



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การวางแผนตัดเหล็กเสริมในงานฐานรากเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กเหลือ

The Planning for Reinforcing Steel Cutting in Foundation to Reduce
Trim Loss Steel

นายชนาธิป ฉลองธรรม

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การวางแผนตัดเหล็กเสริมในงานฐานรากเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กเหลือ

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นาย ชนาธิป ฉลองธรรม

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.ดร.ศลิษา ไชยพุทธ

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน คุณเจษฎา เกษมาลา

สถานประกอบการ บริษัท ศุภาลัย จำกัด (มหาชน)

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเหล็กเสริมนับเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีราคาสูง เนื่องจากการพัฒนาตัวขึ้นของอุตสาหกรรม การก่อสร้างแต่ปัญหาหนึ่ง คือ การตัดเหล็กเสริมเพื่อนำไปใช้งานมักจะถูกตัดอย่างไม่มีแผนใดๆ จึงก่อให้เกิดปริมาณเศษเหล็กเหลือเป็นจำนวนมาก จึงนำมาสู่การวิจัยครั้งนี้โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการตัดเหล็กเสริมให้เกิดเศษเหล็กเหลือน้อยที่สุดของงานฐานรากรูปสี่เหลี่ยม 3 รูปแบบ ได้แก่ ฐานรากรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 0.50 เมตร ยาว 0.50 เมตร หนา 0.40 เมตร (F3), ฐานรากรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 0.50 เมตร ยาว 1.20 เมตร หนา 0.50 เมตร (F4) และฐานรากรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 0.60 เมตร ยาว 0.60 เมตร หนา 0.40 เมตร (F5) โดยใช้เหล็กเสริมประกอบด้วยเหล็กข้ออ้อย DB 12 มิลลิเมตร และเหล็กข้ออ้อย DB 16 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ผู้ศึกษาได้สร้างกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มสำหรับการตัดเหล็กเสริมในฐานรากแต่ละรูปแบบ จากการวิเคราะห์ผู้ศึกษาพบว่ามี 2 วิธีที่เหมาะสมในการตัดเหล็กข้ออ้อย DB 12 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร สำหรับงานฐานราก F3, มี 5 วิธีที่เหมาะสมในการตัดเหล็กข้ออ้อย DB 16 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร และมี 1 วิธีที่เหมาะสมในการตัดเหล็กข้ออ้อย DB 12 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร สำหรับงานฐานราก F4, มี 3 วิธีที่เหมาะสมในการตัดเหล็กข้ออ้อย DB 12 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร สำหรับงานฐานราก F5 มีผลให้เกิดเศษเหล็กข้ออ้อย DB 12 มิลลิเมตรเหลือร้อยละ 4.75 และเศษเหล็กข้ออ้อย DB 16 มิลลิเมตรเหลือร้อยละ 5.82

คำสำคัญ : เหล็กเสริม, เศษเหล็กเหลือน้อยที่สุด, กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม

Cooperative Title: The Planning for Reinforcing Steel Cutting in Foundation to Reduce Trim Loss Steel

Student intern name: Chanathip Chalengthum

Faculty: Engineering

Department: Civil Engineering

Advisor name: Salisa Chaiyaput

Mentor name: Chetsada Ketmala

Company: Supalai Public Company Limited

ABSTRACT

Nowadays, Reinforcing Steel is an expensive construction material due to the development of construction industry. But one problem is the cutting of reinforcing steel for usage is often cut without planning result to a lot of trim loss steel. From this problem lead to this research that has purposes to search the reinforcing steel cutting methods to minimize steel trim loss for 3 rectangular foundations include the square foundation width 0.50 m. length 0.50 m. thick 0.40 m. (F3), the rectangular foundation width 0.50 m. length 1.20 m. thick 0.50 m. (F4) and the square foundation width 0.60 m. length 0.60 m. thick 0.40 m. (F5). Each foundation contains deformed bars 12 mm. and 16 mm. standard length of 10 m. Researcher created an integer linear programming for reinforcing steel cutting in the each foundations. From the analysis there are two optimize methods to cut deformed bar 12 mm. standard length of 10 m. for F3, five optimize methods to cut deformed bar 16 mm. and only one optimize method to cut deformed bar 12 mm. standard length of 10 m. for F4, three optimize methods to cut deformed bar 12 mm. standard length of 10 m. for F5. The resulting in 4.75 % trim loss steel for deformed bar 12 mm. and 5.82 % for deformed bar 16 mm.

Keywords : Reinforce Steel, Minimize steel trim loss, An integer linear programming

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยเรื่อง การวางแผนการตัดเหล็กเสริมในงานฐานรากเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กเหลือ ในครั้งนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร อาจารย์ผู้ดูแลรายวิชาสหกิจศึกษา (01096003 Cooperative Education) และ ผศ.ดร.ศลิษา ไชยพุทธ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนการทำการวิจัยเป็นอย่างดีรวมถึง บริษัท ศุภาลัย จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์รับนักศึกษาสหกิจศึกษาเข้าศึกษาเรียนรู้สายงานก่อสร้างวิศวกรรมโยธา คุณเจษฎา เกษมาลา วิศวกรสนาม และบุคลากรในโครงการ ศุภาลัย ไพรด์ บางนา-ลาดกระบังทุกท่านที่ให้ข้อมูลความรู้, คำปรึกษาในการทำวิจัย, ประสพการณ์ในการทำงานด้านการก่อสร้างบ้านจัดสรร บริษัท ผจญรุ่งเรืองไพศาล ก่อสร้าง จำกัด และ บริษัท Building Design and Consultant จำกัด สำหรับข้อมูลปริมาณเหล็กเสริมในการก่อสร้าง

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดามารดา รวมถึงเพื่อนๆทุกคนที่เป็นกำลังใจให้ตลอดการทำงานวิจัยเรื่อยมาทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ชนาธิป ฉลองธรรม

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 แนวความคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 บทความที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	15
3.1 การถอดแบบรายการเหล็กเสริมในงานฐานราก	20
3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล	21
3.3 การจัดรูปแบบวิธีการตัดเหล็กเสริมและคำนวณปริมาณเศษเหล็กเหลือ	25
3.4 การสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม	29
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล	31
บทที่ 4 ผลการวิจัย	32
4.1 ฐานราก F3	32
4.2 ฐานราก F4	33
4.3 ฐานราก F5	35
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	37
5.1 สรุปผลการวิจัย	37

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะในการทำงาน	39
เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก	42
ประวัติผู้เขียน	59

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ชื่อขนาดระบุ และมวลระบุของเหล็กเส้นกลม	6
2.2 คุณสมบัติเชิงกลในการรับแรงดึงของเหล็กข้ออ้อย	7
2.3 ชื่อขนาด ขนาดระบุ และมวลระบุของเหล็กข้ออ้อย	8
2.4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุดของวงโค้งที่ตัด	10
2.5 ตัวอย่างรายการการตัดเหล็กเสริม	11
3.1 ปริมาณ, ขนาด และความยาวเหล็กเสริมที่ต้องใช้ในฐานราก F3	22
3.2 ปริมาณ, ขนาด และความยาวเหล็กเสริมที่ต้องใช้ในฐานราก F4	23
3.3 ปริมาณ, ขนาด และความยาวเหล็กเสริมที่ต้องใช้ในฐานราก F5	24
3.4 รูปแบบการตัดเหล็กข้ออ้อย DB12 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ความยาว 1.20 เมตร และ 1.80 เมตร	25
3.5 รูปแบบการตัดเหล็กข้ออ้อย DB16 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ความยาว 1.40 เมตร และ 2.10 เมตร	26
3.6 รูปแบบการตัดเหล็กข้ออ้อย DB12 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ความยาว 3.20 เมตร	27
3.7 รูปแบบการตัดเหล็กข้ออ้อย DB12 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ความยาว 1.30 เมตร และ 2.20 เมตร	28
4.1 วิธีที่เหมาะสมในการตัดเหล็กข้ออ้อย DB12 สำหรับงานฐานราก F3	32
4.2 วิธีที่เหมาะสมในการตัดเหล็กข้ออ้อย DB16 สำหรับงานฐานราก F4	33
4.3 วิธีที่เหมาะสมในการตัดเหล็กข้ออ้อย DB12 สำหรับงานฐานราก F4	35
4.4 วิธีที่เหมาะสมในการตัดเหล็กข้ออ้อย DB12 สำหรับงานฐานราก F5	36
5.1 จำนวนเหล็กเสริมความยาวมาตรฐาน 10 เมตรที่ต้องใช้และปริมาณเศษเหล็กเหลือ (ผลวิจัย)	38
5.2 จำนวนเหล็กเสริมความยาวมาตรฐาน 10 เมตรที่ต้องใช้และปริมาณเศษเหล็กเหลือ (วิธีการตัดเหล็กเสริมของโครงการ)	38

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 เหล็กเส้นกลมและข้ออ้อย	5
2.2 กลไกการฝังยึดของเหล็กข้ออ้อยในคอนกรีต	6
2.3 ลักษณะบั้งและครีปในเหล็กข้ออ้อย	7
2.4 ระยะเวลาปลายที่ยื่นออกของการตัดเป็นครึ่งวงกลม	9
2.5 ระยะเวลาปลายที่ยื่นออกของการตัดเป็นมุมฉาก	9
2.6 การจัดรูปแบบการตัดเหล็กเสริมสำหรับเหล็กเส้นยาว 10 เมตร	12
3.1 ผังฐานรากของแบบบ้านแฝด (ศุภกัลยา)	15
3.2 รูปตัดฐานราก F3	16
3.3 รูปตัดฐานราก F4	16
3.4 รูปตัดฐานราก F5	17
3.5 ผังการคำนวณ	19
4.1 Bar-Cut Patterns ของเหล็กข้ออ้อย DB12 สำหรับงานฐานราก F3	33
4.2 Bar-Cut Patterns ของเหล็กข้ออ้อย DB16 สำหรับงานฐานราก F4	34
4.3 Bar-Cut Patterns ของเหล็กข้ออ้อย DB12 สำหรับงานฐานราก F4	35
4.4 Bar-Cut Patterns ของเหล็กข้ออ้อย DB12 สำหรับงานฐานราก F5	36
5.1 การขัดสนิมเหล็กคานหน้าสนาม ด้วยแปรงโลหะ	40
5.2 การใช้เหล็กเสริมค้ำยันเหล็กเสา	40

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

โดยทั่วไปเหล็กเส้นหรือเหล็กเสริมนับเป็นวัสดุที่มีความสำคัญในงานก่อสร้างเนื่องจากงานโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นงานคอนกรีตเสริมเหล็ก (ค.ส.ล) เพื่อให้โครงสร้างสามารถรับได้ทั้งแรงอัดและแรงดึง แต่ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการก่อสร้างมีการพัฒนาศักยภาพในด้านต่างๆเพิ่มมากขึ้นจึงส่งผลให้วัสดุก่อสร้างมีราคาสูงขึ้น ค่าก่อสร้างในโครงการจึงสูงขึ้นตามไปด้วยความแปรผันตามปัจจัยต่างๆเหล่านี้ส่งผลให้เหล็กเส้นมีราคาสูงในปัจจุบัน กระบวนการก่อสร้างโดยวิธีติดตั้งไม้แบบ ผูกเหล็กเส้น แล้วเทคอนกรีต ยังคงก่อให้เกิดการสูญเสียในวัสดุเป็นจำนวนมากผลที่ตามมา คือ ต้นทุนค่าวัสดุสูงขึ้น, มีเศษเหล็กเหลือสะสม, เกิดความล่าช้าในโครงการ ดังนั้นการวางแผนการตัดเหล็กเส้นเพื่อลดสูญเสียนั้นเป็นสิ่งที่ควรเล็งเห็น และให้ความสำคัญเพราะนอกจากจะเป็นการช่วยลดปริมาณเศษเหล็กเหลือแล้วยังสามารถลดค่าแรงในการทำงาน, ระยะเวลาในการก่อสร้าง, ต้นทุนวัสดุงานก่อสร้าง รวมไปถึงข้อผิดพลาดต่างๆในการก่อสร้างได้เป็นอย่างดี

ผู้ศึกษาได้มีโอกาสเข้ามาฝึกงานสหกิจศึกษาที่โครงการศุภาลัย ไพร์ด บางนา-ลาดกระบัง โดยมีงานที่ได้รับมอบหมายหลักๆ คือ การตรวจเหล็กเสริมหรือเหล็กเส้นในงานโครงสร้างฐานรากก่อนการเทคอนกรีต นอกจากนี้ยังได้ไปศึกษาถึงกระบวนการตัดเหล็กเสริมโดยผู้รับเหมาพบว่าการนำเหล็กเสริมมาใช้จะต้องนำเหล็กเสริมความยาวมาตรฐาน 10 เมตร มาตัดให้ได้ขนาดความยาวที่ต้องการใช้ในงานต่างๆซึ่งผู้รับเหมาแต่ละรายจะมีลักษณะการตัดเหล็กเสริมที่ไม่มีการวางแผนใดๆจึงส่งผลให้เกิดเศษเหล็กจากการตัดขึ้นเป็นจำนวนมากทำให้ผู้ศึกษาทราบถึงปริมาณการสูญเสียของเหล็กเสริมที่เกิดขึ้นหลังการตัด

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นผู้ศึกษาได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการสูญเสียของเหล็กเสริมจึงได้ค้นคว้าวิธีการตัดเหล็กเสริมเพื่อให้เหลือเศษเหล็กน้อยที่สุดในงานฐานรากของโครงการ สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม รวมทั้งการประยุกต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เกี่ยวข้องมาช่วยในการวิเคราะห์เพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาวิธีการตัดเหล็กเสริมให้เหลือเศษเหล็กน้อยที่สุดในงานฐานราก
2. เพื่อประยุกต์การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม
3. เพื่อจัดทำแผนการตัดเหล็กเสริมสำหรับงานฐานรากให้กับวิศวกรใช้ในโครงการเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กเหลือ
4. เพื่อให้เกิดการดำเนินงานที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันระหว่างบริษัทกับผู้รับเหมา

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการดำเนินการตัดเหล็กเสริมของงานฐานรากในแบบบ้านแฝด (คู่กัลยา) 1 คู่ ของโครงการศุภาลัย ไพรด์ บางนา-ลาดกระบัง โดยมีการใช้ฐานรากรูปสี่เหลี่ยม 3 รูปแบบ ได้แก่ ฐานรากรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 0.50 เมตร ยาว 0.50 เมตร หนา 0.40 เมตร (F3), ฐานรากรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 0.50 เมตร ยาว 1.20 เมตร หนา 0.50 เมตร (F4) และฐานรากรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 0.60 เมตร ยาว 0.60 เมตร หนา 0.40 เมตร (F5) โดยฐานรากแต่ละรูปแบบมีการใช้ปริมาณเหล็กเสริมความยาวที่แตกต่างกันไป ซึ่งระยะเวลาที่ผู้ศึกษาใช้เวลาในการศึกษาและจัดทำโครงการนี้ตั้งแต่วันที่ 5 สิงหาคม พ.ศ. 2562 ถึงวันที่ 22 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 109 วัน

1.4 วิธีการดำเนินงาน

การวิจัยครั้งนี้ผู้ศึกษาได้ศึกษาบทความ, งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎีเนื้อหาเบื้องต้นที่จำเป็นโดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่

1. ศึกษาในส่วนของการถอดปริมาณเหล็กเสริมในงานฐานราก

- ศึกษาทฤษฎีและหลักการ
- มาตรฐานทั่วไปในงานเหล็กเสริม

2. ศึกษาในส่วนของ การสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

- แนวความคิดกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming)

- ตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Mathematical Modeling for Integer Linear Programming)

3. วิธีการตัดเหล็กสำหรับเหล็กเสริมความยาวมาตรฐาน 10 เมตร

- การทำ Bar Cutting List

4. ศึกษาการใช้โปรแกรมที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์หาปริมาณเศษเหล็กเหลือน้อยที่สุด

- โปรแกรม Solver ซึ่งเป็นโปรแกรมร่วมกับโปรแกรม Microsoft Excel

หลังจากศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นจึงเริ่มทำการถอดปริมาณเหล็กเสริมในงานฐานราก, เก็บรวบรวมข้อมูล, จัดรูปแบบวิธีการตัดเหล็กเสริม, คำนวณปริมาณเศษเหล็กเหลือจากรูปแบบวิธีการตัดเหล็กเสริมต่างๆ, สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม, ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Solver และสรุปผลออกมาในรูปแบบของข้อมูลเชิงตัวเลขนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณเศษเหล็กเหลือโดยวิธีการตัดเหล็กเสริมของโครงการในปัจจุบัน

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถหาวิธีการตัดเหล็กเสริมให้เหลือเศษเหล็กน้อยที่สุดในงานฐานรากได้
2. สามารถประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มเพื่อหาค่าเหมาะสมที่สุดได้
3. สามารถสร้างแบบแผนการตัดเหล็กเสริมในงานฐานรากเพื่อให้วิศวกรใช้ในอนาคตได้
4. เกิดการดำเนินงานไปในทิศทางเดียวกันระหว่างบริษัทกับผู้รับเหมา

บทที่ 2

แนวความคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทความที่เกี่ยวข้อง

(ชัยวุฒิ ชัยพันธุ์, 2539) การประยุกต์ใช้หลักการของกำหนดการเชิงเส้นเพื่อออกแบบการตัดวัสดุมีการศึกษาแรกเริ่มโดย Gilmore and Gomory (Gilmore P.C. and R.E. Gomory, 1961), (Gilmore P.C. and R.E. Gomory 1963) โดยใช้ทฤษฎีกำหนดการเชิงเส้นในการแก้ปัญหาการตัดวัสดุมิติเดียวให้สูญเสียวัสดุน้อยที่สุด และการศึกษาเพื่อแก้ปัญหาด้านการตัดวัสดุโดยใช้กำหนดการเชิงเส้นนี้มีการศึกษาเพิ่มเติมมาโดยลำดับ (Haessler R.W., 1980), (Dyckhoff H., 1990), (Carvalho J.M.V., 1999)

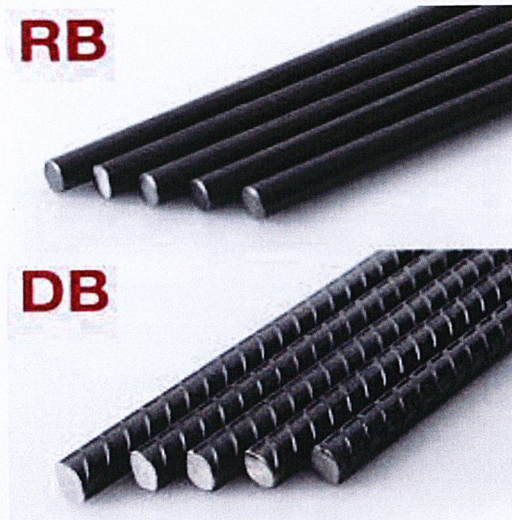
(พัชราภรณ์ เนียมมณี, 2552) กำหนดการเชิงเส้นหรือโปรแกรมเชิงเส้นตรงเป็นเทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้วางแผนเพื่อจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุดตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ถูกนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาในอุตสาหกรรม, การธนาคาร, การเกษตร, การขนส่ง โดยการนำปัญหาทรัพยากรและสมการข้อจำกัดในการปฏิบัติงานมาสู่การสร้างตัวแบบของปัญหาและวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์แล้วจึงสรุปออกมาเป็นตัวเลขเพื่อใช้ในการตัดสินใจเป็นวิธีที่แพร่หลาย

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้ศึกษาได้รวบรวมหลักทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในเรื่องมาตรฐานงานเหล็กเสริมในคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อศึกษามาตรฐานทั่วไปในงานเหล็กเสริม, มาตรฐาน ACI ในการขอเหล็กเสริม, การทำ Bar Cutting List และแนวความคิดการสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับกำหนดการเชิงเส้น

2.2.1 มาตรฐานงานเหล็กเสริมในคอนกรีตเสริมเหล็ก

เหล็กเส้นหรือเหล็กเสริม (rebar) ในงานคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นทำหน้าที่ช่วยให้คอนกรีตสามารถรับแรงดึงได้ เพราะ เติมที่คอนกรีตมีความสามารถในการรับแรงอัดได้สูงแต่รับแรงดึงได้ค่อนข้างต่ำจึงต้องมีการเสริมเหล็กเพื่อให้สามารถรับทั้งแรงอัดและแรงดึงในโครงสร้างส่วนต่างๆได้ เหล็กเสริมที่นิยมใช้จะมีอยู่ 2 ประเภท คือ เหล็กเส้นกลมผิวเรียบ (Round Bar หรือ RB) และ เหล็กข้ออ้อย (Deformed Bar หรือ DB)



ภาพที่ 2.1 แสดงเหล็กเส้นกลมและข้ออ้อย

ที่มา: SCG Brand. “เหล็กเส้นในงานโครงสร้าง” (Online).

Available: <https://www.facebook.com/SCGBrand/>

2.2.1.1 เหล็กเส้นกลมผิวเรียบ (Round Bar, RB)

เหล็กเส้นกลมทำขึ้นจากแท่งเล็ก (billet) เหล็กแท่งใหญ่ (bloom) หรือเหล็กแท่งหล่อ (ingot) ด้วยกรรมวิธีรีดร้อนโดยต้องไม่มีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มาก่อน เหล็กเส้นกลมต้องมีผิวเรียบเกลี้ยง ยกเว้นบริเวณที่ทำเครื่องหมายและต้องไม่ปริ, ไม่แตกร้า, ไม่มีสนิมขุมหรือตำหนิอื่นซึ่งมีผลเสียต่อการใช้งาน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 20-2559 กำหนดไว้เพียงชั้นคุณภาพเดียวโดยใช้สัญลักษณ์ SR-24 มีคุณสมบัติเชิงกลในการรับแรงดึง คือ

1. ความต้านทานแรงดึง (สูงสุด) F_u ต้องไม่น้อยกว่า 385 MPa (3,900 ksc)
2. ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก F_y ต้องไม่น้อยกว่า 235 MPa (2,400 ksc)
3. ความยืด ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 21

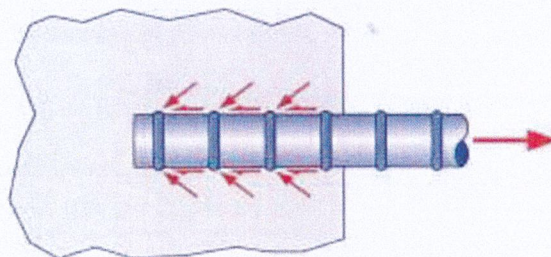
ขนาด	ขนาดระบุ		มวลระบุ กิโลกรัมต่อเมตร
	เส้นผ่านศูนย์กลาง มิลลิเมตร	พื้นที่ภาคตัดขวาง ตารางมิลลิเมตร	
RB 6	6	28.3	0.222
RB 8	8	50.2	0.395
RB 9	9	63.6	0.499
RB 10	10	78.5	0.616
RB 12	12	113.0	0.888
RB 15	15	176.6	1.387
RB 19	19	283.4	2.226
RB 22	22	379.9	2.984
RB 25	25	490.6	3.853
RB 28	28	615.4	4.834
RB 34	34	907.5	7.127

ตารางที่ 2.1 แสดงชื่อขนาดระบุ และมวลระบุของเหล็กเส้นกลม

ที่มา: มาตรฐานงานเหล็กเสริมคอนกรีต มทข. 103-2545

2.2.1.2 เหล็กข้ออ้อย (Deformed Bar, DB)

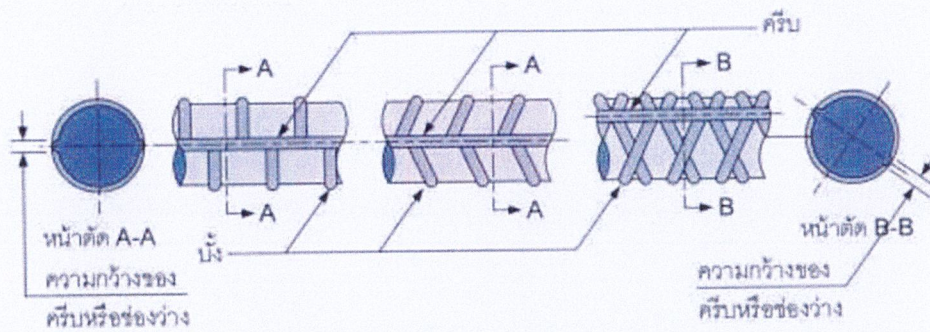
เหล็กข้ออ้อย หมายถึง เหล็กเส้นกลมที่มีบั้ง (Transverse rib) และอาจมีครีบบ้าง (longitudinal rib) หรือช่องว่าง (gap) ที่ผิวเพื่อเสริมกำลังยึดระหว่างเหล็กเส้นกับเนื้อคอนกรีต ซึ่งจะมีผลจากการฝังยึดเชิงกลที่เกิดจากแรงในแนวเอียงที่เกิดขึ้นที่บั้งดังภาพที่ 2.2 มาเสริมกับแรงเสียดทานซึ่งเป็นการฝังยึดเชิงเคมีระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต



ภาพที่ 2.2 แสดงกลไกการฝังยึดของเหล็กข้ออ้อยในคอนกรีต

ที่มา: คู่มืองานเหล็กเสริมคอนกรีตของ ผศ.ดร. มงคล จิรวรรณเดช

เหล็กข้ออ้อยต้องมีผิวเรียบเกลี้ยงยกเว้นบริเวณที่เป็นบั้ง, ครีบ และเครื่องหมายที่เป็นตัวนูน โดยบั้งของเหล็กข้ออ้อยจะมีระยะห่างเท่าๆกันดังภาพที่ 2.3 บั้งและครีบที่อยู่ตรงข้ามกันจะมีขนาดและรูปร่างเหมือนกัน มุมระหว่างบั้งกับแกนของเหล็กข้ออ้อยต้องไม่น้อยกว่า 45° ในกรณีที่มีมุมตั้งแต่ 45° ถึง 70° บั้งจะต้องวางกลับทางกันบนแต่ละข้างของเหล็กข้ออ้อย หรือบั้งทั้งหมดของข้างหนึ่งต้องกลับทางกับบั้งทั้งหมดของอีกข้างหนึ่ง แต่บั้งทำมุมกับแกนเหล็กข้ออ้อยเกิน 70° ก็ไม่จำเป็นต้องกลับทางกัน



ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะบั้งและครีบในเหล็กข้ออ้อย

ที่มา: คู่มืองานเหล็กเสริมคอนกรีตของ ผศ.ดร. มงคล จีระวัชรเดช

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 24-2559 สำหรับเหล็กข้ออ้อยกำหนดไว้ 3 ชั้นคุณภาพ คือ SD30, SD40 และ SD50

ชั้นคุณภาพ	ความต้านทานแรงดึง MPa (ksc)	ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก MPa (ksc)	ความยืด %
SD 30	480 (4,900)	295 (3,000)	17
SD 40	560 (5,700)	390 (4,000)	15
SD 50	620 (6,300)	490 (5,000)	13

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติเชิงกลในการรับแรงดึงของเหล็กข้ออ้อย

ที่มา: มาตรฐานงานเหล็กเสริมคอนกรีต มทข. 103-2545

ขนาด	ขนาดระบุ		มวลระบุ กิโลกรัมต่อเมตร
	เส้นผ่านศูนย์กลาง มิลลิเมตร	พื้นที่ภาคตัดขวาง ตารางมิลลิเมตร	
DB 10	10	78.5	0.616
DB 12	12	113.0	0.888
DB 16	16	201.0	1.578
DB 20	20	314.0	2.466
DB 22	22	379.9	2.984
DB 25	25	490.6	3.853
DB 28	28	615.4	4.834
DB 32	32	803.8	6.313
DB 36	36	1017.4	7.99
DB 40	40	1256.0	9.865

ตารางที่ 2.3 แสดงชื่อขนาด ขนาดระบุ และมวลระบุของเหล็กเส้นข้ออ้อย

ที่มา: มาตรฐานงานเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต มทช. 103-2545

การตรวจสอบขนาดเหล็กเส้นให้ใช้วิธีการชั่งน้ำหนัก โดยน้ำหนักเหล็กต่อเมตรที่ชั่งได้ให้ผิดไปจากตารางแสดงน้ำหนักเหล็กเสริม ได้ไม่เกิน 3%

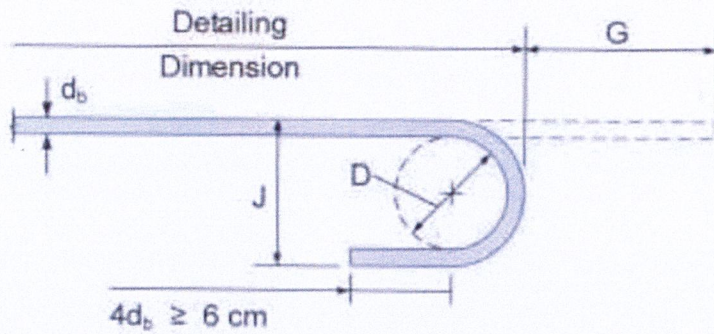
2.2.2 ของมาตรฐาน ว.ส.ท

2.2.2.1 ของมาตรฐาน

การขอที่ปลายเหล็กเสริมคอนกรีตทำเพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีตเมื่อมีความยาวฝังยึดของเหล็กเสริมตามแนวเส้นตรงไม่เพียงพอตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลังของ ว.ส.ท. 1008-38 หัวข้อ 3401 กำหนดการขอมาตรฐานดังนี้

ของมาตรฐาน หมายถึง ส่วนปลายของเหล็กเสริมที่มีลักษณะตรงตามข้อใดข้อหนึ่งดังนี้

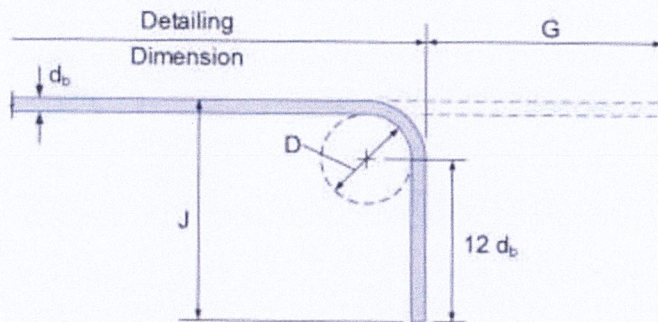
1. ส่วนที่ดัดเป็นครึ่งวงกลม ต้องมีส่วนปลายยื่นออกต่อออกไปอีกอย่างน้อย 4 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหรือต้องมากกว่า 6 ซม. ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงระยะส่วนปลายที่ยื่นออกของการดัดเป็นครึ่งวงกลม

ที่มา: คู่มืองานเหล็กเสริมคอนกรีตของ ผศ.ดร. มงคล จีระวัชรเดช

2. ส่วนที่ดัดเป็นมุมฉาก ต้องมีส่วนปลายยื่นต่อออกไปอีกอย่างน้อย 12 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง



ภาพที่ 2.5 แสดงระยะส่วนปลายที่ยื่นออกของการดัดเป็นมุมฉาก

ที่มา: คู่มืองานเหล็กเสริมคอนกรีตของ ผศ.ดร. มงคล จีระวัชรเดช

2.2.2.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุดสำหรับการดัด

เส้นผ่านศูนย์กลางของวงโค้งที่ดัดเหล็กเสริมให้วัดที่ด้านในของเหล็กที่ดัดสำหรับข้อมาตรฐาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้ต้องไม่น้อยกว่าที่กำหนดในตาราง 2.4

ขนาดของเหล็กเสริม	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุด
6 ถึง 25 มม.	6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม
28 ถึง 36 มม.	8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม
44 ถึง 57 มม.	10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม

ตารางที่ 2.4 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุดของวงโค้งที่ตัด

ที่มา: มาตรฐาน ว.ส.ท.

2.2.2.3 ของที่นอกเหนือจากของมาตรฐาน

1. การตัดเหล็กลูกตั้งและเหล็กปลอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 6 ถึง 16 มม. ต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของวงโค้งที่ตัดไม่น้อยกว่า 4 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้น
2. การตัดงอเหล็กอื่นๆ ต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงโค้งเมื่อวัดด้านในไม่น้อยกว่าค่าในตาราง ถ้าการตัดงอนั้นกระทำ ณ จุดที่เหล็กมีหน่วยแรงสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของการงอต้องมากพอที่จะไม่ให้เกิดการอัดแตกของคอนกรีต

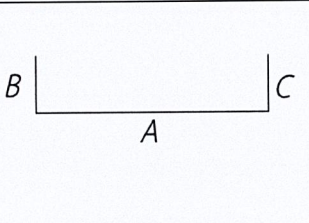
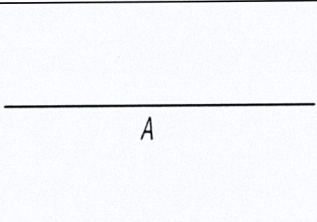
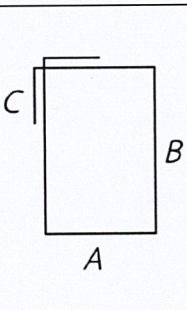
2.2.3 การทำ Bar Cutting List

Bar Cutting List คือ การวางแผนการตัดเหล็กเสริมเพื่อนำไปใช้ในการก่อสร้างโดยรายละเอียดจะประกอบไปด้วยชนิด, ขนาด, ความยาว และจำนวนของเหล็กเสริมที่ใช้ในงาน ข้อดีในการทำ Bar Cutting List คือ

1. ลดระยะเวลาและค่าแรงในงานก่อสร้าง เพราะขนาดตัดของเหล็กเสริมถูกกำหนดมาแล้ว ช่างตัดเหล็กไม่ต้องเสียเวลาในการคำนวณขนาดตัดหน้างาน
2. ลดต้นทุนวัสดุ เพราะการวางแผนตัดเหล็กเสริมนั้นเพื่อให้เกิดปริมาณเศษเหล็กจากการตัดน้อยที่สุด จึงช่วยลดการสูญเสียของเหล็กเสริม

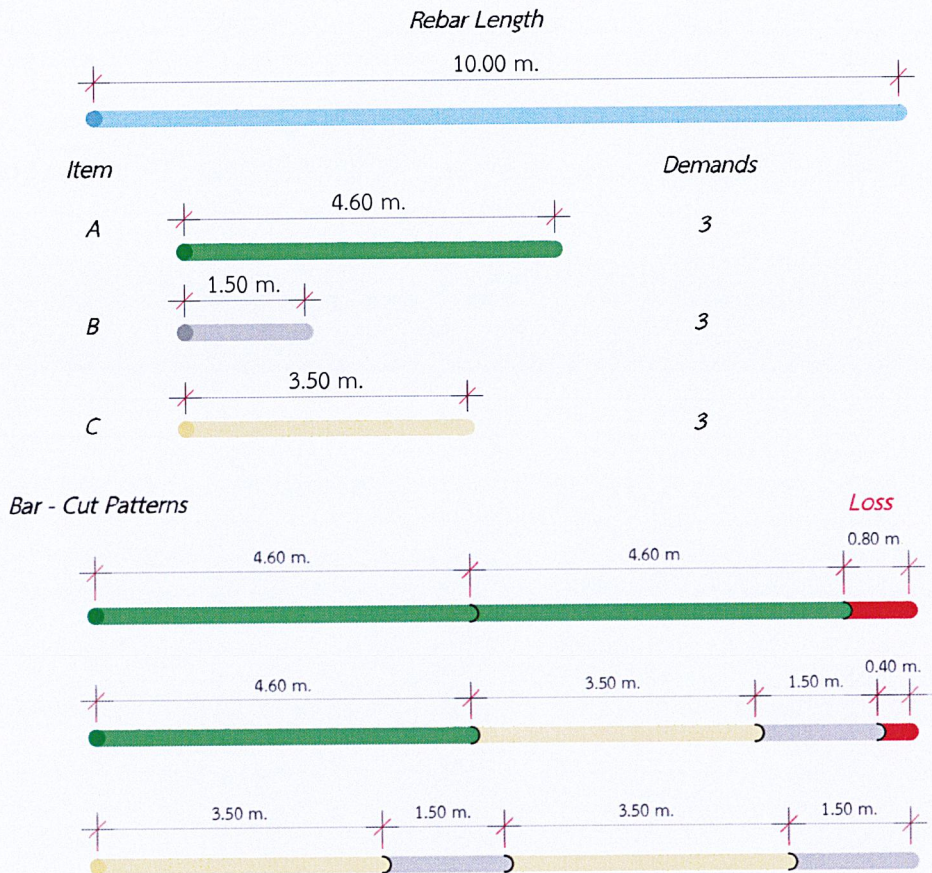
3. รู้ปริมาณเศษเหล็กเหลือ ถ้าหากเศษเหล็กเหลือมีความยาวมากอาจจะนำไปสู่การศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ในงานต่อไป

รายการตัดเหล็กเสริมจะถูกถอดจากแบบรายละเอียดเหล็กเสริมดังแสดงในตารางที่ 2.5 เหล็กเสริมแต่ละเส้นจะถูกคำนวณความยาวโดยมีระยะการงอขอลาย, ตำแหน่งและระยะการต่อทาบต่างๆเป็นไปตามหลักวิศวกรรม

No	Bar Shape	Dia (mm.)	A (m.)	B (m.)	C (m.)	Total Length (m.)	Quantity
1		DB20	4.50	0.40	0.40	5.30	6
2		DB16	5.60	0	0	5.60	14
3		RB6	0.10	0.40	0.05	1.10	38

ตารางที่ 2.5 แสดงตัวอย่างรายการการตัดเหล็กเสริม

เมื่อได้รายการการตัดเหล็กเสริมที่ระบุขนาด, ความยาว และปริมาณที่ต้องการแล้วจะต้องมาพิจารณาจัดหมวดหมู่การตัดเหล็กเสริมเพื่อให้เหลือเศษเหล็กเหลือน้อยที่สุดดังตัวอย่างในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 แสดงการจัดรูปแบบการตัดเหล็กเสริมสำหรับเหล็กเส้นยาว 10 เมตร

2.2.4 แนวความคิดกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming)

กำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ถูกคิดค้นขึ้นในครั้งแรกก่อนช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยนักคณิตศาสตร์ชาวรัสเซีย A.N. Kolmogorov ซึ่งได้พัฒนาขึ้นตั้งแต่ก่อนปี ค.ศ. 1940 เพื่อช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด คำว่าทรัพยากรในที่นี้ หมายถึง เครื่องจักร, กำลังคน, วัตถุดิบ, เวลา หรือเงินลงทุน วิธีการของกำหนดการเชิงเส้นทำให้ทราบว่าควรตัดสินใจเกี่ยวกับปัญหาอย่างไรจึงจะก่อให้เกิดผลประโยชน์สูงสุดหรือผลเสียน้อยสุดภายใต้ข้อจำกัดและเงื่อนไขที่มีอยู่ ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้วิธีการกำหนดการเชิงเส้นในหลายด้าน เช่น

1. ทางด้านงานก่อสร้าง นำไปช่วยในการบริหารงานก่อสร้างเพื่อให้เกิดเป็นระยะเวลาในการก่อสร้างที่น้อยที่สุดหรือปริมาณการสูญเสียวัสดุในการก่อสร้างน้อยที่สุดภายใต้ปัจจัย, เงื่อนไข, กฎเกณฑ์ต่างๆ

2. ทางด้านการผลิต นำไปช่วยในการวางแผนการผลิตเพื่อให้ได้กำไรสูงสุดและต้นทุนต่ำสุดในขณะที่เครื่องจักรและวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมีอยู่อย่างจำกัด
3. ทางด้านประสิทธิภาพในการทำงาน นำไปช่วยในการจัดสรรเวลาที่มีอยู่อย่างจำกัดให้สามารถจัดกิจกรรมที่มีอยู่ก่อให้เกิดผลประโยชน์สูงสุด
4. ทางด้านการตลาด นำไปช่วยในการวางแผนการค้ำขายเพื่อให้เกิดยอดขายและประสิทธิภาพสูงสุด เช่น ปริมาณการขายสินค้าและบริการที่เหมาะสมที่สุดในฤดูกาลที่แตกต่างกัน เป็นต้น

2.2.5 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Mathematical Modeling for Integer Linear Programming)

การแก้ไขปัญหาวางแผนทางคณิตศาสตร์ในกำหนดการเชิงเส้นจำเป็นต้องสรุปปัญหาให้อยู่ในรูปของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Modeling) และเงื่อนไขของตัวแปรจะต้องเป็นจำนวนเต็ม แบ่งออกเป็น 2 ตัวแบบ ได้แก่

2.2.5.1 ฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective Function)

เป็นฟังก์ชันที่ตั้งขึ้นจากปัญหา, การวางแผน, การบริหารที่ต้องการจะวิเคราะห์โดยจะต้องวิเคราะห์ร่วมกับข้อจำกัดและกฎเกณฑ์ที่มีอยู่

2.2.5.2 ฟังก์ชันข้อจำกัด (Constraints Function)

เป็นข้อจำกัด, กฎเกณฑ์, เงื่อนไขของปัญหาที่จะเป็นตัวกำหนดปริมาณที่เหมาะสมให้กับฟังก์ชันจุดประสงค์

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(นิลวัฒน์, 2556) การควบคุมการสูญเสียเหล็กเสริมในการผลิตท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมสำหรับงานระบายน้ำใต้ผิวจราจร

การประยุกต์ใช้กำหนดการเชิงเส้นในการวางแผนตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมตามมาตรฐาน มอก.1166-2536 โดยเริ่มดำเนินการจากเลือกขนาดเหล็กเสริม ถอดแบบหาปริมาณเหล็กเสริม สร้างตัวแบบของปัญหาด้วยเทคนิคการสร้างวิธีการตัดใหม่ คำนวณหาผลลัพธ์และวิธีการตัดเหล็กเสริมด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป WinQSB แล้วเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้งานของโรงงานผลิตและหลักเกณฑ์ของกรมบัญชีกลาง

ผลการวิจัยพบว่าเมื่อวางแผนการตัดเหล็กด้วยกำหนดการเชิงเส้นสามารถลดการสูญเสียปริมาณเหล็กเสริมได้สูงสุดที่ร้อยละ 4.76 เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนการใช้เหล็กเสริมของโรงงานผลิต

(ศรีวรรณ และศรายุทธ, 2561) วิธีการตัดเหล็กเสริมเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล

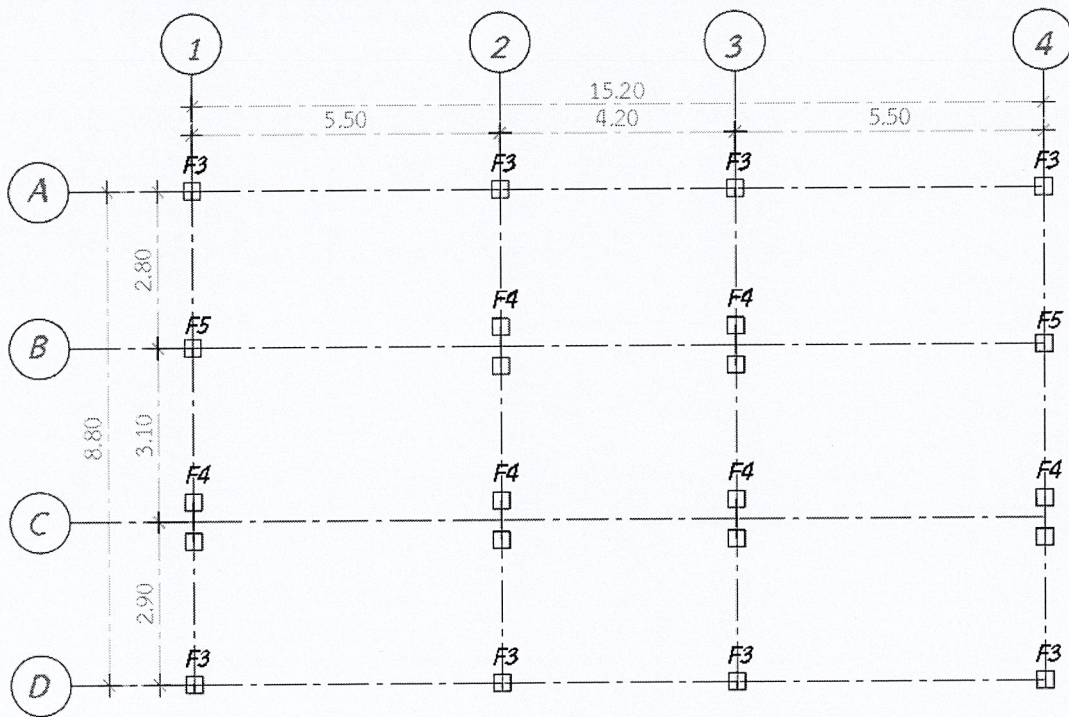
การหาวิธีการตัดเหล็กเสริมให้มีเศษเหล็กน้อยที่สุดในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลที่มีความหนา 0.15 เมตร กว้าง 1.20 เมตร สูง 1.40 เมตร ความยาว 1.00 เมตร จำนวน 1 ถึง 200 แห่งกำแพงกันดินแต่ละแห่งประกอบด้วยเหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร ยาว 0.95 เมตร จำนวน 22 ท่อน ยาว 2.50 เมตร จำนวน 5 ท่อน และเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตร ยาว 2.70 เมตร จำนวน 5 ท่อน โดยการสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นและใช้โปรแกรมที่เกี่ยวข้องช่วยวิเคราะห์หาผลลัพธ์ของตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม

ผลวิจัยพบว่าการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 1 ถึง 200 แห่ง วิธีการตัดเหล็กเพื่อให้เกิดปริมาณเศษเหล็กน้อยที่สุด คือ การผลิตจำนวน 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 และ 200 แห่ง ซึ่งให้ผลเหมือนกัน คือ มี 2 วิธีในการตัดเหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้เหล็กยาว 0.95 เมตร และ 2.50 เมตร และมี 1 วิธีในการตัดเหล็กข้ออ้อย เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร ให้ได้เหล็กยาว 2.70 เมตร จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณเศษเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อย คิดเป็นร้อยละ 3.29 และ 11.11 ตามลำดับ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

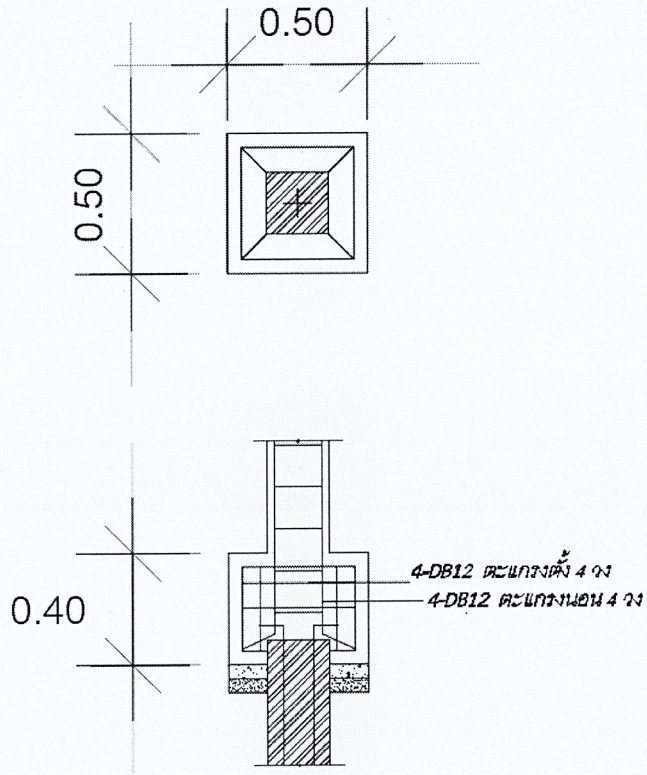
การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษางานฐานราก 3 รูปแบบที่ใช้ในโครงการ ศุภาลัย ไพร์ด บางนา-ลาดกระบัง ได้แก่ ฐานรากรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด กว้าง 0.50 เมตร ยาว 0.50 เมตร หนา 0.40 เมตร (F3), ฐานรากรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด กว้าง 0.50 เมตร ยาว 1.20 เมตร หนา 0.50 เมตร (F4) และฐานรากรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด กว้าง 0.60 เมตร ยาว 0.60 เมตร หนา 0.40 เมตร (F5) สำหรับแบบบ้านแฝด (ศุภกัลยา) ผู้ศึกษาได้ทำการถอดแบบรายการเหล็กเสริมในงานฐานรากรูปแบบต่างๆ, เก็บรวบรวมข้อมูล, จัดรูปแบบวิธีการตัดเหล็กเสริม, คำนวณปริมาณเศษเหล็กเหลือ และสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล



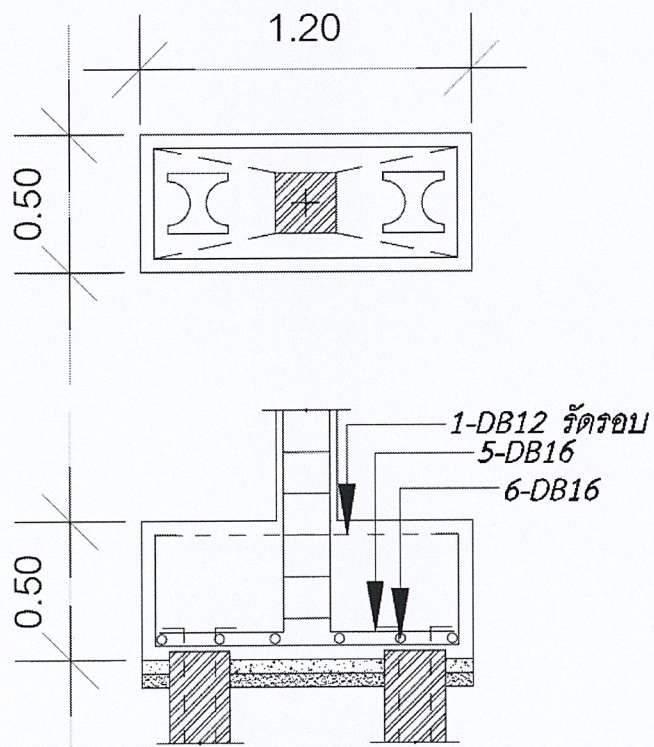
ภาพที่ 3.1 แสดงผังฐานรากของแบบบ้านแฝด (ศุภกัลยา)

จากภาพที่ 3.1 จะเห็นได้ว่ามีการใช้ฐานราก F3 8 ฐาน, ฐานราก F4 6 ฐาน และฐานราก F5 2

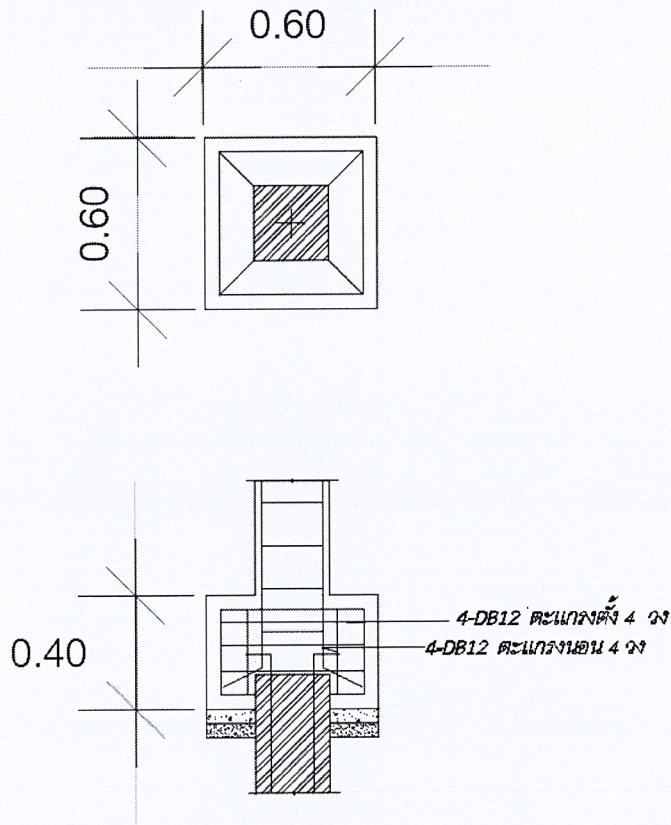
ฐาน



ภาพที่ 3.2 แสดงรูปตัดฐานราก F3



ภาพที่ 3.3 แสดงรูปตัดฐานราก F4



ภาพที่ 3.4 แสดงรูปตัดฐานราก F5

การตัดเหล็กเสริมความยาวมาตรฐาน 10 เมตรให้ได้ความยาว l_j เมตร เป็นจำนวน q_j ท่อน ตามความต้องการโดย $i = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, k$

สำหรับเหล็กข้ออ้อย DB12 และ DB16 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร กำหนดให้

Z คือ ผลรวมทั้งหมดของเศษเหล็กเหลือ

x_j คือ จำนวนเหล็กข้ออ้อยความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ที่ใช้ตัดโดยวิธีที่ j

b_j คือ ความยาวเศษเหล็กเหลือจากการตัดโดยวิธีที่ j

a_{ij} คือ จำนวนท่อนเหล็กข้ออ้อยที่มีความยาว l_j เมตร ที่ตัดโดยวิธีที่ j

q_j คือ จำนวนท่อนเหล็กข้ออ้อยที่มีความยาว l_j เมตร

ฟังก์ชันจุดประสงค์ คือ ฟังก์ชันสำหรับหาปริมาณเศษเหล็กเหลือน้อยที่สุดจากการตัด

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

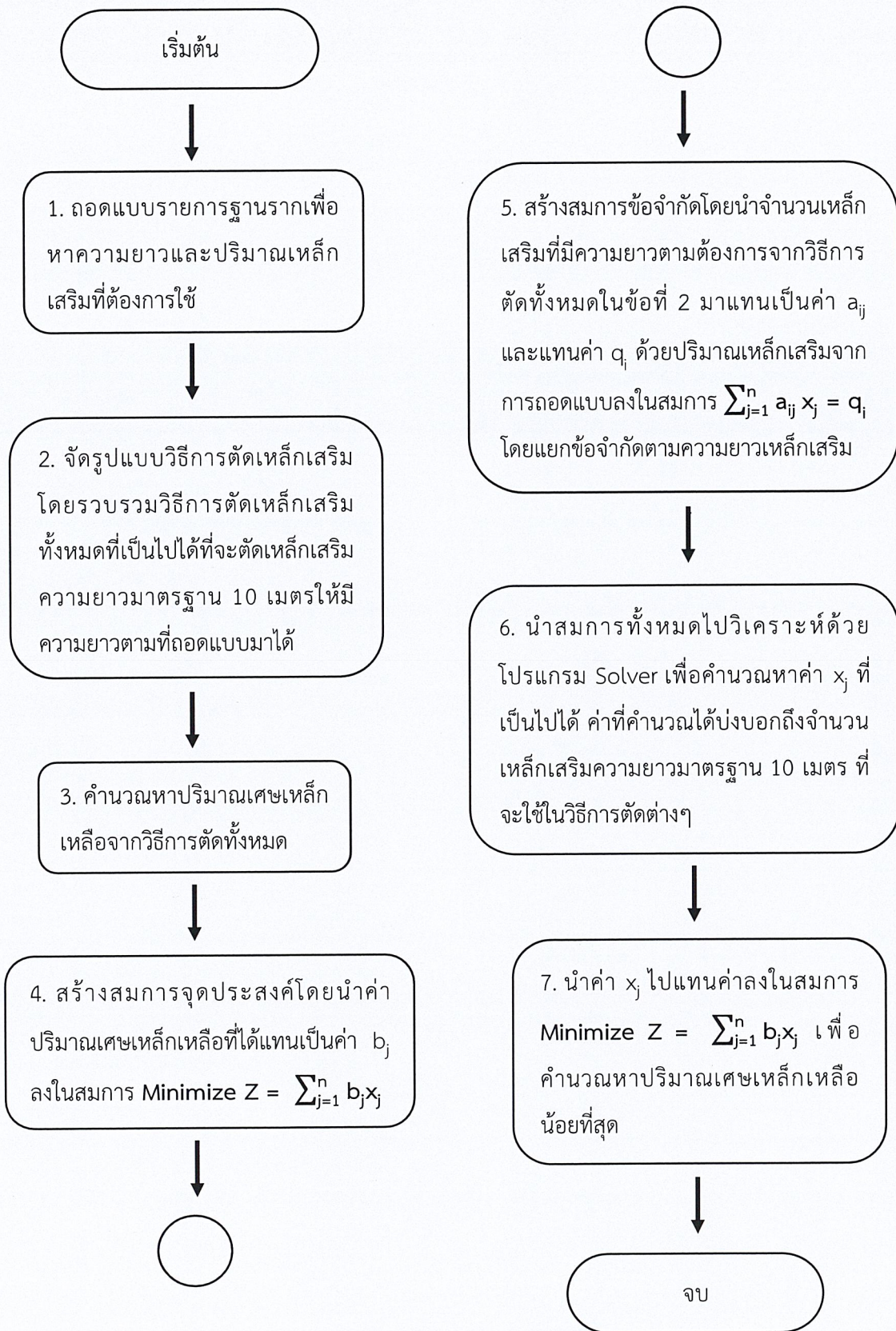
ฟังก์ชันข้อจำกัด คือ ขนาดความยาวและปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการ

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

$$\text{เมื่อ } i = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, k$$

$$j = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, n$$

$$x_j \geq 0 \text{ และเป็นจำนวนเต็ม}$$



ภาพที่ 3.5 แสดงผังการคำนวณ

3.1 การถอดแบบรายการเหล็กเสริมในงานฐานราก

เหล็กที่ใช้ในงานฐานรากจะประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่ เหล็กตะแกรงตั้ง, เหล็กตะแกรงนอน, เหล็กตะกร้อ และเหล็กกรอบ ในที่นี้ขนาดของเหล็กเสริมในฐานรากจะใช้เหล็กข้ออ้อยขนาด 12-16 มม. ในการออกแบบโครงสร้างนั้นส่วนบริเวณที่งอขอขึ้นมาเป็นส่วนใหญ่ช่วยในการลดรอยแตกร้าว และเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต เพื่อให้ง่ายแก่การคำนวณจึงกำหนดให้ระยะงอขอของเหล็กฐานรากเท่ากับ 10 ซม. เป็นมุมฉากเนื่องจากส่วนงอขอมุมฉากนี้ได้รับโมเมนต์ใดๆจากอาคาร และระยะหุ้มคอนกรีตเท่ากับ 5 ซม. เนื่องจากเป็นส่วนที่ต้องสัมผัสกับความชื้นจากดินโดยตรง

3.1.1 เหล็กตะแกรงตั้ง

ในการคิดเหล็กตะแกรงตั้งให้คิดจากความยาวฐานราก (L) ลบด้วยระยะหุ้มคอนกรีตฐานรากทั้ง 2 ด้าน บวกด้วยความหนาของฐานราก (b) 2 ด้านที่ลบด้วยระยะหุ้มคอนกรีตและบวกด้วยงอขอทั้ง 2 ด้าน ตามสมการ (3.1)

$$\text{ความยาวเหล็กตะแกรงตั้ง} = [L - 2(0.05)] + 2[b - 2(0.05)] + 2(0.10) \dots \dots \dots (3.1)$$

3.1.2 เหล็กตะแกรงนอน

ในการคิดเหล็กตะแกรงนอนให้คิดจากความยาวเส้นรอบรูปฐานราก ลบด้วยระยะหุ้มคอนกรีตทั้ง 8 ด้าน บวกด้วยงอขอทั้ง 2 ด้าน ตามสมการ (3.2)

$$\text{ความยาวเหล็กตะแกรงนอน} = 2[W + L] - 8(0.05) + 2(0.10) \dots \dots \dots (3.2)$$

3.1.3 เหล็กตะกร้อ

ในการคิดเหล็กตะกร้อแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ เหล็กตะกร้อตามแนวยาว, เหล็กตะกร้อตามแนวกว้าง

1. เหล็กตะกร้อตามแนวยาว ให้คิดเหมือนเหล็กตะแกรงตั้ง คือ คิดจากความยาวฐานราก (L) ลบด้วยระยะหุ้มคอนกรีตทั้ง 2 ด้าน บวกด้วยความหนาฐานราก (b) 2 ด้านที่ลบด้วยระยะหุ้มคอนกรีตและบวกด้วยงอขอทั้ง 2 ด้าน ตามสมการ (3.3)

$$\text{ความยาวเหล็กตะกร้อตามแนวยาว} = [L - 2(0.05)] + 2[b - 2(0.05)] + 2(0.10) \dots \dots \dots (3.3)$$

2. เหล็กตะกร้อตามแนวกว้าง ให้คิดจากความกว้างฐานราก (W) ลบด้วยระยะหุ้มคอนกรีต 2 ด้าน บวกด้วยความหนาฐานราก (b) 2 ด้านที่ลบด้วยระยะหุ้มคอนกรีตและบวกด้วยงอข้อทั้ง 2 ด้าน ตามสมการ (3.4)

$$\text{ความยาวเหล็กตะกร้อตามแนวกว้าง} = [W-2(0.05)] + 2[b-2(0.05)] + 2(0.10)\dots\dots(3.4)$$

3.1.4 เหล็กรัดรอบ

ในการคิดเหล็กรัดรอบให้คิดเหมือนเหล็กตะแกรงนอน คือ คิดจากความยาวเส้นรอบรูปฐานราก ลบด้วยระยะหุ้มคอนกรีตทั้ง 8 ด้าน บวกด้วยงอข้อ 2 ด้าน ตามสมการ (3.5)

$$\text{ความยาวเหล็กรัดรอบ} = 2[W+L] - 8(0.05) + 2(0.10)\dots\dots\dots(3.5)$$

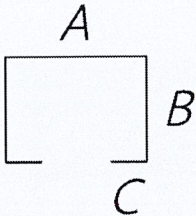
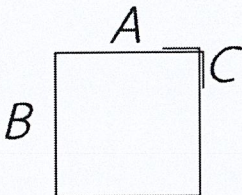
ในกรณีแบบก่อสร้างระบุจำนวนเหล็กฐานรากเป็นช่องว่างที่กำหนด (@) วิธีคิดจำนวนเหล็กเสริม คือ นำความยาว, ความกว้าง หรือความหนา ลบด้วยระยะหุ้มคอนกรีต 2 ด้าน (H) และหารด้วยช่องว่างที่กำหนด (@) หากหารไม่ลงตัวให้ปัดเศษขึ้นเสมอ ตามสมการ (3.6)

$$\text{จำนวนเหล็ก} = \frac{H}{@}\dots\dots\dots(3.6)$$

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

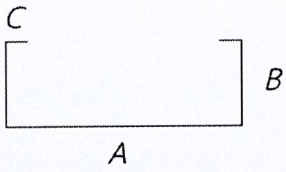
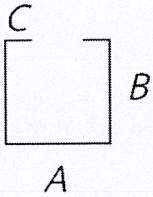
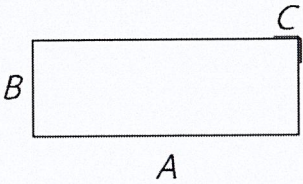
จากการถอดแบบหาปริมาณ, ขนาด และความยาวเหล็กเสริมจากภาพที่ 3.1 และรูปตัดฐานรากของแบบบ้านแฝด (คู่กัลยา) โดยใช้สมการที่กำหนดสามารถสรุปเป็นตารางได้ ดังนี้

3.2.1 ฐานราก F3

No	Bar Shape	Dia (mm.)	A (m.)	B (m.)	C (m.)	Total Length (m.)	Quantity
1		DB12	0.40	0.30	0.10	1.20	32
2		DB12	0.40	0.40	0.10	1.80	32

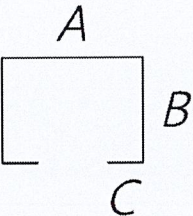
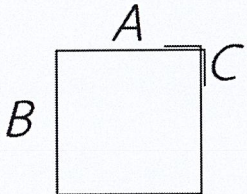
ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณ, ขนาด และความยาวเหล็กเสริมที่ต้องใช้ในฐานราก F3

3.2.2 ฐานราก F4

No	Bar Shape	Dia (mm.)	A (m.)	B (m.)	C (m.)	Total Length (m.)	Quantity
1		DB16	1.10	0.40	0.10	2.10	30
2		DB16	0.40	0.40	0.10	1.40	36
3		DB12	1.10	0.40	0.10	3.20	6

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณ, ขนาด และความยาวเหล็กเสริมที่ต้องใช้ในฐานราก F4

3.2.3 ฐานราก F5

No	Bar Shape	Dia (mm.)	A (m.)	B (m.)	C (m.)	Total Length (m.)	Quantity
1	 <p>A diagram of a U-shaped reinforcement bar. The top horizontal segment is labeled 'A'. The right vertical segment is labeled 'B'. The bottom horizontal segment is labeled 'C'.</p>	DB12	0.50	0.30	0.10	1.30	8
2	 <p>A diagram of a rectangular reinforcement bar. The top horizontal segment is labeled 'A'. The left vertical segment is labeled 'B'. The right vertical segment is labeled 'C'.</p>	DB12	0.50	0.50	0.10	2.20	8

ตารางที่ 3.3 แสดงปริมาณ, ขนาด และความยาวเหล็กเสริมที่ต้องใช้ในฐานราก F5

3.3 การจัดรูปแบบวิธีการตัดเหล็กเสริมและคำนวณปริมาณเศษเหล็กเหลือ

ผู้ศึกษาได้รวบรวมวิธีการตัดเหล็กเสริมทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่จะตัดเหล็กเสริมความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ความยาวตามที่ถอดแบบออกมาได้และคำนวณปริมาณเศษเหล็กเหลือ ดังนี้

3.3.1 ฐานราก F3

สำหรับการตัดเหล็กข้ออ้อย DB12 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ความยาว 1.20 เมตร และ 1.80 เมตร ได้รูปแบบวิธีการตัดเหล็กทั้งหมด 29 วิธี ดังตาราง

วิธีที่ (j)	ความยาวเหล็กที่ต้องการ (เมตร)	เศษเหล็กเหลือ (เมตร)
1	1.20x1	8.80
2	1.20x2	7.60
3	1.20x3	6.40
4	1.20x4	5.20
5	1.20x5	4.00
6	1.20x6	2.80
7	1.20x7	1.60
8	1.20x8	0.40
9	1.80x1	8.20
10	1.80x2	6.40
11	1.80x3	4.60
12	1.80x4	2.80
13	1.80x5	1.00
14	(1.80x1)+(1.20x1)	7.00
15	(1.80x1)+(1.20x2)	5.80
16	(1.80x1)+(1.20x3)	4.60
17	(1.80x1)+(1.20x4)	3.40
18	(1.80x1)+(1.20x5)	2.20
19	(1.80x1)+(1.20x6)	1.00

วิธีที่ (j)	ความยาวเหล็กที่ต้องการ (เมตร)	เศษเหล็กเหลือ (เมตร)
20	$(1.80 \times 2) + (1.20 \times 1)$	5.20
21	$(1.80 \times 2) + (1.20 \times 2)$	4.00
22	$(1.80 \times 2) + (1.20 \times 3)$	2.80
23	$(1.80 \times 2) + (1.20 \times 4)$	1.60
24	$(1.80 \times 2) + (1.20 \times 5)$	0.40
25	$(1.80 \times 3) + (1.20 \times 1)$	3.40
26	$(1.80 \times 3) + (1.20 \times 2)$	2.20
27	$(1.80 \times 3) + (1.20 \times 3)$	1.00
28	$(1.80 \times 4) + (1.20 \times 1)$	1.60
29	$(1.80 \times 4) + (1.20 \times 2)$	0.40

ตารางที่ 3.4 แสดงรูปแบบการตัดเหล็กข้ออ้อย DB12 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ความยาว 1.20 เมตร และ 1.80 เมตร

3.3.2 ฐานราก F4

สำหรับการตัดเหล็กข้ออ้อย DB16 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ความยาว 1.40 เมตร และ 2.10 เมตร ได้รูปแบบวิธีการตัดเหล็กทั้งหมด 23 วิธี ดังตาราง

วิธีที่ (j)	ความยาวเหล็กที่ต้องการ (เมตร)	เศษเหล็กเหลือ (เมตร)
1	1.40×1	8.60
2	1.40×2	7.20
3	1.40×3	5.80
4	1.40×4	4.40
5	1.40×5	3.00
6	1.40×6	1.60
7	1.40×7	0.20
8	2.10×1	7.90

วิธีที่ (j)	ความยาวเหล็กที่ต้องการ (เมตร)	เศษเหล็กเหลือ (เมตร)
9	2.10x2	5.80
10	2.10x3	3.70
11	2.10x4	1.60
12	(2.10x1)+(1.40x1)	6.50
13	(2.10x1)+(1.40x2)	5.10
14	(2.10x1)+(1.40x3)	3.70
15	(2.10x1)+(1.40x4)	2.30
16	(2.10x1)+(1.40x5)	0.90
17	(2.10x2)+(1.40x1)	4.40
18	(2.10x2)+(1.40x2)	3.00
19	(2.10x2)+(1.40x3)	1.60
20	(2.10x2)+(1.40x4)	0.20
21	(2.10x3)+(1.40x1)	2.30
22	(2.10x3)+(1.40x2)	0.90
23	(2.10x4)+(1.40x1)	0.20

ตารางที่ 3.5 แสดงรูปแบบการตัดเหล็กข้ออ้อย DB16 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ความยาว 1.40 เมตร และ 2.10 เมตร

และสำหรับการตัดเหล็กข้ออ้อย DB12 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ความยาว 3.20 เมตร ได้รูปแบบวิธีการตัดเหล็กทั้งหมด 3 วิธี ดังตาราง

วิธีที่ (j)	ความยาวเหล็กที่ต้องการ (เมตร)	เศษเหล็กเหลือ (เมตร)
1	3.20x1	6.80
2	3.20x2	3.60
3	3.20x3	0.40

ตารางที่ 3.6 แสดงรูปแบบการตัดเหล็กข้ออ้อย DB12 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ความยาว 3.20 เมตร

3.3.3 ฐานราก F5

สำหรับการตัดเหล็กข้ออ้อย DB12 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ความยาว 1.30 เมตร และ 2.20 เมตร ได้รูปแบบวิธีการตัดเหล็กทั้งหมด 23 วิธี ดังตาราง

วิธีที่ (j)	ความยาวเหล็กที่ต้องการ (เมตร)	เศษเหล็กเหลือ (เมตร)
1	1.30x1	8.70
2	1.30x2	7.40
3	1.30x3	6.10
4	1.30x4	4.80
5	1.30x5	3.50
6	1.30x6	2.20
7	1.30x7	0.90
8	2.20x1	7.80
9	2.20x2	5.60
10	2.20x3	3.40
11	2.20x4	1.20
12	(2.20x1)+(1.30x1)	6.50
13	(2.20x1)+(1.30x2)	5.20
14	(2.20x1)+(1.30x3)	3.90
15	(2.20x1)+(1.30x4)	2.60
16	(2.20x1)+(1.30x5)	1.30
17	(2.20x1)+(1.30x6)	0.00
18	(2.20x2)+(1.30x1)	4.30
19	(2.20x2)+(1.30x2)	3.00
20	(2.20x2)+(1.30x3)	1.70
21	(2.20x2)+(1.30x4)	0.40
22	(2.20x3)+(1.30x1)	2.10
23	(2.20x3)+(1.30x2)	0.80

ตารางที่ 3.7 แสดงรูปแบบการตัดเหล็กข้ออ้อย DB12 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ความยาว 1.30 เมตร และ 2.20 เมตร

3.4 การสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม

ผู้ศึกษาได้สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม โดยมีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเศษเหล็กเหลือรวมน้อยที่สุด ใช้ข้อมูลจากการรวบรวมจำนวนและการจัดรูปแบบวิธีการตัดเหล็กเสริมได้ ดังนี้

3.4.1 ฐานราก F3

การตัดเหล็กเสริมในงานฐานราก F3 8 ฐาน ซึ่งต้องใช้เหล็กข้ออ้อย DB12 ความยาว 1.20 เมตร และ 1.80 เมตร จำนวนอย่างละ 32 ท่อน ซึ่งมีวิธีตัดเหล็กเสริมทั้งหมด 29 วิธี สามารถสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มได้ ดังนี้

- ฟังก์ชันจุดประสงค์ คือ

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z = & 8.80x_1 + 7.60x_2 + 6.40x_3 + 5.20x_4 + 4.00x_5 + 2.80x_6 + 1.60x_7 + 0.40x_8 \\ & + 8.20x_9 + 6.40x_{10} + 4.60x_{11} + 2.80x_{12} + 1.00x_{13} + 7.00x_{14} + 5.80x_{15} + 4.60x_{16} + 3.40x_{17} \\ & + 2.20x_{18} + 1.00x_{19} + 5.20x_{20} + 4.00x_{21} + 2.80x_{22} + 1.60x_{23} + 0.40x_{24} + 3.40x_{25} + 2.20x_{26} \\ & + 1.00x_{27} + 1.60x_{28} + 0.40x_{29} \end{aligned}$$

- ฟังก์ชันข้อจำกัด คือ

1. เหล็กเสริมยาว 1.20 เมตร จำนวน 32 ท่อน

$$\begin{aligned} x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 4x_4 + 5x_5 + 6x_6 + 7x_7 + 8x_8 + x_{14} + 2x_{15} + 3x_{16} + 4x_{17} + 5x_{18} + 6x_{19} \\ + x_{20} + 2x_{21} + 3x_{22} + 4x_{23} + 5x_{24} + x_{25} + 2x_{26} + 3x_{27} + x_{28} + 2x_{29} = 32 \end{aligned}$$

2. เหล็กเสริมยาว 1.80 เมตร จำนวน 32 ท่อน

$$\begin{aligned} x_9 + 2x_{10} + 3x_{11} + 4x_{12} + 5x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + 2x_{20} + 2x_{21} + \\ 2x_{22} + 2x_{23} + 2x_{24} + 3x_{25} + 3x_{26} + 3x_{27} + 4x_{28} + 4x_{29} = 32 \end{aligned}$$

3.4.2 ฐานราก F4

การตัดเหล็กเสริมในงานฐานราก F4 6 ฐาน ซึ่งต้องใช้เหล็กข้ออ้อย DB16 ความยาว 1.40 เมตร จำนวน 36 ท่อน และ 2.10 เมตร จำนวน 30 ท่อน ซึ่งมีวิธีตัดเหล็กเสริมทั้งหมด 23 วิธี สามารถสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มได้ ดังนี้

- ฟังก์ชันจุดประสงค์ คือ

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z = & 8.60x_1 + 7.20x_2 + 5.80x_3 + 4.40x_4 + 3.00x_5 + 1.60x_6 + 0.20x_7 + 7.20x_8 \\ & + 5.80x_9 + 3.70x_{10} + 1.60x_{11} + 6.50x_{12} + 5.10x_{13} + 3.70x_{14} + 2.30x_{15} + 0.90x_{16} + 4.40x_{17} \\ & + 3.00x_{18} + 1.60x_{19} + 0.20x_{20} + 2.30x_{21} + 0.90x_{22} + 0.20x_{23} \end{aligned}$$

- ฟังก์ชันข้อจำกัด คือ

1. เหล็กเสริมยาว 1.40 เมตร จำนวน 36 ท่อน

$$\begin{aligned} x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 4x_4 + 5x_5 + 6x_6 + 7x_7 + x_{12} + 2x_{13} + 3x_{14} + 4x_{15} + 5x_{16} + x_{17} + 2x_{18} \\ + 3x_{19} + 4x_{20} + x_{21} + 2x_{22} + x_{23} = 36 \end{aligned}$$

2. เหล็กเสริมยาว 2.10 เมตร จำนวน 30 ท่อน

$$\begin{aligned} x_8 + 2x_9 + 3x_{10} + 4x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + 2x_{17} + 2x_{18} + 2x_{19} + 2x_{20} + \\ 3x_{21} + 3x_{22} + 4x_{23} = 30 \end{aligned}$$

และเหล็กข้ออ้อย DB12 ความยาว 3.20 เมตร จำนวน 6 ท่อน มีวิธีตัดเหล็กเสริมทั้งหมด 3 วิธี สามารถสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มได้ ดังนี้

- ฟังก์ชันจุดประสงค์ คือ

$$\text{Minimize } Z = 6.80x_1 + 3.60x_2 + 0.40x_3$$

- ฟังก์ชันข้อจำกัด คือ

1. เหล็กเสริมยาว 3.20 เมตร จำนวน 6 ท่อน

$$x_1 + 2x_2 + 3x_3 = 6$$

3.4.3 ฐานราก F5

การตัดเหล็กเสริมในงานฐานราก F5 2 ฐาน ซึ่งต้องใช้เหล็กข้ออ้อย DB12 ความยาว 1.30 เมตร และ 2.20 เมตร จำนวนอย่างละ 8 ท่อน ซึ่งมีวิธีตัดเหล็กเสริมทั้งหมด 23 วิธี สามารถสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มได้ ดังนี้

- ฟังก์ชันจุดประสงค์ คือ

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z = & 8.70x_1 + 7.40x_2 + 6.10x_3 + 4.80x_4 + 3.50x_5 + 2.20x_6 + 0.90x_7 + 7.80x_8 \\ & + 5.60x_9 + 3.40x_{10} + 1.20x_{11} + 6.50x_{12} + 5.20x_{13} + 3.90x_{14} + 2.60x_{15} + 1.30x_{16} + 4.30x_{18} \\ & + 3.00x_{19} + 1.70x_{20} + 0.40x_{21} + 2.10x_{22} + 0.80x_{23} \end{aligned}$$

- ฟังก์ชันข้อจำกัด คือ

1. เหล็กเสริมยาว 1.30 เมตร จำนวน 8 ท่อน

$$\begin{aligned} x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 4x_4 + 5x_5 + 6x_6 + 7x_7 + x_{12} + 2x_{13} + 3x_{14} + 4x_{15} + 5x_{16} + 6x_{17} + x_{18} \\ + 2x_{19} + 3x_{20} + 4x_{21} + x_{22} + 2x_{23} = 8 \end{aligned}$$

2. เหล็กเสริมยาว 2.20 เมตร จำนวน 8 ท่อน

$$\begin{aligned} x_8 + 2x_9 + 3x_{10} + 4x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + 2x_{18} + 2x_{19} + 2x_{20} + 2x_{21} \\ + 3x_{22} + 3x_{23} = 8 \end{aligned}$$

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

เนื่องจากในกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มมีตัวแปรจำนวนมากจึงเป็นไปได้ยากที่จะแก้ไขปัญหาคำนวณด้วยมือ ผู้ศึกษาจึงได้ประยุกต์โปรแกรม Solver ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ร่วมกับโปรแกรม Microsoft Excel สามารถหาค่าเหมาะสมที่สุดสำหรับกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มได้อย่างรวดเร็ว โดยเรียกใช้งานผ่าน Add-ins

บทที่ 4

ผลการวิจัย

จากการศึกษามาตรฐานงานเหล็กเสริมในคอนกรีต, แนวความคิดตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มและการประยุกต์โปรแกรม Solver เพื่อการวางแผนตัดเหล็กเสริมสำหรับงานฐานราก F3, F4 และ F5 นี้ ผู้ศึกษาสามารถคำนวณวิธีการตัดเหล็กเสริมออกมาได้ ดังนี้

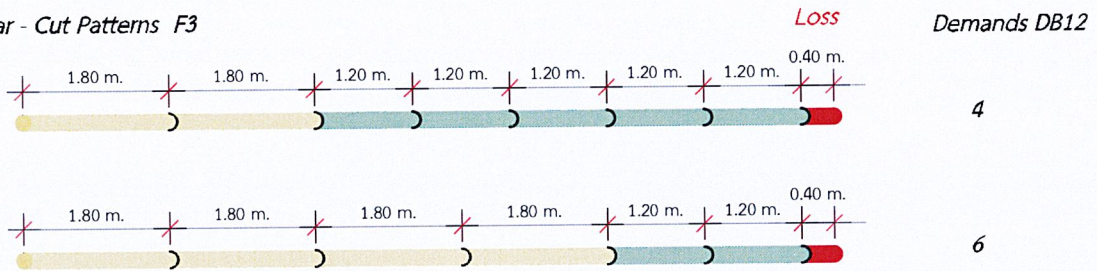
4.1 ฐานราก F3

ในการตัดเหล็กเสริมสำหรับงานฐานราก F3 จำนวน 8 ฐาน ซึ่งใช้เหล็กข้ออ้อย DB12 ขนาดความยาว 1.20 เมตร และ 1.80 เมตร อย่างละ 32 ท่อน พบว่ามี 2 วิธีที่เหมาะสมในการตัดเหล็กเสริม คือ วิธีที่ 24 และ วิธีที่ 29 ดังแสดงในตารางที่ 4.1

วิธี (j)	ขนาดความยาวที่ตัด	เหล็กเสริม DB12 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร (x_j) (เส้น)	ขนาดความยาวที่ต้องการ		เศษเหล็ก	
			1.20 เมตร (ท่อน)	1.80 เมตร (ท่อน)	ความยาว (เมตร)	จำนวน (เส้น)
24	1.80, 1.80, 1.20, 1.20, 1.20, 1.20	4	20	8	0.40	4
29	1.80, 1.80, 1.80, 1.80, 1.20, 1.20	6	12	24	0.40	6
	รวม	10	32	32	4.00	

ตารางที่ 4.1 แสดงวิธีที่เหมาะสมในการตัดเหล็กข้ออ้อย DB12 สำหรับงานฐานราก F3

Bar - Cut Patterns F3



ภาพที่ 4.1 แสดง Bar-Cut Patterns ของเหล็กข้ออ้อย DB12 สำหรับงานฐานราก F3

4.2 ฐานราก F4

ในการตัดเหล็กเสริมสำหรับงานฐานราก F4 จำนวน 6 ฐาน ซึ่งใช้เหล็กข้ออ้อย DB16 ขนาดความยาว 1.40 เมตร จำนวน 36 ท่อน, ความยาว 2.10 เมตร จำนวน 30 ท่อน และใช้เหล็กข้ออ้อย DB12 ขนาดความยาว 3.20 เมตร จำนวน 6 ท่อน โดยแยกคิดเป็นเหล็กเสริม 2 ขนาด คือ

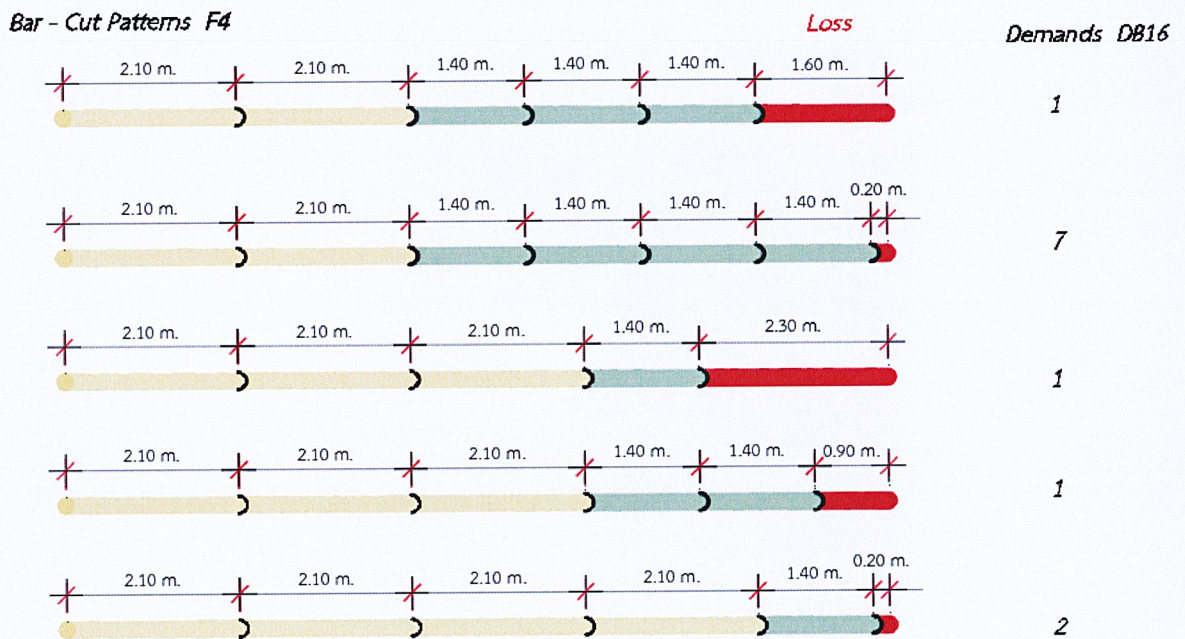
4.2.1 เหล็กข้ออ้อย DB16

พบวิธีการตัดเหล็กข้ออ้อย DB16 ที่เหมาะสมให้ได้ขนาดความยาว 1.40 เมตร จำนวน 36 ท่อน และ 2.10 เมตร จำนวน 30 ท่อน ทั้งหมด 5 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 19, 20, 21, 22 และ 23 ดังแสดงในตารางที่ 4.2

วิธี (j)	ขนาดความยาวที่ตัด	เหล็กเสริม DB16 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร (x _j) (เส้น)	ขนาดความยาวที่ต้องการ		เศษเหล็ก	
			1.40 เมตร (ท่อน)	2.10 เมตร (ท่อน)	ความยาว (เมตร)	จำนวน (เส้น)
19	2.10, 2.10, 1.40, 1.40, 1.40	1	3	2	1.60	1
20	2.10, 2.10, 1.40, 1.40, 1.40, 1.40	7	28	14	0.20	7
21	2.10, 2.10, 2.10, 1.40	1	1	3	2.30	1
22	2.10, 2.10, 2.10, 1.40, 1.40	1	2	3	0.90	1

วิธี (j)	ขนาดความยาวที่ตัด	เหล็กเสริม DB16 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร (x _j) (เส้น)	ขนาดความยาวที่ต้องการ		เศษเหล็ก	
			1.40 เมตร (ท่อน)	2.10 เมตร (ท่อน)	ความยาว (เมตร)	จำนวน (เส้น)
23	2.10, 2.10, 2.10, 2.10, 1.40	2	2	8	0.20	2
	รวม	12	2	8	6.60	

ตารางที่ 4.2 แสดงวิธีที่เหมาะสมในการตัดเหล็กข้ออ้อย DB16 สำหรับงานฐานราก F4



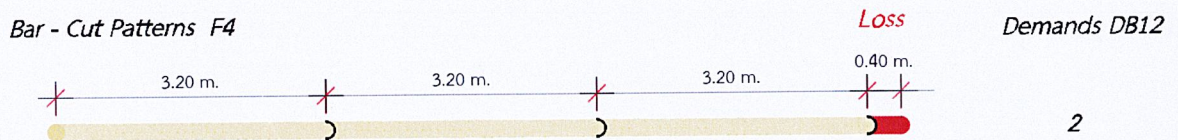
ภาพที่ 4.2 แสดง Bar-Cut Patterns ของเหล็กข้ออ้อย DB16 สำหรับงานฐานราก F4

4.2.2 เหล็กข้ออ้อย DB12

พบวิธีตัดเหล็กข้ออ้อย DB12 ที่เหมาะสมให้ได้ความยาว 3.20 เมตร จำนวน 6 ท่อน ทั้งหมด 1 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 3 ดังแสดงในตารางที่ 4.3

วิธี (j)	ขนาดความยาวที่ตัด	เหล็กเสริม DB12 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร (x_j) (เส้น)	ขนาดความยาว 3.20 เมตร (ท่อน)	เศษเหล็ก	
				ความยาว (เมตร)	จำนวน (เส้น)
3	3.20, 3.20, 3.20	2	6	0.40	2
	รวม	2	6	0.80	

ตารางที่ 4.3 แสดงวิธีที่เหมาะสมในการตัดเหล็กข้ออ้อย DB12 สำหรับงานฐานราก F4



ภาพที่ 4.3 แสดง Bar-Cut Patterns ของเหล็กข้ออ้อย DB12 สำหรับงานฐานราก F4

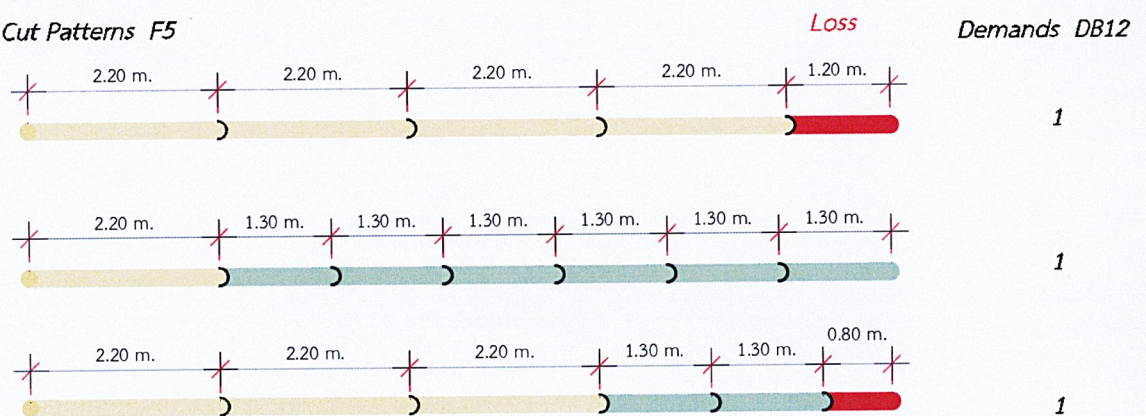
4.3 ฐานราก F5

ในการตัดเหล็กข้ออ้อยสำหรับงานฐานราก F5 จำนวน 2 ฐาน ซึ่งใช้เหล็กข้ออ้อย DB12 ขนาดความยาว 1.30 เมตร และ 2.20 เมตร อย่างละ 32 ท่อน พบว่ามี 3 วิธีที่เหมาะสมในการตัดเหล็กเสริม ได้แก่ วิธีที่ 11, 17 และ 23 ดังแสดงในตารางที่ 4.4

วิธี (j)	ขนาดความยาวที่ตัด	เหล็กเสริม DB12 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร (x_j) (เส้น)	ขนาดความยาวที่ต้องการ		เศษเหล็ก	
			1.30 เมตร (ท่อน)	2.20 เมตร (ท่อน)	ความยาว (เมตร)	จำนวน (เส้น)
11	2.20, 2.20, 2.20 , 2.20	1	0	4	1.20	1
17	2.20, 1.30, 1.30, 1.30, 1.30, 1.30, 1.30	1	6	1	0.00	1
23	2.20, 2.20, 2.20, 1.30, 1.30	1	2	3	0.80	1
	รวม	3	8	8	2.00	

ตารางที่ 4.4 แสดงวิธีที่เหมาะสมในการตัดเหล็กข้ออ้อย DB12 สำหรับงานฐานราก F5

Bar - Cut Patterns F5



ภาพที่ 4.4 แสดง Bar-Cut Patterns ของเหล็กข้ออ้อย DB12 สำหรับงานฐานราก F5

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผู้ศึกษาได้ใช้โปรแกรม Solver ซึ่งเป็นโปรแกรมร่วมกับโปรแกรม Microsoft Excel ในการคำนวณหาปริมาณเศษเหล็กเหล็อน้อยที่สุดในการตัดเหล็กเสริมของงานฐานรากแบบบ้านแฝด (ศุกกัลยา) โดยเริ่มจากการถอดแบบหาปริมาณเหล็กเสริมและเก็บรวบรวมข้อมูลในงานฐานราก เหล็กเสริมที่ใช้ ได้แก่ เหล็กข้ออ้อย DB12 และ DB16 สรุปปริมาณการใช้เหล็กเสริมในฐานราก 1 ฐาน ได้ดังนี้

1. ฐานราก F3 ขนาดความกว้าง 0.50 เมตร ยาว 0.50 เมตร หนา 0.40 เมตร ใช้เหล็กข้ออ้อย DB12 ความยาว 1.20 เมตร และ 1.80 เมตร อย่างละ 4 เส้น

2. ฐานราก F4 ขนาดความกว้าง 0.50 เมตร ยาว 1.20 เมตร หนา 0.50 เมตร ใช้เหล็กข้ออ้อย DB16 ความยาว 1.40 เมตร จำนวน 6 เส้น และ ความยาว 2.10 เมตร จำนวน 5 เส้น ใช้เหล็กข้ออ้อย DB12 (รัดรอบ) ความยาว 3.20 เมตร จำนวน 1 เส้น

3. ฐานราก F5 ขนาดความกว้าง 0.60 เมตร ยาว 0.60 เมตร หนา 0.40 เมตร ใช้เหล็กข้ออ้อย DB12 ความยาว 1.30 เมตร และ 2.20 เมตร อย่างละ 4 เส้น

หลังจากถอดแบบหาปริมาณเหล็กเสริมและเก็บรวบรวมข้อมูลผู้ศึกษาได้จัดหมวดหมู่วิธีในการตัดเหล็กเสริมความยาวมาตรฐาน 10 เมตร เพื่อหาปริมาณเศษเหล็กเหลือจากการตัดในวิธีต่าง ๆ นำไปสู่การสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มเพื่อวิเคราะห์หาวิธีที่จะส่งผลให้เกิดเศษเหล็กเหล็อน้อยที่สุดสำหรับการตัดเหล็กเสริมให้ได้ขนาดและปริมาณที่ต้องการ

ในการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Solver ให้ผลลัพธ์ที่รวดเร็ว สมเหตุสมผลโดยผลที่ได้ออกมา คือ จำนวนเหล็กเสริมความยาวมาตรฐาน 10 เมตร (x_j) ที่จะใช้ในวิธีการตัดเหล็กเสริมที่เหมาะสม และปริมาณเศษเหล็กเหลือรวมทั้งหมด และสามารถลดปริมาณเศษเหล็กเหลือจากวิธีการตัดเหล็กเสริมของโครงการในปัจจุบันได้โดยเปรียบเทียบเป็นตารางได้ ดังนี้

รูปแบบ ฐานราก	จำนวนเหล็กเสริมความยาวมาตรฐาน 10 เมตร		เศษเหล็ก	
	เหล็กข้ออ้อย DB12 (เส้น)	เหล็กข้ออ้อย DB16 (เส้น)	เหล็กข้ออ้อย DB12 (เมตร)	เหล็กข้ออ้อย DB16 (เมตร)
F3	10	-	4	-
F4	2	12	0.80	6.60
F5	3	-	2	-
รวม	15	12	<u>6.80</u> 4.75 %	<u>6.60</u> 5.82 %

ตารางที่ 5.1 แสดงจำนวนเหล็กเสริมความยาวมาตรฐาน 10 เมตรที่ต้องใช้และปริมาณเศษเหล็กเหลือ
(ผลวิจัย)

เปรียบเทียบกับปริมาณเศษเหล็กเหลือที่เกิดขึ้นจากการตัดของโครงการในปัจจุบัน (ภาคผนวก ค.)
โดยจะไม่คิดปริมาณเศษเหล็กเหลือที่มีความยาวมากกว่า 2 เมตร สรุปเป็นตารางได้ ดังนี้

รูปแบบ ฐานราก	จำนวนเหล็กเสริมความยาวมาตรฐาน 10 เมตร		เศษเหล็ก	
	เหล็กข้ออ้อย DB12 (เส้น)	เหล็กข้ออ้อย DB16 (เส้น)	เหล็กข้ออ้อย DB12 (เมตร)	เหล็กข้ออ้อย DB16 (เมตร)
F3	11	-	7.60	-
F4	2	14	0.80	12.20
F5	4	-	3.30	-
รวม	17	14	<u>11.70</u> 7.39 %	<u>12.20</u> 9.55 %

ตารางที่ 5.2 แสดงจำนวนเหล็กเสริมความยาวมาตรฐาน 10 เมตรที่ต้องใช้และปริมาณเศษเหล็กเหลือ
(วิธีการตัดเหล็กเสริมของโครงการ)

ซึ่งสามารถลดปริมาณเศษเหล็กข้ออ้อย DB12 ได้ 2.64% และลดปริมาณเศษเหล็กข้ออ้อย DB16
ได้ 3.73%

5.2 ข้อเสนอแนะในการทำงาน

ในการทำวิจัยครั้งนี้ตัวผู้ศึกษาเองอาจจะยังขาดความชำนาญในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จึงทำให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน ซึ่งในการทำงานจริงอาจจะต้องมีการศึกษาล่วงหน้าถึงการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องเพื่อช่วยให้ประหยัดเวลาในการทำงาน

จากการวิเคราะห์พบว่าโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดในการหาปริมาณเหล็กเกิดขึ้นได้ในกรณีที่ผู้อ่านแบบตีความหมายของแบบผิดพลาดซึ่งเป็นความผิดพลาดที่เกี่ยวกับตัวบุคคล (Human Error) แก้ไขโดยใช้บุคลากรที่มีประสบการณ์หรืออาศัยการออกไปสำรวจฐานรากหน้างานเสมอๆเพื่อให้เกิดความเข้าใจในแบบก่อสร้างและเห็นภาพจริงของหน้างานนั้นๆ

สำหรับเหล็กเสริมที่เหลื่อจากการตัดนั้นหากมีความยาวมากกว่า 2 เมตร อาจจะนำไปใช้ต่อได้ในงานอื่นๆ เช่น การใช้เป็นระบบค้ำยันชั่วคราวในงานเหล็กเสริมเสาก่อนการเทคอนกรีต, การนำไปต่อทาบในงานคานเพื่อลดปริมาณการใช้เหล็กในงานคานซึ่งการทาบนั้นต้องเป็นไปตามหลักวิศวกรรม

ในงานเหล็กเสริมโครงสร้างของโครงการอาจจะยังมีปัญหาอยู่บ้างในเรื่องของการเก็บรักษาเหล็กเสริมการเกิดคราบสนิมหน้าผิวเหล็กก่อนการเทคอนกรีต และการปล่อยให้เหล็กเสาที่ติดตั้งแล้วเยื้องเอียงจนเกินไปซึ่งสามารถสรุปเป็นแนวทางแก้ไขปัญหาดังนี้

1. การเก็บรักษาเหล็กเสริม อาจจะต้องมีการคลุมเหล็กด้วยผ้าฝ้ายกันน้ำฝนและไม่ควรทิ้งระยะเวลาก่อนนำไปใช้งานนานจนก่อให้เกิดสนิม โดยเหล็กเสริมต้องกองเก็บไม่ให้โดนพื้นดินระยะห่างต้องไม่น้อยกว่า 20 ซม. และห้ามกองเก็บเหล็กเสริมไว้ใกล้น้ำมัน

2. การเกิดคราบสนิมหน้าผิวเหล็กเสริมก่อนการเทคอนกรีต ซึ่งก่อนการเทคอนกรีตเหล็กเสริมไม่ควรมีสนิมขุม, โคลน, น้ำมัน หรือสารอื่นๆเกาะผิวซึ่งจะทำให้เสียแรงยึดหน่วงในทางปฏิบัติไม่ควรทิ้งระยะเวลานานจนกระทั่งเกิดสนิมขุม ซึ่งหากเกิดสนิมเพียงเล็กน้อยไม่กินไปยั้งเนื้อเหล็กควรทำความสะอาดโดยใช้แปรงโลหะขัดก่อนการเทคอนกรีต



ภาพที่ 5.1 แสดงการขัดสนิมเหล็กคานหน้าสนาม ด้วยแปรงโลหะ

ที่มา: เอกสารงานก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก สภาวิศวกร 2558

3. การปล่อยให้เหล็กเสริมเสาที่ติดตั้งแล้วเยื้องเอียงจนเกินไป อาจส่งผลให้เหล็กเสานั่นงอและเสียเสถียรภาพไป ซึ่งวิธีแก้ไขควรนำเหล็กเสริมมาทำการค้ำยันชั่วคราวก่อนการเทคอนกรีต



ภาพที่ 5.2 แสดงการใช้เหล็กเสริมค้ำยันเหล็กเสา

เอกสารอ้างอิง

1. มงคล จีระวัชรเดช. 2560. คู่มืองานเหล็กเสริมคอนกรีต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา
2. สรिता ชาญชัยพัฒน์, อาภาพรรณ พารัตนะ. 2555. การประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการหาปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้ในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพมหานคร
3. ณททัย ฤกษ์ฤทัยรัตน์. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร
4. ชัยวุฒิ ชัยพันธุ์. 2539. การวิจัยขั้นดำเนินการ ทฤษฎีและปฏิบัติพร้อมด้วยโปรแกรมภาษาเบสิก. พิมพ์ครั้งที่ 1. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร
5. พัชราภรณ์ เนียมมณี. 2552. ตัวแบบการจัดสรรทรัพยากร. พิมพ์ครั้งที่ 1. ไทยพัฒนรายวันการพิมพ์. กรุงเทพมหานคร
6. สภาวิศวกร 2558. งานก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : www.coe.or.th (วันที่ค้นข้อมูล : 15 ตุลาคม 2562)
7. Bhomestructure. การทำ Bar Cutting List. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : www.bhomestructure.com (วันที่ค้นข้อมูล : 15 ตุลาคม 2562)
8. Geocities. การวิเคราะห์ Linear programming โดยโปรแกรม Microsoft Excel. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : www.geocities.ws/chalong_sri/LP2.htm (วันที่ค้นข้อมูล : 19 ตุลาคม 2562)
9. วารสารคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : www.itech.lpru.ac.th (วันที่ค้นข้อมูล : 20 ตุลาคม 2562)

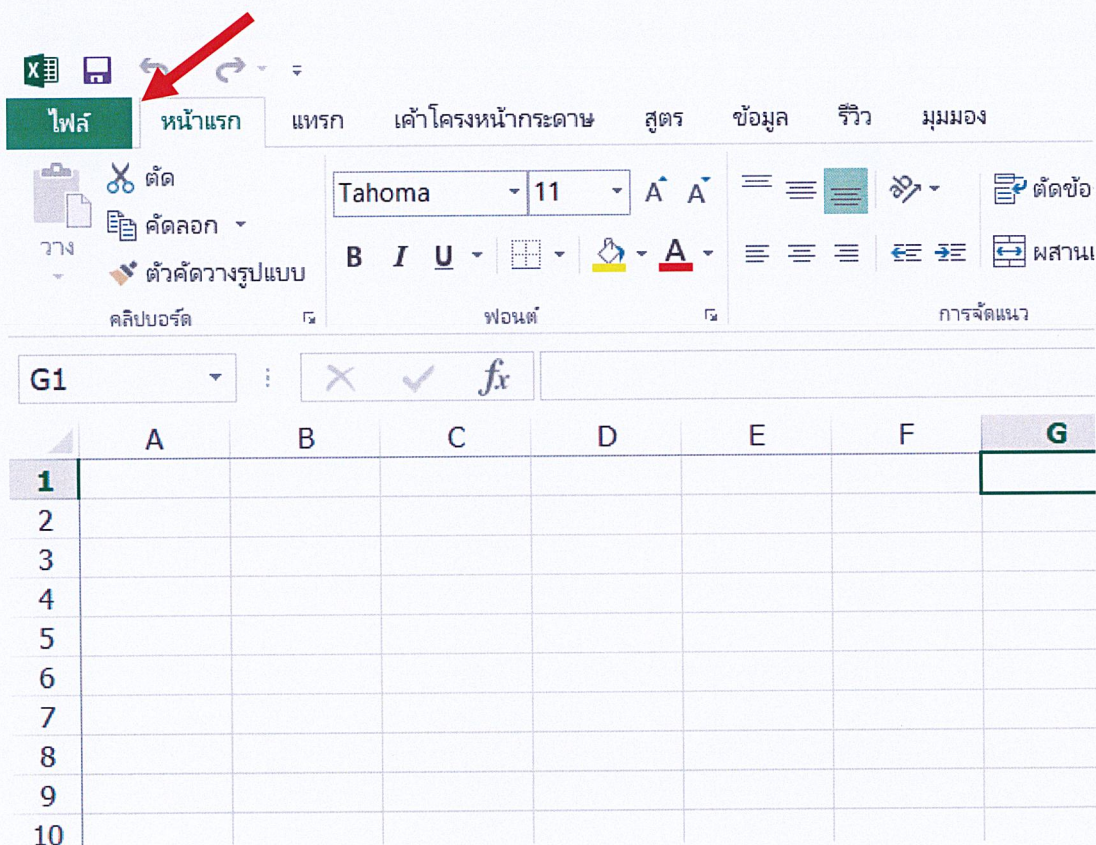
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

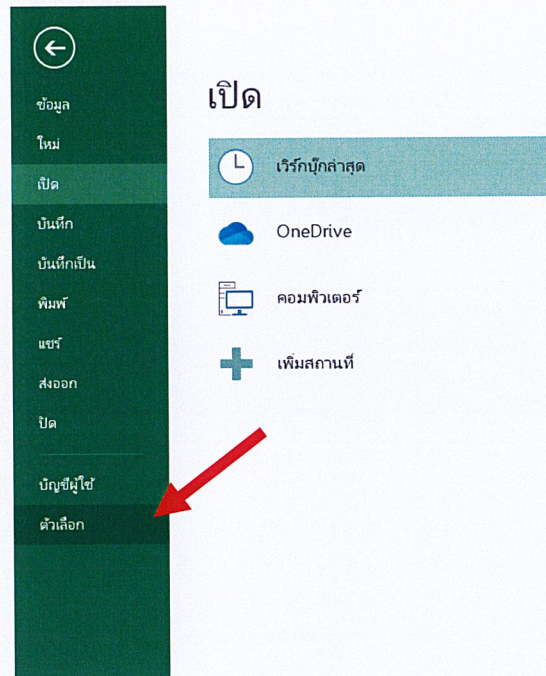
การเรียกใช้งานโปรแกรม Solver

โปรแกรม Solver เป็นโปรแกรมร่วมกับโปรแกรม Microsoft Excel ที่จะต้องมีการเรียกใช้ในกรณีที่ต้องการโดยมีขั้นตอนการเรียกใช้ ดังนี้

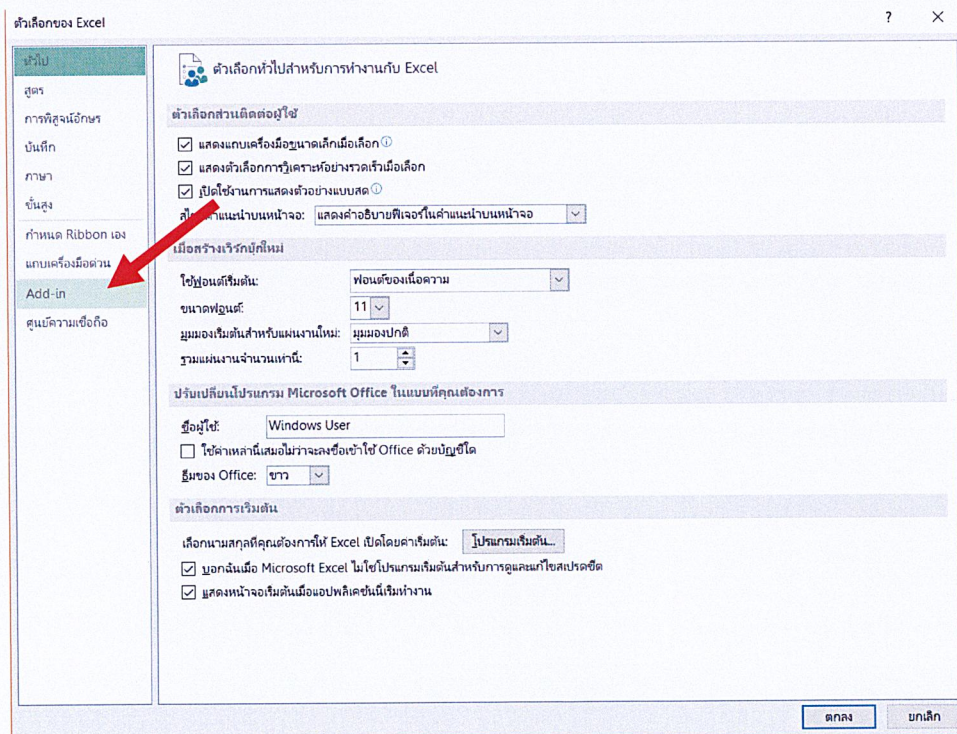
1. เปิดโปรแกรม Microsoft Excel แล้วคลิกที่ตัวเลือก ไฟล์



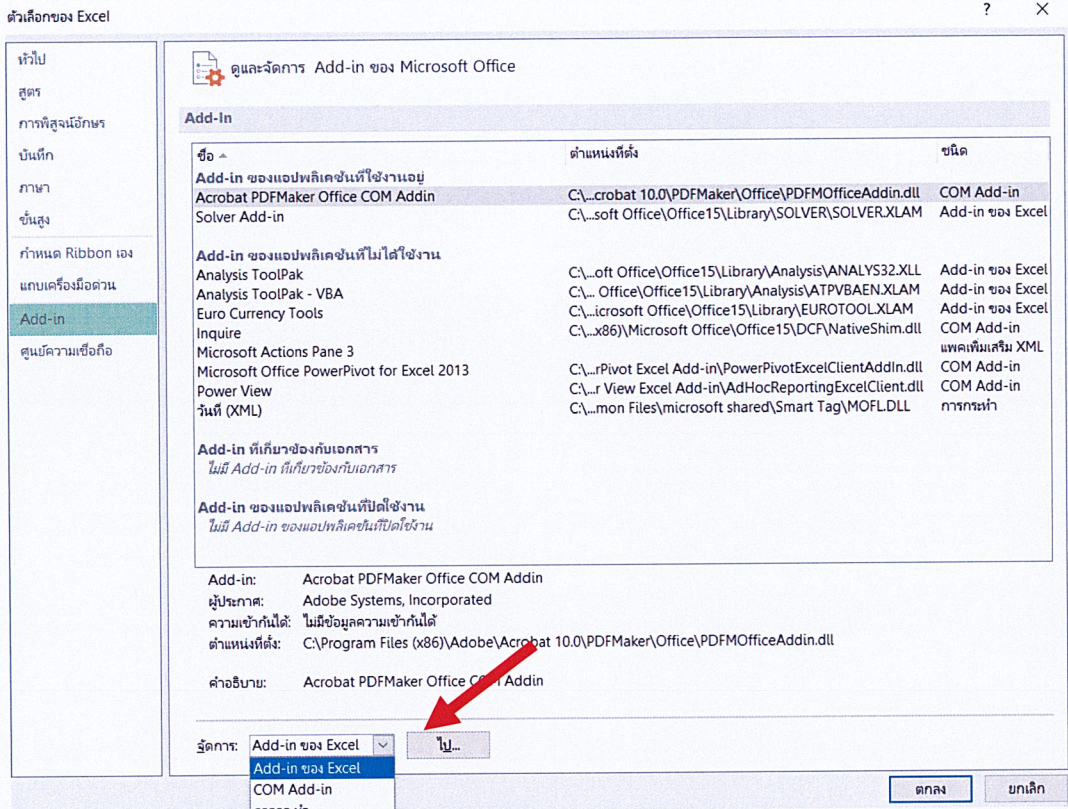
2. คลิกเข้าไปที่ ตัวเลือก



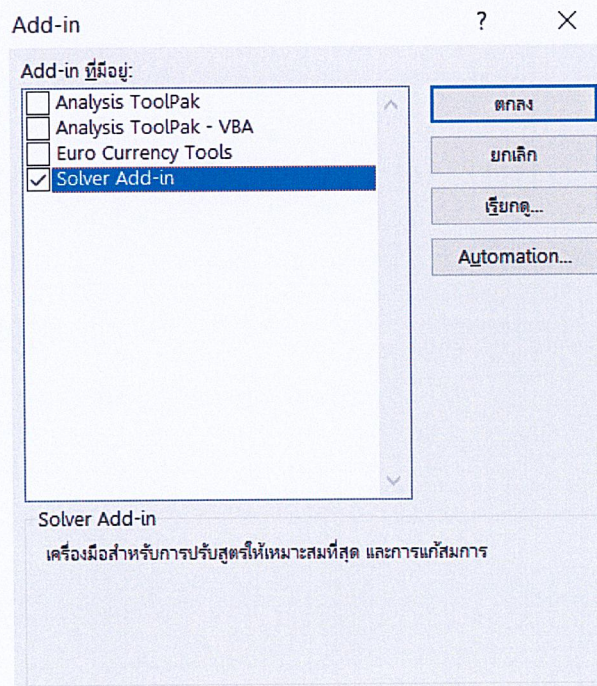
3. คลิกเข้าไปที่ Add-in



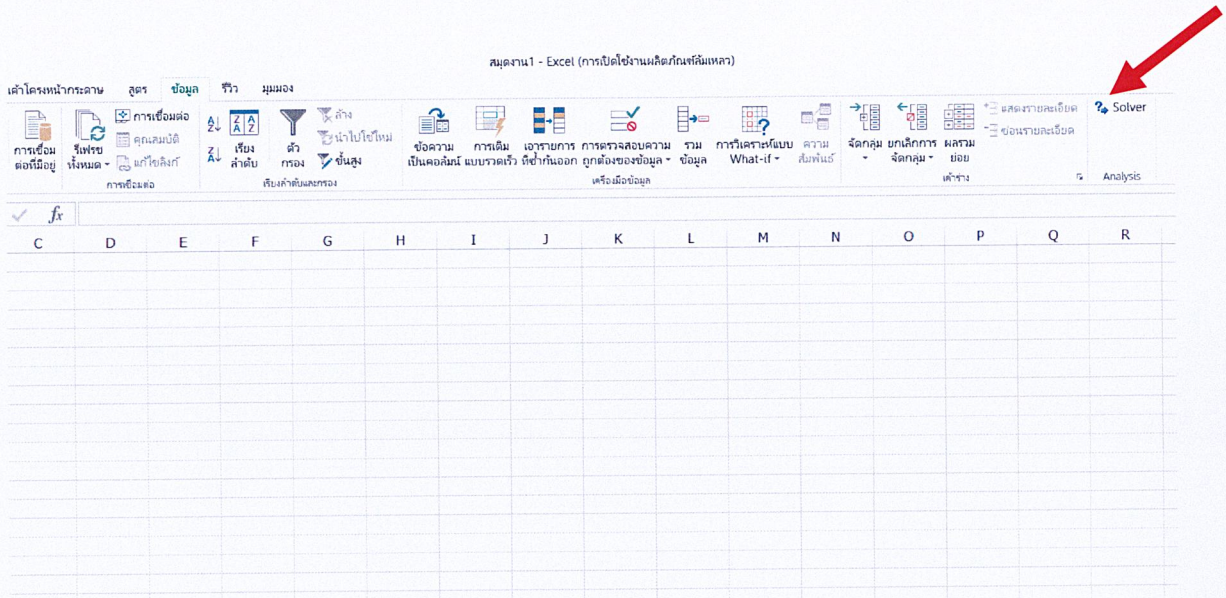
4. ไปที่ จัดการ เลือกคำว่า Add-in ของ Excel และคลิกที่ ไป



5. เลือกที่ Solver Add-in และคลิกที่ ตกลง เป็นอันเสร็จ



6. คลิกเข้าไปที่ ข้อมูล จะพบโปรแกรม Solver ปรากฏอยู่ดังภาพ



ภาคผนวก ข.

ตัวอย่างการคำนวณด้วยโปรแกรม Solver

ตัวอย่างการคำนวณด้วยโปรแกรม Solver ในที่นี้จะยกตัวอย่างการคำนวณด้วยโปรแกรม Solver ของฐานราก F5 ดังนี้

จากฟังก์ชันจุดประสงค์ คือ

$$\text{Minimize } Z = 8.70x_1 + 7.40x_2 + 6.10x_3 + 4.80x_4 + 3.50x_5 + 2.20x_6 + 0.90x_7 + 7.80x_8 + 5.60x_9 + 3.40x_{10} + 1.20x_{11} + 6.50x_{12} + 5.20x_{13} + 3.90x_{14} + 2.60x_{15} + 1.30x_{16} + 4.30x_{18} + 3.00x_{19} + 1.70x_{20} + 0.40x_{21} + 2.10x_{22} + 0.80x_{23}$$

และฟังก์ชันข้อจำกัด คือ

$$1. x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 4x_4 + 5x_5 + 6x_6 + 7x_7 + x_{12} + 2x_{13} + 3x_{14} + 4x_{15} + 5x_{16} + 6x_{17} + x_{18} + 2x_{19} + 3x_{20} + 4x_{21} + x_{22} + 2x_{23} = 8$$

$$2. x_8 + 2x_9 + 3x_{10} + 4x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + 2x_{18} + 2x_{19} + 2x_{20} + 2x_{21} + 3x_{22} + 3x_{23} = 8$$

1. เริ่มด้วยการเขียนข้อมูลจากสมการต่างๆลงใน Excel ดังนี้

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	x20	x21	x22	x23	Total	
จุดประสงค์	8.7	7.4	6.1	4.8	3.5	2.2	0.9	7.8	5.6	3.4	1.2	6.5	5.2	3.9	2.6	1.3	0	4.3	3	1.7	0.4	2.1	0.8		
ข้อจำกัด1	1	2	3	4	5	6	7	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	1	2	=	8
ข้อจำกัด2	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	=	8

ภาพที่ 1 แสดงการเขียนข้อมูลของสมการลงใน Excel

จากภาพที่ 1 จะเห็นว่าตัวเลขที่อยู่ในตาราง คือ สัมประสิทธิ์ต่างๆจากสมการข้างบน

2. ที่ Cell Z11 (ตามลูกศรสีแดงในภาพที่ 1) นั้นให้พิมพ์ฟังก์ชันคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$=SUMPRODUCT(\$C\$8:\$Y\$8,C11:Y11)$$

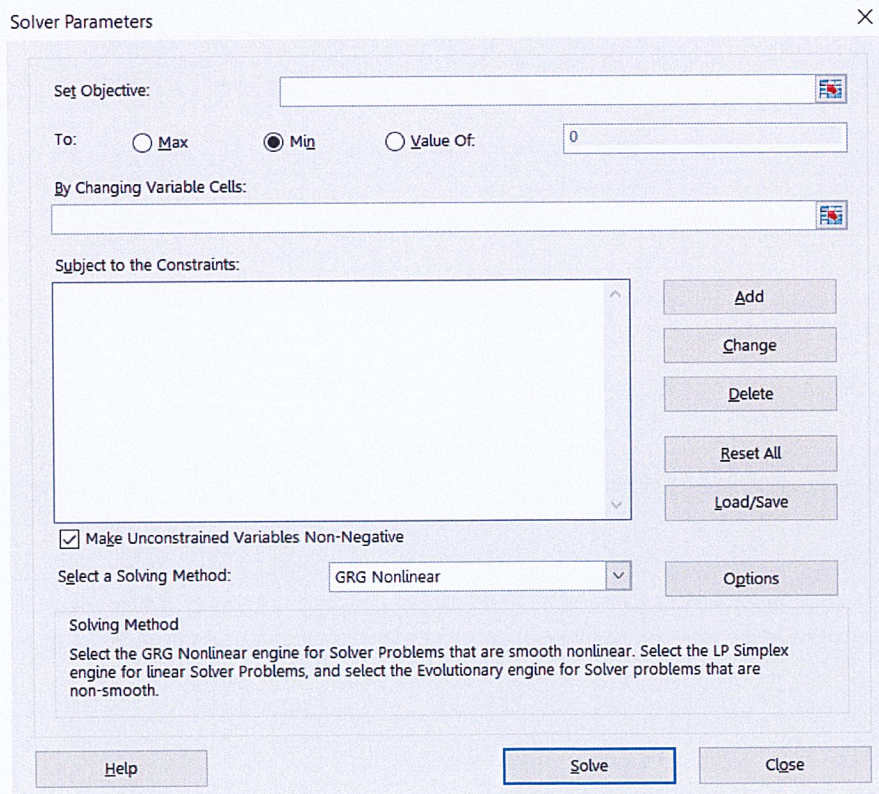
3. เลื่อน Cursor ของ Mouse ไปที่ตำแหน่งขวาล่างสุดของ Cell Z11 สังเกตว่า Cursor จะต้องกลายเป็น +

4. คลิกซ้ายค้างไว้แล้วลากลงมาจนถึง Cell Z13 ซึ่งจะแสดงผลดังภาพที่ 2

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	x20	x21	x22	x23	Total
จุดประสงค์	8.7	7.4	6.1	4.8	3.5	2.2	0.9	7.8	5.6	3.4	1.2	6.5	5.2	3.9	2.6	1.3	0	4.3	3	1.7	0.4	2.1	0.8	0
ข้อจำกัด1	1	2	3	4	5	6	7	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	1	2	0 = 8
ข้อจำกัด2	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	0 = 8

ภาพที่ 2 แสดงผลหลังจากใส่ฟังก์ชันคณิตศาสตร์ SUMPRODUCT ให้ Cell Z11 ถึง Cell Z13

5. เข้าไปที่ ข้อมูล และเลือกคำสั่ง Solver จะแสดงหน้าต่างดังภาพที่ 3

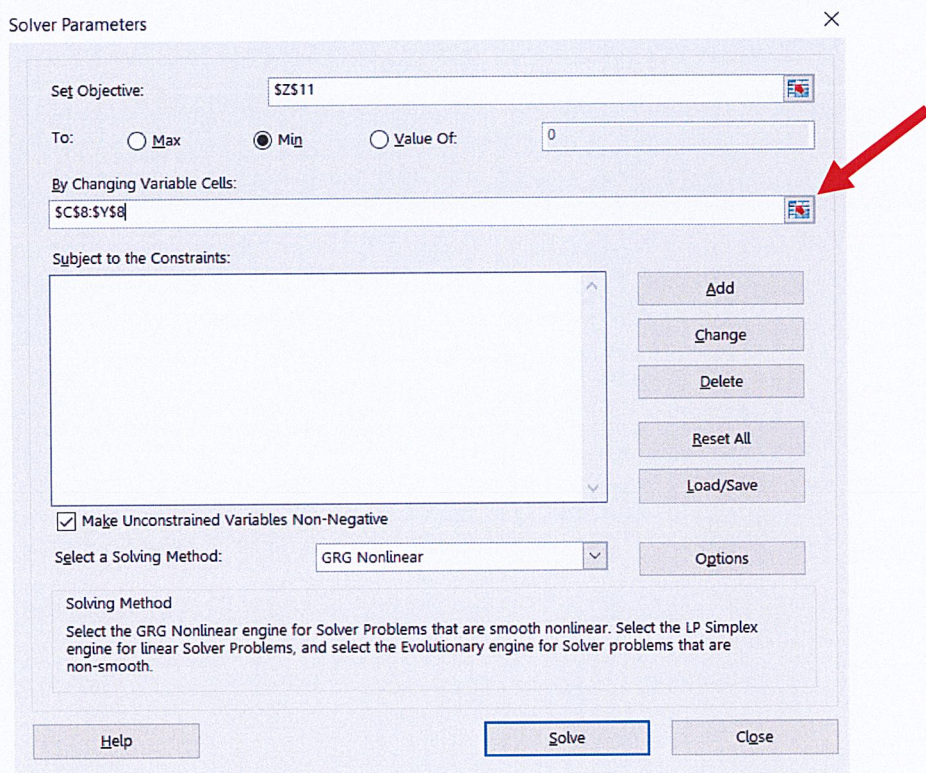


ภาพที่ 3 แสดงหน้าแรกของคำสั่ง Solver

6. ในช่อง Set Objective ให้คลิกที่ Cell Z11

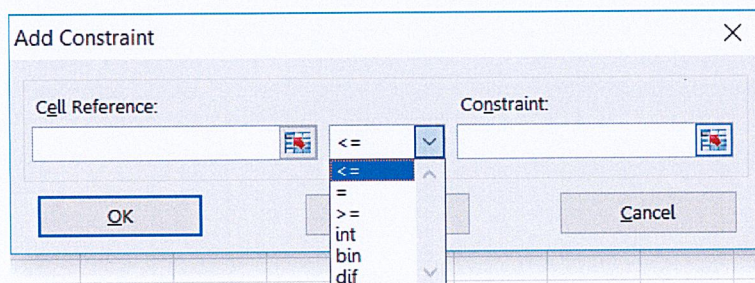
7. ช่อง To ให้เลือกที่ Min เพราะ ปัญหานี้ต้องการหาค่าต่ำสุด

8. ช่อง By Changing Variable Cells คือ การระบุตำแหน่งที่จะให้ Solver นำค่าที่คำนวณได้มาใส่ไว้ หลังจากทำการวิเคราะห์เสร็จแล้วจากข้อมูลที่ทำไว้ให้คลิกที่ช่องทางขวามือ (ตามลูกศรสีแดงในภาพที่ 4) จะปรากฏแถบให้ใส่ข้อมูลโดยคลิกซ้ายเลื่อนเมาส์จาก Cell C8 ไปยัง Cell Y8 และกด Enter จะแสดงผล ดังภาพที่ 4



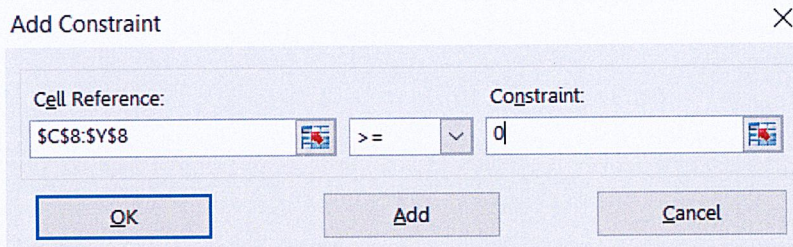
ภาพที่ 4 แสดงผลการระบุค่าส่งลงในช่อง By Changing Variable Cells

9. ในช่อง Subject To The Constraints เป็นการระบุเงื่อนไขจากฟังก์ชันข้อจำกัดต่างๆ ให้คลิกที่ Add จะแสดงหน้าต่างดังภาพ 5



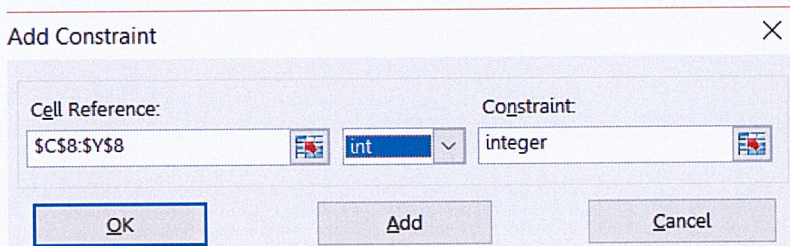
ภาพที่ 5 แสดงหน้าต่างสำหรับระบุเงื่อนไข

10. Cell Reference คือ Cell ที่เก็บผลลัพธ์จากฟังก์ชัน Constraints ทั้งหมดไว้และ Constraint คือ ข้อจำกัดของข้อมูลในที่นี่ คือ Cell C8 ถึง Cell Y8 ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 และเป็นจำนวนเต็ม โดยการคลิกที่ลูกศรสีแดงที่ช่อง Cell Reference แล้วลากเมาส์จาก Cell C8 ไปยัง Cell Y8 กำหนดให้มากกว่าหรือเท่ากับ 0 ดังภาพที่ 6



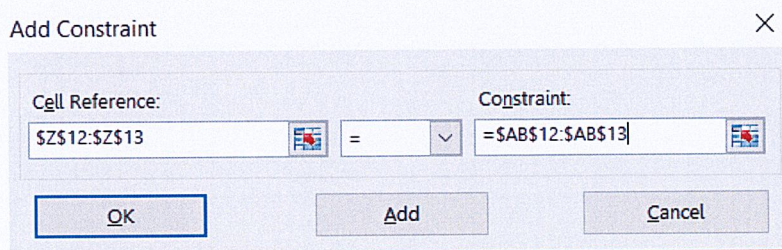
ภาพที่ 6 แสดงการกำหนดเงื่อนไข Cell C8 ถึง Cell Y8 ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0

หลังจากนั้นคลิกที่ Add เพื่อเพิ่มเงื่อนไขต่อไป คือ Cell C8 ถึง Cell Y8 เป็นจำนวนเต็มช่องกลางให้เลือกที่ int ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงการกำหนดเงื่อนไข Cell C8 ถึง Cell Y8 เป็นจำนวนเต็ม

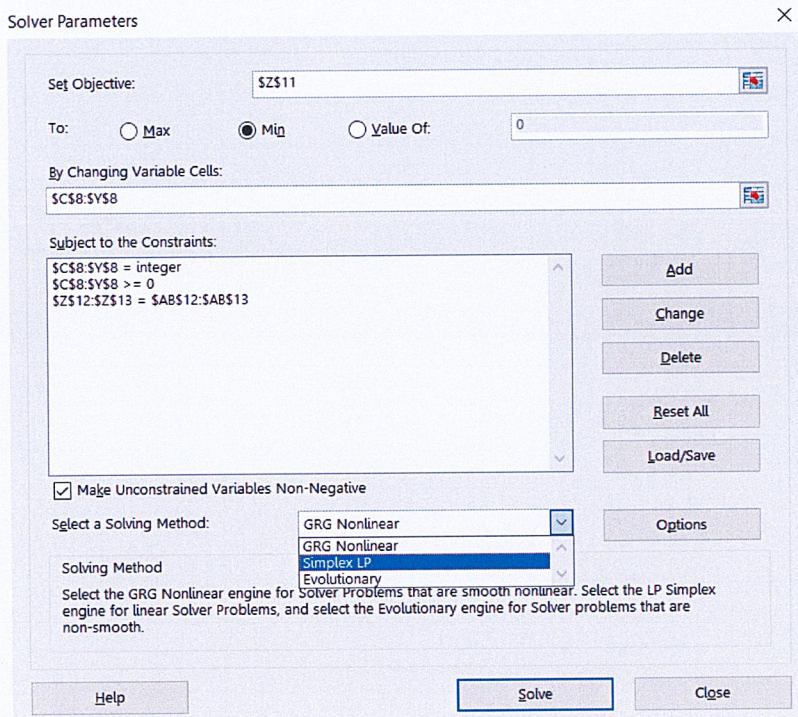
และเงื่อนไขสุดท้าย คือ Cell Z12 ถึง Cell Z13 ต้องมีค่าเท่ากับ Cell AB12 ถึง Cell AB13 ตามลำดับ ดังภาพที่ 8



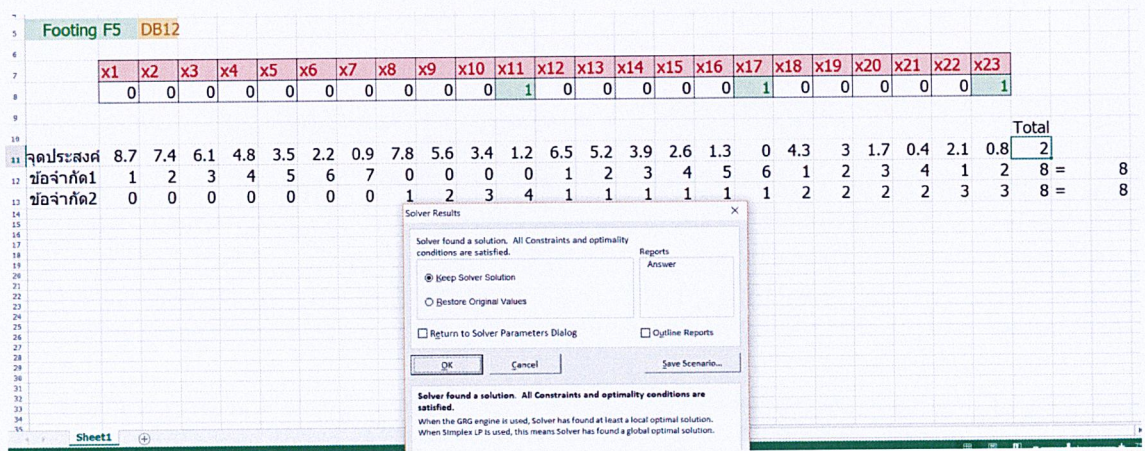
ภาพที่ 8 แสดงการกำหนดเงื่อนไข Cell Z12 ถึง Cell Z13 มีค่าเท่ากับ Cell AB12 ถึง Cell AB13

หลังจากนั้นให้คลิกที่ OK เพื่อสิ้นสุดการใส่เงื่อนไข

11. ในช่อง Select a Solving Method ในที่นี้ให้เลือกเป็น Simplex LP เป็นการแก้ไขปัญหาย่างง่ายดังภาพ 9 หลังจากนั้นกดที่ Solve โปรแกรมจะทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหานี้ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 9 แสดงการเลือกวิธีแก้ไขปัญหาให้กับโปรแกรม



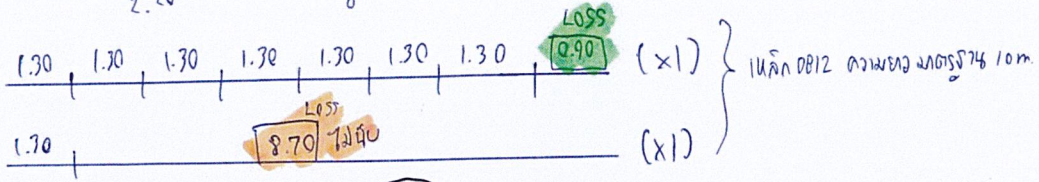
ภาพที่ 10 แสดงค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหา

2	Footing E3 0812	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	x20	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29	Total	
3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	
4		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
5		8.80	7.60	6.40	5.20	4.00	2.80	1.60	0.40	8.20	6.40	4.60	2.80	1.00	7.00	5.80	4.60	3.40	2.20	1.00	5.20	4.00	2.80	1.60	0.40	3.40	2.20	1.00	1.60	0.40	4	
6	จำนวนที่พบ	1	2	3	4	5	6	7	8	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	32 = 32	
7	อัตรา	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	4	4	32 = 32		
8	อัตรา	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	4	4	32 = 32		
9																																
10																																
11																																
12																																
13																																
14																																
15																																
16	Footing F3 0812	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	x20	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29	Total	
17		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
18		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
19		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
20		8.7	7.4	6.1	4.8	3.5	2.2	0.9	7.8	5.6	3.4	1.2	6.5	5.2	3.9	2.6	1.3	0	4.3	3	1.7	0.4	2.1	0.8	2	8	8	8	8	8	8	
21	จำนวนที่พบ	1	2	3	4	5	6	7	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	1	2	8	8	8	8	8	8	
22	อัตรา	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	4	4	4	3	
23	อัตรา	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	4	4	4	3	
24																																
25																																
26																																
27																																
28	Footing F4 0816	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	x20	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29	Total	
29		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
30		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
31		8.6	7.2	5.8	4.4	3	1.6	0.2	7.9	5.8	3.7	1.6	6.5	5.1	3.7	2.3	0.9	4.4	3	1.6	0.2	2.3	0.9	0.2	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	
32	จำนวนที่พบ	1	2	3	4	5	6	7	0	0	0	0	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	36 = 36	
33	อัตรา	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	4	4	4	30 = 30	
34	อัตรา	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	4	4	4	30 = 30	
35																																
36																																
37	0812	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	x20	x21	x22	x23	x24	x25	x26	x27	x28	x29	Total	
38		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
39		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
40	จำนวนที่พบ	6.8	3.6	0.4	0.8																											
41	อัตรา	1	2	3	6 =																											
42																																
43																																

ภาพที่ 11 แสดงผลการคำนวณทั้งหมด

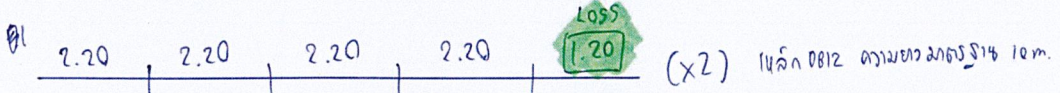
၂။ ၂၇၄၅၅၀ FS ၇၆ DB 12

DB 12	အကွာအဝေး (m.)	၇၆ (၆၆၆၆)
	1.30	8
	2.20	8



1၇၆၀ DB 12 အကွာအဝေး 10 m. ၇၆ 2၂၆၆ (တစ်ပိုင်းအကွာအဝေး 1.30 m.)

LOSS = 0.90 x 1 = 0.90 m



1၇၆၀ DB 12 အကွာအဝေး 10 m. ၇၆ 2၂၆၆ (တစ်ပိုင်းအကွာအဝေး 2.20 m.)

LOSS = 1.20 x 2 = 2.40 m

၂၇၄၅၅၀ ၇၆ ၂၇၄၅၅၀

DB 12 (10 m.) = 4 + 7 + 2 + 2 + 2 = 17 ၂၆၆

LOSS နှုတ် = 1.60 + 6 + 0.80 + 0.90 + 2.40 = 11.70 m.

တစ်ပိုင်း % $\frac{11.70 \text{ m}}{17(10) - 11.70 \text{ m}} \times 100\% = 7.40\%$ #

DB 16 (10 m.) = 8 + 6 = 14 ၂၆၆

LOSS နှုတ် = 11.20 + 1 = 12.20 m.

တစ်ပိုင်း % $\frac{12.20 \text{ m}}{14(10) - 12.20 \text{ m}} \times 100\% = 9.60\%$ #

ภาคผนวก ง.

การติดตั้งและตรวจสอบเหล็กเสริมในงานฐานราก

งานเหล็กเสริมจำเป็นต้องมีการควบคุมขั้นตอนกระบวนการทำงานของผู้รับเหมาอย่างละเอียดเพื่อป้องกันการไม่ให้เกิดความผิดพลาดหรือความเสียหายในการก่อสร้าง การติดตั้งและตรวจสอบเหล็กเสริมในงานฐานรากมีวิธีการดังนี้

การติดตั้งเหล็กเสริมในงานฐานราก

1. จัดเตรียมเหล็กเสริมโดยการตัด, ตัดและงอให้ได้ขนาดและความยาวตรงตามแบบก่อสร้าง การผูกเหล็กเสริมให้ยึดติดกันต้องใช้ลวดเหล็กเบอร์ 18



ภาพที่ 1 แสดงการผูกเหล็กเส้นด้วยลวดเบอร์ 18

2. จัดเตรียมหลุมฐานรากให้มีขนาดและความลึกเพียงพอที่จะสามารถติดตั้งแบบหล่อคอนกรีตได้ขนาดตามแบบก่อสร้าง โดยการถ่ายระดับจากฝัังไม้เพื่อกำหนดระดับสกัดหัวเสาเข็ม, ถมทรายบดอัดแน่นและเทคอนกรีตหยาบ



ภาพที่ 2 แสดงหลุมฐานรากที่จัดเตรียมเสร็จเรียบร้อยแล้ว

3. ตรวจสอบตำแหน่งศูนย์กลางเสาเข็มโดยใช้ลูกตึงตั้งลงที่ตำแหน่งจุดตัดของเส้นเอ็นที่ซึ่งอยู่บนฝัังไม้พร้อมทำสัญลักษณ์กำกับที่ตัวเสาเข็ม ถ้าหากสัญลักษณ์เอียงจากศูนย์กลางเสาเข็มจะต้องทำการขยายขนาดฐานราก ณ ตำแหน่งนั้น

4. ติดตั้งแบบหล่อคอนกรีตตามขนาดฐานราก



ภาพที่ 3 แสดงการติดตั้งแบบหล่อคอนกรีตฐานราก

5. นำเหล็กเสริมฐานราก, เสาคอม่อ และเหล็กเสริมเสาชั้นล่างที่เตรียมไว้มาติดตั้งให้ตรงตามตำแหน่ง, แนวระดับให้ถูกต้องตามแบบ และนำลูกปุนมาผูกที่เหล็กเสริมเพื่อกันระหว่างแบบหล่อกับเหล็กเสริมให้เนื้อคอนกรีตหุ้มเหล็ก (covering) ตามความหนาที่มาตราฐานกำหนด



ภาพที่ 4 แสดงการติดตั้งเหล็กเสริมฐานราก, เสาคอม่อและเสาชั้นล่าง



ภาพที่ 5 แสดงการตรวจสอบความถูกต้องในระดั, ตำแหน่งศูนย์กลาง และเหล็กเสริมในงานฐานราก

การตรวจสอบงานเหล็กเสริมฐานรากหน้าสนาม

1. ตรวจสอบระยะหุ้มคอนกรีต (Covering) ของเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามแบบ
2. ตรวจสอบขนาดของเหล็กเสริมตามแบบ
3. ตรวจสอบจำนวนการใส่เหล็กตามแบบ
4. ตรวจสอบตำแหน่งการวางของเหล็กเสริมในฐานรากว่าอยู่ในกึ่งกลางของสัญลักษณ์ที่กำหนดไว้
5. ตรวจสอบความสะอาดของเหล็กเสริม

หากเกิดความผิดพลาดในข้อใดข้อหนึ่งให้ดำเนินการแก้ไขทันที

ประวัติผู้เขียน

ข้าพเจ้า นาย ชนาธิป ฉลองธรรม รหัสนักศึกษา 59010278 กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เข้าร่วมโครงการสหกิจศึกษา ประจำปีการศึกษา 2562 กับทางบริษัท ศุภาลัย จำกัด (มหาชน) ซึ่งเป็นบริษัทก่อสร้างหริภุญชัย เป็นระยะเวลา 4 เดือน โดยได้ทำงานประจำอยู่ที่ โครงการ ศุภาลัย ไพร์ด บางนา-ลาดกระบัง ตั้งอยู่ที่ถนนลาดกระบัง 54 ตำบลศรีษะจรจะเข้ชั้น้อย อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งฝึกงานในตำแหน่งผู้ช่วย Site Engineer ได้รับมอบหมายงานจาก Site Engineer ให้ควบคุมในส่วนของการก่อสร้างบ้านแฝดซึ่งเป็นบ้านโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 2 ชั้น แต่ในส่วนของการสหกิจศึกษาได้จัดทำโครงการงานชื่อ การวางแผนตัดเหล็กเสริมในงานฐานรากเพื่อลดปริมาณเศษเหล็กเหลือ เพื่อหาวิธีการตัดเหล็กเสริมให้เกิดเศษเหล็กเหลือน้อยที่สุดในฐานรากของโครงการเป็นการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับโครงการเนื่องจากปัจจุบันโครงการประสบปัญหาเกี่ยวกับเหล็กเสริมในการก่อสร้างไม่เพียงพอ ช่างตัดเหล็กไม่มีการวางแผนในการตัดเหล็กเสริมจึงส่งผลให้เกิดปริมาณเศษเหล็กเหลือจำนวนมาก ข้าพเจ้าจึงได้สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับกำหนดการเชิงเส้นในการตัดเหล็กเสริมโดยใช้โปรแกรม Solver ซึ่งเป็นโปรแกรมร่วมกับโปรแกรม Microsoft Excel ในการวิเคราะห์ปัญหาครั้งนี้ซึ่งผลลัพธ์ที่ออกมาให้ค่าที่เหมาะสมและเป็นที่น่าพึงพอใจ