



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการกลยุทธ์การจัดตารางการผลิตในระบบการผลิต
แบบต่อเนื่องภายใต้ความไม่แน่นอนของคำสั่งซื้อของลูกค้า

โดย รศ.ดร.ศุภชัย ปทุมนากุล และคณะ

มีนาคม 2550

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการกลยุทธ์การจัดตารางการผลิตในระบบการผลิต
แบบต่อเนื่องภายใต้ความไม่แน่นอนของคำสั่งซื้อของลูกค้า

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. รศ.ดร.ศุภชัย ปทุมนากุล | คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 2. รศ.ดร.สมเกียรติ รุจิเกียรติกำจร | คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น |

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา และ
สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ.และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

Production Scheduling Strategies in Flow Shop Production System under Customer Orders Uncertainty

Supachai Pathumnakul, and Somkiet Rujikietkomjorn

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

Abstract – This paper addresses a problem in a supply chain management with purchaser's order uncertainty. In this problem, supplier plans its production follows purchaser's production plan, which could be changed any time based on its sale. The changing cost due to this uncertainty is owned by supplier. In this supply chain management, supplier could estimate or predict the changing probability of purchaser's order from the historical and real-time purchaser's sale monitoring data. Production scheduling of supplier could be an alternative approach to lessen the problem. Eight scheduling methods based on processing time and changing probability of each order are proposed to solve the problem with three objective functions: mean flow time, makespan, and standard deviation of makespan. Simulation-based analysis approach is applied as a tool to investigate the relative performances of all proposed scheduling methods. The analysis shows that the scheduling method, which is the combination of schedule based on changing probability and job sequences based on minimization of makespan in deterministic flow shop scheduling problem, provides the best performances in all objective functions and in various scheduling environments.

Keywords— Flow Shop; Scheduling; Makespan; Mean flow time; Demand uncertainty.

กลยุทธ์การจัดตารางการผลิตในระบบการผลิตแบบต่อเนื่องภายใต้ความไม่ แน่นอนของคำสั่งซื้อของลูกค้า

ศุภชัย ปทุมนากุล, และ สมเกียรติ รุจิเกียรติกำจร

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น 40002, ประเทศไทย

บทคัดย่อ—ในงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึง ปัญหาในการจัดการโซ่อุปทานที่มีความไม่แน่นอนของคำสั่งซื้อของลูกค้าเข้าไปเกี่ยวข้อง ปัญหาหลักณะดังกล่าวจะเกิดในการจัดการโซ่อุปทานที่ผู้ส่งวัสดุในโซ่อุปทานจะต้องเตรียมแผนการผลิตของตนเองให้สอดคล้องกับแผนการผลิตของผู้ซื้อที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ตลอดเวลา ขึ้นอยู่กับยอดขายของผู้ซื้อวัสดุ ผู้ส่งวัสดุจะต้องปรับเปลี่ยนแผนการผลิตตามแผนของผู้ซื้อหากมีการปรับเปลี่ยน ผู้ส่งวัสดุจะต้องรับผิดชอบต้นทุนที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนคำสั่งซื้อของผู้ซื้อเอง ในโซ่อุปทานแบบนี้ ผู้ส่งวัสดุสามารถประมาณหรือคาดการณ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนคำสั่งซื้อ ได้จากข้อมูลในอดีตและสถานการณ์ยอดขายจริงของผู้ซื้อที่ผู้ส่งวัสดุสามารถตรวจสอบได้ตลอดเวลา การใช้กลยุทธ์ทางการจัดการตารางการผลิตเป็นอีกหนึ่งวิธีที่สามารถมาช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนคำสั่งซื้อของผู้ซื้อได้ ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการพัฒนาวิธีการจัดการตารางการผลิต 8 วิธีที่เกี่ยวข้องกับเวลาในการผลิต และความน่าจะเป็นในการปรับเปลี่ยนคำสั่งซื้อ มาใช้ในการแก้ปัญหาโดยมีฟังก์ชันเป้าหมาย 3 แบบคือ ให้เวลาแล้วเสร็จรวมของระบบต่ำสุด เวลาที่งานแต่ละงานอยู่ในระบบโดยเฉลี่ยต่ำสุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาแล้วเสร็จรวมโดยเฉลี่ยต่ำสุด ในการทดสอบเปรียบเทียบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวิธีการจัดการตารางการผลิตที่ได้พัฒนาขึ้นได้ทำโดยการจำลองสถานการณ์ ผลการวิเคราะห์พบว่าวิธีการจัดการตารางการผลิตที่มาจากการผสมผสานระหว่างการจัดการตารางโดยใช้ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนคำสั่งซื้อ และวิธีการจัดการตารางการผลิตโดยอาศัยการจัดการตารางการผลิตเพื่อให้เวลาแล้วเสร็จรวมของระบบต่ำสุดภายใต้สถานการณ์การไม่เปลี่ยนแปลงคำสั่งซื้อ เป็นวิธีการที่ดีที่สุดให้คำตอบที่ดีที่สุดทุกฟังก์ชันเป้าหมาย

คำสำคัญ— การผลิตแบบต่อเนื่อง, การจัดการตารางการผลิต, เวลาแล้วเสร็จรวมของระบบ, เวลาของงานในระบบโดยเฉลี่ย, ความไม่แน่นอนของความต้องการ

บทสรุปผู้บริหาร

ในปัจจุบัน การจัดการโซ่อุปทาน (supply chain management) นั้นมีความสำคัญมากในการเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันให้แก่ธุรกิจ กลยุทธ์หนึ่งที่มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการโซ่อุปทานในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเทคโนโลยีสูง เช่นในโซ่อุปทานการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (hard disk drive) คือการส่งถ่ายข้อมูลหรือแชร่ยอดขายระหว่างกันในโซ่อุปทาน โดยผู้ส่งวัสดุ (supplier) จะสามารถเข้าถึงแผนการผลิตของผู้ซื้อได้ตลอดเวลา ผู้ส่งวัสดุจะต้องรับผิดชอบในการผลิตวัสดุของตนเองให้สอดคล้องกับแผนการผลิตของผู้ซื้อ ซึ่งหากผู้ซื้อมีการปรับเปลี่ยนแผนการผลิต ผู้ส่งวัสดุจะต้องมีการปรับเปลี่ยนตามแผนของผู้ซื้อ และโดยทั่วไปแล้ว ในการจัดการโซ่อุปทานแบบนี้ ผู้ส่งวัสดุจะรับผิดชอบต่อต้นทุนที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนแผนการผลิตเอง ซึ่งต้นทุนดังกล่าวประกอบด้วย ต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าที่ผลิตไปแล้วแล้วถูกยกเลิก ต้นทุนในการจัดเก็บวัตถุดิบที่สั่งซื้อมาตามแผนการผลิตเดิมแต่ไม่ถูกใช้ และต้นทุนที่เกิดจากการที่ต้องผลิตวัสดุหรือสินค้าที่เปลี่ยนใหม่ เนื่องจากไม่มีการวางแผนล่วงหน้าถ้ามีการผลิตใหม่อาจต้องมีการเพิ่มล่วงเวลาในการผลิต การเพิ่มภาระของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตเป็นต้น การที่จะหลีกเลี่ยงต้นทุนที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนดังกล่าวนั้น ผู้ส่งวัสดุสามารถที่จะกระทำผ่านการจัดตารางการผลิต (production scheduling) ได้ เพราะถ้างานที่ถูกปรับเปลี่ยนยังไม่ได้ผลิตเนื่องจากจัดลำดับการผลิตไว้ท้าย เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงคำสั่งซื้อขึ้นจะไม่มีผลกระทบต่อแผนการผลิตเดิมมากนัก ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการปรับเปลี่ยนคำสั่งซื้อของผู้ซื้อก็ไม่สูงมากนัก

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาถึงรูปแบบวิธีการจัดตารางการผลิตที่เหมาะสมต่อสถานการณ์การจัดการโซ่อุปทานแบบนี้ โดยใช้ฟังก์ชันเป้าหมายในรูปเวลาแทนต้นทุนที่เกิดจากการปรับเปลี่ยน เพราะในความเป็นจริงแล้วต้นทุนในการปรับเปลี่ยนนั้นกะประมาณได้ยากมาก เนื่องจากต้นทุนในการปรับเปลี่ยนขึ้นอยู่กับเวลาที่ปรับเปลี่ยนคำสั่งซื้อ เวลาในการผลิตงานใหม่หรือแม้แต่งานที่ถูกปรับเปลี่ยน การใช้ฟังก์ชันเป้าหมายในรูปเวลาจึงจะง่ายกว่าในการประเมิน ในที่นี้จึงใช้ฟังก์ชันเป้าหมายเรื่องเวลาแล้วเสร็จรวมของระบบ (makespan) เวลาของงานในระบบโดยเฉลี่ย (mean flow time) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาแล้วเสร็จรวมของระบบ (standard deviation of makespan)

วิธีการจัดตารางการผลิตทั้งหมด 8 วิธีการได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้เพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดการโซ่อุปทานดังกล่าว วิธีการทั้งหมดนั้นจะขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการผลิตของงานแต่ละงาน (total processing time) และความน่าจะเป็นในการปรับเปลี่ยนงานแต่ละงาน (changing probability) วิธีการทั้ง 8 วิธีการประกอบด้วย

วิธีการที่ 1 (R1) คือการจัดลำดับการผลิตตามเวลาที่ใช้ในการผลิต งานหรือคำสั่งซื้อที่มีเวลาในการผลิตน้อยที่สุดจะจัดเข้าสู่ระบบก่อน ตามด้วยงานหรือคำสั่งซื้อที่มีเวลาในการผลิตสูงขึ้น

วิธีการที่ 2 (R2) คือการจัดลำดับการผลิตเพื่อให้เวลาแล้วเสร็จรวมของระบบต่ำสุดในสถานการณ์ที่ไม่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงคำสั่งซื้อ ซึ่งการจัดจะใช้วิธีการจัดแบบ CDS

วิธีการที่ 3 (R3) คือการจัดลำดับการผลิตตามความน่าจะเป็นของการปรับเปลี่ยนคำสั่งซื้อ งานหรือคำสั่งซื้อที่มีความน่าจะเป็นในการปรับเปลี่ยนน้อยที่สุดจะถูกจัดเข้าสู่ระบบก่อน

วิธีการที่ 4 (R4) คือการจัดลำดับการผลิตโดยการผสมผสานระหว่าง R1 และ R3

วิธีการที่ 5 (R5) คือการจัดลำดับการผลิตโดยการผสมผสานระหว่าง R2 และ R3

วิธีการที่ 6 (R6) คือการจัดลำดับการผลิตโดยการใช้ค่าคาดหมายเวลาในการผลิตที่เลวร้ายที่สุด (worst case—total processing time) มาใช้ในการจัดตารางการผลิต โดยการจัดลำดับจะเรียงจาก ค่าคาดหมายเวลาในการผลิตที่เลวร้ายน้อยที่สุด เข้าสู่ระบบก่อน

วิธีการที่ 7 (R7) คือการจัดลำดับการผลิตโดยการใช้ค่าคาดหมายเวลาในการผลิตที่เลวร้ายที่สุด (worst case—total processing time) มาใช้ในการจัดตารางการผลิต โดยการจัดลำดับจะใช้วิธี CDS เช่นเดียวกับวิธี R2

วิธีการที่ 8 (R8) คือการจัดลำดับการผลิตโดยการใช้ค่าคาดหมายเวลาในการผลิตที่เลวร้ายที่สุด (worst case—total processing time) มาใช้ในการจัดตารางการผลิต โดยการจัดลำดับจะใช้การผสมผสานระหว่าง R6 และ R7

การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการจัดตารางการผลิตที่เสนอขึ้นทั้ง 8 วิธีนั้นกระทำโดยการจำลองสถานการณ์ (simulation) และทำการเปรียบเทียบทางสถิติ โดยผลการทดสอบและเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่าวิธี R5 เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในทุกฟังก์ชันเป้าหมาย ในเกือบทุกสถานการณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ

ดังนั้นสามารถที่จะสรุปได้ว่าวิธี R5 นั้นเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพต่อการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในโซ่อุปทานที่การปรับเปลี่ยนแผนการสั่งซื้อหรือส่งผลิตที่เกิดขึ้นได้ตลอดเวลา

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความสนับสนุนของหลายฝ่ายด้วยกัน ซึ่งนักวิจัยต้องขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) ที่สนับสนุนด้านเงินทุนและการให้การปรึกษาแนะนำที่เป็นประโยชน์ นอกจากนี้นักวิจัยต้องขอขอบคุณ รศ.ดร.สมเกียรติ รุจิเกียรติกำจร ที่เป็นนักวิจัยพี่เลี้ยงที่ให้คำปรึกษาแนะนำ ในการทำงานวิจัยชิ้นนี้ และ นายอรรถสิทธิ์ เครือค่านักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่ได้มีส่วนช่วยในการพัฒนาโปรแกรมการการจำลองสถานการณ์ที่นำมาใช้ในการทดสอบงานวิจัยนี้

ศุภชัย ปทุมนากุล

หัวหน้าโครงการวิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทนำ	10
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	13
ระเบียบวิธีวิจัย	18
ผลการวิจัย	22
ข้อสรุป และข้อเสนอแนะ	25
บรรณานุกรม	27
ภาคผนวก	29

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 เวลาในการผลิตของงานแต่ละงานในตัวอย่าง	11
ตารางที่ 2 ผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการจัดตารางการผลิตแบบต่างๆ	23

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 แผนภูมิแกนต์ของลำดับการผลิต J1, J2, J3 หากไม่มีการปรับเปลี่ยนแผน	11
รูปที่ 2 แผนภูมิแกนต์ของลำดับการผลิต J1, J2, J3 หากมีการปรับเปลี่ยนแผน	12
จาก J1 เป็น J2	
รูปที่ 3 แผนภูมิแกนต์ของลำดับการผลิต J3, J2, J1 หากไม่มีการปรับเปลี่ยนแผน	12
รูปที่ 4 แผนภูมิแกนต์ของลำดับการผลิต J3, J2, J1 หากมีการปรับเปลี่ยนแผน	13
จาก J1 เป็น J2	
รูปที่ 5 ผลการเปรียบเทียบวิธีการจัดตารางการผลิตที่ค่าฟังก์ชันเป้าหมาย makespan	24
รูปที่ 6 ผลการเปรียบเทียบวิธีการจัดตารางการผลิตที่ค่าฟังก์ชันเป้าหมาย mean flow time	24
รูปที่ 7 ผลการเปรียบเทียบวิธีการจัดตารางการผลิตที่ค่าฟังก์ชันเป้าหมาย standard deviation of makespan	25

กลยุทธ์การจัดตารางการผลิตในระบบการผลิตแบบต่อเนื่องภายใต้ ความไม่แน่นอนของคำสั่งซื้อของลูกค้า

บทนำ

ในปัจจุบัน การจัดการโซ่อุปทาน (supply chain management) นั้นมีความสำคัญมากในการเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันให้แก่ธุรกิจ กลยุทธ์หนึ่งที่มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการโซ่อุปทานในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเทคโนโลยีสูง เช่นในโซ่อุปทานการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (hard disk drive) คือการส่งถ่ายข้อมูลหรือแชร์ยอดขายระหว่างกันภายในโซ่อุปทาน โดยผู้ส่งวัสดุ (supplier) จะสามารถเข้าถึงแผนการผลิตของผู้ซื้อได้ตลอดเวลา ผู้ส่งวัสดุจะต้องรับผิดชอบในการผลิตวัสดุของตนเองให้สอดคล้องกับแผนการผลิตของผู้ซื้อ ซึ่งหากผู้ซื้อมีการปรับเปลี่ยนแผนการผลิต ผู้ส่งวัสดุจะต้องมีการปรับเปลี่ยนตามแผนของผู้ซื้อ และโดยทั่วไปแล้ว ในการจัดการโซ่อุปทานแบบนี้ ผู้ส่งวัสดุจะรับผิดชอบต่อต้นทุนที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนแผนการผลิตเอง ซึ่งต้นทุนดังกล่าวประกอบด้วย ต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าที่ผลิตไปแล้วแล้วถูกยกเลิก ต้นทุนในการจัดเก็บวัตถุดิบที่สั่งซื้อมาตามแผนการผลิตแต่ไม่ถูกใช้ และต้นทุนที่เกิดจากการที่ต้องผลิตวัสดุหรือสินค้าที่เปลี่ยนใหม่ เนื่องจากไม่มีการวางแผนล่วงหน้าถ้ามีการผลิตใหม่อาจต้องมีการเพิ่มงานล่วงเวลาในการผลิต การเพิ่มภาระของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น การที่จะหลีกเลี่ยงต้นทุนที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนดังกล่าวนั้น ผู้ส่งวัสดุสามารถที่จะกระทำการจัดการตารางการผลิต (production scheduling) ได้ เพราะถ้างานที่ถูกปรับเปลี่ยนยังไม่ได้ผลิตเนื่องจากจัดลำดับการผลิตไว้ท้าย เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงคำสั่งซื้อขึ้นจะไม่มีผลกระทบต่อแผนการผลิตเดิมมากนัก ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการปรับเปลี่ยนคำสั่งซื้อของผู้ซื้อก็ไม่สูงมากนัก

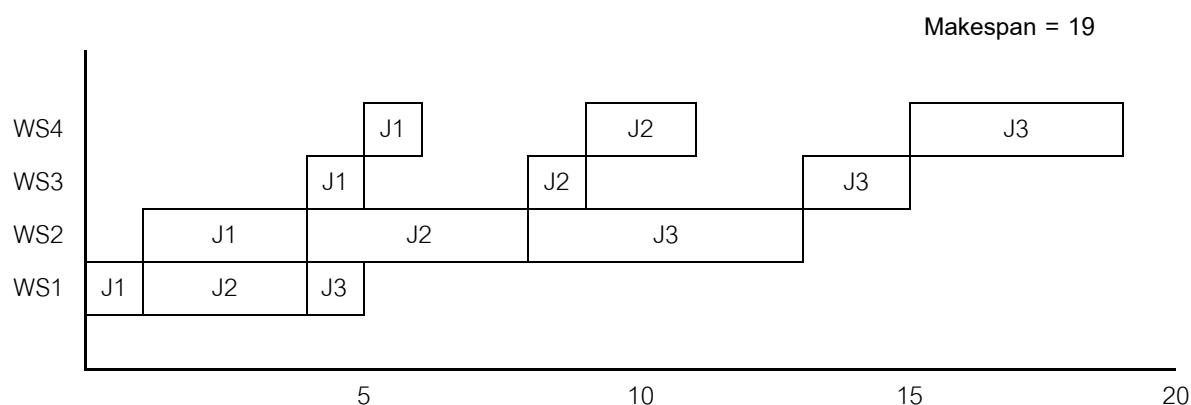
การนำฟังก์ชันเป้าหมายที่เป็นต้นทุนที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนแผนของผู้ซื้อมาใช้ในการจัดการตารางการผลิตอาจจะทำได้ยาก เพราะในความเป็นจริงแล้วต้นทุนในการปรับเปลี่ยนนั้นกะประมาณได้ยากมาก เนื่องจากต้นทุนในการปรับเปลี่ยนขึ้นอยู่กับเวลาที่ปรับเปลี่ยนคำสั่งซื้อ เวลาในการผลิตงานใหม่ หรือแม้แต่งานที่ถูกปรับเปลี่ยน การใช้ฟังก์ชันเป้าหมายในรูปเวลาจึงจะง่ายกว่าในการประเมิน ในงานวิจัยนี้จึงใช้ฟังก์ชันเป้าหมายเรื่องเวลาแล้วเสร็จรวมของระบบ (makespan) เวลาของงานในระบบโดยเฉลี่ย (mean flow time) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาแล้วเสร็จรวมของระบบ (standard deviation of makespan) โดยสามารถกล่าวได้ว่า ถ้าใช้เวลาในการจัดการตารางผลิตนานมากอันเนื่องมาจากการปรับเปลี่ยนแผนการผลิต สะท้อนให้เห็นว่ามีต้นทุนที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนแผนสูง ในขณะเดียวกันถ้าตารางการผลิตนั้นใช้เวลาในการผลิตไม่สูงมากนักจะหมายความว่าต้นทุนในการปรับเปลี่ยนแผนมีไม่สูงมากนัก

ซึ่งรูปแบบการนำวิธีการจัดการตารางการผลิตมาช่วยจัดการปัญหาการปรับเปลี่ยนแปลงแผนการผลิตของผู้ซื้อนั้น สามารถแสดงได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

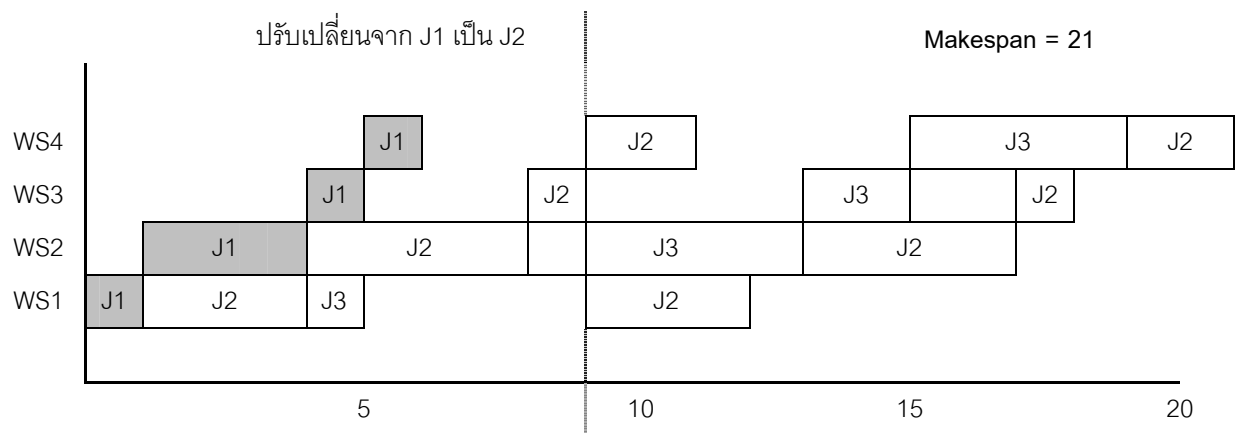
ในระบบโซ่อุปทานหนึ่งผู้ขายวัสดุได้วางแผนการผลิตวัสดุหรือชิ้นงานให้แก่ผู้ซื้อในโซ่อุปทาน โดยตามแผนการผลิตปัจจุบันจะต้องผลิตผลิตภัณฑ์ (งาน) 3 ชนิด ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่างาน J1, J2, J3 ซึ่งงานทั้ง 3 จะผลิตผ่านสถานีงาน 4 สถานี คือ WS1, WS2, WS3 และ WS4 ในรูปแบบการผลิตแบบต่อเนื่องคือไหลไปในทิศทางเดียวกัน โดย J1, J2 และ J3 มีเวลาการผลิตดังในตารางที่ 1 ถ้าหากผู้ส่งวัสดุวางแผนการผลิตโดยจัดลำดับการผลิต J1, J2, J3 เข้าสู่ระบบการผลิตตามลำดับ หากไม่มีการปรับเปลี่ยนแผนของผู้ซื้อเกิดขึ้น ค่า makespan ของระบบจะเท่ากับ 21 วัน (รูปที่ 1) แต่หากมีการปรับเปลี่ยนแผนการซื้อของผู้ซื้อในวันที่ 9 โดยมีการปรับเปลี่ยนจาก J1 เป็น J2 หมายความว่าผู้ซื้อไม่ต้องการงาน J1 แต่ต้องการงาน J2 แทน ผู้ผลิตหรือผู้ส่งจะต้องเก็บรักษา J1 ไว้เนื่องจากผลิตแล้วและยังต้องผลิต J2 เพิ่มขึ้นซึ่งจะเกิดต้นทุนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลง และมี makespan 21 วัน (รูปที่ 2) ในขณะที่หากผู้ผลิตหรือผู้ส่งวัสดุได้จัดลำดับการผลิตเป็น J3, J2 และ J1 เข้าสู่ระบบตามลำดับ จะมี makespan 15 วัน (รูปที่ 3) และหากมีการปรับเปลี่ยนแผนการซื้อของผู้ซื้อในวันที่ 9 โดยมีการปรับเปลี่ยนจาก J1 เป็น J2 จะส่งผลกระทบต่อแผนการผลิตเดิมไม่มากนักเพราะงาน J1 เพิ่งจะเริ่มผลิตที่ WS 1 เท่านั้น และงาน J2 สามารถที่จะทำการผลิตต่อเนื่องไปได้เรื่อยๆ จะทำให้มี makespan เท่ากับ 19 วันเท่านั้น (รูปที่ 4) ซึ่งเห็นได้ว่าการจัดลำดับการผลิต J3, J2, J1 จะมีประสิทธิภาพมากกว่าการจัดแบบ J1, J2, J3 ในสถานการณ์การปรับเปลี่ยนแผนดังกล่าว

ตารางที่ 1 เวลาในการผลิตของงานแต่ละงานในตัวอย่าง

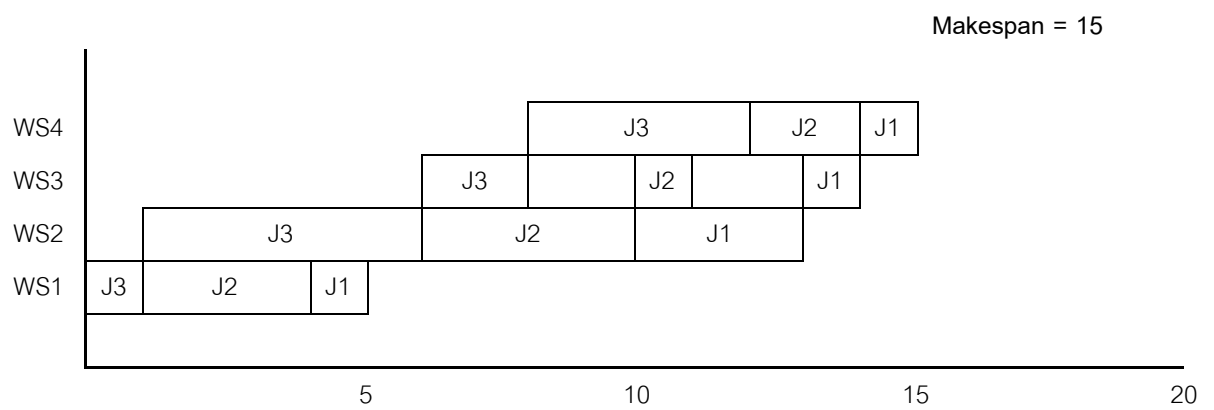
งาน	เวลาในการผลิต (วัน)			
	WS1	WS2	WS3	WS4
J1	1	3	1	1
J2	3	4	1	2
J3	1	5	2	4



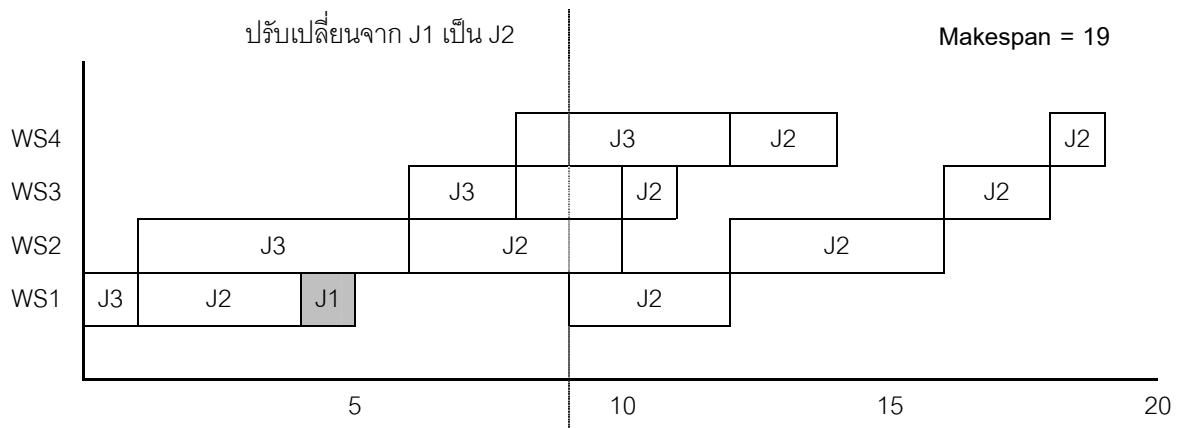
รูปที่ 1 แผนภูมิแกนต์ของลำดับการผลิต J1, J2, J3 หากไม่มีการปรับเปลี่ยนแผน



รูปที่ 2 แผนภูมิแกนต์ของลำดับการผลิต J1, J2, J3 หากมีการปรับเปลี่ยนแผนจาก J1 เป็น J2



รูปที่ 3 แผนภูมิแกนต์ของลำดับการผลิต J3, J2, J1 หากไม่มีการปรับเปลี่ยนแผน



รูปที่ 4 แผนภูมิแกนต์ของลำดับการผลิต J3, J2, J1 หากมีการปรับเปลี่ยนแผนจาก J1 เป็น J2

ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อทำการศึกษารูปแบบและวิธีการจัดตารางการผลิตที่มีประสิทธิภาพเพื่อให้สอดคล้องกับสถานการณ์การปรับเปลี่ยนแผนการซื้อของผู้ซื้อในโซ่อุปทาน เพื่อให้ makespan, mean flow time และ ค่า standard deviation ของ makespan มีค่าน้อยที่สุด

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความไม่แน่นอนของความต้องการสินค้า (demand uncertainty) ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความไม่แน่นอนนี้ได้มีการทำการวิจัยอย่างกว้างขวาง ทั้งความไม่แน่นอนของเครื่องจักร การใช้งานไม่ได้ของเครื่องจักร (machine uncertainty) ความไม่แน่นอนในด้านเวลาการผลิต (processing time uncertainty) ความไม่แน่นอนด้านการเตรียมเวลาการผลิต (set up time uncertainty) รวมทั้งความไม่แน่นอนในด้านความต้องการสินค้า (demand uncertainty) ซึ่งผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับความไม่แน่นอนเป็นดังนี้

ในการจัดการความไม่แน่นอนของความต้องการสินค้า Kadipasaoglu และ Sridharan (1995) ได้นำเสนอกลยุทธ์ด้าน การไม่เปลี่ยนแปลง (freezing) การกำหนดระดับสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์สุดท้าย (end-item safety stock) และการจัดตารางการผลิตแบบ lot for lot มาใช้ในการจัดการ ซึ่งจากงานวิจัยดังกล่าวพบว่า วิธีการไม่เปลี่ยนแปลง (freezing) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ

Allahverdi และ Fatih (1996) ได้ทำการศึกษาการจัดตารางผลิตบนระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง 2 เครื่องจักรภายใต้ปัญหาที่เกิดการใช้การไม่ได้ของเครื่องจักร (machine

breakdowns) โดยได้ให้คำจำกัดความของความไม่แน่นอนของการใช้การไม่ได้ของเครื่องจักร และได้แนะนำกฎการจัดลำดับ 5 ชนิด ประกอบด้วย Talwar Rule, Johnson's Rule, Diagonal Rule, Shortest Processing Time (SPT) และ Longest Processing Time (LPT) แก้ปัญหาเพื่อหาค่าเวลาการผลิตรวมที่น้อยที่สุด (min makespan) โดยได้ทำการจำลองสถานการณ์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของกฎการจัดลำดับ 5 ชนิด โดยนอกเหนือกฎการจัดลำดับทั้ง 5 ชนิดนี้แล้ว ยังมีอีก 1 กฎที่น่าสนใจคือ ให้เครื่องจักรที่ 1 เป็นแบบไม่แน่นอนเครื่องจักรที่ 2 เป็นแบบแน่นอน และเครื่องจักรที่ 2 เป็นแบบไม่แน่นอนเครื่องจักรที่ 1 เป็นแบบแน่นอน ซึ่งผลที่น่าพอใจ ผลการทดลองโดยกำหนดให้ช่วงเวลาที่เครื่องจักรพังและเวลาในการซ่อมแซมเป็นแบบเอกซโปเนนเชียล ซึ่ง Talwar Rule ให้ผลที่ดีและ Johnson's Rule ให้ผลที่ตรงลงมาเมื่อเกิดกรณีที่เครื่องจักรพัง

Johansen (1999) ได้นำการจำลองสถานการณ์ (simulation) เพื่อทดสอบเทคนิควิธีการกะประมาณขนาดของการผลิตต่อครั้ง (lot size) แบบต่างๆภายใต้ระดับความไม่แน่นอนของความต้องการสินค้าที่แตกต่างกัน จากงานวิจัยดังกล่าว นักวิจัยพบว่า เทคนิคการโปรแกรมเชิงพลวัต (dynamic programming) เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการกำหนดขนาดการผลิตต่อครั้ง ถ้าระดับความไม่แน่นอนของความต้องการสินค้าอยู่ในระดับต่ำ ในขณะที่นโยบาย (s,S) เป็นเทคนิควิธีที่เหมาะสมในสถานการณ์ที่ความไม่แน่นอนของความต้องการสินค้ามีสูง

การจัดตารางการผลิตเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงคำสั่งซื้อของลูกค้าหรือทรัพยากรการผลิตนั้นปรากฏในงานวิจัยของ Sun และ Xue (2001) การเปลี่ยนแปลงคำสั่งซื้อของลูกค้าในที่นี้รวมถึงการยกเลิกคำสั่งซื้อเดิม และการแทรกคำสั่งซื้อที่มีระดับความสำคัญสูงลงไปในการตารางการผลิตที่มีอยู่แล้ว การใช้รูปแบบการจับคู่และวิธีการผ่านตัวกลางได้ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงตารางการผลิตเดิม

Tang และ Grubbstorm (2002) ได้ทำการศึกษาการวางแผนในตารางการผลิตหลัก (master production schedule) เมื่อเกิดความไม่แน่นอนในคำสั่งซื้อสินค้า ในการศึกษานี้ได้จัดทำโมเดลในการกำหนดช่วงระยะเวลาในการปรับเปลี่ยนแผนการผลิตหลัก (replanning interval) และช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลงแผนการผลิตหลัก (freezing interval)

Gourgand (2003) ในบทความนี้เกี่ยวกับ การประเมินประสิทธิภาพและการจัดลำดับการผลิต m machine stochastic flow shop มีความไม่แน่นอนในเวลางาน พิจารณา F_m/C_{max} การแบ่งกลุ่มของงานใน stochastic flow shop กับความไม่แน่นอนในเวลางานอันดับแรก ในคำสั่งจะทำการประเมินประสิทธิภาพของการแก้ปัญหาของ algorithm ต่างๆ ประกอบด้วย combination heuristic (RA, CDS), Canningham and Dutta และ mata heuristic โดยทำการประเมินภายใต้เงื่อนไขของ markov chain เพื่อคำนวณเวลา

แล้วเสร็จคาดหวัง และทำประมาณค่าเวลาแล้วเสร็จคาดหวังโดยการจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง (discrete simulation) จากผลสรุปพบว่า algorithm ของ Cunningham and Dutta จะให้คำตอบที่ดีในกรณีที่มีเครื่องจักร 2 เครื่อง ส่วนในกรณี m machine พบว่า mata heuristic จะให้คำตอบดีกว่า combination heuristic (RA, CDS)

Jung และคณะ (2004) ได้ใช้วิธีการกำหนดระดับสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัย (safety stock) ในการจัดการกับความไม่แน่นอนของความต้องการสินค้าในอุตสาหกรรมผลิตเคมีภัณฑ์ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการจำลองสถานการณ์ (simulation) มาใช้ในการวิเคราะห์ระดับ safety stock ที่เหมาะสมต่อความพึงพอใจของลูกค้า

Pathumnakul และ Kruakrum (2004) ได้ทำการเปรียบเทียบกลยุทธ์การวางแผนการผลิต 4 แบบ คือการใช้เวลาการผลิตที่สั้นที่สุด (SPT) การจัดโดยใช้เวลาดังเครื่อง (setup time) ที่สั้นที่สุด การจัดงานโดยความน่าจะเป็น โดยในบทความนี้ความน่าจะเป็นจะมีรูปแบบการแจกแจงแบบเอกซ์โปเนนเชียล และการจัดงานโดยใช้ข้อมูลทั้งสามวิธีที่ผ่านมาตัดสินใจโดยการจัดงานมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะให้ได้เวลาการทำงานรวม (makespan) ที่น้อยที่สุดภายใต้สถานการณ์ที่ความต้องการของลูกค้าไม่แน่นอน เนื่องจากคำสั่งการผลิตสามารถเปลี่ยนแปลงได้รูปแบบของปัญหาจะเกี่ยวข้องกับการผลิตหลายผลิตภัณฑ์บนเครื่องจักรเครื่องเดียว การเปรียบเทียบกลยุทธ์ทั้ง 4 กลยุทธ์จะทำโดยวิธีการจำลองสถานการณ์ในปัญหาดังกล่าว และทำการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบทั้ง 4 กลยุทธ์ จากการเปรียบเทียบพบว่า การจัดงานแบบผสมผสานให้คำตอบที่ดีกว่าการจัดงานโดยวิธีอื่น

ในงานวิจัยของ Krever และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษา ระยะเวลาการทดแทนสินค้า (replenishment lead time) ปริมาณความต้องการ และ ปริมาณความต้องการที่ไม่แน่นอน ซึ่งนักวิจัยได้แนะนำจุดการสั่งซื้อใหม่ (reorder point) ที่ขึ้นอยู่กับระดับการบริการ (service level) และการกระจายความน่าจะเป็น 3 แบบ ในงานวิจัยพบว่าการใช้วิธีการที่นำเสนอสามารถช่วยเพิ่มระดับบริการสินค้าได้ภายใต้ ระดับสินค้าคงคลังเฉลี่ยต่ำ (low average stock)

Pawel และ Jerzy (2005) ได้จัดกลุ่มปัญหาการหาเวลาการผลิตรวม (makespan) ที่น้อยที่สุดบนการผลิตแบบต่อเนื่อง 2 เครื่องจักร เมื่อเวลาการทำงานเป็นแบบแน่นอน การจัดโดยใช้วิธีจอห์นสัน (Johnson's rule) จะให้คำตอบที่ดีที่สุด (optimal solution) แต่เมื่ออยู่ภายใต้เงื่อนไขของเวลาการทำงานที่ไม่แน่นอนและมีการการแจกแจงแบบเอกซ์โปเนนเชียล (exponential distribution) Talwar's rule ได้คำตอบที่น้อยที่สุด สำหรับเวลาการแจกแจงแบบนี้ คำตอบที่ได้จะเป็นแบบค่าคาดหวัง (expected makespan) โดยในงานวิจัยนี้ได้แสดงวิธีการแก้ปัญหาการหาเวลาการผลิตรวม (makespan) ที่น้อยที่สุดบนการผลิตแบบต่อเนื่อง 2 เครื่องจักร และรูปแบบของการแจกแจงของเวลาการทำงานจะเป็นแบบ Weibull โดยจะได้วิธีการ

จัดลำดับแบบใหม่ขึ้นมาโดยใช้ทั้ง 2 วิธีการ Johnson's rule และ Talwar's rule ร่วมกันโดยจะใช้เป็นกรณีพิเศษ นอกจากนี้ยังนำเสนอวิธีการใช้วิธีสถิติ กฎการจัดลำดับที่นำเสนอนี้สามารถประยุกต์ใช้เมื่อเวลาการทำงานที่ทราบค่าเฉลี่ยและทราบค่าสัมประสิทธิ์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์จะให้ค่าคาดหวังเวลาการผลิตรวม (makespan) ที่น้อยที่สุด

Xie และคณะ (2006) ได้กำหนดความไม่แน่นอนของความต้องการสินค้าในรูปแบบ เซตคลุมเครือ (fuzzy set) และได้พัฒนากฎที่เป็นการประสาน 2 ระดับที่ขึ้นอยู่กับการควบคุมสินค้าคงคลัง และนำมาประยุกต์ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของโซ่อุปทาน

ซึ่งจากงานวิจัยเหล่านี้ได้เสนอวิธีการการแก้ไขปัญหาการจัดตารางการผลิตภายใต้สถานการณ์ภายใต้สถานการณ์ความไม่แน่นอนแบบต่างๆ และยังมีงานวิจัยอื่นๆ ที่ใช้การจำลองสถานการณ์ในการแก้ปัญหการจัดตารางการผลิตภายใต้รูปแบบของการผลิตและเงื่อนไขอื่นๆ ดังนี้

Holthaus (1997) ได้ออกแบบวิธีการจัดตารางการผลิตสำหรับการผลิตแบบ job shop โดยพัฒนาและปรับปรุงจากวิธีการเดิมที่มีอยู่แล้ว เช่น FIFO (first in first out) , AT(arrival time) , TIS (time in system) , SPT, WINQ (work in next queue) และ RR (rule by Raghu & Rajendran) ให้เป็นวิธีการใหม่เรียกว่า combination rule เช่น PT + WINQ , (PT+WINQ) / TIS, RAN(SPT,WINQ) เป็นต้น ตัวชี้วัดวิธีการจัดตารางการผลิตในที่นี้คือ flow time และ due-date การเปรียบเทียบประสิทธิภาพทำการจำลองสถานการณ์ภายใต้ความไม่แน่นอน ภายใต้เวลาของการผลิต เวลาในการจัดส่งสินค้า จากผลการทดลองที่ได้ SPT , WINQ , PT+WINQ ให้ค่าคำตอบที่น่าพอใจ

Kim (1997) ได้ทำการจัดตารางการผลิตในระบบการผลิตแบบสั่งทำ กรณีที่เวลาการติดตามงานเป็นเวลาที่แน่นอน สำหรับตัวชี้วัดที่ใช้ประเมินกฎการจัดงานต่างๆ ประกอบด้วย average flow time per job, average work-in-process inventory per day, average finished goods inventory per day, proportion of jobs tardy, average tardiness per job, average machine utilization และ average total daily cost (inventory holding cost + late penalty cost) ได้ทำการทดลองด้วยวิธีการจำลองสถานการณ์โดยให้เวลาการมาที่มีการแจกแจงเป็นแบบพอยซอง เวลาการทำงานมีค่าเฉลี่ย 2.5 ชั่วโมง มีส่วนเบี่ยงเบนอยู่ที่ 0.5 ถึง 2.5 ชั่วโมง ประสิทธิภาพของเครื่องจักร 90% จำนวนงานย่อยไม่เกิน 15 งาน สำหรับวิธีการจัดจะใช้กฎทั้งหมด 4 ข้อได้แก่ JIS (job of identical setup), SIMSET (similar setup), CR (critical ratio) และ SPT (shortest processing time) ผลการทดลอง 20 ตัวอย่างพบว่าพิจารณา flow time วิธี JIS ให้ค่าที่ต่ำที่สุด, พิจารณา WIP Inventory/day วิธี SIMSET ให้ค่าที่ต่ำที่สุด, พิจารณา FG Inventory/day วิธี CR

ให้ค่าที่ต่ำที่สุด, พิจารณา tardiness/job วิธี JIS ให้ค่าที่ต่ำที่สุด, พิจารณา Total cost วิธี JIS ให้ค่าที่ต่ำที่สุด

Mohamed และ Richard (1998) ได้ทำการศึกษาปัญหาการจัดตารางการผลิตงานที่เป็นอิสระต่อกันบนเซตของเครื่องจักรที่วางแผนงานกันซึ่งมีเวลาการทำงานเป็นแบบสุ่ม วิธีการคือ การหาผลรวมของน้ำหนักของเวลาแล้วเสร็จคาดหวังที่ดีที่สุด และความน่าจะเป็นในการที่จะพบกับกับเวลาที่จัดส่ง วิธีการนี้ได้นำเสนอวิธีการจัดงานแบบ EETC และ dynamic programming จากตัวอย่าง วิธีการจัดโดย dynamic programming จะให้คำตอบที่ดีกว่าการจัดแบบ EECT เพราะว่าจะเป็นการกระจายงานให้สมดุลกับเวลาการทำงานของแต่ละเครื่องจักร

Gupta, A. K. and Sarawgi, S. (2002) ได้ทำการจำลองสถานการณ์ภายใต้สถานการณ์ที่ต้องตัดสินใจในการวางแผนการจัดตารางการผลิตของกระบวนการผลิตพลาสติก (plastic processing section ,PPS) ที่บริษัท Bharti Telecom Ltd, Gurgaon, India. ซึ่งข้อมูลของโรงงานมีความซับซ้อนมาก โดยรวมถึงผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย ลำดับการจัดตั้งก่อนการผลิตที่เป็นอิสระต่อกัน เครื่องจักรที่มีการทำงานแบบเฉพาะอย่าง การกำจัดเชื้อราในกระบวนการ และอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับความผันแปรของการจัดตารางการผลิตและทางเลือกของกระบวนการ ภายใต้สถานการณ์ที่ต้องตัดสินใจ ในการวางแผนการจัดตารางการผลิตเริ่มต้นที่การวางแผนการผลิตแบบทำด้วยมือและจะมีขอบเขตของเครื่องมือในการจำลองสถานการณ์เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของโรงงาน โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองรูปแบบสภาพแวดล้อมของตารางการผลิตที่แตกต่างกัน ประสิทธิภาพของโรงงานจะผันแปรตามเงื่อนไขเริ่มต้นของเครื่องจักร, ภาระงานในระบบ, กฎการจัดลำดับการผลิต (sequencing rule) และอื่นๆ ถ้าผู้ใช้งานต้องการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์และสถานการณ์ที่แตกต่างกันการใช้การจำลองสถานการณ์จะได้ผลการจัดลำดับการผลิตที่ดี ในท้ายสุดจะแสดงผลการทดลองในการจำลองสถานการณ์กับการนำกระบวนการนี้ไปใช้งานจริงในโรงงาน

Méndez, C. A. และ Cerdá, J. (2003) ได้นำเสนอพัฒนา MILP ขึ้นใหม่ สำหรับการจัดลำดับการผลิตแบบทันที่ของ multiproduct batch plants ที่จะทำได้คำตอบเหมาะสม และ ทันต่อเหตุการณ์ เมื่อเกิดเหตุการณ์ใดๆ ขึ้นอย่างฉับพลันและหลีกเลี่ยงไม่ได้ แต่คำตอบที่ได้ไม่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด โดยวิธีการที่ใช้อยู่บนพื้นฐานของปัญหาที่มีเวลาแบบต่อเนื่อง ข้อจำกัดในการปรับเปลี่ยนลำดับการผลิตในปัจจุบันหรือการ rescheduling จะเกี่ยวข้องกับ reordering และจำนวนที่สั่งผลิตไว้ใน batch เก่าตลอดจนการแทรกเข้ามาของ batch ใหม่

ระเบียบวิธีวิจัย

เนื่องจากการวิจัยเกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิตภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการของผู้ซื้อ (demand uncertainty) และในสถานการณ์ที่สามารถกะประมาณความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงคำสั่งซื้อของผู้ซื้อได้ ในการดำเนินการวิจัยจึงได้เริ่มจากการศึกษาองค์ประกอบที่สำคัญที่มีอิทธิพล (influencing factors) ต่อค่าฟังก์ชันเป้าหมาย (objective functions) ของงานวิจัยนี้ ซึ่งประกอบด้วยค่า makespan, mean flow time และ standard deviation of makespan หลังจากนั้นได้นำองค์ประกอบดังกล่าวมาใช้ในการกำหนดวิธีการจัดตารางการผลิต (scheduling methods) ที่เหมาะสมต่อการจัดการโซ่อุปทานที่เป็นปัญหาของงานวิจัยนี้

- **องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อค่าฟังก์ชันเป้าหมาย (influencing factors)**

องค์ประกอบหลัก 2 องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อค่าฟังก์ชันเป้าหมายของงานวิจัยนี้คือ องค์ประกอบด้านเวลาในการผลิตของงานแต่ละงาน (processing time) และ องค์ประกอบด้านความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงคำสั่งซื้อของผู้ซื้อหรือผู้ส่งวัสดุ (changing probability) ในโซ่อุปทาน ในด้านองค์ประกอบด้านเวลาการผลิตนั้น ถ้างานที่ถูกละทิ้งเป็นงานที่ใช้เวลาในการผลิตนาน และได้ทำการผลิตไปแล้ว ย่อมมีผลกระทบต่อเวลาในการผลิตของงาน ในขณะเดียวกันถ้างานที่ถูกละทิ้งหรือถูกปรับเปลี่ยนมีเวลาในการผลิตสั้น ถ้าหากมีการผลิตไปแล้ว การยกเลิกงานนั้นนั้นอาจจะไม่มีผลกระทบต่อค่าฟังก์ชันเป้าหมายมากนัก ในการจัดตารางการผลิตภายใต้ความไม่แน่นอนของคำสั่งซื้อของผู้ซื้อนั้น การจัดงานงานที่มีเวลาในการผลิตต่ำเข้าสู่ระบบการผลิตก่อน น่าจะเป็นประโยชน์ต่อค่าฟังก์ชันเป้าหมายของการจัดตารางการผลิตมากกว่า การจัดงานที่มีเวลาในการผลิตสูงเข้าสู่ระบบก่อน ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงคำสั่งซื้อของผู้ซื้อเกิดขึ้น ในด้านองค์ประกอบด้านความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงคำสั่งซื้อของผู้ซื้อในโซ่อุปทาน งานที่มีความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงต่ำจะไม่มีผลกระทบหรือมีผลกระทบน้อยต่อค่าฟังก์ชันเป้าหมาย ในขณะที่งานที่มีความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงสูงจะมีผลกระทบต่อค่าฟังก์ชันเป้าหมายค่อนข้างสูง ดังนั้นการจัดงานที่มีโอกาสหรือความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงต่ำเข้าสู่ระบบก่อน น่าจะมีผลกระทบต่อค่าฟังก์ชันเป้าหมายน้อยกว่าการจัดงานที่มีโอกาสหรือความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงสูงเข้าสู่ระบบก่อน

- **วิธีการจัดตารางการผลิต (scheduling methods)**

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการจัดตารางการผลิต 8 วิธีเพื่อใช้ในการจัดตารางการผลิต เมื่อมีความไม่แน่นอนของคำสั่งซื้อของลูกค้าเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยวิธีการผลิตทั้งหมดนี้จะพัฒนามาจากองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อค่าฟังก์ชันเป้าหมายของปัญหา เพื่อให้การอธิบายรายละเอียดของวิธีการจัดตารางการผลิตแบบต่างๆ ง่ายต่อความเข้าใจ ในที่นี้จะกำหนดตัวแปรต่างๆ ดังนี้

- m : จำนวนสถานีงานหรือเครื่องจักรที่ใช้ในระบบการผลิตนี้,
- n : จำนวนงานหรือคำสั่งซื้อของผู้ซื้อวัสดุในระบบโซ่อุปทาน,
- p_{ij} : เวลาในการผลิตงาน i บนสถานีงาน j ,
- c_{ik} : ความน่าจะเป็นในการที่งาน i จะถูกผู้ซื้อเปลี่ยนเป็นงาน k .

รายละเอียดวิธีการจัดตารางการผลิตทั้ง 8 วิธีเป็นดังนี้

วิธีที่ 1 (R1) เป็นวิธีการจัดตารางการผลิตโดยอาศัยเวลาในการผลิตรวมของงานเป็นตัวกำหนด งานที่มีเวลาในการผลิตรวมต่ำสุดจะถูกจัดเข้าสู่ระบบก่อน ซึ่งการคำนวณหาเวลาการผลิตรวมของแต่ละงานสามารถ คำนวณได้ดังสมการ (1)

$$P_i = \sum_{j=1}^m p_{ij} \quad (1)$$

เมื่อ P_i เป็นเวลาในการผลิตรวมของงาน i บนทุกสถานีงาน

วิธีที่ 2 (R2) เป็นวิธีการจัดตารางการผลิตโดยอาศัยรูปแบบการจัดตารางการผลิตเพื่อให้เวลาแล้วเสร็จรวมของระบบต่ำสุด (min makespan) ภายใต้สถานการณ์ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงคำสั่งซื้อของลูกค้า ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการทางฮิวริสติกส์ของ CDS (Campbell et al., 1970) มาใช้ในการจัดลำดับการเข้าสู่ระบบของงาน

วิธีที่ 3 (R3) เป็นวิธีการจัดตารางการผลิตโดยอาศัยความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงคำสั่งซื้อของผู้ซื้อมาใช้ในการจัดตาราง โดยการจัดลำดับการเข้าสู่ระบบจะเรียงลำดับจากงานที่มีค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นของการปรับเปลี่ยนงานต่ำสุดเข้าสู่ระบบก่อน ซึ่งการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นของการปรับเปลี่ยนงานเป็นดัง (2)

$$\text{ค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นในการปรับเปลี่ยนงาน } i = \frac{\sum_{k=1}^n c_{ik}}{n} \quad (2)$$

วิธีที่ 4 (R4) เป็นวิธีการจัดตารางการผลิตโดยผสมผสานระหว่างวิธี R1 และ R2 โดยการผสมผสานนั้นจะใช้ค่าที่เรียกว่า ดัชนีความสำคัญ (priority index) ซึ่งคำนวณได้จากการนำลำดับการเข้าสู่ระบบของงานนั้นภายใต้ R1 มารวมกับลำดับการเข้าสู่ระบบของงานนั้นภายใต้ R2 ตัวอย่างเช่น ถ้างาน J1 มีลำดับการเข้าสู่ระบบการผลิตเป็นลำดับที่ 1 ในวิธีการจัดแบบ R1 แต่ในขณะเดียวกันมีลำดับการเข้าสู่ระบบการผลิตเป็นลำดับที่ 2 ภายใต้การจัดแบบ R2 แสดงว่างาน J1 นี้มีดัชนีความสำคัญ (priority index) เท่ากับ 3 โดยการจัดลำดับการเข้าสู่ระบบจะเรียงลำดับจากงานที่ดัชนีความสำคัญน้อยที่สุดเข้าสู่ระบบการผลิตก่อน ถ้าหากมีงานมากกว่า 1 งานที่มีดัชนีความสำคัญเท่ากัน ให้เลือกงานเข้าสู่ระบบการผลิตนั้นโดยสุ่ม

วิธีที่ 5 (R5) เป็นวิธีการจัดตารางการผลิตโดยผสมผสานระหว่างวิธี R2 และ R3 โดยการผสมผสานนั้นจะใช้ค่าที่เรียกว่า ดัชนีความสำคัญ (priority index) ซึ่งคำนวณเช่นเดียวกับที่อธิบายไว้ที่วิธี R4 โดยการจัดลำดับการเข้าสู่ระบบจะเรียงลำดับจากงานที่ดัชนีความสำคัญน้อยที่สุดเข้าสู่ระบบการผลิตก่อน ถ้าหากมีงานมากกว่า 1 งานที่มีดัชนีความสำคัญเท่ากัน ให้เลือกงานเข้าสู่ระบบการผลิตนั้นโดยสุ่ม

วิธีที่ 6 (R6) เป็นวิธีการจัดตารางการผลิตโดยใช้เวลาการผลิตที่ปรับปรุงใหม่ (modified processing time) โดยเวลาการผลิตที่ปรับปรุงใหม่นี้เป็นเวลาที่จะประมาณเวลาการผลิตที่เลวร้ายที่สุด (worst case processing time) ซึ่งหมายถึงสถานการณ์ที่งานที่ถูกเปลี่ยนนั้นได้ทำการผลิตเสร็จสิ้นแล้วและไม่ถูกยกเลิก และจะต้องผลิตงานใหม่แทน เวลาในการผลิตที่ปรับปรุงใหม่นี้ คำนวณจากผลบวกของเวลาการผลิตของงานนั้น รวมกับค่าความคาดหวังสูงสุดของเวลาการผลิตที่จะต้องเพิ่มขึ้นจากการผลิตงานใหม่ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ (3)

$$\hat{P}_i = \sum_{j=1}^n p_{ij} + \max_{\forall k} \left\{ c_{ik} \times \sum_{j=1}^n p_{kj} \right\} \quad (3)$$

เมื่อ $\hat{P}_i$ เป็นเวลาที่ปรับปรุงใหม่ของงาน i .

ซึ่งวิธี R6 นี้จะจัดตารางการผลิตคล้ายกับ R1 แต่จะจัดงานโดยใช้ $\hat{P}_i$ แทนค่า P_i ซึ่งจะเป็นการเรียงลำดับการผลิตจากงานที่มีค่า $\hat{P}_i$ ต่ำสุดเข้าสู่ระบบก่อน

วิธีที่ 7 (R7) เป็นวิธีการจัดตารางการผลิตคล้ายกับ R2 โดยใช้วิธีการ CDS (Campbell et al., 1970) แต่ใช้เวลาการผลิตที่ปรับปรุงใหม่ (modified processing time) ที่คำนวณได้จากสมการ (3)

วิธีที่ 8 (R8) เป็นวิธีการจัดตารางการผลิตโดยผสมผสานระหว่างวิธี R6 และ R7 โดยการผสมผสานนั้นจะใช้ค่าที่เรียกว่า ดัชนีความสำคัญ (priority index) ซึ่งคำนวณเช่นเดียวกับที่อธิบายไว้ที่วิธี R4 โดยการจัดลำดับการเข้าสู่ระบบจะเรียงลำดับจากงานที่ดัชนีความสำคัญน้อยที่สุดเข้าสู่ระบบการผลิตก่อน ถ้าหากมีงานมากกว่า 1 งานที่มีดัชนีความสำคัญเท่ากัน ให้เลือกงานเข้าสู่ระบบการผลิตนั้นโดยสุ่ม

- **การวิเคราะห์วิธีการจัดตารางการผลิตโดยการจำลองสถานการณ์ (simulation based analysis)**

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการจัดตารางการผลิตแต่ละแบบนั้นได้กระทำการจำลองสถานการณ์ (simulation) โดยได้จำลองสถานการณ์ของระบบการผลิตแบบต่อเนื่องที่มีเครื่องจักรตั้งแต่ 4 สถานะงานถึง 10 สถานะงาน ในการจัดงานตั้งแต่ 8 งานถึง 12 งาน เวลาในการผลิตของงานแต่ละงานนั้นได้จากการสุ่มโดยการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบคงที่ (uniform distribution) ที่มีขนาด $[1, 10]$ และการปรับเปลี่ยนงานแต่ละงานมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (exponential distribution) การจำลองสถานการณ์จะพิจารณาบนสถานการณ์ที่เวลาการผลิตของงานในการจัดลำดับมีสัดส่วนความแตกต่างกัน (p - ratio) ประมาณ 25%, 50% และ 75% และสถานการณ์ที่มีสัดส่วนความน่าจะเป็นในการปรับเปลี่ยนงาน (c - ratio) ประมาณ 25%, 50% และ 80% การคำนวณหาค่า p - ratio และ c - ratio เป็นดังสมการ (4) และ (5) ตามลำดับ

$$p - ratio = \frac{P_{i^*}}{P_{k^*}} \times 100 \quad (4)$$

$$c - ratio = \frac{c_{i^*k^*}}{c_{i^*k^*}} \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ $P_{i^*} = \min \{P_i, \text{ for } i=1,2,\dots,n\}$ and $P_{k^*} = \max \{P_k, \text{ for } k=1,2,\dots,n\}$ และ $c_{i^*k^*} = \min \{c_{ik}, \text{ for } i, k = 1,2,\dots,n\}$ and $c_{i^*k^*} = \max \{c_{ik}, \text{ for } i,k=1,2,\dots,n\}$

การวิเคราะห์โดยการจำลองสถานการณ์จะใช้หลักการเดียวกันกับงานวิจัยของ Holthaus (1997) โดยทำการทดสอบแต่ละสถานการณ์ 20 ครั้ง และอาศัยการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ ANOVA และวิธีการ Duncan's multiple range test (Montgomery, 2001) ซึ่งการทดสอบดังกล่าวจะทำให้เกิดความผิดพลาดทางสถิติประเภทที่ 1 ด้วย α ไม่เกิน 5% โดยมีฟังก์ชันเป้าหมาย 3 แบบคือ mean flow time ($\bar{M}$), makespan ($M_{\max}$) and standard deviation of makespan ($\sigma_{\max}$)

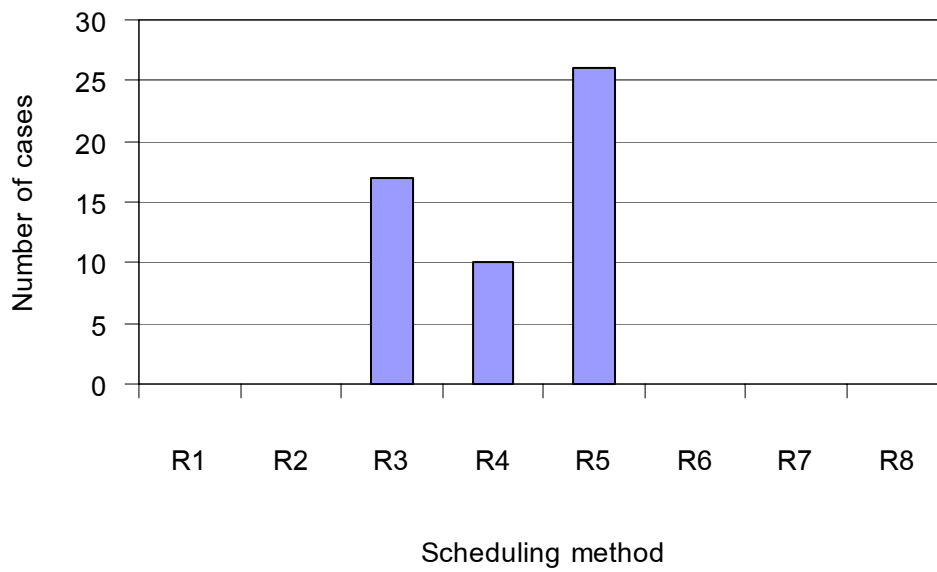
ผลการวิจัย

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการจัดตารางการผลิตทั้ง 8 วิธีนั้น เป็นดังตารางที่ 2 ซึ่งสามารถแปรผลได้ว่าวิธีใดดีกว่าวิธีใดในทางสถิติ เช่นในกรณีจัดงาน 10 งาน ที่เวลาในการผลิตของงานแต่ละงานในระบบมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก $c - ratio = 25\%$ และความน่าจะเป็นในการปรับเปลี่ยนงานมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก $p - ratio = 25\%$ วิธีการ R5 จะให้ผลที่ดีกว่าวิธีอื่นในทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญในทุกๆฟังก์ชันเป้าหมาย

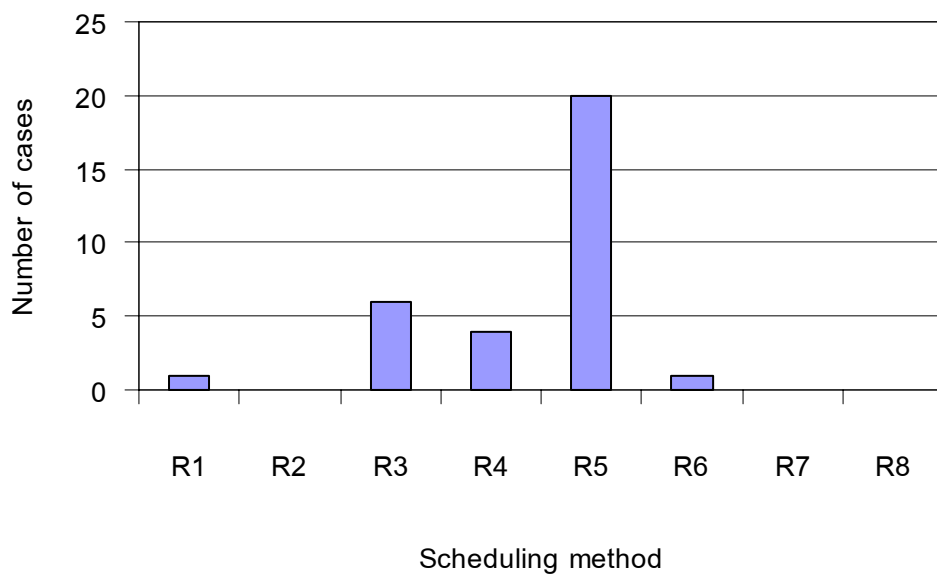
จากตารางที่ 2 พบว่าวิธี R5 เป็นวิธีที่ดีกว่าวิธีอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทุกๆค่าฟังก์ชันเป้าหมาย ซึ่งจากการจำลองสถานการณ์ทั้งหมด 36 สถานการณ์ (ขนาดงาน 3 ขนาด, ค่า p -ratio 4 ค่า และ ค่า $c - ratio$ 3 ค่า) วิธี R5 เป็นมีวิธีการที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธีอื่นใน 26 สถานการณ์ในกรณีของฟังก์ชันเป้าหมาย makespan และ 20 สถานการณ์ในกรณีฟังก์ชันเป้าหมาย mean flow time และในกรณีฟังก์ชันเป้าหมาย standard deviation of makespan ซึ่งผลการเปรียบเทียบแสดงดังในรูปที่ 5, 6 และ 7 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการจัดตารางการผลิตแบบต่างๆ

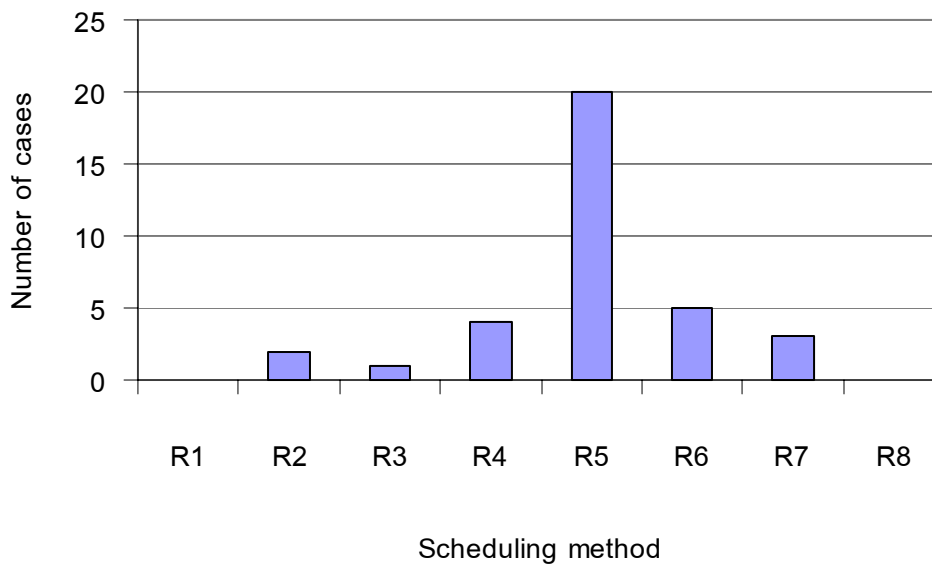
	จำนวนงาน								
	8			10			12		
	$\bar{M}$	$M_{\max}$	σ_M	$\bar{M}$	$M_{\max}$	σ_M	$\bar{M}$	$M_{\max}$	σ_M
$p\text{-ratio} = 25\%$ $c\text{-ratio} = 25\%$	R3, R5	R3, R5	R5	R5	R5	R5	R3, R4, R5	R5	R5
$p\text{-ratio} = 25\%$ $c\text{-ratio} = 50\%$	R3, R5	R5	R5	R5	R4, R6	R5	R3, R4, R5	R5	R5
$p\text{-ratio} = 25\%$ $c\text{-ratio} = 75\%$	R3, R4, R5	R5	R5	R5	R5	R5	R3, R4, R5	R5	R5
$p\text{-ratio} = 25\%$ $c\text{-ratio} = 90\%$	R4, R5	R4, R5	R4, R5	R4, R5	R4, R5	R4, R5	R3, R5	R1	R5
$p\text{-ratio} = 50\%$ $c\text{-ratio} = 25\%$	R3, R5	R3, R5	-	R3, R5	R4, R5	R6	R3, R4, R5	R5	R6
$p\text{-ratio} = 50\%$ $c\text{-ratio} = 50\%$	R3, R4, R5	R4, R5	-	R5	R5	R5	R3, R5	R5	R4
$p\text{-ratio} = 50\%$ $c\text{-ratio} = 75\%$	R3, R4, R5	R3	R5	R3, R5	R5	R3, R5	R3, R5	-	R5
$p\text{-ratio} = 50\%$ $c\text{-ratio} = 90\%$	R3, R5	-	R2, R5	R4, R5	-	R2, R5	R3, R5	R5	R5
$p\text{-ratio} = 80\%$ $c\text{-ratio} = 25\%$	-	-	-	R5	R5	R5	-	-	-
$p\text{-ratio} = 80\%$ $c\text{-ratio} = 50\%$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$p\text{-ratio} = 80\%$ $c\text{-ratio} = 75\%$	-	R4	R7	-	-	R7	-	-	R7
$p\text{-ratio} = 80\%$ $c\text{-ratio} = 90\%$	R5	R4, R5	R4, R6	-	-	R6	-	-	R6



รูปที่ 5 ผลการเปรียบเทียบวิธีการจัดตารางการผลิตที่ค่าฟังก์ชันเป้าหมาย makespan



รูปที่ 6 ผลการเปรียบเทียบวิธีการจัดตารางการผลิตที่ค่าฟังก์ชันเป้าหมาย mean flow time



รูปที่ 7 ผลการเปรียบเทียบวิธีการจัดตารางการผลิตที่ค่าฟังก์ชันเป้าหมาย standard deviation of makespan

ข้อสรุป และข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงปัญหาในการจัดการใช้อุปกรณ์แบบของอุตสาหกรรม ไฮเทค เช่น อุตสาหกรรม ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ที่มีการจัดการใช้อุปกรณ์โดยการส่งถ่ายข้อมูลหรือการแชร์ข้อมูลระหว่างผู้ส่งวัสดุ และผู้ซื้อในใช้อุปกรณ์ ในด้านปริมาณการขายและแผนการผลิต โดยผู้ส่งวัสดุจะได้ข้อมูลยอดขายและแผนการผลิตของผู้ซื้อตลอดเวลา ผู้ส่งวัสดุมีหน้าที่ในการนำแผนการผลิตของผู้ซื้อมาทำการวางแผนการผลิตของตนเอง เพื่อให้สอดคล้องกับแผนการผลิตของผู้ซื้อ ซึ่งหากผู้ซื้อมีการปรับเปลี่ยนแผนการผลิต ผู้ส่งวัสดุจะต้องปรับเปลี่ยนแผนตาม ซึ่งต้นทุนที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนแผนนี้ผู้ส่งวัสดุจะเป็นผู้รับผิดชอบ ดังนั้นผู้ส่งหรือผู้ขายจะต้องกำหนดกลยุทธ์หรือวิธีการในการจัดการใช้อุปกรณ์ดังกล่าว เพื่อให้ต้นทุนนั้นต่ำสุด ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาและนำเสนอวิธีการจัดตารางการผลิต 8 วิธีด้วยกัน เพื่อนำมาใช้ในการจัดตารางการผลิตภายใต้สถานการณ์ความไม่แน่นอนของความต้องการสินค้าของผู้ซื้อแบบต่างๆ โดยอาศัยวิธีการจำลองสถานการณ์และการวิเคราะห์ทางสถิติ วิธีการทั้ง 8 วิธีที่พัฒนาขึ้นนี้จะอาศัยองค์ประกอบด้านเวลาในการผลิตของคำสั่งซื้อแต่ละคำสั่งซื้อ และความน่าจะเป็นในการปรับเปลี่ยนคำสั่งซื้อแต่ละคำสั่งซื้อ ส่วนฟังก์ชันเป้าหมายที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้ เวลาแทนต้นทุนการปรับเปลี่ยน เนื่องจากต้นทุนในการปรับเปลี่ยนนั้นประเมินได้ยาก เพราะต้องขึ้นอยู่กับเวลาของการปรับเปลี่ยน เวลาของงานที่

ทำการปรับเปลี่ยน ความสำคัญของงานที่ทำการปรับเปลี่ยน และค่าเก็บรักษาในกรณีงานที่ทำการปรับเปลี่ยนนั้นได้ทำการผลิตไปแล้ว ดังนั้นฟังก์ชันเป้าหมายที่นำมาใช้จะเป็นค่าเวลาที่แล้วเสร็จของงาน (makespan) เวลาของงานในระบบโดยเฉลี่ย (mean flow time) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาแล้วเสร็จของงาน (standard deviation of makespan)

การเปรียบเทียบวิธีการจัดตารางการผลิตที่พัฒนาขึ้นทั้ง 8 วิธีนั้นทำโดยการจำลองสถานการณ์และการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยพบว่าวิธี R5 ซึ่งเป็นวิธีที่เกิดจากการผสมผสานระหว่างการจัดลำดับการผลิตเพื่อให้ค่า makespan ต่ำสุดภายใต้สถานการณ์ที่ไม่มีการปรับเปลี่ยนคำสั่งซื้อ (จัดลำดับการผลิตโดยวิธี CDS) และวิธีการจัดลำดับการผลิตตามความน่าจะเป็นของการปรับเปลี่ยนเป็นวิธีการที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทุกๆฟังก์ชันเป้าหมาย

การนำวิธี R5 มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมจริงนั้นมีความเป็นไปได้และเหมาะสม เพราะสามารถนำมาใช้ได้ง่ายและได้ผลที่มีประสิทธิภาพ แต่การใช้เวลาแทนค่าใช้จ่ายในการปรับเปลี่ยนนั้นอาจจะยังไม่สะท้อนถึงความเป็นจริงในอุตสาหกรรม การกะประมาณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการปรับเปลี่ยนแผนการผลิตของผู้ซื้อในโซ่อุปทานเป็นสิ่งที่ท้าทาย และสามารถนำมาใช้ในการกำหนดค่าฟังก์ชันเป้าหมายในการจัดตารางการผลิตภายใต้สถานการณ์ความไม่แน่นอนของคำสั่งซื้อของผู้ซื้อได้ในอนาคต

บรรณานุกรม

- Allahverdi, A. and Fatih, M. (1996). Simulation of different rule in stochastic flow shops. *Computers and Industrial Engineering*, 31, No 1/2, 209 -212.
- Campbell, H. G., Dudek, R. A., and Smith, M. L. (1970). A heuristic algorithm for n job m machine sequencing problem. *Management Science*, 16, 630-637.
- Gourgand, M., Grangeon N., and Norre,s. (2003). A contribution to stochastic flowshop scheduling problem. *European journal of operational research*, 151(2) , 415-433.
- Gupta, A. K. and Sarawgi, S. (2002). Shop floor scheduling with simulation based proactive decision support. *Proceeding of the 2002 winter simulation conference*.
- Holthaus, O. (1997). Design of efficient job shop scheduling rules. *Computers and Industrial Engineering*, 33(1-2), 249-252.
- Johansen, S. (1999). Lot sizing for varying degrees of demand uncertainty. *International Journal of Production Economics* 59(1-3), 405-414.
- Jung, J. Y., Blau, G., Pekny, J. F., Reklaitis, G. V. & Eversdyk, D. (2004). A simulation based optimization approach to supply chain management under demand uncertainty. *Computers & Chemical Engineering*, 28, 2087-2106.
- Kadipasaoglu, S. and Sridharan, V. (1995). Alternative approaches for reducing schedule instability in multistage manufacturing under demand uncertainty. *Journal of Operations Management*, 13(3), 193-211.
- KIM, S. C. (1997). Scheduling jobs with uncertain setup times and sequence dependency. *Omega*, 25 (4), 437-447.
- Kreuer, M., Wunderink, S., Dekker, R., and Schorr, B. (2005). Inventory control based on advanced probability theory, an application. *European Journal of Operational Research* ,162, 342-358.
- Méndez, C. A. and Cerdá, J. (2003). Dynamic scheduling in multiproduct batch Plants. *Computers and Chemical Engineering*, 27, 1247-1259.
- Mohammed, I.D.,Richard, L.M. and Li,Z. (1998). Scheduling identical jobs on uniform parallel machines with random processing times. *Computer and Industrial Engineering*, 35(1-2), 109-112.

- Montgomery, D.C. (2001). *Design and Analysis of Experiments*. 5th ed, Wiley, New York.
- Pathumnakul, S. and Kruakrum, A. (2004). Scheduling strategies for a single machine problem with changeable customer orders. *International Conference on Computer and Industrial Engineer*, Jeju Korea.
- Pawel, J.K. and Jerzy, K. (2005). A heuristics for minimizing the expected makespan in two-machine flow shops with consistent coefficients of variation. *European journal of operational research*, 169 , 742 – 750.
- Sun, J. and Xue, D. (2001). A dynamic reactive scheduling mechanism for responding to changes of production orders and manufacturing resources. *Computers in Industry*, 46, 189-207.
- Tang, O. and Grubbstrom, R. W. (2002). Planning and replanning the master production schedule under demand uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 78, 323-334.
- Xie, Y., Petrovic, D. and Burnham, K. (2006). A heuristic procedure for the two-level control of serial supply chains under fuzzy customer demand. *International Journal of Production Economics*, 102, 37-50.

ภาคผนวก

ผลการทดสอบในการจำลองสถานการณ์และการวิเคราะห์ผลทางสถิติ ในรายสถานการณ์

จัดงาน 8 งาน

c-ratio	วิธีการ	p- ratio = 25%			p- ratio = 50 %		
		$\overline{M}$	$M_{\max}$	Std_M	$\overline{M}$	$M_{\max}$	Std_M
25%	R1	80.7	90.5	4.432	81.4	90.1	4.891
	R2	85.8	98.7	3.538	82.1	90.3	5.378
	R3	*70.8	*84.0	4.576	*78.5	92.8	6.345
	R4	80.7	90.6	3.432	81.4	90.6	4.891
	R5	*71.4	*85.3	*1.033	*73.1	*85.5	*1.836
	R6	84.2	96.6	3.563	83.5	95.0	5.678
	R7	83.9	96.9	1.254	85.6	97.0	4.987
	R8	88.3	95.7	3.765	83.5	95.0	5.678
50%	R1	81.2	90.0	3.785	83.0	93.8	5.451
	R2	85.5	98.5	3.556	88.5	92.0	4.456
	R3	*78.5	*86.2	4.668	*80.8	92.3	4.789
	R4	82.7	93.1	3.661	*79.7	*90.4	4.567
	R5	*75.6	*88.4	4.913	*79.7	*90.3	4.567
	R6	82.2	97.6	*2.456	83.9	95.4	3.215
	R7	83.5	97.0	4.456	87.6	97.8	*2.231
	R8	86.3	97.0	3.567	83.0	93.9	5.451
80%	R1	82.4	92.7	4.678	83.1	92.3	5.789
	R2	84.5	94.6	5.378	83.4	94.5	5.345
	R3	82.3	89.0	7.345	84.0	93.5	4.321
	R4	84.7	95.0	6.351	84.5	90.1	6.743
	R5	82.5	90.5	4.567	85.6	93.7	6.498
	R6	83.1	90.0	7.546	83.5	95.4	7.875
	R7	82.5	90.5	5.581	86.3	97.9	4.281
	R8	83.1	89.6	6.124	85.8	95.3	4.567

* ค่าตอบดีกว่าค่าตอบอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จัดงาน 8 งาน

c- ratio	วิธีการ	p-ratio = 75%			p-ratio = 90 %		
		$\bar{M}$	$M_{\max}$	Std_M	$\bar{M}$	$M_{\max}$	Std_M
25%	R1	82.4	90.5	2.289	85.3	90.2	4.571
	R2	84.1	92.4	3.241	82.5	89.5	4.891
	R3	*80.3	90.1	5.789	83.9	87.3	4.568
	R4	*80.9	88.0	4.667	*79.2	*83.6	*2.349
	R5	*78.6	*85.0	*1.367	*79.2	*83.6	*2.349
	R6	84.6	95.2	5.678	83.1	87.6	4.568
	R7	83.2	93.5	6.754	84.6	92.1	6.345
	R8	85.3	95.7	4.569	86.1	94.3	4.390
50%	R1	83.4	92.0	5.458	85.5	96.9	4.345
	R2	83.5	91.3	5.451	88.7	98.7	*3.567
	R3	*79.7	*86.0	4.931	*84.4	95.5	6.561
	R4	*82.1	88.7	5.543	85.8	95.1	5.313
	R5	*81.1	90.0	*2.556	*82.2	95.0	*3.936
	R6	83.5	93.4	3.567	89.5	95.0	6.543
	R7	84.5	90.3	4.912	87.8	95.3	4.567
	R8	85.8	95.2	5.678	88.7	98.7	*3.567
80%	R1	85.6	98.7	7.543	86.4	100.1	6.345
	R2	85.6	98.7	7.230	87.9	104.4	4.345
	R3	85.4	98.3	7.081	90.7	98.0	6.890
	R4	85.6	*97.8	7.459	87.1	*96.9	*5.054
	R5	86.3	100.0	6.871	*86.3	*97.6	6.071
	R6	88.1	102.1	7.456	88.8	98.3	*5.012
	R7	85.5	99.9	*5.310	87.5	100.1	6.871
	R8	87.9	99.4	8.123	89.6	100.1	7.021

* ค่าตอบดีกว่าค่าตอบอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จัดงาน 10 งาน

c-ratio	วิธีการ	$p\text{-ratio} = 25\%$			$p\text{-ratio} = 50 \%$		
		$\bar{M}$	$M_{\max}$	Std_M	$\bar{M}$	$M_{\max}$	Std_M
25%	R1	108.7	120.7	4.432	115.7	124.1	4.891
	R2	105.8	123.3	3.538	117.8	126.3	5.378
	R3	100.8	119.6	4.576	110.8	120.5	6.345
	R4	100.7	117.9	3.432	112.7	*116.5	4.891
	R5	*97.4	*108.1	*1.033	*109.1	118.7	*1.836
	R6	114.2	116.9	3.563	118.2	*116.2	5.678
	R7	113.9	127.7	1.254	119.9	127.5	4.987
	R8	115.3	130.8	3.765	117.3	131.3	5.678
50%	R1	111.2	124.1	3.785	117.7	120.3	5.451
	R2	115.5	123.9	3.556	120.5	130.4	4.456
	R3	*108.5	120.5	4.668	110.5	119.9	4.789
	R4	112.7	*117.8	3.661	117.7	120.7	4.567
	R5	*105.6	*118.4	4.913	*107.8	*113.6	*2.167
	R6	112.2	126.3	*2.456	112.2	116.4	3.215
	R7	113.5	127.8	4.456	116.5	127.6	2.231
	R8	116.3	129.5	3.567	118.3	125.2	5.451
80%	R1	112.4	120.0	4.678	117.4	130.6	5.789
	R2	114.5	123.1	5.378	121.5	124.7	5.345
	R3	112.3	119.0	7.345	120.3	129.5	4.321
	R4	114.7	117.4	6.351	124.7	127.3	6.743
	R5	*109.5	*108.3	*4.567	124.5	118.6	6.498
	R6	110.1	116.0	7.546	121.1	126.7	7.875
	R7	116.5	127.4	5.581	124.5	124.5	4.281
	R8	117.1	130.9	6.124	119.1	131.5	4.567

* ค่าตอบดีกว่าค่าตอบอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จัดงาน 10 งาน

c-ratio	วิธีการ	p-ratio = 75%			p-ratio= 90 %		
		$\bar{M}$	$M_{\max}$	Std_M	$\bar{M}$	$M_{\max}$	Std_M
25%	R1	118.2	129.5	2.289	121.7	130.9	4.571
	R2	115.6	133.7	3.241	125.8	133.6	4.891
	R3	112.7	129.0	5.789	119.8	129.7	4.568
	R4	113.7	127.4	4.667	*117.7	*127.0	*2.349
	R5	*109.4	*118.6	*1.367	*117.4	*127.0	*2.349
	R6	124.2	129.5	5.678	124.2	136.4	4.568
	R7	123.9	127.0	6.754	123.9	137.7	6.345
	R8	119.3	130.3	4.569	125.3	136.5	4.390
50%	R1	121.2	134.6	5.458	127.2	134.4	4.345
	R2	121.5	133.2	5.451	129.5	133.0	*3.567
	R3	*118.5	129.4	*2.556	128.5	139.9	6.561
	R4	122.7	131.4	5.543	*122.7	137.4	5.313
	R5	*118.5	*128.4	*2.556	*121.6	138.6	*3.936
	R6	122.2	131.1	3.567	132.2	136.2	6.543
	R7	123.5	130.0	4.912	133.5	137.6	4.567
	R8	126.3	135.9	5.678	134.3	140.1	5.901
80%	R1	122.4	132.5	7.543	137.2	134.3	6.345
	R2	124.5	133.3	7.230	132.5	133.7	4.345
	R3	122.3	139.7	7.081	138.5	139.6	6.890
	R4	124.7	137.3	7.459	136.7	137.9	5.054
	R5	125.5	138.1	6.871	134.6	138.3	6.071
	R6	124.1	136.0	7.456	131.2	136.2	*5.012
	R7	123.5	137.5	*5.310	133.5	137.1	6.871
	R8	123.1	140.8	8.123	131.3	140.6	7.021

* ค่าตอบดีกว่าค่าตอบอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จัดงาน 12 งาน

c-ratio	วิธีการ	p-ratio = 25%			p-ratio= 50 %		
		$\bar{M}$	$M_{\max}$	Std_M	$\bar{M}$	$M_{\max}$	Std_M
25%	R1	128.7	140.1	8.432	129.7	142.5	4.891
	R2	125.8	143.6	5.538	130.8	142.3	5.378
	R3	*121.8	135.8	5.576	*123.8	145.5	6.345
	R4	*120.7	137.8	3.432	*119.7	137.7	4.891
	R5	*117.4	*128.3	*2.033	*118.4	*130.2	*2.836
	R6	123.2	136.1	3.563	129.2	132.3	5.678
	R7	123.9	137.0	3.254	130.9	142.9	4.987
	R8	125.3	132.6	3.765	132.3	142.0	5.678
50%	R1	125.6	141.4	3.785	132.7	140.9	5.451
	R2	125.8	143.9	3.556	135.8	143.0	4.456
	R3	*123.8	135.0	4.668	*127.8	135.1	4.789
	R4	*121.7	137.4	3.661	135.7	137.8	*2.567
	R5	*122.4	*127.3	4.913	*124.4	*129.5	4.567
	R6	128.2	139.7	*2.456	133.2	145.6	3.215
	R7	125.9	137.1	4.456	138.9	147.5	4.231
	R8	127.3	135.8	3.567	135.3	142.3	7.451
80%	R1	130.7	140.5	5.678	132.7	140.5	5.789
	R2	129.8	139.2	5.378	135.8	143.4	5.345
	R3	128.8	142.5	7.345	131.8	145.2	4.321
	R4	129.7	146.5	6.351	131.7	147.6	6.743
	R5	132.4	145.2	5.567	134.4	148.8	6.498
	R6	129.2	137.1	7.546	133.2	146.4	7.875
	R7	132.9	145.8	5.581	133.9	142.7	4.281
	R8	135.3	146.5	6.124	135.3	148.9	4.567

* คำตอบดีกว่าคำตอบอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Manuscript ของ Paper งานวิจัยที่อยู่ระหว่างการ Submit

จัดงาน 12 งาน

c-ratio	วิธีการ	p-ratio = 75%			p-ratio= 90 %		
		$\bar{M}$	$M_{\max}$	Std_M	$\bar{M}$	$M_{\max}$	Std_M
25%	R1	131.7	145.6	2.289	132.7	*141.3	4.571
	R2	135.8	153.3	3.241	133.8	143.9	4.891
	R3	*131.8	145.7	5.789	*131.4	145.0	4.568
	R4	*131.7	150.3	4.667	135.7	147.3	2.449
	R5	*128.4	*140.9	*1.367	*130.9	148.7	*2.349
	R6	133.2	146.1	5.678	133.2	146.7	4.568
	R7	133.9	147.3	6.754	135.9	147.2	6.345
	R8	135.3	146.7	4.569	135.3	142.0	4.390
50%	R1	132.7	150.0	5.458	138.7	150.2	4.345
	R2	133.8	153.3	5.451	135.8	153.6	5.567
	R3	*131.3	145.9	5.556	*130.8	153.7	5.561
	R4	135.7	147.3	5.543	135.7	157.4	5.313
	R5	*130.4	148.1	*2.556	*129.9	147.7	*3.936
	R6	133.2	146.7	3.567	133.2	146.9	6.543
	R7	133.9	147.8	4.912	133.9	157.2	4.567
	R8	135.3	152.4	5.678	135.3	148.1	5.901
80%	R1	138.7	150.3	7.543	138.4	150.2	6.345
	R2	135.8	153.5	7.230	135.5	153.3	4.345
	R3	135.8	155.7	7.081	134.2	155.7	6.890
	R4	135.7	147.3	7.459	135.7	147.8	5.054
	R5	134.4	150.8	6.871	134.7	158.5	6.071
	R6	133.2	146.9	7.456	133.8	156.3	*5.012
	R7	133.9	147.3	*5.310	133.3	160.7	6.871
	R8	135.3	152.7	8.123	135.5	152.9	7.021

* คำตอบดีกว่าคำตอบอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ