

การใช้สโตนโอสตอติกรโปรแกรมในการจัดสมตออสถการผลิต
แบบสโตนโอสตอติกร

A STOCHASTIC PROGRAMMING APPROACH TO
THE STOCHASTIC LINE BALANCING PROBLEM

นางสาววชิรา มีแสงเพ็ชร

MS. WACHIRA MEESAENGPECH

นางสาวหทัยรัตน์ ไวยอน

MS. HATHAIRAT WAISAEN

ปริณูตุนิพนธเสนเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมผลิตการ คณะวิศวกรรมศาสตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมภณันจ้าคอศุภทการจากรอนง

ปีการศึกษา 2536

การใช้สโทแคสติกโปรแกรมในการจัดสมดุลสายการผลิต
แบบสโทแคสติก
A STOCHASTIC PROGRAMMING APPROACH TO
THE STOCHASTIC LINE BALANCING PROBLEM

นางสาววชิรา มีแสงเพ็ชร

MS. WACHIRA MEESAENGPETCH

นางสาวหทัยรัตน์ ไวแสน

MS. HATHAIRAT WAISAEN

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

A STOCHASTIC PROGRAMMING APPROACH TO THE STOCHASTIC LINE BALANCING PROBLEM

MS. WACHIRA MEESAENGPETCH

MS. HATHAIRAT WAISAEN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์

การใช้สโตแคสติกโปรแกรมในการจัดสมดุลสายการผลิตแบบสโตแคสติก
A STOCHASTIC PROGRAMMING APPROACH TO THE STOCHASTIC
LINE BALANCING PROBLEM

นักศึกษา

นางสาวชिरา มีแสงเพชร

รหัสประจำตัว 53011391

นางสาวหทัยรัตน์ ไวแสน

รหัสประจำตัว 53011811

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์



(อาจารย์อุดม จันทร์จรัสสุข)

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การใช้สโตนโทแคสติกโปรแกรมในการจัดสมดุลสายการผลิตแบบสโตนโทแคสติก
นักศึกษา	นางสาวชिरา มีแสงเพชร นางสาวหทัยรัตน์ ไวแสน
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2556
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	อาจารย์อุดม จันทร์จรัสสุข

บทคัดย่อ

ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตเป็นหนึ่งในปัญหาที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนากระบวนการผลิต ปัญหาดังกล่าว เกิดจากการจัดงานลงในสถานงานอย่างไม่เหมาะสม ทำให้เกิดปัญหาสายการผลิตที่ไม่ต่อเนื่อง ซึ่งสาเหตุสำคัญเกิดจากความแปรปรวนของเวลาในสายการผลิตที่มีค่าไม่แน่นอน วิธีหนึ่งในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตคือการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์โดยวิธีใช้แบบจำลองเชิงกำหนด (Deterministic model) ซึ่งจะใช้ค่าเฉลี่ยของเวลาแทนข้อมูลนำเข้า ทำให้ได้ผลลัพธ์มีค่าคงที่สำหรับข้อมูลนำเข้าชุดนั้นๆ แต่เนื่องจากความแปรปรวนของเวลาที่เกิดขึ้นในสายการผลิตทำให้การจัดสมดุลสายการผลิตโดยการใช้ค่าเฉลี่ยเวลาไม่สามารถให้คำตอบที่ดีที่สุดได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงศึกษาการใช้แบบจำลองสโตนโทแคสติก (Stochastic model) ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูล ซึ่งได้จากการจับเวลาจริง จึงทำให้แบบจำลองมีความถูกต้องมากขึ้น ทั้งนี้เพื่อนำมาใช้ปรับปรุงการจัดสมดุลสายการผลิต โดยมีเป้าหมายเพื่อลดค่าความแตกต่างเวลาของแต่ละสถานีการทำงาน ในงานวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลการจัดสมดุลสายการผลิตโดยวิธีใช้แบบจำลองเชิงกำหนดและแบบจำลองสโตนโทแคสติก ผลการวิจัยที่ได้คือ การจัดสมดุลสายการผลิตโดยวิธีใช้แบบจำลองสโตนโทแคสติกสามารถลดค่าความแตกต่างเวลาของแต่ละสถานีงานได้มากกว่าแบบจำลองเชิงกำหนด

Thesis Title	A Stochastic Programming Approach to the Stochastic Line Balancing Problem
Student	Ms. Wachira Meesaengpetch Ms. Hathairat Waisaen
Degree	Bachelor of Engineering Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2013
Thesis Advisor	Mr. Udom Janjarassuk

ABSTRACT

Line balancing problem is an important problem in the development of manufacturing process. The problem is caused by the inappropriately arranged works in work stations, resulting in discontinuous production line which is the results of variation in processing time. One method for solving the balancing problem is to model the problem by using deterministic model, in which the input data of the model are obtained from the average of processing time. However, due to the variation of processing time that occur in the producing line, using the average of processing time may not provide the best result. Therefore, this research uses stochastic model to solve the line balancing problem under data uncertainties, which increase the accuracy of the model. The objective of the model is to improve line balancing by reducing time different between work stations. By comparing the results between the deterministic model and stochastic model, the finding revealed that the solution from stochastic model can reduce the time different between stations more than the solutions from deterministic model

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ซึ่งเป็นผู้ให้ความรู้ทางทฤษฎี หลักการ ตลอดจนแนวทางการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำวิจัย นอกจากนี้ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชุมพล ยวงใย และ รศ.ดร.ฤดี มาสุจันทร์ และคณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในการทำงาน ทางผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปัญหาของโรงงานกรณีศึกษา จากปริญญานิพนธ์หัวข้อการปรับปรุงสายการประกอบ กรณีศึกษาโรงงานผลิตโทรทัศน์ ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ คุณจิตติณัฐ อัญเชิญ เจ้าของปริญญานิพนธ์อย่างสูง ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการให้โอกาสผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหาร่วมด้วยอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำงานวิจัยครั้งนี้

และสุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยเตือนสติและให้กำลังใจในการทำงาน จนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

นางสาวชिरา มีแสงเพชร

นางสาวหทัยรัตน์ ไวแสน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ตัวแบบกำหนดเชิงเส้น.....	3
2.1.1 ส่วนประกอบของตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น.....	3
2.2 การสร้างแบบจำลองภายใต้ความไม่แน่นอน.....	4
2.2.1 การตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอน.....	4
2.3 สโทแคสติกโปรแกรม.....	5
2.4 มูลค่าของการแก้ปัญหาสโทแคสติก.....	6
2.5 ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองสโทแคสติกและการหามูลค่าของการแก้ปัญหาสโทแคสติก.....	7
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 โรงงานกรณีศึกษา.....	12
3.1.1 สภาพของปัญหาโรงงานกรณีศึกษา.....	12
3.1.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในสายการผลิต.....	12
3.2 แนวทางในการแก้ไขปัญหา.....	12
3.3 การจัดสมดุลสายการผลิตโดยวิธีใช้แบบจำลองเชิงกำหนด.....	15
3.4 การจัดสมดุลสายการผลิตโดยวิธีใช้แบบจำลองสโทแคสติก.....	18
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	
4.1 ผลจากแบบจำลองเชิงกำหนด.....	22
4.2 ผลจากแบบจำลองสโทแคสติก.....	24
4.3 ผลเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองเชิงกำหนดและแบบจำลองสโทแคสติก.....	26
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการดำเนินงาน	
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	32
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
หนังสืออ้างอิง.....	34
ภาคผนวก ก รายละเอียดของปัญหากรณีตัวอย่าง.....	ผก1
ภาคผนวก ข แบบจำลองAMPL.....	ผข1

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลการจับเวลาการทำงานของโรงงานผลิตโทรทัศน์.....	13
ตารางที่ 3.2 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในแบบจำลองเชิงกำหนด.....	15
ตารางที่ 3.3 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองสโทแคสติกโดยกำหนดเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ เท่ากับ 4.....	19
ตารางที่ 4.1 แสดงผลจากการจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้แบบจำลองเชิงกำหนด.....	23
ตารางที่ 4.2 แสดงผลจากการจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้แบบจำลองสโทแคสติก.....	24
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการนำข้อมูลของเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้ง 4 เหตุการณ์ไปใช้กับคำตอบที่ได้จากการจัดโดยใช้ แบบจำลองเชิงกำหนด.....	26
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าของสมการเป้าหมายจากแบบจำลองเชิงกำหนด.....	28
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าของสมการเป้าหมายจากแบบจำลองสโทแคสติก.....	29
ตารางที่ 4.6 แสดงมูลค่าของการแก้ปัญหาสโทแคสติก.....	31

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตเป็นปัญหาที่พบได้บ่อยของโรงงานโดยทั่วไป ซึ่งเกิดจากการจัดงานย่อยลงในสถานียางานอย่างไม่เหมาะสม ทำให้เวลารวมในการทำงานของแต่ละสถานีงานมีความแตกต่างกันมาก ซึ่งทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องในการทำงานส่งผลให้ไม่สามารถผลิตได้เต็มประสิทธิภาพ สาเหตุหนึ่งของการจัดงานที่ไม่เหมาะสมมาจากความไม่แน่นอนของเวลาในการปฏิบัติงานทำให้ยากที่จะหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ เพื่อลดปัญหาความไม่ต่อเนื่องในสายการผลิต จึงจำเป็นต้องมีการจัดสมดุลสายการผลิตใหม่ เพื่อให้แต่ละสถานีงานมีเวลาการทำงานใกล้เคียงกันมากที่สุดเพื่อลดช่องว่างเรื่องเวลาในการทำงานของแต่ละสถานีงาน

การแก้ปัญหาโดยใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ คือกระบวนการสร้างแบบจำลองของระบบจริง แล้วดำเนินการใช้แบบจำลองนั้นเพื่อเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานจริงเพื่อประเมินผลการใช้วิธีการต่างๆในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้

การจัดสมดุลสายการผลิตโดยทั่วไปจะใช้ข้อมูลของการจับเวลาหลายๆครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย การใช้ค่าเฉลี่ยของเวลาในการสร้างแบบจำลองเพื่อแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตจะทำให้ได้แบบจำลองเชิงกำหนด ซึ่งข้อมูลที่นำเข้ามาจะเป็นค่าคงที่ทั้งหมด และเป็นแบบจำลองที่ตายตัว และทำให้ได้ผลลัพธ์มีค่าคงที่สำหรับข้อมูลนำเข้าชุดนั้นๆ แต่ในความเป็นจริงสายการผลิตย่อมมีความแปรปรวนของเวลาเกิดขึ้นเสมอ ปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลาที่แปรปรวนอาจมาจากความล่าช้าของคนหรือวัตถุดิบ การสร้างแบบจำลองที่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาได้จริงนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาเรื่องของการทำงานที่ไม่แน่นอนเข้าไปในการจัดสมดุลสายการผลิตด้วย

การแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้แบบจำลองสโทแคสติค คือการใช้ข้อมูลนำเข้าที่มีค่าไม่แน่นอนในการสร้างแบบจำลองจึงทำให้วิธีการแก้ปัญหามีความซับซ้อนกว่าวิธีที่ใช้ค่าเฉลี่ยเวลา เนื่องจากการสร้างแบบจำลองสโทแคสติคเป็นการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจภายใต้ข้อมูลที่มีความไม่แน่นอน จึงทำให้แบบจำลองมีความสมจริงมากขึ้น และทำให้การจัดสมดุลสายการผลิตสามารถจัดได้อย่างเหมาะสม ดังนั้นในปริญญาณิพนธ์นี้จึงได้นำวิธีการแก้ปัญหการจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้แบบจำลองสโทแคสติคมาประยุกต์ใช้กับตัวอย่างปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตของโรงงานผลิตโทรทัศน์

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้สโตนแคสติงโปรแกรม
2. เพื่อเปรียบเทียบผลการจัดสมดุลสายการผลิตระหว่างการใช้วิธีสโตนแคสติงโปรแกรมกับวิธีที่ใช้แบบจำลองเชิงกำหนด

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษากรณีตัวอย่างของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ กรณีศึกษาโรงงานผลิตโทรทัศน์
2. สร้างแบบจำลองปัญหาโดยใช้แบบจำลองเชิงกำหนดและแบบสโตนแคสติงสำหรับแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิต
3. ทำการเปรียบเทียบผลการจัดสมดุลสายการผลิตระหว่างวิธีสโตนแคสติงโปรแกรมกับวิธีที่ใช้แบบจำลองเชิงกำหนด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้สโตนแคสติงโปรแกรม
2. สามารถลดรอบเวลาในการผลิต เนื่องจากมีการคำนึงถึงเวลาที่ไม่แน่นอนในการทำงาน

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ผู้ศึกษาได้นำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่างๆมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตที่ได้ศึกษามาใช้ดังต่อไปนี้

- ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming Model)
- การสร้างแบบจำลองภายใต้ความไม่แน่นอน (Modeling Under Uncertainty)
- สโตแคสติกโปรแกรม (Stochastic Programming)
- มูลค่าของการแก้ปัญหาสโตแคสติก (Value of the Stochastic Solution : VSS)
- ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองสโตแคสติกและการหามูลค่าของการแก้ปัญหาสโตแคสติก

2.1 ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming Models)

ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นเป็นตัวแทนทางคณิตศาสตร์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำงานเพื่อแก้ปัญหาต่างๆที่มีได้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรทรัพยากร (Resources) ที่มีจำนวนจำกัด ภายใต้เงื่อนไขหรือข้อจำกัดที่มีอยู่ไปใช้ในการทำกิจกรรม (Activities) ต่างๆได้อย่างมีประสิทธิภาพ ภายใต้จุดมุ่งหมายที่จะทำให้เกิดประโยชน์ที่ดีที่สุด (Optimum)

2.1.1 ส่วนประกอบของตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น

- สมการเป้าหมาย (Objective Function)
สมการเป้าหมายของตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นเป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์เพื่อกำหนดเป้าหมายต่ำสุด (minimize) หรือสูงสุด (maximize) ซึ่งจะเป็นตัววัดการดำเนินงานของปัญหา
- สมการเงื่อนไข/ข้อจำกัด (Constraints)
สมการเงื่อนไข/ข้อจำกัดเป็นสมการที่แสดงข้อจำกัดของทรัพยากรต่างๆ ที่มีอยู่เพื่อใช้ในการดำเนินงานซึ่งเป็นปัจจัยที่กำหนดค่าเป้าหมาย โดยที่เงื่อนไขอาจจะอยู่ในรูปของสมการหรืออสมการ และมีความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆในเงื่อนไขแต่ละข้อเป็นเส้นตรง โดยที่จำนวนเงื่อนไขจะขึ้นอยู่กับสภาพของปัญหาว่ายุ่งยากและซับซ้อนเพียงใด

- ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)
เป็นกิจกรรมในปัญหาซึ่งจะเป็นตัวตัดสินใจในการดำเนินงานเพราะเป็นส่วนประกอบในสมการต่างๆ ทั้งในสมการเป้าหมายและสมการเงื่อนไขข้อจำกัด และตัวแปรตัดสินใจทั้งหลายจะต้องมีความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linearly Relationships) ทั้งในสมการเป้าหมายและข้อจำกัด
- ตัวแปรตัดสินใจต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ (Nonnegative)
ข้อจำกัดนี้เรียกว่า ข้อจำกัดเกี่ยวกับการไม่เป็นค่าลบ (No Negativity Constraints) ของตัวแปรตัดสินใจทุกตัวในแบบกำหนดการเชิงเส้น

รูปแบบแทนระบบของตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming Model) มีโครงสร้างดังนี้

$$\begin{array}{ll}
 \text{Minimize} & f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \\
 \text{Subject to} & a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1 \\
 & a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \\
 & \vdots \\
 & a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m \\
 & x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \geq 0
 \end{array}$$

โดยที่	$f(x_j)$; $j = 1, 2, \dots, n$	เป็นสมการเป้าหมาย
	x_j	; $j = 1, 2, \dots, n$	เป็นตัวแปรตัดสินใจของแต่ละกิจกรรม
	a_{ij}, c_j		เป็นสัมประสิทธิ์ของตัวแปรตัดสินใจซึ่งเป็นค่าคงตัว
	b_i	; $i = 1, 2, \dots, m$	เป็นปริมาณของทรัพยากรที่จะนำมาใช้ในการกระทำกิจกรรม

2.2 การสร้างแบบจำลองภายใต้ความไม่แน่นอน (Modeling Under Uncertainty)

ข้อมูลโดยทั่วไปที่ได้มาจากสภาวะการณ์ต่างๆ ไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่าเมื่อนำข้อมูลมาใช้จะเกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เนื่องจากข้อมูลมีความไม่แน่นอน สาเหตุมาจากข้อมูลในกิจกรรมต่างๆ ย่อมมีความแปรปรวนเกิดขึ้นเสมอ ผลจากความแปรปรวนของข้อมูลนี้ทำให้ไม่สามารถระบุค่าแนวโน้มความเป็นไปได้ที่จะเกิดเหตุการณ์ต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง ทำให้มีโอกาสเกิดความผิดพลาดในการตัดสินใจได้สูง

2.2.1 การตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอน (Decision Making Under Uncertainty)

ความไม่แน่นอนของข้อมูลทำให้ยากที่จะหาคำตอบที่ดีที่สุดและมีโอกาสเกิดความผิดพลาดได้สูง จากปัญหาที่มีความไม่แน่นอนของข้อมูลจึงควรมีกระบวนการหรือตัวแบบในการตัดสินใจในการจัดการ ตัวอย่างเกณฑ์การตัดสินใจมีดังต่อไปนี้

- ให้ผลตอบแทนมากที่สุดจากทุกทางเลือกของเหตุการณ์ที่มากที่สุด (Maximax Criterion) ตัวแบบการเลือกคือ $\max[\max X_j]$
- ให้ผลตอบแทนน้อยที่สุดจากทุกทางเลือกของเหตุการณ์ที่มากที่สุด (Minimax Criterion) ตัวแบบการเลือกคือ $\min[\max X_j]$

- ให้ผลตอบแทนมากที่สุดจากทุกทางเลือกของเหตุการณ์ที่น้อยที่สุด (Maximin Criterion) ตัวแบบการเลือกคือ $\max[\min X_{ij}]$
- เลือกที่มีค่าเสียโอกาสน้อยที่สุดจากทุกทางเลือกของเหตุการณ์ที่มีค่าเสียโอกาสมากที่สุด (Minimax Regret Criterion) ตัวแบบการเลือกคือ $\min Z_{ij} = \max X_i - X_i$

2.3 สโตแคสติกโปรแกรม (Stochastic Programming)

สโตแคสติกเป็นการใช้ข้อมูลนำเข้าที่มีค่าไม่แน่นอนและเกี่ยวข้องกับตัวแปรสุ่ม (Random Variable) เช่นการประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบการพยากรณ์ โดยที่ค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบนั้นเป็นตัวแปรสุ่ม ซึ่งจะอยู่ในรูปของฟังก์ชันของความน่าจะเป็น

สโตแคสติกโปรแกรมคือการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของกำหนดการเชิงเส้น (Linear programming) กำหนดการไม่เชิงเส้น (Nonlinear programming) กำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Integer programming) กำหนดการเชิงจำนวนเต็มผสม (Mixed integer programming) โดยที่ข้อมูลนั้นเป็นแบบเฟ้นสุ่ม (Stochastic) นั้นหมายถึงจะไม่ทราบค่าสัมประสิทธิ์ที่แน่นอนของข้อมูลแต่จะทราบลักษณะการแจกแจงของข้อมูลแทน

ตัวอย่างปัญหาสโตแคสติกโปรแกรม

- รูปแบบโดยทั่วไปของสโตแคสติก (General Model Formulation)

$$\begin{aligned} \min \quad & c^T + E_{\xi}[Q(x, \xi)] \\ \text{Subject to} \quad & Ax = b, \\ & x \geq 0, \\ & Q(x, \xi) = \min \{q^T y \mid Wy = h - Tx, y \geq 0\} \end{aligned}$$

เมื่อ $Q(x, \xi)$ คือฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับตัวแปร x กับค่าที่ไม่แน่นอนของ ξ
 E_{ξ} คือค่าคาดหวังของฟังก์ชัน $Q(x, \xi)$
 ξ คือเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ของพารามิเตอร์ที่ไม่แน่นอน
 W, h, T เป็นพารามิเตอร์ที่มีค่าไม่แน่นอน

- พิจารณาตัวอย่างปัญหาที่ประกอบด้วย 4 ตัวแปรของแบบจำลองเชิงกำหนด

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & -y_1 \\ \text{Subject to} \quad & x_1 + y_1 + y_2 = 2 \\ & -(a_{21})x_1 + (a_{22})y_1 + y_3 = 2 \\ & -1 \leq x_1 \leq 1 \\ & y_1 \geq 0, j = 1, 2, 3 \end{aligned} \tag{1}$$

สมมุติให้ค่าสัมประสิทธิ์ของ x_1, y_1 ใน (1) ไม่รู้ค่าที่แน่นอน แต่รู้การแจกแจงดังต่อไปนี้

$$(a_{21}, a_{22}) = \begin{cases} \left(1, \frac{3}{4}\right) & \text{มีความน่าจะเป็น } \frac{1}{2} \\ \left(-3, \frac{5}{4}\right) & \text{มีความน่าจะเป็น } \frac{1}{2} \end{cases}$$

โดยที่ค่าเฉลี่ยของ $a_{11}, a_{12} = (-1, 1)$

- สร้างปัญหาเป็น สโตแคสติกโปรแกรม ได้ดังนี้

$$\begin{array}{ll} \text{Minimize} & -\frac{1}{2}y_{11} - \frac{1}{2}y_{12} \\ \text{Subject to} & x_1 + y_{11} + y_{21} = 2 \\ & x_1 + y_{12} + y_{22} = 2 \\ & x_1 + \frac{3}{4}y_{11} + y_{31} = 2 \\ & -3x_1 + \frac{5}{4}y_{12} + y_{32} = 2 \\ & -1 \leq x_1 \leq 1 \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{Subject to} \\ \text{Subject to} \\ \text{Subject to} \\ \text{Subject to} \\ \text{Subject to} \end{array}} \right\} \text{ จาก (1)}$$

2.4 มูลค่าของการแก้ปัญหาสโตแคสติก (Value of the Stochastic Solution : VSS)

มูลค่าของการแก้ปัญหาสโตแคสติกคือการเปรียบเทียบค่าความต่างระหว่างการแก้คำตอบของปัญหาสโตแคสติกโปรแกรมกับคำตอบที่ได้จากการแทนด้วยค่าเฉลี่ย

ขั้นตอนของการหา VSS

เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของทั้งสองวิธีมีกระบวนการทำดังต่อไปนี้

1. หาผลลัพธ์ของแบบจำลองเชิงกำหนด (Deterministic) โดยใช้ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่มีค่าไม่แน่นอน
2. หาค่าของสมการเป้าหมายจากคำตอบที่ได้จากการใช้แบบจำลองเชิงกำหนด โดยใช้ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่มีค่าไม่แน่นอน โดยนำคำตอบที่ได้แทนในแต่ละเหตุการณ์
3. เปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าของสมการเป้าหมาย ที่ได้จากแบบจำลองสโตแคสติก กับ แบบจำลองเชิงกำหนด

กำหนดให้

- ค่าของสมการเป้าหมายของแบบจำลองเชิงกำหนด คือ Z
- ค่าของสมการเป้าหมายของแบบจำลองสโตแคสติก คือ \tilde{Z}

VSS ขึ้นอยู่กับสมการเป้าหมายว่าเป็นการหาค่าสูงสุดหรือต่ำสุด ในกรณีที่สมการเป้าหมายเป็นการหาค่าสูงสุด (Maximize) เมื่อมีเปรียบเทียบค่าของสมการเป้าหมายระหว่างแบบจำลองเชิงกำหนด กับ แบบจำลองสโตแคสติก จะได้ว่า $Z \leq \tilde{Z}$ ดังนั้นในการหา VSS สามารถหาได้จากสมการ $\tilde{Z} - Z$ และในกรณีที่สมการเป้าหมายเป็นการหาค่าต่ำสุด (Minimize) เมื่อมีเปรียบเทียบค่าของสมการเป้าหมายระหว่างสองแบบจำลองที่ผ่านมา จะได้ว่า $Z \geq \tilde{Z}$ ดังนั้นในการหา VSS สามารถหาได้จากสมการ $Z - \tilde{Z}$

2.5 ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองสโทแคสติกและการหามูลค่าของการแก้ปัญหาสโทแคสติก

เพื่อให้เห็นภาพและสามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้น ผู้ศึกษาจึงยกตัวอย่างปัญหาจากหนังสือ (John R. Birge, 1997, Introduction to Stochastic Programming :4-10) มาประกอบการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองสโทแคสติกและการหามูลค่าของการแก้ปัญหาสโทแคสติก ดังต่อไปนี้

ชาวไร่ปลูกข้าวสาลี ข้าวโพด หรือถั่วในพื้นที่ 500 เอเคอร์ ชาวไร่ต้องการข้าวสาลี 200 ตัน ข้าวโพด 240 ตันเพื่อใช้สำหรับเลี้ยงสัตว์หากไม่พอจะต้องซื้อข้าวสาลีเพิ่มในราคา \$238/ตัน ข้าวโพดราคา \$210/ตัน แต่ถ้าผลผลิตมีมากจะสามารถขายข้าวสาลีได้ \$170/ตัน ข้าวโพดขายได้ \$150/ตัน นอกจากนี้ชาวไร่ยังสามารถปลูกถั่วได้และขายถั่วได้ในราคา \$36/ตัน แต่ไม่เกิน 6000 ตัน ถ้าปลูกเกินจะขายได้ในราคา \$10/ตันเท่านั้น

ตารางผลผลิต

	ข้าวสาลี	ข้าวโพด	ถั่ว
ผลเก็บเกี่ยว (ตัน/เอเคอร์)	2.5	3	20
ต้นทุน(\$/เอเคอร์)	150	230	260
ราคาขาย(\$/ตัน)	170	150	36 (≤ 6000 ตัน) 10 (≤ 6000 ตัน)
ราคาซื้อ(\$/ตัน)	238	210	-
ความต้องการอย่างต่ำ	200	240	-

ตัวแปรในการตัดสินใจ

- $X_{w,c,b}$ คือ จำนวนเอเคอร์ของ ข้าวสาลี ข้าวโพด และถั่ว \longrightarrow First-stage decision Variable (ไม่เกี่ยวข้องกับข้อมูลที่ไม่แน่นอน)
 - $W_{w,c,b}$ คือ จำนวนตันที่ขายของ ข้าวสาลี ข้าวโพด และถั่ว (มี 2 ราคา)
 - e_B จำนวนตันที่เกินจาก 6000 ตัน
 - $y_{w,c}$ จำนวนตันที่ต้องซื้อของ ข้าวสาลี ข้าวโพด และถั่ว
- } Second-stage decision Variable (ขึ้นอยู่กับความไม่แน่นอนของข้อมูล)

แบบจำลองเชิงกำหนด

$$\text{Maximize} \quad -150X_w - 230X_c - 260X_b - 238y_w + 170W_w - 210y_c + 150y_c + 36W_b + 10e_b$$

ข้อกำหนด

$$\begin{aligned} X_w + X_c + X_b &\leq 500 \\ 2.5X_w + y_w - W_w &= 200 \\ 3X_c + y_c - W_c &= 240 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
20 X_B - W_B - e_B &= 0 \\
W_B &\leq 6000 \\
\text{All vars} &\geq 0
\end{aligned}$$

ผลจากการหาคำตอบโดยใช้แบบจำลองเชิงกำหนดได้คำตอบคำตอบดังนี้

- ผลเก็บเกี่ยวของสภาพอากาศปกติ(เฉลี่ย) $Y = (2.5, 3, 20)$
- $X_W = 120$, $X_C = 80$, $X_B = 300$

การสร้างแบบจำลองในกรณีที่ผลผลิตขึ้นอยู่กับสภาพดินฟ้าอากาศ

- ชาวไร่ทราบว่าเขาไม่ได้รับผลตอบแทน y ตลอดเวลา
- สมมติสามสถานการณ์ผลผลิต มีความน่าจะเป็นเท่ากับ $(1.2Y, Y, 0.8Y)$
- Maximize Expected Profit
- ให้เหตุการณ์ scenario subscript $s = 1, 2, 3$ ของแต่ละการซื้อและตัวแปรการขาย โดยให้แต่ละเหตุการณ์มีความน่าจะเป็นเท่ากัน เท่ากับ $1/3$
- ในการทำไร่นั้นเมื่อคิดว่าสภาพอากาศไม่แน่นอน จึงได้มีการกำหนดสภาพอากาศดังนี้
1: ดี, 2: ปกติ, 3: แย่

Expected Profit

$$\begin{aligned}
\text{Maximize} \quad & -150X_W - 230X_C - 260X_B \\
& + 1/3(-238y_{w1} + 170W_{w1} - 210y_{c1} + 150y_{c1} + 36W_{B1} + 10e_{B1}) \\
& + 1/3(-238y_{w2} + 170W_{w2} - 210y_{c2} + 150y_{c2} + 36W_{B2} + 10e_{B2}) \\
& + 1/3(-238y_{w3} + 170W_{w3} - 210y_{c3} + 150y_{c3} + 36W_{B3} + 10e_{B3})
\end{aligned}$$

ข้อจำกัด

$$\begin{aligned}
X_W + X_C + X_B &\leq 500 \\
3X_W + y_{w1} - W_{w1} &= 200 \\
2.5X_W + y_{w2} - W_{w2} &= 200 \\
2X_W + y_{w3} - W_{w3} &= 200 \\
3.6X_C + y_{c1} - W_{c1} &= 240 \\
3X_C + y_{c2} - W_{c2} &= 240 \\
2.4X_C + y_{c3} - W_{c3} &= 240 \\
24X_B - W_{B1} - e_{B1} &= 0 \\
20X_B - W_{B2} - e_{B2} &= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 16X_B - W_{B3} - e_{B3} &= 0 \\
 W_{B1}, W_{B2}, W_{B3} &\leq 6000 \\
 \text{All vars} &\geq 0
 \end{aligned}$$

Optimal Solution

s		ข้าวสาลี	ข้าวโพด	ถั่ว
	วางแผน (เอเคอร์)	100	25	375
1	ผลผลิต (ตัน)	510	288	6000
1	ขาย (ตัน)	310	48	6000
1	ซื้อ (ตัน)	0	0	0
2	ผลผลิต (ตัน)	425	240	5000
2	ขาย (ตัน)	225	0	5000
2	ซื้อ (ตัน)	0	0	0
3	ผลผลิต (ตัน)	340	192	4000
3	ขาย (ตัน)	140	0	4000
3	ซื้อ (ตัน)	0	48	0

Expected Profit : \$108,390

การหาผลการเก็บเกี่ยวของเหตุการณ์ที่เป็นสภาพอากาศปกติ

maximize

$$-150X_W - 230X_C - 260X_B - 238y_W + 170W_W - 210y_C + 150y_C + 36W_B + 10e_B$$

subject to

$$X_W = 120$$

$$X_C = 80$$

$$X_B = 300$$

$$X_W + X_C + X_B \leq 500$$

$$2.5X_W + y_W - W_W = 200$$

$$3X_C + y_C - W_C = 240$$

$$20X_B - W_B - e_B = 0$$

$$W_B \leq 6000$$

$$X_W, X_C, X_B, y_W, e_B, W_W, W_C, W_B \geq 0$$

การหาผลการเก็บเกี่ยวของเหตุการณ์ที่เป็นสภาพอากาศแย่

maximize

$$-150X_W - 230X_C - 260X_B - 238y_W + 170W_W - 210y_C + 150y_C + 36W_B + 10e_B$$

subject to

$$\begin{aligned} X_W &= 120 \\ X_C &= 80 \\ X_B &= 300 \\ X_W + X_C + X_B &\leq 500 \\ 2X_W + y_W - W_W &= 200 \\ 2.4X_C + y_C - W_C &= 240 \\ 16X_B - W_B - e_B &= 0 \\ W_B &\leq 6000 \\ X_W, X_C, X_B, y_W, e_B, W_W, W_C, W_B &\geq 0 \end{aligned}$$

การหาผลการเก็บเกี่ยวของเหตุการณ์ที่เป็นสภาพอากาศดี

maximize

$$-150X_W - 230X_C - 260X_B - 238y_W + 170W_W - 210y_C + 150y_C + 36W_B + 10e_B$$

subject to

$$\begin{aligned} X_W &= 120 \\ X_C &= 80 \\ X_B &= 300 \\ X_W + X_C + X_B &\leq 500 \\ 3X_W + y_W - W_W &= 200 \\ 3.6X_C + y_C - W_C &= 240 \\ 24X_B - W_B - e_B &= 0 \\ W_B &\leq 6000 \\ X_W, X_C, X_B, y_W, e_B, W_W, W_C, W_B &\geq 0 \end{aligned}$$

กำไร

การเก็บเกี่ยว	กำไร
ปกติ	118600
แย้	55120
ดี	148000

- ถ้าชาวไร่ ทำไร่แบบคิดว่าสภาพอากาศจะเป็นแบบปกติ(เฉลี่ย) จะได้ $X_W = 120$, $X_C = 80$, $X_B = 300$
ค่าคาดหวัง $1/3(118600) + 1/3(55120) + 1/3(148000) = 107240$
- ถ้าชาวไร่ ทำไร่แบบคิดความไม่แน่นอน (Stochastic) จะได้ $X_W = 170$, $X_C = 80$, $X_B = 250$
ค่าคาดหวัง = 108390

VSS คือผลต่างของค่า $180390 - 107240$ เท่ากับ \$1150

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 โรงงานกรณีศึกษา

3.1.1 สภาพของปัญหาโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานขนาดกลาง มีผลิตภัณฑ์หลายชนิด สายการประกอบที่ศึกษาเป็นสายการประกอบโทรทัศน์สี ซึ่งรับงานตามคำสั่งของลูกค้า ในการศึกษาได้เลือกทำการศึกษาเฉพาะรุ่น 21CV1 ซึ่งเป็นโทรทัศน์สี 21 นิ้ว รุ่นที่มีกำลังการผลิตมากที่สุดประมาณ 80% ของกำลังการผลิตทั้งหมด ส่วนอีก 20% ที่เหลือเป็นโทรทัศน์สีรุ่นอื่นๆ การผลิตใช้คนงานทำการประกอบเป็นส่วนใหญ่ มีการใช้เครื่องจักรเฉพาะส่วนของการปรับแต่งโทรทัศน์ สายการประกอบเป็นแบบเส้นตรง ประกอบด้วย 19 สถานีงาน 85 งานย่อย มีรอบเวลาการประกอบ 58.77 วินาที และมีผลต่างของเวลามากสุดของสถานีงานและค่าเวลาเฉลี่ยของทุกสถานีงาน 20.71 วินาที คนงานหมุนเวียนกันไปในแต่ละแผนก จำนวนพนักงานแต่ละเดือนขึ้นกับจำนวนการสั่งซื้อจากลูกค้า โดยพนักงานที่เกินความต้องการจะถูกส่งไปช่วยในสายการผลิตอื่นๆ โรงงานมีความต้องการผลิตโทรทัศน์อยู่ที่ประมาณ 500 เครื่องต่อวันโดยพนักงานทำงานวันละ 8 ชม. ตั้งแต่ 8.00 น. - 17.00 น. พักรกลางวัน 40 นาทีโดยเริ่มตั้งแต่ 12.40 น. พักร 10 นาที 2 ช่วง คือ 10.00 น. - 10.10 น. และ 14.50 น.-15.00 น. เพื่อลดความเมื่อยล้าจากการทำงานและทำธุระส่วนตัว

3.1.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในสายการผลิต

จากการศึกษาปัญหาของโรงงานผลิตตัวอย่าง ปัญหาของการจัดสมดุลสายการผลิตเกิดจากการจัดงานลงในสถานีงานอย่างไม่เหมาะสม ส่งผลให้สายการประกอบมีเวลาการทำงานในแต่ละสถานีงานแตกต่างกันมาก ทำให้เกิดปัญหาสายการผลิตที่ไม่ต่อเนื่องซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญต่อปริมาณการผลิตและเวลาในการจัดส่งสินค้า

ปัญหาเรื่องการจัดสมดุลสายการผลิตจะขึ้นอยู่กับการจัดสถานีงาน ต้องจัดให้เวลาในแต่ละสถานีการทำงานมีค่าเท่ากันหรือมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด จึงจะทำให้สายการผลิตเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ในทางปฏิบัติเวลาที่ใช้ในแต่ละสถานีงานย่อมมีความแตกต่างกัน เวลาที่เป็นตัวกำหนดอัตราการผลิตของสายการผลิตจึงขึ้นอยู่กับสถานีงานที่มีเวลาการทำงานมากที่สุด

3.2 แนวทางในการแก้ไข้ปัญหา

การจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ โดยจัดให้แต่ละสถานีงานมีเวลาการทำงานใกล้เคียงกันมากที่สุดเพื่อลดช่องว่างเวลาการทำงานของแต่ละสถานีงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานสร้างแบบจำลองเพื่อแก้ปัญหา

1. ศึกษาโรงงานกรณีตัวอย่าง (โรงงานผลิตโทรทัศน์) เพื่อให้เข้าใจถึงกระบวนการทำงานและปัญหา
2. รวบรวมข้อมูล ซึ่งมีกรบันทึกข้อมูลการจับเวลาของการทำงานแต่ละงานย่อย โดยมีปริมาณข้อมูลเพียงพอที่จะแทนสภาพความเป็นจริงของปัญหาได้อย่างถูกต้อง

3. สร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เงื่อนไขและข้อกำหนดต่างๆที่มีอยู่ เพื่อใช้เป็นตัวแทนของปัญหา
4. การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ เพื่อพิสูจน์ว่าแบบจำลองนี้สามารถใช้เป็นตัวแทนของการแก้ปัญหาได้
5. แก้แบบจำลอง (Solve) เพื่อหาคำตอบจากตัวแบบจำลอง

ข้อมูลการจับเวลาก่อนการปรับปรุงสายการผลิต จากแต่ละงานย่อยของกระบวนการผลิตโทรทัศน์ จำนวนครั้งในการจับเวลาเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งกระบวนการผลิตจะประกอบด้วย 19 สถานีงาน 85 งานย่อย

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลการจับเวลาการทำงานของโรงงานผลิตโทรทัศน์

สถานี	ขั้นตอนการทำงาน	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	ครั้งที่6	ครั้งที่7	ครั้งที่8
1	1	7.53	8.72	8.07	7.36	8.44	7.94		
	2	12.85	13.81	14.79	12.47	14.47	13.34		
	3	23.07	23.63	21.56	20.41	22.83	21.47		
2	4	26.44	29.34	25.71	25.56	27.38	28.97	27.88	
	5	7.51	6.49	6.91	6.75	5.95	6.31	6.41	
	6	6.62	5.91	6.82	6.46	6.03			
3	7	16.88	19.06	17.40	17.03	17.00	16.91		
	8	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00		
	9	7.85	7.50	7.10					
	10	10.87	10.88	9.97	11.63	10.43			
4	11	13.38	12.60	14.19	14.95	13.78	14.40	12.07	12.66
	12	15.77	13.61	15.35	15.80	14.70			
	13	4.97	4.53	4.47	4.62				
5	14	3.00	2.88	2.94	2.65				
	15	2.91	3.21	2.84	3.08	2.87	3.12	3.40	
	16	2.84	2.79	3.28	3.10	2.93	3.09		
	17	3.47	2.72	3.59					
	18	7.68	8.87	7.84	8.44	7.96			
	19	8.63	8.38	8.37	7.98				
6	20	4.66	5.07	4.56	5.13	5.41	4.87		
	21	12.66	12.18	13.47	14.59	12.67	13.02		
	22	5.09	5.67	5.34	5.06				
	23	3.72	3.42	3.78	3.97	3.87			
	24	7.72	8.37	7.97	8.50	8.87			
	25	5.20	4.53	4.15	5.13	4.86			
	26	5.47	4.96	5.06	5.39	4.78			
7	27	4.90	5.20	5.21	5.44				
	28	5.81	5.40	5.18	5.59	5.63			
	29	3.79	4.35	4.15	3.91	3.96			

	30	4.41	4.03	4.72	4.97	4.50	4.39	4.66	
	31	3.09	2.94	3.47	3.31	3.24			
	32	3.21	3.12	3.53	3.34				
	33	3.25	3.12	3.44	3.38	3.31			
	34	3.14	3.46	3.18	3.35	3.20			
8	35	6.89	8.09	6.74	6.98	7.37	7.81	7.13	
	36	9.73	10.68	9.99					
	37	18.71	20.38	19.87	19.72	21.19	18.41		
9	38	3.56	3.89	3.92	3.50	3.84			
	39	3.56	3.89	3.92	3.50	3.84			
	40	7.15	7.51	7.16					
	41	3.67	3.45	3.87	3.59	3.92			
	42	4.75	4.90	4.66	4.21	4.51	4.30		
	43	4.47	3.81	4.13	4.20	3.96			
	44	12.87	12.94	12.03	11.78	10.91	12.50		
10	45	3.55	3.79	3.94	4.04				
	46	6.33	5.88	6.77	6.41	5.86			
	47	5.75	5.69	5.15	4.94	5.37	5.22		
	48	5.72	6.67	5.96	6.53	6.78	6.34		
	49	8.03	7.78	8.47	7.63				
	50	6.41	6.59	5.75	5.85	6.39			
11	51	42.88	40.56	39.61	42.19	43.47			
12	52	4.87	4.76	4.95	4.66	4.51	4.30		
	53	3.30	3.34	3.48	3.69	3.29	3.52		
	54	13.22	12.22	11.56	12.73				
	55	10.30	10.12	10.84	8.73	10.58	10.41	9.87	
	56	15.76	12.96	13.81	14.56	14.15	14.84		
	57	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
13	58	5.06	5.08	5.37	4.87	5.28	4.50	5.46	
	59	7.35	6.72	7.14	8.23	7.54	7.55	7.64	
	60	13.70	12.43	13.29	14.27	15.46	13.65	14.11	
	61	10.07	9.70	9.29	8.43	8.53	10.21	9.23	9.45
	62	10.11	9.70	10.46	9.29	8.53	9.65	10.27	
	63	6.27	5.29	5.65	6.46	6.11	5.70	5.58	6.07
	64	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
14	65	5.02	5.20	4.61	4.80	4.24	4.80	4.86	
	66	22.50	23.70	24.50	25.50	24.30			
	67	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
15	68	4.70	5.36	5.11	4.29	4.65	5.27	5.07	4.95
	69	15.01	12.97	14.05	13.84	14.03			
	70	8.45	9.22	8.51	7.59	8.39	8.30		

16	71	8.47	9.95	9.59	9.44	8.60	8.03	9.42	9.45
	72	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	73	4.71	4.48	4.55	5.17	4.94	5.12		
	74	5.56	5.70	5.67	5.94	5.53	6.54		
	75	7.10	7.10	6.35	7.53	7.28			
	76	6.78	6.25	7.30	7.53	7.12	7.37		
	77	13.13	12.58	13.75	12.40	12.47			
	78	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
17	79	17.21	18.79	17.56	18.09				
18	80	17.48	18.99	20.49	20.03	17.75	19.53		
	81	13.25	14.79	16.12	15.30	15.16	14.98		
	82	19.85	21.44	21.02	23.38	21.45			
19	83	16.69	17.93	18.59	17.16				
	84	8.61	7.47	7.47	8.32	7.63			
	85	10.00	9.44	8.97	9.63				

3.3 การจัดสมดุลสายการผลิตโดยวิธีใช้แบบจำลองเชิงกำหนด(Deterministic Program)

จากการเก็บข้อมูลเวลา จำนวนครั้งที่จับเวลาในแต่ละงานย่อยเป็นอิสระต่อกัน การแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตโดยวิธีใช้แบบจำลองเชิงกำหนด ข้อมูลนำเข้าจะใช้ค่าเฉลี่ยจากการจับเวลาจริงในแต่ละงานย่อย ข้อมูลจึงเป็นค่าคงที่ทั้งหมด

ตารางที่ 3.2 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในแบบจำลองเชิงกำหนด

สถานี	ขั้นตอนการทำงาน	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	ครั้งที่6	ครั้งที่7	ครั้งที่8	ค่าเฉลี่ยเวลา
1	1	7.53	8.72	8.07	7.36	8.44	7.94			8.01
	2	12.85	13.81	14.79	12.47	14.47	13.34			13.62
	3	23.07	23.63	21.56	20.41	22.83	21.47			22.16
2	4	26.44	29.34	25.71	25.56	27.38	28.97	27.88		27.33
	5	7.51	6.49	6.91	6.75	5.95	6.31	6.41		6.62
	6	6.62	5.91	6.82	6.46	6.03				6.367
3	7	16.88	19.06	17.40	17.03	17.00	16.91			17.38
	8	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00			3.00
	9	7.85	7.50	7.10						7.48
	10	10.87	10.88	9.97	11.63	10.43				10.76
4	11	13.38	12.60	14.19	14.95	13.78	14.40	12.07	12.66	13.50
	12	15.77	13.61	15.35	15.80	14.70				15.05
	13	4.97	4.53	4.47	4.62					4.65
5	14	3.00	2.88	2.94	2.65					2.87
	15	2.91	3.21	2.84	3.08	2.87	3.12	3.40		3.06

	16	2.84	2.79	3.28	3.10	2.93	3.09			3.01
	17	3.47	2.72	3.59						3.26
	18	7.68	8.87	7.84	8.44	7.96				8.16
	19	8.63	8.38	8.37	7.98					8.34
6	20	4.66	5.07	4.56	5.13	5.41	4.87			4.95
	21	12.66	12.18	13.47	14.59	12.67	13.02			13.10
	22	5.09	5.67	5.34	5.06					5.29
	23	3.72	3.42	3.78	3.97	3.87				3.75
	24	7.72	8.37	7.97	8.50	8.87				8.29
	25	5.20	4.53	4.15	5.13	4.86				4.77
	26	5.47	4.96	5.06	5.39	4.78				5.13
7	27	4.90	5.20	5.21	5.44					5.19
	28	5.81	5.40	5.18	5.59	5.63				5.52
	29	3.79	4.35	4.15	3.91	3.96				4.03
	30	4.41	4.03	4.72	4.97	4.50	4.39	4.66		4.53
	31	3.09	2.94	3.47	3.31	3.24				3.21
	32	3.21	3.12	3.53	3.34					3.30
	33	3.25	3.12	3.44	3.38	3.31				3.30
	34	3.14	3.46	3.18	3.35	3.20				3.27
8	35	6.89	8.09	6.74	6.98	7.37	7.81	7.13		7.29
	36	9.73	10.68	9.99						10.13
	37	18.71	20.38	19.87	19.72	21.19	18.41			19.71
9	38	3.56	3.89	3.92	3.50	3.84				3.74
	39	3.56	3.89	3.92	3.50	3.84				3.74
	40	7.15	7.51	7.16						7.27
	41	3.67	3.45	3.87	3.59	3.92				3.70
	42	4.75	4.90	4.66	4.21	4.51	4.30			4.56
	43	4.47	3.81	4.13	4.20	3.96				4.11
	44	12.87	12.94	12.03	11.78	10.91	12.50			12.17
10	45	3.55	3.79	3.94	4.04					3.83
	46	6.33	5.88	6.77	6.41	5.86				6.25
	47	5.75	5.69	5.15	4.94	5.37	5.22			5.35
	48	5.72	6.67	5.96	6.53	6.78	6.34			6.33
	49	8.03	7.78	8.47	7.63					7.98
	50	6.41	6.59	5.75	5.85	6.39				6.20
11	51	42.88	40.56	39.61	42.19	43.47				41.74
12	52	4.87	4.76	4.95	4.66	4.51	4.30			4.68
	53	3.30	3.34	3.48	3.69	3.29	3.52			3.44
	54	13.22	12.22	11.56	12.73					12.43
	55	10.30	10.12	10.84	8.73	10.58	10.41	9.87		10.12
	56	15.76	12.96	13.81	14.56	14.15	14.84			14.35

	57	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
13	58	5.06	5.08	5.37	4.87	5.28	4.50	5.46		5.09
	59	7.35	6.72	7.14	8.23	7.54	7.55	7.64		7.45
	60	13.70	12.43	13.29	14.27	15.46	13.65	14.11		13.84
	61	10.07	9.70	9.29	8.43	8.53	10.21	9.23	9.45	9.36
	62	10.11	9.70	10.46	9.29	8.53	9.65	10.27		9.72
	63	6.27	5.29	5.65	6.46	6.11	5.70	5.58	6.07	5.89
	64	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
14	65	5.02	5.20	4.61	4.80	4.24	4.80	4.86		4.79
	66	22.50	23.70	24.50	25.50	24.30				24.10
	67	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
15	68	4.70	5.36	5.11	4.29	4.65	5.27	5.07	4.95	4.93
	69	15.01	12.97	14.05	13.84	14.03				13.98
	70	8.45	9.22	8.51	7.59	8.39	8.30			8.41
	71	8.47	9.95	9.59	9.44	8.60	8.03	9.42	9.45	9.12
	72	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
16	73	4.71	4.48	4.55	5.17	4.94	5.12			4.83
	74	5.56	5.70	5.67	5.94	5.53	6.54			5.82
	75	7.10	7.10	6.35	7.53	7.28				7.07
	76	6.78	6.25	7.30	7.53	7.12	7.37			7.06
	77	13.13	12.58	13.75	12.40	12.47				12.87
	78	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
17	79	17.21	18.79	17.56	18.09					17.91
18	80	17.48	18.99	20.49	20.03	17.75	19.53			19.05
	81	13.25	14.79	16.12	15.30	15.16	14.98			14.93
	82	19.85	21.44	21.02	23.38	21.45				21.43
19	83	16.69	17.93	18.59	17.16					17.59
	84	8.61	7.47	7.47	8.32	7.63				7.90
	85	10.00	9.44	8.97	9.63					9.51

แบบจำลองเชิงกำหนด(Deterministic Model)

กำหนดให้

- n แทนจำนวนรวมของสถานีนงาน
- m แทนจำนวนรวมของงานย่อย
- t_j แทนเวลาของงานย่อย j (วินาที)
- T_i เป็นตัวแปรแทนเวลาของสถานีนงาน i (วินาที)
- T_{bar} เป็นตัวแปรแทนเวลาเฉลี่ยของทุกสถานีนงาน (วินาที)
- X_{ij} เป็นตัวแปรแทน ตัวแปรไบนารี (Binary) 1 คือ มีการทำงานย่อย (j) ในสถานีนงาน (i) 0 คือไม่มีการเลือกทำงาน

y เป็นตัวแปรแทนผลต่างของเวลาที่มากที่สุดของสถานีนงาน i กับเวลาเฉลี่ยของทุกสถานีนงาน (วินาที)

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ : Minimize y

สมการเงื่อนไข :

$$T_i - T_{\text{bar}} \leq y, \quad \forall i = 1..n \quad (3.1)$$

$$-T_i + T_{\text{bar}} \leq y, \quad \forall i = 1..n \quad (3.2)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{i,j} = 1, \quad \forall j = 1..m \quad (3.3)$$

$$T_i = \sum_{j=1}^m t_j X_{i,j}, \quad \forall i = 1..n \quad (3.4)$$

$$T_{\text{bar}} = \frac{\sum T_i}{n} \quad (3.5)$$

$$X_{1,1} = 1 \quad (3.6)$$

$$X_{n,m} = 1 \quad (3.7)$$

$$X_{i,j-1} + X_{i-1,j-1} \geq X_{i,j}, \quad \forall i = 2..n, j = 2..m \quad (3.8)$$

$$X_{i,j+1} + X_{i+1,j+1} \geq X_{i,j}, \quad \forall i = 1..n-1, j = 1..m-1 \quad (3.9)$$

$$\sum_{k=j}^m X_{i-1,k} \leq m(1 - X_{i,j}), \quad \forall j = 1..m, i = 2..n \quad (3.10)$$

จากแบบจำลองเชิงกำหนด ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นการหาค่าผลต่างของเวลาที่น้อยที่สุดของสถานีนงานกับเวลาเฉลี่ยของทุกสถานีนงาน ใช้กำหนดผลต่างของแต่ละสถานีนงานกับเวลาเฉลี่ยของทุกสถานีนงานโดยสมการเงื่อนไข (3.1) และ (3.2) เป็นการบังคับให้งานย่อยหนึ่งงานสามารถทำงานอยู่ได้เพียงหนึ่งสถานีนงานโดยสมการเงื่อนไข (3.3) ใช้กำหนดเวลาของแต่ละสถานีนงานโดยสมการเงื่อนไข (3.4) ใช้กำหนดเวลาเฉลี่ยของทุกสถานีนงานโดยสมการเงื่อนไข (3.5) ใช้กำหนดให้งานย่อยที่ 1 อยู่ในสถานีนงานที่ 1 โดยสมการเงื่อนไข (3.6) ใช้กำหนดให้งานย่อยสุดท้ายอยู่ในสถานีนงานสุดท้ายโดยสมการเงื่อนไข (3.7) ใช้กำหนดลำดับงานย่อยที่เลือกจะต้องไม่อยู่ก่อนงานย่อยก่อนหน้าหรืออยู่ในสถานีนงานเดียวกันกับงานย่อยก่อนหน้าโดยสมการเงื่อนไข (3.8) ใช้กำหนดลำดับงานย่อยที่เลือกจะต้องอยู่หลังงานย่อยก่อนหน้าหรืออยู่ในสถานีนงานเดียวกันกับงานย่อยก่อนหน้าโดยสมการเงื่อนไข (3.9) ใช้กำหนดลำดับงานของงานย่อยให้ผลรวมของงานย่อยในสถานีนงานก่อนหน้าต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับโดยสมการเงื่อนไข(3.10)

จากการสร้างแบบจำลองเชิงกำหนดที่ผ่านมา ข้อมูลที่นำเข้ามาเป็นค่าคงที่ทั้งหมด โดยไม่มีข้อมูลใดที่เป็นตัวแปรสุ่ม (Random variables) หรือส่วนประกอบที่มีความน่าจะเป็นเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงได้แบบจำลองที่ตายตัว และทำให้ได้ค่าผลลัพธ์มีค่าคงที่สำหรับข้อมูลนำเข้าชุดนั้น ๆ แต่ในกระบวนการผลิตจริงจะมีความไม่แน่นอนของเวลาเกิดขึ้นมาเสมอ การทำให้ตัวแบบจำลองเหมือนจริงมากขึ้นนั้น จะต้องพิจารณาเรื่องของเวลาในการทำงานที่ไม่แน่นอนเข้าไปในการจัดสมดุลสายการผลิตด้วย

3.4 การจัดสมดุลสายการผลิตโดยวิธีใช้แบบจำลองสโทแคสติก(Stochastic Program)

การใช้สโทแคสติกโปรแกรมในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตแบบสโทแคสติก การสร้างแบบจำลองสโทแคสติก เป็นการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจภายใต้ข้อมูลที่มีความไม่แน่นอน ซึ่งได้จากการจับเวลาจริงในกระบวนการผลิต การสร้างแบบจำลองจะพิจารณาถึงความแปรปรวนของเวลาที่เกิดขึ้น โดยคำนึงถึงความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่เป็นไปได้

เหตุการณ์ที่เป็นไปได้(Scenario)

เหตุการณ์ที่เป็นไปได้ หมายถึง เหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อพิจารณาจากเวลาที่ได้ของแต่ละงานอย่างอิสระต่อกัน ยกตัวอย่าง เช่น ถ้ามีจำนวนงานเท่ากับ 2 งาน และแต่ละงานมีเวลาที่แตกต่างกัน 2 ค่า จะทำให้จำนวน

เหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดเท่ากับ 4 เหตุการณ์

จากข้อมูลการจับเวลาจริงของโรงงานกรณีศึกษาซึ่งประกอบด้วย 19 สถานงาน 85 งานย่อย เหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดมีจำนวนเท่ากับ 3.66×10^{62} เหตุการณ์ เมื่อจำนวนเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด (Sample size) มีจำนวนมาก จะทำให้ขนาดของแบบจำลองมีขนาดใหญ่และต้องใช้เวลามากในการแก้แบบจำลองหรืออาจทำให้ไม่สามารถแก้แบบจำลองได้ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ใช้วิธีการสุ่มเหตุการณ์ที่เป็นไปได้จากเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด

การสุ่มข้อมูล (Resampling technique) โดยเป็นการแจกแจงตามข้อมูลจริงที่มีอยู่ (Empirical distribution) ซึ่งเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ทำให้ได้ข้อมูลที่มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลจริง ในการเลือกจำนวนเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ของชุดข้อมูล ต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติและระยะเวลาที่ต้องใช้ในการแก้แบบจำลอง การตรวจสอบการเลือกจำนวนเหตุการณ์เพื่อตัดสินใจว่าคำตอบที่ได้มีความแปรปรวนอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้หรือไม่หากมีค่าความแปรปรวนสูงเกินไปจึงควรเพิ่มขนาดของเหตุการณ์ที่เป็นไปได้เพื่อลดความแปรปรวน ตัวอย่างการสุ่มโดยใช้จำนวน 4 เหตุการณ์ (Sample size) แสดงดังตาราง 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองสโตนแคสติงโดยกำหนดเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ เท่ากับ 4

งานย่อย	1	2	3	4	งานย่อย	1	2	3	4
1	7.94	7.36	8.44	7.53	44	11.78	12.94	12.87	12.87
2	13.34	14.79	12.85	13.34	45	3.55	3.55	3.55	3.94
3	21.56	21.47	23.63	22.83	46	6.41	6.77	6.77	6.33
4	25.71	27.38	29.34	27.38	47	5.75	5.15	5.75	5.69
5	6.91	5.95	5.95	6.31	48	6.78	6.67	6.34	5.96
6	6.03	6.46	5.91	5.91	49	7.63	8.47	7.63	7.78
7	16.88	17.4	16.91	16.91	50	5.85	6.59	5.85	6.41
8	3.00	3.00	3.00	3.00	51	39.61	42.88	39.61	40.56
9	7.10	7.85	7.10	7.85	52	4.95	4.66	4.51	4.95
10	10.87	10.43	11.63	10.87	53	3.52	3.69	3.30	3.29
11	12.07	13.78	12.60	12.66	54	12.22	11.56	12.22	13.22
12	15.80	15.35	15.77	15.35	55	10.30	10.12	10.30	10.41
13	4.97	4.97	4.97	4.62	56	13.81	14.84	15.76	14.56
14	2.88	2.88	3.00	2.65	57	2.00	2.00	2.00	2.00
15	2.87	3.40	3.40	3.40	58	5.08	4.50	5.46	4.87
16	2.93	3.28	2.84	2.79	59	7.64	8.23	8.23	7.64
17	2.72	3.47	3.47	2.72	60	15.46	12.43	15.46	14.11
18	8.87	7.96	7.68	7.96	61	10.07	8.43	9.45	9.23
19	8.63	8.63	7.98	7.98	62	10.11	10.11	8.53	9.65
20	4.56	5.13	4.56	5.13	63	6.27	5.70	5.58	6.46
21	13.02	12.67	13.02	12.66	64	2.00	2.00	2.00	2.00
22	5.06	5.67	5.06	5.06	65	5.02	4.80	4.61	4.24
23	3.72	3.78	3.97	3.72	66	24.30	24.30	23.70	22.50
24	7.72	8.87	8.37	7.97	67	2.00	2.00	2.00	2.00
25	5.13	4.86	4.53	4.86	68	4.65	5.36	5.11	5.07
26	5.06	5.39	5.06	5.06	69	15.01	15.01	13.84	12.97

ตารางที่ 3.3 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองสโทแคสติกโดยกำหนดเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ เท่ากับ 4 (ต่อ)

งาน ย่อย	1	2	3	4	งาน ย่อย	1	2	3	4
27	5.20	5.44	5.21	5.20	70	8.39	8.45	8.45	7.59
28	5.40	5.18	5.59	5.40	71	9.42	9.42	9.44	8.47
29	3.96	4.35	3.79	4.15	72	2.00	2.00	2.00	2.00
30	4.50	4.50	4.66	4.72	73	4.55	5.17	4.48	5.17
31	3.47	3.24	3.24	3.24	74	6.54	5.67	5.94	5.56
32	3.12	3.12	3.21	3.34	75	7.53	7.28	7.1	7.28
33	3.38	3.44	3.44	3.31	76	6.78	7.12	7.53	6.78
34	3.14	3.20	3.35	3.14	77	13.75	12.4	13.13	12.58
35	6.74	8.09	8.09	8.09	78	2.00	2.00	2.00	2.00
36	9.99	9.73	9.73	9.99	79	17.56	17.21	18.09	17.21
37	18.41	18.71	19.72	18.41	80	20.49	18.99	17.48	18.99
38	3.84	3.92	3.56	3.84	81	15.30	13.25	14.98	15.30
39	3.84	3.50	3.92	3.89	82	21.02	21.44	21.45	21.44
40	7.15	7.16	7.51	7.51	83	18.59	17.93	17.93	18.59
41	3.45	3.59	3.87	3.59	84	8.32	8.32	8.61	7.63
42	4.75	4.90	4.75	4.30	85	9.44	9.44	9.63	10.00
43	4.13	4.13	3.96	4.13					

แบบจำลองสโทแคสติก (Stochastic Model)

กำหนดให้

n	แทนจำนวนรวมของสถานีงาน
m	แทนจำนวนของงานย่อย
S	แทนจำนวนของเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ที่ได้จากการสุ่ม
P	แทนความน่าจะเป็นของแต่ละเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ กำหนดให้มีค่า $= 1/s$
$t_{j,s}$	แทนเวลาของงานย่อย j (วินาที) ของเหตุการณ์ s
$T_{i,s}$	เป็นตัวแปรแทนเวลาของสถานี i (วินาที) ของเหตุการณ์ s
$T_{bar,s}$	เป็นตัวแปรแทนเวลาเฉลี่ยของสถานีงาน (วินาที) ของเหตุการณ์ s
$X_{i,j}$	เป็นตัวแปรแทน ตัวแปรไบนารี (Binary) 1 คือ มีการทำงานย่อย (j) ในสถานีงาน (i) 0 คือ ไม่มีการเลือกทำงาน
y_s	เป็นตัวแปรแทนผลต่างของเวลามากที่สุดของสถานีงาน i กับเวลาเฉลี่ยของทุกสถานีงาน (วินาที) ของเหตุการณ์ที่เป็นไปได้

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ : Minimize $\sum_{s=1}^S P_s \times y_s$

สมการเงื่อนไข :

$$T_{i,s} - T_{bar,s} \leq y_s, \quad \forall i = 1..n, s = 1..S \quad (3.11)$$

$$-T_{i,s} + T_{bar,s} \leq y_s, \quad \forall i = 1..n, s = 1..S \quad (3.12)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{i,j} = 1, \quad \forall j = 1..m \quad (3.13)$$

$$T_{i,s} = \sum_{j=1}^m t_{j,s} X_{i,j}, \quad \forall i = 1..n, s = 1..S \quad (3.14)$$

$$T_{\text{bar},s} = \frac{\sum T_{i,s}}{n}, \quad \forall s = 1..S \quad (3.15)$$

$$X_{1,1} = 1 \quad (3.16)$$

$$X_{n,m} = 1 \quad (3.17)$$

$$X_{i,j-1} + X_{i-1,j-1} \geq X_{i,j}, \quad \forall i = 2..n, j = 2..m \quad (3.18)$$

$$X_{i,j+1} + X_{i+1,j+1} \geq X_{i,j}, \quad \forall i = 1..n-1, j = 1..m-1 \quad (3.19)$$

$$\sum_{k=j}^m X_{i-1,k} \leq m(1 - X_{i,j}), \quad \forall j = 1..m, i = 2..n \quad (3.20)$$

การสร้างแบบจำลองสโตนแคสติง เป็นการสร้างแบบจำลองภายใต้เงื่อนไขของความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นในสายการผลิต ในการสร้างแบบจำลองต้องเพิ่มเงื่อนไขที่พิจารณาถึงเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ ทำให้แบบจำลองสโตนแคสติงมีความซับซ้อนกว่าแบบจำลองเชิงกำหนด

จากแบบจำลองสโตนแคสติง ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นการหาค่าผลต่างของเวลาที่น้อยที่สุดของสถานีงานกับเวลาเฉลี่ยของทุกสถานีงานในเหตุการณ์ s ใช้กำหนดผลต่างเวลาของแต่ละสถานีงานกับเวลาเฉลี่ยของทุกสถานีงานในเหตุการณ์ s ได้โดยสมการเงื่อนไข (3.11) และ (3.12) เป็นการบังคับให้งานย่อยหนึ่งงานสามารถทำงานอยู่ได้เพียงหนึ่งสถานีงานโดยสมการเงื่อนไข (3.13) ใช้กำหนดเวลาของแต่ละสถานีงานในเหตุการณ์ s โดยสมการเงื่อนไข (3.14) ใช้กำหนดเวลาเฉลี่ยของทุกสถานีงานในเหตุการณ์ s โดยสมการเงื่อนไข (3.15) ใช้กำหนดให้งานย่อยที่ 1 อยู่ในสถานีงานที่ 1 โดยสมการเงื่อนไข (3.16) ใช้กำหนดให้งานย่อยสุดท้ายอยู่ในสถานีงานสุดท้ายโดยสมการเงื่อนไข (3.7) ใช้กำหนดลำดับงานย่อยที่เลือกจะต้องไม่อยู่ก่อนงานย่อยก่อนหน้าหรืออยู่ในสถานีงานเดียวกันกับงานย่อยก่อนหน้าโดยสมการเงื่อนไข (3.18) ใช้กำหนดลำดับงานย่อยที่เลือกจะต้องอยู่หลังงานย่อยก่อนหน้าหรืออยู่ในสถานีงานเดียวกันกับงานย่อยก่อนหน้าโดยสมการเงื่อนไข (3.19) ใช้กำหนดลำดับงานของงานย่อยให้ผลรวมของงานย่อยในสถานีงานก่อนหน้าต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับโดยสมการเงื่อนไข(3.20)

บทที่ 4

ผลการดำเนินการ

จากการศึกษากรณีตัวอย่างปัญหาของโรงงานผลิตโทรทัศน์และวิธีการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตในบทที่ 3 ผู้ศึกษาได้สร้างแบบจำลองของการจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้ AMPL และทำการหาคำตอบของการจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้ cplex การทดลองประกอบด้วย

1. การแก้ปัญหาโดยใช้แบบจำลองเชิงกำหนด
2. การแก้ปัญหาโดยใช้แบบจำลองสโตแคสติก
3. การหามูลค่าของการแก้ปัญหาสโตแคสติก (Value of the Stochastic Solution : VSS)

ปัญหาสายการผลิตมีลักษณะเป็นสายการประกอบแบบเส้นตรง ประกอบด้วย 19 สถานีงาน 85 งานย่อย มีรอบเวลาก่อนการปรับปรุง (Cycle Time) เท่ากับ 58.77 วินาที และมีผลต่างระหว่างสถานีงานที่ใช้เวลามากสุดกับค่าเฉลี่ยเวลาของทุกสถานีงานเท่ากับ 20.71 วินาที มีข้อมูลการจับเวลาของแต่ละงานย่อย ดังในตารางที่ ผ.2 แสดงข้อมูลการจับเวลาในการทำงาน ในภาคผนวก

4.1 ผลจากแบบจำลองเชิงกำหนด

จากการเก็บข้อมูลของเวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละงานย่อย ซึ่งมีลักษณะข้อมูลเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้แบบจำลองเชิงกำหนด ข้อมูลนำเข้าจะถูกนำไปหาค่าเฉลี่ยจากการจับเวลาจริงในแต่ละงานย่อย เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง

การแก้ปัญหาแบบจำลองเชิงกำหนด ข้อมูลที่ใช้นำเข้าในการหาคำตอบจะใช้ค่าเฉลี่ยจากการจับเวลาจริงในแต่ละงานย่อย ดังแสดงในตารางที่ ผ.2 แสดงข้อมูลการจับเวลาในการทำงาน คอลัมน์ที่ 11 ในภาคผนวก และได้ผลลัพธ์จากการหาคำตอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลจากการจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้แบบจำลองเชิงกำหนด

สถานีงาน	งานย่อย	เวลารวมของสถานีงาน (วินาที)
1	1,2,3	43.79
2	4,5	33.94
3	6,7,8,9	34.23
4	10,11,12,13	43.95
5	14,15,16,17,18,19,20	33.64
6	21,22,23,24,25	35.20
7	26,27,28,29,30,31,32,33,34	37.47
8	35,36,37,38	40.88
9	39,40,41,42,43,44,45	39.39
10	46,47,48,49,50	32.11
11	51,52	46.41
12	53,54,55,56,57	42.34
13	58,59,60,61,62	45.47
14	63,64,65,66,67,68	43.71
15	69,70,71,72	33.51
16	73,74,75,76,77	37.66
17	78,79,80	39.96
18	81,82	36.36
19	83,84,85	35.00
ค่าเฉลี่ย		38.63

ผลต่างของเวลาที่มากที่สุดของสถานีงานกับเวลาเฉลี่ยของทุกสถานีงานหรือค่าของสมการเป้าหมาย (y) มีค่าเท่ากับ 7.7837 วินาที และรอบเวลาการผลิต (cycle time) มีค่าเท่ากับ 46.41 วินาที

จากตารางที่ 4.1 เป็นตารางแสดงผลจากการจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้แบบจำลองเชิงกำหนด มีวิธีการหามาจากบทที่ 3.3 โดยข้อมูลนำเข้ามีค่าคงที่ทั้งหมด จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่ามีการจัดงานย่อยลงในแต่ละสถานีงานโดยทำให้เวลารวมในการทำงานของแต่ละสถานีงานมีความใกล้เคียงกันตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ยกตัวอย่างเช่น ในสถานีงานที่ 1 ประกอบด้วยงานย่อยที่ 1,2,3 มีเวลารวมของสถานีงานเท่ากับ 43.79 วินาที ในสถานีงานที่ 2 ประกอบด้วยงานย่อยที่ 4,5 มีเวลารวมของสถานีงานเท่ากับ 33.94 วินาที สังเกตได้ว่าระหว่างสถานีงานที่ 1 กับ 2 มีจำนวนงานย่อยไม่เท่ากันเพราะการจัดแบบนี้ทำให้เวลารวมในการทำงานของแต่ละสถานีงานมีความใกล้เคียงกันตามสมการเป้าหมายที่กำหนดไว้

4.2 ผลจากแบบจำลองสโทแคสติก

ขั้นตอนนี้มีการพิจารณาเรื่องของเวลาในการทำงานที่ไม่แน่นอนเข้าไปในการจัดสมดุลสายการผลิตด้วย โดยการใช้สโทแคสติกโปรแกรมในการแก้ปัญหา จากข้อมูลเวลาการทำงานที่ได้เก็บรวบรวมมา ดังในตารางที่ ผ.2 แสดงข้อมูลการจับเวลาในการทำงาน ในภาคผนวก ทำให้สามารถหาจำนวน scenario ที่เป็นไปได้ทั้งหมดได้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.65888×10^{62} เหตุการณ์ และเนื่องจากเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดมีขนาดใหญ่ ทำให้ใช้เวลามากในการแก้แบบจำลอง จึงมีการแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการสุ่มเหตุการณ์ที่เป็นไปได้จากเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด (Resampling technique) สำหรับในการสุ่มผู้ศึกษาได้ใช้ขนาดของตัวอย่างเท่ากับ 100

ผู้ศึกษาได้ลองแก้ปัญหาโดยใช้ขนาดของตัวอย่างที่มีขนาดเล็กโดยกำหนดให้ขนาดของตัวอย่างเท่ากับ 4 เพื่อให้สามารถเข้าใจได้ง่ายโดยผลลัพธ์ที่ได้จากการหาค่าตอบโดยใช้ขนาดของตัวอย่างเท่ากับ 4 มีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงผลจากการจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้แบบจำลองสโทแคสติก

สถานีงาน	งานย่อย	เวลาที่ใช้ในการทำงาน ของแต่ละเหตุการณ์ (วินาที)			
		1	2	3	4
1	1,2,3	42.84	43.62	44.92	43.70
2	4,5,6	38.65	39.79	41.20	39.60
3	7,8,9,10	37.85	38.68	38.64	38.63
4	11,12,13	32.84	34.10	33.34	32.63
5	14,15,16,17,18,19,20	33.46	34.75	32.93	32.63
6	21,22,23,24,25	34.65	35.85	34.95	34.27
7	26,27,28,29,30,31,32,33,34	37.23	37.86	37.55	37.56
8	35,36,37,38	38.98	40.45	41.10	40.33
9	39,40,41,42,43,44	35.10	36.22	36.88	36.29
10	45,46,47,48,49,50	35.97	37.20	35.89	36.11
11	51,52	44.56	47.54	44.12	45.51
12	53,54,55,56	39.85	40.21	41.58	41.48
13	57,58,59,60,61	40.25	35.59	40.60	37.85
14	62,63,64,65,66	47.70	46.91	44.42	44.85
15	67,68,69,70,71	39.47	40.24	38.84	36.10
16	72,73,74,75,76,77,78	43.15	41.64	42.18	41.37
17	79,80	38.05	36.20	35.57	36.20
18	81,82	36.32	34.69	36.43	36.74
19	83,84,85	36.35	35.69	36.17	36.22
ค่าเฉลี่ย		38.59	38.80	38.80	38.32

จากตารางที่ 4.2 เป็นตารางแสดงผลจากการจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้แบบจำลองสโทแคสติค มีวิธีการหามาจากบทที่ 3.4 โดยข้อมูลนำเข้ามีการพิจารณาเรื่องของเวลาในการทำงานที่ไม่แน่นอน จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเวลาที่ใช้ในการทำงาน ของทั้ง 4 เหตุการณ์มีการจัดให้งานย่อยลงในแต่ละสถานีงานโดยทำให้เวลารวมในการทำงานของแต่ละสถานีงานมีความใกล้เคียงกันตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ และจะเห็นว่าในการจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้แบบจำลองสโทแคสติคการจัดงานย่อยลงในแต่ละสถานีงานมีความแตกต่างกับสมดุลสายการผลิตโดยใช้แบบจำลองเชิงกำหนด ยกตัวอย่างเช่น ในสถานีงานที่ 2 ของการจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้แบบจำลองสโทแคสติคประกอบด้วยงานย่อยที่ 4,5,6 แต่ในการสมดุลสายการผลิตโดยใช้แบบจำลองเชิงกำหนดประกอบด้วยงานย่อยที่ 4,5

การใช้แบบจำลองสโทแคสติคสามารถหาผลของเวลาเฉลี่ยทุกสถานีงาน ผลต่างของเวลาที่มากที่สุดของสถานีงานกับเวลาเฉลี่ยของทุกสถานีงาน (y) และรอบเวลาการผลิต ได้ผลลัพธ์ดังนี้

	เหตุการณ์ที่ 1	เหตุการณ์ที่ 2	เหตุการณ์ที่ 3	เหตุการณ์ที่ 4
เวลาเฉลี่ยทุกสถานีงาน	38.59	38.80	38.80	38.32
ผลต่างของเวลาที่มากที่สุดของสถานีงานกับเวลาเฉลี่ยของทุกสถานีงาน	9.1068	8.7384	6.1142	7.1905
รอบเวลาการผลิต	47.70	47.54	44.92	45.51

- จากการเฉลี่ยทั้ง 4 เหตุการณ์

$$\text{เวลาเฉลี่ยทุกสถานีงาน} = \frac{38.59+38.80+38.80+38.32}{4}$$

$$= 38.62 \text{ วินาที}$$

$$\text{ผลต่างเวลาที่มากที่สุดของสถานีงานกับเวลาเฉลี่ยของทุกสถานีงาน} = \frac{9.1068+8.7384+6.1142+7.1905}{4}$$

$$= 7.7875 \text{ วินาที}$$

$$\text{รอบเวลาการผลิต (Cycle time)} = 38.62+7.7875$$

$$= 46.4075 \text{ วินาที}$$

4.3 ผลเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองเชิงกำหนดและแบบจำลองสโทแคสติก

บทที่ 2.5 ผู้ศึกษาได้นำเสนอการหาค่าของการแก้ปัญหาสโทแคสติก (Value of the Stochastic Solution : VSS) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างแบบจำลองเชิงกำหนดกับแบบจำลองสโทแคสติก มีขั้นตอนการดำเนินงานและได้ผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

1. หาค่าผลต่างของเวลาที่น้อยที่สุดของสถานีนงานกับเวลาเฉลี่ยของทุกสถานีนงาน (Minimize expected Time Different)
2. นำข้อมูลของเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ เท่ากับ 4 ไปหาคำตอบจากการจัดที่ได้จากแบบจำลองเชิงกำหนด และกำหนดให้ค่า X ไม่เปลี่ยนแปลง จากนั้นหาค่าของสมการเป้าหมายโดยนำคำตอบที่ได้แทนในแต่ละเหตุการณ์
3. หาค่า VSS โดยนำคำตอบซึ่งเป็นค่าผลต่างของเวลาที่มากที่สุดของสถานีนงานกับเวลาเฉลี่ยของทุกสถานีนงานที่ได้จากการจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้แบบจำลองเชิงกำหนดลบค่าผลต่างของเวลาที่มากที่สุดของสถานีนงานกับเวลาเฉลี่ยของทุกสถานีนงานที่ได้จากการจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้แบบจำลองสโทแคสติก เพื่อหาค่าผลต่างของทั้งสองวิธี จากคำตอบที่ได้จะทำให้ทราบว่า การจัดสมดุลสายการผลิตด้วยวิธีใช้แบบจำลองสโทแคสติกมีความเหมาะสมมากกว่าเท่าไร

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการนำข้อมูลของเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้ง 4 เหตุการณ์ไปใช้กับคำตอบที่ได้จากการจัดโดยใช้แบบจำลองเชิงกำหนด

สถานีนงาน	งานย่อย	เวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละเหตุการณ์ (วินาที)			
		1	2	3	4
1	1,2,3	42.84	43.62	44.92	43.70
2	4,5	32.62	33.33	35.29	33.69
3	6,7,8,9	33.01	34.71	32.92	33.67
4	10,11,12,13	43.71	44.53	44.97	43.50
5	14,15,16,17,18,19,20	33.46	34.75	32.93	32.63
6	21,22,23,24,25	34.65	35.85	34.95	34.27
7	26,27,28,29,30,31,32,33,34	37.23	37.86	37.55	37.56
8	35,36,37,38	38.98	40.45	41.10	40.33
9	39,40,41,42,43,44,45	38.65	39.77	40.43	40.23
10	46,47,48,49,50	32.42	33.65	32.34	32.17
11	51,52	44.56	47.54	44.12	45.51
12	53,54,55,56,57	41.85	42.21	43.58	43.48
13	58,59,60,61,62	48.36	43.70	47.13	45.50
14	63,64,65,66,67,68	44.24	44.16	43.00	42.27
15	69,70,71,72	34.82	34.88	33.73	31.03
16	73,74,75,76,77	39.15	37.64	38.18	37.37
17	78,79,80	40.05	38.20	37.57	38.20
18	81,82	36.32	34.69	36.43	36.74
19	83,84,85	36.35	35.69	36.17	36.22

จากตารางที่ 4.3 แสดงผลการนำข้อมูลของเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้ง 4 เหตุการณ์ไปใช้กับคำตอบที่ได้จากการจัดโดยใช้แบบจำลองเชิงกำหนด โดยมีวิธีการหามาจากบทที่ 2.5 ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเวลาที่ใช้ในการทำงาน ของทั้ง 4 เหตุการณ์มีเวลาใกล้เคียงกันและสามารถหาผลของเวลาเฉลี่ยทุกสถานีนงาน ผลต่างของเวลาที่มากที่สุดของสถานีนงานกับเวลาเฉลี่ยของทุกสถานีนงาน (y)และรอบเวลาการผลิต ได้ผลลัพธ์ดังนี้

	เหตุการณ์ที่ 1	เหตุการณ์ที่ 2	เหตุการณ์ที่ 3	เหตุการณ์ที่ 4
เวลาเฉลี่ยทุกสถานีนงาน	38.59	38.80	38.80	38.32
ผลต่างของเวลาที่มากที่สุดของสถานีนงานกับเวลาเฉลี่ยของทุกสถานีนงาน	9.7668	8.7384	8.3242	7.1905
รอบเวลาการผลิต	48.36	47.54	47.13	45.50

เฉลี่ยทั้ง 4 เหตุการณ์

$$\begin{aligned}
 \text{เวลาเฉลี่ยทุกสถานีนงาน} &= \frac{38.59+38.80+38.80+38.32}{4} \\
 &= 38.62 \text{ วินาที} \\
 \text{ผลต่างเวลาที่มากที่สุดของสถานีนงานกับเวลาเฉลี่ยของทุกสถานีนงาน} &= \frac{9.7668+8.7384+8.3242+7.1905}{4} \\
 &= 8.5050 \text{ วินาที} \\
 \text{รอบเวลาการผลิต (cycle time)} &= 38.62+8.5050 \\
 &= 47.125 \text{ วินาที} \\
 \text{VSS} &= 8.5050-7.7875 \\
 &= 0.7175
 \end{aligned}$$

การนำผลของการจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้แบบจำลองเชิงกำหนดไปใช้แล้วเมื่อเกิดเหตุการณ์จริง 4 เหตุการณ์ตามที่น่าเสนอไปในบทที่ 4.2 จะทำให้รอบเวลาการผลิตเฉลี่ยเป็น 47.125 วินาที ซึ่งมีเวลามากกว่าวิธีการจัดแบบสโทแคสติกและผลลัพธ์มูลค่าของการแก้ปัญหาสโทแคสติกมีค่าเท่ากับ 0.7175 เห็นได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสโทแคสติกดีกว่าแบบจำลองเชิงกำหนดเพราะ VSS มีค่ามากกว่า 0

การหาค่าVSSโดยใช้ขนาดของตัวอย่างเท่ากับ 100

- ค่าของสมการเป้าหมายจากแบบจำลองกำหนดการเชิงกำหนด

การหาค่าตอบของแบบจำลองเชิงกำหนด ทำได้โดยการหาค่าของสมการเป้าหมายซึ่งเป็นค่าผลต่างของเวลาที่มากที่สุดของสถานีนงานกับเวลาเฉลี่ยของทุกสถานีนงาน (y) และผู้ศึกษาได้ทำการทำซ้ำทั้งหมด 30 ครั้ง ได้ผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าของสมการเป้าหมายจากแบบจำลองเชิงกำหนด

ครั้งที่	ค่าของสมการเป้าหมาย (วินาที)
1	8.1241
2	8.3860
3	8.1882
4	8.3864
5	8.1010
6	8.2376
7	8.2049
8	8.2738
9	8.0904
10	8.3677
11	8.1796
12	8.2582
13	8.1016
14	8.4124
15	8.3050
16	8.2729
17	8.2391
18	8.2883
19	8.4785
20	8.3536
21	8.2470
22	8.0669
23	8.2976
24	8.1725
25	8.4035
26	8.3603
27	8.3805
28	8.3910

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าของสมการเป้าหมายจากแบบจำลองเชิงกำหนด (ต่อ)

ครั้งที่	ค่าของสมการเป้าหมาย (วินาที)
29	8.3630
30	8.2087
ค่าเฉลี่ย	8.2714
ความแปรปรวน	0.0119
รอบเวลา	46.8979

- ค่าของสมการเป้าหมายจากแบบจำลองสโทแคสติก

การหาคำตอบของแบบจำลองสโทแคสติก ทำได้โดยการหาค่าของสมการเป้าหมายซึ่งเป็นค่าผลต่างของเวลาที่มากที่สุดของสถานีนงานกับเวลาเฉลี่ยของทุกสถานีนงาน (y) และผู้ศึกษาได้ทำการทำซ้ำทั้งหมด 30 ครั้ง ได้ผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าของสมการเป้าหมายจากแบบจำลองสโทแคสติก

ครั้งที่	ค่าของสมการเป้าหมาย (วินาที)
1	7.9553
2	8.1106
3	7.9727
4	8.0982
5	8.0276
6	7.9030
7	8.1567
8	8.0732
9	8.0412
10	8.2870
11	8.0685
12	8.2436
13	8.0118
14	8.1797
15	8.1307
16	8.0722
17	8.0082
18	8.1236
19	8.2168

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าของสมการเป้าหมายจากแบบจำลองสโทแคสติก (ต่อ)

20	7.9717
21	8.0516
22	8.0187
23	8.1669
24	8.0986
25	8.2748
26	8.1820
27	8.1876
28	8.1673
29	7.9085
30	7.9293
ค่าเฉลี่ย	8.0879
ความแปรปรวน	0.0108
รอบเวลา	46.7145

จากนั้นเมื่อได้ผลของการแก้ปัญหาโดยใช้แบบจำลองสโทแคสติกและแบบจำลองเชิงกำหนดแล้วจึงมีการเปรียบเทียบมูลค่าของการแก้ปัญหาสโทแคสติกโดยการเปรียบเทียบค่าความต่างระหว่างการแก้คำตอบของปัญหาสโทแคสติกโปรแกรมกับคำตอบที่ได้จากการแทนด้วยค่าเฉลี่ย

- **มูลค่าของการแก้ปัญหาสโทแคสติก (Value of the Stochastic Solution : VSS)**

การหามูลค่าของการแก้ปัญหาสโทแคสติกซึ่งเป็นผลต่างระหว่างตาราง 4.3 กับ 4.4 ทำได้โดยนำคำตอบซึ่งเป็นค่าผลต่างของเวลาที่มากที่สุดของสถานีนงานกับเวลาเฉลี่ยของทุกสถานีนงานที่ได้จากแบบจำลองเชิงกำหนดลบค่าผลต่างของเวลาที่มากที่สุดของสถานีนงานกับเวลาเฉลี่ยของทุกสถานีนงานที่ได้จากแบบจำลองสโทแคสติก และในการหาค่า VSS ผู้ศึกษาได้ทำการทำซ้ำทั้งหมด 30 ครั้ง ได้ผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.6 แสดงมูลค่าของการแก้ปัญหาสโทแคสติก

ครั้งที่	มูลค่าของการแก้ปัญหาสโทแคสติก
1	0.1688
2	0.2754
3	0.2155
4	0.2882
5	0.0735
6	0.3346
7	0.0481
8	0.2006
9	0.0492
10	0.0807
11	0.1111
12	0.0146
13	0.0898
14	0.2327
15	0.1743
16	0.2008
17	0.2309
18	0.1647
19	0.2618
20	0.3819
21	0.1954
22	0.0482
23	0.1307
24	0.0739
25	0.1287
26	0.1783
27	0.1929
28	0.2237
29	0.4545
30	0.2794

ข้อสังเกต มูลค่าของการแก้ปัญหาสโทแคสติกที่ได้มีค่าไม่มาก เนื่องมาจากข้อมูลที่ได้มาจากการจับเวลาแต่ละครั้งมีความแตกต่างกันน้อย ข้อมูลจึงมีความแปรปรวนต่ำ ดังแสดงในตารางที่ ผ.2 แสดงข้อมูลการจับเวลาในการทำงาน คอลัมน์ที่ 12,13 ในภาคผนวก

บทที่ 5

สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษา การใช้สโทแคสติกโปรแกรมในการจัดสมดุลสายการผลิตแบบสโทแคสติก โดยศึกษาปัญหาจากโรงงานกรณีตัวอย่างซึ่งเป็นโรงงานขนาดกลาง สายการประกอบที่ศึกษาเป็นสายการประกอบ โทรศัพท์โดยมีลักษณะเป็นแบบต่อเนื่องแถวเดียวซึ่ง ประกอบด้วย 19 สถานีงาน 85 งานย่อย โดยศึกษาการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์เพื่อใช้แก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้สโทแคสติกโปรแกรม และเปรียบเทียบผลการจัดสมดุลสายการผลิตระหว่างวิธีใช้แบบจำลองเชิงกำหนดกับวิธีใช้แบบจำลองสโทแคสติก

การศึกษาปัญหาจากโรงงานกรณีตัวอย่าง พบว่าปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตเกิดจากการจัดงานลงในสถานีงานอย่างไม่เหมาะสมซึ่งเกิดจากความแปรปรวนของเวลาทำให้เกิดปัญหาสายการผลิตที่ไม่ต่อเนื่อง จึงมีการศึกษาวิธีแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ คือ การแก้ปัญหาโดยใช้วิธีสร้างแบบจำลองเชิงกำหนด ข้อมูลที่ใช้เป็นค่าเฉลี่ยเวลาจากข้อมูลการจับจริงซึ่งเป็นค่าคงที่ทั้งหมด ทำให้ได้ผลลัพธ์มีค่าคงที่สำหรับข้อมูลนำเข้าชุดนั้นๆ และการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีสร้างแบบจำลองสโทแคสติก เป็นการสร้างแบบจำลองภายใต้เงื่อนไขความไม่แน่นอนที่เข้ามาเกี่ยวข้อง ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองได้จากการจับเวลาจริง ทำให้แบบจำลองสโทแคสติกมีความถูกต้องมากขึ้น

ผลจากการแก้แบบลอง การแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตโดยวิธีใช้แบบจำลองสโทแคสติกสามารถลดค่าความแตกต่างของเวลาในสถานีงานได้มากกว่าวิธีใช้แบบจำลองเชิงกำหนด จากการเปรียบเทียบผลของทั้งสองวิธีโดยการใช้ The Value of Stochastic Solution (VSS) เมื่อกำหนดจำนวนเหตุการณ์ที่เป็นไปได้เท่ากับ 100 และทำการทดลอง 30 ครั้ง ค่าการเปรียบเทียบผลโดยเฉลี่ย เท่ากับ 0.1834 วินาที ข้อมูลการจับเวลาจริงมีค่าความแปรปรวนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.66% ทำให้ค่าการเปรียบเทียบผลดังกล่าวมีค่าแตกต่างกันไม่มาก และจากการเปรียบเทียบผล ค่า VSS มีค่าเป็นเป็นบวกทั้งหมด ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การจัดสมดุลสายการผลิตโดยวิธีใช้แบบจำลองสโทแคสติกสามารถจัดงานย่อยในแต่ละสถานีงานได้เหมาะสมกว่าวิธีใช้แบบจำลองเชิงกำหนด ทำให้สถานีงานมีค่าความแตกต่างเวลาการทำงานน้อยลง เป็นผลให้สายการผลิตต่อเนื่องขึ้นและรอบเวลาการผลิตลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

การแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตโดยวิธีใช้แบบจำลองสโทแคสติก เหมาะกับการใช้เพื่อปรับปรุงสายการผลิตที่มีค่าความแปรปรวนของเวลาสูง เพราะเป็นวิธีแก้ปัญหาการโดยการสร้างแบบจำลองภายใต้เงื่อนไขความไม่แน่นอนของเวลาที่เข้ามาเกี่ยวข้อง จึงช่วยลดความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในสายการผลิตได้ดี การแก้ปัญหาโดยวิธีใช้แบบจำลองสโทแคสติกสามารถจัดงานย่อยในแต่ละสถานีงานได้เหมาะสมสมกว่าวิธีใช้แบบจำลองเชิงกำหนด แต่การสร้างแบบจำลองจะมีความซับซ้อนกว่า เนื่องจากมีการพิจารณาถึงเงื่อนไขของเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ ทำให้แบบจำลองมีขนาดใหญ่ขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การสร้างแบบจำลองสโทแคสติกที่ใช้ขนาดของเหตุการณ์ที่เป็นไปได้เท่ากับ 100 ต้องใช้เวลาในการแก้แบบจำลองนานถึง 10 ชั่วโมง ยิ่งแบบจำลองมีขนาดใหญ่ก็ยิ่งทำให้ต้องใช้เวลาในการแก้แบบจำลองนาน การเลือกวิธีการสำหรับแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตจึงควรศึกษาถึงความคุ้มค่าในการเลือกใช้วิธีนั้นๆ ก่อน

หนังสืออ้างอิง

[1] D.Holmes, 1992. AMPL(A Mathematical Programming Language).

Available: <http://www-personal.umich.edu/~murty/510/ampl.pdf>. Search Date: 18th August, 2013

[2] John R.Birge, 1997. Introduction to Stochastic Programming, New York:Springer-Verlag New York, Inc.

[3] Peter Kall and Stein W.Wallace, 2003. Stochastic Programming, New York:John Wiley & Sons, Inc.

[4] Subhash C. Sarin^{a,*}, Erdal Erel^b, Ezey M. Dar-El^c, 1999. A methodology for solving single-model, stochastic assembly line balancing problem.

Available: [http://yoksis.bilkent.edu.tr/pdf/files/10.1016-S0305-0483\(99\)00016-X.pdf](http://yoksis.bilkent.edu.tr/pdf/files/10.1016-S0305-0483(99)00016-X.pdf). Search Date 7th August, 2013

[5] Suvrajeet Sen and Julia L. Higle, 1999. An Introductory Tutorial on Stochastic Linear Programming Models.

Available: <http://www.optimizedfinancialsystems.com/wp-content/uploads/2012/04/SenHigle99.pdf>. Search Date: 4th January, 2014

[6] A Tutorial on Stochastic Programming. 2007.

Available: <http://stoprog.org/stoprog/SPTutorial/SPTutorial.php>. Search Date 19th September, 2013

ภาคผนวก ก

รายละเอียดของปัญหากรณีตัวอย่าง

กรณีตัวอย่างปัญหาของโรงงานผลิตโทรทัศน์ ประกอบด้วยขั้นตอนในการทำงาน ข้อมูลการจับเวลาของการดำเนินงาน และงานย่อยต่างๆ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ ผก.1 แสดงขั้นตอนการทำงานในการผลิตโทรทัศน์

สถานี	ขั้นตอนการทำงาน
1	ยกกรอบจอภาพออกจากกล่องบรรจุมายังสายการผลิต
	ใส่แผ่นพลาสติกกรองแสงวงจรปิด
	ตรวจสอบสภาพกรอบจอภาพ
2	ประกอบแผงวงจรปุ่มกด
	ตรวจสอบปุ่มกด
	วางกรอบจอลงในสายการผลิต
3	เจาะรูสำหรับใส่เครื่องหมายการค้า
	ตัดแต่งขาแผ่นเครื่องหมายการค้า
	ใส่แผ่นเครื่องหมายการค้า
	ตัดแต่งขาปุ่มกดเปิดปิดและประกอบคืน
4	จึษาแผ่นเครื่องหมายการค้าให้ติดกับกรอบจอภาพ
	ติดแผ่นสติ๊กเกอร์ของช่อง AV
	ใส่แผ่นยางรองจอภาพ
5	วางแผนวงจรรับสัญญาณ AV
	วางลำโพงซ้าย
	วางลำโพงขวา
	ขันสกรูยึดแผ่นวงจรรับสัญญาณ AV (2ตัว)
	ขันสกรูยึดลำโพงซ้าย (6ตัว)
	ขันสกรูยึดลำโพงขวา (6ตัว)
6	ยกจอภาพมาวางลงบนกรอบจอภาพ
	ใส่แหวนยึดจอภาพ 4 ตัว
	ประกอบอุปกรณ์เบนลำแสงอิเล็กทรอนิกส์เข้ากับจอภาพ
	ประกอบ CG purify
	ขันแหวนยึดจอภาพให้แน่น
	พลิกเครื่องตรวจสอบปุ่มกด
	หันหน้าจอออกจากตัว เตรียมส่งสถานีถัดไป

ตารางที่ ผก.1 แสดงขั้นตอนการทำงานในการผลิตโทรทัศน์ (ต่อ)

สถานี	ขั้นตอนการทำงาน
7	หยิบแผงวงจรหลักมาวาง
	หยอดกาวร้อนยัดแผงระบายความร้อน
	ใส่ anode cap เข้ากับจอภาพ
	เสียบสายไฟของโทรทัศน์
	เสียบสายจากแผงวงจรปุ่มกดเข้ากับแผงวงจรหลัก
	เสียบสายจากสายล่างประจูดจอภาพเข้ากับแผงวงจรหลัก
	เสียบสายลำโพงซ้ายเข้ากับแผงวงจรหลัก
	เสียบสายลำโพงขวาเข้ากับแผงวงจรหลัก
8	เสียบสายจากอุปกรณ์เบนลำแสงอิเล็กทรอนิกส์เข้ากับแผงวงจรหลัก
	ขันยัดแผงวงจรหลักเข้ากับกรอบจอภาพ
	ประกอบแผงหลักโทรทัศน์เข้ากับแผงวงจรหลัก
9	มัดสายลำโพงซ้ายเข้ากับสายล่างประจูดจอภาพ
	มัดสายลำโพงขวาเข้ากับสายล่างประจูดจอภาพ
	มัดสายไฟโทรทัศน์เข้ากับสายล่างประจูดจอภาพ
	เสียบสายดินของจอภาพเข้ากับแผงวงจรจอภาพ
	ประกอบแผงวงจรจอภาพเข้ากับ CG Purify
	มัดสายแผงวงจรจอภาพเข้ากับตัวแผงวงจรจอภาพ
	มัดสายจากอุปกรณ์เบนลำแสงอิเล็กทรอนิกส์กับสายจากแผงวงจรจอภาพเข้ารวมกัน
10	ใส่ที่ยึดสายไฟกับแผงหลังโทรทัศน์
	ม้วนสาย anode cap แล้วมัดเก็บ
	เสียบสายจากแผงวงจร AV เข้ากับแผงวงจรหลัก (2สาย)
	มัดสายจากแผงวงจร AV เข้าด้วยกัน
	ตัดปลายสายรัดทั้งหมด
	ปั๊มซื้อรุ่นลงในใบ traveller card
11	การตรวจสอบการทำงานเบื้องต้นของโทรทัศน์

ตารางที่ ผก.1 แสดงขั้นตอนการทำงานในการผลิตโทรทัศน์ (ต่อ)

สถานี	ขั้นตอนการทำงาน
12	กดปุ่มนำเครื่องเข้า
	เสียบสายอากาศ เสียบปลั๊ก
	เหยียบที่เหยียบเพื่อตั้งกล่องเข้าหน้าจอ
	ปรับ CG purify และขยับอุปกรณ์เบนลำแสงอิเล็กทรอนิกส์
	ขันน็อตยึดอุปกรณ์เบนลำแสงอิเล็กทรอนิกส์พร้อมทั้งเหยียบเอากลับออก
	กดเมนูตั้งค่าให้ความสว่างและความแตกต่างของสีให้มากที่สุด
	ตั้งค่า BLG=32 BLK=32 CL=7
	ปรับ VG2
	ถอดปลั๊กและสายอากาศ
13	กดปุ่มรับเครื่องเข้าสถานี
	เสียบสายอากาศ เสียบปลั๊ก
	ปรับโฟกัสคร่าวๆ
	ปรับ static convergent
	ปรับ dynamic convergent
	ติดลูกยางเพื่อยึดอุปกรณ์เบนลำแสงอิเล็กทรอนิกส์ให้แน่น
	ปรับโฟกัสให้ดีที่สุด
	ถอดปลั๊กและสายอากาศ
14	กดปุ่มรับเครื่องเข้าสถานี
	เสียบสายอากาศ เสียบปลั๊ก
	เหยียบที่เหยียบตั้งกล่องเข้าหน้าจอ
	ลดความสว่างและความแตกต่างของสีให้ค่า = 4-5 (ที่เครื่องวัด Y=0)
	ปรับตั้งค่า BLR,BLG ให้ค่า X=225,Y=215 (ค่าที่เครื่องวัด)
	ถอดปลั๊กและสายอากาศ
15	กดปุ่มรับเครื่องเข้าสถานี
	เสียบปลั๊กไฟ
	เสียบ AV Jig ที่ side AV ตรวจสอบ ภาพ,เสียง,spaital on-off
	เสียบ AV Jig ที่ AV1 ตรวจสอบ ภาพ,เสียง,spaital on-off
	เสียบ AV Jig ที่ AV2 ตรวจสอบ ภาพ,เสียง,spaital on-off
	ถอดปลั๊กไฟ

ตารางที่ ผก.1 แสดงขั้นตอนการทำงานในการผลิตโทรทัศน์ (ต่อ)

16	กดปุ่มรับเครื่องเข้าสถานี
	เสียบปลั๊กไฟและสายอากาศ
	ปรับแก้ภาพเอียง
	ปรับภาพในแนว horizontal
	ปรับภาพในแนว vertical
	ตรวจสอบความถูกต้องของการปรับแต่งก่อนประกอบฝาหลัง
	ถอดปลั๊กไฟ
17	ป้อน วัน/เดือน/ปี ที่ผลิตลงในใบ traveller card
	ติด serial number ลงบน traveller card
	ติด serial number ลงบนสมุดบันทึก
	ติด serial number ลงบนแผงวงจรหลัก
18	จดเลข 4 ตัวท้ายของใบ traveller card
	ประกอบฝาหลัง
	ขันยึดน็อตด้านบน 4 ตัว
19	ขันยึดน็อตด้านข้างและใต้เครื่อง 6 ตัว
	ขันน็อตยึดแผงหลังโทรทัศน์กับฝาหลังรอบนอก 6 ตัว
	ขันน็อตยึดแผงหลังโทรทัศน์กับฝาหลังตรงช่องสัญญาณ AV 2 ตัว
	ติดสติ๊กเกอร์ serial number หลังเครื่อง

ตารางที่ ผ.2 แสดงข้อมูลการจับเวลาในการทำงาน

สถานี	งานย่อย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ค่าเฉลี่ย เวลา	ความ แปรปรวน (วินาที)	ความ แปรปรวน (%)
1	1	7.53	8.72	8.07	7.36	8.44	7.94			8.01	0.225067	3.211306
	2	12.85	13.81	14.79	12.47	14.47	13.34			13.62	0.686881	5.742463
	3	23.07	23.63	21.56	20.41	22.83	21.47			22.16	1.222747	6.29494
2	4	26.44	29.34	25.71	25.56	27.38	28.97	27.88		27.33	1.940567	7.949887
	5	7.51	6.49	6.91	6.75	5.95	6.31	6.41		6.62	0.214155	3.337699
	6	6.62	5.91	6.82	6.46	6.03				6.367	0.120056	1.903636
3	7	16.88	19.06	17.40	17.03	17.00	16.91			17.38	0.593433	3.732956
	8	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00			3.00	0	0
	9	7.85	7.50	7.10						7.48	0.093889	1.194135
	10	10.87	10.88	9.97	11.63	10.43				10.76	0.303264	2.852907
4	11	13.38	12.60	14.19	14.95	13.78	14.40	12.07	12.66	13.50	0.880223	6.655474
	12	15.77	13.61	15.35	15.80	14.70				15.05	0.673384	4.631783
	13	4.97	4.53	4.47	4.62					4.65	0.037519	0.593839
5	14	3.00	2.88	2.94	2.65					2.87	0.017569	0.344891
	15	2.91	3.21	2.84	3.08	2.87	3.12	3.40		3.06	0.035584	0.781415
	16	2.84	2.79	3.28	3.10	2.93	3.09			3.01	0.028492	0.586076
	17	3.47	2.72	3.59						3.26	0.1482	2.213592
	18	7.68	8.87	7.84	8.44	7.96				8.16	0.191056	1.949883
	19	8.63	8.38	8.37	7.98					8.34	0.05405	0.516138
6	20	4.66	5.07	4.56	5.13	5.41	4.87			4.95	0.0835	1.176056
	21	12.66	12.18	13.47	14.59	12.67	13.02			13.10	0.598047	4.203565
	22	5.09	5.67	5.34	5.06					5.29	0.05995	0.694509
	23	3.72	3.42	3.78	3.97	3.87				3.75	0.034696	0.498506
	24	7.72	8.37	7.97	8.50	8.87				8.29	0.162824	1.493113
	25	5.20	4.53	4.15	5.13	4.86				4.77	0.152904	1.877274
	26	5.47	4.96	5.06	5.39	4.78				5.13	0.067896	0.788571
7	27	4.90	5.20	5.21	5.44					5.19	0.036769	0.385013
	28	5.81	5.40	5.18	5.59	5.63				5.52	0.046216	0.498644
	29	3.79	4.35	4.15	3.91	3.96				4.03	0.038736	0.472775
	30	4.41	4.03	4.72	4.97	4.50	4.39	4.66		4.53	0.07591	0.984568
	31	3.09	2.94	3.47	3.31	3.24				3.21	0.03316	0.422869
	32	3.21	3.12	3.53	3.34					3.30	0.02375	0.262721
	33	3.25	3.12	3.44	3.38	3.31				3.30	0.0122	0.147879
	34	3.14	3.46	3.18	3.35	3.20				3.27	0.014464	0.17243

ตารางที่ ผ.2 แสดงข้อมูลการจับเวลาในการทำงาน (ต่อ)

สถานี	งานย่อย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ค่าเฉลี่ย เวลา	ความ แปรปรวน (วินาที)	ความ แปรปรวน (%)
8	35	6.89	8.09	6.74	6.98	7.37	7.81	7.13		7.29	0.21442	1.994377
	36	9.73	10.68	9.99						10.13	0.160689	0.968005
	37	18.71	20.38	19.87	19.72	21.19	18.41			19.71	0.892489	4.023327
9	38	3.56	3.89	3.92	3.50	3.84				3.74	0.030976	0.327731
	39	3.56	3.89	3.92	3.50	3.84				3.74	0.030976	0.322052
	40	7.15	7.51	7.16						7.27	0.028022	0.181315
	41	3.67	3.45	3.87	3.59	3.92				3.70	0.03056	0.308168
	42	4.75	4.90	4.66	4.21	4.51	4.30			4.56	0.059025	0.595954
	43	4.47	3.81	4.13	4.20	3.96				4.11	0.050104	0.472902
	44	12.87	12.94	12.03	11.78	10.91	12.50			12.17	0.491847	2.941921
10	45	3.55	3.79	3.94	4.04					3.83	0.03405	0.282245
	46	6.33	5.88	6.77	6.41	5.86				6.25	0.11828	0.91868
	47	5.75	5.69	5.15	4.94	5.37	5.22			5.35	0.083489	0.738653
	48	5.72	6.67	5.96	6.53	6.78	6.34			6.33	0.144522	1.176344
	49	8.03	7.78	8.47	7.63					7.98	0.101269	0.625811
	50	6.41	6.59	5.75	5.85	6.39				6.20	0.111456	0.825702
11	51	42.88	40.56	39.61	42.19	43.47				41.74	2.084856	4.816578
12	52	4.87	4.76	4.95	4.66	4.51	4.30			4.68	0.048158	0.421122
	53	3.30	3.34	3.48	3.69	3.29	3.52			3.44	0.020422	0.19418
	54	13.22	12.22	11.56	12.73					12.43	0.378769	1.825744
	55	10.30	10.12	10.84	8.73	10.58	10.41	9.87		10.12	0.405869	2.58002
	56	15.76	12.96	13.81	14.56	14.15	14.84			14.35	0.755989	3.724607
	57	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0	0
13	58	5.06	5.08	5.37	4.87	5.28	4.50	5.46		5.09	0.092698	0.792121
	59	7.35	6.72	7.14	8.23	7.54	7.55	7.64		7.45	0.185935	1.338021
	60	13.70	12.43	13.29	14.27	15.46	13.65	14.11		13.84	0.74691	3.808095
	61	10.07	9.70	9.29	8.43	8.53	10.21	9.23	9.45	9.36	0.365723	2.421831
	62	10.11	9.70	10.46	9.29	8.53	9.65	10.27		9.72	0.372624	2.292897
	63	6.27	5.29	5.65	6.46	6.11	5.70	5.58	6.07	5.89	0.137486	1.123557
	64	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0	0
14	65	5.02	5.20	4.61	4.80	4.24	4.80	4.86		4.79	0.080143	0.650708
	66	22.50	23.70	24.50	25.50	24.30				24.10	0.976	3.139946
	67	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0	0

ตารางที่ ผ.2 แสดงข้อมูลการจับเวลาในการทำงาน (ต่อ)

สถานี	งานย่อย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ค่าเฉลี่ย เวลา	ความ แปรปรวน (วินาที)	ความ แปรปรวน (%)
15	68	4.70	5.36	5.11	4.29	4.65	5.27	5.07	4.95	4.93	0.1117	0.936034
	69	15.01	12.97	14.05	13.84	14.03				13.98	0.4216	1.821166
	70	8.45	9.22	8.51	7.59	8.39	8.30			8.41	0.225433	1.310006
	71	8.47	9.95	9.59	9.44	8.60	8.03	9.42	9.45	9.12	0.386511	2.416532
	72	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0	0
16	73	4.71	4.48	4.55	5.17	4.94	5.12			4.83	0.071181	0.488638
	74	5.56	5.70	5.67	5.94	5.53	6.54			5.82	0.120222	0.772495
	75	7.10	7.10	6.35	7.53	7.28				7.07	0.155176	0.843653
	76	6.78	6.25	7.30	7.53	7.12	7.37			7.06	0.185447	1.096857
	77	13.13	12.58	13.75	12.40	12.47				12.87	0.261384	1.109675
	78	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0	0
17	79	17.21	18.79	17.56	18.09					17.91	0.354819	1.177626
18	80	17.48	18.99	20.49	20.03	17.75	19.53			19.05	1.237125	4.457649
	81	13.25	14.79	16.12	15.30	15.16	14.98			14.93	0.741722	3.043409
	82	19.85	21.44	21.02	23.38	21.45				21.43	1.293496	4.103297
19	83	16.69	17.93	18.59	17.16					17.59	0.527619	1.720085
	84	8.61	7.47	7.47	8.32	7.63				7.90	0.22464	1.091368
	85	10.00	9.44	8.97	9.63					9.51	0.13775	0.559777

ภาคผนวก ข
แบบจำลอง AMPL

แบบจำลองเชิงกำหนดของปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตที่เขียนด้วย AMPL

```
param n ;  
  
param m ;  
  
var T {1..n} >= 0;  
  
param t {1..m} >= 0;  
  
var y >= 0;  
  
var Tbar >= 0;  
  
var X {1..n,1..m} binary;  
  
minimize TimeDif: y ;  
  
subject to Timep {i in 1..n}: (T[i] - Tbar) <= y ;  
  
subject to Timen {i in 1..n}: (-T[i] + Tbar) <= y ;  
  
subject to Work {j in 1..m}: sum{i in 1..n}(X[i,j]) = 1 ;  
  
subject to Times {i in 1..n}: sum{j in 1..m}(t[j]*X[i,j]) = T[i] ;  
  
subject to Timesa: sum{i in 1..n}(T[i]/n) = Tbar ;  
  
subject to step1 : X[1,1] = 1 ;  
  
subject to step2 :X[n,m] = 1 ;  
  
subject to stepb {i in 2..n,j in 2..m}: X[i,j-1] + X[i-1,j-1] >= X[i,j] ;  
  
subject to stepla {i in 1..n-1,j in 1..m-1}: X[i,j+1] + X[i+1,j+1] >= X[i,j] ;  
  
subject to stepp {j in 1..m,i in 2..n} : sum{k in j..m}(X[i-1,k]) <= m*(1-X[i,j]) ;  
  
solve;  
  
display y,X,Tbar;
```

แบบจำลองโทแคสติกของปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตที่เขียนด้วย AMPL

```
param n ;  
  
param m ;  
  
param p ;  
  
var T {1..n,1..p} >= 0;  
  
param t {1..m,1..p} >= 0;  
  
var y {1..p} >= 0;  
  
var Tbar {1..p} >= 0;  
  
var X {1..n,1..m} binary;  
  
minimize TimeDif : sum{s in 1..p}(1/p)*y[s] ;  
  
subject to Timep {i in 1..n,s in 1..p}: (T[i,s] - Tbar[s]) <= y[s] ;  
  
subject to Timen {i in 1..n,s in 1..p}: (-T[i,s] + Tbar[s]) <= y[s] ;  
  
subject to Work {j in 1..m}: sum{i in 1..n}(X[i,j]) = 1 ;  
  
subject to Times {i in 1..n,s in 1..p}: sum{j in 1..m}(t[j,s]*X[i,j]) = T[i,s] ;  
  
subject to Timesa {s in 1..p}: sum{i in 1..n}(T[i,s]/n) = Tbar[s] ;  
  
subject to step1 : X[1,1] = 1 ;  
  
subject to step2 :X[19,85] = 1 ;  
  
subject to stepb {i in 2..n,j in 2..m}: X[i,j-1] + X[i-1,j-1] >= X[i,j] ;  
  
subject to stepla {i in 1..n-1,j in 1..m-1}: X[i,j+1] + X[i+1,j+1] >= X[i,j] ;  
  
subject to stepp {j in 1..m,i in 2..n} : sum{k in j..m}(X[i-1,k]) <= m*(1-X[i,j]) ;  
  
solve;  
  
display y,X,Tbar;
```