รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

การพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กในโครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักราชการ สถานีรถไฟร้อยเอ็ด

(Development of an Optimized Steel Cutting Method for the Construction of Government Residential Buildings at Roi Et Railway Station)

โดย

นางสาวมาริษา ชัยกุลเสรีวงค์

รหัสนักศึกษา 6823900012

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา 153-494 สหกิจศึกษา

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

ภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2568

โครงงานเรื่อง การพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กในโครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักราชการ สถานีรถไฟร้อยเอ็ด

Development of an Optimized Steel Cutting Method for the Construction of Government Residential Buildings at Roi Et Railway Station

ผู้จัดทำ นางสาวมาริษา ชัยกุลเสรีวงค์ รหัสนักศึกษา 6823900012

ภาควิชา วิศวกรรมโยธาสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ศลิษา เปลี่ยนดี

อนุมัติโครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาภาควิชาวิศวกรรมโยธาสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืนประจำ ภาคเรียนที่ 3 ปีการศึกษา 2568

คณะกรรมการการสอบโครงงาน

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ศลิษา เปลี่ยนดี)

.....กรรมการกลาง

(อาจารย์สมศักดิ์ ชินวิกกัย)

.....กรรมการกลาง

(อาจารย์เฉลิมโรจน์ เลิศบริรักษ์กุล)

.....ผู้ช่วยอธิการบดีและผู้อำนวยการสำนักสหกิจศึกษา

(ผศ.ดร.มารุจ ลิมปะวัฒนะ)

จดหมายนำส่งรายงาน

วันที่ 10 กันยายน พ.ศ. 2569

เรื่อง ขอส่งรายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

เรียน อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมโยธาสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน
อาจารย์ศลิษา เปลี่ยนดี

ตามที่ผู้จัดทำ นางสาวมาริษา ชัยกุลเสรีวงค์ นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมโยธาสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม ได้ไปปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ระหว่างวันที่ 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2569 ถึง วันที่ 28 สิงหาคม พ.ศ. 2569 ณ บริษัท ไตต้า คอร์ป จำกัด และในตำแหน่งวิศวกรสำนักงาน (Officer Engineer)

บัดนี้การปฏิบัติงานสหกิจศึกษาได้สิ้นสุดแล้ว ผู้จัดทำจึงขอส่งรายงานดังกล่าวมาพร้อมกันนี้จำนวน 1 เล่ม เพื่อขอรับคำปรึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ขอแสดงความนับถือ

มาริษา

นางสาวมาริษา ชัยกุลเสรีวงค์
นักศึกษาสหกิจศึกษา
ภาควิชาวิศวกรรมโยธาสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

การที่นักศึกษาได้มาปฏิบัติงานในโครงการสหกิจศึกษา บริษัท ไตต้า คอร์ป จำกัด ระหว่างวันที่ 18 พฤษภาคม พ.ศ.2569 ถึงวันที่ 28 สิงหาคม พ.ศ. 2569 ส่งผลให้นักศึกษาได้รับความรู้และประสบการณ์ต่าง ๆ ที่มีค่ามากมาย สำหรับรายงานฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยดีจากความกรุณาและอนุเคราะห์อย่างดีของ คุณชลาธิป ดาวเที่ยง ตำแหน่ง Project Manager ที่อนุญาตให้ใช้เรียนรู้ประสบการณ์การทำงานจริง และอาจารย์ศลิษา เปลี่ยนดี ซึ่งได้ให้ข้อเสนอแนะคำปรึกษา และความช่วยเหลือในทุกสิ่งทุกอย่างจนกระทั่งการปฏิบัติงานครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ บริษัท ไตต้า คอร์ป จำกัด ที่ให้โอกาสแก่ผู้จัดทำได้เข้ามาฝึกปฏิบัติงานในครั้งนี้ ขอบคุณคุณชลาธิป ดาวเที่ยง ตำแหน่ง Project Manager ดูแลสอนงานให้คำปรึกษา และให้คำแนะนำในการทำงานและให้การช่วยเหลือในการจัดทำรายงาน

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลและเป็นที่ปรึกษาในการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้จัดทำ
นางสาวมาริษา ชัยกุลเสรีวงค์
10 กันยายน 2569

ชื่อโครงงาน การพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กในโครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักราชการ สถานีรถไฟร้อยเอ็ด
ผู้จัดทำ นางสาวมาริษา ชัยกุลเสรีวงค์ รหัสนักศึกษา 6823900012
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ศลิษา เปลี่ยนดี
ระดับการศึกษา ปริญญาตรี
ภาควิชา วิศวกรรมโยธาสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
ภาคการศึกษา/ปีการศึกษา 3/2568

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักราชการสถานีรถไฟร้อยเอ็ด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการต้นทุน และลดปริมาณเศษเหล็กเหลือทิ้งจากกระบวนการก่อสร้างเนื่องจากเหล็กเส้นเป็นวัสดุโครงสร้างหลักที่มีปริมาณการใช้งานสูงและมีมูลค่ามาก การบริหารจัดการต้นทุนและการควบคุมความสูญเสียอย่างมีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญยิ่ง เพื่อป้องกันผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของโครงการและผลประกอบการของบริษัท ทั้งนี้ การใช้ทรัพยากรเหล็กเส้นอย่างคุ้มค่าจะช่วยลดต้นทุนของโครงการอันเกิดจากเศษเหล็กสูญเสียได้อย่างมีนัยสำคัญ ด้วยเหตุนี้ คณะผู้จัดทำจึงได้พัฒนากระบวนการลดปริมาณเศษเหล็ก โดยนำเทคนิคการค้นหาแบบสุ่ม (Random Search Algorithm) มาใช้วิเคราะห์แบบแผนการตัดเหล็ก พร้อมทั้งประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการแบบจำลองและคำนวณรูปแบบการตัดเพื่อให้เกิดเศษเหล็กน้อยที่สุด โดยทำการรวบรวมข้อมูลรายการตัดเหล็ก (Bar Bending Schedule) ทั้งหมดเข้าสู่ระบบ และทำการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมผ่านการประมวลผลความน่าจะเป็น ผลการศึกษาพบว่า โปรแกรมสามารถลดปริมาณเศษเหล็กให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะเหล็กเส้นขนาด DB25 และ DB12 ซึ่งเดิมมีอัตราการสูญเสียอยู่ที่ร้อยละ 16.11 และ 4.72 ตามลำดับ แต่เมื่อนำโปรแกรมมาใช้วิเคราะห์ พบว่าอัตราการสูญเสียของเหล็กขนาด DB25 ลดลงเหลือร้อยละ 7.69 ขณะที่เหล็กขนาด DB12 ยังคงมีอัตราการสูญเสียเท่าเดิมที่ร้อยละ 4.72 จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า แม้โครงการจะมีการวางแผนการตัดเหล็กเส้นในระดับที่ดีอยู่แล้ว แต่เนื่องจากการใช้งานเหล็กเส้นจำนวนมากทำให้การคำนวณด้วยแรงงานคนมีความยุ่งยากและซับซ้อน การนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยจึงช่วยเพิ่มความแม่นยำและช่วยบริหารจัดการต้นทุนได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : การตัดเหล็กเส้น, การลดเศษเหล็กสูญเสีย, อัลกอริทึมการค้นหาแบบสุ่ม, รายการดัดเหล็ก (Bar Bending Schedule), การบริหารจัดการต้นทุนงานก่อสร้าง

Project Title	Development of Rebar Cutting Patterns in the Official Residence Construction Project at Roi Et Railway Station
Name	Miss. Marisa Chaikulsereewong
Advisor	Miss. Salisa Pliendee
Degree	Bachelor of Engineering
Department	Civil Environment and Sustainable Engineering
Faculty	Engineering
Semester / Academic year	3/2025

Abstract

This project aims to develop an optimization pattern for rebar cutting in the government official residence construction project at Roi Et Railway Station, enhancing cost management efficiency and minimizing waste scrap generated during the construction process. Since rebar is a primary structural material used in high volumes and incurs significant costs, effective cost management and waste control are vital to preventing adverse impacts on overall project expenses and company performance. Consequently, optimizing rebar resource utilization substantially reduces project costs associated with material waste. To address this, the project team developed a waste reduction process using the Random Search Algorithm to evaluate rebar cutting plans, integrated with computer software for modeling and calculating optimal cutting configurations to minimize leftover scrap. Comprehensive Bar Bending Schedule (BBS) data was compiled into the system, and program accuracy was verified through probabilistic processing. The results indicate that the software effectively controls rebar waste within specified thresholds, notably for DB25 and DB12 rebar sizes, which originally exhibited waste rates of 16.11% and 4.72%, respectively. Applying the software reduced the waste rate of DB25 rebar to 7.69%, while the waste rate for DB12 remained unchanged at 4.72%. In conclusion, although the project already implemented a well-planned cutting strategy, the high volume of rebar usage renders manual calculation complex and challenging. Implementing computer software enhances accuracy and delivers superior cost management efficiency.

Keywords : Rebar Cutting, Waste Scrap Reduction, Random Search Algorithm, Bar Bending Schedule (BBS), Construction Cost Management

Approve By

.....

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
สารบัญ	ค-จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
รายการสัญลักษณ์	ซ
1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1-6
1.2 วัตถุประสงค์	7
1.3 ขอบเขตการศึกษา	7
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
2 ทฤษฎีและการทบทวนเอกสาร	
2.1 ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง	8-10
2.2 ประเภทของปัญหาการตัดและการบรรจุ	
(Classification of Cutting and Packing Problem)	10-12
2.3 แนวคิดที่เกี่ยวกับการลดปริมาณเศษเหล็ก	12
2.3.1 โปรแกรมเชิงเส้นตรง	12-14
2.3.2 หลักการของปัญหารูปแบบการตัด	14-21
2.4 สรุป	22

สารบัญ

หน้า

3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน 23

3.1.1 ข้อมูลทั่วไปของการฝึกปฏิบัติงานสหกิจศึกษา 23

3.1.2 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน 24

3.1.3 ประเด็นปัญหาที่ต้องการศึกษา 25

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 25-26

3.2.1 การกำหนดปัญหา 26-27

3.2.2 การสัมภาษณ์และสังเกตหน้างานจริง 27

3.2.3 วิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจโครงการ 27-28

3.2.4 อุปกรณ์และฮาร์ดแวร์ (Hardware) 28

3.2.5 ซอฟต์แวร์ (Software) 28

3.3 ขั้นตอนการทำงานวิจัย 29-30

3.3.1 ศึกษาวิธีการที่ใช้ในการตัดเหล็กเส้นของโครงการ 30

3.3.2 ศึกษาแนวทางสำคัญเพื่อลดปริมาณความสูญเสียของเหล็กเส้น 30-31

3.3.3 ดำเนินการปรับปรุงโดยใช้โปรแกรมประมวลผลเพื่อหาความเป็นไปได้ในการตัดเหล็กเส้น 31

3.3.3.1 การป้อนข้อมูล 31-32

3.3.3.2 การประมวลผล 32-36

3.3.3.3 การแสดงผล 36-37

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4 ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์

4.1 ลักษณะของโครงการที่ทำการศึกษา 38

4.2 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง 38

4.2.1 ข้อมูลก่อนทำการปรับปรุง 38-43

4.2.2 ข้อมูลหลังทำการปรับปรุง 43-45

4.3 เปรียบเทียบผลข้อมูลเศษเหล็กที่ได้ก่อนและหลังการปรับปรุง 45-47

5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 48-49

5.2 อภิปรายผล 49

5.3 ข้อเสนอแนะ 49-50

เอกสารอ้างอิง 51-52

ประวัติผู้วิจัย 53

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1 สัดส่วนโดยปริมาตรของของการสูญเสียวัสดุในโครงการ 9

2.2 ปริมาณการสูญเสียวัสดุ เมื่อมีการวางแผนจัดการและควบคุมงาน 9

3.1 ช่วงเวลาในการดำเนินกิจกรรม 24

3.2 ข้อมูลเหล็กเส้นตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม 31

4.1 เหล็กเส้นที่ใช้ในโครงสร้างฐานรากในบางส่วน ของโครงการ 39

4.2 ข้อมูลเหล็กเส้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ของโครงการ 44

4.3 ผลของรูปแบบการตัดที่ได้จากโปรแกรมของโครงการ 44-45

4.4 เปรียบเทียบผลข้อมูลเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจากการตัดในโครงการกับโปรแกรม 45

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

1.1 การใช้เหล็กในอุตสาหกรรมต่าง ๆ (Arcelor-Mittal annual report, 2007) 1

1.2 กราฟวงกลมแสดงร้อยละการใช้เหล็กสำเร็จรูปแบ่งตามชนิดเหล็ก 2

1.3 ลักษณะโครงการ 3

1.4 การตัดเหล็กเส้นในหน้างานจริงของโครงการ 4

1.5 เศษเหล็กจำนวนมากที่เกิดจากการตัดเหล็กเส้นของโครงการ 5

2.1 ความสัมพันธ์ของปัญหาการตัดและการบรรจุ 10

2.2 แสดงรูปแบบการตัดและขนาดมาตรฐาน 15

2.3 ตัวอย่างลักษณะรูปแบบการตัดที่เกิดขึ้นหลากหลาย 16

3.1 แผนภาพดำเนินกิจกรรม 25

3.2 แผนภาพลำดับขั้นตอนของการวิจัยดำเนินงาน 26

3.3 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานวิจัย 30

3.4 การป้อนข้อมูลเหล็กที่ต้องการและจำนวนที่ต้องการ 32

3.5 ตัวอย่างการเปรียบเทียบจำนวนการตัดเหล็กเส้นเต็มเทียบกับการตัดแบ่งเหล็กเส้นตามความยาวที่ต้องการ 33

3.6 ตัวอย่างการแสดงผลรูปแบบการตัดแบ่งที่เกิดขึ้น 34

3.7 ตัวอย่างการแสดงผลลัพธ์สรุปการตัดเหล็กเส้นที่เกิดขึ้นทั้งหมด 35

3.8 ตัวอย่างเอกสารแสดงรูปแบบการตัดที่สามารถนำไปใช้งาน 37

4.1 แสดงแผนภูมิภาพเปรียบเทียบข้อมูลของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของเหล็ก 46

รายการสัญลักษณ์

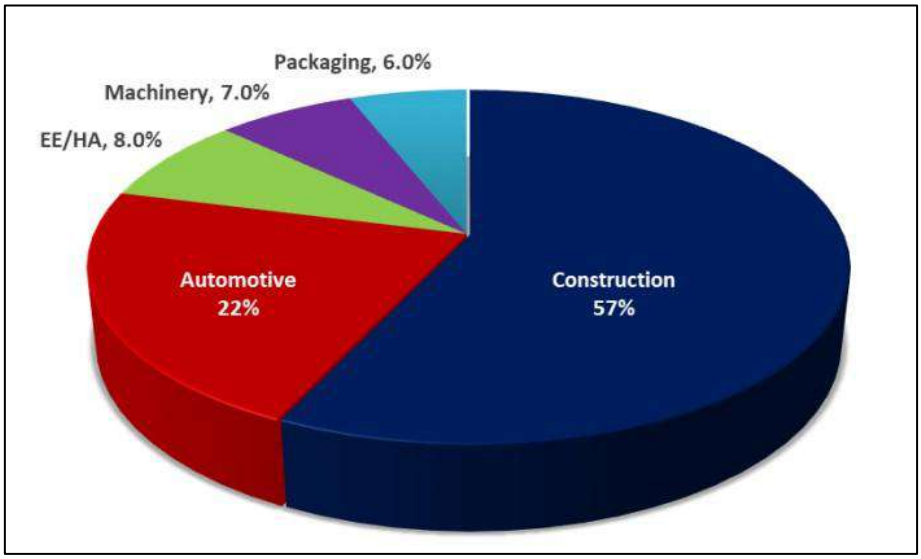
สัญลักษณ์	ความหมาย
aij	สัมประสิทธิ์ในสมการเงื่อนไขที่ i ของค่าตัวแปรที่ j
B	ค่าขอบเขตของเศษเหล็กที่ต้องการ (หน่วยเป็นเมตร)
bi	จำนวนทรัพยากรในสมการเงื่อนไขที่ i
cj	สัมประสิทธิ์ต้นทุนในสมการเป้าหมายที่ j
di	จำนวนเหล็กเส้นแต่ละขนาด
K	สมการช่วงปิดที่ใช้ในการสุ่มค่าจำนวนครั้งในการตัดของวิธีการค้นหาแบบสุ่มและต้องเป็นเลขจำนวนเต็ม
Lc	ขนาดความยาวมาตรฐานของเหล็กเส้น
m	จำนวนของสมการ
Max Z	รูปแบบสมการที่ให้เป้าหมายมากสุด
Min Z	รูปแบบสมการที่ให้เป้าหมายต่ำสุด
n	จำนวนของตัวแปร
N	จำนวนเหล็กเส้นที่มีความยาวที่แตกต่างกัน
T	เศษที่เกิดขึ้นจากการตัด
Pi	รูปแบบการตัดของเหล็กเส้นแต่ละชุด มีการเก็บค่าเป็น Pi = (p1+p2+,..,pn)
xj	ตัวแปรต่าง ๆ
λi	ความยาวที่ต้องการของเหล็กเส้น

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

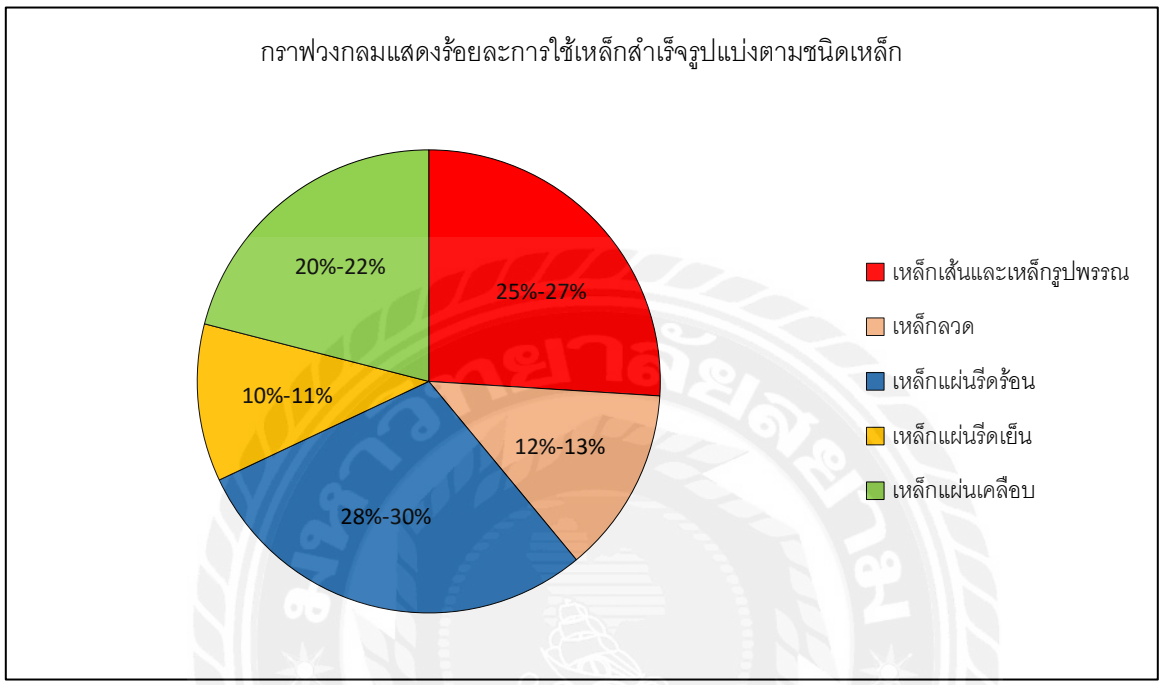
เหล็กเป็นวัสดุฐานรากที่มีความสำคัญสูงต่อภาคอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง ทั้งการก่อสร้าง เครื่องจักรกล ยานยนต์ น้ำมันและก๊าซ รวมถึงบรรจุภัณฑ์ ส่งผลให้ความต้องการใช้งานขยายตัวอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยยังคงต้องพึ่งพาการนำเข้าวัตถุดิบ เทคโนโลยี และอุปกรณ์การผลิตจากต่างประเทศเนื่องจากมีต้นทุนสูง สำหรับโครงสร้างการใช้งานใน 5 อุตสาหกรรมต่อเนื่องหลักของไทย (การก่อสร้าง, ยานยนต์, เครื่องจักรกล, เครื่องใช้ไฟฟ้า และบรรจุภัณฑ์) จากรูปที่ 1.1 พบว่า อุตสาหกรรมก่อสร้าง ครองสัดส่วนการบริโภคเหล็กสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 57 หรือเกินกว่าครึ่งหนึ่งของปริมาณการบริโภคเหล็กรวมทั้งประเทศ โดยมีกลุ่มเครื่องกลและเครื่องจักรกลเป็นอันดับรองลงมา



รูปที่ 1.1 การใช้เหล็กในอุตสาหกรรมต่าง ๆ (สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย, 2569)

อุตสาหกรรมการก่อสร้างสามารถจำแนกตามลักษณะโครงสร้างได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ อาคารที่อยู่อาศัย อาคารสูง และงานระบบสาธารณูปโภค ซึ่งโครงการแต่ละประเภทล้วนจำเป็นต้องใช้วัตถุดิบหลากหลายรูปแบบ โดยมี เหล็ก (หรือวัสดุก่อสร้าง) เป็นองค์ประกอบสำคัญที่สุดสำหรับงานโครงสร้างอาคาร

โดยมี เหล็กเส้น (Steel Bar) เป็นวัสดุหลักที่สำคัญที่สุด จากรูปที่ 1.2 พบว่า ปริมาณการบริโภคเหล็กทั้งหมดมีการใช้งานในรูปแบบเหล็กเส้นและเหล็กรูปพรรณสูงถึงร้อยละ 26 ของสัดส่วนการใช้วัสดุเหล็กทั้งหมด



รูปที่ 1.2 กราฟวงกลมแสดงร้อยละการใช้เหล็กสำเร็จรูปแบ่งตามชนิดเหล็ก

(Thailand's Customs department and ISIT analysis)

จากข้อมูลสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย ประเทศไทยมีปริมาณการใช้เหล็กเส้นและเหล็กรูปพรรณในประเทศเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 4.0 ล้านตันต่อปี (ช่วงปี 2568–2569) ทั้งนี้ หากพิจารณาการใช้งานจริงที่เกิดความสูญเสีย (Wastage) หน้างานก่อสร้างประมาณร้อยละ 5 จะคิดเป็นปริมาณเหล็กเส้นสูญเสียสูงถึง 200,000 ตันต่อปี เมื่อประเมินร่วมกับดัชนีราคาเหล็กเส้นเฉลี่ยซึ่งอยู่ที่ประมาณ 20,350 บาทต่อตัน ความสูญเสียดังกล่าวคิดเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงถึง 4,070 ล้านบาทต่อปี ดังนั้น หากสามารถบริหารจัดการเพื่อลดอัตราการสูญเสียหรือเศษเหล็กในกระบวนการก่อสร้างลงได้ จะช่วยลดภาระการนำเข้าเหล็กของประเทศ และส่งเสริมศักยภาพทางเศรษฐกิจในภาพรวมได้อย่างมีนัยสำคัญ

การสูญเสียเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้างสามารถเกิดขึ้นได้ในทุกขั้นตอนของกระบวนการทำงาน โดยมีสาเหตุสำคัญมาจากหลายปัจจัย อาทิ การสั่งซื้อที่ไม่สอดคล้องกับการใช้งานจริง ต้นทุนการขนส่งที่เพิ่มสูงขึ้น ความยุ่งยากในการจัดเก็บและดูแลรักษาเมื่อมีเศษเหล็กสะสมจำนวนมาก ตลอดจนการขาดประสิทธิภาพในการควบคุมและบริหารจัดการของผู้ควบคุมงานเพื่อวางแผนการใช้เหล็กให้เกิดประโยชน์สูงสุดจากการศึกษาสังเกตโครงการกรณีตัวอย่าง ซึ่งมีการบริหารงานโดยมีวิศวกรคุมงานทำหน้าที่วางแผนและสั่งการ แล้วมอบหมายต่อให้ผู้ควบคุมคนงาน (โฟร์แมน) ดำเนินการจัดการเหล็กเส้นในแต่ละงวดงานตามแผนที่วางไว้ โดยลักษณะทั่วไปของโครงการกรณีศึกษาแสดงดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 ลักษณะโครงการ

จากการสัมภาษณ์ผู้รับเหมาในโครงการต่างมีความเห็นสอดคล้องกันว่า ปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นเป็นประเด็นสำคัญที่ต้องให้ความใส่ใจอย่างยิ่ง เนื่องจากจากการดำเนินงานที่ผ่านมาพบว่ามีปริมาณเศษเหล็กสูญเสียเกิดขึ้นจำนวนมาก ผู้รับเหมาจึงมีความสนใจที่จะลดปริมาณเศษเหลือทิ้งดังกล่าว เพื่อปรับปรุงและพัฒนากระบวนการทำงานในปัจจุบัน ซึ่งยังคงพึ่งพาการตัดเหล็กเส้นด้วยแรงงานคน ณ หน้างาน ดังแสดงในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 การตัดเหล็กเส้นในหน้างานจริงของโครงการ

จากการสังเกตและติดตามกระบวนการทำงานเกี่ยวกับเหล็กเส้น ณ หน้างานโครงการ พบว่าสาเหตุสำคัญของการสูญเสียเกิดจากการที่บุคลากรขาดทักษะในการวิเคราะห์และจัดรูปแบบการตัดเหล็กเส้นเพื่อให้เหลือเศษน้อยที่สุด ประกอบกับการขาดระบบบันทึกข้อมูลปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจริง โดยมักใช้วิธีประเมินค่าความสูญเสียตามประสบการณ์การทำงาน ส่งผลให้การตัดเหล็กเส้นขนาดต่างๆ มีเศษเหลือทิ้งในปริมาณมาก ดังแสดงในรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 เศษเหล็กจำนวนมากที่เกิดจากการตัดเหล็กเส้นของโครงการ

การเกิดเศษเหล็กในปริมาณมาก ย่อมส่งผลกระทบเชิงลบต่อโครงการอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยเฉพาะด้านต้นทุนที่ต้องสูญเสียไปกับวัสดุสิ้นเปลืองโดยเปล่าประโยชน์ ซึ่งถือเป็นภาระค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นและส่งผลกระทบโดยตรงต่อผลประกอบการของผู้รับเหมา

เศษเหล็กปริมาณมากที่เกิดจากการตัดมักพบเห็นได้ทั่วไปตามพื้นที่ต่างๆ ในโครงการก่อสร้าง ซึ่งส่งผลให้การจัดเก็บเป็นไปอย่างไม่เป็นระเบียบ การลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดตั้งแต่ต้นทางจึงเป็นแนวทางสำคัญในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว อย่างไรก็ตาม การบรรลุเป้าหมายดังกล่าวนำมาซึ่งความจำเป็นในการบริหารจัดการและวางแผนรูปแบบการตัดเหล็กเส้นอย่างเป็นระบบ เพื่อให้เกิดปริมาณเศษเหล็กสูญเสียน้อยที่สุด

ปริมาณเศษเหล็กในงานก่อสร้างปัจจุบัน ส่วนหนึ่งจัดเป็นความสูญเสียที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ (Unavoidable Waste) อันเนื่องมาจากเงื่อนไขทางเทคนิค ซึ่งต้องมีการตัด ดัด และงอเหล็กเส้นก่อนนำไปใช้งานจริง เนื่องจากเหล็กเส้นที่จำหน่ายในท้องตลาดมีความยาวมาตรฐาน เมื่อนำมาใช้งานตามระยะที่ออกแบบไว้จึงจำเป็นต้องตัดแบ่ง ส่งผลให้เกิดเศษเหล็กจากการตัดขึ้น อย่างไรก็ตาม หากขาดการวางแผนรูปแบบการตัดเหล็กเส้นที่เหมาะสม

(Cutting Optimization) จะยิ่งเพิ่มปริมาณเศษเหล็กสูญเสียเกินจำเป็น กลายเป็นภาระต้นทุนส่วนเพิ่มของผู้รับเหมา และส่งผลให้ต้องสั่งซื้อเหล็กเส้นเพิ่มเติมมากกว่าปริมาณที่ได้ประมาณการไว้ในแผนงาน

การบริหารจัดการเหล็กเส้นอย่างเป็นระบบจึงมีความสำคัญยิ่งต่อการลดปริมาณเศษเหล็กสูญเสีย เนื่องจากการแก้ไขงานหรือความผิดพลาดในขั้นตอนการตัดเหล็ก ณ หน้างาน ย่อมก่อให้เกิดเศษเหล็กสะสมในปริมาณมาก ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อต้นทุนและกรอบเวลาของโครงการ หากผู้ควบคุมงานขาดการบริหารจัดการเหล็กเส้นที่มีประสิทธิภาพ เมื่อเกิดปัญหาขึ้นย่อมสร้างความเสียหายแก่ผู้รับเหมาโดยตรง ยิ่งไปกว่านั้น ท่ามกลางสถานการณ์การแข่งขันในการประมูลงานก่อสร้างที่มีแนวโน้มแข่งขันด้านราคาอย่างรุนแรงในปัจจุบัน ผู้รับเหมาจึงจำเป็นต้องนำกระบวนการวิเคราะห์จัดรูปแบบการตัดเหล็กเส้น (Cutting Optimization) มาใช้ เพื่อควบคุมและลดปริมาณเศษเหล็กให้เหลือน้อยที่สุด อันจะนำไปสู่การใช้ทรัพยากรเหล็กเส้นได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

การพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้น (Cutting Pattern Optimization) จึงเป็นแนวทางสำคัญในการลดปริมาณเศษเหล็กสูญเสียให้น้อยที่สุด โดยต้องอาศัยการวางแผนและออกแบบการตัดอย่างรอบคอบเข้ามาแก้ปัญหาหน้างาน การกำหนดรูปแบบการตัดที่ให้เศษเหลือน้อยที่สุดมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากหากใช้งานเหล็กเส้นโดยขาดการวางแผนที่เหมาะสม มักประสบปัญหาปริมาณเหล็กเส้นไม่เพียงพอต่อการใช้งานจริงตามที่ประมาณการไว้ ปัญหาดังกล่าวนำไปสู่ความจำเป็นในการสั่งซื้อเหล็กเส้นเพิ่มเติม ซึ่งบ่อยครั้งต้องจัดซื้อในช่วงเวลาที่ราคาวัสดุปรับตัวสูงขึ้น เพื่อเร่งรัดงานให้เสร็จทันตามสัญญา หรืออาจเจอปัญหาไม่สามารถจัดซื้อเหล็ กได้ตามจำนวนที่ต้องการเนื่องจากกลไกตลาด หากพิจารณาผลกระทบในภาพรวม การสร้างรูปแบบการตัดเหล็กเส้นที่เหมาะสมจึงเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยให้ผู้รับเหมาสามารถนำไปปฏิบัติจริง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เหล็กเส้นและลดต้นทุนโครงการได้อย่างยั่งยืน

แนวทางปฏิบัติงานจริงเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กเส้น ไม่เพียงอาศัยการกำกับดูแลและควบคุมคนงานอย่างเข้มงวดเท่านั้น แต่จำเป็นต้องมีการพัฒนารูปแบบการตัด (Cutting Pattern Optimization) ที่เหมาะสม เพื่อลดปริมาณเศษเหล็กสูญเสียให้เหลือน้อยที่สุด ทั้งนี้ หากปล่อยให้คนงานตัดเหล็กเส้นโดยปราศจากระบบบริหารจัดการและวางแผน คนงานมักเลือกตัดเหล็กตามความสะดวกโดยไม่คำนึงถึงการจัดรูปแบบการตัดที่คุ้มค่า ซึ่งนำไปสู่การเกิดเศษเหล็กสูญเสียในปริมาณมากอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. พัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้น เพื่อการบริหารต้นทุนให้มีประสิทธิภาพในโครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักราชการ สถานีรถไฟร้อยเอ็ด

2. พัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้น เพื่อลดปริมาณเศษเหล็กในโครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักราชการ สถานีรถไฟร้อยเอ็ด

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. พัฒนาวิธีการสร้างรูปแบบการตัดเหล็กเส้นที่เหมาะสม เพื่อลดปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นในโครงการ โดยศึกษาและพัฒนาวิธีการค้นหาแบบสุ่ม (Random Search)

2. เก็บข้อมูลจากโครงการประเภทงานอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยเป็นโครงการขนาดกลาง ที่ดำเนินการในปัจจุบันเพื่อเก็บข้อมูลวิธีการตัดเหล็กเส้นและการใช้เหล็กเส้นในโครงการ

3. ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการสร้างรูปแบบการตัดจากวิธีการค้นหาแบบสุ่มที่สามารถลดปริมาณเศษเหล็กได้ แล้วเปรียบเทียบปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจริงกับรูปแบบการตัดที่พัฒนาขึ้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ผู้รับเหมา ทราบถึงวิธีการตัดเหล็กเส้นได้อย่างคุ้มค่า ช่วยให้ลดต้นทุนค่าใช้จ่ายที่มาจากเศษเหล็กเส้นที่ต้องสูญเสียไป

2. เป็นแนวทางในการทำงานเกี่ยวกับเหล็กเส้นให้แก่ผู้รับเหมา โดยมีความรู้ความเข้าใจในการจัดการปัญหาที่เกิดจากเหล็กเส้น ซึ่งเป็นวัสดุหลักในโครงการอาคาร

3. สามารถประยุกต์ใช้กับการตัดวัสดุลักษณะ 1 มิติ อื่น ๆ ได้อีก เช่น ไม้ ท่อ สายยาง เป็นต้น

บทที่ 2
ทฤษฎีและการทบทวนเอกสาร

2.1 ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ปริมาณเศษเหล็กที่สูญเสียในโครงการ

ปริมาณเศษเหล็กส่วนใหญ่เกิดจากการขาดการควบคุมและวางแผนการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งส่งผลกระทบเชิงลบต่อโครงการก่อสร้าง ทั้งในมิติด้านต้นทุน การจัดการวัสดุ และระยะเวลาการดำเนินงาน ดังนั้น เหล็กเส้นจึงเป็นวัสดุวิกฤตที่ต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษ เนื่องจากเทคนิคการตัดที่ไม่เหมาะสมย่อมนำไปสู่ความสูญเสีย และส่งผลกระทบโดยตรงต่อผลประกอบการของผู้รับเหมาที่ต้องมุ่งเน้นการบริหารต้นทุนเป็นหลัก

ทั้งนี้ ปริมาณเศษเหล็กสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการตัดหน้างาน ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของโครงการใน 4 ประการสำคัญ ได้แก่

1) การสูญเสียจากการจัดเก็บที่ไม่เหมาะสม ทำให้เหล็กเส้นเกิดความเสียหายก่อนการใช้งาน

2) การสูญเสียเวลาและแรงงาน จากกระบวนการสั่งซื้อใหม่และการขนย้ายเศษเหล็กที่เกิดจากการตัดผิดพลาด

3) การขาดระบบบริหารจัดการที่ดี นำไปสู่การใช้เหล็กเส้นอย่างสิ้นเปลืองและเกิดเศษเหล็กสะสมปริมาณมาก

4) ความเสี่ยงจากการสูญหาย เศษเหล็กสะสมหน้างานเสี่ยงต่อการถูกลักลอบนำออกจากพื้นที่ โดยไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์หรือสร้างรายได้จากการขายคืน

สอดคล้องกับการศึกษาของ Williams and Goetz (2000) ที่ได้จัดเก็บรวบรวมข้อมูล ณ เมืองโตรอนโต ประเทศแคนาดา เพื่อวิเคราะห์สัดส่วนเฉลี่ยของเศษวัสดุก่อสร้างในโครงการกรณีศึกษา (ดังตารางที่ 2.1) ซึ่งพบว่ามีปริมาณเศษเหล็กสูญเสียเกิดขึ้นสูงถึงร้อยละ 7.3 โดยปริมาตร [อ้างอิง Williams and Goetz (2000), Johnston (1981), Pooster (1972)]

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนโดยปริมาตรของของการสูญเสียวัสดุในโครงการ

(Williams and Goetz, 2000)

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

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการสูญเสียของเหล็กเส้นจากการศึกษาของ Williams and Goetz (2000) ร่วมกับงานวิจัยของ Johnston (1981) และ Pooster (1972) ดังแสดงในตารางที่ 2.2 พบว่าสถิติการสูญเสียดังกล่าวสะท้อนถึงศักยภาพในการลดความสูญเปล่า โดยหากโครงการมีการควบคุม การบริหารจัดการ และการกำกับดูแลกระบวนการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ จะสามารถลดอัตราการสูญเสียเหล็กเส้นในโครงการลงได้เฉลี่ยร้อยละ 5–6

ตารางที่ 2.2 ปริมาณการสูญเสียวัสดุ เมื่อมีการวางแผนจัดการและควบคุมงาน

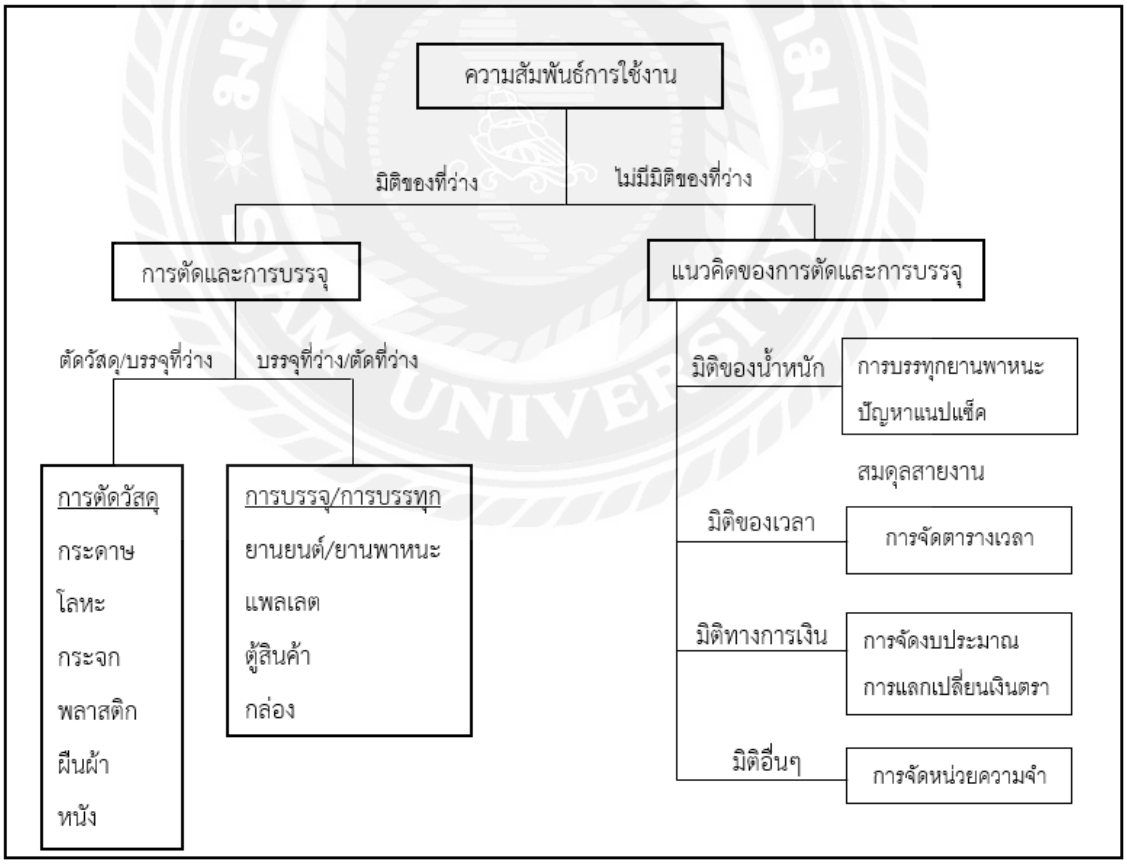
วัสดุ	การสูญเสีย	เอกสารอ้างอิง
Concrete	5%	Johnston (1981)
- Reinforcing Steel	5%	Johnston (1981)
	6%	Pooster (1972)
Brick Wall		
- Hollow	10%	Johnston (1981)
- Ordinary	2%	Milne (1980)

แบบทางการ / รายงานวิชาการ (เหมาะสำหรับเล่มวิทยานิพนธ์ หรือบทความวิจัย)

ทั้งนี้ ปริมาณความสูญเสียของเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้างมีสาเหตุหลักมาจากเศษเหลือทิ้งในกระบวนการตัด ซึ่งในทางวิทยาการคำนวณและการวิจัยการดำเนินงาน (Operations Research) จัดว่าปัญหาลักษณะนี้คือปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติ (One-Dimensional Cutting Stock Problem: 1D-CSP) โดยสามารถจำแนกประเภทของปัญหาการตัดเหล็กเส้นเพื่อกำหนดขอบเขตและสร้างความชัดเจนสำหรับงานวิจัยได้

2.2 ประเภทของปัญหาการตัดและการบรรจุ (Classification of Cutting and Packing Problem)

กระบวนการตัดเหล็กเส้นจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาการตัดและการบรรจุ (Cutting and Packing Problem) ซึ่ง Dyckhoff (1990) ได้ศึกษารวบรวมและจัดหมวดหมู่ปัญหากลุ่มนี้อย่างเป็นระบบ โดยอาศัยเกณฑ์โครงสร้างทางตรรกศาสตร์ (Logical Structure) เป็นหลักในการจำแนกประเภท เพื่อสร้างกรอบแนวคิดในการระบุ คุณลักษณะและขอบเขตของปัญหาการตัดและการบรรจุให้มีความชัดเจนและเป็นมาตรฐานเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของปัญหาการตัดและการบรรจุ [18]

จากกรอบแนวคิดปัญหาการตัดและการบรรจุ สามารถจำแนกประเภทของปัญหาให้มีความแม่นยำและชัดเจนตามรูปแบบการนำไปใช้งาน โดยใช้สัญลักษณ์สี่ลำดับอักษร $\alpha/\beta/\gamma/\delta$ ซึ่งระบุถึง มิติของปัญหา, การกำหนดชนิดของตัวแปร, ลักษณะของวัสดุขนาดใหญ่ และลักษณะของวัสดุขนาดย่อย ตามลำดับ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ลำดับอักษรที่ 1 (α) มิติของปัญหา (Dimensionality) แสดงผลเป็นตัวเลข $1,2,3$ หรือ N แบ่งเป็น

(1) วัสดุหนึ่งมิติ (One-Dimensional) หมายถึง การตัดหรือบรรจุในแนวเดียว เช่น เหล็กเส้น เชือก ม้วนโลหะ หรือกระดาษม้วน โดยพิจารณาเฉพาะความยาวในแนวแกนเดียวเป็นหลัก

(2) วัสดุสองมิติ (Two-Dimensional) หมายถึง การตัดหรือบรรจุชิ้นส่วนรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากบนพื้นที่สี่เหลี่ยมมุมฉาก เช่น แผ่นโลหะ แผ่นกระจก หรือแผ่นพลาสติก

(3) วัสดุสามมิติ (Three-Dimensional) หมายถึง การตัดหรือบรรจุวัตถุที่มีปริมาตรทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ เช่น การจัดวางสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์ การจัดกล่อง หรือการตัดแท่งโลหะ

(N) มากกว่าสามมิติ (N-Dimensional) หมายถึง การตัดหรือบรรจุในรูปแบบสมการคณิตศาสตร์ที่มีตัวแปรมากกว่า 3 มิติขึ้นไป

ลำดับอักษรที่ 2 (β) การกำหนดชนิดของตัวแปร (Type of Assignment) แบ่งเป็น

(B) หมายถึง กำหนดวัสดุขนาดใหญ่คงที่ แล้วคัดเลือกวัสดุขนาดย่อยลงไป

(V) หมายถึง คัดเลือกทั้งวัสดุขนาดใหญ่และวัสดุขนาดย่อยพร้อมกัน

ลำดับอักษรที่ 3 (γ) ลักษณะของวัสดุขนาดใหญ่ (Large Objects) แบ่งเป็น

(O) หมายถึง วัสดุขนาดใหญ่เพียงชิ้นเดียว

(I) หมายถึง วัสดุขนาดใหญ่หลายชิ้น โดยทุกชิ้นมีขนาดเท่ากันทั้งหมด

(V) หมายถึง วัสดุขนาดใหญ่หลายชิ้น โดยมีขนาดแตกต่างกัน

ลำดับอักษรที่ 4 (δ) ลักษณะของวัสดุขนาดย่อย (Small Items) แบ่งเป็น

(F) หมายถึง วัสดุขนาดย่อยมีจำนวนน้อย และมีความหลากหลายของขนาดน้อย

(M) หมายถึง วัสดุขนาดย่อยมีจำนวนมาก และมีความหลากหลายของขนาดมาก

(R) หมายถึง วัสดุขนาดย่อยมีจำนวนมาก แต่มีความหลากหลายของขนาดน้อย

(C) หมายถึง วัสดุขนาดย่อยมีจำนวนมาก และทุกชิ้นมีขนาดเท่ากันทั้งหมด

เมื่อพิจารณากรอบสัญลักษณ์ข้างต้น ปัญหาการตัดเหล็กเส้นในงานก่อสร้างจัดเป็นปัญหาการตัดวัสดุหนึ่งมิติ ในประเภท $1/V/I/M$ (กรณีใช้เหล็กเส้นความยาวมาตรฐานขนาดเดียว) หรือ $1/V/V/M$ (กรณีมีเหล็กเส้นความยาวมาตรฐานหลายขนาด หรือนำเศษเหล็กเดิมมาใช้ร่วม) ซึ่งปัญหาการตัดวัสดุหนึ่งมิตินี้มีเป้าหมายสอดคล้องกับปัญหาการบรรจุ โดยปัญหาการตัดมุ่งเน้นการลดปริมาณเศษเหลือทิ้ง (Waste Minimization) ในขณะที่ปัญหาการบรรจุมุ่งเน้นการลดพื้นที่ว่างที่เหลือจากการจัดวาง (Space Utilization Optimization)

2.3 แนวคิดที่เกี่ยวกับการลดปริมาณเศษเหล็ก

แนวคิดในการลดปริมาณเศษเหล็กเส้นมีรากฐานมาจาก การวิจัยการดำเนินงาน (Operations Research: OR) ซึ่งรู้จักกันในนาม ปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติ (One-Dimensional Cutting Stock Problem: 1D-CSP) โดยสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปของ กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming: ILP) เพื่อค้นหารูปแบบการตัดที่ก่อให้เกิดปริมาณเศษเหล็กสูญเสียน้อยที่สุด

2.3.1 โปรแกรมเชิงเส้นตรง

การแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวกับระบบสมการโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับรูปแบบและลักษณะของระบบสมการ ซึ่งกระบวนการคำนวณหาคำตอบจะมีความแตกต่างกันไป โดยทั่วไปสามารถจำแนกลักษณะของระบบสมการออกได้เป็น 3 กรณี ได้แก่

กรณีที่ 1 จำนวนตัวแปรเท่ากับจำนวนสมการ ($n = m$) ระบบสมการจะมีคำตอบที่เดี่ยวและสมบูรณ์เพียงคำตอบเดียว (Unique Solution)

กรณีที่ 2 จำนวนตัวแปรน้อยกว่าจำนวนสมการ ($n < m$) จะเกิดสมการที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน (Dependent Equations) จำนวน $m - n$ สมการ หากสมการสอดคล้องกัน สามารถตัดสมการที่ไม่เป็นอิสระออกจนเหลือจำนวนสมการเท่ากับจำนวนตัวแปรเพื่อคำนวณหาคำตอบได้

กรณีที่ 3 จำนวนตัวแปรมากกว่าจำนวนสมการ ($n > m$) ระบบสมการจะมีคำตอบที่เป็นไปได้จำนวนไม่จำกัด (Infinite Solutions) ซึ่งการจะบีบขอบเขตของคำตอบให้แคบลง จำเป็นต้องมีการกำหนดเงื่อนไขเพิ่มเติม

สำหรับ กำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) จัดเป็นการแก้ปัญหาที่อยู่ในบริบทของกรณีที่ 3 แต่มีข้อแตกต่างสำคัญคือ สมการข้อจำกัด (Constraints) มักอยู่ในรูปของอสมการ ซึ่งใช้เครื่องหมายมากกว่าหรือเท่ากับ ($\geq$) หรือน้อยกว่าหรือเท่ากับ ($\leq$) [อ้างอิง ตำราวิจัยดำเนินงานของ อรรถศิษฐ์, สมศักดิ์] นอกจากนี้

กำหนดการเชิงเส้นจะมี สมการวัตถุประสงค์ (Objective Function) เพิ่มขึ้นมาอีกหนึ่งสมการ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยแบ่งเป็น 2 รูปแบบหลัก คือ การหาค่าต่ำสุด (Minimization: $\min Z$) และการหาค่าสูงสุด (Maximization: $\max Z$) ซึ่งทั้งสองรูปแบบมีความสัมพันธ์เชิงคู่กัน (Duality) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

Max Z = - Min Z (2.1)

ในการแก้สมการทั้งสองรูปแบบ จะเหมือนกันแต่มีเครื่องหมายตรงข้ามกันเท่านั้นซึ่งรูปแบบมาตรฐานของโปรแกรมเชิงเส้นตรง สามารถเขียนได้ดังต่อไปนี้

1) สมการเป้าหมาย

$$\text{Min Z} = \sum_{j}^{m} c_j \; x_j \tag{2.2}$$

2) อสมการเงื่อนไข

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

และ $xj \;\geq\; 0$ โดยที่

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

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

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) สามารถสรุปกระบวนการดำเนินงานได้ 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การตัดสินใจกำหนดตัวแปร (Decision Variables Definition: x_j) เป็นการระบุและกำหนดตัวแปรตัดสินใจทั้งหมดจำนวน n ตัวแปร จากการวิเคราะห์และทำความเข้าใจบริบทของปัญหา โดยต้องพิจารณาตัวแปรที่เกี่ยวข้องให้ครอบคลุมทุกมิติของปัญหาที่ทำการศึกษา

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างสมการวัตถุประสงค์ (Objective Function Formulation) การแก้ปัญหากรณีจำนวนตัวแปรมากกว่าจำนวนสมการ จำเป็นต้องสร้างสมการวัตถุประสงค์ขึ้นหนึ่งสมการ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการคำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุดเพียงคำตอบเดียว ซึ่งแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ การหาค่าสูงสุด (Maximization) และการหาค่าต่ำสุด (Minimization) สำหรับปัญหาการตัดเหล็กเส้น จะมุ่งเน้นการหาจำนวนครั้งในการตัดตามรูปแบบต่างๆ เพื่อให้เกิดปริมาณเศษเหล็กสูญเสียน้อยที่สุด จึงเลือกใช้รูปแบบการหาค่าต่ำสุด ($\min Z$)

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างสมการหรืออสมการเงื่อนไขข้อจำกัด (Constraints Formulation) เป็นการกำหนดข้อจำกัดทางทรัพยากรหรือเงื่อนไขการทำงาน ซึ่งสามารถจำแนกตามเครื่องหมายทางคณิตศาสตร์ได้ 3 ลักษณะ ได้แก่

1) จำกัดเงื่อนไขของอสมการน้อยกว่า หรือเท่ากับ (≤) ตัวคงที่

2) จำกัดเงื่อนไขของสมการเท่ากับ (=) ตัวคงที่

3) จำกัดเงื่อนไขของอสมการมากกว่าหรือเท่ากับ (≥) ตัวคงที่

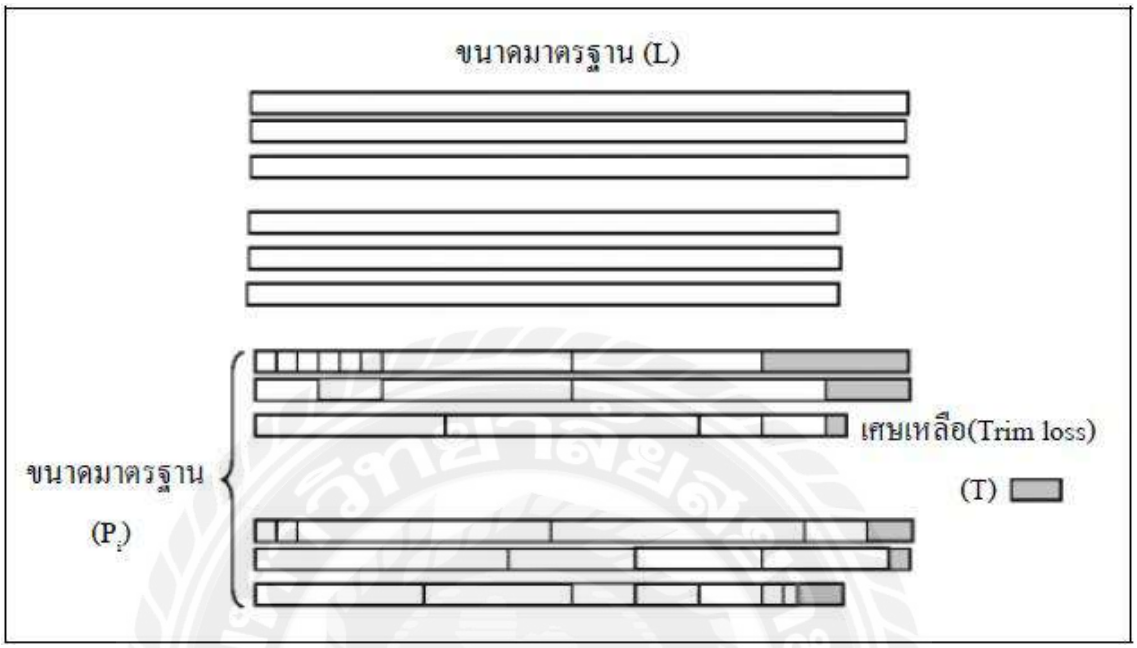
ในทางปฏิบัติ ปัญหาสามารถประกอบด้วยเงื่อนไขทั้ง 3 ลักษณะผสมผสานกันได้ แต่สำหรับปัญหาการตัดเหล็กเส้น เงื่อนไขหลักมักกำหนดให้อยู่ในรูป สมการเท่ากับ ($=$) ค่าคงที่ หรืออสมการมากกว่าหรือเท่ากับ ($\geq$) ค่าคงที่ เพื่อให้จำนวนเหล็กเส้นที่ตัดได้สอดคล้องหรือเพียงพอต่อความต้องการใช้งานจริงตามรายการรูปดัด (Bending Schedule)

ขั้นตอนที่ 4: การกำหนดเงื่อนไขของตัวแปรตัดสินใจ (Non-negativity & Integer Constraints) ตัวแปรตัดสินใจ (x_j) ต้องกำหนดให้มีค่าไม่เป็นลบ ($x_j \geq 0$) และเนื่องจากการจัดสรรทรัพยากรจริงต้องกำหนดให้มีค่าเป็น จำนวนเต็ม (Integer) เท่านั้น เมื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ครบถ้วนตามขั้นตอนข้างต้นแล้ว จะสามารถนำไปประมวลผลเพื่อหา คำตอบที่ดีที่สุด (Optimum Solution) ที่สอดคล้องกับสมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัดทั้งหมด

2.3.2 หลักการของปัญหารูปแบบการตัด

รูปแบบการตัด (Cutting Pattern) หมายถึง รูปแบบหรือแผนการจัดวางการตัดเหล็กเส้นความยาวมาตรฐานที่มีอยู่ เพื่อให้ได้ชิ้นงานเหล็กเส้นตามขนาดและความยาวที่ต้องการจริงในงานก่อสร้าง โดยในแต่ละรูปแบบการตัดจะมีรายละเอียดการแบ่งตัดชิ้นงานขนาดย่อยที่มีความยาวแตกต่างกันออกไป เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเหลือเศษจากการตัดน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.2 [อ้างอิง Gilmore & Gomory

(1961), Haessler (1971), Vahrenkamp (1996), สันติ ชินานุวัตน์วงศ์ (2543), Fleszar and Hindi (2002)]



รูปที่ 2.2 แสดงรูปแบบการตัดและขนาดมาตรฐาน [18]

ในการก่อสร้างงานโครงสร้าง จำเป็นต้องตัดแบ่งเหล็กเส้นเพื่อให้ได้ขนาดและความยาวตามที่ระบุไว้ในแบบวิศวกรรม เนื่องจากเหล็กเส้นที่จำหน่ายในท้องตลาดเป็นความยาวมาตรฐาน คือ 10 และ 12 เมตร ทั้งนี้ลักษณะของปัญหาการตัดเหล็กเส้นสามารถอธิบายได้ผ่านกรณีตัวอย่าง เช่น การนำเหล็กเส้นความยาวมาตรฐาน 12 เมตร มาตัดแบ่งเป็นเหล็กเส้นย่อยขนาดความยาว 6, 5, 4 และ 3 เมตร จำนวนอย่างละ 1 ท่อน (ดังแสดงในรูปที่ 2.3) แม้ตัวอย่างนี้จะยังไม่ได้คำนึงถึงปริมาณความต้องการจริง (Demand) ของแต่ละขนาด แต่มีวัตถุประสงค์เพื่อชี้ให้เห็นว่า เมื่อรายการความยาวมีความหลากหลายและมีการใช้งานปริมาณมาก รูปแบบการตัดที่ไม่สอดคล้องกันย่อมส่งผลให้เกิดเศษเหล็กสูญเสียสะสมเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างลักษณะรูปแบบการตัดที่เกิดขึ้นหลากหลาย [18]

โครงการก่อสร้างอาคารมีความต้องการใช้เหล็กเส้นที่มีขนาดและความยาวหลากหลายเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ต้องเพิ่มความซับซ้อนและความหลากหลายในการจัดรูปแบบการตัด (Cutting Patterns) ตามไปด้วย ซึ่งนำไปสู่การเกิดเศษเหล็กสูญเสียที่มีความยาวกระจัดกระจายและแตกต่างกันไปตามแต่ละรูปแบบการตัด

จากปัญหาการตัดเหล็กเส้นซึ่งจัดเป็นปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติ (One-Dimensional Cutting Stock Problem: 1D-CSP) ที่มีรูปแบบการตัดหลากหลายและซับซ้อน Gilmore and Gomory (1961) ได้เป็นผู้ริเริ่มเสนอแนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าวด้วย เทคนิคการสร้างรูปแบบการตัด (Pattern Generation Technique) โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) ซึ่งส่งผลให้การศึกษาวิจัยและการแก้ไขปัญหาการตัดด้วยวิธีนี้ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในเวลาต่อมา พร้อมทั้งได้นำเสนอแนวทางการประมวลผลด้วยการ

ผ่อนคลายกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming Relaxation) เพื่อคำนวณหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

แนวทางการแก้ปัญหาในลักษณะนี้อาศัย การผ่อนคลายกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming Relaxation: LP Relaxation) และต่อมาในปี 1963 Gilmore and Gomory ได้ตีพิมพ์บทความต่อเนื่องเพื่อนำเสนอการประยุกต์ใช้ ปัญหาเป้สะพายหลัง (Knapsack Problem) ร่วมกับ เทคนิคการสร้างคอลัมน์ (Column Generation Technique) โดยมีการเพิ่มข้อจำกัดด้านกำลังการผลิต (Production Capacity Constraints) เพื่อรองรับและประยุกต์ใช้เทคนิคการสร้างคอลัมน์เมื่อมีเงื่อนไขด้านกำลังการผลิตเพิ่มเติม สำหรับโครงสร้างและรายละเอียดของแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น กำหนดให้วัสดุขนาดมาตรฐานมีความยาวเท่ากับ L (โดยความยาวชิ้นงานย่อย l_i แต่ละชิ้นอยู่ภายใต้เงื่อนไข $1 \leq i \leq n$ และ $l_i \leq L$) และกำหนดให้เวกเตอร์ของรูปแบบการตัดคือ $\mathrm{a} = (a_1, a_2, \ldots, a_n)^T$ ซึ่งประกอบด้วยชิ้นงานย่อยขนาดความยาว l_1 จำนวน a_1 ชิ้น, ขนาดความยาว l_2 จำนวน a_2 ชิ้น ไปจนถึงขนาดความยาว l_n จำนวน a_n ชิ้น

ซึ่งสามารถกำหนดเป็นปัญหาจำนวนเต็มเชิงเส้นตรงได้ ดังนี้

สมการเป้าหมาย

$$\mathrm{Min\ Z} = \sum_j^m c_j\ x_j \tag{2.4}$$

ข้อจำกัด

$$\sum_j^m u_{ij} x_j \geq d_{j;}\ 1, \ldots., n \tag{2.5}$$

$x_j \geq 0$ และเป็นเลขจำนวนเต็ม (Integer)

โดยที่ $a_{ij}x_j$ คือ จำนวนชิ้นของขนาดความยาว 1_i ที่ได้จากการตัดตามรูปแบบที่ j

c_j คือ สัมประสิทธิ์ต้นทุนในสมการเปาหมาย

Haessler (1971) ได้นำเสนอแนวทางการสร้างรูปแบบการตัดด้วย วิธีการค้นหาแบบสุ่ม (Random Search Heuristics) ซึ่งเป็นเทคนิคการคัดเลือกรูปแบบการตัดในเบื้องต้น โดยมุ่งเน้นการค้นหารูปแบบการตัดที่ก่อให้เกิดปริมาณความสูญเสียน้อยที่สุด และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานซ้ำได้ในปริมาณมากที่สุด พร้อมทั้งบันทึกจัดเก็บรูปแบบการตัดบางส่วนที่มีประสิทธิภาพไว้ เพื่อใช้เป็นโครงสร้างพื้นฐานในการประกอบและพัฒนาเป็นรูปแบบการตัดในลำดับถัดไป

Vahrenkamp (1996) ได้ศึกษารูปแบบการตัดที่ก่อให้เกิดปริมาณเศษสูญเสียน้อยที่สุด โดยให้ความสำคัญกับการสุ่มค่าในการจัดลำดับเพื่อค้นหารูปแบบการตัดที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการคำนวณต่อยอดมาจาก Haessler and Sweeney (1991) โดยใช้เทคนิคการประมาณค่าเพื่อกำหนดเป็นหลักเกณฑ์ของวิธีการฮิวริสติก (Heuristic Approach) ในการแก้ปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติ

กระบวนการจัดกลุ่มรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้จะดำเนินการภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัด โดยเริ่มจากการสุ่มค่าพารามิเตอร์ความยาวที่ต้องการของเหล็กเส้น ($\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$) เพื่อดำเนินกระบวนการวนรอบ (Loop) ตามเงื่อนไขความยาวรวมที่ไม่เกินความยาวเหล็กเส้นมาตรฐาน (L) จากนั้นทำการคำนวณเปรียบเทียบเพื่อหาจำนวนครั้งในการตัด (k) จากช่วงปิดที่เป็นไปได้ $k \in \left[1, \min\left(\left\lfloor \frac{L_c}{l_i} \right\rfloor, d_i\right)\right]$ โดยกำหนดให้ k ต้องเป็นจำนวนเต็ม (Integer) ก่อนจะทำการสุ่มเลือกค่าจำนวนครั้ง (k) ที่คำนวณได้ เพื่อนำไปจัดรูปแบบการตัดลงในเหล็กเส้นขนาดมาตรฐานต่อไป

เมื่อเกิดกระบวนการตัดเหล็กเส้นตามขนาดมาตรฐานขึ้น จะสามารถกำหนดเป็นรูปแบบการตัด (Cutting Pattern) ที่สมบูรณ์ได้ ทั้งนี้ จำเป็นต้องทำการปรับปรุงค่าปริมาณสะสมของเหล็กเส้นขนาดมาตรฐาน และปริมาณความต้องการเหล็กเส้นย่อยที่ถูกตัดใช้ไปแล้ว เพื่อนำค่าคงเหลือมาใช้เป็นข้อมูลตั้งต้นสำหรับการคำนวณในรอบการตัดถัดไป โดยมีสมการความสัมพันธ์ดังนี้

สมการจำนวนครั้งในการตัด

$$p_i = \mathrm{k} \tag{2.6}$$

สมการปรับค่าขนาดมาตรฐาน

$$Lc = Lc - k\lambda_i \tag{2.7}$$

จากนั้นเมื่อได้รูปแบบการตัดตามความตองการและจำนวนของเหล็กเสนแลวจะตองทำการหาปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจากการตัด โดยมีสมการดังนี้

เศษที่เกิดจากการตัด

$$T = L - \sum p_i \boldsymbol{\lambda}_i; = 1, \dots, n \qquad (2.8)$$

โดยที่ T คือ เศษที่เกิดจากการตัด (Trim loss)

L คือ ขนาดมาตรฐานของเส้น

$\sum p_i \boldsymbol{\lambda}_i$ คือ ผลรวมของรูปแบบการตัดที่ p_i กับความยาว $\boldsymbol{\lambda}_i$ ที่ต้องการ

สันติ ชินานุวัตน์วงศ์ (2543) ได้นำเสนอแนวทางการควบคุมปริมาณเศษเหล็กเส้นสูญเสีย โดยประยุกต์ใช้หลักการจัดกลุ่มเหล็กเส้นตามทฤษฎีความน่าจะเป็นในเรื่องการจัดหมู่ (Combinatorics) กำหนดให้ N คือจำนวนความยาวที่แตกต่างกันของเหล็กเส้น และ r คือจำนวนชิ้นงานที่นำมาจัดกลุ่มร่วมกัน โดย $r < N$ ทั้งนี้ จำนวนรูปแบบทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการจัดกลุ่มโดยไม่คำนึงถึงลำดับและไม่มีการซ้ำกัน สามารถคำนวณและประมาณการรูปแบบการตัดที่เกิดขึ้นได้ดังสมการที่ (2.9)

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

โดยที่ N คือ จำนวนของความยาวที่แตกต่างกันของเหล็กเสน

R คือ จำนวนที่มาจับกลุมกันในการตัด

จากสมการสามารถประมาณรูปแบบการตัด โดยเมื่อ N = 30 และ r = 5 จะได้

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

จากคำนวณข้างต้น จะเห็นได้ว่าจำนวนรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้มีจำนวนสูงถึง 278,256 รูปแบบ งานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้ข้อสมมติฐานของ Sohail Raza (1983) เพื่อลดจำนวนรูปแบบการตัดที่ซ้ำซ้อน และคัดเลือกเฉพาะรูปแบบการตัดที่มีประสิทธิภาพเข้าสู่กระบวนการประมวลผลด้วยแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) เพื่อคำนวณหากลุ่มรูปแบบการตัดที่ก่อให้เกิดเศษเหล็กสูญเสียน้อยที่สุด โดยแนวคิดการจัดกลุ่ม

เหล็กเส้นดังกล่าว สมมติให้กำหนดจำนวนความยาวเหล็กเส้นที่แตกต่างกันทั้งหมด $N = 4$ ขนาดความยาว และกำหนดเงื่อนไขการจัดกลุ่มชิ้นงานร่วมกันได้ไม่เกิน $r = 3$ ความยาว

โดย ให้ตัวเลข 1 2 3 4 คือ ตัวแทนของเหล็กเส้นแต่ละความยาว ตัวเลข 0 หมายถึง ไม่มีความยาวที่ถูกจับคู่ ในการจัดกลุ่มจะยึดตัวเลขตัวแรกเป็นหลักแล้วจะรวมกลุ่มกับความยาวตัวอื่นไปเรื่อย ๆ โดยไม่ให้เกิดการซ้ำกัน เช่น

ยึดความยาว 4 เป็นหลัก

400 411 422 433 444

401 412 423 434

402 413 424

403 414

40

จำนวนกลุมที่เกิด เทากับ 15

ยึดความยาวที่ 3 เป็นหลัก

300 311 322 333

301 312 323

302 313

303

จำนวนกลุมที่เกิด เทากับ 10

ยึดความยาวที่ 2 เป็นหลัก

200 211 222

201 212

202

จำนวนกลุมที่เกิด เทากับ 6

ยึดความยาวที่ 1 เป็นหลัก

100 111

101

จำนวนกลุมที่เกิด เทากับ 3

ยึดความยาวที่ 0 เป็นหลัก

000

จำนวนกลุมที่เกิด เทากับ 1

รวมจำนวนกลุมทั้งหมด เทากับ 1+3+6+10+15 = 35 กลุม

จากนั้น จึงนำรูปแบบการจัดกลุ่มที่ผ่านการวิเคราะห์เข้าสู่กระบวนการหาคำตอบของระบบสมการในรูปเมทริกซ์ โดยประยุกต์ใช้วิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) ตามหลักพีชคณิตเชิงเส้น เพื่อแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ ซึ่งวิธีดังกล่าวช่วยให้สามารถสังเกตและติดตามการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตัดสินใจที่มีผลต่อสมการวัตถุประสงค์ (Objective Function) เพื่อมุ่งสู่คำตอบที่ดีที่สุด (Optimum Solution) ตามเป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วที่สุด

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้น จะเห็นได้ว่าการจัดกลุ่มเหล็กเส้นตามแนวคิดของ สันติ ชินานุวัตน์วงศ์ เป็นการจัดเรียงรูปแบบเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดรูปแบบการตัดที่ซ้ำซ้อนกัน ซึ่งมีความเหมาะสมกับกระบวนการตัดวัสดุที่มีการผลิตชิ้นงานซ้ำๆ กันในปริมาณมาก อย่างไรก็ดี ในทางปฏิบัติจริง ปริมาณรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้มีจำนวนสูงมาก ส่งผลให้การคำนวณผ่านการจัดกลุ่มต้องใช้เวลาในการประมวลผลนาน ซึ่งอาจทำให้เกิดความไม่สะดวกและไม่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงในหน้างานก่อสร้าง

เนื่องจากปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติจัดเป็นปัญหาประเภท NP-Hard (Nondeterministic Polynomial-Time Hard) (Fleszar and Hindi, 2002) ซึ่งการจะหาคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดต้องใช้เวลาในการประมวลผลเพิ่มขึ้นอย่างมหาศาล ส่งผลให้การประยุกต์ใช้วิธีกำหนดการเชิงเส้น ซึ่งจัดเป็นวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบแม่นยำ (Exact Algorithms) อาจไม่สามารถประมวลผลได้สำเร็จในเวลาที่เหมาะสมกับปัญหาที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนสูง (Gupta and Ho, 1999) ดังนั้น การหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบประมาณการ (Approximate Algorithms / Metaheuristics) จึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากกว่าในทางปฏิบัติ เช่น วิธีการสุ่มเลือกรูปแบบการตัด (Randomized Pattern Selection) และอัลกอริทึมพันธุศาสตร์ (Genetic Algorithms) เป็นต้น

2.4 สรุป

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่ารายละเอียดของแบบจำลองปัญหามีความแตกต่างกันไปตามการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมในการแก้ปัญหา ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภทหลัก (Scholl et al., 1997) ได้แก่ วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบแม่นยำ (Exact Algorithms) และวิธีการหาคำตอบแบบประมาณการ (Approximation Algorithms) ทั้งนี้ เนื่องจากปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติจัดเป็นปัญหาประเภท NP-Hard การประยุกต์ใช้แนวทางการแก้ปัญหาแบบประมาณการจึงให้ผลลัพธ์ที่ดี รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพสูงกว่า โดยสามารถแบ่งออกเป็นวิธีฮิวริสติก (Heuristics Approach) และวิธีสโตแคสติก (Stochastic Approach)

ในบริบทของโครงการก่อสร้าง งานเหล็กเส้นมีความต้องการขนาดและความยาวที่หลากหลายรวมถึงมีความซับซ้อนสูง จึงมีความจำเป็นต้องนำแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการคัดเลือกรูปแบบการตัดด้วย วิธีการค้นหาแบบสุ่ม (Random Search) ซึ่งจัดเป็นแนวทางการแก้ปัญหาแบบประมาณการที่ช่วยลดความซับซ้อนในการหารูปแบบการตัดลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แนวทางดังกล่าวมีความแตกต่างอย่างสิ้นเชิงจากทฤษฎีการจัดหมู่ (Combinatorics) แบบเดิม ซึ่งจำเป็นต้องสร้างและวิเคราะห์รูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมดจำนวนมหาศาลเพื่อค้นหารูปแบบที่ก่อให้เกิดเศษน้อยที่สุด งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นพัฒนาวิธีการสร้างรูปแบบการตัดเหล็กเส้นที่เหมาะสมเพื่อรองรับความต้องการที่หลากหลาย โดยมีรายละเอียดขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัยแสดงดังบทที่ 3

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินงานวิจัยในส่วนนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ 1. การสร้างแบบจำลองปัญหาและการพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้น: เป็นการจำลองสถานการณ์ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในโครงการ เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และกระบวนการสร้างรูปแบบการตัด (Cutting Pattern Generation) โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการลดปริมาณเศษเหล็กสูญเสียให้เหลือน้อยที่สุด 2. การเก็บรวบรวมข้อมูลและการประเมินผลในโครงการจริง: เป็นการรวบรวมข้อมูลการใช้งานเหล็กเส้น วิธีการวางแผนการตัด ตลอดจนการบันทึกปริมาณเศษเหล็กสูญเสียที่เกิดขึ้นจริงจากการปฏิบัติงาน เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้เป็นฐานในการเปรียบเทียบเชิงปริมาณกับผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยรูปแบบการตัดที่พัฒนาขึ้นใหม่

3.1.1 ข้อมูลทั่วไปของการฝึกปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

1) สถานที่ฝึกปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

บริษัท : บริษัท ไตต้า คอร์ป จำกัด

สถานที่ดำเนินโครงการ : โครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักราชการ สถานีรถไฟร้อยเอ็ด

2) ตำแหน่งงานที่ปฏิบัติ

ตำแหน่ง : วิศวกรสำนักงาน (Officer Engineer)

3) ขอบเขตความรับผิดชอบ

3.1) ตรวจสอบและถอดปริมาณเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตจากแบบ Shop Drawing สำหรับงานโครงสร้างฐานรากและอาคาร ค.ส.ล. 4 ชั้น

3.2) จัดทำรายการตัดเหล็ก (Bar Bending Schedule: BBS) ส่งต่อให้ฝ่ายจัดซื้อและโฟร์แมนควบคุมงานตัดเหล็กหน้างาน

3.3) สำรวจ ตรวจสอบ และบันทึกปริมาณการใช้เหล็กเส้นรวมถึงวัดความยาวเศษเหล็กเหลือทิ้ง ณ หน้างานก่อสร้าง

3.4) ประสานงานระหว่างผู้จัดการโครงการ โฟร์แมน และช่างตัดเหล็ก เพื่อปรับปรุงกระบวนการตัดเหล็กให้เกิดเศษน้อยที่สุด

4) คุณชลาธิป ดาวเที่ยง (ตำแหน่ง Project Manager) ทำหน้าที่เป็นพี่เลี้ยงดูแล สอนงาน ให้คำปรึกษา และประเมินผลการปฏิบัติงานตลอดช่วงเวลาสหกิจศึกษา

3.1.2 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน

การปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ บริษัท ไตต้า คอร์ป จำกัด ตั้งแต่วันที่ 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2569 ถึงวันที่ 28 สิงหาคม พ.ศ. 2569 (รวมระยะเวลา 15 สัปดาห์) มีแผนกิจกรรมดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ช่วงเวลาในการดำเนินกิจกรรม

ช่วงเวลา / สัปดาห์	กิจกรรม / รายละเอียดการดำเนินงาน	การบันทึกในระบบสหกิจ
สัปดาห์ที่ 1-2 (18-29 พ.ค. 69)	- ปฐมนิเทศ ณ สถานประกอบการ ศึกษาโครงสร้างองค์กร และกฎความปลอดภัย - รายงานตัวต่อหัวหน้างานและเรียนรู้บริบทงานก่อสร้างสถานีรถไฟร้อยเอ็ด	ปฐมนิเทศและศึกษางานหน้างาน
สัปดาห์ที่ 3-5 (1-19 มิ.ย. 69)	- ปฏิบัติงานตำแหน่ง Officer Engineer ถอดแบบและตรวจ Shop Drawing งานคอนกรีตเสริมเหล็ก - สังเกตการณ์กระบวนการตัดเหล็กเส้นแบบดั้งเดิม ณ หน้างาน	สำรวจและจัดเก็บข้อมูลหน้างาน
สัปดาห์ที่ 6-8 (22 มิ.ย. - 10 ก.ค. 69)	- เก็บรวบรวมข้อมูล Bar Bending Schedule (BBS) งานฐานรากและเสา - บันทึกสถิติปริมาณเศษเหล็กสูญเสีย (Waste) และวัดความยาวเศษเหล็ก	เก็บรวบรวมข้อมูลโครงงานสหกิจ
สัปดาห์ที่ 9-11 (13-31 ก.ค. 69)	- นำข้อมูล BBS เข้าสู่โปรแกรม TJ_BARCUT - ประมวลผลด้วย Random Search Algorithm เพื่อหารูปแบบการตัดที่เหมาะสม (Optimization)	วิเคราะห์ข้อมูลและทดลองระบบ
สัปดาห์ที่ 12-14 (3-21 ส.ค. 69)	- นำรูปแบบการตัดที่ได้จากโปรแกรมไปทดลองปรับใช้จริงหน้างานร่วมกับโฟร์แมน - เปรียบเทียบผลลัพธ์ปริมาณเศษเหล็กก่อนและหลังการปรับปรุง	สรุปผลการทดลองและเปรียบเทียบผล
สัปดาห์ที่ 15 (24-28 ส.ค. 69)	- สรุปผลการดำเนินงาน จัดทำเล่มรายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์ - นำเสนอผลงานต่อหัวหน้าสถานประกอบการและอาจารย์ที่ปรึกษา	จัดส่งรายงานและปิดการฝึกงาน

การบันทึกในระบบสหกิจ	สัปดาห์ที่ 1-2 (18-29 พ.ค. 69)	สัปดาห์ที่ 3-5 (1-19 มิ.ย. 69)	สัปดาห์ที่ 6-8 (22 มิ.ย. - 10 ก.ค. 69)	สัปดาห์ที่ 9-11 (13-31 ก.ค. 69)	สัปดาห์ที่ 12-14 (3-21 ส.ค. 69)	สัปดาห์ที่ 15 (24-28 ส.ค. 69)
ปฐมนิเทศและศึกษางานหน้างาน	←					
สำรวจและจัดเก็บข้อมูลหน้างาน		↔				
เก็บรวบรวมข้อมูลโครงงานสหกิจ			↔			
วิเคราะห์ข้อมูลและทดลองระบบ				↔		
สรุปผลการทดลองและเปรียบเทียบผล					↔	
จัดส่งรายงานและปิดการฝึกงาน						→

รูปที่ 3.1 แผนภาพดำเนินกิจกรรม

3.1.3 ประเด็นปัญหาที่ต้องการศึกษา

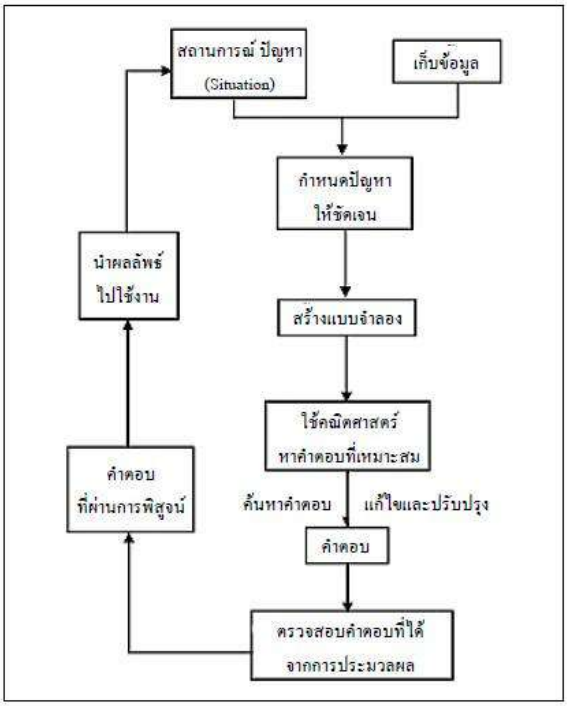
ปัญหาการตัดเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้างนับเป็นประเด็นสำคัญที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการบริหารจัดการงบประมาณและต้นทุนโครงการ หากผู้ควบคุมงานหรือผู้รับเหมาขาดความเข้าใจและแนวทางการบริหารจัดการวัสดุอย่างมีประสิทธิภาพ การเกิดเศษเหล็กสูญเสียในปริมาณมากมักมีสาเหตุหลักมาจากการขาดการวางแผนการตัดเหล็กเส้นอย่างเป็นระบบ ซึ่งจากการศึกษาการทำงานแบบดั้งเดิม พบข้อบกพร่องสำคัญคือไม่มีการวางแผนรูปแบบการตัดไว้ล่วงหน้า ณ หน้างาน แต่มุ่งเน้นการตัดเหล็กตามขนาดและปริมาณที่ต้องการไปเรื่อยๆ จนครบตามรายการ โดยมิได้คำนึงถึงการจัดสรรรูปแบบการตัดที่ก่อให้เกิดเศษสูญเสียน้อยที่สุด ด้วยเหตุนี้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้น (Cutting Patterns) ที่มีประสิทธิภาพ เพื่อลดปริมาณเศษเหล็กสูญเสียให้เหลือน้อยที่สุด

นอกจากนี้ งานวิจัยยังมุ่งเน้นการวิเคราะห์สาเหตุและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียเหล็กเส้น เพื่อจัดทำเป็นแนวทางและองค์ความรู้พื้นฐานในการจัดการวัสดุ สำหรับผู้ควบคุมงานและผู้รับเหมาที่ต้องการแก้ไขปัญหาดังกล่าว แต่ยังขาดเครื่องมือ แนวทางปฏิบัติ หรือความรู้พื้นฐานที่จำเป็นในการประยุกต์ใช้ในหน้างานจริง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

ในการดำเนินโครงการบูรณาการการเรียนรู้ร่วมกับสถานประกอบการ (Cooperative Education) เรื่อง "การพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กในโครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักราชการ สถานีรถไฟร้อยเอ็ด เพื่อการบริหารจัดการต้นทุนอย่างมีประสิทธิภาพ" ได้มีการกำหนดและประยุกต์ใช้เครื่องมือในการดำเนินงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการหลักดังนี้

1. การกำหนดและนิยามปัญหา กำหนดขอบเขต รูปแบบ เงื่อนไข และข้อสมมติฐานของปัญหาการตัดเหล็กเส้นที่เกิดขึ้นในโครงการอย่างชัดเจน โดยอาศัยการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสำรวจกระบวนการทำงานจริง ณ หน้างาน เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ก่อให้เกิดเศษเหล็กสูญเสีย
2. การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ให้สอดคล้องกับลักษณะปัญหาและเงื่อนไขข้อจำกัดของโครงการ
3. การประมวลผลคำนวณและประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เลือกระเบียบวิธีการคำนวณและซอฟต์แวร์ประมวลผลที่เหมาะสมสำหรับแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อน เพื่อให้ได้คำตอบที่ถูกต้องแม่นยำ และใช้ระยะเวลาในการคำนวณที่เหมาะสม
4. การทดสอบและการนำไปปฏิบัติจริง ดำเนินการทดสอบความถูกต้องและตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ (Model Validation) ก่อนนำรูปแบบการตัดที่พัฒนาขึ้นไปทดลองประยุกต์ใช้งานจริงในหน้างานก่อสร้าง ตลอดจนพัฒนาส่วนต่อประสานให้มีความสะดวกและตรงตามความต้องการใช้งานของผู้ปฏิบัติงาน โดยสรุปขั้นตอนและเครื่องมือการดำเนินงานดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.2 แผนภาพลำดับขั้นตอนของการวิจัยดำเนินงาน

3.2.1 การกำหนดปัญหา

การวางแผนการตัดเหล็กเส้นจัดเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนสูง เนื่องจากมีรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้จำนวนมหาศาล ดังนั้น การกำหนดและนิยามปัญหาอย่างถูกต้องและชัดเจนจึงเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญยิ่งใน

การวิเคราะห์สาเหตุและหาแนวทางแก้ไข การศึกษานี้มุ่งเน้นการลดปริมาณเศษเหล็กสูญเสียให้เหลือน้อยที่สุด จึงได้ประยุกต์ใช้หลักการวิจัยดำเนินงาน (Operations Research: OR) ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) เพื่อแทนระบบของปัญหา โดยกำหนดโครงสร้างความสัมพันธ์ขององค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่

1) สมการวัตถุประสงค์ (Objective Function): กำหนดเป้าหมายในการลดปริมาณเศษเหล็กสูญเสียรวมให้เหลือน้อยที่สุด (Minimization of Waste)

2) ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) และตัวแปรควบคุม: สำหรับแทนปริมาณและรูปแบบการตัดเหล็กเส้น

3) สมการข้อจำกัดและเงื่อนไข (Constraints): กำหนดเงื่อนไขบังคับเพื่อให้ผลลัพธ์สอดคล้องกับรายการความต้องการชิ้นงานและขอบเขตความยาวเหล็กเส้นมาตรฐาน

การหาคำตอบภายใต้หลักการวิจัยดำเนินงานมุ่งเน้นการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution) ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดที่กำหนด และเนื่องจากการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปใช้งานจำเป็นต้องได้รับการทดสอบความถูกต้องและแม่นยำ (Model Validation) ผู้วิจัยจึงได้ทำการสำรวจและรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้เหล็กเส้นรวมถึงปริมาณเศษเหล็กสูญเสียจริงตามงวดงานในโครงการ เพื่อนำมาใช้เป็นชุดข้อมูลอ้างอิงในการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของรูปแบบการตัดเหล็กเส้นที่พัฒนาขึ้น

3.2.2 การสัมภาษณ์และสังเกตหน้างานจริง

ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการสัมภาษณ์ผู้ควบคุมงานและผู้รับเหมา ควบคู่กับการสังเกตการณ์ ณ หน้างานจริง เพื่อศึกษากระบวนการใช้งานและการตัดจัดการเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้าง โดยมุ่งเน้นการจัดเก็บข้อมูลเชิงปริมาณและลักษณะของเศษเหล็กสูญเสียที่เกิดขึ้นจริง ดำเนินการบันทึกและวัดความยาวของเศษเหล็กทุกชิ้น ตลอดจนรวบรวมระเบียบวิธีการวางแผนการจัดรูปแบบการตัดเหล็กเส้นแบบดั้งเดิมของโครงการ ซึ่งถือเป็นขั้นตอนตั้งต้นที่สำคัญในการกำหนดค่าฐาน (Baseline Data) สำหรับนำไปใช้ประเมินเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองการสร้างรูปแบบการตัด

นอกจากนี้ ได้วางแผนการสัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้ควบคุมงานก่อสร้างและผู้รับเหมาเพื่อรวบรวมข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่อการใช้งานโปรแกรมสร้างรูปแบบการตัดเหล็กเส้นที่พัฒนาขึ้น โดยทำการสาธิตขั้นตอนการประมวลผล ประเมินประสิทธิภาพเชิงปริมาณในการลดเศษเหล็กสูญเสีย ตลอดจนประเมินความสะดวกและคล่องตัวในการวางแผนงานตัดเหล็กเส้นเปรียบเทียบระหว่างวิธีการทำงานแบบดั้งเดิมกับการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.2.3 วิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจโครงการ

ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลรายการเหล็กเส้น ปริมาณเศษเหล็กสูญเสีย และระเบียบวิธีการวางแผนการตัดที่ได้จากการสัมภาษณ์และสังเกตการณ์ ณ หน้างานจริง โดยมีขอบเขตและขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังนี้

1) การศึกษากระบวนการปฏิบัติงานและข้อบกพร่องการตัดเหล็กเส้นแบบดั้งเดิม ศึกษาแนวทางและหลักการปฏิบัติงานตัดเหล็กเส้นสำหรับงานโครงสร้างอาคารตามวิธีการเดิมของโครงการ ซึ่งขาดการวางแผนรูปแบบการตัดล่วงหน้าและมิได้คำนึงถึงปริมาณเศษเหล็กสูญเสีย พร้อมทั้งวิเคราะห์จุดบกพร่องและข้อจำกัดในกระบวนการทำงานดังกล่าว

2) การคำนวณปริมาณเศษเหล็กสูญเสียเชิงปริมาณ คำนวณและประเมินสถิติปริมาณเศษเหล็กสูญเสียที่เกิดขึ้นจริงจากแผนการตัดและการทำงานแบบดั้งเดิมในโครงการ เพื่อใช้เป็นค่าฐาน (Baseline Data) ในการเปรียบเทียบ

3) การพัฒนาและปรับปรุงแนวทางการตัดเหล็กเส้น นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงและพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้นให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยมุ่งเน้นการลดปริมาณเศษเหล็กสูญเสียให้อยู่ในระดับต่ำที่สุด

3.2.4 อุปกรณ์ เครื่องมือ และซอฟต์แวร์ (Tools & Software)

คอมพิวเตอร์พกพา (Notebook Computer) ใช้สำหรับการประมวลผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จัดเก็บฐานข้อมูล บันทึกเอกสารรายงาน ตลอดจนการประมวลผลผ่านโปรแกรมคำนวณทางวิศวกรรม

สมุดจดบันทึกภาคสนามใช้สำหรับบันทึกข้อมูลตั้งต้น ข้อสังเกต และรายละเอียดจากการสำรวจสังเกตการณ์ ณ หน้างานจริง เพื่อป้องกันการสูญหายของข้อมูลก่อนนำเข้าสู่ระบบฐานข้อมูล

ตลับเมตร (Measuring Tape) ใช้สำหรับวัดขนาดระยะความยาวจริงของเหล็กเส้นและเศษเหล็กสูญเสียในพื้นที่ก่อสร้าง เพื่อนำมาตรวจสอบและเปรียบเทียบกับแบบรูปรายการก่อสร้าง (As-Built / Shop Drawings)

เครื่องคิดเลขทางวิศวกรรม (Scientific Calculator) ใช้สำหรับการคำนวณสถิติและค่าทางวิศวกรรมเบื้องต้น ณ หน้างานได้อย่างรวดเร็ว เช่น ปริมาณวัสดุ ความยาวรวม และสัดส่วนพื้นที่

3.2.5 ซอฟต์แวร์และโปรแกรมประมวลผล (Software Applications)

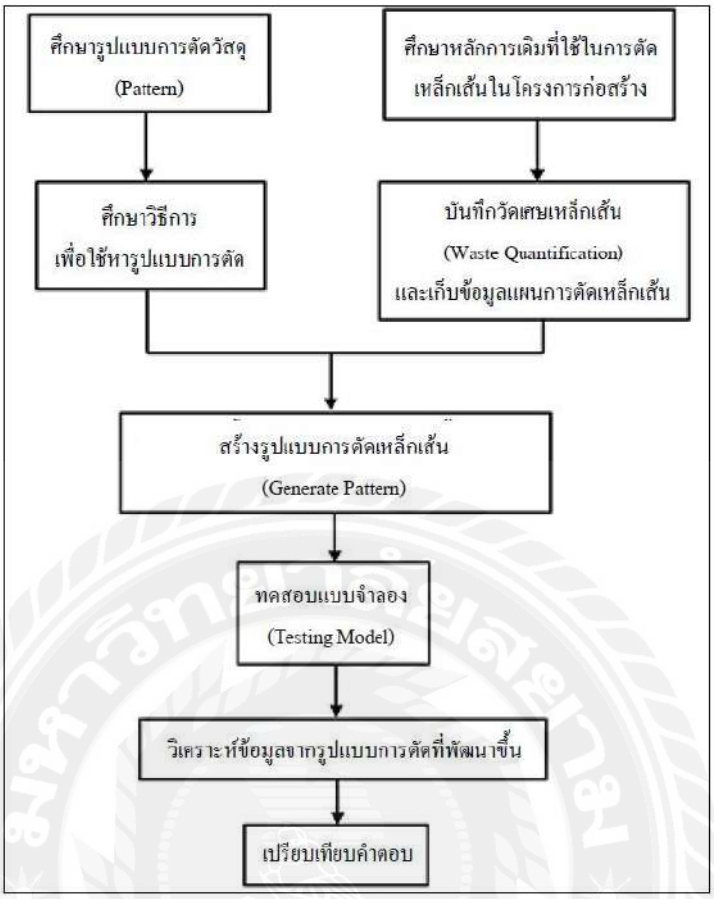
โปรแกรมไมโครซอฟท์เวิร์ด (Microsoft Word) ใช้สำหรับการจัดทำรายงานวิจัย จัดสรรรูปแบบเอกสารวิชาการ และสรุปผลการประมวลผลให้เป็นหมวดหมู่ตามมาตรฐาน

โปรแกรม TJ_BARCUT ใช้เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์หลักในการประมวลผลและวิเคราะห์คำนวณ เพื่อค้นหารูปแบบการตัดเหล็กเส้น (Cutting Patterns) ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งมุ่งเน้นการลดปริมาณเศษเหล็กสูญเสียให้เหลือน้อยที่สุด

3.3 ขั้นตอนการทำงานวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้กำหนดลำดับขั้นตอนการดำเนินงานซึ่งแสดงสรุปเป็นแผนภาพกระบวนการทำงานดังรูปที่ 3.2 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้นสำหรับลดปริมาณเศษเหล็กสูญเสียในโครงการ โดยแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 การศึกษากระบวนการปฏิบัติงานและการจัดเก็บข้อมูลภาคสนาม (Field Data Collection & Baseline Study) เป็นการศึกษาวิธีการวางแผนขั้นตอนการตัด และแนวทางการบริหารจัดการเหล็กเส้นสำหรับงานโครงสร้างตามวิธีปฏิบัติเดิมของโครงการ พร้อมทั้งทำการสำรวจ บันทึก และรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณของเศษเหล็กสูญเสียที่เกิดขึ้นจริง ณ หน้างาน เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงฐาน (Baseline Data)

จากนั้นขั้นตอนที่ 2 การพัฒนาแบบจำลองและการประเมินเปรียบเทียบผลลัพธ์ (Model Development & Performance Evaluation) เป็นการศึกษาแนวคิดและประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อสร้างและค้นหารูปแบบการตัดเหล็กเส้น (Cutting Patterns) ที่ก่อให้เกิดเศษสูญเสียน้อยที่สุด จากนั้น นำรายการความต้องการเหล็กเส้นและสถิติเศษสูญเสียจริงจากโครงการ มาใช้เป็นชุดข้อมูลทดสอบในการประมวลผล เพื่อประเมินเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างรูปแบบการตัดที่พัฒนาขึ้นกับวิธีการตัดแบบเดิมของโครงการ



รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานวิจัย

3.3.1 ศึกษาวิธีการที่ใช้ในการตัดเหล็กเส้นของโครงการ

การจัดทำรายการตัดเหล็กเส้น (Bar Cutting List) สำหรับงานก่อสร้างในโครงการ อาศัยข้อมูลจากแบบขยายรายละเอียดการเสริมเหล็ก (Rebar Detailing Drawings) ของแบบรูปรายการก่อสร้างเป็นหลัก เพื่อกำหนดขนาด ความยาว และจำนวนชิ้นงานเหล็กเส้นที่ต้องใช้งานในแต่ละองค์อาคารโครงสร้าง ซึ่งในกระบวนการทำงานจริง จำเป็นต้องมีขั้นตอนการตัดแบ่งเหล็กเส้น เนื่องจากความยาวของชิ้นงานตามแบบก่อสร้างมีความแตกต่างกัน ขณะที่เหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่จำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป มีขนาดความยาวมาตรฐานเพียง 2 ขนาดหลัก ได้แก่ ความยาว 10 เมตร และ 12 เมตร

3.3.2 ศึกษาแนวทางสำคัญเพื่อลดปริมาณความสูญเสียของเหล็กเส้น

การศึกษาแนวทางสำคัญเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กเส้นสูญเสียดำเนินการลงพื้นที่สำรวจสังเกตการณ์ ณ หน้างานจริงของโครงการในระหว่างช่วงเวลาปฏิบัติงานตัดเหล็กเส้นสำหรับงานโครงสร้าง โดยอาศัยข้อมูลปริมาณเศษเหล็กสูญเสียจากรายการตัดเหล็กเส้น (Bar Cutting List) ตัวอย่างที่ได้จัดเก็บรวบรวมไว้ ควบคู่กับการศึกษากระบวนการและขั้นตอนการตัดเหล็กเส้นตามวิธีปฏิบัติงานเดิมของโครงการ

นอกจากนี้ ได้ทำการสำรวจและวิเคราะห์ปัจจัยสำคัญที่เป็นสาเหตุหลักของการเกิดเศษเหล็กสูญเสียปริมาณมากในงานก่อสร้างอาคาร เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการลดปริมาณเศษเหล็กสูญเสียเชิงป้องกัน ซึ่งผลการศึกษาจะก่อให้เกิดประโยชน์ทั้งในด้านฐานข้อมูลสถิติปริมาณเศษสูญเสียเชิงตัวเลข และแนวทางปฏิบัติงานจริงที่มีประสิทธิภาพเพื่อลดการสูญเสียจากการตัดเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้าง

3.3.3 ดำเนินการปรับปรุงโดยใช้โปรแกรมประมวลผลเพื่อหาความเป็นไปได้ในการตัดเหล็กเส้น

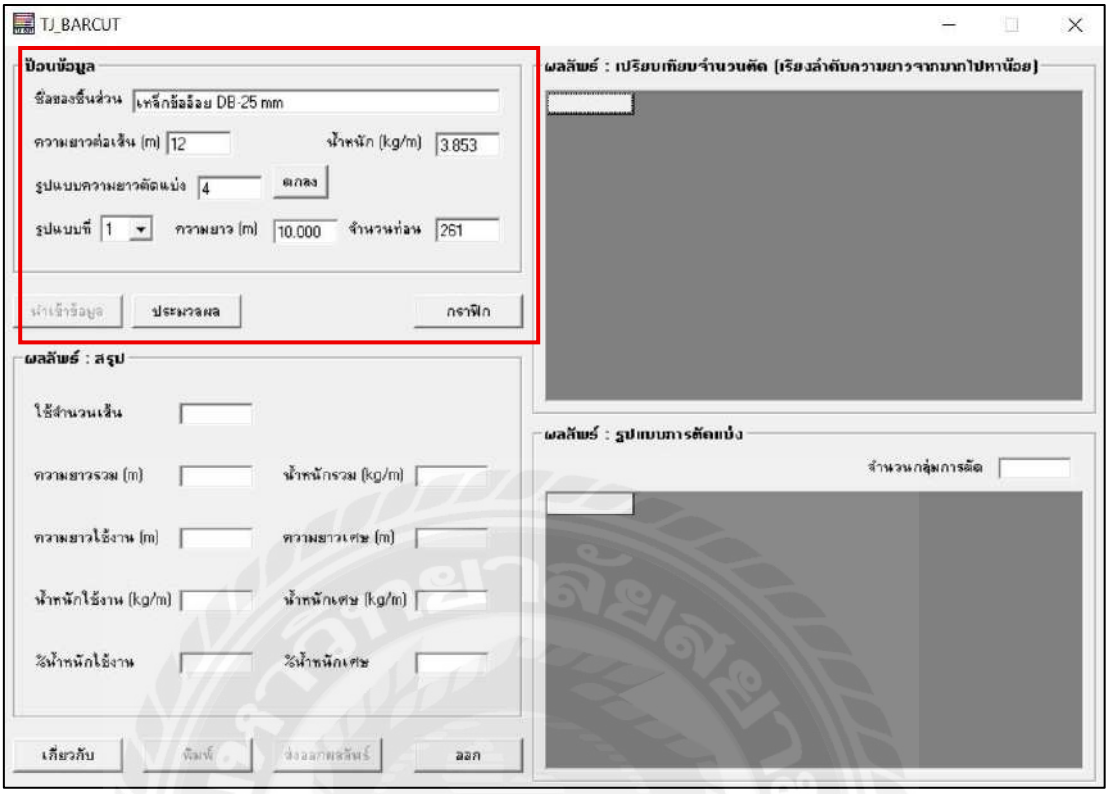
กระบวนการประมวลผลผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อค้นหารูปแบบการตัดเหล็กเส้นที่มีประสิทธิภาพ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การป้อนข้อมูลเข้า (Data Input) การประมวลผลคำนวณ (Processing) และการแสดงผลลัพธ์ (Data Output) โดยมีรายละเอียดและตัวอย่างสมมติเพื่อประกอบคำอธิบายแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลเหล็กเส้นตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม

รูปแบบ	ความยาวที่ต้องการ (เมตร)	จำนวนที่ต้องการ (ท่อน)
1	6.30	10
2	4.20	10
3	3.60	20
4	2.85	14

3.3.3.1 การนำเข้าข้อมูล (Data Input)

ผู้ใช้งานทำการป้อนข้อมูลสเปกและรายการความต้องการเหล็กเส้นเข้าสู่โปรแกรม ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลชื่อเรียกองค์อาคารหรือชิ้นส่วนโครงสร้างที่ต้องการตัด ความยาวมาตรฐานของเหล็กเส้นต้นทาง (อาทิ เหล็กเส้นขนาดมาตรฐานความยาว 12 เมตร) น้ำหนักเหล็กเส้นต่อหน่วยความยาว (กิโลกรัมต่อเมตร) รูปแบบความยาวที่ต้องการตัดแบ่ง ระยะความยาวของชิ้นงานที่ต้องการ และจำนวนท่อนของชิ้นงานแต่ละความยาว ดังแสดงรายละเอียดตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลในตารางที่ 3.2

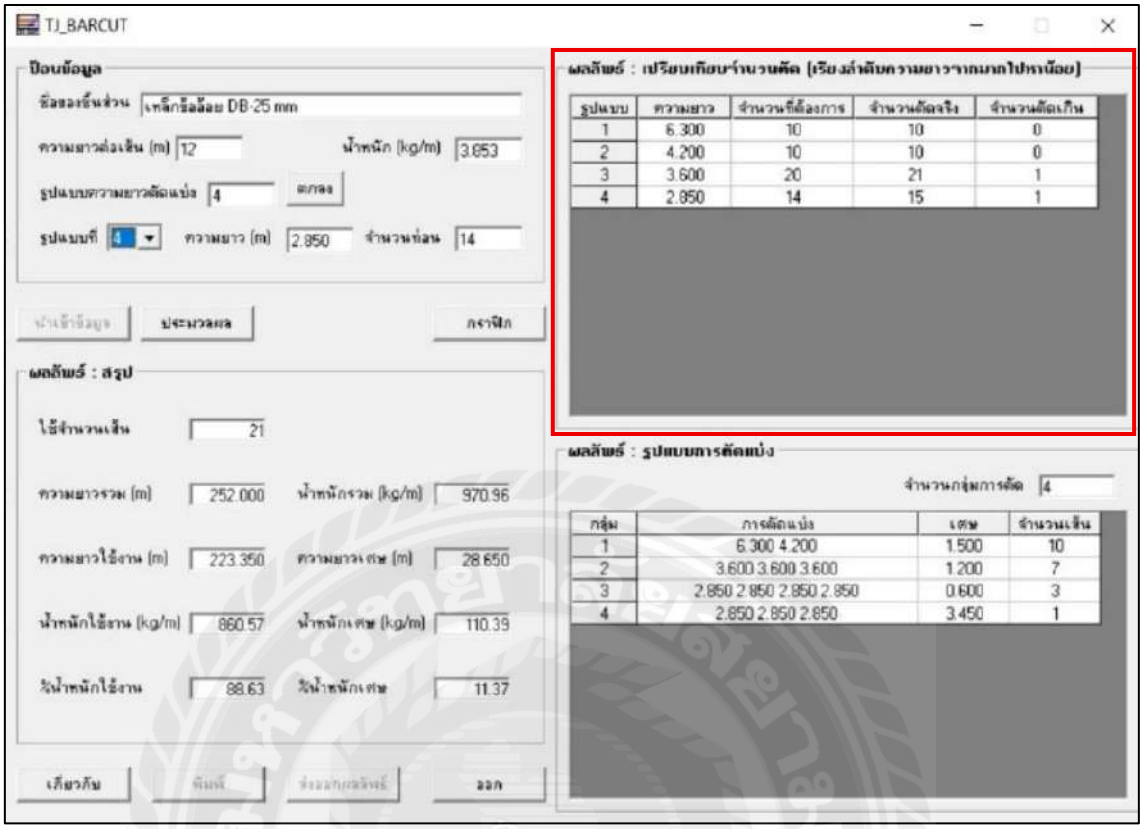


รูปที่ 3.4 การป้อนข้อมูลเหล็กที่ต้องการและจำนวนที่ต้องการ

ในช่อง “ความยาว (ม.)” โปรแกรมจะใช้ค่าจากช่องนี้เพื่อเป็นความยาวอ้างอิงในการตัดเหล็กเส้น ซึ่งจำเป็นต้องใส่ค่า ความยาวของเหล็กเส้นที่ต้องการเพื่อนำไปใช้งานและช่อง “จำนวนที่ต้องการ (ท่อน)”

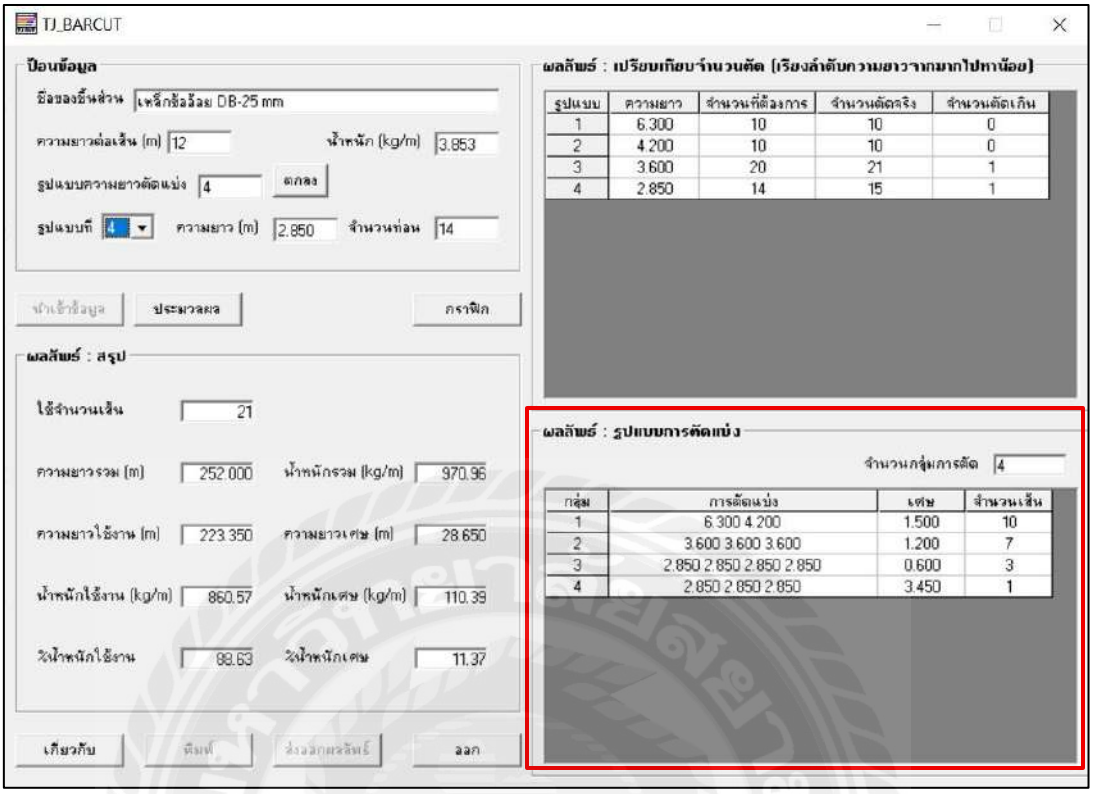
3.3.3.2 การประมวลผล (Processing)

เมื่อผู้ใช้งานทำการป้อนข้อมูลรายการความต้องการเข้าสู่ระบบครบถ้วนแล้ว และทำการกดปุ่ม “ประมวลผล” โปรแกรมจะทำการสุ่มคำนวณและประมวลผลรูปแบบการตัดเหล็กเส้นที่เป็นไปได้ทั้งหมดโดยอัตโนมัติ พร้อมทั้งวิเคราะห์เปรียบเทียบสัดส่วนระหว่างจำนวนเหล็กเส้นยาวมาตรฐานต้นทางกับปริมาณชิ้นงานที่ต้องตัดแบ่ง เพื่อคำนวณจำนวนเหล็กเส้นมาตรฐานรวมที่ต้องนำมาใช้จริง จากนั้นระบบจะทำการสรุปผลลัพธ์ปริมาณการใช้เหล็กเส้นทั้งหมด ตลอดจนปริมาณเศษเหล็กสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการตัด โดยแสดงผลทั้งในหน่วยวัดความยาว (เมตร) และหน่วยน้ำหนัก (กิโลกรัม)



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการเปรียบเทียบจำนวนการตัดเหล็กเส้นเต็มเทียบกับการตัดแบ่งเหล็กเส้นตามความยาวที่ต้องการ

จากรูปที่ 3.4 เมื่อโปรแกรมประมวลผลคำนวณรูปแบบการตัดเหล็กเส้นที่เป็นไปได้จากการสุ่มแบบอัตโนมัติแล้ว ระบบจะแสดงการเปรียบเทียบจำนวนเหล็กเส้นยาวมาตรฐานที่ต้องนำมาใช้กับรายการชิ้นงานตัดแบ่งตามความยาวที่ต้องการ โดยระบุจำนวนเหล็กเส้นมาตรฐานรวมที่ต้องใช้ทั้งหมด ตล อดจนจำนวนชิ้นงานตัดแบ่งที่ได้ว่ามีปริมาณพอดีหรือเกินกว่าความต้องการที่กำหนด ทั้งนี้ เพื่อให้โปรแกรมคัดเลือกรูปแบบการตัดที่มีความเหมาะสมที่สุด ซึ่งก่อให้เกิดเศษเหล็กสูญเสียน้อยที่สุดหรือไม่มีเศษเหล็กเหลือทิ้งเลย



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการแสดงผลรูปแบบการตัดแบ่งที่เกิดขึ้น

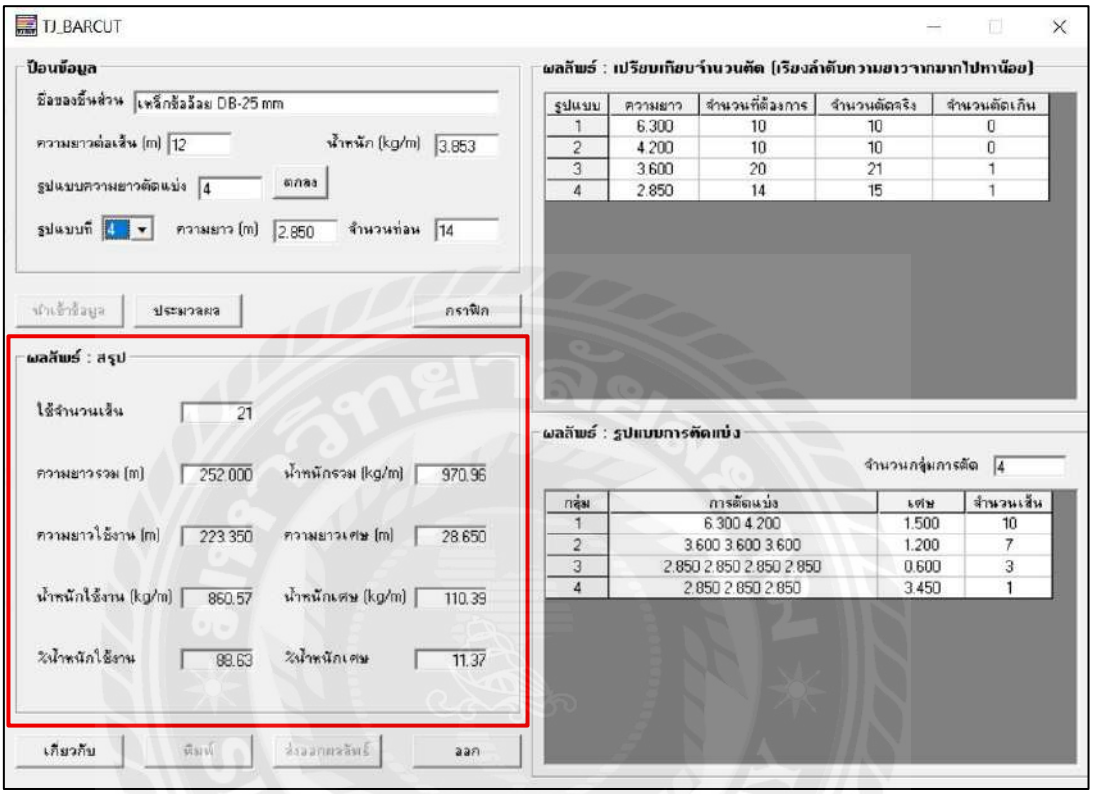
เมื่อโปรแกรมประมวลผลคำนวณรูปแบบการตัดเหล็กเส้นที่เป็นไปได้จากการสุ่มแบบอัตโนมัติแล้ว ระบบจะคัดเลือกเฉพาะรูปแบบการตัดที่สามารถนำไปปฏิบัติงานได้จริง ณ หน้างาน และก่อให้เกิดเศษเหล็กสูญเสียน้อยที่สุดหรือไม่มีเศษเหลือทิ้งเลย โดยนำมาจัดเรียงและแสดงผลในตาราง “ผลลัพธ์ รูปแบบการตัดแบ่ง” ตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1) “ กลุ่ม ” คือ ชุดตัวเลขที่แสดงรูปแบบความเป็นไปได้ในการตัดเหล็กให้เหลือเศษเหล็กน้อยที่สุด

2) “ การตัดแบ่ง ” คือ แสดงความยาวของเหล็กมาตรฐานที่ถูกนำไปตัดแล้วตามรูปแบบ กลุ่ม การตัดนั้นๆ เรียงตามลำดับ

3) “ เศษ ” คือ แสดงความยาวคงเหลือของเศษเหล็กที่เหล็กมาตรฐานถูกนำไปตัดแล้ว ตามรูปแบบ กลุ่ม การตัดนั้นๆ เรียงตามลำดับ

4) “ จำนวนเส้น ” คือ แสดงจำนวนเหล็กเส้นที่ใช้จริงในแต่ละรูปแบบการตัดนั้นๆ โดยโปรแกรมจะทำการคัดเลือกรูปแบบการตัดที่ให้เศษเหล็กเหลือน้อยที่สุดหรือไม่เหลือเศษเลย และให้จำนวนเหล็กเส้นที่ต้องการ โดยรูปแบบการตัดที่ถูกเลือกจะปรากฏจำนวนที่ใช้ในช่อง “ จำนวนเส้น ”



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการแสดงผลลัพธ์สรุปการตัดเหล็กเส้นที่เกิดขึ้นทั้งหมด

เมื่อโปรแกรมประมวลผลความเป็นไปได้ของรูปแบบการตัดเหล็กเส้นแบบสุ่มอัตโนมัติออกมาจะแสดงในตาราง “ผลลัพธ์ : สรุป” ที่จัดเรียงไว้ตามลำดับการแสดงผลดังนี้

1) “ ใช้จำนวนเส้น ” คือ จำนวนของเหล็กมาตรฐานที่ใช้จริงทั้งหมดในการตัดแบ่งเหล็กเส้นตามความยาวที่ต้องการในแต่ละรูปแบบการตัดนั้นๆ

2) “ ความยาวรวม (ม.) ” คือ ความยาวรวมของเหล็กมาตรฐานที่ใช้จริงทั้งหมดในการตัดแบ่งเหล็กเส้นตามความยาวที่ต้องการในแต่ละรูปแบบการตัดนั้นๆ

3) “ น้ำหนักรวม (กิโลกรัมต่อเมตร) ” คือ น้ำหนักรวมของเหล็กมาตรฐานที่ใช้จริงทั้งหมดในการตัดแบ่งเหล็กเส้นตามความยาวที่ต้องการในแต่รูปแบบการตัดนั้นๆ

4) “ ความยาวใช้งาน (ม.) ” คือ ความยาวของที่เหล็กเส้นที่ใช้จริงทั้งหมดในการตัดแบ่งเหล็กเส้นตามความยาวที่ต้องการในแต่รูปแบบการตัดนั้นๆ

5) “ ความยาวเศษ (ม.) ” คือ ความยาวของเศษเหล็กที่เหลือจากการใช้จริงทั้งหมดในการตัดแบ่งเหล็กเส้นตามความยาวที่ต้องการในแต่รูปแบบการตัดนั้นๆ

6) “ น้ำหนักใช้งาน (กิโลกรัมต่อเมตร) ” คือ น้ำหนักของที่เหล็กเส้นที่ใช้จริงทั้งหมดในการตัดแบ่งเหล็กเส้นตามความยาวที่ต้องการในแต่รูปแบบการตัดนั้นๆ

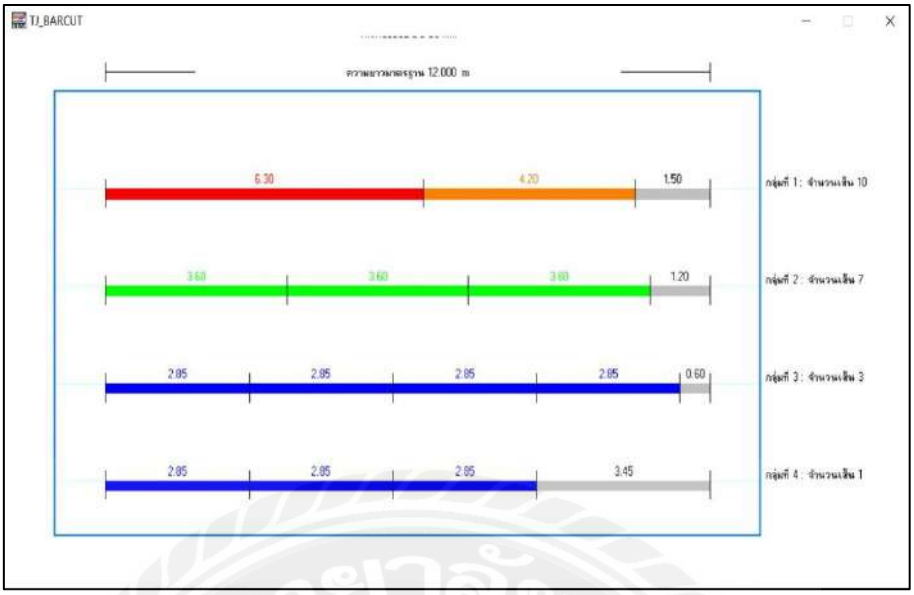
7) “ น้ำหนักเศษ (กิโลกรัมต่อเมตร) ” คือ น้ำหนักของเศษเหล็กที่เหลือจากการใช้จริงทั้งหมดในการตัดแบ่งเหล็กเส้นตามความยาวที่ต้องการในแต่รูปแบบการตัดนั้นๆ

8) “ %น้ำหนักใช้งาน (กิโลกรัมต่อเมตร) ” คือ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของที่เหล็กเส้นที่ใช้จริงทั้งหมดในการตัดแบ่งเหล็กเส้นตามความยาวที่ต้องการในแต่รูปแบบการตัดนั้นๆ

9) “ %น้ำหนักเศษ (กิโลกรัมต่อเมตร) ” คือ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเศษเหล็กที่เหลือจากการใช้จริงทั้งหมดในการตัดแบ่งเหล็กเส้นตามความยาวที่ต้องการในแต่รูปแบบการตัดนั้นๆ

3.3.3.3 การแสดงผลลัพธ์ (Data Output)

ผลลัพธ์สรุปรูปแบบการตัดเหล็กเส้นแสดงดังรูปที่ 3.7 ซึ่งนำเสนอแผนผังและตารางสรุปการตัดที่มีประสิทธิภาพ พร้อมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง ณ หน้างาน การแสดงผลในรูปแบบดังกล่าวช่วยสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องและตรงกันระหว่างผู้ควบคุมงานก่อสร้างกับพนักงานตัดเหล็กเส้น ซึ่งส่งผลให้กระบวนการตัดเหล็กเส้นเป็นไปตามแผนงานอย่างถูกต้องและแม่นยำ



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างเอกสารแสดงรูปแบบการตัดที่สามารถนำไปใช้งาน

บทที่ 4

ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์

การศึกษาวิจัยนี้มุ่งเน้นการลดปริมาณเศษเหล็กสูญเสียในงานก่อสร้างอาคาร โดยประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณและจัดรูปแบบการตัดเหล็กเส้นที่ก่อให้เกิดเศษสูญเสียน้อยที่สุด ดำเนินการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลการตัดเหล็กเส้นจากการปฏิบัติงานจริง ณ หน้างาน ควบคู่กับการสัมภาษณ์ผู้จัดการโครงการ เพื่อวิเคราะห์สัดส่วนร้อยละของการสูญเสียเหล็กเส้น (Waste Percentage) ที่เกิดขึ้นจริงในโครงการ จากนั้น นำสถิติการสูญเสียดังกล่าวมาประเมินเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมวางแผนการตัดเหล็กเส้นที่เหมาะสม เพื่อพิสูจน์และยืนยันประสิทธิภาพในการลดปริมาณเศษเหล็กสูญเสียเชิงตัวเลข

4.1 ลักษณะของโครงการที่ทำการศึกษา

ผู้วิจัยได้ลงพื้นที่จัดเก็บรวบรวมข้อมูล ณ โครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักราชการ สถานีรถไฟร้อยเอ็ด เพื่อสำรวจสถิติปริมาณเศษเหล็กสูญเสีย ตลอดจนศึกษาระเบียบวิธีการวางแผนการตัดและการบริหารจัดการเหล็กเส้นตามวิธีปฏิบัติงานเดิมของโครงการ โดยโครงการดังกล่าวมีลักษณะเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก (RC Structure) ความสูง 4 ชั้น (รวมชั้นดาดฟ้า) และมีมูลค่าก่อสร้างรวมทั้งสิ้น 47,698,783.88 บาท

4.2 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

ในการศึกษาวิจัยเพื่อวิเคราะห์ปริมาณเศษเหล็กสูญเสียที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักราชการ สถานีรถไฟร้อยเอ็ด มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินและเปรียบเทียบสัดส่วนร้อยละของการสูญเสียเหล็กเส้น (Waste Percentage) ที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานจริง ณ หน้างาน กับเกณฑ์มาตรฐานและรูปแบบการวางแผนการตัดเหล็กเส้นที่ได้รับการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพ

4.2.1 ข้อมูลก่อนทำการปรับปรุง

จากผลการจัดเก็บและรวบรวมข้อมูลปริมาณเศษเหล็กสูญเสียในโครงการก่อสร้างอาคารบ้านพักราชการ สถานีรถไฟร้อยเอ็ด ซึ่งมีลักษณะเป็นอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก (RC Structure) ความสูง 4 ชั้น (รวมชั้นดาดฟ้า) ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดเก็บข้อมูลโดยอ้างอิงจากรายการตัดเหล็กเส้น (Bar Cutting List) ที่ใช้งานจริง ณ หน้างาน ซึ่งครอบคลุมงานโครงสร้างฐานรากในบางส่วน ทั้งนี้ ผลการจัดเก็บ

รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการใช้เหล็กเส้นจำแนกตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้ในโครงการ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เหล็กเส้นที่ใช้ในโครงสร้างฐานรากในบางส่วน ของโครงการ

รายการเหล็กเส้น	ความยาว (ม.)	จำนวน (เส้น)
เหล็ก Main (DB25)	4.70	23
	7.05	15
ปลอก 12 มม.	11.60	4
เหล็ก Main (DB25)	4.55	23
	7.05	15
ปลอก 12 มม.	11.30	4
เหล็ก Main (DB25)	4.55	23
	7.10	15
ปลอก 12 มม.	11.40	4

จากการถอดปริมาณเหล็กเส้นโดยอ้างอิงจากแบบ shop drawing ที่ใช้ในการปฏิบัติงานจริง ณ หน้างาน พบว่า โครงการก่อสร้างมีการควบคุมและบริหารจัดการงานเหล็กเส้นอยู่ในเกณฑ์ดี โดยเมื่อได้ปริมาณและรายการความยาวเหล็กเส้นที่ต้องการจากรายการตัดเหล็ก (Bar Cutting List) แล้ว ผู้ควบคุมงานจะทำการจัดกลุ่มและวางแผนรูปแบบการตัดเหล็กเส้นด้วยวิธี manual (ใช้บุคลากรในการคำนวณและจัดรูปแบบ) ซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

1) วิธีการหารูปแบบการตัดเหล็กเส้นของโครงการ
   - เลือกตัดท่อนที่ยาวที่สุดก่อน โดยเรียงลำดับจากความยาวเหล็กที่ต้องการจากมากไปน้อย
   - ตรวจสอบจำนวนเศษที่เหลือทั้งหมดจากการคำนวณ
   - แล้วจับคู่เศษที่เหลือที่ยาวพอ ที่จะตัดกับความยาวที่ต้องการที่สั้นกว่าได้
2) ขั้นตอนวิธีการตัดเหล็กเส้นของโครงการ
   - เรียงลำดับความยาวเหล็กเส้นที่ต้องการ ทั้งหมดจากมากไปน้อย

- คำนวณ จำนวนท่อนที่ตัดได้จากความยาวมาตรฐานของเหล็กเส้น (ครั้งในการตัด) = (ความยาวมาตรฐานของเหล็กเส้น ÷ ความยาวที่ต้องการ) ของทุกตัวจะทราบจำนวนเส้นที่ต้องใช้ จากจำนวนเหล็กที่ต้องนำไปใช้ในการตัดจริง = [จำนวนของความยาวที่ต้องการ ÷ จำนวนท่อนที่ตัดได้จากความยาวมาตรฐานของเหล็กเส้น (ครั้งในการตัด)]

- คำนวณความยาวรวมของเศษ = [ความยาวมาตรฐานของเหล็กเส้น – (ความยาวที่ต้องการ × จำนวนท่อนที่ตัดได้จากความยาวมาตรฐานของเหล็กเส้น (ครั้งในการตัด))] เศษที่เหลือของทั้งหมด ถ้าใช้ได้ให้นำไปใช้กับความยาวที่ต้องการ ที่สั้นกว่าได้ โดยจำนวนเศษที่เหลือที่ใช้ได้หักออกจากจำนวนที่ต้องการของความยาวที่สั้นกว่า (ถ้าใช้ไม่ได้ ซึ่งไม่มีความยาวที่ต้องการที่สั้นกว่าเศษนี้แล้ว ให้กลายเป็นเศษที่เหลือ)

- จากนั้นหาค่า ผลรวมของเหล็กทั้งหมดที่ต้องใช้เป็นจำนวนเส้น ซึ่งเป็นจำนวนเหล็กที่ต้องนำไปใช้ในการตัดจริง และหาผลรวมของเศษทั้งหมดด้วย [ผลรวมของ (ความยาวรวมของเศษ × จำนวนเหล็กที่ต้องนำไปใช้ในการตัดจริง)

3) ตัวอย่างการวิเคราะห์การตัดเหล็กเส้นในโครงการ

ความต้องการเหล็ก DB25 (เรียงความยาวที่ต้องการจากมากไปน้อย) ความยาวมาตรฐานเหล็กเส้นที่ใช้ เท่ากับ 12 เมตร

ยาว 7.10 เมตร จำนวน 15 เส้น

ยาว 7.05 เมตร จำนวน 30 เส้น

ยาว 6.95 เมตร จำนวน 15 เส้น

ยาว 4.70 เมตร จำนวน 23 เส้น

ยาว 4.60 เมตร จำนวน 22 เส้น

ยาว 4.55 เมตร จำนวน 46 เส้น

เมื่อเรียงลำดับความยาวที่ต้องการได้แล้ว มีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

- คำนวณจำนวนครั้งในการตัด จาก จำนวนท่อนที่ตัดได้จากความยาวมาตรฐานของเหล็กเส้น (ครั้งในการตัด) = (ความยาวมาตรฐานของเหล็กเส้น ÷ ความยาวที่ต้องการ) แล้วหาจำนวนเส้นที่ต้องใช้

จำนวนเหล็กที่ต้องนำไปใช้ในการตัดจริง = [จำนวนของความยาวที่ต้องการ ÷ จำนวนท่อนที่ตัดได้จากความยาวมาตรฐานของเหล็กเส้น (ครั้งในการตัด)]

จำนวนท่อนที่ตัดได้จากความยาวมาตรฐานของเหล็กเส้น (ครั้งในการตัด)

(1) = 12/7.10 = 1.69 (~1) จะได้จำนวนเหล็กที่ต้องนำไปใช้ในการตัดจริง = 15/1 = 15

(2) = 12/7.05 = 1.70 (~1) จะได้จำนวนเหล็กที่ต้องนำไปใช้ในการตัดจริง = 30/1 = 30

(3) = 12/6.95 = 1.72 (~1) จะได้จำนวนเหล็กที่ต้องนำไปใช้ในการตัดจริง = 15/1 = 15

(4) = 12/4.70 = 2.55 (~2) จะได้จำนวนเหล็กที่ต้องนำไปใช้ในการตัดจริง = 23/2 = 11.5 (~11)

(5) = 12/4.60 = 2.60 (~2) จะได้จำนวนเหล็กที่ต้องนำไปใช้ในการตัดจริง = 22/2 = 11

(6) = 12/4.55 = 2.63 (~2) จะได้จำนวนเหล็กที่ต้องนำไปใช้ในการตัดจริง = 46/2 = 23

คำนวณ ความยาวรวมของเศษ = [ความยาวมาตรฐานของเหล็กเส้น – (ความยาวที่ต้องการ × จำนวนท่อนที่ตัดได้จากความยาวมาตรฐานของเหล็กเส้น (ครั้งในการตัด))]

ความยาวรวมของเศษ

(1) = 12 – (7.10 × 1) = 4.90 เหลือเศษ 4.90 ม. จำนวน 15 ท่อน

(2) = 12 – (7.05 × 1) = 4.95 เหลือเศษ 4.95 ม. จำนวน 30 ท่อน

(3) = 12 – (6.95 × 1) = 5.05 เหลือเศษ 5.05 ม. จำนวน 15 ท่อน

(4) = 12 – (4.70 × 2) = 2.60 เหลือเศษ 2.60 ม. จำนวน 11 ท่อน

(5) = 12 – (4.60 × 2) = 2.80 เหลือเศษ 2.80 ม. จำนวน 11 ท่อน

(6) = 12 – (4.55 × 2) = 2.90 เหลือเศษ 2.90 ม. จำนวน 23 ท่อน

- พิจารณาเศษที่สามารถนำมาใช้กับความยาวที่ต้องการอื่น ๆ ได้

จะเห็นว่า เหล็กเหลือเศษ 4.95 เมตร จำนวน 30 ท่อน และ เหล็กเหลือเศษ 4.90 เมตร จำนวน 15 ท่อน ที่สามารถนำไปใช้แทนความยาวที่ต้องการ ที่ยาว 4.55 เมตร และ 4.60 เมตรได้ จะได้ว่า ความยาวที่ต้องการ 4.55 เมตร จำนวน 30 - 46 เท่ากับ -16 และความยาวที่ต้องการ 4.60 เมตร จำนวน 15 – 22 เท่ากับ -7 จึงทำให้เหล็กเส้นเหลือเศษในส่วนของ ความยาว 4.55 เมตร จำนวน 16 ท่อนและ ทำให้เหล็กเส้นเหลือเศษในส่วนของ ความยาว 4.60 เมตร จำนวน 7 ท่อน

คำนวณใหม่ (เหล็ก 4.55 ม.) จำนวนเหล็กที่ต้องนำไปใช้ในการตัดจริง = 16/2 = 8.00

คำนวณใหม่ (เหล็ก 4.60 ม.) จำนวนเหล็กที่ต้องนำไปใช้ในการตัดจริง = 7/2 = 3.50 (~3)

- จำนวนเหล็กเส้นที่ต้องใช้ทั้งหมด และเศษรวมทั้งหมด

จำนวนเหล็กเส้นที่ต้องใช้ทั้งหมด

ผลรวมจำนวนเหล็กที่ต้องนำไปใช้ในการตัดจริง (ครั้งในการตัด) = 15+30+15+11+8+3

= 82

ปริมาณเศษรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้น

ผลรวมของเศษทั้งหมด = (5.05 x 15) + (2.60 x 11) + (2.80 x 8) + (2.90 x 3)

= 75.75 + 28.60 + 22.40 + 8.70

= 135.45 ≈ 136

- สรุปผล

ยาว 7.10 เมตร จำนวน 15 เส้น ใช้เหล็ก 15 เส้น ตัด 1 ท่อน/เส้น

ยาว 7.05 เมตร จำนวน 30 เส้น ใช้เหล็ก 30 เส้น ตัด 1 ท่อน/เส้น

ยาว 6.95 เมตร จำนวน 15 เส้น ใช้เหล็ก 15 เส้น ตัด 1 ท่อน/เส้น

ยาว 4.70 เมตร จำนวน 23 เส้น ใช้เหล็ก 11 เส้น ตัด 2 ท่อน/เส้น

ยาว 4.60 เมตร จำนวน 7 เส้น ใช้เหล็ก 3 เส้น ตัด 2 ท่อน/เส้น

ยาว 4.55 เมตร จำนวน 16 เส้น ใช้เหล็ก 8 เส้น ตัด 2 ท่อน/เส้น

จึงสรุปได้ว่า เบิกเหล็กที่ใช้ทั้งหมด 82 เส้น เหลือเศษ 5.05 เมตร 15 ท่อน, เหลือเศษ 2.60 ม. จำนวน 11 ท่อน, เหลือเศษ 2.80 ม. จำนวน 8 ท่อน, เหลือเศษ 2.90 ม. จำนวน 3 ท่อน คิดรวมเป็นเหลือเศษประมาณ 136 เมตร การคิดคำนวณดังตัวอย่างของโครงการ นี้เป็นการจัดกลุ่มโดยใช้คนจัด จากการคำนวณมีความยากลำบากหากต้องคิดคำนวณความต้องการเหล็กเส้นในจำนวนมากจึงจำเป็นต้องคิดคำนวณในจำนวนความต้องการที่น้อยลง เพื่อสะดวกต่อการคำนวณแต่ไม่ส่งผลให้ลดปริมาณเศษได้มากนัก

จากการคิดคำนวณตามรูปแบบการจัดกลุ่มที่โครงการ ใช้งานจริงนั้นในโครงสร้างของฐานรากในบางส่วน นั้นสามารถสรุปได้ดังนี้

เหล็กความยาวมาตรฐาน 12 เมตร

ความยาวเหล็กที่ต้องการทั้งหมด 1,121.20 เมตร

จำนวนเหล็กเส้นที่ต้องใช้ทั้งหมด 94 เส้น

เศษรวมทั้งหมด 142.25 เมตร

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียแยกตามขนาด

- DB25 16.11%

- DB12 4.72%

4.2.2 ข้อมูลหลังทำการปรับปรุง

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลรายการเหล็กเส้นของโครงการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กภายหลังการปรับปรุงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งใช้ชุดข้อมูลเฉพาะงานโครงสร้างฐานรากบางส่วน เนื่องจากมีความหลากหลายด้านรูปแบบความยาวและปริมาณการใช้งานเหล็กเส้นสูง จึงมีความเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับนำมาใช้เป็นข้อมูลทดสอบประเมินประสิทธิภาพในการลดปริมาณเศษเหล็กสูญเสีย

การประมวลผลอาศัยโปรแกรมคำนวณรูปแบบการตัดเหล็กเส้นด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบสุ่ม (Random Search Optimization) ผ่าน 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การนำเข้าข้อมูล (Data Input) การประมวลผล (Processing) และการแสดงผลลัพธ์ (Data Output) โดยโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์และค้นหารูปแบบการตัดเหล็กเส้นที่เป็นไปได้ทั้งหมด เพื่อให้เกิดเศษเหล็กสูญเสียน้อยที่สุด ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรและลดต้นทุนค่าวัสดุของบริษัทได้อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ ข้อมูลรายการเหล็กเส้นจำแนกตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและปริมาณความต้องการของโครงการ แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลเหล็กเส้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ของโครงการ

ชนิด	ความยาวที่ต้องการ (เมตร)	จำนวนที่ต้องการ (ท่อน)
DB25	7.10	15
	7.05	30
	6.95	15
	4.70	23
	4.60	22
	4.55	46
DB12	11.60	4
	11.40	4
	11.30	4

จำนวนเหล็กเส้นที่ใช้จริงในโครงการ แบ่งตามขนาดที่ใช้ในแต่ละความต้องการ จากนั้นนำมาใช้วิเคราะห์โดยโปรแกรมตามแต่ละขนาดที่ต้องการ ผลการวิเคราะห์ที่สามารถแสดงได้ตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ผลของรูปแบบการตัดที่ได้จากโปรแกรมของโครงการ

ชนิด	จำนวนที่ใช้ (เส้น)	ขนาดมาตรฐาน (ม.)	รูปแบบการตัด	เศษ (ม.)
DB25	15	12	7.10:1, 4.70:1	0.20
	9	12	7.05:1, 4.70:1	0.25
	21	12	7.05:1, 4.60:1	0.35
	2	12	6.95:1, 4.60:1	0.45
	13	12	6.95:1, 4.55:1	0.50
	1	12	4.70:1, 4.55:1	2.75
	1	12	4.60:1, 4.55:1	2.85
	16	12	4.55:1, 4.55:3	2.90

ตารางที่ 4.3 ผลของรูปแบบการตัดที่ได้จากโปรแกรมของโครงการ (ต่อ)

ชนิด	จำนวนที่ใช้ (เส้น)	ขนาดมาตรฐาน (ม.)	รูปแบบการตัด	เศษ (ม.)
DB12	4	12	11.60:1	0.40
	4	12	11.40:1	0.60
	4	12	11.30:1	0.80

จากโครงการนี้ สามารถแสดงผลเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของปริมาณเศษเหล็กที่เกิดขึ้นโดยใช้โปรแกรมใน การวิเคราะห์ ได้ดังนี้

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียของปริมาณเศษเหล็กในโครงการ

ปริมาณการสูญเสียขนาด DB 25 เท่ากับ 7.69%

ปริมาณการสูญเสียขนาด DB 12 เท่ากับ 4.72%

4.3 เปรียบเทียบผลข้อมูลเศษเหล็กที่ได้ก่อนและหลังการปรับปรุง

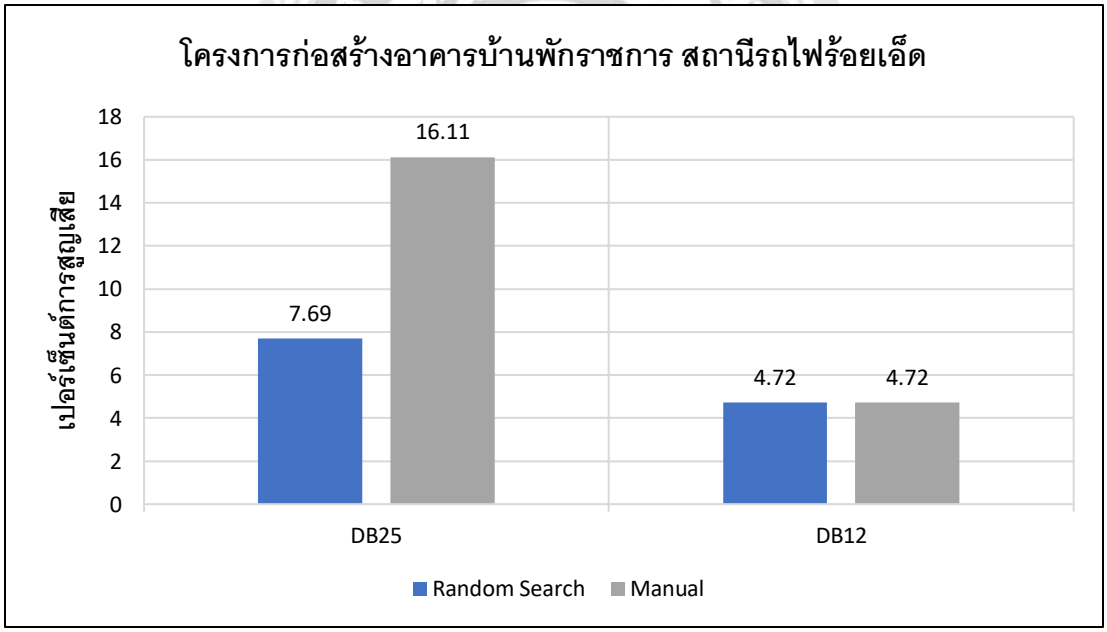
จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการเก็บข้อมูลเหล็กเส้นกับโครงการ โดยศึกษาวิธีการหารูปแบบการตัดที่แต่ละโครงการได้ปฏิบัติ เปรียบเทียบผลกับโปรแกรมการตัดเหล็กเส้นด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่มที่พัฒนาขึ้น โดยได้ผลดังแสดงตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบผลข้อมูลเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจากการตัดในโครงการกับโปรแกรม

รายละเอียด	โครงการสถานีย่อยคลองขุดใหม่
ความยาวเหล็กที่ต้องการทั้งหมด (เมตร)	1,001.20
จำนวนเหล็กเส้นที่ต้องใช้ทั้งหมด (เส้น)	90
เศษเหล็กรวมที่เกิดขึ้นจากวิธีการเดิม (%)	20.83
เศษเหล็กรวมที่เกิดขึ้นจากโปรแกรม (%)	12.41
เศษเหล็กรวมที่ลดได้ (%)	8.42

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า ปริมาณเศษเหล็กสูญเสียรวมที่เกิดขึ้นจากการประมวลผลด้วยโปรแกรมวางแผนการตัดเหล็กเส้นด้วยอัลกอริทึมการค้นหาแบบสุ่ม (Random Search Optimization) มีจำนวนลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีปฏิบัติงานเดิมของโครงการ ซึ่งส่งผลให้สามารถลดปริมาณการใช้เหล็กเส้นรวมในโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ยังมีความสะดวกและรวดเร็วกว่าวิธีปฏิบัติดั้งเดิมเป็นอย่างมาก เนื่องจากผู้ประกอบการก่อสร้างขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) มักใช้วิธีการวางแผนและคำนวณรูปแบบการตัดด้วยบุคลากร (Manual Calculation) ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการทำงานนานตลอดจนมีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดข้อผิดพลาดในการคำนวณ (Human Error)

นอกจากนี้ จากผลการวิเคราะห์ยังสามารถนำมาสรุปจำแนกตามประเภทและชั้นคุณภาพของเหล็กเส้นที่ใช้งาน เพื่อวิเคราะห์ปริมาณเศษเหล็กสูญเสียที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละประเภทของโครงการก่อสร้างที่ได้จัดเก็บข้อมูลพร้อมทั้งประเมินเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับการประมวลผลผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยในการวิเคราะห์ดังกล่าวได้จัดทำแผนภูมิเพื่อแสดงสัดส่วนปริมาณเศษเหล็กสูญเสียที่เกิดขึ้น ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงแผนภูมิภาพเปรียบเทียบข้อมูลของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของเหล็ก

จากรูปที่ 4.1 พบว่า ปริมาณเศษเหล็กสูญเสียในโครงการมีแนวโน้มลดลงอย่างเด่นชัดที่สุดในกลุ่มเหล็กข้ออ้อยขนาด DB25 โดยวิธีปฏิบัติงานเดิมของโครงการมีสัดส่วนการสูญเสียอยู่ที่ร้อยละ 16.11 ขณะที่การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีสัดส่วนการสูญเสียเพียงร้อยละ 7.69 ซึ่งสามารถลดปริมาณเศษสูญเสียลงได้อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ ข้อเท็จจริงปรากฏว่าโครงการดังกล่าวมีการวางแผนการตัดเหล็กเส้นอยู่ในเกณฑ์ดีพอสมควร อย่างไรก็ตาม เมื่อปริมาณการใช้เหล็กเส้นมีจำนวนมาก การวางแผนคำนวณด้วยบุคลากร (Manual Planning) จึงมีความซับซ้อนและยุ่งยากสูง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการจัดรูปแบบการตัดลดลง

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ปัญหาเศษเหล็กสูญเสียในโครงการก่อสร้างถือเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อต้นทุนโครงการและการบริหารจัดการของผู้รับเหมาก่อสร้าง จากการสำรวจภาคสนามในโครงการก่อสร้างอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก พบว่ามีปริมาณเศษเหล็กที่เหลือทิ้งจากการตัดและไม่ได้นำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในปริมาณที่สูงมาก ซึ่งสาเหตุหลักเกิดจากการที่ผู้ปฏิบัติงานและผู้ควบคุมงานขาดการตระหนักว่าเศษเหล็กสูญเสียเหล่านั้นคือมูลค่าต้นทุนตัวเงินที่ต้องสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอแนวคิดและพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวอย่างเป็นระบบ โดยแบ่งกระบวนการประมวลผลออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

ขั้นตอนแรก การสร้างและคัดเลือกรูปแบบการตัดด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่ม (Random Search Algorithm) ซึ่งเป็นเทคนิคการแก้ปัญหาแบบประมาณค่าที่มีความเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งสำหรับการแก้ปัญหาแบบแผนการตัดวัสดุ (Cutting Stock Problem) อันจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาที่มีความซับซ้อนเชิงคำนวณสูง (NP-hard Problem) โดยอัลกอริทึมจะทำการจำลองและคัดสรรรูปแบบการตัดที่ก่อให้เกิดปริมาณเศษเหล็กสูญเสียน้อยที่สุดหรือเข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด

ขั้นตอนที่สอง เมื่อได้ชุดรูปแบบการตัดที่เหมาะสมแล้ว ระบบจะนำรูปแบบดังกล่าวเข้าสู่วิธีการกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) ซึ่งเป็นระเบียบวิธีทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) เพื่อวิเคราะห์คำนวณหาจำนวนเหล็กเส้นยาวมาตรฐาน (12 เมตร) ที่ต้องนำมาใช้ตัดจริงตามรูปแบบที่เลือกไว้ ซึ่งช่วยให้การระบุจำนวนเหล็กเส้นเป็นไปด้วยความสะดวกรวดเร็ว แม่นยำ และเกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยกระบวนการประมวลผลทั้งหมดที่กล่าวมานี้ ได้รับการพัฒนาและผนวกรวมไว้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ชื่อ TJ_BARCUT เพื่อเปลี่ยนขั้นตอนการคำนวณที่ยุ่งยากซับซ้อนให้กลายเป็นเครื่องมือที่ใช้งานง่ายและเหมาะสำหรับการนำไปปฏิบัติตามหน้างานจริง

จากการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนามในโครงการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กตัวอย่าง เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างวิธีการวางแผนการตัดเหล็กเส้นแบบดั้งเดิมที่โครงการปฏิบัติอยู่ กับการประมวลผลผ่านโปรแกรม TJ_BARCUT ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบชี้ให้เห็นว่า โปรแกรมสามารถลดปริมาณเศษ

เหล็กสูญเสียที่เกิดขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและสามารถนำไปปฏิบัติได้จริง โดยโครงการตัวอย่างสามารถลดสัดส่วนเศษเหล็กสูญเสียลงได้ถึงร้อยละ 8.42 คิดเป็นความยาวรวมของเศษเหล็กที่ประหยัดได้ทั้งสิ้น 120 เมตร ทั้งนี้ ปริมาณเศษเหล็กที่ลดลงได้จะมีความแปรผันตามระดับประสิทธิภาพและทักษะของบุคลากรในวิธีการวางแผนเดิมที่แต่ละโครงการใช้อยู่

ผลจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ไม่เพียงแต่นำเสนอข้อเท็จจริงให้ผู้รับเหมาก่อสร้างได้ตระหนักถึงความเสียหายและมูลค่าความสูญเสียเชิงต้นทุนจากการขาดการวางแผนการตัดเหล็กเส้นที่มีประสิทธิภาพเท่านั้น แต่ยังได้เสนอแนะแนวทางปฏิบัติและแนวทางการแก้ไขปัญหาเชิงรูปธรรมในการบริหารจัดการเหล็กเส้น ซึ่งเป็นวัสดุก่อสร้างหลักที่มีมูลค่าสูง ให้เกิดคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพสูงสุด การประยุกต์ใช้โปรแกรมคำนวณรูปแบบการตัดเหล็กเส้นด้วยวิธีการค้นหาแบบสุ่มร่วมกับกำหนดการเชิงเส้น จึงนับเป็นนวัตกรรมเครื่องมือที่เข้ามาช่วยให้ผู้รับเหมาโดยเฉพาะกลุ่มผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) สามารถเข้าถึงเทคโนโลยีที่ช่วยประหยัดต้นทุน ให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง แม่นยำ และน่าเชื่อถือ ลดความเสี่ยงจากข้อผิดพลาดจากการคำนวณด้วยบุคลากร (Human Error) ลดระยะเวลาในการเตรียมงาน ตลอดจนช่วยลดภาระงานในการวางแผนตัดเหล็กของผู้ควบคุมงานได้อย่างยั่งยืน

5.2 อภิปรายผล

ผลการปรับปรุงและประมวลผลชี้ให้เห็นว่า การนำโปรแกรม TJ_BARCUT มาประยุกต์ใช้ในการจัดรูปแบบการตัดเหล็กเส้นเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กสูญเสีย สามารถลดสัดส่วนการสูญเสียลงได้จริงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในกลุ่มเหล็กข้ออ้อยขนาด DB25 ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีแนวโน้มลดปริมาณเศษสูญเสียได้มากที่สุด จากเดิมที่วิธีปฏิบัติงานดั้งเดิมของโครงการมีสัดส่วนการสูญเสียสูงถึงร้อยละ 16.11 แต่เมื่อได้รับการวิเคราะห์และวางแผนด้วยโปรแกรม TJ_BARCUT สัดส่วนการสูญเสียลดลงเหลือเพียงร้อยละ 7.69 ซึ่งสามารถลดปริมาณเศษเหล็กสูญเสียลงได้ถึงร้อยละ 8.42

นอกจากนี้ ผลการศึกษายังสะท้อนให้เห็นถึงปัจจัยสำคัญในด้านการบริหารจัดการ โดยเฉพาะการยกระดับคุณภาพและศักยภาพของบุคลากรผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับเหล็กเส้น ให้มีความรู้ความสามารถในการวิเคราะห์และวางแผนการตัดเหล็กเส้นอย่างเป็นระบบ ควบคู่ไปกับการสร้างความตระหนักรู้ถึงผลกระทบเชิงลบด้านต้นทุนโครงการอันเกิดจากการสะสมของปริมาณเศษเหล็กสูญเสียจำนวนมากในโครงการก่อสร้าง

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในสภาวการณ์ปัจจุบันที่การแข่งขันในธุรกิจรับเหมาก่อสร้างมีความรุนแรงยิ่งขึ้น การบริหารจัดการและควบคุมต้นทุนโครงการให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าคู่แข่ง ถือเป็นปัจจัยยุทธศาสตร์สำคัญที่ช่วยเพิ่มโอกาสและความได้เปรียบในการแข่งขันเสนอราคาประมูลงาน การประยุกต์ใช้แนวทางการวิเคราะห์เพื่อควบคุมและลดปริมาณเศษ

เหล็กสูญเสียด้วยโปรแกรมวางแผนการตัดเหล็กเส้นผ่านอัลกอริทึมการค้นหาแบบสุ่ม (Random Search Algorithm) จึงเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการลดต้นทุนวัสดุโดยตรง ซึ่งช่วยเพิ่มศักยภาพการแข่งขันและสร้างความได้เปรียบเชิงต้นทุนในการเสนอราคาประมูลงานของผู้รับเหมาก่อสร้างอย่างมีระบบ

สำหรับผู้รับเหมาก่อสร้าง ควรจัดให้มีระบบการเก็บรวบรวมข้อมูลสถิติปริมาณเศษเหล็กสูญเสียที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละโครงการอย่างต่อเนื่อง เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้เป็นแนวทางในการกำหนดมาตรการป้องกันการเกิดเศษเหล็กในปริมาณที่สูงเกินจำเป็น ซึ่งจะช่วยพัฒนาระบบการบริหารจัดการวัสดุภายในองค์กรให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ข้อมูลสถิติดังกล่าวยังสามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์ดัชนีชี้วัดในการประเมินประสิทธิภาพการปฏิบัติงานของบุคลากรหน้างานได้อย่างเป็นรูปธรรม

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาวิจัยในอนาคต สำหรับการศึกษาวิจัยในอนาคต ควรคำนึงถึงการพัฒนามิติและความหลากหลายของแบบจำลอง โดยพัฒนาระบบให้สามารถรองรับรูปแบบการใช้งานเหล็กเส้นที่มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น ตลอดจนปรับปรุงอัลกอริทึมในการจัดการตัวแปรกรณีที่มีความต้องการชิ้นงานขนาดความยาวเดียวกันเป็นจำนวนมาก เพื่อให้โปรแกรมยังคงประมวลผลและค้นหารูปแบบการตัดที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ ควรเพิ่มการศึกษาประเมินปัญหา อุปสรรค และความเป็นไปได้ในการนำรูปแบบการตัดที่ประมวลผลได้ไปใช้งาน ณ หน้างานจริง ซึ่งมักมีการจัดเรียงความยาวชิ้นงานที่หลากหลายในเหล็กเส้นมาตรฐานท่อนเดียวกัน ว่าส่งผลกระทบต่อความสะดวกและพฤติกรรมการทำงานของช่างเหล็กหน้างานที่คุ้นเคยกับการตัดรูปแบบเดิมอย่างไร เพื่อหาแนวทางปรับปรุงให้เกิดความคล่องตัวในการปฏิบัติงานจริงมากยิ่งขึ้น ประการสุดท้าย ควรศึกษาวิจัยเปรียบเทียบกับการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีคำนวณทางเลือกแบบประมาณค่าอื่น ๆ เช่น อัลกอริทึมพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีศักยภาพสูงในการแก้ปัญหาการตัดวัสดุ (Cutting Stock Problem) เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประมวลผลและเพิ่มขีดความสามารถในการจัดรูปแบบการตัดเหล็กเส้นให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า. (2565). **รายงานการประมวลข้อมูลสถิติราคาวัสดุก่อสร้าง พ.ศ.2565.** สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์.

2. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. (2540). **แนวทางการวัดปริมาณงานก่อสร้างอาคาร (มาตรฐานวสท. 1011-40).** กรุงเทพมหานคร.

3. Arcelor-Mittal annual report. (2007). **Iron and Steel Institute of Thailand.** Available from: http://www2.isit.or.th/index.asp

4. Chinanuwatwong, S. (2000). Reducing Waste from Cutting Reinforcing Steel in Construction Projects. **Kasetsart J. (Nat. Sci.). 34** : 526-525.

5. Dyckhoff, H. (1990). A typology of cutting and packing problems. **European Journal of Operational Research.** 44 : 45-159.

6. Fleszar, K., and Hindi K.S. (2002). New heuristic for one-dimensional bin packing**. Computers and operation Research.** 29(7) : 821-839.

7. Gilmore, P.C., and Gomory, R.E. (1961). A linear programming approach to the cutting stock problem. **Operations Research Society of America.** 9(6) : 849-859.

8. Gupta, J.N.D., and HO, J.C. (1999). A new heuristic algorithm for the one-dimensional bin packing problem. **Production Planning and Control.** 10(6) : 598-603.

9. Haessler, R.W. (1971). A heuristic programming solution to a nonlinear cutting stock problem **Management Science.** 17 : 793-802.

10. Johnston, J.E. (1981). Site Control of Materials. **Butterworths. London.**

11. Pooster, G.H. (1972). Construction Estimates from Takeoff to Bid. **McGraw-Hill.** New York.

12. Salem, O., Shahin, A., and Khalifa, Y. (2007). Minimizing cutting wastes of reinforcement steel bars genetic algorithms and integer programming models**. Journal of Construction Engineering and Management.** 133(12) : 982-992.

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

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

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

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

17. World Steel Association. (2009). Available from: **http://www.worldsteel.org**

18. วีระยุทธ นิรันดร์วัฒนเดชา. (2553). **การพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้างเพื่อลดปริมาณเศษเหล็ก.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

19. สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย. (2565). **บทวิเคราะห์ของอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมเหล็กภายในประเทศ.** สืบค้นจาก: https://iiu.isit.or.th/th/

ประวัติผู้วิจัย



รหัสนักศึกษา 6823900012

ชื่อ – สกุล นางสาวมาริษา ชัยกุลเสรีวงค์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชา วิศวกรรมโยธาสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน

ที่อยู่ 150 หมู่ 8 ตำบลธงชัย อำเภอบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77190

ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.)

สาขาวิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2558

ที่ทำงานปัจจุบัน บริษัท ไตต้า คอร์ป จำกัด

129/103 หมู่บ้านศุภาลัยการ์เด้นวิลล์ หมู่ที่ 1 ตำบลบางขะแยง ถนนกรุงเทพ-ปทุมธานี อำเภอเมืองปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี 12000