



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม)

ปริญญา

วิศวกรรมอุตสาหกรรม

วิศวกรรมอุตสาหกรรม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การวิเคราะห์ความแปรปรวนของโครงข่ายประสาทเทียมภายใต้ฟังก์ชันการประมาณค่า

Variation Analysis of Neural Network Based Approximation Function

นามผู้วิจัย นางสาวสิริมาศ ป้องจันลา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( อาจารย์พรเทพ อนุสรณิศสาร, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์จุฑา พิชิตคำเค็ญ, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( รองศาสตราจารย์อนันต์ มุ่งวัฒนา, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของโครงข่ายประสาทเทียมภายใต้ฟังก์ชันการประมาณค่า

Variation Analysis of Neural Network Based Approximation Function

โดย

นางสาวสิริมาส ป้องจันลา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สิริมาศ ป็องจันลา 2553: การวิเคราะห์ความแปรปรวนของโครงข่ายประสาทเทียม  
ภายใต้ฟังก์ชันการประมาณค่า ปริญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรม  
อุตสาหกรรม) สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม อาจารย์ที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์พรเทพ อนุสรณินิศาร, Ph.D. 112 หน้า

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมที่สามารถปรับขนาดได้มาประมาณระบบการ  
ผลิตแบบดึง ซึ่งเป็นระบบที่มีการเชื่อมต่อกันของแต่ละสถานีงานและควบคุมปริมาณบัฟเฟอร์  
ด้วยระบบคัมบัง การประมาณผลการดำเนินงานของระบบการผลิตด้วยโครงข่ายประสาทเทียมที่  
สามารถปรับขนาดได้ ทำได้โดยแบ่งประเภทสถานีงานเป็น 3 ประเภท ได้แก่ สถานีเริ่มต้น  
สถานีกลาง และสถานีสุดท้าย แล้วประมาณผลการดำเนินงานเฉลี่ยและความแปรปรวนของระบบ  
โดยประมาณค่ารอบระยะเวลาการผลิตเฉลี่ยระหว่างกระบวนการผลิต (cycle time), จำนวน  
ชิ้นงานที่ค้างในระบบ (work in process), จำนวนครั้งที่สามารถตอบสนองความต้องการผลิตได้  
(sale) และจำนวนครั้งที่ไม่สามารถตอบสนองความต้องการผลิต (lost sale) แล้วศึกษาปัจจัยที่มีผล  
ต่อประสิทธิภาพการประมาณค่าของโครงข่ายประสาทเทียม

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าโครงข่ายประสาทเทียมสามารถประมาณค่า cycle time,  
work in process, sale และ lost sale ของระบบการผลิตแบบดึงได้ทั้งค่าเฉลี่ยและค่าความ  
แปรปรวน การฝึกสอนควรใช้จำนวนข้อมูลฝึกสอน 50% ของสถานการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด  
ฝึกสอนโครงข่ายที่จะพัฒนาเป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่สามารถปรับขนาดได้ และจากผล  
การศึกษา โครงข่ายประสาทเทียมไม่สามารถประมาณค่าความแปรปรวนโดยตรงได้แต่สามารถ  
ประมาณค่าความแปรปรวนของระบบได้โดยการแบ่งช่วงของความแปรปรวน ซึ่งสามารถ  
ประมาณความแปรปรวนของ cycle time และ sales ถูกต้องประมาณ 99% ค่าความแปรปรวนของ  
work in process ได้ประมาณ 80% ซึ่งประสิทธิภาพที่ลดลงเนื่องมาจากจำนวนสถานีงานที่เพิ่ม  
สูงขึ้น และสามารถประมาณค่า lost sale มีความถูกต้องประมาณ 90% ประสิทธิภาพที่ลดลงมา  
จากค่าความแปรปรวนมีค่าน้อยมากและมีค่าไม่ต่อเนื่อง โดยสรุป โครงข่ายประสาทเทียมสามารถ  
ประมาณระบบที่เป็นสโตแคสติกส์ที่มีขนาดใหญ่ได้

---

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Sirimas Pongjanla 2010: Variation Analysis of Neural Network Based Approximation Function. Master of Engineering (Industrial Engineering), Major Field: Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering. Thesis Advisor: Mr. Pornthep Anussornnitisarn, Ph.D. 112 pages.

A goal of this research is to investigate the performance of neural network based approximation function in variation prediction. This research develops a scalable artificial neural network (SANN) approximation for pull-control production system as a case study. The pull-control production system in this case study consists of serial workstations and its buffer in which controlled by Kanban method. Three types of SANN, which are 1) Initial workstation 2) Intermediate workstation and 3) Final workstation, were developed to approximate the performance of the production system. This SANN is designed to predict the mean and variance of the four major production performance measures which are: 1) production cycle time 2) the amount of work-in-process 3) the number of sales and 4) the number of lost sales. Several experiments are conducted to investigate the impact of the number of workstations and the process variation on the performance of SANN.

The results of this research show that SANN effectively predicts (approximates) the mean and variation of the four performance measures of the pull-control production system. The recommended train data size is fifty percent of the set of solutions for individual workstation in developing SANN for the Initial workstation, the intermediate and the final workstation. From the results, direct approximation of the confident interval of performance measures is not possible. However, when using SANN to predict the range of variation in all performance measures, the results indicate the effective prediction. The predictability of variation in cycle time and the number of sales are about 99%. The predictability of variation in work-in-process is about 80% due to the impact from the increase of the number of workstations. The predictability of variation in the number of lost sales is about 90% due to the impact from the small and non continuous value of measures. In conclusion, SANN has shown a great promised in accessing the stochastic measures in large production system.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.พรเทพ อนุสรณินดีสาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และผศ.ดร.จุฬา พิษิตคำเค็ญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.อนันต์ มุ่งวัฒนา ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.ยุทธชัย บรรเท็งจิตร ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์ยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

และความดีหรือประโยชน์อันใดที่เกิดจากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่บิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ได้ให้ความกรุณาและให้กำลังใจมาโดยตลอด

สิริมาส ป็องจันลา

พฤษภาคม 2553

## สารบัญ

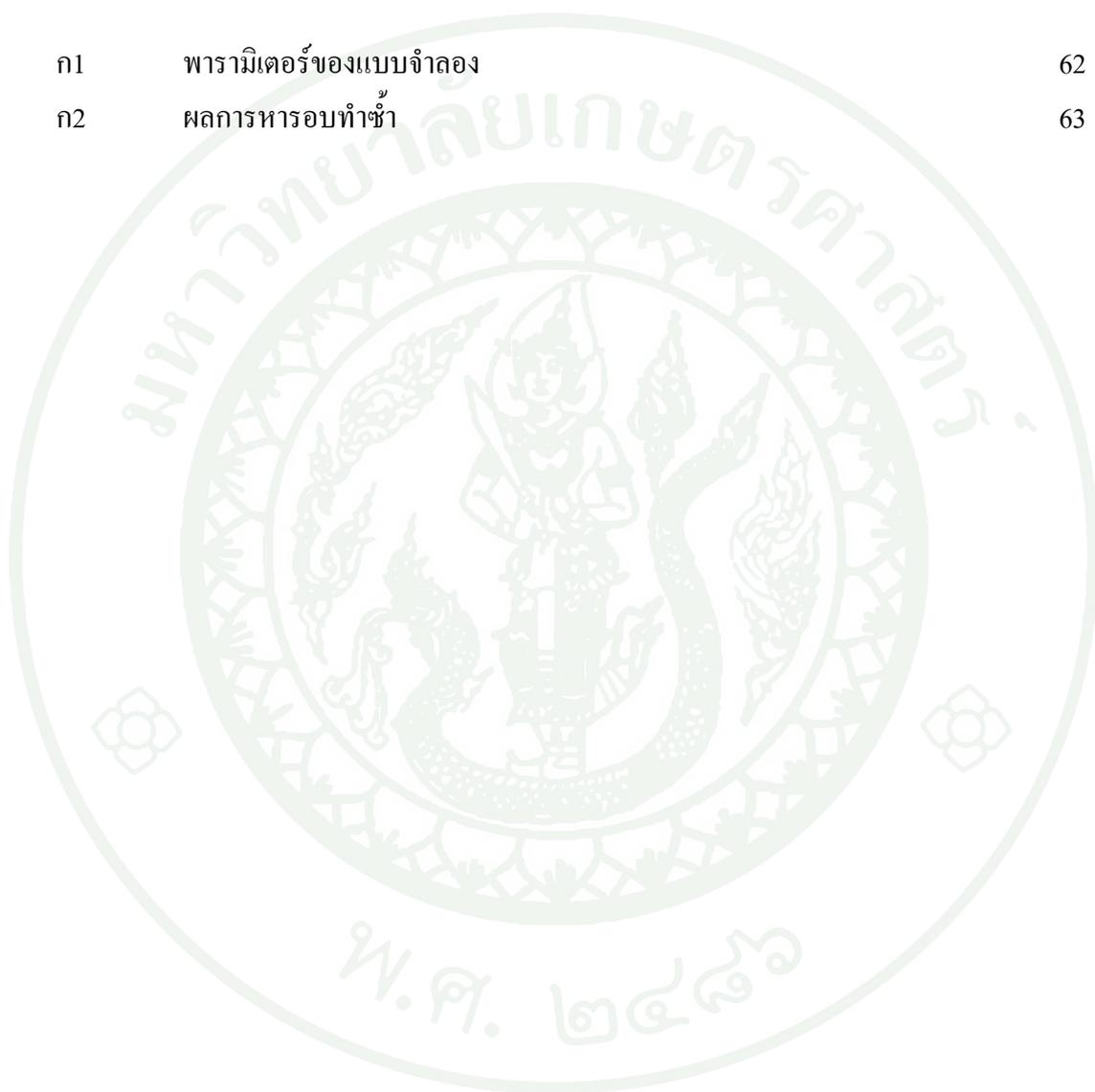
	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	16
อุปกรณ์	16
วิธีการ	16
ผลและวิจารณ์	32
ผล	32
วิจารณ์	52
สรุปและข้อเสนอแนะ	53
สรุป	53
ข้อเสนอแนะ	54
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	55
ภาคผนวก	57
ภาคผนวก ก รายละเอียดของแบบจำลองสถานการณ์บน โปรแกรม Arena	58
ภาคผนวก ข ฮิสโตแกรมของช่วงความเชื่อมั่น	64
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	112

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	เวลาที่ใช้ในการหาจำนวนบัฟเฟอร์ที่เหมาะสม	2
2	ค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่ามัธยฐานของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Cycle time ที่มีอัตราความต้องการผลิตเป็นแบบเอ็กโพเนนเชียล	42
3	ค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่ามัธยฐานของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Cycle time ที่มีอัตราความต้องการผลิตเป็นแบบปกติ	42
4	ค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่ามัธยฐานของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Work in process ที่มีอัตราความต้องการผลิตเป็นแบบเอ็กโพเนนเชียล	43
5	ค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่ามัธยฐานของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Work in process ที่มีอัตราความต้องการผลิตเป็นแบบปกติ	43
6	ค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่ามัธยฐานของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Sale ที่มีอัตราความต้องการผลิตเป็นแบบเอ็กโพเนนเชียล	44
7	ค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่ามัธยฐานของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Sale ที่มีอัตราความต้องการผลิตเป็นแบบปกติ	44
8	ค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่ามัธยฐานของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Lost sale ที่มีอัตราความต้องการผลิตเป็นแบบเอ็กโพเนนเชียล	45
9	ค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่ามัธยฐานของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Lost sale ที่มีอัตราความต้องการผลิตเป็นแบบปกติ	45
10	สัดส่วนระหว่างจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมผิดพลาดต่อจำนวนข้อมูลทดลองทั้งหมด กรณีอัตราความต้องการผลิตเป็นแบบเอ็กโพเนนเชียล	46
11	สัดส่วนระหว่างจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมผิดพลาดต่อจำนวนข้อมูลทดลองทั้งหมด กรณีอัตราความต้องการผลิตเป็นแบบปกติ	46

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก1	พารามิเตอร์ของแบบจำลอง	62
ก2	ผลการหาค่า	63



## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงข่ายประสาทเทียมของมนุษย์	7
2	ลักษณะ โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น	10
3	โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ	11
4	รูปแบบการผลิตแบบดึง	12
5	แบบจำลองสถานการณ์ระบบการผลิตแบบดึงจำนวน 3 สถานีงาน	16
6	การไหลของข้อมูลระบบการผลิตแบบดึง	19
7	การแบ่งประเภทของสถานีงานในระบบการผลิตแบบดึง	23
8	การเชื่อมต่อของโครงข่ายประสาทเทียมในการประมาณค่าเฉลี่ยของ Cycle time, %Sale และ %Lost sale	24
9	การเชื่อมต่อของโครงข่ายประสาทเทียมในการประมาณค่าเฉลี่ยของ Work in process	25
10	การเชื่อมต่อของโครงข่ายประสาทเทียมในการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time, %Sale และ %Lost sale กรณีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียล	26
11	การเชื่อมต่อของโครงข่ายประสาทเทียมในการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process กรณีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียล	27
12	การเชื่อมต่อของโครงข่ายประสาทเทียมในการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time, %Sale และ %Lost sale กรณีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ	28
13	การเชื่อมต่อของโครงข่ายประสาทเทียมในการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process กรณีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ	29
14	ค่า R-Square ของการประมาณค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ข้อมูลฝึกสอนโครงข่าย 30% และ 50%	33

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
15	ค่า R-Square ของการประมาณค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ข้อมูลฝึกสอน โครงข่าย 30% และ 50%	34
16	ค่า R-Square ของการประมาณค่าเฉลี่ยของ %Sale จากระบบที่มีอัตราความ ต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ที่ข้อมูลฝึกสอนโครงข่าย 30% และ 50%	36
17	ค่า R-Square ของการประมาณค่าเฉลี่ยของ %Lost sale จากระบบที่มีอัตรา ความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ที่ข้อมูลฝึกสอนโครงข่าย 30% และ 50%	37
18	R-Square ของการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Cycle time ที่ข้อมูล ฝึกสอนโครงข่าย 30% และ 50%	38
19	ค่า R-Square ของการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Work in process ที่ข้อมูลฝึกสอนโครงข่าย 30% และ 50%	39
20	ค่า R-Square ของการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Sale ที่ข้อมูล ฝึกสอนโครงข่าย 30% และ 50%	40
21	ค่า R-Square ของการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Lost sale ที่ ข้อมูลฝึกสอนโครงข่าย 30% และ 50%	41
22	ค่า R-Square ของการประมาณค่าเฉลี่ยระบบการผลิตแบบดิ่ง ที่มีอัตราความ ต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล	48
23	ค่า R-Square ของการประมาณค่าเฉลี่ยระบบการผลิตแบบดิ่ง ที่มีอัตราความ ต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ	49
24	ค่า R-Square ของการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ระบบการผลิตแบบดิ่ง ที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล	50
25	ค่า R-Square ของการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ระบบการผลิตแบบดิ่ง ที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ	51

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ก1   แบบจำลองสถานการณ์ของ 4 สถานีงาน	59
ก2   แบบจำลองสถานการณ์ของ 5 สถานีงาน	59
ก3   แบบจำลองสถานการณ์ของ 10 สถานีงาน	60
ก4   แบบจำลองสถานการณ์ของ 15 สถานีงาน	60
ก5   แบบจำลองสถานการณ์ของ 20 สถานีงาน	61
ข1   ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 3 สถานีงาน (EXPO, 0.05)	65
ข2   ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 4 สถานีงาน (EXPO, 0.05)	66
ข3   ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 5 สถานีงาน (EXPO, 0.05)	66
ข4   ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 10 สถานีงาน (EXPO, 0.05)	67
ข5   ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 15 สถานีงาน (EXPO, 0.05)	67
ข6   ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 20 สถานีงาน (EXPO, 0.05)	68
ข7   ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 3 สถานีงาน (EXPO, 0.05)	68
ข8   ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 4 สถานีงาน (EXPO, 0.05)	69
ข9   ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 5 สถานีงาน (EXPO, 0.05)	69

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า	
ข10	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 10 สถานีงาน (EXPO, 0.05)	70
ข11	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 15 สถานีงาน (EXPO, 0.05)	70
ข12	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 20 สถานีงาน (EXPO, 0.05)	71
ข13	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 3 สถานีงาน (EXPO, 0.05)	71
ข14	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 4 สถานีงาน (EXPO, 0.05)	72
ข15	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 5 สถานีงาน (EXPO, 0.05)	72
ข16	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 10 สถานีงาน (EXPO, 0.05)	73
ข17	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 15 สถานีงาน (EXPO, 0.05)	73
ข18	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 20 สถานีงาน (EXPO, 0.05)	74
ข19	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 3 สถานีงาน (EXPO, 0.05)	74
ข20	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 4 สถานีงาน (EXPO, 0.05)	75
ข21	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 5 สถานีงาน (EXPO, 0.05)	75
ข22	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 10 สถานีงาน (EXPO, 0.05)	76

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข23	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 15 สถานีนงาน (EXPO, 0.05)	76
ข24	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 20 สถานีนงาน (EXPO, 0.05)	77
ข25	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 3 สถานีนงาน (NORM, 0.05)	78
ข26	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 4 สถานีนงาน (NORM, 0.05)	78
ข27	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 5 สถานีนงาน (NORM, 0.05)	79
ข28	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 10 สถานีนงาน (NORM, 0.05)	79
ข29	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 15 สถานีนงาน (NORM, 0.05)	80
ข30	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 20 สถานีนงาน (NORM, 0.05)	80
ข31	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 3 สถานีนงาน (NORM, 0.05)	81
ข32	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 4 สถานีนงาน (NORM, 0.05)	81
ข33	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 5 สถานีนงาน (NORM, 0.05)	82
ข34	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 10 สถานีนงาน (NORM, 0.05)	82

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า	
ข35	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 15 สถานีงาน (NORM, 0.05)	83
ข36	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 20 สถานีงาน (NORM, 0.05)	83
ข37	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 3 สถานีงาน (NORM, 0.05)	84
ข38	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 4 สถานีงาน (NORM, 0.05)	84
ข39	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 5 สถานีงาน (NORM, 0.05)	85
ข40	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 10 สถานีงาน (NORM, 0.05)	85
ข41	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 15 สถานีงาน (NORM, 0.05)	86
ข42	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 20 สถานีงาน (NORM, 0.05)	86
ข43	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 3 สถานีงาน (NORM, 0.05)	87
ข44	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 4 สถานีงาน (NORM, 0.05)	87
ข45	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 5 สถานีงาน (NORM, 0.05)	88
ข46	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 10 สถานีงาน (NORM, 0.05)	88

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข47	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 15 สถานีนงาน (NORM, 0.05)	89
ข48	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 20 สถานีนงาน (NORM, 0.05)	89
ข49	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 5 สถานีนงาน (EXPO, 0.01)	90
ข50	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 10 สถานีนงาน (EXPO, 0.01)	91
ข51	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 15 สถานีนงาน (EXPO, 0.01)	91
ข52	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 20 สถานีนงาน (EXPO, 0.01)	92
ข53	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 4 สถานีนงาน (EXPO, 0.01)	92
ข54	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 5 สถานีนงาน (EXPO, 0.01)	93
ข55	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 10 สถานีนงาน (EXPO, 0.01)	93
ข56	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 15 สถานีนงาน (EXPO, 0.01)	94
ข57	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 20 สถานีนงาน (EXPO, 0.01)	94

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข58	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 4 สถานีงาน (EXPO, 0.01)	95
ข59	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 4 สถานีงาน (EXPO, 0.01)	95
ข60	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 5 สถานีงาน (EXPO, 0.01)	96
ข61	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 10 สถานีงาน (EXPO, 0.01)	96
ข62	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 15 สถานีงาน (EXPO, 0.01)	97
ข63	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 20 สถานีงาน (EXPO, 0.01)	97
ข64	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 4 สถานีงาน (EXPO, 0.01)	98
ข65	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 5 สถานีงาน (EXPO, 0.01)	98
ข66	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 10 สถานีงาน (EXPO, 0.01)	99
ข67	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 15 สถานีงาน (EXPO, 0.01)	99
ข68	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 20 สถานีงาน (EXPO, 0.01)	100

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข69	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 4 สถานีงาน (NORM, 0.01)	101
ข70	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 5 สถานีงาน (NORM, 0.01)	102
ข71	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 10 สถานีงาน (NORM, 0.01)	102
ข72	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 15 สถานีงาน (NORM, 0.01)	103
ข73	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 20 สถานีงาน (NORM, 0.01)	103
ข74	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 4 สถานีงาน (NORM, 0.01)	104
ข75	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 5 สถานีงาน (NORM, 0.01)	104
ข76	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 10 สถานีงาน (NORM, 0.01)	105
ข77	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 15 สถานีงาน (NORM, 0.01)	105
ข78	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 20 สถานีงาน (NORM, 0.01)	106
ข79	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 4 สถานีงาน (NORM, 0.01)	106

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข80	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 5 สถานีนงาน (NORM, 0.01)	107
ข81	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 10 สถานีนงาน (NORM, 0.01)	107
ข82	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 15 สถานีนงาน (NORM, 0.01)	108
ข83	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 20 สถานีนงาน (NORM, 0.01)	108
ข84	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 4 สถานีนงาน (NORM, 0.01)	109
ข85	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 5 สถานีนงาน (NORM, 0.01)	109
ข86	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 10 สถานีนงาน (NORM, 0.01)	110
ข87	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 15 สถานีนงาน (NORM, 0.01)	110
ข88	ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 20 สถานีนงาน (NORM, 0.01)	111

## การวิเคราะห์ความแปรปรวนของโครงข่ายประสาทเทียมภายใต้ฟังก์ชันการประมาณค่า

### Variation Analysis of Neural Network Based On Approximation Functions

#### คำนำ

แม้ว่าแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation Model) ได้รับความนิยมในการนำมาใช้แก้ไขปัญหาและศึกษากระบวนการสโตแคสติกส์ที่มีความซับซ้อนได้เป็นอย่างดี เนื่องจากสามารถปรับได้หลายรูปแบบ ทดสอบนโยบายต่างๆ ได้โดยไม่ต้องลงมือปฏิบัติจริง แต่ความพยายามที่จะนำเอาวิธีการจำลองสถานการณ์มาหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution) อาจต้องใช้เวลาอันยาวนานในการสร้างและพัฒนาแบบจำลอง และยิ่งหากต้องการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดด้วยแล้ว จะต้องใช้เวลาในการทำซ้ำเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดของระบบและจำนวนเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ก็มีมหาศาล จึงแทบจะเป็นไปไม่ได้ในทางปฏิบัติ และหากจะประยุกต์กับวิธีการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimization Algorithm) อย่างวิธีบรานซ์แอนด์บาวด์ (Branch and Bound Algorithm) จะเกิดข้อยุ่งยากและข้อจำกัดอีกมากมาย (มนูศักดิ์, 2550) เช่น การหาจำนวนบัพเฟอร์ที่เหมาะสมกับระบบการผลิตแบบดึง เพื่อไม่ให้ระบบมีจำนวนชิ้นงานที่มากเกินไปจนเกิดความจำเป็น แต่ต้องเพียงพอไม่ให้เกิดการผลิตหยุดชะงัก ซึ่งหากใช้วิธีจำลองสถานการณ์ทุกสถานการณ์ที่เป็นไปได้ ต้องใช้เวลาในการหาคำตอบนานมาก ซึ่งแสดงตัวอย่างดังตารางที่ 1 โดยกำหนดให้ระบบการผลิตแบบดึงนี้มีระยะเวลาในการผลิตแต่ละสถานีงาน 5 แบบ มีบัพเฟอร์ 4 แบบ และมีความต้องการผลิต 5 แบบ

เทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวคือ การนำเทคนิคการประมาณค่าด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) มาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ ซึ่งสามารถใช้วิเคราะห์ข้อมูลที่ไม่ขึ้นกับรูปแบบการแจกแจง และใช้ได้กับข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งเทคนิคการประมาณค่าด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมนี้ มีนักวิจัยได้นำมาใช้เพื่อประมาณค่าผลการดำเนินงานของระบบควบคุมการผลิตแบบดึงขนาดเล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ และรวดเร็ว (ภิรมย์ญา, 2549) และหากใช้โครงข่ายประสาทเทียมประมาณค่าจำนวนบัพเฟอร์ที่เหมาะสมทุกสถานการณ์ที่เป็นไปได้ จะลดเวลาลงอย่างมาก ซึ่งระยะเวลาที่ใช้แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เวลาที่ใช้ในการหาจำนวนบัฟเฟอร์ที่เหมาะสม

จำนวนสถานีงาน	จำนวนเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด	เวลาในการหาคำตอบด้วยวิธีจำลองสถานการณ์ : วัน (20 วินาที/เหตุการณ์)	เวลาในการหาคำตอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียม : วัน (2 วินาที/เหตุการณ์)
3	24,000	6	1
4	640,000	148	15
5	16,000,000	3,704	370
10	102,400,000,000,000	23,703,703,704	2,370,370,370
15	491,520,000,000,000,000,000	113,777,777,777,778,000	11,377,777,777,777,800
20	2,097,152,000,000,000,000,000,000,000,000	485,451,851,851,852,000,000,000	48,545,185,185,185,200,000,000

หมายเหตุ ระยะเวลาการหาคำตอบเป็นระยะเวลาโดยประมาณ

เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ทดสอบหน่วยประมวลผล Intel®Core™Quad 2.66 GHz  
หน่วยความจำ 3 GB

มนูศักดิ์ (2550) ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการหาจำนวนบัฟเฟอร์เฉลี่ยที่เหมาะสมสำหรับระบบควบคุมการผลิตแบบดึง เนื่องจากระบบควบคุมการผลิตแบบดึง (Pull Control System) ที่มีบัฟเฟอร์หรืออาจเรียกว่า (Kanban System) เป็นระบบแถวคอยแบบหนึ่งที่เป็นตัวแทนของระบบในอุตสาหกรรมได้ ซึ่งหากศึกษาระบบ ด้วยการพิจารณาจากผลการดำเนินงานของระบบได้ ก็จะเป็นพื้นฐานในการศึกษาปัญหาที่มี ปัจจัยมาก และมีขนาดใหญ่ได้

ในการจำลองสถานการณ์ที่กระบวนการมีความซับซ้อน ส่วนประกอบต่างๆ ของแบบจำลองต้องมีความแม่นยำ เพื่อเป็นตัวแทนที่ดีของสถานการณ์จริง การวิเคราะห์ความแปรปรวน จึงเป็นสิ่งจำเป็น ที่จะนำมาซึ่งขอบเขตของความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง ในทำนองเดียวกัน การประมาณค่าด้วยโครงข่ายประสาทเทียม นอกจากค่าเฉลี่ยแล้ว ควรวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย เพื่อให้เป็นคำตอบที่เป็นตัวแทนระบบสโตแคสติกส์ได้

งานวิจัยนี้ทำการจำลองแบบสถานการณ์ของระบบการผลิตแบบดึง และใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมประมาณค่าผลการดำเนินงาน แล้วทำการศึกษาและวิเคราะห์ความแปรปรวนของโครงข่ายประสาทเทียมภายใต้ฟังก์ชันการประมาณค่าของระบบการผลิตแบบดึง



## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับที่สามารถปรับขนาดได้ในการประมาณผลการดำเนินงานเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของระบบการผลิตแบบดึงประสาทเทียม
2. ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการประมาณค่าระบบการผลิตแบบดึงด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

### ขอบเขตของงานวิจัย

1. แบบจำลองที่ศึกษาเป็นแบบจำลองระบบควบคุมการผลิตแบบดึง ที่มีบัฟเฟอร์อยู่หลังสถานีงาน โดยศึกษาผลิตภัณฑ์ 1 ชนิด และไม่มีอัตราการล้มเหลว (Failure rate) ในการผลิต ซึ่งใช้โปรแกรม Arena ในการสร้างแบบจำลอง
2. ระยะเวลาในการผลิตแต่ละสถานีมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)
3. อัตราความต้องการผลิตมีการกระจาย 2 แบบ ได้แก่ การกระจายแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Distribution) และการกระจายแบบปกติ
4. โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้เป็นแบบแพร่ย้อนกลับ (Back propagation) ที่มีขนาด 2 ชั้น และมีจำนวนโหนดในชั้นฮิดเดน (Hidden Layer) จำนวน 20 โหนด โดยมีทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันเป็นแบบแทนซิกมอยด์ (Tan-sigmoid) ในชั้นฮิดเดน และเพียวลิเนียร์ (Purelinear) ในชั้นนำข้อมูลออก (Output Layer)
5. การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมใช้ฟังก์ชันในโปรแกรม MATLAB Version R2007b

## การตรวจเอกสาร

การตรวจเอกสารประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ ส่วนที่ 1 การจำลองสถานการณ์ อธิบายถึงคำจำกัดความและขั้นตอนการจำลองสถานการณ์, ส่วนที่ 2 โครงข่ายประสาทเทียมอธิบายถึงความหมายของโครงข่ายประสาทเทียม ชนิดของโครงข่าย และลักษณะโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ, ส่วนที่ 3 ระบบการผลิตแบบดึงอธิบายลักษณะของระบบการผลิตแบบดึง และ ส่วนที่ 4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 1. การจำลองสถานการณ์

#### 1.1 คำจำกัดความของการจำลองสถานการณ์

Shannon (1975) ให้คำจำกัดความว่า การจำลองแบบปัญหาคือกระบวนการออกแบบแบบจำลอง (Model) ของระบบงานจริงแล้วดำเนินการทดลองใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานหรือเพื่อประเมินผลการใช้นโยบาย (Strategies) ต่างๆ ในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้

Banks (1998) ได้ให้คำจำกัดความ การจำลองสถานการณ์ (Simulation) หมายถึง สิ่งที่ลอกเลียนการปฏิบัติการของกระบวนการจริงหรือระบบที่ทำงานผ่านมา การจำลองสถานการณ์ยังรวมไปถึงวิวัฒนาการของระบบและการสังเกตปัจจัยรบกวนที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการของระบบในระบบจริง

#### 1.2 ขั้นตอนกระบวนการจำลองสถานการณ์

ศิริจันทร์ (2544) ได้เสนอแนะขั้นตอนของกระบวนการจำลองสถานการณ์ที่ใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณไว้ดังนี้

1.2.1. การตั้งปัญหาและให้คำจำกัดความของระบบงาน ซึ่งเป็นการกำหนดวัตถุประสงค์ของการศึกษาระบบ การกำหนดขอบเขต ข้อจำกัดต่างๆ และวิธีการวัดผลของระบบงาน

1.2.2. การสร้างแบบจำลอง

1.2.3. การจัดเตรียมข้อมูล เป็นการวิเคราะห์หาข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับแบบจำลอง และจัดเตรียมให้อยู่ในรูปแบบที่จะนำไปใช้งานกับแบบจำลองได้

1.2.4. การแปรรูปแบบจำลอง แปลงแบบจำลองไปอยู่ในรูปแบบคอมพิวเตอร์

1.2.5. การทดสอบความถูกต้อง เป็นการวิเคราะห์เพื่อช่วยให้ผู้เขียนและผู้ใช้แบบจำลองมั่นใจว่าแบบจำลองที่ได้นั้นสามารถใช้แทนระบบงานจริงตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาได้

1.2.6. การออกแบบการทดลอง เป็นการออกแบบการทดลองที่นำมาให้แบบจำลองสามารถให้ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ตามที่ต้องการ

1.2.7. การวางแผนการใช้งานแบบจำลอง เป็นการวางแผนว่าจะใช้งานแบบจำลองในการทดลองอย่างไรจึงจะได้ข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ผลเพียงพอ

1.2.8. การดำเนินการทดลอง เป็นการคำนวณหาข้อมูลต่างๆ ที่ต้องการและความไวของการเปลี่ยนแปลงข้อมูลจากแบบจำลอง

1.2.9. การตีความผลการทดลอง ตีความว่าระบบงานจริงมีปัญหาอย่างไรและแก้ปัญหาจะได้ผลอย่างไร

1.2.10. การนำไปใช้งาน จากผลการทดลอง เลือกวิธีการที่จะแก้ปัญหาได้ดีที่สุดไปใช้กับระบบงานจริง

1.2.11. การจัดทำเป็นเอกสารการใช้งาน

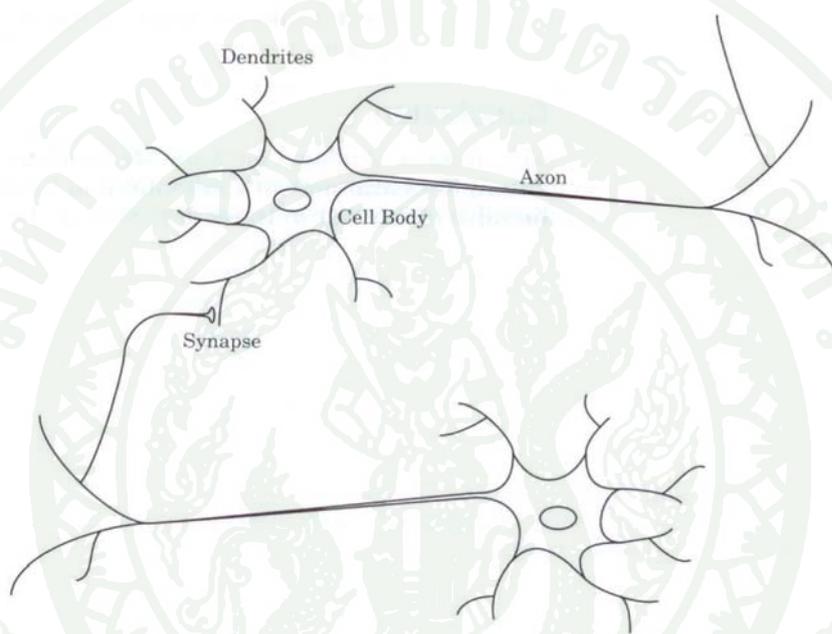
## 2. โครงข่ายประสาทเทียม

### 2.1 คำจำกัดความของโครงข่ายประสาทเทียม

Gurney (1997) ได้ให้คำจำกัดความของโครงข่ายประสาทเทียมว่าเป็นการเชื่อมต่อกันของระบบด้วยหน่วย (Units) หรือ โหนด (Nodes) ซึ่งมีลักษณะเสมือนกับระบบประสาทของสิ่งมีชีวิต ลักษณะของกระบวนการทำงาน จะมีการเก็บเป็นค่าน้ำหนัก (Weights) เมื่อมีการกระตุ้นเรียนรู้ หรือฝึกสอน คล้ายกับการทำงานของสมองมนุษย์

โครงข่ายประสาทเทียมที่จำลองการทำงานของระบบประสาทของมนุษย์ มีลักษณะดังภาพที่ 1 ซึ่งมี แอกซอน (Axon) เป็นสายส่งผ่านสัญญาณทรงกระบอกขนาดยาวและใหญ่ ที่เซลล์ประสาทใช้เป็นทางส่งสัญญาณไปยังเซลล์ประสาทอื่นๆ ส่วนปลายของแอกซอนจะแตกออกเป็น

กิ่งก้านย่อยๆ โดยที่ส่วนปลายของแต่ละกิ่งก้านเหล่านี้ลักษณะเป็นปม และจะไปจ่ออยู่จนเกือบสัมผัสกับปลายของเดนไดรต์ (Dendrite) หนึ่งของประสาทเซลล์อื่น บริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างปลายของแอกซอนกับปลายของเดนไดรต์เรียกว่า ไซแนปส์ (Synapse) สัญญาณไฟฟ้าที่ถูกส่งมาถึงปลายของแอกซอนจะกระตุ้นให้เกิดการส่งผ่านสัญญาณในเชิงเคมีผ่านไซแนปส์ สัญญาณเชิงเคมีดังกล่าวจะถูกเดนไดรต์ตีความเป็นสัญญาณไฟฟ้าวิ่งเข้าสู่เซลล์ประสาทต่อไป



ภาพที่ 1 โครงข่ายประสาทเทียมของมนุษย์

ที่มา: Hagan *et al.* (1996)

แบบจำลองพื้นฐานของเซลล์ประสาทเทียม ทำหน้าที่รวมสัญญาณที่เข้ามายังเซลล์ประสาทเทียม ซึ่งเสมือนว่าเป็นสัญญาณที่เข้ามาตามเดนไดรต์ของเซลล์ประสาทของสิ่งมีชีวิต แล้วยิงสัญญาณกระตุ้นออกไป หากผลรวมของสัญญาณเข้ามีค่าสูงเกินค่าระดับ (Threshold) สัญญาณก็จะส่งไปถึง ซึ่งก็เสมือนการยิงสัญญาณไฟฟ้าออกทางแอกซอนจากเซลล์ประสาทของสิ่งมีชีวิตนั่นเอง

สิ่งที่สำคัญในการจำลองเซลล์ประสาทคือ การจำลองไซแนปส์ทั้งหลายในโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งเปรียบเสมือนแหล่งสะสมความรู้ของสมอง การจำลองไซแนปส์นั้น ใช้หลักการ

ที่ว่า แต่ละไซแนปส์ทำหน้าที่เป็นตัวปรับเปลี่ยนสภาพสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งมาจากเซลล์ ประสาทตัวอื่นๆ ก่อนส่งสัญญาณนั้นผ่านเดนไดรต์เข้าสู่ตัวเซลล์ประสาท และการปรับเปลี่ยนสัญญาณดังกล่าว จะขึ้นอยู่กับความเหนียวแน่นของการเชื่อมต่อบริเวณรอยต่อไซแนปส์ โดยความแข็งแรงนี้จะเปลี่ยนไปตามความรู้ที่สมองได้เรียนเข้าไป ซึ่งจะมีตัวแปรตัวหนึ่งเรียกว่า "ค่าน้ำหนัก" (Weight) ใช้ในการจำลองไซแนปส์ หากค่าน้ำหนักนี้มีขนาดใหญ่ก็จะหมายความว่า ความเหนียวแน่นของรอยต่อไซแนปส์มีค่าสูง นั่นคือส่งผ่านสัญญาณได้มาก หากค่าน้ำหนักนี้มีขนาดเล็กก็หมายความว่าสัญญาณจะส่งผ่านรอยต่อไซแนปส์ได้น้อย นอกจากนี้ ความเป็นบวกหรือลบของค่าน้ำหนักก็มีความหมายเช่นกัน หากค่าน้ำหนักมีค่าเป็นบวกจะหมายความว่า สัญญาณที่วิ่งผ่านรอยต่อไซแนปส์เข้าสู่เซลล์ประสาทเทียมจะเป็นสัญญาณกระตุ้น แต่หากค่าน้ำหนักมีค่าเป็นลบ จะหมายความว่าสัญญาณที่ผ่านรอยต่อไซแนปส์เข้าสู่เซลล์ประสาทเทียมจะมีผลเป็นสัญญาณกด (Inhibitory) (สารานุกรมไทย สำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เล่มที่ 25, 2544)

รูปแบบการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised learning) และการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised learning) หรือการเรียนรู้แบบจัดตัวเอง (Self-organisation) การเรียนรู้แบบมีผู้สอน เริ่มจากมีสิ่งเร้าเข้าไปเป็นอินพุต (Input) เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมสร้างผลลัพธ์ที่เป็นเอาต์พุต (Output) ออกมา แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายที่ผู้สอนตั้งไว้ (Target) หากผลลัพธ์ที่ได้ไม่ตรงกับเป้าหมาย ก็จะมีกระบวนการสร้างค่าน้ำหนักใหม่ ปรับแต่งจนกระทั่งได้ค่าความคลาดเคลื่อนในระดับที่ยอมรับได้

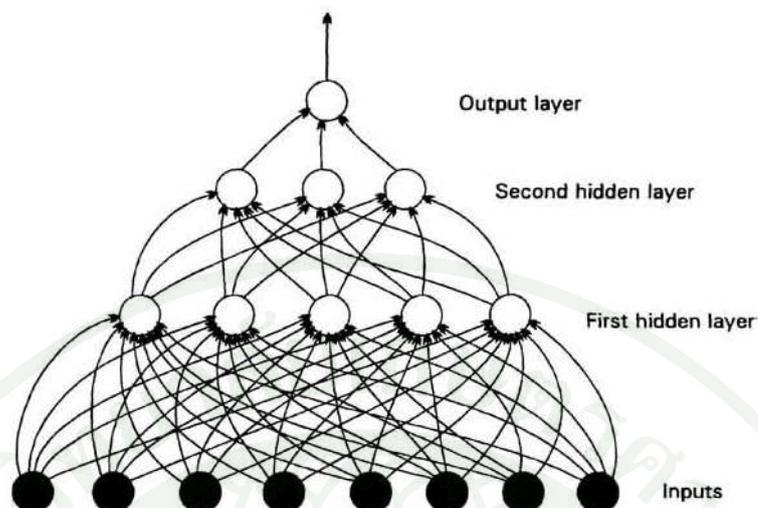
ส่วนการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนนั้น จะไม่มีเป้าหมายให้เปรียบเทียบกับผลลัพธ์ แต่จะเป็นการจัดกลุ่มผลลัพธ์ที่มีลักษณะเหมือนกัน ดังนั้น ข้อมูลที่ถูกป้อนเข้าไปในโครงข่าย จะต้องมีย่านวนที่มากพอที่จะจัดกลุ่มได้ ตัวอย่างรูปแบบการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนเช่น เคาท์เตอร์พรอพเพเกชัน (Counterpropagation: CPN) และแบบจำลองอะแดปทีฟรีโซแนนซ์เทียออรี (Adaptive Resonance Theory Neural Networks: ART) (Krose and Smagt, 1996)

## 2.2 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม

ภาพที่ 2 แสดง โครงข่ายประสาทเทียมซึ่งประกอบด้วยเซลล์ประสาทเทียมหรือ โหนดจำนวนมากที่เชื่อมต่อกัน ซึ่งการเชื่อมต่อจะแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยเรียกว่า ชั้น (Layer) ในชั้นแรกจะเป็นชั้นนำข้อมูลเข้าเรียกว่า ชั้นอินพุท (Input Layer) ส่วนชั้นสุดท้ายเป็นผลลัพธ์เรียกว่า ชั้นเอาต์พุท (Output Layer) และชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นอินพุทกับชั้นเอาต์พุทเรียกว่า ชั้นฮิดเดน (Hidden) ซึ่งชั้นฮิดเดนนี้อาจมีมากกว่า 1 ชั้นขึ้นไปได้ จึงสามารถแบ่งประเภทโครงข่ายประสาทเทียมตามจำนวนชั้นของโครงข่ายแบบกว้างๆ ได้ 2 แบบคือ โครงข่ายแบบชั้นเดียว (Single Layer) และโครงข่ายแบบหลายชั้น (Multi Layer) การนับจำนวนโครงข่ายจะนับเฉพาะชั้นที่มีการประมวลผลเท่านั้น หรือกล่าวได้ว่า จำนวนชั้น ของโครงข่ายประสาทเทียม คือ จำนวนชั้นฮิดเดนรวมกับชั้นเอาต์พุท (Krose and Smagt, 1996)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว เป็นโครงข่ายประสาทเทียมอย่างง่ายที่มีเพียงชั้นอินพุทและชั้นเอาต์พุทเท่านั้น โหนดในชั้นอินพุทจะทำหน้าที่ในการรับข้อมูลอินพุท (Input Value) แล้วส่งข้อมูลอินพุทผ่านเส้นเชื่อมโยงต่าง ๆ ไปให้โหนดในชั้นเอาต์พุท ความเข้มของสัญญาณหรือปริมาณข้อมูลที่นำเข้าสู่โหนดในชั้นเอาต์พุทจะขึ้นอยู่กับค่าน้ำหนักที่อยู่บนเส้นเชื่อมโยงโหนด ที่ชั้นเอาต์พุทจะนำข้อมูลที่รับมาทำการคำนวณโดยใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์คือ ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน ที่เหมาะสมกับปัญหา แล้วส่งผลลัพธ์ที่ได้ออกมาเป็นข้อมูลเอาต์พุท

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นเป็นโครงข่ายที่มีชั้นฮิดเดนตั้งแต่ 1 ชั้นขึ้นไป โครงข่ายแบบหลายชั้นจะใช้ในกรณีที่มีปัญหาที่มีความซับซ้อนสูง ซึ่งโครงข่ายแบบชั้นเดียวไม่เพียงพอที่จะแก้ปัญหา จึงเพิ่มจำนวนของโหนดที่มีการคำนวณหรือชั้นฮิดเดนให้กับโครงข่าย ตัวอย่างโครงข่ายแบบหลายชั้น เช่น การแพร่ย้อนกลับ (Backpropagation) เซลฟ์ออร์แกไนซิงแมปส์ (Self Organizing Maps) เคาท์เตอร์พรอพเพกชัน (Counterpropagation: CPN) เป็นต้น ลักษณะโครงสร้างของโครงข่ายแบบหลายชั้นแสดงไว้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลักษณะ โครงสร้างของ โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

ที่มา: Gurney (1997)

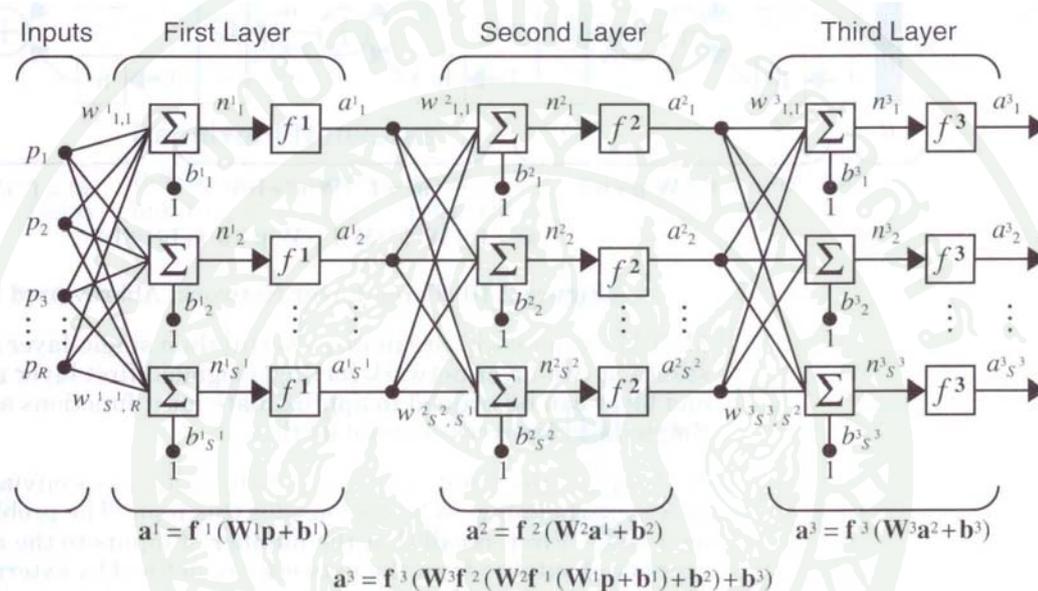
ลักษณะการไหลของข้อมูลในโครงข่าย อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ แบบป้อนไปข้างหน้า (Feed forward) ซึ่งการเชื่อมโยงจะเกิดขึ้นกับเซลล์ประสาททุกตัว จากเซลล์หนึ่งไปยังเซลล์หนึ่ง หรืออาจมีการกระโดดข้ามชั้นก็ได้ อีกประเภทหนึ่งคือ แบบมีการป้อนไปเวียนกลับ (Recurrent) การเชื่อมโยงจะถูกกำหนดขึ้นระหว่างเซลล์ประสาทเทียมในชั้นหนึ่งๆ ย้อนกลับไปยังชั้นอื่นๆ ก่อนหน้านั้น หรือแม้แต่ภายในชั้นเดียวกันเอง

### 2.3 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Back-Propagation) เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น เพื่อปรับค่าน้ำหนักในเส้นเชื่อมต่อระหว่างโหนดให้เหมาะสม โดยการปรับค่านี้อาจขึ้นกับความแตกต่างของค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้กับค่าเอาต์พุตที่ต้องการ

โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับมีลักษณะที่สำคัญดังนี้

- 2.3.1. เป็นโครงข่ายแบบหลายชั้น (Multi Layer)
- 2.3.2. การเชื่อมโยงในแต่ละชั้นเป็นแบบต่อถึงกันหมด (Fully Connected)
- 2.3.3. เป็นโครงข่ายที่ส่งสัญญาณไปข้างหน้า (Feed forward Networks)
- 2.3.4. มีการเรียนรู้แบบย้อนกลับ เพื่อปรับค่าน้ำหนักระหว่างเส้นเชื่อมโยงระหว่างโหนด แสดงไว้ดังภาพที่ 3 (Anonymous, n.d.)

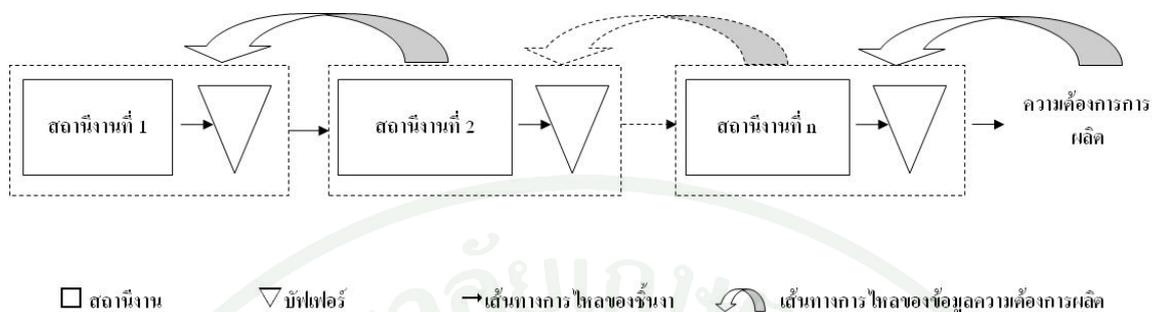


ภาพที่ 3 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

ที่มา: Hagan *et al.* (1996)

### 3. ระบบการผลิตแบบดึง

ระบบการผลิตแบบดึง (Pull System) จะมีลักษณะข้อมูลสารสนเทศการผลิตตรงกันข้ามกับการไหลของชิ้นงาน นั่นคือจะเกิดการไหลของชิ้นงานก็ต่อเมื่อเกิดอุปสงค์ในลำดับขั้นต่อไปของระบบ โดยกระบวนการผลิตส่วนหลังจะควบคุมอัตราการผลิตของกระบวนการผลิตส่วนหน้า ด้วยลักษณะดังกล่าว การจัดสายสมดุลการผลิตจึงควรมีบัฟเฟอร์ เพื่อรองรับให้การผลิตไม่หยุดชะงัก รูปแบบการผลิตแบบดึง แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 รูปแบบการผลิตแบบดึง

คัมบัง (Kanban) เป็นคำในภาษาญี่ปุ่น หมายถึง ป้ายหรือสัญญาณ และถูกใช้เป็นชื่อสำหรับการเรียก ป้ายการควบคุมวัตถุดิบในระบบดึง ซึ่งที่แท้จริงก็คือคำสั่งการผลิตที่จะเคลื่อนไปพร้อมกับวัตถุดิบ ในทุกๆ ป้ายคัมบังจะระบุชิ้นส่วนหรือส่วนประกอบย่อย และยังระบุด้วยว่ามาจากไหนและกำลังจะไปที่ไหน ด้วยวิธี คัมบัง จึงเป็นเสมือนระบบข้อมูลสารสนเทศที่จะบูรณาการให้โรงงานเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน เชื่อมต่อทุกกระบวนการจากกระบวนการหนึ่ง ไปยังกระบวนการอื่น และเชื่อมต่อตลอดทั้งสายธารคุณค่า (Value Stream) ให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าได้พอดี (บุญเสริม, 2549)

แต่ละสถานีงานจะมีจำนวนชิ้นงานสูงสุดเท่ากับจำนวนบัฟเฟอร์ร่วมกับจำนวนชิ้นงานที่ระบุในคัมบัง เมื่อมีความต้องการชิ้นงานเข้ามาในระบบ จะมีคัมบังเบิกมาเบิกชิ้นงาน คัมบังสั่งผลิตก็จะเริ่มสั่งให้ผลิตเพื่อนำไปทดแทนชิ้นงานที่ถูกย้ายออกไปโดยเริ่มจากสถานีสุดท้าย ซึ่งสถานีงานสุดท้ายจะดึงชิ้นงานมาจากบัฟเฟอร์ของสถานีก่อนหน้า ทำให้สถานีก่อนหน้าเริ่มผลิตชิ้นงานเพื่อมาเติมเต็มชิ้นงานที่ขาดหายไป

บัณฑิต (2544) กล่าวว่า บัฟเฟอร์ที่ใช้กันในระบบการผลิตแบบทันเวลา (Just in Time: JIT) ก็คือเครื่องมือเพื่อที่จะควบคุมการผลิตให้ทันต่อเวลา การผลิตแบบนี้จะเปรียบเสมือนประสาตสัมพัทธ์อัตโนมัติของโรงงานเมื่อเกิดเหตุขัดข้องขึ้นในกระบวนการถัดมา จะทำให้การผลิตในกระบวนการผลิตก่อนหน้านั้นหยุดชะงักทันที บทบาทที่สำคัญของระบบประสาตของโรงงานสามารถสรุปได้ 4 บทบาท ดังนี้

บทบาทที่ 1 เป็นตัวแสดงข้อมูลการตั้งของและออกคำสั่งในการปฏิบัติงาน นอกจากจะใช้เป็นเครื่องมือในการแสดงผลหรือข้อมูลในการผลิต เพื่อบอกให้รู้ว่ามีการตั้งชิ้นส่วนไปใช้เท่าไรแล้ว ยังใช้เป็นเครื่องมือในการกำหนดวิธีการ และจำนวนชิ้นส่วนที่ต้องการจะให้ผลิตเพิ่มได้อีกด้วย

บทบาทที่ 2 จัดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นจากการผลิตเกิน โดยผู้ผลิตในกระบวนการก่อนหน้าจะตรวจดูและผลิตเสริมจากจำนวนบัฟเฟอร์ที่ขาดหายไป เนื่องจากมีการตั้งไปใช้โดยกระบวนการถัดไป กล่าวอีกนัยหนึ่งคือเป็นการผลิตเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการ หรือที่เรียกกันว่าระบบการผลิตแบบดึงนั่นเอง

บทบาทที่ 3 เป็นเครื่องมือส่งเสริมการปรับปรุงงาน หากมีสต็อกค้างอยู่ในระบบจำนวนมาก จะทำให้ไม่ทราบปัญหาที่เกิดขึ้น และอาจจะไม่รู้ตัวเลยว่าในขณะนี้มีความสูญเปล่าเกิดขึ้น ดังนั้น การค่อยๆ ลดจำนวนบัฟเฟอร์ที่มีอยู่ออกไป ก็จะช่วยให้ทราบได้ว่าปัญหาคืออะไร เพราะการปรับปรุงจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีความรู้สึกว่าเดือดร้อนเท่านั้น

บทบาทที่ 4 เป็นเครื่องมือควบคุมด้วยตาเปล่า โดยทั่วไปแล้วจะมีช่องว่างเกิดขึ้นระหว่างการไหลของชิ้นงานและข้อมูลในกระบวนการผลิต ทำให้ข้อมูลที่ได้รับไม่ตรงกับความเป็นจริงที่เกิดขึ้น บัฟเฟอร์เป็นข้อมูลที่ไหลไปพร้อมกับชิ้นงาน ทำให้การตรวจสอบสามารถควบคุมได้ด้วยตาเปล่า

ในหลายบริษัทให้ความสำคัญกับการลดระยะเวลาการเตรียมการผลิต (Setup Time) และการผลิตด้วยล็อตที่มีขนาดเล็ก ซึ่งนำไปปฏิบัติกับระบบการวางแผนงานที่เป็นพื้นฐานไม่ซับซ้อน การส่งผ่านงานในระบบอย่างรวดเร็วตลอดทั้งระบบการผลิตหมายถึงปริมาณงานระหว่างผลิตในระบบที่ต่ำ การดำเนินงานในกระบวนการผลิตสามารถถูกกระตุ้นได้จากการดำเนินงานของสถานีงานถัดไปและบัฟเฟอร์ (หรือสัญญาณอื่น) ที่สามารถนำมาใช้ตั้งการผลิตเพิ่มขึ้นได้ จำนวนบัฟเฟอร์เป็นสิ่งสำคัญต่อการดำเนินงานของระบบการผลิต การมีจำนวนบัฟเฟอร์ที่มากเกินไปก่อให้เกิดการสะสมปริมาณงานระหว่างผลิตในระบบ ในขณะที่มีผลต่อส่วนอื่นๆ ในระบบการผลิตเพียงเล็กน้อย (วิลลาสินี, 2548)

เมื่ออัตราความต้องการ (Demand Rate) มีค่าคงที่สำหรับช่วงระยะเวลาที่นำมาพิจารณาวางแผนการผลิต จำนวนของบัตรัฟเฟอร์สามารถกำหนดได้โดยการใช้สูตรของบริษัทโตโยต้าดังแสดงสมการ

$$K = \frac{D \times LT \times (1 + PV)}{CS} \quad (1)$$

K: จำนวนบัตรัฟเฟอร์ (Total Number of Kanban)

D: ความต้องการผลิตต่อช่วงระยะเวลาที่พิจารณา (Average Daily Demand)

LT: ระยะเวลาตั้งแต่ออกแผนการผลิตจนถึงผลิตผลิตภัณฑ์ตามแผนที่กำหนดเสร็จพร้อมส่งมอบให้กับลูกค้า (Lead Time)

PV: ตัวแปรตามนโยบาย (Policy Variable หรือ Safety Coefficient) ค่าตัวแปรที่ต้องการเพื่อความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับนโยบายของบริษัทกำหนด เช่น ชั้นงานสำรอง (Safety Stock)

CS: ขนาดบรรจุภาชนะหรือปริมาณการบรรจุชั้นงานต่อ 1 ภาชนะ (Container Size) (Monden, 1994)

#### 4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ภิรมย์ญา (2548) ได้นำโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับมาใช้ในการประมาณค่าผลการดำเนินงาน ของระบบควบคุมการผลิตแบบดึงที่มีสถานีงาน 3 และ 4 สถานีงานโดยข้อมูลที่นำมาสอนให้กับโครงข่ายประสาทเทียม เป็นข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ของระบบควบคุมการผลิตแบบดึง ซึ่งกำหนดให้เวลาในการผลิตเป็น 2 แบบ คือแบบมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ และ แบบมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล และศึกษาถึงผลของจำนวนข้อมูลที่เข้ามาสอนโครงข่ายที่ต่างกัน 3 ระดับ คือ 10%, 20% และ 30% ของจำนวนเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดของระบบ ใช้ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการประมาณค่าเฉลี่ยคือรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error) และค่าเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error) ผลการศึกษาพบว่า การประมาณค่าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมได้ผลในระดับดีมากและเมื่อใช้จำนวนข้อมูลที่เข้ามาสอนโครงข่ายเพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการประมาณค่าผลการดำเนินงานของระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

มนูศักดิ์ (2550) ได้พัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ ในการแก้ไขปัญหาการหาจำนวนบัพเฟอร์ในระบบการผลิตแบบดึงให้เหมาะสมที่สุด โดยแบ่งสถานีนงานออกเป็น 3 ประเภท เรียกว่า สถานีเดี่ยวต้น สถานีเดี่ยวกลาง และสถานีเดี่ยวปลาย แล้วนำข้อมูลจากแต่ละสถานีนงานมาฝึกสอนโครงข่าย โดยให้สถานีเดี่ยวกลางและสถานีเดี่ยวปลายมีค่าชุนด์น้ำหนักเดียวกัน ซึ่งส่งผลให้เมื่อขยายขนาดของจำนวนสถานีนงานเพิ่มขึ้น ยังคงสามารถใช้ค่าน้ำหนักของการฝึกสอนชุดแรกมาหาคำตอบได้เลย โดยที่ไม่ต้องฝึกสอนใหม่ และเรียกลักษณะโครงข่ายเช่นนี้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่สามารถปรับขนาดได้

Altiparmak et.al. (2006) ได้ประยุกต์โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับมาใช้ในการระบุปริมาณของบัพเฟอร์ในระบบสายการประกอบ (Asynchronous Assembly Systems) ซึ่งกำหนดรูปแบบของระบบสายการประกอบเป็น 3 ระบบคือ ระบบที่ทุกสถานีนงานมีค่าพารามิเตอร์เหมือนกันทุกสถานีนงาน ระบบที่บางสถานีนงานมีอัตราการเสีย (Failure Rate) ของสถานีเป็นศูนย์ และส่วนที่เหลืออัตราการเสียไม่เท่ากับศูนย์ และระบบที่สถานีนงานส่วนหนึ่งมีค่าอัตราการเสียของสถานีนงานต่ำและส่วนหนึ่งมีค่าอัตราการเสียของสถานีนงานสูง โดยใช้ข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์มาสอนโครงข่าย ทำการเปรียบเทียบกับวิธีการทำนายโดยใช้แบบจำลองแบบถดถอย (Regression Metamodels) ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับสามารถใช้เป็นแบบจำลองสำหรับระบุปริมาณบัพเฟอร์ที่เหมาะสมได้เป็นอย่างดี

Chambers and Mount-Campbell (2000) ได้ศึกษาการหาขนาดบัพเฟอร์ในระบบแถวคอย ซึ่งเป็นระบบที่บัพเฟอร์อยู่ด้านหน้าของสถานีนงานโดยศึกษาความเป็นไปได้ในการทำสถานีนงานแบบหน่วยเดี่ยว เพื่อนำมาทำนายผลของระบบแถวคอย ด้วยการนำสถานีนงานแบบหน่วยเดี่ยวมาเชื่อมต่อกันเป็นระบบแถวคอยของ 2 ผลิตรถยนต์ ซึ่งกำหนดให้มีเพียง 5 สถานีนงานในระบบ อัตราการเข้ามาของทั้ง 2 ผลิตรถยนต์ เท่ากับ 0.5 และมีการแจกแจงความน่าจะเป็นของอัตราการเข้ามาเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล อัตราส่วนระหว่าง 2 ผลิตรถยนต์เป็น 50 ต่อ 50 ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ ที่ได้ข้อมูลมาสอนโครงข่ายจากการจำลองสถานการณ์ บัพเฟอร์ที่กำหนดมีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 6 ผลการศึกษาพบว่าสามารถใช้รูปแบบ สถานีแบบหน่วยเดี่ยวที่เชื่อมต่อกันเป็นระบบแถวคอย ทำนายค่าการดำเนินการของระบบได้ใกล้เคียงกับผลที่ได้กับการจำลองสถานการณ์

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

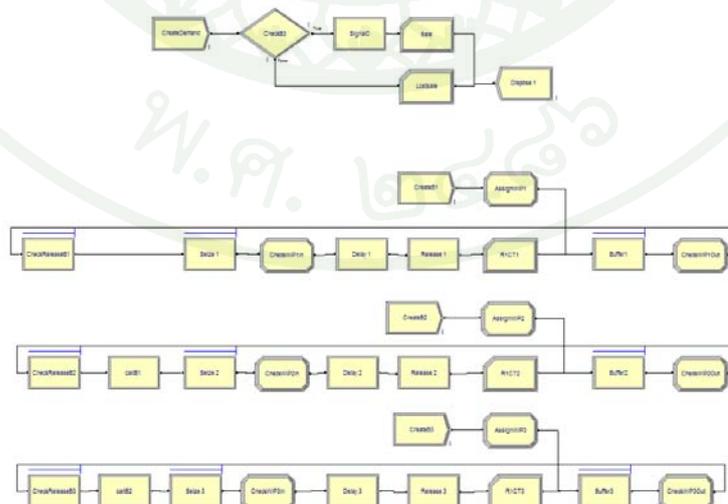
1. คอมพิวเตอร์
2. โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel 2007
3. โปรแกรมสำเร็จรูป Arena Version 12.0
4. โปรแกรม MATLAB Version R2007b.

### วิธีการ

#### 1. สร้างแบบจำลองสถานการณ์ระบบการผลิตแบบดึง

##### 1.1 ลักษณะของแบบจำลองและพารามิเตอร์ที่ใช้

ผู้วิจัยสร้างแบบจำลองสถานการณ์ระบบการผลิตแบบดึง แบบ 3 สถานะ เพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์เป็นข้อมูลในการฝึกสอนโครงข่าย ซึ่งแบบจำลองสถานการณ์เป็นดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แบบจำลองสถานการณ์ระบบการผลิตแบบดึงจำนวน 3 สถานะงาน

## การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มีดังนี้

### 1.1.1. เวลาในการผลิต (Processing Time)

ในการวิจัยนี้กำหนดการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาในการผลิตให้มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) โดยกำหนดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของการแจกแจงไว้ที่ 5% ของเวลาในการผลิตของแต่ละสถานีนงาน โดยค่าเฉลี่ยในการผลิตแต่ละสถานีนงานมีค่าเป็น 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1 หน่วยเวลา

### 1.1.2. อัตราความต้องการผลิต (Demand Rate)

ในการวิจัยนี้มีแบบจำลอง 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) และประเภทที่มีการแจกแจงแบบเอ็กโปเนนเชียล (Exponential Distribution) อัตราความต้องการผลิตที่มีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.8, 0.9, 1, 1.1 หรือ 1.2 เท่าของกำลังการผลิตสูงสุด กำหนดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการแจกแจงไว้ที่ 5% ส่วนอัตราความต้องการการผลิตที่มีการแจกแจงแบบเอ็กโปเนนเชียล มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.8, 0.9, 1, 1.1 หรือ 1.2 เท่าของกำลังการผลิตสูงสุด

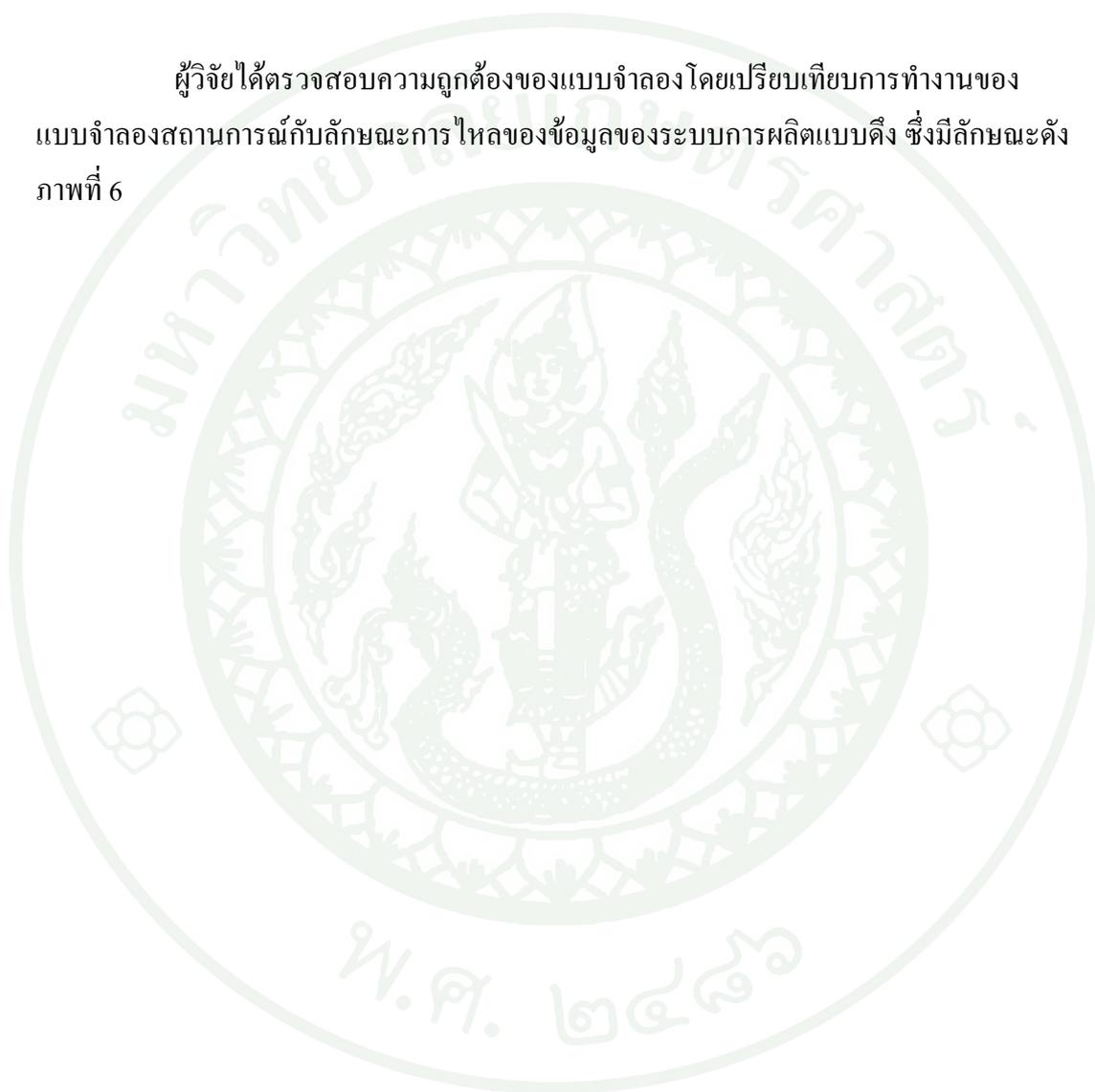
### 1.1.3. ขนาดบัฟเฟอร์ของแต่ละสถานีนงาน

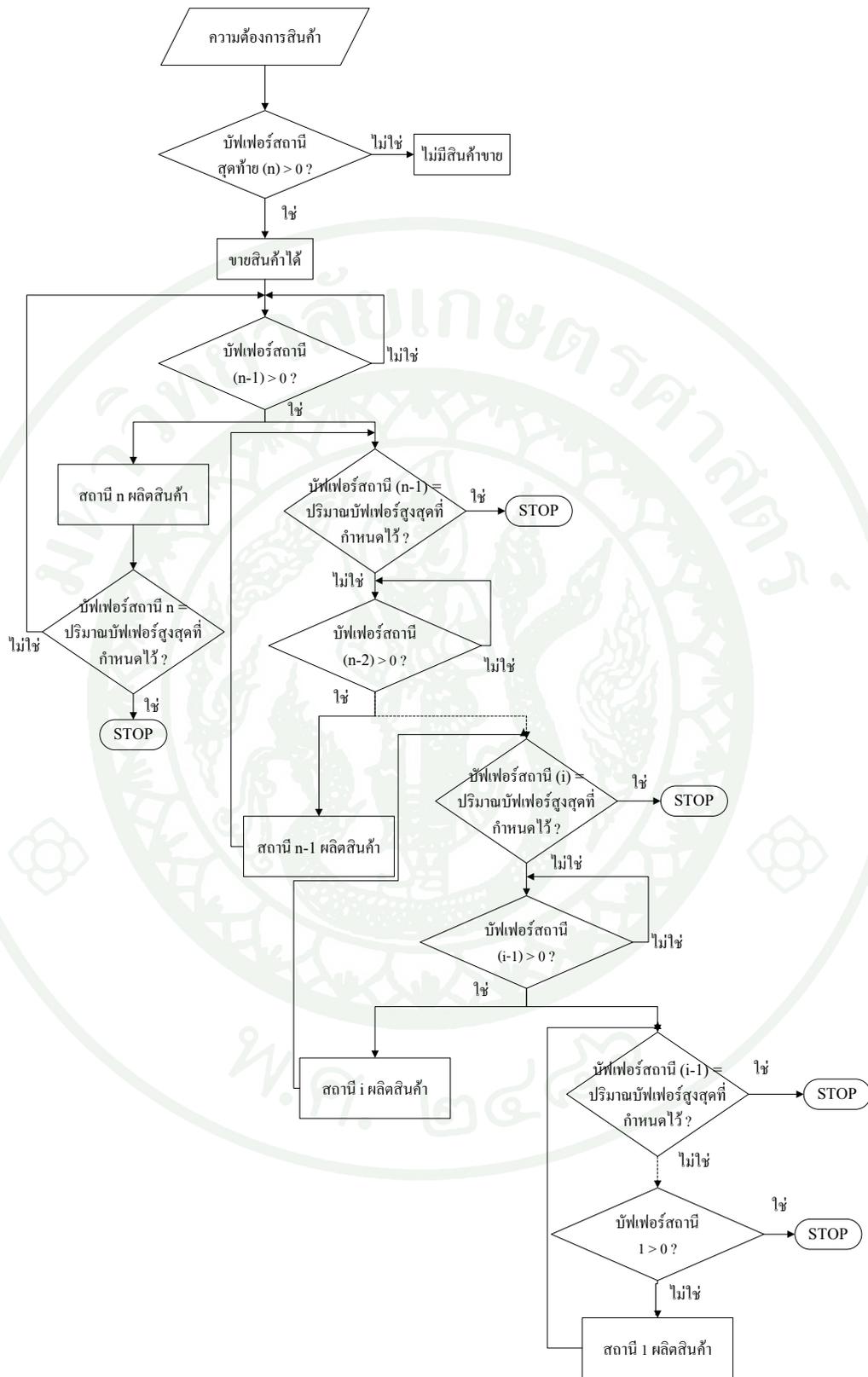
การหาขนาดบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมในระบบการผลิตสำหรับงานวิจัยนี้ ใช้สูตรของบริษัท โตโยต้า เพื่อหาขอบเขตของบัฟเฟอร์ในการจำลองสถานการณ์ ตามสมการที่ 1 โดยงานวิจัยนี้พิจารณาตัวแปร CS และ PV มีค่าเท่ากับ 1 อัตราความต้องการการผลิต (D) เท่ากับ 1.2 ระยะเวลา นำคือเวลาในการผลิตชิ้นงานของสถานีนงานก่อนหน้า ต้องเป็นค่าเวลาผลิตชิ้นงานที่ช้าที่สุด คือ 1 ดังนั้นจะได้ว่าจำนวนบัฟเฟอร์สูงสุดจากการคำนวณคือ 2.4 ปรับให้เป็นค่าจำนวนเต็มจะได้จำนวนบัฟเฟอร์จากการคำนวณด้วยสมการของบริษัท โตโยต้าที่ 3 บัฟเฟอร์ แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการสโตแคสติกส์ จะต้องใช้จำนวนบัฟเฟอร์ที่มากกว่าการคำนวณด้วยสูตรทางคณิตศาสตร์ จึงได้กำหนด ปริมาณบัฟเฟอร์สูงสุด เป็น 5 และจำนวนบัฟเฟอร์ต่ำสุด คือ 2 และการเพิ่มระดับบัฟเฟอร์จะเพิ่มขึ้นช่วงละ 1

ข้อสมมุติฐานการวิเคราะห์คือ ก่อนเริ่มผลิต ทุกสถานงานมีบัพเฟอร์อยู่เต็มตามจำนวนที่กำหนดให้มีได้

## 1.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ผู้วิจัยได้ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยเปรียบเทียบการทำงานของแบบจำลองสถานการณ์กับลักษณะการไหลของข้อมูลของระบบการผลิตแบบดึง ซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 6





ภาพที่ 6 การไหลของข้อมูลระบบการผลิตแบบดึง

### 1.3 การกำหนดค่าเริ่มต้นของการจำลองสถานการณ์ (Run Setup)

จำนวนรอบทำซ้ำขึ้นอยู่กับค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ ( $\epsilon$ ) การกำหนดรอบทำซ้ำของการประมวลผลสามารถทำได้โดยการทดสอบเบื้องต้น (Trail Run) เพื่อประมาณค่าความแปรปรวน โดยกำหนดให้จำนวนรอบทำซ้ำเริ่มต้นเป็น  $R_0$  จากนั้นนำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้ ( $S_0$ ) มาคำนวณจำนวนรอบทำซ้ำที่ควรใช้ ดังสมการ

$$R = \left( \frac{t_{\alpha/2, R_0-1} S_0}{\epsilon} \right)^2 \quad (2)$$

โดยที่  $R$  คือ จำนวนรอบการทำซ้ำที่ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่เกินค่า  $\epsilon$

$S_0$  คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\epsilon$  คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยที่สามารถยอมรับได้

$t_{\alpha/2, R_0}$  คือ Student's t quartile ที่นัยสำคัญ  $1-\alpha$  และองศาอิสระ  $R_0-1$

ซึ่งค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่นำไปแทนค่าลงในสมการ (2) นี้สามารถ

คำนวณได้จากสูตร

$$S_0 = \left( \frac{H.W. \times \sqrt{R_0}}{t_{\alpha/2, R_0-1}} \right) \quad (3)$$

โดยที่  $S_0$  คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

H.W. คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการทดลองสุ่มตัวอย่างครั้งแรก

$R_0$  คือ จำนวนรอบการทำซ้ำเริ่มต้นที่ทำการทดลอง

ผู้วิจัยได้กำหนดรอบทำซ้ำเริ่มต้น 10 รอบ เมื่อทำการประมวลผลจะได้ค่า  $S_0$  ซึ่งนำมาคำนวณหาจำนวนรอบทำซ้ำใหม่ที่เหมาะสม รายละเอียดการคำนวณ แสดงในภาคผนวก ก โดยในงานวิจัยนี้ กำหนดรอบทำซ้ำ 100 รอบ รายละเอียดการหารอบทำซ้ำอยู่ในภาคผนวก ก

การกำหนดช่วงเวลาการแกว่งของข้อมูล (Warm-up Period) ในการจำลองสถานการณ์ หากความยาวของการจำลองสถานการณ์ไม่ยาวพอจะทำให้เกิดอคติ (Bias) ซึ่งส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้

มีความผิดพลาด การลดค่าอคติดังกล่าวมีหลายวิธี เช่นตัดข้อมูลในช่วงเริ่มต้นออกไป หรือเพิ่มความยาวของการจำลองสถานการณ์จนเข้าสู่สถานะสมดุล (Steady state) ซึ่งงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเลือกวิธีกำหนดความยาวของการจำลองสถานการณ์ให้ยาวขึ้น โดยกำหนดให้ระบบทำงาน 24 ชั่วโมงติดต่อกัน เป็นระยะเวลา 1 เดือน

ผู้วิจัยจำลองแบบจำลองสถานการณ์ระบบการผลิตแบบดึงเพิ่มเติมที่จำนวนสถานีนงาน 4, 5, 10, 15 และ 20 สถานีนงาน เพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบผลการประมาณค่าผลการดำเนินงานโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ ภาพแบบจำลองอยู่ในภาคผนวก ก

## 2. ทดสอบการประมาณค่าด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

ผู้วิจัยฝึกสอนโครงข่าย โดยใช้ข้อมูลจากผลการจำลองสถานการณ์ระบบการผลิตแบบดึงที่ 3 สถานีน ซึ่งจำนวนเหตุการณ์ทั้งหมดที่สามารถเป็นไปได้ของ 3 สถานีนงาน ภายใต้เงื่อนไขของงานวิจัยนี้ มีทั้งหมด 24,000 สถานีนการณ (Scenario) แบ่งข้อมูลในการฝึกสอน (Training Set) ออกเป็น 2 ระดับ คือ 30% และ 50% ของสถานการณ์ทั้งหมด กำหนดจำนวนข้อมูลในการยืนยันผล (Validation Set) เป็น 10% และข้อมูลในการตรวจสอบ (Testing Set) 10% ของสถานการณ์ทั้งหมด

### 2.1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการสร้างโครงข่ายประสาทเทียม

2.1.1. การฝึกสอนโครงข่ายใช้วิธีการแบบแพร่ย้อนกลับ (Backpropagation Neural Network) ซึ่งเป็นวิธีการเรียนรู้แบบมีผู้สอน โดยวิธีนี้จะมีการนำค่าผิดพลาดระหว่างค่าเป้าหมายกับผลลัพธ์ที่ได้มาปรับใช้ในการหาค่าน้ำหนักที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายมากที่สุด

2.1.2. วิธีการปรับค่าน้ำหนัก ใช้วิธี Lavenberg-Marquardt เนื่องจากเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและมีความรวดเร็วในการปรับค่าน้ำหนักจนได้ค่าที่เหมาะสม

2.1.3. ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน (Transfer Function) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 2 ฟังก์ชันคือ สำหรับชั้นฮิดเดนใช้ Tansigmoid ซึ่งมีคุณสมบัติที่ให้ค่าข้อมูลออกที่เป็นค่าต่อเนื่องอยู่ในช่วง -1 ถึง 1 สำหรับชั้นข้อมูลออกใช้ Purelinear ซึ่งเป็นทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันที่มีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้น ซึ่งผลลัพธ์ของข้อมูลจะสอดคล้องเท่ากับค่าของข้อมูลเข้า

2.1.4. ค่าความคลาดเคลื่อนเป้าหมาย ใช้เป็นเกณฑ์ในการหยุดการฝึกสอนโครงข่าย โดยใช้ค่า Mean Square Error (MSE) ที่ได้จากการฝึกสอนโครงข่ายมีค่าน้อยกว่า หรือเท่ากับค่า MSE ที่กำหนด สำหรับงานวิจัยนี้กำหนดค่า MSE ไว้ 0.0001 ทุกโครงข่าย

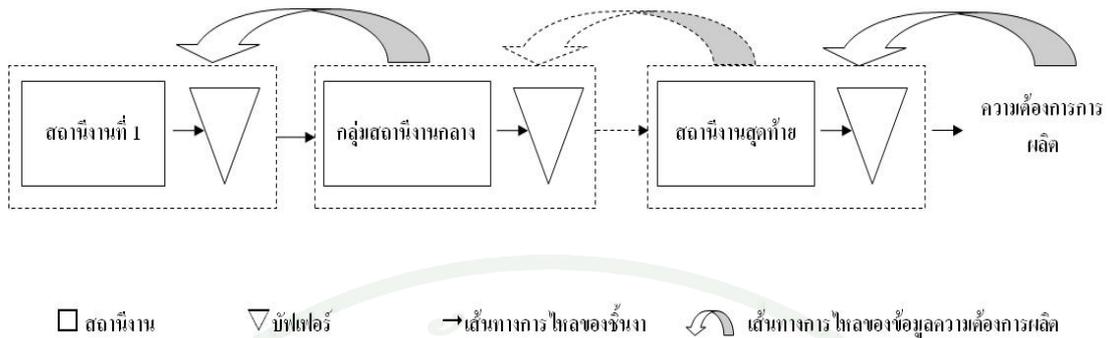
2.1.5. จำนวนรอบในการฝึกสอน (Epoch) หมายถึง จำนวนครั้งที่ทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับฝึกสอน หากกำหนดให้จำนวนรอบในการฝึกสอนมีค่าสูงเกินไป ไม่ได้ทำให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ได้มากขึ้น ควรประมาณจำนวนรอบในการฝึกสอนที่น้อยที่สุดเท่าที่จำเป็น สำหรับงานวิจัยนี้กำหนดจำนวนรอบเท่ากับ 500 รอบ

2.1.6. จำนวนโหนดของการฝึกสอนในชั้นฮิดเดนได้เลือกใช้จำนวนโหนด 20 โหนด และสำหรับชั้นนำข้อมูลออกจะมีจำนวนโหนด 1 โหนด

การประมาณค่าผลการดำเนินงานและค่าความแปรปรวน จะพิจารณาผลลัพธ์ 4 ตัว ได้แก่ รอบระยะเวลาการผลิต (Cycle time), จำนวนชิ้นงานที่ค้างในระบบ (Work in process), จำนวนครั้งที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการการผลิตได้ (Sale) ซึ่งพิจารณาในรูปเปอร์เซ็นต์ของจำนวนครั้งที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการการผลิตได้ต่อความต้องการการผลิตทั้งหมด (%Sale), จำนวนครั้งที่ไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการการผลิตได้ (Lost sale) ซึ่งพิจารณาในรูปเปอร์เซ็นต์ของจำนวนครั้งที่ไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการการผลิตได้ต่อความต้องการการผลิตทั้งหมด (%Lost sale) โดยพิจารณาทั้งค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวน ซึ่งค่าความแปรปรวนจะพิจารณาจากค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (Half-Width) ซึ่งแปลงให้อยู่ในรูปสัดส่วนของค่าเฉลี่ย (% Half-Width of Mean)

## 2.2 การเชื่อมต่อของข้อมูลและการฝึกสอนโครงข่าย

ลักษณะการเชื่อมต่อของข้อมูล สำหรับโครงข่ายประสาทเทียม แบบแพร่ย้อนกลับ ที่สามารถปรับขนาดได้ ผู้วิจัยได้แบ่งสถานีงานออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ สถานีต้น (Initial workstation), สถานีกลาง (Intermediate workstation) และสถานีสุดท้าย (Final workstation) มีลักษณะดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การแบ่งประเภทของสถานีงานในระบบการผลิตแบบดึง

สถานีต้น คือสถานีที่ 1 สถานีกลาง คือสถานีงานที่ 2 ถึง สถานีงานก่อนสถานีสุดท้าย การฝึกสอนโครงข่ายนั้น จะมีรูปแบบการเชื่อมต่อระหว่างประเภทของสถานีงาน ซึ่งเป็นไปตามภาพที่ 8 ถึง 13

ให้  $P$  = ระยะเวลาในการผลิตของแต่ละสถานี (Processing time)

$B$  = จำนวนบัฟเฟอร์สูงสุดที่สถานีนั้นๆ จะมีได้ (Buffer size)

$D$  = ความต้องการผลิต (Demand Arrival)

$CT$  = รอบระยะเวลาการผลิต (Cycle time)

$WIP$  = จำนวนชิ้นงานที่อยู่ในระบบ (Work in process)

$STDP$  = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาในการผลิตของแต่ละสถานี

$STDD$  = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความต้องการผลิต

$\%Sale$  = เปอร์เซ็นต์ของจำนวนครั้งที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการการผลิตได้ต่อความต้องการการผลิตทั้งหมด

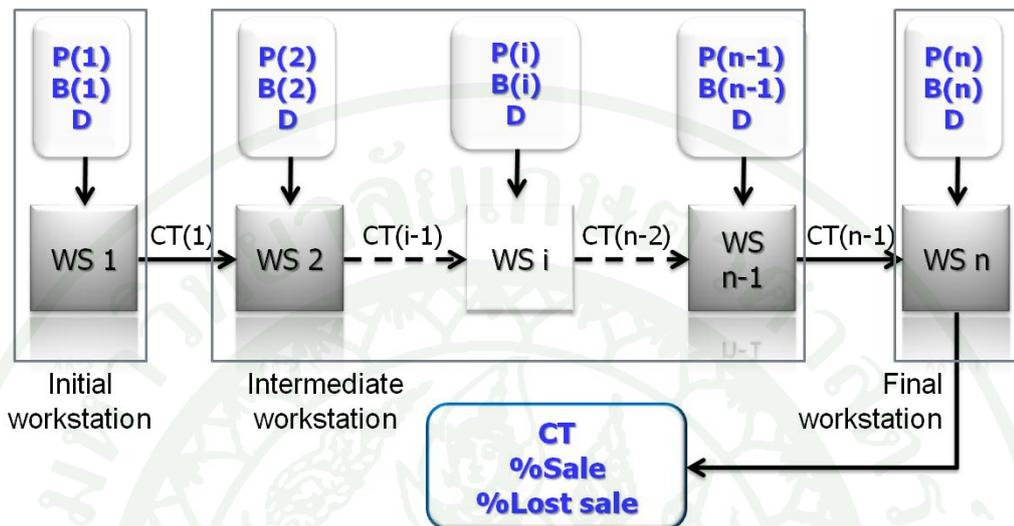
$\%Lost\ sale$  = เปอร์เซ็นต์ของจำนวนครั้งที่ไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการการผลิตได้ต่อความต้องการการผลิตทั้งหมด

$\%HW$  = เปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ย

$n$  = สถานีงานสุดท้าย

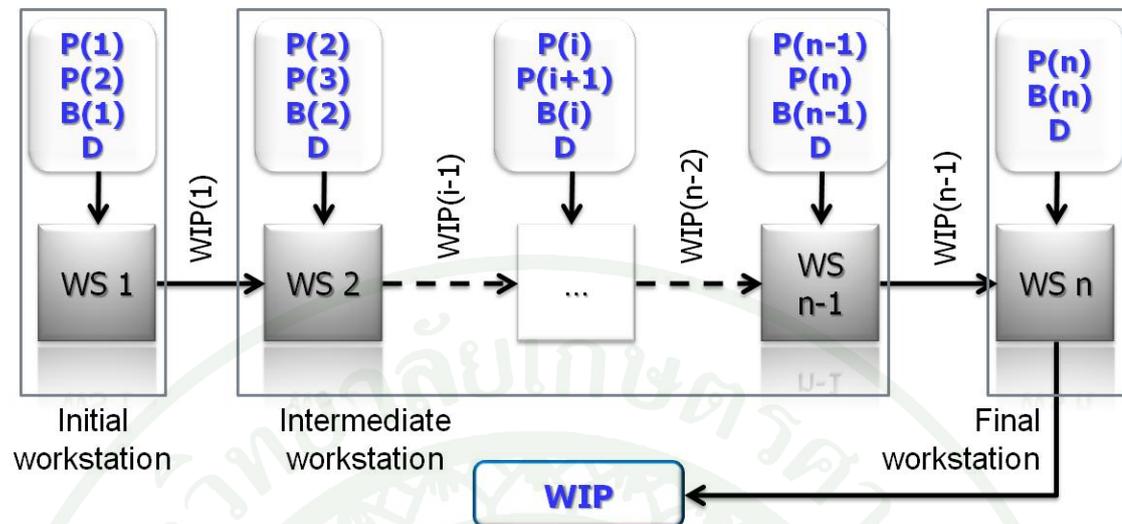
การฝึกสอนโครงข่าย เพื่อประมาณค่าเฉลี่ยของ Cycle time,  $\%Sale$  และ  $\%Lostsale$  แสดงดังภาพที่ 8 แต่ละสถานีงาน จะมีข้อมูลอินพุตเหมือนกัน 4 ตัว ได้แก่ อัตราความต้องการผลิต,

Cycle time ของสถานีก่อนหน้า, ระยะเวลาผลิต และบัฟเฟอร์ของสถานีตนเอง ทั้งนี้ ที่สถานีแรก จะไม่มีข้อมูล Cycle time ของสถานีงานก่อนหน้า



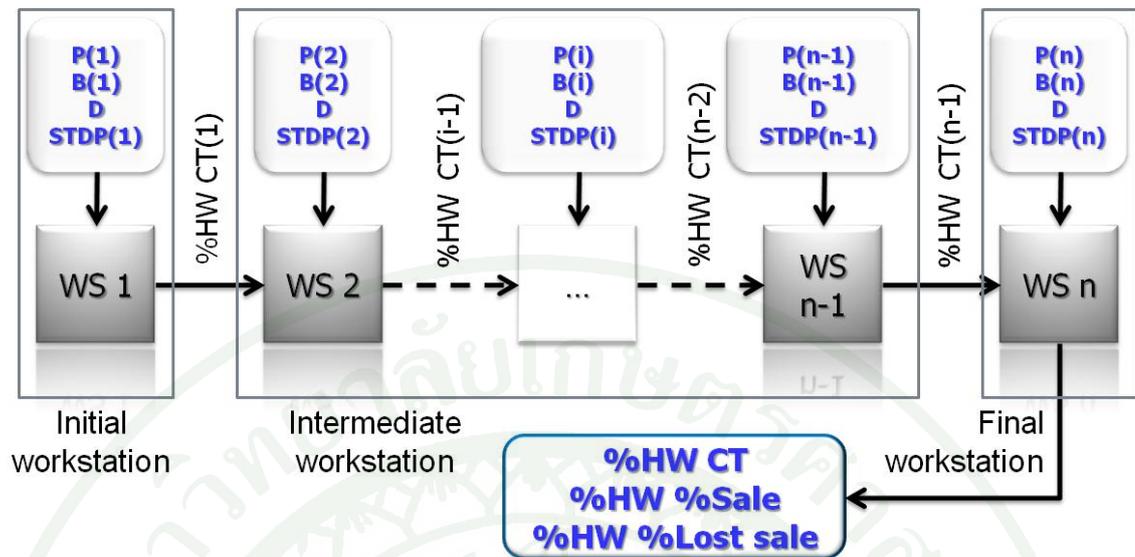
ภาพที่ 8 การเชื่อมต่อของโครงข่ายประสาทเทียมในการประมาณค่าเฉลี่ยของ Cycle time, %Sale และ %Lost sale

การฝึกสอนโครงข่ายเพื่อประมาณค่าเฉลี่ยของ Work in process แสดงดังภาพที่ 9 แต่ละสถานีงานจะมีข้อมูลอินพุต 5 ตัว ได้แก่ อัตราความต้องการผลิต, Work in process ของ สถานีก่อนหน้า, ระยะเวลาผลิตของสถานีถัดไป, ระยะเวลาผลิตและบัฟเฟอร์ของสถานีตนเอง ทั้งนี้ ที่สถานีแรก จะไม่มีข้อมูล Work in process ของสถานีงานก่อนหน้า และสถานีสุดท้ายไม่มีข้อมูล ระยะเวลาผลิตของสถานีถัดไป



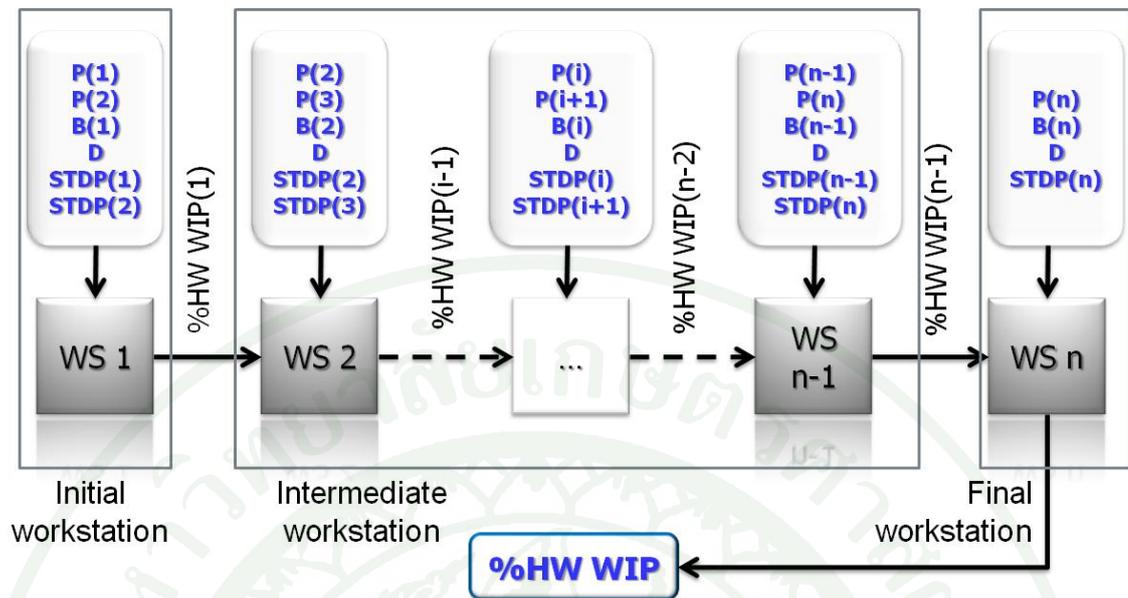
ภาพที่ 9 การเชื่อมต่อของโครงข่ายประสาทเทียมในการประมาณค่าเฉลี่ยของ Work in process

การฝึกสอนโครงข่ายเพื่อประมาณเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Cycle time, %Sale และ %Lostsale กรณีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล แสดงดังภาพที่ 10 แต่ละสถานีงานจะมีข้อมูลอินพุต 5 ตัว ได้แก่ อัตราความต้องการผลิต, เปอร์เซนต์ Half-Width ของ Cycle time ของสถานีก่อนหน้า, ระยะเวลาผลิตของสถานีตนเอง, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ ระยะเวลาผลิตและบัฟเฟอร์ของสถานีตนเอง ทั้งนี้ ที่สถานีแรก จะไม่มีข้อมูล เปอร์เซนต์ Half-Width ของ Cycle time ของสถานีก่อนหน้า



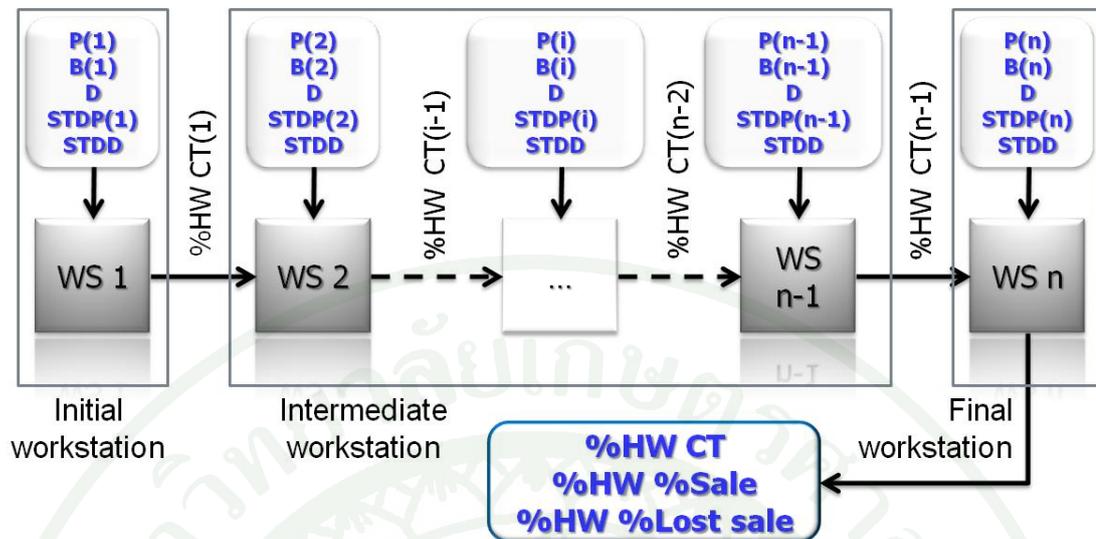
**ภาพที่ 10** การเชื่อมต่อของโครงข่ายประสาทเทียมในการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time,  $\%Sale$  และ  $\%Lost sale$  กรณีอัตราความต้องการการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียล

การฝึกสอนโครงข่ายเพื่อประมาณเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Work in process กรณีอัตราความต้องการการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียล แสดงดังภาพที่ 11 แต่ละสถานีงานจะมีข้อมูลอินพุต 7 ตัว ได้แก่ อัตราความต้องการผลิต, เปอร์เซนต์ Half-Width ของ Work in process สถานีก่อนหน้า, ระยะเวลาผลิตของสถานีถัดไป, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาผลิตของสถานีถัดไป, บัฟเฟอร์ของสถานีตนเอง, ระยะเวลาผลิตและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสถานีตนเอง ทั้งนี้ ที่สถานีแรก จะไม่มีข้อมูลเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Work in process ของสถานีงานก่อนหน้า และสถานีสุดท้ายไม่มีข้อมูลระยะเวลาผลิตและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสถานีถัดไป



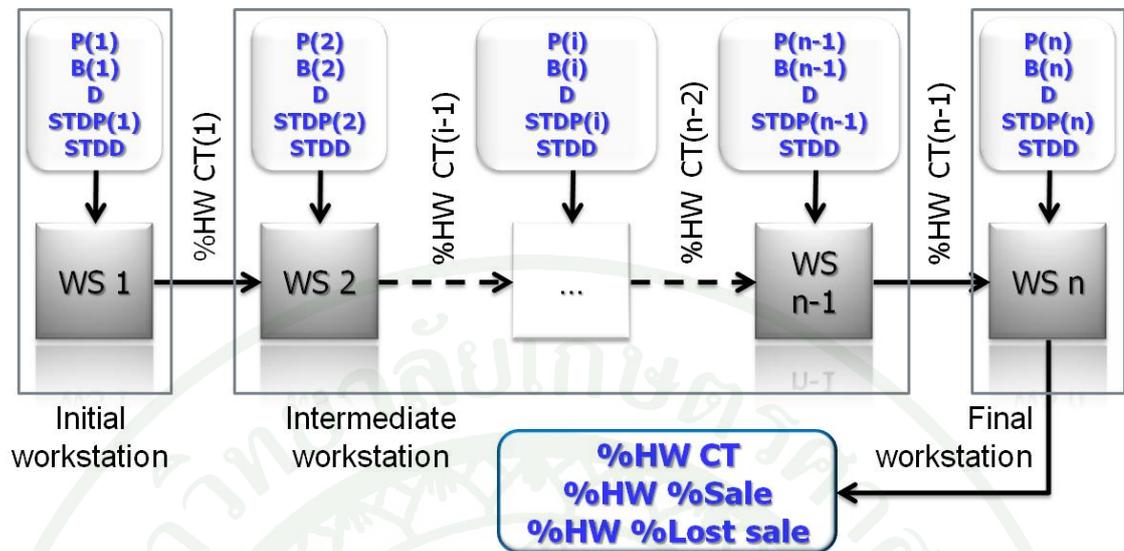
ภาพที่ 11 การเชื่อมต่อของโครงข่ายประสาทเทียมในการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process กรณีอัตราความต้องการการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียล

การฝึกสอนโครงข่ายเพื่อประมาณเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Cycle time,  $\%Sale$  และ  $\%Lostsale$  กรณีอัตราความต้องการการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ แสดงดังภาพที่ 12 แต่ละสถานีงานจะมีข้อมูลอินพุต 6 ตัว ได้แก่ อัตราความต้องการผลิต, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราความต้องการผลิต, เปอร์เซนต์ Half-Width ของ Cycle time ของสถานีก่อนหน้านี้, ระยะเวลาผลิตของสถานีตนเอง, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาผลิตและบัฟเฟอร์ของสถานีตนเอง ทั้งนี้ ที่สถานีแรกจะไม่มีข้อมูล เปอร์เซนต์ Half-Width ของ Cycle time ของสถานีก่อนหน้านี้



**ภาพที่ 12** การเชื่อมต่อของโครงข่ายประสาทเทียมในการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time,  $\%Sale$  และ  $\%Lost sale$  กรณีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ

การฝึกสอนโครงข่ายเพื่อประมาณเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Work in process กรณีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ แสดงดังภาพที่ 13 แต่ละสถานีงานจะมีข้อมูลอินพุต 8 ตัว ได้แก่ อัตราความต้องการผลิต, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราความต้องการผลิต, เปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Work in process สถานีก่อนหน้า, ระยะเวลาผลิตของสถานีถัดไป, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาผลิตของสถานีถัดไป, บัฟเฟอร์ของสถานีตนเอง, ระยะเวลาผลิตและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสถานีตนเอง ทั้งนี้ ที่สถานีแรก จะไม่มีข้อมูลเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Work in process ของสถานีงานก่อนหน้า และสถานีสุดท้ายไม่มีข้อมูลระยะเวลาผลิตและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสถานีถัดไป



ภาพที่ 13 การเชื่อมต่อของโครงข่ายประสาทเทียมในการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process กรณีอัตราความต้องการการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ

เมื่อผู้วิจัยได้ฝึกสอนโครงข่ายจากข้อมูลแบบจำลองสถานการณ์ระบบคั้งที่ 3 สถานีงานแล้ว ผู้วิจัยใช้ชุดค่าน้ำหนักของโครงข่ายข้างต้นมาประมาณผลการดำเนินงานของระบบการผลิตแบบคั้งจำนวน 4, 5, 10, 15 และ 20 สถานีงาน โดยเก็บตัวอย่างทดสอบ 5,000 ตัวอย่างต่อ 1 ระบบการผลิต เพื่อเปรียบเทียบกับผลการดำเนินงานที่ได้จากการประมาณค่าด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

### 2.3 ดัชนีชี้วัด

R-Square เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอย ที่แสดงถึงสัดส่วน หรือร้อยละของความผิดพลาด ที่แบบจำลองสามารถอธิบายได้จากสมการที่ประมาณการ หากมีค่าเข้าใกล้ 1 หมายความว่าสมการที่ประมาณได้เป็นตัวแทนที่ดีของประชากรทั้งหมด (กัลยา, 2547) งานวิจัยนี้เลือกใช้ R-Square เป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการประมาณค่าระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองสถานการณ์กับค่าที่ได้จากการประมาณด้วยโครงข่ายประสาทเทียมที่สามารถปรับขนาดได้

หลังจากฝึกสอนโครงข่ายจนได้ชุดน้ำหนักที่เหมาะสมแล้ว จะได้ชุดน้ำหนักสำหรับกรณีอัตราการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียล 8 ชุด และกรณีอัตราการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ 8 ชุด ซึ่งอัตราการผลิตแต่ละแบบประกอบไปด้วยชุดน้ำหนักคั้งต่อไปนี้ ชุดน้ำหนักสำหรับการหาค่าเฉลี่ยของ Cycle time, ชุดน้ำหนักสำหรับการหาค่าเฉลี่ยของ Work in

process, ชูคน้ำหนักสำหรับการหาค่าเฉลี่ยของ %Sale, ชูคน้ำหนักสำหรับการหาค่าเฉลี่ยของ %Lost sale, ชูคน้ำหนักสำหรับการหาเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Cycle time, ชูคน้ำหนักสำหรับการหาเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Work in process, ชูคน้ำหนักสำหรับการหาเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Sale และชูคน้ำหนักสำหรับการหาเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Lost sale ซึ่งแต่ละชุด จะประกอบไปด้วยโครงข่ายสำหรับการหาค่าตอบของสถานีต้น, สถานีกลาง และสถานีสุดท้าย ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า จะมีโครงข่ายสำหรับการหาค่าตอบทั้งหมด 48 โครงข่าย

นำชูคน้ำหนักที่ได้ไปทดสอบประมาณค่าระบบการผลิตแบบดิ่งที่จำนวนสถานีงาน 4, 5, 10, 15 และ 20 สถานี จากนั้นวัดประสิทธิภาพการประมาณค่าด้วย R-Square ซึ่งพบว่า ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการประมาณค่าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมสามารถนำมาใช้ประมาณค่าผลการดำเนินงานของระบบการผลิตแบบดิ่งได้ แต่ไม่สามารถประมาณเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยได้ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time, Work in process, %Sale และ %Lost sale เพื่อศึกษาลักษณะของข้อมูล

### 3. การวิเคราะห์ข้อมูลและประมาณความแปรปรวน

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ความแปรปรวนของระบบโดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ย ซึ่งพิจารณาค่าต่ำสุด, ค่าสูงสุด, ค่าฐานนิยม และสร้างฮิสโตแกรมเพื่อดูลักษณะของข้อมูล Cycle time, Work in process, %Sale และ %Lost sale จากนั้นแบ่งช่วงเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยเป็น น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0%, 1%, 3%, 5%, 7%, 9%, 10%, 15%, 20%, 30%, 40%, 50% และ 60% แล้วทำการฝึกสอนโครงข่ายโดยใช้พารามิเตอร์เช่นเดียวกับข้อ 2.1 และใช้การเชื่อมต่อตามภาพที่ 8 ถึง 13 พิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ ถ้ามีค่ามากกว่าการประมาณค่าด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ให้ถือว่าประมาณผลผิดพลาด (Miss) คำนวณคือ ส่วนระหว่างจำนวนข้อมูลที่ประมาณผิดพลาดต่อจำนวนข้อมูลทดลองทั้งหมด (%Miss)

### 4. ทดสอบประสิทธิภาพการประมาณค่า (Capability)

เมื่อได้ชูคน้ำหนักและวิธีการในการประมาณค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนสำหรับระบบการผลิตแบบดิ่งแล้ว ผู้วิจัยได้ทดสอบประสิทธิภาพการประมาณค่าโดยเปลี่ยนค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาการผลิตจาก 0.05 เป็น 0.01 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราความ

ต้องการผลิตที่มีการแจกแจงแบบปกติจาก 0.05 เป็น 0.01 ทำการจัดเก็บตัวอย่าง จำนวน 1,000 ตัวอย่าง เพื่อนำมาประมาณค่าผลการดำเนินงาน โดยใช้ค่าน้ำหนักจากโครงข่ายที่ใช้ข้อมูลฝึกสอน 50% พิจารณาค่าเฉลี่ยโดยใช้ดัชนีชี้วัดคือ R-Square และพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ย โดยใช้ดัชนีชี้วัดคือสัดส่วนระหว่างจำนวนข้อมูลที่ประมาณผิดพลาดต่อจำนวนข้อมูลทดลองทั้งหมด (%Miss)



## ผลและวิจารณ์

### ผล

#### 1. ผลการประมาณค่าผลการดำเนินงานด้วยโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้ข้อมูลฝึกสอน 30%, 50% ของข้อมูลทั้งหมด

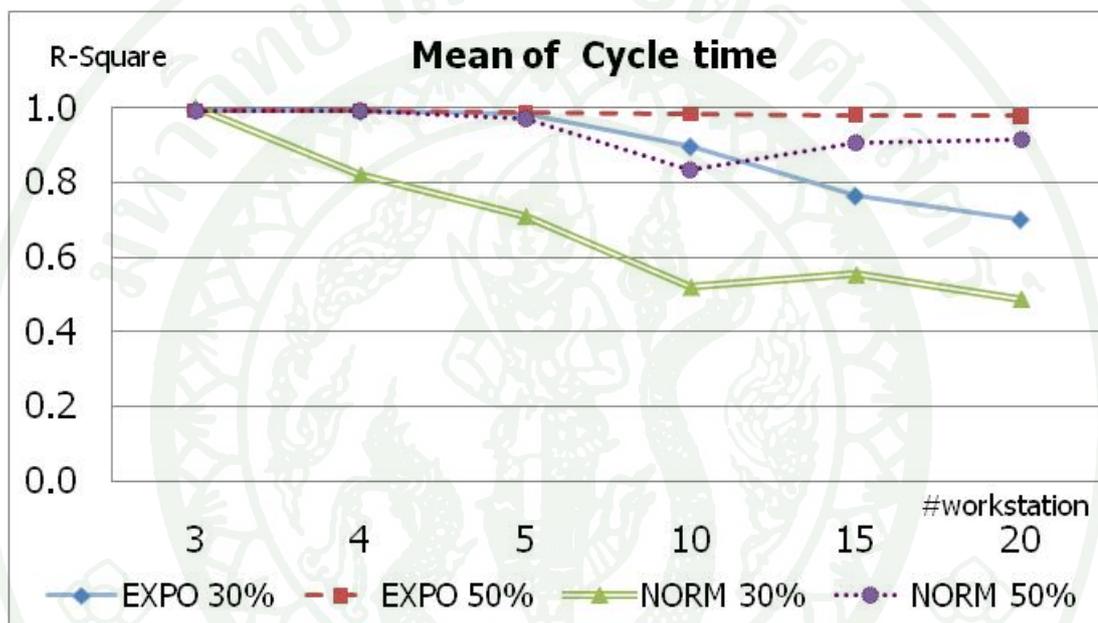
ผู้วิจัยนำค่าเฉลี่ยของผลการดำเนินงานและเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ย ที่ได้จากการจำลองแบบระบบการผลิตแบบดึง จำนวน 3 สถานียาน มาฝึกสอนโครงข่าย ซึ่งมีระดับข้อมูลฝึกสอน 2 ระดับคือ 30% กับ 50% และเมื่อใช้ค่าน้ำหนักที่ได้จากการฝึกสอน ประมาณค่าผลการดำเนินงานที่จำนวนสถานียานเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการประมาณค่าให้ผลดังนี้

ผลการประมาณค่าเฉลี่ยของ Cycle time แสดงดังภาพที่ 14 กรณีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กโปเนนเชียล พบว่า ที่ข้อมูลฝึกสอนโครงข่าย 30% เมื่อจำนวนสถานียานเพิ่มมากกว่า 10 สถานียาน ประสิทธิภาพการประมาณค่าซึ่งวัดผลด้วย R-Square ลดต่ำลง แต่ยังคงมากกว่า 70% แต่เมื่อเพิ่มจำนวนข้อมูลฝึกสอน โครงข่ายเป็น 50% ประสิทธิภาพการประมาณค่าลดต่ำลงเพียงเล็กน้อย โดยประสิทธิภาพการประมาณค่าลดลงจาก 99% เป็น 98% ที่จำนวนสถานียาน 10, 15 และ 20 สถานียาน

ผลการประมาณค่าเฉลี่ยของ Cycle time กรณีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ พบว่า ที่ข้อมูลฝึกสอนโครงข่าย 30% เมื่อจำนวนสถานียานเพิ่มมากกว่า 10 สถานียาน ประสิทธิภาพการประมาณค่าจะลดต่ำลงมาก แต่เมื่อเพิ่มจำนวนข้อมูลฝึกสอน โครงข่ายเป็น 50% สามารถประมาณค่าได้มากกว่า 80% และเมื่อจำนวนสถานียานเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการประมาณค่าลดต่ำลงเพียงเล็กน้อย แต่ที่ 10 สถานียาน พบว่าประสิทธิภาพต่ำกว่าการประมาณค่าที่ 15 และ 20 สถานียาน ทั้งนี้ เนื่องมาจากสัดส่วนของสถานการณ์ที่นำมาทดสอบ เมื่อเทียบกับจำนวนสถานการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด มีสัดส่วนที่แตกต่างกันมาก จึงอาจเกิดความแตกต่างได้เล็กน้อย

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประมาณค่าระหว่างระบบที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กโปเนนเชียลกับการแจกแจงแบบปกติพบว่า การประมาณค่าเฉลี่ยของ Cycle time ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม สามารถประมาณค่าระบบที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจก

แรงแบบเอ็กโพเนนเชียลดีกว่าระบบที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติเล็กน้อย เนื่องจาก การกระจายแบบเอ็กโพเนนเชียลมีช่วงการกระจายที่กว้างการกระจายแบบปกติ ทำให้ ไลน์สามารถจับกลุ่มของค่าตอบได้ชัดเจนกว่า แต่ทั้งนี้ประสิทธิภาพการประมาณค่าที่ข้อมูล ฝึกสอน 50% ให้ประสิทธิภาพการประมาณค่าไม่ได้แตกต่างกันมากนัก ทั้งระบบที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียลหรือแบบปกติ ก็สามารถประมาณค่าเฉลี่ยของ Cycle time ได้มากกว่า 90%

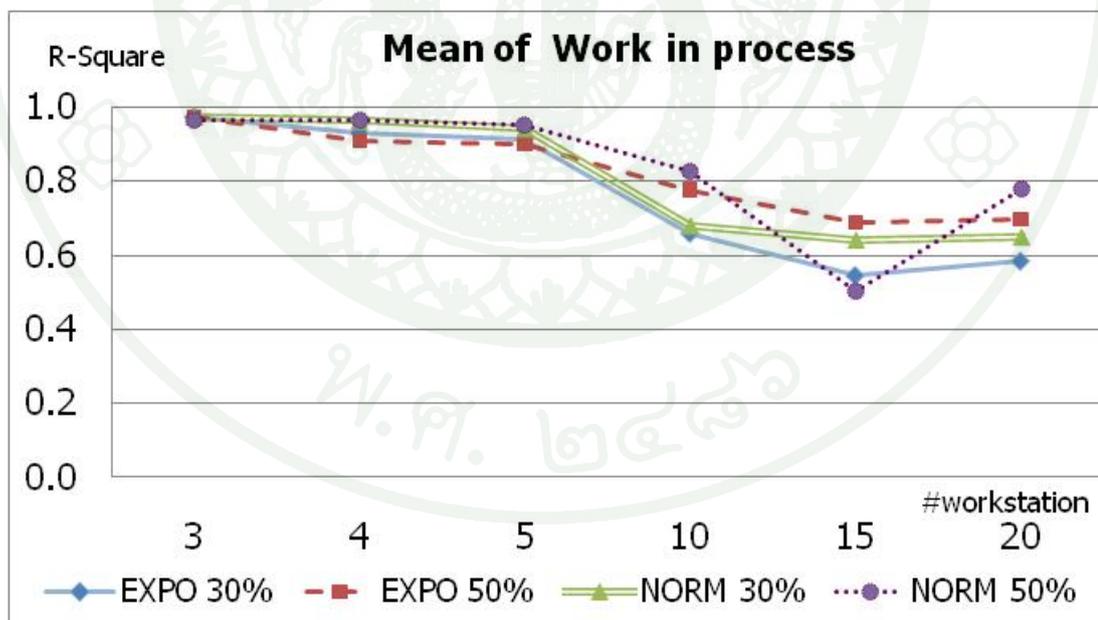


ภาพที่ 14 ค่า R-Square ของการประมาณค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ข้อมูลฝึกสอน ไลน์ 30% และ 50%

ผลการประมาณค่าเฉลี่ยของ Work in process แสดงดังภาพที่ 15 กรณีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียล พบว่าเมื่อจำนวนสถานีงานเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการประมาณค่าซึ่งวัดผลด้วย R-Square ลดต่ำลง ที่สถานีงาน 3, 4 และ 5 สถานีงาน จำนวนฝึกสอน ไลน์ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการประมาณค่า แต่เมื่อจำนวนสถานีงานเพิ่มมากขึ้นเป็น 10, 15 และ 20 สถานีงาน จะเห็นได้ชัดว่าการใช้ข้อมูลฝึกสอน 50% จะให้ประสิทธิภาพการประมาณค่า ดีกว่าการใช้ข้อมูลฝึกสอน 30%

การประมาณค่าเฉลี่ยของ Work in process กรณีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ พบว่า ที่ข้อมูลฝึกสอน โครงข่าย 30% เมื่อจำนวนสถานีงานเพิ่มมากกว่า 10 สถานีงาน ประสิทธิภาพการประมาณค่าจะลดต่ำลงมาก แต่เมื่อเพิ่มจำนวนข้อมูลฝึกสอน โครงข่ายเป็น 50% ประสิทธิภาพการประมาณค่าลดต่ำลงเพียงเล็กน้อย แต่ที่ 15 สถานีงาน พบว่าประสิทธิภาพต่ำกว่า การประมาณค่าที่ 20 สถานีงาน ทั้งนี้ เนื่องจากสัดส่วนของสถานการณ์ที่นำมาทดสอบ เมื่อเทียบกับจำนวนสถานการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด มีสัดส่วนที่แตกต่างกันมาก จึงอาจเกิดความแตกต่างได้

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประมาณค่าระหว่างระบบที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียลกับการแจกแจงแบบปกติพบว่า การประมาณค่าเฉลี่ยของ Work in process ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ทั้งระบบที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียลและระบบที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ มีประสิทธิภาพการประมาณค่าที่ใกล้เคียงกันมาก มีความแตกต่างกันไม่เกิน 10% และประสิทธิภาพการประมาณค่าที่ข้อมูลฝึกสอน 50% ทั้งระบบที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียลหรือแบบปกติ ก็สามารถประมาณค่าเฉลี่ยของ Work in process ได้มากกว่า 50%

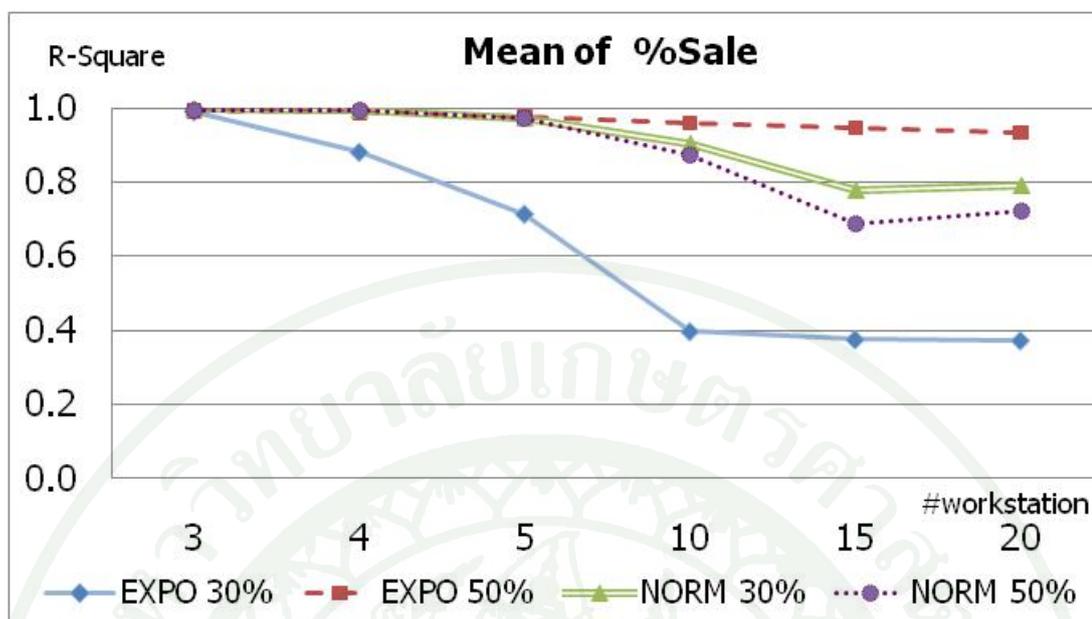


ภาพที่ 15 ค่า R-Square ของการประมาณค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ข้อมูลฝึกสอน โครงข่าย 30% และ 50%

ผลการประมาณค่าเฉลี่ยของ %Sale แสดงดังภาพที่ 16 กรณีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล พบว่า ที่ข้อมูลฝึกสอน 30% เมื่อจำนวนสถานีนงานเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการประมาณค่าจะลดต่ำลงมาก ที่ 20 สถานีนงาน ประสิทธิภาพการประมาณค่าเฉลี่ย %Sale ลดต่ำลงเหลือ 37% แต่เมื่อเพิ่มจำนวนข้อมูลฝึกสอน 30% เป็น 50% ประสิทธิภาพการประมาณค่าลดต่ำลงเพียงเล็กน้อย และที่ 20 สถานีนงานประสิทธิภาพการประมาณค่ายังมีค่าสูงถึง 93%

ผลการประมาณค่าเฉลี่ยของ %Sale กรณีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ พบว่า ประสิทธิภาพการประมาณค่าที่ข้อมูลฝึกสอน 30% สูงกว่าประสิทธิภาพการประมาณค่าที่ข้อมูลฝึกสอน 50% เล็กน้อย ทั้งนี้ เนื่องมาจากสัดส่วนของสถานการณ์ที่นำมาทดสอบ เมื่อเทียบกับจำนวนสถานการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด มีสัดส่วนที่แตกต่างกันมาก จึงอาจเกิดความแตกต่างได้ แต่ความแตกต่างดังกล่าวไม่เกิน 10%

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประมาณค่าระหว่างระบบที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลกับการแจกแจงแบบปกติพบว่า การประมาณค่าเฉลี่ยของ %Sale ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม สามารถประมาณค่าระบบที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลดีกว่าระบบที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ



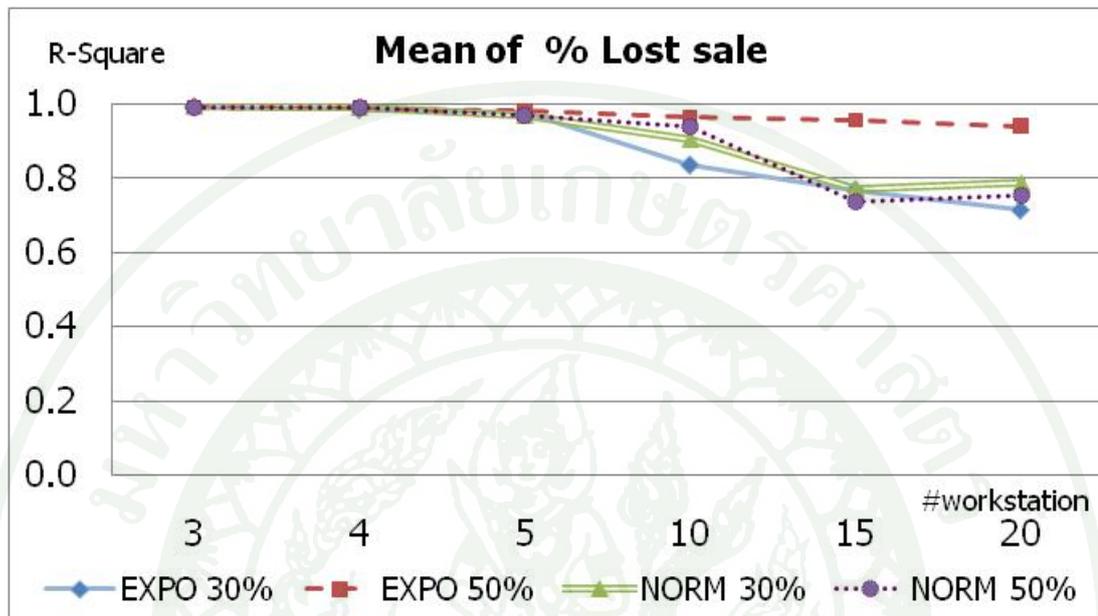
ภาพที่ 16 ค่า R-Square ของการประมาณค่าเฉลี่ยของ %Sale จากระบบที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ที่ข้อมูลฝึกสอนโครงข่าย 30% และ 50%

ผลการประมาณค่าเฉลี่ยของ %Lost sale แสดงดังภาพที่ 17 กรณีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล พบว่า ที่ข้อมูลฝึกสอนโครงข่าย 30% เมื่อจำนวนสถานีงานเพิ่มมากกว่า 10 สถานีงาน ประสิทธิภาพการประมาณค่าซึ่งวัดผลด้วย R-Square ลดต่ำลง แต่ยังคงมากกว่า 70% แต่เมื่อเพิ่มจำนวนข้อมูลฝึกสอนโครงข่ายเป็น 50% ประสิทธิภาพการประมาณค่าลดต่ำลงเพียงเล็กน้อย ที่ 20 สถานีงาน ประสิทธิภาพการประมาณค่ายังให้ค่าสูงถึง 94%

ผลการประมาณค่าเฉลี่ยของ %Lost sale กรณีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ พบว่า ประสิทธิภาพการประมาณค่าที่ข้อมูลฝึกสอน 30% กับประสิทธิภาพการประมาณค่าที่ข้อมูลฝึกสอน 50% ใกล้เคียงกันมาก มีความแตกต่างกันไม่เกิน 5%

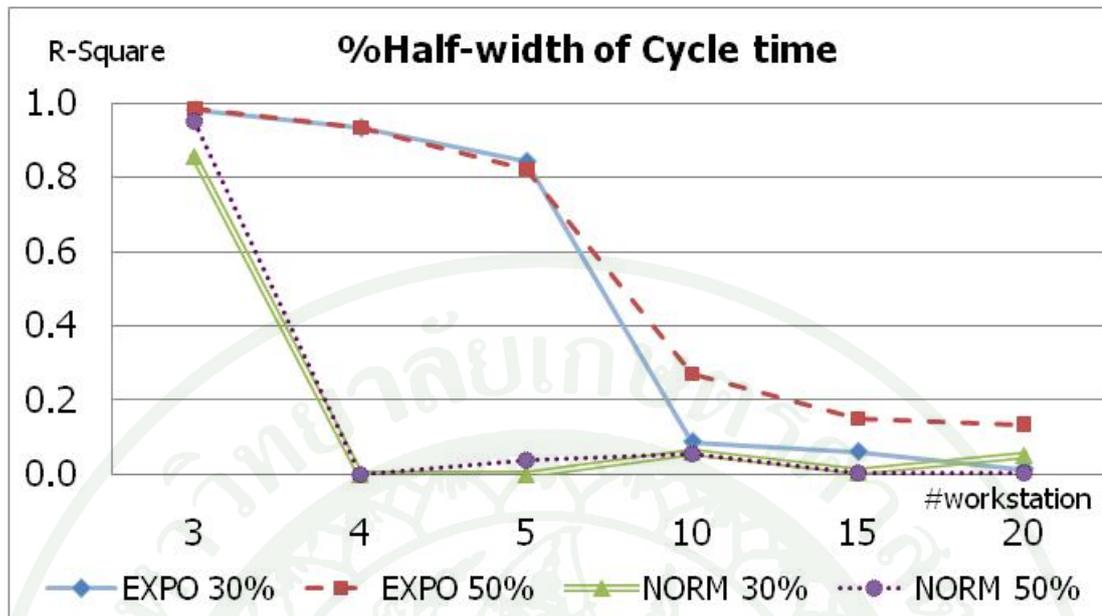
เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประมาณค่าระหว่างระบบที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลกับการแจกแจงแบบปกติพบว่า ที่จำนวนข้อมูลฝึกสอนโครงข่าย 30% ให้ประสิทธิภาพการประมาณค่าเฉลี่ย %Lost sale ใกล้เคียงกันมาก และประสิทธิภาพจะลดต่ำลงเมื่อจำนวนสถานีงานเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มจำนวนข้อมูลฝึกสอนเป็น 50% แล้ว เมื่อจำนวนสถานีงานเพิ่มสูงขึ้น โครงข่ายประสาทเทียมสามารถประมาณผลการดำเนินงานเฉลี่ยของระบบที่มีอัตรา

ความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียลได้ดีกว่าระบบที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ



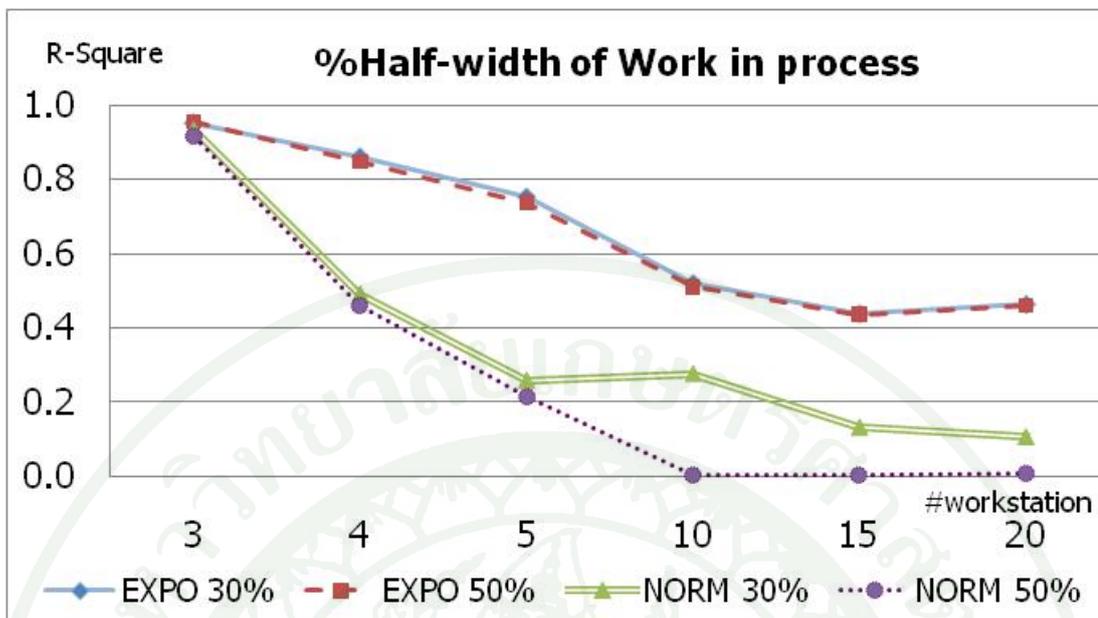
ภาพที่ 17 ค่า R-Square ของการประมาณค่าเฉลี่ยของ %Lost sale จากระบบที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียล ที่ข้อมูลฝึกสอน โครงข่าย 30% และ 50%

ผลการประมาณเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Cycle time แสดงดังภาพที่ 18 ทั้งกรณีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียลและแบบปกติ พบว่าเมื่อจำนวนสถานีงานเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการประมาณค่าจะลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว จนกล่าวได้ว่า ไม่สามารถประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Cycle time ได้



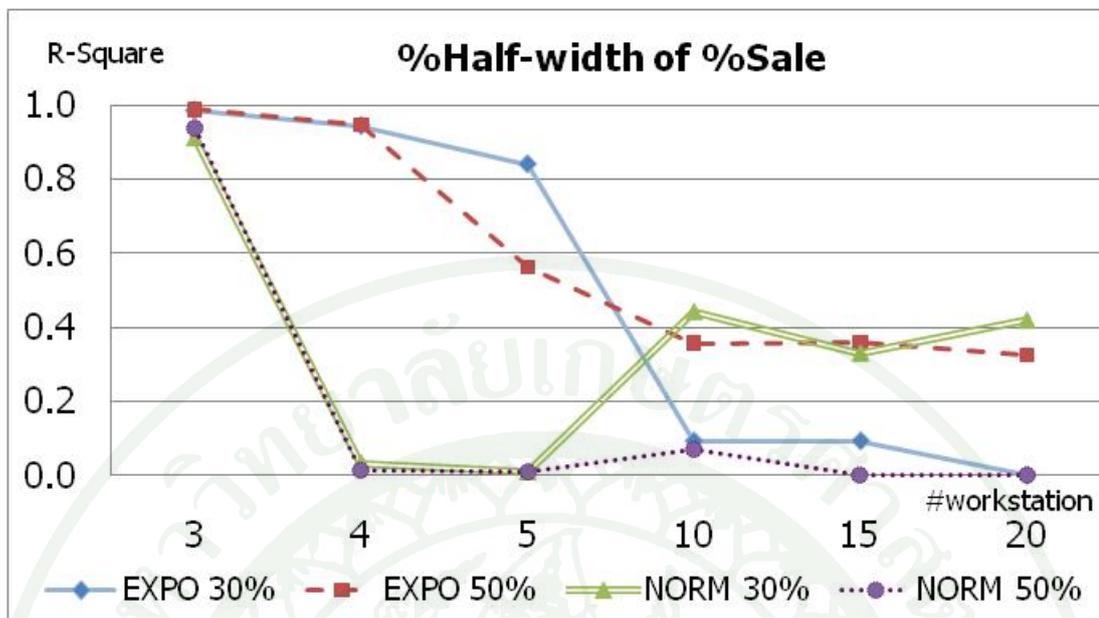
ภาพที่ 18 ค่า R-Square ของการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Cycle time ที่ข้อมูลฝึกสอน โครงข่าย 30% และ 50%

ผลการประมาณเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Work in process แสดงดังภาพที่ 19 ทั้งกรณีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กโปเนนเชียล พบว่าเมื่อจำนวนสถานีงานเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการประมาณค่าจะลดต่ำลงเรื่อยๆ ที่จำนวนสถานีงาน 20 สถานี ประสิทธิภาพการประมาณเปอร์เซ็นต์ Half-Width ลดต่ำลงไม่ถึง 50% ในกรณีของอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติประสิทธิภาพการประมาณเปอร์เซ็นต์ Half-Width เมื่อเพิ่มจำนวนสถานีงานประสิทธิภาพการประมาณค่าจะลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว จนกล่าวได้ว่า ไม่สามารถประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Work in process ได้



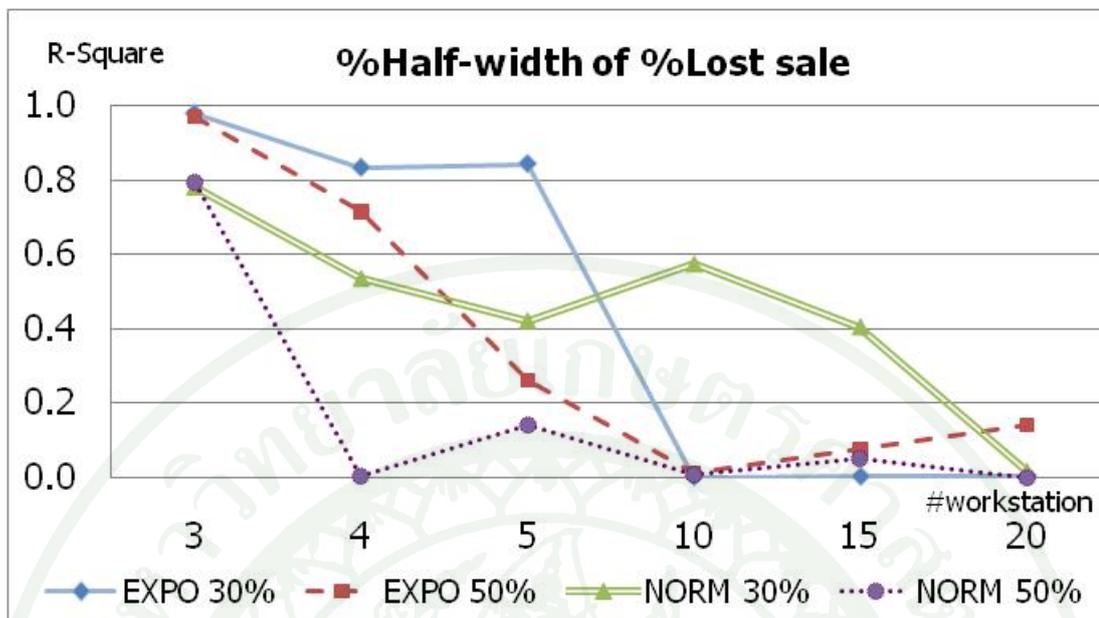
ภาพที่ 19 ค่า R-Square ของการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Work in process ที่ข้อมูลฝึกสอน โครงข่าย 30% และ 50%

ผลการประมาณเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Sale แสดงดังภาพที่ 20 ทั้งกรณีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียลและแบบปกติ พบว่าไม่สามารถประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Sale ได้



ภาพที่ 20 ค่า R-Square ของการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Sale ที่ข้อมูลฝึกสอน  
โครงข่าย 30% และ 50%

ผลการประมาณเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Lose Sale แสดงดังภาพที่ 21 ทั้งกรณีอัตรา  
ความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลและแบบปกติ พบว่าไม่สามารถประมาณค่า  
เปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Lost sale ได้



ภาพที่ 21 ค่า R-Square ของการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Lost sale ที่ข้อมูลฝึกสอน โครงข่าย 30% และ 50%

จากผลข้างต้น โครงข่ายประสาทเทียมสามารถประมาณค่าผลการดำเนินงานเฉลี่ยของระบบการผลิตแบบดึงได้ โดยประสิทธิภาพการประมาณผลการดำเนินงานเฉลี่ยจะลดต่ำลงเมื่อจำนวนสถานีงานเพิ่มขึ้น และเมื่อมีข้อมูลฝึกสอนที่มากขึ้น ประสิทธิภาพการประมาณค่าผลการดำเนินงานเฉลี่ยดีขึ้น แต่โครงข่ายประสาทเทียมไม่สามารถประมาณเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของระบบการผลิตแบบดึงแบบตรงๆ ได้ ผู้วิจัยจึงวิเคราะห์ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ Half-Width เพื่อหาวิธีประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ที่เหมาะสมต่อไป

## 2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ย

ผู้วิจัยได้พิจารณาข้อมูลของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ย ทั้งระบบที่มีอัตราความต้องการการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียลและแบบปกติ ได้ค่าดังนี้

ค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Cycle time มีค่าสูงสุดไม่เกิน 2% และมีเปอร์เซ็นต์ Half-Width ส่วนใหญ่ไม่เกิน 1% โดยเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Cycle time กรณีอัตราความต้องการการผลิตมีการกระจายแบบเอ็กโพเนนเชียล แสดงดังตารางที่ 2 มีเปอร์เซ็นต์ Half-Width ไม่เกิน 2%

ของค่าเฉลี่ย และค่าส่วนใหญ่ไม่เกิน 0.4% สำหรับค่าของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Cycle time กรณีอัตราความต้องการผลิตมีการกระจายแบบปกติ แสดงดังตารางที่ 3 มีค่าไม่เกิน 2% และมีค่าส่วนใหญ่ไม่ถึง 0.04% ซึ่งเป็นค่าน้อยมาก

**ตารางที่ 2** ค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่ามัธยฐานของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Cycle time ที่มีอัตราความต้องการผลิตเป็นแบบเอ็กโพเนนเชียล

Half-Width (%ของค่าเฉลี่ย)	จำนวนสถานีงาน					
	3	4	5	10	15	20
ค่าต่ำสุด	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06
ค่าสูงสุด	0.50	0.51	0.69	0.51	0.50	0.51
ค่าฐานนิยม	0.33	0.30	0.30	0.30	0.35	0.34

**ตารางที่ 3** ค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่ามัธยฐานของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Cycle time ที่มีอัตราความต้องการผลิตเป็นแบบปกติ

Half-Width (%ของค่าเฉลี่ย)	จำนวนสถานีงาน					
	3	4	5	10	15	20
ค่าต่ำสุด	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
ค่าสูงสุด	1.13	1.40	1.54	0.51	0.66	0.48
ค่าฐานนิยม	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03

ค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Work in process มีค่าสูงสุดไม่เกิน 6% และมีเปอร์เซ็นต์ Half-Width ส่วนใหญ่ไม่เกิน 1% โดยเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Work in process กรณีอัตราความต้องการผลิตมีการกระจายแบบเอ็กโพเนนเชียล แสดงดังตารางที่ 4 มีเปอร์เซ็นต์ Half-Width ไม่เกิน 4% ของค่าเฉลี่ย และค่าส่วนใหญ่ไม่เกิน 0.3% สำหรับค่าของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Work in process กรณีอัตราความต้องการผลิตมีการกระจายแบบปกติ แสดงดังตารางที่ 5 มีค่าไม่เกิน 6% และมีค่าส่วนใหญ่ไม่ถึง 0.01% ซึ่งเป็นค่าน้อยมาก

ตารางที่ 4 ค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่ามัธยฐานของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Work in process ที่มี อัตราความต้องการผลิตเป็นแบบเอ็กโพเนนเชียล

Half-Width (%ของค่าเฉลี่ย)	จำนวนสถานีงาน					
	3	4	5	10	15	20
ค่าต่ำสุด	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
ค่าสูงสุด	2.54	2.91	3.66	3.90	2.33	2.27
ค่าฐานนิยม	0.00	0.24	0.01	0.02	0.04	0.02

ตารางที่ 5 ค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่ามัธยฐานของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Work in process ที่มี อัตราความต้องการผลิตเป็นแบบปกติ

Half-Width (%ของค่าเฉลี่ย)	จำนวนสถานีงาน					
	3	4	5	10	15	20
ค่าต่ำสุด	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ค่าสูงสุด	4.35	4.96	5.18	2.13	2.18	2.55
ค่าฐานนิยม	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Sale มีค่าสูงสุดไม่เกิน 2% และมีเปอร์เซ็นต์ Half-Width ส่วนใหญ่ไม่เกิน 1% โดยเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Sale กรณีอัตราความต้องการผลิตมีการกระจายแบบเอ็กโพเนนเชียล แสดงดังตารางที่ 6 มีเปอร์เซ็นต์ Half-Width ไม่เกิน 1% ของค่าเฉลี่ย และค่าส่วนใหญ่ไม่เกิน 0.4% สำหรับค่าของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Sale กรณีอัตราความต้องการผลิตมีการกระจายแบบปกติ แสดงดังตารางที่ 7 มีค่าไม่เกิน 2% และมีค่าส่วนใหญ่ไม่ถึง 0.01%

ตารางที่ 6 ค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่ามัธยฐานของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Sale ที่มีอัตราความต้องการผลิตเป็นแบบเอ็กโพเนนเชียล

Half-Width (%ของค่าเฉลี่ย)	จำนวนสถานีงาน					
	3	4	5	10	15	20
ค่าต่ำสุด	0.06	0.04	0.04	0.03	0.04	0.03
ค่าสูงสุด	0.50	0.51	0.79	0.50	0.49	0.51
ค่าฐานนิยม	0.33	0.33	0.24	0.27	0.32	0.27

ตารางที่ 7 ค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่ามัธยฐานของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Sale ที่มีอัตราความต้องการผลิตเป็นแบบปกติ

Half-Width (%ของค่าเฉลี่ย)	จำนวนสถานีงาน					
	3	4	5	10	15	20
ค่าต่ำสุด	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ค่าสูงสุด	1.18	1.43	1.60	0.52	0.64	0.46
ค่าฐานนิยม	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Lost sale มีช่วงที่ค่อนข้างกว้าง กรณีอัตราความต้องการผลิตมีการกระจายแบบเอ็กโพเนนเชียล แสดงดังตารางที่ 8 มีเปอร์เซ็นต์ Half-Width สูงถึง 17.97% ของค่าเฉลี่ย แต่ค่าส่วนใหญ่ไม่ถึง 2% สำหรับค่าของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Lost sale กรณีอัตราความต้องการผลิตมีการกระจายแบบปกติ แสดงดังตารางที่ 9 มีเปอร์เซ็นต์ Half-Width สูงถึง 35.68% แต่ค่าส่วนใหญ่มีค่าไม่ถึง 0.01%

ตารางที่ 8 ค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่ามัธยฐานของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Lost sale ที่มีอัตราความต้องการผลิตเป็นแบบเอ็กโพเนนเชียล

Half-Width (%ของค่าเฉลี่ย)	จำนวนสถานีงาน					
	3	4	5	10	15	20
ค่าต่ำสุด	0.74	0.74	0.75	0.78	0.79	0.78
ค่าสูงสุด	15.94	16.31	16.45	17.97	13.90	17.29
ค่าฐานนิยม	0.90	0.90	0.90	1.69	1.48	1.70

ตารางที่ 9 ค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่ามัธยฐานของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Lost sale ที่มีอัตราความต้องการผลิตเป็นแบบปกติ

Half-Width (%ของค่าเฉลี่ย)	จำนวนสถานีงาน					
	3	4	5	10	15	20
ค่าต่ำสุด	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ค่าสูงสุด	35.68	29.35	30.27	46.46	20.87	41.78
ค่าฐานนิยม	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

เมื่อพิจารณาข้อมูลของ เปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ย ทั้งระบบการผลิตที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียลและแบบปกติแล้ว พบว่า เมื่อทำการกราฟฮิสโตแกรมซึ่งแสดงในภาคผนวก ข แล้ว เปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยส่วนใหญ่มีค่าต่ำไม่เกิน 2% แต่ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Lost sale ต่างกันมาก ดังนั้น ผู้วิจัยจึงทดลองแบ่งช่วงเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ย แล้วนำค่าที่ได้มาฝึกสอนโครงข่าย แล้วนำค่าชุนน้ำหนักที่ได้จากการฝึกสอนมาประมาณผลเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยที่จำนวนสถานีงานเพิ่มสูงขึ้น โดยผู้วิจัยแบ่งช่วงเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยออกเป็น 0%, 1%, 3%, 5%, 7%, 9%, 10%, 15%, 20%, 30%, 40%, 50% และ 60% เพื่อให้ครอบคลุมทุกกรณี จากนั้นพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ ถ้ามีค่ามากกว่าการประมาณค่าด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ให้ถือว่าประมาณผลผิดพลาด (Miss) คำนีชีวัดประสิทธิภาพการประมาณค่า

เปอร์เซ็นต์ Half-Width คือ สัดส่วนระหว่างจำนวนข้อมูลที่ประมาณผิดพลาดต่อจำนวนข้อมูล  
ที่คลาดทั้งหมด (%Miss)

### 3. ผลการประมาณเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ย ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมโดยแบ่งข้อมูล ออกเป็นช่วง และใช้ข้อมูลฝึกสอนจากระบบ 3 สถานีงานเป็นจำนวน 50% ของข้อมูลทั้งหมด

ตารางที่ 10 สัดส่วนระหว่างจำนวนข้อมูลที่ประมาณผิดพลาดต่อจำนวนข้อมูลคลาดทั้งหมด กรณี  
อัตราความต้องการผลิตเป็นแบบเอ็กโพเนนเชียล

%Miss	จำนวนสถานีงาน					
	3	4	5	10	15	20
Cycle time	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Work in process	3.63	4.56	4.36	11.28	16.46	18.28
%Sale	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
%Lost sale	2.17	2.14	1.1	2.34	2.76	2.82

จากตารางที่ 10 การประมาณเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time และ  
%Sale ไม่มีความผิดพลาด ในขณะที่ %Lost sale และ Work in process มีแนวโน้มผิดพลาดมากขึ้น  
เมื่อจำนวนสถานีงานเพิ่มขึ้น แต่ยังไม่เกิน 3% และ 20% ตามลำดับ

ตารางที่ 11 สัดส่วนระหว่างจำนวนข้อมูลที่ประมาณผิดพลาดต่อจำนวนข้อมูลคลาดทั้งหมด กรณี  
อัตราความต้องการผลิตเป็นแบบปกติ

%Miss	จำนวนสถานีงาน					
	3	4	5	10	15	20
Cycle time	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00
Work in process	1.00	4.44	4.36	0.00	0.18	0.16
%Sale	0.04	0.10	0.20	0.00	0.00	0.00
%Lost sale	1.67	1.30	2.26	3.54	4.88	9.64

จากตารางที่ 11 แม้ว่าจำนวนสถานีงานจะเพิ่มมากขึ้นจนถึง 20 สถานี แต่การประมาณเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Cycle time และ %Sale มี %Miss ไม่ถึง 0.5% ในขณะที่ %Miss ของการประมาณค่า Half-Width ของ Work in process มีค่าไม่แน่นอน แต่ทั้งนี้ %Miss ก็มีค่าไม่เกิน 5% ส่วนการประมาณค่า Half-Width ของ %Lost sale มีแนวโน้มที่ชัดเจนว่า เมื่อจำนวนสถานีงานเพิ่มขึ้น %Miss จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยที่จำนวนสถานีงาน 20 สถานี มี %Miss ไม่เกิน 10%

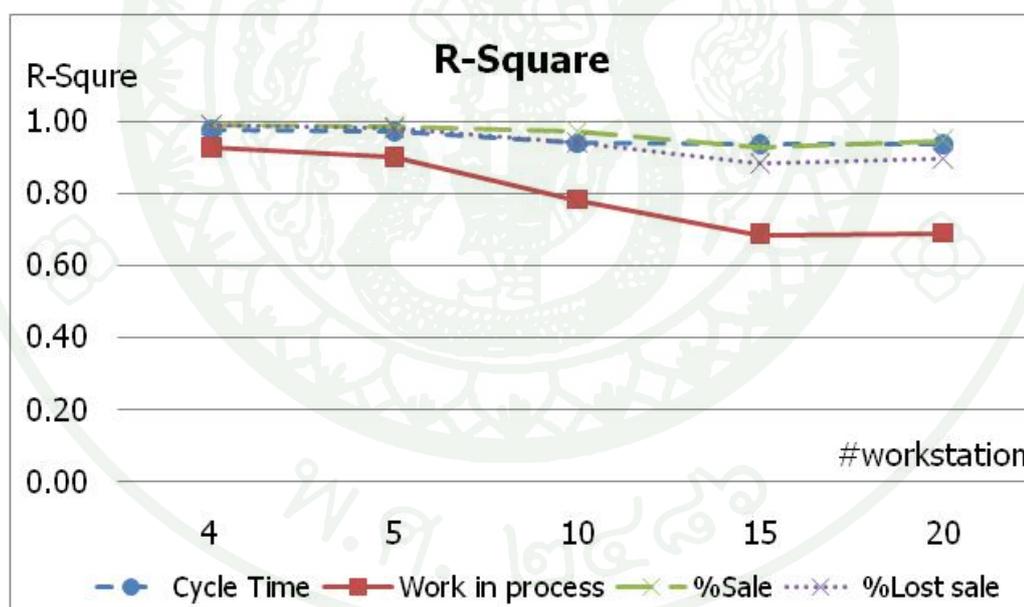
ทั้งระบบที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการกระจายแบบเอ็กโพเนนเชียลและแบบปกติ โครงข่ายประสาทเทียมสามารถประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Cycle time และ %Sale ได้ดี มี %Miss ไม่เกิน 1%

โครงข่ายประสาทเทียมสามารถประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Work in process ในระบบที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการกระจายแบบปกติ มีประสิทธิภาพมากกว่าระบบที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการกระจายแบบเอ็กโพเนนเชียล แต่การประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Lost sale โครงข่ายประสาทเทียมสามารถประมาณค่าระบบที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการกระจายแบบเอ็กโพเนนเชียลได้ดีกว่าระบบที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการกระจายแบบปกติ แต่โดยรวมแล้ว %Miss ที่เกิดขึ้นทั้ง 2 ระบบ มีค่าไม่เกิน 20% นั่นคือ โครงข่ายประสาทเทียม สามารถประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ที่มีการแบ่งช่วงได้

จากผลการทดลอง ข้อ 2 และข้อ 3 ทำให้ได้ชุดข้อมูลที่นักที่สามารถประมาณค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของระบบการผลิตแบบดิ่ง ซึ่งผู้วิจัย ได้ทดสอบประสิทธิภาพของการประมาณค่าด้วยโครงข่ายประสาทเทียม โดยเปลี่ยนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบการผลิตจาก 0.05 เป็น 0.01 ใช้ชุดข้อมูลที่ได้จากการฝึกสอนโครงข่ายของระบบการผลิตแบบดิ่ง 3 สถานีงาน ที่จำนวนข้อมูลฝึกสอน 50% และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.05 มาประมาณค่าเฉลี่ย ใช้ชุดข้อมูลที่ได้จากการฝึกสอนโครงข่ายของระบบการผลิตแบบดิ่ง 3 สถานีงาน ที่จำนวนข้อมูลฝึกสอน 50% มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.05 และพิจารณาเปอร์เซ็นต์ Half-Width แบบเป็นช่วง มาประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width โดยแบ่งช่วงเปอร์เซ็นต์ Half-Width เป็น 0%, 1%, 3%, 5%, 7%, 9%, 10%, 15%, 20%, 30%, 40%, 50% และ 60% ทดสอบที่จำนวนสถานีงาน 4, 5, 15 และ 20 สถานีงาน จำนวนตัวอย่างที่นำมาทดสอบ 1,000 ตัวอย่าง ต่อ 1 ระบบการผลิต

#### 4. ผลการประมาณค่าผลการดำเนินงานด้วยโครงข่ายประสาทเทียมที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 0.01

ผลการประมาณค่าเฉลี่ยของผลการดำเนินงานระบบการผลิตแบบดึง กรณีอัตราความต้องการผลิตเป็นแบบเอ็กโพเนนเชียล แสดงดังภาพที่ 22 เมื่อผู้วิจัยได้เปลี่ยนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาการผลิต จาก 0.05 เป็น 0.01 ของค่าเฉลี่ยแล้ว พบว่า การประมาณค่าเฉลี่ยของ Cycle time, Work in process, %Sale และ %Lost sale เมื่อใช้ค่า R-Square เป็นตัวบ่งประสิทธิภาพการประมาณค่าแล้ว ประสิทธิภาพการประมาณค่าเฉลี่ย Cycle time, %Sale และ %Lost sale มีค่าลดต่ำลงเล็กน้อยเมื่อจำนวนสถานีงานเพิ่มสูงขึ้น โดยรวมแล้ว ที่จำนวนสถานีงาน 20 สถานีงาน โครงข่ายประสาทเทียมสามารถประมาณค่าได้ไม่น้อยกว่า 90% ประสิทธิภาพการประมาณค่าเฉลี่ยของ Work in process มีแนวโน้มลดต่ำลงเมื่อจำนวนสถานีงานเพิ่มขึ้น แต่ประสิทธิภาพการประมาณค่าอย่างน้อยไม่น้อยกว่า 60%



ภาพที่ 22 ค่า R-Square ของการประมาณค่าเฉลี่ยระบบการผลิตแบบดึง ที่มีอัตราความต้องการผลิต มีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียล

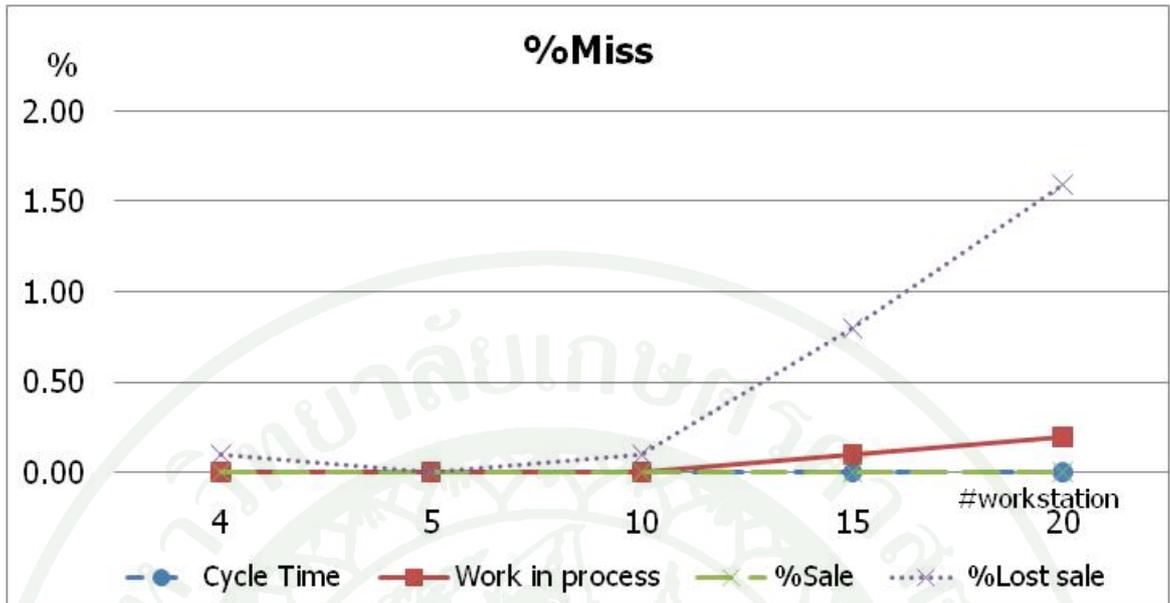
ผลการประมาณค่าเฉลี่ย กรณีอัตราความต้องการผลิตเป็นแบบปกติ แสดงดังภาพที่ 23 เมื่อผู้วิจัยได้เปลี่ยนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาการผลิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ





ภาพที่ 24 ค่า R-Square ของการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ระบบการผลิตแบบดึง ที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล

ผลการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width กรณีอัตราความต้องการผลิตเป็นแบบปกติ แสดงดังภาพที่ 25 เมื่อผู้วิจัยได้เปลี่ยนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาการผลิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราความต้องการผลิต จาก 0.05 เป็น 0.01 ของค่าเฉลี่ยและใช้ค่า %Miss เป็นตัวบ่งประสิทธิภาพการประมาณค่าแล้ว พบว่า การประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Cycle time และ %Sale ไม่มีความผิดพลาดเลย แม้ว่าจำนวนสถานีงานจะเพิ่มสูงขึ้น แต่การประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Work in process และ %Lost sale จะมีความผิดพลาดเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนสถานีงานเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้ %Miss ที่เกิดขึ้นมีค่าไม่เกิน 2%



ภาพที่ 25 ค่า R-Square ของการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ระบบการผลิตแบบดึง ที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ

## วิจารณ์

ประสิทธิภาพการประมาณค่าเฉลี่ยของ Cycle time, Work in process, %Sale และ %Lost sale ของระบบการผลิตแบบดิ่งนั้น ขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลฝึกสอน โครงข่าย ยังมีข้อมูลฝึกสอนมาก ประสิทธิภาพการประมาณค่ายิ่งสูงขึ้น ทั้งนี้ ประสิทธิภาพการประมาณค่าจะลดต่ำลงเมื่อจำนวนสถานีงานเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถประมาณค่าเฉลี่ยของ Cycle time, %Sale และ %Lostsale ของระบบอัตราความต้องการผลิตที่มีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียลได้ดีกว่าระบบที่มีการแจกแจงแบบปกติเล็กน้อย ทั้งนี้ อาจเป็นไปได้ว่า การกระจายแบบเอ็กโพเนนเชียลมีช่วงการกระจายที่กว้างกว่าการกระจายแบบปกติ ทำให้โครงข่ายสามารถจัดกลุ่มของคำตอบได้ชัดเจนกว่า แต่การประมาณค่าเฉลี่ยของ Work in process ทั้งระบบที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียลและแบบปกติ มีค่าใกล้เคียงกัน

สำหรับค่า R-Square ของผลการทดลองที่ใช้ข้อมูลฝึกสอน 30% มากกว่า 50% มีผลมาจากการสุ่มค่ามาทำการทดลองเพียง 5,000 เหตุการณ์ ซึ่งเมื่อเทียบกับเหตุการณ์ทั้งหมดที่สามารถเป็นไปได้ นับว่าเป็นสัดส่วนที่น้อยมาก จึงอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้

ประสิทธิภาพการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Cycle time, Work in process, %Sale และ %Lost sale ของระบบการผลิตแบบดิ่งนั้น โดยรวมแล้ว จำนวนสถานีงานส่งผลต่อประสิทธิภาพการประมาณค่า เมื่อสถานีงานเพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width จะลดต่ำลง และเห็นได้ชัดในกรณีของระบบที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียล ข้อจำกัดหนึ่งของการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Lost sale คือ ถ้าผลการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width มีค่าสูงผิดปกติ ควรใช้การจำลองสถานการณ์มาช่วยยืนยันคำตอบ เนื่องจากในกรณีของช่วง เปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Lost sale ที่มีค่าสูงเป็นผลมาจากการพิจารณาความแปรปรวนในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย ถ้าจำนวนสินค้าที่ไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการ มีค่าต่ำมาก เช่น 2 ชิ้น หากประมาณผิดพลาดเพียง 1 ชิ้น ก็แสดงว่าประมาณค่าผิดพลาด 50% ซึ่งเป็นตัวเลขที่สูง แต่เมื่อดูจำนวนชิ้นแล้วถือเป็นความผิดพลาดที่น้อยมาก

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่สามารถปรับขนาดได้มาประมาณผลการดำเนินงานของระบบการผลิตแบบดึง ซึ่งศึกษาทั้งค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของระบบ จากการศึกษา สรุปได้ดังนี้

1. โครงข่ายประสาทเทียมสามารถประมาณผลการดำเนินงานเฉลี่ยของระบบการผลิตแบบดึงได้ โดยให้ประสิทธิภาพการประมาณค่าเฉลี่ยของ Cycle time สูงที่สุด ถัดมาคือ %Sale, %Lost sale และ Work in process ตามลำดับ โดยโครงข่ายสามารถประมาณค่าเฉลี่ยของระบบที่อัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียลดีกว่าการแจกแจงแบบปกติเล็กน้อย

2. โครงข่ายประสาทเทียมสามารถประมาณค่าความแปรปรวนได้ โดยพิจารณาในรูปของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time, Work in process, %Sale และ %Lost sale ซึ่งถูกแบ่งออกเป็นช่วง และวัดประสิทธิภาพการประมาณค่าจากสัดส่วนของการประมาณผิดพลาดต่อจำนวนข้อมูลทดสอบทั้งหมด ซึ่งโดยรวมแล้ว เมื่อจำนวนสถานีงานเพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพการประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width จะลดต่ำลง ทั้งนี้ โครงข่ายประสาทเทียมสามารถประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Cycle time และ %Sale ได้มีประสิทธิภาพดีที่สุด ส่วนเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ %Lost sale นั้น ระบบที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ ให้ประสิทธิภาพดีกว่าแบบเอ็กโพเนนเชียลเล็กน้อย และเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของ Work in process ระบบที่มีอัตราความต้องการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กโพเนนเชียลให้ประสิทธิภาพดีกว่าการแจกแจงแบบปกติ

3. โครงข่ายประสาทเทียมสามารถประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของระบบการผลิตแบบดึงที่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าระบบที่ใช้ฝึกสอนได้ โดยประสิทธิภาพการประมาณค่าจะลดต่ำลงเมื่อจำนวนสถานีงานเพิ่มสูงขึ้น

### ข้อเสนอแนะ

ผู้วิจัยได้ประมาณค่าผลการดำเนินงาน และวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการใช้โครงข่ายประสาทเทียม ในระบบการผลิตแบบดึง ซึ่งผู้วิจัยมีข้อเสนอในการพัฒนาต่อดังนี้

1. เปลี่ยนสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม เช่น เปลี่ยนแปลงวิธีการปรับน้ำหนัก, เปลี่ยนทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน หรือเพิ่มจำนวนเลเยอร์ของชั้นฮิดเดน ของโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการประมาณค่า
2. กรณีการวิเคราะห์ความแปรปรวนของระบบ อาจพิจารณาในรูปแบบอื่นที่ไม่ใช่เปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยหรือแบ่งช่วงเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยให้มีความละเอียดมากขึ้น
3. เพิ่มการทดสอบประสิทธิภาพของการประมาณค่าด้วยโครงข่ายประสาทเทียม โดยเพิ่มส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานให้มีค่าสูงขึ้น
4. ศึกษากรณีระบบมีอัตราล้มเหลวในการผลิต (Failure rate)

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2547. **หลักสถิติ**. ครั้งที่ 7. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- นรินาม. 2544. **โครงข่ายประสาทเทียม. สารานุกรมไทย สำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ใน พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เล่ม 25 (2544): 147-171.**
- บัณฑิต ประดิษฐ์ฐานวงษ์. 2544. **100 ถามตอบระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี**. สมาคมส่งเสริม เทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ. แปลจาก Hirano Hiroyuki. **Zaburi Kotaemasu JIT Donyu 100 no Q&A**. The Nikkan Kogyo Shimbun Ltd., Tokyo.
- บุญเสริม วันทนาศุภมาต. 2549. **คัมบัง (Kanban for the Shopfloor)**. อี.ไอ.สแควร์, กรุงเทพฯ. แปลจาก Productivity Press Development Team. 2002. **Kanban for the Shopfloor**. Productivity Press, United States of America.
- ภิรมย์ญา พุ่มทอง. 2549. **การประมาณค่าผลการดำเนินงานของระบบควบคุมการผลิตแบบดึง ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มนูศักดิ์ ปรีชาพร. 2550. **การพัฒนาการประมาณค่าผลการดำเนินงานสำหรับระบบควบคุมการผลิตแบบดึง โดยใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมที่สามารถปรับขนาดได้**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิลาสินี รอดน้อม. 2548. **การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างระบบควบคุมการผลิตหลักและดึงและ กำหนดขนาดคัมบังในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์โดยใช้วิธีการจำลองสถานการณ์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. 2544. **การจำลองแบบปัญหา**. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

Altiparmak, F., B. Dengiz and A.A.Bulgak. 2006. Buffer Allocation and Performance Modeling in Asynchronous Assembly System Operation :An Artificial Neural Network Metamodeling Approach. **Applied Soft Computing** (231):143-159.

Anonymous. **Neural Network Toolbox TM 6 User's Guide**. Neural Network Toolbox.  
Available Source: <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/nnet/>,  
December 20, 2009.

Banks, J. 1998. **Handbook of Simulation**. Wiley-Interscience, United State of America.

Chambers, M. and C.A. Mount-Campbell. 2000. Process Optimization via Neural Network Metamodeling. **International Journal of Production Economics** (79): 93-100.

Gurney, K. 1997. **An Introduction to Neural Networks**. UCL Press Limited,  
London.

Hagan, M.T., H.B. Demuth and M. Beale. 1996. **Neural Network Design**. PWS Publishing Company, United States of America.

Krose, B. and P. Smagt. 1996. **An Introduction to Neural Network**. 8<sup>th</sup>. The University of Amsterdam, Netherlands.

Monden, Y. 1994. **Toyota Production System An Intergrated Approach to Just-In-Time**. 2<sup>ed</sup>. Chapman & Hall, London.

Shannon, R.E. 1975. **System Simulation; the Art and Science**. Prentice Hall Inc., USA.

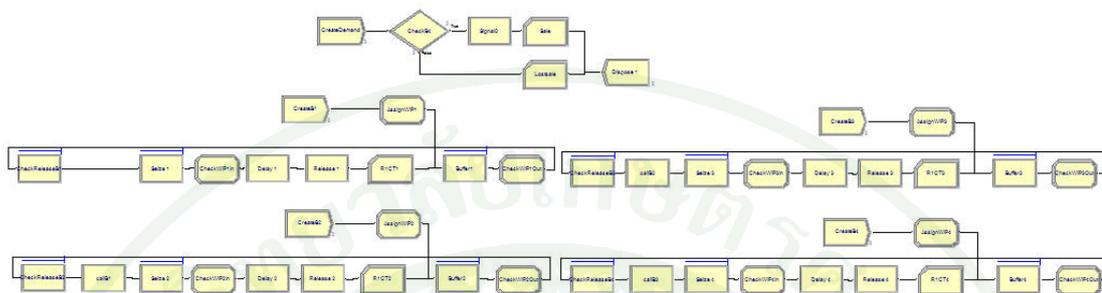


ภาคผนวก

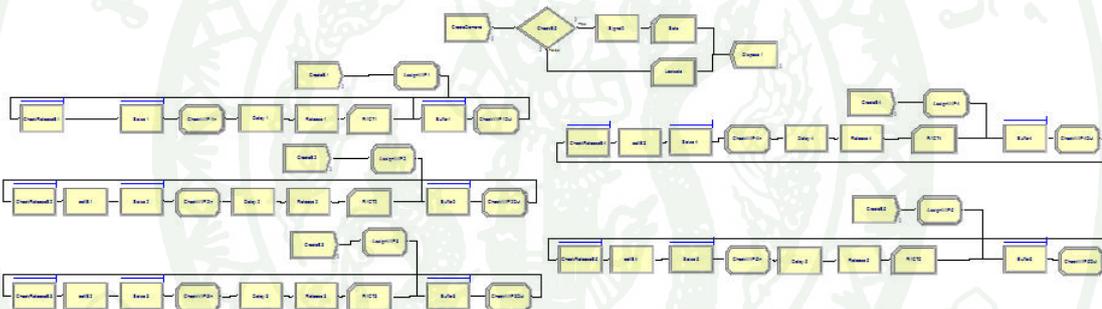


ภาคผนวก ก  
รายละเอียดของแบบจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม Arena

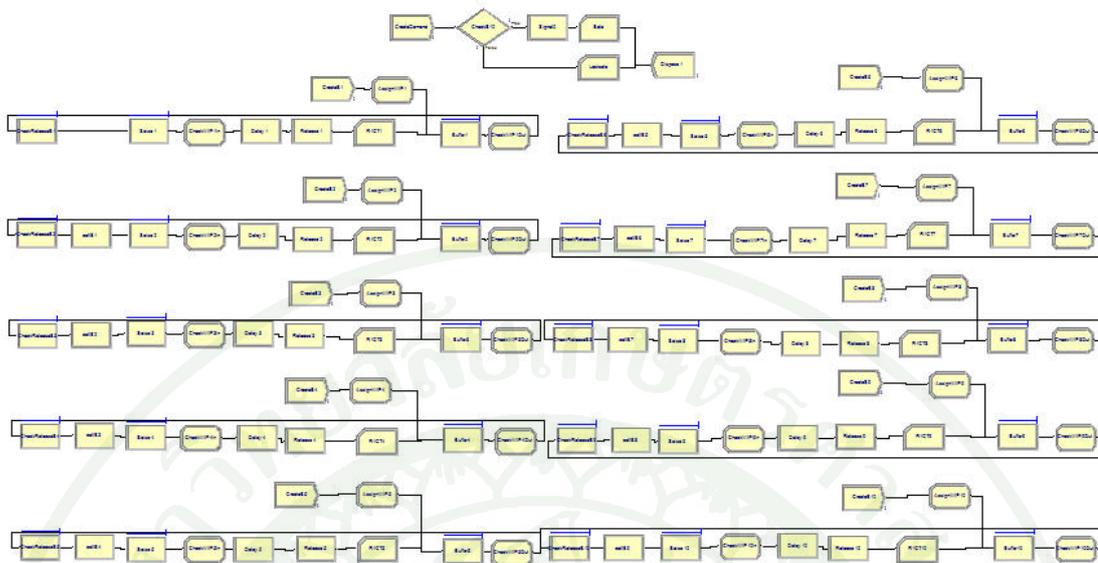
ผู้วิจัยสร้างแบบจำลองระบบการผลิตแบบดึงจำนวน 4, 5, 10, 15 และ 20 สถานีงาน มีแผนภาพดังรูป ก1 ถึง ก5



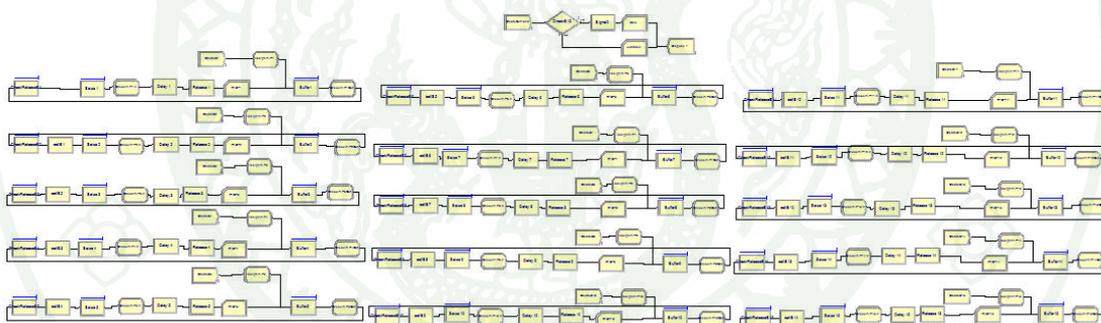
ภาพผนวกที่ ก1 แบบจำลองสถานการณ์ของ 4 สถานีงาน



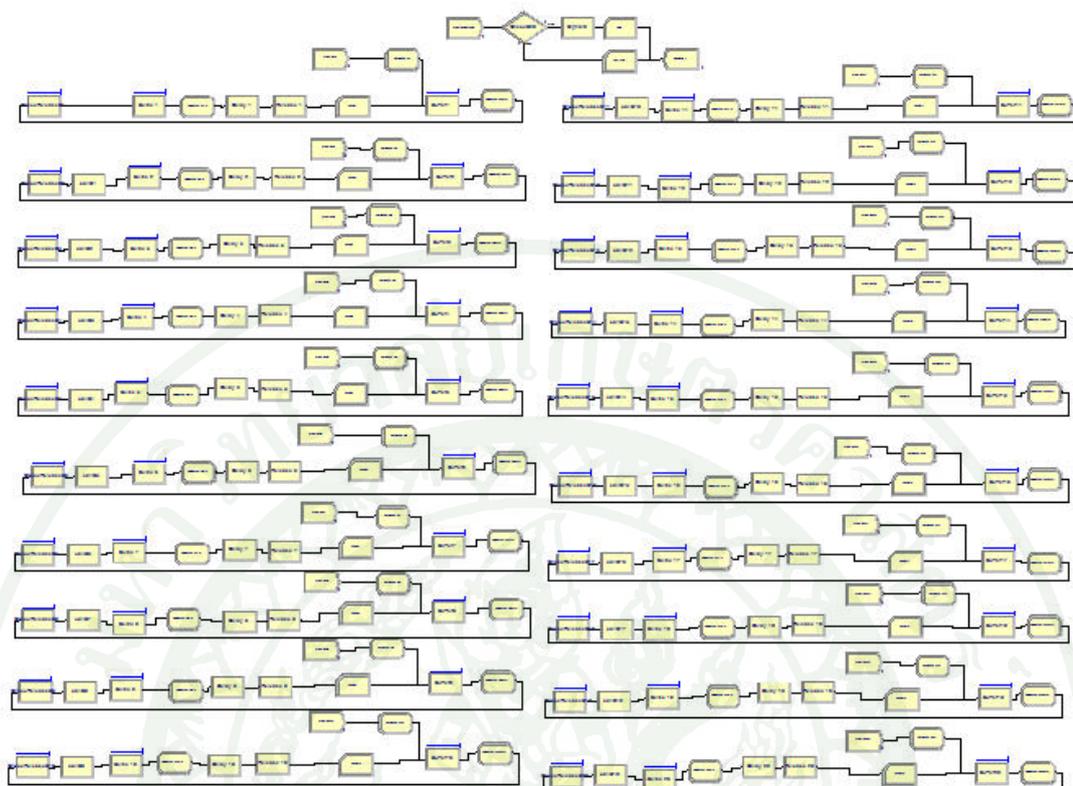
ภาพผนวกที่ ก2 แบบจำลองสถานการณ์ของ 5 สถานีงาน



ภาพผนวกที่ ก3 แบบจำลองสถานการณ์ของ 10 หน่วยงาน



ภาพผนวกที่ ก4 แบบจำลองสถานการณ์ของ 15 หน่วยงาน



ภาพผนวกที่ ก5 แบบจำลองสถานการณ์ของ 20 สถานีงาน

การหาค่าซ้ำที่เหมาะสม (Number of replications)

ดัชนีที่ใช้ในการกำหนดจำนวนรอบทำซ้ำเริ่มต้นมีดังนี้

รอบระยะเวลาการผลิต (Cycle time), จำนวนชิ้นงานที่ค้างในระบบ (Work in process), จำนวนครั้งที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการการผลิตได้ต่อความต้องการการผลิตทั้งหมด (Sale), จำนวนครั้งที่ไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการการผลิตได้ต่อความต้องการการผลิตทั้งหมด (Lost sale)

กำหนดให้ ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ ( $\epsilon$ ) = 5% ของค่าเฉลี่ย

จำนวนรอบทำซ้ำเริ่มต้น ( $R_0$ ) = 10 รอบ

$$t_{0.05/2, 10-1} = 2.26$$

จากนั้นทำการประมวลผลด้วยแบบจำลองหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนีชี้วัด แล้วแทนค่าในสมการ  $R = \left( \frac{t_{\alpha/2, R_0-1} S_0}{\varepsilon} \right)^2$  เพื่อกำหนดจำนวนรอบทำซ้ำ เนื่องจากจำนวนเหตุการณ์ที่สามารถได้เป็นได้ทั้งหมดมีหลายกรณี ผู้วิจัยแบ่งเป็น 2 แบบจำลอง

แบบจำลองที่ 1 อัตราความต้องการการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล สุ่มมา 3 กรณี เพื่อใช้เป็นค่าหารอบทำซ้ำ โดยกำหนดให้ระยะเวลาในการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเป็น 0.05 ของค่าเฉลี่ย

แบบจำลองที่ 2 อัตราความต้องการการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเป็น 0.05 ของค่าเฉลี่ย สุ่มมา 3 กรณี เพื่อใช้เป็นค่าหารอบทำซ้ำ โดยกำหนดให้ระยะเวลาในการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเป็น 0.05 ของค่าเฉลี่ย

พารามิเตอร์ของทั้ง 2 แบบจำลอง แสดงดังตารางที่ ก1 ผลการหารอบทำซ้ำแสดงดังตารางที่ ก2

กำหนดจำนวนรอบทำซ้ำที่ 100 รอบ เพื่อให้ค่าความคลาดเคลื่อนครอบคลุมทุกกรณี ตารางที่ ก1 พารามิเตอร์ของแบบจำลอง

กรณี	ระยะเวลาผลิต สถานีที่ 1 (ชั่วโมง)	ระยะเวลาผลิต สถานีที่ 2 (ชั่วโมง)	ระยะเวลาผลิต สถานีที่ 3 (ชั่วโมง)	บัฟเฟอร์ ของสถานี ที่ 1 (ชิ้น)	บัฟเฟอร์ ของสถานี ที่ 2 (ชิ้น)	บัฟเฟอร์ ของสถานี ที่ 3 (ชิ้น)	อัตรา ต้องการ ผลิต
1	1	0.6	0.6	4	2	5	1.2
2	0.7	1	0.6	5	3	5	1
3	0.6	0.9	1	2	3	3	0.8

ตารางที่ ก2 ผลการหาค่ารอบทำซ้ำ

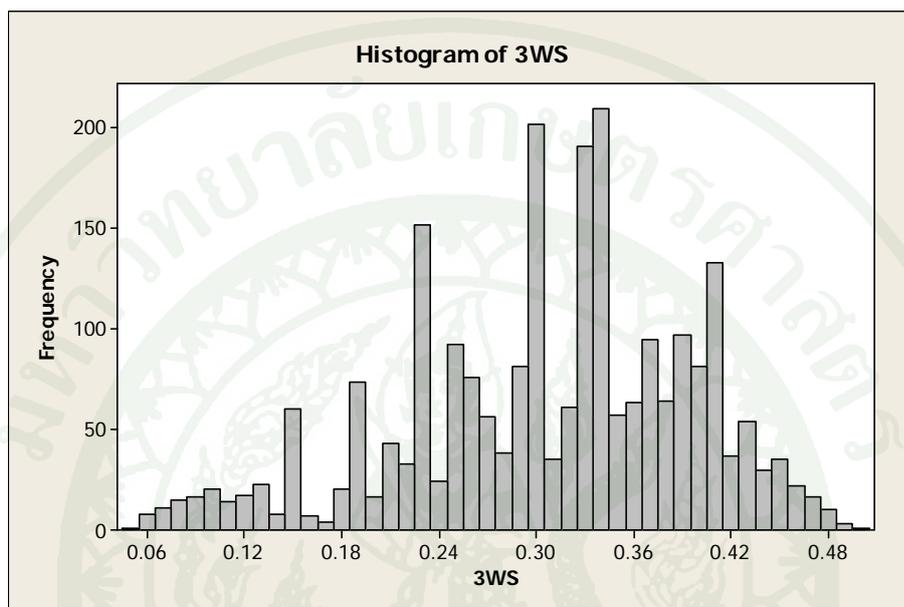
Demand rate = EXPO		Average	Half Width	$S_0$	$\epsilon$	R
Case 1	Sale	1081.2	13.93	19.49	54.06	0.66
	Lost Sale	218.8	13.93	19.49	10.94	16.21
	Cycle time	59.8383	0.15	0.21	2.99	0.03
	Work in process	4.8529	0.26	0.36	0.24	11.48
Case 2	Sale	1214	8.11	11.35	60.70	0.18
	Lost Sale	86	8.11	11.35	4.30	35.57
	Cycle time	64.1849	0.73	1.02	3.21	0.52
	Work in process	10.0926	0.19	0.27	0.50	1.42
Case 3	Sale	1168.5	6.43	9.00	58.43	0.12
	Lost Sale	131.5	6.43	9.00	6.58	9.56
	Cycle time	83.2558	1.13	1.58	4.16	0.74
	Work in process	7.1181	0.02	0.03	0.36	0.03
Demand rate = NORM		Average	Half Width	$S_0$	$\epsilon$	R
Case 1	Sale	1089.6	1.02	1.43	54.48	0.00
	Lost Sale	210.4	1.02	1.43	10.52	0.09
	Cycle time	59.6317	0.05	0.07	2.98	0.00
	Work in process	3.0623	0.01	0.01	0.15	0.04
Case 2	Sale	1300	0	0.00	65.00	0.00
	Lost Sale	0	0	0.00	0.00	-
	Cycle time	60.0034	0.04	0.06	3.00	0.00
	Work in process	11.9803	0.27	0.38	0.60	2.03
Case 3	Sale	1300	0	0.00	65.00	0.00
	Lost Sale	0	0	0.00	0.00	-
	Cycle time	67.5005	0.05	0.07	3.38	0.00
	Work in process	7.9981	0	0.00	0.40	0.00



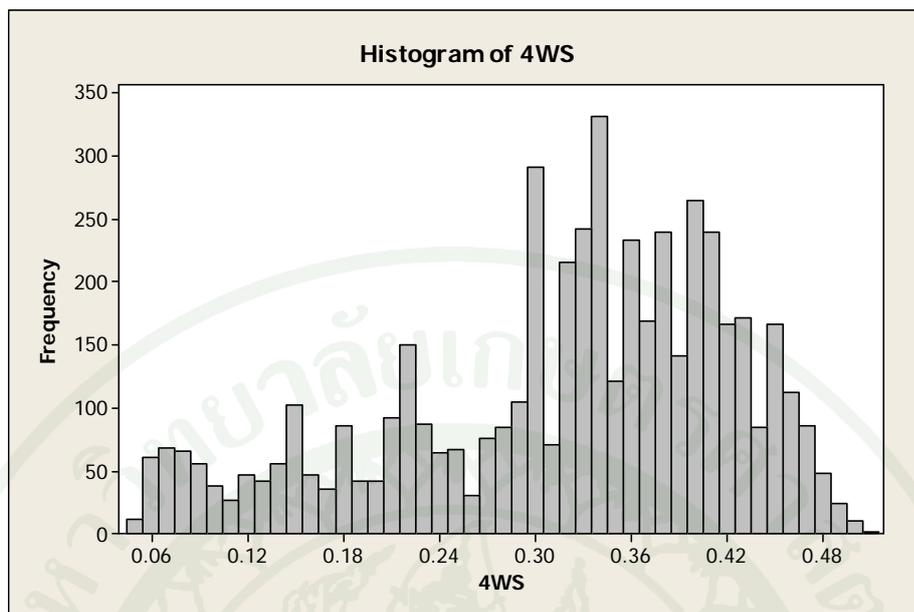
ภาคผนวก ข

กราฟิสดิจิทัลของเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของค่าเฉลี่ย

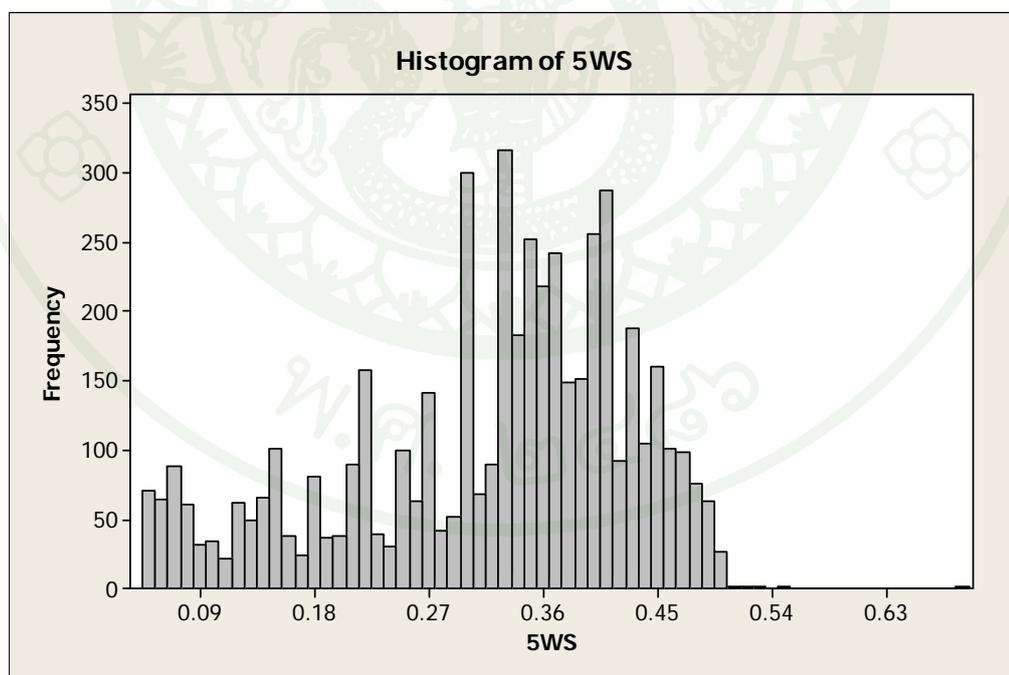
ฮิสโตแกรมของค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของระบบที่มีอัตราการผลิตเป็นการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาการผลิตเป็น 0.05 ของค่าเฉลี่ย



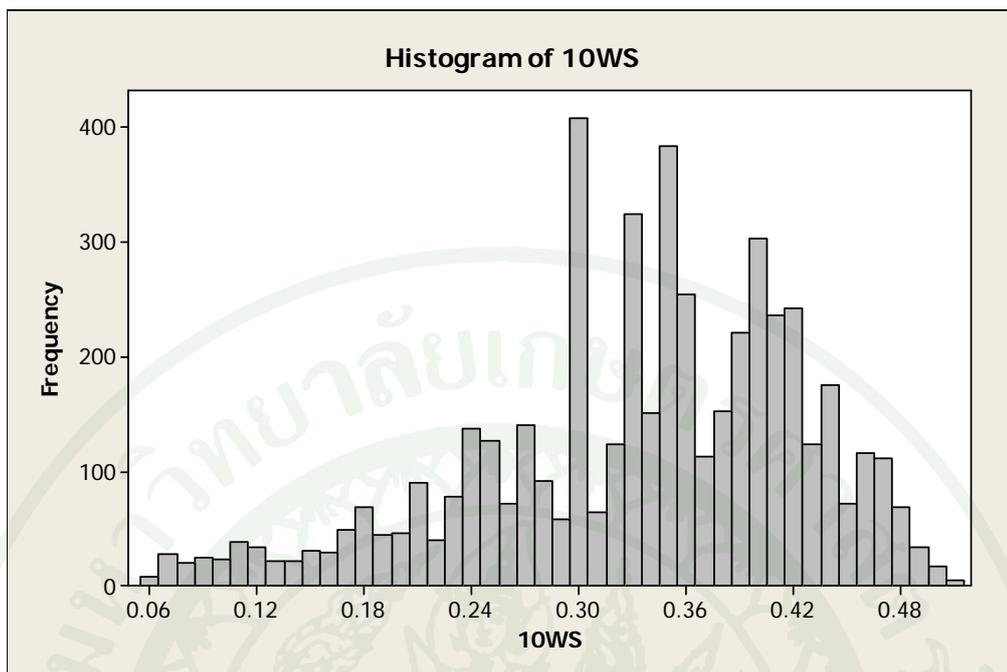
ภาพผนวกที่ ข1 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 3 สถานีงาน (EXPO, 0.05)



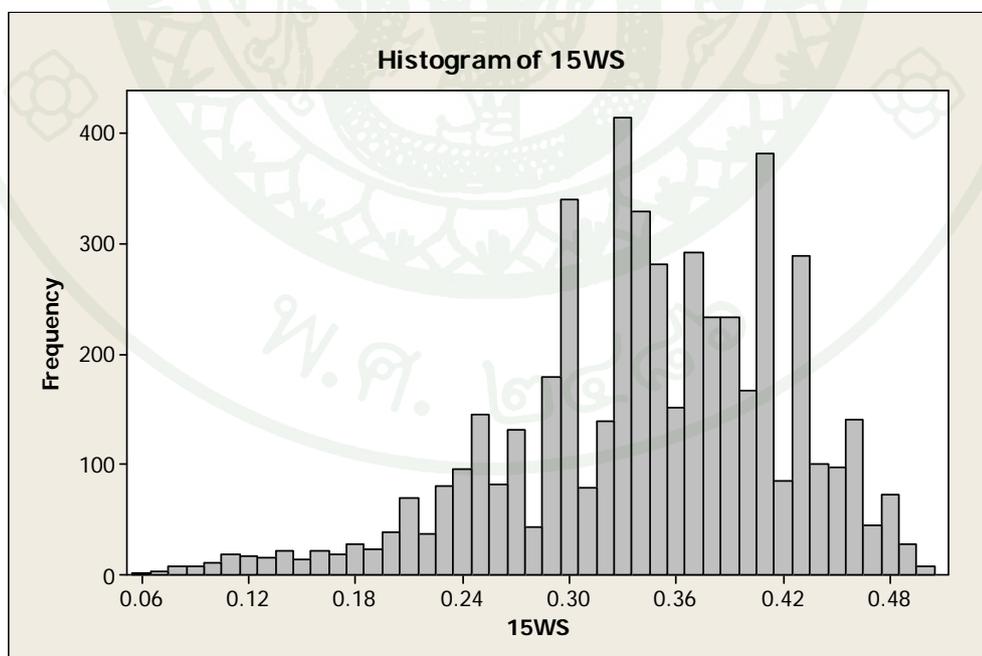
ภาพผนวกที่ ข2 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 4 สถานีงาน (EXPO, 0.05)



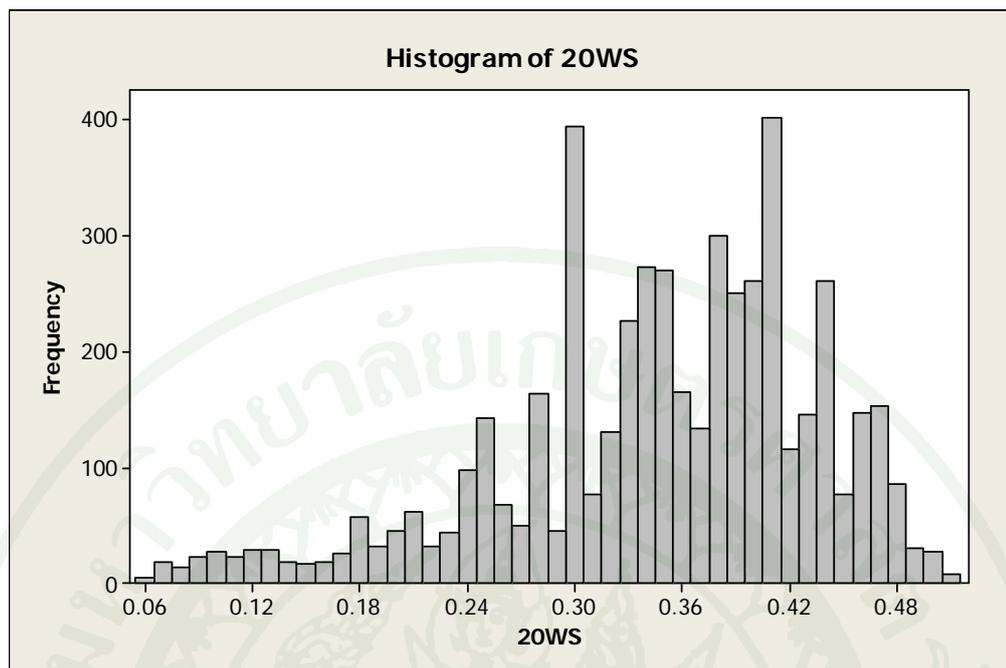
ภาพผนวกที่ ข3 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 5 สถานีงาน (EXPO, 0.05)



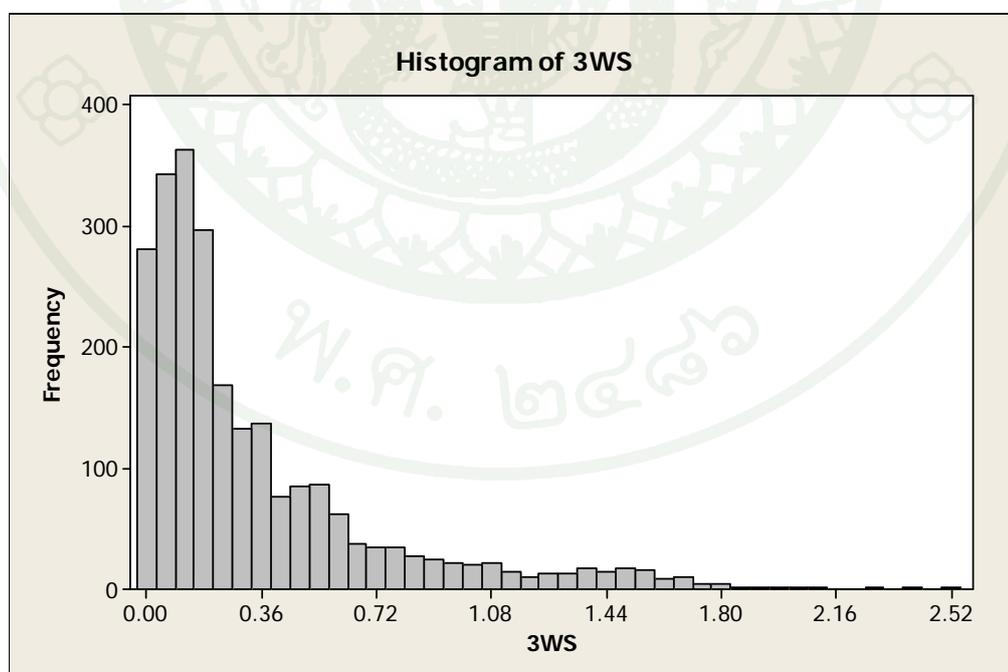
ภาพผนวกที่ ข4 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 10 สถานีงาน



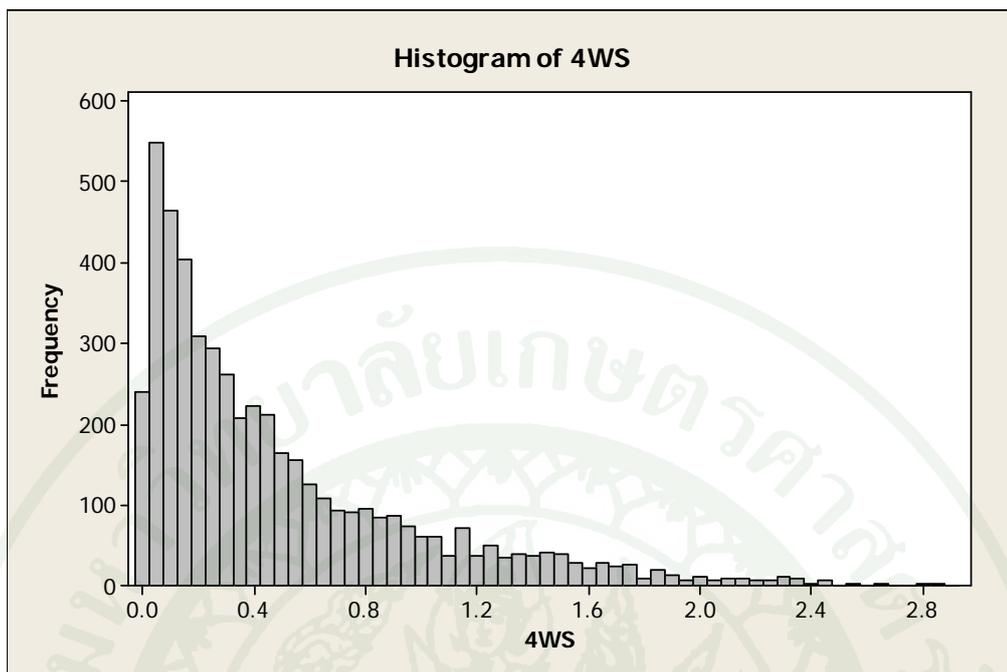
ภาพผนวกที่ ข5 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 15 สถานีงาน (EXPO, 0.05)



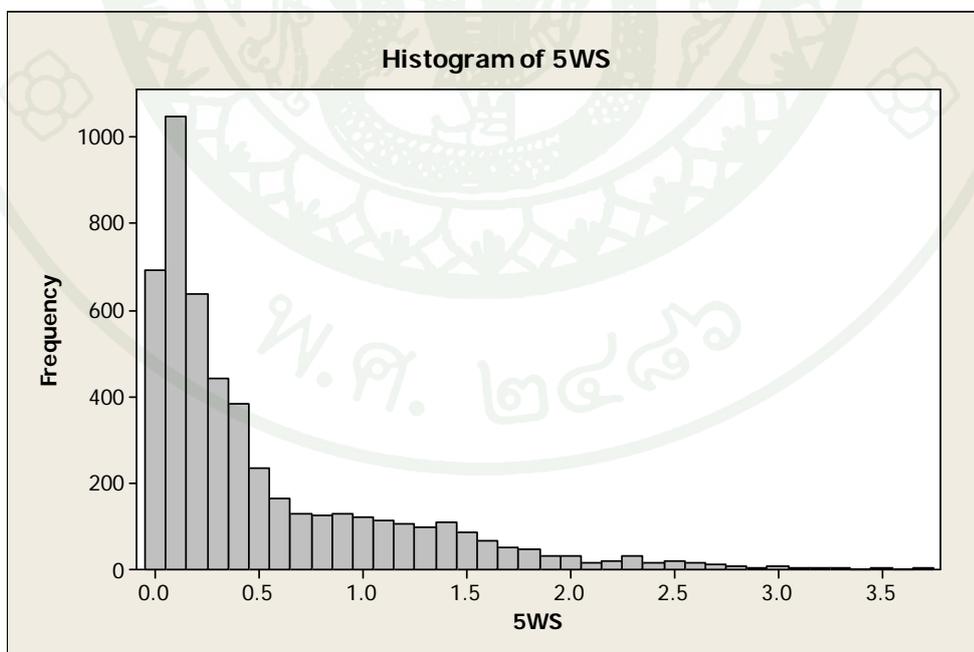
ภาพผนวกที่ ข6 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 20 สถานีงาน (EXPO, 0.05)



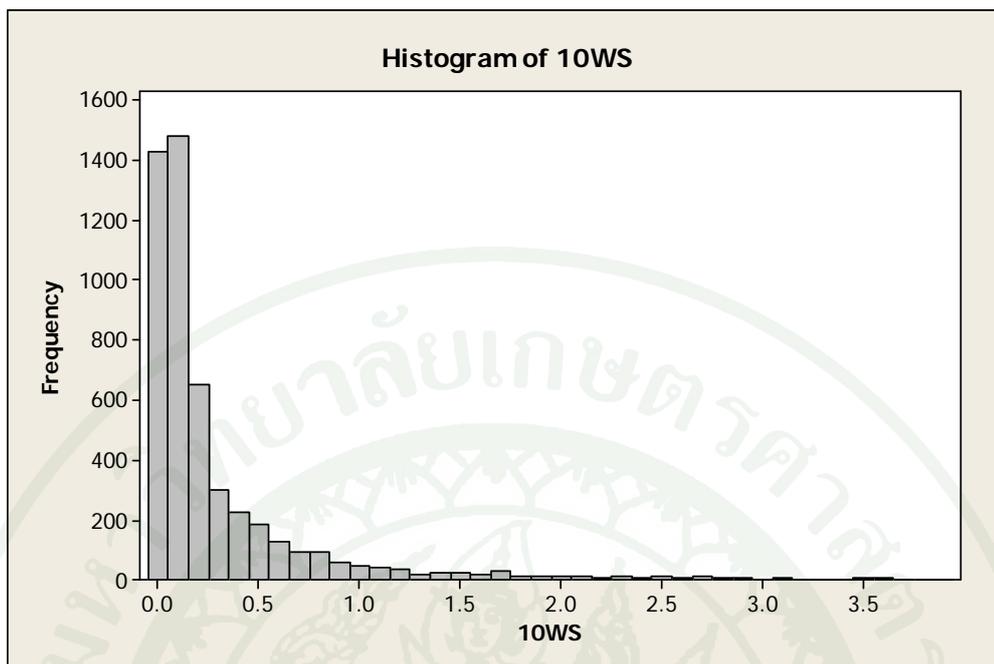
ภาพผนวกที่ ข7 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 3 สถานีงาน (EXPO, 0.05)



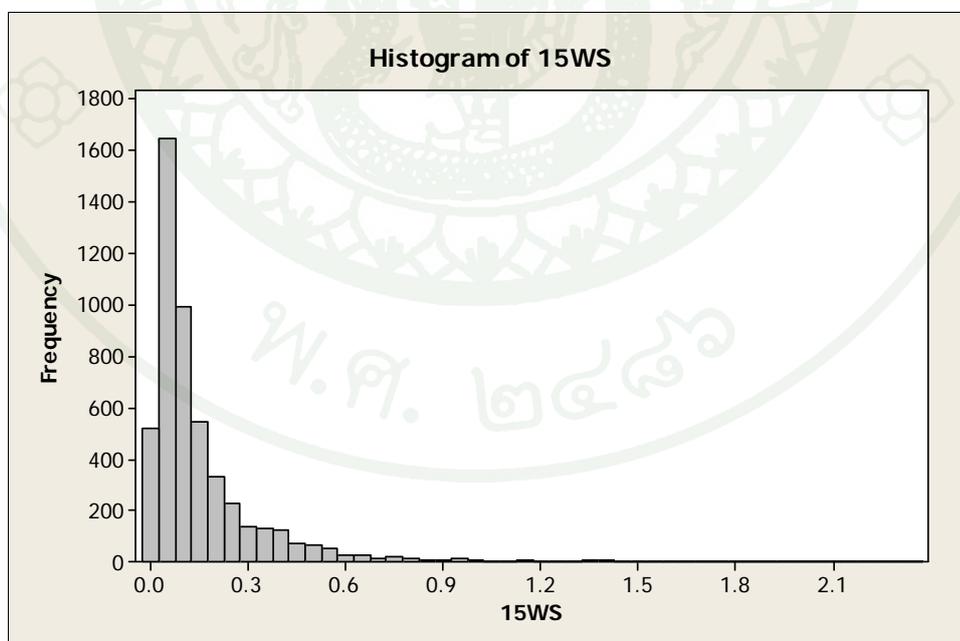
ภาพผนวกที่ ข8 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 4  
สถานีงาน (EXPO, 0.05)



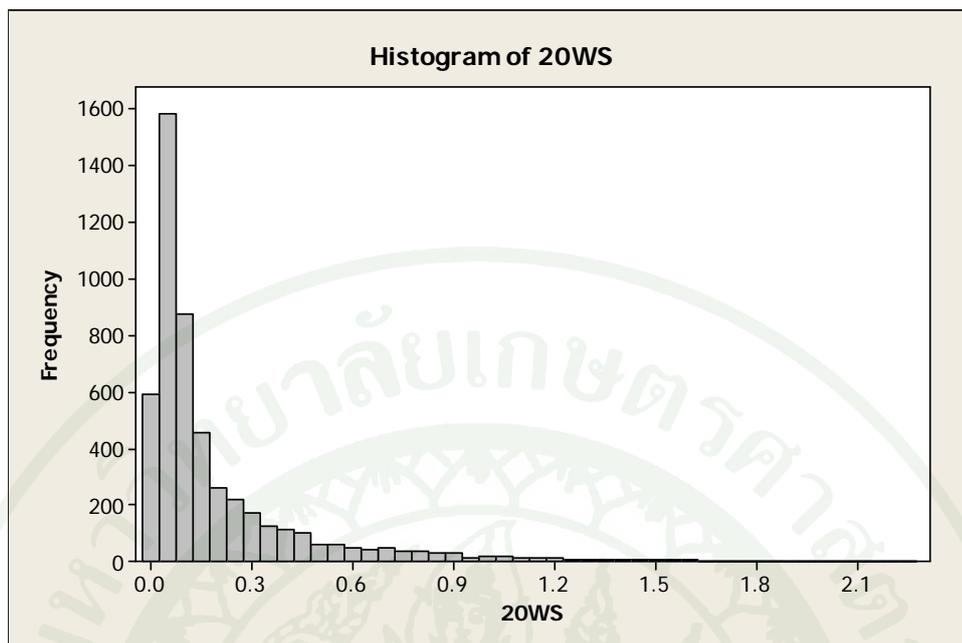
ภาพผนวกที่ ข9 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 5  
สถานีงาน (EXPO, 0.05)



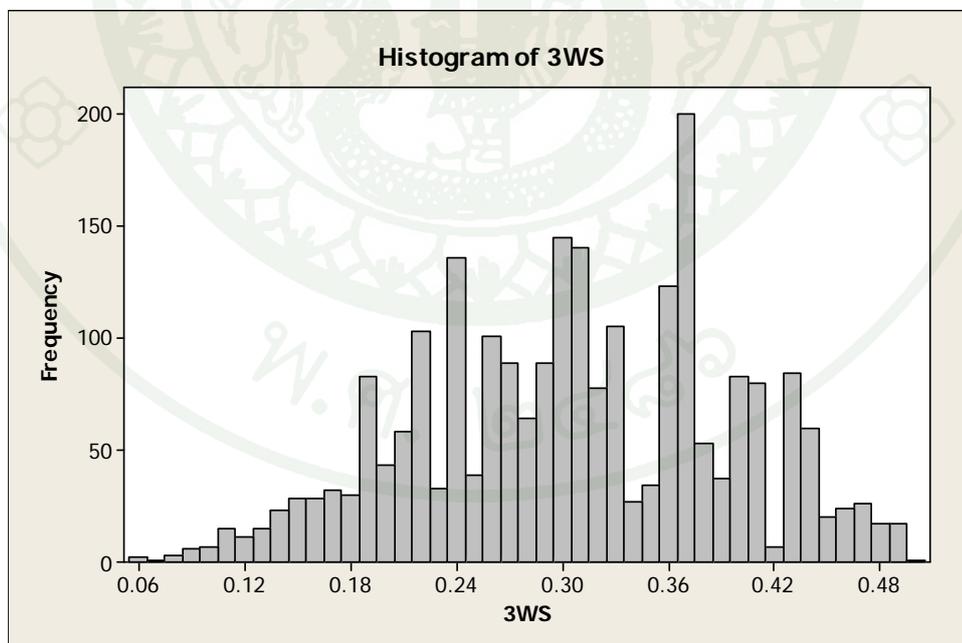
ภาพผนวกที่ ข10 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 10  
สถานงาน (EXPO, 0.05)



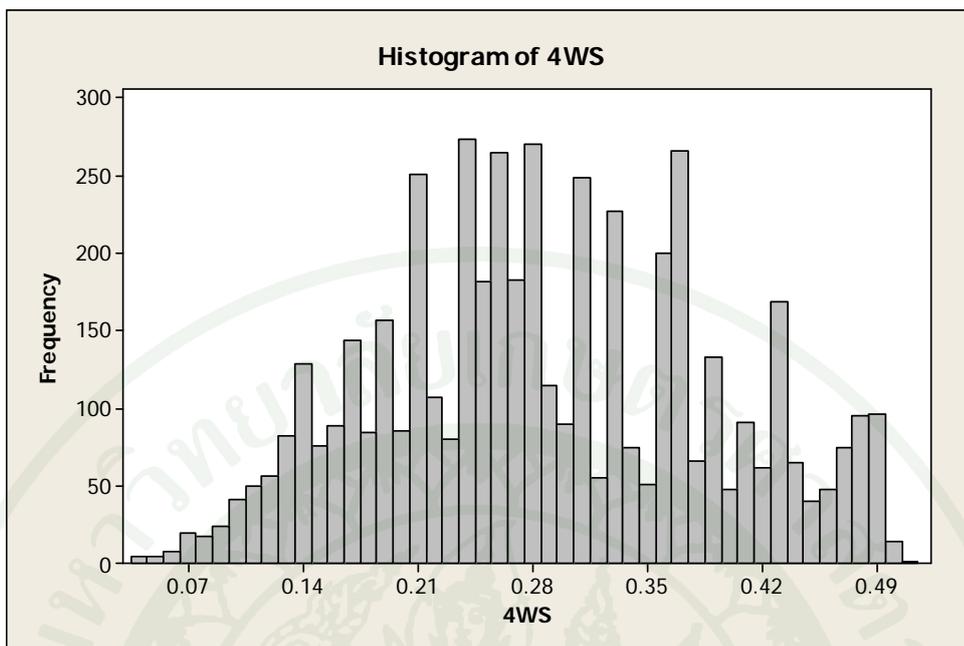
ภาพผนวกที่ ข11 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 15  
สถานงาน (EXPO, 0.05)



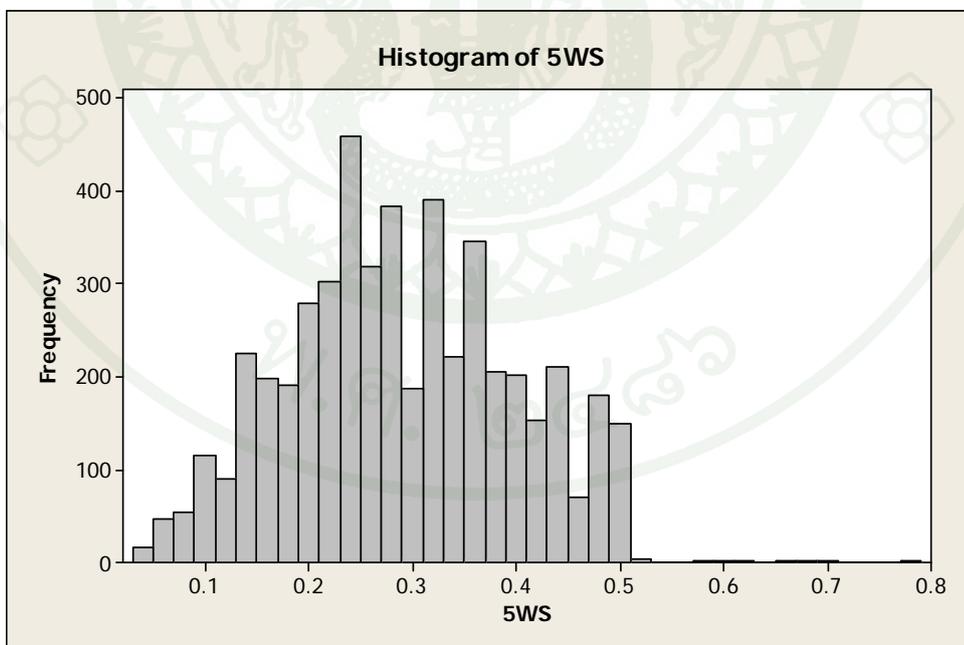
ภาพผนวกที่ ข12 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 20  
สถานีนงาน (EXPO, 0.05)



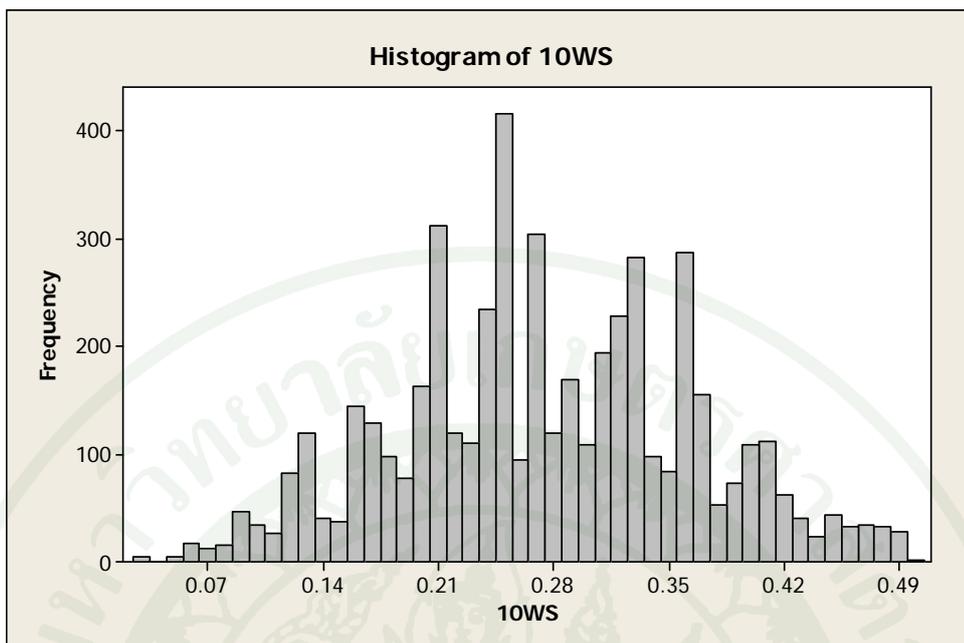
ภาพผนวกที่ ข13 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 3 สถานีนงาน  
(EXPO, 0.05)



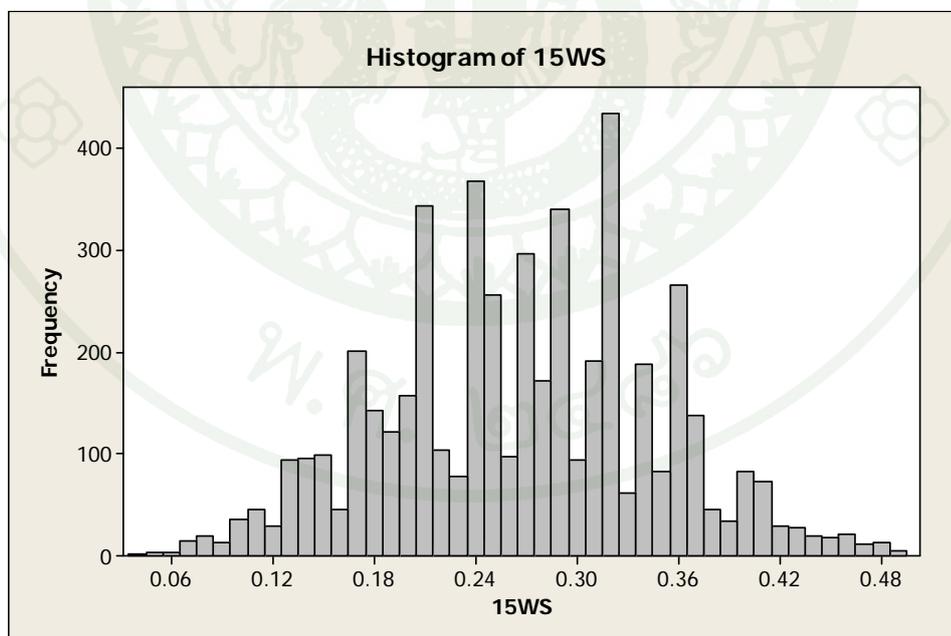
ภาพผนวกที่ ข14 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 4 สถานีงาน (EXPO, 0.05)



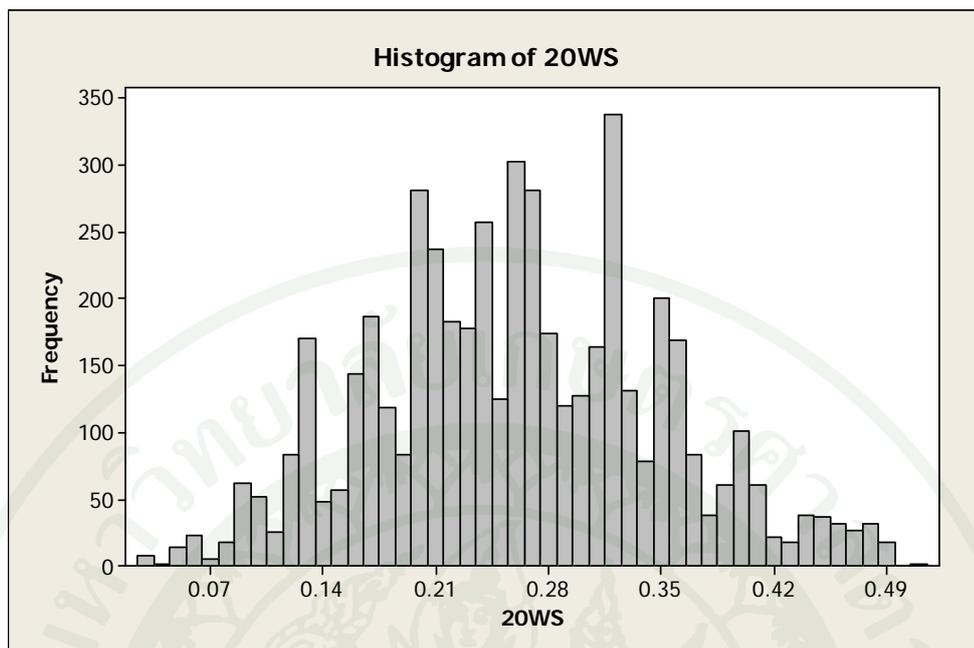
ภาพผนวกที่ ข15 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 5 สถานีงาน (EXPO, 0.05)



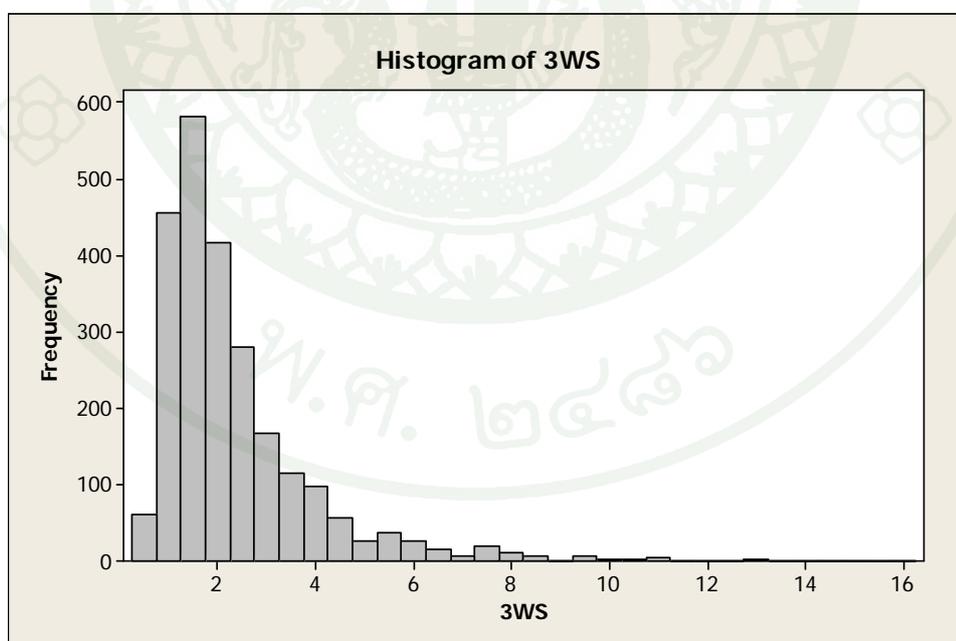
ภาพผนวกที่ ข16 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 10 สถานีงาน (EXPO, 0.05)



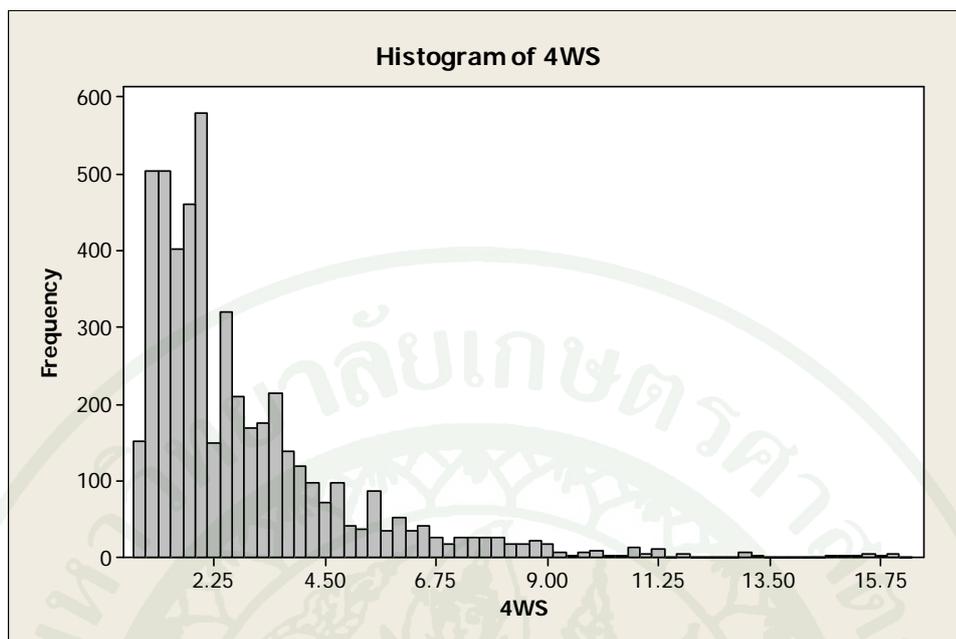
ภาพผนวกที่ ข17 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 15 สถานีงาน (EXPO, 0.05)



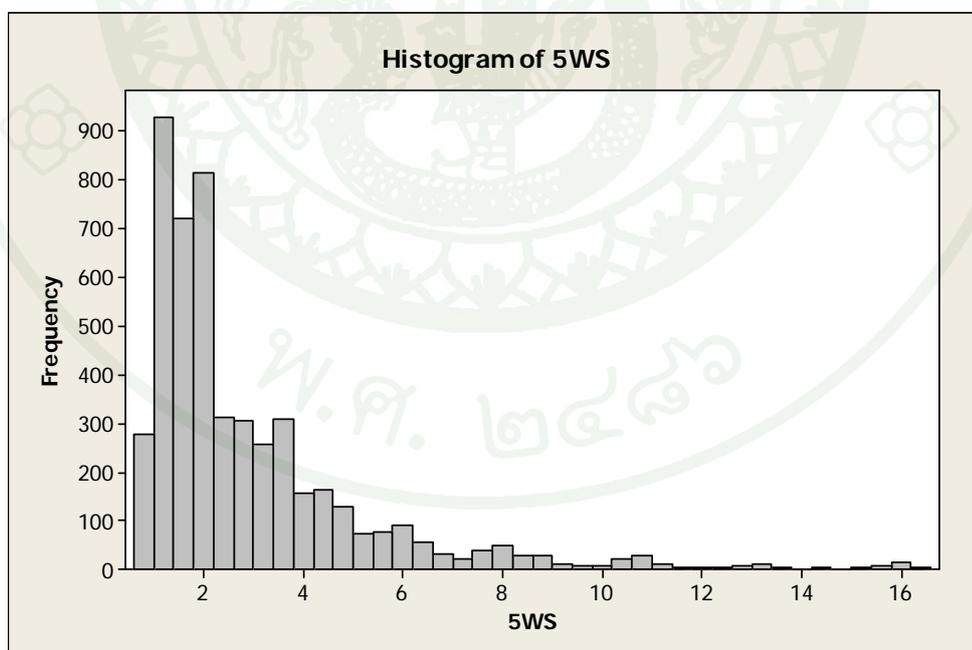
ภาพผนวกที่ ข18 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 20 สถานีงาน (EXPO, 0.05)



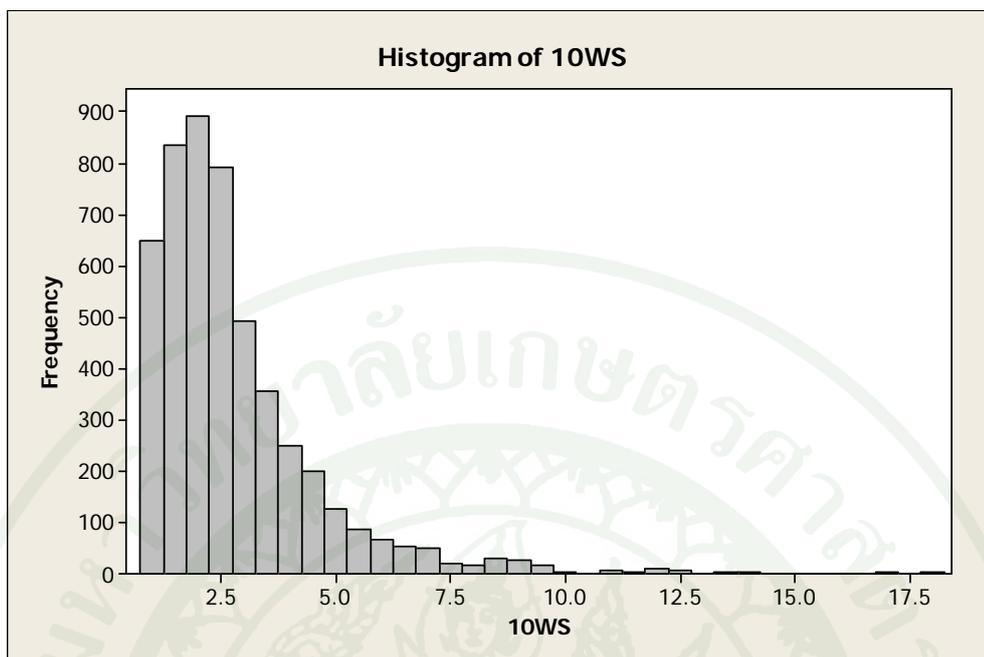
ภาพผนวกที่ ข19 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 3 สถานีงาน (EXPO, 0.05)



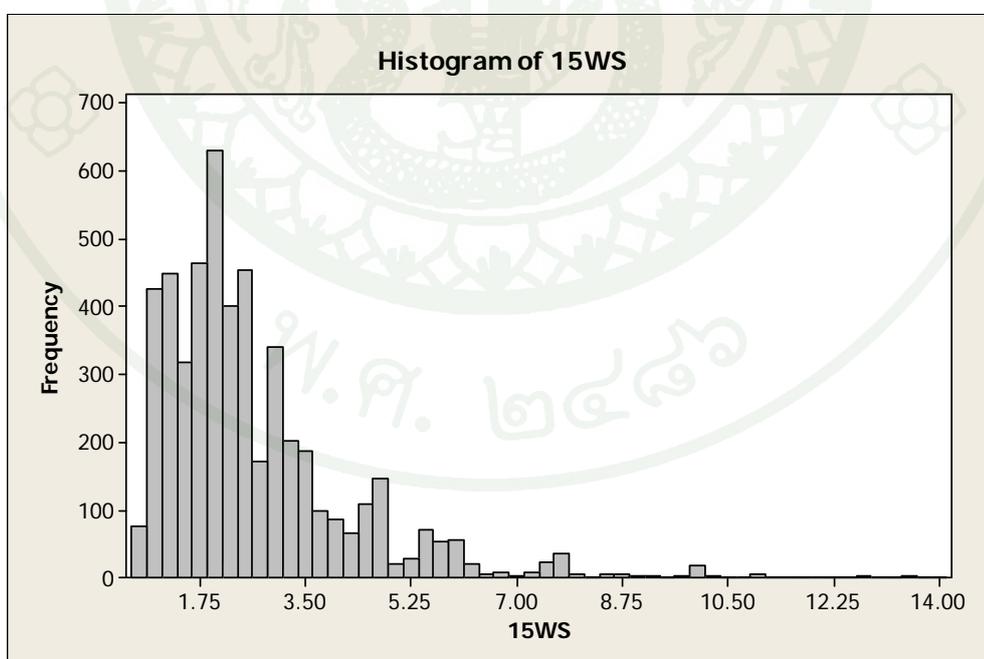
ภาพผนวกที่ ข20 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 4 สถานีงาน (EXPO, 0.05)



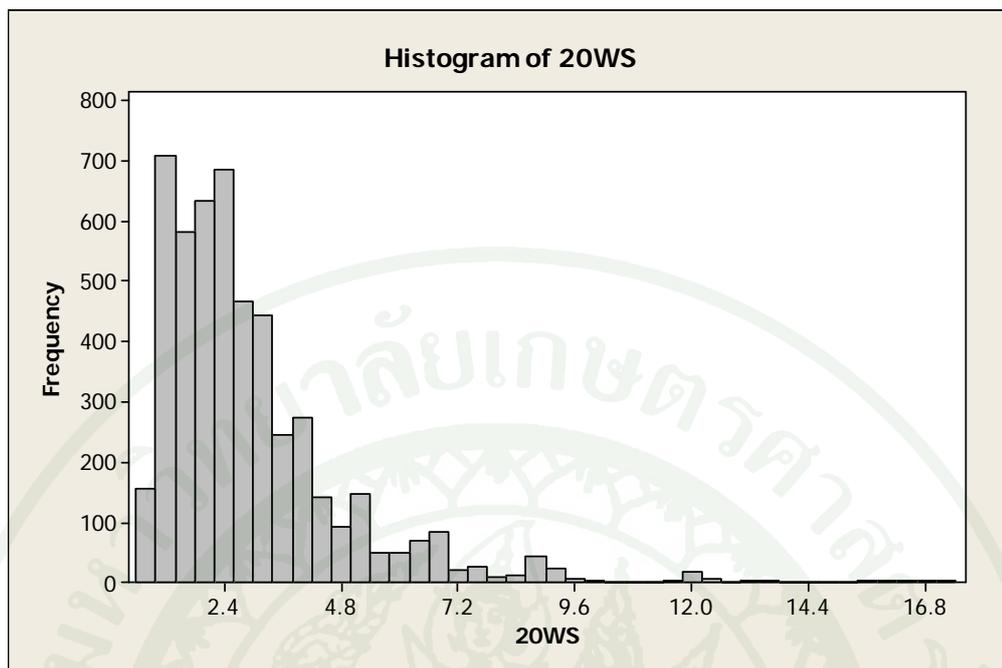
ภาพผนวกที่ ข21 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 5 สถานีงาน (EXPO, 0.05)



ภาพผนวกที่ ข22 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 10 สถานีงาน (EXPO, 0.05)

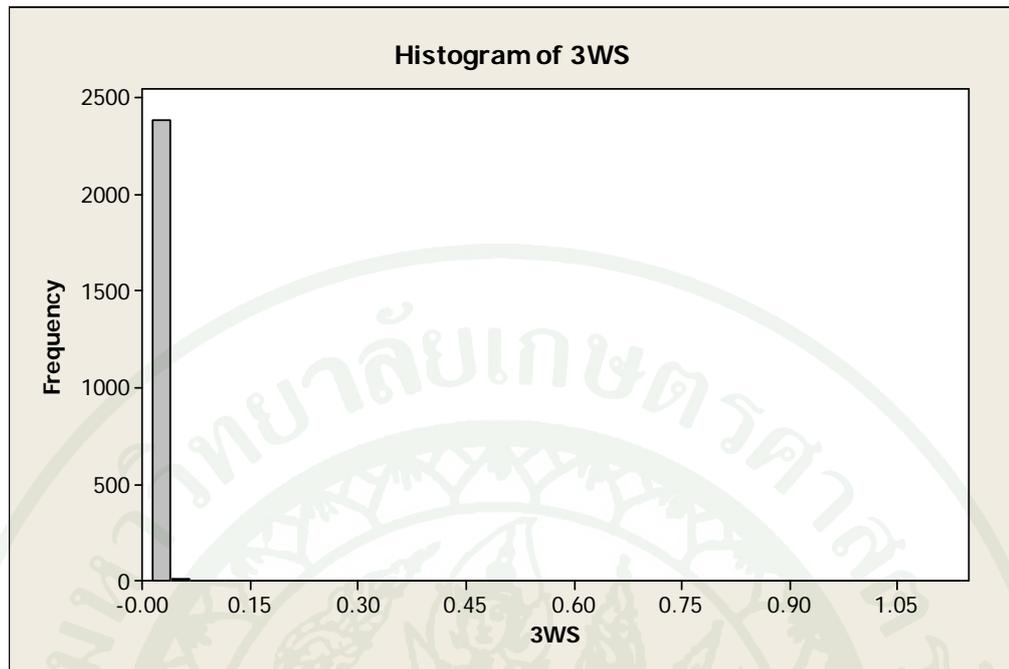


ภาพผนวกที่ ข23 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 15 สถานีงาน (EXPO, 0.05)

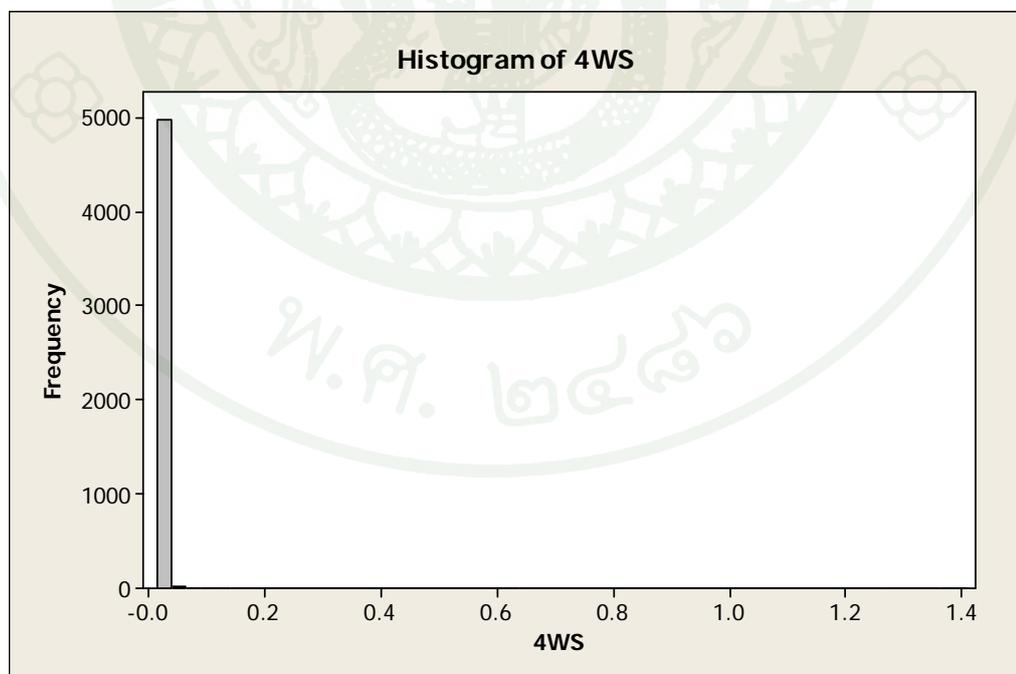


ภาพผนวกที่ ข24 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 20 สถานีงาน (EXPO, 0.05)

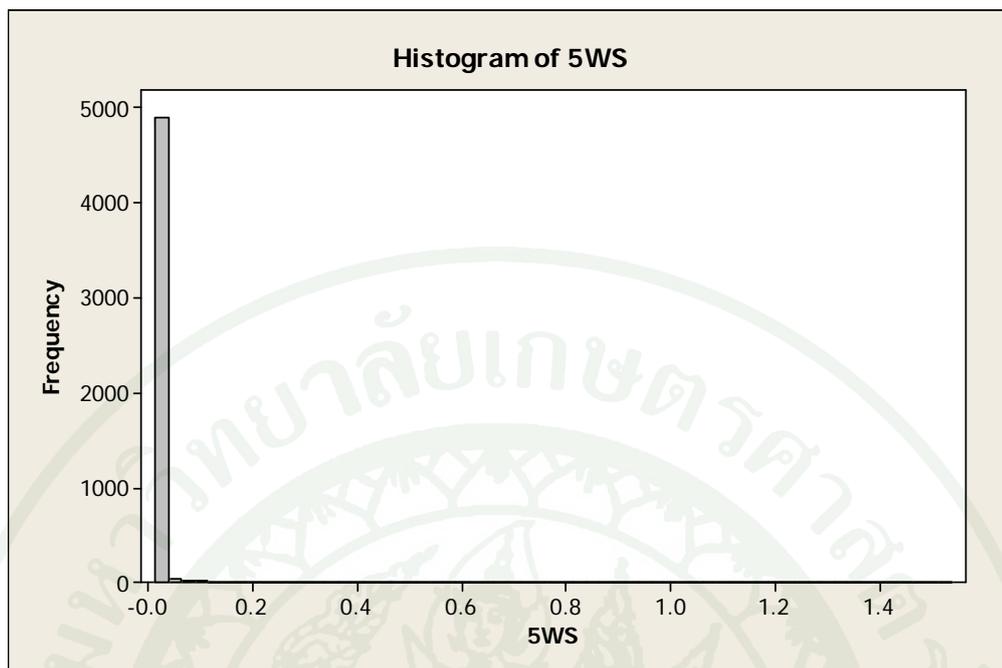
ฮิสโตแกรมของค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของระบบที่มีอัตราการผลิตเป็นการแจกแจงแบบปกติ และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาการผลิตเป็น 0.05 ของค่าเฉลี่ย



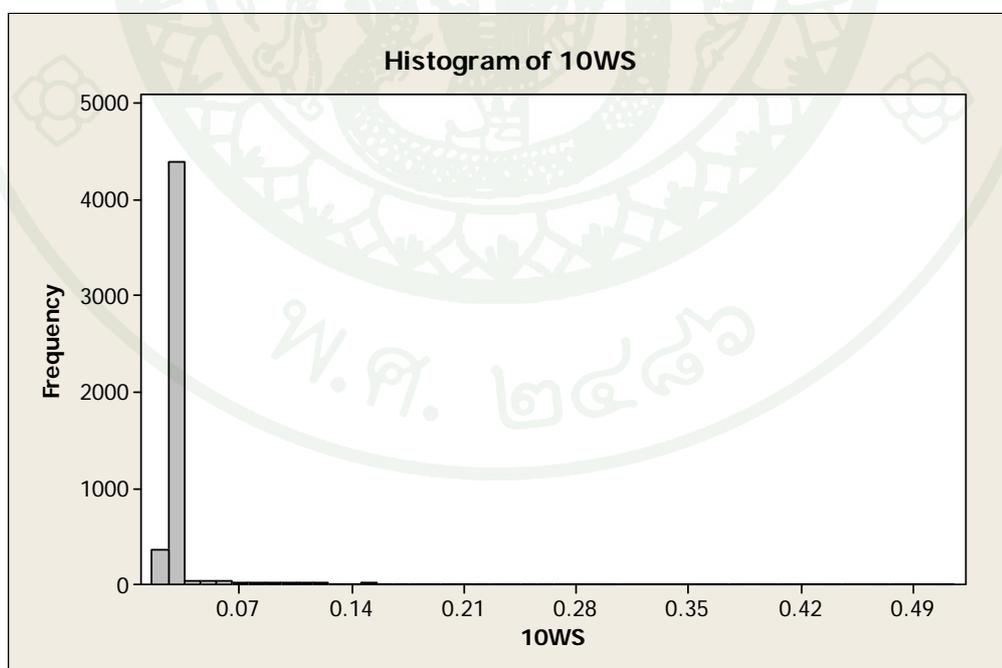
ภาพผนวกที่ ข25 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 3 สถานีงาน (NORM, 0.05)



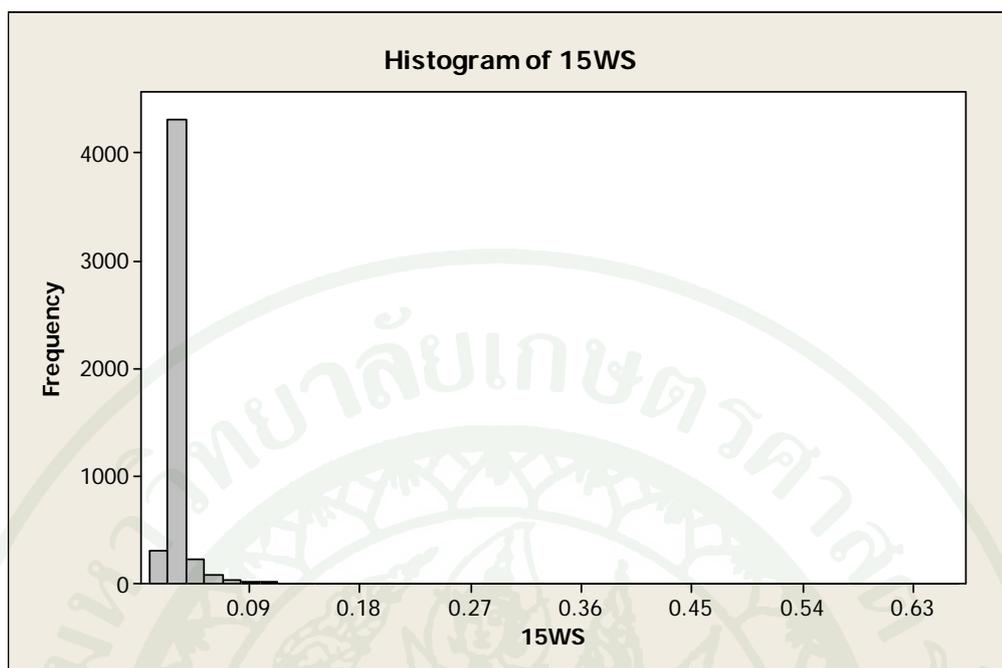
ภาพผนวกที่ ข26 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 4 สถานีงาน (NORM, 0.05)



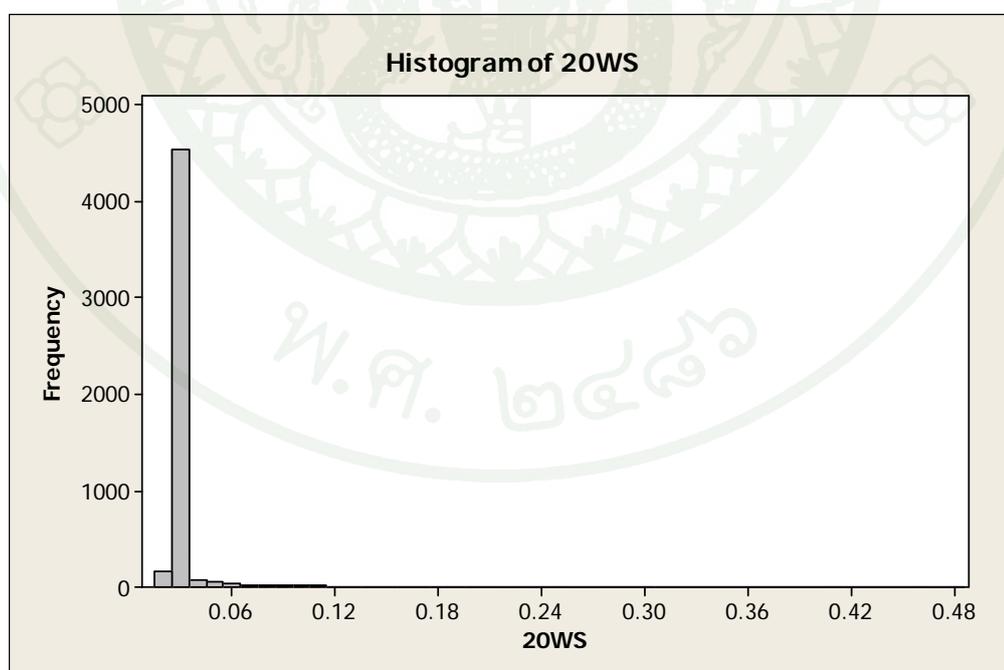
ภาพผนวกที่ ข27 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 5 สถานีงาน (NORM, 0.05)



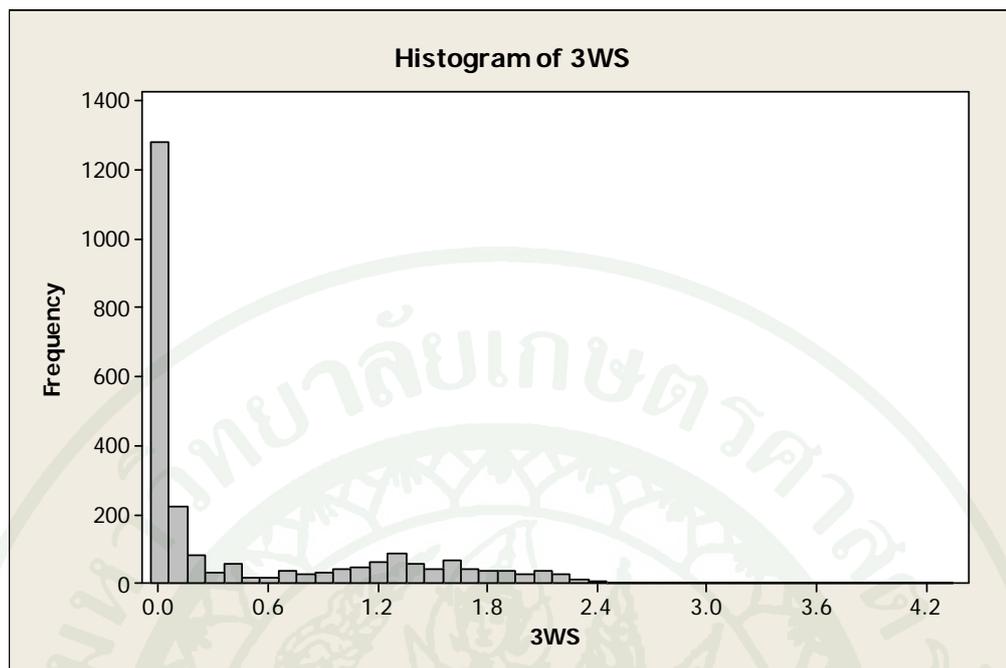
ภาพผนวกที่ ข28 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 10 สถานีงาน (NORM, 0.05)



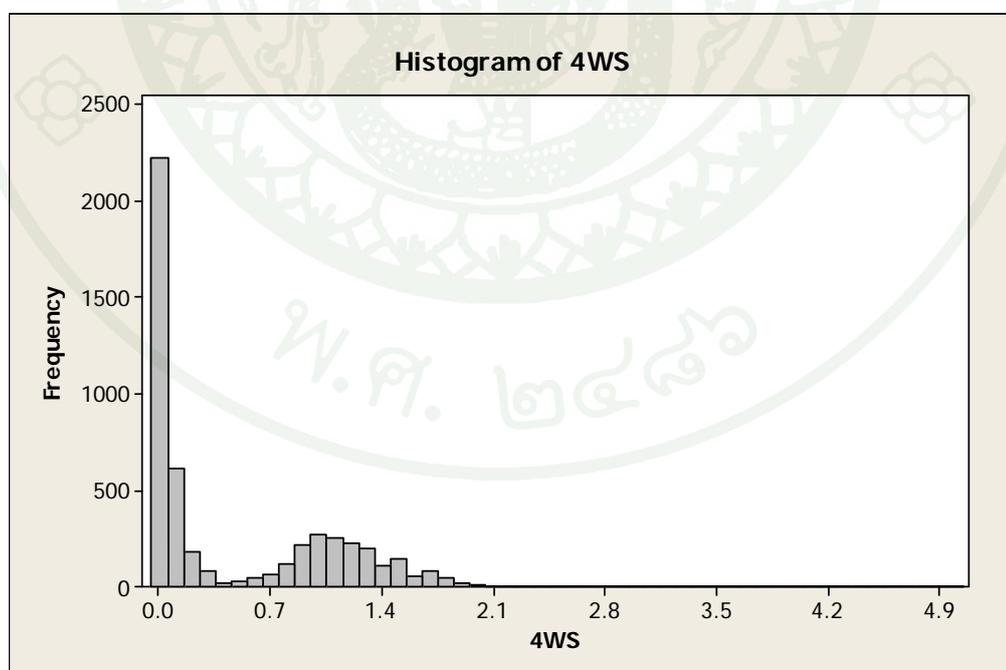
ภาพผนวกที่ ข29 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 15 สถานีงาน (NORM, 0.05)



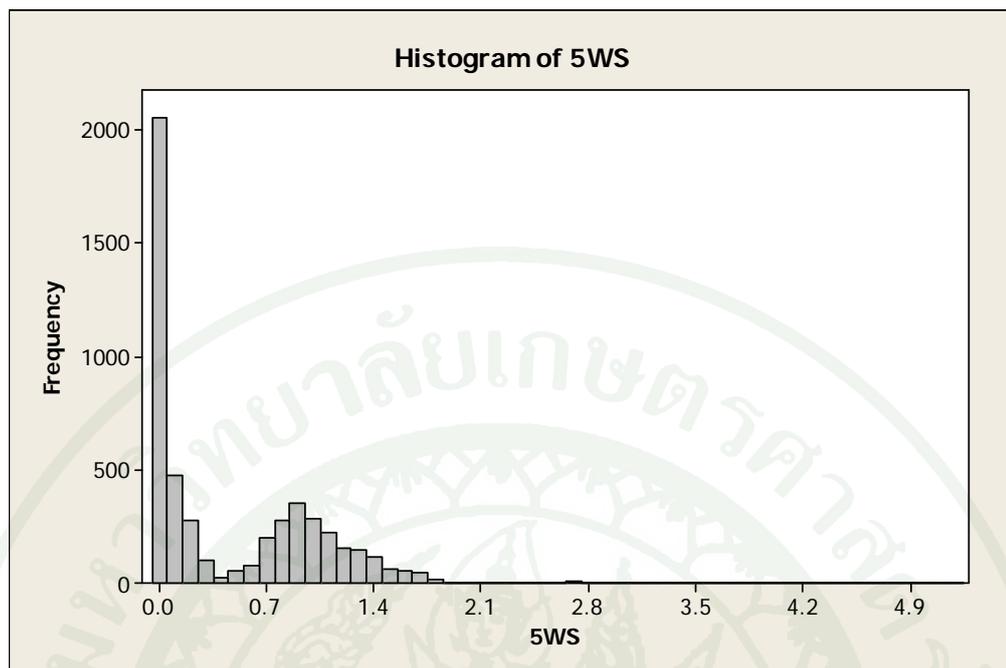
ภาพผนวกที่ ข30 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 20 สถานีงาน (NORM, 0.05)



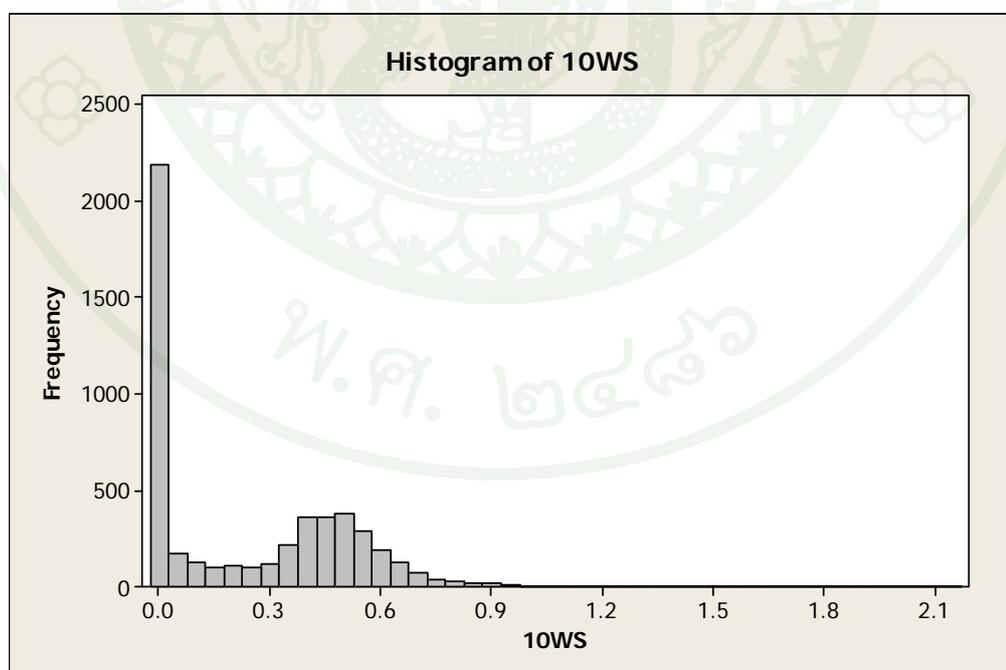
ภาพผนวกที่ ข31 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 3  
สถานีนงาน (NORM, 0.05)



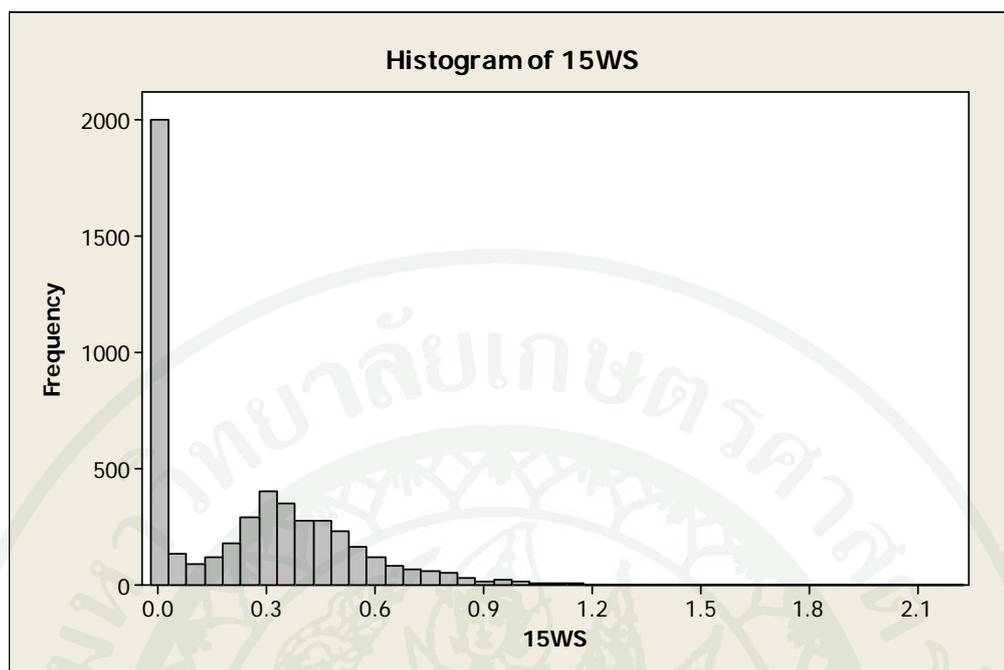
ภาพผนวกที่ ข32 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 4  
สถานีนงาน (NORM, 0.05)



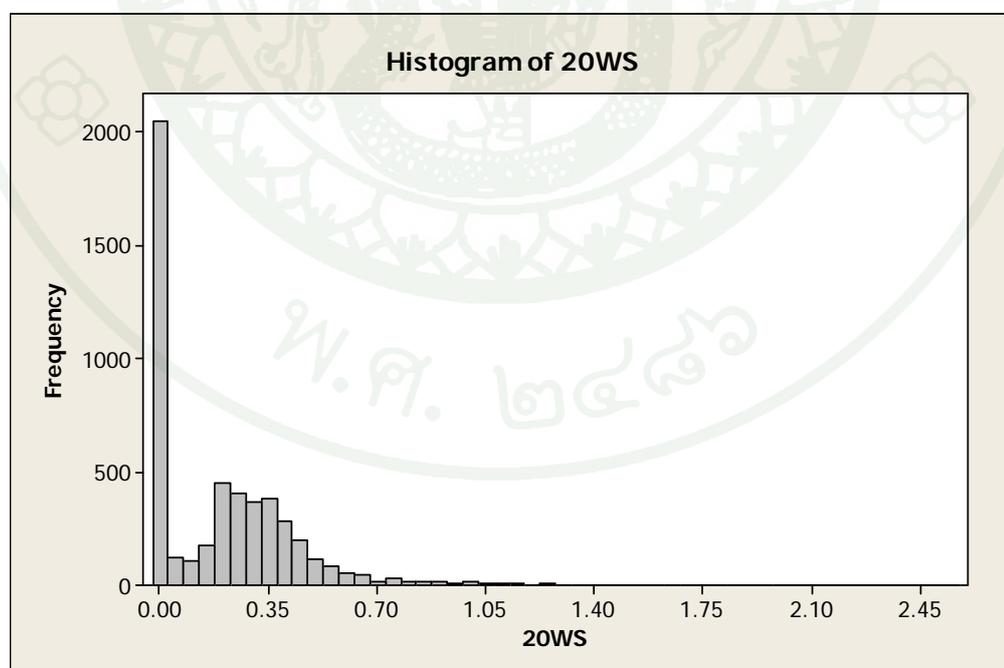
ภาพผนวกที่ ข33 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 5  
สถานีนงาน (NORM, 0.05)



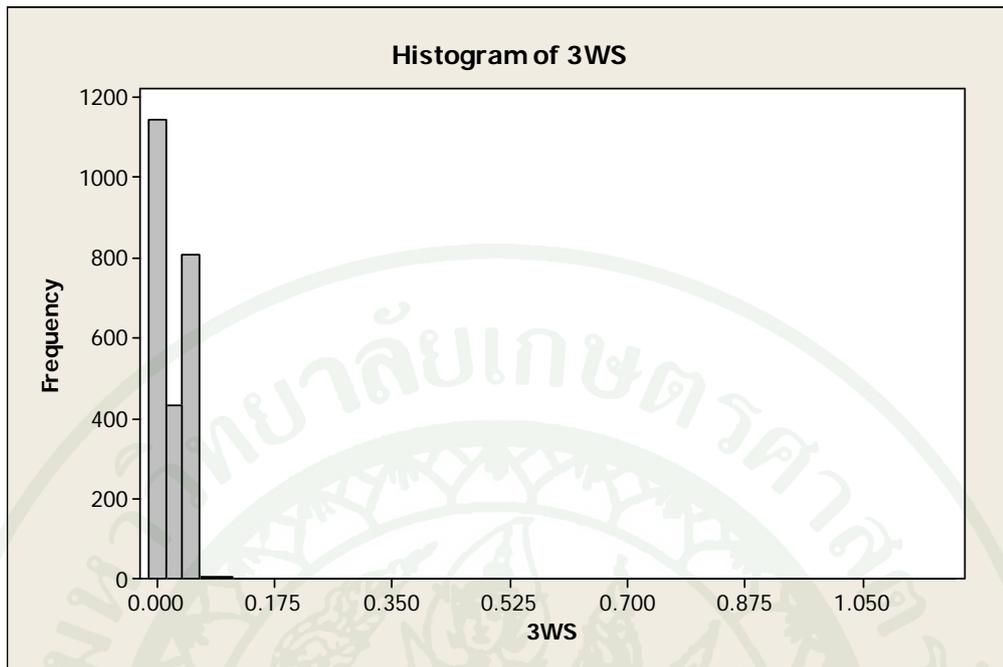
ภาพผนวกที่ ข34 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 10  
สถานีนงาน (NORM, 0.05)



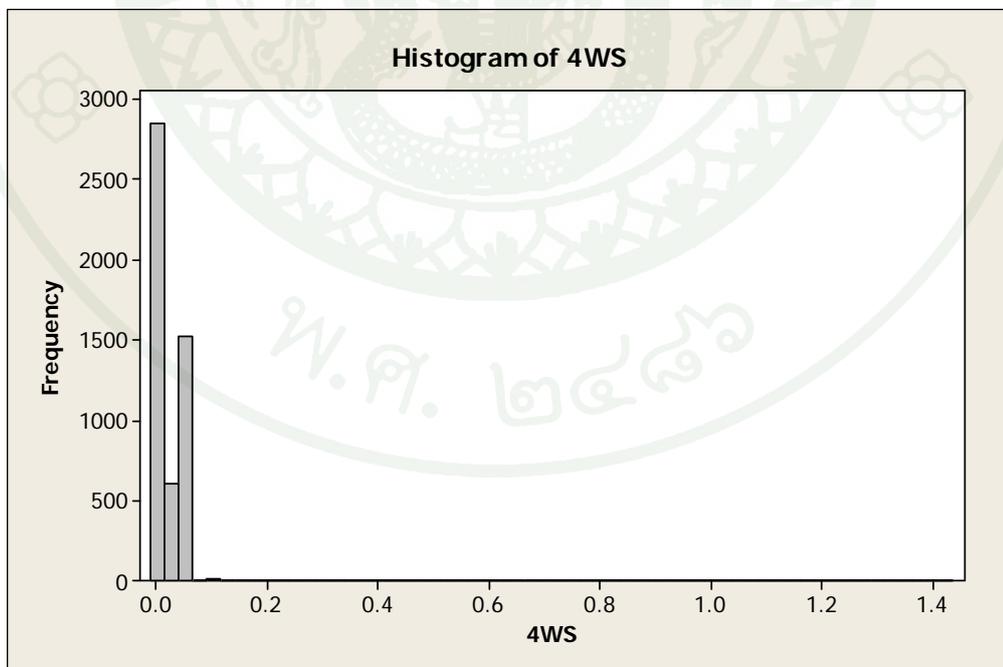
ภาพผนวกที่ ข35 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 15  
สถานีนงาน (NORM, 0.05)



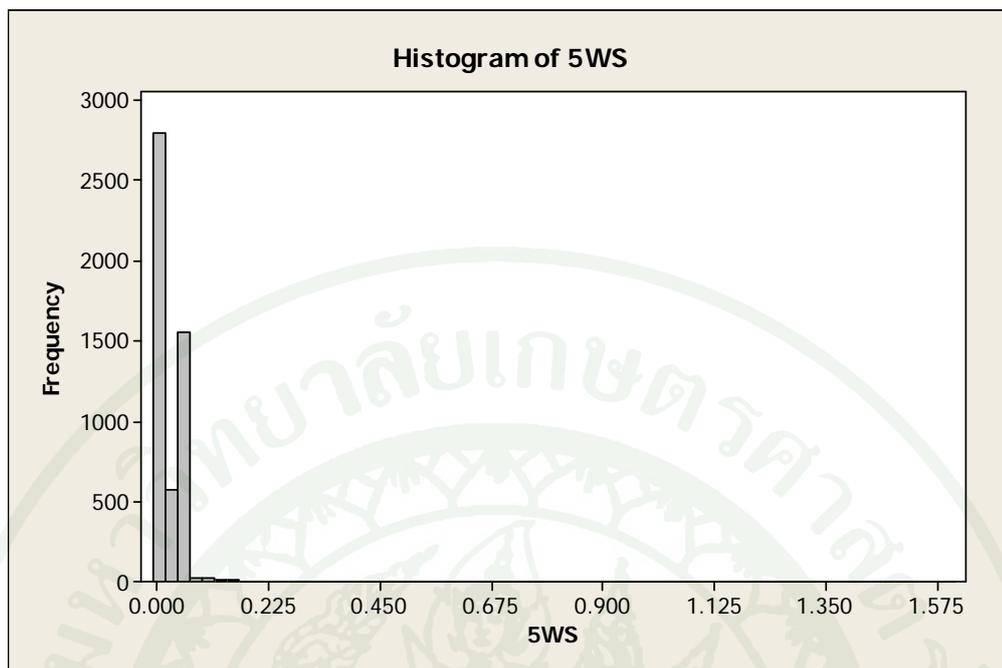
ภาพผนวกที่ ข36 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 20  
สถานีนงาน (NORM, 0.05)



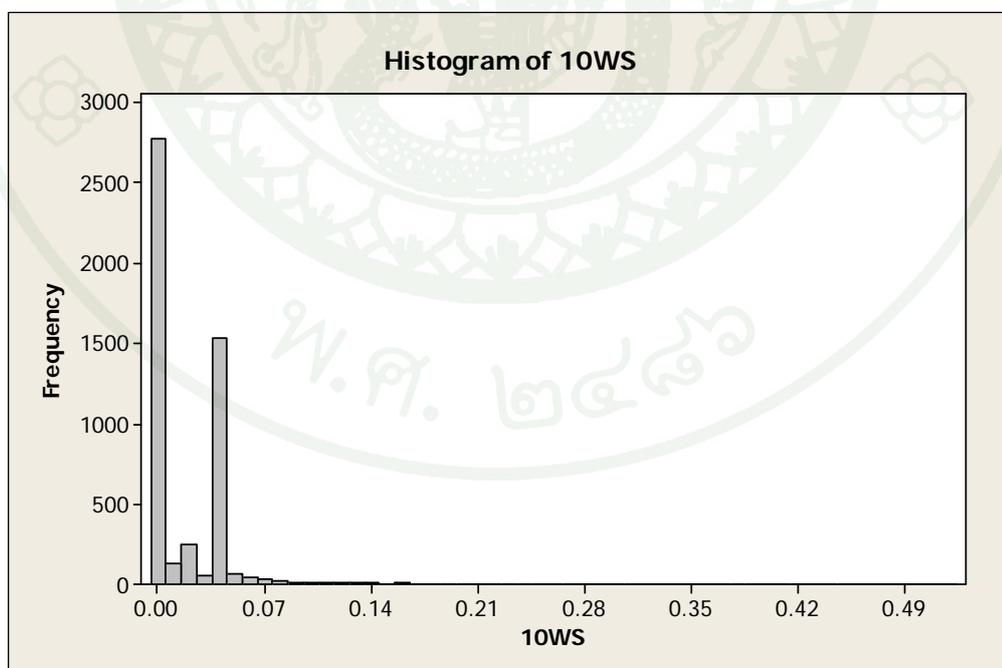
ภาพผนวกที่ ข37 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 3 สถานีงาน (NORM, 0.05)



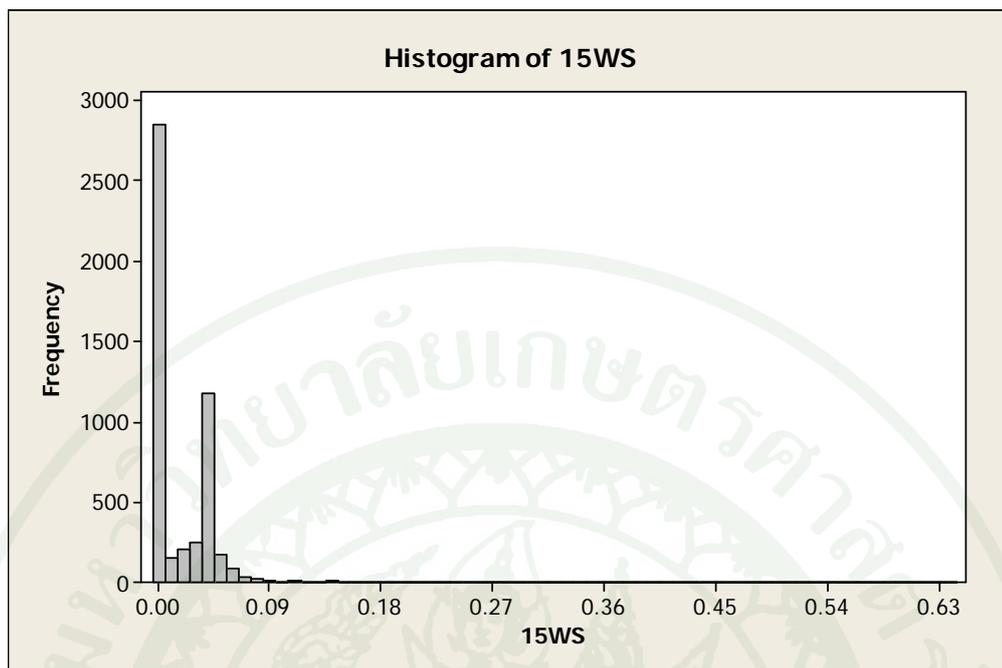
ภาพผนวกที่ ข38 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 4 สถานีงาน (NORM, 0.05)



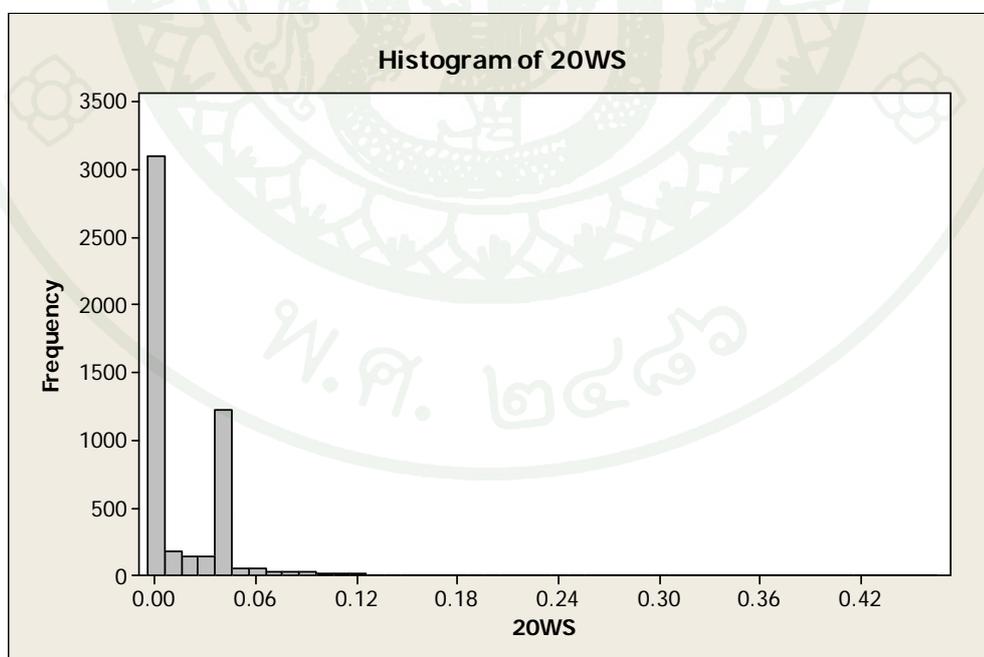
ภาพผนวกที่ ข39 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 5 สถานีงาน  
(NORM, 0.05)



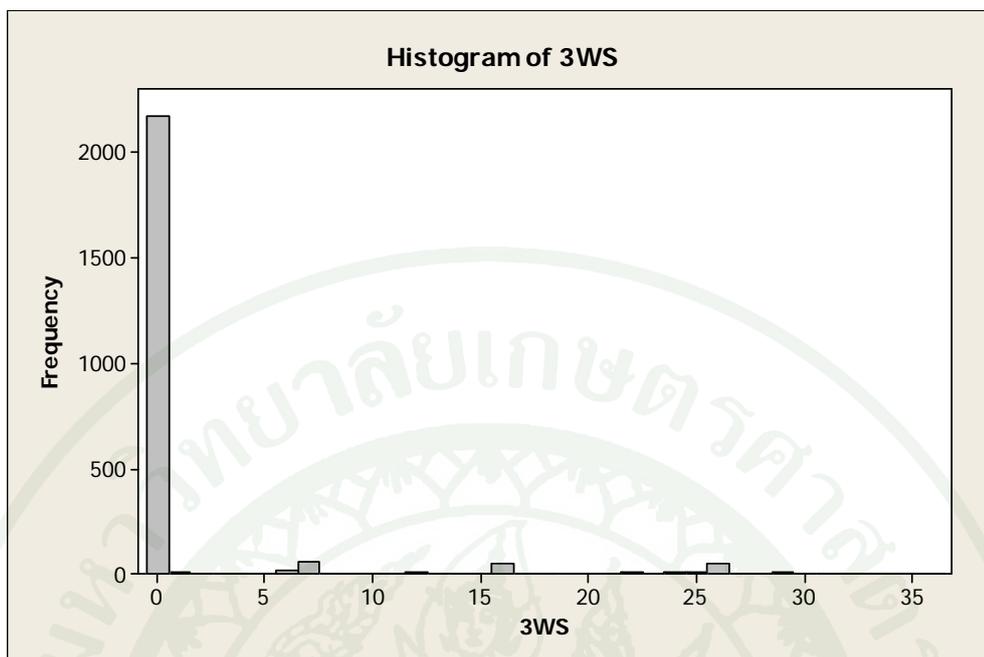
ภาพผนวกที่ ข40 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 10 สถานีงาน  
(NORM, 0.05)



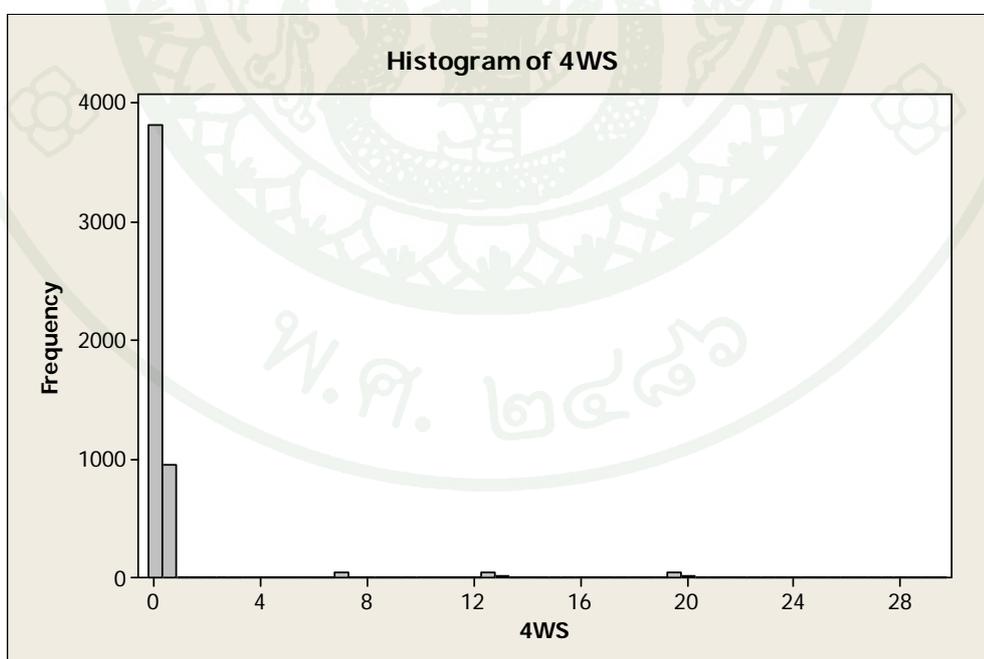
ภาพผนวกที่ ข41 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 15 สถานีงาน  
(NORM, 0.05)



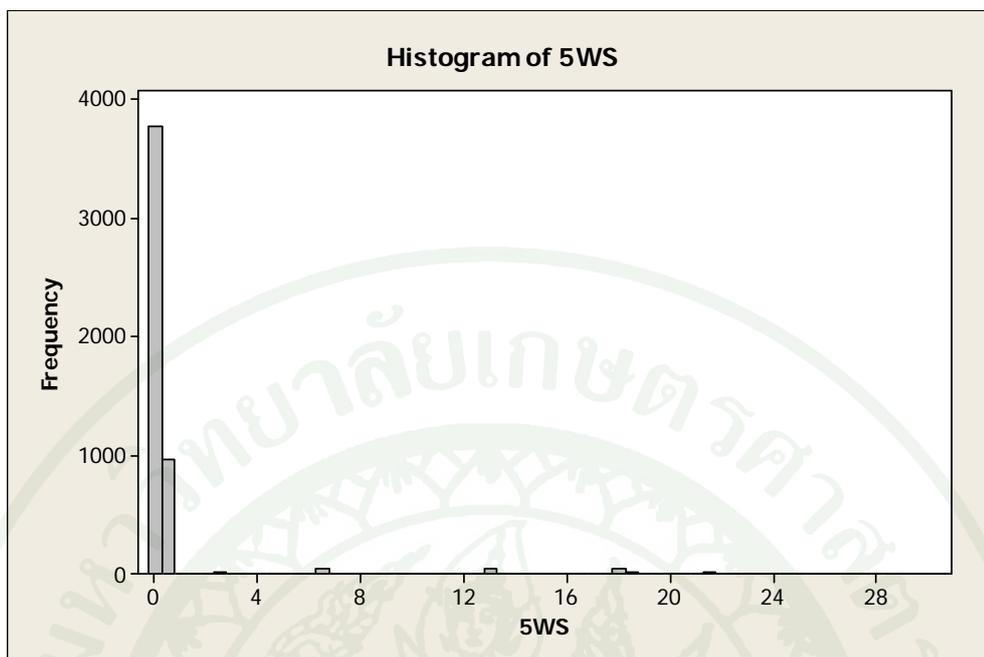
ภาพผนวกที่ ข42 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 20 สถานีงาน  
(NORM, 0.05)



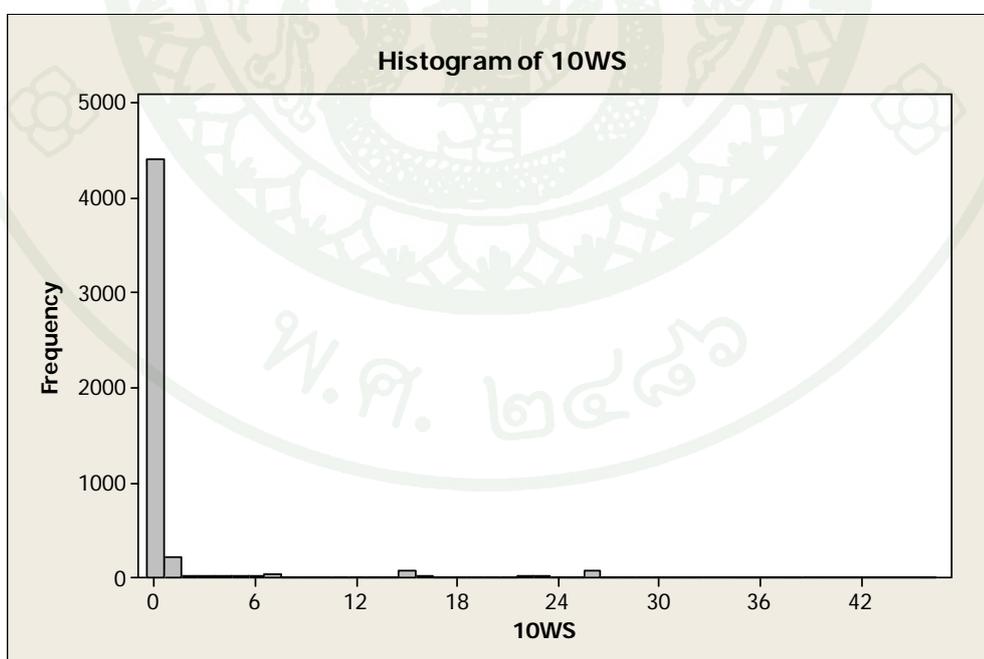
ภาพผนวกที่ ข43 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 3 สถานีงาน (NORM, 0.05)



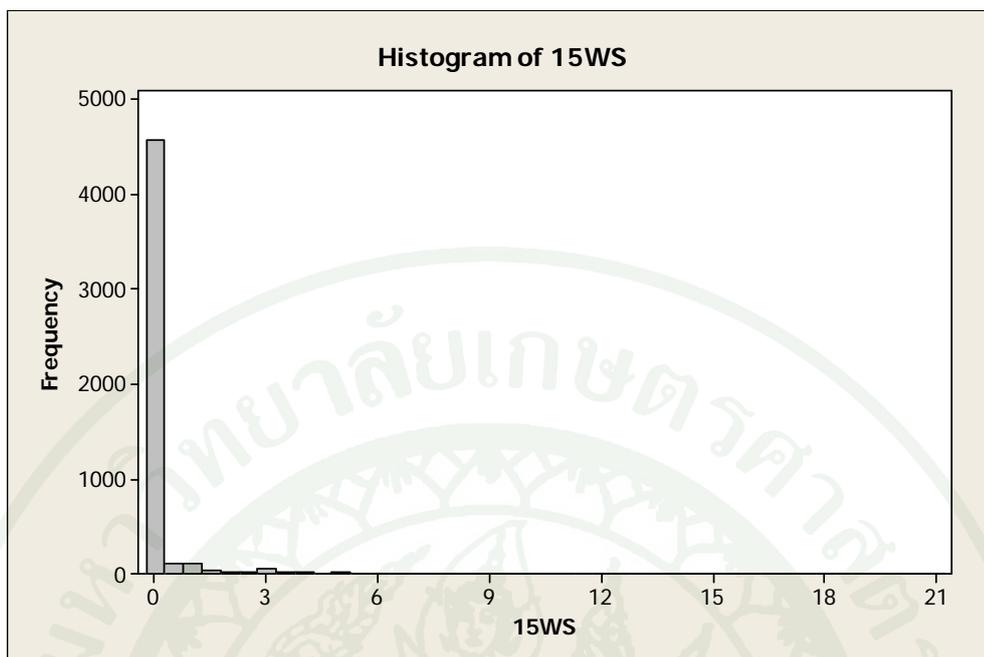
ภาพผนวกที่ ข44 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 4 สถานีงาน (NORM, 0.05)



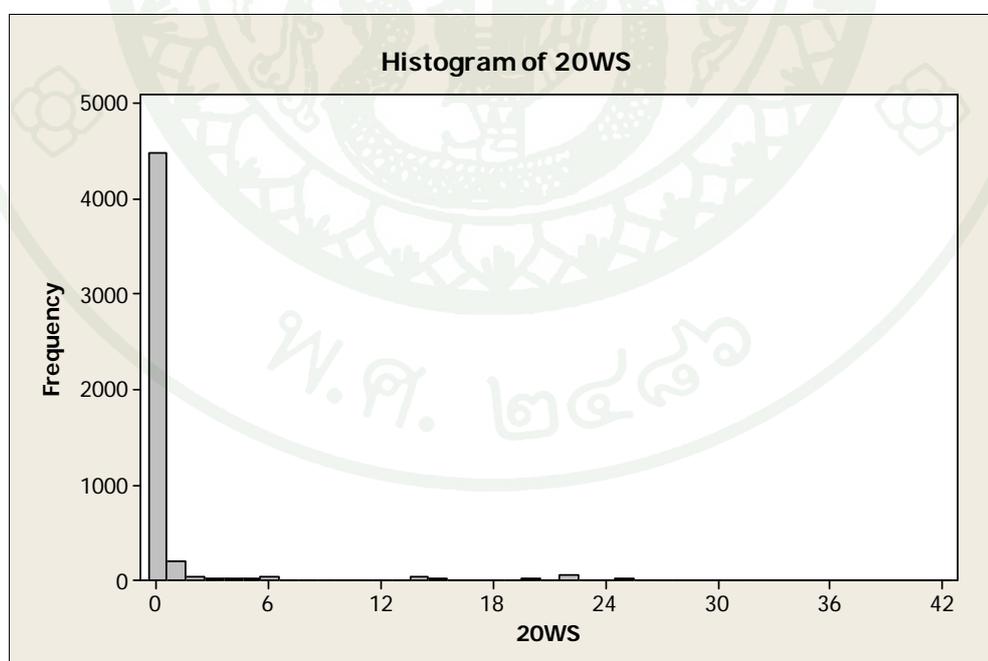
ภาพผนวกที่ ข45 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 5 สถานีงาน (NORM, 0.05)



ภาพผนวกที่ ข46 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 10 สถานีงาน (NORM, 0.05)

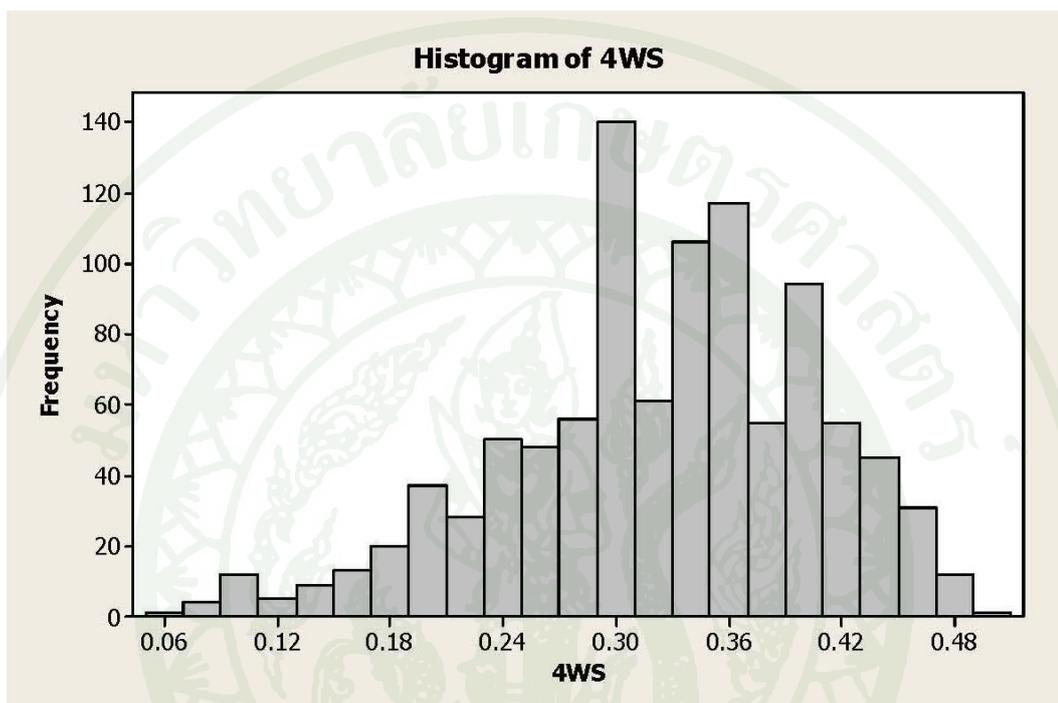


ภาพผนวกที่ ข47 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 15 สถานีงาน (NORM, 0.05)

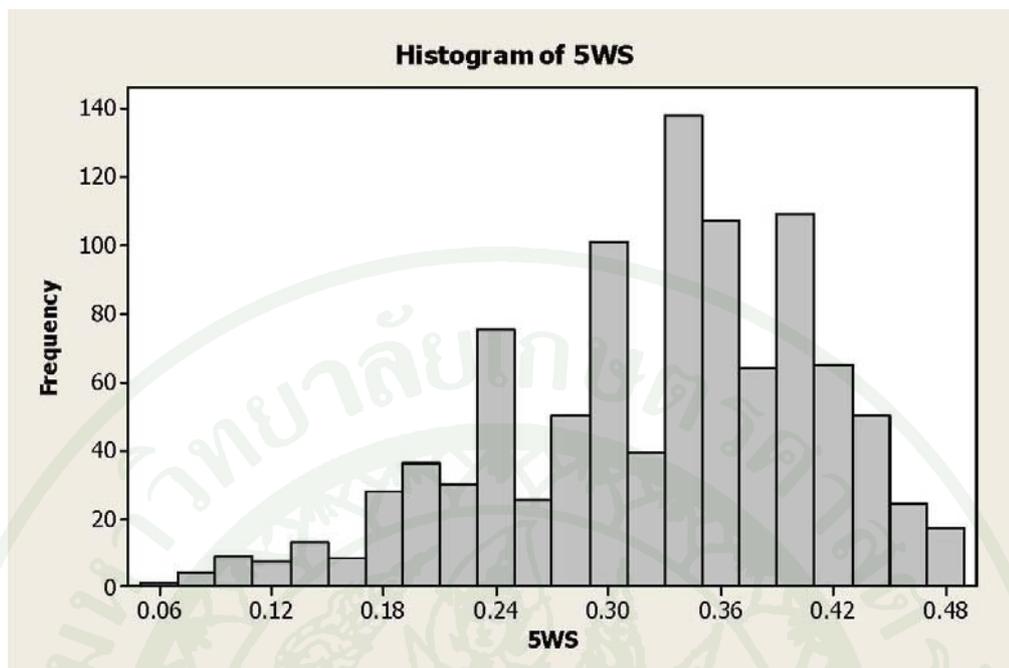


ภาพผนวกที่ ข48 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 20 สถานีงาน (NORM, 0.05)

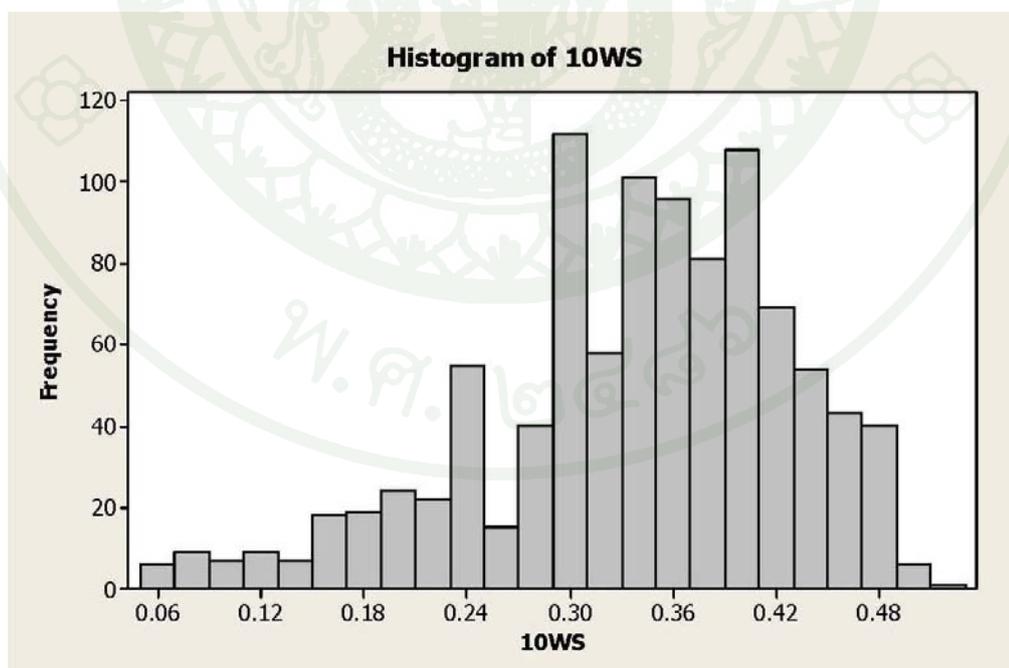
ฮิสโตแกรมของค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของระบบที่มีอัตราการผลิตเป็นการ แจกแจงแบบเอ็กโปเนนเชียล และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาการผลิตเป็น 0.01 ของ ค่าเฉลี่ย



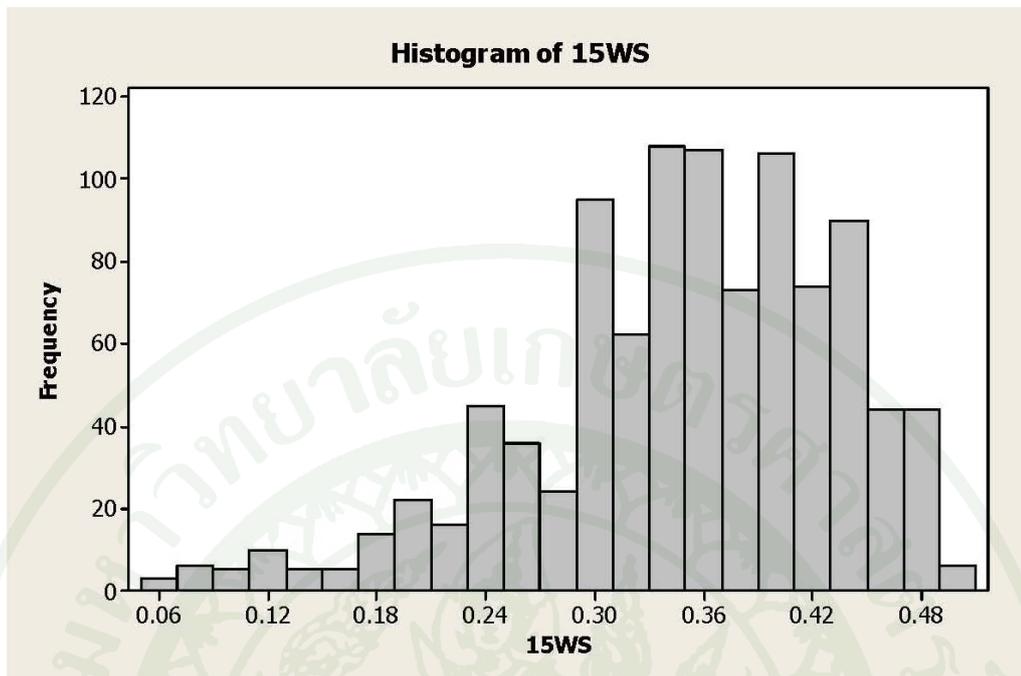
ภาพผนวกที่ ข49 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 4 สถานี งาน (EXPO, 0.01)



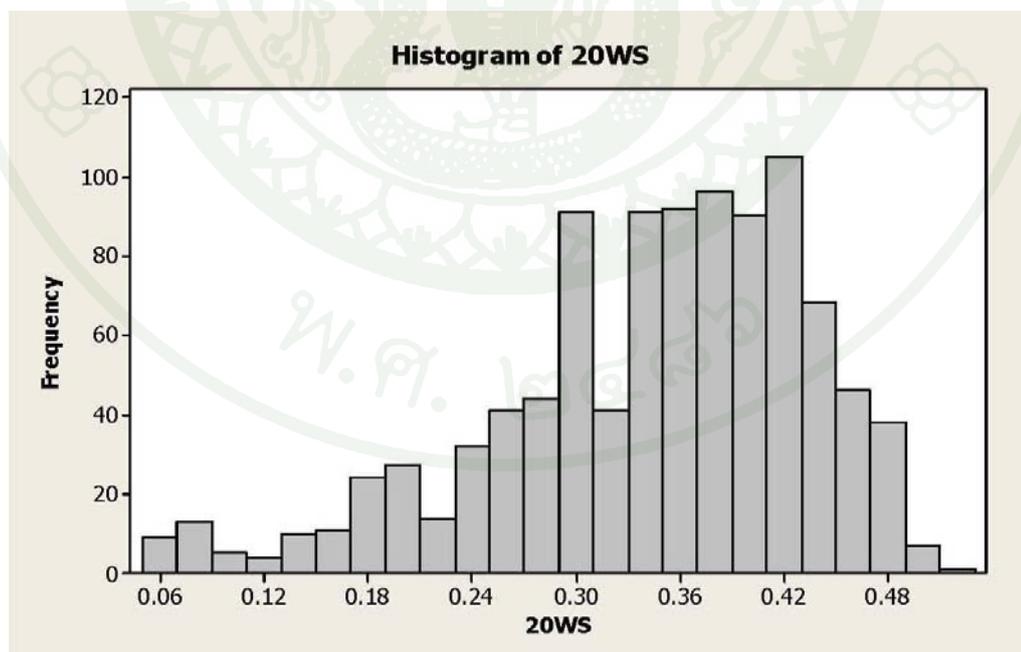
ภาพผนวกที่ ข50 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 5 สถานีงาน (EXPO, 0.01)



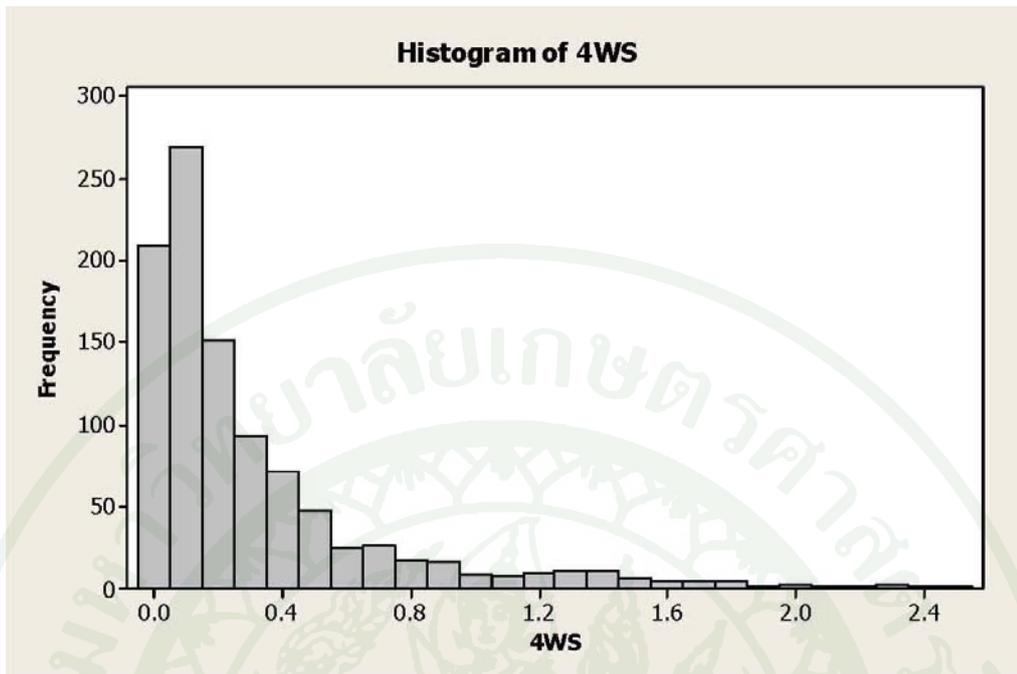
ภาพผนวกที่ ข51 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 10 สถานีงาน (EXPO, 0.01)



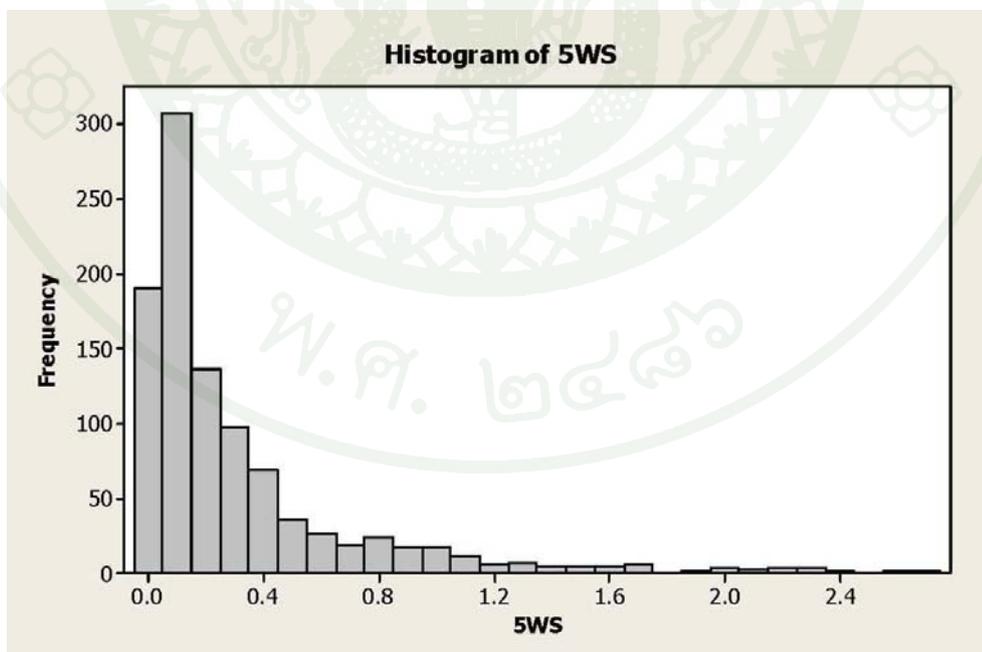
ภาพผนวกที่ ข52 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 15 สถานีงาน (EXPO, 0.01)



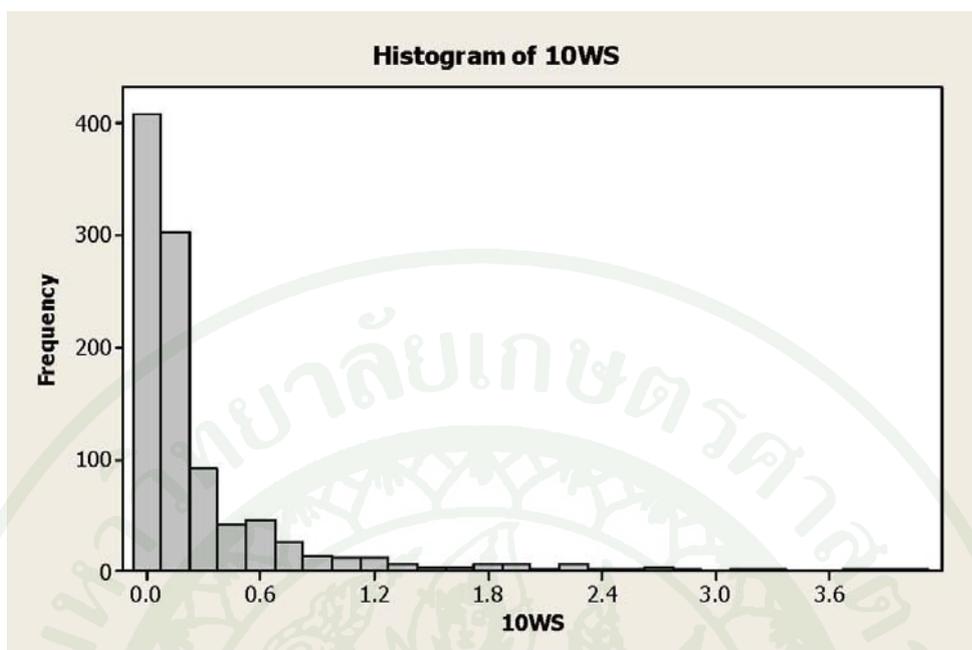
ภาพผนวกที่ ข53 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 20 สถานีงาน (EXPO, 0.01)



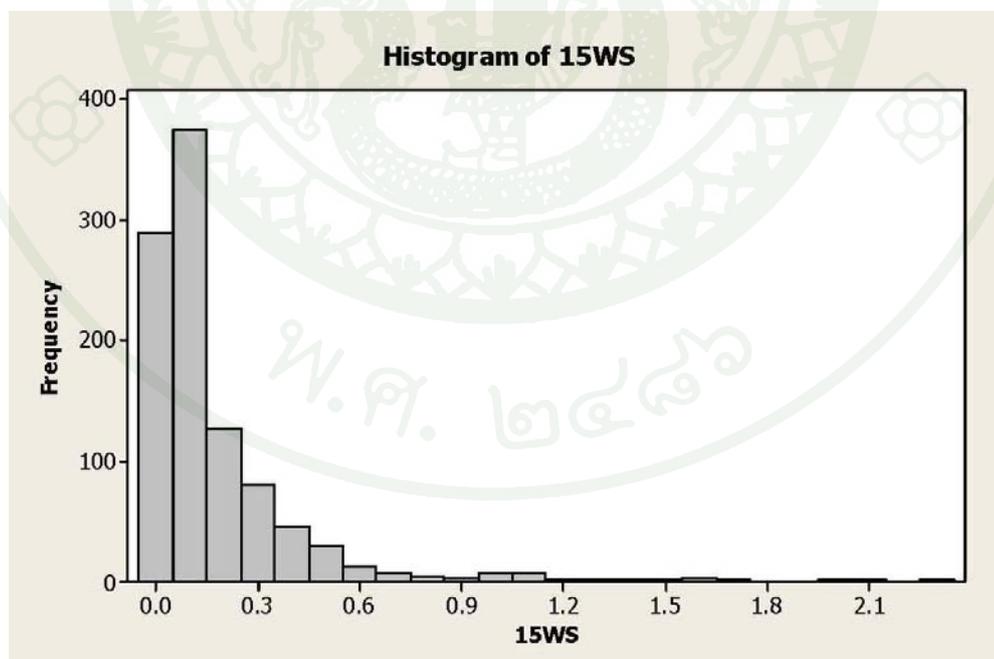
ภาพผนวกที่ ข54 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 4  
 สถานีนงาน (EXPO, 0.01)



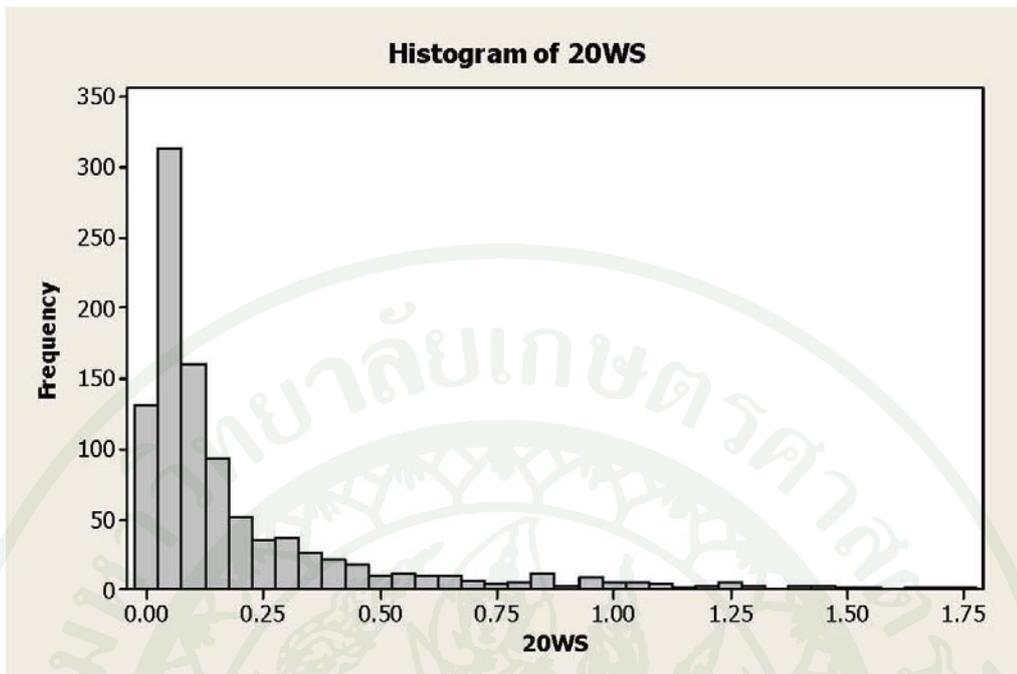
ภาพผนวกที่ ข55 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 5  
 สถานีนงาน (EXPO, 0.01)



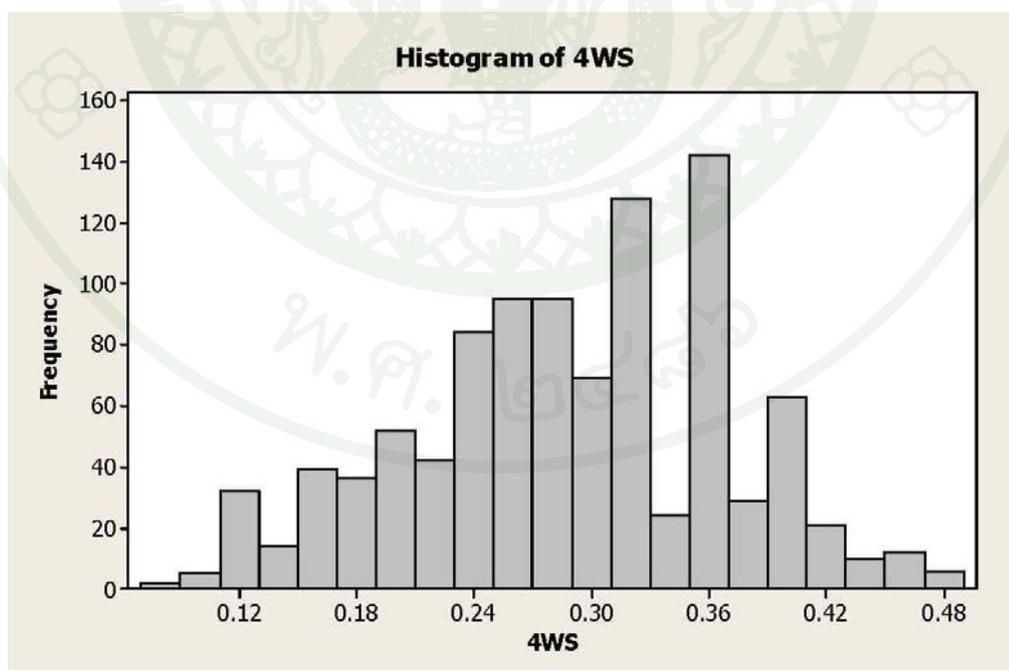
ภาพผนวกที่ ข56 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 10  
สถานงาน (EXPO, 0.01)



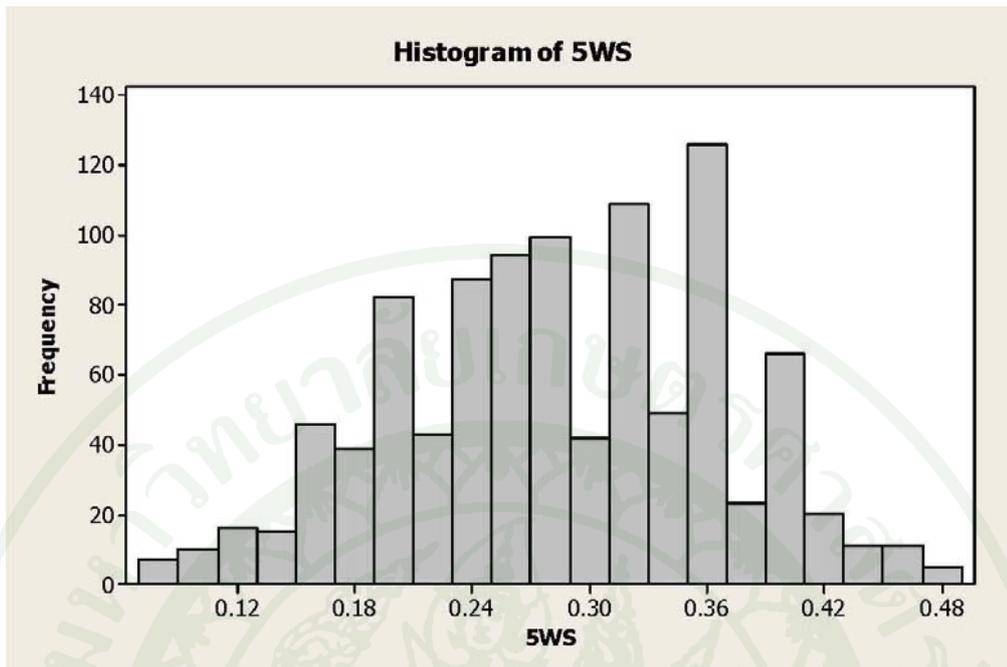
ภาพผนวกที่ ข57 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 15  
สถานงาน (EXPO, 0.01)



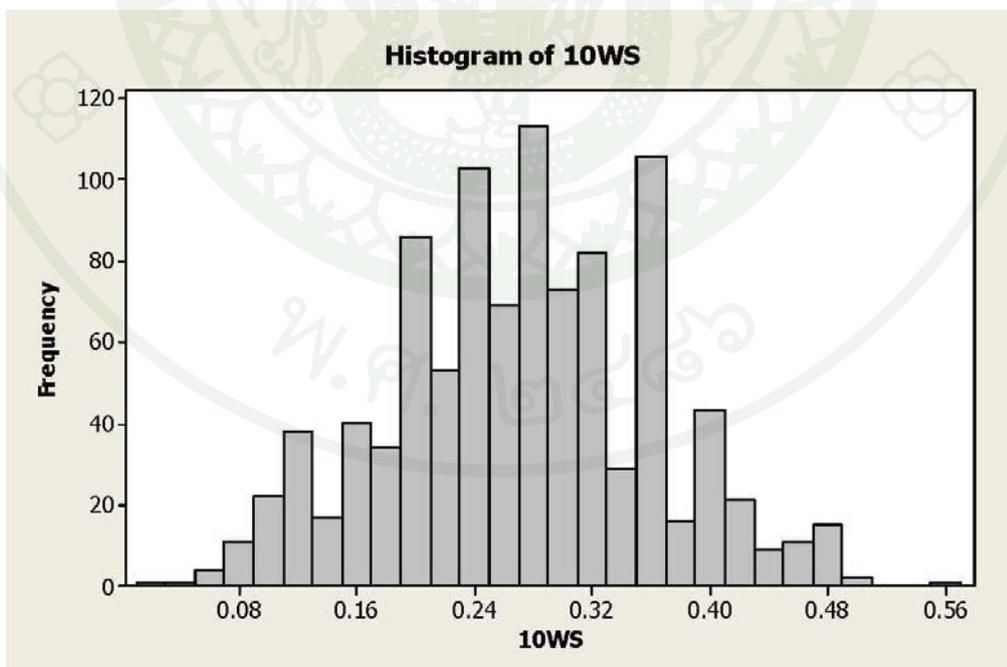
ภาพผนวกที่ ข58 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 20  
 สถานีนงาน (EXPO, 0.01)



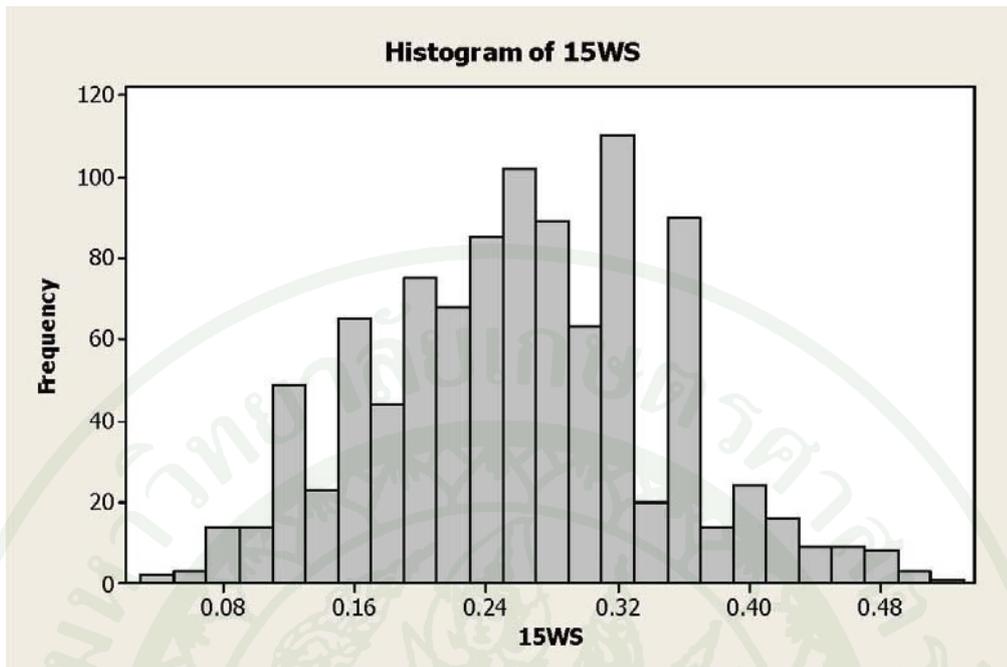
ภาพผนวกที่ ข59 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 4 สถานีนงาน  
 (EXPO, 0.01)



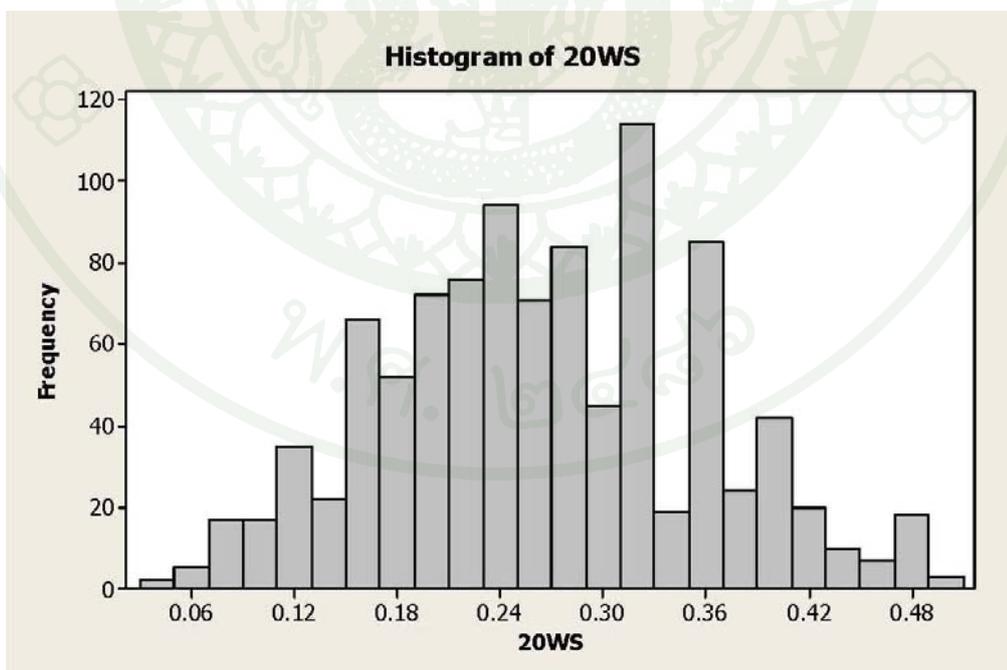
ภาพผนวกที่ ข60 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 5 สถานีงาน (EXPO, 0.01)



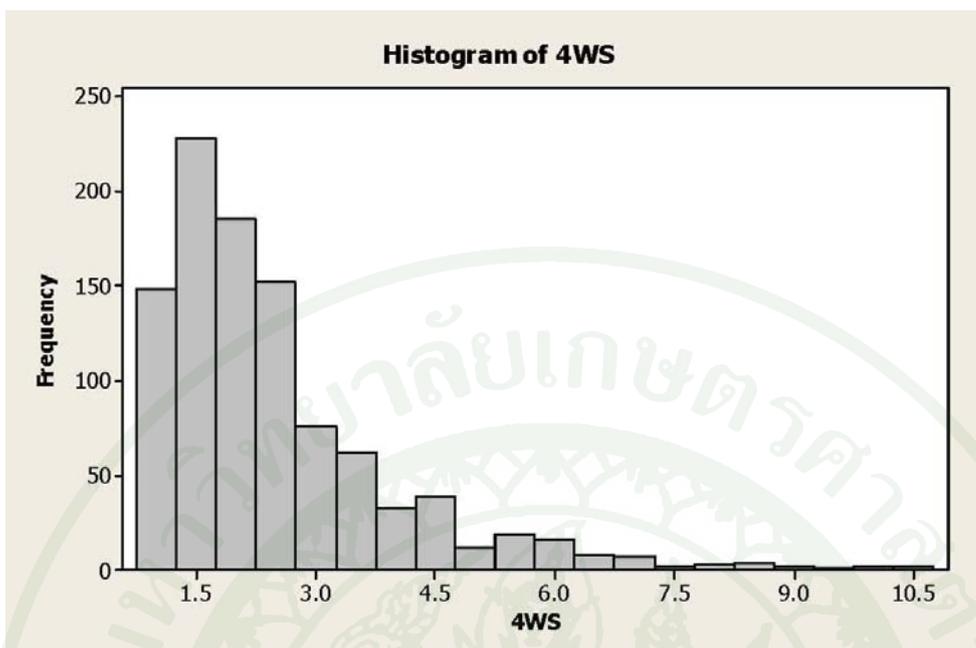
ภาพผนวกที่ ข61 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 10 สถานีงาน (EXPO, 0.01)



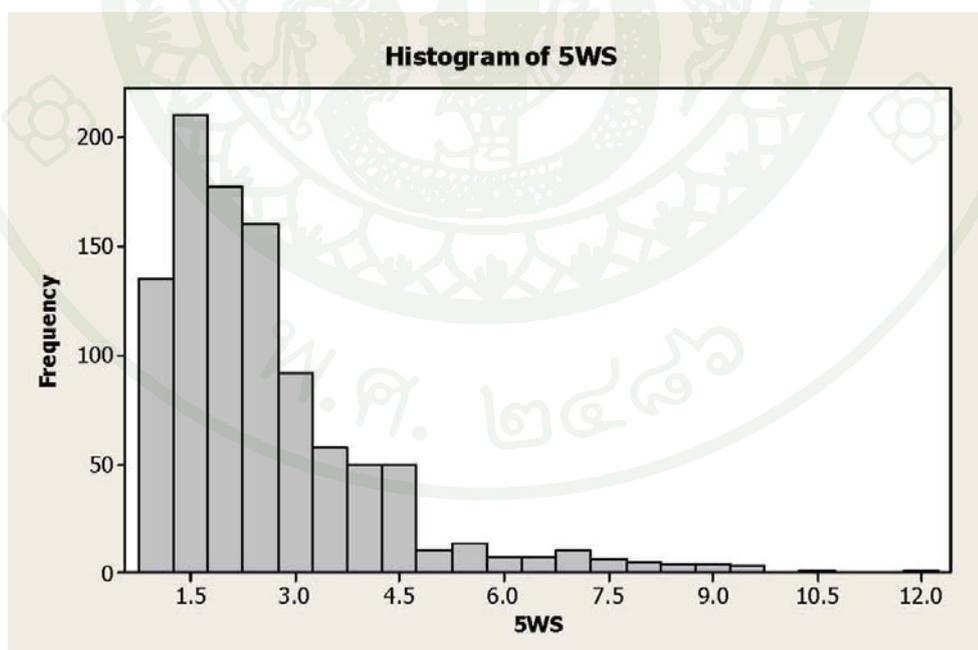
ภาพผนวกที่ ข62 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 15 สถานีงาน (EXPO, 0.01)



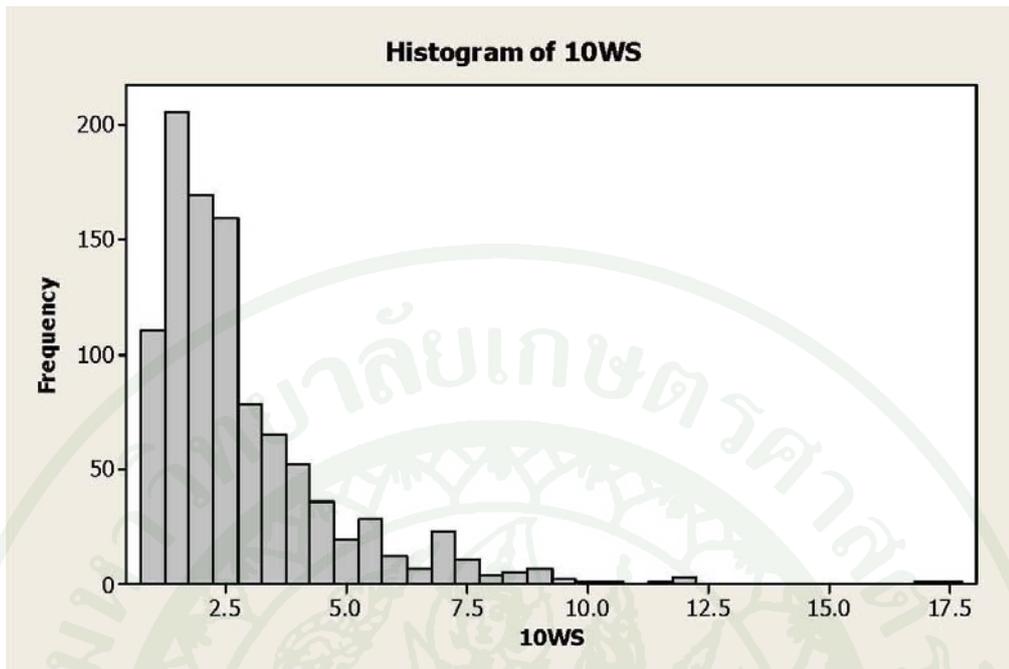
ภาพผนวกที่ ข63 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 20 สถานีงาน (EXPO, 0.01)



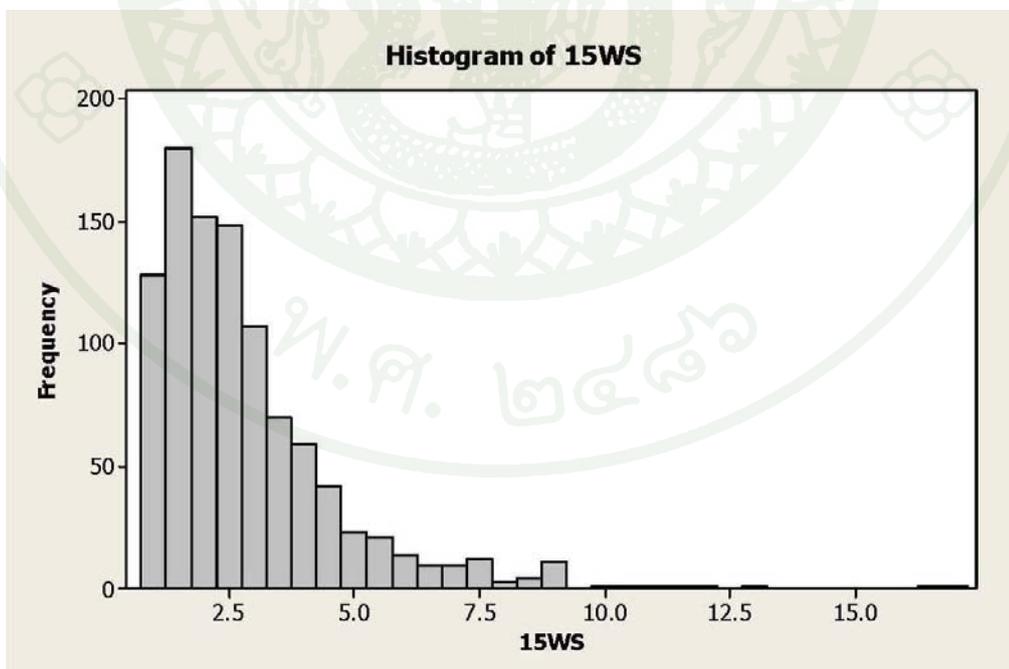
ภาพผนวกที่ ข64 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 4 สถานีงาน (EXPO, 0.01)



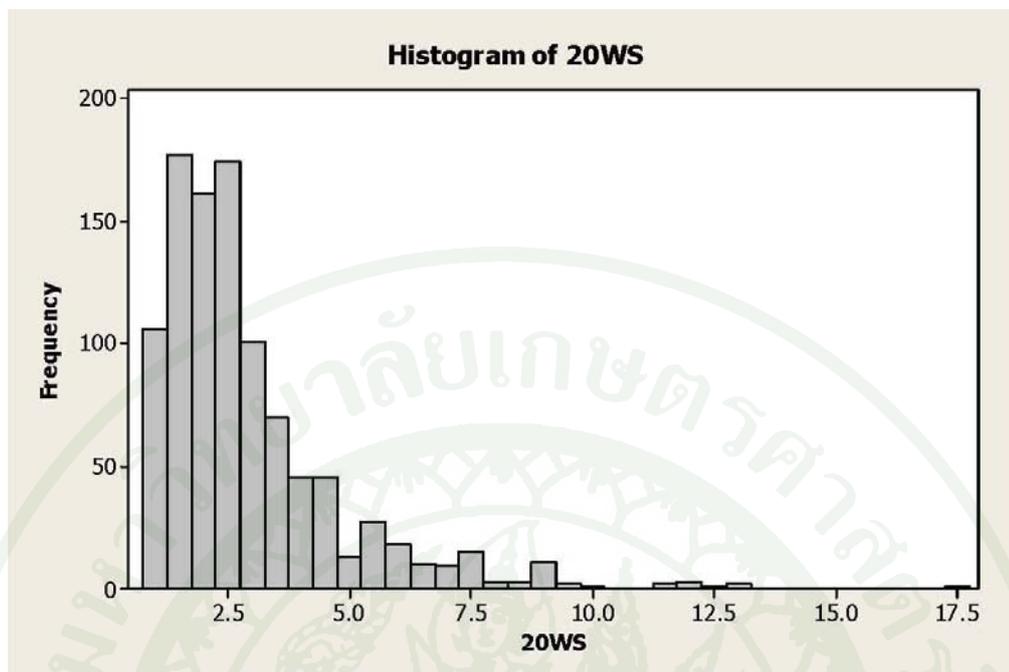
ภาพผนวกที่ ข65 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 5 สถานีงาน (EXPO, 0.01)



ภาพผนวกที่ ข66 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 10 สถานีงาน (EXPO, 0.01)

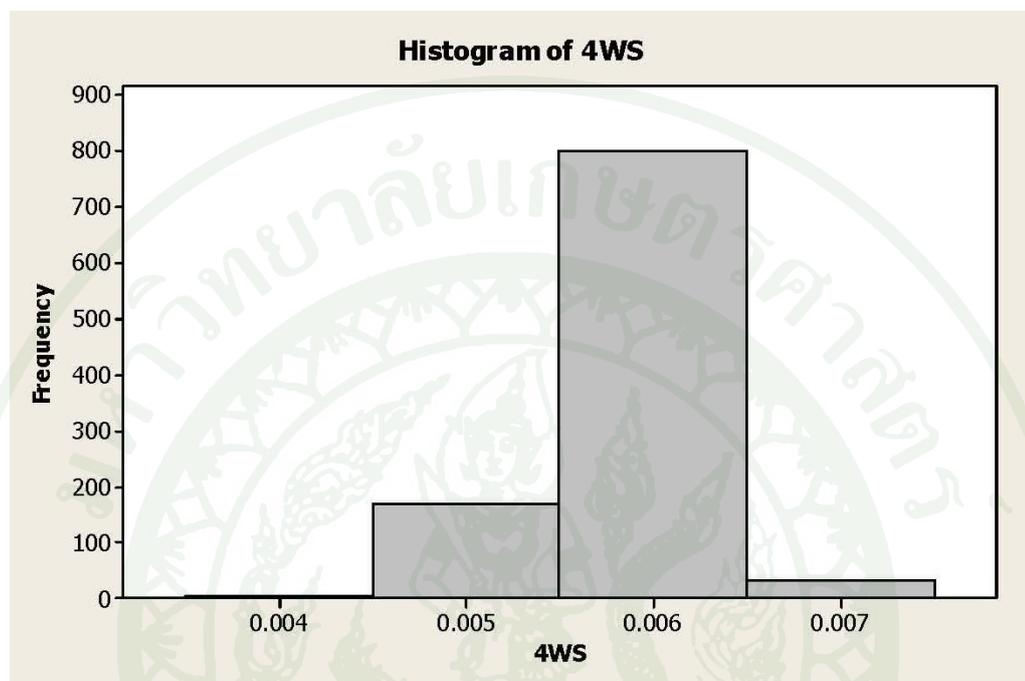


ภาพผนวกที่ ข67 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 15 สถานีงาน (EXPO, 0.01)

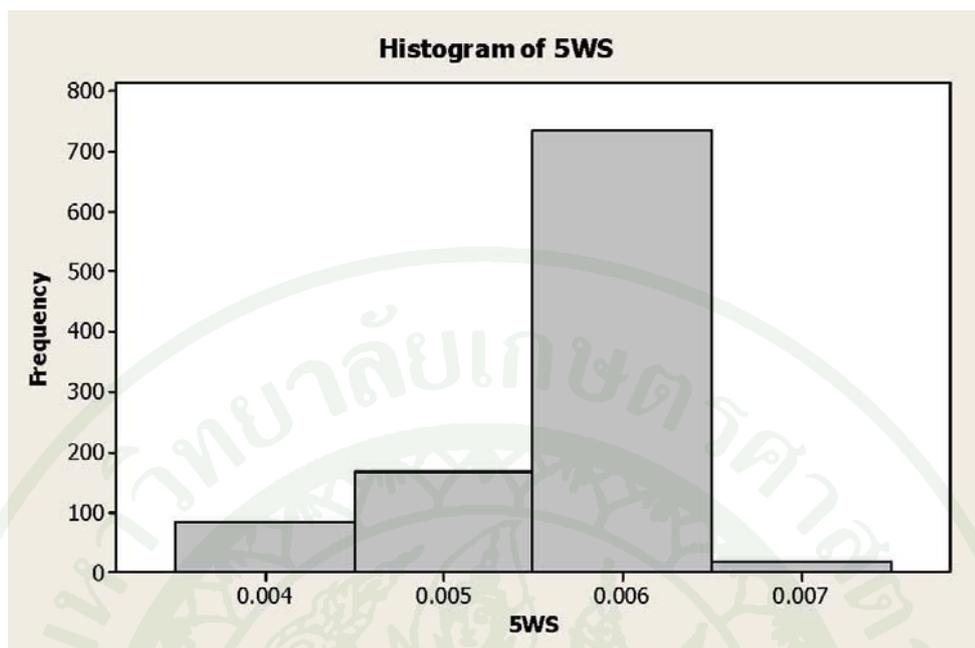


ภาพผนวกที่ ข68 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 20 สถานีงาน (EXPO, 0.01)

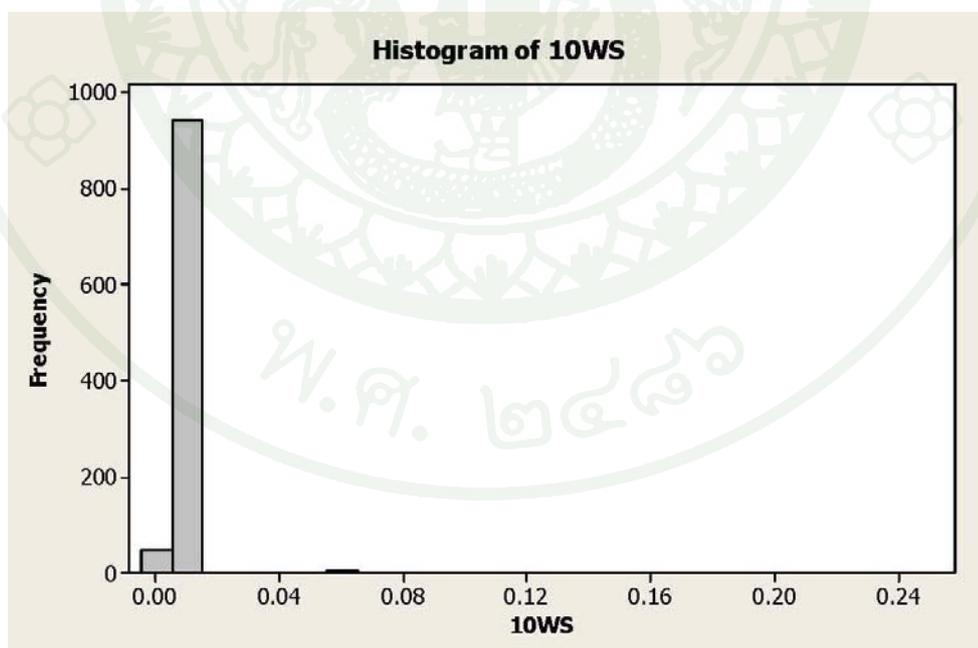
ฮิสโตแกรมของค่าเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของระบบที่มีอัตราการผลิตเป็นการ แจกแจงแบบปกติ และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาการผลิตเป็น 0.01 ของค่าเฉลี่ย



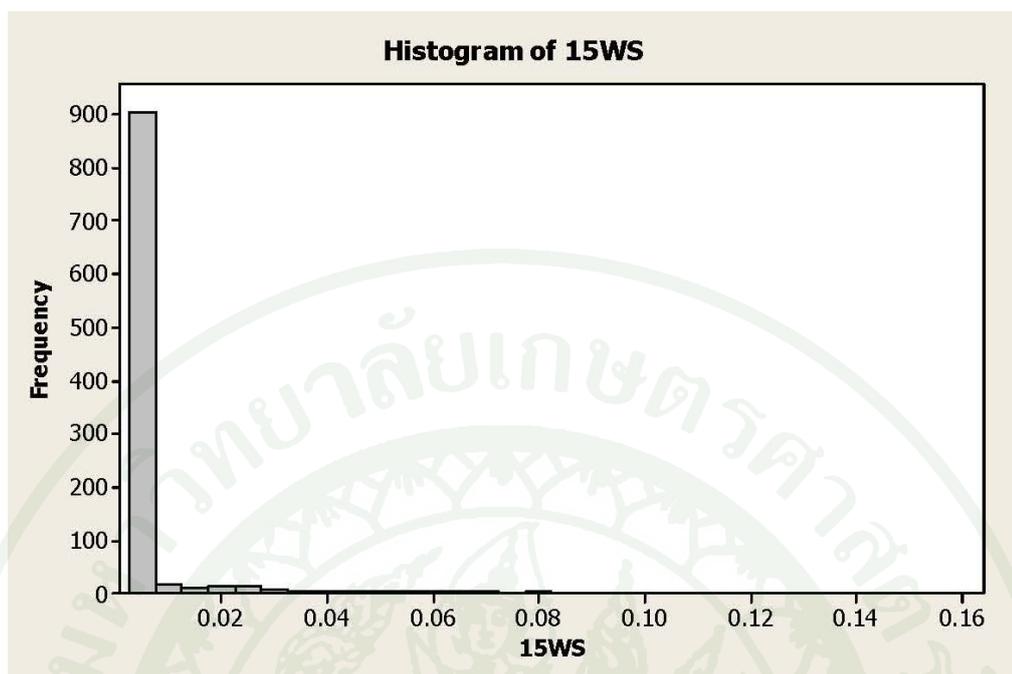
ภาพผนวกที่ ข69 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 4 สถานีงาน (NORM, 0.01)



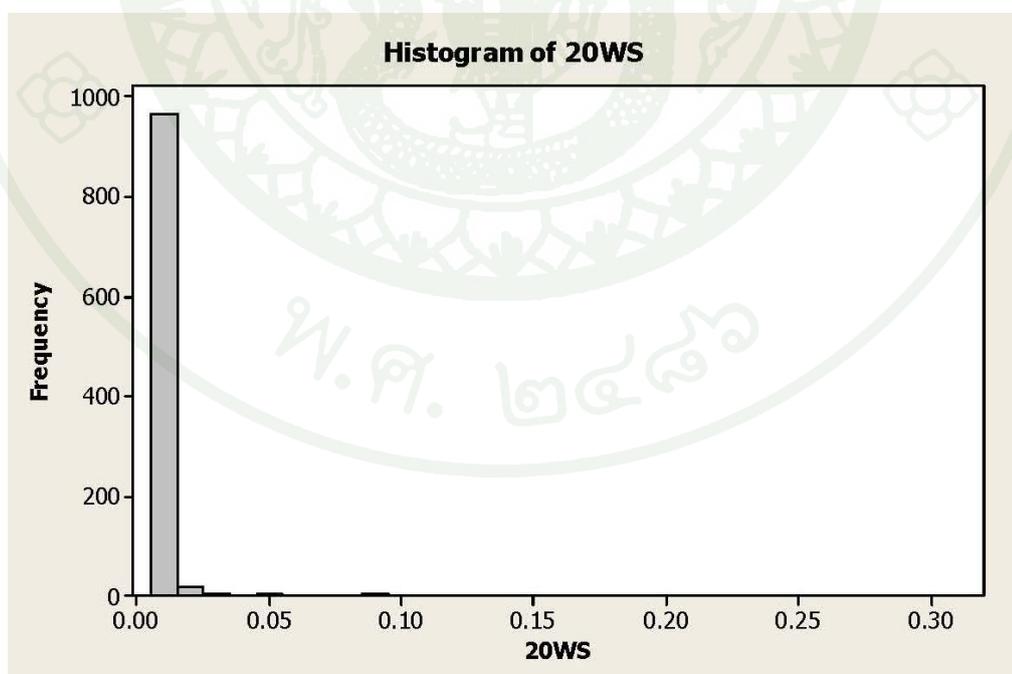
ภาพผนวกที่ ข70 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 5 สถานีงาน (NORM, 0.01)



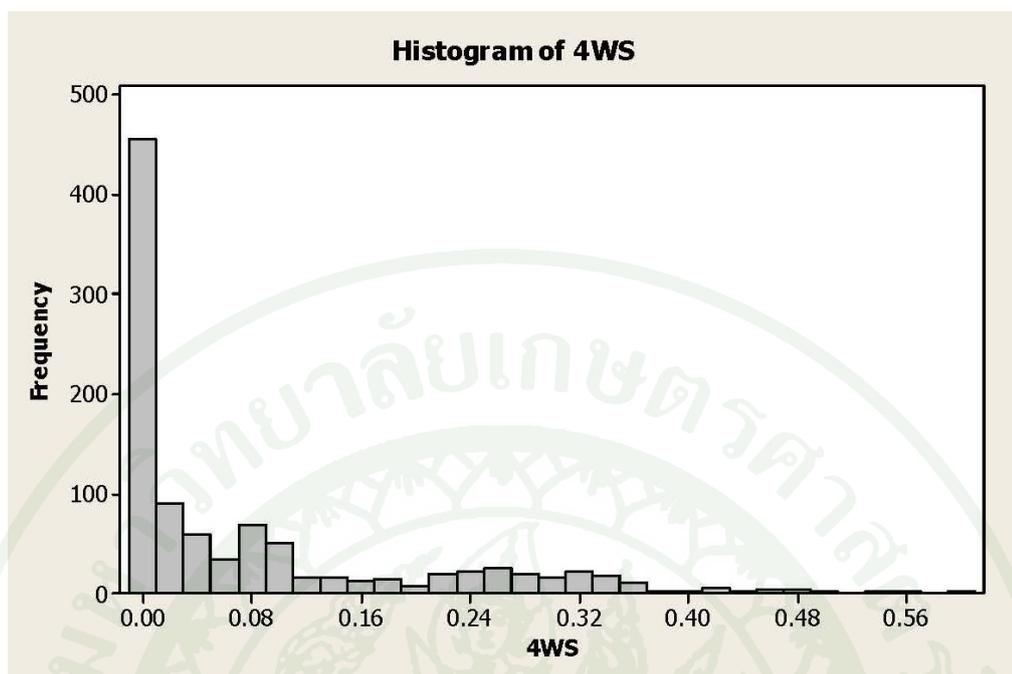
ภาพผนวกที่ ข71 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 10 สถานีงาน (NORM, 0.01)



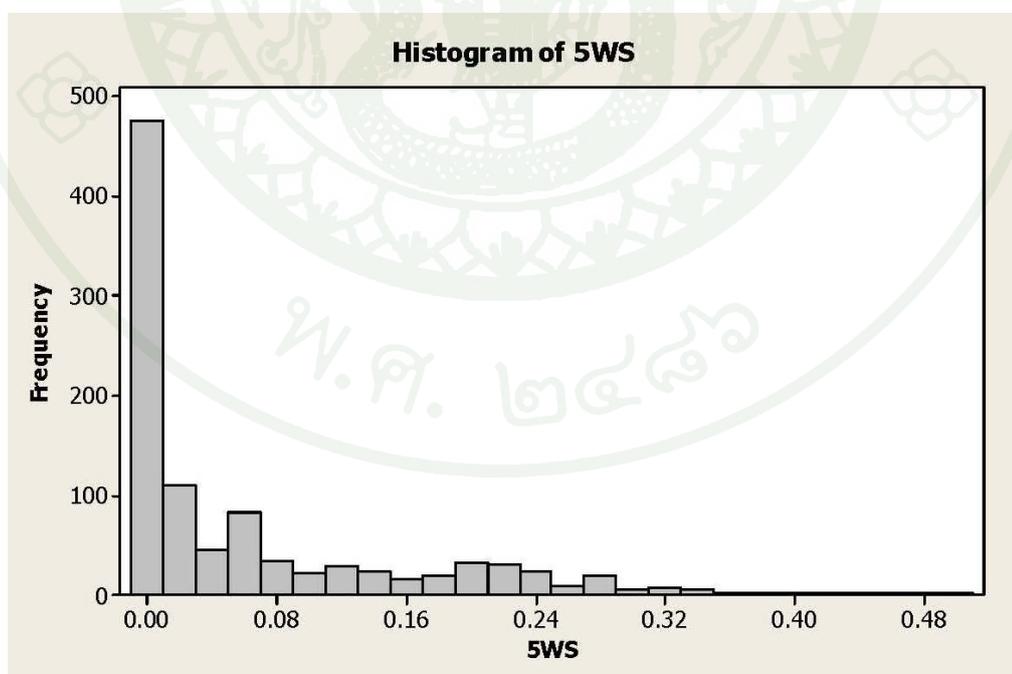
ภาพผนวกที่ ข72 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 15 สถานีงาน (NORM, 0.01)



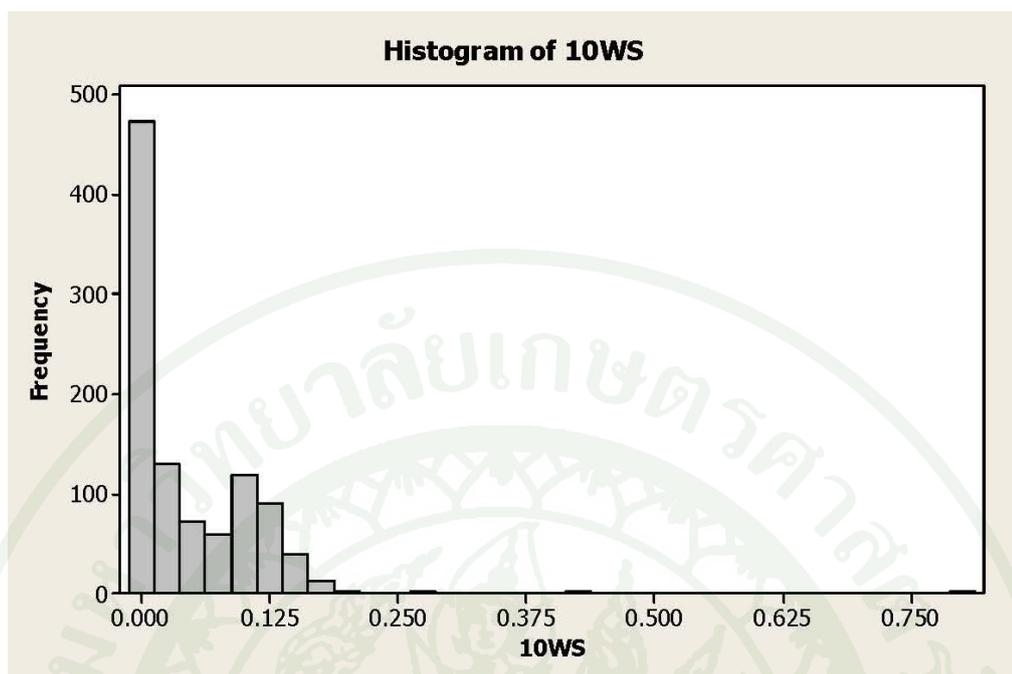
ภาพผนวกที่ ข73 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Cycle time ที่ 20 สถานีงาน (NORM, 0.01)



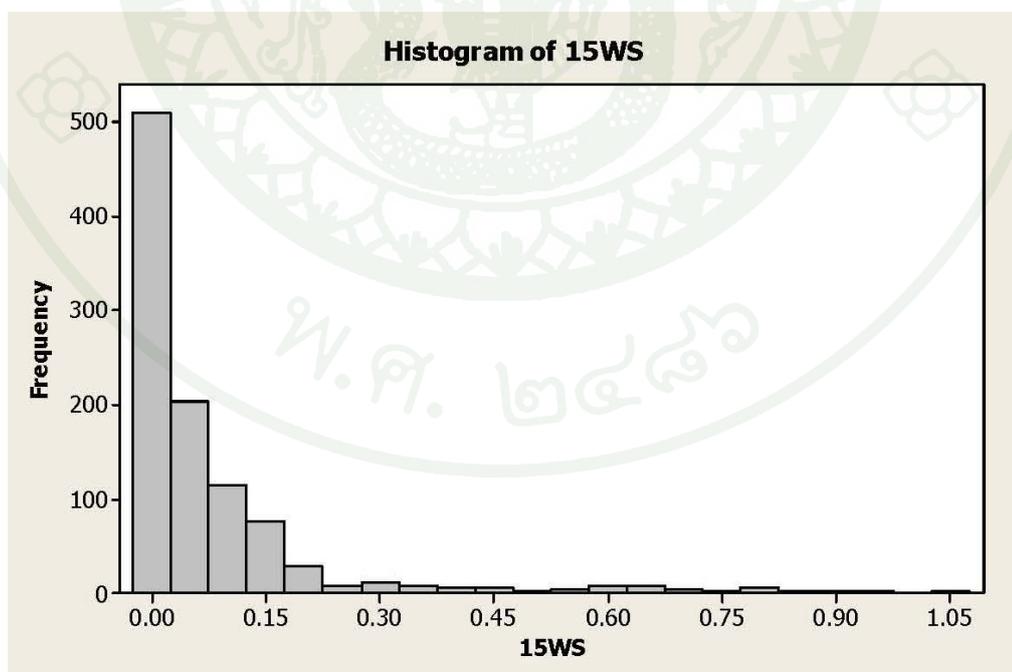
ภาพผนวกที่ ข74 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 4  
สถานีนงาน (NORM, 0.01)



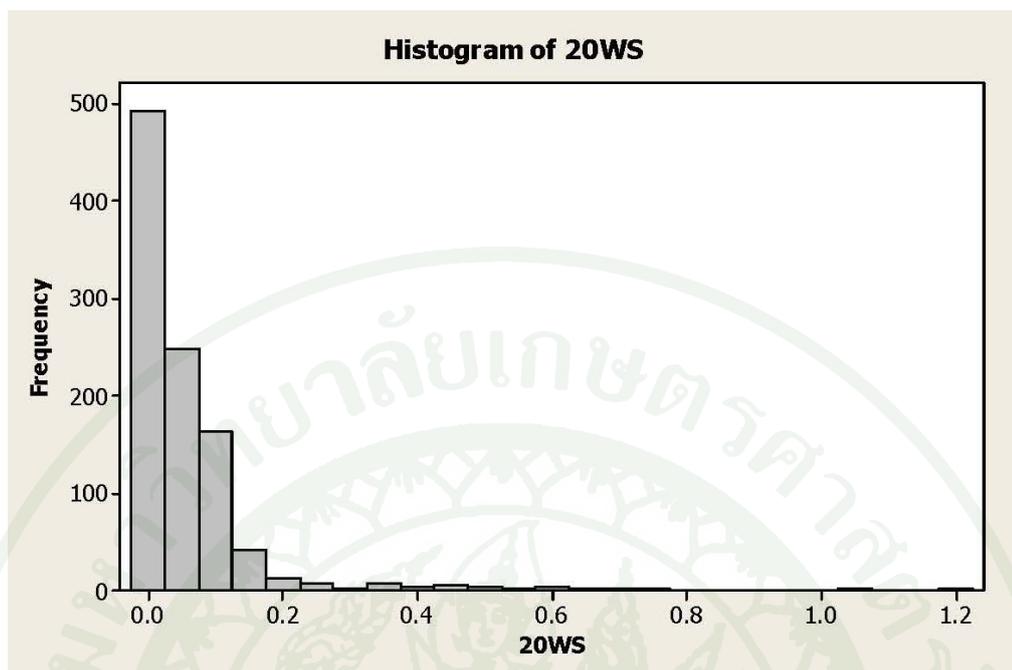
ภาพผนวกที่ ข75 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 5  
สถานีนงาน (NORM, 0.01)



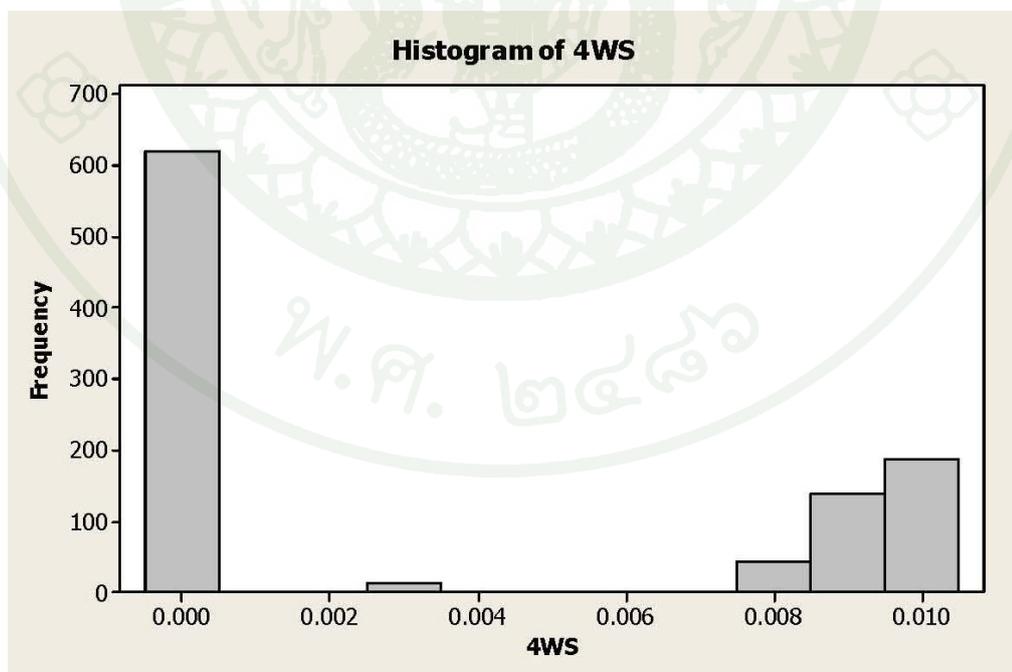
ภาพผนวกที่ ข76 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 10  
สถานีนงาน (NORM, 0.01)



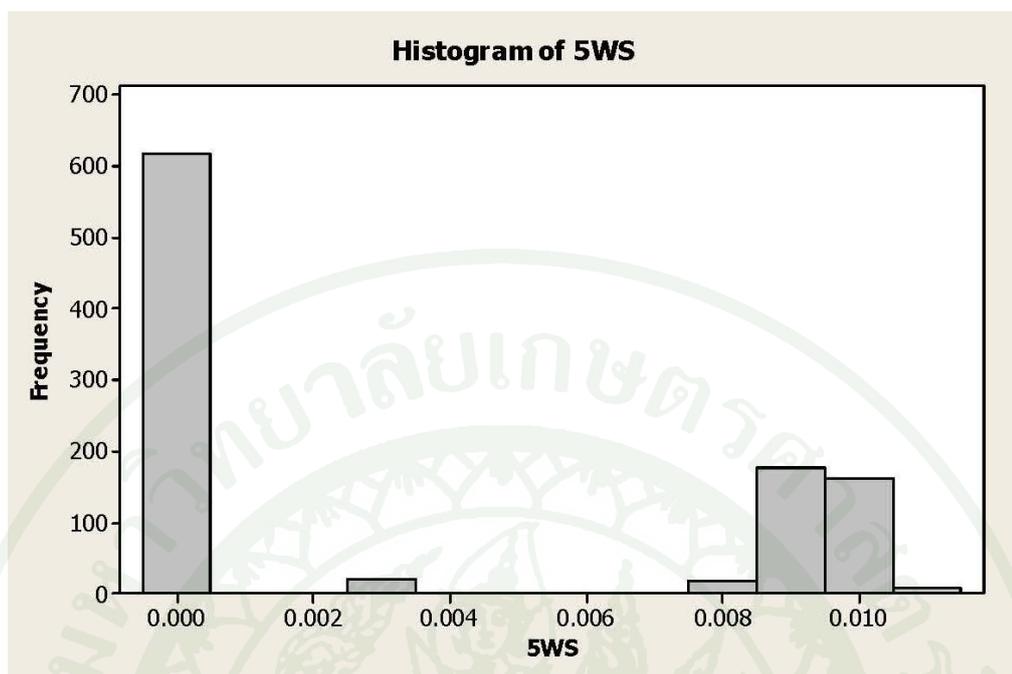
ภาพผนวกที่ ข77 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 15  
สถานีนงาน (NORM, 0.01)



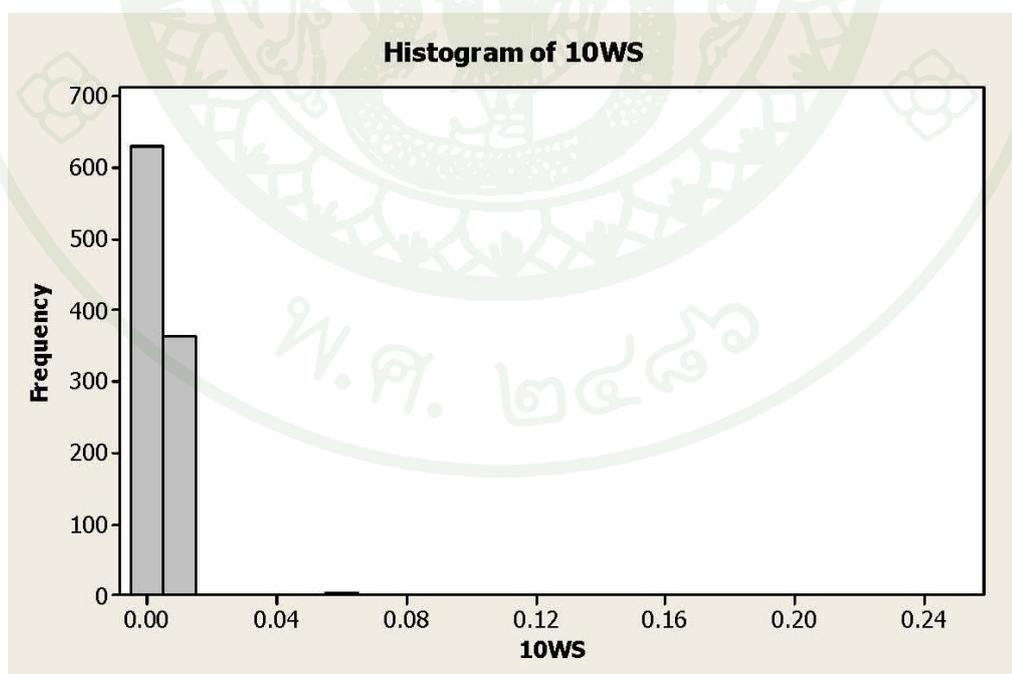
ภาพผนวกที่ ข78 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ Work in process ที่ 20  
สถานีนงาน (NORM, 0.01)



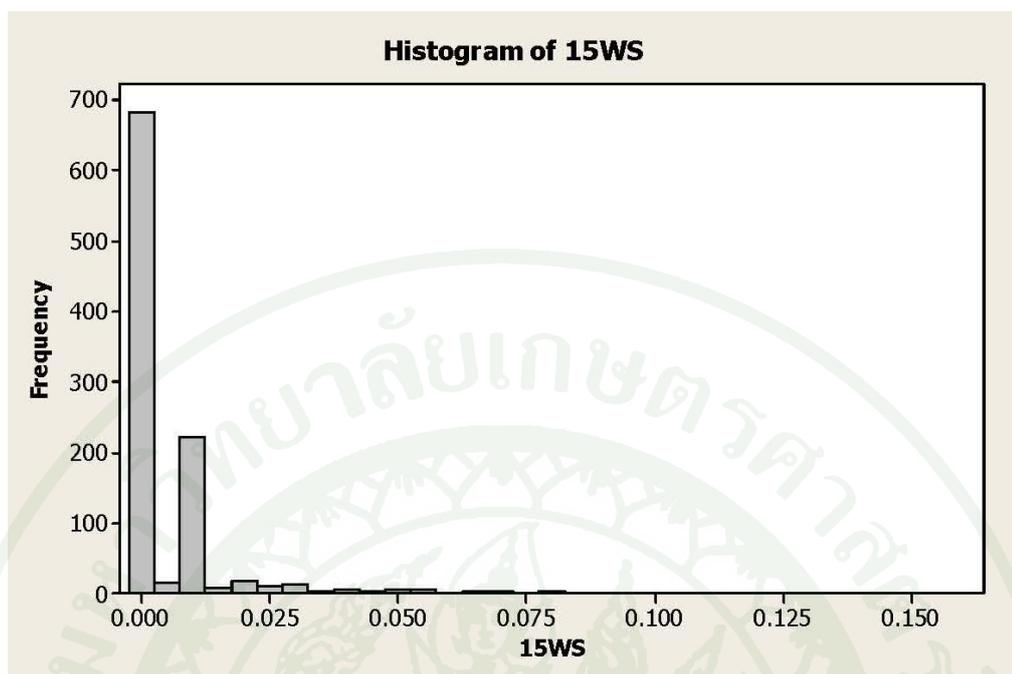
ภาพผนวกที่ ข79 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 4 สถานีนงาน  
(NORM, 0.01)



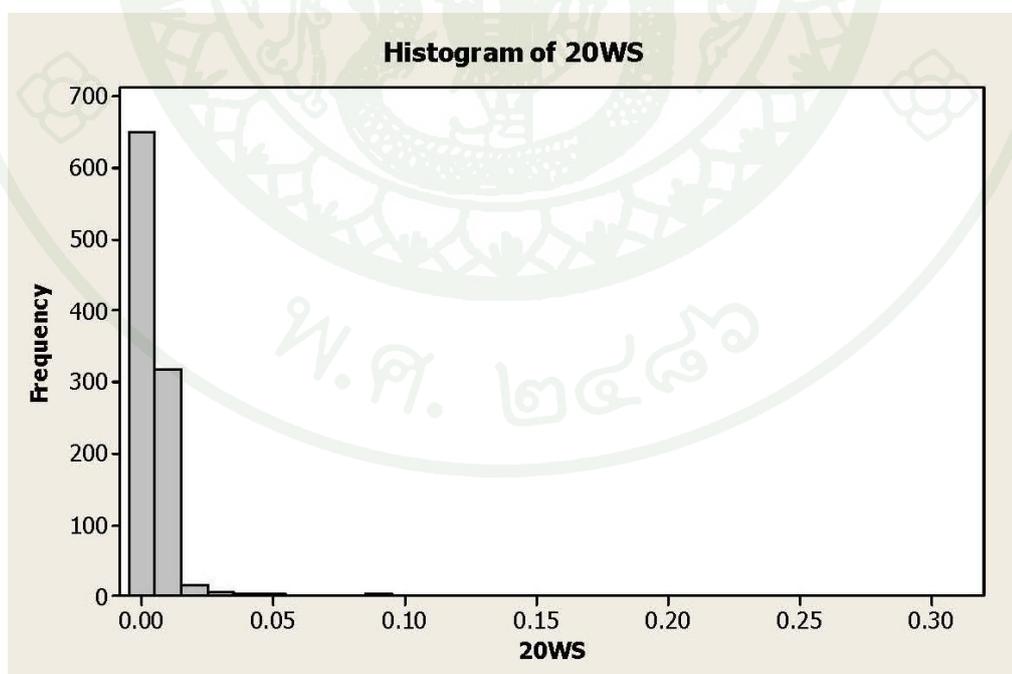
ภาพผนวกที่ ข80 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 5 สถานีงาน  
(NORM, 0.01)



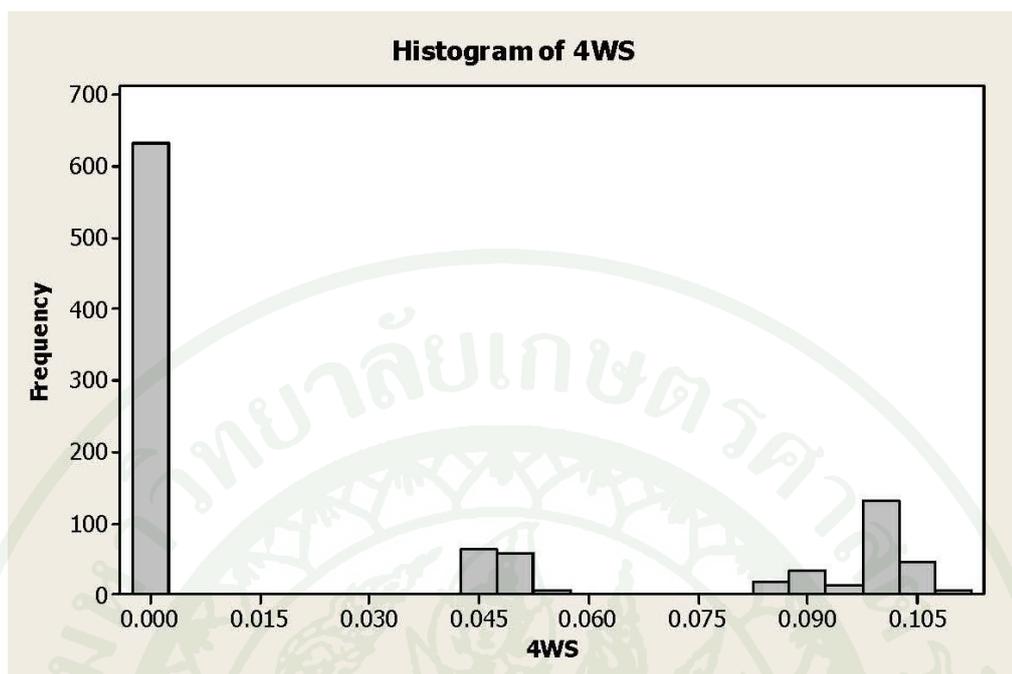
ภาพผนวกที่ ข81 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 10 สถานีงาน  
(NORM, 0.01)



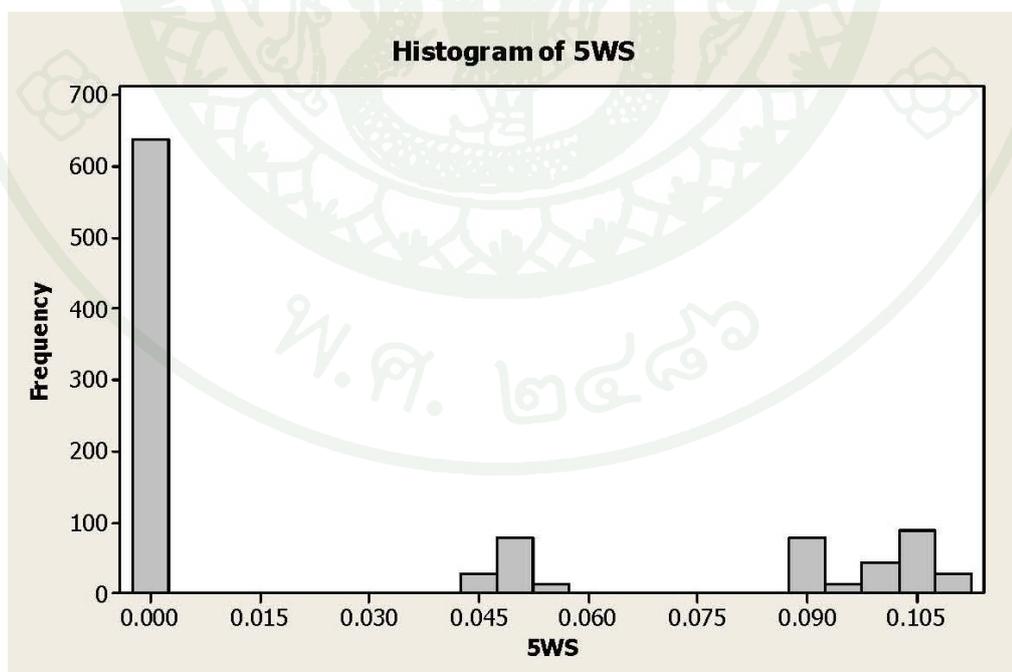
ภาพผนวกที่ ข82 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 15 สถานีงาน  
(NORM, 0.01)



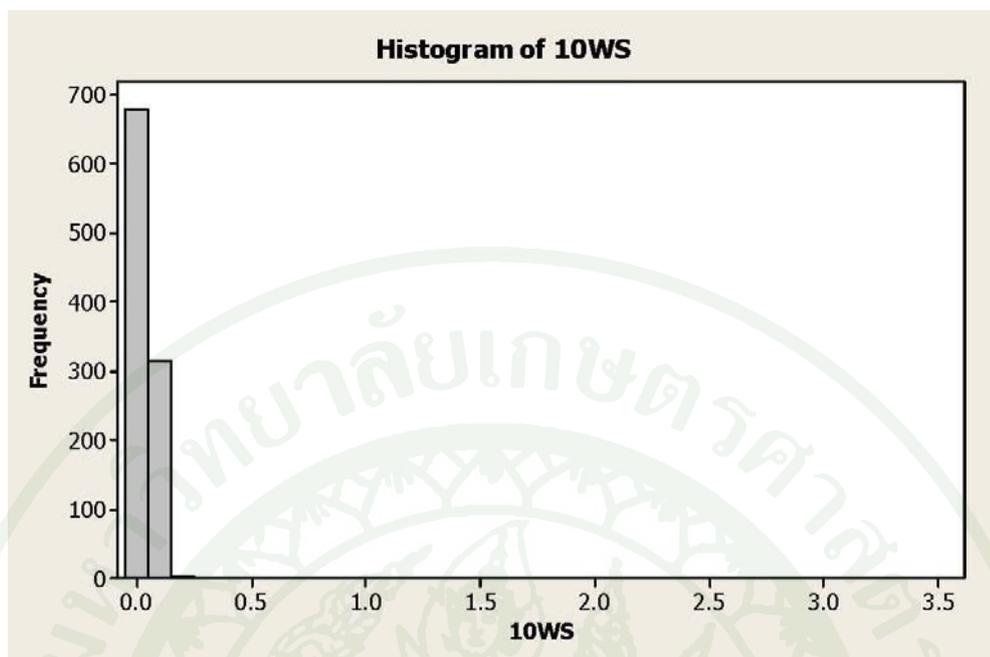
ภาพผนวกที่ ข83 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Sale ที่ 20 สถานีงาน  
(NORM, 0.01)



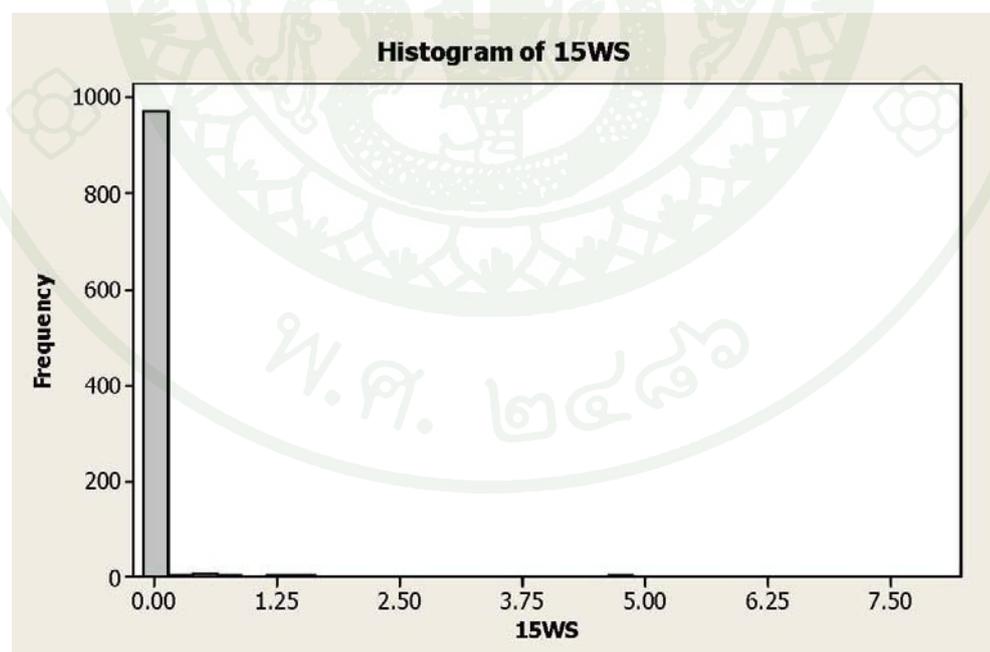
ภาพผนวกที่ ข84 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 4 สถานีงาน (NORM, 0.01)



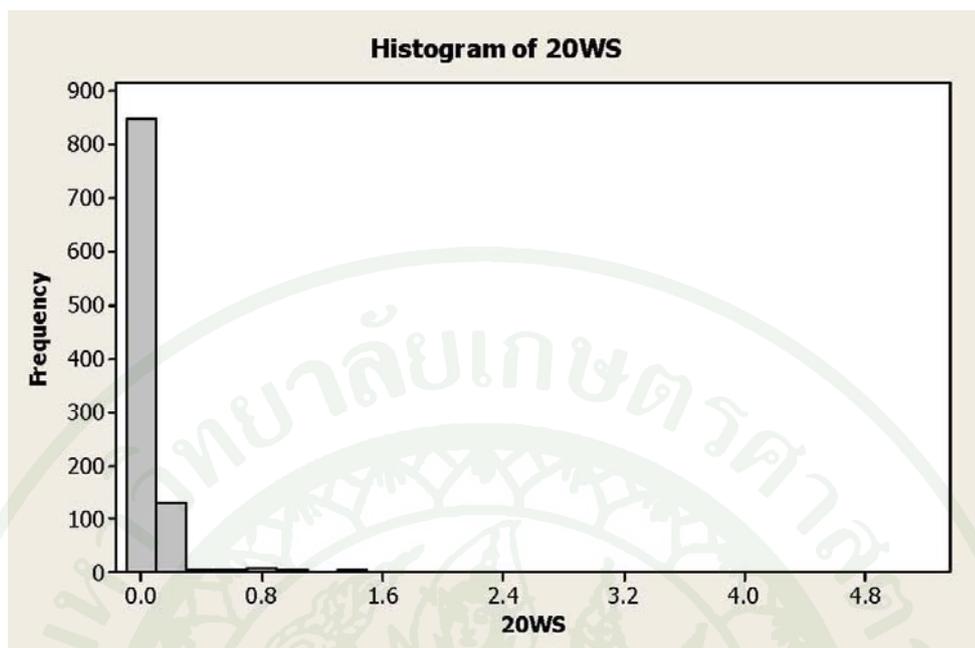
ภาพผนวกที่ ข85 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 5 สถานีงาน (NORM, 0.01)



ภาพผนวกที่ ข86 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 10 สถานีงาน (NORM, 0.01)



ภาพผนวกที่ ข87 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 10 สถานีงาน (NORM, 0.01)



ภาพผนวกที่ ข88 ฮิสโตแกรมของเปอร์เซ็นต์ Half-Width ของค่าเฉลี่ยของ %Lost sale ที่ 20 สถานีงาน (NORM, 0.01)

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ -นามสกุล	นางสาวสิริมาศ ป้องจันลา
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 17 มิถุนายน 2525
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนผู้ช่วยสอนจากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2550-2551)