

แบบจำลองเพื่อการออกแบบระบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์สำหรับเมืองอัจฉริยะรักษ์สิ่งแวดล้อม:
กรณีศึกษาของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CLOUD INFRASTRUCTURE DESIGN MODEL FOR GREEN SMART CITY: A CASE STUDY OF
ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แบบจำลองเพื่อการออกแบบระบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ สำหรับเมืองอัจฉริยะรักษ์สิ่งแวดล้อม: กรณีศึกษาของการ ไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
โดย	น.ส.จรีนดา ธีระศุภะ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.เขาวนดิศ อัครกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ สหายวิจิตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ
.....	
(รองศาสตราจารย์ ดร.มณิศา พิพัฒน์สมพร)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.เขาวนดิศ อัครกุล)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ สหายวิจิตร)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.เอกอุพาร เทวารุทธ)	

วิรินดา ถิระสุภา : แบบจำลองเพื่อการออกแบบระบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์สำหรับเมืองอัจฉริยะ
 รักษ์สิ่งแวดล้อม: กรณีศึกษาของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (CLOUD INFRASTRUCTURE
 DESIGN MODEL FOR GREEN SMART CITY: A CASE STUDY OF ELECTRICITY GENERATING
 AUTHORITY OF THAILAND) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.เชาวนดิศ อัครกุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.
 ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร

“EGAT Eco Plus” เป็นโครงการเมืองอัจฉริยะโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ซึ่งใน
 การออกแบบโครงสร้างพื้นฐานระบบสื่อสารสำหรับเมืองอัจฉริยะ กฟผ. สนอง. จะต้องรองรับการออกแบบเป็น
 โมดูลเพื่อให้การออกแบบมีความยืดหยุ่นสามารถปรับเปลี่ยนได้อย่างรวดเร็วตามความต้องการใช้งานที่
 เปลี่ยนไป วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอแบบจำลองเพื่อการออกแบบระบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์สำหรับเมือง
 อัจฉริยะรักษ์สิ่งแวดล้อม: กรณีศึกษาของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และแนวคิดของตัวควบคุมระบบ
 คลาวด์เมืองอัจฉริยะ โดยผู้วิจัยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์แบบกำหนดการเชิงเส้น (linear programming: LP)
 เพื่อหาค่าตอบการจัดสรรทรัพยากรของศูนย์ข้อมูลให้กับคำร้องขอเพื่อให้บริการแบบสีเขียวสูงสุด โดยการ
 ใช้พลังงานสีเขียวในศูนย์ข้อมูลจากแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่สูงสุดเพื่อสร้างการคำนวณรักษ์สิ่งแวดล้อม
 ในเมืองอัจฉริยะ และผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบกับวิธีการจัดสรรภารกิจที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน คือวิธีวนรอบ
 (round robin) อีกทั้งเพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของเมืองอัจฉริยะ กฟผ. จึง
 เป็นที่มาให้ผู้วิจัยศึกษาองค์ความรู้และเกณฑ์การประเมินเพื่อสร้างศูนย์ข้อมูลแบบยั่งยืนรักษ์สิ่งแวดล้อม คือ
 สัมประสิทธิ์พลังงานสีเขียว ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียวของภารกิจแต่ละประเภท ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์
 จากพลังงานไฟฟ้า ซึ่งสามารถใช้เป็นเกณฑ์ชี้วัดศูนย์ข้อมูลแบบยั่งยืนของ กฟผ. สนอง. ได้

โดยสรุปแบบจำลองสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานจริงได้เพื่อรองรับโปรแกรมประยุกต์ของเมือง
 อัจฉริยะ กฟผ. สนอง. โดยการปรับลักษณะโปรแกรมประยุกต์แต่ละชนิดที่จะมีใช้งานในเมืองอัจฉริยะ ได้แก่ ชนิด
 ของภารกิจ ขนาดแกนคำนวณที่ต้องการใช้งาน ขนาดของเครือข่ายที่ต้องการ ขนาดของหน่วยเก็บ ขนาดของ
 ข้อมูล และค่าการประวิงเวลาในระบบสื่อสารสูงสุด รวมทั้งคุณลักษณะของศูนย์ข้อมูล ได้แก่ ความจุของแกน
 คำนวณ ขนาดเครือข่ายที่สามารถให้บริการได้ ขนาดหน่วยเก็บ ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้เป็นส่วนสำคัญและ
 เกี่ยวข้องในการให้บริการระบบคลาวด์แก่หน่วยงานหรือลูกค้าที่อยู่ตามอาคารต่าง ๆ ใน กฟผ. สนอง. อีกทั้ง
 สามารถใช้กับการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่มีการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหลายแหล่งที่แตกต่างกัน
 เช่น แหล่งผลิตพลังงานจากกริด หรือแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ และหน่วยกักเก็บพลังงานสำรอง
 เป็นต้น

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

6070291421 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORD: SMART CITY, CLOUD, CLOUD COMPUTING, RESOURCE ALLOCATION, GREEN COMPUTING, ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND

Ririnda Thirasupa : CLOUD INFRASTRUCTURE DESIGN MODEL FOR GREEN SMART CITY: A CASE STUDY OF ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND. Advisor: Assoc. Prof. CHAODIT ASWAKUL, Ph.D. Co-advisor: Asst. Prof. CHAIYACHET SAIVICHIT, Ph.D.

“EGAT Eco Plus” is a smart city initiative of Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT). To design the cloud infrastructure to support applications in the smart city, we need a modular design model that can dynamically adjust requirements and system parameters. This thesis proposes the concept of smart city cloud controller which aims to provide so-called *green* service resource allocation by maximizing green i.e. renewable energy usage for data centers. Based on our formulated linear programming, our proposed SCCC model can provide *green* service resource allocation for data centers by maximizing the green energy usage. To create sustainable data centers, we evaluate the SCCC formulation with green energy coefficient (GEC) of each data center, average green energy usage for each task type, average green energy usage per byte for each task type, and carbon footprint of each data center in optimizing green metrics. Moreover, we compare our model with a well-known algorithm for solving the resource allocation problem i.e. round-robin. The model can be applied in the smart city whose data centers have different accessibility to on-site renewable energy sources. Besides, the proposed model can adjust parameters which are design criteria for green computing for tasks; the type of tasks, compute requirement, bandwidth requirement, storage capacity requirement; data centers; compute capacity, bandwidth capacity, storage capacity; and different power sources. These design criteria can be used as design guidelines for green computing in smart cities with more than one power source; grid, on-site renewable energy, battery energy storage.

Field of Study: Electrical Engineering

Academic Year: 2019

Student's Signature

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดีเพราะได้รับความกรุณาชี้แนะและช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร. เขาวนดิศ อัสวกุล และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์รอง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยเชษฐ สายวิจิตร ที่ให้คำแนะนำผู้วิจัยมาโดยตลอดตั้งแต่เริ่มต้นทำงานวิจัยจนสำเร็จเรียบร้อย รวมทั้งให้โอกาสผู้วิจัยในเปิดโลกแห่งการเรียนรู้ และสะสมประสบการณ์ใหม่ ๆ ทั้งภายในและภายนอกจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งล้วนแต่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาความคิด และมุมมองของผู้วิจัยเป็นอย่างมากที่สามารถนำไปปรับใช้ในชีวิตการทำงานของผู้วิจัยได้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณด้วยความเคารพอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

กราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. มณิศา พิพัฒน์สมพร ที่ให้เกียรติมาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อีกทั้งได้ให้คำชี้แนะ และมุมมองของที่มีประโยชน์อย่างมากต่อวิทยานิพนธ์ของผู้วิจัยในเชิงการดำเนินงานวิจัยไปพัฒนาต่อยอดใช้งานในเมืองอัจฉริยะ กฟผ. สนง. ต่อไป

ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิสอบวิทยานิพนธ์ ดร. เอกอุฬาร เทวารุทท ซึ่งเป็นรุ่นพี่ที่ผู้วิจัยมีความนับถืออย่างยิ่งในการทำงานที่ กฟผ. ที่ช่วยสนับสนุน และผลักดันผู้วิจัยในการขอรับทุนการศึกษานี้ รวมทั้งได้ให้คำปรึกษา และคอยสนับสนุนข้อมูลที่เป็นต่อการทำวิจัยเสมอมา

ขอขอบพระคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ที่ได้มอบทุนการศึกษาด้านโครงข่ายอัจฉริยะแก่ผู้วิจัย ทำให้ผู้วิจัยมีโอกาสได้ศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต และสนับสนุนทุนการศึกษางบหลักสูตร นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้รับโอกาสในการร่วมงานและประชุมวิชาการจากโครงการ “แพลตฟอร์มบริการคลาวด์อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งที่มีข้อมูลเป็นศูนย์กลางสำหรับชุมชนอัจฉริยะ (Data-Centric IoT Cloud Service Platform for Smart Communities; IoTCloudServe@TEIN)” ภายใต้การสนับสนุนทุนการวิจัยจาก Asia@connect ที่ช่วยเปิดโลกของงานระบบโครงข่ายในระดับสากล

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยโครงข่ายไร้สายและอินเทอร์เน็ตอนาคต (Wireless Network and Future Internet Research Unit) ดูแลโดย รศ. ดร. เขาวนดิศ อัสวกุล และ ผศ. ดร. ชัยเชษฐ สายวิจิตร รวมทั้งเพื่อนและน้องนักวิจัยทุกท่านที่สร้างบรรยากาศของการเรียนรู้ร่วมกัน รวมทั้งแลกเปลี่ยนความรู้แบบเปิดใจกว้าง และทำงานร่วมกันอย่างมีระบบ ทำให้ผู้วิจัยเกิดความตื่นตัวที่จะพัฒนาความรู้ตัวเอง และติดตามเทรนด์เทคโนโลยีใหม่ ๆ มากขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านในภาควิชาไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ และบุคลากรของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สละเวลาคอยให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือผู้วิจัยเป็นอย่างดี ทำให้ผู้วิจัยสามารถที่จะดำเนินการ และแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ได้ทันกำหนด

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุด คือ ครอบครัวและสามี ที่ให้การสนับสนุน ให้กำลังใจ และความปรารถนาดีเสมอมาตลอดการศึกษา จนผู้วิจัยสามารถทำงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ปัญหาและที่มาของโครงการเมืองอัจฉริยะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย สำนักงานใหญ่	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.5 ประมวลวิทยานิพนธ์	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 นิยามของเมืองอัจฉริยะ	7
2.2 ระบบนิเวศของเทคโนโลยีในเมืองอัจฉริยะ (smart city technological ecosystem).....	7
2.3 เทคโนโลยีการคำนวณแบบคลาวด์	11
2.4 แบบจำลองการให้บริการคลาวด์ (cloud service model) [21].....	11
2.5 รูปแบบการนำไปใช้งาน [21]	12
2.6 การประยุกต์ใช้การคำนวณแบบคลาวด์ในเมืองอัจฉริยะสำหรับโปรแกรมประยุกต์พลังงานอัจฉริยะ.....	13
2.7 การคำนวณรักษ์สิ่งแวดล้อม (green computing).....	15

2.8 แนวคิดและแบบจำลองการคำนวณรัศมีสิ่งแวดล้อม.....	16
บทที่ 3 แบบจำลองเบื้องต้นเพื่อการออกแบบระบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์สำหรับเมืองอัจฉริยะ .	19
3.1 แนวคิดของตัวควบคุมระบบคลาวด์เมืองอัจฉริยะ (smart city cloud controller: SCCC) 19	
3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เบื้องต้น	21
3.3 การออกแบบการทดสอบแบบจำลองเบื้องต้น	23
บทที่ 4 ผลการทดสอบแบบจำลอง และวิเคราะห์ผลเบื้องต้น	26
4.1 กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการ	26
4.2 กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดความจุของศูนย์ข้อมูล	30
4.3 กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2	34
4.4 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเบื้องต้น	38
บทที่ 5 แบบจำลองเพื่อการออกแบบระบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์สำหรับเมืองอัจฉริยะรักษ์ สิ่งแวดล้อม: กรณีศึกษาของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.....	40
5.1 แนวคิดของตัวควบคุมระบบคลาวด์เมืองอัจฉริยะรักษ์สิ่งแวดล้อม: กรณีศึกษาของการไฟฟ้า ฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	40
5.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	40
บทที่ 6 การทดสอบแบบจำลองเพื่อการออกแบบระบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์สำหรับเมืองอัจฉริยะ รักษ์สิ่งแวดล้อม และหลักเกณฑ์การประเมินผล	45
6.1 การออกแบบการทดสอบแบบจำลอง	45
6.2 การกำหนดพารามิเตอร์สำหรับการทดลอง	46
6.3 หลักเกณฑ์การประเมินแบบจำลอง	49
บทที่ 7 ผลการทดสอบแบบจำลองเพื่อการออกแบบระบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์สำหรับเมือง อัจฉริยะรักษ์สิ่งแวดล้อม และการประเมินผลสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล และ สมรรถนะด้านการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิด	54
7.1 กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการ	54

7.2 กรณีศึกษาผลกระทบการลดขนาดความจุของศูนย์ข้อมูล	63
7.3 กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S ₂	71
บทที่ 8 ผลการทดสอบแบบจำลองเพื่อการออกแบบระบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์สำหรับเมือง อัจฉริยะรักษาสีสิ่งแวดล้อม และการประเมินผลสมรรถนะด้านรักษาสีสิ่งแวดล้อมของศูนย์ข้อมูล.....	81
บทที่ 9 วิเคราะห์ผลการทดลอง สรุปผล และข้อเสนอแนะ.....	91
บรรณานุกรม.....	94
ภาคผนวก.....	98
ภาคผนวก ก โปรแกรมแบบจำลองเพื่อการออกแบบระบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์สำหรับเมือง อัจฉริยะรักษาสีสิ่งแวดล้อม.....	99
ก.1 โปรแกรมกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการ.....	99
ก.2 โปรแกรมกรณีศึกษาผลกระทบการลดขนาดความจุของศูนย์ข้อมูล.....	113
ก.3 โปรแกรมกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิต พลังงาน S ₂	128
ภาคผนวก ข พารามิเตอร์การทดลอง.....	143
ข.1 พารามิเตอร์การทดลองกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการ	143
ข.2 พารามิเตอร์การทดลองกรณีศึกษาผลกระทบการลดขนาดความจุของศูนย์ข้อมูล	144
ข.3 พารามิเตอร์การทดลองกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จาก แหล่งผลิตพลังงาน S ₂	146
ประวัติผู้เขียน.....	148

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 6.1 พารามิเตอร์ชนิดและคุณลักษณะคำร้องขอบริการที่ต้องใช้งานระบบคลาวด์ในเมือง อัจฉริยะ	47
ตารางที่ 6.2 พารามิเตอร์คุณลักษณะศูนย์ข้อมูลในเมืองอัจฉริยะ	47
ตารางที่ 6.3 พารามิเตอร์ขนาดเครือข่ายภายในอาคารหรือระหว่างอาคาร.....	47
ตารางที่ 7.1 พารามิเตอร์ภารกิจชนิดที่ 1 กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้ บริการ.....	55
ตารางที่ 7.2 พารามิเตอร์ภารกิจชนิดที่ 2 กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้ บริการ.....	55
ตารางที่ 7.3 พารามิเตอร์ภารกิจชนิดที่ 3 กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้ บริการ.....	55
ตารางที่ 7.4 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่ เข้ามาใช้บริการด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCDC การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว	57
ตารางที่ 7.5 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่ เข้ามาใช้บริการด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCDC การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว	57
ตารางที่ 7.6 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่ เข้ามาใช้บริการด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ RR การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้า จากแหล่งพลังงานสีเขียว	57
ตารางที่ 7.7 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่ เข้ามาใช้บริการด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ RR การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้า จากแหล่งพลังงานสีเขียว	58
ตารางที่ 7.8 พารามิเตอร์กรณีศึกษาผลกระทบการลดขนาดความจุของศูนย์ข้อมูล	63
ตารางที่ 7.9 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลกรณีศึกษาผลกระทบการลดขนาดความจุของ ศูนย์ข้อมูลด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCDC การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้า จากแหล่งพลังงานสีเขียว	65

ตารางที่ 8.4 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการ
 ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCCC การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่ง
 พลังงานสีเขียว 89



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 เมืองอัจฉริยะ กฟผ. สนง. [2].....	2
รูปที่ 1.2 แผนภาพตรรกะทอพอโลยีวีโอไอพี [3].....	3
รูปที่ 1.3 แผนภาพกายภาพทอพอโลยีเส้นใยนำแสง [3].....	3
รูปที่ 2.1 สถาปัตยกรรมเทคโนโลยีของเมืองอัจฉริยะยั่งยืนโดย ITU-T [4].....	10
รูปที่ 2.2 ภาพจำลองการให้บริการคลาวด์โปรแกรมประยุกต์พลังงานอัจฉริยะ [22].....	14
รูปที่ 2.3 สถาปัตยกรรมคลาวด์ [25].....	15
รูปที่ 3.1 แนวคิดของตัวควบคุมระบบคลาวด์เมืองอัจฉริยะ.....	19
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการติดตั้งเทคโนโลยีคอนเทนเนอร์บนเครื่องเสมือน [39].....	20
รูปที่ 3.3 การทดลองการทำงานของแบบจำลองในเบื้องต้น 3 กรณี.....	24
รูปที่ 3.4 สัดส่วนการจัดสรรภารกิจ x_{ijk}	25
รูปที่ 4.1 สัดส่วนการจัดสรร x_{ijk} กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการ ของการทดลอง (ก) (ข) และ (ค).....	28
รูปที่ 4.2 ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการของ การทดลอง (ก) (ข) และ (ค).....	29
รูปที่ 4.3 สัดส่วนการจัดสรร x_{ijk} กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดความจุของศูนย์ข้อมูลของการ ทดลอง (ก) (ข) และ (ค).....	32
รูปที่ 4.4 ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดความจุของศูนย์ข้อมูลของการ ทดลอง (ก) (ข) และ (ค).....	33
รูปที่ 4.5 สัดส่วนการจัดสรร x_{ijk} กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มพลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิต พลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ของการทดลอง (ก) (ข) และ (ค).....	35
รูปที่ 4.6 ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มพลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงาน หมุนเวียนในพื้นที่ของการทดลอง (ก) (ข) และ (ค).....	37

รูปที่ 6.1 การทดลองการทำงานของแบบจำลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว 46

รูปที่ 6.2 การทดลองการทำงานของแบบจำลองกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว 46

รูปที่ 6.3 สัดส่วนการจัดสรรภารกิจ x_{ijk} 49

รูปที่ 7.1 ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCCC การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข) 56

รูปที่ 7.2 ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ RR การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)..... 56

รูปที่ 7.3 เปรียบเทียบสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล (แกนคำนวณ) ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)..... 59

รูปที่ 7.4 เปรียบเทียบสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล (เครือข่าย) ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และ ศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)..... 60

รูปที่ 7.5 เปรียบเทียบสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล (หน่วยเก็บ) ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข) 61

รูปที่ 7.6 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจากค่าสูงสุดการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิด ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข) 62

รูปที่ 7.7 ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์กรณีศึกษาผลกระทบการลดขนาดความจุของศูนย์ข้อมูล ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCCC การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)..... 64

รูปที่ 7.8 ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์กรณีศึกษาผลกระทบการลดขนาดความจุของศูนย์ข้อมูล ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ RR การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)..... 64

รูปที่ 7.18 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจากค่าสูงสุดการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิด
ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจาก
แหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)
..... 79

รูปที่ 8.1 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์พลังงานสีเขียวของศูนย์ข้อมูลด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ
RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณี
ศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข) 82

รูปที่ 8.2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียวของภารกิจแต่ละชนิดด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจ
SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก)
และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)..... 84

รูปที่ 8.3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียวต่อหน่วยข้อมูลของภารกิจแต่ละชนิดด้วยวิธีการ
จัดสรรภารกิจ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่ง
พลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข) 85

รูปที่ 8.4 เปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของศูนย์ข้อมูลด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ
RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณี
ศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข) 86

รูปที่ 8.5 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับ
ตัวบริการตามวิธี SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่ง
พลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข) 87

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ปัญหาและที่มาของโครงการเมืองอัจฉริยะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย สำนักงานใหญ่

1.1.1. ที่มาของโครงการเมืองอัจฉริยะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย สำนักงานใหญ่

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ได้ส่งโครงการ “EGAT Eco Plus” เพื่อเข้าร่วมประกวดในโครงการสนับสนุนการออกแบบเมืองอัจฉริยะ (Smart Cities - Clean Energy) [1] [2] ตามที่สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ร่วมกับมูลนิธิอาคารเขียวไทยได้จัดทำขึ้นมาโดยการสนับสนุนภายใต้กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน โดยโครงการนี้เป็นกิจกรรมขับเคลื่อนภายใต้แผนปฏิบัติการวาระแห่งชาติ : การพัฒนาเมืองอัจฉริยะ (Smart city) ที่เป็นกลไกสำคัญในการสอดรับอย่างดีกับแผนพัฒนาของประเทศในการขับเคลื่อนประเทศไปสู่ Thailand 4.0 และการพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม

แผนพัฒนาในโครงการนี้เป็นแผนระยะ 5 ปี (2560 - 2564) มีเป้าหมายในการพัฒนาเมืองเพื่อการอยู่อาศัยในอนาคต โดยมีแนวคิดทิศทางการพัฒนาเมืองให้คนในพื้นที่มีคุณภาพชีวิตที่ดีจากการแก้ปัญหาต่าง ๆ ช่วยส่งเสริมสิ่งแวดล้อมและลดผลกระทบต่อเหลือน้อยที่สุด ซึ่งได้กำหนดหลักการสำคัญเอาไว้ 4 ข้อ ดังนี้

1) มีการใช้ระบบสาธารณูปโภค สาธารณูปการ ถนน อาคารและสิ่งอำนวยความสะดวกในพื้นที่เมืองอย่างเต็มประสิทธิภาพ มีการบริหารจัดการพลังงานทั้งภาคการผลิต การส่งจ่าย และการใช้พลังงาน รวมทั้งส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนเพื่อสนับสนุนสภาพทางเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรมในเมืองนั้นให้เข้มแข็ง

2) มีความยืดหยุ่นสูง ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศที่ง่ายต่อการเรียนรู้ ง่ายต่อการใช้งาน ง่ายต่อการประยุกต์และปรับเปลี่ยน และสามารถตอบสนองต่อความต้องการของเมืองได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

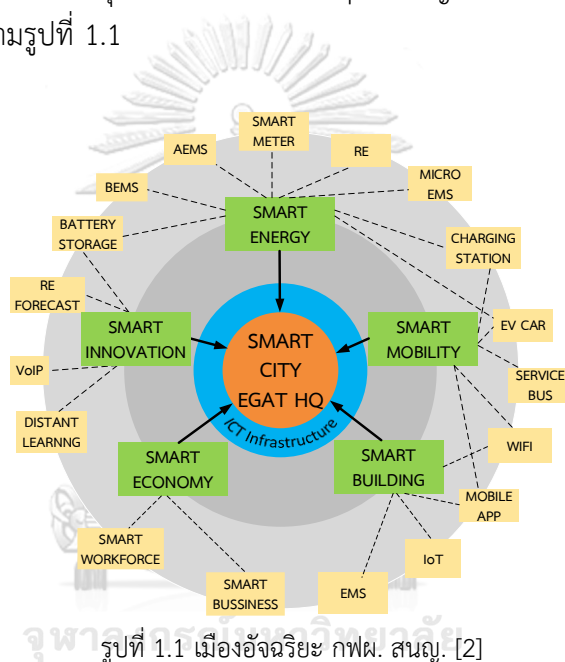
3) เทคโนโลยี ข่าวสารข้อมูล เปิดกว้างและสามารถเข้าถึงแก่ผู้ใช้ในทุกระดับ ทุกเพศ ทุกวัย ทุกสถานภาพ ทั้งยังสามารถแก้ไขให้เหมาะสมกับความต้องการในการใช้งานที่แตกต่างกันได้ด้วย

4) เป็นเมืองแห่งคุณภาพชีวิตที่ดี มีความสุข ปลอดภัย เป็นสังคมแห่งการเรียนรู้ บ่มเพาะนักธุรกิจ นักพัฒนาเพื่อสร้างให้เกิดการพัฒนานวัตกรรมด้านต่าง ๆ อยู่ตลอดเวลา

กฟผ. ได้นำแนวคิดของเมืองอัจฉริยะมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาพื้นที่ กฟผ. สำนักงานใหญ่(สนง.) ให้สอดคล้องกับหลักเกณฑ์ดังกล่าว ซึ่งประกอบไปด้วย 8 หมวด ได้แก่ 1) พลังงานอัจฉริยะ (smart energy) 2) การสัญจรอัจฉริยะ (smart mobility) 3) ชุมชนอัจฉริยะ (smart

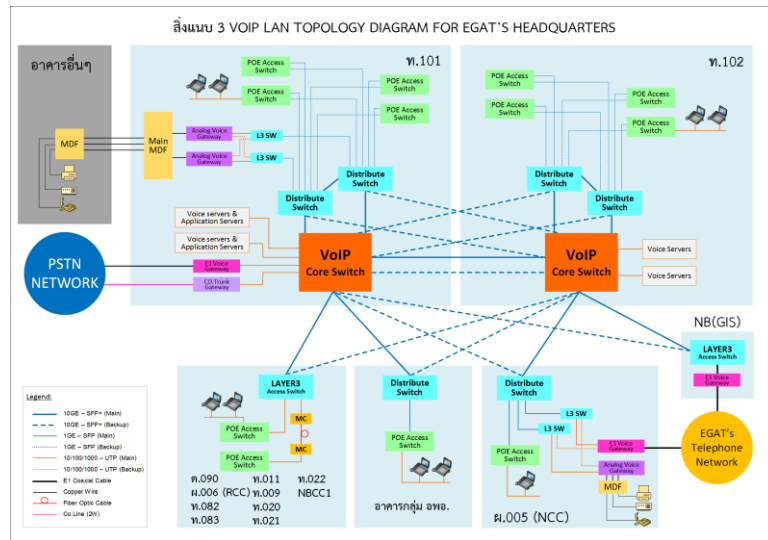
community) 4) สิ่งแวดล้อมอัจฉริยะ (smart environment) 5) เศรษฐกิจอัจฉริยะ (smart economy) 6) อาคารอัจฉริยะ (smart building) 7) การปกครองอัจฉริยะ (smart governance) และ 8) นวัตกรรมอัจฉริยะ (smart innovation)

จากการพิจารณาหลักเกณฑ์การพัฒนาพื้นที่ กฟผ. สนง. ให้เป็นเมืองอัจฉริยะของ กฟผ. ได้นำเสนอระบบอัจฉริยะและโปรแกรมประยุกต์ต่าง ๆ ที่มีชนิด จำนวน และปริมาณจำนวนมาก ซึ่งมีความต้องการใช้งานระบบสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อสนับสนุนบริการต่าง ๆ ดังนั้นหากพิจารณาในหมวดหลักที่มีความจำเป็นในการวางระบบโครงสร้างพื้นฐานระบบสื่อสาร (communication infrastructure backbone network) เพื่อเป็นต้นแบบในการรองรับโครงการนี้จะพิจารณาเฉพาะโปรแกรมประยุกต์และบริการหลัก ๆ ที่สำคัญของโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (smart grid) ในเมืองอัจฉริยะตามรูปที่ 1.1

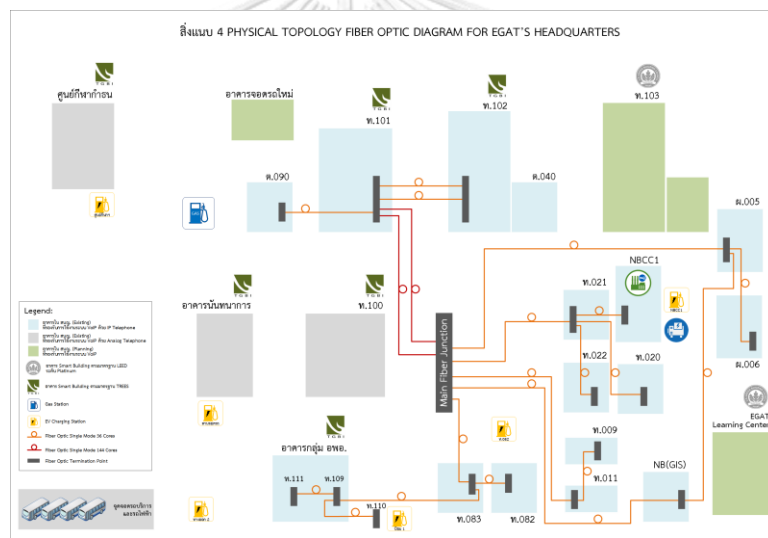


รูปที่ 1.1 เมืองอัจฉริยะ กฟผ. สนง. [2]

ที่มาและแรงบันดาลใจอีกอย่างหนึ่งในการจัดทำโครงการนี้คือการที่ อรส. ได้จัดทำโครงการจัดหาพร้อมติดตั้งชุมสายโทรศัพท์วีโอไอพี (voice over internet protocol: VoIP) [3] สำหรับสำนักงานใหญ่ กฟผ. ได้แก่ ระบบให้บริการเสียงและโปรแกรมประยุกต์ (voice and application services) และระบบโครงข่ายแลน (local area network switch) เพื่อรองรับการใช้บริการเสียงและโปรแกรมประยุกต์ สำหรับระบบปฏิบัติการและการบริหาร (operation and administration) โดยมีแนวคิดการออกแบบเป็นแบบเครือข่ายแบบเมชสมบูรณ์ที่มีโครงแบบส่วนซ้ำสำรอง (full mesh topology with redundancy configuration) ดังรูปที่ 1.2 รวมทั้งมีการออกแบบระบบข่ายสายสัญญาณเคเบิลเส้นใยนำแสงทั้งภายในและภายนอกอาคารดังรูปที่ 1.3 ครอบคลุมอาคารในพื้นที่ กฟผ. สนง.



รูปที่ 1.2 แผนภาพตรรกะทอพอโลยีวีโอไอพี [3]



รูปที่ 1.3 แผนภาพกายภาพทอพอโลยีเส้นใยนำแสง [3]

จากรูปที่ 1.2 จะเห็นได้ว่า กฟผ. สนง. มีความพร้อมด้านระบบโครงสร้างพื้นฐานครอบคลุมแล้ว จึงมีความสนใจในการนำโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นส่วนที่เหลือจากการใช้งานมาประยุกต์ใช้งานเพื่อรองรับการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ต่าง ๆ ในเมืองอัจฉริยะ สนง. ด้วย ซึ่ง อรส. ได้มีส่วนให้การสนับสนุนโครงการนี้อยู่แล้วในเบื้องต้นของหมวดนวัตกรรมอัจฉริยะ ซึ่งเป็นการนำเอาโปรแกรมประยุกต์ของระบบวีโอไอพีมาประยุกต์ใช้งานเพื่อให้เกิดนวัตกรรมในเมืองอัจฉริยะดังที่กล่าวมาแล้ว หากงานวิจัยนี้พบว่าการนำทรัพยากรจากโครงการวีโอไอพี สนง. มาใช้ร่วมกับโครงการเมืองอัจฉริยะแล้วเกิดความคุ้มค่า จะเป็นการทำให้เกิดการการใช้ประโยชน์ (utilization) ระบบโครงสร้างพื้นฐานเดิมได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ไม่เป็นการลงทุนซ้ำซ้อน นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับระบบวีโอไอพี ด้วยการให้บริการมูลค่าเพิ่มแก่ผู้ปฏิบัติงานเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการติดต่อสื่อสาร เพิ่มสภาพเคลื่อนที่ได้ (mobility) สอดคล้องกับลักษณะการทำงานในปัจจุบัน ปรับภาพลักษณ์ขององค์กรให้ทันสมัย เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและชุมชน

1.1.2. ที่มาของปัญหาการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานระบบสื่อสารสำหรับ กฟผ. สนง.

จากการที่ผู้วิจัยได้เป็นวิศวกรผู้มีส่วนร่วมในการออกแบบโครงข่ายวีโอไอพี สนง. กฟผ. พบว่าปัญหาหลักในการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานระบบสื่อสารของระบบวีโอไอพีคือการทำงานที่มีจำนวนผู้ใช้งานและความต้องการใช้งานเป็นจำนวนมาก มีผู้ปฏิบัติงานใน สนง. ประมาณ 15,000 คน (ข้อมูล ณ ปี พ.ศ.2560) และขาดข้อมูลที่เป็นระบบที่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบได้อย่างรวดเร็ว มีความไม่แน่นอนของข้อมูลมาก ส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในการออกแบบระบบและจัดทำข้อกำหนดของอุปกรณ์รวมเป็นระยะเวลานานถึง 4 ปี (ระหว่าง พ.ศ. 2556 - 2559) ดังนั้นจึงเห็นว่าหากไม่มีการเตรียมความพร้อมในการจัดทำวิธีการออกแบบหรือรูปแบบในการออกแบบให้พร้อมรองรับความต้องการใช้งานที่มีปริมาณมากและหลากหลาย และที่มาของแหล่งข้อมูลในการออกแบบไม่แน่นอน อย่างเช่น โครงการเมืองอัจฉริยะ ก็จะทำให้ กฟผ. เสียโอกาสในการดำเนินงานได้ทันตามกำหนด การทำแผนงานอาจล่าช้า ใช้ระยะเวลานาน ใช้ต้นทุนงบประมาณมากทั้งทางด้านการลงทุนและการใช้ทรัพยากรบุคคลากรที่มากเกินไปจนเป็นอุปสรรคและเป็นที่มาของการนำเสนอโครงการนี้ นอกจากนี้จากแนวคิดของโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะและเมืองอัจฉริยะมุ่งเน้นถึงเรื่องแนวคิดริ้วสิ่งแวดลอม (green concept) นั่นคือมุ่งเน้นเรื่องการประหยัดพลังงาน ความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และการนำทรัพยากรที่มีอยู่มาใช้อย่างคุ้มค่า จึงมีแนวคิดในการที่จะนำแนวคิดเขียวมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานระบบสื่อสารสำหรับเมืองอัจฉริยะ กฟผ. สนง. ซึ่งจะต้องรองรับการออกแบบเป็นโมดูล (modular design) เพื่อให้การออกแบบมีความยืดหยุ่นสามารถปรับเปลี่ยนได้อย่างรวดเร็วตามความต้องการใช้งานที่เปลี่ยนไป

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1.2.1. พัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานจริงได้เพื่อรองรับโปรแกรมประยุกต์ของเมืองอัจฉริยะ กฟผ. สนง. ซึ่งต้องคำนึงถึงแนวคิดพลังงานเขียว (green energy concept) มีการใช้เทคโนโลยีการคำนวณแบบคลาวด์ โดยคำนึงถึงการใช้พลังงานสะอาด

1.2.2. แบบจำลองที่ออกแบบรองรับความต้องการใช้งานระบบคลาวด์ของภารกิจ (task) ที่มีชนิดและปริมาณการใช้ที่แตกต่างกันได้

1.2.3. แบบจำลองที่ออกแบบสามารถใช้กับการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่มีการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหลายแหล่งที่แตกต่างกัน เช่น แหล่งผลิตพลังงานจากกริด หรือแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ และหน่วยกักเก็บพลังงานสำรอง เป็นต้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1. ศึกษาทฤษฎีทางคณิตศาสตร์และพัฒนาแบบจำลองการหาค่าเหมาะที่สุดเพื่อช่วยในการออกแบบระบบการคำนวณแบบคลาวด์ในเมืองอัจฉริยะ โดยคำนึงถึงการใช้พลังงานของศูนย์ข้อมูลจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ให้ได้มากที่สุด

1.3.2. ศึกษาดัชนีชี้วัดการประเมินศูนย์ข้อมูลแบบยั่งยืน (sustainable data center)

1.3.3. พัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทดลองเบื้องต้น โดยใช้โปรแกรม Matlab

1.3.4. พัฒนาและสร้างตัวแปรข้อมูลเข้าแบบจำลอง เช่น ขนาดและจำนวนของโปรแกรมประยุกต์ที่ต้องการใช้บริการระบบคลาวด์ในเมืองอัจฉริยะที่มีลักษณะแตกต่างกัน ความจุของศูนย์ข้อมูล พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่

1.3.5. ทดสอบแบบจำลองโดยทำการเปลี่ยนค่าของตัวแปรข้อมูลเข้าแบบต่าง ๆ เช่น ขนาดและจำนวนของโปรแกรมประยุกต์ที่ต้องการใช้บริการระบบคลาวด์ในเมืองอัจฉริยะที่มีลักษณะแตกต่างกัน ความจุของศูนย์ข้อมูล พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1. แบบจำลองเพื่อช่วยในการออกแบบระบบการคำนวณแบบคลาวด์ในเมืองอัจฉริยะ รัศมีสิ่งแวดล้อม ที่สามารถนำไปปรับปรุงและประยุกต์ได้กับโครงข่ายเมืองอัจฉริยะแบบอื่น ๆ หรือปรับให้เหมาะสมกับต้องการใช้งานที่เพิ่มขึ้นหรือความต้องการที่เปลี่ยนไปได้

1.4.2. องค์ความรู้เรื่องการออกแบบระบบการคำนวณแบบคลาวด์ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องในปัจจุบัน

1.4.3. องค์ความรู้เรื่องศูนย์ข้อมูลแบบยั่งยืน

1.4.4. ตอบสนองนโยบายแห่งชาติตามแผนปฏิบัติการวาระแห่งชาติ : การพัฒนาเมืองอัจฉริยะ (Smart City)

1.5 ประมวลวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงปัญหาและที่มาของโครงการเมืองอัจฉริยะ กฟผ. สนง.

บทที่ 2 ทฤษฎีและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึงนิยามของเมืองอัจฉริยะ เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง และการประยุกต์ใช้งานการคำนวณแบบคลาวด์ในเมืองอัจฉริยะ

บทที่ 3 แบบจำลองเบื้องต้นเพื่อการออกแบบระบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์สำหรับเมืองอัจฉริยะ กล่าวถึงแนวคิดของตัวควบคุมระบบคลาวด์เมืองอัจฉริยะ และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบกำหนดการเชิงเส้นเบื้องต้น รวมทั้งการออกแบบการทดสอบแบบจำลองเบื้องต้น

บทที่ 4 ผลการทดสอบแบบจำลอง และวิเคราะห์ผลเบื้องต้น กล่าวถึงผลการทดสอบแบบจำลองจากสามกรณีศึกษา พร้อมบทวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเบื้องต้น

บทที่ 5 แบบจำลองเพื่อการออกแบบระบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์สำหรับเมืองอัจฉริยะรักษ์สิ่งแวดล้อม: กรณีศึกษาของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กล่าวถึงแนวคิดของตัวควบคุมระบบคลาวด์เมืองอัจฉริยะรักษ์สิ่งแวดล้อม และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาจากบทที่ 3

บทที่ 6 การทดสอบแบบจำลองเพื่อการออกแบบระบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์สำหรับเมืองอัจฉริยะรักษ์สิ่งแวดล้อม และหลักเกณฑ์การประเมินผล กล่าวถึงการออกแบบการทดสอบแบบจำลอง การกำหนดพารามิเตอร์สำหรับการทดลอง และหลักเกณฑ์การประเมินแบบจำลองเพื่อสร้างศูนย์ข้อมูลรักษ์สิ่งแวดล้อม

บทที่ 7 ผลการทดสอบแบบจำลองเพื่อการออกแบบระบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์สำหรับเมืองอัจฉริยะรักษ์สิ่งแวดล้อม และการประเมินผลสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล และสมรรถนะด้านการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิด กล่าวถึงการนำเสนอและเปรียบเทียบผลการทดสอบแบบจำลองสามกรณีศึกษาของวิธีการจัดสรรภารกิจของแบบจำลองที่เสนอ กับวิธีการจัดสรรภารกิจที่นิยมในสภาพแวดล้อมคอนเทนเนอร์

บทที่ 8 ผลการทดสอบแบบจำลองเพื่อการออกแบบระบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์สำหรับเมืองอัจฉริยะรักษ์สิ่งแวดล้อม และการประเมินผลสมรรถนะด้านรักษ์สิ่งแวดล้อมของศูนย์ข้อมูล กล่าวถึงการนำเสนอผลการทดสอบแบบจำลองเพื่อแสดงว่าแบบจำลองสามารถจัดสรรภารกิจโดยคำนึงถึงการรักษ์สิ่งแวดล้อมเพื่อสร้างศูนย์ข้อมูลแบบยั่งยืนอย่างไร และเปรียบเทียบกับวิธีการจัดสรรภารกิจที่นิยมในสภาพแวดล้อมคอนเทนเนอร์

บทที่ 9 วิเคราะห์ผลการทดลอง สรุปผล และข้อเสนอแนะ กล่าวถึงการวิเคราะห์และสรุปผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานจริงได้เพื่อรองรับโปรแกรมประยุกต์ของเมืองอัจฉริยะ กฟผ. สนง. พร้อมข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ทฤษฎีและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยามของเมืองอัจฉริยะ

หน่วยงานสากลหลายหน่วยงานอย่าง ITU-T [4] IEEE [5] IEC [6] ได้ให้คำจำกัดความของเมืองอัจฉริยะที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งหนึ่งในคำนิยามของเมืองอัจฉริยะที่จะขอกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นมาจาก ITU-T (ITU-T focus group on smart sustainable cities) [4] ได้ให้คำนิยามว่า “เมืองอัจฉริยะแบบยั่งยืน (smart sustainable city: SSC) คือ เมืองแห่งนวัตกรรมที่นำเอาเทคโนโลยีสารสนเทศมาปรับปรุงคุณภาพชีวิตของประชากร เพิ่มประสิทธิภาพของการดำเนินปฏิบัติงานและการให้บริการแก่ชุมชน และสร้างความสามารถในการแข่งขัน โดยตระหนักถึงความต้องการของประชากรทั้งรุ่นปัจจุบันและอนาคตให้เหมาะสมกับลักษณะทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม” ซึ่งนำไปสู่การลงทุนทั้งด้านโครงสร้างพื้นฐานและสร้างกลยุทธ์ด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมในเมือง เพื่อตอบสนองมุมมองของเมืองทั้งสามด้านคือ 1) สิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน ซึ่งเป็นจุดที่สังคมให้ความสำคัญตระหนักเป็นอย่างมาก เนื่องจากเมืองเป็นผู้บริโภคพลังงานไฟฟ้าสูงถึง 60 - 80% ของค่าการใช้พลังงานทั้งหมดของโลก และมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงถึง 70% [5] ต่อมาคือด้านที่ 2) ระดับการให้บริการต่าง ๆ ในเมือง ต้องมีการประสานประสานระหว่างโครงสร้างพื้นฐานและเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน เช่น ระบบการคมนาคม อาคารสำนักงาน การบริหารจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืน (ระบบจัดการน้ำ คุณภาพอากาศ และของเสีย) หน่วยงานผู้รับผิดชอบ และเศรษฐกิจ ซึ่งจะนำไปสู่ด้านสุดท้าย 3) คุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นของประชากรในเมืองได้

2.2 ระบบนิเวศของเทคโนโลยีในเมืองอัจฉริยะ (smart city technological ecosystem)

ITU-T [4] IEEE [5] ได้กล่าวถึงระบบนิเวศในเมืองอัจฉริยะประกอบด้วยเทคโนโลยีหลายประเภทที่มีความซับซ้อน และแตกต่างกัน ซึ่งการที่จะให้บริการตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทาง (end-to-end) ได้นั้นจำเป็นต้องได้รับความร่วมมือจากหลายภาคส่วนและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในเมือง ซึ่งสามารถแบ่งเทคโนโลยีที่สำคัญในระบบนิเวศของเมืองอัจฉริยะออกเป็น 5 กลุ่ม เทคโนโลยีกลุ่มแรกคือ กลุ่มผู้ให้บริการเทคโนโลยีระบบสื่อสาร อันได้แก่ เทคโนโลยีแถบความถี่กว้างและอินเทอร์เน็ต โครงข่ายโทรศัพท์มือถือ งานบริการโครงข่ายสารสนเทศ ระบบเฝ้าสังเกตและการรับรู้ และการรักษาความปลอดภัย เทคโนโลยีกลุ่มที่สองคือ กลุ่มผู้ให้บริการเทคโนโลยีสารสนเทศ ได้แก่ เครือข่ายไอพี ซอฟต์แวร์ การวิเคราะห์ และการบูรณาการเทคโนโลยี เทคโนโลยีกลุ่มที่สามคือ พลังงานและโครงสร้างพื้นฐาน ได้แก่ อิเล็กทรอนิกส์กำลัง พลังงานหมุนเวียน โครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะและไมโครกริด การวางระบบสถานีไฟฟ้าอัตโนมัติ และเทคโนโลยีระบบส่งและระบบจำหน่าย เทคโนโลยีกลุ่มที่สี่คือ การควบคุมอัตโนมัติและการควบคุมอาคาร ได้แก่ การวางระบบอาคารอัตโนมัติ ระบบบริหารจัดการ

การพลังงานต่าง ๆ ภาวะเชื่อมต่ออุปกรณ์ ระบบเฝ้าสังเกตและการรับรู้ และการรักษาความปลอดภัย และเทคโนโลยีกลุ่มสุดท้าย กลุ่มที่ห้า คือ การควบคุมและการจัดการ ได้แก่ การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อสนับสนุนการปกครอง ข้อมูลเปิด ข้อมูลผูกพันประชาชน ความเป็นส่วนตัวและการรักษาความปลอดภัย

ตัวอย่างการเชื่อมโยงระหว่างเมืองอัจฉริยะและโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะในงานวิจัย [7] ได้เสนอทิศทางการพัฒนาเทคโนโลยีในกลุ่มพลังงานและโครงสร้างพื้นฐาน (energy and infrastructure) ซึ่งจะมีการนำเอาพลังงานหมุนเวียนเข้ามาเป็นทรัพยากรในการผลิตพลังงานไฟฟ้า (renewable energy source) มาตรวัดพลังงานไฟฟ้าอัจฉริยะ (smart meter) ระบบไฟฟ้าสาธารณะที่ประหยัดพลังงาน (efficient public lighting) มีการใช้งานร่วมกับรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งเพิ่มความระดับความสำคัญของการวางระบบเป็นอัตโนมัติ (automation) และพึ่งพาเทคโนโลยีสารสนเทศการสื่อสารที่ทำให้แน่ใจได้ว่าระบบโครงข่ายในระบบจำหน่ายจะมีความน่าเชื่อถือได้ เป็นต้น

อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีในแต่ละกลุ่มนั้นมีความแตกต่าง และมีทิศทางการพัฒนาเทคโนโลยีเฉพาะ ทำให้การที่จะให้บริการอัจฉริยะ (smart solution) แก่ประชาชนในเมืองได้ เมืองต้องเผชิญความท้าทายด้านเทคโนโลยี 6 ด้าน ได้แก่ 1) ระบบเครือข่ายและการสื่อสาร (networking and communications) 2) ระบบไซเบอร์ทางกายภาพและอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (cyber-physical systems CPS and IoT) 3) การคำนวณแบบคลาวด์และเอจ (cloud and edge computing) 4) ข้อมูลเปิด (open data) 5) ข้อมูลใหญ่และการวิเคราะห์ข้อมูล (big data and data analytics) และ 6) การมีส่วนร่วมของประชาชน (citizen engagement) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ระบบเครือข่ายและการสื่อสาร เป็นเทคโนโลยีที่เชื่อมต่อข้อมูลจากอุปกรณ์ในชั้นกายภาพ (physical layer) เช่น ตัวรับรู้ อุปกรณ์ คน และอื่น ๆ ดังนั้นระบบเครือข่ายจะต้องสามารถรองรับเทคโนโลยีที่มีความซับซ้อนได้เป็นอย่างดี ไม่ว่าจะเป็นโครงข่ายตัวรับรู้ที่เหมือนกัน (homogeneous sensor network) หรือแม้แต่โปรโตคอลต่าง ๆ ในขณะเดียวกันต้องใช้พลังงานในการส่งสัญญาณสื่อสารต่ำ โดยเฉพาะโครงข่ายตัวรับรู้ อย่างเช่น 6LoWPAN, Zigbee หรือ Wifi ได้ [8] และในขณะเดียวกันสามารถที่จะใช้งานร่วมกับโครงข่ายโทรศัพท์มือถือยุคที่ 3, 4 และ 5 (3G, 4G และ 5G) ได้อีกด้วย

ระบบไซเบอร์ทางกายภาพและอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ในเมืองอัจฉริยะแบบยั่งยืนมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่มีเทคโนโลยีที่หลากหลาย ซึ่งการที่จะทำให้แต่ละอุปกรณ์สามารถสื่อสารและรับรู้สถานะกันได้นั้น ระบบโครงข่ายต้องมีการปรับเปลี่ยนมาใช้เทคโนโลยีที่เป็นมาตรฐานเปิด (open standard) ซึ่งต้องมีการจัดการความปลอดภัยของโครงข่ายเพิ่ม อีกทั้งประเด็นเรื่องความเป็นส่วนตัวของข้อมูล (data privacy) จากโปรแกรมประยุกต์ที่ต้องได้รับการปกป้องอย่างเหมาะสม [9] งานวิจัยนี้ได้เสนอโครงสร้างพื้นฐานอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งที่มีความสัมพันธ์กัน คือ แบบจำลองโครงข่ายอยู่ตรงศูนย์กลางอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (network-centric model) ทำหน้าที่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งด้วยอินเทอร์เน็ต โดยพิจารณาแบบการเชื่อมต่อของอุปกรณ์และมีกลไก

ดูแลเรื่องคุณภาพการให้บริการ แบบจำลองคลาวด์อยู่ตรงศูนย์กลางอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (cloud-centric iot) การคำนวณคลาวด์ (cloud computing) เป็นเทคโนโลยีที่เชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายตัวรับรู้ ทำการคำนวณ วิเคราะห์ และจัดเก็บข้อมูล ก่อนจะส่งต่อไปยังโปรแกรมประยุกต์และสุดท้าย คือแบบจำลองข้อมูลคลาวด์อยู่ตรงศูนย์กลางอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (data-centric model) การไหลของข้อมูล (data flow) ต้องดูแลเรื่อง การจัดเก็บข้อมูล (data collection) การจัดการข้อมูล (data management) การประมวลผลข้อมูล (data processing) ซึ่งงานวิจัยที่เป็นกรณีการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ที่ได้มีการทดลองติดตั้งใช้งานจริงในเมืองอัจฉริยะของสหภาพยุโรป [10] [11] นำเสนอแพลตฟอร์มสำหรับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อรองรับโปรแกรมประยุกต์ แสดงให้เห็นการนำเอาข้อมูลที่ได้จากอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งมาสร้างเป็นโปรแกรมประยุกต์ของบริการต่าง ๆ

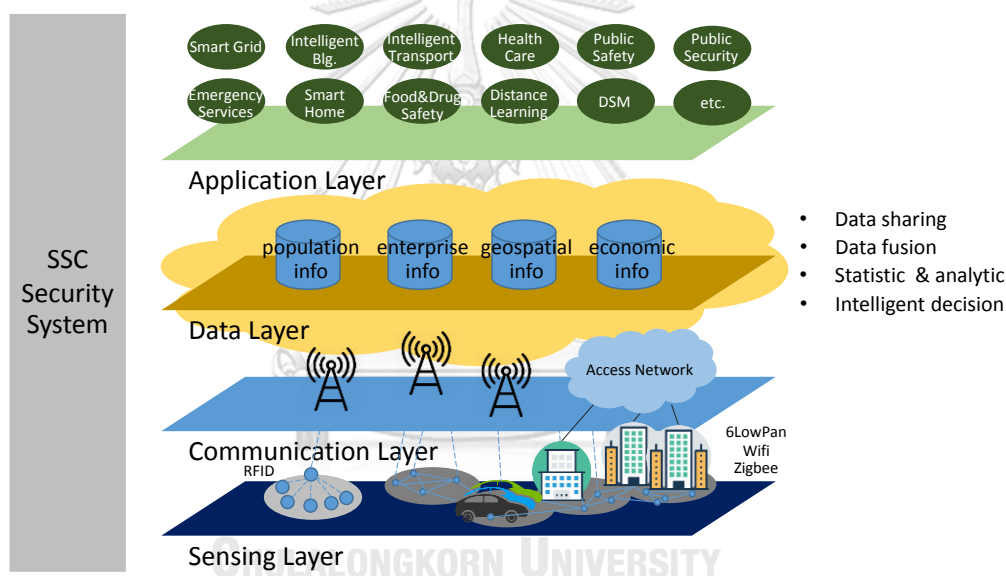
การคำนวณแบบคลาวด์และเอเดจ [12] เป็นเทคโนโลยีที่สามารถรองรับความต้องการใช้งานเครือข่ายแบบพลวัตได้เป็นอย่างดี สามารถเชื่อมโยงข้อมูลของจุดต่าง ๆ ในเมืองและทำการประเมินเหตุการณ์ล่วงหน้าได้โดยใช้ข้อมูลในอดีต ซึ่งการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานแบบคลาวด์นั้นสามารถเป็นรูปแบบประสมระหว่างคลาวด์และเอเดจ เพื่อให้รองรับการส่งข้อมูลที่มีปริมาณสูงและแบบทันทีจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ โดยการคำนวณแบบเอเดจจะเหมาะสมกับระบบโครงสร้างพื้นฐานแบบกระจายที่ต้องการการรับส่งข้อมูลและตอบสนองแบบทันที เช่น ระบบจราจรอัจฉริยะ [13] รวมทั้งในงานวิจัย [14] มีการหาอุปกรณ์อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งที่เหมาะสมเพื่อเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยคำนวณ เช่น โทรศัพท์มือถือ เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา โดยมีการคำนึงถึงพลังงานในอุปกรณ์ที่เอเดจที่สามารถใช้งานได้ด้วย เป็นต้น

ข้อมูลเปิดเป็นบริบทที่สำคัญในการแลกเปลี่ยนข้อมูล (data sharing) ระหว่างหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนในเมือง ทำให้ทุกคนสามารถที่จะเข้าถึงข้อมูลได้เท่าเทียมกันซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการนำไปประยุกต์ใช้งาน ตัวอย่างของข้อมูลเปิดเชิงการวิจัยเช่นระบบการจัดการพลังงานในอาคารแบบผู้ใช้ไฟฟ้ามีส่วนร่วมของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Chulalongkorn university's building energy management system: CU-BEMS) ซึ่งมีการนำเอาโพรโทคอล IEEE1888 [15] [16] ซึ่งได้รับการพัฒนาและสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยโตเกียว เพื่อใช้เป็นภาษาในการสื่อสาร ดึงข้อมูลการใช้พลังงานจากตัวรับรู้จำนวนมากกว่า 250 ตัวในอาคาร [17] [18] และมาตรวัดอัจฉริยะ [19] รวมทั้งส่งข้อมูลมาเก็บที่ตัวบริการของ CU-BEMS โดยจุดประสงค์คือการใช้บริการข้อมูลเปิดด้านพลังงานที่เป็นมาตรฐาน และพร้อมให้อาจารย์ นิสิต นักวิจัย หรือผู้ที่ต้องการใช้ข้อมูลนำไปศึกษาและวิจัยได้ อีกตัวอย่างของการนำเอาข้อมูลเปิดมาใช้ ในงานวิจัย [20] ได้มีการนำเอาข้อมูลการใช้พลังงานของประชาชนในเมืองอัมสเตอร์ดัม ประเทศเนเธอร์แลนด์มาใช้ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลส่วนบุคคลพื้นฐาน ข้อมูลกระแสไฟฟ้าที่ใช้ จำนวนการเกิดไฟดับ ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าจากบ้านเรือน ข้อมูลจากมาตรวัดอัจฉริยะ ซึ่งเป็นชุดข้อมูลเปิดของผู้ใช้งานแต่ละคนที่หน่วยงานรัฐและบริษัทเอกชนสามารถเข้าถึงข้อมูลของผู้งานเพื่อนำเอาไปใช้งานต่อได้

ข้อมูลใหญ่และการวิเคราะห์ข้อมูลจากการที่อุปกรณ์ต่าง ๆ มีความสามารถในการเชื่อมต่อเข้ามาที่ระบบโครงข่ายเพื่อแบ่งปันและรับส่งข้อมูลระหว่างกัน ทำให้ปริมาณข้อมูลที่เข้าโครงข่ายนั้นมี

จำนวนมหาศาล เป็นข้อมูลใหญ่ ซึ่งมีคุณลักษณะคือ มีปริมาณมาก มีความเร็วของการเข้ามาในระบบสูง มีรูปแบบหลากหลาย และมาจากหลายแหล่ง ซึ่งจำเป็นที่จะต้องใช้ทรัพยากรในการคำนวณที่สูงมากในการทำการวิเคราะห์ข้อมูลและแปลงออกมาเป็นสารสนเทศ (information) ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการดำเนินปฏิบัติงานและการให้บริการแก่ชุมชน สร้างนวัตกรรมใหม่ ๆ ในงานวิจัย [20] หลังจากที่ได้ข้อมูลการใช้งานระบบไฟฟ้าจากผู้ใช้งานที่ได้มาจากมาตรวัดอัจฉริยะและนำมาวิเคราะห์ข้อมูล หน่วยงานรัฐสามารถที่จะนำไปใช้ในการปรับปรุงการให้บริการระบบไฟฟ้า รวมทั้งบริษัทเอกชนที่ขายระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (solar rooftop) สามารถนำข้อมูลผู้ใช้เพื่อเสนอขายสินค้าและบริการลูกค้ารายใหม่ที่ต้องการลดค่ากระแสไฟฟ้าไปได้อีกด้วย

การมีส่วนร่วมของประชาชน รูปแบบของการใช้ประชาชนเป็นศูนย์กลาง และเรียนรู้พฤติกรรมของประชาชน รวมทั้งสร้างช่องทางการสื่อสารเพื่อรับผลป้อนกลับผ่านทางโปรแกรมประยุกต์ในโทรศัพท์มือถือ หรือ เว็บไซต์



รูปที่ 2.1 สถาปัตยกรรมเทคโนโลยีของเมืองอัจฉริยะยั่งยืนโดย ITU-T [4]

จากความท้าทายด้านเทคโนโลยีที่ได้กล่าวมาทั้งหมดทั้งหกประการ ITU-T ได้นำเสนอสถาปัตยกรรมเทคโนโลยีของเมืองอัจฉริยะยั่งยืนดังรูปที่ 2.1 ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นสองชั้นหลักคือ ชั้นโครงสร้างพื้นฐานและชั้นโปรแกรมประยุกต์ โดยมีการดูแลรักษาความปลอดภัยของสถาปัตยกรรมทั้งหมด โดยเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องในชั้นโครงสร้างพื้นฐานคือ ชั้นตัวรับรู้ (sensing layer) ที่ต้องรองรับการเชื่อมต่อของอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งจากโครงข่ายตัวรับรู้แบบวิวิธพันธ์ (heterogeneous sensor network) เช่น RFID, 6LoWPAN, Zigbee และอื่น ๆ เพื่อรับส่งข้อมูลจากโครงสร้างพื้นฐานในเมือง อาคาร ยานพาหนะ และคน และชั้นข้อมูล (data layer) ที่ทำหน้าที่ในการคำนวณผล วิเคราะห์ และจัดเก็บข้อมูลเหล่านั้นโดยใช้เทคโนโลยีการคำนวณแบบคลาวด์ เพื่อรองรับการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ต่าง ๆ ในเมืองอัจฉริยะ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการศึกษาและสร้างแบบจำลองของชั้นข้อมูล (data layer) โดยใช้เทคโนโลยีการคำนวณแบบคลาวด์ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อ 2.3

2.3 เทคโนโลยีการคำนวณแบบคลาวด์

NIST (National Institute of Standards and Technology) [21] ได้ให้คำนิยามเกี่ยวกับเทคโนโลยีการคำนวณแบบคลาวด์ว่าเป็นรูปแบบของเทคโนโลยีที่รองรับใช้งานแบบยูบิควิตัส (ubiquitous) มีความสะดวก สามารถให้บริการตามคำขอ (on-demand) และเป็นรูปแบบจ่ายตามการใช้งาน (pay-as-you-go) เพื่อเข้าถึงแหล่งของทรัพยากรที่สามารถใช้งานร่วมกัน ได้แก่ เครือข่ายตัวบริการ หน่วยเก็บ โปรแกรมประยุกต์ และบริการต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็วโดยที่ผู้ให้บริการ (service provider) ไม่ต้องบริหารจัดการมาก คุณสมบัติสำคัญของระบบคลาวด์ห้าประการมีดังนี้

1) สามารถให้บริการตัวเองตามคำขอ (on-demand self-service) ลูกค้าที่ใช้ระบบคลาวด์ สามารถที่จะตรวจสอบสถานะของระบบที่ตัวเองเข้าใช้บริการอยู่ได้ตลอด เช่น ระยะเวลาการทำงานของตัวบริการ สถานะของหน่วยเก็บด้วยตัวเอง โดยไม่ต้องพึ่งพาผู้ให้บริการ

2) สามารถเข้าถึงด้วยเครือข่ายอย่างกว้าง (broad network access) ระบบคลาวด์นั้นรองรับการเชื่อมต่อเครือข่ายได้หลายมาตรฐาน ซึ่งเป็นการส่งเสริมให้เกิดการใช้งานร่วมกับแพลตฟอร์มที่ต่างแบบกันของลูกค้าแต่ละรายได้ เช่น โทรศัพท์มือถือ เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล แบบพกพา สถานีงาน (workstation) เป็นต้น

3) ทรัพยากรแบบรวมศูนย์ (resource pooling) ทรัพยากรในการคำนวณของผู้ให้บริการแต่ละรายนั้นสามารถที่จะนำมารวมเพื่อให้บริการการคำนวณแบบคลาวด์ชนิดแบบจำลองหลายผู้เช่า (multi-tenant model) ที่มีจำนวนของทรัพยากรและความสามารถในการคำนวณที่แตกต่างกัน โดยผู้เช่าใช้บริการไม่ต้องคำนึงถึงตำแหน่งของผู้ให้บริการ

4) ความยืดหยุ่นในการให้บริการอย่างรวดเร็ว (rapid elasticity) การคำนวณแบบคลาวด์มีคุณสมบัติยืดหยุ่นสูง สามารถที่จะปรับเพิ่มลดขนาดของระบบได้ตามความต้องการอย่างรวดเร็ว ทำให้ในมุมมองของผู้เช่าใช้บริการนั้นระบบคลาวด์มีขนาดไม่จำกัดและสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสมในช่วงเวลาที่ร้องขอใช้บริการ

5) บริการที่สามารถวัดได้ (measured service) การคำนวณคลาวด์มีความสามารถในการเฝ้าสังเกตการใช้งานทรัพยากรอย่างเครือข่าย ตัวบริการ หน่วยเก็บ โปรแกรมประยุกต์ และบัญชีผู้ใช้ที่ยังใช้งานอยู่ เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจควบคุมสั่งการแบบอัตโนมัติ ในจัดการทรัพยากรให้เหมาะสมที่สุด

2.4 แบบจำลองการให้บริการคลาวด์ (cloud service model) [21]

1) การให้บริการในรูปแบบของซอฟต์แวร์ (software as a service: SaaS) เป็นการให้บริการที่อยู่บนสุดของแบบจำลองที่ผู้ให้บริการใช้ติดต่อและให้บริการระบบคลาวด์แก่ผู้ใช้บริการซึ่งเป็นแพลตฟอร์มหลายผู้เช่า (multi-tenant platform) ผ่านทางโปรแกรมประยุกต์ที่รองรับการใช้งานในอุปกรณ์ผ่านส่วนต่อประสาน (interface) ของผู้ใช้บริการ เช่น เว็บเบราว์เซอร์ หรือโปรแกรมส่วนต่อประสาน (program interface) โดยผู้ให้บริการทำการตั้งค่าให้เฉพาะกับผู้ใช้บริการรายนั้น ๆ ทำให้ผู้ใช้บริการไม่ต้องบริหารจัดการหรือควบคุมโครงสร้างพื้นฐานของระบบคลาวด์ อันประกอบไป

ด้วย เครือข่าย ตัวบริการ ระบบปฏิบัติการ หน่วยเก็บ หรือโปรแกรมประยุกต์ใด ๆ ตัวอย่างบริการของ SaaS เช่น ไมโครซอฟท์ออฟฟิศ 365 (microsoft office 365) จีเมลล์ (gmail) กูเกิลพลัส (google+) เป็นต้น

2) การให้บริการในรูปแบบของแพลตฟอร์ม (platform as a service: PaaS) เป็นการให้บริการที่อยู่ตรงกลางระหว่าง SaaS และ IaaS ซึ่งในส่วนนี้ผู้ใช้บริการจะเป็นประเภทผู้พัฒนา (developer) สามารถที่จะใช้โปรแกรมประยุกต์สั่งในการใช้งานโครงสร้างพื้นฐานของระบบคลาวด์ โดยใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ (language) คลัง (libraries) บริการ และเครื่องมือที่ผู้ให้บริการรองรับ โดยผู้ใช้บริการสามารถควบคุมโปรแกรมประยุกต์และตั้งค่าสำหรับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ของตนเอง (application-hosting environment) ได้ ตัวอย่างบริการของ PaaS เช่น กูเกิลแอปเอนจิน (google app engine) เอดับบลิวเอสอีลาสติกบีนสตอล์ค (AWS elastic beanstalk) วินโดวส์แอซซัวร์ (Windows azure)

3) การให้บริการในรูปแบบของโครงสร้างพื้นฐาน (infrastructure as a service: IaaS) เป็นส่วนการให้บริการที่อยู่ล่างสุดที่ทำหน้าที่ให้การตรวจสอบการประมวลผล หน่วยเก็บ เครือข่าย ที่ผู้ใช้บริการต้องใช้ในการใช้งานซอฟต์แวร์ ซึ่งรวมไปถึงระบบปฏิบัติการและโปรแกรมประยุกต์ โดยผู้ให้บริการเป็นผู้ควบคุมและสั่งการอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยใช้หลักการดุลโหลด (load balancing) ผ่านทางส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์หรือเอพีไอ (application programming interface : APIs) ส่วนต่อประสานแถวคำสั่งงาน (command-line interface: CLI) และส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้หรือ กูย (graphic user interface: GUI) ส่วนของผู้เข้าใช้บริการสามารถควบคุมได้แค่ระบบปฏิบัติการ หน่วยเก็บ และโปรแกรมประยุกต์เท่านั้น ตัวอย่างบริการ IaaS เช่น กูเกิลคอมพิวเตอร์เอนจิน (google compute engine) แอมะซอนอีซีทู (amazon EC2) วินโดวส์แอซซัวร์ (windows azure)

2.5 รูปแบบการนำไปใช้งาน [21]

1) คลาวด์ส่วนบุคคล (private cloud) เป็นรูปแบบการใช้งานระบบคลาวด์ภายในองค์กร ที่ให้บริการคลาวด์แก่หน่วยงานภายใน ซึ่งเจ้าของระบบคลาวด์สามารถที่จะเป็นองค์กรเอง พร้อมทั้งบริหารจัดการ และบำรุงรักษาระบบจากหน่วยงานสารสนเทศในองค์กรหรือจากบริษัทบุคคลภายนอก (on-premise) หรือจะเป็นการเช่าใช้งานทั้งระบบคลาวด์ การบริหารจัดการ และบำรุงรักษาจากบริษัทบุคคลภายนอก (off-premise) หรือผสมกันทั้งสองรูปแบบ

2) คลาวด์ชุมชน (community cloud) เป็นรูปแบบการใช้งานระบบคลาวด์ร่วมกันระหว่างกลุ่มผู้ใช้บริการเฉพาะกลุ่มที่มีความเกี่ยวพันกัน เช่น เป้าหมาย นโยบาย ระดับความปลอดภัย ซึ่งระบบคลาวด์อาจจะดำเนินการโดยองค์กรรายใดรายหนึ่งในประชาคมนั้น พร้อมทั้งบริหารจัดการ และบำรุงรักษาระบบจากหน่วยงานสารสนเทศในองค์กรหรือจากบริษัทบุคคลภายนอก หรือจะเป็นการเช่าใช้งานทั้งระบบคลาวด์ การบริหารจัดการ และบำรุงรักษาจากบริษัทบุคคลภายนอก หรือผสมกันทั้งสองรูปแบบ

3) คลาวด์สาธารณะ (public cloud) เป็นรูปแบบการใช้งานระบบคลาวด์ที่ดำเนินการโดยบริษัท หน่วยงานรัฐ มหาวิทยาลัย หรือผสมกัน พร้อมทั้งบริหารจัดการ และบำรุงรักษาเองหรือจากบริษัทบุคคลภายนอก

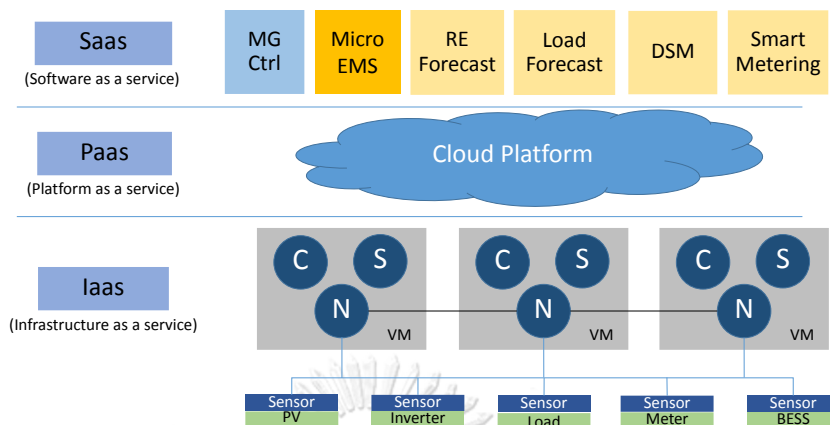
4) คลาวด์ระบบผสม (hybrid cloud) เป็นรูปแบบการใช้งานระบบคลาวด์ที่ผสมการใช้งานรูปแบบที่ 1) – 3) ซึ่งสามารถทำงานร่วมกันได้โดยมีการกำหนดมาตรฐานในการเชื่อมต่อ หรือใช้เทคโนโลยีซึ่งมีเจ้าของทรัพย์สิน (proprietary technology) ที่ทำให้คลาวด์สามารถส่งรับข้อมูล และโปรแกรมประยุกต์ระหว่างกันได้

2.6 การประยุกต์ใช้การคำนวณแบบคลาวด์ในเมืองอัจฉริยะสำหรับโปรแกรมประยุกต์พลังงานอัจฉริยะ

งานวิจัย [22] ได้กล่าวถึงการนำเอาเทคโนโลยีคลาวด์มาประยุกต์เพื่อใช้งานร่วมกับโปรแกรมประยุกต์ของโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ เนื่องด้วยคุณสมบัติของเทคโนโลยีคลาวด์สามารถช่วยให้โครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะนั้น 1) ทำการคำนวณราคาไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด (optimizing energy costs) ด้วยการเฝ้าสังเกตระบบ และควบคุมทุกองค์ประกอบของระบบไฟฟ้าแบบออนไลน์ 2) มีแพลตฟอร์มที่รองรับการใช้งานร่วมกับซอฟต์แวร์ของโปรแกรมประยุกต์จากผู้ซื้อไฟฟ้า ผู้ขายไฟฟ้า และหน่วยงานบุคคลภายนอก 3) สามารถทำการซื้อขายไฟโดยใช้โปรแกรมการซื้อขายค่าไฟที่แตกต่างกันและค่าไฟตามเวลาจริง 4) จัดการอุปสงค์และอุปทานแบบแอกทีฟ 5) รวมทั้งให้บริการหน่วยเก็บข้อมูลการใช้งานของผู้ซื้อไฟฟ้าจำนวนมากจากมาตรวัดไฟอัจฉริยะเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าและติดตามพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า โดยที่ผู้ซื้อไฟฟ้าสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ผ่านโครงข่ายคลาวด์ และสุดท้าย 6) ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยการใช้พลังงานไฟฟ้า จากแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียน

ในมุมมองของโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ เมืองอัจฉริยะสามารถพิจารณาเป็นไมโครกริด (microgrid) ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของสถาปัตยกรรมโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะในฝั่งระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ มีความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าใช้งานเองภายในกริด โดยอยู่ในรูปแบบแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นแบบกระจายตัว (distributed energy resource : DER) ที่เป็นทั้งรูปแบบของพลังงานหมุนเวียนใช้เองในพื้นที่ (on-site renewable energy) ได้แก่ พลังงานลม (wind) พลังงานแสงอาทิตย์ (solar) พลังงานน้ำขนาดเล็ก (mini hydro) มวลชีวภาพ (biomass) และรูปแบบพลังงานจากฟอสซิล เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากดีเซล (diesel generator) โดยมีศูนย์กลางควบคุมระบบไฟฟ้าที่เรียกว่าระบบควบคุมไมโครกริด (microgrid controller) เป็นผู้ควบคุมอุปสงค์และอุปทานความต้องการในการใช้พลังงานโดยใช้ข้อมูลจากโครงสร้างพื้นฐานการวัดขั้นสูงและมาตรวัดพลังงานอัจฉริยะ (advance meter infrastructure : AMI and smart meter) ปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบตามเวลาจริง เพื่อประกอบการตัดสินใจในการตอบสนองอุปสงค์ (demand response : DR) โดยไมโครกริดนั้นสามารถทำงานได้สองแบบด้วยกัน คือ แบบแผนแยกโดด (islanding-mode) คือใช้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตพลังงานภายในไมโครกริดเท่านั้น และแบบ

แผนเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าหลัก (grid-connected mode) คือใช้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตพลังงานภายในไมโครกริดและจากกริด



รูปที่ 2.2 ภาพจำลองการให้บริการคลาวด์โปรแกรมประยุกต์พลังงานอัจฉริยะ [22]

ระบบจัดการพลังงานในเมืองอัจฉริยะที่นอกเหนือจากระบบควบคุมไมโครกริด คือ ระบบจัดการพลังงานอาคาร (building energy management system: BEMS) ของอาคารสำนักงานต่าง ๆ ทำหน้าที่ในการตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคาร และข้อมูลจากโครงข่ายตัวรับรู้ประเภทต่าง ๆ ในอาคาร และทำการส่งข้อมูลไปยังระบบควบคุมไมโครกริดผ่านทางมาตรวัดพลังงานอัจฉริยะ เพื่อทำการซื้อขายไฟฟ้ากับไมโครกริด และใช้ระบบการจัดการภาคอุปสงค์ (demand side management system: DSM) เพื่อควบคุมและจัดการภาคอุปสงค์ในอาคาร

งานวิจัย [23] ได้เสนอว่าระบบคลาวด์มีความสามารถในการให้บริการทรัพยากรสำหรับคำนวณและจัดเก็บแก่อุปสงค์มีความผันผวนในไมโครกริด อย่างเช่น ประเภทแรก DR มีความต้องการควบคุมภาระทางตรง (direct-load control) เพื่อควบคุมระบบทำความร้อน ระบบระบายอากาศ และเครื่องปรับอากาศ โดยตัดสินใจการใช้พลังงานควบคู่ไปกับการพิจารณาอัตราค่าไฟฟ้าแบบช่วงเวลาการใช้ (time-of-use pricing: TOU) หรืออัตราค่าไฟฟ้า ณ เวลาจริง (real-time pricing: RTP) ประเภทที่สอง คือ แหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบกระจายตัวซึ่งมีความไม่แน่นอน (intermittent) จึงต้องวางแผนการควบคุมโดยพยากรณ์ไว้ล่วงหน้า (predictive control) และประเภทสุดท้าย คือ เทคโนโลยีหน่วยเก็บ (storage technology) และรถยนต์ไฟฟ้า (electric vehicle: EV) ซึ่งต้องมีการสื่อสารกับสถานีจ่ายประจุ (charging station) และระบบบริหารจัดการหน่วยกักเก็บพลังงาน (battery energy storage management)

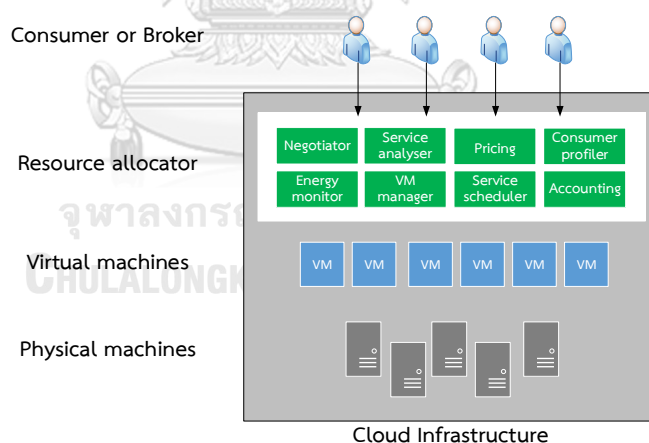
จากที่ได้กล่าวมานั้นระบบคลาวด์มีความสามารถในการให้บริการแพลตฟอร์มสำหรับโปรแกรมประยุกต์ของโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะที่เชื่อมต่อผู้ซื้อไฟฟ้า ผู้ขายไฟฟ้า และหน่วยงานบุคคลภายนอก รวมทั้งตลาดในการซื้อขายไฟฟ้า สามารถทำการซื้อขายไฟโดยใช้โปรแกรมการซื้อค่าไฟที่แตกต่างกันและค่าไฟตามเวลาจริง อีกทั้งด้วยคุณสมบัติที่ยืดหยุ่นทำให้ระบบคลาวด์สามารถรับมือกับอุปสงค์ในไมโครกริดที่มีความผันผวน มีความต้องการทรัพยากรในการคำนวณที่สูง และ

ต้องการการตอบสนองที่รวดเร็วได้ สุดท้ายระบบคลาวด์ยังสามารถจัดสรรทรัพยากรบนตัวบริการที่เหมาะสมที่สุดในการคำนวณโดยพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์อีกด้วย

2.7 การคำนวณรักษ์สิ่งแวดล้อม (green computing)

จากข้อมูลการใช้พลังงานของศูนย์ข้อมูลในประเทศสหรัฐอเมริกาในรายงานอย่างเป็นทางการฉบับนี้ [24] ชี้ให้เห็นความนิยมของเทคโนโลยีการคำนวณแบบคลาวด์ที่เติบโตแบบก้าวกระโดด ทำให้มีการลงทุนอุปกรณ์ในศูนย์ข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และในช่วงปี 2014 - 2020 อัตราการใช้พลังงานของศูนย์ข้อมูลนั้นมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องอยู่ที่ 4% ต่อปี และคิดเป็น 1.8% ของการใช้งานพลังงานรวมสุทธิในประเทศ ทำให้ศูนย์ข้อมูลต้องวิธีลดการใช้พลังงานซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายการดำเนินงาน (opex) ของผู้ให้บริการระบบคลาวด์ เพื่อสร้างความสามารถในการแข่งขันได้

ในงานวิจัย [25] ฉบับนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอกฎในการจัดสรรทรัพยากรโดยคำนึงถึงการใช้พลังงาน (energy-aware resource allocation mechanisms) ในศูนย์ข้อมูลการคำนวณแบบคลาวด์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแบบยั่งยืน โดยที่สามารถให้บริการตามคุณภาพบริการ (quality of service: QoS) ที่ลูกค้าต้องการ และใช้พลังงานต่ำที่สุด เพื่อให้ได้อัตราผลตอบแทนการลงทุน (return of investment : ROI) ที่สูงที่สุด ดังรูปที่ 2.3 โดยมีองค์ประกอบหลักสี่เอนทิตีด้วยกันคือ ผู้ใช้บริการหรือนายหน้า (consumer/broker) ผู้จัดการทรัพยากร (resource allocator) เครื่องเสมือน และเครื่องกายภาพ (physical machine) มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.3 สถาปัตยกรรมคลาวด์ [25]

ผู้ใช้บริการหรือนายหน้า ทำหน้าที่ส่งคำร้องขอใช้บริการ (service request) ไปยังโครงสร้างพื้นฐานแบบคลาวด์ผ่านทางโปรแกรมประยุกต์บนเว็บเบราว์เซอร์ คำร้องขอใช้บริการมีขนาดของภาระงาน (workload) ที่แตกต่างกัน

ผู้จัดการทรัพยากร ทำหน้าที่เป็นส่วนต่อประสานระหว่างลูกค้าและโครงสร้างพื้นฐานแบบคลาวด์ โดยมีหน่วยที่ทำหน้าที่ดูแลเรื่องการช่วยจัดการรักษาพลังงานของทรัพยากร (energy-efficient resource management) ดังนี้

1) หน่วยเจรจา (negotiator) ทำหน้าที่ในการเจรจาและทำข้อตกลงระดับการให้บริการ (service level agreement: SLA) กับลูกค้า โดยกำหนดราคาตามระดับของ QoS แผนการประหยัดพลังงานที่ลูกค้าต้องการ (energy saving scheme) และบทลงโทษในกรณีที่ผู้ให้บริการคลาวด์ไม่สามารถให้บริการได้ตาม SLA ที่ตกลงไว้

2) หน่วยวิเคราะห์บริการ (service analyser) ทำหน้าที่ตีความและวิเคราะห์คำร้องขอใช้บริการรวมทั้งตัดสินใจว่าจะให้บริการหรือปฏิเสธ โดยพิจารณาจากข้อมูลภาวะของระบบล่าสุดที่หน่วยจัดการเครื่องเสมือน (VM manager) และข้อมูลเรื่องพลังงานจากหน่วยเฝ้าสังเกตพลังงาน (energy monitor)

3) หน่วยเก็บข้อมูลผู้ใช้บริการ (consumer profiler) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของลูกค้ารายบุคคล เพื่อใช้อ้างอิงในการจัดลำดับความสำคัญในการให้บริการ

4) หน่วยคิดค่าใช้จ่าย (pricing) ทำหน้าที่ตัดสินใจว่าคำร้องขอใช้บริการแต่ละคำร้องจะถูกคิดค่าใช้จ่ายแบบใด เพื่อใช้ในการจัดการทรัพยากรการคำนวณ และจัดลำดับของบริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5) หน่วยเฝ้าสังเกตพลังงาน (energy monitor) ทำหน้าที่เฝ้าสังเกต และประเมินว่าต้องเปิดหรือปิดเครื่องกายภาพตัวไหน

6) หน่วยจัดลำดับการให้บริการ (service scheduler) ทำหน้าที่กำหนดว่าเครื่องเสมือน (virtual machine: VMs) ใดที่ต้องให้บริการ รวมทั้งทำการจัดสรรเพิ่มหรือลดจำนวน VMs ตามอุปสงค์ด้วย

7) หน่วยจัดการเครื่องเสมือน (VM manager) ทำหน้าที่ติดตามสภาพพร้อมใช้งานของเครื่องเสมือนแต่ละเครื่อง

8) หน่วยบัญชี (accounting) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลทรัพยากรการคำนวณที่ใช้งานอยู่เพื่อใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดสรรทรัพยากรในโครงสร้างพื้นฐานระบบคลาวด์

เครื่องเสมือน ทำหน้าที่ให้บริการการคำนวณ สามารถแบ่งการคำนวณโปรแกรมประยุกต์ได้พร้อมกันในหลายเครื่องเสมือน แม้ว่าจะต่างระบบปฏิบัติการกันบนตัวบริการเดียวกัน นอกจากนี้สามารถย้ายเครื่องเสมือนแบบพลวัต (dynamic VM migration) ระหว่างตัวบริการเมื่อเกิดการรวมภาระงาน และปรับสถานะทรัพยากรบางตัวให้อยู่ให้โหมดประหยัดพลังงานแทน

เครื่องกายภาพ คือตัวบริการที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานแบบฮาร์ดแวร์ ใช้เป็นทรัพยากรในการสร้างทรัพยากรเสมือน (virtual resource)

2.8 แนวคิดและแบบจำลองการคำนวณรักษ์สิ่งแวดล้อม

งานวิจัยที่ [26] เสนอมุมมองการออกแบบไอทีเขียวที่ผู้ให้บริการระบบคลาวด์ต้องคำนึงถึง คือ การลดการใช้พลังงานของศูนย์ข้อมูล และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO₂ emission) และในงานวิจัย [27] ได้พุ่งประเด็นไปที่การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของศูนย์ข้อมูลแบบกระจายในเครือข่ายไอพีบนการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น (IP over WDM network) โดยเสนอสมการการคำนวณการใช้พลังงานของบริการประเภทต่าง ๆ และขนาดของแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียน

หลังจากนั้นผู้วิจัยได้เสนอขั้นตอนวิธีการจัดเส้นทาง (routing algorithm) ในการเลือกใช้จัดสรรบริการไปยังศูนย์ข้อมูลที่สามารถใช้พลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ได้ โดยไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการให้บริการ

ในงานวิจัย [28] ได้เสนอการจัดกำหนดการภาระงาน (workload scheduling) ระหว่างศูนย์ข้อมูลแบบกระจายของผู้ให้บริการคลาวด์สาธารณะในเขตเวลาที่ต่างกัน เพื่อทำการหาค่าเหมาะสมที่สุดของการใช้พลังงานที่ไม่สะอาด (brown energy) ให้กับระบบทำความเย็นในศูนย์ข้อมูลทั้งหมด และสนใจโหลดแบบไม่โต้ตอบ (non-interactive workload) เช่น เว็บ หรืองานแบบกลุ่ม (batch job) ส่วนในงานวิจัย [29] เสนอวิธีการจัดกำหนดการงานแบบกลุ่มในศูนย์ข้อมูลโดยใช้พลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์แบบตะกั่ว (greedy) และใช้พลังงานจากกริดเป็นแหล่งพลังงานสำรอง โดยคำนึงถึงเส้นตายของงาน (job deadline) งานวิจัย [30] ได้เสนอวิธีการออกแบบระบบการจัดการภารกิจในศูนย์ข้อมูลที่ใช้เทคโนโลยีเสมือน มีการใช้พลังงานจากกริดและแหล่งพลังงานหมุนเวียนทั้งแบบในพื้นที่และนอกพื้นที่ โดยสนใจเรื่องของการทำ SLA สามประเด็น คือ หาจุดที่ดีที่สุดจากผลได้เสียจากการแลกเปลี่ยนของราคาพลังงาน สภาพพร้อมใช้งานของแหล่งพลังงานหมุนเวียน และการลดระดับการให้บริการอันเนื่องมาจากต้องมีการปรับการตั้งค่าโปรแกรมประยุกต์หรือการโดนระงับการบริการ

งานวิจัย [31] ได้เสนอวิธีการย้ายเครื่องเสมือน (vm migration) ของศูนย์ข้อมูลที่มีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (carbon footprint) แตกต่างกันเนื่องจากแหล่งพลังงานที่ศูนย์ข้อมูลสามารถใช้งานได้ใช้เชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าแตกต่าง โดยจะเลือกแม่ข่ายของเครื่องเสมือนที่มีค่าประสิทธิภาพคาร์บอน (carbon efficiency) สูงสุด คือ ประหยัดพลังงานมากที่สุดและปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำสุด ในกรณีค่าประสิทธิภาพคาร์บอนเท่ากัน จะเลือกแม่ข่ายที่ให้ค่าการใช้ประโยชน์สูงสุด (maximum utilization)

ในงานวิจัยประเภทแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้น งานวิจัยที่ [32] นำเสนอขั้นตอนวิธีการทำข้อตกลงการให้บริการสีเขียวโดยการหาค่าฟังก์ชันต่ำสุดของค่าไฟจากแหล่งพลังงานสีเขียวจากการเปรียบเทียบราคาในตลาดไฟฟ้าเสรีหลายแห่ง และทำการทดสอบโดยใช้ภาวะโหดจริง โดยมี SLA คือเวลาตอบสนองการให้บริการ (service response time) งานวิจัยที่ [33] ได้นำเสนอกรอบความคิดการจัดการลำดับการใช้ทรัพยากรศูนย์ข้อมูลหลายแห่ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานจากฟอสซิล และใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานสีเขียวมากขึ้น โดยภารกิจที่ส่งมาจะต้องระบุแกนคำนวณ และหน่วยความจำชั่วคราวที่ต้องการใช้งาน รวมทั้งระยะเวลาการมีอยู่ของภารกิจ (lifetime) โดยคำนึงถึงเส้นตายของงาน ถัดมาเป็นงานวิจัยที่ [34] ได้นำเสนอแบบจำลองหาค่ากำไรสูงสุด โดยการลดค่าดำเนินการของศูนย์ข้อมูลแต่ละแห่ง และมีการกำหนดบทปรับเมื่อละเมิดข้อตกลงการให้บริการคือ การปล่อยคาร์บอนของศูนย์ข้อมูลที่เช่าบริการต้องไม่เกินที่กำหนด และสนใจคุณลักษณะภารกิจ คือ อัตราการมาถึง (arrival rate) และระยะเวลาการมีอยู่ของภารกิจ สุดท้ายงานวิจัยที่ [35] ได้นำเสนอแบบจำลองหาค่ากำไรสูงสุดของผู้ให้บริการระบบคลาวด์จัดสรรภารกิจไปใช้ตัวบริการเสมือนที่สามารถใช้พลังงานสีเขียวได้ก่อน ในสภาพแวดล้อมที่ศูนย์ข้อมูล

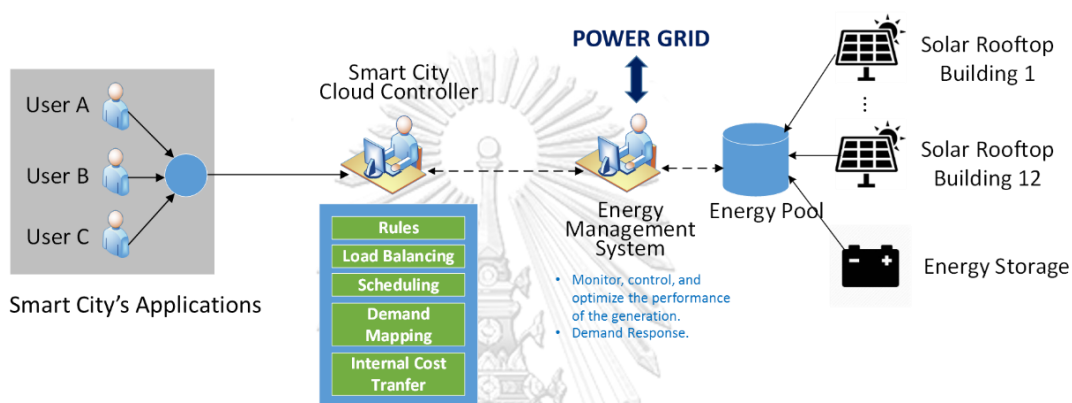
สามารถเข้าถึงแหล่งผลงานจากฟอสซิล และแหล่งพลังงานสีเขียว โดยลูกค้าสามารถกำหนดค่า SLA
สีเขียวต่ำสุดที่ต้องการใช้งาน และทดสอบกับภาระโหลดจริง



บทที่ 3

แบบจำลองเบื้องต้นเพื่อการออกแบบระบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์สำหรับเมืองอัจฉริยะ

3.1 แนวคิดของตัวควบคุมระบบคลาวด์เมืองอัจฉริยะ (smart city cloud controller: SCCC)



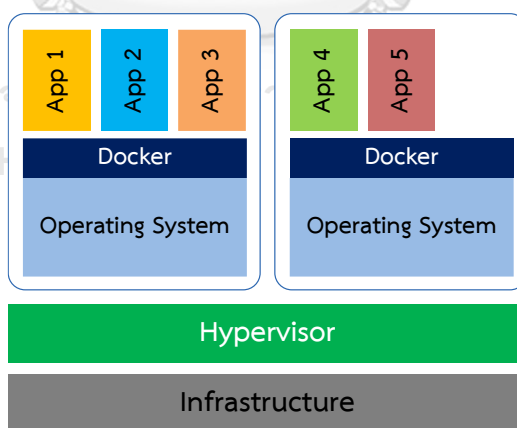
รูปที่ 3.1 แนวคิดของตัวควบคุมระบบคลาวด์เมืองอัจฉริยะ

เมืองอัจฉริยะ กฟผ. สนง. มีศูนย์ข้อมูลอยู่ 2 แห่งตั้งอยู่ที่อาคาร ท.101 และ ท.102 เพื่อให้บริการวีโอไอพีแก่ผู้ปฏิบัติงาน ใช้เทคโนโลยีเสมือน (virtualization technology) ซึ่งประกอบด้วยตัวบริการเสมือน (virtual server) เครื่องเสมือน เครื่องเสมือนเกสต์ (guest VMs) ซึ่งมีการติดตั้งระบบปฏิบัติการวินโดวส์และลินุกซ์) และทำงานประสานกับระบบจัดการเครื่องเสมือน (virtual machine manager: VMM) หรือที่รู้จักกันในชื่อไฮเปอร์ไวเซอร์ (hypervisor) เพื่อใช้งานทรัพยากรร่วมกัน ได้แก่ ประมวลผล หน่วยเก็บ และเครือข่าย โดยโปรแกรมประยุกต์แต่ละตัวจะใช้งานแบบแยกเครื่องเสมือนเกสต์กัน

การใช้งานของเทคโนโลยีเสมือนในปัจจุบันนั้นมีการใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีคอนเทนเนอร์ (container) [36] ซึ่งเพิ่มความสามารถในการจัดสรรภาระงาน ในงานวิจัย [37] ได้ทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการติดตั้งเครื่องเสมือนโดยใช้ไฮเปอร์ไวเซอร์เทียบกับการติดตั้งใช้งานเทคโนโลยีด็อกเกอร์ (Docker) [38] ทำหน้าที่เป็นตัวจัดการคอนเทนเนอร์ (container manager) ซึ่งจากการทดลองได้ข้อสรุปว่าด็อกเกอร์นั้นให้ค่าปริมาณงาน (throughput) ที่สูงกว่า สามารถให้บริการได้เร็วกว่าเนื่องด้วยคุณสมบัติบางเบา (lightweight) ไม่มีการติดตั้งระบบปฏิบัติการแยก แต่เป็นการใช้งานระบบปฏิบัติการเสมือน (virtualize OS) ร่วมกันในลักษณะไฟล์อิมเมจเท่านั้น ประกอบกับคุณสมบัติความเป็นโมดูลและภาวะปรับขนาดได้ (modularity and scalability) ของเทคโนโลยีคอนเทนเนอร์ที่สามารถรันโปรแกรมประยุกต์ย่อยแต่ละโปรแกรมบนคอนเทนเนอร์คนละตัว และเชื่อมต่อคอนเทนเนอร์เพื่อรวมโปรแกรมประยุกต์ย่อยกลายเป็นโปรแกรมประยุกต์รวม ทำให้

สามารถลดพื้นที่การใช้งาน หน่วยเก็บความจำชั่วคราว และค่าใช้จ่ายอื่นในการจัดการ (management overhead) วิธีนี้สะดวกต่อผู้ดูแลระบบ แก้จุดบกพร่อง (bug fix) ทำการปรับซอฟต์แวร์ให้เป็นปัจจุบัน (patch) และอื่น ๆ ของเครื่องเสมือนบนแม่ข่ายกายภาพ (physical host) ซึ่งทำให้เพิ่มขีดความสามารถของการให้บริการของตัวบริการได้

สำหรับการใช้งานเทคโนโลยีคอนเทนเนอร์ในศูนย์ข้อมูลของ กฟผ. สนง. นั้น สามารถติดตั้งร่วมกับโครงสร้างพื้นฐานเสมือนที่ใช้งานอยู่แล้วได้ [39] ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งวิธีการติดตั้งแบบนี้ทำให้สามารถใช้งานร่วมกับโครงสร้างพื้นฐานเดิมที่ กฟผ. มีอยู่แล้ว ทำให้สามารถเพิ่มการให้บริการโปรแกรมประยุกต์ของหน่วยงานภายในสภาพแวดล้อมที่มีใช้งานบนระบบปฏิบัติการที่แตกต่างกันบนตัวบริการเดียวกันได้ และเพิ่มการใช้ประโยชน์ซีพียู (cpu utilization) ของเครื่องเสมือน โดยที่ไม่ต้องเสียค่าลิขสิทธิ์เครื่องเสมือน และค่าลิขสิทธิ์ระบบปฏิบัติการเพิ่มเติม ยกตัวอย่างเช่น โครงสร้างพื้นฐานเสมือนเดิมมีการซื้อลิขสิทธิ์เครื่องเสมือนมา 10 ลิขสิทธิ์ สามารถสร้างเครื่องเสมือนเพื่อรองรับการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ได้ 10 โปรแกรมประยุกต์ เมื่อมีความต้องการใช้งานโปรแกรมประยุกต์เพิ่ม ต้องมีการจ่ายค่าลิขสิทธิ์เครื่องเสมือนเพิ่มเติมตามจำนวนของโปรแกรมประยุกต์ ส่วนการใช้งานโดยติดตั้งเทคโนโลยีคอนเทนเนอร์ใช้งานร่วมกับโครงสร้างพื้นฐานเสมือนเดิม นั่นคือ ในเครื่องเสมือนหนึ่งเครื่องสามารถที่จะสร้างคอนเทนเนอร์ได้หลายคอนเทนเนอร์ตามจำนวนของโปรแกรมประยุกต์ที่สามารถใช้ระบบปฏิบัติการเสมือนเดียวกันได้ ทำให้เมื่อมีความต้องการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ใหม่เข้ามา ผู้ดูแลระบบสามารถที่จะให้บริการได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงค่าลิขสิทธิ์เครื่องเสมือน และค่าลิขสิทธิ์ระบบปฏิบัติการเพิ่มเติม ยกเว้นกรณีที่ความจุของเครื่องเสมือนไม่เพียงพอต่อการให้บริการหรือไม่สามารถใช้ระบบปฏิบัติการเสมือนเดียวกันได้ จึงต้องมีสร้างเครื่องเสมือนใหม่และมีเรื่องค่าลิขสิทธิ์เพิ่ม



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการติดตั้งเทคโนโลยีคอนเทนเนอร์บนเครื่องเสมือน [39]

สำหรับแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่เมืองอัจฉริยะ กฟผ. สนง. มีแผนการจัดซื้อและติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (solar rooftop) ของอาคารต่าง ๆ จำนวน 9 อาคาร และมีกำลังการผลิตรวมสูงสุด 3 เมกะวัตต์ และระบบกักเก็บพลังงานขนาด 1 เมกะวัตต์

จุดประสงค์หลักของตัวควบคุมระบบคลาวด์เมืองอัจฉริยะ (SCCC) คือ เป็นแบบจำลองการจัดสรรทรัพยากรให้กับคำร้องขอบริการแบบสีเขียว (green service allocation model) สำหรับโปรแกรมประยุกต์จากหน่วยงานในเมืองอัจฉริยะ กฟผ. สนง. ที่เข้ามาขอใช้บริการที่ศูนย์ข้อมูลที่ตั้งอยู่ ณ อาคาร ท.101 และ ท.102 ได้ โดยทำการคำนวณตัวบริการสำหรับคำร้องขอบริการ และคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ของตัวบริการเสมือน จากนั้น SCCC จะติดต่อไปที่ระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคารเพื่อขอซื้อพลังงานโดยที่พยายามใช้พลังงานจากแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่สูงสุดเพื่อสร้างการคำนวณรักษ์สิ่งแวดล้อมในเมืองอัจฉริยะ โดยผู้วิจัยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์แบบกำหนดการเชิงเส้น (linear programming: LP) เพื่อหาคำตอบที่ให้ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์สูงสุดในการศึกษาความเป็นไปได้ของแบบจำลอง และเพื่อประเมินผลแบบจำลองเบื้องต้น

3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เบื้องต้น

ฟังก์ชันจุดประสงค์:

$$\text{maximize } w \cdot \sum_{k \in PV} \sum_{j \in M} \sum_{i \in N} x_{ijk} R_i + (1-w) \cdot \sum_{k \in G} \sum_{j \in M} \sum_{i \in N} x_{ijk} R_i \quad (3.1)$$

ภายใต้ข้อบังคับ:

$$\sum_{k \in L} \sum_{i \in N} x_{ijk} R_i \leq C_j, \forall j \in M \quad (3.2)$$

$$\sum_{j \in M} \sum_{i \in N} x_{ijk} \gamma R_i \leq S_k, \forall k \in L \quad (3.3)$$

$$\sum_{k \in L} \sum_{j \in M} x_{ijk} \in [0,1], \forall i \in N \quad (3.4)$$

$$0 \leq x_{ijk} \leq 1, \forall i, \forall j, \forall k \quad (3.5)$$

$$0 \leq w \leq 1 \quad (3.6)$$

โดยกำหนดพารามิเตอร์และตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังนี้

T_i คือ ภารกิจ i ที่ต้องการเข้ามาใช้บริการศูนย์ข้อมูล

R_i คือ ขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการศูนย์ข้อมูลพร้อมกัน โดยสามารถกำหนดสาระสำคัญ (abstraction) ได้ เช่น ขนาดของการคำนวณที่ต้องการใช้งานหน่วยเป็น million instruction per second (MIPS) ชนิดของภารกิจ (type of task) ขนาดของเครือข่ายที่ต้องการ (bandwidth) ขนาดของหน่วยเก็บ (storage) เป็นต้น

C_j คือ ความจุของศูนย์ข้อมูล j ในหน่วยเดียวกับขนาดของภารกิจ R_i เช่น MIPS หากพิจารณาความจุของการคำนวณ หรือ gigabits per second (Gbps) หากพิจารณาขนาดเครือข่ายที่สามารถให้บริการได้

	ที่ศูนย์ข้อมูล หรือ gigabyte (GB) หากพิจารณาขนาดหน่วยเก็บของศูนย์ข้อมูลซึ่งเปิดให้ใช้งานได้ เป็นต้น
S_k	คือ ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน k หน่วยเป็นวัตต์ (watts)
x_{ijk}	คือ สัดส่วนการจัดสรรภารกิจ i ไปรับบริการที่ศูนย์ข้อมูล j และใช้พลังงานจากแหล่งผลิตพลังงาน k
γ	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของการใช้งานระบบคลาวด์ที่ศูนย์ข้อมูล กับความต้องการใช้พลังงานเพื่อใช้งานระบบคลาวด์ที่ศูนย์ข้อมูลนั้น มีหน่วยเป็น watts/MIPs หรือ watts/Gbps หรือ watts/GB เป็นต้น
N	คือ กลุ่มของภารกิจทั้งหมดในเมืองอัจฉริยะ
M	คือ กลุ่มของความจุศูนย์ข้อมูลทั้งหมดในเมืองอัจฉริยะ
L	คือ กลุ่มของค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงานทั้งหมดในเมืองอัจฉริยะ ในที่นี้แบ่ง L เป็นกลุ่มย่อย ได้แก่ $L = G \cup PV$ โดยที่
G	คือ กลุ่มของแหล่งผลิตพลังงานจากกริด
PV	คือ กลุ่มของแหล่งพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ประเภทเซลล์แสงอาทิตย์
w	คือ ค่าน้ำหนัก

จากสมการที่ (3.1) นิยามฟังก์ชันจุดประสงค์ที่ต้องการหาค่าสูงสุด และมีผลลัพธ์ของแบบจำลองคือค่า x_{ijk}^* (optimal solution) โดยการกำหนดค่าน้ำหนัก w ซึ่งเป็นค่าน้ำหนักเงื่อนไขบังคับเชิงเส้น (linear weight constraint) [30] มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ตามสมการที่ (3.6) ที่ทำให้ฟังก์ชันจุดประสงค์มีค่าสูงสุด และทำให้แบบจำลองจัดลำดับการพิจารณาฟังก์ชันจุดประสงค์ตามเงื่อนไข คือ แบบจำลองทำการหาค่าพจน์แรกของฟังก์ชันจุดประสงค์เพื่อแสดงว่าแบบจำลองนั้นมีการให้บริการภารกิจ i ที่เข้ามาใช้บริการศูนย์ข้อมูล j โดยใช้พลังงานจากแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ $k \in PV$ ให้ได้มากที่สุด และต่อมา คือ พจน์ที่สองเพื่อแสดงว่าแบบจำลองนั้นมีการให้บริการภารกิจ i ที่เข้ามาใช้บริการศูนย์ข้อมูล j โดยไม่สามารถใช้พลังงานจากแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ $k \in PV$ จึงต้องไปใช้พลังงานจากแหล่งผลิตพลังงานจากกริด $k \in G$ แทน เพื่อเป็นการยืนยันว่าแบบจำลองนี้สามารถให้บริการภารกิจ i ที่เข้ามาใช้บริการศูนย์ข้อมูล j ได้มากที่สุด ณ ช่วงเวลานั้น ๆ

กำหนดค่าน้ำหนัก w ให้มีค่าใกล้ 1 ให้มากเพียงพอ เช่น 0.999 เพื่อให้แน่ใจว่าค่ามากที่สุดของพจน์ที่สองของฟังก์ชันจุดประสงค์มีค่าเมื่อคูณกับ $(1-w)$ แล้วจะต้องไม่มีนัยสำคัญต่อการหาค่าเหมาะสมที่สุดจากพจน์แรกของฟังก์ชันจุดประสงค์ แต่หากการหาค่าเหมาะสมที่สุดจากพจน์แรกนั้นให้ค่าสัดส่วนการจัดสรร x_{ijk} ที่เป็นไปได้มากกว่า 1 แบบที่ทำให้ได้ค่าพจน์แรกออกมาเท่ากัน จึงจะมาพิจารณาถึงพจน์ที่สองเพื่อหาค่ามากที่สุดในแต่ละลำดับต่อไป

ฟังก์ชันจุดประสงค์อยู่ภายใต้ข้อบังคับในสมการที่ (3.2) และ (3.3) คือ ผลรวมขนาดของภารกิจ i ที่เข้ามาใช้บริการศูนย์ข้อมูล j ใด ๆ ต้องมีขนาดไม่มากกว่าความจุของศูนย์ข้อมูล j นั้น ๆ และผลรวมความต้องการใช้พลังงานของศูนย์ข้อมูล j ใด ๆ ต้องมีขนาดไม่มากกว่าค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน k นั้น ๆ ตามลำดับ

สำหรับสัดส่วนการจัดสรร x_{ijk} นั้นถูกกำหนดอยู่ภายใต้ 2 ข้อบังคับ คือ สมการที่ (3.4) ผลรวมของสัดส่วนการจัดสรร x_{ijk} ของภารกิจ i ไปรับบริการที่ศูนย์ข้อมูล j ใด ๆ และใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน k ใด ๆ ต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 และสมการที่ (3.5) ค่าการกระจายตัวของภารกิจ i ไปรับบริการที่ศูนย์ข้อมูลที่ j ใด ๆ และใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน k ใด ๆ ต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ภายใต้เงื่อนไข คือ

$x_{ijk} = 1$ เมื่อภารกิจ i ทั้งหมดถูกกำหนดให้ใช้บริการศูนย์ข้อมูล j และใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน k

$x_{ijk} \in (0,1)$ เมื่อภารกิจ i ถูกจัดสรรเพื่อไปใช้บริการศูนย์ข้อมูล j และใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน k

$x_{ijk} = 0$ เมื่อภารกิจ i ไม่ถูกจัดสรรเพื่อไปใช้บริการศูนย์ข้อมูล j ด้วยแหล่งผลิตพลังงาน k เลย

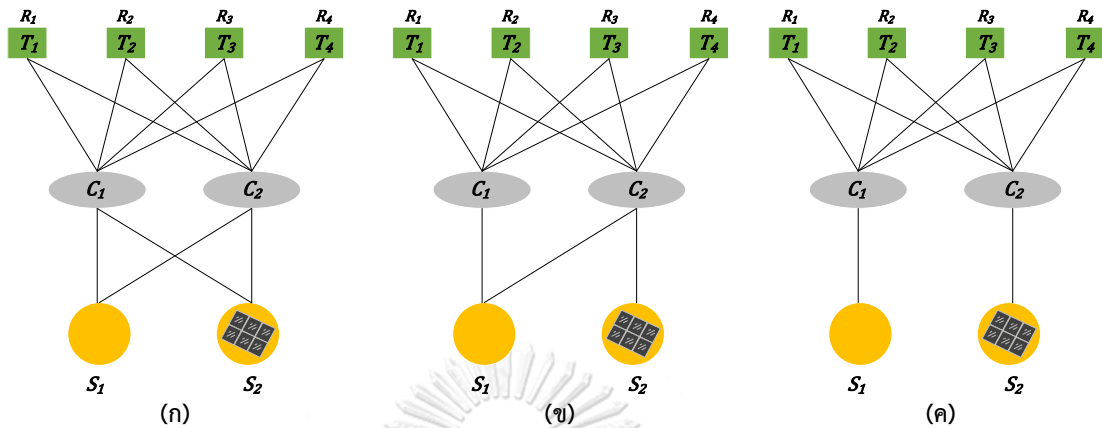
3.3 การออกแบบการทดสอบแบบจำลองเบื้องต้น

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการออกแบบการทดลองการทำงานของแบบจำลองเบื้องต้น ผู้วิจัยได้กำหนดสถาปัตยกรรมและพารามิเตอร์ในการทดลองออกเป็น 3 กรณีดังรูปที่ 3.3 และ 3.4 ทั้ง 3 กรณีศึกษานั้นภารกิจ T_1, T_2, T_3 และ T_4 มีขนาดความต้องการทรัพยากรคลาวด์ที่กำลังพิจารณาเท่ากับ R_1, R_2, R_3 และ R_4 ตามลำดับ สามารถเข้ามาใช้บริการศูนย์ข้อมูล 1 และ 2 ที่ความจุเท่ากับ C_1 และ C_2 ตามลำดับ ซึ่งสามารถใช้พลังงานจากแหล่งผลิตพลังงาน 1 และ 2 ที่มีค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้เท่ากับ S_1 และ S_2 ตามลำดับ ในการนี้กำหนดให้ S_1 แทนค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากกลุ่มของแหล่งผลิตพลังงานจากกริด และ S_2 แทนค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากกลุ่มของแหล่งพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ประเภทเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้น $G = \{S_1\}$, $PV = \{S_2\}$ และ $L = \{S_1, S_2\}$

กรณี (ก) ศูนย์ข้อมูล 1 และ 2 สามารถใช้พลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงานทั้ง 1 และ 2 ตามรูปที่ 3.3 (ก)

กรณี (ข) ศูนย์ข้อมูล 1 สามารถใช้พลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงาน 1 เท่านั้น และศูนย์ข้อมูล 2 สามารถใช้พลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงานทั้ง 1 และ 2 ตามรูปที่ 3.3 (ข)

กรณี (ค) ศูนย์ข้อมูล 1 สามารถใช้พลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงาน 1 เท่านั้น และ ศูนย์ข้อมูล 2 สามารถใช้พลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงาน 2 เท่านั้น ตามรูปที่ 3.3 (ค)



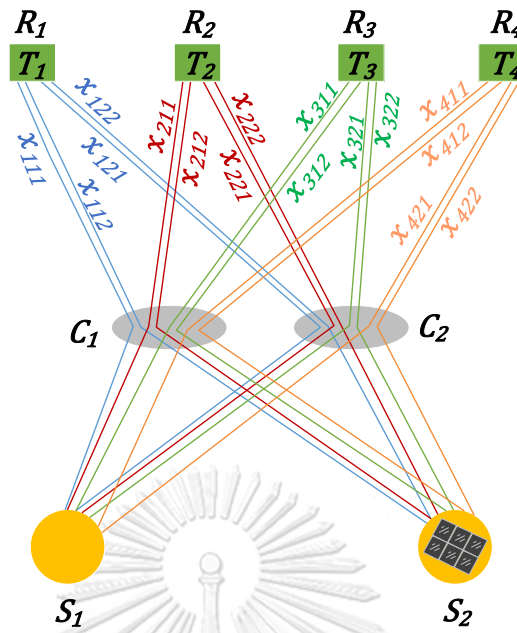
รูปที่ 3.3 การทดลองการทำงานของแบบจำลองในเบื้องต้น 3 กรณี

เนื่องจากยังไม่ทราบคุณลักษณะคำร้องขอบริการที่ต้องใช้งานระบบคลาวด์ และเพื่อให้สามารถประเมินผลการจำลองในเบื้องต้นได้ ผู้วิจัยกำหนดภารกิจ T_i ที่เข้ามาใช้บริการมีขนาดของภารกิจ R_i เป็นภารกิจประเภทเดียวกัน จำนวน 4 ภารกิจ โดยที่ R_i เป็นแบบตัวแปรที่มีค่าเท่ากันสำหรับทุกค่า i มีค่าอยู่ในช่วง 5 – 25

จากนั้นทำการกำหนดสมมติฐานในแบบจำลองดังนี้

1) สมมติให้ภารกิจ T_i แต่ละภารกิจมีอิสระต่อกัน (no dependency) คือ ภารกิจสามารถที่จะทำการคำนวณได้โดยไม่ต้องรอให้ภารกิจก่อนหน้าเสร็จสิ้นก่อน และสามารถที่จะแบ่งไปเพื่อทำการคำนวณงานขนาน (parallel computing) ในเทคโนโลยีคอนเทนเนอร์ได้ นั่นคือ ภารกิจชิ้นหนึ่งสามารถถูกแบ่งย่อยเป็นงานย่อยๆ ที่ถูกกระจายไปยังศูนย์ข้อมูลต่าง ๆ ได้ ดังนั้นสัดส่วนการจัดสรร x_{ijk} สามารถมีค่าเป็นจุดทศนิยมได้ ไม่จำเป็นต้องมีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 เท่านั้น

2) สมมติความสัมพันธ์ของการใช้งานระบบคลาวด์กับความต้องการใช้พลังงานของระบบคลาวด์มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นแทนด้วยตัวแปร γ นั่นคือ ค่าความต้องการการใช้พลังงานของศูนย์ข้อมูลในการให้บริการภารกิจมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่าพลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงานใด ๆ



รูปที่ 3.4 สัดส่วนการจัดสรรภารกิจ x_{ijk}

บทที่ 4

ผลการทดสอบแบบจำลอง และวิเคราะห์ผลเบื้องต้น

ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองตัวควบคุมระบบคลาวด์เมืองอัจฉริยะ (SCCC) ด้วยโปรแกรม Matlab R2016a จากนั้นตั้งกรณีศึกษาเพื่อสังเกตการทำงานของแบบจำลอง เมื่อพารามิเตอร์ในระบบมีการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ กรณีแรกคือกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการ กรณีที่สองกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดความจุของศูนย์ข้อมูล และกรณีที่สามกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานแบบพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ประเภทเซลล์แสงอาทิตย์ที่แบบจำลองต้องการให้ลำดับความสำคัญในการเข้าใช้งานก่อน

เนื่องจากผู้วิจัยได้กำหนดขนาดของภารกิจ R_i เป็นแบบตัวแปรที่มีค่าเท่ากันสำหรับทุกค่า i ทำให้ผลการทดลองสัดส่วนการจัดสรรภารกิจ x_{ijk} มีค่าเท่ากันสำหรับทุกค่า i จึงขอแสดงผลเฉพาะที่ค่า $i = 1$ และค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ และกำหนดค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นแทนด้วยตัวแปร $\gamma = 1$ สำหรับทุกการทดลอง มีผลการทดลองเบื้องต้นของสามกรณีศึกษาดังต่อไปนี้

4.1 กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการ

ในกรณีศึกษาที่ผู้วิจัยกำหนดค่าของพารามิเตอร์ในการทดสอบดังนี้

- 1) ขนาดของภารกิจ R_1, R_2, R_3 และ R_4 กำหนดเป็นตัวแปร มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 25 โดยค่าเพิ่มขึ้นทีละ 1
- 2) ความจุของศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 กำหนดเป็นค่าคงที่มีค่า $C_1 = 30$ และ $C_2 = 30$
- 3) ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_1 และ S_2 กำหนดเป็นค่าคงที่มีค่า $S_1 = 1,000$ watts และ $S_2 = 20$ watts เนื่องจากในทางปฏิบัติแล้วค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_1 หรือกริดมีค่าพอต่อการใช้งานเสมอ ส่วนค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 หรือแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่นั้นมีความไม่แน่นอนและจำกัด จึงกำหนดให้ $S_1 \gg S_2$

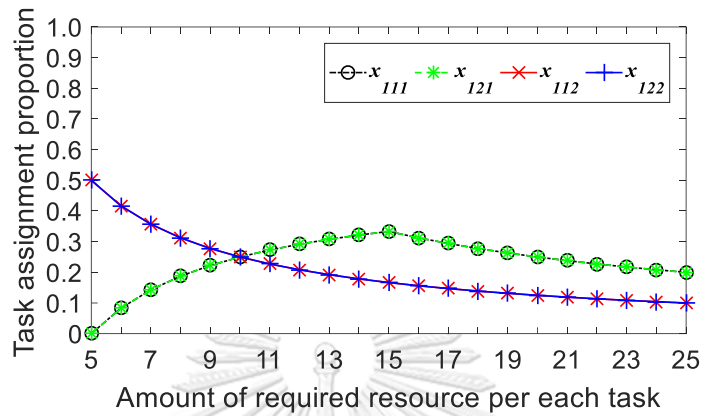
จากรูปที่ 4.1 การทดลอง (ก) ศูนย์ข้อมูล 1 และ 2 สามารถใช้พลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงานทั้ง 1 และ 2 กำหนดค่าเริ่มต้นของขนาดภารกิจมีค่าเท่ากับ 5 มีขนาดภารกิจรวมเท่ากับ 20 แบบจำลองจัดสรรภารกิจไปใช้งานความจุของศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 ที่มีขนาดความจุทีละ 30 คิดเป็นความจุรวมเท่ากับ 60 และใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน

S_2 ได้ทั้งหมดเท่ากับ 20 ซึ่งมีค่าเท่ากับขนาดภารกิจรวมพอดี ทำให้สัดส่วนการจัดสรรภารกิจ $x_{112} = x_{122} = 0.5$ ต่อมาที่ขนาดของภารกิจมีค่ามากกว่า 5 ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ไม่เพียงพอต่อการใช้งานทั้งหมด แบบจำลองจัดสรรภารกิจไปใช้งานความจุของศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 และใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_1 เข้ามาเพิ่ม ทำให้ค่าสัดส่วนการจัดสรรภารกิจ x_{112} และ x_{122} มีค่าลดลงในสัดส่วนที่เท่ากัน ในทางกลับกัน x_{111} และ x_{121} เพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่เท่ากัน จนกระทั่งขนาดของภารกิจมีค่าเท่ากับ 15 ขนาดภารกิจรวมเท่ากับ 60 ทำให้ความจุของศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 ถูกใช้งานจนหมด ส่งผลให้เมื่อขนาดของภารกิจมีค่ามากกว่า 15 ค่าสัดส่วนการจัดสรรภารกิจ $x_{111}, x_{112}, x_{121}$ และ x_{122} ลดลงทั้งหมด อันเนื่องมาจากแบบจำลองไม่สามารถให้บริการตามขนาดของภารกิจที่เพิ่มขึ้นได้ครบ จนท้ายสุดที่ขนาดของภารกิจมีเท่ากับ 25 สัดส่วนการจัดสรรภารกิจรวมเท่ากับ 0.6

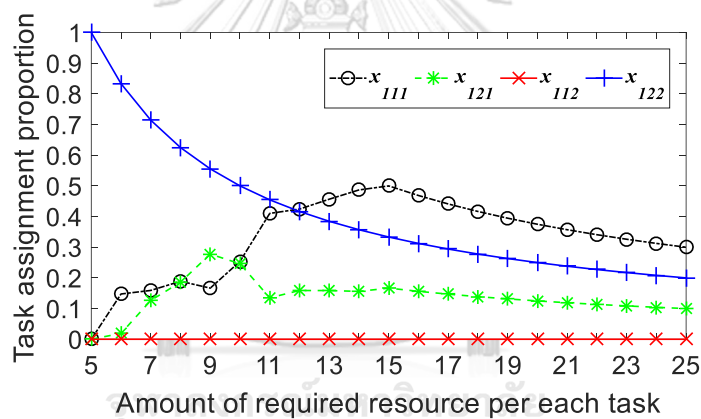
การทดลอง (ข) ในการทดลองนี้ศูนย์ข้อมูล 1 สามารถใช้พลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงาน 1 เท่านั้น ทำให้สัดส่วนการจัดสรรภารกิจ $x_{112} = 0$ เสมอ และศูนย์ข้อมูล 2 สามารถใช้พลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงานทั้ง 1 และ 2 กำหนดค่าเริ่มต้นขนาดของภารกิจรวมเท่ากับ 20 แบบจำลองจัดสรรภารกิจไปใช้งานความจุของศูนย์ข้อมูล C_2 ที่มีความจุเท่ากับ 30 และใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ได้ทั้งหมดเท่ากับ 20 ซึ่งมีค่าเท่ากับขนาดภารกิจรวมพอดี ทำให้สัดส่วนการจัดสรรภารกิจ $x_{122} = 1$ ต่อมาที่ขนาดของภารกิจมีค่ามากกว่า 5 ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ไม่เพียงพอต่อการใช้งานทั้งหมด แบบจำลองทำการจัดสรรภารกิจไปใช้งานความจุศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 และใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_1 เข้ามาเพิ่ม ทำให้ค่าสัดส่วนการจัดสรรภารกิจ x_{111} และ x_{121} เพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน x_{122} มีค่าลดลง จนกระทั่งขนาดของภารกิจมีค่าเท่ากับ 15 ขนาดภารกิจรวมเท่ากับ 60 ทำให้ความจุของศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 ถูกใช้งานจนหมด ส่งผลให้เมื่อขนาดของภารกิจมีค่ามากกว่า 15 ค่าสัดส่วนการจัดสรรภารกิจ x_{111}, x_{121} และ x_{122} ลดลงทั้งหมด เนื่องมาจากแบบจำลองไม่สามารถให้บริการตามขนาดของภารกิจที่เพิ่มขึ้นได้ครบ จนท้ายสุดที่ขนาดของภารกิจมีเท่ากับ 25 ค่าสัดส่วนการจัดสรรภารกิจรวมเท่ากับ 0.6

การทดลอง (ค) ในการทดลองนี้ศูนย์ข้อมูล 1 สามารถใช้พลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงาน 1 เท่านั้น และศูนย์ข้อมูล 2 สามารถใช้พลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงาน 2 เท่านั้น ทำให้ค่าสัดส่วนการจัดสรร $x_{112} = x_{112} = 0$ เสมอ ในช่วงเริ่มต้นแบบจำลองมีการทำงานเหมือนการทดลอง (ข) ต่อมาที่ขนาดของภารกิจมีค่ามากกว่า 5 ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ไม่เพียงพอต่อการใช้งานทั้งหมด แบบจำลองจัดสรรภารกิจมาใช้งานความจุศูนย์ข้อมูล C_1 และใช้งานพลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_1 โดยไม่จัดสรรภารกิจไปใช้งานความจุศูนย์ข้อมูล C_2 เพิ่มอีกเลย แม้ว่าจะยังมีความจุเหลือที่สามารถใช้งานได้อีกเท่ากับ 10 ทำให้ค่าความจุศูนย์ข้อมูลทั้งหมดที่แบบจำลองสามารถใช้งานได้จริงคือ 50 เท่านั้น ซึ่งเห็นได้ว่าที่ขนาด

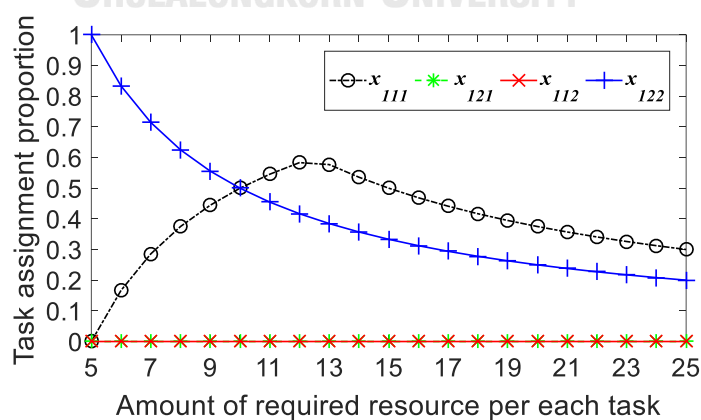
ของภารกิจมีค่าเท่ากับ 12.5 ขนาดภารกิจรวมเท่ากับ 50 ความจุของศูนย์ข้อมูลรวมที่สามารถใช้งานได้ถูกใช้งานจนหมด สัดส่วนการจัดสรรภารกิจ x_{111} และ x_{122} จึงลดลงทั้งหมด อันเนื่องมาจากระบบไม่สามารถให้บริการตามขนาดของภารกิจที่เพิ่มขึ้นได้ครบ ทำให้ผลรวมค่าสัดส่วนการจัดสรรเท่ากับ 0.5



(ก)



(ข)

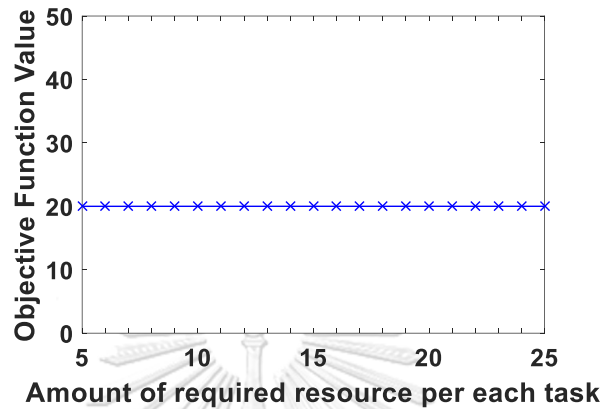


(ค)

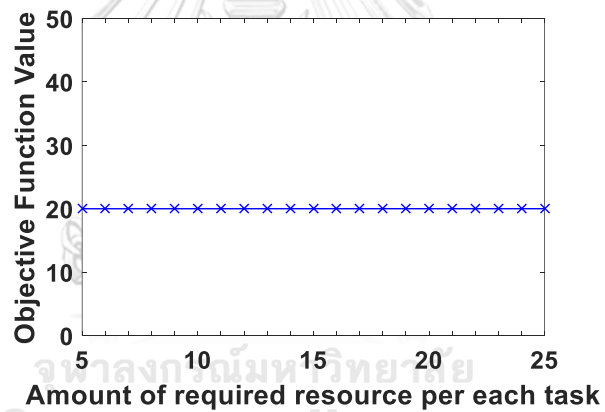
รูปที่ 4.1 สัดส่วนการจัดสรร x_{ijk} กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการของการทดลอง

(ก) (ข) และ (ค)

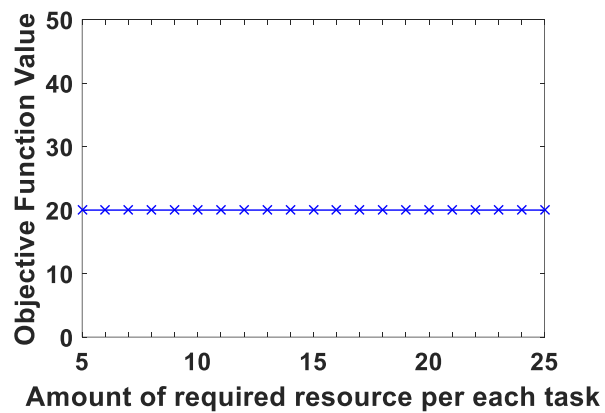
สำหรับค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ของการทดลอง (ก) (ข) และ (ค) ตามรูปที่ 4.2 มีค่าเท่ากันทั้งหมด เป็นผลมาจากแบบจำลองจัดสรรภารกิจไปใช้งานความจุศูนย์ข้อมูลและใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 มากสุดเท่ากันตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองที่ขนาดภารกิจมีค่าเท่ากับ 5



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.2 ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการของการทดลอง (ก)

(ข) และ (ค)

ผลวิเคราะห์กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการของการทดลอง (ก) (ข) และ (ค) นั้น แบบจำลองสามารถทำการจัดสรรภารกิจไปตามเงื่อนไขการทดลองทั้งสามได้ และเป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่อขนาดภารกิจเพิ่มขึ้นมากกว่า 5 จนค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้ จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ไม่เพียงพอต่อการใช้งาน สำหรับการทดลอง (ก) แบบจำลองจัดสรรการใช้งานความจุของศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 ที่สมดุลกัน ดูได้จากค่าสัดส่วนการจัดสรรภารกิจ $x_{111} = x_{121}$ และ $x_{112} = x_{122}$ ตลอดการทดลอง ซึ่งหากเปรียบเทียบกับกรทดลอง (ข) นั้น แบบจำลองจัดสรรการใช้งานความจุของศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 และไปใช้งานพลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_1 เพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์ได้ และการทดลอง (ค) ขนาดของความจุศูนย์ข้อมูลที่ สามารถให้บริการได้จริงโดนจำกัดค่าด้วยค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิต พลังงาน S_2 สูงสุดที่สามารถใช้ได้ ซึ่งส่งผลให้แบบจำลองไม่สามารถจัดสรรภารกิจใช้งานความจุของ ศูนย์ข้อมูล C_2 เพิ่มได้อีก จึงต้องจัดสรรภารกิจเพิ่มไปใช้งานความจุของศูนย์ข้อมูล C_1 เพียงศูนย์ ข้อมูลเดียว ทำให้ความจุของศูนย์ข้อมูล C_2 คงเหลือการใช้งานจนจบการทดลอง ส่งผลให้การทดลอง (ค) มีความสามารถในการให้บริการภารกิจที่เข้ามาใช้บริการน้อยกว่าการทดลอง (ก) และ (ข)

4.2 กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดความจุของศูนย์ข้อมูล

ในกรณีศึกษานี้ผู้วิจัยกำหนดค่าของพารามิเตอร์ในการทดลองดังนี้

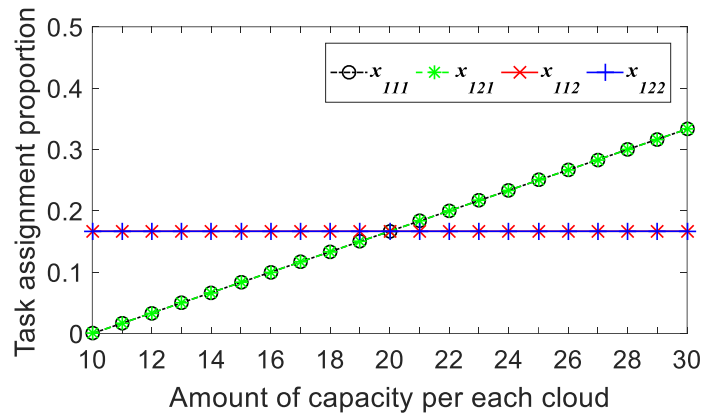
- 1) ขนาดของภารกิจ R_1, R_2, R_3 และ R_4 กำหนดเป็นค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 15 ขนาดภารกิจ รวมเท่ากับ 60
- 2) ขนาดความจุศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 กำหนดเป็นตัวแปรผันได้ ค่าตั้งแต่ 10 ถึง 30 โดย เพิ่มขึ้นทีละ 1
- 3) ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_1 และ S_2 กำหนดเป็น ค่าคงที่ มีค่า $S_1 = 1,000$ watts และ $S_2 = 20$ watts

จากรูปที่ 4.3 การทดลอง (ก) กำหนดค่าเริ่มต้นของขนาดของภารกิจรวมเท่ากับ 60 แบบจำลองจัดสรรการใช้งานความจุของศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 มีขนาดความจุเริ่มต้นอย่างละ 10 ความจุรวมเท่ากับ 20 นั้นคือสามารถให้บริการขนาดภารกิจได้เพียงหนึ่งในสามเท่านั้น แบบจำลอง จัดสรรภารกิจการใช้งานศูนย์ข้อมูลทั้งสองและใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่ง ผลิตพลังงาน S_2 ทั้งหมดเท่ากับ 20 ต่อมาเมื่อความจุของศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 มีค่าเพิ่มขึ้น แบบจำลองทำการจัดสรรภารกิจไปใช้งานความจุศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 และใช้งานค่าพลังงานที่ ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_1 เข้ามาเพิ่ม ทำให้ค่าสัดส่วนการจัดสรร x_{111} และ x_{121} เพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่เท่ากัน ในขณะที่ค่าจัดสรร x_{112} และ x_{122} มีค่าคงที่ตลอดการทดลอง จนกระทั่งความจุของศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 เพิ่มขึ้นและมีความจุรวมเท่ากับ 60 ซึ่งเท่ากับขนาด ของภารกิจรวม แบบจำลองสามารถรองรับการให้บริการขนาดของภารกิจรวมทั้งหมดได้ ทำให้ผลรวม สัดส่วนการจัดสรรภารกิจเท่ากับ 1

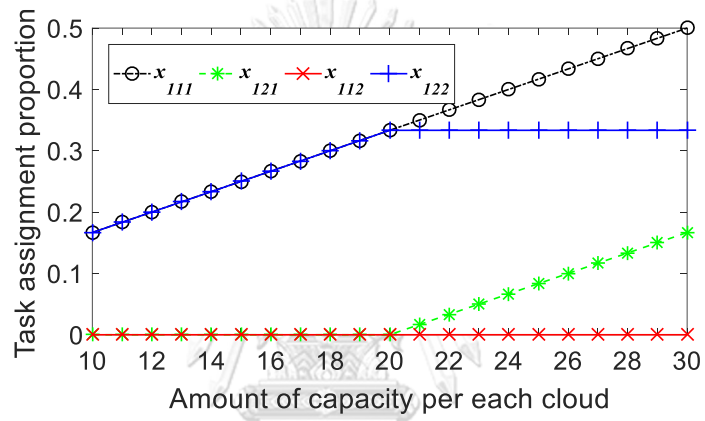
การทดลอง (ข) กำหนดค่าเริ่มต้นสัดส่วนการจัดสรรภารกิจ $x_{112} = 0$ ขนาดของภารกิจรวมเท่ากับ 60 แบบจำลองจัดสรรการใช้งานความจุของศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 มีขนาดความจุอย่างละ 10 รวมเท่ากับ 20 ซึ่งให้บริการขนาดภารกิจได้เพียงหนึ่งในสามเท่านั้น ซึ่งสิ่งที่ต่างจากการทดลอง (ก) คือ แบบจำลองพิจารณาจัดสรรภารกิจเพื่อขอใช้งานความจุของศูนย์ข้อมูล C_2 และ C_1 ไปใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 และ S_1 ตามลำดับ ทำให้สัดส่วนการจัดสรร x_{111} และ x_{122} มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.1665 และเพิ่มขึ้นเท่า ๆ กัน จนกระทั่งความจุของศูนย์ข้อมูล C_2 มีค่าเท่ากับ 20 ซึ่งเท่ากับค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ได้สูงสุด ทำให้สัดส่วนการจัดสรรภารกิจ x_{122} มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.333 หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มความจุศูนย์ข้อมูลทั้งสองมากกว่า 20 แบบจำลองทำการจัดสรรภารกิจใช้งานความจุของศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 และใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_1 เข้ามาเพิ่มจนกระทั่งความจุของศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 เพิ่มขึ้นและมีความจุรวมเท่ากับ 60 ซึ่งเท่ากับขนาดของภารกิจรวม จึงสามารถรองรับการให้บริการขนาดของภารกิจรวมทั้งหมดได้ และมีผลรวมสัดส่วนการจัดสรรภารกิจเท่ากับ 1

การทดลอง (ค) กำหนดค่าเริ่มต้นสัดส่วนการจัดสรรภารกิจ $x_{112} = x_{121} = 0$ ขนาดของภารกิจรวมเท่ากับ 60 ในช่วงแรกที่ค่าความจุของศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 มีค่าน้อยกว่าเท่ากับ 20 แบบจำลองมีการทำงานเหมือนการทดลอง (ข) แต่เมื่อค่าความจุของศูนย์ข้อมูลทั้งสองมีค่ามากกว่า 20 แบบจำลองจัดสรรภารกิจมาใช้งานความจุศูนย์ข้อมูล C_1 และใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_1 โดยไม่จัดสรรภารกิจไปใช้งานความจุศูนย์ข้อมูล C_2 เพิ่มอีกเลย แม้ว่าจะยังมีความจุเหลือที่สามารถใช้งานได้อีก 10 เนื่องจากค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ไม่เพียงพอ ทำให้ผลรวมสัดส่วนการจัดสรรภารกิจเท่ากับ 0.833

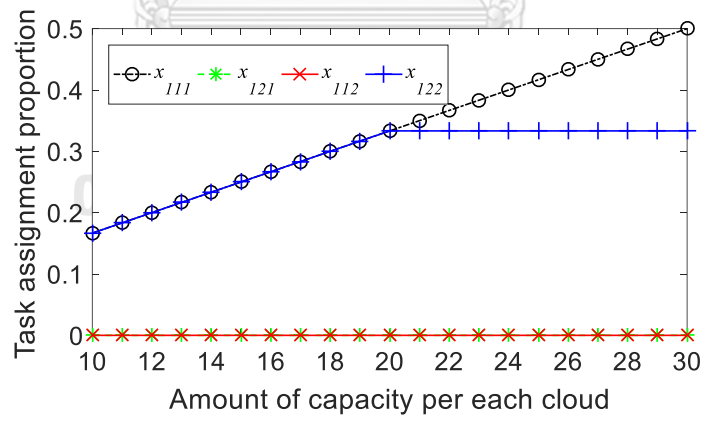
สำหรับค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ของการทดลอง (ก) (ข) และ (ค) ตามรูปที่ 4.4 ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ของการทดลอง (ก) มีค่าสูงกว่า (ข) และ (ค) ตั้งแต่เริ่มการทดลอง เนื่องจากศูนย์ข้อมูลทั้งสองสามารถใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ได้สูงสุด ส่วนการทดลอง (ข) และ (ค) นั้นเฉพาะศูนย์ข้อมูล 2 เท่านั้นที่สามารถใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ได้ ด้วยเหตุนี้ความชันของกราฟฟังก์ชันจุดประสงค์ของการทดลอง (ข) และ (ค) ในช่วงค่าความจุของศูนย์ข้อมูลตั้งแต่ 10 ถึง 20 จึงชันกว่าช่วงที่มีค่ามากกว่า 20 ซึ่งค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ได้ถูกใช้งานสูงสุดแล้ว



(ก)



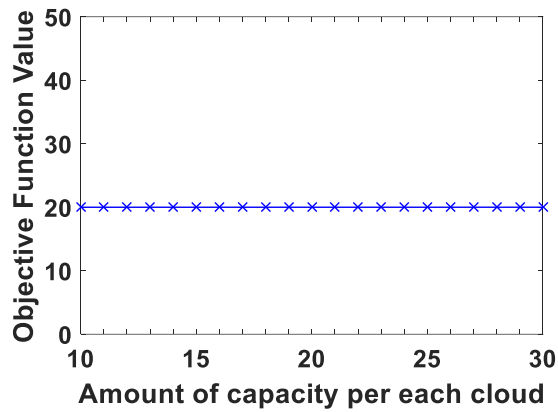
(ข)



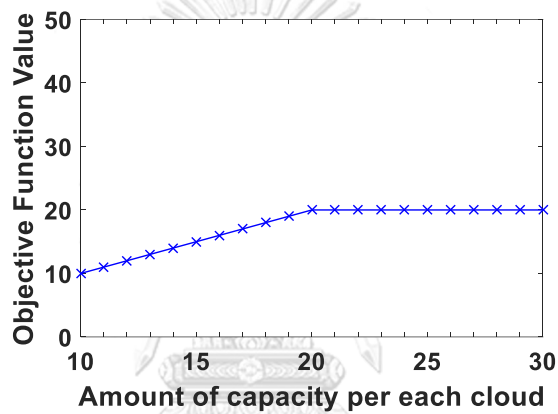
(ค)

รูปที่ 4.3 สัดส่วนการจัดสรร x_{ijk} กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดความจุของศูนย์ข้อมูลของการทดลอง (ก) (ข)

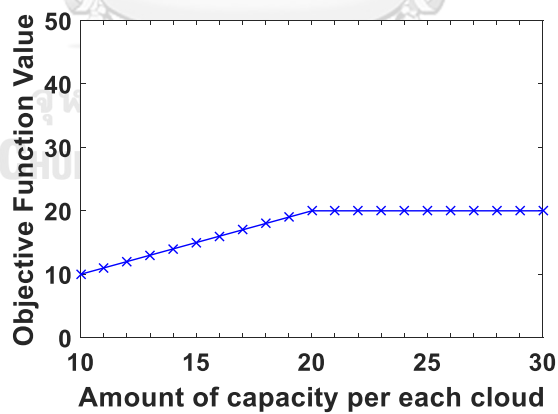
และ (ค)



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.4 ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดความจุของศูนย์ข้อมูลของการทดลอง (ก) (ข) และ (ค)

ผลวิเคราะห์กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของความจุของศูนย์ข้อมูลของการทดลอง (ก) (ข) และ (ค) นั้น แบบจำลองสามารถทำการจัดสรรภารกิจไปตามเงื่อนไขการทดลองทั้งสามได้ และเป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่อความจุของศูนย์ข้อมูลทั้งสองเพิ่มขึ้นจนความต้องการใช้พลังงานมากกว่าค่า

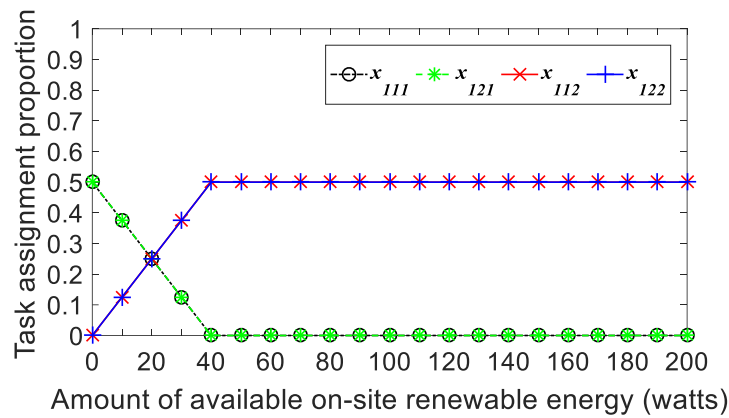
พลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 สูงสุด สำหรับกรณีการทดลอง (ก) และ (ข) แบบจำลองสามารถให้บริการขนาดของภารกิจได้ทั้งหมดโดยใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_1 เข้ามาช่วย ส่วนในการทดลอง (ค) ความสามารถของแบบจำลองในการให้บริการภารกิจที่เข้ามาใช้งานได้น้อยที่สุด แม้ทำการเพิ่มขนาดของความจุศูนย์ข้อมูล ซึ่งเป็นผลมาจากค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 เป็นตัวจำกัดการใช้งานศูนย์ข้อมูล 2 นั่นเอง

4.3 กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2

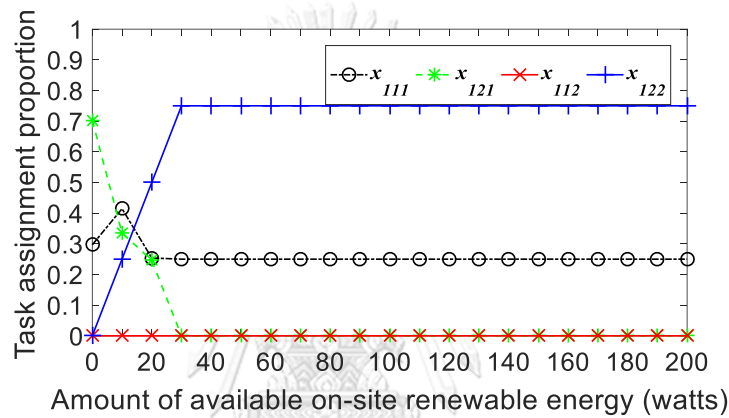
ในกรณีศึกษาที่ผู้วิจัยกำหนดค่าของพารามิเตอร์ในการทดลองดังนี้

- 1) ขนาดของภารกิจ R_1, R_2, R_3 และ R_4 กำหนดเป็นค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 10 ขนาดของภารกิจรวมเท่ากับ 40
- 2) ความจุของศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 กำหนดเป็นค่าคงที่มีค่า $C_1 = 30$ และ $C_2 = 30$
- 3) ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_1 กำหนดเป็นค่าคงที่มีค่า $S_1 = 1,000$ watts
- 4) ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 กำหนดตัวแปรผันได้มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 200 watts โดยเพิ่มขึ้นทีละ 10 watts

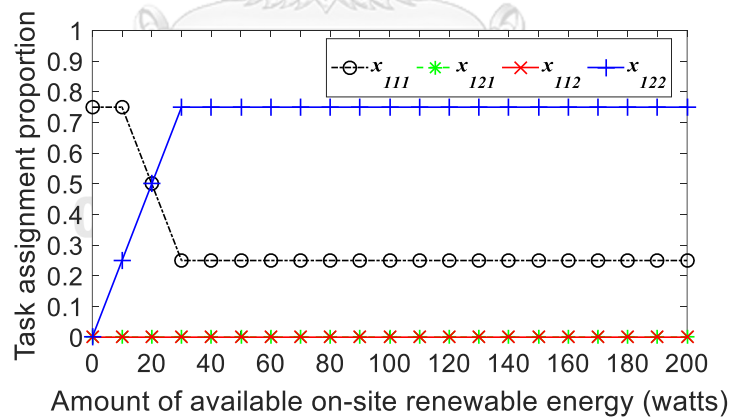
จากรูปที่ 4.5 การทดลอง (ก) กำหนดค่าเริ่มต้นของค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 เท่ากับ 0 แบบจำลองทำการจัดสรรภารกิจทั้งหมดที่มีขนาดรวมเท่ากับ 40 ไปใช้งานความจุศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 และใช้พลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_1 ในสัดส่วนที่เท่ากัน และเมื่อค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 เพิ่มขึ้นแบบจำลองทำการจัดสรรภารกิจไปใช้งานความจุของศูนย์ข้อมูลทั้งสองมาใช้พลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 มากขึ้น ต่อมาค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 เพิ่มขึ้นจนมีค่าเท่ากับ 40 ซึ่งเท่ากับค่าพลังงานที่ศูนย์ข้อมูลทั้งสองต้องการเพื่อให้บริการภารกิจทั้งหมด ทำให้แบบจำลองจัดสรรภารกิจทั้งหมดไปใช้งานความจุของศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 และใช้พลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 เพียงแหล่งเดียวได้ ส่งผลให้สัดส่วนการจัดสรรภารกิจ x_{112} และ x_{222} มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.5 และเมื่อเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ให้มีค่ามากกว่า 40 สัดส่วนการจัดสรรภารกิจไม่มีการเปลี่ยนแปลง



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.5 สัดส่วนการจัดสรร x_{ijk} กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มพลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียน ในพื้นที่ของการทดลอง (ก) (ข) และ (ค)

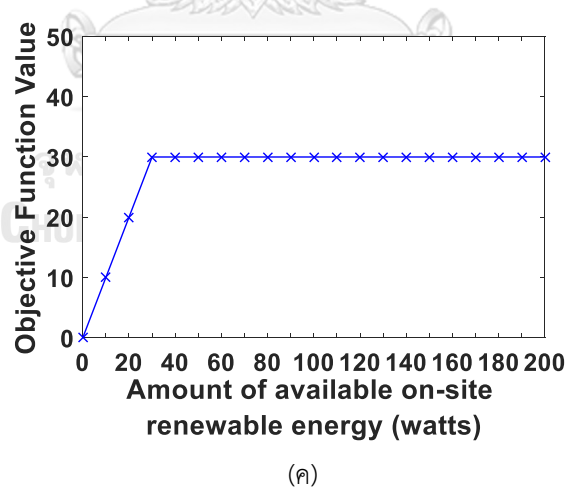
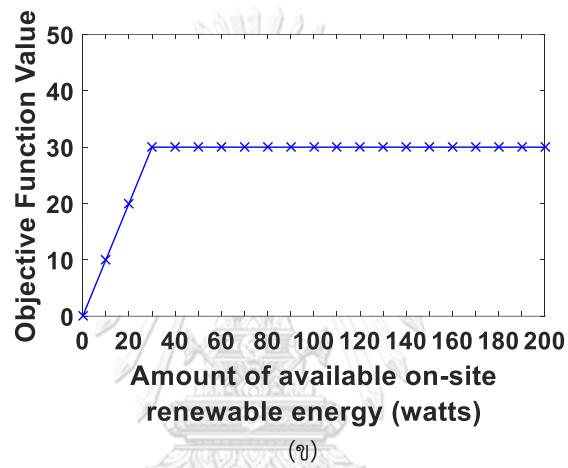
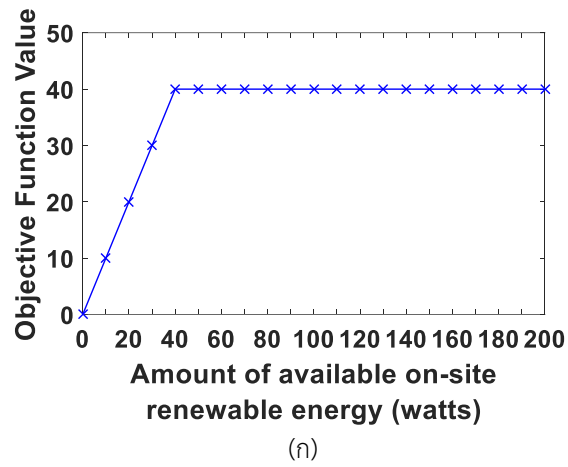
การทดลอง (ข) กำหนดค่าเริ่มต้นสัดส่วนการจัดสรรภารกิจ $x_{112} = 0$ ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 เท่ากับ 0 แบบจำลองทำการจัดสรรภารกิจทั้งหมดที่มีขนาดรวมเท่ากับ 40 ไปใช้งานความจุศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 และใช้พลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_1 ในสัดส่วนที่ไม่เท่ากัน เช่นเดียวกับการทดลอง (ก) และเมื่อค่าพลังงานที่ผลิตและ

สามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 เพิ่มขึ้น แบบจำลองทำการจัดสรรภารกิจไปใช้งานความจุของศูนย์ข้อมูลทั้งสองมาใช้พลังงานจากแหล่งนี้มากขึ้น จนมีค่าค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 มีค่าพลังงานเท่ากับ 30 ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าพลังงานมากที่สุดที่ศูนย์ข้อมูล C_2 ต้องการ ทำให้สัดส่วนการจัดสรรภารกิจ x_{122} มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.75 และเมื่อเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 มากกว่า 30 สัดส่วนการจัดสรรภารกิจไม่มีการเปลี่ยนแปลง

การทดลอง (ค) กำหนดค่าเริ่มต้น $x_{112} = x_{121} = 0$ ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 เท่ากับ 0 แบบจำลองทำการจัดสรรภารกิจทั้งหมดที่มีขนาดรวมเท่ากับ 40 ไปใช้งานความจุศูนย์ข้อมูล C_1 ที่มีขนาดความจุรวมเท่ากับ 30 ไปใช้พลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_1 เท่านั้น และมีสัดส่วนการจัดสรร $x_{111} = 0.75$ และเมื่อค่าพลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 เพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่า 10 แบบจำลองทำการจัดสรรภารกิจไปใช้งานความจุศูนย์ข้อมูล C_2 มากขึ้น จนกระทั่งค่าพลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 เพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่า 30 แบบจำลองทำงานเหมือนการทดลอง (ข)

สำหรับค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ของการทดลอง (ก) (ข) และ (ค) ตามรูปที่ 4.6 เมื่อมีการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ของการทดลอง (ก) มีค่าเท่ากับ 40 สูงกว่า (ข) และ (ค) เนื่องจากแบบจำลองสามารถจัดสรรภารกิจทั้งหมดเพื่อให้บริการความจุศูนย์ข้อมูลทั้งสองโดยค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 เพียงแหล่งเดียวได้ ในขณะที่การทดลอง (ข) และ (ค) ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์สูงสุดมีค่าเท่ากับ 30 ซึ่งเท่ากับค่าความต้องการพลังงานของศูนย์ข้อมูล 2 เท่านั้น แสดงให้เห็นว่าการทดลอง (ก) แบบจำลองสามารถใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 มากกว่า

ผลวิเคราะห์กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ซึ่งเป็นแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ของการทดลอง (ก) (ข) และ (ค) นั้น แบบจำลองสามารถทำการจัดสรรภารกิจไปตามเงื่อนไขการทดลองทั้งสามได้ และเป็นที่น่าสนใจว่าเมื่อเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 สำหรับกรณีการทดลอง (ก) ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 สูงสุดที่แบบจำลองต้องการไม่มากกว่าความต้องการใช้พลังงานซึ่งมีค่าเท่ากับผลรวมขนาดความจุของศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 ทำให้สามารถใช้พลังงานจากแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ได้มากที่สุด ในขณะที่กรณี (ข) และ (ค) ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 สูงสุดที่แบบจำลองต้องการสูงสุดไม่มากกว่าความต้องการใช้พลังงานซึ่งมีค่าเท่ากับขนาดความจุของศูนย์ข้อมูล C_2 เท่านั้น ทำให้แม้ว่าจะเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ไปเรื่อย ๆ สัดส่วนการจัดสรรจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากโดนจำกัดไว้ด้วยความต้องการใช้พลังงานซึ่งมีค่าเท่ากับขนาดความจุของศูนย์ข้อมูลที่สามารถใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 นั้นเอง



รูปที่ 4.6 ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มพลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ของการทดลอง (ก) (ข) และ (ค)

4.4 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเบื้องต้น

จากการทดลองในเบื้องต้นทั้งสามกรณีศึกษา คือ กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการ กรณีศึกษากรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของความจุของศูนย์ข้อมูล และกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ของการทดลอง (ก) (ข) และ (ค) นั้น จากผลการทดลองค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ทั้งสามกรณีศึกษาแบบจำลองสามารถทำการจัดสรรภารกิจไปใช้งานความจุของศูนย์ข้อมูลทั้งสอง โดยคำนึงถึงการใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ได้สูงสุดตามที่ตั้งวัตถุประสงค์ไว้ และสามารถสรุปได้ดังนี้

ประเด็นที่ 1 ด้านการให้บริการภารกิจจากกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการ สำหรับการทดลอง (ก) และ (ข) แบบจำลองมีความสามารถจัดสรรภารกิจในการให้บริการได้มากที่สุดตามความจุรวมของศูนย์ข้อมูล แต่สำหรับการทดลอง (ค) กรณีที่ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 น้อยกว่าค่าพลังงานที่ศูนย์ข้อมูล 2 ต้องการ การให้บริการภารกิจถูกจำกัดด้วยค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 นั้นเอง ทำให้ไม่สามารถจัดสรรภารกิจไปใช้ขนาดความจุของศูนย์ข้อมูล C_2 หากไม่มีค่าพลังงานเหลือพอ แม้จะยังมีความจุเหลือที่สามารถใช้งานได้

ประเด็นที่ 2 ด้านประสิทธิภาพการใช้งานศูนย์ข้อมูลจากกรณีศึกษากรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของความจุของศูนย์ข้อมูล สำหรับการทดลอง (ก) และ (ข) แบบจำลองมีความสามารถจัดสรรภารกิจในการให้บริการได้มากที่สุด และการให้มีความสามารถในการให้บริการภารกิจได้เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มขนาดของความจุของศูนย์ข้อมูลไปจนเท่ากับผลรวมของขนาดภารกิจ ซึ่งสำหรับการทดลอง (ค) การให้บริการของศูนย์ข้อมูล 2 คำนึงถึงค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ด้วย ในกรณีที่ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 น้อยกว่าค่าพลังงานที่ศูนย์ข้อมูล 2 ต้องการ ทำให้ไม่สามารถจัดสรรภารกิจไปใช้ขนาดความจุของศูนย์ข้อมูล C_2 หากไม่มีค่าพลังงานเหลือพอ แม้จะยังมีความจุเหลือที่สามารถใช้งานได้

ประเด็นที่ 3 ด้านการคำนวณรักษาสีสิ่งแวดล้อมจากกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 คือ การนำเอาพลังงานจากแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ที่ผลิตได้มาใช้ในศูนย์ข้อมูล การทดลอง (ก) ศูนย์ข้อมูลทั้งสองสามารถให้บริการภารกิจที่เข้ามาใช้บริการโดยมีการคำนึงถึงการคำนวณรักษาสีสิ่งแวดล้อม และสามารถใช้จ่ายพลังงานจากแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ได้มากที่สุดเท่ากับผลรวมของค่าความต้องการพลังงานของศูนย์ข้อมูล 2 ส่วนการทดลอง (ข) และ (ค) มีเพียงศูนย์ข้อมูล 2 เท่านั้นที่สามารถให้บริการโดยมีการคำนึงถึงการคำนวณรักษาสีสิ่งแวดล้อมได้ และใช้พลังงานจากแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ได้มากที่สุดเท่ากับค่าความต้องการพลังงานของศูนย์ข้อมูล 2

จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นในบทที่ 4 สามารถกล่าวได้ว่าแบบจำลองสามารถให้บริการภารกิจที่เข้ามาใช้บริการระบบได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ในขณะที่เดียวกันแบบจำลองมี

ความสามารถในการให้บริการกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ ได้แก่ ขนาดของภารกิจ ความจุของศูนย์ข้อมูล และค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับเมืองอัจฉริยะที่มีการให้บริการระบบคลาวด์ที่มีหลายศูนย์ข้อมูล และมีการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานจากกริด และแหล่งผลิตพลังงานในพื้นที่หลาย ๆ แหล่งได้



บทที่ 5

แบบจำลองเพื่อการออกแบบระบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์สำหรับเมือง อัจฉริยะรักษ์สิ่งแวดล้อม: กรณีศึกษาของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

5.1 แนวคิดของตัวควบคุมระบบคลาวด์เมืองอัจฉริยะรักษ์สิ่งแวดล้อม: กรณีศึกษาของการไฟฟ้า ฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

จากแนวคิดของตัวควบคุมระบบคลาวด์เมืองอัจฉริยะเบื้องต้น (SCCC) ที่ได้นำเสนอในบทที่ 3 และมีผลการทดสอบแบบจำลองในเบื้องต้นดังบทที่ 4 นั้น ผู้วิจัยได้พัฒนาแบบจำลองต่อเพื่อให้มีความเหมาะสมต่อกรณีศึกษาของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ในการจัดสรรทรัพยากรของศูนย์ข้อมูลให้กับคำร้องขอเพื่อให้บริการแบบสีเขียวสูงสุด โดยทำการพิจารณาคูณลักษณะอื่นของศูนย์ข้อมูลเพื่อเพิ่มมุมมองสภาพแวดล้อมของการออกแบบระบบการคำนวณแบบคลาวด์ให้ครบถ้วนขึ้น ได้แก่ ความจุของแกนคำนวณ ขนาดเครือข่ายที่สามารถให้บริการได้ ขนาดหน่วยเก็บ รวมทั้งกำหนดคุณลักษณะของภารกิจเพิ่มเติมจากที่ได้นำเสนอไปแล้ว เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะโปรแกรมประยุกต์แต่ละชนิดที่จะมีใช้งานในเมืองอัจฉริยะ ได้แก่ ชนิดของภารกิจ ขนาดแกนคำนวณที่ต้องการใช้งาน ขนาดของเครือข่ายที่ต้องการ ขนาดของหน่วยเก็บ ขนาดของข้อมูล และค่าการประวิงเวลาสูงสุดในระบบสื่อสาร อีกทั้งในเมืองอัจฉริยะ กฟผ. สนอง. ประกอบด้วยอาคารต่าง ๆ ที่มีการเชื่อมต่อโครงข่ายสื่อสารที่แตกต่างกัน จึงพิจารณาในส่วนของขนาดเครือข่ายกายภาพทั้งภายในอาคารและระหว่างอาคารที่เชื่อมต่อระหว่างหน่วยงานหรือลูกค้าที่ต้องการขอใช้บริการระบบการคำนวณแบบคลาวด์มายังศูนย์ข้อมูลทั้งสองที่อีกด้วย ซึ่งพารามิเตอร์ที่กล่าวมาเป็นส่วนสำคัญและเกี่ยวข้องในการให้บริการระบบคลาวด์แก่หน่วยงานหรือลูกค้าที่อยู่ตามอาคารต่าง ๆ ใน กฟผ. สนอง.

5.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ฟังก์ชันจุดประสงค์:

$$\text{maximize } w \cdot \sum_{k \in PV} \sum_{j \in M} \sum_{i \in N} (x_{ijk} R_i^{\text{Compute}}) + (1-w) \cdot \sum_{k \in G} \sum_{j \in M} \sum_{i \in N} (x_{ijk} R_i^{\text{Compute}}) \quad (5.1)$$

ภายใต้ข้อบังคับ:

$$\sum_{k \in L} \sum_{i \in N} x_{ijk} R_i^{\text{Compute}} \leq C_j^{\text{Compute}} \cdot U, \quad \forall j \in M \quad (5.2)$$

$$\sum_{k \in L} \sum_{i \in N} x_{ijk} R_i^{\text{Bandwidth}} \leq C_j^{\text{Bandwidth}}, \quad \forall j \in M \quad (5.3)$$

$$\sum_{k \in L} \sum_{i \in N} x_{ijk} R_i^{Storage} \leq C_j^{Storage}, \forall j \in M \quad (5.4)$$

$$\sum_{k \in L} x_{ijk} R_i^{Bandwidth} \leq C_{ij}^{Bandwidth}, \forall i \in N, \forall j \in M \quad (5.5)$$

$$\sum_{k \in L} x_{ijk} \frac{R_i^{Data}}{C_{ij}^{Bandwidth}} + \sum_{k \in L} \sum_{i' \in N} x_{i'jk} \frac{R_{i'}^{Data}}{C_j^{Bandwidth}} \leq R_i^{maxCommDelay}, \forall i \in N, \forall j \in M \quad (5.6)$$

$$\sum_{j \in M} \sum_{i \in N} x_{ijk} \gamma R_i^{Compute} \leq S_k, \forall k \in L \quad (5.7)$$

$$\sum_{k \in L} \sum_{j \in M} x_{ijk} \in [0,1], \forall i \in N \quad (5.8)$$

$$0 \leq x_{ijk} \leq 1, \forall i \in N, \forall j \in M, \forall k \in L \quad (5.9)$$

$$0 \leq w \leq 1 \quad (5.10)$$

โดยกำหนดพารามิเตอร์และตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังนี้

T_i คือ ภารกิจ i ที่ต้องการเข้ามาใช้บริการศูนย์ข้อมูล

R_i คือ ขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการศูนย์ข้อมูลพร้อมกัน โดยสามารถกำหนดสาระสำคัญ (abstraction) ได้ เช่น ชนิดของภารกิจ (type of task) ขนาดของการคำนวณที่ต้องการใช้งาน (core) ขนาดของเครือข่ายที่ต้องการ (bandwidth) ขนาดของหน่วยเก็บ (storage) ขนาดของข้อมูล (byte) ค่าการประวิงเวลาสูงสุดในระบบสื่อสาร (millisecond) เป็นต้น ในที่นี้ $R_i = \{ R_i^{Compute}, R_i^{Bandwidth}, R_i^{Storage}, R_i^{Data}, R_i^{maxCommDelay} \}$

C_j คือ ความจุของศูนย์ข้อมูล j ในหน่วยเดียวกับขนาดของภารกิจ R_i เช่น core หากพิจารณาความจุของแกนคำนวณ หรือ gigabits per second (Gbps) หากพิจารณาขนาดเครือข่ายที่สามารถให้บริการได้ที่ศูนย์ข้อมูล หรือ gigabyte (GB) หากพิจารณาขนาดหน่วยเก็บของศูนย์ข้อมูลซึ่งเปิดให้ใช้งานได้ เป็นต้น ในที่นี้ $C_j = \{ C_j^{Compute}, C_j^{Bandwidth}, C_j^{Storage} \}$

$C_{ij}^{Bandwidth}$ คือ ขนาดเครือข่ายภายในอาคารอาคารหรือระหว่างอาคารที่สามารถให้บริการได้ สำหรับให้ผู้ใช้งานส่งภารกิจ i ที่ต้องการเข้ามาใช้บริการศูนย์ข้อมูลที่ j ในหน่วย gigabits per second (Gbps)

S_k	คือ ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน k หน่วยเป็นวัตต์ (watts)
U	คือ อัตราการใช้ตัวบริการที่ยังอยู่ในภาวะประหยัดพลังงาน โดยคิดที่ 80%
x_{ijk}	คือ สัดส่วนการจัดสรรภารกิจ i ไปรับบริการที่ศูนย์ข้อมูล j และใช้พลังงานจากแหล่งผลิตพลังงาน k
γ	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของการใช้งานระบบคลาวด์ที่ศูนย์ข้อมูล กับความต้องการใช้พลังงานเพื่อใช้งานระบบคลาวด์ที่ศูนย์ข้อมูลนั้น มีหน่วยเป็น watts/MIPs หรือ watts/Gbps หรือ watts/GB เป็นต้น
N	คือ กลุ่มของภารกิจทั้งหมดในเมืองอัจฉริยะ
M	คือ กลุ่มของความจุศูนย์ข้อมูลทั้งหมดในเมืองอัจฉริยะ
L	คือ กลุ่มของค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงานทั้งหมดในเมืองอัจฉริยะ ในที่นี้แบ่ง L เป็นกลุ่มย่อย ได้แก่ $L = G \cup PV$ โดยที่
G	คือ กลุ่มของแหล่งผลิตพลังงานจากกริด
PV	คือ กลุ่มของแหล่งพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ประเภทเซลล์แสงอาทิตย์
w	คือ ค่าน้ำหนัก

จากสมการที่ (5.1) นิยามฟังก์ชันจุดประสงค์ที่ต้องการหาค่าสูงสุด และมีผลลัพธ์ของแบบจำลองคือค่า x_{ijk}^* (optimal solution) โดยการกำหนดค่าน้ำหนัก w ซึ่งเป็นค่าน้ำหนักเงื่อนไขบังคับเชิงเส้น (linear weight constraint) [40] มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ตามสมการที่ (5.10) ที่ทำให้ฟังก์ชันจุดประสงค์มีค่าสูงสุด และทำให้แบบจำลองจัดลำดับการพิจารณาฟังก์ชันจุดประสงค์ตามเงื่อนไข คือ แบบจำลองทำการหาค่าพจน์แรกของฟังก์ชันจุดประสงค์เพื่อแสดงว่าแบบจำลองนั้นมีการให้บริการภารกิจ i ที่เข้ามาใช้บริการศูนย์ข้อมูล j โดยใช้พลังงานจากแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ $k \in PV$ ให้ได้มากที่สุด และต่อมา คือ พจน์ที่สองเพื่อแสดงว่าแบบจำลองนั้นมีการให้บริการภารกิจ i ที่เข้ามาใช้บริการศูนย์ข้อมูล j โดยไม่สามารถใช้พลังงานจากแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ $k \in PV$ จึงต้องไปใช้พลังงานจากแหล่งผลิตพลังงานจากกริด $k \in G$ แทน เพื่อเป็นการยืนยันว่าแบบจำลองนี้สามารถให้บริการภารกิจ i ที่เข้ามาใช้บริการศูนย์ข้อมูล j ได้มากที่สุด ณ ช่วงเวลานั้น ๆ

กำหนดค่าน้ำหนัก w ให้มีค่าใกล้ 1 ให้มากเพียงพอ เช่น 0.999 เพื่อให้แน่ใจว่าค่ามากที่สุดของพจน์ที่สองของฟังก์ชันจุดประสงค์มีค่าเมื่อคูณกับ $(1-w)$ แล้วจะต้องไม่มีนัยสำคัญต่อการหาค่าเหมาะสมที่สุดจากพจน์แรกของฟังก์ชันจุดประสงค์ แต่หากการหาค่าเหมาะสมที่สุดจากพจน์แรกนั้นให้ค่าสัดส่วนการจัดสรร x_{ijk} ที่เป็นไปได้มากกว่า 1 แบบที่ทำให้ได้ค่าพจน์แรกออกมาเท่ากัน จึงจะมาพิจารณาถึงพจน์ที่สองเพื่อหาค่ามากที่สุดในลำดับต่อไป

ฟังก์ชันจุดประสงค์อยู่ภายใต้ข้อบังคับสี่ด้าน ได้แก่ ข้อบังคับด้านความจุของศูนย์ข้อมูลที่ให้บริการ ข้อบังคับด้านขนาดเครือข่ายภายในอาคารหรือระหว่างอาคาร ข้อบังคับของผู้ใช้งานคือค่าการประวิงเวลาสูงสุดในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิด และข้อบังคับด้านพลังงาน สามารถอธิบายโดยละเอียดดังนี้

ข้อบังคับด้านความจุของศูนย์ข้อมูลที่ให้บริการ ในสมการที่ (5.2) ถึง (5.4) คือ ผลรวมขนาดของภารกิจ i ที่เข้ามาใช้บริการศูนย์ข้อมูล j ใด ๆ ต้องมีขนาดไม่มากกว่าความจุของศูนย์ข้อมูล j นั้น ๆ อันได้แก่ ความจุของแกนคำนวณ (core) , ขนาดเครือข่ายที่สามารถให้บริการได้ที่ศูนย์ข้อมูล (Gbps) และ ขนาดหน่วยเก็บของศูนย์ข้อมูล (GB)

ข้อบังคับด้านขนาดเครือข่ายภายในอาคารหรือระหว่างอาคาร ในสมการที่ (5.5) คือ ผลรวมขนาดเครือข่ายของภารกิจ i ที่เข้ามาใช้บริการศูนย์ข้อมูล j ใด ๆ ต้องมีขนาดไม่มากกว่าขนาดเครือข่ายภายในอาคารอาคารหรือระหว่างอาคารที่สามารถให้บริการได้

ข้อบังคับค่าการประวิงเวลาสูงสุดในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิด ในสมการที่ (5.6) คือ ผลรวมค่าการประวิงเวลาที่เกิดจากการส่งภารกิจ i บนเครือข่ายภายในอาคารหรือระหว่างอาคารมายังบริการศูนย์ข้อมูล j ใด ๆ รวมกับค่าการประวิงเวลาที่เกิดจากการใช้เครือข่ายของศูนย์ข้อมูล j ใด ๆ พร้อม ๆ กัน ต้องมีค่าไม่มากกว่าค่าการประวิงเวลาสูงสุดในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิดที่ผู้ใช้งานยอมรับได้

สุดท้ายเป็นข้อบังคับด้านพลังงาน ในสมการที่ (5.7) คือ ผลรวมความต้องการใช้พลังงานของศูนย์ข้อมูล j ใด ๆ ต้องมีขนาดไม่มากกว่าค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน k นั้น ๆ ตามลำดับ

สำหรับสัดส่วนการจัดสรร x_{ijk} นั้นถูกกำหนดอยู่ภายใต้ 2 ข้อบังคับ คือ สมการที่ (5.8) ผลรวมของสัดส่วนการจัดสรร x_{ijk} ของภารกิจ i ไปรับบริการที่ศูนย์ข้อมูล j ใด ๆ และใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน k ใด ๆ ต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 และ สมการที่ (5.9) ค่าการกระจายตัวของภารกิจ i ไปรับบริการที่ศูนย์ข้อมูลที่ j ใด ๆ และใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน k ใด ๆ ต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ภายใต้เงื่อนไข คือ

$x_{ijk} = 1$ เมื่อภารกิจ i ทั้งหมดถูกกำหนดให้ใช้บริการศูนย์ข้อมูล j และใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน k

$x_{ijk} \in (0,1)$ เมื่อภารกิจ i ถูกจัดสรรเพื่อไปใช้บริการศูนย์ข้อมูล j และใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน k

$x_{ijk} = 0$ เมื่อภารกิจ i ไม่ถูกจัดสรรเพื่อไปใช้บริการศูนย์ข้อมูล j ด้วยแหล่งผลิตพลังงาน k เลย

จากนั้นทำการกำหนดสมมติฐานในแบบจำลองดังนี้

1) สมมติให้ภารกิจ T_i แต่ละภารกิจมีอิสระต่อกัน (no dependency) คือ ภารกิจสามารถที่จะทำการคำนวณได้โดยไม่ต้องรอให้ภารกิจก่อนหน้าเสร็จสิ้นก่อน และสามารถที่จะแบ่งไปเพื่อทำการคำนวณงานขนาน (parallel computing) ในเทคโนโลยีคอนเทนเนอร์ได้ นั่นคือ ภารกิจชิ้นหนึ่งสามารถถูกแบ่งย่อยเป็นงานย่อย ๆ ที่ถูกกระจายไปยังศูนย์ข้อมูลต่าง ๆ ได้ ดังนั้นสัดส่วนการจัดสรร x_{ijk} สามารถมีค่าเป็นจุดทศนิยมได้ ไม่จำเป็นต้องมีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 เท่านั้น

2) สมมติความสัมพันธ์ของการใช้งานระบบคลาวด์กับความต้องการใช้พลังงานของระบบคลาวด์มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นแทนด้วยตัวแปร γ นั่นคือ ค่าความต้องการการใช้พลังงานของศูนย์ข้อมูลในการให้บริการภารกิจมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกันกับค่าพลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงานใด ๆ



บทที่ 6

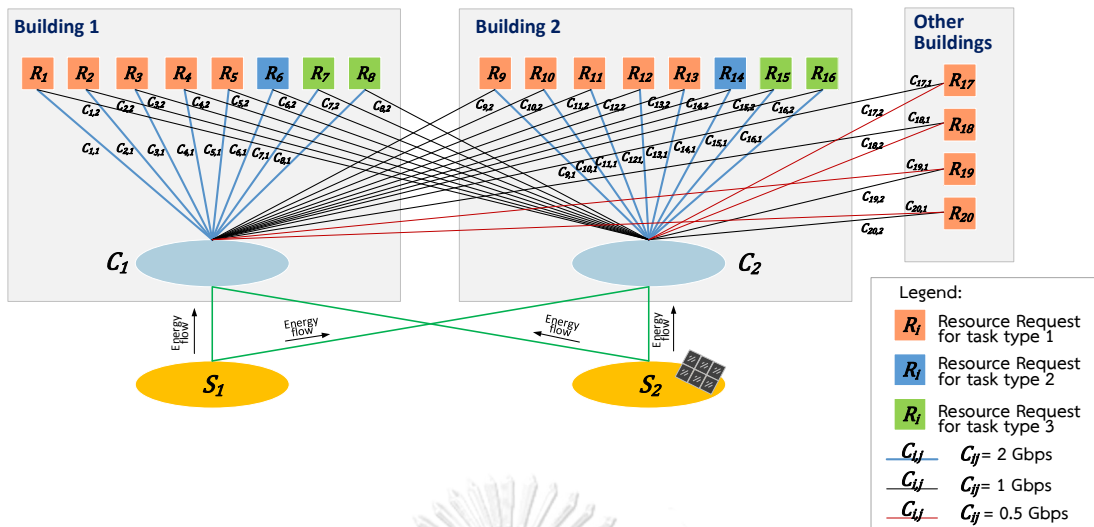
การทดสอบแบบจำลองเพื่อการออกแบบระบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ สำหรับเมืองอัจฉริยะรักษ์สิ่งแวดล้อม และหลักเกณฑ์การประเมินผล

6.1 การออกแบบการทดสอบแบบจำลอง

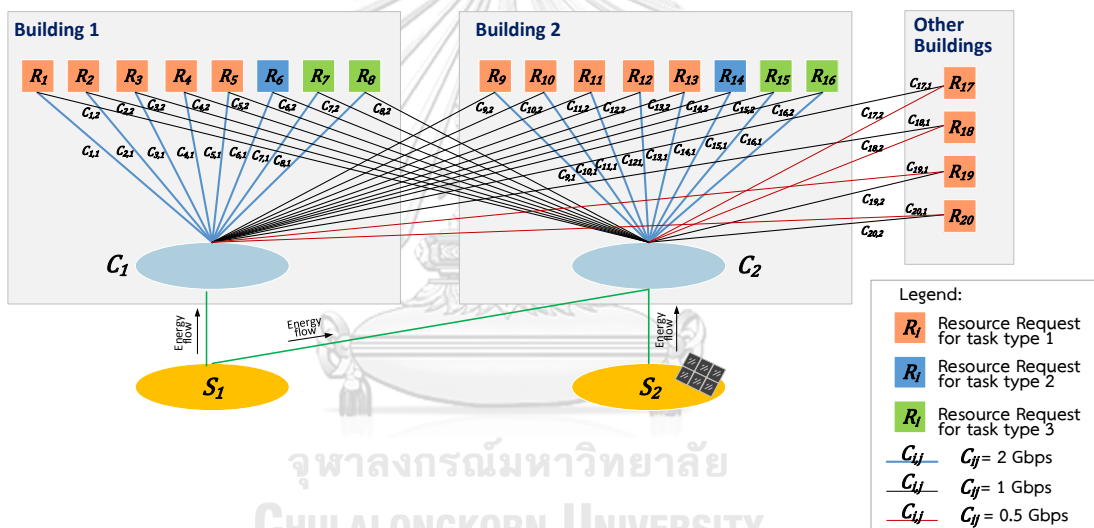
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการออกแบบการทดลองการทำงานของแบบจำลอง ผู้วิจัยได้กำหนดสถาปัตยกรรมและพารามิเตอร์ในการทดลองออกเป็นสองกรณี คือ กรณีแรกศูนย์ข้อมูลทั้งหมดสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว และกรณีที่สองศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว โดยทั้งสองกรณีนั้นมีภารกิจจำนวน 20 ภารกิจเท่ากับ $T_i = \{T_1, T_2, T_3, \dots, T_{20}\}$ มีขนาดความต้องการใช้งานทรัพยากรคลาวด์ที่กำลังพิจารณาเท่ากับ $R_i = \{R_1, R_2, R_3, \dots, R_{20}\}$ ตามลำดับ และมีสัดส่วนการร้องขอบริการที่ต้องใช้งานระบบคลาวด์ของภารกิจชนิดที่ 1 2 และ 3 เป็นสัดส่วน 70% 10% และ 20% ตามลำดับ สามารถเข้ามาใช้บริการศูนย์ข้อมูล 1 และ 2 ที่ความจุเท่ากับ C_1 และ C_2 ตามลำดับ ซึ่งสามารถใช้พลังงานจากแหล่งผลิตพลังงาน 1 และ 2 ที่มีค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้เท่ากับ S_1 และ S_2 ตามลำดับ ในการนี้กำหนดให้ S_1 แทนค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากกลุ่มของแหล่งผลิตพลังงานจากกริด และ S_2 แทนค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากกลุ่มของแหล่งพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ประเภทเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้น $G = \{S_1\}$, $PV = \{S_2\}$ และ $L = \{S_1, S_2\}$

กรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว: ศูนย์ข้อมูล 1 และ 2 สามารถใช้พลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงานทั้ง 1 และ 2 ตามรูปที่ 6.1

กรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว: ศูนย์ข้อมูล 1 สามารถใช้พลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงาน 1 เท่านั้น และศูนย์ข้อมูล 2 สามารถใช้พลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงานทั้ง 1 และ 2 ตามรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.1 การทดลองการทำงานของแบบจำลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว



รูปที่ 6.2 การทดลองการทำงานของแบบจำลองกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว

6.2 การกำหนดพารามิเตอร์สำหรับการทดลอง

สำหรับการทดลองนี้ผู้วิจัยทำการกำหนดชนิดของคำร้องขอบริการในเมืองอัจฉริยะที่ต้องใช้งานระบบคลาวด์ออกเป็น 3 ชนิด ซึ่งเป็นกลุ่มของการใช้งานชนิดที่ 1 คือโปรแกรมประยุกต์ชนิดไวต่อเวลา (time sensitive application) ตัวอย่างการใช้งาน เช่น การตอบสนองอุปสงค์ (DR) วีไอพี การประชุมทางวิดีโอ เป็นต้น ชนิดที่ 2 คือโปรแกรมประยุกต์ชนิดจัดเก็บข้อมูล (data storage application) ตัวอย่างการใช้งาน เช่น การถ่ายโอนไฟล์จากเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลไปเก็บที่หน่วยเก็บกลางของหน่วยงาน การทำสำเนาข้อมูลไฟล์สำรองของหน่วยงาน เป็นต้น ชนิดที่ 3 คือโปรแกรมประยุกต์สำหรับองค์กร (enterprise application) ตัวอย่างการใช้งาน เช่น โครงสร้างพื้นฐานการวัดขั้นสูงและมาตรวัดพลังงานอัจฉริยะ การใช้บริการอินเทอร์เน็ต อีเมลองค์กร เป็นต้น

พร้อมกำหนดคุณลักษณะของภารกิจแต่ละชนิด คือ $R_i^{Compute}$, $R_i^{Bandwidth}$, $R_i^{Storage}$, R_i^{Data} , $R_i^{maxCommDelay}$ ตามตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 พารามิเตอร์ชนิดและคุณลักษณะคำร้องขอบริการที่ต้องใช้งานระบบคลาวด์ในเมืองอัจฉริยะ

ชนิดของภารกิจ		คุณลักษณะ				
		$R_i^{Compute}$	$R_i^{Bandwidth}$	$R_i^{Storage}$	R_i^{Data}	$R_i^{maxCommDelay}$
1	โปรแกรมประยุกต์ชนิดไต่อเวลา	8 cores	256 kbps	100 B	240 B	150 ms [41]
2	โปรแกรมประยุกต์ชนิดจัดเก็บข้อมูล	2 cores	15 Mbps	10 GB	10 GB	3 Hr
3	โปรแกรมประยุกต์สำหรับองค์กร	6 cores	128 kbps	10 B	100 B	15 s [42]

ในส่วนของศูนย์ข้อมูล 1 และ 2 ที่มีความจุเท่ากับ C_1 และ C_2 ได้กำหนดคุณลักษณะ คือ $C_j^{Compute}$, $C_j^{Bandwidth}$, $C_j^{Storage}$ ของแต่ละศูนย์ข้อมูล ดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 พารามิเตอร์คุณลักษณะศูนย์ข้อมูลในเมืองอัจฉริยะ

ศูนย์ข้อมูล	คุณลักษณะ		
	$C_j^{Compute}$	$C_j^{Bandwidth}$	$C_j^{Storage}$
C_1	200 cores	10 Gbps	100 GB
C_2	200 cores	10 Gbps	100 GB

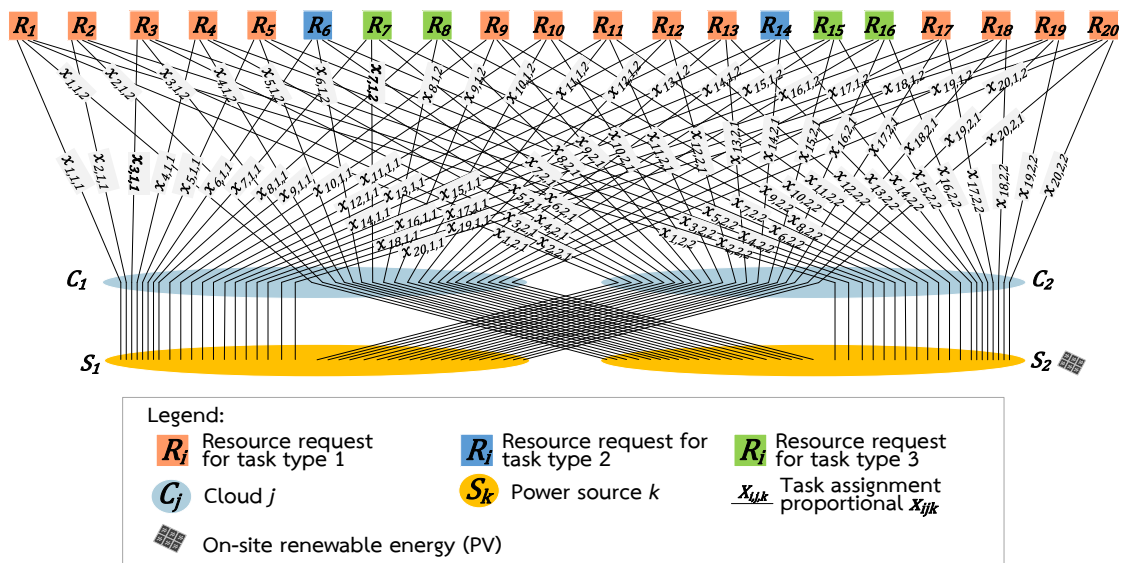
สำหรับขนาดเครือข่ายภายในอาคารหรือระหว่างอาคารที่สามารถให้บริการได้ กำหนดคุณลักษณะ คือ $C_{ij}^{Bandwidth}$ และมีค่าดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 พารามิเตอร์ขนาดเครือข่ายภายในอาคารหรือระหว่างอาคาร

ภารกิจ T_i	ศูนย์ข้อมูลที่ใช้บริการ	$C_{i,j}^{Bandwidth}$	ขนาดเครือข่าย
T_1	C_1	$C_{1,1}^{Bandwidth}$	2 Gbps
	C_2	$C_{1,2}^{Bandwidth}$	1 Gbps
T_2	C_1	$C_{2,1}^{Bandwidth}$	2 Gbps
	C_2	$C_{2,2}^{Bandwidth}$	1 Gbps
T_3	C_1	$C_{3,1}^{Bandwidth}$	2 Gbps
	C_2	$C_{3,2}^{Bandwidth}$	1 Gbps
T_4	C_1	$C_{4,1}^{Bandwidth}$	2 Gbps
	C_2	$C_{4,2}^{Bandwidth}$	1 Gbps
T_5	C_1	$C_{5,1}^{Bandwidth}$	2 Gbps
	C_2	$C_{5,2}^{Bandwidth}$	1 Gbps
T_6	C_1	$C_{6,1}^{Bandwidth}$	2 Gbps
	C_2	$C_{6,2}^{Bandwidth}$	1 Gbps

ตารางที่ 6.3 (ต่อ) พารามิเตอร์ขนาดเครือข่ายภายในอาคารหรือระหว่างอาคาร

ภารกิจ T_i	ศูนย์ข้อมูลที่ใช้บริการ	$C_{i,j}^{Bandwidth}$	ขนาดเครือข่าย
T_7	C_1	$C_{7,1}^{Bandwidth}$	2 Gbps
	C_2	$C_{7,2}^{Bandwidth}$	1 Gbps
T_8	C_1	$C_{8,1}^{Bandwidth}$	2 Gbps
	C_2	$C_{8,2}^{Bandwidth}$	1 Gbps
T_9	C_1	$C_{9,1}^{Bandwidth}$	1 Gbps
	C_2	$C_{9,2}^{Bandwidth}$	2 Gbps
T_{10}	C_1	$C_{10,1}^{Bandwidth}$	1 Gbps
	C_2	$C_{10,2}^{Bandwidth}$	2 Gbps
T_{11}	C_1	$C_{11,1}^{Bandwidth}$	1 Gbps
	C_2	$C_{11,2}^{Bandwidth}$	2 Gbps
T_{12}	C_1	$C_{12,1}^{Bandwidth}$	1 Gbps
	C_2	$C_{12,2}^{Bandwidth}$	2 Gbps
T_{13}	C_1	$C_{13,1}^{Bandwidth}$	1 Gbps
	C_2	$C_{13,2}^{Bandwidth}$	2 Gbps
T_{14}	C_1	$C_{14,1}^{Bandwidth}$	1 Gbps
	C_2	$C_{14,2}^{Bandwidth}$	2 Gbps
T_{15}	C_1	$C_{15,1}^{Bandwidth}$	1 Gbps
	C_2	$C_{15,2}^{Bandwidth}$	2 Gbps
T_{16}	C_1	$C_{16,1}^{Bandwidth}$	1 Gbps
	C_2	$C_{16,2}^{Bandwidth}$	2 Gbps
T_{17}	C_1	$C_{17,1}^{Bandwidth}$	1 Gbps
	C_2	$C_{17,2}^{Bandwidth}$	0.5 Gbps
T_{18}	C_1	$C_{18,1}^{Bandwidth}$	1 Gbps
	C_2	$C_{18,2}^{Bandwidth}$	0.5 Gbps
T_{19}	C_1	$C_{19,1}^{Bandwidth}$	0.5 Gbps
	C_2	$C_{19,2}^{Bandwidth}$	1 Gbps
T_{20}	C_1	$C_{20,1}^{Bandwidth}$	0.5 Gbps
	C_2	$C_{20,2}^{Bandwidth}$	1 Gbps



รูปที่ 6.3 สัดส่วนการจัดสรรภารกิจ x_{ijk}

6.3 หลักเกณฑ์การประเมินแบบจำลอง

สำหรับการประเมินแบบจำลองนั้นผู้วิจัยได้ค้นคว้าเพิ่มเติมว่าในกรณีของศูนย์ข้อมูลรักษ์สิ่งแวดล้อมที่มีให้บริการอยู่ในปัจจุบันนั้นมีการประเมินประสิทธิภาพ และตัวชี้วัดอะไรบ้างเพื่อสร้างศูนย์ข้อมูลรักษ์สิ่งแวดล้อม ซึ่งในการวิทยานิพนธ์นี้ผู้วิจัยทำการวัดและประเมินผลการทดลองตามเกณฑ์ชี้วัดดังนี้

6.1.1. การประเมินสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล

ผู้วิจัยทำการวัดสมรรถนะการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูลแต่ละที่โดยพิจารณา 3 ด้านด้วยกัน คือ การใช้ประโยชน์แแกนการคำนวณ (compute power utilization) การใช้ประโยชน์เครือข่ายที่สามารถให้บริการได้ที่ศูนย์ข้อมูล (bandwidth utilization) และการใช้ประโยชน์หน่วยเก็บ (storage unit utilization) ของแต่ละศูนย์ข้อมูลโดยวัดเป็นอัตราร้อยละ (%)

6.1.2. การประเมินสมรรถนะด้านการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิด

เนื่องจากการทดลองมีการกำหนดชนิดของภารกิจที่มีคุณลักษณะแตกต่างกัน ในอัตราส่วนที่ไม่เท่ากัน เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถที่จะให้บริการโดยคำนึงถึงการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิด โดยจะต้องมีค่าไม่เกินกว่า $R_i^{maxCommDelay}$ ของภารกิจแต่ละชนิด ซึ่งเป็นส่วนสำคัญต่อข้อตกลงการให้บริการกับลูกค้าตามข้อบังคับสมการที่ (5.6) โดยใช้ค่าการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิดจริงที่เกิดขึ้นจากการให้บริการภารกิจแต่ละชนิดเทียบกับค่า $R_i^{maxCommDelay}$ ของภารกิจแต่ละชนิดที่ระบุในตารางที่ 6.1

6.1.3. การประเมินสมรรถนะด้านรักษ์สิ่งแวดล้อมของศูนย์ข้อมูล

จากข้อมูลของการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลในงานวิจัย [43] ได้ระบุว่าพลังงานที่ใช้ในศูนย์ข้อมูลนั้นมาจาก อันดับหนึ่งคือตัวบริการ 56% อันดับที่สองคืออุปกรณ์โครงข่าย 24% และอันดับสุดท้ายคือระบบอื่น ๆ 20% ทำให้ปัจจุบันมีมาตรฐานสากลหลายตัวที่ใช้เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพ (key performance indicators: KPI) ในการประเมินศูนย์ข้อมูลแบบยั่งยืน (sustainable data center) ในเชิงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า 4 เมตริกของศูนย์ข้อมูล ได้แก่ ความมีประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงาน (power usage efficiency: PUE), การใช้ประโยชน์อุปกรณ์เทคโนโลยีสารสนเทศ (IT equipment utilization: ITEU), ความมีประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอุปกรณ์เทคโนโลยีสารสนเทศ (IT equipment energy efficiency: ITEE) และ สัมประสิทธิ์พลังงานสีเขียว (green energy coefficient: GEC) [44] ซึ่งในงานวิจัย [43] กล่าวว่า GEC เป็นหนึ่งในเมตริกของศูนย์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{สัมประสิทธิ์พลังงานสีเขียว (GEC)} = \frac{\sum_{k \in PV} \sum_{i \in N} x_{ijk} \gamma R_i^{\text{Compute}}}{\sum_{k \in Li \in N} \sum_{i \in N} x_{ijk} \gamma R_i^{\text{Compute}}}, \forall j \in M \quad (6.1)$$

ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียวของภารกิจแต่ละชนิด (watts) มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียวของภารกิจชนิดที่ 1} = \frac{\sum_{j \in M} \sum_{i \in N_1} x_{ijk} \gamma R_i^{\text{Compute}}}{\text{Total number of } N_1}, \forall k \in PV \quad (6.2)$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียวของภารกิจชนิดที่ 2} = \frac{\sum_{j \in M} \sum_{i \in N_2} x_{ijk} \gamma R_i^{\text{Compute}}}{\text{Total number of } N_2}, \forall k \in PV \quad (6.3)$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียวของภารกิจชนิดที่ 3} = \frac{\sum_{j \in M} \sum_{i \in N_3} x_{ijk} \gamma R_i^{\text{Compute}}}{\text{Total number of } N_3}, \forall k \in PV \quad (6.4)$$

N คือ กลุ่มของภารกิจทั้งหมดในเมืองอัจฉริยะ ในที่นี้แบ่ง N เป็นกลุ่มย่อย ได้แก่ $N = N_1 \cup N_2 \cup N_3$ โดยที่

N_1 คือ กลุ่มของภารกิจชนิดที่ 1

N_2 คือ กลุ่มของภารกิจชนิดที่ 2

N_3 คือ กลุ่มของภารกิจชนิดที่ 3

ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียวต่อหน่วยข้อมูลของภารกิจแต่ละชนิด (watts/byte) มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียวต่อหน่วยข้อมูลของภารกิจชนิดที่ 1} = \frac{\sum_{j \in M} \sum_{i \in N_1} x_{ijk} \gamma R_i^{\text{Compute}}, \forall k \in PV}{\sum_{k \in L} \sum_{j \in M} \sum_{i \in N_1} x_{ijk} R_i^{\text{Data}}} \quad (6.5)$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียวต่อหน่วยข้อมูลของภารกิจชนิดที่ 2} = \frac{\sum_{j \in M} \sum_{i \in N_2} x_{ijk} \gamma R_i^{\text{Compute}}, \forall k \in PV}{\sum_{k \in L} \sum_{j \in M} \sum_{i \in N_2} x_{ijk} R_i^{\text{Data}}} \quad (6.6)$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียวต่อหน่วยข้อมูลของภารกิจชนิดที่ 3} = \frac{\sum_{j \in M} \sum_{i \in N_3} x_{ijk} \gamma R_i^{\text{Compute}}, \forall k \in PV}{\sum_{k \in L} \sum_{j \in M} \sum_{i \in N_3} x_{ijk} R_i^{\text{Data}}} \quad (6.7)$$

ตัวชี้วัดถัดมาที่เป็นประเด็นที่ศูนย์ข้อมูลต่างให้ความสนใจ คือ การลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (carbon footprint reduction) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บอกว่าศูนย์ข้อมูลแต่ละศูนย์ข้อมูลนั้นมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่าไร และผู้ให้บริการศูนย์ข้อมูลรายใหญ่อย่างแอมะซอนใช้พลังงานในการจ่ายให้อุปกรณ์ที่ประมวผลของลูกค้าด้วยพลังงานหมุนเวียนเพื่อช่วยเพิ่มภาพลักษณ์ความเป็นศูนย์ข้อมูลรักษ์สิ่งแวดล้อม [45] โดยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์สามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} & \text{ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากพลังงานไฟฟ้า (kgCO}_2\text{eq)} \\ & = \text{ค่าพลังงานไฟฟ้า (W)} \times \text{ระยะเวลาการใช้งาน (hr)} \times \text{ค่าการปล่อยก๊าซเรือน} \\ & \text{กระจกจากอุตสาหกรรมไฟฟ้า (kgCO}_2\text{eq/kWh)} \end{aligned} \quad (6.8)$$

จากข้อมูลขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) [46] ซึ่งได้มีการรวบรวมและจัดทำข้อมูลค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor: EF) สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร โดยแบ่งตามประเภทกลุ่มอุตสาหกรรม และค่า EF อุตสาหกรรมไฟฟ้าของประเทศไทย ณ ปี พ.ศ. 2562 มีค่า 0.5821 kgCO₂eq/kWh

6.1.4. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการ (operating expense)

ผู้วิจัยได้ทำการคิดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานเฉพาะค่าไฟฟ้าที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อดำเนินงานของตัวบริการและหน่วยเก็บเท่านั้น โดยแบ่งเป็นค่าไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าจากแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าในพื้นที่ประเภทเซลล์แสงอาทิตย์ มีรายละเอียดดังนี้

- 1) ค่าไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า อ้างอิงอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของการไฟฟ้านครหลวง [47] โดยมีอัตราค่าไฟฟ้าดังนี้
 - ช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง (on peak) ระหว่างเวลา 09.00-22.00 น. ของวันทำงาน (จันทร์-ศุกร์) อัตราค่าไฟฟ้า 4.1025 บาท ต่อหน่วย
 - ช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำ (off peak) ระหว่างเวลา 22.00-09.00 น. ของวันทำงาน (จันทร์-ศุกร์) และช่วงเวลาระหว่าง 00.00-24.00 น. ของวันเสาร์ - อาทิตย์ วันแรงงานแห่งชาติ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันพืชมงคลและวันหยุดชดเชย) อัตราค่าไฟฟ้า 2.5849 บาท ต่อหน่วย
- 2) ค่าไฟฟ้าจากแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าในพื้นที่ประเภทเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ภายในเมืองอัจฉริยะที่มีติดตั้งอยู่แล้ว ในกรณีศึกษานี้มีค่าเท่ากับ 0 บาท/หน่วย

ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองตัวควบคุมระบบคลาวด์เมืองอัจฉริยะ ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า SCCC ด้วยโปรแกรม Matlab R2016a และจากประสบการณ์ในช่วงการทำวิศวกรรมและออกแบบนั้นจะยังไม่ทราบพารามิเตอร์ตั้งต้นของระบบที่แน่นอนไม่ว่าจะเป็น ขนาดของภารกิจที่เพิ่มขึ้นจากการใช้งานของหน่วยงานต่าง ๆ การออกแบบขนาดระบบคลาวด์ให้รองรับกรณีที่อุปกรณ์บางส่วนขัดข้องหรือต้องปิดเพื่อบำรุงรักษา หรือความไม่แน่นอนของการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้มีความจำเป็นอย่างมากในการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อให้ได้ขนาดของระบบคลาวด์ที่มีความเหมาะสม เพื่อนำไปกำหนดคุณสมบัติในการจัดหา สามารถรองรับความต้องการใช้งานที่เพิ่มขึ้นได้โดยไม่ต้องทำการขยายระบบเพิ่มในระยะเวลาอันสั้น และสอดคล้องกับนโยบายการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของเมืองอัจฉริยะ กฟผ. ที่ตั้งเป้าไว้ 27% ดังนั้นจึงนำมาสู่การตั้งกรณีศึกษาเพื่อสังเกตการทำงานของแบบจำลองเมื่อพารามิเตอร์ในระบบมีการเปลี่ยนแปลงได้แก่ กรณีแรกคือกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการ กรณีที่สองกรณีศึกษาผลกระทบการลดขนาดความจุของศูนย์ข้อมูล และกรณีที่สามกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานแบบพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ประเภทเซลล์แสงอาทิตย์ที่แบบจำลองต้องการให้ลำดับความสำคัญในการเข้าใช้งานก่อน

สำหรับในการทดลองนี้ ผู้วิจัยกำหนดจำนวนตัวบริการที่ติดตั้งอยู่ที่ศูนย์ข้อมูล 1 จำนวน 25 ตัว และศูนย์ข้อมูลที่ 2 จำนวน 25 ตัว รวมทั้งสิ้น 50 ตัว เป็นตัวบริการประเภทเดียวกันและมีคุณลักษณะเหมือนกันทั้งหมด คือ หน่วยประมวลผลเป็น Intel® Xeon® processor E5-2600 v4 จำนวนแกนคำนวณ 8 cores หน่วยความจำจำนวน 8GB มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเดินเครื่อง

เปล่า (idle power) เท่ากับ 162 watts/server และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงมีภาระโหลด (load power) เท่ากับ 364 watts/server และสามารถกำหนดค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นสำหรับทุกการทดลอง คือ

$$\gamma = \frac{\text{ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงมีภาระโหลด (watts/server)}}{\text{จำนวนหน่วยการคำนวณ (cores/server)}} = \frac{364 \text{ watts/server}}{8 \text{ cores/server}} = 46 \text{ watts/core}$$

ผู้วิจัยได้ทำการเลือกวิธีการจัดสรรภารกิจที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบันเพื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่นำเสนอ โดยได้เลือกวิธีวนรอบ (round robin) ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า RR มาใช้ในการเปรียบเทียบ เนื่องจากเป็นวิธีการจัดสรรภารกิจที่มีใช้งานในสภาพแวดล้อมแบบคอนเทนเนอร์ที่เป็นที่นิยม [46] มีหลักการจัดสรรภารกิจไปยังศูนย์ข้อมูลโดยคำนึงการใช้ทรัพยากรฮาร์ดแวร์แบบสมดุล ได้แก่ แกนคำนวณ และหน่วยเก็บ หากทรัพยากรพอเพียงจะจัดสรรภารกิจไปใช้ทรัพยากรฮาร์ดแวร์ที่ศูนย์ข้อมูลแต่ละศูนย์ในสัดส่วนที่เท่ากัน

ในการประเมินผลแบบจำลองตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 6.3 นี้ ผู้วิจัยใช้กรณีศึกษาทั้งสามกรณี ในการประเมินสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล และการประเมินสมรรถนะด้านการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิดซึ่งจะกล่าวถึงผลการทดลองในบทที่ 7 และใช้กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานแบบพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ประเภทเซลล์แสงอาทิตย์ ในการประเมินสมรรถนะด้านรั้งสิ่งแวดล้อมของศูนย์ข้อมูล และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการซึ่งจะกล่าวถึงผลการทดลองในบทที่ 8

บทที่ 7

ผลการทดสอบแบบจำลองเพื่อการออกแบบระบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ สำหรับเมืองอัจฉริยะรักษ์สิ่งแวดล้อม และการประเมินผลสมรรถนะด้านการ ใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล และสมรรถนะด้านการประวิงเวลาใน ระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิด

ในการประเมินผลแบบจำลองในบทนี้ผู้วิจัยใช้กรณีศึกษาทั้งสามกรณี คือ กรณีแรกคือกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการ กรณีที่สองกรณีศึกษาผลกระทบการลดขนาดความจุของศูนย์ข้อมูล และกรณีที่สามกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานแบบพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ประเภทเซลล์แสงอาทิตย์ ในการประเมินสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล และการประเมินสมรรถนะด้านการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิด มีการตั้งพารามิเตอร์และผลการทดสอบของแต่ละกรณีศึกษาดังต่อไปนี้

7.1 กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการ

ในกรณีศึกษาที่ผู้วิจัยกำหนดค่าของพารามิเตอร์ในการทดสอบดังนี้

- 1) ขนาดของภารกิจ R_1 ถึง R_{20} มีค่าเริ่มต้นตามตารางที่ 6.1 และทำการเพิ่มขนาดของภารกิจขึ้นตั้งแต่ 1 ถึง 5 เท่า เพิ่มขึ้นทีละ 0.5 และมีค่าตามตารางที่ 7.1 7.2 และ 7.3
- 2) ความจุของศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 กำหนดเป็นค่าคงที่ และมีค่าตามตารางที่ 6.2
- 3) ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_1 และ S_2 กำหนดเป็นค่าคงที่ มีค่า S_1 เท่ากับ 20,000 watts และ S_2 เท่ากับ 5,000 watts เนื่องจากในทางปฏิบัติแล้วค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_1 หรือกริดมีค่าพอต่อการใช้งานเสมอ ส่วนค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 หรือแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่นั้นที่มีค่าไม่แน่นอนและจำกัด จึงกำหนดให้ $S_1 \gg S_2$

ตารางที่ 7.1 พารามิเตอร์ภารกิจชนิดที่ 1 กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการ

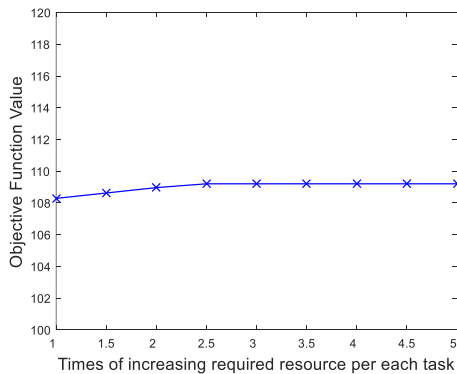
พารามิเตอร์ ภารกิจชนิดที่ 1	จำนวนเท่าของการเพิ่มขนาดของภารกิจ								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
$R_i^{Compute}$ (cores)	8	12	16	20	24	28	32	36	40
$R_i^{Bandwidth}$ (kbps)	256	384	512	640	768	896	1024	1152	1280
$R_i^{Storage}$ (byte)	100	150	200	250	300	350	400	450	500
R_i^{Data} (byte)	240	360	480	600	720	840	960	1080	1200
$R_i^{maxCommDelay}$ (ms)	150	225	300	375	450	525	600	675	750

ตารางที่ 7.2 พารามิเตอร์ภารกิจชนิดที่ 2 กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการ

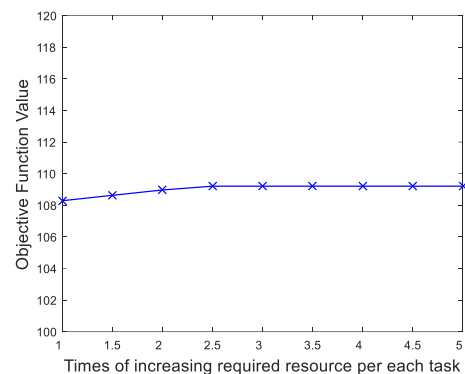
พารามิเตอร์ ภารกิจชนิดที่ 2	จำนวนเท่าของการเพิ่มขนาดของภารกิจ								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
$R_i^{Compute}$ (cores)	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R_i^{Bandwidth}$ (kbps)	$15 \cdot 10^3$	$22.5 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^3$	$37.5 \cdot 10^3$	$45 \cdot 10^3$	$52.5 \cdot 10^3$	$60 \cdot 10^3$	$67.5 \cdot 10^3$	$75 \cdot 10^3$
$R_i^{Storage}$ (byte)	10	15	20	25	30	35	40	45	50
R_i^{Data} (byte)	240	360	480	600	720	840	960	1080	1200
$R_i^{maxCommDelay}$ (ms)	$10.8 \cdot 10^6$	$16.2 \cdot 10^6$	$21.6 \cdot 10^6$	$27 \cdot 10^6$	$32.4 \cdot 10^6$	$37.8 \cdot 10^6$	$43.2 \cdot 10^6$	$48.6 \cdot 10^6$	$54 \cdot 10^6$

ตารางที่ 7.3 พารามิเตอร์ภารกิจชนิดที่ 3 กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการ

พารามิเตอร์ ภารกิจชนิดที่ 3	จำนวนเท่าของการเพิ่มขนาดของภารกิจ								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
$R_i^{Compute}$ (cores)	6	9	12	15	18	21	24	27	30
$R_i^{Bandwidth}$ (kbps)	128	192	256	320	384	448	512	576	640
$R_i^{Storage}$ (byte)	10	15	20	25	30	35	40	45	50
R_i^{Data} (byte)	100	150	200	250	300	350	400	450	500
$R_i^{maxCommDelay}$ (ms)	$15 \cdot 10^3$	$22.5 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^3$	$37.5 \cdot 10^3$	$45 \cdot 10^3$	$52.5 \cdot 10^3$	$60 \cdot 10^3$	$67.5 \cdot 10^3$	$75 \cdot 10^3$

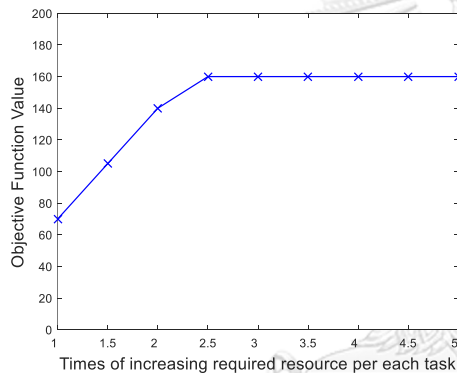


(ก)

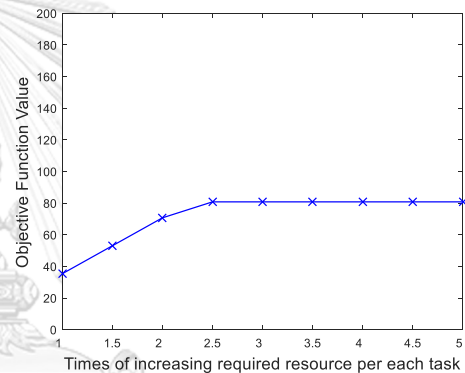


(ข)

รูปที่ 7.1 ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCCC การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 7.2 ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ RR การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)

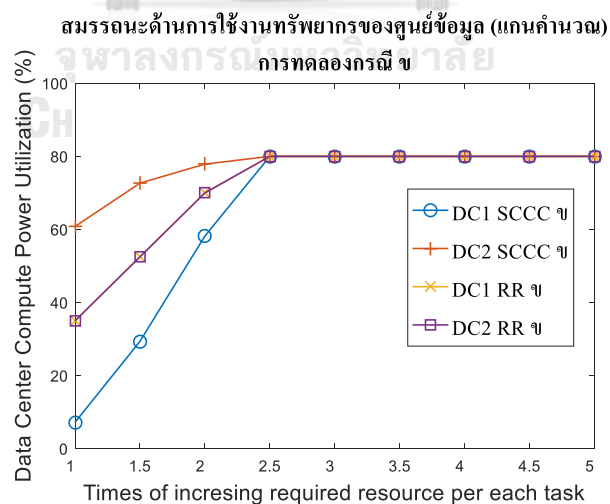
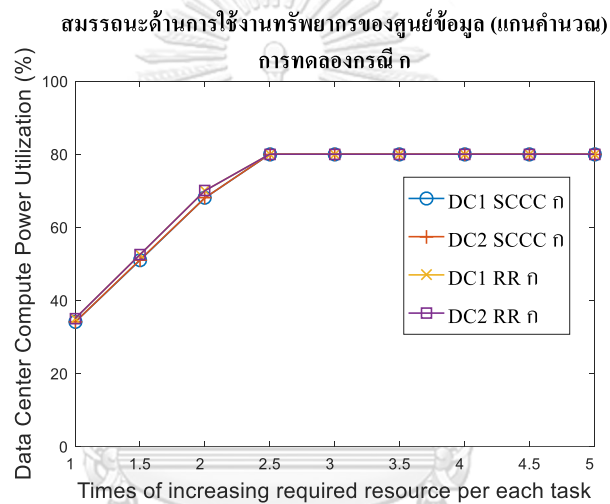
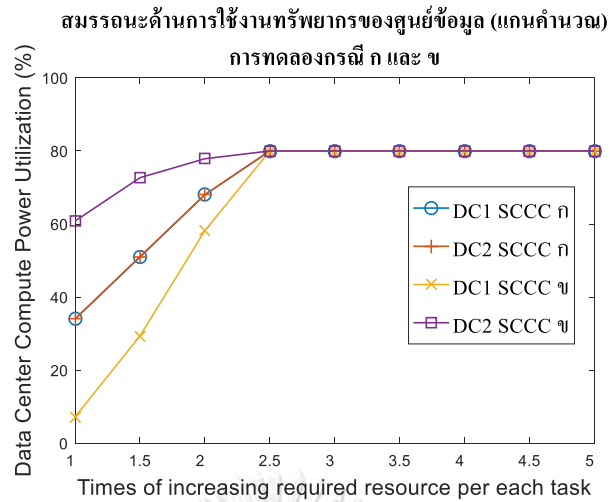
สำหรับค่าฟังก์ชันจุดประสงค์กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว ตามรูปที่ 7.1 ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ของวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCCC การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว มีค่าเท่ากันตั้งแต่เริ่มการทดลอง เนื่องจากศูนย์ข้อมูลสามารถให้บริการรักษาสิ่งแวดล้อมโดยใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 รวมทั้งหมด 5,000 watts ตั้งแต่ที่ขนาดของภารกิจมีขนาด 1 เทวา และสามารถดูค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลจากการทดลองได้ตามตารางที่ 7.4 และ 7.5 สำหรับวิธีการจัดสรรภารกิจของ RR ในรูปที่ 7.2 การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว มีค่าฟังก์ชันจุดประสงค์สูงสุดมากกว่า SCCC เพราะ RR จัดสรรภารกิจโดยคำนึงเรื่องการแบ่งภารกิจไปใช้ทรัพยากรศูนย์ข้อมูลแบบเท่ากันซึ่งสามารถดูได้จาก

ตารางที่ 7.7 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการ ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ RR การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว

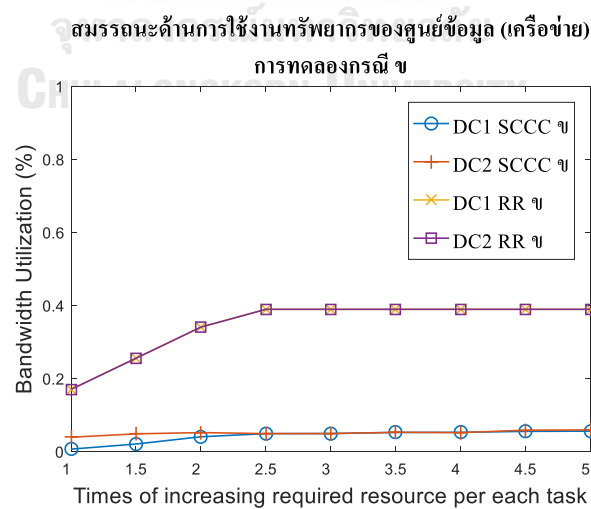
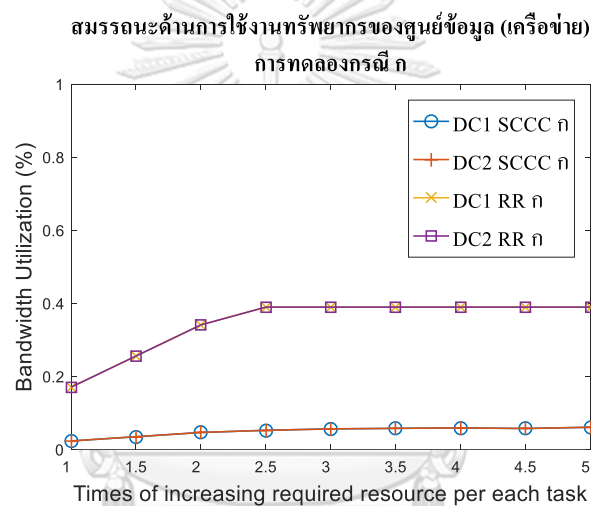
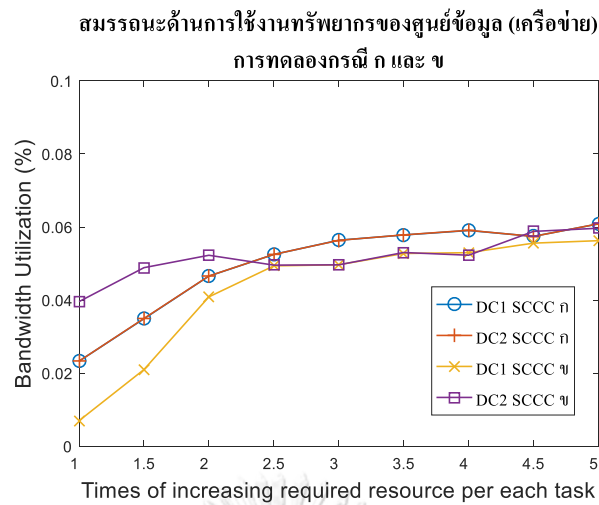
C_j	S_k	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลจากจำนวนเท่าการเพิ่มขนาดของภารกิจ (watts)								
		1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
C_1	S_1	3220.00	4830.00	6440.00	7360.00	7360.00	7360.00	7360.00	7360.00	7360.00
C_1	S_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_2	S_1	1610.00	2415.00	3940.00	4860.00	4860.00	4860.00	4860.00	4860.00	4860.00
C_2	S_2	1610.00	2415.00	2500.00	2500.00	2500.00	2500.00	2500.00	2500.00	2500.00

รูปที่ 7.3 – 7.5 แสดงสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูลทั้งสามคุณลักษณะ ซึ่งคุณลักษณะที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของแบบจำลองสูงสุดคือ แแกนคำนวณ โดยเมื่อขนาดของภารกิจเพิ่มขึ้น ระบบทำการจัดสรรภารกิจไปใช้งานแแกนคำนวณของศูนย์ข้อมูลเพิ่มขึ้นจนกระทั่งขนาดภารกิจเพิ่มไป 2.285 เท่า ทำให้ผลรวมแแกนคำนวณเท่ากัน 320 ซึ่งเท่ากับขนาดผลรวมแแกนคำนวณของศูนย์ข้อมูลทั้งสองที่สามารถให้บริการได้ ทำให้การให้บริการถึงจุดอิ่มตัวและไม่สามารถให้บริการเพิ่มได้อีก และเมื่อพิจารณาวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว พบว่ามีพฤติกรรมการจัดสรรภารกิจไปยังศูนย์ข้อมูลทั้งสองเท่า ๆ กัน โดยของ RR ค่าสมรรถนะของศูนย์ข้อมูลสูงกว่าเล็กน้อยก่อนที่จะเข้าสู่ภาวะอิ่มตัว เพราะ RR จัดสรรภารกิจโดยคำนึงเรื่องการแบ่งภารกิจไปใช้ทรัพยากรอย่างเดียวยังไม่ได้คำนึงถึงข้อตกลงการให้บริการด้านอื่น เช่น ค่าการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิดซึ่งจะกล่าวถัดไป ในส่วนของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว นั้น SCCC สามารถจัดสรรภารกิจไปใช้งานศูนย์ข้อมูล 2 มากกว่าศูนย์ข้อมูล 1 เพื่อใช้พลังงานจากพลังงานหมุนเวียนสูงสุดด้วยค่าสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล (แแกนคำนวณ) เริ่มต้น 60.8% และกระจายภารกิจที่เหลือมาใช้งานยังศูนย์ข้อมูล 1 ด้วยค่าสมรรถนะ เริ่มต้น 7.2%

ต่อมาเป็นการประเมินสมรรถนะด้านการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิด ซึ่งเป็นข้อบังคับการให้บริการแก่ลูกค้าของแบบจำลอง รูปที่ 7.6 ซึ่งชัดเจนว่าทั้งการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว SCCC สามารถจัดสรรภารกิจโดยควบคุมค่าการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิดไม่ให้เกินค่าที่กำหนดไว้ของภารกิจแต่ละชนิดในตารางที่ 7.1 7.2 และ 7.3 โดยภารกิจที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของแบบจำลองคือ ภารกิจชนิดที่ 1 ซึ่งมีค่า $R_i^{maxCommDelay}$ น้อยที่สุดอยู่ที่ 150 ms และเพิ่มไปจนถึง 750 ms เมื่อเปรียบเทียบกับ RR ที่มีการจัดสรรภารกิจทุกประเภทแบบสมดุล เมื่อขนาดของภารกิจถูกเพิ่มขึ้นทำให้ภารกิจทั้งหมดถูกกระจายในสัดส่วนที่เท่ากัน ทำให้ภารกิจชนิดที่ 2 ที่มีขนาด R_i^{Data} มากที่สุดใช้งานเครือข่ายพร้อมกับภารกิจชนิดอื่น ซึ่งจากสมการ (5.6) ส่งผลให้ค่าการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจชนิดที่ 1 และ 3 เกินกว่าค่าที่สามารถรับบริการได้ทั้งสองกรณี



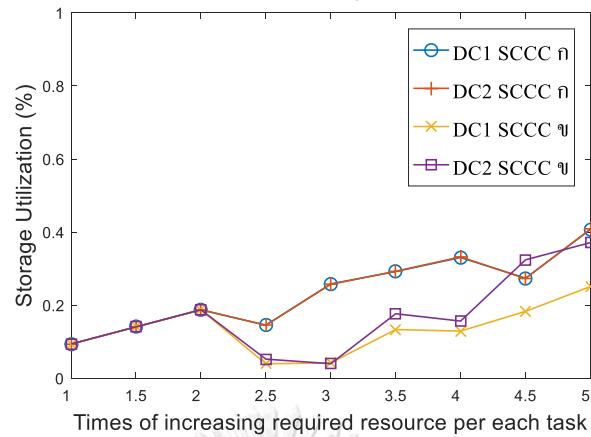
รูปที่ 7.3 เปรียบเทียบสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล (แกนคำนวณ) ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)



รูปที่ 7.4 เปรียบเทียบสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล (เครือข่าย) ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และ ศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)

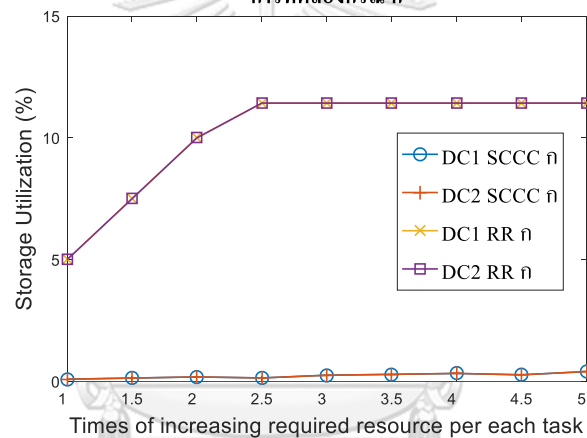
สมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล (หน่วยเก็บ)

การทดลองกรณี ก และ ข



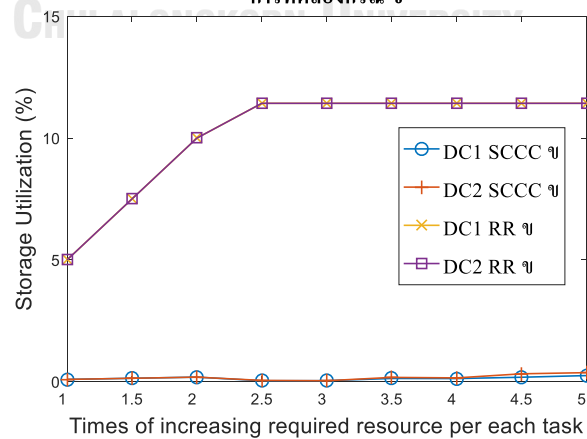
สมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล (หน่วยเก็บ)

การทดลองกรณี ก



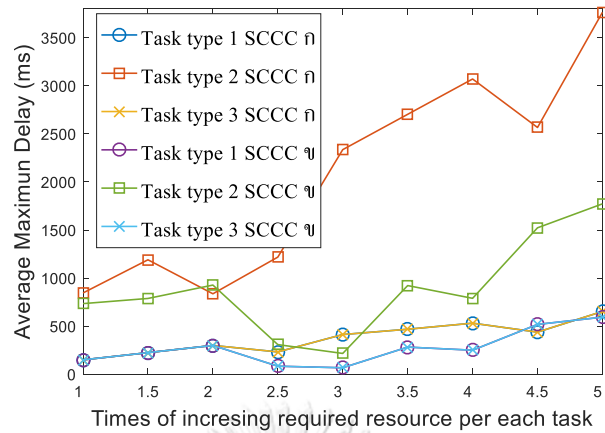
สมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล (หน่วยเก็บ)

การทดลองกรณี ข

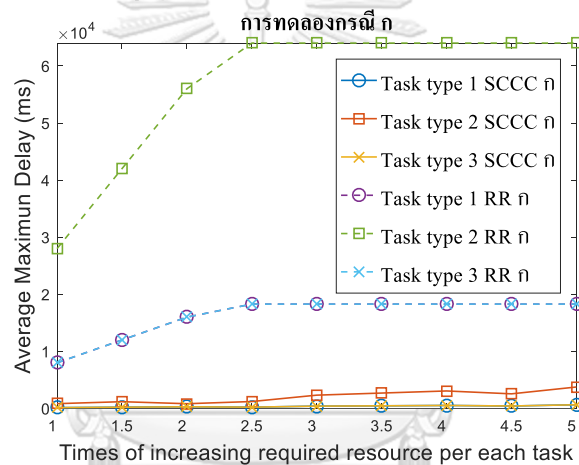


รูปที่ 7.5 เปรียบเทียบสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล (หน่วยเก็บ) ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)

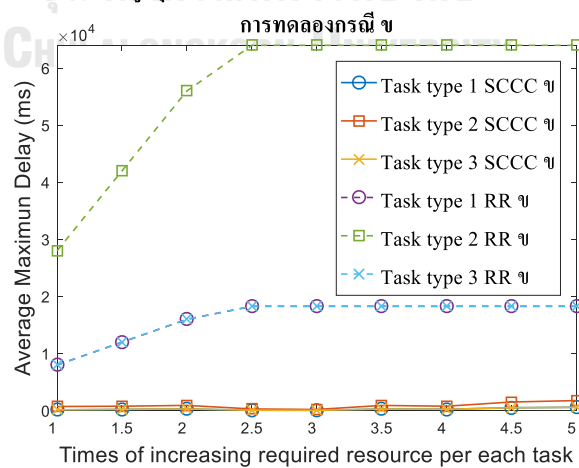
ค่าเฉลี่ยจากค่าสูงสุดการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิด
การทดลองกรณี ก และ ข



ค่าเฉลี่ยจากค่าสูงสุดการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิด
การทดลองกรณี ก



ค่าเฉลี่ยจากค่าสูงสุดการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิด
การทดลองกรณี ข



รูปที่ 7.6 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจากค่าสูงสุดการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิด ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)

7.2 กรณีศึกษาผลกระทบการลดขนาดความจุของศูนย์ข้อมูล

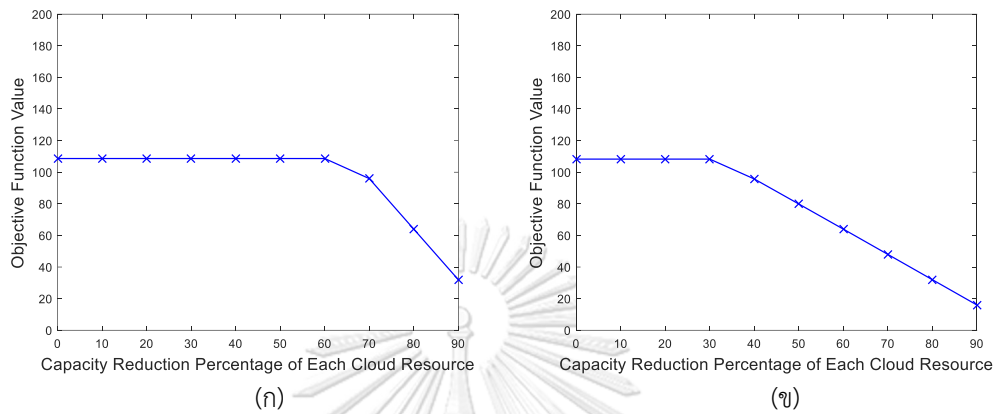
ในกรณีศึกษาที่ผู้วิจัยกำหนดค่าของพารามิเตอร์ในการทดลองดังนี้

- 1) ขนาดของภารกิจ R_1 ถึง R_{20} กำหนดเป็นค่าคงที่ และมีค่าตามตารางที่ 6.1
- 2) ขนาดความจุศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 มีตามเริ่มต้นตารางที่ 6.2 และทำการลดขนาดของความจุจาก 100% ถึง 10% โดยลดลงร้อยละ 10 และมีค่าตามตารางที่ 7.8
- 3) ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_1 และ S_2 กำหนดเป็นค่าคงที่ มีค่า S_1 เท่ากับ 20,000 watts และ S_2 เท่ากับ 5,000 watts

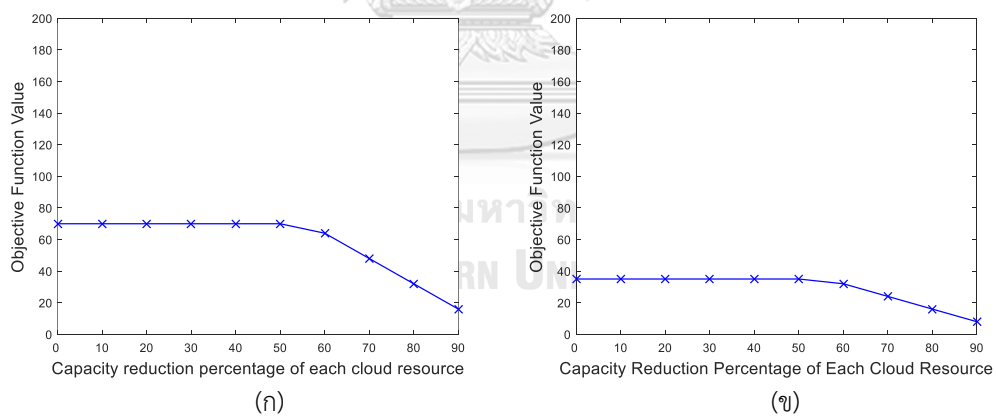
ตารางที่ 7.8 พารามิเตอร์กรณีศึกษาผลกระทบการลดขนาดความจุของศูนย์ข้อมูล

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์จำนวนเปอร์เซ็นต์ของความจุศูนย์ข้อมูลที่ลดลง									
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
$C_j^{Compute}$ (cores)	200	180	160	140	120	100	80	60	40	20
$C_j^{Bandwidth}$ (kbps)	$10 \cdot 10^6$	$9 \cdot 10^6$	$8 \cdot 10^6$	$7 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$
$C_j^{Storage}$ (byte)	$100 \cdot 10^9$	$90 \cdot 10^9$	$80 \cdot 10^9$	$70 \cdot 10^9$	$60 \cdot 10^9$	$50 \cdot 10^9$	$40 \cdot 10^9$	$30 \cdot 10^9$	$20 \cdot 10^9$	$10 \cdot 10^9$

สำหรับค่าฟังก์ชันจุดประสงค์กรณีศึกษาผลกระทบการลดขนาดความจุของศูนย์ข้อมูลของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว ตามรูปที่ 7.7 ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ของวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCCC การทดลองทั้งสองกรณีมีค่าเท่ากันตั้งแต่เริ่มการทดลอง เนื่องจากศูนย์ข้อมูลสามารถให้บริการรักษาสีเขียวโดยใช้ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 รวมทั้งหมด 5,000 watts จนกระทั่งขนาดความจุของศูนย์ข้อมูลทั้งสองลดลงมากกว่า 60% สำหรับการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ลดลงอย่างเห็นชัดเจนที่ความจุของศูนย์ข้อมูล 2 ลดลงเหลือ 70% เนื่องจากขนาดของความจุศูนย์ข้อมูลที่ 2 ลดลงจนไม่เพียงพอที่จะให้บริการขนาดภารกิจทั้งหมดได้ แบบจำลองจึงต้องกระจายภารกิจไปใช้งานที่ศูนย์ข้อมูล 1 ที่ใช้พลังงานจากกริดมากขึ้น และสามารถดูค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลจากการทดลองได้ตามตารางที่ 7.9 และ 7.10 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการจัดสรรภารกิจของ RR การทดลองที่สองกรณีในรูปที่ 7.8 ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ของ SCCC สูงกว่า RR ของการทดลองทั้งสองกรณี และสามารถดูค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลจากการทดลองได้ตามตารางที่ 7.11 และ 7.12 โดยการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว นั้น มีค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ต่ำสุดในกรณีศึกษา เป็นที่ชัดเจนว่าวิธีการจัดสรรของ SCCC ยังสามารถให้บริการโดยคำนึงถึงการรักษาสีเขียวได้ดีกว่าวิธี RR แม้ว่าความจุของศูนย์ข้อมูลจะลดลง



รูปที่ 7.7 ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์กรณีศึกษาผลกระทบการลดขนาดความจุของศูนย์ข้อมูล ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCCC การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)



รูปที่ 7.8 ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์กรณีศึกษาผลกระทบการลดขนาดความจุของศูนย์ข้อมูล ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ RR การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)

ตารางที่ 7.9 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลกรณีศึกษาผลกระทบการลดขนาดความจุของศูนย์ข้อมูลด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCCC การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว

C_j	S_k	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลจากจำนวนเปอร์เซ็นต์ของความจุศูนย์ข้อมูลที่ลดลง (watts)									
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
C_1	S_1	630.81	628.93	628.95	629.20	629.03	628.60	444.00	0	0	0
C_1	S_2	2488.68	2497.33	2505.77	2503.77	2500.00	2499.95	2500.00	2208.00	1472.00	736.00
C_2	S_1	628.63	630.17	629.81	629.21	629.04	629.11	444.00	0	0	0
C_2	S_2	2511.32	2502.67	2494.23	2496.23	2500.00	2500.05	2500.00	2208.00	1472.00	736.00

ตารางที่ 7.10 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลกรณีศึกษาผลกระทบการลดขนาดความจุของศูนย์ข้อมูลด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCCC การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว

C_j	S_k	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลจากจำนวนเปอร์เซ็นต์ของความจุศูนย์ข้อมูลที่ลดลง (watts)									
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
C_1	S_1	663.96	590.79	741.57	1109.47	1842.07	2577.72	2944.00	2208.00	1472.00	736.00
C_1	S_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_2	S_1	595.49	668.31	517.19	148.94	0	0	0	0	0	0
C_2	S_2	5000.00	5000.00	5000.00	5000.00	4416.00	3680.00	2944.00	2208.00	1472.00	736.00

ตารางที่ 7.11 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลกรณีศึกษาผลกระทบการลดขนาดความจุของศูนย์ข้อมูลด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ RR การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว

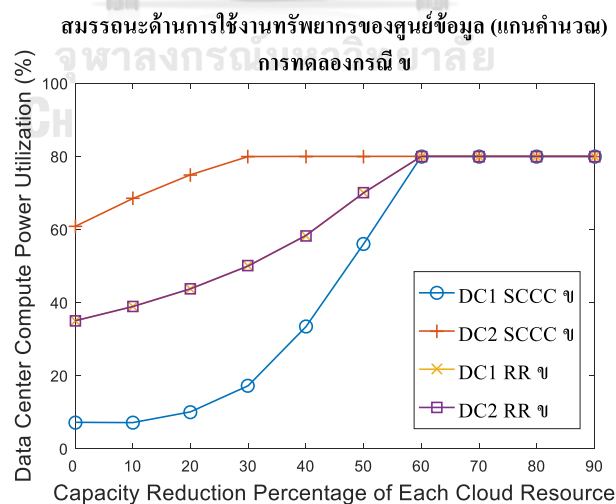
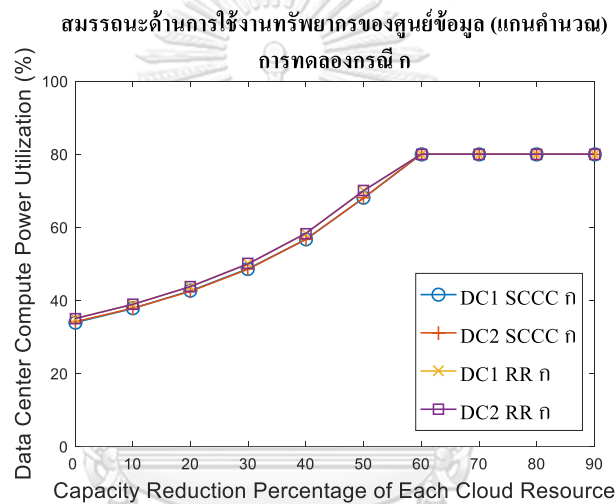
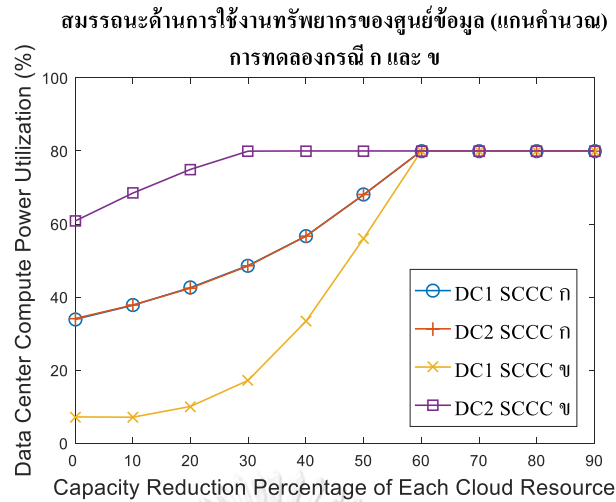
C_j	S_k	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลจากจำนวนเปอร์เซ็นต์ของความจุศูนย์ข้อมูลที่ลดลง (watts)									
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
C_1	S_1	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1472.00	1104.00	736.00	368.00
C_1	S_2	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1472.00	1104.00	736.00	368.00
C_2	S_1	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1472.00	1104.00	736.00	368.00
C_2	S_2	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1472.00	1104.00	736.00	368.00

ตารางที่ 7.12 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลกรณีศึกษาผลกระทบการลดขนาดความจุของศูนย์ข้อมูลด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ RR การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว

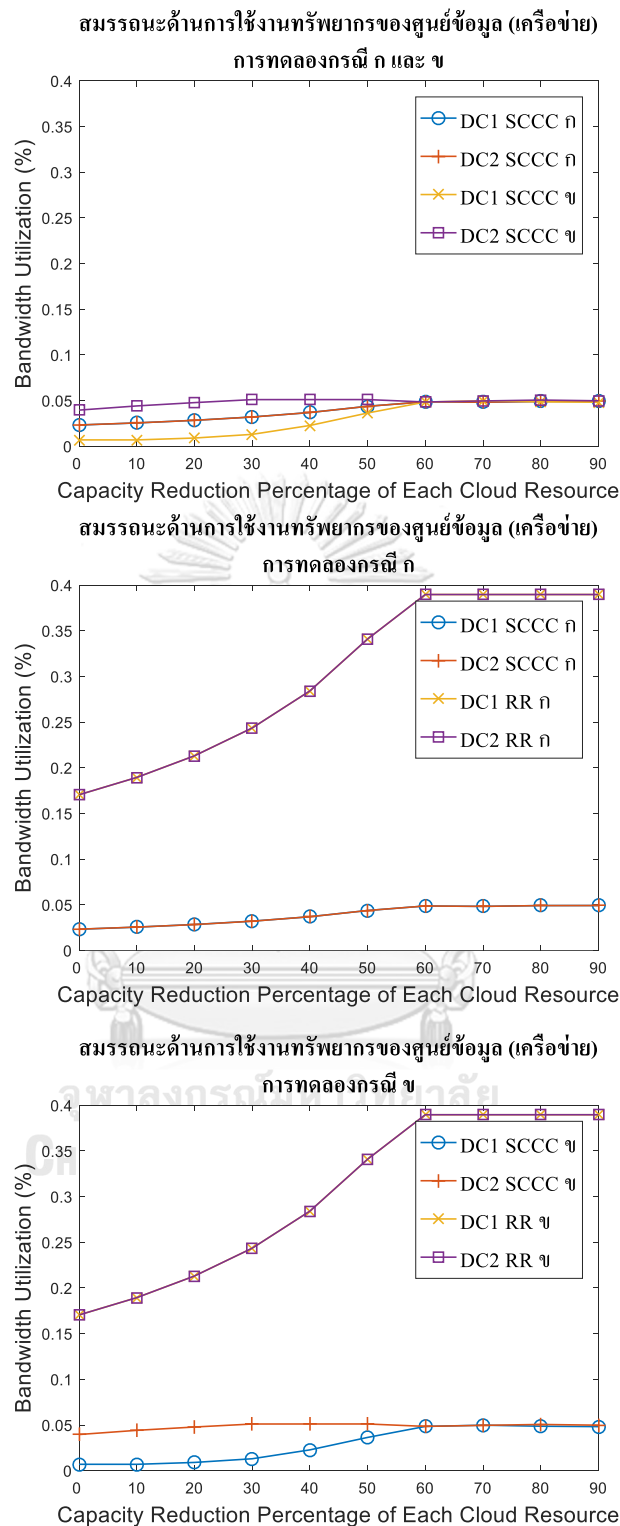
C_j	S_k	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลจากจำนวนเปอร์เซ็นต์ของความจุศูนย์ข้อมูลที่ลดลง (watts)									
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
C_1	S_1	3220.00	3220.00	3220.00	3220.00	3220.00	3220.00	2944.00	2208.00	1472.00	736.00
C_1	S_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_2	S_1	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1472.00	1104.00	736.00	368.00
C_2	S_2	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1472.00	1104.00	736.00	368.00

รูปที่ 7.9 – 7.11 แสดงสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูลทั้งสามคุณลักษณะ ซึ่งคุณลักษณะที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของแบบจำลองสูงสุดคือ แคนค่านวน โดยเมื่อระบบทำการจัดสรรภารกิจไปใช้งานแคนค่านวนของศูนย์ข้อมูลที่ใช้พลังงานค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 สูงสุดก่อน จนขนาดขนาดความจุของศูนย์ข้อมูลทั้งสองลดลงถึง 60% ผลรวมแคนค่านวนที่ภารกิจต้องการใช้งานเท่ากับ 320 ซึ่งเท่ากับขนาดผลรวมแคนค่านวนของศูนย์ข้อมูลทั้งสองที่สามารถให้บริการได้ ทำให้การให้บริการถึงจุดอิ่มตัวและไม่สามารถให้บริการเพิ่มได้อีก และเมื่อพิจารณาวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว พบว่ามีพฤติกรรมการจัดสรรภารกิจไปยังศูนย์ข้อมูลทั้งสองเท่า ๆ กัน โดยของ RR ค่าสมรรถนะของศูนย์ข้อมูลสูงกว่าเล็กน้อยด้วยเหตุผลเดียวกับกรณีศึกษาแรก ในส่วนของกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว นั้น SCCC สามารถจัดสรรภารกิจไปใช้งานศูนย์ข้อมูล 2 มากกว่าศูนย์ข้อมูล 1 เพื่อใช้พลังงานจากพลังงานหมุนเวียนสูงสุดทำให้มีค่าสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล (แคนค่านวน) เริ่มต้น 60.8% และกระจายภารกิจที่เหลือมาใช้งานยังศูนย์ข้อมูล 1 ทำให้มีค่าสมรรถนะ ๆ เริ่มต้นที่ 7.2%

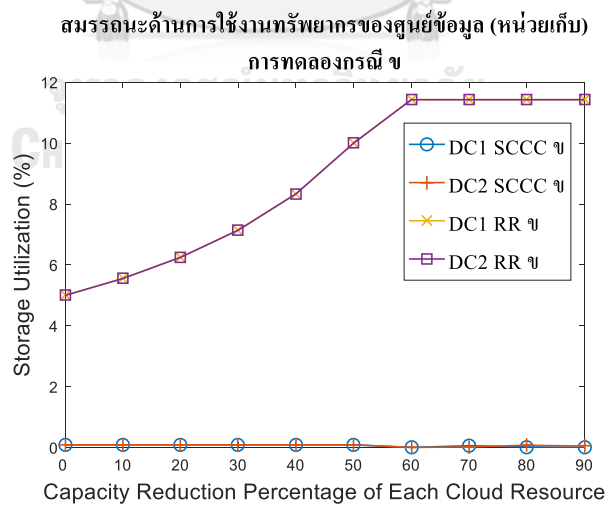
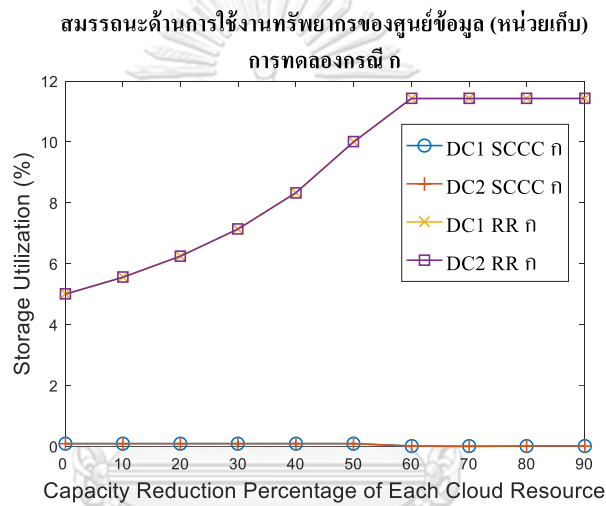
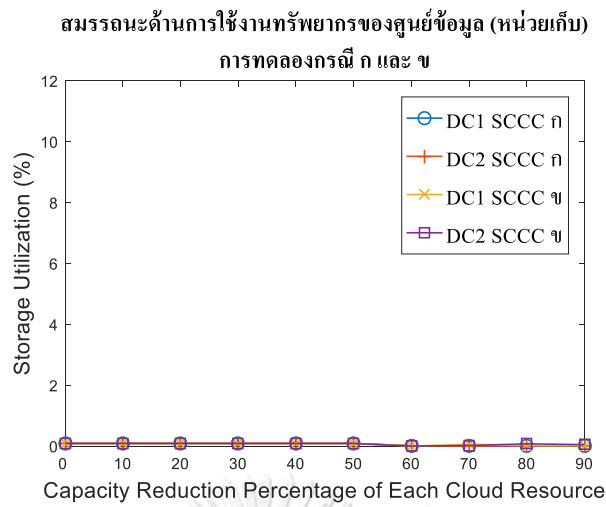
ต่อมาเป็นการประเมินสมรรถนะด้านการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิด รูปที่ 7.12 ซึ่งชัดเจนว่าการทดลองทั้งสองกรณี SCCC ยังสามารถจัดสรรภารกิจโดยควบคุมค่าการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิดไม่ให้เกินค่าที่กำหนดไว้ของภารกิจแต่ละชนิดในตารางที่ 6.1 เมื่อเปรียบเทียบกับ RR ซึ่งเป็นเหตุผลเดียวกับการทดลองกรณีศึกษาแรก คือภารกิจทั้งสามชนิดถูกจัดสรรในสัดส่วนที่เท่ากัน ทำให้ภารกิจชนิดที่ 2 ที่มีขนาด R_i^{Data} มากที่สุดใช้งานเครือข่ายพร้อมกับการกิจชนิดอื่น ซึ่งจากสมการ (5.6) ส่งผลให้ค่าการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจชนิดที่ 1 และ 3 เกินกว่าค่าที่สามารถรับบริการได้ทั้งการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว



รูปที่ 7.9 เปรียบเทียบสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล (แกนคำนวณ) ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)

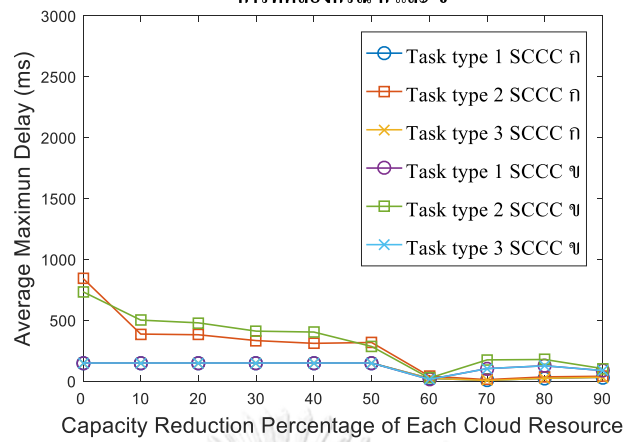


รูปที่ 7.10 เปรียบเทียบสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล (เครือข่าย) ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)

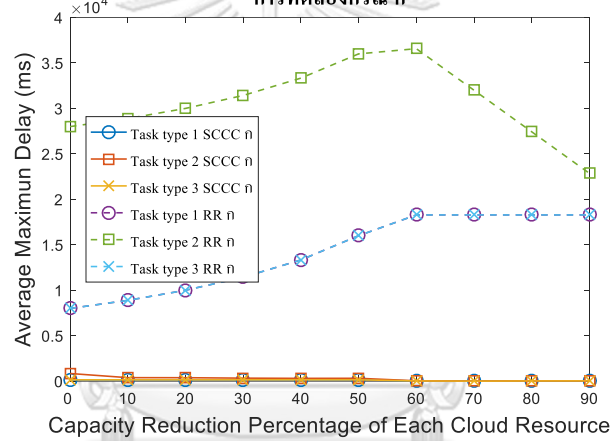


รูปที่ 7.11 เปรียบเทียบสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล (หน่วยเก็บ) ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)

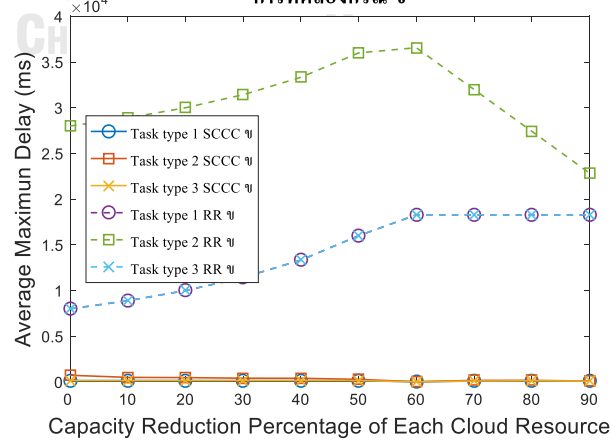
ค่าเฉลี่ยจากค่าสูงสุดการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิด การทดลองกรณี ก และ ข



ค่าเฉลี่ยจากค่าสูงสุดการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิด การทดลองกรณี ก



ค่าเฉลี่ยจากค่าสูงสุดการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิด การทดลองกรณี ข



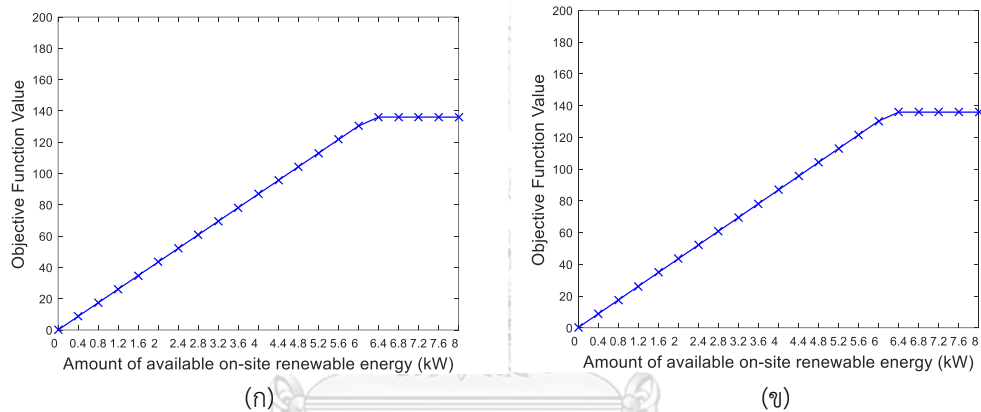
รูปที่ 7.12 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจากค่าสูงสุดการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิด ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)

7.3 กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน

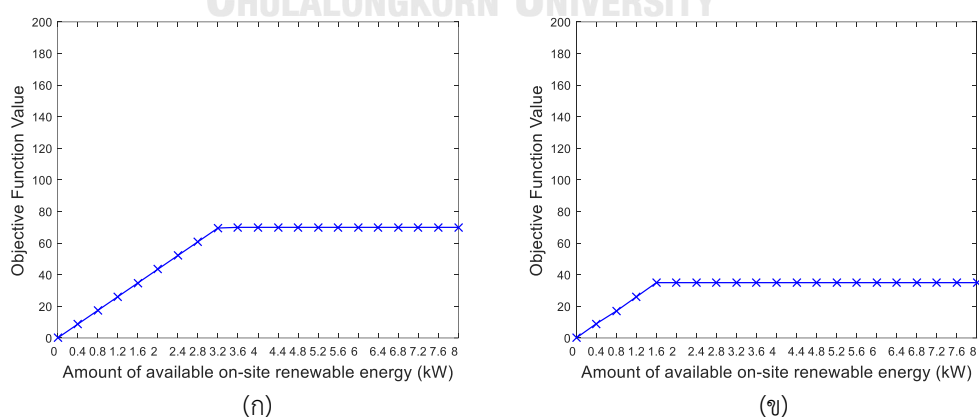
S_2

ในกรณีศึกษาที่ผู้วิจัยกำหนดค่าของพารามิเตอร์ในการทดลองดังนี้

- 1) ขนาดของภารกิจ R_1 ถึง R_{20} กำหนดเป็นค่าคงที่ เป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 6.1
- 2) ความจุของศูนย์ข้อมูล C_1 และ C_2 กำหนดเป็นค่าคงที่ เป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 6.2
- 3) ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_1 กำหนดเป็นค่าคงที่ มีค่า 20,000 watts
- 4) ค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 กำหนดตัวแปรผันได้ มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 8,000 watts โดยเพิ่มขึ้นทีละ 400 watts



รูปที่ 7.13 ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มพลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCCC ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และ กรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)



รูปที่ 7.14 ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์กรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มพลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และ กรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)

สำหรับกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ของวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCCC การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว ตามรูปที่ 7.13 มีค่าเท่ากันตั้งแต่เริ่มการทดลอง เนื่องจากศูนย์ข้อมูลสามารถให้บริการรักษาสิ่งแวดล้อมมากเมื่อค่าพลังงานหมุนเวียนเพิ่มขึ้น และที่ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์สูงสุด SCCC สามารถจัดสรรภารกิจไปใช้พลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 รวมทั้งหมด 6,259.45 watts และสามารถดูค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลจากการทดลองได้ตามตารางที่ 7.13 และ 7.14 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการจัดสรรภารกิจของ RR การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว ในรูปที่ 7.14 ค่าการใช้พลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ของ SCCC สูงกว่า RR ทั้งสองกรณี โดยที่ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์สูงสุด RR สามารถจัดสรรภารกิจไปใช้พลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ได้สูงสุดรวมทั้งหมด 3,220 watts และ 1,610 watts ตามลำดับ และสามารถดูค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลจากการทดลองได้ตามตารางที่ 7.15 และ 7.16 จากผลการทดลองค่าฟังก์ชันจุดประสงค์และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูล สามารถสรุปได้ว่าวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCCC สามารถใช้ประโยชน์จากการเพิ่มขึ้นของพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ได้สูงสุดและมากกว่าวิธีการจัดสรรภารกิจของ RR ทั้งสองกรณี

ตารางที่ 7.13 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCCC การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว

C_j	S_k	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลจากเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 (watts)										
		0	400	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	4000
C_1	S_1	3129.19	2930.17	2729.85	2530.50	2330.25	2129.12	1929.71	1729.55	1524.96	1329.57	1129.67
C_1	S_2	0	199.95	400.30	601.44	800.61	987.37	1199.99	1399.99	1600.10	1800.07	2000.02
C_2	S_1	3130.26	2929.28	2729.60	2528.95	2329.20	2130.33	1929.74	1729.88	1534.49	1329.88	1129.78
C_2	S_2	0	200.05	399.70	598.56	799.39	1012.63	1200.01	1400.01	1599.90	1799.93	1999.98

ตารางที่ 7.13 (ต่อ) ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCCC การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว

C_j	S_k	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลจากเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 (watts)									
		4400	4800	5200	5600	6000	6400	6800	7200	7600	8000
C_1	S_1	929.38	729.88	529.67	329.73	132.28	0	0	0	0	0
C_1	S_2	2200.02	2340.04	2600.23	2800.00	2983.62	3062.29	2980.85	3120.95	3146.37	3113.68
C_2	S_1	930.07	729.57	529.78	329.72	127.17	0	0	0	0	0
C_2	S_2	2199.97	2459.96	2599.77	2800.01	3016.38	3197.16	3278.60	3138.50	3113.08	3145.77

ตารางที่ 7.14 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCCC การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว

C_j	S_k	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลจากเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 (watts)										
		0	400	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	4000
C_1	S_1	3077.62	2862.09	2658.50	2326.35	2142.76	2061.27	1892.40	1734.80	1564.18	1291.12	1103.58
C_1	S_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_2	S_1	3181.83	2997.36	2800.95	2733.10	2516.69	2198.18	1967.04	1724.65	1495.26	1368.33	1155.87
C_2	S_2	0	400.00	800.00	1200.00	1600.00	2000.00	2400.00	2800.00	3200.00	3600.00	4000.00

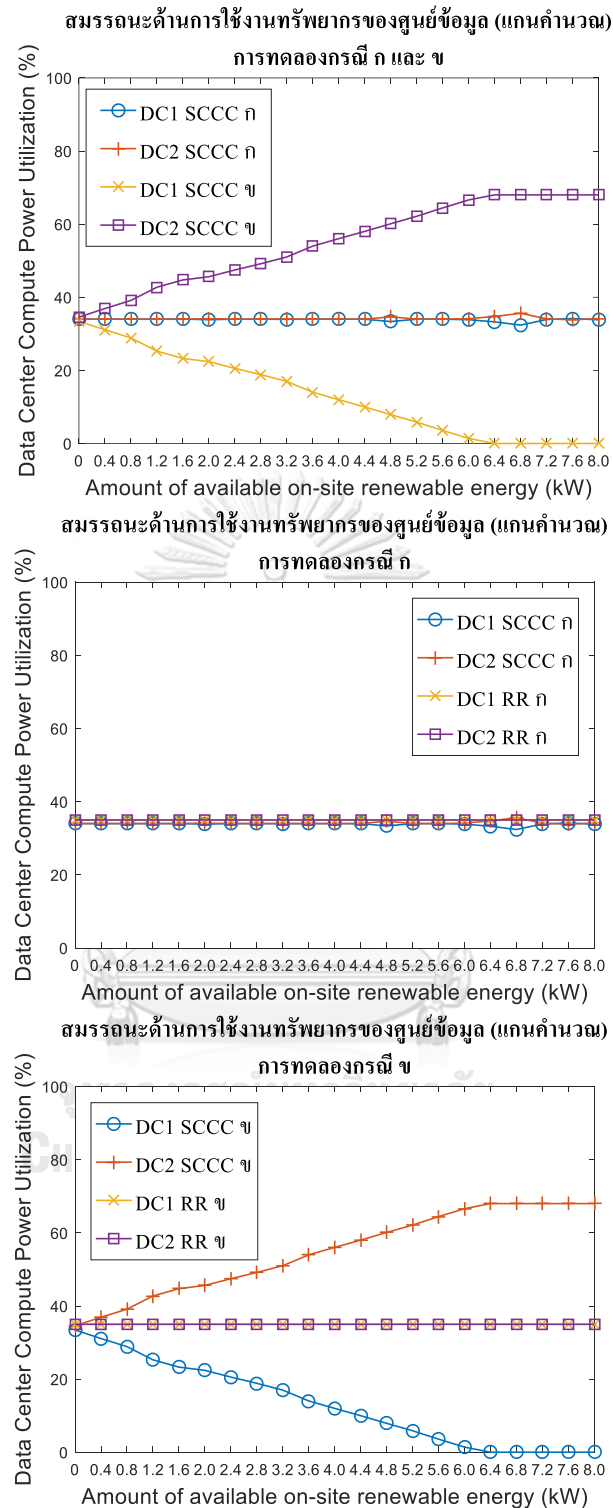
ตารางที่ 7.14 (ต่อ) ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCCC การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว

C_j	S_k	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลจากเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 (watts)									
		4400	4800	5200	5600	6000	6400	6800	7200	7600	8000
C_1	S_1	920.46	728.70	540.76	329.85	129.51	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72
C_1	S_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_2	S_1	938.99	730.75	518.69	329.60	129.94	0	0	0	0	0
C_2	S_2	4400.00	4800.00	5200.00	5600.00	6000.00	6257.72	6257.72	6257.72	6257.72	6257.72

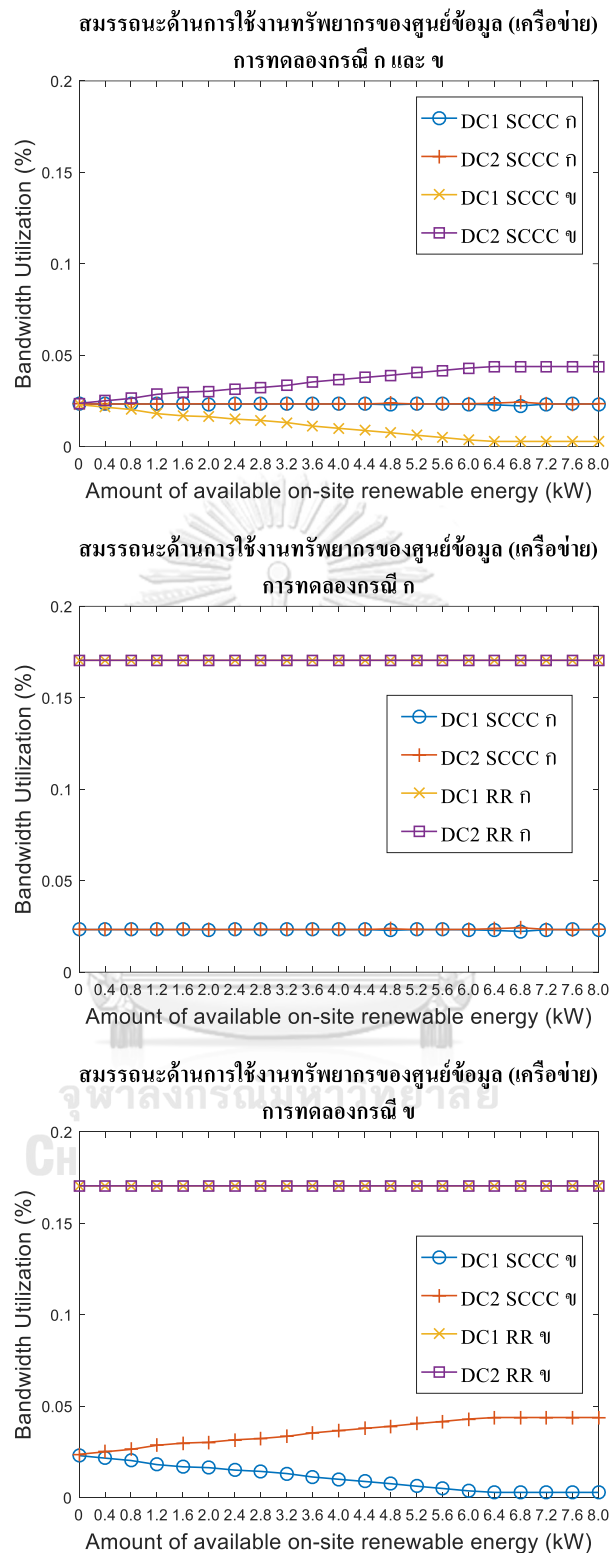
ตารางที่ 7.16 (ต่อ) ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ RR การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว

C_j	S_k	ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลจากเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 (watts)									
		4400	4800	5200	5600	6000	6400	6800	7200	7600	8000
C_1	S_1	3220.00	3220.00	3220.00	3220.00	3220.00	3220.00	3220.00	3220.00	3220.00	3220.00
C_1	S_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_2	S_1	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00
C_2	S_2	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00	1610.00

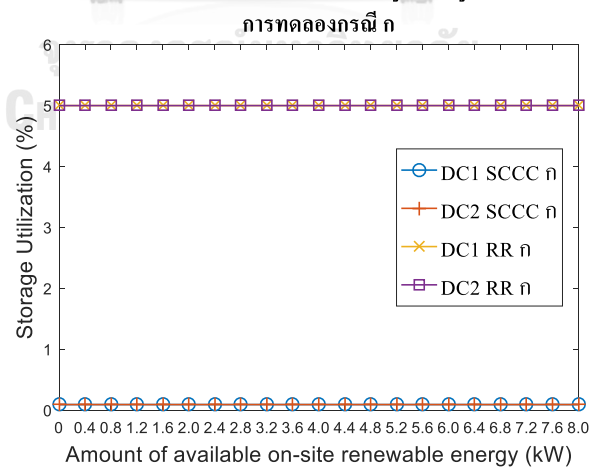
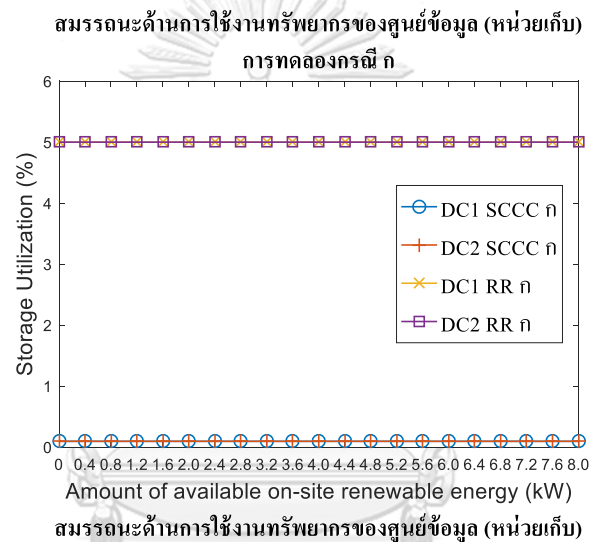
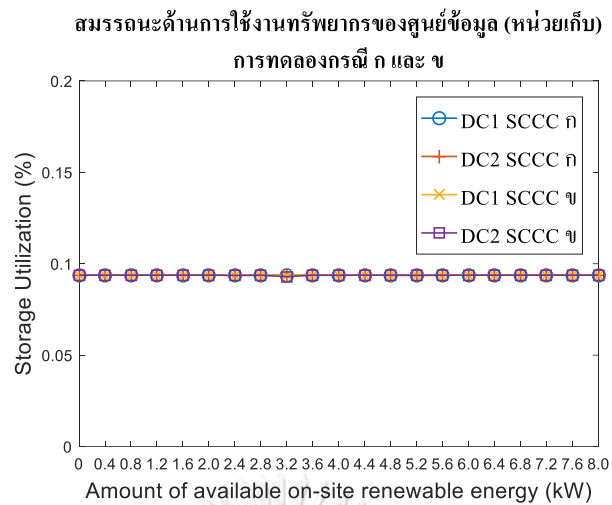
รูปที่ 7.15 – 7.17 แสดงสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูลทั้งสามคุณลักษณะ ซึ่งคุณลักษณะที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของแบบจำลองสูงสุดคือ แคนค่านวน และในจากค่าพารามิเตอร์ตั้งต้นของระบบคลาวด์สามารถรองรับการจัดสรรภารกิจได้ทั้งหมด โดยเมื่อระบบทำการจัดสรรภารกิจไปใช้งานแคนค่านวนของศูนย์ข้อมูลที่ใช้พลังงานค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 สูงสุดก่อน เมื่อพิจารณาวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว พบว่ามีพฤติกรรมการจัดสรรภารกิจไปยังศูนย์ข้อมูลทั้งสองเท่า ๆ กันและมีค่าสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล (แคนค่านวน) ทั้งสองที่ประมาณ 34% ในส่วนของกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว นั้น SCCC สามารถจัดสรรภารกิจเพื่อใช้พลังงานจากพลังงานหมุนเวียนสูงสุดโดยดูการใช้งานศูนย์ข้อมูล 2 มากกว่าศูนย์ข้อมูล 1 ด้วยค่าสมรรถนะ ๆ เริ่มต้นที่ 34% และเพิ่มขึ้นเมื่อพลังงานค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 สูงขึ้นด้วยค่าสมรรถนะ ๆ สูงสุดที่ 68% ส่วนศูนย์ข้อมูล 1 ค่าสมรรถนะ ๆ ลดลงจาก 34% เป็น 0% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ RR ที่มีการใช้งานศูนย์ข้อมูลทั้งสองเท่ากัน เนื่องมาจาก RR จัดสรรภารกิจโดยไม่สนใจการเพิ่มขึ้นของพลังงานค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ที่ศูนย์ข้อมูลสามารถใช้งานได้นั่นเอง



รูปที่ 7.15 เปรียบเทียบสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล (แกนคำนวณ) ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)

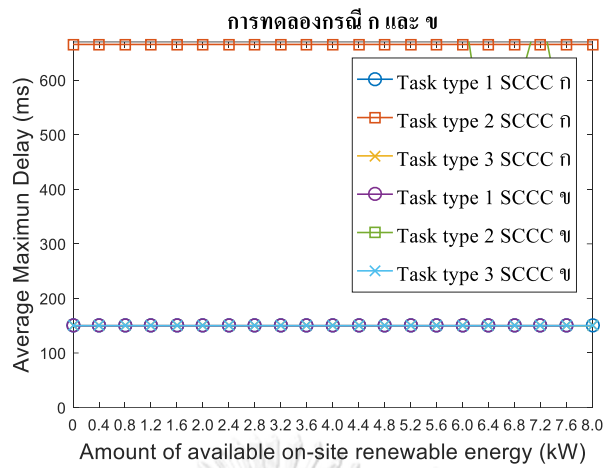


รูปที่ 7.16 เปรียบเทียบสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล (เครือข่าย) ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)

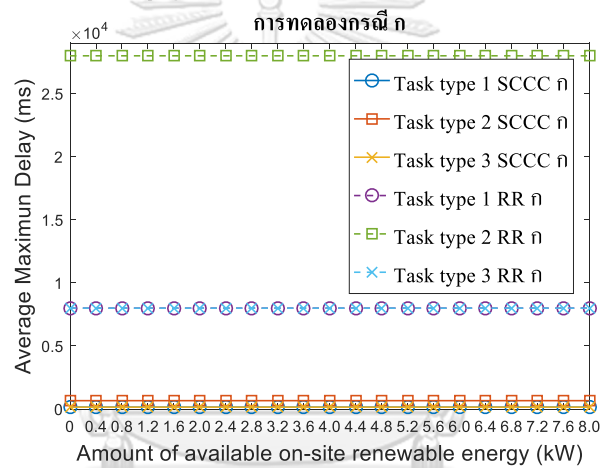


รูปที่ 7.17 เปรียบเทียบสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล (หน่วยเก็บ) ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)

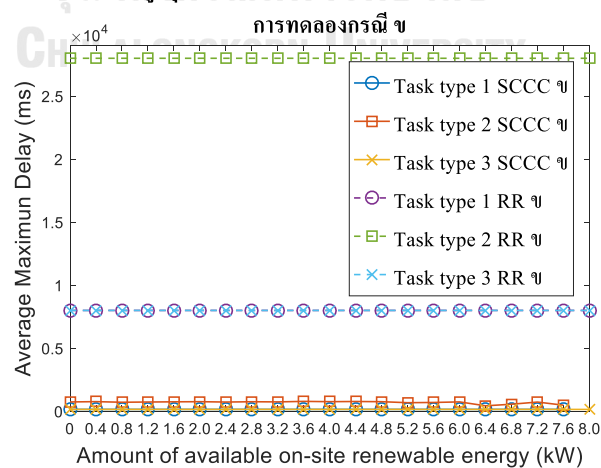
ค่าเฉลี่ยจากค่าสูงสุดการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิด



ค่าเฉลี่ยจากค่าสูงสุดการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิด



ค่าเฉลี่ยจากค่าสูงสุดการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิด



รูปที่ 7.18 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจากค่าสูงสุดการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิดด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)

ต่อมาเป็นการประเมินสมรรถนะด้านการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิด รูปที่ 7.18 ซึ่งชัดเจนว่าทั้งการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว ในกรณีศึกษาที่ SCCC ยังสามารถจัดสรรภารกิจโดยควบคุมค่าการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิดไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ของภารกิจแต่ละชนิดในตารางที่ 6.1 เมื่อเปรียบเทียบกับ RR ซึ่งเป็นเหตุผลเดียวกับการทดลองกรณีศึกษาสองกรณีที่ผ่านมา

สรุปผลการทดสอบแบบจำลองและประเมินผลสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล และสมรรถนะด้านการประวิงเวลาในระบบสื่อสารของภารกิจแต่ละชนิดซึ่งเป็นค่า SLA ที่ลูกค้าต้องการใช้งานระบบคลาวด์ ประเด็นแรกจากผลการทดลองกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการ และกรณีที่สองกรณีศึกษาผลกระทบการลดขนาดความจุของศูนย์ข้อมูล พารามิเตอร์ของคุณลักษณะของศูนย์ข้อมูลตั้งต้นที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ แคน คำนวณ เครือข่าย และ หน่วยเก็บ พบว่าแคนคำนวณของศูนย์ข้อมูลเป็นพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลสูงสุดต่อสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูลสำหรับ SCCC ในกรณีศึกษาแรกศูนย์ข้อมูลทั้งสองที่มีสามารถรองรับการขยายตัวของความต้องการการให้บริการในอนาคตได้อีกแค่ 2.285 เท่าจากความต้องการปัจจุบันโดยไม่ละเมิด SLA ของลูกค้า ต่อมากรณีศึกษาที่สองเมื่อศูนย์ข้อมูลทั้งสองมีขนาดความจุลดลง อันเนื่องมาจากความขัดข้องของตัวบริการ หรือการปิดเพื่อซ่อมบำรุงระบบ พารามิเตอร์ของคุณลักษณะของศูนย์ข้อมูลตั้งต้นสามารถยังรองรับการให้บริการได้ทั้งหมดเมื่อขนาดความจุของศูนย์ข้อมูลลดลงเหลือ 40% โดยไม่ละเมิด SLA ของลูกค้า และสุดท้ายสำหรับกรณีที่สามกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 สามารถเห็นได้ชัดเจนว่า SCCC สามารถจัดสรรภารกิจโดยคำนึงถึงการให้บริการสีเขียวสูงสุดก่อน ซึ่งจากผลการทดลองศูนย์ข้อมูลที่สามารถเข้าถึงแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนได้มากกว่าจะมีค่าสมรรถนะด้านการใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูลที่สูงกว่าเสมอโดยไม่ละเมิด SLA ของลูกค้า

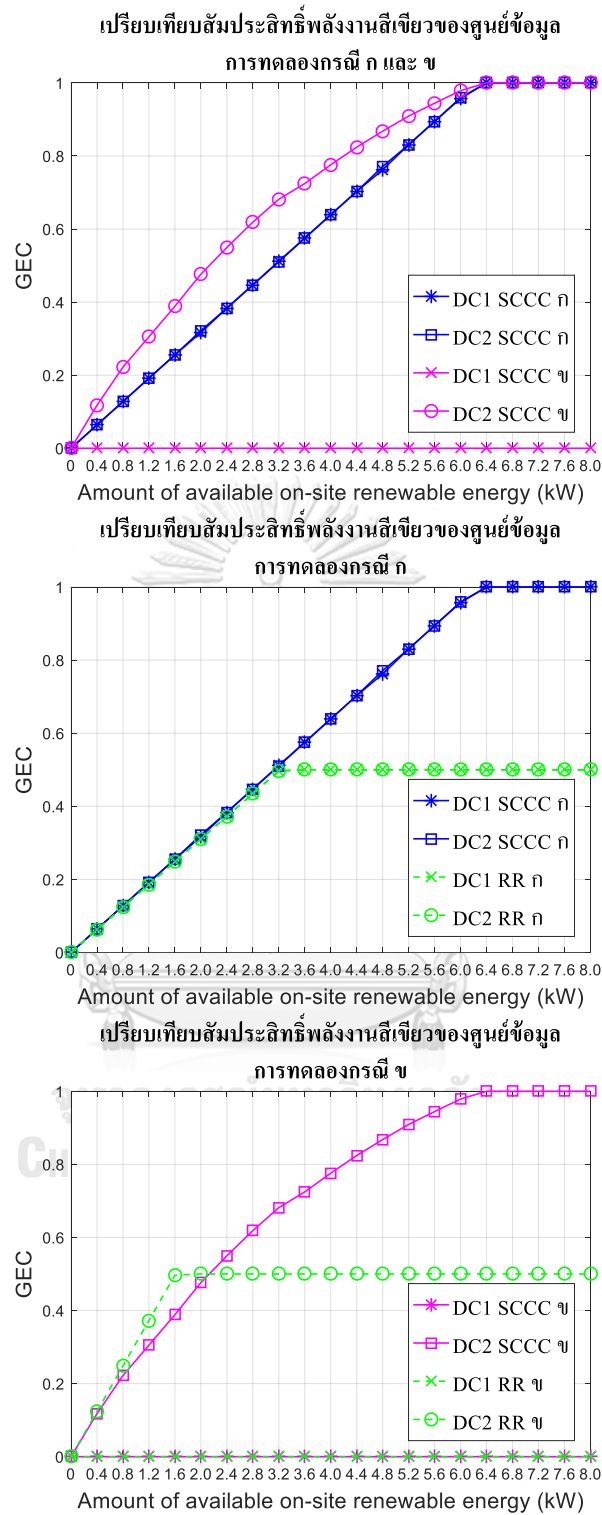
ประเด็นที่สองคือการเปรียบเทียบการทำงานของ SCCC และ RR โดยสรุปจากผลการทดลองทั้งสามกรณีศึกษาวิธี SCCC สามารถจัดสรรภารกิจไปใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล โดยคำนึงถึงการให้บริการสีเขียวและไม่ละเมิด SLA ของลูกค้าได้ดีกว่าวิธี RR

บทที่ 8

ผลการทดสอบแบบจำลองเพื่อการออกแบบระบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ สำหรับเมืองอัจฉริยะรักษ์สิ่งแวดล้อม และการประเมินผลสมรรถนะด้านรักษ์ สิ่งแวดล้อมของศูนย์ข้อมูล

ในบทนี้นำเสนอการประเมินสมรรถนะด้านรักษ์สิ่งแวดล้อมของศูนย์ข้อมูลทั้งสอง โดยผู้วิจัยจะใช้กรณีศึกษา กรณีสืบศึกษาผลกระทบการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานแบบพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ประเภทเซลล์แสงอาทิตย์ ในการประเมินผลว่ากรณีที่มีค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 เปลี่ยนแปลงไป แบบจำลองยังสามารถจัดสรรภารกิจโดยคำนึงถึงการรักษ์สิ่งแวดล้อมเพื่อสร้างศูนย์ข้อมูลแบบยั่งยืนอย่างไร โดยทำการประเมินตามดัชนีชี้วัดที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 6.3 คือ สัมประสิทธิ์พลังงานสีเขียว ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียวของภารกิจแต่ละชนิด ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียวต่อหน่วยข้อมูลของภารกิจแต่ละชนิด ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากพลังงานไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ในการทดลองเดียวกันกับที่ระบุไว้ในหัวข้อ 7.3 มีผลตามการทดลองตามรูปที่ 8.1 – 8.4 และสรุปได้ดังนี้

อันดับแรกเป็นสัมประสิทธิ์พลังงานสีเขียวของศูนย์ข้อมูลดังรูปที่ 8.1 โดยเมื่อค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 เพิ่มขึ้น วิธีการจัดสรรภารกิจของ SCCC การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว มีค่าสัมประสิทธิ์พลังงานสีเขียวของศูนย์ข้อมูลที่ 1 และ 2 เพิ่มแบบเชิงเส้นจาก 0 และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 ซึ่งเมื่อเทียบกับการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว มีเฉพาะศูนย์ข้อมูล 2 เท่านั้นที่มีค่าสัมประสิทธิ์พลังงานสีเขียว โดยมีค่าสูงกว่าศูนย์ข้อมูล 2 ในการทดลองกรณีแรก มีค่าการใช้พลังงานตามตารางที่ 7.13 และ 7.14 เนื่องจาก SCCC จัดสรรภารกิจไปใช้ทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล 2 เพื่อให้บริการรักษ์สิ่งแวดล้อมมากกว่าศูนย์ข้อมูล 1 และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับ RR พบว่าสัมประสิทธิ์พลังงานสีเขียวของศูนย์ข้อมูลมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.5 เท่านั้น

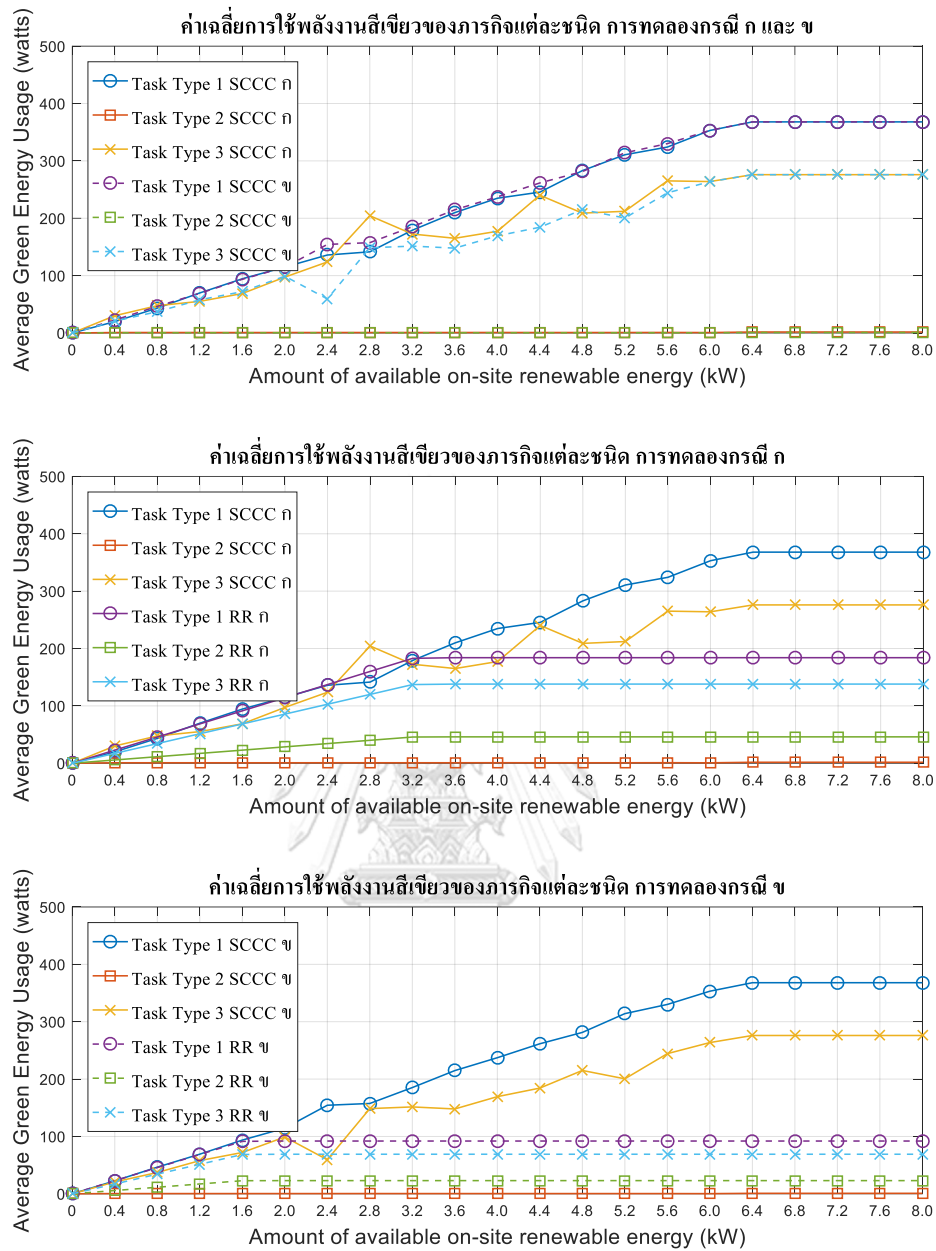


รูปที่ 8.1 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์พลังงานสีเขียวของศูนย์ข้อมูลด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)

อันดับที่สอง คือ การประเมินสมรรถนะด้านรักษ์สิ่งแวดล้อมของภารกิจแต่ละชนิดว่าวิธีการจัดสรรทั้งสองมีการจัดสรรแบบรักษ์สิ่งแวดล้อมให้ภารกิจแต่ละชนิดเท่าไรบ้าง โดยผู้วิจัยเสนอข้อมูลสองแบบคือ ค่าเฉลี่ยผลรวมการใช้พลังงานสีเขียวของแต่ละภารกิจซึ่งพิจารณาผลรวมการใช้พลังงานแยกตามชนิดของภารกิจ มีผลดังรูปที่ 8.2 และ ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียวของแต่ละภารกิจซึ่งพิจารณาการใช้พลังงานตามจำนวนหน่วยข้อมูล มีผลดังรูปที่ 8.3

สำหรับค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียวของภารกิจแต่ละชนิด (watts) จากรูปที่ 8.2 วิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC ทั้งการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว และ ศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน คือมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเมื่อศูนย์ข้อมูลสามารถใช้พลังงานจากแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ที่เพิ่มสูงขึ้นได้ จน ณ จุดที่พลังงานหมุนเวียนเพิ่มจนถึง 6,400 watts ซึ่งเป็นจุดที่ SCCC สามารถจัดสรรภารกิจเพื่อให้ศูนย์ข้อมูลใช้พลังงานหมุนเวียนได้สูงสุด และสอดคล้องกับผลการทดลองในตารางที่ 7.13 และ 7.14 โดยภารกิจชนิดที่ 1 ใช้พลังงานสีเขียวมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยผลรวมการใช้พลังงานสีเขียวสูงสุดของการทดลองทั้งสองกรณี 368 watts รองลงมาคือภารกิจชนิดที่ 3 มีค่าเฉลี่ยผลรวมการใช้พลังงานสีเขียวสูงสุดของการทดลองทั้งสองกรณี 276 watts และน้อยสุดคือภารกิจชนิดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยผลรวมการใช้พลังงานสีเขียวสูงสุดของการทดลองทั้งสองกรณี 0.86 watts และ 1.72 watts ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากที่ฟังก์ชันจุดประสงค์ของแบบจำลองสนใจการจัดสรรภารกิจโดยพิจารณาคุณลักษณะแกนคำนวณ $R_i^{Compute}$ ซึ่งภารกิจชนิดที่ 1 2 และ 3 มีค่า $R_i^{Compute}$ เท่ากับ 8 2 และ 6 แกนคำนวณตามลำดับ ทำให้เมื่อ SCCC ทำการจัดสรรภารกิจจึงทำให้ภารกิจชนิดที่ 1 ได้รับการจัดสรรไปใช้พลังงานสีเขียวมากที่สุด รองลงมาคือภารกิจชนิดที่ 3 และท้ายสุดคือภารกิจชนิดที่ 2

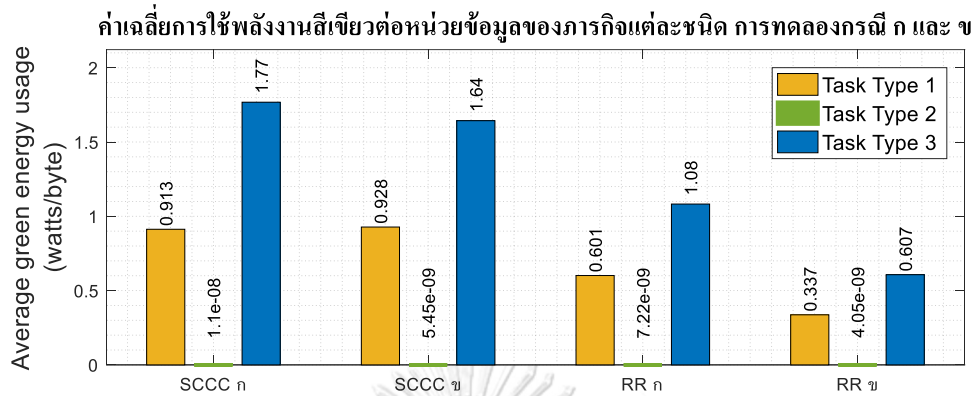
สำหรับวิธีการจัดสรรภารกิจ RR ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียวสูงสุดของการทดลองทั้งสองกรณีต่ำกว่า SCCC สำหรับการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว ณ จุดที่พลังงานหมุนเวียนเพิ่มจนถึง 3,220 watts ซึ่งเป็นจุดที่ RR สามารถจัดสรรภารกิจและใช้พลังงานหมุนเวียนได้สูงสุด และสอดคล้องกับผลการทดลองในตารางที่ 7.15 โดยภารกิจชนิดที่ 1 ใช้พลังงานสีเขียวมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยผลรวมการใช้พลังงานสีเขียวสูงสุดที่ 184 watts รองลงมาคือภารกิจชนิดที่ 3 มีค่าเฉลี่ยผลรวมการใช้พลังงานสีเขียวสูงสุดที่ 138 watts และน้อยสุดคือภารกิจชนิดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยผลรวมการใช้พลังงานสีเขียวสูงสุดที่ 46 watts และสำหรับการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว ณ จุดที่พลังงานหมุนเวียนเพิ่มจนถึง 1,610 watts ซึ่งเป็นจุดที่ RR สามารถจัดสรรภารกิจเพื่อให้ศูนย์ข้อมูลใช้พลังงานหมุนเวียนได้สูงสุด และสอดคล้องกับผลการทดลองในตารางที่ 7.16 โดยภารกิจชนิดที่ 1 ใช้พลังงานสีเขียวมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยผลรวมการใช้พลังงานสีเขียวสูงสุดที่ 92 watts รองลงมาคือภารกิจชนิดที่ 3 มีค่าเฉลี่ยผลรวมการใช้พลังงานสีเขียวสูงสุดที่ 69 watts และน้อยสุดคือภารกิจชนิดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยผลรวมการใช้พลังงานสีเขียวสูงสุดที่ 23 watts



รูปที่ 8.2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียวของภารกิจแต่ละชนิดด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)

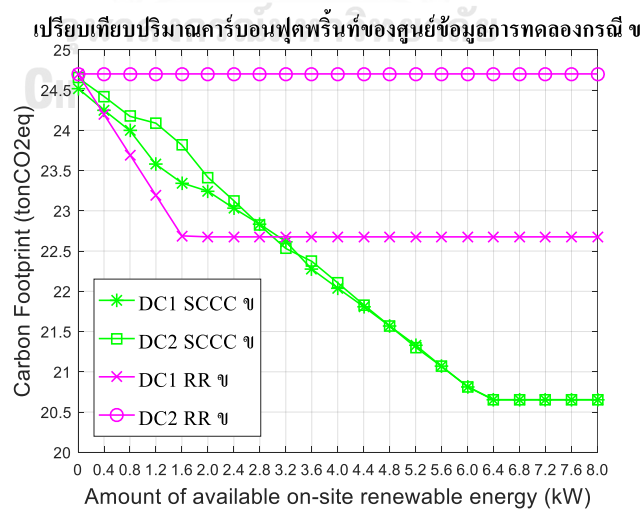
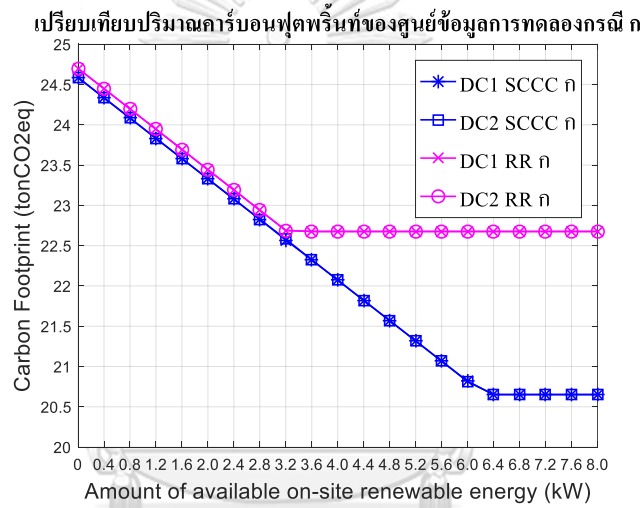
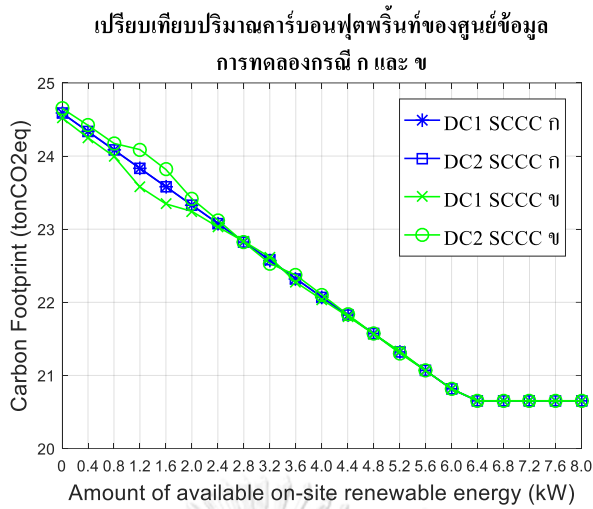
ต่อมาเป็นค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียวต่อหน่วยข้อมูลของภารกิจแต่ละชนิด (watts/byte) ซึ่งพิจารณาการใช้พลังงานตามหน่วยข้อมูล มีผลดังรูปที่ 8.3 โดยวิธีการจัดสรร SCCC ให้ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียวต่อหน่วยข้อมูลของแต่ละภารกิจที่สูงกว่า RR ของการทดลองทั้งสองกรณี และในกรณีนี้ภารกิจชนิดที่ 3 มีการค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียวต่อหน่วยข้อมูลสูงที่สุด รองลงมาคือภารกิจชนิดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เนื่องจากภารกิจชนิดที่ 1 และ 3 สามารถถูกจัดสรรได้ทั้งหมด x_{ijk} มีค่า

เท่ากับ 1 และขนาดข้อมูลของภารกิจชนิดที่ 3 มีขนาดเล็กที่สุดคือ 100B จึงทำให้ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียวต่อหน่วยข้อมูลสูงสุดในการทดลองนี้

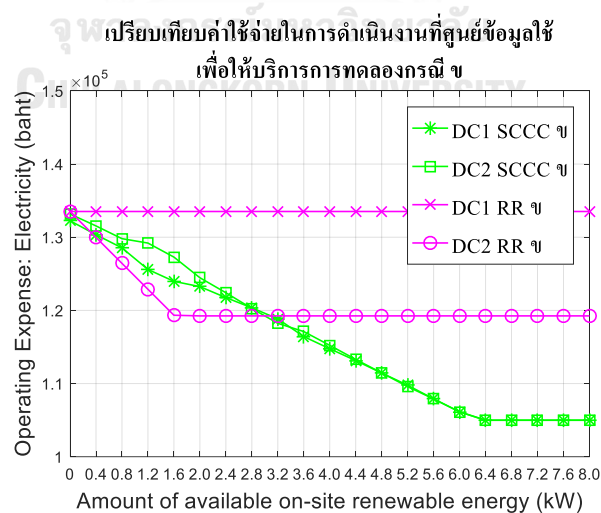
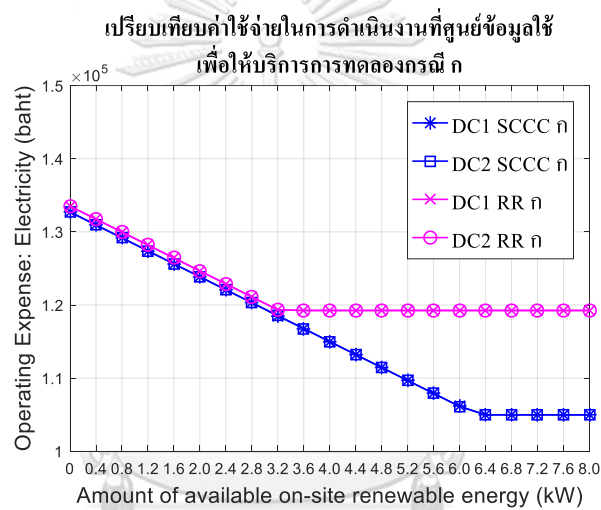
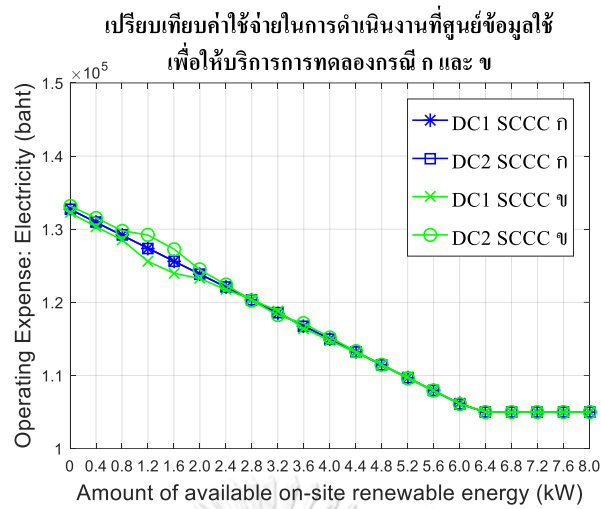


รูปที่ 8.3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียวต่อหน่วยข้อมูลของภารกิจแต่ละชนิดด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)

อันดับที่สาม คือ ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของศูนย์ข้อมูล และมีผลการทดลองตามรูปที่ 8.4 เมื่อค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 เพิ่มขึ้น SCCC สามารถจัดสรรภารกิจไปใช้ศูนย์ข้อมูลที่สามารถใช้พลังงานสีเขียวได้สูงสุดก่อน ทำให้ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของศูนย์ข้อมูล 1 และ 2 ของการทดลองทั้ง 2 กรณีมีค่าเท่ากัน โดยตอนเริ่มต้นที่ยังไม่มีพลังงานสีเขียว ศูนย์ข้อมูลทั้งสองมีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวมลดลงจาก 49.2 tonCO₂eq จนเหลือเพียง 41.4 tonCO₂eq คิดเป็นปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลง 15.85% ที่ค่าการจัดสรรภารกิจสีเขียวสูงสุด ซึ่งเมื่อเทียบกับวิธี RR แล้วมีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวมลดลงจาก 49.4 tonCO₂eq จนเหลือ 45.4 tonCO₂eq คิดเป็นปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลง 8.10% และสำหรับกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว เนื่องจากหากพิจารณาสมรรถนะของการให้ทรัพยากรของศูนย์ข้อมูลรวมด้วย จะเห็นว่า SCCC มีการใช้ทรัพยากรที่ศูนย์ข้อมูล 2 มากกว่าศูนย์ข้อมูล 1 และยิ่งค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 เพิ่มขึ้นศูนย์ข้อมูล 1 ยิ่งถูกใช้งานลดลงส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ลดลงไปด้วย ศูนย์ข้อมูลทั้งหมดสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียวคิดเป็นปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวมลดลงจาก 49.2 tonCO₂eq จนเหลือเพียง 41.4 tonCO₂eq คิดเป็นปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลง 15.85% ที่ค่าการจัดสรรภารกิจสีเขียวสูงสุด ซึ่งเมื่อเทียบกับวิธี RR แล้วคิดเป็นปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวมลดลงจาก 49.4 tonCO₂eq จนเหลือ 47.4 tonCO₂eq คิดเป็นปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลง 4.05% จากผลการทดลองนี้สรุปได้ว่า SCCC สามารถจัดสรรภารกิจโดยลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของศูนย์ข้อมูลได้ดีกว่า RR ในการทดลองทั้งสองกรณี



รูปที่ 8.4 เปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของศูนย์ข้อมูลด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจ SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)



รูปที่ 8.5 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการตามวิธี SCCC และ RR ของการทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ก) และกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว (ข)

สุดท้ายเป็นการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการมีผลดังรูปที่ 8.5 โดยศูนย์ข้อมูลที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากกริดอ้างอิงการคิดอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของการไฟฟ้านครหลวง และช่วงที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ที่มีค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0 บาท/หน่วย ตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 7 และมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการตามตารางที่ 8.1 - 8.4 ซึ่งจากผลการทดลองโดยเฉพาะอย่างยิ่งการทดลองกรณี ศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว เห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายของศูนย์ข้อมูลที่เกิดจากการจัดสรรด้วยวิธี SCCC นั้นมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการต่ำกว่ากรณีของ RR อย่างเห็นได้ชัดเจน เนื่องจาก SCCC สามารถจัดสรรภารกิจไปใช้บริการศูนย์ข้อมูลที่ใช้พลังงานหมุนเวียนได้มากกว่าก่อนศูนย์ข้อมูลที่ใช้พลังงานจากกริด

ตารางที่ 8.1 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการ ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCCC การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว

C_j	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการ (พันบาท/ปี)										
	0	400	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	4000
C_1	132.71	130.95	129.17	127.41	125.63	123.85	122.08	120.31	118.50	116.76	114.99
C_2	132.72	130.94	129.17	127.39	125.62	123.86	122.08	120.31	118.58	116.77	114.99

ตารางที่ 8.1 (ต่อ) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการ ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCCC การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว

C_j	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการ (พันบาท/ปี)									
	4400	4800	5200	5600	6000	6400	6800	7200	7600	8000
C_1	113.22	111.45	109.68	107.90	106.16	104.98	104.98	104.98	104.98	104.98
C_2	113.22	111.45	109.68	107.90	106.11	104.98	104.98	104.98	104.98	104.98

ตารางที่ 8.2 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการ ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCCC การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว

C_j	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการ (พันบาท/ปี)										
	0	400	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	4000
C_1	132.26	130.35	128.54	125.60	123.97	123.25	121.75	120.36	118.84	116.42	114.76
C_2	133.18	131.54	129.80	129.20	127.28	124.46	122.41	120.27	118.23	117.11	115.23

ตารางที่ 8.2 (ต่อ) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการ ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCCC การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว

C_j	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการ (พันบาท/ปี)									
	4400	4800	5200	5600	6000	6400	6800	7200	7600	8000
C_1	113.14	111.44	109.77	107.91	106.13	104.99	104.99	104.99	104.99	104.99
C_2	113.30	111.46	109.58	107.90	106.13	104.98	104.98	104.98	104.98	104.98

ตารางที่ 8.3 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการ ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ RR การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว

C_j	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการ (พันบาท/ปี)										
	0	400	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	4000
C_1	133.52	131.75	129.98	128.20	126.43	124.66	122.88	121.11	119.34	119.25	119.25
C_2	133.52	131.75	129.98	128.20	126.43	124.66	122.88	121.11	119.34	119.25	119.25

ตารางที่ 8.3 (ต่อ) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการ ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ RR การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว

C_j	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการ (พันบาท/ปี)									
	4400	4800	5200	5600	6000	6400	6800	7200	7600	8000
C_1	119.25	119.25	119.25	119.25	119.25	119.25	119.25	119.25	119.25	119.25
C_2	119.25	119.25	119.25	119.25	119.25	119.25	119.25	119.25	119.25	119.25

ตารางที่ 8.4 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการ ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCCC การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว

C_j	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการ (พันบาท/ปี)										
	0	400	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	4000
C_1	133.52	133.52	133.52	133.52	133.52	133.52	133.52	133.52	133.52	133.52	133.52
C_2	133.52	129.97	126.43	122.88	119.34	119.25	119.25	119.25	119.25	119.25	119.25

ตารางที่ 8.4 (ต่อ) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการ ด้วยวิธีการจัดสรรภารกิจของ SCCC การทดลองกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว

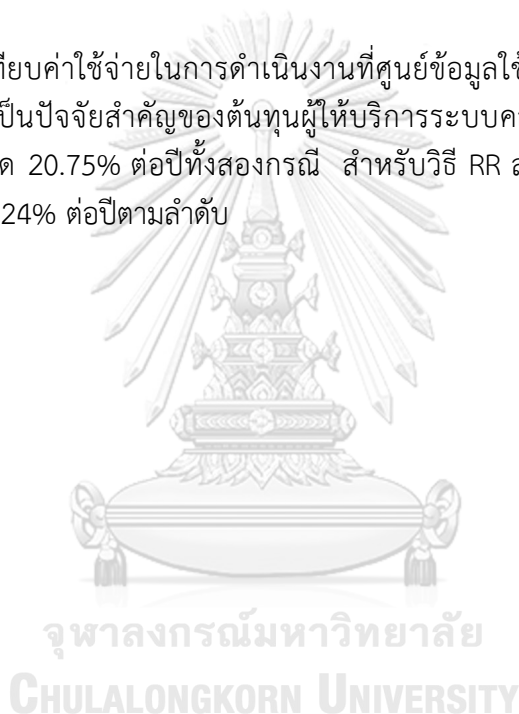
C_j	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการ (พันบาท/ปี)									
	4400	4800	5200	5600	6000	6400	6800	7200	7600	8000
C_1	133.52	133.52	133.52	133.52	133.52	133.52	133.52	133.52	133.52	133.52
C_2	119.25	119.25	119.25	119.25	119.25	119.25	119.25	119.25	119.25	119.25

สรุปผลการทดสอบแบบจำลองและประเมินผลสมรรถนะด้านรักษ์สิ่งแวดล้อมของศูนย์ข้อมูล โดยทำการประเมินตามดัชนีชี้วัด คือ สัมประสิทธิ์พลังงานสีเขียว (GEC) ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียว ของภารกิจแต่ละประเภท ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากพลังงานไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการ โดยใช้กรณีที่สามกรณีศึกษา ผลกระทบการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 ซึ่งเป็นกรณีที่ เกิดขึ้นได้ในเมืองอัจฉริยะ เนื่องจากคุณสมบัติความไม่แน่นอนของพลังงานแสงอาทิตย์ จากผลการ ทดลองวิธี SCCC สามารถจัดสรรภารกิจไปใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล โดยคำนึงถึงการให้บริการ ด้านรักษ์สิ่งแวดล้อมของศูนย์ข้อมูลได้ดีกว่าวิธี RR และสอดคล้องกับผลค่าเฉลี่ยผลรวมการใช้พลังงาน สีเขียวของแต่ละภารกิจ และผลค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียวต่อหน่วยข้อมูลของแต่ละภารกิจ

โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่ศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว ค่าสัมประสิทธิ์พลังงานสีเขียวของศูนย์ข้อมูล 2 ของวิธี SCCC มีค่าสูงกว่าวิธี RR ถึง 50%

ในทางเดียวกันกับปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากพลังงานไฟฟ้าของแต่ละศูนย์ข้อมูลยิ่งค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2 เพิ่มสูงขึ้น สำหรับกรณีที่ศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว SCCC มีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลง 15.85% ซึ่งเมื่อเทียบกับวิธี RR แล้วมีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลง 8.10% เท่านั้น โดยสามารถลดได้มากกว่า 7.85% และหากยิ่งกรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว SCCC สามารถลดปริมาณการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้มากกว่า RR ขึ้นไปอีก โดยสามารถลดได้มากกว่าถึง 11.8%

เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของต้นทุนผู้ให้บริการระบบคลาวด์ วิธีการ SCCC สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้สูงสุด 20.75% ต่อปีทั้งสองกรณี สำหรับวิธี RR สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้สูงสุด 10.86% ต่อปี และ 5.24% ต่อปีตามลำดับ



บทที่ 9

วิเคราะห์ผลการทดลอง สรุปผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานจริงได้เพื่อรองรับโปรแกรมประยุกต์ของเมืองอัจฉริยะ กฟผ. สนง. ซึ่งจะต้องรองรับการออกแบบเป็นโมดูลเพื่อให้การออกแบบมีความยืดหยุ่นสามารถปรับเปลี่ยนได้อย่างรวดเร็วตามความต้องการใช้งานที่เปลี่ยนไป ร่วมกับแนวคิดของโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะและเมืองอัจฉริยะที่มุ่งเน้นถึงเรื่องแนวคิดริ้วสิ่งแวดล้อมในการจัดสรรทรัพยากรของศูนย์ข้อมูลให้กับคำร้องขอบริการแบบสีเขียว โดยพิจารณาสภาพแวดล้อมของการออกแบบระบบการคำนวณแบบคลาวด์คือ คุณลักษณะของศูนย์ข้อมูล ได้แก่ ความจุของแกนคำนวณ ขนาดเครือข่ายที่สามารถให้บริการได้ ขนาดหน่วยเก็บ รวมทั้งกำหนดคุณลักษณะของภารกิจเพิ่มเติมจากที่ได้นำเสนอไปแล้ว เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะโปรแกรมประยุกต์แต่ละชนิดที่จะมีใช้งานในเมืองอัจฉริยะ ได้แก่ ชนิดของภารกิจ ขนาดแกนคำนวณที่ต้องการใช้งาน ขนาดของเครือข่ายที่ต้องการ ขนาดของหน่วยเก็บ ขนาดของข้อมูล และค่าการประวิงเวลาในระบบสื่อสารสูงสุด อีกทั้งในเมืองอัจฉริยะ กฟผ. สนง. ประกอบด้วยอาคารต่าง ๆ ที่มีระบบขนาดโครงข่ายที่แตกต่างกัน จึงพิจารณาในส่วนของคุณลักษณะของโครงข่ายกายภาพทั้งในอาคารและระหว่างอาคารที่เชื่อมต่อระหว่างหน่วยงานหรือลูกค้ามายังศูนย์ข้อมูลทั้งสองที่ต้องการขอใช้บริการระบบการคำนวณแบบคลาวด์อีกด้วย ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้เป็นส่วนสำคัญและเกี่ยวข้องในการให้บริการระบบคลาวด์แก่หน่วยงานหรือลูกค้าที่อยู่ตามอาคารต่าง ๆ ใน กฟผ. สนง. อีกทั้งสามารถใช้กับการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่มีการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหลายแหล่งที่แตกต่างกัน เช่น แหล่งผลิตพลังงานจากกริด หรือแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ และหน่วยกักเก็บพลังงานสำรอง เป็นต้น

ผู้วิจัยได้ทำการประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์ในการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์โดยใช้กรณีศึกษาสองกรณีศึกษา คือ กรณีที่หนึ่งกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการเพื่อให้แสดงให้เห็นว่าจากพารามิเตอร์ปัจจุบันของศูนย์ข้อมูล ระบบคลาวด์ที่กำลังออกแบบนั้นสามารถรองรับความต้องการใช้งานที่เพิ่มขึ้นได้อีกเท่าใด โดยวิศวกรผู้ออกแบบระบบสามารถที่จะนำเอาแบบจำลองนี้ไปพิจารณารวมกับข้อมูลการคาดการณ์การเพิ่มความต้องการการให้บริการระบบคลาวด์ได้ และการทำการปรับเปลี่ยนคุณลักษณะของภารกิจแต่ละชนิดที่จะมีใช้งานในเมืองอัจฉริยะ ได้แก่ ชนิดของภารกิจ ขนาดแกนคำนวณที่ต้องการใช้งาน ขนาดของเครือข่ายที่ต้องการ ขนาดของหน่วยเก็บ ขนาดของข้อมูล และค่าการประวิงเวลาในระบบสื่อสารสูงสุด ได้โดยง่าย เพื่อหาขนาดของระบบคลาวด์ที่เหมาะสมต่อการลงทุนระยะยาวได้ และกรณีที่สองกรณีศึกษาผลกระทบการลดขนาดความจุของศูนย์ข้อมูล ในกรณีศึกษานี้วิศวกรสามารถนำเอาแบบจำลองมาประยุกต์ใช้ช่วงการออกแบบว่า หากระบบคลาวด์ที่ต้องการลงทุนนั้นมีการคาดการณ์ว่าจะมีการปิดเพื่อซ่อมบำรุง หรือมีเหตุขัดข้องตามประวัติการเสียของอุปกรณ์นั้น

ระบบคลาวด์ยังมีสภาพพร้อมใช้งานเมื่อความจุของศูนย์ข้อมูลหายไปก็เปอร์เซ็นต์ ซึ่งวิศวกรสามารถนำเอาข้อมูลนี้ไปประกอบการตัดสินใจการออกแบบระบบเพื่อช่วงเวลาชดช้อยดังกล่าว

ประเด็นถัดมาคือการใช้ประโยชน์จากแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่กรณีพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพฤติกรรมไม่แน่นอนในเมืองอัจฉริยะ ประกอบกับแนวคิดเรื่องการสร้างศูนย์ข้อมูลรักษ์สิ่งแวดล้อมที่มีการนำเอาไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแหล่งพลังงานหมุนเวียนมาใช้ในศูนย์ข้อมูล และเพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของเมืองอัจฉริยะ กฟผ. จึงเป็นที่มาให้ผู้วิจัยศึกษาองค์ความรู้และเกณฑ์การประเมินเพื่อสร้างศูนย์ข้อมูลแบบยั่งยืน คือ สัมประสิทธิ์พลังงานสีเขียว (GEC) ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสีเขียวของภารกิจแต่ละประเภท ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากพลังงานไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการ ซึ่งสรุปผลการทดสอบแบบจำลองและประเมินผลสมรรถนะด้านรักษ์สิ่งแวดล้อมของศูนย์ข้อมูล ซึ่งหากพิจารณาศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียวซึ่งน่าจะเป็นกรณีที่พบเห็นได้ในเมืองอัจฉริยะที่มีศูนย์ข้อมูลหลายศูนย์ข้อมูล และมีโครงสร้างระบบไฟฟ้าแตกต่างกัน วิธี SCCC สามารถจัดสรรภารกิจไปใช้งานทรัพยากรของศูนย์ข้อมูล โดยคำนึงถึงการให้บริการด้านรักษ์สิ่งแวดล้อมของศูนย์ข้อมูลได้ดีกว่าวิธี RR โดยมีค่าสัมประสิทธิ์พลังงานสีเขียวของศูนย์ข้อมูลสูงกว่าถึง 50% สามารถลดปริมาณการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้มากกว่าถึง 11.8% และสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ศูนย์ข้อมูลใช้เพื่อให้บริการเฉพาะค่าไฟฟ้าสำหรับตัวบริการซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของต้นทุนผู้ให้บริการระบบคลาวด์ได้สูงสุด 20.75% ต่อปี

โดยสรุปแบบจำลองที่ผู้วิจัยได้นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับวิศวกร ในการช่วยออกแบบระบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์สำหรับเมืองอัจฉริยะรักษ์สิ่งแวดล้อม ที่มีหลายศูนย์ข้อมูล รองรับภารกิจที่ต้องการใช้บริการระบบคลาวด์ที่มีปริมาณและชนิดที่ต่างกัน และมีการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานจากกริด และแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่หลาย ๆ แหล่งได้

ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาโดยใช้จัดกลุ่มภารกิจเป็นสามชนิดเพื่อให้เห็นการทำงานของแบบจำลอง ซึ่งในกรณีการใช้งานจริงนั้นควรมีการปรับเพิ่มชนิดของภารกิจ รวมทั้งกำหนดคุณลักษณะที่แตกต่างกันเพิ่มเติม
2. ในการนำเอาไปประยุกต์ใช้งานจริงสำหรับกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการนั้น ภารกิจแต่ละชนิดนั้นมีความต้องการการใช้งานในอนาคตในอัตราที่แตกต่างกัน ซึ่งแบบจำลองที่เสนอรองรับการปรับเปลี่ยนความต้องการการใช้งานอัตราที่แตกต่างกันได้ มากไปกว่านั้นแบบจำลองสามารถปรับไปถึงระดับคุณลักษณะของภารกิจแต่ละชนิดอีกด้วย
3. ในการทดลองนี้ผู้วิจัยกำหนดตัวบริการทั้งสองศูนย์ข้อมูลเป็นประเภทเดียวกันและมีคุณลักษณะเหมือนกันทั้งหมด ซึ่งในความเป็นจริงแล้วศูนย์ข้อมูลสามารถมีตัวบริการที่มีประเภทและคุณลักษณะแตกต่างกันตามปีที่ได้ดำเนินการจัดซื้อจัดจ้าง หรือทำการจัดหาเพื่อทดแทนอุปกรณ์เดิม

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้น γ จะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละศูนย์ข้อมูลที่แตกต่างกันและสมจริงมากขึ้น

4. แบบจำลองที่เสนอสามารถนำไปพัฒนาต่อเพื่อใช้งานกับการออกแบบระบบคลาวด์ในเมืองอัจฉริยะที่เป็นแบบฐานเวลา (time-base) ที่มีความไม่แน่นอนของการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ที่เปลี่ยนไปตามช่วงเวลา โดยใช้ข้อมูลการพยากรณ์การผลิตไฟฟ้าจากแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่ ร่วมกับช่วงเวลาการทำงานของระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคาร เพื่อสร้างการขอซื้อพลังงานล่วงหน้าทุก ๆ 1 ชั่วโมง (one hour ahead) หรือ 30 นาที (30 minutes ahead) หรือ 15 นาที (15 minutes ahead) ให้สอดคล้องกับแนวความคิดการใช้พลังงานจากแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่สูงสุดเพื่อสร้างการคำนวณรั้งสิ่งแวดล้อมในเมืองอัจฉริยะได้ ทั้งนี้ผู้พัฒนาจำเป็นต้องคำนึงถึงเวลาในการประมวลผลของแบบจำลองด้วยหากสถาปัตยกรรมระบบคลาวด์ของเมืองอัจฉริยะที่ต้องการออกแบบนั้นมีพารามิเตอร์จำนวนมากขึ้น และทอพอโลยีระบบสื่อสารที่ซับซ้อนมากกว่านี้



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม

- [1] กระทรวงพลังงาน, (2558). แผนแม่บทการพัฒนาาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579.
- [2] สำนักงานนโยบายและแผน กระทรวงพลังงาน, (2559). โครงการสนับสนุนการออกแบบเมืองอัจฉริยะ (Smart Cities-Clean Energy).
- [3] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, (2559). ร่างขอบเขตของงานจัดซื้อพร้อมติดตั้งงานปรับปรุงระบบชุมสายโทรศัพท์ Voice over Internet Protocol (VoIP) สำหรับสำนักงานใหญ่ กฟผ. จำนวน 3 รายการ.
- [4] International Telecommunication Union, ITU-T Focus Group on Smart Sustainable Cities: An overview of smart sustainable cities and the role of information and communication technologies, ITU-T/FG-SSC Technical Report, Oct 2014.
- [5] Lea, R. Smart Cities: An Overview of the Technology Trends Driving Smart Cities, IEEE Technology Trend Paper, Mar 2017.
- [6] International Electrotechnical Commission. Orchestrating infrastructure for sustainable Smart Cities, IEC White Paper, 2016.
- [7] Eremia, M., Toma, L., and Sanduleac, M. The Smart City Concept in the 21st Century, 10th International Conference Interdisciplinary in Engineering, INTER-ENG 2016, (2016)
- [8] International Telecommunication Union. Ubiquitous Sensor Networks (USN), ITU-T Technology Watch Briefing Report Series, Feb 2008.
- [9] Jin, J., Gubbi, J., Marusic, S. and Palaniswami, M. An Information Framework for Creating a Smart City Through Internet of Things, IEEE Internet of Things Journal, 1 (2014): 112-121
- [10] Theodoridis, E., Mylonas, G. and Chatzigiannakis, I. Developing an IoT Smart City Framework, 2013 Fourth International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications, IISA, (2013)
- [11] Szabo, R., Farkas, K., Ispany, M., Benczur, A., Batfaix, N. and Jeszenszky, P. Framework for Smart City Applications Based on Participatory Sensing, 4th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications, CogInfoCom 2013, (2013): 295-300
- [12] Hernandez, J. F., Larios, V. M., Avalos M. and Silva-Lepe, I., Infrastructure of Services for a Smart City Using Cloud Environment, International journal of Computer Networks & Communications, IJCNC, 8 (2016): 105-119

- [13] Cicirelli, F., Guerrieri, A. , Spezzano, G. and Vinci A., An edge-based platform for dynamic Smart City applications, Future Generation Computer Systems, 76 (2017): 106-118
- [14] Souza, V., et al., Towards a proper service placement in combined Fog-to-Cloud (F2C) architectures, Future Generation Computer Systems, 87 (2018): 1-15
- [15] Ochiai, H. , Ishiyama, M., Momose, T., Fujiwara, N., Ito, K., Inagaki, H., Nakagawa, A. and Esaki, H. FIAP: Facility Information Access Protocol for Data-Centric Building Automation Systems. IEEE INFOCOM M2MCN workshop, (2011)
- [16] IEEE. IEEE1888-2011: IEEE Standard for Ubiquitous Green Community Control Network, 2011.
- [17] Inthasut, T. and Aswakul, C. ZigBee Wireless Sensor Network with IEEE1888 Gateway for Building Energy Management System, Proceedings of ICEIC 2014, (2014).
- [18] Inthasut, T. and Aswakul, C. Development and Reliability Testing of IEEE1888 Gateway for ZigBee Wireless Sensor Network in Chulalongkorn University's Building Energy Management System, Proceedings of ISIPS 2014, (2014).
- [19] Le, D. H. and Pora, W. Development of smart meter for building energy management system based on the IEEE 1888 standard with Wi-Fi communication. In Proceedings of ICEIC 2014, (2014).
- [20] Janssen, M., Matheus, R. and Zuiderwijk, A. Big and Open Linked Data (BOLD) to Create SmartCities and Citizens: Insights from Smart Energy and Mobility Cases, 14th IFIP WG 8.5 International Conference, EGOV 2015 Thessaloniki, Greece, August 30 – September 2, 2015 Proceedings, (2015): 79-90
- [21] Mell, P. and Grance, T. The NIST Definition of Cloud Computing - Recommendations of the National Institute of Standards and Technology, National Institute of Standards and Technology, 2011.
- [22] Bera, S., Misra, S. and Rodrigues, J. Cloud Computing Applications for Smart Grid: A Survey, IEEE Transactions On Parallel And Distributed Systems, 26 (2015): 1477-1494
- [23] Cao, Z., Lin, J., Wan, C., Song, Y., Zhang, Y. and Wang, X. Optimal Cloud Computing Resource Allocation for Demand Side Management, IEEE Transactions on Smart Grid, (2016): 1-13
- [24] Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, United States Data Center Energy Usage Report, 2016.
- [25] Buyya, R., Beloglazov, A. and Abawajy, J. Energy-Efficient Management of Data Center Resources for Cloud Computing: A Vision, Architectural Elements, and Open

- Challenges, Proceedings of the 2010 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA 2010), (2010)
- [26] Murugesan, S. Harnessing Green IT: Principles and Practices - Adopting a holistic approach to greening IT is our responsibility toward creating a more sustaining environment, IEEE Computer Society, 10 (2008): 24-33
- [27] Gattulli, M., Tornatore, M., Fiandra, R. and Pattavina, A. Low-Carbon Routing Algorithms For Cloud Computing Services in IP-over-WDM Networks, IEEE ICC 2012 - Optical Networks and Systems, (2012)
- [28] Chen, C., He, B. and Tang, X. Green-Aware Workload Scheduling in Geographically Distributed Data Centers, 2012 IEEE 4th International Conference on Cloud Computing Technology and Science, (2012)
- [29] Goiri, Í., Haque, M. E., Le, K., Beauchea, R., Nguyen, T. D., Guitart, J. et al. Matching renewable energy supply and demand in green datacenters, Ad Hoc Networks, 25 (2015): 520-534
- [30] Beldiceanu, N., Feris, B. D., Gravey, P., Hasan, S., Jard, C., Ledoux, T. et al. Towards energy-proportional clouds partially powered by renewable energy, Computing (2017), 99 (2016): 3-22
- [31] Wadhwa, B. and Verma, A., Energy and Carbon Efficient VM Placement and Migration Technique for Green Cloud Datacenters, IEEE, (2014)
- [32] Hasan, M. S., Kouki, Y., Ledoux, T. And Pazat, J. L. Exploiting Renewable Sources: When Green SLA Becomes a Possible Reality in Cloud Computing, IEEE Transactions On Cloud Computing, 5 (2017): 249-262
- [33] Li, Y., Orgerie, A. C., And Menaud, J. M. Opportunistic Scheduling in Clouds Partially Powered by Green Energy, 2015 IEEE International Conference on Data Science and Data Intensive Systems, (2015): 448-455
- [34] Amokrane, A., Langar, R., Zhani, M. F., Boutaba, R. And Pujolle, G., Greenslater: On Satisfying Green SLAs in Distributed Clouds, IEEE Transactions On Network And Service Management, 12 (2015): 363-376
- [35] Haque, M. E., Le, K., Goiri, I., Bianchini, R. And Nguyen, T. D. Providing Green SLAs in High Performance Computing Clouds, Green Computing Conference (IGCC), 2013 International, (2013)
- [36] Roy, G., Washbrook, A., Crooks, D., Qin, G., Skipsey, S. C., Stewart, G. And Britton, D. Evaluation of containers as a virtualisation alternative for HEP workloads, Journal of Physics: Conference Series, 664 (2015): 022034

- [37] Felter, W., Ferreira, A., Rajamony, R., and Rubio, J. An Updated Performance Comparison of Virtual Machines and Linux Containers, 2015 IEEE International Symposium on Performance Analysis of Systems and Software (ISPASS), (2015): 171-172
- [38] Docker [Online]. Available from : <https://www.docker.com/> [2019, Jun 15]
- [39] Souppaya, M., Morello, J., and Scarfone, K. Application container security guide, NIST Special Publication 800-190, 2017.
- [40] Gennert, M. A. and Yuille, A. L. Determining the Optimal Weights in Multiobject optimization problem, (1998).
- [41] Dhavarudha, E., Charoenlarnnoppa, C., and Runggeratigul, S. Traffic Control Based on Contention Resolution in Optical Burst, International Journal Of Computers Communications & Control (IJCCC), 10 (2015): 49-61
- [42] Kuzlu, M., Pipattanasomporn, M., and Rahman, S. Communication Network Requirements for Major Smart Grid Applications In HAN, NAN And WAN, Computer Networks, 67 (2014): 74–88
- [43] Erol-Kantarci, M. and Mouftah, H. T. Energy-Efficient Information and Communication Infrastructures in the Smart Grid: A Survey on Interactions and Open Issues, IEEE Communication Surveys & Tutorials, 17 (2015): 179-197
- [44] Green IT by All Parties. [Online]. Available from : <http://www.oecd.org/sti/ind/45009540.pdf> [2019, Dec 4]
- [45] Amazon. [Online]. Available from : <https://aws.amazon.com/th/about-aws/sustainability/> [2019, Dec 4]
- [46] ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) รวบรวมมาจากข้อมูลสถิติสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร, องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์กรมหาชน) [Online]. Available from : http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts_11335ee08a.pdf [2019, Jan 1]
- [47] อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่, การไฟฟ้านครหลวง. [Online]. Available from: <https://www.mea.or.th/profile/109/114> [2019, Dec 4]
- [48] Tracey, C. and Burns, B. Managing Kubernetes, O'Reilly Media, Inc, 2018



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

โปรแกรมแบบจำลองเพื่อการออกแบบระบบโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์สำหรับ เมืองอัจฉริยะรักษ์สิ่งแวดล้อม

ก.1 โปรแกรมกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้บริการ

ก 1.1 กรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว

```
function [X,Function value,exitflag] =
calx rfixcase1(Ri_cpu in,Ri_bw in,Ri_sto in,Ri_delay in,Ri_data in,C1,C2,C,D in,d in,S
1,S2,w1,w2,wpc)
%% Test scenario a): C1 and C2 can access both S1(G) and S2(PV).
X=[];
Function_value=[];
ratio = [1:0.5:10];
for i=1:length(ratio)
    %% Demand from user request increase 0.5 times gradually on the basis of Ri xx in,
    Ri_cpu = Ri_cpu_in*ratio(i); %Ri_compute
    Ri_bw = Ri_bw_in*ratio(i);
    Ri_sto = Ri_sto_in*ratio(i);
    Ri_delay = Ri_delay_in*ratio(i);
    Ri_data = Ri_data_in*ratio(i);

    %% Communication Latency Metric dij
    D = D_in*ratio(i);
    d = d_in*ratio(i);

    %% LP Objective function
    f = [-Ri_cpu(1)*w2 -Ri_cpu(1)*w1 -Ri_cpu(1)*w2 -Ri_cpu(1)*w1 -Ri_cpu(2)*w2 -
    Ri_cpu(2)*w1 -Ri_cpu(2)*w2 -Ri_cpu(2)*w1 -Ri_cpu(3)*w2 -Ri_cpu(3)*w1 -Ri_cpu(3)*w2 -
    Ri_cpu(3)*w1 -Ri_cpu(4)*w2 -Ri_cpu(4)*w1 -Ri_cpu(4)*w2 -Ri_cpu(4)*w1 -Ri_cpu(5)*w2 -
    Ri_cpu(5)*w1 -Ri_cpu(5)*w2 -Ri_cpu(5)*w1 -Ri_cpu(6)*w2 -Ri_cpu(6)*w1 -Ri_cpu(6)*w2 -
    Ri_cpu(6)*w1 -Ri_cpu(7)*w2 -Ri_cpu(7)*w1 -Ri_cpu(7)*w2 -Ri_cpu(7)*w1 -Ri_cpu(8)*w2 -
    Ri_cpu(8)*w1 -Ri_cpu(8)*w2 -Ri_cpu(8)*w1 -Ri_cpu(9)*w2 -Ri_cpu(9)*w1 -Ri_cpu(9)*w2 -
    Ri_cpu(9)*w1 -Ri_cpu(10)*w2 -Ri_cpu(10)*w1 -Ri_cpu(10)*w2 -Ri_cpu(10)*w1 -
    Ri_cpu(11)*w2 -Ri_cpu(11)*w1 -Ri_cpu(11)*w2 -Ri_cpu(11)*w1 -Ri_cpu(12)*w2 -
    Ri_cpu(12)*w1 -Ri_cpu(12)*w2 -Ri_cpu(12)*w1 -Ri_cpu(13)*w2 -Ri_cpu(13)*w1 -
    Ri_cpu(13)*w2 -Ri_cpu(13)*w1 -Ri_cpu(14)*w2 -Ri_cpu(14)*w1 -Ri_cpu(14)*w2 -
    Ri_cpu(14)*w1 -Ri_cpu(15)*w2 -Ri_cpu(15)*w1 -Ri_cpu(15)*w2 -Ri_cpu(15)*w1 -
    Ri_cpu(16)*w2 -Ri_cpu(16)*w1 -Ri_cpu(16)*w2 -Ri_cpu(16)*w1 -Ri_cpu(17)*w2 -
    Ri_cpu(17)*w1 -Ri_cpu(17)*w2 -Ri_cpu(17)*w1 -Ri_cpu(18)*w2 -Ri_cpu(18)*w1 -
    Ri_cpu(18)*w2 -Ri_cpu(18)*w1 -Ri_cpu(19)*w2 -Ri_cpu(19)*w1 -Ri_cpu(19)*w2 -
    Ri_cpu(19)*w1 -Ri_cpu(20)*w2 -Ri_cpu(20)*w1 -Ri_cpu(20)*w2 -Ri_cpu(20)*w1];
    %constraint2, j=1
    A = [Ri_cpu(1) Ri_cpu(1) 0 0 Ri_cpu(2) Ri_cpu(2) 0 0 Ri_cpu(3) Ri_cpu(3) 0 0 Ri_cpu(4)
    Ri_cpu(4) 0 0 Ri_cpu(5) Ri_cpu(5) 0 0 Ri_cpu(6) Ri_cpu(6) 0 0 Ri_cpu(7) Ri_cpu(7) 0 0
    Ri_cpu(8) Ri_cpu(8) 0 0 Ri_cpu(9) Ri_cpu(9) 0 0 Ri_cpu(10) Ri_cpu(10) 0 0 Ri_cpu(11)
    Ri_cpu(11) 0 0 Ri_cpu(12) Ri_cpu(12) 0 0 Ri_cpu(13) Ri_cpu(13) 0 0 Ri_cpu(14)
    Ri_cpu(14) 0 0 Ri_cpu(15) Ri_cpu(15) 0 0 Ri_cpu(16) Ri_cpu(16) 0 0 Ri_cpu(17)
    Ri_cpu(17) 0 0 Ri_cpu(18) Ri_cpu(18) 0 0 Ri_cpu(19) Ri_cpu(19) 0 0 Ri_cpu(20)
    Ri_cpu(20) 0 0;
    %constraint3, j=1
    Ri_bw(1) Ri_bw(1) 0 0 Ri_bw(2) Ri_bw(2) 0 0 Ri_bw(3) Ri_bw(3) 0 0 Ri_bw(4) Ri_bw(4) 0
    0 Ri_bw(5) Ri_bw(5) 0 0 Ri_bw(6) Ri_bw(6) 0 0 Ri_bw(7) Ri_bw(7) 0 0 Ri_bw(8) Ri_bw(8)
    0 0 Ri_bw(9) Ri_bw(9) 0 0 Ri_bw(10) Ri_bw(10) 0 0 Ri_bw(11) Ri_bw(11) 0 0 Ri_bw(12)
    Ri_bw(12) 0 0 Ri_bw(13) Ri_bw(13) 0 0 Ri_bw(14) Ri_bw(14) 0 0 Ri_bw(15) Ri_bw(15) 0 0
    Ri_bw(16) Ri_bw(16) 0 0 Ri_bw(17) Ri_bw(17) 0 0 Ri_bw(18) Ri_bw(18) 0 0 Ri_bw(19)
    Ri_bw(19) 0 0 Ri_bw(20) Ri_bw(20) 0 0;
    %constraint4, j=1
    Ri_sto(1) Ri_sto(1) 0 0 Ri_sto(2) Ri_sto(2) 0 0 Ri_sto(3) Ri_sto(3) 0 0 Ri_sto(4)
    Ri_sto(4) 0 0 Ri_sto(5) Ri_sto(5) 0 0 Ri_sto(6) Ri_sto(6) 0 0 Ri_sto(7) Ri_sto(7) 0 0
```



```

b = [C1(1)*0.8 C1(2) C1(3) C2(1)*0.8 C2(2) C2(3) C(1,1) C(1,2) C(2,1) C(2,2) C(3,1)
C(3,2) C(4,1) C(4,2) C(5,1) C(5,2) C(6,1) C(6,2) C(7,1) C(7,2) C(8,1) C(8,2) C(9,1)
C(9,2) C(10,1) C(10,2) C(11,1) C(11,2) C(12,1) C(12,2) C(13,1) C(13,2) C(14,1) C(14,2)
C(15,1) C(15,2) C(16,1) C(16,2) C(17,1) C(17,2) C(18,1) C(18,2) C(19,1) C(19,2)
C(20,1) C(20,2) Ri_delay(1) Ri_delay(1) Ri_delay(2) Ri_delay(2) Ri_delay(3)
Ri_delay(3) Ri_delay(4) Ri_delay(4) Ri_delay(5) Ri_delay(5) Ri_delay(6) Ri_delay(6)
Ri_delay(7) Ri_delay(7) Ri_delay(8) Ri_delay(8) Ri_delay(9) Ri_delay(9) Ri_delay(10)
Ri_delay(10) Ri_delay(11) Ri_delay(11) Ri_delay(12) Ri_delay(12) Ri_delay(13)
Ri_delay(13) Ri_delay(14) Ri_delay(14) Ri_delay(15) Ri_delay(15) Ri_delay(16)
Ri_delay(16) Ri_delay(17) Ri_delay(17) Ri_delay(18) Ri_delay(18) Ri_delay(19)
Ri_delay(19) Ri_delay(20) Ri_delay(20) S1 S2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1];
Aeq = [];
beq = [];
lb = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
ub = [1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1];
options = optimoptions('linprog','MaxIter',10000);
[x,Fval,exitflag]= linprog(f,A,b,Aeq,beq,lb,ub);

%%%Task propotional Xijk%%
for j=1:length(x)
    X(j,i) = x(j);
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Function value(i) = Fval*(-1);
end
exitflag
end

```

ก 1.2 กรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว

```

function [X,Function_value,exitflag] =
calx_rfixcase2(Ri_cpu_in,Ri_bw_in,Ri_sto_in,Ri_delay_in,Ri_data_in,C1,C2,C,D_in,d_in,S
1,S2,w1,w2,wpc)
%% Test scenario b):C1 can access only S1(G), C2 can access to S1(G) and S2(PV)
X=[];
Function_value=[];
ratio = [1:0.5:5];
for i=1:length(ratio)
    %% Demand from user request increase 0.5 times gradually on the basis of Ri xx in,
    Ri_cpu = Ri_cpu_in*ratio(i); %Ri compute
    Ri_bw = Ri_bw_in*ratio(i);
    Ri_sto = Ri_sto_in*ratio(i);
    Ri_delay = Ri_delay_in*ratio(i);
    Ri_data = Ri_data_in*ratio(i);

    %% Communication Latency Metric dij
    D = D_in*ratio(i);
    d = d_in*ratio(i);

    %% LP Objective function
    f = [-Ri_cpu(1)*w2 -Ri_cpu(1)*w1 -Ri_cpu(1)*w2 -Ri_cpu(1)*w1 -Ri_cpu(2)*w2 -
Ri_cpu(2)*w1 -Ri_cpu(2)*w2 -Ri_cpu(2)*w1 -Ri_cpu(3)*w2 -Ri_cpu(3)*w1 -Ri_cpu(3)*w2 -
Ri_cpu(3)*w1 -Ri_cpu(4)*w2 -Ri_cpu(4)*w1 -Ri_cpu(4)*w2 -Ri_cpu(4)*w1 -Ri_cpu(5)*w2 -
Ri_cpu(5)*w1 -Ri_cpu(5)*w2 -Ri_cpu(5)*w1 -Ri_cpu(6)*w2 -Ri_cpu(6)*w1 -Ri_cpu(6)*w2 -
Ri_cpu(6)*w1 -Ri_cpu(7)*w2 -Ri_cpu(7)*w1 -Ri_cpu(7)*w2 -Ri_cpu(7)*w1 -Ri_cpu(8)*w2 -
Ri_cpu(8)*w1 -Ri_cpu(8)*w2 -Ri_cpu(8)*w1 -Ri_cpu(9)*w2 -Ri_cpu(9)*w1 -Ri_cpu(9)*w2 -
Ri_cpu(9)*w1 -Ri_cpu(10)*w2 -Ri_cpu(10)*w1 -Ri_cpu(10)*w2 -Ri_cpu(10)*w1 -
Ri_cpu(11)*w2 -Ri_cpu(11)*w1 -Ri_cpu(11)*w2 -Ri_cpu(11)*w1 -Ri_cpu(12)*w2 -
Ri_cpu(12)*w1 -Ri_cpu(12)*w2 -Ri_cpu(12)*w1 -Ri_cpu(13)*w2 -Ri_cpu(13)*w1 -
Ri_cpu(13)*w2 -Ri_cpu(13)*w1 -Ri_cpu(14)*w2 -Ri_cpu(14)*w1 -Ri_cpu(14)*w2 -
Ri_cpu(14)*w1 -Ri_cpu(15)*w2 -Ri_cpu(15)*w1 -Ri_cpu(15)*w2 -Ri_cpu(15)*w1 -
Ri_cpu(16)*w2 -Ri_cpu(16)*w1 -Ri_cpu(16)*w2 -Ri_cpu(16)*w1 -Ri_cpu(17)*w2 -
Ri_cpu(17)*w1 -Ri_cpu(17)*w2 -Ri_cpu(17)*w1 -Ri_cpu(18)*w2 -Ri_cpu(18)*w1 -
Ri_cpu(18)*w2 -Ri_cpu(18)*w1 -Ri_cpu(19)*w2 -Ri_cpu(19)*w1 -Ri_cpu(19)*w2 -
Ri_cpu(19)*w1 -Ri_cpu(20)*w2 -Ri_cpu(20)*w1 -Ri_cpu(20)*w2 -Ri_cpu(20)*w1];
%constraint2, j=1

```



```

Function_value=[];
ratio = [1:-0.1:0.1];
for i=1:length(ratio)
    %% demand from user request increase 0.5 times gradually on the basis of Ri_xx_in,
    C1 = C1_in*ratio(i);
    C2 = C2_in*ratio(i);

    %% Communication Latency Metric dij
    d = d_in/ratio(i);

    %% LP Objective function
    f = [-Ri_cpu(1)*w2 -Ri_cpu(1)*w1 -Ri_cpu(1)*w2 -Ri_cpu(1)*w1 -Ri_cpu(2)*w2 -
    Ri_cpu(2)*w1 -Ri_cpu(2)*w2 -Ri_cpu(2)*w1 -Ri_cpu(3)*w2 -Ri_cpu(3)*w1 -Ri_cpu(3)*w2 -
    Ri_cpu(3)*w1 -Ri_cpu(4)*w2 -Ri_cpu(4)*w1 -Ri_cpu(4)*w2 -Ri_cpu(4)*w1 -Ri_cpu(5)*w2 -
    Ri_cpu(5)*w1 -Ri_cpu(5)*w2 -Ri_cpu(5)*w1 -Ri_cpu(6)*w2 -Ri_cpu(6)*w1 -Ri_cpu(6)*w2 -
    Ri_cpu(6)*w1 -Ri_cpu(7)*w2 -Ri_cpu(7)*w1 -Ri_cpu(7)*w2 -Ri_cpu(7)*w1 -Ri_cpu(8)*w2 -
    Ri_cpu(8)*w1 -Ri_cpu(8)*w2 -Ri_cpu(8)*w1 -Ri_cpu(9)*w2 -Ri_cpu(9)*w1 -Ri_cpu(9)*w2 -
    Ri_cpu(9)*w1 -Ri_cpu(10)*w2 -Ri_cpu(10)*w1 -Ri_cpu(10)*w2 -Ri_cpu(10)*w1 -
    Ri_cpu(11)*w2 -Ri_cpu(11)*w1 -Ri_cpu(11)*w2 -Ri_cpu(11)*w1 -Ri_cpu(12)*w2 -
    Ri_cpu(12)*w1 -Ri_cpu(12)*w2 -Ri_cpu(12)*w1 -Ri_cpu(13)*w2 -Ri_cpu(13)*w1 -
    Ri_cpu(13)*w2 -Ri_cpu(13)*w1 -Ri_cpu(14)*w2 -Ri_cpu(14)*w1 -Ri_cpu(14)*w2 -
    Ri_cpu(14)*w1 -Ri_cpu(15)*w2 -Ri_cpu(15)*w1 -Ri_cpu(15)*w2 -Ri_cpu(15)*w1 -
    Ri_cpu(16)*w2 -Ri_cpu(16)*w1 -Ri_cpu(16)*w2 -Ri_cpu(16)*w1 -Ri_cpu(17)*w2 -
    Ri_cpu(17)*w1 -Ri_cpu(17)*w2 -Ri_cpu(17)*w1 -Ri_cpu(18)*w2 -Ri_cpu(18)*w1 -
    Ri_cpu(18)*w2 -Ri_cpu(18)*w1 -Ri_cpu(19)*w2 -Ri_cpu(19)*w1 -Ri_cpu(19)*w2 -
    Ri_cpu(19)*w1 -Ri_cpu(20)*w2 -Ri_cpu(20)*w1 -Ri_cpu(20)*w2 -Ri_cpu(20)*w1];
    %constraint2, j=1
    A = [Ri_cpu(1) Ri_cpu(1) 0 0 Ri_cpu(2) Ri_cpu(2) 0 0 Ri_cpu(3) Ri_cpu(3) 0 0 Ri_cpu(4)
    Ri_cpu(4) 0 0 Ri_cpu(5) Ri_cpu(5) 0 0 Ri_cpu(6) Ri_cpu(6) 0 0 Ri_cpu(7) Ri_cpu(7) 0 0
    Ri_cpu(8) Ri_cpu(8) 0 0 Ri_cpu(9) Ri_cpu(9) 0 0 Ri_cpu(10) Ri_cpu(10) 0 0 Ri_cpu(11)
    Ri_cpu(11) 0 0 Ri_cpu(12) Ri_cpu(12) 0 0 Ri_cpu(13) Ri_cpu(13) 0 0 Ri_cpu(14)
    Ri_cpu(14) 0 0 Ri_cpu(15) Ri_cpu(15) 0 0 Ri_cpu(16) Ri_cpu(16) 0 0 Ri_cpu(17)
    Ri_cpu(17) 0 0 Ri_cpu(18) Ri_cpu(18) 0 0 Ri_cpu(19) Ri_cpu(19) 0 0 Ri_cpu(20)
    Ri_cpu(20) 0 0;
    %constraint3, j=1
    Ri_bw(1) Ri_bw(1) 0 0 Ri_bw(2) Ri_bw(2) 0 0 Ri_bw(3) Ri_bw(3) 0 0 Ri_bw(4) Ri_bw(4) 0
    0 Ri_bw(5) Ri_bw(5) 0 0 Ri_bw(6) Ri_bw(6) 0 0 Ri_bw(7) Ri_bw(7) 0 0 Ri_bw(8) Ri_bw(8)
    0 0 Ri_bw(9) Ri_bw(9) 0 0 Ri_bw(10) Ri_bw(10) 0 0 Ri_bw(11) Ri_bw(11) 0 0 Ri_bw(12)
    Ri_bw(12) 0 0 Ri_bw(13) Ri_bw(13) 0 0 Ri_bw(14) Ri_bw(14) 0 0 Ri_bw(15) Ri_bw(15) 0 0
    Ri_bw(16) Ri_bw(16) 0 0 Ri_bw(17) Ri_bw(17) 0 0 Ri_bw(18) Ri_bw(18) 0 0 Ri_bw(19)
    Ri_bw(19) 0 0 Ri_bw(20) Ri_bw(20) 0 0;
    %constraint4, j=1
    Ri_sto(1) Ri_sto(1) 0 0 Ri_sto(2) Ri_sto(2) 0 0 Ri_sto(3) Ri_sto(3) 0 0 Ri_sto(4)
    Ri_sto(4) 0 0 Ri_sto(5) Ri_sto(5) 0 0 Ri_sto(6) Ri_sto(6) 0 0 Ri_sto(7) Ri_sto(7) 0 0
    Ri_sto(8) Ri_sto(8) 0 0 Ri_sto(9) Ri_sto(9) 0 0 Ri_sto(10) Ri_sto(10) 0 0 Ri_sto(11)
    Ri_sto(11) 0 0 Ri_sto(12) Ri_sto(12) 0 0 Ri_sto(13) Ri_sto(13) 0 0 Ri_sto(14)
    Ri_sto(14) 0 0 Ri_sto(15) Ri_sto(15) 0 0 Ri_sto(16) Ri_sto(16) 0 0 Ri_sto(17)
    Ri_sto(17) 0 0 Ri_sto(18) Ri_sto(18) 0 0 Ri_sto(19) Ri_sto(19) 0 0 Ri_sto(20)
    Ri_sto(20) 0 0;
    %constraint2, j=2
    0 0 Ri_cpu(1) Ri_cpu(1) 0 0 Ri_cpu(2) Ri_cpu(2) 0 0 Ri_cpu(3) Ri_cpu(3) 0 0 Ri_cpu(4)
    Ri_cpu(4) 0 0 Ri_cpu(5) Ri_cpu(5) 0 0 Ri_cpu(6) Ri_cpu(6) 0 0 Ri_cpu(7) Ri_cpu(7) 0 0
    Ri_cpu(8) Ri_cpu(8) 0 0 Ri_cpu(9) Ri_cpu(9) 0 0 Ri_cpu(10) Ri_cpu(10) 0 0 Ri_cpu(11)
    Ri_cpu(11) 0 0 Ri_cpu(12) Ri_cpu(12) 0 0 Ri_cpu(13) Ri_cpu(13) 0 0 Ri_cpu(14)
    Ri_cpu(14) 0 0 Ri_cpu(15) Ri_cpu(15) 0 0 Ri_cpu(16) Ri_cpu(16) 0 0 Ri_cpu(17)
    Ri_cpu(17) 0 0 Ri_cpu(18) Ri_cpu(18) 0 0 Ri_cpu(19) Ri_cpu(19) 0 0 Ri_cpu(20)
    Ri_cpu(20);
    %constraint3, j=2
    0 0 Ri_bw(1) Ri_bw(1) 0 0 Ri_bw(2) Ri_bw(2) 0 0 Ri_bw(3) Ri_bw(3) 0 0 Ri_bw(4)
    Ri_bw(4) 0 0 Ri_bw(5) Ri_bw(5) 0 0 Ri_bw(6) Ri_bw(6) 0 0 Ri_bw(7) Ri_bw(7) 0 0
    Ri_bw(8) Ri_bw(8) 0 0 Ri_bw(9) Ri_bw(9) 0 0 Ri_bw(10) Ri_bw(10) 0 0 Ri_bw(11)
    Ri_bw(11) 0 0 Ri_bw(12) Ri_bw(12) 0 0 Ri_bw(13) Ri_bw(13) 0 0 Ri_bw(14) Ri_bw(14) 0 0
    Ri_bw(15) Ri_bw(15) 0 0 Ri_bw(16) Ri_bw(16) 0 0 Ri_bw(17) Ri_bw(17) 0 0 Ri_bw(18)
    Ri_bw(18) 0 0 Ri_bw(19) Ri_bw(19) 0 0 Ri_bw(20) Ri_bw(20);
    %constraint4, j=2
    0 0 Ri_sto(1) Ri_sto(1) 0 0 Ri_sto(2) Ri_sto(2) 0 0 Ri_sto(3) Ri_sto(3) 0 0 Ri_sto(4)
    Ri_sto(4) 0 0 Ri_sto(5) Ri_sto(5) 0 0 Ri_sto(6) Ri_sto(6) 0 0 Ri_sto(7) Ri_sto(7) 0 0
    Ri_sto(8) Ri_sto(8) 0 0 Ri_sto(9) Ri_sto(9) 0 0 Ri_sto(10) Ri_sto(10) 0 0 Ri_sto(11)
    Ri_sto(11) 0 0 Ri_sto(12) Ri_sto(12) 0 0 Ri_sto(13) Ri_sto(13) 0 0 Ri_sto(14)
    Ri_sto(14) 0 0 Ri_sto(15) Ri_sto(15) 0 0 Ri_sto(16) Ri_sto(16) 0 0 Ri_sto(17)
    Ri_sto(17) 0 0 Ri_sto(18) Ri_sto(18) 0 0 Ri_sto(19) Ri_sto(19) 0 0 Ri_sto(20)
    Ri_sto(20);
    %constraint5

```


ก.3 โปรแกรมกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและสามารถใช้งานได้ จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2

ก 3.1 กรณีศูนย์ข้อมูลทุกแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว

```
function [X,Function value,exitflag,output] =
calx sfixcase1(Ri cpu,Ri bw,Ri sto,Ri delay,C1,C2,C,D,d,S1,S2,w1,w2,wpc)
%% Test scenario a): C1 and C2 can access both S1(G) and S2(PV).
X=[];
Function_value=[];

for i=1:length(S2)
% LP Objective function
f = [-Ri_cpu(1)*w2 -Ri_cpu(1)*w1 -Ri_cpu(1)*w2 -Ri_cpu(1)*w1 -Ri_cpu(2)*w2 -
Ri_cpu(2)*w1 -Ri_cpu(2)*w2 -Ri_cpu(2)*w1 -Ri_cpu(3)*w2 -Ri_cpu(3)*w1 -Ri_cpu(3)*w2 -
Ri_cpu(3)*w1 -Ri_cpu(4)*w2 -Ri_cpu(4)*w1 -Ri_cpu(4)*w2 -Ri_cpu(4)*w1 -Ri_cpu(5)*w2 -
Ri_cpu(5)*w1 -Ri_cpu(5)*w2 -Ri_cpu(5)*w1 -Ri_cpu(6)*w2 -Ri_cpu(6)*w1 -Ri_cpu(6)*w2 -
Ri_cpu(6)*w1 -Ri_cpu(7)*w2 -Ri_cpu(7)*w1 -Ri_cpu(7)*w2 -Ri_cpu(7)*w1 -Ri_cpu(8)*w2 -
Ri_cpu(8)*w1 -Ri_cpu(8)*w2 -Ri_cpu(8)*w1 -Ri_cpu(9)*w2 -Ri_cpu(9)*w1 -Ri_cpu(9)*w2 -
Ri_cpu(9)*w1 -Ri_cpu(10)*w2 -Ri_cpu(10)*w1 -Ri_cpu(10)*w2 -Ri_cpu(10)*w1 -
Ri_cpu(11)*w2 -Ri_cpu(11)*w1 -Ri_cpu(11)*w2 -Ri_cpu(11)*w1 -Ri_cpu(12)*w2 -
Ri_cpu(12)*w1 -Ri_cpu(12)*w2 -Ri_cpu(12)*w1 -Ri_cpu(13)*w2 -Ri_cpu(13)*w1 -
Ri_cpu(13)*w2 -Ri_cpu(13)*w1 -Ri_cpu(14)*w2 -Ri_cpu(14)*w1 -Ri_cpu(14)*w2 -
Ri_cpu(14)*w1 -Ri_cpu(15)*w2 -Ri_cpu(15)*w1 -Ri_cpu(15)*w2 -Ri_cpu(15)*w1 -
Ri_cpu(16)*w2 -Ri_cpu(16)*w1 -Ri_cpu(16)*w2 -Ri_cpu(16)*w1 -Ri_cpu(17)*w2 -
Ri_cpu(17)*w1 -Ri_cpu(17)*w2 -Ri_cpu(17)*w1 -Ri_cpu(18)*w2 -Ri_cpu(18)*w1 -
Ri_cpu(18)*w2 -Ri_cpu(18)*w1 -Ri_cpu(19)*w2 -Ri_cpu(19)*w1 -Ri_cpu(19)*w2 -
Ri_cpu(19)*w1 -Ri_cpu(20)*w2 -Ri_cpu(20)*w1 -Ri_cpu(20)*w2 -Ri_cpu(20)*w1];
%constraint2, j=1
A = [Ri_cpu(1) Ri_cpu(1) 0 0 Ri_cpu(2) Ri_cpu(2) 0 0 Ri_cpu(3) Ri_cpu(3) 0 0 Ri_cpu(4)
Ri_cpu(4) 0 0 Ri_cpu(5) Ri_cpu(5) 0 0 Ri_cpu(6) Ri_cpu(6) 0 0 Ri_cpu(7) Ri_cpu(7) 0 0
Ri_cpu(8) Ri_cpu(8) 0 0 Ri_cpu(9) Ri_cpu(9) 0 0 Ri_cpu(10) Ri_cpu(10) 0 0 Ri_cpu(11)
Ri_cpu(11) 0 0 Ri_cpu(12) Ri_cpu(12) 0 0 Ri_cpu(13) Ri_cpu(13) 0 0 Ri_cpu(14)
Ri_cpu(14) 0 0 Ri_cpu(15) Ri_cpu(15) 0 0 Ri_cpu(16) Ri_cpu(16) 0 0 Ri_cpu(17)
Ri_cpu(17) 0 0 Ri_cpu(18) Ri_cpu(18) 0 0 Ri_cpu(19) Ri_cpu(19) 0 0 Ri_cpu(20)
Ri_cpu(20) 0 0;
%constraint3, j=1
Ri_bw(1) Ri_bw(1) 0 0 Ri_bw(2) Ri_bw(2) 0 0 Ri_bw(3) Ri_bw(3) 0 0 Ri_bw(4) Ri_bw(4) 0
0 Ri_bw(5) Ri_bw(5) 0 0 Ri_bw(6) Ri_bw(6) 0 0 Ri_bw(7) Ri_bw(7) 0 0 Ri_bw(8) Ri_bw(8)
0 0 Ri_bw(9) Ri_bw(9) 0 0 Ri_bw(10) Ri_bw(10) 0 0 Ri_bw(11) Ri_bw(11) 0 0 Ri_bw(12)
Ri_bw(12) 0 0 Ri_bw(13) Ri_bw(13) 0 0 Ri_bw(14) Ri_bw(14) 0 0 Ri_bw(15) Ri_bw(15) 0 0
Ri_bw(16) Ri_bw(16) 0 0 Ri_bw(17) Ri_bw(17) 0 0 Ri_bw(18) Ri_bw(18) 0 0 Ri_bw(19)
Ri_bw(19) 0 0 Ri_bw(20) Ri_bw(20) 0 0;
%constraint4, j=1
Ri_sto(1) Ri_sto(1) 0 0 Ri_sto(2) Ri_sto(2) 0 0 Ri_sto(3) Ri_sto(3) 0 0 Ri_sto(4)
Ri_sto(4) 0 0 Ri_sto(5) Ri_sto(5) 0 0 Ri_sto(6) Ri_sto(6) 0 0 Ri_sto(7) Ri_sto(7) 0 0
Ri_sto(8) Ri_sto(8) 0 0 Ri_sto(9) Ri_sto(9) 0 0 Ri_sto(10) Ri_sto(10) 0 0 Ri_sto(11)
Ri_sto(11) 0 0 Ri_sto(12) Ri_sto(12) 0 0 Ri_sto(13) Ri_sto(13) 0 0 Ri_sto(14)
Ri_sto(14) 0 0 Ri_sto(15) Ri_sto(15) 0 0 Ri_sto(16) Ri_sto(16) 0 0 Ri_sto(17)
Ri_sto(17) 0 0 Ri_sto(18) Ri_sto(18) 0 0 Ri_sto(19) Ri_sto(19) 0 0 Ri_sto(20)
Ri_sto(20) 0 0;
%constraint2, j=2
0 0 Ri_cpu(1) Ri_cpu(1) 0 0 Ri_cpu(2) Ri_cpu(2) 0 0 Ri_cpu(3) Ri_cpu(3) 0 0 Ri_cpu(4)
Ri_cpu(4) 0 0 Ri_cpu(5) Ri_cpu(5) 0 0 Ri_cpu(6) Ri_cpu(6) 0 0 Ri_cpu(7) Ri_cpu(7) 0 0
Ri_cpu(8) Ri_cpu(8) 0 0 Ri_cpu(9) Ri_cpu(9) 0 0 Ri_cpu(10) Ri_cpu(10) 0 0 Ri_cpu(11)
Ri_cpu(11) 0 0 Ri_cpu(12) Ri_cpu(12) 0 0 Ri_cpu(13) Ri_cpu(13) 0 0 Ri_cpu(14)
Ri_cpu(14) 0 0 Ri_cpu(15) Ri_cpu(15) 0 0 Ri_cpu(16) Ri_cpu(16) 0 0 Ri_cpu(17)
Ri_cpu(17) 0 0 Ri_cpu(18) Ri_cpu(18) 0 0 Ri_cpu(19) Ri_cpu(19) 0 0 Ri_cpu(20)
Ri_cpu(20);
%constraint3, j=2
0 0 Ri_bw(1) Ri_bw(1) 0 0 Ri_bw(2) Ri_bw(2) 0 0 Ri_bw(3) Ri_bw(3) 0 0 Ri_bw(4)
Ri_bw(4) 0 0 Ri_bw(5) Ri_bw(5) 0 0 Ri_bw(6) Ri_bw(6) 0 0 Ri_bw(7) Ri_bw(7) 0 0
Ri_bw(8) Ri_bw(8) 0 0 Ri_bw(9) Ri_bw(9) 0 0 Ri_bw(10) Ri_bw(10) 0 0 Ri_bw(11)
Ri_bw(11) 0 0 Ri_bw(12) Ri_bw(12) 0 0 Ri_bw(13) Ri_bw(13) 0 0 Ri_bw(14) Ri_bw(14) 0 0
Ri_bw(15) Ri_bw(15) 0 0 Ri_bw(16) Ri_bw(16) 0 0 Ri_bw(17) Ri_bw(17) 0 0 Ri_bw(18)
Ri_bw(18) 0 0 Ri_bw(19) Ri_bw(19) 0 0 Ri_bw(20) Ri_bw(20);
%constraint4, j=2
```



```

end
%%%%%%%%%%
Function value(i) = Fval*(-1);
end
exitflag
end

```

ก 3.2 กรณีศูนย์ข้อมูลบางแห่งสามารถใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานสีเขียว

```

function [X,Function_value,exitflag,output] =
calx_sfixcase2(Ri_cpu,Ri_bw,Ri_sto,Ri_delay,C1,C2,C,D,d,S1,S2,w1,w2,wp)
%% Test scenario b): C1 can access only S1(G), C2 can access to S1(G) and S2(PV)
X=[];
Function_value=[];

for i=1:length(S2)
%LP Objective function
f = [-Ri_cpu(1)*w2 -Ri_cpu(1)*w1 -Ri_cpu(1)*w2 -Ri_cpu(1)*w1 -Ri_cpu(2)*w2 -
Ri_cpu(2)*w1 -Ri_cpu(2)*w2 -Ri_cpu(2)*w1 -Ri_cpu(3)*w2 -Ri_cpu(3)*w1 -Ri_cpu(3)*w2 -
Ri_cpu(3)*w1 -Ri_cpu(4)*w2 -Ri_cpu(4)*w1 -Ri_cpu(4)*w2 -Ri_cpu(4)*w1 -Ri_cpu(5)*w2 -
Ri_cpu(5)*w1 -Ri_cpu(5)*w2 -Ri_cpu(5)*w1 -Ri_cpu(6)*w2 -Ri_cpu(6)*w1 -Ri_cpu(6)*w2 -
Ri_cpu(6)*w1 -Ri_cpu(7)*w2 -Ri_cpu(7)*w1 -Ri_cpu(7)*w2 -Ri_cpu(7)*w1 -Ri_cpu(8)*w2 -
Ri_cpu(8)*w1 -Ri_cpu(8)*w2 -Ri_cpu(8)*w1 -Ri_cpu(9)*w2 -Ri_cpu(9)*w1 -Ri_cpu(9)*w2 -
Ri_cpu(9)*w1 -Ri_cpu(10)*w2 -Ri_cpu(10)*w1 -Ri_cpu(10)*w2 -Ri_cpu(10)*w1 -
Ri_cpu(11)*w2 -Ri_cpu(11)*w1 -Ri_cpu(11)*w2 -Ri_cpu(11)*w1 -Ri_cpu(12)*w2 -
Ri_cpu(12)*w1 -Ri_cpu(12)*w2 -Ri_cpu(12)*w1 -Ri_cpu(13)*w2 -Ri_cpu(13)*w1 -
Ri_cpu(13)*w2 -Ri_cpu(13)*w1 -Ri_cpu(14)*w2 -Ri_cpu(14)*w1 -Ri_cpu(14)*w2 -
Ri_cpu(14)*w1 -Ri_cpu(15)*w2 -Ri_cpu(15)*w1 -Ri_cpu(15)*w2 -Ri_cpu(15)*w1 -
Ri_cpu(16)*w2 -Ri_cpu(16)*w1 -Ri_cpu(16)*w2 -Ri_cpu(16)*w1 -Ri_cpu(17)*w2 -
Ri_cpu(17)*w1 -Ri_cpu(17)*w2 -Ri_cpu(17)*w1 -Ri_cpu(18)*w2 -Ri_cpu(18)*w1 -
Ri_cpu(18)*w2 -Ri_cpu(18)*w1 -Ri_cpu(19)*w2 -Ri_cpu(19)*w1 -Ri_cpu(19)*w2 -
Ri_cpu(19)*w1 -Ri_cpu(20)*w2 -Ri_cpu(20)*w1 -Ri_cpu(20)*w2 -Ri_cpu(20)*w1];
%constraint2, j=1
A = [Ri_cpu(1) Ri_cpu(1) 0 0 Ri_cpu(2) Ri_cpu(2) 0 0 Ri_cpu(3) Ri_cpu(3) 0 0 Ri_cpu(4)
Ri_cpu(4) 0 0 Ri_cpu(5) Ri_cpu(5) 0 0 Ri_cpu(6) Ri_cpu(6) 0 0 Ri_cpu(7) Ri_cpu(7) 0 0
Ri_cpu(8) Ri_cpu(8) 0 0 Ri_cpu(9) Ri_cpu(9) 0 0 Ri_cpu(10) Ri_cpu(10) 0 0 Ri_cpu(11)
Ri_cpu(11) 0 0 Ri_cpu(12) Ri_cpu(12) 0 0 Ri_cpu(13) Ri_cpu(13) 0 0 Ri_cpu(14)
Ri_cpu(14) 0 0 Ri_cpu(15) Ri_cpu(15) 0 0 Ri_cpu(16) Ri_cpu(16) 0 0 Ri_cpu(17)
Ri_cpu(17) 0 0 Ri_cpu(18) Ri_cpu(18) 0 0 Ri_cpu(19) Ri_cpu(19) 0 0 Ri_cpu(20)
Ri_cpu(20) 0 0;
%constraint3, j=1
Ri_bw(1) Ri_bw(1) 0 0 Ri_bw(2) Ri_bw(2) 0 0 Ri_bw(3) Ri_bw(3) 0 0 Ri_bw(4) Ri_bw(4) 0
0 Ri_bw(5) Ri_bw(5) 0 0 Ri_bw(6) Ri_bw(6) 0 0 Ri_bw(7) Ri_bw(7) 0 0 Ri_bw(8) Ri_bw(8)
0 0 Ri_bw(9) Ri_bw(9) 0 0 Ri_bw(10) Ri_bw(10) 0 0 Ri_bw(11) Ri_bw(11) 0 0 Ri_bw(12)
Ri_bw(12) 0 0 Ri_bw(13) Ri_bw(13) 0 0 Ri_bw(14) Ri_bw(14) 0 0 Ri_bw(15) Ri_bw(15) 0 0
Ri_bw(16) Ri_bw(16) 0 0 Ri_bw(17) Ri_bw(17) 0 0 Ri_bw(18) Ri_bw(18) 0 0 Ri_bw(19)
Ri_bw(19) 0 0 Ri_bw(20) Ri_bw(20) 0 0;
%constraint4, j=1
Ri_sto(1) Ri_sto(1) 0 0 Ri_sto(2) Ri_sto(2) 0 0 Ri_sto(3) Ri_sto(3) 0 0 Ri_sto(4)
Ri_sto(4) 0 0 Ri_sto(5) Ri_sto(5) 0 0 Ri_sto(6) Ri_sto(6) 0 0 Ri_sto(7) Ri_sto(7) 0 0
Ri_sto(8) Ri_sto(8) 0 0 Ri_sto(9) Ri_sto(9) 0 0 Ri_sto(10) Ri_sto(10) 0 0 Ri_sto(11)
Ri_sto(11) 0 0 Ri_sto(12) Ri_sto(12) 0 0 Ri_sto(13) Ri_sto(13) 0 0 Ri_sto(14)
Ri_sto(14) 0 0 Ri_sto(15) Ri_sto(15) 0 0 Ri_sto(16) Ri_sto(16) 0 0 Ri_sto(17)
Ri_sto(17) 0 0 Ri_sto(18) Ri_sto(18) 0 0 Ri_sto(19) Ri_sto(19) 0 0 Ri_sto(20)
Ri_sto(20) 0 0;
%constraint2, j=2
0 0 Ri_cpu(1) Ri_cpu(1) 0 0 Ri_cpu(2) Ri_cpu(2) 0 0 Ri_cpu(3) Ri_cpu(3) 0 0 Ri_cpu(4)
Ri_cpu(4) 0 0 Ri_cpu(5) Ri_cpu(5) 0 0 Ri_cpu(6) Ri_cpu(6) 0 0 Ri_cpu(7) Ri_cpu(7) 0 0
Ri_cpu(8) Ri_cpu(8) 0 0 Ri_cpu(9) Ri_cpu(9) 0 0 Ri_cpu(10) Ri_cpu(10) 0 0 Ri_cpu(11)
Ri_cpu(11) 0 0 Ri_cpu(12) Ri_cpu(12) 0 0 Ri_cpu(13) Ri_cpu(13) 0 0 Ri_cpu(14)
Ri_cpu(14) 0 0 Ri_cpu(15) Ri_cpu(15) 0 0 Ri_cpu(16) Ri_cpu(16) 0 0 Ri_cpu(17)
Ri_cpu(17) 0 0 Ri_cpu(18) Ri_cpu(18) 0 0 Ri_cpu(19) Ri_cpu(19) 0 0 Ri_cpu(20)
Ri_cpu(20);
%constraint3, j=2
0 0 Ri_bw(1) Ri_bw(1) 0 0 Ri_bw(2) Ri_bw(2) 0 0 Ri_bw(3) Ri_bw(3) 0 0 Ri_bw(4)
Ri_bw(4) 0 0 Ri_bw(5) Ri_bw(5) 0 0 Ri_bw(6) Ri_bw(6) 0 0 Ri_bw(7) Ri_bw(7) 0 0
Ri_bw(8) Ri_bw(8) 0 0 Ri_bw(9) Ri_bw(9) 0 0 Ri_bw(10) Ri_bw(10) 0 0 Ri_bw(11)
Ri_bw(11) 0 0 Ri_bw(12) Ri_bw(12) 0 0 Ri_bw(13) Ri_bw(13) 0 0 Ri_bw(14) Ri_bw(14) 0 0

```



```
for j=1:length(x)
    X(j,i) = x(j);
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Function_value(i) = Fval*(-1);
end
exitflag
end
```



ภาคผนวก ข

พารามิเตอร์การทดลอง

ข.1 พารามิเตอร์การทดลองกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มขนาดของภารกิจที่เข้ามาใช้ บริการ

```

%% Impact of increasing required resource per each task (Ri)
%% Input for smart city applications
%%%type 1: Time sensitive application
(R1,R2,R3,R4,R5,R9,R10,R11,R12,R13,R17,R18,R19,R20)
%%%type 2: Data storage application (R6,R14)
%%%type 3: Enterprise application (R7,R8,R15,R16)

%% Resource request
%% R = [Ri compute(core), Ri bandwidth(bps), Ri storage(byte), Ri maxcommdelay(us),
Ri datasize(byte)]
R1 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240]; R2 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240];
R3 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240]; R4 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240];
R5 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240]; R6 = [2 15*10^6 5*10^9 7200*10^6 5*10^9];
R7 = [6 128*10^3 10 15*10^6 100]; R8 = [6 128*10^3 10 15*10^6 100];
R9 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240]; R10 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240];
R11 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240]; R12 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240];
R13 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240]; R14 = [2 15*10^6 5*10^9 7200*10^6 5*10^9];
R15 = [6 128*10^3 10 15*10^6 100]; R16 = [6 128*10^3 10 15*10^6 100];
R17 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240]; R18 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240];
R19 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240]; R20 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240];

%% create Ri x matrix
Ri_cpu_in = [R1(1) R2(1) R3(1) R4(1) R5(1) R6(1) R7(1) R8(1) R9(1) R10(1) R11(1)
R12(1) R13(1) R14(1) R15(1) R16(1) R17(1) R18(1) R19(1) R20(1)]; %Ri_compute
Ri_bw_in = (10^-6)*[R1(2) R2(2) R3(2) R4(2) R5(2) R6(2) R7(2) R8(2) R9(2) R10(2)
R11(2) R12(2) R13(2) R14(2) R15(2) R16(2) R17(2) R18(2) R19(2) R20(2)]; %Ri_bandwidth
Ri_sto_in = [R1(3) R2(3) R3(3) R4(3) R5(3) R6(3) R7(3) R8(3) R9(3) R10(3) R11(3)
R12(3) R13(3) R14(3) R15(3) R16(3) R17(3) R18(3) R19(3) R20(3)]; %Ri_storage
Ri_delay_in = [R1(4) R2(4) R3(4) R4(4) R5(4) R6(4) R7(4) R8(4) R9(4) R10(4) R11(4)
R12(4) R13(4) R14(4) R15(4) R16(4) R17(4) R18(4) R19(4) R20(4)]; %Ri_maxcommdelay
Ri_data_in = 8*[R1(5) R2(5) R3(5) R4(5) R5(5) R6(5) R7(5) R8(5) R9(5) R10(5) R11(5)
R12(5) R13(5) R14(5) R15(5) R16(5) R17(5) R18(5) R19(5) R20(5)]; %Ri_data

%% Cloud capacity Cj = [Cj_compute, Cj_bandwidth(Mbps)*10^3, Cj_storage]
C1 = [200 10*10^3 100*10^9];
C2 = [200 10*10^3 100*10^9];

%% Intra-building or inter-building bandwidth Cij
C = 10^-6*[2*10^9 10^9; 2*10^9 10^9; 2*10^9 10^9; 2*10^9 10^9;
2*10^9 10^9; 2*10^9 10^9; 2*10^9 10^9; 2*10^9 10^9;
10^9 2*10^9; 10^9 2*10^9; 10^9 2*10^9; 10^9 2*10^9;
10^9 2*10^9; 10^9 2*10^9; 10^9 2*10^9; 10^9 2*10^9;
10^9 0.5*10^9; 10^9 0.5*10^9; 0.5*10^9 10^9; 0.5*10^9 10^9];

%% Communication Latency Metric dij= D_in_ij+d_in_ij = [D11 D12;D21 D22;D31
D32;...;D20,1 D20,2]+[d11 d12;d21 d22;d31 d32;...;d20,1 d20,2]
D_in = [Ri_data_in(1)/C(1,1) Ri_data_in(1)/C(1,2);
Ri_data_in(2)/C(2,1) Ri_data_in(2)/C(2,2);
Ri_data_in(3)/C(3,1) Ri_data_in(3)/C(3,2);
Ri_data_in(4)/C(4,1) Ri_data_in(4)/C(4,2);
Ri_data_in(5)/C(5,1) Ri_data_in(5)/C(5,2);
Ri_data_in(6)/C(6,1) Ri_data_in(6)/C(6,2);
Ri_data_in(7)/C(7,1) Ri_data_in(7)/C(7,2);
Ri_data_in(8)/C(8,1) Ri_data_in(8)/C(8,2);
Ri_data_in(9)/C(9,1) Ri_data_in(9)/C(9,2);
Ri_data_in(10)/C(10,1) Ri_data_in(10)/C(10,2);

```

```

Ri_data_in(11)/C(11,1) Ri_data_in(11)/C(11,2);
Ri_data_in(12)/C(12,1) Ri_data_in(12)/C(12,2);
Ri_data_in(13)/C(13,1) Ri_data_in(13)/C(13,2);
Ri_data_in(14)/C(14,1) Ri_data_in(14)/C(14,2);
Ri_data_in(15)/C(15,1) Ri_data_in(15)/C(15,2);
Ri_data_in(16)/C(16,1) Ri_data_in(16)/C(16,2);
Ri_data_in(17)/C(17,1) Ri_data_in(17)/C(17,2);
Ri_data_in(18)/C(18,1) Ri_data_in(18)/C(18,2);
Ri_data_in(19)/C(19,1) Ri_data_in(19)/C(19,2);
Ri_data_in(20)/C(20,1) Ri_data_in(20)/C(20,2)];

d_in = [2*Ri_data_in(1)/C1(2) 2*Ri_data_in(1)/C2(2) ;
2*Ri_data_in(2)/C1(2) 2*Ri_data_in(2)/C2(2) ;
2*Ri_data_in(3)/C1(2) 2*Ri_data_in(3)/C2(2) ;
2*Ri_data_in(4)/C1(2) 2*Ri_data_in(4)/C2(2) ;
2*Ri_data_in(5)/C1(2) 2*Ri_data_in(5)/C2(2) ;
2*Ri_data_in(6)/C1(2) 2*Ri_data_in(6)/C2(2) ;
2*Ri_data_in(7)/C1(2) 2*Ri_data_in(7)/C2(2) ;
2*Ri_data_in(8)/C1(2) 2*Ri_data_in(8)/C2(2) ;
2*Ri_data_in(9)/C1(2) 2*Ri_data_in(9)/C2(2) ;
2*Ri_data_in(10)/C1(2) 2*Ri_data_in(10)/C2(2) ;
2*Ri_data_in(11)/C1(2) 2*Ri_data_in(11)/C2(2) ;
2*Ri_data_in(12)/C1(2) 2*Ri_data_in(12)/C2(2) ;
2*Ri_data_in(13)/C1(2) 2*Ri_data_in(13)/C2(2) ;
2*Ri_data_in(14)/C1(2) 2*Ri_data_in(14)/C2(2) ;
2*Ri_data_in(15)/C1(2) 2*Ri_data_in(15)/C2(2) ;
2*Ri_data_in(16)/C1(2) 2*Ri_data_in(16)/C2(2) ;
2*Ri_data_in(17)/C1(2) 2*Ri_data_in(17)/C2(2) ;
2*Ri_data_in(18)/C1(2) 2*Ri_data_in(18)/C2(2) ;
2*Ri_data_in(19)/C1(2) 2*Ri_data_in(19)/C2(2) ;
2*Ri_data_in(20)/C1(2) 2*Ri_data_in(20)/C2(2)] ;

%% SCCC %%
%% Energy source
S1 = 20000;
S2 = 5000;
wpc = 46; %watt per core
%% weight SCCC
w1 = 0.995;
w2 = 1-w1;
%% test scenario a)
[X,Function_value,exitflag] =
calx rfixcase1(025(Ri_cpu_in,Ri_bw_in,Ri_sto_in,Ri_delay_in,Ri_data_in,C1,C2,C,D_in,d
in,S1,S2,w1,w2,wpc)
%% test scenario b)
[X,Function_value,exitflag] =
calx rfixcase2(Ri_cpu_in,Ri_bw_in,Ri_sto_in,Ri_delay_in,Ri_data_in,C1,C2,C,D_in,d_in,S
1,S2,w1,w2,wpc)

```

ข.2 พารามิเตอร์การทดลองกรณีศึกษาผลกระทบการลดขนาดความจุของศูนย์ข้อมูล

```

%% Impact of capacity reduction percentage of each cloud resource (Cj)
%% Input for smart city applications
%% type 1: time sensitive application
(R1,R2,R3,R4,R5,R9,R10,R11,R12,R13,R17,R18,R19,R20)
%% type 2: data storage application (R6,R14)
%% type 3: enterprise application (R7,R8,R15,R16)

%% Resource request
%%R = [Ri compute(core), Ri bandwidth(bps), Ri storage(byte), Ri maxcommdelay(us),
Ri_datasize(byte)]
R1 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240]; R2 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240];
R3 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240]; R4 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240];
R5 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240]; R6 = [2 15*10^6 5*10^9 7200*10^6 5*10^9];
R7 = [6 128*10^3 10 15*10^6 100]; R8 = [6 128*10^3 10 15*10^6 100];
R9 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240]; R10 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240];
R11 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240]; R12 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240];
R13 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240]; R14 = [2 15*10^6 5*10^9 7200*10^6 5*10^9];

```



```

R15 = [6 128*10^3 10 15*10^6 100]; R16 = [6 128*10^3 10 15*10^6 100];
R17 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240]; R18 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240];
R19 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240]; R20 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240];

%% create Ri_x matrix
Ri_cpu = [R1(1) R2(1) R3(1) R4(1) R5(1) R6(1) R7(1) R8(1) R9(1) R10(1) R11(1) R12(1)
R13(1) R14(1) R15(1) R16(1) R17(1) R18(1) R19(1) R20(1)]; %Ri_compute
Ri_bw = (10^-6)*[R1(2) R2(2) R3(2) R4(2) R5(2) R6(2) R7(2) R8(2) R9(2) R10(2) R11(2)
R12(2) R13(2) R14(2) R15(2) R16(2) R17(2) R18(2) R19(2) R20(2)]; %Ri_bandwidth
Ri_sto = [R1(3) R2(3) R3(3) R4(3) R5(3) R6(3) R7(3) R8(3) R9(3) R10(3) R11(3) R12(3)
R13(3) R14(3) R15(3) R16(3) R17(3) R18(3) R19(3) R20(3)]; %Ri_storage
Ri_delay = [R1(4) R2(4) R3(4) R4(4) R5(4) R6(4) R7(4) R8(4) R9(4) R10(4) R11(4) R12(4)
R13(4) R14(4) R15(4) R16(4) R17(4) R18(4) R19(4) R20(4)]; %Ri_maxcommdelay
Ri_data = 8*[R1(5) R2(5) R3(5) R4(5) R5(5) R6(5) R7(5) R8(5) R9(5) R10(5) R11(5)
R12(5) R13(5) R14(5) R15(5) R16(5) R17(5) R18(5) R19(5) R20(5)]; %Ri_data

%% Cloud capacity Cj = [Cj_compute, Cj_bandwidth(Mbps)*10^3, Cj_storage]
C1_in = [200 10*10^3 100*10^9];
C2_in = [200 10*10^3 100*10^9];

%% Intra-building or inter-building bandwidth Cij
C = 10^-6*[2*10^9 10^9; 2*10^9 10^9; 2*10^9 10^9; 2*10^9 10^9;
2*10^9 10^9; 2*10^9 10^9; 2*10^9 10^9; 2*10^9 10^9;
10^9 2*10^9; 10^9 2*10^9; 10^9 2*10^9; 10^9 2*10^9;
10^9 2*10^9; 10^9 2*10^9; 10^9 2*10^9; 10^9 2*10^9;
10^9 0.5*10^9; 10^9 0.5*10^9; 0.5*10^9 10^9; 0.5*10^9 10^9];

%% Communication Latency Metric dij= D_in_ij+d_in_ij = [D11 D12;D21 D22;D31
D32;...;D20,1 D20,2]+[d11 d12;d21 d22;d31 d32;...;d20,1 d20,2]
D = [Ri_data(1)/C(1,1) Ri_data(1)/C(1,2);
Ri_data(2)/C(2,1) Ri_data(2)/C(2,2);
Ri_data(3)/C(3,1) Ri_data(3)/C(3,2);
Ri_data(4)/C(4,1) Ri_data(4)/C(4,2);
Ri_data(5)/C(5,1) Ri_data(5)/C(5,2);
Ri_data(6)/C(6,1) Ri_data(6)/C(6,2);
Ri_data(7)/C(7,1) Ri_data(7)/C(7,2);
Ri_data(8)/C(8,1) Ri_data(8)/C(8,2);
Ri_data(9)/C(9,1) Ri_data(9)/C(9,2);
Ri_data(10)/C(10,1) Ri_data(10)/C(10,2);
Ri_data(11)/C(11,1) Ri_data(11)/C(11,2);
Ri_data(12)/C(12,1) Ri_data(12)/C(12,2);
Ri_data(13)/C(13,1) Ri_data(13)/C(13,2);
Ri_data(14)/C(14,1) Ri_data(14)/C(14,2);
Ri_data(15)/C(15,1) Ri_data(15)/C(15,2);
Ri_data(16)/C(16,1) Ri_data(16)/C(16,2);
Ri_data(17)/C(17,1) Ri_data(17)/C(17,2);
Ri_data(18)/C(18,1) Ri_data(18)/C(18,2);
Ri_data(19)/C(19,1) Ri_data(19)/C(19,2);
Ri_data(20)/C(20,1) Ri_data(20)/C(20,2)];

d_in = [2*Ri_data(1)/C1_in(2) 2*Ri_data(1)/C2_in(2) ;
2*Ri_data(2)/C1_in(2) 2*Ri_data(2)/C2_in(2) ;
2*Ri_data(3)/C1_in(2) 2*Ri_data(3)/C2_in(2) ;
2*Ri_data(4)/C1_in(2) 2*Ri_data(4)/C2_in(2) ;
2*Ri_data(5)/C1_in(2) 2*Ri_data(5)/C2_in(2) ;
2*Ri_data(6)/C1_in(2) 2*Ri_data(6)/C2_in(2) ;
2*Ri_data(7)/C1_in(2) 2*Ri_data(7)/C2_in(2) ;
2*Ri_data(8)/C1_in(2) 2*Ri_data(8)/C2_in(2) ;
2*Ri_data(9)/C1_in(2) 2*Ri_data(9)/C2_in(2) ;
2*Ri_data(10)/C1_in(2) 2*Ri_data(10)/C2_in(2) ;
2*Ri_data(11)/C1_in(2) 2*Ri_data(11)/C2_in(2) ;
2*Ri_data(12)/C1_in(2) 2*Ri_data(12)/C2_in(2) ;
2*Ri_data(13)/C1_in(2) 2*Ri_data(13)/C2_in(2) ;
2*Ri_data(14)/C1_in(2) 2*Ri_data(14)/C2_in(2) ;
2*Ri_data(15)/C1_in(2) 2*Ri_data(15)/C2_in(2) ;
2*Ri_data(16)/C1_in(2) 2*Ri_data(16)/C2_in(2) ;
2*Ri_data(17)/C1_in(2) 2*Ri_data(17)/C2_in(2) ;
2*Ri_data(18)/C1_in(2) 2*Ri_data(18)/C2_in(2) ;
2*Ri_data(19)/C1_in(2) 2*Ri_data(19)/C2_in(2) ;
2*Ri_data(20)/C1_in(2) 2*Ri_data(20)/C2_in(2)] ;

%% SCCC %%

```

```

%% Energy source
S1 = 20000;
S2 = 5000; %RE 30%
wpc = 46; %watt per core
%% weight SCCC
w1 = 0.9995;
w2 = 1-w1;
%% test scenario a)
[X,Function value,exitflag] =
calx_cfixcase1(Ri_cpu,Ri_bw,Ri_sto,Ri_delay,C1_in,C2_in,C,D,d_in,S1,S2,w1,w2,wpc)
%% test scenario b)
[X,Function value,exitflag] =
calx_cfixcase2(Ri_cpu,Ri_bw,Ri_sto,Ri_delay,C1_in,C2_in,C,D,d_in,S1,S2,w1,w2,wpc)

```

ข.3 พารามิเตอร์การทดลองกรณีศึกษาผลกระทบการเพิ่มค่าพลังงานที่ผลิตและ สามารถใช้งานได้จากแหล่งผลิตพลังงาน S_2

```

%% Impact of increasing amount of available on-site renewable energy (S2)
%% Input for smart city applications
%% type 1: time sensitive application
(R1,R2,R3,R4,R5,R9,R10,R11,R12,R13,R17,R18,R19,R20)
%% type 2: data storage application (R6,R14)
%% type 3: enterprise application (R7,R8,R15,R16)

%% Resource request
%%R = [Ri compute(core), Ri bandwidth(bps), Ri storage(Byte), Ri maxcommdelay(us),
Ri_datasize(B)]
R1 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240]; R2 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240];
R3 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240]; R4 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240];
R5 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240]; R6 = [2 15*10^6 5*10^9 7200*10^6 5*10^9];
R7 = [6 128*10^3 10 15*10^6 100]; R8 = [6 128*10^3 10 15*10^6 100];
R9 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240]; R10 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240];
R11 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240]; R12 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240];
R13 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240]; R14 = [2 15*10^6 5*10^9 7200*10^6 5*10^9];
R15 = [6 128*10^3 10 15*10^6 100]; R16 = [6 128*10^3 10 15*10^6 100];
R17 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240]; R18 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240];
R19 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240]; R20 = [8 256*10^3 100 15*10^4 240];

%% create Ri_x matrix
Ri_cpu = [R1(1) R2(1) R3(1) R4(1) R5(1) R6(1) R7(1) R8(1) R9(1) R10(1) R11(1) R12(1)
R13(1) R14(1) R15(1) R16(1) R17(1) R18(1) R19(1) R20(1)]; %Ri_compute
Ri_bw = 10^-6*[R1(2) R2(2) R3(2) R4(2) R5(2) R6(2) R7(2) R8(2) R9(2) R10(2) R11(2)
R12(2) R13(2) R14(2) R15(2) R16(2) R17(2) R18(2) R19(2) R20(2)]; %Ri_bandwidth
Ri_sto = [R1(3) R2(3) R3(3) R4(3) R5(3) R6(3) R7(3) R8(3) R9(3) R10(3) R11(3) R12(3)
R13(3) R14(3) R15(3) R16(3) R17(3) R18(3) R19(3) R20(3)]; %Ri_storage
Ri_delay = [R1(4) R2(4) R3(4) R4(4) R5(4) R6(4) R7(4) R8(4) R9(4) R10(4) R11(4) R12(4)
R13(4) R14(4) R15(4) R16(4) R17(4) R18(4) R19(4) R20(4)]; %Ri_maxcommdelay
Ri_data = 8*[R1(5) R2(5) R3(5) R4(5) R5(5) R6(5) R7(5) R8(5) R9(5) R10(5) R11(5)
R12(5) R13(5) R14(5) R15(5) R16(5) R17(5) R18(5) R19(5) R20(5)]; %Ri_data

%% Cloud capacity Cj = [Cj_compute, Cj_bandwidth(Mbps)*10^3, Cj_storage]
C1 = [200 10*10^3 100*10^9];
C2 = [200 10*10^3 100*10^9];

%% Intra-building or inter-building bandwidth Cij
C = 10^-6*[2*10^9 10^9; 2*10^9 10^9; 2*10^9 10^9; 2*10^9 10^9;
2*10^9 10^9; 2*10^9 10^9; 2*10^9 10^9; 2*10^9 10^9;
10^9 2*10^9; 10^9 2*10^9; 10^9 2*10^9; 10^9 2*10^9;
10^9 2*10^9; 10^9 2*10^9; 10^9 2*10^9; 10^9 2*10^9;
10^9 0.5*10^9; 10^9 0.5*10^9; 0.5*10^9 10^9; 0.5*10^9 10^9;];

%% Communication Latency Metric dij= D_in_ij+d_in_ij = [D11 D12;D21 D22;D31
D32;...;D20,1 D20,2]+[d11 d12;d21 d22;d31 d32;...;d20,1 d20,2]
D = [Ri_data(1)/C(1,1) Ri_data(1)/C(1,2);
Ri_data(2)/C(2,1) Ri_data(2)/C(2,2);
Ri_data(3)/C(3,1) Ri_data(3)/C(3,2);
Ri_data(4)/C(4,1) Ri_data(4)/C(4,2);

```

```

Ri_data(5)/C(5,1) Ri_data(5)/C(5,2);
Ri_data(6)/C(6,1) Ri_data(6)/C(6,2);
Ri_data(7)/C(7,1) Ri_data(7)/C(7,2);
Ri_data(8)/C(8,1) Ri_data(8)/C(8,2);
Ri_data(9)/C(9,1) Ri_data(9)/C(9,2);
Ri_data(10)/C(10,1) Ri_data(10)/C(10,2);
Ri_data(11)/C(11,1) Ri_data(11)/C(11,2);
Ri_data(12)/C(12,1) Ri_data(12)/C(12,2);
Ri_data(13)/C(13,1) Ri_data(13)/C(13,2);
Ri_data(14)/C(14,1) Ri_data(14)/C(14,2);
Ri_data(15)/C(15,1) Ri_data(15)/C(15,2);
Ri_data(16)/C(16,1) Ri_data(16)/C(16,2);
Ri_data(17)/C(17,1) Ri_data(17)/C(17,2);
Ri_data(18)/C(18,1) Ri_data(18)/C(18,2);
Ri_data(19)/C(19,1) Ri_data(19)/C(19,2);
Ri_data(20)/C(20,1) Ri_data(20)/C(20,2)];

d = [2*Ri_data(1)/C1(2) 2*Ri_data(1)/C2(2);
2*Ri_data(2)/C1(2) 2*Ri_data(2)/C2(2);
2*Ri_data(3)/C1(2) 2*Ri_data(3)/C2(2);
2*Ri_data(4)/C1(2) 2*Ri_data(4)/C2(2);
2*Ri_data(5)/C1(2) 2*Ri_data(5)/C2(2);
2*Ri_data(6)/C1(2) 2*Ri_data(6)/C2(2);
2*Ri_data(7)/C1(2) 2*Ri_data(7)/C2(2);
2*Ri_data(8)/C1(2) 2*Ri_data(8)/C2(2);
2*Ri_data(9)/C1(2) 2*Ri_data(9)/C2(2);
2*Ri_data(10)/C1(2) 2*Ri_data(10)/C2(2);
2*Ri_data(11)/C1(2) 2*Ri_data(11)/C2(2);
2*Ri_data(12)/C1(2) 2*Ri_data(12)/C2(2);
2*Ri_data(13)/C1(2) 2*Ri_data(13)/C2(2);
2*Ri_data(14)/C1(2) 2*Ri_data(14)/C2(2);
2*Ri_data(15)/C1(2) 2*Ri_data(15)/C2(2);
2*Ri_data(16)/C1(2) 2*Ri_data(16)/C2(2);
2*Ri_data(17)/C1(2) 2*Ri_data(17)/C2(2);
2*Ri_data(18)/C1(2) 2*Ri_data(18)/C2(2);
2*Ri_data(19)/C1(2) 2*Ri_data(19)/C2(2);
2*Ri_data(20)/C1(2) 2*Ri_data(20)/C2(2)];

%% SCCC %%
%% Energy source
S1 = 20000;
S2 = (0:400:8000);
wpc = 46; %watt per core
%% weight
w1 = 0.9999;
w2 = 1-w1;
%% test scenario a)
[X,Function_value] =
calx_sfixcase1(Ri_cpu,Ri_bw,Ri_sto,Ri_delay,C1,C2,C,D,d,S1,S2,w1,w2,wpc)
%% test scenario b)
[X,Function_value] =
calx_sfixcase2(Ri_cpu,Ri_bw,Ri_sto,Ri_delay,C1,C2,C,D,d,S1,S2,w1,w2,wpc)

```

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาว รรินดา ธีระศุภะ
วัน เดือน ปี เกิด	30 มิถุนายน 2528
สถานที่เกิด	กรุงเทพ
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ที่อยู่ปัจจุบัน	10 หมู่ 5 ซอย นนทบุรี 12 ถนน นนทบุรี 1 ตำบล บางกระสอ อำเภอ เมือง จังหวัด นนทบุรี 11000
ผลงานตีพิมพ์	Thirasupa, R., Saivichit, C., and Aswakul, C. Cloud Infrastructure Design Model for Green Smart City: Case Study of Electricity Generating Authority of Thailand, Proceeding of International Conference on Information Science and Applications 2019 (ICISA 2019), 621 (2019): 135-147.