้งจะถูกบันทึกค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยของผลของค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย จึงทำการสร้างกราฟเพื่อดูข้อมูล แนวโน้มดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียกับความยาวที่ต้องการที่แตกต่างกันมาก

จากรูปที่ 5.10 พบว่ากราฟแสดงจำนวนความยาวที่ต้องการที่แตกต่างกันมากมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของเศษเหล็กที่เกิดขึ้นซึ่งในช่วงที่มีความยาวที่แตกต่างกันมากแต่จำนวนที่ต้องการน้อย มีผลทำให้การสุมค่ารูปแบบการตัดมีมากขึ้นทำให้ลดปริมาณเศษเหล็กได้มากขึ้น

แต่เมื่อจำนวนความยาวที่ต้องการที่เพิ่มขึ้นทำให้ช่วงของความยาวที่แตกต่างกันน้อยลง ทำให้มีผลต่อการสุมค่ารูปแบบการตัดที่สามารถลดปริมาณเศษเหล็กให้น้อยที่สุด จึงมีค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น

5.3.3 จำนวนที่ต้องการที่แตกต่างกันมาก

ในการจำลองปัญหาที่ 3 โดยตัวอย่างที่ 1 กำหนดจำนวนที่ต้องการที่แตกต่างกันมากจำนวน 5 ชุดข้อมูล และกำหนด “ความยาวที่ต้องการ” มีการลดลงจาก 10 เมตร ทีละ 0.5 เมตร อย่างคงที่จนถึง 5.5 เมตร แล้วจึงทำการประมวลผลเพื่อวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่เกิดขึ้น เพื่อ

ศึกษาถึงแนวโน้มของค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียจากข้อมูลตัวอย่างที่แตกต่างกัน โดยใช้ข้อมูลตัวอย่าง ดังตารางที่ 5.9 เป็นข้อมูลตัวอย่างนำมาประมวลผลด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 5.9 ข้อมูลตัวอย่างที่ 1 ที่ใช้ในการประมวลผลที่มีจำนวนที่ต้องการที่แตกต่างกันมาก

ลำดับ	ความยาวที่ ต้องการ (λ_i) (ม.)	จำนวนที่ ต้องการ (d_i) ชุดที่ 1	จำนวนที่ ต้องการ (d_i) ชุดที่ 2	จำนวนที่ ต้องการ (d_i) ชุดที่ 3	จำนวนที่ ต้องการ (d_i) ชุดที่ 4	จำนวนที่ ต้องการ (d_i) ชุดที่ 5
1	10.0	50	25	50	250	500
2	9.5	100	50	50	225	450
3	9.0	150	75	50	200	400
4	8.5	200	100	50	175	350
5	8.0	250	125	50	150	300
6	7.5	300	150	50	125	250
7	7.0	350	175	50	100	200
8	6.5	400	200	50	75	150
9	6.0	450	225	50	50	100
10	5.5	500	250	50	25	50

จากตารางที่ 5.9 นำข้อมูลมาประมวลผลทีละ 1 ชุดข้อมูล โดยช่วงจำนวนที่ต้องการของความยาวที่ต้องการที่แตกต่างกันมาก ซึ่งกำหนดให้ “จำนวนที่ต้องการ” เพิ่มขึ้นและลดลงแตกต่างกันตามแต่ละชุดข้อมูล โดยทำการประมวลผล 8 ครั้ง ตามข้อมูลที่ได้จากการจำลองปัญหาที่ 1 จนได้ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่คงที่จึงทำการบันทึกข้อมูล โดยมีข้อมูลจากการประมวลผล ดังตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 ตัวอย่างที่ 1 ผลการประมวลผลค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียกับจำนวนที่ต้องการที่แตกต่างกันมาก

ลำดับ	ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย								ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	22.69	22.69	22.69	22.69	22.69	22.69	22.69	22.69	22.69
2	22.72	22.72	22.72	22.72	22.72	22.72	22.72	22.72	22.72
3	24.01	24.01	24.01	24.01	24.01	24.01	24.01	24.01	24.01
4	24.49	24.49	24.49	24.49	24.49	24.49	24.49	24.49	24.49
5	22.69	22.69	22.69	22.69	22.69	22.69	22.69	22.69	22.69

จากการประมวลผลพบว่าข้อมูล ในตารางที่ 5.10 เมื่อทำการบันทึกข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียจะเห็นว่ามีค่าเท่ากันในแต่ละชุดข้อมูลทั้งหมด สาเหตุมาจาก “ความยาวที่ต้องการ” ที่กำหนดขึ้นมาไม่แตกต่างกันมากหรือสามารถจัดเรียงรูปแบบการตัดในขนาดมาตรฐานได้น้อย จะทำให้ผลของจำนวนที่ต้องการที่แตกต่างกันนั้น มีผลน้อยเมื่อเทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่ได้

ถ้าข้อมูลตัวอย่างในลักษณะจำนวนที่ต้องการไม่แตกต่างซึ่งมีค่าคงที่เท่ากัน ดังเช่นผลของข้อมูลในตารางที่ 5.5 เมื่อทำการประมวลผลมากขึ้น โปรแกรมจะไม่สามารถหารูปแบบการตัดได้ โดยโปรแกรมสามารถประมวลผลได้ถึงข้อมูลลำดับที่ 14 เพราะว่า ข้อมูลตัวอย่างในลักษณะนี้มีรูปแบบการตัดที่เกิดขึ้นจำนวนมาก แต่โปรแกรมถูกออกแบบให้ทำการเก็บข้อมูลรูปแบบการตัดจำนวน 20 รูปแบบ อาจทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่เกิดขึ้นได้ เช่นเดียวกับผลของข้อมูลดังตารางที่ 5.8 ซึ่งเป็นข้อมูลตัวอย่างในลักษณะจำนวนที่ต้องการคงที่เช่นเดียวกัน

ตัวอย่างที่ 2 กำหนดจำนวนที่ต้องการที่แตกต่างกันมากจำนวน 5 ชุดข้อมูล และกำหนด “ความยาวที่ต้องการ” มีการลดลงจาก 5.5 เมตร ทีละ 1.0 เมตร อย่างคงที่จนถึง 5.5 เมตร แล้วจึงทำการประมวลผลเพื่อวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่เกิดขึ้น เพื่อศึกษาถึงแนวโน้มของค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียจากข้อมูลตัวอย่างที่แตกต่างกัน โดยใช้ข้อมูลตัวอย่าง ดังตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 ข้อมูลตัวอย่างที่ 2 ที่ใช้ในการประมวลผลที่มีจำนวนที่ต้องการที่แตกต่างกันมาก

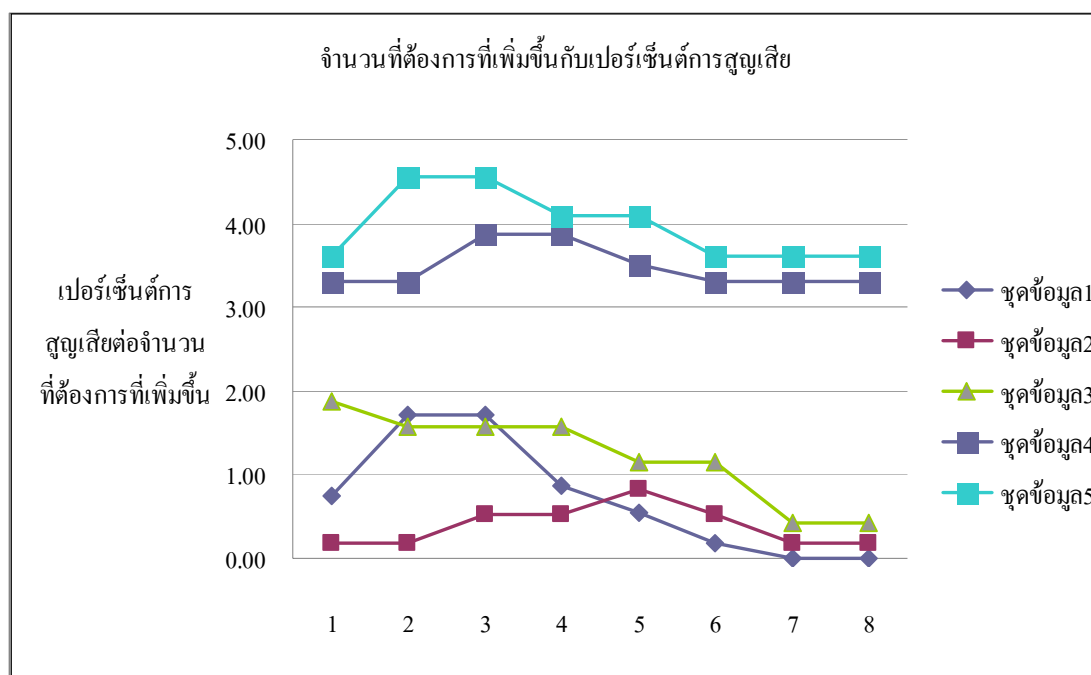
ลำดับ	ความยาวที่ ต้องการ (λ_i) (ม.)	จำนวนที่ ต้องการ (d_i) ชุดที่ 1	จำนวนที่ ต้องการ (d_i) ชุดที่ 2	จำนวนที่ ต้องการ (d_i) ชุดที่ 3	จำนวนที่ ต้องการ (d_i) ชุดที่ 4	จำนวนที่ ต้องการ (d_i) ชุดที่ 5
1	5.5	50	25	50	250	500
2	5.0	100	50	50	225	450
3	4.5	150	75	50	200	400
4	4.0	200	100	50	175	350
5	3.5	250	125	50	150	300
6	3.0	300	150	50	125	250
7	2.5	350	175	50	100	200
8	2.0	400	200	50	75	150
9	1.5	450	225	50	50	100
10	1.0	500	250	50	25	50

จากตารางที่ 5.11 นำข้อมูลมาประมวลผลทีละ 1 ชุดข้อมูล โดยช่วงจำนวนที่ต้องการของความยาวที่ต้องการที่แตกต่างกันมาก ซึ่งกำหนดให้ “จำนวนที่ต้องการ” เพิ่มขึ้นและลดลงแตกต่างกันตามแต่ละชุดข้อมูล โดยทำการประมวลผล 8 ครั้ง เช่นกัน จนได้ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่คงที่จึงทำการบันทึกข้อมูล โดยมีข้อมูลจากการประมวลผลดังตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 ตัวอย่างที่ 2 ผลการประมวลผลค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียกับจำนวนที่ต้องการที่แตกต่างกันมาก

ลำดับ	ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย								ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	0.74	1.72	1.72	0.87	0.54	0.18	0.01	0.01	0.72
2	0.18	0.18	0.53	0.53	0.83	0.53	0.18	0.18	0.39
3	1.87	1.57	1.57	1.57	1.15	1.15	0.42	0.42	1.22
4	3.30	3.30	3.88	3.88	3.50	3.30	3.30	3.30	3.47
5	3.61	4.56	4.56	4.10	4.10	3.61	3.61	3.61	3.97

ข้อมูลที่ทำให้การประมวลผลในแต่ละครั้งจะถูกบันทึกค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยของผลของค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย จึงทำการสร้างกราฟเพื่อดูข้อมูล แนวโน้ม ดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียกับจำนวนที่ต้องการที่แตกต่างกันมาก

จากรูปที่ 5.11 จะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียมีแนวโน้มเกิดขึ้น เนื่องจาก “ความยาวที่ต้องการ” มีความหลากหลายและสามารถจัดเรียงในขนาดมาตรฐานได้มากขึ้น ทำให้รูปแบบการตัดมีความหลากหลายและมีค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่แตกต่างกัน

จากการเปลี่ยนแปลงค่า “จำนวนที่ต้องการ” ในการประมวลผลด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่ม ถ้า “ความยาวที่ต้องการ” มีขนาดยาวมากและมี “จำนวนที่ต้องการ” มากกว่า “ความยาวที่ต้องการ” ที่มีขนาดสั้นกว่า เช่น ข้อมูลจำนวนที่ต้องการชุดที่ 4 และ 5 จะพบว่าการสร้างรูปแบบการตัดที่ถูกจัดเรียงในขนาดมาตรฐานจะมีการจัดเรียงหลักเส้นภายใต้เงื่อนไขเพื่อให้ได้เศษที่น้อยที่สุด ทำให้ “ความยาวที่ต้องการ” ที่มีขนาดสั้นจะถูกจัดเรียงไปด้วย ถึงแม้จะได้ครบตามจำนวนที่ต้องการแล้ว แต่สุดท้ายจะถูกตัดให้เป็นเศษทั้งหมด จึงเป็นผลให้มีค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียมากกว่า จำนวนที่ต้องการ ชุดที่ 1 2 และ 3

5.3.4 ขอบเขตของเศษที่เหมาะสม

ในการป้อนข้อมูลของโปรแกรม ค่าที่จำเป็นต้องป้อนข้อมูลก่อนทำการประมวลผล คือ ขอบเขตของเศษที่ต้องการของชุดข้อมูลหลักเส้น เพื่อใช้เป็นขอบเขตของการค้นหาแบบสุ่มเพื่อสร้างรูปแบบการตัด ซึ่งในแต่ละชุดข้อมูลหลักเส้นจะแตกต่างกันไปตามรูปแบบของความยาวที่ต้องการและจำนวนที่ต้องการ จึงทำให้ค่าขอบเขตของเศษมีความแตกต่างกัน

โดยการจำลองปัญหาที่ 4 เพื่อวิเคราะห์ค่าขอบเขตของเศษที่เหมาะสม จำเป็นต้องใช้ข้อมูลตัวอย่างที่สามารถอธิบายค่าขอบเขตของเศษให้ชัดเจน กำหนดให้ข้อมูลตัวอย่างเป็นการใช้งานหลักเส้นซึ่งมีความยาวที่ต้องการและจำนวนที่ต้องการที่สามารถจัดเรียงเพื่อสร้างรูปแบบการตัดให้ได้ปริมาณเศษหลักไม่เท่ากับศูนย์ ดังตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 ข้อมูลตัวอย่างที่กำหนดให้ปริมาณเศษหลักที่เกิดขึ้นไม่เท่ากับศูนย์

ลำดับ	ความยาวที่ต้องการ (λ_i) (ม.)	จำนวนที่ต้องการ (d_i) (ท่อน)
1	9.0	10
2	7.0	15
3	5.0	20
4	4.0	25
5	4.5	30
6	3.7	35

จากข้อมูลตัวอย่างในตารางที่ 5.13 ซึ่งเป็นข้อมูลตัวอย่างในการทดสอบวิเคราะห์โปรแกรมที่กำหนดให้ปริมาณเศษหลักที่เกิดขึ้นไม่เท่ากับศูนย์ เพื่อทดสอบค่าขอบเขตของเศษที่เหมาะสมกับข้อมูลตัวอย่าง เมื่อนำมาประมวลผลโดยโปรแกรมซึ่งทำการเปลี่ยนแปลงค่าขอบเขตของเศษในแต่ละครั้ง โดยเพิ่มขึ้นทีละ 1 เมตร อย่างคงที่ จากนั้นทำการบันทึกค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่หาได้ โดยมีข้อมูลดังตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.14 ผลการประมวลผลค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าขอบเขตของเศษ
ของข้อมูลตัวอย่างที่กำหนดให้ปริมาณเศษหลักที่เกิดขึ้นไม่เท่ากับศูนย์

ลำดับ	ค่า B	ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย								ค่าเฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	7	8	
1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	3	17.56	17.56	17.56	17.56	17.56	17.56	17.56	17.56	17.56
5	4	17.56	17.56	17.56	17.56	17.56	17.56	17.56	17.56	17.56

จากตารางที่ 5.14 การเปลี่ยนแปลงค่าขอบเขตของเศษจากการประมวลผล จะเห็นว่า
เมื่อกำหนดค่าขอบเขตของเศษให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 2 เมตร จะไม่สามารถหาค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียได้
แต่เมื่อกำหนดค่าขอบเขตของเศษ เท่ากับ 3 เมตรขึ้นไป จะสามารถหาค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย
เท่ากับ 17.56%

สาเหตุที่กำหนดค่าขอบเขตของเศษ เท่ากับ 3 เมตร ทำให้หาค่าเปอร์เซ็นต์การ
สูญเสียได้ เพราะ สามารถสร้างรูปแบบการตัดที่เหมาะสม ซึ่งจะเห็นว่ามีรูปแบบการตัดที่ต้องการ
ปริมาณเศษเท่ากับ 3 เมตร ที่ไม่สามารถจัดเรียงกับค่าความยาวที่ต้องการอื่นได้ จึงจำเป็นที่จะต้อง
มีรูปแบบการตัดที่ความยาว 7 เมตร จำนวน 1 เส้น ดังรูปที่ 5.12

pattern#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
use>	0	10	5	10	0	10	30	0	15	0	0
piece/name	00101	00020	00010	00200	00011	10000	00001	00110	01000	00100	00002
10	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
20	1	0	0	2	0	0	0	1	0	1	0
25	0	2	1	0	1	0	0	1	0	0	0
30	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2
35	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sum lambda	9.5	8	7.7	10	8.5	9	8.2	9	7	8.7	9
loss per parttern	0.50	2.00	2.30	0.00	1.50	1.00	1.80	1.00	3.00	1.30	1.00

รูปที่ 5.12 แสดงค่าเศษต่อหนึ่งรูปแบบการตัดที่ประมวลผลได้

การกำหนดค่าขอบเขตของเศษมีผลต่อการสุ่มความยาวที่ต้องการเพื่อสร้างรูปแบบการตัด ตามข้อกำหนดของค่าขอบเขตของเศษ หากกำหนดค่าน้อยเกินไปจะส่งผลทำให้สร้างรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ลดน้อยลง จึงควรกำหนดค่าขอบเขตของเศษให้มากขึ้นเพื่อสร้างรูปแบบการตัดที่หลากหลาย

จะเห็นว่าค่าขอบเขตของเศษมีผลต่อการสุ่มค้นหาเพื่อสร้างรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ อีกทั้งรูปแบบการตัดที่สุ่มค้นหาได้ ยังส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเช่นเดียวกัน ซึ่งการกำหนดค่าขอบเขตของเศษจึงต้องกำหนดให้มีค่ามากแต่ไม่เท่ากับหรือเกินค่าความยาวมาตรฐาน ในช่วงที่สามารถหาค่ารูปแบบการตัดได้หลากหลาย

5.4 สรุปผลการตรวจสอบอิทธิพลของตัวแปร

การจำลองปัญหาเพื่อทดสอบโปรแกรมการตัดเหล็กเส้นด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่มที่พัฒนาขึ้น เพื่อวิเคราะห์ตัวแปรของโมเดลมีผลต่อการค้นหา รูปแบบการตัดเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้น โดยโมเดลในลักษณะนี้จะขึ้นอยู่กับข้อมูลของปัญหาซึ่งมีการทดสอบที่หลากหลาย จึงได้พยายามวิเคราะห์ตัวแปรที่มีความสำคัญและมีส่วนครอบคลุมในการประมวลผลของการค้นหาแบบสุ่ม จากการประมวลผลของการจำลองปัญหาทั้งหมด สามารถสรุปได้ดังนี้

1) จำลองปัญหาที่ 1 จำนวนในการประมวลผลของโปรแกรม เมื่อทำการประมวลผลข้อมูลตัวอย่างจะมีการสุ่มค้นหา รูปแบบการตัดเกิดขึ้น ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกันไปด้วย แต่เมื่อทำการประมวลผลมากขึ้นแล้วทำการบันทึกค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่เกิดขึ้นพบว่าค่าที่เกิดขึ้นซ้ำกันมากขึ้นเมื่อมีการประมวลผล 5 ถึง 8 ครั้ง แม้ว่าข้อมูลตัวอย่างจะมีหลากหลายและแตกต่างกัน จึงแนะนำให้ทำการประมวลผลจำนวน 8 ครั้งจะได้ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่คงที่กว่า ซึ่งจากการประมวลผลในแต่ละครั้งใช้เวลาไม่ถึง 2 นาที

2) จำลองปัญหาที่ 2 วิเคราะห์ความยาวที่ต้องการที่แตกต่างกันมาก ในการประมวลผลช่วงข้อมูลความยาวที่ต้องการที่แตกต่างกันมาก มีผลทำให้ค่าของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียลดลง เพราะสามารถสุ่มค้นหา รูปแบบการตัดในขนาดมาตรฐานได้มากขึ้น แต่เมื่อช่วงความยาวที่ต้องการแตกต่างกันน้อยลงจะทำให้ค่าของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น

3) จำลองปัญหาที่ 3 วิเคราะห์จำนวนที่ต้องการที่แตกต่างกันมาก จากการประมวลผลถ้าลักษณะของชุดข้อมูลมีความยาวที่ต้องการที่แตกต่างกันมากและสามารถจัดเรียงในขนาดมาตรฐานได้ จะมีผลทำให้การสุ่มค่ารูปแบบการตัดมีมากขึ้น ทำให้สามารถลดปริมาณเศษเหล็กได้มากขึ้น แต่กรณีความยาวที่ต้องการมีจำนวนที่ต้องการมากกว่าความยาวที่สั้นที่สุดในจำนวนมาก จะส่งผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเพิ่มมากขึ้นเป็นผลจากโมเดลที่ทำการออกแบบ

ถ้าข้อมูลมีลักษณะของจำนวนที่ต้องการไม่แตกต่างหรือมีค่าคงที่เท่ากัน เมื่อมีข้อมูลจำนวนมากจะทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ผลได้เพราะรูปแบบการตัดที่เกิดขึ้นมีมากเกินไป ซึ่งโปรแกรมได้ออกแบบมาให้เก็บรูปแบบการตัด 20 รูปแบบเท่านั้นซึ่งเป็นผลมาจากฮาร์ดแวร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเขียนและประมวลผลโปรแกรม แต่จากการสำรวจข้อมูลการใช้งานหลักเส้นในโครงการก่อสร้าง พบว่าข้อมูลที่ใช้เพียงพอและสามารถวิเคราะห์หลักที่ใช้ในงานโครงสร้างของผู้รับเหมาขนาดกลางและขนาดย่อมได้ ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์

4) จำลองปัญหาที่ 4 วิเคราะห์ค่าขอบเขตของเศษที่เหมาะสม จากการนำข้อมูลตัวอย่างมาประมวลผลโดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าขอบเขตของเศษ พบว่าค่าขอบเขตของเศษจะขึ้นอยู่กับข้อมูลความต้องการของการใช้หลักเส้นเป็นหลัก ซึ่งการกำหนดค่าขอบเขตของเศษจะส่งผลกระทบต่อการจัดเรียงรูปแบบการตัด หากกำหนดค่าน้อยเกินไปจะส่งผลทำให้สร้างรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ลดน้อยลง จึงควรกำหนดค่าขอบเขตของเศษให้มากขึ้นแต่ไม่เกินขนาดมาตรฐานเพื่อการสร้างรูปแบบการตัดที่หลากหลาย

5.5 การประเมินการใช้งานโปรแกรม

โปรแกรมการตัดหลักเส้นด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่มที่ได้พัฒนาขึ้น ได้ถูกนำไปทดสอบการใช้งานกับกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นวิศวกรผู้ควบคุมงานก่อสร้างจำนวน 6 คน โดยแต่ละคนมีประสบการณ์ทำงานเกี่ยวข้องกับการวางแผนการตัดหลักเส้น และควบคุมการตัดหลักเส้นของคณงาน จึงมีความเข้าใจในปัญหาที่เกิดจากการตัดหลักเส้น

เมื่อมีการนำเสนอและทดสอบโปรแกรมกับกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยได้สัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างและทำการตอบแบบสอบถามเพื่อแสดงผลประเมินของโปรแกรมที่ได้ทำการทดสอบ โดยคำตอบที่ได้ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของกลุ่มตัวอย่างเป็นหลัก โดยแสดงผลดังตารางที่ 5.15

ตารางที่ 5.15 ผลการประเมินจากการทดลองโปรแกรมจากกลุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลที่	ข้อคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างในเรื่อง	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	ความสะดวกในการใช้งาน	4.3	0.82
2	ความสะดวกในการนำเข้าข้อมูล	4.5	0.55
3	ความสะดวกในการแก้ไขข้อมูล	3.3	0.52
4	รูปแบบการแสดงผล	4.6	0.52
5	ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน	4.8	0.41
6	โปรแกรมสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย	4.2	0.75
7	ช่วยลดปริมาณเศษเหล็กได้	4.8	0.41

จากตารางที่ 5.15 การประเมินข้อคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบโปรแกรม โดยการให้คะแนน (5 = มากที่สุด 1 = น้อยที่สุด) จะเห็นว่าข้อคิดเห็นที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด 3 อันดับ ได้แก่ โปรแกรมสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ช่วยลดปริมาณเศษเหล็ก มีรูปแบบการแสดงผลที่เข้าใจง่ายสะดวกในการใช้งาน อยู่ในค่าเฉลี่ย 4.83 4.83 และ 4.67 ตามลำดับ อีกทั้งโปรแกรมสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย ไม่จำเป็นต้องใช้ทักษะทางคอมพิวเตอร์มากนัก และผลที่ได้สามารถช่วยลดปริมาณเศษเหล็กจากรูปแบบการตัดที่พัฒนาขึ้น

ผู้ประเมินได้ให้ผลการตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นเกาะกลุ่มกัน จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.41 พบว่าในการประเมินโปรแกรมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน และช่วยลดปริมาณเศษเหล็กได้จริง ส่วนข้อคิดเห็นทางด้านความสะดวกในการใช้งาน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.82 มีความคิดเห็นค่อนข้างกระจายตัวกัน เนื่องมาจากความเข้าใจในการใช้งาน โปรแกรมแตกต่างกัน

จากการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่าง ผู้ควบคุมงานมีความรู้ความเข้าใจในวัตถุประสงค์ในการพัฒนาโปรแกรมขึ้นมาเพื่อลดปริมาณเศษเหล็ก โดยกลุ่มตัวอย่างได้ให้ความเห็นเกี่ยวกับข้อเสนอแนะ โดยเสนอข้อมูลหรือความต้องการในการเพิ่มประสิทธิภาพของโปรแกรมตามประสบการณ์การทำงานเกี่ยวกับเหล็กเส้น โดยให้ข้อเสนอแนะที่สามารถสรุปได้ ดังนี้

- 1) ควรพัฒนาโปรแกรมให้มีความสามารถเชื่อมโยงกับวัสดุคงคลัง เพื่อแสดงผลของเหล็กเส้นที่เหลือในโครงการเพื่อความสะดวกในการประเมินการสั่งซื้อเหล็กเส้นในครั้งต่อไป
- 2) การแสดงผลของรูปแบบการตัด ถ้าเพิ่มรูปภาพที่แสดงถึงรูปแบบการตัด จะเพิ่มความเข้าใจให้กับคนงานตัดเหล็กมากขึ้น ลดความสับสนในขณะการตัดเหล็กเส้น

3) ควรพัฒนาเพิ่มเติมแนวคิดในการบริหารจัดการกับเศษเหล็กที่เหลือจากการตัด เพื่อลดปริมาณการเสี่ยงต่อการสูญเสียจากการขโมยเศษเหล็กที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในโครงการก่อสร้าง เช่น ใช้เอกสารในการตรวจสอบเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดและจัดเก็บให้เป็นรูปแบบที่มีมาตรฐาน

จากผลการประเมินพบว่าผู้ใช้งาน ซึ่งเป็นวิศวกรหรือผู้ควบคุมงานเกิดความเข้าใจในวัตถุประสงค์ของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อต้องการลดปริมาณเศษเหล็กในโครงการก่อสร้างและคำนึงถึงประโยชน์ในการนำเทคโนโลยีมาช่วยในการทำงานจริงได้

5.6 ข้อเสนอแนะการลดปริมาณความสูญเสียของเหล็กเส้นโดยแก้ที่ต้นเหตุ ตามที่ทำการสัมภาษณ์

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการสัมภาษณ์ และการสังเกตหน้างานเพื่อหาสาเหตุสำคัญถึงแนวทางเพื่อลดปริมาณความสูญเสียของเหล็กเส้นที่เกิดจากการตัด มีปัจจัยหลายอย่างที่สำคัญเป็นสาเหตุของการเกิดเศษเหล็กที่เกิดจากการตัดเหล็กเส้นเพื่อใช้ในการก่อสร้างงานอาคาร โดยแนวทางสำคัญ คือ การลดหรือการหลีกเลี่ยงการกระทำที่จะก่อให้เกิดเศษเหล็กในปริมาณมาก สามารถสรุปแนวทางสำคัญ ดังต่อไปนี้

5.6.1 การออกแบบ

การลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นสามารถทำได้ตั้งแต่ระยะของการออกแบบ โดยในการออกแบบ ผู้ออกแบบควรให้ความใส่ใจในขนาดมาตรฐาน ถ้าหากการออกแบบไม่ได้เป็นไปตามขนาดมาตรฐานของเหล็กเส้น ซึ่งในการใช้เหล็กจะมีการตัดเกิดขึ้น ถ้าหากออกแบบไม่ดีจะมีผลทำให้สูญเสียเหล็กเส้นจากการตัดโดยไม่จำเป็นและควรออกแบบให้แล้วเสร็จสมบูรณ์ เพื่อลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงแก้ไขแบบในภายหลัง ซึ่งหากเกิดการเปลี่ยนแปลงแก้ไขแบบในภายหลังระหว่างการก่อสร้างจะส่งผลต่อปริมาณความสูญเสียของเหล็กเส้นในปริมาณมาก

5.6.2 เทคโนโลยีมาใช้และวิธีการก่อสร้าง

เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลอย่างมากจากการศึกษา เพราะการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการออกแบบการตัดเหล็กเส้นหรือหารูปแบบการตัดเหล็กเส้นเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นนั้น จะช่วยให้ผลถูกต้องแม่นยำและน่าเชื่อถือกว่าวิธีเดิมที่คำนวณเองด้วยมือ ซึ่งอาจก่อให้เกิดการผิดพลาดได้ง่าย อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความเชื่อมั่นในการใช้ข้อมูลเพิ่มความสะดวกในงานเหล็กเส้นของบุคลากรที่เกี่ยวข้อง

5.6.3 การควบคุมงานของผู้ควบคุมงานก่อสร้าง

ในการควบคุมงานของผู้ควบคุมงานก่อสร้างที่รับผิดชอบในการตัดเหล็กเส้นของคานงานมีผลต่อการเกิดปริมาณเศษเหล็กจากการตัดเหล็กเส้น เนื่องจากคานงานอาจไม่เข้าใจงานที่ได้รับมอบหมายอย่างถูกต้องทำให้เกิดความผิดพลาดในการทำงาน เกิดความเสียหายในการแก้ไขงานให้ถูกต้องหรือเพื่อให้คานงานทำงานอย่างระมัดระวังและถูกต้อง เนื่องจากขาดความเอาใจใส่ดูแลที่ดีของผู้ควบคุมงานมีผลทำให้คานงานขาดความระมัดระวังอาจทำการตัดเหล็กเส้นด้วยวิธีที่ทำให้เกิดเศษเหล็กมากแต่มีความสบายในการทำงาน ซึ่งเป็นผลเสียต่อผู้รับเหมา

เพราะฉะนั้นควรจัดให้มีผู้ควบคุมงานก่อสร้างที่เพียงพอต่อการควบคุมงานการทำงานของคนงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงในการตัดเหล็กเส้นตามคำสั่ง และควรหมั่นตรวจสอบการทำงานของคนงานอย่างสม่ำเสมอ ให้คานงานเข้าใจถึงสาเหตุในการลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้น

5.6.4 ทักษะในการทำงานของคนงาน

ทักษะและฝีมือในการทำงานของคนงานมีผลต่อการเกิดปริมาณเศษเหล็กที่มากขึ้น ควรคัดเลือกคนงานที่มีความเข้าใจและมีประสบการณ์ในการตัดเหล็กเส้น เข้าใจตรงกันตามคำสั่งตัดเหล็กที่ได้รับมอบหมายและควรหลีกเลี่ยงผลที่เกิดจากความรู้ความเข้าใจของคนงานเองที่ไม่ตรงกับรูปแบบการตัดเหล็กเส้นที่ผู้ควบคุมงานได้สั่งไว้

5.7 ข้อมูลเหล็กเส้นที่วิเคราะห์โดยโปรแกรม

5.7.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเหล็กเส้นของโครงการก่อสร้างที่ 1

การเก็บข้อมูลในโครงการก่อสร้างที่ 1 ซึ่งเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยได้ทำการเก็บข้อมูลเฉพาะโครงสร้างคานในบางช่วง เพราะมีความหลากหลายในการตัดเหล็กเส้นเพื่อนำมาใช้งานในปริมาณมาก ส่งผลให้ข้อมูลเหล็กเส้นที่ได้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น เหมาะสำหรับการมาใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้น จากตารางที่ 5.16 แสดงผลการเก็บข้อมูลเหล็กเส้นแยกตามขนาดของเหล็กเส้น และจำนวนที่ต้องการของโครงการที่ 1

ตารางที่ 5.16 ข้อมูลหลักเส้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ของโครงการที่ 1

ชนิด	ความยาวที่ต้องการ (เมตร)	จำนวนที่ต้องการ (ท่อน)
DB20	10.00	288
	8.45	8
	7.80	20
	7.50	16
	7.45	8
	7.00	36
	6.50	72
	5.80	8
	3.50	30
	3.45	16
	3.00	26
DB25	8.50	192
	6.75	24
	6.45	16
	6.00	90
	5.00	178
	4.00	164
	3.75	44
RB6	1.7	234
	1.6	560
	1.4	607
	1.2	408
	1.0	496

จำนวนหลักเส้นที่ใช้จริงในโครงการก่อสร้างที่ 1 แบ่งตามขนาดที่ใช้ในแต่ละความต้องการ จากนั้นนำมาใช้วิเคราะห์โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นตามแต่ละขนาดที่ต้องการ ผลการวิเคราะห์ที่สามารถแสดงได้ตามตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.17 ผลของรูปแบบการตัดที่ได้จากโปรแกรมของโครงการที่ 1

ชนิด	จำนวนที่ใช้ (เส้น)	ขนาดมาตรฐาน (ม.)	รูปแบบการตัด	เศษ (ม.)
DB20	288	10	10:1	0
	8	10	6.5:1, 3.45:1	0.05
	36	10	7:1, 3:1	0
	8	10	7.45:1	2.55
	8	10	8.45:1	1.55
	64	10	6.5:1, 3.5:1	0
	16	10	7.45:1	2.50
	8	10	5.8:1, 3.45:1	0.75
	20	10	7.8:1	2.20
DB25	30	10	5:2	0
	24	10	6.75:1	3.25
	192	10	8.5:1	1.50
	46	10	6:1, 4:1	0
	16	10	6.45:1	3.55
	44	10	6:1, 3.75:1	0.25
	118	10	5:1, 4:1	1.0
RB6	4	10	1.6:6	0.4
	90	10	1.4:5, 1:3	0
	2	10	1.7:4, 1:3	0.2

ตารางที่ 5.17 ผลของรูปแบบการตัดที่ได้จากโปรแกรมของโครงการที่ 1 (ต่อ)

ชนิด	จำนวนที่ใช้ (เส้น)	ขนาดมาตรฐาน (ม.)	รูปแบบการตัด	เศษ (ม.)
RB6	74	10	1.7:3, 1.4:2, 1:2	0.1
	2	10	1.7:2, 1.4:3, 1.2:2	0
	134	10	1.6:4, 1.2:3	0
	7	10	1:10	0
	1	10	1.4:4, 1.2:2, 1:2	0.2

จากโครงการก่อสร้างที่ 1 สามารถแสดงผลเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นโดยใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์ ได้ดังนี้

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียของปริมาณเศษเหล็กในโครงการก่อสร้างที่ 1

ปริมาณการสูญเสียขนาด DB 20 เท่ากับ 5.97%

ปริมาณการสูญเสียขนาด DB 25 เท่ากับ 11.74%

ปริมาณการสูญเสียขนาด RB 6 เท่ากับ 0.34%

5.7.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเหล็กเส้นของโครงการก่อสร้างที่ 2

จากโครงการที่ 2 ได้ใช้ข้อมูลเหล็กเส้นของคานช่วงหนึ่ง เพื่อใช้เป็นรูปแบบการทำรายการเหล็กเส้น และวิเคราะห์ข้อมูลการสูญเสียเหล็กเส้นที่ได้จากวิธีการเดิมของโครงการที่ 2 ซึ่งค่อนข้างมีการสูญเสียในปริมาณมาก จากตารางที่ 5.18 แสดงผลการเก็บข้อมูลเหล็กเส้นแยกตามขนาดของเหล็กเส้น และจำนวนที่ต้องการของโครงการที่ 1

ตารางที่ 5.18 ข้อมูลหลักเส้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ของโครงการที่ 2

ชนิด	ความยาวที่ต้องการ(เมตร)	จำนวนที่ต้องการ (ท่อน)
DB20	10	644
	7.5	96
	6.8	96
	5.8	120
	4.7	264
	2.9	144
DB25	8.6	200
	2.1	112
RB6	1.8	40
	1.3	616
	1.2	7392
	1	3904
	0.8	736

จำนวนหลักเส้นที่ใช้จริงในโครงการก่อสร้างที่ 2 แบ่งตามขนาด จากนั้นนำมาใช้วิเคราะห์โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นตามแต่ละขนาดที่ต้องการ ผลการวิเคราะห์ที่สามารถแสดงได้ตามตารางที่ 5.19

ตารางที่ 5.19 ผลของรูปแบบการตัดที่ได้จากโปรแกรมของโครงการที่ 2

ชนิด	จำนวนที่ใช้ (เส้น)	ขนาดมาตรฐาน (ม.)	รูปแบบการตัด	เศษ (ม.)
DB20	644	10	10:1	0
	120	10	5.8:1, 2.9:1	1.3
	96	10	6.8:1, 2.9:1	0.3
	96	10	7.5:1	2.5
	132	10	4.7:2	0.6
DB25	28	10	2.1:4	1.6
	200	10	8.6:1	1.4
RB6	8	10	1.8:1, 1:1	0
	725	10	1.2:6, 1:2, 0.8:1	0
	1	10	1.3:7, 0.8:1	0.1
	586	10	1.2:5, 1:4	0
	102	10	1.3:6, 1.2:1, 1:1	0
	2	10	1.2:5, 0.8:5	0

จากข้อมูลหลักเส้นรวมของโครงการก่อสร้างที่ 2 แยกตามขนาด สามารถแสดงผลเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นโดยใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์ ได้ดังนี้

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียของปริมาณเศษเหล็กในโครงการก่อสร้างที่ 2

ปริมาณการสูญเสียขนาด DB 20 เท่ากับ 6.55%

ปริมาณการสูญเสียขนาด DB 25 เท่ากับ 14.24%

ปริมาณการสูญเสียขนาด RB 6 เท่ากับ 0.02%

5.7.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเหล็กเส้นของโครงการก่อสร้างที่ 3

การเก็บข้อมูลเหล็กเส้นจากโครงการก่อสร้างที่ 3 ใช้ข้อมูลการตัดเหล็กเส้นที่ใช้งานจริงในส่วนของโครงสร้างคานชั้นที่ 1 และ 2 เพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลเมื่อรวมข้อมูลตามขนาดเหล็กเส้นที่ใช้จะได้ข้อมูลตามตารางที่ 5.20 แสดงผลการเก็บข้อมูลเหล็กเส้นแยกตามขนาดของเหล็กเส้น และจำนวนที่ต้องการของโครงการที่ 1

ตารางที่ 5.20 ข้อมูลเหล็กเส้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ของโครงการที่ 3

ชนิด	ความยาวที่ต้องการ (เมตร)	จำนวนที่ต้องการ (ท่อน)
DB20	10	261
	8.5	62
	7.5	34
	6.5	35
	5.8	35
	4.0	64
	3.2	36
	2.4	46
DB25	8.3	200
	7.2	84
	6.7	60
	3.2	37
	2.5	80
RB9	1.8	454
	1.5	460
	1.2	617
	1	587

จำนวนเหล็กเส้นที่ใช้จริงในโครงการก่อสร้างที่ 3 แบ่งตามขนาด จากนั้นนำมาใช้วิเคราะห์โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นตามแต่ละขนาดที่ต้องการ ผลการวิเคราะห์ที่สามารถแสดงได้ตามตารางที่ 5.21

ตารางที่ 5.21 ผลของรูปแบบการตัดที่ได้จากโปรแกรมของโครงการที่ 3

ชนิด	จำนวนที่ใช้(เส้น)	ขนาดมาตรฐาน (ม.)	รูปแบบการตัด	เศษ(ม.)
DB20	12	10	4:2	2
	1	10	4:1, 3.2:1, 2.4 :1	0.4
	261	10	10:1	0
	34	10	7.5 :1, 2.4 :1	0.1
	62	10	8.5:1	1.5
	1	10	5.8 :1, 2.4:1	1.8
	34	10	5.8:1, 4:1	0.2
	5	10	4:1, 2.4:2	1.2
	35	10	6.5:1, 3.2:1	0.3
DB25	200	10	8.3:1	1.7
	84	10	7.2:1, 2.5:1	0.3
	23	10	6.7:1, 2.5:1	0.8
	37	10	6.7:1, 3.2:1	0.1
RB9	70	10	1.5:6, 1:1	0
	91	10	1.8:5, 1:1	0
	101	10	1.2:5, 1:4	0
	20	10	1.5:2, 1.2:5, 1:1	0
	2	10	1.8:1, 1.2:6, 1:1	0

จากข้อมูลหลักเส้นรวมของโครงการก่อสร้างที่ 3 แยกตามขนาด สามารถแสดงผลเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นโดยใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์ ได้ดังนี้

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียของปริมาณเศษเหล็กในโครงการก่อสร้างที่ 3

ปริมาณการสูญเสียขนาด DB 20 เท่ากับ 3.27%

ปริมาณการสูญเสียขนาด DB 25 เท่ากับ 13.22%

ปริมาณการสูญเสียขนาด RB 9 เท่ากับ 0.19%

5.8 ความแตกต่างในการสร้างรูปแบบการตัดของวิธีการค้นหาแบบสุ่ม

กับการทำงานของวิศวกร

ในการทำงานเกี่ยวกับการตัดเหล็กเส้นเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้น จะเห็นว่ารูปแบบการตัดมีความสำคัญเพื่อใช้ในการจัดเรียงความยาวเหล็กเส้นที่ต้องการและจำนวนที่ต้องการเพื่อให้ได้ปริมาณเศษเหล็กน้อยที่สุด ซึ่งจากการสำรวจหน้างานวิธีการของวิศวกรและวิธีการค้นหาแบบสุ่มมีความแตกต่างกัน โดยวิธีการค้นหาแบบสุ่มสามารถลดปริมาณเศษเหล็กได้มากกว่า ซึ่งในแต่ละโครงการก่อสร้างตัวอย่างจะมีวิธีการแตกต่างกัน สามารถอธิบายได้ ดังนี้

5.8.1 ตัวอย่างโครงการก่อสร้างกับการสร้างรูปแบบการตัด

ยกตัวอย่างในโครงการก่อสร้างที่ 1 การสร้างรูปแบบการตัดที่ใช้ในหน้างาน มีการคิดคำนวณโดยวิศวกรที่ต้องทำการจัดเรียงความยาวเหล็กเส้นที่ต้องการและจำนวนที่ต้องการในแต่ละช่วงของงานซึ่งไม่เยอะมาก เพราะใช้เครื่องช่วยคำนวณด้วยมือ ถ้าเกิดมีความยาวที่ต้องการและจำนวนที่ต้องการในปริมาณมากจะส่งผลต่อการคำนวณเป็นไปได้ยากและซับซ้อน

ตัวอย่างโครงการก่อสร้างที่ 1 ข้อมูลหลักเส้น RB6 ในตารางที่ 5.16 เมื่อใช้วิศวกรในการสร้างรูปแบบการตัด มีค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของเศษเหล็ก เท่ากับ 2.29% เมื่อใช้โปรแกรมสร้างรูปแบบการตัดด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่ม จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย เท่ากับ 0.34% โดยมีการสร้างรูปแบบการตัดที่วิเคราะห์ ดังรูปที่ 5.13

pattern#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
use>	0	43	0	0	0	0	0	1	4	0	0	178	7	0	0	0	1	80	0
piece/name	01330	50100	01008	22021	00080	24000	00700	50010	33000	13102	00027	03301	02410	03211	00071	41001	20230	00054	30103
234	0	5	0	2	0	2	0	5	3	1	0	0	0	0	0	4	2	0	3
560	1	0	1	2	0	4	0	0	3	3	0	3	2	3	0	1	0	0	0
607	3	1	0	0	0	0	7	0	0	1	0	3	4	2	0	0	2	0	1
411	3	0	0	2	8	0	0	1	0	0	2	0	1	1	7	0	3	5	0
498	0	0	8	1	0	0	0	0	0	2	7	1	0	1	1	1	0	4	3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sum lambda	9.4	9.9	9.6	10	9.6	9.8	9.8	9.7	9.9	9.9	9.4	10	10	9.8	9.4	9.4	9.8	10	9.5
loss per pattern	0.60	0.10	0.40	0.00	0.40	0.20	0.20	0.30	0.10	0.10	0.60	0.00	0.00	0.20	0.60	0.60	0.20	0.00	0.50

รูปที่ 5.13 รูปแบบการตัดเหล็กเส้น RB6 ที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมของโครงการก่อสร้างที่ 1

วิธีการของโครงการก่อสร้างที่ 1 จะใช้วิธีการสร้างรูปแบบการตัดโดยคิดคำนวณจำนวนเหล็กเส้นมาตรฐานที่ต้องการใช้ออกมาทั้งหมดก่อน จากนั้นจึงทำการหาปริมาณเศษที่เกิดขึ้นจากแต่ละความยาวที่ต้องการ ถ้าเหลือปริมาณเศษเหล็กที่สามารถใช้แทนความความยาวที่ต้องการที่สั้นกว่าได้ ก็จะถูกคัดเลือกนำมาใช้ จะเห็นว่าวิธีการที่วิศวกรใช้ในการคำนวณนั้นเน้นการทำงานให้ง่าย แต่จะลดปริมาณเศษเหล็กได้น้อยกว่าวิธีการค้นหาแบบสุ่ม

ซึ่งต่างจากการใช้วิธีการค้นหาแบบสุ่ม ดังรูปที่ 5.13 จะเห็นว่ารูปแบบการตัดที่ได้สามารถนำความยาวที่ต้องการทุกตัว มาจัดเรียงบนเหล็กเส้นมาตรฐาน โดยอยู่ในเงื่อนไขต้องให้ปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นน้อยกว่าความยาวที่สั้นที่สุด โดยสามารถสรุปความแตกต่างได้ ดังนี้

1) วิธีการค้นหาแบบสุ่มสามารถวิเคราะห์สร้างรูปแบบการตัดในปริมาณงานมาก ๆ ได้ ซึ่งต่างจากการคิดคำนวณของวิศวกรมักใช้การคำนวณแบบง่ายเพื่อลดปัญหาที่ซับซ้อน

2) วิธีการค้นหาแบบสุ่มสามารถเลือกความยาวของเหล็กเส้นที่ต้องการทุกตัวนำมาจัดเรียงในเหล็กเส้นมาตรฐาน โดยให้ปริมาณเศษเหล็กล้นน้อยที่สุด ต่างจากวิธีการของวิศวกรที่ใช้การเลือกความยาวที่ต้องการทีละค่าแล้วใช้ปริมาณเศษที่เหลือกับความยาวที่สั้นกว่า

3) วิธีการค้นหาแบบสุ่ม จากรูปที่ 5.13 เมื่อทำการสร้างรูปแบบการตัดที่ให้ปริมาณเศษน้อยตามความต้องการแล้ว จากนั้นจะทำการคัดเลือกรูปแบบการตัดที่ให้เศษน้อยที่สุดจากรูปแบบการตัดที่หามาได้ทั้งหมด

4) วิธีการค้นหาแบบสุ่มจะสร้างรูปแบบการตัดที่เหลือเศษจากขนาดมาตรฐานที่ไม่สามารถนำความยาวที่สั้นที่สุดมาตัดได้อีก ทำให้รูปแบบการตัดที่ได้มีการใช้เหล็กเส้นอย่างคุ้มค่า

จากวิธีการค้นหาแบบสุ่มเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการที่วิศวกรใช้ในการสร้างรูปแบบการตัด พบว่ามีประสิทธิภาพมากกว่าในด้านการสร้างรูปแบบการตัดเพื่อลดปริมาณเศษเหล็ก ซึ่งมีวิธีคิดโดยการสุ่มเลือกเหล็กเส้นทั้งหมดมาสร้างรูปแบบการตัดและเปรียบเทียบเศษที่เกิดขึ้น

จากนั้นจึงเลือกรูปแบบการตัดที่เศษเหล็กล็กน้อยที่สุด อีกทั้งส่งผลให้การวิเคราะห์ข้อมูลสะดวกขึ้นเมื่อใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณ

5.9 เปรียบเทียบผลข้อมูลเศษเหล็กที่ได้จากการสำรวจและจากโปรแกรม

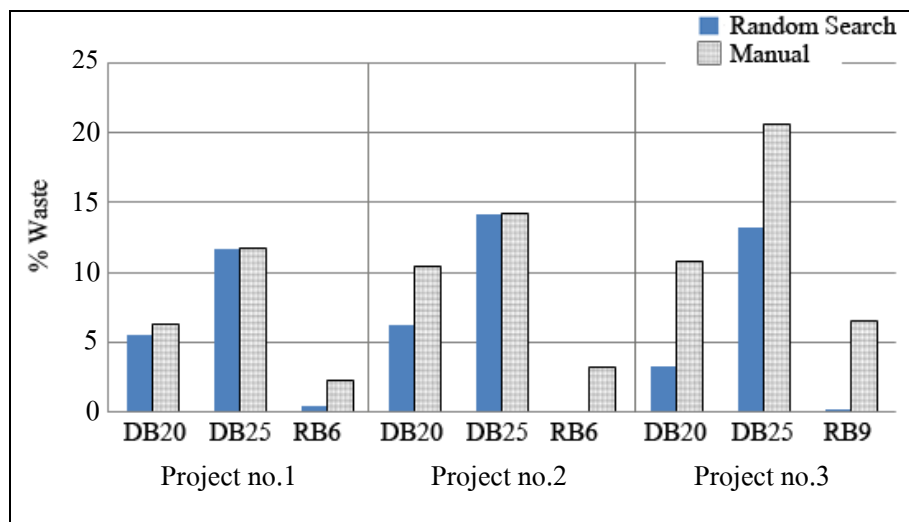
จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการเก็บข้อมูลเหล็กเส้นกับโครงการก่อสร้างตัวอย่างทั้ง 3 โครงการ โดยศึกษาวิธีการหารูปแบบการตัดที่แต่ละโครงการก่อสร้างได้ปฏิบัติ เปรียบเทียบผลกับโปรแกรมการตัดเหล็กเส้นด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่มที่พัฒนาขึ้น โดยได้ผลดังแสดงตามตารางที่ 5.22

ตารางที่ 5.22 เปรียบเทียบผลข้อมูลเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจากการตัดในแต่ละโครงการก่อสร้างกับโปรแกรม

รายละเอียด	โครงการที่ 1	โครงการที่ 2	โครงการที่ 3
ความยาวเหล็กที่ต้องการทั้งหมด (เมตร)	11,565	26,359	10,124
จำนวนเหล็กเส้นที่ต้องใช้ทั้งหมด (เส้น)	1,252	2,837	1,162
เศษเหล็กรวมที่เกิดขึ้นจากวิธีการเดิม (%)	20.31	28.01	38.01
เศษเหล็กรวมที่เกิดขึ้นจากโปรแกรม (%)	18.06	20.81	16.68
เศษเหล็กรวมที่ลดได้ (%)	2.25	7.2	21.33

จะพบว่าผลรวมของเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจากโปรแกรมการตัดเหล็กเส้นด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่มนั้น ลดน้อยกว่าวิธีที่โครงการก่อสร้างตัวอย่างได้ปฏิบัติอยู่เดิม ช่วยให้ลดปริมาณของเหล็กเส้นที่ใช้ในโครงการก่อสร้างได้ อีกทั้งการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมีความรวดเร็วและสะดวกสบายกว่าวิธีเดิมเพราะผู้รับเหมาขนาดกลางและขนาดย่อมมักใช้วิธีการวางแผนและคำนวณด้วยมือ ซึ่งใช้เวลานานและอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดได้ง่าย

จากผลการวิเคราะห์สามารถนำมาสรุปจำแนกเป็นชนิดเหล็กเส้นที่ใช้เพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณเศษของแต่ละชนิดเหล็กเส้นที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้างที่ได้ทำการเก็บข้อมูล และเปรียบเทียบผลกับโปรแกรม ในการวิเคราะห์ได้แสดงแผนภูมิภาพแสดงปริมาณสูญเสียของเหล็กเส้นเป็นเศษเหล็กที่เกิดขึ้น โดยแสดงดังรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 แสดงแผนภูมิภาพเปรียบเทียบข้อมูลของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของเหล็ก

จากรูปที่ 5.14 ในโครงการก่อสร้างที่ 1 พบว่าแนวโน้มในการลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นมากในเหล็กขนาด RB6 โดยวิธีเดิมมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย 2.29% ส่วนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย 0.35% ลดน้อยกว่าวิธีการเดิม ซึ่งโครงการก่อสร้างที่ 1 นั้นมีการวางแผนในการตัดเหล็กเส้นที่ดีพอสมควร แต่เมื่อมีการใช้เหล็กเส้นเป็นจำนวนมากทำให้การคิดคำนวณด้วยคนมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้น

โครงการก่อสร้างที่ 2 ความยาวเหล็กที่ต้องการมีไม่หลากหลายนัก แต่เนื่องด้วยการใช้งานเหล็กในโครงการก่อสร้างไม่ได้คำนึงถึงการวิเคราะห์เพื่อลดปริมาณเศษเหล็กทำให้มีเศษเหล็กที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้างในปริมาณมาก ซึ่งเหล็กที่ใช้ในโครงการก่อสร้างที่ 2 จากเหล็กขนาด DB20 และ RB6 จากวิธีเดิมมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย 10.5% และ 3.27% ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทำให้มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเหล็กขนาด DB20 และ RB6 เท่ากับ 6.55% และ 0.02% ตามลำดับ

โครงการก่อสร้างที่ 3 จากการสำรวจเก็บข้อมูลมีการใช้งานเหล็กเส้นที่ใช้มีความหลากหลายทำให้การวิเคราะห์ด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่มมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมส่งผลทำให้ลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นได้ในปริมาณมาก ซึ่งการทำงานตัดเหล็กโดยคำนึงถึงเศษเหล็กหลังการใช้งานโดยการเก็บรวบรวมเพื่อรอกนำไปใช้งานอื่น ๆ เป็นผลเสียต่อโครงการเพราะว่าไม่สามารถนำเศษที่เหลือไปใช้งานได้ทั้งหมด จึงควรคำนึงถึงการตัดเหล็กเส้นให้เหลือเศษน้อยที่สุดจะส่งผลดีต่อโครงการก่อสร้างมากกว่าทั้งทางด้านต้นทุนและการจัดการวัสดุเหล็กเส้น

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

ปัญหาเศษเหล็กที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้างส่งผลเสียต่อผู้รับเหมาในด้านต้นทุนโดยตรง แนวคิดนี้เกิดขึ้นจากการสำรวจโครงการก่อสร้างขนาดกลางที่ทำการก่อสร้างในส่วนของโครงสร้าง มีเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดและไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมาก โดยขาดการคำนึงถึงเศษเหล็กที่เกิดขึ้นเป็นส่วนหนึ่งของต้นทุนที่ต้องสูญเสียไป จึงจำเป็นต้องหาวิธีการแก้ไขปรับปรุงโดยการพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้นเพื่อช่วยในการลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้น

การพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้น มีแนวคิดโดยการแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้ ใช้วิธีการค้นหาแบบสุ่มเป็นการสร้างรูปแบบการตัดที่สามารถวิเคราะห์รูปแบบการตัดที่ให้ปริมาณเศษเหล็กน้อยที่สุด โดยไม่จำเป็นต้องหารูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมด เพราะวิธีการค้นหาแบบสุ่มเป็นวิธีการแบบประมาณมีความเหมาะสมกับปัญหาการตัดเหล็กเส้นที่เป็นปัญหาแบบ NP-hard ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน

เมื่อได้รูปแบบการตัดที่ต้องการแล้ว จากนั้นจะเข้าสู่วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นตรงเป็นวิธีการในการหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบจริง มาช่วยในการวิเคราะห์หาจำนวนเหล็กเส้นที่ใช้ตัดจริงในรูปแบบการตัดที่หาได้ ช่วยให้การหาจำนวนเหล็กเส้นที่ใช้รวดเร็วและเหมาะสมยิ่งขึ้น ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดนี้ใช้โปรแกรมแมโครในไมโครซอฟท์เอ็กเซลมาช่วยในการประมวลผลเพื่อความสะดวกในการใช้งานและการประมวลผลที่ซับซ้อนให้เป็นเรื่องง่ายได้

โปรแกรมการตัดเหล็กด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่มที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถในการลดปริมาณเศษเหล็ก แต่เนื่องจากใช้การสุ่มเป็นหลักทำให้การประมวลผลในแต่ละครั้งอาจได้คำตอบของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่แตกต่างกัน แต่เมื่อทำการทดสอบจำนวนครั้งในการประมวลผลพบว่า เมื่อทำการประมวลผล 5 ถึง 8 ครั้งขึ้นไปจะได้คำตอบที่มีแนวโน้มคงที่ หรือยังประมวลผลหลายครั้งจะทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้ค่าที่มีเศษเหล็กน้อย เพื่อนำไปใช้ได้มากขึ้น อีกทั้งโปรแกรมมีข้อจำกัดซึ่งได้กำหนดให้สามารถวิเคราะห์ความยาวและจำนวนที่ต้องการสูงสุดได้ 20 ค่าเท่านั้น กรณีนี้จะส่งผลเมื่อทำการวิเคราะห์ปัญหาที่มีจำนวนที่ต้องการเท่ากันทั้งหมดในปริมาณมากจะทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ผลได้ เพราะรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้มีมากเกินไปทำให้การเก็บข้อมูลอาจไม่ได้รูปแบบการตัดที่ดีที่สุด

ในการวิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลจากโครงการก่อสร้างมีลักษณะโครงการเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดกลาง จำนวน 3 โครงการ เพื่อเปรียบเทียบเศษเหล็กที่เกิดจากการตัดในแต่ละโครงการ ตัวอย่างได้ปฏิบัติอยู่เดิม กับโปรแกรมการตัดเหล็กเส้นที่พัฒนาขึ้น โดยใช้วิธีการค้นหาแบบสุ่มในการจัดรูปแบบการตัดเหล็กเส้น ซึ่งจากการเปรียบเทียบผลทั้ง 3 โครงการ โปรแกรมสามารถลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นได้จริง ทั้ง 3 โครงการสามารถลดเศษเหล็กได้ถึง 2.25% 7.2% และ 21.33% ตามลำดับ

คิดเป็นความยาวรวมเศษเหล็กที่สามารถลดได้ในแต่ละโครงการพบว่า โครงการที่ 1 สามารถลดปริมาณเศษเหล็กได้ 260 เมตร โครงการที่ 2 ลดได้ 1,900 เมตร และโครงการที่ 3 ลดได้ 2,160 เมตร จะเห็นว่าปริมาณเศษเหล็กที่ลดได้จะแปรผันตามวิธีการเดิมที่แต่ละโครงการก่อสร้างตัวอย่างใช้ในการวางแผนการตัดเหล็กเส้น

การวิจัยนี้ทำให้ผู้รับเหมาก่อสร้างสามารถทราบถึงปัญหาที่ได้จากการสำรวจโครงการก่อสร้างตัวอย่าง ถ้าขาดการวางแผนการตัดเหล็กเส้นจะมีการสูญเสียปริมาณเศษเหล็กในปริมาณมาก อีกทั้งได้เสนอแนะแนวทางในการแก้ไขการทำงานของผู้รับเหมาก่อสร้าง ทำให้การทำงานเกี่ยวกับเหล็กเส้นซึ่งเป็นวัสดุที่มีราคาแพงเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

โปรแกรมการตัดเหล็กด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่มช่วยให้ผู้รับเหมาสามารถทราบถึงวิธีการและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยทำให้ประหยัดต้นทุนเหล็กเส้น โดยให้ผลที่ถูกต้องแม่นยำและน่าเชื่อถือกว่าวิธีเดิมที่คำนวณเองด้วยมือที่อาจก่อให้เกิดการผิดพลาดได้ง่ายและใช้เวลานานในการคำนวณ ช่วยลดภาระงานที่เกี่ยวกับการวางแผนการตัดเหล็กเส้นได้มากขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะ

ในปัจจุบันการแข่งขันของผู้รับเหมาก่อสร้างมีมากขึ้น แนวทางในการควบคุมต้นทุนให้ต่ำกว่าคู่แข่งทำให้มีโอกาสนในการประมูลงานที่ดีกว่า แนวทางการวิเคราะห์ควบคุมและลดปริมาณเศษเหล็กจากการตัดด้วยโปรแกรมการตัดเหล็กด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่มสามารถช่วยควบคุมต้นทุนในการแข่งขันประมูลราคาได้

ผู้รับเหมาควรมีการเก็บข้อมูลปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดมาตรการ เพื่อป้องกันเศษเหล็กเกิดขึ้นในปริมาณมาก ทำให้มีระบบจัดการที่ดีในองค์กร อีกทั้งยังสามารถนำมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพในการทำงานได้

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยในอนาคต ควรคำนึงถึงรูปแบบการใช้งานเหล็กเส้นที่มีความหลากหลาย หรือปรับปรุงในส่วนของตัวเองแปรจำนวนที่ต้องการที่เหมือนกันหมดและมีปริมาณมาก ให้สามารถวิเคราะห์รูปแบบการตัดที่เหมาะสมได้ ควรเพิ่มเรื่องการนำผลของรูปแบบการตัด ซึ่งมีการจัดเรียงความยาวที่ต้องการที่หลากหลายในการตัดขนาดมาตรฐาน ว่ามีปัญหาคือหรืออุปสรรค

อย่างไรต่อการตัดเหล็กเส้นหน้างานจริงของช่างเหล็กที่เคยชินกับการตัดเหล็กเส้นในแบบเดิม หรือ อาจจะปรับปรุงวิธีการที่ใช้ในการพัฒนาหารูปแบบการตัดที่มีอยู่หลากหลาย เช่น วิธีการ เจเนติกอัลกอริทึม ซึ่งเป็นวิธีการแบบประมาณที่สามารถประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาการตัดเหล็กเส้นได้เช่นกัน

รายการอ้างอิง

- สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า. (2552). รายงานการประมวลข้อมูลสถิติราคาวัสดุก่อสร้าง พ.ศ.2552. สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. (2540). แนวทางการวัดปริมาณงานก่อสร้างอาคาร (มาตรฐาน วสท. 1011-40). กรุงเทพมหานคร.
- Arcelor-Mittal annual report. (2007). **Iron and Steel Institute of Thailand**. Available from: <http://www2.isit.or.th/index.asp>
- Chinanuwatwong, S. (2000). Reducing Waste from Cutting Reinforcing Steel in Construction Projects. **Kasetsart J. (Nat. Sci.)**. 34 : 526-525.
- Dyckhoff, H. (1990). A typology of cutting and packing problems. **European Journal of Operational Research**. 44 : 45-159.
- Fleszar, K., and Hindi K.S. (2002). New heuristic for one-dimensional bin packing. **Computers and operation Research**. 29(7) : 821-839.
- Gilmore, P.C., and Gomory, R.E. (1961). A linear programming approach to the cutting stock problem. **Operations Research Society of America**. 9(6) : 849-859.
- Gupta, J.N.D., and HO, J.C. (1999). A new heuristic algorithm for the one-dimensional bin-packing problem. **Production Planning and Control**. 10(6) : 598-603.
- Haessler, R.W. (1971). A heuristic programming solution to a nonlinear cutting stock problem **Management Science**. 17 : 793-802.
- Johnston, J.E. (1981). Site Control of Materials. **Butterworths**. London.
- Pooster, G.H. (1972). Construction Estimates from Takeoff to Bid. **McGraw-Hill**. New York.
- Salem, O., Shahin, A., and Khalifa, Y. (2007). Minimizing cutting wastes of reinforcement steel bars genetic algorithms and integer programming models. **Journal of Construction Engineering and Management**. 133(12) : 982-992.

Scholl, A., Klein, R., and Jurgens, C. (1997). BISON : A fast hybrid procedure for exactly solving the on the one-dimensional bin-packing problem. **Computers and operation Research**. 24(7) : 627-645.

Thailand's Customs department and ISIT (Iron and Steel Institute of Thailand) analysis. (2007). Available from: <http://www.isit.or.th>

Vahrenkamp, R. (1996). Random search in the one-dimensional cutting stock problem. **European Journal of Operational Research**. 95(1) : 191-200.

Williams, B., and Goetz, B. (2002). Construction Waste Reduction. Available from: <http://peakstoprairies.org/p2bandc/construction/C&D.cfm>. (2002, September 15).

World Steel Association. (2009). Available from: <http://www.worldsteel.org>

ภาคผนวก ก

รายละเอียดการเขียนโปรแกรม (Program List)

```

Sub Button1_Click()
    SolvePattern
End Sub

Sub ClearData()
    For idx = 1 To 20
        For jdx = 1 To 24
            Range("result_patterns").Cells(jdx, idx).Value = ""
        Next
    Next
End Sub

Sub SetStatus(txt As String)
    Sheet1.Range("A1").Value = txt
End Sub

Sub RandomSearch()
    'define variables
    Dim L As Integer
    Dim B As Integer
    Dim MaxLoop As Integer
    Dim m As Integer
    Dim n As Integer
    Dim C As Integer
    Dim LC As Integer
    Dim i As Integer
    Dim Tstar As Integer
    Dim T As Integer
    Dim P As Integer
    Dim lampda_i As Double
    Dim last_no As Integer
    'get variables from sheet

```



```

L = Range("std_width").Cells(1, 1).Value * 100
B = Range("vars").Cells(1, 1).Value * 100
MaxLoop = Range("vars").Cells(2, 1).Value      'maxloop
m = Range("vars").Cells(3, 1).Value * 100      'min lambda
n = Range("vars").Cells(4, 1).Value            'total lambda
C = Range("vars").Cells(5, 1).Value            'count no
T = L
Do While (T > B And C < MaxLoop)
    'reset pattern to zero (empty pattern)
    For idx = 1 To 20
        Range("pattern").Cells(idx, 1).Value = 0
    Next
    For idx = 1 To 20
        Range("Pstar").Cells(idx, 1).Value = 0
    Next
    ' initial vars by random search algorithm
    Tstar = L
    LC = L
    C = C + 1 'number of trial
    'i = 1
    'count_lampda_loop = count_lampda_loop + 1
    Sheet1.Range("F28").Value = Sheet1.Range("F28").Value + 1
    Do While (LC >= m)
        'set lambda to high no.
        lampda_i = LC + 1
        Do While lampda_i > LC
            'random lambda
            i = Int((n - 1 + 1) * Rnd + 1) 'random between 1 and n
            lampda_i = Range("lambda").Cells(i, 1).Value * 100
        Loop
    Loop

```

```

' set value to find min
Sheet1.Range("B42").Value = Int(LC / lampda_i)
Sheet1.Range("B43").Value = Range("need").Cells(i, 1).Value
'getting choose min variable
last_no = Sheet1.Range("B44").Value
'random pattern!
k = Int((last_no - 1 + 1) * Rnd + 1) 'random between 1 and last_no
Range("pattern").Cells(i, 1).Value = Range("pattern").Cells(i, 1).Value + k 'choose by
random pattern
'decrease LC with random k [update data]
LC = LC - Range("lambda").Cells(i, 1).Value * k * 100
Loop
If LC < T Then 'but Lc>T dont change T becuz is not best pt
' save best pattern
T = LC 'T is trimloss before
' current best pattern
For idx = 1 To 20
    Range("Pstar").Cells(idx, 1).Value = Range("pattern").Cells(idx, 1).Value
Next
End If

'update loop number
Sheet1.Range("F27").Value = C
Loop
End Sub
Sub SetResult()
Dim ResultRowNumber As Integer
    ResultRowNumber = 0
' empty result sheet

```

```

For idx = 1 To 18
    Range("result_display").Cells(idx, 1).Value = ""
    Range("result_display").Cells(idx, 2).Value = ""
    Range("result_display").Cells(idx, 7).Value = ""
Next
' start checking
For idx = 1 To 20
TheVal = Int(Round(Range("result2").Cells(1, idx).Value))
    ' check if "use" value not equal zero
    If TheVal > 0 Then
        ResultRowNumber = ResultRowNumber + 1

        Range("result_display").Cells(ResultRowNumber, 1).Value = TheVal
' write answer
        For idy = 1 To 20
            TheVal2 = Int(Range("result2").Cells(idy + 2, idx).Value)
            Pattern = Range("lambda").Cells(idy, 1).Value
            If TheVal2 > 0 And Pattern <> "" Then
                Range("result_display").Cells(ResultRowNumber, 2).Value =
Range("result_display").Cells(ResultRowNumber, 2).Value & Pattern & " m *" & TheVal2 & "
, "
                End If
            Range("result_display").Cells(ResultRowNumber, 7).Value = Range("result2").Cells(28,
idx).Value * TheVal
        Next
    End If
Next
End Sub
Sub SolvePattern()

```

```

'define some variables

Dim no_of_pattern As Integer

Dim max_lambda_loop As Integer

Dim count_pattern As Integer

Dim pattern_code As String

SetStatus ("START..")

'set initial variables

no_of_pattern = Range("no_of_pattern").Cells(1, 1).Value 'target number of pattern

max_lambda_loop = Range("max_lambda_loop").Cells(1, 1).Value 'max trial

count_pattern = 0

Sheet1.Range("F28").Value = 0 'count pattern loop

Sheet1.Range("F29").Value = 0 'deleted patterns

'clear current data

SetStatus ("Clearing current data...")

ClearData

Do While (count_pattern < no_of_pattern And Sheet1.Range("F28").Value <
max_lambda_loop)

count_pattern = count_pattern + 1

SetStatus ("Searching for Pattern # " & count_pattern)

'do random search to get 20 pattern

RandomSearch

Sheet1.Range("F26").Value = T / 100

pattern_code = ""

'copy pattern & set pattern code

For idx = 1 To 23

Range("result_patterns").Cells(idx + 1, count_pattern).Value = Range("Pstar").Cells(idx,
1).Value

If idx <= 20 Then

```

```

        pattern_code = pattern_code & Range("Pstar").Cells(idx, 1).Value
    End If
Next
Range("result_patterns").Cells(1, count_pattern).Value = pattern_code
'check if pattern recurrent
For jdx = 1 To count_pattern - 1
    If Range("result_patterns").Cells(1, jdx).Value = pattern_code Then
        For idx = 1 To 24
            Range("result_patterns").Cells(idx, count_pattern).Value = ""
        Next
        count_pattern = count_pattern - 1
        Sheet1.Range("F29").Value = Sheet1.Range("F29").Value + 1
    End If
Next
'end of main loop
Loop

    SetStatus ("Pattern Ready for Solving .. Now Solving by using Slover")
SolverSolve
    SetResult
SetStatus ("COMPLETE !")
MsgBox ("Complete Found Patterns !!")
End Sub

```

ภาคผนวก ข

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในระหว่างศึกษา

วีระยุทธ นิรันดร์วัฒนา และ วชรภูมิ เบญจโอฬาร. (2553). การพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้น
ในโครงการก่อสร้างเพื่อลดปริมาณเศษเหล็ก. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ
ครั้งที่ 15. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 12-14 พฤษภาคม 2553.



การพัฒนาแบบการตัดเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้างเพื่อลดปริมาณเศษเหล็ก

DEVELOPMENT OF STEEL BAR CUTTING PATTERN TO REDUCE LOSS AT CONSTRUCTION SITE

วีระยุทธ นีรันดร์วัฒนเดช (Veerayut Niranwattanadacha)¹

วชรภูมิ เบญจโอพาร (Vacharapoom Benjaoran)²

¹นักศึกษานิเทศศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(zamzaro@hotmail.com)

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(vacharapoom@sut.ac.th)

บทคัดย่อ : การวิจัยนี้ศึกษาการพัฒนาแบบการตัดเหล็กเส้นเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กในโครงการก่อสร้าง โดยพิจารณาจากการตัดเหล็กเส้น (Cutting Stock) ให้เหมาะสมกับรูปแบบการใช้งานและก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยเหลือปริมาณเศษเหล็กน้อยที่สุด (Minimizing Trim Loss) เนื่องจากเหล็กเส้นเป็นวัสดุที่มีความสำคัญในโครงการก่อสร้าง ซึ่งมีการใช้งานในส่วนของการก่อสร้างเป็นจำนวนมากและเป็นวัสดุที่มีราคาสูง การใช้งานเหล็กเส้นอย่างคุ้มค่าสามารถลดปัญหาทางด้านต้นทุนของโครงการก่อสร้างที่ต้องสูญเสียไปกับการใช้งานเหล็กเส้นที่มีเศษเหล็กในปริมาณมาก ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาขั้นตอน ซึ่งเป็นการใช้วิธีการค้นหาแบบสุ่มช่วยวิเคราะห์หาแบบการตัดเหล็กเส้น ที่ช่วยลดปริมาณเศษเหล็กในโครงการก่อสร้าง โดยการคิดรูปแบบการตัดและนำรูปแบบการตัดที่ได้มาเปรียบเทียบกับปริมาณเศษเหล็กที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริงในโครงการก่อสร้างจากการปฏิบัติงานเดิมกับวิธีการสร้างรูปแบบการตัดเหล็กเส้นที่พัฒนาขึ้นมาใหม่นี้ พบว่าสามารถลดเวลาในการคำนวณและปริมาณเศษเหล็กได้

ABSTRACT : This research aims to formulate a steel bar cutting model and to generate optimal cutting patterns which can minimize trim losses. The model is formulated based on the current practices and the constraints at construction site. A steel bar is an important construction material that is used in most reinforcing concrete structural components. A steel bar is a costly material and accounts for a large portion of the total construction budget. Their trim losses can give an impact on the project profit. This research develops the optimization algorithm which is based on the Random Search algorithm to minimize trim losses from the cutting process. The model and the algorithm are also verified with two real project case studies. A comparison of the model results and the manual field results shows that this model and algorithm can give efficient cutting patterns that can reduce trim losses within a reasonable calculation time.

KEYWORDS : Cutting Stock, Random Search, Optimization, Minimizing Waste, Construction Material



1. บทนำ

ในโครงการก่อสร้างต้องมีการบริหารจัดการ เพื่อให้โครงการนั้นสำเร็จลุล่วงได้ตามเป้าหมาย อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการบริหารจัดการโครงการก่อสร้างมีหลายส่วน เช่น การบริหารจัดการการเงิน, เวลา, บุคลากร และวัสดุก่อสร้าง ฯลฯ ส่วนเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องเข้ามามีบทบาทในโครงการก่อสร้าง ปัจจุบันการบริหารจัดการวัสดุก่อสร้างมีความจำเป็นมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับผู้รับเหมารายย่อยที่ยังขาดการแก้ปัญหาในเชิงวิชาการ และขาดความรู้ความเข้าใจหรือเพิกเฉยต่อการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง ซึ่งนิยมใช้การแก้ปัญหาเฉพาะหน้า ขาดการวางแผนและการบริหารจัดการล่วงหน้า สำหรับปัญหาในการบริหารจัดการวัสดุในงานก่อสร้างนั้นมีความสำคัญ เพราะในส่วนของโครงการก่อสร้างนั้น มีการใช้งานวัสดุก่อสร้างที่หลากหลายและมีจำนวนมาก ซึ่งวัสดุก่อสร้างที่มีความสำคัญมากที่สุด คือ เหล็กเส้น (Steel Bar) ที่ใช้งานเป็นจำนวนมากในส่วนของการสร้างอาคาร

เหล็กเส้นในปัจจุบันนี้มีราคาสูง ในปี 2543 ราคาเหล็กคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ จนถึงปี 2552 ราคาเหล็กสูงขึ้นถึง 66.8 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งราคายังมีความผันผวนเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา ซึ่งจากค่าเฉลี่ยราคาเหล็กเส้นที่ยังอิงจากดัชนีราคาเหล็กเส้นตั้งแต่ปี 2543-2552 (สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์) มีราคาเฉลี่ยสูงขึ้น ทำให้มีผลกระทบทางด้านต้นทุนของโครงการก่อสร้างที่มากขึ้น

ปัจจุบันราคาเหล็กเส้นมีแนวโน้มสูงขึ้น อีกทั้งการใช้งานเหล็กเส้นทำให้เกิดการสูญเสีย เพราะในโครงการก่อสร้างเหล็กเส้นที่นำมาใช้งานต้องทำการตัด คัด จอเหล็ก ตามลักษณะที่ต้องการเพื่อเป็นส่วนประกอบในส่วนของการสร้างอาคาร ถ้าผู้ใช้งาน อาทิเช่น วิศวกร, ช่างเหล็ก ขาดการพิจารณาถึงรูปแบบการตัดเหล็กเส้นให้เหลือเศษเหล็กล้นน้อยที่สุด ย่อมก่อให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นเป็นเศษที่เหลือจากการตัดในปริมาณมาก

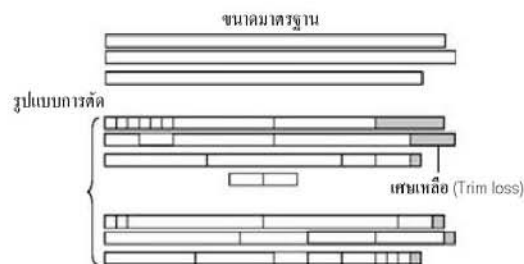
ประเทศไทยโดยเฉลี่ยแล้วนำเข้าเหล็กเส้นประมาณ 9.8 ล้านตันต่อปี (เฉลี่ยปี 2007-2008, WSA 2009) ซึ่งในการใช้งานจริงหากมีการสูญเสีย 5% จะเป็นปริมาณเหล็กเส้นถึง 0.5 ล้านตันต่อปี ถ้าในช่วงปีดังกล่าวมีราคาเหล็ก 21,230 บาทต่อตัน (เฉลี่ยดัชนี

ราคาเหล็กเส้น ปี 2007-2008, สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า) จะเป็นเงินมูลค่าสูงถึง 10,402.7 ล้านบาทต่อปี ถ้าสามารถลดปริมาณการสูญเสียของเหล็กเส้น จากเศษเหล็กที่เกิดจากการตัดให้ลดลงได้ จะช่วยลดการนำเข้าเหล็กเส้นของประเทศ และส่งผลดีต่อประเทศชาติโดยรวม การพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้นจึงมีความจำเป็นในการลดปริมาณเศษเหล็กเนื่องจากการตัด เพราะการเกิดเศษเหล็กในโครงการก่อสร้างเป็นจำนวนมาก ย่อมไม่เกิดผลดีกับองค์กร แต่ผู้รับเหมารายย่อยในปัจจุบันมักเพิกเฉยในปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้น เพราะไม่ทราบแนวทางการแก้ปัญหา ผู้วิจัยจึงหาแนวทางการลดปริมาณเศษเหล็ก โดยการสร้างรูปแบบการตัดเหล็กเส้น เพื่อให้เกิดเศษเหล็กจากการตัดน้อยที่สุดเข้ามาช่วยแก้ปัญหาเศษเหล็กที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้าง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาของ H. Dyckhoff [1] ได้ทำการรวบรวมและจัดกลุ่มปัญหาในลักษณะการตัดและการบรรจุ โดยใช้โครงสร้างทางตรรกะของลักษณะปัญหาการตัดและการบรรจุเป็นการจัดกลุ่มประเภทของปัญหา (Classification of C&P Problems) ปัญหาการตัดวัสดุมีมิติเดียวเป็นประเภท 1/V/I/M หรือ ประเภท 1/V/V/M ซึ่งปัญหาทั้งหมดเป็นแบบมิติเดียว ซึ่งปัญหาการตัดวัสดุมีมิติเดียวมีวัตถุประสงค์คล้ายคลึงกัน โดยปัญหาการตัดจะลดปริมาณเศษที่เกิดจากการตัด ส่วนปัญหาการบรรจุจะลดปริมาณพื้นที่ที่เหลือจากการบรรจุ

รูปแบบปัญหาการตัด เป็นการตัดวัสดุเพื่อให้ได้ขนาดตามความต้องการจากขนาดมาตรฐานที่มีอยู่ ซึ่งรูปแบบการตัดที่ต้องการแต่ละแบบจากขนาดมาตรฐาน จะได้จำนวนท่อนการตัดตามความยาวที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงรูปแบบการตัดและขนาดมาตรฐาน



จะเห็นว่าวิธีการตัดที่หลากหลาย และในโครงการก่อสร้างอาคารมีความต้องการในการใช้เหล็กเส้นที่มีขนาดแตกต่างกันจำนวนมาก ทำให้มีการสร้างรูปแบบการตัดที่หลากหลายมากขึ้น โดยรูปแบบการตัดในลักษณะนี้เป็นปัญหาการตัดหนึ่งมิติ Gilmore และ Gomory [2] ได้เป็นผู้ริเริ่มหาวิธีการแก้ปัญหาคัด โดยวิธีการสร้างรูปแบบการตัด (Pattern Generation Technique) โดยใช้ทฤษฎีกำหนดการเชิงเส้นตรง ทำให้ปัญหาการตัดและวิธีการนี้เป็นที่สนใจอย่างกว้างขวางในเวลาต่อมา และได้นำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาในลักษณะนี้โดยอาศัยโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบผ่อนคลาย (Linear Programming Relaxation) และได้เสนอวิธีการใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงโดยการใช้อยู่ในปัญหากระเป๋า (Knapsack Problem) โดยการสร้างสมการ (Column Generation) เป็นบทความต่อเนื่อง

Haessler [3] ได้เริ่มแนะนำวิธีการสร้างรูปแบบการตัดด้วยวิธีการสุ่ม ซึ่งเป็นวิธีการเลือกสร้างรูปแบบการตัดในเบื้องต้นที่คำนึงถึงการสูญเสียที่ต่ำสุด โดยสามารถใช้ในจำนวนมากที่สุดและเก็บรูปแบบบางส่วนที่ยังคงใช้ได้ไว้เป็นส่วนประกอบของรูปแบบต่อไป

R. Vahrenkamp [4] ได้พิจารณารูปแบบการตัดที่ให้เศษน้อยที่สุด โดยให้ความสำคัญในการสุ่มในการจัดลำดับเพื่อหา รูปแบบการตัด โดยปรับปรุงการคำนวณมาจาก Haessler และ Sweeney (1991) โดยใช้การประมาณค่าเพื่อสร้างหลักเกณฑ์ในการใช้วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic) เพื่อแก้ปัญหาการตัดหนึ่งมิติ

$$T = L - \sum p_i \lambda_i \quad ; i = 1, \dots, n \quad (1)$$

T คือ เศษที่เกิดจากการตัด (Trim loss)

L คือ ขนาดมาตรฐานของวัสดุ

$\sum p_i \lambda_i$ คือ ผลรวมจากรูปแบบการตัดที่ i กับความยาว i ที่ต้องการ

Santi Chinanuwatong [5] ได้เสนอการควบคุมการสูญเสียเหล็กเส้น โดยใช้หลักการการจัดกลุ่มเหล็กเส้น ซึ่งเป็นทฤษฎีความน่าจะเป็นในเรื่องการจัดหมู่ (Combination) ถ้าให้จำนวนของความยาวที่แตกต่างกันของเหล็กเส้น เท่ากับ N และจำนวน

ที่มาจับกลุ่มกัน เท่ากับ r จำนวนหนทางในการจัดกลุ่มทั้งหมด โดยไม่คำนึงถึงการเรียงลำดับและในการจัดกลุ่มแต่ละครั้ง ไม่มีการซ้ำกันและ $r < N$ สามารถเขียนสมการที่ใช้ในการประมาณรูปแบบที่เกิดขึ้นของการตัดได้

$$C_r^n = \frac{(N+r-1)!}{(N-1)!r!} \quad (2)$$

N คือ จำนวนของความยาวที่แตกต่างกันของเหล็กเสริม

r คือ จำนวนที่มาจับกลุ่มกันในการตัด

จากนั้นได้นำรูปแบบการจัดกลุ่มที่วิเคราะห์มาแก้สมการเมทริกซ์ด้วยวิธีทางพีชคณิตที่อาศัยทฤษฎีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) เพื่อแก้ปัญหาให้เป็นระบบยิ่งขึ้น

บทความนี้นำเสนอวิธีการค้นหาแบบสุ่ม (Random Search) มาประยุกต์เพื่อหา รูปแบบการตัดที่ดีที่สุดในการตัดเหล็กเส้น โดยใช้การเขียนโปรแกรมเมโครในไมโครซอฟท์เอ็กเซล ทำให้ผู้รับเหมาที่เป็นผู้ใช้งานเกิดความคุ้นเคยและเข้าใจหลักการใช้งานได้ง่ายขึ้น ซึ่งการค้นหาแบบสุ่มสามารถหาค่าที่เหมาะสมของรูปแบบการตัดได้ โดยไม่จำเป็นต้องหา รูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมดออกมาก่อน เพื่อมาคัดเลือกรูปแบบการตัดที่ลดปริมาณเศษให้น้อย แต่วิธีการค้นหาแบบสุ่มสามารถสุ่มหา รูปแบบการตัดที่ช่วยลดปริมาณเศษหลักให้น้อยที่สุดได้ทันที

จากนั้นใช้การเก็บข้อมูลจริงในโครงการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่กำลังทำการก่อสร้างในปัจจุบัน เก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณเศษเหล็กจากรูปแบบการตัดจริงที่โครงการก่อสร้างอาคารนั้นใช้อยู่เดิม ทำให้ทราบถึงปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจริง จากนั้นเปรียบเทียบผลของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลที่เก็บมา

3. การเก็บข้อมูลในโครงการก่อสร้าง

โครงการตัวอย่างที่ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อหาปริมาณความสูญเสียของเศษเหล็กที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้างและสำรวจวิธีการที่โครงการก่อสร้างที่เก็บข้อมูลใช้ในการวิเคราะห์การตัดและการใช้งานเหล็กเส้นที่ปฏิบัติอยู่เดิม ซึ่งมีรายละเอียดโครงการก่อสร้างดังนี้



โครงการที่ 1 เป็นโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 3 ชั้น มีมูลค่าโครงการ 24 ล้านบาท ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้ข้อมูลจากแบบการตัดเหล็กเส้นที่ใช้งานจริงในโครงการที่ 1 ได้แก่งานส่วนของโครงสร้างคานชั้นที่ 2 และ 3 ดังตารางที่ 1 จากนั้นนำข้อมูลแบบตัดเหล็กเส้นที่โครงการที่ 1 ใช้ทำงานจริงนำมาถอดข้อมูลเหล็กเส้นเก็บเป็นข้อมูล จากภาพที่ 2 เป็นแบบที่เขียนขึ้นมาเพื่อใช้ทำงานจริง ณ สถานที่ก่อสร้าง (Shop Drawing) เมื่อได้จำนวนเหล็กเส้นที่ต้องการจากรายการแบบตัดเหล็กเส้นแล้ว จากนั้นได้ทำการจัดกลุ่มเหล็กเส้นซึ่งเป็นวิธีที่โครงการที่ 1 ใช้ในการจัดการมีลักษณะขั้นตอนวิธีดังนี้

1. เรียงลำดับ ความยาวเหล็กเส้นที่ต้องการ (λ_i) ทั้งหมด จากมากไปน้อย

2. คำนวณ $r_i = \frac{L_c}{\lambda_i}$ ของทุกตัว จะทราบจำนวนเหล็กเส้น

$$\text{ที่ต้องใช้ } (N_i) \text{ จาก } N_i = \frac{d_i}{r_i}$$

3. คำนวณ $T_i = L_c - (\lambda_i \cdot r_i)$ เศษที่เหลือของทั้งหมด ถ้าใช้ได้ให้นำไปใช้กับความยาวที่ต้องการ (λ_i) ที่สั้นกว่าได้ โดยจำนวนเศษที่เหลือที่ใช้ได้หักออกจากจำนวนที่ต้องการ (d_i) ของความยาวที่สั้นกว่า (ถ้าใช้ไม่ได้ ซึ่งไม่มีความยาวที่ต้องการที่สั้นกว่าเศษนี้ ให้เหลือเป็นเศษ)

4. หาค่า ผลรวมของเหล็กเส้นทั้งหมดที่ต้องใช้ ($\sum N_i$) ซึ่งเป็นจำนวนเหล็กเส้นที่ต้องนำไปใช้ในการตัดจริง และหาผลรวมของเศษทั้งหมด ($\sum (T_i \cdot N_i)$)

T คือ จำนวนเศษ

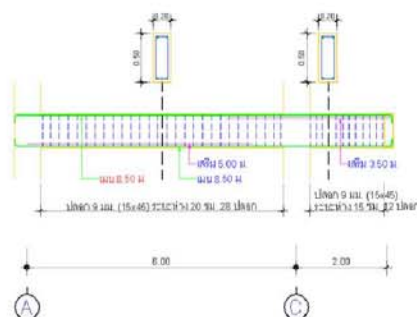
L_c คือ ขนาดมาตรฐาน

r_i คือ จำนวนครั้งในการตัด

λ_i คือ ความยาวที่ต้องการ

d_i คือ จำนวนของความยาวที่ต้องการ

N คือ จำนวนกลุ่มของจำนวนที่ต้องการทั้งหมด



ภาพที่ 2 ข้อมูลจากแบบเหล็กเส้นที่ใช้งาน

ตารางที่ 1 ข้อมูลเหล็กเส้นของโครงการที่ 1 ในส่วนของโครงสร้างคาน

ชนิด	ความยาวที่ต้องการ (m)	จำนวนที่ต้องการ(ชิ้น)
DB20	10.00	288
	8.45	8
	7.80	20
	7.50	16
	7.45	8
	7.00	36
	6.50	72
	5.80	8
	3.50	30
	3.45	16
DB25	3.00	26
	8.50	192
	6.75	24
	6.45	16
	6.00	90
	5.00	178
	4.00	164
RB6	3.75	44
	1.7	234
	1.6	560
	1.4	607
	1.2	408
	1.0	496

ซึ่งการคำนวณดังขั้นตอนวิธีของโครงการที่ 1 นั้นมาจากภาพที่ 3 เป็นการจัดกลุ่มโดยใช้คนจัดทำให้การคำนวณความต้องการเหล็กเส้นในจำนวนมากมีความยากลำบาก จึงจำเป็นต้องคำนวณในปริมาณความต้องการที่น้อยลงเพื่ออำนวยความสะดวก



แต่ไม่ส่งผลให้ลดปริมาณเศษเหล็กมากนัก จากการคำนวณตามรูปแบบการจัดกลุ่มของโครงการก่อสร้างที่ 1 ใช้งานจริงนั้นในโครงการส่วนของคันชั้นที่ 2 และ 3 สามารถสรุปได้ดังนี้ ความยาวเหล็กเดิมที่ใช้ทั้งหมด 11,565 เมตร จำนวนเหล็กเส้นที่ต้องใช้ทั้งหมด 1,252 เส้น เศษรวมทั้งหมด 938 เมตร เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแยกตามขนาด DB20, DB25 และ RB6 เท่ากับ 6.28%, 11.74% และ 2.29% ตามลำดับ

ภาพที่ 3 การจัดกลุ่มเหล็กเส้นโดยใช้คนจัด

โครงการที่ 2 เป็นโครงการอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 2 ชั้น ลักษณะเป็นที่พักอาศัยทาวน์เฮาส์ 4 เฟส ซึ่งมีมูลค่าโครงการ 24 ล้านบาท ได้ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้ข้อมูลจากแบบการตัดเหล็กเส้นที่ใช้งานจริงในโครงการที่ 2 ได้แก่ งานส่วนของโครงสร้างคันชั้นที่ 1 และ 2 ดังตารางที่ 2 ซึ่งได้มาจากแบบตัดเหล็กเส้น โดยวิศวกรเป็นผู้ออกแบบและเขียนขึ้นในหน้างานเพื่อให้ช่างเหล็กเข้าใจถึงความต้องการที่จะใช้เหล็กเส้นก่อนที่จะนำไปเป็นแบบใช้ในการตัดจริง ซึ่งแบบการตัดเหล็กเส้นถูกเขียนขึ้นมาในแบบง่าย ให้สามารถเข้าใจหน้างานได้

ตารางที่ 2 ข้อมูลเหล็กเส้นของโครงการที่ 2 ในส่วนของโครงสร้างคัน

ชนิด	ความยาวที่ต้องการ (m)	จำนวนที่ต้องการ (ชิ้น)
DB20	10	644
	7.5	96
	6.8	96
	5.8	120
	4.7	264
	2.9	144
DB25	8.6	200
	2.1	112
RB6	1.8	40
	1.3	616
	1.2	7392
	1	3904
	0.8	736

โครงการที่ 2 ไม่มีการจัดลำดับในการวางแผนการตัด ซึ่งใช้วิธีตัดเหล็กเส้นตามรูปแบบการตัดที่หน้างานตามความต้องการถ้าเหลือเศษจากการตัดให้รวบรวมไว้นำไปใช้งานเสริมในส่วนต่างๆ โดยไม่ได้พิจารณาถึงการสร้างรูปแบบการตัดเหล็กเส้นเพื่อให้เหลือเศษเหล็กน้อยที่สุด ลักษณะขั้นตอนวิธีดังนี้

1. กำหนด $r_i = \frac{L_c}{\lambda_i}$ ของทุกความยาวที่ต้องการ จะทราบจำนวนเหล็กเส้นที่ต้องใช้ (N_i) จาก
$$N_i = \frac{d_i}{r_i}$$
2. กำหนด $T_i = L_c - (\lambda_i \cdot r_i)$ เป็นเศษที่เหลือของทั้งหมด แล้วเก็บรวบรวมเป็นเศษไว้ใช้งาน
3. จากนั้นหาค่าผลรวมของเหล็กเส้นทั้งหมดที่ต้องใช้ ($\sum N_i$) ซึ่งเป็นจำนวนเหล็กเส้นที่ต้องนำไปใช้ในการตัดจริง และหาผลรวมของเศษทั้งหมด ($\sum (T_i \cdot N_i)$)

จากการคิดคำนวณปริมาณเหล็กในโครงการที่ 2 ในส่วนของโครงสร้างของคันชั้นที่ 1 และ 2 ที่ใช้ตามรูปแบบการทำงานจริงในโครงการที่ 2 นั้นสามารถสรุปข้อมูลเหล็กเส้นได้ดังนี้ ความยาวเหล็กเดิมทั้งหมด 26,359 เมตร จำนวนเหล็กเส้นที่ต้องใช้



ทั้งหมด 2,837 เส้น เศษรวมทั้งหมด 1,999.2 เมตรและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียแยกตามขนาด DB20, DB25 และ RB6 เท่ากับ 10.5%, 14.24% และ 3.27% ตามลำดับ

4. วิธีการค้นหาแบบสุ่มในการแก้ปัญหาการตัดวัสดุหนึ่งมิติ

ในการสร้างรูปแบบการตัดเหล็กเส้น สามารถใช้วิธีการค้นหาแบบสุ่มเข้ามาช่วยในการแก้ปัญหานี้ได้ เพื่อสร้างรูปแบบการตัดที่ลดปริมาณเศษเหล็กจากการตัด และใช้เหล็กเส้นน้อยที่สุด ถ้าจำนวนความยาวที่ต้องการมีมาก ทำให้ไม่สะดวกในการคำนวณ จึงจำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ มาช่วยในการแก้ปัญหา ในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถแบ่งขั้นตอนได้ คือ

1. การป้อนข้อมูล เป็นการป้อนข้อมูลความยาวเหล็กที่ต้องการ (λ_i) และจำนวนที่ต้องการ (d_i)
2. ลักษณะการคำนวณของโปรแกรมจะทำการวนรอบ (Loop) เพื่อเปรียบเทียบจำนวนครั้งในการตัดจากสมการช่วงปิด $[L, \text{Min}(L/\lambda_i), d_i]$ เพื่อสุ่มค่าจำนวนครั้งที่สามารถตัดได้ในขนาดมาตรฐาน
3. เมื่อวนรอบจนพบว่าไม่สามารถตัดได้ในขนาดมาตรฐานจึงทำการเก็บข้อมูลรูปแบบการตัดไว้เพื่อแสดงผล

ข้อมูลการเขียนโปรแกรมได้จากการทำการศึกษา VBA (Visual Basic Advance) เพื่อใช้ในการเขียนโปรแกรมแมโคร ในไมโครซอฟท์เอ็กเซล สาเหตุที่เลือกใช้โปรแกรมนี้ เพราะสามารถเข้าถึงการทำงานจากผู้รับเหมาได้ง่าย สะดวกในการใช้งาน จากภาพที่ 4 การป้อนข้อมูลความยาวเหล็กที่ต้องการ

ขนาดมาตรฐาน (ม.)		10
ลำดับ	ขนาดที่ต้องการ (ม.)	จำนวนที่ต้องการ (ชิ้น)
1	10	288
2	6.45	83
3	7.8	20
4	7.5	16
5	7.45	81
6	7	36
7	6.5	72

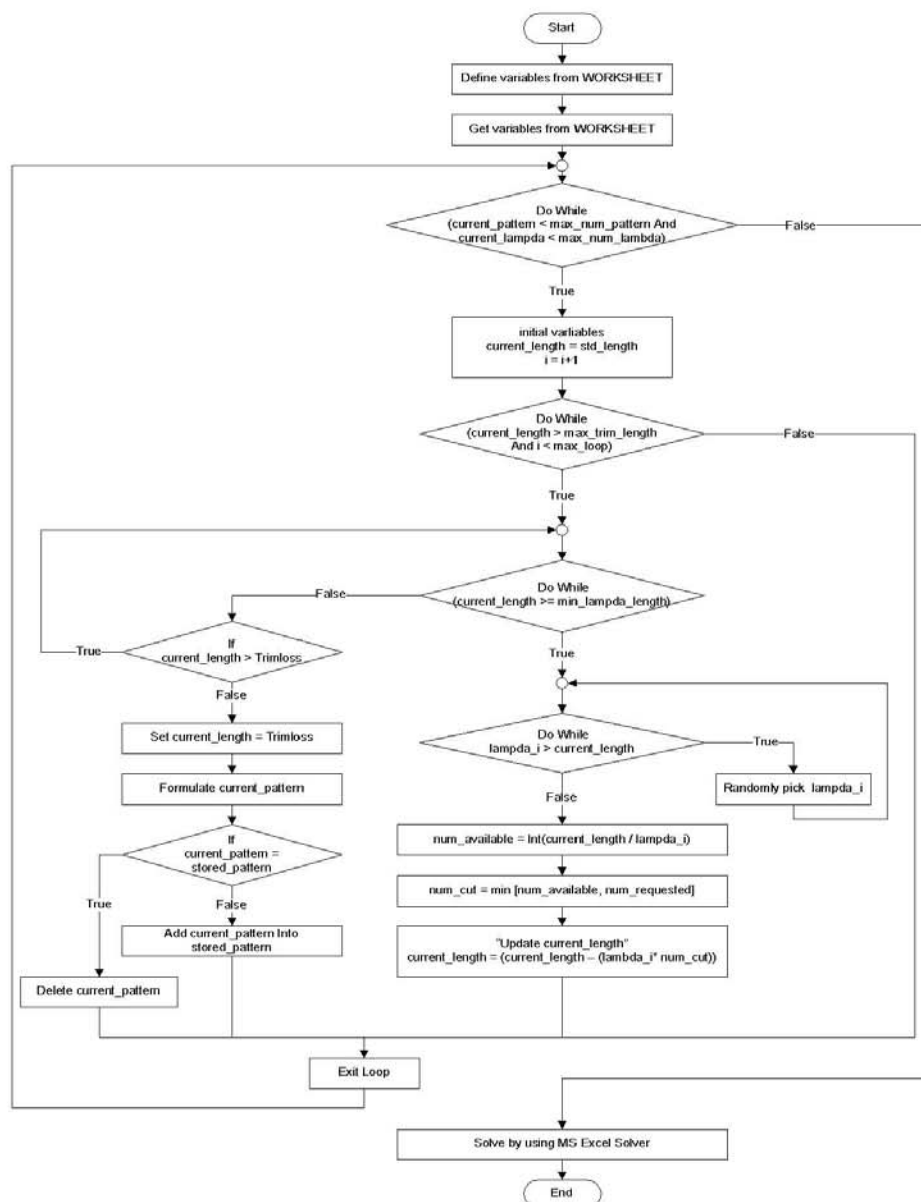
ภาพที่ 4 การป้อนข้อมูลของโปรแกรม

โปรแกรมจะทำการประมวลผลเพื่อหารูปแบบการตัดที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้ โดยใช้การสุ่มจัดเรียงลำดับขนาดความยาวที่ต้องการที่สามารถตัดได้ในขนาดมาตรฐาน ดังภาพที่ 5 เมื่อได้รูปแบบการตัดที่ดีที่สุดและไม่ซ้ำกันจะแสดงผลรูปแบบการตัด

pattern#	1	2	3	4	5	6	7	8
use>	70	16	192	54	15	0	0	22
piece/name	00002	00101	10000	00000	00000	00100	00000	01001
192	0	0	1	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	1
16	0	1	0	0	0	1	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0
178	2	1	0	0	0	0	0	1
164	0	0	0	3	0	0	1	0
45	0	0	0	0	3	1	2	0

ภาพที่ 5 ตัวอย่างการแสดงผลรูปแบบการตัดที่เกิดขึ้น

หลักการของวิธีการค้นหาแบบสุ่มในการแก้ปัญหาการตัดวัสดุหนึ่งมิติมาใช้ในการสร้างรูปแบบการตัดเหล็กเส้นที่ได้พัฒนาขึ้น มาใช้กับไมโครซอฟท์เอ็กเซล เพื่อความเข้าใจกระบวนการทำงานของโปรแกรมมากขึ้น สามารถอธิบายได้ด้วยแผนภาพ ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แผนภาพแสดงวิธีการกำหนดแบบลุ่มในการแก้ปัญหาการตัดวัสดุหนึ่งมิติ

5. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการเก็บข้อมูลเศษเหล็กของโครงการก่อสร้าง เมื่อนำมาวิเคราะห์ในโปรแกรม จะแสดงถึงรูปแบบการตัดเหล็กที่ได้จากวิธีการค้นหาแบบลุ่ม จนได้รูปแบบการตัดเหล็กเส้นที่ลดปริมาณเศษเหล็กจากการตัด เพื่อนำไปใช้ในการตัดจริงในงาน ซึ่งมีผล

ในการลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจากการตัดโดยตรง เพราะในขั้นตอนของโปรแกรมได้จัดเรียงความยาวที่ต้องการในขนาดมาตรฐานให้ได้เศษเหล็กน้อยที่สุด จากตารางที่ 3 และตารางที่ 4 แสดงผลของโปรแกรมในการหารูปแบบการตัดของโครงการที่ 1 และโครงการที่ 2 ตามลำดับ



ตารางที่ 3 รูปแบบการตัดที่ได้จากโปรแกรมของโครงการก่อสร้างที่ 1

ชนิด	จำนวนที่ใช้	ขนาดมาตรฐาน	รูปแบบการตัด (ความยาว : จำนวน)	เศษ (m)
DB20	288	10	10:1	0
	8	10	6.5:1, 3.45:1	0.05
	36	10	7:1, 3:1	0
	8	10	7.45:1	2.55
	8	10	8.45:1	1.55
	64	10	6.5:1, 3.5:1	0
	16	10	7.45:1	2.50
	8	10	5.8:1, 3.45:1	0.75
	20	10	7.8:1	2.20
DB25	30	10	5:2	0
	24	10	6.75:1	3.25
	192	10	8.5:1	1.50
	46	10	6:1, 4:1	0
	16	10	6.45:1	3.55
	44	10	6:1, 3.75:1	0.25
	118	10	5:1, 4:1	1.0
RB6	4	10	1.6:6	0.4
	90	10	1.4:5, 1:3	0
	2	10	1.7:4, 1:3	0.2
	74	10	1.7:3, 1.4:2, 1:2	0.1
	2	10	1.7:2, 1.4:3, 1.2:2	0
	134	10	1.6:4, 1.2:3	0
	7	10	1:10	0
	1	10	1.4:4, 1.2:2, 1:2	0.2

จากตารางที่ 3 รูปแบบการตัดของโครงการก่อสร้างที่ 1 ให้ผลของปริมาณการสูญเสียเศษเหล็กที่เกิดขึ้น โดยแบ่งตามขนาดเหล็กเส้นที่ใช้ โดยเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของ DB20, DB25 และ RB6 เท่ากับ 5.97%, 11.74% และ 0.35% ตามลำดับ

จากนั้นทำการวิเคราะห์หารูปแบบการตัดจากข้อมูลเหล็กเส้นของโครงการที่ 2 ในโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น โดยใช้ข้อมูลเหล็กเส้นจากตารางที่ 2 ได้ผลการวิเคราะห์ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รูปแบบการตัดที่ได้จากโปรแกรมของโครงการก่อสร้างที่ 2

ชนิด	จำนวนที่ใช้	ขนาดมาตรฐาน	รูปแบบการตัด (ความยาว : จำนวน)	เศษ (m)
DB20	644	10	10:1	0
	120	10	5.8:1, 2.9:1	1.3
	96	10	6.8:1, 2.9:1	0.3
	96	10	7.5:1	2.5
	132	10	4.7:2	0.6
DB25	28	10	2.1:4	1.6
	200	10	8.6:1	1.4
RB6	8	10	1.8:1, 1:1	0
	725	10	1.2:6, 1:2, 0.8:1	0
	1	10	1.3:7, 0.8:1	0.1
	586	10	1.2:5, 1:4	0
	102	10	1.3:6, 1.2:1, 1:1	0
	2	10	1.2:5, 0.8:5	0

จากตารางที่ 4 รูปแบบการตัดของโครงการก่อสร้างที่ 2 ให้ผลของปริมาณการสูญเสียเศษเหล็กที่เกิดขึ้น โดยแบ่งตามขนาดเหล็กเส้นที่ใช้ โดยเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของ DB20, DB25 และ RB6 เท่ากับ 6.55%, 14.24% และ 0.02% ตามลำดับ

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย ได้นำเศษที่เกิดขึ้นแต่ละเส้นและจำนวนที่ต้องการส่วนเกินนำมาคำนวณเป็นเศษ ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย} = \frac{(\text{เศษทั้งหมด}) \times 100}{(\text{ผลรวมจำนวนที่ใช้ของรูปแบบตัด}) \times \text{ขนาดมาตรฐาน}} \quad (3)$$

$$\text{เศษทั้งหมด} = [(\text{ความยาวรวมที่ใช้จริง} + \text{เศษ}) - \text{ความยาวรวมที่ต้องการ}] \quad (4)$$

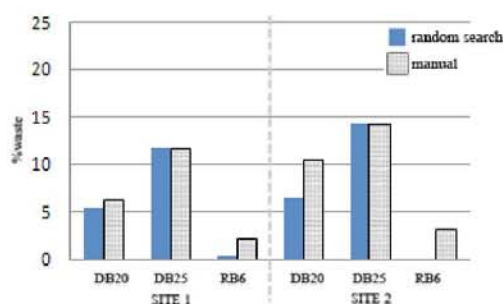
ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของโครงการก่อสร้างที่ 1 หลังจากการแสดงผลของโปรแกรม จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าเหล็ก RB6 ความยาว 1.4 ม. มีจำนวนที่ต้องการ 607 ชิ้น โปรแกรมแสดงผลได้ 608 ชิ้น เกินมา 1 ชิ้นให้เป็นเศษเกินรวมกับเศษที่เกิดขึ้นในแต่ละเส้นของรูปแบบการตัด จะได้ว่า

$$\text{เศษทั้งหมด} = 1.4 + (0.4 \times 4) + (0.2 \times 2) + (0.1 \times 74) + 0.2 = 11$$

นำมาคำนวณในสมการที่ 3 จะได้ เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย เท่ากับ 0.35%



จากผลการวิเคราะห์ข้อมูล ดังภาพที่ 7 แสดงกราฟเปรียบเทียบข้อมูลของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของเหล็กเส้นแต่ละขนาด ในแต่ละโครงการก่อสร้าง จะเห็นว่าเมื่อใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์รูปแบบการตัดเหล็กเส้น ทั้ง 2 โครงการก่อสร้างเฉลี่ยจะมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้อยกว่าวิธีปฏิบัติที่ใช้อยู่เดิม



ภาพที่ 7 กราฟเปรียบเทียบข้อมูลของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของเหล็ก

6. สรุป

จากการศึกษาพัฒนาูปแบบการตัดเหล็กเส้นเพื่อใช้ลดปริมาณเศษเหล็กในโครงการก่อสร้าง โดยทำการสำรวจข้อมูลของโครงการก่อสร้างที่ยังมีการทำงานในปัจจุบันเพื่อเก็บข้อมูลเหล็กเส้น และทำการสัมภาษณ์ผู้รับเหมา รวมถึงผู้เกี่ยวข้องกับการใช้งานเหล็กเส้นได้ให้ความเห็นว่า มีปัญหาที่เกิดจากการตัดเหล็กจริง และให้ความสนใจในการลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะเครื่องมือที่ช่วยวิเคราะห์สร้างรูปแบบการตัดได้ เมื่อนำข้อมูลเหล็กเส้นที่ได้จากการเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์ในโปรแกรมซึ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นจากวิธีการค้นหาแบบสุ่มช่วยให้ผลถูกต้องแม่นยำ และน่าเชื่อถือกว่าวิธีเดิมที่คำนวณเองด้วยมือ ซึ่งอาจก่อให้เกิดการผิดพลาดได้ง่าย อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความเชื่อมั่นในการใช้ข้อมูล

เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้พบว่า สามารถลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้น อีกทั้งมีความสะดวกในการใช้งานและประหยัดเวลา สามารถลดภาระงานและการพึ่งพาบุคลากรในการคำนวณ การนำเทคโนโลยีมาใช้ ทำให้ช่วยอำนวยความสะดวกในการนำเข้า

ข้อมูลจำนวนมากอย่างต่อเนื่อง กรณีที่มีความยาวที่ต้องการจำนวนมากจะช่วยให้การค้นหาแบบสุ่มมีประสิทธิภาพมากขึ้น จัดเรียงรูปแบบการตัดได้มากขึ้น ส่งผลให้ลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดจากการตัดได้มากขึ้น

7. บรรณานุกรม

- [1] Dyckhoff, H. (1990). A typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*, 44, 45-159.
- [2] Gilmore, P.C., and Gomory, R.E. (1961). A linear programming approach to the cutting stock problem, *Operations Research Society of America*, 9(6), 849-59.
- [3] Haessler, R.W. (1971). A heuristic programming solution to a nonlinear cutting stock problem, *Management Science*, 17, 793-802.
- [4] Vahrenkamp, R. (1996). Random search in the one-dimensional cutting stock problem, *European Journal of Operational Research*, 95(1), 191-200.
- [5] Chinanuwatwong, S. (2000). Reducing Waste from Cutting Reinforcing Steel in Construction Projects, *Kasetsart Journal (Nat. Sci.)*, 34, 526-525.

ประวัติผู้เขียน

นายวีระยุทธ นิรันดร์วัฒนเดชา เกิดวันเสาร์ที่ 28 กันยายน 2528 ที่จังหวัดสุรินทร์ สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียนปรางค์กู่ อำเภอปรางค์กู่ จังหวัดศรีสะเกษ ในปีการศึกษา 2546 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี จากภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี ในปีการศึกษา 2550 และศึกษาต่อในระดับปริญญาโทการบริหารงานก่อสร้าง สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี พ.ศ. 2551 โดยขณะศึกษามีผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ จำนวน 1 เรื่อง ซึ่งมีรายละเอียดปรากฏในภาคผนวก ข.