บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงเปรียบเทียบระหว่างสภาพปัจจุบันกับผลที่ได้จากการวิจัย ซึ่งใช้การสร้างแบบจำลองอินทีเจอร์โปรแกรมเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจ เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงแก้ไข หรือเป็นทางเลือกที่ดีกว่าปัจจุบัน เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการตัดเหล็กฉากให้เหลือความยาวเศษเหล็กน้อยที่สุดเพื่อเป็นหลักประกันว่าวัตถุดิบจะถูกใช้ประโยชน์ได้สูงสุดในกระบวนการผลิต ซึ่งการที่เศษเหล็กเหลือในปริมาณที่น้อยนั้นจะส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนการจัดซื้อ เป็นวิธีการลดต้นทุนการผลิตตั้งแต่ขั้นตอนการจัดซื้อ ทั้งยังเป็นการสั่งซื้อวัสดุตามปริมาณที่ใช้จริง เพื่อป้องกันการจัดซื้อวัตถุดิบที่มากเกินความเป็นจริงจนเป็นสาเหตุของการเพิ่มต้นทุนการจัดเก็บวัสดุคงคลังโดยไม่จำเป็น หรือบางครั้งอาจส่งผลต่อสภาพคล่องของภาคธุรกิจโดยเฉพาะธุรกิจขนาดย่อมที่มีเงินทุนหมุนเวียนไม่มากนักจากการที่ต้องแบกรับภาระค่าใช้จ่ายด้านการจัดซื้อที่ไม่เหมาะสม วิธีดำเนินการศึกษามีรายละเอียดพอสังเขปดังต่อไปนี้

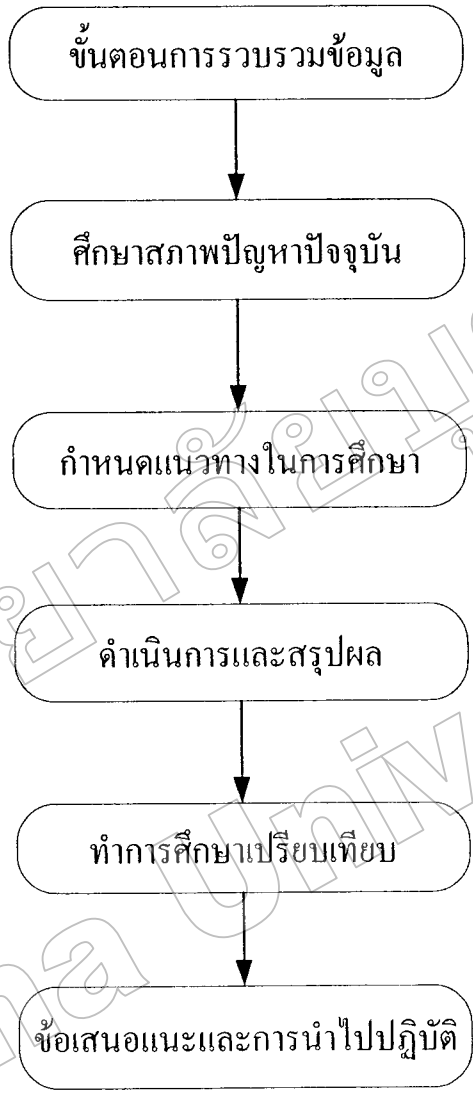
กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยนี้ ผู้ศึกษาใช้การคัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยใช้เสาโทรคมนาคมชนิด Self-Supporting Tower ขนาดความสูง 47 เมตร จำนวน 1 หน่วยการผลิต เนื่องจากเป็นขนาดความสูงที่มีปริมาณการผลิตสูงที่สุดเมื่อเทียบกับเสาขนาดความสูงอื่น ๆ ซึ่งจะทำให้ผลการศึกษาสามารถถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงในทางปฏิบัติ เสาขนาดความสูงดังกล่าวมีน้ำหนักโครงสร้างตามที่ระบุในใบแสดงรายการวัสดุเท่ากับ 11,916.53 กิโลกรัม ซึ่งในปริมาณดังกล่าวมีน้ำหนักของชิ้นงานที่เป็นเหล็กฉาก 10,449.27 กิโลกรัม หรือคิดเป็น 87.69% ของน้ำหนักโครงสร้าง ด้วยเหตุนี้จึงเลือกศึกษาเฉพาะวัสดุในส่วนที่เป็นเหล็กฉากเท่านั้น

ขั้นตอนในการวิจัย

ลำดับขั้นตอนในการศึกษา ได้แบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนดังนี้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 3-1 ลำดับขั้นตอนในการวิจัย

การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้สำหรับการวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ใบแสดงรายการวัสดุ (Material List) ของเสาโทรคมนาคม ชนิด Self-Supporting Tower ขนาดความสูง 47 เมตร จำนวน 1 ชุด จากนั้นนำข้อมูลมาจัดกลุ่มใหม่โดยแยกตามขนาดเหล็กและจัดเรียงรายการชิ้นงานของเหล็กแต่ละขนาดตามความยาวชิ้นงานจากมากไปหาน้อย เพื่อความสะดวกในการนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์

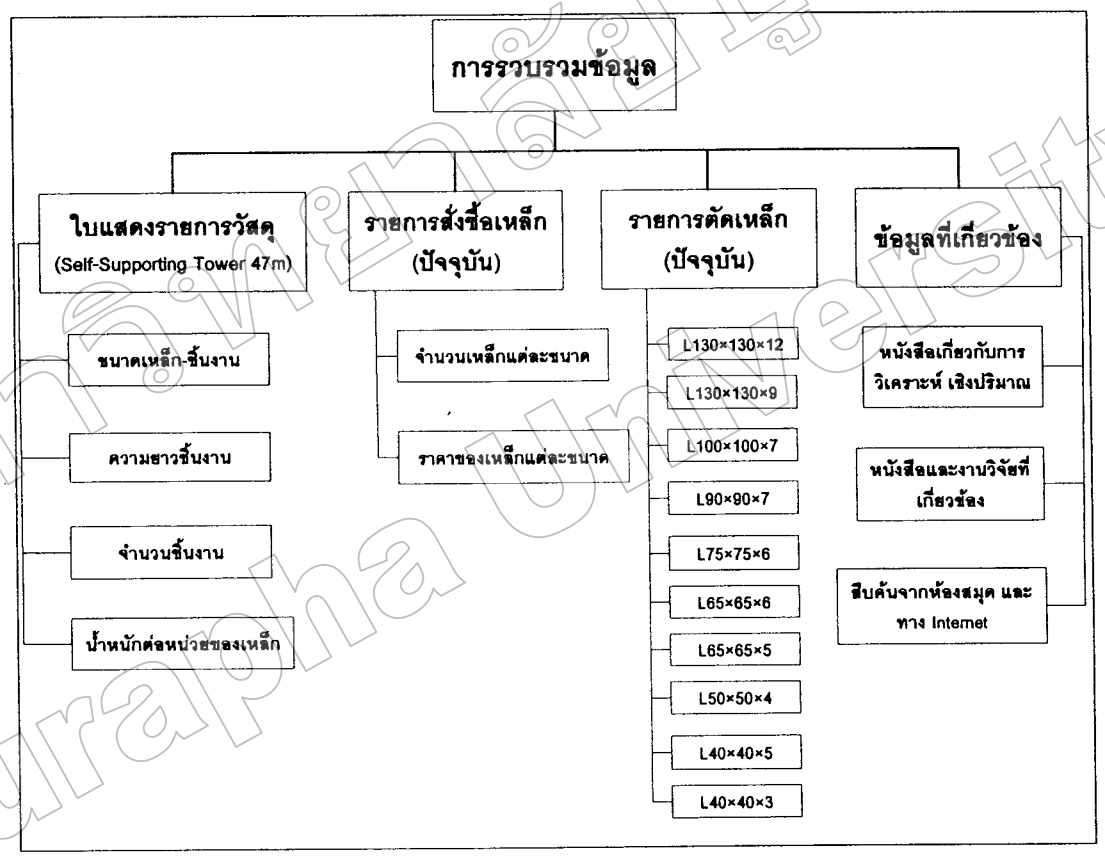
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. เอกสารแสดงรายการสั่งซื้อเหล็กฉาก (Purchase Order) ที่ใช้สำหรับการผลิตเสา Self-Supporting Tower ความสูง 47 เมตร ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน จำนวน 1 ชุด เพื่อใช้สำหรับเปรียบเทียบปริมาณและต้นทุนการจัดซื้อเหล็กกับผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง

3. รายการตัดเหล็กของเหล็กฉากแต่ละขนาดที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

4. ข้อมูล เอกสารและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ในขั้นตอนของการรวบรวมข้อมูลสามารถแสดงได้ดังแผนภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 3-2 แผนภาพแสดงรายละเอียดของการรวบรวมข้อมูล

ศึกษาสภาพปัจจุบันของปัญหา

ศึกษาเกี่ยวกับการจัดทำรายการตัดเหล็กของเหล็กแต่ละขนาด ตลอดจนการบริหารจัดการเกี่ยวกับเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดในขั้นตอนการผลิต เช่น จำนวนเศษเหล็กที่เก็บไว้เพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ จำนวนที่ถูกกำจัด และเกณฑ์ความยาวที่ใช้สำหรับการจัดเก็บชิ้นงาน เป็นต้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

กำหนดแนวทางในการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงเปรียบเทียบระหว่างสภาพที่เป็นอยู่ปัจจุบันกับผลที่ได้จากแบบจำลองในส่วนของจำนวนเศษเหล็กและต้นทุนการจัดซื้อโดยใช้การวิเคราะห์เชิงปริมาณ ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อปรับปรุงการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบ และต้องการพิสูจน์ว่ากระบวนการการผลิตในปัจจุบันนั้นทำให้มีเศษเหล็กที่มากกว่าความเป็นจริงส่งผลให้ต้นทุนการจัดซื้อสูงกว่าปกติ การศึกษาวิจัยได้แบ่งออกเป็นขั้นตอนดังนี้

1. สร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เหลือความยาวเศษเหล็กหลังการตัดน้อยที่สุด โดยใช้เหล็กฉากความยาว 6 เมตร เป็นวัตถุดิบ

2. ใช้แบบจำลองเดียวกันกับหัวข้อที่หนึ่ง แต่เปลี่ยนความยาวเหล็กฉากจาก 6 เมตร เป็น 12 เมตร สำหรับการตัดเป็นชิ้นงานในขั้นตอนการผลิต

3. ในการวิเคราะห์ผลจะใช้แบบจำลองรูปแบบเดียวกันแต่แยกวิเคราะห์ตามขนาดของเหล็กฉากแต่ละขนาด เนื่องจากมีความเป็นอิสระต่อกัน โดยแยกการวิเคราะห์ออกเป็นเหล็กขนาด L130×130×12, L130×130×9, L100×100×7, L90×90×7, L75×75×6, L65×65×6, L65×65×5, L50×50×4, L40×40×5 และ L40×40×3 ตามลำดับ

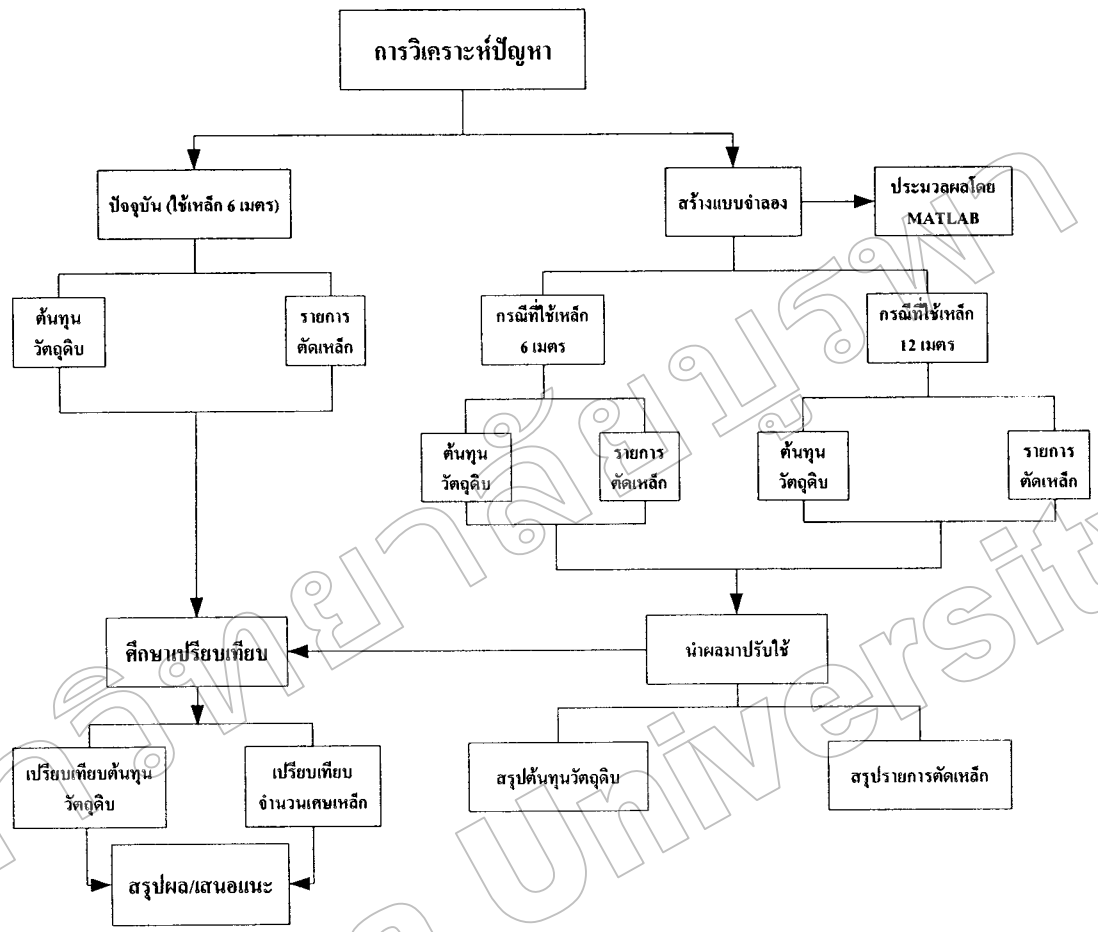
4. ใช้โปรแกรม MATLABในการประมวลผลลัพธ์ของแบบจำลอง โดยนำผลลัพธ์ที่ได้ไปป้อนข้อมูลลงใน Microsoft Excel ซึ่งแสดงผลในรูปแบบของตารางเพื่อความสะดวกในการนำผลไปใช้งาน

5. เปรียบเทียบจำนวนเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดระหว่างรูปแบบการตัดเหล็กที่ใช้อยู่ในปัจจุบันกับผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทั้งสองกรณีข้างต้น

6. สรุปจำนวนสั่งซื้อเหล็กพร้อมทั้งเปรียบเทียบต้นทุนการจัดซื้อก่อนและหลังการใช้แบบจำลอง ในด้านราคา และน้ำหนักเหล็กที่สั่งซื้อ ระหว่างข้อมูลปัจจุบันกับผลที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองกรณี

การกำหนดแนวทางในการศึกษาสามารถสรุปเป็นแผนภาพได้ดังต่อนี้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 3-3 แสดงขั้นตอนเกี่ยวกับการกำหนดแนวทางในการวิเคราะห์ปัญหา

ดำเนินการและสรุปผลการศึกษา

ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีตัวแปรการตัดสินใจแบบไบนารี เพื่อให้สอดคล้องกับการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม MATLAB ในการหาผลลัพธ์ของแบบจำลองสำหรับเหล็กฉากแต่ละขนาด ซึ่งผลที่ได้อยู่ในรูปของจำนวนเหล็กที่ใช้ในการผลิต รายการตัดเหล็กและความยาวเศษเหล็กแต่ละเส้น ตามลำดับ

ทำการศึกษาเปรียบเทียบ

ทำการเปรียบเทียบต้นทุนในการจัดซื้อเหล็กฉาก ก่อนและหลังการใช้แบบจำลอง พร้อมทั้งเปรียบเทียบจำนวนเศษเหล็กที่เหลือจากการตัด ผลการเปรียบเทียบจะอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ ที่แตกต่างกัน

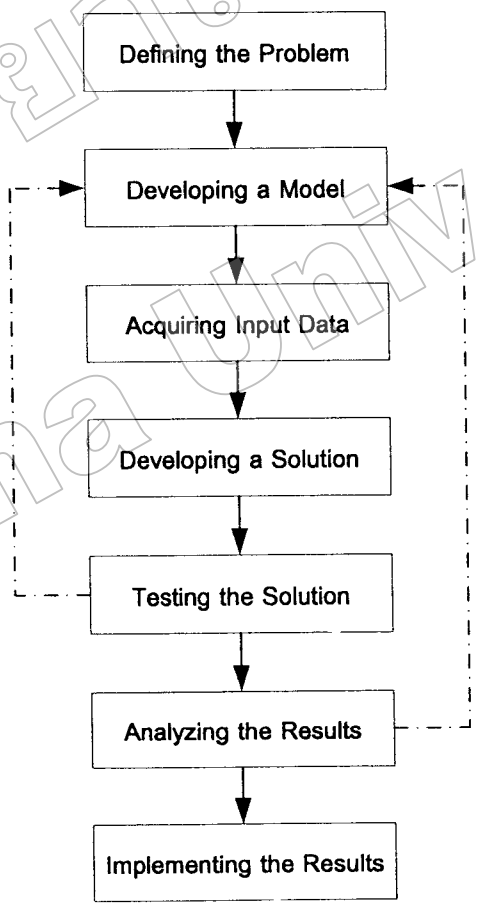
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ข้อเสนอแนะและการนำไปปฏิบัติ

ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการบริหารจัดการเศษเหล็ก วิธีการนำผลไปใช้ประโยชน์ที่สอดคล้องกับผลของการศึกษา ข้อดีข้อเสียและการปรับใช้แบบจำลองเพื่อให้สามารถแก้ปัญหาได้ พร้อมทั้งเสนอแนวทางการศึกษาต่อจากงานศึกษาวิจัยนี้

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิเคราะห์เชิงปริมาณเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการวิจัย ซึ่งแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอน ดังแสดงในแผนภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 3-4 ขั้นตอนและวิธีการในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Render & Stair, 1998)

แนวคิดเกี่ยวกับการตัดเหล็ก

ในขั้นตอนการผลิตนั้นจะใช้เหล็กฉากนำมาตัดเป็นชิ้นงานที่ความยาวขนาดต่าง ๆ ตามระบุในใบแสดงรายการวัสดุ โดยพิจารณาจากข้อมูลในตัวอย่างต่อไปนี้

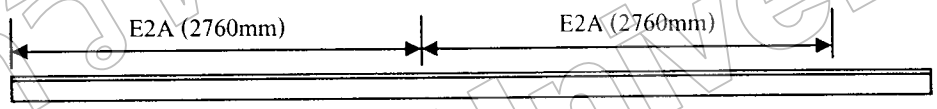
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 3-1 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการตัดเหล็กฉากในขั้นตอนการผลิต

ลำดับที่	รหัสชิ้นงาน	ขนาดเหล็ก	ความยาวชิ้นงาน (มม.)	จำนวน(ชิ้น)
1	E2A	L65x65x5	2760	4
2	E15	L65x65x5	1688	4
3	C4	L65x65x5	1487	4
4	D2	L65x65x5	1430	4

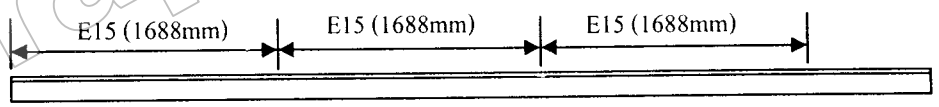
จากตารางที่ 3-1 สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการตัดโดยใช้เหล็กฉากความยาว 6 เมตร (6000 มม.) ซึ่งมีรายละเอียดทางเลือกของการตัดเหล็กดังนี้(เป็นวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน)

กรณีที่ 1

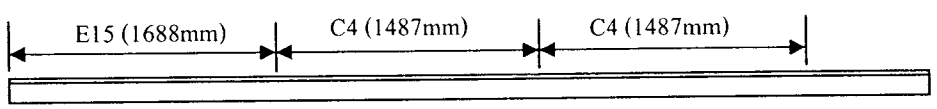


เส้นที่ 1 เศษเหล็กที่เหลือ = (6000-(2760+2760)) = 480 มม.

เส้นที่ 2 เศษเหล็กที่เหลือ = (6000-(2760+2760)) = 480 มม.



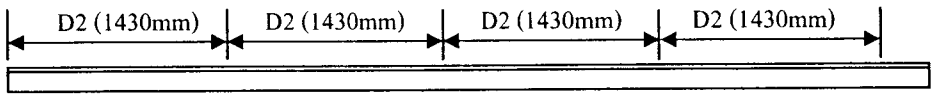
เส้นที่ 3 เศษเหล็กที่เหลือ = (6000-3×1688) = 936 มม.



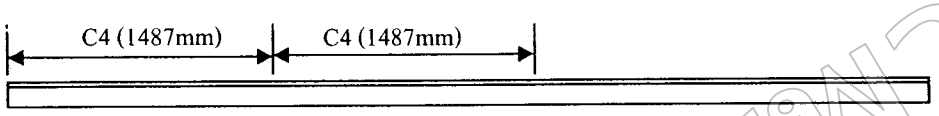
เส้นที่ 4 เศษเหล็กที่เหลือ = (6000-(1688+1487+1487)) = 1338 มม.

ภาพที่ 3-5 แสดงตัวอย่างทางเลือกสำหรับการตัดเหล็กฉากเพื่อการผลิตชิ้นงาน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

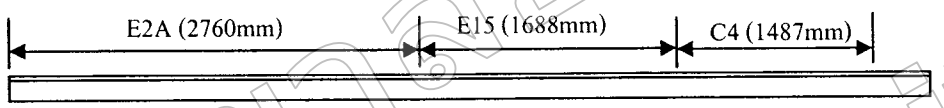


เส้นที่ 5 เศษเหล็กที่เหลือ = (6000- 4x1430) = 280 มม.

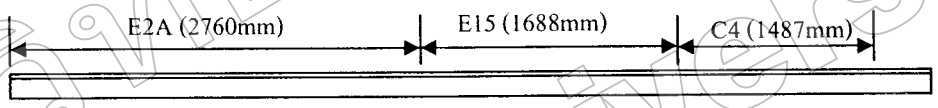


เส้นที่ 6 เศษเหล็กที่เหลือ = (6000-2×1487) = 3026 มม.

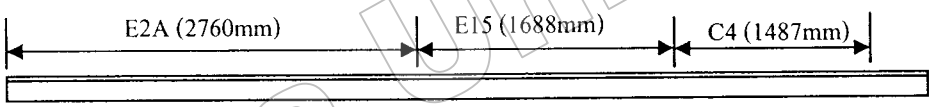
<u>กรณีที่ 2</u>



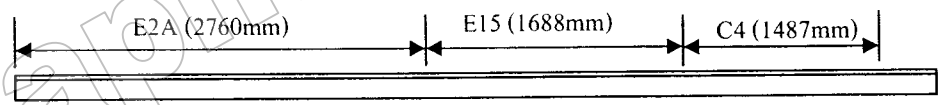
เส้นที่ 1 เศษเหล็กที่เหลือ = (6000 – (2760+1688+1487)) = 65 มม.



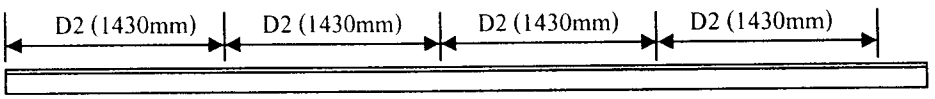
เส้นที่ 2 เศษเหล็กที่เหลือ = (6000 – (2760+1688+1487)) = 65 มม.



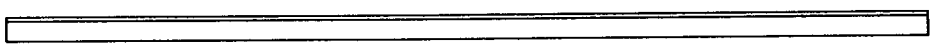
เส้นที่ 3 เศษเหล็กที่เหลือ = (6000 – (2760+1688+1487)) = 65 มม.



เส้นที่ 4 เศษเหล็กที่เหลือ = (6000 – (2760+1688+1487)) = 65 มม.



เส้นที่ 5 เศษเหล็กที่เหลือ = (6000 – (1430 × 4)) = 280 มม.



เส้นที่ 6 ไม่มีการตัดเป็นชิ้นงานใด ๆ

ภาพที่ 3-5 (ต่อ)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จากตัวอย่างทั้งสองกรณีนี้ หากนำผลของกรณีที่ 2 มาแสดงในรูปของตารางได้ผลดังนี้

ตารางที่ 3-2 ตัวอย่างการตัดเหล็กฉากโดยใช้เหล็กดิบความยาว 6000 มม. เป็นวัตถุดิบ

ลำดับที่	รหัส	ขนาดเหล็ก	ความยาว (มม.)	จำนวน (ชิ้น)	จำนวนที่ถูกเลือกสำหรับการตัดของเหล็กฉากแต่ละเส้น				
					เส้นที่ 1	เส้นที่ 2	เส้นที่3	เส้นที่ 4	เส้นที่5
1	E2A	L65x65x5	2760	4	1	1	1	1	0
2	E15	L65x65x5	1688	4	1	1	1	1	0
3	C4	L65x65x5	1487	4	1	1	1	1	0
4	D2	L65x65x5	1430	4	0	0	0	0	4
ความยาวเศษเหล็กที่เหลือจากการตัด(มม.)					65	65	65	65	280

จากตัวอย่างการตัดเหล็กทั้งสองกรณีนี้จะพบว่า กรณีที่ 1 ใช้เหล็กฉากจำนวน 6 เส้น ในขณะที่ กรณีที่ 2 ใช้เหล็กฉากเพียง 5 เส้น เท่านั้น ลักษณะเช่นนี้ชี้ให้เห็นว่าการกำหนดชิ้นงานสำหรับการตัดเหล็กฉากแต่ละเส้นนั้นมีผลต่อจำนวนหรือเศษเหล็กฉากที่ใช้ หรือหากพิจารณาจากผลรวมของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดกรณีที่ 1 เท่ากับ 6540 มม. และกรณีที่ 2 เหลือผลรวมของเศษเหล็กเพียง 540 มม. ดังนั้นการลดผลรวมของเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดจะเป็นการลดจำนวนของเหล็กฉากที่ใช้ในการผลิตด้วยเช่นกัน ซึ่งมีผลโดยตรงกับต้นทุนการจัดซื้อ

แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เหลือเศษเหล็กน้อยที่สุด ซึ่งใช้ข้อมูลในการวิเคราะห์ตามตารางที่ 3-3 (หน่วยความยาว: มิลลิเมตร)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 3-3 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้สำหรับการสร้างแบบจำลองของปัญหา

ลำดับที่ i	รหัส*	ความยาว l_i	จำนวน q_i	ตัวแปรการตัดสินใจ X_{ij}			
1	KKKK	l_1	q_1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1n}
2	⋮	l_2	q_2	X_{21}	X_{22}	...	X_{2n}
⋮	KKKK	⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮
m	KKKK	l_m	q_m	X_{m1}	X_{m2}	...	X_{mn}
	ความยาวเหล็กดิบ(T_j): เส้นที่ (y_j)			T_1y_1	T_2y_2	...	T_ny_n

หมายเหตุ: การกำหนดรหัสของชิ้นงานขึ้นอยู่กับการกำหนดในการออกแบบ

จากข้อมูลในตารางที่ 3-3 สามารถเขียนฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขของปัญหาให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\text{Min} \sum_{j=1}^{n} (T_j y_j - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} l_i X_{ij})$$

ภายใต้เงื่อนไข (Constraints)

$$\sum_{i=1}^{m} l_i x_{ij} \le T_j y_j ; \quad j = 1,2,3,...,n \qquad \text{(เงื่อนไขที่ 1)}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = q_i ; \quad i = 1,2,3,...,m \qquad \text{(เงื่อนไขที่ 2)}$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0,1\} ; \quad i = 1,2,3,...,m ; \ j = 1,2,3,...,n \qquad \text{(เงื่อนไขที่ 3)}$$

$$T_j \in \{6000,12000\} ; \quad j = 1,2,3,...,n$$

โดยที่

ตัวแปรการตัดสินใจ (Decision Variables)

x_{ij} = 1 ถ้าเหล็กฉากเส้นที่ j ถูกเลือกสำหรับการตัดเป็นชิ้นงานลำดับที่ i

= 0 ในกรณีอื่น ๆ

y_j = 1 ถ้าเหล็กฉากเส้นที่ j ถูกเลือกให้เป็นวัตถุดิบในการผลิต

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

= 0 ในกรณีอื่น ๆ

พารามิเตอร์ (Parameters)

l_i = ความยาวของชิ้นงานลำดับที่ i มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร และต้องเป็นความยาวที่เผื่อความสูญเสียที่เกิดจากรอยตัด

q_i = จำนวนของชิ้นงานลำดับที่ i มีหน่วยเป็น ชิ้น

T_j = ความยาวของเหล็กดิบเส้นที่ j ที่ถูกเลือกสำหรับการผลิต มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

ดัชนี (Index)

i = ลำดับที่ของชิ้นงานของเหล็กฉากแต่ละขนาด

j = หมายเลขเหล็กดิบที่ถูกเลือกเพื่อใช้ในการผลิตชิ้นงาน

m = จำนวนของลำดับที่ของรหัสชิ้นงานของเหล็กแต่ละขนาด

n = จำนวนเหล็กดิบที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา

เงื่อนไขของแบบจำลอง

เงื่อนไขที่ 1 ความยาวรวมของชิ้นงานที่ถูกเลือกในการตัดเหล็กดิบเส้นใด ๆ ต้องไม่เกินความยาวของเหล็กดิบทั้งเส้นนั้น ๆ

เงื่อนไขที่ 2 จำนวนชิ้นงานที่ถูกเลือกสำหรับการตัดต้องเท่ากับจำนวนชิ้นงานที่ระบุในใบแสดงรายการวัสดุแต่ละลำดับที่

เงื่อนไขที่ 3 ค่าของตัวแปรการตัดสินใจต้องเป็นค่าไบนารีเท่านั้น

จำนวนตัวแปรการตัดสินใจที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหานั้น จะมีจำนวนเท่ากับ n(m+1) ตัวแปร ดังนั้นการกำหนดค่า n หรือจำนวนเหล็กที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลต่อการหาผลลัพธ์ของปัญหา เช่น ถ้ากำหนดค่า n น้อยเกินไปจะไม่สามารถหาผลลัพธ์ของปัญหาได้ (Infeasible Solution) เนื่องจากเหล็กไม่เพียงพอต่อการผลิตหรือการตัด ในทำนองเดียวกันถ้ากำหนดค่า n มากเกินไป จะทำให้จำนวนของตัวแปรมากเกินความจำเป็นจนเป็นเหตุให้การหาผลลัพธ์ทำได้ยากขึ้น หรืออาจจะต้องใช้เวลาในการหาผลลัพธ์มากเกินความจำเป็น

เมื่อพิจารณาจากยอดการสั่งซื้อเหล็กฉากเพื่อใช้ในการผลิตในอดีตที่ผ่านมานั้น สามารถประมาณการยอดการสั่งซื้อของเหล็กฉากแต่ละขนาด ได้จากความยาวรวมของชิ้นงานทั้งหมด หารด้วยความยาวเหล็กดิบที่ใช้ในการผลิต แล้วเผื่อด้วย 15 % จะเป็นจำนวนที่เพียงพอสำหรับการผลิต ดังนั้นการกำหนดค่า n ในแบบจำลอง สามารถคำนวณได้ดังนี้ (หน่วยความยาวเป็น มิลลิเมตร)

$$n = 1.15\left(\frac{\sum_{i=1}^{m} l_i q_i}{T_0}\right) \text{ โดยที่ } T_0 \in \{6000, 12000\};\ \left(n \geq \sum_{j=1}^{n} y_j\right)$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ถ้าใช้ความยาวเหล็กดิบ 6 เมตร (6000 มม.) เพื่อการผลิตชิ้นงานต้องพิจารณาค่า n ในกรณีของชิ้นงานที่มีความยาวมากกว่า 3000 มม. ($l_i > 3000$ มม.) ด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากเหล็กดิบความยาวดังกล่าว 1 เส้นสามารถนำไปตัดเป็นชิ้นงานที่มีความยาวมากกว่า 3000 มม. ได้เพียง 1 ชิ้นเท่านั้น หรืออัตราส่วนการใช้วัตถุดิบเท่ากับ 1:1 ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$n \geq \sum_{l_i>3000} q_i$ ในกรณีของ $T_0 =$ 6000 มม. (ใช้เหล็กดิบยาว 6 เมตรสำหรับการผลิต)

ตัวอย่างเช่น

ในการประมาณการจำนวนเหล็กฉากขนาด L75×75×6 เพื่อใช้ในการผลิต พบว่า

$\sum_{i=1}^{m} l_i q_i = 378{,}226$ มม. และ $\sum_{l_i>3000} q_i = 84$ ชิ้น ซึ่งประมาณการค่า n ได้ดังนี้

$n = 1.15\left(\frac{378{,}226}{6000}\right) = 73$ เส้น หรือ $n \geq 84$ เส้น (เลือกค่าที่มากกว่า)

ดังนั้น จำนวนเหล็กฉากขนาด L75×75×6 ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา คือ n = 84 เส้น ซึ่งมีจำนวนตัวแปรการตัดสินใจเท่ากับ 84(m+1) ตัวแปร

ใช้หลักการคำนวณค่า n และแบบจำลองเดียวกันนี้ในการวิเคราะห์ปัญหา โดยแยกพิจารณาเหล็กฉากทีละขนาดตามรายละเอียดในใบแสดงรายการวัสดุ เนื่องจากเหล็กฉากแต่ละขนาดเป็นอิสระต่อกัน และหน่วยความยาวที่ใช้ในแบบจำลองเป็น มิลลิเมตร

ในกรณีที่ต้องการให้ลำดับการเลือกเหล็กฉากเส้นที่ j มีความต่อเนื่องเรียงจากน้อยไปหามาก สามารถเพิ่มเงื่อนไข $y_j - y_{j+1} \geq 0$ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วหมายเลขกำกับเหล็กแต่ละเส้นนั้นสามารถเปลี่ยนแปลงหรือสลับที่กันได้ การกำหนดเช่นนี้ทำให้จำนวนเงื่อนไขของแบบจำลองเพิ่มขึ้น $n-1$ เงื่อนไข ซึ่งไม่เหมาะกับการใช้โปรแกรม MATLAB เพราะเป็นการเพิ่มเวลาในการป้อนข้อมูลสำหรับขั้นตอนการหาผลลัพธ์ และเกิดผลเสียมากกว่าผลดี

การหาผลลัพธ์ของปัญหา

ในการหาผลลัพธ์ของปัญหานั้นจะใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งเป็นลักษณะของการแก้ปัญหาที่อยู่ในรูปแบบของระบบเมตริก ดังนั้นการป้อนข้อมูลจึงจำเป็นต้องให้สอดคล้องกับลักษณะของโปรแกรมซึ่งในส่วนที่เป็นการประยุกต์ใช้งานกับแบบจำลอง BIP มีรายละเอียดดังนี้

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

Minimize f.X

ภายใต้เงื่อนไข

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

$A \cdot X \le b$

$Aeq \cdot X = beq$

คำสั่งที่ใช้ในการหาผลลัพธ์ของแบบจำลอง (เคาะ ↵(Enter) เพื่อให้โปรแกรมประมวลผล)

$X = bintprog(f, A, b, Aeq, beq)$ ในกรณีที่ต้องการให้แสดงผลเฉพาะค่าของตัวแปร

$[X, fval] = bintprog(f, A, b, Aeq, beq)$ ในกรณีที่ต้องการให้แสดงผลทั้งค่าตัวแปรและค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์

โดยที่

F = เวกเตอร์ที่ประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรการตัดสินใจในฟังก์ชันวัตถุประสงค์

A = เมตริกที่ประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของเงื่อนไขในส่วนที่เป็นอสมการ $A \cdot X \le b$

b = เวกเตอร์ที่ประกอบด้วยค่าคงที่ที่อยู่ทางด้านขวาของเงื่อนไขในส่วนที่เป็นอสมการ

Aeq = เมตริกที่ประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของสมการเงื่อนไข $Aeq.X = beq$

Beq = เวกเตอร์ที่ประกอบด้วยค่าคงที่ที่อยู่ด้านขวาของสมการเงื่อนไข

X = ตัวแปรการตัดสินใจ

ในการนำไปประยุกต์ใช้งานสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมตริกได้ดังนี้

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_z \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_z \end{bmatrix}$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1Z} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2Z} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ A_{h1} & A_{h2} & \cdots & A_{hz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_z \end{bmatrix} \le \begin{Bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_h \end{Bmatrix}$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

$$\begin{bmatrix} Aeq_{11} & Aeq_{12} & \cdots & Aeq_{1Z} \\ Aeq_{21} & Aeq_{22} & \cdots & Aeq_{2Z} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Aeq_{k1} & Aeq_{k2} & \cdots & Aeq_{kz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_z \end{bmatrix} = \begin{Bmatrix} beq_1 \\ beq_2 \\ \vdots \\ beq_k \end{Bmatrix}$$

โดยที่

z = จำนวนตัวแปรการตัดสินใจ

h = จำนวนของอสมการเงื่อนไข

k = จำนวนของสมการเงื่อนไข

กล่าวโดยสรุปคือ ในการใช้โปรแกรม MATLAB นั้นแบบจำลองไบนารีควรประกอบด้วย

1. ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)
2. ข้อจำกัดส่วนที่เป็นอสมการ (Inequality)
3. ข้อจำกัดส่วนที่เป็นสมการ (Equality)

การใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อหาผลลัพธ์ของปัญหานั้นสามารถประยุกต์ใช้งานโดยการป้อนข้อมูลลงใน M-file Editor แล้วคัดลอกไปวางใน MATLAB Command Window เพื่อประมวลผล

เงื่อนไขที่ 1 ของแบบจำลอง จะ ต้องปรับเปลี่ยนใหม่โดยให้ด้านขวามือของอสมการเป็นค่าคงที่เพื่อให้สอดคล้องกับโปรแกรม MATLAB ดังนี้

$$-T_j y_j + \sum_{i=1}^{m} l_i x_{ij} \le 0 \; ; \; j = 1,2,3,...,n$$

และเงื่อนไขที่ 2 ต้องกระจายค่าของ q_i ให้มีค่าเป็น 1 เพื่อป้องกันกรณีที่ผลลัพธ์ออกมาในลักษณะเช่นเดียวกับในตารางที่ 3-2 ซึ่งเหล็กเส้นที่ 5 จะขัดกับเงื่อนไขของการกำหนดค่าตัวแปรแบบไบนารี ($x_{45} = 4$) ทำให้ไม่สามารถหาผลลัพธ์ของปัญหาได้

Hanselman and Littlefield (2005) ได้กล่าวถึงการป้อนข้อมูลในรูปแบบของเมตริกสำหรับโปรแกรม MATLAB ออกเป็น 3 รูปแบบ คือ Semicolon Method, Enter Method และ Comma Method ตามลำดับ ดังตัวอย่างของเมตริก A ต่อไปนี้

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & 9 \end{bmatrix}$$

Semicolon Method

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

```
>> A = [1  2  3;  4  5  6;  7  8  9]
```

Enter Method

```
      [1  2  3
>> A =  4  5  6
      7  8  9]
```

Comma Method

```
      [1,  2,  3
>> A = 4,  5,  6
      7,  8,  9]
```

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้โปรแกรม MATLAB กับแบบจำลอง โดยพิจารณาจากข้อมูลต่อไปนี้

ตารางที่ 3-4 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณโดยใช้ MATLAB

ลำดับที่ i	รหัสชิ้นงาน	ขนาดเหล็ก	ความยาว (l_i)	จำนวน (q_i)	เหล็กฉากเส้นที่ j			
					1	2	3	4
1	I8A	L65×65×5	4082	1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}
2	I8A	L65×65×5	4082	1	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}
3	C5	L65×65×5	2020	1	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}
4	C5	L65×65×5	2020	1	X_{41}	X_{42}	X_{43}	X_{44}
5	D7	L65×65×5	1808	1	X_{51}	X_{52}	X_{53}	X_{54}
6	D7	L65×65×5	1808	1	X_{61}	X_{62}	X_{63}	X_{64}
ความยาวเหล็กดิบที่ใช้ในการผลิต (มม.)					$6000\,y_1$	$6000\,y_2$	$6000\,y_3$	$6000\,y_4$

เมื่อแสดงผลในรูปของความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$\text{Min } 6000\,y_1 - 4082\,X_{11} - 4082\,X_{21} - 2020\,X_{31} - 2020\,X_{41} - 1808\,X_{51} - 1808\,X_{61}$$
$$+ 6000\,y_2 - 4082\,X_{12} - 4082\,X_{22} - 2020\,X_{32} - 2020\,X_{42} - 1808\,X_{52} - 1808\,X_{62}$$
$$+ 6000\,y_3 - 4082\,X_{13} - 4082\,X_{23} - 2020\,X_{33} - 2020\,X_{43} - 1808\,X_{53} - 1808\,X_{63}$$
$$+ 6000\,y_4 - 4082\,X_{14} - 4082\,X_{24} - 2020\,X_{34} - 2020\,X_{44} - 1808\,X_{54} - 1808\,X_{64}$$

ภายใต้เงื่อนไข

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

$$-6000\,y_1 + 4082\,x_{11} + 4082\,x_{21} + 2020\,x_{31} + 2020\,x_{41} + 1808\,x_{51} + 1808\,x_{61} \le 0$$

$$-6000\,y_2 + 4082\,x_{12} + 4082\,x_{22} + 2020\,x_{32} + 2020\,x_{42} + 1808\,x_{52} + 1808\,x_{62} \le 0$$

$$-6000\,y_3 + 4082\,x_{13} + 4082\,x_{23} + 2020\,x_{33} + 2020\,x_{43} + 1808\,x_{53} + 1808\,x_{63} \le 0$$

$$-6000\,y_4 + 4082\,x_{14} + 4082\,x_{24} + 2020\,x_{34} + 2020\,x_{44} + 1808\,x_{54} + 1808\,x_{64} \le 0$$

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} = 1$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} = 1$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} = 1$$

$$x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} = 1$$

$$x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} = 1$$

$$x_{61} + x_{62} + x_{63} + x_{64} = 1$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0, 1\} \text{ for all } i, j$$

สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมตริกที่สอดคล้องกับโปรแกรม MATLAB ดังนี้

ตัวแปรการตัดสินใจ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

$$X = \begin{bmatrix} y_1 \\ x_{11} \\ x_{21} \\ x_{31} \\ x_{41} \\ x_{51} \\ x_{61} \\ y_2 \\ x_{12} \\ x_{22} \\ x_{32} \\ x_{42} \\ x_{52} \\ x_{62} \\ y_3 \\ x_{13} \\ x_{23} \\ x_{33} \\ x_{43} \\ x_{53} \\ x_{63} \\ y_4 \\ x_{14} \\ x_{24} \\ x_{34} \\ x_{44} \\ x_{54} \\ x_{64} \end{bmatrix}$$

เวกเตอร์ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ หรือ f แสดงค่าได้ดังนี้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

$$f = \begin{Bmatrix} +6000 \\ -4082 \\ -4082 \\ -2020 \\ -2020 \\ -1808 \\ -1808 \\ +6000 \\ -4082 \\ -4082 \\ -2020 \\ -2020 \\ -1808 \\ -1808 \\ +6000 \\ -4082 \\ -4082 \\ -2020 \\ -2020 \\ -1808 \\ -1808 \\ +6000 \\ -4082 \\ -4082 \\ -2020 \\ -2020 \\ -1808 \\ -1808 \end{Bmatrix}$$

ในส่วนของเงื่อนไขนั้นสามารถเขียนเมตริกของ ค่าสัมประสิทธิ์ของส่วนที่เป็นอสมการ หรือ เมตริก A , เวกเตอร์ของค่าคงที่ของอสมการ b , ค่าสัมประสิทธิ์ในส่วนของสมการเงื่อนไข Aeq และเวกเตอร์ค่าคงที่ของสมการ beq ตามลำดับ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

$$A = \begin{bmatrix} -6000 & 4082 & 4082 & 2020 & 2020 & 1808 & 1808 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -6000 & 4082 & 4082 & 2020 & 2020 & 1808 & 1808 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -6000 & 4082 & 4082 & 2020 & 2020 & 1808 & 1808 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -6000 & 4082 & 4082 & 2020 & 2020 & 1808 & 1808 \end{bmatrix}$$

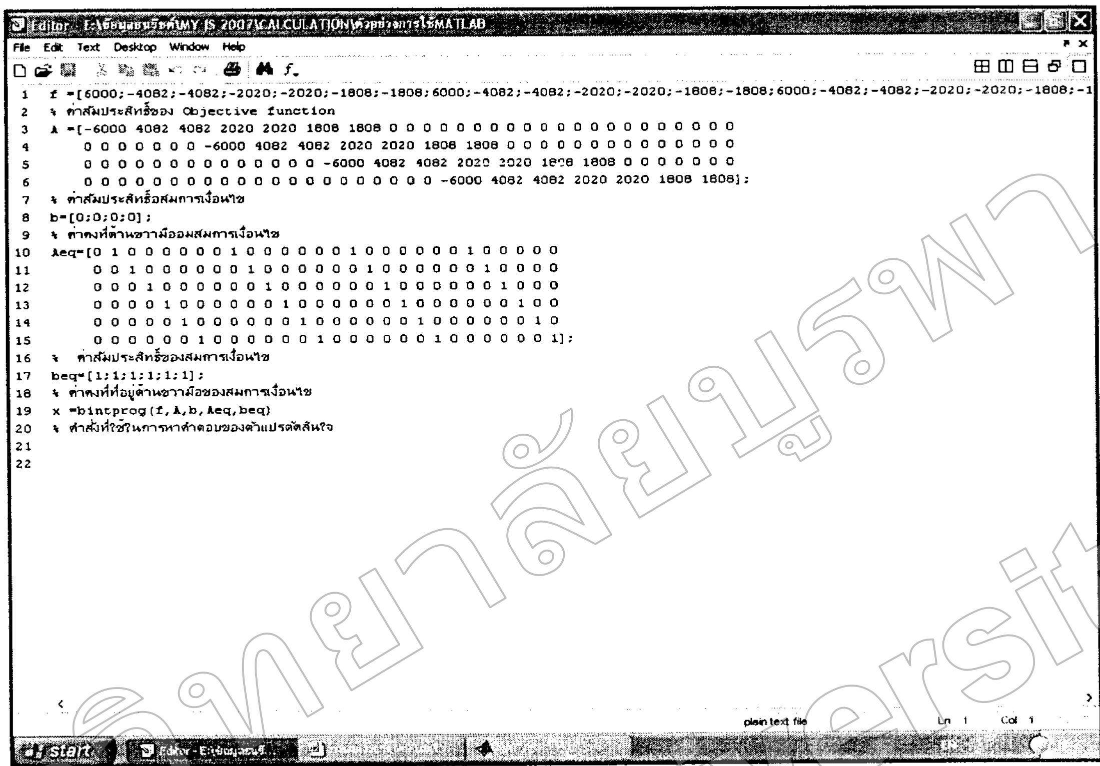
$$b = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$Aeq = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$beq = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

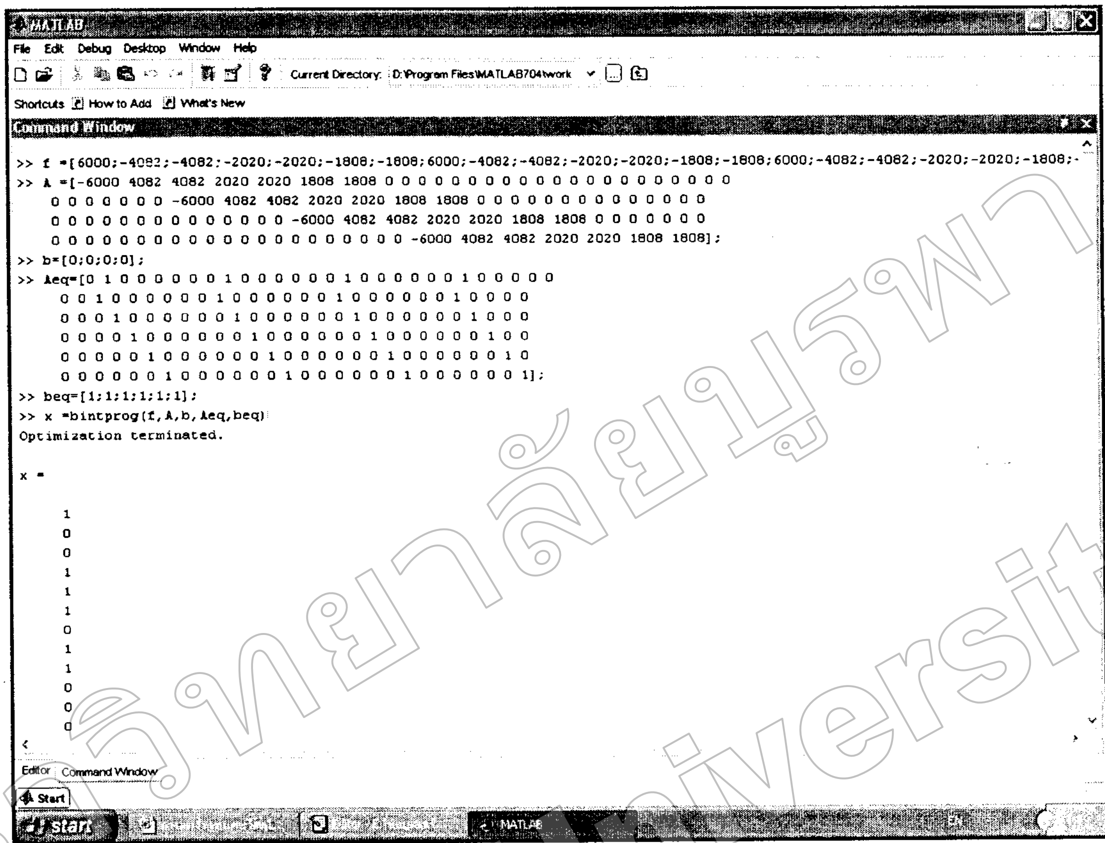
นำค่าของเมตริกและเวกเตอร์ข้างต้นนี้ไปป้อนข้อมูลลงใน M-File Editor ของโปรแกรม MATLAB จากนั้นนำไปหาผลลัพธ์ใน MATLAB Command Window ซึ่งในการป้อนข้อมูลนั้นจะเลือกวิธี ใดวิธีหนึ่ง หรือผสมหลายรูปแบบก็ได้ระหว่างวิธี Semicolon Method, Comma Method และ Enter Method ตามลำดับ ซึ่งตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรมแสดงในภาพที่ 3-6 และ 3-7 ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 3-6 แสดงตัวอย่างการป้อนข้อมูลใน M-File Editor

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 3-7 แสดงตัวอย่างของ MATLAB Command Window

นำผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม MATLAB มาประยุกต์ใช้ในรูปแบบของตารางได้ดังนี้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 3-5 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรม MATLAB

ลำดับที่ i	รหัสชิ้นงาน	ขนาดเหล็ก	ความยาว (l_i)	จำนวน (q_i)	เหล็กฉากเส้นที่ j				รวมจำนวนชิ้นงาน
					1	2	3	4	
1	I8A	L65×65×5	4082	1	0	1	0	0	1
2	I8A	L65×65×5	4082	1	0	0	1	0	1
3	C5	L65×65×5	2020	1	1	0	0	0	1
4	C5	L65×65×5	2020	1	1	0	0	0	1
5	D7	L65×65×5	1808	1	1	0	0	0	1
6	D7	L65×65×5	1808	1	0	1	0	0	1
ความยาวเหล็กดิบที่ถูกเลือกในการผลิต (มม.)					6000(1)	6000(1)	6000(1)	6000(0)	
รวมความยาวชิ้นงานที่ถูกเลือกในแต่ละเส้น (มม.)					5848	5890	4082	0	รวมเศษ
ความยาวของเศษเหล็กแต่ละเส้น (มม.)					152	110	1918	0	2180

จากตารางที่ 3-5 จะเห็นว่าความยาวรวมของชิ้นงานที่ถูกเลือกในแต่ละเส้นมีความยาวน้อยกว่าความยาวเหล็กดิบที่ใช้ในการผลิต (เงื่อนไขที่ 1) และจำนวนชิ้นงานที่ถูกตัดในแต่ละลำดับที่ i มีค่าเท่ากับจำนวนชิ้นงาน q_i (เงื่อนไขที่ 2) โดยที่ผลรวมของความยาวเศษเหล็กทั้งหมดเท่ากับ 2180 มม. (ค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University