

วิธีการตัดเหล็กเสริมเพื่อลดปริมาณเศษเหล็ก สำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล

Reinforcing Steel Cutting Methods to Minimize Trim Loss Steel for Precast Concrete L-Shape Retaining Wall

ศรวิวรรณ ฤกษ์ฤทธิ์^{1*} และศรายุทธ มาลัย²

Srivan Rurkpurit^{1*} and Sarayut Malai²

^{1*}คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

โทรศัพท์ 09 0929 2119 โทรสาร 0 5692 5099 E-mail: srivanru@hotmail.com

²คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 119 หมู่ 9 ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100

^{1*}Faculty of Science Naresuan University, 99 Moo 9 Tumbon Thapho Amphoe Muang Phitsanulok 65000 Thailand

Tel. +669 0929 2119 Fax +66 5692 5099 E-mail : srivanru@hotmail.com

²Faculty of Industrial Technology Lampang Rajabhat University, 119 Moo 9 Tumbon Chomphu Amphoe Muang
Lampang 52100 Thailand

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาวิธีการตัดเหล็กเสริมให้มีเศษเหล็กลดน้อยที่สุดในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ที่มีความหนา 0.15 เมตร กว้าง 1.20 เมตร สูง 1.40 เมตร ความยาว 1.00 เมตร กำแพงกันดินแต่ละแห่งประกอบด้วยเหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร ยาว 0.95 เมตร จำนวน 22 ท่อน ยาว 2.50 เมตร จำนวน 5 ท่อน และเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตร ยาว 2.70 เมตร จำนวน 5 ท่อน

จากการศึกษาการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 1 ถึง 200 แห่ง ผู้วิจัยได้สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มได้ 1 ตัวแบบสำหรับการตัดเหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร และ 1 ตัวแบบสำหรับการตัดเหล็กข้ออ้อย DB10 มิลลิเมตร ที่มีความยาวมาตรฐานทั้ง 10 เมตร และ 12 เมตร ผู้วิจัยพบว่ามี 2 วิธีในการตัดเหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้เหล็กยาว 0.95 เมตร และ 2.50 เมตร ตามต้องการ มีผลให้เกิดปริมาณเศษเหล็กร้อยละ 3.29 และมี 1 วิธีในการตัดเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตรความยาวมาตรฐาน 12 เมตร ให้ได้เหล็กยาว 2.70 เมตร ตามต้องการ มีผลให้เกิดปริมาณเศษเหล็กร้อยละ 11.11 ซึ่งเป็นปริมาณเศษเหล็กลดน้อยที่สุดเมื่อมีการผลิตกำแพงกันดินเพิ่มขึ้นทุก 20 แห่ง (20 40 60 80 100 120 140 160 180 และ 200 แห่ง)

ผู้วิจัยได้จัดทำคู่มือวิธีการตัดเหล็กซึ่งลดปริมาณเศษเหล็กลดน้อยที่สุดในการผลิตกำแพงกันดินหล่อสำเร็จรูปตัวแอล และส่งให้ผู้ผลิตใช้งานเพื่อลดปริมาณเศษวัสดุในโรงงาน ผู้ผลิตได้นำไปใช้ในการ

จัดซื้อวัตถุดิบและการทำแผนปฏิบัติงาน ผลที่ได้แสดงว่าปริมาณเศษเหล็กลดลงมากกว่าเดิมที่เคยบริหารจัดการในอดีต

คำสำคัญ : ลดเศษเหล็กน้อยที่สุด, กำแพงกันดินรูปตัวแอล, คอนกรีตหล่อสำเร็จรูป

Abstract

The objective of this research is to identify the optimum reinforcing steel cutting methods that would minimize trim losses in the production of precast concrete L-shape retaining wall with the dimension of 0.15 m. thick, 1.20 m. in width, 1.40 m. in height and 1.00 m. in length. Each retaining wall contains 22 rods of 0.95 m. RB 6 mm., 5 rods of 2.50 m. RB 6 mm. round bar and 5 rods of 2.70 m. DB 10 mm. deformed bar.

From the study of retaining wall production between 1 - 200 pieces, researchers have formulated a mathematical formula using integer linear programming models. There are one model for round bar RB 6 mm. 10 m. standard length and one model for deformed bar DB 10 mm. both 10 m. and 12 m. standard length. The researchers found that there are two cutting patterns needed for cutting RB 6 mm. round bar with a standard length of 10 m. into the required length of 0.95 m. and 2.50 m. resulting in 3.29% trim losses. However, there is only one cutting pattern required for cutting DB 10 mm. deformed bar with a standard length of 12 m. resulting in 11.11% trim losses. To obtain the minimum trim losses, the number of units in each production must be in the incremental of 20 (20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 and 200 pieces).

Researchers provided a manual on steel rod cutting methods, which minimize trim losses steel for precast concrete L-shape retaining wall, and sent to the manufacturer in order to reduce waste in the factory. The manufacturer has utilized it to procure raw materials and executing production plan. The result shown less trim losses compare to previous trim loss management practice.

Keywords : Minimize steel trim loss, L-shape retaining wall, Precast concrete

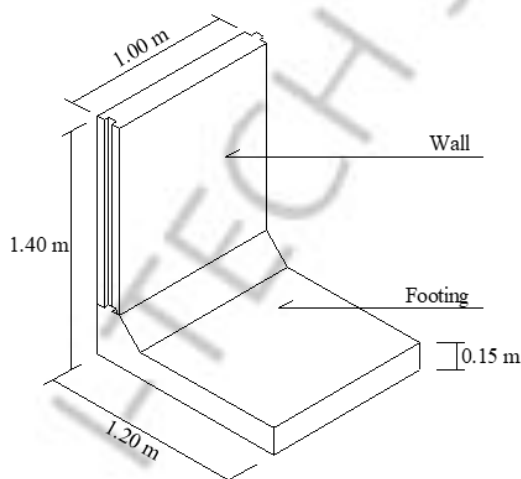
1. บทนำ

อุตสาหกรรมการก่อสร้างเป็นอุตสาหกรรมหลักและมีความสำคัญในการพัฒนาประเทศ ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีเศรษฐกิจใหญ่อันดับสองในภูมิภาคเอเชีย มูลค่าการก่อสร้างในปี ค.ศ.2016 มีค่า 41.3 พันล้านดอลลาร์ หรือประมาณ 1,400 พันล้านบาท ซึ่งแยกเป็นงานเอกชนมูลค่า

17.9 พันล้านดอลลาร์ หรือประมาณ 607 พันล้านบาท และเป็นงานราชการมูลค่า 23.4 พันล้านดอลลาร์หรือประมาณ 793 พันล้านบาท (Solidiance, 2017) กล่าวได้ว่าอุตสาหกรรมก่อสร้างมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของประเทศ ขบวนการก่อสร้างโดยวิธีติดตั้งไม้แบบ ผูกเหล็ก แล้วเทคอนกรีตในหน่วยงานก่อสร้างเป็นวิธีการเก่าที่ไม่ประหยัด เนื่องจากเกิดวัสดุเสียหายมาก และค่าแรงงานสูง ด้วยเหตุนี้ทำให้ขบวนการก่อสร้างแบบใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นที่นิยมและมีบทบาทมากขึ้น ขบวนการเริ่มจากการผลิตชิ้นส่วนโครงสร้างต่าง ๆ ในโรงงาน แล้วขนส่งไปยังหน่วยงาน ซึ่งเป็นสถานที่ก่อสร้าง ทำการประกอบติดตั้งในตำแหน่งที่ต้องการ ด้วยวิธีการเช่นนี้ทำให้เกิดความง่ายต่อการควบคุมคุณภาพและประสิทธิภาพในการก่อสร้าง ช่วยประหยัดค่าแรงงานและสามารถควบคุมปริมาณวัสดุเสียหายจากการก่อสร้าง François Coignet เป็นผู้บุกเบิกพัฒนาการก่อสร้างโดยใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ทำจากคอนกรีตเสริมเหล็ก (Wikipedia, 2018)

เหล็กเสริมในคอนกรีตทั่วไปเป็นเหล็กเส้นกลม (Round bar, RB) ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร และเหล็กเส้นข้ออ้อย (Deformed bar, DB) ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร และ 12 เมตร การก่อสร้างจำเป็นต้องตัดเหล็กจากความยาวมาตรฐานให้ได้ความยาวที่ต้องการใช้งาน ทำให้มีเศษเหล็กเกิดจากการตัดเหล็ก ซึ่งจัดเป็นปัญหา cutting-stock problem (CSP) ที่ต้องลดความเสียหายให้น้อยที่สุด (Jahromi, M.H. et al., 2012) บุคคลแรกที่สร้างสมการของ CSP คือ Leonid V. Kantorovich (Kantorovich, L.V., 1960) ผู้ที่สามารถแก้สมการของ CSP อย่างมีประสิทธิภาพคือ Gilmore and Gomory (Gilmore, P.C. & Gomory, R.E., 1961)

การวิจัยครั้งนี้เน้นการลดเศษเหล็กที่ตัดจากเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อยที่ใช้ในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล มีความหนา 0.15 เมตร กว้าง 1.20 เมตร สูง 1.40 เมตร ยาว 1.00 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

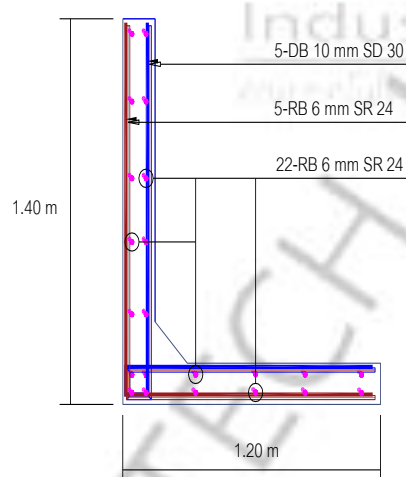
- 2.1 หาวิธีการตัดเหล็กเสริมให้มีเศษเหล็กน้อยที่สุดในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล
- 2.2 สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มใช้ในการวิเคราะห์หาวิธีการตัดเหล็กเสริมให้มีเศษเหล็กน้อยที่สุด
- 2.3 จัดทำคู่มือการตัดเหล็กเสริมในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลให้ผู้ผลิตใช้งานเพื่อลดเศษเหล็กในโรงงาน

3. วิธีดำเนินการวิจัย

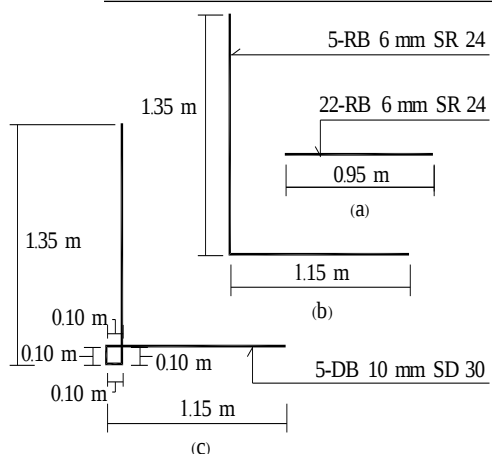
การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล จำนวน 1 ถึง 200 แท่ง ผู้วิจัยได้ดำเนินการถอดแบบรายการเหล็กเสริมในกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล เก็บรวบรวมข้อมูล จัดหามือวิธีการตัดเหล็กเสริม สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม และวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การถอดแบบรายการเหล็กเสริมในกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล

ศึกษารายละเอียดจากแบบกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ได้ข้อมูลชนิดเหล็กเสริม ขนาด ความยาว และจำนวน ดังแสดงในภาพที่ 2 และรูปร่างการตัดเหล็กเส้นกลม ดังแสดงในภาพที่ 3(a), 3(b) และรูปร่างการตัดเหล็กข้ออ้อยดังแสดงในภาพที่ 3(c)



ภาพที่ 2 เหล็กเสริมในกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล



(a) และ (b) เป็นเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร

(c) เป็นเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร

ภาพที่ 3 รูปร่างการดัดเหล็ก (Bar Bending)

ในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลหนึ่งแท่งใช้เหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร (a) ความยาว 0.95 เมตร จำนวน 22 ท่อน และ (b) ความยาว 2.50 เมตร จำนวน 5 ท่อน และใช้เหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ความยาว 2.70 เมตร จำนวน 5 ท่อน

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลจำนวน 1 – 200 แท่ง ได้ผลแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนเหล็กเสริมที่ต้องการใช้ในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล 1 - 200 แท่ง

จำนวนกำแพงกันดิน คอนกรีตหล่อสำเร็จรูป ตัวแอล (แท่ง)	จำนวนเหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร	จำนวนเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตร	จำนวนเหล็กเส้น กลม RB 6 มิลลิเมตร
	ความยาว 2.50 เมตร (ท่อน)	ความยาว 0.95 เมตร (ท่อน)	ความยาว 2.50 เมตร (ท่อน)
1	5	22	5
2	10	44	10
3	15	66	15
:	:	:	:
199	995	4,378	995
200	1,000	4,400	1,000

3.3 การจัดหมู่วิธีการตัดเหล็กเสริม

ผู้วิจัยได้ทำการจัดหมู่วิธีการตัดเหล็กเสริมทั้งหมดที่เป็นไปได้ สำหรับเหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร ได้หมู่วิธีทั้งหมดที่เป็นไปได้จำนวน 28 วิธี ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 หมู่วิธีการตัดเหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ความยาว 2.50 เมตร และ 0.95 เมตร

การตัดเหล็ก วิธีที่	ความยาวเหล็กที่ต้องการ (เมตร)	เศษเหล็ก (เมตร)
1	2.50	7.50
2	2.50×2	5.00
3	2.50×3	2.50
4	2.50×4	0.00
5	0.95×1	9.05
6	0.95×2	8.10
7	0.95×3	7.15
8	0.95×4	6.20
9	0.95×5	5.25
10	0.95×6	4.30
11	0.95×7	3.35
12	0.95×8	2.40
13	0.95×9	1.45
14	0.95×10	0.50
15	$2.50 + 0.95$	6.55
16	$2.50 + 0.95 \times 2$	5.60
17	$2.50 + 0.95 \times 3$	4.65
18	$2.50 + 0.95 \times 4$	3.70
19	$2.50 + 0.95 \times 5$	2.75
20	$2.50 + 0.95 \times 6$	1.80
21	$2.50 + 0.95 \times 7$	0.85
22	$2.50 \times 2 + 0.95$	4.05
23	$2.50 \times 2 + 0.95 \times 2$	3.10

ตารางที่ 2 หมู่วิธีการตัดเหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ความยาว 2.50 เมตร และ 0.95 เมตร (ต่อ)

การตัดเหล็ก วิธีที่	ความยาวเหล็กที่ต้องการ (เมตร)	เศษเหล็ก (เมตร)
24	$2.50 \times 2 + 0.95 \times 3$	2.15
25	$2.50 \times 2 + 0.95 \times 4$	1.20
26	$2.50 \times 2 + 0.95 \times 5$	0.25
27	$2.50 \times 3 + 0.95$	1.55
28	$2.50 \times 3 + 0.95 \times 2$	0.60

สำหรับเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร สามารถนำมาตัดให้ได้ความยาว 2.70 เมตร ได้หมู่วิธีทั้งหมดที่เป็นไปได้จำนวน 3 วิธี ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 หมู่วิธีการตัดเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ความยาว 2.70 เมตร

การตัดเหล็ก วิธีที่	ความยาวเหล็กที่ต้องการ (เมตร)	เศษเหล็ก (เมตร)
1	2.70	7.30
2	2.70×2	4.60
3	2.70×3	1.90

สำหรับเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร สามารถนำมาตัดให้ได้ความยาว 2.70 เมตร ได้หมู่วิธีทั้งหมดที่เป็นไปได้จำนวน 4 วิธี ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 หมู่วิธีการตัดเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร ให้ได้ความยาว 2.70 เมตร

การตัดเหล็ก วิธีที่	ความยาวเหล็กที่ต้องการ (เมตร)	เศษเหล็ก (เมตร)
1	2.70	9.30
2	2.70×2	6.60
3	2.70×3	3.90
4	2.70×4	1.20

3.4 การสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม

ผู้วิจัยได้สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์โดยใช้หลักกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Schrijver, A., 2000; Taylor III, B.W., 2013) มีจุดประสงค์เพื่อให้เศษเหล็กจมน้อยที่สุด อาศัยข้อมูลจากรวบรวม และการจัดหมู่วิธีการตัดเหล็กเสริม ได้ตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม ดังนี้

การตัดเหล็กเส้นที่มีความยาวมาตรฐาน ให้มีขนาดความยาว l_i เมตร เป็นจำนวน q_i ท่อน ตามความต้องการใช้งานโดย $i = 1, 2, \dots, m$

สำหรับเหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร

$$\max_{1 \leq i \leq m} \leq 10 \quad (1)$$

กำหนดให้

- Z คือ ผลรวมทั้งหมดของเศษเหล็กจากการตัด
- a_{ij} คือ จำนวนท่อนเหล็กกลมที่มีขนาดความยาว l_i ซึ่งตัดโดยวิธีที่ j
- x_j คือ จำนวนเส้นเหล็กกลมขนาดมาตรฐาน 10 เมตร ที่ใช้ตัดโดยวิธีที่ j
- q_i คือ จำนวนท่อนเหล็กกลมที่มีขนาดความยาว l_i
- c_j คือ ความยาวเศษเหล็กจากการตัดเหล็กกลมขนาดมาตรฐาน 10 เมตร โดยวิธีที่ j

ฟังก์ชันจุดประสงค์

$$\text{Minimize } Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (2)$$

ข้อจำกัด

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = q_i \quad (3)$$

$$\text{for } i = 1, 2, \dots, m$$

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

$$x_j \geq 0 \text{ and integer}$$

กรณีการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 20 แห่ง ใช้เหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ตัดเพื่อให้ได้เหล็กความยาว 2.50 เมตร จำนวน 100 ท่อน และความยาว 0.95 เมตร จำนวน 440 ท่อน มีวิธีการตัดทั้งหมด 28 วิธี ตัวแบบคณิตศาสตร์ มีดังนี้

ฟังก์ชันจุดประสงค์

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z = & 7.50x_1 + 5.00x_2 + 2.50x_3 + 0.00x_4 + 9.05x_5 + 8.10x_6 + 7.15x_7 \\ & + 6.20x_8 + 5.25x_9 + 4.30x_{10} + 3.35x_{11} + 2.40x_{12} + 1.45x_{13} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+ 0.50x_{14} + 6.55x_{15} + 5.60x_{16} + 4.65x_{17} + 3.70x_{18} + 2.75x_{19} \\
 &+ 1.80x_{20} + 0.85x_{21} + 4.05x_{22} + 3.10x_{23} + 2.15x_{24} + 1.20x_{25} \\
 &+ 0.25x_{26} + 1.55x_{27} + 0.60x_{28}
 \end{aligned} \quad (4)$$

ข้อจำกัดขนาดความยาว 2.50 เมตร

$$\begin{aligned}
 &x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 4x_4 + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} \\
 &+ x_{20} + x_{21} + 2x_{22} + 2x_{23} + 2x_{24} + 2x_{25} + 2x_{26} + 3x_{27} + 3x_{28} = 100
 \end{aligned} \quad (5)$$

ข้อจำกัดขนาดความยาว 0.95 เมตร

$$\begin{aligned}
 &x_5 + 2x_6 + 3x_7 + 4x_8 + 5x_9 + 6x_{10} + 7x_{11} + 8x_{12} + 9x_{13} \\
 &+ 10x_{14} + x_{15} + 2x_{16} + 3x_{17} + 4x_{18} + 5x_{19} + 6x_{20} + 7x_{21} \\
 &+ x_{22} + 2x_{23} + 3x_{24} + 4x_{25} + 5x_{26} + x_{27} + 2x_{28} = 440
 \end{aligned} \quad (6)$$

เมื่อ $x_1, x_2, \dots, x_{28} \geq 0$ และเป็นจำนวนเต็ม

สำหรับเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร

$$\max_{1 \leq i \leq m} \leq 10 \quad (7)$$

สำหรับเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร

$$\max_{1 \leq i \leq m} \leq 12 \quad (8)$$

กำหนดให้

Z	คือ ผลรวมทั้งหมดของเศษเหล็กจากการตัด
a_{ij}	คือ จำนวนท่อนเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดความยาว l_i ซึ่งตัดโดยวิธีที่ j
x_{Aj}	คือ จำนวนเส้นเหล็กข้ออ้อยขนาดมาตรฐาน 10 เมตร ที่ใช้ตัดโดยวิธีที่ j
x_{Bj}	คือ จำนวนเส้นเหล็กข้ออ้อยขนาดมาตรฐาน 12 เมตร ที่ใช้ตัดโดยวิธีที่ j
q_i	คือ จำนวนท่อนเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดความยาว l_i
c_{Aj}	คือ ความยาวของเศษเหล็กจากการตัดเหล็กข้ออ้อยขนาดมาตรฐาน 10 เมตร โดยวิธีที่ j
c_{Bj}	คือ ความยาวของเศษเหล็กจากการตัดเหล็กข้ออ้อยขนาดมาตรฐาน 12 เมตร โดยวิธีที่ j

ฟังก์ชันจุดประสงค์

$$\text{Minimize } Z = \sum_{j=1}^n c_{Aj} x_{Aj} + \sum_{j=1}^{n'} c_{Bj} x_{Bj} \quad (9)$$

ข้อจำกัด

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_{Aj} + \sum_{j=1}^{n'} a_{ij}x_{Bj} = q_i \quad (10)$$

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

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

$$x_{Aj} \geq 0 \text{ and integer}$$

$$x_{Bj} \geq 0 \text{ and integer}$$

กรณีการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตจำนวน 20 แห่ง ใช้เหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร มีวิธีการตัดทั้งหมด 3 วิธี และเหล็กข้ออ้อยความยาวมาตรฐาน 12 เมตร มีวิธีการตัดทั้งหมด 4 วิธี เพื่อให้ได้เหล็กยาว 2.70 เมตร จำนวน 100 ท่อน ตัวแบบคณิตศาสตร์ มีดังนี้

ฟังก์ชันจุดประสงค์

$$\text{Minimize } Z = 7.30x_{A1} + 4.60x_{A2} + 1.90x_{A3} + 9.30x_{B1} + 6.60x_{B2} + 3.90x_{B3} + 1.20x_{B4} \quad (11)$$

ข้อจำกัดขนาดความยาว 2.70 เมตร

$$x_{A1} + 2x_{A2} + 3x_{A3} + x_{B1} + 2x_{B2} + 3x_{B3} + 4x_{B4} = 100 \quad (12)$$

$$\text{เมื่อ } x_{A1}, x_{A2}, x_{A3}, x_{B1}, x_{B2}, x_{B3}, x_{B4} \geq 0 \text{ และเป็นจำนวนเต็ม}$$

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์หาผลลัพธ์ของตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม โดยใช้โปรแกรม Solver ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ร่วมกับโปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งสามารถใช้งานได้โดยเรียกใช้งานผ่าน Add-ins โปรแกรม Solver เป็นเครื่องมือช่วยในการหาคำตอบที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว

4. ผลการวิจัย

การผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลที่เกิดเศษเหล็กน้อยที่สุด จากการศึกษการผลิตจำนวน 1 ถึง 200 แห่ง ผลการวิจัยสรุปได้ว่า การผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตที่มีจำนวนวิธีการตัดเหล็กและปริมาณเศษเหล็กน้อยที่สุดคือ การผลิตจำนวน 20 40 60 80 100 120 140 160 180 และ 200 แห่ง ซึ่งให้ผลเหมือนกัน คือ มี 2 วิธี ในการตัดเหล็กเส้นกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้เหล็กยาว 0.95 เมตร และ 2.50 เมตร และมี 1 วิธี

ในการตัดเหล็กข้ออ้อย เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร ให้ได้เหล็กยาว 2.70 เมตร จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณเศษเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อย คิดเป็นร้อยละ 3.29 และ 11.11 ตามลำดับ ตารางที่ 5 แสดงวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 20 แห่ง

ตารางที่ 5 วิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 20 ชิ้น

วิธี	ขนาดความยาวที่ตัดสำหรับใช้งาน	เหล็กเสริม มาตรฐาน ใช้ตัด (เส้น)	ขนาดตามความต้องการ			เศษเหล็ก
			2.70 เมตร (ท่อน)	2.50 เมตร (ท่อน)	0.95 เมตร (ท่อน)	รวม (เมตร)
1	เหล็ก RB 6 mm SR 24 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร					
	0.95 0.95 0.95 0.95 0.95	19	-	-	190	9.50
	0.95 0.95 0.95 0.95 0.95					
	2.50 2.50 0.95 0.95 0.95	50	-	100	250	12.50
2	0.95 0.95					
	รวม	69		100	440	22.00
						3.29%
1	เหล็ก DB 10 mm SD 40 ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร					
	2.70 2.70 2.70 2.70	25	100	-	-	30.00
	รวม		100			30.00
						11.11%

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 การวิจัยครั้งนี้ได้ผลตามวัตถุประสงค์

1) ศึกษาหาวิธีการตัดเหล็กเสริมให้มีเศษเหล็กน้อยที่สุดในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล การวิจัยเริ่มโดยการถอดแบบกำแพงกันดินพบว่าในการผลิตกำแพงกันดินแต่ละแห่งประกอบด้วยเหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร ความยาว 2.50 เมตร จำนวน 5 ท่อน และความยาว 0.95 เมตร จำนวน 22 ท่อน เหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตร ความยาว 2.70 เมตร จำนวน 5 ท่อน การผลิตจำนวน 20 40 60 80 100 120 140 160 180 และ 200 แห่งให้ผลลัพธ์

เหมือนกันคือมีจำนวนวิธีการตัดเหล็กและปริมาณเศษเหล็กน้อยที่สุด ซึ่งมี 2 วิธีในการตัดเหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตรความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้เหล็กยาว 0.95 เมตร และ 2.50 เมตร ตามต้องการ และมี 1 วิธีในการตัดเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตรความยาวมาตรฐาน 12 เมตร ให้ได้เหล็กยาว 2.70 เมตร ตามต้องการ

2) สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์ใช้ในการวิเคราะห์หาวิธีการตัดเหล็กให้มีเศษเหล็กน้อยที่สุด ผู้วิจัยได้สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม ใช้ในการวิเคราะห์หาวิธีการตัดเหล็กเสริมให้มีเศษเหล็กน้อยที่สุด โดยได้ 1 ตัวแบบสำหรับการตัดเหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร และ 1 ตัวแบบสำหรับตัดเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตรที่มีความยาวมาตรฐานทั้ง 10 เมตร และ 12 เมตร จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณเศษเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อยน้อยที่สุดคิดเป็นร้อยละ 3.29 และ 11.11 ตามลำดับ

3) จัดทำคู่มือการตัดเหล็กเสริมในกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ผู้วิจัยได้จัดทำคู่มือการตัดเหล็กเสริมในการผลิตกำแพงกันดินมอบให้บริษัท พี.เอ. คอนกรีต จำกัด ซึ่งเป็นผู้ผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป บริษัทผู้ผลิตได้นำคู่มือไปใช้งานและแจ้งให้มหาวิทยาลัยนเรศวรทราบว่า ผลการใช้คู่มือการตัดเหล็กเสริมนั้นเป็นที่น่าพอใจอย่างยิ่ง ทำให้บริษัทสามารถบริหารจัดการในเรื่องการจัดซื้อ และการปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดปริมาณเศษเหล็กได้นับเป็นผลงานวิจัยที่มีประโยชน์ต่อบริษัท

5.2 อภิปรายผล

จากการศึกษาวิจัยพบว่าการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลจำนวน 20 40 60 80 100 120 140 160 180 และ 200 แท่ง ให้ผลลัพธ์เหมือนกันมี 2 วิธี ในการตัดเหล็กเส้นกลม RB6 มิลลิเมตรความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้เหล็กยาว 0.95 เมตร และ 2.50 เมตร ตามความต้องการ มีผลให้เกิดปริมาณเศษเหล็กร้อยละ 3.29 ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับผลงานของ Norman G. Foster ที่ระบุว่า เศษเหล็กเกิดในงานก่อสร้างที่มีการควบคุมอย่างดีมีปริมาณร้อยละ 6 (Foster, N.G., 1995) อย่างไรก็ตามมี 1 วิธีในการตัดเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตรความยาวมาตรฐาน 12 เมตร ให้ได้เหล็กยาว 2.70 เมตร ตามความต้องการ มีผลให้เกิดปริมาณเศษเหล็กร้อยละ 11.11 ซึ่งมีค่ามากกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผลงานของ Floyd Vogt ที่กล่าวว่า เศษเหล็กเกิดในงานก่อสร้างทั่วไปมีปริมาณร้อยละ 10 (Vogt, F., 2015)

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท พี.เอ. คอนกรีต จำกัด ที่อนุญาตให้ใช้ผลิตภัณฑ์ของบริษัทในการศึกษาวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนเรศวรที่ให้การวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- Foster, N.G. (1995). **Construction Estimate: from Take off to Bid (3rd ed)**. New York: Mc-Graw Hill.
- Gilmore, P.C. & Gomory, R.E. (1961). A linear programming approach to the cutting-stock problem. **Operations Research**, 9(6), 849-859.
- Jahromi, M.H., Tavakkoli-Moghaddam, R., Makui, A., & Shamsi, A. (2012). Solving an one dimensional cutting stock problem by simulated annealing and tabu search. **Journal of Industrial Engineering International**, 8(24), 1-8.
- Kantorovich, L.V. (1960). **Mathematical methods of organizing and planning production**. Retrieved January 12, 2018, from <https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/mnsc.6.4.366>
- Schrijver, A. (2000). **Theory of Linear and Integer Programming**. New York: John Wiley & Sons Ltd.
- Solidiance. (2017). **Thailand's construction market is now driven by public infrastructure**. Retrieved January 5, 2018, from <https://www.thailand-business-news.com/real-estate/55961-thailands-construction-market-now-driven-public-infrastructure.html>
- Taylor III, B.W. (2013). **Introduction to management science (11th ed)**. New Jersey: Pearson.
- Vogt, F. (2015). **Residential construction academy: Carpentry (4th ed)**. New York: HBI Building careers.
- Wikipedia. (2018). **Francois Coignet**. Retrieved January 12, 2018, from https://en.wikipedia.org/wiki/Fran%C3%A7ois_Coignet