



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

ปริญญา

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

สาขา

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาอัลกอริทึมจัดลำดับงานแบบทรัพยากรพอเพียง

The Development of a Resources Sufficiency based Scheduling Algorithm

นามผู้วิจัย นายพีระพัชร วราเลิศสกุล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภูงศ์ อุทโยภาส, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อานนท์ รุ่งสว่าง, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เจมะทัต วิภาตะวานิช, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาอัลกอริทึมจัดลำดับงานแบบทรัพยากรพอเพียง

The Development of a Resources Sufficiency based Scheduling Algorithm

โดย

นายพีระพัชร วราเลิศกุล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

พ.ศ. 2552

พีระพัชร วราเลิศกุล 2552: การพัฒนาอัลกอริทึมจัดลำดับงานแบบทรัพยากรพอเพียง
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ภูซังค์ อุทโยภาส, Ph.D. 101 หน้า

ในปัจจุบันระบบคลัสเตอร์ขนาดใหญ่ถูกนำมาใช้รองรับการคำนวณจำนวนมากทาง
วิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ อย่างไรก็ตาม ระบบคลัสเตอร์ขนาดใหญ่มีความต้องการพลังงาน
ในการทำงานสูงทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการจำนวนมาก

วิทยานิพนธ์นี้เสนออัลกอริทึมการจัดลำดับงานแบบพอเพียง โดยมีจุดประสงค์ที่จะลดการ
ใช้พลังงานในระบบคลัสเตอร์ขนาดใหญ่ที่มีประสิทธิภาพสูง โดยใช้เทคนิคของการเปิดใช้ระบบ
แค่บางส่วนตามความต้องการใช้งานแบบพลวัตของโปรแกรมประยุกต์ในขณะนั้น โดยรับประกัน
การทำงานไม่ให้ล่าช้ากว่าค่าที่ผู้ใช้งานในระบบยอมรับได้ ซึ่งทำให้เกิดการใช้งานทรัพยากร
คำนวณที่มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงาน นอกจากนี้ วิทยานิพนธ์ยังได้ศึกษาผลกระทบเมื่อ
การใช้งานระบบประกอบด้วยงานที่สามารถล่าช้าได้และงานที่มีข้อตกลงการให้บริการ (Service
Level Agreement) ซึ่งต้องทำงานในทันที

จากผลการทดลองโดยการจำลองแบบพบว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถประหยัดพลังงาน
ได้สูงสุดถึง 29% ในบางกรณี และยังสามารถประหยัดพลังงานได้ระดับหนึ่งเมื่อมีการนำงานที่มี
ข้อตกลงการให้บริการ (Service Level Agreement) มาใช้งานในระบบ อัลกอริทึมนี้สามารถ
นำไปใช้ในการออกแบบระบบจัดลำดับงานในคลัสเตอร์ขนาดใหญ่ให้สามารถใช้งานระบบให้มี
ประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานได้

Peerapach Varalertsakul 2009: The Development of a Resources Sufficiency based Scheduling Algorithm. Master of Engineering (Computer Engineering), Major Field: Computer Engineering, Department of Computer Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Putchong Uthayopas, Ph.D. 101 pages.

Currently, the large scale cluster systems have been employed to service many important science and engineering applications. However, large scale clusters usually consume a lot of power which is the cause of the high operation cost.

This thesis proposes an algorithm called Resources Sufficiency based Scheduling Algorithm. The objective is to reduce the power consumption in high performance large scale cluster. The approach is to turn on only a part of the system based on the dynamic demand of the applications. Moreover, the job delay is kept to a certain acceptable level agreed upon by users. This approach enables an energy efficient operation of the systems. In addition, this thesis is also study a behavior of the system when jobs with service level agreement (jobs that can not be delayed) are supported.

The results from the simulation clearly show that the proposed algorithm helps reduce the power consumption as much as 29% in some cases. In addition, the algorithm is still help reduce the power consumption in the presence of jobs with service level agreement. Finally, this algorithm can be used to design a job scheduling system for large scale clusters that can utilize the computing resources effectively.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ภูชงค์ อุทโยภาส ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ สำหรับความรู้ทางด้านวิชาการ ตลอดจนคำแนะนำในการดำเนินชีวิต และขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ทุกท่าน รวมถึงพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ในศูนย์วิจัยคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูงและเครือข่ายคอมพิวเตอร์ สำหรับการสั่งสอนและความช่วยเหลือต่างๆ ซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้ สามารถดำเนินการได้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญและพิเศษที่สุดสำหรับผู้วิจัย พ่อ, แม่, และพี่สาวทั้งสองคน ครอบครัวซึ่งเป็นที่ยึดเหนี่ยวของผู้วิจัย สำหรับความรักและความห่วงใย ซึ่งเป็นแรงผลักดันและกำลังใจอย่างมหาศาล ในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ โดยผู้วิจัยขอมอบความดีหรือประโยชน์อันใดก็ตามที่เกิดขึ้นเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ให้กับครอบครัวซึ่งเป็นที่ยึดเหนี่ยวของผู้วิจัย

ผู้วิจัยหวังว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้ สามารถสร้างประโยชน์ให้กับผู้ที่สนใจ ซึ่งถ้าหากมีข้อผิดพลาดประการใด ต้องขออภัยมา ณ ที่นี้

พีระพัชร วราเลิศกุล

สิงหาคม 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญภาพ	(2)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	10
อุปกรณ์	10
วิธีการ	10
ผลการทดลองและวิจารณ์	26
ผลการทดลอง	26
วิจารณ์	96
สรุป	97
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	98
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	101

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างของคลัสเตอร์	4
2	แบบจำลองการการจัดลำดับงาน	5
3	โครงสร้างของระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูง	10
4	โครงที่ของระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูงในวิทยานิพนธ์	13
5	สถาปัตยกรรมของระบบจัดลำดับงานแบบพอเพียง	14
6	ขั้นตอนการทำงานของระบบจัดการทรัพยากร	15
7	ขั้นตอนการทำงานของจัดการเมื่อมีงานใหม่เข้าสู่ระบบ	18
8	ขั้นตอนเมื่อมีงานเสร็จสิ้นการทำงาน	19
9	ขั้นตอนการทำงานของสถานะของพาร์ทิชัน	20
10	การสร้างข้อมูลจำนวนเครื่อง	22
11	การสร้างข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงาน	23
12	การสร้างข้อมูลเวลาที่เริ่มงาน	24
13	การสร้างข้อมูลการรองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ	25
14	การประหยัดพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 1 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1	27
15	การประหยัดพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 2 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1	28
16	การประหยัดพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 3 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1	29
17	การประหยัดพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 4 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1	30
18	การประหยัดพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 5 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1	31
19	การประหยัดพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 6 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1	32

สารบัญภาพ (ต่อ)

[illegible]

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
33	การประหยัดพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 10 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2	46
34	การประหยัดพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 1 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3	47
35	การประหยัดพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 2 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3	48
36	การประหยัดพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 3 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3	49
37	การประหยัดพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 4 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3	50
38	การประหยัดพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 5 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3	51
39	การประหยัดพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 6 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3	52
40	การประหยัดพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 7 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3	53
41	การประหยัดพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 8 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3	54
42	การประหยัดพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 9 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3	55
43	การประหยัดพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 10 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3	56
44	การประหยัดพลังงานของระบบเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ไม่มีการกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

[illegible]

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
54	การประหยัดพลังงานของระบบเมื่อกำหนดเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2	68
55	การประหยัดพลังงานของระบบเมื่อกำหนดเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2	69
56	การประหยัดพลังงานของระบบเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ไม่มีการกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3	70
57	การประหยัดพลังงานของระบบเมื่อกำหนดเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3	71
58	การประหยัดพลังงานของระบบเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3	72
59	การประหยัดพลังงานของระบบเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3	73
60	การประหยัดพลังงานของระบบเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3	74
61	การประหยัดพลังงานของระบบเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3	75
62	การประหยัดพลังงานงานของระบบเมื่อไม่มีการรองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1	77

สารบัญภาพ (ต่อ)

[illegible]

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
72	การประหยัดพลังงานงานของระบบเมื่อมีจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการจำนวน 80 เปอร์เซ็นต์ของงานทั้งหมด(เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2	87
73	การประหยัดพลังงานงานของระบบเมื่อมีจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการจำนวน 100 เปอร์เซ็นต์ของงานทั้งหมด(เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2	88
74	การประหยัดพลังงานงานของระบบเมื่อไม่มีการรองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3	89
75	การประหยัดพลังงานงานของระบบเมื่อมีจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการจำนวน 20 เปอร์เซ็นต์ของงานทั้งหมด(เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3	90
76	การประหยัดพลังงานงานของระบบเมื่อมีจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการจำนวน 40 เปอร์เซ็นต์ของงานทั้งหมด(เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3	91
77	การประหยัดพลังงานงานของระบบเมื่อมีจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการจำนวน 60 เปอร์เซ็นต์ของงานทั้งหมด(เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3	92
78	การประหยัดพลังงานงานของระบบเมื่อมีจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการจำนวน 80 เปอร์เซ็นต์ของงานทั้งหมด(เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3	93
79	การประหยัดพลังงานงานของระบบเมื่อมีจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการจำนวน 100 เปอร์เซ็นต์ของงานทั้งหมด(เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3	94

การพัฒนาอัลกอริทึมจัดลำดับงานแบบทรัพยากรพอเพียง

The Development of a Resources Sufficiency based Scheduling Algorithm

คำนำ

ปัจจุบันระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูง (High Performance Computing Cluster) ได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้นในการคำนวณผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ที่มีความสลับซับซ้อนสูง ซึ่งความสามารถของคอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูงเครื่องหนึ่งไม่สามารถทำได้เนื่องจากไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการทำงาน ตัวอย่างการใช้งานเช่น งานทางด้านชีวภาพ งานทางด้านฟิสิกส์ และ งานทางด้านคณิตศาสตร์ เป็นต้น และในปัจจุบันได้มีการพัฒนาโปรแกรมเพื่อช่วยในการติดตั้งและจัดการระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูงนี้หลากหลายโปรแกรมด้วยกัน เช่น ร็อกคลัสเตอร์ (Rocks Clusters), ออสการ์ (OSCAR) เป็นต้น ลักษณะโครงสร้างและการทำงานของระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูงนี้จะมีการทำงานแบบศูนย์รวมซึ่งจะมีเครื่องหนึ่งเป็นเครื่องหลักที่คอยจัดการและตรวจสอบการทำงานของเครื่องอื่นๆ ซึ่งเรียกเครื่องนี้ว่า เครื่องจัดการ (Management node), เครื่องที่ทำหน้าที่ในการคำนวณงานต่างๆ เรียกว่า เครื่องคำนวณ (Compute node) และภายในระบบมีการเชื่อมต่อกันด้วยระบบเครือข่ายความเร็วสูงระดับกิกะบิตต่อวินาที (Gigabit Ethernet) หรือมากกว่า ในการทำงานระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูงจะมีการใช้พลังงานเป็นจำนวนมากโดยปัจจัยการใช้พลังงานจะแปรผันโดยตรงกับจำนวนเครื่องในระบบ กล่าวคือถ้ายังมีจำนวนเครื่องในระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูงมาก ก็จะใช้พลังงานมากด้วยเช่นกัน ตัวอย่างของระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูงที่มีการใช้พลังงานสูง เช่น ระบบเอิร์ธซิมูเลชัน (Earth Simulation) (Feng and Kirk Cameron, 2007) มีการใช้พลังงานสูงสุดประมาณ 7680 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง (Kilowatt/Hour) และถ้านำมาเทียบเป็นค่าใช้จ่ายต่อชั่วโมงโดยให้ค่าใช้จ่ายพลังงาน 1 กิโลวัตต์ต่อ 0.1 เหรียญสหรัฐ (Armbrust *et al.*, 2009) แล้วจะมีการค่าใช้จ่ายต่อชั่วโมงอยู่ที่ 768 เหรียญสหรัฐ ซึ่งค่าใช้จ่ายทางด้านการปฏิบัติงานต่อชั่วโมงมีมูลค่าค่อนข้างสูง ปัจจุบันมีงานวิจัยทางด้านการประหยัดพลังงานของระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูงมีผู้นำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาด้วยกันหลากหลายวิธีด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นวิธีการปรับลดการใช้พลังงานของหน่วยประมวลผลกลางในกรณีที่หน่วยประมวลผลกลางไม่ถูกใช้งานหรือหาจุดที่เหมาะสมที่สุดให้หน่วยประมวลผลกลางใช้พลังงานที่เหมาะสมในการประมวลผลในแต่ละงาน การปรับลดความเร็วแกนหมุนจานของจานบันทึกแบบแข็ง (Hard disk) วิธีการเปิดเครื่องเมื่อมีการเข้ามาเกินกว่าเครื่องที่มีอยู่ในระบบจะ

ทำงานได้ วิธีการควบคุมการเปิดปิดเครื่องในระบบด้วยการดูภาระการทำงาน และการใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เสมือนมาช่วยในการประหยัดพลังงานด้วยวิธีการต่างๆ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอวิธีการลดการใช้พลังงานของระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูงโดยมุ่งเน้นไปที่การทำงานทางด้านการควบคุมและจัดลำดับของงานในระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูง ด้วยวิธีการจัดแบ่งกลุ่มของเครื่องคำนวณให้เป็นกลุ่ม และให้มีการควบคุมการเปิดปิดกลุ่มของเครื่องคำนวณให้สอดคล้องกับความต้องการในเวลาหนึ่งๆ และยังมีการใช้การจัดการคุณภาพบริการซึ่งเป็นวิธีการที่จะช่วยให้ระบบที่ได้ออกแบบมา มีการประหยัดพลังงานที่ดีขึ้นแต่เมื่อมีการใช้งานการจัดการคุณภาพบริการไปแล้วจะทำให้งานนั้นๆ ต้องเสียเวลาในการคำนวณที่เพิ่มขึ้นดังนั้นจึงมีการรองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ หรือเอสแอลเอ (SLA) ขึ้นมาเพื่อให้งานส่วนหนึ่งที่ต้องการทรัพยากรและเวลาในการคำนวณที่รวดเร็วจะไม่มีการใช้การจัดการคุณภาพบริการเข้ามาร่วมด้วยทำให้งานที่ต้องการเวลาคำนวณที่รวดเร็วนี้ทำงานได้เสร็จตามเวลาจริง

วัตถุประสงค์

วิทยานิพนธ์นี้มีเป้าหมายเพื่อที่จะศึกษาและพัฒนาวิธีการจัดการการใช้พลังงานของระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูงให้สามารถจัดการการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพ โดยออกแบบระบบให้สามารถจัดการและควบคุมการประหยัดพลังงานด้วยวิธีการจัดลำดับงานและควบคุมการเปิดหรือปิดเครื่องในระบบ

ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาระบบการประหยัดพลังงานที่ได้มีการนำเสนอการประชุมวิชาการต่างๆเพื่อนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบระบบ
2. ออกแบบอัลกอริทึมในการลดการใช้พลังงานในระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูงด้วยวิธีการจัดลำดับงาน
3. สร้างโปรแกรมจำลองการทำงานตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้
4. สร้างระบบจำลองการทำงานด้วยภาษาไพธอน
5. วัดประสิทธิภาพของระบบ
6. สรุปและประเมินผล

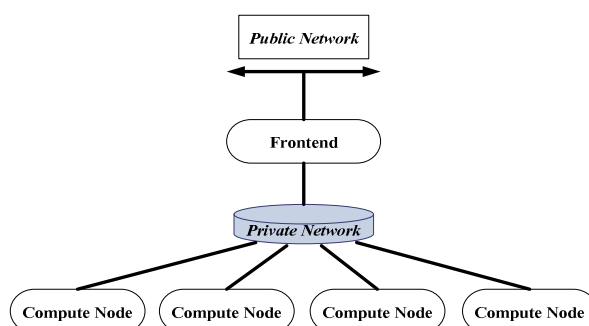
การตรวจเอกสาร

ความรู้พื้นฐาน

งานวิจัยนี้ออกแบบระบบให้สามารถลดการใช้พลังงานในระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูงให้สามารถลดการใช้พลังงานของระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูงในสถานะที่ระบบมีการใช้งานเพียงบางส่วน โดยในส่วนของความรู้พื้นฐานที่กล่าวต่อไปนี้เป็นเทคโนโลยีที่มีความเกี่ยวข้องในการสร้างระบบของงานวิจัยนี้

การคำนวณแบบขนาน (Parallel computing) (Kumar *et al.*, 1994) เป็นกระบวนการแก้ปัญหาโดยการแบ่งปัญหาออกเป็นชิ้นๆ ที่มีขนาดเล็กลง แล้วนำปัญหาแต่ละชิ้นที่ได้จากการแบ่งไปคำนวณยังหน่วยประมวลผลหลายๆ ตัว ในเวลาเดียวกัน เพื่อลดเวลาในการแก้ปัญหาลง เนื่องจากการคำนวณแบบขนาน จำเป็นต้องใช้หน่วยประมวลผลหลายๆ ตัว สำหรับการแก้ปัญหาในเวลาเดียวกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเทคโนโลยีที่สามารถสร้างระบบรองรับการคำนวณแบบขนานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีที่สามารถทำได้และมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เช่น คลัสเตอร์ (Cluster), กริด (Grid) เป็นต้น

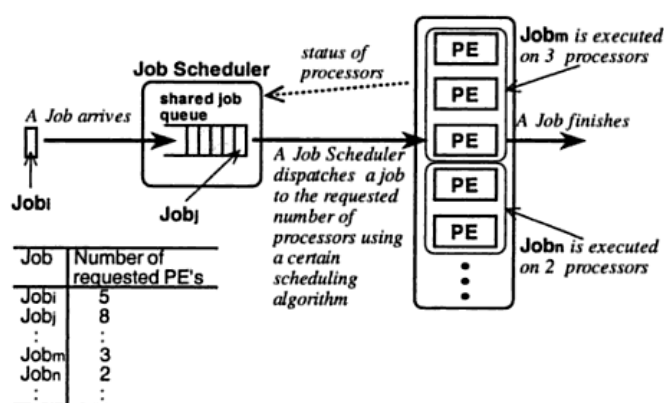
คลัสเตอร์ (Cluster) (Baker, 2000) เป็นกลุ่มของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีการเชื่อมต่อกัน โดยทำงานร่วมกันเสมือนเป็นเครื่องเดียวกัน เพื่อเพิ่มสมรรถนะ (Performance) หรือความน่าเชื่อถือ (Availability) ในการประมวลผล ซึ่งเกินกว่าที่เครื่องคอมพิวเตอร์เพียงเครื่องเดียวสามารถจัดหาให้ได้ และโดยทั่วไปนั้น โครงสร้างของคลัสเตอร์ มีลักษณะดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างของคลัสเตอร์

การจัดลำดับงาน (Scheduling) (Dhamdhere, 2003) คือการเลือกการร้องขอที่จะส่งไปยังเครื่องบริการ (Server) โดยที่สามารถรักษาคุณภาพการให้บริการเอาไว้ได้

แบบจำลองการการจัดลำดับงาน (Kento, 2000) สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2 ซึ่งขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองการจัดลำดับงานเริ่มจากมีผู้ใช้งานได้ส่งงานเข้าสู่ระบบ โดยที่ระบบจัดลำดับงาน (Job Scheduler) จะรับงานเข้ามาและนำเข้าสู่คิวระบบจัดลำดับงาน จะตรวจสอบทรัพยากรในระบบกับงานที่ถูกเลือกออกจากคิวตามเทคนิคการจัดลำดับงานที่เลือกไว้ว่าเพียงพอหรือไม่ ถ้าเพียงพอจะนำงานที่ถูกเลือกเข้าสู่ระบบ แต่ถ้าไม่เพียงพอจะรอจนกว่าทรัพยากรในระบบจะเพียงพอต่องานที่ถูกเลือกมาจากคิว



ภาพที่ 2 แบบจำลองการการจัดลำดับงาน

ที่มา: Kento. (2000)

วิธีการจัดลำดับงาน (Kento, 2000) สามารถแบ่งวิธีการตามเทคนิคการทำงานของวิธีการจัดลำดับงานออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ด้วยกัน คือ

1. วิธีการจัดลำดับงานแบบมาก่อนได้ก่อน (First Come First Serve) คือ การจัดลำดับงานแบบมาก่อนจะถูกส่งงานเข้าสู่ระบบก่อน
2. วิธีการจัดลำดับงานแบบจัดกลุ่มความสำคัญของงาน (Priority Scheduling) คือ วิธีการจัดลำดับงานแบบคำนึงถึงความสำคัญเป็นหลัก ตัวอย่างการจัดลำดับงานแบบคำนึงถึงความสำคัญก่อน เช่น

2.1 การจัดลำดับงานแบบงานเล็กมาก่อน คือ การจัดลำดับงานด้วยการค้นหางานที่ต้องการทรัพยากรน้อยที่สุดที่อยู่ในคิวและเลือกงานนั้นออกมา

2.2 การจัดลำดับงานแบบงานใหญ่มาก่อน คือ การจัดลำดับงานด้วยการค้นหางานที่ต้องการทรัพยากรมากที่สุดในคิวและเลือกงานนั้นออกมา

3. วิธีการจัดลำดับงานแบบเฟิร์สฟิต (First Fit) คือ การจัดลำดับงานแบบการค้นหางานที่อยู่ในคิวและถ้างานที่ถูกค้นหาจะถูกเลือกเมื่อความต้องการทรัพยากรของงานน้อยกว่าหรือเท่ากับทรัพยากรที่เหลืออยู่ในระบบ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิธีการประหยัดพลังงานสำหรับระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูงได้มีการนำเสนอหลากหลายรูปแบบด้วยกันสามารถแยกรูปแบบของวิธีการออกเป็นสองรูปแบบ คือ วิธีการประหยัดพลังงานทางด้านฮาร์ดแวร์ และวิธีการประหยัดพลังงานทางด้านซอฟต์แวร์ ซึ่งรายละเอียดวิธีการทั้งสองรูปแบบสามารถนำเสนอวิธีการได้ดังนี้

1. วิธีการประหยัดพลังงานทางด้านฮาร์ดแวร์

ในปี ค.ศ. 2003 Gurumurthi *et al.* (2003) เสนอการลดการใช้พลังงานของงานบันทึกแบบแข็งด้วยวิธีการปรับความเร็วของการหมุนจานแม่เหล็กโดยให้สภาวะการใช้งานก่อนหน้านี้เปรียบเทียบกับสภาวะการใช้งานปัจจุบันเพื่อคำนวณหาว่าจะต้องปรับความเร็วของจานหมุนเพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า ไดนามิกโรเตชันเปอร์มินิต (Dynamic-Rotations-Per-Minute) หรือ ดีอาร์พีเอ็ม (DRPM) และได้้นำวิธีการนี้ไปเปรียบเทียบกับวิธีการประหยัดพลังงานแบบเก่าที่เรียกว่า ทราดิชันนัลเพาเวอร์เมเนจเม้น (Traditional Power Management) หรือทีพีเอ็ม (TPM) ซึ่งวิธีการแบบทีพีเอ็มนี้จะมีสถานะการหมุนจานแม่เหล็กอยู่ 2 สถานะด้วยกันคือแอคทีฟ (Active) และสแตนด์บาย (Standby) โดยหลักการทำงานของทีพีเอ็มจะตรวจสอบว่าในช่วงเวลาหนึ่งๆได้ใช้งานหรือไม่ ถ้าไม่ได้ใช้งานจะลดความเร็วของจานหมุนให้อยู่ในสภาวะสแตนด์บาย และเมื่อมีการร้องขอการใช้งานเข้ามาระบบจะสั่งให้จานหมุนทำงาน (สถานะแอคทีฟ) ซึ่งข้อเสียของทีพีเอ็มจะอยู่ที่เมื่อต้องการเร่งความเร็วของจานหมุนจะใช้พลังงานมากกว่าตอนทำงาน และยังเสียเวลาของการเร่งความเร็วของจานหมุน

เทคนิคการออกแบบฮาร์ดแวร์ใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบซึ่งเสนอโดย Boku *et al.* (2006) ได้เสนอการออกแบบการทำงานให้หน่วยประมวลผลกลางถูกบรรจุอยู่ในการ์ดพร้อมทั้งหน่วยความจำและระบบเครือข่าย ซึ่งการออกแบบได้ออกแบบให้หนึ่งเครื่องเครื่องบริการที่มีขนาดหนึ่งยู (1U) สามารถรองรับการ์ดหน่วยประมวลผลได้จำนวน 16 แผ่นวงจร ประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่ได้นำเสนอจะอยู่ที่ความเร็ว 32 กิกะฟล็อปส์ (Giga Flops) ต่อการใช้พลังงาน 310 วัตต์ ต่อขนาดของเครื่องบริการหนึ่งยู

ในปีต่อมา Tolentino *et al.* (2007) นำเสนอวิธีการประหยัดพลังงานด้วยการเปิดปิดหน่วยความจำโดยที่ให้ระบบปฏิบัติการจัดการบันทึกข้อมูลไปที่ช่องเสียบ (Slot) ของหน่วยความจำที่ได้เปิดใช้งานอยู่และเมื่อมีการมีการใช้งานหน่วยความจำในช่องเสียบนั้นๆเต็มหมดแล้วจะเปิดใช้งานช่องเสียบของหน่วยความจำขึ้นมาใหม่ จากวิธีการนี้จะทำให้การเข้าไปใช้งานเพื่อจัดการกับข้อมูลในหน่วยความจำนั้นช้าลงไปเนื่องจากเกิดการกระจายของข้อมูลในหน่วยความจำ

2. วิธีการประหยัดพลังงานทางด้านซอฟต์แวร์

ในปี ค.ศ. 2001 Pouwelse *et al.* (2001) เสนอวิธีการจัดกลุ่มของงานใหม่ในช่วงเวลาที่มีงานเข้ามาโดยให้งานที่เข้ามาใหม่จะมีการใช้งานหน่วยประมวลผลกลางไม่มากและสามารถนำไปประมวลผลพร้อมกับงานที่มีอยู่แล้วในเครื่องคำนวณได้โดยเวลาการทำงานของงานทั้งหมดจะไม่เกินกำหนดเวลาของงานนั้นๆ และในปีเดียวกัน Pinheiro *et al.* (2001) ได้เสนอการประหยัดพลังงานของระบบคลัสเตอร์ในระดับสถานีนงาน (Workstation) โดยลักษณะการทำงานจะดูภาระของระบบเป็นส่วนสำคัญ ถ้าภาระของระบบมีมากเกินไปภาระสูงสุดที่ระบบคลัสเตอร์จะรับได้ เครื่องที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการเปิดปิดเครื่องจะสั่งงานให้เครื่องที่ปิดอยู่เปิดขึ้นมาเพื่อช่วยรับภาระในช่วงเวลานั้นๆ และเมื่อภาระของระบบลดลงเครื่องที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการเปิดปิดเครื่องจะสั่งการให้เครื่องที่มีภาระอยู่น้อยที่สุดปิดตัวลง ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้ไม่สามารถใช้งานกับระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูงเนื่องจากมีลักษณะการทำงานที่ไม่เหมือนกัน

หลังจากนำเสนอวิธีการประหยัดพลังงานของระบบคลัสเตอร์ในระดับสถานีนงานได้ 2 ปี ได้มีการนำเสนอวิธีการปรับปรุงวิธีการจาก Pinheiro *et al.* โดย Rusu *et al.* (2003) นำเสนอวิธีการประหยัดพลังงานของระบบคลัสเตอร์ที่ให้บริการเว็บซึ่งได้เพิ่มการรับประกันเวลาการตอบสนองต่อผู้ใช้งานด้วยวิธีการจัดการคุณภาพบริการร่วมกับวิธีการปรับการใช้พลังงานของหน่วยประมวลผลกลางรวมไปถึงอุปกรณ์ต่างๆ ในเครื่องบริการเว็บและการควบคุมการเปิดปิดเครื่องซึ่ง

ในเอกสารเรียกว่า วิธีการเพาเวอร์เมเนจเม้น (Power Management) โดยจะแบ่งการประหยัดพลังงานออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ คลัสเตอร์ไวด์ (Cluster-wide) เป็นวิธีการประหยัดพลังงานโดยการเปิดและปิดเครื่องบริการโดยจะอาศัยการตรวจสอบสถานะของระบบเพื่อใช้ในการตัดสินใจในการเปิดเครื่องบริการเพิ่มหรือปิดเครื่องบริการลง วิธีการที่สองแบบเฉพาะส่วน (Local) เป็นวิธีการประหยัดพลังงานโดยการลดการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องบริการ เช่น ลดพลังงานการของระบบประมวลผลกลาง การลดการใช้พลังงานของหน่วยความจำ เป็นต้น ในปีเดียวกัน Rajamani *et al.* (2003) นำเสนอวิธีการประหยัดพลังงานโดยแบ่งปัญหาออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ การใช้พลังงานของระบบ, ควอร์ต็อฟเซอร์วิส, รูปแบบการทำงานของระบบ และลักษณะของภาระ วิธีการที่ใช้จะมีอยู่ 2 วิธีด้วยกัน คือ การใช้เครื่องที่สงวนไว้ (Spare Server) และการใช้ฮิสตอรีเบส (History Base) มาช่วยในการทำนายการใช้พลังงาน

ปี ค.ศ. 2005 เทคโนโลยีการปรับการลดใช้พลังงานในหน่วยประมวลผลกลางได้ถูกเสนอ โดย Ge *et al.* (2005) เสนอการทดลองดีวีเอส (DVS) หรือไดนามิกโวลเตจสเกล (Dynamic Voltage Scaling) ซึ่งเทคโนโลยีการปรับลดการใช้พลังงานของหน่วยประมวลผลกลางโดยวิธีการทดลองแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบด้วยกัน คือ การใช้งานโปรแกรมซีพียูสปีด (CPU SPEED) ของระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux) การปรับความเร็วของหน่วยประมวลผลกลางให้คงที่ตลอดการใช้งาน และการปรับความเร็วของหน่วยประมวลผลกลางให้เป็นแบบไดนามิก การทำงานเมื่อใช้ดีวีเอสนั้นจะทำให้เกิดการใช้เวลาในการทำงานมากขึ้นซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการที่ได้ใช้งานและลักษณะงานนั้นๆด้วย

ต่อมา Freeh *et al.* (2005) ยังได้นำเสนอการทดลองการลดใช้พลังงานของหน่วยประมวลผลกลางเปรียบเทียบกับเวลาการทำงานซึ่งได้ข้อสรุปว่าในบางครั้งการใช้พลังงานการคำนวณของหน่วยประมวลผลกลางด้วยความถี่สัญญาณนาฬิกาที่สูงขึ้นไม่ได้หมายความว่างานที่ถูกคำนวณนั้นจะเสร็จเร็วตามไปด้วย และเสนอวิธีการแบ่งการทำงานออกเป็นเฟส (Phase) ซึ่งเฟสนี้ได้มาจากการแบ่งโปรแกรมออกเป็นบล็อก (block) และแต่ละบล็อกจะใช้ความเร็วของหน่วยประมวลผลกลางที่เท่ากันทุกๆ โหนดในระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูง และในปีเดียวกันนี้เองได้มีการนำเสนอ Hsu *et al.* (2005) เสนอการปรับความเร็วของหน่วยประมวลผลกลางด้วยวิธีการตรวจสอบทุกๆ ช่วงเวลาหนึ่งๆว่าอยู่ในสถานะของหน่วยประมวลผลกลางไม่ทำงานหรือไม่ ซึ่งหมายความว่าถ้าอยู่ในสถานะของหน่วยประมวลผลกลางไม่ทำงานแล้วหน่วยประมวลผลกลางจะมีการใช้งานที่ไม่หนักมาก ก็เท่ากับว่าสามารถที่จะลดความเร็วของการประมวลผลได้ และยังสามารถกำหนดความล่าช้าในการทำงานของอัลกอริทึมนี้ว่าจะไม่เกินกี่เปอร์เซ็นต์ของงานนั้นๆ

วิธีการประหยัดพลังงานโดยการจัดลำดับงานเป็นอีกแนวทางในฝั่งของซอฟต์แวร์ที่สามารถช่วยประหยัดพลังงานได้ วิธีการของ Springer *et al.* (2006) เสนอวิธีการจัดลำดับงานโดยคำนึงถึงการลดเวลาในการประมวลผลและการใช้พลังงานจะต้องไม่เกินค่าที่กำหนดเอาไว้ และแนวทางสุดท้ายการประหยัดพลังงานโดยการใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เสมือน (Virtualization) ซึ่งเสนอโดย Stoess *et al.* (2007) นำเสนอการประหยัดพลังงานโดยวิธีการประหยัดพลังงานโดยการใช้เทคโนโลยีเพื่อสร้างคอมพิวเตอร์เสมือนขึ้นมาเพื่อให้ทำงานแทนเครื่องคอมพิวเตอร์จริง และจะตรวจสอบการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์เสมือนต่างๆว่ามีสถานะการทำงานอย่างไร ถ้าคอมพิวเตอร์เสมือนมีภาระการทำงานมากก็จะแบ่งงานไปให้เครื่องคอมพิวเตอร์เสมือนอื่นช่วยทำงาน แต่ถ้าเครื่องคอมพิวเตอร์เสมือนมีสถานะการทำงานที่ภาระไม่มากก็จะย้ายงานไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เสมือนอื่นและให้เข้าสู่สถานะการประหยัดพลังงาน

แนวทางที่ขาดหายไปของงานวิจัยต่างๆ คือวิธีการประหยัดพลังงานในระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูงด้วยปรับลดการใช้พลังงานด้วยการปรับเพิ่มลดจำนวนเครื่องในระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูงตามความต้องการในการใช้งาน, การใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เสมือนในการเพิ่มประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน, การประหยัดพลังงานด้วยวิธีการย้ายโอนงานจากเครื่องที่ภาระการทำงานไม่มากไปรวมเป็นงานในเครื่องเดียว

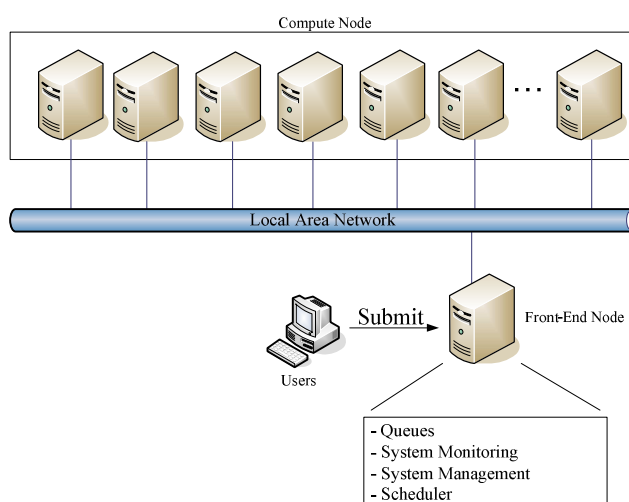
อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสำหรับการเขียนโปรแกรมจำลองการทำงานของระบบซึ่งภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมจำลองการทดลองนี้ คือ ภาษาไพธอน และเครื่องที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมจำลองและรันโปรแกรมจำลองโดยการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้มีความเร็วสัญญาณนาฬิกา 1.80 กิกะเฮิรต์ สถาปัตยกรรมแบบ 2 แกนหลัก และหน่วยความจำขนาด 2 กิกะไบต์

วิธีการ

สภาพแวดล้อมการทำงานของคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูงประกอบไปด้วยเครื่องจัดการทรัพยากรระบบ ซึ่งทำหน้าที่ในการจัดการทรัพยากรของระบบ เช่น การจัดลำดับงาน, ตรวจสอบระบบ และแจกจ่ายงาน เป็นต้น เครื่องคำนวณทำหน้าที่ในการประมวลผล การเชื่อมต่อระหว่างเครื่องจัดการทรัพยากรกับกลุ่มของเครื่องคำนวณจะใช้ระบบเครือข่ายความเร็วสูงเฉพาะในการแจกจ่ายงานไปยังเครื่องคำนวณหรือการจัดการเครื่องคำนวณในระบบ การใช้งานผู้ใช้งานจะติดต่อกับเครื่องจัดการทรัพยากรผ่านทางเครือข่าย ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 โครงสร้างของระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูง

สภาพแวดล้อมของระบบจัดลำดับงานแบบทรัพยากรพอเพียงจะมีวิธีการจัดการการทำงานของระบบจัดลำดับงานแบบทรัพยากรพอเพียงดังนี้

1. พาร์ทิชัน

การจัดการการทำงานของเครื่องคำนวณในระบบจะใช้วิธีการจัดกลุ่มของเครื่องคำนวณออกเป็นกลุ่ม โดยที่แต่ละกลุ่มจะมีจำนวนเครื่องคำนวณน้อยที่สุดจำนวน 1 เครื่องและมากที่สุดเท่ากับจำนวนเครื่องคำนวณทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบ การจัดการเครื่องคำนวณแบบเป็นพาร์ทิชันนี้ทำเพื่อใช้ควบคุมสถานะของกลุ่มเครื่องคำนวณ โดยสถานะการทำงานพาร์ทิชันได้กำหนดสถานะไว้ 3 รูปแบบด้วยกัน คือ สถานะปฏิบัติการ คือ สถานะที่สามารถเพิ่มงานเข้าสู่พาร์ทิชันได้ สถานะล็อก คือ สถานะที่รอเข้าสู่สถานะประหยัคพลังงานและไม่สามารถเพิ่มงานเข้าสู่พาร์ทิชันได้ และสามารถเปลี่ยนสถานะเป็นสถานะปฏิบัติการได้ถ้าจำนวนเครื่องในระบบไม่เพียงพอ สถานะประหยัคพลังงาน คือ สถานะของการประหยัคพลังงาน

2. การจัดการคุณภาพบริการ หรือ คิวโอเอส (QOS หรือ Quality of Service)

วิธีการจัดการส่งงานเข้าสู่ระบบแบบอนุญาติให้เครื่องคำนวณเครื่องหนึ่งสามารถทำงานได้มากกว่าหนึ่งงานและไม่เกินเวลาที่สามารถยอมรับได้ การกำหนดเวลาในการทำงานล่าช้าที่สามารถยอมรับได้จะกำหนดในรูปแบบของค่าเปอร์เซ็นต์ของการทำงานล่าช้า และเรียกว่า ค่าการจัดการคุณภาพบริการ หรือ คิวโอเอส ซึ่งค่าการจัดการคุณภาพบริการสามารถเขียนเป็นสมการในการคำนวณได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ทำงานล่าช้า} = \frac{\text{เวลาการทำงานที่เหลือของงานในระบบที่ถูกตรวจสอบ} \times 100}{\text{เวลาการทำงานของงานในระบบที่ถูกตรวจสอบ}} \quad (1)$$

3. ข้อตกลงระดับการให้บริการ หรือ เอสแอลเอ (SLA หรือ Service Level Agreement)

วิธีการจัดลำดับงานแบบรับประกันทรัพยากรของระบบ โดยการจัดลำดับงานจะไม่ส่งงานไปประมวลผลร่วมกับงานอื่น วิธีการกำหนดการใช้งานข้อตกลงระดับการให้บริการ หรือ เอสแอลเอสามารถทำได้โดยกำหนดให้มีข้อตกลงระดับการให้บริการกับงานที่ต้องการการรับประกันทรัพยากรของระบบ

สมมติฐาน

การออกแบบการระบบจัดการทรัพยากรพอเพียงจะมีการตั้งสมมติฐานในการทำงานเครื่องคำนวณและงานต่างๆดังนี้

1. เครื่องคำนวณ

เครื่องคำนวณแต่ละเครื่องในระบบเมื่อทำงานงานหนึ่งจะมีการทำงานเต็มประสิทธิภาพของเครื่องคำนวณ แต่ถ้าเครื่องคำนวณเครื่องถูกให้ทำงานมากกว่าหนึ่งงานในเวลาพร้อมกันจะทำให้เครื่องคำนวณเครื่องนี้ถูกแบ่งทรัพยากรไปให้กับงานที่ประมวลอยู่ในเครื่องเป็นจำนวนเท่าๆกัน และสถานะการใช้พลังงานของเครื่องคำนวณจะมีการใช้พลังงานอยู่ 3 สถานะ คือ สถานะทำงาน สถานะเดินเครื่องเปล่า (Idle) และสถานะประหยัดพลังงาน

2. งาน

ระบบจะรู้ถึงจำนวนเครื่องคำนวณที่ต้องใช้งานและเวลาการทำงานของงานทุกงานที่ถูกประมวลผลและงานทุกงานที่ถูกส่งเข้าสู่ระบบโดยผู้ใช้งาน

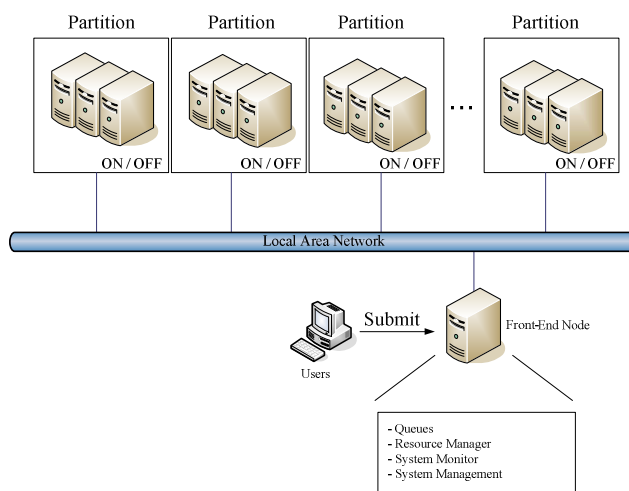
วิธีจัดลำดับงานแบบทรัพยากรพอเพียง

วิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอวิธีการจัดลำดับงานแบบทรัพยากรพอเพียง (Varalertsakul and Putchung, 2007, 2008) ซึ่งเป็นวิธีการจัดการทรัพยากรของระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูงโดยการปรับเปลี่ยนและลดสมรรถนะการประมวลผลตามความต้องการในช่วงเวลาต่างๆเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการโดยรักษาคุณภาพในการให้บริการและรองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ ซึ่งทำให้สามารถลดการเปิดการใช้งานของระบบและทำให้การใช้พลังงานของระบบลดน้อยลง วิธีการทำงานของระบบจัดลำดับงานแบบทรัพยากรพอเพียงและวิธีการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. หลักการทำงานของระบบจัดลำดับงานแบบทรัพยากรพอเพียง

โครงสร้างและการทำงานของระบบจัดลำดับงานแบบทรัพยากรพอเพียงจะมีโครงสร้างคล้ายกับโครงสร้างของระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูง โดยจะมีเครื่องจัดการทรัพยากรต่างๆของ

ระบบ ซึ่งทำหน้าที่ในการจัดลำดับงาน, ตรวจสอบระบบ, แจกจ่ายงาน, ควบคุมการเปิดปิดเครื่อง เครื่องคำนวณ, การจัดแบ่งกลุ่มของเครื่องคำนวณ ส่วนของเครื่องคำนวณจะทำหน้าที่ในการประมวลผลและมีการจัดแบ่งกลุ่มของเครื่องคำนวณออกเป็นจำนวนตามที่เครื่องจัดการทรัพยากร กำหนดและเรียกกลุ่มของเครื่องคำนวณนี้ว่า “พาร์ทิชัน” ซึ่งโครงสร้างของระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูงในงานวิทยานิพนธ์นี้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 โครงสร้างของระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูงในงานวิทยานิพนธ์

หลักการควบคุมการประหยัดพลังงานจะใช้การควบคุมการเปิดและปิดการทำงานของเครื่องคำนวณทั้งหมดในพาร์ทิชัน โดยแบ่งการทำงานได้เป็น 2 รูปแบบด้วยกันคือ

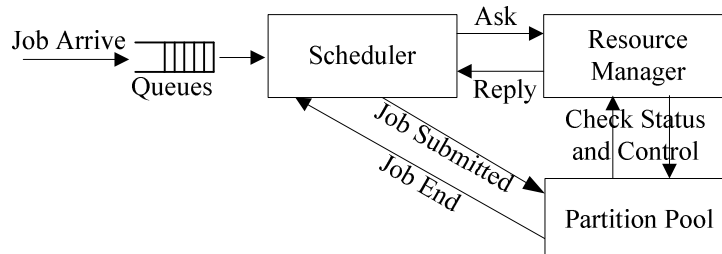
1. เมื่อมีงานเข้าสู่ระบบ ระบบจัดการทรัพยากรพอเพียงจะตรวจสอบทรัพยากรในระบบว่าเพียงพอต่อความต้องการของงานที่จะเข้าสู่ระบบหรือไม่ ถ้าทรัพยากรในระบบเพียงพอระบบจัดลำดับงานแบบทรัพยากรพอเพียงจะอนุญาตให้งานที่จะเข้าสู่ระบบทำงานได้ทันที แต่ถ้าไม่เพียงพอระบบจัดลำดับงานแบบทรัพยากรพอเพียงจะตรวจสอบงานทุกงานที่อยู่ในระบบว่าสามารถที่จะให้งานที่จะเข้าสู่ระบบสามารถประมวลผลพร้อมกับงานที่มีอยู่แล้วในระบบโดยที่งานที่มีอยู่ในระบบจะทำงานไม่เกินกว่าเวลาที่ยอมรับได้หรือไม่ ถ้ามีงานในระบบที่สามารถประมวลผลพร้อมกันและเวลาการทำงานไม่เกินกว่าเวลาที่ยอมรับได้ระบบจัดลำดับงานแบบทรัพยากรพอเพียงจะส่งงานที่เข้าสู่ระบบไปประมวลผลพร้อมกับงานในระบบที่ถูกเลือกโดยที่เวลาการทำงานใกล้เคียงกับเวลาที่ยอมรับได้ แต่ถ้าไม่มีงานตรงตามที่ตรวจสอบระบบจัดลำดับงานแบบทรัพยากรพอเพียงจะทำการเพิ่มเครื่องคำนวณโดยการเปิดการทำงานของพาร์ทิชัน

2. เมื่อมีงานในระบบเสร็จสิ้นการทำงาน ระบบจัดการทรัพยากรพอเพียงจะตรวจสอบกลุ่มของเครื่องคำนวณใดบ้างที่เครื่องคำนวณทุกเครื่องไม่มีการประมวลผลซึ่งถ้ามีจะทำการปิดเครื่องคำนวณของพาร์ทิชันนั้นทันที

2. สถาปัตยกรรมของระบบจัดลำดับงานแบบทรัพยากรพอเพียง

สถาปัตยกรรมของระบบจัดทรัพยากรพอเพียงมีส่วนประกอบและขั้นตอนการทำงานดังภาพที่ 5 โดยส่วนประกอบแต่ละส่วนมีหน้าที่การทำงานดังนี้

1. คิว (Queues) ทำหน้าที่จัดเก็บงานให้เป็นลำดับ
2. ระบบจัดลำดับงาน (Scheduler) ทำหน้าที่จัดลำดับงานที่เข้าสู่ระบบ
3. ระบบจัดการทรัพยากร (Resource Manager and Policy module) ทำหน้าที่จัดสรรทรัพยากรให้กับระบบจัดลำดับงานและจัดการสถานะการทำงานของเครื่องคำนวณ
4. กลุ่มของพาร์ทิชัน (Partition pool) คือ กลุ่มของพาร์ทิชัน



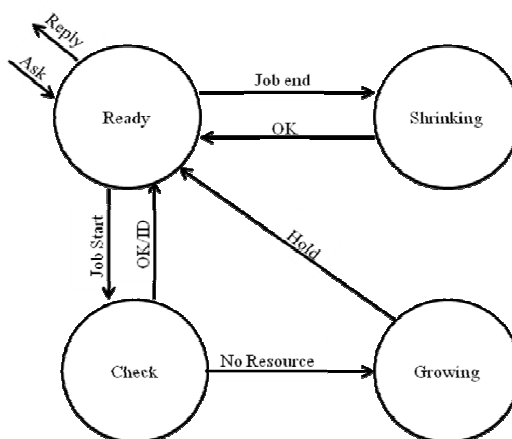
ภาพที่ 5 สถาปัตยกรรมของระบบจัดการทรัพยากรพอเพียง

ขั้นตอนการทำงานของระบบจัดการทรัพยากรพอเพียงเริ่มจากเมื่อมีงานเข้าสู่ระบบโดยที่งานที่เข้ามาจะถูกเก็บไว้ในคิว ระบบจัดลำดับงานจะตรวจสอบงานที่อยู่ในคิวและเลือกงานที่จะนำเข้าสู่ระบบมาตรวจสอบความต้องการทรัพยากรของงาน จากนั้นระบบจัดลำดับงานจะส่งข้อมูลที่ได้ตรวจสอบไปสอบถามระบบจัดการทรัพยากร ซึ่งระบบจัดการทรัพยากรจะตรวจสอบทรัพยากรในระบบและถ้าจะทรัพยากรในระบบพอเพียงต่อความต้องการจะส่งข้อมูลรายละเอียดของเครื่องคำนวณที่สามารถส่งงานเข้าไปประมวลผลให้กับระบบจัดลำดับงานเพื่อให้ระบบจัดลำดับงานส่งงานเข้าสู่ระบบ แต่ถ้าทรัพยากรไม่เพียงพอต่อความต้องการระบบจัดการทรัพยากรจะทำการเพิ่มเครื่องคำนวณในระบบเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการทรัพยากรงานของที่จะถูกส่ง

เข้าสู่ระบบ และระบบจัดการทรัพยากรจะส่งข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องคำนวณที่สามารถส่งงานไปประมวลผลได้ในกรณีที่สามารถเพิ่มทรัพยากรได้เพียงพอต่อความต้องการ แต่ถ้าทรัพยากรไม่เพียงพอต่อความต้องการจะบอกให้ระบบจัดลำดับงานให้ส่งข้อมูลมาตรวจสอบใหม่อีกครั้งในเวลาที่กำหนดไว้ และในกรณีที่ระบบจัดลำดับงานทราบว่ามียานในระบบได้ทำงานเสร็จสิ้นระบบจัดลำดับงานจะส่งข้อมูลไปยังระบบจัดการทรัพยากรให้ทำการตรวจสอบทรัพยากรต่างๆ และปิดการทำงานของพาร์ทิชันในกรณีที่เครื่องคำนวณในพาร์ทิชันไม่มีการทำงาน

3. กระบวนการทำงานของระบบจัดทรัพยากรพอเพียง

การทำงานของระบบจัดการทรัพยากรเป็นการควบคุมและจัดสรรเครื่องคำนวณให้เพียงพอต่อการร้องขอของระบบจัดลำดับงาน ซึ่งขั้นตอนการทำงานสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ขั้นตอนการทำงานของระบบจัดการทรัพยากร

ส่วนประกอบของขั้นตอนการทำงานของระบบจัดการทรัพยากรจะประกอบไปด้วย

1. เรดดี (Ready) ทำหน้าที่วิเคราะห์การร้องขอของระบบจัดลำดับงาน ว่าเป็นการร้องขอทรัพยากรเพื่อนำงานเข้าสู่ระบบหรือการร้องขอเพื่อบอกการสิ้นสุดการทำงานของงานในระบบ
2. เช็ค (Check) ทำหน้าที่ตรวจสอบจำนวนของทรัพยากรในระบบว่ามีเพียงพอต่อการร้องขอจากระบบจัดลำดับงานหรือไม่
3. โกรวอิง (Growing) ทำหน้าที่เพิ่มจำนวนของกลุ่มเครื่องคำนวณในระบบเพื่อให้เพียงพอต่อการร้องขอจากระบบจัดลำดับงาน

4. ชrink (Shrinking) ทำหน้าที่ลดจำนวนของกลุ่มเครื่องคำนวณในระบบตามที่ระบบจัดลำดับงานแจ้งเมื่อมีงานสิ้นสุดในระบบ

ขั้นตอนการทำงานของระบบจัดการทรัพยากรมีขั้นตอนการทำงานหลักๆอยู่ 2 รูปแบบด้วยกัน คือ ขั้นตอนการทำงานเมื่อมีการร้องขอทรัพยากรจากระบบจัดลำดับงานเพื่อส่งงานเข้าสู่ระบบ และขั้นตอนการทำงานเมื่อมีงานในระบบเสร็จสิ้นการทำงาน สำหรับวิธีการและขั้นตอนต่างๆสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

3.1 ขั้นตอนเมื่อมีการร้องขอทรัพยากรจากระบบจัดลำดับงานเพื่อส่งงานเข้าสู่ระบบ

ขั้นตอนและการจัดการเมื่อมีการร้องขอทรัพยากรจากระบบจัดลำดับงานเพื่อส่งงานเข้าสู่ระบบจะมีความทำงานร่วมกันของ เเรคตี้, เซ็ค และ โกรวอิง ซึ่งขั้นตอนการทำงานจะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบด้วยกัน คือ

3.1.1 เมื่อมีทรัพยากรในระบบเพียงพอต่อการร้องขอจากระบบจัดลำดับงาน

เมื่อมีการร้องขอจากระบบจัดลำดับงานมายังเเรคตี้เพื่อร้องขอทรัพยากรต่างๆ เเรคตี้จะส่งการร้องขอไปยังเซ็คเพื่อตรวจสอบทรัพยากรในระบบว่าเพียงพอหรือไม่ และพบว่าทรัพยากรในระบบเพียงพอต่อการร้องขอจากระบบจัดลำดับงานดังนั้นเซ็คจะส่งข้อมูลกลับไปยังเเรคตี้และเเรคตี้จะนำข้อมูลดังกล่าวตอบกลับไปยังระบบจัดลำดับงานต่อไป

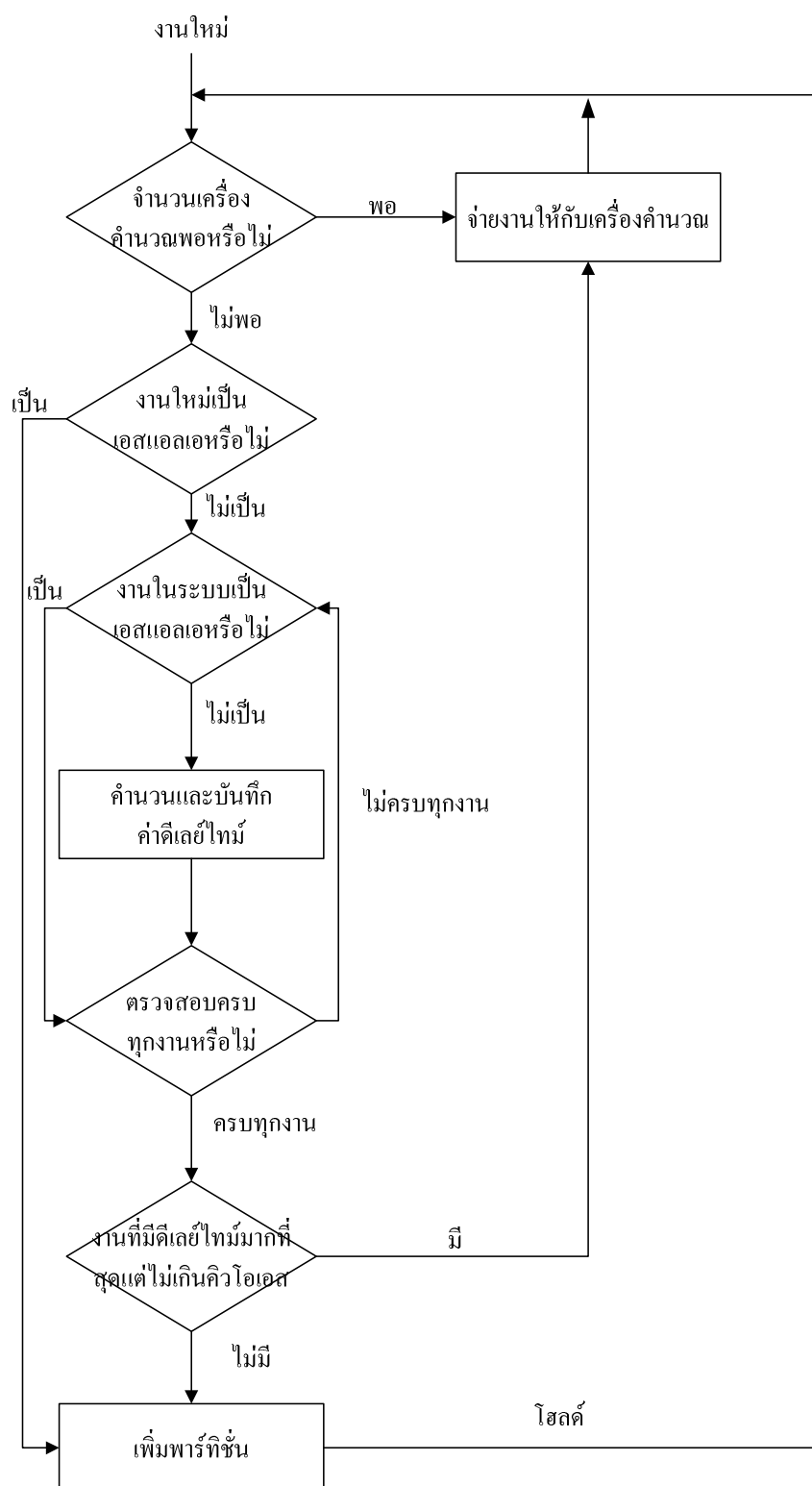
3.1.2 เมื่อมีทรัพยากรในระบบไม่พอเพียงพอต่อการร้องขอจากระบบจัดลำดับงาน

เมื่อมีการร้องขอจากระบบจัดลำดับงานมายังเเรคตี้เพื่อร้องขอทรัพยากรต่างๆ เเรคตี้จะส่งการร้องขอไปยังเซ็คเพื่อตรวจสอบทรัพยากรในระบบว่าเพียงพอหรือไม่ และพบว่าทรัพยากรในระบบไม่พอเพียงพอต่อการร้องขอเซ็คจะส่งการร้องขอไปยังโกรวอิง เพื่อดำเนินการเพิ่มจำนวนของกลุ่มเครื่องคำนวณตามที่เซ็คได้กำหนด โดยเมื่อดำเนินการเพิ่มจำนวนของกลุ่มเครื่องคำนวณจะแจ้งให้เเรคตี้ เพื่อแจ้งให้ระบบจัดลำดับงานรอเป็นระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้กลุ่มของเครื่องคำนวณพร้อมทำงาน เมื่อสิ้นสุดเวลาที่กำหนดระบบจัดลำดับงานจะส่งการร้องขอไปยังเเรคตี้เพื่อให้เเรคตี้ส่งการร้องขอไปยังเซ็คอีกครั้งเพื่อตรวจสอบทรัพยากรในระบบว่าเพียงพอหรือไม่ ถ้าทรัพยากรเพียงพอต่อการร้องขอจากระบบจัดลำดับงานดังนั้นเซ็คจะส่งข้อมูลกลับไปยังเเรคตี้

และเรตจีจะนำข้อมูลดังกล่าวตอบกลับไปยังระบบจัดลำดับงาน แต่ถ้าไม่เพียงพอจะส่งการร้องขอการเพิ่มกลุ่มของเครื่องคำนวณอีกครั้งจนกว่าทรัพยากรในระบบจะพอเพียงต่อการร้องขอ

การทำงานเมื่อมีการร้องขอทรัพยากรจากระบบจัดลำดับงานสามารถเขียนเป็นขั้นตอนการทำงานได้ดังภาพที่ 7 และสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

1. เมื่อมีการร้องขอจากระบบจัดลำดับงาน ระบบจะตรวจสอบจำนวนเครื่องที่พร้อมที่จะใช้งานเพียงพอต่อการร้องขอหรือไม่ ถ้าเพียงพอไปที่ข้อ 8
2. ถ้าไม่เพียงพอระบบจะตรวจสอบการร้องขอจากระบบจัดลำดับงานว่างานที่จะส่งเข้าสู่ระบบเป็นงานที่มีเอสแอลเอหรือไม่ ถ้าเป็นงานที่มีเอสแอลเอไปที่ข้อ 7
3. ถ้าไม่เป็นที่ตรวจสอบงานในระบบว่าเป็นงานที่มีเอสแอลเอหรือไม่ ถ้าเป็นงานที่มีเอสแอลเอให้ไปที่ข้อ 5
4. ถ้าไม่เป็งานที่มีเอสแอลเอให้คำนวณค่าการทำล่าช้าตามสมการที่ (1) และบันทึกค่าการทำงานล่าช้าเก็บไว้
5. ตรวจสอบงานในระบบครบทุกงานแล้วหรือไม่ ถ้าไม่ครบให้กลับไปข้อ 3 เพื่อตรวจสอบงานในระบบให้ครบทุกงาน
6. เมื่อตรวจสอบครบทุกงานแล้วนำข้อมูลของงานที่มีค่าการทำงานล่าช้าที่สุดแต่ไม่เกินค่าการจัดการคุณภาพบริการ และไปที่ข้อ 8
7. เพิ่มพาร์ทิชัน และกลับไปยังข้อ 1 เพื่อตรวจสอบทรัพยากรในระบบอีกครั้ง
8. นำข้อมูลของเครื่องคำนวณแจ้งให้กับระบบจัดลำดับงานเพื่อให้ระบบจัดลำดับงานนำงานเข้าสู่ระบบ

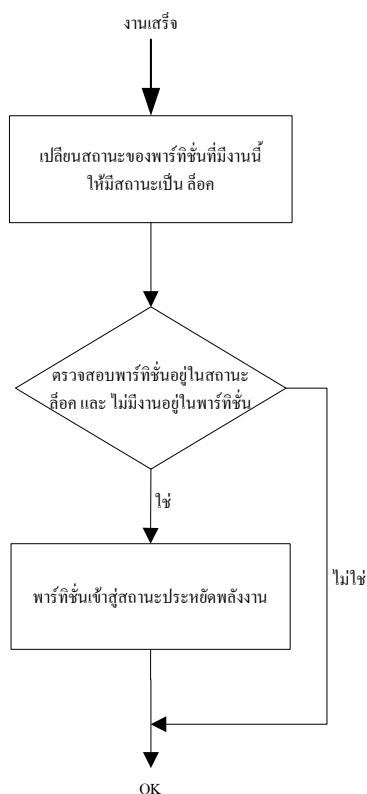


ภาพที่ 7 ขั้นตอนการทำงานของจัดการเมื่อมีงานใหม่เข้าสู่ระบบ

3.2 ขั้นตอนเมื่อมีงานในระบบเสร็จสิ้นการทำงาน

เมื่อระบบจัดลำดับงานส่งการร้องขอมายังเรดดีเพื่อแจ้งว่ามีงานในระบบได้ทำงานเสร็จสิ้นแล้วเรดดีจะส่งการร้องขอดังกล่าวไปยังชริงค์กิ้งเพื่อดำเนินการลดจำนวนกลุ่มของเครื่องคำนวณลง หรืออัปเดตสถานะของกลุ่มของเครื่องกลุ่มต่างๆ ซึ่งการทำงานสามารถเขียนเป็นขั้นตอนการทำงานได้ดังภาพที่ 8 และสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

1. เมื่อระบบจัดลำดับงานร้องขอว่ามีงานเสร็จสิ้นในระบบ ระบบจะเปลี่ยนสถานะของพาร์ทิชันที่มีงานให้เป็นสถานะล๊อค
2. ตรวจสอบว่าพาร์ทิชันเป็นพาร์ทิชันที่มีสถานะล๊อคและไม่มีเครื่องคำนวณในพาร์ทิชันนี้ทำงานอยู่ หรือไม่ ถ้าไม่ใช่ไปที่ข้อ 4.
3. ถ้าใช่ให้เปลี่ยนสถานะของพาร์ทิชันจากล๊อคไปเป็นประหยัคพลังงาน
4. ตอบกลับไปได้เข้าสู่ลดพาร์ทิชันเรียบร้อยแล้ว



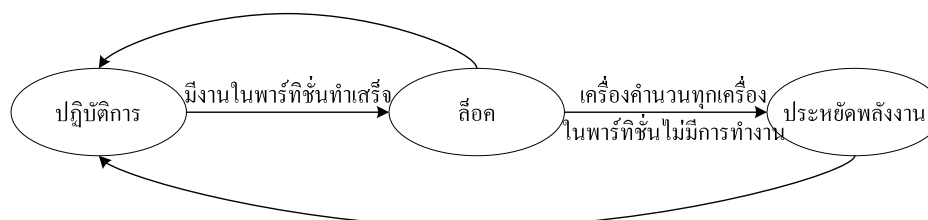
ภาพที่ 8 ขั้นตอนเมื่อมีงานเสร็จสิ้นการทำงาน

4. การจัดการพาร์ทیشن

การจัดการพาร์ทیشنของระบบเพื่อใช้ในการกำหนดสถานะการทำงานของกลุ่มเครื่องคำนวณ มีขั้นตอนการทำงานซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 9 และสามารถอธิบายสถานะของพาร์ทیشنได้ดังนี้

1. สถานะปฏิบัติการ คือ สถานะเครื่องคำนวณทุกเครื่องเปิดใช้งาน
2. สถานะล๊อค คือ สถานะของเครื่องคำนวณในระบบพร้อมที่จะเข้าสู่สถานะประหยัดพลังงานและจะไม่ใช้เครื่องคำนวณในพาร์ทیشنนี้ แต่สถานะล๊อคก็สามารถเปลี่ยนสถานะเป็นปฏิบัติการได้ในกรณีที่มีการนำเครื่องคำนวณในพาร์ทیشنมาใช้งาน
3. สถานะประหยัดพลังงาน คือ สถานะของเครื่องคำนวณทุกเครื่องในพาร์ทیشنอยู่ในสถานะประหยัดพลังงาน

ขั้นตอนการทำงานของการจัดการพาร์ทیشنจะมีขั้นตอนการทำงานโดยเริ่มจากสถานะปฏิบัติการ เมื่อพาร์ทیشنอยู่ในสถานะปฏิบัติการและมีเครื่องคำนวณอย่างน้อยหนึ่งเครื่องในพาร์ทیشنได้ทำงานเสร็จสิ้น สถานะของพาร์ทیشنจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสถานะล๊อคเพื่อพร้อมที่จะเข้าสู่สถานะการประหยัดพลังงาน และจะเปลี่ยนสถานะจากล๊อคไปเป็นสถานะประหยัดพลังงานก็ต่อเมื่อเครื่องคำนวณทุกเครื่องในพาร์ทیشنทำงานเสร็จสิ้นหมดแล้ว แต่สถานะล๊อคก็สามารถเปลี่ยนไปเป็นสถานะปฏิบัติการได้เมื่อมีการนำเครื่องคำนวณในพาร์ทیشنมาใช้งาน ในกรณีที่สถานะของพาร์ทیشنอยู่ในสถานะประหยัดพลังงานพาร์ทیشنสามารถเปลี่ยนสถานะจากประหยัดพลังงานไปเป็นสถานะปฏิบัติการได้ก็ต่อเมื่อมีการร้องขอให้เปิดพาร์ทیشن



ภาพที่ 9 ขั้นตอนการทำงานของสถานะของพาร์ทیشن

5. สมการคำนวณการใช้พลังงาน

กำหนดพลังงานที่ใช้ E_{total} เป็นพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในเวลาหนึ่ง ในสถานะที่เครื่องเปิดใช้งานและทำงานจะใช้พลังงานเท่ากับ E_{on} ในสถานะที่เครื่องเปิดใช้งานแต่อยู่ในสถานะเดินเครื่องเปล่าจะใช้พลังงานเท่ากับ E_{idle} และในสถานะที่เครื่องอยู่ในสถานะประหยัดพลังงานจะใช้พลังงาน E_{off} ดังนั้นถ้าระบบมี N โหนด ได้เปิดใช้งานและกำลังทำงานจำนวน Y โหนด และมี X โหนด ที่เปิดใช้งานแต่อยู่ในสถานะเดินเครื่องเปล่า พลังงานที่ใช้ในขณะนั้น คือ

$$E_{total} = YE_{on} + XE_{idle} + (N - (X + Y))E_{off} \quad (2)$$

ค่า E_{on} , E_{idle} และ E_{off} ต้องมาจากการวัดระบบจริงแต่ในงานนี้จะกำหนดเป็นค่าคงที่ในการจำลองการทำงานแทน โดยที่กำหนด $E_{on} = 288$ วัตต์, $E_{idle} = 180$ วัตต์ โดยอ้างอิงจากเครื่องที่ใช้หน่วยประมวลผลกลางแบบสี่แกนหลัก (Quad core) และ $E_{off} = 2.5$ วัตต์ (Chase *et al.*, 2001) อ้างอิงจากเครื่องที่ใช้หน่วยประมวลผลกลางแบบเพนเทียมทรี (Pentium III) ซึ่งพลังงานที่ใช้ใน E_{off} นั้นจะเป็นการใช้พลังงานของแหล่งจ่ายพลังงานอย่างเดียว

6. การทดลอง

ในการทดลองประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่ได้ออกแบบจึงได้เขียนโปรแกรมจำลองการทำงานของระบบขึ้นมาโดยใช้ภาษาไพธอน และในการทดลองจะทดลองโดยการปรับค่าการจัดการคุณภาพบริการ จำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชัน และจำนวนเปอร์เซ็นต์งานของที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของระบบ การทดลองได้จำลองเครื่องคำนวณในระบบจำนวน 200 เครื่องเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบเทราฟลอปส์ (Tera Flops) ของโครงการไทยกริดแห่งชาติ กำหนดค่าเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่จะกำหนดโดยการจัดการคุณภาพบริการ (คิวโอเอส) เป็น 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ กำหนดจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเป็น 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 เครื่องต่อพาร์ทิชัน กำหนดงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) จำนวน 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมด และกำหนดการใช้พลังงานของระบบออกเป็น 3 ลักษณะด้วยกัน คือ สถานะทำงาน สถานะเดินเครื่องเปล่า และสถานะประหยัดพลังงาน สำหรับลักษณะของงานที่ใช้ทดสอบได้จากการสุ่มโดยใช้ฟังก์ชันเอ็กซ์โพเนนเชียลดิสทริบิวชัน (exponential distribution) จาก

การใช้ฟังก์ชันในภาษาไพธอน ซึ่งจะทำให้การสุ่มลักษณะงาน จำนวนเครื่องที่ต้องการ เวลาการทำงาน และเวลาเริ่มทำงาน การสร้างลักษณะของงานจะมีการสุ่มลักษณะงานออกเป็น 3 กลุ่มด้วยกัน โดยการกำหนดค่าเริ่มต้นการสุ่ม (seed) เป็น 1, 2 และ 3

วิธีการสร้างงานที่ใช้ในการทดลองในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้วิธีการสุ่มโดยสร้างจากฟังก์ชันเอ็กซ์โพเนนเชียลดิสทริบิวชันในภาษาไพธอน ซึ่งจะมีข้อมูลที่จะสร้างออกเป็น 4 กลุ่มด้วยกันคือ จำนวนเครื่อง, เวลาที่ใช้ในการทำงาน, เวลาที่เริ่มทำงาน และการรองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ การสร้างกลุ่มของข้อมูลนี้ จะมีการกำหนดค่าเริ่มต้นในการสุ่มใหม่ทุกครั้งที่มีการสร้างข้อมูล วิธีการสร้างงานที่ใช้ในการทดลองมีขั้นตอนดังนี้

1. การสร้างข้อมูลจำนวนเครื่อง

สร้างงานโดยใช้การสุ่มที่สร้างจากฟังก์ชันเอ็กซ์โพเนนเชียลดิสทริบิวชันโดยกำหนดค่าเริ่มต้นการสุ่มและค่า lamdb เท่ากับ 0.1 ซึ่งค่าที่ได้มาจะเป็นเลขทศนิยมที่มีค่าไม่เกินจึงทำการปัดเศษทศนิยมที่เหลือขึ้น วิธีการสร้างข้อมูลจำนวนเครื่องแสดงได้ดังภาพที่ 10

```
Seed = ค่าการสุ่มเริ่มต้น
Data_Size = จำนวนของงาน
random.seed(Seed)
for i in range(Data_Size):
    machine = int(round(random.expovariate(0.1)))
    if(machine == 0):
        machine = 1
    Job[i].append([machine]) //เก็บจำนวนเครื่องเข้าสู่แถวลำดับ (Array) ข้อมูล
```

ภาพที่ 10 การสร้างข้อมูลจำนวนเครื่อง

2. การสร้างข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงาน

สร้างเวลาที่ใช้ในการทำงานโดยใช้การสุ่มที่สร้างจากฟังก์ชันเอ็กซ์โพเนนเชียลดิสทริบิวชัน โดยกำหนดค่าเริ่มต้นการสุ่มและค่า lamdb เท่ากับ 0.1 ซึ่งค่าที่ได้มาจะเป็นเลขทศนิยมที่มีค่าไม่เกินจึงทำการคูณด้วย 100 และปัดเศษทศนิยมที่เหลือขึ้น วิธีการสร้างข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานแสดงได้ดังภาพที่ 11

```
Seed = ค่าการสุ่มเริ่มต้น
Data_Size = จำนวนของงาน
random.seed(Seed)
for i in range(Data_Size):
    time = int(round(random.expovariate(0.1)*100))
    Job[i].append([time]) //เก็บเวลาที่ใช้ในการทำงานเข้าสู่แถวลำดับ (Array) ข้อมูล
```

ภาพที่ 11 การสร้างข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงาน

3. การสร้างข้อมูลเวลาที่เริ่มทำงาน

สร้างเวลาที่เริ่มทำงานโดยใช้การสุ่มที่สร้างจากฟังก์ชันเอ็กซ์โพเนนเชียลดิสทริบิวชัน โดยกำหนดค่าเริ่มต้นการสุ่มและค่า lamdb เท่ากับ 0.1 ซึ่งค่าที่ได้มาจะเป็นเลขทศนิยมที่มีค่าไม่เกินจึงทำการคูณด้วย 5 และปัดเศษทศนิยมที่เหลือขึ้นจากนั้นบวกด้วยค่าผลรวมของเวลาที่เริ่มทำงาน โดยที่ค่าเริ่มต้นของผลรวมเวลาที่เริ่มทำงานเท่ากับ 0 วิธีการสร้างข้อมูลเวลาที่เริ่มทำงานสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 12

```

Seed = ค่าการสุ่มเริ่มต้น
Data_Size = จำนวนของงาน
random.seed(Seed)

start = 0

for i in range(Data_Size):

    start = int(round(random.expovariate(0.1)*5)) + start

    Job[i].append([start]) //เก็บเวลาที่เริ่มทำงานเข้าสู่แถวลำดับ (Array) ข้อมูล

```

ภาพที่ 12 การสร้างข้อมูลเวลาที่เริ่มทำงาน

4. การสร้างข้อมูลการรองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ

สร้างจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ โดยใช้ฟังก์ชันการสุ่มซึ่งจะกำหนดให้ค่าผลลัพธ์การสุ่มออกมาเป็น 0 และ 1 และกำหนดค่าเริ่มต้นการสุ่มโดยที่ 0 คือ งานที่ไม่มีการรองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ และ 1 คือ งานที่มีการรองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ เมื่อได้ค่าผลลัพธ์มาแล้วจะตรวจสอบให้งานที่มีการรองรับข้อตกลงระดับการให้บริการไม่เกินไปกว่าเปอร์เซ็นต์ที่ได้กำหนดไว้ วิธีการสร้างข้อมูลการรองรับข้อตกลงระดับการให้บริการแสดงได้ดังภาพที่ 13

```

Seed = ค่าการสุ่มเริ่มต้น
Data_Size = จำนวนของงาน
PSLA = เปอร์เซ็นต์ของงานที่รองรับข้อตกลงการให้บริการ
random.seed(Seed)
count = 0
for i in range(Data_Size):
    RSLA = random.randint(0,1)
    if (RSLA == 1 and (count <= ((PSLA*Sample)/100))):
        #if (RSLA == 1 and (count <= ((100*PSLA)/Sample))):
            sla = 'Y'
            count += 1
    else:
        sla = 'N'
    jobin[i].append(sla)

```

ภาพที่ 13 การสร้างข้อมูลการรองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดลอง

การทดลองการทำงานของระบบจะทดลองด้วยวิธีการทดลอง 3 รูปแบบ คือ ทดลองโดยกำหนดให้จำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันคงที่, ทดลองโดยกำหนดให้เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) คงที่ และทดลองโดยกำหนดให้จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) คงที่ โดยมีรายละเอียดการทดลองดังนี้

1. การทดลองโดยกำหนดให้จำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันคงที่

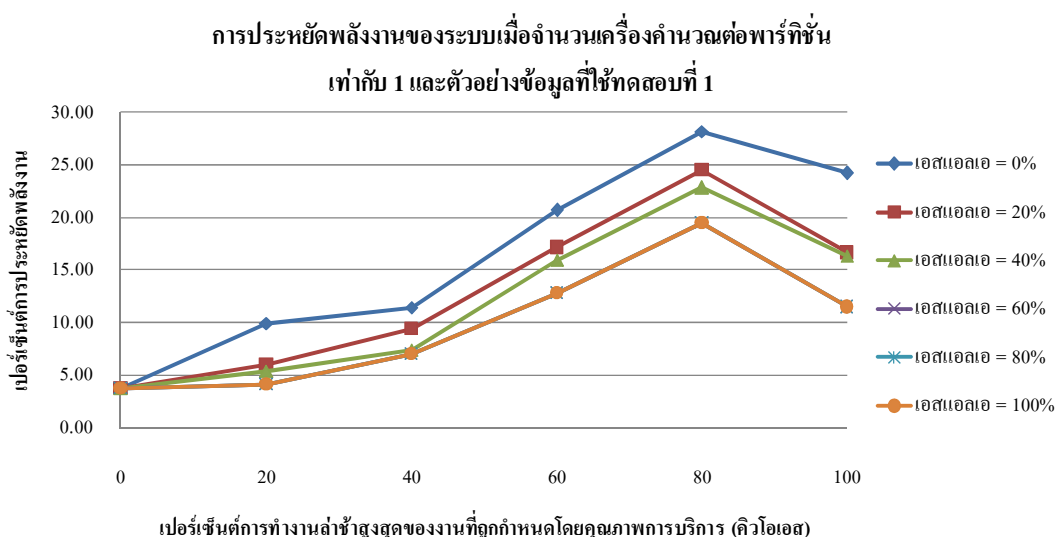
การทดลองนี้จะมีการปรับเปลี่ยนค่าเริ่มต้นการสุ่มโดยแบ่งเป็นกลุ่มทดลอง 3 กลุ่มทดลอง คือ กลุ่มทดลองที่ 1 จะมีค่าเริ่มต้นการสุ่มเป็น 1, กลุ่มทดลองที่ 2 จะมีค่าเริ่มต้นการสุ่มเป็น 2 และกลุ่มทดลองที่ 3 จะมีค่าเริ่มต้นการสุ่มเป็น 3 การทดลองการปรับเปลี่ยนจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันให้คงที่ในแต่ละการทดลอง เพื่อดูแนวโน้มการประหยัพลังงานเมื่อมีการปรับเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และเมื่อปรับเปลี่ยนจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ)

1.1 การทดลองโดยใช้จำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันคงที่กับตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

การทดลองโดยกำหนดให้จำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันเปลี่ยนจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันตั้งแต่ 1 ถึง 10 ในแต่ละการทดลองกับตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1 ซึ่งผลการทดลองมีดังนี้

1.1.1 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 1 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 14

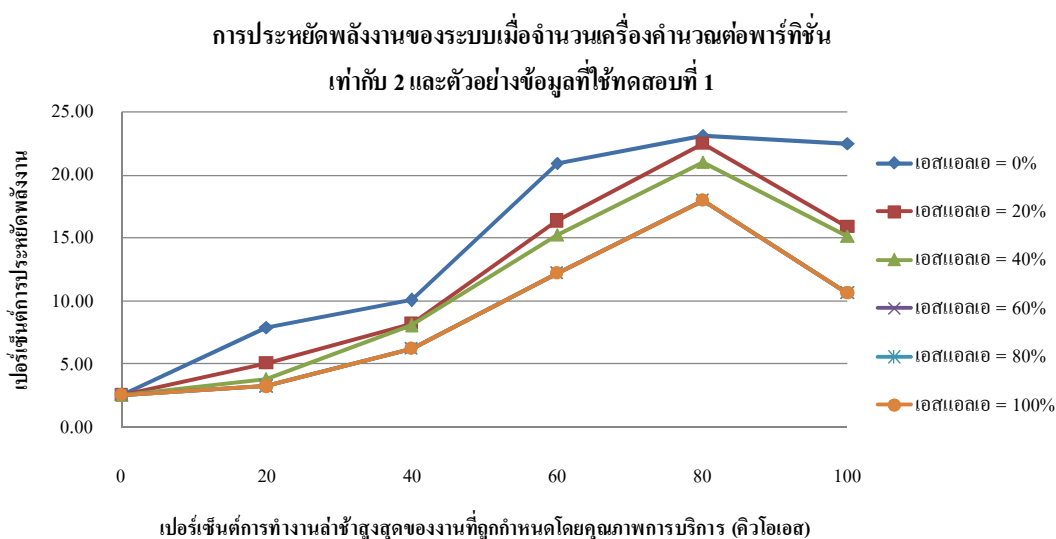


ภาพที่ 14 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 1 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 14 ที่เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 20 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) มากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดจะมีค่าการประหยัพลังงานใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 40 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และที่จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) มากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดมีการใช้พลังงานใกล้เคียงกัน และที่จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดการประหยัพลังงานจะเท่ากันหมดในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.1.2 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 2 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 15

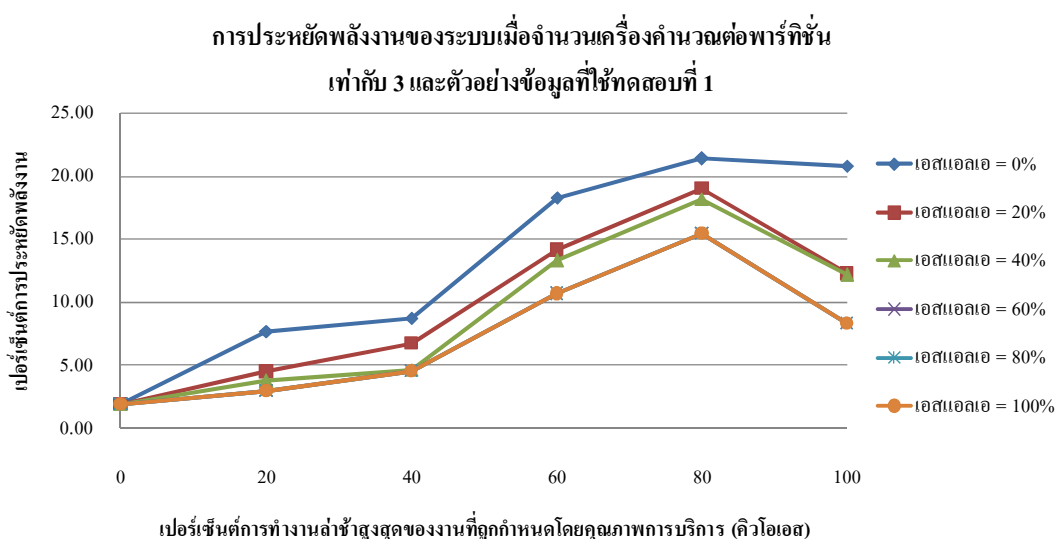


ภาพที่ 15 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 2 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 15 ที่เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 80 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 0 และ 20 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดจะมีการประหยัพลังงานใกล้เคียงกันและเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 80 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) มีการประหยัพลังงานมากที่สุด ที่จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดการประหยัพลังงานจะเท่ากันหมดในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.1.3 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 3 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 16

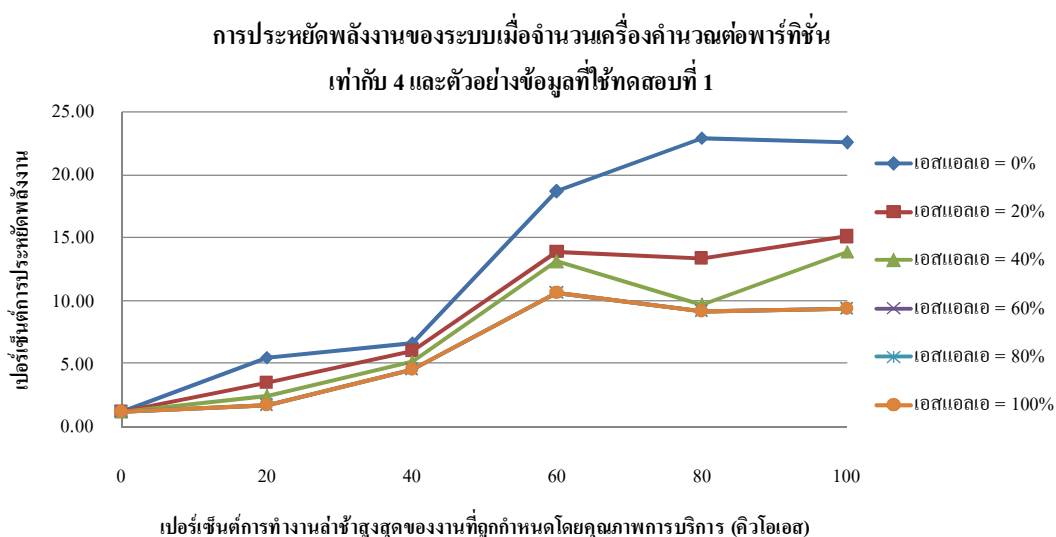


ภาพที่ 16 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 3 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 16 ที่เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 20 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดจะมีค่าการประหยัพลังงานใกล้เคียงกัน การประหยัพลังงานมากที่สุดจะพบที่เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 80 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และที่จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดการประหยัพลังงานจะเท่ากันหมดในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.1.4 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 4 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 17

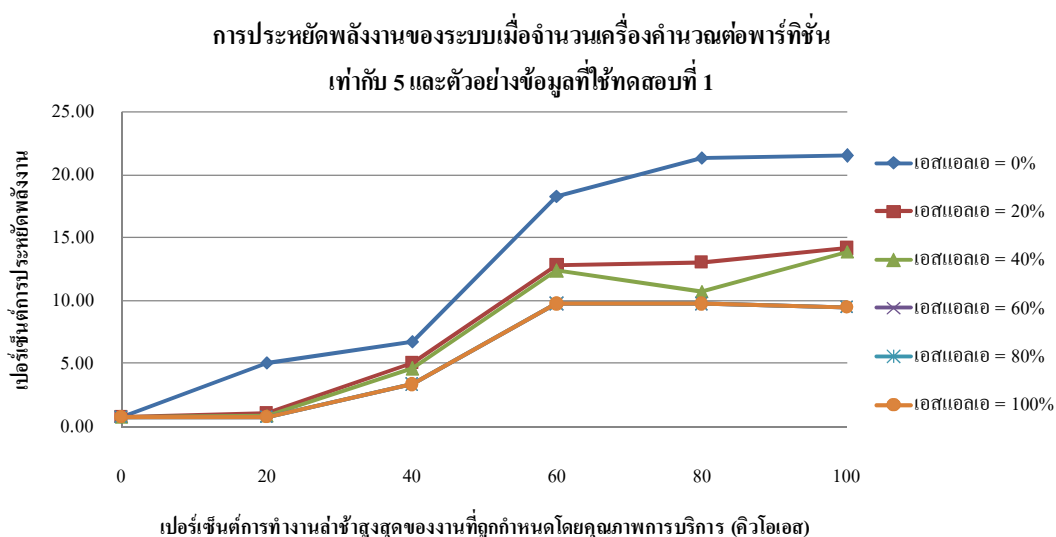


ภาพที่ 17 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 4 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 17 ที่เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 40 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) จะมีค่าการประหยัพลังงานใกล้เคียงกัน จะเริ่มแตกต่างกันที่เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 60 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และที่จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดค่าการประหยัพลังงานจะเท่ากันหมดในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.1.5 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 5 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 18

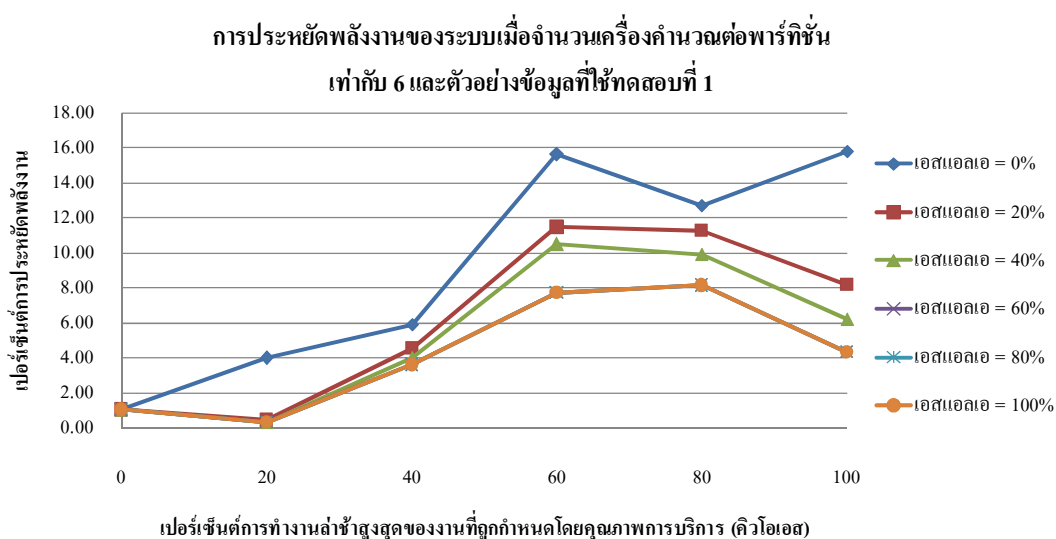


ภาพที่ 18 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 5 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 18 ที่เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และที่จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดจะมีค่าการประหยัพลังงานใกล้เคียงกันมาก และที่จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดค่าการประหยัพลังงานจะเท่ากันหมดในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.1.6 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 6 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 19

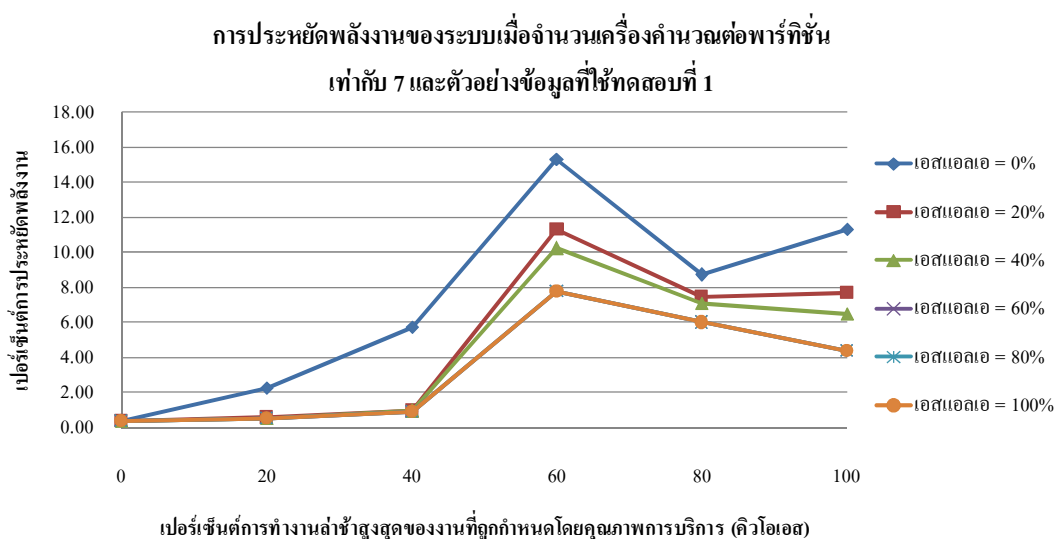


ภาพที่ 19 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 6 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 19 ที่เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และที่จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดจะมีค่าการประหยัพลังงานใกล้เคียงกัน ที่เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 60 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) มีการประหยัพลังงานมากที่สุด และที่จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดค่าการประหยัพลังงานจะเท่ากันหมดในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.1.7 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 7 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 20

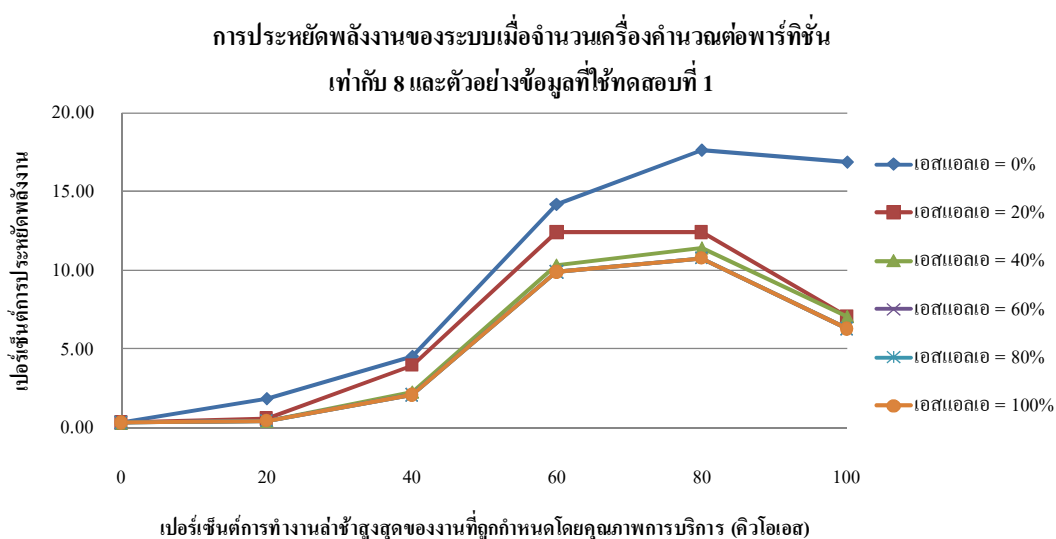


ภาพที่ 20 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 7 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 20 ที่เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดจะมีค่าการประหยัพลังงานใกล้เคียงกันมาก ที่เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 60 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) มีการประหยัพลังงานมากที่สุด และที่จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดค่าการประหยัพลังงานจะเท่ากันหมดในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.1.8 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 8 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 21

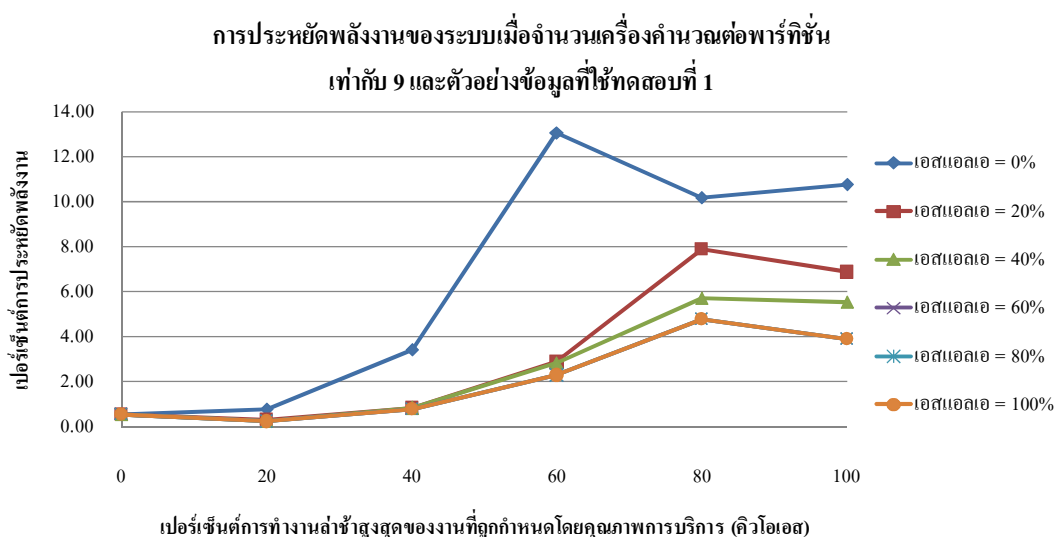


ภาพที่ 21 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 8 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 21 ที่เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 20 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดจะมีค่าการประหยัพลังงานใกล้เคียงกันมาก แต่เมื่อจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 40 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) มีการประหยัพลังงานใกล้เคียงกับเปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 0 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และที่จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดค่าการประหยัพลังงานจะเท่ากันหมดในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.1.9 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 9 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 22

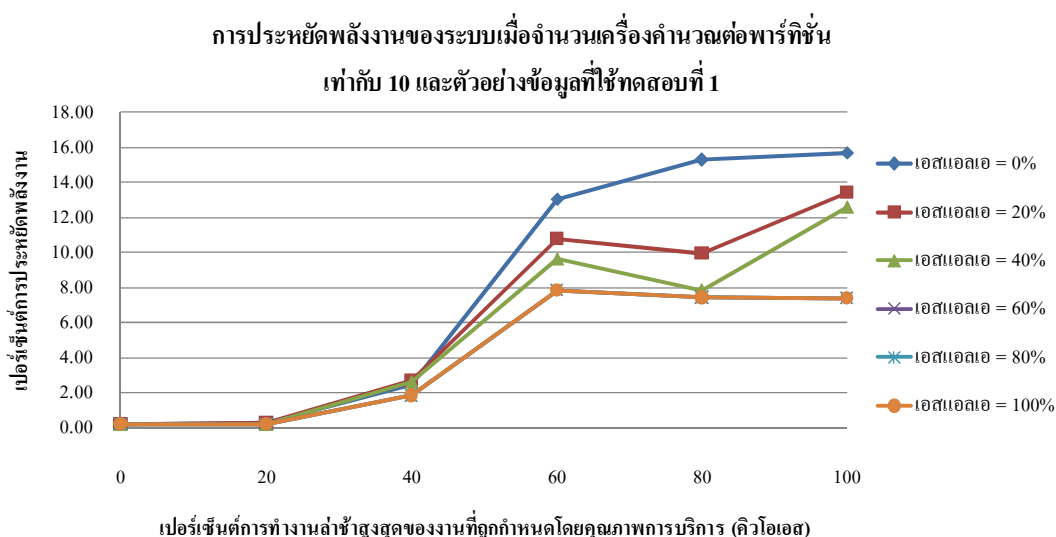


ภาพที่ 22 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 9 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 22 ที่จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดตั้งแต่ 20 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และจะมีค่าการประหยัพลังงานใกล้เคียงกันมาก และที่จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดค่าการประหยัพลังงานจะเท่ากันหมดในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.1.10 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 10 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 10 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

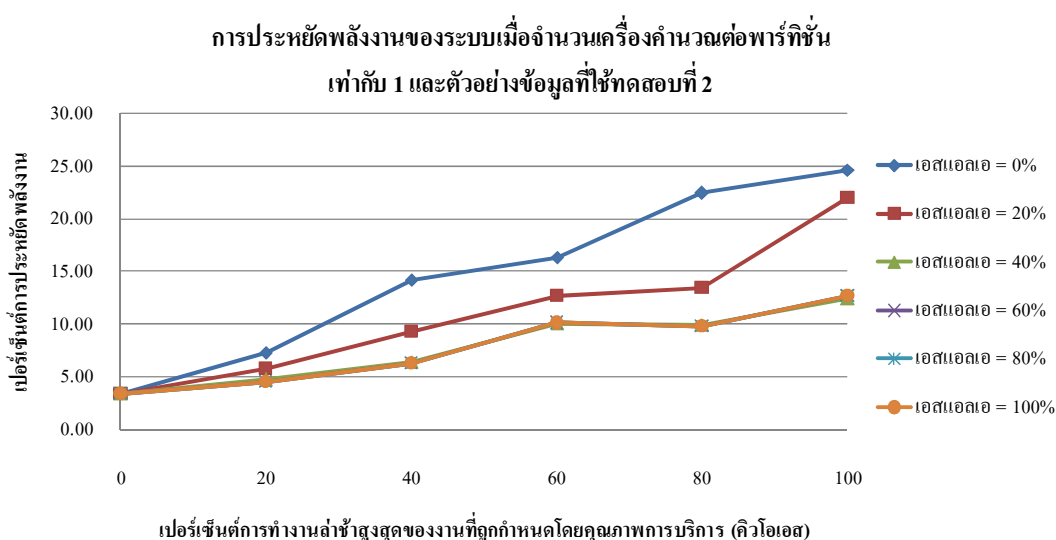
จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 23 ที่เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดตั้งแต่ 0 ถึง 40 เปอร์เซนต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) จะมีค่าการประหยัพลังงานใกล้เคียงกันมากในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) การประหยัพลังงานสูงสุดจะพบที่เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 80 เปอร์เซนต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และที่จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) มากกว่า 60 เปอร์เซนต์ของจำนวนงานทั้งหมดค่าการประหยัพลังงานจะเท่ากันหมดในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.2 การทดลองโดยใช้จำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันคงที่กับตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

การทดลองโดยกำหนดให้จำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันเปลี่ยนจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันตั้งแต่ 1 ถึง 10 ในแต่ละการทดลองกับตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2 ซึ่งผลการทดลองมีดังนี้

1.2.1 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 1 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 24

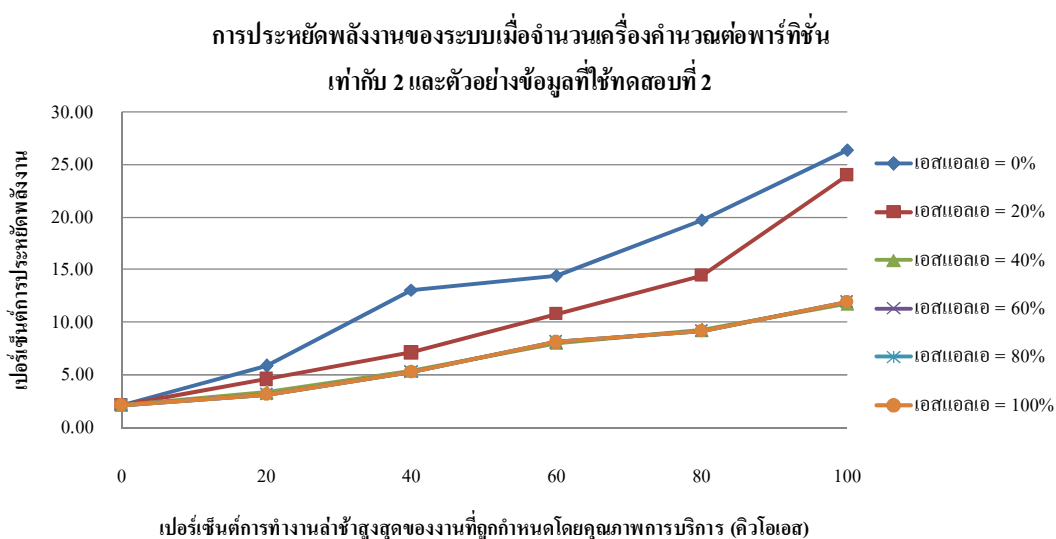


ภาพที่ 24 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 1 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 24 จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 40 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) จะมีการประหยัพลังงานเท่ากัน และเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 20 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.2.2 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 2 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 25

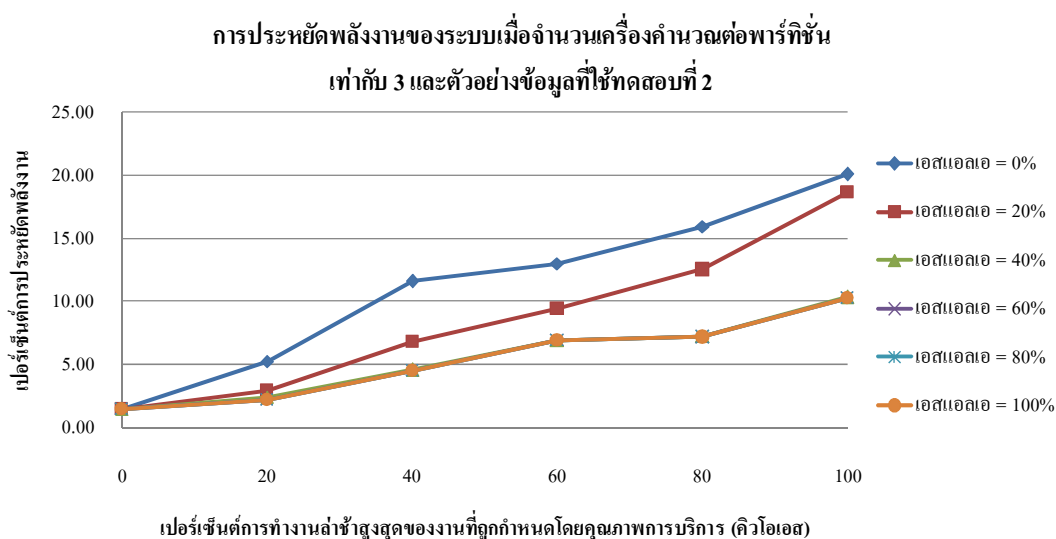


ภาพที่ 25 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 2 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 25 เปอร์เซนต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 20 เปอร์เซนต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และจะมีค่าการประหยัพลังงานใกล้เคียงกัน และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 60 ถึง 100 เปอร์เซนต์ของจำนวนงานทั้งหมดจะมีการประหยัพลังงานเท่ากันในแต่ละเปอร์เซนต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.2.3 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 3 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 26

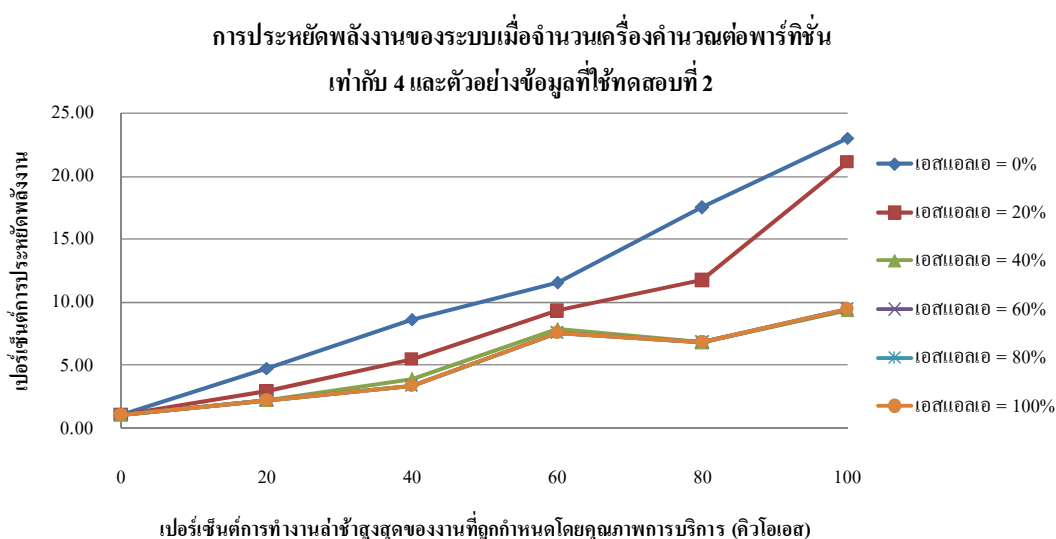


ภาพที่ 26 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 3 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 26 เปอร์เซนต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 20 เปอร์เซนต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซนต์ของจำนวนงานทั้งหมดจะมีค่าการประหยัพลังงานใกล้เคียงกัน เปอร์เซนต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 100 เปอร์เซนต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 0 และ 20 เปอร์เซนต์ของจำนวนงานทั้งหมดจะมีค่าการประหยัพลังงานใกล้เคียงกัน และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 60 ถึง 100 เปอร์เซนต์ของจำนวนงานทั้งหมดจะมีการประหยัพลังงานเท่ากันในแต่ละเปอร์เซนต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.2.4 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 4 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 27

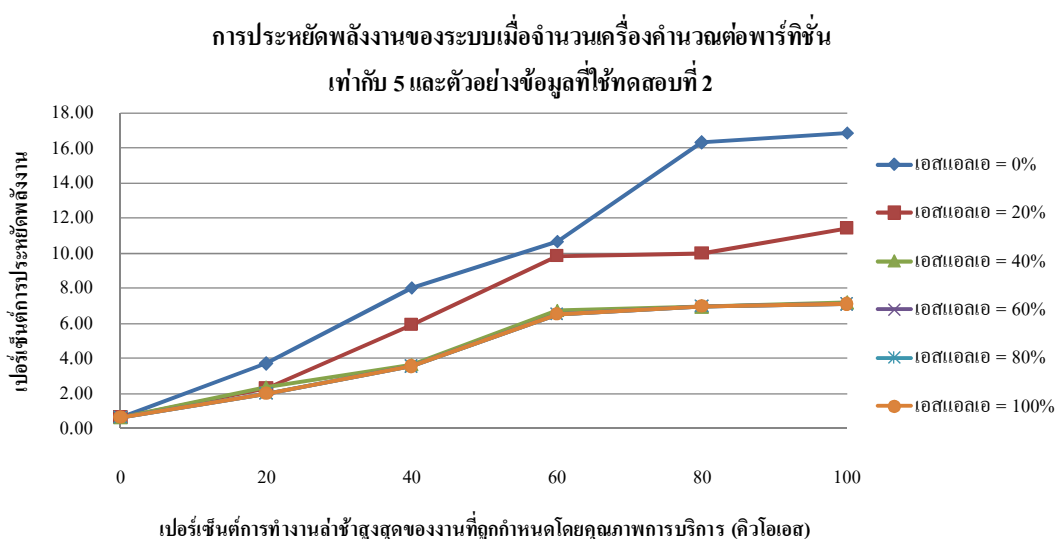


ภาพที่ 27 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 4 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 27 จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 40 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดจะมีค่าการประหยัพลังงานในแต่ละเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ใกล้เคียงกัน และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 60 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดจะมีการประหยัพลังงานเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.2.5 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 5 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 28

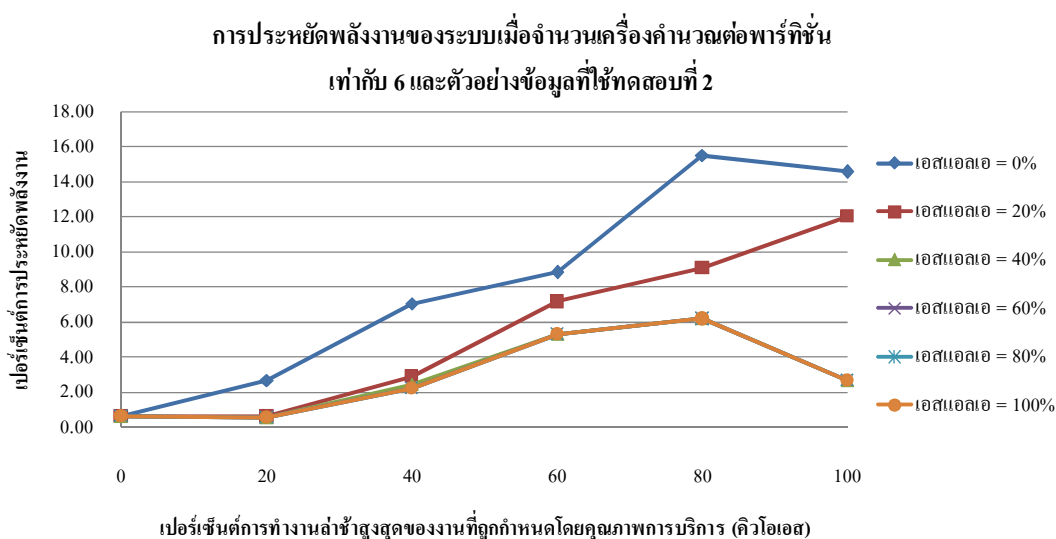


ภาพที่ 28 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 5 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 28 จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 40 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดจะมีค่าการประหยัพลังงานในแต่ละเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ใกล้เคียงกัน และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 60 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดจะมีการประหยัพลังงานเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.2.6 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 6 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 29

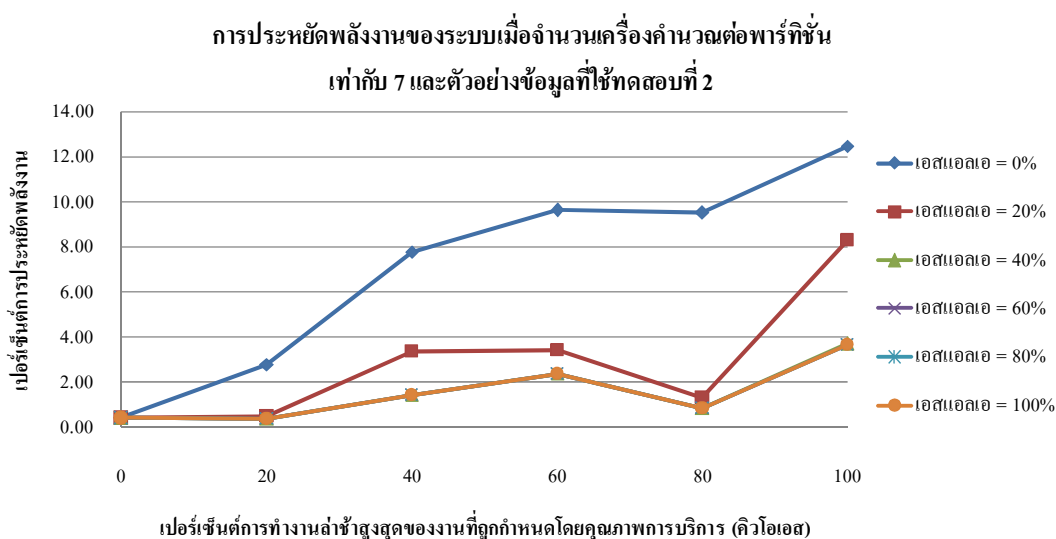


ภาพที่ 29 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 6 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 29 จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการประหยัพลังงานเท่ากัน จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ที่ 40 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการประหยัพลังงานใกล้เคียงกัน และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 60 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดจะมีการประหยัพลังงานเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.2.7 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 7 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 30

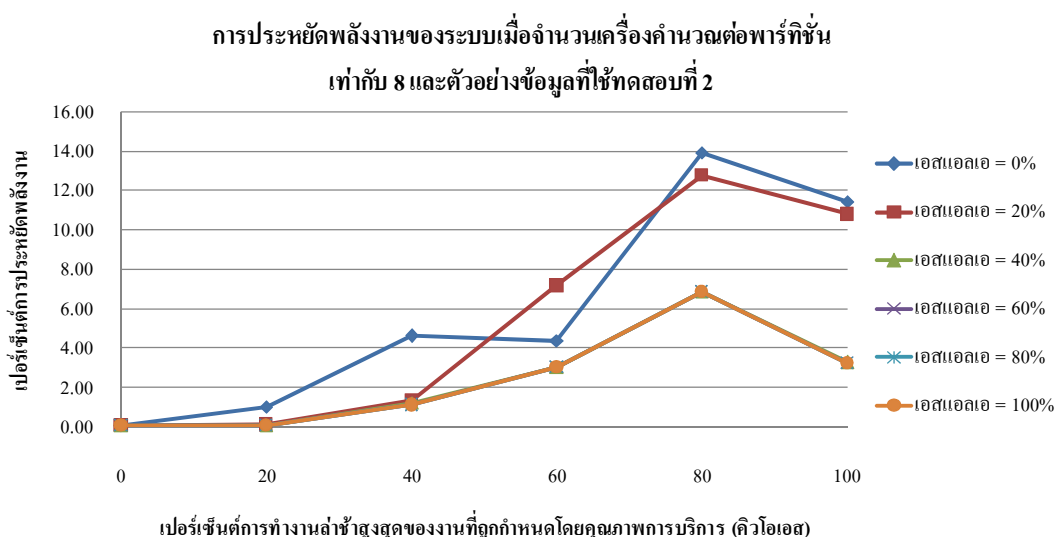


ภาพที่ 30 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 7 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 30 จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการประหยัพลังงานเท่ากัน จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการประหยัพลังงานใกล้เคียงกัน และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 60 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดจะมีการประหยัพลังงานเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.2.8 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 8 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 31

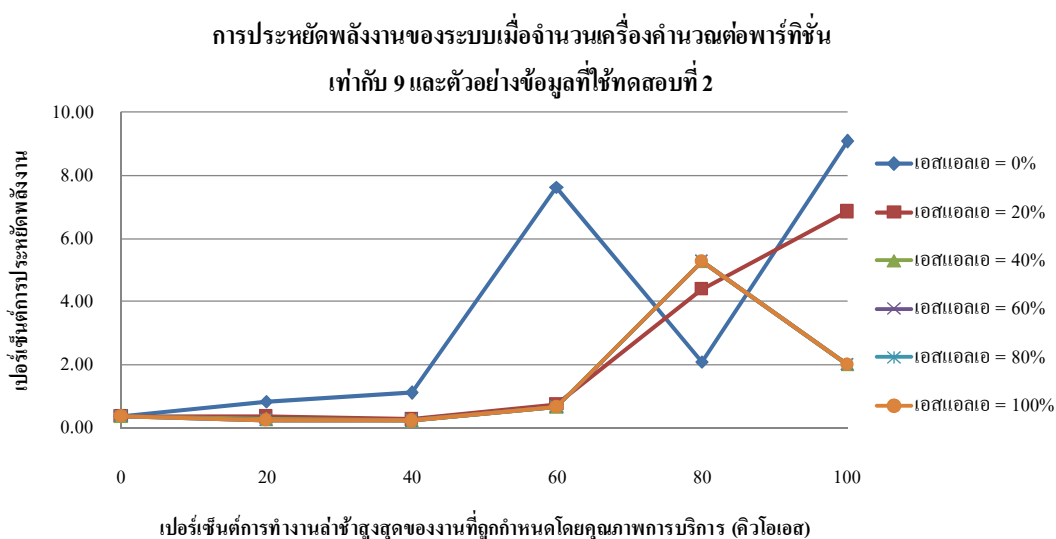


ภาพที่ 31 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 8 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 31 จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการประหยัพลังงานเท่ากัน จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ที่ 40 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการประหยัพลังงานใกล้เคียงกัน และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 60 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดที่ทุกๆเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) จะมีการประหยัพลังงานเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.2.9 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 9 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 32

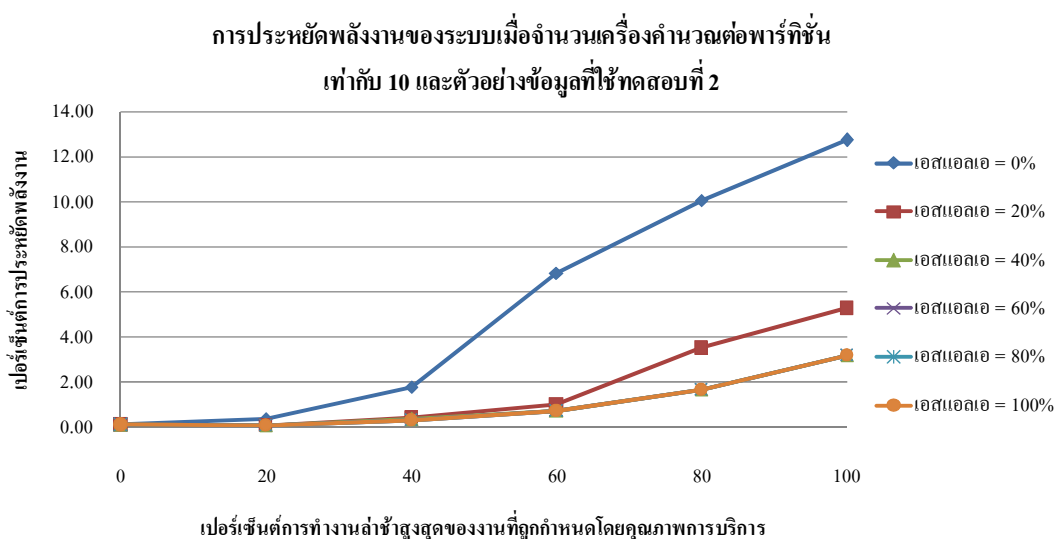


ภาพที่ 32 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 9 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 32 จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ที่ 0 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการประหยัพลังงานเท่ากัน จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 0 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการประหยัพลังงานน้อยที่สุด และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 60 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดที่ทุกๆเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) จะมีการประหยัพลังงานเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.2.10 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 10 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 10 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

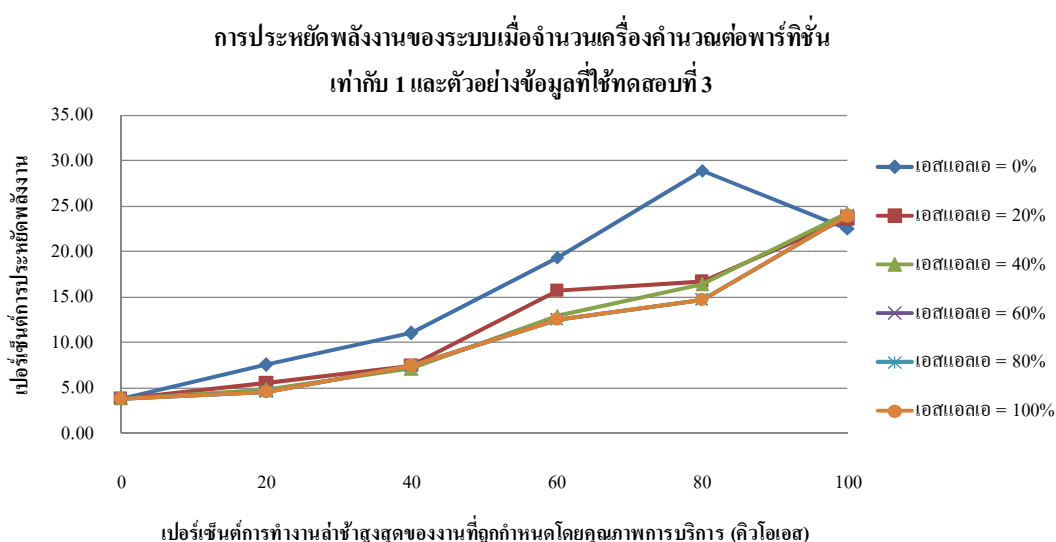
จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 33 จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ที่ 20 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการประหยัพลังงานเท่ากัน การประหยัพลังงานจะต่ำมากเมื่อจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ที่ 0 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 60 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดที่ทุกๆเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) จะมีการประหยัพลังงานเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.3 การทดลองโดยให้จำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันคงที่กับตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

การทดลองโดยกำหนดให้จำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันเปลี่ยนจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันตั้งแต่ 1 ถึง 10 กับตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3 ซึ่งผลการทดลองมีดังนี้

1.3.1 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 1 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 34



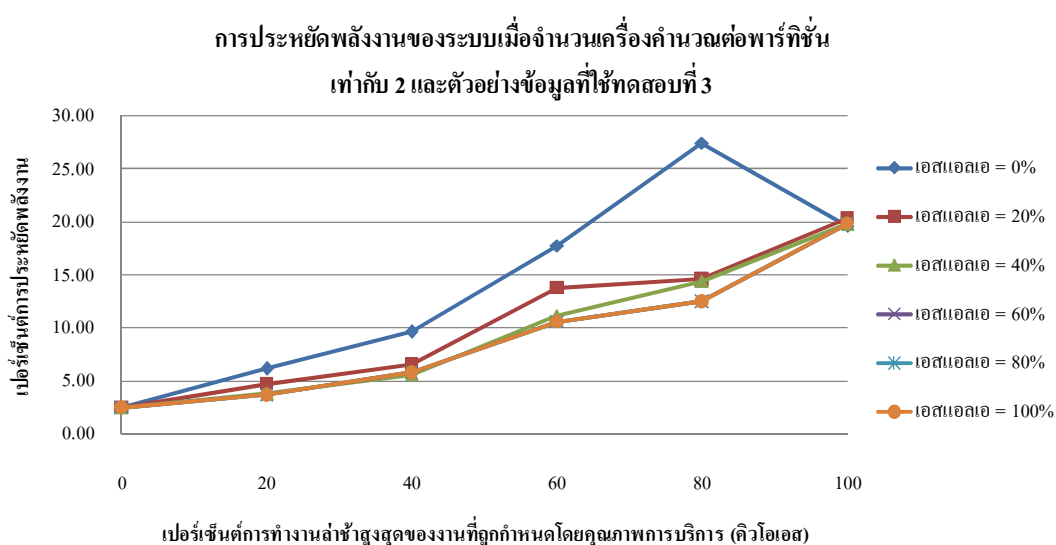
ภาพที่ 34 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 1 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 34 จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ที่ 0 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์จะมีค่าการประหยัพลังงานใกล้เคียงกัน เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 100 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ที่ทุกงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) มีค่าการประหยัพลังงานใกล้เคียงกัน และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 60 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดที่ทุกๆเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) จะมีการ

ประหยัพลังงานเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.3.2 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 2 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 35

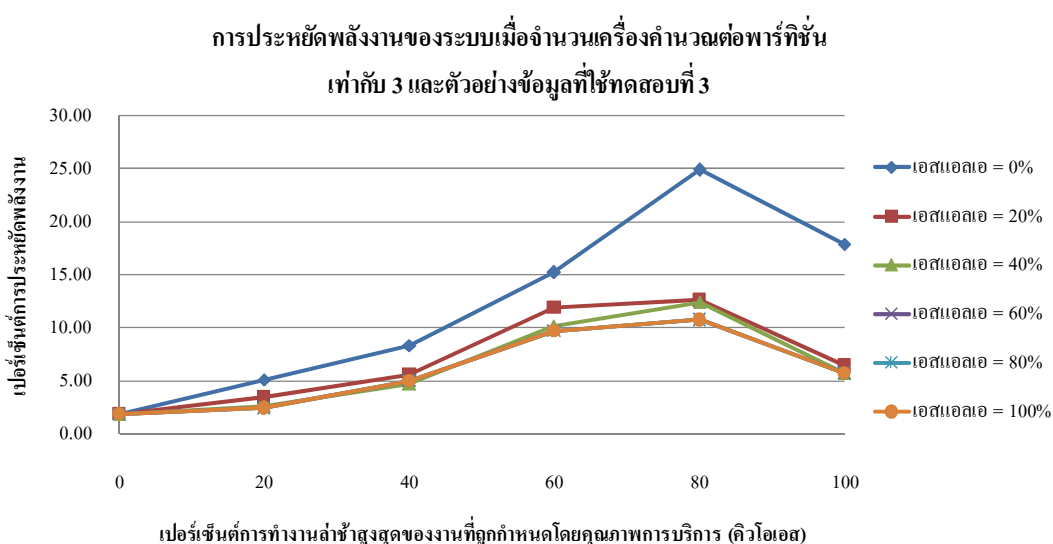


ภาพที่ 35 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 2 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 35 จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ที่ 0 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์จะมีค่าการประหยัพลังงานใกล้เคียงกัน เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 100 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ที่ทุกงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) มีค่าการประหยัพลังงานใกล้เคียงกัน และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 60 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดที่ทุกๆเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) จะมีการประหยัพลังงานเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.3.3 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 3 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 36

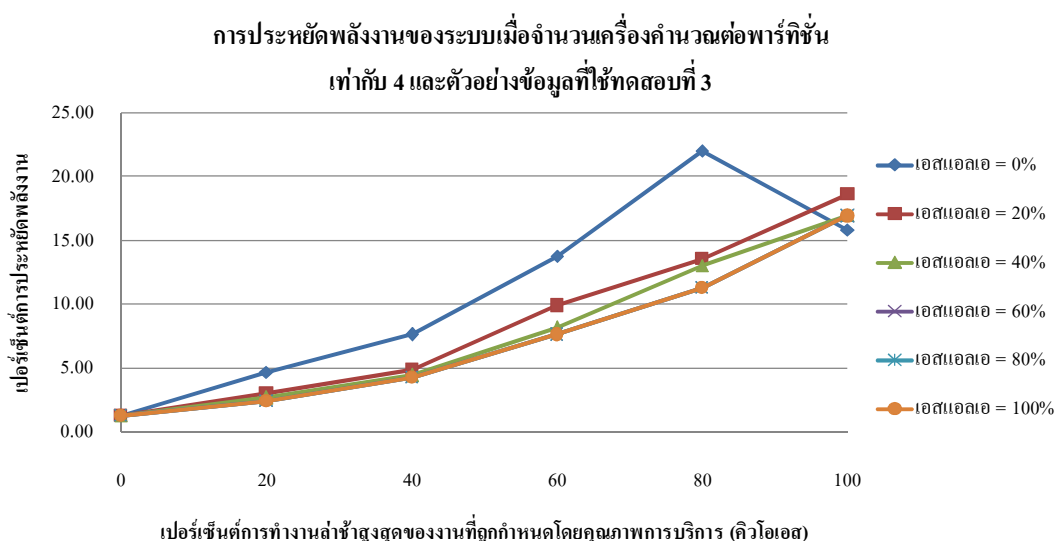


ภาพที่ 36 การประหยัดพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 2 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 36 จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดและทุกๆเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) จะมีค่าการประหยัดพลังงานใกล้เคียงกัน เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 100 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ที่ทุกงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) มีค่าการประหยัดพลังงานใกล้เคียงกัน และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 60 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดที่ทุกๆเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) จะมีการประหยัดพลังงานเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.3.4 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 1 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 37

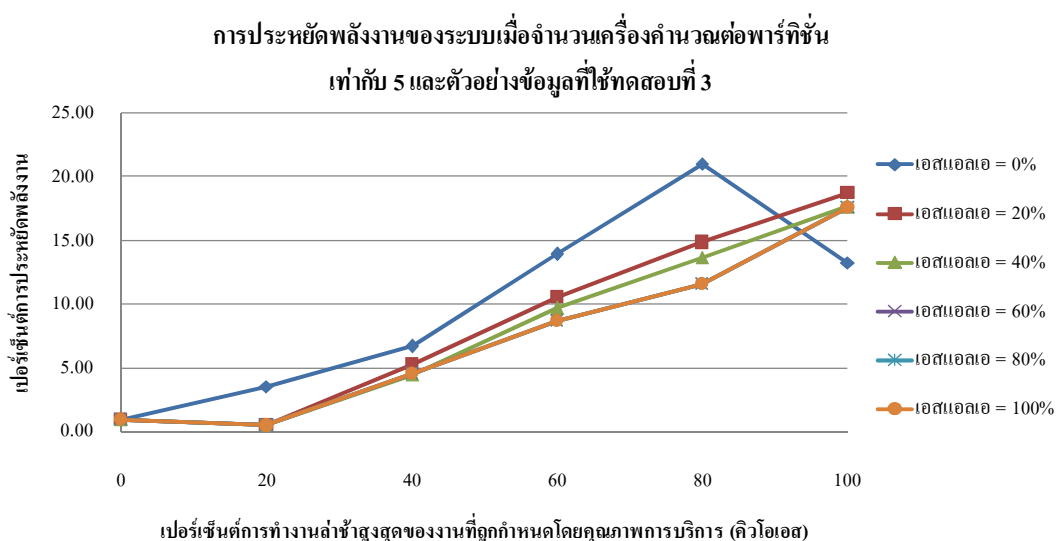


ภาพที่ 37 การประหยัดพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 4 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 37 จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ที่ 20 เปอร์เซ็นต์จะมีค่าการประหยัดพลังงานเท่ากัน เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 100 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 0 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดประหยัดพลังงานต่ำที่สุด และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 60 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดที่ทุกๆเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) จะมีการประหยัดพลังงานเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.3.5 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 5 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 38

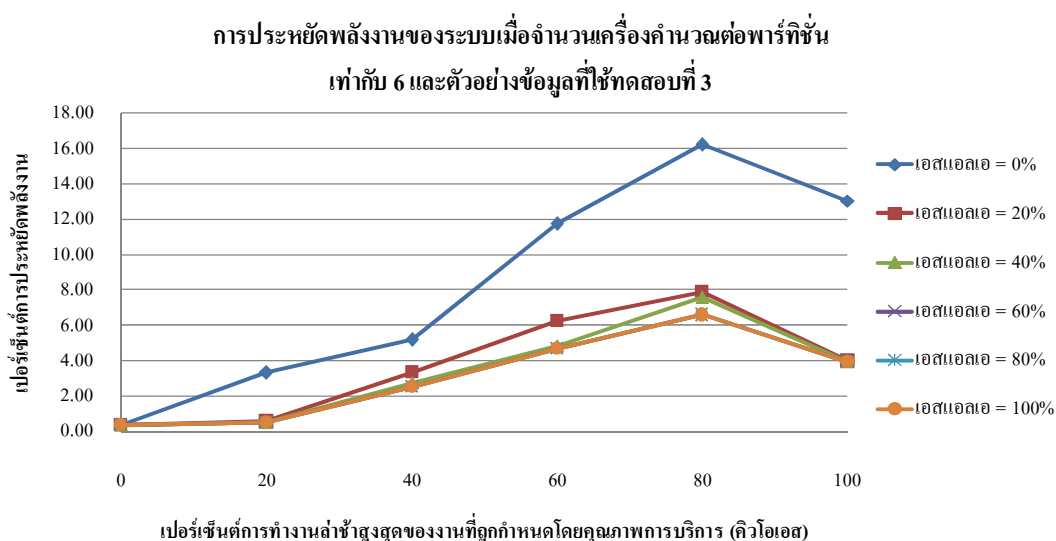


ภาพที่ 38 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 5 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 38 จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ที่ 20 และ 100 เปอร์เซ็นต์จะมีการประหยัพลังงานในแต่ละเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากัน เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 100 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 0 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดประหยัพลังงานต่ำที่สุด และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 60 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดที่ทุกๆเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) จะมีการประหยัพลังงานเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.3.6 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 6 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 39

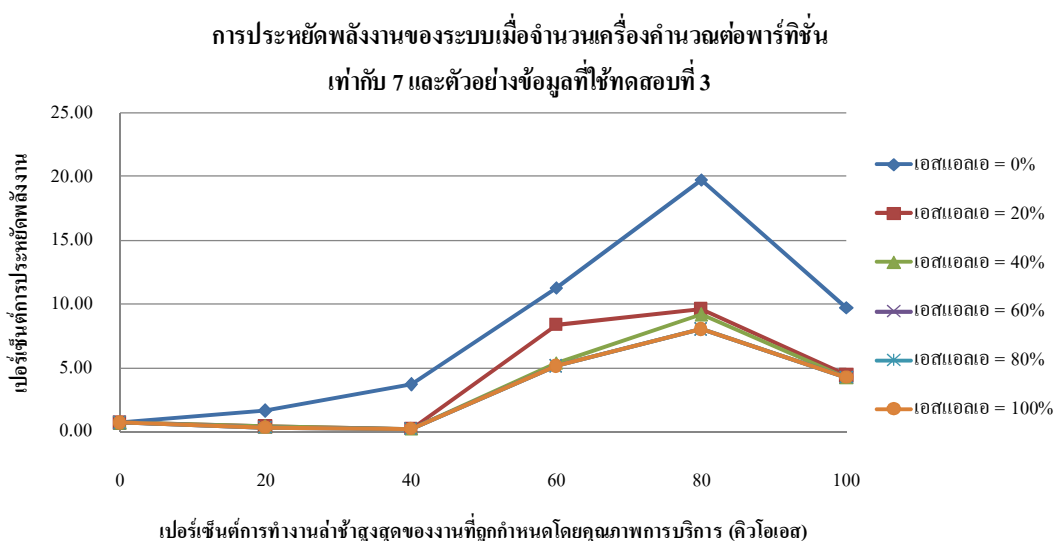


ภาพที่ 39 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 6 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 39 จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ที่ 0 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์จะมีค่าการประหยัพลังงานใกล้เคียงกัน เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 100 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ที่ทุกงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) มีค่าการประหยัพลังงานใกล้เคียงกัน และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 60 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดที่ทุกๆเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) จะมีการประหยัพลังงานเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.3.7 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 7 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 40

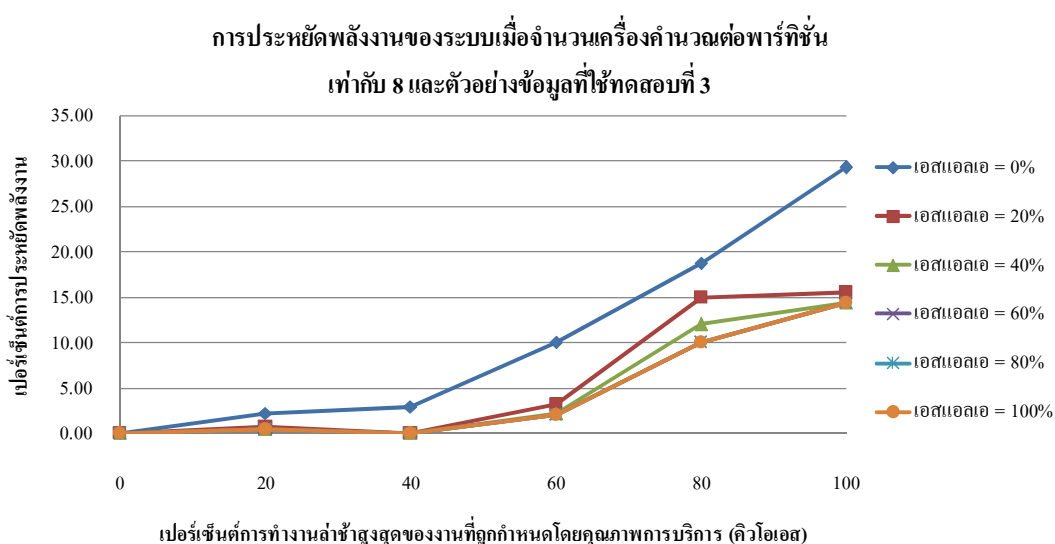


ภาพที่ 40 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 7 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 40 จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ที่ 40 เปอร์เซ็นต์จะมีค่าการประหยัพลังงานที่ต่ำมาก เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 100 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดจะประหยัพลังงานเท่ากัน และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 60 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดที่ทุกๆเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) จะมีการประหยัพลังงานเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.3.8 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 8 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 41

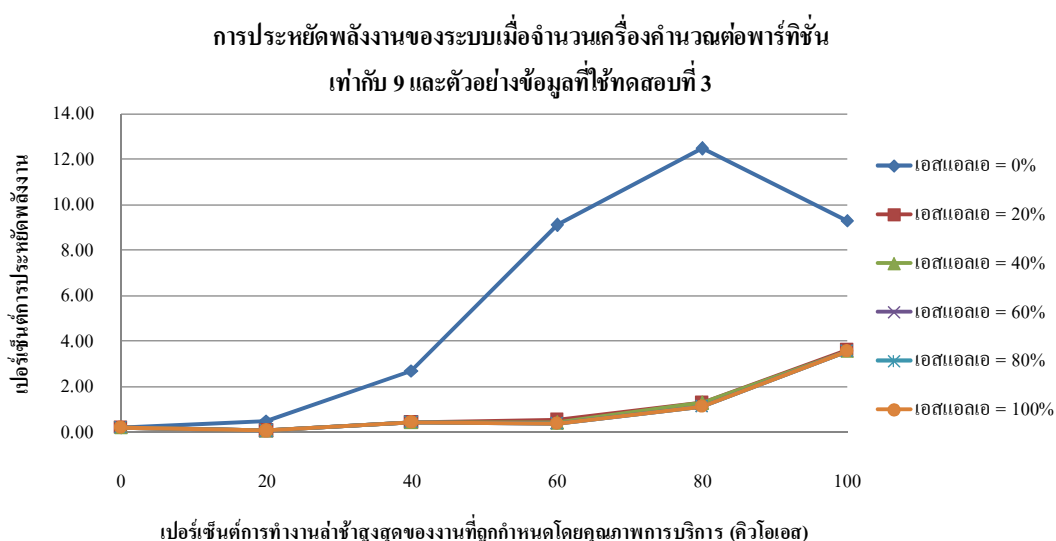


ภาพที่ 41 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 8 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 41 จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ที่ 40 เปอร์เซ็นต์จะมีค่าการประหยัพลังงานที่ต่ำมาก เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 100 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดจะประหยัพลังงานใกล้เคียงกัน และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 60 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดที่ทุกๆเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) จะมีการประหยัพลังงานเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.3.9 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 9 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 42

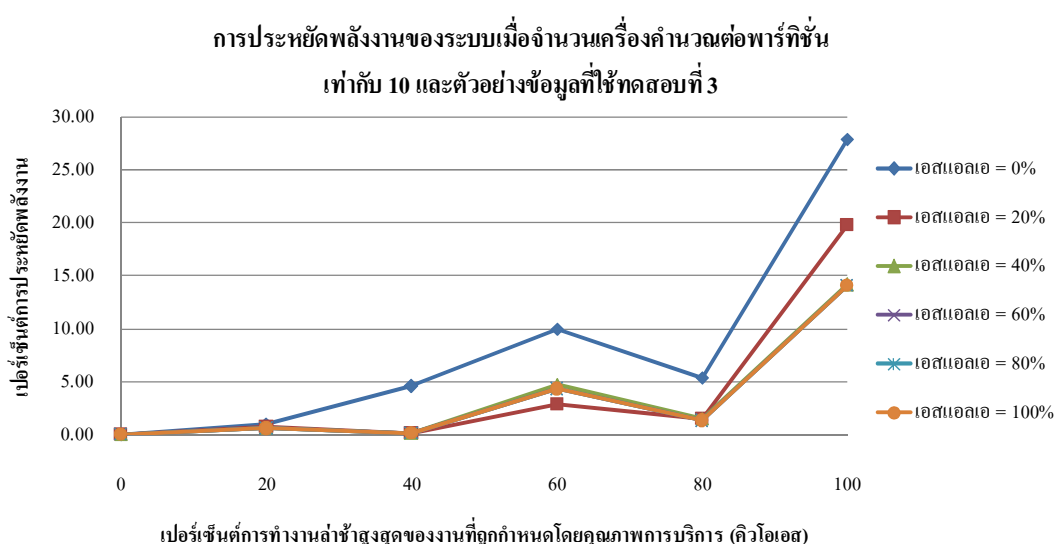


ภาพที่ 42 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ติชันเท่ากับ 9 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 42 จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ที่ 60 เปอร์เซ็นต์จะมีค่าการประหยัพลังงานที่ต่ำมาก และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดที่แต่ละเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) จะมีการประหยัพลังงานเท่ากัน

1.3.10 การทดลองเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 10 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 43



ภาพที่ 43 การประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 10 และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 43 ทุกงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) และเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ที่ 20 เปอร์เซ็นต์จะมีค่าการประหยัพลังงานต่ำมาก เช่นเดียวกับเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 40 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และที่จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดมีค่าการประหยัพลังงานต่ำมาก แต่ที่เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 40 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) จะมีการประหยัพลังงานที่มากกว่าเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) อื่นๆ และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 60 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดที่ทุกๆเปอร์เซ็นต์ที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) จะมีการประหยัพลังงานเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

1.4 สรุปการทดลอง

จากการทดลองทั้งกลุ่มตัวอย่างข้อมูลทั้งสามจะพบว่า เมื่อจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) เท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนงานทั้งหมดจะมีการประหยัดพลังงานได้ดีกว่าจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) ค่าอื่นๆ เนื่องจากเครื่องคำนวณไม่ต้องอุทิศไปให้กับงานใดงานหนึ่ง และเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันมีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 7 และเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์แล้วจะการประหยัดพลังงานใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 20, 21, 22, 23, 30, 31, 32, 33, 40, 41, 42 และ 43) และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 60 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดจะมีการประหยัดพลังงานเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

2. การทดลองการประหยัดพลังงานโดยกำหนดให้เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) คงที่

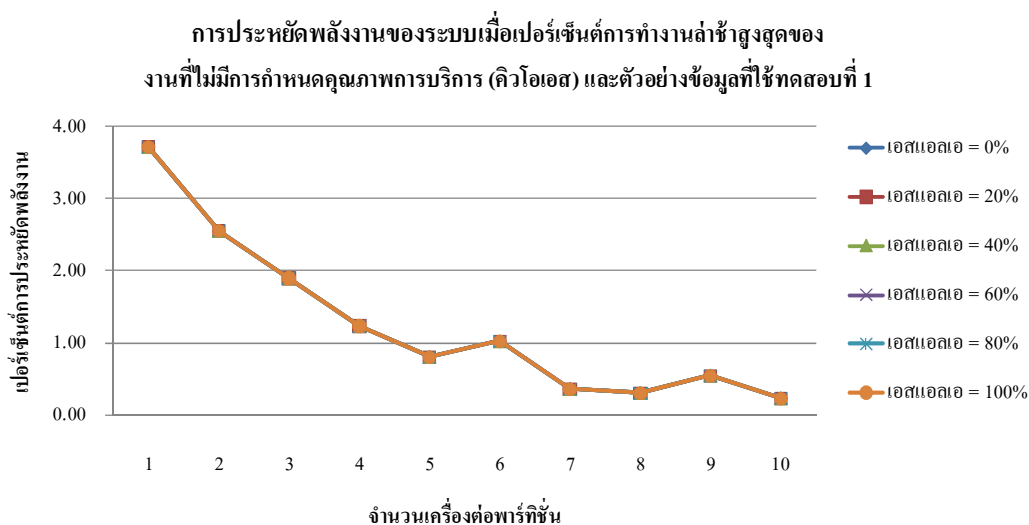
การทดลองนี้จะมีการปรับเปลี่ยนค่าเริ่มต้นการสุ่มโดยแบ่งเป็นกลุ่มทดลอง 3 กลุ่มทดลอง คือ กลุ่มทดลองที่ 1 จะมีค่าเริ่มต้นการสุ่มเป็น 1, กลุ่มทดลองที่ 2 จะมีค่าเริ่มต้นการสุ่มเป็น 2 และกลุ่มทดลองที่ 3 จะมีค่าเริ่มต้นการสุ่มเป็น 3 การทดลองการปรับเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) ให้คงที่ในแต่ละการทดลอง เพื่อดูแนวโน้มการประหยัดพลังงานเมื่อมีการปรับเปลี่ยนจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชัน และเมื่อปรับเปลี่ยนจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ)

2.1 การทดลองโดยกำหนดให้เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) คงที่กับตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

การทดลองโดยกำหนดให้เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) มีค่า 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ กับตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1 ซึ่งผลการทดลองมีดังนี้

2.1.1 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ไม่มีการกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) หรือเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) มีค่า 0 เปอร์เซ็นต์ และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 44

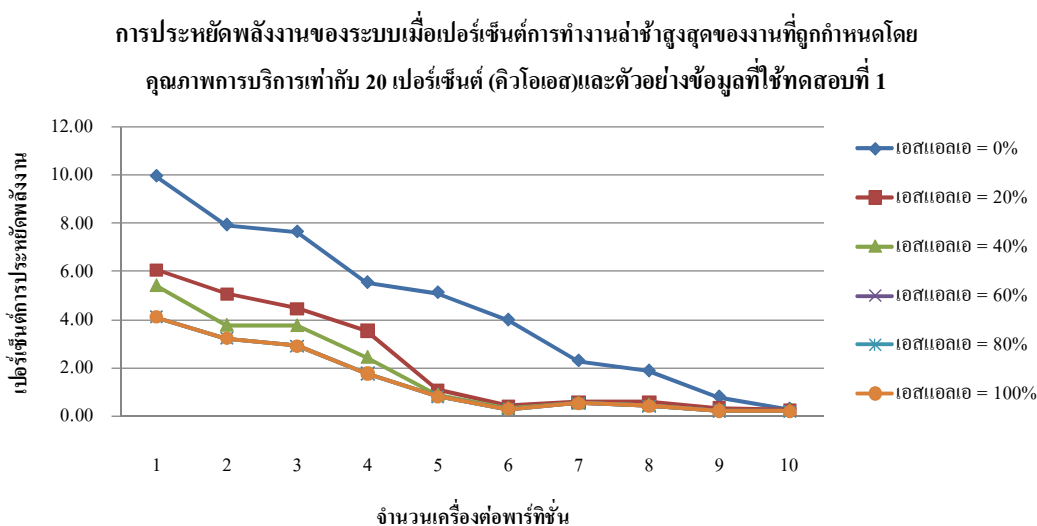


ภาพที่ 44 การประหยัพลังงานของระบบเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ไม่มีการกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 44 พบว่ามีการประหยัพลังงานเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) ทั้งหมด และการประหยัพลังงานจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชั่นเพิ่มขึ้น

2.1.2 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยมี การกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) 20 เปอร์เซ็นต์ และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 45

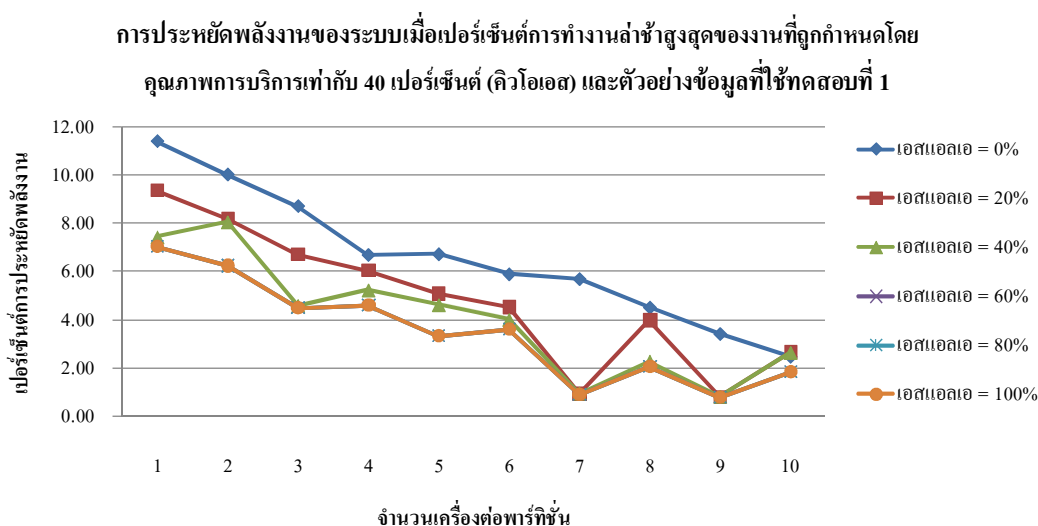


ภาพที่ 45 การประหยัพลังงานของระบบเมื่อกำหนดเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 45 พบว่าเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันมีขนาดเท่ากับหรือมากกว่า 5 เครื่องต่อพาร์ทิชันและจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) มีจำนวนมากกว่าหรือเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์จะมีการประหยัพลังงานจะใกล้เคียงกันมาก และเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 10 เครื่องต่อพาร์ทิชันที่ทุกงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) จะมีการประหยัพลังงานต่ำและใกล้เคียงกันมาก

2.1.3 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยมี การกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) 40 เปอร์เซนต์ และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 46

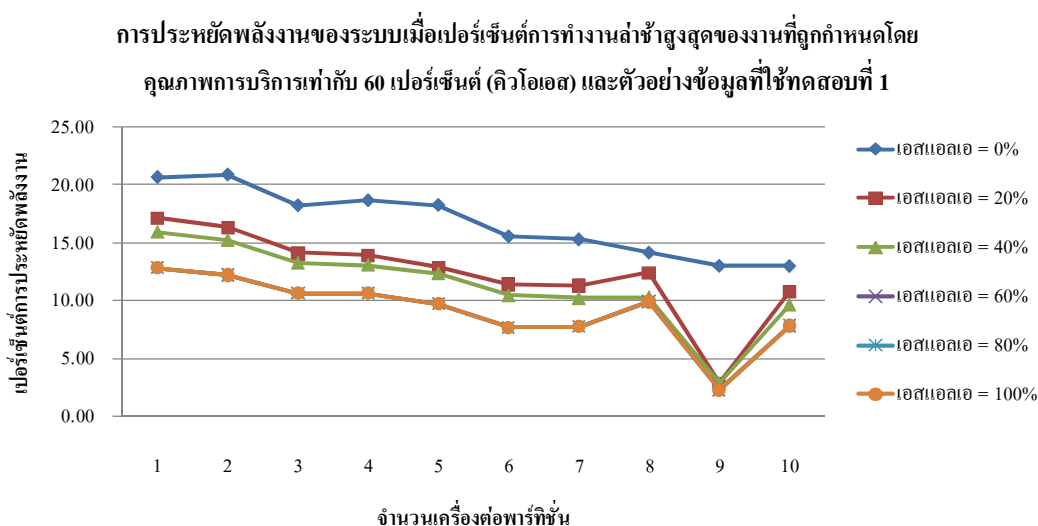


ภาพที่ 46 การประหยัพลังงานของระบบเมื่อกำหนดเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการเท่ากับ 40 เปอร์เซนต์ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 46 พบว่าเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันมีขนาดเท่ากับหรือมากกว่า 7 เครื่องต่อพาร์ทิชันและจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) มีจำนวนมากกว่าหรือเท่ากับ 20 เปอร์เซนต์จะมีการประหยัพลังงานจะใกล้เคียงกันมาก และเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 10 เครื่องต่อพาร์ทิชันที่ทุกงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) จะมีการประหยัพลังงานต่ำและใกล้เคียงกันมาก

2.1.4 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยมี การกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) 60 เปอร์เซ็นต์ และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 47

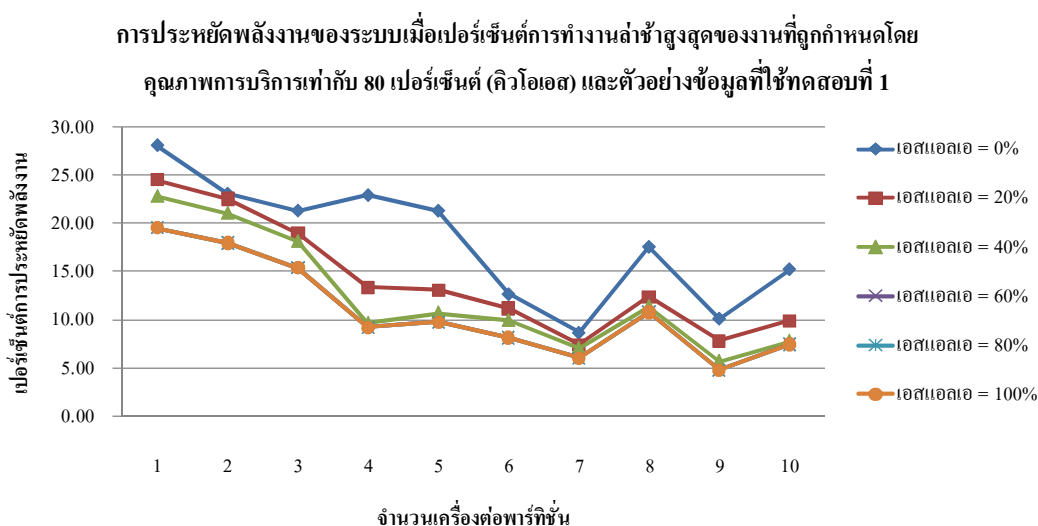


ภาพที่ 47 การประหยัพลังงานของระบบเมื่อกำหนดเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 47 พบว่าเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันมีขนาดเท่ากับหรือมากกว่า 9 เครื่องต่อพาร์ทิชันและจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) มีจำนวนมากกว่าหรือเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์จะมีการประหยัพลังงานจะใกล้เคียงกันมาก

2.1.5 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยมี การกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) 80 เปอร์เซนต์ และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 48

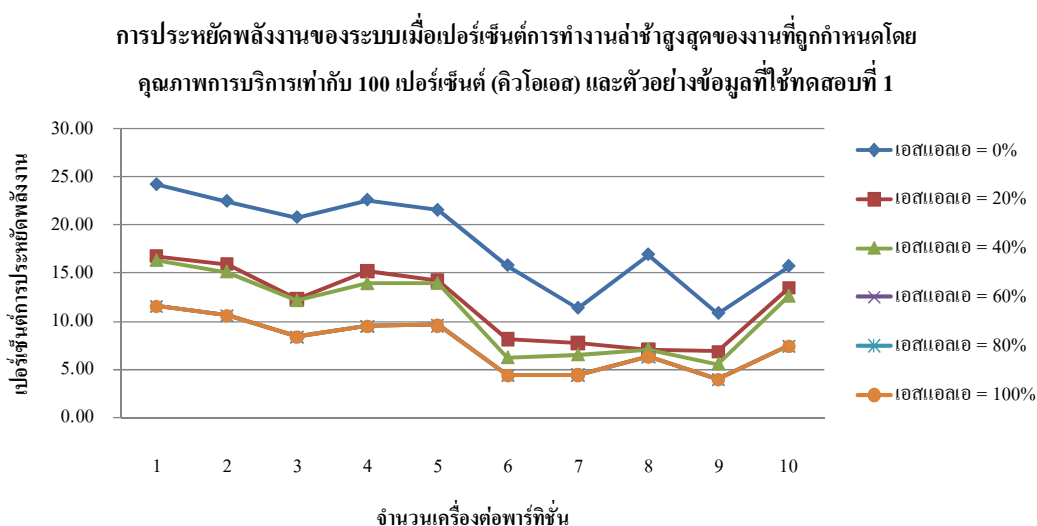


ภาพที่ 48 การประหยัพลังงานของระบบเมื่อกำหนดเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการเท่ากับ 80 เปอร์เซนต์ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 48 พบว่าเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชั่นมีขนาดเท่ากับหรือมากกว่า 7 เครื่องต่อพาร์ทิชั่นและทุกงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) จะมีการประหยัพลังงานจะใกล้เคียงกันมาก และเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชั่นตั้งแต่ 7 ถึง 10 เครื่องต่อพาร์ทิชั่นและแต่ละจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 40 ถึง 100 เปอร์เซนต์ของจำนวนงานทั้งหมดจะมีการประหยัพลังงานใกล้เคียงกันมาก

2.1.6 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยมี การกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) 100 เปอร์เซนต์ และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 49



ภาพที่ 49 การประหยัพลังงานของระบบเมื่อกำหนดเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการเท่ากับ 100 เปอร์เซนต์ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

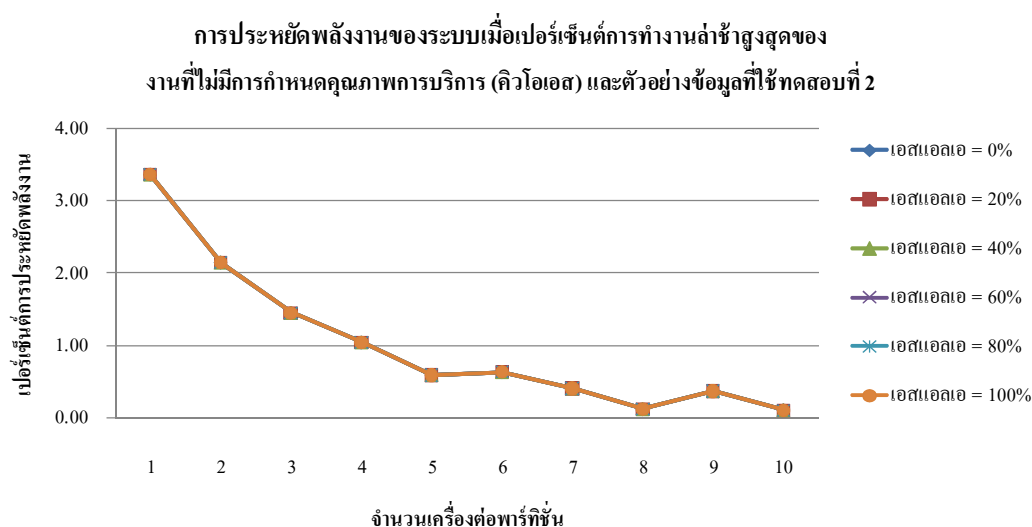
จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 49 พบว่าเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันมีขนาดเท่ากับหรือมากกว่า 8 เครื่องต่อพาร์ทิชันและจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซนต์จะมีการประหยัพลังงานจะใกล้เคียงกันมาก

2.2 การทดลองโดยกำหนดให้เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) คงที่กับตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

การทดลองโดยกำหนดให้เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) มีค่า 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซนต์ กับตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2 ซึ่งผลการทดลองมีดังนี้

2.2.1 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยไม่มี การกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) หรือเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูก กำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) มีค่า 0 เปอร์เซ็นต์ และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 50

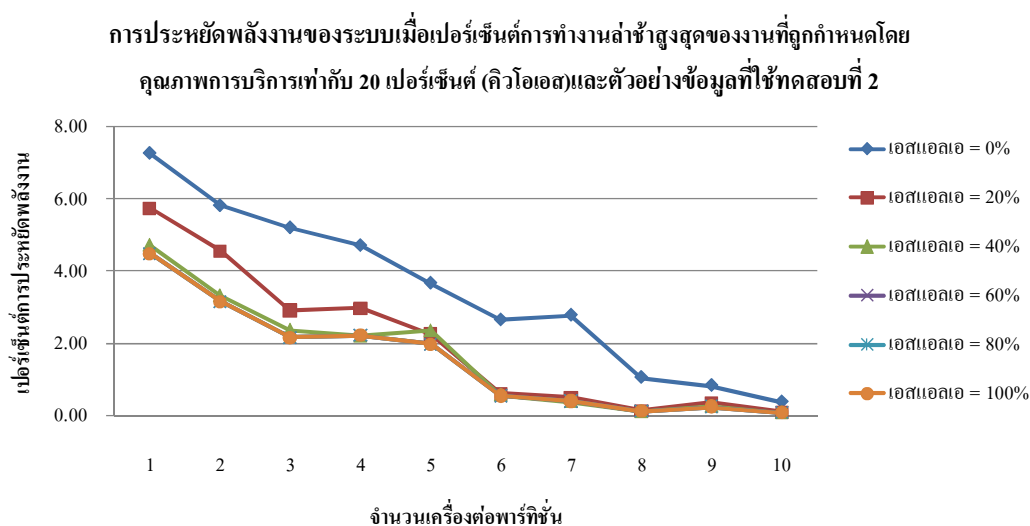


ภาพที่ 50 การประหยัพลังงานของระบบเมื่อกำหนดเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ไม่มีการกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 50 พบว่ามีการประหยัพลังงานเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) ทั้งหมด และการประหยัพลังงานจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทیشنเพิ่มขึ้น

2.2.2 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยมี การกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) 20 เปอร์เซ็นต์ และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 51

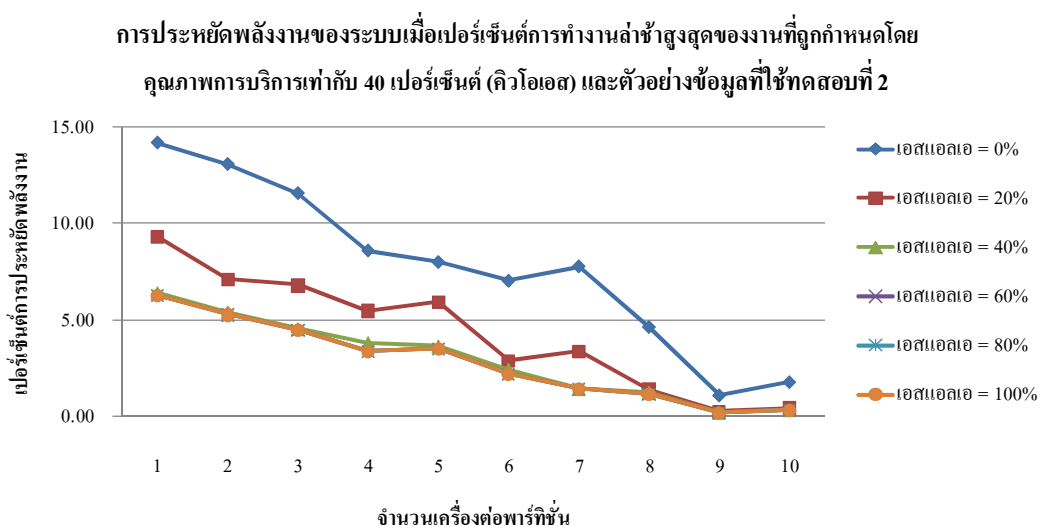


ภาพที่ 51 การประหยัพลังงานของระบบเมื่อกำหนดเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 51 พบว่าเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันมีขนาดเท่ากับหรือมากกว่า 5 เครื่องต่อพาร์ทิชันและจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์จะมีการประหยัพลังงานจะใกล้เคียงกันมาก และเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชัน 10 เครื่องต่อพาร์ทิชันและทุกงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) จะมีการประหยัพลังงานใกล้เคียงกันมาก

2.2.3 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยมี การกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) 40 เปอร์เซนต์ และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 52

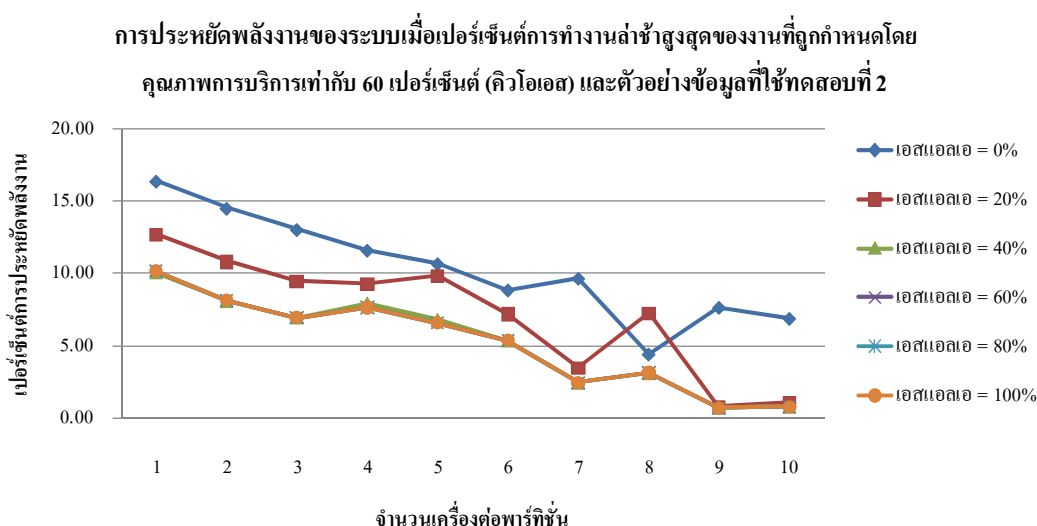


ภาพที่ 52 การประหยัดพลังงานของระบบเมื่อกำหนดเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการเท่ากับ 40 เปอร์เซนต์ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 52 พบว่าเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันมีขนาดเท่ากับหรือมากกว่า 8 เครื่องต่อพาร์ทิชันและจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซนต์จะมีการประหยัดพลังงานจะใกล้เคียงกันมาก

2.2.4 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยมี การกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) 60 เปอร์เซนต์ และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 53

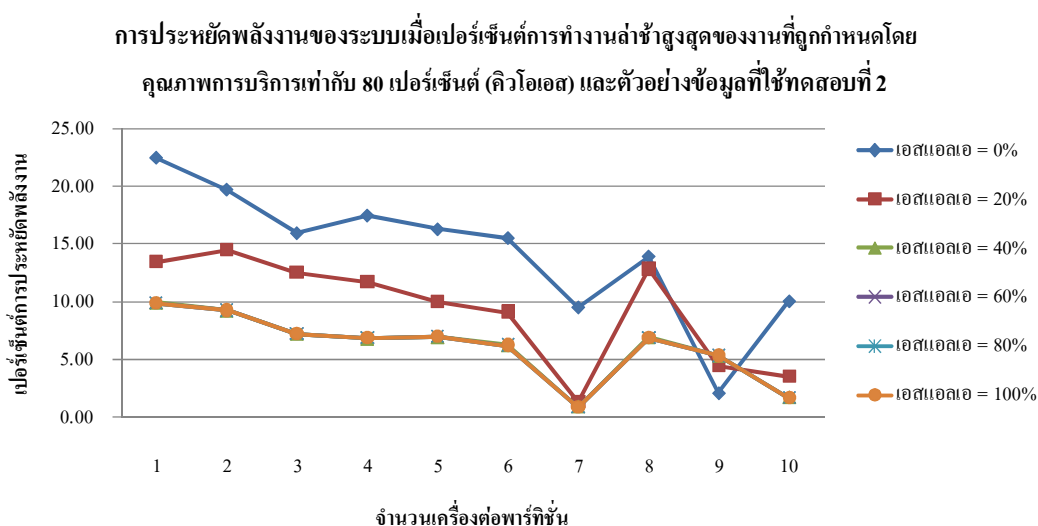


ภาพที่ 53 การประหยัพลังงานของระบบเมื่อกำหนดเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการเท่ากับ 60 เปอร์เซนต์ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 53 พบว่าเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชั่นมีขนาดเท่ากับหรือมากกว่า 9 เครื่องต่อพาร์ทิชั่นและจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซนต์จะมีการประหยัพลังงานจะใกล้เคียงกันมาก และเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชั่น 8 เครื่องต่อพาร์ทิชั่นและจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 เปอร์เซนต์จะมีการประหยัพลังงานมากที่สุด

2.2.5 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยมี การกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) 80 เปอร์เซนต์ และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 54

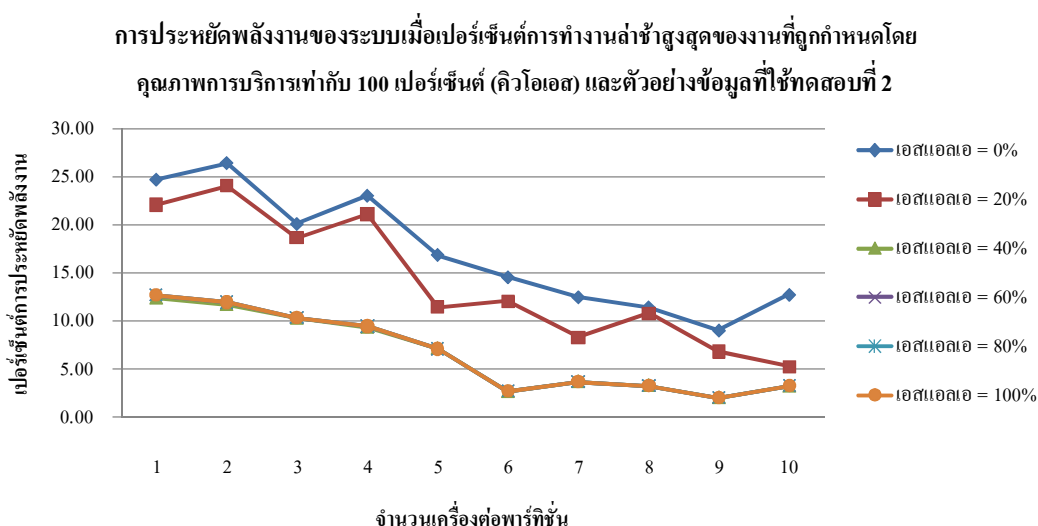


ภาพที่ 54 การประหยัพลังงานของระบบเมื่อกำหนดเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการเท่ากับ 80 เปอร์เซนต์ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 54 พบว่าเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิตันมีขนาดเท่ากับหรือมากกว่า 9 เครื่องต่อพาร์ทิตันและจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซนต์จะมีการประหยัพลังงานจะใกล้เคียงกันมาก เมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิตันเท่ากับ 8 เครื่องต่อพาร์ทิตันและจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 0 และ 20 เปอร์เซนต์การประหยัพลังงานใกล้เคียงกัน และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 0 เปอร์เซนต์ มีการประหยัพลังงานต่ำที่สุด

2.2.6 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยมี การกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) 100 เปอร์เซ็นต์ และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 55



ภาพที่ 55 การประหยัพลังงานของระบบเมื่อกำหนดเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

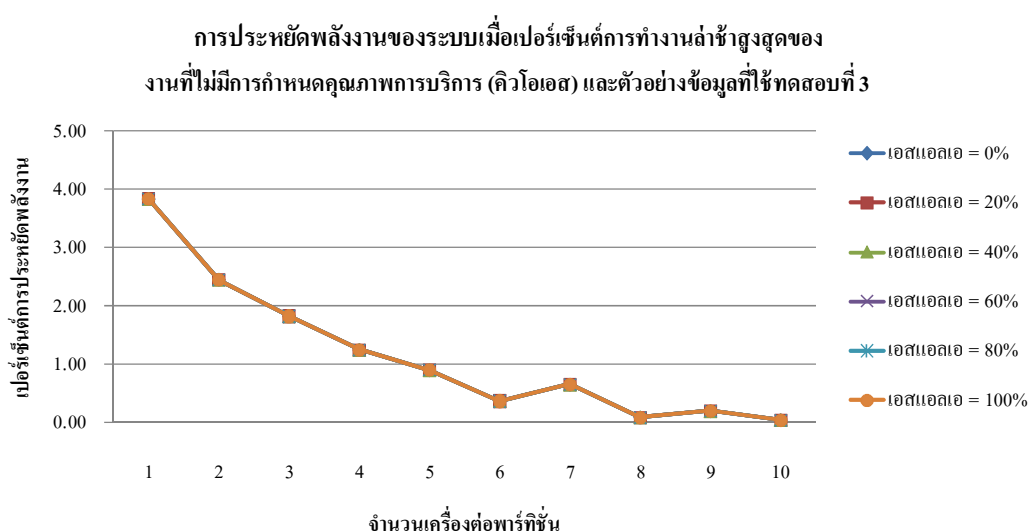
จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 55 พบว่าเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทیشنมีขนาดตั้งแต่ 1 ถึง 10 เครื่องต่อพาร์ทیشنและจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 40 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์จะมีการประหยัพลังงานจะใกล้เคียงกันมาก เมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทیشنเท่ากับ 8 เครื่องต่อพาร์ทیشنและจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 0 และ 20 เปอร์เซ็นต์การประหยัพลังงานใกล้เคียงกัน และจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 0 เปอร์เซ็นต์ มีการประหยัพลังงานต่ำที่สุด

2.3 การทดลองโดยกำหนดให้เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) คงที่กับตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

การทดลองโดยกำหนดให้เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) มีค่า 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ กับตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3 ซึ่งผลการทดลองมีดังนี้

2.3.1 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยไม่มี การกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) หรือเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูก กำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) มีค่า 0 เปอร์เซ็นต์ และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 56

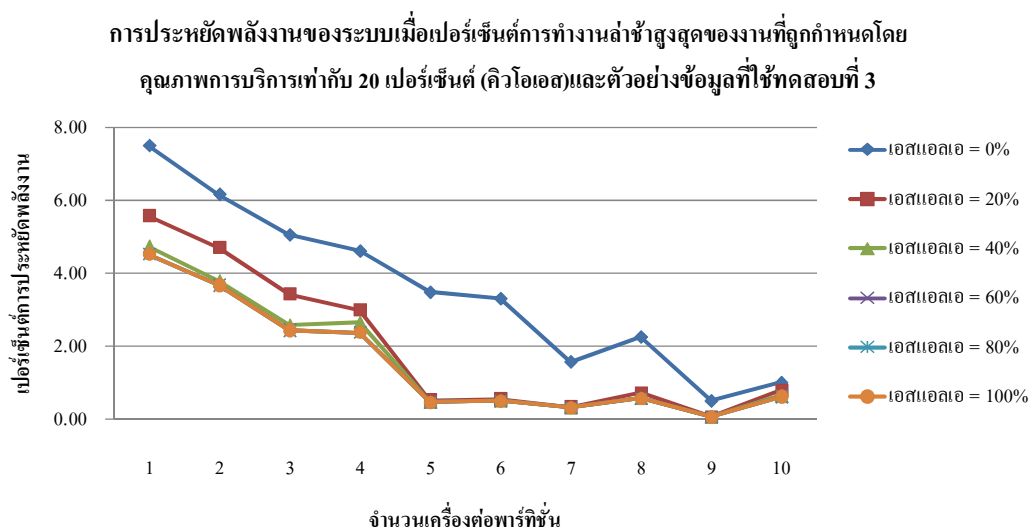


ภาพที่ 56 การประหยัพลังงานของระบบเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ไม่มีการกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 56 พบว่ามีการประหยัพลังงานเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) ทั้งหมด และการประหยัพลังงานจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันเพิ่มขึ้น

2.3.2 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยมีการกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) 20 เปอร์เซ็นต์ และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 57

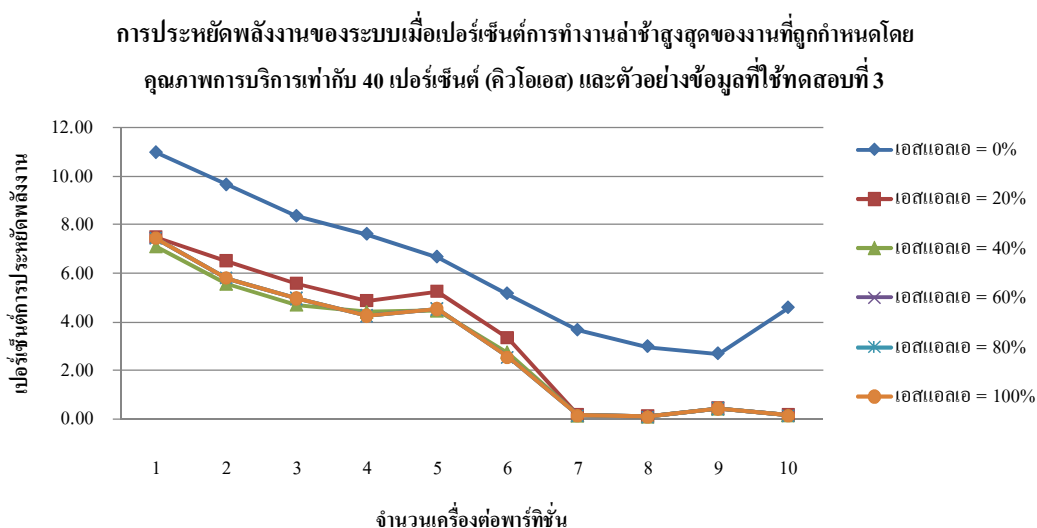


ภาพที่ 57 การประหยัพลังงานของระบบเมื่อกำหนดเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ (คิว โอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 57 พบว่าเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันมีขนาดตั้งแต่ 4 ถึง 10 เครื่องต่อพาร์ทิชันและจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์จะมีการประหยัพลังงานจะใกล้เคียงกันมาก เมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 10 เครื่องต่อพาร์ทิชันและทุกงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) จะมีเปอร์เซ็นต์การประหยัพลังงานใกล้เคียงกัน

2.3.3 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยมี การกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) 40 เปอร์เซนต์ และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 58

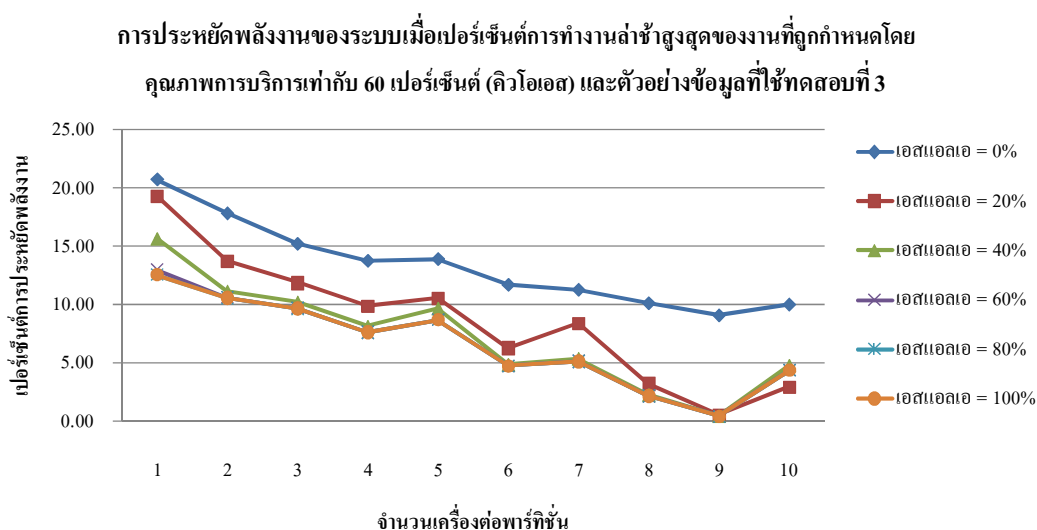


ภาพที่ 58 การประหยัพลังงานของระบบเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการเท่ากับ 40 เปอร์เซนต์ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 58 พบว่าเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชั่นขนาดตั้งแต่ 1 ถึง 10 เครื่องต่อพาร์ทิชั่นและจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซนต์จะมีการประหยัพลังงานจะใกล้เคียงกันมาก

2.3.4 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยมี การกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) 60 เปอร์เซนต์ และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 59

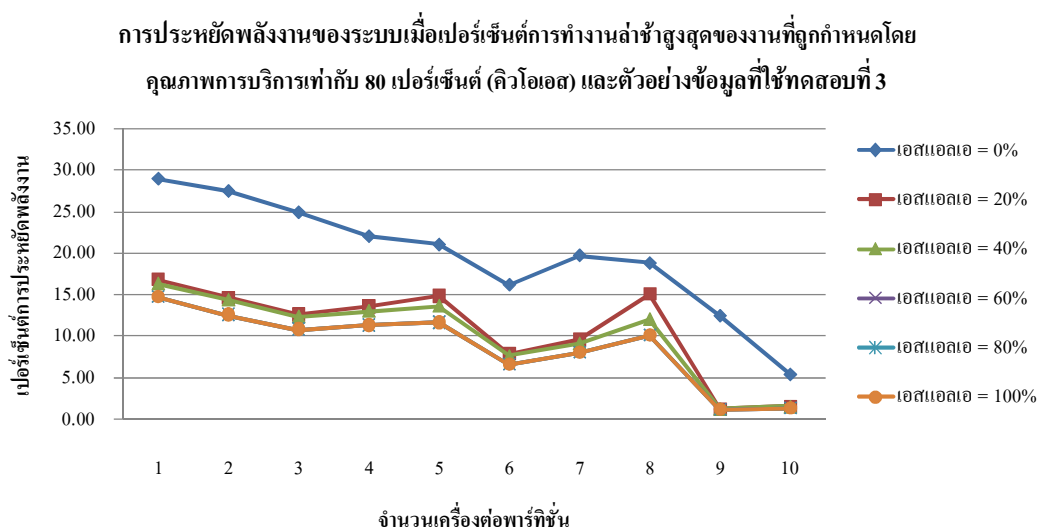


ภาพที่ 59 การประหยัพลังงานของระบบเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการเท่ากับ 60 เปอร์เซนต์ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 59 พบว่าเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชั่นขนาดตั้งแต่ 1 ถึง 10 เครื่องต่อพาร์ทิชั่นและจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซนต์จะมีการประหยัพลังงานจะใกล้เคียงกันมาก

2.3.5 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยมี การกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) 80 เปอร์เซนต์ และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 60

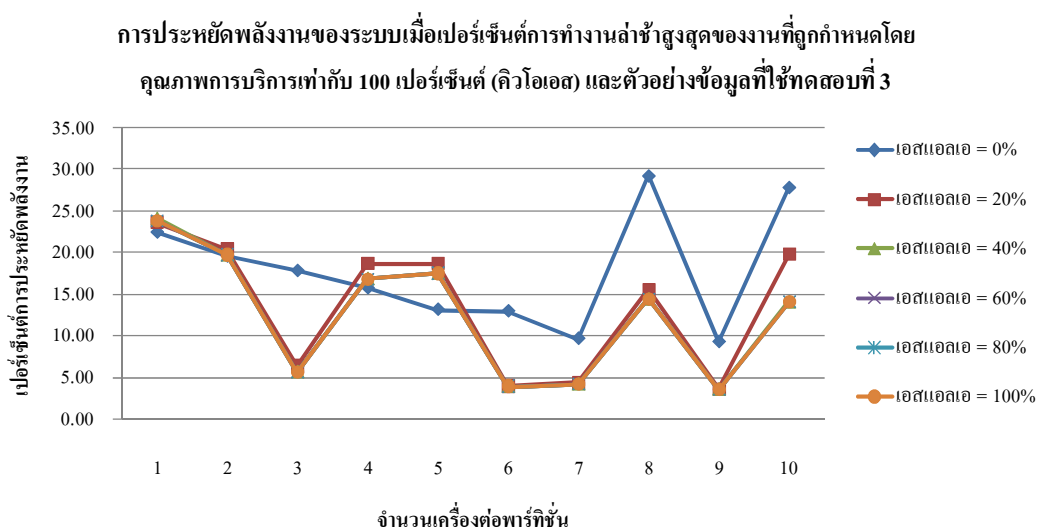


ภาพที่ 60 การประหยัพลังงานของระบบเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูก
กำหนดโดยคุณภาพการบริการเท่ากับ 80 เปอร์เซนต์ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูล
ทดลองที่ 3

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 60 พบว่าเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันมี
ขนาดตั้งแต่ 1 ถึง 10 เครื่องต่อพาร์ทิชันและจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ
(เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซนต์จะมีการประหยัพลังงานจะใกล้เคียงกัน

2.3.6 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยมี การกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) 100 เปอร์เซนต์ และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 61



ภาพที่ 61 การประหยัพลังงานของระบบเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูก กำหนดโดยคุณภาพการบริการเท่ากับ 100 เปอร์เซนต์ (คิวโอเอส) และตัวอย่างข้อมูล ทดลองที่ 3

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 61 พบว่าเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันมี ขนาดตั้งแต่ 1 ถึง 9 เครื่องต่อพาร์ทิชันและจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 ถึง 100 เปอร์เซนต์จะมีการประหยัพลังงานจะใกล้เคียงกัน

2.4 สรุปผลการทดลอง

เมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ เท่ากับ 0 เปอร์เซนต์ (คิวโอเอส) การประหยัพลังงานในแต่ละขนาดของพาร์ทิชันจะเท่ากัน (ภาพที่ 44, 50 และ 56) เนื่องจากการการทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดโดยคุณภาพการบริการ (คิว โอเอส) เท่ากับ 0 เปอร์เซนต์เท่ากับว่าไม่มีงานใดเลยที่ถูกทำให้ล่าช้ากว่ากำหนดซึ่งจะทำให้การ รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) ไม่มีผลต่อการประหยัพลังงาน และเมื่อจำนวน

งานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) ที่ 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานทั้งหมดและจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชั่นมากกว่าหรือเท่ากับ 7 เครื่องต่อพาร์ทิชั่น จะมีการใช้พลังงานใกล้เคียงกัน เนื่องจากจำนวนเครื่องคำนวณต่อพาร์ทิชั่นมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้โอกาสที่พาร์ทิชั่นที่ถูกเปิดใช้งานและเครื่องคำนวณทั้งหมดไม่มีการทำงานลดลงจึงทำให้พาร์ทิชั่นจำเป็นต้องอยู่ในสถานะเปิดใช้งาน

3. การทดลองการประหยัดพลังงานโดยกำหนดให้จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) คงที่

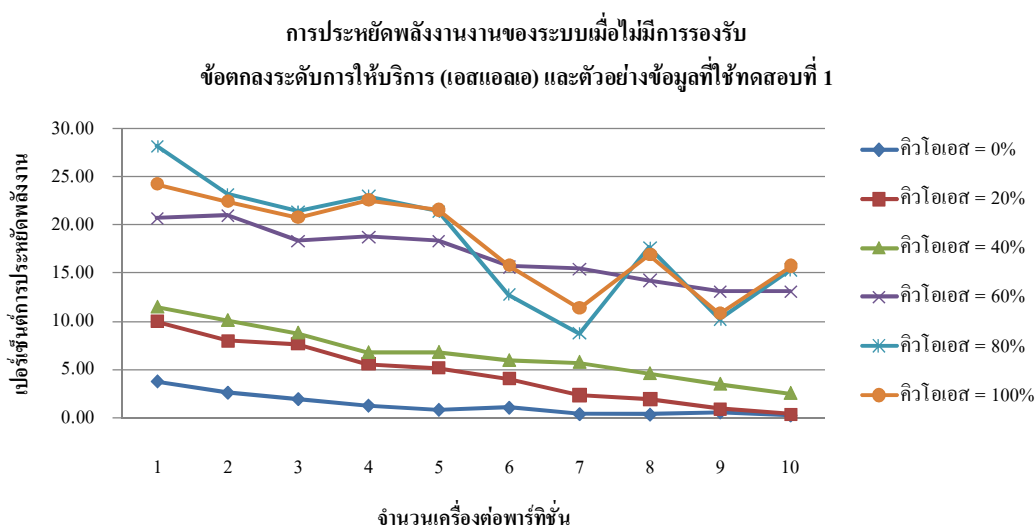
การทดลองนี้จะมีการปรับเปลี่ยนค่าเริ่มต้นการสุ่มโดยแบ่งเป็นกลุ่มทดลอง 3 กลุ่มทดลอง คือ กลุ่มทดลองที่ 1 จะมีค่าเริ่มต้นการสุ่มเป็น 1, กลุ่มทดลองที่ 2 จะมีค่าเริ่มต้นการสุ่มเป็น 2 และกลุ่มทดลองที่ 3 จะมีค่าเริ่มต้นการสุ่มเป็น 3 การทดลองการปรับเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) จากงานทั้งหมดให้คงที่ในแต่ละการทดลอง เพื่อดูแนวโน้มการประหยัดพลังงานเมื่อมีการปรับเปลี่ยนจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชั่น และเมื่อปรับเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวไอเอส)

3.1 การทดลองโดยกำหนดให้เปอร์เซ็นต์จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) คงที่กับตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

การทดลองโดยกำหนดให้จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) มีค่า 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนงานทั้งหมด กับตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1 ซึ่งผลการทดลองมีดังนี้

3.1.1 การทดลองเมื่อไม่มีการรองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) หรือ มีเปอร์เซ็นต์จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 0 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนงานทั้งหมด และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 62

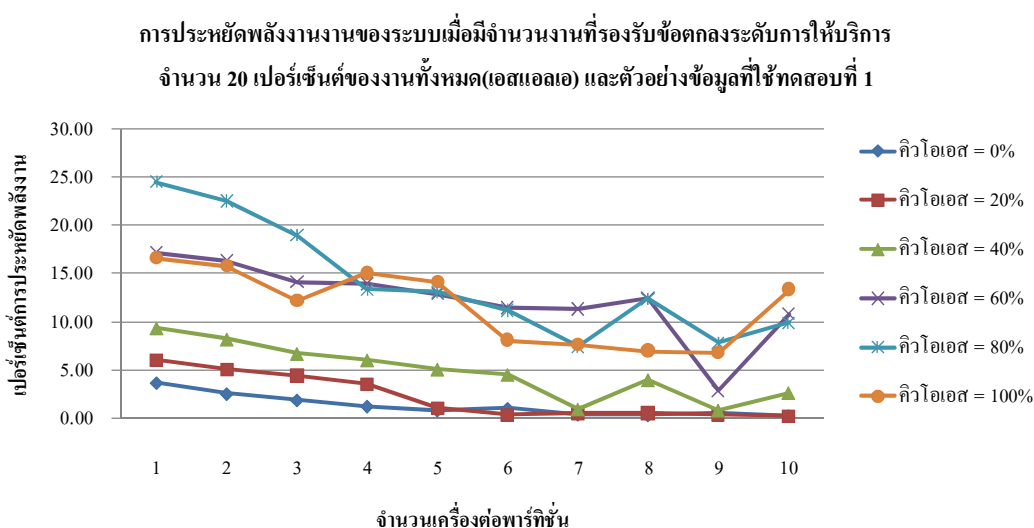


ภาพที่ 62 การประหยัพลังงานงานของระบบเมื่อไม่มีการรองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 62 พบว่าการประหยัพลังงานของระบบจะแบ่งออกเป็นสองกลุ่มโดยมีกลุ่มของเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์และกลุ่มของเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 0, 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์จะประหยัพลังงานต่ำกว่า

3.1.2 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนงานทั้งหมด และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 63

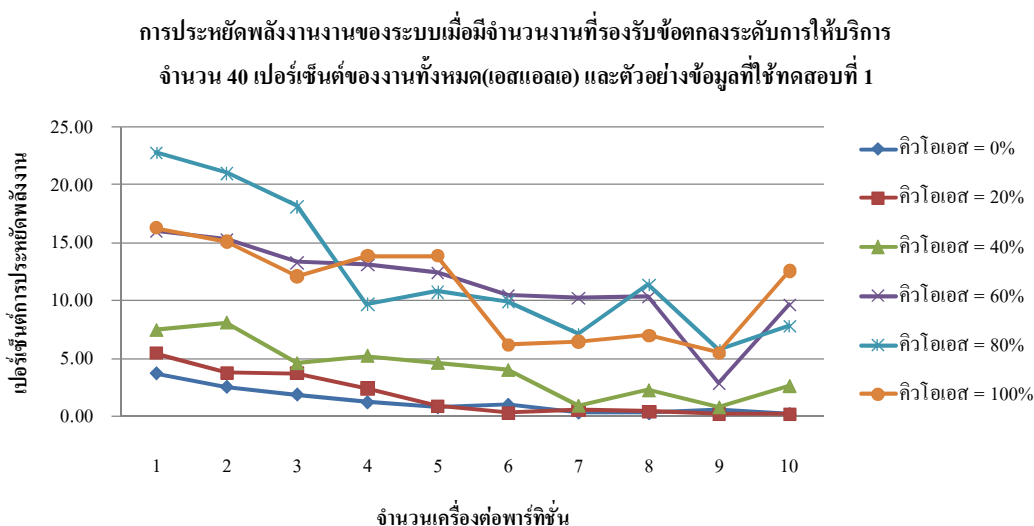


ภาพที่ 63 การประหยัพลังงานงานของระบบเมื่อมีจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการจำนวน 20 เปอร์เซ็นต์ของงานทั้งหมด (เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 63 พบว่าการประหยัพลังงานงานของระบบจะแบ่งออกเป็นสองกลุ่มโดยมีกลุ่มของเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์และกลุ่มของเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 0, 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์จะประหยัพลังงานต่ำกว่า

3.1.3 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 40 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนงานทั้งหมด และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 64

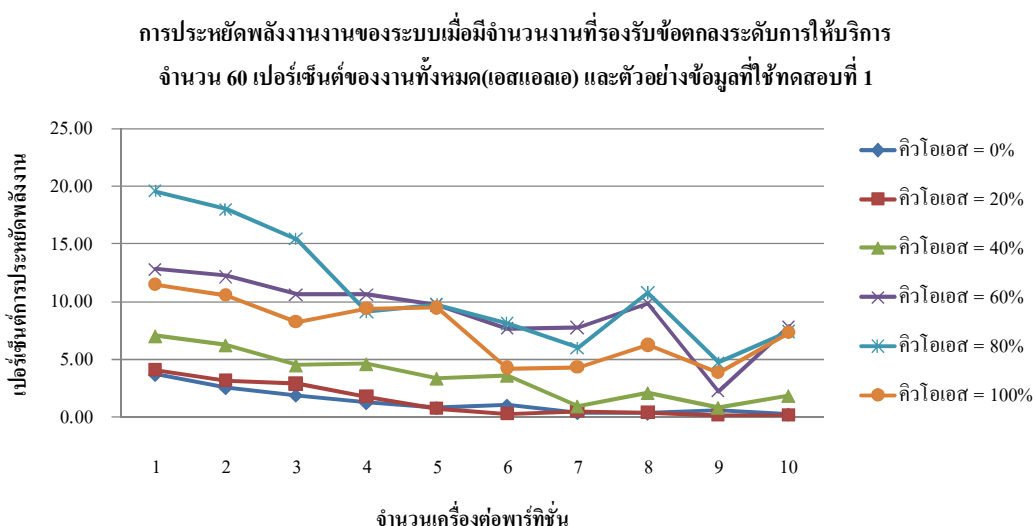


ภาพที่ 64 การประหยัพลังงานงานของระบบเมื่อมีจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการจำนวน 40 เปอร์เซ็นต์ของงานทั้งหมด (เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 64 พบว่าการประหยัพลังงานของระบบเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์มีการประหยัพลังงานใกล้เคียงกัน และการประหยัพลังงานที่จำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 10 มากกว่าจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 9

3.1.4 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 60 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนงานทั้งหมด และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 65

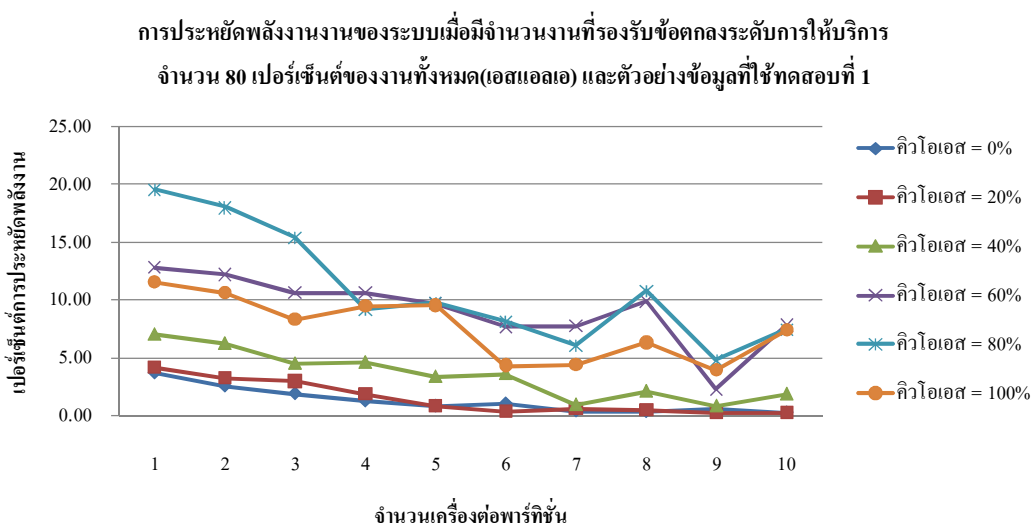


ภาพที่ 65 การประหยัพลังงานงานของระบบเมื่อมีจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการจำนวน 60 เปอร์เซ็นต์ของงานทั้งหมด (เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 65 พบว่าการประหยัพลังงานของระบบเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์มีการประหยัพลังงานใกล้เคียงกัน เปอร์เซนต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 60 และ 80 เปอร์เซ็นต์มีการประหยัพลังงานใกล้เคียงกันเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันตั้งแต่ 4 เครื่องต่อพาร์ทิชันเป็นต้นไป และการประหยัพลังงานที่จำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 10 มากกว่าจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 9 และเปอร์เซนต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์มีการประหยัพลังงานที่ใกล้เคียงกันมาก

3.1.5 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 80 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนงานทั้งหมด และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 66

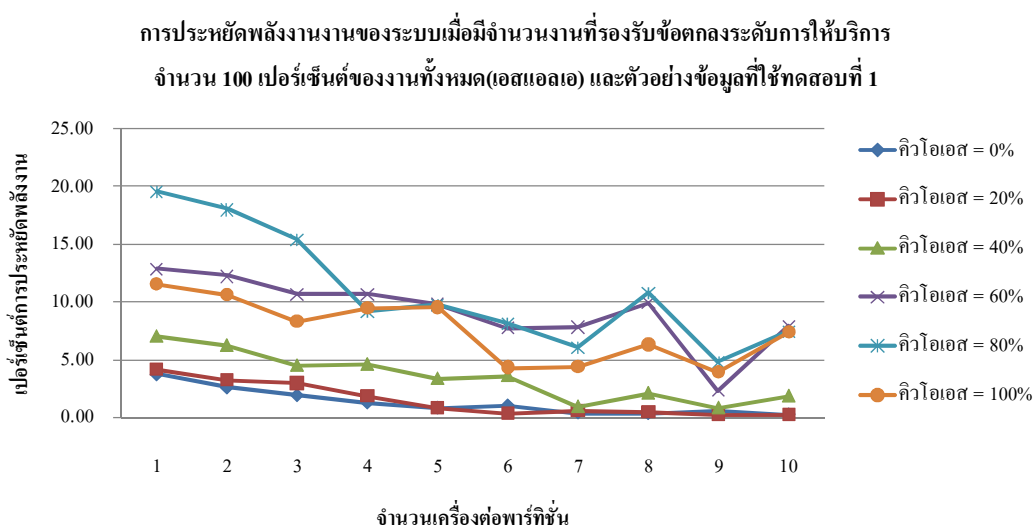


ภาพที่ 66 การประหยัพลังงานงานของระบบเมื่อมีจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการจำนวน 80 เปอร์เซ็นต์ของงานทั้งหมด (เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 66 พบว่าการประหยัพลังงานของระบบเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์มีการประหยัพลังงานใกล้เคียงกัน การประหยัพลังงานที่จำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 10 มากกว่าจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 9 และเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 60 และ 80 เปอร์เซ็นต์มีการประหยัพลังงานที่ใกล้เคียงกันเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันมากกว่าหรือเท่ากับ 4

3.1.6 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 100 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนงานทั้งหมด และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 67



ภาพที่ 67 การประหยัพลังงานงานของระบบเมื่อมีจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการจำนวน 100 เปอร์เซ็นต์ของงานทั้งหมด (เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 1

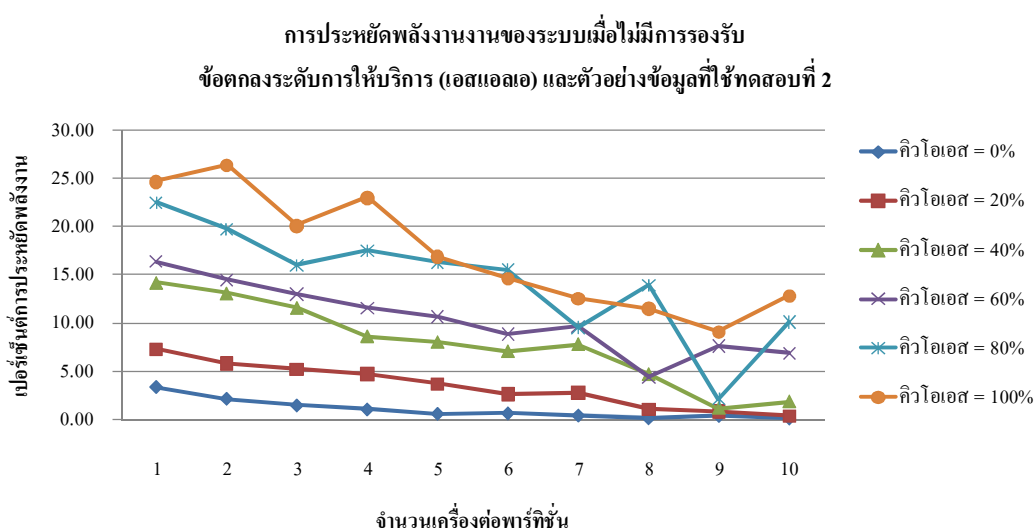
จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 67 พบว่าการประหยัพลังงานของระบบเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์มีการประหยัพลังงานใกล้เคียงกัน การประหยัพลังงานที่จำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 10 มากกว่าจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 9 และเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์มีการประหยัพลังงานที่ใกล้เคียงกันเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันมากกว่าหรือเท่ากับ 4

3.2 การทดลองโดยกำหนดให้เปอร์เซ็นต์จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) คงที่กับตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

การทดลองโดยกำหนดให้จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) มีค่า 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนงานทั้งหมด กับตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2 ซึ่งผลการทดลองมีดังนี้

3.2.1 การทดลองเมื่อไม่มีการรองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) หรือมีเปอร์เซ็นต์จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 0 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนงานทั้งหมด และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 68



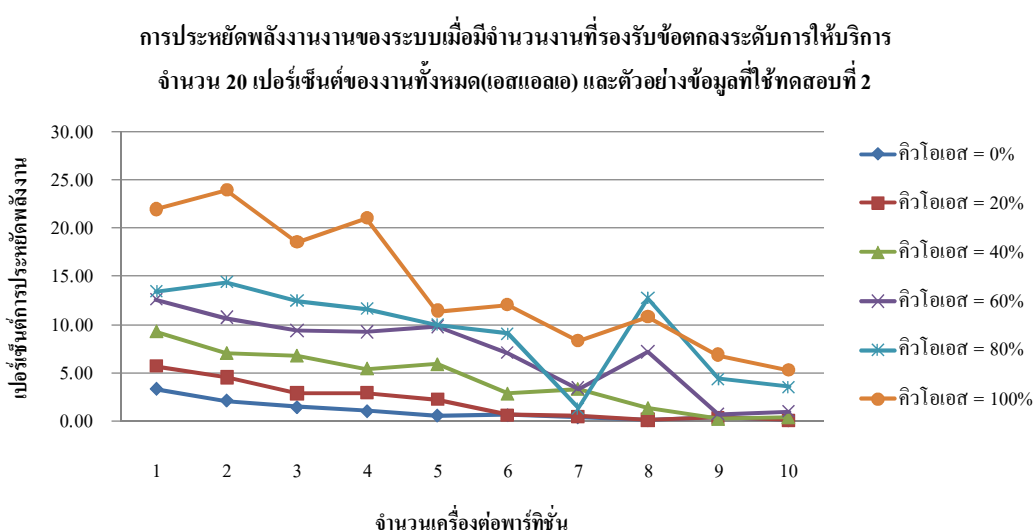
ภาพที่ 68 การประหยัพลังงานงานของระบบเมื่อไม่มีการรองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 68 พบว่าการประหยัพลังงานที่จำนวนพาร์ทิชั่นเท่ากับ 9 เครื่องต่อพาร์ทิชั่นเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 0, 20, 40, และ 60 เปอร์เซ็นต์มีค่าใกล้เคียงกัน และการประหยัพลังงานที่จำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชั่นเท่ากับ 10 มากกว่าจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชั่นเท่ากับ 9 เมื่อ

เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์

3.2.2 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนงานทั้งหมด และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 69

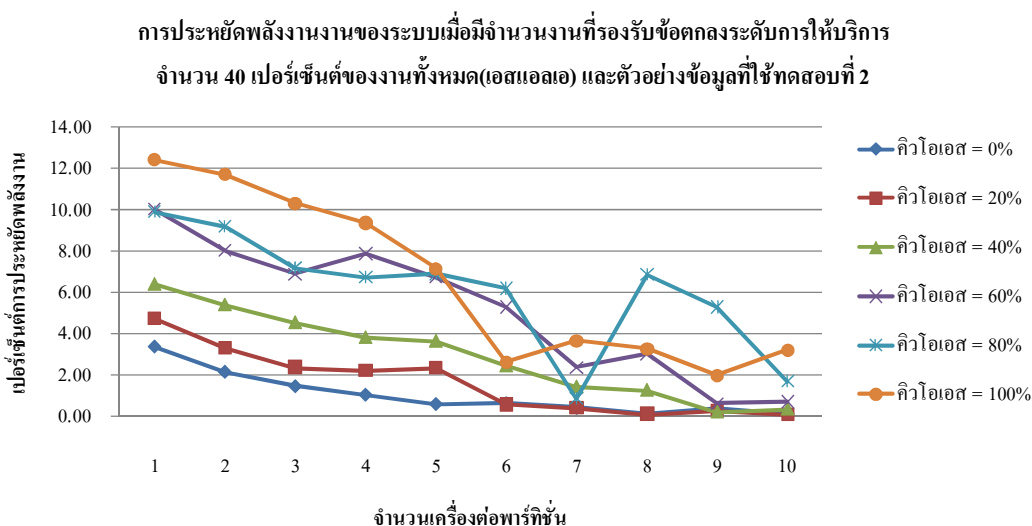


ภาพที่ 69 การประหยัพลังงานงานของระบบเมื่อมีจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการจำนวน 20 เปอร์เซ็นต์ของงานทั้งหมด (เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 69 พบว่าการประหยัพลังงานที่จำนวนพาร์ทิตันเท่ากับ 9 และ 10 เครื่องต่อพาร์ทิตันเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 0, 20, 40, และ 60 เปอร์เซ็นต์มีค่าใกล้เคียงกันและเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิตันมากกว่าหรือเท่ากับ 6 เครื่องต่อพาร์ทิตันจะพบว่าค่าการประหยัพลังงานเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 0 และ 20 เปอร์เซ็นต์จะเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

3.2.3 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 40 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนงานทั้งหมด และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 70

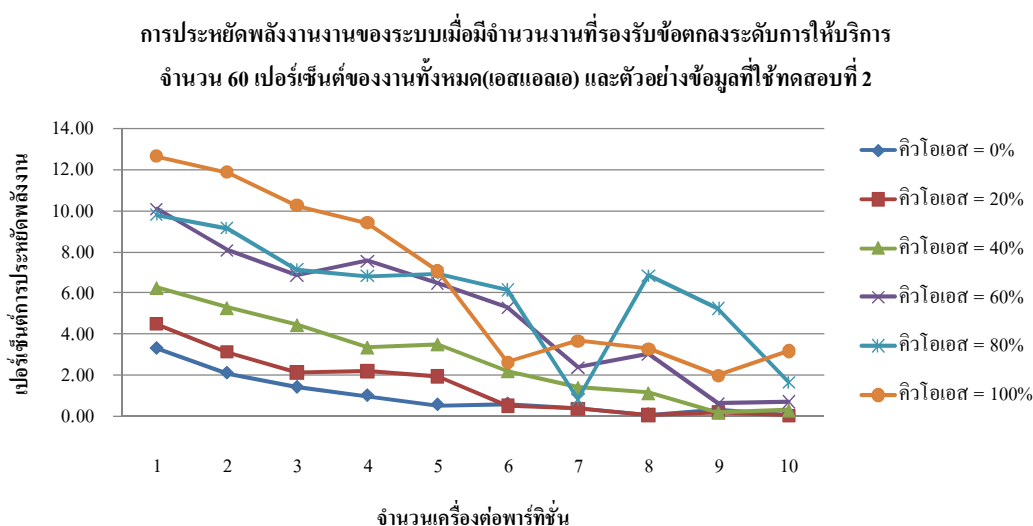


ภาพที่ 70 การประหยัพลังงานงานของระบบเมื่อมีจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการจำนวน 40 เปอร์เซ็นต์ของงานทั้งหมด (เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 70 พบว่าการประหยัพลังงานที่จำนวนพาร์ทิชันเท่ากับ 9 และ 10 เครื่องต่อพาร์ทิชันเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 0, 20, 40, และ 60 เปอร์เซ็นต์มีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันมากกว่าหรือเท่ากับ 6 เครื่องต่อพาร์ทิชันจะพบว่าค่าการประหยัพลังงานเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 0 และ 20 เปอร์เซ็นต์จะเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

3.2.4 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 60 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนงานทั้งหมด และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 71

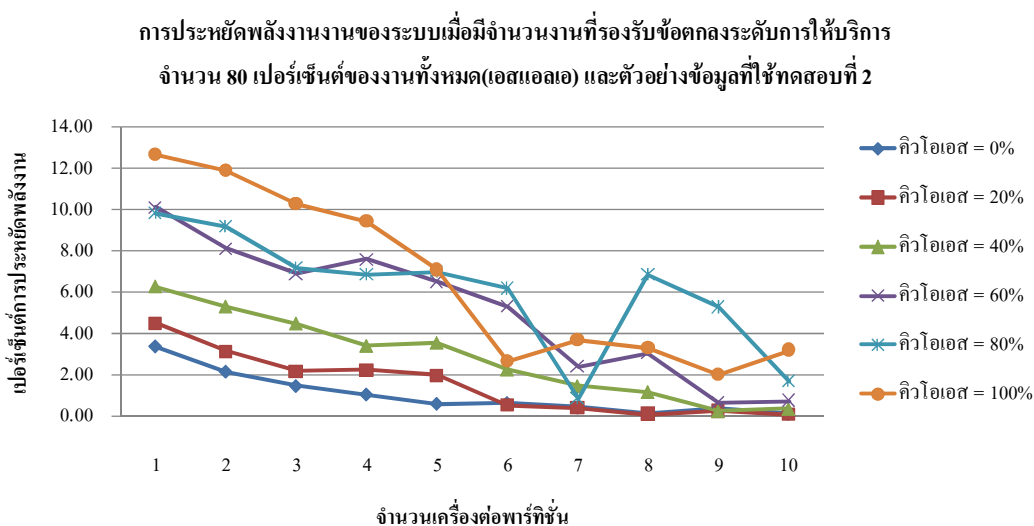


ภาพที่ 71 การประหยัพลังงานงานของระบบเมื่อมีจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการจำนวน 60 เปอร์เซ็นต์ของงานทั้งหมด (เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 71 พบว่าการประหยัพลังงานที่จำนวนพาร์ทิชันเท่ากับ 9 และ 10 เครื่องต่อพาร์ทิชันเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 0, 20, 40, และ 60 เปอร์เซ็นต์มีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันมากกว่าหรือเท่ากับ 6 เครื่องต่อพาร์ทิชันจะพบว่าค่าการประหยัพลังงานเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 0 และ 20 เปอร์เซ็นต์จะเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

3.2.5 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 80 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนงานทั้งหมด และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 72

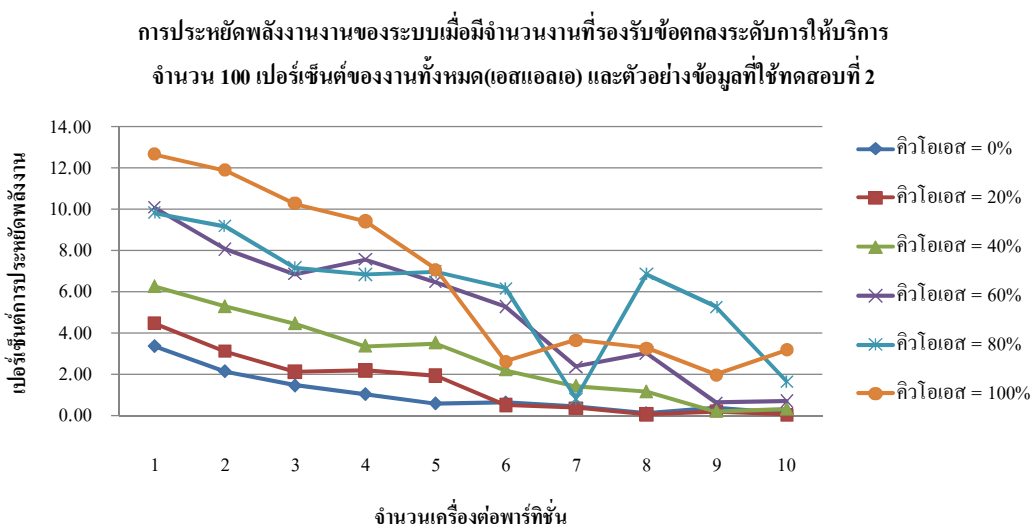


ภาพที่ 72 การประหยัพลังงานงานของระบบเมื่อมีจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการจำนวน 80 เปอร์เซ็นต์ของงานทั้งหมด (เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 72 พบว่าการประหยัพลังงานที่จำนวนพาร์ทิชันเท่ากับ 9 และ 10 เครื่องต่อพาร์ทิชันเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 0, 20, 40, และ 60 เปอร์เซ็นต์มีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันมากกว่าหรือเท่ากับ 6 เครื่องต่อพาร์ทิชันจะพบว่าค่าการประหยัพลังงานเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 0 และ 20 เปอร์เซ็นต์จะเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

3.2.6 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 100 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนงานทั้งหมด และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 73



ภาพที่ 73 การประหยัพลังงานงานของระบบเมื่อมีจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการจำนวน 100 เปอร์เซ็นต์ของงานทั้งหมด (เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 2

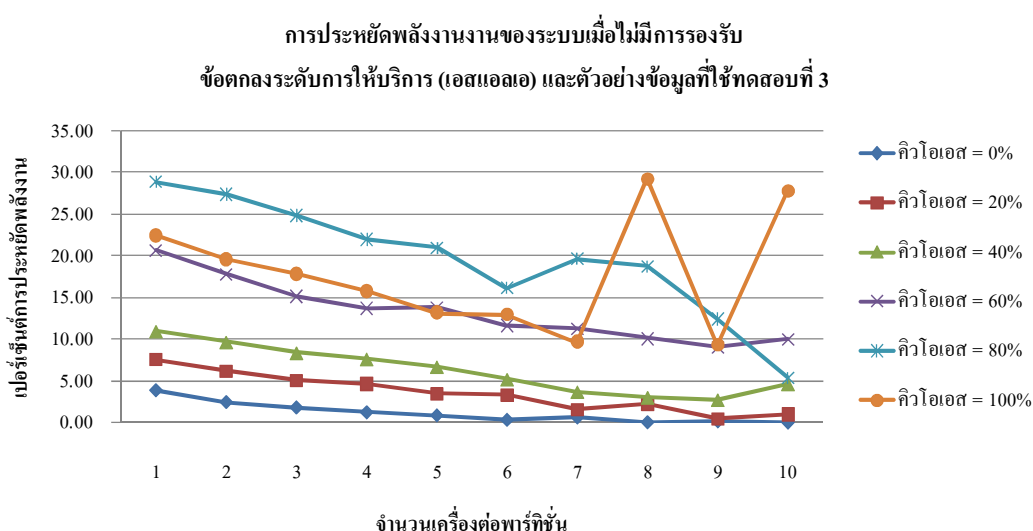
จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 73 พบว่าการประหยัพลังงานที่จำนวนพาร์ทิชันเท่ากับ 9 และ 10 เครื่องต่อพาร์ทิชันเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 0, 20, 40, และ 60 เปอร์เซ็นต์มีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันมากกว่าหรือเท่ากับ 6 เครื่องต่อพาร์ทิชันจะพบว่าค่าการประหยัพลังงานเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 0 และ 20 เปอร์เซ็นต์จะเท่ากันในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

3.3 การทดลองโดยกำหนดให้เปอร์เซ็นต์จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) คงที่กับตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

การทดลองโดยกำหนดให้จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) มีค่า 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนงานทั้งหมด กับตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3 ซึ่งผลการทดลองมีดังนี้

3.3.1 การทดลองเมื่อไม่มีการรองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) หรือมีเปอร์เซ็นต์จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 0 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนงานทั้งหมด และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 74



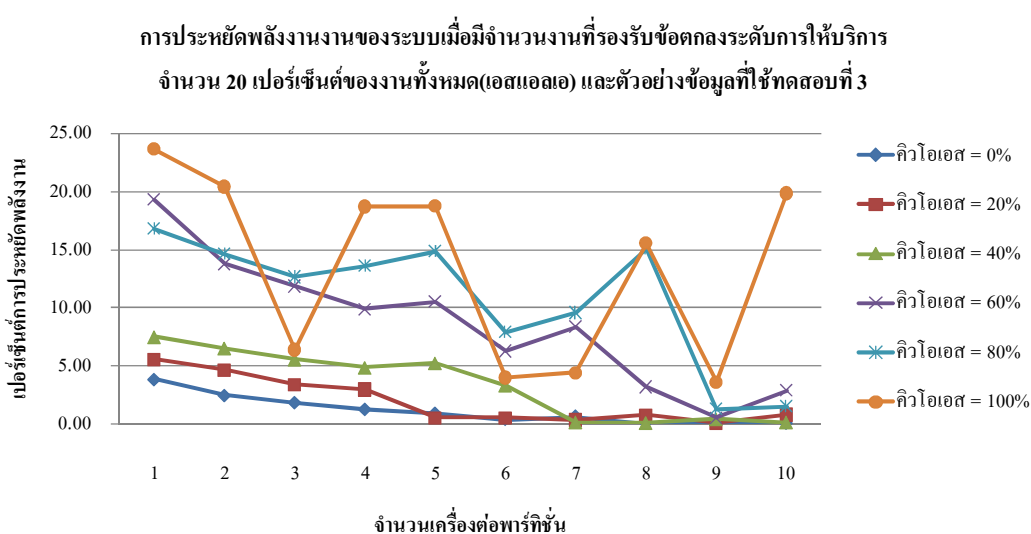
ภาพที่ 74 การประหยัพลังงานงานของระบบเมื่อไม่มีการรองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 74 พบว่าเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์และที่จำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันเท่ากับ 8 มีการประหยัพลังงานสูงสุด และการประหยัพลังงานที่จำนวนเครื่องต่อพาร์

ที่ชั้นเท่ากับ 7 ถึง 10 เครื่องต่อพาร์ทิชันเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 0 และ 20 เปอร์เซ็นต์ มีการประหยัดพลังงานใกล้เคียงกัน

3.3.2 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 20 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนงานทั้งหมด และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 75

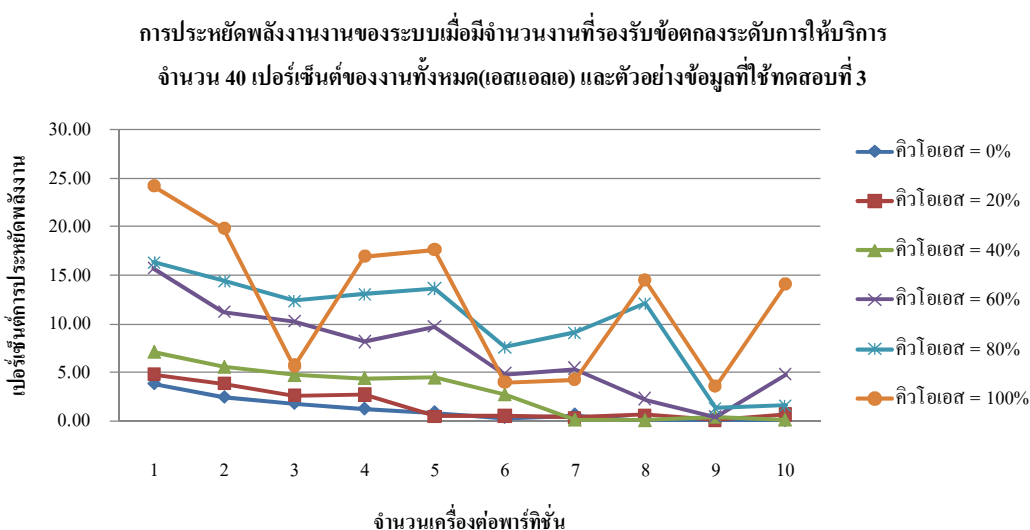


ภาพที่ 75 การประหยัดพลังงานของระบบเมื่อมีจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการจำนวน 20 เปอร์เซ็นต์ของงานทั้งหมด (เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 75 พบว่าการประหยัดพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันพาร์ทิชันเท่ากับ 1, 2, 4, 5, 8 และ 10 และเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ จะมีการประหยัดพลังงานมากกว่าในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เดียวกัน

3.3.3 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 40 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนงานทั้งหมด และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 76

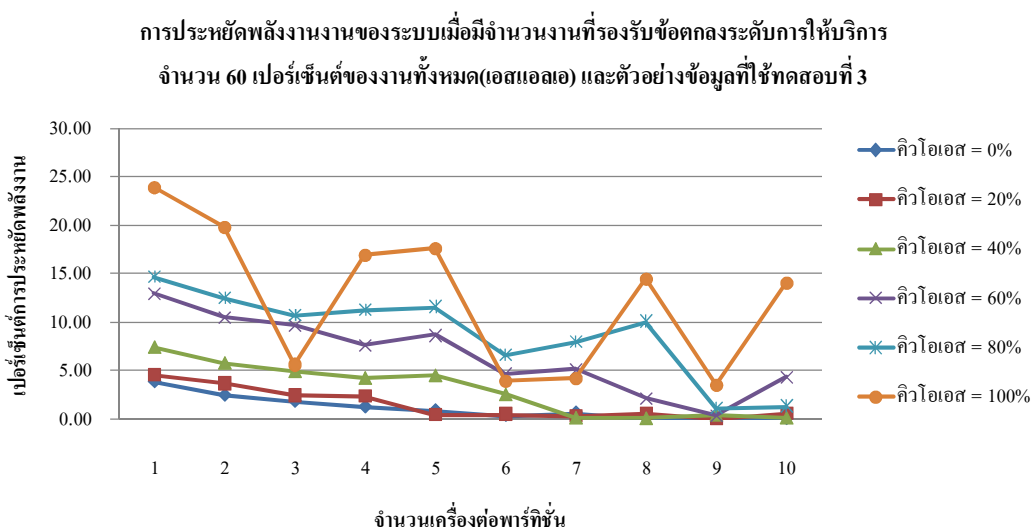


ภาพที่ 76 การประหยัพลังงานงานของระบบเมื่อมีจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการจำนวน 40 เปอร์เซ็นต์ของงานทั้งหมด (เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 76 พบว่าการประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันพาร์ทิชันเท่ากับ 1, 2, 4, 5, 8 และ 10 และเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ จะมีการประหยัพลังงานมากกว่าในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เดียวกันและการประหยัพลังงานที่เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) 0 และ 20 เปอร์เซ็นต์จะมีการประหยัพลังงานใกล้เคียงกันในแต่ละขนาดของพาร์ทิชัน

3.3.4 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 60 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนงานทั้งหมด และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 77

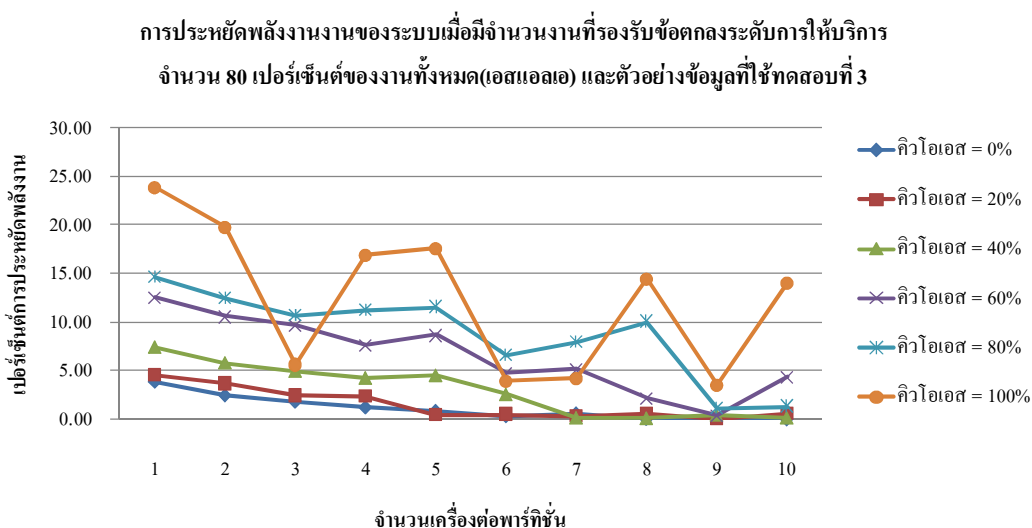


ภาพที่ 77 การประหยัพลังงานงานของระบบเมื่อมีจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการจำนวน 60 เปอร์เซ็นต์ของงานทั้งหมด (เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 77 พบว่าการประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันพาร์ทิชันเท่ากับ 1, 2, 4, 5, 8 และ 10 และเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ จะมีการประหยัพลังงานมากกว่าในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เดียวกันและการประหยัพลังงานที่เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) 0 และ 20 เปอร์เซ็นต์จะมีการประหยัพลังงานใกล้เคียงกันในแต่ละขนาดของพาร์ทิชัน

3.3.5 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 80 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนงานทั้งหมด และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 78

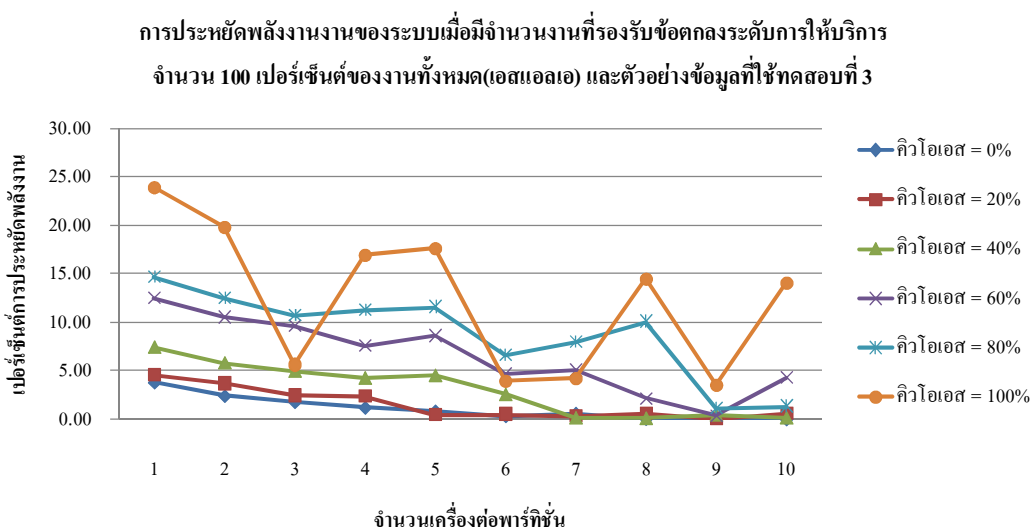


ภาพที่ 78 การประหยัพลังงานงานของระบบเมื่อมีจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการจำนวน 80 เปอร์เซ็นต์ของงานทั้งหมด (เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 78 พบว่าการประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันพาร์ทิชันเท่ากับ 1, 2, 4, 5, 8 และ 10 และเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ จะมีการประหยัพลังงานมากกว่าในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เดียวกันและการประหยัพลังงานที่เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) 0 และ 20 เปอร์เซ็นต์จะมีการประหยัพลังงานใกล้เคียงกันในแต่ละขนาดของพาร์ทิชัน

3.3.6 การทดลองเมื่อเปอร์เซ็นต์จำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) 100 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนงานทั้งหมด และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟได้ดังภาพที่ 79



ภาพที่ 79 การประหยัพลังงานงานของระบบเมื่อมีจำนวนงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการจำนวน 100 เปอร์เซ็นต์ของงานทั้งหมด (เอสแอลเอ) และตัวอย่างข้อมูลทดลองที่ 3

จากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 79 พบว่าการประหยัพลังงานเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันพาร์ทิชันเท่ากับ 1, 2, 4, 5, 8 และ 10 และเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ จะมีการประหยัพลังงานมากกว่าในแต่ละเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เดียวกัน และการประหยัพลังงานที่เปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) 0 และ 20 เปอร์เซ็นต์จะมีการประหยัพลังงานใกล้เคียงกันในแต่ละขนาดของพาร์ทิชัน

3.4 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะพบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ จะประหยัดพลังงานมากที่สุดเมื่อขนาดพาร์ทิชั่นเท่ากับ 1 เครื่องต่อพาร์ทิชั่นและรองลงมาคือ ขนาดพาร์ทิชั่นเท่ากับ 2 เครื่องต่อพาร์ทิชั่น เนื่องจากเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดที่ 100 เปอร์เซ็นต์สามารถใช้ทรัพยากรร่วมกันได้สูงสุด จึงทำให้ลดการเปิดพาร์ทิชั่นและการที่พาร์ทิชั่นมีขนาดเล็กจะทำให้พาร์ทิชั่นมีโอกาสเข้าสู่สถานะการประหยัดพลังงานได้ดีกว่าพาร์ทิชั่นขนาดใหญ่ และเมื่อเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) เท่ากับ 0 และ 20 เปอร์เซ็นต์จะมีการประหยัดพลังงานใกล้เคียงกันในแต่ละงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ)

วิจารณ์

จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าระบบที่นำเสนอสามารถลดการใช้พลังงานในระบบคลัสเตอร์ขนาดประสิทธิภาพสูง โดยปัจจัยการประหยัดพลังงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบด้วยกันคือ การปรับเปลี่ยนหรือลดจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชัน, การปรับลดการจัดการคุณภาพบริการ และจำนวนงานที่มีการรองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การปรับเปลี่ยนหรือลดจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันในระบบคลัสเตอร์ประสิทธิภาพสูงมีแนวโน้มลดการใช้พลังงานเมื่อขนาดของพาร์ทิชันมีขนาดเล็กลง วิธีการปรับขนาดของพาร์ทิชันสามารถช่วยในการตอบสนองต่อการทำงานได้รวดเร็วกว่า เนื่องจากมีเครื่องที่พร้อมที่จะทำงานอยู่จำนวนหนึ่งรออยู่ในระบบแล้วและลดการเปิดและปิดเครื่องคำนวณในระบบ

การปรับเปลี่ยนลดค่าการจัดการคุณภาพบริการจะเห็นแนวโน้มการประหยัดพลังงานเมื่อมีจำนวนเปอร์เซ็นต์ของการจัดการคุณภาพบริการ (คิวโอเอส) ที่ 40 เปอร์เซนต์ ในการเพิ่มค่าของการจัดการคุณภาพบริการจะมีแนวโน้มช่วยให้ระบบประหยัดพลังงานได้แต่เวลาการทำงานของแต่ละงานก็จะเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์การทำงานล่าช้าสูงสุดของงานที่ถูกกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส)

การปรับให้ระบบสามารถประหยัดพลังงานได้มากโดยใช้การกำหนดคุณภาพการบริการ (คิวโอเอส) จะทำให้งานต่างๆเสร็จล่าช้าไปกว่าเดิม ถ้าหากกำหนดให้ระบบประหยัดพลังงานมากจะทำให้งานเสร็จล่าช้ากว่าที่ผู้ใช้งานยอมรับได้จะทำให้เกิดความไม่พึงพอใจในการบริการ ดังนั้นจึงมีการรองรับงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการ (เอสแอลเอ) ในการทดลองงานที่มีการรองรับข้อตกลงระดับการให้บริการจะพบว่าเมื่อจำนวนเปอร์เซ็นต์ของงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการที่ 60, 80 และ 100 เปอร์เซนต์ จะมีการใช้พลังงานที่เท่ากันในแต่ละจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันและจำนวนเปอร์เซ็นต์ของการจัดการคุณภาพบริการ (คิวโอเอส) หนึ่งๆ ดังนั้นแนวโน้มการประหยัดพลังงานเมื่อจำนวนเปอร์เซ็นต์ของงานที่รองรับข้อตกลงระดับการให้บริการมากกว่า 60 เปอร์เซนต์ จะมีการประหยัดพลังงานที่เท่ากันเมื่อจำนวนเครื่องต่อพาร์ทิชันและเปอร์เซ็นต์ของการจัดการคุณภาพบริการ (คิวโอเอส) ที่ค่าหนึ่งๆ

สรุป

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอแนวคิดใหม่ในการประหยัดพลังงานให้กับระบบคลัสเตอร์ขนาดใหญ่โดยการนำหลักของการปรับเปลี่ยนสมรรถนะการประมวลผลแบบพลวัตเพื่อให้พอเพียงกับการใช้งานโดยคุณภาพการบริการที่ต้องการไว้ทำให้สามารถลดการเปิดระบบซึ่งเป็นผลทำให้พลังงานที่ต้องการใช้น้อยลงโดยมีผลกระทบที่ยังควบคุมได้ เทคโนโลยีนี้สามารถใช้กับระบบขนาดใหญ่ทำให้สามารถรองรับความต้องการได้

การวิจัยและพัฒนาการพัฒนาอัลกอริทึมจัดลำดับงานแบบทรัพยากรพอเพียงนี้ยังมีสิ่งต่างๆ ที่สามารถที่จะพัฒนาต่อได้หลายประการ ยกตัวอย่างเช่น การเพิ่มความสามารถในการทำพาร์ทิชันแบบพลวัตซึ่งจะสามารถรองรับกับการทำงานในสถานะการณ์ต่างๆ เช่น เมื่อระบบทำงานไปได้สักระยะหนึ่งและเครื่องคำนวณในแต่ละพาร์ทิชันมีจำนวนเครื่องที่ว่างงานรวมกันมากกว่า 2 เท่าขนาดของพาร์ทิชัน ดังนั้นถ้าสามารถทำพาร์ทิชันแบบพลวัตได้ก็จะสามารถลดจำนวนเครื่องที่เปิดใช้งานแต่ไม่ได้ทำงานได้ การเพิ่มความสามารถในการจัดกลุ่มของพาร์ทิชันของเครื่องคำนวณแบบอัตโนมัติ เช่น ในระบบที่มีเครื่องคำนวณที่มีข้อกำหนดในการทำงานเครื่องที่ไม่เท่ากันหรือจัดให้กลุ่มของเครื่องคำนวณที่มีข้อกำหนดในการทำงานเท่ากัน ทำให้เวลาการแบ่งกลุ่มของพาร์ทิชันจะทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบลดลง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- Aida, K. 2005. Effect of Job Size Characteristics on Job Scheduling Performance, pp. 1-17. *In* **Proceedings of the 6th Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing**. London.
- Armbrust, M., Armando Fox, Rean Griffith, Anthony D. Joseph, Randy H. Katz, Andrew Konwinski, Gunho Lee, David A. Patterson, Ariel Rabkin, Ion Stoica and Matei Zaharia. 2009. **Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud**. 23.
- Baker, M. 2000. **Cluster Computing White Paper**. University of Portsmouth, United Kingdom.
- Boku, T., Mitsuhsa Sato, Daisuke Takahashi, Hiroshi Nakashima, Hiroshi Nakamura, Satoshi Matsuoka and Yoshihiko Hotta. 2006. MegaProto/E: Power-Aware High-Performance Cluster with Commodity Technology. *In* **Proceedings of the 20th International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2006)**. Rhodes Island.
- Chase, J.S., Darrell C. Anderson, Prachi N. Thakar, Amin M. Vahdat and Ronald P. Doyle. 2001. Managing Energy and Server Resources in Hosting Centers. **ACM SIGOPS Operating Systems Review**. 35(5):103-116.
- Dhamdhere, DM. 2003. **Operating Systems A concept-base approach (International Edition)**. Mc Graw-Hill Companies, Inc., Singapore.
- Feeh, V.W., Feng Pan, Nandini Kappiah and David K. Lowenthal. 2005. Using Multiple Energy Gears in MPI Programs on a Power-Scalable Cluster, pp. 164–173. *In* **Proceedings of the 10th ACM SIGPLAN symposium on Principles and practice of parallel programming**. New York.

- Feng, W. and Kirk Cameron. 2007. The Green500 List: Encouraging Sustainable Supercomputing. **IEEE Computer Society Press**. 40(12): 50-55.
- Ge, R., Xizhou Feng and Krik W. Cameron. 2005. Performance-constrained Distributed DVS Scheduling for Scientific Applications on Power-aware Clusters, pp. 34. *In Proceedings of the 2005 ACM/IEEE Conference on Supercomputing*. Washington, DC.
- Gurumurthi, S., Anand Sivasubramaniam, Mahmut Kandemir and Hubertus Franke. 2003. Reducing Disk Power Consumption in Servers with DRPM. **IEEE Computer Society Press**. 36(12): 59-66.
- Hsu, C. and Wu-chun Feng. 2005. A Power-Aware Run-Time System for High-Performance Computing. *In Proceedings of the 2005 ACM/IEEE Conference on Supercomputing*. Washington, DC.
- Kumar, V., A. Grama, A. Gupta and G. Karypis. 1994. **Introduction to Parallel Computing: Design and Analysis of Algorithms**. 1st ed. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., California.
- Pinheiro, E., Ricardo Bianchini, Enrique V. Carrera and Taliver Heath. 2001. **Compilers and Operating Systems for Low Power**. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, USA.
- Pouwelse, J., Koen Langendoen and Henk Sips. 2001. Energy Priority Scheduling for Variable Voltage Processors, pp 28–33. *In Proceedings of the 2001 International Symposium on Low Power Electronics and Design*. Huntington Beach, California.
- Rajamani, K. and Charles Lefurgy. 2003. On Evaluating Request-Distribution Schemes for Saving Energy in Server Clusters, pp. 111–122. *In Proceedings of the 2003 IEEE International Symposium on Performance Analysis of Systems and Software*. Austin, Texas.

- Rusu, C., Alexandre Ferreira, Claudio Scordino and Aaron Watson. 2006. Energy-Efficient Real-Time Heterogeneous Server Clusters, pp. 418–428. *In **Proceedings of the 12th IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium***. San Jose, California.
- Springer, R., David K. Lowenthal, Barry Rountree and Vincent W. Freeh. 2006. Minimizing Execution Time in MPI Programs on an Energy-Constrained, Power-Scalable Cluster, pp. 230–238. *In **Proceedings of the eleventh ACM SIGPLAN Symposium on Principles and Practice of Parallel Programming***. New York.
- Stoess, J., Christoph Klee, Stefan Domthera and Frank Bellosa. 2007. Transparent, Power-Aware Migration in Virtualized Systems, pp. 3-8. *In **Proceedings of the 2007 GI/ITG Fachgruppentreffen Betriebssysteme***. Karlsruhe Germany.
- Tolentino, M.E., Joseph Turner and Krik W. Cameron. 2007. Memory-MISER: A Performance-Constrained Runtime System for Power-Scalable Clusters, pp. 237-246. *In **Proceedings of the 4th International Conference on Computing Frontiers***. Ischia, Italy.
- Varalertsakul, P. and Putchong Uthayopas. 2007. The Development of a Resources Sufficiency based Scheduling Algorithm, pp. 115-122. *In **The 11th National Computer Science and Engineering Conference***. Bangkok.
- _____ and _____. 2008. Minimizing the Energy Consumption in Large Cluster Systems Using Resources Sufficiency based Scheduling Algorithm, pp. 19-24. *In **The 5th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering***. Thailand.

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล

นายพีระพัชร วราเลิศสกุล

วัน เดือน ปี ที่เกิด

17 กรกฎาคม 2523

สถานที่เกิด

อำเภอป้อมปราบศัตรูพ่าย จังหวัดกรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา

วศ.บ. (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขต ศรีราชา