

**การสำรวจอัลกอริทึมการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น
ของวิศวกรและช่างเหล็ก**



นางสาวสุวิชา สมบุญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2557

**SURVEY OF THE REBAR CUTTING-PATTERN
ALGORITHM OF ENGINEERS AND
STEEL WORKERS**

Suwitcha Soomboon



**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 2014**

การสำรวจอัลกอริทึมการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและช่างเหล็ก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ศ. ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข)

ประธานกรรมการ

(รศ. ดร.วชรภูมิ เบญจโอฬาร)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(อ. ดร.อภิชน วัชรินทร์วงศ์)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิ้มปิงานงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ศุวิชา สมบุญ : การสำรวจอัลกอริทึมการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและ
ช่างเหล็ก (SURVEY OF THE REBAR CUTTING-PATTERN ALGORITHM OF
ENGINEERS AND STEEL WORKERS) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.
วชรภูมิ เบญจโอฬาร, 119 หน้า

การสูญเสียเหล็กเส้นเป็นปัญหาหลักที่พบในโครงการก่อสร้าง โดยสาเหตุหลักอย่างหนึ่งของการสูญเสียเหล็กเส้นนั้นเกิดจากขั้นตอนการตัดเหล็กเส้นเป็นขนาดต่างๆ ที่ต้องการตามแบบงานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อสำรวจและค้นหารูปแบบอัลกอริทึมในการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กน้อยที่สุด ในการดำเนินงานวิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลจากแบบสอบถามและสัมภาษณ์วิศวกรจำนวน 30 คนและช่างเหล็กจำนวน 30 คน จากการสำรวจอัลกอริทึมการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นมีขั้นตอนย่อย 9 รูปแบบ แบ่งกลุ่มอัลกอริทึมการตัดที่คล้ายกันได้ทั้งหมด 7 กลุ่ม อัลกอริทึมที่มีการเลือกเหล็กชิ้นงานที่เป็นเลขจำนวนเต็มมาจับคู่กับเหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุดก่อน หลังจากนั้นเลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุดมาจับคู่กับเหล็กที่มีความยาวรองลงมา ถ้าเหลือเหล็กพอกับความยาวจะจับคู่กับเหล็กที่สั้นที่สุดทำซ้ำจนครบจำนวนความยาวที่ต้องการ พบว่าเป็นอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพที่ดีช่วยลดการสูญเสียเหล็กเส้น ซึ่งนำมาใช้เป็นแนวทางการจัดลำดับการตัดเหล็กและใช้ควบคุมคุณภาพการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและช่างเหล็ก เพื่อช่วยให้มีการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยลงเป็นการลดค่าใช้จ่ายให้โครงการก่อสร้าง

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

SUWITCHA SOMBOON : SURVEY OF THE REBAR CUTTING-

PATTERN ALGORITHM OF ENGINEERS AND STEEL WORKERS.

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. VACHARAPOOM BENJAORAN,

Ph.D., 119 PP.

STEEL WASTE/CUTTING PROCESS OF STEEL/MATERIAL WASTE

Waste of reinforcing steel bars is one of the problems in construction project management. The main cause of the loss occurs at the cutting process as trim loss. This research aims to survey and search for the algorithms of this cutting process. The research methods included questionnaire and interview sessions with thirty engineers and thirty steel workers. The result is that there are nine common sub-steps used in the algorithms. The cutting-pattern algorithms used can be categorized into seven groups. The efficient algorithm firstly pairs the items which have round number lengths with the shortest items. Then, it pairs the relatively long items together to be cut with the steel bars. Finally, the algorithm pairs the remaining which are the relatively short items together until the job is completed. This finding can be used for to improve the steel rebar cutting process, to reduce the trim loss of engineers and steel workers and also reduce the cost of the overall construction project.

School of Civil Engineering

Academic Year 2014

Student's Signature_____

Advisor's Signature_____

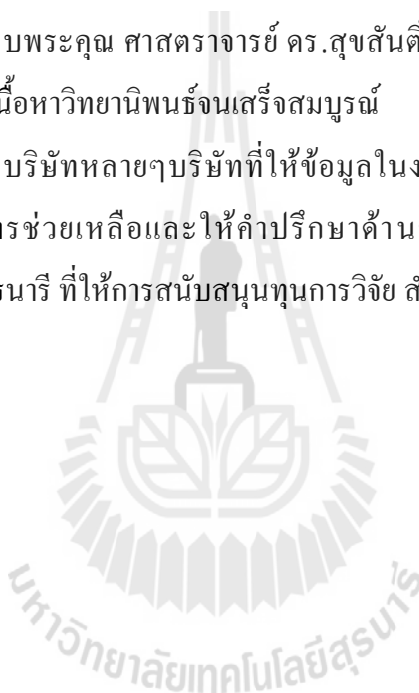
กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วชรภูมิ เบญจโอฬาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาส ให้การสั่งสอน ชี้แนะและช่วยเหลือในการทำการศึกษาวิจัยตลอดจนให้คำแนะนำในการเขียนและตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข ประธานกรรมการ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบเนื้อหาวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทหลายบริษัทที่ให้ข้อมูลในงานวิจัย ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่านที่ให้การช่วยเหลือและให้คำปรึกษาด้านข้อมูลและผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้การสนับสนุนทุนการวิจัย สำหรับระดับบัณฑิตศึกษาในการทำวิจัยนี้

สุวิษา สมบุญ



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการสูญเสียวัสดุก่อสร้าง.....	6
2.2 การสูญเสียวัสดุก่อสร้าง	8
2.3 สาเหตุการสูญเสียวัสดุก่อสร้าง	9
2.4 สถิติสำหรับการวิจัย.....	17
2.4.1 การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง	18
2.4.2 การคำนวณค่าสถิติต่างๆ ของการวัดการกระจายข้อมูล	18
2.4.3 ความหมายของสมมติฐาน	20
2.4.4 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากร	24

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3	วิธีการดำเนินการวิจัย	27
3.1	วิธีการดำเนินการวิจัย	27
3.2	ประเด็นปัญหาที่ทำการสำรวจ	28
3.2.1	โครงการก่อสร้างตัวอย่างที่ทำการศึกษา	28
3.3	เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	28
3.4	ขั้นตอนการทำงานวิจัย	32
3.4.1	การตอบแบบสอบถาม	33
3.4.2	การสัมภาษณ์และสังเกตหน้างานจริง	34
3.4.3	วิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถาม	34
4	ผลการศึกษาวิจัย	36
4.1	ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม	36
4.1.1	ข้อมูลทั่วไปของวิศวกร	39
4.1.2	ข้อมูลทั่วไปของช่างเหล็ก	39
4.2	การแบ่งกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น	40
4.2.1	รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 1	40
4.2.2	รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 2	41
4.2.3	รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 3	42
4.2.4	รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 4	43
4.2.5	รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 5	44
4.2.6	รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 6	44
4.2.7	รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 7	45
4.3	การหาอัลกอริทึมในการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กน้อยที่สุด	47
4.3.1	การวิเคราะห์หาเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดเหล็กเส้นของแต่ละกลุ่ม	47
4.3.2	การวิเคราะห์ผลโดยทางสถิติ	49

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5 บทสรุป	57
รายการอ้างอิง	60
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. แบบสอบถาม.....	61
ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์ผลการวิจัยทางสถิติของเศษเหลือที่เหลือจากการ ตัดเหล็กเส้น	72
ภาคผนวก ค. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา ...	100
ประวัติผู้เขียน	119



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ปัจจัยที่มีผลกระทบและสัดส่วนการสูญเสียวัสดุ7
2.2	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเทียบกับปริมาณรวมของวัสดุก่อสร้างหลัก11
2.3	ผลการวิเคราะห์เศษเหล็กโดยการใช้โปรแกรมเปรียบเทียบกับเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจริงใน โครงการก่อสร้าง15
2.4	First-Fit and Best-Fit (1)16
2.5	First-Fit and Best-Fit (2)16
2.6	การตัดสินใจยอมรับความจริงของการทดสอบสมมติฐาน23
2.7	การทดสอบสมมติฐาน25
4.1	รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 140
4.2	รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 241
4.3	รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 342
4.4	รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 443
4.5	รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 544
4.6	รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 645
4.7	รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 745
4.8	การแบ่งกลุ่มการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น46
4.9	เศษเหล็กรวมที่เหลือจากการตัดเหล็กเส้นของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง (เมตร)48
4.10	ค่าความแปรปรวนของความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น (F- Test).....50
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น (T-Test).....51
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นและค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่ เหลือจากการตัด52
4.13	เรียงลำดับข้อมูลการสูญเสียเศษเหล็กที่เกิดจากการตัดเหล็กเส้น53

สารบัญรูป

รูปที่

หน้า

1.1	การใช้เหล็กในอุตสาหกรรมต่าง ๆ	2
1.2	เศษเหล็กที่เกิดจากการตัดเหล็กเส้น	3
2.1	การจัดสรรพื้นที่หน่วยความจำ First-Fit and Best-Fit (1)	16
2.2	การจัดสรรพื้นที่หน่วยความจำ First-Fit and Best-Fit (2)	17
2.3	การทดสอบทางเดียวที่บริเวณวิกฤตอยู่ทางขวา	21
2.4	การทดสอบทางเดียวที่บริเวณวิกฤตอยู่ทางซ้าย	21
2.5	การทดสอบสองทางที่บริเวณวิกฤตอยู่ทางซ้ายและขวา	22
3.1	ตัวอย่างแบบสอบถามข้อมูลทั่วไป (ส่วนที่ 1)	29
3.2	ตัวอย่างแบบสอบถามการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น	30
3.3	ตัวอย่างการรูปแบบการจัดลำดับขั้นตอนการตัดเหล็กเส้น (ข้อมูลส่วนที่ 2)	31
3.4	ตัวอย่างคำตอบรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น (ข้อมูลส่วนที่ 2)	31
3.5	ขั้นตอนการทำวิจัย	33
4.1	อายุของผู้ตอบแบบสอบถาม	37
4.2	ประสบการณ์ทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม	38
4.3	ประเภทของงานของผู้ตอบแบบสอบถาม	39

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

BOQ	=	บัญชีแสดงปริมาณวัสดุและราคา
C&D	=	การก่อสร้างและรื้อถอน
TCR	=	ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเหล็กเสริม
CONSTRUCTION DRAWING	=	แบบใช้งานเพื่อการก่อสร้าง
SHOP DRAWING	=	แบบก่อสร้าง
BAR CUTTING LIST	=	แผนการตัดเหล็กเสริม
SOLID WASTE	=	ขยะมูลฝอย
ON-SITE	=	การประกอบเหล็กเสริมในโครงการก่อสร้าง
OFF-SITE	=	การประกอบเหล็กเสริมนอกโครงการก่อสร้าง
SIMULATION MODEL	=	แบบจำลองสถานการณ์



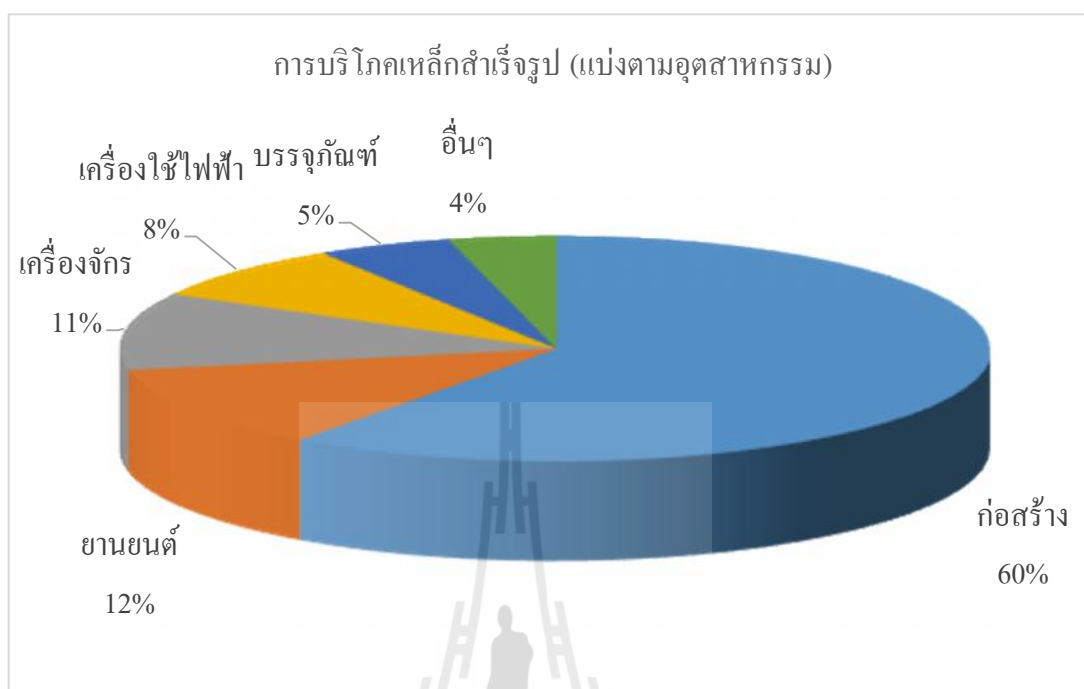
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เหล็กถูกนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับสิ่งปลูกสร้างมากกว่า 2 ศตวรรษแล้ว โครงสร้างเหล็กแรกสุดที่ได้รับการบันทึกไว้คือ สะพานโค้งซึ่งมีช่วงเสายาว 30 เมตร สร้างในอังกฤษเมื่อปี ค.ศ. 1779 โดยใช้เหล็กหล่อจนถึงปลายศตวรรษ 1800 ชิ้นส่วนเหล็กจึงมีการผลิตเป็นอุตสาหกรรม ทำให้โครงสร้างเหล็กเริ่มแพร่หลายในทวีปยุโรป เมื่อมีการผลิตเหล็กเป็นมาตรฐาน เหล็กจึงได้รับความนิยม สำหรับงานก่อสร้าง จนถึงในศตวรรษ 1900 เหล็กจึงได้รับความนิยมสำหรับการสร้างอาคารสูง โดยเฉพาะในประเทศที่มีความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหวมาก เช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น เป็นต้น

สำหรับประเทศไทย เหล็กเป็นวัสดุสำคัญที่ใช้งานในกลุ่มอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมการก่อสร้าง อุตสาหกรรมเครื่องกล เครื่องจักรกล อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมน้ำมันและก๊าซ และอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น ทำให้เหล็กมีความต้องการใช้งานที่ขยายตัวมากขึ้นในแต่ละปี ซึ่งวัสดุเหล็กนั้นมีราคาสูง ต้องนำเข้าวัตถุดิบ เทคโนโลยี รวมถึงอุปกรณ์การผลิตจากต่างประเทศ จากรูป 1.1 การใช้เหล็กในอุตสาหกรรมต่างๆพบว่า กลุ่มใหญ่ที่สุดที่มีการบริโภคเหล็กสำเร็จรูป คือ อุตสาหกรรมการก่อสร้าง ซึ่งมีสัดส่วนการบริโภคเหล็กในงานก่อสร้างประมาณร้อยละ 60 ของปริมาณวัสดุเหล็กทั้งหมดที่นำเข้าในปี พ.ศ. 2553 รองลงมา เป็นกลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์และเครื่องจักรกลต่าง ๆ ความต้องการใช้เหล็กในประเทศไทยซึ่งมีทิศทางที่จะเพิ่มสูงขึ้นและยังมีความต้องการใช้อย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 1. 1 การใช้หลักในอุตสาหกรรมต่าง ๆ

(ที่มา : ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2011)

เหล็กเส้นเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีความสำคัญสำหรับโครงการก่อสร้าง เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีปริมาณความต้องการใช้มากในอุตสาหกรรมก่อสร้าง และมีราคาต่อหน่วยสูง ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อราคาเหล็กโดยตรงคือ ราคาวัตถุดิบ สภาวะก่อสร้าง และราคาในตลาด เนื่องจากประเทศไทยมีการแข่งขันแบบทุนนิยมแข่งขันได้อิสระ พอสินค้าขาดตลาดหรือโดนผูกขาดจากผู้ผลิตก็จะมีผลปรับราคาตามใจชอบ พอสินค้าล้นตลาดก็จะมีผลเพดานราคาตก ส่วนปัจจัยโดยอ้อมที่มีผลต่อราคาเหล็กคือ สภาวะเศรษฐกิจ เทศกาล ฤดูฝน เปลี่ยนแปลงรัฐบาล เป็นต้น จึงทำให้ต้นทุนเหล็กเส้นมีราคาสูงกว่าวัสดุอื่นๆ ที่ใช้ในโครงการก่อสร้าง ดังนั้นวัสดุเหล็กเส้นจึงเป็นตัวการสำคัญที่มีผลต่อต้นทุนของโครงการก่อสร้าง ถ้าสามารถลดปริมาณการใช้เหล็กเส้นได้ จะทำให้สามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในโครงการก่อสร้างได้อีกด้วย

การใช้งานเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้างสามารถก่อให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นได้หลายปัจจัย เช่น เกิดจากขั้นตอนการทำงานของเหล็กเส้น การสั่งซื้อเหล็ก การขนส่ง การเปลี่ยนแปลงแบบก่อสร้าง การตัดและตัดเหล็กผิดจากแบบ การจัดเก็บ การขโมย รวมถึงปัญหาการขาดการ

ควบคุมและการบริหารจัดการของผู้ควบคุมงาน เป็นต้น ปริมาณการสูญเสียเหล็กเส้นจากการก่อสร้างในปัจจุบัน ส่วนหนึ่งเกิดจากการทำงานที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ โดยสาเหตุหลักของการสูญเสียเหล็กเส้น เนื่องจากเหล็กเส้น หรือ เหล็กข้ออ้อย ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ชั้นคุณภาพ SD 40 และ SD 50 มีความยาวมาตรฐาน 10 เมตร และ 12 เมตร ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม 20-2548 อีกทั้งลักษณะของงานก่อสร้างในการใช้เหล็กเส้นจำเป็นต้องมีการตัด ดัด งอ เพื่อให้ได้ตามชิ้นงานที่ต้องการก่อนนำมาใช้งาน ในกรณีต้องใช้เหล็กเส้นที่มีตามความยาวตามที่ต้องการ จึงต้องตัดจากเหล็กเส้นเต็มความยาวมาตรฐาน จึงทำให้เกิดเศษเหล็กที่เกิดจากการตัด ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดเหล็กเส้นนี้ ส่งผลกระทบต่อโครงการก่อสร้างโดยตรง ถ้าไม่มีการจัดการหรือควบคุมประสิทธิภาพการตัด ทำให้เกิดเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดไม่สามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้เป็นจำนวนที่เพิ่มมากขึ้น จึงเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นต่อผู้รับเหมา ทำให้ต้องมีการสั่งซื้อเหล็กเส้นเพิ่มขึ้นเกินกว่าที่ได้ประมาณการไว้ใน BOQ ซึ่งอาจเกินงบประมาณของโครงการดังกล่าวที่กำหนดไว้



รูปที่ 1.2 เศษเหล็กที่เกิดจากการตัดเหล็กเส้น

ดังนั้นผู้รับเหมาก่อสร้างหรือผู้บริหารโครงการก่อสร้างควรคำนึงถึงความสำคัญของการสูญเสียเหล็กเส้น จึงมีความจำเป็นที่ต้องวางแผนการตัดเหล็กเส้น เพื่อให้มีรูปร่างหรือความยาวตามที่ต้องการใช้จากข้อมูลในแบบก่อสร้าง หรือแบบ Shop Drawing ที่ได้สร้างเป็น Bar Cutting List ไว้แล้ว เช่น เหล็กเสริมคอนกรีต โครงหลังคาเหล็ก ซึ่งโดยทั่วไปแล้วช่างเหล็กตัดเหล็กจะสั่งเหล็กเส้นเต็มความยาวมาตรฐานที่ได้จำนวนการใช้เหล็กเส้นมาจากตาม (BOQ) และดำเนินการตัดตาม Bar Cutting List ให้ได้ตามความยาวที่ต้องการใช้งาน ดังนั้นถ้าไม่มีการวางแผนหรือกระบวนการคิดการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น จะทำให้ช่างตัดเหล็กตัดตามความต้องการ หรือตาม

ประสบการณ์ เช่นในกรณีช่างเหล็กที่ไม่มีประสบการณ์ หรือไม่มีวิศวกรวางแผนการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น ทำให้กระบวนการทำงานแบบนี้มีปริมาณการสูญเสียเหล็กที่มาก และต้องมีการตั้งชื่อเหล็กเส้นเกินความจำเป็นในการใช้งานในขณะนั้น เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายให้กับโครงการก่อสร้าง เพราะฉะนั้นการวางแผนการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นและหาอัลกอริทึมการตัดเหล็กเส้นที่สามารถช่วยลดการสูญเสียเหล็กเส้นจะเป็นแนวทางหนึ่งในการลดค่าใช้จ่าย เพิ่มผลกำไรของโครงการก่อสร้างได้อย่างมาก

จากความสำคัญและที่มาของปัญหาของเหล็กเส้นที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น ทำให้เห็นถึงความสำคัญของการสูญเสียเหล็กเส้น จึงทำการวิจัยการสำรวจอัลกอริทึมการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและช่างเหล็กในโครงการก่อสร้างเพื่อเป็นแนวทางเฉพาะในการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของโครงการก่อสร้าง เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้นำไปใช้ควบคุมคุณภาพการตัดเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้างและเพิ่มประสิทธิภาพของบริษัทผู้รับเหมาในการบริหารงานก่อสร้างให้ประสบผลสำเร็จสูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษารูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและช่างเหล็กในโครงการก่อสร้าง

1.2.2 เพื่อหาอัลกอริทึมในการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษานี้มีขอบเขตการศึกษาเฉพาะการสูญเสียเหล็กเส้นที่เกิดจากการตัดเหล็กเส้นจากแบบก่อสร้าง (Shop Drawing) ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นเท่านั้น ไม่รวมถึงการศึกษาการสูญเสียเหล็กเส้นจากการตัดที่ผิดพลาดและแบบไม่สมบูรณ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การวิจัยนี้เมื่อสำเร็จลุล่วงจะสามารถก่อให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆดังนี้

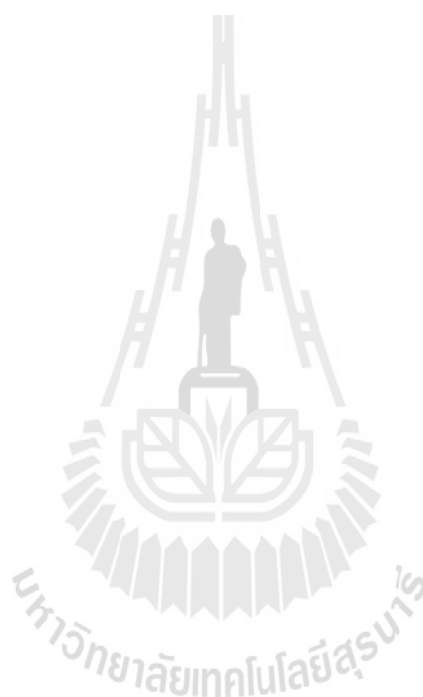
1.4.1 เป็นแนวทางเฉพาะในการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของโครงการก่อสร้างเพื่อนำไปใช้ควบคุมการสูญเสียเหล็กเส้นให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

1.4.2 เป็นแนวทางในการควบคุมคุณภาพการตัดเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้างได้

1.4.3 ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียหลักเส้นเพื่อนำไปปรับใช้ในการ
บริหารงานก่อสร้างได้

1.4.4 สามารถเป็นฐานข้อมูลในการตัดสินใจ เพื่อใช้ในการจ้างเหมางานครั้งต่อไป

1.4.5 สามารถเป็นฐานข้อมูลเพื่อลดการสูญเสียหลักเส้นในงานวิจัยต่อไปได้



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการก่อสร้างโครงการต่าง ๆ นั้น เป็นที่ทราบกันดีว่าเหล็กเส้นเป็นสิ่งที่ต้องการใช้ในงานก่อสร้างเป็นจำนวนมาก และมีราคาต่อหน่วยสูงเมื่อเทียบกับวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอื่นๆ เพราะฉะนั้นการที่เกิดการสูญเสียเหล็กเส้น ย่อมส่งผลกระทบต่อมูลค่าของโครงการโดยรวม จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการบริหารจัดการและวางแผนการใช้เหล็กเส้นให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพื่อลดค่าใช้จ่ายให้กับโครงการก่อสร้าง

ซึ่งในบทความนี้ ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้างเพื่อเป็นแนวทางในการวิจัย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการสูญเสียวัสดุก่อสร้าง

เจต เทียมเสวต (2550) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียวัสดุในการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ โดยวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาเพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการสูญเสียวัสดุในการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ เพื่อประเมินความสำคัญของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการสูญเสียวัสดุในการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่และเพื่อหาแนวทางแก้ไขปัญห หรือแนวทางป้องกันการสูญเสียของวัสดุที่ทำการศึกษาก่อน 19 ชนิด โดยได้ทำการเก็บข้อมูลจากแบบสอบถามควบคู่กับการสัมภาษณ์บุคคลที่รับรู้สถานการณ์จริงโดยเลือกโครงการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ที่กำลังดำเนินงานอยู่เกินร้อยละ 25 ของระยะเวลาการก่อสร้างตามสัญญาในเขตกรุงเทพมหานครและเขตปริมณฑล ซึ่งคัดเลือกมาใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างจำนวน 86 โครงการ

สามารถวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการสูญเสียวัสดุในการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ มีทั้งหมด 8 ปัจจัยได้แก่

1. ปัจจัยจากการปฏิบัติงาน
2. ปัจจัยจากแบบก่อสร้าง
3. ปัจจัยจากการวางแผนการใช้วัสดุ
4. ปัจจัยจากการขนย้ายวัสดุ
5. ปัจจัยจากการกองเก็บวัสดุ

6. ปัจจัยจากการถูกโจรกรรม
7. ปัจจัยทุจริตของพนักงาน
8. ปัจจัยภายนอก

จากปัจจัยทั้ง 8 ปัจจัยข้างต้น นำมาพิจารณาควบคู่กับวัสดุก่อสร้างที่ทำการศึกษากำหนด 19 ชนิด 1. คอนกรีตผสมเสร็จ 2. เหล็กเสริมคอนกรีต 3. แบบหล่อคอนกรีต(เหล็ก) 4. แบบหล่อคอนกรีต(ไม้) 5. ค้ำยัน(เหล็ก) 6. ค้ำยัน(ไม้) 7. นั่งร้าน 8. อิฐมอญ 9. อิฐบล็อก 10. อิฐมวลเบา 11. มอร์ต้า 12. ทราช 13. ซีเมนต์ 14. กระเบื้องเซรามิก 15. แผ่นยิบซัม 16. ท่อร้อยสายไฟ 17. สายไฟฟ้า 18. ท่อสุขาภิบาล 19. ท่อระบายอากาศ จะได้ปัจจัยที่มีผลกระทบและสัดส่วนการสูญเสียวัสดุ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2. 1 ปัจจัยที่มีผลกระทบและสัดส่วนการสูญเสียวัสดุ

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการสูญเสียวัสดุ	ร้อยละสัดส่วนการสูญเสียวัสดุ
ปัจจัยจากการปฏิบัติงาน	47.59
ปัจจัยจากแบบก่อสร้าง	4.71
ปัจจัยจากการวางแผนการใช้วัสดุ	15.24
ปัจจัยการขนย้ายวัสดุ	16.78
ปัจจัยจากการกองเก็บวัสดุ	12.18
ปัจจัยจากการถูกโจรกรรม	2.98
ปัจจัยจากการทุจริตของพนักงาน	0.58
ปัจจัยภายนอก	0.63

จากวัสดุที่ทำการศึกษากำหนด 19 ชนิด ทำให้สรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการสูญเสียวัสดุในการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่มากที่สุดนั่นคือ ปัจจัยจากการปฏิบัติงานโดยสาเหตุส่วนใหญ่มาจากผู้ปฏิบัติงานไม่มีความชำนาญในการใช้วัสดุ ปัจจัยรองลงมาคือ ปัจจัยการขนย้ายวัสดุ สาเหตุส่วนใหญ่มาจากผู้ปฏิบัติงานไม่มีความระมัดระวังในการขนย้าย ทำให้เกิดการกระแทกเสียหายได้ ปัจจัยที่สามคือ ปัจจัยการวางแผนการใช้วัสดุโดยสาเหตุส่วนใหญ่ของปัจจัยนี้มาจาก ก่อนการปฏิบัติงานไม่มีการวางแผนการใช้วัสดุให้เหมาะสม และลำดับปัจจัยอื่นๆรองลงมาตามลำดับดังตารางที่ 2.1 ยังพบว่าผลจากการวิเคราะห์เกี่ยวกับวัสดุก่อสร้างที่มีมูลค่าการสูญเสียสูงสุด 3 ชนิดในการ

ก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ นั้น คือ 1.เหล็กเสริมคอนกรีต 2. คอนกรีตผสมเสร็จ 3. แบบหล่อคอนกรีต(ไม้)

ส่วนที่ 2 จะเป็นการศึกษาข้อมูลเพื่อประเมินอัตราการเผื่อปริมาณการใช้วัสดุและเพื่อประเมินการสูญเสียของวัสดุที่มีมูลค่าสูงสุด 3 ชนิด ซึ่งวัสดุทั้ง 3 ชนิดนั้น ได้แก่ คอนกรีตผสมเสร็จ เหล็กเสริมคอนกรีตและแบบหล่อคอนกรีต(ไม้) โดยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของอัตราการเผื่อปริมาณการใช้วัสดุประเภทคอนกรีตผสมเสร็จโดยรวมทุกงานนั้นเท่ากับร้อยละ 4.80 และการสูญเสียวัสดุคอนกรีตผสมเสร็จเท่ากับร้อยละ 2.46 ค่าเฉลี่ยของอัตราการเผื่อปริมาณการใช้วัสดุประเภทเหล็กเสริมคอนกรีตโดยรวมทุกงานนั้นเท่ากับร้อยละ 10.15 และการสูญเสียวัสดุเหล็กเสริมคอนกรีตเท่ากับร้อยละ 2.21 และค่าเฉลี่ยของอัตราการเผื่อปริมาณการใช้วัสดุประเภทแบบหล่อคอนกรีต(ไม้) โดยรวมทุกงานนั้นเท่ากับร้อยละ 14.87 และร้อยละการสูญเสียวัสดุแบบหล่อคอนกรีต(ไม้) เท่ากับร้อยละ 31.25

2.2 การสูญเสียวัสดุก่อสร้าง

Carlos T.Formoso และคณะ (2002) ได้กล่าวถึงการสูญเสียวัสดุในอุตสาหกรรมก่อสร้างไว้ว่า การสูญเสียวัสดุก่อสร้างนั้นเป็นปัญหาหลักที่มีความสำคัญในส่วนของประสิทธิภาพของงาน และในส่วนของผลกระทบต่อภาพรวมของโครงการ จากปริมาณการสูญเสียวัสดุก่อสร้าง ยังแสดงให้เห็นถึงบทบาทสำคัญในการจัดระบบการทำงานในโครงการก่อสร้างตั้งแต่เริ่มต้นโครงการจนจบโครงการ

โดยที่ Carlos T.Formoso และคณะ (2002) ได้ทำการศึกษา 2 งานวิจัยทำการสำรวจจากการเก็บข้อมูลการสูญเสียวัสดุในสถานที่ก่อสร้างจาก 74 โครงการก่อสร้างตามเมืองต่างๆของประเทศบราซิล ซึ่งได้ใช้วิธีในการเก็บข้อมูลเพื่อเป็นสถิติและนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุการสูญเสียของวัสดุหลักที่ใช้ในการก่อสร้าง จากการคิดเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้างจริงเทียบกับการประมาณราคา พร้อมทั้งได้เสนอวิธีการป้องกันการสูญเสียของวัสดุในงานก่อสร้างที่อาจเกิดขึ้น ได้นำเสนอการสูญเสียของวัสดุหลัก ซึ่งประกอบด้วย

1. เหล็กเสริมคอนกรีต (Steel Reinforcement) สาเหตุหลักของการสูญเสียเหล็กเสริมเกิดจากการตัดให้ได้หลายๆ ขนาดตามความต้องการจากความยาวมาตรฐาน
2. คอนกรีตสำเร็จรูป (Premixed Concrete) สาเหตุหลักของการสูญเสียคอนกรีตสำเร็จรูปเกิดจากการขนส่งจากโรงงานให้ผู้รับเหมาไม่ครบตามจำนวนและการเทคอนกรีตที่ผิดไปจากการออกแบบ

3. ปูนซีเมนต์ (Cement) สาเหตุของการสูญเสียปูนซีเมนต์เกิดจากขั้นตอนการผสมคอนกรีตด้วยแรงงานคน การขนส่งและขนย้าย การใช้ก่ออิฐที่ไม่ควบคุมปริมาณ และ การใช้น้ำที่มีความหนาของปูนฉาบมากกว่ามาตรฐาน
4. ทราช ปูนขาว และปูนซีเมนต์สำเร็จรูป (Sand, Lime and Premoixed morta) สาเหตุหลักของการสูญเสียของทรายเนื่องจากเป็นส่วนผสมของปูนก่อและปูนฉาบ ดังนั้น หากเกิดการสูญเสียในปูนก่อและฉาบก็ทำให้ทรายสูญเสียด้วย การสูญเสียมอร์ต้าเกิดจากการขนส่งที่ไม่ดี
5. อิฐมอญ และอิฐบล็อก (Bricks and Block) สาเหตุหลักของการสูญเสียอิฐเกิดแตกหักจากการขนส่งและการเหลือเศษจากการตัด
6. กระเบื้องเซรามิก (Ceramic Tiles) สาเหตุหลักของการสูญเสียกระเบื้องคือการเหลือเศษจากการตัดจากกระเบื้องแผ่นเต็ม
7. ท่อและสายไฟ (Pipe and Wires) สาเหตุหลักของการสูญเสียท่อและสายไฟเกิดเหลือเศษจากการตัดให้ได้ขนาดที่ต้องการจากขนาดมาตรฐาน

จากสาเหตุหลักของการสูญเสียวัสดุที่เกิดขึ้นได้นำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ดังนี้

1. ต้องใช้มาตรการการบริหารทางการเงินควบคู่กับเรื่องที่นอกเหนือทางการเงินเพื่อประกอบการตัดสินใจพร้อมกับการตรวจสอบหาปริมาณการสูญเสียเพื่อลดต้นทุนของการสูญเสียในงานก่อสร้าง
2. ใช้การมองที่กว้างขึ้นในการบริหารงานไม่เพียงแต่การควบคุมการสูญเสียของวัสดุในงานก่อสร้างอีกทั้งยังสามารถใช้ควบคุมทรัพยากรอื่นๆ เช่น แรงงาน, เครื่องจักร
3. ต้องให้ทุกคนในหน่วยงานมีส่วนร่วมในการควบคุมการสูญเสีย
4. ต้องมีการควบคุมการผลิตให้เป็นขั้นตอนเพื่อลดการสูญเสีย

2.3 สาเหตุการสูญเสียวัสดุก่อสร้าง

วุฒิพงษ์ ประวิตรวงศ์ (2544) ได้กล่าวถึงสาเหตุของการสูญเสียวัสดุก่อสร้างหลัก รวมทั้งแนวทางการป้องกันการสูญเสีย โดยทำการสัมภาษณ์ผู้ที่มีประสบการณ์ในด้านการก่อสร้างรวมทั้งรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาสาเหตุการสูญเสียวัสดุก่อสร้างหลักแล้วจึงจัดทำแบบสอบถามส่งให้แก่บริษัทผู้รับเหมา โดยมีวิศวกรและสถาปนิกเป็นกลุ่มเป้าหมาย ได้รับการตอบแบบสอบถาม 54 ชุด แล้วนำมาวิเคราะห์หาความสำคัญของแต่ละสาเหตุและแนวทางการป้องกันการสูญเสีย

จากการทบทวนงานวิจัยอื่นและนำข้อมูลรายละเอียดปริมาณงาน BOQ ของโครงการก่อสร้างอาคารจำนวน 5 โครงการ มาวิเคราะห์เพื่อหาประเภทงาน และวัสดุก่อสร้างหลักโดยมี 13 ประเภทงานที่มักมีการสูญเสียของวัสดุก่อสร้างหลัก ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. กลุ่มงานคอนกรีตโครงสร้าง วัสดุก่อสร้างหลักคือ คอนกรีตโครงสร้าง
2. กลุ่มงานเหล็กเสริมคอนกรีต วัสดุก่อสร้างหลักคือ เหล็กเส้น
3. กลุ่มงานเหล็กรูปพรรณ วัสดุก่อสร้างหลักคือ เหล็กรูปพรรณ
4. กลุ่มงานเสาเข็ม วัสดุก่อสร้างหลักคือ เสาเข็มตอก
5. กลุ่มงานฝ้าอาคาร วัสดุก่อสร้างหลักคือ อิฐบล็อก อิฐมอญและปูนก่อ ปูนฉาบ
6. กลุ่มงานผนังและพื้นอาคาร วัสดุก่อสร้างหลักคือ กระเบื้องผนังและพื้น
7. กลุ่มงานฝ้าเพดาน วัสดุก่อสร้างหลักคือ โครงฝ้า แผ่นยิปซัม
8. กลุ่มงานประตูหน้าต่าง วัสดุก่อสร้างหลักคือ วงกบประตู หน้าต่างประเภทไม้ บานประตู หน้าต่างประเภทไม้ อุปกรณ์ประตู ได้แก่ ลูกบิด บานพับ กลอน
9. กลุ่มงานสุขภัณฑ์และอุปกรณ์ วัสดุก่อสร้างหลักคือ ส้วม โถปัสสาวะ อ่างล้างหน้า
10. กลุ่มงานลิ้อาคาร วัสดุก่อสร้างหลักคือ ลิ้อาคาร
11. กลุ่มงานระบบท่อ วัสดุก่อสร้างหลักคือ ท่อประปา ท่อน้ำต่างๆ
12. กลุ่มงานระบบไฟฟ้า วัสดุก่อสร้างหลักคือ ท่อไฟฟ้าและสายไฟฟ้า
13. กลุ่มงานระบบปรับอากาศ วัสดุก่อสร้างหลักคือ ท่อลมระบบปรับอากาศ

จากสาเหตุการสูญเสียของวัสดุก่อสร้างหลักแต่ละชนิด ซึ่งเรียงตามผลการประเมินความสำคัญที่ได้จากแบบสอบถาม สามารถนำมาสรุป สาเหตุของการสูญเสียในภาพรวม ได้ดังนี้

1. ความสูญเสียอันเกิดจากการขาดการจัดการและการวางแผนการทำงานที่ดี ขาดความรอบครอบในการจัดลำดับขั้นตอนการทำงานให้สอดคล้องกับแบบและลักษณะอาคารก่อสร้าง การขาดการประสานงานซึ่งกันและกันของกลุ่มงานต่างๆ ในโครงการก่อสร้าง ดังนั้นในช่วงก่อนเริ่มทำงาน ควรวางแผนงานและจัดลำดับการทำงานอย่างรอบครอบชัดเจน ให้ทุกฝ่ายมีความเข้าใจในขั้นตอนการทำงาน
2. ความสูญเสียอันเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของแบบก่อสร้าง สาเหตุนี้เกิดจากแบบก่อสร้างคลาดเคลื่อน การให้รายละเอียดผิดพลาด การออกแบบผิด รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงแบบ ดังนั้นควรมีการตรวจสอบแบบอย่างละเอียด เพื่อลดข้อผิดพลาดทำการก่อสร้างเฉพาะในบริเวณที่แบบมีความสมบูรณ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆอีก

- นอกจากนี้ควรมีการนำแบบก่อสร้างในส่วนของงานระบบต่างๆของอาคาร นำมารวมกับแบบโครงสร้างอาคารด้วย เพื่อลดการแก้ไข รวมทั้งเดินท่องานระบบให้คุ้มค่าที่สุด
3. ความสูญเสียอันเกิดจากฝีมือแรงงานต่ำ สาเหตุนี้ความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการขาดความชำนาญของแรงงานในการทำงาน โดยเฉพาะในกลุ่มงานสถาปัตยกรรมซึ่งจำเป็นต้องใช้ช่างที่มีทักษะสูง เน้นฝีมือ ควรใช้ช่างที่มีความชำนาญ อาจทำการทดสอบฝีมือก่อนเริ่มทำงานจริง
 4. ความสูญเสียอันเกิดจากการบริหารจัดการเกี่ยวกับวัสดุก่อสร้างไม่ดีพอ สาเหตุนี้เกิดจากการจัดซื้อผิดพลาด การกองเก็บไม่เหมาะสม ขาดการตรวจสอบคุณภาพ รวมทั้งขาดการดูแลวัสดุให้เกิดการสูญหาย ดังนั้นเพื่อป้องกันจากสาเหตุดังกล่าว ควรมีการตรวจสอบการจัดซื้อให้ถูกต้อง รอบคอบและมีการกองเก็บให้เหมาะสมตามชนิดของวัสดุ
 5. ความสูญเสียอันเกิดจากการตัดวัสดุเหลือเศษ สาเหตุนี้เกิดจากการตัดวัสดุเพื่อให้มีขนาดตามที่จะใช้งานซึ่งทำให้เหลือเศษเล็กๆ เช่น เศษเหล็กเส้น เศษเหล็กรูปพรรณ เศษกระเบื้อง ดังนั้นควรมีการวางแผนการใช้วัสดุให้เหลือเศษน้อยที่สุด

สำหรับค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียวัสดุก่อสร้างแต่ละชนิด ซึ่งได้จากประสบการณ์ของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2. 2 เปอร์เซนต์การสูญเสียเทียบกับปริมาณรวมของวัสดุก่อสร้างหลัก

วัสดุก่อสร้างหลัก	ร้อยละของการสูญเสีย
วงกบและปานประตูหน้าต่าง	1
อุปกรณ์สุขภัณฑ์ ส้วม โถปัสสาวะ อ่างล้างหน้า	2
คอนกรีตโครงสร้าง เหล็กรูปพรรณ เสาเข็มตอก อิฐบล็อก อิฐมอญ ฝ้าและยิบซั่ม ประตูและหน้าต่าง สีอาคาร ท่อประปา ท่อสายไฟ ท่อลมของระบบปรับอากาศ	5
เหล็กเสริมคอนกรีต ปูนก่อปูนฉาบ กระเบื้องผนังและพื้น	10

จะพบว่าร้อยละการสูญเสียเทียบกับปริมาณรวมของวัสดุก่อสร้างหลักของ เหล็กเสริมคอนกรีต ปูนก่อปูนฉาบ กระเบื้องผนังและพื้นสูงถึงร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับร้อยละการสูญเสียกับวัสดุหลักอื่นๆ

B.A.G.Bossink, H.J.H.Brouwers. (1996) ได้ทำการศึกษาเพื่อหาปริมาณการสูญเสียและที่มาของการสูญเสียของวัสดุในงานก่อสร้างโดยการศึกษาจากข้อมูลหลายประเทศและนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลของประเทศเนเธอร์แลนด์ เพื่อนำไปปรับใช้ในการลดเศษวัสดุจากอุตสาหกรรมก่อสร้าง จะพบว่าปริมาณจากการก่อสร้างและรื้อถอนเมื่อเทียบกับ Solid Waste เป็นปริมาณต่อน้ำหนักทั้งหมดของวัสดุในการก่อสร้าง Construction and Demolition Waste (C&D) โดยให้ความสำคัญกับปริมาณการสูญเสียจากงานก่อสร้าง เนื่องจากเศษวัสดุจากงานที่มีการปนเปื้อนสูงและมีความหลากหลาย การป้องกันการสูญเสียจากการก่อสร้างดีกว่าการรื้อถอน เศษวัสดุของงานก่อสร้างมีมูลค่าสูง การลดค่าใช้จ่ายเป็นประโยชน์โดยตรงกับโครงการก่อสร้าง จากการศึกษาวิจัยพบว่าสาเหตุการสูญเสียวัสดุการก่อสร้างมาจาก 1) ขั้นตอนการออกแบบ 2) การจัดซื้อจัดจ้าง 3) การขนส่ง 4) ขั้นตอนการทำงาน 5) สิ่งตกค้าง 6) อื่นๆ เช่น การโจรกรรม เป็นต้น

สาเหตุปริมาณการสูญเสียของวัสดุในอุตสาหกรรมก่อสร้างในประเทศเนเธอร์แลนด์ มีดังต่อไปนี้

- 1) หินอ่อน (Stone Tablets) เกิดจากการตัดขนาดตามที่ต้องการจากขนาดมาตรฐาน วัสดุคุณภาพต่ำ สั่งซื้อมากเกินไป การกองเก็บไม่เหมาะสม และการแตกหัก ซึ่งทำให้เกิดปริมาณการสูญเสียค่าใช้จ่ายร้อยละ 26 จากค่าใช้จ่ายของการสูญเสียทั้งหมด
- 2) เสาเข็ม (Pile) เกิดจากการตัดหัวเสาเข็มที่ผิดพลาด ซึ่งทำให้เกิดปริมาณการสูญเสียค่าใช้จ่ายร้อยละ 13 จากค่าใช้จ่ายของการสูญเสียทั้งหมด
- 3) คอนกรีต (Concrete) เกิดจากการสั่งซื้อเกิน ขั้นตอนการขนส่ง และเทเส้นแบบ ซึ่งทำให้เกิดปริมาณการสูญเสียค่าใช้จ่ายร้อยละ 7 จากค่าใช้จ่ายของการสูญเสียทั้งหมด
- 4) ทราย อิฐและส่วนประกอบ (Sand, Lime, Bricks and Element) เกิดจากการคัด การขนส่ง การกองเก็บไม่เหมาะสมและสภาพอากาศ ซึ่งทำให้เกิดปริมาณการสูญเสียค่าใช้จ่ายร้อยละ 8 จากค่าใช้จ่ายของการสูญเสียทั้งหมด
- 5) กระเบื้องมุงหลังคา (Roof Tiles) เกิดจากการเลื้อยให้ได้ตามแบบ การแตกหักระหว่างการขนส่ง ซึ่งทำให้เกิดปริมาณการสูญเสียค่าใช้จ่ายร้อยละ 13 จากค่าใช้จ่ายของการสูญเสียทั้งหมด
- 6) มอร์ต้า (Mortar) เกิดจากการเศษภาชนะที่บรรจุ สภาพอากาศ และใช้เกินความต้องการ ซึ่งทำให้เกิดปริมาณการสูญเสียค่าใช้จ่ายร้อยละ 5 จากค่าใช้จ่ายของการสูญเสียทั้งหมด
- 7) บรรจุภัณฑ์ (Packaging) เกิดจากการเสียหายจากการบรรจุ ซึ่งทำให้เกิดปริมาณการสูญเสียค่าใช้จ่ายร้อยละ 3 จากค่าใช้จ่ายของการสูญเสียทั้งหมด

Gul Polat และคณะ (2006) ได้ศึกษาและเปรียบเทียบถึงค่าใช้จ่ายการผลิตเหล็กเสริม ระหว่างการประกอบเหล็กเสริมในโครงการก่อสร้าง (On-Site) กับการประกอบเหล็กเสริมนอกโครงการก่อสร้างงานก่อสร้าง (Off-Site) โดยอาศัยการประมาณในการสร้างแบบจำลอง (Simulation Model) เพื่อหาค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเหล็กเสริม ซึ่งจะเรียกค่าใช้จ่ายทั้งหมด ว่า The Total Cost of Rebar (TCR) จะหาได้จากสมการ

$$TCR = PC + FC + OC + HC + StC + DC + WC + ShC - EfB \quad (2.1)$$

โดยที่ PC คือ ค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อ (Purchasing Cost)

FC คือ ค่าใช้จ่ายทางการเงิน (Financing Cost)

OC คือ ค่าใช้จ่ายการประกอบเหล็กในไซต์งาน (On-Site Fabrication Cost)

HC คือ ต้นทุนค่าขนส่ง (Handling Cost)

StC คือ ค่าพื้นที่จัดเก็บ (Storage Cost)

DC คือ ค่าจัดส่งสินค้า (Delivery Cost)

WC คือ ค่าใช้จ่ายช่วงรอสินค้า (Waiting Cost of idle Crews)

ShC คือ ค่าใช้จ่ายการขาดแคลน (Shortage Cost)

EfB คือ โบนัสงานเสร็จก่อนเวลา (Early finish Bonus)

โดยนำสมการที่ได้ไปศึกษากับโครงการก่อสร้างห้างสรรพสินค้า 13 ชั้น ที่เมือง Istanbul ประเทศตุรกี ซึ่งจากการศึกษาผลที่ได้ว่าค่าใช้จ่ายในการประกอบเหล็กเสริมในโครงการก่อสร้าง น้อยกว่าการประกอบเหล็กเสริมนอกโครงการก่อสร้างประมาณร้อยละ 1.2 ซึ่งความเป็นจริงการผลิตเหล็กเสริมนอกโครงการก่อสร้างจะลดปริมาณการสูญเสียได้มากกว่าการผลิตเหล็กในโครงการก่อสร้างงานเนื่องจากสามารถควบคุมขั้นตอนการผลิตได้

เจต เทียมเสวต (2550) จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า สาเหตุของการสูญเสียวัสดุประเภทเหล็กเสริมคอนกรีต มากที่สุด 3 ลำดับคือ

1. เกิดจากสาเหตุการวางแผนการตัดขนาดของเหล็กไม่ดี ทำให้เศษมากเกินไปและเศษที่เหลือนำไปใช้ต่อไม่ได้
2. เกิดจากสาเหตุการที่คนงานตัดเหล็กผิดขนาด
3. เกิดจากการนำเหล็กไปใช้ พอเหลือแล้วไม่นำกลับมาคืน

และในส่วนของแนวทางการแก้ไขปัญหาการสูญเสียของวัสดุดังกล่าวนั้น ควรตรวจสอบรายการตัดเหล็กเสริมคอนกรีตให้ถูกต้อง เพื่อให้แน่ใจว่าเหล็กเสริมคอนกรีตที่ได้ตัดมานั้น จะไม่

เหลือเศษที่ไม่สามารถนำไปใช้ไปโยชน์กับงานอื่นต่อไปได้ ยังพบว่าถ้าเหลือเหล็กเสริมคอนกรีตจากการทำงานจะมีแนวโน้มเข้าสู่ 1 ใน 3 เส้นทาง ได้แก่

- 1 นำเหล็กเสริมคอนกรีตไปชั่งกิโลขาย
- 2 นำเหล็กเสริมคอนกรีตที่เหลือไปคัดแยกเศษที่ใช้ได้ขนาดต่างๆไว้ใช้ประโยชน์ต่อภายในโครงการ
- 3 นำเหล็กเสริมคอนกรีตที่เหลือไปใช้ต่อกับโครงการอื่น

Richard Vahrenkamp. (1996) ได้ค้นพบว่าการพิจารณารูปแบบการตัดที่ให้เศษน้อยที่สุด โดยให้ความสำคัญในการสุ่มค่าในการจัดลำดับ เพื่อหารูปแบบการตัดที่ดีที่สุด โดยปรับปรุงการคำนวณมาจาก Haessler และ Sweeny (1991) โดยใช้การประมาณค่าเพื่อสร้างหลักเกณฑ์ในการใช้วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic) เพื่อแก้ปัญหาการตัดหนึ่งมิติ โดยการจัดกลุ่มที่เป็นไปได้ตามเงื่อนไข โดยสุ่มค่าความยาวที่ต้องการของเหล็กเส้น (Random) มาหนึ่งค่า เพื่อทำการวนรอบ (Loop) ตามเงื่อนไขจนกว่าจะได้การตัดที่ให้เศษน้อยที่สุดเพื่อเปรียบเทียบจำนวนครั้งในการตัด จากนั้นจึงทำการสุ่มค่าจำนวนครั้งที่ได้ จะสามารถสร้างรูปแบบการตัดได้

เมื่อได้รูปแบบการตัดตามความต้องการและจำนวนของเหล็กเส้นแล้ว จะต้องทำการหาปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจากการตัด การใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นโดยผู้วิจัยเนื่องจากปัญหาการตัดวัสดุหนึ่งมิติ เป็นปัญหาที่ต้องใช้เวลาเพื่อที่จะพิจารณาคำตอบทุกคำตอบที่เป็นไปได้ ทำให้การประยุกต์ใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นตรง ซึ่งเป็นวิธีการในการหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบจริง (Exact Algorithms) ในการหาคำตอบอาจทำไม่ได้กับปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อน ดังนั้นการหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบประมาณจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมกว่า เช่น วิธีสุ่มค่า (Random) วิธีเจเนติกอัลกอริทึมส์ (Genetic algorithms) เป็นต้น

สันติ ชินานุวัตรวิงส์ (2532) ได้กล่าวถึงวิธีการควบคุมการสูญเสียเหล็กเสริมคอนกรีตในโครงการก่อสร้าง สามารถลดการสูญเสียเหล็กเสริมในขั้นตอนการก่อสร้างแยกได้เป็น 2 ขั้นตอน

ขั้นตอนแรก คือ การเก็บข้อมูลรายการเหล็กเสริมในโครงการก่อสร้าง สำหรับหลักในการทำให้เหล็กเสริมสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ในขั้นตอนการออกแบบให้เกิดรอยต่อน้อยที่สุด คือ ต่อทาบเหล็กเท่าที่จำเป็น โดยพยายามใช้เหล็กให้เต็มความยาว 10 เมตร หรือ 12 เมตร
2. ออกแบบให้ใช้จำนวนความยาวเป็นเลขลงตัวของเหล็กเส้นเต็ม
3. ออกแบบให้มีจำนวน ความยาวน้อยที่สุด

การทำรายการเหล็กเสริมจากแบบ จะเป็นการวางแผนการใช้เหล็กเสริมล่วงหน้า ว่าเหล็กเสริมแต่ละขนาด มีจำนวน ความยาวเท่าไร จะนำไปใช้ที่ใดบ้าง ซึ่งทำให้การใช้เหล็กเสริมมี

ระเบียบแบบแผนที่ดีและมีประสิทธิภาพ อีกทั้งเพื่อใช้ในการจัดรูปแบบการตัดเหล็กเสริมให้เหลือเศษน้อยที่สุด

ขั้นตอนสอง คือ การจัดกลุ่มตัดเหล็ก เป็นการลดเศษที่เกิดขึ้นจากการตัดโดยตรงในการวิเคราะห์จะใช้ทฤษฎีในการจัดหมู่ เพื่อให้เกิดรูปแบบทั้งหมดที่ไม่ซ้ำกัน หลังจากนั้นตรวจสอบกับสมมุติฐานที่ตั้งขึ้นมา เพื่อจัดรูปแบบที่เป็นไปได้ของเหล็กเสริมให้มีจำนวนน้อยลงอยู่ในขอบข่ายที่แก้ปัญหาโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ได้ จากนั้นใช้ทฤษฎีโปรแกรมเชิงเส้นตรง ในการจัดรูปแบบกลุ่มเหล็กที่ให้เศษน้อยที่สุด หลังจากนั้นจึงใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นช่วยวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ผลที่รวดเร็วขึ้นและจากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างโดยใช้ ไมโครคอมพิวเตอร์ สามารถลดเศษเหล็กที่เกิดขึ้นได้จริง จากการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากโครงการก่อสร้างทั้ง 3 โครงการ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2. 3 ผลการวิเคราะห์เศษเหล็กโดยการใช้โปรแกรมเปรียบเทียบกับเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจริงในโครงการก่อสร้าง

ตัวอย่างที่	ร้อยละของเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจริง	ร้อยละของเศษเหล็กที่เกิดขึ้น(ใช้โปรแกรม)
1	6.80	0.49
2	12	2.63
3	15	0.37

จากตารางที่ 2.3 จะเห็นได้ว่า จากการใช้ทฤษฎี การจัดหมู่ (Combination) ใช้หารูปแบบการจัดกลุ่มเหล็กเสริมที่เป็นไปได้ทั้งหมด และทฤษฎีโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) เพื่อหา กลุ่มเหล็กที่ให้เศษจากการตัดน้อยที่สุด พบว่า การจัดกลุ่มเหล็กเสริมแต่ละโครงการโดยวิธีที่ทำการวิจัย สามารถจัดเหล็กเสริมให้มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้อยกว่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นโดยไม่มีการจัดกลุ่ม

Abraham Silberschatz (2008) ได้กล่าวว่า First-Fit และ Best-Fit คืออัลกอริทึมสำหรับกระบวนการจัดการแบ่งส่วน หรือจัดสรรหน่วยความจำข้อมูล (Memory Management) ซึ่งดำเนินการในระบบปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ โดยอัลกอริทึมทั้งสองมีคุณสมบัติดังนี้

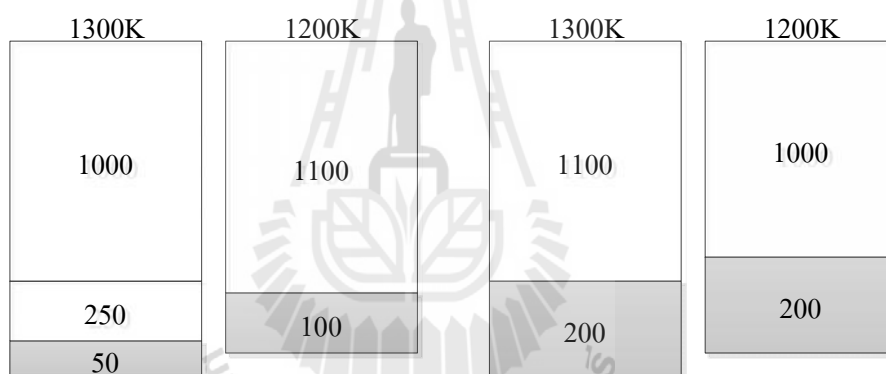
First-Fit เป็นอัลกอริทึมที่ทำการจัดสรรพื้นที่หน่วยความจำจากบล็อกแรกที่มีขนาดใหญ่ก่อน

Best-Fit เป็นอัลกอริทึมที่ทำการจัดสรรพื้นที่หน่วยความจำที่เล็กที่สุด และมีขนาดใหญ่

ตารางที่ 2. 4 First-Fit and Best-Fit (1)

Request	First-Fit	Best-Fit
	1300, 1200	1300, 1200
1000	300, 1200	1300, 1200
1100	300, 100	200, 200
250	50, 100	Stuck

จากตารางที่ 2.4 เป็นตัวอย่างแสดงอัลกอริทึมที่ทำการจัดสรรพื้นที่หน่วยความจำโดยกำหนดพื้นที่หน่วยความจำที่ 1300 และ 1200 โดยต้องการใช้หน่วยความจำที่ต้องการ 1000 , 1100 และ 250 ตามลำดับ โดยใช้วิธี First-Fit และ Best-Fit ในการจัดสรรพื้นที่ดังรูปที่ 2.1

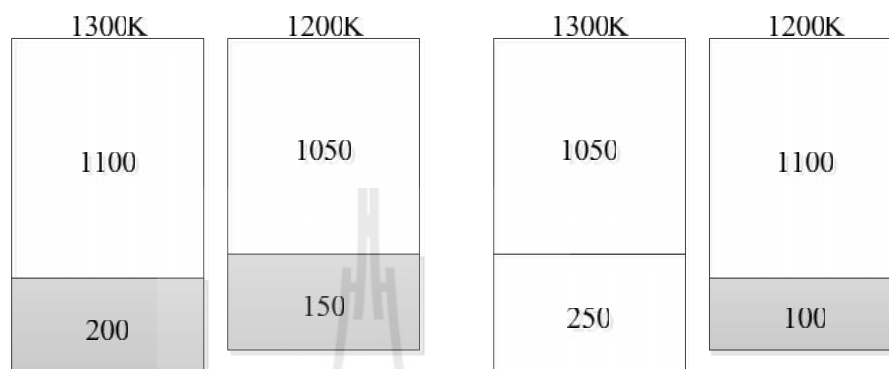


รูปที่ 2. 1 การจัดสรรพื้นที่หน่วยความจำ First-Fit and Best-Fit (1)

ตารางที่ 2. 5 First-Fit and Best-Fit (2)

Request	First-Fit	Best-Fit
	1300,1200	1300,1200
1100	200, 1200	1300, 100
1050	200, 150	250, 200
250	stuck	0,200

จากตารางที่ 2.5 เป็นตัวอย่างแสดงอัลกอริทึมที่ทำการจัดสรรพื้นที่หน่วยความจำโดยกำหนดพื้นที่หน่วยความจำที่ 1300 และ 1200 โดยต้องการใช้หน่วยความจำที่ต้องการ 1100 , 1050 , 250 ตามลำดับ โดยใช้วิธี First-Fit และ Best-Fit ในการจัดสรรพื้นที่ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2. 2 การจัดสรรพื้นที่หน่วยความจำ First-Fit and Best-Fit (2)

โดยอัลกอริทึมทั้งสองนั้น ทางผู้วิจัยมีแนวความคิดที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยการจัดลำดับการตัด-คัดเหล็กเส้นได้ เมื่อนำอัลกอริทึม First-Fit และ Best-Fit มาประยุกต์ใช้คือการเลือกการจัดรูปแบบของการตัดเหล็กเส้น สามารถทำให้ลดการสูญเสียเหล็กเส้นที่เกิดจากการตัดได้

2.4 สถิติสำหรับการวิจัย

ณัทย์ ราตรี (2554) เมื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจะต้องทำการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อสรุปผลการวิจัย ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ซึ่งจำเป็นต้องใช้วิธีการทางสถิติช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) เป็นการนำเสนอข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาบรรยายถึงลักษณะของข้อมูลที่เก็บมาได้ ทั้งในรูปแบบของตาราง ข้อความ แผนภูมิ หรือกราฟต่างๆ และค่าสถิติต่างๆ

2. สถิติเชิงอนุมาน (Inference Statistics) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลตัวอย่าง แล้วนำผลการวิเคราะห์นั้นอ้างอิงถึงลักษณะที่สำคัญของประชากร โดยใช้หลักเกณฑ์ของความน่าจะเป็นและสถิติเชิงอนุมาน ซึ่งจะประกอบด้วย การประมาณค่า การทดสอบสมมติฐานที่ใช้พารามิเตอร์ และที่ไม่ใช่พารามิเตอร์ เป็นต้น

2.4.1 การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง

การหาค่าของข้อมูลเพื่อใช้เป็นตัวแทนของข้อมูล เพื่อเป็นประโยชน์ในการเปรียบเทียบข้อมูลแต่ละชุด โดยไม่จำเป็นต้องพิจารณาข้อมูลทั้งหมดของแต่ละชุด สถิติของการวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางที่นิยมใช้ คือ ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่ามัธยฐาน (Median) ค่าฐานนิยม (Mode) ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ (Percentile) ค่าเดไซล์ (Decile) และควอไทล์ (Quatile) เป็นต้น

ค่าเฉลี่ย (Mean) ใช้สัญลักษณ์ $\bar{X}$ สำหรับค่าเฉลี่ยที่ได้มาจากกลุ่มตัวอย่างและใช้สัญลักษณ์ m สำหรับค่าเฉลี่ยที่ได้มาจากประชากรทั้งหมด การคำนวณหาค่าเฉลี่ยทำได้ 2 แบบคือการหาคำนวณหาค่าเฉลี่ยจากข้อมูลดิบที่ไม่อยู่ในรูปแบบของตารางแจกแจงความถี่ และการหาคำนวณหาค่าเฉลี่ยจากข้อมูลจัดกลุ่มที่อยู่ในรูปของตารางแจกแจงความถี่ ดังนี้

คำนวณหาค่าเฉลี่ยจากข้อมูลดิบที่ไม่อยู่ในรูปของตารางแจกแจงความถี่ดังสมการที่ (2.2)

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (2.2)$$

โดยที่ $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ย
 $\sum_{i=1}^N X_i$ คือ ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด
 N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

คำนวณหาค่าเฉลี่ยจากข้อมูลจัดกลุ่มที่อยู่ในรูปของตารางแจกแจงความถี่

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N f_i X_i}{N} \quad (2.3)$$

โดยที่ $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ย
 $\sum_{i=1}^N f_i X_i$ คือ ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด
 N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2.4.2 การคำนวณค่าสถิติต่างๆ ของการวัดการกระจายข้อมูล

ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, S.D.)

ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, S.D.) คือค่ารากที่สองของผลรวมของความแตกต่างระหว่างข้อมูลกับค่าเฉลี่ยยกกำลังสอง (sum of squares ของผลต่าง)หารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด โดยที่สัญลักษณ์ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมี 2 ลักษณะดังนี้

s ใช้กับข้อมูลที่เก็บมาจากการประชากรทั้งหมด

S ใช้กับข้อมูลที่เก็บมาจากกลุ่มตัวอย่าง

ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสามารถคำนวณหาได้ 2 แบบ คือ การคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากข้อมูลดิบที่ไม่อยู่ในรูปของตารางแจกแจงความถี่ และการคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากข้อมูลจัดกลุ่มที่อยู่ในรูปของตารางแจกแจงความถี่ ซึ่งมีวิธีการดังนี้

การหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากข้อมูลดิบที่ไม่อยู่ในรูปของตารางแจกแจงความถี่

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X - m)^2}{N}} \quad (\text{สำหรับข้อมูลที่ได้จากการประชากร})$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N - 1}} \quad (\text{สำหรับข้อมูลที่ได้จากกลุ่มตัวอย่าง})$$

โดยที่ s หรือ S คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X คือ ข้อมูลแต่ละจำนวน

m หรือ $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดนั้น

N คือ จำนวนข้อมูลจากการประชากรทั้งหมด

n คือ จำนวนข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง

การหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากข้อมูลจัดกลุ่มที่อยู่ในรูปของตารางแจกแจงความถี่

$$s = i \sqrt{\frac{\sum fd^2}{N} - \left(\frac{\sum fd}{N} \right)^2} \quad (\text{สำหรับข้อมูลที่ได้จากการประชากร})$$

$$S = i \sqrt{\frac{n \sum fd^2 - (\sum fd)^2}{n(n-1)}} \quad (\text{สำหรับข้อมูลที่ได้จากกลุ่มตัวอย่าง})$$

โดยที่ s หรือ S คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N คือ จำนวนข้อมูลจากประชากรทั้งหมด

n คือ จำนวนข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง

i คือ อันดับภาคชั้น (ช่วงห่างของข้อมูลแต่ละชั้น)

f คือ ความถี่ของคะแนน

d คือ ค่ากึ่งกลางอันดับภาคชั้น

2.4.3 ความหมายของสมมติฐาน

สมมติฐาน คือข้อสมมุติที่กำหนดขึ้นจากความเชื่อของบุคคลใดบุคคลหนึ่ง หรือจากความเชื่อของบุคคลทั่วไป ซึ่งอาจจะเป็นจริงหรือไม่จริงก็ได้ ดังนั้นเพื่อให้ทราบแน่ชัดว่าความเชื่อเหล่านั้นถูกต้องหรือไม่จึงต้องมีการทดสอบ

การทดสอบสมมติฐาน คือกฎเกณฑ์บนพื้นฐานของข้อมูลที่ใช้ตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่คาดไว้ ถ้าทดสอบโดยอาศัยวิธีการทางสถิติเข้ามาช่วยจะเรียกว่า การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ (Statistical Hypothesis Testing)

สมมติฐานเพื่อการทดสอบเชิงสถิติ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. สมมติฐานว่าง หรือสมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) เขียนแทนด้วย H_0
2. สมมติฐานแย้ง หรือสมมติฐานทางเลือก (Alternative Hypothesis) เขียนแทนด้วย H_1

ในการตั้งสมมติฐาน โดยการทั่วไปสมมติฐานหลัก H_0 จะแสดงถึงสมมติฐานที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมีความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ ถ้าในรูปของสัญลักษณ์ก็จะมีเครื่องหมายเท่ากับ หรือไม่เท่ากับ น้อยกว่าหรือมากกว่า โดยสมมติฐานแย้ง H_1 เป็นสมมติฐานที่ตรงข้ามกับ H_0 และ เป็นสิ่งที่ผู้วิจัยคาดว่าจะเป็นอย่างจริง

การทดสอบสมมติฐานแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

- การทดสอบสมมติฐานแบบข้างเดียว (One-Sided Test) คือการทดสอบสมมติฐานที่สมมติฐานแย้ง หรือ H_1 มีเครื่องหมายมากกว่าหรือน้อยกว่าอย่างใดอย่างหนึ่ง
- การทดสอบสมมติฐานแบบสองข้าง (Two-Sided Test) คือการทดสอบสมมติฐานที่สมมติฐานแย้งหรือ H_1 มีความหมายเป็นไม่เท่ากับ

บริเวณวิกฤต (Critical Region)

ในการทดสอบสมมติฐานจะต้องมีการตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

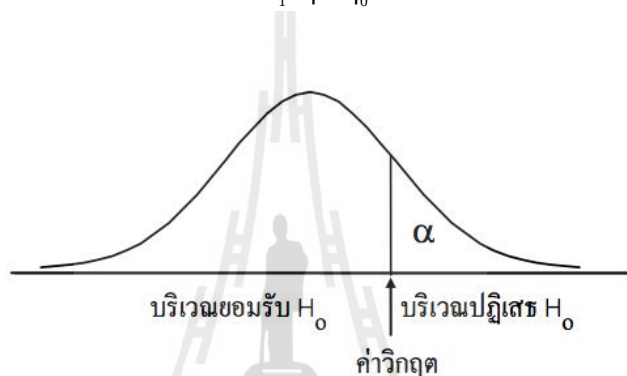
บริเวณวิกฤต คือ บริเวณที่จะปฏิเสธสมมุติฐานหลัก ซึ่งบริเวณวิกฤตจะขึ้นอยู่กับชนิดของการทดสอบสมมุติฐานว่าเป็นแบบข้างเดียวหรือสองข้าง และระดับนัยสำคัญของการทดสอบ (α)

ถ้ากำหนดให้ q แทนค่าพารามิเตอร์ q_0 คือค่าคงที่ บริเวณวิกฤตจะพิจารณาได้ดังนี้

1) บริเวณวิกฤตกรณีที่เป็นการทดสอบแบบข้างเดียว

$$H_0 : q \leq q_0 \quad (2.4)$$

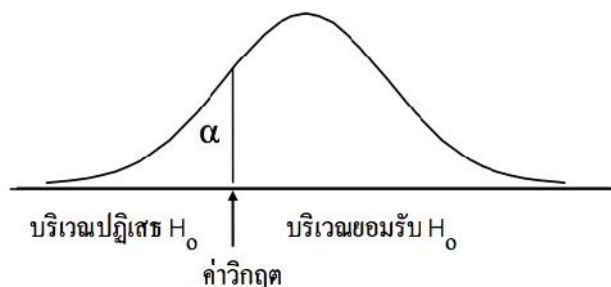
$$H_1 : q > q_0 \quad (2.5)$$



รูปที่ 2. 3 การทดสอบทางเดียวที่บริเวณวิกฤตอยู่ทางขวา

$$H_0 : q \geq q_0 \quad (2.6)$$

$$H_1 : q < q_0 \quad (2.7)$$

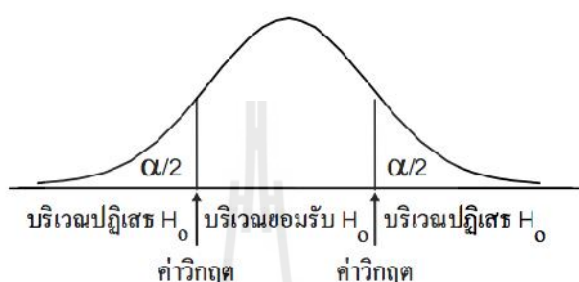


รูปที่ 2. 4 การทดสอบทางเดียวที่บริเวณวิกฤตอยู่ทางซ้าย

2) บริเวณวิกฤตการณ์ที่เป็นการทดสอบแบบสองข้าง

$$H_0 : q = q_0 \quad (2.8)$$

$$H_1 : q \neq q_0 \quad (2.9)$$



รูปที่ 2. 5 การทดสอบสองทางที่บริเวณวิกฤตอยู่ทางซ้ายและขวา

ความผิดพลาดในการทดสอบสมมุติฐาน

ในการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติ ย่อมจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้ ซึ่งความผิดพลาดที่เกิดขึ้นแบ่งเป็น 2 ชนิด ดังนี้

ความผิดพลาดชนิดที่ 1 (Type I error) คือความผิดพลาดเนื่องจากการปฏิเสธ H_0 เมื่อ H_0 เป็นจริง โดยจะให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดประเภท 1 เท่ากับ α (เรียก α ว่าระดับนัยสำคัญ (significance level))

นั่นคือ

$$\alpha = P [\text{Type I error}] \quad (2.10)$$

ความผิดพลาดชนิดที่ 2 (Type II error) คือความผิดพลาดเนื่องจากการยอมรับ H_0 เมื่อ H_0 ไม่จริง และความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดชนิดที่ 2 เท่ากับ β

นั่นคือ

$$\beta = P [\text{Type II error}] \quad (2.11)$$

จากความคิดพลาดทั้ง 2 ชนิดจะสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 2.6 การตัดสินใจยอมรับความจริงของการทดสอบสมมติฐาน

การตัดสินใจ	ความเป็นจริง	
	H_0 เป็นจริง	H_0 ไม่จริง
ยอมรับ H_0	ตัดสินใจถูกต้อง	ความคิดพลาดชนิดที่ 2
ปฏิเสธ H_0	ความคิดพลาดชนิดที่ 1	ตัดสินใจถูกต้อง

โดยทั่วไปในการทดสอบสมมติฐาน ผู้ทดสอบจะกำหนดค่า α ถ้าต้องการค่า α น้อยๆ จะทำให้ค่า β มีค่ามาก วิธีการแก้ปัญหาคือจะทำให้ทั้ง α และ β มีค่าน้อยคือการเพิ่มขนาดของตัวอย่าง

ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานจะแบ่งเป็น 6 ขั้นตอนดังนี้

1. ตั้งสมมติฐาน คือ การตั้งสมมติฐาน H_0 และ H_1 และจะต้องพิจารณาด้วยว่าเป็นการทดสอบแบบข้างเดียวหรือสองข้าง
2. กำหนดระดับนัยสำคัญ คือ การกำหนดค่าของ α โดยทั่วไปจะกำหนด $\alpha = 0.01, 0.05$ และ 0.10
3. เลือกสถิติทดสอบ การเลือกตัวอย่างทดสอบนั้นจะขึ้นอยู่กับว่าเป็นการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอะไร เช่นเป็นการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ย ตัวสถิติทดสอบ
4. หาบริเวณวิกฤต ซึ่งเป็นบริเวณที่จะปฏิเสธ H_0 บริเวณวิกฤตนั้นจะขึ้นอยู่กับสมมติฐานของการทดสอบว่าเป็นการทดสอบแบบทางเดียวหรือสองทาง ระดับนัยสำคัญเท่าใด และเลือกใช้ตัวสถิติอะไรมาทำการทดสอบ
5. คำนวณค่าสถิติ โดยการแทนค่าต่างๆ ที่โจทย์ให้ในสูตรของตัวทดสอบ (ข้อ 3)
6. สรุปผล การทดสอบว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธ H_0 ซึ่งจะพิจารณาจากค่าสถิติที่คำนวณได้ และบริเวณวิกฤต ถ้าค่าสถิติตกอยู่ในบริเวณวิกฤตจะปฏิเสธ H_0 แต่ถ้าค่าสถิติไม่ตกในบริเวณวิกฤตจะยอมรับ H_0

2.4.4 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากร

สถิติทดสอบ ขึ้นอยู่กับการแจกแจงของประชากร ขนาดของตัวอย่างและการทราบค่า s^2 หรือไม่ซึ่งแยกเป็นกรณีต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ถ้าประชากรมีการแจกแจงปกติ ทราบค่า s^2 และตัวอย่างเป็นตัวอย่างสุ่มขนาด n สถิติทดสอบคือ

$$Z = \frac{\bar{x} - m}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (2.12)$$

2. ไม่ทราบค่า s^2 แต่ขนาดตัวอย่างสุ่มใหญ่ ($n \geq 30$)

สถิติทดสอบคือ

$$Z = \frac{\bar{x} - m}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (2.13)$$

3. ไม่ทราบค่า s^2 ประชากรมีการแจกแจงปกติ แต่ขนาดตัวอย่างสุ่มเล็ก ($n < 30$)

สถิติทดสอบคือ

$$T = \frac{\bar{x} - m}{\frac{s}{\sqrt{n}}}, \text{ องศาความเป็นอิสระ } v = n - 1 \quad (2.14)$$

กำหนดให้ m แทนค่าเฉลี่ยของประชากร และถ้า m_0 คือค่าของ m ที่คาดไว้ การทดสอบสมมติฐานสามารถแบ่งได้ 3 กรณีดังนี้

ตารางที่ 2. 7 การทดสอบสมมติฐาน

สมมติฐาน	สมมติฐานทดสอบ	บริเวณวิกฤต
$H_1 : m > m_0$	$Z = \frac{\bar{x} - m_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$ หรือ $Z = \frac{\bar{x} - m_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$ $T = \frac{\bar{x} - m_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$	$Z \geq z_a$ $Z \geq t_{a, (n-1)}$
$H_1 : m < m_0$	$Z = \frac{\bar{x} - m_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$ หรือ $Z = \frac{\bar{x} - m_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$ $T = \frac{\bar{x} - m_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$	$Z \leq -z_a$ $Z \leq -t_{a, (n-1)}$
$H_1 : m \neq m_0$	$Z = \frac{\bar{x} - m_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$ หรือ $Z = \frac{\bar{x} - m_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$ $T = \frac{\bar{x} - m_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$	$Z \geq z_{\frac{a}{2}}$ หรือ $Z \leq -z_{\frac{a}{2}}$ $Z \geq t_{\frac{a}{2}, (n-1)}$ หรือ $Z \leq -t_{\frac{a}{2}, (n-1)}$

การทดสอบค่าความแปรปรวนประชากร

ค่าความแปรปรวนของประชากรเป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่มีความสำคัญในวิชาสถิติ เป็นมิติที่สองสำหรับการพรรณนาเชิงสถิติ และเป็นส่วนสำคัญสำหรับการกำหนดตัวสถิติทดสอบเมื่อต้องการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยถ้าเป็นประชากรเดียว และสองประชากร

ถ้าเป็นประชากรเดียว การกำหนดสมมติฐานค่าความแปรปรวนประชากรเริ่มต้นที่

$$H_0 : s^2 = s_0^2 \quad (2.15)$$

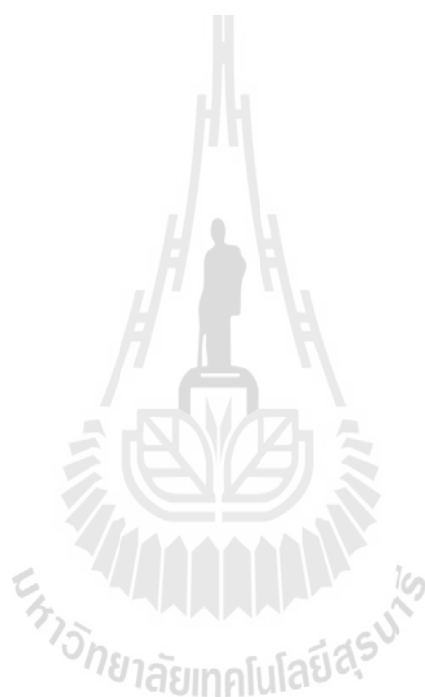
เมื่อ s_0^2 คือค่าแปรปรวนที่เจาะจงค่าหนึ่ง แล้วใช้ไคสแควร์เป็นตัวทดสอบสถิติทดสอบ

ถ้าต้องการเปรียบเทียบค่าความแปรปรวนจาก 2 ประชากร การกำหนดสมมติฐานจะเริ่มต้นที่

$$H_0 : s_1^2 = s_2^2 \text{ หรือ } H_0 : \frac{s_1^2}{s_2^2} = 1 \quad (2.16)$$

โดยใช้ $F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$ เป็นตัวทดสอบสถิติ

กรณีที่ 3 ประชากรขึ้นไป สามารถใช้วิธีทดสอบความแปรปรวนประชากรเท่ากัน ได้
ด้วยวิธีอื่นๆ เช่น วิธีของเลวินหรือบาร์ทเลต เป็นต้น



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

จากการวิจัยจะใช้แบบสอบถามและการสัมภาษณ์โดยจะดำเนินการสัมภาษณ์วิศวกรและช่างเหล็กในโครงการก่อสร้างจำนวน 30 โครงการ จาก 28 บริษัท โดยส่วนใหญ่ลักษณะการทำงานของผู้ตอบแบบสอบถามเป็นโครงการก่อสร้างประเภทตึกสูง ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลนั้นเป็นแบบสอบถามและการสัมภาษณ์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเอง จำนวน 1 ฉบับ โดยนำรูปร่างชิ้นงานจากงานก่อสร้างจริง เป็นงานประเภทอาคารสูงเพื่อใช้เป็นโจทย์เดียวกันในการหารูปแบบและอัลกอริทึมในการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุด

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยให้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ตามที่กำหนดไว้มีดังนี้

- 3.1.1 ศึกษาทบทวนสาเหตุและการสูญเสียเหล็กเส้นจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 3.1.2 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการจัดลำดับตัดเหล็กเส้น รวมทั้งการเก็บข้อมูลประวัติการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการตัดเหล็กเส้นและการวางแผนการทำงานกระบวนการคิดจากการตอบแบบสอบถามและสัมภาษณ์ของวิศวกรและช่างเหล็ก
- 3.1.3 จัดกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและช่างเหล็กโดยแบ่งกลุ่มจากรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่คล้ายกันให้อยู่กลุ่มเดียวกัน
- 3.1.4 คำนวณปริมาณการสูญเสียเหล็กเส้นที่เกิดจากการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและช่างเหล็ก
- 3.1.5 วิเคราะห์ปริมาณค่าเฉลี่ยการสูญเสียเหล็กเส้นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการจัดลำดับตัดเหล็กเส้นแต่ละกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเปรียบเทียบผลจากการใช้ โปรแกรม Microsoft Excel
- 3.1.6 สรุปผลการวิจัยและแนะนำข้อเสนอแนะ

3.2 ประเด็นปัญหาที่ทำการสำรวจ

เนื่องจากเหล็กเส้นเป็นวัสดุสำคัญของโครงการก่อสร้าง มีการใช้เป็นจำนวนมาก ซึ่งราคาวัสดุเหล็กเส้นนั้นมีราคาสูง และปัญหาที่พบบ่อยของการสูญเสียเหล็กเส้นเกิดจากการตัดเหล็กเส้นเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนของการทำงานในโครงการก่อสร้าง ซึ่งมักจะเกี่ยวข้องกับวิศวกรและช่างเหล็ก หากวิศวกรและช่างเหล็กไม่มีกระบวนการคิดการบริหารจัดการเหล็กเส้นที่ต้องการใช้ที่ดี ถ้าขาดความเข้าใจและไม่คำนึงถึงการสูญเสียเหล็กเส้นจะทำให้โครงการก่อสร้างเกิดการขาดทุนได้ เพราะเศษเหล็กที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้างมีปริมาณมากนั้น เกิดจากการขาดวิธีการวางแผนการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ดีเพื่อลดปริมาณการสูญเสียเหล็กเส้น เมื่อทำการสำรวจโครงการก่อสร้างหากพบว่ามีปัจจัยและวิธีการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ใช้แล้วทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยลง การทำการวิจัยก็จะนำไปใช้เป็นแนวทางในการใช้ควบคุมและบริหารงานก่อสร้างเพื่อลดการสูญเสียทั้งวัสดุและเงินทุน

อีกทั้งการสำรวจโครงการก่อสร้างยังมุ่งเน้นเพื่อหาแนวทางที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียของเหล็กเส้น โดยเฉพาะผู้รับเหมาที่มีความสนใจในการคิดแก้ไขปัญห แต่ขาดความเข้าใจ ขาดแนวทาง และความรู้พื้นฐานที่จำเป็นเข้ามาช่วยแก้ปัญหา

3.2.1 โครงการก่อสร้างตัวอย่างที่ทำการศึกษา

โครงการก่อสร้างตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาต้องยังดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งจะใช้วิธีการสัมภาษณ์และตอบแบบสอบถาม โดยทำการศึกษาโครงการก่อสร้างจำนวน 30 โครงการ จาก 28 บริษัท เพื่อทำการเก็บข้อมูลการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นวิศวกรจำนวน 30 คน และช่างเหล็กจำนวน 30 คน โดยการศึกษาการสูญเสียเหล็กเส้นที่เกิดจากการตัดจากแบบเท่านั้น โดยแบบสอบถามที่ใช้เป็นโจทย์เดียวกันที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นจำนวน 1 ฉบับ

วิธีการที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่างจากการสังเกตหน้างาน ใช้การสุ่มโดยกำหนดเลือกโครงการเอง (Purposive Sampling) โดยเลือกโครงการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก และอยู่ในระหว่างการทำงานเกี่ยวกับงานโครงสร้าง เพื่อความสะดวกและประโยชน์ต่อการเก็บข้อมูล

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีรูปแบบเป็นแบบสอบถามและสัมภาษณ์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเอง จำนวน 1 ฉบับ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

เป็นการสอบถามข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยเขียนคำตอบและเติมเครื่องหมายถูกลงในช่องที่กำหนดไว้ตรงกับข้อมูลของผู้ตอบแบบสอบถาม

เพศ	☐ ชาย	☐ หญิง
อายุ	☐ 20 - 25 ปี	☐ 26 - 30 ปี
	☐ 30 - 35 ปี	☐ มากกว่า 35 ปี
ประสบการณ์ทำงานเกี่ยวกับการตัด – คัดเหล็ก		
	☐ 1 - 5 ปี	☐ 6 - 10 ปี
	☐ 10 - 15 ปี	☐ มากกว่า 15 ปี
งานที่ทำการก่อสร้างส่วนใหญ่เป็นงานประเภทใด		
	☐ ที่พักอาศัย บ้านจัดสรร	☐ ดึงสูง
	☐ สาธารณูปโภค	☐ อื่นๆ (.....)

รูปที่ 3. 1 ตัวอย่างแบบสอบถามข้อมูลทั่วไป (ส่วนที่ 1)

จากรูปที่ 3.1 เป็นตัวอย่างแบบสอบถามข้อมูลทั่วไป ในส่วนที่ 1 ประกอบด้วย 5 ข้อ

1. ถามชื่อบริษัท ประเภทของโครงการ มูลค่าของโครงการ และตำแหน่ง โดยการเขียนคำตอบ

2. เพศของผู้ตอบแบบสอบถามแบ่งเป็น 2 เพศ คือ ชายและหญิง โดยให้เขียนเครื่องหมายถูกลงในช่องข้อมูลเพศของผู้ตอบแบบสอบถาม

3. อายุของผู้ตอบแบบสอบถามแบ่งช่วงอายุของออกเป็น 4 ช่วง คือ 20-25 ปี, 26-30 ปี, 30-35 ปี และมากกว่า 35 ปี โดยให้เขียนเครื่องหมายถูกลงในช่องข้อมูลอายุของผู้ตอบแบบสอบถาม

4. ประสบการณ์ทำงานเกี่ยวกับการตัดเหล็กออกเป็น 4 ช่วง คือ 1-5 ปี, 6-10 ปี, 10-15 ปี และมากกว่า 15 ปี โดยให้เขียนเครื่องหมายถูกลงในช่องข้อมูลประสบการณ์ทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม

5. งานที่ทำการก่อสร้างส่วนใหญ่เป็นงานประเภทใดแบ่งประเภทของงานออกเป็น 4 ประเภท คือ ที่พักอาศัยและบ้านจัดสรร, ตึกสูง, สาธารณูปโภค, อื่นๆ โดยให้เขียนเครื่องหมายถูกลงในช่องข้อมูลงานที่ทำการก่อสร้างส่วนใหญ่เป็นงานประเภทใดของผู้ตอบแบบสอบถาม

คำถามในแบบสอบถามทั้ง 5 ข้อในการเก็บข้อมูลในส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป จากการตอบแบบสอบถามทำให้ทราบถึงข้อมูลและจำนวนของผู้ตอบแบบสอบถาม ซึ่งจากข้อมูลเบื้องต้นนี้สามารถนำมาวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อการการสูญเสียเหล็กเส้น

ส่วนที่ 2 รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น

เป็นการสร้างโจทย์โดยผู้วิจัยได้สร้างขึ้นจากแบบรายการตัดเหล็กเส้น (Bar Cut List) ที่ได้มาจากแบบรายละเอียดการเสริมเหล็ก (Shop drawing) ซึ่งจะใช้แบบก่อสร้าง (Construction drawing) ที่ใช้จากงานก่อสร้างจริงเป็นหลัก ในการออกแบบการวางตำแหน่งของเหล็กเส้น โดยผู้วิจัยสร้างรูปแบบการตัดเหล็กเส้น ประกอบด้วย ฐานราก พื้น เสา และคาน มีขนาดเหล็กเส้นต่างๆกัน จำนวน 7 ขนาด ได้แก่ DB28 DB25 DB20 DB16 DB12 RB9 และ RB6 ซึ่งแต่ละขนาดของเหล็กเส้นจะมีรูปร่างชิ้นงานอย่างละ 5 รูปแบบ ความยาวและจำนวนที่ต้องการใช้แตกต่างกันออกไป แสดงขนาดของเหล็กเส้น ความยาวที่ต้องการตัด และจำนวนท่อนที่ต้องการใช้ในโจทย์ตัวอย่างดังรูปที่ 3. 2

รูปร่างชิ้นงาน	ขนาด	ความยาว (เมตร/ท่อน)	จำนวน (ท่อน)	ความยาวที่ตัด (เมตร/ท่อน)	หมายเหตุ
	DB28	0.95	6		
	DB25	1.75	4		
	DB25	1.8	3		
	DB20	3.75	3		
	DB16	3.2	3		
	DB12	1.4	4		
	RB9	3	2		
	RB6	5	2		
	RB6	9.4	1		

รูปที่ 3. 2 ตัวอย่างแบบสอบถามการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น

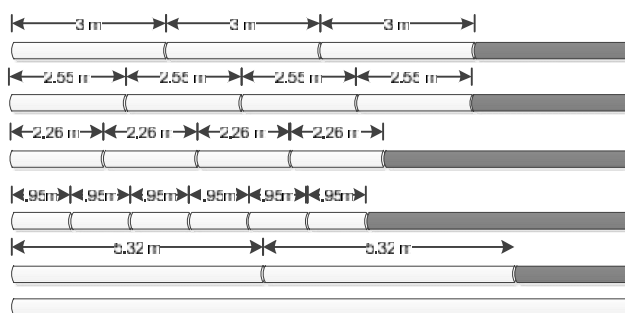
โครงการก่อสร้างทั่วไปจะมีการใช้เหล็กเส้นที่มีความยาวมาตรฐานอยู่ 2 ขนาดคือ 10 เมตร และ 12 เมตร จากโจทย์รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น ผู้วิจัยได้กำหนดให้ใช้ขนาดของเหล็กเส้นแตกต่างกันออกไป จำนวน 7 ขนาด แต่ละขนาดของเหล็กเส้นจะมีเหล็กเส้นเต็ม จำนวน 6

เส้น ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร เท่านั้น ให้วิศวกรและช่างเหล็กตอบแบบสอบถามโดยเขียนการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นลงในส่วนที่ 2 ของแบบสอบถาม ดังรูปที่ 3.3

DB 28

รูปที่ 3. 3 ตัวอย่างการรูปแบบการจัดลำดับขั้นตอนการตัดเหล็กเส้น (ข้อมูลส่วนที่ 2)

จากขนาดเหล็กเส้นที่แตกต่างกันทั้ง 7 ขนาด ได้แก่ DB28 DB25 DB20 DB16 DB12 RB9 และ RB6 แต่ละขนาดมีเหล็กเส้นจำนวน 6 เส้น โดยมีความยาวมาตรฐาน 12 เมตร จากโจทย์ที่ได้ให้วิศวกรและช่างเหล็กตอบแบบสอบถามจากกระบวนการคิด ประสิทธิภาพที่การทำงานเกี่ยวข้องกับการตัดเหล็กเส้น ซึ่งแต่ละบุคคลจะมีกระบวนการจัดลำดับการตัดเหล็กที่แตกต่างกันออกไป เช่น ตัวอย่างคำตอบรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3. 4 ตัวอย่างคำตอบรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น (ข้อมูลส่วนที่ 2)

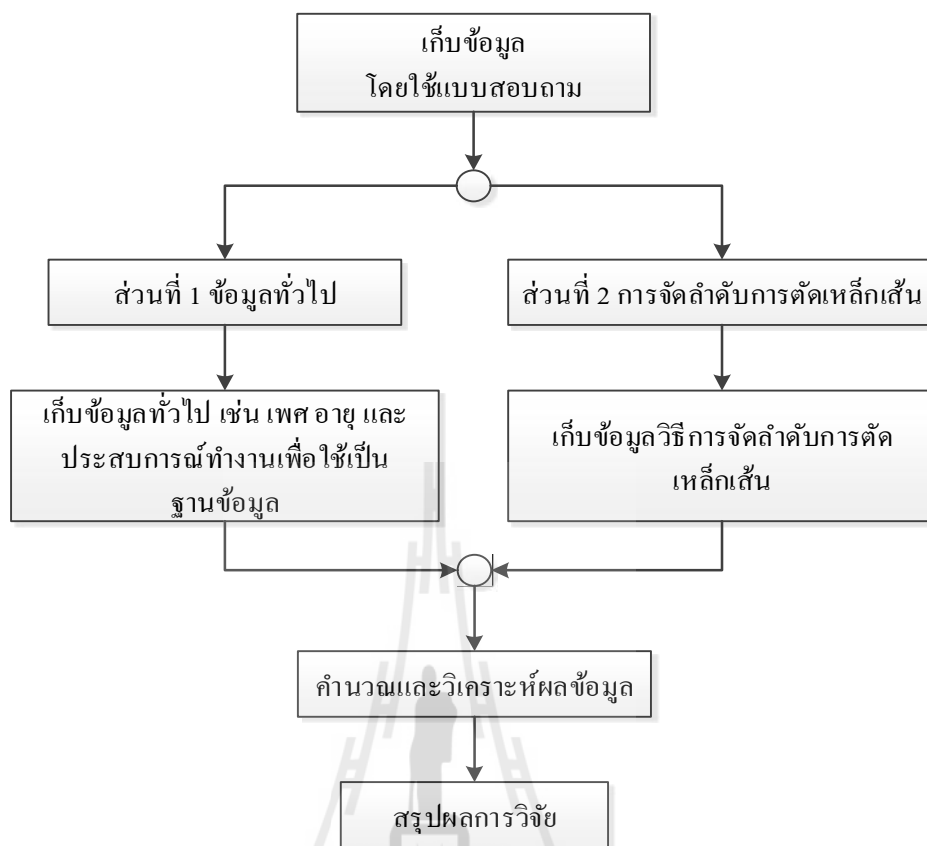
ในส่วนที่ 2 แบบสอบถามซึ่งจะมีการสอบถามถึง ข้อจำกัดของผู้ตอบแบบสอบถามอีก

จำนวน 9 ข้อ ที่มีผลกระทบต่องานที่เกี่ยวข้องกับการตัดเหล็กเส้นดังนี้

1. ในการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและช่างเหล็กเพื่อให้ได้ตามแบบ Bar Cut มีการจัดลำดับการตัดหรือไม่
2. ในการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและช่างเหล็กจะเลือกตัดเหล็กอย่างไรก่อน
3. ในการจัดลำดับการตัดเลือกตัดเหล็กเส้นขนาดใหญ่ก่อนหรือขนาดเล็กก่อน
4. ในการตัดเหล็กตามแบบ Bar Cut จะตัดตามจำนวนของแต่ละแบบนั้นให้เสร็จก่อนหรือคละจำนวนของแต่ละแบบต่อการตัดในเหล็กเส้นเต็มหนึ่งเส้น
5. ค้นพบการเริ่มต้นการตัดเหล็กเส้นรูปแบบนี้ตั้งแต่เมื่อใด
6. ในโครงการก่อสร้างมีการสูญเสียเศษเหล็กเกิดขึ้นทางบริษัทมีวิธีการจัดการอย่างไรกับเศษที่เหลือจากการตัดเหล็กเส้น
7. ผู้บริหารโครงการมีการให้ความสำคัญเกี่ยวกับการสูญเสียเศษเหล็กเส้นหรือไม่ และดำเนินการต่อการสูญเสียเหล็กเส้นอย่างไร
8. ข้อจำกัดของวิศวกรและช่างเหล็กที่มีผลกระทบต่องาน
9. ข้อเสนอแนะและอื่นๆ

3.4 ขั้นตอนการทำงานวิจัย

ในการทำวิจัยสามารถแสดงขั้นตอนการศึกษาโดยแจกแจงเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ 3.5 เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัย ในการวิจัยหาแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นและหาอัลกอริทึมการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุดโดยแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งใช้การเก็บข้อมูลทั่วไป ส่วนที่สองใช้การเก็บข้อมูล การจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นโดยใช้ (Bar Cut List) เพื่อศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นที่เกิดจากการตัดจากแบบเท่านั้น



รูปที่ 3. 5 ขั้นตอนการทำวิจัย

จากคำตอบที่ได้ในแบบสอบถามและสัมภาษณ์ของวิศวกรและช่างเหล็ก นำมาวิเคราะห์ข้อมูลโดยการแบ่งกลุ่มการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่คล้ายกันอยู่กลุ่มเดียวกันและหาอัลกอริทึมในการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุดโดยวิเคราะห์ผลวิจัยทางสถิติเปรียบเทียบกับการประมวลผลทาง Microsoft Excel

3.4.1 การตอบแบบสอบถาม

ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นกำหนดปัญหาของเหล็กเส้นในการลดการสูญเสียเหล็กเส้นที่เกิดขึ้น จากการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น โดยการศึกษาถึงการตัดเหล็กเส้นจากแบบเท่านั้น ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องสร้างรูปแบบโจทย์ที่จำลองการตัดเหล็กเส้นที่มีขึ้นจริงในงานก่อสร้างเมื่อกำหนดและเข้าใจปัญหาอย่างถูกต้องแล้ว ในการวิจัยดำเนินงานจึงได้สำรวจโครงการก่อสร้างเพื่อทำการเก็บข้อมูลปริมาณการสูญเสียเหล็กเส้นเนื่องจากเศษเหล็กที่เกิดจากการตัดเพื่อใช้รูปแบบอัลกอริทึมจากการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุด

จากนั้นต้องทำการบันทึกวิเคราะห์การสูญเสียเหล็กเส้นที่ได้จากการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและช่างเหล็กแต่ละโครงการ (Waste Quantification) รวมถึงอัลกอริทึมการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ของแต่ละบุคคลใช้ในการสร้างรูปแบบการตัดเหล็กเส้น เป็นกระบวนการเริ่มต้นที่จำเป็นในการลดปริมาณการสูญเสียเหล็กเส้น (Waste Minimization) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการแบ่งกลุ่มการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและช่างเหล็กและการหาอัลกอริทึมการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุดเพื่อเป็นแนวทางในการควบคุมและแก้ปัญหาให้แก่ผู้รับเหมาหรือผู้บริหาร โครงการก่อสร้าง ช่วยในการลดการสูญเสียต้นทุน และเพิ่มผลกำไร

3.4.2 การสัมภาษณ์และสังเกตหน้างานจริง

ใช้การสัมภาษณ์และสังเกตหน้างานจริงและกระบวนการคิดการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและช่างเหล็กเพื่อศึกษาถึงรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นและอัลกอริทึมของการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น ข้อจำกัด สภาพแวดล้อมการทำงานและผลกระทบต่อการทำงานของวิศวกรและช่างเหล็กในโครงการก่อสร้างที่ได้ทำการเก็บข้อมูล รวมทั้งศึกษาการบริหารงานของผู้บริหารโครงการก่อสร้างว่าให้ความสำคัญถึงการสูญเสียการใช้เหล็กเส้น โดยเน้นถึงข้อมูลของการสูญเสียเหล็กเส้นเป็นหลักเพื่อหาปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุดที่ทำให้โครงการก่อสร้างได้ประโยชน์เพิ่มมากขึ้น

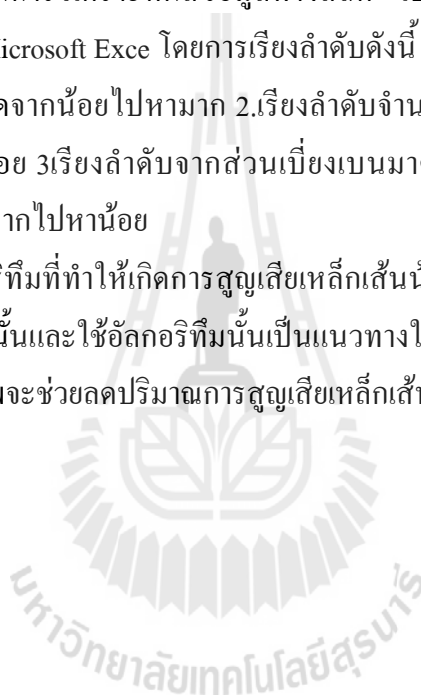
3.4.3 วิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถาม

ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลวิธีการจัดลำดับรูปแบบการตัดเหล็กเส้นและสถานะภาพการทำงานที่เกี่ยวข้องกับเหล็กเส้น ที่ได้จากการสัมภาษณ์และตอบแบบสอบถาม ดังนี้

1. นำข้อมูลที่ได้จากการตอบแบบสอบถามและสัมภาษณ์มาวิเคราะห์จัดกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและช่างเหล็กโดยแบ่งกลุ่มจากรูปแบบการจัดลำดับการตัดที่คล้ายกันอยู่กลุ่มเดียวกัน
2. ศึกษาถึงปัจจัยทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้น โดยการรวบรวมข้อมูลตั้งแต่วิธีการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น อายุ เพศ ประสบการณ์ทำงานที่เกี่ยวข้องกับเหล็กเส้น
3. คำนวณถึงปริมาณการสูญเสียเหล็กเส้นที่เกิดขึ้นจากการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและช่างเหล็ก แต่ละบุคคล โดยการคำนวณผลรวมของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดนั้นค่าของเศษเหล็กที่ไม่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้คือความยาวของรูปร่างชิ้นงานที่ต้องการตัดที่มีความยาวน้อยที่สุดของแต่ละขนาดเหล็กเส้น หาค่าที่เป็นตัวแทนของ

ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา เช่น ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

4. ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเชิงอนุมาน คือการเก็บข้อมูลการสูญเสียหลักเส้นที่เกิดจากการตัดที่ได้ผลข้อมูลจากแบบสอบถามนำมาวิเคราะห์ผลโดยใช้แบบทดสอบ F-Test ทดสอบสมมติฐานค่าความแปรปรวน และ T-Test ทดสอบค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมาเปรียบเทียบกัน
5. เรียงลำดับกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดหลักเส้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียหลักเส้นที่น้อยที่สุดจากการวิเคราะห์ผลข้อมูลทางสถิติ เปรียบเทียบผลโดยประมวลผลด้วยโปรแกรม Microsoft Exce โดยการเรียงลำดับดังนี้ 1.เรียงลำดับจำนวนหลักเส้นเดิมที่ใช้ไปทั้งหมดจากน้อยไปหามาก 2.เรียงลำดับจำนวนหลักเส้นที่ไม่มีการใช้งานจากมากไปหาน้อย 3.เรียงลำดับจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเศษที่เหลือจากการตัดทั้งหมดจากมากไปหาน้อย
6. นำผลอัลกอริทึมที่ทำให้เกิดการสูญเสียหลักเส้นน้อยที่สุดที่เกิดจากการตัดหลักเส้นจากแบบเท่านั้นและใช้อัลกอริทึมนั้นเป็นแนวทางในจัดลำดับของการตัดหลักเส้นที่มีประสิทธิภาพจะช่วยลดปริมาณการสูญเสียหลักเส้นได้



บทที่ 4

ผลการศึกษาวิจัย

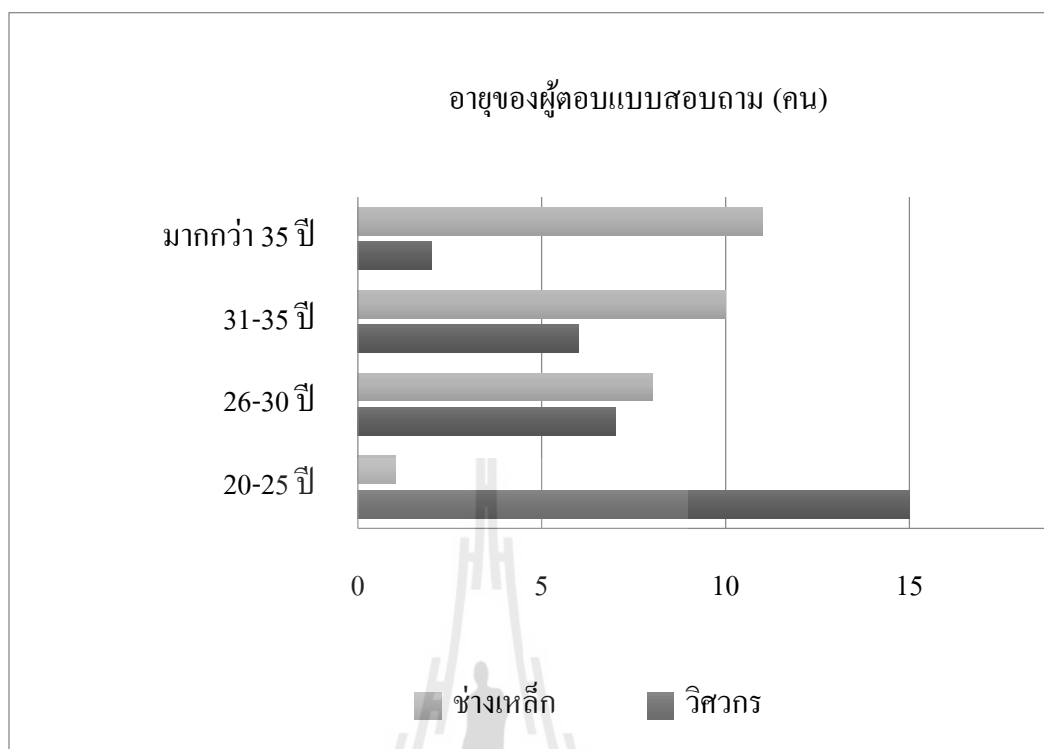
การดำเนินการวิจัยใช้การเก็บข้อมูลจากแบบสอบถามและสัมภาษณ์โครงการก่อสร้าง 30 โครงการจาก 28 บริษัท โดยส่วนใหญ่ลักษณะการทำงานของผู้ตอบแบบสอบถามเป็นงานประเภท ตึกสูง กลุ่มตัวอย่างที่เลือกมาศึกษาวิจัยมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการตัดเหล็กเส้นในโครงการ ก่อสร้างประกอบด้วยวิศวกรจำนวน 30 คนและช่างเหล็กจำนวน 30 คน

ผลการวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. การศึกษารูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและช่างเหล็กในโครงการก่อสร้าง
2. การหาอัลกอริทึมในการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กน้อยที่สุด

4.1 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

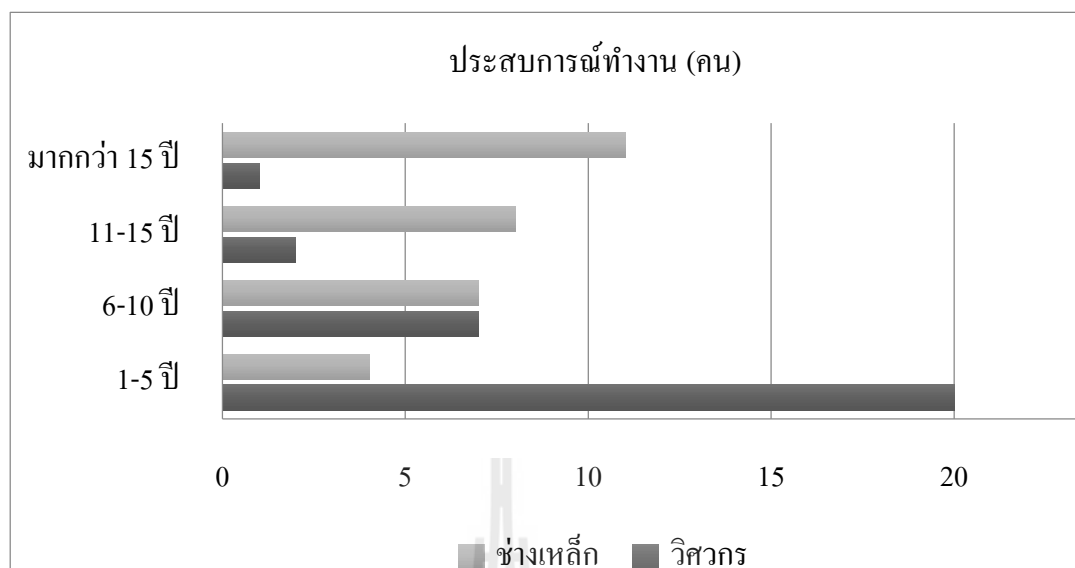
จากการเก็บข้อมูลจากแบบสอบถาม โดยนำการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและช่างเหล็กแต่ละบุคคลมาคำนวณหาปริมาณการสูญเสียเหล็กเส้น เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในงานวิจัย จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลทั่วไปในส่วนที่ 1 ของแบบสอบถาม เช่น อายุ ประสบการณ์ทำงาน ประเภทของงานส่วนใหญ่ที่ทำการก่อสร้างและการให้ความสำคัญของผู้บริหารโครงการเกี่ยวกับการสูญเสียเหล็กเส้น โดยในส่วนข้อมูลทั่วไป โดยแบ่งช่วงอายุออกเป็น 4 ช่วง คือ 20-25 ปี, 26-30 ปี, 31-35 ปี และมากกว่า 35 ปี



รูปที่ 4. 1 อายุของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากรูปที่ 4.1 แสดงอายุของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยจากการรวบรวมข้อมูลอายุของวิศวกรที่ตอบแบบสอบถามจะอยู่ในช่วงอายุ 20-25 ปี มากที่สุด รองลงมาคือช่วงอายุ 26-30 ปี และอายุของช่างเหล็กที่ตอบแบบสอบถามอยู่ในช่วงอายุมากกว่า 35 ปี มากที่สุด รองลงมาคือช่วงอายุมากกว่า 31-35 ปี

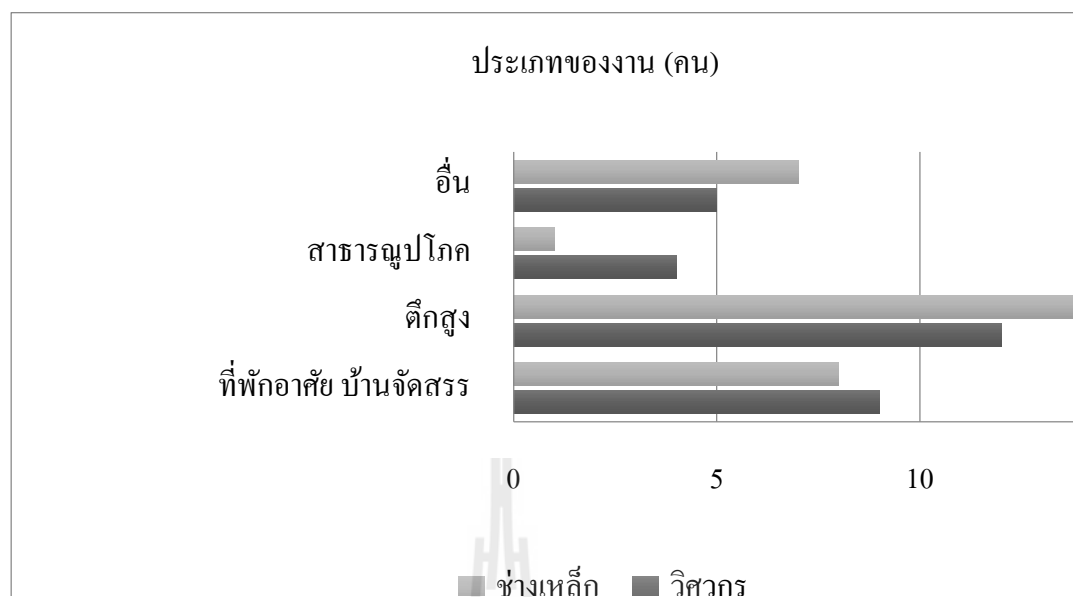
จากการเก็บข้อมูลประสบการณ์ทำงานเกี่ยวกับการตัดเหล็กออกเป็น 4 ช่วง คือ 1-5 ปี, 6-10 ปี, 11-15 ปี และมากกว่า 15 ปี



รูปที่ 4.2 ประสบการณ์ทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากรูปที่ 4.2 แสดงประสบการณ์ทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยจะพบว่า ประสบการณ์ทำงานของวิศวกรอยู่ในช่วง 1-5 ปีมากที่สุด รองลงมาคือ 6-10 ปี และประสบการณ์ทำงานของช่างเหล็กอยู่ในช่วงมากกว่า 15 ปี มากที่สุด รองลงมาคือ 11-15 ปี

จากการเก็บข้อมูลประเภทของงานที่ทำส่วนใหญ่ของผู้ตอบแบบสอบถามเป็นงานประเภทใด แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ ที่พักอาศัย บ้านจัดสรร ดิกลุง สาธารณูปโภค อื่นๆ



รูปที่ 4.3 ประเภทของงานของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากรูปที่ 4.3 จะพบว่าประเภทของงานส่วนใหญ่ทั้งของวิศวกรและช่างเหล็กการทำงานส่วนใหญ่เป็นงานประเภทตึกสูงมากที่สุด รองลงมาคือที่พักอาศัย บ้านจัดสรร

4.1.1 ข้อมูลทั่วไปของวิศวกร

ผู้ตอบแบบสอบถามในการเก็บข้อมูลแบบสอบถามส่วนที่ 1 นี้ จากรูปที่ 4.1-4.3 มีผู้ตอบแบบสอบถามเป็นวิศวกร โยธาจำนวน 30 คน เป็นเพศชายเกือบทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 96.67 โดยผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีอายุอยู่ระหว่าง 20-25 ปี คิดเป็นร้อยละ 50 ในส่วนของประสบการณ์ทำงานส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 1-5 ปี คิดเป็นร้อยละ 66.67 และประเภทของงานที่ผู้ตอบแบบสอบถามทำงานส่วนใหญ่เป็นงานประเภทตึกสูง คิดเป็นร้อยละ 40

4.1.2 ข้อมูลทั่วไปของช่างเหล็ก

ผู้ตอบแบบสอบถามในการเก็บข้อมูลแบบสอบถามส่วนที่ 1 นี้ จากรูปที่ 4.1-4.3 มีผู้ตอบแบบสอบถามเป็นช่างเหล็กจำนวน 30 คน เป็นเพศชายทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 100 โดยผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีอายุอยู่ในช่วง มากกว่า 35 ปี คิดเป็นร้อยละ 36.67 ในส่วนของประสบการณ์ทำงานส่วนใหญ่อยู่ในช่วง มากกว่า 15 ปี คิดเป็นร้อยละ 36.67 และประเภทของงานที่ผู้ตอบแบบสอบถามทำงานส่วนใหญ่เป็นงานประเภท ตึกสูง คิดเป็นร้อยละ 46.67

4.2 การแบ่งกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น

จากข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามและสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างอ้างอิงตามภาคผนวก ข สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่มีรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่คล้ายๆกันให้อยู่กลุ่มเดียวกันโดยการแบ่งกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นได้เป็น 7 กลุ่มดังนี้

4.2.1 รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 1

รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 1 จากการสอบถามและสัมภาษณ์วิศวกรจำนวน 4 คน และช่างเหล็กจำนวน 10 คน โดยมีรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นดังนี้

1. เลือกเหล็กชิ้นงานที่เป็นเลขจำนวนเต็ม (ความยาวของเหล็กเส้นที่ไม่มีจุดทศนิยม) มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด
2. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด
3. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด ณ.ตอนนั้น มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด
4. ทำซ้ำในลำดับที่ 3 จนครบจำนวนความยาวที่ต้องการ

ตารางที่ 4. 1 รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 1

ความยาวที่ต้องการ (l_i)	จำนวนที่ต้องการ (d_i)	เหล็กเส้นความยาวมาตรฐาน 12 เมตร					
		1	2	3	4	5	6
5.32	2	0	2	0	0	0	0
2.55	4	0	0	4	0	0	0
3	3	3	0	0	0	0	0
2.26	4	0	0	0	4	0	0
0.95	6	3	1	1	1	0	0
เศษเหลือ		0.15	0.41	0.85	2.01	12.00	12.00

4.2.2 รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 2

รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 2 จากการสอบถามและสัมภาษณ์วิศวกรจำนวน 4 คน และช่างเหล็กจำนวน 1 คน โดยมีรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นดังนี้

1. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด
2. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด ณ.ตอนนั้น มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด
3. วนซ้ำจนครบจำนวนความยาวที่ต้องการ

ตารางที่ 4. 2 รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 2

ความยาวที่ต้องการ (l_i)	จำนวนที่ต้องการ (d_i)	เหล็กเส้นความยาวมาตรฐาน 12 เมตร					
		1	2	3	4	5	6
5.32	2	2	0	0	0	0	0
2.55	4	0	0	4	0	0	0
3	3	0	3	0	0	0	0
2.26	4	0	0	0	4	0	0
0.95	6	1	3	1	1	0	0
เศษเหลือ		0.41	0.15	0.85	2.01	12.00	12.00

4.2.3 รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 3

รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 3 จากการสอบถามและสัมภาษณ์วิศวกรจำนวน 4 คน และช่างเหล็กจำนวน 4 คน โดยมีรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นดังนี้

1. เลือกเหล็กชิ้นงานที่เป็นเลขจำนวนเต็ม (ความยาวของเหล็กเส้นที่ไม่มีจุดทศนิยม) มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด
2. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวรองจากเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด ณ.ตอนนั้น มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด
3. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวรองจากเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด ณ.ตอนนั้น มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด
4. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด ณ.ตอนนั้น มาจับคู่กัน

ตารางที่ 4. 3 รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 3

ความยาวที่ต้องการ (l_i)	จำนวนที่ต้องการ (d_i)	เหล็กเส้นความยาวมาตรฐาน 12 เมตร					
		1	2	3	4	5	6
5.32	2	0	0	0	2	0	0
2.55	4	0	4	0	0	0	0
3	3	3	0	0	0	0	0
2.26	4	0	0	4	0	0	0
0.95	6	3	1	2	1	0	0
เศษเหลือ		0.15	0.85	1.06	0.41	12.00	12.00

4.2.4 รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 4

รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 4 จากการสอบถามและสัมภาษณ์วิศวกรจำนวน 7 คน และช่างเหล็กจำนวน 4 คน โดยมีรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นดังนี้

1. เลือกเหล็กชิ้นงานที่เป็นเลขจำนวนเต็ม (ความยาวของเหล็กเส้นที่ไม่มีจุดทศนิยม) มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด
2. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวรองลงมา (ถ้าเหลือเหล็กพอกับความยาวจะจับคู่กับ เหล็กที่สั้นที่สุด)
3. วนซ้ำจนครบจำนวนความยาวที่ต้องการ

ตารางที่ 4. 4 รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 4

ความยาวที่ต้องการ (l_i)	จำนวนที่ต้องการ (d_i)	เหล็กเส้นความยาวมาตรฐาน 12 เมตร					
		1	2	3	4	5	6
5.32	2	0	1	1	0	0	0
2.55	4	0	2	2	0	0	0
3	3	3	0	0	0	0	0
2.26	4	0	0	0	4	0	0
0.95	6	3	0	0	3	0	0
เศษเหลือ		0.15	1.58	1.58	0.11	12.00	12.00

4.2.5 รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 5

รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 5 จากการสอบถามและสัมภาษณ์วิศวกรจำนวน 8 คน และช่างเหล็กจำนวน 7 คน โดยมีรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นดังนี้

1. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด
2. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด ณ.ตอนนั้น มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวรองลงมา (ถ้าเหลือเหล็กพอกับความยาวจะจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด)
3. วนซ้ำจนครบจำนวนความยาวที่ต้องการ

ตารางที่ 4. 5 รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 5

ความยาวที่ต้องการ (l_i)	จำนวนที่ต้องการ (d_i)	เหล็กเส้นความยาวมาตรฐาน 12 เมตร					
		1	2	3	4	5	6
5.32	2	0	0	1	1	0	0
2.55	4	2	2	0	0	0	0
3	3	1	1	1	0	0	0
2.26	4	1	1	1	1	0	0
0.95	6	2	2	1	1	0	0
เศษเหลือ		0	0	0.47	3.47	12.00	12.00

4.2.6 รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 6

รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 6 จากการสอบถามและสัมภาษณ์วิศวกรจำนวน 2 คน และช่างเหล็กจำนวน 4 คน โดยมีรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นดังนี้

1. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด
2. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวสั้นที่สุด ณ.ตอนนั้น มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวมากที่สุด ณ.ตอนนั้น
3. วนซ้ำจนครบจำนวนความยาวที่ต้องการ

ตารางที่ 4. 6 รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 6

ความยาวที่ต้องการ (l_i)	จำนวนที่ต้องการ (d_i)	เหล็กเส้นความยาวมาตรฐาน 12 เมตร					
		1	2	3	4	5	6
5.32	2	2	0	0	0	0	0
2.55	4	0	3	0	1	0	0
3	3	0	0	1	2	0	0
2.26	4	0	0	4	0	0	0
0.95	6	1	5	0	0	0	0
เศษเหลือ		0.41	0	0	3.45	12.00	12.00

4.2.7 รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 7

รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 7 จากการสอบถามและสัมภาษณ์วิศวกรจำนวน 1 คน โดยมีรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นดังนี้

1. สุ่มเลือกรูปแบบเหล็กมา 1 ความยาว
2. ตัดให้เสร็จแต่ละรูปแบบที่เลือกมา
3. วนซ้ำจนครบจำนวนความยาวที่ต้องการ

ตารางที่ 4. 7 รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 7

ความยาวที่ต้องการ (l_i)	จำนวนที่ต้องการ (d_i)	เหล็กเส้นความยาวมาตรฐาน 12 เมตร					
		1	2	3	4	5	6
5.32	2	0	0	0	0	2	0
2.55	4	0	0	4	0	0	0
3	3	3	0	0	0	0	0
2.26	4	0	0	0	4	0	0
0.95	6	0	6	0	0	0	0
เศษเหลือ		3	6.30	1.80	2.96	12.00	12.00

การศึกษารูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและช่างเหล็กในโครงการก่อสร้าง โดยการวิเคราะห์ผลสามารถแบ่งกลุ่มของรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นได้ 7 กลุ่มข้างต้นนี้ในข้อมูลทั้ง 7 กลุ่มนี้ สามารถนำมาสรุปเป็นขั้นตอนของการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นในรูปแบบของตารางเพื่ออำนวยความสะดวกเข้าใจ มีขั้นตอนย่อยๆคล้ายกัน 9 รูปแบบ ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4. 8 การแบ่งกลุ่มการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น

อัลกอริธึมการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น	กลุ่มการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น						
	1	2	3	4	5	6	7
1. เลือกเหล็กชิ้นงานที่เป็นเลขจำนวนเต็ม มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด	✓		✓	✓			
2. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด	✓	✓			✓	✓	
3. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด ณ.ตอนนั้น มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด	✓	✓					
4. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวรองจากเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด ณ.ตอนนั้น มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด			✓				
5. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวรองลงมา (ถ้าเหลือเหล็กพอกับความยาวจะจับคู่กับเหล็กที่สั้นที่สุด)				✓	✓		
6. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด ณ.ตอนนั้น มาจับคู่กัน			✓				
7. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวสั้นที่สุด ณ. ตอนนั้น มาจับคู่กับเหล็กที่มีความยาวมากที่สุด ณ.ตอนนั้น						✓	
8. เลือกรูปแบบมา 1 ความยาวนำมาตัดให้เสร็จแต่ละรูปแบบที่เลือกมา							✓
9. วนซ้ำจนครบจำนวนความยาวที่ต้องการ	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

จากขั้นตอนย่อย 9 รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นนำมาเรียงการจัดลำดับอัลกอริทึมของการตัดเหล็กเส้นของแต่ละกลุ่มตัวอย่างโดยทุกๆกลุ่ม มีวิธีการจัดเรียงอัลกอริทึมจากตารางที่ 4.8 คือเริ่มเรียงลำดับจากบนลงล่างโดยยกตัวอย่างของกลุ่มที่ 1 จากการเลือกเครื่องหมาย ✓ จัดอันดับดังนี้

1. เลือกเหล็กชิ้นงานที่เป็นเลขจำนวนเต็ม (ความยาวของเหล็กเส้นที่ไม่มีจุดทศนิยม) มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด
2. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด
3. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด ณ.ตอนนั้น มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด
4. ทำซ้ำในลำดับที่ 3 จนครบจำนวนความยาวที่ต้องการ

การวิเคราะห์ข้อมูลวิจัยที่ได้จากการสำรวจของผู้ตอบแบบสอบถามจากวิศวกร จำนวน 30 คนและช่างเหล็ก จำนวน 30 คน พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มที่มีรูปแบบการจัดลำดับการตัดที่คล้ายกันได้ทั้งหมด 7 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมีรูปแบบการจัดลำดับที่แตกต่างกันออกไปโดยมีขั้นตอนย่อย 9 รูปแบบ จากข้อมูลทั้ง 7 กลุ่มตัวอย่างนี้สามารถนำไปหาอัลกอริทึมในการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กน้อยที่สุด

4.3 การหาอัลกอริทึมในการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กน้อยที่สุด

4.3.1 การวิเคราะห์หาเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดเหล็กเส้นของแต่ละกลุ่ม

จากรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดสามารถแบ่งออกได้เป็น 7 กลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นดังข้างต้น เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามมาวิเคราะห์คำนวณหาเศษเหล็กเส้นที่เหลือจากการตัดของแต่ละกลุ่มจากทั้งหมด 7 กลุ่มข้างต้น โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

1. จากแบบสอบถามในส่วนที่ 2 เก็บรวบรวมข้อมูลโดยวิธีคำนวณเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดที่ได้แต่ละขนาดของเหล็กเส้น ตั้งแต่ DB28 ไปจนถึง RB6
2. โดยการคิดเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดนั้น คือ เศษเหล็กที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ หรือเหลือความยาวของเศษเหล็กเส้นน้อยกว่าความยาวที่ต้องการตัดเหล็กเส้นที่สั้นที่สุด ยกตัวอย่างเช่น DB 28 มีความยาวที่ต้องการตัด คือ 3, 2.55, 2.26, 0.95, 5.32 เมตร และการนำเศษเหล็กมาคิดการสูญเสีย ต้องมีความยาวน้อยกว่า 0.95 เมตรของเหล็กขนาด DB28

3. จากนั้นนำผลรวมเศษหลักที่เหลือจากการตัดทั้งหมดของแต่ละบุคคลมาแบ่งตามกลุ่มที่มีรูปแบบการจัดลำดับที่คล้ายกันอยู่กลุ่มเดียวกัน ตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 เศษหลักรวมที่เหลือจากการตัดหลักเส้นของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง (เมตร)

ลำดับ	เศษหลักรวมที่เหลือจากการตัดหลักเส้น (เมตร)						
	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3	กลุ่มที่ 4	กลุ่มที่ 5	กลุ่มที่ 6	กลุ่มที่ 7
1	8.874	3.03	3.58	5.424	8.694	6.604	2.7
2	5.124	7.01	4.23	8.51	4.494	6.394	
3	4.82	6.244	8.16	4.084	4.23	6.22	
4	5.7	6.504	4.044	4.864	3.934	6.004	
5	6.95	5.62	6.97	3.994	7.884	6.22	
6	3.65		3.704	3.55	7.914	6.344	
7	7.954		5.49	8.104	4.224		
8	5.944		10.354	4.794	8.514		
9	7.954			4.064	7.934		
10	8.36			6.604	8.684		
11	6.054			4.874	9.344		
12	7.734				5.874		
13	7.944				4.894		
14	7.03				10.284		
15					6.374		

จากการวิเคราะห์ข้อมูลตารางที่ 4.9 เศษหลักที่เหลือจากการตัดหลักเส้นของแต่ละกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดหลักเส้น หลังจากนั้นนำผลรวมของแต่ละรูปแบบการจัดลำดับการตัดหลักเส้นมาหาค่าเฉลี่ยของแต่ละรูปแบบ จากนั้นเพื่อทำการเปรียบเทียบผลจึงได้ทำการเปรียบเทียบผลข้อมูลที่กลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดหลักเส้นโดยใช้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยนำค่าเฉลี่ยของการสูญเสียหลักเส้นของกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดหลักเส้นที่ได้มาทำการหาค่าความแปรปรวนและทดสอบสมมติฐานเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเศษหลักที่เหลือจากการตัดหลักเส้น โดยการทดสอบ F-Test เพื่อหาค่าความแปรปรวนค่าเฉลี่ยของเศษหลักที่เหลือจากการ

ตัดของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มเปรียบเทียบกัน และการทดสอบ T-Test เพื่อหาค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มเปรียบเทียบกันตามลำดับดังนี้

4.3.2 การวิเคราะห์ผลโดยทางสถิติ

ส่วนที่ 2 การหาอัลกอริทึมในการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุด เมื่อนำค่าเฉลี่ยการสูญเสียเหล็กเส้นที่เหลือจากการตัดของแต่ละกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น จากทั้งหมด 6 กลุ่ม มาวิเคราะห์ผลวิจัยทางสถิติโดยใช้ F-Test เพื่อหาค่าความแปรปรวนการสูญเสียเหล็กเส้นของรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นทั้ง 2 กลุ่มแตกต่างกันหรือไม่ และ T-Test เพื่อหาค่าเฉลี่ยของการสูญเสียเหล็กเส้นของกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น 2 กลุ่มเปรียบเทียบกันตามลำดับ ซึ่งกำหนดให้ H_0 คือ สมมติฐานหลัก และ H_1 คือ สมมติฐานแย้งกับสมมติฐานหลักหรือเรียกว่าสมมติฐานรอง

การวิเคราะห์ F-Test โดยสมมติฐานให้ดังสมการที่ 4-1 และสมการที่ 4-2

$$H_0 : s_1^2 = s_2^2 \quad (4.1)$$

$$H_1 : s_1^2 \neq s_2^2 \quad (4.2)$$

โดยที่ s_1^2 และ s_2^2 คือ ค่าความแปรปรวนการสูญเสียเหล็กเส้นของรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังตารางที่ 4.10 ค่าความแปรปรวนโดยใช้ F-Test

ตารางที่ 4. 10 ค่าความแปรปรวนของความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัด
เหล็กเส้น (F-Test)

ค่าความแปรปรวนการสูญเสีย เหล็กเส้นของกลุ่มรูปแบบการ จัดลำดับการตัดเหล็กเส้น	ค่าความแปรปรวนการสูญเสีย เหล็กเส้นของกลุ่มรูปแบบการ จัดลำดับการตัดเหล็กเส้น	ความสัมพันธ์
S_1^2	S_2^2	=
S_1^2	S_3^2	≠
S_1^2	S_4^2	≠
S_1^2	S_5^2	≠
S_1^2	S_6^2	≠
S_2^2	S_3^2	≠
S_2^2	S_4^2	≠
S_2^2	S_5^2	≠
S_2^2	S_6^2	≠
S_3^2	S_4^2	=
S_3^2	S_5^2	=
S_3^2	S_6^2	≠
S_4^2	S_5^2	≠
S_4^2	S_6^2	≠
S_5^2	S_6^2	≠

การวิเคราะห์ T-Test โดยสมมติฐานให้ดังสมการที่ 4-3, 4-4

$$H_0 : m_1 \geq m_2 \quad (4.3)$$

$$H_1 : m_1 < m_2 \quad (4.4)$$

โดยที่ m_1 และ m_2 คือค่าเฉลี่ยการสูญเสียเหล็กเส้นของกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังตารางที่ 4.11 ทราบค่าเฉลี่ยการสูญเสีย

หลักเส้นของกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดหลักเส้น โดยมีความสัมพันธ์เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ T-Test

ตารางที่ 4. 11 ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดหลักเส้น (T-Test)

ค่าเฉลี่ยการสูญเสียหลักเส้น ของกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับ การตัดหลักเส้น	ค่าเฉลี่ยการสูญเสียหลักเส้น ของกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับ การตัดหลักเส้น	ความสัมพันธ์
m_1	m_2	$\geq$
m_1	m_3	$\geq$
m_1	m_4	$\geq$
m_1	m_5	$\leq$
m_1	m_6	$\geq$
m_2	m_3	$\leq$
m_2	m_4	$\geq$
m_2	m_5	$\leq$
m_2	m_6	$\leq$
m_3	m_4	$\geq$
m_3	m_5	$\leq$
m_3	m_6	$\leq$
m_4	m_5	$\leq$
m_4	m_6	$\leq$
m_5	m_6	$\geq$

จากผลการวิจัยแสดงความสัมพันธ์ ดังตารางที่ 4.10 – 4.11 แสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดหลักเส้นเป็นไปตามสมมติฐาน และสามารถจัดเรียงอันดับการสูญเสียหลักเส้นที่เกิดจากการตัดได้ว่ากลุ่มที่ m_4 มีค่าอันดับการสูญเสียหลักเส้นที่เกิดจากการตัดน้อยที่สุดเป็นอันดับที่ 1 เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยของการสูญเสียหลักเส้นน้อยที่สุด สามารถเรียงการจัดอันดับการสูญเสียหลักเส้นที่เกิดจากการตัดจากน้อยที่สุดไปหามากที่สุดได้ดังนี้ $m_4 \leq m_2 \leq m_3 \leq m_6 \leq m_1 \leq m_5$ ตามลำดับ

ตารางที่ 4. 12 ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นและค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัด

กลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น	ค่าเฉลี่ยการสูญเสียเหล็กเส้น (เมตร)	ความสัมพันธ์	กลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น	ค่าเฉลี่ยการสูญเสียเหล็กเส้น (เมตร)
m_1	6.7208	$\geq$	m_2	5.6816
m_1	6.7208	$\geq$	m_3	5.8165
m_1	6.7208	$\geq$	m_4	5.3515
m_1	6.7208	$\leq$	m_5	6.8851
m_1	6.7208	$\geq$	m_6	6.2977
m_2	5.6816	$\leq$	m_3	5.8165
m_2	5.6816	$\geq$	m_4	5.3515
m_2	5.6816	$\leq$	m_5	6.8851
m_2	5.6816	$\leq$	m_6	6.2977
m_3	5.8165	$\geq$	m_4	5.3515
m_3	5.8165	$\leq$	m_5	6.8851
m_3	5.8165	$\leq$	m_6	6.2977
m_4	5.3515	$\leq$	m_5	6.8851
m_4	5.3515	$\leq$	m_6	6.2977
m_5	6.8851	$\geq$	m_6	6.2977

จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้การทดสอบ F-Test และ T-Test ตามลำดับ พบว่าแต่ละกลุ่มตัวอย่างหรือกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น มีรายละเอียดดังนี้

1. กลุ่มตัวอย่างที่ 5 มีค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กเท่ากับ 6.8851 เมตร
2. กลุ่มตัวอย่างที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กเท่ากับ 6.7208 เมตร
3. กลุ่มตัวอย่างที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กเท่ากับ 6.2977 เมตร
4. กลุ่มตัวอย่างที่ 3 มีค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กเท่ากับ 5.8165 เมตร
5. กลุ่มตัวอย่างที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กเท่ากับ 5.6816 เมตร
6. กลุ่มตัวอย่างที่ 4 มีค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กเท่ากับ 5.3515 เมตร

จากผลการวิจัยในการตอบแบบสอบถามของวิศวกรจำนวน 30 คน และช่างเหล็กจำนวน 30 คน เพื่อศึกษาการเปรียบเทียบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของกลุ่มตัวอย่างทั้งวิศวกรและช่างเหล็กในโครงการก่อสร้าง จากผลข้อมูลงานวิจัยมีเป็นจำนวนมาก และเพื่อความสะดวกรวดเร็ว และถูกต้องแม่นยำ จึงควรใช้โปรแกรมสำเร็จรูปช่วยในการวิเคราะห์ แต่โปรแกรมสำเร็จรูปมีให้เลือกหลากหลาย โปรแกรมแต่ละโปรแกรมมีจุดเด่น จุดอ่อนที่แตกต่างกันไป แล้วแต่ผู้ที่จะเลือกตามความเหมาะสม และปัจจัยแวดล้อมที่จำกัด การจัดเรียงข้อมูลการวิจัยและวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ Microsoft Excel เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง เนื่องจาก Microsoft Excel เป็นโปรแกรมที่หาใช้งานได้ทั่วไป ผู้ใช้มีความคุ้นเคยใช้งานสะดวก การแสดงผลไม่ยุ่งยากซับซ้อน จากการจัดเรียงผลข้อมูลวิจัยโดยใช้ Microsoft Excel ที่ได้ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4. 13 เรียงลำดับข้อมูลการสูญเสียเศษเหล็กที่เกิดจากการตัดเหล็กเส้น (ต่อ)

กลุ่ม รูปแบบ การ จัดลำดับ การตัด เหล็กเส้น	กลุ่มตัวอย่าง	จำนวน เหล็กเส้น เต็มที่ใช้ไป ทั้งหมด (เส้น)	จำนวน เหล็กเส้นที่ ไม่มีการใช้ งาน (เส้น)	ผลรวมของ เศษที่เหลือ จากการตัด ทั้งหมด (เมตร)	ผลรวมของ เศษที่เหลือ จากการตัดที่ ไม่สามารถ นำมาใช้ใหม่ ได้ (เมตร)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ของเศษที่ เหลือจาก การตัด ทั้งหมด (เมตร)
4	ช่างเหล็ก19	29	5	50.69	4.874	2.88
5	ช่างเหล็ก21	29	5	50.69	8.684	2.85
5	วิศวกร20	29	5	50.69	8.694	2.82
5	วิศวกร23	29	5	50.69	3.934	2.61
2	วิศวกร8	29	4	50.69	6.504	3.34
2	วิศวกร7	29	4	50.69	6.244	3.17
4	วิศวกร17	29	4	50.69	3.994	3.07
2	วิศวกร5	29	4	50.69	3.030	3.04
5	วิศวกร21	29	4	50.69	4.494	2.95
1	ช่างเหล็ก3	29	4	50.69	7.954	2.80
5	วิศวกร25	29	4	50.69	7.914	2.74
6	ช่างเหล็ก30	29	4	50.69	6.344	2.70

ตารางที่ 4. 13 เรียงลำดับข้อมูลการสูญเสียเศษเหล็กที่เกิดจากการตัดเหล็กเส้น (ต่อ)

กลุ่ม รูปแบบ การ จัดลำดับ การตัด เหล็กเส้น	กลุ่มตัวอย่าง	จำนวน เหล็กเส้น เต็มที่ใช้ไป ทั้งหมด (เส้น)	จำนวน เหล็กเส้นที่ ไม่มีการใช้ งาน (เส้น)	ผลรวมของ เศษที่เหลือ จากการตัด ทั้งหมด (เมตร)	ผลรวมของ เศษที่เหลือ จากการตัดที่ ไม่สามารถ นำมาใช้ใหม่ ได้ (เมตร)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ของเศษที่ เหลือจาก การตัด ทั้งหมด (เมตร)
6	วิศวกร29	29	4	50.69	6.394	2.70
5	ช่างเหล็ก26	29	4	50.69	6.374	2.69
6	วิศวกร28	29	4	50.69	6.604	2.69
6	ช่างเหล็ก28	29	4	50.69	6.004	2.68
5	วิศวกร27	29	4	50.69	8.514	2.66
4	วิศวกร14	29	4	50.69	8.510	2.62
3	วิศวกร11	29	4	50.69	8.160	2.60
6	ช่างเหล็ก29	29	4	50.69	6.220	2.49
6	ช่างเหล็ก27	29	4	50.69	6.220	2.48
1	ช่างเหล็ก1	29	4	50.69	6.950	2.27
3	วิศวกร10	29	4	50.69	4.230	1.96
4	ช่างเหล็ก18	29	3	50.69	6.604	2.98
1	ช่างเหล็ก5	29	3	50.69	7.954	2.95
5	วิศวกร24	29	3	50.69	7.884	2.92
1	ช่างเหล็ก9	29	3	50.69	7.944	2.83
1	ช่างเหล็ก8	29	3	50.69	7.734	2.75
5	ช่างเหล็ก20	29	3	50.69	7.934	2.66
3	ช่างเหล็ก15	29	3	50.69	10.354	2.65
1	ช่างเหล็ก4	29	3	50.69	5.944	2.62
3	วิศวกร12	29	3	50.69	4.044	2.46
5	ช่างเหล็ก24	29	3	50.69	4.894	2.46
3	ช่างเหล็ก12	29	3	50.69	6.970	2.17

ตารางที่ 4. 13 เรียงลำดับข้อมูลการสูญเสียเศษเหล็กที่เกิดจากการตัดเหล็กเส้น (ต่อ)

กลุ่ม รูปแบบ การ จัดลำดับ การตัด เหล็กเส้น	กลุ่มตัวอย่าง	จำนวน เหล็กเส้น เต็มที่ใช้ไป ทั้งหมด (เส้น)	จำนวน เหล็กเส้นที่ ไม่มีการใช้ งาน (เส้น)	ผลรวมของ เศษที่เหลือ จากการตัด ทั้งหมด (เมตร)	ผลรวมของ เศษที่เหลือ จากการตัดที่ ไม่สามารถ นำมาใช้ใหม่ ได้ (เมตร)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ของเศษที่ เหลือจาก การตัด ทั้งหมด (เมตร)
1	ช่างเหล็ก6	29	3	50.69	8.360	2.07
2	วิศวกร6	29	2	50.69	7.010	3.25
1	วิศวกร4	29	2	50.69	5.700	3.14
4	วิศวกร13	29	2	50.69	5.424	2.92
5	ช่างเหล็ก22	29	2	50.69	9.344	2.90
4	วิศวกร18	29	2	50.69	3.550	2.72
5	ช่างเหล็ก23	29	2	50.69	5.874	2.67
1	วิศวกร3	29	2	50.69	4.820	2.67
4	วิศวกร19	29	2	50.69	8.104	2.38
5	ช่างเหล็ก25	29	2	50.69	10.284	2.27
2	ช่างเหล็ก11	29	2	50.69	5.620	2.02
1	วิศวกร1	29	1	50.69	8.874	2.85
1	วิศวกร2	29	1	50.69	5.124	2.57
1	ช่างเหล็ก10	29	1	50.69	7.030	2.39
4	ช่างเหล็ก17	30	4	62.69	4.064	3.03
4	วิศวกร15	30	4	62.69	4.084	2.74
1	ช่างเหล็ก2	30	4	62.69	3.650	2.73
5	วิศวกร22	30	4	62.69	4.230	2.50
4	ช่างเหล็ก16	30	3	62.69	4.794	3.22
1	ช่างเหล็ก7	30	3	62.69	6.054	2.50
4	วิศวกร16	30	3	62.69	4.864	2.47
3	ช่างเหล็ก13	30	3	62.69	3.704	2.27

ตารางที่ 4. 13 เรียงลำดับข้อมูลการสูญเสียเศษเหล็กที่เกิดจากการตัดเหล็กเส้น (ต่อ)

กลุ่ม รูปแบบ การ จัดลำดับ การตัด เหล็กเส้น	กลุ่มตัวอย่าง	จำนวน เหล็กเส้น เต็มที่ใช้ไป ทั้งหมด (เส้น)	จำนวน เหล็กเส้นที่ ไม่มีการใช้ งาน (เส้น)	ผลรวมของ เศษที่เหลือ จากการตัด ทั้งหมด (เมตร)	ผลรวมของ เศษที่เหลือ จากการตัดที่ ไม่สามารถ นำมาใช้ใหม่ ได้ (เมตร)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ของเศษที่ เหลือจาก การตัด ทั้งหมด (เมตร)
3	วิศวกร9	30	2	62.69	3.580	4.10
3	ช่างเหล็ก14	30	1	62.69	5.490	2.51
5	วิศวกร26	31	4	74.69	4.224	2.45
7	วิศวกร30	35	2	132.69	2.700	2.66

จากตารางที่ 4.13 จะได้กลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้น น้อยที่สุดคือ กลุ่มที่ 4 จากผลการวิจัยทางสถิติก็พบว่า กลุ่มที่ 4 เป็นกลุ่มที่มีการสูญเสียเหล็กเส้น น้อยที่สุดจากการจัดลำดับการตัดเหล็กแบบวิธีนี้ ซึ่งก็ตรงตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ โดยมีรูปแบบการ ตัดของกลุ่มที่ 4 คือรูปแบบการจับคู่การตัดที่นำความยาวเหล็กที่ต้องการใช้ที่เป็นเลขจำนวนเต็ม (ความยาวของเหล็กเส้นที่ไม่มีจุดทศนิยม) มาจับคู่กับเหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด ลำดับต่อมาเลือก เหล็กมีความยาวมากที่สุดมาจับคู่กับเหล็กที่มีความยาวรองลงมา (ถ้าเหลือเหล็กพอกับความยาวจะ จับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด) จนจำนวนครบจำนวนความยาวที่ต้องการ จะเป็นรูปแบบการตัด ที่เข้าใจง่ายและเป็นที่ยอมรับใช้ มีประสิทธิภาพในการตัดทำให้เหลือเศษเหล็กน้อยลง สามารถนำ อัลกอริทึมการจัดลำดับการตัดนี้ไปใช้เป็นแนวทางในการลดการสูญเสียเหล็กเส้นในโครงการ ก่อสร้างได้และยังสามารถลดค่าใช้จ่ายให้กับโครงการก่อสร้างได้อีกด้วย

บทที่ 5

บทสรุป

งานวิจัยที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและช่างเหล็กและการหาอัลกอริทึมในการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุด โดยดำเนินการวิจัยเริ่มทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศเพื่อทราบถึงปัญหาการสูญเสียเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้าง จากการศึกษาพบว่าวัสดุเหล็กเส้นเป็นวัสดุที่มีการสูญเสียสูงเป็นอันดับต้นๆ ของวัสดุทั้งหมดในโครงการก่อสร้าง ดังนั้นจึงเล็งเห็นความสำคัญของการสูญเสียเหล็กเส้น จึงได้ทำการวิจัยนี้ขึ้น โดยทำการออกแบบสอบถามและสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการตัดเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้าง ซึ่งวิศวกรและช่างเหล็กเป็นกลุ่มเป้าหมาย เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หา รูปแบบการจัดลำดับและอัลกอริทึมในการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น ซึ่งผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

การวิเคราะห์ข้อมูลวิจัยที่ได้จากการสำรวจจากแบบสอบถามและสัมภาษณ์ พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มที่มีรูปแบบการจัดลำดับการตัดที่คล้ายกันได้ทั้งหมด 7 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมีรูปแบบการจัดลำดับที่แตกต่างกันออกไปโดยมีขั้นตอนย่อย 9 รูปแบบ จากข้อมูลทั้ง 7 กลุ่มนี้สามารถนำไปหาอัลกอริทึมในการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กน้อยที่สุด ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบกับการประมวลผลโดยใช้ Microsoft Excel สรุปได้ว่ากลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 4 มีการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยสุดเป็นอันดับ 1 และมีค่าเฉลี่ยของการสูญเสียเหล็กเส้นเท่ากับ 5.35 เมตร ซึ่งผู้ตอบแบบสอบถามของกลุ่มที่ 4 ส่วนใหญ่มีช่วงอายุมากกว่า 35 ปี และมีประสบการณ์การทำงาน มากกว่า 15 ปี โดยมีอัลกอริทึมการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นดังนี้

1. เลือกเหล็กชิ้นงานที่เป็นเลขจำนวนเต็ม (ความยาวของเหล็กเส้นที่ไม่มีจุดทศนิยม) มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด (เพราะว่าการเลือกตัดความยาวจำนวนเต็มก่อนจะทำให้เกิดเศษเหล็กง่ายและสะดวกในการจับคู่ที่ทำให้เหลือเศษเหล็กน้อย)
2. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวรองลงมา ถ้าเหลือเหล็กพอกับความยาวจะจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด (เพราะว่าการจัดเรียงลำดับแบบนี้จะส่งผลให้เศษเหล็กส่วนที่เหลือสามารถนำกลับไปใช้ได้ดีกว่าการเลือกจับคู่ตัดเหล็กที่มีความยาวมากที่สุด จับคู่ เหล็กที่มีความยาวมากที่สุด)
3. วนซ้ำจนครบจำนวนความยาวที่ต้องการ

จากการวิจัยที่ได้พบว่าอัลกอริทึมของกลุ่มที่ 4 เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นแนวทางการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น เพราะมีการวางแผนกระบวนการคิดที่ซับซ้อนในการจับคู่การตัดเหล็กเส้น จากทักษะและประสบการณ์ของวิศวกรและช่างเหล็กกลุ่มที่ 4 ที่มีการสะสมอย่างยาวนานในการทำงานจากหน้างานจริง จึงทำให้มีการวางแผนกระบวนการคิดในการจับคู่การจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ซับซ้อน และคำนึงถึงวิธีการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น ดังนั้นรูปแบบการจัดลำดับการตัดแบบนี้สามารถนำไปใช้งานจริงหรือประกอบการเรียนการสอน และเผยแพร่เนื่องจากสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย และมีประสิทธิภาพในการตัดทำให้เหลือเศษเหล็กน้อยลง เกิดประโยชน์สูงสุดสามารถลดค่าใช้จ่ายให้กับโครงการก่อสร้างได้และกลุ่มที่ 7 ที่มีประชากรเพียง 1 คนทำให้ไม่สามารถหาค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนได้ เนื่องจากผู้ตอบแบบสอบถามมีอายุน้อย ประสบการณ์การทำงานน้อย โดยมีอัลกอริทึมคือสุ่มเลือกรูปแบบชิ้นงาน 1 ความยาวนานมาตัดให้เสร็จทีละรูปแบบ ไม่คำนึงถึงวิธีการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น ดังนั้นอัลกอริทึมของกลุ่มนี้จึงไม่เหมาะในการนำมาใช้เพราะว่า ไม่มีกระบวนการคิดที่ซับซ้อนเพื่อให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุด

จากแบบสอบถามในส่วนที่ 2 รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น มีการใช้โจทย์เป็นแบบสอบถามและถามตอบให้ได้ใจความและกระชับ จำนวน 9 ข้อ โดยทั้ง 9 ข้อจะถามเกี่ยวกับกระบวนการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของผู้ตอบแบบสอบถาม วิธีการจัดการกับเศษเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้าง การให้ความสำคัญเกี่ยวกับการสูญเสียเศษเหล็กเส้นและข้อจำกัดที่มีผลกระทบต่อการทำงานของการตัดเหล็กเส้น ซึ่งพบว่ากระบวนการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นก่อนการตัดเหล็กทุกครั้ง โดยให้วิศวกรหรือช่างเหล็กเป็นคนทำ Bar Cut List ก่อนตัดเหล็กเส้น เป็นต้น ในโครงการก่อสร้างมีการสูญเสียเหล็กเกิดขึ้นทางบริษัทมีวิธีการจัดการกับเศษเหล็กที่เหลืออย่างไร พบว่ามีวิธีจัดการกับเศษเหล็กอยู่ 3 วิธีหลักคือ 1.นำเศษเหล็กที่เหลือในโครงการไปใช้ประโยชน์อื่นๆภายในโครงการ เช่น นำไปใช้เป็นเหล็กต่อหัวเสา เหล็กกันแตก ใช้เชื่อมล๊อคแบบเหล็กและใช้เหล็กเป็นค้ำยันไม้แบบ 2.นำเศษเหล็กที่เหลือในโครงการก่อสร้างนี้ไปใช้กับโครงการอื่นๆต่อไปได้ 3.นำเศษเหล็กที่เหลือไปขาย

ด้านผู้บริหารโครงการมีการให้ความสำคัญเกี่ยวกับการสูญเสียเศษเหล็กนั้นพบว่าผู้บริหารโครงการส่วนใหญ่ให้ความสำคัญเกี่ยวกับการสูญเสียเศษเหล็กเป็นอย่างมากเนื่องจากช่วยลดต้นทุนให้กับโครงการก่อสร้างได้เป็นอย่างดี แต่ก็มีบางบริษัทใหญ่ๆ ที่ไม่คำนึงถึงความสูญเสียเหล็กแต่ให้ความสำคัญกับระยะเวลาในการทำงานเป็นหลัก เน้นความสะดวกและรวดเร็วก็จะทำให้เกิดการสูญเสียเศษเหล็กเส้นที่สูงขึ้น ในส่วนของข้อจำกัดของวิศวกรและช่างเหล็กที่มีผลกระทบต่อการทำงานพบว่ามี 3 ปัจจัยหลักที่เป็นข้อจำกัดที่มีผลกระทบต่อการทำงานคือ 1.ประสบการณ์ คือทำงานหากไม่มีประสบการณ์ทำงานก็อาจทำงานให้ล่าช้าไม่ทันเวลาและตัดเหล็กผิดพลาดทำให้เกิดการ

สูญเสียเหล็กได้ 2.จำนวนคน เนื่องจากการบริหารงานของผู้บริหารให้จำนวนคนไม่เพียงพอต่อการทำงานจึงทำให้งานล่าช้าได้ 3.เวลา คือ หากทางโครงการก่อสร้างต้องส่งงานให้ทันระยะเวลาตามสัญญางานที่กำหนด ก็จะทำให้งานเหล็กเร่งรีบไม่มีประสิทธิภาพในการตัดเหล็กได้ จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นทำให้เราทราบถึงการให้ความสำคัญเกี่ยวกับการสูญเสียเหล็กเส้นและข้อจำกัดที่มีผลกระทบต่อการทำงาน ดังนั้นเราควรให้ความสำคัญของการสูญเสียเหล็กเส้นและควรมีการวางแผนการใช้วัสดุอย่างจริงจัง จะทำให้ลดต้นทุนของโครงการก่อสร้างได้ และเป็นการช่วยลดขยะจากสิ่งปลูกก่อสร้างเป็นการช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง

งานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เพื่อเป็นแนวทางใช้จัดลำดับการตัดเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้างทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นที่น้อยลง นำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพการตัดเหล็กเส้นเพื่อลดการสูญเสียของเหล็กเส้นได้ อีกทั้งสามารถนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลในการตัดสินใจเพื่อใช้ในการจ้างเหมาครั้งต่อไปได้ และข้อเสนอแนะที่ได้จากงานวิจัยนี้คือวัสดุเหล็กเส้นที่สูญเสียในโครงการก่อสร้างปัญหาส่วนหนึ่งมาจากการขาดการควบคุมดูแลเอาใจใส่ที่เข้มงวดของของผู้รับเหมาหรือนายจ้าง เพราะยึดหลักความรวดเร็วในการก่อสร้างเป็นหลักคือ เมื่อวัสดุหมดก็สั่งมาใหม่ ไม่ดูแลอย่างจริงจัง ถ้ามีการดูแลอย่างจริงจังและปลูกฝังบุคคลทุกฝ่ายให้ใส่ใจถึงคุณค่าของวัสดุก็จะเป็นการแก้ปัญหาในส่วนนี้ได้อีกทางหนึ่งด้วย



รายการอ้างอิง

- เจต เทียมเสวต (2550). ปัจจัยที่มีผลกระทบและสัดส่วนการสูญเสียวัสดุในการก่อสร้าง. วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- วุฒิพงษ์ ประวิตรวงศ์ (2544). การศึกษาเกี่ยวกับการสูญเสียวัสดุก่อสร้างในโครงการก่อสร้างประเภทงานอาคาร. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สันติ ชินานุวัติก (2532). การควบคุมการสูญเสียเหล็กเสริมคอนกรีตในโครงการก่อสร้าง. วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ณัทย์ ราตรี (2554). สถิติเบื้องต้น : แนวคิดและทฤษฎี. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Carlos T.Formoso, Lucio Soibelman M.ASCE, Claudis DE Cesare, Eduardo Lsatto. (2002). Material Waste in Building Industry: Main Causes and Prevention. **Journal of Construction Engineer and Management**. 128: 316-325.
- B.A.G.Bossink, H.J.H.Brouwers. (1996). Construction Waste: Quantification and source Evaluation. **Journal of Construction Engineer and Management**. 55 - 60.
- Richard Vahrenkamp. (1996). Random Search in the one-dimensional cutting stock problem. **European Journal of Operational Research**. 95: 191 - 200.
- Robert W. Haessler and Paul E. Sweeney. (1991). Cutting stock problems and solution procedures. **European Journal of Operational Research**. 54: 141-150
- Gul Polat, David, Arditi, Glenn Ballard, Ugur mungen. (2006). Economics of on-site vs. off-site fabrication of rebar. **Construction Management and Economics**. 24: 1185 - 1198.
- Abraham Silberschatz, Peter B. Galvin and Greg Gagne. (2008) Operating System Concepts. **Wiley**.

ภาคผนวก ก

แบบสอบถาม



แบบสอบถามการตัดเหล็กในโครงการก่อสร้าง



แบบสอบถามการตัดเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้าง

(ส่วนที่ 1) ข้อมูลทั่วไป

1. ชื่อบริษัท.....

ประเภทของโครงการ.....

มูลค่าของโครงการ.....

ตำแหน่ง.....

2. เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง

3. อายุ ☐ 20 – 25 ปี ☐ 26 – 30 ปี
☐ 30 – 35 ปี ☐ มากกว่า 35 ปี

4. ประสบการณ์ทำงานเกี่ยวกับการตัด – คัดเหล็ก

☐ 1 – 5 ปี ☐ 6 – 10 ปี
☐ 10 – 15 ปี ☐ มากกว่า 15 ปี

5. งานที่ทำการก่อสร้างส่วนใหญ่เป็นงานประเภทใด

☐ ที่พักอาศัย บ้านจัดสรร ☐ ดึงสูง
☐ สาธารณูปโภค ☐ อื่นๆ (.....)

(ส่วนวิธี) รูปแบบการจัด ลำดับขั้นตอนการคัดกลั่น

จากแบบที่กำหนดให้จัดทำให้จัดลำดับในการคัดกลั่นโดยสามารถอ่านแบบที่วางกันดูได้จาก พื้น เสา ลาน)แต่สิ่งเหล่านี้จะดูได้ โดยสิ่งที่ต้องดูให้ดูที่ความยาวตามฐาน 12 เมตรให้ดูแบบของแบบเลือกใช้ตามความเหมาะสม

ฐานราก

รูปทรงฐาน	ขนาด	ความยาว (เมตร)	จำนวน (ช่อง)	ความกว้าง (เมตร)	ความลึก (เมตร)	หมายเหตุ
3	DB28	3	3			
4.5	DB25	4.5	2			
0.15	DB20	2.98	4			
0.15	DB20	6	2			
0.15	DB16	7.186	1			
0.15	DB16	7	1			
0.15	DB12	10.58	1			
0.15	RB9	1.88	4			
0.15	RB6	2.76	3			

เสา

รูปทรงเสา	ขนาด	ความยาว (เมตร)	จำนวน (ช่อง)	ความกว้าง (เมตร)	ความลึก (เมตร)	หมายเหตุ
0.5	DB28	2.55	4			
0.5	DB28	2.26	4			
0.5	DB25	6.76	2			
0.5	DB20	0.75	1			
0.5	DB16	1	2			
0.5	DB12	3.6	3			
0.5	RB9	3.5	2			
0.5	RB9	0.26	4			
0.5	RB6	1.07	3			

พื้น

รูปทรงพื้น	ขนาด	ความยาว (เมตร)	จำนวน (ช่อง)	ความกว้าง (เมตร)	ความลึก (เมตร)	หมายเหตุ
0.25	DB28	0.95	6			
0.25	DB25	1.75	4			
0.25	DB25	1.8	3			
0.25	DB20	3.75	3			
0.25	DB16	3.2	3			
0.25	DB12	1.4	4			
0.25	RB9	3	2			
0.25	RB6	5	2			
0.25	RB6	9.4	1			

คาน

รูปทรงคาน	ขนาด	ความยาว (เมตร)	จำนวน (ช่อง)	ความกว้าง (เมตร)	ความลึก (เมตร)	หมายเหตุ
0.5	DB28	5.32	2			
0.5	DB25	10.2	2			
0.5	DB20	4.5	2			
0.5	DB16	2.7	4			
0.5	DB12	5.99	3			
0.5	DB12	0.85	4			
0.5	RB9	9.7	1			
0.5	RB6	5.4	1			

(ส่วนที่ 2) รูปแบบการจัดลำดับขั้นตอนการทดลอง

จากแผนที่กำหนดให้ผู้ตอบแบบสอบถามจัดลำดับในการทดลอง โดยสามารถนำแผนที่มาเรียงกับฐานราก พื้น เสา ภายใน) แต่ให้เขียนโดยเรียงกันมาพิจารณาได้ โดยแผนที่ที่จัดจะส่งให้เพื่อใช้ในการพิจารณาตามมาตรฐาน 12 เมตร

ให้ผู้ตอบแบบสอบถามจัดลำดับการคิดที่เหมาะสม

DB 28

DB 16

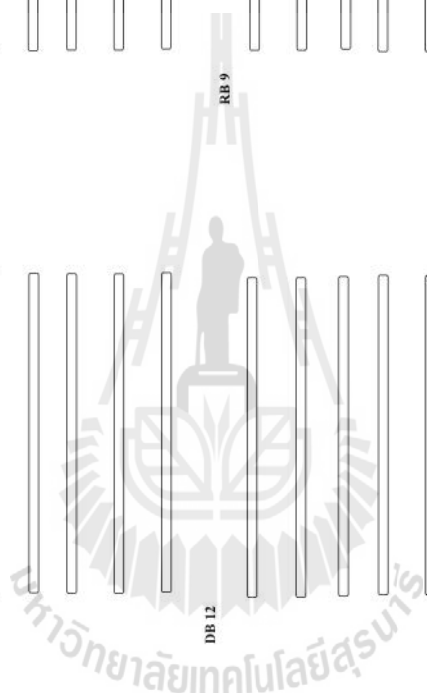
RE 6

DB 25

DB 12

DB 20

RE 9



(ส่วนที่2) รูปแบบการจัด ลำดับขั้นตอนการตัดเหล็กเส้น

ใส่เครื่องหมาย ✓ ใน ☐ ให้ถูกต้องและตอบคำถามจากแบบสอบถามให้ได้ใจความและกระชับ

1. ในการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและช่างเหล็กเพื่อให้ได้ตามแบบ Bar Cut มีการจัดลำดับการตัดหรือไม่

☐ มี

☐ ไม่มี

2. ในการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและช่างเหล็กจะเลือกตัดเหล็กอย่างไรก่อน

☐ เหล็กตรง

☐ เหล็กคด

☐ อื่นๆ (.....)

3. ในการจัดลำดับการตัดเลือกตัดเหล็กเส้นขนาดใหญ่ก่อนหรือขนาดเล็กก่อน

☐ เหล็กที่มีขนาดใหญ่

☐ เหล็กที่มีขนาดเล็ก

☐ อื่นๆ (.....)

4. ในการตัดเหล็กตามแบบ Bar cut จะตัดตามจำนวนของแต่ละแบบนั้นให้เสร็จก่อนหรือคละจำนวนของแต่ละแบบต่อการตัดในเหล็กเส้นเต็มหนึ่งเส้น

.....

5. ค้นพบการเริ่มต้นการตัดเหล็กเส้นรูปแบบนี้ตั้งแต่เมื่อใด

.....

6. ในโครงการก่อสร้างมีการสูญเสียเศษเหล็กเกิดขึ้นทางบริษัทมีวิธีการจัดการอย่างไรกับเศษที่เหลือ

.....

7. ผู้บริหารโครงการมีการให้ความสำคัญเกี่ยวกับการสูญเสียเศษเหล็กเส้นหรือไม่ อย่างไร

.....

.....

.....

8. ข้อจำกัดของวิศวกรและช่างเหล็กที่มีผลกระทบต่อการทำงาน

.....

.....

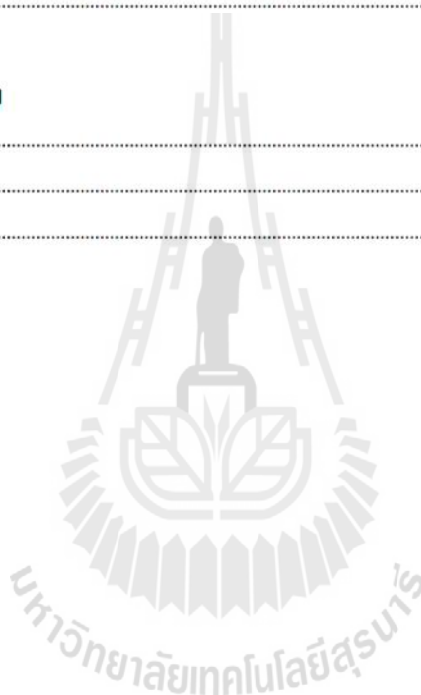
.....

9. ข้อเสนอแนะและอื่นๆ

.....

.....

.....



ตัวอย่างการตอบแบบสอบถาม

4 + 7



มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

แบบสอบถามการตัด – ดัดของเหล็กในโครงการก่อสร้าง

(ส่วนที่ 1) ข้อมูลทั่วไป

1. ชื่อบริษัท..... บริษัท ใกล้เคียง

ประเภทของโครงการ..... โครงการก่อสร้างอาคารสูง ๑๐ ชั้น

มูลค่าของโครงการ..... ๕๐,๐๐๐,๐๐๐

ชื่อผู้ให้ข้อมูล..... รศ. ภาณุ ใจดี

ตำแหน่ง..... วิศวกร

2. เพศ ☒ ชาย ☐ หญิง

3. อายุ ☐ 20 – 25 ปี ☐ 26 – 30 ปี

☐ 30 – 35 ปี ☒ มากกว่า 35 ปี

4. ประสบการณ์ทำงานเกี่ยวกับการตัด – ดัดเหล็ก

☐ 1 – 5 ปี ☐ 6 – 10 ปี

☐ 10 – 15 ปี ☒ มากกว่า 15 ปี

5. งานที่ทำการก่อสร้างส่วนใหญ่เป็นงานประเภทใด

☐ ที่พักอาศัย บ้านจัดสรร ☒ ตึกสูง

☐ สาธารณูปโภค ☐ อื่นๆ (.....)

(ส่วนที่ 2) รูปแบบการจัด อัดบันทึกเสียง - ดัดเสียง

จากแผนที่กำหนดให้ร่างหนังสือจัดดำเนินการจัดซื้อ โดยสามารถนำแบบที่ส่งไป (ฐานราก พื้น ฝา ภายนอก) แล้วเขียนรายละเอียดเกี่ยวกับความยาวมาตรฐาน 12 เมตร ให้ร่างหนังสืออีก 1 ชุด ความเหมาะสม

ฐานราก

รูปทรง	ขนาด	ความยาว (เมตร)	จำนวน (ชิ้น)	ความยาวที่ตัด (เมตร)	หมายเหตุ
3	DB28	3	3	5	
4.5	DB25	4.5	2	1.5	
0.25	DB20	2.98	4	0.71	
6	DB20	6	2	6	
3.35	DB16	7.186	1	0.0	
0.05	DB16	7	1	0.0	
0.44	DB12	10.58	1	1.0	
0.24	RB9	1.88	4	0.7	
0.24	RB6	2.76	3	0.0	

เสา

รูปทรง	ขนาด	ความยาว (เมตร)	จำนวน (ชิ้น)	ความยาวที่ตัด (เมตร)	หมายเหตุ
0.5	DB28	2.55	4	0.5	
0.02	DB28	2.26	4	0.24	
1.17	DB25	6.76	2	6.76	
0.75	DB20	0.75	1	0.25	
0.35	DB16	1	2	1	
3.4	DB12	3.6	3	3.6	
4.2	RB9	3.5	2	3.5	
0.58	RB9	0.26	4	0.0	
0.37	RB6	1.07	3	0.0	

พื้น

รูปทรง	ขนาด	ความยาว (เมตร)	จำนวน (ชิ้น)	ความยาวที่ตัด (เมตร)	หมายเหตุ
0.25	DB28	0.95	6	0.0	
0.25	DB25	1.75	4	0.0	
0.0	DB25	1.8	3	0.0	
0.3	DB20	3.75	3	3.0	
0.25	DB16	3.2	3	0.0	
0.25	DB12	1.4	4	0.0	
0.0	RB9	3	2	0.0	
0.0	RB6	5	2	0.0	
0.25	RB6	9.4	1	0.0	

คาน

รูปทรง	ขนาด	ความยาว (เมตร)	จำนวน (ชิ้น)	ความยาวที่ตัด (เมตร)	หมายเหตุ
0.0	DB28	5.32	2	0.0	
0.0	DB25	10.2	2	0.0	
0.0	DB20	4.5	2	0.0	
0.0	DB16	2.7	4	0.0	
0.0	DB12	5.99	3	0.0	
0.0	DB12	0.85	4	0.0	
0.0	RB9	9.7	1	0.0	
0.0	RB6	5.4	1	0.0	

7. ผู้บริหารโครงการมีการให้ความสำคัญเกี่ยวกับการดูแลเศษเหลือหรือไม่ อย่างไร

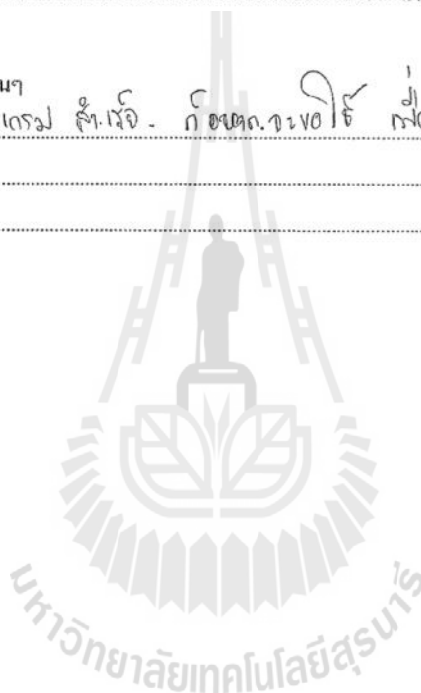
ในคณบดีได้ฝาก. เพราะได้กับ ไร่ของ อบ.ปทุมธานี

8. ข้อจำกัดของช่างเหล็กที่มีผลกระทบต่อการทำงาน

งานเร็ว วัสดุ น้อย. น้อย เป็นผู้รับ งาน - การรับในงาน
จิว แอบ ชัด. ไม่ ปล่อยให้ งาน. เร็ว เร็ว

9. ข้อเสนอแนะและอื่นๆ

ทำโปรแกรม ส.เร็ว. ก้อนด. ข. เร็ว. ไม่ ทด. ล. ล. - ในโครงการต่อไป.





ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ผลการวิจัยทางสถิติของเศษเหลือจากการตัดเหล็กเส้น

การวิเคราะห์ผลการวิจัยทางสถิติของเศษเหลือที่ปล่อยจากการตัดเหล็กเส้น

ก.1 การทดสอบ F-Test และ T-Test ของเศษเหลือที่ปล่อยจากการตัดของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2
สมมติฐานให้

$$H_0 : s_1^2 = s_2^2 \quad (\text{ข-1})$$

$$H_1 : s_1^2 \neq s_2^2 \quad (\text{ข-2})$$

โดยที่ s_1^2 และ s_2^2 คือค่าความแปรปรวนของเศษเหลือที่ปล่อยจากการตัดของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2

F-Test Two-Sample for Variances

	Group 1	Group 2
Mean	6.697076923	5.6816
Variance	2.551293077	2.4480148
Observations	13	5
df	12	4
F	1.042188584	
P(F<=f) one-tail	0.535756108	
F Critical one-tail	5.911729109	

จากค่า F = 1.042188584

F_{Critical} = 5.911729109

พบว่า (F < F_{Critical}) คือ ขอมรับ $H_0 : s_1^2 = s_2^2$

ค่าความแปรปรวนของเศษเหลือที่ปล่อยจากการตัดของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีค่าเท่ากัน

สมมติฐานให้

$$H_0 : m_1 \geq m_2 \quad (\text{ข-3})$$

$$H_1 : m_1 < m_2 \quad (\text{ข-4})$$

โดยที่ m_1 และ m_2 คือค่าเฉลี่ยของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances

	Group 1	Group 2
Mean	6.697076923	5.6816
Variance	2.551293077	2.4480148
Observations	13	5
Pooled Variance	2.525473508	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	16	
t Stat	1.214280653	
P(T<=t) one-tail	0.121129667	
t Critical one-tail	1.745883676	
P(T<=t) two-tail	0.242259334	
t Critical two-tail	2.119905299	

จากค่า t Stat = 1.214280653

t Critical one-tail = -1.745883676

พบว่าค่า t Stat มีค่ามากกว่า t Critical one-tail จึงยอมรับสมมติฐาน $H_0 : m_1^2 \geq m_2^2$ ค่าเฉลี่ยของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 1 มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ยของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05

ก.2 การทดสอบ F-Test และ T-Test ของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 3

สมมติฐานให้

$$H_0 : s_1^2 = s_3^2 \quad (\text{ข-5})$$

$$H_1 : s_1^2 \neq s_3^2 \quad (\text{ข-6})$$

โดยที่ s_1^2 และ s_3^2 คือค่าความแปรปรวนของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 3

F-Test Two-Sample for Variances		
	Group 1	Group 3
Mean	6.697076923	5.8165
Variance	2.551293077	6.091627143
Observations	13	8
df	12	7
F	0.418819638	
P(F<=f) one-tail	0.088730526	
F Critical one-tail	0.343246501	

จากค่า F = 0.418819638

F_{Critical} = 0.343246501

พบว่า (F > F_{Critical}) คือ ปฏิเสธ $H_0 : s_1^2 = s_3^2$

ค่าความแปรปรวนของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 3 ไม่เท่ากัน

สมมติฐานให้

$$H_0 : m_1 \geq m_3 \quad (\text{ข-7})$$

$$H_1 : m_1 < m_3 \quad (\text{ข-8})$$

โดยที่ m_1 และ m_2 คือค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 3

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances

	Group 1	Group 3
Mean	6.697076923	5.8165
Variance	2.551293077	6.091627143
Observations	13	8
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	11	
t Stat	0.899810456	
P(T<=t) one-tail	0.19374778	
t Critical one-tail	1.795884819	
P(T<=t) two-tail	0.387495559	
t Critical two-tail	2.20098516	

จากค่า t Stat = 0.899810456

t Critical one-tail = 1.795884819

พบว่าค่า t Stat มีค่ามากกว่า t Critical one-tail จึงยอมรับสมมติฐาน $H_0 : m_1 \geq m_3$ ค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 1 มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05

ก.3 การทดสอบ F-Test และ T-Test ของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 4
สมมติฐานให้

$$H_0 : s_1^2 = s_4^2 \quad (\text{ข-9})$$

$$H_1 : s_1^2 \neq s_4^2 \quad (\text{ข-10})$$

โดยที่ s_1^2 และ s_4^2 คือค่าความแปรปรวนของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 4

F-Test Two-Sample for Variances

	Group 1	Group 4
Mean	6.697076923	5.351454545
Variance	2.551293077	2.825528073
Observations	13	11
Df	12	10
F	0.902943808	
P(F<=f) one-tail	0.427164984	
F Critical one-tail	0.363189077	

จากค่า F = 0.902943808

F_{Critical} = 0.363189077

พบว่า ($F > F_{\text{Critical}}$) คือ ปฏิเสธ $H_0 = s_1^2 = s_4^2$

ค่าความแปรปรวนของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 4 ไม่เท่ากัน

สมมติฐานให้

$$H_0 : m_1 \geq m_4 \quad (\text{ข-11})$$

$$H_1 : m_1 < m_4 \quad (\text{ข-12})$$

โดยที่ m_1^2 และ m_4^2 คือค่าเฉลี่ยของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 4

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances

	Group 1	Group 4
Mean	6.697076923	5.351454545
Variance	2.551293077	2.825528073
Observations	13	11
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	21	
t Stat	1.999018547	
P(T<=t) one-tail	0.029356899	
t Critical one-tail	1.720742903	
P(T<=t) two-tail	0.058713798	
t Critical two-tail	2.079613845	

จากค่า t Stat = 1.999018547

t Critical one-tail = -1.720742903

พบว่าค่า t Stat มีค่ามากกว่า t Critical one-tail จึงปฏิเสธสมมติฐาน $H_0 : \mu_1 \geq \mu_4$ ค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 1 มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05

ก.4 การทดสอบ F-Test และ T-Test ของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 5
สมมติฐานให้

$$H_0 : S_1^2 = S_5^2 \quad (\text{ข-13})$$

$$H_1 : S_1^2 \neq S_5^2 \quad (\text{ข-14})$$

โดยที่ S_1^2 และ S_5^2 คือค่าความแปรปรวนของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 5

F-Test Two-Sample for Variances

	Group 1	Group 5
Mean	6.697076923	6.885066667
Variance	2.551293077	4.551585638
Observations	13	15
df	12	14
F	0.560528414	
P(F<=f) one-tail	0.160562314	
F Critical one-tail	0.379201042	

จากค่า F = 0.560528414

F_{Critical} = 0.379201042

พบว่า ($F > F_{\text{Critical}}$) คือ ปฏิเสธ $H_0 : s_1^2 = s_5^2$

ค่าความแปรปรวนของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 5 ไม่เท่ากัน

สมมติฐานให้

$$H_0 : m_5 \geq m_1 \quad (\text{ข-15})$$

$$H_1 : m_5 < m_1 \quad (\text{ข-16})$$

โดยที่ m_5^2 และ m_1^2 คือค่าเฉลี่ยของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 5 และกลุ่มที่ 1

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances

	Group 5	Group 1
Mean	6.885066667	6.697076923
Variance	4.551585638	2.551293077
Observations	15	13
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	26	

t Stat	0.265939472
P(T<=t) one-tail	0.396191676
t Critical one-tail	1.70561792
P(T<=t) two-tail	0.792383353
t Critical two-tail	2.055529439

จากค่า t Stat = 0.265939472

t Critical one-tail = -1.70561792

พบว่าค่า t Stat มีค่ามากกว่า t Critical one-tail จึงยอมรับสมมติฐาน $H_0 : \mu_5 \geq \mu_1$ ค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 5 มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05

ก.5 การทดสอบ F-Test และ T-Test ของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 6
สมมติฐานให้

$$H_0 : S_1^2 = S_6^2 \quad (\text{ข-17})$$

$$H_1 : S_1^2 \neq S_6^2 \quad (\text{ข-18})$$

โดยที่ S_1^2 และ S_6^2 คือค่าความแปรปรวนของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 6

F-Test Two-Sample for Variances

	Group 1	Group 6
Mean	6.697076923	6.297666667
Variance	2.551293077	0.040714267
Observations	13	6
Df	12	5
F	62.66336805	
P(F<=f) one-tail	0.000121876	
F Critical one-tail	4.677703792	

$$\text{จากค่า } F = 62.66336805$$

$$F_{\text{Critical}} = 4.677703792$$

$$\text{พบว่า } (F > F_{\text{Critical}}) \text{ คือ ปฏิเสธ } H_0 = s_1^2 = s_6^2$$

ค่าความแปรปรวนของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 6 ไม่เท่ากัน

สมมติฐานให้

$$H_0 : m_1 \geq m_6 \quad (\text{ข-19})$$

$$H_1 : m_1 < m_6 \quad (\text{ข-20})$$

โดยที่ m_1^2 และ m_6^2 คือค่าเฉลี่ยของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 6

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances

	Group 1	Group 6
Mean	6.720857143	6.297666667
Variance	2.362956747	0.040714267
Observations	14	6
Hypothesized Mean Difference	0	
df	14	
t Stat	1.009980035	
P(T<=t) one-tail	0.164821454	
t Critical one-tail	1.761310136	
P(T<=t) two-tail	0.329642908	
t Critical two-tail	2.144786688	

$$\text{จากค่า } t \text{ Stat} = 1.009980035$$

$$t \text{ Critical one-tail} = -1.761310136$$

พบว่าค่า t Stat มีค่ามากกว่า t Critical one-tail จึงยอมรับสมมติฐาน $H_0 : \mu_1 \geq \mu_6$ ค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 1 มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ยเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05

ก.6 การทดสอบ F-Test และ T-Test ของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3
สมมติฐานให้

$$H_0 : s_2^2 = s_3^2 \quad (\text{ข-21})$$

$$H_1 : s_2^2 \neq s_3^2 \quad (\text{ข-22})$$

โดยที่ s_2^2 และ s_3^2 คือค่าความแปรปรวนของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3

F-Test Two-Sample for Variances		
	Group 2	Group 3
Mean	5.6816	5.8165
Variance	2.4480148	6.091627143
Observations	5	8
Df	4	7
F	0.401865502	
P(F<=f) one-tail	0.197917128	
F Critical one-tail	0.164090152	

$$\text{จากค่า } F = 0.401865502$$

$$F_{\text{Critical}} = 0.164090152$$

พบว่า $(F > F_{\text{Critical}})$ คือ ปฏิเสธ $H_0 : s_2^2 = s_3^2$

ค่าความแปรปรวนของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 ไม่เท่ากัน

สมมติฐานให้

$$H_0 : m_3 \geq m_2 \quad (\text{ข-23})$$

$$H_1 : m_3 < m_2 \quad (\text{ข-24})$$

โดยที่ m_3^2 และ m_2^2 คือค่าเฉลี่ยของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 2

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances

	Group 3	Group 2
Mean	5.8165	5.6816
Variance	6.091627143	2.4480148
Observations	8	5
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	11	
t Stat	0.120607277	
P(T<=t) one-tail	0.45308845	
t Critical one-tail	1.795884819	
P(T<=t) two-tail	0.9061769	
t Critical two-tail	2.20098516	

จากค่า t Stat = 0.120607277

t Critical one-tail = - 1.795884819

พบว่าค่า t Stat มีค่ามากกว่า t Critical one-tail จึงยอมรับสมมติฐาน $H_0 : m_3 \geq m_2$ ค่าเฉลี่ยของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 3 มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ยของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05

ก.7 การทดสอบ F-Test และ T-Test ของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 4
สมมติฐานให้

$$H_0 : s_2^2 = s_4^2 \quad (\text{ข-25})$$

$$H_1 : s_2^2 \neq s_4^2 \quad (\text{ข-26})$$

โดยที่ s_2^2 และ s_4^2 คือค่าความแปรปรวนของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 4

F-Test Two-Sample for Variances

	Group 2	Group 4
Mean	5.6816	5.351454545
Variance	2.4480148	2.825528073
Observations	5	11
Df	4	10
F	0.866391958	
P(F<=f) one-tail	0.483453159	
F Critical one-tail	0.167662286	

จากค่า $F = 0.866391958$

$F_{\text{Critical}} = 0.167662286$

พบว่า ($F > F_{\text{Critical}}$) คือ ปฏิเสธ $H_0 = s_2^2 = s_4^2$

ค่าความแปรปรวนของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 4 ไม่เท่ากัน

สมมติฐานให้

$$H_0 : m_2 \geq m_4 \quad (\text{ข-27})$$

$$H_1 : m_2 < m_4 \quad (\text{ข-28})$$

โดยที่ m_2^2 และ m_4^2 คือค่าเฉลี่ยของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 4

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances

	Group 2	Group 4
Mean	5.6816	5.351454545
Variance	2.4480148	2.825528073
Observations	5	11
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	8	
t Stat	0.382119667	
P(T<=t) one-tail	0.356161721	
t Critical one-tail	1.859548038	
P(T<=t) two-tail	0.712323441	
t Critical two-tail	2.306004135	

จากค่า t Stat = 0.382119667

t Critical one-tail = -1.859548038

พบว่าค่า t Stat มีค่าน้อยกว่า t Critical one-tail จึงยอมรับสมมติฐาน $H_0 : \mu_2 \geq \mu_4$ ค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 2 มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05

ก.8 การทดสอบ F-Test และ T-Test ของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 5
สมมติฐานให้

$$H_0 : S_2^2 = S_5^2 \quad (\text{ข-29})$$

$$H_1 : S_2^2 \neq S_5^2 \quad (\text{ข-30})$$

โดยที่ S_2^2 และ S_5^2 คือค่าความแปรปรวนของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 5

F-Test Two-Sample for Variances

	Group 2	Group 5
Mean	5.6816	6.885066667
Variance	2.4480148	4.551585638
Observations	5	15
Df	4	14
F	0.537837799	
P(F<=f) one-tail	0.289555103	
F Critical one-tail	0.170260692	

จากค่า F = 0.537837799

F_{Critical} = 0.170260692

พบว่า (F > F_{Critical}) คือ ปฏิเสธ $H_0 : s_2^2 = s_5^2$

ค่าความแปรปรวนของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 5 ไม่เท่ากัน

สมมติฐานให้

$$H_0 : m_5 \geq m_2 \quad (\text{ข-31})$$

$$H_1 : m_5 < m_2 \quad (\text{ข-32})$$

โดยที่ m_5^2 และ m_2^2 คือค่าเฉลี่ยของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 5 และกลุ่มที่ 2

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances

	Group 5	Group 2
Mean	6.885066667	5.6816
Variance	4.551585638	2.4480148
Observations	15	5
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	9	

t Stat	1.351406399
P(T<=t) one-tail	0.104776287
t Critical one-tail	1.833112933
P(T<=t) two-tail	0.209552574
t Critical two-tail	2.262157163

จากค่า t Stat = 1.351406399

t Critical one-tail = -1.833112933

พบว่าค่า t Stat มีค่ามากกว่า t Critical one-tail จึงยอมรับสมมติฐาน $H_0 : m_5 \geq m_2$ ค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 5 มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05

ก.9 การทดสอบ F-Test และ T-Test ของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 6
สมมติฐานให้

$$H_0 : S_2^2 = S_6^2 \quad (\text{ข-33})$$

$$H_1 : S_2^2 \neq S_6^2 \quad (\text{ข-34})$$

โดยที่ S_2^2 และ S_6^2 คือค่าความแปรปรวนของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 6

F-Test Two-Sample for Variances

	Group 2	Group 6
Mean	5.6816	6.297666667
Variance	2.4480148	0.040714267
Observations	5	6
Df	4	5
F	60.12670743	
P(F<=f) one-tail	0.00020416	
F Critical one-tail	5.192167773	

$$\text{จากค่า } F = 60.12670743$$

$$F_{\text{Critical}} = 5.192167773$$

$$\text{พบว่า } (F > F_{\text{Critical}}) \text{ คือ ปฏิเสธ } H_0 = s_2^2 = s_6^2$$

ค่าความแปรปรวนของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 6 ไม่เท่ากัน

สมมติฐานให้

$$H_0 : m_6 \geq m_2 \quad (\text{ข-35})$$

$$H_1 : m_6 < m_2 \quad (\text{ข-36})$$

โดยที่ m_6^2 และ m_2^2 คือค่าเฉลี่ยของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 6 และกลุ่มที่ 2

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances

	Group 6	Group 2
Mean	6.297666667	5.6816
Variance	0.040714267	2.4480148
Observations	6	5
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	4	
t Stat	0.874413352	
P(T<=t) one-tail	0.215626365	
t Critical one-tail	2.131846786	
P(T<=t) two-tail	0.431252729	
t Critical two-tail	2.776445105	

$$\text{จากค่า } t \text{ Stat} = 0.874413352$$

$$t \text{ Critical one-tail} = -2.131846786$$

พบว่าค่า t Stat มีค่ามากกว่า t Critical one-tail จึงยอมรับสมมติฐาน $H_0 : \mu_6 \geq \mu_2$ ค่าเฉลี่ยของเพศหลักที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 6 มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ยของเพศหลักที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05

ก.10 การทดสอบ F-Test และ T-Test ของเพศหลักที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4 สมมติฐานให้

$$H_0 : s_3^2 = s_4^2 \quad (\text{ข-37})$$

$$H_1 : s_3^2 \neq s_4^2 \quad (\text{ข-38})$$

โดยที่ s_3^2 และ s_4^2 คือค่าความแปรปรวนของเพศหลักที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4

F-Test Two-Sample for Variances

	Group 3	Group 4
Mean	5.8165	5.351454545
Variance	6.091627143	2.825528073
Observations	8	11
df	7	10
F	2.155925189	
P(F<=f) one-tail	0.130725675	
F Critical one-tail	3.135464805	

$$\text{จากค่า } F = 2.155925189$$

$$F_{\text{Critical}} = 3.135464805$$

พบว่า $(F < F_{\text{Critical}})$ คือ ยอมรับ $H_0 = s_3^2 = s_4^2$

ค่าความแปรปรวนของเพศหลักที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4 มีค่าเท่ากัน
สมมติฐานให้

$$H_0 : \mu_3 \geq \mu_4 \quad (\text{ข-39})$$

$$H_1 : m_3 < m_4 \quad (\text{ข-40})$$

โดยที่ m_3 และ m_4 คือค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances

	Group 3	Group 4
Mean	5.8165	5.351455
Variance	6.091627143	2.825528
Observations	8	11
Pooled Variance	4.170392396	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	17	
t Stat	0.490085078	
P(T<=t) one-tail	0.315169266	
t Critical one-tail	1.739606726	
P(T<=t) two-tail	0.630338531	
t Critical two-tail	2.109815578	

จากค่า t Stat = 0.490085078

t Critical one-tail = -1.739606726

พบว่าค่า t Stat มีค่ามากกว่า t Critical one-tail จึงยอมรับสมมติฐาน $H_0 : m_3 \geq m_4$ ค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 3 มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05

ก.11 การทดสอบ F-Test และ T-Test ของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 5
สมมติฐานให้

$$H_0 : s_3^2 = s_5^2 \quad (\text{ข-41})$$

$$H_1 : s_3^2 \neq s_5^2 \quad (\text{ข-42})$$

โดยที่ s_3^2 และ s_5^2 คือค่าความแปรปรวนของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่ม 3 และกลุ่ม 5

F-Test Two-Sample for Variances

	Group 3	Group 5
Mean	5.8165	6.885066667
Variance	6.091627143	4.551585638
Observations	8	15
df	7	14
F	1.338352747	
P(F<=f) one-tail	0.303538571	
F Critical one-tail	2.764199257	

จากค่า F = 1.338352747

$F_{\text{Critical}} = 2.764199257$

พบว่า ($F < F_{\text{Critical}}$) คือ ขอมรับ $H_0 = s_3^2 = s_5^2$

ค่าความแปรปรวนของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 5 มีค่าเท่ากัน

สมมติฐานให้

$$H_0 : m_5 \geq m_3 \quad (\text{ข-43})$$

$$H_1 : m_5 < m_3 \quad (\text{ข-44})$$

โดยที่ m_5^2 และ m_3^2 คือค่าเฉลี่ยของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่ม 5 และกลุ่มที่ 3

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances

	Group 5	Group 3
Mean	6.885066667	5.8165
Variance	4.551585638	6.091627143
Observations	15	8
Pooled Variance	5.064932806	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	21	
t Stat	1.084529784	
P(T<=t) one-tail	0.145212233	
t Critical one-tail	1.720742903	
P(T<=t) two-tail	0.290424466	
t Critical two-tail	2.079613845	

จากค่า t Stat = 1.084529784

t Critical one-tail = 1.720742903

พบว่าค่า t Stat มีค่ามากกว่า t Critical one-tail จึงยอมรับสมมติฐาน $H_0 : \mu_5 \leq \mu_3$ ค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 5 ค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05

ก.12 การทดสอบ F-Test และ T-Test ของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 6 สมมติฐานให้

$$H_0 : S_3^2 = S_6^2 \quad (\text{ข-45})$$

$$H_1 : S_3^2 \neq S_6^2 \quad (\text{ข-46})$$

โดยที่ S_3^2 และ S_6^2 คือค่าความแปรปรวนของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 6

F-Test Two-Sample for Variances

	Group 3	Group 6
Mean	5.8165	6.297666667
Variance	6.091627143	0.040714267
Observations	8	6
df	7	5
F	149.6189823	
P(F<=f) one-tail	1.67641E-05	
F Critical one-tail	4.875871696	

จากค่า F = 149.6189823

$F_{\text{Critical}} = 4.875871696$

พบว่า ($F > F_{\text{Critical}}$) คือ ปฏิเสธ $H_0 = s_3^2 = s_6^2$

ค่าความแปรปรวนของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 3 และกลุ่ม ที่ 6 ไม่ค่าเท่ากัน

สมมติฐานให้

$$H_0 : m_6 \geq m_3 \quad (\text{ข-47})$$

$$H_1 : m_6 < m_3 \quad (\text{ข-48})$$

โดยที่ m_6^2 และ m_3^2 คือค่าเฉลี่ยของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 6 และกลุ่มที่ 3

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances

	Group 6	Group 3
Mean	6.297666667	5.8165
Variance	0.040714267	6.091627143
Observations	6	8
Hypothesized Mean Difference	0	

Df	7
t Stat	0.548968378
P(T<=t) one-tail	0.30004595
t Critical one-tail	1.894578605
P(T<=t) two-tail	0.600091901
t Critical two-tail	2.364624252

จากค่า t Stat = 0.548968378

t Critical one-tail = - 1.894578605

พบว่าค่า t Stat มีค่ามากกว่า t Critical one-tail จึงยอมรับสมมติฐาน $H_0 : \mu_6 \geq \mu_3$ ค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 6 มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05

ก.13 การทดสอบ F-Test และ T-Test ของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 4 และกลุ่มที่ 5
สมมติฐานให้

$$H_0 : s_4^2 = s_5^2 \quad (\text{ข-49})$$

$$H_1 : s_4^2 \neq s_5^2 \quad (\text{ข-50})$$

โดยที่ s_4^2 และ s_5^2 คือค่าความแปรปรวนของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 4 และกลุ่มที่ 5

F-Test Two-Sample for Variances

	Group 4	Group 5
Mean	5.351454545	6.885066667
Variance	2.825528073	4.551585638
Observations	11	15
df	10	14
F	0.620778844	
P(F<=f) one-tail	0.226416167	

F Critical one-tail 0.349073319

จากค่า F = 0.620778844

F_{Critical} = 0.349073319

พบว่า ($F > F_{\text{Critical}}$) คือ ปฏิเสธ $H_0 = s_4^2 = s_5^2$

ค่าความแปรปรวนของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 4 และกลุ่มที่ 5 ไม่เท่ากัน

สมมติฐานให้

$$H_0 : m_5 \geq m_4 \quad (\text{ข-51})$$

$$H_1 : m_5 < m_4 \quad (\text{ข-52})$$

โดยที่ m_5^2 และ m_4^2 คือค่าเฉลี่ยของของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 5 และกลุ่มที่ 4

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances

	Group 5	Group 4
Mean	6.885066667	5.351454545
Variance	4.551585638	2.825528073
Observations	15	11
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	24	
t Stat	2.048817117	
P(T<=t) one-tail	0.025783184	
t Critical one-tail	1.71088208	
P(T<=t) two-tail	0.051566368	
t Critical two-tail	2.063898562	

จากค่า $t_{\text{Stat}} = 2.048817117$

$t_{\text{Critical one-tail}} = -1.71088208$

พบว่าค่า t_{Stat} มีค่ามากกว่า $t_{\text{Critical one-tail}}$ จึงยอมรับสมมติฐาน $H_0 : \mu_5 \geq \mu_4$ ค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 5 มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05

ก.14 การทดสอบ F-Test และ T-Test ของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 4 และกลุ่มที่ 6
สมมติฐานให้

$$H_0 : s_4^2 = s_6^2 \quad (\text{ข-53})$$

$$H_1 : s_4^2 \neq s_6^2 \quad (\text{ข-54})$$

โดยที่ s_4^2 และ s_6^2 คือค่าความแปรปรวนของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 4 และกลุ่มที่ 6

F-Test Two-Sample for Variances		
	Group 4	Group 6
Mean	5.351454545	6.297666667
Variance	2.825528073	0.040714267
Observations	11	6
df	10	5
F	69.39896759	
P(F<=f) one-tail	9.9472E-05	
F Critical one-tail	4.73506307	

จากค่า $F = 69.39896759$

$F_{\text{Critical}} = 4.73506307$

พบว่า ($F > F_{\text{Critical}}$) คือ ปฏิเสธ $H_0 : s_4^2 = s_6^2$

ค่าความแปรปรวนของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 4 และกลุ่มที่ 6 ไม่เท่ากัน

สมมติฐานให้

$$H_0 : m_6 \geq m_4 \quad (\text{ข-55})$$

$$H_1 : m_6 < m_4 \quad (\text{ข-56})$$

โดยที่ m_6^2 และ m_4^2 คือค่าเฉลี่ยของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 6 และกลุ่มที่ 4

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances		
	Group 6	Group 4
Mean	6.297666667	5.351454545
Variance	0.040714267	2.825528073
Observations	6	11
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	11	
t Stat	1.842778153	
P(T<=t) one-tail	0.046226335	
t Critical one-tail	1.795884819	
P(T<=t) two-tail	0.092452671	
t Critical two-tail	2.20098516	

จากค่า t Stat = 1.842778153

t Critical one-tail = -1.795884819

พบว่าค่า t Stat มีค่ามากกว่า t Critical one-tail จึงยอมรับสมมติฐาน $H_0 : m_6 \geq m_4$ ค่าเฉลี่ยของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 6 มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05

ก.15 การทดสอบ F-Test และ T-Test ของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 5 และกลุ่มที่ 6
สมมติฐานให้

$$H_0 : s_5^2 = s_6^2 \quad (\text{ข-57})$$

$$H_1 : s_5^2 \neq s_6^2 \quad (\text{ข-58})$$

โดยที่ s_5^2 และ s_6^2 คือค่าความแปรปรวนของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 5 และกลุ่มที่ 6

F-Test Two-Sample for Variances

	Group 5	Group 6
Mean	6.885066667	6.297666667
Variance	4.551585638	0.040714267
Observations	15	6
df	14	5
F	111.7933838	
P(F<=f) one-tail	2.81433E-05	
F Critical one-tail	4.635767721	

จากค่า F = 111.7933838

F_{Critical} = 4.635767721

พบว่า (F > F_{Critical}) คือ ปฏิเสธ $H_0 : s_5^2 = s_6^2$
 ค่าความแปรปรวนของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 5 และกลุ่มที่ 6 ไม่เท่ากัน

สมมติฐานให้

$$H_0 : m_5 \geq m_6 \quad (\text{ข-59})$$

$$H_1 : m_5 < m_6 \quad (\text{ข-60})$$

โดยที่ m_5^2 และ m_6^2 คือค่าเฉลี่ยของเศษเหลือที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 5 และกลุ่มที่ 6

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances

	Group 5	Group 6
Mean	6.885066667	6.297666667
Variance	4.551585638	0.040714267
Observations	15	6
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	15	
t Stat	1.054619308	
P(T<=t) one-tail	0.154145601	
t Critical one-tail	1.753050356	
P(T<=t) two-tail	0.308291202	
t Critical two-tail	2.131449546	

จากค่า t Stat = 1.054619308

t Critical one-tail = -1.753050356

พบว่าค่า t Stat มีค่ามากกว่า t Critical one-tail จึงยอมรับสมมติฐาน $H_0 : \mu_5 \geq \mu_6$ ค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 5 มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดของกลุ่มที่ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05



ภาคผนวก ค

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

สุวิชา สมบุญ , วรภูมิ เบญจโอพาร (2555). ศึกษาการจัดลำดับการตัด – ดัดเหล็กเส้นของ
ช่างเหล็กในโครงการก่อสร้าง The study of bar cutting- bending in Construction Project.
การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17 (NCCE17)., หน้า X-X

สุวิชา สมบุญ , วรภูมิ เบญจโอพาร (2558). การสำรวจอัลกอริทึมการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น
ของวิศวกรและช่างเหล็ก Survey of the Rebar Cutting-Pattern Algorithm of Engineers
and Steel Workers. วารสาร วิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ., ฉบับที่ 1 ปีที่ 8 ประจำเดือน
มกราคม – มิถุนายน 2558





ศึกษาการจัดลำดับการตัด – ตัดเหล็กเส้นของช่างเหล็กในโครงการก่อสร้าง

The study of bar cutting– bending in Construction Project

สุวิศา สมบุญ¹, วรภูมิ เบญจโอฬาร²

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

get.c.v_g@hotmail.com

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

vacharapoom@sut.ac.th

บทคัดย่อ: การสูญเสียเหล็กที่เหลืจากการทำงานในโครงการก่อสร้างเป็นปัญหาหลักในการจัดการโครงการก่อสร้าง พบว่าสาเหตุหลักของการสูญเสียเหล็กเส้นนั้นขึ้นอยู่กับกระบวนการและขั้นตอนในการตัด-ตัดเหล็ก ดังนั้นเพื่อลดความสูญเสียปริมาณเหล็กเส้นในการทำงาน บทความนี้จึงนำเสนอแนวทางในการจัดลำดับการตัด-ตัดเหล็กเส้น และปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียเหล็กเส้น ในการดำเนินงานวิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลจากแบบสอบถามและสัมภาษณ์ช่างเหล็กจำนวน 9 คนจากโครงการก่อสร้างจำนวน 7 โครงการ เพื่อทำการศึกษาวิธีการจัดลำดับการตัด-ตัดเหล็กเส้นของช่างเหล็ก โดยผลลัพธ์ที่ได้จากสอบถามจะทำให้ทราบขั้นตอนและปัจจัยที่ส่งผลต่อช่างเหล็กในโครงการก่อสร้างในดำเนินการตัด-ตัดเหล็กเส้น ซึ่งจะถูกนำมาใช้ในพัฒนาขั้นตอน, วิธีการ และปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงานช่างเหล็กในโครงการก่อสร้างเพื่อช่วยให้โครงการก่อสร้างมีการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยลง

คำสำคัญ: การสูญเสียเหล็กเส้น, การจัดลำดับการตัด, การจัดลำดับการตัด

Abstract: loss steel, leftover main problem to the construction of construction project management. The main cause of the loss depends on the steel and the cutting – bending steel. In order to minimize the loss of steel in the works. This paper presents guidelines for grading, cutting – bending steel. Factor the loss of steel. Collected data from questionnaires and interviews with 9 people who comes from seven projects. To study how order – cutting, bending steel bars. The results of interviewing will provide the information of methods, sequence of work and factors which are affected to the quantity of wasted steel in the project. The information is going to be used for developing new methods and sequence of working of cutting–bending bar for construction project. The steel wasted is minimized.

Keywords: Steel Waste, Cutting bar, Bending bar

¹ ผู้ติดต่อหลัก (Corresponding author)



1. บทนำ

เหล็กเส้นเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีความสำคัญสำหรับโครงการก่อสร้างโดยทั่วไป เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีปริมาณความต้องการใช้มาก และมีราคาต่อหน่วยสูง จึงทำให้ต้นทุนค่าเหล็กเส้นเป็นส่วนที่สูงของมูลค่าโครงการทั้งหมด ในโครงการก่อสร้างมีสาเหตุการสูญเสียเหล็กเส้นได้หลายประการ ได้แก่ การสั่งซื้อเหล็ก การขนส่ง การเปลี่ยนแปลงแบบก่อสร้าง เศษจากการตัดและตัดเหล็ก การตัดและตัดผิดไปจากแบบ การจัดเก็บ การขโมยรวมถึงการขาดการควบคุมและการบริหารจัดการของผู้ควบคุมงาน งานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะการตัดและตัดเหล็กที่ได้จากรายการตัดเหล็กเส้น (Bar Cut List) และจากแบบรายละเอียดการเสริมเหล็ก (Shop drawing) เท่านั้น ซึ่งไม่รวมถึงการสูญเสียเหล็กที่ตัดผิดแบบ การเปลี่ยนแปลงแบบ โดยในโครงการก่อสร้างจะพบว่าเหล็กเสริมคอนกรีต ปูนก่อ ปูนฉาบ กระเบื้องผนังและพื้น มีค่าการสูญเสียสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุก่อสร้างชนิดอื่นๆ [1]

สาเหตุของการสูญเสียที่เกิดจากการก่อสร้างเกิดขึ้นในขั้นตอนการออกแบบและในระหว่างการทำเหมืองก่อสร้าง [2] ปริมาณการสูญเสียเหล็กเส้นจากการก่อสร้างในปัจจุบันนั้น ส่วนหนึ่งเกิดจากการทำงานที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ โดยสาเหตุหลักของการสูญเสีย เนื่องจากเหล็กเส้นที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีความยาวมาตรฐาน (10, 12 เมตร) อีกทั้งในลักษณะของงานก่อสร้างจำเป็นต้องมีการตัด ตัด งอเหล็กเส้นให้ได้ขนาดตามความยาวที่ต้องการก่อนนำมาใช้งาน จึงทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นขึ้น [3]

ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดเหล็กเส้นนี้ล้วนมีผลกระทบต่อโครงการก่อสร้างโดยตรง เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นต่อผู้รับเหมา ทำให้ต้องมีการสั่งเหล็กเส้นเพิ่มขึ้นกว่าที่ได้ประมาณ (Bill of Quantities (BOQ)) ไว้ ซึ่งอาจเกินงบประมาณที่กำหนด

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้วัสดุเหล็กเส้นมากที่สุด 3 อันดับ คือ

1. ปัจจัยของผู้ปฏิบัติงานไม่มีความชำนาญในการใช้วัสดุ

2. ปัจจัยของการขนย้ายวัสดุ

3. ปัจจัยจากการวางแผนการใช้ โดยที่ไม่มีการวางแผนการตัดขนาดของวัสดุให้ตรงตามความต้องการ [4]

ในการที่ผู้รับเหมาไม่มีการวางแผนหรือกระบวนการคิดการจัดลำดับการตัด-ตัดเหล็กเส้นให้ช่างเหล็ก ทำให้ช่างเหล็กตัดตามความต้องการหรือตามประสบการณ์ของช่างเหล็ก เช่นถ้าช่างเหล็กมีประสบการณ์การทำงานน้อย ไม่มีความชำนาญ จะทำให้มีการสูญเสียเหล็กเส้นมาก ส่งผลให้ต้องมีการสั่งเหล็กเส้นมากกว่าความจำเป็นที่ต้องการใช้ในโครงการก่อสร้าง เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายของโครงการก่อสร้าง เพราะฉะนั้นการควบคุมคุณภาพและการวางแผนการจัดลำดับการตัด-ตัดเหล็กเส้นจะเป็นแนวทางหนึ่งในการลดค่าใช้จ่ายลงได้อย่างมาก

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาการจัดลำดับการตัด - ตัดเหล็กเส้นของช่างเหล็กในโครงการก่อสร้าง

2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียเหล็กเส้นที่เกิดจากการตัดจากแบบ (Shop Drawing) เท่านั้น ไม่รวมถึงการสูญเสียจากการตัดที่ผิดพลาดและแบบไม่สมบูรณ์

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ใช้วิธีการสัมภาษณ์ และตอบแบบสอบถาม ช่างเหล็กจำนวน 9 คน จากโครงการก่อสร้างจำนวน 7 โครงการ เพื่อทำการศึกษการจัดลำดับการตัด-ตัดเหล็กเส้นของช่างเหล็ก โดยทำการศึกษาค้นคว้าการสูญเสียเหล็กเส้น ที่เกิดจากการตัดจากแบบ (Shop Drawing) เท่านั้นไม่รวมถึงการสูญเสียจากการตัดที่ผิดพลาด และแบบไม่สมบูรณ์ โดยใช้แบบสอบถามที่เป็นโจทย์เดียวกันในการหาการ



จัดลำดับการตัด-ตัดเหล็กเส้น และปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียเหล็กเส้น

งานวิจัยสามารถแสดงขั้นตอนการศึกษาได้ (รูปที่ 1) โดยแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งใช้การเก็บข้อมูลการจัดลำดับการตัด-ตัดเหล็กเส้นโดยใช้ (Bar Cut List) เพื่อศึกษาการจัดลำดับการตัด-ตัดเหล็กของช่างเหล็กในโครงการก่อสร้าง ส่วนที่สองใช้การเก็บข้อมูล เพื่อศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นที่เกิดจากการตัดจากแบบเท่านั้น



รูปที่ 1 ขั้นตอนการทำงานวิจัย

3.1 ศึกษาวิธีการจัดลำดับการตัด - ตัดเหล็กของช่างเหล็กในโครงการก่อสร้าง

จากการเก็บข้อมูลจากแบบสอบถาม โดยให้ช่างเหล็กทำการจัดลำดับการตัด-ตัดเหล็กเส้นจากแบบรายการตัดเหล็กเส้น (Bar Cut List) ที่ได้มาจากแบบรายละเอียดการเสริมเหล็ก (Shop drawing) ดังรูปที่ 2 ซึ่งจะใช้แบบก่อสร้าง (Construction drawing) เป็นหลัก ในการออกแบบการวางตำแหน่งของเหล็กเส้น โดยผู้วิจัยสร้างรูปแบบการตัด-ตัดเหล็กเส้นประกอบด้วย ฐานราก พื้น เสา และคาน แสดงขนาดของเหล็กเส้น ความยาวที่ต้องการตัด และจำนวนท่อนที่ต้องการใช้ในจอยท์ตัวอย่าง (รูปที่ 2)

รูปถ่ายชิ้นงาน	ขนาด	ขนาดจริง (เมตรท่อน)	จำนวน (ท่อน)	ความยาวตัด (เมตรท่อน)	หมายเหตุ
	1.2	0.95	0		
	1.2	1.75	4		
	1.2	1.0	3		
	1.2	3.75	3		
	1.2	3.2	3		
	1.2	1.4	4		
	1.2	3	2		
	1.2	5	2		
	1.2	9.4	1		

รูปที่ 2 ตัวอย่างแบบสอบถามการจัดลำดับการตัด - ตัดเหล็กเส้น

โครงการก่อสร้างทั่วไปจะมีการใช้เหล็กเส้นที่มีความยาวมาตรฐานอยู่ 2 ขนาดคือ 10 เมตรและ 12 เมตร ในจอยท์รูปแบบการจัดลำดับการตัด-ตัดเหล็กเส้น ผู้วิจัยได้กำหนดให้ใช้เหล็กความยาวมาตรฐาน 12 เมตร จำนวน 6 เส้นเท่านั้นแล้วให้ช่างเหล็กตอบแบบสอบถามโดยเขียนการจัดลำดับการตัด-ตัดเหล็กเส้นลงในส่วนที่ 2 ของแบบสอบถาม

3.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียของเหล็กเส้นที่เกิดการตัดจากแบบ (Shop Drawing) เท่านั้น ไม่รวมถึงการสูญเสียเหล็กจากการตัดที่ผิดพลาดและแบบไม่สมบูรณ์

จากการเก็บข้อมูลจากแบบสอบถาม โดยนำการจัดลำดับการตัด-ตัดเหล็กเส้นของช่างเหล็กแต่ละบุคคลมาคำนวณหาปริมาณการสูญเสียเหล็กเส้น เพื่อใช้เปรียบเทียบกับอายุ ประสบการณ์ทำงาน และการให้ความสำคัญของผู้บริหารโครงการเกี่ยวกับการสูญเสียเหล็กเส้น จึงทำให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการการสูญเสียเหล็กเส้น ในการเก็บข้อมูลในส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป โดยแบ่งช่วงอายุของช่างเหล็กออกเป็น 4 ช่วง คือ 20-25 ปี, 26-30 ปี, 30-35 ปี และมากกว่า 35 ปี เก็บข้อมูลประสบการณ์ทำงานเกี่ยวกับการตัดเหล็กออกเป็น 4 ช่วง คือ 1-5 ปี, 6-10 ปี, 10-15 ปี และมากกว่า 15 ปี (รูปที่ 3)



เพศ	☐ ชาย	☐ หญิง
อายุ	☐ 20 - 25 ปี	☐ 26 - 30 ปี
	☐ 30 - 35 ปี	☐ มากกว่า 35 ปี
ประสบการณ์ทำงานเกี่ยวกับการตัด - ตัดเหล็ก	☐ 1 - 5 ปี	☐ 6 - 10 ปี
	☐ 10 - 15 ปี	☐ มากกว่า 15 ปี

รูปที่ 3 ตัวอย่างแบบสอบถามข้อมูลทั่วไป (ส่วนที่ 1)

4. ผลการวิเคราะห์

จากการสัมภาษณ์และตอบแบบสอบถาม โดยช่างเหล็กจำนวน 9 คน จากโครงการก่อสร้างจำนวน 7 โครงการ แบ่งการผลการวิจัยออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่หนึ่งเป็นการศึกษาการจัดลำดับการตัด - ตัดเหล็กของช่างเหล็ก แสดงปริมาณการสูญเสียเหล็กเส้นของช่างเหล็กของแต่ละบุคคล ดังตาราง 1

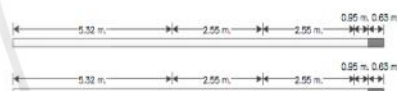
ตาราง 1. ปริมาณการสูญเสียเหล็กเส้นของช่างเหล็ก

ช่างเหล็ก	การสูญเสียเหล็กเส้นที่เกิดจากการตัดจากแบบ(เมตร)	การสูญเสียเหล็กเส้นจากการเหล็กที่ตัดการใช้(ร้อยละ)
คนที่ 1	52.5	18
คนที่ 2	54.5	19
คนที่ 3	63.4	22
คนที่ 4	65.9	23
คนที่ 5	58.8	20
คนที่ 6	50.7	17
คนที่ 7	52.6	18
คนที่ 8	52.6	18
คนที่ 9	51.4	18

จากวิธีการจัดลำดับการตัด - ตัดเหล็กเส้นของ แต่ละบุคคลนำมาวิเคราะห์ผล เพื่อหาวิธีการและ

ปริมาณการสูญเสียเหล็กเส้น ที่เกิดจากการจัดลำดับการตัด - ตัดเหล็กเส้นของช่างเหล็กดังตาราง 1 โดยการวิเคราะห์ผลสามารถแบ่งกลุ่มของวิธีการจัดลำดับการตัด - ตัดเหล็กเส้นของช่างเหล็กได้ 3 กลุ่มดังนี้

กลุ่มที่ 1 มีการจัดลำดับการตัด - ตัดเหล็กเส้น โดยมีการตัด - ตัดเหล็กเส้นที่ต้องการใช้ก่อนคือ เหล็ก (Main) มีการจับคู่การตัด - ตัดเหล็กโดยการเลือกเหล็กที่ต้องการใช้ ที่มีความยาวมากที่สุดมาจับคู่กับเหล็กที่ต้องการใช้ที่มีความยาวสั้น ตัวอย่างเช่น ต้องการเหล็ก DB 28 ยาว 5.32 เมตร สองท่อน 2.55 เมตร สี่ท่อน และ 0.95 เมตร สองท่อน โดยมีการจัดลำดับการตัดจากเหล็กเส้นเดิมความยาว 12 เมตร คือมีการเลือกจับคู่เหล็กที่มีความยาวมากที่สุดก่อนมาจับคู่กับเหล็กเส้นที่มีความยาวสั้น และไม่ตัดเหล็กความยาวขนาดใดขนาดหนึ่งทั้งหมดจากเหล็กเส้นเดิม 12 เมตร (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 รูปแบบการตัด - ตัดเหล็กเส้นของกลุ่มที่ 1

จากกลุ่มที่ 1 สามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ 3 กลุ่มย่อยดังนี้

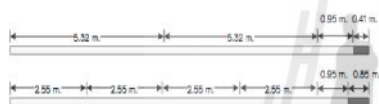
1. มีการเลือกการตัด - ตัดเหล็กเส้นที่มีขนาดใหญ่ก่อน เพราะเหล็กที่มีขนาดใหญ่เป็นเส้นตรงไม่มีมุมเหมือนเหล็กขนาดเล็ก ทำให้ตัดได้ง่ายกว่าเหล็กขนาดเล็ก และเลือกตัดรูปแบบเหล็กที่ตรงก่อนเพราะตัดง่ายและรวดเร็ว

2. มีการเลือกการตัด - ตัดเหล็กเส้นที่มีขนาดใหญ่ก่อน เพราะเหล็กที่มีขนาดใหญ่เป็นเส้นตรงไม่มีมุมเหมือนเหล็กขนาดเล็ก ทำให้ตัดได้ง่ายกว่าเหล็กขนาดเล็ก และเลือกตัดรูปแบบเหล็กที่ตัดก่อน เพราะเหล็กตัดต้องตัดให้เสร็จก่อนแล้วค่อยนำไปตัดมีขั้นตอนที่ใช้ระยะเวลานานกว่าตัดรูปแบบเหล็กที่ตรง



3. มีการเลือกการตัด-ตัดเหล็กเส้นที่มีขนาดเล็ก เพราะเหล็กขนาดเล็กสามารถตัดได้ครั้งละเป็นจำนวนมาก จึงลดระยะเวลาในการตัดเหล็กเส้นได้และเลือกตัดรูปแบบเหล็กที่ตัดก่อน เพราะเหล็กตัดต้องตัดให้เสร็จก่อนแล้วค่อยนำไปตัดมีชั้นตอนที่ใช้ระยะเวลานานกว่าตัดรูปแบบเหล็กที่ตรง

กลุ่มที่ 2 มีการจัดลำดับการตัด-ตัดเหล็กเส้น คือมีการตัด-ตัดเหล็กที่ต้องการใช้ก่อน เหล็ก(Main) มีการจับคู่การตัด-ตัดเหล็ก โดยการจับคู่ไม่เกินความยาวที่ตัด 2 รูปแบบเพราะทำให้คนตัดเหล็กเข้าใจได้ง่าย ตัวอย่างเช่น ต้องการเหล็ก เหล็ก DB 28 ยาว 5.32 เมตร สองท่อน 2.55 เมตร สี่ท่อน และ 0.95 เมตร สองท่อน (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 รูปแบบการตัด-ตัดเหล็กเส้นของกลุ่มที่ 2

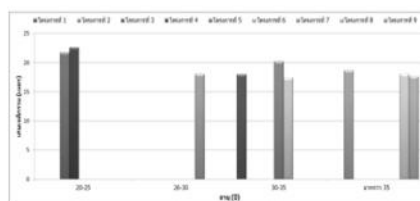
กลุ่มที่ 3 มีการจัดลำดับการตัด-ตัดเหล็กคือการตัด-ตัดเหล็กตามแบบ (Bar cut list) ที่ละแบบจนเสร็จ โดยไม่คำนึงถึงการสูญเสียเหล็กเส้น ตัวอย่างเช่น ต้องการเหล็ก เหล็ก DB 28 ยาว 5.32 เมตร สองท่อน 2.55 เมตร สี่ท่อน และ 0.95 เมตร สองท่อน (รูปที่ 6)



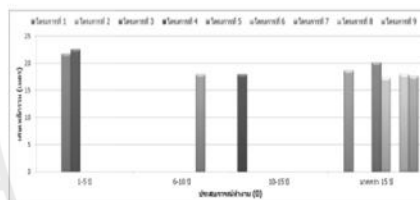
รูปที่ 6 รูปแบบการตัด-ตัดเหล็กเส้นของกลุ่มที่ 3

ส่วนที่สองศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียของเหล็กเส้น เมื่อนำมาวิเคราะห์จะแสดงถึงปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียเหล็กเส้นของโครงการก่อสร้าง โดยวิเคราะห์จากปัจจัยที่เกิดจากตัวแปรของอายุ

ประสบการณ์ทำงาน และผู้บริหารโครงการให้ความสำคัญการสูญเสียเหล็กเส้น



รูปที่ 7 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการสูญเสียเหล็กเส้น (อายุ)



รูปที่ 8 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการสูญเสียเหล็กเส้น (ประสบการณ์ทำงาน)

จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียเหล็กเส้นจากอายุ และประสบการณ์ทำงาน ดังรูปที่ 7 และรูปที่ 8 พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามช่วงอายุ 20-25 ปี และมีประสบการณ์ทำงาน 1-5 ปีมีการสูญเสียเหล็กเส้นมากกว่าร้อยละ 20 จากเหล็กเส้นที่ต้องการใช้ พบว่าอายุแปรผันตรงกับประสบการณ์การทำงาน เนื่องจากกระบวนการคิดในการจับคู่การจัดลำดับการตัด-ตัดเหล็กเส้น ช่วงเหล็กที่อายุและประสบการณ์การทำงานน้อยจะไม่มีกระบวนการคิดที่ซับซ้อนหรือคำนึงถึงวิธีการจัดลำดับการตัด-ตัดเหล็กเส้นเพื่อให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุด จึงทำให้มีการสูญเสียเหล็กเส้นสูง

ผู้ตอบแบบสอบถามช่วงอายุ 26-30 ปี, 30-35 ปี และมากกว่า 35 ปีมีร้อยละของการสูญเสีย



เหล็กเส้นที่ใกล้เคียง เนื่องจากกระบวนการคิดในการจับคู่การจัดลำดับการตัด-ตัดเหล็กเส้น ที่มีกระบวนการคิดที่ซับซ้อน และคำนึงถึงวิธีการจัดลำดับการตัด-ตัดเหล็กเส้น เพื่อให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุด จากทักษะและประสบการณ์ที่ได้สะสมมาอย่างยาวนานในการทำงานหน้างานจริง ทำให้มีการจับคู่การจัดลำดับในการตัด-ตัดเหล็กเส้นเพื่อให้เกิดการสูญเสียที่ประหยัดและเกิดประโยชน์สูงสุด

อีกทั้งยังพบว่าถ้าผู้บริหารให้ความสำคัญต่อการสูญเสียเหล็กเส้นมีการวางแผนการใช้งานวัสดุเหล็กเส้น มีการจัดลำดับการตัด-ตัดเหล็ก การควบคุมการสูญเสียเหล็กเส้นและติดตามผลการทำงาน มีการปลูกฝังให้บุคลากรในองค์กรให้ความสำคัญเกี่ยวกับการจัดการเหล็กเส้นเพื่อให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุดก็จะเป็นการช่วยลดค่าใช้จ่ายของโครงการก่อสร้างได้

5. สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยในการตอบแบบสอบถามของช่างเหล็กจำนวน 9 คน จากโครงการก่อสร้างจำนวน 7 โครงการ เพื่อศึกษาวิธีการจัดลำดับการตัด - ตัดเหล็กของช่างเหล็กในโครงการก่อสร้างและปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียเหล็กเส้นที่เกิดจากการตัดจากแบบเท่านั้น พบว่าจากอายุและประสบการณ์การทำงานได้ส่งผลกระทบต่อวิธีการจัดลำดับการตัด-ตัดเหล็กเส้น โดยใช้วิธีการจับคู่การจัดลำดับการตัด-ตัดเหล็กเส้น ซึ่งมีกระบวนการคิดที่ซับซ้อนทำให้ก่อนการปฏิบัติงานมีการวางแผนการใช้เหล็กเส้นให้เหมาะสม มีการวางแผนการตัด-ตัดเหล็กที่ดี มีความชำนาญในการตัด-ตัดเหล็ก และมีการเลือกการจัดลำดับการตัด-ตัดเหล็กขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของช่างเหล็ก เป็นการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายของโครงการก่อสร้าง รวมถึงถ้าผู้บริหารโครงการมีการกำหนดเป้าหมาย นโยบาย ที่ชัดเจนร่วมกันภายในองค์กรหรือจะขอความร่วมมือที่ดีจากบุคลากรในองค์กรให้ช่วยกันใช้วัสดุให้คุ้มค่าที่สุด และเกิดประโยชน์สูงสุดก็สามารถลดค่าใช้จ่ายให้กับโครงการก่อสร้าง จากงานวิจัยสามารถนำผลของการวิจัยที่ได้ไปใช้เพื่อเป็นแนวทางใช้

จัดลำดับการตัด-ตัดเหล็กเส้นของช่างเหล็กในโครงการก่อสร้างทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นที่น้อยลง และผลวิจัยสามารถใช้เป็นแนวทางการจัดลำดับ ควบคุมคุณภาพการตัด-ตัดเหล็ก ลดการสูญเสียได้ จากปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียเหล็กเส้น ที่เกิดจากการตัดจากแบบก็สามารถนำไปใช้ในการบริหารงานของโครงการก่อสร้าง หรือคัดเลือกบุคคลที่มีคุณภาพในการทำงานเพื่อช่วยให้โครงการก่อสร้างมีบุคลากรที่มีคุณภาพ และสามารถลดค่าใช้จ่ายให้กับโครงการก่อสร้าง

6. กิตติกรรมประกาศ

รายงานจากการศึกษาวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของ บุคคลหลายท่าน ซึ่งไม่ว่าจะนำมากล่าวได้ทั้งหมด ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาและวิจัย สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

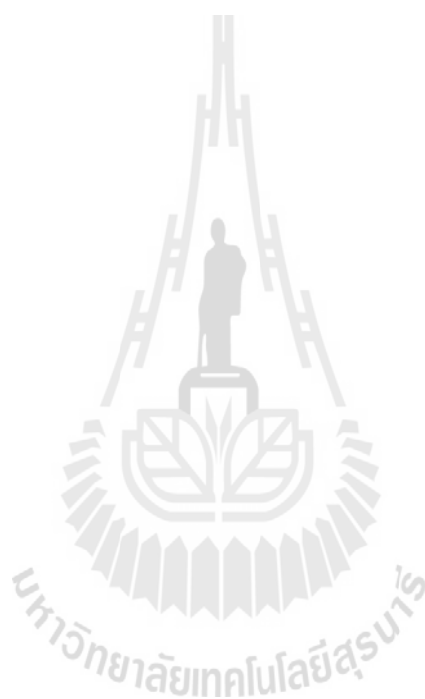
เอกสารอ้างอิง

- [1] วุฒิพงษ์ ประวิตรวงศ์. การศึกษาเกี่ยวกับ การสูญเสียวัสดุก่อสร้างในโครงการก่อสร้างประเภทงานอาคาร. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544. 137 หน้า.
- [2] B.A.G.Bossink, H.J.H.Brouwers, 1996. Construction Waste:Quantification and Source Evaluation, Journal of Construction Engineering and Management , 55 – 60.
- [3] Carlos T. Formoso, Lucio Solbelman M.ASCE, Claudia De Cesare, Eduardo Isatto, 2002. Material Waste in Building Industry:Main Causes and Prevention, Journal of Construction Engineering and Management 128, 316 – 325.
- [4] เจต เทียมเสวต, 2007. ปัจจัยที่มีผลกระทบและสัดส่วนการสูญเสียวัสดุ ในการก่อสร้าง.



การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17
9-11 พฤษภาคม 2555 ณ โรงแรม เซ็นทารา แกรนด์แอนคอนเวนชันเซ็นเตอร์ อุตรธานี

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.





ที่ ศธ 0529.8.1.3 /ว.1181

คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ตู้ ปณ. 3 ปณจ.วารินชำราบ
จ.อุบลราชธานี 34190

15 กันยายน 2557

เรื่อง ตอบรับบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.

เรียน คุณสุวิชา สมบุญ

ตามที่ ท่านได้ส่งบทความวิจัย เรื่อง “การสำรวจอัลกอริทึมการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและช่างเหล็ก” เพื่อตีพิมพ์ในวารสาร วิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. โดยมีผู้เขียนร่วมคือ คุณวชรภูมิ เบญจโอฬาร ตามความทราบแล้วนั้น

บัดนี้ กองบรรณาธิการ ได้พิจารณาแล้วเห็นชอบในการนำบทความของท่าน เพื่อตีพิมพ์ในวารสาร วิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. ประเภท บทความวิจัย และยินดีแจ้งให้ทราบว่าบทความของท่านมีกำหนดตีพิมพ์ในวารสารฯ ฉบับที่ 1 ปีที่ 8 ประจำเดือนมกราคม – มิถุนายน 2558 ทั้งนี้หวังเป็นอย่างยิ่งว่า ท่านจะให้ความสนใจในการส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ ในวารสารฯ ในโอกาสต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง)

บรรณาธิการวารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.

สำนักงานกองบรรณาธิการวารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.

โทร. 045 -353319 โทรสาร 045-353333

**การสำรวจอัลกอริทึมการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น
ของวิศวกรและช่างเหล็ก**
**Survey of the Rebar Cutting-Pattern Algorithm of Engineers and Steel
Workers**

สุวิชา สมบุญ* วรภูมิ เบญจโอฬาร
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

Suwittha Soomboon* Vacharapoom Benjaoran
Faculty of Engineering, Suranaree University of Technology, Amphur Muang, Nakhon Ratchasima 30000
Tel : 088-5806818 E-mail: get.c.v_g@hotmail.com

บทคัดย่อ

การสูญเสียเหล็กเส้นเป็นปัญหาหลักที่พบในโครงการก่อสร้าง โดยสาเหตุหลักอย่างหนึ่งของการสูญเสียเหล็กเส้นนั้นเกิดจากขั้นตอนการตัดเหล็กเส้นเป็นขนาดต่างๆที่ต้องการตามแบบ งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อสำรวจและค้นหารูปแบบ อัลกอริทึมในการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กน้อยที่สุด ในการดำเนินงานวิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลจากแบบสอบถามและสัมภาษณ์วิศวกรจำนวน 30 คนและช่างเหล็กจำนวน 30 คน จากการสำรวจอัลกอริทึมการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นมีขั้นตอนย่อย 9 รูปแบบ แบ่งกลุ่มอัลกอริทึมการตัดที่คล้ายกันได้ทั้งหมด 7 กลุ่ม อัลกอริทึมที่มีการเลือกเหล็กชิ้นงานที่เป็นเลขจำนวนเต็ม มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุดก่อน หลังจากนั้นเลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวรองลงมา ถ้าเหลือเหล็กพอกกับความยาวจะจับคู่กับเหล็กที่สั้นที่สุดทำซ้ำจนครบจำนวนความยาวที่ต้องการ พบว่าเป็นอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพที่ดีช่วยลดการสูญเสียเหล็กเส้น ซึ่งนำมาใช้เป็นแนวทางการจัดลำดับการตัดเหล็กและใช้ควบคุมคุณภาพการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและช่างเหล็ก เพื่อช่วยให้มีการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยลงเป็นการลดค่าใช้จ่ายให้โครงการก่อสร้าง

คำหลัก การสูญเสียเหล็กเส้น การจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น การสูญเสียวัสดุก่อสร้าง

Abstract

Waste of reinforcing steel bars is one of the main problems in construction project management. The main cause of the loss occurs at the cutting process as trim loss. This research aims to survey and search for the algorithms of this cutting process. The research methods included questionnaire and interview sessions with thirty engineers and thirty steel workers. The result is that there are nine common sub-steps used in the algorithms. The cutting-pattern algorithms used can be categorized into seven groups. The efficient algorithm firstly pairs the items which have round number lengths with the shortest items. Then, it pairs the relatively long items together to be cut with the steel bars. Finally, the algorithm pairs the remaining which are the relatively short items together until the job is completed. This finding can be used for to improve the steel rebar cutting process, to reduce the trim loss of engineers and steel workers and also reduce the cost of the overall construction project.

Keywords: steel waste, cutting process of steel, material waste

1. บทนำ

เหล็กเส้นเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีความสำคัญสำหรับโครงการก่อสร้างโดยทั่วไป เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีปริมาณความต้องการใช้งานมากและมีราคาต่อหน่วยสูง จึงทำให้ต้นทุนค่าเหล็กเส้นเป็นสัดส่วนที่สูงของมูลค่าโครงการก่อสร้างทั้งหมด ในโครงการก่อสร้างมีสาเหตุการสูญเสียเหล็กเส้นได้หลายประการ เช่น การสั่งซื้อเหล็ก การขนส่ง การเปลี่ยนแปลงแบบก่อสร้าง การสั่งเหล็กผิดขนาดไม่ตรงตามความต้องการ การตัดเหล็กในระหว่างการทำเนงานก่อสร้าง การจัดเก็บ การขโมยรวมถึงการขาดการควบคุมและการบริหารจัดการของผู้ควบคุมงาน เป็นต้น สาเหตุหลักของการสูญเสียที่เกิดจากการก่อสร้างเกิดขึ้นจากการตัดเหล็กเส้น โดยส่วนใหญ่ในโครงการก่อสร้างพบว่าเหล็กเส้นมีการสูญเสียสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุก่อสร้างชนิดอื่นๆ[1] ในลักษณะของงานก่อสร้างจำเป็นต้องมีการตัด ตัด งอ วัสดุและผลิตภัณฑ์ซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือเหล็กเส้นที่ต้องการมีการตัดและตัดให้ขนาดตามความยาวที่ต้องการก่อนนำมาใช้งาน จึงทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นขึ้นและปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดเหล็กเส้นนี้ ล้วนมีผลกระทบต่อโครงการก่อสร้างโดยตรง เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นต่อผู้รับเหมาหรือเจ้าของโครงการ ทำให้ต้องมีการสั่งเหล็กเส้นเพิ่มขึ้นเกินกว่าที่ได้ประมาณปริมาณการใช้ไว้ใน Bill of Quantities (BOQ) ซึ่งอาจเกินงบประมาณที่กำหนด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการวางแผน หรือหารูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่มีประสิทธิภาพและหาวิธีการใหม่ในการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กน้อยที่สุด ซึ่งพบว่าถ้ามีการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ดีมีประสิทธิภาพ สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในด้านวัสดุและเพิ่มผลกำไรให้กับโครงการก่อสร้างได้

ที่ผ่านมาได้มีผู้นำเสนอการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียวัสดุในการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่โดยทำการเก็บข้อมูลจากแบบสอบถามควบคู่กับการสัมภาษณ์เพื่อประเมินความสำคัญของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการสูญเสียวัสดุก่อสร้างและหาแนวทางการป้องกันการสูญเสียวัสดุก่อสร้าง พบว่าปัจจัยจากการปฏิบัติงานมีผลกระทบต่อการสูญเสียวัสดุก่อสร้าง และวัสดุก่อสร้างที่มีมูลค่าการสูญเสียสูงที่สุดในอาคารขนาดใหญ่ ได้แก่

เหล็กเสริมคอนกรีต [2] สาเหตุการสูญเสียวัสดุก่อสร้างหลัก 16 ชนิดในโครงการก่อสร้างประเภทงานอาคารโดยทำการเก็บข้อมูลจากแบบสอบถามจากกลุ่มวิชาชีพ 3 อาชีพประกอบด้วย วิศวกรโยธา สถาปนิก และวิศวกรระบบในอาคาร ซึ่งทำให้ทราบถึงสาเหตุของการสูญเสียวัสดุก่อสร้างเกิดจากการขาดการจัดการที่ดีและพบอีกว่าเหล็กเสริมคอนกรีต มีค่าความสูญเสียสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุก่อสร้างหลักชนิดอื่นๆ[1] และ Bossink และ Brouwers [3] ได้ทำการศึกษหาปริมาณการสูญเสียและที่มาของการสูญเสียวัสดุในงานก่อสร้างทำการศึกษาจากข้อมูลในหลายประเทศนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลของประเทศเนเธอร์แลนด์โดยทำการชั่งน้ำหนักของปริมาณการสั่งซื้อวัสดุกับปริมาณการสูญเสียวัสดุก่อสร้างเทียบกับปริมาณต่อน้ำหนักของทั้งหมดของวัสดุในงานก่อสร้างพบว่า ปริมาณของการสูญเสียแต่ละวัสดุเท่ากับร้อยละ 1-10 ของจำนวนเงินที่สั่งซื้อวัสดุก่อสร้างทั้งหมด พบอีกว่าสาเหตุของการสูญเสียวัสดุก่อสร้างเกิดจากขั้นตอนการออกแบบ ในส่วนของการสูญเสียวัสดุก่อสร้างนั้น Formoso และคณะ [4] ได้ทำการเก็บข้อมูลจากแบบสอบถามในสถานที่ก่อสร้าง 74 โครงการของประเทศบราซิล ทำให้ทราบว่า การสูญเสียวัสดุก่อสร้างเป็นปัญหาหลักที่มีความสำคัญทั้งในส่วนของบริษัทภาพการทำงานและส่งผลกระทบต่อภาพรวมของโครงการ นอกเหนือจากนั้นปริมาณการสูญเสียวัสดุก่อสร้าง ยังแสดงให้เห็นถึงบทบาทสำคัญในการจัดการระบบการทำงานในโครงการไปจนถึงโครงการก่อสร้าง

งานวิจัยนี้ศึกษารูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรกับช่างเหล็กในโครงการก่อสร้างและหาวิธีการใหม่ในการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กน้อยที่สุด ปัจจุบันในโครงการก่อสร้างประสบปัญหาเกี่ยวกับการสูญเสียเหล็กเส้นจากการตัดดังนั้นจึงเลือกศึกษาวิจัยในหัวข้อนี้ ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยคือปริมาณการสูญเสียเหล็กเส้นที่ได้จากการตัดในแบบสอบถามและสัมภาษณ์โดยผู้วิจัยเป็นผู้กำหนด หลังจากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ [5] โดยประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้างและพบรูปแบบวิธีการใหม่ในการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ใช้อยู่จริงแล้วมีประสิทธิภาพที่ดี มีการสูญเสียเหล็กเส้นที่เกิด

จากการตัดเหล็กลดลงและสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้าง หรือนำไปควบคุมคุณภาพการตัดเหล็กเส้นเพื่อลดการสูญเสียเหล็กเส้น ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการซื้อวัสดุเหล็กเส้น เพิ่มผลกำไรให้แก่โครงการก่อสร้าง และยังควบคุมคุณภาพการตัดให้มีประสิทธิภาพและเป็นระบบอีกด้วย

2. เครื่องมือและวิธีการดำเนินงาน

2.1 แบบสอบถาม

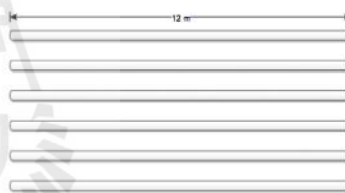
ในการสัมภาษณ์จะดำเนินการสัมภาษณ์วิศวกรและช่างเหล็กในโครงการก่อสร้างจำนวน 30 โครงการ จาก 28 บริษัท โดยส่วนใหญ่ลักษณะการทำงานของผู้ตอบแบบสอบถามเป็นโครงการก่อสร้างประเภทตึกสูงจำนวน 20 โครงการ และประเภทที่พักอาศัย บ้านจัดสรรจำนวน 10 โครงการ ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลนั้นเป็นแบบสอบถามและการสัมภาษณ์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเอง จำนวน 1 ฉบับ โดยนำรูปร่างชิ้นงานจากงานก่อสร้างจริง เป็นงานประเภทอาคารสูงเพื่อใช้เป็นโจทย์เดียวกันในการหารูปแบบและอัลกอริทึมในการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุด ในแบบสอบถามจะมีข้อมูล 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 สอบถามข้อมูลทั่วไป เช่น ประเภทของโครงการก่อสร้าง มูลค่าของโครงการก่อสร้าง ตำแหน่งของผู้ตอบแบบสอบถาม อายุและประสบการณ์ทำงานที่เกี่ยวข้องกับการตัดเหล็กเส้น เป็นต้น ส่วนที่ 2 รูปแบบการจัดลำดับขั้นตอนการตัดเหล็กเส้น โดยกำหนดรูปร่างชิ้นงานที่ต้องการตัดขนาดของเหล็กเส้น ความยาวที่ต้องการตัดเหล็กเส้น และจำนวนท่อนของเหล็กเส้นที่ต้องการ ในโจทย์ที่ผู้ออกแบบเป็นผู้กำหนด โดยโจทย์จะมีขนาดของเหล็กเส้นแตกต่างกัน 7 ขนาด ได้แก่ DB28 DB25 DB20 DB16 DB12 RB9 และ RB6 ซึ่งแต่ละขนาดของเหล็กเส้นจะมีรูปร่างชิ้นงานอย่างละ 5 รูปแบบ ที่มีความยาวและจำนวนที่ต้องการใช้แตกต่างกันออกไปดังตัวอย่างตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างบางส่วนของโจทย์ในแบบสอบถาม

รูปร่างชิ้นงาน	ขนาด	ความยาว (เมตร/ท่อน)	จำนวน (ท่อน)
	DB28	0.95	6
	DB25	1.75	4
	DB25	1.80	3
	DB20	3.75	3
	DB16	3.20	3
	DB12	1.40	4
	RB9	3.00	2
	RB6	5.00	2
	RB6	9.40	1

เหล็กเส้นที่ใช้กันโดยทั่วไปจะมีความยาวมาตรฐาน 2 ขนาดคือ 10 เมตรและ 12 เมตร แต่ในการวิจัยนี้ได้กำหนดให้ใช้เหล็กเส้นความยาวมาตรฐาน 12 เมตร จำนวน 6 เส้นเท่านั้น ให้วิศวกรและช่างเหล็กตอบแบบสอบถามจากโจทย์ ดังตารางที่ 1 โดยเขียนคำตอบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นลงในแบบสอบถามในรูปที่

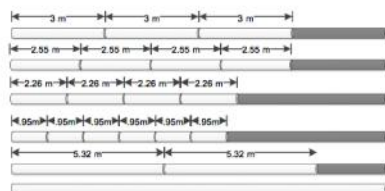
1



รูปที่ 1 ตัวอย่างความยาวเหล็กมาตรฐาน 12 เมตร จำนวน 6 เส้น

จากขนาดเหล็กเส้นที่มีขนาดแตกต่างกันทั้ง 7 ขนาด แต่ละขนาดจะมีรูปร่างชิ้นงานที่มีความยาวอย่างละ 5 รูปแบบ มีจำนวนท่อนที่ต้องการใช้แตกต่างกันออกไป โดยกำหนดให้ใช้เหล็กมาตรฐาน จำนวน 6 เส้น มีความยาวมาตรฐาน 12 เมตร มาใช้ในการตอบแบบสอบถามจากโจทย์ที่ได้จะสามารถสร้างรูปแบบอัลกอริทึมการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่เป็นไปได้หลายรูปแบบ ดังนั้นเราต้องการทราบถึง วิธีคิดหรือรูปแบบอัลกอริทึมการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุด จึงให้วิศวกรและช่างเหล็กตอบแบบสอบถามด้วยอัลกอริทึมการจัดลำดับการตัดเหล็กที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุด ดังตัวอย่างการตัดรูปร่าง

ชิ้นงานจากแบบสอบถาม รูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างการตัดรูปร่างชิ้นงานจากแบบสอบถาม

จากข้อมูลที่ได้ในแบบสอบถามและสัมภาษณ์ของวิศวกรและช่างเหล็ก ดังตัวอย่างการตัดรูปร่างชิ้นงาน รูปที่ 2 จะทำให้เราทราบวิธีคิดหรืออัลกอริทึมการจัดลำดับการเหล็กลูกเส้นของแต่ละบุคคลที่แตกต่างกันออกไป โดยนำอัลกอริทึมของแต่ละบุคคลมาทำการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มการจัดลำดับการตัดเหล็กลูกเส้นที่คล้ายกันอยู่กลุ่มเดียวกัน และหาอัลกอริทึมในการจัดลำดับการตัดเหล็กลูกเส้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กลูกเส้นน้อยที่สุดโดยวิเคราะห์ผลวิจัยทางสถิติเปรียบเทียบกับผลการประมวลผลทาง Microsoft Excel

2.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง คือ วิศวกรและช่างเหล็กในโครงการก่อสร้าง ประกอบด้วย วิศวกรจำนวน 30 คน และช่างเหล็กจำนวน 30 คน เนื่องจากผู้วิจัยเลือกศึกษากลุ่มตัวอย่างดังกล่าวเนื่องจาก วิศวกรและช่างเหล็กมีความสัมพันธ์เกี่ยวกับการตัดเหล็กลูกเส้นในโครงการก่อสร้างโดยตรง

2.3 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กลูกเส้นและหาอัลกอริทึมในการจัดลำดับการตัดเหล็กลูกเส้นให้เกิดการสูญเสียเหล็กลูกเส้นน้อยที่สุด ที่ได้จากการสัมภาษณ์และตอบแบบสอบถาม ดังนี้

1. นำข้อมูลที่ได้จากการตอบแบบสอบถามและสัมภาษณ์มาจัดกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กลูกเส้นของวิศวกรและช่างเหล็กโดยแบ่งกลุ่มจากรูปแบบการจัดลำดับการตัดที่คล้ายกันอยู่กลุ่มเดียวกัน
2. คำนวณปริมาณการสูญเสียเหล็กลูกเส้นที่เกิดขึ้นจากการจัดลำดับการตัดเหล็กลูกเส้นของวิศวกรและช่างเหล็ก
3. นำผลค่าเฉลี่ยของการสูญเสียเหล็กลูกเส้นที่ได้แต่ละ

กลุ่มมาวิเคราะห์ผลข้อมูลทางสถิติโดยใช้แบบทดสอบ F-Test ทดสอบสมมติฐานค่าความแปรปรวน และ T-Test ทดสอบค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มเปรียบเทียบกัน

4. เรียงลำดับกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กลูกเส้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กลูกเส้นน้อยที่สุดจากการวิเคราะห์ผลข้อมูลทางสถิติ F-Test และ T-Test เปรียบเทียบผลโดยประมวลผลด้วยโปรแกรม Microsoft Excel

5. นำข้อมูลการวิจัยที่ได้มาสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

3. ผลและวิเคราะห์ผลการวิจัย

ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 การศึกษารูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กลูกเส้นของวิศวกรจำนวน 30 คนและช่างเหล็กจำนวน 30 คนในโครงการก่อสร้าง โดยการวิเคราะห์ผลสามารถแบ่งกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กลูกเส้นที่คล้ายคลึงกันได้ทั้งหมด 7 กลุ่ม โดยรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กลูกเส้นทั้ง 7 กลุ่มนี้มีขั้นตอนย่อยทั้งหมด 9 รูปแบบ ดังตารางที่ 2

จากข้อมูลในตารางที่ 2 จะทำให้ทราบถึงรูปแบบอัลกอริทึมของการจัดลำดับการตัดเหล็กลูกเส้นของแต่ละกลุ่มดังนี้ คอลัมน์แรกจะแบ่งรูปแบบอัลกอริทึมเป็นขั้นตอนทั้งหมด 9 ขั้นตอน คอลัมน์ที่ 2 ถึงคอลัมน์ที่ 8 เป็นกลุ่มของรูปแบบอัลกอริทึมที่มีการตัดเหล็กลูกเส้นคล้ายคลึงกัน โดยการจัดลำดับรูปแบบอัลกอริทึมของการตัดเหล็กลูกเส้นของแต่ละกลุ่มจะเรียงลำดับขั้นตอนการจัดลำดับการตัดเหล็กลูกเส้นจากแถวบนลงล่างทั้ง 9 รูปแบบ เช่น รูปแบบอัลกอริทึมของกลุ่มที่ 1 จากการเลือกเครื่องหมาย ✓ จัดอันดับดังนี้

1. เลือกเหล็กลูกเส้นที่มีความยาวเป็นเลขจำนวนเต็ม มาจับคู่กับ เหล็กลูกที่มีความยาวสั้นที่สุด
2. เลือกเหล็กลูกเส้นที่มีความยาวมากที่สุด มาจับคู่กับ เหล็กลูกที่มีความยาวสั้นที่สุด
3. เลือกเหล็กลูกเส้นที่มีความยาวมากที่สุด ณ. ตอนนั้น มาจับคู่กับ เหล็กลูกที่มีความยาวสั้นที่สุด
4. วนซ้ำจนครบจำนวนความยาวที่ต้องการ

ตารางที่ 2 การแบ่งกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น

อัลกอริทึมการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น	กลุ่ม						
	1	2	3	4	5	6	7
1. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวเป็นเลขจำนวนเต็ม มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด	✓		✓	✓			
2. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด	✓	✓			✓	✓	
3. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด ณ ตอนนั้น มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด	✓	✓					
4. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวรองจากเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด ณ ตอนนั้น มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด			✓				
5. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวรองลงมา (ถ้าเหลือเหล็กพอกับความยาวจะจับคู่กับ เหล็กที่สั้นที่สุด)				✓	✓		
6. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด ณ ตอนนั้น มาจับคู่กับ			✓				
7. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวสั้นที่สุด ณ ตอนนั้น มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวมากที่สุด ณ ตอนนั้น						✓	
8. เลือกรูปแบบมาความยาวนำมาตัดให้เสร็จแต่ละรูปแบบที่เลือกมา							✓
9. วนซ้ำจนครบจำนวนความยาวที่ต้องการ	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

ส่วนที่ 2 การหาอัลกอริทึมในการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุด เมื่อ นำค่าเฉลี่ยการสูญเสียเหล็กเส้นของแต่ละกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นมาวิเคราะห์ผลวิจัยทางสถิติ โดยใช้ F-Test เพื่อหาค่าความแปรปรวนการสูญเสียเหล็กเส้นของรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นทั้ง 2 กลุ่มแตกต่างกันหรือไม่ และ T-Test เพื่อหาค่าเฉลี่ยของการสูญเสียเหล็กเส้นของรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น 2 กลุ่มเปรียบเทียบกันตามลำดับ ซึ่งกำหนดให้ H_0 คือ สมมติฐานหลัก และ H_1 คือ สมมติฐานแย้งกับสมมติฐานหลักหรือเรียกว่าสมมติฐานรอง

การวิเคราะห์ F-Test โดยสมมติฐานให้ตั้งสมการที่ 1, 2

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \quad (1)$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \quad (2)$$

โดยที่ σ_1^2 และ σ_2^2 คือ ค่าความแปรปรวนการสูญเสียเหล็กเส้นของรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การวิเคราะห์ T-Test โดยสมมติฐานให้ตั้งสมการที่ 3, 4

$$H_0 : \mu_1 \geq \mu_2 \quad (3)$$

$$H_1 : \mu_1 < \mu_2 \quad (4)$$

โดยที่ μ_1 และ μ_2 คือค่าเฉลี่ยการสูญเสียเหล็กเส้นของรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น

กลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 3 แสดงความสัมพันธ์โดยการใช้แบบทดสอบ T-Test โดยนำค่าเฉลี่ยของเศษเหล็กที่เหลือจากการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นมาจับคู่วิเคราะห์เปรียบเทียบที่ละกลุ่มตัวอย่างจนครบทุกกลุ่ม

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น (T-Test)

ค่าเฉลี่ยการสูญเสียเหล็กเส้นของรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น	ค่าเฉลี่ยของการสูญเสียเหล็กเส้นของรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น	ความสัมพันธ์
μ_1	μ_2	$\geq$
μ_1	μ_3	$\geq$
μ_1	μ_4	$\geq$
μ_1	μ_5	$\leq$
μ_1	μ_6	$\geq$
μ_2	μ_3	$\leq$
μ_2	μ_4	$\geq$
μ_2	μ_5	$\leq$
μ_2	μ_6	$\leq$
μ_3	μ_4	$\geq$
μ_3	μ_5	$\leq$
μ_3	μ_6	$\leq$
μ_4	μ_5	$\leq$
μ_4	μ_6	$\leq$
μ_5	μ_6	$\geq$

จากผลการวิจัยแสดงความสัมพันธ์ ดังตารางที่ 3 พบว่าค่าเฉลี่ยการสูญเสียเหล็กเส้นของกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ μ_4 มีค่าเฉลี่ยของการสูญเสียเหล็กเส้นจากการตัดน้อยที่สุด

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน และอันดับของกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดได้ดังนี้

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น (F-Test) และ (T-Test)

กลุ่มที่ (μ)	$\bar{x}$ (m)	σ^2	อันดับที่
1	6.70	2.55	5
2	5.68	2.45	2
3	5.82	6.09	3
4	5.35	2.83	1
5	6.88	4.55	6
6	6.30	0.04	4
7	-	-	7

จากตารางที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นเป็นไปตามสมมติฐาน และสามารถจัดเรียงอันดับการสูญเสียเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดได้ว่ากลุ่มที่ μ_4 มีค่าอันดับการสูญเสียเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดน้อยที่สุดเป็นอันดับที่ 1 เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยของการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุด สามารถเรียงการจัดอันดับการสูญเสียเศษเหล็กที่เกิดจากการตัดจากน้อยที่สุดไปหามากที่สุด ได้ดังนี้ $\mu_4 \leq \mu_2 \leq \mu_3 \leq \mu_6 \leq \mu_5 \leq \mu_7$ ตามลำดับ จากการวิจัยจะพิจารณา 3 กลุ่มตัวอย่างที่มีอัลกอริทึมที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุด อันดับที่ 1 ได้แก่ กลุ่มที่ 4 มีค่าเฉลี่ยของการสูญเสียเหล็กเส้นเท่ากับ 5.35 เมตรและค่าความแปรปรวนเท่ากับ 2.83 ซึ่งผู้ตอบแบบสอบถามของกลุ่มที่ 4 มีอัลกอริทึมการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นดังนี้

1. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวเป็นเลขจำนวนเต็ม มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด (การเลือกตัดความยาวจำนวนเต็มก่อนเพราะจะทำให้คิดผลรวมของเหล็กที่ต้องการตัดง่ายและสะดวกในการจับคู่ที่ทำให้เหลือเศษเหล็กน้อยหรือจับคู่การตัดแล้วเหลือเหล็กเส้นพอที่จะนำกลับมาใช้งานได้ใหม่)

2. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวรองลงมา ถ้าเหลือเหล็กพอกับ

ความยาวจะจับคู่กับ เหล็กที่สั้นที่สุด (เพราะว่าการจัดเรียงลำดับแบบนี้จะส่งผลให้เหลือเศษเหล็กน้อยและส่วนที่เหลือสามารถนำกลับไปใช้ได้ดีกว่าการเลือกจับคู่ตัดเหล็กที่มีความยาวมากที่สุด จับคู่ เหล็กที่มีความยาวมากที่สุด)

3. วงจรรอบจำนวนความยาวที่ต้องการ อัลกอริทึมที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุด อันดับที่ 2 ได้แก่ กลุ่มที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของการสูญเสียเหล็กเส้นเท่ากับ 5.68 เมตรและค่าความแปรปรวนเท่ากับ 2.45 ซึ่งผู้ตอบแบบสอบถามของกลุ่มที่ 2 มีอัลกอริทึมการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นดังนี้

1. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด (เพราะว่าการเลือกตัดความยาวมากที่สุดก่อนจะทำให้สะดวกในการจับคู่กับชิ้นงานอื่นๆได้ง่ายและเหลือเศษเหล็กน้อย)

2. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด ณ ตอนนั้น มาจับคู่กับ เหล็กที่สั้นที่สุด (เพราะว่าการเลือกตัดความยาวมากที่สุดก่อนจะทำให้สะดวกในการจับคู่กับชิ้นงานอื่นๆได้ง่าย และ ไม่ซับซ้อน)

3. วงจรรอบจำนวนความยาวที่ต้องการส่วน อัลกอริทึมที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุด อันดับที่ 3 ได้แก่ กลุ่มที่ 3 มีค่าเฉลี่ยของการสูญเสียเหล็กเส้นเท่ากับ 5.82 เมตรและค่าความแปรปรวนเท่ากับ 6.09 ซึ่งผู้ตอบแบบสอบถามของกลุ่มที่ 3 มีอัลกอริทึมการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นดังนี้

1. เลือกเหล็กชิ้นงานที่เป็นเลขจำนวนเต็ม มาจับคู่กับ เหล็กที่มีความยาวสั้นที่สุด (การเลือกตัดความยาวจำนวนเต็มก่อนเพราะจะทำให้คิดผลรวมของเหล็กที่ต้องการตัดง่ายและสะดวกในการจับคู่ที่ทำให้เหลือเศษเหล็กน้อยหรือจับคู่การตัดแล้วเหลือเหล็กเส้นพอที่จะนำกลับมาใช้งานได้ใหม่)

2. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวรองจากเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด ณ ตอนนั้น มาจับคู่กับ เหล็กที่สั้นที่สุด

3. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวรองจากเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด ณ ตอนนั้น มาจับคู่กับ เหล็กที่สั้นที่สุด

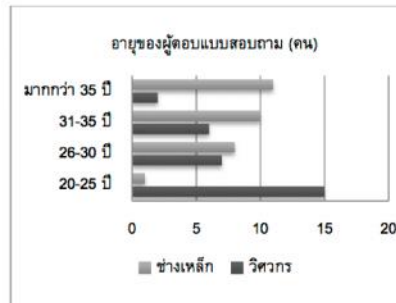
4. เลือกเหล็กชิ้นงานที่มีความยาวมากที่สุด ณ ตอนนั้น มาจับคู่กับ

จากทั้ง 3 อัลกอริทึมของการจัดลำดับการตัด

เหล็กเส้นที่มีเทคนิคและกระบวนการคิดที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งเมื่อพิจารณาพบว่ากลุ่มที่ 4 มีอัลกอริทึมที่ช่วยลดการสูญเสียเหล็กเส้นได้น้อยที่สุดจากทั้งหมด 7 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 7 ไม่สามารถหาค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนได้เนื่องจากผู้ตอบแบบสอบถามมีประชากรเพียง 1 คน และ รูปแบบอัลกอริทึมการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของกลุ่มนี้ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ตัดเหล็กในโครงการก่อสร้าง

จากผลข้อมูลงานวิจัยมีเป็นจำนวนมาก เพื่อความสะดวกรวดเร็ว และถูกต้องแม่นยำจึงควรใช้โปรแกรมสำเร็จรูปช่วยในการวิเคราะห์และตรวจสอบแต่โปรแกรมสำเร็จรูปมีให้เลือกหลากหลายโปรแกรมแล้วแต่ผู้ใช้เลือกตามความเหมาะสม การจัดเรียงข้อมูลการวิจัยและวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ผู้วิจัยเลือกใช้เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่หาใช้งานได้ทั่วไป ผู้ใช้มีความคุ้นเคย การแสดงผลไม่ยุ่งยากซับซ้อน จากการจัดเรียงผลข้อมูลวิจัยที่ได้จากการใช้โปรแกรม Microsoft Excel เปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ F-Test และ T-Test ซึ่งพบว่ามีข้อมูลที่ตรงกัน คือ กลุ่มที่ 4 มีอัลกอริทึมการจัดลำดับการตัดที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุด

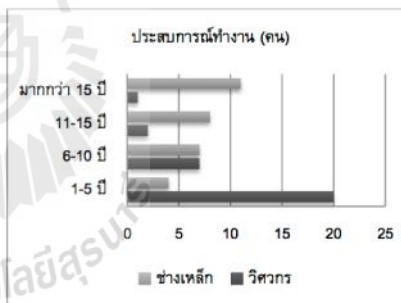
จากการเก็บข้อมูลจากแบบสอบถาม โดยนำการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและช่างเหล็กแต่ละบุคคลมาคำนวณหาปริมาณการสูญเสียเหล็กเส้น เพื่อใช้เปรียบเทียบกับอายุ ประสบการณ์ทำงาน ประเภทของงานส่วนใหญ่ที่ทำการก่อสร้างและการให้ความสำคัญของผู้บริหารโครงการเกี่ยวกับการสูญเสียเหล็กเส้น จึงทำให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการการสูญเสียเหล็กเส้นระหว่างวิศวกรและช่างเหล็ก ในการเก็บข้อมูลในแบบสอบถามส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป โดยแบ่งช่วงอายุของช่างเหล็กออกเป็น 4 ช่วง คือ 20-25 ปี, 26-30 ปี, 31-35 ปี และมากกว่า 35 ปี



รูปที่ 3 อายุของผู้ตอบแบบสอบถาม

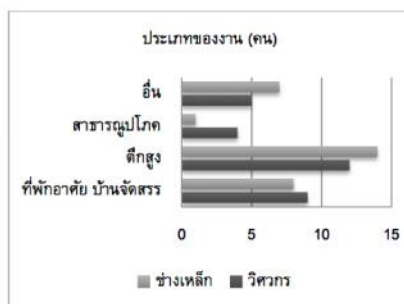
จากรูปที่ 3 แสดงอายุของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยจากการรวบรวมข้อมูลอายุของวิศวกรที่ตอบแบบสอบถามจะอยู่ในช่วงอายุ 20-25 ปี มากที่สุด รองลงมาคือช่วงอายุ 26-30 ปี และอายุของช่างเหล็กที่ตอบแบบสอบถามอยู่ในช่วงอายุมากกว่า 35 ปี มากที่สุด รองลงมาคือช่วงอายุมากกว่า 31-35 ปี

จากการเก็บข้อมูลประสบการณ์ทำงานเกี่ยวกับการตัดเหล็กออกเป็น 4 ช่วง คือ 1-5 ปี, 6-10 ปี, 11-15 ปี และมากกว่า 15 ปี



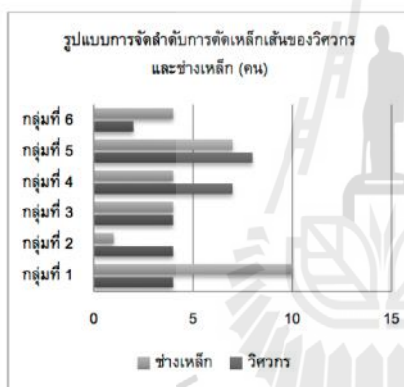
รูปที่ 4 ประสบการณ์ทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากรูปที่ 4 แสดงประสบการณ์ทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยจะพบว่าประสบการณ์ทำงานของวิศวกรอยู่ในช่วง 1-5 ปีมากที่สุด รองลงมาคือ 6-10 ปี และประสบการณ์ทำงานของช่างเหล็กอยู่ในช่วงมากกว่า 15 ปี มากที่สุด รองลงมาคือ 11-15 ปี



รูปที่ 5 ประเภทของงานของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากรูปที่ 5 จะพบว่าประเภทของงานส่วนใหญ่ที่ของวิศวกรและช่างเหล็กทำงานส่วนใหญ่ประเภทตึกสูงมากที่สุด รองลงมาคือที่พักอาศัย บ้านจัดสรร



รูปที่ 6 รูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและช่างเหล็ก

จากผลการวิจัยข้างต้นอัลกอริทึมของกลุ่มที่ 4 มีการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุดเป็นอันดับที่ 1 รองลงมาคือกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 ตามลำดับ จากรูปที่ 6 พบว่ารูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรอยู่ในกลุ่มที่ 5 มากที่สุด รองลงมาคือกลุ่มที่ 4 และกลุ่มที่ 2 3 1 5 ตามลำดับ ส่วนช่างเหล็กมีรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นอยู่ในกลุ่มที่ 1 มากที่สุด รองลงมาคือกลุ่มที่ 5 และกลุ่มที่ 3 4 6 2 ตามลำดับ

4. สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูลวิจัยที่ได้จากการสำรวจของผู้ตอบแบบสอบถามจากวิศวกร จำนวน 30 คนและช่างเหล็ก จำนวน 30 คน พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มที่มีรูปแบบการจัดลำดับการตัดที่คล้ายกันได้ทั้งหมด 7 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมีรูปแบบการจัดลำดับที่แตกต่างกันออกไปโดยมีขั้นตอนย่อย 9 รูปแบบ จากข้อมูลทั้ง 7 กลุ่มตัวอย่างนี้สามารถนำไปหาอัลกอริทึมในการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กน้อยที่สุด ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบกับผลการประมวลผลโดยใช้ Microsoft Excel สรุปได้ว่ากลุ่มที่ 4 มีการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุดเป็นอันดับ 1 มีค่าเฉลี่ยของการสูญเสียเหล็กเส้นเท่ากับ 5.35 เมตรและค่าความแปรปรวนเท่ากับ 2.83 ซึ่งผู้ตอบแบบสอบถามของกลุ่มที่ 4 มีทั้งหมด 11 คนโดยส่วนใหญ่มีช่วงอายุ มากกว่า 35 ปี และมีประสบการณ์การทำงาน มากกว่า 15 ปี

จากอัลกอริทึมการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของกลุ่มที่ 4 นั้นเป็นอัลกอริทึมที่ช่วยลดการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากผู้ตอบแบบสอบถามของกลุ่มที่ 4 มีทักษะและประสบการณ์ที่ได้สะสมยาวนานในการทำงานหน้างานจริง จึงทำให้มีกระบวนการคิดในการจับคู่การจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นที่ซับซ้อน และคำนึงถึงวิธีการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นเพื่อให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุด ประหยัดและเกิดประโยชน์สูงสุด และกลุ่มที่ 7 ที่มีประชากรเพียง 1 คนทำให้ไม่สามารถหาค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนได้เนื่องจากผู้ตอบแบบสอบถามมีอายุน้อย ประสบการณ์การทำงานน้อย โดยมีอัลกอริทึมคือสุ่มเลือกรูปแบบชิ้นงาน 1 ความยาวนำมาตัดให้เสร็จที่ละรูปแบบ ไม่คำนึงถึงวิธีการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้น ดังนั้นอัลกอริทึมของกลุ่มนี้จึงไม่เหมาะในการนำมาใช้ในงานก่อสร้างจริงเพราะว่า ไม่มีกระบวนการคิดที่ซับซ้อนเพื่อให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นน้อยที่สุด

จากสำรวจอัลกอริทึมของการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของวิศวกรและช่างเหล็ก พบว่าการตอบแบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างของวิศวกร โดยจากการรวบรวมข้อมูลอายุของวิศวกรที่ตอบแบบสอบถามจะอยู่ในช่วงอายุ 20-25 ปี มากที่สุด โดยจะพบว่าประสบการณ์ทำงานของวิศวกรอยู่ในช่วง 1-5 ปีมากที่สุดและมี

ประเภทงานส่วนใหญ่ที่ทำการก่อสร้างอยู่ในงานประเภท ตึกสูงพบว่ารูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นของ วิศวกรอยู่ในกลุ่มที่ 5 มากที่สุด รองลงมาคือกลุ่มที่ 4 ใน ส่วนของช่างเหล็ก โดยจากการรวบรวมข้อมูลอายุของ ช่างเหล็กที่ตอบแบบสอบถามจะอยู่ในช่วงอายุมากกว่า 35 ปี มากที่สุด โดยจะพบว่าประสบการณ์ทำงานของ วิศวกรอยู่ในช่วงมากกว่า 15 ปีมากที่สุดและมีประเภท งานส่วนใหญ่ที่ทำการก่อสร้างอยู่ในงานประเภท ตึกสูง ส่วนช่างเหล็กมีรูปแบบการจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นอยู่ ในกลุ่มที่ 1 มากที่สุด รองลงมาคือกลุ่มที่ 5

จากการสำรวจที่ได้พบว่าอัลกอริทึมของกลุ่มที่ 4 เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นแนวทางในการตัดเหล็กเส้นเพราะ เป็นรูปแบบการตัดที่สามารถเข้าใจได้ง่ายและมี ประสิทธิภาพในการตัดทำให้เหลือเศษเหล็กน้อยลงส่งผล ถึงงบประมาณของโครงการ สามารถลดค่าใช้จ่ายให้กับ โครงการก่อสร้างได้ งานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เพื่อเป็น แนวทางในจัดลำดับการตัดเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้าง ทำให้เกิดการสูญเสียเหล็กเส้นที่น้อยลง และนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพการตัดเหล็กเส้นเพื่อลดการสูญเสีย ของเหล็กเส้นได้ อีกทั้งสามารถนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลใน การตัดสินใจเพื่อใช้ในการจ้างเหมาครั้งต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานจากการศึกษาวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ ด้วย ความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่านและผู้วิจัย ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้การ สนับสนุนทุนการวิจัย สำหรับระดับบัณฑิตศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- [1] วุฒิพงษ์ ประวีตวงศ์. 2544. การศึกษาเกี่ยวกับการ สูญเสียวัสดุก่อสร้างในโครงการก่อสร้างประเภทงาน อาคาร. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 137.
- [2] เจต เทียมเศวต. 2007. ปัจจัยที่มีผลกระทบและ สัดส่วนการสูญเสียวัสดุในการก่อสร้าง. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [3] B.A.G. Bossink and H.J.H Brouwers. 1996

Construction waste: quantification and source evaluation. Journal of Construction Engineering and Management, 55 – 60

- [4] C.T. Formoso, L. Soibelman, C. De Cesare, and E. Isatto. 2002. Material waste in building industry: main causes and prevention. Journal of Construction Engineering and Management, 128: 316 – 325.
- [5] นพพร ธนะชัยพันธ์. 2555. สถิติเบื้องต้นสำหรับการ วิจัย. กรุงเทพฯ: วิทย์พัฒน์.

ประวัติผู้เขียน

นางสาวสุวิษา สมบุญ เกิดเมื่อวันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2530 ที่อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษา เมื่อ พ.ศ. 2548 ที่โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี จังหวัดลพบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต) เมื่อ พ.ศ. 2552 สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี พ.ศ. 2553 ในขณะที่ศึกษาอยู่ได้มีโอกาสเป็นผู้ช่วยสอนในสาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จึงช่วยให้ผู้วิจัยได้นำประสบการณ์มาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยได้เป็นอย่างดี ได้เข้าร่วม การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17 และได้มีบทความวิจัยตีพิมพ์ภายในประเทศ 2 บทความ ดังปรากฏในภาคผนวก ค

