วิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาเศษตัดริมในโรงงานกระดาษ

นางสาวสุคนธ์ทิพย์ เพิ่มศิลป์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

A SOLUTION METHOD FOR TRIM LOSS PROBLEMS IN A PAPER MILL

Miss Sukonthip Puemsin

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	วิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาเศษตัดริมในโรงงานกระดาษ
โดย	นางสาวสุคนธ์ทิพย์ เพิ่มศิลป์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปวีณา เชาวลิตวงศ์)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

……กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สีรง ปรีชานนท์)

……กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. กัญจนา ทองสนิท)

สุคนธ์ทิพย์ เพิ่มศิลป์ : วิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาเศษตัดริมในโรงงานกระดาษ.
(A SOLUTION METHOD FOR TRIM LOSS PROBLEMS IN A PAPER MILL)
อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร. วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ, 95 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัญหาเศษตัดริมกระดาษ ในขั้นตอนวางแผนแปรรูปของโรงงานผลิตกระดาษแห่งหนึ่ง ซึ่งมีเครื่องจักรสำหรับแปรรูปที่แตกต่างกันสามเครื่อง คือ เครื่องกรอม้วน และเครื่องตัดแผ่นสองเครื่อง ปัญหาที่ทำการศึกษาคือการเลือกรูปแบบการตัด และความยาวของรูปแบบการตัด สำหรับแปรรูปม้วนวัตถุดิบขนาดใหญ่ให้กลายเป็นม้วนวัตถุดิบขนาดเล็กหรือกระดาษตัดแผ่น เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า วิธีการหาคำตอบจะใช้โปรแกรมเชิงเส้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการแปรรูปน้อยที่สุด แต่รูปแบบสมการที่สร้างขึ้นมาอยู่ในรูปแบบ Non-convex mixed integer non -linear programming (MINLP) เนื่องจากมีสมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัดบางข้อที่ไม่เป็นเส้นตรง จึงใช้วิธีการ 2 ขั้นตอนในการแปลงให้กลายเป็น Convex mixed integer linear programming (MILP) โดยในขั้นตอนแรกจะสร้างรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ เพื่อทำให้รูปแบบการตัดที่เป็นตัวแปรตัดสินใจกลายเป็นตัวแปรที่ทราบค่า จากนั้นจึงนำเข้าสู่การหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้น นอกจากนี้ในส่วนของการแปรรูปกระดาษตัดแผ่น ที่มีเครื่องจักรในการแปรรูปสองเครื่อง จะใช้วิธีการฮิวริสติกในการจัดสรรผลิตภัณฑ์เข้าแปรรูป เพื่อลดการใช้เครื่องจักรใดเครื่องจักรหนึ่งจนเกินกำลังการผลิต

โดยผลจากการใช้วิธีการหาคำตอบของเศษตัดริมกระดาษด้วยโปรแกรมเชิงเส้น ร่วมกับวิธีฮิวริสติกในการจัดสรรผลิตภัณฑ์เข้าแปรรูป จะลดความสูญเสียในการแปรรูปกระดาษกรอม้วนได้ 49.33 % และกระดาษตัดแผ่นได้ 28.19% หรือคิดเป็นมูลค่าที่ลดลงได้เฉลี่ย 900,000 บาทต่อเดือน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีปัจจุบันที่ใช้ประสบการณ์ของพนักงานวางแผนแปรรูป และลดเวลาในการวางแผนแปรรูปรายสัปดาห์เหลือเพียง 3 ชั่วโมง จากเดิมที่ใช้เวลาเฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อการวางแผนแปรรูปแต่ละครั้ง

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2554 .....

5271543721: MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: TRIM LOSS PROBLEM / PAPER CONVERTING / CUTTING PATTERNS

SUKONTHIP PUEMSIN: A SOLUTION METHOD FOR TRIM LOSS PROBLEMS IN A PAPER MILL. ADVISOR: ASST.PROF. WIPAWEE THARMMAPORNPILAS, Ph.D., 95 pp.

This thesis propose trim loss solution method in paper converting process in a paper mill which have three difference converting machines, one cutting roll machine and two cutting sheet machines. The problems is select cutting patterns and determine cutting length of converting small roll and sheet from large raw paper roll for satisfying customer orders. The solution method use linear programming model to minimizing paper loss in converting process, however the objective function and some constraints are in bilinear term but the problem can solve by use two step procedure to transform non-convex mixed integer non -linear programming (MINLP) to mixed integer linear programming (MILP). In first step all feasible cutting patterns will be generating to replace decision variable in bilinear terms and second step, input the feasible cutting patterns to minimize paper loss. For the two cutting sheet machines applied heuristic procedure assign product groups to each machine, in order to minimize machine over capacity.

Computational results instances show that the propose solution method outperforms manual method by reducing paper loss 49.33 % in cutting roll converting process and 28.19% in cutting sheet converting process, corresponding to 900,000 baht of monthly cost reduction and reducing weekly converting planning time from 8 hours to 3 hours per times

Department: Industrial Engineering Student's Signature .....

Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year: 2011 .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทาง เป็นแรงผลักดัน และเป็นกำลังใจจนผู้วิจัยจนสามารถทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พีรพล ศิริพงศ์วุฒิกร ผู้ที่คอยช่วยเหลืออยู่เบื้องหลังมาโดยตลอด ผู้วิจัยมีความซาบซึ้งใจในความกรุณาของอาจารย์ทั้งสองท่านเป็นอย่างมาก

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ปวีณา เชาวลิตวงศ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. สีรง ปรีชานนท์ และ อ.ดร.กัญจนา ทองสนิท กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสในการสอบครั้งนี้ และได้ให้คำแนะนำ ชี้แนะข้อบกพร่อง เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ให้วิชาความรู้ตลอดระยะเวลาที่ศึกษาระดับปริญญาโท ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ เพื่อนำความรู้นั้นมาเป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณครอบครัว เพื่อนๆ และผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่คอยช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ และเป็นกำลังใจตลอดระยะเวลาที่ทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ จ

กิตติกรรมประกาศ ฉ

สารบัญ ช

สารบัญตาราง ฌ

สารบัญภาพ ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย 4

1.5 ผลที่ได้รับ 4

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

บทที่ 3 กระบวนการผลิตและวางแผนแปรรูปผลิตภัณฑ์ 11

3.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน 11

3.2 การวางแผนแปรรูปผลิตภัณฑ์ 14

3.3 ขั้นตอนในการหาคำตอบ 18

บทที่ 4 การสร้างรูปแบบการตัด 19

4.1 การสร้างรูปแบบการตัดสำหรับกระดาษที่แปรรูปด้วย Slitter 19

4.2 การสร้างรูปแบบการตัดสำหรับกระดาษที่แปรรูปด้วย Cutter 23

บทที่ 5 การหาคำตอบสำหรับเครื่องจักรแปรรูป Slitter 25

5.1 การสร้างรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมด 28

5.2 การหาคำตอบจากโปรแกรมเชิงเส้น 30

5.2.1 โปรแกรมเชิงเส้นที่ 1 30

5.2.2 โปรแกรมเชิงเส้นที่ 2 37

บทที่ 6 การหาคำตอบสำหรับเครื่องจักรแปรรูป Cutter 45

6.1 การสร้างรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมด 49

6.2 วิธีการฮิวริสติกในการจัดสรรผลิตภัณฑ์เข้าเครื่องตัดแปรรูป 50

. 6.2.1 ฮิวริสติกในการนำกลุ่มผลิตภัณฑ์ เข้าสู่โปรแกรมเชิงเส้น 52

6.2.2. ฮิวริสติกในการจัดลำดับกลุ่มผลิตภัณฑ์ เข้าสู่โปรแกรมเชิงเส้น 59

6.3 การหาคำตอบจากโปรแกรมเชิงเส้น 61

หน้า

6.3.1 การหาจำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ต้องเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 61
6.3.2 การหาความสูญเสียจากการแปรรูปน้อยที่สุด 68
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 75
7.1 สรุปผลการวิจัย 75
7.2 อภิปรายผลการวิจัย 76
7.3 ข้อเสนอแนะ 77
รายการอ้างอิง 78
ภาคผนวก 80
ภาคผนวก ก อัลกอริทึมสำหรับสร้างรูปแบบการตัด 81
ภาคผนวก ข โปรแกรมเชิงเส้น 85
ข1. โปรแกรมเชิงเส้นสำหรับกระดาษกรอม้วน 86
ข2. โปรแกรมเชิงเส้นสำหรับกระดาษตัดแผ่น 89
ข2.1 โปรแกรมเชิงเส้นสำหรับหาจำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ต้องเข้าแปรรูป Cutter 2 89
ข2.2 โปรแกรมเชิงเส้นสำหรับหาความสูญเสียในกระบวนการแปรรูปน้อยที่สุด 92
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 95

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 รูปแบบปัญหาจากการทบทวนบทความที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการตัดแปรรูป 8
ตารางที่ 3.1 ปริมาณการผลิตกระดาษไม่เคลือบผิวและเคลือบผิวในเดือนมกราคม-เมษายน ปี 2554 11
ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างคำสั่งซื้อจากฝ่ายการตลาดสำหรับกระดาษแผ่น 14
ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างคำสั่งซื้อจากฝ่ายการตลาดสำหรับกระดาษกรอม้วน 14
ตารางที่ 4.1 คำสั่งซื้อและข้อจำกัดในการแปรรูปของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน 21
ตารางที่ 4.2 รูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน 22
ตารางที่ 4.3 คำสั่งซื้อและข้อจำกัดในการแปรรูปของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่น 24
ตารางที่ 4.4 รูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่น 24
ตารางที่ 5.1 ตัวอย่างคำสั่งซื้อของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน 26
ตารางที่ 5.2 ผลการคำนวณจำนวนม้วน และความยาวม้วนของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน 27
ตารางที่ 5.3 ตัวแปรที่ใช้ในการสร้างรูปแบบการตัดของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน 28
ตารางที่ 5.4 รูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมดของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน 29
ตารางที่ 5.5 ตัวแปรของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วนที่ใช้ในการหาคำตอบด้วยแบบจำลอง เส้นตรงที่ 1 34
ตารางที่ 5.6 การเลือกรูปแบบการตัดและจำนวนครั้งที่ใช้ สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน 34
ตารางที่ 5.7 จำนวนม้วนผลิตภัณฑ์แต่ละขนาดที่ผลิต สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน 34
ตารางที่ 5.8 เปรียบเทียบความสูญเสียในกระบวนการแปรรูปสำหรับกระดาษกรอม้วน ระหว่างการใช้โปรแกรมเชิงเส้นที่ 1 และวิธีการเดิม 36
ตารางที่ 5.9 ตัวแปรของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วนที่ใช้ในการหาคำตอบด้วยแบบจำลอง เส้นตรงที่ 2 42
ตารางที่ 5.10 การเลือกรูปแบบการตัดและจำนวนครั้งที่ใช้ สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน 42
ตารางที่ 5.11 จำนวนม้วนผลิตภัณฑ์แต่ละขนาดที่ผลิต สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน 43
ตารางที่ 5.12 เปรียบเทียบความสูญเสียในกระบวนการแปรรูปสำหรับกระดาษกรอม้วน ระหว่างการใช้โปรแกรมเชิงเส้นที่ 2 และวิธีการเดิม 44
ตารางที่ 6.1 คำสั่งซื้อของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่น 47
ตารางที่ 6.2 ผลการคำนวณความยาวที่ต้องแปรรูปของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่น 48
ตารางที่ 6.3 ตัวแปรที่ใช้ในการสร้างรูปแบบการตัดของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่น 49
ตารางที่ 6.4 รูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมดของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่น 50
ตารางที่ 6.5 ผลลัพธ์ของจำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ต้องเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 51
ตารางที่ 6.6 ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนฮิวริสติกในการนำกลุ่มผลิตภัณฑ์ เข้าสู่โปรแกรมเชิงเส้น 58
ตารางที่ 6.7 ผลลัพธ์ของปริมาณความสูญเสียกระดาษ และกำลังการผลิต Cutter 2 ที่ใช้ 58

หน้า

ตารางที่ 6.8 ปริมาณความสูญเสียกระดาษ เปรียบเทียบระหว่างการใช้กำลังการผลิตขั้นต่ำ
และกำลังการผลิตเกินพอ 59
ตารางที่ 6.9 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมเชิงเส้น โดยใช้การเรียงลำดับตามความสูญเสียที่เกิดขึ้นหาก
ไม่ได้ใช้ Cutter 2 ในการแปรรูป 60
ตารางที่ 6.10 ตัวแปรของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่นที่ใช้ในการหาคำตอบ
ด้วยโปรแกรมเชิงเส้น 66
ตารางที่ 6.11 การเรียงลำดับรูปแบบการตัดของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่นที่ใช้ในการหาคำตอบ
ด้วยโปรแกรมเชิงเส้น 67
ตารางที่ 6.12 ผลที่ได้จากการหาคำตอบ ของม้วนผลิตภัณฑ์ที่เข้าแปรรูปน้อยสุดที่ Cutter 2
ของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A 67
ตารางที่ 6.13 ตัวแปรที่ของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่นที่ใช้ในการหาคำตอบด้วยแบบจำลอง
เส้นตรง 72
ตารางที่ 6.14 ผลลัพธ์ของรูปแบบการตัดที่เลือกใช้ และความยาวในการแปรรูป ($p_{j,k}$) ของกลุ่ม
ผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่น 72
ตารางที่ 6.15 ปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ขนาดต่างๆ ของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่น 73
ตารางที่ 6.16 เปรียบเทียบความสูญเสียในกระบวนการแปรรูปสำหรับกระดาษตัดแผ่น ระหว่างการใช้
โปรแกรมเชิงเส้นและวิธีการเดิม 74

สารบัญภาพ

หน้า

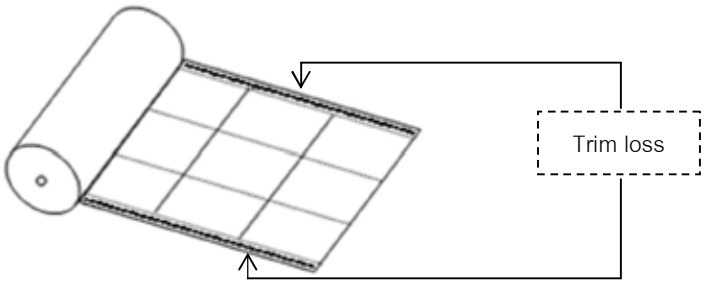
ภาพที่ 1.1 การเกิดเศษตัดริมกระดาษ (Trim loss) จากแปรรูปกระดาษตัดแผ่น 1
ภาพที่ 1.2ก ปริมาณความสูญเสียจากสาเหตุต่าง ๆ ที่พบในขั้นตอนแปรรูปกระดาษ 2
ภาพที่ 1.2ข ปริมาณความสูญเสียจากเศษตัดริมกระดาษ เปรียบเทียบกับความสูญเสียจากสาเหตุอื่นๆ 2
ภาพที่ 1.3 ขอบเขตในการวางแผนแปรรูปกระดาษ 3
ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการผลิตกระดาษ 12
ภาพที่ 3.2 การแปรรูปกระดาษแบบกรอม้วน 13
ภาพที่ 3.3 การแปรรูปกระดาษแบบตัดแผ่น 13
ภาพที่ 3.4 ข้อจำกัดในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ของเครื่องจักรแปรรูป 16
ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนของการวางแผนแปรรูปกระดาษตัดแผ่น 17
ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนในการหาคำตอบสำหรับปัญหาเศษตัดริมกระดาษ 18
ภาพที่ 4.1 ลักษณะการแปรรูปด้วยเครื่อง Slitter 19
ภาพที่ 4.2 การตัดแปรรูปของ Cutter 1 และ Cutter 2 23
ภาพที่ 5.1 ลักษณะการแปรรูปด้วยเครื่อง Slitter 25
ภาพที่ 5.2 ขั้นตอนในการหาคำตอบสำหรับปัญหาเศษตัดริมกระดาษของเครื่องจักรแปรรูป Slitter 26
ภาพที่ 6.1 ลักษณะการแปรรูปของเครื่อง Cutter 1 45
ภาพที่ 6.2 ลักษณะการแปรรูปของเครื่อง Cutter 2 46
ภาพที่ 6.3 ขั้นตอนในการหาคำตอบสำหรับปัญหาเศษตัดริมกระดาษ ของเครื่องจักรแปรรูป Cutter 47
ภาพที่ 6.4 ขั้นตอนฮิวริสติกในการนำกลุ่มผลิตภัณฑ์ เข้าสู่โปรแกรมเชิงเส้น 53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตกระดาษประเภทพิมพ์และเขียน มีเครื่องจักรสำหรับผลิตกระดาษและเครื่องจักรแปรรูปกระดาษเบื้องต้นก่อนส่งไปยังลูกค้า การผลิตสินค้าเป็นแบบตามสั่ง เริ่มต้นด้วยการรับคำสั่งซื้อของลูกค้าผ่านฝ่ายการตลาด แล้วนำคำสั่งซื้อมาวางแผนผลิตและแปรรูปโดยการจัดรูปแบบการตัดลงบนม้วนวัตถุดิบ และหาความยาวในการตัด เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อคำสั่งซื้อได้ทั้งหมด โดยส่วนที่ทำการศึกษาจะเป็นกระบวนการวางแผนแปรรูปซึ่งมีความหลากหลายของ รูปแบบคำสั่งซื้อทั้งแบบม้วนและแบบแผ่น ขนาดที่ต้องการ ปริมาณที่แตกต่างกัน และข้อจำกัดของเครื่องจักรแปรรูป ซึ่งหากไม่สามารถจัดรูปแบบการตัดลงให้เต็มหน้ากว้างของม้วนวัตถุดิบ ก็จะทำให้เกิดเศษตัดริมกระดาษเกิดขึ้นซึ่งแสดงดังภาพที่ 1.1

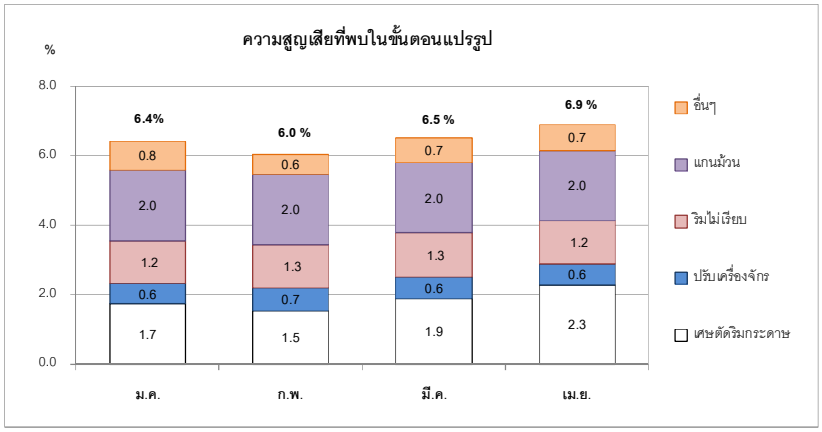


ภาพที่ 1.1 การเกิดเศษตัดริมกระดาษ (Trim loss) จากการแปรรูปกระดาษตัดแผ่น

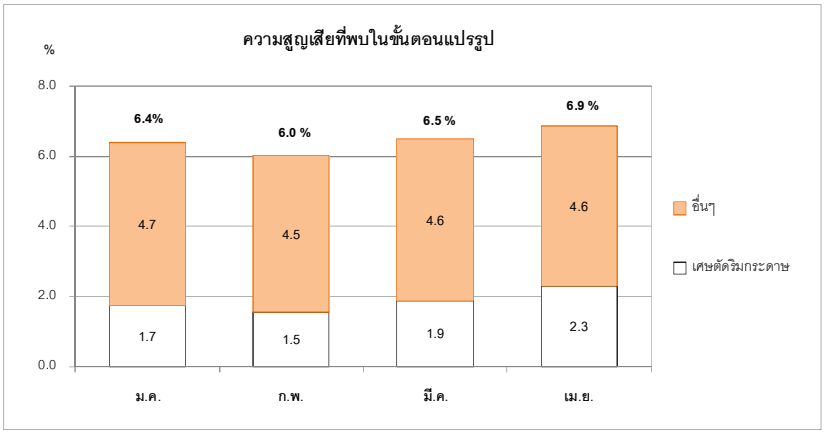
เศษตัดริมกระดาษที่เกิดขึ้นนั้น เป็นกระดาษที่ผ่านขั้นตอนการผลิตและใช้ทรัพยากรในการผลิตครบแล้วทุกขั้นตอน การลดเศษตัดริมกระดาษในกระบวนการวางแผนแปรรูปจะทำให้ลดต้นทุนในการผลิตได้ในทางหนึ่ง ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณความสูญเสียจากเศษตัดริมกระดาษกับความสูญเสียจากสาเหตุอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนแปรรูป ปี 2554 ตั้งแต่มกราคมถึงเมษายน แสดงดังภาพที่ 1.2 ซึ่งนอกจากเศษตัดริมกระดาษแล้ว ยังมีความสูญเสียจากสาเหตุอื่นๆ ที่พบในขั้นตอนแปรรูป ดังนี้

- แกนม้วน เป็นกระดาษที่มีลักษณะยับในตอนเริ่มต้นเปลี่ยนม้วนกระดาษใหม่ มีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนม้วนที่เครื่องผลิตกระดาษ ซึ่งเกิดขึ้นคงที่ ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนม้วนกระดาษ
- ริมไม่เรียบ เป็นกระดาษบริเวณขอบที่ไม่เรียบจะต้องเจียนริมทิ้ง เป็นความสูญเสียที่เกิดขึ้นคงที่ตลอดความยาวของม้วนกระดาษ
- ปรับเปลี่ยนเครื่องจักร เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนม้วนวัตถุดิบแปรรูป หรือมีการเปลี่ยนรูปแบบการตัด

- อื่นๆ เช่น กระดาษยับภายในม้วน, ยับบริเวณรอยต่อกระดาษ เคลือบน้ำยาเคลือบไม่สม่ำเสมอ กระดาษเป็นลอนคลื่น จะเป็นความสูญเสียที่เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอ ขึ้นอยู่กับการควบคุมกระบวนการผลิตในขณะนั้น



ก)



ข)

ภาพที่ 1.2 ก) ปริมาณความสูญเสียจากสาเหตุต่างๆ ที่พบในขั้นตอนแปรรูปกระดาษ
ข) ปริมาณความสูญเสียจากเศษตัดริมกระดาษ เปรียบเทียบกับความสูญเสียจากสาเหตุอื่นๆ

ความสูญเสียที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นความสูญเสียที่เกิดขึ้นคงที่ เช่น แกนม้วน ริมไม่เรียบ แต่เศษตัดริมกระดาษเป็นความสูญเสียที่จัดการได้ด้วยการวางแผนแปรรูป ซึ่งการวางแผนแปรรูปในปัจจุบันใช้ความชำนาญและประสบการณ์ของพนักงานเพียงคนเดียวในการดำเนินการ ซึ่งหากพนักงานคนนี้เกษียณอายุจะไม่มีผู้ที่สามารถทำงานแทนได้ การฝึกฝนพนักงานใหม่ให้มีความชำนาญก็ต้องใช้ระยะเวลา ในช่วงแรกพนักงานใหม่ต้องใช้เวลาในการวางแผนแปรรูป และจัดรูปแบบการตัดนานกว่าพนักงานผู้มีประสบการณ์ และอาจจะทำให้เกิดเศษตัดริมกระดาษในการวางแผนแปรรูปมากขึ้น

งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมาย เพื่อหาคำตอบสำหรับปัญหาเศษตัดริมกระดาษ โดยสร้างวิธีการเลือกเครื่องจักรแปรรูปและจัดรูปแบบการตัด เพื่อมุ่งลดความสูญเสียจากเศษตัดริมกระดาษ

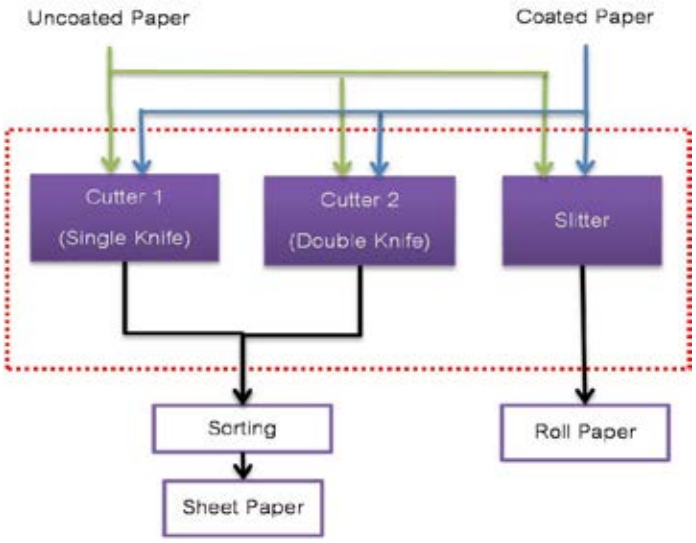
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาวิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาเศษตัดริมกระดาษ ในกระบวนการแปรรูปของโรงงานกรณีศึกษา ครอบคลุมตั้งแต่ การเลือกเครื่องจักรสำหรับแปรรูป การจัดรูปแบบการตัด และความยาวของแต่ละรูปแบบการตัด โดยมุ่งลดความสูญเสียจากเศษตัดริมกระดาษ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษากระบวนการวางแผนแปรรูปของโรงงานกรณีศึกษา มีขอบเขต ดังนี้

1. ผลิตสินค้าเป็นแบบตามสั่ง วางแผนแปรรูปโดยรับคำสั่งซื้อของลูกค้าผ่านฝ่ายการตลาดรายสัปดาห์
2. พิจารณาเฉพาะความสูญเสียที่เกิดจากการวางแผนแปรรูปเท่านั้น
3. เครื่องจักรในการแปรรูปกระดาษ มี 3 เครื่อง คือ Slitter, Cutter 1 และ Cutter 2
4. ไม่พิจารณาในกรณีที่เครื่องจักรแปรรูปเสีย หรือเหตุฉุกเฉินอื่นๆ
5. ไม่นำกำหนดส่งสินค้ามาใช้ในการตัดสินใจ เนื่องจากสามารถวางแผนได้ตั้งแต่ขั้นตอนการผลิต
6. การวิจัยครอบคลุมเฉพาะขั้นตอนการแปรรูป โดยไม่พิจารณาขั้นตอนอื่น ๆ ของกระบวนการผลิตกระดาษ ดังแสดงในภาพที่ 1.3



ภาพที่ 1.3 ขอบเขตในการวางแผนแปรรูปกระดาษ

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการแปรรูปกระดาษของโรงงาน โดยศึกษาถึงเครื่องจักรที่ใช้ในการแปรรูป ขั้นตอนและวิธีการวางแผนแปรรูปกระดาษ

2. วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในการวางแผนแปรรูปกระดาษ เพื่อระบุปัญหาให้ชัดเจน

3. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4. รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

5. ออกแบบวิธีการสำหรับแก้ปัญหา

6. สร้างวิธีการ เพื่อหาคำตอบสำหรับปัญหาเศษตัดริมกระดาษ

7. เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการหาคำตอบด้วยวิธีการใหม่และวิธีการเดิม

8. วิเคราะห์และสรุปผลจากการวิจัย

9. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ผลที่ได้รับ

วิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาเศษตัดริมกระดาษ ครอบคลุมตั้งแต่การเลือกเครื่องจักรสำหรับแปรรูป การจัดรูปแบบการตัด และการหาความยาวของแต่ละรูปแบบการตัด

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดความสูญเสียกระดาษในกระบวนการแปรรูป

2. ลดเวลาในการวางแผนแปรรูป

3. สามารถนำวิธีการหาคำตอบ ไปพัฒนาใช้กับเครื่องจักรอื่น ๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการแปรรูปกระดาษ หรือลักษณะอื่นที่ใกล้เคียง สามารถแบ่งตามมิติของการแปรรูปได้เป็น 3 ประเภท คือหนึ่งมิติ หนึ่งมิติครึ่ง และสองมิติ โดยการแปรรูปแบบหนึ่งมิติจะพิจารณาเงื่อนไขของการแปรรูปเพียงมิติเดียว เช่น พิจารณาเฉพาะความกว้างหรือความยาวของผลิตภัณฑ์อย่างใดอย่างหนึ่ง ส่วนมิติที่เหลือจะไม่นำมาพิจารณา แตกต่างจากการแปรรูปแบบสองมิติ ที่จะพิจารณาเงื่อนไขของการแปรรูปทั้งมิติความกว้างและมิติความยาว ส่วนการแปรรูปแบบหนึ่งมิติครึ่ง จะมีเงื่อนไขที่ซับซ้อนกว่าแบบหนึ่งมิติแต่ง่ายกว่าสองมิติ เช่น มีเงื่อนไขของการแปรรูปทั้งมิติความกว้างและความยาว แต่ลดความซับซ้อนลง ด้วยการไม่พิจารณามิติความยาวของม้วนวัตถุดิบ เนื่องจากการตัดแปรรูปสามารถนำแต่ละม้วนวัตถุดิบมาต่อความยาวออกไปได้เรื่อยๆ หรือกำหนดให้ความยาวการตัดม้วนผลิตภัณฑ์เท่ากับความยาวม้วนวัตถุดิบ

ในอดีตที่ผ่านมา มีผู้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการลดความสูญเสียในกระบวนการแปรรูปโดยใช้วิธีการที่แตกต่างกัน เช่น การแก้ปัญหาแบบ bin packing โดยการบรรจุสิ่งของที่ต้องการลงใน bin เป้าหมายคือการใช้จำนวน bin น้อยที่สุดและสามารถตอบสนองความต้องการได้ทั้งหมด เช่น Cintra และคณะ [1] ได้ศึกษาปัญหาการตัด และปัญหา bin packing พบว่าลักษณะพื้นฐานของปัญหาใกล้เคียงกัน และได้แสดงให้เห็นว่า สามารถนำอัลกอริทึมสำหรับปัญหา bin packing มาใช้สำหรับปัญหาการตัดได้, Vahrenkamp [2] ก็ได้นำรูปแบบ bin packing มาแก้ปัญหาการตัดแปรรูปแบบหนึ่งมิติ ด้วยวิธีการฮิวริสติกแบบต่อเนื่องกัน (sequential heuristic) อัลกอริทึมนี้จะค้นหารูปแบบการตัดที่ทำให้เกิดเศษริมกระดาษอยู่ภายในขอบเขตที่กำหนด ผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาแบบ bin packing จะสุ่มตามจำนวนครั้งที่กำหนด และสุดท้ายจะประมวลผลจากคำตอบที่ได้จากการสุ่มทั้งหมด เพื่อเลือกรูปแบบของการตัดที่ทำให้เกิดเศษริมกระดาษต่ำที่สุด ต่อมา Loh และคณะ [3] ได้พัฒนาการแก้ปัญหา bin packing โดยใช้หลักการของ weight annealing และฮิวริสติก เพื่อหาคำตอบในปัญหาตัดแปรรูปหนึ่งมิติ ส่วน Macedo และคณะ [4] ก็ได้ใช้พื้นฐานของ bin packing มาพัฒนาแบบจำลอง arc-flow สำหรับแก้ปัญหาการตัดแบบสองมิติ, Kantorovich [5] เสนอแบบจำลองเชิงเส้นสำหรับปัญหาการตัดแปรรูปหนึ่งมิติ ที่มีรูปแบบปัญหาใกล้เคียงกับ bin packing โดยมีเป้าหมายเพื่อทำให้จำนวนม้วนวัตถุดิบที่ใช้ในการตัดเป็นผลิตภัณฑ์ต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังมี Leung และคณะ [6] ที่ใช้รูปแบบการแก้ปัญหาแบบ knapsack packing สองมิติ คือการบรรจุของรูปสี่เหลี่ยมชิ้นเล็กจำนวนหนึ่งลงในแผ่นสต๊อกที่มีขนาดใหญ่กว่า โดยมีเป้าหมายคือทำให้บรรจุสิ่งของลงไปได้มากที่สุด งานวิจัยนี้ใช้กลยุทธ์ฟิตเนส (fitness strategy) เพื่อหาว่าควรจะบรรจุสิ่งของชิ้นใดลงไปเป็นลำดับแรก และใช้วิธีฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมาในการแก้ปัญหา แต่อย่างไรก็ตามวิธีการที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเหมาะสมหรับวิธีการแปรรูปที่ไม่ซับซ้อน เช่นการแปรรูปแบบหนึ่งมิติ หรือแปรรูปด้วยเครื่องตัดแบบ guillotine ซึ่งแตกต่างจากปัญหาการแปรรูปในงานวิจัยนี้

ซึ่งอีกวิธีการหนึ่งที่ได้รับความนิยมในการนำมาแก้ปัญหาการตัดแปรรูปคือ การใช้โปรแกรมเชิงเส้น เช่น งานวิจัยของ Schilling และ Georgiadis [7] ที่เสนอโปรแกรมคณิตศาสตร์ สำหรับปัญหาการตัดหนึ่งมิติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างผลกำไรสูงสุด โดยคิดจากรายได้จากการขาย ต้นทุนของการใช้วัตถุดิบต้นทุนของการปรับเปลี่ยนรูปแบบการตัด และต้นทุนจากการเกิดเศษตัดริมกระดาษ แบบจำลองที่สร้างขึ้นจะอยู่ในรูปของ

mixed integer linear programming (MILP) อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ไม่ได้กล่าวถึงรายละเอียดเรื่องความยาวม้วนวัตถุดิบและม้วนผลิตภัณฑ์ ซึ่งหากเป็นการตัดแปรรูปแบบสองมิติที่กล่าวถึงทั้งความกว้างและความยาวของม้วนวัตถุดิบและม้วนผลิตภัณฑ์ พบว่าส่วนใหญ่โปรแกรมเชิงเส้นจะเป็น non-convex เนื่องจากมีสมการวัตถุประสงค์ หรือสมการข้อจำกัดที่ไม่เป็นเส้นตรง ถึงแม้กระนั้นก็มีผู้ทำการศึกษาและเสนอวิธีแก้ปัญหาเพื่อให้สามารถหาคำตอบของปัญหาได้ โดย Harjunkoski และคณะ [8] ได้ศึกษาปัญหาเศษตัดริมกระดาษในอุตสาหกรรมแปรรูปกระดาษ การแปรรูปเป็นแบบหนึ่งมิติครึ่ง คือ กำหนดให้ความยาวของม้วนผลิตภัณฑ์เท่ากับม้วนวัตถุดิบโดยต้องการผลิตกลุ่มของม้วนผลิตภัณฑ์จากม้วนวัตถุดิบที่เก็บสต๊อกไว้ ต้นทุนที่ใช้พิจารณาคือเสียเศษริมกระดาษและใช้เวลาในการตัดแปรรูปน้อยที่สุด แต่โปรแกรมเชิงเส้นที่สร้างขึ้นมาได้จะเป็น non-convex integer non-linear programming (INLP) เนื่องจากมีสมการวัตถุประสงค์ และสมการข้อจำกัดบางข้อที่ไม่เป็นเส้นตรง เนื่องจากติดอยู่ในรูปตัวแปรตัดสินใจสองตัวคูณกัน หรือที่เรียกว่า bilinear จึงนำเสนอ 2 วิธีการที่แตกต่างกัน ในการแปลงให้สมการ bilinear กลายเป็นสมการเส้นตรง คือ 1.แทนค่าตัวแปรตัดสินใจที่คูณกัน คือ รูปแบบการตัดและจำนวนครั้งที่ใช้รูปแบบการตัด ด้วยตัวแปรไบนารี (binary variable) และตัวแปรสแล็ค (slack variable) เพื่อทำให้ตัวแปรนั้นมีค่าเป็นไบนารี จะทำให้ได้โปรแกรมเชิงเส้นแบบ mixed integer linear programming (MILP) 2. ตั้งสมมติฐานให้หนึ่งในสองตัวแปรตัดสินใจเป็นตัวแปรที่ทราบค่า ในที่นี้จะกำหนดให้รูปแบบการตัดเป็นตัวแปรที่ทราบค่า จะทำให้ได้โปรแกรมเชิงเส้นแบบ integer linear programming (ILP) ซึ่งต่อมา Rodriguez และ Vecchietti [9] ได้ใช้ทั้งสองวิธีการของ Harjunkoski และคณะ [8] ในการแก้ปัญหาการวางแผนและการตัดแบบสองมิติในอุตสาหกรรมกล่องลูกฟูก ที่มีวัตถุดิบในการผลิตคือม้วนกระดาษชนิดต่าง ๆ ที่มีความกว้างและความยาวที่แตกต่างกัน การผลิตต้องนำม้วนกระดาษมาประกบกันเป็นกระดาษลูกฟูก แล้วนำเข้าขั้นตอนการตัดแผ่น ซึ่งมีใบมีดตัดในแนวยาว 5 ใบมีด และแนวขวาง 2 ใบมีด ซึ่งทำให้เกิดรูปแบบการตัดที่หลากหลาย โดยเป้าหมายคือการหารูปแบบการตัดที่เหมาะสม และจำนวนรูปแบบการตัดที่ต้องใช้ในการแปรรูปเพื่อให้เกิดต้นทุนน้อยที่สุด จากการใช้ทั้งสองวิธีการพบว่าวิธีการแทนค่าตัวแปรตัดสินใจด้วยตัวแปรไบนารีและตัวแปรสแล็คจะสร้างตัวแปรและสมการข้อจำกัดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปัญหามีความซับซ้อนมากขึ้น และแทบไม่มีความเป็นไปได้ในการหาคำตอบ ส่วนวิธีการตั้งสมมติฐานให้หนึ่งในสองตัวแปรตัดสินใจเป็นตัวแปรที่ทราบค่า (เรียกว่า วิธีการ 2 ขั้นตอน) ทำให้ตัวแปรและสมการข้อจำกัดลดลง จึงส่งผลให้ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยลง ซึ่งก่อนหน้านี้ Diegel และคณะ [10] ได้ใช้วิธีการสร้างรูปแบบการตัด ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับวิธีการ 2 ขั้นตอน เพื่อแก้ปัญหาขนาดเล็ก สำหรับการตัดแบบหนึ่งมิติ เป้าหมายคือ ผลิตให้ได้ตามความต้องการ โดยเก็บสต๊อกน้อยที่สุด, ลดเศษตัดริม และจำนวนครั้งในการปรับเครื่องจักรน้อยที่สุด

Westerlund และคณะ [11] ได้เสนอวิธีการแปลงปัญหาการตัดแบบสองมิติในรูป non-convex mixed integer non -linear programming (MINLP) ให้กลายเป็นโปรแกรมเชิงเส้นแบบ mixed integer linear programming (MILP) ด้วยวิธีการ 2 ขั้นตอน เพื่อทำให้รูปแบบปัญหากลายเป็น MILP ซึ่งใกล้เคียงกับวิธีของ Harjunkoski และคณะ [8] โดยในขั้นตอนแรกจะกำหนดขอบเขตความกว้างของรูปแบบการตัด แล้วสร้างรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมดออกมา ก็จะทำให้ตัวแปรตัดสินใจกลายเป็นตัวแปรที่ทราบค่า เพื่อที่จะนำเข้าสู่การหาคำตอบในขั้นตอนที่สองต่อไป และในปีเดียวกัน Westerlund และคณะ [12] ได้ศึกษาปัญหาการแปรรูปม้วนกระดาษแบบสองมิติ โดยมีเป้าหมายให้ต้นทุนในการแปรรูปต่ำที่สุด ซึ่งต้นทุนประกอบไปด้วย การสูญเสียเศษริมกระดาษ, การผลิตเกินปริมาณที่สั่ง, การสูญเสียเมื่อปรับเปลี่ยนรูปแบบการตัด และการสูญเสียเมื่อเปลี่ยนความ

กว้างของม้วนวัตถุดิบ เนื่องจากสมการวัตถุประสงค์อยู่ในรูปของตัวแปรตัดสินใจสองตัวคูณกัน รูปแบบปัญหาจึงเป็น non –convex และได้ใช้วิธีการ 2 ขั้นตอนในการแก้ปัญหา แต่ที่น่าสนใจก็คือวิธีการสร้างรูปแบบชุดตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยใช้อัลกอริทึมของ Westerlund นอกจากนี้ยังมี Suliman [13] ที่นำเสนอฮิวริสติกอัลกอริทึมในการหารูปแบบการตัดแบบหนึ่งมิติครึ่ง โดยใช้การค้นหาแบบต้นไม้ ด้วยวิธีการนี้จำนวนรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมดอย่างน้อยเท่ากับ 2^n -1 เมื่อ n คือจำนวนช่องตัดจากม้วนวัตถุดิบที่ต้องการ เช่นตัดจากม้วนวัตถุดิบเป็นหกช่องเล็ก, n=6 จะได้จำนวนรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้อย่างน้อย 63 ชุดตัด

Harjunkoski และคณะ [14] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้โปรแกรมเชิงเส้นในการแก้ปัญหาตัดแปรรูป และได้เสนออีก 3 วิธีการ ในการแปลงปัญหาการตัดแบบหนึ่งมิติครึ่งที่อยู่ในรูป Non-convex mixed integer non -linear programming (MINLP) ให้เป็น convex mixed integer non -linear programming (MINLP) คือ 1. ใช้เอกซ์โพเนนเชียลฟังก์ชัน 2. ใช้แสควร์รูทฟังก์ชัน 3.ใช้ฟังก์ชันร่วมระหว่างเอกซ์โพเนนเชียล และแสควร์รูท ส่วนปัญหาการตัดแบบหนึ่งมิตินั้น Harjunkoski และคณะ [15] ได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา non-convex mixed integer non -linear programming (MINLP) โดยเสนอทั้งวิธีการแปลงให้อยู่ในรูปโปรแกรมเชิงเส้นและ convex ดังนี้

1.การแปลงให้อยู่ในรูปโปรแกรมเชิงเส้น แบบที่ 1 แทนค่าตัวแปรตัดสินใจ (รูปแบบการตัด และจำนวนครั้งที่ใช้รูปแบบการตัด) ด้วยตัวแปรไบนารี (binary variable) และตัวแปรสแล็ค (slack variable) เพื่อทำให้ตัวแปรนั้นมีค่าเป็นไบนารี สมการที่ได้จะอยู่ในรูปเส้นตรง แบบที่ 2 แทนค่าตัวแปรตัดสินใจที่เป็นจำนวนเต็ม (รูปแบบการตัด) ให้กลายเป็นตัวแปรไบนารีแทน เพื่อทำให้กลายเป็นโปรแกรมเชิงเส้น แบบที่ 3 ตั้งสมมติฐานให้ตัวแปรตัดสินใจ (รูปแบบการตัด) ให้กลายเป็นตัวแปรที่ทราบค่า เพื่อทำให้สมการเหลือเพียงตัวแปรเดียว แต่ก็ต้องใช้วิธีการเพื่อสร้างรูปแบบการตัดออกมาก่อนและแบบที่ 4 ได้จากการรวม แบบที่ 3 กับ 1 และ 2 ซึ่งเป็นการคัดเอาเฉพาะข้อดีของแต่ละ รูปแบบมารวมกัน ซึ่งทำให้ลดจำนวนของรูปแบบการตัดทั้งหมดลงได้

2. การแปลงให้อยู่ในรูป convex ซึ่งจะลดจำนวนของตัวแปรตัดสินใจ และจำนวนสมการข้อจำกัดลงได้มากกว่าการแปลงให้อยู่ในรูปโปรแกรมเชิงเส้น, แบบที่1 ใช้การแปลงสมการ bilinear ให้อยู่ในรูปแบบเอกซ์โพเนนเชียล สมการจะกลายเป็น convex และสามารถหาคำตอบได้ และแบบที่ 2 ใช้การแปลงสมการ bilinear ให้อยู่ในรูปแบบแสคร์รูท สมการจะกลายเป็น convex และสามารถหาคำตอบได้

Jonhston และ Sadinlija [16] นำเสนอวิธีการที่แตกต่างสำหรับแก้ปัญหาที่มีสมการไม่เป็นเส้นตรง โดยแบบจำลองที่นำเสนอไม่ต้องกำจัดตัวแปรตัดสินใจด้วยการกำหนดความยาวของชุดตัด หรือกำหนดรูปแบบการตัดขึ้นมาก่อน แต่ใช้การตั้งสมมติฐานขอบเขตบนและล่างของตัวแปรตัดสินใจ เพื่อจำกัดขอบเขตของคำตอบและใช้การหาคำตอบแบบจัดลำดับ (sequencing) แต่น่าเสียดายที่เป็นการตัดในหนึ่งมิติเท่านั้น

แม้ว่าโปรแกรมเชิงเส้นจะทำให้สามารถหาได้คำตอบที่ดีที่สุดได้ แต่หนึ่งในข้อจำกัดของโปรแกรมเชิงเส้นเมื่อใช้สำหรับแก้ปัญหาซับซ้อนก็คือใช้เวลาในการหาคำตอบนาน ดังนั้นจึงมีการนำวิธีฮิวริสติกมาใช้ในการแก้ปัญหาร่วมกับโปรแกรมเชิงเส้นเพื่อลดความซับซ้อนในการแก้ปัญหา แม้ว่าจะไม่ยืนยันคำตอบที่ดีที่สุด แต่ก็สามารถทำให้ได้คำตอบที่เหมาะสมด้วยเวลาในการหาคำตอบที่เหมาะสมเช่นกัน โดย Aktin และ Ozdemir [17] ได้นำเสนอวิธีการ 2 ขั้นตอน สำหรับปัญหาการตัดแบบหนึ่งมิติในการผลิตขดลวดขยายหลอดเลือด ในขั้นตอนแรกจะใช้วิธีฮิวริสติก คำนวณรูปแบบการตัดที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด หลังจากนั้นจะสร้างจำนวนรูปแบบการตัดเพื่อทำให้เกิดเศษตัดริมน้อยที่สุด โดยในขั้นตอนที่ 2 จะใช้ integer linear programming (ILP) ในการวางแผนการตัด

โดยนำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนแรกมาหาคำตอบที่เหมาะสม เพื่อทำให้เกิดต้นทุนวัตถุดิบ และต้นทุนในการปรับแต่งเครื่องจักรน้อยที่สุด, Kasimbeyli และคณะ [18] ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการตัดแบบหนึ่งมิติ โดยกำหนดให้รูปแบบการตัดเป็นตัวแปรที่ทราบค่า ซึ่งแบบจำลอง integer linear programming (ILP) ที่เสนอจะมี 2 วัตถุประสงค์ เป้าหมายแรกเพื่อลดเศษตัดริมทั้งหมด เป้าหมายที่สองเพื่อลดจำนวนการเก็บสต๊อกม้วนวัตถุดิบความยาวต่างกัน โดยใช้วิธีฮิวริสติกสำหรับแก้ปัญหา, Correia และคณะ [19] ศึกษาปัญหาการวางแผนการผลิต และแปรรูปของกระดาษม้วนและแผ่นแบบหนึ่งมิติในประเทศโปรตุเกส เพื่อหาปริมาณของม้วนกระดาษวัตถุดิบที่ต้องทำการผลิต และรูปแบบการตัดที่จะทำให้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุด ในขณะที่สามารถผลิตได้ในปริมาณที่ต้องการ โดยลักษณะการแปรรูปเริ่มจากนำม้วนกระดาษวัตถุดิบมากรอให้เป็นม้วนสำรอง (auxiliary) เพื่อส่งขายลูกค้า, เก็บเป็นสต๊อกรอแปรรูป (intermediate stock) หรือจะนำม้วนสำรองไปตัดเป็นแผ่น วิธีการแก้ปัญหาใช้ฮิวริสติก โดยการแก้ปัญหาแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก เป็นการสร้างรูปแบบการตัดทั้งหมด จากนั้นจึงเลือกรูปแบบการตัด ที่มีความเป็นไปได้ด้านเทคโนโลยี และข้อจำกัดในการดำเนินการตัด ขั้นตอนที่ 2 นำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนแรก มาสร้างโปรแกรมเชิงเส้น เพื่อหาความยาวของรูปแบบการตัด ขั้นตอนที่ 3 ใช้ราวดิงฮิวริสติก (Rounding heuristic) เพื่อนำคำตอบที่ได้ มาปรับสำหรับการใช้งานจริง เนื่องจากมีข้อจำกัดบางข้อละไว้ในขั้นตอนที่ 2 เช่นการปรับให้ตัวแปรเป็นจำนวนเต็ม ส่วน Song และคณะ [20] ได้เสนออัลกอริทึมที่เรียกว่า interactive sequential heuristic procedure (SHPs) สำหรับใช้แก้ปัญหาการตัดแบบหนึ่งมิติครึ่งในบริษัทพลาสติกแบบผลิตตามสั่ง ซึ่งจะไม่พิจารณามิติความยาวของม้วนวัตถุดิบ เนื่องในการตัดจริงสามารถนำแต่ละม้วนมาต่อความยาวออกไปได้เรื่อยๆ สมการเป็นแบบหลายวัตถุประสงค์ และหลายข้อจำกัด โดยมีเป้าหมายเพื่อทำให้ต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด ในขณะเดียวกันก็สามารถตอบสนองคำสั่งซื้อได้ โดยต้นทุนรวมในการผลิตคิดจาก ต้นทุนวัตถุดิบ, เวลาในการผลิต, ต้นทุนการเปลี่ยนใบมีดตัด, ข้อจำกัดของเครื่องจักร, กำหนดส่ง และข้อจำกัดของงานระหว่างทำ (WIP) อัลกอริทึมที่สร้างขึ้นนี้เพื่อลดความซับซ้อนในการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยพื้นฐานของ SHPs คือ การสร้างรูปแบบการตัดขึ้นมา และใช้การจัดเรียงลำดับจนกระทั่งความต้องการทั้งหมดถูกตอบสนอง

จากการทบทวนบทความเกี่ยวกับปัญหาการตัดแปรรูป สามารถสรุปรูปแบบปัญหา วัตถุประสงค์ และวิธีการหาคำตอบ ได้ดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 รูปแบบปัญหาจากการทบทวนบทความที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการตัดแปรรูป

Paper	Converting Machine	Dimension	Objective	Solution Method	Remark
Thesis Proposal	Slitter/ Cutter	2	Min. Paper loss (trim + set up + over production)	LP model +Heuristic	-
Cintra et al. [1]	N/A	> 1	Min. Raw materials use	Heuristic	Bin packing problem
Vahrenkamp [2]	N/A	1	Min. Trim loss	Heuristic แบบ genetic algorithm	Bin packing problem
Loh et al.[3]	N/A	1	Max. Product loading	Weight annealing heuristic	Bin packing problem

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) รูปแบบปัญหาจากการทบทวนบทความที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการตัดแปรรูป

Paper	Converting Machine	Dimension	Objective	Solution Method	Remark
Macedo et al.[4]	Guillotine	2	Min. Number of stock used	ILP arc-flow model	-
Kantorovich [5]	Slitter	1	Min. Number of rolls used	LP model	-
Leung et al.[6]	Cutter	2	Min. Trim loss	Metaheuristic	Knapsack packing problem
Schilling and Georgiadis [7]	Slitter	1	Max. Profit (revenue- raw materials cost – set up loss -trim loss)	MILP model	-
Harjunkoski at al [8]	Slitter	1.5	Min. Trim loss & Cutting time	INLP model transform to ILP or MILP model	Bilinear formulations
Rodriguez and Vecchietti [9]	Cutter	2	Min. Trim loss cost	INLP model transform to ILP or MILP model	Bilinear formulations
Diegel at el. [10]	Slitter	1	Min. Trim loss & Set up loss	LP model	-
Westerlund et al. [11]	Slitter	2	Min. Raw material loss & other economic losses	MINLP model transform to MILP model	Bilinear formulations
Westerlund et al. [12]	Slitter	2	Min. Trim loss, over production, set up loss, different raw material size	MINLP model transform to MILP model	Bilinear formulations
Suliman [13]	Slitter	1.5	Min. Trim loss	Heuristic	-
Harjunkoski et al. [14]	Slitter	1.5	Min. Raw material used & Set up loss	MINLP model transform to convex MINLP model	Bilinear formulations
Harjunkoski et al. [15]	Slitter	1.5	Min. Trim loss & Over production	non-convex INLP model transform to MILP or convex MINLP model	Bilinear formulations
Johnston and Sadinlija [16]	Slitter	1	Min. Trim loss or raw material used or set up loss	MINLP model transform to MIP model	Bilinear formulations
Aktin and Ozdemir [17]	Cutter	1	Min. Trim loss & materials, set ups, labor hours, overdue	Heuristic + ILP model	Bilinear formulation
Kasimbeyli et al. [18]	Slitter	1	Min. Trim loss & Different lengths stock roll	Heuristic + ILP model	Bilinear formulation
Correia et al. [19]	Slitter/ Cutter	1	Min. Waste	Rounding Heuristic+ LP model	Bilinear formulation
Song et al. [20]	Cutter	1.5	Min. Total production cost	Sequential heuristic	-

งานวิจัยที่จะทำการศึกษา เป็นการแปรรูปกระดาษทั้งกรอม้วนและตัดแผ่นแบบสองมิติ ซึ่งมีเครื่องจักรในการแปรรูปกระดาษกรอม้วน 1 เครื่อง และเครื่องจักรในการแปรรูปกระดาษตัดแผ่นที่แตกต่างกัน 2 เครื่อง ซึ่งมีรูปแบบปัญหาที่แตกต่างจากงานวิจัยข้างต้น แต่อย่างไรก็ตามสามารถนำแนวทางในงานวิจัยมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาได้ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในบทต่อไป

บทที่ 3

กระบวนการผลิตและวางแผนแปรรูปผลิตภัณฑ์

3.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานที่ทำการศึกษา เป็นโรงงานผลิตกระดาษประเภทพิมพ์และเขียน ซึ่งกระดาษที่ผลิตแบ่งออกเป็น 2ประเภท คือ

- กระดาษไม่เคลือบผิว (Uncoated Paper) เช่น กระดาษถ่ายเอกสาร กระดาษพ็อคเก็ตบุ๊ค ซึ่งจะแบ่งเป็นเกรด และแกรมต่างๆ
- กระดาษเคลือบผิว (Coated Paper) เช่น กระดาษนิตยสาร ฉลากสินค้า ซึ่งจะแบ่งเป็นเกรด และแกรมต่างๆ

ปริมาณการผลิตกระดาษ ของโรงงานกรณีศึกษาในเดือน มกราคม –เมษายน ปี 2554 เท่ากับ 7,596 ตัน โดยแบ่งเป็น ปริมาณการผลิตกระดาษไม่เคลือบผิว (Uncoated Paper) และเคลือบผิว (Coated Paper) ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปริมาณการผลิตกระดาษไม่เคลือบผิวและเคลือบผิวในเดือนมกราคม –เมษายน ปี 2554

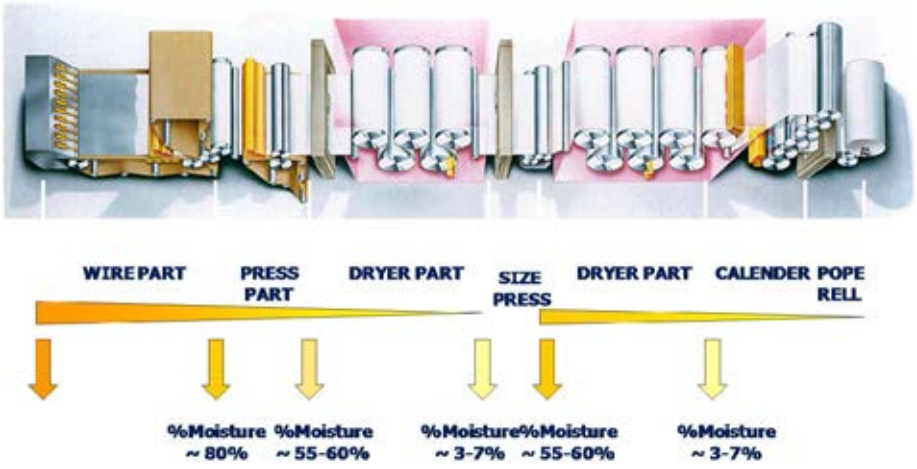
เดือน	กระดาษไม่เคลือบผิว (Uncoated Paper), ตัน	กระดาษเคลือบผิว (Coated Paper), ตัน
ม.ค.	163.9	1801.0
ก.พ.	398.3	1480.8
มี.ค.	804.8	946.5
เม.ย.	547.5	1453.2
รวม	1914.5	5681.5

ขั้นตอนของกระบวนการผลิตกระดาษ มีขั้นตอนหลักๆ อยู่ 3 ขั้นตอนคือ

1. ขั้นตอนการเตรียมเยื่อ เป็นขั้นตอนที่ต้องนำเยื่อกระดาษมาผสมกับน้ำและสารเคมี ให้เข้ากัน โดยให้มีสัดส่วนของเยื่อ, น้ำ, และสารเคมีที่แตกต่างกันไปตามประเภทของกระดาษที่จะผลิต และพร้อมสำหรับส่งต่อไปยังขั้นตอนผลิตกระดาษ

2. ขั้นตอนการผลิตกระดาษ น้ำเยื่อจะถูกส่งผ่านตะแกรง (Wire Part) กรองน้ำออกเบื้องต้น แล้วเข้าสู่ชุดกด (Press Part) รีดเอาน้ำออก ตามด้วยชุดอบแห้ง (Dryer Part) ระเหยความชื้นออกจากกระดาษ ตามด้วยชุดเคลือบแป้ง (Size Press) เพิ่มความแข็งแรงผิวหน้ากระดาษ แล้วตามด้วยชุดอบแห้ง (Dryer Part) ระเหย

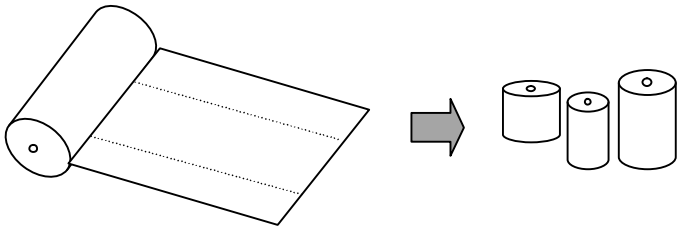
ความชื้นออกจากกระดาษอีกรอบ และเข้าชุดขัด (Calender) ขัดผิวกระดาษให้เรียบขึ้น หลังจากนั้นจึงนำมาเข้าม้วน (Pope Reel) ดังภาพที่ 3.1



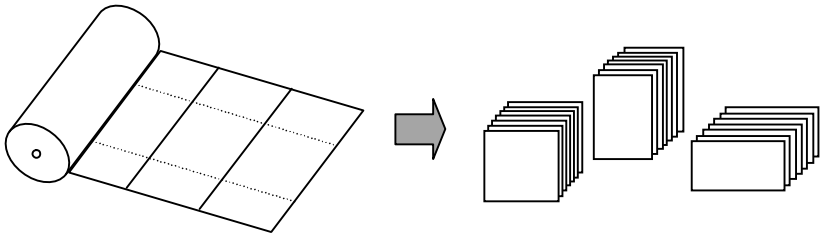
ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการผลิตกระดาษ

หลังจากที่ได้กระดาษออกมาแล้ว ถ้าเป็นกระดาษไม่เคลือบผิว (Uncoated Paper) จะถูกส่งต่อเข้ากระบวนการแปรรูปต่อไป แต่ถ้าเป็นกระดาษเคลือบผิว (Coated Paper) จะต้องนำกระดาษไม่เคลือบผิวมาทำการเคลือบน้ำยาเคลือบ ที่เครื่องเคลือบผิวกระดาษ (Coater Machine) และเข้าเครื่องขัด (Super Calender) เพื่อให้ผิวกระดาษเรียบ และเกิดความมันเงา รองรับการพิมพ์งานคุณภาพสูง ก่อนส่งเข้ากระบวนการแปรรูปต่อไป

3. ขั้นตอนการแปรรูป จะนำม้วนวัตถุดิบมากรอแบ่งเป็นกระดาษม้วน ตามหน้ากว้างและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางม้วนที่ลูกค้าต้องการ หรือตัดแบ่งเป็นแผ่น ตามขนาดกว้างยาวที่ลูกค้าต้องการ โดยถ้าเป็นกระดาษม้วนหลังจากกรอแบ่งแล้วจะห่อบรรจุเพื่อส่งลูกค้าต่อไป แต่ถ้าเป็นกระดาษแผ่น จะต้องผ่านกระบวนการคัดเลือกก่อนจึงห่อบรรจุเพื่อส่งให้ลูกค้าต่อไป ลักษณะการแปรรูปแบบกรอม้วนและตัดแผ่น แสดงภาพที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ



ภาพที่ 3.2 การแปรรูปกระดาษแบบกรอม้วน



ภาพที่ 3.3 การแปรรูปกระดาษแบบตัดแผ่น

3.2 การวางแผนแปรรูปผลิตภัณฑ์

เนื่องจากการผลิตสินค้าเป็นแบบตามสั่ง การวางแผนแปรรูปผลิตภัณฑ์จึงเริ่มจากการรับคำสั่งซื้อมาจากฝ่ายการตลาดเป็นรายสัปดาห์ ซึ่งลูกค้าแต่ละรายจะแจ้งความต้องการ คือ ผลิตภัณฑ์ แกรม รูปแบบตัดแผ่นหรือกรอม้วน ขนาด (กระดาษตัดแผ่นจะแจ้งความกว้างและความยาว ส่วนกระดาษกรอม้วนจะแจ้งความกว้างและเส้นผ่านศูนย์กลางม้วน) และปริมาณ ตัวอย่างคำสั่งซื้อกระดาษตัดแผ่นแสดงดังตารางที่ 3.2 และกระดาษกรอม้วนแสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างคำสั่งซื้อจากฝ่ายการตลาดสำหรับกระดาษตัดแผ่น

ผลิตภัณฑ์	แกรม	ขนาดแผ่น กว้างx ยาว (นิ้ว)	ปริมาณ (ตัน)	ลูกค้า
A	85	24 x 35	10.2	รายที่ 1
A	85	35 x 24	1.9	รายที่ 2
A	85	24 x 34.5	4.3	รายที่ 3
C	75	24 x 31	3.2	รายที่ 1
C	75	25 x 36	6	รายที่ 1
C	75	23 x 35	15	รายที่ 2
D	65	25 x 35	6	รายที่ 4
D	65	24 x 35	6	รายที่ 5

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างคำสั่งซื้อจากฝ่ายการตลาดสำหรับกระดาษกรอม้วน

ผลิตภัณฑ์	แกรม	ขนาดม้วน กว้าง x เส้นผ่านศูนย์กลางม้วน (นิ้ว)	ปริมาณ (ตัน)	ลูกค้า
A	85	30 x 21	11	รายที่ 2
A	85	31 x 21	6	รายที่ 2
A	85	32 x 21	2.8	รายที่ 3
A	85	31 x 17.8	16	รายที่ 3
B	105	31 x 21	13.5	รายที่ 6
B	105	31 x 36	10	รายที่ 6

พนักงานวางแผนแปรรูป จะนำคำสั่งซื้อทั้งหมดมาจัดรูปแบบการตัดลงบนม้วนวัตถุดิบ ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ที่จะสามารถนำมาจัดรูปแบบการร่วมกันได้ จะต้องเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันที่มีลักษณะแบบแผ่นหรือแบบม้วนเหมือนกันเท่านั้น เช่น จากตารางที่ 3.2 มีลูกค้ารายที่ 1 และ 2 สั่งซื้อผลิตภัณฑ์ A แบบแผ่นที่มีขนาดแตกต่างกัน พนักงานวางแผนแปรรูปก็จะนำขนาดของผลิตภัณฑ์ A ที่ลูกค้าแต่ละรายต้องการมาจัดรูปแบบการตัดร่วมกัน เพื่อให้เกิดการสูญเสียเศษตัดริมกระดาษน้อยที่สุด ส่วนผลิตภัณฑ์ C และ D แบบแผ่นก็จะนำมาจัดรูปแบบการตัดแยกเป็นรายผลิตภัณฑ์เช่นเดียวกัน ส่วนตารางที่ 3.3 มีลูกค้ารายที่ 2 และ 3 สั่งซื้อผลิตภัณฑ์ A แบบม้วนที่มีขนาดแตกต่างกัน ก็จะนำคำสั่งซื้อของลูกค้ารายที่ 2 และ 3 มาจัดรูปแบบการตัดร่วมกัน ซึ่งจะทำเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ B แบบม้วน ดังนั้นการจัดรูปแบบการตัดจะพิจารณาแยกเป็นรายผลิตภัณฑ์ ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า “กลุ่มผลิตภัณฑ์” ซึ่งในแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์จะประกอบไปด้วยผลิตภัณฑ์เดียวกันที่มีขนาดแตกต่างกันสำหรับนำมาจัดรูปแบบการตัดร่วมกัน โดยมีเงื่อนไขในการวางแผนแปรรูปดังนี้

1. ปริมาณความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้: ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์แต่ละขนาดตามคำสั่งซื้อของลูกค้าจะมีการระบุข้อตกลงในปริมาณสินค้าที่ยินยอมให้แปรรูปแตกต่างไปที่สั่งซื้อ เนื่องจากวิธีการจัดรูปแบบการตัดและความสูญเสียในกระบวนการแปรรูป ทำให้การแปรรูปสินค้าได้พอดีกับคำสั่งซื้อเป็นไปได้ยาก จึงได้มีการกำหนดปริมาณสินค้าที่ยินยอมให้แตกต่างจากปริมาณที่สั่งซื้อ ซึ่งจะแตกต่างกันสำหรับลูกค้าแต่ละราย เช่น จากตารางที่ 3.2 คำสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ A แบบแผ่นสำหรับลูกค้ารายที่ 1 จำนวน 10.2 ตัน โดยกำหนดปริมาณสินค้าที่จัดส่งขั้นต่ำจะต้องเท่ากับปริมาณที่สั่ง คือ 10.2 ตัน ส่วนปริมาณสินค้าที่จัดส่งสูงสุดจะต้องไม่เกิน 5% ของปริมาณที่สั่งซื้อ คือ 10.71 ตัน แต่คำสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ C แบบแผ่นสำหรับลูกค้ารายที่ 2 จำนวน 15 ตัน กำหนดปริมาณสินค้าที่จัดส่งขั้นต่ำ จะต้องไม่ต่ำกว่า 14 ตัน ส่วนปริมาณสินค้าที่จัดส่งสูงสุดจะต้องไม่เกินคำสั่งซื้อ คือ 15 ตัน

2. เศษตัดริมกระดาษที่ยอมรับได้: รูปแบบการตัดที่เป็นไปได้จะต้องทำให้เกิดเศษตัดริมกระดาษอยู่ในช่วงที่กำหนด เนื่องจากไม่ต้องการให้มีการจัดรูปแบบการตัดที่ทำให้เกิดการสูญเสียเศษตัดริมกระดาษสูง เช่น ความกว้างของม้วนวัตถุดิบ คือ 96 นิ้ว และยอมให้มีเศษตัดริมกระดาษได้ไม่เกิน 7 นิ้ว นั่นคือรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้จะต้องมีความกว้างอยู่ระหว่าง 96 – 89 นิ้ว ซึ่งเศษตัดริมกระดาษที่ยอมรับได้อาจยืดหยุ่นได้ตามคำสั่งซื้อในแต่ละสัปดาห์ แต่ค่ามาตรฐานคือไม่เกิน 7 นิ้ว

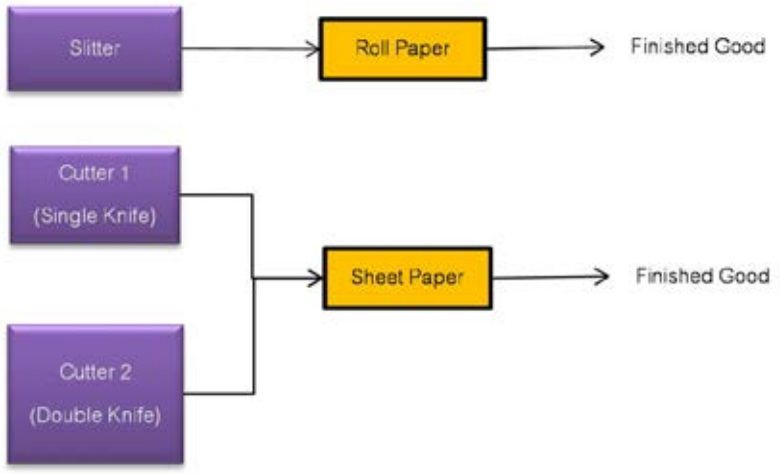
3. จำนวนช่องตัดสูงสุด: ในการจัดรูปแบบการตัด จำนวนช่องกระดาษที่สามารถตัดได้สูงสุด จะถูกกำหนดโดยจำนวนใบมีดตัดในแนวตั้งของเครื่องจักรแปรรูป โดยเครื่อง Cutter มีใบมีดแนวตั้ง 3 ใบมีด ทำให้ตัดได้สูงสุด 4 ช่องตัด นั่นคือในแต่ละรูปแบบการตัด จะประกอบไปด้วยกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเดียวกันหรือแตกต่างกัน ได้ไม่เกิน 4 ช่อง แต่ทั้งนี้ต้องไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขข้ออื่น ๆ ด้วย ส่วนเครื่อง Slitter จะมีใบมีดตัดแนวตั้ง 7 ใบมีด ทำให้ตัดได้สูงสุด 8 ช่องตัด

4. ความยาวของผลิตภัณฑ์ในแต่ละรูปแบบการตัด: ในการจัดรูปแบบการตัด นอกจากจะพิจารณาความกว้างของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบการตัดเดียวกันแล้ว ยังต้องพิจารณาความยาวของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบการตัดเดียวกันด้วย เช่น Cutter 1 จะมีใบมีดตัดในแนวนอน 1 ใบ รูปแบบการตัดที่จะนำเข้าตัด Cutter 1 จึงต้องประกอบไปด้วยผลิตภัณฑ์ขนาดยาวเท่ากันเท่านั้น และ Cutter 2 จะมีใบมีดตัดในแนวนอน 2 ใบ รูปแบบการตัดที่จะนำเข้าตัด Cutter 2 จึงประกอบไปด้วยผลิตภัณฑ์ขนาดยาวแตกต่างกันได้สูงสุด 2 ขนาด ส่วน Slitter

แม้ว่าจะไม่มีใบมีดตัดในแนวนอน แต่กระบวนการแปรรูปต้องเริ่มการกรอและยกม้วนผลิตภัณฑ์ลงจาก Slitter พร้อมกัน เพื่อให้แรงตึงของ
กระดาษภายในม้วนผลิตภัณฑ์เท่ากันทุกม้วน ในรูปแบบการตัดเดียวกันจึงต้องประกอบไปด้วยผลิตภัณฑ์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเท่ากันเท่านั้น

5. ความสามารถของเครื่องจักรในการแปรรูป แสดงดังภาพที่ 3.4 โดย

- Slitter ใช้แปรรูป ให้เป็นกระดาษม้วนเท่านั้น
- Cutter 1 และ Cutter 2 ใช้แปรรูป ให้เป็นกระดาษแผ่นเท่านั้น



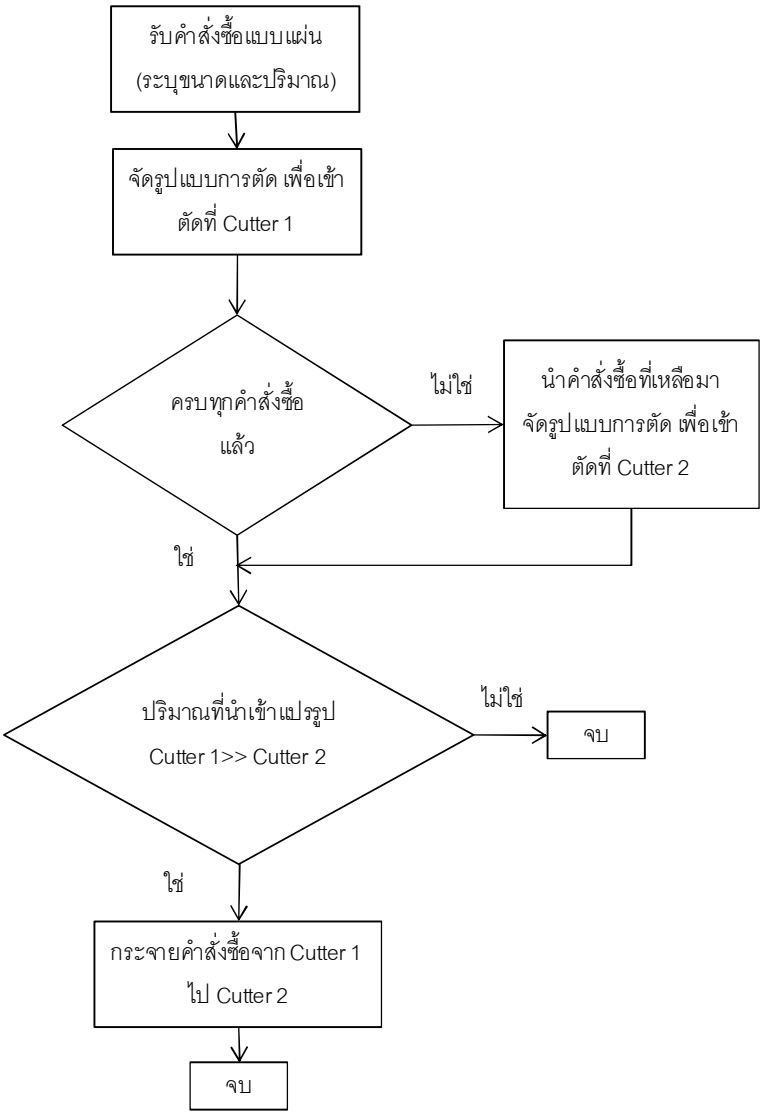
ภาพที่ 3.4 ข้อจำกัดในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ของเครื่องจักรแปรรูป

เป้าหมายหลักในการจัดรูปแบบการตัด คือสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ทั้งหมด และเกิดเศษตัดริมกระดาษน้อยที่สุด โดยคำสั่งซื้อแบบม้วนจำต้องนำเข้าแปรรูปที่ Slitter เท่านั้น การจัดรูปแบบการตัดจึงเป็นการจัดสำหรับเครื่อง Slitter เพียงเครื่องเดียว แต่คำสั่งซื้อแบบแผ่นสามารถนำเข้าแปรรูปที่ Cutter 1 หรือ Cutter 2 ก็ได้ ขึ้นอยู่กับรูปแบบการตัด ซึ่งพนักงานวางแผนแปรรูปจะพยายามกระจายกำลังการผลิต ลำดับขั้นตอนในการดำเนินการสำหรับคำสั่งซื้อแบบแผ่น อธิบายดังรูปที่ 3.5 โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. นำคำสั่งซื้อทั้งหมด มาจัดรูปแบบการตัดสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีความยาวเท่ากัน เพื่อเข้าตัดที่ Cutter 1 ก่อน

2. นำคำสั่งซื้อที่เหลือ มาจัดรูปแบบการตัดสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีความยาวแตกต่างกัน (แต่ไม่เกิน 2 ขนาด) เพื่อเข้าตัดที่ Cutter 2

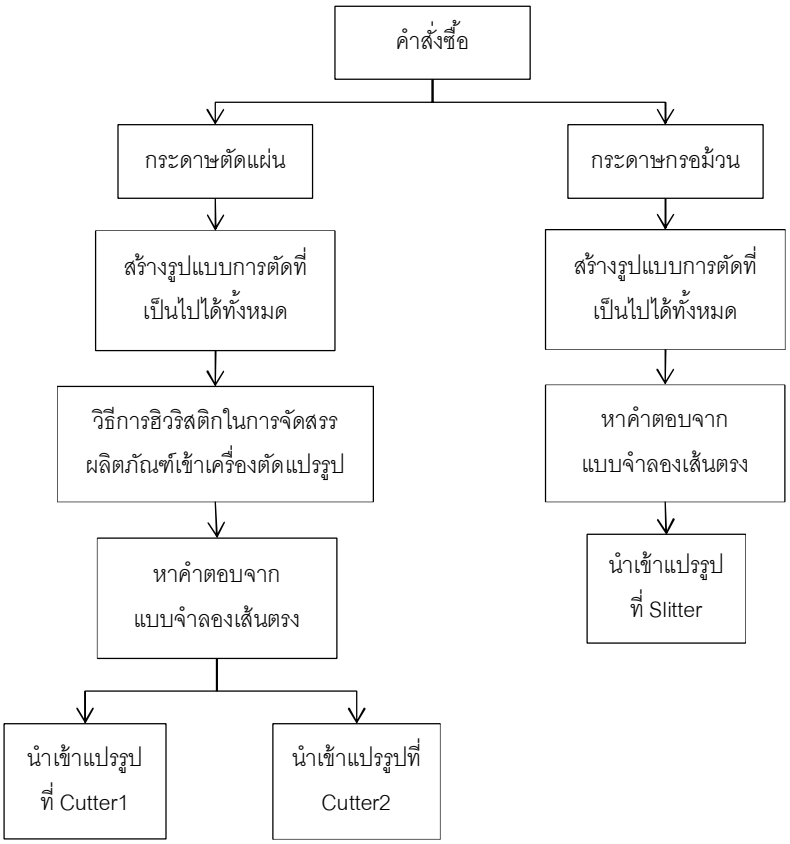
3. พิจารณาปริมาณคำสั่งซื้อที่นำเข้าตัด Cutter 1 และ Cutter 2 ถ้าหาก Cutter 1 มีคำสั่งซื้อเข้าแปรรูปมากเกินไป ให้กระจายคำสั่งซื้อมาเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 แต่ในทางกลับกันหาก Cutter 2 มีคำสั่งซื้อเข้าแปรรูปมากเกินไป ด้วยเหตุผลข้อจำกัดของเครื่องจักร จะไม่สามารถกระจายคำสั่งซื้อจาก Cutter 2 มาให้ Cutter 1 ได้ ทำให้ต้องรอแปรรูปที่ Cutter 2



ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนของการวางแผนแปรรูปกระดาษตัดแผ่น

3.3 ขั้นตอนในการหาคำตอบ

แนวคิดที่ใช้ในการหาคำตอบสำหรับปัญหาเศษตัดริมกระดาษในโรงงานกรณีศึกษา คือการใช้โปรแกรมเชิงเส้นร่วมกับวิธีการฮิวริสติก โดยในส่วนของการหาคำตอบสำหรับรูปแบบการตัด และความยาวในการตัด จะใช้โปรแกรมเชิงเส้นเพื่อให้เกิดคำตอบที่ดีที่สุด แต่เนื่องจากโปรแกรมเชิงเส้นที่สร้างขึ้นมาจะอยู่ในรูปแบบ Non-convex mixed integer non -linear programming (MINLP) เนื่องจากมีสมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัดบางข้อที่ไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งจะใช้วิธีการ 2 ขั้นตอนในการแปลงให้กลายเป็น convex mixed integer linear programming (MILP) โดยในขั้นตอนแรกจะสร้างรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ เพื่อทำให้รูปแบบการตัดที่เป็นตัวแปรตัดสินใจกลายเป็นตัวแปรที่ทราบค่า แล้วเข้าสู่การหาคำตอบในขั้นตอนที่สองต่อไป ในส่วนของการกระจายกำลังการผลิต ซึ่งเจาะจงเฉพาะเครื่อง Cutter ทั้ง 2 เครื่องจะใช้วิธีการฮิวริสติกในการจัดสรรผลิตภัณฑ์เข้าแปรรูป ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดการรอที่เครื่องจักรใดเครื่องจักรหนึ่ง และลดความสูญเสียกระดาษที่เกิดในขั้นตอนการแปรรูป โดยมีขั้นตอนในการหาคำตอบแสดงดังภาพที่ 3.6 และรายละเอียดดังที่จะกล่าวในบทต่อๆ ไป



ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนในการหาคำตอบสำหรับปัญหาเศษตัดริมกระดาษ

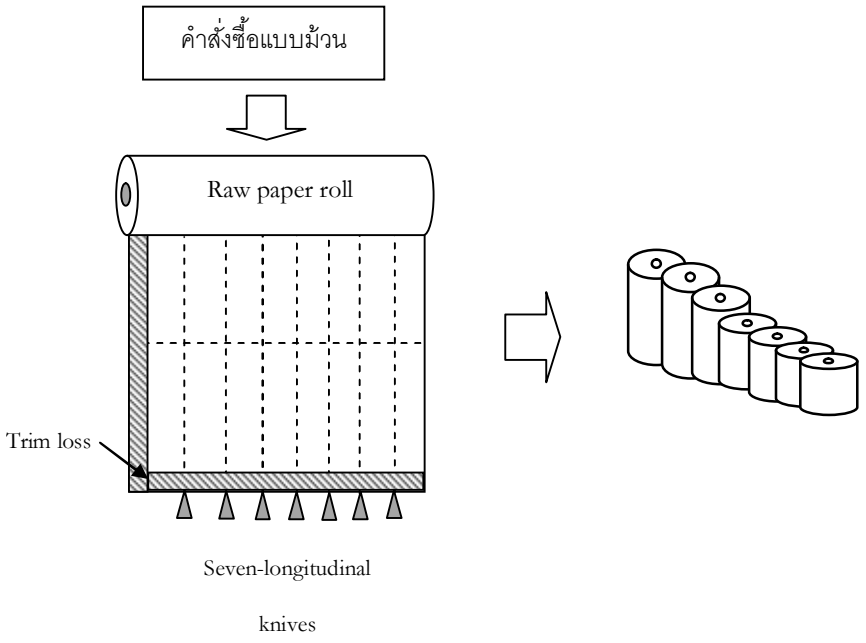
บทที่ 4

การสร้างรูปแบบการตัด

วิธีการสร้างรูปแบบการตัดสำหรับกระดาษกรอม้วน และตัดแผ่นจะมีหลักการเหมือนกัน คือ การจัดสรรจำนวนหน่วย (ช่องตัด) ของผลิตภัณฑ์ขนาดต่าง ๆ กันลงในหน้ากว้างของม้วนวัตถุดิบ ในรูปแบบที่เป็นไปได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยอัลกอริทึมที่ใช้ในการสร้างรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ จะใช้แนวคิดมาจากอัลกอริทึมของ Westerlund และคณะ [11] ซึ่งประกอบไปด้วยเงื่อนไขที่ใช้ในการสร้างรูปแบบการตัด คือความกว้างของรูปแบบการตัดสูงสุดและต่ำสุดที่ยอมให้เกิดขึ้น ข้อกำหนดความยาวของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในชุดตัดเดียวกัน และจำนวนช่องตัดสูงสุดที่เครื่องจักรสามารถตัดได้ รายละเอียดของอัลกอริทึมในการสร้างรูปแบบการตัดอธิบายแยกระหว่าง Slitter และ Cutter ดังนี้

4.1 การสร้างรูปแบบการตัดสำหรับกระดาษที่แปรรูปด้วย Slitter

เครื่องจักร Slitter ใช้สำหรับแปรรูปกระดาษกรอม้วน ซึ่งจะตัดแบ่งกระดาษจากม้วนวัตถุดิบขนาดใหญ่ให้กลายเป็นม้วนกระดาษที่มีความกว้างม้วน และเส้นผ่านศูนย์กลางม้วนเล็กลง โดยเครื่อง Slitter มีใบมีดตัดในแนวตั้ง 7 ใบมีด จึงสามารถตัดกระดาษได้สูงสุด 8 ช่องตัด รวมทั้งสามารถปรับความกว้างของแต่ละช่องตัดได้ตามต้องการ แต่ผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าแปรรูปในชุดตัดเดียวกัน ต้องมีความยาวม้วนเท่ากัน ซึ่งลักษณะการแปรรูปของ Slitter แสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ลักษณะการแปรรูปด้วยเครื่อง Slitter

การจัดรูปแบบการตัดสำหรับกระดาษกรอม้วน ดำเนินการโดยสร้างตัวแปรสำหรับนำเข้าอัลกอริทึม ดังนี้

กำหนดดัชนี (Indexes):

$i = \{1,2,3,\dots,p\}$ เป็นเซตของขนาดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (Product size) จากการแปรรูป

$j = \{1,2,3,\dots,q\}$ เป็นเซตของรูปแบบการตัด (Cutting pattern) สำหรับการตัดแปรรูป

กำหนดพารามิเตอร์ (Parameters):

$W_{min} =$ ความกว้างต่ำสุดของรูปแบบการตัด j ที่ยอมรับได้

$W_{max} =$ ความกว้างม้วนวัตถุดิบที่เข้าแปรรูป หรือความกว้างสูงสุดของรูปแบบการตัด j

$N_{max} =$ จำนวนช่องตัดในแนวตั้งสูงสุดสำหรับแต่ละรูปแบบการตัด เท่ากับ 8 ช่องตัด

$w_i =$ ความกว้างของม้วนผลิตภัณฑ์ขนาด i (นิ้ว)

$l_i =$ ความยาวของม้วนผลิตภัณฑ์ขนาด i (นิ้ว)

กำหนดตัวแปรตัดสินใจ (Variable):

$n_{i,j} =$ จำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่อยู่ในรูปแบบการตัดที่ j

การสร้างรูปแบบการตัด จะหาองค์ประกอบของจำนวนผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่อยู่ในรูปแบบการตัด โดยความกว้างรวมของทุกองค์ประกอบ i จะต้องมากกว่าความกว้างต่ำสุดที่ยอมรับได้ (W_{min}) แต่ในขณะเดียวกันก็ไม่เกินความกว้างของม้วนวัตถุดิบ (W_{max}) และจำนวนช่องตัดของทุกองค์ประกอบ i จะต้องไม่เกินกว่าจำนวนช่องตัดสูงสุดที่เครื่องจักรสามารถตัดได้ หลักในการสร้างรูปแบบการตัดแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

1. คำนวณจำนวนช่องตัดสูงสุดของผลิตภัณฑ์แต่ละขนาด โดยเลือกค่าน้อยที่สุด ระหว่าง N_{max} ที่กำหนดกับจำนวนช่องสูงสุดที่สามารถตัดผลิตภัณฑ์นั้นได้

2. หารูปแบบการตัดโดยการเพิ่มจำนวนของหน่วยผลิตภัณฑ์แต่ละขนาด ($n_{i,j}$) เข้าไปทีละหนึ่ง ถ้าได้ความกว้างของรูปแบบการตัดมากกว่า W_{min} แต่ไม่เกิน W_{max} รูปแบบการตัดนั้นก็จะถูกสร้างขึ้นมา และจะเริ่มหารูปแบบการตัดต่อไป แต่ถ้าความกว้างของรูปแบบการตัดยังได้น้อยกว่า W_{min} จะคำนวณหาจำนวนช่องตัดสูงสุดของผลิตภัณฑ์แต่ละขนาดใหม่

3. นับจำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์แต่ละขนาด ($n_{i,j}$) โดยถ้าจำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์ ($n_{i,j}$) ยังน้อยกว่าจำนวนสูงสุดที่ยอมให้ตัดที่คำนวณใหม่ (N_{max}) ให้เพิ่มจำนวนหน่วยของแต่ละผลิตภัณฑ์ขนาด ($n_{i,j}$) เข้าไปอีกหนึ่งหน่วย แต่ถ้าหน่วยของผลิตภัณฑ์แต่ละขนาด ($n_{i,j}$) เท่ากับจำนวนสูงสุดที่สามารถตัดได้แล้ว (N_{max}) ให้เริ่มต้นจำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์ ($n_{i,j}$) ใหม่เท่ากับ 0

4. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 และ 3 คำนวณความกว้างของผลิตภัณฑ์ (w_i) แต่ละขนาดที่อยู่ในรูปแบบการตัด จนกระทั่งได้ความกว้างรวมของรูปแบบการตัดมากกว่าความกว้างต่ำสุดที่ตัดได้ (W_{min}) ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่สร้างรูปแบบการตัด j ขึ้นมา แต่ถ้าได้ความกว้างรวมของรูปแบบการตัดมากกว่าความกว้างสูงสุดที่ตัดได้ (W_{max}) ก็จะไม่สร้างรูปแบบการตัดนั้น

5.เมื่อจำนวนของหน่วยผลิตภัณฑ์แต่ละขนาด ($n_{i,j}$) ที่อยู่ในรูปแบบการตัด ได้จำนวนเท่ากับช่องตัดสูงสุด (N_{max}) แล้ว แสดงว่าผลิตภัณฑ์ขนาด ($n_{i,j}$) ได้ถูกสร้างเป็นรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ครบแล้ว จะจบขั้นตอนในการสร้างรูปแบบการตัด

จากวิธีการข้างต้น รูปแบบการตัดที่สร้างขึ้นมายังไม่ได้พิจารณาถึงเงื่อนไขความยาวของผลิตภัณฑ์ (l_i) ซึ่งได้ใส่เงื่อนไขในการแสดงผลของรูปแบบการตัดที่สร้างขึ้นมา สำหรับกระดาษกรอม้วนในแต่ละชุดตัดจะต้องประกอบไปด้วยผลิตภัณฑ์ที่มีความยาวเท่ากันเท่านั้น จึงต้องใส่คำสั่งให้แสดงผลรูปแบบการตัดที่มีความยาวเท่ากันหมดเท่านั้น โดยตัวอย่างคำสั่งซื้อและข้อจำกัดในการแปรรูปของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คำสั่งซื้อและข้อจำกัดในการแปรรูปของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน

ผลิตภัณฑ์ขนาดที่ i	1	2	3	4
ความกว้าง (w_i)	30	31	32	31
ความยาว (l_i)	109,900	109,900	109,900	78,740
ความกว้างสูงสุด (W_{max})	96 นิ้ว			
ความกว้างต่ำสุด (W_{min})	89 นิ้ว			
ช่องตัดสูงสุด (N_{max})	8 ช่องตัด			

คำสั่งซื้อของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A มีทั้งหมด 4 ขนาด โดยสามขนาดแรกมีความเท่ากัน จึงสามารถนำมาจัดรูปแบบการตัดร่วมกันได้ แต่ขนาดที่สี่มีความยาวแตกต่างจากขนาดอื่น ๆ จึงไม่สามารถจัดรูปแบบการตัดร่วมกันได้ โดยวิธีการสร้างรูปแบบการตัดด้วยอัลกอริทึม คือ

1. คำนวณจำนวนช่องตัดสูงสุดของผลิตภัณฑ์แต่ละขนาด โดย N_{max} ของเครื่อง Slitter คือ 8 ช่องตัด แต่ด้วยความกว้างของผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ขนาด จะสามารถตัดได้สูงสุดเพียง 3 ช่องตัดเท่านั้น N_{max} ของทั้ง 4 ขนาดจึงเท่ากับ 3

2. หารูปแบบการตัดโดยการเพิ่มจำนวนของหน่วยผลิตภัณฑ์แต่ละขนาด ($n_{i,j}$) เข้าไปทีละหนึ่ง

- เพิ่มผลิตภัณฑ์ขนาดที่ 1 เข้าไป 1 หน่วย ทำให้ได้ความกว้างของรูปแบบการตัด 30 นิ้ว ซึ่งยังน้อยกว่า W_{min}
- คำนวณหา N_{max} ใหม่ จากความกว้างรูปแบบการตัดที่เหลือ 66 นิ้ว จะสามารถตัดได้สูงสุดเหลือเพียง 2 ช่องตัดเท่านั้น N_{max} ของทั้ง 4 ขนาดจึงเปลี่ยนเป็น 2

3. นับจำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์แต่ละขนาด ($n_{i,j}$) ซึ่งหน่วยผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ขนาดยังน้อยกว่า N_{max} จึงเพิ่มจำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์ขนาด ($n_{i,j}$) เข้าไปอีกหนึ่งหน่วย

- เพิ่มผลิตภัณฑ์ขนาดที่ 2 เข้าไป 1 หน่วย ทำให้ได้ความกว้างของรูปแบบการตัด 61 นิ้ว ซึ่งยังน้อยกว่า W_{min}

4. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 และ 3

- คำนวณหา N_{max} ใหม่ จากความกว้างรูปแบบการตัดที่เหลือ 35 นิ้ว จะสามารถตัดได้สูงสุดเหลือเพียง 1 ช่องตัดเท่านั้น N_{max} ของทั้ง 4 ขนาดจึงเปลี่ยนเป็น 1

- จำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์แต่ละขนาด ($n_{i,j}$) ยังน้อยกว่า N_{max} จึงเพิ่มจำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์ที่ 3 เข้าไปอีกหนึ่งหน่วย ทำให้ได้ความกว้างของรูปแบบการตัด 93 นิ้ว ซึ่งมากกว่า W_{min} แต่ไม่เกิน W_{max} รูปแบบการตัดนี้จึงถูกสร้างขึ้น

- เริ่มต้นรูปแบบการตัดใหม่

5. เมื่อจำนวนของหน่วยผลิตภัณฑ์แต่ละขนาด ($n_{i,j}$) ได้จำนวนเท่ากับช่องตัดสูงสุด (N_{max}) คือ 3 แล้ว แสดงว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ขนาด ถูกสร้างเป็นรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ครบแล้ว จะจบขั้นตอนในการสร้างรูปแบบการตัด

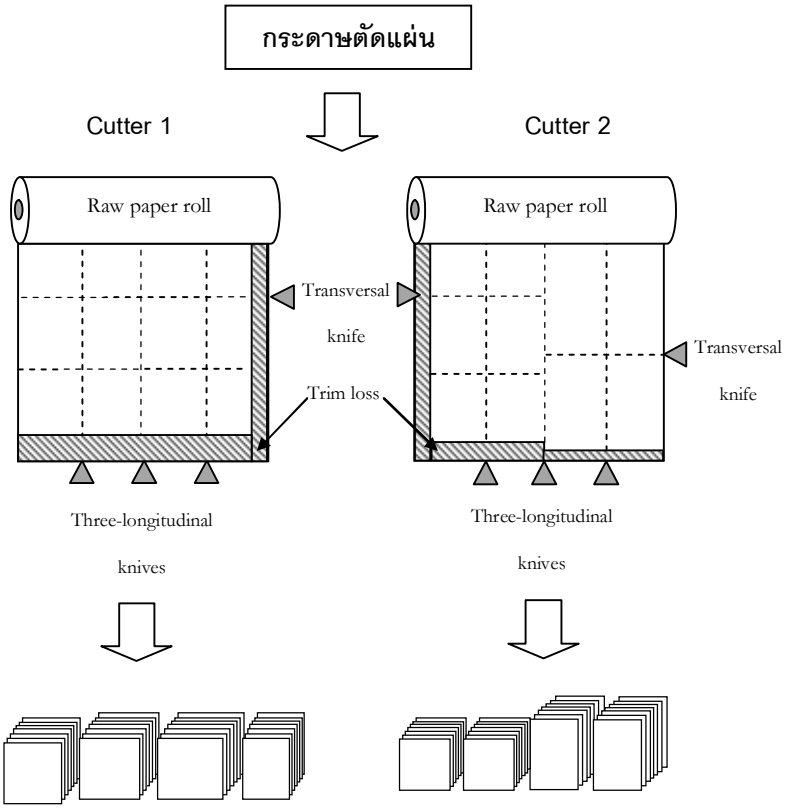
เมื่อสร้างรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมดออกมาแล้ว จะใช้คำสั่งให้แสดงผลลัพธ์ออกมาเฉพาะรูปแบบการตัดที่มีความยาวผลิตภัณฑ์เท่ากันเท่านั้น โดยผลการสร้างรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ A แสดงดังตารางที่ 4.2 ซึ่งประกอบไปด้วย 11รูปแบบการตัด โดยในแต่ละรูปแบบการตัดจะประกอบไปด้วยผลิตภัณฑ์ที่ยาวเท่ากัน

ตารางที่ 4.2 รูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมด ของผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน

รูปแบบการตัดที่ j	จำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่อยู่ในรูปแบบการตัดที่ j ($n_{i,j}$)				ความกว้างของรูปแบบการตัด	ความยาวของรูปแบบการตัด (r_j)
	$n_{1,j}$	$n_{2,j}$	$n_{3,j}$	$n_{4,j}$		
1	0	0	3	0	96.0	109,900
2	0	1	2	0	95.0	109,900
3	1	0	2	0	94.0	109,900
4	0	1	2	0	94.0	109,900
5	0	0	0	3	93.0	78,740
6	1	1	1	0	93.0	109,900
7	0	3	0	0	93.0	109,900
8	2	0	1	0	92.0	109,900
9	1	2	0	0	92.0	109,900
10	2	1	0	0	91.0	109,900
11	3	0	0	0	90.0	109,900

4.2 การสร้างรูปแบบการตัดสำหรับกระดาษที่แปรรูปด้วย Cutter

เครื่องจักร Cutter ใช้สำหรับแปรรูปกระดาษตัดแผ่น ซึ่งจะตัดแปรรูปกระดาษจากม้วนวัตถุดิบขนาดใหญ่ ให้กลายเป็นกระดาษแผ่นที่มีขนาดกว้างยาว ตามความต้องการของลูกค้า โดยเครื่อง Cutter มีใบมีดตัดในแนวตั้ง 3 ใบมีด จึงสามารถตัดกระดาษได้สูงสุด 4 ช่องตัด รวมทั้งสามารถปรับความกว้างของแต่ละช่องตัดได้ตามต้องการ โดยเครื่อง Cutter จะมีสองเครื่อง คือ Cutter 1 และ Cutter 2 ซึ่งแตกต่างกันเฉพาะใบมีดตัดในแนวนอนเท่านั้น Cutter 1 มีใบมีดตัดแนวนอนเพียง 1 ใบ รูปแบบการตัดสำหรับ Cutter 1 จะต้องประกอบไปด้วยผลิตภัณฑ์ที่มีความยาวขนาดเดียวกันเท่านั้น ส่วน Cutter 2 มีใบมีดตัดแนวนอน 2 ใบ รูปแบบการตัดสำหรับ Cutter 2 จึงประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ที่มีความยาวแตกต่างกันได้สูงสุด 2 ขนาดลักษณะของการแปรรูปด้วย Cutter ทั้งสองเครื่อง แสดงดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 การตัดแปรรูปของ Cutter 1 และ Cutter 2

การจัดรูปแบบการตัดสำหรับกระดาษตัดแผ่น ดำเนินการเช่นเดียวกันกับการจัดรูปแบบการตัดสำหรับกระดาษกรอม้วน แตกต่างกันเพียงวิธีการแสดงผลรูปแบบการตัดที่ได้ โดย หากเป็น Cutter 1 จะใส่คำสั่งให้แสดงผลรูปแบบการตัดที่มีความยาวเท่ากันทั้งหมดเหมือน Slitter ส่วน Cutter 2 จะใส่คำสั่งให้แสดงผลรูปแบบการตัดที่มีความยาวแตกต่างกันไม่เกิน 2 ขนาด เนื่องจากวิธีการสร้างรูปแบบการตัดของ Cutter 1 จะเหมือนกับวิธีการสร้างรูปแบบการตัดของ Slitter จึงจะยกตัวอย่างในการใช้อัลกอริทึมสำหรับสร้างรูปแบบการตัดของ Cutter 2 ซึ่งจะแตกต่างจาก Slitter ซึ่งได้แสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 คำสั่งซื้อและข้อจำกัดในการแปรรูปของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่น

ผลิตภัณฑ์ขนาด i	1	2	3
ความกว้าง (w_i)	24.0	35.0	24.0
ความยาว (l_i)	35.0	24.0	34.5
ความกว้างสูงสุด (W_{max})	96 นิ้ว		
ความกว้างต่ำสุด (W_{min})	89 นิ้ว		
ช่องตัดสูงสุด (N_{max})	4 ช่องตัด		

คำสั่งซื้อของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A มีความยาว 3 ขนาด ซึ่งสามารถนำมาจัดรูปแบบการตัดร่วมกันได้ โดยรูปแบบการตัดที่สร้างขึ้นมาจากอัลกอริทึม ของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่น แสดงดังตารางที่ 4.4 ซึ่งประกอบไปด้วย 7 รูปแบบการตัด มีสองรูปแบบการตัดที่มีความยาวผลิตภัณฑ์เท่ากันคือ รูปแบบการตัดที่ 1 และ 2 นอกนั้นจะเป็นรูปแบบการตัดที่มีความยาวผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน 2 ขนาด

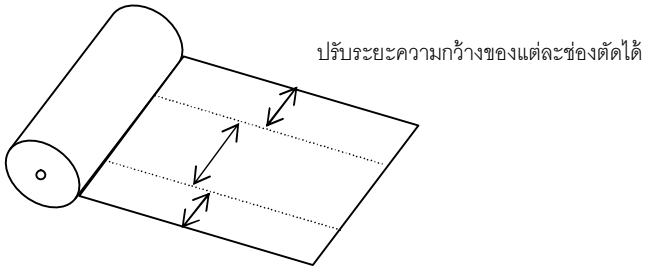
ตารางที่ 4.4 รูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมด ของผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่น

รูปแบบการตัด	$n_{i,j}$	$n_{1,j}$	$n_{2,j}$	$n_{3,j}$	ความกว้างของรูปแบบการตัด	ความยาวที่แตกต่างกัน
	w_i	24.0	35.0	24.0		
	l_i	35.0	24.0	34.5		
1		4	0	0	96.0	1
2		0	0	4	96.0	1
3		3	0	1	96.0	2
4		2	0	2	96.0	2
5		1	0	3	96.0	2
6		1	2	0	94.0	2
7		0	2	1	94.0	2

บทที่ 5

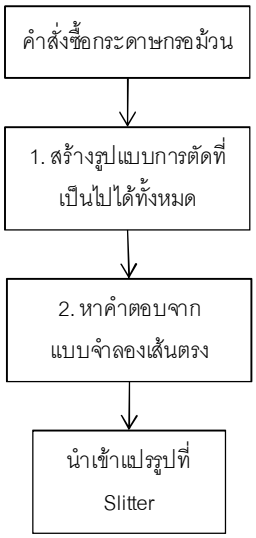
การหาคำตอบสำหรับเครื่องจักรแปรรูป Slitter

เครื่องจักรแปรรูป Slitter ใช้สำหรับแปรรูปคำสั่งซื้อที่เป็นม้วน โดยจะมีใบมีดตัดในแนวตั้ง 7 ใบ จึงสามารถกรอแบ่งม้วนวัตถุดิบขนาดใหญ่เป็นม้วนผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กที่มีความกว้างแตกต่างกัน ได้สูงสุดถึง 8 ม้วนผลิตภัณฑ์ ซึ่งม้วนผลิตภัณฑ์ที่ถูกกรอแบ่งในชุดเดียวกัน (รูปแบบการตัดเดียวกัน) จะต้องมีความยาวเท่ากัน เนื่องจากแปรรูปต้องเริ่มกรอม้วนพร้อมกันและเสร็จพร้อมกัน เพื่อให้มีแรงตึงกระดาษภายในม้วนสม่ำเสมอเท่ากัน และการกรอแบ่งเป็นม้วนผลิตภัณฑ์จะนำม้วนวัตถุดิบมากรอต่อกัน เพื่อให้มีความยาวกระดาษต่อไปเรื่อย ๆ ดังนั้นจึงไม่เกิดความยาวส่วนที่เหลือทิ้งระหว่างม้วนวัตถุดิบ แต่จะเกิดความยาวส่วนที่เหลือทิ้งเฉพาะม้วนวัตถุดิบที่เข้าแปรรูปม้วนสุดท้ายเท่านั้น ลักษณะการแปรรูปด้วยเครื่อง Slitter แสดงดังภาพที่ 5.1 โดยเศษตัดริมกระดาษจะเกิดขึ้นเมื่อความกว้างของรูปแบบการตัดน้อยกว่าความกว้างของม้วนวัตถุดิบ หรือมีความยาวของม้วนวัตถุดิบเหลือทิ้ง จากการแปรรูป



ภาพที่ 5.1 ลักษณะการแปรรูปด้วยเครื่อง Slitter

ในการสร้างโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับหาคำตอบ จะพิจารณาความยาวม้วนวัตถุดิบที่เหลือจากการแปรรูปแบ่งออกเป็น 2 กรณีด้วยแบบจำลองที่แตกต่างกัน กรณีที่หนึ่ง คือความยาวของม้วนวัตถุดิบที่เหลือจากการแปรรูปจะคิดเป็นความสูญเสียจากการแปรรูป ส่วนกรณีที่สองพัฒนามาจากกรณีที่หนึ่ง คือความยาวของม้วนวัตถุดิบที่เหลือสามารถเก็บไว้ใช้ในครั้งต่อไปได้ แต่ม้วนวัตถุดิบต้องมีความยาวเหลือมากกว่า 20% ของม้วนวัตถุดิบใหม่ ซึ่งถ้าม้วนวัตถุดิบมีความยาวเหลือน้อยกว่า 20% ของม้วนวัตถุดิบใหม่ จะต้องคิดเป็นความสูญเสียจากการแปรรูป เนื่องจากเป็นปริมาณที่เหลือน้อยเกินไปที่จะเก็บไว้ใช้ในครั้งต่อไปจึงจะต้องทิ้ง ขั้นตอนในการหาคำตอบสำหรับเครื่องจักรแปรรูป Slitter แสดงดังภาพที่ 5.2 ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ การสร้างรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมด และ การหาคำตอบจากโปรแกรมเชิงเส้น ดังจะแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 5.2 ขั้นตอนในการหาคำตอบสำหรับปัญหาเศษตัดริมกระดาษของเครื่องจักรแปรรูป Slitter

การวางแผนแปรรูปเริ่มตั้งแต่รับคำสั่งซื้อจากลูกค้า โดยในกลุ่มผลิตภัณฑ์เดียวกันจะมีการสั่งซื้อขนาดม้วนแตกต่างกัน ซึ่งจะนำมาวางแผนแปรรูปร่วมกัน จากตารางที่ 5.1 แสดงตัวอย่างคำสั่งซื้อในรูปแบบม้วนของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A ซึ่งมีลูกค้า 2 รายสั่งซื้อในขนาดที่แตกต่างกัน โดยลูกค้าจะแจ้งความต้องการผลิตภัณฑ์ ขนาดม้วนปริมาณที่สั่งซื้อ และปริมาณความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

ตารางที่ 5.1 ตัวอย่างคำสั่งซื้อของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน

ผลิตภัณฑ์	ขนาดที่	แกรม	ขนาดม้วน กว้าง x เส้นผ่านศูนย์กลางม้วน (นิ้ว)	ปริมาณที่ผลิต (ตัน)			ลูกค้า
				สั่งซื้อ	ขั้นต่ำ	ขั้นสูง	
A	1	85	30 x 21	11	ไม่ต่ำกว่าที่สั่งซื้อ	ไม่เกิน 6% ของจำนวนม้วนที่สั่งซื้อ	รายที่ 2
A	2	85	31 x 21	6			รายที่ 2
A	3	85	32 x 21	2.8			รายที่ 3
A	4	85	31 x 17.8	16			รายที่ 3

เนื่องจากผลิตภัณฑ์สั่งซื้อในรูปแบบม้วน จึงต้องแปลงความต้องการที่แจ้งมาเป็นน้ำหนักตัน ให้กลายเป็นจำนวนม้วน โดยสามารถคำนวณน้ำหนักต่อม้วนได้จากสูตร

น้ำหนักต่อม้วน (กรัม) = แกรม (กรัมต่อตารางเมตร) xความกว้างม้วน (เมตร) x ความยาวม้วน (เมตร)

เช่น จากตารางที่ 5.1 วิธีการคำนวณน้ำหนักต่อม้วนของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A ขนาดที่ 1 ซึ่งมีแกรม 85, ขนาดม้วน 30 นิ้ว และเส้นผ่านศูนย์กลางม้วน 21 นิ้ว ซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางม้วนสามารถแปลงให้เป็นความยาวได้เมื่อทราบพื้นที่ของเส้นผ่านศูนย์กลางม้วนและความหนาของกระดาษ (กระดาษ 85 แกรม มีความหนา = 0.00315 นิ้ว) วิธีการคำนวณ ดังนี้

ความยาวต่อม้วน (นิ้ว) = พื้นที่ของเส้นผ่านศูนย์กลางม้วน (ตารางนิ้ว)/ ความหนา (นิ้ว)
ความยาวต่อม้วน (นิ้ว) = $(3.14 \times 10.5^2) / 0.00315 = 109,900$ นิ้ว

จากนั้นจึงนำไปแทนในสูตรคำนวณเพื่อหาน้ำหนักต่อม้วนของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A ขนาดที่ 1

น้ำหนักต่อม้วน (กรัม) = แกรม (กรัมต่อตารางเมตร) xความกว้างม้วน (เมตร) x ความยาวม้วน (เมตร)
น้ำหนักต่อม้วน (กรัม) = 85 x (30 x 0.0254) x (109,900 x 0.0254) = 180,803
น้ำหนักต่อม้วน (ตัน) = 0.181

เมื่อทราบน้ำหนักผลิตภัณฑ์ต่อม้วนแล้ว ก็จะสามารถคำนวณเป็นจำนวนม้วนของผลิตภัณฑ์ที่จะต้องผลิต ตามปริมาณที่ลูกค้าสั่งซื้อได้ โดย

จำนวนม้วนผลิตภัณฑ์ที่ต้องผลิต = ปริมาณที่สั่งซื้อ (ตัน) / น้ำหนักต่อม้วน (ตัน)

ดังนั้น จำนวนม้วนของผลิตภัณฑ์กลุ่ม A ขนาดที่ 1 ที่ต้องผลิต = 11/ 0.181 = 61 ม้วน (จำนวนม้วนต้องเป็นจำนวนเต็ม ใช้การปัดเศษตามหลักสากล) ส่วนการคำนวณเป็นปริมาณการสั่งซื้อขั้นต่ำ และขั้นสูงก็ใช้วิธีการเดียวกัน ซึ่งจากตารางที่ 5.1 จะสามารถคำนวณเป็นจำนวนม้วนผลิตภัณฑ์ที่ต้องผลิต และความยาวม้วนผลิตภัณฑ์ ของแต่ละขนาดได้ ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ผลการคำนวณจำนวนม้วน และความยาวม้วนของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน

ผลิตภัณฑ์	ขนาดที่	ขนาดม้วน กว้าง x เส้นผ่านศูนย์กลางม้วน (นิ้ว)	ความยาวม้วน (นิ้ว)	ปริมาณที่ผลิต (ม้วน)			ลูกค้า
				สั่งซื้อ	ขั้นต่ำ	ขั้นสูง	
A	1	30 x 21	109,900	61	61	64	รายที่ 2
A	2	31 x 21	109,900	32	32	34	รายที่ 2
A	3	32 x 21	109,900	15	15	15	รายที่ 3
A	4	31 x 17.8	78,740	120	120	127	รายที่ 3

5.1 การสร้างรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมด

สร้างรูปแบบการตัด (Cutting patterns) ที่เป็นไปได้ทั้งหมด ดำเนินการตามวิธีการที่ได้อธิบายไปแล้วในบทที่ 4 โดยสำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน แสดงได้ดังนี้

กำหนดดัชนี (Indexes):

$i = \{1,2\}$ เป็นเซตของขนาดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (Product size) จากการแปรรูป ซึ่งมี 4 ขนาด

$j = \{1,2,3, \dots, q\}$ เป็นเซตของรูปแบบการตัด (Cutting pattern) สำหรับการตัดแปรรูป

กำหนดพารามิเตอร์ (Parameters):

$W_{min} =$ ความกว้างต่ำสุดของรูปแบบการตัด j ที่ยอมรับได้ คือ 89 นิ้ว

$W_{max} =$ ความกว้างม้วนวัตถุดิบที่เข้าแปรรูป หรือความกว้างสูงสุดของรูปแบบการตัด j คือ 96 นิ้ว

$N_{max} =$ จำนวนช่องตัดในแนวตั้งสูงสุดสำหรับแต่ละรูปแบบการตัด ซึ่งจะมากกว่าจำนวนใบมีดในแนวตั้งอยู่หนึ่งค่า = 8 ช่องตัด

$w_i =$ ข้อกำหนดความกว้างของผลิตภัณฑ์ขนาด i (นิ้ว) จากตารางที่ 5.2

$l_i =$ ข้อกำหนดความยาวของผลิตภัณฑ์ขนาด i (นิ้ว) จากตารางที่ 5.2

กำหนดตัวแปรตัดสินใจ (Variable):

$n_{i,j} =$ จำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่อยู่ในรูปแบบการตัดที่ j

$r_j =$ ความยาวของรูปแบบการตัดที่ j

ตัวแปรทั้งหมดที่นำเข้าสู่อัลกอริทึมเพื่อหาคำตอบสำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน สรุปได้ในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ตัวแปรใช้ในสร้างรูปแบบการตัดของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน

ผลิตภัณฑ์ขนาดที่ i	1	2	3	4
ความกว้าง (w_i)	30	31	32	31
ความยาว (l_i)	109,900	109,900	109,900	78,740
ความกว้างสูงสุด (W_{max})	96 นิ้ว			
ความกว้างต่ำสุด (W_{min})	89 นิ้ว			
ช่องตัดสูงสุด (N_{max})	8 ช่องตัด			

รูปแบบการตัดที่สร้างขึ้นมาจากอัลกอริทึม ของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน แสดงดังตารางที่ 5.4 ซึ่งประกอบไปด้วย 11 รูปแบบการตัด

ตารางที่ 5.4 รูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมดของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน

รูปแบบการตัดที่ j	จำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่อยู่ในรูปแบบการตัดที่ j ($n_{i,j}$)				ความกว้างของรูปแบบการตัด	ความยาวของรูปแบบการตัด (r_j)
	$n_{1,j}$	$n_{2,j}$	$n_{3,j}$	$n_{4,j}$		
1	0	0	3	0	96.0	109,900
2	0	1	2	0	95.0	109,900
3	1	0	2	0	94.0	109,900
4	0	1	2	0	94.0	109,900
5	0	0	0	3	93.0	78,740
6	1	1	1	0	93.0	109,900
7	0	3	0	0	93.0	109,900
8	2	0	1	0	92.0	109,900
9	1	2	0	0	92.0	109,900
10	2	1	0	0	91.0	109,900
11	3	0	0	0	90.0	109,900

ในรูปแบบการตัดที่ 1 จะประกอบไปด้วยผลิตภัณฑ์ขนาดที่ 3 จำนวน 3 ช่องตัด ซึ่งทำให้เกิดความกว้างของรูปแบบการตัดมากที่สุด คือ 96 นิ้ว, ในรูปแบบการตัดที่ 5 จะประกอบไปด้วยผลิตภัณฑ์ขนาดที่ 4 เพียงขนาดเดียว จำนวน 3 ช่องตัด เนื่องจากผลิตภัณฑ์ขนาดที่ 4 มีความยาวแตกต่างจากผลิตภัณฑ์อื่น จึงไม่สามารถจัดรูปแบบการตัดร่วมกับผลิตภัณฑ์อื่นได้, ในรูปแบบการตัดที่ 11 จะประกอบไปด้วยผลิตภัณฑ์ขนาดที่ 1 จำนวน 3 ช่องตัด ซึ่งทำให้เกิดความกว้างของรูปแบบการตัดน้อยที่สุด คือ 90 นิ้ว ส่วนความยาวของรูปแบบการตัดที่ j (r_j) ก็คือความยาวของม้วนผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบการตัด (l_i) ที่ j ซึ่งแต่ละม้วนจะต้องยาวเท่ากัน สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วนมีความยาวของม้วนผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน 2 ขนาด จึงทำให้มีความยาวของรูปแบบการตัด (r_j) แตกต่างกัน 2 ขนาดด้วยเช่นกัน

5.2 การหาคำตอบจากโปรแกรมเชิงเส้น

ในขั้นตอนต่อไป จะใช้โปรแกรมเชิงเส้นเพื่อหาคำตอบในการเลือกรูปแบบการตัด จำนวนครั้งที่มีการใช้รูปแบบการตัดนั้น และการเลือกใช้ม้วนวัตถุดิบที่เหลือจากการแปรรูปในครั้งก่อนหน้า หรือเลือกใช้ม้วนวัตถุดิบใหม่ในการแปรรูป โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้เกิดความสูญเสียจากการแปรรูปน้อยที่สุด ซึ่งความสูญเสียที่เกิดจากกระบวนการแปรรูปเกิดได้จาก 3 สาเหตุ คือ

1. เศษตัดริมกระดาษ เกิดขึ้นเมื่อความกว้างของรูปแบบการตัด น้อยกว่าความกว้างของม้วนวัตถุดิบ (W_{max}) หรือ เมื่อมีความยาวของม้วนวัตถุดิบเหลือจากการแปรรูป

2. ปรับแต่งเครื่องจักร เกิดขึ้นทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรูปแบบการตัด

3. ปริมาณที่ผลิตเกินความต้องการ เกินขึ้นเมื่อปริมาณกระดาษที่แปรรูปออกมามากกว่าปริมาณขั้นสูงที่ลูกค้าต้องการ ซึ่งลูกค้าจะไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเกินจากที่ต้องการ

วิธีการหาคำตอบสำหรับการแปรรูปม้วนด้วยโปรแกรมเชิงเส้น จะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

5.2.1 โปรแกรมเชิงเส้นที่ 1: ความยาวของม้วนวัตถุดิบที่เหลือทั้งหมดจะคิดเป็นความสูญเสียจากการแปรรูป

5.2.2 โปรแกรมเชิงเส้นที่ 2: ความยาวของม้วนวัตถุดิบที่เหลือมากกว่า 20% ของม้วนวัตถุดิบใหม่จะไม่คิดเป็นความสูญเสียจากการแปรรูป เนื่องจากสามารถเก็บไว้สำหรับใช้เป็นม้วนวัตถุดิบในการแปรรูปครั้งต่อไป แต่ถ้าความยาวของม้วนวัตถุดิบที่เหลือน้อยกว่า 20% ของม้วนวัตถุดิบใหม่จะคิดเป็นความสูญเสียจากการแปรรูป

โดยแบบจำลองทั้งสองแบบ แสดงดังต่อไปนี้

5.2.1 โปรแกรมเชิงเส้นที่ 1

ความยาวของม้วนวัตถุดิบที่เหลือจากการแปรรูปทั้งหมด เป็นความสูญเสียที่เกิดจากการแปรรูป โดยแบบจำลองแสดงได้ดังนี้

<u>กำหนดดัชนี (Indexes):</u>

$i = \{1,2,3,\dots,p\}$ เป็นเซตของขนาดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (Product size) จากการแปรรูป

$j = \{1,2,3,\dots,q\}$ เป็นเซตของรูปแบบการตัด (Cutting pattern) สำหรับการตัดแปรรูป

<u>กำหนดพารามิเตอร์ (Parameters):</u>

$L =$ ความยาวของม้วนวัตถุดิบ (นิ้ว)

$W_{max} =$ ความกว้างของม้วนวัตถุดิบ (นิ้ว)

$w_i =$ ข้อกำหนดความกว้างของผลิตภัณฑ์ขนาด i (นิ้ว)

$l_i =$ ข้อกำหนดความยาวของผลิตภัณฑ์ขนาด i (นิ้ว)

$r_j =$ ความยาวของรูปแบบการตัดที่ j (นิ้ว)

$n_{i,j} =$ จำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่อยู่ในรูปแบบการตัดที่ j

$a_{min,i}$ = ปริมาณขั้นต่ำของม้วนผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่ต้องการ (ม้วน)

$a_{max,i}$ = ปริมาณขั้นสูงของม้วนผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่ต้องการ (ม้วน)

S = ความยาวที่สูญเสียในการปรับแต่งเครื่องจักร เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนรูปแบบการตัด (นิ้ว)

H = จำนวนที่มีค่ามาก

<u>กำหนดตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables):</u>

k = จำนวนม้วนวัตถุดิบที่ต้องนำเข้าแปรรูป (ม้วน)

p_j = ความยาวรวมของการใช้รูปแบบการตัดที่ j (นิ้ว)

m_j = จำนวนครั้งที่มีการใช้รูปแบบการตัดที่ j

a_i = ปริมาณผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่ได้จากการแปรรูป (ม้วน)

$$y_j = \begin{cases} 1 \text{ ถ้ามีการใช้รูปแบบการตัดที่ } j \text{ ในการแปรรูป} \\ 0 \text{ ถ้าไม่มีการใช้รูปแบบการตัดที่ } j \text{ ในการแปรรูป} \end{cases}$$

s_i^+ = ปริมาณผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่แปรรูปออกมามากกว่า $a_{max,i}$ (ม้วน)

s_i^- = ปริมาณผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่แปรรูปออกมาน้อยกว่า $l_{max,i}$ (ม้วน)

สร้างโปรแกรมเชิงเส้นโดยมีสมการเป้าหมาย และสมการเงื่อนไข ดังนี้

<u>สมการเป้าหมาย (Objective Function):</u>

เกิดความสูญเสียกระดาษในการแปรรูปน้อยที่สุด ซึ่งคิดความสูญเสียในการแปรรูปจากเศษตัดริมกระดาษ, การปรับแต่งเครื่องจักร และปริมาณที่ผลิตเกินความต้องการ แสดงเป็นสมการโดยการคำนวณจากพื้นที่วัตถุดิบที่ใช้ทั้งหมด ลบด้วยพื้นที่ของผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปได้ บวกด้วยปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเกินความต้องการ

$$Minimize \qquad Z = k.W_{max}.L - \sum_{i=1}^{p} a_i \,.\, l_i.w_i + \sum_{i=1}^{p} s_i^+.l_i.w_i$$

<u>สมการเงื่อนไข (Constraints):</u>

1.ความยาวรวมของทุกรูปแบบการตัด รวมกับความยาวที่เกินจากการปรับแต่งเครื่องจักร จะต้องไม่เกินความยาวรวมของม้วนวัตถุดิบที่ใช้ในการแปรรูป

$$\sum_{j=1}^{q}(p_j + S.y_j) \leq k.L$$

2. กำหนดเงื่อนไขการใช้รูปแบบการตัด โดยให้ $y_j = \{1\}$ เมื่อมีการใช้รูปแบบการตัด j ในการแปรรูป

$$p_j \leq H.y_j \qquad \forall j$$

3. ความยาวรวมของการรูปแบบการตัดที่ j เท่ากับความยาวของรูปแบบการตัดที่ j คูณด้วยจำนวนครั้งในการใช้รูปแบบการตัดที่ j

$$p_j = r_j . m_j \qquad \forall j$$

4. คำนวณจำนวนม้วนของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่ได้จากการแปรรูป จากจำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่อยู่ในแต่ละรูปแบบการตัดคูณกับจำนวนครั้งในการใช้รูปแบบการตัดนั้น

$$\sum_{j=1}^{q} n_{i,j} . m_j = a_i \qquad \forall i$$

5. เงื่อนไขของจำนวนขั้นต่ำในการแปรรูป คือจำนวนม้วนที่ได้จากการแปรรูป ต้องมากกว่าจำนวนขั้นต่ำที่ต้องการ

$$a_i \geq a_{min,i} \qquad \forall i$$

6. คำนวณจำนวนผลิตภัณฑ์ได้จากการแปรรูป (a_i) หากแปรรูปเกินกว่าปริมาณขั้นสูงที่ต้องการ จะไม่นับเป็นผลิตภัณฑ์ แต่จะนับเป็นกระดาษที่สูญเสียจากการแปรรูป ดังที่แสดงในสมการวัตถุประสงค์

$$a_i - s_i^+ + s_i^- = a_{max,i} \qquad \forall i$$

7. จำนวนครั้งที่มีการใช้รูปแบบการตัดที่ j จะต้องเป็นจำนวนเต็มบวกเท่านั้น

$$m_j = int^+ \qquad \forall j$$

8. จำนวนม้วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูป จำนวนม้วนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตต่ำกว่าความต้องการขั้นสูงและผลิตมากกว่าความต้องการขั้นสูงจะต้องเป็นจำนวนเต็มบวกเท่านั้น

$$a_i, s_i^-, s_i^+ = int^+ \qquad \forall i$$

9. การเลือกใช้หรือไม่เลือกใช้รูปแบบการตัดที่ j เป็นตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี

$$y_j \in \{0,1\} \qquad \forall j$$

10.ความยาวรวมของรูปแบบการตัดที่ j ต้องเป็นจำนวนบวก

$$p_j \geq 0 \qquad \forall j$$

จากโปรแกรมเชิงเส้นที่แสดงรายละเอียดด้านบน สามารถนำมาใช้ในการหาคำตอบสำหรับการแปรรูปม้วนของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แสดงดังต่อไปนี้

กำหนดดัชนี (Indexes):

$i = \{1,2\}$ เป็นเซตของขนาดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (Product size) จากการแปรรูป ซึ่งมี 4 ขนาด

$j = \{1,2,3,4\}$ เป็นเซตของรูปแบบการตัด (Cutting pattern) สำหรับการตัดแปรรูป ซึ่งมี 11 รูปแบบการตัด แสดงในตารางที่ 5.4

กำหนดพารามิเตอร์ (Parameters):

$L =$ ความยาวของม้วนวัตถุดิบ (นิ้ว) คือ 558,000 นิ้ว

$W_{max} =$ ความกว้างของม้วนวัตถุดิบ (นิ้ว) คือ จากตารางที่ 5.3

$w_i =$ ข้อกำหนดความกว้างของผลิตภัณฑ์ขนาด i (นิ้ว) จากตารางที่ 5.3

$l_i =$ ข้อกำหนดความยาวของผลิตภัณฑ์ขนาด i (นิ้ว) จากตารางที่ 5.3

$r_j =$ ความยาวของรูปแบบการตัดที่ j (นิ้ว) จากตารางที่ 5.4

$n_{i,j} =$ จำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่อยู่ในรูปแบบการตัดที่ j จากตารางที่ 5.4

$a_{min,i} =$ ปริมาณขั้นต่ำของม้วนผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่ต้องการ (ม้วน) จากตารางที่ 5.2

$a_{max,i} =$ ปริมาณขั้นสูงของม้วนผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่ต้องการ (ม้วน) จากตารางที่ 5.2

$S =$ ความยาวที่สูญเสียในการปรับแต่งเครื่องจักร เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนรูปแบบการตัด (นิ้ว) คือ 1,500 นิ้ว

$H =$ จำนวนที่มีค่ามาก แทนด้วย 10^8

ตัวแปรทั้งหมดที่นำเข้าสู่โปรแกรมเชิงเส้น เพื่อหาคำตอบสำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน นำมาสรุปในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ตัวแปรของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วนที่ใช้ในการหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้นที่ 1

ผลิตภัณฑ์ขนาดที่ i	1	2	3	4
ความกว้าง (w_i)	30	31	32	31
ความยาว (l_i)	109,900	109,900	109,900	78,740
จำนวนม้วนที่แปรรูปขั้นต่ำ($a_{min,i}$)	61	32	15	120
จำนวนม้วนที่แปรรูปขั้นสูง ($a_{max,i}$)	64	34	15	127
ความยาวม้วนวัตถุดิบ (L)	558,000 นิ้ว			
ความกว้างสูงสุด (W_{max})	96 นิ้ว			
ความยาวในการปรับแต่งเครื่องจักร (S)	1,500 นิ้ว			
รูปแบบการตัดที่เป็นไปได้	แสดงในตารางที่ 5.4			
ความยาวของรูปแบบการตัด j	แสดงในตารางที่ 5.4			

ผลลัพธ์ที่ได้จากการหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้น แสดงรูปแบบการตัดและจำนวนครั้งที่ใช้รูปแบบการตัดในตารางที่ 5.6 และจำนวนม้วนของผลิตภัณฑ์แต่ละขนาดที่ผลิต แสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.6 การเลือกรูปแบบการตัดและจำนวนครั้งที่ใช้ สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน

รูปแบบการตัด j ที่เลือกใช้	จำนวนครั้งของการใช้รูปแบบการตัดที่ j
5	40
6	12
8	3
10	22

ตารางที่ 5.7 จำนวนม้วนผลิตภัณฑ์แต่ละขนาดที่ผลิต สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน

ผลิตภัณฑ์ขนาดที่ i	จำนวนม้วนขั้นต่ำที่ต้องการ ($a_{min,i}$)	จำนวนม้วนที่แปรรูป (a_i)	จำนวนม้วนขั้นสูงที่ต้องการ ($a_{max,i}$)
1	61	62	64
2	32	34	34
3	15	15	15
4	120	120	127

รูปแบบการตัดที่เลือกใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ A คือ รูปแบบการตัดที่ 5 จำนวน 40 ครั้ง รูปแบบการตัดที่ 6 จำนวน 12 ครั้ง รูปแบบการตัดที่ 8 จำนวน 3 ครั้ง และรูปแบบการตัดที่ 10 จำนวน 22 ครั้ง รวมแล้วสามารถแปรรูปผลิตภัณฑ์ขนาดที่ 1 ได้ 62 ม้วน ผลิตภัณฑ์ขนาดที่ 2 ได้ 34 ม้วน ผลิตภัณฑ์ขนาดที่ 3 ได้ 15 ม้วน และผลิตภัณฑ์ขนาดที่ 4 ได้ 120 ม้วน จะเห็นได้ว่าจำนวนม้วนที่ผลิตจะมากกว่าจำนวนม้วนขั้นต่ำที่ต้องการ ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไข และต่ำกว่าจำนวนม้วนขั้นสูงที่ต้องการจึงไม่เกิดความสูญเสียจากการผลิตเกิน ความสูญเสียที่เกิดขึ้นจึงเกิดจากเศษตัดริมกระดาษ 29,894,600 ตารางนิ้ว และจากการปรับแต่งเครื่องจักร 4 ครั้ง (มีการใช้ 4 รูปแบบการตัด) คือ 576,000 ตารางนิ้ว รวมความสูญเสียที่เกิดขึ้นคือ 30,470,600 ตารางนิ้ว จากม้วนวัตถุดิบที่นำเข้าแปรรูปจำนวน 13 ม้วน หรือคิดเป็น 4.38 % ของกระดาษที่นำเข้าแปรรูป ซึ่งเป็นคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการวางแผนแปรรูป

โดยจากการใช้โปรแกรมเชิงเส้นที่ 1 ในการวางแผนแปรรูปกระดาษกรอม้วน เปรียบเทียบกับวิธีการปัจจุบันที่ใช้ความชำนาญของพนักงานวางแผนแปรรูป สำหรับแต่ละรูปแบบปัญหา ให้ผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 เปรียบเทียบความสูญเสียในกระบวนการแปรรูปสำหรับกระดาษกรอม้วน ระหว่างการใช้โปรแกรมเชิงเส้นที่ 1 และวิธีการเดิม

โจทย์ตัวอย่างที่	จำนวน		เวลาในการหาคำตอบ (วินาที)	% ความสูญเสียกระดาษ		
	ขนาดผลิตภัณฑ์	รูปแบบการตัด		โปรแกรมเชิงเส้น	พนักงานคำนวณมือ	ความแตกต่าง
1	2	4	0.02	6.28	6.32	0.04
2	3	5	0.03	5.35	5.35	0.00
3	2	4	0.05	3.17	4.87	1.70
4	2	2	0.05	4.81	4.81	0.00
5	2	2	0.03	4.49	6.20	1.71
6	3	5	0.03	6.24	13.82	7.58
7	2	2	0.05	3.57	4.56	0.99
8	3	3	0.02	3.32	7.98	4.66
9	4	11	0.01	4.38	4.39	0.01
10	3	5	0.08	3.35	4.09	0.74
11	3	5	0.02	5.54	6.34	0.80
12	5	35	600	6.02	10.14	4.12
13	3	3	0.03	6.73	7.23	1.00
14	4	4	0.05	3.02	3.57	0.55
15	3	9	0.09	2.05	8.01	5.96
16	3	5	0.06	2.56	2.58	0.02
17	3	5	0.05	2.51	3.96	1.45
18	3	3	0.03	8.48	8.48	0.00
19	3	5	0.05	3.87	3.87	0.00
20	3	5	0.03	2.91	2.96	0.05
เฉลี่ย			30.04	4.43	5.98	1.57

5.2.2 **โปรแกรมเชิงเส้นที่** 2

ความยาวของม้วนวัตถุดิบที่เหลือมากกว่า 20% ของม้วนวัตถุดิบใหม่จะไม่คิดเป็นความสูญเสียจากการแปรรูป เนื่องจากสามารถเก็บไว้สำหรับใช้เป็นม้วนวัตถุดิบในการแปรรูปครั้งต่อไป แต่ถ้าความยาวของม้วนวัตถุดิบที่เหลือน้อยกว่า 20% ของม้วนวัตถุดิบใหม่จะคิดเป็นความสูญเสียจากการแปรรูป ซึ่งเงื่อนไขนี้จะทำให้ม้วนวัตถุดิบที่นำเข้าแปรรูปในแต่ละครั้งมีความยาวที่แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งม้วนวัตถุดิบที่นำเข้าแปรรูปได้เป็นสองกลุ่ม คือกลุ่มม้วนวัตถุดิบใหม่ซึ่งจะมีความยาวเท่ากันทุกม้วน และกลุ่มของม้วนวัตถุดิบที่เหลือมาจากครั้งก่อนหน้า ซึ่งจะมีความยาวม้วนแตกต่างกันไป ทำให้มีโปรแกรมเชิงเส้นที่แตกต่างจากโปรแกรมเชิงเส้นที่ 1 โดยโปรแกรมเชิงเส้นที่ 2 แสดงได้ดังนี้

<u>กำหนดดัชนี (Indexes):</u>

$i = \{1,2,3,\dots,p\}$ เป็นเซตของขนาดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (Product size) จากการแปรรูป

$j = \{1,2,3,\dots,q\}$ เป็นเซตของรูปแบบการตัด (Cutting pattern) สำหรับการตัดแปรรูป

$l = \{1,2,3,\dots,s\}$ เป็นเซตของม้วนวัตถุดิบ (Raw paper roll) ที่เหลือจากการแปรรูปในครั้งก่อนหน้า

<u>กำหนดพารามิเตอร์ (Parameters):</u>

$L =$ ความยาวของม้วนวัตถุดิบใหม่ (นิ้ว)

$R_l =$ ความยาวของม้วนวัตถุดิบ ที่เหลือจากการแปรรูปในครั้งก่อนหน้า (นิ้ว)

$W_{max} =$ ความกว้างของม้วนวัตถุดิบ (นิ้ว)

$w_i =$ ข้อกำหนดความกว้างของผลิตภัณฑ์ขนาด i (นิ้ว)

$l_i =$ ข้อกำหนดความยาวของผลิตภัณฑ์ขนาด i (นิ้ว)

$r_j =$ ความยาวของรูปแบบการตัดที่ j (นิ้ว)

$n_{i,j} =$ จำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่อยู่ในรูปแบบการตัดที่ j

$a_{min,i} =$ ปริมาณขั้นต่ำของม้วนผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่ต้องการ (ม้วน)

$a_{max,i} =$ ปริมาณขั้นสูงของม้วนผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่ต้องการ (ม้วน)

$S =$ ความยาวที่สูญเสียในการปรับแต่งเครื่องจักร เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนรูปแบบการตัด (นิ้ว)

$H =$ จำนวนที่มีค่ามาก

<u>กำหนดตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables):</u>

$k =$ จำนวนม้วนวัตถุดิบใหม่ที่ต้องนำเข้าแปรรูป (ม้วน)

$p_j =$ ความยาวรวมของการใช้รูปแบบการตัดที่ j (นิ้ว)

$m_j =$ จำนวนครั้งที่มีการใช้รูปแบบการตัดที่ j

$$y_j = \begin{cases} 1 \text{ ถ้ามีการใช้รูปแบบการตัดที่ } j \text{ ในการแปรรูป} \\ 0 \text{ ถ้าไม่มีการใช้รูปแบบการตัดที่ } j \text{ ในการแปรรูป} \end{cases}$$

$e_1 =$ ความยาวของกระดาษที่เหลือทิ้งจากการแปรรูป (นิ้ว)

$E_1 =$ { 1 ถ้ามีความยาวของกระดาษที่เหลือทิ้งจากการแปรรูป ; 0 ถ้าไม่มีความยาวของกระดาษที่เหลือทิ้งจากการแปรรูป

$e_2 =$ ความยาวของกระดาษที่เหลือเก็บไว้ใช้ในการแปรรูปครั้งถัดไป(นิ้ว)

$E_2 =$ { 1 ถ้ามีความยาวของกระดาษที่เหลือเก็บไว้ใช้ในการแปรรูปครั้งถัดไป ; 0 ถ้าไม่มีความยาวของกระดาษที่เหลือเก็บไว้ใช้ในการแปรรูปครั้งถัดไป

$a_i =$ ปริมาณผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่ได้จากการแปรรูป (ม้วน)

$Y_l =$ { 1 ถ้ามีการใช้ม้วนวัตถุดิบ l ในการแปรรูป (ม้วนวัตถุดิบที่เหลือจากการแปรรูปในครั้งก่อนหน้า) ; 0 ถ้าไม่มีการใช้ม้วนวัตถุดิบ l ในการแปรรูป (ม้วนวัตถุดิบที่เหลือจากการแปรรูปในครั้งก่อนหน้า)

$s_i^+ =$ ปริมาณผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่แปรรูปออกมามากกว่า $a_{max,i}$ (ม้วน)

$s_i^- =$ ปริมาณผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่แปรรูปออกมาน้อยกว่า $l_{max,i}$ (ม้วน)

สร้างโปรแกรมเชิงเส้นโดยมีสมการเป้าหมาย และสมการเงื่อนไข ดังนี้

สมการเป้าหมาย (Objective Function):

เกิดความสูญเสียกระดาษในการแปรรูปน้อยที่สุด ซึ่งคิดความสูญเสียในการแปรรูปจากเศษตัดริมกระดาษ, การปรับแต่งเครื่องจักร และปริมาณที่ผลิตเกินความต้องการ โดยมีรายละเอียด คือ

- ความสูญเสียจากเศษตัดริมกระดาษ คำนวณจากพื้นที่ของเศษตัดริมที่ต้องตัดทิ้ง และพื้นที่ของกระดาษเหลือทิ้งจากการแปรรูป
- ความสูญเสียจากการปรับแต่งเครื่องจักร คำนวณจากจำนวนครั้งของการปรับแต่งเครื่องจักรคูณด้วยพื้นที่ที่สูญเสียจากการปรับแต่งแต่ละครั้ง
- ความสูญเสียจากปริมาณที่ผลิตเกิน คำนวณจากจำนวนม้วนที่ผลิตเกินคูณด้วยพื้นที่ของแต่ละม้วน

$$Minimize\ \ Z = \sum_{j=1}^{q} p_j.(W_{max} - \sum_{i=1}^{p} w_i.n_{i,j}) + e_1.W_{max} + \sum_{j=1}^{q} y_j.S.W_{max} + \sum_{i=1}^{p} s_i^+.l_i.w_i$$

<u>สมการเงื่อนไข (Constraints):</u>

1.ความยาวรวมของทุกรูปแบบการตัด รวมกับความยาวที่เกิดจากการปรับแต่งเครื่องจักร และความยาวของกระดาษเหลือทิ้งจากการแปรรูป หรือความยาวของกระดาษที่เหลือเก็บไว้ใช้ในการแปรรูปครั้งถัดไป จะต้องไม่เกินความยาวรวมของม้วนวัตถุดิบทั้งหมดที่ใช้ในการแปรรูป ซึ่งคิดรวมทั้งม้วนวัตถุดิบใหม่และม้วนวัตถุดิบที่เหลือจากการแปรรูปในครั้งก่อนหน้า

$$\sum_{j=1}^{q}(p_j + y_j.S) + e_1 + e_2 = k.L + \sum_{l=1}^{s} Y_l.R_l$$

2.ถ้าความยาวที่เหลือจากการแปรรูป น้อยกว่า 20% ของม้วนวัตถุดิบใหม่ ส่วนที่เหลือนี้จะต้องทิ้ง และคำนวณเป็นกระดาษที่ต้องสูญเสียจากการแปรรูปตามสมการวัตถุประสงค์

$$e_1 \leq 0.2L$$

3. กำหนดเงื่อนไขการใช้รูปแบบการตัด โดยให้ $E_1 = \{1\}$ เมื่อมีกระดาษเหลือทิ้งจากการแปรรูป

$$e_1 \leq H.E_1$$

4. ถ้าความยาวที่เหลือจากการแปรรูป มากกว่า 20% ของม้วนวัตถุดิบใหม่ จะไม่ทิ้งส่วนที่เหลือนี้ แต่จะเก็บไว้ใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปครั้งถัดไป

$$e_2 \geq 0.2L$$

5. ถ้าความยาวที่เหลือจากการแปรรูป จะต้องไม่มากกว่าความยาวของม้วนวัตถุดิบใหม่

$$e_2 \leq L$$

6. กำหนดเงื่อนไขการใช้รูปแบบการตัด โดยให้ $E_2 = \{1\}$ เมื่อมีกระดาษเหลือเก็บไว้ใช้ในการแปรรูปครั้งถัดไป

$$e_2 \leq H.E_2$$

7. กำหนดเงื่อนไขให้เลือกว่ากระดาษส่วนที่เหลือจากการแปรรูป จะทิ้งหรือเก็บไว้ใช้ในการแปรรูปครั้งถัดไปอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น

$$E_1 + E_2 \leq 1$$

8. กำหนดเงื่อนไขการใช้รูปแบบการตัด โดยให้ $y_j = \{1\}$ เมื่อมีการใช้รูปแบบการตัด j ในการแปรรูป

$$p_j \leq H.y_j \qquad \forall j$$

9. ความยาวรวมของการรูปแบบการตัดที่ j เท่ากับความยาวของรูปแบบการตัดที่ j คูณด้วยจำนวนครั้งในการใช้รูปแบบการตัดที่ j

$$p_j = r_j.m_j \qquad \forall j$$

10. คำนวณจำนวนม้วนของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่ได้จากการแปรรูป จากจำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่อยู่ในแต่ละรูปแบบการตัดคูณกับจำนวนครั้งในการใช้รูปแบบการตัดนั้น

$$\sum_{j=1}^{q} n_{i,j.} m_j = a_i \qquad \forall i$$

11. เงื่อนไขของจำนวนขั้นต่ำในการแปรรูป คือจำนวนม้วนที่ได้จากการแปรรูป ต้องมากกว่าจำนวนขั้นต่ำที่ต้องการ

$$a_i \geq a_{min,i} \qquad \forall i$$

12. คำนวณจำนวนผลิตภัณฑ์ได้จากการแปรรูป (a_i) หากแปรรูปเกินกว่าปริมาณขั้นสูงที่ต้องการ จะไม่นับเป็นผลิตภัณฑ์ แต่จะนับเป็นกระดาษที่สูญเสียจากการแปรรูป ดังที่แสดงในสมการวัตถุประสงค์

$$a_i - s_i^+ + s_i^- = a_{max,i} \qquad \forall i$$

13. จำนวนครั้งที่มีการใช้รูปแบบการตัดที่ j จะต้องเป็นจำนวนเต็มบวกเท่านั้น

$$m_j = int^+ \qquad \forall j$$

14. จำนวนม้วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูป จำนวนม้วนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตต่ำกว่าความต้องการขั้นสูงและผลิตมากกว่าความต้องการขั้นสูงจะต้องเป็นจำนวนเต็มบวกเท่านั้น

$$a_i, s_i^-, s_i^+ = int^+ \qquad \forall i$$

15. การเลือกใช้หรือไม่เลือกใช้รูปแบบการตัดที่ j เป็นตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี

$$y_j \in \{0,1\} \qquad \forall j$$

16.ความยาวรวมของรูปแบบการตัดที่ j ต้องเป็นจำนวนบวก

$$p_j \geq 0 \qquad \forall j$$

จากโปรแกรมเชิงเส้นที่แสดงรายละเอียดด้านบน สามารถนำมาใช้ในการหาคำตอบสำหรับการแปรรูปแบบม้วนของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A โดยกำหนดให้ไม่มีม้วนผลิตภัณฑ์ที่เหลือจากการแปรรูปในครั้งก่อนหน้า ในการแปรรูปจึงมีเพียงม้วนผลิตภัณฑ์ใหม่เท่านั้น การหาคำตอบแสดงได้ดังนี้

<u>กำหนดดัชนี (Indexes):</u>

$i = \{1,2,3,4\}$ เป็นเซตของขนาดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (Product size) จากการแปรรูป ซึ่งมี 4 ขนาด

$j = \{1,2,3, \dots ,11\}$ เป็นเซตของรูปแบบการตัด (Cutting pattern) สำหรับการตัดแปรรูป ซึ่งมี 11 รูปแบบการตัด แสดงในตารางที่ 5.4

$l = \{1,2,3, \dots , s\}$ เป็นเซตของม้วนวัตถุดิบ (Raw paper roll) ที่เหลือจากการแปรรูปในครั้งก่อนหน้า คือ 0 ม้วน เนื่องจากไม่มีม้วนวัตถุดิบที่เหลือจากการแปรรูปในครั้งก่อนหน้า

<u>กำหนดพารามิเตอร์ (Parameters):</u>

$L =$ ความยาวของม้วนวัตถุดิบใหม่ (นิ้ว) คือ 558,000 นิ้ว

$R_l =$ ความยาวของม้วนวัตถุดิบ ที่เหลือจากการแปรรูปในครั้งก่อนหน้า (นิ้ว) คือ 0 นิ้ว เนื่องจากไม่มีม้วนวัตถุดิบที่เหลือจากการแปรรูปในครั้งก่อนหน้า

$W_{max} =$ ความกว้างของม้วนวัตถุดิบ (นิ้ว) คือ จากตารางที่ 5.3

$w_i =$ ข้อกำหนดความกว้างของผลิตภัณฑ์ขนาด i (นิ้ว) จากตารางที่ 5.3

$l_i =$ ข้อกำหนดความยาวของผลิตภัณฑ์ขนาด i (นิ้ว) จากตารางที่ 5.3

$r_j =$ ความยาวของรูปแบบการตัดที่ j (นิ้ว) จากตารางที่ 5.4

$n_{i,j} =$ จำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่อยู่ในรูปแบบการตัดที่ j จากตารางที่ 5.4

$a_{min,i} =$ ปริมาณขั้นต่ำของม้วนผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่ต้องการ (ม้วน) จากตารางที่ 5.2

$a_{max,i} =$ ปริมาณขั้นสูงของม้วนผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่ต้องการ (ม้วน) จากตารางที่ 5.2

$S =$ ความยาวที่สูญเสียในการปรับแต่งเครื่องจักร เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนรูปแบบการตัด (นิ้ว) คือ 1,500 นิ้ว

$H =$ จำนวนที่มีค่ามาก แทนด้วย 10^8

ตัวแปรทั้งหมดที่นำเข้าสู่โปรแกรมเชิงเส้น เพื่อหาคำตอบสำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน นำมาสรุปในตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 ตัวแปรของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วนที่ใช้ในการหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้นที่ 2

ผลิตภัณฑ์ขนาดที่ i	1	2	3	4
ความกว้าง (w_i)	30	31	32	31
ความยาว (l_i)	109,900	109,900	109,900	78,740
จำนวนม้วนที่แปรรูปขั้นต่ำ($a_{min,i}$)	61	32	15	120
จำนวนม้วนที่แปรรูปขั้นสูง ($a_{max,i}$)	64	34	15	127
ความยาวม้วนวัตถุดิบ (L)	558,000 นิ้ว			
ความยาวของม้วนวัตถุดิบ ที่เหลือจากการแปรรูปในครั้งก่อนหน้า (R_l)	0 นิ้ว			
ความกว้างสูงสุด (W_{max})	96 นิ้ว			
ความยาวในการปรับแต่งเครื่องจักร (S)	1,500 นิ้ว			
รูปแบบการตัดที่เป็นไปได้	แสดงในตารางที่ 5.4			
ความยาวของรูปแบบการตัด j	แสดงในตารางที่ 5.4			

ผลลัพธ์ที่ได้จากการหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้น แสดงรูปแบบการตัดและจำนวนครั้งที่ใช้รูปแบบการตัดในตารางที่ 5.10 และจำนวนม้วนของผลิตภัณฑ์แต่ละขนาดที่ผลิต แสดงในตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.10 การเลือกรูปแบบการตัดและจำนวนครั้งที่ใช้ สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน

รูปแบบการตัด j ที่เลือกใช้	จำนวนครั้งของการใช้รูปแบบการตัดที่ j
5	40
6	11
8	4
10	21

ตารางที่ 5.11 จำนวนม้วนผลิตภัณฑ์แต่ละขนาดที่ผลิต สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน

ผลิตภัณฑ์ขนาดที่ i	จำนวนม้วนขั้นต่ำที่ต้องการ ($a_{min,i}$)	จำนวนม้วนที่แปรรูป (a_i)	จำนวนม้วนขั้นสูงที่ต้องการ ($a_{max,i}$)
1	61	61	64
2	32	32	34
3	15	15	15
4	120	120	127

รูปแบบการตัดที่เลือกใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ A คือ รูปแบบการตัดที่ 5 จำนวน 40 ครั้ง รูปแบบการตัดที่ 6 จำนวน 11 ครั้ง รูปแบบการตัดที่ 8 จำนวน 4 ครั้ง และรูปแบบการตัดที่ 10 จำนวน 21 ครั้ง รวมแล้วสามารถแปรรูปผลิตภัณฑ์ขนาดที่ 1 ได้ 61 ม้วน ผลิตภัณฑ์ขนาดที่ 2 ได้ 32 ม้วน ผลิตภัณฑ์ขนาดที่ 3 ได้ 15 ม้วน และผลิตภัณฑ์ขนาดที่ 4 ได้ 120 ม้วน โดยจำนวนม้วนผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปได้มากกว่าจำนวนม้วนขั้นต่ำที่ต้องการ ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไข และต่ำกว่าจำนวนม้วนขั้นสูงที่ต้องการจึงไม่เกิดความสูญเสียจากการผลิตเกิน จึงมีความสูญเสียจากเศษตัดริมกระดาษ 26,373,000 ตารางนิ้ว และจากการปรับแต่งเครื่องจักร 5 ครั้ง (มีการใช้ 5 รูปแบบการตัด) คือ 576,000 ตารางนิ้ว รวมความสูญเสียที่เกิดขึ้นคือ 26,949,400 ตารางนิ้ว จากม้วนวัตถุดิบที่นำเข้าแปรรูปจำนวน 13 ม้วน โดยมีความยาวกระดาษเหลือเก็บไว้ใช้ในการแปรรูปครั้งถัดไปอีก 142,000 นิ้ว คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของกระดาษที่สูญเสียต่อกระดาษที่ใช้ในการแปรรูป ได้เท่ากับ 3.87 % ซึ่งเป็นคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการวางแผนแปรรูป

โดยจากการใช้โปรแกรมเชิงเส้นที่ 2 ในการวางแผนแปรรูปกระดาษกรอม้วน เปรียบเทียบกับวิธีการปัจจุบันที่ใช้ความชำนาญของพนักงานวางแผนแปรรูป สำหรับแต่ละรูปแบบปัญหา ให้ผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 5.12

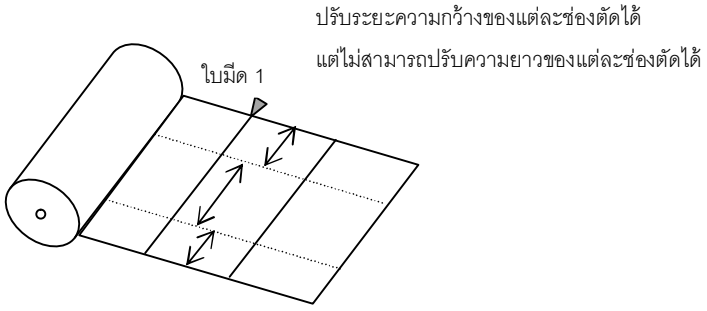
ตารางที่ 5.12 การเปรียบเทียบความสูญเสียในกระบวนการแปรรูปสำหรับกระดาษกรอม้วน ระหว่างการใช้โปรแกรมเชิงเส้นที่ 2 และวิธีการเดิม

โจทย์ตัวอย่างที่	จำนวน		เวลาในการหาคำตอบ (วินาที)	% ความสูญเสียกระดาษ		
	ขนาดผลิตภัณฑ์	รูปแบบการตัด		โปรแกรมเชิงเส้น	พนักงานคำนวณมือ	ความแตกต่าง
1	2	4	0.05	4.66	6.32	1.66
2	3	5	0.06	4.01	5.35	1.34
3	2	4	0.03	3.05	4.87	1.82
4	2	2	0.05	1.15	4.81	3.66
5	2	2	0.00	3.02	6.2	3.18
6	3	5	0.03	4.12	13.82	9.70
7	2	2	0.00	2.02	4.56	2.54
8	3	3	0.02	3.11	7.98	4.87
9	4	11	0.05	3.87	4.39	0.52
10	3	5	0.03	3.09	4.09	1.00
11	3	5	0.12	4.05	6.34	2.29
12	5	35	2.68	5.51	10.14	4.63
13	3	3	0.00	2.94	7.23	4.29
14	4	4	0.01	1.95	3.57	1.62
15	3	9	0.06	0.57	8.01	7.44
16	3	5	0.08	2.37	2.58	0.21
17	3	5	0.06	2.2	3.96	1.76
18	3	3	0.02	3.35	8.48	5.13
19	3	5	0.03	3.05	3.87	0.82
20	3	5	0.06	2.51	2.96	0.45
เฉลี่ย			0.17	3.03	5.98	2.95

บทที่ 6

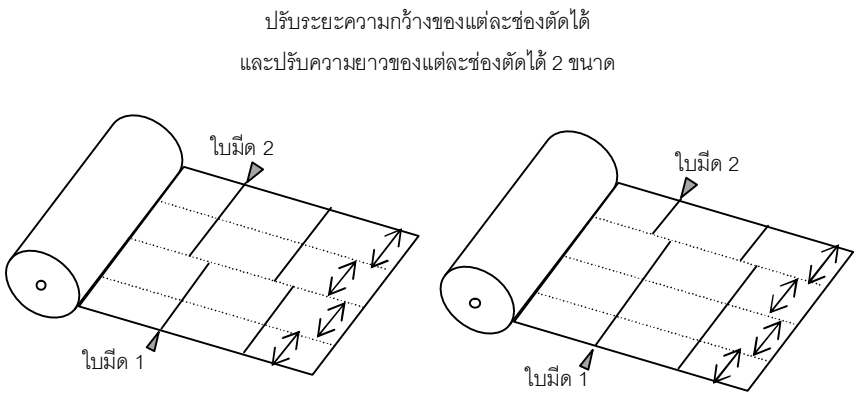
การหาคำตอบสำหรับเครื่องจักรแปรรูป Cutter

เครื่องจักรแปรรูป Cutter 1 และ Cutter 2 ใช้สำหรับแปรรูปคำสั่งซื้อที่เป็นแผ่น โดยจะมีใบมีดตัดในแนวตั้ง 3 ใบ จึงสามารถตัดแบ่งม้วนวัตถุดิบขนาดใหญ่ ออกเป็นแผ่นผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดความกว้างแตกต่าง ๆ ได้สูงสุดถึง 4 ช่องตัด โดยเครื่อง Cutter 1 จะมีใบมีดตัดในแนวนอนเพียง 1 ใบ จึงตัดได้ความยาวเดียว ดังนั้น ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบการตัดเดียวกัน จะต้องมีความยาวเท่ากันเท่านั้น ลักษณะการแปรรูปด้วยเครื่อง Cutter 1 แสดงดังภาพที่ 6.1 เศษตัดริมกระดาษจะเกิดขึ้นเมื่อความกว้างของรูปแบบการตัด น้อยกว่าความกว้างของม้วนวัตถุดิบ หรือความยาวรวมของผลิตภัณฑ์ตัดน้อยกว่าความยาวของม้วนวัตถุดิบ โดยเนื่องด้วยข้อจำกัดของเครื่องจักรแปรรูป ม้วนวัตถุดิบที่เหลือจากการแปรรูปจะไม่สามารถเก็บไว้ใช้ในครั้งถัดไปได้ ส่วนที่เหลือจากการแปรรูปจึงต้องคิดเป็นเศษตัดริมกระดาษทั้งหมด



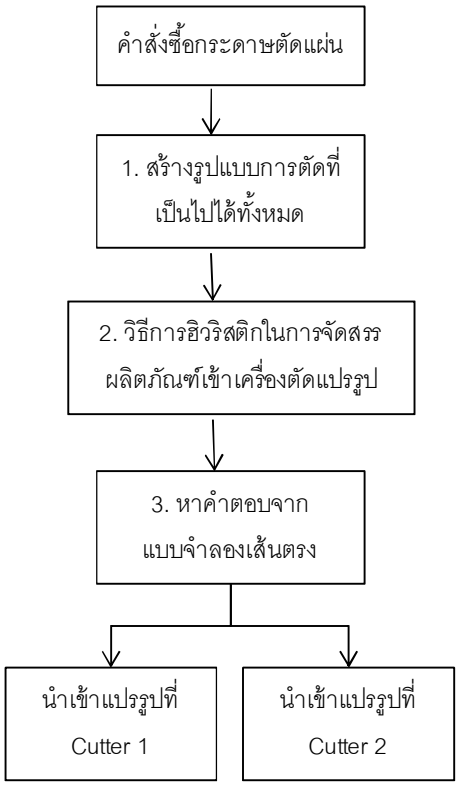
ภาพที่ 6.1 ลักษณะการแปรรูปของ Cutter 1

ส่วนเครื่อง Cutter 2 จะมีใบมีดตัดในแนวนอนเพียงถึง 2 ใบ จึงสามารถตัดได้สองความยาว ดังนั้น ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบการตัดเดียวกัน จะมีความยาวแตกต่างกันได้สูงสุดสองความยาว ลักษณะการแปรรูปด้วยเครื่อง Cutter 2 แสดงดังภาพที่ 6.2 โดยเศษตัดริมกระดาษจะเกิดขึ้นเมื่อความกว้างของรูปแบบการตัด น้อยกว่าความกว้างของม้วนวัตถุดิบ ความยาวรวมของแต่ละผลิตภัณฑ์ในรูปแบบการตัดเดียวกันไม่เท่ากัน และความยาวรวมของผลิตภัณฑ์ตัดน้อยกว่าความยาวของม้วนวัตถุดิบ



ภาพที่ 6.2 ลักษณะการแปรรูปของ Cutter 2

การหาคำตอบสำหรับกระดาษตัดแผ่น นอกจากจะต้องสร้างรูปแบบการตัด และหาคำตอบจากโปรแกรมเชิงเส้นแล้ว ยังต้องมีการเลือกเครื่องจักรที่ใช้ในการแปรรูปด้วย เนื่องจากมีเครื่องจักรในการแปรรูปกระดาษตัดแผ่นสองเครื่อง คือ Cutter 1 และ Cutter 2 โดยเครื่องจักรมีเงื่อนไขของใบมีดตัดในแนวนอนที่แตกต่างกัน ซึ่งการเลือกเครื่องจักรในการแปรรูปจะต้องคำนึงถึงกำลังการผลิตของเครื่องจักรด้วย โดยเฉพาะ Cutter 2 ซึ่งมีข้อจำกัดในการแปรรูปน้อยกว่า Cutter 1 โดยขั้นตอนในการหาคำตอบสำหรับกระดาษตัดแผ่นแสดงดังภาพที่ 6.3 ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนหลัก คือ การสร้างรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมด, วิธีการฮิวริสติกในการจัดสรรผลิตภัณฑ์เข้าเครื่องตัดแปรรูป และการหาคำตอบจากโปรแกรมเชิงเส้น ดังจะอธิบายรายละเอียดของแต่ละหัวข้อต่อไป



ภาพที่ 6.3 ขั้นตอนในการหาคำตอบสำหรับปัญหาเศษตัดริมกระดาษของเครื่องจักรแปรรูป Cutter

การวางแผนแปรรูปเริ่มตั้งแต่รับคำสั่งซื้อจากลูกค้า โดยในกลุ่มผลิตภัณฑ์เดียวกันจะนำขนาดต่าง ๆ ที่มีการสั่งซื้อมาวางแผนแปรรูปร่วมกัน จากตารางที่ 6.1 แสดงคำสั่งซื้อในรูปแบบแผ่นของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A ซึ่งมีลูกค้า 2 รายสั่งซื้อในขนาดที่แตกต่างกันจำนวน 3 ขนาด โดยลูกค้าจะแจ้งความต้องการผลิตภัณฑ์ ขนาดม้วน ปริมาณที่สั่งซื้อ และปริมาณความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

ตารางที่ 6.1 คำสั่งซื้อของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่น

ผลิตภัณฑ์	ขนาดที่	แกรม	ขนาด กว้าง x ยาว (นิ้ว)	ปริมาณที่ผลิต (ตัน)			ลูกค้า
				สั่งซื้อ	ขั้นต่ำ	ขั้นสูง	
A	1	85	24 x 35	10.2	ไม่ต่ำกว่าปริมาณที่สั่งซื้อ	ไม่เกิน 5% ของปริมาณที่สั่งซื้อ	รายที่ 1
A	2	85	35 x 24	1.9			รายที่ 1
A	3	85	24 x 34.5	4.3			รายที่ 2

เนื่องจากผลิตภัณฑ์สั่งซื้อในรูปแบบแผ่น แต่การวิธีการวางแผนแปรรูปใช้วิธีการหาความยาวรวมของผลิตภัณฑ์แต่ละขนาดที่จะต้องตัดแปรรูป จึงต้องแปลงความต้องการจากตันให้กลายเป็นความยาวกระดาษ โดยสามารถคำนวณเป็นความยาวได้จากสูตร

$$\text{ความยาวที่ต้องการ (เมตร)} = \frac{\text{ปริมาณที่ต้องการ (กรัม)}}{\text{ความกว้าง (เมตร) x แกรม (กรัมต่อตารางเมตร)}}$$

เช่น จากตารางที่ 6.1 วิธีการคำนวณความยาวรวมของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A ขนาดที่ 1 ซึ่งมีแกรม 85, ความกว้างแผ่น 24นิ้ว และปริมาณกระดาษที่ต้องการ 10.2 ตัน คือ

$$\text{ความยาวที่ต้องการ (เมตร)} = \frac{\text{ปริมาณที่ต้องการ (กรัม)}}{\text{ความกว้าง (เมตร) x แกรม (กรัมต่อตารางเมตร)}}$$

$$\text{ความยาวที่ต้องการ (เมตร)} = \frac{(10.2 \times 1{,}000{,}000)}{(24 \times 0.0254) \times 85} = 196{,}850$$

$$\text{ความยาวที่ต้องการ (นิ้ว)} = 1{,}968{,}504/0.0254 = 7{,}750{,}000$$

ดังนั้น ความยาวรวมของผลิตภัณฑ์กลุ่ม A ขนาดที่ 1 ที่ต้องแปรรูป คือ 7,750,000 นิ้ว ส่วนการคำนวณเป็นความยาวในการสั่งซื้อขั้นต่ำ และขั้นสูงก็ใช้วิธีการเดียวกัน ซึ่งจากตารางที่ 6.1 จะสามารถคำนวณเป็นความยาวรวมของผลิตภัณฑ์แต่ละขนาดที่ต้องผลิตได้ ดังแสดงในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ผลการคำนวณความยาวที่ต้องแปรรูปของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่น

ผลิตภัณฑ์	ขนาดที่	ขนาด (นิ้ว)		ความยาวที่ผลิต (นิ้ว)			ลูกค้า
		กว้าง (w_i)	ยาว (l_i)	สั่งซื้อ	ขั้นต่ำ ($l_{min,i}$)	ขั้นสูง ($l_{max,i}$)	
A	1	24.00	35.00	7,750,000	7,750,000	8,215,000	รายที่ 1
A	2	35.00	24.00	1,002,943	1,002,943	1,063,120	รายที่ 1
A	3	24.00	34.50	3,301,355	3,301,355	3,499,436	รายที่ 2

6.1 การสร้างรูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมด

สร้างรูปแบบการตัด (Cutting patterns) ที่เป็นไปได้ทั้งหมด ดำเนินการตามวิธีการที่ได้อธิบายไปแล้วในบทที่ 4 โดยสำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่น แสดงได้ดังนี้

กำหนดดรรชนี (Indexes):

$i = \{1,2,3\}$ เป็นเซตของขนาดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (Product size) จากการแปรรูป ซึ่งมี 3 ขนาด

$j = \{1,2,3, \dots, q\}$ เป็นเซตของรูปแบบการตัด (Cutting pattern) สำหรับการตัดแปรรูป

กำหนดพารามิเตอร์ (Parameters):

$W_{min} =$ ความกว้างต่ำสุดของรูปแบบการตัด j ที่ยอมรับได้ คือ 89 นิ้ว

$W_{max} =$ ความกว้างม้วนวัตถุดิบที่เข้าแปรรูป หรือความกว้างสูงสุดของรูปแบบการตัด j คือ 96 นิ้ว

$N_{max} =$ จำนวนช่องตัดในแนวตั้งสูงสุดสำหรับแต่ละรูปแบบการตัด ซึ่งจะมากกว่าจำนวนใบมีดในแนวตั้งอยู่หนึ่งค่า = 4 ช่องตัด

$w_i =$ ข้อกำหนดความกว้างของผลิตภัณฑ์ขนาด i (นิ้ว) จากตารางที่ 6.2

$l_i =$ ข้อกำหนดความยาวของผลิตภัณฑ์ขนาด i (นิ้ว) จากตารางที่ 6.2

กำหนดตัวแปรตัดสินใจ (Variable):

$n_{i,j} =$ จำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่อยู่ในรูปแบบการตัดที่ j

ตัวแปรทั้งหมดที่นำเข้าสู่อัลกอริทึมเพื่อหาคำตอบสำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบม้วน แสดงในตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 ตัวแปรใช้ในสร้างรูปแบบการตัดของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่น

ผลิตภัณฑ์ขนาดที่ i	1	2	3
ความกว้าง (w_i)	24.0	35.0	24.0
ความยาว (l_i)	35.0	24	34.5
ความกว้างสูงสุด (W_{max})	96 นิ้ว		
ความกว้างต่ำสุด (W_{min})	89 นิ้ว		
ช่องตัดสูงสุด (N_{max})	4 ช่องตัด		

รูปแบบการตัดที่สร้างจากอัลกอริทึม ของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่น แสดงดังตารางที่ 6.4 ซึ่งประกอบไปด้วย 7 รูปแบบการตัด

ตารางที่ 6.4 รูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมด ของผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่น

รูปแบบการตัดที่ j	จำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่อยู่ในรูปแบบการตัดที่ j ($n_{i,j}$)			ความกว้างของรูปแบบการตัด	จำนวนความยาว
	$n_{1,j}$	$n_{2,j}$	$n_{3,j}$		
1	4	0	0	96.0	1
2	0	0	4	96.0	1
3	3	0	1	96.0	2
4	2	0	2	96.0	2
5	1	0	3	96.0	2
6	1	2	0	94.0	2
7	0	2	1	94.0	2

ในรูปแบบการตัดที่ 1 จะประกอบไปด้วยผลิตภัณฑ์ขนาดที่ 1 จำนวน 4 ช่องตัด ทำให้เกิดความกว้างของรูปแบบการตัด 96 นิ้ว (ไม่มีเศษตัดริมกระดาษ) รูปแบบการตัดนี้มีความยาวเดียว จึงสามารถนำเข้าแปรรูปที่ Cutter 1 หรือ Cutter 2 ก็ได้ และรูปแบบการตัดที่ 7 จะประกอบไปด้วยผลิตภัณฑ์ขนาดที่ 2 จำนวน 2 ช่องตัด และผลิตภัณฑ์ขนาดที่ 3 จำนวน 1 ช่องตัด ทำให้เกิดความกว้างของรูปแบบการตัด 94 นิ้ว ซึ่งในรูปแบบการตัดนี้จะมี 2 ความยาวหากเลือกใช้รูปแบบการตัดนี้ จึงต้องนำเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 เท่านั้น

6.2 วิธีการฮิวริสติกในการจัดสรรผลิตภัณฑ์เข้าเครื่องตัดแปรรูป

ในแต่ละสัปดาห์จะมีหลากหลายกลุ่มผลิตภัณฑ์เข้ามาแปรรูป หากกลุ่มผลิตภัณฑ์มีการเลือกรูปแบบตัดที่มีความยาวเท่ากันในการแปรรูปเป็นส่วนมาก จะสามารถนำเข้าตัดที่ Cutter 1 หรือ Cutter 2 ก็ได้ แต่ในทางกลับกันหากทุกกลุ่มผลิตภัณฑ์เลือกใช้รูปแบบตัดที่มี 2 ความยาวเป็นส่วนมาก ซึ่งจะใช้ได้เฉพาะ Cutter 2 ในการแปรรูป ก็จะทำให้เกิดการรอที่ Cutter 2 ดังนั้นผู้วิจัยจึงสร้างวิธีการฮิวริสติกสำหรับจัดสรรผลิตภัณฑ์เข้าเครื่องตัดแปรรูป เพื่อไม่ให้จำนวนผลิตภัณฑ์เข้าแปรรูปเกินกำลังการผลิตของ Cutter 2 โดยจะลดการเลือกใช้รูปแบบการตัดที่มี 2 ความยาวโดยไม่จำเป็น ซึ่งทำได้โดยการใช้โปรแกรมเชิงเส้นเพื่อหาจำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ต้องเข้าแปรรูปด้วย Cutter 2 สำหรับแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์ (รายละเอียดของโปรแกรมเชิงเส้นจะอธิบายในหัวข้อ 6.3) หลังจากนั้นจะจัดเรียงลำดับกลุ่มผลิตภัณฑ์เข้าหาคำตอบในการแปรรูป และจัดสรรกำลังการผลิตของ Cutter 2 โดยจากตารางที่ 6.5 เป็นจำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ต้องเข้าแปรรูปด้วย Cutter 2 ที่ได้มาจากการใช้โปรแกรมเชิงเส้นในการหาคำตอบ

ตารางที่ 6.5 ผลลัพธ์ของจำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ต้องเข้าแปรรูปด้วย Cutter 2

กลุ่มผลิตภัณฑ์	จำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ต้องเข้าแปรรูปด้วย Cutter 2
A	1
B	8
C	0
D	5
E	3
F	2
G	1
รวม	20

จากตารางที่ 6.5 ได้มาจากการนำแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์เข้าหาคำตอบด้วยสมการเส้นตรง โดยมีวัตถุประสงค์คือ จำนวนม้วนวัตถุดิบที่เข้าแปรรูปด้วย Cutter 2 น้อยที่สุด ในกลุ่มผลิตภัณฑ์ A จะมี 1 ม้วน วัตถุดิบที่ใช้รูปแบบการตัดที่มี 2 ความยาว จึงต้องเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 และในกลุ่มผลิตภัณฑ์ C จะไม่มีการใช้รูปแบบการตัดที่มี 2 ความยาว จึงไม่ต้องนำเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 เลยก็ได้ ซึ่งการใช้สมการเส้นตรงในการหาคำตอบนี้จะพิจารณาในส่วนของการใช้ Cutter 2 ให้น้อยที่สุด โดยยังไม่พิจารณาความสูญเสียกระดาษที่เกิดขึ้น ดังนั้นในขั้นตอนนี้เป็นเพียงการเริ่มต้นเพื่อจัดสรรกำลังการผลิตของ Cutter 2 ให้แต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์เท่านั้น สุดท้ายจะต้องนำแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์เข้าหาคำตอบด้วยสมการเส้นตรงอีกรอบ เพื่อหาปริมาณความสูญเสียกระดาษที่เกิดจากการแปรรูปน้อยที่สุด

จำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ต้องนำเข้าแปรรูปด้วย Cutter 2 ของทุกกลุ่มผลิตภัณฑ์รวมกัน จะทำให้ทราบว่ากำลังการผลิตของ Cutter 2 มีเพียงพอหรือไม่ ในกรณีที่กำลังลังการผลิตของ Cutter 2 ไม่เพียงพอ การหาจำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ต้องเข้าแปรรูปด้วย Cutter 2 นี้จะทำให้มีกำลังการผลิตส่วนเกินน้อยที่สุด แต่ในกรณีที่มีกำลังการผลิตส่วนเหลือของ Cutter 2 จะทำให้สามารถนำม้วนวัตถุดิบเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 เพิ่มได้อีก เช่น กำหนดให้กำลังการผลิตในรอบสัปดาห์ของ Cutter 2 คือ แปรรูปได้ 25 ม้วนวัตถุดิบ จากตารางที่ 6.5 จำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ต้องเข้าแปรรูปด้วย Cutter 2 คือ 20 ม้วนวัตถุดิบ แสดงว่า Cutter 2 มีกำลังการผลิตเหลืออีก 5 ม้วน ซึ่งหากนำม้วนวัตถุดิบที่เคยเลือกใช้ Cutter 1 ในการแปรรูป เปลี่ยนมาใช้ Cutter 2 ในการแปรรูป (เปลี่ยนรูปแบบการตัดที่เลือกใช้) อาจจะทำให้ลดความสูญเสียในการแปรรูปลงได้ แต่การจัดสรรว่าจะให้กลุ่มผลิตภัณฑ์ใดเลือกใช้กำลังการผลิตส่วนเหลือของ Cutter 2 นั้นเป็นสิ่งสำคัญและมีผลต่อความสูญเสียในการแปรรูป เนื่องจากต้องการให้กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่เลือกใช้กำลังการผลิตส่วนเหลือของ Cutter 2 เป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ทำให้ความสูญเสียลดลงได้มากที่สุด ซึ่งกลุ่มที่นำเข้าหาคำตอบเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์แรก จะมีโอกาสเลือกใช้กำลังการผลิตส่วนที่เหลือของ Cutter 2 ก่อน และถ้ากลุ่มผลิตภัณฑ์ในลำดับก่อนหน้าเลือกใช้กำลังการผลิตส่วนเหลือของ Cutter 2 หมดแล้ว กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่อยู่ลำดับถัดไปจะไม่มีโอกาสเลือกใช้กำลังการผลิตส่วนเหลือ Cutter 2 อีก

ซึ่งหลักการในการจัดสรรกลุ่มผลิตภัณฑ์เข้าเครื่องตัดแปรรูปจะใช้วิธีการฮิวริสติก อธิบายแยกออกเป็น 2 ส่วนย่อย คือ

6.2.1 ฮิวริสติกในการนำกลุ่มผลิตภัณฑ์เข้าสู่โปรแกรมเชิงเส้น

6.2.2 ฮิวริสติกในการจัดลำดับกลุ่มผลิตภัณฑ์เข้าสู่โปรแกรมเชิงเส้น

6.2.1 ฮิวริสติกในการนำกลุ่มผลิตภัณฑ์เข้าสู่โปรแกรมเชิงเส้น

การนำกลุ่มผลิตภัณฑ์เข้าสู่โปรแกรมเชิงเส้น มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดสรรกำลังการผลิตของ Cutter 2 ให้กับแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์ โดยใช้การจัดสรรกำลังการผลิตน้อยสุดของ Cutter 2 ที่ต้องใช้ให้แต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์ก่อน ส่วนกำลังการผลิตของ Cutter 2 ส่วนที่เหลือจะนำมาจัดสรรตามความเหมาะสม กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีม้วนวัตถุดิบจำเป็นต้องใช้ Cutter 2 ในการแปรรูปมาก ก็จัดสรรกำลังการผลิตให้มาก ส่วนกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ไม่จำเป็นต้องใช้ Cutter 2 ในการแปรรูป ก็อาจไม่ต้องจัดสรรกำลังการผลิตให้เลยก็ได้ ซึ่งวิธีนี้จะทำให้มีกำลังการผลิตส่วนเกินของ Cutter 2 น้อยที่สุด โดยก่อนที่จะใช้วิธีฮิวริสติกในการจัดสรรกำลังการผลิตของ Cutter 2 จะต้องนำแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์เข้าหาคำตอบของ จำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ต้องแปรรูปด้วย Cutter 2 โดยใช้สมการเส้นตรงก่อน(จะอธิบายสมการเส้นตรงในหัวข้อที่ 6.3) ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้แสดงในตารางที่ 6.5

การจัดสรรกำลังการผลิตของ Cutter 2 ต้องทำจัดลำดับกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่จะนำเข้าหาคำตอบด้วยสมการเส้นตรงก่อน ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในหัวข้อ 6.2.2 โดยขอยกตัวอย่างให้มีการจัดลำดับให้กลุ่มผลิตภัณฑ์ A, B, C, D, E, F และ G นำเข้าสู่การหาคำตอบด้วยสมการเส้นตรงตามลำดับ วิธีการนำกลุ่มผลิตภัณฑ์เข้าสู่โปรแกรมเชิงเส้นสำหรับแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์ ทำได้โดยการกำหนดตัวแปร a และ ตัวแปร b ดังนี้

<u>ตัวแปร a</u>

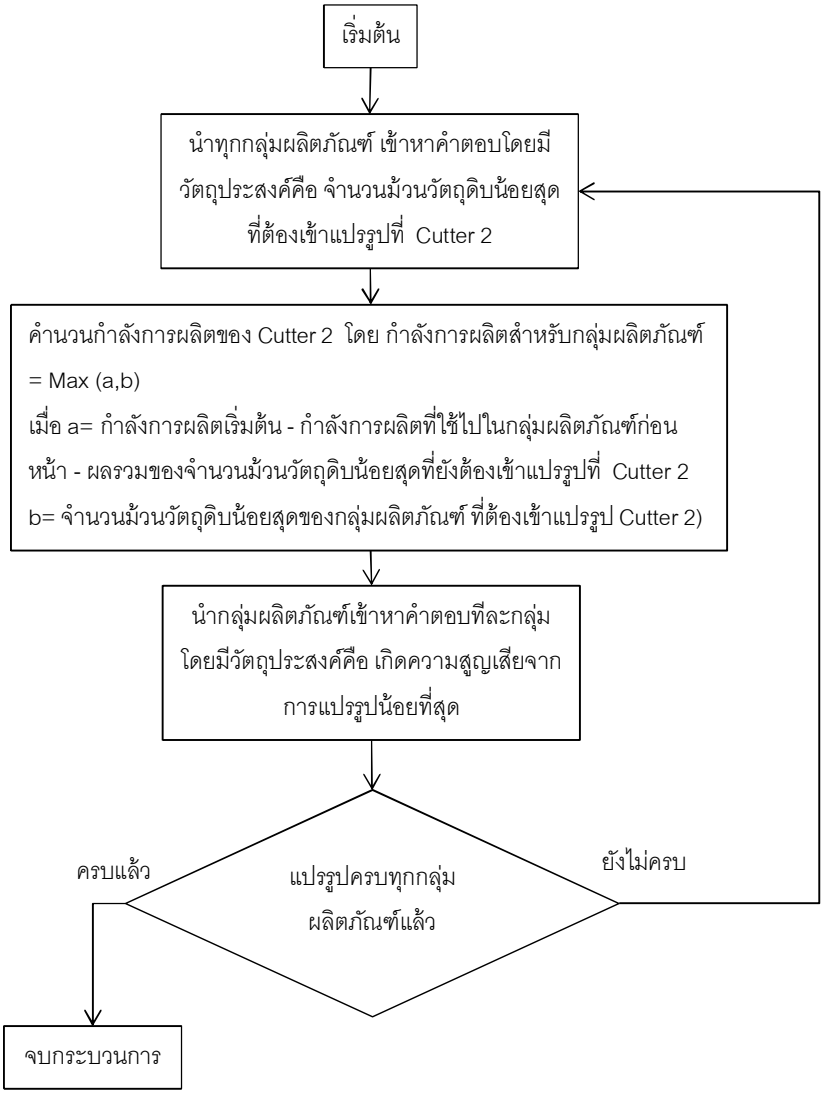
คือกำลังการผลิตของ Cutter 2 ที่คงเหลือ คำนวณได้โดย

a = กำลังการผลิตเริ่มต้น – กำลังการผลิตที่ใช้ไปในกลุ่มผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า – ผลรวมของจำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ยังต้องเข้าแปรรูปด้วย Cutter 2

<u>ตัวแปร b</u>

คือ จำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดของกลุ่มผลิตภัณฑ์นั้นที่ต้องเข้าแปรรูปด้วย Cutter 2

ขั้นตอนที่ใช้ในการนำกลุ่มผลิตภัณฑ์เข้าสู่โปรแกรมเชิงเส้น แสดงในภาพที่ 6.4 และอธิบายได้ดังนี้



ภาพที่ 6.4 ขั้นตอนฮิวริสติกในการนำกลุ่มผลิตภัณฑ์ เข้าสู่โปรแกรมเชิงเส้น

การนำกลุ่มผลิตภัณฑ์เข้าสู่โปรแกรมเชิงเส้น เริ่มต้นด้วยกลุ่มผลิตภัณฑ์ A เป็นลำดับแรก

<u>วิธีการคำนวณกำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A</u>

1. กำหนดให้กำลังการผลิตเริ่มต้นของ Cutter 2 =25 ม้วนวัตถุดิบ

2. กำลังการผลิตที่ใช้ไปในกลุ่มผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า =0 ม้วนวัตถุดิบ เนื่องจากกลุ่มผลิตภัณฑ์ A เป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์แรก

3. ผลรวมของจำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ยังต้องเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 = 19 ม้วนวัตถุดิบ โดยคิดจากกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่รอเข้าแปรรูปต่อไป คือ

- กลุ่มผลิตภัณฑ์ B = 8 ม้วนวัตถุดิบ
- กลุ่มผลิตภัณฑ์ C = 0 ม้วนวัตถุดิบ
- กลุ่มผลิตภัณฑ์ D = 5 ม้วนวัตถุดิบ
- กลุ่มผลิตภัณฑ์ E = 3 ม้วนวัตถุดิบ
- กลุ่มผลิตภัณฑ์ F = 2 ม้วนวัตถุดิบ
- กลุ่มผลิตภัณฑ์ G = 1 ม้วนวัตถุดิบ

4. คำนวณค่าของตัวแปร a= 25- 0 - 19 = 6 ม้วนวัตถุดิบ

5. ค่าของตัวแปร b = 1 ม้วนวัตถุดิบ (ได้จากการหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้น)

6. คำนวณกำลังการผลิตของ Cutter 2 โดยใช้ค่ามากที่สุดระหว่างตัวแปร a กับ b = Max (6, 1) = 6

7. ดังนั้นกำลังการผลิตที่มากที่สุดของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A = 6 ม้วนวัตถุดิบ

เมื่อได้กำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แล้ว ก็จะนำกลุ่มผลิตภัณฑ์ A เข้าหาคำตอบในการแปรรูปด้วยโปรแกรมเชิงเส้น ซึ่งผลที่ได้จากแบบจำลองจะนำมาใช้ในการคำนวณกำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ถัดไป เช่น กลุ่มผลิตภัณฑ์ A มีกำลังการผลิตเริ่มต้นของ Cutter 2 จำนวน 6 ม้วนวัตถุดิบ โดยผลลัพธ์จากโปรแกรมเชิงเส้น มีการเลือกม้วนวัตถุดิบเข้าแปรรูปด้วย Cutter 2 จำนวน 6 ม้วน เท่ากับกำลังการผลิตที่ให้ตอนเริ่มต้น และจะต้องหากำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ในลำดับถัดไป คือกลุ่มผลิตภัณฑ์ B โดยวิธีการคำนวณกำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ B ทำได้ดังนี้

<u>วิธีการคำนวณกำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ B</u>

1. กำหนดให้กำลังการผลิตเริ่มต้นของ Cutter 2 =25 ม้วนวัตถุดิบ

2. กำลังการผลิตที่ใช้ไปในกลุ่มผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า =6 ม้วนวัตถุดิบ (ใช้ไปสำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A)

3. ผลรวมของจำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ยังต้องเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 = 11 ม้วนวัตถุดิบ โดยคิดจากกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่รอเข้าแปรรูปต่อไป คือ

- กลุ่มผลิตภัณฑ์ C = 0 ม้วนวัตถุดิบ
- กลุ่มผลิตภัณฑ์ D = 5 ม้วนวัตถุดิบ
- กลุ่มผลิตภัณฑ์ E = 3 ม้วนวัตถุดิบ
- กลุ่มผลิตภัณฑ์ F = 2 ม้วนวัตถุดิบ

- กลุ่มผลิตภัณฑ์ G = 1 ม้วนวัตถุดิบ

4. คำนวณค่าของตัวแปร a= 25- 6 - 11 = 8 ม้วนวัตถุดิบ

5. ค่าของตัวแปร b = 8 ม้วนวัตถุดิบ (ได้จากการหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้น)

6. คำนวณกำลังการผลิตของ Cutter 2 โดยใช้ค่ามากที่สุดระหว่างตัวแปร a กับ b = Max (8, 8) = 8

7. ดังนั้นกำลังการผลิตที่มากที่สุดของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ B = 8 ม้วนวัตถุดิบ

เมื่อได้กำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ B แล้ว ก็จะนำกลุ่มผลิตภัณฑ์ B เข้าหาคำตอบในการแปรรูปด้วยโปรแกรมเชิงเส้น เนื่องจากกำลังการผลิตของ Cutter 2 ที่จัดสรรให้กลุ่มผลิตภัณฑ์ B เป็นกำลังการผลิตขั้นต่ำที่กลุ่มผลิตภัณฑ์ B ต้องใช้อยู่แล้ว ดังนั้นผลลัพธ์จากโปรแกรมเชิงเส้นจึงมีการนำม้วนวัตถุดิบเข้าแปรรูปด้วย Cutter 2 จำนวน 8 ม้วน เท่ากับที่ใส่เข้าไป และจะต้องหากำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ในลำดับถัดไป คือกลุ่มผลิตภัณฑ์ C โดยวิธีการคำนวณกำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ C ทำได้ดังนี้

<u>วิธีการคำนวณกำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ C</u>

1. กำหนดให้กำลังการผลิตเริ่มต้นของ Cutter 2 =25 ม้วนวัตถุดิบ

2. กำลังการผลิตที่ใช้ไปในกลุ่มผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า =14 ม้วนวัตถุดิบ (ใช้ไปสำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A และ B)

3. ผลรวมของจำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ยังต้องเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 = 11 ม้วนวัตถุดิบ โดยคิดจากกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่รอเข้าแปรรูปต่อไป คือ

- กลุ่มผลิตภัณฑ์ D = 5 ม้วนวัตถุดิบ
- กลุ่มผลิตภัณฑ์ E = 3 ม้วนวัตถุดิบ
- กลุ่มผลิตภัณฑ์ F = 2 ม้วนวัตถุดิบ
- กลุ่มผลิตภัณฑ์ G = 1 ม้วนวัตถุดิบ

4. คำนวณค่าของตัวแปร a= 25- 14 - 11 = 0 ม้วนวัตถุดิบ

5. ค่าของตัวแปร b = 0 ม้วนวัตถุดิบ (ได้จากการหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้น)

6. คำนวณกำลังการผลิตของ Cutter 2 โดยใช้ค่ามากที่สุดระหว่างตัวแปร a กับ b = Max (0, 0) = 0

7. ดังนั้นกำลังการผลิตที่มากที่สุดของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ C = 0 ม้วนวัตถุดิบ

เมื่อได้กำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ C แล้ว ก็จะนำกลุ่มผลิตภัณฑ์ C เข้าหาคำตอบในการแปรรูปด้วยโปรแกรมเชิงเส้น และเนื่องจากกำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ C เป็น 0 จึงทำให้ได้ผลลัพธ์ในการนำม้วนวัตถุดิบเข้าแปรรูปด้วย Cutter 2 จากโปรแกรมเชิงเส้นเป็น 0 ม้วนเช่นกัน และจะต้องหากำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ในลำดับถัดไป คือกลุ่มผลิตภัณฑ์ D โดยวิธีการคำนวณกำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ D ทำได้ดังนี้

<u>วิธีการคำนวณกำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ D</u>

1. กำหนดให้กำลังการผลิตเริ่มต้นของ Cutter 2 =25 ม้วนวัตถุดิบ

2. กำลังการผลิตที่ใช้ไปในกลุ่มผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า =14 ม้วนวัตถุดิบ (ใช้ไปสำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A, B และ C)

3. ผลรวมของจำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ยังต้องเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 = 6 ม้วนวัตถุดิบ โดยคิดจากกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่รอเข้าแปรรูปต่อไป คือ

- กลุ่มผลิตภัณฑ์ E = 3 ม้วนวัตถุดิบ
- กลุ่มผลิตภัณฑ์ F = 2 ม้วนวัตถุดิบ
- กลุ่มผลิตภัณฑ์ G = 1 ม้วนวัตถุดิบ

4. คำนวณค่าของตัวแปร a= 25- 14 - 6 = 5 ม้วนวัตถุดิบ

5. ค่าของตัวแปร b = 5 ม้วนวัตถุดิบ (ได้จากการหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้น)

6. คำนวณกำลังการผลิตของ Cutter 2 โดยใช้ค่ามากที่สุดระหว่างตัวแปร a กับ b = Max (5, 5) = 5

7. ดังนั้นกำลังการผลิตที่มากที่สุดของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ D = 5 ม้วนวัตถุดิบ

เมื่อได้กำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ D แล้ว ก็จะนำกลุ่มผลิตภัณฑ์ D เข้าหาคำตอบในการแปรรูปด้วยโปรแกรมเชิงเส้น เนื่องจากกำลังการผลิตของ Cutter 2 ที่จัดสรรให้กลุ่มผลิตภัณฑ์ D เป็นกำลังการผลิตขั้นต่ำที่ต้องใช้ในกลุ่มผลิตภัณฑ์ D อยู่แล้ว ดังนั้นผลลัพธ์จากโปรแกรมเชิงเส้นจึงมีการนำม้วนวัตถุดิบเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 จำนวน 5 ม้วน และจะต้องหากำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ในลำดับถัดไป คือกลุ่มผลิตภัณฑ์ E โดยวิธีการคำนวณกำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ E ทำได้ดังนี้

วิธีการคำนวณกำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ E

1. กำหนดให้กำลังการผลิตเริ่มต้นของ Cutter 2 =25 ม้วนวัตถุดิบ

2. กำลังการผลิตที่ใช้ไปในกลุ่มผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า =19 ม้วนวัตถุดิบ (ใช้ไปสำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A, B, C และ D)

3. ผลรวมของจำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ยังต้องเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 = 3 ม้วนวัตถุดิบ โดยคิดจากกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่รอเข้าแปรรูปต่อไป คือ

- กลุ่มผลิตภัณฑ์ F = 2 ม้วนวัตถุดิบ
- กลุ่มผลิตภัณฑ์ G = 1 ม้วนวัตถุดิบ

4. คำนวณค่าของตัวแปร a= 25- 19 - 3 = 3 ม้วนวัตถุดิบ

5. ค่าของตัวแปร b = 3 ม้วนวัตถุดิบ (ได้จากการหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้น)

6. คำนวณกำลังการผลิตของ Cutter 2 โดยใช้ค่ามากที่สุดระหว่างตัวแปร a กับ b = Max (3, 3) = 3

7. ดังนั้นกำลังการผลิตที่มากที่สุดของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ E = 3 ม้วนวัตถุดิบ

เมื่อได้กำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ E แล้ว ก็จะนำกลุ่มผลิตภัณฑ์ E เข้าหาคำตอบในการแปรรูปด้วยโปรแกรมเชิงเส้น เนื่องจากกำลังการผลิตของ Cutter 2 ที่จัดสรรให้กลุ่มผลิตภัณฑ์ E เป็นกำลังการผลิตขั้นต่ำที่ต้องใช้สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ E อยู่แล้ว ดังนั้นผลลัพธ์จากโปรแกรมเชิงเส้นจึงมีการนำม้วนวัตถุดิบเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 จำนวน 3 ม้วน และจะต้องหากำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ในลำดับถัดไป คือกลุ่มผลิตภัณฑ์ F โดยวิธีการคำนวณกำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ F ทำได้ดังนี้

วิธีการคำนวณกำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ F

1. กำหนดให้กำลังการผลิตเริ่มต้นของ Cutter 2 =25 ม้วนวัตถุดิบ
2. กำลังการผลิตที่ใช้ไปในกลุ่มผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า =22 ม้วนวัตถุดิบ (ใช้ไปสำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A, B, C, D และ E)
3. ผลรวมของจำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ยังต้องเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 = 0 ม้วนวัตถุดิบ โดยคิดจากกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่รอเข้าแปรรูปต่อไป คือ
   - กลุ่มผลิตภัณฑ์ G = 1 ม้วนวัตถุดิบ
4. คำนวณค่าของตัวแปร a= 25- 22 -1 = 2 ม้วนวัตถุดิบ
5. ค่าของตัวแปร b = 2 ม้วนวัตถุดิบ (ได้จากการหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้น)
6. คำนวณกำลังการผลิตของ Cutter 2 โดยใช้ค่ามากที่สุดระหว่างตัวแปร a กับ b = Max (2, 2) = 2
7. ดังนั้นกำลังการผลิตที่มากที่สุดของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ F = 2 ม้วนวัตถุดิบ

เมื่อได้กำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ F แล้ว ก็จะนำกลุ่มผลิตภัณฑ์ F เข้าหาคำตอบในการแปรรูปด้วยโปรแกรมเชิงเส้น เนื่องจากกำลังการผลิตของ Cutter 2 ที่จัดสรรให้กลุ่มผลิตภัณฑ์ F เป็นกำลังการผลิตขั้นต่ำที่ต้องใช้สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ F อยู่แล้ว ดังนั้นผลลัพธ์จากโปรแกรมเชิงเส้นจึงมีการนำม้วนวัตถุดิบเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 จำนวน 2 ม้วน เท่ากับที่ใส่เข้าไป โดยและยังเหลือกลุ่มผลิตภัณฑ์ G ที่จะเข้าหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้นเป็นกลุ่มสุดท้าย วิธีการคำนวณกำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ G ทำได้ดังนี้

วิธีการคำนวณกำลังการผลิตของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ G

1. กำหนดให้กำลังการผลิตเริ่มต้นของ Cutter 2 =25 ม้วนวัตถุดิบ
2. กำลังการผลิตที่ใช้ไปในกลุ่มผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า =24 ม้วนวัตถุดิบ (ใช้ไปสำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A, B, C, D, E และ F)
3. ผลรวมของจำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ยังต้องเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 = 0 ม้วนวัตถุดิบ เนื่องจากกลุ่มผลิตภัณฑ์ G เป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์สุดท้าย
4. คำนวณค่าของตัวแปร a= 25- 24 – 0 = 1 ม้วนวัตถุดิบ
5. ค่าของตัวแปร b = 1 ม้วนวัตถุดิบ (ได้จากการหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้น)
6. คำนวณกำลังการผลิตของ Cutter 2 โดยใช้ค่ามากที่สุดระหว่างตัวแปร a กับ b = Max (1, 1) = 1
7. ดังนั้นกำลังการผลิตที่มากที่สุดของ Cutter 2 สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ G = 1 ม้วนวัตถุดิบ

เนื่องจากกำลังการผลิตของ Cutter 2 ที่จัดสรรให้กลุ่มผลิตภัณฑ์ G เป็นกำลังการผลิตขั้นต่ำที่ต้องใช้สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ G อยู่แล้ว ดังนั้นผลลัพธ์จากโปรแกรมเชิงเส้นของกลุ่มผลิตภัณฑ์ G จึงมีการนำม้วนวัตถุดิบเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 จำนวน 1 ม้วน เท่ากับที่ใส่เข้าไป

สรุปคำตอบที่ได้จากขั้นตอนฮิวริสติกในการนำกลุ่มผลิตภัณฑ์ เข้าสู่โปรแกรมเชิงเส้น ของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A ถึง G แสดงในตารางที่ 6.6 และตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.6 ผลลัพธ์ที่ได้จากการขั้นตอนฮิวริสติกในการนำกลุ่มผลิตภัณฑ์ เข้าสู่โปรแกรมเชิงเส้น

ลำดับที่	กลุ่มผลิตภัณฑ์	จำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยที่สุดที่ต้องเข้าแปรรูปที่ Cutter 2	กำลังการผลิตนำเข้าสู่ Cutter 2	กำลังการผลิตของ Cutter 2 ที่ใช้จริง
1	A	1	6	6
2	B	8	8	8
3	C	0	0	0
4	D	5	5	5
5	E	3	3	3
6	F	2	2	2
7	G	1	1	1

ตารางที่ 6.7 ผลลัพธ์ของปริมาณความสูญเสียกระดาษ และกำลังการผลิต Cutter 2 ที่ใช้

ลำดับที่	กลุ่มผลิตภัณฑ์	ความสูญเสียกระดาษ ที่ได้จากโปรแกรมเชิงเส้น (ตารางนิ้ว)	จำนวนม้วนผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้ Cutter 2	
			ขั้นต่ำ	ใช้จริง
1	A	3,741,800	1	6
2	B	54,507,893	8	8
3	C	15,669,888	0	0
4	D	26,691,665	5	5
5	E	18,371,345	3	3
6	F	6,513,800	2	2
7	G	29,250,800	1	1
รวม		154,747,190	20	25

6.2.2 ฮิวริสติกในการจัดลำดับกลุ่มผลิตภัณฑ์เข้าสู่โปรแกรมเชิงเส้น

ผลลัพธ์ที่ได้จากฮิวริสติกในการนำกลุ่มผลิตภัณฑ์ เข้าสู่โปรแกรมเชิงเส้น ในตารางที่ 6.6 แสดงให้เห็นว่ากำลังการผลิตส่วนที่เหลือของ Cutter 2 จำนวน 5 ม้วน ถูกจัดสรรให้แปรรูปกลุ่มผลิตภัณฑ์ A ทั้งหมด เนื่องจากกลุ่มผลิตภัณฑ์ A นำเข้าหาคำตอบด้วยสมการเส้นตรงเป็นลำดับแรก ทำให้ไม่มีกำลังผลิตส่วนที่เหลือจัดสรรให้กลุ่มผลิตภัณฑ์ในลำดับถัดมา จึงต้องใช้กำลังการผลิตขั้นต่ำในการหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้น ลำดับก่อนหลังของการจัดสรรกลุ่มผลิตภัณฑ์เข้าหาคำตอบในสมการเส้นตรง จะมีผลต่อความสูญเสียกระดาษที่เกิดขึ้น เนื่องจากกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่เข้าแปรรูปก่อน จะมีโอกาสในการเลือกใช้กำลังการผลิตของ Cutter 2 ก่อนกลุ่มผลิตภัณฑ์อื่นๆ

การใช้ฮิวริสติกในการจัดลำดับกลุ่มผลิตภัณฑ์เข้าสู่โปรแกรมเชิงเส้น ก็คือการเลือกกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมเข้าหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้นเป็นลำดับแรก และลำดับถัดๆ ไป โดยใช้การจัดลำดับจากปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้นหากไม่ได้ใช้ Cutter 2 ในการแปรรูป โดยเรียงจากมากไปน้อย ซึ่งจะใช้โปรแกรมเชิงเส้น หาปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้น เพื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้กำลังการผลิตขั้นต่ำของ Cutter 2 ในการแปรรูป และการใช้กำลังการผลิตเกินพอของ Cutter 2 ในการแปรรูป หากกลุ่มผลิตภัณฑ์ใดที่เพิ่มกำลังการผลิตของ Cutter 2 แล้วไม่ได้ช่วยให้ความสูญเสียในการแปรรูปลดลง แสดงว่ากลุ่มผลิตภัณฑ์นั้นไม่มีความจำเป็นต้องใช้กำลังการผลิตส่วนที่เหลือของ Cutter 2 แต่หากกลุ่มผลิตภัณฑ์ใดที่เพิ่มกำลังการผลิตของ Cutter 2 แล้วจะลดความสูญเสียในแปรรูปได้มากขึ้น แสดงว่ากลุ่มผลิตภัณฑ์นั้นจำเป็นต้องใช้กำลังการผลิตส่วนที่เหลือของ Cutter 2 จากกลุ่มผลิตภัณฑ์ A ถึง G ที่อธิบายในหัวข้อที่ 6.2.1 หากใช้โปรแกรมเชิงเส้นในการหาปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้น เปรียบเทียบระหว่างการใช้กำลังการผลิตขั้นต่ำของ Cutter 2 และการใช้กำลังการผลิตเกินพอของ Cutter 2 ในการแปรรูป จะได้ผลลัพธ์แสดงในตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 ปริมาณความสูญเสียกระดาษ เปรียบเทียบระหว่างการใช้กำลังการผลิตขั้นต่ำของ Cutter 2 และกำลังการผลิตเกินพอ

ลำดับที่	กลุ่มผลิตภัณฑ์	ความสูญเสียกระดาษ ที่ได้จากโปรแกรมเชิงเส้น (ตารางนิ้ว)		
		ใช้กำลังการผลิตขั้นต่ำของ Cutter 2	ใช้กำลังการผลิตที่เกินพอของ Cutter 2	ความแตกต่าง
1	A	3,743,400	3,741,800	1,600
2	B	54,507,893	54,507,893	0
3	C	15,669,888	15,669,888	0
4	D	26,691,665	21,265,874	5,425,791
5	E	18,371,345	18,371,345	0
6	F	6,513,800	6,513,800	0
7	G	29,250,800	29,248,607	2,194
รวม		154,748,790	149,319,206	5,429,584

จากตารางที่ 6.8 จะเห็นว่ากลุ่มผลิตภัณฑ์ ที่มีความต้องการใช้กำลังการผลิตส่วนที่เหลือของ Cutter 2 คือกลุ่มผลิตภัณฑ์ D, G และ A เรียงตามลำดับ ซึ่งการที่เรานำกลุ่มผลิตภัณฑ์ A เข้าหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้นก่อน จะทำให้กำลังการผลิตของ Cutter 2 ถูกใช้ไปตั้งแต่กลุ่มผลิตภัณฑ์ A จึงไม่มีกำลังการผลิตส่วนที่เหลือสำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ D ที่อยู่ลำดับหลังจากนั้น แต่ถ้านำกลุ่มผลิตภัณฑ์ D เข้าหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้นเป็นกลุ่มแรก กำลังการผลิตส่วนที่เหลือของ Cutter 2 ก็จะถูกจัดสรรให้กลุ่มผลิตภัณฑ์ D ก่อน โดยหากทำการเรียงลำดับกลุ่มผลิตภัณฑ์เพื่อนำเข้าหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้นใหม่ เรียงตามลำดับความสูญเสียที่เกิดขึ้นหากไม่ได้ใช้ Cutter 2 ในการแปรรูปจากมากไปน้อย คำตอบที่ได้จากโปรแกรมเชิงเส้นแสดงในตารางที่ 6.9

ตารางที่ 6.9 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมเชิงเส้น โดยใช้การเรียงลำดับตามความสูญเสียที่เกิดขึ้นหากไม่ได้ใช้ Cutter 2 ในการแปรรูป

ลำดับที่	กลุ่มผลิตภัณฑ์	ความสูญเสียกระดาษที่ได้จากโปรแกรมเชิงเส้น (ตารางนิ้ว)	การเลือกใช้ Cutter 2 ในการแปรรูป	
			จำนวนม้วนที่ต้องใช้ขั้นต่ำ	จำนวนม้วนที่ใช้จริง
1	D	21,265,874	5	6
2	G	29,248,607	1	5
3	A	3,743,400	1	1
4	B	54,507,893	8	8
5	C	15,669,888	0	0
6	E	18,371,345	3	3
7	F	6,513,800	2	2
รวม		149,320,806	20	25

คำตอบที่ได้จากการหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้น ด้วยวิธีการเรียงลำดับตามความสูญเสียที่เกิดขึ้นหากไม่ได้ใช้ Cutter 2 ในการแปรรูปจากมากไปน้อย จะให้คำตอบที่ดีกว่าการนำกลุ่มผลิตภัณฑ์เข้าหาคำตอบโดยไม่มีการจัดเรียงลำดับ โดยจากตัวอย่างกลุ่มผลิตภัณฑ์ A ถึง G จะทำให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นจากเดิม คือมีความสูญเสียกระดาษในกระบวนการแปรรูปลดลง 3.5 %

6.3 การหาคำตอบจากโปรแกรมเชิงเส้น

ในขั้นตอนต่อไป จะเป็นการใช้โปรแกรมเชิงเส้นเพื่อหาคำตอบในการเลือกรูปแบบการตัด, ความยาวของรูปแบบการตัด และการเลือกเครื่องจักรในการแปรรูป โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้เกิดความสูญเสียจากการแปรรูปน้อยที่สุด ซึ่งความสูญเสียที่เกิดจากกระบวนการแปรรูปเกิดได้จาก 3 สาเหตุ คือ

1. เศษตัดริมกระดาษ เกิดขึ้นเมื่อความกว้างของรูปแบบการตัด น้อยกว่าความกว้างของม้วนวัตถุดิบ (W_{max}) มีความยาวของม้วนวัตถุดิบเหลือทิ้ง หรือมีเศษเหลือทิ้งของผลิตภัณฑ์ในรูปแบบการตัดเดียวกัน ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความยาวรวมของผลิตภัณฑ์แต่ละขนาดในรูปแบบการตัดเดียวกันไม่เท่ากัน

2. ปรับแต่งเครื่องจักร เกิดขึ้นทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรูปแบบการตัด หรือมีการเปลี่ยนม้วนวัตถุดิบ

3. ปริมาณที่ผลิตเกินความต้องการ เกินขึ้นเมื่อปริมาณกระดาษที่แปรรูปออกมามากกว่าปริมาณขั้นสูงที่ลูกค้าต้องการ ซึ่งลูกค้าจะไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเกินจากที่ต้องการ

วิธีการหาคำตอบสำหรับการแปรรูปแบบแผ่นด้วยโปรแกรมเชิงเส้น ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

6.3.1 การหาจำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ต้องเข้าแปรรูปที่ Cutter 2

6.3.2 การหาความสูญเสียจากการแปรรูปน้อยที่สุด

6.3.1 การหาจำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ต้องเข้าแปรรูปที่ Cutter 2

การหาจำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยที่สุดที่ต้องเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 สำหรับแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์ ก็เพื่อจัดสรรกำลังการผลิตของ Cutter 2 ให้กับม้วนผลิตภัณฑ์ที่มีความจำเป็นต้องใช้ก่อน ทำให้ลดจำนวนม้วนวัตถุดิบที่เข้าใช้ Cutter 2 โดยไม่จำเป็น ซึ่งทำให้ปริมาณกระดาษที่เข้าแปรรูปไม่เกินกำลังการผลิตของ Cutter 2 หรือเกินกำลังการผลิตน้อยที่สุด โดยการใช้โปรแกรมเชิงเส้น ในการจัดสรรม้วนวัตถุดิบที่นำเข้าแปรรูปว่าจะให้เข้าแปรรูปที่ Cutter 1 หรือ Cutter 2 ด้วยวัตถุประสงค์ของแบบจำลองคือ หาจำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยที่สุดที่ต้องเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 ซึ่งได้จากการจัดสรรให้เลือกใช้รูปแบบการตัดที่มีความยาวแตกต่างกันน้อยที่สุด รายละเอียดในการหาคำตอบ แสดงดังนี้

<u>กำหนดดัชนี (Indexes):</u>

$i = \{1,2,3,\dots,p\}$ เป็นเซตของขนาดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (Product size) จากการแปรรูป

$j = \{1,2,3,\dots,t,\dots,q\}$ เป็นเซตของรูปแบบการตัด (Cutting pattern) โดยรูปแบบการตัดที่ 1 ถึง t เป็นรูปแบบการตัดที่มีความยาวผลิตภัณฑ์เท่ากัน ส่วนรูปแบบการตัดที่ $t+1$ ถึง q เป็นรูปแบบการตัดที่มีความยาวของผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน

$k = \{1,2,3,\dots,r\}$ เป็นเซตของม้วนวัตถุดิบ (Raw paper roll) ที่นำเข้าแปรรูป

$c = \{1,2\}$ เป็นเซตของเครื่องจักรที่ใช้ในการแปรรูป คือ Cutter 1 และ Cutter 2

<u>กำหนดพารามิเตอร์ (Parameters):</u>

$L =$ ความยาวของม้วนวัตถุดิบ (นิ้ว)

$W_{max} =$ ความกว้างของม้วนวัตถุดิบ (นิ้ว)

w_i = ข้อกำหนดความกว้างของผลิตภัณฑ์ขนาด i (นิ้ว)

l_i = ข้อกำหนดความยาวของผลิตภัณฑ์ขนาด i (นิ้ว)

$n_{i,j}$ = จำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่อยู่ในรูปแบบการตัดที่ j

$l_{min,i}$ = ความยาวน้อยที่สุดของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่ต้องการ (นิ้ว)

$l_{max,i}$ = ความยาวมากที่สุดของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่ต้องการ (นิ้ว)

P_{min} = ความยาวของรูปแบบการตัดน้อยที่สุด ที่ยอมให้มีการตัดได้ (นิ้ว)

S = ความยาวที่สูญเสียในการปรับแต่งเครื่องจักร เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนรูปแบบการตัด หรือเปลี่ยนม้วนวัตถุดิบ (นิ้ว)

<u>กำหนดตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables):</u>

$p_{j,k,c}$ = ความยาวของรูปแบบการตัดที่ j ในม้วนวัตถุดิบที่ k (นิ้ว) ที่นำเข้าแปรรูปใน Cutter c

$x_{i,j,k,c}$ = จำนวนครั้งที่มีการตัดผลิตภัณฑ์ขนาด i ในรูปแบบการตัดที่ j สำหรับม้วนวัตถุดิบที่ k ที่นำเข้าแปรรูปใน Cutter c

a_i = ความยาวรวมของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่ได้จากการแปรรูป (นิ้ว)

$$y_{j,k,c} = \begin{cases} 1 \text{ ถ้ามีการใช้รูปแบบการตัดที่ } j \text{ ในม้วนวัตถุดิบที่ } k \text{ ด้วย Cutter } c \\ 0 \text{ ถ้าไม่มีการใช้รูปแบบการตัดที่ } j \text{ ในม้วนวัตถุดิบที่ } k \text{ ด้วย Cutter } c \end{cases}$$

$$Y_{k,c} = \begin{cases} 1 \text{ ถ้ามีการแปรรูปม้วนวัตถุดิบที่ } k \text{ ด้วย Cutter } c \\ 0 \text{ ถ้าไม่มีการแปรรูปม้วนวัตถุดิบที่ } k \text{ ด้วย Cutter } c \end{cases}$$

s_i^+ = ความยาวผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่แปรรูปออกมามากกว่า $l_{max,i}$ (นิ้ว)

s_i^- = ความยาวผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่แปรรูปออกมาน้อยกว่า $l_{max,i}$ (นิ้ว)

สร้างโปรแกรมเชิงเส้นโดยมีสมการเป้าหมาย และสมการเงื่อนไข ดังนี้

<u>สมการเป้าหมาย (Objective Function):</u>

จำนวนม้วนวัตถุดิบที่จัดสรรให้แปรรูปที่ Cutter 2 น้อยที่สุด

$$Minimize \qquad Z = \sum_{k=1}^{r} Y_{k,2}$$

<u>สมการเงื่อนไข (Constraints):</u>

1. พื้นที่วัตถุดิบที่ใช้ต้องมากกว่าพื้นที่ของผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปได้

$$\sum_{k=1}^{r} \sum_{c=1}^{2} Y_{k,c} \,.\, W_{max} \,.\, L - \sum_{i=1}^{p} a_i \,.\, w_i \geq 0$$

2. สำหรับทุกม้วนวัตถุดิบที่นำเข้าแปรรูปที่ Cutter 1 ความยาวของทุกรูปแบบการตัด รวมกับความยาวที่เกินจากการปรับแต่งเครื่องจักร จะต้องไม่เกินความยาวของม้วนวัตถุดิบ โดยรูปแบบการตัดที่สามารถเข้าแปรรูปที่ Cutter 1 ได้คือรูปแบบการตัดที่มีความยาวผลิตภัณฑ์เท่ากัน

$$\sum_{j=1}^{t}(p_{j,k,1} + S.y_{j,k,1}) \leq Y_{k,1}.L \qquad \forall k$$

3. สำหรับทุกม้วนวัตถุดิบที่นำเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 ความยาวของทุกรูปแบบการตัด รวมกับความยาวที่เกินจากการปรับแต่งเครื่องจักร จะต้องไม่เกินความยาวของม้วนวัตถุดิบ โดยรูปแบบการตัดที่สามารถเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 ได้คือรูปแบบการตัด ที่ผลิตภัณฑ์มีความยาวเท่ากันและแตกต่างกัน

$$\sum_{j=1}^{q}(p_{j,k,2} + S.y_{j,k,2}) \leq Y_{k,2}.L \qquad \forall k$$

4. รูปแบบการตัดที่มีความยาวของผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน ไม่สามารถนำเข้าแปรรูปที่ Cutter 1 ได้

$$\sum_{j=t+1}^{q} y_{j,k,1} = 0 \qquad \forall k$$

5. บังคับให้มีการใช้ม้วนวัตถุดิบที่เลือกเข้าแปรรูปที่ Cutter 1 แต่ถ้าไม่มีการจัดสรรรูปแบบการตัดใดให้กับม้วนวัตถุดิบ แสดงว่าไม่มีการใช้ม้วนวัตถุดิบนั้น

$$\sum_{j=1}^{t} y_{j,k,1} \geq Y_{k,1} \qquad \forall k$$

6. บังคับให้มีการใช้ม้วนวัตถุดิบที่เลือกเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 แต่ถ้าไม่มีการจัดสรรรูปแบบการตัดใดให้กับม้วนวัตถุดิบ แสดงว่าไม่มีการใช้ม้วนวัตถุดิบนั้น

$$\sum_{j=1}^{q} y_{j,k,2} \geq Y_{k,2} \qquad \forall k$$

7. กำหนดเงื่อนไขการใช้รูปแบบการตัด โดยให้ $\mathrm{y_{j,k,c}} = 1$ เมื่อมีการใช้รูปแบบการตัด j ในม้วนวัตถุดิบ k ด้วย Cutter c

$$p_{j,k,c} \leq L.y_{j,k,c} \qquad \forall j,k,c$$

8. ความยาวต่ำสุดของแต่ละรูปแบบการตัด ไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนด

$$p_{j,k,c} \geq P_{min}.y_{j,k,c} \qquad \forall j,k,c$$

9. ในแต่ละรูปแบบการตัด ผลิตภัณฑ์ที่เป็นองค์ประกอบของรูปแบบการตัด ไม่สามารถที่จะมีความยาวได้มากกว่าความยาวของรูปแบบการตัด

$$x_{i,j,k,c}.\, l_i \leq p_{j,k,c} \qquad \forall i,j,k,c$$

10. คำนวณความยาวรวมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูป

$$\sum_{k=1}^{r}\sum_{j=1}^{q}\sum_{c=1}^{2} n_{i,j}\,.\, l_i.\, x_{i,j,k,c} = a_i \qquad \forall i$$

11. ความยาวผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูป ต้องมากกว่าความยาวน้อยสุดที่ต้องการ

$$a_i \geq l_{min,i} \qquad \forall i$$

12. คำนวณผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปออกมา มีปริมาณมากกว่าหรือน้อยกว่าปริมาณสูงสุดที่ต้องการ ซึ่งหากแปรรูปออกมามากกว่าปริมาณที่ต้องการจะไม่นับเป็นผลิตภัณฑ์ แต่จะนับเป็นกระดาษที่สูญเสียจากการแปรรูป

$$a_i - s_i^{+} + s_i^{-} = l_{max,i} \qquad \forall i$$

13. การนำม้วนวัตถุดิบเข้าแปรรูป ให้แปรรูปเรียงตามลำดับม้วน ไม่มีการเว้นม้วนที่อยู่ตรงกลาง

$$\sum_{c=1}^{2} Y_{k,c} \geq \sum_{c=1}^{2} Y_{k+1,c} \qquad k = 1,2,\dots,r-1$$

14. ม้วนวัตถุดิบใดที่มีการเลือกใช้ จะต้องนำเข้าแปรรูปที่เครื่องตัด Cutter 1 หรือ Cutter 2 เครื่องใดเครื่องหนึ่ง ไม่สามารถเลือกเครื่องตัดซ้ำซ้อนกันได้

$$\sum_{c=1}^{2} Y_{k,c} \leq 1 \qquad \forall k$$

15. จำนวนครั้งที่มีการตัดผลิตภัณฑ์ขนาด i ในรูปแบบการตัดที่ j สำหรับม้วนวัตถุดิบที่ k ด้วย Cutter c จะต้องเป็นจำนวนเต็มเท่านั้น เนื่องจากไม่สามารถตัดครึ่งครั้งได้

$$x_{i,j,k,c} = int \qquad \forall i,j,k,c$$

16. การเลือกใช้หรือไม่เลือกใช้ม้วนวัตถุดิบในการแปรรูป เป็นตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี

$$Y_{k,c} \in \{0,1\} \qquad \forall k,c$$

17. การเลือกใช้หรือไม่เลือกใช้ รูปแบบการตัดในการแปรรูป เป็นตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี

$$y_{j,k,c} \in \{0,1\} \qquad \forall j,k,c$$

18. ความยาวของแต่ละรูปแบบการตัด ต้องไม่เป็นลบ

$$p_{j,k,c} \geq 0 \qquad \forall j,k,c$$

19. ความยาวผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูป ความยาวผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปออกมามากกว่าความต้องการสูงสุด และความยาวผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปออกมาน้อยกว่าความต้องการสูงสุด ต้องไม่เป็นลบ

$$a_i, s_i^+, s_i^- \geq 0 \qquad \forall i$$

จากโปรแกรมเชิงเส้นที่แสดงรายละเอียดด้านบน สามารถนำมาใช้ในการหาคำตอบสำหรับจำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ต้องเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 สำหรับการแปรรูปม้วนของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A ซึ่งแสดงดังต่อไปนี้

<u>กำหนดดัชนี (Indexes):</u>

$i = \{1,2,3\}$ เป็นเซตของขนาดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (Product size) จากการแปรรูป มีทั้งหมด 3 ขนาด

$j = \{1,2,\ldots,7\}$ เป็นเซตของรูปแบบการตัด (Cutting pattern) โดยรูปแบบการตัดที่ 1 ถึง 2 เป็นรูปแบบการตัดที่มีความยาวผลิตภัณฑ์เท่ากัน ส่วนรูปแบบการตัดที่ 3 ถึง 7 เป็นรูปแบบการตัดที่มีความยาวของผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน

$k = \{1,2,3,4,5,6,7\}$ เป็นเซตของม้วนวัตถุดิบ (Raw paper roll) ที่นำเข้าแปรรูป จำนวน 7 ม้วน

$c = \{1,2\}$ เป็นเซตของเครื่องจักรที่ใช้ในการแปรรูป คือ Cutter 1 และ Cutter 2

<u>กำหนดพารามิเตอร์ (Parameters):</u>

$L =$ ความยาวของม้วนวัตถุดิบ (นิ้ว) คือ 558,000 นิ้ว

$W_{max} =$ ความกว้างของม้วนวัตถุดิบ (นิ้ว) คือ 96 นิ้ว

$w_i =$ ข้อกำหนดความกว้างของผลิตภัณฑ์ขนาด i (นิ้ว) จากตารางที่ 6.2

$l_i =$ ข้อกำหนดความยาวของผลิตภัณฑ์ขนาด i (นิ้ว) จากตารางที่ 6.2

$n_{i,j} =$ จำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่อยู่ในรูปแบบการตัดที่ j จากตารางที่ 6.4

$l_{min,i} =$ ความยาวน้อยที่สุดของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่ต้องการ (นิ้ว) จากตารางที่ 6.2

$l_{max,i} =$ ความยาวมากที่สุดของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่ต้องการ (นิ้ว) จากตารางที่ 6.2

$P_{min} =$ ความยาวของรูปแบบการตัดน้อยที่สุด ที่ยอมให้มีการตัดได้ (นิ้ว) กำหนดให้เป็น 10,000 นิ้ว

$S =$ ความยาวที่สูญเสียในการปรับแต่งเครื่องจักร เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนรูปแบบการตัด หรือเปลี่ยนม้วนวัตถุดิบ (นิ้ว) กำหนดให้เป็น 3,500 นิ้ว

ตัวแปรทั้งหมดที่นำเข้าสู่โปรแกรมเชิงเส้น เพื่อหาคำตอบสำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่น นำมาสรุปในตารางที่ 6.10

ตารางที่ 6.10 ตัวแปรของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่นที่ใช้ในการหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้น

ผลิตภัณฑ์ขนาดที่ i	1	2	3
ความกว้าง (w_i)	24.0	35.0	24.0
ความยาว (l_i)	35.0	24.0	34.5
ความยาวแปรรูปขั้นต่ำ($l_{min,i}$)	แสดงในตารางที่ 6.2		
ความยาวแปรรูปขั้นสูง($l_{max,i}$)	แสดงในตารางที่ 6.2		
ความยาวม้วนวัตถุดิบ (L)	558,000 นิ้ว		
จำนวนม้วนวัตถุดิบเข้าแปรรูป (k)	7 ม้วน		
ความกว้างสูงสุด (W_{max})	96 นิ้ว		
ความยาวในการปรับแต่งเครื่องจักร (S)	3,500 นิ้ว		
ความยาวต่ำสุดของรูปแบบการตัด (P_{min})	10,000 นิ้ว		
รูปแบบการตัดที่เป็นไปได้	แสดงในตารางที่ 6.11		

รูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมด สำหรับนำเข้าหาคำตอบในโปรแกรมเชิงเส้น แสดงในตารางที่ 6.11 มีจำนวน 7 รูปแบบการตัด โดยสำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A มี 2 รูปแบบการตัดที่มีความยาวผลิตภัณฑ์เท่ากัน ส่วนรูปแบบการตัดที่มีความยาวผลิตภัณฑ์แตกต่างกันมี 5 รูปแบบการตัด โดยม้วนผลิตภัณฑ์ที่เข้าแปรรูปด้วย Cutter 1 มีความยาวผลิตภัณฑ์เท่ากัน จึงต้องเลือกใช้รูปแบบการตัดที่ 1และ2 เท่านั้น ส่วนม้วนผลิตภัณฑ์ที่เข้าแปรรูปด้วย Cutter 2 จะใช้รูปแบบการตัดใดก็ได้

จำนวนม้วนวัตถุดิบที่นำเข้าแปรรูปจะต้องมีจำนวนที่มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ต้องการแปรรูป โดยคำนวณอย่างหยาบ ได้จากปริมาณความต้องการทั้งหมด สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A มีปริมาณความต้องการทั้งหมด 16.4 ตัน กำหนดให้ม้วนผลิตภัณฑ์แต่ละม้วนมีน้ำหนัก 3 ตัน ดังนั้นปริมาณม้วนวัตถุดิบขั้นต่ำ คือ 16.4/3 = 6 ม้วน ซึ่งยังไม่ได้เผื่อความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นในกระบวนการแปรรูป จึงเผื่อความสูญเสียที่เกิดขึ้นโดยนำม้วนวัตถุดิบเข้าแปรรูป 7 ม้วน ซึ่งม้วนวัตถุดิบที่ไม่ได้เลือกแปรรูปก็ไม่ได้เกิดความสูญเสียแต่อย่างใด แต่ถ้าเผื่อจำนวนม้วนวัตถุดิบไม่เพียงพอจะทำให้ไม่สามารถหาคำตอบของปัญหาได้ ส่วนการเผื่อจำนวนม้วนวัตถุดิบมากเกินไปจะทำให้ใช้เวลาในการหาคำตอบของปัญหานานขึ้น เนื่องจากมีตัวแปรเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 6.11 การเรียงลำดับรูปแบบการตัดของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่นที่ใช้ในการหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้น

รูปแบบการตัด	$n_{i,j}$	$n_{1,j}$	$n_{2,j}$	$n_{3,j}$	ความกว้างของรูปแบบการตัด	ความยาวที่แตกต่างกัน
	w_i	24.0	35.0	24.0		
	l_i	35.0	24.0	34.5		
1		4	0	0	96.0	1
2		0	0	4	96.0	1
3		3	0	1	96.0	2
4		2	0	2	96.0	2
5		1	0	3	96.0	2
6		1	2	0	94.0	2
7		0	2	1	94.0	2

ผลลัพธ์ที่ได้จากการหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้น คือต้องนำม้วนผลิตภัณฑ์เข้าแปรรูปที่ Cutter 2 อย่างน้อย 1 ม้วนวัตถุดิบ โดยรายละเอียดการเลือกเครื่องจักรแปรรูปสำหรับแต่ละม้วนวัตถุดิบ แสดงในตารางที่ 6.12 ซึ่งจะเห็นมีม้วนวัตถุดิบม้วนที่ 4 เลือกใช้รูปแบบการตัดที่มีความยาวแตกต่างกัน ทำให้ไม่สามารถเลือกใช้เครื่องจักร Cutter 1 ในการแปรรูปได้

ตารางที่ 6.12 ผลที่ได้จากการหาคำตอบ ของม้วนผลิตภัณฑ์ที่เข้าแปรรูปน้อยสุดที่ Cutter 2 ของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A

ม้วนผลิตภัณฑ์ที่	รูปแบบการตัด (j) ที่เลือกใช้	เข้าแปรรูปที่
1	1	Cutter 1
2	2	Cutter 1
3	3	Cutter 2
4	6	Cutter 2
5	1	Cutter 1
6	1	Cutter 1
7	1	-

6.3.2 การหาความสูญเสียจากการแปรรูปน้อยที่สุด

ในขั้นตอนต่อไป เมื่อทราบจำนวนม้วนผลิตภัณฑ์น้อยสุดที่ต้องนำเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 แล้ว ก็จะนำมาเข้าสู่วิธีการฮิวริสติกในการหากำลังการผลิตของ Cutter 2 ที่คงเหลือสำหรับใช้แปรรูปแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้อธิบายรายละเอียดไว้แล้วในหัวข้อ 6.2.1 และนำมาใช้หาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้นอีกรอบ โดยมีวัตถุประสงค์คือ เกิดความสูญเสียจากการแปรรูปน้อยที่สุด ขั้นตอนของวิธีการมีดังนี้

กำหนดดัชนี (Indexes):

$i = \{1,2,3,\dots,p\}$ เป็นเซตของขนาดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (Product size) จากการแปรรูป

$j = \{1,2,3,\dots,t,\dots,q\}$ เป็นเซตของรูปแบบการตัด (Cutting pattern) โดยรูปแบบการตัดที่ 1 ถึง t เป็นรูปแบบการตัดที่มีความยาวผลิตภัณฑ์เท่ากัน ส่วนรูปแบบการตัดที่ $t+1$ ถึง q เป็นรูปแบบการตัดที่มีความยาวของผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน

$k = \{1,2,3,\dots,r\}$ เป็นเซตของม้วนวัตถุดิบ (Raw paper roll) ที่นำเข้าแปรรูป

$c = \{1,2\}$ เป็นเซตของเครื่องจักรที่ใช้ในการแปรรูป คือ Cutter 1 และ Cutter 2

<u>กำหนดพารามิเตอร์ (Parameters):</u>

$L =$ ความยาวของม้วนวัตถุดิบ (นิ้ว)

$W_{max} =$ ความกว้างของม้วนวัตถุดิบ (นิ้ว)

$w_i =$ ข้อกำหนดความกว้างของผลิตภัณฑ์ขนาด i (นิ้ว)

$l_i =$ ข้อกำหนดความยาวของผลิตภัณฑ์ขนาด i (นิ้ว)

$n_{i,j} =$ จำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่อยู่ในรูปแบบการตัดที่ j

$l_{min,i} =$ ความยาวน้อยที่สุดของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่ต้องการ (นิ้ว)

$l_{max,i} =$ ความยาวมากที่สุดของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่ต้องการ (นิ้ว)

$P_{min} =$ ความยาวน้อยที่สุดที่ตัดได้ ของแต่ละรูปแบบการตัด (นิ้ว

$S =$ ความยาวที่สูญเสียในการปรับแต่งเครื่องจักร เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนรูปแบบการตัด หรือเปลี่ยนม้วนวัตถุดิบ (นิ้ว)

$Cap_2 =$ กำลังการผลิตของ Cutter 2 (จำนวนม้วนวัตถุดิบที่นำเข้าแปรรูปได้) ซึ่งคำนวณจากวิธี heuristics

<u>กำหนดตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables):</u>

$p_{j,k,c} =$ ความยาวของรูปแบบการตัดที่ j ในม้วนวัตถุดิบที่ k (นิ้ว) ที่แปรรูปด้วย Cutter c

$x_{i,j,k,c} =$ จำนวนครั้งที่มีการตัดผลิตภัณฑ์ขนาด i ในรูปแบบการตัดที่ j สำหรับม้วนวัตถุดิบที่ k ใน Cutter c

$a_i =$ ความยาวรวมของผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่ได้จากการแปรรูป (นิ้ว)

$$y_{j,k,c} = \begin{cases} 1 \text{ ถ้ามีการใช้รูปแบบการตัดที่ } j \text{ ในม้วนวัตถุดิบที่ } k \text{ ใน Cutter } c \\ 0 \text{ ถ้าไม่มีการใช้รูปแบบการตัดที่ } j \text{ ในม้วนวัตถุดิบที่ } k \text{ ใน Cutter } c \end{cases}$$

$$Y_{k,c} = \begin{cases} \text{1 ถ้ามีการแปรรูปม้วนวัตถุดิบที่ } k \text{ ด้วย Cutter } c \\ \text{0 ถ้าไม่มีการแปรรูปม้วนวัตถุดิบที่ } k \text{ ด้วย Cutter } c \end{cases}$$

$s_i^+ =$ ความยาวผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่แปรรูปออกมามากกว่า $l_{max,i}$ (นิ้ว)
$s_i^- =$ ความยาวผลิตภัณฑ์ขนาด i ที่แปรรูปออกมาน้อยกว่า $l_{max,i}$ (นิ้ว)

สร้างโปรแกรมเชิงเส้นโดยมีสมการเป้าหมาย และสมการเงื่อนไข ดังนี้

<u>สมการเป้าหมาย (Objective Function):</u>

เกิดความสูญเสียกระดาษในการแปรรูปน้อยที่สุด ซึ่งคิดความสูญเสียในการแปรรูปจากเศษตัดริมกระดาษ, การปรับแต่งเครื่องจักร และปริมาณที่ผลิตเกินความต้องการ แสดงเป็นสมการโดยการคำนวณจากพื้นที่วัตถุดิบที่ใช้ทั้งหมด ลบด้วยพื้นที่ของผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปได้ บวกด้วยปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเกินความต้องการ

$$Minimize \qquad Z = \sum_{k=1}^{r} \sum_{c=1}^{2} Y_{k,c} \,.\, W_{max}.L - \sum_{i=1}^{p} a_i \,.\, w_i + \sum_{i=1}^{p} s_i^+ \,.\, w_i$$

<u>สมการเงื่อนไข (Constraints):</u>

1.จำนวนม้วนวัตถุดิบเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 ไม่เกินกำลังการผลิตของ Cutter 2

$$\sum_{k=1}^{r} Y_{k,2} \leq Cap_2$$

2.ในแต่ละม้วนวัตถุดิบที่นำเข้าแปรรูปที่ Cutter 1 ความยาวของทุกรูปแบบการตัด รวมกับความยาวที่เกินจากการปรับแต่งเครื่องจักร จะต้องไม่เกินความยาวของม้วนวัตถุดิบ

$$\sum_{j=1}^{t} (p_{j,k.1} + S.y_{j,k,1}) \leq Y_{k,1}.L \qquad \forall k$$

3.ในแต่ละม้วนวัตถุดิบที่นำเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 ความยาวของทุกรูปแบบการตัด รวมกับความยาวที่เกินจากการปรับแต่งเครื่องจักร จะต้องไม่เกินความยาวของม้วนวัตถุดิบ

$$\sum_{j=1}^{q} (p_{j,k,2} + S.y_{j,k,2}) \leq Y_{k,2}.L \qquad \forall k$$

4. รูปแบบการตัดที่มีความยาวของผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน ไม่สามารถนำเข้าแปรรูปที่ Cutter 1 ได้

$$\sum_{j=t+1}^{q} y_{j,k,1} = 0 \qquad \forall k$$

5. กำหนดเงื่อนไขการใช้รูปแบบการตัด โดยให้ $y_{j,k,c} = 1$ เมื่อมีการใช้รูปแบบการตัด j ในม้วนวัตถุดิบ k ด้วย Cutter c

$$p_{j,k,c} \leq L.y_{j,k,c} \qquad \forall j,k,c$$

6. ความยาวต่ำสุดของแต่ละรูปแบบการตัด ไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนด

$$p_{j,k,c} \geq P_{min}.y_{j,k,c} \qquad \forall j,k,c$$

7. ในแต่ละรูปแบบการตัด ผลิตภัณฑ์ที่เป็นองค์ประกอบของรูปแบบการตัด ไม่สามารถที่จะมีความยาวได้มากว่าความยาวของรูปแบบการตัด

$$x_{i,j,k,c}.l_i \leq p_{j,k,c} \qquad \forall i,j,k,c$$

8. คำนวณความยาวรวมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูป

$$\sum_{k=1}^{r}\sum_{j=1}^{q}\sum_{c=1}^{2} n_{i,j}\,.\,l_i.x_{i,j,k,c} = a_i \qquad \forall i$$

9. ความยาวผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูป ต้องมากกว่าความยาวน้อยสุดที่ต้องการ

$$a_i \geq l_{min,i} \qquad \forall i$$

10. คำนวณผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปออกมา มีปริมาณมากกว่าหรือน้อยกว่าปริมาณสูงสุดที่ต้องการ ซึ่งหากแปรรูปออกมามากกว่าปริมาณที่ต้องการจะไม่นับเป็นผลิตภัณฑ์ แต่จะนับเป็นกระดาษที่สูญเสียจากการแปรรูป

$$a_i - s_i^+ + s_i^- = l_{max,i} \qquad \forall i$$

11. การนำม้วนวัตถุดิบเข้าแปรรูป ให้แปรรูปเรียงตามลำดับม้วน ไม่มีการเว้นม้วนที่อยู่ตรงกลาง

$$\sum_{c=1}^{2} Y_{k,c} \geq \sum_{c=1}^{2} Y_{k+1,c} \qquad k = 1,2,\ldots,r-1$$

12. ม้วนวัตถุดิบใดที่มีการเลือกใช้ จะต้องนำเข้าแปรรูปที่เครื่องตัด Cutter 1 หรือ Cutter 2 เครื่องใดเครื่องหนึ่ง ไม่สามารถเลือกเครื่องตัดซ้ำซ้อนกันได้

$$\sum_{c=1}^{2} Y_{k,c} \leq 1 \qquad \forall k$$

13. จำนวนครั้งที่มีการตัดผลิตภัณฑ์ขนาด i ในรูปแบบการตัดที่ j สำหรับม้วนวัตถุดิบที่ k ด้วย cutter c จะต้องเป็นจำนวนเต็มเท่านั้น เนื่องจากเราไม่สามารถตัดครึ่งครั้งได้

$$x_{i,j,k,c} = int \quad \forall i,j,k,c$$

14. การเลือกใช้หรือไม่เลือกใช้ม้วนวัตถุดิบในการแปรรูป เป็นตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี

$$Y_{k,c} \in \{0,1\} \quad \forall k,c$$

15. การเลือกใช้หรือไม่เลือกใช้ รูปแบบการตัดในการแปรรูป เป็นตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี

$$y_{j,k,c} \in \{0,1\} \quad \forall j,k,c$$

16. ความยาวของแต่ละรูปแบบการตัด ต้องไม่เป็นลบ

$$p_{j,k,c} \geq 0 \quad \forall j,k,c$$

17. ความยาวผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรูป, ความยาวผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปออกมามากกว่าความต้องการสูงสุด และความยาวผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปออกมาน้อยกว่าความต้องการสูงสุด ต้องไม่เป็นลบ

$$a_i, s_i^+, s_i^- \geq 0 \quad \forall i$$

จากโปรแกรมเชิงเส้นที่แสดงรายละเอียดด้านบน สามารถนำมาใช้ในการหาคำตอบสำหรับจำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ต้องเข้าแปรรูปที่ Cutter 2 สำหรับการแปรรูปม้วนของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A ซึ่งตัวแปรที่ใช้จะเหมือนกับโปรแกรมเชิงเส้นที่ใช้ในการหาจำนวนม้วนผลิตภัณฑ์น้อยสุดที่เข้าแปรรูป Cutter 2 ในหัวข้อ 6.3.1 จะมีเพียงพารามิเตอร์กำลังการผลิตของ Cutter 2 (Cap_2) ที่เพิ่มเข้ามา โดยกำหนดให้กำลังการผลิตของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A คือ 1 ม้วนวัตถุดิบ ซึ่งตัวแปรของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A ที่ใช้ในการหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้นแสดงในตารางที่ 6.13

ตารางที่ 6.13 ตัวแปรของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่นที่ใช้ในการหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้น

ผลิตภัณฑ์ขนาดที่ i	1	2	3
ความกว้าง (w_i)	24.0	35.0	24.0
ความยาว (l_i)	35.0	24.0	34.5
ความยาวแปรรูปขั้นต่ำ($l_{min,i}$)	แสดงในตารางที่ 6.2		
ความยาวแปรรูปขั้นสูง($l_{max,i}$)	แสดงในตารางที่ 6.2		
ความยาวม้วนวัตถุดิบ (L)	558,000 นิ้ว		
จำนวนม้วนวัตถุดิบเข้าแปรรูป (k)	7 ม้วน		
ความกว้างสูงสุด (W_{max})	96 นิ้ว		
ความยาวในการปรับแต่งเครื่องจักร (S)	3,500 นิ้ว		
ความยาวต่ำสุดของรูปแบบการตัด (P_{min})	10,000 นิ้ว		
รูปแบบการตัดที่เป็นไปได้	แสดงในตารางที่ 6.11		
กำลังการผลิตของ Cutter 2 (Cap_2)	1 ม้วนวัตถุดิบ		

ผลลัพธ์ที่ได้จากการหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้น เพื่อหาความสูญเสียในกระบวนการแปรรูปเกิดขึ้นน้อยที่สุด คือ 3,743,400 ตารางนิ้ว จากม้วนวัตถุดิบที่เลือกแปรรูป 6 ม้วน หรือคิดเป็นความสูญเสีย 1.16 % ของกระดาษที่นำเข้าแปรรูป โดยรูปแบบการตัดที่เลือกใช้, ความยาวในการแปรรูป และเครื่องจักรที่ใช้ในการแปรรูปแสดงในตารางที่ 6.14 และตารางแสดงที่ 6.15 แสดงปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ขนาดต่าง ๆ ซึ่งคำตอบที่ได้จากโปรแกรมเชิงเส้นเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

ตารางที่ 6.14 ผลลัพธ์ของรูปแบบการตัดที่เลือกใช้ และความยาวในการแปรรูป ($p_{j,k}$) ของผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่น

รูปแบบการตัด j ที่เลือกใช้	ม้วนวัตถุดิบที่						
	1	2	3	4	5	6	7
j=1	390,320	0	554,470	0	554,470	554,470	0
j=2	160,670	554,480	0	29,118	0	0	0
j=7	0	0	0	521,880	0	0	0
ความยาว set up (S)	7,000	3,500	3,500	7,000	3,500	3,500	0
ความยาวรวม	557,990	557,980	557,970	557,998	557,970	557,970	0
นำเข้าแปรรูปที่	Cutter1	Cutter1	Cutter1	Cutter2	Cutter1	Cutter1	-

ตารางที่ 6.15 ปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ขนาดต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ A แปรรูปแบบแผ่น

ผลิตภัณฑ์ขนาดที่ i	ความยาวของผลิตภัณฑ์ (นิ้ว)		
	น้อยสุดที่ต้องการ ($l_{min,i}$)	ผลิต (a_i)	สูงสุดที่ต้องการ ($l_{max,i}$)
1	7,750,000	8,214,900	8,215,000
2	1,002,943	1,043,800	1,063,120
3	3,301,355	3,499,000	3,499,436

สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ก็ใช้วิธีการเช่นเดียวกันกับกลุ่มผลิตภัณฑ์ A ในการหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้น แต่กำลังการผลิตของ Cutter จะเปลี่ยนไปเรื่อย ๆ ขึ้นอยู่กับกลุ่มผลิตภัณฑ์ก่อนหน้าจะใช้กำลังการผลิตของ Cutter 2 ไปมากน้อยเพียงใด

โดยจากการใช้โปรแกรมเชิงเส้นในการวางแผนแปรรูปกระดาษตัดแผ่น เปรียบเทียบกับวิธีการปัจจุบันที่ใช้ความชำนาญของพนักงานวางแผนแปรรูป สำหรับแต่ละรูปแบบปัญหา ให้ผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 6.16

ตารางที่ 6.16 เปรียบเทียบความสูญเสียในกระบวนการแปรรูปสำหรับกระดาษตัดแผ่น ระหว่างการใช้โปรแกรมเชิงเส้นและวิธีการเดิม

โจทย์ตัวอย่างที่	จำนวน			เวลาในการหาคำตอบ (วินาที)	% ความสูญเสียกระดาษ		
	ขนาดผลิตภัณฑ์	รูปแบบการตัด	ม้วนวัตถุดิบที่ใช้		โปรแกรมเชิงเส้น	พนักงานคำนวณมือ	ความแตกต่าง
1	3	12	4	164.02	2.36	3.40	1.04
2	6	47	9	2.07	7.89	8.50	0.61
3	4	16	4	11.84	5.72	7.40	1.68
4	4	16	4	36.33	3.81	4.00	0.19
5	3	9	6	0.08	1.61	2.30	0.69
6	13	67	14	85.06	6.92	14.00	7.08
7	4	10	5	0.03	5.98	7.33	1.35
8	4	10	9	0.33	4.55	6.14	1.59
9	4	9	10	0.39	5.46	6.81	1.35
10	9	50	14	5.57	4.15	4.69	0.54
11	8	31	6	0.31	8.54	10.34	1.80
12	6	23	8	3.35	3.26	4.58	1.32
13	2	2	6	0.05	3.72	3.98	0.26
14	10	40	19	189.08	7.11	13.20	6.09
15	4	15	7	1.09	3.50	4.16	0.66
16	5	19	14	45.03	2.41	3.46	1.05
17	6	48	12	127.06	4.97	7.66	2.69
18	7	19	7	6.72	2.22	3.54	1.32
19	4	10	9	0.05	3.93	5.89	1.96
20	3	15	22	1.06	3.23	5.67	2.44
เฉลี่ย				33.98	4.57	6.35	1.79

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัย อธิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แสดงวิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาเศษตัดริมในโรงงานกระดาษ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความสูญเสียกระดาษในขั้นตอนแปรรูป โดยใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นและวิธีการฮิวริสติกในการวางแผนแปรรูป ทดแทนวิธีเดิมซึ่งอาศัยประสบการณ์และความชำนาญของพนักงานวางแผนแปรรูป นอกจากจะลดความสูญเสียในขั้นตอนแปรรูปกระดาษได้แล้ว ยังลดเวลาที่ใช้ในการวางแผนแปรรูป และสามารถวางแผนแปรรูปโดยพนักงานที่ไม่ต้องมีประสบการณ์ได้อีกด้วย

7.1 สรุปผลการวิจัย

ผลจากการใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้น และวิธีการฮิวริสติกในการวางแผนแปรรูป เปรียบเทียบกับวิธีการเดิมซึ่งอาศัยประสบการณ์และความชำนาญ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การวางแผนแปรรูปโดยการใช้โปรแกรมเชิงเส้นสำหรับกระดาษกรอม้วน ให้คำตอบที่ดีกว่าการใช้ประสบการณ์และความชำนาญของพนักงานวางแผนแปรรูป โดยการใช้โปรแกรมเชิงเส้นที่ 1 คือพิจารณาความยาวม้วนวัตถุดิบที่เหลือจากการแปรรูปทั้งหมดเป็นความสูญเสีย จะลดความสูญเสียในกระบวนการแปรรูปลงได้ 1.57 % ของกระดาษที่นำเข้าแปรรูป หรือคิดเป็นความสูญเสียที่ลดลง 35-% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเดิม และการใช้โปรแกรมเชิงเส้นที่ 2 คือพิจารณาความยาวของม้วนวัตถุดิบที่เหลือจากการแปรรูปมากกว่า 20% ของม้วนวัตถุดิบใหม่ สามารถเก็บไว้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปครั้งต่อไป จะลดความสูญเสียในกระบวนการแปรรูปลงได้ 2.95% ของกระดาษที่นำเข้าแปรรูป หรือคิดเป็นความสูญเสียที่ลดลง 49.33 % เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเดิม โดยการใช้โปรแกรมเชิงเส้นที่ 2 ซึ่งพัฒนามาจากโปรแกรมเชิงเส้นที่ 1 จะสามารถลดความสูญเสียในกระบวนการแปรรูปได้มากกว่าการใช้โปรแกรมเชิงเส้นที่ 1

2. การวางแผนแปรรูปโดยการใช้โปรแกรมเชิงเส้นสำหรับกระดาษตัดแผ่น ให้คำตอบที่ดีกว่าการใช้ประสบการณ์และความชำนาญของพนักงานวางแผนแปรรูป โดยสามารถลดความสูญเสียในกระบวนการแปรรูปลงได้ 1.79 % ของกระดาษที่นำเข้าแปรรูป หรือคิดเป็นความสูญเสียที่ลดลง 28.19 % เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเดิม

3. การใช้โปรแกรมเชิงเส้นเพื่อลดปริมาณความสูญเสียของกระดาษกรอม้วนและตัดแผ่น คิดเป็นมูลค่าที่ลดลงได้ประมาณ 900,000 บาทต่อเดือน

4. วิธีการหาคำตอบที่นำเสนอ สามารถลดเวลาในการวางแผนแปรรูปจากวิธีคำนวณด้วยมือแบบเดิม โดยพนักงานวางแผนแปรรูปจะใช้เวลาในการวางแผนรายสัปดาห์ประมาณ 8 ชั่วโมงต่อครั้ง แต่เมื่อใช้โปรแกรมเชิงเส้นร่วมกับวิธีฮิวริสติกในการหาคำตอบ จะใช้เวลาในการวางแผนรายสัปดาห์ประมาณ 3 ชั่วโมงต่อครั้ง ซึ่งเวลานี้จะคิดรวมทั้ง การสร้างรูปแบบการตัด การใช้ฮิวริสติกในการจัดลำดับกลุ่มผลิตภัณฑ์เพื่อหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้น และการหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้น

7.2 อภิปรายผลการวิจัย

1. การใช้โปรแกรมเชิงเส้นสำหรับวางแผนแปรรูปกระดาษกรอม้วน โปรแกรมเชิงเส้นที่ 1 มีวิธีการหาคำตอบที่ไม่ซับซ้อนทั้งในด้านของจำนวนขนาดผลิตภัณฑ์ จำนวนรูปแบบการตัด ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมเชิงเส้นจึงใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณด้วยมือ ยกเว้นโจทย์ตัวอย่างที่ซับซ้อนเท่านั้นที่จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการคำนวณด้วยมือ ซึ่งแตกต่างจากโปรแกรมเชิงเส้นที่ 2 จะมีวิธีการหาคำตอบที่ซับซ้อนขึ้น เพราะมีเงื่อนไขที่สามารถเก็บม้วนวัตถุดิบส่วนที่เหลือจากการแปรรูปไว้เป็นวัตถุดิบสำหรับการแปรรูปครั้งต่อไปได้ ซึ่งส่วนที่เหลือเก็บไว้จะไม่คิดเป็นความสูญเสียจากการแปรรูป จึงทำให้เกิดทางเลือกในการแปรรูปที่มากขึ้น และทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการคำนวณด้วยมือในทุกโจทย์ตัวอย่าง

2. การหาคำตอบสำหรับเศษตัดริมกระดาษโดยใช้โปรแกรมเชิงเส้น ในกระดาษตัดแผ่นจะใช้เวลาในการหาคำตอบมากกว่ากระดาษกรอม้วน เนื่องจากลักษณะปัญหาที่ซับซ้อนกว่า ทั้งจากขนาดผลิตภัณฑ์เข้าแปรรูปที่หลากหลาย รวมทั้งจำนวนเครื่องจักรในการแปรรูป และเวลาในการหาคำตอบขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของโจทย์ปัญหา โดยโจทย์ปัญหามีทางเลือกของคำตอบที่เป็นไปได้หลากหลายจะใช้เวลาในการหาคำตอบนาน แต่หากโจทย์ปัญหามีทางเลือกของคำตอบที่เป็นไปได้น้อยจะใช้เวลาในการหาคำตอบที่น้อยกว่า

3. วิธีฮิวริสติกสำหรับจัดสรรผลิตภัณฑ์เข้าแปรรูปในเครื่อง Cutter ที่นำเสนอ จะทำการคำนวณจำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ต้องใช้ Cutter 2 ในทุกกลุ่มผลิตภัณฑ์เอาไว้ก่อนเสมอ เพื่อให้ Cutter 2 มีกำลังการผลิตที่เพียงพอสำหรับทุกกลุ่มผลิตภัณฑ์ แต่ในกรณีที่จำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ต้องใช้ Cutter 2 ของทุกกลุ่มผลิตภัณฑ์มีมากกว่ากำลังการผลิตของ Cutter 2 วิธีการนี้ก็จะทำให้มีกำลังการการผลิตส่วนเกินของ Cutter 2 น้อยที่สุด

4. ข้อจำกัดของวิธีการหาคำตอบที่นำเสนอ คือทุกขนาดผลิตภัณฑ์จะต้องสามารถสร้างรูปแบบการตัดได้อย่างน้อยหนึ่งรูปแบบการตัด ทั้งนี้เพื่อให้มีทางเลือกในการแปรรูปขนาดผลิตภัณฑ์นั้น และสามารถหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้นได้ ซึ่งการสร้างรูปแบบการตัดถูกกำหนดด้วยความกว้างต่ำสุดของรูปแบบการตัดที่ยอมรับได้ หากไม่สามารถสร้างรูปแบบการตัดสำหรับทุกขนาดผลิตภัณฑ์ได้ สามารถแก้ไขได้ด้วยการนำคำสั่งซื้อขนาดอื่น ๆ เพิ่มเติมเข้ามาในการจัดรูปแบบการตัด หรือลดความกว้างต่ำสุดของรูปแบบการตัดที่ยอมรับได้ลงอีก เพื่อทำให้มีทางเลือกในการจัดรูปแบบการตัดเพิ่มขึ้น

5. วิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาเศษตัดริมกระดาษที่นำเสนอ พัฒนามาจากเงื่อนไขในการดำเนินงานจริงของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งการนำไปประยุกต์ใช้สามารถปรับเปลี่ยนเงื่อนไขให้เหมาะสมกับการดำเนินการงานของบริษัทในสภาวะต่างๆ ได้ โดยสิ่งที่โรงงานจะต้องจัดเตรียมสำหรับการประยุกต์ใช้วิธีการหาคำตอบที่นำเสนอ คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับสร้างรูปแบบการตัด โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับหาคำตอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้น และพนักงานวางแผนแปรรูปที่มีความรู้เบื้องต้นด้านคอมพิวเตอร์

7.3 **ข้อเสนอแนะ**

1. การใช้วิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาเศษตัดริมกระดาษนี้ มีความยืดหยุ่นน้อยกว่าการวางแผนด้วยประสบการณ์ ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงคำสั่งซื้ออย่างกระทันหัน หรือเกิดเหตุฉุกเฉินอื่น ๆ

2. สามารถนำวิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาเศษตัดริมกระดาษนี้ ขยายผลไปยังเครื่องจักรแปรรูปอื่นๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงได้

รายการอ้างอิง

[1] Cintra, G.F., Miyazawa, F.K., Wakabayashi, Y. and Xavuer, E.C., A note on the approximability of cutting stock problems, European Journal of Operational Research 183 (2007): 1328-1332

[2] Vahrenkamp, R., Random search in the one-dimensional cutting stock problem, European Journal of Operational Research 95 (1996): 191-200

[3] Loh, K.H., Golden, B. and Wasil, E., Solving the one-dimensional bin packing problem with a weight annealing heuristic, Computer & Operations Research 35 (2008): 2283-2291

[4] Macedo, R., Alves, C. and Carvalho, J.M.V., Arc-flow model for the two-dimensional guillotine cutting stock problem, Computers & Operations Research 37 (2010): 991-1001

[5] Kantorovich, L., Mathematical methods of organizing and planning production, Management Science 6 (1960): 366-422

[6] Lueng, S. C. H., Zhang, D., Zhou, C. and Wu, T., A hybrid simulated annealing metaheuristic algorithm for the two-dimensional knapsack packing problem, Computer & Operations Research 39 (2012): 64-73

[7] Schilling, G. and Georgiadis, M. C., An algorithm for the determination of optimal cutting patterns, Computers & Operations Research 29 (2002): 1041-1508

[8] Harjunkoski, I., Westerlund, T., Porn, R. and Skrifvars, H., Different transformations for solving non-convex trim-loss problem by MINLP, European Journal of Operational Research 105 (1998): 594-603

[9] Rodriguez, M. A. and Vecchietti, A., Enterprise optimization for solving as assignment and trim-loss non-convex problem, Computer and Chemical Engineering 32 (2008): 2812-2822

[10] Diegel, A., Montocchio, E., Walters, E., Schalkwyk, S. and Naidoo, S., Set up minimizing conditions in the trim loss problem, European Journal of Operational Research 95 (1996): 631-640

[11] Westerlund, T., Harjunkoski, I. and Isaksson, J., Solving a production optimization problem in a paper-converting mill with MILP, Computers Chem. Engng 22 (1998): 563-570

[12] Westerlund, T., Isaksson, J. and Harjunkoski, I., Solving a two-dimensional trim-loss problem with MILP, European Journal of Operation Research 104 (1998): 572-581

[13] Suliman, S.M.A., Pattern generating procedure for the cutting stock problem, Internaltional

Journal of Production Economics 74 (2001): 293-301

[14] Harjunkoski, I., Porn, R., Westerlund, T. and Skrifvars, H., Different Strategies for solving bilinear integer non-linear programming problems with convex transformations, Computers Chem. Engng 21 (1997): 487-492

[15] Harjunkoski, I., Westerlund, T., Isaksson, J. and Skrifvars, H., Different formulations for solving trim loss problems in a paper-converting mill with ILP, Computers Chem. Engng 20 (1996): 121-126

[16] Johnston, R.E. and Sadinlija, E., A new model for complete solutions to one-dimensional cutting stock problems, European Journal of Operational Research 153 (2004): 176-183

[17] Aktin, T. and Ozdemir, R. G., An integrated approach to one-dimension cutting stock problem in coronary stent manufacturing, European Journal of Operation Research196 (2009): 737-743

[18] Kasimbeyli, N., Sarac, T. and Kasimbeyli, R., A Two-objective mathematical model without cutting patterns for one-dimension assortment problems, Journal of Computational and Applied Mathematics 235 (2011): 4663-4674

[19] Correia, M.H., Oliveira, J.F. and Ferreira, J.S., Reel and sheet cutting at a paper mill, Computer & Operation Research 31 (2004): 1223-1243

[20] Song, X., Chu, C.B., Nie, Y.Y. and Bennell, J.A., An iterative sequential heuristic procedure to a real - life 1.5-dimensional cutting stock problem, European Journal of Operation Research 175 (2006): 1870-1889

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
อัลกอริทึมสำหรับสร้างรูปแบบการตัด

อ้างอิงจากอัลกอริทึมของ Westerlund และคณะ [11] โดยใช้โปรแกรม Python โคดของโปรแกรมสำหรับหารูปแบบการตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมด ของกระดาษตัดแผ่นแสดงดังนี้

```
import sys, math
from numpy import *
import copy
Nmax = 4.0
Wmin = 89
Wmax = 96
# ตัวอย่างขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการหารูปแบบการตัด จำนวน 8 ขนาด โดยให้เริ่มต้นด้วยเลข 0 ทุกครั้ง
w = (0, 22.0, 29.0, 28.5, 19.0, 36.0, 38.0, 28.5, 26.5)
l = (0, 27.0, 22.5, 39.0, 29.0, 45.5, 22.5, 39.0, 39.0)

#############################################################################
def computeNmax(n, w, Nmax, Wmin, Wmax):
    I = len(w)-1;
    N = 0.0*arange(I+1)
    W = 0.0*arange(I+1)
    nmax = 0*arange(I+1)

    for i in range(1, I+1):
        N[i] = N[i-1] + n[i]
        W[i] = W[i-1] + w[i]*n[i]
        nmax[i] = min(Nmax - N[i-1], max(0.0, floor((Wmax-W[i-1])/w[i])))

    return nmax
#############################################################################
TrimSol = []
J = 0
I = len(w)-1;

while (1):
    if J == 0:
        n = 0*arange(I+1)
    else:
```

```
    n = array(TrimSol[J-1])

J = J+1

nmax = computeNmax(n, w, Nmax, Wmin, Wmax)
nextPattern = False

while (not nextPattern):

    done = True
    for i in range(l, 0, -1):
        if (n[i] >= nmax[i]):
            n[i] = 0
            continue
        else:
            n[i] = n[i] + 1

            if (dot(w, n) < Wmin):
                nmax = computeNmax(n, w, Nmax, Wmin, Wmax)
                done = False
                break
            else:
                TrimSol.append(n.tolist())
                nextPattern = True
                done = False
                break

    if done == True:
        finalTrimSol = []

        # Extract the patterns with at most two paper lengths
        for i in range(shape(TrimSol)[0]):
            # Get a length vector for each pattern
            len_vec = [l[j]*min(1,TrimSol[i][j]) for j in range(1,len(l))]
            # Filter out the entries with "0"
```

```
    len_vec = filter(lambda x: x > 0, len_vec)
    # Create a new vector with redundant lengths removed
    len_vec = list(set(len_vec))
    # Get the pattern with at most two cut lengths
    if size(len_vec) < 3:
        finalTrimSol.append(TrimSol[i])

TrimSol = list(finalTrimSol)
print "\nFinal Solution (%d patterns): " % (shape(TrimSol)[0])

tmp = dict([ (i,dot(w,finalTrimSol[i])) for i in range(shape(TrimSol)[0])])
x=sorted([[v[1],v[0]] for v in tmp.items()], reverse=True)
idx = [v[1] for v in x]

for i in idx:
    print TrimSol[i][1:], "width (in) = %f" % dot(w, TrimSol[i])

sys.exit()
```

ภาคผนวก ข
โปรแกรมเชิงเส้น

ข1. โปรแกรมเชิงเส้นสำหรับกระดาษกรอม้วน

เขียนโดยใช้โปรแกรม OPL โคดของโปรแกรมดังนี้

Model file:

```
//Index
int NbProducts=...;
int NbPatterns=...;
int NbRolls=...;
range Products=1..NbProducts;
range Patterns=1..NbPatterns;
range Rolls=1..NbRolls;

//Parameter
float L=...;
float R[Rolls]=...;
float Wmax=...;
float w[Products]=...;
float l[Products]=...;
float r[Patterns]=...;
int n [Patterns ][Products]=...;
float amin[Products]=...;
float amax[Products]=...;
float S=...;
float H=...;

//Decision Variable
dvar int+ k;
dvar float+ p[Patterns];
dvar int+ m[Patterns];
dvar boolean y[Patterns];
dvar float+ e1;
dvar boolean E1;
dvar float+ e2;
dvar boolean E2;
dvar int+ a[Products];
dvar boolean Y[Rolls];
```

```
dvar int+ sp[Products];
dvar int+ sn[Products];
dvar Trimloss;
dvar Setup;
dvar Overproduce;

//Objective Function
minimize (Trimloss+Setup+Overproduce);
Trimloss == sum(j in Patterns)(p[j]*(Wmax-sum(i in Products)w[i]*n[i][j]))+e1*Wmax;
Setup==sum(j in Patterns) y[j]*S*Wmax;
Overproduce == sum( i in Products)sp[i]*l[i]*w[i];

//Constraint
subject to
 {
        ct1:sum(j in Patterns)(p[j]+ y[j]*S)+e1+e2==k*L+sum(l in Rolls)Y[l]*R[l];
        ct2:e1<=0.2*L;
        ct3:e1<=H*E1;
        ct4:e2>=0.2*L;
        ct5:e2<=L;
        ct6:e2<= H*E2;
        ct7:E1+E2<=1;

forall(j in Patterns)
        {
        ct8:p[j]<=H*y[j];
        ct9:p[j]==r[j]*m[j];
        }

forall(i in Products)
        {
        ct10:sum(j in Patterns)(n[j][i]*m[j])==a[i];
        ct11:a[i]>=amin[i];
        ct12:a[i]+sp[i]-sn[i]==amax[i];}
        }
```

}

Data file:

```
NbProducts=4;
NbPatterns=11;
NbRolls=1;
L=558000;
R=[558000];
Wmax=96;
w=[31,30,31,32];
l=[78740, 109900, 109900, 109900];
r=[109900, 109900, 109900, 109900, 78740, 109900, 109900, 109900, 109900, 109900, 109900];

n=[[0, 0, 0, 3] [0, 0, 1, 2] [0, 1, 0, 2] [0, 0, 2, 1] [3, 0, 0, 0] [0, 1, 1, 1] [0, 0, 3, 0] [0, 2, 0, 1] [0, 1, 2, 0]
[0, 2, 1, 0] [0, 3, 0, 0]];
amin=[120, 61, 32, 15];
amax=[127, 64, 34, 15];
S=1500;
H=100000000;
```

ข2. โปรแกรมเชิงเส้นสำหรับกระดาษตัดแผ่น

ประกอบด้วยโปรแกรมเชิงเส้น 2 ชุด คือ โปรแกรมเชิงเส้นที่ใช้หาจำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ต้องเข้าแปรรูป Cutter 2 และโปรแกรมเชิงเส้นที่ใช้หาความสูญเสียในกระบวนการแปรรูปน้อยที่สุด โดยมีรายละเอียดดังนี้

ข2.1 โปรแกรมเชิงเส้นสำหรับหาจำนวนม้วนวัตถุดิบน้อยสุดที่ต้องเข้าแปรรูป Cutter 2

เขียนโดยใช้โปรแกรม OPL โคดของโปรแกรมดังนี้

Model file:

```
//Index
int NbProducts=...;
int NbPatterns=...;
int NbRolls=...;
int NbCutters=...;
range Products=1..NbProducts;
range Patterns=1..NbPatterns;
range Rolls=1..NbRolls;
range Cutters=1..NbCutters;

//Parameter
float L=...;
float Wmax=...;
float w[Products]=...;
float l[Products]=...;
int n[Patterns][Products]=...;
float lmin[Products]=...;
float lmax[Products]=...;
float Pmin=...;
float S=...;

//Decision Variable
dvar float+ p[Patterns][Rolls][Cutters];
```

```
dvar int+ x[Products][Patterns][Rolls][Cutters];
dvar float+ a[Products];
dvar boolean y[Patterns][Rolls][Cutters];
dvar boolean Y[Rolls][Cutters];
dvar float+ sp[Products];
dvar float+ sn[Products];

//Objective Function
minimize sum(k in Rolls)Y[k][2];

//Constraint
subject to
 {
        ct1:sum(k in Rolls,c in Cutters)(Y[k][c]*Wmax*L)-sum(i in Products)a[i]*w[i] >=0;

forall(k in Rolls,c in Cutters)
        {
        ct2:sum(j in 1..2)(p[j][k][1]+ S*y[j][k][1])<=Y[k][1]*L;
        ct3:sum(j in Patterns)(p[j][k][2]+ S*y[j][k][2])<=Y[k][2]*L;
        ct4:sum(j in 3..7)y[j][k][1]==0;
        ct5:sum(j in 1..2)y[j][k][1]>=Y[k][1];
        ct6:sum(j in Patterns)y[j][k][2]>=Y[k][2];
        }
forall(j in Patterns,k in Rolls,c in Cutters)
        {
        ct7:p[j][k][c]<=L*y[j][k][c];
        ct8:p[j][k][c]>= Pmin* y[j][k][c];
        }

forall(i in Products,j in Patterns,k in Rolls,c in Cutters)
        ct9:x[i][j][k][c]*l[i]<=p[j][k][c];
forall(i in Products)
        {
        ct10:sum(j in Patterns,k in Rolls,c in Cutters)(n[j][i]*l[i]*x[i][j][k][c])==a[i];
        ct11:a[i]>=lmin[i];
```

```
        ct12:a[i]-sp[i] +sn[i]-== lmax[i];
        }
forall(k in 1..NbRolls-1)
        ct13:sum(c in Cutters)Y[k][c]>=sum(c in Cutters)Y[k+1][c];
forall(k in Rolls,c in Cutters)
        ct14:sum(c in Cutters)Y[k][c]<=1;
}
```

Data file:

```
NbProducts=3;
NbPatterns=7;
NbRolls=7;
NbCutters=2;
L=558000;
Wmax=96;
w=[24,35,24];
l=[35,24,34.5];
n=[[4, 0, 0] [0, 0, 4] [3, 0, 1] [2, 0, 2] [1, 0, 3] [1, 2, 0] [0, 2, 1] ];
lmin=[7750000, 1002943, 3301355];
lmax=[8215000, 1063120, 3499436];
Pmin=10000;
S=3500;
```

ข2.2 โปรแกรมเชิงเส้นสำหรับหาความสูญเสียในกระบวนการแปรรูปน้อยที่สุด

เขียนโดยใช้โปรแกรม OPL โคดของโปรแกรมดังนี้

Model file:

```
//Index
int NbProducts=...;
int NbPatterns=...;
int NbRolls=...;
int NbCutters=...;
range Products=1..NbProducts;
range Patterns=1..NbPatterns;
range Rolls=1..NbRolls;
range Cutters=1..NbCutters;

//Parameter
float L=...;
float Wmax=...;
float w[Products]=...;
float l[Products]=...;
int n[Patterns][Products]=...;
float lmin[Products]=...;
float lmax[Products]=...;
float Pmin=...;
float S=...;
int C2=...;

//Decision Variable
dvar float+ p[Patterns][Rolls][Cutters];
dvar int+ x[Products][Patterns][Rolls][Cutters];
dvar float+ a[Products];
dvar boolean y[Patterns][Rolls][Cutters];
dvar boolean Y[Rolls][Cutters];
dvar float+ sp[Products];
dvar float+ sn[Products];
```

```
dvar float+ Trimloss;
dvar float+ Overproduce;

//Objective Function
minimize Trimloss+Overproduce;
Trimloss==sum(k in Rolls,c in Cutters)(Y[k][c]*Wmax*L)-sum(i in Products)a[i]*w[i];
Overproduce==sum(i in Products)sp[i]*w[i];

//Constraint
subject to
 {
        ct1:sum(k in Rolls)Y[k][2]<=C2;
forall(k in Rolls,c in Cutters)
        {
        ct2:sum(j in 1..2)(p[j][k][1]+ S*y[j][k][1])<=Y[k][1]*L;
        ct3:sum(j in Patterns)(p[j][k][2]+ S*y[j][k][2])<=Y[k][2]*L;
        ct4:sum(j in 3..7)y[j][k][1]==0;
        }
forall(j in Patterns,k in Rolls,c in Cutters)
        {
        ct5:p[j][k][c]<=L*y[j][k][c];
        ct6:p[j][k][c]>= Pmin* y[j][k][c];
        }
forall(i in Products,j in Patterns,k in Rolls,c in Cutters)
        ct7:x[i][j][k][c]*l[i]<=p[j][k][c];

forall(i in Products)
        {
        ct8:sum(j in Patterns,k in Rolls,c in Cutters)(n[j][i]*l[i]*x[i][j][k][c])==a[i];
        ct9:a[i]>=lmin[i];
        ct10:a[i]- sp[i] +sn[i]== lmax[i];
        }
forall(k in 1..NbRolls-1)
        ct13:sum(c in Cutters)Y[k][c]>=sum(c in Cutters)Y[k+1][c];
forall(k in Rolls,c in Cutters)
```

ct14:sum(c in Cutters)Y[k][c]<=1;

Data file:

```
NbProducts=3;
NbPatterns=7;
NbRolls=7;
NbCutters=2;
L=558000;
Wmax=96;
w=[24,35,24];
l=[35,24,34.5];
n=[[4, 0, 0] [0, 0, 4] [3, 0, 1] [2, 0, 2] [1, 0, 3] [1, 2, 0] [0, 2, 1] ];
lmin=[7750000, 1002943, 3301355];
lmax=[8215000, 1063120, 3499436];
Pmin=10000;
S=3500;
C2=1;
```

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุคนธ์ทิพย์ เพิ่มศิลป์ เกิดเมื่อวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นบุตรของนายสุคนธ์ เพิ่มศิลป์ และนางมณฑาทิพย์ เพิ่มศิลป์ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น และตอนปลายที่โรงเรียนกัลยาณีศรีธรรมราช และเข้าศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปี พ.ศ. 2544 หลังจากที่สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตในปี พ.ศ. 2548 ได้เข้าทำงานที่บริษัทในกลุ่มธุรกิจกระดาษและบรรจุภัณฑ์ เครือซิเมนต์ไทย ตำแหน่งวิศวกร และในปี พ.ศ. 2552 ได้เข้าศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย