



รายงานการวิจัย

เรื่อง การศึกษาระบบ CONWIP ในสายการผลิตแบบอนุกรมที่มี
คอขวดโดยใช้การจำลองสถานการณ์

(The Performance of CONWIP in a Flow Line with Bottleneck:
a Simulation Study)

ผู้วิจัย

อาจารย์ ดร. สุนิตยา เดือนนาคี
สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการ
สำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2546

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการแต่เพียงผู้เดียว

17 กรกฎาคม 2549

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การศึกษาระบบ CONWIP ในสายการผลิตแบบอนุกรมที่มีคอขวดโดยใช้การจำลองสถานการณ์ (The Performance of CONWIP in a Flow Line with Bottleneck: a Simulation Study) ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ 2546

ผู้วิจัย

17 กรกฎาคม 2549

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ใช้การจำลองสถานการณ์ในการศึกษาอิทธิพลของรูปแบบบัฟเฟอร์ และ กำลังการผลิตป้องกันต่ออัตราผลผลิตของสายการผลิตที่มีระบบการจ่ายงานแบบ Constant-Work-In-Process (CONWIP) สายการผลิตที่จำลองประกอบด้วย 11 สถานี มีสถานีที่ 6 เป็นคอขวด สายการผลิตมีความผันแปรในเวลาผลิต ตัวแปรอิสระคือกำลังการผลิตป้องกัน และ รูปแบบบัฟเฟอร์ ซึ่งรูปแบบบัฟเฟอร์แตกต่างกันตามขนาดบัฟเฟอร์ทั้งหมดในสายการผลิต และ วิธีจัดสรรบัฟเฟอร์ให้กับแต่ละสถานี โดยทำการศึกษาทั้งภายใต้สภาพที่ความผันแปรในเวลาผลิตต่ำโดยกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันที่ 5% และ ภายใต้สภาพที่ความผันแปรในเวลาผลิตสูงโดยกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันที่ 50% ผลจากการวิเคราะห์ด้วย ANOVA แบบสองทางพบอิทธิพลร่วมระหว่างรูปแบบบัฟเฟอร์ และ กำลังการผลิตป้องกัน ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์ ANOVA แบบทางเดียวเพื่อศึกษาผลของตัวแปรอิสระที่แต่ละระดับของอีกตัวแปรอิสระ ในสถานการณ์ที่ความผันแปรในเวลาผลิตต่ำพบว่าเมื่อไม่มีกำลังการผลิตป้องกันนั้นรูปแบบบัฟเฟอร์แตกต่างกันให้อัตราผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่เมื่อมีกำลังการผลิตป้องกันพบว่ารูปแบบบัฟเฟอร์แตกต่างกัน ไม่ได้ให้อัตราผลผลิตที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในสถานการณ์ที่ความผันแปรในเวลาผลิตสูงพบว่ารูปแบบบัฟเฟอร์แตกต่างกันให้อัตราผลผลิตที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ทุกระดับของกำลังการผลิตป้องกัน การเพิ่มกำลังการผลิตป้องกันให้อัตราผลผลิตที่ดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสายการผลิตที่มีความผันแปรในเวลาผลิตสูง ข้อเสนอแนะที่สำคัญจากการวิจัยนี้คือกิจการสามารถจำกัดขนาดบัฟเฟอร์ในสายการผลิตที่ควบคุมการจ่ายงานแบบ CONWIP ด้วยการหาวิธีการจัดสรรบัฟเฟอร์ที่มีอย่างจำกัดนั้นในอันที่จะทำให้ได้อัตราผลผลิตตามที่ต้องการ ซึ่งในการวิจัยนี้ส่วนมากพบว่าวิธีการจัดสรรบัฟเฟอร์ให้เท่ากันทุกสถานีให้อัตราผลผลิตดีกว่าวิธีการอื่น

ABSTRACT

This research uses a simulation to investigate the effect of the buffer patterns and the protective capacity on throughput-per-day of a 11- station flow line with variable processing time. The simulated flow line has the middle station as the bottleneck and uses Constant-Work-In-Process (CONWIP) release mechanism. The experimental factors included in the study are the protective capacity and the buffer patterns; which are distinguished by the amount of total buffer size and the buffer allocation approach. The processing time variations are set at two levels-- low and high-- represented by the coefficient of variations of 5% and 50%, respectively. The results from two-way-ANOVA demonstrate significant interaction between the protective capacity and the buffer patterns. Thus, one-way-ANOVA is performed to study the effect of one factor at each level of another factor. It is found that under low processing time variability, throughput rate varies significantly upon alterations of the buffer patterns for the line without protective capacity, while throughput rate does not vary significantly for the line with protective capacity. Whereas under high processing time variability, the effect of buffer patterns on the throughput rate varies at all levels of protective capacity. Adding protective capacity is found to increase the throughput rate particularly under high processing time variability. The crucial suggestion of this study is that management could save the buffer space in the CONWIP flow line by examining the different methods in allocating limited buffer that provides required throughput. Most experiments conducted in this study indicate that allocating buffer between each station equally provides the superior throughput rate.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย.....	1
วัตถุประสงค์และสมมติฐานของการวิจัย.....	3
ขอบเขตการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
ระบบกลไกการจ่ายงานเข้าสู่สายการผลิต.....	4
การเปรียบเทียบวิธีการจ่ายงานแบบ CONWIP กับวิธีอื่น.....	7
รูปแบบบัฟเฟอร์ และ กำลังการผลิตป้องกัน.....	10
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
ลักษณะสายการผลิตจำลอง.....	15
ตัวแปรและระดับของตัวแปร.....	17
การออกแบบการทดลองด้วย simulation.....	23
บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล	
ข้อสมมติสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	27
ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	28
การอภิปรายผล.....	44
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
สรุป.....	45
ข้อเสนอแนะ.....	47
บรรณานุกรม.....	49
ภาคผนวก.....	52
ประวัติผู้วิจัย.....	59

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 เวลาผลิตเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาผลิต และ อัตราผลผลิตเฉลี่ย.....	17
3.2 รูปแบบบัฟเฟอร์.....	23
4.1 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราผลผลิต.....	29
4.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA).....	31
4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการผลิตป้องกัน ที่แต่ละรูปแบบ บัฟเฟอร์ เมื่อ CV เป็น 5%	34
4.4 ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของกำลังการผลิตป้องกัน ที่แต่ละรูปแบบบัฟเฟอร์ เมื่อ CV เป็น 5%.....	35
4.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการผลิตป้องกัน ที่แต่ละรูปแบบ บัฟเฟอร์ เมื่อ CV เป็น 50%.....	37
4.6 ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของกำลังการผลิตป้องกัน ที่แต่ละรูปแบบบัฟเฟอร์ เมื่อ CV เป็น 50%.....	38
4.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบบัฟเฟอร์ ที่แต่ละระดับของกำลัง การผลิตป้องกัน เมื่อ CV เป็น 5%.....	40
4.8 ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของรูปแบบบัฟเฟอร์ ที่ระดับกำลังการผลิตป้องกัน 0% เมื่อ CV เป็น 5%.....	40
4.9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบบัฟเฟอร์ ที่แต่ละระดับของกำลัง การผลิตป้องกัน เมื่อ CV เป็น 5%.....	42
4.10 ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของรูปแบบบัฟเฟอร์ ที่แต่ละระดับของกำลังการ ผลิตป้องกัน เมื่อ CV เป็น 50%	43

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 วิธีการทำงานแบบ Kanban CONWIP และ DBR.....	5
3.1 ลักษณะของสายการผลิตสำหรับการวิจัย.....	15
3.2 อัตราผลผลิตเฉลี่ยเมื่อ $CV = 5\%$ $PC = 0\%$ และ ไม่มีการจำกัดขนาดบัฟเฟอร์.....	19
3.3 อัตราผลผลิตเฉลี่ยเมื่อ $CV = 50\%$ $PC = 0\%$ และ ไม่มีการจำกัดขนาดบัฟเฟอร์.....	20
3.4 วิธีการจัดสรรบัฟเฟอร์เมื่อขนาดบัฟเฟอร์ทั้งหมด ในสายการผลิตคือ 10 หน่วย.....	21
3.5 วิธีการจัดสรรบัฟเฟอร์ เมื่อขนาดบัฟเฟอร์ทั้งหมด ในสายการผลิตคือ 20 หน่วย.....	22
3.6 กราฟแสดงจำนวนผลผลิตเฉลี่ยในแต่ละวันตามวิธีของ Welch.....	24
4.1 อัตราผลผลิตเฉลี่ยที่แต่ละระดับกำลังการผลิตป้องกันและรูปแบบบัฟเฟอร์.....	32

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาการวิจัย

การผลิตที่มีประสิทธิภาพเป็นส่วนสำคัญประการหนึ่งในการเพิ่มรายได้เปรียบในการแข่งขัน ซึ่งวิธีการหนึ่งในการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตคือการปรับปรุงกลไกการจ่ายงานเข้าสู่ระบบการผลิต กลไกการจ่ายงานเข้าสู่สายการผลิตแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ กลไกการจ่ายงานแบบผลัก (Push release mechanisms) และแบบดึง (Pull release mechanism) กลไกการจ่ายงานแบบผลักเป็นการส่งงานเข้าสู่ระบบการผลิตตามคำพยากรณ์ความต้องการสินค้า ไม่มีการควบคุมจำนวนงานระหว่างทำที่อยู่ในระบบการผลิต ดังนั้นเมื่อกระบวนการผลิตมีความผันแปรอาจมีการเพิ่มขึ้นของงานระหว่างทำและส่งผลต่อระยะเวลาการผลิตสินค้าที่มากตามไปด้วย ในขณะที่กลไกการจ่ายงานแบบดึงมีการควบคุมจำนวนงานระหว่างทำส่งผลให้การผลิตรอบสั้นมากขึ้น และช่วยลดจำนวนงานที่เสียหรือชำรุด (Marek, Elkins, and Smith, 2001) กลไกการจ่ายงานแบบดึง ได้แก่ Kanban (Hopp and Spearman, 1996) , Drum-buffer-rope (Goldratt and Cox, 1986) และ Constant-work-in-process (Hopp and Spearman, 1996)

วิธีควบคุมการจ่ายงาน (Release mechanisms) แบบ Constant-work-in-process (CONWIP) เป็นระบบที่พัฒนาจากแนวความคิดของ Hopp และ Spearman (1996) ในระบบนี้สถานีผลิตแรกในสายการผลิตจะเริ่มผลิตสินค้าหน่วยใหม่ก็ต่อเมื่อสถานีสุดท้ายผลิตสินค้าหนึ่งหน่วยเสร็จเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นจึงสามารถควบคุมจำนวนสินค้าระหว่างทำ (Work in process, WIP) ในสายการผลิตให้คงที่ตามจำนวนที่เหมาะสม ไม่เกิดปัญหาจำนวนงานระหว่างทำเพิ่มอย่างไร้ขอบเขต จึงทำให้ง่ายต่อการจัดการ และ ลดเวลาในการส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าได้

วิธีควบคุมการจ่ายงานแบบ Kanban (Hopp and Spearman, 1996) มีการควบคุมการจ่ายงานที่ทุกสถานี โดยสถานีสุดท้ายจะผลิตงานชิ้นใหม่เมื่อมีความต้องการจากลูกค้า และ แต่ละสถานีอื่นๆ นั้นจะผลิตสินค้าได้ก็ต่อเมื่อมีความต้องการจากสถานีถัดไป สำหรับวิธีควบคุมการจ่ายงานแบบ DBR นั้นเป็นระบบที่พัฒนามาจากแนวความคิด Theory of Constraint (Goldratt and Cox, 1986) ซึ่งจำเป็นที่จะต้องทราบตำแหน่งของสถานีกอขวดที่จะเป็นจุดส่งสัญญาณการจ่ายงานเข้าสู่สถานีแรกเมื่อเปรียบเทียบความซับซ้อนของวิธีการจ่ายงานพบว่าวิธี CONWIP มีความซับซ้อนน้อยกว่าวิธีการจ่ายงานอื่น ดังนั้นจึงมีความน่าสนใจที่จะศึกษาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตที่ใช้ระบบการจ่ายงานแบบ CONWIP เพื่อที่กิจการที่ใช้ระบบ CONWIP สามารถนำผลที่ได้ไปปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบต่อไป

จากที่กล่าวไปแล้ว สายการผลิตที่ใช้วิธีทำงานแบบ CONWIP นั้นควบคุมจำนวนงานระหว่างทำในสายการผลิต จากการศึกษาที่ผ่านมา(Conway, Maxwell, and McClain, 1981; Inman, 1993) พบว่าการเพิ่มจำนวนงานระหว่างทำช่วยเพิ่มความสามารถ (Performance) ของสายการผลิตได้ อาทิเช่น เพิ่มผลผลิต ลดรอบเวลาในการผลิต เป็นต้น แต่เมื่อจำนวนงานระหว่างทำเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง การเพิ่มจำนวนงานระหว่างทำไม่ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญต่อไป ดังนั้นในระบบการผลิตที่ใช้วิธีควบคุมการดำเนินงานแบบ CONWIP สามารถจำกัดจำนวนงานระหว่างทำในสายการผลิตได้ในขณะที่ยังได้จำนวนผลผลิตตามที่ต้องการ แต่ทั้งนี้ในการนำเสนอระบบ CONWIP ในการศึกษาที่ผ่านมาจำกัดแต่เพียงจำนวนงานระหว่างทำในสายการผลิต ในขณะที่มีข้อสมมติว่า ไม่จำกัดขนาดของพื้นที่สำหรับรองรับงานระหว่างทำระหว่างแต่ละสถานีหรือไม่จำกัดบัฟเฟอร์ แต่ในทางปฏิบัติแล้วกิจการอาจจะมีขนาดบัฟเฟอร์จำกัด ถ้ากิจการสามารถที่จะจำกัดขนาดบัฟเฟอร์ในขณะที่จำนวนผลผลิตเท่าเดิม จะช่วยให้กิจการประหยัดต้นทุนในการจัดเก็บสินค้า โดยกิจการอาจจะหารูปแบบการจัดสรรขนาดบัฟเฟอร์ที่มี (buffer allocation) ให้แต่ละสถานีในทางที่เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต(Leslie, and Michael, 1995; Umble, et al., 2000) ได้

นอกจากการจัดสรรขนาดบัฟเฟอร์แล้วได้มีการพบว่า การให้สถานีที่ไม่ใช่คอขวดมีกำลังการผลิตป้องกันสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีความผันแปรในเวลารผลิตสูง (Atwater and Chakravorty, 1994; Hurley and Kadipasaoglu, 1998; Kadipasaoglu, Xiang, Hurley, and Khumawala, 2000; Thuannadee, 2000) ซึ่ง APICS ได้ให้คำจำกัดความของ กำลังการผลิตป้องกันว่า “ A given amount of extra capacity at non-constraints above the system constraint's capacity, used to protect against statistical fluctuations (breakdowns, late of material, quality problems, etc.)” (Cox, Blackstone, and Spencer, 1995)

จากการที่ผู้วิจัยได้ทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามี การวิจัยอิทธิพลของจำนวนงานระหว่างทำในสายการผลิตที่ใช้วิธี CONWIP ในการดำเนินงาน และ กำลังการผลิตป้องกัน ต่อประสิทธิภาพการผลิต (Atwater, 1994; Lambrecht and Segaeert, 1990) แต่ทั้งนี้การศึกษาดังกล่าวสมมติว่า ไม่มีการจำกัดขนาดบัฟเฟอร์แต่อย่างใด ดังนั้น งานวิจัยครั้งนี้จึงต้องการขยายการศึกษาสำหรับสายการผลิตที่ใช้วิธีการทำงานแบบ CONWIP โดยจะศึกษาอิทธิพลของกำลังการผลิตป้องกัน (Protective capacity) และ รูปแบบบัฟเฟอร์ (Buffer patterns) ต่อประสิทธิภาพการผลิตของสายการผลิตที่มีคอขวด ซึ่งรูปแบบบัฟเฟอร์นั้นกำหนดให้แตกต่างกันตามขนาดของบัฟเฟอร์ทั้งหมด (Total buffer size) และ ลักษณะการจัดสรรขนาดบัฟเฟอร์ (Buffer allocations) และ จะทำการศึกษาภายใต้สถานการณ์การผลิตที่มีความผันแปรในเวลารผลิตทั้งต่ำและสูง เนื่องจากผลการศึกษาอาจจะแตกต่างกันเมื่อระดับความไม่แน่นอนนั้นแตกต่างกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของรูปแบบบัฟเฟอร์ (Buffer patterns) และกำลังการผลิตป้องกัน (Protective capacity) ต่ออัตราผลผลิต (Throughput rate) ของสายการผลิตที่มีคอขวดและใช้วิธีควบคุมการจ่ายงานแบบ CONWIP ภายใต้สถานการณ์ที่มีความผันแปรในเวลาผลิต

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

เมื่อระดับกำลังการผลิตป้องกัน และ รูปแบบบัฟเฟอร์แตกต่างกัน ส่งผลให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยแตกต่างกัน

1.4 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษานี้ใช้การจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete-event simulation) ในการศึกษาผลผลิตของสายการผลิตที่มีคอขวดและผลิตสินค้าเพียงชนิดเดียว ที่จัดลำดับการทำงานในแต่ละสถานีแบบ First-In-First-Out และ ใช้ระบบ CONWIP ในการควบคุมการจ่ายงานเข้าสู่สายการผลิต นั่นคือ จะจ่ายงานเพิ่มให้กับสถานีแรกก็ต่อเมื่อมีสินค้าผลิตเสร็จหนึ่งหน่วยที่สถานีสุดท้าย ลักษณะของสายการผลิตในการศึกษานี้ปรากฏอยู่ในบทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบอิทธิพลของรูปแบบบัฟเฟอร์ และกำลังการผลิตป้องกันต่ออัตราผลผลิตของสายการผลิตที่มีคอขวดและใช้ระบบควบคุมการจ่ายงานแบบ CONWIP
- 2) กิจกรรมผลิตที่จัดระบบการผลิตโดยเรียงสถานีผลิตต่อเนื่องกันตามลำดับของขั้นตอนการผลิต (Flow line) และใช้ระบบการควบคุมการจ่ายงานแบบ CONWIP สามารถทราบแนวทางในการจัดรูปแบบบัฟเฟอร์ และ กำหนดกำลังการผลิตป้องกัน เพื่อเพิ่มอัตราผลผลิตได้

บทที่ 2

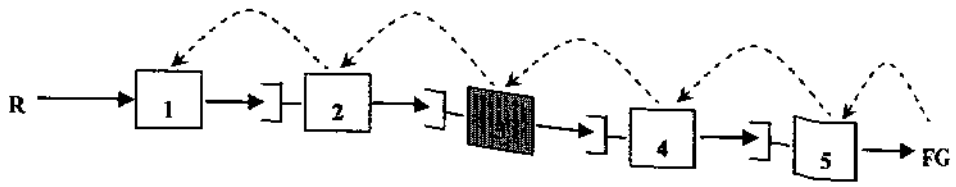
การทบทวนวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากการวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของรูปแบบบัฟเฟอร์ (Buffer patterns) และกำลังการผลิตป้องกัน (Protective capacity) ต่ออัตราผลผลิตของสายการผลิตที่มีคอขวดที่ใช้วิธีการจ่ายงาน (Release mechanism) แบบ Constant-work-in-process (CONWIP) จึงแบ่งการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย (1) ระบบกลไกการจ่ายงานเข้าสู่สายการผลิต (2) การเปรียบเทียบวิธีการจ่ายงานแบบ CONWIP กับวิธีอื่น (3) รูปแบบบัฟเฟอร์ และ กำลังการผลิตป้องกัน

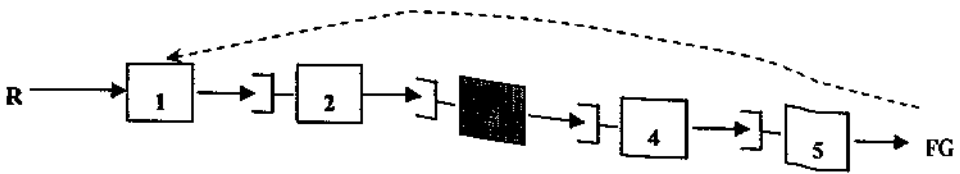
2.1 ระบบกลไกการจ่ายงานเข้าสู่สายการผลิต

กลไกการจ่ายงาน (Release mechanism) เข้าสู่สายการผลิตคือการกำหนดปริมาณและเวลาที่ จะป้อนวัตถุดิบเข้าสู่สายการผลิต กลไกการจ่ายงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีการ ได้แก่ วิธีแบบ ผลัก (Push) และวิธีแบบดึง (Pull) วิธีแบบผลักนั้นเป็นที่รู้จักกันทั่วไปในชื่อระบบ Materials-Requirement-Planning (MRP) ซึ่งเป็นระบบการจ่ายงาน โดยเริ่มจาก การพยากรณ์จำนวนความต้องการสินค้า และ กำลังการผลิต แล้วจึงกำหนดจำนวนงานและระยะเวลาที่จะป้อนงานเข้าสู่สายการผลิต แต่ทั้งนี้จำนวนความต้องการและกำลังการผลิตนี้เป็นค่าที่ได้จากการประมาณการ ดังนั้น จึงอาจคลาดเคลื่อนได้ ส่งผลให้จำนวนงานระหว่างทำในช่วงเวลาหนึ่งอาจจะสูงหรือต่ำมากเกินไป และเมื่อป้อนงานเข้าสู่สายการผลิตแล้วเกิดความผันแปรในเวลาผลิต (Processing time variation) เนื่องจาก พนักงานทำงานล่าช้าผิดพลาด และ เครื่องจักรมีปัญหา เป็นต้น ส่งผลให้ผลิตงานได้ช้ากว่ากำหนดในขณะที่งานถูกป้อนเข้าสู่สายการผลิตแล้ว จึงทำให้เกิดงานระหว่างทำค้างอยู่ระหว่างสถานี ก่อให้เกิดความยุ่งยากในการผลิต และระยะเวลาในการผลิตงาน (Flow time) นานขึ้น (Spearman, Hopp, and Woodruff, 1989; Spearman, Woodruff, and Hopp, 1990; Sarker and Fitzsimmons, 1989; Gstettner and Kuhn, 1996)

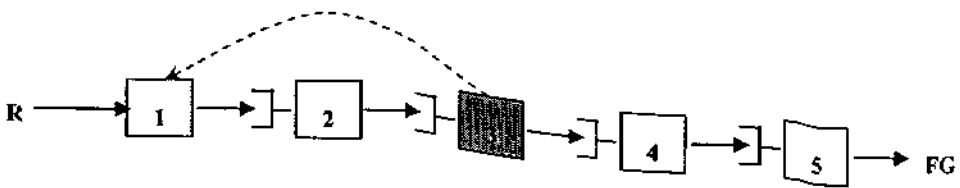
ต่อมาได้มีการนำเสนอวิธีการจ่ายงานแบบดึง ประกอบด้วย วิธี Kanban, CONWIP, และ DBR ถ้ากำหนดให้สายการผลิตประกอบด้วย 5 สถานีเรียงต่อเนื่องกัน และกำหนดให้สถานีที่ 3 เป็นสถานีคอขวด ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะของระบบการจ่ายงานแบบ Kanban CONWIP และ DBR ตามลำดับ



a. Kanban





b. CONWIP



c. DBR

สถานีคอขวด คือ สถานีที่ 3


 พื้นที่บรรจุนานระหว่างทำ
 
 สถานีการผลิตที่ i

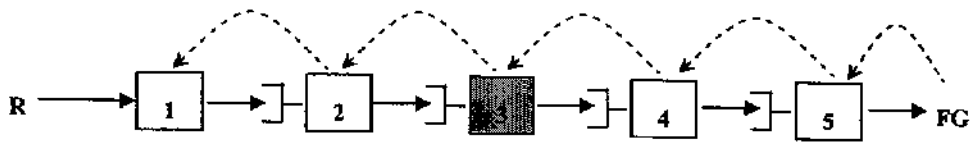
→ ทิศทางการไหลของวัตถุดิบ/งานระหว่างทำ

-----> ทิศทางการไหลของข้อมูล

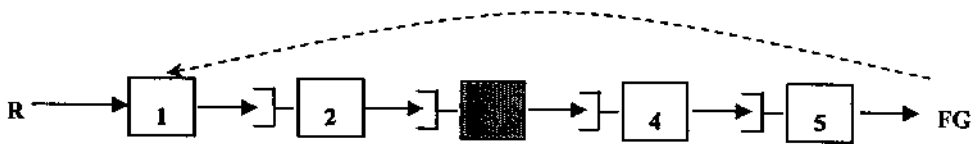
RM = วัตถุดิบ (Raw materials)

FG = สินค้าที่ผลิตเสร็จ (Finished goods)

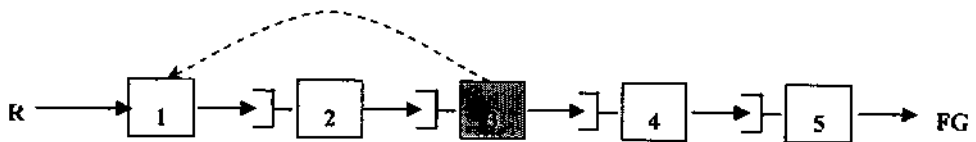
ภาพที่ 2.1 วิธีการทำงานแบบ Kanban CONWIP และ DBR



a. Kanban






b. CONWIP




c. DBR

สถานีคอขวด คือ สถานีที่ 3


 พื้นที่บรรจุนระหว่างทำ 
 สถานีการผลิตที่ i


 ทิศทางการไหลของวัตถุดิบ/งานระหว่างทำ


 ทิศทางการไหลของข้อมูล

RM = วัตถุดิบ (Raw materials)

FG = สินค้าที่ผลิตเสร็จ (Finished goods)

ภาพที่ 2.1 วิธีการจ่ายงานแบบ Kanban CONWIP และ DBR

วิธี Kanban ใช้ในระบบการผลิต Just-in-Time ซึ่งบริษัท Toyota ถือว่าเป็นบริษัทแรกที่ใช้ระบบ Just-in-time ในการบริหารการผลิต (Monden,1983) ในวิธีการทำงานแบบ Kanban นี้ เมื่อสถานีขั้นสุดท้ายในสายการผลิตเริ่มผลิตสินค้าตามความต้องการของลูกค้า จะมีการสื่อสารให้สถานีก่อนหน้าผลิตงานหน่วยใหม่ส่งมาทดแทน โดยสถานีก่อนหน้าเมื่อเริ่มผลิตก็จะส่งสัญญาณให้กับสถานีก่อนหน้าผลิตงานส่งมาทดแทนเช่นกัน เป็นดังนี้ต่อไปจนถึงสถานีแรกของสายการผลิต เครื่องมือที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างแต่ละสถานีเรียกว่าใบหรือบัตร ซึ่งชื่อในภาษาญี่ปุ่นคือ Kanban จึงเป็นที่มาของชื่อระบบการทำงานแบบ Kanban จากภาพที่ 2.1 a. แสดงสายการผลิตที่ใช้ระบบ Kanban ซึ่งประกอบด้วย 5 สถานี เมื่อมีความต้องการสินค้า (อาจจะเป็นสินค้าสำเร็จรูปหรืองานที่จะส่งต่อไปให้กับกระบวนการผลิตอื่น) สถานีที่ 5 จะเริ่มผลิตและส่งสัญญาณให้สถานีที่ 4 เริ่มผลิตงานในขณะเดียวกัน สถานีที่ 4 จะส่งสัญญาณให้กับสถานีที่ 3 ผลิตงานให้กับสถานีที่ 4 เป็นเช่นนี้ไปจนถึงสถานีแรก ซึ่งวิธีนี้จำกัดจำนวนงานระหว่างทำในกระบวนการผลิตไม่ให้มีมากเกินไป โดยจะผลิตเพิ่มก็ต่อเมื่อมีความต้องการสินค้านั้น ซึ่งเป็นระบบที่สอดคล้องตามแนวความคิดการมุ่งลดจำนวนสินค้าคงเหลือของ Just-in-Time (Duenyas and KEBLIS, 1995; Gstettner and Kuhn, 1996; Marek, Elkins, and Smith,2001)

วิธีการทำงานแบบ CONWIP (ภาพที่ 2.1 b.) มีการจำกัดจำนวนงานระหว่างทำ (Work in process, WIP) ตั้งแต่สถานีแรกจนถึงสถานีสุดท้ายในสายการผลิต และไม่มีข้อจำกัดในพื้นที่จัดเก็บวัตถุดิบหน้าสถานีแรก และ ไม่มีข้อจำกัดในพื้นที่จัดเก็บงานที่ผ่านการผลิตที่สถานีสุดท้ายเสร็จเรียบร้อย ในระบบ CONWIP จะมีการส่งสัญญาณจากสถานีสุดท้ายไปยังสถานีแรก สถานีแรกจะผลิตสินค้าเพิ่มก็ต่อเมื่อสถานีสุดท้ายผลิตสินค้าเสร็จและมีการส่งสินค้าออกจากสายการผลิตแล้ว ดังนั้นจำนวนงานระหว่างทำในสายการผลิตจึงคงที่ตลอดเวลา แต่ทั้งนี้จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา ยังไม่มีการจำกัดขนาดบัฟเฟอร์ระหว่างสถานีในระบบ CONWIP (Gstettner and Kuhn, 1996; Duenyas and KEBLIS, 1995; Marek et al.,2001; Spearman et al., 1989; Spearman et al., 1990)

วิธีการทำงานแบบ DBR เป็นวิธีที่พัฒนามาจากทฤษฎีข้อจำกัด (Theory of Constraints) ของ Goldratt ที่เสนอว่าควรให้คอขวดในสายการผลิตทำการผลิตได้เต็มที่ เพื่อลดการสูญเสียเวลาในการผลิตที่คอขวด ดังนั้น จึงมุ่งให้มีการป้อนงานให้กับสถานีคอขวดอย่างต่อเนื่อง โดยสถานีแรกจะเริ่มผลิตก็ต่อเมื่อสถานีที่เป็นคอขวดผลิตงานเสร็จและส่งต่อไปยังสถานีถัดไป ดังที่แสดงในภาพที่ 2.1 c. (Gardiner, Blackstone, and Gardiner, 1993; Huff, 2001)

ที่ผ่านมาได้มีการวิจัยเกี่ยวกับระบบการทำงานทั้งสามรูปแบบอย่างหลากหลายแต่เนื่องจากรายงานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเกี่ยวกับวิธีการควบคุมการทำงานแบบ CONWIP ในส่วนต่อไปจึงมุ่งทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการทำงานแบบ CONWIP ซึ่งรวมถึงการทบทวนงานวิจัยที่เปรียบเทียบความสามารถของระบบ CONWIP กับวิธีการทำงานแบบอื่น

2.2 การเปรียบเทียบวิธีการทำงานแบบ CONWIP กับวิธีการทำงานแบบอื่น

Spearman et al. (1990) ได้ชี้ว่าระบบการควบคุมการผลิตแบบดึงต้องการควบคุมจำนวนงานระหว่างทำ (คู่ลำดับขั้นตอนของการควบคุมด้วย CONWIP ได้ใน Spearman, et al., 1989) ในขณะที่การควบคุมแบบผลักต้องการควบคุมอัตราผลผลิต ผู้วิจัยกลุ่มนี้ได้ใช้ Little's Law ประกอบการอธิบาย ซึ่ง Littles' Law เป็นกฎที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่งานอยู่ในสายการผลิต (Average flow time) จำนวนงานระหว่างทำเฉลี่ย (Average work-in-process) และ อัตราผลผลิตเฉลี่ย (Average throughput rate) ตามสมการ ดังนี้

$$\text{ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่งานอยู่ในสายการผลิต} = \frac{\text{จำนวนงานระหว่างทำเฉลี่ย}}{\text{อัตราผลผลิตเฉลี่ย}}$$

จากการใช้ Little's Law พบว่าในสายการผลิตแบบผลักที่ผลิตเต็มกำลังการผลิตหรือเกือบเต็มกำลังการผลิต แต่ขาดการควบคุมจำนวนงานระหว่างทำ จะมีโอกาสที่จำนวนงานระหว่างทำในสายการผลิตเพิ่มขึ้นอย่างไร้ขอบเขต อันส่งผลให้ระยะเวลาที่งานอยู่ในสายการผลิตเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราผลผลิตเฉลี่ยนั้นถูกจำกัด ไม่เกินกว่าอัตราผลผลิตของสถานีคอขวดซึ่งใช้เวลาในการผลิตเฉลี่ยนานกว่าสถานีอื่น แต่สายการผลิตที่มีการควบคุมแบบดึงหลีกเลี่ยงปัญหาการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่งานอยู่ในสายการผลิตได้เนื่องจากการควบคุมจำนวนงานระหว่างทำให้คงที่

นอกจากนั้น Spearman et al. (1990) ได้ยกลักษณะของกลไกการทำงานแบบดึงที่เหนือกว่ากลไกการทำงานแบบผลัก 2 ประการ ได้แก่

(1) สายการผลิตที่ใช้กลไกการทำงานแบบผลัก งานเข้าสู่กระบวนการผลิตตามประมาณกำลังการผลิตของสายการผลิต แต่ประมาณการกำลังการผลิตนั้นอาจจะไม่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงเนื่องจากมีหลายปัจจัยที่กระทบต่อกำลังการผลิตในแต่ละช่วงเวลา เช่น เครื่องจักรเสีย พนักงานทำงานผิดพลาดหรือช้านเกินไป และ การเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนสินค้าแต่ละชนิดที่ผลิต จึงทำให้จำนวนงานระหว่างทำในสายการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงอาจจะมากไปหรือน้อยไปในบางช่วง แต่ในสายการผลิตที่ใช้การควบคุมแบบดึงนั้นมีการควบคุมจำนวนงานระหว่างทำจึงไม่มีปัญหาของการผันผวนของจำนวนงานระหว่างทำเหมือนกับแบบผลัก

(2) ถึงแม้กลไกการทำงานแบบดึงจะได้ผลดีเพียงใดขึ้นอยู่กับจำนวนงานระหว่างทำที่กำหนด แต่ทั้งนี้ผลกระทบที่เกิดจากการกำหนดจำนวนงานระหว่างทำไม่เหมาะสมนั้นน้อยกว่าผลกระทบที่เกิดจากการประมาณการกำลังการผลิตผิดพลาดในสายการผลิตที่มีการทำงานแบบผลัก

โดย Spearman et al. (1990) ได้ใช้วิธีการจำลองสถานการณ์ (Simulation) ในการพิสูจน์ข้อดีทั้งสองข้อดังกล่าว นอกจากนี้งานวิจัยของ Huang (1998) เป็นอีกหนึ่งตัวอย่างที่เปรียบเทียบการถ่าย

งานแบบ CONWIP กับการจ่ายงานแบบผลึก ด้วยการจำลองสถานการณ์ของสายการผลิตในโรงงาน และพบว่าการควบคุมแบบ CONWIP ลดจำนวนงานระหว่างทำและต้นทุนการจัดเก็บสินค้า และเพิ่มอัตราผลิตและอัตราการใช้กำลังการผลิต (Utilization)

Spearman and Zazanis (1988) เปรียบเทียบการจ่ายงานด้วย Kanban และ CONWIP โดยควบคุมให้จำนวนผลผลิตเท่ากัน พบว่าระบบ CONWIP มีจำนวนงานระหว่างทำต่ำกว่าระบบ Kanban เนื่องจากในระบบ Kanban จำเป็นต้องมีงานระหว่างทำจำนวนหนึ่งกระจายอยู่ที่ทุกสถานี ก่อนสถานีคอยตรวจสอบเวลาเพื่อที่จะได้ผลผลิตที่ต้องการ แต่ในระบบ CONWIP นั้น งานระหว่างทำมีแนวโน้มที่จะสะสมรวมกันอยู่หน้าสถานีคอยตรวจสอบ ดังนั้น CONWIP จึงมีการใช้ประโยชน์จากสถานีคอยตรวจสอบได้มากกว่าจึงได้ผลผลิตเท่ากับ Kanban ในขณะที่ไม่จำเป็นต้องมีงานระหว่างทำจำนวนมากเท่ากับในระบบ Kanban

นอกจากนี้ Spearman และ Zazanis ได้มีการเปรียบเทียบการจ่ายงานแบบ CONWIP กับ DBR ในสายการผลิตเส้นตรงที่มีการเปลี่ยนชนิดสินค้าที่ผลิต ซึ่งทำให้คอยตรวจสอบมีการย้ายตำแหน่งตามชนิดของสินค้า พบว่าการจ่ายงานทั้งสองแบบให้ผลที่คล้ายคลึงกันมาก แต่ CONWIP มีความยืดหยุ่นมากกว่าในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของสถานีที่เป็นคอยตรวจสอบ

Muckstadt and Tayur (1995) ใช้การจำลองสถานการณ์เป็นเครื่องมือเปรียบเทียบการใช้ระบบ CONWIP กับ Kanban ในการควบคุมการจ่ายงานเข้าสู่สายการผลิตที่เวลาผลิตมีความผันแปร มีการหยุดทำงานของเครื่องจักร มีชิ้นงานที่ต้องแก้ไขใหม่ และมีผลผลิตที่มีข้อบกพร่อง ในการศึกษาได้กำหนดให้ผลผลิตเท่ากัน พบว่า ระบบ Kanban มีจำนวนงานระหว่างทำเฉลี่ยต่ำกว่าระบบ CONWIP แต่จำนวนงานระหว่างทำสูงสุดของ CONWIP ต่ำกว่าของ Kanban

Duenyas and KEBLIS (1995) ใช้วิธีการศึกษาเชิงวิเคราะห์ และการจำลองสถานการณ์ เพื่อเปรียบเทียบระบบ CONWIP กับ ระบบ Kanban ของสายการประกอบ โดยกำหนดให้อัตราผลผลิตที่ต้องการของทั้งสองระบบเท่ากัน และพบว่าสายการประกอบที่ใช้วิธีการจ่ายงานแบบ CONWIP มีจำนวนงานระหว่างทำสูงสุดต่ำกว่าสายการประกอบที่ใช้วิธี Kanban ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Muckstadt and Tayur (1995) แต่ Duenyas และ KEBLIS พบว่าจำนวนงานระหว่างทำเฉลี่ยของ CONWIP นั้นต่ำกว่าแบบ Kanban ซึ่งผลส่วนหลังนี้ตรงข้ามกับผลที่พบโดย Muckstadt and Tayur

Lambrecht และ Segaert (1990) ได้จำลองสายการผลิตแบบเส้นตรงที่มี 6 สถานี และมีความผันแปรในเวลาผลิต โดยทำการศึกษาทั้งกรณีที่เวลาผลิตเฉลี่ยแต่ละสถานีเท่ากัน และ กรณีที่สายการผลิตมีคอยตรวจสอบ โดยเขาได้กำหนดให้สถานีคอยตรวจสอบหมายถึงสถานีที่มีเวลาผลิตเฉลี่ยนาน

ในกรณีเวลาผลิตเฉลี่ยแต่ละสถานีเท่ากันนั้น เขาทำการเปรียบเทียบระบบผลึก Kanban และ Long Pull ที่จำนวนงานระหว่างทำในสายการผลิตสูงสุด 3 ระดับ ได้แก่ 16, 21, และ 26 หน่วย และที่ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน (Coefficient of variation) 4 ระดับ ได้แก่ 0.1, 0.3, 0.5, และ 1.0 สำหรับ

Kanban และ ระบบผลึกมีการกำหนดขนาดบัฟเฟอร์ระหว่างแต่ละสถานีเท่ากัน เช่น เมื่อกำหนดให้จำนวนงานระหว่างทำสูงสุดเป็น 16 หน่วย สายการผลิตที่ประกอบด้วย 6 สถานี ซึ่งมีบัฟเฟอร์ 5 จุด จะมีขนาดบัฟเฟอร์แต่ละจุดเท่ากันที่ 2 หน่วย รวมเป็นขนาดบัฟเฟอร์ทั้งหมด 10 หน่วย ซึ่งเมื่อรวมจำนวนงานระหว่างทำที่กำลังอยู่ระหว่างการผลิตที่ทั้ง 6 สถานี จึงเป็นจำนวนงานระหว่างทำสูงสุดในสายการผลิตรวมกัน 16 หน่วย สำหรับระบบ Long pull นั้น มีการควบคุมเฉพาะจำนวนงานระหว่างทำสูงสุดในสายการผลิต ไม่มีการจำกัดขนาดบัฟเฟอร์ระหว่างแต่ละสถานีแต่อย่างใดซึ่งมีลักษณะเดียวกันกับ CONWIP นั่นเอง ผลการศึกษาด้วยการจำลองสถานการณ์พบว่าในทุกระดับสัมประสิทธิ์การแปรผัน ระบบการจ่ายงานที่ให้ผลผลิตเรียงจากมากที่สุดไปค่าน้อยที่สุดคือ Long pull ระบบผลึก และ Kanban สำหรับการทดลองในกรณีที่มีสถานีคอขวดนั้น ได้เปลี่ยนจากการศึกษาแบบ Long pull เป็นแบบ DBR โดยเริ่มผลิตงานเพิ่มหนึ่งหน่วยที่สถานีแรกก็ต่อเมื่อมีงานหนึ่งหน่วยผ่านการผลิตเรียบร้อยแล้วที่สถานีคอขวด โดยยังคงศึกษาเปรียบเทียบกับวิธี Kanban และ วิธีผลึก ผลการเปรียบเทียบพบว่า การจ่ายงานแบบ DBR นี้ให้ผลผลิตมากกว่าการจ่ายงานแบบ Kanban และ แบบผลึก

Kim(1995) จำลองสถานการณ์ของระบบการผลิตแบบ Flow-shop และ Job-shop เพื่อเปรียบเทียบวิธีการจ่ายงานแบบดัง 3 วิธี ได้แก่ Output-flow-control (OFC) Bottleneck-flow-control (BFC) และ Dynamic-flow-control (DFC) โดยวิธีการจ่ายงานแบบ OFC และแบบ BFC เป็นวิธีการควบคุมที่พัฒนามาจากหลักการ CONWIP และ DBR ตามลำดับ ส่วน DFC เป็นวิธีการจ่ายงานที่ปรับอัตราผลผลิตจริงให้สอดคล้องกับอัตราผลผลิตและจำนวนสินค้าคงเหลือเป้าหมาย ตัวแปรตามของการศึกษาประกอบด้วย จำนวนผลผลิตเฉลี่ย จำนวนงานระหว่างทำเฉลี่ย ระยะเวลาล่าช้าเฉลี่ย และจำนวนงานที่เสร็จล่าช้าเฉลี่ย จากการวิจัยพบว่าวิธีการจ่ายงานที่ดีที่สุดขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเครื่องจักรที่ชำรุด ตำแหน่งของสถานีคอขวด และ ระดับความผันแปรของเวลาผลิต

ต่อมาในปี 1998 Gilland ใช้การจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบระบบการจ่ายงานในสายการผลิตโดยแบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วนคือ (1) ศึกษาสายการผลิตที่มีหนึ่งสถานีเป็นคอขวด และ (2) ศึกษาสายการผลิตที่มีสองสถานีเป็นคอขวด

ในการศึกษากรณีแรกที่กำหนดให้สถานีเพียงจุดเดียวเป็นคอขวดนั้นเป็นการศึกษาเปรียบเทียบระบบการจ่ายงานแบบผลึก แบบ CONWIP และ แบบ DBR พบว่า เมื่อกำหนดให้จำนวนผลผลิตคงที่ DBR มีจำนวนงานระหว่างทำเฉลี่ยต่ำสุด การจ่ายงานแบบผลึกมีจำนวนงานระหว่างทำเฉลี่ยสูงสุด DBR มีความสามารถมากกว่า CONWIP แต่เมื่อสถานีคอขวดเป็นสถานีที่อยู่ใกล้ช่วงปลายของสายการผลิตมากเท่าใด ความสามารถของ DBR ก็กับ CONWIP ใกล้เคียงกันมากขึ้น เนื่องจากถ้าสถานีคอขวดเป็นสถานีสุดท้ายในสายการผลิตนั้นหมายความว่าสำหรับทั้ง DBR และ CONWIP มีจุดค้างงานที่สถานีสุดท้าย และเมื่อกำลังการผลิตของสถานีคอขวดใกล้เคียงกับกำลังการ

ผลิตของสถานที่ที่ไม่ใช่คอขวดแล้ว ความสามารถของ DBR จะใกล้เคียงกับ CONWIP มากขึ้น เช่นเดียวกัน

ในการศึกษากรณีที่สองกำหนดให้สายการผลิตมีสถานีสองจุดเป็นคอขวด และใช้วิธีการทำงานที่ประยุกต์จากหลักการ DBR ทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ (1) Pull-from-bottleneck1 (PFB1) ซึ่งกำหนดให้จำนวนงานระหว่างทำในสายการผลิตนับแต่สถานีแรกและสถานีคอขวดสถานีแรกคงที่ (2) Pull-from-bottleneck2 (PFB2) ซึ่งกำหนดให้จำนวนงานระหว่างทำในสายการผลิตนับแต่สถานีแรกและสถานีคอขวดแห่งที่สองคงที่ และ (3) Pull-from-both-bottleneck (PFBB) ซึ่งกำหนดให้จำนวนงานระหว่างทำในสายการผลิตทั้งที่อยู่ระหว่างสถานีแรกและสถานีคอขวดแห่งแรก และ อยู่ระหว่างสถานีแรกและสถานีคอขวดแห่งที่สองคงที่เสมอ โดยวิธี PFBB นั้นป้องกันงานใหม่เข้าสู่สายการผลิตเมื่อมีงานที่ผลิตเสร็จเรียบร้อยที่สถานีคอขวดแห่งแรก หรือ สถานีคอขวดแห่งที่สอง ยกตัวอย่าง เช่น เมื่อใดก็ตามที่สถานีคอขวดแห่งแรกผลิตงานเสร็จหนึ่งหน่วยจะมีการจ่ายงานเข้าสู่สายการผลิตที่สถานีแรกอีกหนึ่งหน่วย หรือ เมื่อใดก็ตามที่สถานีคอขวดแห่งที่สองผลิตเสร็จหนึ่งหน่วยจะมีการจ่ายงานเข้าสู่สายการผลิตที่สถานีแรกอีกหนึ่งหน่วยเช่นเดียวกัน การทดลองพบว่า PFBB มีจำนวนงานระหว่างทำเฉลี่ยในสายการผลิตต่ำที่สุด และ จำนวนงานระหว่างทำของทั้งสามวิธีใกล้เคียงกันมากขึ้นเมื่อกำลังการผลิตของสถานีคอขวดใกล้เคียงกับกำลังการผลิตของสถานที่ที่ไม่ใช่คอขวด

2.3 รูปแบบบัฟเฟอร์และกำลังการผลิตป้องกัน

อัตราผลผลิตของสายการผลิตขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตของสถานที่ที่มีเวลาผลิตเฉลี่ยนานที่สุด ทั้งนี้ในกรณีที่ความต้องการสินค้ามากกว่ากำลังการผลิตของสถานีดังกล่าว นั้นหมายความว่าสถานีนั้นเป็นจุดอ่อน หรือ เป็นคอขวดของสายการผลิต ในการปรับปรุงสายการผลิตให้ผลิตสินค้าได้จำนวนมากขึ้น อาจจะแก้ไขปรับปรุงคอขวดให้ผลิตสินค้าได้เร็วขึ้น และต่อเนื่องตลอดเวลาหรือไม่มีการหยุดชะงัก ซึ่งเป็นวิธีที่สอดคล้องกับทฤษฎีการดำเนินงานที่ชื่อว่าทฤษฎีข้อจำกัด (Theory of Constraints, TOC) เสนอโดย Eliyahu M. Goldratt (Goldratt and Cox, 1986) ซึ่งเป็นทฤษฎีที่แนะนำให้มีการมุ่งปรับเปลี่ยนแก้ไขจุดอ่อนหรือคอขวดของระบบ ซึ่งจะดำเนินการได้ก็ต่อเมื่อมีการค้นพบจุดอ่อน และพยายามให้ความสำคัญในการเสริมสร้างปรับปรุงจุดอ่อนนั้น

วิธีการหนึ่งในการปรับปรุงผลผลิตของสายการผลิตที่มีคอขวดคือการเพิ่มกำลังการผลิตที่สถานีคอขวดซึ่งทำให้สามารถผลิตสินค้าได้รวดเร็วขึ้น โดยอาจจะด้วยการเพิ่มเครื่องจักรที่สถานีคอขวด ลดเวลาการจัดเตรียมเครื่องจักรที่สถานีคอขวด การฝึกฝนอบรมพนักงานให้สามารถทำงานในหลายแผนกได้ หรือ ให้นักงานทำงานล่วงเวลา

นอกเหนือจากการเพิ่มกำลังการผลิตที่สถานีคอขวดแล้ว อาจจะทำให้มีงานระหว่างทำและมีบัฟเฟอร์สำหรับรองรับงานระหว่างทำที่รอคอยการผลิต ซึ่งทำให้ลดปัญหาการขาดงานป้อนเข้าสู่แต่ละสถานี (Starvation) และ ลดปัญหาการไม่มีพื้นที่รองรับงานที่ผ่านการผลิตเรียบร้อยแล้วในแต่ละสถานี (Blocking) เมื่อปัญหาเหล่านี้ลดน้อยลงย่อมช่วยให้แต่ละสถานีทำงานได้อย่างต่อเนื่องและเป็นอิสระจากกันมากขึ้นอันจะนำไปสู่การเพิ่มผลผลิตได้ในที่สุด เพราะแต่ละสถานีสามารถนำงานในบัฟเฟอร์หน้าสถานีมาผลิต ได้ถ้าสถานีก่อนหน้าสถานีดังกล่าวผลิตงานได้ช้า และสามารถวางงานที่บัฟเฟอร์หลังสถานีได้ถึงแม้ว่าสถานีการผลิตที่อยู่ถัดไปยังอยู่ระหว่างผลิตและไม่พร้อมรับงานใหม่ได้ทันที ซึ่งตัวอย่างของประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากการให้มีงานระหว่างทำในสายการผลิตที่สถานีมีความผันแปรของเวลาผลิต แสดงในงานวิจัยของ Inman (1993) และ Conway, Maxwell, และ McClain (1988) เป็นต้น

ถึงแม้ว่าการมีงานระหว่างทำในสายการผลิตจะมีข้อดี แต่ทำให้สูญเสียพื้นที่เพื่อเป็นบัฟเฟอร์รองรับงานระหว่างทำ ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บงานระหว่างทำ ความเสี่ยงที่งานระหว่างทำจะเสื่อมสภาพและชำรุด รวมทั้ง ระยะเวลาที่งานอยู่ในสายการผลิต (Flow time) จะนานขึ้นเนื่องจากระยะเวลาที่แต่ละงานอยู่ในสายการผลิตนั้นรวมเวลาระหว่างถูกผลิตที่สถานี เวลาในการเคลื่อนย้ายและเวลารอคอยด้วย ยังมีงานระหว่างทำในระบบการผลิตมากเท่าใดหมายถึงงานแต่ละหน่วยต้องใช้เวลาในการรอคอยเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ในบางกิจการที่มีงานระหว่างทำจำนวนมากพบว่าระยะเวลาที่งานอยู่ในสายการผลิตโดยเฉลี่ยนั้นนานมากกว่า 1 เดือน ในขณะที่ใช้เวลาเพียง 1 วันเท่านั้นในการดำเนินการผลิต (Conway et al., 1988) การเพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่งานอยู่ในสายการผลิตนี้ถือว่าเป็นปัญหาที่สำคัญมาก เพราะเมื่อระยะเวลาที่งานอยู่ในสายการผลิตเพิ่มขึ้น กิจการจำเป็นต้องยืดระยะเวลาการส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้า อันส่งผลให้ลูกค้ามีความพึงพอใจลดลงได้ ดังนั้น ที่ผ่านมามีงานวิจัยบางส่วนที่หาวิธีการเพิ่มความสามารถของระบบการผลิตภายใต้สถานการณ์ที่มีจำนวนงานระหว่างทำจำกัด

Smith and Brumbaugh (1977) ได้ศึกษาอิทธิพลของการจัดสรรขนาดบัฟเฟอร์ที่มีจำกัดในสายการผลิตที่ใช้วิธีการจ่ายงานแบบผลึก และ มีความผันแปรในเวลาผลิต สายการผลิตประกอบด้วยสามสถานีเรียงต่อเนื่องกัน มีบัฟเฟอร์รองรับงานระหว่างทำอยู่ 2 แห่ง คือ ระหว่างสถานีที่ 1 และ 2 และ ระหว่างสถานีที่ 2 และ 3 รูปแบบการจัดสรรบัฟเฟอร์ มี 3 รูปแบบ ได้แก่ (1) 25-75% (2) 50-50% และ (3) 75-25% พบว่าอัตราผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับระดับความผันแปรของเวลาผลิต รูปแบบการจัดสรรบัฟเฟอร์ที่ให้จำนวนผลผลิตมากที่สุดคือรูปแบบที่ 3: 50-50% นั่นคือ ให้ขนาดบัฟเฟอร์ระหว่างสถานีที่ 1 และ 2 เท่ากับ ขนาดบัฟเฟอร์ระหว่างสถานีที่ 2 และ 3

El-rayah (1978) ศึกษาผลของการจัดสรรบัฟเฟอร์ ในสายการผลิตที่มีระบบการจ่ายงานแบบผลึก เวลาผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) ไม่มีการจำกัดขนาดบัฟเฟอร์หน้าสถานีแรก โดยทำการศึกษาทั้งสายการผลิตที่มีสามสถานีและสี่สถานี ในกรณีที่สายการผลิตมีสามสถานี ผู้วิจัยได้กำหนดให้ขนาดบัฟเฟอร์ทั้งหมดของสายการผลิตเป็น 8 และ 24 หน่วย ในกรณีที่สี่สถานี กำหนดให้ขนาดบัฟเฟอร์ทั้งสายการผลิตรวมเป็น 12 หน่วย และ 24 หน่วย การศึกษาพบว่าจำนวนผลผลิตของสายการผลิตที่มีการจัดสรรบัฟเฟอร์ ให้แต่ละสถานีไม่เท่ากัน ไม่มากกว่าจำนวนผลผลิตของสายการผลิตที่มีการจัดสรรขนาดบัฟเฟอร์ให้เท่ากันอย่างมีนัยสำคัญ หรือ กล่าวอีกนัยหนึ่ง การจัดสรรขนาดบัฟเฟอร์ไม่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มอัตราผลผลิต แต่ถ้าจำเป็นจะต้องจัดสรรขนาดบัฟเฟอร์ให้ไม่เท่ากันระหว่างแต่ละสถานี ควรจัดสรรบัฟเฟอร์ให้สถานีที่อยู่ตำแหน่งตรงกลางของสายการผลิตมากกว่าสถานีที่อยู่ตำแหน่งตอนต้นหรือตอนปลายของสายการผลิต

Conway et al. (1988) ศึกษาการจัดสรรขนาดบัฟเฟอร์ในสายการผลิตที่มีความผันแปรในเวลาผลิต ผลการศึกษาคือ (1) เมื่อสายการผลิตประกอบด้วยสถานีที่มีเวลาผลิตเฉลี่ยและความผันแปรของเวลาผลิตเท่ากันทุกสถานี ควรจัดสรรขนาดบัฟเฟอร์ให้เท่ากันก่อนและถ้ามีขนาดบัฟเฟอร์เหลือให้จัดสรรให้สถานีที่ตำแหน่งตรงกลางของสายการผลิตก่อนที่จะจัดสรรให้กับสถานีตำแหน่งแรกและปลายของสายการผลิต (2) เมื่อสายการผลิตประกอบด้วยสถานีที่มีเวลาผลิตเฉลี่ยเท่ากัน แต่มีความผันแปรในเวลาผลิตไม่เท่ากัน ควรให้สถานีที่มีความผันแปรในเวลาผลิตสูงมีขนาดบัฟเฟอร์มากกว่าสถานีอื่น และ (3) สายการผลิตที่มีคอขวดไม่จำเป็นจะต้องมีขนาดบัฟเฟอร์ทั้งหมดในสายการผลิตมากเท่ากับสายการผลิตที่ไม่มีคอขวด และควรจัดสรรบัฟเฟอร์ให้พื้นที่รอบสถานีคอขวดมากกว่าสถานีอื่น

นอกจากการศึกษาวิธีหรือรูปแบบในการจัดสรรขนาดบัฟเฟอร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตแล้ว การให้สถานีที่ไม่ใช่คอขวดมีกำลังการผลิตป้องกัน (Protective capacity) เป็นอีกวิธีที่ช่วยให้เกิดความต่อเนื่องในการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตได้ ซึ่ง American Production and Inventory Control Society (APICS) ได้ให้คำจำกัดความของ Protective capacity (Cox, Blackstone, and Spencer, 1995) ดังนี้

“ A given amount of extra capacity at non-constraints above the system constraint's capacity, used to protect against statistical fluctuations (breakdowns, late of material, quality problems, etc.)”

การที่มีกำลังการผลิตป้องกันที่สถานีที่ไม่ใช่คอขวดทำให้สถานีก่อนหน้าสถานีคอขวดผลิตงานส่งให้กับสถานีคอขวด ได้รวดเร็วยิ่งขึ้นและต่อเนื่องมากขึ้นจึงลดปัญหา starving ที่สถานีคอขวดลงได้ และสถานีหลังสถานีคอขวดสามารถผลิตงานออกไปจากสายการผลิตได้อย่างรวดเร็วขึ้นทำให้งานไม่ค้างค้ำอยู่ที่บัฟเฟอร์หลังสถานีคอขวดจึงลดปัญหาการ blocking ที่สถานีคอขวดได้ ประโยชน์

ของกำลังการผลิตป้องกันได้แสดงไว้ในผลงานวิจัยของ Atwater (1991) ซึ่งทำการจำลองสถานการณ์ เพื่อแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนงานระหว่างทำ และ กำลังการผลิตป้องกันในระบบผลิตแบบ flow shop ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มจำนวนงานระหว่างทำและกำลังการผลิตป้องกันช่วยให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น แต่เมื่อจำนวนงานระหว่างทำนั้นสูงถึงระดับหนึ่ง ถึงแม้การเพิ่มกำลังการผลิตป้องกันส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นก็ตามแต่เป็นการเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงและเริ่มคงที่เมื่อกำลังการผลิตป้องกันเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่ง ดังนั้น จึงแสดงว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างจำนวนงานระหว่างทำ และ กำลังการผลิตป้องกัน ผู้วิจัยได้ให้ข้อเสนอแนะว่าในระบบการผลิตที่มีต้นทุนในการรองรับงานระหว่างทำในสายการผลิตที่สูงมากอาจจะใช้กำลังการผลิตป้องกันเพื่อสามารถ ได้อัตราผลผลิตตามที่ต้องการในขณะที่ลดจำนวนงานระหว่างทำลง

Atwater and Chakravorty (1994) ทำการจำลองสถานการณ์สายการผลิตที่ใช้วิธีการทำงานแบบ CONWIP ในการเปรียบเทียบรอบเวลา (Cycle time) ของสายการผลิตที่มีกำลังการผลิตป้องกัน และที่ไม่มีกำลังการผลิตป้องกัน พบว่าเมื่อสายการผลิตมีระยะเวลาที่ต้องหยุดทำงานเนื่องจากเครื่องจักรเสียและต้องซ่อมแซม (System downtime) ไม่สูงมาก การให้มีกำลังการผลิตป้องกันช่วยลดรอบเวลาลงได้อย่างมากถ้าจำนวนงานระหว่างทำนั้นจำกัดแต่เมื่อเพิ่มงานระหว่างทำขึ้นถึงจำนวนหนึ่งพบว่ากำลังการผลิตป้องกันลดรอบเวลาได้แต่ไม่ถึงว่าลดลงมากนัก ในสถานการณ์ที่ System downtime สูงมาก การมีกำลังการผลิตป้องกันมีผลทำให้รอบเวลาลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่จำนวนงานระหว่างทำทุกระดับและพบว่าการลดลงของรอบเวลายังเป็นไปอย่างต่อเนื่องเมื่อเพิ่มจำนวนงานระหว่างทำโดยรอบเวลาไม่สามารถเข้าสู่สถานะคงที่ได้เลย ในขณะที่เมื่อ System downtime ไม่สูงมากพบว่ารอบเวลาลดลงและเริ่มคงที่เมื่อเพิ่มจำนวนงานระหว่างทำถึงระดับหนึ่ง Atwater และ Chakravorty จึงได้ให้ข้อเสนอแนะว่าเมื่อความผันแปรในระบบการผลิตต่ำ อาจจะ ไม่จำเป็นต้องมีกำลังการผลิตป้องกันถ้าระบบมีจำนวนงานระหว่างทำเพียงพอและไม่จำเป็นต้องกำหนดให้งานระหว่างทำในระบบมีจำนวนมากก็ได้เมื่อเทียบกับระบบการผลิตที่มีความผันแปรสูงกว่า

Hurley และ Kapidasoglu (1998) ได้ชี้ให้เห็นว่าบางกิจการที่ผลิตสินค้ามากกว่าหนึ่งชนิดในสายการผลิตเดียวกันลดกำลังการผลิตส่วนเกินที่สถานีที่ไม่ใช่คอขวดลงจนกระทั่งทุกสถานีมีเวลาผลิตเฉลี่ยเท่ากัน เนื่องจากต้องการใช้สถานีหรือเครื่องจักรอย่างคุ้มค่าให้มากที่สุดเพื่อไม่ให้เกิดเวลาอยู่เปล่า (Idle time) แต่ Hurley และ Kapidasoglu ให้ความสำคัญเห็นว่าการทำเช่นนี้ส่งผลให้สถานีคอขวดมีการย้ายตำแหน่งเมื่อมีการเปลี่ยนชนิดของสินค้าที่ผลิต เขาจึงแนะนำว่าควรให้มีกำลังการผลิตป้องกันเพื่อช่วยลดปัญหาการเคลื่อนที่ของคอขวดลง

Kadipasaoglu, Xiang, Hurley, และ Khumawala (2000) ดำเนินการจำลองสถานการณ์เพื่อศึกษาสายการผลิตที่ประกอบด้วย 4 สถานี พบว่า การมีกำลังการผลิตป้องกัน และการให้สถานีแรกเป็นตำแหน่งของสถานีคอขวด ลดระยะเวลาที่งานอยู่ในระบบการผลิต จำนวนงานระหว่างทำ และเวลารอคอย แต่ทั้งนี้ประโยชน์ของกำลังการผลิตป้องกัน และ ตำแหน่งของสถานีคอขวดมากเพียงใด นั้นขึ้นอยู่กับระดับความแปรผันในเวลาผลิต และ ระยะเวลาที่ต้องหยุดทำงานเนื่องจากเครื่องจักรเสีย และต้องซ่อมแซม (System downtime)

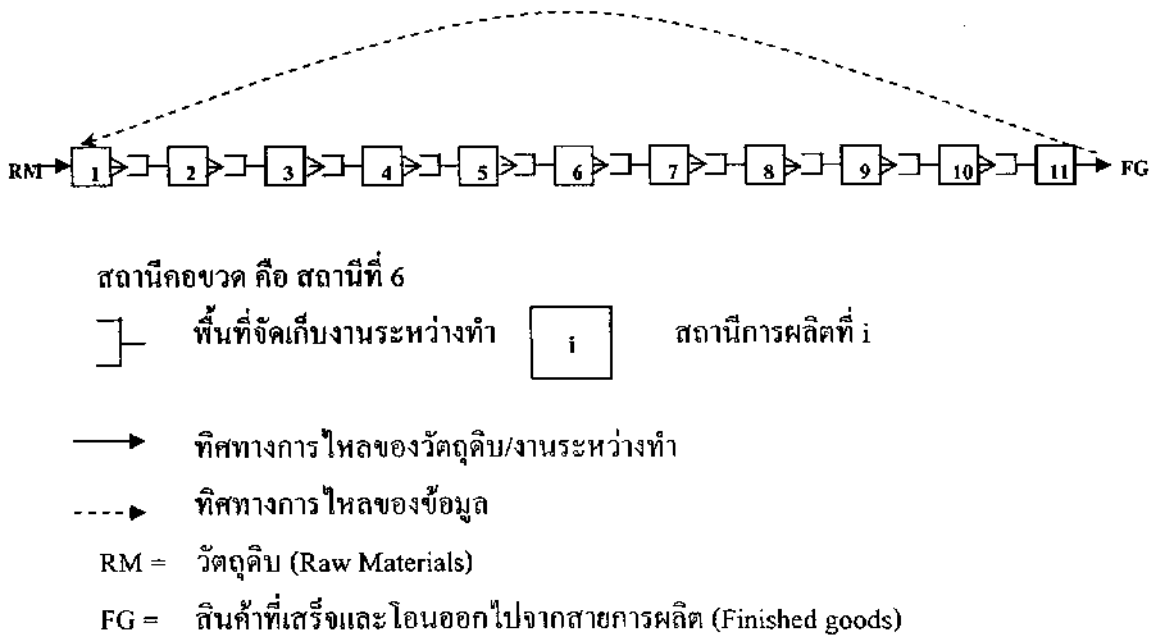
Kadipasaoglu, Xiang, Hurley, และ Khumawala (2000) ดำเนินการจำลองสถานการณ์เพื่อศึกษาสายการผลิตที่ประกอบด้วย 4 สถานี พบว่า การมีกำลังการผลิตป้องกัน และการให้สถานีแรกเป็นตำแหน่งของสถานีคอขวด ลดระยะเวลาที่งานอยู่ในระบบการผลิต จำนวนงานระหว่างทำ และเวลารอคอย แต่ทั้งนี้ประโยชน์ของกำลังการผลิตป้องกัน และ ตำแหน่งของสถานีคอขวดมากเพียงใด นั้นขึ้นอยู่กับระดับความแปรผันในเวลาผลิต และ ระยะเวลาที่ต้องหยุดทำงานเนื่องจากเครื่องจักรเสีย และต้องซ่อมแซม (System downtime)

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองสำหรับการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ใช้การจำลองสถานการณ์เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล โดยผู้วิจัยเขียนโปรแกรมสำหรับการทดลองด้วย AWESIM! Simulation Program (Pritsker, O'Reilly, and LaVal, 1997) ในส่วนต่อไปของบทนี้จะอธิบายการออกแบบการวิจัยด้วยการจำลองสถานการณ์ (simulation) ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การกำหนดลักษณะสายการผลิตจำลอง (2) ตัวแปรและระดับของตัวแปร (3) การออกแบบการทดลองด้วยการจำลองสถานการณ์ ซึ่งประกอบด้วย การกำหนดระยะเวลาตั้งแต่เริ่มจนถึงจุดที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว (Steady state) การกำหนดระยะเวลาในการดำเนินการจำลองสถานการณ์ แต่ละรอบ และ การกำหนดจำนวนรอบของการจำลองสถานการณ์

3.1 ลักษณะสายการผลิตจำลอง

ภาพที่ 3.1 แสดงลักษณะของสายการผลิตที่ผู้วิจัยได้กำหนดขึ้นเพื่อเป็นกรณีศึกษาสำหรับการวิจัยด้วยการใช้การจำลองสถานการณ์ (Simulation)



ภาพที่ 3.1 ลักษณะของสายการผลิตสำหรับการวิจัย

รายละเอียดของลักษณะสายการผลิต

- 1) สายการผลิตเป็นแบบเส้นตรง (Flow line) ผลิตสินค้าเพียงชนิดเดียว และประกอบด้วยสถานีผลิตทั้งหมด 11 สถานี กำกับด้วยหมายเลข 1 ถึง หมายเลข 11 เรียงต่อเนื่องกันตามลำดับของขั้นตอนการทำงาน นั่นหมายถึงงานทุกหน่วยต้องผ่านการผลิตทั้ง 11 สถานีเรียงตามลำดับ
- 2) ลำดับการทำงานแต่ละสถานีเป็นแบบ first-in-first-out นั่นคืองานใดที่มาถึงสถานีก่อนได้รับการผลิตก่อน และใช้วิธีการจ่ายงานแบบ CONWIP (Constant-work-in-process) ซึ่งกำหนดให้สถานีแรกเริ่มผลิตงานใหม่เมื่อสถานีสุดท้ายผลิตงานหนึ่งหน่วยเสร็จเรียบร้อย เพื่อเป็นการควบคุมให้จำนวนงานระหว่างทำในสายการผลิตนับตั้งแต่สถานีแรกจนถึงสถานีสุดท้ายคงที่ จำนวนงานระหว่างทำในที่นี้ไม่นับรวมจำนวนวัตถุดิบที่รอผลิตที่สถานีแรก และ ไม่นับรวมจำนวนงานที่ผลิตเสร็จที่สถานีสุดท้าย และสมมติว่าไม่มีการจำกัดขนาดบัฟเฟอร์หน้าสถานีแรก และ สินค้าที่ผ่านการผลิตที่สถานีสุดท้ายถูกโอนออกไปจากระบบการผลิตทันที เช่น สินค้าอาจจะถูกส่งไปจัดเก็บที่คลังสินค้าเพื่อส่งมอบให้ลูกค้าต่อไป หรือ สินค้าอาจจะถูกส่งต่อไปยังระบบการผลิตอื่นต่อไปทันที
- 3) ทุกสถานีมีความผันแปรในเวลาผลิต และกำหนดให้การแจกแจงของเวลาผลิตในแต่ละสถานีเป็นแบบ Lognormal เนื่องจาก การแจกแจงแบบ Lognormal มีลักษณะเบ้ไปทางขวาและมีค่าเป็นบวกเท่านั้น จึงถือว่ามีความเหมาะสมในการอธิบายลักษณะการกระจายของเวลาผลิต (Muralidhar, Swenseth, and Wilson, 1995) โดยกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน (Coefficient of variations) ที่ 5% และ 50% เพื่อได้ผลที่สะท้อนถึงความสามารถของสายการผลิตภายใต้สถานการณ์ที่มีความผันแปรในเวลาผลิตต่ำและสูงตามลำดับ
- 4) กำหนดเวลาทำงานที่ 8 ชั่วโมงต่อวัน
- 5) สถานีคอขวดสำหรับการศึกษานี้ หมายถึง สถานีที่มีเวลาผลิตเฉลี่ยยาวนานกว่าสถานีอื่น และกำหนดให้สถานีที่ 6 เป็นสถานีคอขวด เวลาการผลิตเฉลี่ยที่สถานีคอขวดคือหน่วยละ 15 นาที ถ้าไม่มีความผันแปรในเวลาผลิต จะได้อัตราผลผลิต 4 หน่วยต่อชั่วโมง ในการศึกษานี้ กำหนดเวลาการทำงานที่ 8 ชั่วโมงต่อวัน ดังนั้นอัตราผลผลิตเฉลี่ยจะเป็น 32 หน่วยต่อวัน

กำลังการผลิตป้องกัน (Protective capacity) คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างระหว่างอัตราผลผลิตของสถานีที่ไม่ใช่คอขวดและสถานีที่เป็นคอขวด (Atwater, 1991; Kim, 1995)

คำนวณค่ากำลังการผลิตป้องกันได้ตามสูตรดังต่อไปนี้

อัตราผลผลิตของสถานีที่ไม่ใช่คอขวด – อัตราผลผลิตของสถานีคอขวด

อัตราผลผลิตของสถานีคอขวด

- 6) สมมติว่าปริมาณความต้องการในสินค้าไม่ต่ำกว่า 32 หน่วยต่อวัน กิจกรรมจึงต้องการที่จะผลิตให้ได้มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ เพื่อตอบสนองความต้องการให้ได้มากที่สุด
- 7) สมมติว่าไม่มีของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต และสมมติว่าระยะเวลาผลิตเฉลี่ยในแต่ละสถานีครอบคลุมระยะเวลาของการบำรุงรักษาและซ่อมแซมเครื่องจักรแล้ว

3.2 ตัวแปรและระดับของตัวแปร

3.2.1) ตัวแปรตาม

ตัวชี้วัดความสามารถของสายการผลิตในการศึกษาครั้งนี้คืออัตราผลผลิตเฉลี่ยต่อวัน (Average throughput per day) เนื่องจากผลผลิตถือว่าเป็นค่าหนึ่งที่น่าจะใช้เป็นตัวชี้วัดความสามารถของระบบการผลิตจึงจะเห็นได้ในตัวอย่างงานวิจัยบางส่วนที่ทบทวนไปแล้วในบทที่ 2

3.2.2) ตัวแปรอิสระ

ตัวแปรอิสระของการศึกษานี้มีทั้งหมดสองตัว ได้แก่ กำลังการผลิตป้องกัน (Protective capacity) โดยในการศึกษานี้จะกำหนดตัวของ Protective capacity ด้วย PC และ รูปแบบบัฟเฟอร์ (Buffer patterns) โดยจะกำหนดตัวของ Buffer patterns ด้วย BP

(1) กำลังการผลิตป้องกัน

ในการศึกษานี้จะกำหนดให้กำลังการผลิตป้องกันที่สถานีที่ไม่ใช่คอขวดมี 3 ระดับ ได้แก่ 0% 20% และ 40% และให้ทุกสถานีที่ไม่ใช่คอขวดมีกำลังการผลิตป้องกันเท่ากัน เนื่องจากการวิจัยโดย Atwater(1991) พบว่าการให้กำลังการผลิตป้องกันแต่ละสถานีเท่ากันให้ผลผลิตที่ดีที่สุด ตารางที่ 3.1 แสดงเวลาผลิตเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาผลิต และ อัตราผลผลิตเฉลี่ยของแต่ละระดับของ CV และ PC

ตารางที่ 3.1 เวลาผลิตเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาผลิต และ อัตราผลผลิตเฉลี่ย

สถานี	เวลาผลิตเฉลี่ย(นาท)	CV = 5%			CV = 50%		
		PC			PC		
		0%	20%	40%	0%	20%	40%
คอขวด	เวลาผลิตเฉลี่ย(นาท)	15	15	15	15	15	15
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาผลิต(นาท)	0.75	0.75	0.75	7.5	7.5	7.5
	อัตราผลผลิตเฉลี่ย(หน่วยต่อวัน)	32	32	32	32	32	32
สถานีที่ไม่ใช่คอขวด	เวลาผลิตเฉลี่ย(นาท)	15	12.5	10.71	15	12.5	10.71
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาผลิต(นาท)	0.75	0.625	0.536	7.5	6.25	5.357
	อัตราผลผลิตเฉลี่ย(หน่วยต่อวัน)	32	38.4	44.8	32	38.4	44.8

(2) รูปแบบบัฟเฟอร์ (Buffer patterns)

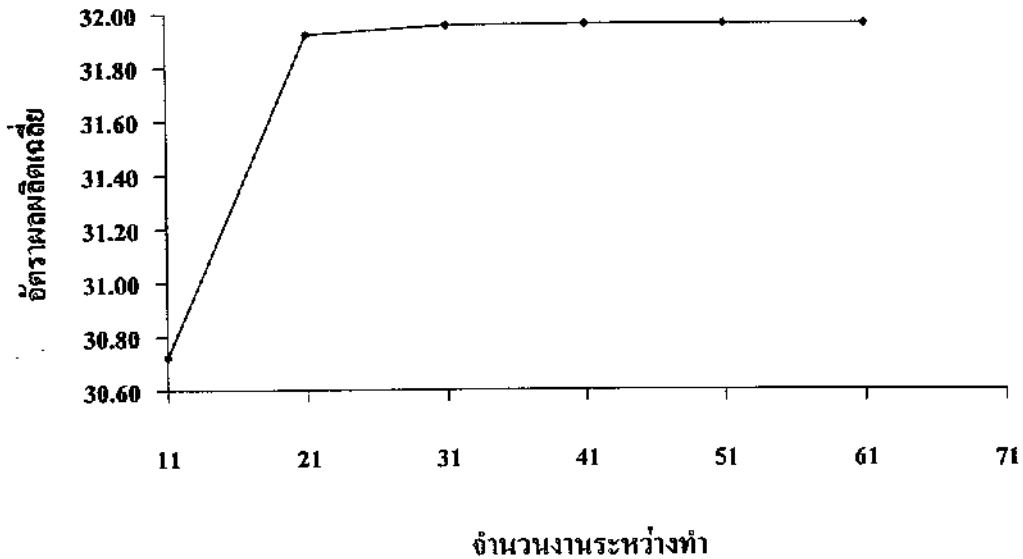
รูปแบบบัฟเฟอร์จำแนกตามขนาดบัฟเฟอร์รวมในสายการผลิตทั้งหมด (Total buffer size) และ ลักษณะของการจัดสรรบัฟเฟอร์ให้กับแต่ละสถานี (Buffer allocation) โดยมีรายละเอียดการกำหนดค่าดังต่อไปนี้

- ขนาดบัฟเฟอร์ รวม

ขนาดบัฟเฟอร์ไม่นับรวมบัฟเฟอร์หน้าสถานีแรกตามข้อสมมติที่ว่าบัฟเฟอร์หน้าสถานีแรกสามารถเก็บวัตถุดิบได้ไม่จำกัดจำนวน และไม่นับรวมบัฟเฟอร์หลังสถานีสุดท้ายตามข้อสมมติที่ว่างานที่ผลิตเสร็จที่สถานีสุดท้ายจะถูกส่งออกไปจากสายการผลิตทันทีจึงไม่จำเป็นต้องมีบัฟเฟอร์รองรับงานที่หลังสถานีสุดท้าย ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีที่สายการผลิตมีทั้งหมด 3 สถานี และ ขนาดบัฟเฟอร์รวมคือ 9 หน่วย หมายความว่า ขนาดบัฟเฟอร์ระหว่างสถานี 1 และ 2 และ ระหว่างสถานีที่ 2 และ 3 รวมกันได้ 9 หน่วย

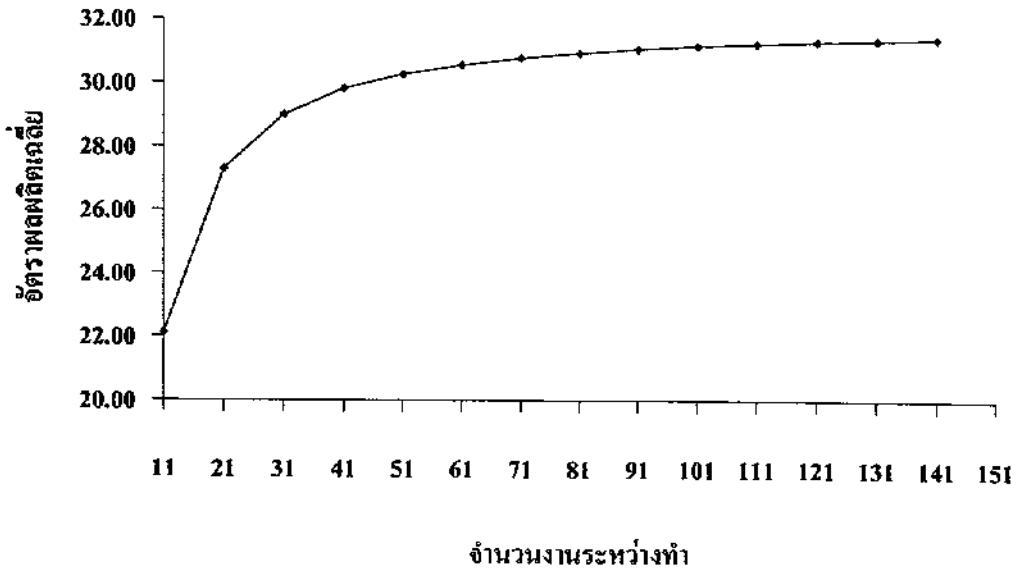
ในสายการผลิตที่ใช้วิธีการจ่ายงานแบบ CONWIP มีการกำหนดจำนวนงานระหว่างทำในสายการผลิตให้คงที่ และขนาดบัฟเฟอร์ทั้งหมดในสายการผลิตต้องสามารถรองรับจำนวนงานระหว่างทำได้นั้นคือขนาดบัฟเฟอร์ทั้งหมดในสายการผลิตรวมกับจำนวนสถานีผลิต(สถานีผลิตแต่ละสถานีสามารถรับงานได้ครั้งละ 1 หน่วย) ต้องไม่ต่ำกว่าจำนวนงานระหว่างทำที่กำหนด ดังนั้นก่อนกำหนดขนาดบัฟเฟอร์ทั้งหมดในสายการผลิตได้ จำเป็นต้องกำหนดจำนวนงานระหว่างทำทั้งหมดที่อยู่ในสายการผลิตก่อน ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองเบื้องต้นด้วยการจำลองสายการผลิตที่มีลักษณะตามที่อธิบายแล้วในตอนต้น ภายใต้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน (Coefficient of Variation, CV) ที่ทั้งสองระดับ ได้แก่ 5% และ 50% โดยกำหนดกำลังการผลิตป้องกันที่ 0% นั่นคือทุกสถานีมีเวลาผลิตเฉลี่ยเท่ากันที่ 15 นาที ไม่มีการจำกัดขนาดบัฟเฟอร์ระหว่างสถานี ค่าแรกของจำนวนงานระหว่างทำในสายการผลิตกำหนดให้เท่ากับ 11 หน่วย เท่ากับจำนวนสถานีเพื่อที่โดยเฉลี่ยแล้วแต่ละสถานีมีงาน 1 หน่วย และจึงเพิ่มจำนวนงานระหว่างทำครั้งละ 10 หน่วยเนื่องจากในสายการผลิตที่มี 11 สถานีมีตำแหน่งของบัฟเฟอร์ระหว่างสถานี 10 จุด (ทั้งนี้ การทดลองเบื้องต้นนี้ดำเนินการตามการออกแบบการจำลองสถานการณ์ ตามที่จะได้อธิบายในส่วนที่ 3.3)

ผลการทดลองเบื้องต้นในกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของเวลาผลิต (CV) เป็น 5% แสดงในภาพที่ 3.2 เมื่อมีจำนวนงานระหว่างทำในสายการผลิต 11 หน่วย อัตราผลผลิตเฉลี่ยเป็น 30.72 หน่วยต่อวัน เมื่อเพิ่มงานระหว่างทำเป็น 21 หน่วย อัตราผลผลิตเฉลี่ยเพิ่มเพียง 3.91% เป็น 31.92 หน่วยต่อวัน ซึ่งเริ่มใกล้เคียงกับอัตราผลผลิตเฉลี่ยเมื่อไม่มีความผันแปรในเวลาผลิต และเมื่อเพิ่มงานระหว่างทำเป็น 31 หน่วยขึ้นไป อัตราผลผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นแต่เพิ่มในอัตราที่ไม่มากนัก ดังนั้นในสายการผลิตที่มีค่า CV 5% การเพิ่มจำนวนงานระหว่างทำในสายการผลิตมากกว่า 21 หน่วย ไม่ทำให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมากนัก



ภาพที่ 3.2 อัตราผลผลิตเฉลี่ยเมื่อ $CV = 5\%$ $PC = 0\%$ และไม่มีการจำกัดขนาดบัฟเฟอร์

ผลการทดลองเบื้องต้นในกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของเวลาผลิต (CV) เป็น 50% แสดงในภาพที่ 3.3 พบว่าเมื่อจำนวนงานระหว่างทำมี 11 หน่วย สายการผลิตได้อัตราผลผลิตเฉลี่ยเพียง 22.10 หน่วย และ เมื่อจำนวนงานระหว่างทำเพิ่มเป็น 21 หน่วย อัตราผลผลิตเฉลี่ยเพิ่มเป็น 29 หน่วย เมื่อเพิ่มจำนวนงานระหว่างทำอัตราผลผลิตเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง และ ไม่สามารถได้อัตราผลผลิตใกล้เคียง 32 หน่วย ถึงแม้ว่าจะเพิ่มจำนวนงานระหว่างทำในสายการผลิตจนถึง 141 หน่วย แต่ก็ได้ผลผลิตเฉลี่ยเพียง 31.388 หน่วย



ภาพที่ 3.3 อัตราผลผลิตเฉลี่ยเมื่อ $CV = 50\%$ $PC = 0\%$ และไม่มีการจำกัดขนาดบัฟเฟอร์

จากผลที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น การศึกษานี้จะกำหนดจำนวนงานระหว่างทำในสายการผลิตเป็น 21 หน่วย เนื่องจากเมื่อ $CV = 50\%$ อัตราผลผลิตเมื่อจำนวนงานระหว่างทำเป็น 21 หน่วยต่ำกว่าอัตราผลผลิตเมื่อไม่มีความแปรปรวนในเวลาผลิตเป็นอย่างมาก ดังนั้น การทดลองโดยควบคุมจำนวนงานระหว่างทำในสายการผลิตจำกัดที่ 21 หน่วย จะทำให้เห็นอิทธิพลของกำลังการผลิตป้องกัน และ รูปแบบบัฟเฟอร์ที่มีต่ออัตราผลผลิตได้อย่างชัดเจนมากขึ้น ถ้ากำหนดให้จำนวนงานระหว่างทำสูงกว่า 21 หน่วย มีความเป็นไปได้ที่จำนวนงานระหว่างทำที่มีอยู่เป็นจำนวนมากนั้น อาจบิดเบือนอิทธิพลที่แท้จริงของกำลังการผลิตป้องกันและรูปแบบบัฟเฟอร์ได้

เมื่อกำหนดจำนวนงานระหว่างทำในสายการผลิตที่ 21 หน่วย ซึ่งในจำนวนนี้รวมงานระหว่างทำที่อยู่ระหว่างการผลิตที่สถานี 11 หน่วย ดังนั้นจึงกำหนดขนาดบัฟเฟอร์ทั้งหมด (Total buffer size) 3 ขนาด คือ (1) กำหนดเป็น 10 หน่วยซึ่งทำให้มีบัฟเฟอร์ในขนาดพอดีที่จะรองรับงานระหว่างทำที่รอคอยการผลิต และ (2) กำหนดขนาดบัฟเฟอร์ทั้งหมดเป็น 20 หน่วย ซึ่งมีขนาดที่มากกว่าจำนวนงานระหว่างทำในสายการผลิต และ (3) กำหนดให้ไม่มีการจำกัดขนาดบัฟเฟอร์ เพื่อทราบความแตกต่างระหว่างสายการผลิตที่มีบัฟเฟอร์จำนวนจำกัด และไม่จำกัด

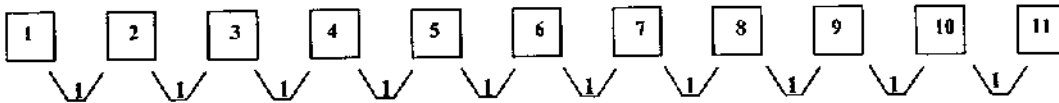
-วิธีการจัดสรรบัฟเฟอร์

ในกรณีที่สายการผลิตมีการจำกัดขนาดบัฟเฟอร์ ในการจัดสรรบัฟเฟอร์จะใช้ทั้งวิธีเฉลี่ยบัฟเฟอร์ให้ทุกสถานีเท่ากัน และ วิธีจัดสรรให้บัฟเฟอร์รอบสถานีคอกว่มากกว่าบัฟเฟอร์สถานีอื่น ซึ่งวิธีหลังนี้สอดคล้องกับแนวความคิดของ Theory of Constraint เนื่องจากพยายามลดปัญหาการ Blocking และ Starving ที่สถานีคอกวอดอันจะทำให้สถานีคอกวอดทำการผลิตได้อย่างต่อเนื่องมากขึ้น

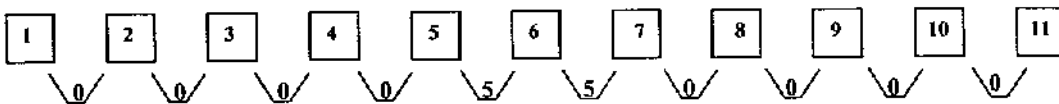
ในกรณีที่ขนาดบัฟเฟอร์ทั้งหมดในสายการผลิตคือ 10 หน่วย

ในกรณีนี้ขนาดบัฟเฟอร์ทั้งหมดในสายการผลิตคือ 10 หน่วย การจัดสรรบัฟเฟอร์ 10 หน่วยนี้มี 2 รูปแบบ ดังแสดงในภาพที่ 3.4

รูปแบบที่ 1:



รูปแบบที่ 2:



i แทน สถานีผลิตที่ i $\setminus /$ แทน บัฟเฟอร์ ที่มีขนาดจัดเก็บ j หน่วย

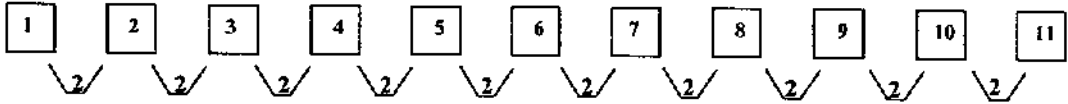
ภาพที่ 3.4 วิธีการจัดสรรบัฟเฟอร์ เมื่อขนาดบัฟเฟอร์ทั้งหมดในสายการผลิตคือ 10 หน่วย

รูปแบบแรกกำหนดให้ขนาดของทุกบัฟเฟอร์เท่ากันที่ 1 หน่วย และ รูปแบบที่สองเพิ่มบัฟเฟอร์ป้องกันที่คอกว่มากกว่าสถานีอื่นด้วยการลดขนาดของบัฟเฟอร์อื่นลง 1 หน่วยเพื่อนำไปเพิ่มขนาดให้บัฟเฟอร์รอบสถานีคอกวอด ขนาดบัฟเฟอร์หน้าและหลังสถานีคอกวอดจึงเป็น 5 หน่วย และไม่มีบัฟเฟอร์เหลือที่ตำแหน่งอื่น

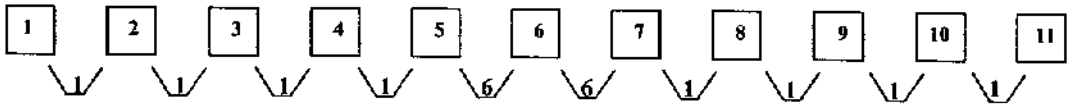
ในกรณีที่มีขนาดบัพเฟอร์ทั้งหมดในสายการผลิตคือ 20 หน่วย

ในกรณีนี้ขนาดบัพเฟอร์ทั้งหมดในสายการผลิตคือ 20 หน่วย การจัดสรรบัพเฟอร์ ทั้ง 20 หน่วยมี 3 รูปแบบ ดังแสดงในภาพที่ 3.5

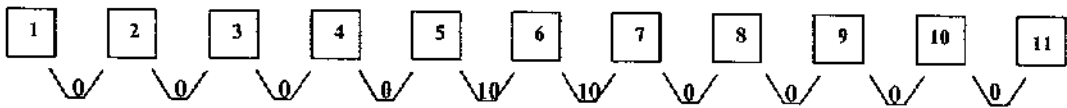
รูปแบบที่ 1:



รูปแบบที่ 2:



รูปแบบที่ 3:



i แทน สถานีผลิตที่ i

\searrow แทน บัพเฟอร์ ที่มีขนาดจัดเก็บ j หน่วย

ภาพที่ 3.5 วิธีการจัดสรรบัพเฟอร์ เมื่อขนาดบัพเฟอร์ทั้งหมดในสายการผลิตคือ 20 หน่วย

รูปแบบการจัดสรรบัพเฟอร์ เมื่อขนาดบัพเฟอร์ทั้งหมดในสายการผลิตเป็น 20 หน่วย เป็นดังนี้

รูปแบบที่ 1 : กำหนดให้ขนาดบัพเฟอร์หน้าแต่ละสถานีเท่ากับ 2 หน่วย

รูปแบบที่ 2 : เพิ่มขนาดบัพเฟอร์รอบสถานีคอขวดให้มากขึ้น โดยให้บัพเฟอร์รอบสถานีคอขวดมีขนาด 6 หน่วย และ บัพเฟอร์อื่นมีขนาด 1 หน่วย

รูปแบบที่ 3 : เพิ่มขนาดบัพเฟอร์รอบสถานีคอขวดให้มากขึ้นอีก โดยให้บัพเฟอร์รอบสถานีคอขวดมีขนาด 10 หน่วย และ ไม่มีบัพเฟอร์ที่จุดอื่น (ขนาดบัพเฟอร์เท่ากับ 0)

ตารางที่ 3.2 สรุปรูปแบบบัฟเฟอร์ โดยแสดงขนาดบัฟเฟอร์หน้าแต่ละสถานี และ แสดงการกำหนดชื่อของรูปแบบบัฟเฟอร์ ทั้ง 6 รูปแบบ ซึ่งจะเป็นชื่อที่ใช้เรียกรูปแบบบัฟเฟอร์ในการศึกษาครั้งนี้

ตารางที่ 3.2 รูปแบบบัฟเฟอร์

ชื่อ	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	b_9	b_{10}	b_{11}
UNLIMIT	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
LIM10P1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
LIM10P2	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0
LIM20P1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
LIM20P2	1	1	1	1	6	6	1	1	1	1
LIM20P3	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0

หมายเหตุ b_i = ขนาดบัฟเฟอร์หน้าสถานี i

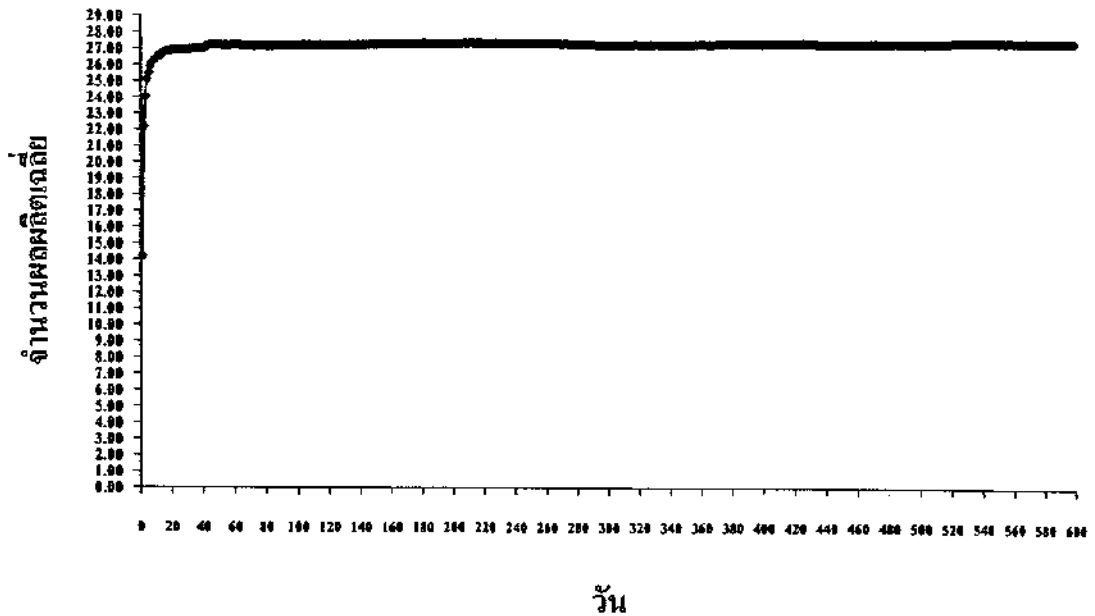
∞ = ไม่มีการจำกัดขนาดบัฟเฟอร์ (Unlimited buffer space)

3.3 การออกแบบการทดลองการจำลองสถานการณ์

3.3.1 กำหนดระยะเวลาที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว (การทำ Warm-up Period)

การจำลองสถานการณ์จะเริ่มจากสภาพที่ไม่มีงานในสายการผลิต ดังนั้นจึงไม่ควรนับรวมอัตราผลผลิตที่ได้ในช่วงแรกในการคำนวณหาอัตราผลผลิตเฉลี่ยเนื่องจากระบบยังไม่เข้าสู่สถานะคงตัว (Steady state) ซึ่งจะกำหนดระยะเวลาในช่วงดังกล่าวด้วยการพิจารณากราฟที่จัดทำตามวิธีของ Welch(1983)

ในการหาระยะเวลาก่อนที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว ผู้วิจัยทำการจำลองสถานการณ์เบื้องต้น โดยกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน (CV) ที่ 50% กำล้างการผลิตป้องกัน (PC) เท่ากับ 0% หรือ ทุกสถานีมีเวลาผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 15 นาที และ ไม่มีการจำกัดขนาดบัฟเฟอร์ในสายการผลิต โดยดำเนินการจำลองสถานการณ์ทั้งหมด 10 รอบ แต่ละรอบแทนการผลิตเป็นระยะเวลา 599 วัน กราฟที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีของ Welch ปรากฏตามภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 กราฟแสดงจำนวนผลผลิตเฉลี่ยในแต่ละวันตามวิธีของ Welch

จากกราฟพบว่าระบบจะเข้าสู่สถานะคงตัวเมื่อผลิตไปนานประมาณ 60 วัน ดังนั้น จึงกำหนดระยะเวลาก่อนเข้าสู่สถานะคงตัวเป็น 60 วัน ซึ่งระยะเวลา 60 วันนี้ควรจะครอบคลุมระยะเวลาก่อนเข้าสู่สถานะคงตัวสำหรับสถานการณ์การผลิตอีกด้วย เนื่องจากระยะเวลานี้ได้จากการจำลองสายการผลิตที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน 50% และไม่มีกำลังการผลิตป้องกัน จึงเชื่อได้ว่าใช้เวลาก่อนที่จะเข้าสู่สถานะคงตัวนานกว่าสถานการณ์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันที่ 5% และมีกำลังการผลิตป้องกันซึ่งมีระดับความผันผวนต่ำกว่า

เมื่อกำหนด Warm-up period ที่ 60 วัน จึงไม่รวมอัตราผลผลิตของ 60 วันแรกในการคำนวณหาอัตราผลผลิตเฉลี่ย เนื่องจากผลผลิตที่ได้จาก 60 วันแรก มีความผันผวนและไม่ถือว่าเป็นตัวอย่างที่ดีในการแทนค่าประชากรอัตราผลผลิต

3.3.2 การกำหนดระยะเวลาในการทดลองการจำลองสถานการณ์แต่ละรอบ

Bank, Carson, Nelson, และ Nicol (2001, p.432) เสนอว่าในแต่ละรอบของการจำลองสถานการณ์ ควรกำหนดระยะเวลาการจำลองสถานการณ์ หลังจากเข้าสู่สถานะคงตัวแล้ว ไปอีกเป็นระยะเวลานานอย่างน้อย 10 เท่าของระยะเวลา Warm-up สำหรับการศึกษานี้กำหนดให้นาน 15 เท่าของระยะเวลา Warm-up นั่นคือกำหนดระยะเวลาการจำลองสถานการณ์หลังจากเข้าสู่สถานะคงตัวแล้ว ไปอีกเป็นระยะเวลา 900 วัน หรือ ระยะเวลาการดำเนินการจำลองสถานการณ์ที่รวมระยะเวลา Warm-up ด้วยนานทั้งหมด 960 วัน

3.3.3 การคำนวณหาอัตราผลผลิตเฉลี่ย

การคำนวณหาอัตราผลผลิตเฉลี่ย (\overline{TH}) คำนวณได้ดังนี้

$$\overline{TH} = \frac{\sum_{k=1}^{960} TH_k}{900}$$

โดยจะเห็นว่าจากสูตร ไม่นับรวมอัตราผลผลิตของวันแรกจนถึงวันที่ 60 ในการหาค่าอัตราผลผลิต เนื่องจาก 60 วันแรก ระบบยังไม่เข้าสู่สถานะคงตัว

3.3.4 การกำหนดจำนวนรอบของการจำลองสถานการณ์ หรือ การกำหนดขนาดตัวอย่าง

ในการกำหนดจำนวนรอบการจำลองสถานการณ์ หรือ ขนาดตัวอย่างสำหรับการศึกษา ใช้การดำเนินงานแบบลำดับขั้น (Sequential Procedures) ตามที่ Law and Kelton (1992) ได้อธิบายไว้ โดยกำหนดค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ (Relative error, γ) ของค่า \overline{TH} จากอัตราผลผลิตเฉลี่ยที่แท้จริง (μ) ไม่เกิน 0.10 ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ($\alpha = 0.05$)

ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ (γ) คำนวณได้ดังนี้

$$\gamma = \frac{t_{(n-1, 1-\alpha/2)} \times \sqrt{s^2(n)/n}}{\overline{X}(n)}$$

- n คือ จำนวนรอบของการจำลองสถานการณ์ หรือ ขนาดตัวอย่าง
- $\overline{X}(n)$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่า \overline{TH} ทั้งหมด n ค่า หาได้ดังนี้ :

$$\overline{X}(n) = \frac{\sum_{i=1}^n \overline{TH}_i}{n}$$

- $s^2(n)$ คือ ค่าความแปรปรวน (Variance) ของค่า \overline{TH} หาได้ดังนี้ :

$$s^2(n) = \frac{\sum_{i=1}^n (\overline{TH}_i - \overline{X}(n))^2}{n-1}$$

การดำเนินงานแบบลำดับขั้น (Law and Kelton, 1992) มีขั้นตอนดังนี้

- 1) กำหนดค่า n เริ่มต้น โดยทั่วไปควรกำหนด n เริ่มต้นไม่ต่ำกว่า 10
- 2) ดำเนินการจำลองสถานการณ์ทั้งหมด n รอบ
- 3) นำค่าที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ มาหาค่า γ
- 4) ถ้าค่า γ ไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ (ในการศึกษานี้กำหนดที่ 0.10) กำหนดค่า n เท่ากับค่า n ปัจจุบัน และ ถือว่าเสร็จสิ้นกระบวนการหาค่า n แต่ถ้าค่า γ มากกว่าค่าที่กำหนด เพิ่มค่า n ขึ้นอีก 1 และ กลับไปเริ่มขั้นตอนที่ 2 ใหม่

ในการหาค่า n ที่เหมาะสม ผู้วิจัยทำการจำลองสถานการณ์เบื้องต้น โดยกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันที่ 50% กำลังการผลิตป้องกันเป็น 0% หรือ ทุกสถานีมีเวลาผลิตเฉลี่ย 15 นาที ไม่มีการจำกัดขนาดบัพเฟอร์ และ ระยะเวลา warm-up นาน 60 วัน โดยกำหนดค่า n เริ่มต้นที่ 25 รอบ

จากการทำตามขั้นตอนของการดำเนินงานแบบลำดับขั้น (Sequential Procedures) พบว่าที่ n เริ่มต้น 25 รอบ ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ (Relative error) เท่ากับ 0.0006 ซึ่งต่ำกว่า 0.10 อย่างมาก จึงกำหนดค่า n เท่ากับ 25 หรือ ขนาดตัวอย่างในแต่ละกลุ่มของตัวแปรอิสระคือ 25 ค่า

บทที่ 4

การวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล

การวิจัยนี้เป็นการทดลองด้วยการจำลองสถานการณ์ (Simulation) โดยมีตัวแปรตามคืออัตราผลผลิตเฉลี่ยซึ่งเป็นจำนวนผลผลิตต่อวันเฉลี่ย ตัวแปรอิสระคือ กำลังการผลิตป้องกัน (Protective capacity, PC) และ รูปแบบบัฟเฟอร์ (Buffer pattern, BP) PC มี 3 ระดับ ได้แก่ 0% 20% และ 40% BP จำแนกตามขนาดบัฟเฟอร์ทั้งหมดในสายการผลิตและวิธีการจัดสรรบัฟเฟอร์ให้กับแต่ละสถานี แบ่งออกเป็น 6 รูปแบบ ได้แก่ Unlimit, LIM10P1, LIM10P2, LIM20P1, LIM20P2, และ LIM20P3 และ ดำเนินการจำลองสถานการณ์ทั้งในสภาพการผลิตที่มีความผันแปรในเวลาผลิตต่ำและสูงซึ่ง กำหนดให้มีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน (Coefficient of variations, CV) ที่ 5% และ 50% ตามลำดับ

กลุ่มตัวแปรอิสระที่แต่ละค่าของ CV มี 18 กลุ่ม (PC 3 ระดับ X BP 6 ระดับ) และ ทำการศึกษาอิทธิพลของ PC และ BP ภายใต้ CV 2 ระดับ ดังนั้นจึงมีสถานการณ์การผลิตแตกต่างกัน ทั้งหมด 36 แบบ โดยจำลองแต่ละสถานการณ์ทั้งหมด 25 รอบ ดังนั้นการศึกษารั้งนี้จึงมีการจำลองสถานการณ์รวมกันทั้งหมด 900 รอบ (36 X 25) และใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\alpha = 0.05$) ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์

4.1 ข้อสมมติสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ก่อนทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะทำการทดสอบคุณสมบัติของข้อมูลว่าเป็นไปตามข้อสมมติ (Assumptions) ในการวิเคราะห์ ANOVA ด้วย F-test หรือไม่ โดยข้อสมมติดังกล่าว ประกอบด้วย (1) อัตราผลผลิตที่ได้เป็นอิสระจากกัน (2) อัตราผลผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ และ (3) ความแปรปรวนของอัตราผลผลิตจำแนกตามกลุ่มของตัวแปรอิสระไม่แตกต่างกัน ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ เป็นไปตามข้อสมมติข้อที่ 1 เนื่องจากในการทดลองได้กำหนดให้ seed number ซึ่งเป็นเลขเริ่มต้นในการใช้สร้างเลขสุ่มแตกต่างกันในการจำลองสถานการณ์ทุกรอบ ดังนั้นค่าผลผลิตที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ทุกรอบจึงมีความเป็นอิสระต่อกันอยู่แล้ว สำหรับข้อสมมติข้อที่ 2 จะใช้ Kolmogorov-Smirnov test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ และ ข้อสมมติข้อที่ 3 จะใช้ Levene's test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวน

4.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางเพื่อทดสอบอิทธิพลของกำลังการผลิตป้องกันและรูปแบบบัฟเฟอร์

ในส่วนนี้แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) เมื่อ CV เป็น 5% และ 50% เนื่องจากมีตัวแปรอิสระ 2 ตัวคือกำลังการผลิตป้องกัน และ รูปแบบบัฟเฟอร์โดยค่าเฉลี่ยของอัตราผลผลิต (Average throughput) และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) แสดงในตารางที่ 4.1

ก่อนการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ทำการทดสอบลักษณะการแจกแจงความน่าจะเป็นของอัตราผลผลิต และ พบว่าอัตราผลผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ซึ่งเป็นไปตามข้อสมมติของ F-test ข้อที่สอง แต่พบว่าความแปรปรวนของอัตราผลผลิตแยกตามกลุ่มของระดับตัวแปรอิสระทั้งสองแตกต่างกัน จึงไม่เป็นไปตามข้อสมมติของ F-test ข้อที่สาม แต่เนื่องจากขนาดตัวอย่างในทุกกลุ่มของตัวแปรอิสระกำหนดเท่ากันที่ 25 ค่า F-test ยังคงถือว่าให้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ไม่คลาดเคลื่อนมากเกินไปนัก (Montgomery, 1997, p.85) ดังนั้น จึงยังใช้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย F-test ดังปรากฏตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราผลตอบแทน

a. CV = 5%

รูปแบบ บัพเฟอร์	ขนาด บัพเฟอร์ ทั้งหมด	b _i (ขนาดบัพเฟอร์หน้าสถานี i)											กำลังการผลิต ป้องกัน	อัตราผลิต เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐานของ อัตราผลิต	
		b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	b ₆	b ₇	b ₈	b ₉	b ₁₀	b ₁₁					
Unlimit	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0%	31.923	0.004
LIM10P1	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0%	31.846	0.005
LIM10P2	10	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0%	30.480	0.006
LIM20P1	20	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0%	31.915	0.006
LIM20P2	20	1	1	1	1	6	6	1	1	1	1	1	1	0%	31.861	0.005
LIM20P3	20	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0%	30.479	0.004
														20%	32.001	0.011
														40%	32.000	0.010

หมายเหตุ ∞ หมายถึง ไม่จำกัดขนาดบัพเฟอร์

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราผลตอบแทน (ต่อ)

b. CV = 50%

รูปแบบ บัพเฟอร์	ขนาด บัพเฟอร์ ทั้งหมด	b _i (ขนาดบัพเฟอร์หน้าสถานี i)											กำลังการผลิต ป้องกัน	อัตราผลตอบแทน เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐานของ อัตราผลตอบแทน		
		b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	b ₆	b ₇	b ₈	b ₉	b ₁₀	b ₁₁						
Unlimit	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0%	27.298	0.044
LIM10P1	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0%	31.251	0.048
															40%	31.999	0.103
LIM10P2	10	0	0	0	0	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0%	24.537	0.044
															20%	28.213	0.058
															40%	30.379	0.078
LIM20P1	20	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0%	20.797	0.052
															20%	24.912	0.045
															40%	28.884	0.052
LIM20P2	20	1	1	1	1	6	6	6	1	1	1	1	1	1	0%	26.642	0.062
															20%	30.353	0.065
															40%	31.611	0.073
LIM20P3	20	0	0	0	0	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0%	25.280	0.051
															20%	30.027	0.049
															40%	31.932	0.105
															0%	20.813	0.047
															20%	24.978	0.053
															40%	29.066	0.057

หมายเหตุ ∞ หมายถึง ไม่จำกัดขนาดบัพเฟอร์

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA)

a. CV = 5%

Source	Sum of squares	df	Mean square	F	Sig.
PC	33.988	2	16.994	265597.247	.000
BP	22.053	5	4.411	68934.357	.000
PC * BP	44.025	10	4.402	68805.902	.000
Error	.028	432	6.398E-05		
Total	455327.169	450			

PC = Protective Capacity

BP = Buffer Pattern

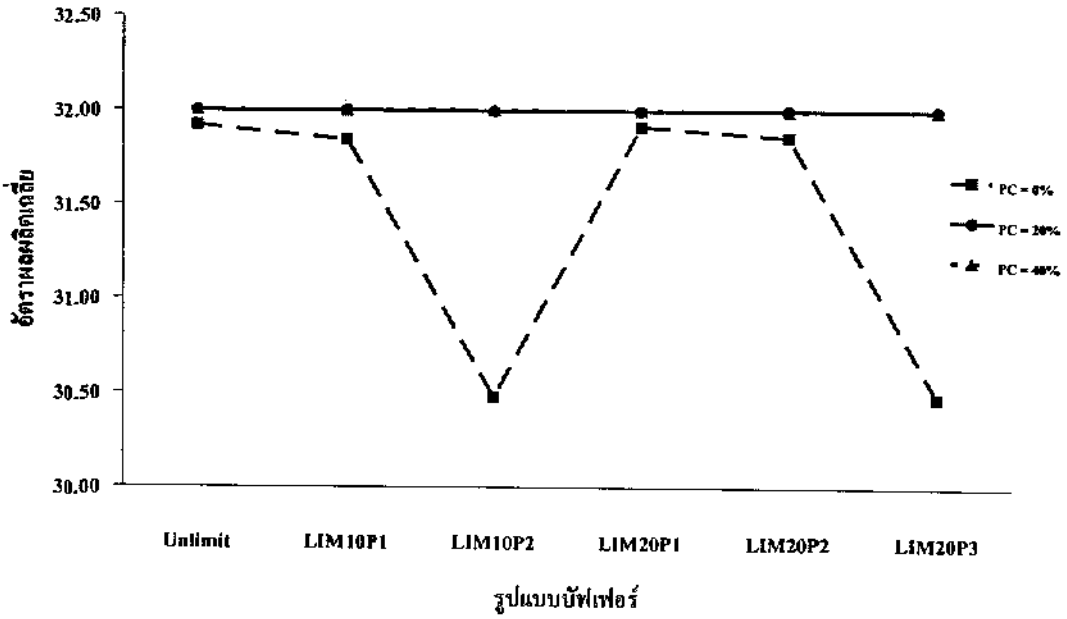
b. CV = 50%

Source	Sum of squares	df	Mean square	F	Sig.
PC	3161.352	2	1580.676	399481.978	.000
BP	2026.882	5	405.376	102450.213	.000
PC * BP	183.277	10	18.328	4631.929	.000
Error	1.709	432	.004		
Total	351167.514	450			

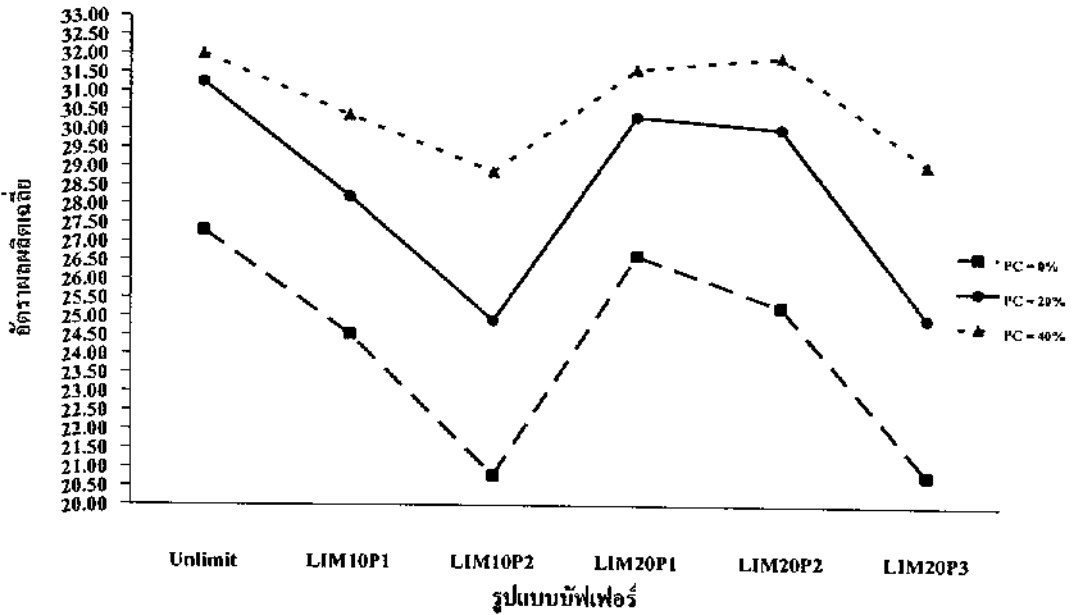
PC = Protective Capacity

BP = Buffer Pattern

จากการวิเคราะห์ ANOVA ทั้งที่ CV 5% และ 50% พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่าง กำลังการผลิตป้องกัน กับ รูปแบบบัฟเฟอร์ ต่ออัตราผลผลิตเฉลี่ย เนื่องจากค่า Significance level ของอิทธิพลร่วม (PC * BP) มีค่าประมาณ 0 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงว่า อิทธิพลของกำลังการผลิตป้องกันที่มีต่ออัตราผลผลิตเฉลี่ยขึ้นอยู่กับรูปแบบบัฟเฟอร์ หรือ อิทธิพลของรูปแบบบัฟเฟอร์ที่มีต่ออัตราผลผลิตเฉลี่ยขึ้นอยู่กับระดับของกำลังการผลิตป้องกัน ดังจะเห็นได้จากภาพที่ 4.1 ซึ่งแสดงให้เห็นอิทธิพลร่วมระหว่างกำลังการผลิตป้องกันกับรูปแบบบัฟเฟอร์ต่ออัตราผลผลิตเฉลี่ย (Average throughput) เมื่อ CV = 5% และ 50% ตามลำดับ



a. CV = 5%



b. CV = 50%

ภาพที่ 4.1 อัตราผลผลิตเฉลี่ยที่แต่ละระดับกำลัการผลิตป้องกันและรูปแบบนํ้าฟเฟออร์

เนื่องจากพบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างกำลังการผลิตป้องกันและรูปแบบบัพเฟอร์ต่ออัตราผลผลิต จึงทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way Analysis of Variance) เพื่อทดสอบอิทธิพลของกำลังการผลิตป้องกันที่แต่ละระดับของรูปแบบบัพเฟอร์ และ ทดสอบอิทธิพลของรูปแบบบัพเฟอร์ที่แต่ละระดับของกำลังการผลิตป้องกัน (Montgomery,1997, p.242-243) โดยจะใช้ F-test ในกรณีที่ค่าความแปรปรวนของอัตราผลผลิตแยกตามกลุ่มของตัวแปรอิสระไม่แตกต่างกัน และ ใช้ Welch Statistics ในกรณีที่ค่าความแปรปรวนของอัตราผลผลิตแตกต่างกัน (Field,2005) โดยใช้ Levene's Test ทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวน

เมื่อการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ F-test หรือ Welch Statistics พบว่าอัตราผลผลิตเฉลี่ยแตกต่างกัน จะทดสอบว่ากำลังการผลิตป้องกันระดับใดบ้างที่ให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยต่างกัน และรูปแบบบัพเฟอร์ใดบ้างที่ให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยต่างกัน โดยทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อน (Multiple Comparison) ด้วยเทคนิค Duncan' Multiple Range Test ในกรณีที่ค่าความแปรปรวนของอัตราผลผลิตแยกตามกลุ่มของตัวแปรอิสระไม่แตกต่างกัน และ ด้วยเทคนิค Dunnett's C ในกรณีที่ค่าความแปรปรวนของอัตราผลผลิตแยกตามกลุ่มของตัวแปรอิสระแตกต่างกัน (Field, 2005) โดยจะนำเสนอผลตามลำดับดังนี้

- 1) ผลการทดสอบอิทธิพลของกำลังการผลิตป้องกันต่ออัตราผลผลิตเฉลี่ย ที่แต่ละรูปแบบบัพเฟอร์ เมื่อ CV เป็น 5%
- 2) ผลการทดสอบอิทธิพลของกำลังการผลิตป้องกันต่ออัตราผลผลิตเฉลี่ย ที่แต่ละรูปแบบบัพเฟอร์ เมื่อ CV เป็น 50%
- 3) ผลการทดสอบอิทธิพลของรูปแบบบัพเฟอร์ต่ออัตราผลผลิตเฉลี่ย ที่แต่ละระดับของกำลังการผลิตป้องกัน เมื่อ CV เป็น 5%
- 4) ผลการทดสอบอิทธิพลของรูปแบบบัพเฟอร์ต่ออัตราผลผลิตเฉลี่ย ที่แต่ละระดับของกำลังการผลิตป้องกัน เมื่อ CV เป็น 50%

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA)

1) ผลการทดสอบอิทธิพลของกำลังการผลิตป้องกันต่ออัตราผลผลิตเฉลี่ยที่แต่ละรูปแบบบัพเฟอร์ เมื่อ CV เป็น 5%

ก่อนที่จะวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่แต่ละรูปแบบบัพเฟอร์ ได้ทดสอบลักษณะการแจกแจงของอัตราผลผลิตในแต่ละระดับของกำลังการผลิตป้องกันด้วย Kolmogorov-Smirnov test และพบว่าอัตราผลผลิตในทุกะดับกำลังการผลิตป้องกันมีการแจกแจงแบบปกติ และได้ทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนด้วย Levene's test พบว่าเมื่อรูปแบบบัพเฟอร์เป็น LIM1OP2 ค่าความแปรปรวนของอัตราผลผลิตไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อระดับกำลัง

การผลิตป้องกันแตกต่างกัน แต่ที่รูปแบบบัพเฟอร์อื่นพบว่าค่าความแปรปรวนของอัตราผลผลิตแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อระดับกำลังการผลิตป้องกันแตกต่างกัน ดังนั้นจึงใช้ F-test วิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อรูปแบบบัพเฟอร์เป็น LIM10P2 และใช้ Welch วิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับรูปแบบบัพเฟอร์อื่น ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการผลิตป้องกันที่แต่ละรูปแบบบัพเฟอร์ เมื่อ CV เป็น 5%

a. F-test

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
LIM10P2					
Between Groups	38.500	2	19.250	341499.689	.000
Within Groups	.004	72	.000		
Total	38.504	74			

b. Welch Statistics

	Statistic(a)	df1	df2	Sig.
UNLIMIT	1704.058	2	43.163	.000
LIM10P1	4537.514	2	43.702	.000
LIM20P1	1295.128	2	45.855	.000
LIM20P2	3509.038	2	43.107	.000
LIM20P3	374266.287	2	39.800	.000

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบความแตกต่างของอัตราผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญที่ทุกรูปแบบบัพเฟอร์ เนื่องจากค่า Significance ที่ได้้น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จึงทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยเทคนิค Duncan เมื่อบัพเฟอร์เป็นรูปแบบ LIM10P2 และ ด้วยเทคนิค Dunnett's C ที่รูปแบบบัพเฟอร์อื่นๆ ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของค่าจ้างการผลิตป้องกันที่แต่ละรูปแบบบัพเฟอร์
เมื่อ CV เป็น 5%

รูปแบบบัพเฟอร์	= Unlimit			
PC		0%		
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	31.923		20%	40%
			32.000	32.003
รูปแบบบัพเฟอร์	= LIM10P1			
PC		0%		
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	31.846		20%	40%
			32.001	32.000
รูปแบบบัพเฟอร์	= LIM10P2			
PC		0%		
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	30.480		20%	40%
			31.997	32.002
รูปแบบบัพเฟอร์	= LIM20P1			
PC		0%		
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	31.915		20%	40%
			31.998	32.000
รูปแบบบัพเฟอร์	= LIM20P2			
PC		0%		
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	31.861		20%	40%
			32.001	32.000
รูปแบบบัพเฟอร์	= LIM20P3			
PC		0%		
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	30.479		20%	40%
			32.001	32.000

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ถูกขีดเส้นใต้ต่อกันหมายถึงค่าเฉลี่ยนั้น ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของกำลังการผลิตป้องกันที่แต่ละรูปแบบบัพเฟอร์
เมื่อ CV เป็น 5%

รูปแบบบัพเฟอร์	= Unlimit			
PC		0%	20%	40%
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	31.923		<u>32.000</u>	<u>32.003</u>
รูปแบบบัพเฟอร์	= LIM10P1			
PC		0%	20%	40%
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	31.846		<u>32.001</u>	<u>32.000</u>
รูปแบบบัพเฟอร์	= LIM10P2			
PC		0%	20%	40%
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	30.480		31.997	32.002
รูปแบบบัพเฟอร์	= LIM20P1			
PC		0%	20%	40%
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	31.915		<u>31.998</u>	<u>32.000</u>
รูปแบบบัพเฟอร์	= LIM20P2			
PC		0%	20%	40%
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	31.861		<u>32.001</u>	<u>32.000</u>
รูปแบบบัพเฟอร์	= LIM20P3			
PC		0%	20%	40%
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	30.479		<u>32.001</u>	<u>32.000</u>

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ถูกขีดเส้นใต้ต่อกันหมายถึงค่าเฉลี่ยนั้นไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เมื่อ $CV = 5\%$ พบว่า สายการผลิตที่ไม่มีกำลังการผลิตป้องกันให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยต่ำที่สุด ที่ทุกรูปแบบบัฟเฟอร์ เมื่อรูปแบบบัฟเฟอร์ เป็น Unlimit, LIM10P1, LIM20P1, LIM20P2 และ LIM20P3 พบว่าอัตราผลผลิตเฉลี่ยเมื่อมีกำลังการผลิตป้องกัน 20% และ 40% ไม่แตกต่างกัน ซึ่งเห็นได้จากอัตราผลผลิตเฉลี่ยเมื่อระดับกำลังการผลิตป้องกันเป็น 20% นั้นใกล้เคียงกับ 32 หน่วยต่อวัน ซึ่งเป็นอัตราผลผลิตเฉลี่ยที่ได้จากสายการผลิตที่ไม่มีควมแปรปรวนในเวลาผลิต($CV = 0$)

แต่เมื่อรูปแบบบัฟเฟอร์เป็นแบบ LIM10P2 ซึ่งมีขนาดบัฟเฟอร์ทั้งหมดในสายการผลิต 10 หน่วย และ จัดสรรขนาดบัฟเฟอร์ให้หน้าและหลังสถานีคอขวด 5 หน่วย และ ไม่มีบัฟเฟอร์ที่จุดอื่น พบว่าทุกคู่ของระดับกำลังการผลิตป้องกันให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยแตกต่างกัน โดยกำลังการผลิตป้องกันที่ให้ผลผลิตเรียงจากสูงที่สุด ไปต่ำที่สุด คือ 40% 20% และ 0% ตามลำดับ

การที่เมื่อรูปแบบบัฟเฟอร์ เป็น LIM10P2 แล้วพบว่าการเพิ่มกำลังการผลิตป้องกันทำให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ อาจจะเป็นเพราะรูปแบบนี้มีขนาดบัฟเฟอร์ทั้งหมดจำกัดอยู่เพียง 10 หน่วย และโดยเฉพาะอย่างยิ่งบัฟเฟอร์ที่มีจำนวนจำกัดนี้ถูกแบ่งให้เป็นบัฟเฟอร์ที่หน้าและหลังสถานีคอขวดเท่านั้น ทำให้สถานีอื่นพบปัญหา starving และ blocking ดังนั้น รูปแบบบัฟเฟอร์ LIM10P2 นี้จึงมีข้อจำกัดทั้งจากขนาดบัฟเฟอร์และรูปแบบการจัดสรรบัฟเฟอร์ที่มากกว่ารูปแบบอื่น ดังนั้นการเพิ่มกำลังการผลิตป้องกันจึงช่วยให้เพิ่มผลผลิตได้อย่างเห็นได้ชัด เพราะกำลังการผลิตป้องกันที่เพิ่มขึ้นช่วยลดปัญหาการ blocking และ starving ของสถานีที่ไม่ใช่คอขวดได้ ทำให้การผลิตเป็นไปอย่างต่อเนื่องมากขึ้น

2) ผลการทดสอบอิทธิพลของกำลังการผลิตป้องกันต่ออัตราผลผลิตเฉลี่ยที่แต่ละรูปแบบบัฟเฟอร์ เมื่อ CV เป็น 50%

ก่อนที่จะวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่แต่ละรูปแบบบัฟเฟอร์ได้ทดสอบลักษณะการแจกแจงของอัตราผลผลิตในแต่ละระดับกำลังการผลิตป้องกันด้วย Kolmogorov-Smirnov test และพบว่าอัตราผลผลิตในแต่ละระดับของกำลังการผลิตป้องกันมีการแจกแจงแบบปกติ และในการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนด้วย Levene's test พบว่าเมื่อรูปแบบบัฟเฟอร์เป็น LIM10P2 LIM20P1 และ LIM20P3 ค่าความแปรปรวนของอัตราผลผลิตไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อระดับกำลังการผลิตป้องกันแตกต่างกัน แต่ที่รูปแบบบัฟเฟอร์อื่นพบว่าค่าความแปรปรวนของอัตราผลผลิตแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อระดับกำลังการผลิตป้องกันแตกต่างกัน ดังนั้นจึงใช้ F-test วิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อรูปแบบบัฟเฟอร์ เป็น LIM10P2 LIM20P1 และ LIM20P3 และใช้ Welch วิเคราะห์ความแปรปรวนที่รูปแบบบัฟเฟอร์อื่น ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการผลิตป้องกัน ที่แต่ละรูปแบบบัพเฟอร์ เมื่อ CV เป็น 50%

a. F-test

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
LIM10P2					
Between Groups	817.521	2	408.761	165416.201	.000
Within Groups	.178	72	.002		
Total	817.699	74			
LIM20P1					
Between Groups	333.699	2	166.850	37641.521	.000
Within Groups	.319	72	.004		
Total	334.018	74			
LIM20P3					
Between Groups	851.490	2	425.745	155132.427	.000
Within Groups	.198	72	.003		
Total	851.688	74			

b. Welch Statistics

	Statistic(a)	df1	df2	Sig.
UNLIMIT	54199.787	2	44.909	.000
LIM10P1	66248.413	2	45.695	.000
LIM20P2	72316.132	2	45.276	.000

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบความแตกต่างของอัตราผลผลิตเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ทุกรูปแบบบัพเฟอร์ จึงทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยเทคนิค Duncan เมื่อบัพเฟอร์ เป็นรูปแบบ LIM10P2 LIM20P1 และ LIM20P3 และ ใช้ Dunnett's C ที่รูปแบบบัพเฟอร์อื่น ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของกำลังการผลิตป้องกันที่แต่ละรูปแบบบัพเฟอร์
เมื่อ CV เป็น 50%

รูปแบบบัพเฟอร์	= Unlimit			
PC		0%	20%	40%
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	27.298		31.251	31.999
รูปแบบบัพเฟอร์	= LIM10P1			
PC		0%	20%	40%
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	24.537		28.213	30.379
รูปแบบบัพเฟอร์	= LIM10P2			
PC		0%	20%	40%
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	20.797		24.912	28.884
รูปแบบบัพเฟอร์	= LIM20P1			
PC		0%	20%	40%
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	26.642		30.353	31.611
รูปแบบบัพเฟอร์	= LIM20P2			
PC		0%	20%	40%
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	25.280		30.027	31.932
รูปแบบบัพเฟอร์	= LIM20P3			
PC		0%	20%	40%
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	20.813		24.978	29.066

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ถูกขีดเส้นใต้ต่อกันหมายถึงค่าเฉลี่ยนั้นไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของค่าอ้างการผลิตป้องกันที่แต่ละรูปแบบบัพเฟอร์
เมื่อ CV เป็น 50%

รูปแบบบัพเฟอร์	= Unlimit			
PC		0%	20%	40%
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	27.298		31.251	31.999
รูปแบบบัพเฟอร์	= LIM10P1			
PC		0%	20%	40%
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	24.537		28.213	30.379
รูปแบบบัพเฟอร์	= LIM10P2			
PC		0%	20%	40%
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	20.797		24.912	28.884
รูปแบบบัพเฟอร์	= LIM20P1			
PC		0%	20%	40%
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	26.642		30.353	31.611
รูปแบบบัพเฟอร์	= LIM20P2			
PC		0%	20%	40%
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	25.280		30.027	31.932
รูปแบบบัพเฟอร์	= LIM20P3			
PC		0%	20%	40%
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	20.813		24.978	29.066

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ถูกขีดเส้นใต้คือกันหมายถึงค่าเฉลี่ยนั้น ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เมื่อ $CV = 50\%$ ที่ทุกรูปแบบบัฟเฟอร์ พบว่ากำลังการผลิตป้องกันที่แตกต่างกันให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยกำลังการผลิตป้องกันที่ให้ผลผลิตเรียงจากสูงที่สุดไปต่ำที่สุด คือ 40% 20% และ 0% ตามลำดับ

เป็นที่น่าสังเกตว่าในสถานการณ์ที่ไม่มีกำลังการผลิตป้องกัน แม้แต่เมื่อรูปแบบบัฟเฟอร์เป็นแบบ Unlimit ซึ่งไม่จำกัดขนาดบัฟเฟอร์แต่อย่างใด ก็พบว่าได้อัตราผลผลิตเพียง 27.30 หน่วย ซึ่งต่ำกว่าอัตราผลผลิตเฉลี่ยเมื่อสายการผลิตไม่มีความผันแปรถึง 4.7 หน่วย ($32 - 27.30$) และ อัตราผลผลิตจะเพิ่มขึ้น ได้ก็ต่อเมื่อเพิ่มกำลังการผลิตป้องกัน ซึ่งจะได้อัตราผลผลิตใกล้เคียง 32 หน่วยก็ต่อเมื่อเพิ่มกำลังการผลิตป้องกันเป็น 40% และที่รูปแบบบัฟเฟอร์อื่นๆ ก็พบว่า การเพิ่มกำลังการผลิตป้องกันส่งผลให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าเมื่อสายการผลิตมีความแปรผันในเวลาผลิตสูงมากนั้น การมีกำลังการผลิตป้องกันสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตอย่างเห็นได้ชัด

3) ผลการทดสอบอิทธิพลของรูปแบบบัฟเฟอร์ต่ออัตราผลผลิตเฉลี่ย ที่แต่ละระดับของกำลังการผลิตป้องกัน เมื่อ CV เท่ากับ 5%

ก่อนที่จะวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่แต่ละระดับของกำลังการผลิตป้องกัน ได้ทดสอบลักษณะการแจกแจงของอัตราผลผลิตที่แต่ละรูปแบบบัฟเฟอร์ด้วย Kolmogorov-Smirnov test และพบว่าอัตราผลผลิตที่แต่ละรูปแบบบัฟเฟอร์มีการแจกแจงแบบปกติ และในการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนด้วย Levene's test พบว่า ค่าความแปรปรวนของอัตราผลผลิตไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อรูปแบบบัฟเฟอร์แตกต่างกันที่ทุกระดับของกำลังการผลิตป้องกัน ดังนั้น จึงใช้ F-test ในการเปรียบเทียบอัตราผลผลิตเฉลี่ยที่แต่ละระดับของกำลังการผลิตป้องกัน ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบบัฟเฟอร์ ที่แต่ละระดับของกำลังการผลิต
ป้องกัน เมื่อ CV เป็น 5%

F-tests

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
PC = 0%					
Between Groups	66.077	5	13.215	523138.200	.000
Within Groups	.004	144	.000		
Total	66.081	149			
PC = 20%					
Between Groups	.000	5	.000	1.041	.396
Within Groups	.013	144	.000		
Total	.014	149			
PC = 40%					
Between Groups	.000	5	.000	.542	.744
Within Groups	.011	144	.000		
Total	.011	149			

ในสถานการณ์ที่ CV = 5% พบว่ารูปแบบบัฟเฟอร์ไม่มีอิทธิพลต่ออัตราผลผลิตเมื่อมีกำลังการผลิตป้องกันเป็น 20% และ 40% แต่รูปแบบบัฟเฟอร์จะมีอิทธิพลต่ออัตราผลผลิตก็ต่อเมื่อไม่มีกำลังการผลิตป้องกัน ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อนสำหรับกรณีที่ PC = 0% แสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของรูปแบบบัฟเฟอร์ ที่ระดับกำลังการผลิตป้องกัน 0%
เมื่อ CV เป็น 5%

PC= 0%						
รูปแบบบัฟเฟอร์	LIM20P3	LIM10P2	LIM10P1	LIM20P2	LIM20P1	Unlimit
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	30.479	30.480	31.846	31.861	31.915	31.923

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ถูกขีดเส้นใต้ต่อกันหมายถึงค่าเฉลี่ยนั้นไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากการเปรียบเทียบเชิงซ้อน ด้วย Duncan พบว่าเมื่อไม่มีกำลังการผลิตป้องกันแล้ว อัตราผลผลิตเฉลี่ยของทุกคู่ของรูปแบบบัฟเฟอร์แตกต่างกัน ยกเว้น LIM10P2 และ LIM20P3 ที่ให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

ผลที่ได้แสดงว่าเมื่อมีกำลังการผลิตป้องกัน ($PC = 20\%$ และ 40%) รูปแบบบัฟเฟอร์แตกต่างกันไม่ส่งผลให้อัตราผลผลิตแตกต่างกัน และอัตราผลผลิตที่ได้นั้นประมาณ 32 หน่วยต่อวัน ซึ่งถือว่าใกล้เคียงกับอัตราผลผลิตต่อวันในกรณีที่ไม่มีควมผันแปร

เมื่อสายการผลิตไม่มีกำลังการผลิตป้องกัน พบว่ารูปแบบบัฟเฟอร์ที่แตกต่างส่งผลให้อัตราผลผลิตแตกต่างกันด้วย โดยพบว่า

(1) เมื่อมีการจำกัดขนาดบัฟเฟอร์ การจัดสรรบัฟเฟอร์ให้เฉพาะกับหน้าและหลังสถานีคือขวด โดยไม่มีบัฟเฟอร์ที่สถานีอื่นเลย (LIM10P2 และ LIM20P3) ให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยค่าที่สุด เป็นที่น่าสังเกตว่าถึงแม้ LIM20P3 ที่มีขนาดบัฟเฟอร์ทั้งหมด 20 หน่วย ซึ่งมากกว่า LIM10P1 ซึ่งมีขนาดบัฟเฟอร์เพียง 10 หน่วย แต่ LIM10P1 กลับให้อัตราผลผลิตมากกว่า แสดงว่า การมีขนาดบัฟเฟอร์ทั้งหมดในสายการผลิตมากกว่าไม่จำเป็นเสมอไปที่จะให้อัตราผลผลิตมากกว่าสายการผลิตที่มีขนาดบัฟเฟอร์น้อยกว่าตราบใดที่การจัดสรรบัฟเฟอร์เป็น ไปอย่างไม่เหมาะสม

(2) ถ้ามีการจัดสรรบัฟเฟอร์ให้กับทุกสถานีพบว่าขนาดบัฟเฟอร์เป็น 20 หน่วย ให้อัตราผลผลิตมากกว่าขนาดบัฟเฟอร์ 10 หน่วย

4) ผลการทดสอบอิทธิพลของรูปแบบบัฟเฟอร์ต่ออัตราผลผลิตเฉลี่ย ที่แต่ละระดับของกำลังการผลิตป้องกัน เมื่อ CV เป็น 50%

ก่อนที่จะวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่แต่ละระดับของกำลังการผลิตป้องกัน ได้ทดสอบลักษณะการแจกแจงของอัตราผลผลิตที่แต่ละรูปแบบบัฟเฟอร์ด้วย Kolmogorov-Smirnov test และพบว่าอัตราผลผลิตที่แต่ละรูปแบบบัฟเฟอร์มีการแจกแจงแบบปกติ และในการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนด้วย Levene's test พบว่าเมื่อ $PC = 0\%$ และ 20% ค่าความแปรปรวนของอัตราผลผลิตไม่แตกต่างกันเมื่อรูปแบบบัฟเฟอร์แตกต่างกัน แต่เมื่อ $PC = 40\%$ พบว่าค่าความแปรปรวนของอัตราผลผลิตแตกต่างกันเมื่อรูปแบบบัฟเฟอร์แตกต่างกัน ดังนั้น จึงใช้ F-test ในการเปรียบเทียบอัตราผลผลิตเฉลี่ยเมื่อระดับ $PC = 0\%$ และ 20% และใช้ Welch Statistics เมื่อ $PC = 40\%$ ผลการวิเคราะห์ แสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบบัฟเฟอร์ ที่แต่ละระดับของกำลังการผลิต
ป้องกัน เมื่อ CV เป็น 5%

a. F-tests

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
PC = 0%					
Between Groups	997.263	5	199.453	78863.268	.000
Within Groups	.364	144	.003		
Total	997.627	149			
PC = 20%					
Between Groups	960.671	5	192.134	67810.399	.000
Within Groups	.408	144	.003		
Total	961.079	149			

b. Welch Statistics

	Statistic(a)	df1	df2	Sig.
PC = 40%	9378.154	5	66.508	.000

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่ารูปแบบบัฟเฟอร์มีอิทธิพลต่ออัตราผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญที่ทุกระดับของกำลังการผลิตป้องกัน เนื่องจากค่า significance ที่ได้น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จึงทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยเทคนิค Duncan เมื่อ PC เป็น 0% และ 20% และ ด้วยเทคนิค Dunnett's C เมื่อ PC เป็น 40% ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของรูปแบบบัพเฟอร์ ที่แต่ละระดับของกำลังการผลิตป้องกัน เมื่อ CV เป็น 50%

PC = 0%						
รูปแบบบัพเฟอร์	LIM10P2	LIM20P3	LIM10P1	LIM20P2	LIM20P1	Unlimit
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	20.797	20.812	24.537	25.280	26.642	27.298
PC = 20%						
รูปแบบบัพเฟอร์	LIM10P2	LIM20P3	LIM10P1	LIM20P2	LIM20P1	Unlimit
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	24.912	24.978	28.213	30.027	30.353	31.251
PC = 40%						
รูปแบบบัพเฟอร์	LIM10P2	LIM20P3	LIM10P1	LIM20P1	LIM20P2	Unlimit
อัตราผลผลิตเฉลี่ย	28.884	29.066	30.380	31.611	31.932	31.999

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ถูกขีดเส้นใต้คือกันหมายถึงค่าเฉลี่ยนั้นไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เมื่อความผันแปรในเวลาผลิตเป็น 50% รูปแบบบัพเฟอร์มีผลต่ออัตราผลผลิตเฉลี่ยมากกว่ากรณีที่มี CV เป็น 5% เนื่องจากเมื่อ CV เป็น 5% ตามที่ได้อธิบายไปก่อนหน้านี้ พบว่ารูปแบบบัพเฟอร์มีอิทธิพลต่ออัตราผลผลิตเฉลี่ยในกรณีที่สายการผลิตไม่มีกำลังการผลิตป้องกันเท่านั้น แต่เมื่อเพิ่มกำลังการผลิตปรากฏว่าการจัดบัพเฟอร์ทุกรูปแบบให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อ CV เป็น 50% พบว่า รูปแบบบัพเฟอร์แตกต่างกันทำให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยแตกต่างกันที่ทุกระดับของกำลังการผลิตป้องกัน ดังต่อไปนี้

(1) ที่กำลังการผลิตป้องกัน 0% รูปแบบบัพเฟอร์ที่ให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยสูงสุดคือแบบ Unlimit รองลงมาคือรูปแบบ LIM20P1 อัตราผลผลิตเฉลี่ยของทุกรูปแบบบัพเฟอร์แตกต่างกัน ยกเว้นรูปแบบ LIM20P3 และ LIM10P2 ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสองรูปแบบดังกล่าวให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยต่ำที่สุด

(2) ที่กำลังการผลิตป้องกัน 20% พบว่าอัตราผลผลิตเฉลี่ยของทุกรูปแบบบัพเฟอร์แตกต่างกัน รูปแบบ Unlimit ให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ LIM20P1 รูปแบบ LIM10P2 ให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยต่ำที่สุด

(3) ที่กำลังการผลิตป้องกัน 40% พบว่าอัตราผลผลิตเฉลี่ยของทุกรูปแบบบัพเฟอร์แตกต่างกัน และ รูปแบบที่ให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยมากที่สุดคือรูปแบบ Unlimit รองลงมาคือ LIM20P2 และรูปแบบที่ให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยต่ำที่สุดคือรูปแบบ LIM10P2

ที่ทุกระดับของกำลังการผลิตป้องกัน พบว่าเมื่อไม่มีการจำกัดขนาดบัฟเฟอร์ระหว่างแต่ละสถานี (Unlimit) ซึ่งมีปัญหา blocking และ starving น้อยกว่ารูปแบบบัฟเฟอร์อื่น ทำให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยสูงที่สุด แต่เมื่อมีการจำกัดขนาดบัฟเฟอร์ระหว่างสถานี พบว่าการจัดสรรบัฟเฟอร์ให้เฉพาะกับหน้าและหลังสถานีคอขวดโดยไม่มีบัฟเฟอร์ที่สถานีอื่นเลย (LIM10P2 และ LIM20P3) ให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยต่ำที่สุด และถ้ามีการจัดสรรบัฟเฟอร์ให้กับทุกสถานีพบว่าขนาดบัฟเฟอร์เป็น 20 หน่วย ให้อัตราผลผลิตมากกว่าขนาดบัฟเฟอร์ 10 หน่วย ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับสถานการณ์ที่ CV เป็น 5% และ PC = 0% แต่ทั้งนี้ในสถานการณ์ที่ CV เป็น 50% ผลที่พบดังกล่าวนี้สะท้อนให้เห็นในทุกระดับของกำลังการผลิตป้องกัน

4.3 การอภิปรายผล

ผลการวิจัยที่พบว่าการมีกำลังการผลิตป้องกันช่วยเพิ่มอัตราผลผลิตได้นั้นเหมือนกับผลที่ได้จากการวิจัยโดย Atwater และ Chakravorty(1994) Hurley และ Kapidasaoglu(1998) และ Kadipasaoglu และคณะ (2000) นอกจากนั้น ผลการวิจัยที่พบว่ามิติอิทธิพลระหว่างจำนวนงานระหว่างทำในระบบการผลิต และ ระดับกำลังการผลิตป้องกัน สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Atwater และ Chakravorty(1994) และ Atwater (1991) โดยพบว่าในสถานการณ์ที่ความผันแปรในเวลาผลิตไม่สูงมาก เมื่อจำนวนงานระหว่างทำในสายการผลิตมีมากเพียงพอ การเพิ่มกำลังการผลิตป้องกันถึงระดับหนึ่งไม่ส่งผลให้อัตราผลผลิตเพิ่มขึ้นมากนัก และ เมื่อมีความผันแปรในเวลาผลิตสูง การเพิ่มกำลังการผลิตป้องกันช่วยให้อัตราผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน

สำหรับการจัดสรรบัฟเฟอร์ที่มีให้กับแต่ละสถานี ผลการวิจัยนี้พบว่า โดยภาพรวมแล้วการจัดสรรให้ขนาดบัฟเฟอร์ที่ทุกสถานีเท่ากันให้อัตราผลผลิตที่ดีกว่าการจัดสรรขนาดบัฟเฟอร์ให้กับสถานีคอขวดมากกว่าสถานีอื่น ซึ่งผลที่ได้ไม่สอดคล้องกับผลของ Conway et. al. (1988) แต่สอดคล้องกับงานของ Smith และ Brumbaugh (1977) โดย Conway et. al. (1988) พบว่าควรจัดสรรขนาดบัฟเฟอร์ให้พื้นที่รอบสถานีคอขวดมากกว่าสถานีอื่น ในขณะที่ Smith และ Brumbaugh (1977) พบว่าการจัดสรรขนาดบัฟเฟอร์ให้แต่ละสถานีเท่ากันให้ผลผลิตมากที่สุด แต่ทั้งนี้สายการผลิตของ Smith และ Brumbaugh ไม่มีคอขวด

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

ระบบการจ่ายงานแบบ CONWIP เป็นระบบการจ่ายงานที่มีการควบคุมจำนวนงานระหว่างทำตั้งแต่สถานีแรกจนถึงสถานีสุดท้ายให้คงที่ตลอดเวลาด้วยการให้สถานีแรกเริ่มผลิตงานก็ต่อเมื่อสถานีสุดท้ายผลิตสินค้าเสร็จหนึ่งหน่วย แต่ถึงแม้จะมีการจำกัดจำนวนงานระหว่างทำในระบบการผลิต แต่จากการวิจัยและศึกษาระบบ CONWIP ที่ผ่านมามีการจำกัดขนาดของบัฟเฟอร์แต่อย่างใด แต่ในทางปฏิบัติแล้วสายการผลิตมีพื้นที่จำกัดดังนั้นจึงจำเป็นต้องจำกัดขนาดบัฟเฟอร์ในสายการผลิตและหาวิธีการในการจัดสรรบัฟเฟอร์ให้กับแต่ละสถานีที่จะทำให้ได้ผลผลิตตามที่ต้องการ ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งศึกษาเพื่อได้แนวทางในการจัดสรรขนาดบัฟเฟอร์ที่มีอย่างจำกัดอื่นจะช่วยให้สายการผลิตแบบ CONWIP เพิ่มผลผลิตได้ นอกจากนี้ ได้มีการศึกษาพบว่ากำลังการผลิตป้องกันเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตได้ จึงมีความน่าสนใจที่จะศึกษารอบคลุมถึงผลของกำลังการผลิตป้องกันในสายการผลิตแบบ CONWIP ด้วยเช่นกัน

การวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของรูปแบบบัฟเฟอร์ (Buffer patterns) และกำลังการผลิตป้องกัน (Protective capacity) ที่มีต่ออัตราผลผลิต (Throughput rate) ของสายการผลิตที่มีระบบการจ่ายงานแบบ CONWIP ภายใต้สถานการณ์ที่มีความผันแปรในเวลาผลิตทั้งต่ำและสูง รูปแบบบัฟเฟอร์ (BP) ในที่นี้แตกต่างตามขนาดบัฟเฟอร์ทั้งหมดในสายการผลิตซึ่งมี (1) ขนาดเป็น 10 หน่วย (2) ขนาดเป็น 20 หน่วย และ (3) ไม่จำกัดขนาด และ ตามวิธีการจัดสรรบัฟเฟอร์ในกรณีที่มีขนาดบัฟเฟอร์จำกัด ได้รูปแบบทั้งหมด 6 รูปแบบ ได้แก่ Unlimit, LIM10P1, LIM10P2, LIM20P1, LIM20P2 และ LIM20P3 และ กำลังการผลิตป้องกัน (PC) มี 3 ระดับ คือ 0%, 20% และ 40%

เครื่องมือในการวิจัยคือการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม AWESIM! Simulation (Pritsker, O'Reilly, and LaVal, 1997) โดยจำลองสายการผลิตที่ประกอบด้วย 11 สถานี จัดเรียงต่อเนื่องกัน การแจกแจงของเวลาผลิตทุกสถานีเป็นแบบ Lognormal เวลาผลิตงาน 1 หน่วยโดยเฉลี่ยของสถานีคือ 15 นาที (ทั้งนี้เมื่อ PC เป็น 0% ทุกสถานีผลิตมีเวลาผลิตเฉลี่ยเท่ากันที่ 15 นาที) ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของเวลาผลิตมี 2 ระดับคือ 5% และ 50% ซึ่งแทนสายการผลิตที่มีความผันแปรในเวลาผลิตต่ำและสูงตามลำดับ

ในการศึกษานี้ ได้ดำเนินการจำลองสถานการณ์ที่แตกต่างกันทั้งหมด 36 แบบ โดยมีการจำลองสถานการณ์แต่ละรูปแบบ 25 รอบ ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีการจำลองสถานการณ์รวมกันทั้งหมด 900 รอบ โดยกำหนดค่า seed ของการจำลองสถานการณ์แต่ละรอบแตกต่างกันเพื่อให้ค่าอัตราผลผลิตเฉลี่ยที่ได้จากแต่ละรอบมีความเป็นอิสระจากกัน

แต่ละรอบของการจำลองสถานการณ์ ไม่รวมอัตราผลผลิตของ 60 วันแรกในการหาอัตราผลผลิตเฉลี่ยเนื่องจากระยะ 60 วันแรกระบบการผลิตยังไม่เข้าสู่สถานะคงตัว (Steady state) เมื่อได้ค่าอัตราผลผลิตครบ ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ที่ค่านัยสำคัญ 0.05 ($\alpha = 0.05$) ในการวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์พบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่างรูปแบบบัฟเฟอร์ กับ กำลังการผลิตป้องกัน จึงทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่แต่ละระดับของอีกตัวแปร

5.1.1 สรุปผลการศึกษาเมื่อสายการผลิตมีความผันแปรในเวลาผลิตต่ำ ($CV = 5\%$)

สายการผลิตที่ไม่มีกำลังการผลิตป้องกันให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยต่ำที่สุดที่ทุกรูปแบบบัฟเฟอร์ และเมื่อรูปแบบบัฟเฟอร์ เป็น Unlimit, LIM10P1, LIM20P1, LIM20P2 และ LIM20P3 พบว่าอัตราผลผลิตเฉลี่ยเมื่อกำลังการผลิตป้องกันเป็น 20% และ 40% ไม่แตกต่างกัน ซึ่งเห็นได้จากอัตราผลผลิตเฉลี่ยเมื่อระดับกำลังการผลิตป้องกันเป็น 20% นั้นใกล้เคียง 32 หน่วยต่อวันซึ่งเป็นอัตราผลผลิตเฉลี่ยที่ได้จากสายการผลิตที่ไม่มีมีความแปรปรวน ในเวลาผลิต ($CV = 0$) แต่เมื่อรูปแบบบัฟเฟอร์เป็นแบบ LIM10P2 ซึ่งมีขนาดบัฟเฟอร์รวม 10 หน่วย โดยแบ่งเป็นบัฟเฟอร์หน้าและหลังสถานีคอขวด 5 หน่วยและไม่มี buffer ที่จุดอื่น พบว่าทุกคู่ของระดับกำลังการผลิตป้องกันให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยแตกต่างกัน โดยกำลังการผลิตป้องกันที่ให้ผลผลิตเรียงจากสูงที่สุด ไปต่ำที่สุด คือ 40% 20% และ 0% ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้แสดงว่าเมื่อขนาดบัฟเฟอร์มีจำนวนน้อยมากและขนาดบัฟเฟอร์รองรับที่ทุกสถานีทำให้ต้องใช้กำลังการผลิตป้องกันเพิ่มขึ้น

เมื่อสายการผลิตขาดกำลังการผลิตป้องกัน พบว่ารูปแบบบัฟเฟอร์ที่แตกต่างส่งผลให้อัตราผลผลิตแตกต่างกันด้วย โดยพบว่าการจัดสรรบัฟเฟอร์ให้เฉพาะกับหน้าและหลังสถานีคอขวดโดยไม่มีบัฟเฟอร์ที่สถานีอื่นเลย (LIM10P2 และ LIM20P3) ให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยต่ำที่สุด และถ้ามีการจัดสรรบัฟเฟอร์ให้กับทุกสถานีพบว่าเมื่อขนาดบัฟเฟอร์ทั้งหมดในสายการผลิตเป็น 20 หน่วย ให้อัตราผลผลิตมากกว่าขนาดบัฟเฟอร์ 10 หน่วย แต่เมื่อเพิ่มกำลังการผลิตป้องกันเป็น 20% และ 40% การจัดรูปแบบ

บัฟเฟอร์แตกต่างกันไม่ส่งผลให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยแตกต่างกัน โดยทุกรูปแบบบัฟเฟอร์ให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยใกล้เคียงผลผลิตในสถานการณ์ที่ไม่มีควมผันแปรนั้นคือ 32 หน่วยต่อวัน

5.1.2 สรุปผลการศึกษามือสายการผลิตที่มีความผันแปรในเวลาผลิตสูง (CV = 50%)

อัตราผลผลิตเฉลี่ยของระดับกำลังการผลิตป้องกันทุกคู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ทุกรูปแบบบัฟเฟอร์ โดยกำลังการผลิตป้องกันที่ให้ผลผลิตเรียงจากสูงที่สุดไปต่ำที่สุด คือ 40% 20% และ 0% ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าเมื่อไม่มีการจำกัดขนาดบัฟเฟอร์ (รูปแบบบัฟเฟอร์ คือ Unlimited) และไม่มีกำลังการผลิตป้องกันพบว่าให้อัตราผลผลิตเพียง 27.30 หน่วยเท่านั้น ซึ่งต่ำกว่าอัตราผลผลิตเมื่อสายการผลิตไม่มีความผันแปรถึง 4.7 หน่วย และได้อัตราผลผลิตใกล้เคียง 32 หน่วยก็ต่อเมื่อเพิ่มกำลังการผลิตป้องกันจนถึง 40% แสดงให้เห็นว่าเมื่อสายการผลิตมีความผันแปรในเวลาผลิตสูงมากนั้น กิจการอาจจำเป็นต้องให้มีกำลังการผลิตป้องกันมากขึ้นเพื่อที่จะเพิ่มผลผลิตให้ได้ตามที่ต้องการ

รูปแบบบัฟเฟอร์มีผลต่ออัตราผลผลิตเฉลี่ยที่ทุกระดับกำลังการผลิตป้องกัน ดังต่อไปนี้ โดยเมื่อไม่มีการจำกัดขนาดบัฟเฟอร์ (รูปแบบบัฟเฟอร์ คือ Unlimited) ได้อัตราผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด เนื่องจากมีปัญหา blocking และ starving น้อยกว่ารูปแบบบัฟเฟอร์อื่น แต่ถ้ามีขนาดบัฟเฟอร์จำกัดพบว่าการจัดสรรบัฟเฟอร์ให้เฉพาะกับหน้าและหลังสถานีคอขวดโดยไม่มีบัฟเฟอร์ที่สถานีอื่นเลยให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยต่ำที่สุด และถ้ามีการจัดสรรบัฟเฟอร์ให้กับทุกสถานีพบว่าขนาดบัฟเฟอร์เป็น 20 หน่วย ให้อัตราผลผลิตมากกว่าขนาดบัฟเฟอร์ 10 หน่วย

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการจัดการสายการผลิตที่ใช้วิธีการจ่ายงานแบบ CONWIP

จากผลการศึกษาสามารถให้ข้อเสนอแนะในการบริหารการผลิตสำหรับกิจการที่ใช้ระบบการจ่ายงานแบบ CONWIP ดังนี้

5.2.1. ตามที่ผลการศึกษาพบว่าเมื่อความผันแปรในเวลาผลิตเป็นเพียง 5% และ สายการผลิตมีกำลังการผลิตป้องกันตั้งแต่ 20% ขึ้นไป ทุกรูปแบบบัฟเฟอร์ให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยไม่แตกต่างกันและใกล้เคียงกับอัตราผลผลิตของสายการผลิตที่ไม่มีควมผันแปร แสดงว่าการมีกำลังการผลิตป้องกันสามารถช่วยให้กิจการลดพื้นที่จัดเก็บงานระหว่างทำระหว่างแต่ละสถานีได้เป็นอย่างมากและไม่มีข้อจำกัดในรูปแบบการจัดสรรบัฟเฟอร์ที่จะเลือกใช้

5.2.2 ในสายการผลิตที่มีความผันแปรในเวลาผลิตต่ำ กิจการสามารถกำหนดขนาดบัฟเฟอร์ และ ระดับกำลังการผลิตป้องกันที่ต่ำกว่าสายการผลิตที่มีความผันแปรในเวลาผลิตสูง ในอันที่จะได้อัตราผลผลิตเท่ากัน

5.2.2. ถ้าสายการผลิตมีความผันแปรสูง กิจการอาจจะต้องให้มีกำลังการผลิตป้องกันและหารูปแบบการจัดสรรขนาดบัฟเฟอร์ที่ทำให้อัตราผลิตเพิ่มขึ้น โดยจากการศึกษานี้มีข้อเสนอแนะว่ากิจการควรจัดสรรบัฟเฟอร์เฉลี่ยให้เท่ากันทุกสถานีเนื่องจากพบว่าโดยทั่วไปให้ผลผลิตมากกว่า

5.2.4. เนื่องจากกำลังการผลิตป้องกันสามารถช่วยลดขนาดบัฟเฟอร์ได้ กิจการควรเปรียบเทียบต้นทุนของบัฟเฟอร์ กับ ต้นทุนของกำลังการผลิตป้องกัน ประกอบการตัดสินใจการกำหนดกำลังการผลิตป้องกัน และ ขนาดบัฟเฟอร์เพื่อให้ประหยัดต้นทุนมากที่สุด

5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาครั้งต่อไป

5.3.1. นอกจากศึกษาผลของ รูปแบบบัฟเฟอร์ และ กำลังการผลิตป้องกัน แล้วอาจจะเพิ่มการศึกษาอิทธิพลของตำแหน่งสถานีคอขวดที่มีต่อผลผลิต

5.3.2. ทำการศึกษาโดยกำหนดให้เวลาผลิตมีการแจกแจงความน่าจะเป็น (probability distribution) ที่แตกต่างจาก Lognormal เช่น อาจจะกำหนดให้เป็นการแจกแจงแบบ Exponential ซึ่งมีค่า $CV = 100\%$ เสมอไม่ว่าเวลาผลิตเฉลี่ยจะเป็นเท่าใด ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจผลที่เกิดขึ้นภายใต้สถานการณ์ที่มีความผันแปรในเวลาผลิตที่สูงมากขึ้น

5.3.3. ในการศึกษาครั้งต่อไปควรรขยายให้ครอบคลุมรูปแบบบัฟเฟอร์อื่น และ ระดับกำลังการผลิตป้องกันที่มากกว่าที่กำหนดในการวิจัยนี้

บรรณานุกรม

- Atwater, J.B. (1991). **The impact of protective capacity on the output of a typical unblocked flow shop**. Ph.D. Dissertation, University of Georgia, Athens.
- Atwater, J.B. and Chakravorty, S.S. (1994). Does protective capacity assist managers in competing along time-based dimensions? **Production & Inventory Management Journal**. 35(3):53-59.
- Bank, J., Carson, J.S., Nelson, B.L., and Nicol, D.M. (2001). **Discrete-event system simulation (third edition)**. NJ: Prentice Hall.
- Conway, R. Maxwell, W., McClain, J.O., and Thomas, L.J. (1988). The role of work-in-process inventory in serial production lines. **Operations Research**. 36(2):229-241.
- Cox, J.F., Blackstone, J.H., and Spencer, M.S. (Eds.) (1995). **APICS Dictionary**. American Production and Inventory Control Society, Inc. VA: Falls Church.
- Duclos, L.K. and Spencer, M.S. (1995). The impact of a constraint buffer in a flow shop. **International Journal of Production Economics**. 42: 175-185.
- Duenyas, I., and Khabli, M.F. (1995). Release policies for assembly system. **IIE Transactions**. 27(4):507-518.
- El-Rayah, T.E. (1979). The effect of inequality of interstage buffer capacities and operations time variability on the efficiency of production line systems. **International Journal of Production Research**. 17:77-89.
- Field, A.P. (2005). **Discovering statistics using SPSS (second edition)**. London: Sage.
- Gardiner, S.C., Blackstone, J.H., and Gardiner, L.R. (1993). Drum-buffer-rope and buffer management: impact on production management study and practices. **International Journal of Operations & Production Management**. 13(6). 63-78.
- Gilland, W.G. (1998). **Essays on production planning and control**. Ph.D. Dissertation. Stanford University. CA.
- Goldratt, E.M. and Cox, J. (1986). **The goal: a process of ongoing improvement**, NY: North River Press.

- Gstettner, S. and Kuhn, H. (1996). Analysis of production control systems kanban and CONWIP. **International Journal of Production Research**. 34(1): 3253-3273.
- Hopp, W.J. and Spearman, M.L. (1996). **Factory physics**. Chicago: Irwin.
- Huang, M.H., Wang, D., and Ip, W.H. (1998). Simulation Study of CONWIP for a cold rolling plant. **International Journal of Production Economics**. 54(3): 257-266.
- Huff, P. L. (2001). Using drum-buffer-rope scheduling rather than just-in-time production. **Management Accounting Quarterly**. 36-40.
- Hurley, S.F. and Kadipasaoglu, S. (1998). Wandering bottleneck: speculating on the true causes. **Production & Inventory Management Journal**. 39(4):1-4.
- Inman, R.R. (1993) Inventory is the flower of all evil. **Production and Inventory Management Journal**. 34(4):41-45.
- Kadipasaoglu, S.N., Xiang, W., Hurley, S.F., and Khumawala, B.M. (2000). A study on the effect of the extent and location of protective capacity in flow systems. **International Journal of Production Economics**. 63:217-228.
- Kim, S.T.(1995) **An investigation of flow control mechanisms in semiconductor wafer fabrication**. Ph.D. Dissertation. University of Georgia. Athens.
- Lambrecht, M. and Segaert, A. (1990). Buffer stock allocation in a serial and assembly type of production lines. **International Journal of Operations Management**. 10(2). 47-60.
- Law, A.M. and Kelton, W.D. (1992). **Simulation modeling & analysis**. McGraw-Hill.
- Leslie, K.D. and Michael, S.S.(1995) The impact of a constraint buffer in a flow shop. **International Journal of Production Economics**. 42: 175-185.
- Marek, R.P., Elkins, D. A., and Smith, D. R. (2001) Understanding the fundamentals of kanban and CONWIP pull systems using simulation. **Proceeding of the 2001 Winter Simulation Conference**. 921-929.
- Monden, Y. (1983). **Toyota production systems: practical approach to production management**. GA: Industrial Engineering and Management Press.
- Montgomery, D.C.(1997). **Design and analysis of experiments (fourth edition)**. NY: JohnWiley& Sons.

- Muckstadt, J. A., and Tayur, S. R. (1995). A comparison of alternative kanban control mechanisms I. background and structural results. **IIE Transactions**. 27(2): 140-150.
- Muralidhar, K., Swenseth, S.R., and Wilson, R.L.(1995). Describing processing time when simulating JIT environment. **International Journal of Production Research**. 27(4): 507-518.
- Pritsker, A.A.B., O'Reilly, J.J., and LaVal, D.K.(1997). **Simulation with Visual SLAM and AWESIM!**. West Lafayette: System Publishing Corp.
- Sarker, B. R., and Fitzsimmons. (1989). The performance of push and pull systems: a simulation and comparative study. **International Journal of Production Research**. 27(10):1715-1731.
- Smith, L.D., and Brumbaugh, P. (1977). Allocating inter-station inventory capacity in unpaced production lines with heteroscedastic processing time. **International Journal of Production Research**. 15(2): 163-172.
- Spearman, M.L., Hopp, W.J., and Woodruff, D.L.(1989). A hierarchical control architecture for constant work-in-process (CONWIP) production systems. **Journal of Manufacturing and Operations Management**. 2(3): 147-171.
- Spearman, M.L., Woodruff, D.L., and Hopp, W.J. (1990). CONWIP: a pull alternative to kanban. **International Journal of Production Research**. 28(5): 879-894.
- Spearman, M.L., and Zazanis, M.A.(1992). Push and pull production systems: issues and comparisons. **Operations Research**. 40(3): 521-532.
- Thuannadec, S. (2000). **Comparative effects of pull release mechanisms on the performance of a mixed-model flow line**. Ph.D. Dissertation, University of Georgia, Athens.
- Welch, P.D. (1983). The statistical analysis of simulation results. **Computer Performance Modeling Handbook**. S. S. Lavenberg. Editor. NY:Academic Press, Inc.

ภาคผนวก

อัตราผลิตเฉลี่ยจากการจำลองสถานการณ์ในแต่ละรอบ(Replication)

CV = 0.05 PC = 0%

Replication #	Unlimit	LIM10P1	LIM10P2	LIM20P1	LIM20P2	LIM20P3
1	31.926	31.844	30.477	31.915	31.855	30.482
2	31.922	31.853	30.482	31.907	31.859	30.487
3	31.920	31.844	30.486	31.913	31.856	30.475
4	31.923	31.850	30.488	31.926	31.869	30.477
5	31.915	31.848	30.479	31.918	31.862	30.483
6	31.929	31.852	30.468	31.918	31.862	30.483
7	31.923	31.839	30.491	31.916	31.857	30.471
8	31.917	31.837	30.479	31.911	31.866	30.481
9	31.925	31.838	30.465	31.906	31.861	30.483
10	31.921	31.842	30.477	31.920	31.862	30.479
11	31.929	31.847	30.486	31.923	31.863	30.473
12	31.923	31.852	30.472	31.920	31.859	30.478
13	31.919	31.846	30.476	31.920	31.853	30.475
14	31.923	31.849	30.482	31.919	31.855	30.481
15	31.928	31.847	30.484	31.906	31.865	30.485
16	31.919	31.849	30.481	31.912	31.853	30.481
17	31.930	31.838	30.477	31.909	31.870	30.479
18	31.917	31.846	30.475	31.916	31.866	30.484
19	31.921	31.848	30.481	31.912	31.858	30.473
20	31.920	31.840	30.478	31.918	31.862	30.475
21	31.922	31.844	30.484	31.910	31.865	30.477
22	31.927	31.845	30.475	31.916	31.857	30.477
23	31.922	31.850	30.475	31.910	31.869	30.484
24	31.922	31.852	30.486	31.926	31.858	30.483
25	31.920	31.849	30.484	31.913	31.862	30.476
Average	31.923	31.846	30.480	31.915	31.861	30.479
SD	0.004	0.005	0.006	0.006	0.005	0.004

อัตราผลผลิตเฉลี่ยจากการจำลองสถานการณ์ในแต่ละรอบ(Replication)

CV = 0.05 PC = 20%

Replication #	Unlimit	LIM10P1	LIM10P2	LIM20P1	LIM20P2	LIM20P3
1	32.007	32.016	31.992	31.989	32.000	32.000
2	32.009	31.988	32.000	32.002	31.983	31.983
3	32.003	32.017	31.988	31.996	31.994	31.994
4	31.996	31.989	32.016	32.002	32.012	32.012
5	31.992	32.009	31.988	31.992	32.011	32.011
6	32.011	32.007	31.994	32.010	32.022	32.023
7	32.009	32.010	31.982	32.004	31.998	31.997
8	31.996	32.006	32.000	32.007	31.989	31.989
9	31.997	31.996	32.007	31.997	31.999	31.999
10	31.993	32.000	31.993	31.999	32.002	32.002
11	32.010	31.984	31.986	31.992	32.023	32.023
12	32.002	31.998	32.001	32.008	31.994	31.993
13	31.994	32.002	32.008	32.002	31.997	31.997
14	31.990	32.004	31.984	32.000	32.014	32.014
15	31.990	31.991	32.003	32.008	31.993	31.993
16	31.999	31.991	31.998	31.996	31.999	31.999
17	31.998	32.003	32.003	32.010	31.994	31.994
18	32.004	32.011	31.997	31.994	31.997	31.997
19	32.006	32.003	32.016	31.990	32.002	32.002
20	31.980	32.013	31.983	31.991	32.013	32.013
21	32.012	31.987	31.994	31.992	32.013	32.012
22	32.001	32.007	31.997	31.986	31.994	31.994
23	32.001	32.003	32.003	31.997	32.004	32.004
24	31.987	31.994	31.990	31.997	31.977	31.976
25	32.007	31.991	31.993	31.989	32.009	32.009
Average	32.000	32.001	31.997	31.998	32.001	32.001
SD	0.008	0.009	0.009	0.007	0.011	0.011

อัตราผลิตเฉลี่ยจากการจำลองสถานการณ์ในแต่ละรอบ(Replication)

CV = 0.05 PC = 40%

Replication #	Unlimit	LIM10P1	LIM10P2	LIM20P1	LIM20P2	LIM20P3
1	31.989	32.002	31.999	31.994	32.011	31.989
2	32.004	32.003	31.999	31.992	31.989	32.000
3	32.011	31.999	31.990	32.009	32.002	32.001
4	32.003	31.996	32.004	31.987	31.994	31.997
5	32.006	31.984	31.994	31.991	31.996	31.990
6	32.006	32.020	32.000	32.004	32.010	32.006
7	32.008	32.012	32.008	32.016	31.997	31.980
8	32.000	31.994	31.999	31.998	31.993	32.013
9	32.002	31.986	32.004	31.999	31.990	31.991
10	32.016	32.003	31.997	31.979	31.989	32.013
11	31.994	32.006	32.001	31.992	32.002	32.011
12	32.000	32.012	32.002	32.001	32.003	32.010
13	32.011	31.997	32.006	31.999	32.002	31.992
14	32.006	32.004	32.000	31.986	31.994	32.009
15	31.997	31.997	32.003	32.002	31.989	31.989
16	32.008	32.002	31.997	32.021	31.992	31.991
17	31.991	31.999	31.998	31.999	32.003	32.000
18	31.996	32.010	32.014	32.018	32.011	32.000
19	32.000	31.987	31.994	32.011	32.000	32.001
20	32.017	31.993	32.019	31.992	32.002	31.999
21	32.003	32.003	31.996	32.007	31.993	32.020
22	32.007	32.007	32.016	32.003	32.003	31.981
23	31.993	32.007	32.000	32.008	32.010	32.006
24	32.000	31.991	32.008	31.996	32.020	32.003
25	31.999	31.998	32.007	32.000	32.000	31.997
Average	32.003	32.000	32.002	32.000	32.000	32.000
SD	0.007	0.009	0.007	0.010	0.008	0.010

อัตราผลิตเฉลี่ยจากการจำลองสถานการณ์ในแต่ละรอบ(Replication)

CV = 0.50 PC = 0%

Replication #	Unlimit	LIM10P1	LIM10P2	LIM20P1	LIM20P2	LIM20P3
1	27.271	24.521	20.820	26.683	25.176	20.733
2	27.353	24.489	20.777	26.707	25.277	20.861
3	27.264	24.626	20.850	26.605	25.450	20.850
4	27.254	24.554	20.819	26.586	25.253	20.782
5	27.312	24.560	20.790	26.645	25.220	20.891
6	27.325	24.555	20.758	26.761	25.267	20.857
7	27.377	24.416	20.752	26.671	25.309	20.819
8	27.244	24.557	20.739	26.636	25.302	20.852
9	27.241	24.476	20.791	26.656	25.282	20.787
10	27.283	24.513	20.811	26.585	25.221	20.747
11	27.342	24.573	20.719	26.694	25.279	20.822
12	27.349	24.522	20.842	26.576	25.211	20.847
13	27.240	24.552	20.818	26.646	25.350	20.827
14	27.316	24.489	20.684	26.738	25.291	20.784
15	27.331	24.608	20.828	26.649	25.274	20.863
16	27.211	24.533	20.724	26.560	25.272	20.795
17	27.312	24.562	20.765	26.497	25.315	20.802
18	27.314	24.580	20.906	26.667	25.265	20.801
19	27.274	24.557	20.808	26.615	25.306	20.859
20	27.274	24.554	20.772	26.648	25.264	20.796
21	27.333	24.547	20.821	26.622	25.250	20.795
22	27.363	24.501	20.771	26.634	25.305	20.717
23	27.306	24.536	20.832	26.750	25.304	20.870
24	27.305	24.548	20.841	26.572	25.289	20.822
25	27.250	24.506	20.881	26.646	25.270	20.735
Average	27.298	24.537	20.797	26.642	25.280	20.813
SD	0.044	0.044	0.052	0.062	0.051	0.047

อัตราผลิตเฉลี่ยจากการจำลองสถานการณ์ในแต่ละรอบ(Replication)

CV = 0.50 PC = 20%

Replication #	Unlimit	LIM10P1	LIM10P2	LIM20P1	LIM20P2	LIM20P3
1	31.257	28.248	24.816	30.401	30.052	24.928
2	31.240	28.109	24.969	30.506	29.977	24.952
3	31.210	28.190	24.923	30.304	29.984	25.067
4	31.163	28.200	24.979	30.319	30.090	24.902
5	31.214	28.289	24.940	30.324	30.009	24.937
6	31.240	28.170	24.959	30.321	30.034	25.023
7	31.220	28.266	24.866	30.440	29.939	24.993
8	31.211	28.085	24.937	30.403	29.984	24.876
9	31.295	28.249	24.941	30.299	30.031	24.954
10	31.281	28.213	24.876	30.346	29.987	25.034
11	31.273	28.219	24.979	30.274	30.018	24.941
12	31.260	28.123	24.861	30.402	30.078	24.961
13	31.140	28.269	24.908	30.357	30.006	24.950
14	31.282	28.198	24.964	30.230	29.996	24.952
15	31.244	28.225	24.898	30.349	30.083	24.961
16	31.198	28.246	24.918	30.241	30.074	24.930
17	31.259	28.213	24.929	30.322	30.115	24.981
18	31.276	28.182	24.950	30.406	30.007	24.972
19	31.266	28.162	24.866	30.351	29.961	24.999
20	31.251	28.300	24.835	30.387	30.033	25.063
21	31.329	28.223	24.877	30.321	30.120	25.042
22	31.235	28.274	24.935	30.398	30.036	25.022
23	31.301	28.144	24.912	30.381	29.968	25.081
24	31.356	28.225	24.876	30.448	30.080	24.943
25	31.277	28.292	24.895	30.303	30.001	24.976
Average	31.251	28.213	24.912	30.353	30.027	24.978
SD	0.048	0.058	0.045	0.065	0.049	0.053

อัตราผลิตเฉลี่ยจากการจำลองสถานการณ์ในแต่ละรอบ(Replication)

CV = 0.50 PC = 40%

Replication #	Unlimit	LIM10P1	LIM10P2	LIM20P1	LIM20P2	LIM20P3
1	31.862	30.393	28.958	31.578	31.887	29.040
2	32.182	30.311	28.811	31.603	32.051	29.085
3	32.124	30.334	28.946	31.507	31.978	29.087
4	31.951	30.410	28.886	31.458	31.870	29.141
5	31.927	30.236	28.882	31.727	32.057	28.978
6	31.915	30.459	28.882	31.584	31.959	29.108
7	31.973	30.322	28.905	31.548	32.057	29.053
8	32.029	30.381	28.865	31.563	31.850	28.997
9	32.065	30.397	28.820	31.651	31.959	29.081
10	31.997	30.277	28.929	31.587	31.896	28.994
11	32.082	30.362	28.927	31.714	32.013	29.075
12	31.990	30.476	28.950	31.657	31.821	29.123
13	32.023	30.522	28.821	31.534	32.027	29.155
14	31.949	30.367	28.890	31.661	31.866	29.115
15	31.926	30.427	28.837	31.684	31.930	28.997
16	31.822	30.309	28.987	31.698	31.805	29.073
17	31.889	30.281	28.899	31.603	31.886	29.135
18	31.967	30.366	28.826	31.677	31.960	29.107
19	31.918	30.453	28.788	31.598	32.163	29.102
20	32.061	30.233	28.938	31.574	31.802	29.013
21	31.996	30.487	28.846	31.570	31.993	28.987
22	32.243	30.441	28.921	31.608	31.710	29.101
23	31.896	30.428	28.841	31.527	32.003	29.081
24	32.163	30.448	28.861	31.752	31.788	29.074
25	32.030	30.366	28.875	31.604	31.966	28.945
Average	31.999	30.379	28.884	31.611	31.932	29.066
SD	0.103	0.078	0.052	0.073	0.105	0.057

ประวัติผู้วิจัย

ดร.สุนิตยา เกื้อนาคี ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำสำนักวิชาเทคโนโลยีการจัดการ สำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เกิดเมื่อวันที่ 17 มิถุนายน พ.ศ. 2515 ที่จังหวัดขอนแก่น จบการศึกษาปริญญาตรีทางการบัญชีจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2535 และจบระดับปริญญาโททางด้านบริหารธุรกิจจาก Virginia Tech University ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อ พ.ศ. 2538 และระดับปริญญาเอกทางด้านบริหารธุรกิจจาก The University of Georgia ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อ พ.ศ. 2543

หลังจากจบการศึกษาได้เข้าทำงานเป็นอาจารย์ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ผ่านมามีประสบการณ์ในการสอนทั้งระดับปริญญาตรีและโทในวิชาด้านการจัดการการดำเนินงาน การบัญชี และการตลาด ผลงานการวิจัยขณะทำงานที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีประกอบด้วย การพัฒนาการจัดการและกำจัดขยะสำหรับชุมชน มทส. และ อบต. โคยรอบ และการศึกษาศักยภาพและแนวโน้มการจัดการการค้าปลีกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ