



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ)

ปริญญา

วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมอุตสาหการ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการเพื่อเปรียบเทียบกระบวนการผู้ส่งมอบ
กรณีเฉพาะข้อกำหนดพิคัดด้านเดียว

Process Capability Analysis for Comparing Multiple Suppliers Focusing on One-sided
Specification Limit

นามผู้วิจัย นางศิริประภา มโนมรรค์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์อนันต์ มุ่งวัฒนา, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สืบสินธุ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการเพื่อเปรียบเทียบกระบวนการผู้ส่งมอบ
กรณีเฉพาะข้อกำหนดพิคัดด้านเดียว

Process Capability Analysis for Comparing Multiple Suppliers
Focusing on One-sided Specification Limit

โดย

นางศิริประภา มโนมรรย์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม)

พ.ศ. 2555

ศิริประภา มโนมัยย์ 2555: การวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการเพื่อเปรียบเทียบกระบวนการ
ผู้ส่งมอบ กรณีเฉพาะข้อกำหนดพิกัดด้านเดียว ปริญาวิทยุวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
(วิศวกรรมอุตสาหการ) สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ อาจารย์ที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา, Ph.D. 189 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการเปรียบเทียบสมรรถภาพกระบวนการ ใช้เป็นแนวทาง
ในการคัดเลือกผู้ส่งมอบมากกว่าหนึ่งราย ซึ่งแบ่งเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีพิจารณาเฉพาะปัจจัยทางด้าน
คุณภาพ และกรณีพิจารณาปัจจัยทางด้านคุณภาพประกอบกับปัจจัยด้านเวลาการส่งมอบและราคา
ผลิตภัณฑ์ โดยวิธีการที่พัฒนาขึ้นใช้กับกระบวนการที่มีคุณลักษณะทางคุณภาพเป็นแบบเดี่ยว และมีการ
แจกแจงเป็นแบบปกติ และข้อกำหนดเฉพาะของกระบวนการเป็นแบบพิกัดด้านเดียว

วิธีการที่พัฒนาขึ้นกรณีที่พิจารณาเฉพาะปัจจัยทางด้านคุณภาพ พัฒนามาจากการทดสอบ
สมมติฐานเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์ความผันแปรผกผัน ประสิทธิภาพของวิธีการ พิจารณาจากความผิดพลาด
ประเภทที่ 1 และอำนาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบ 2 ราย เปรียบเทียบกับวิธีของ Chou
และ Hubele ส่วนกรณีผู้ส่งมอบ 3 ราย 4 ราย และ 5 ราย เปรียบเทียบกับวิธีของ Hubele ณ ระดับ
นัยสำคัญ 1% 2.5% และ 5% ส่วนกรณีพิจารณาปัจจัยทางด้านคุณภาพ ประกอบกับเวลาการส่งมอบและ
ราคาผลิตภัณฑ์ พัฒนามาจากฟังก์ชันความสูญเสีย โดยหาค่าคาดหวังของความสูญเสียรวมที่เกิดจากทั้ง
สามปัจจัย และนำวิธีที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ

ผลการทดลองพบว่ากรณีที่พิจารณาเฉพาะปัจจัยทางด้านคุณภาพ วิธีที่พัฒนาขึ้นให้ความ
ผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำกว่าวิธีของ Chou และ Hubele และให้อำนาจการทดสอบต่ำเมื่อตัวอย่างขนาด
เล็ก แต่เมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้นวิธีที่พัฒนาขึ้นให้อำนาจการทดสอบ 100% งานวิจัยนี้จึงแสดงขนาด
ตัวอย่างที่เหมาะสมไว้ด้วย สำหรับกรณีที่พิจารณาปัจจัยทางด้านคุณภาพ ประกอบกับเวลาการส่งมอบ
และราคาผลิตภัณฑ์ พบว่า วิธีที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมสำหรับการเปรียบเทียบสมรรถภาพ
กระบวนการดีกว่าการใช้ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ เมื่อมีความสูญเสียจากการที่คุณภาพและเวลาการ
ส่งมอบไม่เป็นตามที่กำหนด

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Siraprapa Manomat 2012: Process Capability Analysis for Comparing Multiple Suppliers Focusing on One-sided Specification Limit. Doctor of Engineering (Industrial Engineering), Major Field: Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Prapaisri Sudasna-na-Ayudhya, Ph.D. 189 pages.

This research proposes to develop the method for comparing process capability which is used for selecting multiple suppliers. The method consists of two cases namely: considering only quality factor, and considering quality, delivery time and price factors. The proposed method uses for univariate quality characteristic and normal distributed processes focusing on one-sided specification limit.

In considering only quality factor case, the method is constructed by a modified hypothesis testing of inverse coefficients of variations. Performance of the method are investigated in actual Type I error and actual power of the test and compare with Chou and Hubele method (2 suppliers) and compare with Hubele (3, 4 and 5 suppliers) for significant level 1%, 2.5% and 5%. In considering quality factor with delivery time and price factors case, the method is constructed by a modified loss function for creating total expected loss from three factors. Performance of the method compared with process capability index.

The results of considering only quality factor case show that the proposed method provides actual Type I error less than Chou and Hubele. For actual power of the test, the proposed method is less than Chou and Hubele method for small sample size ($n \leq 50$). For large sample size, the actual power of the test is equal to 100%. This research determines an appropriate sample size for the method. For considering quality factor with delivery time and price factors case, the results show that the proposed method is appropriate when quality loss and delivery time loss are affected to the process.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา ประธานกรรมการ
ที่ปรึกษา และรองศาสตราจารย์ ดร. พิรุทธิ์ ชาญเศรษฐิกุล ที่ได้ให้คำปรึกษาในการเรียน แนะนำ
ช่วยเหลือให้ความรู้ และแก้ไขให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่าน ที่ให้โอกาสในการศึกษา
ตลอดจนได้ให้ความรู้ แนะนำ และคำชี้แนะทางด้านวิชาการซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ในการ
นำไปใช้งานต่อไป

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา คอยช่วยเหลือและ
เป็นกำลังใจให้เสมอมา ขอขอบคุณสามีและลูกที่เข้าใจและเป็นกำลังใจให้โดยตลอด

ศิริประกา มโนมัยย์

มีนาคม 2555

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(10)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	24
อุปกรณ์	24
วิธีการ	24
ผลและวิจารณ์	59
ผล	59
วิจารณ์	110
สรุปและข้อเสนอแนะ	112
สรุป	112
ข้อเสนอแนะ	114
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	115
ภาคผนวก	122
ภาคผนวก ก ข้อมูลที่ใช้เป็นกรณีตัวอย่าง	123
ภาคผนวก ข ผลการหาค่าโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1	
จากการทดลอง 50,000 รอบ	132
ภาคผนวก ค ผลการหาค่าอำนาจการทดสอบ จากการทดลอง 50,000 รอบ	153
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	189

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	วิธีการและเกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือกผู้ส่งมอบ ในงานวิจัยตั้งแต่ปี ค.ศ. 1991-2009	6
2	วิธีการและเกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือกผู้ส่งมอบ ในงานวิจัยนอกเหนือจากการศึกษาของ Sadigh ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000-2010 ที่ผู้วิจัยทำการรวบรวม	8
3	ฟังก์ชันความสูญเสีย ค่าคาดหวังของฟังก์ชันความสูญเสีย และค่าประมาณของค่าคาดหวังของฟังก์ชันความสูญเสีย สำหรับค่าคุณลักษณะประเภทต่าง ๆ	22
4	ความสัมพันธ์ของ C_{PS} กับ NCPPM	39
5	ระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามช่วงของค่า C_{PS}	39
6	ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของผู้ส่งมอบแต่ละราย สำหรับทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการ	58
7	อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบสองราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1$	81
8	อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบสองราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1.33$	82
9	อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบสองราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1.50$	83
10	อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบสองราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1.67$	84
11	อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบสามราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1$	86
12	อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบสามราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1.33$	87
13	อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบสามราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1.50$	88
14	อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบสามราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1.67$	88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
15	อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1$	91
16	อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1.33$	92
17	อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1.50$	92
18	อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1.67$	93
19	อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบห้าราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1$	95
20	อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบห้าราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1.33$	96
21	อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบห้าราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1.50$	97
22	อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบห้าราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1.67$	97
23	ขนาดตัวอย่างและอำนาจการทดสอบ สำหรับเปรียบเทียบผู้ส่งมอบสองราย ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05	100
24	ขนาดตัวอย่างและอำนาจการทดสอบ สำหรับเปรียบเทียบผู้ส่งมอบสามราย ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05	100
25	ขนาดตัวอย่างและอำนาจการทดสอบ สำหรับเปรียบเทียบผู้ส่งมอบสี่ราย ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05	101
26	ขนาดตัวอย่างและอำนาจการทดสอบ สำหรับเปรียบเทียบผู้ส่งมอบห้าราย ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05	101
27	ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของผู้ส่งมอบแต่ละราย สำหรับกรณีตัวอย่างที่สอง	102
28	ค่าสถิติต่าง ๆ ที่สุ่มมาจากกระบวนการของผู้ส่งมอบแต่ละราย สำหรับกรณีตัวอย่างที่สอง	103
29	ค่าคาดหวังรวมและค่าประมาณดัชนีสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบแต่ละราย	103

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
30	ค่าดัชนีสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบแต่ละรายและค่าความสูญเสียจากปัจจัยด้านการส่งมอบ ของผู้ส่งมอบแต่ละราย	105
31	ค่าคาดหวังของค่าความสูญเสียรวม เมื่อ k_0 เปลี่ยนแปลงจาก 0.1 ถึง 0.6	105
32	ค่าดัชนีสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบแต่ละรายและค่าความสูญเสียจากปัจจัยด้านคุณภาพ ของผู้ส่งมอบแต่ละราย	106
33	ค่าคาดหวังของค่าความสูญเสียรวม เมื่อ k_{DB} เปลี่ยนแปลงจาก 1 ถึง 6	106
34	ค่าดัชนีสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบแต่ละรายและค่าความสูญเสียจากปัจจัยด้านคุณภาพ ($k_0 = 0.2$) ของผู้ส่งมอบแต่ละราย	107
35	ค่าคาดหวังของค่าความสูญเสียรวม เมื่อ k_{DA} เปลี่ยนแปลงจาก 7.5 ถึง 20	108
ตารางผนวกที่		
ก1	ข้อมูลจากตัวอย่างของผู้ส่งมอบทั้ง 4 ราย (กรณีศึกษาที่ 1)	124
ก2	ข้อมูลจากตัวอย่างของผู้ส่งมอบทั้ง 4 ราย (กรณีศึกษาที่ 2)	128
ข1	โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบสองราย	133
ข2	โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบสามราย	138
ข3	โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย	143
ข4	โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบห้าราย	148
ค1	อำนาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบสองราย เมื่อกำหนด ระดับนัยสำคัญ (α) = 0.01	154
ค2	อำนาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบสองราย เมื่อกำหนด ระดับนัยสำคัญ (α) = 0.025	158
ค3	อำนาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบสองราย เมื่อกำหนด ระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05	162

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ค4 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบสามราย เมื่อกำหนด ระดับ นัยสำคัญ (α) = 0.01	165
ค5 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบสามราย เมื่อกำหนด ระดับ นัยสำคัญ (α) = 0.025	168
ค6 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบสามราย เมื่อกำหนด ระดับ นัยสำคัญ (α) = 0.05	171
ค7 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย เมื่อกำหนด ระดับ นัยสำคัญ (α) = 0.01	173
ค8 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย เมื่อกำหนด ระดับ นัยสำคัญ (α) = 0.025	176
ค9 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย เมื่อกำหนด ระดับ นัยสำคัญ (α) = 0.05	179
ค10 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบห้าราย เมื่อกำหนด ระดับ นัยสำคัญ (α) = 0.01	181
ค11 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบห้าราย เมื่อกำหนด ระดับ นัยสำคัญ (α) = 0.025	184
ค12 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบห้าราย เมื่อกำหนด ระดับ นัยสำคัญ (α) = 0.05	187

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ฟังก์ชันความสูญเสีย เมื่อกำหนดให้ค่าเป้าหมายอยู่ที่ 25	18
2	ฟังก์ชันความสูญเสีย กรณีค่าคุณลักษณะยิ่งน้อยยิ่งดี	20
3	ฟังก์ชันความสูญเสีย กรณีค่าคุณลักษณะยิ่งมากยิ่งดี	21
4	ฟังก์ชันความสูญเสียของเวลาการส่งมอบ	52
5	การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่สุ่มมาจากกระบวนการผลิตของผู้ส่งมอบ A ด้วยวิธี Ryan-joiner (กรณีตัวอย่างที่ 1)	60
6	การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่สุ่มมาจากกระบวนการผลิตของผู้ส่งมอบ B ด้วยวิธี Ryan-joiner (กรณีตัวอย่างที่ 1)	61
7	การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่สุ่มมาจากกระบวนการผลิตของผู้ส่งมอบ C ด้วยวิธี Ryan-joiner (กรณีตัวอย่างที่ 1)	61
8	การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่สุ่มมาจากกระบวนการผลิตของผู้ส่งมอบ D ด้วยวิธี Ryan-joiner (กรณีตัวอย่างที่ 1)	62
9	แผนภาพกล่องแสดงการเปรียบเทียบค่าคุณลักษณะของกระบวนการที่สุ่มได้จากกระบวนการของผู้ส่งมอบ A ถึง D (กรณีตัวอย่างที่ 1)	63
10	โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.01$ (กรณีผู้ส่งมอบสองราย)	67
11	โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.025$ (กรณีผู้ส่งมอบสองราย)	67
12	โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.05$ (กรณีผู้ส่งมอบสองราย)	68
13	โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.01$ (กรณีผู้ส่งมอบสามราย)	69
14	โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.025$ (กรณีผู้ส่งมอบสามราย)	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
15	โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.05$ (กรณีผู้ส่งมอบสามราย)	70
16	โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.01$ (กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย)	71
17	โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.025$ (กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย)	71
18	โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.05$ (กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย)	72
19	โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.01$ (กรณีผู้ส่งมอบห้าราย)	73
20	โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.025$ (กรณีผู้ส่งมอบห้าราย)	73
21	โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.05$ (กรณีผู้ส่งมอบห้าราย)	74
22	อำนาจการทดสอบจากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ณ C_{pu_1} ระดับต่าง ๆ (กรณีผู้ส่งมอบสองราย)	75
23	อำนาจการทดสอบจากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ณ C_{pu_1} ระดับต่าง ๆ (กรณีผู้ส่งมอบสามราย)	76
24	อำนาจการทดสอบจากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ณ C_{pu_1} ระดับต่าง ๆ (กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย)	77
25	อำนาจการทดสอบจากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ณ C_{pu_1} ระดับต่าง ๆ (กรณีผู้ส่งมอบห้าราย)	78
26	การเปรียบเทียบ โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ด้วยวิธีของ Chou และ Hubele กับวิธีที่พัฒนาใหม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ด้วยวิธีของ Hubele และวิธีที่พัฒนาใหม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ผู้ส่งมอบสามราย)	85
28	การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ด้วยวิธีของ Hubele และวิธีที่พัฒนาใหม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ผู้ส่งมอบสี่ราย)	90
29	การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ด้วยวิธีของ Hubele และวิธีที่พัฒนาใหม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ผู้ส่งมอบห้าราย)	94
ภาพผนวกที่		
ข1	การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ด้วยวิธีของ Chou และ Hubele กับวิธีที่พัฒนาใหม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 (ผู้ส่งมอบสองราย)	136
ข2	การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ด้วยวิธีของ Chou และ Hubele กับวิธีที่พัฒนาใหม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.025 (ผู้ส่งมอบสองราย)	137
ข3	การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ด้วยวิธีของ Hubele กับวิธีที่พัฒนาใหม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 (ผู้ส่งมอบสามราย)	141
ข4	การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ด้วยวิธีของ Hubele กับวิธีที่พัฒนาใหม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.025 (ผู้ส่งมอบสามราย)	142
ข5	การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ด้วยวิธีของ Hubele กับวิธีที่พัฒนาใหม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 (ผู้ส่งมอบสี่ราย)	146
ข6	การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ด้วยวิธีของ Hubele กับวิธีที่พัฒนาใหม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.025 (ผู้ส่งมอบสี่ราย)	147
ข7	การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ด้วยวิธีของ Hubele กับวิธีที่พัฒนาใหม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 (ผู้ส่งมอบห้าราย)	151
ข8	การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ด้วยวิธีของ Hubele กับวิธีที่พัฒนาใหม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.025 (ผู้ส่งมอบห้าราย)	152

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ก1 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.01$ ณ C_{pu} ระดับต่าง ๆ (กรณีผู้ส่งมอบสองราย)	157
ก2 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.025$ ณ C_{pu} ระดับต่าง ๆ (กรณีผู้ส่งมอบสองราย)	161
ก3 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.01$ ณ C_{pu} ระดับต่าง ๆ (กรณีผู้ส่งมอบสามราย)	167
ก4 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.025$ ณ C_{pu} ระดับต่าง ๆ (กรณีผู้ส่งมอบสามราย)	170
ก5 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.01$ ณ C_{pu} ระดับต่าง ๆ (กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย)	175
ก6 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.025$ ณ C_{pu} ระดับต่าง ๆ (กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย)	178
ก7 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.01$ ณ C_{pu} ระดับต่าง ๆ (กรณีผู้ส่งมอบห้าราย)	183
ก8 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.025$ ณ C_{pu} ระดับต่าง ๆ (กรณีผู้ส่งมอบห้าราย)	186

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

α	=	ระดับนัยสำคัญ (Significant Level)
μ	=	ค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะทางคุณภาพของกระบวนการ (Process Mean of Quality Characteristic)
σ^2	=	ค่าความแปรปรวนของคุณลักษณะทางคุณภาพของกระบวนการ (Variance of Quality Characteristic)
$\Phi(\cdot)$	=	ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมของการแจกแจงปกติ (Cumulative Distribution Function of a Normal Distribution)
$\phi(\cdot)$	=	ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติ (Probability Density Function of a Normal Distribution)
USL	=	ข้อกำหนดเฉพาะด้านบน (Upper Specification Limit)
LSL	=	ข้อกำหนดเฉพาะด้านล่าง (Lower Specification Limit)
C_{pu}	=	ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการด้านบน (Upper Process Capability Index)
C_{pl}	=	ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการด้านล่าง (Lower Process Capability Index)
CV	=	สัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of Variation)
ICV	=	สัมประสิทธิ์ความผันแปรผกผัน (Inverse Coefficient of Variation)
NC	=	สัดส่วนของผลผลิตที่ไม่อยู่ภายใต้ข้อกำหนดเฉพาะของกระบวนการ (Fraction of Nonconformings)
NCPPM	=	สัดส่วนของผลผลิตที่ไม่อยู่ภายใต้ข้อกำหนดเฉพาะของกระบวนการต่อหนึ่งล้านชิ้น (Nonconformings in Parts per Million)

การวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการเพื่อเปรียบเทียบกระบวนการผู้ส่งมอบ กรณีเฉพาะข้อกำหนดพิกัดด้านเดียว

Process Capability Analysis for Comparing Multiple Suppliers

Focusing on One-sided Specification Limit

คำนำ

การวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการ (Process Capability Analysis) เป็นการประเมินความผันแปรของกระบวนการ และวิเคราะห์ความผันแปรนี้กับข้อกำหนดหรือสเปกของผลิตภัณฑ์ เพื่อพิจารณาที่มาของความผันแปรต่าง ๆ ตลอดจนหาทางลดความผันแปรที่เกิดขึ้น โดยมีเครื่องมือที่ใช้ในการกำหนดตัววัดสมรรถภาพกระบวนการ เรียกว่า ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ (Process Capability Indices) ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์และใช้สำหรับเปรียบเทียบกระบวนการเพื่อคัดเลือกผู้ส่งมอบ โดยมีการศึกษาพัฒนาดัชนีสมรรถภาพกระบวนการมาอย่างต่อเนื่อง Kane (1986) เป็นผู้บุกเบิกและพัฒนาดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ C_p และ C_{pk} แต่ดัชนีทั้งสองนี้ไม่ได้พิจารณาค่าเป้าหมายของข้อกำหนด (Specified Target Value) ของผลิตภัณฑ์ Chan *et al.* (1988) ได้พัฒนาดัชนีสมรรถภาพกระบวนการโดยมีการพิจารณาค่าเป้าหมายของข้อกำหนดประกอบ กำหนดเป็นดัชนี C_{pm} ต่อมา Pearn *et al.* (1992) ได้พัฒนาดัชนี C_{pmk} ซึ่งเป็นดัชนีสมรรถภาพกระบวนการที่พิจารณาทั้งค่าเป้าหมายของข้อกำหนดและค่าเฉลี่ยของกระบวนการที่เคลื่อนออกจากค่ากึ่งกลางของข้อกำหนด ซึ่งดัชนีที่กล่าวข้างต้นนี้เป็นดัชนีที่เหมาะสมกับกระบวนการที่มีข้อกำหนดพิกัดสองด้าน (Two-sided Specification Limits) กล่าวคือมีทั้งพิกัดด้านล่างและด้านบนของกระบวนการ

ในกรณีที่อุตสาหกรรมควบคุมลักษณะทางคุณภาพของกระบวนการโดยใช้พารามิเตอร์หรือคุณลักษณะเชิงปริมาณที่สนใจเป็นกรณีค่ายิ่งยวด (Larger the Better) จะกำหนดเฉพาะพิกัดล่าง เช่น Chan *et al.* (2006) ศึกษาโรงงานทำการบรรจุซิลิกอน (Silicon-filler Manufacturing Factory) คุณลักษณะบางตัวของกระบวนการที่ศึกษาต้องการให้มีค่ามาก ๆ ได้แก่ ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) การยืด (Elongation) การทนต่อการฉีก (Tear Strength) การสะท้อน

(Rebound) สำหรับกรณีค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller the Better) จะกำหนดเฉพาะพิคัดบน เช่น โรงงานผลิตหรือแปรรูปอาหาร จะกำหนดปริมาณสารเคมีตกค้าง หรือสิ่งปลอมปนในอาหารไม่เกิน ที่กฎหมายกำหนด กระบวนการที่กล่าวข้างต้น เรียกว่า กระบวนการมีเฉพาะข้อกำหนดพิคัดด้านเดียว (One-sided Specification Limits) ซึ่งดัชนีสมรรถภาพกรณีเฉพาะข้อกำหนดพิคัดด้านเดียวนี้ ได้มีการศึกษาและพัฒนาโดย Kane (1986) กำหนดเป็นดัชนี C_{pu} หรือ C_{pl} และมีการศึกษาพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดย Chou and Owen (1989) และ Pearn and Chen (2002) นอกจากนี้ Vännman (1998) ได้พัฒนาดัชนีสมรรถภาพกระบวนการสำหรับกระบวนการที่มีข้อกำหนดพิคัดด้านเดียว โดยกำหนดให้เป็นดัชนี C_{pau} กับ C_{pal} และ C_{pvu} กับ C_{pvl} ซึ่งเป็นดัชนีที่กำหนดให้ขึ้นกับพารามิเตอร์สองตัว คือ u กับ v ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยและมีการพัฒนาตัวประมาณดัชนีสมรรถภาพกรณีเฉพาะข้อกำหนดพิคัดด้านเดียวมากขึ้น เช่น Lin and Pearn (2002b), Pearn and Lin (2003), Pearn and Shu (2003), Pearn *et al.* (2004a), Chen and Chou (2005) และ Chen *et al.* (2007)

สำหรับกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม สมรรถภาพของกระบวนการที่ดีนั้น ต้องเริ่มต้นควบคุมตั้งแต่การคัดเลือกวัตถุดิบ ซึ่งเป็นการควบคุมตั้งแต่ก่อนนำเข้ากระบวนการผลิต โดยมูลค่าของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มสูงขึ้นตามกระบวนการที่ทำ จนกลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์และสามารถขายได้ สิ่งสำคัญทางด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องพิจารณาคือ ให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมานั้น มีคุณภาพที่ดี ตรงตามความต้องการของลูกค้า และมีคุณลักษณะแตกต่างกันน้อยที่สุด การปล่อยให้วัตถุดิบที่ด้อยคุณภาพเข้าสู่กระบวนการผลิต ทำให้องค์กรต้องสูญเสียรายได้ที่ควรได้รับจากการขายผลิตภัณฑ์ไป หรือถ้าเกิดผลิตภัณฑ์เสียระหว่างกระบวนการผลิต ต้นทุนที่แท้จริงของผลิตภัณฑ์ ย่อมสูงขึ้นด้วย ดังนั้นการเปรียบเทียบสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบ เพื่อทำการคัดเลือกผู้ส่งมอบที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง

โดยทั่วไปวัตถุดิบที่องค์กรสั่งซื้อจะมีผู้ส่งมอบหลายรายให้คัดเลือก ปัจจัยสำคัญในการคัดเลือกผู้ส่งมอบได้แก่ ปัจจัยทางด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ของผู้ส่งมอบ ซึ่งในปัจจุบันการคัดเลือกผู้ส่งมอบโดยพิจารณาปัจจัยทางด้านคุณภาพนั้น มิได้พิจารณาคัดเลือกเฉพาะจากตัวผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจากผู้ส่งมอบเพียงอย่างเดียว แต่การพิจารณานั้นจะพิจารณาไปถึงสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบแต่ละรายด้วย การใช้วัตถุดิบชนิดเดียวกันจากผู้ส่งมอบหลายแหล่ง ซึ่งมีสมรรถภาพกระบวนการแตกต่างกัน อาจส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมานั้น มีความแตกต่างกันได้ นอกจากนี้เป็นการยากที่จะทราบว่าจะทราบสมรรถภาพของกระบวนการของผู้ส่งมอบรายใด มีความแตกต่างจากรายอื่น ๆ เนื่องจากไม่สามารถทราบค่าพารามิเตอร์หรือค่าที่แท้จริงของ

กระบวนการของผู้ส่งมอบแต่ละรายได้ ส่วนใหญ่ค่าที่วัดจากกระบวนการของผู้ส่งมอบนั้นจะเป็นค่าสถิติ หรือค่าประมาณจากการสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากผู้ส่งมอบแต่ละรายมาตรวจสอบเท่านั้น

จากที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงพัฒนาและประยุกต์ใช้วิธีการเปรียบเทียบสมรรถภาพกระบวนการ เพื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของกระบวนการผู้ส่งมอบและคัดเลือกผู้ส่งมอบที่เหมาะสม เป็นการช่วยลดต้นทุนในการผลิต ตลอดจนช่วยลดผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน และพัฒนาระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยมุ่งเน้นศึกษากระบวนการผลิตกรณีเฉพาะข้อกำหนดพิถีพิถันเดียว

ในกรณีผู้ทำการคัดเลือกผู้ส่งมอบ พิจารณาเฉพาะปัจจัยทางด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาจากสมรรถภาพของกระบวนการผู้ส่งมอบนั้น ผู้วิจัยได้พัฒนาวิธีการที่ใช้เปรียบเทียบดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ สำหรับวิเคราะห์ความแตกต่างของกระบวนการผู้ส่งมอบ ซึ่งกรณีนี้ใช้ได้เมื่อไม่มีการพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ นอกจากปัจจัยทางด้านคุณภาพเพียงปัจจัยเดียว กล่าวคือ ปัจจัยอื่นไม่มีความสำคัญต่อการพิจารณา หรือผู้ส่งมอบทุกรายสามารถส่งผลิตภัณฑ์ตรงตามกำหนดเวลา และราคาผลิตภัณฑ์ของผู้ส่งมอบแต่ละรายไม่แตกต่างกัน

แต่ในความเป็นจริง นอกจากปัจจัยทางด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งใช้ในการพิจารณาผู้ส่งมอบแล้ว Cheraghi *et al.* (2004) ได้ทำการศึกษาวิจัย พบว่าในการคัดเลือกผู้ส่งมอบนั้นมีหลายปัจจัยประกอบกัน แต่ 3 ปัจจัยแรก ได้แก่ ปัจจัยทางด้านคุณภาพ ปัจจัยทางการส่งมอบที่ตรงเวลา และปัจจัยทางด้านราคาของวัตถุดิบ เป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ประกอบการตัดสินใจในการคัดเลือกผู้ส่งมอบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาไปถึงวิธีการเปรียบเทียบกระบวนการผู้ส่งมอบ ในกรณีที่มีการพิจารณาปัจจัยทางด้านคุณภาพ ประกอบกับปัจจัยด้านการส่งมอบที่ตรงเวลา และราคาผลิตภัณฑ์ของผู้ส่งมอบด้วย

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์สำคัญของการศึกษาวิจัย คือพัฒนาวิธีการเปรียบเทียบสมรรถภาพ
กระบวนการ เพื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของกระบวนการผู้ส่งมอบและคัดเลือกผู้ส่งมอบที่
เหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์ย่อยดังต่อไปนี้

1. พัฒนาวิธีการเปรียบเทียบสมรรถภาพกระบวนการ ซึ่งใช้เป็นแนวทางในการคัดเลือกผู้
ส่งมอบมากกว่า 1 ราย โดยพิจารณาเฉพาะปัจจัยทางด้านคุณภาพเป็นหลัก
2. พัฒนาวิธีการเปรียบเทียบสมรรถภาพกระบวนการ ซึ่งใช้เป็นแนวทางในการคัดเลือกผู้
ส่งมอบมากกว่า 1 ราย โดยพิจารณาปัจจัยทางด้านคุณภาพ ประกอบกับปัจจัยด้านการส่งมอบที่ตรง
เวลาและปัจจัยทางด้านราคาผลิตภัณฑ์ของผู้ส่งมอบ

การตรวจเอกสาร

การเปรียบเทียบกระบวนการผู้ส่งมอบเพื่อใช้ในการคัดเลือกผู้ส่งมอบเป็นสิ่งสำคัญ และเป็นเรื่องที่ต้องกระทำตระหนัก โดยต้องทำการตัดสินใจคัดเลือกผู้ส่งมอบที่เหมาะสม ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการคัดเลือกผู้ส่งมอบมีหลายประการ ดังนั้นเกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือกผู้ส่งมอบจึงแตกต่างกันไป เช่น ถ้าพิจารณาปัจจัยทางด้านคุณภาพ วิธีหรือเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาได้แก่ อัตราการปฏิเสธผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน (Rate of Reject) โปรแกรมการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง (Continuous Improvement Programs) แต่วิธีทั้งสองนี้มิได้สะท้อนถึงคุณภาพของกระบวนการอย่างแท้จริง สำหรับดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ (Process Capability Indices) และการพิจารณาผลตอบแทนของกระบวนการ (Process Yield) เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการเปรียบเทียบ หรือคัดเลือกผู้ส่งมอบ โดยสามารถสะท้อนให้เห็นถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และคุณภาพของกระบวนการผลิตของผู้ส่งมอบด้วย แต่ก็ยังมีจุดด้อยตรงที่ไม่ได้พิจารณาในมุมมองของความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นกับการผลิตในกรณีที่ผลิตภัณฑ์มิได้เป็นไปตามค่าเป้าหมาย หรือในกรณีที่มีปัจจัยอื่น ๆ ประกอบ อาจไม่สามารถใช้ดัชนีสมรรถภาพของกระบวนการพิจารณาเพียงอย่างเดียวได้ จึงมีการนำฟังก์ชันสูญเสียมาใช้ในการเปรียบเทียบ หรือคัดเลือกผู้ส่งมอบ ซึ่งฟังก์ชันสูญเสียนี้สามารถใช้ในการพิจารณาปัจจัยทางด้านคุณภาพ ทั้งตัวผลิตภัณฑ์ กระบวนการของผู้ส่งมอบ ตลอดจนความสูญเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการที่ผู้ส่งมอบผลิตผลิตภัณฑ์ไม่เป็นไปตามค่าเป้าหมาย นอกจากปัจจัยทางด้านคุณภาพแล้ว การคัดเลือกผู้ส่งมอบอาจพิจารณาปัจจัยการส่งมอบที่ตรงเวลา โดยใช้ร้อยละของการส่งมอบตรงเวลา (Percentage of on Time Shipment) เป็นเกณฑ์สำหรับการคัดเลือกด้วย ยิ่งกว่านั้นราคาของผลิตภัณฑ์ก็นับว่าเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการคัดเลือก นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่นของการบริการ (Flexibility of Service) นโยบายในการรับประกันผลิตภัณฑ์ และการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ชำรุด (Warranties and Claims Policies) และอื่น ๆ

Sadigh *et al.* (2009) ได้ศึกษารวบรวมงานวิจัย และวิธีที่ใช้ในการคัดเลือกผู้ส่งมอบโดยใช้เกณฑ์ต่าง ๆ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1991 ถึง 2009 แสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 วิธีการและเกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือกผู้ส่งมอบ ในงานวิจัยตั้งแต่ปี ค.ศ. 1991-2009

Author(s)	Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tseng and Wu	1991											✓	
Chou	1994											✓	
Hung and Lee	1995											✓	
Teng and Jaramillo	2005		✓	✓	✓	✓							
Liu and Hai	2005	✓	✓										
Pi and Low	2005												✓
Pearn and Kotz	2006											✓	
Linn <i>et al.</i>	2006											✓	
Qing and Xiao-Min	2007	✓											
Hou and Su	2007						✓	✓	✓				
Xai and Wu	2007	✓					✓		✓				
Hui-Ming	2007											✓	
Sanayei <i>et al.</i>	2008	✓											
Teeravaraprug	2008												✓
Kolangul and Susuz	2009	✓											
Lee	2009									✓	✓		

หมายเหตุ : หมายเลข 1-12 ที่ปรากฏบนหัวตารางคือวิธีหรือเกณฑ์ที่ใช้ ประกอบด้วย

- 1 : อัตราการปฏิเสธผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน (Rate of Reject)
- 2 : โปรแกรมการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง (Continuous Improvement Program)
- 3 : คุณภาพของการสนับสนุนและการบริการลูกค้า (Quality of Customer and Support Services)
- 4 : ประกาศนียบัตร หรือใบรับรอง (Certifications)
- 5 : ร้อยละของการส่งมอบตรงเวลา (Percentage on Time Shipment)
- 6 : ระดับของความเชี่ยวชาญเฉพาะ และการออกแบบ (Technical and Design Level)
- 7 : ความง่ายต่อการซ่อมแซม (Easy of repair)
- 8 : ความเชื่อถือได้ของผลิตภัณฑ์ (Reliability)
- 9 : ความสามารถในการปฏิบัติต่อผลิตภัณฑ์ไม่มีคุณภาพ (Capability of Handling Abnormal Quality)

ตารางที่ 1 (ต่อ)

หมายเหตุ (ต่อ)

- 10 : อัตราผลตอบแทน (Yield Rate)
- 11 : ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ (Process Capability Indices)
- 12 : ฟังก์ชันความสูญเสีย (Loss functions)

ที่มา : Sadigh *et al.* (2009)

แต่จากการที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเพิ่มเติม และค้นคว้ามาตั้งแต่ปีค.ศ. 2004 ถึง 2010 นอกจากงานวิจัยที่เกี่ยวกับการคัดเลือกผู้ส่งมอบหรือการเปรียบเทียบกระบวนการของผู้ส่งมอบที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้นแล้ว ยังมีงานวิจัยอีกมากมายที่เกี่ยวกับการคัดเลือกผู้ส่งมอบหรือเปรียบเทียบสมรรถภาพของกระบวนการผู้ส่งมอบ โดยผู้วิจัยเน้นศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการเปรียบเทียบสมรรถภาพกระบวนการ หรือวิเคราะห์ความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ เช่น Chen and Chen (2004) ได้เปรียบเทียบสมรรถภาพกระบวนการของสองกระบวนการ โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบดัชนี C_{pm} (รายละเอียดของดัชนี C_{pm} จะกล่าวในส่วนถัดไป) Pearn *et al.* (2004b) ได้กำหนดกระบวนการคัดเลือกผู้ส่งมอบ โดยพิจารณาจากดัชนี C_{pm} ต่อมา Hubele *et al.* (2005) ได้พัฒนาวิธีการที่ใช้ในการเปรียบเทียบดัชนีสมรรถภาพกระบวนการหลายกระบวนการด้วยสถิติทดสอบวอลด์ Chen *et al.* (2005) ได้สร้างแผนภูมิที่ใช้วิเคราะห์สมรรถภาพของผู้ส่งมอบและพิจารณาปัจจัยด้านราคาประกอบด้วย แต่เป็นการเปรียบเทียบในกรณีที่ข้อจำกัดมีทั้งพิกัดบนและพิกัดล่าง Polanskey (2006) พัฒนาวิธีการเปรียบเทียบสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบหลายรายโดยใช้วิธีการจัดเรียง (Permutation Method) นอกจากนี้ Chen and Chen (2006) ได้พัฒนาวิธีการทดสอบสมมติฐานสำหรับดัชนีไร้สมรรถภาพ (Testing the Process Incapability index) และ Cudney and Drain (2007) ศึกษาผลกระทบของการใช้ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการในการคัดเลือกผู้ส่งมอบ Amiri *et al.* (2008) ใช้การวิเคราะห์ปัจจัยหลัก (Principle Component Analysis) ในการคัดเลือกผู้ส่งมอบ Pearn *et al.* (2009) พัฒนาวิธีการเปรียบเทียบผู้ส่งมอบสองรายโดยใช้วิธีแอ็กแซ็ค (Exact) Ordoobadi (2009) พัฒนาฟังก์ชันความสูญเสียที่ใช้สำหรับการคัดเลือกผู้ส่งมอบ Liao and Kao (2010) ใช้ฟังก์ชันความสูญเสียและวิธีการโปรแกรมเชิงเป้าหมาย (Loss Function and Goal Programming) ในการพิจารณาคัดเลือกผู้ส่งมอบ ซึ่งเมื่อพิจารณางานวิจัยที่ค้นคว้าเพิ่มเติมนี้ส่วน

ใหญ่จะเป็นการคัดเลือกผู้ส่งมอบโดยใช้ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ และฟังก์ชันความสูญเสีย ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2 วิธีการและเกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือกผู้ส่งมอบ ในงานวิจัยนอกเหนือจากการศึกษาของ Sadigh ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000-2010 ที่ผู้วิจัยทำการรวบรวม

Author(s)	Year	1	2	3	4	5	6
Chen and Chen	2004	✓					
Pearn <i>et al.</i>	2004	✓					
Hubele <i>et al.</i>	2005	✓					
Chen <i>et al.</i>	2005	✓		✓			
Chen and Chen	2006					✓	
Polansky	2006	✓					
Cudney and Drain	2007	✓	✓				
Amiri <i>et al.</i>	2008						✓
Pearn <i>et al.</i>	2009	✓					
Ordoobadi	2009		✓				
Liao and Kao	2010		✓		✓		

หมายเหตุ : หมายเลข 1-6 ที่ปรากฏบนหัวตารางคือวิธีที่ใช้ ประกอบด้วย

- 1 : ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ (Process Capability Indices)
- 2 : ฟังก์ชันความสูญเสีย (Loss functions)
- 3 : แผนภูมิข้อมูลเกี่ยวกับราคา (Price Information Chart)
- 4 : การโปรแกรมเชิงเป้าหมาย (Goal Programming)
- 5 : ความสามารถในการปฏิบัติต่อผลิตภัณฑ์ไม่มีคุณภาพ (Capability of Handling Abnormal Quality)
- 6 : การวิเคราะห์ปัจจัยหลัก (Principle Component Analysis)

จากงานวิจัยที่ได้รวบรวมมาข้างต้น พบว่าการพิจารณาคัดเลือกผู้ส่งมอบหรือการเปรียบเทียบผู้ส่งมอบ ส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่ปัจจัยทางด้านคุณภาพ ซึ่งการวิเคราะห์ทำโดยใช้ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ และการวิเคราะห์ฟังก์ชันความสูญเสีย รายละเอียดดังนี้

การวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการ (Process Capability Analysis)

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า มีผู้ที่สนใจศึกษาและปฏิบัติงานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการเป็นจำนวนมากนับตั้งแต่ปี 1986 เป็นต้นมา Kotz and Johnson (2002) ได้ทบทวนงานวิจัยและสรุปงานวิจัยที่ตีพิมพ์เกี่ยวกับการวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการ และดัชนีสมรรถภาพกระบวนการตั้งแต่ปี ค.ศ. 1992 ถึง 2000 ได้ประมาณ 170 บทความ และตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 เป็นต้นมา ยังมีการวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับการวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการที่มีผู้วิจัยและศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการเป็นจำนวนมาก เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สมรรถภาพของกระบวนการสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน กล่าวคือ ใช้วิเคราะห์ว่ากระบวนการผลิตมีความสามารถในการผลิตได้ตามข้อกำหนด (Specification) ดีเพียงใด ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ เช่น ใช้ในการกำหนดความถี่ของการชักสิ่งตัวอย่างสำหรับการตรวจติดตามกระบวนการผลิต ใช้ในการกำหนดความต้องการด้านสมรรถนะสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ใหม่ ใช้ในการออกแบบหรือพัฒนากระบวนการ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการตัดสินใจคัดเลือกหรือควบคุมผู้ส่งมอบด้วย

การวิเคราะห์สมรรถภาพของกระบวนการเป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ในการเปรียบเทียบความผันแปรตามธรรมชาติของกระบวนการผลิต เทียบกับข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดโดยลูกค้าหรือการออกแบบทางวิศวกรรม ซึ่งถ้าความผันแปรที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติของกระบวนการผลิตอยู่ภายใต้การควบคุมและไม่เกินข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ แสดงว่ากระบวนการนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ ในทางกลับกัน ถ้าความผันแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตมากกว่าข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ แสดงว่า กระบวนการนั้นไม่เป็นไปตามเกณฑ์ โดยมีเครื่องมือที่ใช้วัดสมรรถภาพกระบวนการ คือ ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ ซึ่งในเบื้องต้นศึกษาภายใต้ข้อตกลง (Assumption) ที่ว่าข้อมูลที่ศึกษานั้นเป็นข้อมูลแบบผันแปรและแสดงคุณลักษณะด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่สะท้อนถึงสาเหตุของความผันแปรจากกระบวนการที่ศึกษา โดยรวบรวมมาจากกระบวนการผลิตในสภาพปกติ หรือสถานะเสถียรภาพ การเก็บรวบรวมข้อมูลตัวอย่างเป็นแบบสุ่มภายใต้ข้อมูลที่มีลักษณะการกระจายเป็นแบบปกติ (Normal Distribution)

การสร้างดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ ถิ่นแบ่งตามลักษณะของการกำหนดข้อกำหนดพิสัย (Specification Limit) แบ่งได้เป็นสองลักษณะคือ ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการสำหรับข้อกำหนดพิสัยสองด้าน และดัชนีสมรรถภาพกระบวนการสำหรับข้อกำหนดพิสัยด้านเดียว

1. ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการสำหรับข้อกำหนดพิคัดสองด้าน

Kane (1986) ได้เริ่มทำการศึกษาเกี่ยวกับดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ โดยได้กำหนดดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ C_p และ C_{pk} แสดงดังนี้

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (1)$$

และ

$$C_{pk} = \min\left(\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma}\right) \quad (2)$$

เมื่อ

- USL คือ ข้อกำหนดเฉพาะด้านบน
- LSL คือ ข้อกำหนดเฉพาะด้านล่าง
- μ คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ
- σ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ

กำหนดให้ X เป็นตัวแปรสุ่มแทนคุณลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ถ้าสุ่มตัวอย่างขนาด n ค่าคุณลักษณะของตัวอย่างกำหนดเป็น x_1, x_2, \dots, x_n ให้ \hat{C}_p เป็นตัวประมาณของ C_p คำนวณจาก

$$\hat{C}_p = \frac{USL - LSL}{6s} \quad (3)$$

โดยที่ $s = \sqrt{s^2}$ เมื่อ s^2 เป็นตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงของความแปรปรวนของกระบวนการ (σ^2) คำนวณจาก

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (4)$$

และ \bar{x} เป็นตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ (μ) คำนวณได้จาก

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

ภายใต้ข้อมูลที่มีลักษณะการกระจายเป็นแบบปกติ Chou and Owen (1989) พบว่าฟังก์ชันหนาแน่นน่าจะเป็น (Probability Density Function :pdf) ของ \hat{C}_p เป็นดังสมการนี้

$$f(x) = \frac{2 \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{2}} C_p \right]^{n-1}}{\Gamma \left[\frac{(n-1)}{2} \right]} x^{-n} \exp \left[-\frac{(n-1)(C_p)^2}{2x^2} \right], \quad x > 0 \quad (5)$$

ถึงแม้ว่า s^2 จะเป็นตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงของความแปรปรวนของกระบวนการ แต่ Pearn *et al.* (1998) พบว่าตัวประมาณค่า \hat{C}_p ในสมการที่ (3) เป็นตัวประมาณที่เอนเอียง (bias) ของ C_p ซึ่งตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงสำหรับ C_p กำหนดให้เป็น \tilde{C}_p โดย

$$\tilde{C}_p = b_{n-1} \hat{C}_p \quad (6)$$

เมื่อ b_{n-1} เป็นแฟกเตอร์ปรับแก้ (Correction Factor) มีค่าดังนี้

$$b_{n-1} = \left(\sqrt{\frac{2}{(n-1)}} \right) \frac{\Gamma \left[\frac{n-1}{2} \right]}{\Gamma \left[\frac{n-2}{2} \right]} \quad (7)$$

ตัวประมาณ \tilde{C}_p นี้เป็นตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงและมีความแปรปรวนต่ำสุดเอกรูป (Uniformly Minimum Variance Unbiased Estimator : UMVUE) พิสูจน์โดย Pearn *et al.* (1998)

สำหรับช่วงความเชื่อมั่น $(1-\alpha)100\%$ ของ C_p มีผู้ศึกษาพัฒนาหลายท่าน เช่น Heavlin (1988), Chou *et al.* (1990), Pearn *et al.* (1998) นอกจากนี้ยังมีการนำวิธีบูตสแตรป์ (Bootstrap Method) มาใช้เพื่อหาช่วงความเชื่อมั่นของ C_p เช่น Choi *et al.* (1996) และ Collins (1995) ส่วนการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับ C_p Pearn *et al.* (1998) ได้ศึกษาและพัฒนาไว้

สำหรับดัชนีสมรรถภาพ C_{pk} พิจารณาสมการ (2) อาจเขียนในอีกรูปแบบได้ว่า

$$C_{pk} = \frac{d - |\mu - m|}{3\sigma} \quad (8)$$

เมื่อ $d = (USL - LSL)/2$ เป็นค่าครึ่งหนึ่งของช่วงข้อกำหนด (Half of the Length of the Specification interval) และ $m = (USL + LSL)/2$ เป็นค่ากึ่งกลางระหว่างค่าข้อกำหนดพิคัดบนกับค่าข้อกำหนดพิคัดล่าง (Mid-point between the Lower and the Upper Specification Limits)

ดังนั้น ดัชนี C_{pk} จะมีพารามิเตอร์ที่ต้องประมาณสองตัวคือ μ และ σ ถ้าสุ่มตัวอย่างขนาด n ค่าคุณลักษณะของตัวอย่างกำหนดเป็น x_1, x_2, \dots, x_n ให้ \hat{C}_{pk} เป็นตัวประมาณของ C_{pk} คำนวณจาก

$$\hat{C}_{pk} = \frac{d - |\bar{x} - m|}{3s} \quad (9)$$

เมื่อ \bar{x} เป็นตัวประมาณค่าเฉลี่ยของกระบวนการ (μ) และ s เป็นตัวประมาณของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ โดยที่ $s = \sqrt{s^2}$ สูตรการคำนวณ s^2 แสดงดังสมการที่ (4)

แต่ Kotz *et al.* (1993) ได้แสดงให้เห็นว่า \hat{C}_{pk} เป็นตัวประมาณที่เอนเอียงของ C_{pk} เมื่อ $\mu \neq m$ ค่าเอนเอียงจะเป็นแบบบวก และเมื่อ $\mu = m$ ค่าเอนเอียงจะเป็นบวก สำหรับ $n \leq 10$ แต่จะกลายเป็นลบเมื่อ n มีขนาดใหญ่

การหาช่วงความเชื่อมั่นสำหรับ C_{pk} ก็มีผู้ทำการศึกษาพัฒนาไว้หลายวิธีเช่น Zhang *et al.* (1990), Kushler and Hurley (1992), Balamurali and Kalyanasundaram (2002), Collins (1995), Hoffman (2001) สำหรับการทดสอบสมมติฐาน Pearn and Lin (2004) ได้ศึกษาและแสดงค่าวิกฤตสำหรับการเปรียบเทียบไว้

Chan *et al.* (1988) ได้พัฒนาดัชนีสมรรถภาพกระบวนการโดยพิจารณาค่าเป้าหมายของข้อกำหนดประกอบ กำหนดเป็นดัชนี C_{pm} แสดงดังนี้

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (10)$$

เมื่อ T คือ ค่าเป้าหมาย (Target Value)

ต่อมา Pearn *et al.* (1992) ได้พัฒนาดัชนี C_{pmk} ซึ่งเป็นดัชนีสมรรถภาพกระบวนการที่พิจารณาทั้งค่าเป้าหมายของข้อกำหนด และค่าเฉลี่ยของกระบวนการที่เคลื่อนออกจากค่ากึ่งกลางของข้อกำหนด แสดงดังนี้

$$C_{pmk} = \min \left(\frac{USL - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{\mu - LSL}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \right) \quad (11)$$

จากสมการที่ (1) (2) (10) และ (11) สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีต่าง ๆ ได้ดังนี้ $C_p \geq C_{pk} \geq C_{pmk}$ และ $C_p \geq C_{pm} \geq C_{pmk}$ ส่วนความสัมพันธ์ระหว่าง C_{pk} และ C_{pm} นั้นยังไม่ชัดเจน เนื่องจาก ดัชนี C_{pm} จะมีค่าสูงสุดเท่ากับ C_p เมื่อกระบวนการมีตำแหน่งอยู่ตรงกลางของข้อกำหนด และจะมีค่าลดลงโดยมีค่าต่ำกว่า C_{pk} เมื่อกระบวนการมีตำแหน่งเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนด และเมื่อกระบวนการมีตำแหน่งเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดถึงจุดจุดหนึ่ง ค่า C_{pm} กลับมีค่าสูงกว่าค่า C_{pk} จึงไม่สามารถแสดงความสัมพันธ์ที่ชัดเจนได้ (Kotz and Johnson, 2002)

ในกรณีที่ข้อมูลที่มีลักษณะการกระจายไม่เป็นแบบปกติ (Non-Normal Distribution) ก็มีผู้สนใจศึกษาเช่นกัน Tang and Than (1999) ได้รวบรวมงานวิจัยเกี่ยวกับดัชนีสมรรถภาพกระบวนการกรณีที่ข้อมูลที่มีลักษณะการกระจายไม่เป็นแบบปกติ วิธีที่นิยมใช้ได้แก่ วิธีพล็อตความน่าจะเป็น (Probability Plot) วิธีไม่จำกัดการแจกแจง (Distribution-free tolerance intervals) วิธีความแปรปรวนถ่วงน้ำหนัก (Weighted Variance) วิธีของ Clement (Clement's Method) วิธีแปลงของ Box-Cox (Box-Cox Power Transformation) วิธีแปลงของ Johnson (Johnson Transformation) วิธีดัชนีสมรรถภาพ C_s ของ Wright (Wright's Process Capability Index C_s)

2. ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการสำหรับข้อกำหนดพิกัดด้านเดียว

ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการสำหรับข้อกำหนดพิกัดด้านเดียว Kane (1986) ได้กำหนดเป็น C_{pu} หรือ C_{pl} แสดงดังนี้

$$C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad (12)$$

และ
$$C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad (13)$$

เมื่อ	USL	คือ ข้อกำหนดเฉพาะด้านบน
	LSL	คือ ข้อกำหนดเฉพาะด้านบนและด้านล่าง
	μ	คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ
	σ	คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ
	C_{pu}	คือ ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการด้านบน (Upper Process Capability Index)
	C_{pl}	คือ ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการด้านล่าง (Lower Process Capability Index)

ดัชนี C_{pu} เป็นดัชนีที่ใช้วัดสมรรถภาพกระบวนการกรณีพิพารามิเตอร์ที่สนใจมีค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller the Better) จึงกำหนดไว้เฉพาะพิกัดบน ถ้าค่าเกินพิกัดบนแสดงว่า พารามิเตอร์ของกระบวนการเกินข้อกำหนด

ในทำนองเดียวกัน ดัชนี C_{pl} เป็นดัชนีที่ใช้วัดสมรรถภาพกระบวนการกรณีพิพารามิเตอร์ที่สนใจมีค่ายิ่งมากยิ่งดี (Larger the Better) จึงกำหนดไว้เฉพาะพิกัดล่าง ถ้ามีค่าต่ำกว่าพิกัดล่างแสดงว่า พารามิเตอร์ของกระบวนการต่ำกว่าข้อกำหนด

สำหรับกรณีที่มีการกำหนดค่าเป้าหมาย (T) ของกระบวนการ Kane (1986) ได้เสนอสมการสำหรับ C_{pu} และ C_{pl} ไว้ดังนี้

$$C_{pu} = \frac{USL - T - |T - \mu|}{3\sigma} \quad (14)$$

$$\text{และ} \quad C_{pl} = \frac{T - LSL - |\mu - T|}{3\sigma} \quad (15)$$

Vännman (1998) ได้กำหนดดัชนีสำหรับกระบวนการที่มีข้อกำหนดพิคัดด้านเดียว โดยกำหนดให้ขึ้นกับพารามิเตอร์สองตัว คือ u กับ v ซึ่งสร้างไว้ 2 รูปแบบดังนี้

$$\text{รูปแบบแรก} \quad C_{pau}(u, v) = \frac{USL - \mu - u|\mu - T|}{3\sqrt{\sigma^2 + v(\mu - T)^2}} \quad (16)$$

$$\text{และ} \quad C_{pal}(u, v) = \frac{\mu - LSL - u|\mu - T|}{3\sqrt{\sigma^2 + v(\mu - T)^2}} \quad (17)$$

เมื่อ $u \geq 0$ และ $v \geq 0$ ในกรณีที่ $u=0$ และ $v=0$ ดัชนี C_{pau} และ C_{pal} จะเท่ากับดัชนี C_{pu} และ C_{pl} ในสมการที่ (12) และ (13)

$$\text{รูปแบบที่สอง} \quad C_{pvu}(u, v) = \frac{USL - T - u|\mu - T|}{3\sqrt{\sigma^2 + v(\mu - T)^2}} \quad (18)$$

$$\text{และ} \quad C_{pvl}(u, v) = \frac{T - LSL - u|\mu - T|}{3\sqrt{\sigma^2 + v(\mu - T)^2}} \quad (19)$$

เมื่อ $u \geq 0$ และ $v \geq 0$ แต่ $(u, v) \neq (0, 0)$ และเมื่อกำหนดให้ $u = 1$ และ $v = 0$ แล้วดัชนี C_{pvu} และ C_{pvl} นี้จะเท่ากับดัชนี C_{pu} และ C_{pl} ในสมการที่ (14) และ (15) นอกจากนี้ Vännman and Albing (2005) ได้นำดัชนี C_{pau} , C_{pal} และ C_{pvu} , C_{pvl} มาสร้างพล็อตสมรรถภาพกระบวนการ (Process Capability Plots) เพื่อให้การวิเคราะห์กระบวนการทำได้ง่ายขึ้น

แต่อย่างไรก็ตามในทางอุตสาหกรรมและในทางปฏิบัติงาน การคำนวณโดยทั่วไปรวมถึงในโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านการควบคุมคุณภาพต่าง ๆ นิยมใช้ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการตามสมการที่ (12) และ (13) เป็นพื้นฐาน

การประมาณค่าดัชนีสมรรถภาพ C_{pu} หรือ C_{pl} เป็นไปในทำนองเดียวกับ ดัชนี C_p และ C_{pk} โดยดัชนี C_{pu} หรือ C_{pl} มีพารามิเตอร์ที่ต้องประมาณสองตัว คือ μ และ σ

Chou and Owen (1989) ได้ใช้ \bar{x} ประมาณ μ และใช้ s ประมาณ σ กำหนด \hat{C}_{pu} เป็นตัวประมาณ C_{pu} และ \hat{C}_{pl} เป็นตัวประมาณ C_{pl} ภายใต้กระบวนการแบบปกติ ตัวประมาณ \hat{C}_{pu} หรือ \hat{C}_{pl} จะมีการแจกแจงเป็นแบบ $\frac{t_{n-1}(\delta)}{3\sqrt{n}}$ เมื่อ $t_{n-1}(\delta)$ เป็นตัวแปรสุ่ม t ไม่กึ่งกลาง (A Non-central t Random Variable) ด้วยองศาอิสระ $n-1$ และมีพารามิเตอร์ไม่กึ่งกลาง (Non-centrality Parameter) $\delta = 3\sqrt{n} C_{pu}$ (กรณีกำหนดไว้เฉพาะพิกัดบน) หรือ $\delta = 3\sqrt{n} C_{pl}$ (กรณีกำหนดไว้เฉพาะพิกัดล่าง) อย่างไรก็ตามตัวประมาณดังกล่าวเป็นตัวประมาณที่เอนเอียง

Pearn and Chen (2002) ได้กำหนดตัวปรับแก้ b_{n-1} มีค่าเป็น

$$b_{n-1} = \left(\sqrt{\frac{2}{n-1}} \right) \frac{\Gamma\left[\frac{n-1}{2}\right]}{\Gamma\left[\frac{n-2}{2}\right]} \quad (20)$$

เพื่อให้ได้ตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงของ C_{pu} และ C_{pl} โดยกำหนดให้เป็น \tilde{C}_{pu} และ \tilde{C}_{pl} ซึ่ง

$$\tilde{C}_{pu} = b_{n-1} \hat{C}_{pu} \quad (21)$$

และ
$$\tilde{C}_{pl} = b_{n-1} \hat{C}_{pl} \quad (22)$$

และได้พิสูจน์ว่า \tilde{C}_{pu} และ \tilde{C}_{pl} เป็นตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงและมีความแปรปรวนต่ำสุดแบบเอกรูป (UMVUEs) ของ C_{pu} และ C_{pl}

Chou *et al.* (1990) ได้เสนอช่วงความเชื่อมั่นสำหรับดัชนีสมรรถภาพไว้ และงานวิจัยของ Pearn and Shu (2003) และ Pearn *et al.* (2004a) ได้แสดงขั้นตอนสำหรับการคำนวณขอบเชื่อมั่นขั้นต่ำ (Lower Confidence Bounds) ของ C_{pu} และ C_{pl} นอกจากนี้ในส่วนของ การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับ C_{pu} และ C_{pl} Lin and Pearn (2002b) ได้พัฒนาสถิติทดสอบและคำนวณค่าวิกฤต ตลอดจนค่า p (p -Values) เพื่อใช้สำหรับการตัดสินใจ พร้อมทั้งแสดงการประยุกต์ใช้

ฟังก์ชันความสูญเสีย (Loss Function)

ในการวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการ เป็นการศึกษาความผันแปรที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติของกระบวนการ เทียบกับข้อกำหนดพิคคของกระบวนการ โดยมิได้พิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในกรณีที่ค่าของคุณลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่กำหนด หรือค่าที่ต้องการให้เป็น ซึ่งในความเป็นจริงเมื่อค่าของคุณลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่กำหนด ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายหรือความสูญเสียขึ้น ยิ่งค่าเปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่กำหนดมากเท่าไร (ในที่นี้การเปลี่ยนแปลง หมายถึง มีค่ามากหรือน้อยกว่าค่าที่กำหนด) ความสูญเสียย่อมเกิดเพิ่มมากขึ้นตามค่าที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น จึงเกิดแนวความคิดเกี่ยวกับการพิจารณาความผันแปรของกระบวนการที่เกิดขึ้น ในแง่ของความสูญเสีย อาจกล่าวได้ว่า กระบวนการผลิตที่ดีและสามารถแข่งขันกับคู่แข่งทางการค้าได้นั้น นอกจากคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีแล้ว ต้องมีต้นทุนการผลิตและความสูญเสียที่เกี่ยวข้องกับการผลิตต่ำที่สุดด้วย

Taguchi (1986) ได้เสนอแนวความคิดเกี่ยวกับการศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในแง่ของค่าใช้จ่ายหรือมูลค่าความสูญเสียต่าง ๆ ทั้งหมดที่เกิดขึ้นที่เกี่ยวข้องกับการผลิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งเรียกว่า ฟังก์ชันความสูญเสียของคุณภาพ (Quality Loss Function) มีรายละเอียดดังนี้

ฟังก์ชันความสูญเสียแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความผันแปรของกระบวนการกับค่าใช้จ่าย ซึ่งแสดงในรูปของฟังก์ชันกำลังสอง (Quadratic Function) โดยกำหนดให้ลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นค่าวัดที่มีลักษณะต่อเนื่อง หรือลักษณะของข้อมูลเป็นเชิงปริมาณ และมีการแจกแจงเป็นแบบปกติด้วยค่าเฉลี่ย μ และความแปรปรวน σ^2

ให้	Y	เป็นตัวแปรสุ่มที่แทนคุณลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์
	τ	เป็นค่าเป้าหมาย (Target Value) ของกระบวนการ
	$L(y)$	เป็นความสูญเสียที่เกิดจากค่าของ Y แต่ละค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าเป้าหมาย

ภายใต้ข้อตกลงที่ว่า $L(y)$ ไม่มีค่าเป็นลบทุก ๆ ค่าของ Y และ $L(y)$ มีค่าต่ำสุดคือเท่ากับศูนย์ (เมื่อ $y = \tau$) อาศัยอนุกรมของเทเลอร์ (Taylor Series) จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 L(y) &= L(\tau + y - \tau) \\
 &= L(\tau) + \frac{L'(\tau)}{1!}(y - \tau) + \frac{L''(\tau)}{2!}(y - \tau)^2 + \dots
 \end{aligned} \tag{23}$$

$L(y)$ มีค่าต่ำสุดเมื่อ $y = \tau$ และหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งของ $L(y)$ ที่จุดต่ำสุดจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ($L'(y) = 0$) สามารถประมาณสมการข้างต้นด้วย

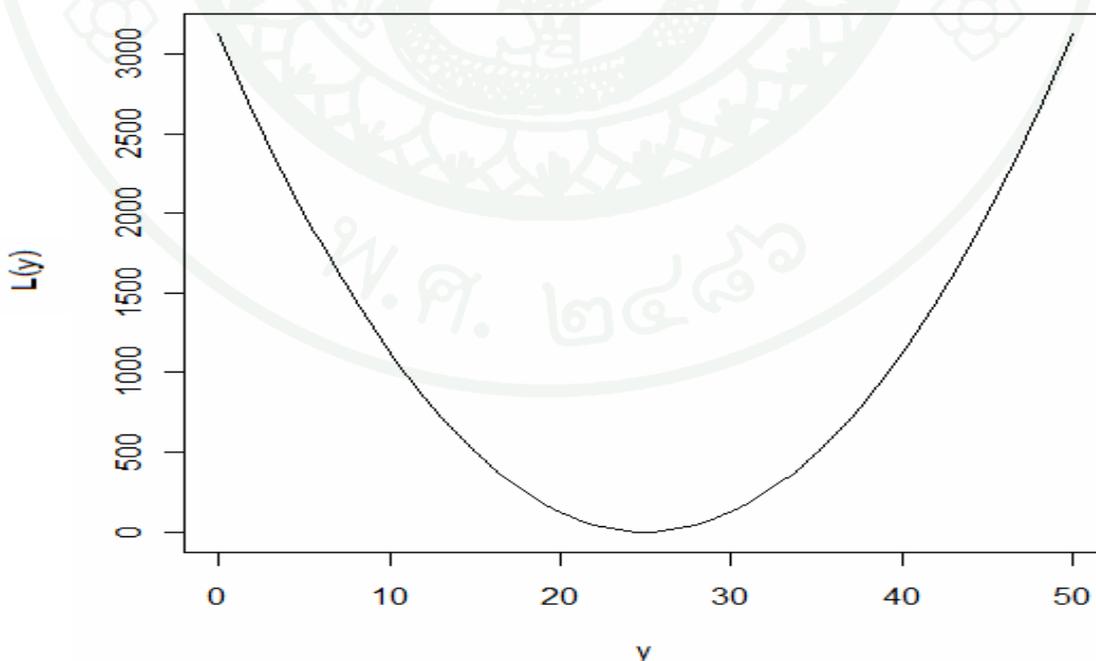
$$L(y) \cong \frac{L''(\tau)}{2}(y - \tau)^2 \tag{24}$$

เขียนใหม่ได้เป็น

$$L(y) = k_Q(y - \tau)^2 \tag{25}$$

เมื่อ k_Q เป็นค่าคงที่ เรียกว่า สัมประสิทธิ์ค่าใช้จ่าย (Cost Coefficient) ลักษณะของฟังก์ชันความสูญเสียตามสมการที่ (25) แสดงดังรูปต่อไปนี้

ฟังก์ชันความสูญเสีย



ภาพที่ 1 ฟังก์ชันความสูญเสีย เมื่อกำหนดให้ค่าเป้าหมายอยู่ที่ 25

การหาสัมประสิทธิ์ค่าใช้จ่าย (k_Q) หาได้โดยการกำหนดความสูญเสียทั้งหมดของผลิตภัณฑ์เมื่อคุณลักษณะเปลี่ยนแปลงไปจากค่าเป้าหมาย เช่น เมื่อ $y = \tau - \Delta$ หรือ $y = \tau + \Delta$ โดย Δ คือขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปจาก τ ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายหรือความสูญเสียทั้งหมดของผลิตภัณฑ์เท่ากับ A เมื่อแทนค่า A และ y ลงในสมการที่ (25) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} A &= k_Q(\tau - \Delta - \tau)^2 \\ &= k_Q\Delta^2 \end{aligned} \quad (26)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad k_Q = \frac{A}{\Delta^2} \quad (27)$$

กำหนดให้ $E(L(y))$ เป็นค่าคาดหวังของฟังก์ชันความสูญเสีย (Expected Value of Loss) กล่าวคือเป็นความสูญเสียโดยเฉลี่ยต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ มีสมการเป็น

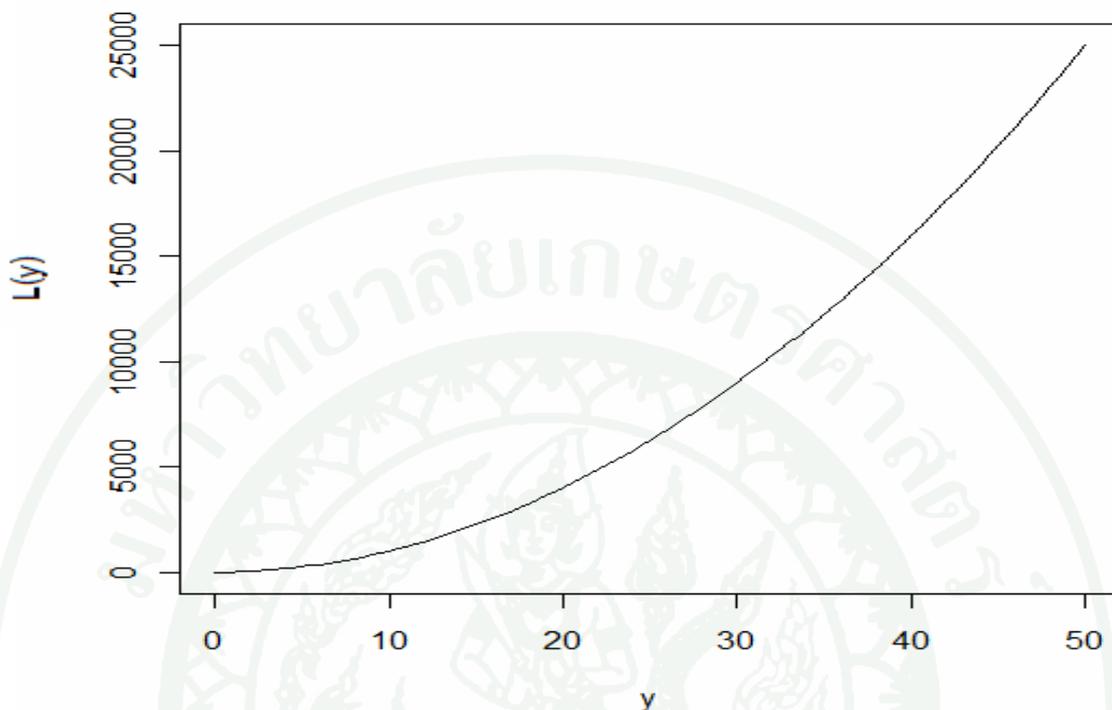
$$\begin{aligned} E(L(y)) &= E[k_Q(y - \tau)^2] \\ &= k_Q E[(y - \tau)^2] \\ &= k_Q E[y^2 - 2y\tau + \tau^2 + \mu^2 - \mu^2] \\ &= k_Q [\sigma^2 + (\mu - \tau)^2] \end{aligned} \quad (28)$$

ในกรณีที่กระบวนการเป็นแบบมีค่าคุณลักษณะทางคุณภาพยิ่งน้อยยิ่งดี ($\tau = 0$) ลักษณะฟังก์ชันความสูญเสีย แสดงดังนี้

$$L(y) = k_Q y^2 \quad (29)$$

ลักษณะของฟังก์ชันความสูญเสียตามสมการที่ (29) แสดงดังรูปต่อไปนี้

ฟังก์ชันความสูญเสีย กรณีคุณลักษณะมีค่ายิ่งน้อยยิ่งดี



ภาพที่ 2 ฟังก์ชันความสูญเสีย กรณีค่าคุณลักษณะยิ่งน้อยยิ่งดี

ซึ่งมีค่าคาดหวังของฟังก์ชันความสูญเสียเป็น

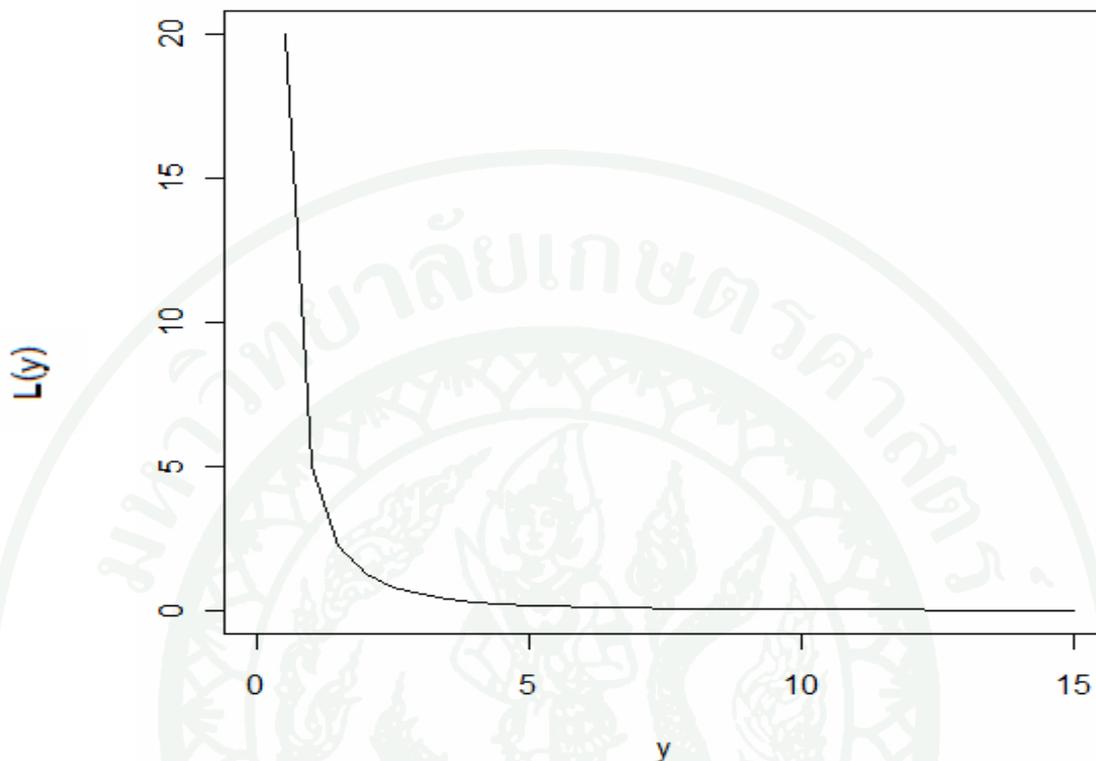
$$\begin{aligned} E(L(y)) &= E[k_Q y^2] \\ &= k_Q [\sigma^2 + \mu^2] \end{aligned} \quad (30)$$

ในทางตรงข้าม กรณีที่กระบวนการเป็นแบบมีค่าคุณลักษณะทางคุณภาพยิ่งมากยิ่งดี ลักษณะฟังก์ชันความสูญเสีย แสดงดังนี้

$$L(y) = k_Q \left(\frac{1}{y^2} \right) \quad (31)$$

ลักษณะของฟังก์ชันความสูญเสียตามสมการที่ (31) แสดงดังรูปต่อไปนี้

ฟังก์ชันความสูญเสีย กรณีค่าคุณลักษณะมีค่ายิ่งมากยิ่งดี



ภาพที่ 3 ฟังก์ชันความสูญเสีย กรณีค่าคุณลักษณะยิ่งมากยิ่งดี

ซึ่งมีค่าคาดหวังของฟังก์ชันความสูญเสียเป็น

$$\begin{aligned}
 E(L(y)) &= E\left[k_Q \left(\frac{1}{y^2}\right)\right] \\
 &= k_Q \left(\frac{1}{\mu^2}\right) \left(1 + \frac{3\sigma^2}{\mu^2}\right)
 \end{aligned} \tag{32}$$

หมายเหตุ : ค่า k_Q ของฟังก์ชันความสูญเสียแบบค่าคุณลักษณะทางคุณภาพยิ่งมากยิ่งดี แตกต่างจาก
สองแบบข้างต้น โดยมีค่า $k_Q = A(\Delta)^2$

ในทางปฏิบัติ ค่า μ และ σ^2 ของกระบวนการเป็นสิ่งที่ไม่ทราบจึงต้องประมาณค่าทั้งสองด้วย \bar{y} และ s^2 เช่นเดียวกับที่กล่าวไปในข้างต้น โดย $\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$ และ $s^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}$ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3 ฟังก์ชันความสูญเสีย ค่าคาดหวังของฟังก์ชันความสูญเสีย และค่าประมาณของค่าคาดหวังของฟังก์ชันความสูญเสีย สำหรับค่าคุณลักษณะประเภทต่าง ๆ

ประเภท	ฟังก์ชันสูญเสีย	ค่าคาดหวังของฟังก์ชันความสูญเสีย	ค่าประมาณของค่าคาดหวังของฟังก์ชันความสูญเสีย
ค่าคุณลักษณะตรง เป้าหมายดีที่สุด (Nominal is the best)	$k_Q (y - \tau)^2$	$k_Q [\sigma^2 + (\mu - \tau)^2]$	$k_Q [s^2 + (\bar{y} - \tau)^2]$
ค่าคุณลักษณะ ยิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller-the-better)	$k_Q y^2$	$k_Q [\sigma^2 + \mu^2]$	$k_Q [s^2 + (\bar{y})^2]$
ค่าคุณลักษณะ ยิ่งมากยิ่งดี (Larger-the-better)	$k_Q \left(\frac{1}{y^2} \right)$	$k_Q \left(\frac{1}{\mu^2} \right) \left(1 + \frac{3\sigma^2}{\mu^2} \right)$	$k_Q \left(\frac{1}{\bar{y}^2} \right) \left(1 + \frac{3s^2}{\bar{y}^2} \right)$

งานวิจัยนี้ศึกษาการวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการเพื่อทำการเปรียบเทียบกระบวนการผู้ส่งมอบ ซึ่งกรณีที่พิจารณาเฉพาะปัจจัยด้านคุณภาพ อาศัยหลักการของการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ โดยหลักการนี้สามารถใช้ได้ตั้งแต่มีผู้ส่งมอบรายเดียว สองราย และมากกว่าสองราย

กรณีที่มีผู้ส่งมอบรายเดียว การคัดเลือกผู้ส่งมอบเมื่อมีข้อกำหนดเฉพาะแบบพิกัดด้านเดียว อาจทำได้โดยการนำดัชนี C_{pu} หรือ C_{pl} จากกระบวนการของผู้ส่งมอบไปเปรียบเทียบกับค่าของดัชนี C_{pu} หรือ C_{pl} ตามค่าดัชนีที่ต้องการ ซึ่งใช้หลักการของการทดสอบสมมติฐานทั่วไป

ในกรณีที่มีผู้ส่งมอบสองราย Chou (1994) ได้พัฒนาวิธีการคัดเลือกผู้ส่งมอบที่ดีที่สุดจากสองราย และได้มีการศึกษาในกรณีที่ข้อกำหนดพิกต์ด้านเดียวไว้ด้วย แต่วิธีของ Chou เป็นวิธีที่ต้องใช้ขนาดตัวอย่างเท่ากัน ซึ่งในทางปฏิบัติจริงนั้นอาจไม่สามารถใช้ขนาดตัวอย่างที่เท่ากันได้ Pearn *et al.* (2009) ได้พัฒนาวิธีการคัดเลือกผู้ส่งมอบสำหรับกระบวนการกรณีเฉพาะพิกต์ด้านเดียว โดยใช้เปรียบเทียบผู้ส่งมอบสองราย ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ขนาดตัวอย่างที่เท่ากัน และได้คำนวณค่าวิกฤตของการทดสอบไว้เป็นแนวทางในการนำไปใช้ ตลอดจนนำข้อมูลจริงมาแสดงการคำนวณประกอบด้วย ซึ่งวิธีที่เขานำเสนอนี้ เรียกว่าวิธี Exact (Exact Approach) เมื่อนำวิธีนี้ไปเปรียบเทียบกับวิธีของ Chou พบว่า วิธี Exact ให้ความผิดพลาดประเภทที่ 1 ของการทดลอง (Actual Type I error) ต่ำกว่าวิธีของ Chou แต่วิธี Exact นี้ค่อนข้างมีความยุ่งยากในการคำนวณค่าวิกฤต ไม่สามารถใช้ตารางพื้นฐาน เช่นตารางไคสแควร์ได้ จึงต้องคำนวณค่าวิกฤตสำหรับการทดสอบเป็นกรณีไป

ในกรณีที่มีผู้ส่งมอบมากกว่าสองราย Hubele *et al.* (2005) ได้นำเสนอวิธีสถิติทดสอบวอลด์ (Wald Test) มาใช้เปรียบเทียบดัชนีสมรรถภาพของกระบวนการหลายกระบวนการ ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่จำเป็นต้องใช้ขนาดตัวอย่างที่เท่ากัน และการคำนวณทำได้ง่าย

สำหรับการเปรียบเทียบผู้ส่งมอบกรณีที่พิจารณาปัจจัยด้านคุณภาพ ประกอบกับปัจจัยการส่งมอบตรงเวลา และราคาของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีหลายปัจจัยที่ต้องพิจารณาไปพร้อมกัน ไม่สามารถใช้วิธีการเปรียบเทียบดัชนีสมรรถภาพของกระบวนการโดยใช้การทดสอบสมมติฐานได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ได้อาศัยหลักการของฟังก์ชันความสูญเสียตามที่กล่าวไว้ในข้างต้น ซึ่งโดยทั่วไปการใช้ฟังก์ชันความสูญเสียในการพิจารณาสมรรถภาพกระบวนการ ส่วนใหญ่จะพิจารณาเฉพาะปัจจัยด้านคุณภาพเป็นหลักเพียงอย่างเดียว แต่ในงานวิจัยนี้ได้นำฟังก์ชันสูญเสียของ 3 ปัจจัยดังกล่าวมาพัฒนาวิธีที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผู้ส่งมอบ ซึ่งรายละเอียดได้นำเสนอไว้ในหัวข้อวิธีการ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนตัว (Personal Computer) Core 2 Duo หน่วยความจำ 2 GB ความจุของ Hard Disk Drive 240 GB
2. โปรแกรม R
3. โปรแกรม MS-EXCEL

วิธีการ

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการที่ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถภาพผู้ส่งมอบมากกว่าหนึ่งรายกรณีเฉพาะข้อกำหนดพิกัดด้านเดียว โดยได้แบ่งปัจจัยในการพิจารณาสำหรับการพัฒนาออกเป็นสองส่วนใหญ่ ๆ ส่วนแรกพิจารณาเฉพาะปัจจัยทางด้านคุณภาพเป็นหลัก และส่วนที่สองพิจารณาปัจจัยทางด้านคุณภาพประกอบกับ ระยะเวลาในการส่งมอบและราคาผลิตภัณฑ์ของผู้ส่งมอบ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การเปรียบเทียบสมรรถภาพของผู้ส่งมอบ โดยพิจารณาเฉพาะปัจจัยทางด้านคุณภาพ

ในการเปรียบเทียบสมรรถภาพของผู้ส่งมอบกรณีพิจารณาเฉพาะปัจจัยทางด้านคุณภาพนั้น ใช้การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความเท่ากันของดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ กรณีเฉพาะข้อกำหนดข้อกำหนดพิกัดด้านเดียว (C_{pu} หรือ C_{pl}) ซึ่งพัฒนามาจากวิธีของ Hubule et al. (2005) ขั้นตอนที่สำคัญในการดำเนินการ ได้แก่

1. กำหนดขอบเขตและเงื่อนไขของวิธีการ
2. ออกแบบวิธีการและสร้างสูตรสำหรับการคำนวณ
3. ออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการ
4. ออกแบบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีการที่พัฒนาขึ้นกับวิธีอื่น ๆ
5. ทำการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการคำนวณ ทดสอบประสิทธิภาพ และเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีที่พัฒนาขึ้น

รายละเอียดของขั้นตอนต่าง ๆ แสดงดังนี้

1. กำหนดขอบเขตและเงื่อนไขของวิธีการ

ในการพัฒนาวิธีการ จำเป็นต้องกำหนดขอบเขตและเงื่อนไขของคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ และลักษณะของกระบวนการของผู้ส่งมอบที่ทำการศึกษา ซึ่งประกอบด้วย

1.1 คุณลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่พิจารณาเป็นแบบเดี่ยว (Univariate quality characteristic) โดยกำหนดให้คุณลักษณะทางคุณภาพของกระบวนการสะท้อนถึงสาเหตุความผันแปรจากกระบวนการที่ศึกษาของผู้ส่งมอบรายที่ i จากผู้ส่งมอบทั้งหมด k ราย และกำหนดให้กระบวนการของผู้ส่งมอบแต่ละรายมีการแจกแจงแบบปกติที่เป็นอิสระกัน

1.2 กระบวนการมีข้อกำหนดเฉพาะด้านเดียว กล่าวคือ มีเฉพาะพิกัดด้านบน (USL) หรือมีเฉพาะพิกัดด้านล่าง (LSL) เท่านั้น

1.3 วิธีการนี้จะใช้ในกรณีที่ไมทราบค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการของผู้ส่งมอบ กล่าวคือ ไม่ทราบค่าที่แท้จริงของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน (μ_i, σ_i^2) ของคุณลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตของผู้ส่งมอบรายที่ i

2. ออกแบบวิธีการและสร้างสูตรสำหรับการคำนวณ

ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการสำหรับข้อกำหนดพิกัดด้านเดียว ที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการ ได้แก่ C_{pu} หรือ C_{pl} โดย

$$C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad (32)$$

และ
$$C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad (33)$$

เมื่อ	C_{pu}	คือ ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการด้านบน (Upper Process Capability Index)
	C_{pl}	คือ ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการด้านล่าง (Lower Process Capability Index)
	USL	คือ ข้อกำหนดเฉพาะด้านบน (Upper Specification Limit)
	LSL	คือ ข้อกำหนดเฉพาะด้านล่าง (Lower Specification Limit)

- μ คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ
 σ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ

ภายใต้กระบวนการที่มีการแจกแจงแบบปกติ ถ้ากำหนดให้ X เป็นตัวแปรสุ่มแทนคุณลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และกำหนดให้ U เป็นตัวแปรสุ่มที่แทนด้วย $USL - X$ จะได้ค่าคาดหวังและความแปรปรวนของ U เป็น

$$\begin{aligned} E(U) &= E(USL - X) \\ &= E(USL) - E(X) \\ &= USL - \mu \end{aligned} \quad (34)$$

และ

$$\begin{aligned} \text{Var}(U) &= \text{Var}(USL - X) \\ &= \text{Var}(X) \\ &= \sigma^2 \end{aligned} \quad (35)$$

กำหนดให้สัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of Variation: CV) ของ U แทนด้วย $CV(U)$ โดย

$$\begin{aligned} CV(U) &= \frac{\sqrt{\text{Var}(U)}}{E(U)} \\ &= \frac{\sigma}{USL - \mu} \end{aligned} \quad (36)$$

ดังนั้นส่วนกลับของสัมประสิทธิ์ความผันแปร หรือเรียกว่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรผกผัน (Inverse Coefficient of Variation: ICV) ของ U แทนด้วย $ICV(U)$ แสดงดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ICV}(U) &= \frac{E(U)}{\sqrt{\text{Var}(U)}} \\ &= \frac{USL - \mu}{\sigma} \end{aligned} \quad (37)$$

พิจารณาสมการของดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ C_{pu} สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์ความผันแปรผกผันได้ว่า

$$C_{pu} = \frac{1}{3} \text{ICV}(U) \quad (38)$$

และจะได้

$$\text{ICV}(U) = 3 C_{pu} \quad (39)$$

ในทำนองเดียวกัน พิจารณาดัชนีสมรรถภาพ C_{pl} ถ้ากำหนดให้ V เป็นตัวแปรสุ่มที่แทน $X - LSL$ จะได้ค่าคาดหวังและความแปรปรวนของ V เป็น

$$\begin{aligned} E(V) &= E(X - LSL) \\ &= E(X) - E(LSL) \\ &= \mu - LSL \end{aligned} \quad (40)$$

และ

$$\begin{aligned} \text{Var}(V) &= \text{Var}(X - LSL) \\ &= \text{Var}(X) \\ &= \sigma^2 \end{aligned} \quad (41)$$

กำหนดให้สัมประสิทธิ์ความผันแปรของ V แทนด้วย $CV(V)$ โดย

$$\begin{aligned}
 CV(V) &= \frac{\sqrt{\text{Var}(V)}}{E(V)} \\
 &= \frac{\sigma}{\mu - LSL}
 \end{aligned}
 \tag{42}$$

และสัมประสิทธิ์ความผันแปรผกผันของ V แทนด้วย ICV(V) แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 ICV(V) &= \frac{E(V)}{\sqrt{\text{Var}(V)}} \\
 &= \frac{\mu - LSL}{\sigma}
 \end{aligned}
 \tag{43}$$

C_{pl} สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์ความผันแปรผกผันได้ว่า

$$C_{pl} = \frac{1}{3} ICV(V) \tag{44}$$

และจะได้ $ICV(U) = 3 C_{pl}$ (45)

ในที่นี้เพื่อความสะดวกในการคำนวณต่าง และการอ้างอิงดัชนีสมรรถภาพกระบวนการกรณีเฉพาะข้อกำหนดพิคัดด้านเดียว ผู้วิจัยกำหนดให้ C_{PS} แทน C_{pu} หรือ C_{pl}

การเปรียบเทียบ C_{PS} จึงสามารถประยุกต์ใช้หลักการของการทดสอบความเท่ากันของสัมประสิทธิ์ความผันแปรผกผันได้ โดย Nairy amd Rao (2003) นำเสนอวิธีการทดสอบไว้ 3 วิธี ได้แก่ วิธีอัตราส่วนภาวะน่าจะเป็น (Likelihood Ratio Test for ICV) วิธีวอลด์ (Wald Test for ICV) และวิธีสกอร์ (Score Test for ICV) ซึ่งพบว่าวิธีวอลด์ให้ผลที่ดี ซึ่งต่อมา Hubele et al. (2005) ได้นำวิธีวอลด์นำมาประยุกต์ใช้กับการเปรียบเทียบดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ อย่างไรก็ตามตัวประมาณดัชนีสมรรถภาพกระบวนการที่ใช้ในวิธีดังกล่าวเป็นตัวประมาณที่เอนเอียง และในกรณีที่ทดสอบแล้วพบว่ามีการกระบวนการแตกต่าง จะต้องทำการทดสอบเป็นรายคู่เพื่อหาคู่ที่แตกต่าง ซึ่งในความเป็นจริง การดำเนินการนั้นอาจไม่ต้องการทราบคู่ที่แตกต่าง แต่เพียงเพื่อคัดเลือกผู้ส่งมอบรายที่ดีที่สุด หรือแยกผู้ส่งมอบที่มีสมรรถภาพต่ำกว่ารายอื่นออกไปเพื่อให้เหลือราย

ที่ดีที่สุดหรือรายที่ดีที่สุด ๆ กัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาออกแบบวิธีการและสร้างสูตรเพื่อใช้เปรียบเทียบความเท่ากันของดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ โดยต้องการแยกผู้ส่งมอบที่มีสมรรถภาพกระบวนการที่ต่ำออก มีแนวความคิดดังนี้

จากวิธีของ Nairy และ Rao กำหนดให้ X_{ij} เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ มีค่าเฉลี่ยเป็น μ_i ความแปรปรวนเป็น σ_i^2 (เมื่อ $i = 1, 2, \dots, k$ ซึ่ง k เป็นจำนวนกลุ่มที่ทำการเปรียบเทียบ j เป็นลำดับของค่าสังเกต และขนาดตัวอย่างของกลุ่มที่ i แทนด้วย n_i) โดยที่แต่ละกลุ่มเป็นอิสระกัน

ถ้าให้ $\theta_i = \frac{\mu_i}{\sigma_i}$ นั่นคือ θ_i เป็นสัมประสิทธิ์ความผันแปรผกผัน

โดยมีตัวประมาณภาวะน่าจะเป็นสูงสุดเป็น $\hat{\theta}_i = \frac{\bar{X}_i}{S_i}$

กำหนดให้ $h_1(\theta) = (\theta_1 - \theta_2, \dots, \theta_1 - \theta_k)'$

ถ้าสัมประสิทธิ์ความผันแปรผกผัน ของทุกกลุ่มไม่แตกต่างกัน สมมติฐานของการทดสอบคือ

$$H_0 : h_1(\theta) = 0$$

แข่งกับ

$$H_1 : h_1(\theta) \neq 0 \quad (46)$$

สถิติทดสอบบอลด์ จำนวนจาก

$$WT = h_1'(\hat{\theta})[H(\hat{\theta})\hat{V}_1(\hat{\theta})H'(\hat{\theta})]^{-1}h_1(\hat{\theta}) \quad (47)$$

เมื่อ

$$H(\theta) = \frac{dh_1(\theta)}{d\theta}$$

โดยมี
$$\hat{V}_1(\hat{\theta}) = \text{diag} \left[\frac{1}{n_1} \left(1 + \frac{\hat{\theta}_1^2}{2} \right), \frac{1}{n_2} \left(1 + \frac{\hat{\theta}_2^2}{2} \right), \dots, \frac{1}{n_k} \left(1 + \frac{\hat{\theta}_k^2}{2} \right) \right] \quad (48)$$

สถิติทดสอบ WT สามารถประมาณได้ด้วยการแจกแจงไคสแควร์ด้วยองศาอิสระ $k-1$ ดังนั้นที่ระดับนัยสำคัญ α จะปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อค่า WT ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่า $\chi_{\alpha, (k-1)}^2$ ซึ่งเปิดจากตารางไคสแควร์

ในงานวิจัยนี้จึงได้นำหลักการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความผันแปรผูกพันกับดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ (C_{PS}) ได้แสดงไว้ในข้างต้น

ในกรณีที่มีผู้ส่งมอบตั้งแต่สองรายขึ้นไป (k ราย โดยที่ $k \geq 2$)

กำหนดให้ C_{pu_i} หรือ C_{pl_i} แทน ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการด้านบนหรือด้านล่างของผู้ส่งมอบรายที่ i เมื่อ $i = 1, 2, 3, \dots, k$
 μ_i แทน ค่าเฉลี่ยของกระบวนการจากผู้ส่งมอบรายที่ i
 σ_i แทน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการจากผู้ส่งมอบรายที่ i

ดังนั้น C_{pu_i} คำนวณได้จาก

$$C_{pu_i} = \frac{USL - \mu_i}{3\sigma_i} \quad (49)$$

และ C_{pl_i} คำนวณได้จาก

$$C_{pl_i} = \frac{\mu_i - LSL}{3\sigma_i} \quad (50)$$

ในความเป็นจริงของกระบวนการผลิต เป็นไปได้ยากที่จะทราบค่าพารามิเตอร์ที่แท้จริงของกระบวนการ (μ_i, σ_i) ดังนั้นจึงสุ่มตัวอย่างจากกระบวนการผลิตและนำค่าสถิติที่ได้จากกระบวนการผลิตมาทำการประมาณค่าพารามิเตอร์

กำหนดให้ x_{ij} เป็นค่าคุณลักษณะทางคุณภาพ ของผู้ส่งมอบที่ i ($i=1,2,\dots,k$) ตัวอย่างที่ j ($j=1,2,\dots,n_i$, n_i คือ ขนาดตัวอย่างที่ใช้สำหรับผู้ส่งมอบรายที่ i)

สามารถหาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของตัวอย่างสำหรับผู้ส่งมอบรายที่ i ได้จาก

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}}{n_i} \quad (51)$$

$$s_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n_i - 1} \quad (52)$$

ซึ่ง \bar{x}_i , s_i^2 เป็นตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงของ μ_i , σ_i^2 ดังนั้นตัวประมาณของ C_{pu_i} และ C_{pl_i} คือ

$$\hat{C}_{pu_i} = \frac{USL - \bar{x}_i}{3s_i} \quad (53)$$

$$\hat{C}_{pl_i} = \frac{\bar{x}_i - LSL}{3s_i} \quad (54)$$

ถึงแม้ว่า \hat{C}_{pu_i} และ \hat{C}_{pl_i} จะใช้ค่า \bar{x}_i และ s_i^2 ซึ่งเป็นตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงของ μ_i และ σ_i^2 ในการคำนวณ แต่อย่างไรก็ตาม Pearn and Chen (2002) พบว่า ตัวประมาณ (\hat{C}_{pu_i} และ \hat{C}_{pl_i}) จากสมการข้างต้น เป็นตัวประมาณที่เอนเอียงสำหรับ C_{pu_i} และ C_{pl_i} โดยตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงแสดงดังนี้

$$C'_{pu_i} = \sqrt{\frac{2}{(n_i - 1)}} \times \frac{\Gamma[(n_i - 1)/2]}{\Gamma[(n_i - 2)/2]} \times \frac{USL - \bar{x}_i}{3s_i} \quad (55)$$

และ

$$C'_{pl_i} = \sqrt{\frac{2}{(n_i - 1)}} \times \frac{\Gamma[(n_i - 1)/2]}{\Gamma[(n_i - 2)/2]} \times \frac{\bar{x}_i - LSL}{3s_i} \quad (56)$$

ถ้าให้ b_{n_i-1} เป็นแฟกเตอร์ปรับแก้ (Correction factor) มีค่าเป็น

$$b_{n_i-1} = \sqrt{\frac{2}{(n_i-1)}} \times \frac{\Gamma[(n_i-1)/2]}{\Gamma[(n_i-2)/2]} \quad (57)$$

ดังนั้นตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงของ C_{pu_i} และ C_{pl_i} คือ

$$C'_{pu_i} = b_{n_i-1} \hat{C}_{pu_i} \quad (58)$$

$$C'_{pl_i} = b_{n_i-1} \hat{C}_{pl_i} \quad (59)$$

เมื่อทำการสุ่มตัวอย่างจากผู้ส่งมอบทั้ง k รายและมาหาค่าประมาณของ C_{pu_i} หรือ C_{pl_i} แล้ว ถ้าผู้ที่ทำการคัดเลือกผู้ส่งมอบต้องการทราบว่า สมรรถภาพของกระบวนการผู้ส่งมอบที่ได้มานั้น แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ และตัวที่ให้ค่าประมาณต่ำสุดนั้น มีสมรรถภาพของกระบวนการแตกต่างจากรายอื่นหรือไม่ วิธีการที่พัฒนาขึ้นมาเริ่มด้วยการเรียงลำดับค่าประมาณดัชนีสมรรถภาพ C_{pu} หรือ C_{pl} โดยกำหนดให้ผู้ส่งมอบรายที่มีค่าประมาณดัชนีสมรรถภาพกระบวนการต่ำที่สุดเป็นรายที่ 1 และกำหนดพารามิเตอร์เป็น C_{PS_1} รายที่มีค่าประมาณต่ำรองลงมา เป็นรายที่สอง และกำหนดพารามิเตอร์เป็น C_{PS_2} เรียงลำดับไปเรื่อย ๆ จนถึงรายที่มีค่าประมาณสูงสุดเป็นรายที่ k และกำหนดพารามิเตอร์เป็น C_{PS_k} ซึ่งแสดงดังตัวอย่างต่อไปนี้

สมมติว่าต้องการพิจารณาผู้ส่งมอบ 4 ราย คือ A, B, C และ D โดย

$$\begin{array}{ll} \text{ผู้ส่งมอบ A มีค่า } C'_{pu_A} = 1.35 & \text{ผู้ส่งมอบ B มีค่า } C'_{pu_B} = 1.11 \\ \text{ผู้ส่งมอบ C มีค่า } C'_{pu_C} = 1.46 & \text{ผู้ส่งมอบ D มีค่า } C'_{pu_D} = 1.42 \end{array}$$

เมื่อนำมาเรียงลำดับค่าประมาณ จะได้ว่า ผู้ส่งมอบ B มีค่าประมาณต่ำที่สุด กำหนดให้เป็น รายที่ 1 ผู้ส่งมอบ A มีค่าประมาณต่ำรองลงมา กำหนดให้เป็นรายที่สอง ผู้ส่งมอบ D เป็นรายที่สาม และผู้ส่งมอบ C เป็นรายที่ 4 และกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการทดสอบดังนี้

$$C_{pu_B} \text{ เป็น } C_{PS_1} \qquad C_{pu_A} \text{ เป็น } C_{PS_2}$$

$$C_{puD} \text{ เป็น } C_{PS_3} \quad \text{และ} \quad C_{puC} \text{ เป็น } C_{PS_4}$$

จากนั้นทำการกำหนดสมมติฐานหลักสำหรับการทดสอบ โดยกำหนดสมมติฐานหลักว่าดัชนีสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบทั้ง k รายไม่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถเขียนสมมติฐานหลักและสมมติฐานรองได้ดังนี้

$$\text{สมมติฐานหลัก (H}_0\text{)} : C_{PS_1} = C_{PS_2} = C_{PS_3} = \dots = C_{PS_k}$$

$$\text{สมมติฐานรอง (H}_1\text{)} : C_{PS_i} \text{ แตกต่างจาก } C_{PS_j} \text{ รายอื่นอย่างน้อย 1 ค่า}$$

จากการกำหนดสมมติฐานข้างต้น สามารถกำหนดเวกเตอร์ \mathbf{d}' ให้เป็นผลต่างระหว่าง C_{PS_i} กับ C_{PS_j} อื่น ๆ ได้ดังนี้

$$\mathbf{d}' = \begin{bmatrix} C_{PS_1} - C_{PS_2} \\ C_{PS_1} - C_{PS_3} \\ \vdots \\ C_{PS_1} - C_{PS_k} \end{bmatrix} \quad (60)$$

ถ้าดัชนีสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบทั้ง k รายไม่มีความแตกต่างกัน จะทำให้ผลต่างระหว่างค่า C_{PS} ในแต่ละคู่มีค่าเป็นศูนย์ กล่าวคือ \mathbf{d}' จะมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นจากสมมติฐานข้างต้น สามารถเขียนให้อยู่ในรูป \mathbf{d}' ได้ดังนี้

$$H_0 : \mathbf{d}' = \mathbf{0} \quad (C_{PS_i} = C_{PS_j} ; \forall i \neq j)$$

$$H_1 : \mathbf{d}' \neq \mathbf{0} \quad (C_{PS_i} \neq C_{PS_j} ; \exists i \neq j)$$

กำหนดให้ \mathbf{H} เป็นอนุพันธ์ของ \mathbf{d}' เทียบกับ \mathbf{C}_{PS} เมื่อ

$$\mathbf{C}_{PS} = \begin{bmatrix} C_{PS_1} \\ C_{PS_2} \\ \vdots \\ C_{PS_k} \end{bmatrix} \quad (61)$$

ดังนั้นเมทริกซ์ \mathbf{H} หาได้จาก

$$\mathbf{H} = \left[\frac{\partial \mathbf{d}'}{\partial \mathbf{C}_{PS}} \right]$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & \cdots & 0 \\ 1 & 0 & -1 & & 0 \\ & & \vdots & & \\ 1 & 0 & 0 & \cdots & -1 \end{bmatrix} \quad (62)$$

ในทางปฏิบัติ จะไม่ทราบค่าที่แท้จริงของ \mathbf{C}_{PS} จึงทำให้ไม่ทราบค่าที่แท้จริงของ \mathbf{d}' ดังนั้นต้องทำการประมาณค่า \mathbf{d}' โดยกำหนดให้ $\hat{\mathbf{d}}'$ เป็นค่าประมาณของ \mathbf{d}' ซึ่งคำนวณจาก

$$\hat{\mathbf{d}}' = \begin{bmatrix} \tilde{C}'_{PS_1} - \tilde{C}'_{PS_2} \\ \tilde{C}'_{PS_1} - \tilde{C}'_{PS_3} \\ \vdots \\ \tilde{C}'_{PS_1} - \tilde{C}'_{PS_k} \end{bmatrix} \quad (63)$$

เมื่อ \tilde{C}'_{PS_i} เป็นตัวประมาณความน่าจะเป็นสูงสุดและไม่เอนเอียงของ C_{PS_i} คำนวณได้ดังนี้

เนื่องจากตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงของ C_{PS_i} ($C'_{PS_i} = b_{n_i-1} \hat{C}_{PS_i}$) คำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาจาก

$$\hat{\sigma}_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2}{n_i - 1} \quad (64)$$

ซึ่งเป็นตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงของ σ_i^2 ในขณะที่สถิติทดสอบวอลด์ใช้ตัวประมาณความน่าจะเป็นสูงสุดของ σ_i^2 ซึ่งเป็นตัวประมาณที่เอนเอียง มีสูตรเป็น

$$\hat{\sigma}_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2}{n_i} \quad (65)$$

ดังนั้น \tilde{C}'_{PS_i} จึงคำนวณตามสูตรต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
\tilde{C}'_{PS_i} &= \sqrt{\frac{n_i}{n_i-1}} b_{n_i-1} \hat{C}_{PS_i} \\
&= \sqrt{\frac{n_i}{n_i-1}} \sqrt{\frac{2}{(n_i-1)}} \times \frac{\Gamma[(n_i-1)/2]}{\Gamma[(n_i-2)/2]} \hat{C}_{PS_i} \\
&= \frac{\sqrt{2n_i}}{(n_i-1)} \times \frac{\Gamma[(n_i-1)/2]}{\Gamma[(n_i-2)/2]} \hat{C}_{PS_i}
\end{aligned} \tag{66}$$

นำค่า \tilde{C}'_{PS_i} ไปแทนใน \hat{d}'

จากสูตรการคำนวณดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ (C_{PS}) ของงานวิจัยนี้ สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความผันแปรผกผันได้เป็น $C_{PS} = \frac{1}{3} ICV$ ดังนั้น

$$ICV = 3C_{PS} \tag{67}$$

นำสมการดังกล่าวไปแทนใน (48) จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
\hat{V}'_1(3\tilde{C}'_{PS}) &= \text{diag} \left[\frac{1}{n_1} \left(1 + \frac{9\tilde{C}'_{PS_1}{}^2}{2} \right), \frac{1}{n_2} \left(1 + \frac{9\tilde{C}'_{PS_2}{}^2}{2} \right), \dots, \frac{1}{n_k} \left(1 + \frac{9\tilde{C}'_{PS_k}{}^2}{2} \right) \right] \\
9\hat{V}'_1(\tilde{C}'_{PS}) &= \text{diag} \left[\frac{1}{n_1} \left(1 + \frac{9\tilde{C}'_{PS_1}{}^2}{2} \right), \frac{1}{n_2} \left(1 + \frac{9\tilde{C}'_{PS_2}{}^2}{2} \right), \dots, \frac{1}{n_k} \left(1 + \frac{9\tilde{C}'_{PS_k}{}^2}{2} \right) \right]
\end{aligned}$$

นำ 9 หารตลอดจะได้

$$\hat{V}'_1(\tilde{C}'_{PS}) = \text{diag} \left[\frac{1}{n_1} \left(\frac{1}{9} + \frac{\tilde{C}'_{PS_1}{}^2}{2} \right), \frac{1}{n_2} \left(\frac{1}{9} + \frac{\tilde{C}'_{PS_2}{}^2}{2} \right), \dots, \frac{1}{n_k} \left(\frac{1}{9} + \frac{\tilde{C}'_{PS_k}{}^2}{2} \right) \right] \tag{68}$$

เพื่อความสะดวกในการคำนวณ กำหนดให้ V' เป็นเมตริกซ์ทแยง (Diagonal matrix) ของค่าประมาณความแปรปรวนของตัวประมาณดัชนีสมรรถภาพที่ศึกษา แทน $\hat{V}'_1(\tilde{C}'_{PS})$ ดังนั้น

$$\mathbf{V}' = \text{diag} \left[\frac{1}{n_1} \left(\frac{1}{9} + \frac{1}{2} \tilde{C}'_{PS_1} \right), \frac{1}{n_2} \left(\frac{1}{9} + \frac{1}{2} \tilde{C}'_{PS_2} \right), \dots, \frac{1}{n_k} \left(\frac{1}{9} + \frac{1}{2} \tilde{C}'_{PS_k} \right) \right] \quad (69)$$

สถิติทดสอบวอลด์(W) คำนวณได้ดังนี้

$$\mathbf{W} = \hat{\mathbf{d}}' \mathbf{T} [\mathbf{H} \mathbf{V}' \mathbf{H}^T]^{-1} \hat{\mathbf{d}}' \quad (70)$$

นำค่าสถิติทดสอบที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับค่าวิกฤต ภายใต้ข้อตกลงเบื้องต้นและสมมติฐานหลักที่กำหนด สถิติทดสอบวอลด์จะเข้าสู่การแจกแจงแบบไคสแควร์ ด้วยองศาอิสระ $k-1$ ดังนั้นที่ระดับนัยสำคัญ α จะปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อค่า \mathbf{W} ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่า $\chi_{\alpha, (k-1)}^2$ ซึ่งเปิดจากตารางไคสแควร์ และสรุปว่าค่าดัชนีสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบรายแรกมีความแตกต่างค่าอื่นอย่างน้อย 1 ค่า ดังนั้นจะตัดค่าประมาณดัชนีสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบรายแรกออก แล้วนำค่าประมาณดัชนีสมรรถภาพของผู้ส่งมอบรายถัดไปมาเป็นรายแรก แล้วดำเนินการตามขั้นตอนที่ 2 และ 3 จนกว่าจะไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลักหรือเหลือผู้ส่งมอบเพียงรายเดียว

3. ออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการ

3.1 ข้อมูลเพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพ

เนื่องจากในทางปฏิบัติไม่สามารถทราบค่าพารามิเตอร์ที่แท้จริง (μ, σ^2) ของกระบวนการผลิตได้ ดังนั้นการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการจึงจำเป็นต้องอาศัยการจำลองกระบวนการผลิตด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งข้อมูลที่จำลองนั้นจะแทนกระบวนการผลิตในสภาพปกติ ภายใต้สภาวะเสถียรภาพ ด้วยวิธีมอนติคาร์โล และข้อมูลที่จำลองขึ้นแทนกระบวนการของผู้ส่งมอบ k ราย ($k \geq 2$) โดยกำหนดให้ทั้ง k กระบวนการมีการแจกแจงแบบปกติที่เป็นอิสระกัน ($X_i \sim N(\mu_i, \sigma_i^2)$ เมื่อ $i = 1, 2, \dots, k$)

3.2 การกำหนดค่าพารามิเตอร์และค่าที่จำเป็นสำหรับการทดสอบ

3.2.1 กำหนดค่าดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ C_{ps}

สำหรับกระบวนการที่มีข้อกำหนดเฉพาะแบบพิคัดด้านเดียว ภายใต้กระบวนการที่มีการแจกแจงแบบปกติ สัดส่วนผลผลิตที่อยู่ภายใต้ข้อกำหนดเฉพาะของกระบวนการ (Process Yield) คำนวณได้จาก

กรณีที่มีข้อกำหนดเฉพาะเป็นแบบพิคัดบน (USL)

ความน่าจะเป็นที่ผลผลิตที่อยู่ภายใต้ข้อกำหนดเฉพาะของกระบวนการคือ

$$\begin{aligned} \Pr(X \leq \text{USL}) &= \Pr\left(\frac{X - \mu}{\sigma} \leq \frac{\text{USL} - \mu}{\sigma}\right) \\ &= \Pr(Z \leq 3C_{pu}) \\ &= \Phi(3C_{pu}) \end{aligned} \quad (71)$$

เมื่อ Z เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน
และ $\Phi(\bullet)$ แทนฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสมของการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน

ดังนั้นสัดส่วนของผลผลิตที่ไม่อยู่ภายใต้ข้อกำหนดเฉพาะของกระบวนการ (Fraction of Non-conformings: NC) คือ

$$\Pr(X > \text{USL}) = 1 - \Phi(3C_{pu}) \quad (72)$$

กรณีที่มีข้อกำหนดเฉพาะเป็นแบบพิคัดล่าง (LSL)

สามารถทำได้ในทำนองเดียวกับกรณีข้อกำหนดแบบพิคัดบน โดยความน่าจะเป็นที่ผลผลิตที่อยู่ภายใต้ข้อกำหนดเฉพาะของกระบวนการคือ

$$\begin{aligned}
 \Pr(X \geq LSL) &= \Pr\left(\frac{X-\mu}{\sigma} \geq \frac{LSL-\mu}{\sigma}\right) \\
 &= \Pr(Z < 3C_{pl}) \\
 &= \Phi(3C_{pl})
 \end{aligned} \tag{73}$$

ดังนั้นสัดส่วนของผลผลิตที่ไม่อยู่ภายใต้ข้อกำหนดเฉพาะของกระบวนการคือ

$$\Pr(X < LSL) = 1 - \Phi(3C_{pl}) \tag{74}$$

ให้ C_{PS} แทน C_{pu} หรือ C_{pl} สัดส่วนของผลผลิตที่ไม่อยู่ภายใต้ข้อกำหนดเฉพาะของกระบวนการทั้งสองกรณี เมื่อพิจารณาต่อหนึ่งล้านชิ้น (Nonconformings in parts per million: NCPPM) จะได้ว่า

$$NCPPM = 10^6 \times [1 - \Phi(3C_{PS})] \tag{75}$$

ความสัมพันธ์ของดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ (C_{PS}) กับสัดส่วนของผลผลิตที่ไม่อยู่ภายใต้ข้อกำหนดต่อหนึ่งล้านชิ้น แสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ของ C_{PS} กับ NCPPM

C_{PS}	NCPPM
1.00	1,349.898
1.25	88.417
1.33	33.037
1.45	6.807
1.50	3.398
1.60	0.7933
1.67	0.272
2.00	0.001

ที่มา: Pearn *et al.* (2009)

และถ้าพิจารณาระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามช่วงของค่า C_{PS} แสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5 ระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามช่วงของค่า C_{PS}

C_{PS}	ค่า C_{PS}
แย่มาก (Inadequate)	$C_{PS} < 1.00$
พอใช้ได้ (Capable)	$1.00 \leq C_{PS} < 1.33$
ค่อนข้างดี (Satisfactory)	$1.33 \leq C_{PS} < 1.50$
ดี (Good)	$1.50 \leq C_{PS} < 1.67$
ดีมาก (Excellent)	$1.67 \leq C_{PS} < 2.00$
ดีเลิศ (Super)	$C_{PS} \geq 2.00$

ที่มา: Pearn *et al.* (2009)

จากระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดไว้ตามตารางข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ C_{PS} ในการออกแบบการทดลองสำหรับการทดสอบความแม่นยำไว้เป็น 1.00, 1.33, 1.50, 1.67 และ 2.00 ซึ่งเป็นค่าล่างของระดับคุณภาพที่กำหนด ในกรณีที่ $C_{PS} < 1.00$ จะไม่พิจารณา

เนื่องจากการคัดเลือกผู้ส่งมอบที่มีมากกว่าหนึ่งราย ดังนั้นถ้าระดับคุณภาพจะไม่พิจารณา
คัดเลือกผู้ส่งมอบรายนั้น และจากการกำหนดค่า C_{ps} นี้ จะทำให้สามารถนำไปหาค่าเบี่ยงเบน
มาตรฐานที่แท้จริงของกระบวนการ ซึ่งมีประโยชน์สำหรับการใช้ในการจำลองข้อมูล

จาก $C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}$ และ $C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการหาได้จาก

$$\text{กรณีพิกัดบน} \quad \sigma = \frac{USL - \mu}{3C_{pu}} \quad (76)$$

$$\text{กรณีพิกัดล่าง} \quad \sigma = \frac{\mu - LSL}{3C_{pl}} \quad (77)$$

ตัวอย่าง ถ้ากำหนดให้ค่าเฉลี่ยที่แท้จริงของกระบวนการเป็นศูนย์ ($\mu = 0$) และกำหนดค่า
 C_{ps} เป็น 1.00 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการคือ $\sigma = \frac{USL}{3}$ หรือ $\sigma = \frac{LSL}{3}$

ในการทดลองนี้ได้กำหนด $\mu = 0$ และ $USL = 3$ เมื่อกำหนดค่า C_{pu} จะได้ค่า σ ดังนี้

$C_{pu} = 1$	จะได้	$\sigma = 1$
$C_{pu} = 1.33$	จะได้	$\sigma = 0.7519$
$C_{pu} = 1.50$	จะได้	$\sigma = 0.6667$
$C_{pu} = 1.67$	จะได้	$\sigma = 0.5999$
$C_{pu} = 2.00$	จะได้	$\sigma = 0.5$

3.2.2 กำหนดขนาดตัวอย่าง

ในการทดลองนี้ได้กำหนดขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 30, 50, 100, 150, 200, 250, 300,
350, 400, 450 และ 500 เนื่องจากวิธีของ Chou ที่จะใช้ในการเปรียบเทียบกับวิธีที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้
ใช้ได้ดีในกรณีที่ขนาดตัวอย่างใหญ่ ซึ่งในงานวิจัยของ Chou ได้แนะนำให้ใช้ขนาดตัวอย่างมากกว่า
20 งานวิจัยนี้จึงกำหนดขนาดตัวอย่างเริ่มต้นที่ 30 และเมื่อขนาดตัวอย่างใหญ่ ในที่นี้กำหนดให้เป็น
500 แฟลคเตอร์ปรับแก้ b_{n_i-1} ในสมการ $C'_{pu_i} = b_{n_i-1} \hat{C}_{pu_i}$ มีค่าเข้าใกล้ 1 ทำให้ค่า C'_{pu_i} ประมาณ
ด้วย \hat{C}_{pu_i}

3.2.3 กำหนดระดับนัยสำคัญ

เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้หลักการของการทดสอบสมมติฐาน ดังนั้นจึงต้องทำการกำหนดระดับนัยสำคัญสำหรับการทดสอบ ซึ่งได้กำหนดไว้ที่ 0.01, 0.025 และ 0.05

3.2.4 กำหนดจำนวนผู้ส่งมอบ

ในการออกแบบทดสอบประสิทธิภาพของวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ ได้กำหนดจำนวนผู้ส่งมอบตั้งแต่ 2 ราย จนถึง 5 ราย

3.3 เกณฑ์ที่ใช้ประเมิน

สำหรับการประเมินประสิทธิภาพนั้น พิจารณาจากค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งที่ปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อกำหนดให้สมมติฐานหลักเป็นจริง จากการทำซ้ำ 50,000 รอบ เรียกว่า โอกาสที่เกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง (The actual Type I error α) แล้วนำไปเปรียบเทียบกับระดับนัยสำคัญ (α) ที่กำหนด โดยระดับนัยสำคัญ คือ

$$\begin{aligned}\alpha &= \text{Pr}(\text{Type I error}) \\ &= \text{Pr}(\text{Reject } H_0 \mid H_0 \text{ จริง})\end{aligned}\quad (78)$$

หมายเหตุ : ผู้วิจัยได้ทดลองทำการทดสอบจำนวนรอบที่เหมาะสม โดยทดลองใช้ที่ 5,000 รอบ 10,000 รอบ 50,000 รอบ และ 100,000 รอบ พบว่าค่าเริ่มเสถียรที่ 50,000 รอบ จึงกำหนดจำนวนของการทำซ้ำไว้ที่ 50,000 รอบ

ดังนั้นจากการกำหนดจำนวนผู้ส่งมอบ ระดับนัยสำคัญ และค่า C_{pu} ทำให้มีเกณฑ์การพิจารณา แสดงดังนี้

กรณีผู้ส่งมอบสองรายพิจารณาจาก

$$\text{Pr}(W > \chi_{\alpha, (2-1)}^2 \mid C_{pu_1} = C_{pu_2} = C_{pu}) \leq \alpha \quad (79)$$

กรณีผู้ส่งมอบสามรายพิจารณาจาก

$$\Pr(W > \chi_{\alpha, (3-1)}^2 \mid C_{pu_1} = C_{pu_2} = C_{pu_3} = C_{pu}) \leq \alpha \quad (80)$$

กรณีผู้ส่งมอบสี่รายพิจารณาจาก

$$\Pr(W > \chi_{\alpha, (4-1)}^2 \mid C_{pu_1} = C_{pu_2} = C_{pu_3} = C_{pu_4} = C_{pu}) \leq \alpha \quad (81)$$

กรณีผู้ส่งมอบห้ารายพิจารณาจาก

$$\Pr(W > \chi_{\alpha, (5-1)}^2 \mid C_{pu_1} = C_{pu_2} = C_{pu_3} = C_{pu_4} = C_{pu_5} = C_{pu}) \leq \alpha \quad (82)$$

ตัวอย่าง ในกรณีที่กำหนดให้มีผู้ส่งมอบสองราย

เมื่อ $\alpha = 0.01$ $C_{pu} = 1.00$ พิจารณาจาก $\Pr(W > \chi_{0.01, (2-1)}^2 \mid C_{pu_1} = C_{pu_2} = 1.00)$

เมื่อ $\alpha = 0.01$ $C_{pu} = 1.33$ พิจารณาจาก $\Pr(W > \chi_{0.01, (2-1)}^2 \mid C_{pu_1} = C_{pu_2} = 1.33)$

เมื่อ $\alpha = 0.01$ $C_{pu} = 1.50$ พิจารณาจาก $\Pr(W > \chi_{0.01, (2-1)}^2 \mid C_{pu_1} = C_{pu_2} = 1.50)$

เมื่อ $\alpha = 0.01$ $C_{pu} = 1.67$ พิจารณาจาก $\Pr(W > \chi_{0.01, (2-1)}^2 \mid C_{pu_1} = C_{pu_2} = 1.67)$

เมื่อ $\alpha = 0.01$ $C_{pu} = 2.00$ พิจารณาจาก $\Pr(W > \chi_{0.01, (2-1)}^2 \mid C_{pu_1} = C_{pu_2} = 2.00)$

เมื่อ $\alpha = 0.025$ $C_{pu} = 1.00$ พิจารณาจาก $\Pr(W > \chi_{0.025, (2-1)}^2 \mid C_{pu_1} = C_{pu_2} = 1.00)$

เมื่อ $\alpha = 0.025$ $C_{pu} = 1.33$ พิจารณาจาก $\Pr(W > \chi_{0.025, (2-1)}^2 \mid C_{pu_1} = C_{pu_2} = 1.33)$

เมื่อ $\alpha = 0.025$ $C_{pu} = 1.50$ พิจารณาจาก $\Pr(W > \chi_{0.025, (2-1)}^2 \mid C_{pu_1} = C_{pu_2} = 1.50)$

เมื่อ $\alpha = 0.025$ $C_{pu} = 1.67$ พิจารณาจาก $\Pr(W > \chi_{0.025, (2-1)}^2 \mid C_{pu_1} = C_{pu_2} = 1.67)$

เมื่อ $\alpha = 0.025$ $C_{pu} = 2.00$ พิจารณาจาก $\Pr(W > \chi_{0.025, (2-1)}^2 \mid C_{pu_1} = C_{pu_2} = 2.00)$

เมื่อ $\alpha = 0.05$ $C_{pu} = 1.00$ พิจารณาจาก $\Pr(W > \chi_{0.05, (2-1)}^2 \mid C_{pu_1} = C_{pu_2} = 1.00)$

เมื่อ $\alpha = 0.05$ $C_{pu} = 1.33$ พิจารณาจาก $\Pr(W > \chi_{0.05, (2-1)}^2 \mid C_{pu_1} = C_{pu_2} = 1.33)$

เมื่อ $\alpha = 0.05$ $C_{pu} = 1.50$ พิจารณาจาก $\Pr(W > \chi_{0.05, (2-1)}^2 \mid C_{pu_1} = C_{pu_2} = 1.50)$

เมื่อ $\alpha = 0.05$ $C_{pu} = 1.67$ พิจารณาจาก $\Pr(W > \chi_{0.05, (2-1)}^2 \mid C_{pu_1} = C_{pu_2} = 1.67)$

เมื่อ $\alpha = 0.05$ $C_{pu} = 2.00$ พิจารณาจาก $\Pr(W > \chi_{0.05, (2-1)}^2 \mid C_{pu_1} = C_{pu_2} = 2.00)$

กรณีผู้ส่งมอบ สามราย สี่รายและ ห้ารายก็ทำในทำนองเดียวกัน

นอกจากพิจารณาโอกาสที่เกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลองแล้ว ยังพิจารณาอำนาจการทดสอบ (Power of the test) ด้วย ซึ่งอำนาจการทดสอบ คือ โอกาสที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อสมมติฐานรองเป็นจริง

$$1 - \beta = P(\text{ปฏิเสธ } H_0 \mid H_1 \text{ จริง}) \quad (83)$$

กล่าวคือ เมื่อมีผู้ส่งมอบที่สมรรถภาพของกระบวนการแตกต่างกันไปจากผู้ส่งมอบรายอื่นแล้ว สถิติทดสอบที่พัฒนาขึ้นสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ดีเพียงไร ในการทดลองจะกำหนดให้ผู้ส่งมอบรายแรกมีดัชนีสมรรถภาพกระบวนการแตกต่างจากผู้ส่งมอบรายอื่น ๆ แผนการทดสอบแสดงได้ดังนี้

กรณีผู้ส่งมอบสองราย

กำหนดให้ C_{pu_1} ต่างจาก C_{pu_2} โดยกำหนดให้

$$C_{pu_1} = 1.00 \text{ และกำหนด } C_{pu_2} = 1.33, 1.50, 1.67, 2.00$$

$$C_{pu_1} = 1.33 \text{ และกำหนด } C_{pu_2} = 1.50, 1.67, 2.00$$

$$C_{pu_1} = 1.50 \text{ และกำหนด } C_{pu_2} = 1.67, 2.00$$

$$C_{pu_1} = 1.67 \text{ และกำหนด } C_{pu_2} = 2.00$$

กรณีผู้ส่งมอบสามราย

กำหนดให้ C_{pu_1} ต่างจาก C_{pu_2} และ C_{pu_3} โดยกำหนดให้

$$C_{pu_1} = 1.00 \text{ และกำหนด } C_{pu_2} = C_{pu_3} = 1.33, 1.50, 1.67, 2.00$$

$$C_{pu_1} = 1.33 \text{ และกำหนด } C_{pu_2} = C_{pu_3} = 1.50, 1.67, 2.00$$

$$C_{pu_1} = 1.50 \text{ และกำหนด } C_{pu_2} = C_{pu_3} = 1.67, 2.00$$

$$C_{pu_1} = 1.67 \text{ และกำหนด } C_{pu_2} = C_{pu_3} = 2.00$$

กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย

กำหนดให้ C_{pu_1} ต่างจาก C_{pu_2}, C_{pu_3} และ C_{pu_4} โดยกำหนดให้

$$C_{pu_1} = 1.00 \text{ และกำหนด } C_{pu_2} = C_{pu_3} = C_{pu_4} = 1.33, 1.50, 1.67, 2.00$$

$$C_{pu_1} = 1.33 \text{ และกำหนด } C_{pu_2} = C_{pu_3} = C_{pu_4} = 1.50, 1.67, 2.00$$

$$C_{pu_1} = 1.50 \text{ และกำหนด } C_{pu_2} = C_{pu_3} = C_{pu_4} = 1.67, 2.00$$

$$C_{pu_1} = 1.67 \text{ และกำหนด } C_{pu_2} = C_{pu_3} = C_{pu_4} = 2.00$$

กรณีผู้ส่งมอบห้าราย

กำหนดให้ C_{pu_1} แตกต่างจาก $C_{pu_2}, C_{pu_3}, C_{pu_4}$ และ C_{pu_5} โดยกำหนดให้

$$C_{pu_1} = 1.00 \text{ และกำหนด } C_{pu_2} = C_{pu_3} = C_{pu_4} = C_{pu_5} = 1.33, 1.50, 1.67, 2.00$$

$$C_{pu_1} = 1.33 \text{ และกำหนด } C_{pu_2} = C_{pu_3} = C_{pu_4} = C_{pu_5} = 1.50, 1.67, 2.00$$

$$C_{pu_1} = 1.50 \text{ และกำหนด } C_{pu_2} = C_{pu_3} = C_{pu_4} = C_{pu_5} = 1.67, 2.00$$

$$C_{pu_1} = 1.67 \text{ และกำหนด } C_{pu_2} = C_{pu_3} = C_{pu_4} = C_{pu_5} = 2.00$$

ศึกษาที่ระดับนัยสำคัญ และขนาดตัวอย่างที่กำหนดเช่นเดียวกับที่ศึกษาโอกาสที่เกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง จากนั้นหาอำนาจการทดสอบจากการทดลอง 50,000 รอบ

จากการกำหนดค่าพารามิเตอร์และค่าที่จำเป็นสำหรับการทดสอบและเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมิน ตามขั้นตอนที่ 3.2 และ 3.3 ทำให้มีแผนการทดสอบสำหรับเกณฑ์โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 คือ $5 \times 11 \times 3 \times 4 = 660$ กรณี (ประกอบด้วย ระดับ C_{pu} ขนาดตัวอย่าง ระดับนัยสำคัญ และ จำนวนผู้ส่งมอบ) และมีแผนการทดสอบสำหรับเกณฑ์อำนาจการทดสอบ คือ $4 \times 11 \times 3 \times 4 = 660$ กรณี รวมทั้งหมด 1,188 กรณี โดยในแต่ละกรณีจะทำซ้ำ 50,000 รอบ

4. ออกแบบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีการที่พัฒนาขึ้นกับวิธีอื่น ๆ

4.1 วิธีการที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

วิธีการที่ใช้ในการเปรียบเทียบ แบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่มีผู้ส่งมอบสองราย ได้นำวิธีที่พัฒนาขึ้นไปเปรียบเทียบกับวิธีของ Chou (1994) และวิธีของ Hubele *et al.* (2005) เนื่องจากวิธีของ Chou ใช้ได้เฉพาะกรณีผู้ส่งมอบสองรายเท่านั้น ส่วนกรณีที่มีผู้ส่งมอบมากกว่าสองราย จะเปรียบเทียบกับวิธีของ Hubele *et al.* (2005) รายละเอียดของวิธีที่ใช้เปรียบเทียบมีดังนี้

4.1.1 วิธีของ Chou มีขั้นตอนที่สำคัญดังนี้

4.1.1.1 กำหนดสมมติฐานหลักและสมมติฐานรอง ดังนี้

สมมติฐานหลัก (H_0) : $C_{pu_1} \geq C_{pu_2}$ (กระบวนการที่ 2 ไม่ดีกว่ากระบวนการที่ 1)

สมมติฐานรอง (H_1) : $C_{pu_1} < C_{pu_2}$ (กระบวนการที่ 2 ดีกว่ากระบวนการที่ 1)

4.1.1.2 กำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับการทดสอบที่เท่ากัน ($n_1 = n_2 = n$)

4.1.1.3 ทำการสุ่มตัวอย่างจากกระบวนการที่ 1 และกระบวนการที่ 2 จำนวนค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจากสมการที่ (51) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างจากรากที่สองของสมการที่ (52)

4.1.1.4 กำหนดค่า \hat{C}_{pu_1} , \hat{C}_{pu_2} และ สถิติทดสอบ A ดังนี้

$$\hat{C}_{pu_1} = \frac{USL - \bar{x}_1}{3s_1}$$

$$\hat{C}_{pu_2} = \frac{USL - \bar{x}_2}{3s_2}$$

สถิติทดสอบ A กำหนดจาก

$$A = \left[\frac{2}{\sqrt{a\hat{C}_{pu_1}^2 + 2} \sqrt{a\hat{C}_{pu_2}^2 + 2} - a\hat{C}_{pu_1}\hat{C}_{pu_2}} \right]^n \quad (84)$$

เมื่อ $a = \frac{9n}{n-1}$

สถิติทดสอบ A เป็นอัตราส่วนล็อกน่าจะเป็น (log-likelihood ratio) ซึ่งประมาณด้วยการแจกแจงไคสแควร์ซึ่งกำลัง (Approximating the Exponential of the Chi-square Distribution) ด้วยองศาอิสระ 1 ภายใต้ทฤษฎีตัวอย่างขนาดใหญ่ (Large-sample Theory) พิสูจน์ได้ที่ Chou (1994)

4.1.1.5 กำหนดเกณฑ์การตัดสินใจ โดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อ สถิติทดสอบ $A < \exp \{-\chi^2_{1,(1-2\alpha)/2}\}$ นั่นคือ $C_{pu_1} < C_{pu_2}$ หมายความว่ากระบวนการที่ 2 ดีกว่ากระบวนการที่ 1

4.1.2 วิธีของ Hubele มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1.2.1 กำหนดสมมติฐานหลักและสมมติฐานรองดังนี้

สมมติฐานหลัก (H_0) : $C_{pu_1} = C_{pu_2} = C_{pu_3} = \dots = C_{pu_k}$
(กระบวนการทั้งหมดไม่แตกต่างกัน)

สมมติฐานรอง (H_1) : $C_{pu_i} \neq C_{pu_j}$ เมื่อ $i \neq j$ และ $i, j \in \{1, 2, \dots, k\}$
(มีอย่างน้อยหนึ่งคู่กระบวนการที่แตกต่างกัน)

4.1.2.2 ทำการสุ่มตัวอย่างจากกระบวนการ จำนวนค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง เช่นเดียวกับวิธีของ Chou

4.1.2.3 จำนวนค่า \hat{C}_{pu_i} และ \tilde{C}_{pu_i} ดังนี้

$$\hat{C}_{pu_i} = \frac{USL - \bar{x}_i}{3s_i} \quad (85)$$

กำหนดให้ \tilde{C}_{pu_i} เป็นตัวประมาณของ C_{pu_i} โดย

$$\tilde{C}_{pu_i} = \sqrt{\frac{n_i}{n_i - 1}} \hat{C}_{pu_i} \quad (86)$$

4.1.2.4 กำหนดค่า d โดย

$$\mathbf{d} = \begin{bmatrix} C_{pu_1} - C_{pu_2} \\ C_{pu_2} - C_{pu_3} \\ \vdots \\ C_{pu_{k-1}} - C_{pu_k} \end{bmatrix} \quad (87)$$

จากสมมติฐานข้างต้นอาจเขียนสมมติฐานหลักใหม่ในรูป \mathbf{d} ได้ดังนี้

สมมติฐานหลัก (H_0): $\mathbf{d} = 0$ (กระบวนการทั้งหมดไม่แตกต่างกัน)

สมมติฐานรอง (H_1): $\mathbf{d} \neq 0$ (มีบางกระบวนการแตกต่างกัน)

4.1.2.5 กำหนดเมตริกซ์ \mathbf{H} โดย

$$\mathbf{H} = \left[\frac{\partial \mathbf{d}}{\partial \mathbf{C}_{pu}} \right] \quad (88)$$

ซึ่ง \mathbf{H} จะประกอบด้วยหน่วย (element) $a_{ii} = 1$ และ $a_{i+1,i} = -1$ สำหรับ $i = 1, 2, \dots, k$ ส่วนหน่วยอื่น ๆ เป็นศูนย์ ดังเมตริกซ์ต่อไปนี้

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & & 0 & 0 \\ & & \vdots & & & \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (89)$$

4.1.2.6 กำหนดสถิติทดสอบ W ดังนี้

$$W = \tilde{\mathbf{d}}^T [\mathbf{H}\tilde{\mathbf{V}}\mathbf{H}^T]^{-1} \tilde{\mathbf{d}} \quad (90)$$

เมื่อ $\tilde{\mathbf{d}}$ เป็นเวกเตอร์ที่ใช้ประมาณ \mathbf{d} โดยใช้ \tilde{C}_{pu_i} แทน C_{pu_i} และ $\tilde{\mathbf{V}}$ เป็นเมตริกซ์ $k \times k$ ของความแปรปรวนของตัวประมาณดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ C_{pu_i} คำนวณจาก

$$\tilde{\mathbf{V}}_{k \times k} = \text{diag} \left[\frac{1}{n_1} \left(\frac{1}{9} + \frac{1}{2} \tilde{C}_{pu_1}^2 \right), \frac{1}{n_2} \left(\frac{1}{9} + \frac{1}{2} \tilde{C}_{pu_2}^2 \right), \dots, \frac{1}{n_k} \left(\frac{1}{9} + \frac{1}{2} \tilde{C}_{pu_k}^2 \right) \right] \quad (91)$$

สถิติทดสอบ W ประมาณได้ด้วยการแจกแจงไคสแควร์ ที่มีองศาอิสระ $k-1$

4.1.2.7 กำหนดเกณฑ์การตัดสินใจ โดยจะปฏิเสธ H_0 ถ้าสถิติทดสอบ W มีค่ามากกว่าค่า $\chi_{\alpha, k-1}^2$

4.2 แผนการทดสอบและเกณฑ์การตัดสินใจ

4.2.1 กรณีผู้ส่งมอบสองราย

ได้นำวิธีที่พัฒนาขึ้นไปเปรียบเทียบกับวิธีของ Chou และวิธีของ Hubule ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.025 และ 0.05 ด้วยขนาดตัวอย่าง 30, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 ที่ $C_{pu} = 1.33, 1.50, 1.67, 2.00$ แผนการทดสอบและเกณฑ์การตัดสินใจพิจารณาใช้เช่นเดียวกับหัวข้อ 3

4.2.2 กรณีผู้ส่งมอบมากกว่าสองราย

ได้นำวิธีที่พัฒนาขึ้นไปเปรียบเทียบกับวิธีของ Hubule ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.025 และ 0.05 ด้วยขนาดตัวอย่าง 30, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 ที่ $C_{pu} = 1.33, 1.50, 1.67, 2.00$ แผนการทดสอบและเกณฑ์การตัดสินใจพิจารณาใช้เช่นเดียวกับหัวข้อ 3

ประสิทธิภาพของวิธีการ พิจารณาจากโอกาสที่เกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลองเฉลี่ย โดยวิธีที่ให้โอกาสที่เกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลองเฉลี่ยต่ำ แสดงว่าวิธีนั้นมีประสิทธิภาพดีกว่า นอกจากนี้ควรพิจารณาอำนาจการทดสอบเฉลี่ยของการทดลองประกอบด้วย วิธีที่ให้อำนาจทดสอบเฉลี่ยของการทดลองมากกว่าจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีที่ให้อำนาจการทดสอบเฉลี่ยของการทดลองที่ต่ำกว่า การพิจารณาอำนาจการทดสอบที่สูงกว่าเป็นการบอกได้ว่า เมื่อมีบางกระบวนการที่มีสมรรถภาพแตกต่างจากกระบวนการอื่น โอกาสที่จะตัดสินใจถูกต้องของวิธีใดสูงกว่ากัน กล่าวคือ ในกรณีที่บางกระบวนการมีสมรรถภาพแตกต่างจากกระบวนการอื่น วิธีการที่พัฒนาขึ้นสามารถคัดแยกได้ดีกว่าวิธีอื่น ๆ หรือไม่ เนื่องจาก ถ้ามีบางกระบวนการที่มีสมรรถภาพแตกต่างจากกระบวนการอื่น ๆ แล้ว ในขั้นตอนของการทดสอบสมมติฐาน ไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก จะทำให้มีกระบวนการที่ค้ำยกว่ากระบวนการอื่นอยู่ในการพิจารณา เช่น ถ้ามีผู้ส่งมอบ 3 ราย ถ้าผู้ส่งมอบรายแรก มีสมรรถภาพกระบวนการที่แท้จริงเป็น 1.33 ส่วนผู้ส่งมอบรายที่สองและรายที่สาม มีสมรรถภาพกระบวนการที่แท้จริงเป็น 1.5 ถ้ากระบวนการทดสอบ ไม่สามารถแยกผู้ส่งมอบรายที่ 1 ออกไปได้ ก็จะสรุปว่า ทั้ง 3 กระบวนการมีสมรรถภาพไม่แตกต่างกัน โอกาสที่เลือกผู้ส่งมอบรายแรกย่อมเป็นไปได้ ซึ่งถ้าเลือกผู้ส่งมอบรายแรกจะทำให้มีสัดส่วนของผลผลิตที่ไม่อยู่ภายใต้ข้อกำหนดเฉพาะของกระบวนการต่อหนึ่งล้านชิ้น (NCPPM) ผิดพลาดไป 29.639 ชิ้น (33.037 - 3.398 จากตารางที่ 4)

5. ทำการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการคำนวณ ทดสอบประสิทธิภาพ และเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีที่พัฒนาขึ้น

เขียนโปรแกรม สำหรับการคำนวณ ทดสอบประสิทธิภาพ และเปรียบเทียบสมรรถนะ ของวิธีที่พัฒนาขึ้น ด้วยโปรแกรม R ตามวิธีการและขั้นตอนที่นำเสนอไว้ข้างต้น

ถ้าในกรณีที่การพิจารณาเปรียบเทียบสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบนั้น มีปัจจัยอื่นที่ต้องพิจารณาประกอบกัน เช่น ปัจจัยทางด้านการส่งมอบที่ตรงเวลา และราคาผลิตภัณฑ์ การเปรียบเทียบสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบจะมีความซับซ้อนขึ้น และการใช้วิธีการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความเท่ากันของดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ C_{pu} หรือ C_{pi} ซึ่งสะท้อนเพียงปัจจัยด้านคุณภาพมาเปรียบเทียบสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบ ที่ต้องพิจารณาปัจจัยอื่นประกอบกัน อาจมีความไม่เหมาะสม ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการเปรียบเทียบสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบ โดยพิจารณาปัจจัยด้านคุณภาพ การส่งมอบที่ตรงเวลา และราคาผลิตภัณฑ์ของผู้ส่งมอบ รายละเอียดของวิธีการแสดงดังต่อไปนี้

การเปรียบเทียบสมรรถภาพของผู้ส่งมอบ โดยพิจารณาปัจจัยทางด้านคุณภาพ การส่งมอบที่ตรงเวลา และราคาผลิตภัณฑ์ของผู้ส่งมอบ

จากงานวิจัยของ Cheraghi *et al.* (2004) ได้แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยที่สำคัญ 3 ปัจจัยแรกในการคัดเลือกผู้ส่งมอบ ได้แก่ ปัจจัยด้านคุณภาพ ราคา และการส่งมอบที่ตรงเวลา ดังนั้นอาจเป็นไปได้ที่ผู้ส่งมอบที่ทำการเปรียบเทียบอยู่นั้น มีความสามารถในการส่งมอบผลิตภัณฑ์ได้ตรงตามกำหนดเวลาที่ต้องการ และมีราคาของผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน ส่งผลให้การพิจารณาคัดเลือกผู้ส่งมอบทำได้ยากขึ้น การพิจารณาเฉพาะดัชนีสมรรถภาพของกระบวนการเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอ ในส่วนนี้ จึงทำการเปรียบเทียบผู้ส่งมอบมากกว่าหนึ่งราย โดยพิจารณาทั้งปัจจัยทางด้านคุณภาพ ระยะเวลาในการส่งมอบที่ตรงเวลา และราคาประกอบด้วย โดยอาศัยทฤษฎีของฟังก์ชันความสูญเสีย (Loss Function) ขั้นตอนที่สำคัญในการดำเนินการได้แก่

1. กำหนดขอบเขตและเงื่อนไขของวิธีการ
2. ออกแบบวิธีการและสร้างสูตรสำหรับการคำนวณ

3. ออกแบบการทดลอง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการและเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีการที่พัฒนาขึ้นกับวิธีอื่น ๆ

4. ทำการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการคำนวณ ทดสอบประสิทธิภาพ และเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีที่พัฒนาขึ้น

รายละเอียดของขั้นตอนต่าง ๆ แสดงดังนี้

1. กำหนดขอบเขตและเงื่อนไขของวิธีการ

1.1 คุณลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่พิจารณาเป็นแบบเดี่ยว โดยกำหนดให้คุณลักษณะทางคุณภาพของกระบวนการสะท้อนถึงสาเหตุความผันแปรจากกระบวนการที่ศึกษาของผู้ส่งมอบรายที่ i จากผู้ส่งมอบทั้งหมด k ราย และกำหนดให้กระบวนการของผู้ส่งมอบแต่ละรายมีการแจกแจงแบบปกติที่เป็นอิสระกัน

1.2 วิธีการนี้จะใช้ในกรณีที่ไม่ทราบค่าที่แท้จริงของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของคุณลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตของผู้ส่งมอบแต่ละราย

1.3 เวลาในการส่งมอบผลิตภัณฑ์ของผู้ส่งมอบแต่ละรายมีการแจกแจงแบบปกติที่เป็นอิสระกัน

2. ออกแบบวิธีการและสร้างสูตรสำหรับการคำนวณ

วิธีที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมานี้อาศัยทฤษฎีฟังก์ชันความสูญเสีย ที่พัฒนาโดยทากูชิ ซึ่งเป็นการศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในแง่ของความสูญเสีย หรือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อคุณภาพแตกต่างจากที่กำหนด โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นอันเนื่องจากผู้ส่งมอบไม่สามารถส่งมอบผลิตภัณฑ์ได้ตามต้องการ โดยแบ่งเป็น 3 เทอมหลัก ตามปัจจัยที่พิจารณา ได้แก่ ความสูญเสียอันเนื่องมาจากปัจจัยทางด้านคุณภาพ ความสูญเสียอันเนื่องมาจากปัจจัยด้านเวลาการส่งมอบ และราคาซึ่งเป็นเงินที่ต้องจ่ายในการซื้อผลิตภัณฑ์ จากนั้นหาค่าคาดหวังของความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นจากผู้ส่งมอบแต่ละราย แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน ถ้าผู้ส่งมอบรายใดให้ค่าคาดหวังของความสูญเสียต่ำกว่ารายอื่น ก็ทำการพิจารณาคัดเลือกผู้ส่งมอบรายนั้น

2.1 ค่าคาดหวังของความสูญเสียจากปัจจัยด้านคุณภาพ

กำหนดให้ X เป็นตัวแปรสุ่มที่แทนคุณลักษณะทางคุณภาพของกระบวนการ ซึ่งมีการแจกแจงแบบปกติด้วยค่าเฉลี่ย μ และความแปรปรวน σ^2 สำหรับกระบวนการที่ศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นกระบวนการที่มีข้อกำหนดเฉพาะด้านเดียว กล่าวคือเป็นค่ายิ่งมากยิ่งดี หรือเป็นค่ายิ่งน้อยยิ่งดี ดังนั้นฟังก์ชันความสูญเสียของกระบวนการ และค่าคาดหวังของฟังก์ชันการสูญเสียสามารถหาได้ดังนี้

ในกรณีที่กระบวนการเป็นแบบมีค่ายิ่งน้อยยิ่งดี

$$L(x) = k_Q x^2 \quad (92)$$

หาค่าคาดหวังได้โดย

$$\begin{aligned} E(L(x)) &= k_Q E[x^2] \\ &= k_Q [\mu^2 + \sigma^2] \end{aligned} \quad (93)$$

และในกรณีที่กระบวนการเป็นแบบมีค่ายิ่งมากยิ่งดี

$$L(x) = k_Q \left(\frac{1}{x}\right)^2 \quad (94)$$

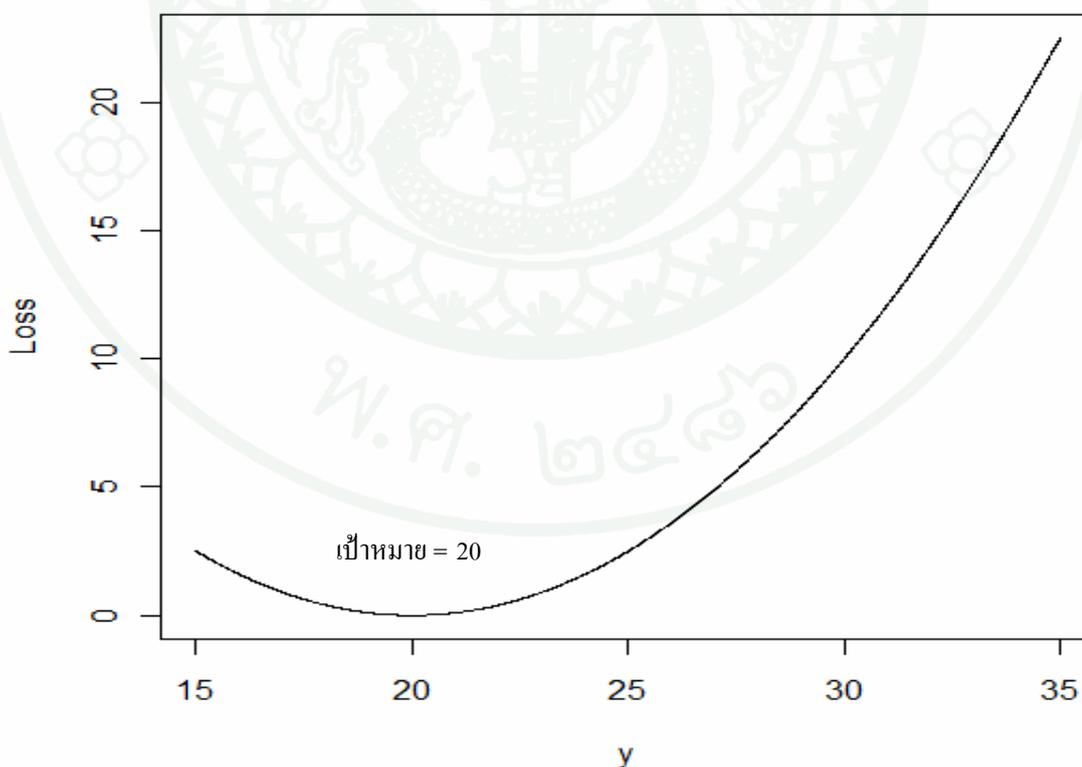
หาค่าคาดหวังได้โดย

$$\begin{aligned} E(L(x)) &= k_Q E\left[\frac{1}{x^2}\right] \\ &= k_Q \left(\frac{1}{\mu^2}\right) \left[1 + \frac{3\sigma^2}{\mu^2}\right] \end{aligned} \quad (95)$$

ในความเป็นจริงไม่ทราบค่า μ และ σ^2 สามารถประมาณค่าดังกล่าวได้ด้วย \bar{x} , s^2

2.2 ค่าคาดหวังของความสูญเสียจากปัจจัยด้านเวลาการส่งมอบ

กำหนดให้ Y เป็นตัวแปรสุ่มที่แทนเวลาในการส่งมอบผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีการแจกแจงแบบปกติด้วยค่าเฉลี่ย μ_Y และความแปรปรวน σ_Y^2 ในกระบวนการผลิต ถ้าผู้ส่งมอบสามารถส่งมอบผลิตภัณฑ์ได้ตรงตามเวลาที่ต้องการใช้พอดีก็จะไม่เกิดความสูญเสียในด้านเวลาส่งมอบขึ้น แต่ถ้าผู้ส่งมอบ ส่งมอบผลิตภัณฑ์ไม่ทันตามกำหนด จะกระทบต่อกระบวนการผลิตอาจทำให้แผนการผลิตไม่เป็นตามกำหนดและอาจส่งมอบไปยังลูกค้าไม่ทัน ก่อให้เกิดความสูญเสียต่อองค์กรมาก ในทางกลับกันถ้าผู้ส่งมอบ ส่งมอบผลิตภัณฑ์ก่อนกำหนด ซึ่งอาจมองว่าไม่เกิดความสูญเสียขึ้น แต่ในความเป็นจริงการที่ผู้ส่งมอบ ส่งมอบผลิตภัณฑ์ก่อนเวลาที่ต้องการใช้ ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาหรือผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมสภาพ แต่อย่างไรก็ตามความสูญเสียที่เกิดจากการส่งผลิตภัณฑ์ก่อนกำหนด จะมีค่าต่ำกว่าความสูญเสียที่เกิดจากการส่งผลิตภัณฑ์หลังกำหนด เนื่องจากการส่งมอบไม่ทันจะกระทบต่อกระบวนการผลิตดังกล่าวไว้ข้างต้น ดังนั้นฟังก์ชันความสูญเสียของการส่งมอบที่ตรงเวลา จึงมีลักษณะที่ไม่สมมาตร (Teeravaraprug, 2008) โดยความสูญเสียที่เกิดจากการที่ผู้ส่งมอบ ส่งมอบผลิตภัณฑ์ก่อนจะมีน้อยกว่าการส่งมอบผลิตภัณฑ์หลังกำหนดแสดงดังรูปต่อไปนี้ (โดยกำหนดให้ค่าเป้าหมายของเวลาการส่งมอบอยู่ที่ 20)



ภาพที่ 4 ฟังก์ชันความสูญเสียของเวลาการส่งมอบ

ฟังก์ชันความสูญเสียแสดงดังนี้

$$L_D(y) = \begin{cases} k_{DB}(y-t_d)^2 & ; y \leq t_d \\ k_{DA}(y-t_d)^2 & ; y > t_d \end{cases} \quad (96)$$

เมื่อ $L_D(y)$ เป็นฟังก์ชันความสูญเสียของเวลาการส่งมอบ

t_d เป็นเวลาส่งมอบที่กำหนด (Target Delivery Time)

k_{DB} เป็นสัมประสิทธิ์ความสูญเสียกรณีที่ส่งมอบก่อนกำหนด

k_{DA} เป็นสัมประสิทธิ์ความสูญเสียกรณีที่ส่งมอบหลังกำหนด $k_{DB} < k_{DA}$

และค่าคาดหวังของฟังก์ชันการสูญเสียสามารถหาได้ดังนี้

$$E(L_D(y)) = \int_{-\infty}^{\infty} L_D(y)f(y)dy$$

$$E(L_D(y)) = \int_{-\infty}^{t_d} k_{DB}(y-t_d)^2 f(y)dy + \int_{t_d}^{\infty} k_{DA}(y-t_d)^2 f(y)dy$$

เมื่อ $f(y)$ เป็นฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาส่งมอบซึ่งมีการแจกแจงแบบปกติ ด้วยค่าเฉลี่ย μ_y และความแปรปรวน σ_y^2

$$\begin{aligned} \text{ให้ } A &= \int_{-\infty}^{t_d} k_{DB}(y-t_d)^2 f(y)dy = k_{DB} \int_{-\infty}^{t_d} (y-t_d)^2 f(y)dy \\ &= k_{DB} \int_{-\infty}^{t_d} [y^2 - 2t_d y + t_d^2] f(y)dy \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ให้ } B &= \int_{t_d}^{\infty} k_{DA} (y - t_d)^2 f(y) dy = k_{DA} \int_{t_d}^{\infty} (y - t_d)^2 f(y) dy \\ &= k_{DA} \int_{t_d}^{\infty} [y^2 - 2t_d y + t_d^2] f(y) dy \end{aligned}$$

เมื่อ y มีการแจกแจงแบบปกติ ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของ y แสดงดังนี้

$$\begin{aligned} f(y) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2} ; -\infty < y < \infty \\ &= 0 ; y \text{ อื่น ๆ} \end{aligned}$$

พิจารณา A ;

$$\begin{aligned} A &= k_{DB} \int_{-\infty}^{t_d} [y^2 - 2t_d y + t_d^2] f(y) dy \\ &= k_{DB} \left[\int_{-\infty}^{t_d} y^2 f(y) dy - \int_{-\infty}^{t_d} 2t_d y f(y) dy + \int_{-\infty}^{t_d} t_d^2 f(y) dy \right] \end{aligned}$$

หาค่า $\int_{-\infty}^{t_d} y^2 f(y) dy$ จาก

$$f(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2}$$

$$d e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2} = \left(\frac{\mu_y - y}{\sigma_y}\right) e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2} dy$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } \int_{-\infty}^{t_d} y^2 f(y) dy &= \int_{-\infty}^{t_d} (y - \mu_y)^2 f(y) dy + \int_{-\infty}^{t_d} 2y\mu_y f(y) dy - \int_{-\infty}^{t_d} \mu_y^2 f(y) dy \\ &= \sigma_y^2 \left\{ (\mu_y - t_d) \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2} + \int_{-\infty}^{t_d} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2} dy \right\} \end{aligned}$$

$$-2\mu_y \sigma_y^2 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2} + 2\mu_y^2 \int_{-\infty}^{t_d} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2} dy$$

$$- \mu_y^2 \int_{-\infty}^{t_d} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2} dy$$

$$= -\sigma_y^2 (\mu_y + t_d) f(t_d) + (\sigma_y^2 + \mu_y^2) \int_{-\infty}^{t_d} f(y) dy$$

$$\text{หาค่า } \int_{-\infty}^{t_d} 2yt_d f(y) dy = -2t_d \sigma_y^2 f(t_d) + 2t_d \mu_y \int_{-\infty}^{t_d} f(y) dy$$

$$\text{จากนั้นนำค่า } \int_{-\infty}^{t_d} y^2 f(y) dy = -\sigma_y^2 (\mu_y + t_d) f(t_d) + (\sigma_y^2 + \mu_y^2) \int_{-\infty}^{t_d} f(y) dy \text{ และค่า}$$

$$\int_{-\infty}^{t_d} 2yt_d f(y) dy = -2t_d \sigma_y^2 f(t_d) + 2t_d \mu_y \int_{-\infty}^{t_d} f(y) dy \text{ ไปแทนใน A จะได้}$$

$$A = k_{DB} \left[-\sigma_y^2 (\mu_y + t_d) f(t_d) + (\sigma_y^2 + \mu_y^2) \int_{-\infty}^{t_d} f(y) dy + 2t_d \sigma_y^2 f(t_d) - 2t_d \mu_y \int_{-\infty}^{t_d} f(y) dy \right]$$

$$+ \int_{-\infty}^{t_d} t_d^2 f(y) dy \Big]$$

$$= k_{DB} \left[\sigma_y^2 (t_d - \mu_y) f(t_d) + (\sigma_y^2 + \mu_y^2) \int_{-\infty}^{t_d} f(y) dy - 2t_d \mu_y \int_{-\infty}^{t_d} f(y) dy + \int_{-\infty}^{t_d} t_d^2 f(y) dy \right]$$

กำหนดให้ $\phi\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y}\right) = \sigma_y f(t_d)$ เป็นฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ

และให้ $\Phi\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y}\right) = \int_{-\infty}^{t_d} f(y) dy$ เป็นฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสม ดังนั้นสามารถเขียน A ได้เป็น

$$A = k_{DB} \left[\sigma_y^2 \left[\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y} \right) \phi\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y}\right) + \Phi\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y}\right) \right] + \mu_y^2 \Phi\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y}\right) - 2t_d \mu_y \Phi\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y}\right) + t_d^2 \Phi\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y}\right) \right]$$

การหา B ก็ทำในทำนองเดียวกันกับการหา A จะได้

$$B = k_{DA} \left[\sigma_y^2 \left[1 - \Phi\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y}\right) - \left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y} \right) \phi\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y}\right) \right] + \mu_y^2 \left[1 - \Phi\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y}\right) \right] - 2t_d \mu_y \left[1 - \Phi\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y}\right) \right] + t_d^2 \left[1 - \Phi\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y}\right) \right] \right]$$

$$\text{ดังนั้น } E[L_D(y)] = k_{DB} \left[\sigma_y^2 \left[\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y} \right) \phi\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y}\right) + \Phi\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y}\right) \right] + \mu_y^2 \Phi\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y}\right) - 2t_d \mu_y \Phi\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y}\right) + t_d^2 \Phi\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y}\right) \right]$$

$$+ k_{DA} \left[\sigma_y^2 \left[1 - \Phi\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y}\right) - \left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y} \right) \phi\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y}\right) \right] + \mu_y^2 \left[1 - \Phi\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y}\right) \right] - 2t_d \mu_y \left[1 - \Phi\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y}\right) \right] + t_d^2 \left[1 - \Phi\left(\frac{t_d - \mu_y}{\sigma_y}\right) \right] \right] \quad (97)$$

2.3 ค่าคาดหวังของความสูญเสียจากปัจจัยด้านราคาผลิตภัณฑ์

ราคาของผลิตภัณฑ์เป็นเงินที่ต้องจ่ายไปในการซื้อผลิตภัณฑ์ ซึ่งกำหนดเป็นค่าคงที่ เช่น ราคาชิ้นละ 10 บาท หรือ 20 บาท ในที่นี้ให้ราคาของผลิตภัณฑ์แทนด้วย P ดังนั้น ค่าคาดหวังของค่าคงที่ จะได้เท่ากับค่าคงที่นั้น กล่าวคือ $E(P) = P$

2.4 การหาค่าคาดหวังรวมของความสูญเสียสำหรับผู้ส่งมอบแต่ละราย

ค่าคาดหวังรวมของความสูญเสียเกิดจากการนำค่าคาดหวังที่ได้จาก 2.2.1 ถึง 2.2.3 มารวมกัน โดยกำหนดให้ TL_i เป็นค่าคาดหวังรวมของความสูญเสีย สำหรับผู้ส่งมอบรายที่ i เมื่อ $i = 1, 2, \dots, k$ แสดงด้วยสมการต่อไปนี้

$$TL_i = E(L(x)_i) + E(L_D(y)_i) + P_i \quad (98)$$

เมื่อ $E(L(x)_i)$ แทนค่าคาดหวังของความสูญเสียจากปัจจัยด้านคุณภาพของผู้ส่งมอบรายที่ i

$E(L_D(y)_i)$ แทนค่าคาดหวังของความสูญเสียจากปัจจัยด้านเวลาส่งมอบของผู้ส่งมอบรายที่ i

และ P_i แทนราคาของผลิตภัณฑ์ที่ผู้ส่งมอบรายที่ i เสนอ

2.5 เกณฑ์การพิจารณาคัดเลือกผู้ส่งมอบ ทำโดยการคัดเลือกผู้ส่งมอบที่มีค่าคาดหวังรวมของความสูญเสียต่ำที่สุด

3. ออกแบบการทดลอง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการและเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีการที่พัฒนาขึ้นกับวิธีอื่น ๆ

กำหนดให้มีผู้ส่งมอบ 4 ราย และมีกระบวนการที่ศึกษาเป็นแบบยิ่งน้อยยิ่งดี ดังนั้นจึงกำหนดไว้เฉพาะพิกัดด้านบน (USL) ซึ่งกรณีศึกษาที่กำหนดไว้ที่ 126 และกำหนดเวลาในการส่งมอบเป็น 20 วัน ($t_d = 20$) สำหรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของผู้ส่งมอบทั้ง 4 ราย แสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 6 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของผู้ส่งมอบแต่ละราย สำหรับทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการ

ผู้ส่งมอบ	μ	σ	μ_a	σ_a	ราคา
A	122.9	0.6	21	2	10
B	122.4	0.6	19	3	11
C	122.9	0.6	20	3	10.5
D	122.6	0.7	22	1	10.5

คำนวณค่าคาดหวังรวมของความสูญเสีย เปรียบเทียบกับดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ โดยทดลองเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียจากปัจจัยด้านคุณภาพ ตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.6 เพิ่มทีละ 0.1 (Step Size = 0.1) เมื่อกำหนดให้สัมประสิทธิ์การส่งมอบก่อน (k_{DB}) = 5 และกำหนดสัมประสิทธิ์การส่งมอบหลัง (k_{DA}) = 10 สังเกตความเปลี่ยนแปลง

จากนั้นทดลองเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การส่งมอบก่อนจาก 1 ถึง 6 โดยเพิ่มทีละ 1 โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์การส่งมอบหลังเป็น 5 และค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียจากปัจจัยด้านคุณภาพเป็น 0.1 สังเกตการเปลี่ยนแปลง

จากนั้นทดลองเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การส่งมอบหลังจาก 7.5 ถึง 20 โดยเพิ่มทีละ 2.5 โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์การส่งมอบก่อนเป็น 5 และค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียจากปัจจัยด้านคุณภาพเป็น 0.2 สังเกตการเปลี่ยนแปลง

หมายเหตุ : ค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียต่าง ๆ ที่กำหนด ได้ทดลองเพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของผลการเปรียบเทียบ

4. ทำการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการคำนวณ ทดสอบประสิทธิภาพ และเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีที่พัฒนาขึ้น

เขียนโปรแกรมสำหรับการคำนวณด้วยโปรแกรม R ตามวิธีการและขั้นตอนที่นำเสนอไว้ข้างต้น

ผลและวิจารณ์

ผล

หลังจากพัฒนาวิธีการเปรียบเทียบสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบมากกว่าหนึ่งราย ขึ้นมาแล้ว ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการและเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีที่พัฒนาขึ้น กับวิธีอื่น ๆ ซึ่งการแสดงผลการศึกษาได้แบ่งเป็นสองส่วนหลักคือ ส่วนแรกเป็นผลการศึกษาใน กรณีที่พิจารณาเฉพาะปัจจัยด้านคุณภาพ และส่วนที่สองเป็นผลการศึกษาในกรณีที่พิจารณาปัจจัย ด้านคุณภาพประกอบกับปัจจัยด้านระยะเวลาการส่งมอบและราคาผลิตภัณฑ์ของผู้ส่งมอบแต่ละราย รายละเอียดมีดังต่อไปนี้

1. ผลการศึกษาวิธีการเปรียบเทียบสมรรถภาพกระบวนการผู้ส่งมอบมากกว่าหนึ่งราย กรณีพิจารณาเฉพาะปัจจัยทางด้านคุณภาพ

ผลการศึกษาในส่วนนี้ประกอบด้วย 4 หัวข้อย่อย ได้แก่ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีที่ พัฒนาขึ้นในการเปรียบเทียบสมรรถภาพกระบวนการ ผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการ ผล การเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีที่พัฒนาขึ้นกับวิธีอื่น ๆ และ ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับวิธี ที่พัฒนาขึ้น

1.1 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีที่พัฒนาขึ้นในการเปรียบเทียบสมรรถภาพกระบวนการ

ในส่วนการประยุกต์ใช้วิธีที่พัฒนาขึ้นในการเปรียบเทียบสมรรถภาพกระบวนการ ใน กรณีตัวอย่างที่ทำการศึกษานี้ กระบวนการมีผู้ส่งมอบที่ต้องทำการคัดเลือก 4 ราย ซึ่งกระบวนการที่ ศึกษานี้มีเฉพาะข้อกำหนดเฉพาะด้านบน (USL) โดยมีค่า $USL = 6$ และคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ ศึกษามีการแจกแจงของกระบวนการเป็นแบบปกติ ซึ่งกำหนดให้มีดัชนีสมรรถภาพกระบวนการที่ แท้จริงดังนี้

ผู้ส่งมอบ A : มีดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ (C_{pu_A}) เป็น 1.5

ผู้ส่งมอบ B : มีดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ (C_{pu_B}) เป็น 1

ผู้ส่งมอบ C : มีดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ (C_{pu_C}) เป็น 1.5

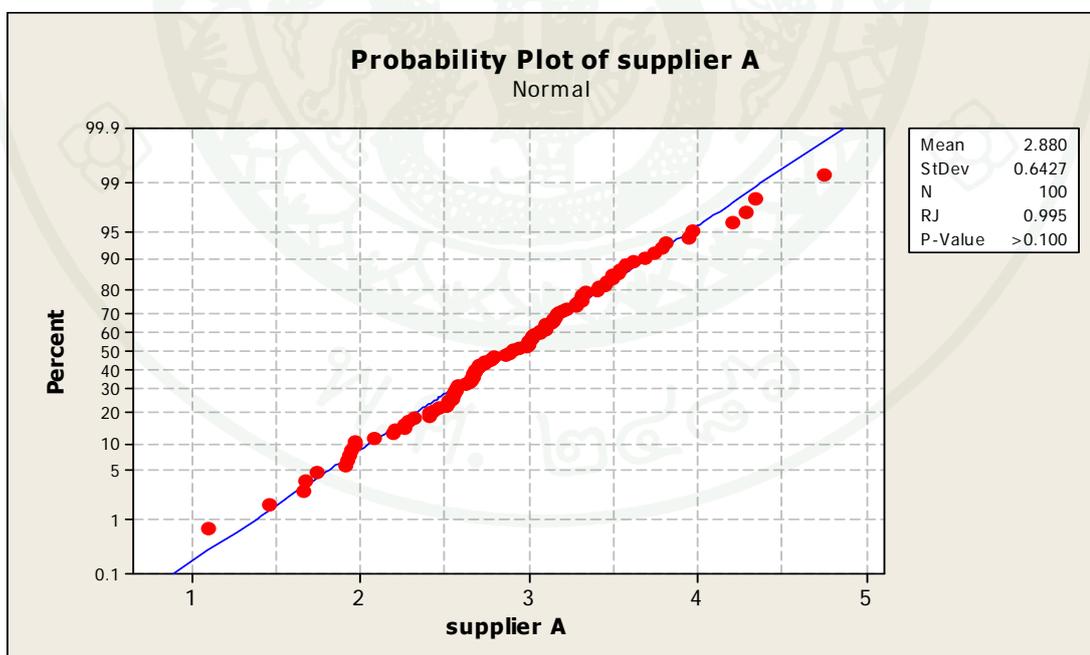
ผู้ส่งมอบ D : มีดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ (C_{pu_D}) เป็น 1.5

ค่าที่แท้จริงเหล่านี้ในทางปฏิบัติจะไม่ทราบ ถ้าผู้ที่ทำการคัดเลือกผู้ส่งมอบทำการสุ่มตัวอย่างมาจากกระบวนการ ของผู้ส่งมอบทั้ง 4 ราย กำหนดขนาดตัวอย่างที่สุ่มมาของทั้ง 4 ราย เท่ากัน คือ 100 (ข้อมูลของตัวอย่างแสดงในตารางผนวกที่ ก1) นำข้อมูลที่สุ่มมาจากกระบวนการ ของผู้ส่งมอบทั้ง 4 ราย มาวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น และตรวจสอบว่าเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น ของวิธีการที่พัฒนาขึ้นหรือไม่ ในขั้นแรกจะตรวจสอบว่ากระบวนการของผู้ส่งมอบทั้งหมดมีการ แจกแจงแบบปกติ โดยมีสมมติฐานสำหรับการตรวจสอบดังนี้

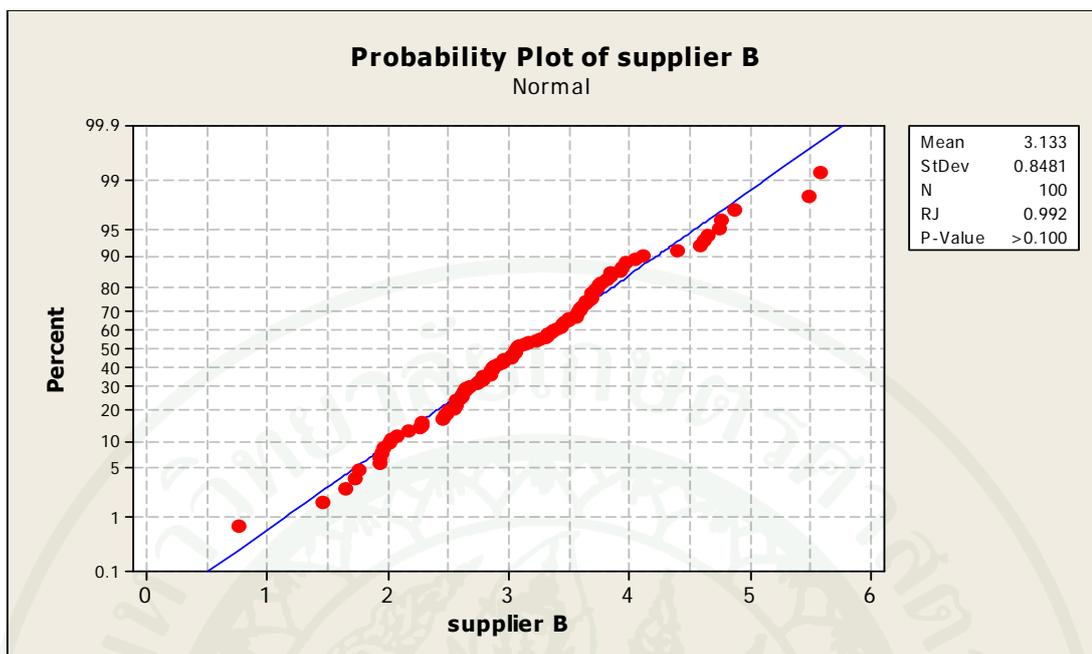
สมมติฐานหลัก (H_0) : คุณลักษณะทางคุณภาพของกระบวนการจากผู้ส่งมอบที่ทำการศึกษา มีการแจกแจงแบบปกติ

สมมติฐานรอง (H_1) : คุณลักษณะทางคุณภาพของกระบวนการจากผู้ส่งมอบที่ทำการศึกษา มีการแจกแจงไม่เป็นแบบปกติ

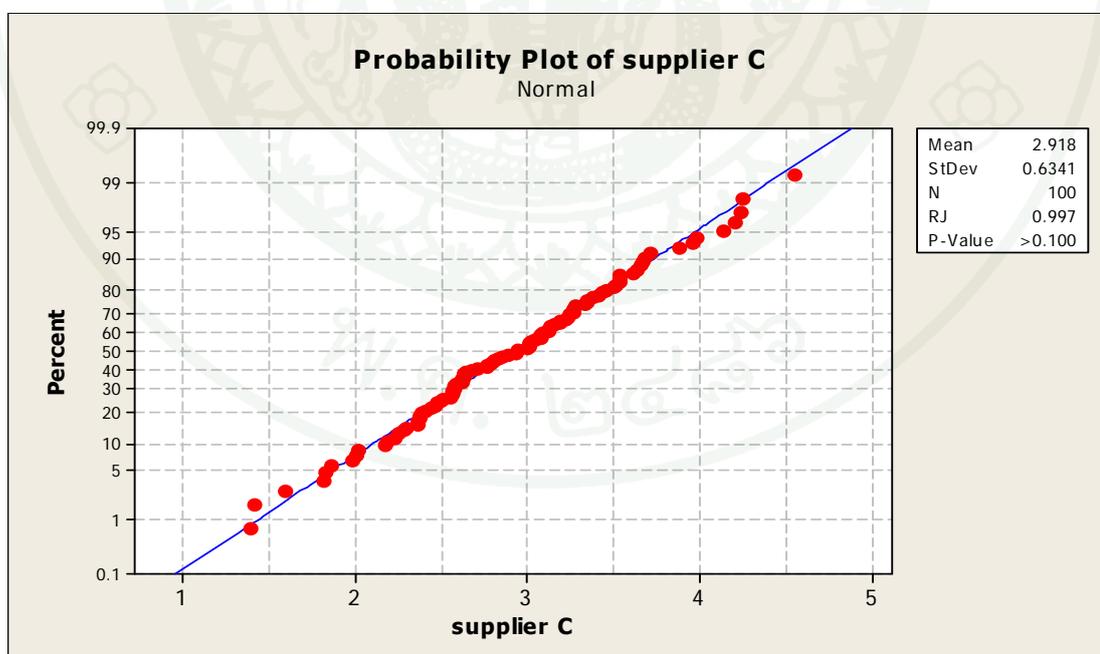
จากนั้นนำข้อมูลมาทดสอบความเป็นปกติ (Normality test) ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีของ Ryan-joiner แสดงให้คุณเป็นตัวอย่างได้ดังนี้



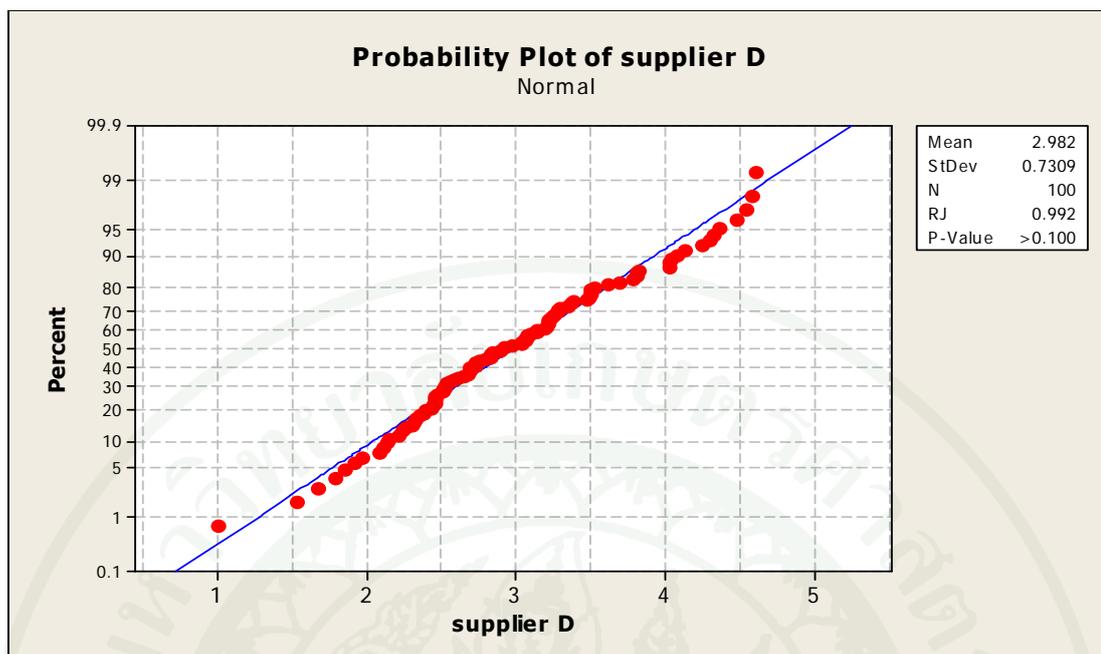
ภาพที่ 5 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่สุ่มมาจากกระบวนการผลิตของผู้ส่งมอบ A ด้วยวิธี Ryan-joiner (กรณีตัวอย่างที่ 1)



ภาพที่ 6 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่สุ่มมาจากกระบวนการผลิตของผู้ส่งมอบ B ด้วยวิธี Ryan-joiner (กรณีตัวอย่างที่ 1)



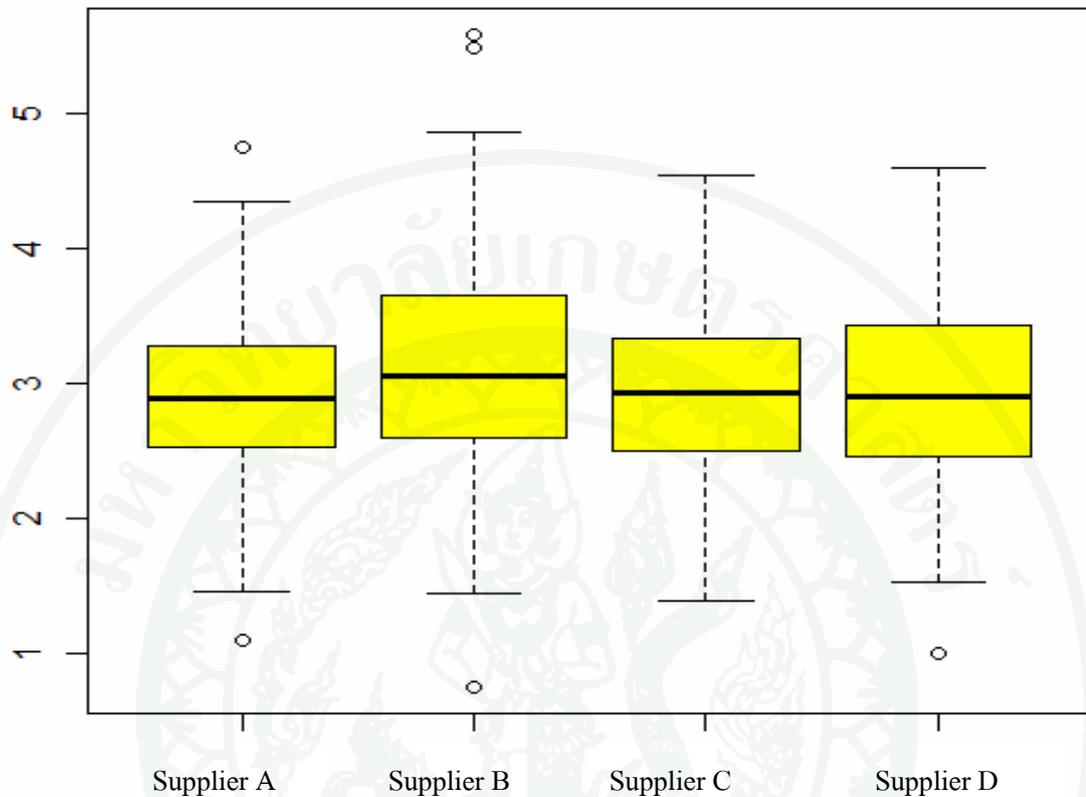
ภาพที่ 7 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่สุ่มมาจากกระบวนการผลิตของผู้ส่งมอบ C ด้วยวิธี Ryan-joiner (กรณีตัวอย่างที่ 1)



ภาพที่ 8 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่สุ่มมาจากกระบวนการผลิตของผู้ส่งมอบ D ด้วยวิธี Ryan-joiner (กรณีตัวอย่างที่ 1)

จากการทดสอบ พบว่าค่าสถิติทดสอบของกระบวนการผลิตของผู้ส่งมอบ A ถึง D มีค่าเป็น 0.995, 0.992, 0.997 และ 0.992 ตามลำดับ ซึ่งค่าสถิติทดสอบของผู้ส่งมอบทั้งหมดมีค่าเข้าใกล้ 1 และค่า p-value > 0.100 จึงไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่ากระบวนการผลิตของผู้ส่งมอบทั้งสี่รายมีการแจกแจงแบบปกติ ดังนั้นสามารถใช้วิธีที่พัฒนาได้ ในกรณีที่มีบางผู้ส่งมอบมีกระบวนการผลิตที่มีการแจกแจงไม่เป็นแบบปกติ ไม่สามารถใช้วิธีที่พัฒนาขึ้นได้ ต้องมีการแปลงข้อมูลให้มีการแจกแจงแบบปกติ เพื่อให้ตรงตามข้อกำหนดเบื้องต้นก่อน จึงสามารถใช้วิธีการดังกล่าวได้ อย่างไรก็ตามการแปลงข้อมูลต้องระวังในด้านการวิเคราะห์และแปลความหมายด้วย แต่โดยปกติถ้าเป็นการคัดเลือกผู้ส่งมอบ ควรเลือกผู้ส่งมอบที่กระบวนการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ (สำหรับผลิตภัณฑ์ทั่วไป) เพราะควบคุมได้ง่าย และเมื่อสร้างแผนภาพกล่องเพื่อให้เห็นลักษณะคร่าว ๆ ของกระบวนการของผู้ส่งมอบทั้ง 4 รายที่ศึกษาเปรียบเทียบกัน แสดงดังภาพต่อไปนี้

boxplot of characteristic, X from 4 suppliers



ภาพที่ 9 แผนภาพกล่องแสดงการเปรียบเทียบค่าคุณลักษณะของกระบวนการที่สุ่มได้จากกระบวนการของผู้ส่งมอบ A ถึง D (กรณีตัวอย่างที่ 1)

แผนภาพกล่อง จะแสดงมัธยฐานและลักษณะการกระจายของข้อมูลโดยใช้พิสัยควอร์ไทล์ ในขณะที่การหาดัชนีสมรรถภาพกระบวนการที่มีข้อกำหนดเฉพาะเป็นแบบพิสัยด้านเดียว จะคำนึงถึงค่าเฉลี่ยที่ห่างจากข้อกำหนดเฉพาะ ดังนั้นการเปรียบเทียบข้อมูลจากตัวอย่างของกระบวนการ โดยพิจารณาจากแผนภาพกล่องอาจทำให้มีความคลาดเคลื่อนได้

และเมื่อทำการคำนวณค่าสถิติพื้นฐานจากผู้ส่งมอบทั้ง 4 ราย จะเห็นได้ว่า

$$\bar{x}_A = 2.8799, \quad s_A = 0.6427, \quad \text{คำนวณค่า} \quad \hat{C}_{pu_A} = 1.6183$$

$$\bar{x}_B = 3.1327, \quad s_B = 0.8481, \quad \text{คำนวณค่า} \quad \hat{C}_{pu_B} = 1.1270$$

$$\bar{x}_C = 2.9180, \quad s_C = 0.6341, \quad \text{คำนวณค่า} \quad \hat{C}_{pu_C} = 1.6201$$

$$\bar{x}_D = 2.9823, \quad s_D = 0.7309, \quad \text{คำนวณค่า} \quad \hat{C}_{pu_D} = 1.3763$$

จากการพิจารณาค่าสถิติพื้นฐานของผู้ส่งมอบทั้งสี่ราย ผู้ปฏิบัติงานอาจตัดสินใจได้ยากว่ากระบวนการผลิตของผู้ส่งมอบรายใดมีความแตกต่างจากรายอื่นอย่างมีนัยสำคัญ การใช้วิธีที่พัฒนาขึ้นสามารถทำให้การวิเคราะห์ทำได้ง่ายขึ้น โดย

นำค่าสถิติข้างต้นมาคำนวณค่า \tilde{C}'_{pu_i} ซึ่งเป็นตัวประมาณความน่าจะเป็นสูงสุดที่ไม่เอนเอียงที่ใช้สำหรับสถิติทดสอบวอลด์ โดยใช้แฟกเตอร์ปรับค่าความเอนเอียง และความสัมพันธ์ระหว่างตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงและตัวประมาณภาวะน่าจะเป็นสูงสุดของ σ_i^2 แสดงดังสูตรต่อไปนี้

$$\tilde{C}'_{pu_i} = \sqrt{\frac{n_i}{n_i - 1}} b_{n_i-1} \hat{C}_{pu_i}$$

เรียงค่าจากน้อยไปมากและกำหนดลำดับของกระบวนการใหม่ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \tilde{C}'_{pu_1} &= 1.1241 \text{ (ผู้ส่งมอบ B)} \\ \tilde{C}'_{pu_2} &= 1.3728 \text{ (ผู้ส่งมอบ D)} \\ \tilde{C}'_{pu_3} &= 1.6141 \text{ (ผู้ส่งมอบ A)} \\ \tilde{C}'_{pu_4} &= 1.6159 \text{ (ผู้ส่งมอบ C)} \end{aligned}$$

$$\text{กำหนดให้ } \mathbf{d}' = \begin{bmatrix} C_{pu_1} - C_{pu_2} \\ C_{pu_1} - C_{pu_3} \\ C_{pu_1} - C_{pu_4} \end{bmatrix}$$

กำหนดสมมติฐาน $H_0 : \mathbf{d}' = \mathbf{0}$ และ $H_1 : \mathbf{d}' \neq \mathbf{0}$

กำหนดระดับนัยสำคัญ (α) ไว้ที่ 0.05

$$\text{สร้างเมตริกซ์ } \mathbf{H} \text{ โดย } \mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

คำนวณค่า $\hat{\mathbf{d}}'$, \mathbf{V}' และคำนวณค่าสถิติทดสอบ W ดังต่อไปนี้

$$\hat{\mathbf{d}}' = \begin{bmatrix} \tilde{C}'_{pu_1} - \tilde{C}'_{pu_2} \\ \tilde{C}'_{pu_1} - \tilde{C}'_{pu_3} \\ \vdots \\ \tilde{C}'_{pu_1} - \tilde{C}'_{pu_k} \end{bmatrix}$$

$$\hat{\mathbf{d}}' = \begin{bmatrix} 1.1241 - 1.3723 \\ 1.1241 - 1.6141 \\ 1.1241 - 1.6159 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.2482 \\ -0.4900 \\ -0.4918 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{V}' = \text{diag} \left[\frac{1}{n_1} \left(\frac{1}{9} + \frac{1}{2} \tilde{C}'_{pu_1}{}^2 \right), \frac{1}{n_2} \left(\frac{1}{9} + \frac{1}{2} \tilde{C}'_{pu_2}{}^2 \right), \frac{1}{n_3} \left(\frac{1}{9} + \frac{1}{2} \tilde{C}'_{pu_3}{}^2 \right), \frac{1}{n_4} \left(\frac{1}{9} + \frac{1}{2} \tilde{C}'_{pu_4}{}^2 \right) \right]$$

$$\mathbf{V}' = \text{diag}[0.0074, 0.0105, 0.0141, 0.0142]$$

$$\mathbf{W} = \hat{\mathbf{d}}'{}^T [\mathbf{H}' \mathbf{V}' \mathbf{H}']^{-1} \hat{\mathbf{d}}'$$

$$\mathbf{W} = 16.6148$$

$$\text{เปิดตาราง } \chi^2_{\alpha, (k-1)} = \chi^2_{0.05, (4-1)} = 7.814728$$

ค่าสถิติทดสอบ \mathbf{W} ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่าไคส์สแควร์ที่เปิดได้จากตาราง จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักและสรุปว่าผู้ส่งมอบ B มีสมรรถภาพกระบวนการแตกต่างจากรายอื่นอย่างน้อยหนึ่งราย ดังนั้นจึงตัด C_{pu_1} (ผู้ส่งมอบ B) ออก แล้วกำหนดให้ C_{pu_2} ของผู้ส่งมอบ D เป็น C_{pu_1} แทน จะได้ลำดับใหม่ของค่าประมาณ ดังนี้

$$\tilde{C}'_{pu_1} = 1.3728 \text{ (ผู้ส่งมอบ D)}$$

$$\tilde{C}'_{pu_2} = 1.6141 \text{ (ผู้ส่งมอบ A)}$$

$$\tilde{C}'_{pu_3} = 1.6159 \text{ (ผู้ส่งมอบ C)}$$

$$\text{กำหนด } \mathbf{d}' \text{ ใหม่ โดย } \mathbf{d}' = \begin{bmatrix} C_{pu_1} - C_{pu_2} \\ C_{pu_1} - C_{pu_3} \end{bmatrix}$$

กำหนดสมมติฐาน $H_0 : \mathbf{d}' = \mathbf{0}$ และ $H_1 : \mathbf{d}' \neq \mathbf{0}$

สร้างเมตริกซ์ \mathbf{H} โดย $\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$

คำนวณค่า $\hat{\mathbf{a}}'$, \mathbf{V}' และคำนวณค่าสถิติทดสอบ W โดยใช้สูตรและวิธีการเช่นเดียวกับข้างต้น ได้ค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

$$\hat{\mathbf{a}}' = \begin{bmatrix} 1.3728 - 1.6141 \\ 1.3728 - 1.6159 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.2413 \\ -0.2431 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{V}' = \text{diag}[0.0105, 0.0141, 0.0142]$$

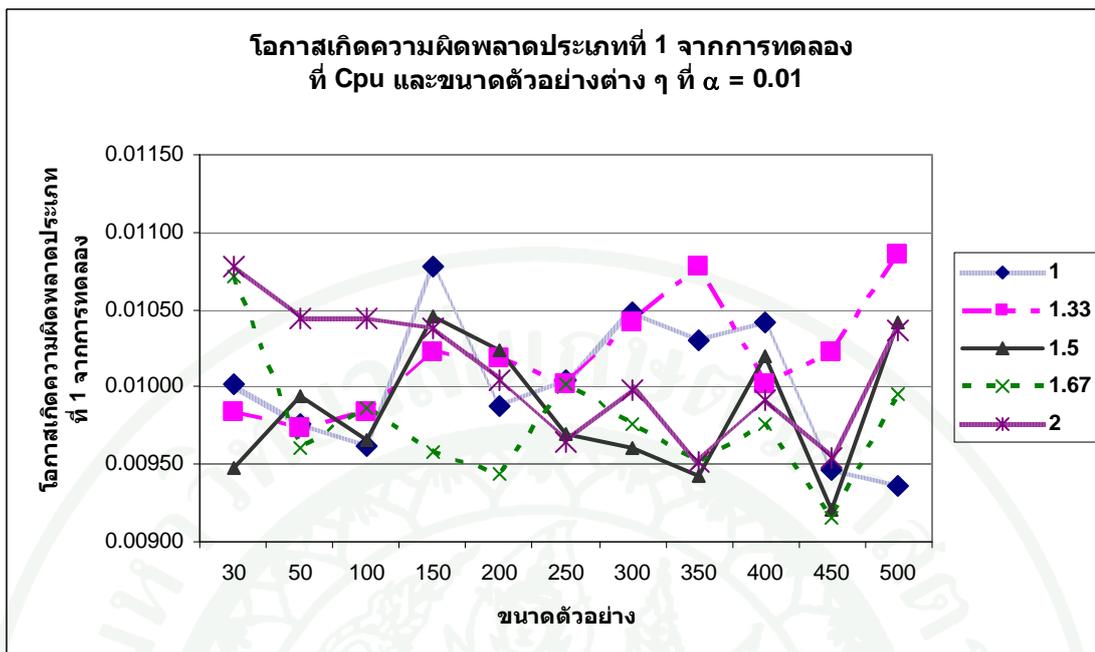
$$W = 3.33206$$

$$\text{เปิดตาราง } \chi_{\alpha, (k-1)}^2 = \chi_{0.05, (3-1)}^2 = 5.99146$$

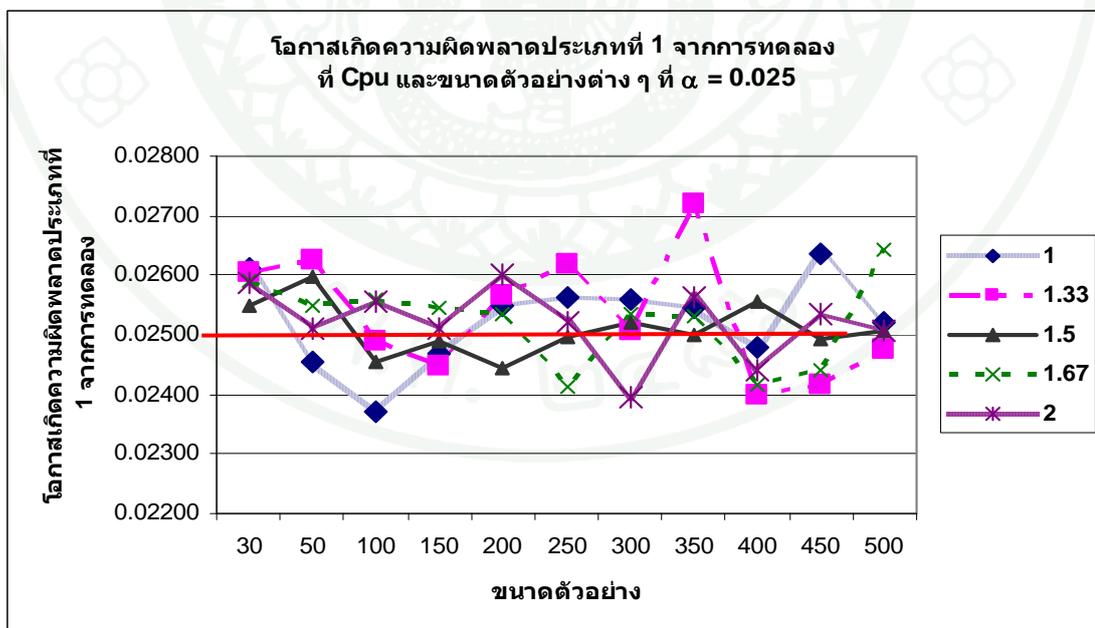
ค่าสถิติทดสอบ W มีค่าน้อยกว่าค่าไคส์สแควร์ที่เปิดได้จากตาราง จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ดังนั้นสรุปได้ว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผู้ส่งมอบ A, C และ D มีสมรรถภาพกระบวนการไม่แตกต่างกัน

1.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการ

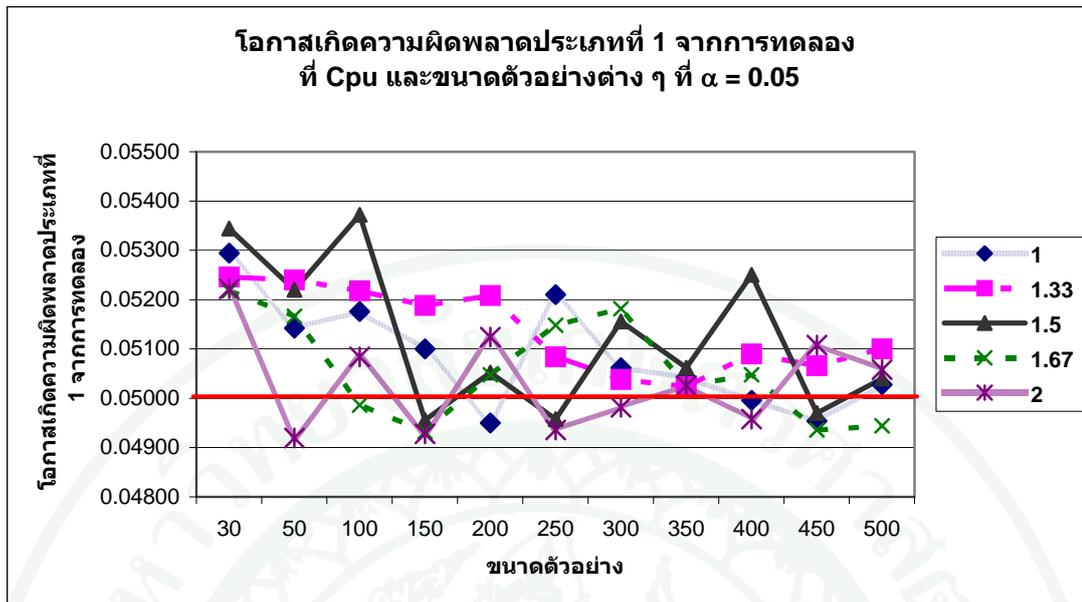
การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการทำโดยการพิจารณาโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 และอำนาจการทดสอบของวิธีการ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญสำหรับการทดสอบที่ 0.01, 0.025 และ 0.05 ที่ขนาดตัวอย่าง 30, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 ณ ระดับ C_{pu} ที่ 1.00, 1.33, 1.50, 1.67 และ 2.00 คำนวณค่าโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทำการทดลองซ้ำ 50,000 รอบ ผลการทดลองสำหรับกรณีผู้ส่งมอบสองรายแสดงดังภาพที่ 10 ถึงภาพที่ 12 ผลการทดลองสำหรับกรณีผู้ส่งมอบสามรายแสดงดังภาพที่ 13 ถึงภาพที่ 15 ผลการทดลองสำหรับกรณีผู้ส่งมอบสี่รายแสดงดังภาพที่ 16 ถึงภาพที่ 18 และผลการทดลองสำหรับกรณีผู้ส่งมอบห้ารายแสดงดังภาพที่ 19 ถึงภาพที่ 21



ภาพที่ 10 โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.01$
(กรณีผู้ส่งมอบสองราย)

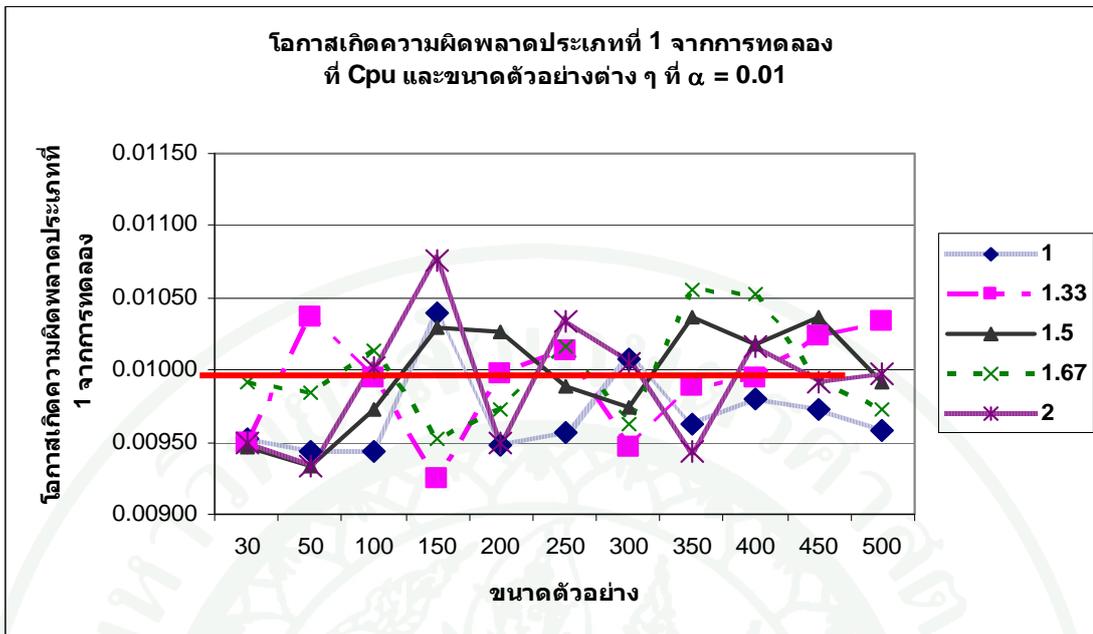


ภาพที่ 11 โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.025$
(กรณีผู้ส่งมอบสองราย)

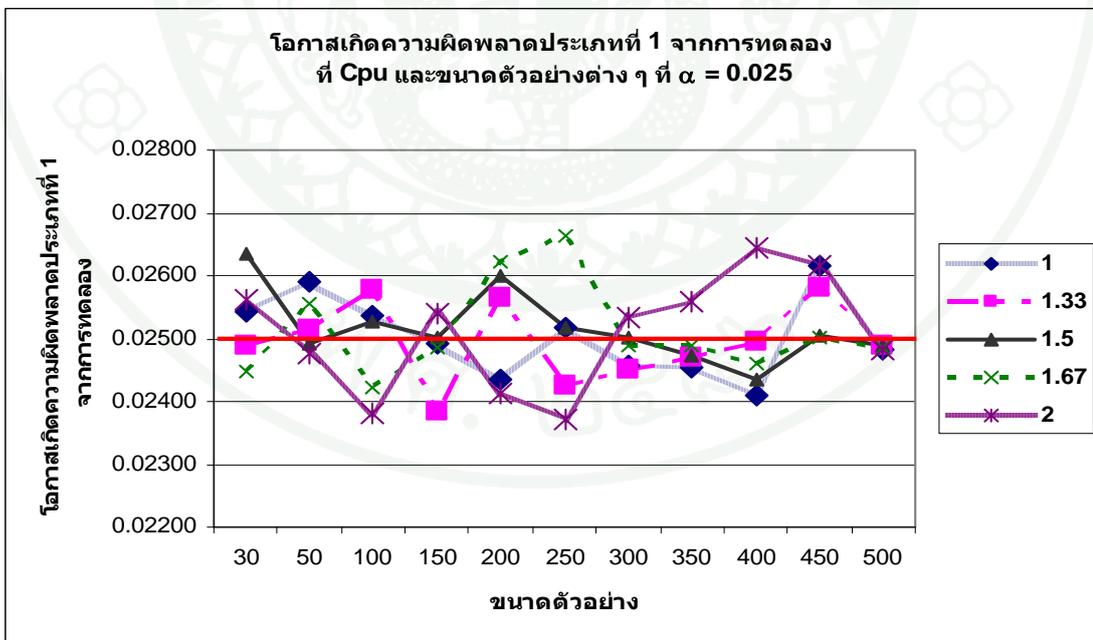


ภาพที่ 12 โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.05$
(กรณีผู้ส่งมอบสองราย)

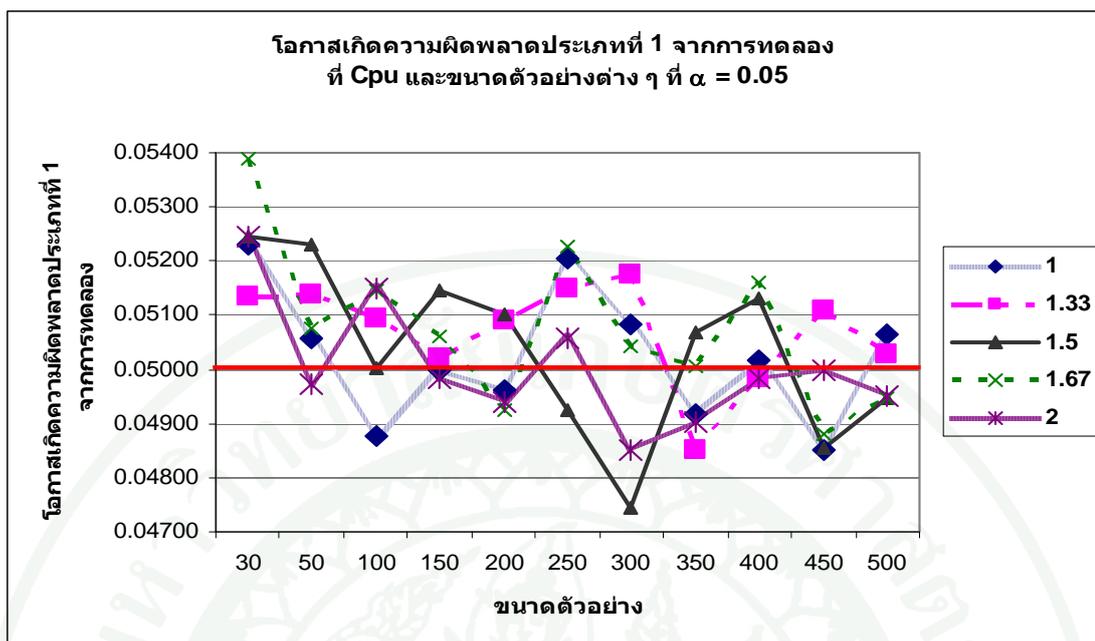
จากภาพที่ 10 ถึง 12 พบว่า กรณีผู้ส่งมอบสองราย ค่าโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง อยู่รอบค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด โดยที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และที่ระดับนัยสำคัญ 0.025 ค่าโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จะกระจายรอบ ๆ ค่า ที่ขนาดตัวอย่างต่าง ๆ (ภาพที่ 10 และ 11) แต่ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สังเกตพบว่า ที่ขนาดตัวอย่างต่ำ (ขนาดตัวอย่าง 30) โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลองสูงแต่เมื่อเพิ่มขนาดตัวอย่างมากขึ้นค่าจะเข้าใกล้ระดับนัยสำคัญที่กำหนด



ภาพที่ 13 โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.01$
(กรณีผู้ส่งมอบสามราย)

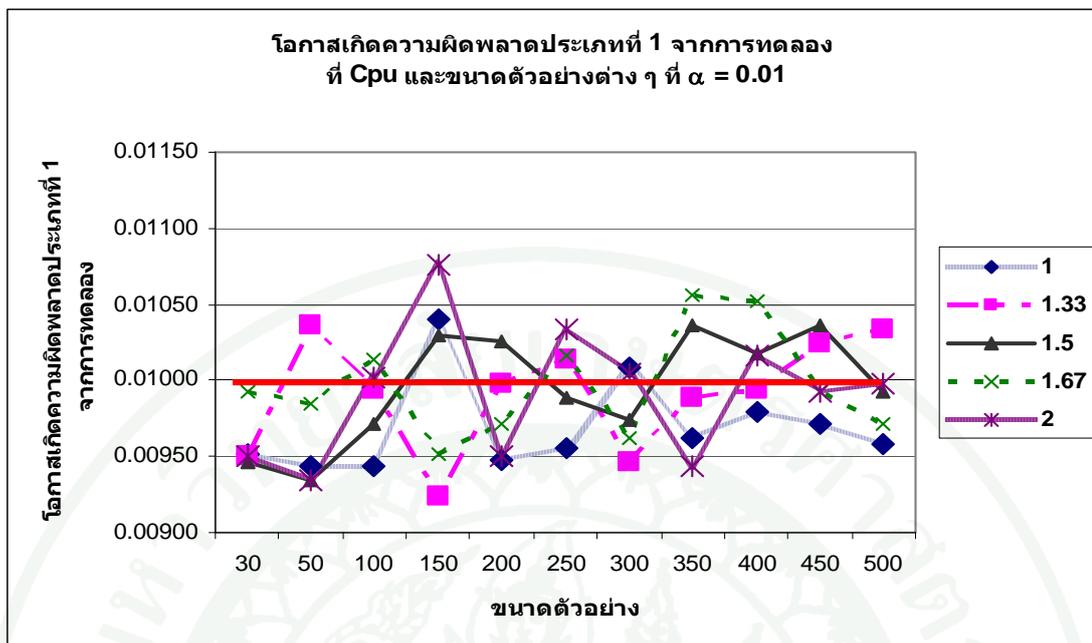


ภาพที่ 14 โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.025$
(กรณีผู้ส่งมอบสามราย)

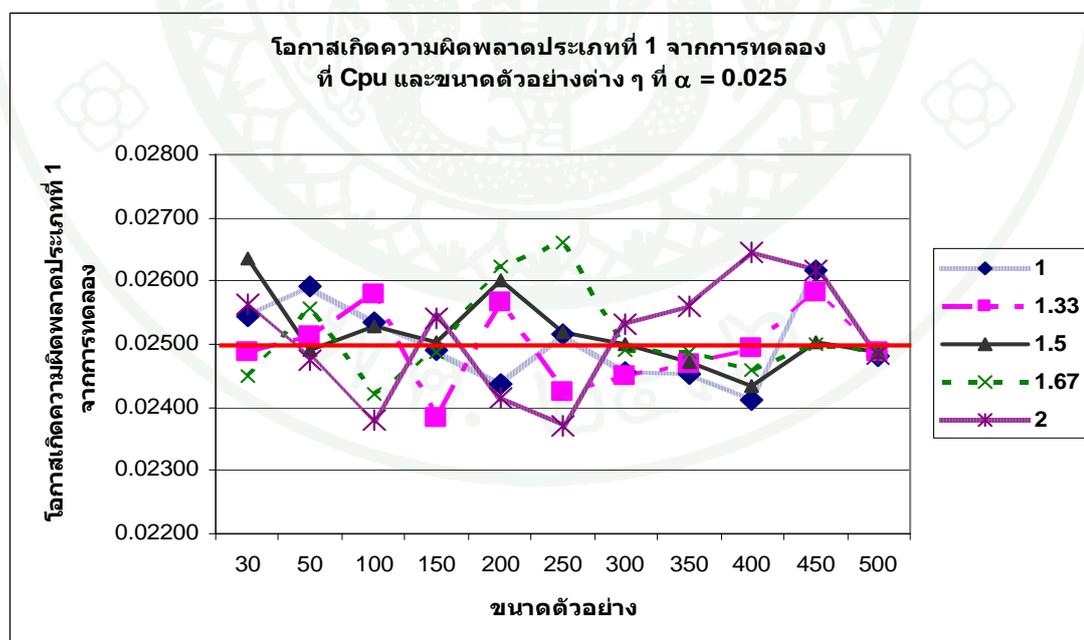


ภาพที่ 15 โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.05$
(กรณีผู้ส่งมอบสามราย)

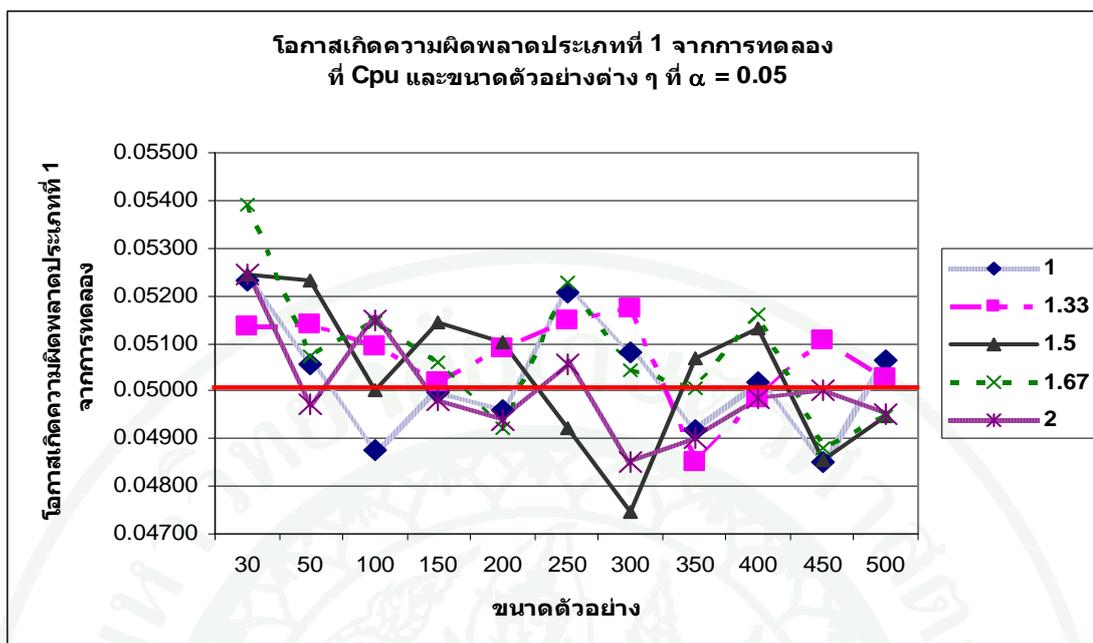
จากภาพที่ 13 ถึง 15 พบว่า กรณีผู้ส่งมอบสามราย ค่าโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง อยู่รอบค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด เช่นเดียวกับกรณีผู้ส่งมอบสองราย โดยที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และที่ระดับนัยสำคัญ 0.025 ค่าโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 กระจายรอบค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด แต่ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สังเกตพบว่า ที่ขนาดตัวอย่างต่ำ (ขนาดตัวอย่าง 30) โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลองสูงแต่เมื่อเพิ่มขนาดตัวอย่างมากขึ้นค่าจะเข้าไปใกล้ระดับนัยสำคัญที่กำหนด



ภาพที่ 16 โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.01$
(กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย)

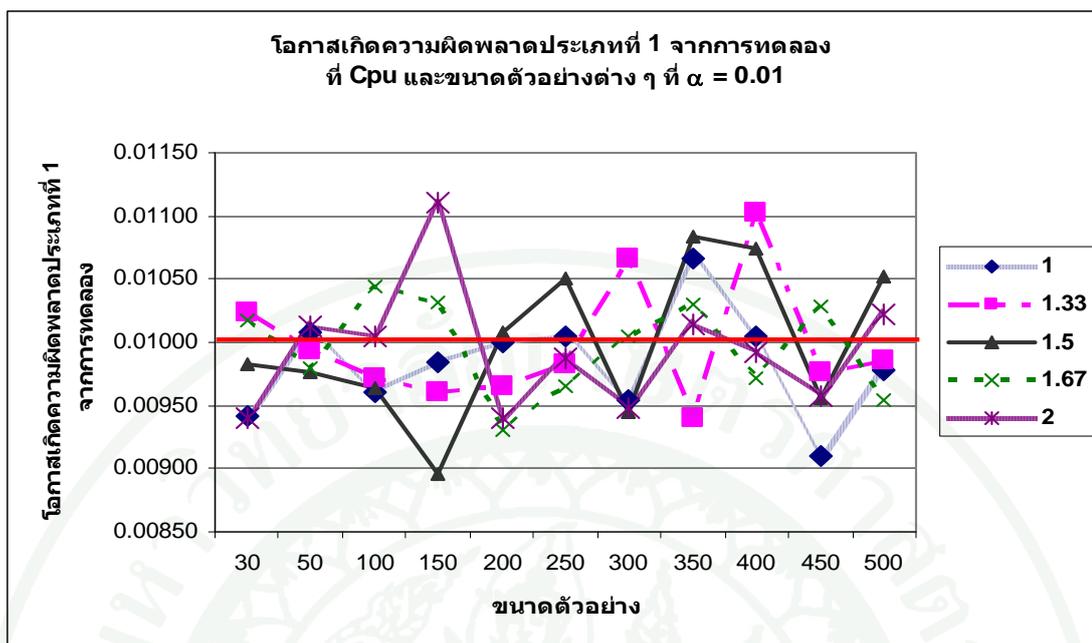


ภาพที่ 17 โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.025$
(กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย)

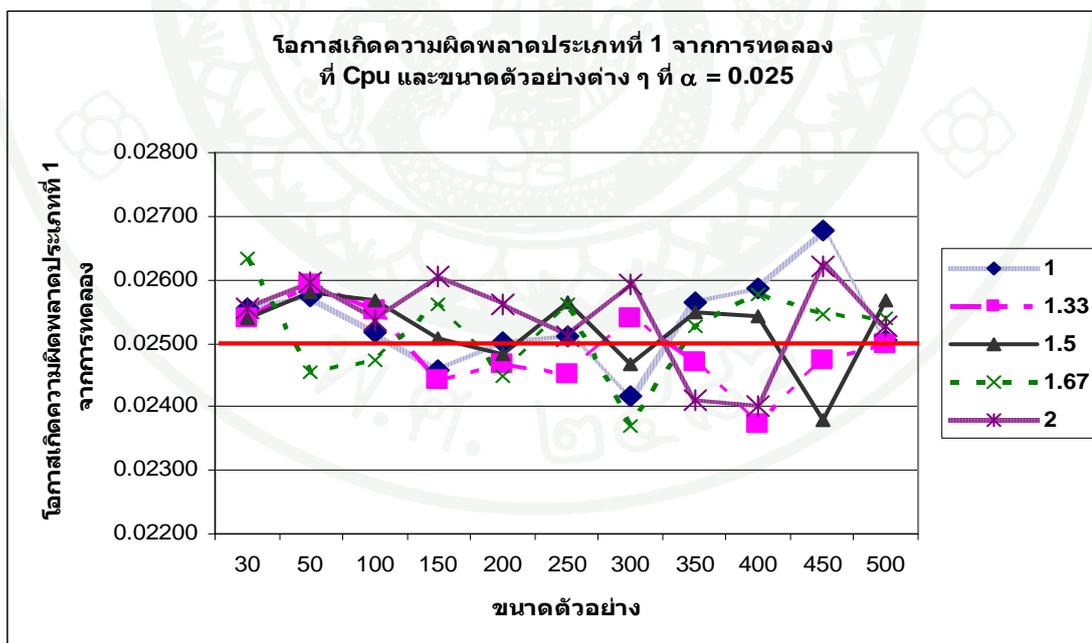


ภาพที่ 18 โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.05$
(กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย)

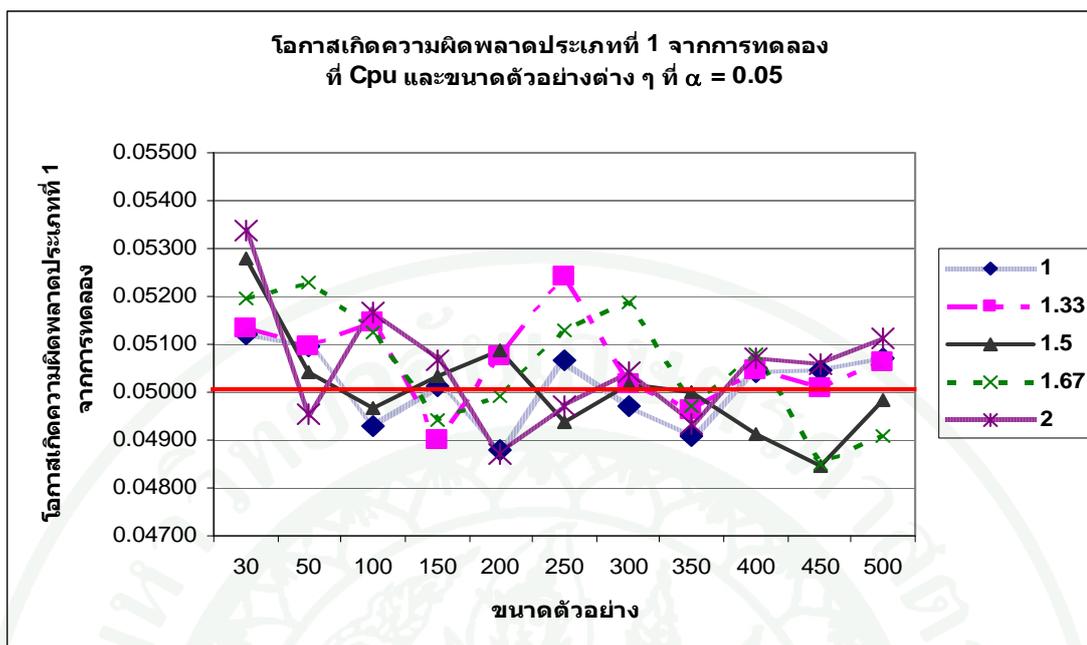
จากภาพที่ 16 ถึง 18 พบว่า กรณีผู้ส่งมอบสามราย ค่าโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง อยู่รอบค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด เช่นเดียวกับกรณีผู้ส่งมอบสองราย และสามราย โดยที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และที่ระดับนัยสำคัญ 0.025 ค่าโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 กระจายรอบค่า ระดับนัยสำคัญที่กำหนด แต่ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สังเกตพบว่า ที่ขนาดตัวอย่างต่ำ (ขนาดตัวอย่าง 30) โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลองสูงแต่เมื่อเพิ่มขนาดตัวอย่างมากขึ้นค่าจะเข้าไปใกล้ระดับนัยสำคัญที่กำหนด



ภาพที่ 19 โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.01$
(กรณีผู้ส่งมอบห้ำราย)



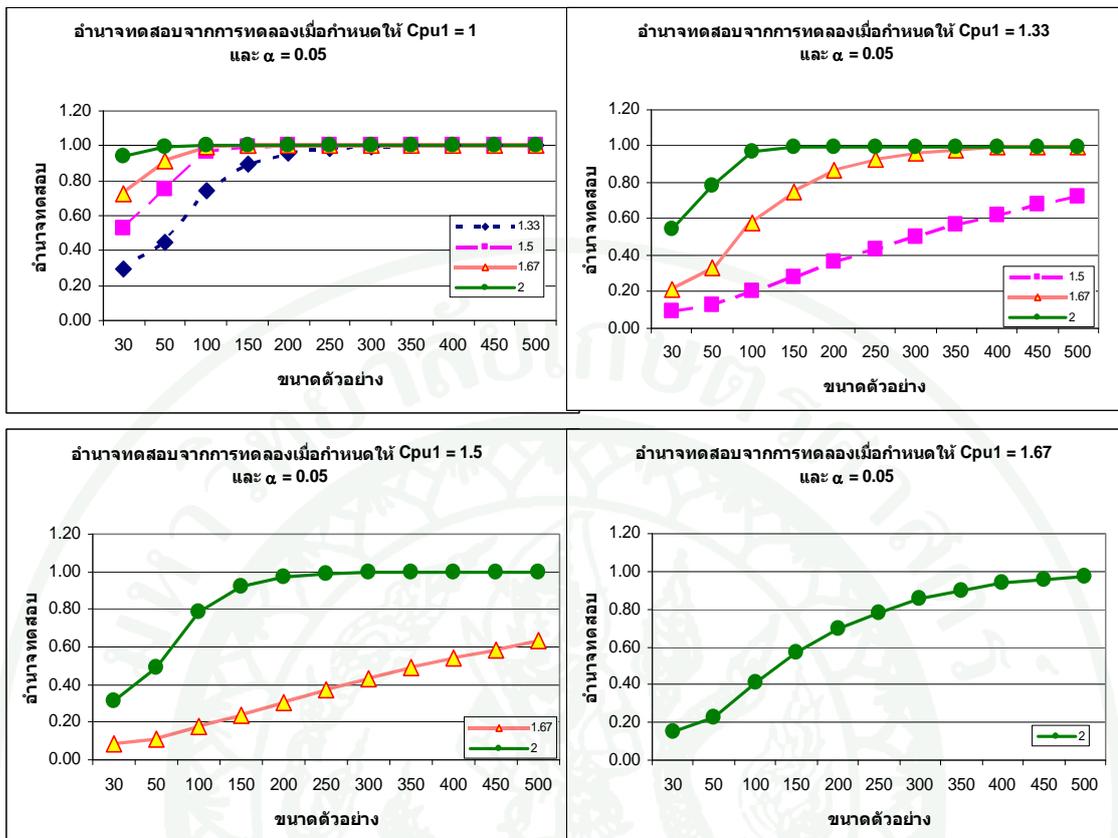
ภาพที่ 20 โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.025$
(กรณีผู้ส่งมอบห้ำราย)



ภาพที่ 21 โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.05$
(กรณีผู้ส่งมอบห้าราย)

จากภาพที่ 19 ถึง 21 พบว่า กรณีผู้ส่งมอบสามราย ค่าโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง อยู่รอบค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด เช่นเดียวกับกรณีผู้ส่งมอบสองราย สามราย และสี่ราย โดยที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และที่ระดับนัยสำคัญ 0.025 ค่าโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 กระจายรอบค่า ระดับนัยสำคัญที่กำหนด แต่ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สังเกตพบว่า ที่ขนาดตัวอย่างต่ำ (ขนาดตัวอย่าง 30) โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลองสูงแต่เมื่อเพิ่มขนาดตัวอย่างมากขึ้นค่าจะเข้าไปใกล้ระดับนัยสำคัญที่กำหนด

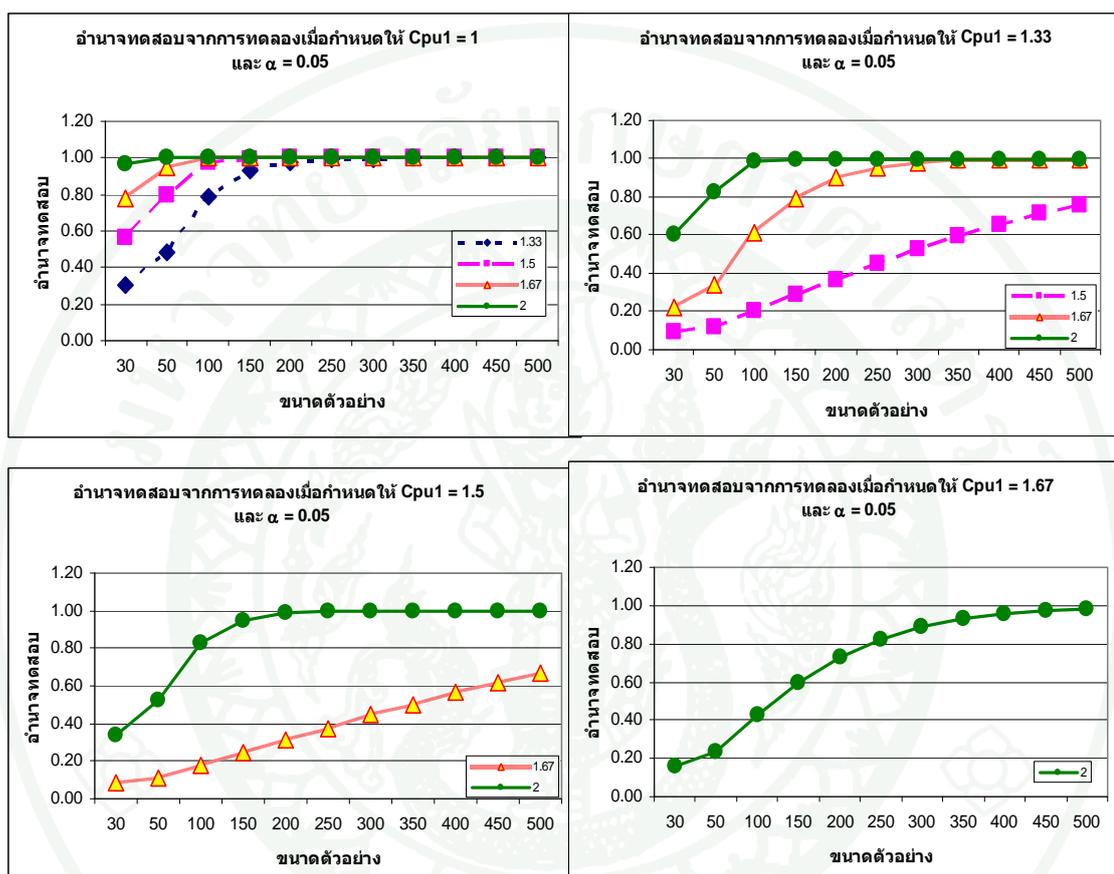
การหาอำนาจการทดสอบจากการทำการทดลองซ้ำ 50,000 รอบ จะขอแสดงเฉพาะกรณีที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามขนาดตัวอย่าง และ C_{pu} ที่กำหนดไว้ข้างต้น สำหรับอำนาจการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.025 ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ผลการทดลองสำหรับกรณีผู้ส่งมอบสองราย แสดงดังภาพที่ 22



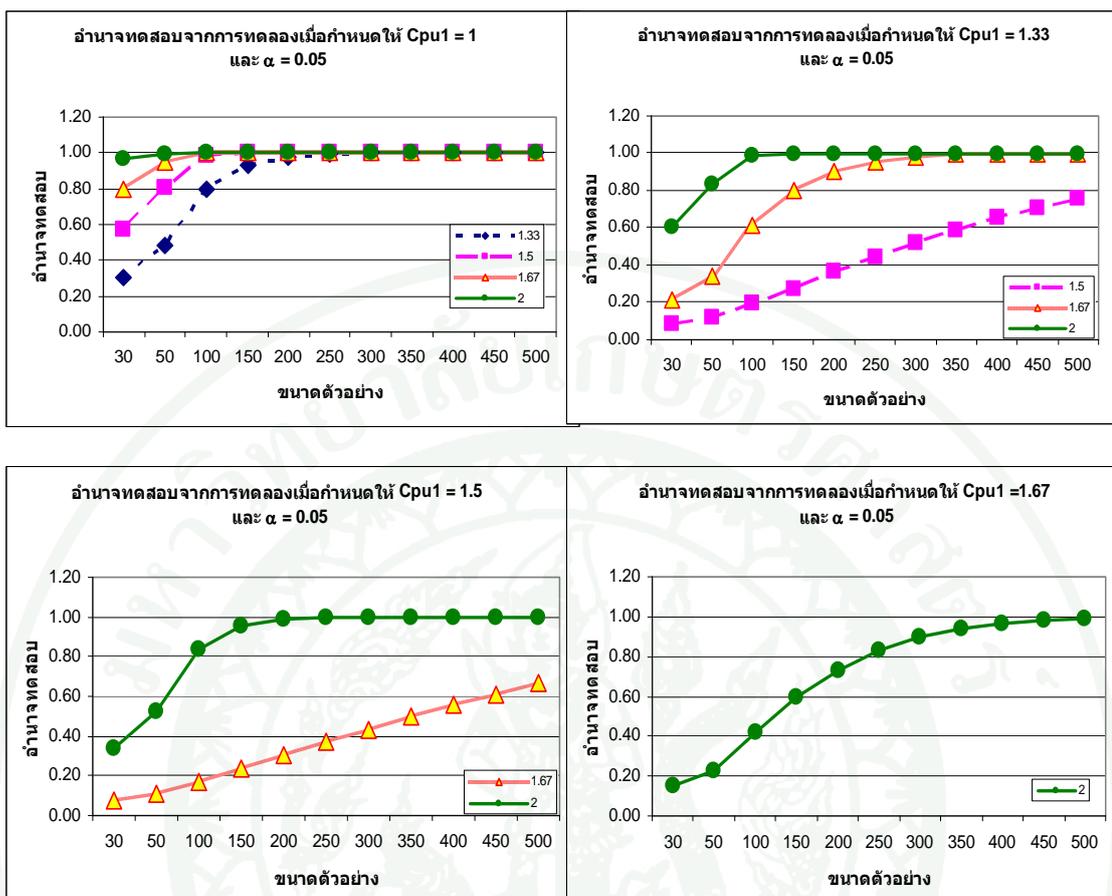
ภาพที่ 22 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ณ Cpu₁ ระดับต่าง ๆ (กรณีผู้ส่งมอบสองราย)

จากภาพแสดงให้เห็นว่า กรณีที่ Cpu₁ = 1 ถ้า Cpu₂ = 1.33 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ Cpu₁ พบว่าต้องใช้ขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนมากกว่า 250 จึงให้อำนาจทดสอบใกล้ 1 (อำนาจการทดสอบ = 1 คิดเป็น 100%) แต่ถ้า Cpu₂ = 2.0 ซึ่งมีค่าแตกต่างกับ Cpu₁ มากกลับพบว่าใช้ขนาดตัวอย่างไม่ถึง 100 ตัวอย่างก็ให้อำนาจทดสอบเข้าใกล้ 1 แล้ว สำหรับกรณี Cpu₁ = 1.33 ถ้า Cpu₂ = 1.50 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ Cpu₁ พบว่าใช้ขนาดตัวอย่างที่ 500 ยังให้อำนาจทดสอบประมาณ 70% ซึ่งค่อนข้างน้อย แต่ถ้า Cpu₂ = 2.0 ซึ่งมีค่าแตกต่างกับ Cpu₁ มากจะพบว่าใช้ขนาดตัวอย่าง 250 ขึ้นไปจะให้อำนาจทดสอบเข้าใกล้ 1 ส่วนกรณี Cpu₁ = 1.5 ถ้า Cpu₂ = 1.67 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ Cpu₁ พบว่าใช้ขนาดตัวอย่างที่ 500 ยังให้อำนาจทดสอบประมาณ 60% ซึ่งค่อนข้างน้อย แต่ถ้า Cpu₂ = 2.0 จะพบว่าใช้ขนาดตัวอย่าง 450 ขึ้นไปจะให้อำนาจทดสอบเข้าใกล้ 1 และกรณี Cpu₁ = 1.67 ถ้า Cpu₂ = 2.00 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ Cpu₁ พบว่าใช้ขนาดตัวอย่าง 500 ให้อำนาจทดสอบประมาณ 97%

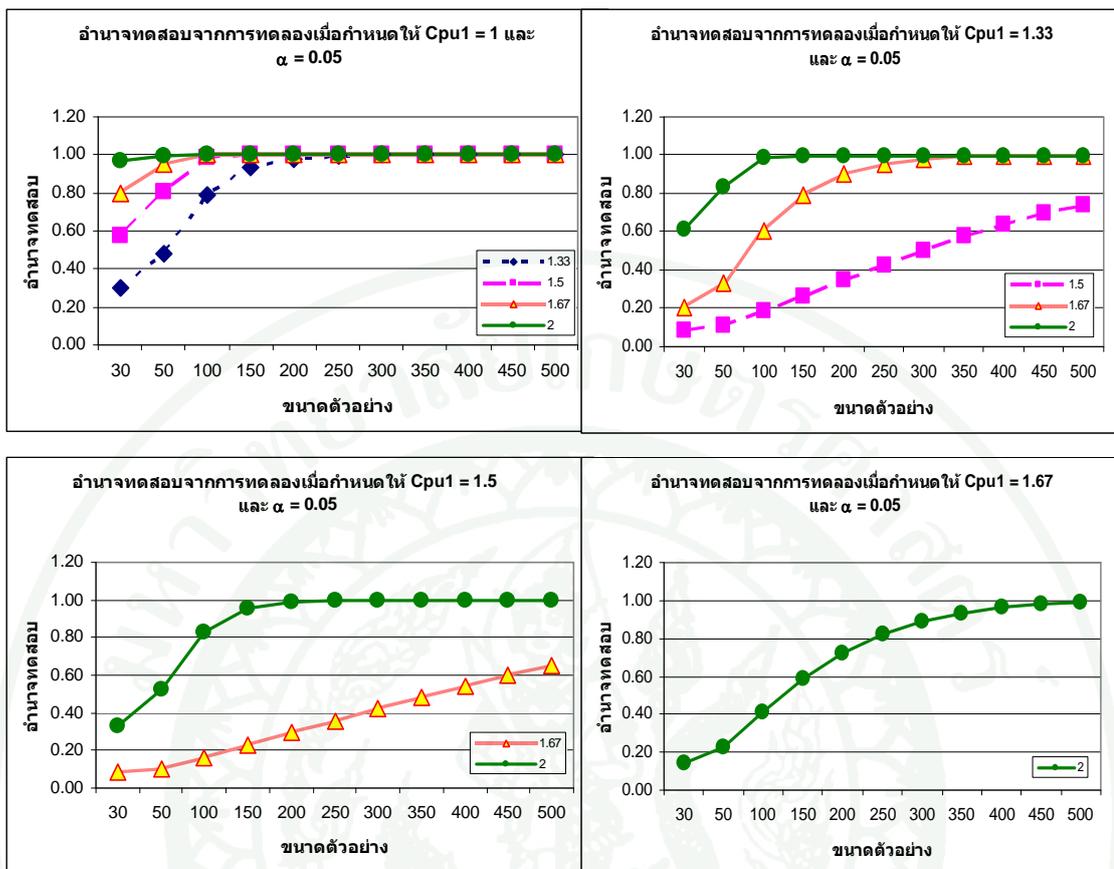
ผลการทดลองสำหรับกรณีผู้ส่งมอบสามารถ ี่ราย และห้ารายแสดงดังภาพที่ 23 ภาพที่ 24 และภาพที่ 25 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเมื่อ C_{pu} แตกต่างจาก C_{pu} อื่น ๆ ที่ระดับต่าง ๆ ลักษณะของอำนาจการทดสอบที่ได้จากการทดสอบมีลักษณะคล้ายคลึงกับกรณีผู้ส่งมอบสองราย



ภาพที่ 23 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ณ C_{pu} ระดับต่าง ๆ (กรณีผู้ส่งมอบสามารถ)



ภาพที่ 24 จำนวนการทดสอบจากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ณ Cpu₁ ระดับต่าง ๆ (กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย)



ภาพที่ 25 จำนวนการทดสอบจากการทดลอง ที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ณ Cpu_1 ระดับต่าง ๆ (กรณีผู้ส่งมอบห้ำราย)

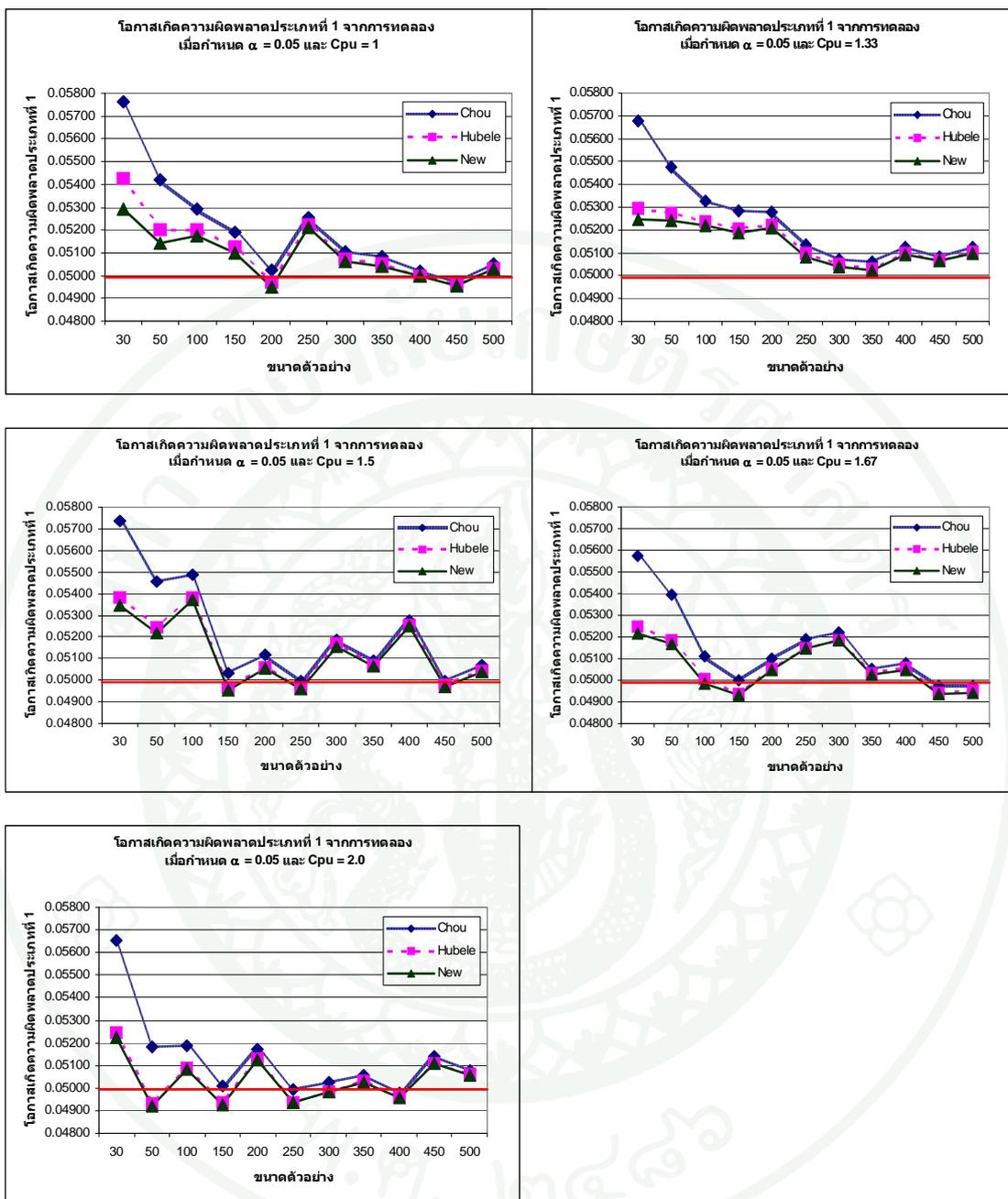
1.3 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีที่พัฒนาขึ้นกับวิธีอื่น ๆ

ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีที่พัฒนาขึ้นกับวิธีอื่น ๆ ได้แบ่งเป็น 2 กรณีหลัก คือ กรณีผู้ส่งมอบสองราย และกรณีผู้ส่งมอบมากกว่าสองราย (ผู้ส่งมอบสามราย สี่ราย และห้าราย)

1.3.1 กรณีผู้ส่งมอบสองราย ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีที่พัฒนาขึ้นกับวิธีของ Chou และวิธีของ Hubele โดยพิจารณาทั้งความผิดพลาดประเภทที่ 1 ที่ได้จากการทดลอง ประกอบกับอำนาจการทดสอบที่ได้จากการทดลอง

การพิจารณาความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ได้จำลองข้อมูลตามวิธีการที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยกำหนดให้ผู้ส่งมอบทั้งสองรายมีสมรรถภาพกระบวนการเท่ากัน แล้วหาโอกาสที่ปฏิเสธสมมติฐานหลักตามแต่ละวิธีที่ทำการเปรียบเทียบ จากการทดลองจำนวน 50,000 ครั้ง โดยมีเปลี่ยนแปลงระดับนัยสำคัญ (α) ที่ระดับต่าง ๆ ได้แก่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.025 และ 0.05 และที่ขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 30, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 ซึ่งจะแสดงผลการทดลองกรณีที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เท่านั้น ดังภาพที่ 26 สำหรับกรณีระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.025 ดูได้จากภาคผนวก ข

สำหรับการพิจารณาอำนาจการทดสอบที่ได้จากการทดลอง ได้จำลองข้อมูลตามวิธีการที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยกำหนดให้ผู้ส่งมอบทั้งสองรายมีสมรรถภาพกระบวนการแตกต่างกัน แล้วหาโอกาสที่ปฏิเสธสมมติฐานหลักตามแต่ละวิธีที่ทำการเปรียบเทียบ จากการทดลองจำนวน 50,000 ครั้ง โดยมีเปลี่ยนแปลงระดับนัยสำคัญ (α) ที่ระดับต่าง ๆ ได้แก่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.025 และ 0.05 และที่ขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 30, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 ซึ่งจะแสดงผลการทดลองกรณีที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เท่านั้น ดังตารางที่ 7 ถึงตารางที่ 10 สำหรับกรณีระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.025 ดูได้จากภาคผนวก ค



ภาพที่ 26 การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ด้วยวิธี Chou และ Hubele กับวิธีที่พัฒนาใหม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากภาพที่ 26 พบว่า สำหรับการเปรียบเทียบผู้ส่งมอบสองราย วิธีของ Chou ให้ความผิดพลาดประเภทที่ 1 สูงกว่าวิธีอื่น ๆ ส่วนวิธีของ Hubele กับวิธีที่พัฒนาใหม่นั้น ให้ค่าความผิดพลาดประเภทที่ 1 ใกล้เคียงกัน (ข้อมูลแสดงในภาคผนวก ข) นอกจากนี้ยังพบว่า ที่ขนาดตัวอย่างต่ำ ($n = 30$) ให้ค่าโอกาสเกิดความผิดพลาดจากการทดลองสูง และมีค่าลดลงเข้าใกล้ค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด เมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของการทดลองด้วยวิธีทั้ง 3 ที่กล่าวข้างต้น แสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 7 อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบสองราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1$

n	Cpu ₁ = 1			Cpu ₂ = 1.5		
	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New
30	0.30420	0.29434	0.29194	0.53964	0.52806	0.52542
50	0.46070	0.45398	0.45184	0.75828	0.75288	0.75170
100	0.74666	0.74402	0.74350	0.96350	0.96298	0.96276
150	0.89626	0.89524	0.89490	0.99644	0.99642	0.99638
200	0.96056	0.96028	0.96014	0.99970	0.99970	0.99970
250	0.98530	0.98522	0.98514	0.99996	0.99996	0.99996
300	0.99520	0.99518	0.99516	1	1	1
350	0.99870	0.99870	0.99868	1	1	1
400	0.99954	0.99954	0.99954	1	1	1
450	0.99986	0.99986	0.99986	1	1	1
500	0.99996	0.99996	0.99996	1	1	1

ตารางที่ 7 (ต่อ)

n	Cpu ₁ = 1			Cpu ₂ = 1.67			Cpu ₂ = 2		
	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New
30	0.73760	0.72874	0.72648	0.94338	0.94012	0.93958			
50	0.91796	0.91508	0.91460	0.99528	0.99510	0.99508			
100	0.99766	0.99762	0.99762	1	1	1			
150	0.99990	0.99990	0.99990	1	1	1			
200	1	1	1	1	1	1			
250	1	1	1	1	1	1			
300	1	1	1	1	1	1			
350	1	1	1	1	1	1			
400	1	1	1	1	1	1			
450	1	1	1	1	1	1			
500	1	1	1	1	1	1			

ตารางที่ 8 อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบสองราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ Cpu₁ = 1.33

n	Cpu ₁ = 1.33			Cpu ₂ = 1.5			Cpu ₂ = 1.67		
	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New
30	0.10188	0.09640	0.09548	0.22636	0.21746	0.21568			
50	0.13088	0.12670	0.12610	0.33740	0.33132	0.33028			
100	0.20946	0.20696	0.20642	0.57996	0.57646	0.57584			
150	0.28606	0.28400	0.28370	0.75422	0.75244	0.75214			
200	0.36456	0.36312	0.36280	0.86772	0.86680	0.86666			
250	0.43898	0.43776	0.43760	0.93110	0.93080	0.93076			
300	0.50692	0.50614	0.50586	0.96372	0.96350	0.96348			
350	0.56848	0.56742	0.56722	0.98148	0.98142	0.98140			
400	0.62526	0.62442	0.62432	0.99152	0.99150	0.99150			
450	0.67940	0.67866	0.67852	0.99586	0.99586	0.99586			
500	0.72450	0.72410	0.72398	0.99798	0.99796	0.99796			

ตารางที่ 8 (ต่อ)

$Cpu_1 = 1.33$		$Cpu_2 = 2.0$	
n	Chou	Hubele	New
30	0.56266	0.54950	0.54764
50	0.78682	0.78158	0.78082
100	0.97324	0.97262	0.97252
150	0.99738	0.99734	0.99734
200	0.99984	0.99984	0.99984
250	1	0.99998	0.99998
300	1	1	1
350	1	1	1
400	1	1	1
450	1	1	1
500	1	1	1

ตารางที่ 9 อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบสองราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1.50$

n	$Cpu_1 = 1.5$			$Cpu_2 = 1.67$			$Cpu_2 = 2$		
	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New
30	0.09354	0.08836	0.08770	0.32754	0.31700	0.31558			
50	0.11458	0.11132	0.11096	0.49438	0.48716	0.48626			
100	0.17652	0.17394	0.17368	0.78964	0.78734	0.78702			
150	0.24080	0.23904	0.23870	0.92298	0.92218	0.92208			
200	0.30308	0.30162	0.30154	0.97390	0.97358	0.97352			
250	0.37058	0.36962	0.36942	0.99158	0.99152	0.99148			
300	0.42846	0.42730	0.42716	0.99766	0.99764	0.99764			
350	0.48746	0.48658	0.48648	0.99940	0.99940	0.99940			
400	0.53902	0.53798	0.53790	0.99988	0.99988	0.99988			
450	0.58382	0.58322	0.58310	0.99994	0.99994	0.99994			
500	0.63146	0.63078	0.63068	1	1	1			

ตารางที่ 10 อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบสองราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1.67$

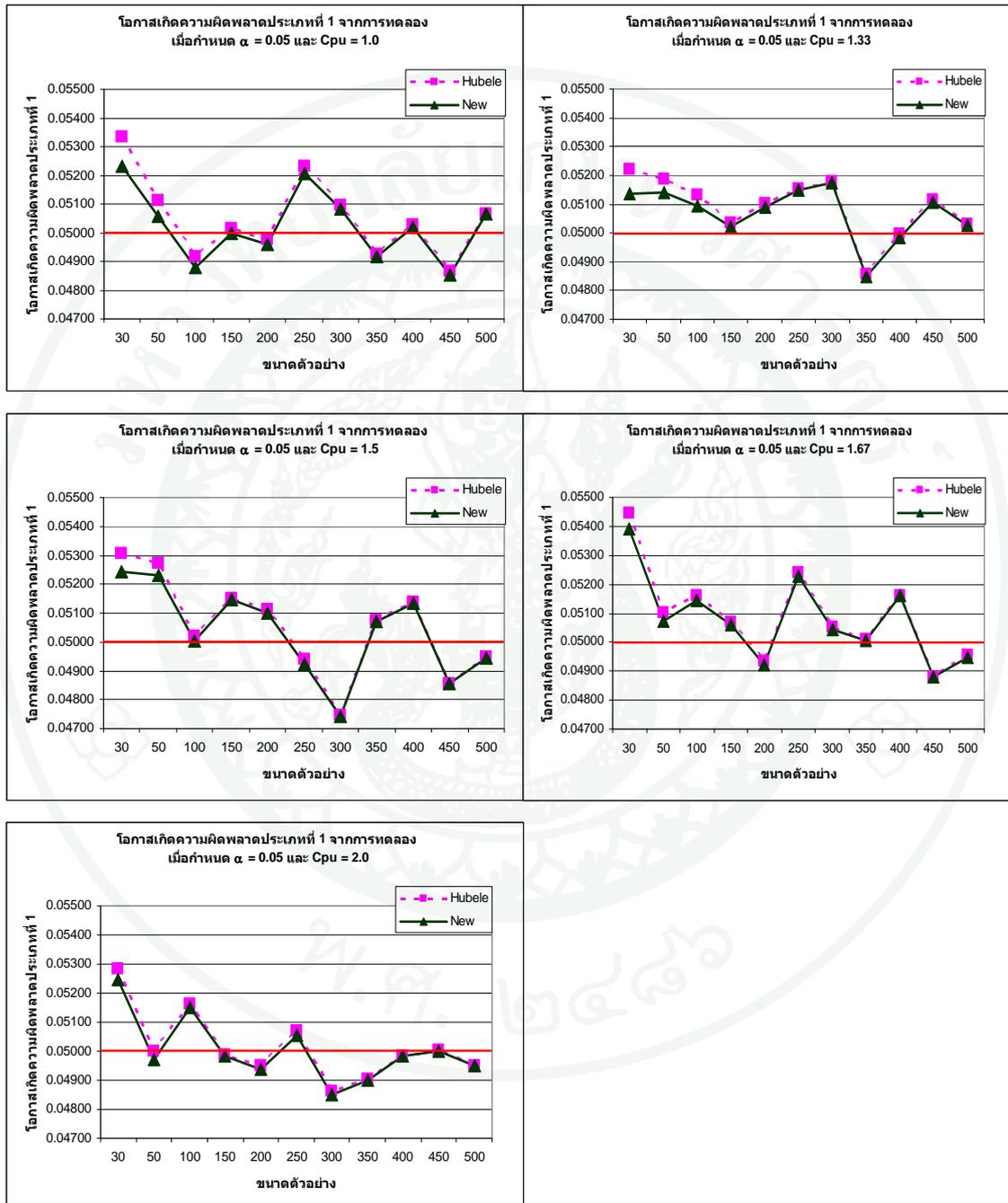
n	$Cpu_1 = 1.67$	$Cpu_2 = 2$	
	Chou	Hubele	New
30	0.16056	0.15304	0.15234
50	0.23390	0.22830	0.22774
100	0.41164	0.40790	0.40736
150	0.56932	0.56688	0.56662
200	0.69626	0.69476	0.69456
250	0.78394	0.78298	0.78288
300	0.85762	0.85692	0.85684
350	0.90150	0.90110	0.90110
400	0.93658	0.93628	0.93620
450	0.95880	0.95874	0.95874
500	0.97278	0.97272	0.97272

จากตารางที่ 7 ถึง 10 พบว่า ถ้า Cpu_1 แตกต่างจาก Cpu_2 มาก เช่นกรณี $Cpu_1 = 1$, $Cpu_2 = 1.67$ และกรณี $Cpu_1 = 1$, $Cpu_2 = 2.0$ ใช้ขนาดตัวอย่างไม่มาก ก็ให้อำนาจการทดสอบมีค่าเท่ากับ 1 หรือ 100% แต่สำหรับที่ Cpu_1 แตกต่างจาก Cpu_2 ไม่มาก เช่นกรณี $Cpu_1 = 1.33$ กับ $Cpu_2 = 1.5$ และกรณี $Cpu_1 = 1.5$ กับ $Cpu_2 = 1.67$ กลับพบว่าใช้ขนาดตัวอย่างมากถึง 500 แล้ว ยังให้อำนาจการทดสอบไม่ถึง 0.8 หรือ 80% กล่าวคือถ้าต้องการให้อำนาจการทดสอบเพิ่มขึ้นจำเป็นต้องใช้ขนาดตัวอย่างที่มากกว่านี้ ซึ่งทั้งสามวิธีให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน แต่ที่ขนาดตัวอย่างต่ำ วิธีของ Chou ให้อำนาจการทดสอบที่สูงกว่าเล็กน้อย เมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้นทั้งสามวิธีให้ผลไม่แตกต่างกัน

1.3.2 กรณีผู้ส่งมอบมากกว่าสองราย (ผู้ส่งมอบสามราย สี่ราย และห้าราย) ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีที่พัฒนาขึ้นกับวิธีของ Hubele โดยพิจารณาทั้งความผิดพลาดประเภทที่ 1 ที่ได้จากการทดลอง ประกอบกับอำนาจการทดสอบที่ได้จากการทดลอง

การพิจารณาความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ทำเช่นเดียวกับผู้ส่งมอบสองราย โดยมีเปลี่ยนแปลงระดับนัยสำคัญ (α) ที่ระดับต่าง ๆ ได้แก่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.025 และ 0.05 และที่ขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 30, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 ผล

การทดลองแสดงเฉพาะกรณีระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังภาพที่ 27 สำหรับกรณีระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.025 ดูได้จากภาคผนวก ข



ภาพที่ 27 การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ด้วยวิธีของ Hubele และวิธีที่พัฒนาใหม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ผู้ส่งมอบสามราย)

จากผลการทดลองพบว่า กรณีผู้ส่งมอบสามารถ วิธีที่พัฒนาขึ้นให้ค่าความผิดพลาดประเภทที่ 1 ที่ได้จากการทดลองต่ำกว่าวิธีของ Hubele เมื่อขนาดตัวอย่างต่ำ และเมื่อขนาดตัวอย่างมากขึ้น วิธีที่พัฒนาขึ้นและวิธีของ Hubele ให้ผลไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากวิธีที่พัฒนาขึ้นใช้ตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงของดัชนีสมรรถภาพกระบวนการที่มีการถ่วงน้ำหนักด้วยแฟกเตอร์ปรับ ซึ่งเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้นค่าแฟกเตอร์ปรับของตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงเข้าสู่ค่า 1 จึงทำให้วิธีที่พัฒนาขึ้นและวิธีของ Hubele ไม่แตกต่างกัน

สำหรับการพิจารณาอำนาจการทดสอบที่ได้จากการทดลอง ทำเช่นเดียวกับผู้ส่งมอบสองรายเช่นกัน โดยมีเปลี่ยนแปลงระดับนัยสำคัญ (α) ที่ระดับต่าง ๆ ได้แก่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.025 และ 0.05 และที่ขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 30, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 ซึ่งจะแสดงผลการทดลองกรณีระดับนัยสำคัญ 0.05 เท่านั้น ดังตารางที่ 11 ถึงตารางที่ 14 สำหรับกรณีระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.025 ดูได้จากภาคผนวก ก

ตารางที่ 11 อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบสามารถ เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $C_{pu_1} = 1$

n	$C_{pu_1} = 1$		$C_{pu_{อื่น}} = 1.33$		$C_{pu_{อื่น}} = 1.5$	
	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.31088	0.30736	0.57004	0.56698		
50	0.48476	0.48252	0.80106	0.79984		
100	0.78902	0.78834	0.97870	0.97860		
150	0.92860	0.92810	0.99834	0.99834		
200	0.97770	0.97768	0.99994	0.99994		
250	0.99380	0.99380	1	1		
300	0.99842	0.99842	1	1		
350	0.99950	0.99950	1	1		
400	0.99994	0.99994	1	1		
450	0.99994	0.99994	1	1		
500	1	1	1	1		

ตารางที่ 11 (ต่อ)

$Cpu_1 = 1$	$Cpu_{อื่น} = 1.67$		$Cpu_{อื่น} = 2$	
n	Hubele	New	Hubele	New
30	0.78356	0.78164	0.96420	0.96374
50	0.94650	0.94622	0.99856	0.99852
100	0.99912	0.99912	1	1
150	1	1	1	1
200	1	1	1	1
250	1	1	1	1
300	1	1	1	1
350	1	1	1	1
400	1	1	1	1
450	1	1	1	1
500	1	1	1	1

ตารางที่ 12 อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบสามราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1.33$

$Cpu_1 = 1.33$	$Cpu_{อื่น} = 1.5$		$Cpu_{อื่น} = 1.67$		$Cpu_{อื่น} = 2$	
n	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.09742	0.09640	0.22260	0.22068	0.60226	0.60046
50	0.12376	0.12284	0.34350	0.34236	0.82782	0.82730
100	0.20254	0.20198	0.61310	0.61246	0.98556	0.98552
150	0.29124	0.29092	0.79550	0.79530	0.99912	0.99912
200	0.37028	0.36996	0.90014	0.90000	0.99994	0.99994
250	0.45312	0.45286	0.95140	0.95132	1	1
300	0.52992	0.52960	0.97880	0.97878	1	1
350	0.60024	0.60000	0.99208	0.99208	1	1
400	0.65666	0.65648	0.99640	0.99640	1	1
450	0.71210	0.71200	0.99860	0.99860	1	1
500	0.75954	0.75952	0.99950	0.99950	1	1

ตารางที่ 13 อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบสามราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1.50$

n	$Cpu_1 = 1.5$		$Cpu_{อื่น} = 1.67$		$Cpu_{อื่น} = 2$	
	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.08512	0.08422	0.33558	0.33394		
50	0.10956	0.10924	0.52684	0.52578		
100	0.17570	0.17528	0.82910	0.82868		
150	0.24156	0.24122	0.94788	0.94784		
200	0.30900	0.30880	0.98578	0.98572		
250	0.37482	0.37464	0.99684	0.99682		
300	0.44538	0.44518	0.99912	0.99912		
350	0.50144	0.50130	0.99988	0.99988		
400	0.56206	0.56198	0.99994	0.99994		
450	0.61432	0.61412	1	1		
500	0.66450	0.66436	1	1		

ตารางที่ 14 อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบสามราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1.67$

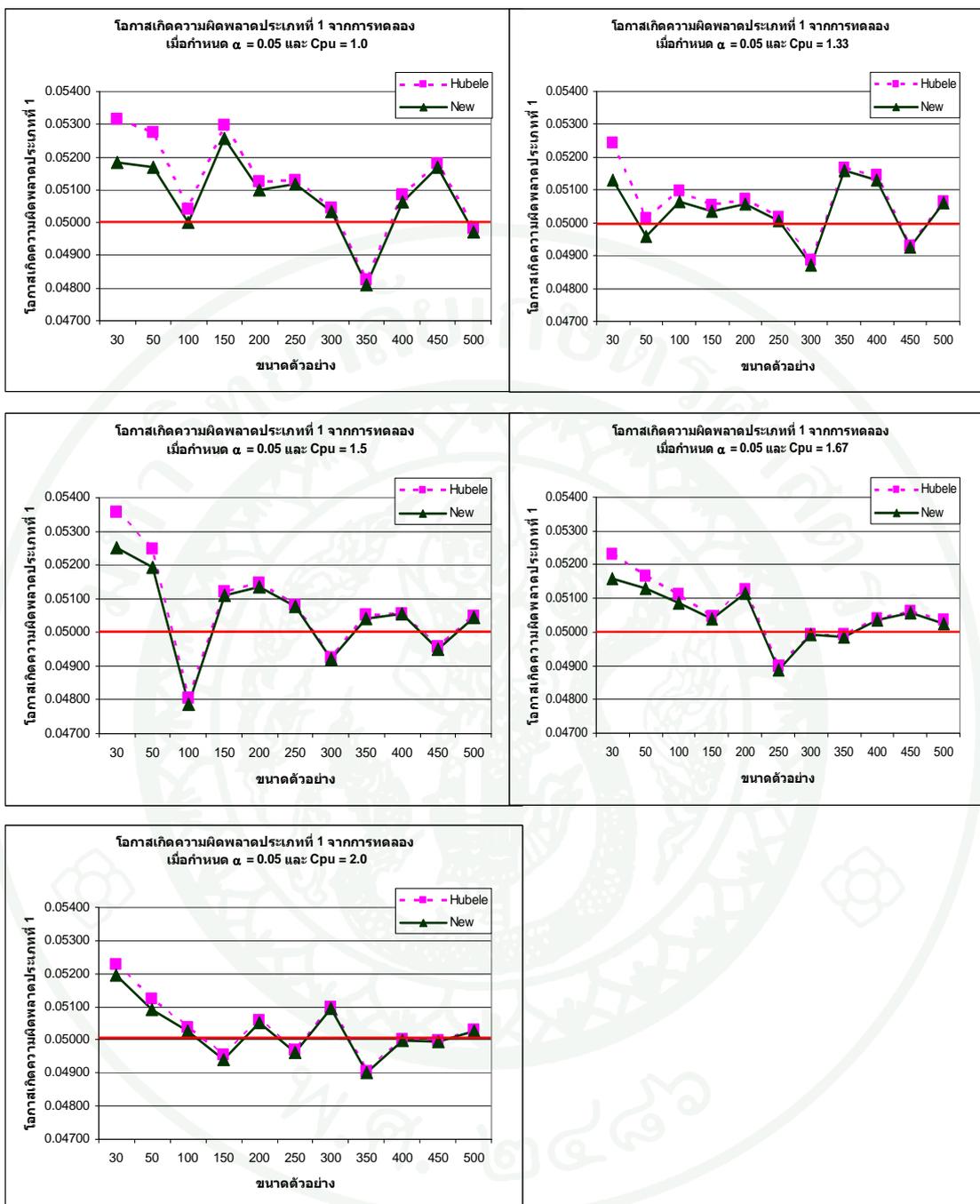
n	$Cpu_1 = 1.67$		$Cpu_{อื่น} = 2$	
	Hubele	New	Hubele	New
30	0.16104	0.15992		
50	0.23222	0.23138		
100	0.42596	0.42558		
150	0.59758	0.59714		
200	0.73162	0.73140		
250	0.82640	0.82630		
300	0.89096	0.89092		
350	0.93344	0.93344		
400	0.95918	0.95916		
450	0.97536	0.97536		
500	0.98576	0.98576		

จากตารางที่ 11 ถึง 14 พบว่า ถ้า Cpu_1 แตกต่างจาก Cpu_2 และ Cpu_3 มาก เช่นกรณี $Cpu_1 = 1$, $Cpu_2 = Cpu_3 = 1.67$ และกรณี $Cpu_1 = 1$, $Cpu_2 = Cpu_3 = 2.0$ ใช้ขนาดตัวอย่างไม่มาก ก็ให้อำนาจการทดสอบมีค่าเท่ากับ 1 หรือ 100% แต่สำหรับที่ Cpu_1 แตกต่างจาก Cpu_2 และ Cpu_3 ไม่มาก เช่นกรณี $Cpu_1 = 1.33$ กับ $Cpu_2 = Cpu_3 = 1.5$ ใช้ขนาดตัวอย่างมากถึง 500 แล้ว ยังให้อำนาจการทดสอบจากการทดลองไม่ถึง 80% และในส่วนกรณี $Cpu_1 = 1.5$ กับ $Cpu_2 = Cpu_3 = 1.67$ ใช้ขนาดตัวอย่างเป็น 500 แล้วยังให้อำนาจการทดสอบไม่ถึง 70% ซึ่งคล้ายกับกรณีที่มีผู้ส่งมอบสองราย

การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลองของผู้ส่งมอบสี่ราย ด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้นกับวิธีของ Hubele โดยมีเปลี่ยนแปลงระดับนัยสำคัญ (α) ที่ระดับต่าง ๆ ได้แก่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.025 และ 0.05 และที่ขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 30, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 ซึ่งจะแสดงผลการทดลองกรณีที่มีระดับนัยสำคัญ 0.05 เท่านั้น ดังภาพที่ 28 สำหรับกรณีระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.025 ดูได้จากภาคผนวก ข

จากภาพที่ 28 พบว่า กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย วิธีที่พัฒนาขึ้นให้ค่าความผิดพลาดประเภทที่ 1 ที่ได้จากการทดลองต่ำกว่าวิธีของ Hubele เมื่อขนาดตัวอย่างต่ำ และเมื่อขนาดตัวอย่างมากขึ้น วิธีที่พัฒนาขึ้นและวิธีของ Hubele ให้ผลไม่แตกต่างกัน ผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลการเปรียบเทียบผู้ส่งมอบสามราย

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของการทดลองด้วยวิธีทั้งสอง ที่กล่าวข้างต้น ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 15 ถึง 18



ภาพที่ 28 การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ด้วยวิธีของ Hubele และวิธีที่พัฒนาใหม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ผู้ส่งมอบสี่ราย)

ตารางที่ 15 อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบที่ร้าย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1$

n	Cpu _{อื่น} = 1.33		Cpu _{อื่น} = 1.5		Cpu _{อื่น} = 1.67		Cpu _{อื่น} = 2	
	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.30924	0.30530	0.57740	0.57444	0.79814	0.79600	0.96886	0.96854
50	0.48818	0.48602	0.80608	0.80472	0.95214	0.95186	0.99838	0.99836
100	0.79478	0.79390	0.98208	0.98198	0.99968	0.99968	1	1
150	0.93238	0.93212	0.99918	0.99918	1	1	1	1
200	0.98034	0.98024	0.99998	0.99998	1	1	1	1
250	0.99522	0.99522	0.99998	0.99998	1	1	1	1
300	0.99860	0.99860	1	1	1	1	1	1
350	0.99966	0.99966	1	1	1	1	1	1
400	0.99992	0.99992	1	1	1	1	1	1
450	0.99998	0.99998	1	1	1	1	1	1
500	0.99998	0.99998	1	1	1	1	1	1

ตารางที่ 16 อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบเสียหาย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1.33$

n	$Cpu_{\text{อื่น}} = 1.5$		$Cpu_{\text{อื่น}} = 1.67$		$Cpu_{\text{อื่น}} = 2$	
	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.09004	0.08902	0.21698	0.21538	0.60804	0.60604
50	0.11840	0.11734	0.34190	0.34002	0.83440	0.83360
100	0.19992	0.19932	0.61542	0.61456	0.98676	0.98664
150	0.27628	0.27564	0.79956	0.79912	0.99934	0.99934
200	0.36626	0.36602	0.90384	0.90374	0.99998	0.99998
250	0.44408	0.44360	0.95510	0.95508	1	1
300	0.52262	0.52234	0.98154	0.98152	1	1
350	0.58934	0.58928	0.99334	0.99334	1	1
400	0.65630	0.65620	0.99700	0.99700	1	1
450	0.70792	0.70766	0.99892	0.99892	1	1
500	0.75788	0.75780	0.99974	0.99974	1	1

ตารางที่ 17 อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบเสียหาย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1.50$

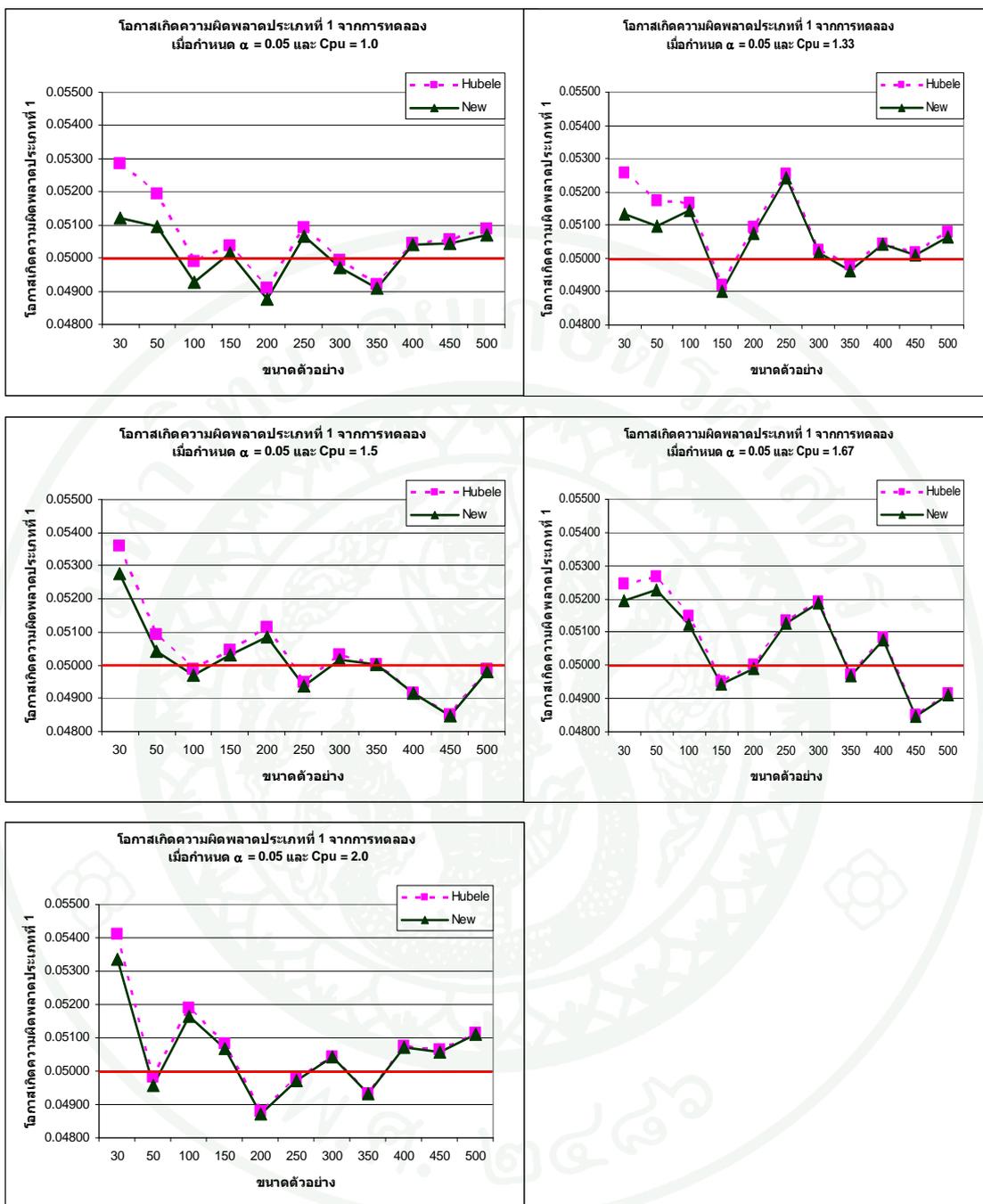
n	$Cpu_{\text{อื่น}} = 1.67$		$Cpu_{\text{อื่น}} = 2$	
	Hubele	New	Hubele	New
30	0.08118	0.08010	0.34096	0.33888
50	0.10690	0.10636	0.52642	0.52508
100	0.16608	0.16558	0.83584	0.83540
150	0.23370	0.23338	0.95414	0.95410
200	0.30158	0.30122	0.98906	0.98902
250	0.36874	0.36840	0.99728	0.99728
300	0.43134	0.43108	0.99946	0.99946
350	0.49568	0.49558	0.99994	0.99994
400	0.55902	0.55876	1	1
450	0.61202	0.61178	1	1
500	0.66494	0.66476	1	1

ตารางที่ 18 อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1.67$

$Cpu_1 = 1.67$	$Cpu_{อื่น} = 2$	
n	Hubele	New
30	0.15338	0.15192
50	0.22770	0.22674
100	0.42392	0.42338
150	0.59744	0.59720
200	0.73346	0.73326
250	0.82948	0.82938
300	0.89442	0.89428
350	0.93724	0.93718
400	0.96364	0.96360
450	0.97846	0.97844
500	0.98842	0.98842

จากตารางที่ 15 ถึง 18 พบว่า ถ้า Cpu_1 แตกต่างจาก Cpu_2 , Cpu_3 และ Cpu_4 มาก เช่นกรณี $Cpu_1 = 1$, $Cpu_2 = Cpu_3 = Cpu_4 = 1.67$ และกรณี $Cpu_1 = 1$, $Cpu_2 = Cpu_3 = Cpu_4 = 2.0$ ใช้ขนาดตัวอย่างไม่มาก ก็ให้อำนาจการทดสอบมีค่าเท่ากับ 1 หรือ 100% แต่สำหรับที่ Cpu_1 แตกต่างจาก Cpu_2 , Cpu_3 และ Cpu_4 ไม่มาก เช่นกรณี $Cpu_1 = 1.33$ กับ $Cpu_2 = Cpu_3 = Cpu_4 = 1.5$ ใช้ขนาดตัวอย่างมากถึง 500 แล้ว ยังให้อำนาจการทดสอบจากการทดลองไม่ถึง 80% และในส่วนกรณี $Cpu_1 = 1.5$ กับ $Cpu_2 = Cpu_3 = Cpu_4 = 1.67$ ใช้ขนาดตัวอย่างเป็น 500 แล้วยังให้อำนาจการทดสอบไม่ถึง 70% ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับกรณีที่มีผู้ส่งมอบสามราย

การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลองของผู้ส่งมอบห้าราย ด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้นกับวิธีของ Hubele โดยมีเปลี่ยนแปลงระดับนัยสำคัญ (α) ที่ระดับต่าง ๆ ได้แก่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.025 และ 0.05 และที่ขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 30, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 ซึ่งจะแสดงผลการทดลองกรณีที่มีระดับนัยสำคัญ 0.05 เท่านั้น ดังภาพที่ 29 สำหรับกรณีระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.025 ดูได้จากภาคผนวก ข



ภาพที่ 29 การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ด้วยวิธีของ Hubele และวิธีที่พัฒนาใหม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ผู้ส่งมอบห้ำราย)

จากผลการทดลองพบว่า กรณีผู้ส่งมอบห้าราย วิธีที่พัฒนาขึ้นให้ค่าความผิดพลาดประเภทที่ 1 ที่ได้จากการทดลองต่ำกว่าวิธีของ Hubele เมื่อขนาดตัวอย่างต่ำ และเมื่อขนาดตัวอย่างมากขึ้น วิธีที่พัฒนาขึ้นและวิธีของ Hubele ให้ผลไม่แตกต่างกัน ผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลการเปรียบเทียบผู้ส่งมอบสามรายและสี่ราย

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของการทดลองด้วยวิธีทั้งสอง ที่กล่าวข้างต้น ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 19 ถึง 22

ตารางที่ 19 อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบห้าราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1$

n	Cpu _{อื่น} = 1.33		Cpu _{อื่น} = 1.5	
	Hubele	New	Hubele	New
30	0.30082	0.29688	0.57648	0.57248
50	0.47864	0.47594	0.81076	0.80924
100	0.78852	0.78772	0.98358	0.98342
150	0.93108	0.93078	0.99914	0.99914
200	0.98022	0.98016	0.99994	0.99994
250	0.99484	0.99482	1	1
300	0.99886	0.99886	1	1
350	0.99962	0.99962	1	1
400	0.99992	0.99992	1	1
450	0.99998	0.99998	1	1
500	1	1	1	1

ตารางที่ 19 (ต่อ)

n	Cpu ₁ = 1		Cpu _{อื่น} = 1.67		Cpu _{อื่น} = 2	
	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.79552	0.79312	0.97032	0.96994		
50	0.95450	0.95400	0.99850	0.99848		
100	0.99960	0.99960	1	1		
150	0.99998	0.99998	1	1		
200	1	1	1	1		
250	1	1	1	1		
300	1	1	1	1		
350	1	1	1	1		
400	1	1	1	1		
450	1	1	1	1		
500	1	1	1	1		

ตารางที่ 20 อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบหาราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ Cpu₁ = 1.33

n	Cpu ₁ = 1.33		Cpu _{อื่น} = 1.5		Cpu _{อื่น} = 1.67		Cpu _{อื่น} = 2	
	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.08896	0.08756	0.20766	0.20538	0.60896	0.61096		
50	0.11518	0.11414	0.33282	0.33138	0.83372	0.83446		
100	0.18700	0.18626	0.60650	0.60584	0.98742	0.98748		
150	0.26836	0.26784	0.79260	0.79214	0.99932	0.99932		
200	0.35118	0.35084	0.90080	0.90068	0.99996	0.99996		
250	0.42796	0.42766	0.95730	0.95730	1	1		
300	0.50620	0.50586	0.98242	0.98240	1	1		
350	0.57942	0.57900	0.99304	0.99304	1	1		
400	0.64144	0.64134	0.99754	0.99754	1	1		
450	0.69830	0.69812	0.99894	0.99894	1	1		
500	0.74326	0.74312	0.99978	0.99978	1	1		

ตารางที่ 21 อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบห้าราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1.50$

n	$Cpu_{อื่น} = 1.67$		$Cpu_{อื่น} = 2$	
	Hubele	New	Hubele	New
30	0.07936	0.08050	0.33288	0.33112
50	0.10224	0.10286	0.52210	0.52080
100	0.15908	0.15956	0.83254	0.83214
150	0.22432	0.22472	0.95314	0.95310
200	0.29246	0.29286	0.98840	0.98836
250	0.35240	0.35284	0.99754	0.99750
300	0.41908	0.41936	0.99952	0.99952
350	0.48462	0.48496	0.99992	0.99992
400	0.54172	0.54184	1	1
450	0.59870	0.59888	1	1
500	0.64638	0.64652	1	1

ตารางที่ 22 อำนาจการทดสอบ กรณีผู้ส่งมอบห้าราย เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และ $Cpu_1 = 1.67$

n	$Cpu_1 = 1.67$	$Cpu_{อื่น} = 2$
	Hubele	New
30	0.14758	0.14638
50	0.22412	0.22324
100	0.41252	0.41198
150	0.58868	0.58814
200	0.72578	0.72566
250	0.82322	0.82308
300	0.88904	0.88900
350	0.93508	0.93508
400	0.96152	0.96150
450	0.97846	0.97846
500	0.98834	0.98832

จากตารางที่ 19 ถึง 22 พบว่า ถ้า Cpu_1 แตกต่างจาก Cpu_2, Cpu_3, Cpu_4 และ Cpu_5 มาก เช่น กรณี $Cpu_1=1, Cpu_2 = Cpu_3 = Cpu_4 = Cpu_5 = 1.67$ และกรณี $Cpu_1=1, Cpu_2 = Cpu_3 = Cpu_4 = Cpu_5 = 2.0$ ใช้ขนาดตัวอย่างไม่มาก ก็ให้อำนาจการทดสอบมีค่าเท่ากับ 1 หรือ 100% แต่สำหรับที่ Cpu_1 แตกต่างจาก Cpu_2, Cpu_3, Cpu_4 และ Cpu_5 ไม่มาก เช่นกรณี $Cpu_1 = 1.33$ กับ $Cpu_2 = Cpu_3 = Cpu_4 = Cpu_5 = 1.5$ ใช้ขนาดตัวอย่างมากถึง 500 แล้ว ยังให้อำนาจการทดสอบจากการทดลองไม่ถึง 80% และในส่วนของกรณี $Cpu_1=1.5$ กับ $Cpu_2 = Cpu_3 = Cpu_4 = Cpu_5 = 1.67$ ใช้ขนาดตัวอย่างเป็น 500 แล้วยังให้อำนาจการทดสอบไม่ถึง 70% ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับกรณีที่มีผู้ส่งมอบสามราย และสี่ราย

1.4 การกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับการเปรียบเทียบผู้ส่งมอบ

จากผลในหัวข้อ 1.2 พบว่าแม้วิธีที่พัฒนาขึ้นให้โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลองใกล้เคียงกับระดับนัยสำคัญที่กำหนด แต่ถ้าพิจารณาอำนาจการทดสอบที่ได้จากการทดลองกลับพบว่า ในกรณีที่ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบที่ทำการเปรียบเทียบมีความแตกต่างกันมาก เช่น 1 กับ 1.67 หรือ 1 กับ 2 ใช้ขนาดตัวอย่างไม่มากก็ให้อำนาจการทดสอบที่สูง (เกิน 90%) แต่สำหรับกรณีที่ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบที่ทำการเปรียบเทียบมีความแตกต่างกันไม่มาก เช่น 1.33 กับ 1.5 หรือ 1.5 กับ 1.67 ใช้ขนาดตัวอย่างถึง 500 ตัวอย่างแล้ว ยังให้อำนาจการทดสอบไม่ถึง 90% ซึ่งการใช้ขนาดตัวอย่างที่มากเกินไปทำให้องค์กรต้องสูญเสียค่าใช้จ่าย เวลา ตลอดจนทรัพยากรต่าง ๆ ในการตรวจสอบมากเกินไปจนเกิดความจำเป็น ในทางกลับกันถ้าใช้ขนาดตัวอย่างที่ไม่เพียงพอจะไม่สามารถแยกความแตกต่างของกระบวนการผู้ส่งมอบได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องกำหนดขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมเพื่อให้การทดสอบความแตกต่างของกระบวนการผู้ส่งมอบมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยพิจารณาอำนาจการทดสอบที่ได้จากการทดลองแล้วปรับเพิ่มหรือลดขนาดตัวอย่างที่ละ 10 (เพื่อให้เหมาะสมและสะดวกแก่การประยุกต์ใช้งาน) คำนวณหาขนาดตัวอย่างที่ทำให้อำนาจการทดสอบเกิน 90% และสอดคล้องกับเงื่อนไข 2 ประการคือ

$$\Pr \{W > \chi_{\alpha, (k-1)}^2 | H_0 \text{ จริง}\} \leq \alpha$$

และ
$$\Pr \{W > \chi_{\alpha, (k-1)}^2 | H_1 \text{ จริง}\} \geq 1-\beta$$

การคำนวณหาขนาดตัวอย่างได้แสดงที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เนื่องจากในทางอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่ จะใช้การทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และผลการทดลองของกรณีระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.025 มีความใกล้เคียงกัน ผลการทดลองแสดงทั้งการเปรียบเทียบผู้ส่งมอบสองราย สามราย สี่ราย และห้าราย ตามลำดับ

ผลการกำหนดขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม ซึ่งเป็นขนาดตัวอย่างขั้นต่ำที่ใช้สำหรับการ เปรียบเทียบผู้ส่งมอบ แสดงดังตารางที่ 23 ถึง 26

จากตารางที่ 23 ถึงตารางที่ 26 แสดงขนาดตัวอย่างที่ให้อำนาจทดสอบประมาณ 90 % ซึ่ง ตารางที่ 23 แสดงขนาดตัวอย่างและอำนาจการทดสอบ สำหรับเปรียบเทียบผู้ส่งมอบสองราย ส่วน ตารางที่ 24, 25 และ 26 แสดงขนาดตัวอย่างและอำนาจการทดสอบ สำหรับเปรียบเทียบผู้ส่งมอบ สามราย สี่ราย และห้าราย ตามลำดับ ในที่นี้ขอยกตารางที่ 26 เป็นตัวอย่างในการเลือกขนาดตัวอย่าง สำหรับใช้ในทางปฏิบัติ กรณีที่ $C_{pu} = 1$ และ C_{pu} อื่นประมาณ 1.33 ถ้าใช้ขนาดตัวอย่างที่ 130 จะ ให้อำนาจทดสอบที่ 88.954% แต่ถ้าใช้ขนาดตัวอย่างที่ 140 จะให้อำนาจทดสอบประมาณ 91.17% ถ้าต้องการอำนาจทดสอบมากกว่า 90% ควรใช้ขนาดตัวอย่างมากกว่า 140

ตารางที่ 23 ขนาดตัวอย่างและอำนาจการทดสอบ สำหรับเปรียบเทียบผู้ส่งมอบสองราย ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05

$C_{pu1} = 1$		$C_{pu1} = 1$		$C_{pu1} = 1$		$C_{pu1} = 1$		$C_{pu1} = 1.33$		$C_{pu1} = 1.33$		$C_{pu1} = 1.33$		$C_{pu1} = 1.5$		$C_{pu1} = 1.5$		$C_{pu1} = 1.67$	
$C_{pu2} = 1.33$		$C_{pu2} = 1.5$		$C_{pu2} = 1.67$		$C_{pu2} = 2$		$C_{pu2} = 1.5$		$C_{pu2} = 1.67$		$C_{pu2} = 2$		$C_{pu2} = 1.67$		$C_{pu2} = 2$		$C_{pu2} = 2$	
n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ
150	0.89490	70	0.88088	40	0.84642	20	0.80627	810	0.89990	220	0.89278	70	0.89996	990	0.89982	130	0.88354	340	0.89634
160	0.91258	80	0.91962	50	0.91460	30	0.93958	820	0.90318	230	0.90710	80	0.93558	1000	0.90194	140	0.90284	350	0.90110

หมายเหตุ : n คือขนาดตัวอย่าง

ตารางที่ 24 ขนาดตัวอย่างและอำนาจการทดสอบ สำหรับเปรียบเทียบผู้ส่งมอบสามราย ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05

$C_{pu1} = 1$		$C_{pu1} = 1$		$C_{pu1} = 1$		$C_{pu1} = 1$		$C_{pu1} = 1.33$		$C_{pu1} = 1.33$		$C_{pu1} = 1.33$		$C_{pu1} = 1.5$		$C_{pu1} = 1.5$		$C_{pu1} = 1.67$	
$C_{pu2} = 1.33$		$C_{pu2} = 1.5$		$C_{pu2} = 1.67$		$C_{pu2} = 2$		$C_{pu2} = 1.5$		$C_{pu2} = 1.67$		$C_{pu2} = 2$		$C_{pu2} = 1.67$		$C_{pu2} = 2$		$C_{pu2} = 2$	
n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ
130	0.88822	60	0.86906	40	0.88752	20	0.85954	720	0.89912	190	0.88308	60	0.88974	890	0.89834	120	0.89308	300	0.89092
140	0.91116	70	0.91502	50	0.94622	30	0.96374	730	0.90160	200	0.90000	70	0.93200	900	0.90278	130	0.91790	310	0.90016

ตารางที่ 25 ขนาดตัวอย่างและอำนาจการทดสอบ สำหรับเปรียบเทียบผู้ส่งมอบสี่ราย ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05

$C_{pu1} = 1$		$C_{pu1} = 1$		$C_{pu1} = 1$		$C_{pu1} = 1$		$C_{pu1} = 1.33$		$C_{pu1} = 1.33$		$C_{pu1} = 1.33$		$C_{pu1} = 1.5$		$C_{pu1} = 1.5$		$C_{pu1} = 1.67$	
$C_{pu2} = 1.33$		$C_{pu2} = 1.5$		$C_{pu2} = 1.67$		$C_{pu2} = 2$		$C_{pu2} = 1.5$		$C_{pu2} = 1.67$		$C_{pu2} = 2$		$C_{pu2} = 1.67$		$C_{pu2} = 2$		$C_{pu2} = 2$	
n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ
130	0.89278	60	0.87570	40	0.89768	20	0.87130	710	0.89760	190	0.88730	60	0.89668	880	0.89988	120	0.89744	300	0.89428
140	0.91384	70	0.92144	50	0.95186	30	0.96854	720	0.90020	200	0.90374	70	0.93920	890	0.90360	130	0.91868	310	0.90324

ตารางที่ 26 ขนาดตัวอย่างและอำนาจการทดสอบ สำหรับเปรียบเทียบผู้ส่งมอบห้าราย ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05

$C_{pu1} = 1$		$C_{pu1} = 1$		$C_{pu1} = 1$		$C_{pu1} = 1$		$C_{pu1} = 1.33$		$C_{pu1} = 1.33$		$C_{pu1} = 1.33$		$C_{pu1} = 1.5$		$C_{pu1} = 1.5$		$C_{pu1} = 1.67$	
$C_{pu2} = 1.33$		$C_{pu2} = 1.5$		$C_{pu2} = 1.67$		$C_{pu2} = 2$		$C_{pu2} = 1.5$		$C_{pu2} = 1.67$		$C_{pu2} = 2$		$C_{pu2} = 1.67$		$C_{pu2} = 2$		$C_{pu2} = 2$	
n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ	n	อำนาจ ทดสอบ
130	0.88954	60	0.87478	40	0.89866	20	0.87392	720	0.89670	190	0.88286	60	0.89850	890	0.89684	120	0.89848	300	0.88900
140	0.91170	70	0.92032	50	0.95400	30	0.96994	730	0.90198	200	0.90068	70	0.93928	900	0.90198	130	0.92140	310	0.90088

2. ผลการศึกษาวิธีการเปรียบเทียบสมรรถภาพกระบวนการผู้ส่งมอบมากกว่าหนึ่งราย กรณีพิจารณาปัจจัยทางด้านคุณภาพ การส่งมอบที่ตรงเวลาและราคาของผลิตภัณฑ์

ผลการศึกษาในส่วนนี้ประกอบด้วย 2 หัวข้อย่อย ได้แก่ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีที่พัฒนาขึ้นในการเปรียบเทียบสมรรถภาพกระบวนการ และผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ

2.1 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีที่พัฒนาขึ้นในการเปรียบเทียบสมรรถภาพกระบวนการกระบวนการผลิตที่ศึกษามีผู้ส่งมอบให้คัดเลือก 4 ราย ซึ่งกระบวนการที่ศึกษานี้มีเฉพาะข้อกำหนดเฉพาะด้านบน (USL) โดยมีค่า $USL = 126$ และกำหนดสัมประสิทธิ์ความสูญเสียจากปัจจัยด้านคุณภาพเป็น 10 ($k_0 = 10$) กำหนดเวลาในการส่งมอบเป็น 20 วัน ($t_d = 20$) และให้มีสัมประสิทธิ์การส่งมอบก่อนและหลังเป็น 0.3 และ 0.7 ตามลำดับ ($k_{DB} = 0.3, k_{DA} = 0.7$) และกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของผู้ส่งมอบทั้ง 4 ราย แสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 27 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของผู้ส่งมอบแต่ละราย สำหรับกรณีตัวอย่างที่สอง

ผู้ส่งมอบ	μ	σ	μ_y	σ_y	ราคา	C_{pu_i}
A	122.6	0.7	18	2	10	1.62
B	123.2	0.5	19	2	11	1.87
C	122.9	0.6	18	3	10.5	1.72
D	122.6	0.6	20	1	10.5	1.89

ถ้าสุ่มตัวอย่างมาจากกระบวนการ ของผู้ส่งมอบทั้ง 4 ราย กำหนดขนาดตัวอย่างที่สุ่มมาของทั้ง 4 รายเท่ากัน คือ 100 (ข้อมูลของตัวอย่างแสดงในภาคผนวก ก ตารางผนวกที่ ก2) นำข้อมูลที่สุ่มมาจากกระบวนการของผู้ส่งมอบทั้ง 4 ราย มาวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นได้ดังนี้

ตารางที่ 28 ค่าสถิติต่าง ๆ ที่สุ่มมาจากกระบวนการของผู้ส่งมอบแต่ละราย สำหรับกรณีตัวอย่างที่สอง

ผู้ส่งมอบ	\bar{x}	s	\bar{y}	s_y
A	122.57	0.669	17.72	2.065
B	123.20	0.462	18.94	2.019
C	122.89	0.562	17.78	3.010
D	122.66	0.471	19.89	1.091

ตรวจสอบว่าค่าคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้กระบวนการของผู้ส่งมอบทั้งหมดมีการแจกแจงแบบปกติ โดยการตรวจสอบทำเช่นเดียวกับกรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่าค่าคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่สุ่มได้จากกระบวนการของผู้ส่งมอบทั้งหมดมีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของวิธีที่พัฒนาขึ้น

จากนั้นทำการตรวจสอบว่าเวลาของการส่งมอบของผู้ส่งมอบทั้งหมด ว่ามีการแจกแจงแบบปกติโดยตรวจสอบเช่นเดียวกับการตรวจสอบคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ จากการตรวจสอบ พบว่าเวลาของการส่งมอบผลิตภัณฑ์ที่สุ่มได้จากกระบวนการของผู้ส่งมอบทั้งหมดมีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของวิธีที่พัฒนาขึ้น

คำนวณค่าคาดหวังของความสูญเสียจากปัจจัยด้านคุณภาพ (ตามสูตรที่ 92) ค่าคาดหวังของความสูญเสียจากปัจจัยด้านเวลาการส่งมอบ (ตามสูตรที่ 97) และค่าคาดหวังหรือค่าเฉลี่ยของความสูญเสียรวม (ตามสูตรที่ 98) ได้ผลดังตารางที่ 29

ตารางที่ 29 ค่าคาดหวังรวมและค่าประมาณดัชนีสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบแต่ละราย

ผู้ส่งมอบ	$E(L(x)_i)$	$E(L_D(y)_i)$	P_i	TL_i	\hat{C}_{pu_i}
A	150232.8	2.94049	10	150,245.7	1.709676
B	151781.2	1.88633	11	151,794.0	2.020788
C	151016.4	4.67414	10.5	151,031.6	1.844495
D	150445.3	0.56259	10.5	150,456.3	2.369516

จากตารางที่ 29 พบว่าหากพิจารณาเฉพาะค่าประมาณดัชนีสมรรถภาพกระบวนการเพียงอย่างเดียว กระบวนการของผู้ส่งมอบ D อาจมีสมรรถภาพกระบวนการดีกว่ากระบวนการอื่น ๆ แต่ถ้ามองค่าคาดหวังของความสูญเสียโดยรวม (กลับพบว่าผู้ส่งมอบ A ให้ค่าคาดหวังของความสูญเสียรวมหรือค่าเฉลี่ยของความสูญเสียรวมต่ำกว่าผู้ส่งมอบรายอื่น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียของแต่ละปัจจัยด้วย ซึ่งในการปฏิบัติ ค่าสัมประสิทธิ์ของความสูญเสียของแต่ละปัจจัยขึ้นอยู่กับแต่ละองค์กรต้องประเมินความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นเมื่อค่าคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ หรือเวลาการส่งมอบ ไม่เป็นไปตามที่กำหนด

2.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการ

เมื่อกำหนดพิกัดด้านบน ($USL = 126$) และกำหนดเวลาในการส่งมอบเป็น 20 วัน ($t_d = 20$) ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของผู้ส่งมอบทั้ง 4 ราย ที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่พัฒนาขึ้น กำหนดไว้ดังตารางที่ 6

ทำการคำนวณค่าดัชนีสมรรถภาพกระบวนการจากพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่กำหนด และคำนวณค่าคาดหวังรวมของความสูญเสีย เพื่อใช้เปรียบเทียบกับดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ โดยทดลองเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียจากปัจจัยด้านคุณภาพ ตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.6 เพิ่มทีละ 0.1 (Step Size = 0.1) เมื่อกำหนดให้สัมประสิทธิ์การส่งมอบก่อน (k_{DB}) = 5 และกำหนดสัมประสิทธิ์การส่งมอบหลัง (k_{DA}) = 10 สังเกตความเปลี่ยนแปลงของค่าคาดหวังรวมของความสูญเสียจากทั้งสามปัจจัย ได้ผลดังตารางที่ 30 และ 31

ตารางที่ 30 ค่าดัชนีสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบแต่ละรายและค่าความสูญเสียจากปัจจัยด้านการส่งมอบ ของผู้ส่งมอบแต่ละราย

ผู้ส่งมอบ	ราคา	C_{pu_i}	$E(L_D(y)_i)$
A	10	1.72222	45.80721
B	11	2.00000	62.81132
C	10.5	1.72222	67.50000
D	10.5	1.61905	49.97116

ถ้าพิจารณาเฉพาะค่าดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ (ตารางที่ 30) จะพบว่า กระบวนการของผู้ส่งมอบ B มีประสิทธิภาพดีกว่ากระบวนการของผู้ส่งมอบรายอื่น ๆ แต่ถ้าพิจารณาค่าคาดหวังของความสูญเสียรวมที่มีทั้งปัจจัยด้านเวลาการส่งมอบและราคา (ตารางที่ 31) พบว่าผู้ส่งมอบ D ให้ค่าคาดหวังของความสูญเสียรวมต่ำสุด แต่ถ้าให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านคุณภาพโดยเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ของปัจจัยด้านคุณภาพ (k_Q) ให้มีค่าเพิ่มขึ้น จะพบว่าผู้ส่งมอบ B ให้ค่าเฉลี่ยของความสูญเสียรวมต่ำกว่ารายอื่น

ตารางที่ 31 ค่าคาดหวังของค่าความสูญเสียรวม เมื่อ k_Q เปลี่ยนแปลงจาก 0.1 ถึง 0.6

ผู้ส่งมอบ	$k_Q = 0.1$		$k_Q = 0.2$		$k_Q = 0.3$	
	$E(L(x)_i)$	TL_i	$E(L(x)_i)$	TL_i	$E(L(x)_i)$	TL_i
A	1510.477	1566.284	3020.954	3076.761	4531.431	4587.238
B	1498.212	1572.023	2996.424	3070.235	4494.636	4568.447
C	1510.477	1588.477	3020.954	3098.954	4531.431	4609.431
D	1503.125	1563.596	3006.250	3066.721	4509.375	4569.846

ตารางที่ 31 (ต่อ)

ผู้ส่งมอบ	$k_Q = 0.4$		$k_Q = 0.5$		$k_Q = 0.6$	
	$E(L(x)_i)$	TL_i	$E(L(x)_i)$	TL_i	$E(L(x)_i)$	TL_i
A	6041.908	6097.715	7552.385	7608.192	9062.862	9118.670
B	5992.848	6066.659	7491.060	7564.871	8989.272	9063.083
C	6041.908	6119.908	7552.385	7630.385	9062.862	9140.862
D	6012.500	6072.971	7515.625	7576.096	9018.750	9079.221

เมื่อทดลองเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การส่งมอบก่อนจาก 1 ถึง 6 โดยเพิ่มทีละ 1 โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์การส่งมอบหลังเป็น 5 และค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียจากปัจจัยด้านคุณภาพเป็น 0.1 สังเกตการเปลี่ยนแปลง ได้ผลดังตารางที่ 32 และ 33

ตารางที่ 32 ค่าดัชนีสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบแต่ละรายและค่าความสูญเสียจากปัจจัยด้านคุณภาพ ของผู้ส่งมอบแต่ละราย

ผู้ส่งมอบ	ราคา	C_{pu_i}	$E(L(x)_i)$
A	10	1.72222	1510.477
B	11	2.00000	1498.212
C	10.5	1.72222	1510.477
D	10.5	1.61905	1503.125

ตารางที่ 33 ค่าคาดหวังของค่าความสูญเสียรวม เมื่อ k_{DB} เปลี่ยนแปลงจาก 1 ถึง 6

ผู้ส่งมอบ	$k_{DB} = 1$		$k_{DB} = 2$		$k_{DB} = 3$	
	$E(L_D(y)_i)$	TL_i	$E(L_D(y)_i)$	TL_i	$E(L_D(y)_i)$	TL_i
A	21.64577	1542.123	22.48433	1542.961	23.32289	1543.800
B	20.24905	1529.461	27.68679	1536.899	35.12453	1544.337
C	27.00000	1547.977	31.50000	1552.477	36.00000	1556.977
D	24.97693	1538.602	24.98269	1538.608	24.98846	1538.613

ตารางที่ 33 (ต่อ)

ผู้ส่งมอบ	$k_{DB} = 4$		$k_{DB} = 5$		$k_{DB} = 6$	
	$E(L_D(y)_i)$	TL_i	$E(L_D(y)_i)$	TL_i	$E(L_D(y)_i)$	TL_i
A	24.16144	1544.638	25.00000	1545.477	25.83856	1546.316
B	42.56226	1551.774	50.00000	1559.212	57.43774	1566.650
C	40.50000	1561.477	45.00000	1565.977	49.50000	1570.477
D	24.99423	1538.619	25.00000	1538.625	25.00577	1538.631

ถ้าพิจารณาเฉพาะค่าดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ (ตารางที่ 32) จะพบว่า กระบวนการของผู้ส่งมอบ B มีประสิทธิภาพดีกว่ากระบวนการของผู้ส่งมอบรายอื่น ๆ แต่ถ้าพิจารณาปัจจัยด้านเวลาการส่งมอบและราคาประกอบกัน (ตารางที่ 33) พบว่าเมื่อ $k_{DB} = 1$ และ 2 ผู้ส่งมอบ B มีประสิทธิภาพดีกว่าผู้ส่งมอบรายอื่น แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ของ k_{DB} ให้เพิ่มขึ้นเป็น 3, 4, 5 และ 6 กลับพบว่าผู้ส่งมอบ D ให้ค่าเฉลี่ยของความสูญเสียรวมต่ำกว่า

เมื่อทดลองเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การส่งมอบหลังจาก 7.5 ถึง 20 โดยเพิ่มทีละ 2.5 โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์การส่งมอบก่อนเป็น 5 และค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียจากปัจจัยด้านคุณภาพเป็น 0.2 สังเกตการเปลี่ยนแปลง ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 34 ค่าดัชนีสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบแต่ละรายและค่าความสูญเสียจากปัจจัยด้านคุณภาพ ($k_0 = 0.2$) ของผู้ส่งมอบแต่ละราย

ผู้ส่งมอบ	ราคา	C_{pu_i}	$E(L(x)_i)$
A	10	1.72222	3020.945
B	11	2.00000	2996.424
C	10.5	1.72222	3020.954
D	10.5	1.61905	3006.250

ตารางที่ 35 ค่าคาดหวังของค่าความสูญเสียรวม เมื่อ k_{DA} เปลี่ยนแปลงจาก 7.5 ถึง 20

ผู้ส่งมอบ	$k_{DA} = 7.5$		$k_{DA} = 10$		$k_{DA} = 12.5$		$k_{DA} = 15$		$k_{DA} = 17.5$		$k_{DA} = 20$	
	$E(L_D(y)_i)$	TL_i	$E(L_D(y)_i)$	TL_i	$E(L_D(y)_i)$	TL_i	$E(L_D(y)_i)$	TL_i	$E(L_D(y)_i)$	TL_i	$E(L_D(y)_i)$	TL_i
A	35.40361	3066.358	45.80721	3076.761	56.21082	3087.165	66.61443	3097.568	77.01804	3107.972	87.42164	3118.858
B	56.40566	3063.830	62.81132	3070.235	69.21698	3076.641	75.62264	3083.047	82.02830	3089.452	88.43396	3095.858
C	56.25000	3087.704	67.50000	3098.954	78.75000	3110.204	90.00000	3121.454	101.25000	3132.704	112.50000	3143.954
D	37.48558	3054.236	49.97116	3066.721	62.45673	3079.207	74.94231	3091.692	87.42789	3104.178	99.91347	3116.663

ถ้าพิจารณาเฉพาะค่าดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ (ตารางที่ 34) จะพบว่า กระบวนการของผู้ส่งมอบ B มีประสิทธิภาพดีกว่ากระบวนการของผู้ส่งมอบรายอื่น ๆ แต่ถ้าให้น้ำหนักกับสัมประสิทธิ์ของปัจจัยด้านเวลาการส่งมอบหลังเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 35) จะพบว่าที่ $k_{DA} = 7.5$ และ 10 ผู้ส่งมอบ D มีประสิทธิภาพดีกว่าผู้ส่งมอบรายอื่น แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ของ k_{DA} ให้เพิ่มขึ้นเป็น 12.5, 15, 17.5 และ 20 ผู้ส่งมอบ B ให้ค่าเฉลี่ยของความสูญเสียรวมต่ำกว่าผู้ส่งมอบรายอื่น

จากการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการหาค่าคาดหวังของความสูญเสียรวม พบว่า ถ้าใช้เกณฑ์ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการเป็นตัวพิจารณา ไม่ว่าจะเกิดความเสียหายจากคุณภาพไม่ตรงตามกำหนด หรือการส่งมอบไม่ตรงเวลา ก็ตัดสินใจเช่นเดียวกัน แต่ถ้าใช้วิธีที่พัฒนาขึ้น เมื่อเกิดความเสียหายจากที่คุณภาพไม่ตรงตามกำหนด หรือความสูญเสียจากการที่ส่งมอบไม่ตรงเวลา หรือมีการเปลี่ยนแปลงราคาของผลิตภัณฑ์ การตัดสินใจจะเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับความรุนแรงของความสูญเสีย ซึ่งสามารถกำหนดน้ำหนักได้โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของความสูญเสียต่าง ๆ ซึ่งทำให้การเปรียบเทียบสมรรถภาพกระบวนการของผู้ผลิตมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

วิจารณ์

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ในการเปรียบเทียบกระบวนการของผู้ส่งมอบได้ ทั้งในกรณีที่พิจารณาเฉพาะปัจจัยด้านคุณภาพ และกรณีที่พิจารณาปัจจัยด้านคุณภาพประกอบปัจจัยด้านการส่งมอบที่ตรงเวลา และราคาผลิตภัณฑ์ ซึ่งการวิจารณ์ผลการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. วิจารณ์ผลกรณีที่พิจารณาเฉพาะปัจจัยด้านคุณภาพ

ผลการทดลองกรณีที่พิจารณาเฉพาะปัจจัยด้านคุณภาพ แสดงให้เห็นว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นให้โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลองใกล้เคียงกับระดับนัยสำคัญที่กำหนด ทั้งกรณีผู้ส่งมอบสองราย และมากกว่าสองราย ดังภาพที่ 19-21 โดยที่ขนาดตัวอย่างน้อย ($n = 30$) ให้ค่าสูงกว่า ขนาดตัวอย่างอื่น ๆ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี และเมื่อเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 กับวิธีของ Chou และ Hubele พบว่าในกรณีที่ใช้นักตัวอย่างจำนวนน้อย ($n = 30$) วิธีที่พัฒนาขึ้นให้ค่าต่ำกว่าวิธีอื่น นั่นหมายถึง ถ้ากระบวนการของผู้ส่งมอบทุกรายไม่แตกต่างกัน วิธีที่พัฒนาขึ้นจะมีโอกาสที่ปฏิเสธสมมติฐานหลักน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ ซึ่งแสดงถึงการตัดสินใจที่ถูกต้องของวิธีการ แต่เมื่อจำนวนตัวอย่างมากขึ้นวิธีที่พัฒนาขึ้นและวิธีอื่น ให้โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลองไม่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 26-29 แสดงถึงความเสถียรของวิธีการ แต่ประสิทธิภาพของวิธีการนั้น จะพิจารณาที่โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่นิยมใช้ในการเปรียบเทียบวิธีการที่ใช้สำหรับการทดสอบสมมติฐานเพียงอย่างเดียวไม่ได้ เนื่องจากวิธีการที่พัฒนาขึ้นใช้ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความเท่ากันของดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ ดังนั้นถ้ามีบางกระบวนการที่แตกต่างจากกระบวนการอื่น วิธีที่พัฒนาขึ้นสามารถแยกกระบวนการที่แตกต่างออกจากกระบวนการอื่น ๆ ได้หรือไม่ จึงต้องพิจารณาควบคู่กับอำนาจการทดสอบด้วย ซึ่งจากการพิจารณาอำนาจการทดสอบของวิธีการที่พัฒนาขึ้น ทั้งกรณีผู้ส่งมอบสองราย และมากกว่าสองราย พบว่าสัมพันธ์กับความแตกต่างของระดับดัชนีสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบ และขนาดตัวอย่าง กล่าวคือถ้าความแตกต่างของระดับดัชนีสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบมีน้อย จะต้องใช้นักตัวอย่างจำนวนมากจึงแยกความแตกต่างของกระบวนการผู้ส่งมอบได้ แต่ถ้าความแตกต่างของระดับดัชนีสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบมีมาก ใช้นักตัวอย่างไม่มากก็สามารถแยกความแตกต่างของกระบวนการผู้ส่งมอบได้ ดังภาพที่ 22-25 และเมื่อเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบจากการทดลองของวิธีที่พัฒนาขึ้นกับวิธีของ Chou และ Hubele ดัง

ตารางที่ 7-22 พบว่าที่ขนาดตัวอย่างน้อย ($n = 30$) วิธีที่พัฒนาขึ้นให้อำนาจการทดสอบต่ำกว่าวิธีของ Chou และ Hubele กล่าวคือจะมีโอกาสที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อมีบางกระบวนการแตกต่างจากกระบวนการอื่นน้อยกว่าวิธีอื่น โดยวิธีของ Chou ให้อำนาจการทดสอบดีกว่าวิธีอื่น ๆ แต่วิธีของ Chou มีข้อจำกัดคือใช้ได้เมื่อมีผู้ส่งมอบเพียงสองรายเท่านั้น ส่วนวิธีของ Hubele ถึงแม้ว่าให้อำนาจการทดสอบมากกว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นเล็กน้อย ในกรณีที่ขนาดตัวอย่างต่ำ แต่ถ้าสรุปว่ามีบางกระบวนการแตกต่างจากกระบวนการอื่น ๆ จะต้องทำการเปรียบเทียบเป็นรายคู่เพื่อหากระบวนการที่แตกต่าง ซึ่งเสียเวลามากกว่าวิธีที่พัฒนาขึ้น แต่ถ้าใช้ขนาดตัวอย่างที่มากเพียงพอทั้งสามวิธีให้อำนาจของการทดสอบไม่แตกต่าง ดังนั้นจึงต้องใช้ขนาดตัวอย่างให้เหมาะสมกับความแตกต่างของระดับดัชนีสมรรถภาพกระบวนการผู้ส่งมอบด้วย งานวิจัยนี้ได้คำนวณขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมที่ใช้สำหรับวิธีการที่พัฒนาขึ้น ดังตารางที่ 23-26 ซึ่งให้อำนาจของการทดสอบ ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 ประมาณร้อยละ 90 ถ้าต้องการอำนาจการทดสอบที่มากกว่านี้ต้องคำนวณขนาดตัวอย่างใหม่ ซึ่งจะได้อำนาจการทดสอบที่มากกว่าขนาดตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 23-26

2. วิเคราะห์ผลกรณีที่พิจารณาปัจจัยด้านคุณภาพประกอบกับปัจจัยด้านการส่งมอบที่ตรงเวลาและราคาผลิตภัณฑ์

เมื่อมีปัจจัยด้านการส่งมอบที่ตรงเวลาและราคาของผลิตภัณฑ์มาพิจารณาประกอบกับปัจจัยด้านคุณภาพ การพิจารณาเพียงแค่ดัชนีสมรรถภาพของกระบวนการผู้ส่งมอบเพียงอย่างเดียวไม่สามารถแสดงความแตกต่างจากทุกปัจจัยของกระบวนการผู้ส่งมอบได้ ดังตารางที่ 30-35 ซึ่งเมื่อมีหลายปัจจัยที่ต้องพิจารณา การที่จะเปรียบเทียบความแตกต่างของกระบวนการผู้ส่งมอบนั้นทำได้ยากขึ้น การพิจารณาฟังก์ชันความสูญเสียรวมที่เกิดจากการที่ผลิตภัณฑ์ของผู้ส่งมอบไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด จะแสดงให้เห็นความสูญเสียรวมจากทุกปัจจัย ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นสำหรับกรณีที่มีปัจจัยด้านคุณภาพ การส่งมอบที่ตรงเวลา และราคาผลิตภัณฑ์ จะแสดงความแตกต่างของกระบวนการได้ดีกว่าการพิจารณาดัชนีสมรรถภาพกระบวนการเพียงอย่างเดียว ซึ่งมีการให้น้ำหนักกับความรุนแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละปัจจัย โดยกำหนดเป็นสัมประสิทธิ์ของความสูญเสียจากแต่ละปัจจัย ถ้าความรุนแรงของปัจจัยใดมีมาก การเปรียบเทียบจะให้น้ำหนักกับปัจจัยนั้นมากกว่าปัจจัยอื่น ๆ ทำให้ผลการตัดสินใจมีความเหมาะสมกว่าการใช้ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ แต่การคำนวณสัมประสิทธิ์ของความสูญเสียต้องอาศัยความชำนาญในการประเมิน ถ้าการประเมินมีความคลาดเคลื่อน ผลการตัดสินใจอาจคลาดเคลื่อนได้

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและพัฒนาวิธีการเพื่อใช้เปรียบเทียบสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบ ทั้งในกรณีที่พิจารณาเฉพาะปัจจัยด้านคุณภาพ และกรณีที่พิจารณาปัจจัยทางด้านคุณภาพ ประกอบกับปัจจัยด้านการส่งมอบที่ตรงเวลาและราคาของผลิตภัณฑ์ ในแต่ละกรณีผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและพัฒนาสูตรสำหรับการเปรียบเทียบผู้ส่งมอบตั้งแต่สองรายขึ้นไป และได้วิเคราะห์ประสิทธิภาพของวิธีการในแต่ละกรณี ผลสรุปได้ดังนี้

1. กรณีที่พิจารณาเฉพาะปัจจัยด้านคุณภาพ

วิธีการเปรียบเทียบผู้ส่งมอบกรณีที่พิจารณาเฉพาะปัจจัยด้านคุณภาพ ใช้วิธีการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ ซึ่งพัฒนามาจากวิธีการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับประสิทธิภาพความผันแปรผกผัน และวิธีการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับดัชนีสมรรถภาพกระบวนการของ Hubele ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการเปรียบเทียบผู้ส่งมอบสองรายและมากกว่าสองรายได้ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากรณีที่ผู้ส่งมอบสองราย สามราย สี่ราย และห้าราย โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของวิธีที่พัฒนาขึ้น พิจารณาจากโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง และอำนาจการทดสอบจากการทดลอง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า วิธีที่พัฒนาขึ้นให้ค่าโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 ใกล้เคียงกับระดับนัยสำคัญที่กำหนด และเมื่อพิจารณาอำนาจการทดสอบจากการทดลองพบว่า กรณีที่ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบที่ศึกษามีความแตกต่างกันมาก วิธีการที่พัฒนาขึ้นสามารถแยกความแตกต่างของกระบวนการได้ โดยใช้ขนาดตัวอย่างที่ไม่มาก ในทางกลับกัน กรณีที่ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบที่ศึกษามีความใกล้เคียงกันวิธีที่พัฒนาขึ้นก็สามารถแยกความแตกต่างของกระบวนการของผู้ส่งมอบได้ แต่ต้องใช้ขนาดตัวอย่างที่มากเพียงพอ งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาต่อไปถึงการกำหนดขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมเพื่อใช้กับวิธีที่พัฒนาใหม่ให้วิธีดังกล่าวมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น นอกจากนี้วิธีที่พัฒนาขึ้นไม่มีข้อจำกัดด้านจำนวนผู้ส่งมอบ เพราะผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ผลสอดคล้องกันทั้งกรณีผู้ส่งมอบสองราย สามราย สี่ราย และห้าราย และเมื่อนำวิธีที่พัฒนาขึ้นไปเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ โดยกรณีผู้ส่งมอบสองรายได้เปรียบเทียบกับวิธีของ Chou และ Hubele ส่วนกรณีผู้ส่งมอบมากกว่าสองราย ได้นำวิธีที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับวิธี Hubele ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า วิธีที่พัฒนาขึ้นให้

ค่าโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำกว่าหรือเท่ากับวิธีอื่น ในทุกกรณีที่ทำการทดสอบ และให้อำนาจการทดสอบจากการทดลองต่ำกว่าวิธีอื่นเล็กน้อยเมื่อใช้ขนาดตัวอย่างน้อย ($n=30$) แต่เมื่อเพิ่มขนาดตัวอย่างขึ้น อำนาจการทดสอบจากการทดลองของวิธีที่พัฒนาขึ้นไม่แตกต่างจากวิธีอื่นที่ทำการเปรียบเทียบ อย่างไรก็ตามวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้เหมาะกับกรณีที่มีการเปรียบเทียบผู้ส่งมอบพิจารณาเฉพาะปัจจัยด้านคุณภาพเท่านั้น ถ้ามีปัจจัยด้านการส่งมอบตรงเวลาและราคาผลิตภัณฑ์ที่ต้องพิจารณาร่วมด้วยวิธีนี้อาจไม่เหมาะสม

2. กรณีที่พิจารณาปัจจัยทางด้านคุณภาพ ประกอบกับปัจจัยด้านการส่งมอบตรงเวลาและราคาผลิตภัณฑ์

วิธีการเปรียบเทียบผู้ส่งมอบ กรณีที่พิจารณาปัจจัยทางด้านคุณภาพ ประกอบกับปัจจัยด้านเวลาการส่งมอบและราคาผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยได้ใช้ฟังก์ชันความสูญเสีย โดยหาค่าคาดหวังหรือค่าเฉลี่ยของความสูญเสียรวมจากการที่คุณภาพและเวลาการส่งมอบไม่ตรงตามที่กำหนดและราคาที่แตกต่างกันของผลิตภัณฑ์จากผู้ส่งมอบแต่ละราย และนำวิธีที่พัฒนาขึ้นไปเปรียบเทียบกับกรณีการพิจารณาดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ถ้าเปรียบเทียบกระบวนการโดยใช้ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการเพียงอย่างเดียว ถ้ามีผลกระทบจากปัจจัยอื่นที่นอกเหนือจากปัจจัยด้านคุณภาพ ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการไม่สามารถแยกความแตกต่างของกระบวนการของผู้ส่งมอบที่มีผลกระทบจากปัจจัยอื่นได้ ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการจะแสดงความแตกต่างเฉพาะปัจจัยด้านคุณภาพเพียงอย่างเดียว ไม่ว่าปัจจัยอื่นจะมีผลกระทบต่อการพิจารณาผู้ส่งมอบมากเพียงใด แต่วิธีที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงให้เห็นความแตกต่างของผู้ส่งมอบเมื่อมีปัจจัยอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากปัจจัยด้านคุณภาพมาประกอบการพิจารณาได้ โดยความแตกต่างที่แสดงให้เห็นนั้นจะขึ้นอยู่กับความรุนแรงหรือความเสียหายของปัจจัยที่กำลังพิจารณาไม่ตรงตามที่กำหนด กล่าวคือ ถ้าความเสียหายที่เกิดจากการส่งมอบไม่ตรงเวลามีมาก การเปรียบเทียบจะให้น้ำหนักกับความสูญเสียจากการส่งมอบไม่ตรงเวลามาก ส่งผลให้ผู้ส่งมอบไม่ตรงเวลามีค่าคาดหวังของความสูญเสียรวมสูงขึ้น นอกจากนี้วิธีที่พัฒนาขึ้นไม่มีข้อจำกัดในด้านจำนวนผู้ส่งมอบที่พิจารณา เนื่องจากการเปรียบเทียบค่าคาดหวังของความสูญเสียรวม ดังนั้นวิธีที่พัฒนาขึ้นจึงใช้ในการเปรียบเทียบผู้ส่งมอบได้ดีกว่าการพิจารณาเฉพาะดัชนีสมรรถภาพกระบวนการเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ขึ้นอยู่กับประเมินความสูญเสียหรือค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากคุณภาพของผลิตภัณฑ์และเวลาการส่งมอบไม่เป็นไปตามที่กำหนด ซึ่งผู้ประเมินจะต้องมีประสบการณ์และความชำนาญในการประเมินค่าใช้จ่าย วิธีนี้จึงจะใช้ในการเปรียบเทียบผู้ส่งมอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการเปรียบเทียบกระบวนการของผู้ส่งมอบ ซึ่งใช้พิจารณากระบวนการผลิตของผู้ส่งมอบสำหรับการผลิตในกรณีทั่วไป กล่าวคือ มีจำนวนผู้ส่งมอบให้คัดเลือกจำนวนมาก ราย และค่าคุณลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นแบบเชิงเดี่ยว โดยลักษณะของกระบวนการมีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งการที่จะใช้วิธีที่พัฒนาขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ ต้องมีการตรวจสอบกระบวนการที่ทำการศึกษาก่อนว่าตรงตามข้อตกลงเบื้องต้นตามวิธีที่พัฒนาขึ้นหรือไม่ กล่าวคือ ต้องมีการตรวจสอบก่อนว่ากระบวนการที่ศึกษานั้นมีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นและควรปฏิบัติในการใช้เครื่องมือการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติในการวิเคราะห์กระบวนการผลิต โดยทั่วไปอยู่แล้ว ในกรณีที่บางกระบวนการของผู้ส่งมอบมีการแจกแจงไม่เป็นแบบปกติ ถ้ามีผู้ส่งมอบมาราย อาจทำการตัดผู้ส่งมอบรายนั้นออก เนื่องจากยากต่อการควบคุมกระบวนการ แต่ถ้าเป็นบางอุตสาหกรรมซึ่งลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยธรรมชาติมีการแจกแจงไม่เป็นแบบปกติ อาจใช้วิธีการแปลงข้อมูล เช่น วิธี Box-Cox วิธีของ Johnson หรืออาจใช้วิธีที่พัฒนาขึ้นสำหรับวิเคราะห์กระบวนการแบบไม่จำกัดการแจกแจง อย่างไรก็ตามสำหรับกระบวนการที่ลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์มีการแจกแจงไม่เป็นแบบปกติ การที่เปรียบเทียบสมรรถภาพกระบวนการของผู้ส่งมอบนั้นทำได้ค่อนข้างยาก และนำทำการศึกษาต่อไป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอกรณีผู้ส่งมอบสองราย สามราย สี่ราย และห้าราย ซึ่งผลการทดลองในทุกกรณีสอดคล้องกัน ดังนั้นถ้าต้องการเปรียบเทียบกระบวนการของผู้ส่งมอบมากกว่านี้ สามารถใช้วิธีการที่นำเสนอได้ ซึ่งวิธีที่พัฒนาขึ้นไม่มีข้อจำกัดด้านจำนวนผู้ส่งมอบ แต่ถ้ามีผู้ส่งมอบจำนวนมาก ราย อาจต้องทำการคัดเลือกเบื้องต้นก่อนเพื่อให้เหลือผู้ส่งมอบที่เหมาะสมจำนวนไม่มาก ซึ่งจะทำให้การเปรียบเทียบสมรรถภาพกระบวนการมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- Amiri, M., B. Hadadi, A.H. Amirkhani and H. Izadbakhsh. 2008. Supplier selection via principal component analysis: an empirical examination. **Journal of Applied Sciences** 8(20): 3715-3720.
- Balamurali,S. and M. Kalyanasundaram. 2002. Bootstrap confidence limits for the process capability indices C_p , C_{pk} and C_{pm} . **International Journal of Quality & Reliability Management** 19(8/9): 1088-1097.
- Chan,L.K., S.W. Cheng and F.A. Spiring. 1988. A new measure of process capability : C_{pm} . **Journal of Quality Technology** 20(3): 162-175.
- Chan,K.S., K.T. Yu and S.H. Sheu. 2006. Process capability monitoring chart with an application in the silicon-filler manufacturing process. **International Journal of Production Economics** 103: 565-571.
- Chen,C.H. and C.Y. Chou. 2005. Determining a one-sided optimum specification limit under the linear quality loss function. **Quality & Quantity** 39: 109-117.
- Chen,J.P., and K.S. Chen. 2004. Comparing the capability of two process using C_{pm} . **Journal of Quality Technology** 36(3): 329-335.
- Chen,K.L., K.S. Chen and R.K. Li. 2005. Suppliers capability and price analysis chart. **International Journal of Production Economics** 98: 315-327.
- Chen,K.S. and K.L. Chen. 2006. Supplier selection by testing the process incapability index. **International Journal of Production Research** 44(3): 589-600.

- Chen, K.S., H.L. Huang and C.T. Huang. 2007. Control charts for one-sided capability indices. **Quality & Quantity** 41: 413-427.
- Cheraghi, S.H., M. Dadashzadeh and M. Subramanian. 2004. Critical success factors for supplier selection: an update. **Journal of Applied Business Research** 20(2): 91-108.
- Choi, K.C., K.H. Nam and D.H. Park. 1996. Estimation of capability index based on bootstrap method. **Microelectronics Reliability** 36(9): 1141-1153.
- Chou, Y.M. 1994. Selecting a better supplier by testing process capability indices. **Quality Engineering** 6(3): 427-438.
- _____ and D.B. Owen. 1989. On the distributions of the estimated process capability indices. **Communications in Statistics : Theory and Methods** 18(2): 4549-4560.
- _____, _____ and S.A. Borrego. 1990. Lower confidence limits on process capability indices. **Journal of Quality Technology** 22(3): 223-229.
- Collins, A. J. 1995. Bootstrap Confidence limits on process capability indices. **Statistician** 44(3): 373-378.
- Cudney, E. A. and D. Drain. 2007. Effective use of process capability indices for supplier management. *In Proceedings of the 2007 Industrial Engineering Research Conference*
- Heavlin, W. D. 1988. Statistical properties of capability indices. **Technical Report No. 320**, Library, Advanced Micro Devices, Sunnyvale, CA.
- Hoffman, L.L. 2001. Obtaining confidence intervals of Cpk using percentiles of the distribution of Cp. **Quality and Reliability Engineering International** 17(2): 113-118.

Hou, J. and D. Su. 2007. EJB-MVC oriented supplier selection system of mass customization. **Journal Manufacturing Technology Management** 18: 54-71.

Hubele,N.F., A. Berrado and E.S. Gel. 2005. A Wald test for comparing multiple capability indices. **Journal of Quality Technology** 37(4): 304-307.

Huang, D.Y. and R.F. Lee. 1995. Selecting the largest capability index from several quality control processes. **Journal Statistical Planning Inference** 46: 335-346.

Hui-Ming, Z. 2007. Supplier selection using process capability and price information chart, pp. 4855-4858. *In Proceedings of International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing*, Sept. 21-25, Shanghai.

Kane.V.E. 1986. Process capability indices. **Journal of Quality Technology** 18(1): 41-52.

Kokangul,A and Z. Susuz. 2009. Integrated analytical hierarch process and mathematical programming to supplier selection problem with quantity discount. **Applied Math Model** 33: 1417-1429.

Kotz ,S. and N.L. Johnson. 2002. Process capability indices-a review,1992-2000. **Journal of Quality Technology** 34(1): 2-19.

_____, W.L. Prarn and N.L. Johnson. 1993. Some Process capability indices are more reliable than one might think. **Journal of the Royal Statistical Society, Series C : Applied Statistics** 42(1): 55-62.

Kushler,R.H. and P. Hurley. 1992. Confidence bounds for capability indices. **Journal of Quality Technology** 24(4): 188-195.

- Lee, A. H. I. 2009. A fuzzy supplier selection model with the consideration of bonnets, opportunities, costs and risks. **Expert System Application** 36: 2879-2893.
- Liao, C.N. and H. P., Kao. 2010. Supplier selection model using Taguchi loss function, analytical hierarchy process and multi-choice goal programming. **Computers & Industrial Engineering** 58: 571-577.
- Lin, G.H. and W.L. Pearn. 2002. On the interval estimation of Cpk with asymmetric tolerances. **Journal of Nonparametric Statistics** 14(6): 647-654.
- Lin, P.C. and W.L. Pearn. 2002. Testing process capability for one-sided specification limit with application to the voltage level translator. **Microelectronics Reliability** 42: 1975-1983.
- Linn, R.J., S. Tsung and L.W.C. Ellis. 2006. Supplier selection based on process capability and price analysis. **Quality Engineering** 18: 123-129.
- Liu, F.F. and H.L. Hai. 2005. The voting analytic hierarchy process method for selecting supplier. **International Journal of Production Economics** 97: 308-317.
- Nairy K.S. and K.A. Rao. 2003. Tests of Coefficients of Variation of Normal Population. **Communications in Statistics : Simulation and Computation** 32(3): 641-661.
- Ordoobadi, S. 2009. Application of Taguchi loss functions for supplier selection. *Supply Chain Management: An International Journal* 14(1): 22-30.
- Pearn, W.L. and K.S. Chen. 2002. One-sided capability indices C_{pu} and C_{pl} : decision making with sample information. **International Journal of Quality & Reliability Management** 19(3): 221-245

Pearn, W.L., H.N. Hung and Y.C. Cheng 2009. Supplier selection for one-side processes with unequal sample sizes. **European Journal of Operational Research** 195: 381-393.

_____ and S. Kotz. 2006. **Encyclopedia and handbook of process capability indices : a comprehensive exposition of quality control measures**. 1st Edn. George Washington University, USA.

_____, _____ and N.L. Johnson. 1992. Distributional and inferential properties of process capability indices. **Journal of Quality Technology** 24(4): 216-231.

_____, G.H. Lin. 2003. A reliable procedure for testing linear regulators with one-sided specification limits based on multiple samples. **Microelectronics Reliability** 43: 651-664.

_____, _____ and K.S. Chen. 1998. Distributional and inferential properties of the process accuracy and process precision indices. **Communications in Statistics : Theory and Methods** 27(4): 985-1000.

_____ and P.C. Lin. 2004. Testing process performance based on the capability index C_{pk} with critical values. **Computers and Industrial Engineering** 47: 351-369.

_____ and M.H. Shu. 2003. An algorithm for calculating the lower confidence bounds of C_{pu} and C_{pl} with application to low-drop-out linear regulators. **Microelectronics Reliability** 43: 459-502.

_____, _____ and B.M. Hsu. 2004a. Lower confidence bounds for C_{pu} and C_{pl} based on multiple samples with application to production yield assurance. **International Journal of Production Research** 42(12): 2339-2356.

- Pearn, W.L., and M.H. Shu and H.C. Lin. 2004b. A procedure for supplier selection based on Cpm applied to STN-LCD processes. **International Journal of Production Research** 42(13): 2719-2734.
- Pi, W.N. and C. Low. 2005. Supplier evaluation and selection using Taguchi loss functions and an AHP. **International Journal Advanced Manufacturing Technology** 27: 625-630.
- Polansky, A. 2006. Permutation methods for comparing process capabilities. **Journal of Quality Technology** 38(3): 254-266.
- Qing, W. and G. Xiao-Min. 2007. A study of supplier selection and quality strategy based on quality costs theory. *In Proceedings of International Conference on Management Science and Engineering*, Aug. 20-22. Harbin: 838-843.
- Sadigh, A.N., N. Zulkifli, T.S. Hong and M. Abdolshah. 2009. Supplier evaluation and selection using revised Taguchi loss function. **Journal of Applied Sciences** 9(24): 4240-4246.
- Sanayei, A., S.F. Mousavi, M.R. Abdi and A. Mohaghar. 2008. An integrated group decision-making process for supplier selection and order allocation using multi-attribute utility theory and linear programming. **Journal Franklin Institute** 345: 731-747.
- Taguchi, G. 1986. **Introduction to quality engineering: designing quality into products and processes**. 1st Edn. Asian Productivity Organization Tokyo.
- Tang, L.C and S.E. Than. 1999. Computing process capability indices for non-normal data : A review and comparative study. **Quality and Reliability Engineering International** 15: 339-353.
- Teeravaraprug, J. 2008. Outsourcing and vendor selection model based on Taguchi loss function. **Songklanakarin Journal Science Technology** 30: 523-530.

- Teng,S.G, and H. Jaramillo. 2005. A model for evaluation and selection of suppliers in global textile and apparel supply chains. **International journal Physical Distribution & Logistics Management** 35: 503-523.
- Tseng, S.T. and T.Y. Wu. 1991. Selection the best manufacturing process. **Journal Quality Technology** 23: 53-62.
- Vännman,K. 1998. Families of capability indices for one-sided specification limits. **Statistics** 31: 43-66.
- _____ and M. Albing. 2005. **Process capability plots for one-sided specification limits.** Luleå University of Technology, Department of Mathematics, Research Report 4 SE-981 87.
- Xia, W. and Z. Wu. 2007. Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments. **International Journal Management Science** 35: 494-504.
- Zhang,N.F., G.A. Steinbsck and D.M. Wardrop. 1990. Interval estimation of process capability index Cpk. **Communications in Statistics : Theory and Methods** 19(12): 4455-4470.





ตารางผนวกที่ ก1 ข้อมูลจากตัวอย่างของผู้ส่งมอบทั้ง 4 ราย (กรณีศึกษาที่ 1)

ลำดับที่	ผู้ส่งมอบ A	ผู้ส่งมอบ B	ผู้ส่งมอบ C	ผู้ส่งมอบ D
1	3.093606	3.250086	2.566478	2.442521
2	2.314866	2.779679	2.625417	2.830234
3	2.93754	2.629755	2.831596	3.130598
4	2.993344	4.754727	3.532173	2.789648
5	3.098867	3.082193	3.122922	3.215909
6	1.744475	4.393369	2.371759	3.254333
7	2.771917	4.608301	2.852628	2.686383
8	3.195547	4.738369	1.589375	2.268895
9	2.40417	3.036726	3.188465	3.801039
10	3.025199	3.709139	3.613771	2.456689
11	2.692805	2.281615	3.511044	3.241122
12	2.701286	3.322161	3.260588	4.023625
13	4.337278	2.731838	3.875082	3.782436
14	2.409895	2.778884	3.019478	3.1883
15	2.566501	2.273476	2.633846	3.819935
16	3.284926	3.429025	2.779032	4.019921
17	2.260433	2.865127	1.419478	3.465188
18	3.453249	3.552311	2.573515	2.455898
19	3.732716	2.502792	2.568216	1.970665
20	3.132493	2.543423	3.98055	2.465527
21	3.138708	3.842436	2.462275	2.357702
22	3.272758	4.635055	2.471341	4.355237
23	2.553079	3.811519	3.077018	2.086993
24	3.935673	1.727964	2.677521	2.729856
25	2.679391	5.48006	3.131975	2.396472
26	2.66613	2.072445	4.246922	3.496646
27	2.579923	2.612674	3.243459	2.611997
28	3.057572	1.935665	2.636948	1.916082
29	2.649453	3.159468	2.556623	3.800727
30	3.303755	3.625382	3.34445	3.130213
31	3.309417	2.942484	2.554264	2.558364

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ลำดับที่	ผู้ส่งมอบ A	ผู้ส่งมอบ B	ผู้ส่งมอบ C	ผู้ส่งมอบ D
32	2.196265	2.027227	4.540774	2.322128
33	3.270602	3.587902	3.324885	3.49846
34	2.083062	2.950221	2.386248	3.097828
35	3.057617	1.756865	3.660698	2.687708
36	2.524225	2.880481	3.11595	2.679257
37	3.490665	3.360546	3.007796	2.383019
38	2.280295	2.167026	2.363649	2.152878
39	2.515372	2.462606	3.077925	2.3131
40	2.700317	5.573964	3.009856	2.526315
41	2.467524	2.838039	4.137247	4.535559
42	2.874821	4.579843	2.285589	4.595393
43	1.673915	2.951309	2.758346	3.207844
44	2.549838	3.966467	3.265851	2.582701
45	2.995023	3.484734	2.618631	3.206468
46	1.945936	3.399949	3.406389	3.517566
47	3.156954	1.948982	3.075268	1.672472
48	2.673911	2.907667	3.223076	4.032595
49	3.400153	0.755237	2.180445	2.238355
50	3.144691	1.450762	2.792722	3.276904
51	2.988032	3.575389	2.617958	2.506529
52	3.809632	1.953572	4.229924	1.846687
53	3.531871	3.008666	3.501007	4.234311
54	3.169365	2.007952	3.525248	1.786368
55	1.919669	2.557099	3.704106	3.492819
56	2.780531	3.065951	3.950653	3.221303
57	2.789261	3.544245	3.67356	2.833327
58	3.224148	3.666921	2.578396	4.294609
59	2.655359	3.039614	1.386415	4.317652
60	3.443566	2.632446	3.262986	2.830653
61	2.97631	2.77679	1.816449	3.685119
62	3.01354	3.741598	2.008208	2.723358

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ลำดับที่	ผู้ส่งมอบ A	ผู้ส่งมอบ B	ผู้ส่งมอบ C	ผู้ส่งมอบ D
63	2.901671	2.670032	2.510086	4.071438
64	3.310919	2.600513	3.156308	2.966881
65	1.099747	3.050975	2.87999	3.057724
66	2.545272	3.448273	3.044272	3.609521
67	3.787669	3.347814	3.185606	4.118868
68	3.96434	3.220815	3.626849	2.684342
69	3.413346	2.583582	2.227526	3.290266
70	4.2795	3.30187	2.614448	3.482607
71	3.150447	3.684821	1.983496	2.896298
72	3.609032	3.631117	2.49499	3.216801
73	2.670458	4.034334	2.703203	2.755106
74	1.969729	2.744307	2.995339	2.301848
75	4.743856	2.265125	3.229101	2.91335
76	2.508788	3.670639	2.297597	2.459726
77	1.660053	1.922675	2.939125	2.460231
78	2.260904	3.119805	3.375956	2.134873
79	2.737095	4.106018	2.802726	2.835972
80	3.518492	4.853893	2.760184	3.272298
81	2.86244	3.561532	3.005584	3.384356
82	3.020583	3.832879	3.654428	2.21674
83	2.999838	2.626365	2.168761	2.532584
84	3.573802	3.914258	3.458254	2.644709
85	1.462031	2.474551	2.248351	3.072208
86	1.912203	3.926312	1.857824	2.436022
87	2.73309	2.442585	2.404535	3.033189
88	2.536184	3.762193	2.929177	4.472883
89	3.334898	3.309244	1.824828	2.52259
90	2.198709	2.557895	4.19578	3.073695
91	1.970524	2.847918	3.087606	3.344541
92	3.098133	3.46074	3.274544	3.063231
93	1.934198	1.650394	2.3618	1.53143

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ลำดับที่	ผู้ส่งมอบ A	ผู้ส่งมอบ B	ผู้ส่งมอบ C	ผู้ส่งมอบ D
94	2.617684	3.491155	2.555976	4.577016
95	2.562916	3.593991	3.533492	3.028952
96	4.197654	2.86512	2.376986	2.728311
97	2.422858	3.018095	2.435737	3.361295
98	3.495213	2.554042	3.345167	2.51316
99	3.68435	3.725668	3.435435	1.004184
100	2.644331	3.672383	2.016176	2.10879

ตารางผนวกที่ ก2 ข้อมูลจากตัวอย่างของผู้ส่งมอบทั้ง 4 ราย (กรณีศึกษาที่ 2)

ลำดับที่	ค่าคุณลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์				เวลาการส่งมอบ			
	ผู้ส่งมอบ	ผู้ส่งมอบ	ผู้ส่งมอบ	ผู้ส่งมอบ	ผู้ส่ง	ผู้ส่ง	ผู้ส่ง	ผู้ส่ง
	A	B	C	D	มอบ A	มอบ B	มอบ C	มอบ D
1	123.7965	123.1389	123.0054	122.4859	17	18	13	19
2	122.9894	122.3306	122.6143	122.6366	18	19	17	20
3	121.5026	122.2285	121.9431	123.1537	15	22	19	23
4	121.8703	123.5348	122.2693	122.1021	17	16	19	20
5	121.7338	123.3406	122.5641	122.0673	18	19	20	20
6	121.7779	122.3124	123.4544	122.5917	19	18	19	21
7	122.2162	123.2340	122.7117	121.6410	19	20	16	20
8	122.7448	122.6179	123.2708	123.4112	19	21	16	21
9	122.5495	123.1273	122.3901	123.0215	15	20	19	19
10	122.9665	122.8779	123.0305	122.7601	20	22	16	20
11	123.2558	122.2303	123.3101	122.9219	22	19	20	21
12	124.0610	123.0689	123.7386	122.7375	18	20	15	21
13	122.2891	124.2333	122.5148	122.4151	19	18	20	19
14	122.0324	122.8950	123.3740	122.7571	17	16	21	19
15	122.1094	123.2760	122.2691	123.0347	17	17	15	19
16	122.1453	123.0111	122.6792	122.5600	18	19	23	19
17	121.7193	123.3975	123.4446	122.3448	16	20	15	21
18	121.8833	123.3184	122.9600	123.2082	19	20	20	20
19	122.7043	122.8727	122.0210	122.2942	18	22	14	21
20	121.7444	122.9759	123.7410	122.8774	16	16	17	19
21	121.6825	122.9365	122.5821	122.8027	16	19	23	21
22	121.7655	123.1726	122.8607	122.4681	18	16	25	21
23	123.0910	122.2982	122.2990	122.8915	22	18	14	20
24	123.9030	123.5875	122.8546	122.0606	15	19	20	19
25	122.7960	122.9024	122.7710	122.1536	16	19	11	19
26	122.3972	122.5648	123.2052	122.0560	15	21	14	19
27	122.7323	122.6159	123.0433	122.3204	20	20	18	20
28	121.0289	124.0256	123.6305	121.7182	19	17	20	19
29	122.6325	123.1270	122.5264	122.6212	17	19	22	19

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

ลำดับที่	ค่าคุณลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์				เวลาการส่งมอบ			
	ผู้ส่งมอบ	ผู้ส่งมอบ	ผู้ส่งมอบ	ผู้ส่งมอบ	ผู้ส่ง	ผู้ส่ง	ผู้ส่ง	ผู้ส่ง
	A	B	C	D	มอบ A	มอบ B	มอบ C	มอบ D
30	122.6459	123.7633	122.1745	122.5954	19	19	20	20
31	121.9517	123.2734	121.8633	122.7367	16	19	15	20
32	122.1442	123.3258	121.5338	122.6270	20	21	13	19
33	121.8664	123.0509	122.2150	123.3955	17	18	19	19
34	123.0414	123.8890	122.4434	122.2627	17	16	19	18
35	121.7002	122.7251	122.7587	123.0109	21	18	16	18
36	122.5027	123.2489	122.7810	122.9149	18	18	18	20
37	122.1538	123.2004	122.9370	122.8783	21	19	18	20
38	122.0066	123.1422	123.7503	121.4818	20	21	16	21
39	122.0310	123.6912	123.1283	123.1544	19	19	17	18
40	122.4506	123.4642	123.0005	122.1248	16	20	22	19
41	122.4200	123.1505	123.0977	122.8390	15	17	13	22
42	123.4657	123.1257	122.5685	122.4654	12	19	15	19
43	122.3277	123.3599	122.9812	124.4790	17	19	14	19
44	121.9132	123.4865	122.8953	122.8257	17	20	17	21
45	122.8542	123.4659	123.3208	122.7619	22	25	14	21
46	122.2564	123.7415	121.3992	122.0179	20	20	17	21
47	122.0489	123.2588	123.2896	122.8721	18	18	17	20
48	123.1647	124.5239	122.8847	122.3938	17	19	16	20
49	123.6214	123.0467	123.5596	122.6805	15	17	21	21
50	122.4885	122.7792	123.7622	123.3429	19	23	18	21
51	122.0865	123.3844	121.9479	123.4250	20	18	20	18
52	122.9920	123.2708	123.2409	122.5719	18	18	18	20
53	122.0628	123.0762	122.8717	123.5131	17	16	18	19
54	123.1319	123.6004	124.0092	122.8998	16	21	20	18
55	122.7528	123.6246	123.4885	123.1505	20	21	17	21
56	123.5182	124.1716	123.1674	122.3874	18	17	17	18
57	122.7385	123.0339	122.6918	123.1944	16	19	18	19
58	122.9993	122.4492	122.4675	123.1254	14	21	24	19

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

ลำดับที่	ค่าคุณลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์				เวลาการส่งมอบ			
	ผู้ส่งมอบ A	ผู้ส่งมอบ B	ผู้ส่งมอบ C	ผู้ส่งมอบ D	ผู้ส่งมอบ A	ผู้ส่งมอบ B	ผู้ส่งมอบ C	ผู้ส่งมอบ D
59	123.1731	123.9614	123.7462	122.7319	17	17	20	19
60	121.9618	123.3130	123.4183	122.6108	19	16	16	19
61	121.4887	123.2902	122.3752	122.8277	21	20	16	20
62	122.3127	122.8765	122.3962	122.1467	17	24	18	21
63	123.6430	123.5228	123.9060	122.9535	18	17	13	20
64	122.9985	122.6823	122.8263	122.7144	21	20	15	20
65	123.3772	122.8647	122.8164	123.1307	21	17	21	19
66	121.5057	122.1386	123.0314	122.1802	19	16	19	19
67	122.9586	123.2239	123.1828	122.2618	17	21	15	20
68	121.2696	123.5717	123.8245	122.5410	16	18	19	20
69	122.9752	123.4373	123.2103	122.2496	20	20	20	21
70	123.7252	123.2270	122.1521	123.0705	13	20	21	21
71	123.4198	123.5159	122.8177	122.7934	17	23	17	20
72	121.7951	123.7693	123.8075	121.7477	13	18	18	20
73	122.2996	122.9016	123.6937	123.0255	13	18	16	20
74	122.3045	123.3283	122.7378	122.8632	17	18	22	20
75	122.1274	123.0418	122.6435	121.9368	19	15	17	18
76	122.9949	123.8581	123.2371	122.9879	16	17	24	18
77	122.0630	123.5792	123.0174	122.6569	17	21	13	21
78	123.0468	123.2993	123.1025	123.3472	20	18	20	20
79	123.6271	123.7885	123.3637	122.4991	15	19	25	19
80	123.4386	123.2860	123.4248	122.8061	17	20	20	20
81	121.8606	123.2616	123.5092	122.3511	17	19	12	21
82	122.7420	123.6351	122.7896	122.2164	18	22	12	20
83	123.1120	123.1307	123.1226	121.8753	18	19	19	21
84	122.4255	123.2381	122.3794	122.3338	18	23	16	21
85	122.5420	123.1865	123.4141	122.4584	16	22	16	20
86	122.7271	123.1890	122.5853	123.0851	20	17	20	23
87	123.3516	122.8821	123.6394	121.9139	17	21	16	20

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

ลำดับที่	ค่าคุณลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์				เวลาการส่งมอบ			
	ผู้ส่งมอบ	ผู้ส่งมอบ	ผู้ส่งมอบ	ผู้ส่งมอบ	ผู้ส่ง	ผู้ส่ง	ผู้ส่ง	ผู้ส่ง
	A	B	C	D	มอบ A	มอบ B	มอบ C	มอบ D
88	122.0083	122.6821	123.0376	122.8822	16	19	19	18
89	122.6503	123.2771	123.0964	122.6751	15	18	22	20
90	122.1818	122.4243	122.2995	122.3971	17	19	23	21
91	122.3148	123.4754	121.9091	123.0478	18	17	16	22
92	122.1836	123.3798	122.6142	122.5120	20	19	14	20
93	123.3079	123.4044	122.2394	122.6603	19	15	17	21
94	122.4971	123.2561	123.3831	122.7056	18	19	19	20
95	123.6459	122.2724	122.9074	123.2013	20	14	15	18
96	123.5913	123.0718	122.8929	122.9257	17	17	19	19
97	122.0584	123.4429	122.5852	122.5515	20	20	17	21
98	122.8005	124.0580	122.1414	121.7996	17	18	19	20
99	123.9574	122.6641	122.5237	122.6890	19	18	15	19
100	122.8434	122.8792	121.6352	122.9179	19	19	19	21



ตารางผนวกที่ ข1 โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบสองราย

กำหนดระดับนัยสำคัญ (α) = 0.01															
C_{pu}	1			1.33			1.5			1.67			2		
n	Chou	Hubele	New												
30	0.01198	0.01034	0.01002	0.01180	0.00996	0.00984	0.01080	0.00954	0.00948	0.01282	0.01078	0.01072	0.01308	0.01084	0.01078
50	0.01124	0.01002	0.00976	0.01086	0.00978	0.00974	0.01106	0.01000	0.00994	0.01106	0.00972	0.00960	0.01180	0.01048	0.01044
100	0.01020	0.00970	0.00962	0.01066	0.00990	0.00984	0.01036	0.00974	0.00966	0.01050	0.00988	0.00986	0.01106	0.01048	0.01044
150	0.01118	0.01084	0.01078	0.01072	0.01022	0.01022	0.01086	0.01046	0.01046	0.00996	0.00958	0.00958	0.01094	0.01038	0.01038
200	0.01016	0.00994	0.00988	0.01042	0.01020	0.01018	0.01054	0.01030	0.01024	0.00968	0.00946	0.00944	0.01034	0.01004	0.01004
250	0.01024	0.01008	0.01004	0.01022	0.01004	0.01002	0.00992	0.00972	0.00970	0.01018	0.01002	0.01002	0.00996	0.00964	0.00964
300	0.01062	0.01052	0.01048	0.01072	0.01046	0.01042	0.00980	0.00960	0.00960	0.00982	0.00978	0.00976	0.01022	0.01000	0.00998
350	0.01050	0.01030	0.01030	0.01094	0.01080	0.01078	0.00968	0.00942	0.00942	0.00966	0.00952	0.00952	0.00978	0.00952	0.00952
400	0.01058	0.01042	0.01042	0.01020	0.01004	0.01002	0.01040	0.01024	0.01020	0.00982	0.00976	0.00976	0.01002	0.00992	0.00992
450	0.00958	0.00946	0.00946	0.01036	0.01026	0.01022	0.00942	0.00926	0.00920	0.00924	0.00916	0.00916	0.00986	0.00956	0.00954
500	0.00948	0.00938	0.00936	0.01100	0.01088	0.01086	0.01052	0.01046	0.01042	0.01008	0.00998	0.00996	0.01058	0.01036	0.01036

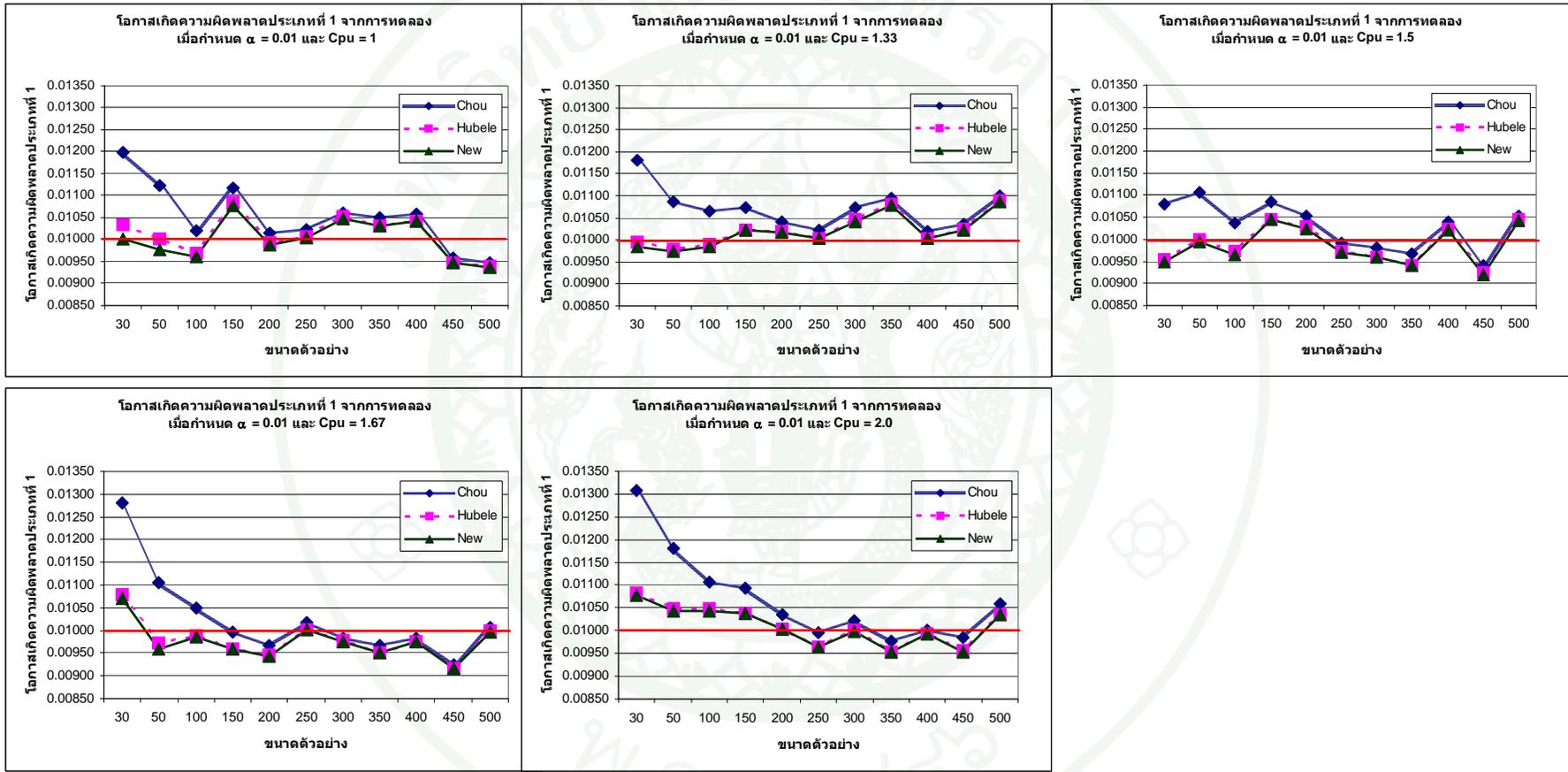
ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

กำหนดระดับนัยสำคัญ (α) = 0.025

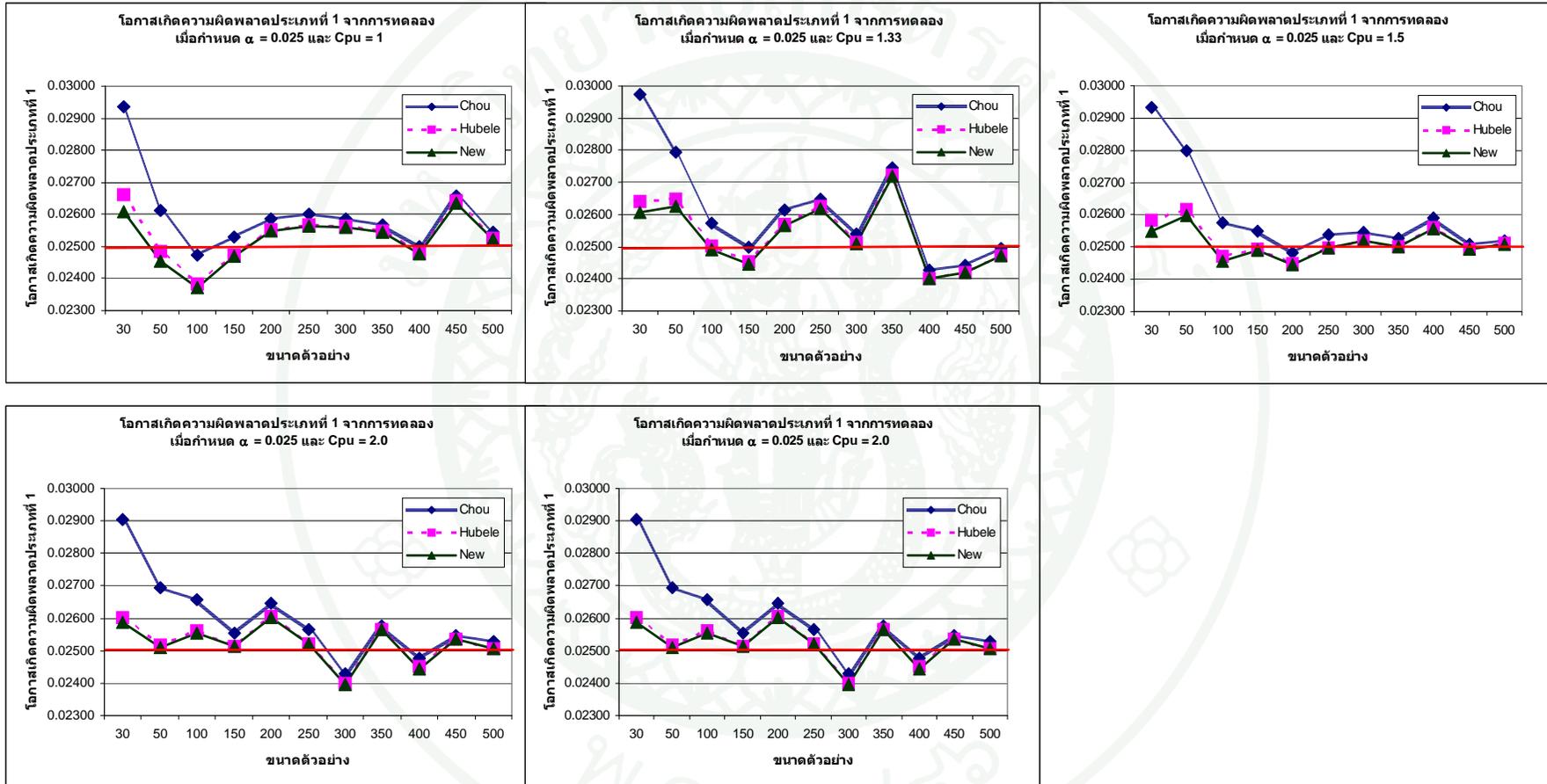
C _{pu}	1			1.33			1.5			1.67			2		
	n	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele									
30	0.02936	0.02660	0.02610	0.02974	0.02640	0.02606	0.02934	0.02584	0.02548	0.02920	0.02610	0.02590	0.02904	0.02602	0.02586
50	0.02612	0.02486	0.02454	0.02794	0.02650	0.02624	0.02800	0.02616	0.02598	0.02730	0.02570	0.02550	0.02694	0.02516	0.02510
100	0.02474	0.02384	0.02372	0.02572	0.02502	0.02490	0.02574	0.02472	0.02456	0.02658	0.02572	0.02558	0.02658	0.02560	0.02556
150	0.02528	0.02474	0.02468	0.02500	0.02452	0.02446	0.02548	0.02494	0.02490	0.02614	0.02554	0.02544	0.02556	0.02512	0.02512
200	0.02586	0.02552	0.02548	0.02616	0.02568	0.02566	0.02484	0.02448	0.02444	0.02584	0.02542	0.02536	0.02646	0.02606	0.02602
250	0.02600	0.02568	0.02564	0.02650	0.02624	0.02620	0.02538	0.02498	0.02498	0.02450	0.02414	0.02414	0.02566	0.02520	0.02520
300	0.02586	0.02564	0.02558	0.02538	0.02514	0.02508	0.02546	0.02520	0.02520	0.02578	0.02538	0.02536	0.02430	0.02398	0.02394
350	0.02568	0.02550	0.02544	0.02746	0.02724	0.02720	0.02528	0.02502	0.02500	0.02548	0.02532	0.02532	0.02578	0.02564	0.02564
400	0.02498	0.02482	0.02478	0.02426	0.02400	0.02400	0.02590	0.02560	0.02556	0.02440	0.02418	0.02416	0.02476	0.02450	0.02442
450	0.02656	0.02642	0.02636	0.02442	0.02420	0.02418	0.02510	0.02494	0.02494	0.02458	0.02440	0.02440	0.02548	0.02536	0.02534
500	0.02544	0.02526	0.02522	0.02494	0.02474	0.02474	0.02520	0.02512	0.02508	0.02658	0.02646	0.02642	0.02530	0.02508	0.02506

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

กำหนดระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05															
C_{pu}	1			1.33			1.5			1.67			2		
n	Chou	Hubele	New												
30	0.05762	0.05424	0.05294	0.05680	0.05296	0.05246	0.05736	0.05382	0.05344	0.05572	0.05246	0.05218	0.05652	0.05246	0.05222
50	0.05420	0.05200	0.05142	0.05476	0.05272	0.05240	0.05456	0.05242	0.05220	0.05396	0.05184	0.05166	0.05184	0.04930	0.04920
100	0.05294	0.05200	0.05176	0.05328	0.05238	0.05218	0.05488	0.05380	0.05372	0.05108	0.05004	0.04986	0.05186	0.05088	0.05084
150	0.05188	0.05124	0.05100	0.05284	0.05204	0.05188	0.05034	0.04964	0.04956	0.05000	0.04936	0.04932	0.05010	0.04938	0.04928
200	0.05024	0.04970	0.04950	0.05278	0.05218	0.05208	0.05120	0.05060	0.05052	0.05098	0.05054	0.05048	0.05172	0.05128	0.05124
250	0.05256	0.05220	0.05210	0.05136	0.05098	0.05084	0.04998	0.04964	0.04958	0.05192	0.05148	0.05148	0.04996	0.04936	0.04936
300	0.05106	0.05074	0.05062	0.05072	0.05052	0.05038	0.05184	0.05168	0.05156	0.05220	0.05186	0.05182	0.05026	0.04982	0.04982
350	0.05084	0.05050	0.05042	0.05060	0.05028	0.05024	0.05092	0.05068	0.05062	0.05050	0.05030	0.05026	0.05056	0.05030	0.05026
400	0.05020	0.05000	0.04996	0.05126	0.05098	0.05090	0.05276	0.05254	0.05250	0.05080	0.05056	0.05048	0.04976	0.04962	0.04958
450	0.04970	0.04958	0.04954	0.05080	0.05068	0.05066	0.04996	0.04978	0.04970	0.04972	0.04944	0.04936	0.05138	0.05110	0.05108
500	0.05054	0.05028	0.05028	0.05124	0.05104	0.05100	0.05072	0.05044	0.05040	0.04976	0.04952	0.04944	0.05078	0.05062	0.05058



ภาพผนวกที่ ข1 การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ด้วยวิธีของ Chou และ Hubele กับวิธีที่พัฒนาใหม่
ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 (ผู้ส่งมอบสองราย)



ภาพผนวกที่ ข2 การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ด้วยวิธีของ Chou และ Hubele กับวิธีที่พัฒนาใหม่
ที่ระดับนัยสำคัญ 0.025 (ผู้ส่งมอบสองราย)

ตารางผนวกที่ ข2 โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบสามราย

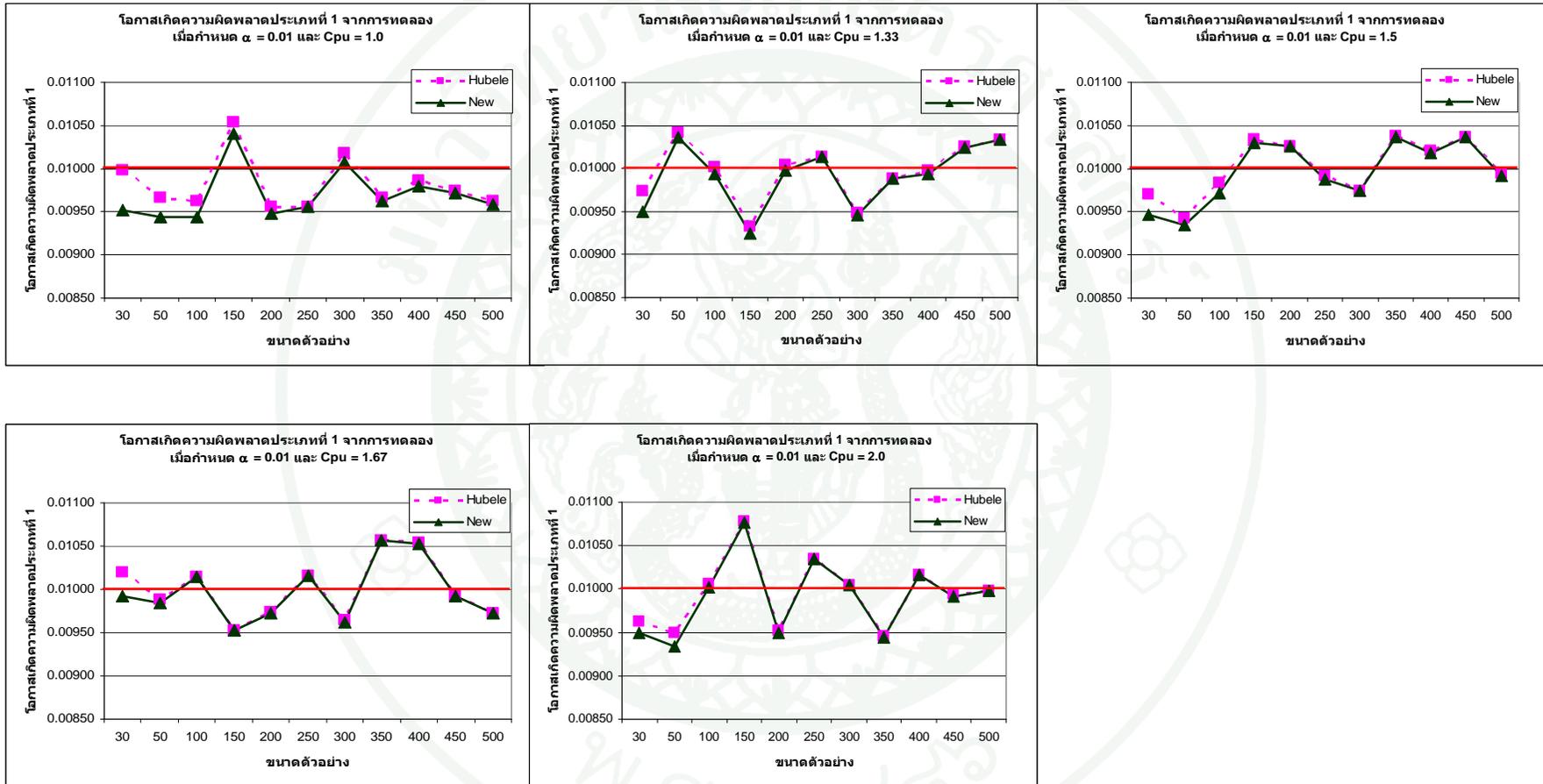
เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญ (α) = 0.01										
C_{pu}	1		1.33		1.5		1.67		2	
n	Hubele	New								
30	0.00998	0.00952	0.00974	0.00950	0.00970	0.00946	0.01020	0.00992	0.00962	0.00950
50	0.00966	0.00944	0.01042	0.01036	0.00942	0.00934	0.00988	0.00984	0.00950	0.00934
100	0.00962	0.00944	0.01002	0.00994	0.00984	0.00972	0.01014	0.01014	0.01006	0.01002
150	0.01054	0.01040	0.00932	0.00924	0.01034	0.01030	0.00952	0.00952	0.01078	0.01076
200	0.00956	0.00948	0.01004	0.00998	0.01026	0.01026	0.00974	0.00972	0.00952	0.00950
250	0.00956	0.00956	0.01014	0.01014	0.00992	0.00988	0.01016	0.01016	0.01034	0.01034
300	0.01018	0.01008	0.00948	0.00946	0.00974	0.00974	0.00964	0.00962	0.01004	0.01004
350	0.00966	0.00962	0.00988	0.00988	0.01038	0.01036	0.01056	0.01056	0.00946	0.00944
400	0.00986	0.00980	0.00998	0.00994	0.01020	0.01018	0.01054	0.01052	0.01016	0.01016
450	0.00974	0.00972	0.01026	0.01024	0.01036	0.01036	0.00992	0.00992	0.00994	0.00992
500	0.00962	0.00958	0.01034	0.01034	0.00994	0.00992	0.00972	0.00972	0.00998	0.00998

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

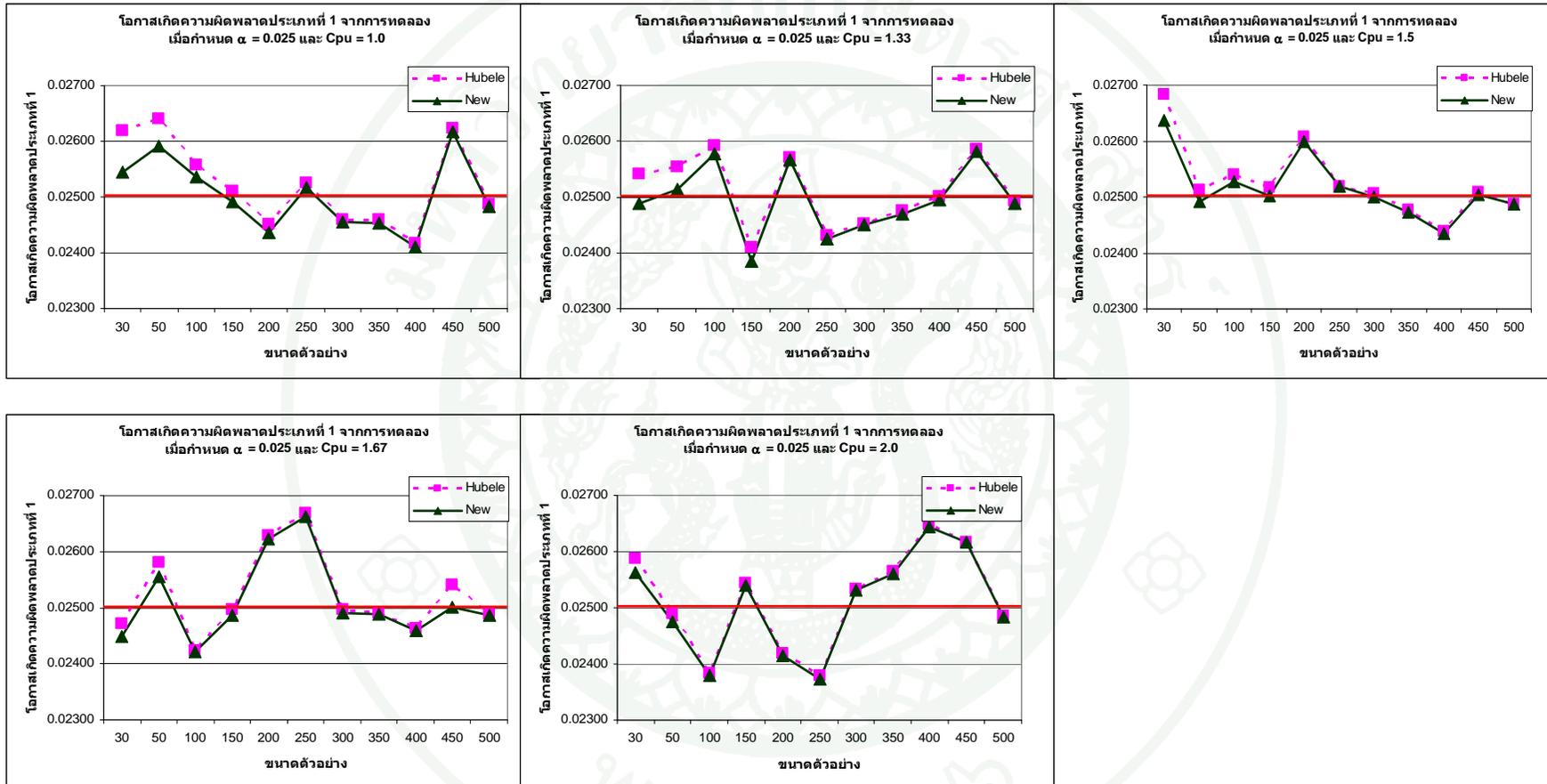
เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญ (α) = 0.025										
C_{pu}	1		1.33		1.5		1.67		2	
n	Hubele	New								
30	0.02620	0.02544	0.02542	0.02488	0.02684	0.02636	0.02472	0.02448	0.02588	0.02562
50	0.02640	0.02592	0.02554	0.02514	0.02512	0.02492	0.02580	0.02556	0.02490	0.02476
100	0.02558	0.02536	0.02592	0.02578	0.02540	0.02528	0.02424	0.02422	0.02384	0.02380
150	0.02510	0.02492	0.02410	0.02384	0.02516	0.02502	0.02496	0.02486	0.02544	0.02540
200	0.02452	0.02436	0.02570	0.02566	0.02608	0.02600	0.02628	0.02622	0.02418	0.02414
250	0.02526	0.02516	0.02432	0.02424	0.02518	0.02518	0.02668	0.02662	0.02380	0.02372
300	0.02460	0.02456	0.02452	0.02450	0.02506	0.02500	0.02496	0.02490	0.02534	0.02532
350	0.02460	0.02454	0.02476	0.02470	0.02476	0.02472	0.02490	0.02488	0.02564	0.02560
400	0.02416	0.02410	0.02500	0.02494	0.02438	0.02434	0.02464	0.02460	0.02648	0.02644
450	0.02624	0.02616	0.02586	0.02582	0.02508	0.02504	0.02540	0.02500	0.02616	0.02616
500	0.02488	0.02482	0.02492	0.02488	0.02488	0.02488	0.02488	0.02486	0.02486	0.02484

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05										
C_{pu}	1		1.33		1.5		1.67		2	
n	Hubele	New								
30	0.05332	0.05230	0.05222	0.05136	0.05308	0.05244	0.05446	0.05390	0.05284	0.05246
50	0.05112	0.05056	0.05188	0.05140	0.05272	0.05230	0.05104	0.05074	0.05000	0.04972
100	0.04918	0.04878	0.05130	0.05094	0.05020	0.05002	0.05162	0.05144	0.05162	0.05148
150	0.05016	0.04998	0.05036	0.05020	0.05150	0.05146	0.05068	0.05060	0.04986	0.04982
200	0.04978	0.04960	0.05104	0.05090	0.05114	0.05102	0.04934	0.04924	0.04950	0.04938
250	0.05232	0.05206	0.05154	0.05148	0.04942	0.04924	0.05240	0.05228	0.05070	0.05056
300	0.05094	0.05082	0.05180	0.05174	0.04746	0.04744	0.05050	0.05044	0.04862	0.04852
350	0.04924	0.04916	0.04858	0.04850	0.05076	0.05070	0.05010	0.05006	0.04904	0.04902
400	0.05026	0.05018	0.04996	0.04984	0.05136	0.05132	0.05162	0.05160	0.04984	0.04984
450	0.04868	0.04852	0.05116	0.05108	0.04856	0.04854	0.04882	0.04882	0.05004	0.05000
500	0.05066	0.05064	0.05032	0.05028	0.04950	0.04946	0.04954	0.04948	0.04952	0.04950



ภาพผนวกที่ ข3 การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ด้วยวิธีของ Hubele กับวิธีที่พัฒนาใหม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 (ผู้ส่งมอบสามารถ)



ภาพผนวกที่ ๓๔ การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ด้วยวิธีของ Hubele กับวิธีที่พัฒนาใหม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.025 (ผู้ส่งมอบสามราย)

ตารางผนวกที่ ข3 โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย

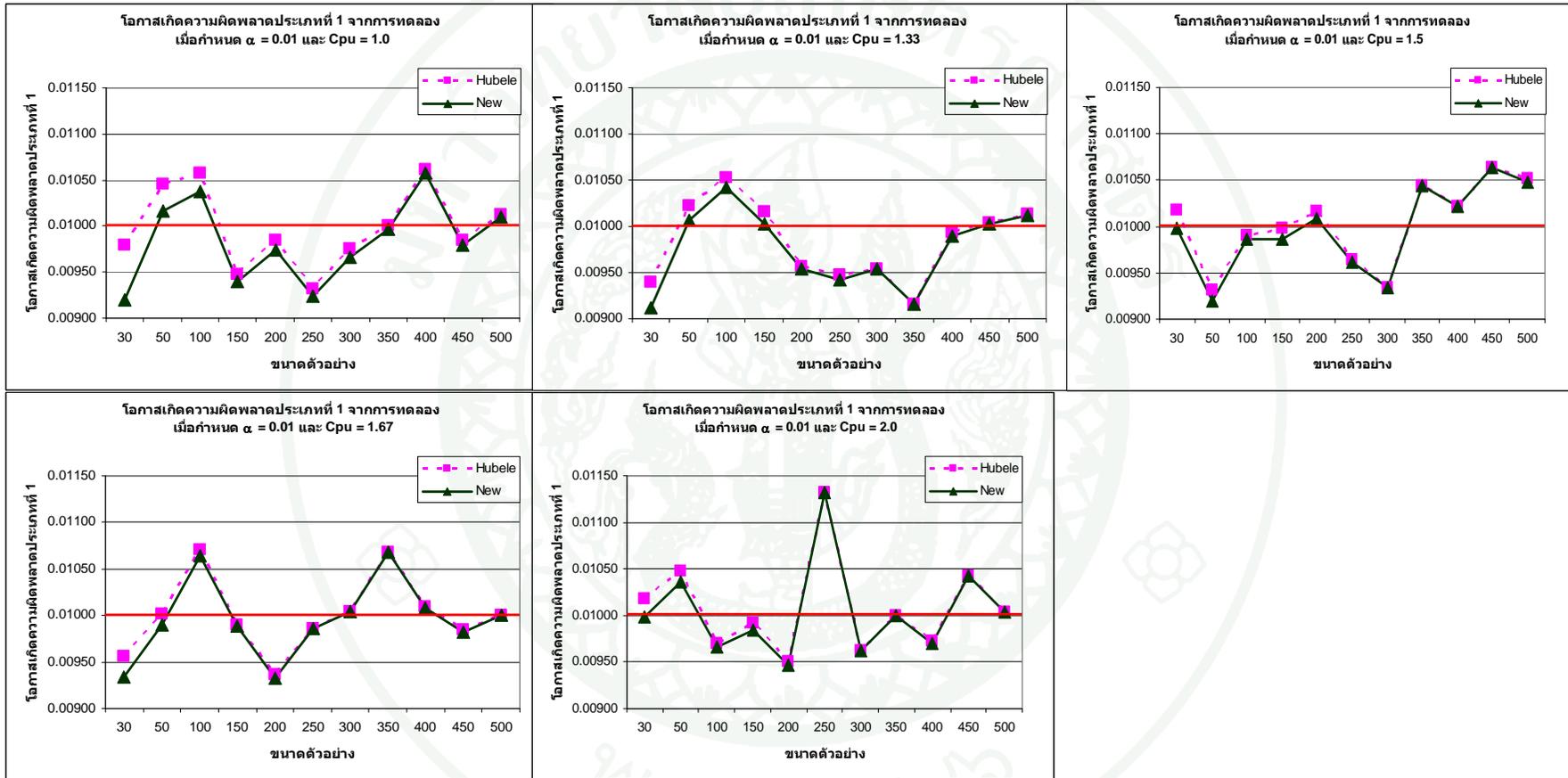
เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญ (α) = 0.01										
C_{pu}	1		1.33		1.5		1.67		2	
n	Hubele	New								
30	0.00980	0.00920	0.00940	0.00912	0.01018	0.00998	0.00956	0.00934	0.01018	0.00998
50	0.01046	0.01016	0.01022	0.01006	0.00932	0.00920	0.01002	0.00990	0.01048	0.01036
100	0.01058	0.01038	0.01052	0.01042	0.00990	0.00986	0.01070	0.01064	0.00970	0.00966
150	0.00948	0.00940	0.01016	0.01002	0.00998	0.00986	0.00990	0.00988	0.00992	0.00984
200	0.00984	0.00974	0.00956	0.00954	0.01016	0.01008	0.00936	0.00932	0.00950	0.00946
250	0.00932	0.00924	0.00948	0.00942	0.00964	0.00962	0.00986	0.00986	0.01132	0.01132
300	0.00976	0.00966	0.00954	0.00954	0.00934	0.00934	0.01004	0.01004	0.00962	0.00962
350	0.01000	0.00996	0.00916	0.00916	0.01044	0.01044	0.01068	0.01068	0.01000	0.01000
400	0.01062	0.01058	0.00994	0.00990	0.01022	0.01022	0.01010	0.01008	0.00972	0.00970
450	0.00984	0.00980	0.01004	0.01002	0.01064	0.01064	0.00984	0.00982	0.01042	0.01042
500	0.01012	0.01010	0.01013	0.01012	0.01052	0.01048	0.01000	0.01000	0.01004	0.01004

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

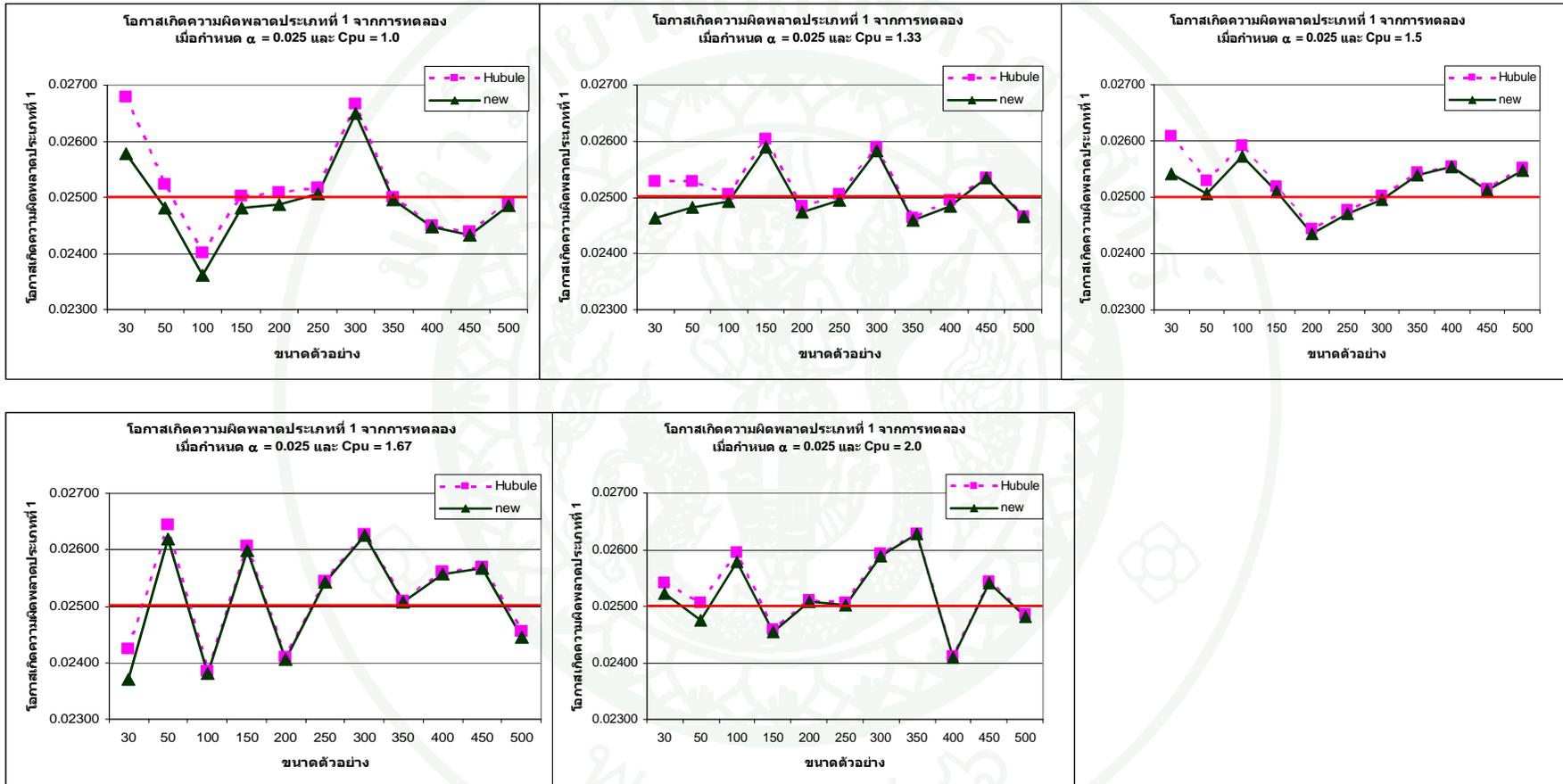
เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญ (α) = 0.025										
C_{pu}	1		1.33		1.5		1.67		2	
n	Hubele	New								
30	0.02678	0.02578	0.02528	0.02464	0.02608	0.02542	0.02424	0.02370	0.02542	0.02522
50	0.02524	0.02482	0.02528	0.02482	0.02530	0.02506	0.02644	0.02620	0.02506	0.02476
100	0.02400	0.02362	0.02506	0.02492	0.02592	0.02572	0.02384	0.02380	0.02594	0.02578
150	0.02502	0.02482	0.02604	0.02590	0.02518	0.02510	0.02606	0.02598	0.02458	0.02454
200	0.02508	0.02488	0.02484	0.02474	0.02444	0.02436	0.02410	0.02406	0.02510	0.02508
250	0.02516	0.02506	0.02506	0.02494	0.02478	0.02470	0.02544	0.02542	0.02506	0.02502
300	0.02666	0.02650	0.02588	0.02582	0.02502	0.02496	0.02628	0.02626	0.02592	0.02588
350	0.02500	0.02496	0.02464	0.02460	0.02544	0.02540	0.02510	0.02508	0.02628	0.02628
400	0.02450	0.02448	0.02494	0.02484	0.02554	0.02554	0.02562	0.02558	0.02412	0.02410
450	0.02438	0.02432	0.02534	0.02534	0.02514	0.02512	0.02570	0.02568	0.02544	0.02542
500	0.02490	0.02486	0.02466	0.02466	0.02552	0.02548	0.02456	0.02446	0.02486	0.02482

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05										
C_{pu}	1		1.33		1.5		1.67		2	
n	Hubele	New								
30	0.05316	0.05184	0.05244	0.05130	0.05358	0.05252	0.05230	0.05158	0.05226	0.05194
50	0.05276	0.05168	0.05012	0.04958	0.05248	0.05192	0.05166	0.05128	0.05122	0.05092
100	0.05042	0.05000	0.05096	0.05066	0.04806	0.04786	0.05110	0.05086	0.05036	0.05028
150	0.05296	0.05256	0.05052	0.05036	0.05122	0.05110	0.05048	0.05038	0.04954	0.04940
200	0.05126	0.05100	0.05072	0.05058	0.05146	0.05134	0.05126	0.05114	0.05058	0.05052
250	0.05128	0.05116	0.05018	0.05008	0.05080	0.05076	0.04898	0.04888	0.04970	0.04962
300	0.05046	0.05032	0.04886	0.04872	0.04926	0.04920	0.04994	0.04994	0.05100	0.05096
350	0.04824	0.04810	0.05166	0.05158	0.05050	0.05042	0.04992	0.04984	0.04906	0.04902
400	0.05086	0.05062	0.05146	0.05130	0.05056	0.05054	0.05038	0.05034	0.05000	0.04998
450	0.05180	0.05170	0.04928	0.04926	0.04956	0.04950	0.05060	0.05058	0.04998	0.04996
500	0.04982	0.04970	0.05066	0.05062	0.05048	0.05044	0.05036	0.05026	0.05032	0.05026



ภาพผนวกที่ ข5 การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ด้วยวิธีของ Hubele กับวิธีที่พัฒนาใหม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 (ผู้ส่งมอบสำเนา)



ภาพผนวกที่ ๖ การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ด้วยวิธีของ Hubele กับวิธีที่พัฒนาใหม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.025 (ผู้ส่งมอบสี่ราย)

ตารางผนวกที่ ข4 โอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง กรณีผู้ตั้งมอบห้ำราย

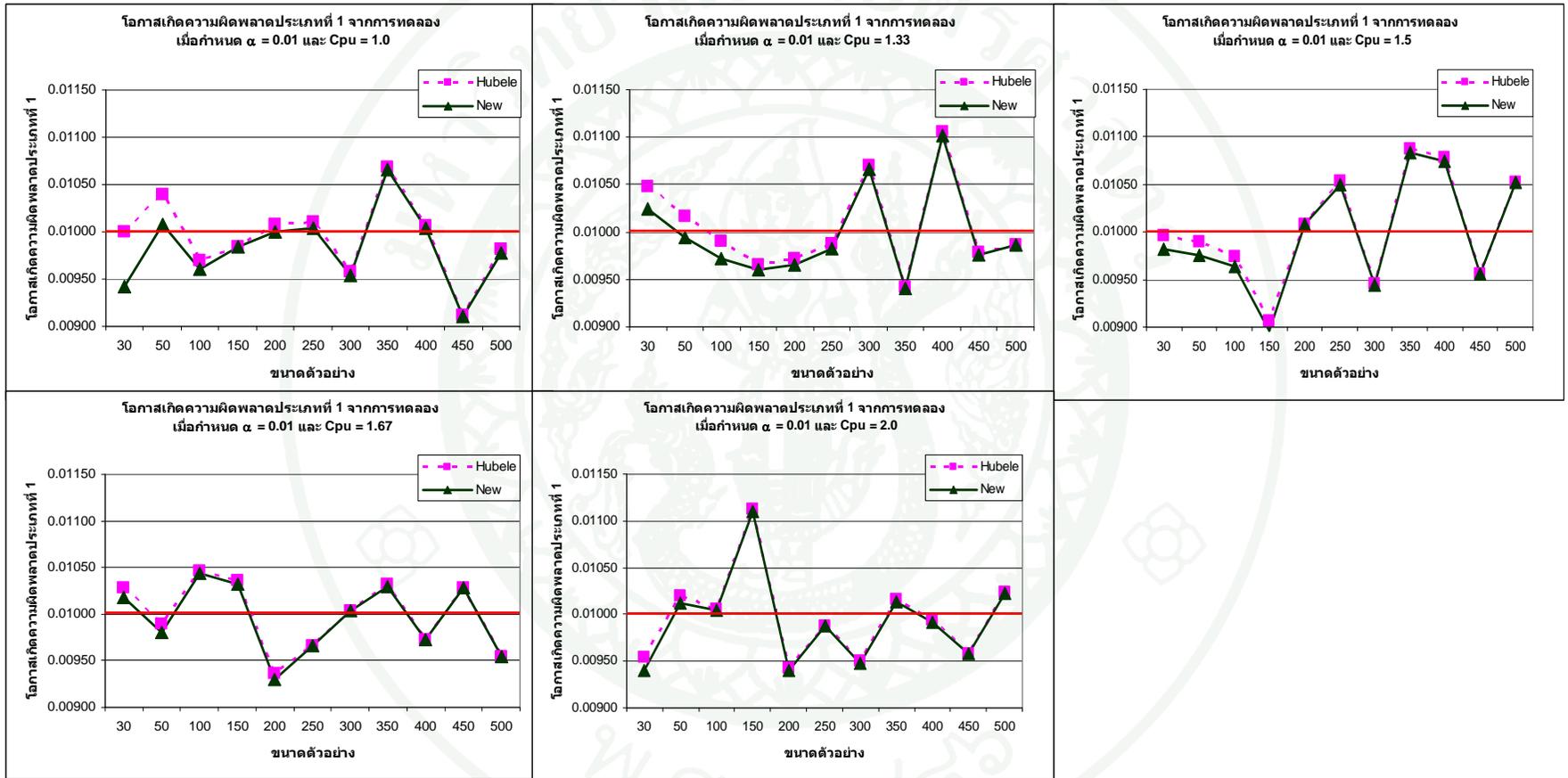
เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญ (α) = 0.01										
C_{pu}	1		1.33		1.5		1.67		2	
n	Hubele	New								
30	0.01000	0.00942	0.01048	0.01024	0.00996	0.00982	0.01028	0.01018	0.00954	0.00940
50	0.01040	0.01008	0.01016	0.00994	0.00990	0.00976	0.00990	0.00980	0.01020	0.01012
100	0.00970	0.00960	0.00990	0.00972	0.00974	0.00964	0.01046	0.01044	0.01006	0.01004
150	0.00984	0.00984	0.00966	0.00960	0.00906	0.00896	0.01036	0.01032	0.01112	0.01110
200	0.01008	0.01000	0.00972	0.00966	0.01008	0.01008	0.00936	0.00930	0.00942	0.00940
250	0.01010	0.01004	0.00988	0.00982	0.01054	0.01050	0.00966	0.00966	0.00988	0.00988
300	0.00958	0.00954	0.01070	0.01066	0.00946	0.00944	0.01004	0.01004	0.00950	0.00948
350	0.01068	0.01066	0.00942	0.00940	0.01088	0.01084	0.01032	0.01030	0.01016	0.01014
400	0.01006	0.01004	0.01106	0.01102	0.01078	0.01074	0.00972	0.00972	0.00994	0.00992
450	0.00912	0.00910	0.00978	0.00976	0.00956	0.00956	0.01028	0.01028	0.00958	0.00958
500	0.00982	0.00978	0.00986	0.00986	0.01052	0.01052	0.00954	0.00954	0.01024	0.01022

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

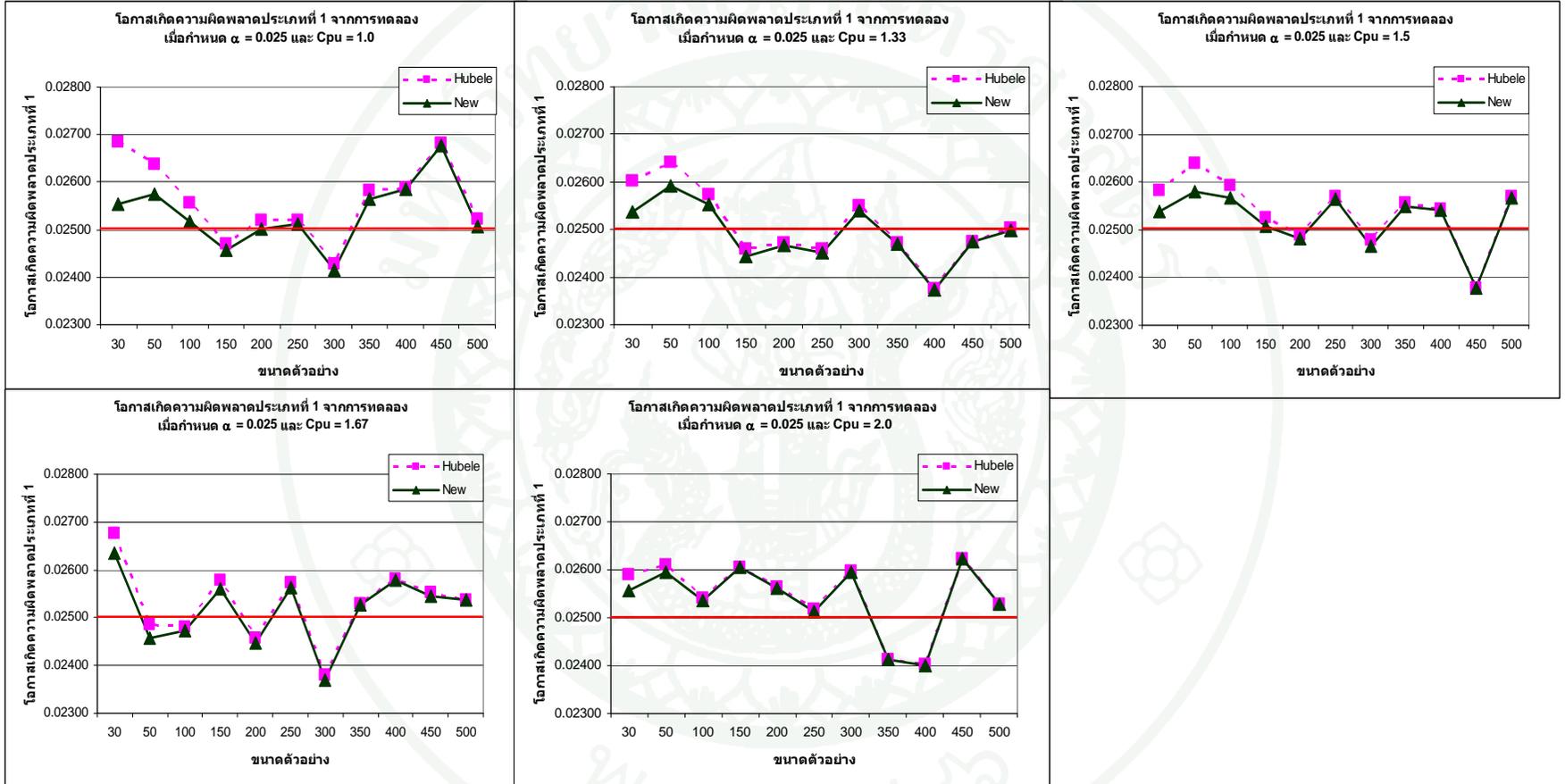
เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญ (α) = 0.025										
C_{pu}	1		1.33		1.5		1.67		2	
n	Hubele	New								
30	0.02684	0.02554	0.02602	0.02538	0.02582	0.02538	0.02676	0.02634	0.02590	0.02556
50	0.02638	0.02574	0.02640	0.02592	0.02640	0.02580	0.02486	0.02456	0.02610	0.02596
100	0.02556	0.02516	0.02574	0.02552	0.02594	0.02568	0.02480	0.02472	0.02540	0.02536
150	0.02470	0.02458	0.02460	0.02442	0.02526	0.02508	0.02578	0.02560	0.02606	0.02604
200	0.02520	0.02502	0.02472	0.02466	0.02488	0.02482	0.02456	0.02448	0.02564	0.02562
250	0.02520	0.02512	0.02460	0.02452	0.02570	0.02564	0.02572	0.02562	0.02518	0.02512
300	0.02428	0.02416	0.02550	0.02540	0.02480	0.02466	0.02380	0.02370	0.02598	0.02594
350	0.02582	0.02564	0.02472	0.02470	0.02556	0.02548	0.02530	0.02528	0.02412	0.02412
400	0.02588	0.02586	0.02376	0.02374	0.02544	0.02542	0.02582	0.02578	0.02402	0.02400
450	0.02682	0.02678	0.02474	0.02474	0.02378	0.02378	0.02552	0.02544	0.02622	0.02622
500	0.02522	0.02506	0.02504	0.02498	0.02570	0.02568	0.02538	0.02538	0.02528	0.02528

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05										
C_{pu}	1		1.33		1.5		1.67		2	
n	Hubele	New								
30	0.05284	0.05120	0.05258	0.05134	0.05360	0.05278	0.05246	0.05194	0.05410	0.05336
50	0.05194	0.05096	0.05172	0.05096	0.05092	0.05042	0.05266	0.05228	0.04982	0.04956
100	0.04988	0.04928	0.05168	0.05144	0.04986	0.04968	0.05148	0.05124	0.05188	0.05166
150	0.05038	0.05014	0.04920	0.04900	0.05046	0.05032	0.04952	0.04942	0.05082	0.05068
200	0.04908	0.04878	0.05092	0.05076	0.05114	0.05086	0.05002	0.04992	0.04878	0.04870
250	0.05090	0.05066	0.05252	0.05242	0.04948	0.04938	0.05134	0.05128	0.04978	0.04972
300	0.04992	0.04972	0.05026	0.05016	0.05032	0.05018	0.05190	0.05186	0.05044	0.05042
350	0.04922	0.04908	0.04982	0.04964	0.05002	0.05002	0.04974	0.04970	0.04932	0.04932
400	0.05046	0.05040	0.05044	0.05044	0.04916	0.04914	0.05082	0.05078	0.05074	0.05072
450	0.05056	0.05046	0.05018	0.05010	0.04850	0.04846	0.04852	0.04848	0.05064	0.05058
500	0.05088	0.05070	0.05078	0.05064	0.04986	0.04982	0.04914	0.04910	0.05116	0.05112



ภาพผนวกที่ ข7 การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ด้วยวิธีของ Hubele กับวิธีที่พัฒนาใหม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 (ผู้ส่งมอบห้าราย)



ภาพผนวกที่ ข8 การเปรียบเทียบโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดลอง ด้วยวิธีของ Hubele กับวิธีที่พัฒนาใหม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.025 (ผู้ส่งมอบห้าราย)



ภาคผนวก ค

ผลการหาค่าอำนาจการทดสอบ จากการทดลอง 50,000 รอบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค1 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบสองราย เมื่อกำหนด ระดับนัยสำคัญ (α) = 0.01

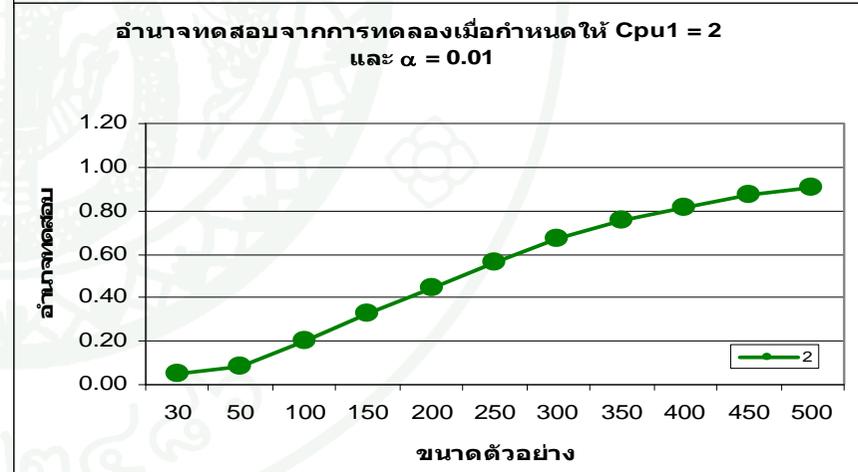
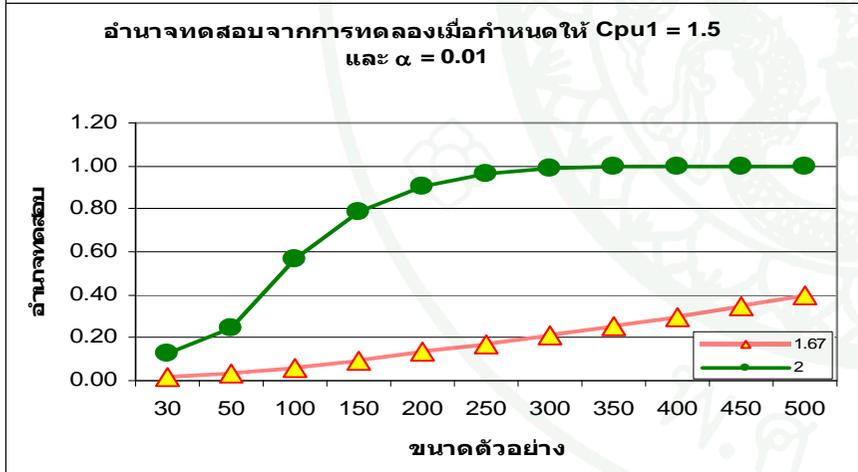
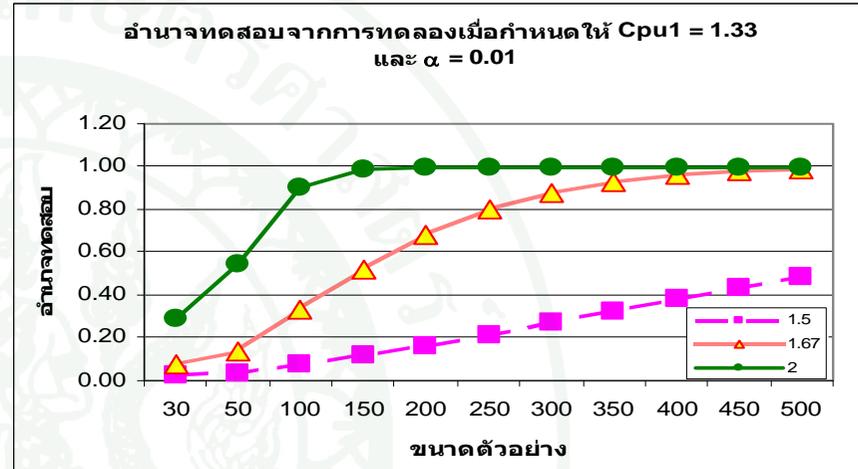
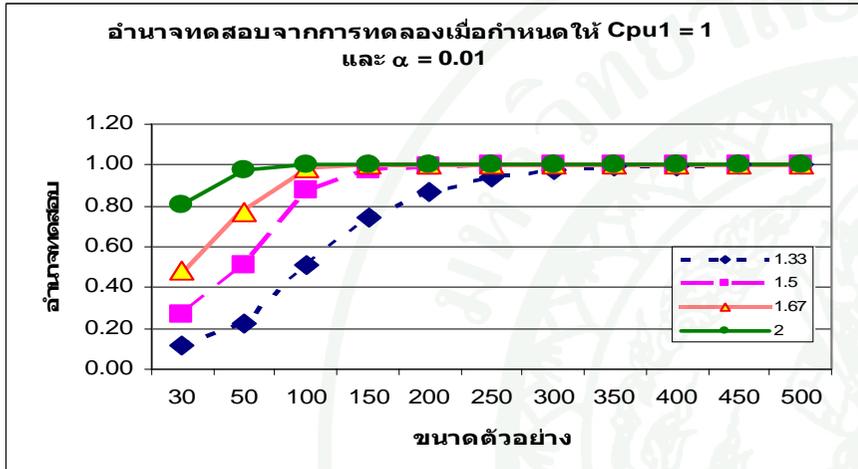
n	$C_{pu1} = 1$											
	$C_{pu2} = 1.33$			$C_{pu2} = 1.5$			$C_{pu2} = 1.67$			$C_{pu2} = 2$		
	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New
30	0.12886	0.11492	0.11316	0.29870	0.27530	0.27252	0.51090	0.48274	0.47962	0.82928	0.81106	0.80894
50	0.23374	0.22172	0.22040	0.52562	0.51060	0.50860	0.78422	0.77216	0.77092	0.97722	0.97488	0.97476
100	0.51794	0.51062	0.50966	0.88238	0.87848	0.87794	0.98560	0.98482	0.98478	0.99996	0.99996	0.99996
150	0.74422	0.74084	0.74012	0.97872	0.97820	0.97812	0.99944	0.99940	0.99936	1	1	1
200	0.87104	0.86926	0.86898	0.99672	0.99666	0.99666	1	1	1	1	1	1
250	0.94110	0.94030	0.94026	0.99960	0.99960	0.99960	1	1	1	1	1	1
300	0.97736	0.97712	0.97708	1	0.99998	0.99998	1	1	1	1	1	1
350	0.98994	0.98984	0.98984	1	1	1	1	1	1	1	1	1
400	0.99630	0.99626	0.99626	1	1	1	1	1	1	1	1	1
450	0.99882	0.99880	0.99878	1	1	1	1	1	1	1	1	1
500	0.99956	0.99956	0.99956	1	1	1	1	1	1	1	1	1

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

n	$C_{pu1} = 1.33$								
	$C_{pu2} = 1.5$			$C_{pu2} = 1.67$			$C_{pu2} = 2$		
	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New
30	0.02726	0.02288	0.02252	0.08486	0.07446	0.07366	0.32010	0.29388	0.29206
50	0.03978	0.03618	0.03584	0.14780	0.13828	0.13758	0.56366	0.54734	0.54602
100	0.07556	0.07270	0.07238	0.34134	0.33428	0.33354	0.90832	0.90490	0.90472
150	0.11858	0.11596	0.11564	0.52782	0.52294	0.52254	0.98636	0.98594	0.98592
200	0.16542	0.16290	0.16258	0.68614	0.68254	0.68230	0.99862	0.99858	0.99858
250	0.21724	0.21518	0.21498	0.79926	0.79710	0.79684	0.99996	0.99996	0.99996
300	0.27414	0.27182	0.27160	0.88068	0.87954	0.87946	1	1	1
350	0.32720	0.32544	0.32508	0.93198	0.93130	0.93118	1	1	1
400	0.38554	0.38394	0.38366	0.96140	0.96110	0.96104	1	1	1
450	0.43564	0.43408	0.43386	0.97804	0.97776	0.97772	1	1	1
500	0.48786	0.48632	0.48618	0.98826	0.98814	0.98812	1	1	1

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

n	$C_{pu1} = 1.5$						$C_{pu1} = 1.67$		
	$C_{pu2} = 1.67$			$C_{pu2} = 2$			$C_{pu2} = 2$		
	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New
30	0.02454	0.02106	0.02076	0.14224	0.12710	0.12600	0.05512	0.04720	0.04680
50	0.03308	0.03010	0.02990	0.26360	0.25008	0.24928	0.09030	0.08312	0.08274
100	0.06044	0.05816	0.05794	0.57126	0.56292	0.56238	0.20316	0.19750	0.19726
150	0.09254	0.09044	0.09030	0.79142	0.78772	0.78750	0.33022	0.32500	0.32478
200	0.13294	0.13118	0.13102	0.90896	0.90716	0.90708	0.45342	0.44880	0.44866
250	0.17302	0.17136	0.17122	0.96396	0.96318	0.96314	0.56954	0.56614	0.56606
300	0.21282	0.21102	0.21088	0.98592	0.98570	0.98568	0.67168	0.66942	0.66932
350	0.25600	0.25430	0.25400	0.99530	0.99530	0.99530	0.75648	0.75488	0.75478
400	0.30038	0.29870	0.29854	0.99862	0.99856	0.99856	0.81862	0.81728	0.81726
450	0.34752	0.34596	0.34582	0.99956	0.99956	0.99956	0.87014	0.86930	0.86928
500	0.39542	0.39412	0.39392	0.99982	0.99982	0.99982	0.90702	0.90640	0.90634



ภาพผนวกที่ 11 อำนาจการทดสอบจากการทดลองของวิธีที่พัฒนาขึ้น ที่ระดับ $\alpha = 0.01$ ณ Cpu₁ ระดับต่าง ๆ (กรณีผู้ส่งมอบสองราย)

ตารางผนวกที่ ค2 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบสองราย เมื่อกำหนด ระดับนัยสำคัญ (α) = 0.025

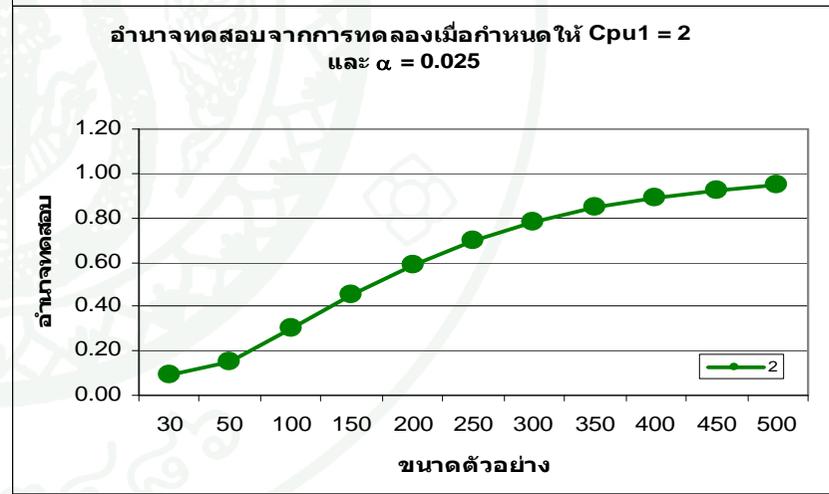
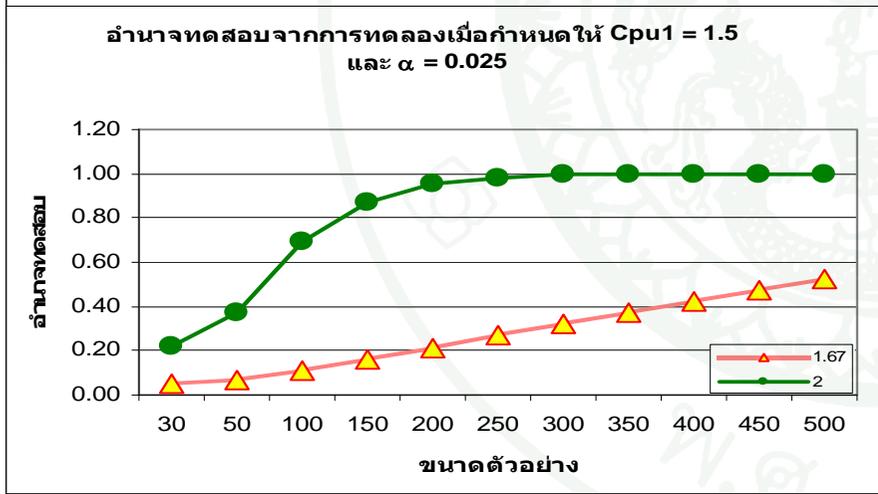
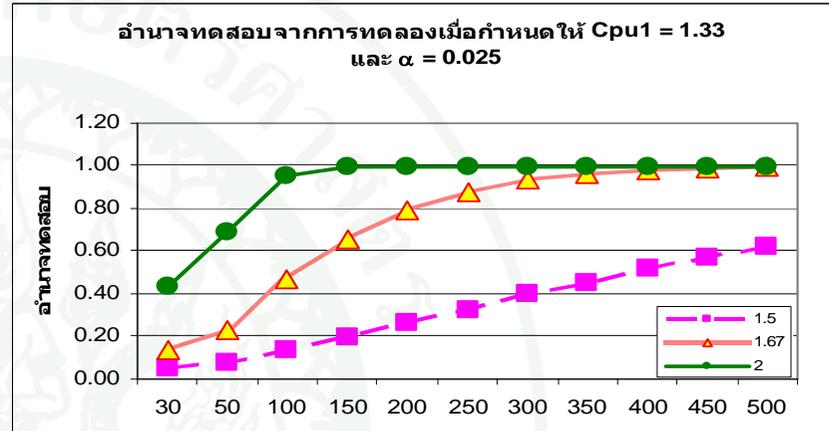
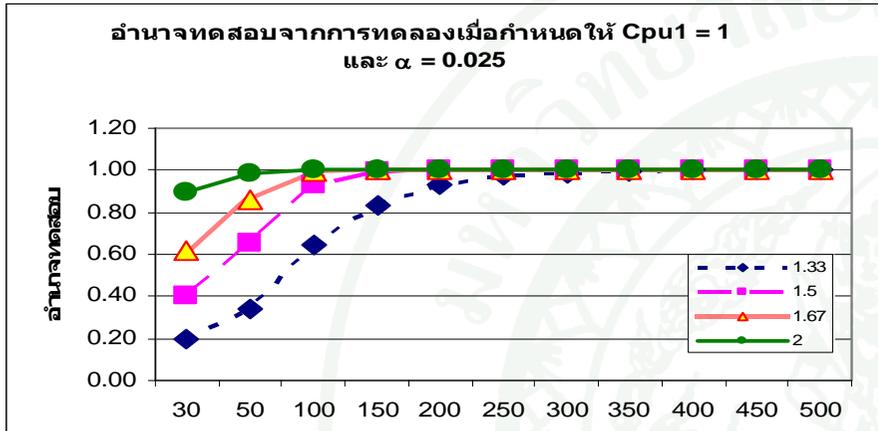
n	$C_{pu1} = 1$											
	$C_{pu2} = 1.33$			$C_{pu2} = 1.5$			$C_{pu2} = 1.67$			$C_{pu2} = 2$		
	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New
30	0.21230	0.19926	0.19694	0.42396	0.40674	0.40368	0.64076	0.62392	0.62134	0.9015	0.8937	0.8928
50	0.35176	0.34256	0.34078	0.66158	0.65242	0.65102	0.86938	0.86420	0.86330	0.9898	0.9892	0.9891
100	0.65118	0.64668	0.64580	0.93558	0.93412	0.93386	0.99468	0.99436	0.99428	1	1	1
150	0.83950	0.83736	0.83680	0.99114	0.99094	0.99090	0.99980	0.99980	0.99980	1	1	1
200	0.93162	0.93068	0.93038	0.99880	0.99878	0.99878	1	1	1	1	1	1
250	0.97250	0.97212	0.97206	0.99986	0.99986	0.99986	1	1	1	1	1	1
300	0.98940	0.98936	0.98930	1	1	1	1	1	1	1	1	1
350	0.99620	0.99616	0.99614	1	1	1	1	1	1	1	1	1
400	0.99874	0.99872	0.99872	1	1	1	1	1	1	1	1	1
450	0.99958	0.99958	0.99958	1	1	1	1	1	1	1	1	1
500	0.99970	0.99970	0.99970	1	1	1	1	1	1	1	1	1

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

n	$C_{pu1} = 1.33$								
	$C_{pu2} = 1.5$			$C_{pu2} = 1.67$			$C_{pu2} = 2$		
	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New
30	0.05856	0.05342	0.05286	0.14992	0.13928	0.13794	0.45082	0.43290	0.43110
50	0.07742	0.07408	0.07344	0.23710	0.22894	0.22814	0.69614	0.68694	0.68624
100	0.13960	0.13676	0.13624	0.47194	0.46622	0.46542	0.95276	0.95140	0.95136
150	0.19960	0.19760	0.19736	0.65810	0.65486	0.65440	0.99426	0.99402	0.99400
200	0.26780	0.26580	0.26544	0.79272	0.79102	0.79080	0.99942	0.99942	0.99942
250	0.32782	0.32600	0.32578	0.88006	0.87906	0.87892	0.99998	0.99998	0.99998
300	0.39974	0.39818	0.39784	0.93530	0.93496	0.93490	1	1	1
350	0.45394	0.45242	0.45232	0.96456	0.96434	0.96432	1	1	1
400	0.51690	0.51568	0.51540	0.98246	0.98236	0.98234	1	1	1
450	0.56996	0.56874	0.56854	0.99138	0.99136	0.99136	1	1	1
500	0.62238	0.62150	0.62142	0.99532	0.99526	0.99524	1	1	1

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

n	$C_{pu1} = 1.5$						$C_{pu1} = 1.67$		
	$C_{pu2} = 1.67$			$C_{pu2} = 2$			$C_{pu2} = 2$		
	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New
30	0.05360	0.04844	0.04810	0.23194	0.21906	0.21778	0.10030	0.09246	0.09202
50	0.06878	0.06534	0.06504	0.38400	0.37380	0.37258	0.15680	0.14998	0.14962
100	0.11450	0.11222	0.11196	0.69940	0.69484	0.69438	0.31054	0.30602	0.30570
150	0.16116	0.15930	0.15904	0.87106	0.86924	0.86906	0.45642	0.45228	0.45192
200	0.21558	0.21392	0.21372	0.95240	0.95176	0.95170	0.58834	0.58596	0.58574
250	0.27108	0.26954	0.26938	0.98342	0.98322	0.98318	0.69898	0.69718	0.69694
300	0.32276	0.32132	0.32124	0.99428	0.99416	0.99414	0.78220	0.78114	0.78100
350	0.37266	0.37116	0.37092	0.99822	0.99822	0.99822	0.84786	0.84668	0.84664
400	0.42770	0.42654	0.42646	0.99946	0.99946	0.99946	0.89134	0.89096	0.89092
450	0.47694	0.47568	0.47552	0.99992	0.99992	0.99992	0.92758	0.92712	0.92712
500	0.52388	0.52280	0.52274	0.99992	0.99992	0.99992	0.95156	0.95126	0.95112



ภาพผนวกที่ ๒2 อำนาจการทดสอบจากการทดลองของวิธีที่พัฒนาขึ้น ที่ระดับ $\alpha = 0.025$ ณ Cpu_i ระดับต่าง ๆ (กรณีผู้ส่งมอบสองราย)

ตารางผนวกที่ ๓3 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบสองราย เมื่อกำหนด ระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05

n	$C_{pu1} = 1$											
	$C_{pu2} = 1.33$			$C_{pu2} = 1.5$			$C_{pu2} = 1.67$			$C_{pu2} = 2$		
	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New
30	0.30420	0.29434	0.29194	0.53964	0.52806	0.52542	0.73760	0.72874	0.72648	0.94338	0.94012	0.93958
50	0.46070	0.45398	0.45184	0.75828	0.75288	0.75170	0.91796	0.91508	0.91460	0.99528	0.99510	0.99508
100	0.74666	0.74402	0.74350	0.96350	0.96298	0.96276	0.99766	0.99762	0.99762	1	1	1
150	0.89626	0.89524	0.89490	0.99644	0.99642	0.99638	0.99990	0.99990	0.99990	1	1	1
200	0.96056	0.96028	0.96014	0.99970	0.99970	0.99970	1	1	1	1	1	1
250	0.98530	0.98522	0.98514	0.99996	0.99996	0.99996	1	1	1	1	1	1
300	0.99520	0.99518	0.99516	1	1	1	1	1	1	1	1	1
350	0.99870	0.99870	0.99868	1	1	1	1	1	1	1	1	1
400	0.99954	0.99954	0.99954	1	1	1	1	1	1	1	1	1
450	0.99986	0.99986	0.99986	1	1	1	1	1	1	1	1	1
500	0.99996	0.99996	0.99996	1	1	1	1	1	1	1	1	1

ตารางผนวกที่ ค3 (ต่อ)

n	$C_{pu1} = 1.33$								
	$C_{pu2} = 1.5$			$C_{pu2} = 1.67$			$C_{pu2} = 2$		
	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New
30	0.10188	0.09640	0.09548	0.22636	0.21746	0.21568	0.56266	0.54950	0.54764
50	0.13088	0.12670	0.12610	0.33740	0.33132	0.33028	0.78682	0.78158	0.78082
100	0.20946	0.20696	0.20642	0.57996	0.57646	0.57584	0.97324	0.97262	0.97252
150	0.28606	0.28400	0.28370	0.75422	0.75244	0.75214	0.99738	0.99734	0.99734
200	0.36456	0.36312	0.36280	0.86772	0.86680	0.86666	0.99984	0.99984	0.99984
250	0.43898	0.43776	0.43760	0.93110	0.93080	0.93076	1	0.99998	0.99998
300	0.50692	0.50614	0.50586	0.96372	0.96350	0.96348	1	1	1
350	0.56848	0.56742	0.56722	0.98148	0.98142	0.98140	1	1	1
400	0.62526	0.62442	0.62432	0.99152	0.99150	0.99150	1	1	1
450	0.67940	0.67866	0.67852	0.99586	0.99586	0.99586	1	1	1
500	0.72450	0.72410	0.72398	0.99798	0.99796	0.99796	1	1	1

ตารางผนวกที่ ค3 (ต่อ)

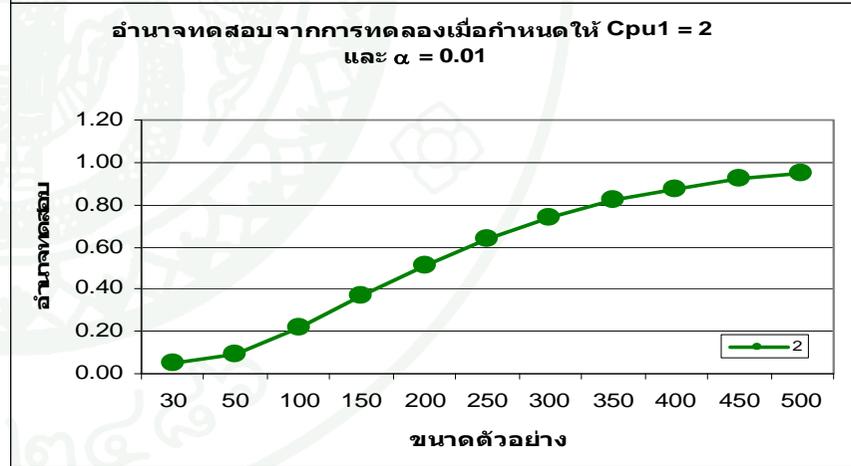
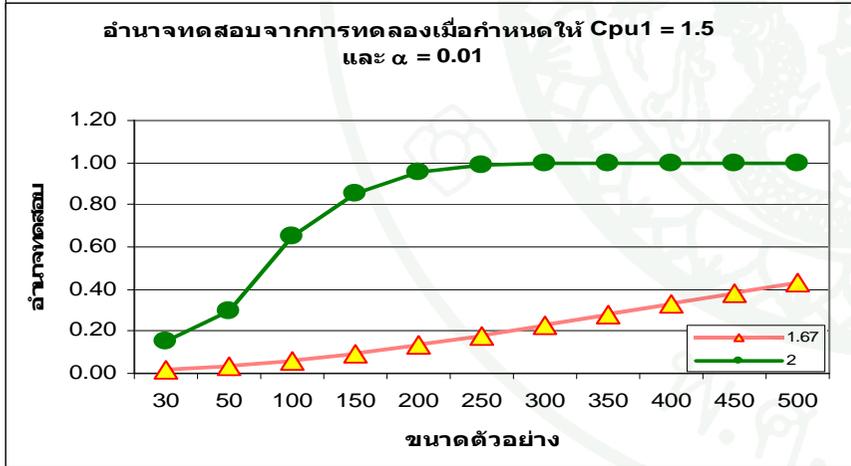
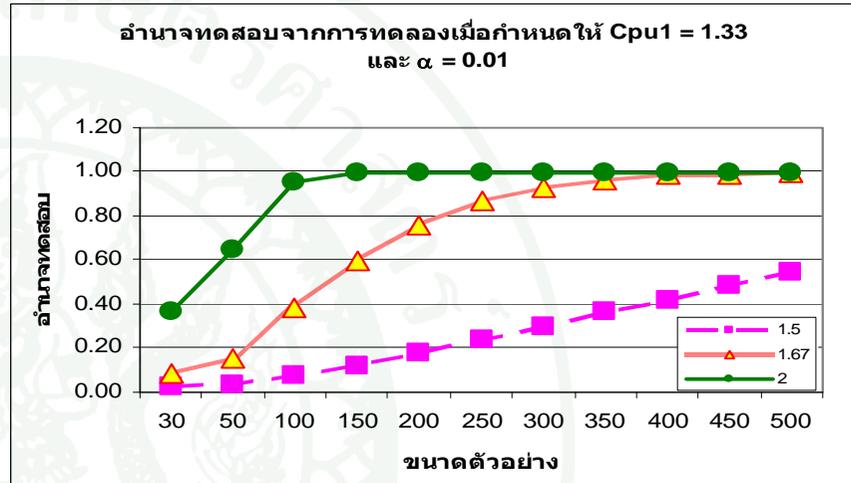
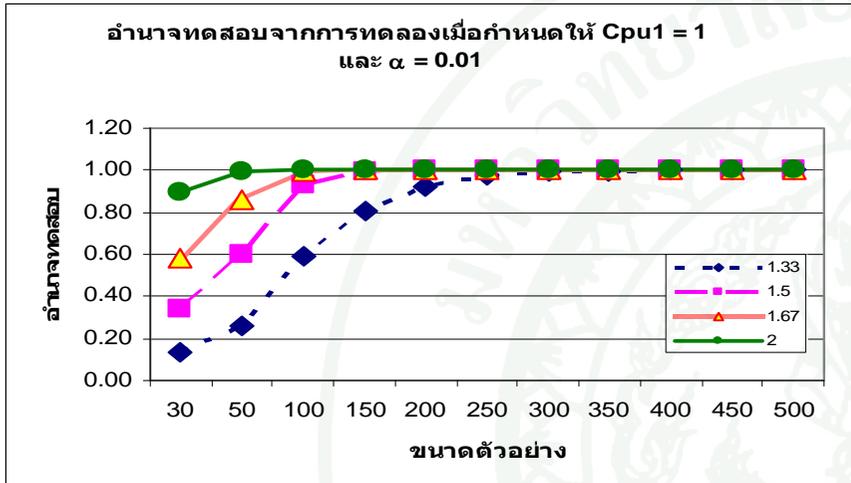
n	$C_{pu1} = 1.5$						$C_{pu1} = 1.67$		
	$C_{pu2} = 1.67$			$C_{pu2} = 2$			$C_{pu2} = 2$		
	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New	Chou	Hubele	New
30	0.09354	0.08836	0.08770	0.32754	0.31700	0.31558	0.16056	0.15304	0.15234
50	0.11458	0.11132	0.11096	0.49438	0.48716	0.48626	0.23390	0.22830	0.22774
100	0.17652	0.17394	0.17368	0.78964	0.78734	0.78702	0.41164	0.40790	0.40736
150	0.24080	0.23904	0.23870	0.92298	0.92218	0.92208	0.56932	0.56688	0.56662
200	0.30308	0.30162	0.30154	0.97390	0.97358	0.97352	0.69626	0.69476	0.69456
250	0.37058	0.36962	0.36942	0.99158	0.99152	0.99148	0.78394	0.78298	0.78288
300	0.42846	0.42730	0.42716	0.99766	0.99764	0.99764	0.85762	0.85692	0.85684
350	0.48746	0.48658	0.48648	0.99940	0.99940	0.99940	0.90150	0.90110	0.90110
400	0.53902	0.53798	0.53790	0.99988	0.99988	0.99988	0.93658	0.93628	0.93620
450	0.58382	0.58322	0.58310	0.99994	0.99994	0.99994	0.95880	0.95874	0.95874
500	0.63146	0.63078	0.63068	1	1	1	0.97278	0.97272	0.97272

ตารางผนวกที่ 44 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบสามราย เมื่อกำหนด ระดับนัยสำคัญ (α) = 0.01

n	$C_{pu1} = 1$							
	$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.33$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.5$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$	
	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.13506	0.13258	0.34210	0.33858	0.58024	0.58380	0.89334	0.89222
50	0.26260	0.26018	0.60440	0.60248	0.85456	0.85558	0.99206	0.99196
100	0.59042	0.58922	0.93306	0.93262	0.99596	0.99596	1	1
150	0.80902	0.80838	0.99260	0.99258	0.99996	0.99996	1	1
200	0.92432	0.92414	0.99916	0.99914	1	1	1	1
250	0.97328	0.97322	0.99988	0.99988	1	1	1	1
300	0.99140	0.99138	0.99998	0.99998	1	1	1	1
350	0.99758	0.99756	1	1	1	1	1	1
400	0.99924	0.99924	1	1	1	1	1	1
450	0.99966	0.99966	1	1	1	1	1	1
500	0.99994	0.99994	1	1	1	1	1	1

ตารางผนวกที่ ๓4 (ต่อ)

n	$C_{pu1} = 1.33$				$C_{pu1} = 1.5$				$C_{pu1} = 1.67$			
	$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.5$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$	
	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.02464	0.02438	0.08396	0.08286	0.37034	0.36768	0.02032	0.01998	0.15148	0.15008	0.05122	0.05060
50	0.03612	0.03570	0.15648	0.15542	0.64688	0.64552	0.03088	0.03066	0.29872	0.29752	0.09126	0.09088
100	0.07608	0.07564	0.38484	0.38380	0.94928	0.94922	0.05918	0.05884	0.64844	0.64798	0.22112	0.22074
150	0.11960	0.11926	0.59522	0.59472	0.99516	0.99516	0.09504	0.09482	0.85742	0.85718	0.36548	0.36516
200	0.17710	0.17682	0.75834	0.75798	0.99970	0.99970	0.13416	0.13400	0.95126	0.95122	0.51394	0.51378
250	0.23670	0.23640	0.86662	0.86648	0.99994	0.99994	0.18082	0.18060	0.98456	0.98452	0.63560	0.63534
300	0.29792	0.29768	0.92862	0.92852	1	1	0.22918	0.22900	0.99562	0.99562	0.73846	0.73824
350	0.36438	0.36406	0.96410	0.96408	1	1	0.28030	0.27994	0.99890	0.99890	0.81898	0.81886
400	0.42080	0.42064	0.98406	0.98404	1	1	0.32998	0.32986	0.99984	0.99984	0.87682	0.87680
450	0.48728	0.48700	0.99136	0.99136	1	1	0.38054	0.38036	0.99998	0.99998	0.91894	0.91892
500	0.54368	0.54348	0.99654	0.99654	1	1	0.43184	0.43174	0.99998	0.99998	0.94864	0.94858



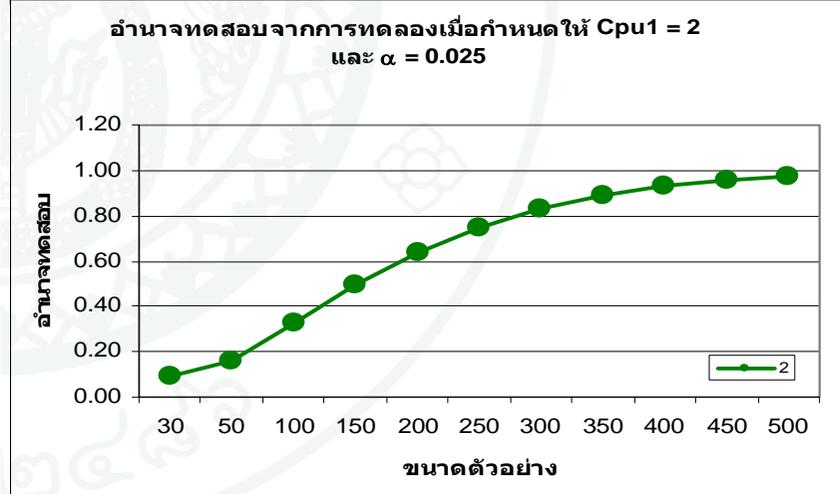
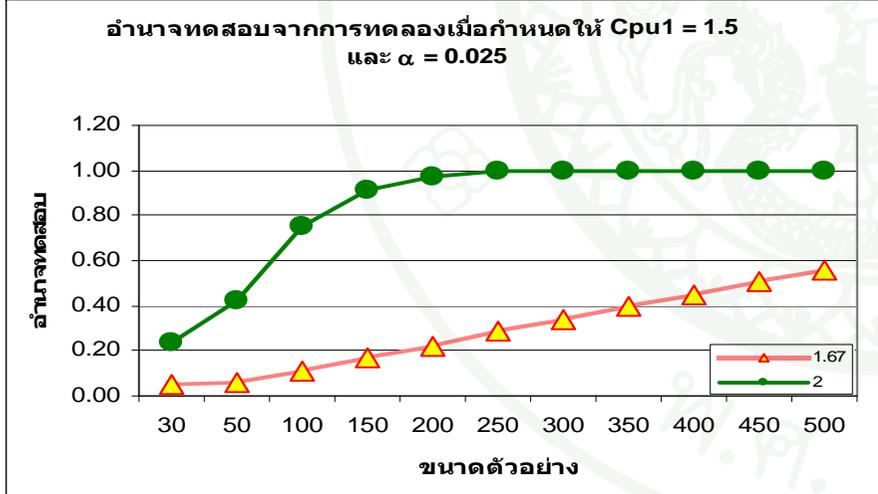
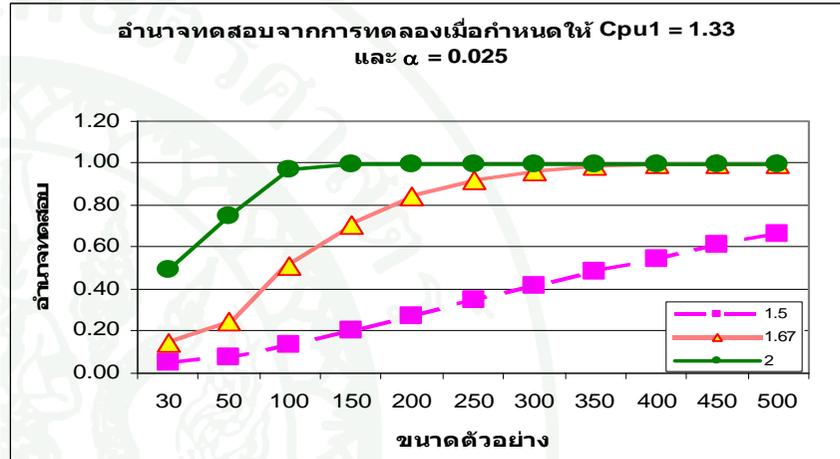
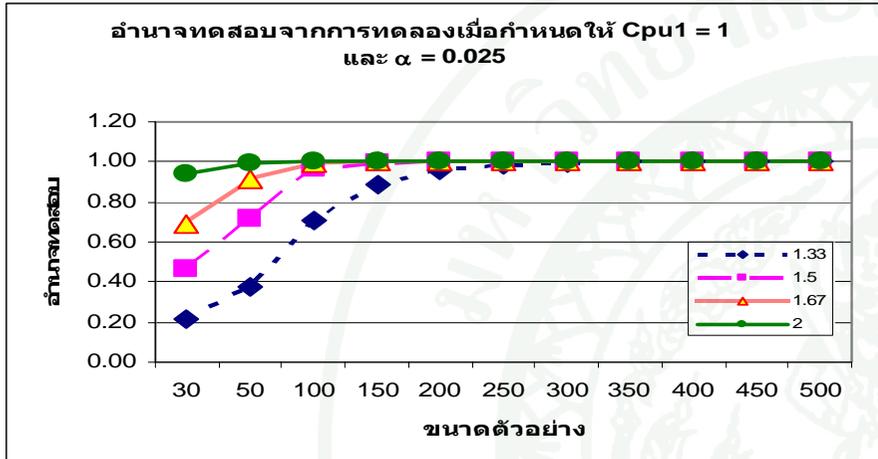
ภาพผนวกที่ ๓3 อำนาจการทดสอบจากการทดลองของวิธีที่พัฒนาขึ้น ที่ระดับ $\alpha = 0.01$ ณ Cpu₁ ระดับต่าง ๆ (กรณีผู้ส่งมอบสามารถ)

ตารางผนวกที่ ๕5 อํานาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบสามราย เมื่อกําหนด ระดับนัยสําคัญ (α) = 0.025

n	$C_{pu1} = 1$							
	$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.33$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.5$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$	
	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.21886	0.21588	0.46658	0.46334	0.69522	0.69256	0.93850	0.93924
50	0.38000	0.37790	0.71668	0.71486	0.91394	0.9132	0.99616	0.99620
100	0.70844	0.70724	0.96418	0.96398	0.99848	0.99848	1	1
150	0.88422	0.88370	0.99666	0.99666	1	1	1	1
200	0.95808	0.95794	0.99976	0.99976	1	1	1	1
250	0.98722	0.98720	1	1	1	1	1	1
300	0.99642	0.99642	1	1	1	1	1	1
350	0.99902	0.99902	1	1	1	1	1	1
400	0.99974	0.99974	1	1	1	1	1	1
450	0.99998	0.99998	1	1	1	1	1	1
500	1	1	1	1	1	1	1	1

ตารางผนวกที่ ค5 (ต่อ)

n	$C_{pu1} = 1.33$				$C_{pu1} = 1.5$				$C_{pu1} = 1.67$			
	$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.5$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$	
	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.05260	0.05174	0.14574	0.14404	0.49620	0.49416	0.04740	0.04672	0.24006	0.23866	0.09700	0.09632
50	0.07382	0.07326	0.25168	0.25076	0.75332	0.75230	0.06242	0.06188	0.42130	0.42030	0.15778	0.15734
100	0.13464	0.13430	0.50854	0.50792	0.97362	0.97354	0.11014	0.10992	0.75508	0.75474	0.33052	0.33002
150	0.20156	0.20120	0.70888	0.70812	0.99838	0.99838	0.16704	0.16684	0.91154	0.91140	0.49362	0.49328
200	0.27516	0.27482	0.84508	0.84492	0.99990	0.99990	0.21728	0.21702	0.97536	0.97532	0.63536	0.63506
250	0.34732	0.34696	0.92228	0.92218	1	1	0.28424	0.28406	0.99346	0.99346	0.74702	0.74682
300	0.42088	0.42052	0.96124	0.96118	1	1	0.33924	0.33906	0.99812	0.99812	0.83204	0.83200
350	0.48722	0.48686	0.98300	0.98300	1	1	0.39974	0.39952	0.99974	0.99974	0.88950	0.88944
400	0.54740	0.54718	0.99280	0.99280	1	1	0.45174	0.45158	0.99990	0.99990	0.93112	0.93108
450	0.61386	0.61376	0.99658	0.99658	1	1	0.50812	0.50794	1	1	0.95692	0.95690
500	0.66442	0.66434	0.99820	0.99820	1	1	0.56068	0.56058	1	1	0.97554	0.97554



ภาพผนวกที่ 4 อำนาจการทดสอบจากการทดลองของวิธีที่พัฒนาขึ้น ที่ระดับ $\alpha = 0.025$ ณ Cpu₁ ระดับต่าง ๆ (กรณีผู้ส่งมอบสามราย)

ตารางผนวกที่ ๑๖ อำนาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบสามราย เมื่อกำหนด ระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05

n	$C_{pu1} = 1$							
	$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.33$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.5$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$	
	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.31088	0.30736	0.57004	0.56698	0.78356	0.78164	0.96420	0.96374
50	0.48476	0.48252	0.80106	0.79984	0.94650	0.94622	0.99856	0.99852
100	0.78902	0.78834	0.97870	0.97860	0.99912	0.99912	1	1
150	0.92860	0.92810	0.99834	0.99834	1	1	1	1
200	0.97770	0.97768	0.99994	0.99994	1	1	1	1
250	0.99380	0.99380	1	1	1	1	1	1
300	0.99842	0.99842	1	1	1	1	1	1
350	0.99950	0.99950	1	1	1	1	1	1
400	0.99994	0.99994	1	1	1	1	1	1
450	0.99994	0.99994	1	1	1	1	1	1
500	1	1	1	1	1	1	1	1

ตารางผนวกที่ ๓6 (ต่อ)

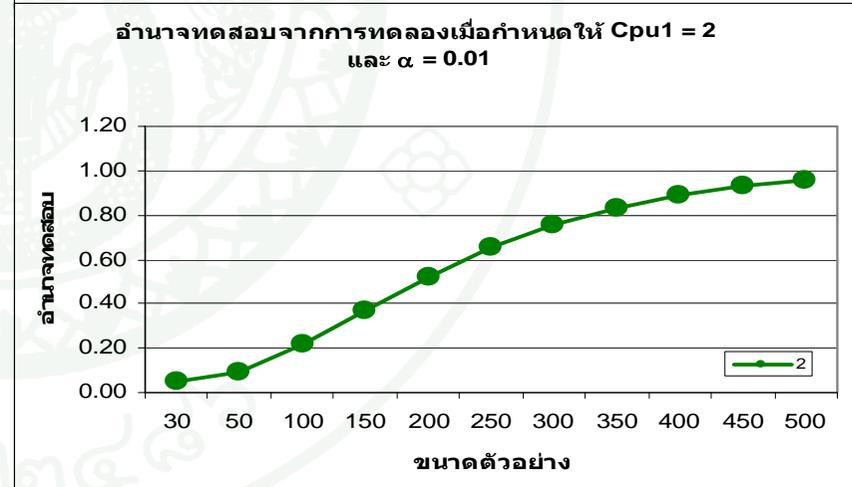
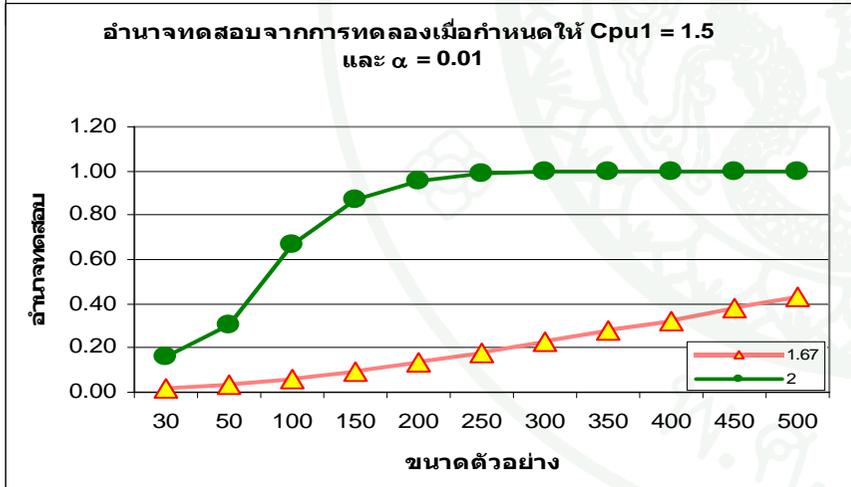
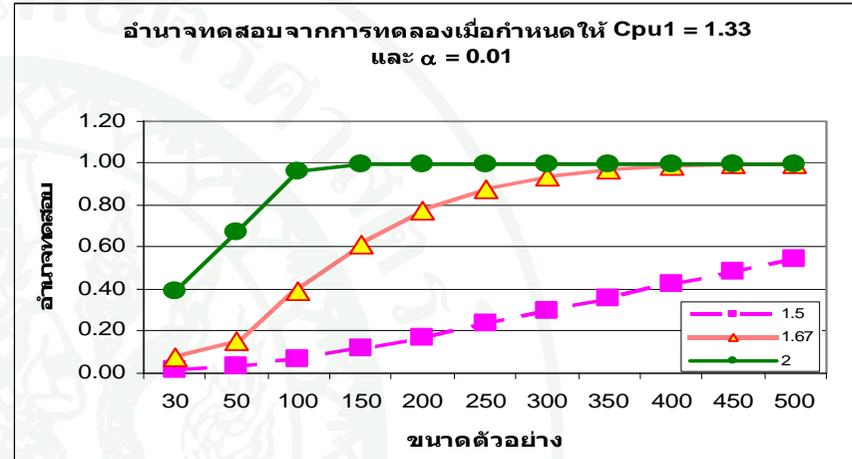
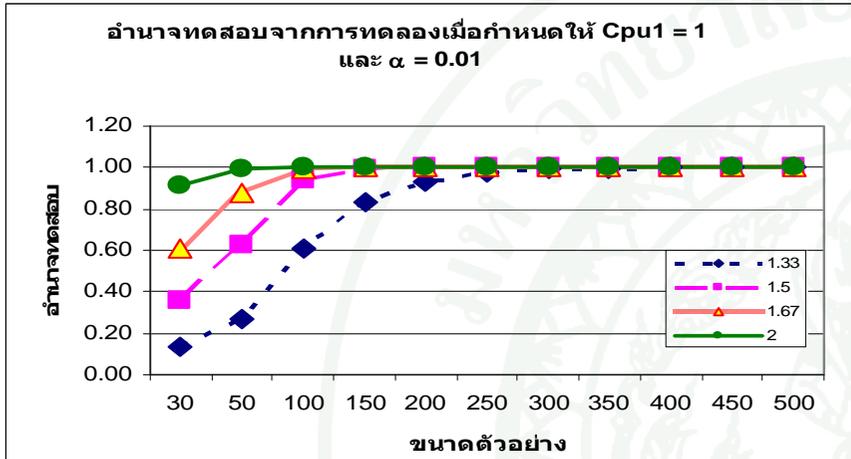
n	$C_{pu1} = 1.33$				$C_{pu1} = 1.5$				$C_{pu1} = 1.67$			
	$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.5$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$	
	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.09742	0.09640	0.22260	0.22068	0.60226	0.60046	0.08512	0.08422	0.33558	0.33394	0.16104	0.15992
50	0.12376	0.12284	0.34350	0.34236	0.82782	0.82730	0.10956	0.10924	0.52684	0.52578	0.23222	0.23138
100	0.20254	0.20198	0.61310	0.61246	0.98556	0.98552	0.17570	0.17528	0.82910	0.82868	0.42596	0.42558
150	0.29124	0.29092	0.79550	0.79530	0.99912	0.99912	0.24156	0.24122	0.94788	0.94784	0.59758	0.59714
200	0.37028	0.36996	0.90014	0.90000	0.99994	0.99994	0.30900	0.30880	0.98578	0.98572	0.73162	0.73140
250	0.45312	0.45286	0.95140	0.95132	1	1	0.37482	0.37464	0.99684	0.99682	0.82640	0.82630
300	0.52992	0.52960	0.97880	0.97878	1	1	0.44538	0.44518	0.99912	0.99912	0.89096	0.89092
350	0.60024	0.60000	0.99208	0.99208	1	1	0.50144	0.50130	0.99988	0.99988	0.93344	0.93344
400	0.65666	0.65648	0.99640	0.99640	1	1	0.56206	0.56198	0.99994	0.99994	0.95918	0.95916
450	0.71210	0.71200	0.99860	0.99860	1	1	0.61432	0.61412	1	1	0.97536	0.97536
500	0.75954	0.75952	0.99950	0.99950	1	1	0.66450	0.66436	1	1	0.98576	0.98576

ตารางผนวกที่ ๗7 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบที่ร้าย เมื่อกำหนด ระดับนัยสำคัญ (α) = 0.01

n	$C_{pu1} = 1$							
	$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.33$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.5$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$	
	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.13782	0.13486	0.36022	0.35630	0.61556	0.61210	0.91368	0.91258
50	0.27292	0.27016	0.63122	0.62902	0.87734	0.87632	0.99330	0.99320
100	0.60628	0.60500	0.94294	0.94256	0.99676	0.99674	1	1
150	0.82986	0.82922	0.99514	0.99512	1	1	1	1
200	0.93592	0.93564	0.99960	0.99960	1	1	1	1
250	0.97856	0.97854	0.99998	0.99998	1	1	1	1
300	0.99376	0.99376	1	1	1	1	1	1
350	0.99806	0.99806	1	1	1	1	1	1
400	0.99946	0.99946	1	1	1	1	1	1
450	0.99980	0.99980	1	1	1	1	1	1
500	0.99998	0.99998	1	1	1	1	1	1

ตารางผนวกที่ ค7 (ต่อ)

n	$C_{pu1} = 1.33$				$C_{pu1} = 1.5$				$C_{pu1} = 1.67$			
	$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.5$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$	
	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.02166	0.02126	0.08162	0.08040	0.39362	0.39132	0.02052	0.02004	0.16028	0.15884	0.04740	0.04692
50	0.03568	0.03522	0.15814	0.15664	0.66994	0.66860	0.03072	0.03034	0.30880	0.30742	0.09008	0.08956
100	0.07138	0.07112	0.39522	0.39416	0.95942	0.95936	0.05708	0.05684	0.66620	0.66560	0.22058	0.22014
150	0.11976	0.11938	0.61164	0.61092	0.99680	0.99680	0.09024	0.09008	0.87254	0.87234	0.37186	0.37140
200	0.17458	0.17416	0.77618	0.77576	0.99984	0.99982	0.13172	0.13134	0.95814	0.95806	0.51982	0.51940
250	0.23636	0.23602	0.87830	0.87818	0.99998	0.99998	0.17744	0.17722	0.98802	0.98800	0.65350	0.65330
300	0.29638	0.29604	0.93798	0.93792	1	1	0.22682	0.22658	0.99674	0.99672	0.75430	0.75406
350	0.36076	0.36042	0.96944	0.96942	1	1	0.27566	0.27540	0.99946	0.99946	0.83268	0.83262
400	0.42368	0.42332	0.98708	0.98706	1	1	0.32420	0.32404	0.99978	0.99978	0.88986	0.88982
450	0.48798	0.48778	0.99418	0.99414	1	1	0.37914	0.37898	0.99992	0.99992	0.93142	0.93136
500	0.54748	0.54728	0.99782	0.99780	1	1	0.43340	0.43332	1	1	0.95834	0.95832



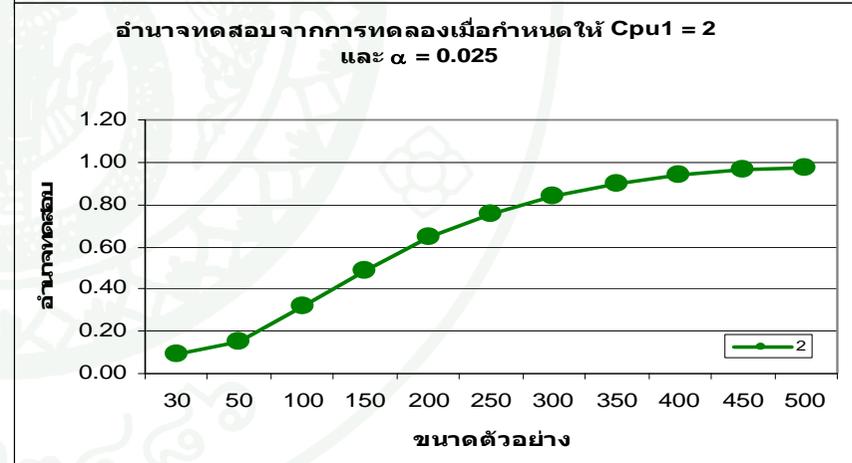
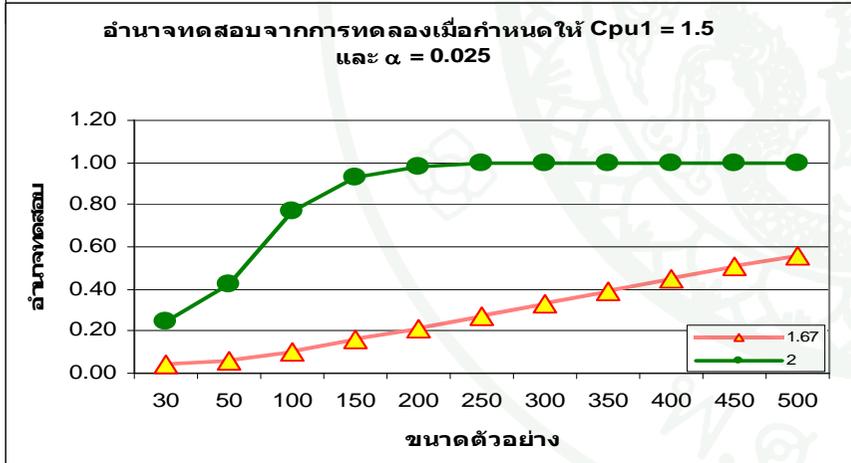
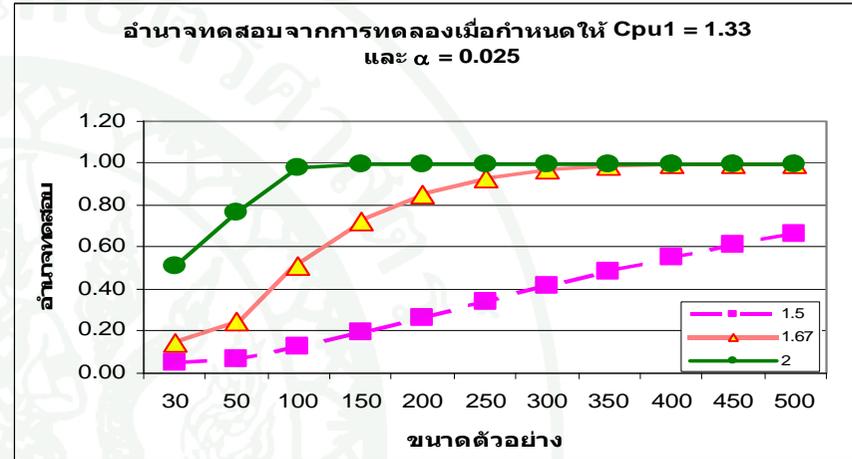
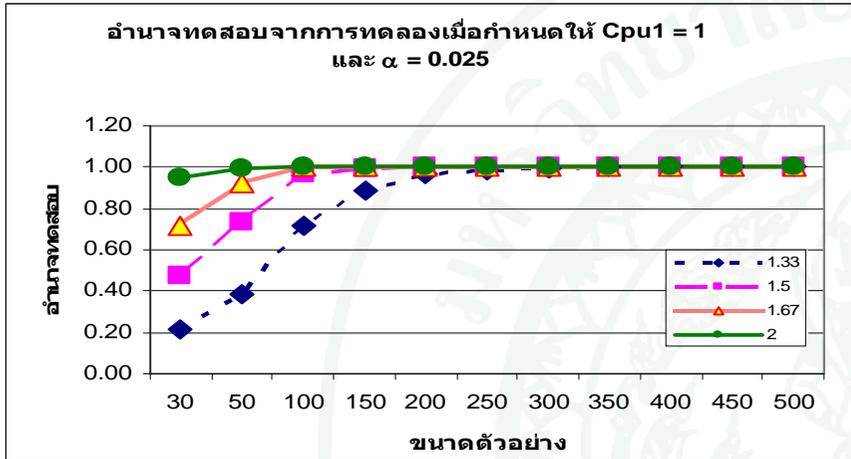
ภาพผนวกที่ ๑5 อำนาจการทดสอบจากการทดลองของวิธีที่พัฒนาขึ้น ที่ระดับ $\alpha = 0.01$ ณ Cpu₁ ระดับต่าง ๆ (กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย)

ตารางผนวกที่ ๑๘ อำนาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย เมื่อกำหนด ระดับนัยสำคัญ (α) = 0.025

n	$C_{pu1} = 1$							
	$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.33$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.5$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$	
	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.22044	0.21728	0.47646	0.47278	0.72288	0.72028	0.94974	0.94928
50	0.38400	0.38112	0.73368	0.73170	0.92504	0.92454	0.99740	0.99740
100	0.72022	0.71906	0.96938	0.96926	0.99858	0.99858	1	1
150	0.89060	0.89020	0.99800	0.99800	0.99998	0.99998	1	1
200	0.96418	0.96396	0.99990	0.99990	1	1	1	1
250	0.98944	0.98944	0.99998	0.99998	1	1	1	1
300	0.99734	0.99734	1	1	1	1	1	1
350	0.99916	0.99916	1	1	1	1	1	1
400	0.99984	0.99984	1	1	1	1	1	1
450	0.99988	0.99988	1	1	1	1	1	1
500	1	1	1	1	1	1	1	1

ตารางผนวกที่ ค8 (ต่อ)

n	$C_{pu1} = 1.33$				$C_{pu1} = 1.5$				$C_{pu1} = 1.67$			
	$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.5$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$	
	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.05132	0.05068	0.14416	0.14244	0.51652	0.51398	0.04538	0.04482	0.24834	0.24676	0.09592	0.09516
50	0.07192	0.07112	0.24884	0.24716	0.76780	0.76678	0.06190	0.06132	0.42544	0.42402	0.15376	0.15310
100	0.12780	0.12728	0.51450	0.51382	0.97726	0.97714	0.10500	0.10464	0.76676	0.76626	0.32176	0.32136
150	0.19520	0.19480	0.72108	0.72038	0.99856	0.99856	0.15950	0.15934	0.92602	0.92586	0.49104	0.49050
200	0.26622	0.26588	0.85316	0.85292	0.99990	0.99990	0.21248	0.21226	0.97868	0.97866	0.64288	0.64242
250	0.34320	0.34298	0.92916	0.92910	1	1	0.27308	0.27284	0.99470	0.99470	0.75330	0.75314
300	0.41588	0.41546	0.96708	0.96708	1	1	0.33168	0.33136	0.99894	0.99894	0.84110	0.84096
350	0.48188	0.48146	0.98552	0.98552	1	1	0.38994	0.38970	0.99978	0.99978	0.89822	0.89814
400	0.55142	0.55122	0.99458	0.99458	1	1	0.44824	0.44818	0.99994	0.99994	0.93792	0.93788
450	0.61022	0.61002	0.99774	0.99774	1	1	0.50396	0.50384	1	1	0.96196	0.96196
500	0.66698	0.66678	0.99896	0.99896	1	1	0.55862	0.55838	1	1	0.97712	0.97712



ภาพผนวกที่ ๑๖ อำนาจการทดสอบจากการทดลองของวิธีที่พัฒนาขึ้น ที่ระดับ $\alpha = 0.025$ ณ Cpu₁ ระดับต่าง ๆ (กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย)

ตารางผนวกที่ ๙ อำนาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบสี่ราย เมื่อกำหนด ระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05

n	$C_{pu1} = 1$							
	$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.33$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.5$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$	
	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.30924	0.30530	0.57740	0.57444	0.79814	0.79600	0.96886	0.96854
50	0.48818	0.48602	0.80608	0.80472	0.95214	0.95186	0.99838	0.99836
100	0.79478	0.79390	0.98208	0.98198	0.99968	0.99968	1	1
150	0.93238	0.93212	0.99918	0.99918	1	1	1	1
200	0.98034	0.98024	0.99998	0.99998	1	1	1	1
250	0.99522	0.99522	0.99998	0.99998	1	1	1	1
300	0.99860	0.99860	1	1	1	1	1	1
350	0.99966	0.99966	1	1	1	1	1	1
400	0.99992	0.99992	1	1	1	1	1	1
450	0.99998	0.99998	1	1	1	1	1	1
500	0.99998	0.99998	1	1	1	1	1	1

ตารางผนวกที่ ๙ (ต่อ)

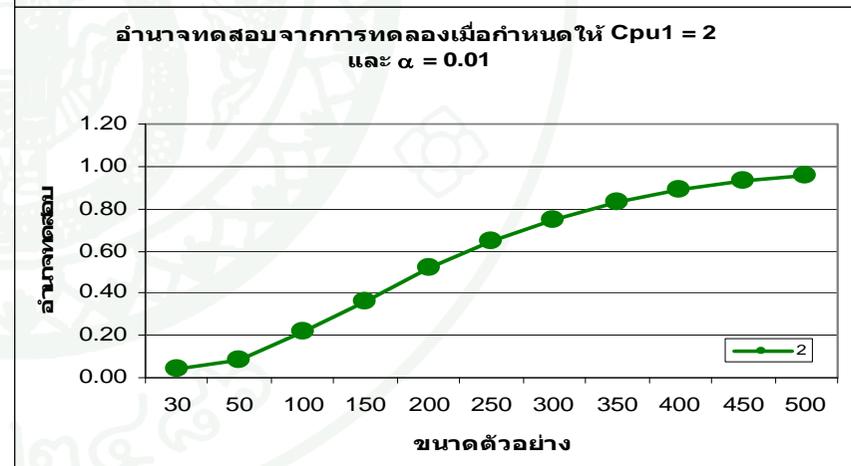
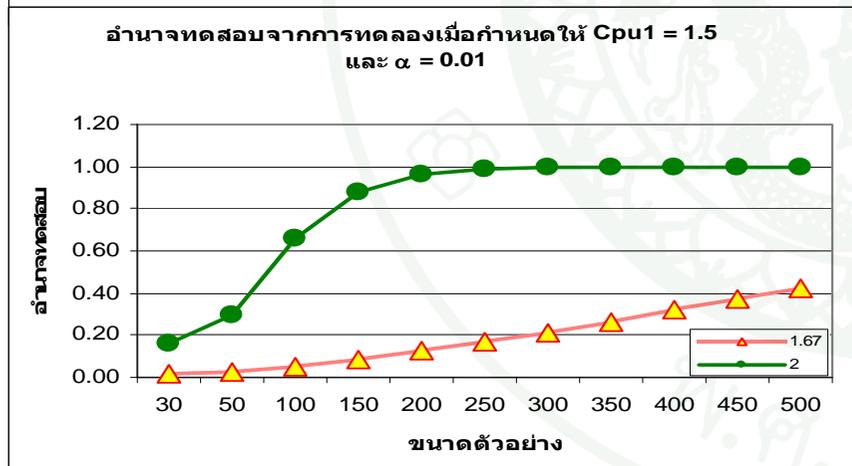
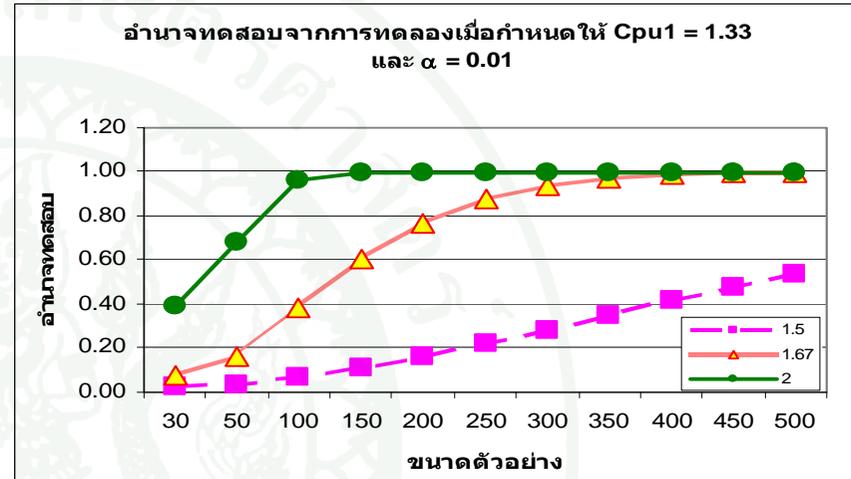
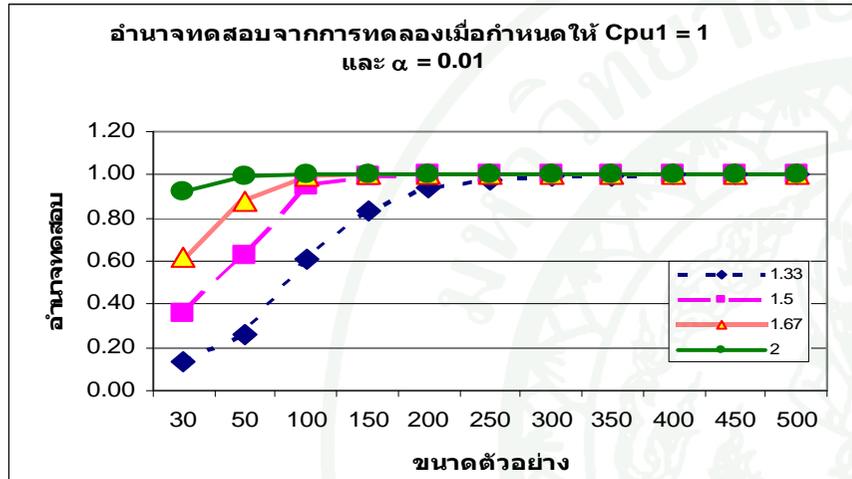
n	$C_{pu1} = 1.33$				$C_{pu1} = 1.5$				$C_{pu1} = 1.67$			
	$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.5$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$	
	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.09004	0.08902	0.21698	0.21538	0.60804	0.60604	0.08118	0.08010	0.34096	0.33888	0.15338	0.15192
50	0.11840	0.11734	0.34190	0.34002	0.83440	0.83360	0.10690	0.10636	0.52642	0.52508	0.22770	0.22674
100	0.19992	0.19932	0.61542	0.61456	0.98676	0.98664	0.16608	0.16558	0.83584	0.83540	0.42392	0.42338
150	0.27628	0.27564	0.79956	0.79912	0.99934	0.99934	0.23370	0.23338	0.95414	0.95410	0.59744	0.59720
200	0.36626	0.36602	0.90384	0.90374	0.99998	0.99998	0.30158	0.30122	0.98906	0.98902	0.73346	0.73326
250	0.44408	0.44360	0.95510	0.95508	1	1	0.36874	0.36840	0.99728	0.99728	0.82948	0.82938
300	0.52262	0.52234	0.98154	0.98152	1	1	0.43134	0.43108	0.99946	0.99946	0.89442	0.89428
350	0.58934	0.58928	0.99334	0.99334	1	1	0.49568	0.49558	0.99994	0.99994	0.93724	0.93718
400	0.65630	0.65620	0.99700	0.99700	1	1	0.55902	0.55876	1	1	0.96364	0.96360
450	0.70792	0.70766	0.99892	0.99892	1	1	0.61202	0.61178	1	1	0.97846	0.97844
500	0.75788	0.75780	0.99974	0.99974	1	1	0.66494	0.66476	1	1	0.98842	0.98842

ตารางผนวกที่ 10 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบห้าราย เมื่อกำหนด ระดับนัยสำคัญ (α) = 0.01

n	$C_{pu1} = 1$							
	$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.33$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.5$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$	
	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.13762	0.13430	0.36058	0.35640	0.62302	0.61866	0.92400	0.92280
50	0.26576	0.26316	0.63262	0.63010	0.88286	0.88168	0.99506	0.99498
100	0.60658	0.60522	0.94614	0.94586	0.99716	0.99712	1	1
150	0.83132	0.83064	0.99496	0.99488	1	1	1	1
200	0.93608	0.93586	0.99964	0.99964	1	1	1	1
250	0.97908	0.97900	0.99998	0.99998	1	1	1	1
300	0.99384	0.99382	1	1	1	1	1	1
350	0.99796	0.99796	1	1	1	1	1	1
400	0.99964	0.99964	1	1	1	1	1	1
450	0.99986	0.99986	1	1	1	1	1	1
500	0.99998	0.99998	1	1	1	1	1	1

ตารางผนวกที่ 10 (ต่อ)

n	$C_{pu1} = 1.33$				$C_{pu1} = 1.5$				$C_{pu1} = 1.67$			
	$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.5$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$	
	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.02178	0.02128	0.08170	0.08036	0.39616	0.39318	0.02018	0.01964	0.15828	0.15666	0.04672	0.04598
50	0.03298	0.03242	0.15958	0.15848	0.67820	0.67668	0.02954	0.02918	0.30108	0.29962	0.08740	0.08688
100	0.06816	0.06772	0.38512	0.38384	0.96102	0.96078	0.05516	0.05490	0.66308	0.66236	0.21474	0.21430
150	0.11186	0.11150	0.60644	0.60584	0.99730	0.99728	0.08478	0.08448	0.87670	0.87648	0.36276	0.36240
200	0.16512	0.16456	0.76918	0.76876	0.99982	0.99982	0.12312	0.12294	0.96062	0.96056	0.51824	0.51794
250	0.22398	0.22358	0.87804	0.87786	1	1	0.16822	0.16796	0.98956	0.98956	0.64538	0.64516
300	0.28518	0.28492	0.93958	0.93956	1	1	0.21532	0.21510	0.99774	0.99772	0.75110	0.75096
350	0.35328	0.35296	0.97056	0.97052	1	1	0.26448	0.26420	0.99934	0.99934	0.83292	0.83278
400	0.41554	0.41532	0.98720	0.98716	1	1	0.31728	0.31700	0.99986	0.99986	0.88972	0.88966
450	0.47566	0.47538	0.99438	0.99438	1	1	0.36908	0.36884	0.99998	0.99998	0.93236	0.93236
500	0.53670	0.53656	0.99770	0.99770	1	1	0.42148	0.42130	1	1	0.95718	0.95716



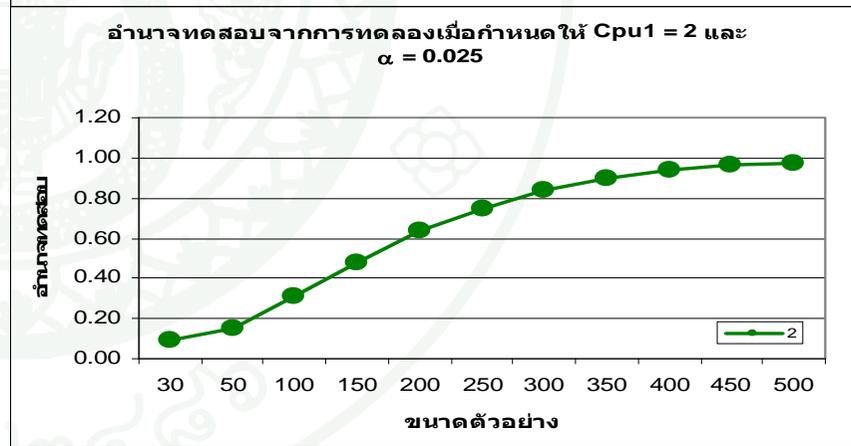
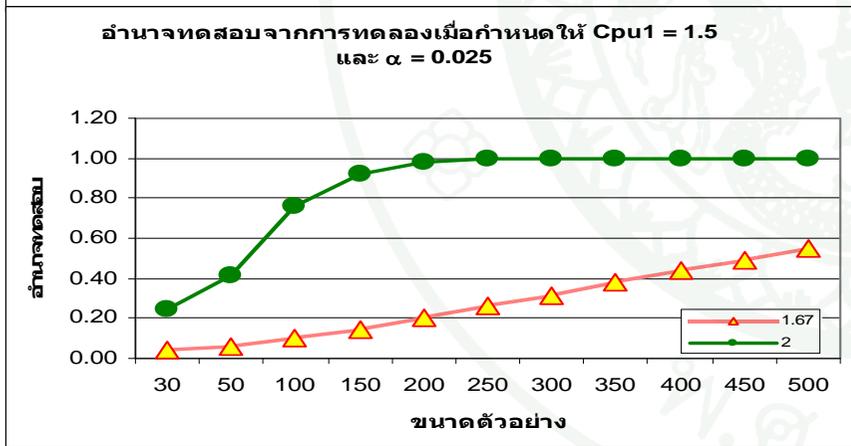
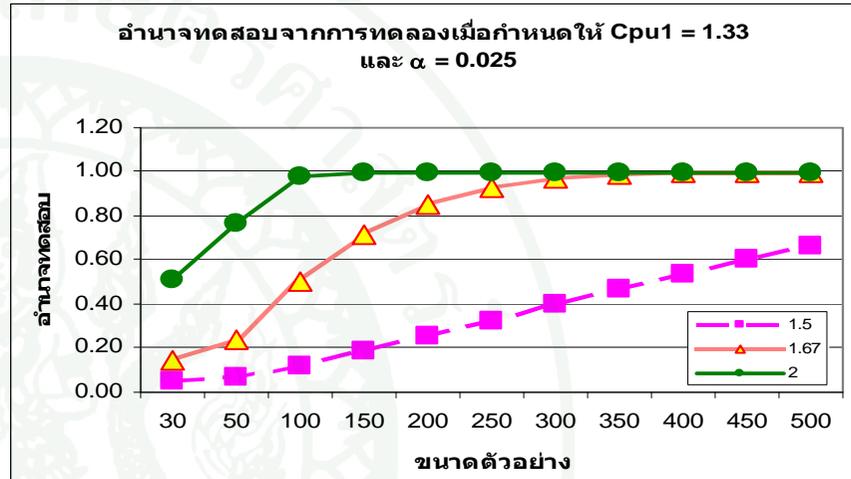
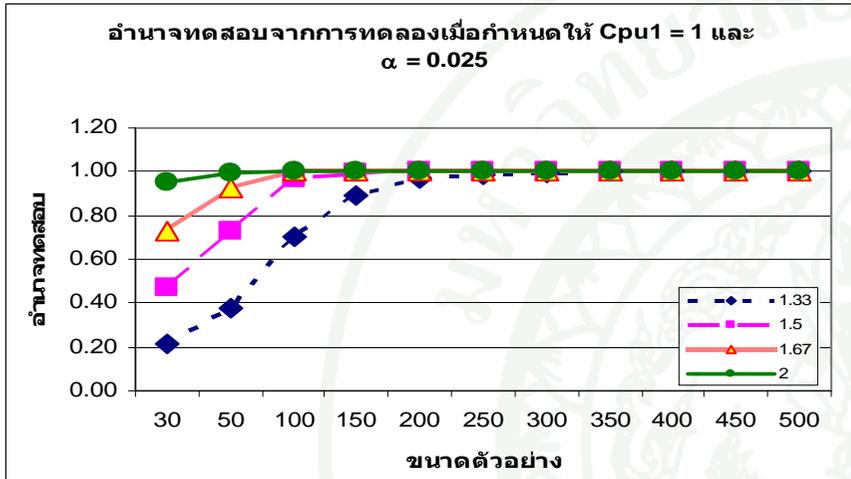
ภาพผนวกที่ ๗ อำนาจการทดสอบจากการทดลองของวิธีที่พัฒนาขึ้น ที่ระดับ $\alpha = 0.01$ ณ Cpu₁ ระดับต่าง ๆ (กรณีผู้ส่งมอบห้ำราย)

ตารางผนวกที่ 11 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบหาราย เมื่อกำหนด ระดับนัยสำคัญ (α) = 0.025

n	$C_{pu1} = 1$							
	$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.33$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.5$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$	
	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.21878	0.21508	0.47646	0.47250	0.72742	0.72434	0.95304	0.95248
50	0.37788	0.37494	0.73180	0.72996	0.92736	0.92676	0.99776	0.99774
100	0.70668	0.70546	0.97020	0.97002	0.99882	0.99880	1	1
150	0.89134	0.89096	0.99770	0.99770	0.99998	0.99998	1	1
200	0.96584	0.96574	0.99984	0.99984	1	1	1	1
250	0.98960	0.98960	1	1	1	1	1	1
300	0.99744	0.99742	1	1	1	1	1	1
350	0.99940	0.99940	1	1	1	1	1	1
400	0.99982	0.99982	1	1	1	1	1	1
450	0.99994	0.99994	1	1	1	1	1	1
500	0.99994	0.99994	1	1	1	1	1	1

ตารางผนวกที่ 11 (ต่อ)

n	$C_{pu1} = 1.33$				$C_{pu1} = 1.5$				$C_{pu1} = 1.67$			
	$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.5$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$	
	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.05034	0.04910	0.14420	0.14252	0.51332	0.51082	0.04472	0.04368	0.24290	0.24094	0.09150	0.09036
50	0.06816	0.06730	0.24372	0.24204	0.76862	0.76758	0.05940	0.05864	0.41972	0.41826	0.15018	0.14928
100	0.12196	0.12128	0.50728	0.50618	0.97912	0.97906	0.10132	0.10096	0.76440	0.76386	0.31466	0.31408
150	0.18658	0.18604	0.71168	0.71128	0.99886	0.99886	0.14688	0.14654	0.92394	0.92378	0.47658	0.47634
200	0.25308	0.25264	0.85268	0.85252	0.99994	0.99994	0.20024	0.19996	0.97906	0.97898	0.63434	0.63394
250	0.32686	0.32658	0.92818	0.92812	1	1	0.26090	0.26064	0.99422	0.99422	0.75014	0.75002
300	0.40058	0.40032	0.96700	0.96698	1	1	0.31216	0.31202	0.99870	0.99870	0.83642	0.83630
350	0.47160	0.47118	0.98630	0.98630	1	1	0.37878	0.37860	0.99978	0.99978	0.89542	0.89534
400	0.53882	0.53866	0.99378	0.99378	1	1	0.43716	0.43710	0.99996	0.99996	0.93820	0.93818
450	0.60374	0.60352	0.99778	0.99778	1	1	0.49168	0.49160	1	1	0.96192	0.96190
500	0.66080	0.66040	0.99914	0.99914	1	1	0.54644	0.54634	1	1	0.97734	0.97734



ภาพผนวกที่ ๑๘ อำนาจการทดสอบจากการทดลองของวิธีที่พัฒนาขึ้น ที่ระดับ $\alpha = 0.025$ ณ Cpu₁ ระดับต่าง ๆ (กรณีผู้ส่งมอบห้าราย)

ตารางผนวกที่ 12 อำนาจการทดสอบจากการทดลอง กรณีผู้ส่งมอบห้าราย เมื่อกำหนด ระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05

n	$C_{pu1} = 1$							
	$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.33$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.5$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$	
	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.30082	0.29688	0.57648	0.57248	0.79552	0.79312	0.97032	0.96994
50	0.47864	0.47594	0.81076	0.80924	0.95450	0.95400	0.99850	0.99848
100	0.78852	0.78772	0.98358	0.98342	0.99960	0.99960	1	1
150	0.93108	0.93078	0.99914	0.99914	0.99998	0.99998	1	1
200	0.98022	0.98016	0.99994	0.99994	1	1	1	1
250	0.99484	0.99482	1	1	1	1	1	1
300	0.99886	0.99886	1	1	1	1	1	1
350	0.99962	0.99962	1	1	1	1	1	1
400	0.99992	0.99992	1	1	1	1	1	1
450	0.99998	0.99998	1	1	1	1	1	1
500	1	1	1	1	1	1	1	1

ตารางผนวกที่ 12 (ต่อ)

n	$C_{pu1} = 1.33$				$C_{pu1} = 1.5$				$C_{pu1} = 1.67$			
	$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.5$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 1.67$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$		$C_{pu2} = C_{pu3} = 2$	
	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New	Hubele	New
30	0.08896	0.08756	0.20766	0.20538	0.60896	0.61096	0.07936	0.08050	0.33288	0.33112	0.14758	0.14638
50	0.11518	0.11414	0.33282	0.33138	0.83372	0.83446	0.10224	0.10286	0.52210	0.52080	0.22412	0.22324
100	0.18700	0.18626	0.60650	0.60584	0.98742	0.98748	0.15908	0.15956	0.83254	0.83214	0.41252	0.41198
150	0.26836	0.26784	0.79260	0.79214	0.99932	0.99932	0.22432	0.22472	0.95314	0.95310	0.58868	0.58814
200	0.35118	0.35084	0.90080	0.90068	0.99996	0.99996	0.29246	0.29286	0.98840	0.98836	0.72578	0.72566
250	0.42796	0.42766	0.95730	0.95730	1	1	0.35240	0.35284	0.99754	0.99750	0.82322	0.82308
300	0.50620	0.50586	0.98242	0.98240	1	1	0.41908	0.41936	0.99952	0.99952	0.88904	0.88900
350	0.57942	0.57900	0.99304	0.99304	1	1	0.48462	0.48496	0.99992	0.99992	0.93508	0.93508
400	0.64144	0.64134	0.99754	0.99754	1	1	0.54172	0.54184	1	1	0.96152	0.96150
450	0.69830	0.69812	0.99894	0.99894	1	1	0.59870	0.59888	1	1	0.97846	0.97846
500	0.74326	0.74312	0.99978	0.99978	1	1	0.64638	0.64652	1	1	0.98834	0.98832

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางศิริประภา มโนมัยย์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 4 สิงหาคม 2515
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (สถิติประยุกต์) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า- พระนครเหนือ บธ.บ. (การเงินและการธนาคาร) ม. รามคำแหง วท.ม. (สถิติประยุกต์) ม. ศิลปากร
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ภาควิชาสถิติประยุกต์ ม. เทคโนโลยีพระจอมเกล้า- พระนครเหนือ
E – Mail	srm@kmutnb.ac.th
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนสนับสนุนคุณภาพงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา เพื่อการตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติและนานาชาติ จาก บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2551)