สำนักหอสมุด

สัญญาเลขที่ R2559C087

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ วิธีการตัดเหล็กเสริมเพื่อลดปริมาณเศษเหล็ก สำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล

คณะผู้วิจัย สังกัด

1. รองศาสตราจารย์ศรีวรรณ ฤกษ์ภูริทัต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศรายุทธ มาลัย คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 2
เลขทะเบียน TH
เลขเรียกหนังสือ 2245
ฟ245ร
2559

สนับสนุนโดย
งบประมาณรายได้มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีงบประมาณ 2559

บทสรุปผู้บริหาร

อุตสาหกรรมการก่อสร้างเป็นอุตสาหกรรมหลักและมีความสำคัญในการพัฒนาประเทศ ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีเศรษฐกิจใหญ่อันดับสองในภูมิภาคเอเชีย มูลค่าการก่อสร้างในปี ค.ศ. 2016 มีค่า 41.3 พันล้านดอลล่าร์ หรือประมาณ 1,400 พันล้านบาท ซึ่งแยกเป็นงานเอกชนมูลค่า 17.9 พันล้านดอลล่าร์ หรือประมาณ 607 พันล้านบาท และเป็นงานราชการมูลค่า 23.4 พันล้านดอลล่าร์หรือประมาณ 793 พันล้านบาท กล่าวได้ว่าอุตสาหกรรมก่อสร้างมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของประเทศ ขบวนการก่อสร้างโดยวิธีติดตั้งไม้แบบ ผูกเหล็ก แล้วเทคอนกรีตในหน่วยงานก่อสร้างเป็นวิธีการเก่าที่ไม่ประหยัด เนื่องจากเกิดวัสดุเสียหายมากและค่าแรงงานสูง ด้วยเหตุนี้ทำให้ขบวนการก่อสร้างแบบใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นที่นิยมและมีบทบาทมากขึ้น ขบวนการเริ่มจากการผลิตชิ้นส่วนโครงสร้างต่างๆ ในโรงงาน แล้วขนส่งไปยังหน่วยงานซึ่งเป็นสถานที่ก่อสร้าง ทำการประกอบติดตั้งในตำแหน่งที่ต้องการ ด้วยวิธีการเช่นนี้ทำให้เกิดความง่ายต่อการควบคุมคุณภาพและประสิทธิภาพในการก่อสร้าง ช่วยประหยัดค่าแรงงานและสามารถควบคุมปริมาณวัสดุเสียหายจากการก่อสร้าง เหล็กเสริมในคอนกรีตทั่วไปเป็นเหล็กเส้นกลม ความยาวมาตรฐาน 10 ม. และ เหล็กเส้นข้ออ้อย ความยาวมาตรฐาน 10 ม. และ 12 ม. การก่อสร้างจำเป็นต้องตัดเหล็กจากความยาวมาตรฐานให้ได้ความยาวที่ต้องการใช้งาน ทำให้มีเศษเหล็กเกิดจากการตัด การวิจัยครั้งนี้เน้นการลดเศษเหล็กที่ตัดจากเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อยที่ใช้ในการผลิตกำแพงกันดินสำเร็จรูปที่มีรูปทรงเป็นตัวแอล (L) มีความหนา 0.15 ม. กว้าง 1.20 ม. สูง 1.40 ม. ยาว 1.00 ม. ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป ของบริษัท พี.เอ. คอนกรีต จำกัด อำเภอเมืองลำปาง จังหวัดลำปาง ใช้สำหรับต้านทานการพังทลายทางด้านข้างของดินหรือแรงดันทางด้านข้างของของไหล และต้านทานแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักกดทับจากผิวบน เหมาะสมกับบ้านพักอาศัย โรงงาน ปั้มน้ำมัน และหมู่บ้านจัดสรร การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หาวิธีการตัดเหล็กเสริมให้มีเศษเหล็กน้อยที่สุดในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มใช้ในการวิเคราะห์หาวิธีการตัดเหล็กเสริมให้มีเศษเหล็กน้อยที่สุด และจัดทำคู่มือการตัดเหล็กเสริมในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ให้ผู้ผลิตใช้งานเพื่อลดเศษเหล็กในโรงงาน

ขั้นตอนดำเนินงานในการศึกษาการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลจำนวน 1 ถึง 200 แท่ง เริ่มจากดำเนินการถอดแบบรายการเหล็กเสริมในกำแพงกันดิน เก็บรวมรวมข้อมูล จัดหมู่วิธีการตัดเหล็กเสริม สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม และวิเคราะห์ข้อมูล

ขั้นตอนที่ 1 การถอดแบบรายการเหล็กเสริมในกำแพงกันดิน

ศึกษารายละเอียดจากแบบกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ได้ข้อมูล ชนิด ขนาด ความยาว และจำนวน ของเหล็กเสริม โดยในการผลิตกำแพงกันดินหนึ่งแห่งใช้เหล็กเส้นกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. ความยาว 0.95 ม. จำนวน 22 ท่อน และความยาว 2.50 ม.จำนวน 5 ท่อน และใช้เหล็กเส้นข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. ความยาว 2.70 ม. จำนวน 5 ท่อน

ขั้นตอนที่ 2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลจำนวน 1 – 200 แห่ง ในการผลิตกำแพงกันดิน 1 แห่ง ใช้เหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. ความยาว 0.95 ม. จำนวน 22 ท่อน และความยาว 2.50 ม.จำนวน 5 ท่อน และใช้เหล็กเส้นข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. ความยาว 2.70 ม. จำนวน 5 ท่อน เก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนท่อนของเหล็กเส้นกลมและเหล็กเส้นข้ออ้อยที่มีความยาวตามการใช้งาน ในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลจำนวน 2 – 200 แห่ง จะเป็นจำนวนทวีคูณของจำนวนการผลิต

ขั้นตอนที่ 3 การจัดหมู่วิธีการตัดเหล็กเสริม

การจัดหมู่วิธีการตัดเหล็กเสริมทั้งหมดที่เป็นไปได้ สำหรับเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. ที่มีความยาวมาตรฐาน 10 ม. ให้ได้ความยาว 0.95 ม. และความยาว 2.70 ม. ได้หมู่วิธีทั้งหมดที่เป็นไปได้จำนวน 28 วิธี สำหรับเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง10 มม. ความยาวมาตรฐาน 10 ม. นำมาตัดให้ได้ความยาว 2.70 ม. ได้หมู่วิธีทั้งหมดที่เป็นไปได้จำนวน 3 วิธี เหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. ความยาวมาตรฐาน 12 ม. นำมาตัดให้ได้ความยาว 2.70 ม. ได้หมู่วิธีทั้งหมดที่เป็นไปได้จำนวน 4 วิธี

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม

การสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม มีจุดประสงค์เพื่อให้เศษเหล็กรวมน้อยที่สุด อาศัยข้อมูลจากขั้นตอนที่ 1 – 3 ประกอบด้วยข้อมูล ประเภทของเหล็ก ขนาดความยาว และจำนวนของเหล็กเสริมที่ต้องการตัดเพื่อใช้งาน รูปแบบมาตรฐานทั่วไปของตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม มีดังนี้

การตัดเหล็กเส้นที่มีความยาวมาตรฐาน ให้มีขนาดความยาว l_i ม. เป็นจำนวน q_i ท่อน ตามความต้องการใช้งาน โดย i= 1, 2, ..., m

สำหรับเหล็กเส้นกลม RB6 มม. ความยาวมาตรฐาน 10 ม.

$$\max_{1 \le i \le m} \le 10$$

กำหนดให้

Z คือ ผลรวมทั้งหมดของเศษเหล็กจากการตัด

a_{ij} คือ จำนวนท่อนเหล็กกลมที่มีขนาดความยาว l_i ซึ่งตัดโดยวิธีที่ j

x_j คือ จำนวนเส้นเหล็กกลมขนาดมาตรฐาน 10 ม. ที่ใช้ตัดโดยวิธีที่ j

q_i คือ จำนวนท่อนเหล็กกลมที่มีขนาดความยาว l_i

c_j คือ ความยาวเศษเหล็กจากการตัดเหล็กกลมขนาดมาตรฐาน 10 ม. โดยวิธีที่ j

ฟังก์ชันจุดประสงค์

$$\text{Minimize } Z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j$$

ข้อจำกัด

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j = q_i$$

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

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

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

สำหรับเหล็กข้ออ้อย DB10 มม. ความยาวมาตรฐาน 10 ม.

$$\max_{1 \leq i \leq m} \leq 10$$

สำหรับเหล็กข้ออ้อย DB10 มม. ความยาวมาตรฐาน 12 ม.

$$\max_{1 \leq i \leq m} \leq 12$$

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

$$\text{Minimize } Z = \sum_{j=1}^{n} c_{Aj} X_{Aj} + \sum_{j=1}^{n'} c_{Bj} X_{Bj}$$

ข้อจำกัด

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} X_{Aj} + \sum_{j=1}^{n'} a_{ij} X_{Bj} = q_i$$

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

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

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

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

ขั้นตอนที่5 การวิเคราะห์ข้อมูล

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

ผลการวิจัย

การผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลที่เกิดเศษเหล็กน้อยที่สุด จากการศึกษาการผลิตจำนวน 1 ถึง 200 แท่ง ผลการวิจัยสรุปได้ว่า การผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตที่มีจำนวนวิธีการตัดเหล็กและปริมาณเศษเหล็กน้อยที่สุดคือ การผลิตจำนวน 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 และ 200 แท่ง ซึ่งให้ผลเหมือนกัน คือ มี 2 วิธี ในการตัดเหล็กเส้นกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. ความยาวมาตรฐาน 10 ม. ให้ได้เหล็กยาว 0.95 ม. และ 2.50 ม. และมี 1 วิธี ในการตัดเหล็กข้ออ้อย เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. ความยาวมาตรฐาน 12 ม. ให้ได้เหล็กยาว 2.70 ม. จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณเศษเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อย คิดเป็นร้อยละ 3.29 และ 11.11 ตามลำดับ

ประโยชน์จากการวิจัย

ผู้วิจัยได้จัดทำคู่มือการตัดเหล็กเสริมในการผลิตกำแพงกันดินมอบให้บริษัท พีเอ คอนกรีต จำกัด ซึ่งเป็นผู้ผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป บริษัทผู้ผลิตได้นำคู่มือไปใช้งานและแจ้งให้มหาวิทยาลัยนเรศวรทราบว่า ผลการใช้คู่มือการตัดเหล็กเสริมนั้นเป็นที่น่าพอใจอย่างยิ่ง ทำให้บริษัทสามารถบริหารจัดการในเรื่องการจัดซื้อและการปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดปริมาณเศษเหล็กได้ นับเป็นผลงานวิจัยที่มีประโยชน์ต่อบริษัท

ชื่อเรื่อง	วิธีการตัดเหล็กเสริมเพื่อลดปริมาณเศษเหล็ก สำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล
ผู้วิจัย	ศรีวรรณ ฤกษ์ภูริทัต ศรายุทธ มาลัย
ประเภทสารนิพนธ์	งานวิจัย สนับสนุนโดยงบประมาณรายได้มหาวิทยาลัยนเรศวร ปีงบประมาณ 2559
คำสำคัญ	เหล็กเสริม, ลดปริมาณเศษเหล็ก, กำแพงกันดินคอนกรีต หล่อสำเร็จรูปตัวแอล

บทคัดย่อ

การวิจัย เรื่อง วิธีการตัดเหล็กเสริมเพื่อลดปริมาณเศษเหล็ก สำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มเพื่อหาวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ให้เหลือเศษเหล็กน้อยที่สุด และวิเคราะห์หาผลลัพธ์ กำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล มีความหนา 0.15 เมตร ความกว้าง 1.20 เมตร ความสูง 1.40 เมตร เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท พี.เอ. คอนกรีต จังหวัดลำปาง การผลิตกำแพงกันดินจำนวน 1 ถึง 200 แท่ง ใช้เหล็กเส้นกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร มีวิธีการตัดรวม 18 วิธี ให้ได้ขนาดความยาว 2.50 เมตร และ 0.95 เมตร ตามความต้องการใช้งาน โดยมีเศษเหล็กร้อยละ 3.29 ถึง 9.78 ของปริมาณเหล็กเส้นกลมที่ใช้งาน และใช้เหล็กข้ออ้อยเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร และ 12 เมตร มีวิธีการตัด 2 วิธี และ 1 วิธี ตามลำดับ ให้ได้ขนาดความยาว 2.70 เมตร ตามความต้องการใช้งาน โดยมีเศษเหล็กร้อยละ 11.03 ถึง 18.52 ของปริมาณเหล็กข้ออ้อยที่ใช้งาน

การผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลช่วงจำนวน 1 ถึง 200 แท่ง ให้ประหยัด สะดวก และง่ายต่อการปฏิบัติงาน โดยใช้เกณฑ์ มีร้อยละของเศษเหล็กน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับปริมาณเหล็กที่ใช้งาน และมีจำนวนวิธีในการตัดเหล็กน้อยที่สุด ควรทำการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตจำนวน 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 และ 200 แท่ง โดยใช้เหล็กเส้นกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร มีวิธีการตัด 2 วิธี ให้ได้ขนาดความยาว 2.50 เมตร และ 0.95 เมตร ตามความต้องการใช้งาน โดยมีเศษเหล็กร้อยละ 3.29 ของปริมาณเหล็กเส้นกลมที่ใช้งาน และใช้เหล็กข้ออ้อยเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร มีวิธีการตัด 1 วิธี ให้ได้ขนาดความยาว 2.70 เมตร ตามความต้องการใช้งาน โดยมีเศษเหล็กร้อยละ 11.11 ของปริมาณเหล็กข้ออ้อยที่ใช้งาน

Title	REINFORCING STEEL CUTTING METHODS TO MINIMIZE TRIM LOSS STEEL FOR PRECAST CONCRETE L-SHAPE RETAINING WALL PRODUCTION.
Author	Srivan Rurkpuritat, Sarayut Malai.
Keywords	Reinforcing Steel, Minimize Trim Loss Steel, Precast Concrete l-shape Retaining Wall

ABSTRACT

The research "REINFORCING STEEL CUTTING METHODS TO MINIMIZE TRIM LOSS STEEL FOR PRECAST CONCRETE L-SHAPE RETAINING WALL PRODUCTION" has the objective of formulating a mathematical Integer Linear Programming model to find the optimum reinforcing steel cutting method that would minimize loss of steel during trimming process for precast concrete L-shape retaining wall production. The precast concrete L-shape retaining wall with 0.15 metre thickness, 1.20 metre width and 1 .40 metre height is the product of PA company, Lumpang province. The production of L-shape retaining wall 1 – 200 items : using 6 millimetre diameter, standard 6 metre length round bar steel cutting in 18 various ways which provide the piece length of 2.50 and 0.95 metre with an optimum trim loss steel 3.29% to 9.78% of used round bar steel and using 10 millimetre diameter, standard 10 and 12 metre length deformed bar steel cutting in various 2 ways and 1 way respectively which provide the piece length of 2.70 metre with and optimum trim loss steel 11.03% to 18.52% of used deformed bar steel.

To produce precast concrete L-shape retaining wall in the range of 1 – 200 items which economical and easy to operate with the criteria of minimal percentage of trim loss steel compared to the amount of used steel and minimal number of ways in steel cutting, it is recommended to produce 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 and 200 items by using 6 millimetre diameter, standard 6 metre length round bar steel cutting in 2 various ways which provide the piece length of 2.50 and 0.95 metre with an optimum trim loss steel 3.29% and 10 millimetre diameter, standard 12 metre length deformed bar steel cutting 1 ways which provide the piece length of 2.70 metre with and optimum trim loss steel 11.11%

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	ความเป็นมาของปัญหา	1
	จุดมุ่งหมายของการวิจัย	3
	ขอบเขตของงานวิจัย	3
	นิยามศัพท์เฉพาะ	3
	ทฤษฎีและกรอบแนวความคิดของการวิจัย	3
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
	กำแพงกันดิน	7
	การพิจารณาเลือกใช้ชนิดและรูปแบบของกำแพงกันดิน	8
	เหล็กเสริม	10
	เหล็กเส้นกลม	11
	เหล็กข้ออ้อย	13
	ระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป	15
	การงอเหล็กเสริม	17
	ระยะคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กเสริม	18
	การต่อเหล็กเสริม	19
	การเผื่อเหล็กเสริม	20
	เหล็กเสริมในกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล	21
	กำหนดการเชิงเส้น	22
	ปัญหาการตัดแบ่งวัสดุหนึ่งมิติ	28
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31
3	วิธีดำเนินงานวิจัย	36
	การถอดแบบรายการเหล็กเสริมกำแพงกันดิน	36
	การเก็บรวบรวมข้อมูล	38
	การจัดหมู่วิธีการตัดเหล็กเสริม	46

บทที่		หน้า
	ตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม	48
	การวิเคราะห์ข้อมูล	52
4	ผลการวิจัย	53
	ตอนที่ 1 วิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีต หล่อสำเร็จรูปตัวแอล จำนวน 1 ถึง 200 แท่ง	53
	ตอนที่ 2 จำนวนการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลเหมาะที่สุด สำหรับช่วงการผลิต 1 ถึง 200 แท่ง	59
5	บทสรุป	65
	สรุปผลการวิจัย	65
	อภิปรายผล	66
	ข้อเสนอแนะ	67
	บรรณานุกรม	68
	ภาคผนวก	72
	ภาคผนวก ก บทความสำหรับการเผยแพร่	73
	ภาคผนวก ข กิจกรรมเกี่ยวข้องกับการนำผลจากโครงการไปใช้ประโยชน์	87
	ประวัติผู้วิจัย	90

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	แสดงขนาดระบุและมวลระบุของเหล็กเส้นกลมตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 20-2543	12
2	แสดงคุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นกลมตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 20-2543	13
3	แสดงขนาดระบุและมวลระบุของเหล็กข้ออ้อยตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 24-2548	14
4	แสดงคุณสมบัติทางกลของเหล็กข้ออ้อยตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 24-2548	15
5	แสดงขนาดรัศมีภายในที่เล็กที่สุดของวงโค้งที่ดัดของเหล็กเสริมขนาดต่าง ๆ	17
6	แสดงร้อยละของการเผื่อเหล็กเสริม	21
7	แสดงจำนวนเหล็กเสริมที่ต้องการใช้งาน จำแนกตามจำนวนผลิตกำแพงกันดินคอนกรีต ชนิด และขนาดความยาวของเหล็กเสริม	38
8	แสดงการจัดหมู่วิธีการตัดเหล็กเส้นกลม RB6 mm. ที่มีความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ความยาว 2.50 และ 0.95 เมตร	46
9	แสดงการจัดหมู่วิธีการตัดเหล็กข้ออ้อย DB10 mm. ที่มีความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ความยาว 2.70 เมตร	47
10	แสดงการจัดหมู่วิธีการตัดเหล็กข้ออ้อย DB10 mm. ที่มีความยาวมาตรฐาน 12 เมตร ให้ได้ความยาว 2.70 เมตร	48
11	แสดงวิธีการตัดเหล็กเส้นกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร (RB 6 mm SR 24) ที่มีความยาวมาตรฐาน 10 เมตร	54
12	แสดงวิธีการตัดเหล็กข้ออ้อยเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร (DB 10 mm SD 30) ที่มีความยาวมาตรฐาน 10 เมตร	57
13	แสดงวิธีการตัดเหล็กข้ออ้อยเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร (DB 10 mm SD 30) ที่มีความยาวมาตรฐาน 12 เมตร	58
14	แสดงวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 20 แท่ง	59
15	แสดงวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 40 แท่ง	60
16	แสดงวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 60 แท่ง	60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
17	แสดงวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 80 แท่ง.....	61
18	แสดงวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 100 แท่ง.....	61
19	แสดงวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 120 แท่ง.....	62
20	แสดงวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 140 แท่ง.....	62
21	แสดงวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 160 แท่ง.....	63
22	แสดงวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 180 แท่ง.....	63
23	แสดงวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 200 แท่ง.....	64

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1	แสดงกำแพงกันดิน : (ก) gravity wall (ข) cantilever wall (ค) counterfort wall	8
2	แสดงตัวอย่าง gravity wall	9
3	แสดงตัวอย่าง cantilever wall	9
4	แสดงตัวอย่าง counterfort wall	10
5	แสดงเครื่องหมายมาตรฐานบังคับสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีพระราชกฤษฎีกากำหนดให้เป็นไปตามมาตรฐาน	11
6	แสดงตัวอย่างเหล็กเส้นกลม RB 9 mm SR 24	11
7	แสดงตัวอย่างเหล็กข้ออ้อย DB 20 mm SD 30	13
8	แสดงตัวอย่างการขนย้ายกำแพงกันดินหล่อสำเร็จรูปตัวแอลด้วยรถเครน	16
9	แสดงตัวอย่างการติดตั้งกำแพงกันดินหล่อสำเร็จรูปตัวแอลภาคสนาม	16
10	แสดงการงอเหล็กเสริมตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ : (ก) งอมุมฉาก (ข) งอครึ่งวงกลม (ค) งอมุมแหลมของเหล็กลูกตั้ง (ง) งอมุมฉากของเหล็กลูกตั้ง	18
11	แสดงผนังและฐานรากของกำแพงกันดินหล่อสำเร็จรูปตัวแอล	22
12	แสดงลักษณะทั่วไปของปัญหาการตัดแบ่งวัสดุหนึ่งมิติ	28
13	แสดงแบบกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล	37
14	แสดงรายละเอียดขนาดความยาวเหล็กเสริมในกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล : (ก) RB 6 mm SR 24 ขนาดความยาว 0.95 เมตร (ข) RB 6 mm SR 24 ขนาดความยาว 2.50 เมตร (ค) DB 10 mm SD 30 ขนาดความยาว 2.70 เมตร	37

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาของปัญหา

อุตสาหกรรมก่อสร้างนับเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมพื้นฐานที่มีความสำคัญในการพัฒนาประเทศ ไม่ว่าจะเป็นการสร้างที่อยู่อาศัย โรงงาน ถนน สะพาน ฯลฯ และมีความเชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมเหล็ก อุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น ในภาวะที่ประเทศต้องเผชิญกับวิกฤตเศรษฐกิจ รัฐบาลเกือบทุกประเทศจะใช้อุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นกลไกสำคัญในการอัดฉีดเงินงบประมาณเพื่อกระตุ้นเศรษฐกิจ ในสภาวะปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาขาดแคลนแรงงานในหน้างานก่อสร้าง และขาดแคลนแรงงานที่มีคุณภาพ ปัญหาอัตราค่าแรงงานสูงขึ้น ส่งผลให้ระบบการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast Concrete Construction) เข้ามามีบทบาทสำคัญในวงการอุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยวิธีการหล่อชิ้นส่วนต่าง ๆ ขึ้นมาก่อน แล้วค่อยนำมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นโครงสร้างในภายหลัง ซึ่งการหล่อชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปมี 2 รูปแบบ คือ การหล่อในที่ (Site Cast) และการหล่อในโรงงาน (Plant Cast) โดยการหล่อในที่มีข้อดีกว่าการหล่อในโรงงานในเรื่องของขนาดของชิ้นส่วนที่สามารถทำให้ได้ขนาดใหญ่กว่าในโรงงานเพราะไม่ต้องคำนึงถึงเรื่องของการลำเลียงขนส่งชิ้นส่วนเหล่านั้นมายังสถานที่ก่อสร้าง แต่ต้องคำนึงถึงกำลังของเครนในการยกชิ้นส่วนประกอบและติดตั้ง ส่วนการหล่อในโรงงานมีข้อดีที่ง่ายต่อการควบคุมคุณภาพและลดต้นทุนการผลิต โดยชิ้นส่วนสำเร็จรูปต่าง ๆ จะถูกหล่อภายในโรงงานก่อนที่จะถูกยกและขนส่งไปยังสถานที่ก่อสร้างโดยทางรถยนต์เป็นหลัก ซึ่งขนาดของชิ้นงานก็จะถูกจำกัดด้วยกฎหมายจราจรของแต่ละประเทศ (เฉลิมชัย วัฒนล้ำเลิศ และ สมนึก ตั้งเติมสิริกุล, 2554) การออกแบบชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปเหมือนกับการออกแบบอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่หล่อในที่โดยวิเคราะห์โครงสร้างให้สอดคล้องกับรูปแบบรอยต่อที่ใช้ (พูลศักดิ์ เพียรสุสม, 2555) ซึ่งเหล็กเสริมที่ใช้ในงานชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปมีลักษณะทางกายภาพเป็นเส้นกลมมีทั้งผิวเรียบและผิวไม่เรียบแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ เหล็กเส้นกลม (Round Bar) และ เหล็กข้ออ้อย (Deformed Bar) โดยเหล็กเสริมคอนกรีตที่จำหน่ายในท้องตลาดโดยทั่วไปมีหลายขนาดตามเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยเหล็กเส้นกลมจะมีขนาดความยาวมาตรฐาน 10 เมตร เหล็กข้ออ้อยมีขนาดความยาวมาตรฐาน 10 เมตร และ 12 เมตร ปัจจุบันในประเทศไทยมีโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปมากมายทั้งในกรุงเทพมหานครและต่างจังหวัด จึงเกิดการแข่งขันทั้งด้านต้นทุน คุณภาพ และเวลาที่ใช้ในการผลิต การวางแผนและบริหารจัดการปัญหาการนำเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่มีขนาดความยาวมาตรฐาน ตัดให้ได้ขนาดความยาวตามความต้องการใช้งานในการผลิต และทำให้เกิดปัญหาการสูญเสียเศษเหล็กจากการตัดน้อย

ที่สุด ซึ่งเป็นปัญหาที่ความสำคัญมีผลกระทบต่อต้นทุนในการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูป

Leonid Vitaliyevich Kantorovich (1960, pp. 366-422) เป็นผู้ริเริ่มปัญหาการตัดวัสดุ กล่าวถึงวิธีการทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับการจัดระบบและการวางแผนการผลิต โดยมีปัญหาวัสดุที่ใช้ในวงการอุตสาหกรรมและวงการก่อสร้างซึ่งรูปร่างลักษณะเป็นท่อนยาวมาตรฐาน เช่น ม้วนกระดาษ เหล็กเส้น เมื่อนำมาใช้งานจะต้องตัดให้มีขนาดความยาวตามความต้องการใช้งานโดยให้เกิดการสูญเสียเศษวัสดุจากการตัดน้อยที่สุด Harald Dyckhoff (1990, pp. 145-159) กล่าวถึงโครงสร้างตรรกพื้นฐานของรูปแบบวิธีการตัดวัสดุมิติเดียว ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญของปัญหาการตัดวัสดุ Gilmore และ Gomory (1961, pp. 849-859) เป็นผู้ริเริ่มในการหาวิธีการแก้ปัญหาการตัดวัสดุโดยวิธีการสร้างรูปแบบการตัด (Pattern Generation Technique) ในการแก้ปัญหาการตัดวัสดุมิติเดียวให้สูญเสียเศษวัสดุต่ำที่สุด โดยใช้ทฤษฎีกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming) ต่อมา Gilmore และ Gomory (1963, pp. 863-888) ได้เพิ่มเติมวิธีการแก้ปัญหาการตัดวัสดุมิติเดียวให้สูญเสียเศษวัสดุต่ำที่สุด โดยทฤษฎีกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม สำหรับปัญหาที่มีรูปแบบการตัดวัสดุค่อนข้างมาก Salem, O., Shahin, A., และ Khalifa, Y. (2007, pp. 982-992) ได้ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการตัดเหล็กเสริมให้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุดโดยใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม วีระยุทธ นิรันดร์วัฒนาเดชา (2553) ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้างเพื่อลดปริมาณเศษเหล็ก โดยพิจารณาจากการตัดเหล็กเส้นให้เหมาะสมกับรูปแบบการใช้งาน และก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด นิลวัฒน์ พัฒนพงษ์ (2556) ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง การควบคุมการสูญเสียเหล็กเสริมในการผลิตท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมสำหรับงานระบายน้ำใต้ผิวจราจร โดยประยุกต์ใช้กำหนดการเชิงเส้นในการวางแผนตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยม สำหรับปัญหาการตัดเหล็กเสริมคอนกรีตที่มีขนาดความยาวมาตรฐานนับได้ว่าเป็นปัญหาการตัดวัสดุมิติเดียวเช่นเดียวกัน

จากการแข่งขันในวงการธุรกิจโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป และเพื่อการควบคุมต้นทุนในการผลิต โดยการวางแผน และบริหารจัดการ การสูญเสียเศษเหล็กให้น้อยที่สุดจากการตัดเหล็กเสริมคอนกรีต ซึ่งเป็นปัญหาที่ความสำคัญมีผลกระทบต่อต้นทุนในการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูป คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจทำการศึกษา วิธีการตัดเหล็กเสริมเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป ของบริษัท พี.เอ. คอนกรีต จำกัด อำเภอเมืองลำปาง จังหวัดลำปาง ใช้สำหรับต้านทานการพังทลายทางด้านข้างของดินหรือแรงดันทางด้านข้างของของไหล และต้านทานแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักกดทับจากผิวบน เหมาะสมกับบ้านพักอาศัย โรงงาน ปั๊มน้ำมัน และหมู่บ้านจัดสรร

จุดมุ่งหมายของการวิจัย

สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มเพื่อหาวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ให้เหลือเศษเหล็กน้อยที่สุด และวิเคราะห์หาผลลัพธ์

ขอบเขตของงานวิจัย

วิธีการตัดเหล็กเสริมเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ใช้กรณีศึกษาแบบกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท พี.เอ. คอนกรีต จำกัด อำเภอเมืองลำปาง จังหวัดลำปาง

นิยามศัพท์เฉพาะ

เหล็กเสริม หมายถึง เหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อยที่ใช้ในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล

เศษเหล็ก หมายถึง เศษชิ้นส่วนของเหล็กเสริมซึ่งเหลือจากการตัดเหล็กเส้นกลมที่มีความยาวมาตรฐาน 10 เมตร เหล็กข้ออ้อยที่มีความยาวมาตรฐาน 10 และ 12 เมตร ให้มีขนาดความยาวตามความต้องการใช้งาน

กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม หมายถึง ตัวแบบคณิตศาสตร์ใช้ในการวิเคราะห์หาวิธีการตัดเหล็กเสริมให้มีขนาดความยาวและจำนวนตามความต้องการใช้งาน โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้เหลือเศษเหล็กจากการตัดน้อยที่สุด

ทฤษฎีและกรอบแนวความคิดของการวิจัย

เหล็กเสริมที่นำมาใช้ในงานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก คือ เหล็กกล้าละมุน หรือเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมีกรรมวิธีผลิตแบบรีดร้อน หมายถึง รีดเหล็กเป็นเส้นตรงในขณะที่เหล็กยังมีอุณหภูมิสูงมากเนื่องจากต้องการให้เหล็กมีคุณสมบัติในการรับแรงดึง แรงอัด แรงเฉือน และแรงยึดเหนี่ยวได้ดี ซึ่งเหล็กเสริมที่ใช้ในงานก่อสร้างต้องเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานตามพระราชกฤษฎีกาผ่านการตรวจสอบจากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และแสดงเครื่องหมายผลิตภัณฑ์ว่ามีคุณภาพได้มาตรฐานที่กำหนด (เครื่องหมายมาตรฐานบังคับ) มี 2 เลขที่ คือ เลขที่ มอก. 20-2543 เหล็กเส้นกลม และเลขที่ มอก. 24-2548 เหล็กข้ออ้อย

เหล็กเส้นกลม เป็นเหล็กเสริมที่มีลักษณะหน้าตัดกลม ผิวเรียบตลอดความยาว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ถึง 34 มิลลิเมตร มีชั้นคุณภาพเดียว คือ SR 24 หมายความถึงกำลังต้านทานต่อแรงดึงที่จุดครากของเหล็กเส้นกลมไม่น้อยกว่า 2,400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มี

ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ส่วนการเรียกชื่อขนาดของเหล็กเส้นกลมใช้สัญลักษณ์ RB ตามด้วยตัวเลขที่แสดงถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นมิลลิเมตร และชั้นคุณภาพ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2543) เช่น

RB 6 mm SR 24 คือเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ที่มีกำลังต้านทานต่อแรงดึงที่จุดครากไม่น้อยกว่า 2,400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

RB 9 mm SR 24 คือเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร ที่มีกำลังต้านทานต่อแรงดึงที่จุดครากไม่น้อยกว่า 2,400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

RB 12 mm SR 24 คือเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ที่มีกำลังต้านทานต่อแรงดึงที่จุดครากไม่น้อยกว่า 2,400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เหล็กข้ออ้อย เป็นเหล็กเสริมที่มีลักษณะหน้าตัดกลม แต่ที่ผิวตามแนวยาวมีครีบและปั้งตลอดความยาวเพื่อเพิ่มกำลังยึดระหว่างเหล็กเส้นกับเนื้อคอนกรีต มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ถึง 40 มิลลิเมตร มี 3 ชั้นคุณภาพ คือ SD 30, SD 40 และ SD 50 หมายความถึงกำลังต้านทานต่อแรงดึงที่จุดครากไม่น้อยกว่า 3,000 4,000 และ 5,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีความยาวมาตรฐาน 10 เมตร และ 12 เมตร ส่วนการเรียกชื่อขนาดของเหล็กเส้นกลมใช้สัญลักษณ์ DB ตามด้วยตัวเลขที่แสดงถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นมิลลิเมตร และชั้นคุณภาพ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2548) เช่น

DB 10 mm SD 30 คือเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ที่มีกำลังต้านทานต่อแรงดึงที่จุดครากไม่น้อยกว่า 3,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

DB 12 mm SD 40 คือเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ที่มีกำลังต้านทานต่อแรงดึงที่จุดครากไม่น้อยกว่า 4,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

DB 16 mm SD 50 คือเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ที่มีกำลังต้านทานต่อแรงดึงที่จุดครากไม่น้อยกว่า 5,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มเพื่อหาวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ให้เหลือเศษเหล็กน้อยที่สุด มีดังนี้

สำหรับเหล็กเส้นกลมมีขนาดความยาวมาตรฐาน 10 เมตร

การตัดเหล็กเส้นกลมที่มีความยาวมาตรฐาน ให้มีขนาดความยาว l_i เมตรเป็นจำนวน q_i ท่อน ตามความต้องการใช้งาน โดย i= 1, 2, ..., m ดังนั้น

$$\max_{1 \le i \le m} \le 10$$

กำหนดให้

Z คือ ผลรวมทั้งหมดของเศษเหล็กจากการตัด

a_{ij} คือ จำนวนท่อนของเหล็กเส้นกลมที่มีขนาดความยาว l_i ซึ่งตัดโดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j

x_j คือ จำนวนท่อนของเหล็กเส้นกลมขนาดมาตรฐานที่ใช้ตัดโดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j

q_i คือ จำนวนท่อนเหล็กเส้นกลมที่มีขนาดความยาว l_i

c_j คือ ขนาดความยาวของเศษเหล็กจากการตัดเหล็กเส้นกลมขนาดมาตรฐานโดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j

ฟังก์ชันจุดประสงค์

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

ข้อจำกัด

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j = q_i \qquad \text{for } i = 1, 2, \ldots, m$$

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

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

สำหรับเหล็กข้ออ้อยมีขนาดความยาวมาตรฐาน 10 เมตรและ 12 เมตร การตัดเหล็กเส้นที่มีความยาวมาตรฐาน ให้มีขนาดความยาว l_i เมตรเป็นจำนวน q_i ท่อน ตามความต้องการใช้งาน โดย $i = 1, 2, \ldots, m$ ดังนั้น

สำหรับเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดความยาวมาตรฐาน 10 เมตร

$$\max_{1 \leq i \leq m} \leq 10$$

สำหรับเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดความยาวมาตรฐาน 12 เมตร

$$\max_{1 \leq i \leq m} \leq 12$$

กำหนดให้

Z คือ ผลรวมทั้งหมดของเศษเหล็กจากการตัด

a_{ij} คือ จำนวนท่อนของเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดความยาว l_i ซึ่งตัดโดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j

x_{Aj} คือ จำนวนท่อนเหล็กข้ออ้อยขนาดมาตรฐาน 10 เมตร ที่ใช้ตัดโดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j

x_{Bj} คือ จำนวนท่อนเหล็กข้ออ้อยขนาดมาตรฐาน 12 เมตร ที่ใช้ตัดโดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j

q_i คือ จำนวนท่อนเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดความยาว l_i

c_{Aj} คือ ขนาดความยาวของเศษเหล็กจากการตัดเหล็กข้ออ้อยขนาดมาตรฐาน 10 เมตร โดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j

c_{Bj} คือ ขนาดความยาวของเศษเหล็กจากการตัดเหล็กข้ออ้อยขนาดมาตรฐาน 12 เมตร โดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j

ฟังก์ชันจุดประสงค์

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

ข้อจำกัด

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_{Aj} + \sum_{j=1}^{n'} a_{ij}x_{Bj} = q_i \quad \text{for } i = 1, 2, \ldots, m$$

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

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

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

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ใช้เป็นองค์ความรู้ในการแก้ปัญหาการตัดเหล็กเสริมซึ่งเป็นวัสดุมิติเดียวให้เกิดการสูญเสียเศษเหล็กน้อยที่สุด

2. เป็นประโยชน์ต่อเจ้าของโรงงานผลิต วิศวกร ผู้ควบคุมการผลิต ใช้ในการวางแผนการปฏิบัติงานให้รวดเร็วและประหยัดที่สุด

3. ผู้ที่สนใจสามารถประยุกต์ตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้น ในลักษณะการตัดวัสดุหนึ่งมิติ กับวัสดุชนิดอื่น ๆ ได้อีก เช่น ไม้ ท่อ สายยาง เป็นต้น

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

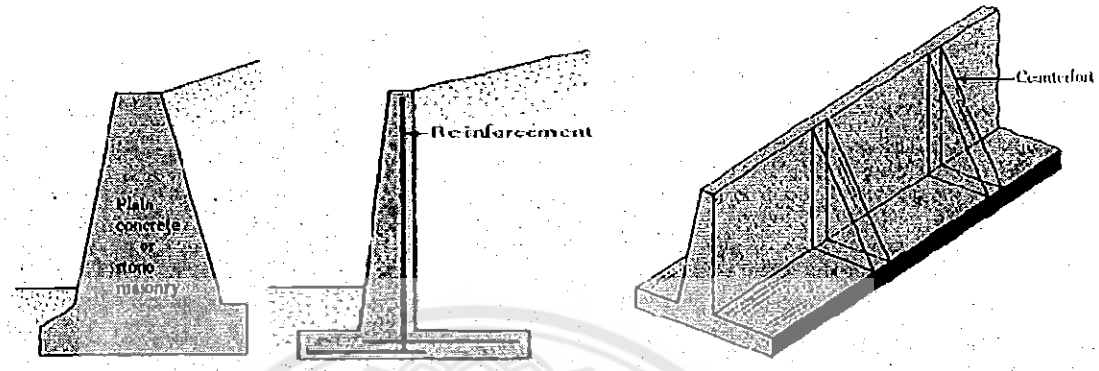
การวิจัยวิธีการตัดเหล็กเสริมเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสารและผลงานวิจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการวิจัย โดยสามารถสรุปและกำหนดประเด็นในการนำเสนอ ดังนี้

- กำแพงกันดิน
- การพิจารณาเลือกใช้ชนิดและรูปแบบของกำแพงกันดิน
- เหล็กเสริม
- เหล็กเส้นกลม
- เหล็กข้ออ้อย
- ระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป
- การงอเหล็กเสริม
- ระยะคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กเสริม
- การต่อเหล็กเสริม
- การเผื่อเหล็กเสริม
- เหล็กเสริมในกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล
- กำหนดการเชิงเส้น
- ปัญหาการตัดแบ่งวัสดุหนึ่งมิติ
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กำแพงกันดิน

กำแพงกันดินเป็นโครงสร้างกันดินใช้ป้องกันการเคลื่อนตัวของดินในงานวิศวกรรม เช่น งานดินถม งานดินขุด งานสะพาน งานโครงสร้างกันน้ำท่วม ฯลฯ เสถียรภาพของกำแพงกันดินขึ้นอยู่กับน้ำหนักของตัวมันเอง กำแพงกันดินชนิดนี้จะเรียกว่า gravity wall ในกรณีที่กำแพงกันดินมีความสูงมาก แรงดันดินด้านข้างมีแนวโน้มที่จะทำให้กำแพงกันดินพลิกคว่ำ (Overturning) เพื่อความประหยัดควรเลือกใช้กำแพงกันดินชนิด cantilever wall ซึ่งมีส่วนฐานยื่นออกมาใต้ดินถม น้ำหนักดินถมที่อยู่เหนือฐานนี้จะช่วยป้องกันการพลิกคว่ำ ในกรณีที่กำแพงกันดินต้องทานดินถมมาก ๆ อาจจะต้องเสริมความแข็งแรงด้วย counterfort และ buttress กำแพงกันดินที่นิยมออกแบบและใช้งานกันคือ gravity wall ส่วนมากจะสร้างจากคอนกรีตและมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ส่วน cantilever wall จะมี

ขนาดเล็กกว่า gravity wall และต้องใช้เหล็กเสริมในปริมาณที่มากเพียงพอ (สุขสันติ์ หอพิบูลสุข, 2555)



(ก) (ข) (ค)

ภาพ 1 แสดงกำแพงกันดิน : (ก) gravity wall (ข) cantilever wall (ค) counterfort wall
ที่มา : The Concrete Network (2015)

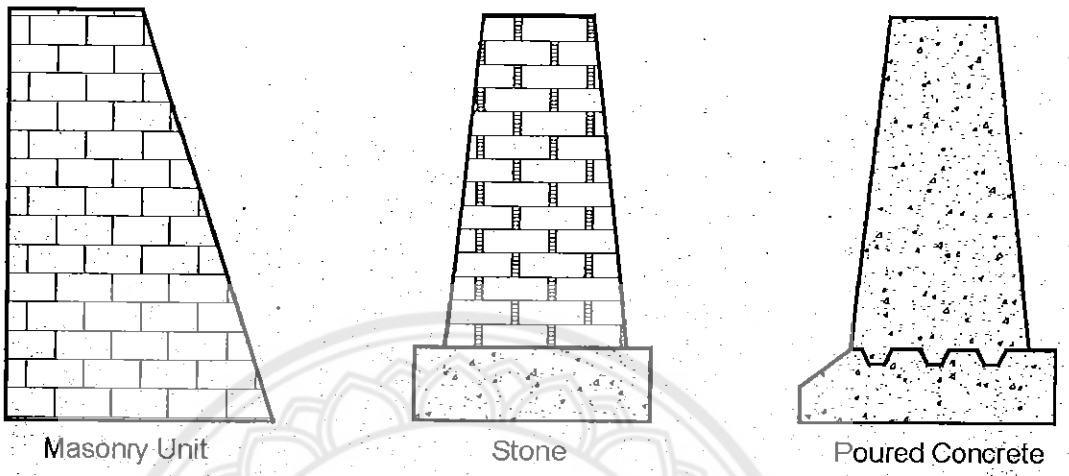
การพิจารณาเลือกใช้ชนิดและรูปแบบของกำแพงกันดิน

การพิจารณาเลือกใช้ชนิดและรูปแบบของกำแพงกันดินมาออกแบบ ขึ้นอยู่กับลักษณะของงาน สภาพฐานราก สภาพภูมิประเทศ วัสดุในท้องที่ ราคางานที่เหมาะสม และขนาดความสูงของอาคาร (นิบง อังกุราภินันท์ และ นิพนธ์ อังกุราภินันท์, 2556)

1. gravity wall ความสูงในการออกแบบไม่เกิน 5.00 เมตร ดังภาพ 2
2. cantilever wall (กำแพงยื่น) ควรออกแบบเมื่ออาคารกำแพงกันดินสูงไม่เกิน 8.00 เมตร ดังภาพ 3
3. counterfort wall (กำแพงยัน) ควรนำมาออกแบบใช้เมื่อความสูงเกิน 8.00 เมตร ขึ้นไป ดังภาพ 4

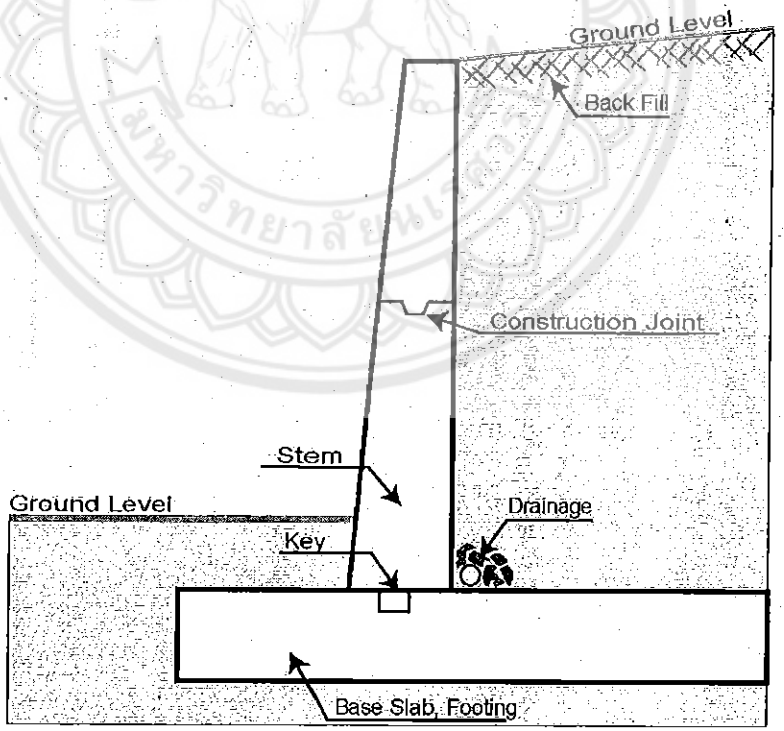
สาเหตุที่แบ่งชนิดของกำแพงกันดินตามความสูงเพราะเหตุผลในเรื่องของความประหยัด กรณีกำแพงกันดินสูงเกิน 8.00 เมตร แล้วออกแบบเป็น cantilever wall ก็จะไม่ประหยัด stem ของกำแพงกันดินจะหนามากและต้องใส่เหล็กเสริมมากและพื้นรองรับตัวกำแพงยื่น (stem) ก็จะหนาตามไปด้วย เพราะทำหน้าที่เป็นฐานหนาเพื่อให้กำแพงยืนยึดเกาะ ถ้าออกแบบเป็น one-way slab รับแรงดันดิน ตัว counterfort เป็นกำแพงรูปสามเหลี่ยมฐานกว้างเป็นเสาค้ำยันรับพื้นจะรับทั้งโมเมนต์และแรงดันดินได้ดีมาก ส่วน gravity wall ใช้วัสดุเป็นคอนกรีตล้วนหรือ stone masonry จะ

พิจารณาใช้ออกแบบน้อยมาก จะใช้เมื่อจำเป็นในเรื่องภูมิประเทศ เช่น ริมทะเล วัสดุหินใหญ่มีมาก ปกติจะใช้ cantilever wall แทนเป็นส่วนใหญ่



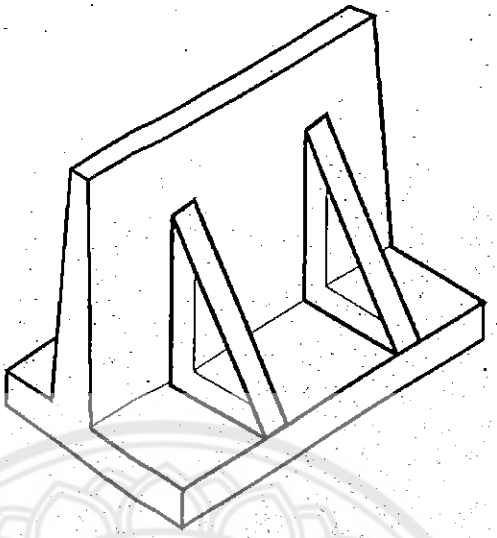
ภาพ 2 แสดงตัวอย่าง gravity wall

ที่มา : Wikipedia :Retaining wall (2015)



ภาพ 3 แสดงตัวอย่าง cantilever wall

ที่มา : Wikipedia :Retaining wall (2015)



ภาพ 4 แสดงตัวอย่าง counterfort wall
ที่มา : Wikipedia :Retaining wall (2015)

เหล็กเสริม

เหล็กเสริมที่นำมาใช้ในงานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก คือ เหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) หรือเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) มีกรรมวิธีผลิตแบบรีดร้อน หมายถึง รีดเหล็กเป็นเส้นตรงในขณะที่เหล็กยังมีอุณหภูมิสูงมากเนื่องจากต้องการให้เหล็กมีคุณสมบัติในการรับแรงดึง แรงอัด แรงเฉือน และแรงยึดเหนี่ยวได้ดี ซึ่งเหล็กเสริมที่ใช้ในงานก่อสร้างต้องเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานตามพระราชกฤษฎีกา ผ่านการตรวจสอบจากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และแสดงเครื่องหมายผลิตภัณฑ์ว่ามีคุณภาพได้มาตรฐานที่กำหนด (เครื่องหมายมาตรฐานบังคับ) ดัง ภาพ.5 เครื่องหมายมาตรฐานบังคับสำหรับเหล็กเสริมมี 2 หมายเลข คือ เหล็กเส้นกลมเลขที่ มอก. 20-2543 และ เหล็กข้ออ้อยเลขที่ มอก. 24-2548 ก่อนนำเหล็กเสริมมาใช้งานควรมีการตรวจสอบขนาด มวลระบุ คุณสมบัติทางกล นำผลการทดสอบตรวจสอบกับค่ามาตรฐาน ตลอดจนมีลักษณะทางกายภาพเหล็กเสริมต้องมีพื้นผิวสะอาดปราศจากน้ำมัน สี ดิน โคลน หรือ สนิมขุม กองเก็บเหล็กเสริมไว้ในสถานที่ที่สะอาด กันน้ำ กันฝน ปราศจากสิ่งโสโครก

ภาพ 5 แสดงเครื่องหมายมาตรฐานบังคับสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีพระราชกฤษฎีกากำหนดให้เป็นไปตามมาตรฐาน

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2553)

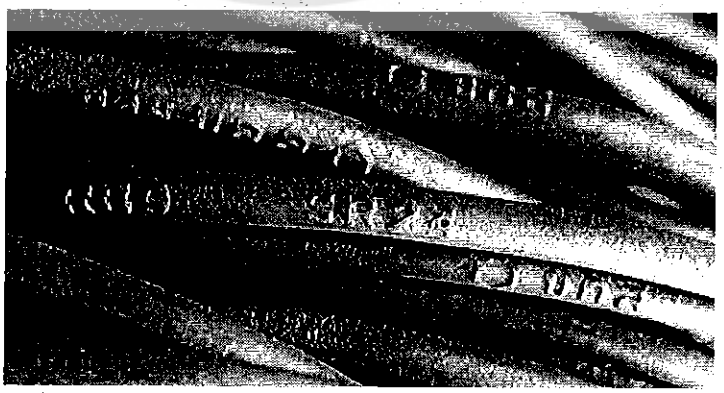
เหล็กเส้นกลม

เหล็กเส้นกลม (Round Bar) เป็นเหล็กเสริมที่มีลักษณะหน้าตัดกลม ผิวเรียบตลอดความยาว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ถึง 34 มิลลิเมตร มีชั้นคุณภาพเดียว คือ SR 24 หมายความถึง กำลังต้านทานต่อแรงดึงที่จุดครากของเหล็กเส้นกลมไม่น้อยกว่า 2,400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ส่วนการเรียกชื่อขนาดของเหล็กเส้นกลมใช้สัญลักษณ์ RB ตามด้วยตัวเลขที่แสดงถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นมิลลิเมตร เช่น

RB 6 mm SR 24 คือเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ที่มีกำลังต้านทานต่อแรงดึงที่จุดครากไม่น้อยกว่า 2,400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

RB 9 mm SR 24 คือเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร ที่มีกำลังต้านทานต่อแรงดึงที่จุดครากไม่น้อยกว่า 2,400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

RB 12 mm SR 24 คือเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ที่มีกำลังต้านทานต่อแรงดึงที่จุดครากไม่น้อยกว่า 2,400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



ภาพ 6 แสดงตัวอย่างเหล็กเส้นกลม RB 9 mm SR 24

ที่มา : บริษัท ไพศาลสตีล จำกัด (2557)

มาตรฐานของเหล็กเส้นกลมแต่ละขนาดที่นำมาใช้ในงานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะต้องมีขนาดระบุ มวลระบุ และคุณสมบัติทางกลเป็นไปตามข้อกำหนดที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ระบุไว้ดังแสดงในตาราง 1 และตาราง 2

ตาราง 1 แสดงขนาดระบุและมวลระบุของเหล็กเส้นกลมตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 20-2543

ชื่อขนาด	ขนาดระบุ		มวลระบุ (กิโลกรัมต่อเมตร)	
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	พื้นที่ภาคตัดขวางระบุ (ตารางมิลลิเมตร)	มวลจริงต่อความยาว 1 เมตร	ความคลาดเคลื่อน ร้อยละ
RB 6	6	28.3	0.222	±10
RB 8	8	50.3	0.395	±6
RB 9	9	63.6	0.499	±6
RB 10	10	78.5	0.616	±6
RB 12	12	113.1	0.888	±6
RB 15	15	176.7	1.387	±6
RB 19	19	283.5	2.226	±6
RB 22	22	380.1	2.984	±6
RB 25	25	490.9	3.853	±6
RB 28	28	615.8	4.834	±6
RB 34	34	907.9	7.127	±6

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2543)

ตาราง 2 แสดงคุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นกลมตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 20-2543

ชั้นคุณภาพ	ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก ไม่น้อยกว่า (เมกะพาสคัล)	ความต้านแรงดึง ไม่น้อยกว่า (เมกะพาสคัล)	ความยืด ไม่น้อยกว่าร้อยละ
SR 24	24	39	21

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2543)

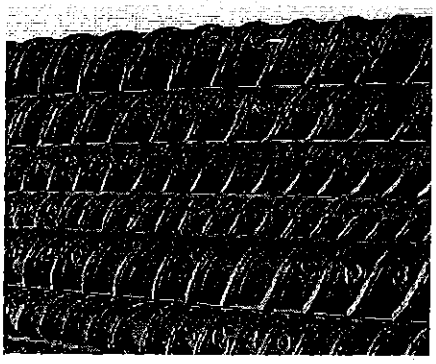
เหล็กข้ออ้อย

เหล็กข้ออ้อย (Deformed Bar) เป็นเหล็กเสริมที่มีลักษณะหน้าตัดกลม แต่ที่ผิวตามแนวยาวมีครีบและบั้งตลอดความยาวเพื่อเพิ่มกำลังยึดระหว่างเหล็กเส้นกับเนื้อคอนกรีต มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ถึง 40 มิลลิเมตร มี 3 ชั้นคุณภาพ คือ SD 30, SD 40 และ SD 50 หมายความถึงกำลังต้านทานต่อแรงดึงที่จุดครากไม่น้อยกว่า 3,000 4,000 และ 5,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีความยาวมาตรฐาน 10 เมตร และ 12 เมตร ส่วนการเรียกชื่อขนาดของเหล็กเส้นกลมใช้สัญลักษณ์ DB ตามด้วยตัวเลขที่แสดงถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นมิลลิเมตร เช่น

DB 10 mm SD 30 คือเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ที่มีกำลังต้านทานต่อแรงดึงที่จุดครากไม่น้อยกว่า 3,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

DB 12 mm SD 40 คือเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ที่มีกำลังต้านทานต่อแรงดึงที่จุดครากไม่น้อยกว่า 4,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

DB 16 mm SD 50 คือเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ที่มีกำลังต้านทานต่อแรงดึงที่จุดครากไม่น้อยกว่า 5,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



ภาพ 7 แสดงตัวอย่างเหล็กข้ออ้อย DB 20 mm SD 30

ที่มา : บริษัท ไพศาลสตีล จำกัด (2557)

มาตรฐานของเหล็กข้ออ้อยแต่ละขนาดที่นำมาใช้ในงานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะต้องมีขนาดระบุ มวลระบุ และคุณสมบัติทางกลเป็นไปตามข้อกำหนดที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ระบุไว้ดังแสดงในตาราง 3 และตาราง 4

ตาราง 3 แสดงขนาดระบุและมวลระบุของเหล็กข้ออ้อยตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 24-2548

ชื่อขนาด	ขนาดระบุ		มวลระบุ (กิโลกรัมต่อเมตร)	
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	พื้นที่ภาคตัดขวางระบุ (ตารางมิลลิเมตร)	มวลจริงต่อ ความยาว 1 เมตร	ความคลาดเคลื่อน ร้อยละ
DB 6	6	28.3	0.222	±8
DB 8	8	50.3	0.395	±8
DB 10	10	78.5	0.616	±6
DB 12	12	113.1	0.888	±6
DB 16	16	201.1	1.587	±6
DB 20	20	314.2	2.466	±5
DB 22	22	380.1	2.984	±5
DB 25	25	490.9	3.853	±5
DB 28	28	615.8	4.834	±5
DB 32	32	907.9	6.313	±4
DB 36	36	1,017.9	7.990	±4
DB 40	40	1,256.6	9.865	±4

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2548)

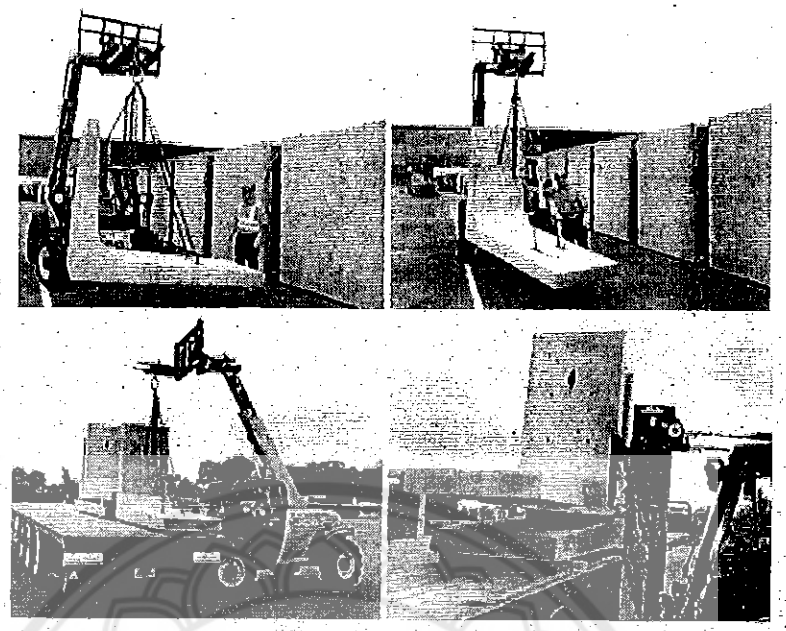
ตาราง 4 แสดงคุณสมบัติทางกลของเหล็กข้ออ้อยตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 24-2548

ชั้นคุณภาพ	ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก ไม่น้อยกว่า (เมกะพาสคัล)	ความต้านแรงดึง ไม่น้อยกว่า (เมกะพาสคัล)	ความยืด ไม่น้อยกว่าร้อยละ
SD 30	295	480	17
SD 40	390	560	15
SD 50	490	620	13

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2548)

ระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป

ระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Precast Concrete) ถูกใช้ครั้งแรกในประเทศอังกฤษ เมื่อปี ค.ศ.1878 สำหรับการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยขนาดเล็ก ต่อมาภายหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ความต้องการที่พักอาศัยมีอย่างมากมายระบบ precast concrete จึงเป็นที่นิยมและช่วยทำให้การก่อสร้างจำนวนมาก ๆ มีมาตรฐานมากยิ่งขึ้นและมารุ่งเรืองที่สุดในช่วงปีคริสต์ศักราช 1950 ถึง 1970 อย่างไรก็ตามด้วยความไม่เข้าใจในระบบนี้ดีพอของผู้ออกแบบและผู้ก่อสร้างทำให้อาคารที่สร้างโดยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปไม่ประสบความสำเร็จในหลาย ๆ โครงการทำให้นักลงทุนหรือเจ้าของอาคารเลือกที่จะใช้กระบวนการก่อสร้างแบบเดิม ๆ ที่มีความเสี่ยงน้อยกว่าทำให้ความต้องการในระบบสำเร็จแบบเต็มรูปแบบมีความนิยมลดน้อยลงเรื่อย ๆ แต่ด้วยความเจริญก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีการก่อสร้างและการขนส่งในปัจจุบันประกอบกับความจำเป็นในการแข่งขันด้านต้นทุนและคุณภาพของสิ่งก่อสร้างได้เปิดโอกาสให้ระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปกลับมาได้รับความนิยมอีกครั้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการถือกำเนิดขึ้นมาของคอนกรีตชนิดพิเศษที่มีชื่อว่า self-compacting concrete (SCC) ทำให้รูปแบบของการออกแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปมีความหลากหลาย ซับซ้อน และเจริญก้าวหน้ามากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถตอบสนองความต้องการทางด้านรูปทรงทางสถาปัตยกรรมของอาคารที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นได้ Mel Marshall ประธานบริษัท Mel C. Marshall Industrial Consultants และผู้รับรางวัล Yoakum award ในการประชุมของ national precast concrete association (NPCA) เมื่อเดือนตุลาคมปีคริสต์ศักราช 2007 กล่าวไว้ว่าภายใน 5 ปีจากนี้ ร้อยละ 50 ของปริมาณการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูปจะใช้คอนกรีตชนิดพิเศษที่เรียกว่า self-compacting concrete (เฉลิมชัย วัฒนล้ำเลิศ และสมนึก ตั้งเติมสิริกุล, 2544)



ภาพ 8 แสดงตัวอย่างการขนย้ายกำแพงกันดินหล่อสำเร็จรูปตัวแอลด้วยรถเครน

ที่มา : Forterra Building Products Limited (2016)

ภาพ 9 แสดงตัวอย่างการติดตั้งกำแพงกันดินหล่อสำเร็จรูปตัวแอลภาคสนาม

ที่มา : Shay Murtagh Precast Ltd (2015)

การงอเหล็กเสริม

การงอเหล็กเสริมทำเพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตให้มากขึ้น การงอเหล็กเสริมเป็นการดัดปลายเหล็กเสริมให้มีลักษณะโค้งเข้าหาตัวเหล็กเสริม โดยไม่ทำให้เหล็กเสริมเกิดการชำรุด เสียหาย ไม่ใช้ความร้อนช่วยในการดัดงอ เมื่องอแล้วรัศมีภายในเหล็กเสริมของส่วนที่งอจะต้องไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมแต่ละขนาด ดังแสดงในตาราง 5

ตาราง 5 แสดงขนาดรัศมีภายในที่เล็กที่สุดของวงโค้งที่ดัดของเหล็กเสริมขนาดต่าง ๆ

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม	ขนาดรัศมีภายในที่เล็กที่สุด
6-25 มิลลิเมตร	3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม
28-36 มิลลิเมตร	4 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม
44-57 มิลลิเมตร	5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม

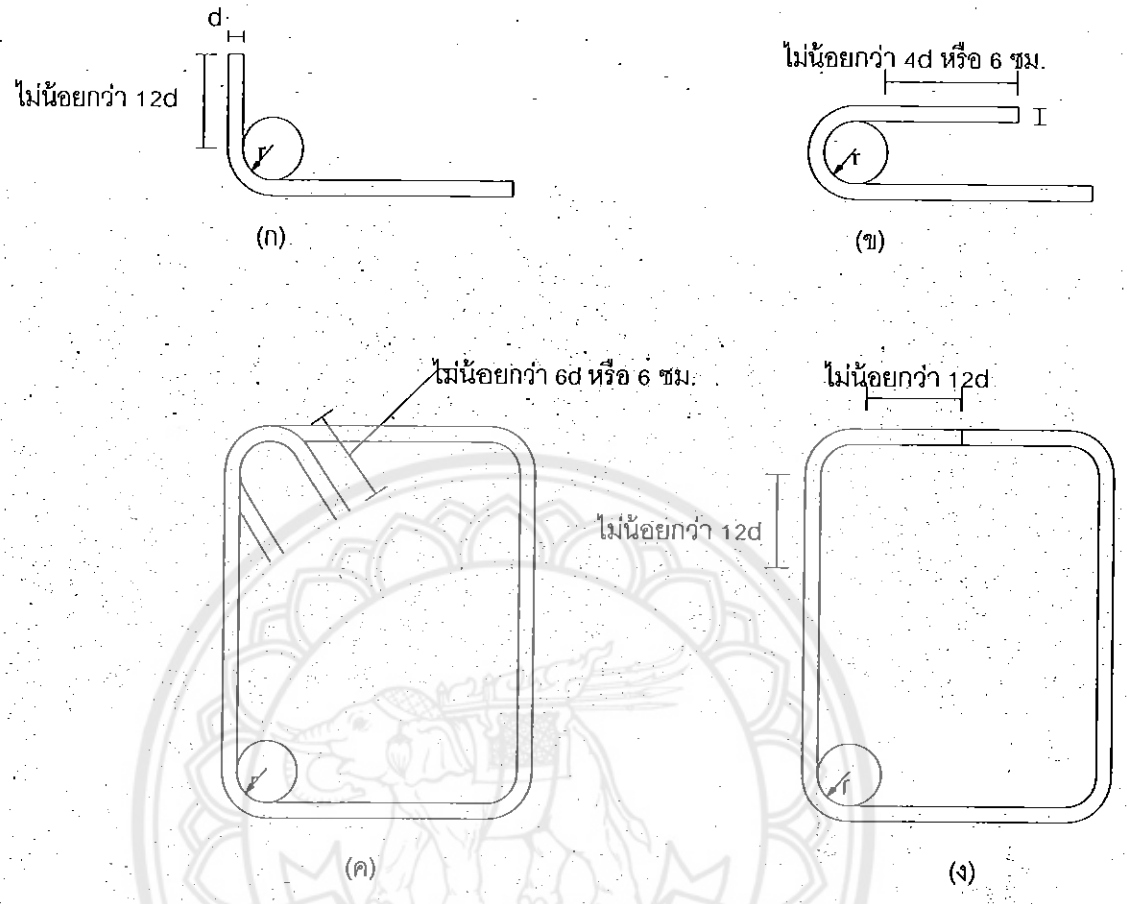
ที่มา : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (2550)

ของอเหล็กเสริมตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์มี 3 ลักษณะ คือ ของอมุมฉาก ของอครึ่งวงกลม และของอมุมแหลม ซึ่งการงอเหล็กเสริมต้องเป็นไปตามมาตรฐาน กล่าวคือ

1. การงอเหล็กเสริมเป็นมุมฉาก (ภาพ 8 ก และ ภาพ 8 ง) การงอเหล็กเสริมเป็นมุมฉากใช้กับเหล็กลูกตั้งของเหล็กข้ออ้อย โดยส่วนขายื่นยาวออกไปอีกไม่น้อยกว่า 12 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม

2. การงอเหล็กเสริมเป็นครึ่งวงกลม (ภาพ 8 ข) การงอเหล็กเสริมเป็นครึ่งวงกลมใช้กับเหล็กเสริมตามยาวของเหล็กลูกตั้งและเหล็กปลอกของเหล็กเส้นกลม โดยส่วนขายื่นยาวออกไปอีกไม่น้อยกว่า 4 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม และมีระยะไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตร

3. การงอเหล็กเสริมเป็นมุมแหลม (ภาพ 8 ค) การงอเหล็กเสริมเป็นมุมแหลมใช้กับเหล็กลูกตั้งของเหล็กข้ออ้อย โดยส่วนขายื่นยาวออกไปอีกไม่น้อยกว่า 6 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม และมีระยะไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตร



ภาพ 10 แสดงการงอเหล็กเสริมตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ราชูปถัมภ์ : (ก) งอมุมฉาก (ข) งอครึ่งวงกลม (ค) งอมุมแหลมของเหล็กลูกตั้ง (ง) งอมุมฉากของเหล็กลูกตั้ง

ระยะคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กเสริม

ระยะคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กเสริมหรือระยะหุ้มของคอนกรีต (Concrete Covering) คือระยะที่วัดจากผิวคอนกรีตถึงผิวนอกสุดของเหล็กเสริม ซึ่งต้องมีระยะที่เหมาะสม เพื่อให้เหล็กเสริมมีความทนทานต่อความร้อน ป้องกันการกัดกร่อนของสารเคมี และไม่ให้เหล็กเสริมสัมผัสกับน้ำหรืออากาศโดยตรงป้องกันการเกิดสนิมขุม วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ได้กำหนดระยะคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กเสริมตามมาตรฐานไว้ดังนี้ (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2550)

1. คอนกรีตที่หล่อติดกับดิน ผิวคอนกรีตจะสัมผัสกับดินตลอดเวลา กำหนดระยะคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กเสริมต่ำสุด 7.5 เซนติเมตร

2. คอนกรีตที่สัมผัสดินหรือถูกฝนมีระยะคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กเสริมดังนี้

1) ต่ำสุด 5 เซนติเมตร สำหรับเหล็กเสริมเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 16 มิลลิเมตร

2) ต่ำสุด 4 เซนติเมตร สำหรับเหล็กเสริมเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกินกว่า 16 มิลลิเมตร

3. คอนกรีตที่ไม่สัมผัสดินหรือไม่ถูกแดดฝนกำหนดระยะคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กเสริมดังนี้

1) ในแผ่นพื้น ผนัง และตง สำหรับเหล็กเสริมเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 40 มิลลิเมตร กำหนดระยะต่ำสุด 4.0 เซนติเมตร

2) ในแผ่นพื้น ผนัง และตง สำหรับเหล็กเสริมเส้นผ่านศูนย์กลาง ไม่เกินกว่า 36 มิลลิเมตร กำหนดระยะต่ำสุด 2.0 เซนติเมตร

3) ในคาน สำหรับเหล็กเสริมหลัก เหล็กลูกตั้ง กำหนดระยะต่ำสุด 3.0 เซนติเมตร

4) ในเสา สำหรับเหล็กปลอกเดี่ยว เหล็กปลอกเกลียว กำหนดระยะต่ำสุด 3.5 เซนติเมตร

5) ในเสา สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 16 มิลลิเมตร กำหนดระยะต่ำสุด 2.0 เซนติเมตร

6) ในเสา สำหรับเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกินกว่า 16 มิลลิเมตร กำหนดระยะต่ำสุด 1.5 เซนติเมตร

4. คอนกรีตที่หล่อในบริเวณน้ำจืดกำหนดระยะคอนกรีตหุ้มผิวเหล็กเสริมต่ำสุด 10.0 เซนติเมตร

การต่อเหล็กเสริม

การต่อเหล็กเสริมในงานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำเพื่อเพิ่มความยาวของเหล็กเสริมออกไปหรือทำให้เหล็กเสริมติดเป็นอันเดียว ซึ่งการต่อเหล็กเสริมต้องคำนึงถึงวิธีการต่อเหล็กเสริม และตำแหน่งรอยต่อเหล็กเสริม มีรายละเอียดดังนี้

1. วิธีการต่อเหล็กเสริม มี 2 วิธี คือ การต่อเหล็กเสริมโดยวิธีทาบ และการต่อเหล็กเสริมโดยวิธีเชื่อมไฟฟ้า (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2536)

1) การต่อเหล็กเสริมโดยวิธีทาบ การต่อเหล็กเสริมวิธีนี้เป็นการนำเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 19 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชิ้น มาวางแนบชิดกัน มีระยะทาบไม่น้อยกว่า 48 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเส้นกลม และระยะทาบไม่น้อยกว่า 36 เท่าสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กข้ออ้อย แล้วผูกมัดด้วยลวดผูกเหล็กเบอร์ 16 เป็นตอน ๆ โดยพันลวดผูกเหล็กสองรอบแล้วจึงผูกให้แน่นก่อนพับปลายลวดผูกเหล็ก

2) การต่อเหล็กเสริมด้วยวิธีการเชื่อมด้วยไฟฟ้า การต่อเหล็กเสริมวิธีนี้รอยเชื่อมแบบต่อชนจะต้องรับแรงเค้นดึงได้ไม่น้อยกว่า 1.25 เท่าของแรงเค้นดึงของเหล็กเสริม โดยที่เหล็กเสริมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 9 มิลลิเมตร ให้ตัดลาดเอียงทั้ง 2 ท่อน ส่วนปลายเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลางไม่เกิน 9 มิลลิเมตร ให้ตัดตรงทั้ง 2 ท่อน แล้วทำความสะอาดปลายเหล็กเสริมที่ตัดแล้วนำมาวางให้แนวหรือได้ศูนย์และมีระยะห่างได้ตามมาตรฐานการเชื่อมต่อเหล็กด้วยไฟฟ้าวิธีการเชื่อมเป็นขั้นหรือแนวภายหลังการเชื่อมแนวหนึ่งหรือชั้นหนึ่ง ๆ ต้องเคาะเอาขี้เหล็กหุ้มแนวเชื่อมชั้นนั้น ๆ ออกทุกครั้งไป ปฏิบัติดังนี้ไปเรื่อย ๆ จนเชื่อมได้ความหนาของรอยเชื่อมเต็มตามที่กำหนดไว้

2. ตำแหน่งรอยต่อเหล็กเสริม โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแต่ละประเภทมีรายละเอียดของตำแหน่งรอยต่อเหล็กเสริมดังนี้ (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2536)

1) การต่อเหล็กเสริมพื้น เหล็กเสริมล่างของพื้นให้ต่อทาบตรงบริเวณ หน้าคานถึงระยะ 1/5 จากศูนย์กลางคาน ส่วนเหล็กเสริมบนของพื้นให้ต่อตรงบริเวณกลางพื้น

2) การต่อเหล็กเสริมคาน เหล็กเสริมล่างของคานให้ต่อทาบหรือต่อเชื่อมตรงบริเวณหน้าเสาหรือหน้าคานถึงระยะ 1/5 จากศูนย์กลางเสาหรือคาน ส่วนเหล็กเสริมบนของคานให้ต่อตรงบริเวณกลางคาน

3) การต่อเหล็กเสริมเสา เหล็กเสริมเสาหรือเหล็กยืนให้ต่อตรงจุดเหนือระดับพื้นหนึ่งเมตรถึงระดับกึ่งกลางความสูง

4) การต่อเหล็กเสริมฐานราก เหล็กเสริมฐานรากห้ามต่อ

ตำแหน่งของรอยต่อเหล็กเสริมแต่ละเส้นที่อยู่ข้างเคียงกันต้องไม่อยู่ในแนวเดียวกันและควรวางเหลื่อมกันประมาณ 1.00 เมตร

การเผื่อเหล็กเสริม

การทำงานก่อสร้างทุกชนิดจะเกิดความสูญเสียอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ในการทำงาน เช่น เศษเหลือจากการตัดเหล็กเสริมความยาว 9 เมตรจากเหล็กเสริม 1 เส้นที่มีความยาวมาตรฐานเท่ากับ 10 เมตร การเผื่อเท่ากับ 1/10 (ร้อยละ 10) (ปริญญา ศุภศรี, 2554) ซึ่งในการประมูลงานไม่สามารถคำนวณด้วยความละเอียดที่สุดโดยการทำ shop drawing ทางวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ได้แนะนำให้การถอดแบบคำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมเพื่อประมูลงานก่อสร้างหรือเตรียมการสั่งเหล็กเสริม ต้องคำนวณเผื่อปริมาณเหล็กเสริมเป็นเปอร์เซ็นต์ (ร้อยละ) เนื่องจากการนำเหล็กเสริมมาใช้งานต้องทาบต่อ งอปลาย งอขอ ดัดคอม้า และเหลือเศษเหล็กเสริมที่ไม่สามารถใช้งานได้ของเหล็กเสริมแต่ละขนาดทั้งเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อยดังตาราง 6

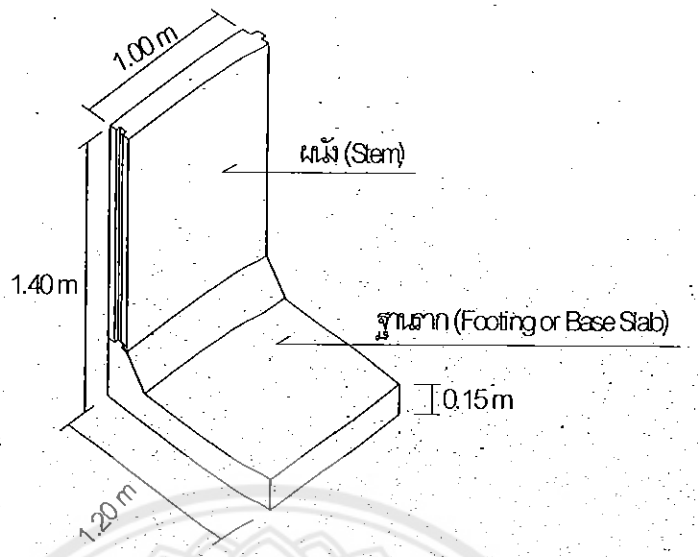
ตาราง 6 แสดงร้อยละของการเผื่อเหล็กเสริม

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม (มม.)	การเผื่อเหล็กเสริม (ร้อยละ)
6	5
9	7
10	7
12	9
15	11
16	11
19	13
20	13
22	14
25	15
28	15

ที่มา : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (2550)

เหล็กเสริมในกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล

กำแพงกันดินหล่อสำเร็จรูปตัวแอล มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ 1) ผนัง (Stem) เป็นแผงคอนกรีตเสริมเหล็กในแนวดิ่งหรือเอียงเพียงเล็กน้อย และต้องแข็งแรงพอจะรับโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดจากแรงดันดินอย่างเพียงพอ เหล็กเสริมหลักที่อยู่ในผนังเป็นเหล็กยืนด้านในที่ติดกับดินที่กำแพงกั้นไว้และต้องฝากปลายเหล็กเสริมเข้าไปในฐานอย่างเพียงพอที่ต้านทานแรงยึดเหนี่ยวได้ นอกจากนี้ยังต้องมีเหล็กเสริมกันร้าวเป็นเหล็กยืนที่ผิวผนังด้านนอก และเหล็กในแนวนอนทั้งผิวนอกผิวในของกำแพงกันดิน 2) ฐานราก (Footing or Base Slab) ทำหน้าที่รับน้ำหนักจากผนังและดินที่อยู่เหนือฐานด้านใน เหล็กเสริมหลักเป็นเหล็กบน ฐานรากต้องออกแบบให้มีสัดส่วนที่เหมาะสมที่จะต้านทานโมเมนต์จากแรงทางข้างของดินที่กำแพงกั้นไว้ โดยไม่ทรุดเอียงหรือคะมำ (สนั่น เจริญเผ่า, 2534 และวรากร ไม้เรียง, 2553)



ภาพ 11 แสดงผนังและฐานรากของกำแพงกันดินหล่อสำเร็จรูปตัวแอล

กำหนดการเชิงเส้น

ความหมายกำหนดการเชิงเส้น

การโปรแกรม หรือกำหนดการ (Programming) หมายถึงการวางแผน ส่วนคำว่าเชิงเส้น (Linear) หมายถึง ความสัมพันธ์ของตัวแปรตั้งแต่สองตัวแปรขึ้นไป ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กันในอัตราที่คงที่แน่นอน เช่น $y = f(x)$ เป็นฟังก์ชันเส้นตรง หมายความว่าเมื่อค่าของ x เปลี่ยนแปลงไปก็จะมีผลทำให้ค่าของ y เปลี่ยนแปลงในอัตราที่คงที่ด้วย ดังนั้นการโปรแกรมเชิงเส้น หรือกำหนดการเชิงเส้น หมายถึงการวางแผนโดยใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่กิจกรรมต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กันในอัตราที่แน่นอน ในการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดและให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยมีขั้นตอนของการแก้ปัญหาโดยใช้กำหนดการเชิงเส้น อยู่ 2 ขั้นตอน คือ การจัดรูปแบบแทนระบบของปัญหา (Model Formulation) และการหาผลลัพธ์ของรูปแบบแทนระบบปัญหา (Model Solution) นอกจากนี้กำหนดการเชิงเส้นยังสามารถประยุกต์ใช้ในงานอื่น ๆ เช่น การจัดการการผลิต ปัญหาการขนส่ง ปัญหาการจัดการทางการเงิน เป็นต้น (วันชัย แหลมหลักสกุล, 2544, หน้า 1-2)

การประยุกต์ใช้กำหนดการเชิงเส้น

กำหนดการเชิงเส้น คือ เครื่องมือสำหรับแก้ปัญหาค่าเหมาะที่สุด (Optimization Problems) ซึ่งอาจจะเป็นค่าต่ำสุดหรือค่าสูงสุดตามเป้าหมายที่กำหนด ซึ่งใช้แบบจำลองเชิง

คณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ในการอธิบายลักษณะปัญหา โดยในปี ค.ศ. 1947 นักคณิตศาสตร์ชาวอเมริกาชื่อ George B. Dantzig ได้พัฒนาวิธีสำหรับหาผลเฉลยกำหนดการเชิงเส้นที่เรียกว่า Simplex Algorithm ซึ่งนับตั้งแต่นั้นมากำหนดการเชิงเส้นถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในการแก้ปัญหาค่าเหมาะสมที่สุดในธุรกิจ หรืออุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ มากมาย อาทิ เช่น ธุรกิจ ธนาคาร ธุรกิจสายการบิน ธุรกิจบริการโลจิสติกส์ อุตสาหกรรมเกษตร อุตสาหกรรมป่าไม้ อุตสาหกรรมการผลิต เป็นต้น

แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นประกอบด้วยฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective Function) ซึ่งเป็นฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear Function) และเงื่อนไขบังคับ (Constraints) ต่าง ๆ ซึ่งอาจเป็นสมการเชิงเส้น (Linear Equation) หรือ อสมการเชิงเส้น (Linear Inequality) (อภิชัย ฤตวิรุฬห์, 2555, หน้า 3) นอกจากนี้กำหนดการเชิงเส้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาในอุตสาหกรรม การธนาคาร การศึกษา การขนส่ง การเกษตร และการปิโตรเลียม การวางแผนการจัดสรรทรัพยากรโดยนำปัญหามาเขียนในรูปของตัวแบบคณิตศาสตร์ ดังนั้นกำหนดการเชิงเส้น จึงเป็นเทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการวางแผนเพื่อจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์ที่สุดตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

การสร้างตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น

การแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในทางธุรกิจ อุตสาหกรรม หรือภาครัฐ นักวิเคราะห์ระบบต้องศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อให้เข้าใจถึงปัญหาอย่างแท้จริง พิจารณาข้อจำกัด สมมติฐาน และวัตถุประสงค์ของการศึกษาปัญหาเสียก่อน แล้วจึงนำรายละเอียดต่าง ๆ มาสร้างตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น ขั้นตอนการสร้างตัวแบบของปัญหาสามารถสรุปได้ดังนี้ (พัชราภรณ์ เนียมมณี, 2556, หน้า 13-14)

1. กำหนดตัวแปรตัดสินใจ (Defining Decision Variables) ตัวแปรตัดสินใจหมายถึง กิจกรรมที่ผู้ตัดสินใจสนใจ ค่าของตัวแปรตัดสินใจที่เหมาะสมคือ ปริมาณของกิจกรรมที่ควรจะกระทำ ผู้ตัดสินใจจะนำค่าของตัวแปรนี้เพื่อไปใช้ประกอบการตัดสินใจ ในแต่ละปัญหาตัวแปรตัดสินใจอาจแตกต่างกันไปตามลักษณะเฉพาะของปัญหา เช่น ปัญหาด้านการผลิต เราอาจต้องการทราบว่าควรผลิตสินค้าแต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลาเป็นจำนวนเท่าใด เป็นต้น ตัวแปรตัดสินใจอาจเป็นตัวแปรมิติเดียวหรือหลายมิติก็ได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา เช่น ปัญหาการวางแผนการผลิตอาจกำหนดให้ x_{ij} เป็นตัวแปรตัดสินใจ แทน ปริมาณการผลิตสินค้า i ในช่วงเดือนที่ j เป็นต้น

2. กำหนดฟังก์ชันเป้าหมายหรือฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Defining Objective Function) เป็นการกำหนดเป้าหมายของตัวแบบ เพื่อให้สามารถหาค่าของตัวแปรตัดสินใจที่เหมาะสม

ที่สุด ซึ่งทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ได้มากที่สุด โดยทั่วไปเราจะต้องระบุถึงทิศทางของฟังก์ชันนี้ เช่น เป้าหมายการหาค่าสูงสุด หรือ เป้าหมายการหาค่าต่ำสุด เป็นต้น

3. กำหนดข้อจำกัดของปัญหา (Identifying Constraints) เป็นการกำหนดข้อจำกัดของปัญหาในเทอมของตัวแปรตัดสินใจ โดยทั่วไปข้อจำกัดพื้นฐานของปัญหาการหาค่าสูงสุด คือ ปริมาณทรัพยากรที่มีอยู่ ปริมาณสูงสุดที่เป็นไปได้ของตัวแปรตัดสินใจ ข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ (Product Specifications) เป็นต้น ข้อจำกัดพื้นฐานสำหรับปัญหาการหาค่าต่ำสุด ได้แก่ ปริมาณต่ำสุดของตัวแปรตัดสินใจ ข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ปริมาณทรัพยากรที่มีอยู่ เป็นต้น

4. สร้างตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น (Developing Linear Programming Models) หลังจากได้กำหนดตัวแปรตัดสินใจและข้อจำกัดต่าง ๆ แล้วจะนำเอาฟังก์ชันวัตถุประสงค์และข้อจำกัดมาพิจารณาร่วมกัน เพื่อให้สามารถหาผลเฉลย (Solution) ที่สอดคล้องกับข้อจำกัดและทำให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าดีที่สุด

5. ตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) เป็นการตรวจสอบว่าตัวแบบที่สร้างขึ้นนี้มีความถูกต้องหรือไม่ กล่าวคือ ต้องตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรตัดสินใจ ข้อจำกัดต่าง ๆ และฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ระบุไว้นั้นว่าสอดคล้องกับปัญหาที่กำหนดไว้และครบถ้วนหรือไม่ ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีค่าถูกต้องหรือไม่ หากตัวแบบที่สร้างขึ้นมีความผิดพลาดอันเนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น ระบุความสัมพันธ์ไม่ครบถ้วน ความสัมพันธ์ไม่ถูกต้อง ค่าพารามิเตอร์ผิดพลาด เป็นต้น ผลเฉลยที่ได้จากตัวแบบนี้ไม่สามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจหรือนำไปใช้วางแผนได้

ข้อตกลงของกำหนดการเชิงเส้น

ข้อตกลงเบื้องต้นของตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นมีดังต่อไปนี้ (พัชราภรณ์ เนียมมณี, 2556, หน้า 18-20)

1. ความสามารถในการแบ่งแยกได้ (Divisibility) ตัวแปรตัดสินใจแต่ละตัวสามารถมีค่าเป็นเศษส่วน หรือมีค่าเป็นจำนวนเต็มก็ได้ แต่อย่างไรก็ตามบางครั้งไม่สามารถผลิตสินค้าเป็นจำนวนเศษส่วนได้ จึงต้องมีการปัดเศษค่าผลเฉลยที่ได้ให้เป็นจำนวนเต็ม หากค่าของตัวแปรตัดสินใจมีค่าเป็นจำนวนเต็มเท่านั้น จะต้องแก้ปัญหาโดยใช้ กำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming)

2. ความเป็นสัดส่วนกัน (Proportionality) กำหนดการเชิงเส้นมีหลักสำคัญ คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และค่าข้อจำกัดต่าง ๆ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของตัวแปรตัดสินใจ กล่าวคือ ผลประโยชน์ที่ได้รับของฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าของตัวแปรตัดสินใจ

3. การบวกกันได้ (Additivity) ผลประโยชน์จากการกระทำกิจกรรมต่าง ๆ สามารถนำมาบวกกันได้เป็นผลประโยชน์รวมได้

9 TH
2245
ก246ร
2559.

4. ความแน่นอน (Certainty) ในทางปฏิบัติ พารามิเตอร์และค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ในตัวแบบมีค่าไม่แน่นอน เช่น ราคาขายสินค้าแต่ละชนิดในช่วงเวลาหนึ่ง อาจมีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้าในช่วงเวลานั้น จำนวนการสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละราย ชั่วโมงเครื่องจักรที่มีไว้เพื่อการผลิตอาจมีค่าไม่คงที่ เนื่องจากเครื่องจักรเสียในช่วงเวลานั้นหรือไม่ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาผลเฉลยเหมาะสมที่สุด และนำผลเฉลยนี้ไปใช้ในการวางแผนในอนาคต เช่น การวางแผนการผลิตรวมจะเป็นการมองภาพรวมของโรงงาน ซึ่งมิได้พิจารณายอดการสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละคน ดังนั้น การสร้างตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจะต้องประมาณค่าของพารามิเตอร์หรือสัมประสิทธิ์ให้เป็นค่าคงที่ ที่เราสามารถทราบค่าได้อย่างแน่นอน

5. ความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ความสัมพันธ์ของตัวแปรตัดสินใจในตัวแบบจะต้องมีความสัมพันธ์กันเชิงเส้น ทั้งในฟังก์ชันวัตถุประสงค์และข้อจำกัดต่าง ๆ ไม่มีการเขียนความสัมพันธ์อยู่ในรูปของค่าสัมบูรณ์ (Absolute Value) ฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Function) หรือลอการิทึม (Logarithm)

6. ความเป็นอิสระกัน (Independence) ผลประโยชน์ที่ได้รับในฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับแต่ละตัวแปรตัดสินใจนั้นเป็นอิสระต่อกัน

ตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้น

กำหนดการเชิงเส้นมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ระบุถึงทิศทางของวัตถุประสงค์ว่าเป็นค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุด โดยที่ข้อจำกัดเขียนอยู่ในรูปสมการหรืออสมการ รูปทั่วไปของตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น มีดังนี้

1. กรณีต้องการค่าสูงสุด (Maximization)

ฟังก์ชันจุดประสงค์ Maximize $Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n$

เงื่อนไขบังคับ

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n \leq \text{หรือ} \geq \text{หรือ} = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n \leq \text{หรือ} \geq \text{หรือ} = b_2$$

.....

$$a_{m1} + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n \leq \text{หรือ} \geq \text{หรือ} = b_m$$

ข้อจำกัดไม่เป็นลบ $x_1, x_2, \ldots, x_n \geq 0$

2. กรณีต้องการค่าต่ำสุด (Minimization)

ฟังก์ชันจุดประสงค์ Minimize $Z = c_1x_1 + c_2x_2 + - - - + c_nx_n$

เงื่อนไขบังคับ

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + - - - + a_{1n}x_n \leq \text{หรือ} \geq \text{หรือ} = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + - - - + a_{2n}x_n \leq \text{หรือ} \geq \text{หรือ} = b_2$$

.....

$$a_{m1} + a_{m2}x_2 + - - - + a_{mn}x_n \leq \text{หรือ} \geq \text{หรือ} = b_m$$

ข้อจำกัดไม่เป็นลบ $x_1, x_2, \ldots, x_n \geq 0$

โดย

x_j = ตัวแปรตัดสินใจ หรือจำนวนหน่วยของกิจกรรมที่ j ที่จะตัดสินใจทำ j = 1, 2, ..., n

c_j = ผลตอบแทนหรือค่าใช้จ่าย ที่ได้จากการตัดสินใจทำกิจกรรมที่ j หนึ่งหน่วย

j = 1, 2, ..., n

a_{ij} = จำนวนทรัพยากรชนิดที่ i ที่จะใช้ในการทำกิจกรรมที่ j หนึ่งหน่วย

i = 1, 2, ..., m และ j = 1, 2,....., n

b_i = จำนวนทรัพยากรชนิดที่ i ที่มีอยู่เพื่อใช้ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ i = 1, 2, ..., m

ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นหรือโปรแกรมเชิงเส้นตรงมาตรฐานเป็นการนำข้อมูลทั้งหมดของปัญหาที่ต้องการหาผลลัพธ์มาสร้างให้อยู่ในรูปทางคณิตศาสตร์ ตัวแบบของปัญหาประกอบด้วย 3 ส่วน คือ สมการเป้าหมาย ข้อจำกัด และตัวแปรไม่เป็นลบ มีรายละเอียดดังนี้ (ประกอบ จิรกิติ, 2535)

1. สมการเป้าหมาย (Objective Function) มีลักษณะเป็นสมการเส้นตรงเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของต้นทุน กำไร เพื่อให้กำหนดเป้าหมายกำไรสูงสุดหรือต้นทุนต่ำสุด ซึ่งต้องเลือกกำหนดเป้าหมายเดียว สามารถเขียนรูปแบบสมการเป้าหมายได้ดังนี้

$$\text{Maximize} \quad Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \ldots\ldots\ldots + C_NX_N \qquad \ldots\ldots\ldots(1)$$

$$\text{Minimize} \quad Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \ldots\ldots\ldots + C_NX_N \qquad \ldots\ldots\ldots(2)$$

2. ข้อจำกัด (Constraints) แสดงข้อมูลข้อจำกัดต่าง ๆ ของทรัพยากรอยู่ในรูปของสมการเส้นตรงหรืออสมการเส้นตรง คำตอบอาจจะมีได้หลายคำตอบ ซึ่งคำตอบเหล่านี้อยู่ภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ ที่กำหนดให้ โดยที่สมการเป้าหมายเป็นตัวตัดสินว่าระหว่างคำตอบทั้งหมดของสมการแสดงขอบข่าย คำตอบใดเป็นคำตอบที่ดีที่สุด ตัวแปรต่าง ๆ เป็นตัวแทนจำนวนปริมาณหรือค่าของปัจจัยที่

มีอยู่จำกัดโดยการกำหนดของสมการหรืออสมการ ในขอบข่ายของปัญหา สามารถเขียนรูปแบบข้อจำกัดได้ดังนี้

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \ldots\ldots\ldots + a_{1n}X_n = b_1 \quad \ldots\ldots\ldots(3)$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \ldots\ldots\ldots + a_{2n}X_n > b_2 \quad \ldots\ldots\ldots(4)$$

$$a_{31}X_1 + a_{32}X_2 + \ldots\ldots\ldots + a_{3n}X_n < b_3 \quad \ldots\ldots\ldots(5)$$

3. ตัวแปรไม่ติดลบ (Non-negative) ในธุรกิจการก่อสร้างการดำเนินงานที่มีค่าเป็นลบนั้นไม่สมเหตุผล ดังนั้นตัวแปรทุกตัวต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ สามารถเขียนรูปแบบตัวแปรไม่ติดลบได้ดังนี้

$$X_j \geq 0 \ (j = 1, 2 \ldots\ldots n) \quad \ldots\ldots\ldots(6)$$

กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม

กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม คือ เครื่องมือสำหรับแก้ปัญหาค่าเหมาะสมที่สุดเช่นเดียวกับกำหนดการเชิงเส้น โดยแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มประกอบด้วยฟังก์ชันจุดประสงค์ และเงื่อนไขบังคับต่าง ๆ เหมือนกับแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น แต่มีอีกหนึ่งเงื่อนไขบังคับเพิ่มเติมแตกต่างจากกำหนดการเชิงเส้น คือ กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจบางตัวแปรหรือทุกตัวแปรมีค่าเป็นจำนวนเต็ม (อภิชัย ฤตวิรุฬห์, 2555, หน้า 3) รูปทั่วไปของตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม มีดังนี้

ฟังก์ชันจุดประสงค์

$$\text{Maximize หรือ Minimize} \quad Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n$$

เงื่อนไขบังคับ

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n \leq \text{หรือ} \geq \text{หรือ} = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n \leq \text{หรือ} \geq \text{หรือ} = b_2$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$a_{m1} + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n \leq \text{หรือ} \geq \text{หรือ} = b_m$$

ข้อจำกัดไม่เป็นลบและเป็นจำนวนเต็ม

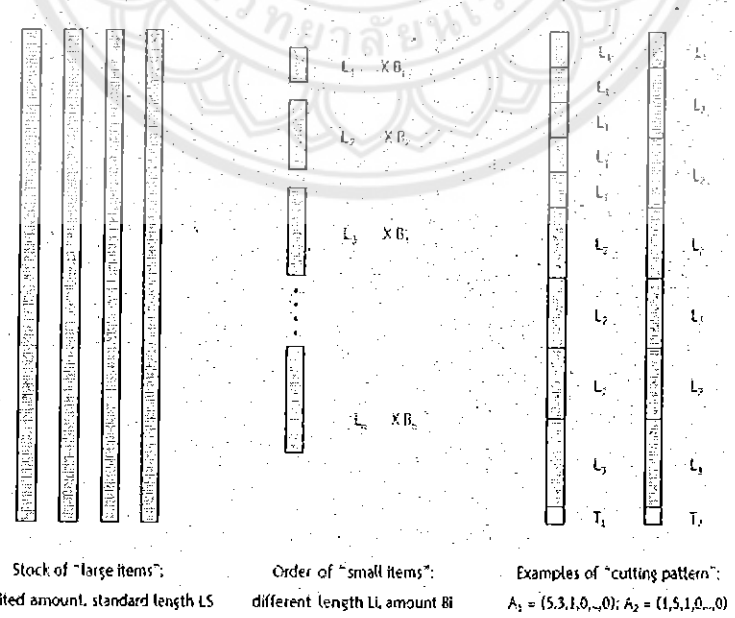
$$x_1, x_2, \ldots, x_n \geq 0 \text{ และ Integer}$$

ปัญหาการตัดแบ่งวัสดุหนึ่งมิติ

ลักษณะปัญหาการตัดแบ่งวัสดุหนึ่งมิติ

ปัญหาการตัดแบ่งวัสดุคงคลัง (Cutting Stock Problems: CSP) คือกลุ่มปัญหาหนึ่งที่เป็นแขนงหนึ่งของปัญหาการตัดและจัดเก็บ (Cutting and Packing Problems: C&P) ที่มีความหลากหลาย สามารถพิจารณาความแตกต่างของประเด็นปัญหาและแตกแขนงออกไปเป็นกลุ่มปัญหาย่อยจำนวนมาก ซึ่งมีชื่อเรียกแตกต่างกันไป (Dyckhoff, 1990) ซึ่ง CSP อาจพิจารณาวัตถุใน 1 มิติหรือมากกว่า

ปัญหาทั่วไปการตัดแบ่งวัสดุหนึ่งมิติ (Classical 1D-CSP) คือกลุ่มปัญหาทั่วไปที่มีวัสดุคงคลังเชิงเส้น (1 มิติ) และมีความยาวมาตรฐาน LS จำนวนไม่จำกัด โดยมีความต้องการตัดวัสดุนี้ออกเป็นท่อนที่ความยาวต่าง ๆ กันจำนวน n ความยาว (L_1, L_2, L_3, ..., L_n) แต่ละความยาวต้องการเป็นจำนวนหลาย ๆ ท่อน (B_1, B_2, B_3, ..., B_n) ตามลำดับ ซึ่งการตัดวัสดุนี้ออกเป็นท่อนตามที่ต้องการจะใช้รูปแบบการตัด (Cutting Pattern) โดยรูปแบบการตัดแต่ละแบบจะเป็นการจัดท่อนที่ความยาวต่าง ๆ กัน จำนวนต่าง ๆ กัน เพื่อให้มีผลรวมความยาวไม่เกินกว่าความยาวมาตรฐาน รูปแบบการตัดแบบที่ j ใด ๆ คือ $P_j = (a_{1j}, a_{2j}, a_{3j}, ..., a_{nj})$ โดยที่ a_{ij} คือจำนวนท่อนของการตัดที่ความยาว L_i ดังนั้น a_{ij} จึงเป็นจำนวนเต็มตั้งแต่ศูนย์ขึ้นไป โดยที่การตัดวัสดุตามรูปแบบการตัดแบบที่ j นี้อาจทำให้เกิดเศษการตัด (Trim Losses) (T_j) ที่มีความยาวท่อนสั้นกว่าความยาวที่ต้องการที่สั้นที่สุด ($0 < T_j < \text{Min}[L_i]$) มีเป้าหมายของการแก้ปัญหาคือเพื่อหารูปแบบการตัดที่ดีที่สุดที่ทำให้เกิดผลรวมของเศษการตัดน้อยที่สุด (Vahrenkamp, 1996) แสดงแผนภาพของ CSP ได้ดังภาพ 12



ภาพ 12 แสดงลักษณะทั่วไปของปัญหาการตัดแบ่งวัสดุหนึ่งมิติ

ตัวแบบคณิตศาสตร์ของปัญหาการตัดแบ่งวัสดุหนึ่งมิติ

จากแนวคิดการตัดแบ่งวัสดุหนึ่งมิติ (1D-CSP) เพื่อต้องการ Minimize เศษเหลือจากการตัด ได้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ดังนี้

Decision Variable: X_j

Objective Function: Minimize $\sum_j (T_j X_j)$ (1)

Subject To:

เงื่อนไขบังคับด้านความต้องการ: $(\sum_j(A_jX_j))_i = B_i$ สำหรับ i ตั้งแต่ 1 ถึง m (2)

J ตั้งแต่ 1 ถึง n

ข้อจำกัดจำนวนเต็มบวก: $X_j \geq 0$ และ $X_j \in N$ (3)

โดย:

X_j คือ จำนวนครั้งการตัดแบ่งวัสดุตามรูปแบบ A_j สำหรับ j ตั้งแต่ 1 ถึง n

T_j คือ เศษการตัดของรูปแบบ A_j ซึ่ง $T_j = LS - \sum_i a_{ij}L_i$ และ $0 < T_j < \text{Min } [L_i]$

ในขณะที่รูปแบบการตัดวัสดุใด ๆ ที่ใช้ $P_j = (a_{1j}, a_{2j}, a_{3j}, ..., a_{nj})$ จะต้องเป็นรูปแบบที่เป็นไปได้ (Feasible Cutting Patterns) ซึ่ง $\sum_i a_{ij}L_i \leq LS$

a_i คือ จำนวนท่อนของการตัดท่อนความยาว L_i ของรูปแบบการตัด A_j ซึ่ง $a_{ij} \geq 0$

L_i คือ ขนาดความยาวที่ต้องการสำหรับ i ตั้งแต่ 1 ถึง m

B_i คือ จำนวนท่อนของความยาว L_i ที่ต้องการ

LS คือ ขนาดความยาวของวัสดุคงคลัง

N คือ เซตของจำนวนนับ

งานวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาวิธีการตัดเหล็กหนึ่งมิติให้เหลือเศษจากการตัดน้อยที่สุดด้วยตัวแบบคณิตศาสตร์ของกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม โดยประยุกต์ใช้ตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มและรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการตัดแบ่งวัสดุหนึ่งมิติเข้าด้วยกัน จึงได้สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มสำหรับงานวิจัย ดังนี้

สำหรับเหล็กกลมมีขนาดความยาวมาตรฐาน 10 เมตร

การตัดเหล็กกลมที่มีความยาวมาตรฐาน ให้มีขนาดความยาว l_i เมตรเป็นจำนวน q_i ท่อน ตามความต้องการใช้งาน โดย i= 1, 2, ..., m ดังนั้น

$$\max_{1 \le i \le m} \le 10$$

กำหนดให้

Z คือ ผลรวมทั้งหมดของเศษเหล็กจากการตัด

a_{ij} คือ จำนวนท่อนของเหล็กกลมที่มีขนาดความยาว l_i ซึ่งตัดโดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j

x_j คือ จำนวนท่อนเหล็กกลมขนาดมาตรฐานที่ใช้ตัดโดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j

q_i คือ จำนวนท่อนเหล็กกลมที่มีขนาดความยาว l_i

c_j คือ ขนาดความยาวของเศษเหล็กจากการตัดเหล็กกลมขนาดมาตรฐานโดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j

ฟังก์ชันจุดประสงค์

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

ข้อจำกัด

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \ge q_i \qquad \text{for } i = 1, 2, ..., m$$

$$j = 1, 2, ..., n$$

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

สำหรับเหล็กข้ออ้อยมีขนาดความยาวมาตรฐาน 10 เมตรและ 12 เมตร

การตัดเหล็กกลมที่มีความยาวมาตรฐาน ให้มีขนาดความยาว l_i เมตรเป็นจำนวน q_i ท่อน ตามความต้องการใช้งาน โดย i= 1, 2, ..., m ดังนั้น

สำหรับเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดความยาวมาตรฐาน 10 เมตร

$$\max_{1 \le i \le m} \le 10$$

สำหรับเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดความยาวมาตรฐาน 12 เมตร

$$\max_{1 \le i \le m} \le 12$$

กำหนดให้

Z คือ ผลรวมทั้งหมดของเศษเหล็กจากการตัด

a_{ij} คือ จำนวนท่อนของเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดความยาว l_i ซึ่งตัดโดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j

x_{Aj} คือ จำนวนท่อนเหล็กข้ออ้อยขนาดมาตรฐาน 10 เมตร ที่ใช้ตัดโดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j

x_{Bj} คือ จำนวนท่อนเหล็กข้ออ้อยขนาดมาตรฐาน 12 เมตร ที่ใช้ตัดโดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j

q_i คือ จำนวนท่อนเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดความยาว l_i

c_{Aj} คือ ขนาดความยาวของเศษเหล็กจากการตัดเหล็กข้ออ้อยขนาดมาตรฐาน 10 เมตร โดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j

c_{Bj} คือ ขนาดความยาวของเศษเหล็กจากการตัดเหล็กข้ออ้อยขนาดมาตรฐาน 12 เมตร โดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j

ฟังก์ชันจุดประสงค์

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

ข้อจำกัด

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_{Aj} + \sum_{j=1}^{n'} a_{ij}x_{Bj} = q_i \quad \text{for } i = 1, 2, \ldots, m$$

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

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

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

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศรายุทธ มาลัย และคณะ (2557) ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง การวางแผนการตัดเหล็กเสริมและเหล็กรูปพรรณสำหรับก่อสร้างบ้านลอยน้ำด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนเต็ม พบว่า จำนวนเหล็กที่คำนวณได้จากโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนเต็มมีปริมาณการใช้น้อยกว่าการคำนวณตามหลักเกณฑ์ของกรมบัญชีกลาง และเมื่อพิจารณาร้อยละการสูญเสียเหล็กเทียบกับปริมาณเหล็กสุทธิไม่เผื่อการสูญเสีย พบว่า โปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนเต็มมีการสูญเสียเหล็กเสริมร้อยละ 5.68 และสูญเสียเหล็กรูปพรรณร้อยละ 14.39 น้อยกว่าการคำนวณตามหลักเกณฑ์ของกรมบัญชีกลาง

นิลวัฒน์ พัฒนพงษ์, (2556) ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง การควบคุมการสูญเสียเหล็กเสริมในการผลิตท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมสำหรับงานระบายน้ำใต้ผิวจราจร พบว่า การประยุกต์ใช้กำหนดการเชิงเส้นในการวางแผนตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยม สามารถลดปริมาณเหล็กเสริมได้สูงสุดร้อยละ 4.76 เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนการใช้เหล็กเสริมของโรงงานผลิต

ปนัดดา กองศิลป และคณะ (2555) ศึกษาและนำเสนอแนวทางแก้ไขปัญหาการตัดวัสดุร่วมกับการวางแผนความต้องการวัสดุด้วยการนำเสนอในรูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นตรง เพื่อให้ใช้วัสดุอย่างคุ้มค่าและเกิดเศษเหลือจากการตัดน้อยที่สุด และเพิ่มประสิทธิภาพระบบการผลิตให้ดียิ่งขึ้น

ศรายุทธ มาลัย (2553) ทำการศึกษาวิจัย เรื่องการประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงสำหรับการควบคุมการตัดเหล็กรูปพรรณ กรณีศึกษาโครงสร้างเหล็กอาคารหอประชุมใหญ่ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง พบว่า โปรแกรมเชิงเส้นตรงคำนวณหาวิธีการตัดวัสดุหนึ่งมิติที่มีความซับซ้อน คือ วัสดุมีความยาวหลายขนาดและวิธีการตัดวัสดุมีทางเลือกมากได้ดีกว่าการตัดสินใจตัดวัสดุโดยอาศัยความชำนาญหรือประสบการณ์ ช่วยลดปริมาณการใช้เหล็กรูปพรรณได้ร้อยละ 6.11 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้เหล็กรูปพรรณของผู้รับเหมา

วีระยุทธ นิรันดร์วัฒนาเดชา (2553) ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้างเพื่อลดปริมาณเศษเหล็ก โดยพิจารณาจากการตัดเหล็กเส้นให้เหมาะสมกับรูปแบบการใช้งาน และก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากเหล็กเป็นวัสดุที่มีความสำคัญในโครงการก่อสร้าง การใช้เหล็กเส้นอย่างคุ้มค่าสามารถลดปัญหาทางด้านต้นทุน ซึ่งมีการวิเคราะห์หารูปแบบ โดยการออกแบบโมเดลเพื่อสร้างรูปแบบการตัดและใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณบนไมโครซอฟท์เอ็กเซล จากการศึกษางานก่อสร้าง จำนวน 3 โครงการ พบว่า โครงการที่ 1 มีการวางแผนการตัดเหล็กอย่างมีระบบ เมื่อใช้โปรแกรมการวางแผนการตัดที่พัฒนาขึ้นพบว่าสามารถลดปริมาณเศษเหล็กได้ อีกทั้งยังสามารถลดเวลาในการคำนวณของวิศวกรได้อีกด้วย

จักรพันธ์ จ้อยเจริญ (2550) ได้ศึกษาการหาวิธีการตัดแบ่งเหล็กเส้นที่เหมาะสมสำหรับหลายโครงการก่อสร้าง ซึ่งได้เสนอวิธีการจัดรูปแบบการรวมโครงการตัดเหล็กเส้น 2 วิธีการ วิธีแรกพิจารณารูปแบบการรวมความต้องการเหล็กจากหลายโครงการก่อสร้างที่เหมาะสมเพื่อตัดร่วมกัน วิธีที่สองตั้งสมมุติฐานว่าปริมาณความต้องการและความหลากหลายของเหล็กที่ต้องการในแต่ละโครงการมีมากพอที่จะไม่ทำให้เกิดเศษจากการตัดมาก และจากการทดสอบกับข้อมูลความต้องการเหล็กจากโครงการก่อสร้างจริง ในเหล็กขนาด 12 มม. 16 มม. และ20 มม. พบว่าวิธีการที่ 1 มีเศษเหล็กเกิดขึ้นเท่ากับ 6.23% 0.25% และ 7.85% ตามลำดับ และวิธีการที่ 2 มีเศษเหล็กเกิดขึ้นเท่ากับ 6.27% 0.29% และ 7.94% ซึ่งน้อยกว่าค่าการเผื่อความสูญเสียมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยสำหรับ

เหล็กทั้ง 3 ขนาด ซึ่งมีค่า 9% 11% และ 13% ตามลำดับ ปริมาณความสูญเสียเศษเหล็กรวมของวิธีการทั้งสองมีค่าเท่ากับ 5.93% และ 6.0% ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นจริงในการทำงาน ซึ่งมีความสูญเสียเท่ากับ 9.84% จะเห็นได้ว่าการจัดรูปแบบการตัดเหล็กร่วมโครงการของทั้ง 2 วิธีการ สามารถลดความสูญเสียเหล็กเส้นที่ใช้ในงานก่อสร้างได้มากกว่าวิธีการที่ใช้กับอยู่ในปัจจุบัน ทำให้ต้นทุนของโครงการก่อสร้างที่เกิดขึ้นของทั้ง 2 วิธี ต่ำกว่าการตัดเหล็กแยกกันแต่ละโครงการ

Al-Zubaidy S.S., Dawood S.Q. and Khalaf I.D. (2016) ทำการศึกษาเรื่อง Optimal Utilization of Rebar Stock for Cutting Processes in Housing Project มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการใช้เหล็กเสริมและลดการสูญเสียด้วยการใช้กำหนดการเชิงเส้น โดยอาศัยโปรแกรม Advanced Interactive Mathematical Modeling System (AIMMS) ปัญหาการตัดเหล็กเสริมแบบหนึ่งมิติ จัดแบ่งออกเป็น 19 รูปแบบ ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม (25, 16, 12 และ 10 มิลลิเมตร) และความหลากหลายของการออกแบบโครงสร้างบ้าน (ฐานราก เสา คาน พื้น บันได ระเบียง และซุ้มประตู) โดยเหล็กเสริมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเดียวเมื่อเหลือจากกิจกรรมหนึ่งจะนำไปใช้กับกิจกรรมถัดไปตามขนาดความยาวที่ยังนำไปใช้ต่อได้ การคำนวณนี้เป็นผลให้นำเหล็กเสริมไปใช้ประโยชน์ได้สูงสุด โดยมีอัตราการใช้ประโยชน์ร้อยละ 98.53

Sawsan Sabeeh Al-Zubaidy และคณะ (2016) ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง Optimal Utilization of Rebar Stock for Cutting Processes in Housing Project มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการใช้เหล็กเสริมและลดการสูญเสียด้วยการใช้กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม โดยอาศัยโปรแกรม Advanced Interactive Mathematical Modeling System (AIMMS) ปัญหาการตัดเหล็กเสริมแบบหนึ่งมิติ จัดแบ่งออกเป็น 19 ปัญหา ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม (25, 16, 12 และ 10 มิลลิเมตร) และตามความหลากหลายของการออกแบบโครงสร้างบ้าน (ฐานราก เสา คาน พื้น บันได ระเบียง และซุ้มประตู) โดยเหล็กเสริมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเดียวกัน เมื่อเหลือจากกิจกรรมหนึ่งจะนำไปใช้กับกิจกรรมถัดไปตามขนาดความยาวที่ยังนำไปใช้ต่อได้ วิธีการนี้มีผลให้นำเหล็กเสริมไปใช้ประโยชน์ได้สูงสุด โดยมีอัตราการใช้ประโยชน์ถึงร้อยละ 98.53

Mustakerov I.C. and Borissova D.I. (2014) ศึกษาเรื่อง One-dimensional Cutting Stock Model for Joinery Manufacturing เป็นการศึกษาปัญหาการตัดวัสดุหนึ่งมิติของโรงงานผลิตบานประตูหน้าต่างไม้ ซึ่งชิ้นส่วนของบานประตูหน้าต่างไม้มีจำนวนและขนาดความแตกต่างกันในแต่ละโครงการ โดยมีเป้าหมายเพื่อหาความยาวที่เหมาะสมแต่ได้ขนาดและปริมาณสูงสุดตามการสั่งผลิตสำหรับทุกชิ้นส่วนบานประตูหน้าต่าง มีการหารูปแบบการตัดวัสดุที่เหมาะสมให้มีการสูญเสียจากการตัดน้อยที่สุด โดยใช้ combination optimization และนำเสนอผลเป็นตัวอย่างเชิงตัวเลข

Benjaoran V. and Bhokha S. (2013) ศึกษาวิจัยเรื่อง Trim Loss Minimization for Construction Reinforcement Steel with Oversupply Constraints งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาขั้นตอนในการวางแผนรูปแบบการตัดวัสดุให้สูญเสียน้อยที่สุดซึ่งเป็นปัญหาการตัดวัสดุหนึ่งมิติ โดยกำหนดรูปแบบการตัดให้มีประสิทธิภาพและเลือกรูปแบบการตัดที่มีความเหมาะสม สร้างแบบจำลองของปัญหาให้มากกว่าข้อจำกัดแต่ไม่เกินกว่าจำนวนที่ต้องการ แล้วเลือกวิธีรูปแบบการตัดที่ดีที่สุด รูปแบบการตัดนี้จะไม่ทำให้จำนวนเหล็กที่ใช้มากเกินกว่าที่ต้องการ ซึ่งจะเป็นขยะ ผลการวิจัยพบว่า รูปแบบการตัดที่สร้างขึ้นนี้ทำให้สูญเสียวัสดุลดลง มีประสิทธิภาพเหมาะสม การสูญเสียวัสดุอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมให้และได้จำนวนทั้งหมดตรงตามที่ต้องการ

Afshar A., Amiri H. and Eshtehardian E. (2008) ทำการศึกษาเรื่อง An Improved Linear Programming Model for One-dimensional Cutting Stock Problem เป็นการพัฒนาตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น สำหรับปัญหาการตัดวัสดุที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่มาใช้ทดแทนวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่า ตัวแบบที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้ลดการสูญเสียจากการทำงานได้ตามวัตถุประสงค์แสดงให้เห็นโดยการประยุกต์ใช้กับกรณีตัวอย่าง

Ritvirool A. (2007) ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง A Trim-Loss Minimization in a Produce-Handling Vehicle Production Plant ใช้แบบจำลองโปรแกรมจำนวนเชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนเต็มเพื่อแก้ปัญหาตัดชิ้นส่วนต่าง ๆ จากวัสดุให้ได้จำนวนชิ้นตามความต้องการ โดยให้มีเศษเหลือทิ้งจากการตัดน้อยที่สุด และสามารถนำมาใช้วางแผนเวลาล่วงหน้าของการสั่งซื้อวัสดุ โดยเลือกสั่งซื้อในแบบใดแบบหนึ่ง ดังนี้ แบบรายสัปดาห์ รายเดือน รายสามเดือน หรือรายปี โดยมีตัวอย่างกรณีศึกษาการตัดเหล็กฉากซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในโรงงานการผลิตรถบรรทุกเพื่อการเกษตร

Salem, O., Shahin, A., and Khalifa, Y. (2007) ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการตัดเหล็กเส้นให้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุดโดยใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม

Chinanuwatwong S. (2000) ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง Reducing Waste from Cutting Reinforcing Steel in Construction Projects แสดงวิธีการลดเศษวัสดุที่เหลือจากการตัดเหล็ก โดยแบ่งวิธีการออกเป็น 2 ขั้นตอน ประกอบด้วยขั้นตอนที่ 1 คือการรวบรวมข้อมูลระเบียนการตัดเหล็กเสริมและเปอร์เซ็นต์ของของเสียที่เกิดจากการตัด ขั้นตอนที่ 2 หาวิธีการที่จะลดปริมาณของเสียจากการตัด งานวิจัยนี้ดำเนินการโดยทฤษฎีการจัดหมวดหมู่เพื่อที่จะสร้างรูปแบบการตัดเหล็กเสริมที่เป็นไปได้ทั้งหมด และทฤษฎีโปรแกรมทางคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหารูปแบบที่มีของเสียต่ำสุด โปรแกรมคอมพิวเตอร์ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อสร้างรูปแบบการตัดเหล็กเสริม กำหนดโมเดลทางคณิตศาสตร์และแก้ปัญหาโมเดลนั้น ผลวิจัยแสดงให้เห็นว่าเหล็กเสริมที่สูญเสียจากการวิเคราะห์น้อยกว่าเหล็กเสริมที่สูญเสียจากข้อมูลระเบียนการตัด

Harald Dyckhoff (1990, pp. 145-159) กล่าวถึงโครงสร้างตรรกะพื้นฐานของรูปแบบวิธีการตัดวัสดุมิติเดียว

Gilmore และ Gomory (1963, pp. 863-888) ได้เพิ่มเติมวิธีการแก้ปัญหาการตัดวัสดุมิติเดียวให้สูญเสียเศษวัสดุต่ำที่สุดโดยทฤษฎีกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มสำหรับปัญหาที่มีรูปแบบการตัดวัสดุค่อนข้างมาก

Gilmore และ Gomory (1961, pp. 849-859) เป็นผู้ริเริ่มในการหาวิธีการแก้ปัญหาการตัดวัสดุโดยวิธีการสร้างรูปแบบการตัด (Pattern Generation Technique) ในการแก้ปัญหาการตัดวัสดุมิติเดียวให้สูญเสียเศษวัสดุต่ำที่สุด โดยใช้ทฤษฎีกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming)

Leonid Vitaliyevich Kantorovich (1960, pp. 366-422) นักคณิตศาสตร์และเศรษฐศาสตร์ชาวรัสเซียที่ได้รับรางวัลโนเบลด้านเศรษฐศาสตร์ในปี ค.ศ. 1975 เป็นผู้ริเริ่มปัญหาการตัดวัสดุ กล่าวถึงวิธีการทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับการจัดระบบและการวางแผนการผลิต โดยมีปัญหาวัสดุที่ใช้ในวงการอุตสาหกรรมและวงการก่อสร้างซึ่งรูปร่างลักษณะเป็นท่อนยาวมาตรฐาน เช่น ม้วนกระดาษ เหล็กเส้น เมื่อนำมาใช้งานจะต้องตัดให้มีขนาดความยาวตามความต้องการใช้งานโดยให้เกิดการสูญเสียเศษวัสดุจากการตัดน้อยที่สุด

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

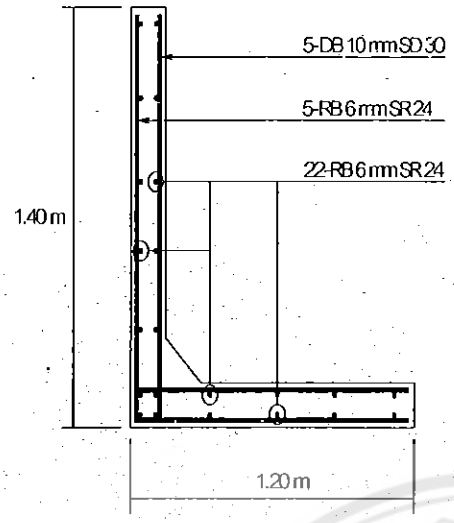
การวิจัยวิธีการตัดเหล็กเสริมเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มเพื่อหาวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ให้เหลือเศษเหล็กน้อยที่สุด และวิเคราะห์หาผลลัพธ์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

- การถอดแบบรายการเหล็กเสริมกำแพงกันดิน
- การเก็บรวมรวมข้อมูล
- การจัดหมู่วิธีการตัดเหล็กเสริม
- ตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม
- การวิเคราะห์ข้อมูล

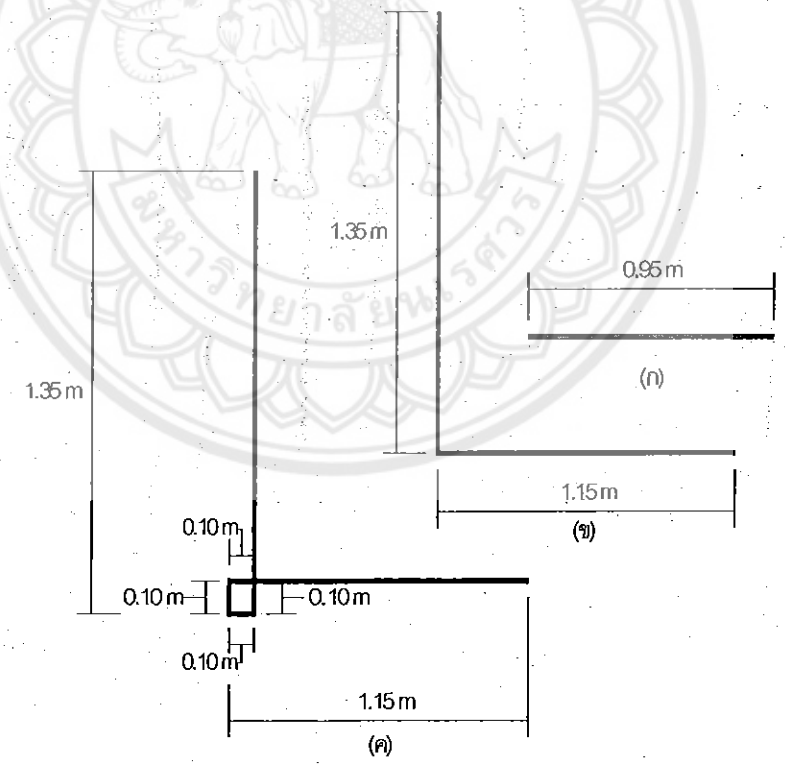
การถอดแบบรายการเหล็กเสริมกำแพงกันดิน

การถอดแบบรายการเหล็กเสริมของกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

1. ศึกษารายละเอียดจากแบบกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ที่วิศวกรผู้ออกแบบได้ออกแบบไว้
2. ดำเนินการถอดแบบรายการเหล็กเสริม ประกอบด้วยรายเอียดของ ชนิดเหล็กเสริม ขนาดความยาว และจำนวน ที่ต้องการใช้งานสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลหนึ่งแท่ง



ภาพ 13 แสดงแบบกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล



ภาพ 14 แสดงรายละเอียดขนาดความยาวเหล็กเสริมในกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล : (ก) RB 6 mm SR 24 ขนาดความยาว 0.95 เมตร (ข) RB 6 mm SR 24 ขนาดความยาว 2.50 เมตร (ค) DB 10 mm SD 30 ขนาดความยาว 2.70 เมตร

จากการถอดแบบเหล็กเสริมสำหรับการใช้งานในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลหนึ่งแท่ง ประกอบด้วย

1) เหล็กเส้นกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร (RB 6 mm SR 24) ขนาดความยาว 2.50 และ 0.95 เมตร จำนวน 5 และ 22 ท่อนตามลำดับ

2) เหล็กข้ออ้อย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร (DB 10 mm SD 30) ขนาดความยาว 2.70 เมตร จำนวน 5 ท่อน

การเก็บรวมรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลเหล็กเสริมของการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลสำหรับการสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มของวิธีการตัดเหล็กเสริมเพื่อลดปริมาณเศษเหล็ก ประกอบด้วยข้อมูล จำนวนกำแพงกันดินคอนกรีตที่ผลิต ชนิดเหล็กเสริม ขนาดความยาว และจำนวน ที่ต้องการใช้งานในการผลิต โดยบริษัท พี.เอ. คอนกรีต จำกัด อำเภอเมืองลำปาง จังหวัดลำปาง มีนโยบายผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตตามจำนวนที่มีคำสั่งซื้อ ดังนั้นเหล็กเสริมที่ต้องการใช้งานจะต้องมีจำนวนพอดีกับการผลิตตามคำสั่งซื้อแต่ละครั้ง ข้อมูลที่เก็บรวมรวมสำหรับการวิจัยครั้งนี้ใช้สำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลจำนวน 1 – 200 แท่ง รายละเอียดปรากฏดังตาราง 7

ตาราง 7 แสดงจำนวนเหล็กเสริมที่ต้องการใช้งาน จำแนกตามจำนวนผลิตกำแพงกันดินคอนกรีต ชนิด และขนาดความยาวของเหล็กเสริม

จำนวนผลิต	เหล็กเสริม RB 6 มิลลิเมตร		เหล็กเสริม DB 10 มิลลิเมตร
(แท่ง)	ขนาด 2.50 ม. (ท่อน)	ขนาด 0.95 ม. (ท่อน)	ขนาด 2.70 เมตร (ท่อน)
1	5	22	5
2	10	44	10
3	15	66	15
4	20	88	20
5	25	110	25
6	30	132	30
7	35	154	35
8	40	176	40
9	45	198	45

ตาราง 7 (ต่อ)

จำนวนผลิต (แท่ง)	เหล็กเสริม RB 6 มิลลิเมตร		เหล็กเสริม DB 10 มิลลิเมตร
	ขนาด 2.50 ม. (ท่อน)	ขนาด 0.95 ม. (ท่อน)	ขนาด 2.70 เมตร (ท่อน)
10	50	220	50
11	55	242	55
12	60	264	60
13	65	286	65
14	70	308	70
15	75	330	75
16	80	352	80
17	85	374	85
18	90	396	90
19	95	418	95
20	100	440	100
21	105	462	105
22	110	484	110
23	115	506	115
24	120	528	120
25	125	550	125
26	130	572	130
27	135	594	135
28	140	616	140
29	145	638	145
30	150	660	150
31	155	682	155
32	160	704	160
33	165	726	165
34	170	748	170
35	175	770	175
36	180	792	180

ตาราง 7 (ต่อ)

จำนวนผลิต	เหล็กเสริม RB 6 มิลลิเมตร		เหล็กเสริม DB 10 มิลลิเมตร
(แท่ง)	ขนาด 2.50 ม. (ท่อน)	ขนาด 0.95 ม. (ท่อน)	ขนาด 2.70 เมตร (ท่อน)
37	185	814	185
38	190	836	190
39	195	858	195
40	200	880	200
41	205	902	205
42	210	924	210
43	215	946	215
44	220	968	220
45	225	990	225
46	230	1,012	230
47	235	1,034	235
48	240	1,056	240
49	245	1,078	245
50	250	1,100	250
51	255	1,122	255
52	260	1,144	260
53	265	1,166	265
54	270	1,188	270
55	275	1,210	275
56	280	1,232	280
57	285	1,254	285
58	290	1,276	290
59	295	1,298	295
60	300	1,320	300
61	305	1,342	305
62	310	1,364	310
63	315	1,386	315

ตาราง 7 (ต่อ)

จำนวนผลิต (แท่ง)	เหล็กเสริม RB 6 มิลลิเมตร		เหล็กเสริม DB 10 มิลลิเมตร
	ขนาด 2.50 ม. (ท่อน)	ขนาด 0.95 ม. (ท่อน)	ขนาด 2.70 เมตร (ท่อน)
64	320	1,408	320
65	325	1,430	325
66	330	1,452	330
67	335	1,474	335
68	340	1,496	340
69	345	1,518	345
70	350	1,540	350
71	355	1,562	355
72	360	1,584	360
73	365	1,606	365
74	370	1,628	370
75	375	1,650	375
76	380	1,672	380
77	385	1,694	385
78	390	1,716	390
79	395	1,738	395
80	400	1,760	400
81	405	1,782	405
82	410	1,804	410
83	415	1,826	415
84	420	1,848	420
85	425	1,870	425
86	430	1,892	430
87	435	1,914	435
88	440	1,936	440
89	445	1,958	445
90	450	1,980	450

ตาราง 7 (ต่อ)

จำนวนผลิต	เหล็กเสริม RB 6 มิลลิเมตร		เหล็กเสริม DB 10 มิลลิเมตร
(แท่ง)	ขนาด 2.50 ม. (ท่อน)	ขนาด 0.95 ม. (ท่อน)	ขนาด 2.70 เมตร (ท่อน)
91	455	2,002	455
92	460	2,024	460
93	465	2,046	465
94	470	2,068	470
95	475	2,090	475
96	480	2,112	480
97	485	2,134	485
98	490	2,156	490
99	495	2,178	495
100	500	2,200	500
101	505	2,222	505
102	510	2,244	510
103	515	2,266	515
104	520	2,288	520
105	525	2,310	525
106	530	2,332	530
107	535	2,354	535
108	540	2,376	540
109	545	2,398	545
110	550	2,420	550
111	555	2,442	555
112	560	2,464	560
113	565	2,486	565
114	570	2,508	570
115	575	2,530	575
116	580	2,552	580
117	585	2,574	585

ตาราง 7 (ต่อ)

จำนวนผลิต (แท่ง)	เหล็กเสริม RB 6 มิลลิเมตร		เหล็กเสริม DB 10 มิลลิเมตร
	ขนาด 2.50 ม. (ท่อน)	ขนาด 0.95 ม. (ท่อน)	ขนาด 2.70 เมตร (ท่อน)
118	590	2,596	590
119	595	2,618	595
120	600	2,640	600
121	605	2,662	605
122	610	2,684	610
123	615	2,706	615
124	620	2,728	620
125	625	2,750	625
126	630	2,772	630
127	635	2,794	635
128	640	2,816	640
129	645	2,838	645
130	650	2,860	650
131	655	2,882	655
132	660	2,904	660
133	665	2,926	665
134	670	2,948	670
135	675	2,970	675
136	680	2,992	680
137	685	3,014	685
138	690	3,036	690
139	695	3,058	695
140	700	3,080	700
141	705	3,102	705
142	710	3,124	710
143	715	3,146	715
144	720	3,168	720

ตาราง 7 (ต่อ)

จำนวนผลิต (แท่ง)	เหล็กเสริม RB 6 มิลลิเมตร		เหล็กเสริม DB 10 มิลลิเมตร
	ขนาด 2.50 ม. (ท่อน)	ขนาด 0.95 ม. (ท่อน)	ขนาด 2.70 เมตร (ท่อน)
145	725	3,190	725
146	730	3,212	730
147	735	3,234	735
148	740	3,256	740
149	745	3,278	745
150	750	3,300	750
151	755	3,322	755
152	760	3,344	760
153	765	3,366	765
154	770	3,388	770
155	775	3,410	775
156	780	3,432	780
157	785	3,454	785
158	790	3,476	790
159	795	3,498	795
160	800	3,520	800
161	805	3,542	805
162	810	3,564	810
163	815	3,586	815
164	820	3,608	820
165	825	3,630	825
166	830	3,652	830
167	835	3,674	835
168	840	3,696	840
169	845	3,718	845
170	850	3,740	850
175	855	3,762	855

ตาราง 7 (ต่อ)

จำนวนผลิต (แท่ง)	เหล็กเสริม RB 6 มิลลิเมตร		เหล็กเสริม DB 10 มิลลิเมตร
	ขนาด 2.50 ม. (ท่อน)	ขนาด 0.95 ม. (ท่อน)	ขนาด 2.70 เมตร (ท่อน)
176	860	3,784	860
177	865	3,806	865
178	870	3,828	870
179	875	3,850	875
180	880	3,872	880
181	885	3,894	885
182	890	3,916	890
183	895	3,938	895
184	900	3,960	900
185	905	3,982	905
186	910	4,004	910
187	915	4,026	915
188	920	4,048	920
189	925	4,070	925
190	930	4,092	930
191	935	4,114	935
192	940	4,136	940
193	945	4,158	945
194	950	4,180	950
195	955	4,202	955
196	960	4,224	960
197	965	4,246	965
198	970	4,268	970
199	975	4,290	975
200	980	4,312	980

การจัดหมู่วิธีการตัดเหล็กเสริม

ก่อนการดำเนินการสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มของวิธีการตัดเหล็กเสริมเพื่อลดปริมาณเศษเหล็ก มีความจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์รายละเอียดของจำนวนวิธีในการจัดหมู่วิธีการทั้งหมดที่เป็นไปได้จากการตัดเหล็กเสริม

จำนวนวิธีในการจัดหมู่วิธีการทั้งหมดที่เป็นไปได้จากการตัดเหล็กเสริมสำหรับเหล็กเส้นกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร (RB 6 mm SR 24) ซึ่งมีความยาวมาตรฐาน 10 เมตร เพื่อให้ได้ขนาดความยาว 2.50 และ 0.95 เมตร ตามความต้องการใช้งาน จำนวนหมู่วิธีทั้งหมดที่เป็นไปได้ 28 วิธี .รายละเอียดดังปรากฏในตาราง 8

ตาราง 8 แสดงการจัดหมู่วิธีการตัดเหล็กเส้นกลม RB6 mm. ที่มีความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ความยาว 2.50 และ 0.95 เมตร

หมู่วิธีตัด	ขนาดความยาวตามความต้องการใช้งาน (เมตร)										เศษเหล็ก (เมตร)
1	2.50										7.50
2	2.50	2.50									5.00
3	2.50	2.50	2.50								2.50
4	2.50	2.50	2.50	2.50							0.00
5	0.95										9.05
6	0.95	0.95									8.10
7	0.95	0.95	0.95								7.15
8	0.95	0.95	0.95	0.95							6.20
9	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95						5.25
10	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95					4.30
11	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95				3.35
12	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95			2.40
13	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95		1.45
14	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.50
15	2.50	0.95									6.55
16	2.50	0.95	0.95								5.60
17	2.50	0.95	0.95	0.95							4.65
18	2.50	0.95	0.95	0.95	0.95						3.70
19	2.50	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95					2.75

ตาราง 8 (ต่อ)

หมู่วิธีตัด	ขนาดความยาวตามความต้องการใช้งาน (เมตร)								เศษเหล็ก (เมตร)
20	2.50	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95		1.80
21	2.50	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.85
22	2.50	2.50	0.95						4.05
23	2.50	2.50	0.95	0.95					3.10
24	2.50	2.50	0.95	0.95	0.95				2.15
25	2.50	2.50	0.95	0.95	0.95	0.95			1.20
26	2.50	2.50	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95		0.25
27	2.50	2.50	2.50	0.95					1.55
28	2.50	2.50	2.50	0.95	0.95				0.60

จำนวนวิธีในการจัดหมู่วิธีการทั้งหมดที่เป็นไปได้จากการตัดเหล็กเสริม สำหรับเหล็กข้ออ้อย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร (DB 10 mm SD 30) ซึ่งมีความยาวมาตรฐาน 10 เมตร เพื่อให้ได้ขนาดความยาว 2.70 ตามความต้องการใช้งาน จำนวนหมู่วิธีทั้งหมดที่เป็นไปได้ 3 วิธี รายละเอียดดังปรากฏในตาราง 9

ตาราง 9 แสดงการจัดหมู่วิธีการตัดเหล็กข้ออ้อย DB10 mm. ที่มีความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ความยาว 2.70 เมตร

หมู่วิธีตัด	ขนาดความยาวตามความต้องการใช้งาน (เมตร)			เศษเหล็ก (เมตร)
1	2.70			7.30
2	2.70	2.70		4.60
3	2.70	2.70	2.70	1.90

จำนวนวิธีในการจัดหมู่วิธีการทั้งหมดที่เป็นไปได้จากการตัดเหล็กเสริม สำหรับเหล็กข้ออ้อย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร (DB 10 mm SD 30) ซึ่งมีความยาวมาตรฐาน 12 เมตร เพื่อให้ได้ขนาดความยาว 2.70 ตามความต้องการใช้งาน จำนวนหมู่วิธีทั้งหมดที่เป็นไปได้ 4 วิธี รายละเอียดดังปรากฏในตาราง 10

ตาราง 10 แสดงการจัดหมู่วิธีการตัดเหล็กข้ออ้อย DB10 mm. ที่มีความยาวมาตรฐาน 12 เมตร ให้ได้ความยาว 2.70 เมตร

หมู่วิธีตัด	ขนาดความยาวตามความต้องการใช้งาน (เมตร)				เศษเหล็ก (เมตร)
1	2.70				9.30
2	2.70	2.70			6.60
3	2.70	2.70	2.70		3.90
4	2.70	2.70	2.70	2.70	1.20

ตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม

การสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้เศษเหล็กรวมน้อยที่สุด อาศัยข้อมูลจากการถอดแบบรายการเหล็กเสริมกำแพงกันดิน ประกอบด้วยข้อมูล ชนิดของเหล็ก ขนาดความยาว และจำนวน ของเหล็กเสริมที่ต้องการตัดเพื่อใช้งาน รายละเอียดของจำนวนวิธีในการจัดหมู่วิธีการทั้งหมดที่เป็นไปได้จากการตัดเหล็กเสริม รูปแบบมาตรฐานทั่วไปของตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม มีดังนี้

การตัดเหล็กเส้นกลมที่มีความยาวมาตรฐาน ให้มีขนาดความยาว l_i เมตรเป็นจำนวน q_i ท่อน ตามความต้องการใช้งาน โดย $i = 1, 2, \ldots, m$ ดังนั้น

$$\max_{1 \le i \le m} \le 10$$

กำหนดให้

Z คือ ผลรวมทั้งหมดของเศษเหล็กจากการตัด

a_{ij} คือ จำนวนท่อนของเหล็กกลมที่มีขนาดความยาว l_i ซึ่งตัดโดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j

x_j คือ จำนวนท่อนเหล็กกลมขนาดมาตรฐานที่ใช้ตัดโดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j

q_i คือ จำนวนท่อนเหล็กกลมที่มีขนาดความยาว l_i

c_j คือ ขนาดความยาวของเศษเหล็กจากการตัดเหล็กกลมขนาดมาตรฐานโดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j

ฟังก์ชันจุดประสงค์

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

ข้อจำกัด

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j = q_i \qquad \text{for } i = 1, 2, \ldots, m$$

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

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

ตัวอย่างสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตจำนวน 20 แห่ง **ตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม** เหล็กเส้นกลม RB6 mm. ขนาดความยาวมาตรฐาน 10 เมตร **เพื่อให้ได้เหล็กเส้นกลมขนาดความยาว** 2.50 เมตร จำนวน 100 ท่อน และขนาดความยาว 0.95 เมตร จำนวน 440 ท่อน ตามความต้องการใช้งาน มีดังนี้

กำหนดให้

Z คือ ผลรวมทั้งหมดของเศษเหล็กจากการตัด

x_j คือ จำนวนท่อนเหล็กเส้นกลม RB6 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ที่ใช้ตัดโดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j โดย j = 1, 2, ..., 28

ฟังก์ชันจุดประสงค์

$$\begin{aligned}\text{Minimize} \quad Z = {} & 7.50x_1 + 5.00x_2 + 2.50x_3 + 0.00x_4 + 9.05x_5 + 8.10x_6 + 7.15x_7 \\ & + 6.20x_8 + 5.25x_9 + 4.30x_{10} + 3.35x_{11} + 2.40x_{12} + 1.45x_{13} \\ & + 0.50x_{14} + 6.55x_{15} + 5.60x_{16} + 4.65x_{17} + 3.70x_{18} + 2.75x_{19} \\ & + 1.80x_{20} + 0.85x_{21} + 4.05x_{22} + 3.10x_{23} + 2.15x_{24} + 1.20x_{25} \\ & + 0.25x_{26} + 1.55x_{27} + 0.60x_{28}\end{aligned}$$

เงื่อนไขบังคับ

ขนาดความยาว 2.50 เมตร

$$x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 4x_4 + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19}$$
$$+ x_{20} + x_{21} + 2x_{22} + 2x_{23} + 2x_{24} + 2x_{25} + 2x_{26} + 3x_{27} + 3x_{28} = 100$$

ขนาดความยาว 0.95 เมตร

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

ข้อจำกัดไม่เป็นลบ $x_1, x_2, \ldots, x_{28} \geq 0$ and integer

สำหรับเหล็กข้ออ้อยมีขนาดความยาวมาตรฐาน 10 เมตรและ 12 เมตร

การตัดเหล็กเส้นที่มีความยาวมาตรฐาน ให้มีขนาดความยาว l_i เมตรเป็นจำนวน q_i ท่อน ตามความต้องการใช้งาน โดย $i = 1, 2, \ldots, m$ ดังนั้น

สำหรับเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดความยาวมาตรฐาน 10 เมตร

$$\max_{1 \leq i \leq m} \leq 10$$

สำหรับเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดความยาวมาตรฐาน 12 เมตร

$$\max_{1 \leq i \leq m} \leq 12$$

กำหนดให้

Z คือ ผลรวมทั้งหมดของเศษเหล็กจากการตัด

a_{ij} คือ จำนวนท่อนของเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดความยาว l_i ซึ่งตัดโดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j

x_{Aj} คือ จำนวนท่อนเหล็กข้ออ้อยขนาดมาตรฐาน 10 เมตร ที่ใช้ตัดโดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j

x_{Bj} คือ จำนวนท่อนเหล็กข้ออ้อยขนาดมาตรฐาน 12 เมตร ที่ใช้ตัดโดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j

q_i คือ จำนวนท่อนเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดความยาว l_i

c_{Aj} คือ ขนาดความยาวของเศษเหล็กจากการตัดเหล็กข้ออ้อยขนาดมาตรฐาน 10 เมตร โดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j

c_{Bj} คือ ขนาดความยาวของเศษเหล็กจากการตัดเหล็กข้ออ้อยขนาดมาตรฐาน 12 เมตร โดยรูปแบบการตัดวิธีที่ j

ฟังก์ชันจุดประสงค์

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

ข้อจำกัด

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_{Aj} + \sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_{Bj} = q_i \quad \text{for } i = 1, 2, \ldots, m$$
$$J = 1, 2, \ldots, n$$

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

ตัวอย่างสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตจำนวน 20 แท่ง **ตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม** เหล็กข้ออ้อย DB10 mm. ขนาดความยาวมาตรฐาน 10 และ 12 เมตร **เพื่อให้ได้**เหล็กข้ออ้อยขนาดความยาว 2.70 เมตร จำนวน 100 ท่อน ตามความต้องการใช้งาน มีดังนี้

กำหนดให้

Z คือ ผลรวมทั้งหมดของเศษเหล็กจากการตัด

x_{Aj} คือ จำนวนท่อนเหล็กข้ออ้อยขนาดมาตรฐาน 10 เมตร **ที่ใช้ตัดโดยรูปแบบการตัดวิธีที่** j โดย j = 1, 2, 3

x_{Bj} คือ จำนวนท่อนเหล็กข้ออ้อยขนาดมาตรฐาน 12 เมตร **ที่ใช้ตัดโดยรูปแบบการตัดวิธีที่** j โดย j = 1, 2, 3, 4

ฟังก์ชันจุดประสงค์

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

เงื่อนไขบังคับ

ขนาดความยาว 2.70 เมตร

$$x_{A1} + 2x_{A2} + 3x_{A3} + x_{B1} + 2x_{B2} + 3x_{B3} + 4x_{B4} = 100$$

ข้อจำกัดไม่เป็นลบ $x_{A1}, x_{A2}, x_{A3}, x_{B1}, x_{B2}, x_{B3}, x_{B4} \geq 0$ and integer

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์หาผลลัพธ์ของตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม ของวิธีการตัดเหล็กเสริมเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ใช้โปรแกรม Solver ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ร่วมกับโปรแกรม Microsoft Excel โปรแกรม Solver มาพร้อมกับ Microsoft Excel ตั้งแต่เวอร์ชัน 3.0 เป็นต้นมา สามารถใช้งานได้โดยเรียกใช้งานผ่าน Add-ins ประโยชน์ของโปรแกรม Solver คือเป็นเครื่องมือช่วยในการหาคำตอบของเป้าหมายที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว สามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวันสำหรับการวางแผนการดำเนินงานของภาคอุตสาหกรรม ภาคการผลิตการเกษตร การเงิน การโฆษณา และอื่นๆ

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การวิจัย เรื่อง วิธีการตัดเหล็กเสริมเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มเพื่อหาวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ให้เหลือเศษเหล็กน้อยที่สุด และวิเคราะห์หาผลลัพธ์ ผลการวิจัยได้นำเสนอวิธีการตัดเหล็กเสริมเพื่อใช้ในการผลิตกำแพงกันดิน เป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 วิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล จำนวน 1 ถึง 200 แท่ง

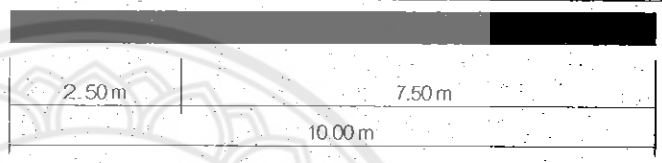
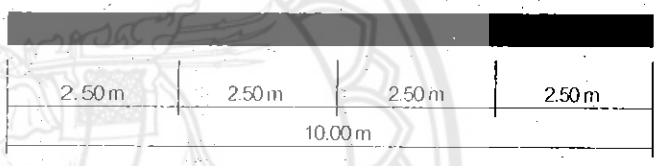
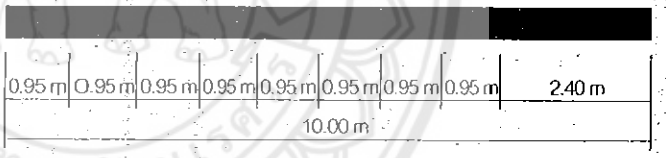
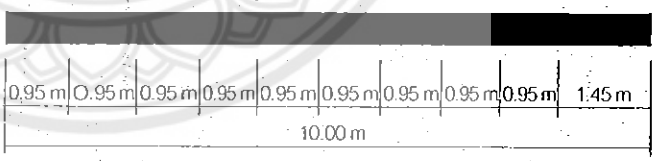
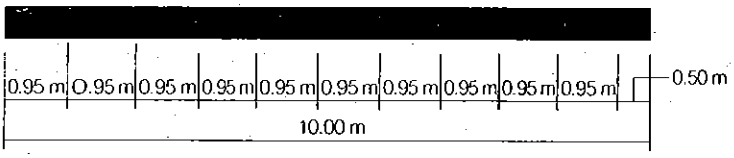
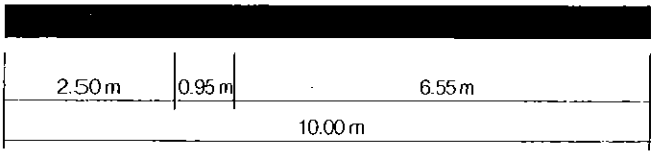
ตอนที่ 2 จำนวนการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลเหมาะที่สุด สำหรับช่วงการผลิต 1 ถึง 200 แท่ง

ตอนที่ 1 วิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล จำนวน 1 ถึง 200 แท่ง

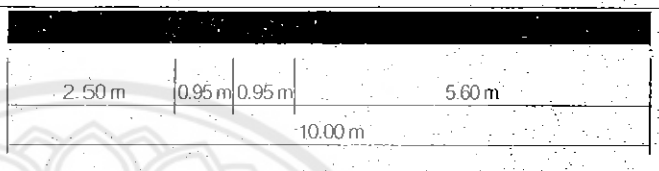
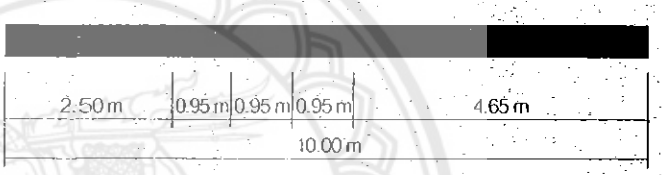
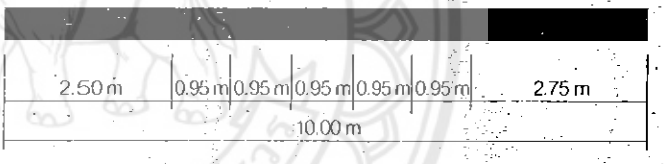
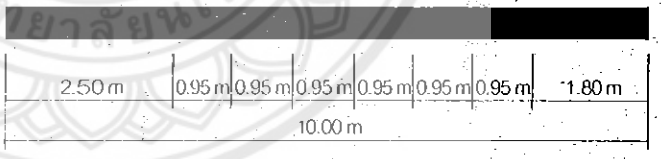
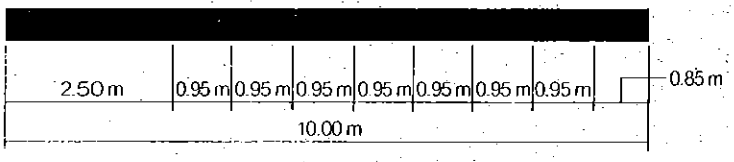
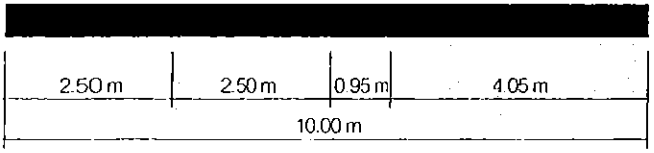
การผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ที่มีความหนา 0.15 เมตร ความกว้าง 1.20 เมตร ความสูง 1.40 เมตร ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปของบริษัท พี.เอ. คอนกรีต จำกัด เลขที่ 70 กม. 3-4 หมู่ 11 ถนนไฮเวย์ลำปาง-เชียงใหม่ ตำบลปงแสนทอง อำเภอเมืองลำปาง จังหวัดลำปาง ใช้เหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร (RB 6 mm SR 24) และใช้เหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร (DB 10 mm SD 30)

1. การตัดเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร (RB 6 mm SR 24) ที่มีความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ขนาดความยาว 2.50 เมตร และ 0.95 เมตร ตามความต้องการใช้งาน เพื่อให้เหลือเศษเหล็กน้อยที่สุด สำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 1 ถึง 200 แท่ง มีวิธีการต่าง ๆ รวมทั้งหมด 18 วิธี คือวิธี R1 ถึง R18 ดังตาราง 11

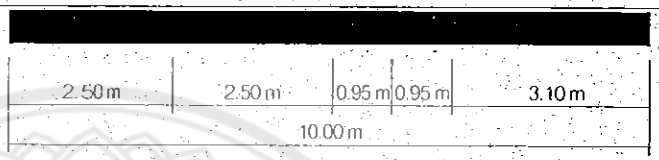
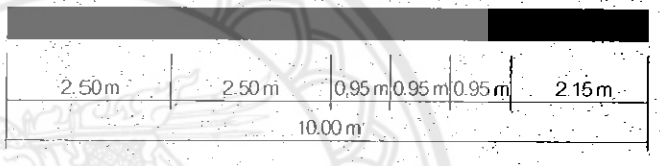
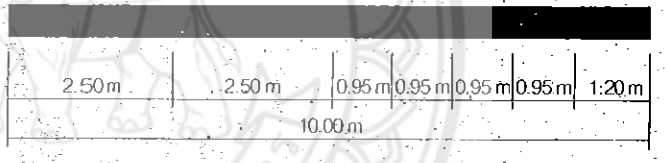
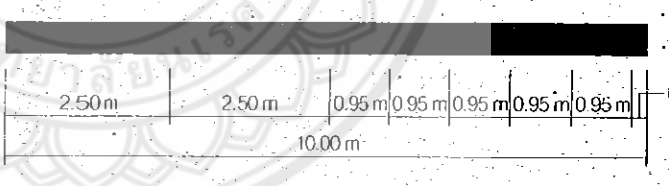
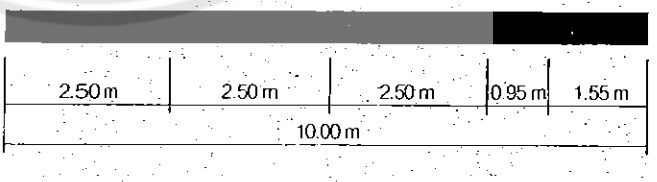
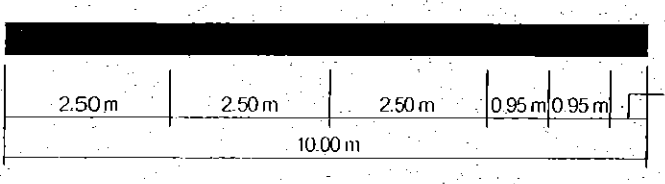
ตาราง 11 แสดงวิธีการตัดเหล็กเส้นกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร (RB 6 mm SR 24) ที่มีความยาวมาตรฐาน 10 เมตร

วิธี	ขนาดตามความต้องการ		เศษเหล็กเสริม (m)	รูปแบบการตัดเหล็กเส้นกลม 6 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร
	2.50 (m) ตัดได้ (ท่อน)	0.95 (m) ตัดได้ (ท่อน)		
R-1	1	-	7.50	
R-2	4	-	-	
R-3	-	8	2.40	
R-4	-	9	1.45	
R-5	-	10	0.50	
R-6	1	1	6.55	

ตาราง 11 (ต่อ)

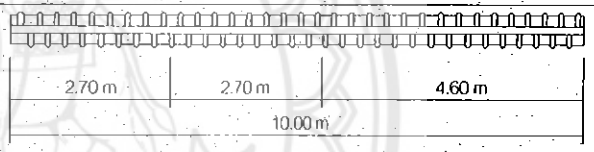
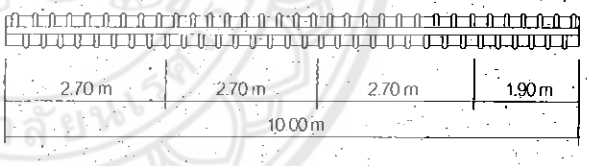
วิธี	ขนาดตามความต้องการ 2.50 (m) ตัดได้ (ท่อน)	ขนาดตามความต้องการ 0.95 (m) ตัดได้ (ท่อน)	เศษเหล็กเสริม (m)	รูปแบบการตัดเหล็กเส้นกลม 6 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร
R-7	1	2	5.60	
R-8	1	3	4.65	
R-9	1	5	2.75	
R-10	1	6	1.80	
R-11	1	7	0.85	
R-12	2	1	4.05	

ตาราง 11 (ต่อ)

วิธี	ขนาดตามความต้องการ		เศษเหล็กเสริม	รูปแบบการตัดเหล็กเส้นกลม 6 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร
	2.50 (m) ตัดได้ (ท่อน)	0.95 (m) ตัดได้ (ท่อน)	(m)	
R-13	2	2	3.10	
R-14	2	3	2.15	
R-15	2	4	1.20	
R-16	2	5	0.25	
R-17	3	1	1.55	
R-18	3	2	0.60	

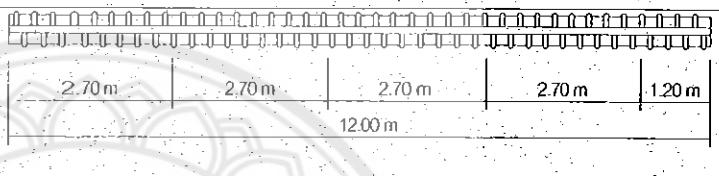
2. การตัดเหล็กเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร (DB 10 mm SD 30) มีความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ขนาดความยาว 2.70 เมตร ตามความต้องการใช้งาน เพื่อให้เหลือเศษเหล็กน้อยที่สุด สำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 1 ถึง 200 แท่ง มีวิธีการต่าง ๆ รวมทั้งหมด 2 วิธี คือวิธี D10-1 ถึง D10-2 ดังตาราง 12

ตาราง 12 แสดงวิธีการตัดเหล็กข้ออ้อยเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร (DB 10 mm SD 30) ที่มีความยาวมาตรฐาน 10 เมตร

วิธี	ขนาดตามความต้องการ 2.70 m ตัดได้ (ท่อน)	เศษเหล็กเสริม (m)	รูปแบบการตัดเหล็กข้ออ้อย 10 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร
D10-1	2	4.60	
D10-2	3	1.90	

3. การตัดเหล็กเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร (DB 10 mm SD 30) มีความยาวมาตรฐาน 12 เมตร ให้ได้ขนาดความยาว 2.70 เมตร ตามความต้องการใช้งาน เพื่อให้เหลือเศษเหล็กน้อยที่สุด สำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 1 ถึง 200 แท่ง มีวิธีการเดียว คือวิธี D12-1 ดังตาราง 13

ตาราง 13 แสดงวิธีการตัดเหล็กข้ออ้อยเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร (DB 10 mm SD 30) ที่มีความยาวมาตรฐาน 12 เมตร

วิธี	ขนาดตามความต้องการ 2.70 m ตัดได้ (ท่อน)	เศษเหล็กเสริม (m)	รูปแบบการตัดเหล็กข้ออ้อย 10 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร
D12-1	4	1.20	

การผลิตกำแพงกันดินจำนวน 1 ถึง 200 แท่ง มีปริมาณเศษเหล็กเส้นกลม ร้อยละ 3.29 ถึง 9.78 ของปริมาณเหล็กเส้นกลมที่ใช้งาน และมีปริมาณเศษเหล็กข้ออ้อย ร้อยละ 11.03 ถึง 18.52 ของปริมาณเหล็กข้ออ้อยที่ใช้งาน รายละเอียดวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล จำนวน 1 ถึง 200 แท่ง โดยให้เหลือเศษเหล็กน้อยที่สุด ปรากฏใน "คู่มือวิธีการตัดเหล็กเสริมในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล" บรรจุในแผ่นซีดีท้ายเล่มรายงาน

ตอนที่ 2 จำนวนการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลเหมาะที่สุด สำหรับช่วงการผลิต 1 ถึง 200 แท่ง

จำนวนการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลเหมาะที่สุด สำหรับจำนวนการผลิตในช่วง 1 ถึง 200 แท่ง เพื่อความประหยัด สะดวก และง่ายต่อการปฏิบัติงาน โดยใช้เกณฑ์การพิจารณาว่า มีร้อยละของเศษเหล็กน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับปริมาณเหล็กที่ใช้งาน และมีจำนวนวิธีในการตัดเหล็กน้อยที่สุด ผลการวิจัยสรุปได้ว่า ควรทำการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตจำนวน 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 และ 200 แท่ง โดยใช้เหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร (RB 6 mm SR 24) ที่มีความยาวมาตรฐาน 10 เมตร นำมาตัดให้ได้ขนาดความยาว 2.50 เมตร และ 0.95 เมตร ตามความต้องการใช้งาน รวม 2 วิธี คือ วิธี R-5 และ R-16 โดยมีปริมาณเศษเหล็ก คิดเป็นร้อยละ 3.29 ของปริมาณเหล็กเส้นกลมที่ใช้งาน และใช้เหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร (DB 10 mm SD 30) ที่มีความยาวมาตรฐาน 12 เมตร นำมาตัดให้ได้ขนาดความยาว 2.70 เมตร ตามความต้องการใช้งานเพียงวิธีเดียว คือ วิธี D12-1 โดยมีปริมาณเศษเหล็กคิดเป็นร้อยละ 11.11 ของปริมาณเหล็กข้ออ้อยที่ใช้งาน รายละเอียดปรากฏดังตาราง 14 – ตาราง 23

ตาราง 14 แสดงวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 20 แท่ง

วิธี	ขนาดความยาวที่ตัดสำหรับใช้งาน	เหล็กเสริมมาตรฐานใช้ตัด (เส้น)	ขนาดตามความต้องการ 2.70 ม. (ท่อน)	2.50 ม. (ท่อน)	0.95 ม. (ท่อน)	เศษเหล็กรวม (เมตร)
	เหล็ก RB 6 mm SR 24 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร					
R-5	0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95	19	-	-	190	9.50
R-16	2.50 2.50 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95	50	-	100	250	12.50
	รวม	69		100	440	22.00
						3.29%
	เหล็ก DB 10 mm SD 40 ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร					
D12-1	2.70 2.70 2.70 2.70	25	100	-	-	30.00
	รวม		100			30.00
						11.11%

ตาราง 15 แสดงวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 40 แห่ง

วิธี	ขนาดความยาวที่ตัดสำหรับใช้งาน		เหล็กเสริมมาตรฐานใช้ตัด (เส้น)	ขนาดตามความต้องการ 2.70 ม. (ท่อน)	2.50 ม. (ท่อน)	0.95 ม. (ท่อน)	เศษเหล็กรวม (เมตร)
	เหล็ก RB 6 mm SR 24 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร						
R-5	0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95		38	-	-	380	19.00
R-16	2.50 2.50 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95		100	-	200	500	25.00
		รวม	138		200	880	44.00
							3.29%
	เหล็ก DB 10 mm SD 40 ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร						
D12-1	2.70 2.70 2.70 2.70		50	200	-	-	60.00
		รวม		200			60.00
							11.11%

ตาราง 16 แสดงวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 60 แห่ง

วิธี	ขนาดความยาวที่ตัดสำหรับใช้งาน		เหล็กเสริมมาตรฐานใช้ตัด (เส้น)	ขนาดตามความต้องการ 2.70 ม. (ท่อน)	2.50 ม. (ท่อน)	0.95 ม. (ท่อน)	เศษเหล็กรวม (เมตร)
	เหล็ก RB 6 mm SR 24 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร						
R-5	0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95		57	-	-	570	28.50
R-16	2.50 2.50 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95		150	-	300	750	37.50
		รวม	207		300	1,320	66.00
							3.29%
	เหล็ก DB 10 mm SD 40 ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร						
D12-1	2.70 2.70 2.70 2.70		75	300	-	-	90.00
		รวม		300			90.00
							11.11%

ตาราง 17 แสดงวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 80 แท่ง

วิธี	ขนาดความยาวที่ตัดสำหรับใช้งาน		เหล็กเสริมมาตรฐาน ใช้ตัด (เส้น)	ขนาดตามความต้องการ 2.70 ม. (ท่อน)	2.50 ม. (ท่อน)	0.95 ม. (ท่อน)	เศษเหล็กรวม (เมตร)
	เหล็ก RB 6 mm SR 24 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร						
R-5	0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95		76			760	38.00
R-16	2.50 2.50 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95		200		400	1,000	50.00
		รวม	276		400	1,760	88.00
							3.29%
	เหล็ก DB 10 mm SD 40 ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร						
D12-1	2.70 2.70 2.70 2.70		100	400			120.00
		รวม		400			120.00
							11.11%

ตาราง 18 แสดงวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 100 แท่ง

วิธี	ขนาดความยาวที่ตัดสำหรับใช้งาน		เหล็กเสริมมาตรฐาน ใช้ตัด (เส้น)	ขนาดตามความต้องการ 2.70 ม. (ท่อน)	2.50 ม. (ท่อน)	0.95 ม. (ท่อน)	เศษเหล็กรวม (เมตร)
	เหล็ก RB 6 mm SR 24 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร						
R-5	0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95		95			950	47.50
R-16	2.50 2.50 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95		250		500	1,250	62.50
		รวม	345		500	2,200	110.00
							3.29%
	เหล็ก DB 10 mm SD 40 ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร						
D12-1	2.70 2.70 2.70 2.70		125	500			150.00
		รวม		500			150.00
							11.11%

ตาราง 19 แสดงวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 120 แท่ง

วิธี	ขนาดความยาวที่ตัดสำหรับใช้งาน	เหล็กเสริมมาตรฐานใช้ตัด (เส้น)	ขนาดตามความต้องการ 2.70 ม. (ท่อน)	2.50 ม. (ท่อน)	0.95 ม. (ท่อน)	เศษเหล็กรวม (เมตร)
	เหล็ก RB 6 mm SR 24 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร					
R-5	0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95	114	-	-	1,140	57.00
R-16	2.50 2.50 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95	300	-	600	1,500	75.00
	รวม	414		600	2,640	132.00
						3.29%
	เหล็ก DB 10 mm SD 40 ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร					
D12-1	2.70 2.70 2.70 2.70	150	600	-	-	180.00
	รวม		600			180.00
						11.11%

ตาราง 20 แสดงวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 140 แท่ง

วิธี	ขนาดความยาวที่ตัดสำหรับใช้งาน	เหล็กเสริมมาตรฐานใช้ตัด (เส้น)	ขนาดตามความต้องการ 2.70 ม. (ท่อน)	2.50 ม. (ท่อน)	0.95 ม. (ท่อน)	เศษเหล็กรวม (เมตร)
	เหล็ก RB 6 mm SR 24 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร					
R-5	0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95	133		-	1,330	66.50
R-16	2.50 2.50 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95	350		700	1,750	87.50
	รวม	483		700	3,080	154.00
						3.29%
	เหล็ก DB 10 mm SD 40 ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร					
D12-1	2.70 2.70 2.70 2.70	175	700	-	-	210.00
	รวม		700			210.00
						11.11%

ตาราง 21 แสดงวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 160 แท่ง

วิธี	ขนาดความยาวที่ตัดสำหรับใช้งาน	เหล็กเสริมมาตรฐานใช้ตัด (เส้น)	ขนาดตามความต้องการ 2.70 ม. (ท่อน)	2.50 ม. (ท่อน)	0.95 ม. (ท่อน)	เศษเหล็กรวม (เมตร)
	เหล็ก RB 6 mm SR 24 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร					
R-5	0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95	152	-	-	1,520	76.00
R-16	2.50 2.50 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95	400	-	800	2,000	100.00
	รวม	552		800	3,520	176.00
						3.29%
	เหล็ก DB 10 mm SD 40 ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร					
D12-1	2.70 2.70 2.70 2.70	200	800	-	-	240.00
	รวม		800			240.00
						11.11%

ตาราง 22 แสดงวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 180 แท่ง

วิธี	ขนาดความยาวที่ตัดสำหรับใช้งาน	เหล็กเสริมมาตรฐานใช้ตัด (เส้น)	ขนาดตามความต้องการ 2.70 ม. (ท่อน)	2.50 ม. (ท่อน)	0.95 ม. (ท่อน)	เศษเหล็กรวม (เมตร)
	เหล็ก RB 6 mm SR 24 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร					
R-5	0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95	171	-	-	1,710	85.50
R-16	2.50 2.50 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95	450	-	900	2,250	112.50
	รวม	621		900	3,960	198.00
						3.29%
	เหล็ก DB 10 mm SD 40 ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร					
D12-1	2.70 2.70 2.70 2.70	225	900	-	-	270.00
	รวม		900			270.00
						11.11%

ตาราง 23 แสดงวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 200 แท่ง

วิธี	ขนาดความยาวที่ตัดสำหรับใช้งาน	เหล็กเสริมมาตรฐานใช้ตัด (เส้น)	ขนาดตามความต้องการ 2.70 ม. (ท่อน)	2.50 ม. (ท่อน)	0.95 ม. (ท่อน)	เศษเหล็กรวม (เมตร)
	เหล็ก RB 6 mm SR 24 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร					
R-5	0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95	190	-	-	1,900	95.00
R-16	2.50 2.50 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95	500	-	1,000	2,500	125.00
	รวม	690		1,000	4,400	220.00
						3.29%
	เหล็ก DB 10 mm SD 40 ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร					
D12-1	2.70 2.70 2.70 2.70	250	1,000	-	-	300.00
	รวม		1,000			300.00
						11.11%

บทที่ 5

บทสรุป

การวิจัย เรื่อง วิธีการตัดเหล็กเสริมเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มเพื่อหาวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ให้เหลือเศษเหล็กน้อยที่สุด และวิเคราะห์หาผลลัพธ์ สามารถสรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะดังนี้

สรุปผลการวิจัย

การผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ที่มีความหนา 0.15 เมตร ความกว้าง 1.20 เมตร ความสูง 1.40 เมตร ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปของบริษัท พี.เอ. คอนกรีต จำกัด เลขที่ 70 กม. 3-4 หมู่ 11 ถนนไฮเวย์ลำปาง-เชียงใหม่ ตำบลปงแสนทอง อำเภอเมืองลำปาง จังหวัดลำปาง ใช้เหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร (RB 6 mm SR 24) และใช้เหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร (DB 10 mm SD 30) ในการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 1 ถึง 200 แห่ง วิธีการตัดเหล็กเพื่อให้เหลือเศษเหล็กน้อยที่สุด สำหรับการตัดเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ที่มีความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ขนาดความยาว 2.50 เมตร และ 0.95 เมตร ตามความต้องการใช้งาน มีวิธีการตัดรวม 18 วิธี โดยมีปริมาณเศษเหล็กเส้นกลม ร้อยละ 3.29 ถึง 9.78 ของปริมาณเหล็กเส้นกลมที่ใช้งาน การตัดเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ให้ได้ขนาดความยาว 2.70 เมตร ตามความต้องการใช้งาน ใช้เหล็กข้ออ้อยความยาวมาตรฐาน 10 เมตร และ 12 เมตร มีวิธีการตัด 2 วิธี และ 1 วิธี ตามลำดับ โดยมีปริมาณเศษเหล็กข้ออ้อย ร้อยละ 11.03 ถึง 18.52 ของปริมาณเหล็กข้ออ้อยที่ใช้งาน

การผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลช่วงจำนวน 1 ถึง 200 แห่ง เพื่อความประหยัด สะดวก และง่ายต่อการปฏิบัติงาน โดยใช้เกณฑ์การพิจารณา มีร้อยละของเศษเหล็กน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับปริมาณเหล็กที่ใช้งาน และมีจำนวนวิธีในการตัดเหล็กน้อยที่สุด ควรทำการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตจำนวน 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 และ 200 แห่ง โดยใช้เหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ที่มีความยาวมาตรฐาน 10 เมตร นำมาตัดให้ได้ขนาดความยาว 2.50 เมตร และ 0.95 เมตร ตามความต้องการใช้งาน รวม 2 วิธี มีปริมาณเศษเหล็กคิดเป็นร้อยละ 3.29 ของปริมาณเหล็กเส้นกลมที่ใช้งาน และใช้เหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ที่มีความยาวมาตรฐาน 12 เมตร นำมาตัดให้ได้ขนาดความยาว 2.70 เมตร ตามความ

ต้องการใช้งานเพียงวิธีเดียว มีปริมาณเศษเหล็ก คิดเป็นร้อยละ 11.11 ของปริมาณเหล็กข้ออ้อยที่ใช้งาน

อภิปรายผล

วิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ให้เหลือเศษเหล็กน้อยที่สุด ด้วยการสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม ภายใต้เงื่อนไขบังคับต่างๆ ผลการวิจัยสามารถนำไปใช้ปฏิบัติงานจริงในหน่วยงานออกแบบ หน่วยงานจัดซื้อ และหน่วยงานผลิต เป็นประโยชน์สำหรับการวางแผน การดำเนินงาน การควบคุมต้นทุนเหล็กเสริม และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานยิ่งขึ้น มีงานวิจัยต่างๆ ที่ใช้แนวทางการวิจัยทำนองเดียวกัน ได้แก่ งานวิจัยของ ศรายุทธ มาลัย และคณะ (2557) ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง การวางแผนการตัดเหล็กเสริมและเหล็กรูปพรรณสำหรับก่อสร้างบ้านลอยน้ำด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนเต็ม พบว่า จำนวนเหล็กที่คำนวณได้จากโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนวเต็มมีปริมาณการใช้น้อยกว่าการคำนวณตามหลักเกณฑ์ของกรมบัญชีกลาง และเมื่อพิจารณาร้อยละการสูญเสียเหล็กเทียบกับปริมาณเหล็กสุทธิไม่เผื่อการสูญเสีย พบว่า โปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนเต็มมีการสูญเสียเหล็กเสริมร้อยละ 5.68 และสูญเสียเหล็กรูปพรรณร้อยละ 14.39 น้อยกว่าการคำนวณตามหลักเกณฑ์ของกรมบัญชีกลาง และงานวิจัยของ ศรายุทธ มาลัย (2553) ทำการศึกษาวิจัย เรื่องการประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงสำหรับการควบคุมการตัดเหล็กรูปพรรณ กรณีศึกษาโครงสร้างเหล็กอาคารหอประชุมใหญ่ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง พบว่า โปรแกรมเชิงเส้นตรงคำนวณหาวิธีการตัดวัสดุหนึ่งมิติที่มีความซับซ้อน คือ วัสดุมีความยาวหลายขนาดและวิธีการตัดวัสดุมีทางเลือกมากได้ดีกว่าการตัดสินใจตัดวัสดุโดยอาศัยความชำนาญหรือประสบการณ์ ช่วยลดปริมาณการใช้เหล็กรูปพรรณได้ร้อยละ 6.11 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้เหล็กรูปพรรณของผู้รับเหมา งานวิจัยของ นิลวัฒน์ พัฒนพงษ์ (2556) ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง การควบคุมการสูญเสียเหล็กเสริมในการผลิตท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมสำหรับงานระบายน้ำใต้ผิวจราจร พบว่า การประยุกต์ใช้กำหนดการเชิงเส้นในการวางแผนตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมสามารถลดปริมาณเหล็กเสริมได้สูงสุดร้อยละ 4.76 เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนการใช้เหล็กเสริมของโรงงานผลิต งานวิจัยของ ปนัดดา กองศิลป์ และคณะ (2555) ศึกษาและนำเสนอแนวทางแก้ไขปัญหาการตัดวัสดุร่วมกับการวางแผนความต้องการวัสดุด้วยการนำเสนอในรูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นตรง เพื่อให้ใช้วัสดุอย่างคุ้มค่าและเกิดเศษเหลือจากการตัดน้อยที่สุด และเพิ่มประสิทธิภาพระบบการผลิตให้ดียิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอเสนอแนะสิ่งที่อาจเป็นประโยชน์ต่อการประยุกต์ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มเพื่อการวิจัยโอกาสต่อไป ดังนี้

1. ควรประยุกต์ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มกับวัสดุอื่นๆ ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ที่มีลักษณะเป็นการตัดวัสดุ 1 มิติ เช่น เหล็กรูปพรรณ ท่อนไม้ ท่อนอลูมิเนียม เป็นต้น

2. ควรประยุกต์ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มกับปัญหาในงานอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น โรงงานผลิตม้วนกระดาษ

3. ควรประยุกต์ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มกับปัญหาการตัดวัสดุ 2 มิติ

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

จักรพันธ์ จ้อยเจริญ. (2550). **การศึกษาเพื่อหาวิธีการตัดแบ่งเหล็กเส้นที่เหมาะสมสำหรับหลายโครงการก่อสร้าง.** วิทยานิพนธ์ วศ.ม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

เฉลิมชัย วัฒนล้ำเลิศ และสมนึก ตั้งเติมสิริกุล. (2544). SELE-COMPACTING CONCRETE และการใช้งานในอุตสาหกรรมการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนสำเร็จรูป PRECAST CONCRETE. **วารสารคอนกรีต.** ฉบับที่ 12 ประจำเดือนเมษายน 2011.

นิบง อังกุราภินันท์ และ นิพนธ์ อังกุราภินันท์. (2556). **คู่มือออกแบบและควบคุมคุณภาพคอนกรีตเสริมเหล็ก.** กรุงเทพฯ : บริษัท โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์ จำกัด.

นิลวัฒน์ พัฒนพงษ์. (2556). การควบคุมการสูญเสียเหล็กเสริมในการผลิตท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมสำหรับงานระบายน้ำใต้ผิวจราจร. **วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง.** 6(1), 31-41.

ปนัดดา กองศิลป์, นราธิป แสงซ้าย และ กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์. (2555). การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการตัดร่วมกับการวางแผน. **การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2555.** 17-19 ตุลาคม 2555.

ประกอบ จิรกิติ. (2535). การโปรแกรมเชิงเส้น. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

พัชราภรณ์ เนียมมณี. (2556). ตัวแบบการจัดสรรทรัพยากร. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โครงการส่งเสริมและพัฒนาเอกสารวิชาการ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, บริษัท โซดา แอดเวอร์ไทซิ่ง จำกัด.

วันชัย แหลมหลักสกุล. (2544). การโปรแกรมเชิงเส้น ด้วยไมโครซอฟท์ เอกเซล 2000. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: บริษัท ศูนย์การพิมพ์แก่นจันทร์ จำกัด.

วินิต ช่อวิเชียร. (2550). **การออกแบบโครงสร้างเหล็ก.** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2536). **บทกำหนดทั่วไปสำหรับการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก.** กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

_ _ _ _ _ _ _ . (2550). **ข้อกำหนดมาตรฐานวัสดุและการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างคอนกรีต.** กรุงเทพฯ: โกลบอล กราฟฟิค.

วีระยุทธ นิรันดร์วัฒนเดชา. (2553). **การพัฒนารูปแบบการตัดเหล็กเส้นในโครงการก่อสร้างเพื่อลดปริมาณเศษเหล็ก.** วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

ศรายุทธ มาลัย หฤทัย ไทยสุชาติ และชัย ชัยนันตา. (2557). การวางแผนการตัดเหล็กเสริมและเหล็กรูปพรรณด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนเต็มสำหรับก่อสร้างบ้านลอยน้ำ. **งานประชุมวิชาการระดับชาติ นเรศวรวิจัย ครั้งที่ 10**. 22-23 กรกฎาคม 2557.

ศรายุทธ มาลัย. (2553). การประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงสำหรับการควบคุมการตัดเหล็กรูปพรรณ. **วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา**, 21 (3),25-34.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2543). **มอก.20-2543 เหล็กเส้น-เสริมคอนกรีต : เหล็กเส้นกลม**. กรุงเทพฯ: ม.ป.ท.

_ _ _ _ _ _ _. (2548). **มอก. 24-2548 เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กข้ออ้อย**. กรุงเทพฯ: ม.ป.ท.

สุขสันต์ หอพิบูลสุข. (2555). วิศวกรรมฐานราก. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แมคกรอ-ฮิล.

อภิชัย ฤตวิรุฬห์. (2555). กำหนดการเชิงเส้นและกำหนดการจำนวนเต็มและการประยุกต์ใช้อุตสาหกรรมเกษตร. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: บริษัท อักษรโสภณ จำกัด.

Afshar A., Amiri H. and Eshtehardian E. (2008). An Improved Linear Programming Model For One-Dimensional Cutting Stock Problem. **First International Conference on Construction In Developing Countries (ICCIDC-I), Pakistan, August4-5**, 2008.

Al-Zubaidy S.S., Dawood S.Q. and Khalaf I.D. (2016). Optimal Utilization of Rebar Stock for Cutting Processes in Housing Project. **International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology**, 3(5), 189-193.

Benjaoran V. and Bhokha S. (2013). Trim Loss Minimization for Construction Reinforcement Steel with Oversupply. **Journal of Advanced Management Science**, 1(3), 313-316.

Chinanuwatwong S. (2000). Reducing Waste from Cutting Reinforcing Steel in Construction Projects. **Kasetsart Journal (Natural Science)**, 34, 526-535.

Dyckhoff (1990). A typology of cutting and packing problems. **European Journal of Operations Research**, 44, 145-159.

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

Gilmore, P.C. and Gomory R.E. (1963). A linear programming approach to the cutting-stock problem-part II. **Operations Research**, 11(6), 863-888.

Kantorovich, L.V. (1960). Mathematical methods of organizing and planning production. **Management Science**, 6(4), 366-422.

Mustakerov I.C. and Borissova D.I. (2014). One-dimensional cutting stock model for joinery manufacturing. **Proceedings of the 18th International Conference on Computers (part of CSCC '14) Santorini Island, Greece**. July 17-21, 2014

Ritvirool A. (2007). A Trim-Loss Minimization in A Produce-Handling Vehicle Production Plant. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, 29(1), 158-164.

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

Sawsan Sabeeh Al-Zubaidy, Salam Qaddoori Dawood and Israa Dhiaa Khalaf (2016). Optimal Utilization of Rebar Stock for Cutting Processes in Housing Project. **Inter national Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology**, 3(5), 189-193.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

บทความสำหรับการเผยแพร่

วิธีการตัดเหล็กเสริมเพื่อลดปริมาณเศษเหล็ก สำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล

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

ศรีวรรณ ฤกษ์ภูริทัต[1*], ศรายุทธ มาลัย[2]

Srivan Rurkpuritat[1*], Sarayuth Malai[2]

[1*] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

โทรศัพท์ (090) 9292119 โทรสาร (056) 925099 E-mail: srivanru@hotmail.com

[2] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 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. +66 90 9292119 Fax +66 56 925099 E-mail: srivanru@hotmail.com

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

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาวิธีการตัดเหล็กเสริมให้มีเศษเหล็กน้อยที่สุดในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ที่มีความหนา 0.15 ม. กว้าง 1.20 ม. สูง 1.40 ม. ความยาว 1.00 ม. กำแพงกันดินแต่ละแห่งประกอบด้วยเหล็กเส้นกลม RB6 มม. ยาว 0.95 ม. จำนวน 22 ท่อน ยาว 2.50 ม. จำนวน 5 ท่อน และเหล็กข้ออ้อย DB10 มม. ยาว 2.70 ม. จำนวน 5 ท่อน

จากการศึกษาการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 1 ถึง 200 แห่ง ผู้วิจัยได้สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม ได้ 1 ตัวแบบสำหรับการตัดเหล็กเส้นกลม RB6 มม. ความยาวมาตรฐาน 10 ม. และ 1 ตัวแบบสำหรับการตัดเหล็กข้ออ้อย DB10 มม. ที่มีความยาวมาตรฐานทั้ง 10 ม. และ 12 ม. ผู้วิจัยพบว่ามี 2 วิธีในการตัดเหล็กเส้นกลม RB6 มม.ความยาวมาตรฐาน 10 ม. ให้ได้เหล็กยาว 0.95 ม. และ 2.50 ม. ตามต้องการ มีผลให้เกิดปริมาณเศษเหล็กร้อยละ 3.29 และมี 1 วิธีในการตัดเหล็กข้ออ้อย DB10 มม.ความยาวมาตรฐาน 12 ม. ให้ได้เหล็กยาว 2.70 ม. ตามต้องการ มีผลให้เกิดปริมาณเศษเหล็กร้อยละ 11.11 ซึ่งเป็นปริมาณเศษเหล็กน้อยที่สุดเมื่อมีการผลิตกำแพงกันดินเพิ่มขึ้นทุก 20 แห่ง (20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 และ 200 แห่ง)

ผู้วิจัยได้จัดทำคู่มือวิธีการตัดเหล็กซึ่งลดปริมาณเศษเหล็กน้อยที่สุดในการผลิตกำแพงกันดินหล่อสำเร็จรูปตัวแอล และส่งให้ผู้ผลิตใช้งานเพื่อลดปริมาณเศษวัสดุในโรงงาน ผู้ผลิตได้นำไปใช้ในการจัดซื้อวัตถุดิบและการทำแผนปฏิบัติงาน 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. in 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. RB6 mm., 5 rods of 2.50 m. RB6 mm. round bar and 5 rods of 2.70 m. DB10 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 RB6 mm. 10 m. standard length and one model for deformed bar DB10 mm. both 10 m. and 12 m. standard length. The researchers found that there are two cutting patterns needed for cutting RB6 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 DB10 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 trim loss steel, L-shape retaining wall, Precast concrete

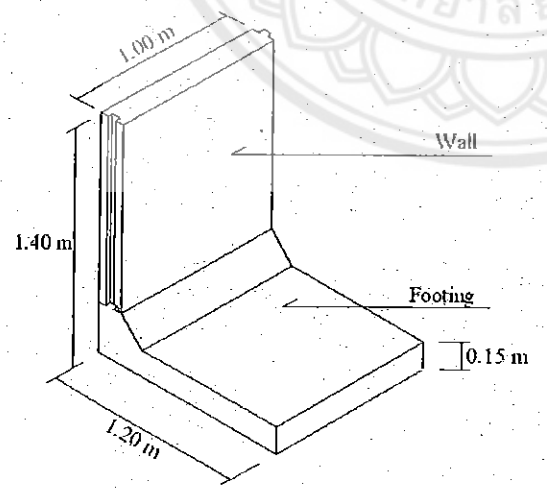
1. บทนำ

อุตสาหกรรมการก่อสร้างเป็นอุตสาหกรรมหลักและมีความสำคัญในการพัฒนาประเทศ ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีเศรษฐกิจใหญ่อันดับสองในภูมิภาคเอเชีย มูลค่าการก่อสร้างในปี ค.ศ. 2016 มีค่า 41.3 พันล้านดอลล่าร์ หรือประมาณ 1,400 พันล้านบาท ซึ่งแยกเป็นงานเอกชนมูลค่า 17.9 พันล้านดอลล่าร์ หรือประมาณ 607 พันล้านบาท และเป็นงานราชการมูลค่า 23.4 พันล้านดอลล่าร์หรือประมาณ 793 พันล้านบาท (Solidiance, 2017) กล่าวได้ว่าอุตสาหกรรมก่อสร้างมี

ผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของประเทศ ขบวนการก่อสร้างโดยวิธีติดตั้งไม้แบบ ผูกเหล็ก แล้วเทคอนกรีตในหน่วยงานก่อสร้างเป็นวิธีการเก่าที่ไม่ประหยัด เนื่องจากเกิดวัสดุเสียหายมากและค่าแรงงานสูง ด้วยเหตุนี้ทำให้ขบวนการก่อสร้างแบบใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นที่นิยมและมีบทบาทมากขึ้น ขบวนการเริ่มจากการผลิตชิ้นส่วนโครงสร้างต่างๆ ในโรงงาน แล้วขนส่งไปยังหน่วยงานซึ่งเป็นสถานที่ก่อสร้าง ทำการประกอบติดตั้งในตำแหน่งที่ต้องการ ด้วยวิธีการเช่นนี้ทำให้เกิดความง่ายต่อการควบคุมคุณภาพและประสิทธิภาพในการก่อสร้าง ช่วยประหยัดค่าแรงงานและสามารถควบคุมปริมาณวัสดุเสียหายจากการก่อสร้าง François Coignet เป็นผู้บุกเบิกพัฒนาการก่อสร้างโดยใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ทำจากคอนกรีตเสริมเหล็ก (Wikipedia, 2018)

เหล็กเสริมในคอนกรีตทั่วไปเป็นเหล็กเส้นกลม (RD) ความยาวมาตรฐาน 10 ม. และเหล็กเส้นข้ออ้อย (DB) ความยาวมาตรฐาน 10 ม. และ 12 ม. การก่อสร้างจำเป็นต้องตัดเหล็กจากความยาวมาตรฐานให้ได้ความยาวที่ต้องการใช้งาน ทำให้มีเศษเหล็กเกิดจากการตัดเหล็ก ซึ่งจัดเป็นปัญหา cutting-stock problem (CSP) ที่ต้องลดความเสียหายให้น้อยที่สุด (Jahromi, Tavakkoli-Moghaddam, Makui, & Shamsil, 2012). บุคคลแรกที่สร้างสมการของ CSP คือ Leonid V. Kantorovich (Kantorovich, 1960). ผู้ที่สามารถแก้สมการของ CSP อย่างมีประสิทธิภาพคือ Gilmore and Gomory (Gilmore, P.C. & Gomory, R.E., 1961).

การวิจัยครั้งนี้เน้นการลดเศษเหล็กที่ตัดจากเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อยที่ใช้ในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปที่มีรูปตัวแอล (L) มีความหนา 0.15 ม. กว้าง 1.20 ม. สูง 1.40 ม. ยาว 1.00 ม. ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล (L)

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 หาวิธีการตัดเหล็กเสริมให้มีเศษเหล็กน้อยที่สุดในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล

2.2 สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มใช้ในการวิเคราะห์หาวิธีการตัดเหล็กเสริมให้มีเศษเหล็กน้อยที่สุด

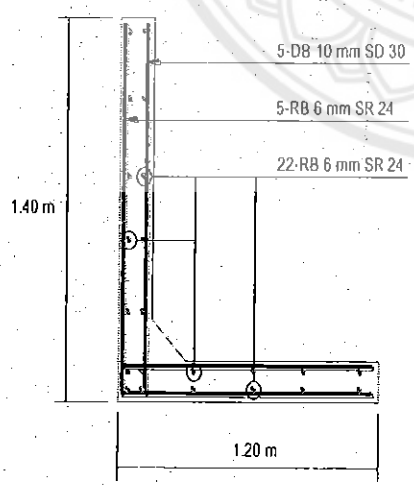
2.3 จัดทำคู่มือการตัดเหล็กเสริมในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ให้ผู้ผลิตใช้งานเพื่อลดเศษเหล็กในโรงงาน

3. วิธีดำเนินการวิจัย

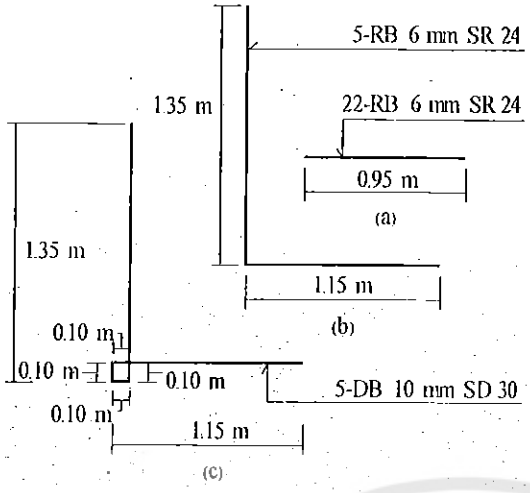
การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลจำนวน 1 ถึง 200 แท่ง ผู้วิจัยได้ดำเนินการถอดแบบรายการเหล็กเสริมในกำแพงกันดิน เก็บรวมรวมข้อมูล จัดหมู่วิธีการตัดเหล็กเสริม สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม และวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การถอดแบบรายการเหล็กเสริมในกำแพงกันดิน

ศึกษารายละเอียดจากแบบกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ได้ข้อมูลชนิดเหล็กเสริม ขนาด ความยาว และจำนวน ดังแสดงในภาพที่ 2 และรูปร่างการดัดเหล็กเส้นกลมดังแสดงในภาพที่ 3(a), 3(b) และรูปร่างการดัดเหล็กข้ออ้อยดังแสดงในภาพที่ 3(c)



ภาพที่ 2 เหล็กเสริมในกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล



(a) และ (b) เป็นเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม.
(c) เป็นเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม.

ภาพที่ 3 รูปร่างการดัดเหล็ก (Bar Bending)

ในการผลิตกำแพงกันดินหนึ่งแท่งใช้เหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. (a) ความยาว 0.95 ม. จำนวน 22 ท่อน และ (b) ความยาว 2.50 จำนวน 5 ท่อน และใช้เหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. ความยาว 2.70 ม. จำนวน 5 ท่อน

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลจำนวน 1 – 200 แท่ง ได้ผลแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนเหล็กเสริมที่ต้องการใช้ในการผลิตกำแพงกันดิน 1-200 แท่ง

จำนวนกำแพงกันดิน (แท่ง)	จำนวนเหล็กเส้นกลม RB6 มม.		จำนวนเหล็กข้ออ้อย DB10 มม.
	ความยาว 2.50 ม. (ท่อน)	ความยาว 0.95 ม. (ท่อน)	ความยาว 2.70 ม. (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 RB6 ได้หมู่วิธีทั้งหมดที่เป็นไปได้จำนวน 28 วิธี ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 หมู่วิธีการตัดเหล็กเส้นกลม RB6 มม. ความยาวมาตรฐาน 10 ม. ให้ได้ความยาว 2.50 ม. และ 0.95 ม.

การตัดเหล็ก วิธีที่	ความยาวเหล็กที่ต้องการ (เมตร)	เศษเหล็ก (เมตร)
1	2.50	7.50
2	2.50 x 2	5.00
3	2.50 x 3	2.50
4	2.50 x 4	0.00
5	0.95 x 1	9.05
6	0.95 x 2	8.10
7	0.95 x 3	7.15
8	0.95 x 4	6.20
9	0.95 x 5	5.25
10	0.95 x 6	4.30
11	0.95 x 7	3.35
12	0.95 x 8	2.40
13	0.95 x 9	1.45
14	0.95 x 10	0.50
15	2.50 + 0.95	6.55
16	2.50 + 0.95 x 2	5.60
17	2.50 + 0.95 x 3	4.65
18	2.50 + 0.95 x 4	3.70
19	2.50 + 0.95 x 5	2.75
20	2.50 + 0.95 x 6	1.80
21	2.50 + 0.95 x 7	0.85
22	2.50 x 2 + 0.95	4.05
23	2.50 x 2 + 0.95 x 2	3.10
24	2.50 x 2 + 0.95 x 3	2.15
25	2.50 x 2 + 0.95 x 4	1.20
26	2.50 x 2 + 0.95 x 5	0.25
27	2.50 x 3 + 0.95	1.55
28	2.50 x 3 + 0.95 x 2	0.60

สำหรับเหล็กข้ออ้อย DB10 มม. ความยาวมาตรฐาน 10 ม. สามารถนำมาตัดให้ได้ความยาว 2.70 ม. ได้หมู่วิธีทั้งหมดที่เป็นไปได้จำนวน 3 วิธี ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 หมู่วิธีการตัดเหล็กข้ออ้อย DB10 มม. ความยาวมาตรฐาน 10 ม. ให้ได้ความยาว 2.70 ม.

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

สำหรับเหล็กข้ออ้อย DB10 มม. ความยาวมาตรฐาน 12 ม. สามารถนำมาตัดให้ได้ความยาว 2.70 ม. ได้หมู่วิธีทั้งหมดที่เป็นไปได้จำนวน 4 วิธี ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 หมู่วิธีการตัดเหล็กข้ออ้อย DB10 มม. ความยาวมาตรฐาน 12 ม. ให้ได้ความยาว 2.70 ม.

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

3.4 การสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม

ผู้วิจัยได้สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์โดยใช้หลักกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Schrijver, 2000; Taylor III, 2013) มีจุดประสงค์เพื่อให้เศษเหล็กรวมน้อยที่สุด อาศัยข้อมูลจากการรวบรวม และการจัดหมู่วิธีการตัดเหล็กเสริม ได้ตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม ดังนี้

การตัดเหล็กเส้นที่มีความยาวมาตรฐาน ให้มีขนาดความยาว l_i ม. เป็นจำนวน q_i ท่อน ตามความต้องการใช้งาน โดย i= 1, 2, ..., m

สำหรับเหล็กเส้นกลม RB6 มม. ความยาวมาตรฐาน 10 ม.

$$\max_{1 \le i \le m} \le 10 \qquad (1)$$

กำหนดให้

Z คือ ผลรวมทั้งหมดของเศษเหล็กจากการตัด

a_{ij} คือ จำนวนท่อนเหล็กกลมที่มีขนาดความยาว l_i ซึ่งตัดโดยวิธีที่ j

x_j คือ จำนวนเส้นเหล็กกลมขนาดมาตรฐาน 10 ม. ที่ใช้ตัดโดยวิธีที่ j

q_i คือ จำนวนท่อนเหล็กกลมที่มีขนาดความยาว l_i

c_j คือ ความยาวเศษเหล็กจากการตัดเหล็กกลมขนาดมาตรฐาน 10 ม. โดยวิธีที่ j

ฟังก์ชันจุดประสงค์

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

ข้อจำกัด

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j = q_i \tag{3}$$

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

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

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

กรณีการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 20 แห่ง ใช้เหล็กเส้นกลม RB6 มม. ความยาวมาตรฐาน 10 ม. ตัดเพื่อให้ได้เหล็กความยาว 2.50 ม. จำนวน 100 ท่อน และความยาว 0.95 ม. จำนวน 440 ท่อน มีวิธีการตัดทั้งหมด 28 วิธี ตัวแบบคณิตศาสตร์ มีดังนี้

ฟังก์ชันจุดประสงค์

$$\begin{aligned}\text{Minimize } Z = {} & 7.50x_1 + 5.00x_2 + 2.50x_3 + 0.00x_4 + 9.05x_5 + 8.10x_6 + 7.15x_7 \\ & + 6.20x_8 + 5.25x_9 + 4.30x_{10} + 3.35x_{11} + 2.40x_{12} + 1.45x_{13} \\ & + 0.50x_{14} + 6.55x_{15} + 5.60x_{16} + 4.65x_{17} + 3.70x_{18} + 2.75x_{19} \\ & + 1.80x_{20} + 0.85x_{21} + 4.05x_{22} + 3.10x_{23} + 2.15x_{24} + 1.20x_{25} \\ & + 0.25x_{26} + 1.55x_{27} + 0.60x_{28}\end{aligned} \tag{4}$$

ข้อจำกัดขนาดความยาว 2.50 ม.

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

ข้อจำกัดขนาดความยาว 0.95 ม.

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

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

สำหรับเหล็กข้ออ้อย DB10 มม. ความยาวมาตรฐาน 10 ม.

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

สำหรับเหล็กข้ออ้อย DB10 มม. ความยาวมาตรฐาน 12 ม.

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

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

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

$$i = 1, 2, ..., m$$

$$J = 1, 2, ..., n$$

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

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

กรณีการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตจำนวน 20 แห่ง ใช้เหล็กข้ออ้อย DB10 มม. ความยาวมาตรฐาน 10 ม. มีวิธีการตัดทั้งหมด 3 วิธี และ เหล็กข้ออ้อยความยาวมาตรฐาน 12 ม. 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 ม.

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

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

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

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

4. ผลการวิจัย

การผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลที่เกิดเศษเหล็กน้อยที่สุด จากการศึกษาการผลิตจำนวน 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 มม. ความยาวมาตรฐาน 10 ม. ให้ได้เหล็กยาว 0.95 ม. และ 2.50 ม. และมี 1 วิธี ในการตัดเหล็กข้ออ้อย เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. ความยาวมาตรฐาน 12 ม. ให้ได้เหล็กยาว 2.70 ม. จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณเศษเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อย คิดเป็นร้อยละ 3.29 และ 11.11 ตามลำดับ ตารางที่ 5 แสดงวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 20 แห่ง

ตารางที่ 5 วิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 20 ชิ้น

วิธี	ขนาดความยาวที่ตัดสำหรับใช้งาน	เหล็กเสริมมาตรฐานใช้ตัด (เส้น)	ขนาดตามความต้องการ 2.70 ม. (ท่อน)	2.50 ม. (ท่อน)	0.95 ม. (ท่อน)	เศษเหล็กรวม (เมตร)
	เหล็ก RB 6 mm SR 24 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร					
1	0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95	19	-	-	190	9.50
2	2.50 2.50 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95	50	-	100	250	12.50
	รวม	69		100	440	22.00
						3.29%
	เหล็ก DB 10 mm SD 40 ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร					
1	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 การวิจัยเริ่มโดยการถอดแบบกำแพงกันดินพบว่าในการผลิตกำแพงกันดินแต่ละแท่งประกอบด้วยเหล็กเส้นกลม RB6 มม. ความยาว 2.50 ม. จำนวน 5 ท่อน และความยาว 0.95 ม. จำนวน 22 ท่อน เหล็กข้ออ้อย DB10 มม. ความยาว 2.70 ม. จำนวน 5 ท่อน การผลิตจำนวน 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 และ 200 แท่งให้ผลลัพท์เหมือนกันคือมีจำนวนวิธีการตัดเหล็กและปริมาณเศษเหล็กน้อยที่สุด ซึ่งมี 2 วิธีในการตัดเหล็กเส้นกลม RB6 มม.ความยาวมาตรฐาน 10 ม. ให้ได้เหล็กยาว 0.95 ม. และ 2.50 ม. ตามต้องการ และมี 1 วิธีในการตัดเหล็กข้ออ้อย DB10 มม.ความยาวมาตรฐาน 12 ม. ให้ได้เหล็กยาว 2.70 ม. ตามต้องการ

(2) สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์ใช้ในการวิเคราะห์หาวิธีการตัดเหล็กให้มีเศษเหล็กน้อยที่สุด ผู้วิจัยได้สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม ใช้ในการวิเคราะห์หาวิธีการตัดเหล็กเสริมให้มีเศษเหล็กน้อยที่สุด โดยได้ 1 ตัวแบบสำหรับการตัดเหล็กเส้นกลม RB6 มม. ความยาวมาตรฐาน 10 ม. และ 1 ตัวแบบสำหรับตัดเหล็กข้ออ้อย DB10 มม. ที่มีความยาวมาตรฐานทั้ง 10 ม. และ 12 ม. จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณเศษเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อยน้อยที่สุดคิดเป็นร้อยละ 3.29 และ 11.11 ตามลำดับ

(3) จัดทำคู่มือการตัดเหล็กเสริมในกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ผู้วิจัยได้จัดทำคู่มือการตัดเหล็กเสริมในการผลิตกำแพงกันดินมอบให้บริษัท พีเอ คอนกรีต จำกัด ซึ่งเป็นผู้ผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป บริษัทผู้ผลิตได้นำคู่มือไปใช้งานและแจ้งให้มหาวิทยาลัยนเรศวรทราบว่า ผลการใช้คู่มือการตัดเหล็กเสริมนั้นเป็นที่น่าพอใจอย่างยิ่ง ทำให้บริษัท

สามารถบริหารจัดการในเรื่องการจัดซื้อและการปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดปริมาณเศษเหล็กได้ นับเป็นผลงานวิจัยที่มีประโยชน์ต่อบริษัท

5.2 อภิปรายผล

จากการศึกษาวิจัยพบว่าการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลจำนวน 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 และ 200 แท่ง ให้ผลลัพธ์เหมือนกันคือ มี 2 วิธีในการตัดเหล็กเส้นกลม RB6 มม.ความยาวมาตรฐาน 10 ม. ให้ได้เหล็กยาว 0.95 ม. และ 2.50 ม. ตามความต้องการ มีผลให้เกิดปริมาณเศษเหล็กร้อยละ 3.29 ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับผลงานของ Norman G. Foster ที่ระบุว่า เศษเหล็กเกิดในงานก่อสร้างที่มีการควบคุมอย่างดีมีปริมาณร้อยละ 6 (Foster, 1995) อย่างไรก็ตามมี 1 วิธีในการตัดเหล็กข้ออ้อย DB10 มม.ความยาวมาตรฐาน 12 ม. ให้ได้เหล็กยาว 2.70 ม. ตามความต้องการ มีผลให้เกิดปริมาณเศษเหล็กร้อยละ 11.11 ซึ่งมีค่ามากกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผลงานของ Floyd Vogt ที่กล่าวว่าเศษเหล็กเกิดในงานก่อสร้างทั่วไปมีปริมาณร้อยละ 10 (Vogt, 2015).

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท พีเอ คอนกรีต จำกัด ที่อนุญาตให้ใช้ผลิตภัณฑ์ของบริษัทในการศึกษาวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนเรศวรที่ให้ทุนการวิจัยครั้งนี้

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, Tavakkoli-Moghaddam, Makui, & Shamsil (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 Production. Management Science 6(4). 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, January 17). **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, January 15). **Francois Coignet**. Retrieved January 12, 2018, from https://en.wikipedia.org/wiki/ Fran%C3%A7ois_Coignet

ภาคผนวก ข

กิจกรรมเกี่ยวข้องกับการนำผลจากโครงการไปใช้ประโยชน์

บริษัท พี.เอ. คอนกรีต จำกัด

70 กม. 3-4 ถนนไฮเวย์ ลำปาง-เชียงใหม่ ต.ปงแสนทอง อ.เมือง จ.ลำปาง 52100

✆ 054-829826, 829827, 829828, 829829 FAX. 054-829825

ผู้ผลิต
และจำหน่าย

1. เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง
2. พื้นสำเร็จรูปคอนกรีตอัดแรง
3. ท่อระบายน้ำคอนกรีตเสริมเหล็ก
4. สะพานสำเร็จรูปคอนกรีตอัดแรง
5. คอนกรีตผสมเสร็จ
6. คอนกรีตบล็อก
7. เสาไฟฟ้าคอนกรีตอัดแรง
8. บริการเข็มเจาะ

ม.อ.ก. 396-2549

ISO 9001 : 2008 CERTIFIED

www.paconcrete.co.th

ตู้ ปณ. 27 ลำปาง 52100

22 สิงหาคม 2559

เรื่อง ตอบรับคู่มือการตัดเหล็กเสริมในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ
รองอธิการบดีฝ่ายวิจัย ปฏิบัติราชการแทน
อธิการบดีมหาวิทยาลัยนเรศวร

ตามที่ มหาวิทยาลัยนเรศวรได้ส่งหนังสือคู่มือตัดเหล็กในการผลิต กำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป ให้แก่ บริษัท พี.เอ.คอนกรีต จำกัด จำนวน 1 เล่ม บริษัทฯ ได้รับคู่มือแล้ว และจะได้นำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตสินค้าดังกล่าวในโอกาสต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(นายวรวิทย์ ปูหนุก)
วิศวกรโยธา

บริษัท พี.เอ. คอนกรีต จำกัด

70 กม. 3-4 ถนนไฮเวย์ ลำปาง-เชียงใหม่ ต.ปงแสนทอง อ.เมือง จ.ลำปาง 52100

✆ 054-829826, 829827, 829828, 829829 FAX. 054-829825

ม.อ.ก. 396-2549

ผู้ผลิต
และจำหน่าย

1. เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง
2. พื้นสำเร็จรูปคอนกรีตอัดแรง
3. ท่อระบายน้ำคอนกรีตเสริมเหล็ก
4. สะพานสำเร็จรูปคอนกรีตอัดแรง
5. คอนกรีตผสมเสร็จ
6. คอนกรีตบล็อก
7. เสาไฟฟ้าคอนกรีตอัดแรง
8. บริการเข็มเจาะ

ISO 9001 : 2008 CERTIFIED
www.paconcrete.co.th
ตู้ ปณ. 27 ลำปาง 52100

23 กันยายน2559

เรื่อง ขอแจ้งผลการใช้งานวิจัยเรื่อง วิธีการตัดเหล็กเสริมเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ (รองอธิการบดีฝ่ายวิจัย)

ตามที่มหาวิทยาลัยนเรศวรได้ส่งหนังสือคู่มือวิธีการตัดเหล็กเสริมในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลให้บริษัทฯ ซึ่งเป็นผลงานวิจัยของรองศาสตราจารย์ ศรีวรรณ ฤกษ์ภูริทัต ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศรายุทธ มาลัย สาขาเทคโนโลยีโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง นั้น บัดนี้บริษัทฯ ได้นำไปใช้ในการผลิตสินค้าดังกล่าว ผลเป็นที่น่าพอใจอย่างยิ่ง ทำให้บริษัทฯ สามารถบริหารจัดการในเรื่องการจัดซื้อและการปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพลดปริมาณเศษเหล็กได้น้อยกว่าในอดีต นับเป็นผลงานวิจัยที่มีประโยชน์ต่อบริษัทฯ

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอแสดงความนับถือ

(นายวรวิทย์ ปูหนุก)

ตำแหน่ง วิศวกรโยธา

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – ชื่อสกุล	ศรีวรรณ ฤกษ์ภูริทัต
วัน เดือน ปี เกิด	25 ธันวาคม 2498
ที่อยู่ปัจจุบัน	154 หมู่ 4 ตำบลทุ่งสมอ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ 67270
ที่ทำงานปัจจุบัน	ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000.
ตำแหน่งปัจจุบัน	รองศาสตราจารย์
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2535	พบ.ม. การวิจัยดำเนินงาน สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
พ.ศ. 2521	วท.บ. ฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ภาระงานในปัจจุบัน	สอนนิสิตระดับปริญญาตรีและปริญญาโท
ผลงานตีพิมพ์	- เรื่อง “แนวทางการเทียบโอนวุฒิการศึกษา ความรู้ และประสบการณ์ระหว่างไทยกับประเทศนิวซีแลนด์” ของสำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา - เรื่อง “วิธีการตัดเหล็กรูปพรรณโครงสร้างหลังคา ให้เสียเศษเหล็กน้อยที่สุด โดยแบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็ม กรณีศึกษา บ้านภูหมอก เขาค้อ” วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม 2559 – ธันวาคม 2559 หน้า 71-84
ผลงานตำรา	- หลักสถิติ - สถิติวิเคราะห์ - สถิติธุรกิจ - ทฤษฎีการตัดสินใจ - การควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ - การวิจัยดำเนินงาน 1 - การวิจัยดำเนินงาน 2

ชื่อ – ชื่อสกุล	ศรายุทธ มาลัย
วัน เดือน ปี เกิด	11 เมษายน 2517
ที่อยู่ปัจจุบัน	265/1 หมู่ 5 ตำบลปงแสนทอง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100
ที่ทำงานปัจจุบัน	สาขาวิชาเทคโนโลยีโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 119 หมู่ 9 ถนนลำปาง-แม่ทะ ตำบลชมพู อำเภอเมืองลำปาง จังหวัดลำปาง 52100
ตำแหน่งปัจจุบัน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2541	ค.อ.บ. วิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคพายัพ
พ.ศ. 2547	วศ.ม. วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร
ภาระงานในปัจจุบัน	สอนนิสิตระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีโยธา
ผลงานตีพิมพ์	- เรื่อง “การวางแผนการตัดเหล็กแผ่นด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนเต็ม” วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร, ปีที่ 20 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม-เมษายน พ.ศ. 2555 หน้า 33-40 - เรื่อง “การประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงสำหรับการควบคุมการตัดเหล็กรูปพรรณ” วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 21 ฉบับที่ 3 พ.ศ. 2553 หน้า 25-34
ผลงานตำรา	การวางผังอาคารและการก่อสร้าง