

**การควบคุมการสูญเสียเหล็กเสริมในการผลิตท่อคอนกรีต
เสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมสำหรับงานระบายน้ำใต้ผิวจราจร**
**Control of Waste and Loss of Reinforcement in Precast Reinforced
Concrete Box Culvert Production for Under Road Drainage**

นิลวัฒน์ พัฒนพงษ์^{1*}

^{1*} สาขาเทคโนโลยีการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

119 หมู่ 9 ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง รหัสไปรษณีย์ 52100

โทร 054-237399 โทรสาร 054-237388-9 E-mail: ninlawat_da@hotmail.com

บทคัดย่อ

เหล็กเสริมเป็นหนึ่งในวัตถุดิบสำคัญสำหรับการผลิตท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมที่ถูกนำมาใช้เพื่อการระบายน้ำใต้ผิวจราจร การวางแผนการตัดเหล็กที่สามารถลดปริมาณการใช้เหล็กเสริมลงและลดต้นทุนการผลิตได้ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการประยุกต์ใช้กำหนดการเชิงเส้นในการวางแผนตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมตาม มอก. 1166-2536 โดยเริ่มดำเนินการจากเลือกขนาดเหล็กเสริม ถอดแบบหาปริมาณเหล็กเสริม สร้างตัวแบบของปัญหาด้วยเทคนิคการสร้างวิธีการตัดใหม่ คำนวณหาผลลัพธ์และวิธีการตัดเหล็กเสริมด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป แล้วเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้งานของโรงงานผลิต และหลักเกณฑ์ของกรมบัญชีกลาง ผลการวิจัยพบว่าเมื่อวางแผนการตัดเหล็กด้วยกำหนดการเชิงเส้นสามารถลดการสูญเสียปริมาณเหล็กเสริมได้สูงสุดที่ร้อยละ 4.76 เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนการใช้เหล็กเสริมของโรงงานผลิต

คำสำคัญ: เหล็กเสริม, ท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยม, กำหนดการเชิงเส้น, เทคนิคการสร้างวิธีการตัดใหม่

Abstract

Rebar is one of the main materials in the production of precast reinforced concrete box culverts used for under-road drainage. Finding the best way to cut rebar could reduce waste as well as production costs. The purpose of this research is thus to meet this goal through the use of linear programming in the cutting of rebar, in accordance with TIS 1166-2536. The work was carried out by choosing the size of rebar, estimating the amount required, formulating linear programming models using column generation techniques, and using a computer program to calculate the cost and method of cutting. The results were compared with a factory bill of quantities and the data were calculated based on standards provided by the Comptroller General's department. The results reveal that the use of linear programming in preparation of reinforcement cutting can reduce the quantity of rebar used by a maximum at 4.76% in comparison with a bill of quantities.

Keywords: reinforcement, precast reinforced concrete box culvert, linear programming, column generation technique

1. บทนำ

ประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรส่งผลให้ช่วงเดือนพฤษภาคมถึงปลายเดือนกันยายน มีฝนตกชุกทั่วภูมิภาค ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและภาวะโลกร้อน ทำให้เกิดน้ำท่วมบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำ สาเหตุเหล่านี้ทำให้ปริมาณน้ำที่ไหลมายังทางหลวงมีมากกว่าข้อมูลช่วงต้นของการออกแบบงานระบายน้ำได้ผิวจราจร ส่งผลกระทบต่อระบบการระบายน้ำในเส้นทางจราจร สร้างปัญหากับความเป็นอยู่ของประชาชนและเศรษฐกิจ การช่วยบรรเทาปัญหาทางหนึ่งคือการขยายท่อระบายน้ำได้ผิวจราจรให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อให้น้ำไหลได้สะดวก ต่อเนื่อง ท้นต่อการระบายน้ำ แต่การดำเนินการขยายขนาดท่อระบายน้ำได้ผิวจราจรต้องสร้างทางเบี่ยงการจราจรเป็นเวลานาน มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ ดังนั้นแนวคิดการใช้ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จจึงถูกนำมาใช้เพื่อลดระยะเวลาและก่อสร้างได้ตามแผนงานที่กำหนด

ระบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จเกิดขึ้นในยุโรปหลังสงครามโลกครั้งที่ 1 ช่วงปี ค.ศ.1918-1933 เนื่องจากการขาดแคลนแรงงาน โดยใช้ชิ้นส่วนขนาดเล็ก ส่วนในสหรัฐอเมริกาใช้ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยนำรถเครนและงานเชื่อมโลหะมาใช้ ทำให้ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนในประเทศไทยมีการใช้ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จเริ่มจากพื้น เสา คาน ผนังรับน้ำหนัก ท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก (พูลศักดิ์ เพียรสุขสม, 2556) จากผลการเปรียบเทียบวิธีก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำด้วยท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมแบบหล่อในที่กับแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป พบว่าแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปสามารถลดระยะเวลาก่อสร้างได้ร้อยละ 38.33 ลดค่าแรงงานได้ร้อยละ 45.83 และลดค่าวัสดุได้ร้อยละ 0.67 (ศูนย์สร้างทางและบูรณะสะพานที่ 4 สำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวง, 2555)

ท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยม ใช้วัตถุดิบสำคัญ คือ คอนกรีต เหล็กเสริม โดยผลิตภายในโรงงานก่อนแล้วขนย้ายไปติดตั้งภาคสนาม ค่าใช้จ่ายที่สำคัญของการผลิต คือ ค่าแรง และค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ขยับตัวสูงขึ้นเนื่องจากอัตราค่าจ้างขั้นต่ำ 300 บาท ซึ่งได้ประกาศให้มีผลบังคับใช้ตั้งแต่ 1 มกราคม 2556 (กระทรวงแรงงาน, 2556) และผลิตภัณฑ์เหล็กมีการขยับราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง (กระทรวงพาณิชย์, 2556) นอกจากนี้ยังสูญเสียเหล็กเสริมจากการทำงาน เช่น เศษเหล็กเหลือจากการตัด ต่อทาบ ล้วนส่งผลให้ผู้ผลิตมีกำไรลดน้อยลงหรือขาดทุน เพราะตัดเหล็กตามประสบการณ์ทำให้มีเศษเหล็กเหลือไม่สามารถนำไปใช้งานได้

กำหนดการเชิงเส้นหรือโปรแกรมเชิงเส้นตรง เป็นเทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้วางแผนเพื่อจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่จำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุดตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ถูกนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาในอุตสาหกรรม การธนาคาร การเกษตร การขนส่ง (พัชรภรณ์ เนียมมณี, 2552) โดยการนำปัญหาทรัพยากร และสมการข้อจำกัดในการปฏิบัติงานมาสู่การสร้างตัวแบบของปัญหาและวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์แล้วจึงสรุปออกมาเป็นตัวเลขเพื่อใช้ในการตัดสินใจเป็นวิธีที่แพร่หลาย (ชัยวุฒิ ชัยพันธุ์, 2539) การประยุกต์ใช้หลักการของกำหนดการเชิงเส้นเพื่อออกแบบการตัดวัสดุมีการศึกษาแรกเริ่มโดย Gilmore and Gomory (Gilmore P.C. and R.E. Gomory, 1961), (Gilmore P.C. and R.E. Gomory, 1963) โดยใช้ทฤษฎีกำหนดการเชิงเส้นในการแก้ปัญหาการตัดวัสดุมิติเดียวให้สูญเสียวัสดุน้อยที่สุด และการศึกษาเพื่อแก้ปัญหาด้านการตัดวัสดุโดยใช้กำหนดการเชิงเส้นนี้มีการศึกษาเพิ่มเติมมาโดยลำดับ (Haessler R.W., 1980), (Dyckhoff H., 1990.), (Carvalho J.M.V, 1999)

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เป็นการนำเสนอการประยุกต์ใช้กำหนดการเชิงเส้นในการวางแผนการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตท่อนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมตาม มอก. 1166-2536 ซึ่งจะเป็นผลให้ต้นทุนในการใช้ผลิตลดต่ำลง เพิ่มโอกาสการแข่งขันด้านราคาและเพิ่มผลกำไรในการทำงาน นอกจากนี้การควบคุมการสูญเสียเหล็กยังส่งผลดีต่อการลดต้นทุนและแผนการจัดซื้อเพื่อควบคุมปริมาณสินค้าคงคลังให้อยู่ในระดับเหมาะสม

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ประยุกต์ใช้กำหนดการเชิงเส้นในการวางแผนการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตท่อนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมตาม มอก. 1166-2536

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การควบคุมการสูญเสียเหล็กเสริมในการผลิตท่อนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมสำหรับงานระบายน้ำใต้ผิวจราจรมีวิธีการดำเนินงานเริ่มจากเลือกขนาดเหล็กเสริม ถอดแบบโครงสร้างหาปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้ในท่อนคอนกรีตขนาดต่าง ๆ นำข้อมูลที่ได้สร้างตัวแบบของปัญหาเพื่อใช้วิเคราะห์หาผลลัพธ์ของวิธีการตัดด้วยกำหนดการเชิงเส้น โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป WinQSB แล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์ของวิธีการตัดเหล็กเสริมด้วยกำหนด การเชิงเส้นกับรายการคำนวณตามเกณฑ์ของกรมบัญชีกลาง และข้อมูลการใช้เหล็กเสริมของโรงงาน มีรายละเอียดดังนี้

3.1 การเลือกขนาดเหล็กเสริม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1166-2536 ท่อนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมสำหรับงานระบายน้ำใต้ผิวจราจรวัสดุถมระหว่าง 0.60 ถึง 3.00 เมตร ได้กำหนดปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้สำหรับท่อนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมทั้ง 5 ขนาดดังแสดงในตารางที่ 1 นอกจากนี้ปริมาณเหล็กเสริมยังถูกควบคุมด้วยข้อกำหนดของระยะเรียง และระยะทาบ ดังนี้

(1) เหล็กเสริมตามยาว ต้องมีปริมาณเหล็กเสริมคิดเป็นพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่า 0.002 เท่าของพื้นที่หน้าตัดคอนกรีต และระยะเรียงไม่มากกว่า 200 มิลลิเมตร

(2) เหล็กเสริมตามขวาง ต้องมีปริมาณเหล็กเสริมคิดเป็นพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่าปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่แสดงในตารางที่ 1 มีระยะเรียงอยู่ระหว่าง 50 ถึง 100 มิลลิเมตร การทาบเหล็กเสริมต้องมีระยะทาบไม่น้อยกว่าระยะเรียงเหล็กเสริมตามยาวบวก 50 มิลลิเมตร โดยวัดจากเหล็กเสริมตามยาวเส้นนอกสุดของแต่ละตะแกรง

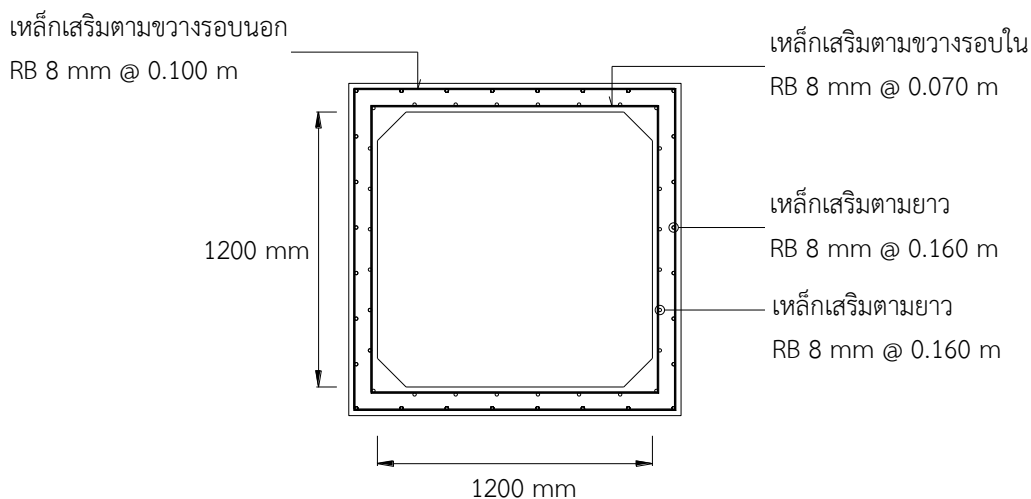
ตารางที่ 1 ขนาดและปริมาณเหล็กเสริมตามขวางของท่อนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยม

ความกว้าง ภายใน S (มม.)	ความสูง ภายใน R (มม.)	ความหนา ของผนังท่อ T (มม.)	ปริมาณเหล็กเสริมตามขวาง (ตร.มม./ม.)			
			As1	As2	As3	As4
1200	1200	125	380	640	590	250
1500	1500	150	420	740	640	300
1800	1800	175	490	830	780	360
2100	2100	200	550	890	910	400
2400	2400	200	660	1120	1100	400

จากตารางที่ 1 ท่อนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมประกอบด้วยเหล็กเสริม 3 ตำแหน่ง (ภาพที่ 1) คือ เหล็กเสริมตามขวางรอบนอกพิจารณาจากค่า As1 เหล็กเสริมตามขวางรอบในพิจารณาจากค่า As2, As3 และ As4 โดยเลือกค่า As2 เป็นค่าควบคุมปริมาณเหล็กเสริมตามขวางรอบใน และเหล็กเสริมตามยาวคำนวณได้จากสูตร $0.002BT$ (เมื่อ B คือ ระยะกว้างตามขวาง 1.00 เมตร) การเลือกใช้เหล็กเสริมตามขวางรอบนอก เหล็กเสริมตามขวางรอบใน และเหล็กเสริมตามยาว ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าแต่ผ่านข้อกำหนดควบคุม จะช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้มากกว่า ดังนั้นจึงทำการเลือกขนาดและระยะห่างเหล็กเสริมสำหรับท่อขนาดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 แล้วนำมาเขียนแบบขยายรายละเอียดโครงสร้างท่อนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมดังภาพที่ 1

ตารางที่ 2 ขนาดของเหล็กเสริมตามขวางของท่อนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยม

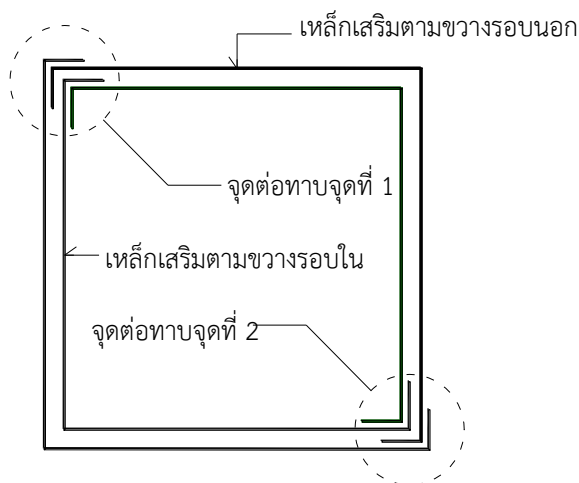
ความ กว้าง ภายใน S (มม.)	ความสูง ภายใน R (มม.)	ขนาดและระยะห่างเหล็กเสริม		
		ตามขวางรอบนอก	ตามขวางรอบใน	ตามยาว
1200	1200	8 mm @ 0.100 m	8 mm @ 0.070 m	8 mm @ 0.160 m
1500	1500	8 mm @ 0.100 m	8 mm @ 0.060 m	8 mm @ 0.160 m
1800	1800	8 mm @ 0.100 m	8 mm @ 0.060 m	8 mm @ 0.140 m
2100	2100	9 mm @ 0.100 m	9 mm @ 0.070 m	9 mm @ 0.150 m
2400	2400	10 mm @ 0.100 m	10 mm @ 0.100 m	10 mm @ 0.190 m



ภาพที่ 1 รายละเอียดท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมขนาด 1200x1200x125 มม.

3.2 การถอดแบบหาปริมาณเหล็กเสริม

การถอดแบบหาปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องใช้สำหรับการวางแผนการตัดวัสดุ โดยสำรวจจำนวนของเหล็กเสริมตามขวางรอบนอก เหล็กเสริมตามขวางรอบใน และเหล็กเสริมตามยาว จากการออกแบบใช้เหล็กเสริมตามขวางที่มีจุดต่อทาบ 2 จุด (ภาพที่ 2) แล้ววัดระยะความยาวของแต่ละชิ้นส่วนให้ละเอียดถึงหน่วยมิลลิเมตร นำข้อมูลมาจัดทำระเบียบเหล็กเสริมแต่ละชุดเพื่อแสดงรายละเอียดการตัดเหล็กเสริมออกเป็นท่อน (ตารางที่ 2)



ภาพที่ 2 การออกแบบใช้เหล็กเสริมตามขวางที่มีจุดต่อทาบ 2 จุด

ตารางที่ 3 ความยาวและปริมาณของเหล็กเสริมสำหรับท่อนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยม

ขนาด (มิลลิเมตร)	เหล็กเสริม ตามขวางรอบนอก		เหล็กเสริม ตามขวางรอบใน		เหล็กเสริมตามยาว	
	ความยาว ¹ (เมตร)	จำนวน (ท่อน)	ความยาว ¹ (เมตร)	จำนวน (ท่อน)	ความยาว (เมตร)	จำนวน (ท่อน)
1200x1200x125	3.10	20	2.80	28	0.95	56
1500x1500x150	3.80	20	3.40	32	0.95	84
1800x1800x175	4.50	20	4.00	32	0.95	116
2100x2100x200	5.20	20	4.60	28	0.95	128
2400x2400x200	5.80	20	5.20	28	0.95	112

หมายเหตุ ¹ ความยาวของเหล็กเสริมตามขวางรวมระยะทับ 2 ข้าง ๆ ละ 30 เซนติเมตร

3.3 การสร้างตัวแบบของปัญหา

ตัวแบบของปัญหาของการกำหนดการเชิงเส้นเป็นการนำข้อมูลทั้งหมดของปัญหาที่ต้องการหาลัทธิมาสร้างให้อยู่ในรูปทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วย 3 ส่วน คือสมการวัตถุประสงค์ สมการข้อจำกัด และตัวแปรไม่เป็นลบ ซึ่งการตัดเหล็กเสริมเป็นการตัดวัสดุตามความยาวแนวเดียว โดยคำนึงถึงเฉพาะช่วงความยาวในการตัดและใช้วัสดุความยาวมาตรฐาน (เหล็กเสริมความยาวมาตรฐาน 10.00 เมตร) เพื่อนำมาตัดให้ได้ขนาด ความยาว และปริมาณที่ต้องการ แล้วทำให้เกิดเศษเหลือจากการตัดวัสดุน้อยที่สุด โดยใช้เทคนิคการสร้างวิธีการตัดใหม่ เขียนเป็นกำหนดการเชิงเส้น ดังนี้

สมการวัตถุประสงค์

$$\text{Minimize } Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n \quad (1)$$

สมการข้อจำกัด

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \geq b_1 \quad (2)$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \geq b_2 \quad (3)$$

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \geq b_m \quad (4)$$

อยู่ภายใต้เงื่อนไข

$$X_1, X_2, \dots, X_n \geq 0 \quad (5)$$

โดยที่ Z คือ สมการวัตถุประสงค์

X_j คือ ทางเลือกในการตัดวัสดุ ซึ่งต้องการหาค่า; $j=1, 2, \dots, n$

C_j คือ ต้นทุนการตัดวัสดุ X_j ในสมการวัตถุประสงค์ ซึ่งมีค่าคงที่; $j=1, 2, \dots, n$

a_{ij} คือ จำนวนชิ้นของความยาวเหล็กเสริม l_i โดยวิธีการตัดที่ j

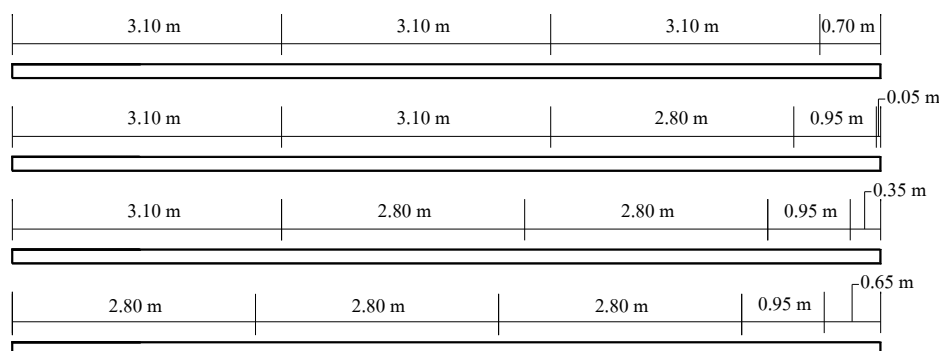
b_i คือ จำนวนเหล็กเสริมที่ต้องการของแต่ละขนาด l_i

การตัดเหล็กเสริมให้ประหยัดและมีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับสมการข้อจำกัดในการตัดวัสดุ ประกอบด้วยข้อมูลความยาวที่ต้องการ จำนวนที่ต้องการ และวิธีการตัดเหล็กเสริม โดยข้อมูล

ความยาวที่ต้องการและจำนวนที่ต้องการได้มาจากการถอดแบบหาปริมาณเหล็กเสริม ส่วนวิธีการตัดเหล็กเสริมขนาดต่าง ๆ มีแนวปฏิบัติดังนี้

(1) จัดวิธีการตัดเหล็กเสริมเป็นกลุ่ม แต่ละกลุ่มมีความยาวรวมไม่เกิน 10.00 เมตร และไม่เกินกว่าจำนวนที่ต้องการ

(2) ออกแบบวิธีการตัดเหล็กเสริมให้มีจำนวนตัวแบบของปัญหามากที่สุด โดยเลือกออกแบบวิธีการตัดเหล็กเสริมที่มีความยาวมากที่สุดในกลุ่มก่อน แล้วกระจายเศษเหล็กที่เกิดจากการตัดนั้นไปยังความยาวอื่น ๆ เช่น ต้องการเหล็กขนาด 3.10 เมตร จำนวน 20 ท่อน ออกแบบการตัดได้เป็นตัดเหล็กยาว 10.00 เมตร ได้ขนาด 3.10 เมตร จำนวน 3 ท่อน เศษเหลือ 0.70 เมตร หรือตัดเหล็กความยาว 3.10 เมตร จำนวน 2 ท่อน เหลือเศษ 3.80 เมตร ซึ่งนำเศษเหลือไปใช้กับเหล็กที่ต้องการความยาว 2.80, 0.95 เมตร ซึ่งเป็นการเพิ่มตัวแบบของปัญหาดังภาพที่ 3 ซึ่งจำนวนของวิธีการตัดเหล็กเสริมแสดงในตารางที่ 3



ภาพที่ 3 ตัวอย่างวิธีการตัดเหล็กเสริมของท่อนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมขนาด 1200x1200x125 มม.

ตารางที่ 3 จำนวนของวิธีการตัดเหล็กเสริมของท่อนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูป

ท่อนคอนกรีตเสริมเหล็ก หล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยม (มิลลิเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลาง เหล็กเสริม (มิลลิเมตร)	จำนวนของวิธีการ ตัดเหล็กเสริม (วิธี)
1200x1200x125	8	37 (X_1 ถึง X_{37})
1500x1500x150	8	28 (X_1 ถึง X_{28})
1800x1800x175	8	25 (X_1 ถึง X_{25})
2100x2100x200	9	24 (X_1 ถึง X_{24})
2400x2400x200	10	21 (X_1 ถึง X_{21})

(3) เขียนตัวแบบทางคณิตศาสตร์แทนระบบของปัญหา มีโครงสร้างที่สำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ สมการวัตถุประสงค์คือจำนวนเหล็กเสริมที่ใช้น้อยที่สุด สมการข้อจำกัดคือทางเลือกและจำนวนที่ต้องการในการตัดเหล็กเสริมแบบต่าง ๆ และตัวแปรไม่เป็นลบ ตัวอย่างการสร้างตัวแบบแทนระบบ

ของปัญหาการตัดเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร สำหรับท่อนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมขนาด 1200x1200x125 มิลลิเมตร แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัวอย่างตัวแบบของการตัดเหล็กเสริมเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร สำหรับท่อนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมขนาด 1200x1200x125 มิลลิเมตร

สมการวัตถุประสงค์	
Minimize	$1X_1+1X_2+1X_3+1X_4+1X_5+1X_6+1X_7+1X_8+1X_9+1X_{10}+1X_{11}+1X_{12}+1X_{13}$ $+1X_{14}+1X_{15}+1X_{16}+1X_{17}+1X_{18}+1X_{19}+1X_{20}+1X_{21}+1X_{22}+1X_{23}+1X_{24}+1X_{25}$ $+1X_{26}+1X_{27}+1X_{28}+1X_{29}+1X_{30}+1X_{31}+1X_{32}+1X_{33}+1X_{34}+1X_{35}+1X_{36}+1X_{37}$
สมการข้อจำกัด	
ความยาว	วิธีการตัดวัสดุ และจำนวนที่ต้องการ
3.10 เมตร	$3X_1+2X_2+2X_3+2X_4+1X_5+1X_6+1X_7+1X_8+1X_9+1X_{10}+1X_{11}+1X_{12} \geq 20$
2.80 เมตร	$1X_2+1X_3+2X_5+2X_6+1X_7+1X_8+1X_9+1X_{10}+1X_{11}+3X_{13}+3X_{14}+2X_{15}+2X_{16}$ $+2X_{17}+2X_{18}+2X_{19}+1X_{20}+1X_{21}+1X_{22}+1X_{23}+1X_{24}+1X_{25}+1X_{26}+1X_{27} \geq 28$
0.95 เมตร	$1X_2+1X_5+4X_7+3X_8+2X_9+1X_{10}+1X_{13}+4X_{15}+3X_{16}+2X_{17}+1X_{18}+7X_{20}+6X_{21}$ $+5X_{22}+4X_{23}+3X_{24}+2X_{25}+1X_{26}+10X_{28}+9X_{29}+8X_{30}+7X_{31}+6X_{32}+5X_{33}$ $+4X_{34}+3X_{35}+2X_{36}+1X_{37} \geq 56$
ตัวแปรไม่เป็นลบ	
Integer: $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19}, X_{20}, X_{21}, X_{22}, X_{23}, X_{24}, X_{25}, X_{26}, X_{27}, X_{28}, X_{29}, X_{30}, X_{31}, X_{32}, X_{33}, X_{34}, X_{35}, X_{36}, X_{37}$	

3.4 คำนวณหาจำนวนเหล็กเสริมที่ใช้ผลิตท่อนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยม

(1) คำนวณผลลัพธ์ของการตัดเหล็กเสริมกำหนดการเชิงเส้นแบบเลขจำนวนเต็มด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป WinQSB โดยป้อนข้อมูลตัวแบบของปัญหา (ตามที่ออกแบบในข้อ 3.3.3) ได้แก่ สมการวัตถุประสงค์ สมการข้อจำกัด และตัวแปรไม่เป็นลบ ลงในโปรแกรมแล้วคำนวณหาผลลัพธ์ของจำนวนและวิธีการตัดเหล็กเสริม พิจารณาข้อมูลในผลลัพธ์ เช่น จำนวนเหล็กเสริมที่ต้องการแต่ละวิธีการตัด ถ้ามีจำนวนเหล็กเสริมที่ตัดด้วยกำหนดการเชิงเส้นเกินกว่าจำนวนที่ต้องการให้ย้อนกลับไปออกแบบวิธีการตัดเหล็กเสริมใหม่ โดยเพิ่มกลุ่มการตัดเหล็กเสริมและกระจายปริมาณของเศษเหล็กไปยังความยาวตามขั้นตอนในข้อ 3.3.2 จนได้ผลลัพธ์เท่ากับจำนวนที่ต้องการและจำนวนรวมของเหล็กเสริมลดน้อยลง

(2) คำนวณหาจำนวนเหล็กเสริมของการถอดแบบตามหลักเกณฑ์ของกรมบัญชีกลาง คือ ผลรวมความยาวของเหล็กเสริมทุกขนาดคูณกับน้ำหนักเหล็กเสริมแต่ละขนาด รวมกับการเผื่อความเสียหาย แล้วหารด้วยน้ำหนักเหล็กเสริมแต่ละขนาด (การเผื่อความเสียหายเนื่องจากเหล็กเสริมต้องทาบต่อ และเสียเศษใช้งานไม่ได้ของเหล็กเสริมแต่ละขนาดสำหรับเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

8 ถึง 10 มิลลิเมตร ให้เผื่อความเสียหายเพิ่มอีกร้อยละ 7) (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2541)

(3) จำนวนเหล็กเสริมที่โรงงานใช้ในการผลิตท่อนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมเป็นข้อมูลที่ได้จากการสอบถามเจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบการวางแผนตัดเหล็กเสริม โดยเจ้าหน้าที่นำข้อมูลในตารางที่ 2 มาออกแบบวิธีการตัดเหล็กเสริมที่มีความยาวมากที่สุดในกลุ่มก่อน และกระจายเศษเหล็กที่เกิดจากการตัดนั้นไปยังความยาวอื่น ๆ แล้วคำนวณหาจำนวนเหล็กเสริมที่ใช้ในการผลิต

4. ผลการศึกษา

การวางแผนและคำนวณจำนวนเหล็กเสริมที่ใช้ในการผลิตท่อนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมขนาดต่าง ๆ โดยอาศัยกำหนดการเชิงเส้นสามารถให้ผลลัพธ์เป็นจำนวนเหล็กเสริมที่ใช้และวิธีการตัดเหล็กเสริม ดังแสดงในตารางที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบจำนวนการใช้เหล็กเสริมจากการคำนวณ 3 วิธีได้แก่ 1) การวางแผนการตัดเหล็กเสริมด้วยกำหนดการเชิงเส้น 2) การถอดแบบคำนวณปริมาณเหล็กเสริมตามหลักเกณฑ์ของกรมบัญชีกลาง และ 3) การคำนวณการใช้เหล็กเสริมของโรงงานผลิต พบว่า จำนวนเหล็กเสริมที่คำนวณได้จากกำหนดการเชิงเส้นมีปริมาณน้อยกว่าหรือเท่ากับการคำนวณอีก 2 วิธีสำหรับท่อนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมทุกขนาด ยกเว้นท่อนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมขนาด 2400x2400x20 มิลลิเมตร ที่คำนวณได้เท่ากันหรือมากกว่า ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากท่อนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมมีขนาดใหญ่ ทำให้มีจำนวนสมการข้อจำกัดน้อย การวางแผนตัดเหล็กเสริมจึงทำได้ง่าย ไม่ซับซ้อน และเมื่อพิจารณาร้อยละการลดปริมาณการใช้เหล็กเสริมเทียบกับของการใช้เหล็กเสริมของโรงงานผลิต พบว่า ลดได้ร้อยละ 0 ถึง 4.76

ตารางที่ 5 จำนวนเหล็กเสริมสำหรับท่อนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยม 1 หน่วย จากการคำนวณด้วยวิธีต่าง ๆ

ท่อนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยม (มิลลิเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม (มิลลิเมตร)	ข้อมูลเหล็กเสริมที่ใช้ในการผลิต ท่อนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยม 1 หน่วย			
		1. กำหนดการเชิงเส้น		2. การคำนวณตามหลักเกณฑ์กรมบัญชีกลาง (เส้น [%])	3. การใช้เหล็กเสริมของโรงงาน (เส้น [%])
		จำนวนวิธีที่ใช้ตัดเหล็กเสริม (วิธี)	จำนวนเหล็กเสริม (เส้น [%])		
1200x1200x125	8	4 (X ₂ , X ₁₃ , X ₂₈)	20 [95.24 %]	21 [100 %]	21 [100 %]
1500x1500x150	8	5 (X ₁ , X ₂ , X ₈ , X ₁₁ , X ₂₈)	28 [96.55 %]	29 [100 %]	29 [100 %]
1800x1800x175	8	4 (X ₁ , X ₆ , X ₈ , X ₁₆)	34 [97.14 %]	36 [102.85 %]	35 [100 %]

ตารางที่ 5 จำนวนเหล็กเสริมสำหรับท่อกอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยม 1 หน่วย จากการคำนวณด้วยวิธีต่าง ๆ (ต่อ)

ท่อกอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยม (มิลลิเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม (มิลลิเมตร)	ข้อมูลเหล็กเสริมที่ใช้ในการผลิตท่อกอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยม 1 หน่วย			
		1. กำหนดการเชิงเส้น		2. การคำนวณตามหลักเกณฑ์กรรมบัญญัติกลาง (เส้น [%])	3. การใช้เหล็กเสริมของโรงงาน (เส้น [%])
		จำนวนวิธีที่ใช้ตัดเหล็กเสริม (วิธี)	จำนวนเหล็กเสริม (เส้น [%])		
2100x2100x200	9	4 (X_1, X_8, X_{15}, X_{16})	36 [100 %]	38 [105.56 %]	36 [100 %]
2400x2400x200	10	4 (X_5, X_6, X_7, X_{11})	48 [100 %]	40 [83.33 %]	48 [100 %]

5. สรุปและอภิปรายผลการศึกษา

กำหนดการเชิงเส้นสามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการตัดเหล็กเสริม ให้มีการสูญเสียเหล็กเสริมในการผลิตท่อกอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมน้อยที่สุดได้ โดยช่วยลดจำนวนการใช้เหล็กเสริมได้สูงสุดที่ร้อยละ 4.76 เปรียบเทียบกับจำนวนการใช้เหล็กเสริมของโรงงานผลิต การออกแบบการใช้เหล็กเสริมในขั้นตอนการถอดแบบโดยเพิ่มจุดต่อทาบของเหล็กเสริมตามขวาง ช่วยเพิ่มทางเลือกวิธีการตัดวัสดุให้เพิ่มขึ้น สามารถคำนวณเพื่อวางแผนการใช้วัสดุลดลงได้ สอดคล้องกับศรายุทธ (ศรายุทธ มาลัย, 2553) รายงานว่า เมื่อจำนวนสมการข้อจำกัดมาก (จำนวนแบบหรือความยาวของวัสดุมาก) ทำให้ทางเลือกของการตัดมีมากขึ้น ใช้คำนวณเพื่อให้เกิดการสูญเสียวัสดุน้อยกว่าการตัดสินใจตัดเหล็กด้วยประสบการณ์ของผู้รับเหมา

การวางแผนหรือตัดสินใจตัดเหล็กเสริมโดยอาศัยความชำนาญหรือประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงานอาจเป็นวิธีที่สะดวกรวดเร็ว แต่ถ้าปริมาณงานมีความซับซ้อนหรือใหญ่ขึ้น การสูญเสียเหล็กเสริมที่ไม่ได้เกิดจากการวางแผนที่ดีอาจมีมูลค่าสูง ดังนั้นการวางแผนด้วยกำหนดการเชิงเส้นจึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับใช้ควบคุมการสูญเสียวัสดุ ดังที่มีรายงานการใช้วิธีการนี้เพื่อลดเศษวัสดุในโรงงานผลิตรถบรรทุกเพื่อการเกษตร (Ritvirool A., 2007) และวางแผนการตัดเหล็กแผ่นสำหรับการก่อสร้างอาคารหอประชุมใหญ่ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง (ศรายุทธ มาลัย, 2555)

6. บรรณานุกรม

กระทรวงพาณิชย์. (2556). ดัชนีวัสดุก่อสร้าง ปี 2555. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา :

http://www.indexpr.moc.go.th/price_present/csi/data/index_47.asp?list_month=12&list_year=2555, เข้าดูเมื่อวันที่ 30/01/2556.

กระทรวงแรงงาน. (2556). อัตราค่าจ้างขั้นต่ำ. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา :

http://www.mol.go.th/employee/interesting_information/4131, เข้าดูเมื่อวันที่ 31/01/2556.

- ชัยวุฒิ ชัยพันธุ์. (2539). การวิจัยขั้นตอนการ ทฤษฎีและปฏิบัติพร้อมด้วยโปรแกรมภาษาเบสิก. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พัชรารณณ์ เนียมมณี. (2552). ตัวแบบการจัดสรรทรัพยากร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ไทยพัฒนารายวันการพิมพ์.
- พูลศักดิ์ เพียรสุสม. (2556). ระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป, การประชุมสัมมนาเรื่องการออกแบบและก่อสร้างอาคารด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป รุ่นที่ 5. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2541). แนวทางการวัดปริมาณงานก่อสร้างอาคาร ในส่วนของงานโครงสร้างและงานสถาปัตยกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ม.ป.ท.
- ศูนย์สร้างและบูรณะสะพานที่ 4 สำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวง. (2555). การก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำ (Box Culvert) ด้วยวิธีใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Precast). [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา : www.doh.go.th/.../KM%20ศูนย์สะพานที่%204%20.pdf, เข้าดูเมื่อวันที่ 1/12/2555.
- ศรายุทธ มาลัย. (2553). การประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงสำหรับการควบคุมการตัดเหล็กรูปพรรณ, วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, 21(3), หน้า 25-34.
- _____. (2555). การวางแผนการตัดเหล็กแผ่นด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนเต็ม, วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร. 20(1), หน้า 33-40.
- Carvalho, J.M.V. (1999). Exact solution of cutting stock problems using column-generation and branch and bound, **Annals of Operations Research, Vol.86**, pp.629-659.
- Dyckhoff, H. (1990). A typology of cutting and packing problems, **European Journal of Operational Research, Vol.44**, pp.145-159.
- Gilmore, P.C. and R.E. Gomory. (1961). A linear programming approach to the cutting-stock problem, **Operations Research, Vol.9**, pp.849-859.
- _____. (1963). A linear programming approach to the cutting-stock problem: Part II, **Operations Research, Vol.11**, pp.863-888.
- Haessler, R.W. (1980). A note on computational modification to the Gilmore-Gomory cutting stock problem, **Operations Research, Vol.28**, pp.1001-1005.
- Ritvirool, A. (2007). A trim-loss minimization in a produce-handling vehicle production plant, **Songklanakarin Journal of Science and Technology, Vol.29**, pp.157-164.