

การวางแผนการตัดเหล็กแผ่นด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนเต็ม ศรายุทธ มาลัย

Planning of Steel Plate Cutting by Linear Integer Programming Sarayut Malai

สาขาวิชาเทคโนโลยีโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100
Civil Technology, Faculty of Industrial Technology, Lampang Rajabhat University, Chom-poo, Muang, Lampang 52100.
Corresponding Author. E-mail address: sarayut11@gmail.com

Received 13 June 2011; accepted 29 May 2012

บทคัดย่อ

เหล็กแผ่นมีความสำคัญในงานก่อสร้างที่ใช้โครงสร้างเหล็กรูปพรรณ โดยทำหน้าที่ยึดต่อโครงสร้างเหล็กแต่ละชิ้นเข้าด้วยกัน เหล็กแผ่นมีหลายชนิดและมีขนาดแตกต่างกัน ซึ่งในงานก่อสร้างมักอาศัยเพียงความชำนาญหรือประสบการณ์ของช่างตัดเหล็กในการออกแบบและตัดลีนใจตัดเหล็กแผ่นออกเป็นแผ่นย่อย ทำให้มีโอกาสสูญเสียและเหลือเศษเหล็กที่ไม่สามารถนำมาใช้งานได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนเต็มในการวางแผนการตัดเหล็กแผ่น ซึ่งเป็นปัญหาการตัดวัสดุสองมิติแบบกึ่งโยตินสำหรับการก่อสร้างอาคารหอประชุมใหญ่ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง โดยมีการดำเนินงานเริ่มจากการถอดแบบโครงสร้าง เพื่อนำข้อมูลไปวางแผนตัดวัสดุแบบสองมิติ ได้แก่ สร้างตัวแบบของปัญหา ทั้งปัญหาการตัดเหล็กแผ่นออกเป็นแถบ และปัญหาการจัดเรียงแถบแผ่นเหล็กด้วยเทคนิคการสร้างสตมภ์ แล้วคำนวณหาผลลัพธ์ด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนเต็ม และนำผลลัพธ์ที่ได้เปรียบเทียบกับบัญชีแสดงปริมาณวัสดุ ผลการวิจัยพบว่าโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนเต็มสามารถคำนวณหาวิธีการตัดเหล็กแผ่นที่มีความซับซ้อนคือ หลากหลายขนาด ได้ดีกว่าการตัดลีนใจตัดเหล็กแผ่นโดยอาศัยประสบการณ์ของผู้รับเหมา โดยลดปริมาณการใช้พื้นที่เหล็กแผ่นความหนา 10, 16 และ 20 มิลลิเมตร ได้ร้อยละ 0.75 ถึง 3.85 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่เหล็กแผ่นที่ใช้งานจริงของผู้รับเหมา

คำสำคัญ: การวางแผน การตัดวัสดุสองมิติแบบกึ่งโยติน การตัดเหล็กแผ่น โปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนเต็ม การสร้างสตมภ์

Abstract

Steel plate is an important material used in steel structure construction to hold the structural steel together. Steel plates come in a variety of types and sizes. Cutting large steel plates into smaller pieces requires expertise and experience on the part of technicians. Very often the cutting process results in offcuts of small pieces of steel plate, which are unused and are wasted. The purpose of this research was to use linear integer programming to find a solution to the problem of two-dimensional guillotine cutting for the building of a convention hall at Lampang Rajabhat University. The process included detailed estimation and formulation in order to formulate linear integer programming models for the strip cutting and generate strip pattern arrangement using a column generation technique. The information was calculated using linear programming and the result was compared with the bill of quantities. The result revealed that linear integer programming could be used effectively to compute complex cutting problems with a large number of different sized items. Linear integer programming is also able to reduce the area of steel plate used by approximately 0.75–3.85% for 10, 16 and 20 mm thick steel plate when compared with a conventionally technician-designed process.

Keywords: planning, two-dimensional guillotine cutting, steel plate cutting, linear integer programming, column generation

บทนำ

การก่อสร้างด้วยโครงสร้างเหล็กรูปพรรณเป็นระบบก่อสร้างที่รวดเร็ว ประหยัดเวลา นำหนักเบา อัตราการสูญเสียวัสดุต่ำ เพิ่มพื้นที่ใช้สอยได้มากและรับแรงสั่นสะเทือนได้ดีกว่าโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่การยึดต่อโครงสร้างเหล็กรูปพรรณแต่ละชิ้นส่วนเข้าด้วยกันต้องมีความมั่นคงแข็งแรง เพื่อกระจายแรงกระทำระหว่างโครงสร้างและเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ โดยตัดเหล็กแผ่นออกเป็นชิ้นมีขนาดความกว้าง ความยาว และความหนาที่แตกต่างกัน เช่น แผ่นเหล็กทรงใต้คาน แผ่นเหล็กทรงหัวเสา แผ่นเหล็กเสริมข้างคาน และแผ่นเหล็กปะกั เป็นต้น การวางแผนตัดเหล็กแผ่นของผู้รับผิดชอบ

ในงานมักเป็นการสั่งซื้อเหล็กแผ่นขนาดมาตรฐานมาจากโรงงาน แล้วอาศัยความชำนาญและประสบการณ์ของช่างตัดเหล็กในการออกแบบและตัดลีนใจตัดเหล็กออกเป็นแผ่นย่อย ไม่มีเครื่องมือช่วยในการวางแผน ทำให้มีโอกาสเหลือเศษเหล็กที่ไม่สามารถนำมาใช้งานได้ปริมาณมาก โดยเฉพาะในงานก่อสร้างขนาดใหญ่ ซึ่งมีความต้องการใช้เหล็กแผ่นขนาดแตกต่างกันเป็นจำนวนมาก

การวางแผนการตัดวัสดุด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรง (linear programming) และเทคนิคการสร้างสตมภ์ (column generation) มีการศึกษาโดย Gilmore & Gomory (1961, 1963) เพื่อใช้แก้ปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติให้มีการสูญเสียวัสดุน้อยที่สุด โดยพิจารณาที่ความยาวและจำนวนชิ้นที่ต้องการตัดเป็นหลัก ศรายุทธ (2553) ประยุกต์ใช้

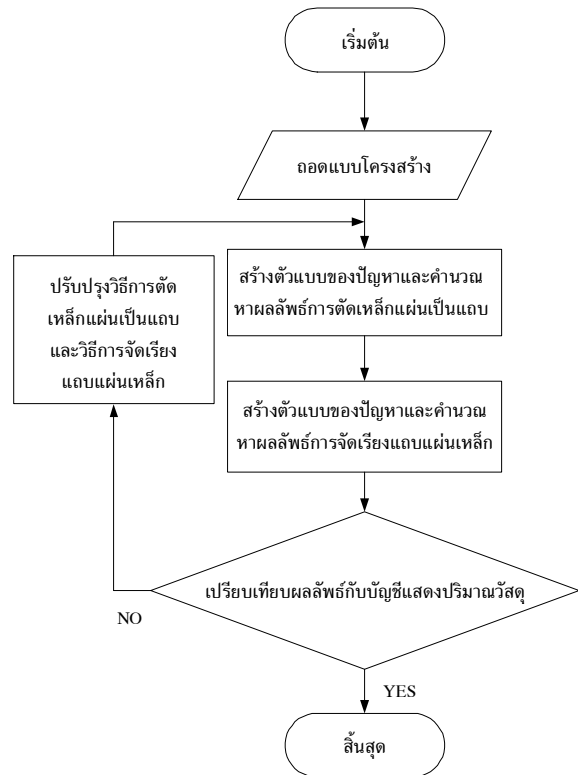
เทคนิคดังกล่าวในการควบคุมการตัดเหล็กรูปพรรณ โดยใช้โครงการก่อสร้างขนาดกลางเป็นกรณีศึกษา พบว่า ช่วยลดการสูญเสียเหล็กได้ถึง 6.11% เมื่อเทียบกับไม่มีการวางแผน เทคนิคการสร้างสดมภ์ยังมีการประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคนิคการบรรจุของใส่ถุง (knapsack problem) สำหรับการวางแผนตัดท่อเหล็กสำหรับโรงงานผลิตลูกกลิ้งลำเลียงและอุปกรณ์ขับสายพาน โดยพบว่าสามารถลดปริมาณการใช้ท่อเหล็กและลดความสูญเสียจากการเหลือเศษเหล็กลงได้ (อากาศกร และวิชัย, 2553) Dychhoff (1990) นำเสนอการจำแนกประเภทและจัดกลุ่มปัญหาการตัดและบรรจุ (cutting and packing problem) ซึ่งต่อมามีการปรับปรุงโดย Wäscher et al. (2007) หนึ่งในปัญหาการตัดวัสดุที่มีการศึกษากันทั่วไปคือการตัดวัสดุแบบสองมิติ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการตัดชิ้นงานรูปร่างสี่เหลี่ยมมุมฉากให้มีขนาดเล็กลงจากแผ่นวัสดุขนาดใหญ่ ในปี ค.ศ.1965 Gilmore & Gomory ขยายผลการแก้ปัญหาการตัดวัสดุจากหนึ่งมิติเป็นหลายมิติ โดยใช้เทคนิคการสร้างสดมภ์เช่นเดียวกับการตัดวัสดุหนึ่งมิติ ซึ่งต่อมามีการศึกษาอย่างกว้างขวางเพื่อพัฒนาเทคนิคและวิธีการให้เหมาะสมกับปัญหา เช่น วิธีการ AND/OR-graph สำหรับปัญหาการตัดวัสดุสองมิติแบบนอนกิโอติน (Arenales & Morabito, 1995) วิธีการฮิวริสติก (heuristic algorithm) (Ghandforoush & Daniel, 1992) และวิธีการทางพันธุกรรม (genetic algorithms) (Ono, 1999) สำหรับปัญหาการตัดวัสดุสองมิติแบบกิโอติน เป็นต้น วรภัทร และคณะ (2550) ศึกษาแบบจำลองบนโปรแกรมกระตาคำนวณโดยใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรง เพื่อแก้ปัญหาการตัดวัสดุรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก ผลการศึกษาพบว่า เมื่อคำนวณโดยกำหนดข้อจำกัดเป็นอัตราส่วนความต้องการได้ผลลัพธ์ในการใช้แผ่นวัสดุน้อยที่สุดเทียบกับคำนวณ โดยข้อจำกัดของพื้นที่และอัตราส่วนของผลกำไร ออมใจ และอนันต์ (2551) ประยุกต์ใช้วิธีการทางพันธุกรรมเพื่อพัฒนาระบบสนับสนุน การตัดสินใจสำหรับปัญหาการตัดวัสดุสองมิติแบบกิโอติน โดยสามารถคำนวณหารูปแบบการจัดเรียงชิ้นงานได้เหมาะสมและลดระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อนำเสนอการวางแผนการตัดเหล็กแผ่น ซึ่งเป็นการตัดวัสดุสองมิติแบบกิโอตินด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนเต็มและเทคนิคการสร้างสดมภ์ โดยศึกษากรณีอาคารหอประชุมใหญ่ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง เพื่อหารูปแบบการตัดที่เหมาะสมให้มีการใช้เหล็กแผ่นมาตรฐานอย่างคุ้มค่า ลดการสูญเสียวัสดุและปริมาณเศษเหล็ก ซึ่งเป็นผลให้ต้นทุนในการใช้วัสดุก่อสร้างลดลงและเพิ่มผลกำไรในการปฏิบัติงาน

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการ

การวางแผนการตัดเหล็กแผ่นด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงของอาคารหอประชุมใหญ่ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

มีวิธีการดำเนินงานโดยเริ่มจากการถอดแบบโครงสร้าง นำข้อมูลที่ได้ออกแบบของปัญหาเพื่อใช้วิเคราะห์หาผลลัพธ์ของวิธีการตัดสองมิติแบบกิโอตินด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนเต็มโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป WinQSB แล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์ของวิธีการตัดเหล็กแผ่นกับบัญชีแสดงปริมาณวัสดุของผู้รับเหมาหลัก มีขั้นตอนการดำเนินงานสรุปได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ฟังการควบคุมการตัดเหล็กแผ่นด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบ เลขจำนวนเต็ม

1. การถอดแบบโครงสร้าง

การถอดแบบโครงสร้างเป็นการศึกษาแบบก่อสร้างและรายการประกอบแบบก่อสร้างอย่างละเอียด เพื่อสำรวจปริมาณงานและปริมาณวัสดุที่จะต้องใช้ในการวางแผนการตัดเหล็กแผ่น เริ่มจากศึกษาแบบก่อสร้างและมาตรฐานข้อกำหนดในการก่อสร้างแล้วสำรวจจำนวนและขนาดของแผ่นเหล็กปะกบและแผ่นเหล็กทรงทิวเสา นำข้อมูลที่ได้ออกแบบการตัดเหล็กแผ่น ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 5 กลุ่มตามความหนา คือ 6, 10, 15, 16 และ 20 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดและปริมาณของแผ่นเหล็กจัดเรียงตามขนาดความหนา

ความหนา (มิลลิเมตร)	จำนวน (ขนาด)	ขนาดของแผ่นเหล็ก	จำนวน (ชั้น)
6	1	แผ่นเหล็กปะกั๊บ ขนาด 75x250 มิลลิเมตร	64
		แผ่นเหล็กปะกั๊บ ขนาด 83x200 มิลลิเมตร	76
10	3	แผ่นเหล็กปะกั๊บ ขนาด 83x150 มิลลิเมตร	2,212
		แผ่นเหล็กปะกั๊บ ขนาด 59x105 มิลลิเมตร	794
15	1	แผ่นเหล็กทรงหัวเสา ขนาด 350x350 มิลลิเมตร	90
16	2	แผ่นเหล็กทรงหัวเสา ขนาด 350x350 มิลลิเมตร	26
		แผ่นเหล็กทรงหัวเสา ขนาด 300x300 มิลลิเมตร	28
20	4	แผ่นเหล็กทรงหัวเสา ขนาด 600x600 มิลลิเมตร	28
		แผ่นเหล็กทรงหัวเสา ขนาด 500x500 มิลลิเมตร	12
		แผ่นเหล็กทรงหัวเสา ขนาด 400x450 มิลลิเมตร	16
		แผ่นเหล็กปะกั๊บ ขนาด 165x200 มิลลิเมตร	82

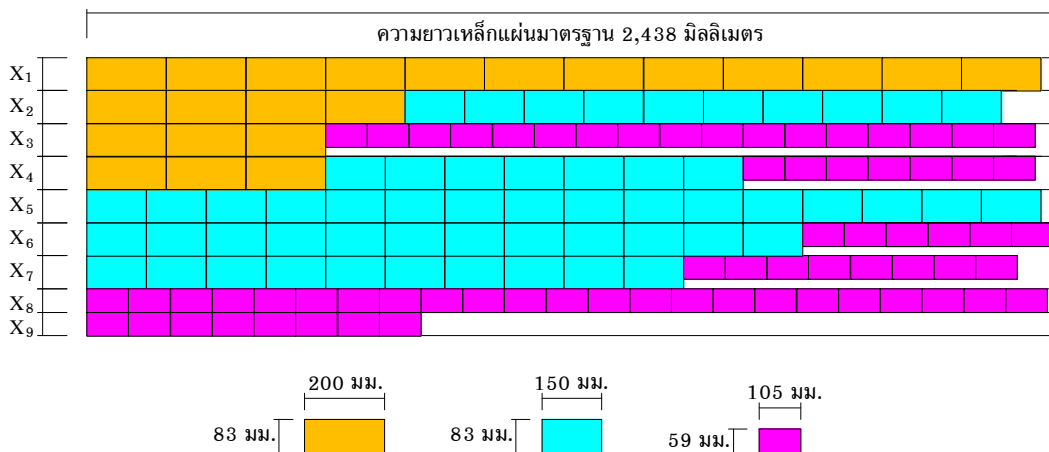
2. การตัดวัสดุสองมิติ

การตัดเหล็กแผ่น ซึ่งในงานก่อสร้างนิยมใช้เหล็กแผ่นมาตรฐานขนาด 1,219x2,438 มิลลิเมตร (4x8 ฟุต) มาออกแบบการตัดเป็นชิ้นงานย่อยรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก เรียกว่า แผ่นเหล็ก ตามขนาดและจำนวนที่ต้องการ เป็นการตัดวัสดุสองมิติแบบกึ่งโยติน คือ ต้องมีการตัดเหล็กออกเป็นแถบตามแนวยาวของเหล็กแผ่นแนวเดียวก่อน (เพื่อความสะดวกของผู้ปฏิบัติงาน) แล้วจึงนำแผ่นเหล็กที่ตัดเป็นแถบแล้วมาตัดตามความยาวของแผ่นเหล็กย่อยที่ต้องการอีกครั้งหนึ่ง

2.1 การออกแบบการตัดเหล็กแผ่นออกเป็นแถบ เป็นการกำหนดความกว้างของแผ่นเหล็กย่อยที่ต้องการลงบนด้านกว้างของเหล็กแผ่นมาตรฐานหรือตัดออกเป็นแถบตามแนวยาว และกำหนดความยาวแผ่นเหล็กย่อยลงบนแต่ละแถบ แล้วใช้เทคนิคการสร้างสดมภ์หรือการสร้างวิธีการตัดใหม่ เพื่อเพิ่มกลุ่มการตัดเหล็กแผ่นและกระจายปริมาณของเศษเหล็กแผ่นที่เหลือไปยังความยาวอื่นจนได้ผลลัพธ์ตรงจำนวนที่ต้องการและจำนวนของเหล็กแผ่นลดย่อยลงมามีวิธีการดังนี้

2.1.1 ออกแบบวิธีการตัดเหล็กแผ่น แต่ละกลุ่มมีความยาวรวมไม่เกิน 2,438 มิลลิเมตร และไม่เกินกว่า

จำนวนที่ต้องการ ซึ่งการออกแบบวิธีตัดเหล็กแผ่นต้องให้มีจำนวนตัวแบบมากที่สุด ด้วยเทคนิคการสร้างสดมภ์หรือการสร้างวิธีการตัดใหม่ โดยเลือกออกแบบวิธีการตัดแผ่นเหล็กที่มีขนาดใหญ่มากที่สุดในกลุ่มก่อน แล้วกระจายเศษเหล็กที่เกิดจากการตัดนั้นไปยังแผ่นเหล็กขนาดอื่น ๆ เช่น ต้องการตัดเหล็กแผ่นความหนา 10 มิลลิเมตร ให้มีขนาด 83x200 มิลลิเมตร จำนวน 76 ชั้น และ 83x150 มิลลิเมตร จำนวน 2,212 ชั้น สามารถออกแบบการตัดตามแนวยาว X_1 (รูปที่ 2) ได้ขนาด 83x200 มิลลิเมตร จำนวน 12 ชั้น เหลือเศษความยาวอีก 38 มิลลิเมตร ซึ่งไม่สามารถนำเศษที่เหลือไปใช้ได้ ซึ่งถ้าออกแบบการตัดตามแนวยาว X_2 ได้ขนาด 83x200 มิลลิเมตร จำนวน 4 ชั้น เหลือเศษความยาวอีก 1,638 มิลลิเมตร สามารถนำเศษที่เหลือไปใช้กับขนาด 83x150 มิลลิเมตร อีกจำนวน 10 ชั้น ซึ่งเป็นการเพิ่มสดมภ์หรือเพิ่มตัวแบบของปัญหานั้นเอง ตัวอย่างวิธีการตัดรูปแบบต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2 และการออกแบบวิธีการตัดแผ่นเหล็กแสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างวิธีการตัดแผ่นเหล็กความหนา 10 มิลลิเมตร 9 รูปแบบ ($X_1 - X_9$)

ตารางที่ 2 ตัวอย่างการออกแบบวิธีการตัดแผ่นเหล็กความหนา 10 มิลลิเมตร

ขนาดแผ่นเหล็ก สี่เหลี่ยมมุมฉาก (มิลลิเมตร)		จำนวนแผ่นเหล็กที่ได้จากการตัดเหล็กแผ่นความหนา 10 มิลลิเมตรในรูปแบบต่าง ๆ (แผ่น)								
ความกว้าง	ความยาว	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
83	200	12	4	3	3					
83	150		10		7	16	12	10		
59	105			17	7		6	8	23	8
พื้นที่การตัดเหล็กแผ่น (ตารางเมตร)		0.1992	0.1909	0.1551	0.1803	0.1992	0.1866	0.1741	0.1425	0.0496

2.1.2 สร้างตัวแบบของปัญหาการตัดวัสดุแบบ
กิโลติน เป็นการนำข้อมูลทั้งหมดของปัญหาที่ต้องการหา
ผลลัพธ์มาสร้างให้อยู่ในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ ประกอบ
ด้วย 3 ส่วน คือ สมการเป้าหมาย ข้อจำกัด และตัวแปร
ไม่เป็นลบ โดยเขียนเป็นโปรแกรมเชิงเส้นตรง ดังนี้

สมการเป้าหมาย
Minimize $Z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n$ (1)

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

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

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

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

โดยที่ Z คือ สมการเป้าหมาย
X_j คือ การตัดวัสดุที่เป็นทางเลือก ซึ่งต้องการหา
ค่า; j=1, 2, 3, ..., n

C คือ ต้นทุนหรือพื้นที่ของวิธีการตัดวัสดุ X_j ใน
สมการเป้าหมายซึ่งมีค่าคงที่ ; j=1, 2, 3, ..., n

a_{ij} คือ จำนวนชิ้นส่วนของความยาวเหล็กแผ่น l_i
โดยวิธีการตัดที่ j

b_i คือ จำนวนที่ต้องการของแต่ละขนาดเหล็กแผ่น l_i
ซึ่งตัวแบบของปัญหาการตัดวัสดุ มีทั้งหมด 5 ตัวแบบ
(ตามขนาดความหนาของเหล็กแผ่น) โดยยกตัวอย่าง
ตัวแบบของปัญหาวิธีการตัดแผ่นเหล็กความหนา 10
มิลลิเมตร แสดงในตารางที่ 3

2.1.3 การคำนวณหาผลลัพธ์ของวิธีการตัดวัสดุ
ด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนเต็มด้วยโปรแกรม
WinQSB ทำโดยป้อนข้อมูลตัวแบบของปัญหา (ตามที่
ออกแบบในข้อ 2.1.2) ได้แก่ สมการเป้าหมาย ข้อจำกัด
และตัวแปรไม่เป็นลบ ลงในโปรแกรม WinQSB แล้วคำนวณ
หาผลลัพธ์ของจำนวนแถบและวิธีการตัดเหล็กแผ่น จาก
นั้นตรวจสอบปริมาณเหล็กแผ่นที่ต้องการแต่ละวิธีการตัด
ถ้ามีจำนวนเหล็กแผ่นที่ตัดด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงเกิน
กว่าจำนวนที่ต้องการให้ย้อนกลับไปออกแบบวิธีการตัดเหล็ก
แผ่นใหม่ โดยเพิ่มกลุ่มวิธีการตัดแผ่นเหล็กและกระจาย
ปริมาณเศษเหล็กไปยังความยาวอื่น (เทคนิคการสร้าง
สมมติใหม่) ตามขั้นตอนในข้อ 1 จนได้ผลลัพธ์เท่ากับ
จำนวนที่ต้องการ

2.2 การจัดเรียงแถบแผ่นเหล็กเพื่อคำนวณรูปแบบ
การตัด เป็นการนำผลลัพธ์ของการตัดเหล็กแผ่นออก
เป็นแถบประกอบด้วยรูปแบบของเหล็กแผ่นแต่ละแถบ
และจำนวนแถบมาสร้างเป็นตัวแบบของปัญหา โดยจัด
เรียงแถบแผ่นเหล็กรูปแบบต่างๆ วางขนานกันตามด้าน
กว้างของเหล็กแผ่นมาตรฐาน และมีค่าไม่เกินกว่า 1,219
มิลลิเมตร และใช้เทคนิคการสร้างสมมติเพื่อหาปริมาณ
การใช้เหล็กแผ่นมาตรฐานที่น้อยที่สุด โดยยกตัวอย่างตัว
แบบของปัญหาการจัดเรียงแถบแผ่นเหล็กความหนา 10
มิลลิเมตรตามแนวกว้าง แสดงในตารางที่ 4 และ 5 จากนั้น
นำตัวแบบของปัญหาไปคำนวณหาผลลัพธ์ของวิธีการตัด
วัสดุด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนเต็มตามวิธี
การในข้อ 2.1.3

ตารางที่ 3 ตัวแบบของปัญหาวิธีการตัดแผ่นเหล็กความหนา 10 มิลลิเมตร

1. สมการเป้าหมาย	
$Z=0.1992X_1+0.1909X_2+0.1551X_3+0.1803X_4+0.1992X_5+0.1866X_6+0.1741X_7+0.1425X_8+0.0496X_9$	
2. ข้อจำกัด	
83x200 มิลลิเมตร	$12X_1+4X_2+3X_3+3X_4 \geq 76$
83x150 มิลลิเมตร	$10X_2+7X_4+16X_5+12X_6+10X_7 \geq 2,212$
59x105 มิลลิเมตร	$17X_3+7X_4+6X_6+8X_7+23X_8+8X_9 \geq 794$
3. ตัวแปรไม่ติดลบ	
$X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 X_7 X_8 X_9 \geq 0$	

ตารางที่ 4 รูปแบบการจัดเรียงวิธีการตัดแผ่นเหล็กความหนา 10 มิลลิเมตร

วิธีการตัดเหล็กแผ่น	จำนวนแถบแผ่นเหล็กที่ใช้ในการจัดเรียงตามแนวกว้างรูปแบบต่างๆ (แถบ)					จำนวนรวมของแถบที่ต้องการ
X_i	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	(แถบ)
X_2	1					1
X_3	6					6
X_4	4		14			18
X_5	3	14				129
X_6					1	1
X_8				20	4	24
X_9					1	1

ตารางที่ 5 ตัวแบบของปัญหาการจัดเรียงแถบแผ่นเหล็กความหนา 10 มิลลิเมตร

1. สมการเป้าหมาย
$Z = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5$
2. ข้อจำกัด
X_2 $1Y_1 \geq 1$
X_3 $6Y_1 \geq 1$
X_4 $4Y_1 + 14Y_3 \geq 18$
X_5 $3Y_1 + 14Y_2 \geq 129$
X_6 $1Y_5 \geq 1$
X_8 $20Y_4 + 4Y_5 \geq 24$
X_9 $1Y_5 \geq 1$
3. ตัวแปรไม่ติดลบ
$Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 \geq 0$

3. การเปรียบเทียบปริมาณการใช้เหล็กแผ่นตามหลักเกณฑ์ของกรมบัญชีกลาง ผู้รับเหมาและโปรแกรมเชิงเส้นตรง

ปริมาณการใช้เหล็กแผ่นขนาดความหนา 6, 10, 15, 16 และ 20 มิลลิเมตร สำหรับตัดเป็นแผ่นเหล็กย่อยเพื่อใช้เป็นแผ่นเหล็กปะกั๊บและแผ่นเหล็กทรงหัวเสา

สำหรับการก่อสร้างโครงสร้างเหล็กของอาคารหอประชุมใหญ่ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง รวบรวมข้อมูลมาจาก 3 แหล่ง คือ การถอดแบบคำนวณตามหลักเกณฑ์ของกรมบัญชีกลาง ปริมาณการใช้เหล็กแผ่นจริงของผู้รับเหมา และการตัดเหล็กแผ่นด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนเต็ม

ผลการศึกษา

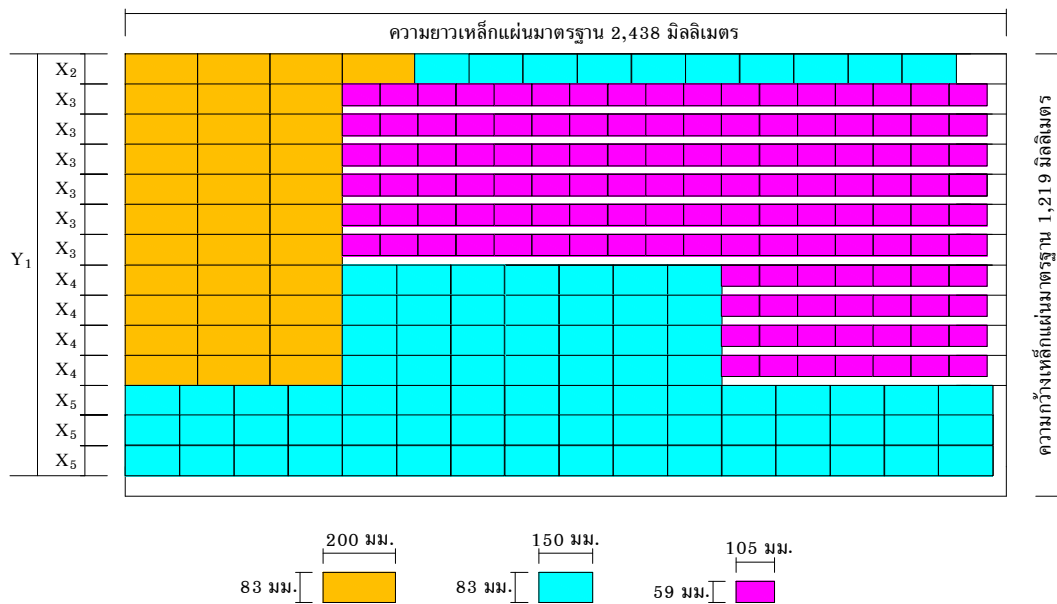
การตัดเหล็กแผ่นสองมิติแบบกึ่งโยตินด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรง ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ การออกแบบการตัดเหล็กแผ่นออกเป็นแถบก่อน แล้วจัดเรียงแถบแผ่นเหล็กเพื่อหารูปแบบการตัดที่ดีที่สุด โดยหลังจากออกแบบวิธีการตัดเหล็กแผ่นแบบต่างๆ (รูปที่ 1) แล้วนำมาคำนวณหาผลลัพธ์ของวิธีการตัดแผ่นเหล็กออกเป็นแถบด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนเต็ม ได้ผลการตัดเหล็กออกมาเป็นจำนวนแถบของแต่ละรูปแบบการตัด โดยตัวอย่างผลการตัดแผ่นเหล็กความหนา 10 มิลลิเมตร แสดงในตารางที่ 6 จากนั้นนำผลดังกล่าวมาสร้างตัวแบบของปัญหาสำหรับคำนวณหาผลลัพธ์ของการจัดเรียงแถบแผ่นเหล็กเพื่อให้ได้ชิ้นงานตามขนาดและจำนวนที่ต้องการผลการจัดเรียงแถบแผ่นเหล็ก สำหรับตัวอย่างความหนา 10 มิลลิเมตร แสดงในตารางที่ 7 โดยพบว่าต้องใช้เหล็กแผ่นมาตรฐานความหนา 10 มิลลิเมตรจำนวนทั้งหมด 13 แผ่น และตัวอย่างวิธีการจัดเรียงแถบแผ่นเหล็กแบบ Y_1 และ Y_3 แสดงดังรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ผลการตัดแผ่นเหล็กความหนา 10 มิลลิเมตร

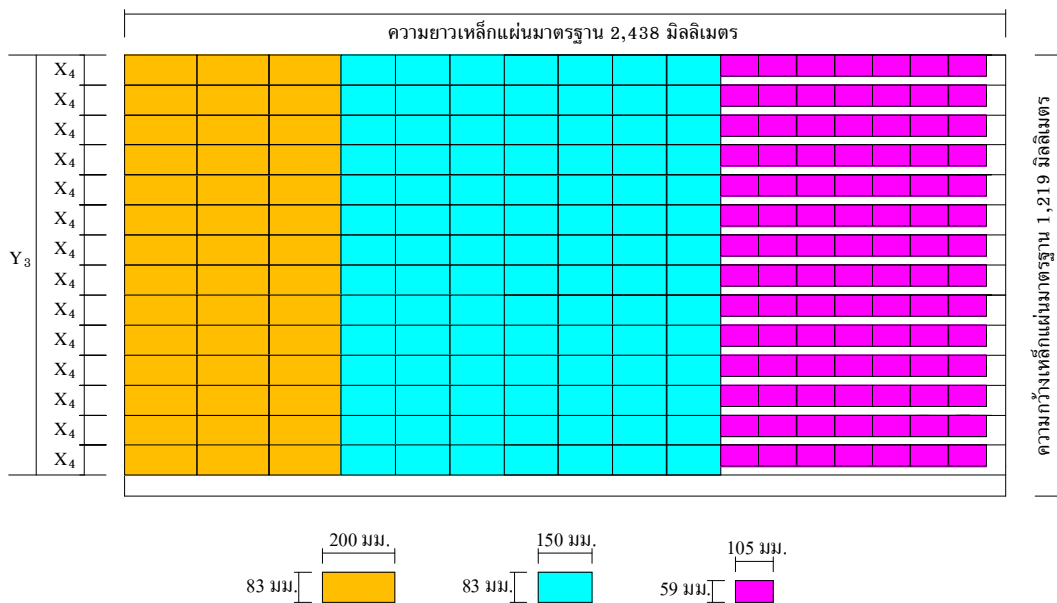
วิธีการตัดแผ่นเหล็ก	ขนาดของแถบตามแนวยาว	จำนวนแถบ (แถบ)
X_2	83x2,438 มิลลิเมตร	1
X_3	83x2,438 มิลลิเมตร	6
X_4	83x2,438 มิลลิเมตร	18
X_5	83x2,438 มิลลิเมตร	129
X_6	83x2,438 มิลลิเมตร	1
X_8	59x2,438 มิลลิเมตร	24
X_9	59x2,438 มิลลิเมตร	1
รวมทั้งสิ้น		180

ตารางที่ 7 ผลการจัดเรียงแถบแผ่นเหล็กความหนา 10 มิลลิเมตร

วิธีการตัดแบบกิโลติน			วิธีการจัดเรียงแถบแผ่นเหล็ก				
วิธีการตัดแผ่นเหล็ก	ขนาด (มิลลิเมตร)	จำนวนแถบที่ต้องการ (แถบ)	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅
X ₂	83x2,438	1	1				
X ₃	83x2,438	6	6				
X ₄	83x2,438	18	4		14		
X ₅	83x2,438	129	3	14			
X ₆	83x2,438	1					1
X ₈	59x2,438	24				20	4
X ₉	59x2,438	1					1
จำนวนเหล็กแผ่นมาตรฐานที่ใช้ในการจัดเรียง (แผ่น)			1	9	1	1	1



รูปที่ 3 ตัวอย่างการจัดเรียงแถบแผ่นเหล็กความหนา 10 มิลลิเมตร รูปแบบ Y₁



รูปที่ 4 ตัวอย่างการจัดเรียงแถบแผ่นเหล็กความหนา 10 มิลลิเมตร รูปแบบ Y₃

วัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงถ้าชิ้นงานที่ต้องการตัดมีความหลากหลายมาก (Valério de Carvalho, 2002) การใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงในการคำนวณการตัดเหล็กแบบสองมิติมีข้อดี คือ สามารถอธิบายเป็นรูปแบบหรือวิธีการตัดเหล็กและบอกปริมาณเหล็กแผ่นที่ใช้ทำให้ควบคุมปริมาณวัสดุได้ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้โปรแกรมและวิธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาการตัดวัสดุแบบสองมิติมีรายงานในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น กระเจก (Dyson & Gregory, 1974) ไม้อัด (Morabito & Garcia, 1998) ม่านบังแสง (Gelder & Wagelmans, 2007) และ ผ้า (Javanshir et al., 2010) เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณแผ่นดิน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2554

ผู้วิจัยขอขอบคุณรองศาสตราจารย์วิชัย ฤกษ์ฤทธิ์ตถะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และรองศาสตราจารย์ศวีวรรณ ฤกษ์ฤทธิ์ตถะ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่กรุณาให้คำแนะนำการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

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

ออมใจ ฉลาด และอนันต์ มุ่งวัฒนา. (2551). ระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้วยการใช้วิธีการทางพันธุกรรมสำหรับการตัดแบ่งแบบ 2 มิติที่ใช้เครื่องตัดแบบก๊วยตั้น. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46 วันที่ 29 มกราคม-1 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551*. กรุงเทพฯ.

อาภากร ฮีมินกุล และวิชัย รุ่งเรืองอนันต์. (2553). การประยุกต์เทคนิคการสร้างสมรรถนะสำหรับปัญหาการตัดแบ่งแบบหนึ่งมิติ กรณีศึกษา โรงงานผลิตลูกกลิ้งลำเลียงและอุปกรณ์ขับสายพาน. *Thai VCML*, 3(2), 87-94.

Arenales, M.N., & Morabito, R. (1995). An AND/OR-graph approach to the solution of two-dimensional non-guillotine cutting problems. *European Journal of Operational Research*, 84, 599-617.

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

Dyson, R.G., & Gregory, A.S. (1974). The cutting stock problem in the flat glass industry. *Operational Research Quarterly*, 25, 41-53.

Gelder, E.R., & Wagelmans A.P.M. (2009). The two-dimensional cutting stock problem within the roller blind production process. *Statistica Neerlandica*, 63(4), 474-489.

Ghandforoush, P., & Daniels, J.J. (1992). A Heuristic algorithm for the guillotine constrained cutting stock problem. *ORSA Journal on Computing*, 4(3), 351-356.

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

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

Gilmore, P.C., & Gomory, R.E. (1965). Multistage cutting stock problems of two and more dimensions. *Operations Research*, 13(1), 94-120.

Javanshir, H., Rezaei, S., Najar, S.S., & Ganji S.S. (2010). Two-dimensional cutting stock management in fabric industries and optimizing the large object's length. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 4(3), 243-249.

Morabito, R., & Garcia, V. (1998). The cutting stock problem in a hardboard industry: A case study. *Computers and Operations Research*, 25(6), 469-485.

Ono, T. (1999). Optimizing two-dimensional guillotine cut by genetic algorithms. *Proceeding of the ninth ajou-fit-nust joint seminar*. 12, 40-47.

Valério de Carvalho, J.M. (2002). Lp models for bin packing and cutting stock problem. *European Journal of Operational Research*, 141(2), 253-273.

Wäscher, G., Haußner, H., & Schumann, H. (2007). An improved typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*, 183, 1109-1130.