ตัวแบบและระบบบริการแคชสำหรับ
การแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์

CACHE-AS-A-SERVICE MODELS AND SYSTEM FOR
CLIENT-SIDE SHARED CLOUD CACHING

จตุรงค์ ศรีวิโรจน์

CHATURONG SRIWIROJ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
พ.ศ. 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีปทุม

ตัวแบบและระบบบริการแคชสำหรับ
การแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์

CACHE-AS-A-SERVICE MODELS AND SYSTEM FOR
CLIENT-SIDE SHARED CLOUD CACHING

จตุรงค์ ศรีวิโรจน์

CHATURONG SRIWIROJ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
พ.ศ. 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีปทุม

CACHE-AS-A-SERVICE MODELS AND SYSTEM FOR CLIENT-SIDE SHARED CLOUD CACHING

CHATURONG SRIWIROJ

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY IN INFORMATION TECHNOLOGY

SCHOOL OF INFORMATION TECHNOLOGY

SRIPATUM UNIVERSITY

2016

COPYRIGHT OF SRIPATUM UNIVERSITY

ชื่อหัวข้อวิทยานิพนธ์	ตัวแบบและระบบบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ CACHE-AS-A-SERVICE MODELS AND SYSTEM FOR CLIENT-SIDE SHARED CLOUD CACHING
นักศึกษา	จตุรงค์ ศรีวิโรจน์ รหัสประจำตัว 56560537
หลักสูตร	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
คณะ	เทคโนโลยีสารสนเทศ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนาวงศ์

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาดุษฎีบัณฑิต

..... คณบดีคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนา สุขวารี)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(นาวาอากาศเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ มังสิงห์)

.....กรรมการ .....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภุชงค์ อุทโยภาศ) (ดร.ประภาพร รัตนธำรง)

.....กรรมการ .....กรรมการ
(ดร.ชาลี วรกุลพิพัฒน์) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนาวงศ์)

วิทยานิพนธ์เรื่อง	ตัวแบบและระบบบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์
คำสำคัญ	การคำนวณแบบคลาวด์ การแคชคลาวด์ ตัวแบบบริการ อัตราค่าโหลดข้อมูล
นักศึกษา	จตุรงค์ ศรีวิโรจน์ รหัสประจำตัว 56560537
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนาวงศ์
หลักสูตร	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
คณะ	เทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
พ.ศ.	2559

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันคลาวด์ถูกนำมาใช้ในการจัดเก็บข้อมูลขนาดใหญ่สำหรับการใช้ร่วมกันระหว่างผู้ใช้ ทำให้องค์การต้องมีค่าดำเนินการจากค่าโหลดข้อมูลจากคลาวด์ที่แพงและเกิดความล่าช้าในการเข้าถึงข้อมูล ปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขด้วยการแคชคลาวด์เพื่อป้องกันการโหลดข้อมูลซ้ำจากคลาวด์ มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเสนอนโยบายการแทนที่ข้อมูลของระบบแคชคลาวด์ที่ฝั่งผู้ใช้บริการคลาวด์ซึ่งสามารถประหยัดค่าโหลดข้อมูลจากคลาวด์ ลดปริมาณการใช้แบนด์วิดท์ และระยะเวลาในการโหลดข้อมูลได้ งานวิจัยนี้ต่อยอดงานวิจัยดังกล่าวเพื่อให้สามารถทำหน้าที่เป็นบริการแคชคลาวด์ (Cache-as-a-Service) ได้โดยการเสนอตัวแบบทางเทคนิคและตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการดำเนินการบริการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ และเสนอต้นแบบระบบบริการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ องค์ความรู้ใหม่ที่ได้รับ 1) ชุดตัวแบบทางเทคนิคของบริการแคช 6 ตัวแบบที่เกิดจากองค์ประกอบ 2 มิติคือเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลได้แก่ แรม, หน่วยขับโซลิดสเตท, และหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง และมิติที่สองคือแบบแผนการใช้งานได้แก่ แบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว (isolated cache space) และแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน (shared cache space) ตัวแบบทั้ง 6 ได้แก่ ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว, ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน , ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว, ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว, ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน 2) ตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ของบริการแคชคลาวด์ที่สามารถใช้เป็นแบบแผนการกำหนดราคาค่าบริการ 2 ตัวแบบ ได้แก่ ตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ของบริการแคชคลาวด์กรณีเช่าพื้นที่โคโลเคชั่น (colocation) และตัวแบบทาง

เศรษฐศาสตร์ของบริการแคชคลาวด์กรณีเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ 3) ระบบต้นแบบบริการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ที่ต่อประสานกับสควิดซอฟต์แวร์รหัสเปิดเพื่อทำการประมวลผลขั้นตอนวิธีการแคชข้อมูลที่โหลดจากคลาวด์ และมีฟังก์ชั่นสำคัญที่ผู้ใช้บริการแคชคลาวด์สามารถตรวจสอบการใช้งานทรัพยากร ตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงาน และตรวจสอบค่าใช้จ่ายในการใช้บริการ

การประเมินผลของชุดตัวแบบทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์ที่เสนอด้วยวิธีจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา 2 ชุดได้แก่ ชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่ และชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไป พบว่าตัวแบบบริการทางเทคนิคมีอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลร้อยละ 1.50 ถึง 56.20 และมีอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลร้อยละ 12.96 ถึง 56.65 และตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกันมีอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 56.20 และตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกันมีอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 56.65 และพบว่าตัวแบบบริการทางเศรษฐศาสตร์แนะนำให้กำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนโดยเฉลี่ย 24,599.70 ดอลลาร์ สำหรับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่ที่ใช้ในการจำลองการทำงาน และแนะนำให้กำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนโดยเฉลี่ย 657.93 ดอลลาร์ สำหรับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไปที่ใช้ในการจำลองการทำงาน นอกจากนี้ยังพบว่าต้นแบบระบบบริการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์มีผลการประเมินความพึงพอใจต่อระบบจากกลุ่มผู้ใช้ที่เป็นผู้ดูแลระบบอยู่ในระดับดี

TITLE	CACHE-AS-A-SERVICE MODELS AND SYSTEM FOR CLIENT-SIDE SHARED CLOUD CACHING
KEYWORDS	CLOUD COMPUTING, CLOUD CACHE, SERVICE MODEL, COST-SAVING RATIO
STUDENT	CHATURONG SRIWIROJ
ADVISOR	ASST.PROF. DR. THEPPARIT BANDITWATTANAWONG
LEVEL OF STUDY	DOCTOR OF PHILOSOPHY IN INFORMATION TECHNOLOGY
FACULTY	SCHOOL OF INFORMATION TECHNOLOGY SRIPATUM UNIVERSITY
YEAR	2016

ABSTRACT

Presently, cloud has been used to store large data for sharing among users imposing on organizations expensive operational costs due to cloud data loading and data access delays. These problems can be solved by using cloud caching to prevent repetitive data loading from clouds. There is a related research proposing the cache replacement policy of cloud caching system at client side that can economize data loading expense, reduce bandwidth usage and data loading latency. This research extends such research so that it becomes a cloud cache as a service (CaaS) by proposing technical and economic models for operating client-side shared CaaS, which aims for reducing cloud data loading charges and delays. This research also proposes the prototyping system of the client-side shared CaaS. Research main contributions are 1) a sets of technical models of totally six types comprising two-dimensional elements that are data storage technologies, RAM, SSD, HDD and the second dimension represents usage patterns, isolated cache space and shared cache space. The six models are RAM isolated cache space, RAM shared cache space, SSD isolated cache space, SSD shared cache space, HDD isolated cache space, and HDD shared cache space, 2) a set of two economical models that can be used as a pricing pattern an economical model of the cloud cache service based on colocation service and an economical model based on a cloud infrastructure as a services (IaaS), and 3) A prototyping CaaS system for client-side shared cloud caching that interfaces with opensource software Squid, which processes

a cloud data caching algorithm. The system has essential functions for users such as, checking resources usage, monitoring performance, and monitoring service charge.

The evaluation of the proposed technical and economic models by means of simulation using two experimental data sets representing characteristic of large-size cloud data and general-size cloud data has turned out that the technical service models have achieved cost-saving ratios from 1.50% to 56.20% and delay-saving ratios from 12.96% to 56.65%, and HDD shared cache space model has achieved the highest cost-saving ratio of 56.20%, and RAM shared cache space model has achieved the highest delay-saving ratio of 56.65%, and turned out that the economic service model has recommended the monthly service charge of CaaS to be 24,599.70 dollars by average based on the large-size cloud data set used in the simulation, and has recommended the monthly service charge of CaaS to be 657.93 dollars by average based on general-size cloud data set used in the simulation. In addition, it has been found that the prototyping CaaS system for client-side shared cloud caching has gained good level satisfaction from the group of administrator users.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนาวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่ายิ่งให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัย ให้คำแนะนำและแนวคิดในการทำวิจัยชี้แนะแนวทางเพื่อผู้วิจัยสามารถแก้ไขปัญหารวมถึงข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งงานวิจัยเสร็จและเขียนเล่มวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงด้วยดี ตลอดจนให้กำลังใจกับผู้วิจัยอย่างมาก ผู้วิจัยทราบถึงความปรารถนาดีที่อาจารย์ได้อบรมให้ผู้วิจัยเป็นผู้มีความรู้ความสามารถมีความรับผิดชอบต่อตนเองและสังคม ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์อย่างสูงยิ่งไว้ ณ ที่นี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ มังสิงห์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภุชงค์ อุทโยภาศ ดร.ประภาพร รัตนธำรง และ ดร.ชาลี วรกุลพิพัฒน์ อาจารย์ทุกท่านได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าให้คำแนะนำชี้แนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำมหาวิทยาลัยศรีปทุมและเจ้าหน้าที่ประจำบัณฑิตวิทยาลัยทุกท่านที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาสำหรับข้อมูลขั้นตอนและวิธีการต่างๆ ในการดำเนินการเรื่องวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณบิดามารดาผู้สร้างชีวิตด้วยความรักอันประเสริฐยิ่งและครูอาจารย์ผู้ประสิทธิประสาทวิชาอบรมสั่งสอนวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัยทำให้ผู้วิจัยสามารถศึกษาเล่าเรียนในระดับดุษฎีบัณฑิตได้สำเร็จด้วยดี

จตุรงค์ ศรีวิโรจน์

มิถุนายน 2559

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย……...		I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ……..…….		III
กิตติกรรมประกาศ……..…….		V
สารบัญ…….		VI
สารบัญตาราง……..….		IX
สารบัญภาพประกอบ……...		XI
บทที่		
1	บทนำ…….	1
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา…….…….	1
	คำถามการวิจัย……..……...	3
	สมมุติฐานของการวิจัย…….....	3
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย…….....	3
	ขอบเขตของการวิจัย…….....	3
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ…….	4
	นิยามศัพท์……...	4
2	แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง…….…..	7
	แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง……..	7
	การคำนวณแบบคลาวด์……...	7
	การแคช……...	16
	การแคชคลาวด์…….....	20
	ตัวแบบบริการ…….	21
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……..	22
	เว็บแคช……...	22
	การแคชคลาวด์ฝั่งเครื่องบริการ……...	25

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	ตัวแบบบริการแคชคลาวด์ฝั่งเครื่องบริการ……..	28
	การแคชคลาวด์ฝั่งไคลเอ็นท์…….....	30
3	วิธีดำเนินการวิจัย……...	33
	แบบแผนทางการวิจัย……..	33
	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย……..	33
	แผนงานวิจัย…….....	34
	กรอบแนวคิดการวิจัย……..	36
	ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง……..	40
	เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย…….....	40
	การรวบรวมข้อมูล…….……....	40
	การวิเคราะห์ข้อมูล…….…….…...	42
	การกำหนดตัวแปร…….…….…...	43
	การออกแบบตัวแบบบริการแคชคลาวด์……..	43
	การจำลองการทำงาน……...	52
4	ผลการวิจัย……..	60
	การวัดผลตัวแบบและผลการประเมินตัวแบบ……..……...	60
	การพัฒนาระบบต้นแบบบริการแคช……..…….	117
	การวิเคราะห์และออกแบบระบบ…….....	117
	การสร้างระบบ…….....	144
	การทดสอบและประเมินผลการใช้งานระบบ……..	162
5	สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ……...	175
	สรุปผลการวิจัย…..……...	175
	อภิปรายผลการวิจัย……..	178

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ข้อเสนอแนะ.....……....	181
บรรณานุกรม…….……....	184
ประวัติผู้วิจัย…….……....	192

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคชของแต่ละชุด…….	54
2	ค่าใช้จ่ายของ (Mp_{oi})…….……	57
3	ค่าการใช้พื้นที่แคช (Sc_{oi})……..…….	58
4	อัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการแคชคลาวด์ (CaaS data-out charge rate)……	59
5	ชุดข้อมูลตัวแทนจากองค์การที่มีลักษณะเน้นการใช้ข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่……	60
6	ชุดข้อมูลตัวแทนจากองค์การที่มีลักษณะเน้นการใช้ข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไป..…	61
7	กรณีวัดผลตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ที่ชุดข้อมูลตัวแทนจากองค์การที่มีลักษณะเน้นการใช้ข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่...……...……..……	62
8	กรณีวัดผลตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ที่ชุดข้อมูลตัวแทนจากองค์การที่มีลักษณะเน้นการใช้ข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไป...……...……..……	62
9	ผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพของตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, อัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%……	108
10	ผลลัพธ์ของตัวแบบที่มีอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลสูงที่สุด……..	108
11	ผลลัพธ์ของตัวแบบที่มีอัตราการพบข้อมูลในแคชสูงที่สุดและอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชสูงที่สุด……..	109
12	ผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพของตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%……	110
13	ผลลัพธ์ของตัวแบบที่มีอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลสูงที่สุด……..	111
14	ผลลัพธ์ของตัวแบบที่มีอัตราการพบข้อมูลในแคชสูงที่สุดและอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชสูงที่สุด……..	111
15	ผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพของตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%……	112
16	ผลลัพธ์ของตัวแบบที่มีอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลสูงที่สุด……..	113

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
17	ผลลัพธ์ของตัวแบบที่มีอัตราการพบข้อมูลในแคชสูงที่สุดและอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชสูงที่สุด……..	114
18	ผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพของตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%……	115
19	ผลลัพธ์ของตัวแบบที่มีอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลสูงที่สุด……..	116
20	ผลลัพธ์ของตัวแบบที่มีอัตราการพบข้อมูลในแคชสูงที่สุดและอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชสูงที่สุด……..	116
21	ข้อมูลลูกค้า (Table Name : Customer) ……..……	140
22	ข้อมูลการสั่งซื้อ (Table Name : Orderservice) ……..……	141
23	ข้อมูลแค็ตตาล็อกของตัวแบบบริการแคชคลาวด์ (Table Name : Catalogue)……	141
24	ข้อมูลรายละเอียดของการสั่งซื้อและการเปลี่ยนการสั่งซื้อ (Table Name : Provision) ……..…….…….…….	142
25	ข้อมูลรายการคำนวณค่าใช้บริการแคชคลาวด์ตามตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ (Table Name : Economical) ……..…….…….…….	142
26	ข้อมูลรายการประมวลผลตัววัดสมรรถนะเชิงประสิทธิภาพตามตัวแบบทางเทคนิค (Table Name : Performance)…..……..…….	143
27	ข้อมูลรายการชื่อบัตรเครดิต (Table Name : Creditcard)…….……	143
28	เกณฑ์ระดับคะแนน…….……	163
29	ร้อยละของข้อมูลทั่วไปของผู้ดูแลระบบที่เป็นผู้ตอบแบบประเมิน……	164
30	สรุปผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้ระบบบริการแคชคลาวด์……...	167
31	รายละเอียดผลการประเมินที่ประกอบด้วยข้อคำถาม ผู้ประเมิน ร้อยละ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความพึงพอใจของผู้ดูแลระบบ…..……..……..……...	168

สารบัญภาพประกอบ

ภาพประกอบที่		หน้า
1	คลาวด์ส่วนบุคคลในสถานที่ตั้ง (on-premise private cloud)……..	10
2	คลาวด์ส่วนบุคคลภายนอกสถานที่ตั้ง (off-premise private cloud)……	11
3	คลาวด์สาธารณะ ……	12
4	สถาปัตยกรรมของระบบเครื่องเสมือน……...	13
5	แสดงไฮเปอร์ไวเซอร์ ……	14
6	แนวคิดมัลติเทนแนนท์ซี่……..	15
7	แนวคิดมัลติอินสแตนท์……...	16
8	ลำดับชั้นแคช L1 และ L2 ……...	17
9	สถาปัตยกรรมชิปหลายหน่วยประมวลผล……..	18
10	รูปแบบการแคช 3 ประเภท……..…	20
11	แผนงานวิจัย……	34
12	กรอบแนวคิดการวิจัยตัวแบบบริการแคชทางเทคนิค…….	36
13	กรอบแนวคิดการวิจัยตัวแบบบริการแคชทางเศรษฐศาสตร์……..….	38
14	กรอบแนวคิดระบบบริการแคช (CaaS System)…….…….…...	39
15	รูปแบบการใช้บริการแคช CaaS……	44
16	ชุดตัวแบบทางเทคนิคของบริการแคชคลาวด์……	45
17	การออกแบบกรณีการจำลองการทำงาน ……...	52
18	การออกแบบกรณีการจำลองการทำงานทั้งหมด……...	53
19	กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่กรณีเช่าพื้นที่โคโลเคชั่น กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว……	69
20	กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่กรณีเช่าพื้นที่โคโลเคชั่น กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา……..	70

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่ หน้า

21 กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่กรณีเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว…….…… 82

22 กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่กรณีเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา…….…….. 83

23 กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่ กรณีเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว…….. 84

24 กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่ กรณีเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา……... 84

25 กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ ระหว่างประเภทระบบโครงสร้างพื้นฐาน Colocation/IaaS สำหรับระบบ CaaS ของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30…….…….. 85

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่ หน้า

26 กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไป กรณีเช่าพื้นที่โคโลเคชั่น กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว…….. 91

27 กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไป กรณีเช่าพื้นที่โคโลเคชั่น กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา…….. 92

28 กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไป กรณีเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว…….…….. 104

29 กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไป กรณีเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา…….……. 105

30 กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไป กรณีเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว…….…….. 106

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่		หน้า
31	กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไป กรณีเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา…….……	106
32	กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทระบบโครงสร้างพื้นฐาน Colocation/IaaS สำหรับระบบ CaaS ของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไปจากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และแบบอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%…….……	107
33	กราฟผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพของตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%……..……	108
34	กราฟผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพของตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%……..……	111
35	กราฟผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพของตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%……..……	113
36	กราฟผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพของตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%……..……	115
37	ระบบบริการแคชคลาวด์ในระดับแนวคิด……...	118
38	สถาปัตยกรรมระบบบริการแคชคลาวด์……...	119
39	กระบวนการใช้บริการและให้บริการแคชคลาวด์……	120

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่		หน้า
40	แผนภาพยูสเคสระบบบริการแคชคลาวด์.....	121
41	แผนภาพคลาส.....	133
42	แผนภาพซีเควนซ์การลงทะเบียนสมัครสมาชิกและจัดการบัญชีข้อมูลลูกค้าสมาชิก (Register and Manage Account Profile).....	134
43	แผนภาพซีเควนซ์การเข้าสู่ระบบ (Sign in).....	135
44	แผนภาพซีเควนซ์การเลือกซื้อบริการแคชคลาวด์ (Select Service) และการจัดเตรียมบริการ (Provision Service).....	135
45	แผนภาพซีเควนซ์การเปลี่ยนความต้องการ (Change Request).....	136
46	แผนภาพซีเควนซ์การใช้บริการ (Use Service).....	137
47	แผนภาพซีเควนซ์การกำหนดตัวแบบราคา (Set Pricing Model).....	138
48	แผนภาพซีเควนซ์การตรวจสอบการใช้ทรัพยากรและบริการที่ดำเนินการอยู่ (Monitor Resources and Running Services).....	138
49	แผนภาพอี-อาร์ของระบบบริการแคชคลาวด์.....	139
50	แสดงหน้าจอในส่วนของการเข้าระบบสำหรับลูกค้าผู้ใช้บริการ.....	145
51	แสดงหน้าจอในส่วนของการลงทะเบียนสมัครสมาชิกของลูกค้า (Register).....	145
52	แสดงหน้าจอในส่วนการจัดการบัญชีข้อมูลลูกค้าสมาชิก (Manage Account Profile)	146
53	แสดงหน้าจอในส่วนการกำหนดการจำกัดวงเงิน (Set Budget Limit).....	146
54	แสดงหน้าจอในส่วนแคตตาล็อกรายการบริการแคชคลาวด์ (Service Catalogue)...	147
55	แสดงหน้าจอในส่วนการจัดเตรียมทรัพยากรให้พร้อมสำหรับให้บริการ.....	147
56	แสดงหน้าจอในส่วนการประมวลผลจัดเตรียมทรัพยากรโดยอัตโนมัติ.....	148
57	แสดงหน้าจอในส่วนการแจ้งผลการประมวลผลการจัดเตรียมทรัพยากรโดยอัตโนมัติ.....	148
58	แสดงหน้าจอในส่วนการเปลี่ยนความต้องการ (Change Request).....	149
59	แสดงหน้าจอในส่วนการแสดงรายการการเปลี่ยนแปลงของลูกค้า.....	149
60	แสดงหน้าจอในส่วนการใช้บริการ (Use Service) ของลูกค้า.....	150

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่		หน้า
61	แสดงหน้าจอในส่วนการเปิดใช้บริการ (Start Service) ของลูกค้า……	150
62	แสดงหน้าจอในส่วนการตรวจสอบการใช้ทรัพยากรและประสิทธิภาพของตัวแบบบริการแคชคลาวด์ของลูกค้าที่กำลังใช้บริการอยู่ (Monitor Resource/Performance)	151
63	แสดงหน้าจอในส่วนการวัดปริมาณการใช้งานและการเรียกเก็บเงิน (Usage Metering and Billing)……	152
64	แสดงหน้าจอในส่วนของการเข้าระบบสำหรับผู้ดูแลระบบ……..	153
65	แสดงหน้าจอในส่วนการตั้งค่าตัวแบบทางธุรกิจในการกำหนดราคา…….....	153
66	แสดงหน้าจอในส่วนการกำหนดเปอร์เซ็นกำไร (Profit%)……	154
67	แสดงหน้าจอในส่วนการแสดงรายการลูกค้าที่ใช้บริการอยู่……	154
68	แสดงหน้าจอในส่วนการตรวจสอบการใช้ทรัพยากรและบริการที่ดำเนินการอยู่ (Monitor Resources and Running Services)……...	155
69	แสดงหน้าจอในส่วนการวัดปริมาณการใช้งานและการเรียกเก็บเงิน (Usage Metering and Billing)…….	156
70	ขั้นตอนวิธีของ StatefulPerformance ในคำนวณประสิทธิภาพรายสัปดาห์……	159

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ด้วยความก้าวหน้าที่รวดเร็วของเทคโนโลยีการประมวลผลและเทคโนโลยีการจัดเก็บข้อมูลและความสำเร็จของระบบอินเทอร์เน็ตก่อให้เกิดรูปแบบการประมวลผลแบบใหม่ที่เรียกว่าการคำนวณแบบคลาวด์ (cloud computing) ที่ซึ่งทรัพยากร เช่น ซีพียู, หน่วยความจำ, หน่วยเก็บข้อมูล ถูกจัดเตรียมไว้ให้บริการในลักษณะสาธารณูปโภคทั่วไปโดยผู้ให้บริการคลาวด์ (cloud provider) และผู้บริโภคสามารถขอใช้หรือเช่าบริการได้ผ่านทางอินเทอร์เน็ตตามความต้องการ การคำนวณแบบคลาวด์จึงเป็นกระบวนทัศน์ใหม่ในการส่งมอบบริการเทคโนโลยีสารสนเทศให้เป็นบริการสาธารณูปโภค (Buyya, et al., 2009) ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย

สถาบันมาตรฐานและเทคโนโลยีแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Institute of Standards and Technology - NIST) กำหนดนิยามของการคำนวณแบบคลาวด์คือ "ตัวแบบสำหรับทำให้การเข้าถึงแหล่งรวมทรัพยากรคอมพิวเตอร์ที่ใช้ร่วมกันและปรับแต่งโครงแบบได้อันได้แก่ เครือข่าย, เครื่องบริการ, หน่วยเก็บข้อมูล, โปรแกรมประยุกต์ และบริการ สามารถดำเนินการผ่านเครือข่ายตามคำร้องขอได้อย่างสะดวก ซึ่งทรัพยากรเหล่านี้สามารถจัดหาและคืนได้อย่างรวดเร็วโดยอาศัยการจัดการและการโต้ตอบกับผู้ให้บริการน้อยที่สุด" (Mell and Grance, 2011)

การคำนวณแบบคลาวด์สนับสนุนการปรับเปลี่ยนกระบวนทัศน์การคำนวณจากระดับเฉพาะที่ไปสู่ระดับที่เครือข่ายเป็นศูนย์กลาง เมื่อทรัพยากรคำนวณและทรัพยากรหน่วยเก็บข้อมูลสามารถถูกจัดหามาจากศูนย์ข้อมูลที่อยู่ห่างไกลได้และมีการจัดเก็บข้อมูลลงบนคลาวด์เกิดเป็นประโยชน์ที่สำคัญข้อมูลสามารถถูกใช้ร่วมกันได้ผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ที่สามารถเข้าถึงข้อมูลเมื่อเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต สำหรับค่าใช้จ่ายในการใช้บริการคลาวด์โดยปรกติเป็นแบบจ่ายตามปริมาณการใช้งานจริงเป็นลักษณะบริการตามความต้องการคือเมื่อมีความต้องการใช้เมื่อไหร่สามารถใช้ได้ทันที การคำนวณแบบคลาวด์นั้นช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านระบบเทคโนโลยีสารสนเทศสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมอย่างมาก (Jadeja and Modi, 2012) การคำนวณแบบคลาวด์จึงเป็นความเป็นจริงทางธุรกิจดังที่องค์การจำนวนมากมีการนำกระบวนทัศน์นี้มาใช้ (Marinescu, 2012)

ปัจจุบันข้อมูลจำนวนมากมีแนวโน้มถูกเก็บและใช้ร่วมกันบนคลาวด์เพิ่มขึ้นในอัตราที่รวดเร็วและต่อเนื่องโดยเฉพาะการจัดเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ (big data) บนคลาวด์สำหรับการใช้งาน

ร่วมกันระหว่างผู้ใช้ในรูปแบบการกระจาย (distributed sharing) ที่มีการโหลดข้อมูลจากคลาวด์มายังผู้ใช้ปลายทางโดยอาศัยโพรโทคอลมาตรฐานเอชทีทีพี (HTTP) ผลที่ตามมาคือแบนด์วิดท์ของเครือข่ายอาจเข้าสู่ภาวะอิ่มตัวและนำไปสู่ความล่าช้าในการเข้าถึงข้อมูลที่เก็บอยู่บนคลาวด์เมื่อการใช้งานข้อมูลร่วมกันมีปริมาณมาก (Banditwattanawong and Uthayopas, 2013) และนอกจากนี้ยังอาจเป็นสาเหตุให้องค์การมีค่าดำเนินการจากค่าโหลดข้อมูลจากคลาวด์ที่แพงตามปริมาณการโหลดข้อมูลอีกด้วย วิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาเหล่านี้คือ การแคชคลาวด์ฝั่งผู้ใช้ (client-side cloud caching) ซึ่งเป็นการทำซ้ำข้อมูลที่โหลดมาจากคลาวด์และข้อมูลมีโอกาสถูกเรียกใช้งานซ้ำไว้ที่ฝั่งของกลุ่มผู้ใช้ เพื่อป้องกันการโหลดข้อมูลเดิมซ้ำจากคลาวด์ทุกครั้งที่มีการร้องขอ และช่วยลดปริมาณการใช้แบนด์วิดท์ในเครือข่ายและลดภาระงานที่ต้องร้องขอข้อมูลไปยังคลาวด์ ทำให้ประหยัดค่าโหลดข้อมูลและสามารถส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพของการดำเนินงาน (Banditwattanawong, Masdisornchote and Uthayopas, 2016)

เพื่อให้สามารถทำหน้าที่เป็นบริการการแคชคลาวด์ (Cache-as-a-Service) ได้งานวิจัยนี้นำเสนอองค์ความรู้ใหม่คือ ตัวแบบทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการดำเนินการบริการการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ สำหรับเพื่อให้ผู้ให้บริการเปิดเป็นบริการการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ (client-side shared cloud cache) แก่กลุ่มผู้ใช้องค์การแบบมุ่งเน้นการลดค่าใช้จ่ายของการโหลดข้อมูลจากคลาวด์ ลดปริมาณการใช้แบนด์วิดท์ของระบบเครือข่ายภายนอกองค์การ และลดระยะเวลาการโหลดข้อมูลจากคลาวด์ ตัวแบบที่พัฒนาขึ้นรองรับการใช้เทคโนโลยีหน่วยเก็บข้อมูลแบบแรม (RAM), หน่วยขับโซลิดสเตท (solid state drive: SSD) และหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง (hard disk drive: HDD) เป็นพื้นที่สำหรับการแคชข้อมูลจากคลาวด์ และสนับสนุนแนวคิดการใช้ทรัพยากรโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ร่วมกันระหว่างผู้ใช้ที่เรียกว่ามัลติเทนแนนท์ซี่ (multitenancy) เมื่อผู้ให้บริการการแคชคลาวด์นำตัวแบบนี้ไปใช้จะช่วยให้ผู้ให้บริการสามารถกำหนดราคาค่าบริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยให้ผู้ใช้บริการระดับองค์การมีข้อมูลประกอบการตัดสินใจทั้งในด้านสมรรถนะและด้านงบประมาณ เพื่อเลือกใช้บริการการแคชคลาวด์แบบต่างๆ ที่เหมาะสมกับความต้องการขององค์การได้ งานวิจัยที่เสนอตัวแบบบริการการแคชคลาวด์นี้สามารถนำไปสู่คุณภาพของบริการการคำนวณแบบคลาวด์ทั้งในด้านของสมรรถนะทางเทคนิคและสมรรถนะทางเศรษฐศาสตร์ และเป็นการส่งเสริมการใช้บริการการแคชคลาวด์ฝั่งไคลเอ็นท์ซึ่งเป็นกลไกที่สามารถช่วยสร้างความยั่งยืนในระดับโครงสร้างพื้นฐานการคำนวณแบบคลาวด์เพื่อเพิ่มขีดความสามารถของการใช้บริการคลาวด์ได้อย่างเต็มที่ และเป็นการเพิ่มศักยภาพของการบริการเพื่อการแข่งขันในระยะยาวซึ่งโดยรวมแล้วจะช่วยสร้างผลกระทบเชิงบวกโดยตรงต่อเศรษฐกิจและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีต่อไป

คำถามการวิจัย

1. การให้บริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ควรจะมีหลักเกณฑ์ในการกำหนดค่าใช้บริการที่เหมาะสมอย่างไร

2. การให้บริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ควรจะมีทางเลือกในการให้บริการทางเทคนิคอะไรบ้างที่มีสมรรถนะเหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้แต่ละราย

สมมุติฐานของการวิจัย

1. ตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ของบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์น่าจะใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการกำหนดค่าใช้บริการที่เหมาะสมได้

2. ตัวแบบทางเทคนิคของบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์น่าจะใช้เป็นทางเลือกในการให้บริการทางเทคนิคที่มีสมรรถนะเหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้แต่ละราย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาชุดตัวแบบบริการแคชทางเทคนิคสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์

2. เพื่อพัฒนาชุดตัวแบบบริการแคชทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์

3. เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์

ขอบเขตของการวิจัย

1. งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเฉพาะการทำการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์เท่านั้น

2. ตัวแบบที่ศึกษาพิจารณาเฉพาะแนวคิดแบบมัลติเทนแนนท์ซี่เท่านั้นโดยไม่พิจารณาแนวคิดแบบมัลติอินสแตนท์ (multi-instance) เนื่องจากส่วนใหญ่ตามที่ปรากฏในเอกสารวิจัยต่างๆ บริการคลาวด์จะใช้แบบมัลติเทนแนนท์ซี่

3. สำหรับตัวแบบทางเทคนิคมีตัวแปรต้นที่ศึกษาคือปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะของการแคชคลาวด์และตัวแปรตามคืออัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล, อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล,

อัตราการพบข้อมูลในแคช, อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช สำหรับตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์มีตัวแปรต้นที่ศึกษาคือปัจจัยด้านต้นทุนของการให้บริการการแคชคลาวด์และตัวแปรตามคือราคาค่าบริการการแคชคลาวด์ฝั่งไคลเอ็นท์

4. ระยะเวลาการทำวิจัย 3 ปี

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ประโยชน์ในเชิงวิชาการ คือ องค์ความรู้ใหม่คือตัวแบบบริการแคชทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ที่สามารถนำไปช่วยประกอบการตัดสินใจของบริการและผู้ใช้บริการคลาวด์ระดับองค์การ

2. ประโยชน์ในเชิงเศรษฐกิจ คือ เป็นการร่วมตอบสนองนโยบายเศรษฐกิจดิจิทัลของประเทศส่งเสริมการใช้บริการการแคชคลาวด์ฝั่งไคลเอ็นท์ซึ่งเป็นกลไกที่สามารถช่วยสร้างความยั่งยืนในระดับโครงสร้างพื้นฐานการคำนวณแบบคลาวด์

นิยามศัพท์

การคำนวณแบบคลาวด์ (cloud computing) คือตัวแบบที่ทำให้การเข้าถึงแหล่งรวมทรัพยากรการคำนวณที่ใช้ร่วมกันและปรับแต่งโครงแบบได้อันได้แก่ เครือข่าย, เครื่องบริการ, หน่วยเก็บข้อมูล, โปรแกรมประยุกต์, และบริการ สามารถดำเนินการผ่านเครือข่ายตามคำขอได้อย่างสะดวกซึ่งทรัพยากรเหล่านี้สามารถจัดหาและคืนได้อย่างรวดเร็วโดยอาศัยการจัดการและการโต้ตอบกับผู้ให้บริการน้อยที่สุด (Mell and Grance, 2011) องค์ประกอบสำคัญของการคำนวณแบบคลาวด์ ได้แก่ บริการซอฟต์แวร์คลาวด์ บริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ และบริการแพลตฟอร์มคลาวด์ (Armbrust et al., 2009)

บริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ (Cloud Infrastructure as a Service: IaaS) คือบริการทรัพยากรการคำนวณอันได้แก่ หน่วยประมวลผล หน่วยเก็บข้อมูล และเครือข่ายซึ่งผู้ใช้บริการสามารถใช้ทรัพยากรเหล่านี้เพื่อติดตั้งระบบปฏิบัติการหรือโปรแกรมประยุกต์ใดๆได้ตามต้องการ (Mell and Grance, 2011)

คลาวด์สาธารณะ (public cloud) คือบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์หรือบริการแพลตฟอร์มคลาวด์สำหรับการใช้แบบเปิดโดยสาธารณะทั่วไป และอาจถูกเป็นเจ้าของ จัดการ และจัดดำเนินการโดยองค์การธุรกิจ สถาบันการศึกษา และภาครัฐ หรือแบบผสม และติดตั้งอยู่ที่ฝั่งผู้ให้บริการคลาวด์สาธารณะ (Mell and Grance, 2011)

คลาวด์ส่วนบุคคล (private cloud) คือบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์หรือบริการแพลตฟอร์มคลาวด์ที่ถูกใช้เพื่อประโยชน์ขององค์การใดองค์การหนึ่งที่ประกอบด้วยผู้บริโภค และอาจถูกเป็นเจ้าของ จัดการ และดำเนินการโดยองค์การ บุคคลที่สาม หรือแบบผสมและอาจติดตั้งอยู่ที่ฝั่งผู้ให้บริการคลาวด์สาธารณะหรือในองค์การของผู้ใช้บริการเอง (Mell and Grance, 2011)

บริการซอฟต์แวร์ (Software as a Service: SaaS) คือซอฟต์แวร์ที่ติดตั้งอยู่บนแพลตฟอร์มคลาวด์และโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์เพื่อให้บริการผู้ใช้ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (Mell and Grance, 2011)

บริการแพลตฟอร์ม (Platform as a Service: PaaS) คือบริการระบบปฏิบัติการและซอฟต์แวร์ระบบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งติดตั้งอยู่บนโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ สำหรับให้ผู้ใช้บริการติดตั้งโปรแกรมประยุกต์ที่ระบบปฏิบัติการรองรับ (Mell and Grance, 2011)

การแคช (caching) คือกลไกทำซ้ำข้อมูลที่ถูกร้องขอโดยผู้ใช้ไว้ในพื้นที่ใกล้ตัวผู้ใช้เองเพื่อช่วยเพิ่มความเร็วในการเข้าถึงข้อมูลและลดปริมาณข้อมูลที่ส่งผ่านเครือข่าย

บริการการแคชคลาวด์ (Cache as a Service: CaaS) คือบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์รูปแบบหนึ่งที่ทำหน้าที่ให้บริการการแคชสำหรับข้อมูลที่ถูกร้องขอจากคลาวด์

ผู้ให้บริการการแคชคลาวด์ (cloud cache provider) คือองค์การผู้ให้บริการการแคชข้อมูลจากคลาวด์ที่มีการติดตั้งโครงสร้างพื้นฐานการบริการการแคชคลาวด์ไว้ใกล้ฝั่งกลุ่มผู้ใช้เพื่อให้สามารถใช้ข้อมูลคลาวด์ในการแคชร่วมกันได้ตามข้อตกลงของทางเลือกการบริการ

มัลติเทนแนนท์ซี่ (multi-tenancy) คือแนวคิดการใช้ทรัพยากรโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ร่วมกันระหว่างผู้ใช้โดยปราศจากการใช้ข้อมูลส่วนบุคคลร่วมกัน (Stammer and Wilson, 2013)

มัลติอินสแตนท์ (multi-instance) คือแนวคิดการใช้ทรัพยากรโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์แบ่งแยกเฉพาะแต่ละรายผู้ใช้

เครื่องเสมือน (virtual machine) คือเครื่องคอมพิวเตอร์เสมือนที่เกิดจากการใช้การจำลองสภาพแวดล้อมการทำงานของคอมพิวเตอร์ทางกายภาพ

ต้นทุนที่เป็นตัวเงิน (cost) คือมูลค่าของเงินที่เป็นต้นทุน

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล (cost-saving ratio) คืออัตราส่วนค่าโหลดข้อมูลรวมของกรณีที่ไม่มีการแคชคลาวด์หักค่าโหลดข้อมูลรวมของกรณีที่มีการแคชคลาวด์ต่อค่าโหลดข้อมูลรวมของกรณีที่ไม่มีการแคชคลาวด์

อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล (delay-saving ratio) คืออัตราส่วนระยะเวลาโหลดข้อมูลรวมของกรณีที่ไม่มีการแคชคลาวด์หักระยะเวลาโหลดข้อมูลรวมของกรณีที่มีการแคชคลาวด์ต่อระยะเวลาโหลดข้อมูลรวมของกรณีที่ไม่มีการแคชคลาวด์

อัตราการพบข้อมูลในแคช (hit rate) คืออัตราส่วนจำนวนครั้งทั้งหมดของการพบข้อมูลในแคชต่อจำนวนการร้องขอข้อมูลทั้งหมดภายในระยะเวลาเดียวกัน (Podlipnig and Böszörmenyi, 2003)

อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช (byte-hit rate) คืออัตราส่วนขนาดรวมของข้อมูลที่โหลดจากแคชต่อขนาดรวมของข้อมูลที่ร้องขอทั้งที่พบและไม่พบในแคช (Podlipnig and Böszörmenyi, 2003)

การแบ่งปันกำไร (profit sharing) คือการแบ่งส่วนกำไรที่คิดจากส่วนที่ลูกค้าได้ประโยชน์จากการประหยัดค่าใช้บริการตามอัตรากำไรที่ตกลงไว้ก่อนการใช้บริการ

การแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย (cost sharing) คือการคิดส่วนของกำไรที่คำนวณจากส่วนของต้นทุนค่าใช้จ่ายของการใช้บริการของลูกค้าตามอัตรากำไรที่ตกลงไว้ก่อนการใช้บริการ

การเช่าพื้นที่โคโลเคชั่น (colocation) คือการเช่าพื้นที่ชั้นวางเครื่องบริการเพื่อนำเครื่องบริการ เครื่องบริการฐานข้อมูล และอุปกรณ์แคช มาฝากวางไว้กับผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตดาตาเซ็นเตอร์เพื่อเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง

บทที่ 2

แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ผู้วิจัยทำการทบทวนประมวลแนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยเริ่มจากทำความเข้าใจเกี่ยวกับการคำนวณแบบคลาวด์, การแคช (caching), การแคชคลาวด์ (cloud caching), ตัวแบบบริการ (service model), เว็บแคช, การแคชคลาวด์ฝั่งเครื่องบริการ (server-side cloud caching), ตัวแบบบริการแคชคลาวด์ฝั่งเครื่องบริการ (service model for server-side cloud cache), การแคชคลาวด์ฝั่งไคลเอ็นท์ (client-side cloud caching) ได้รวบรวมไว้ดังต่อไปนี้

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. การคำนวณแบบคลาวด์
2. การแคช
3. การแคชคลาวด์
4. ตัวแบบบริการ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. เว็บแคช
2. การแคชคลาวด์ฝั่งเครื่องบริการ
3. ตัวแบบบริการแคชคลาวด์ฝั่งเครื่องบริการ
4. การแคชคลาวด์ฝั่งไคลเอ็นท์

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. การคำนวณแบบคลาวด์

การเกิดขึ้นของการคำนวณแบบคลาวด์และการพัฒนาอย่างรวดเร็วในช่วงหลายปีที่ผ่านมาทำให้กลายเป็นรูปแบบการประมวลผลสำหรับทำให้การเข้าถึงแหล่งรวมทรัพยากรคอมพิวเตอร์ที่ใช้ร่วมกันและปรับแต่งโครงแบบได้ อันได้แก่ เครือข่าย, เครื่องบริการ, หน่วยเก็บข้อมูล, โปรแกรมประยุกต์ และบริการ สามารถดำเนินการผ่านเครือข่ายตามคำร้องขอได้อย่างสะดวกซึ่งทรัพยากรเหล่านี้สามารถจัดหาและคืนได้อย่างรวดเร็วโดยอาศัยการจัดการและการโต้ตอบกับผู้ให้บริการน้อยที่สุด (Mell and Grance, 2011) โดยที่การคำนวณแบบคลาวด์ประกอบไปด้วยลักษณะเฉพาะที่สำคัญ 5 ประการ คือ 1) บริการตนเองได้ตามต้องการ (on demand self service) ผู้ใช้บริการสามารถจัดหาความสามารถต่างๆ ด้านการคำนวณ เช่น การจัดเก็บข้อมูลผ่านทางเครือข่ายได้ด้วย

ตนเองฝ่ายเดียวเพื่อบริการตนเองตามที่ต้องการได้อย่างอัตโนมัติโดยไม่ต้องติดต่อกับแต่ละผู้ให้บริการ, 2) การเข้าถึงเครือข่ายสามารถทำได้อย่างกว้างขวางจากหลายแพลตฟอร์ม (broad network access) ผู้ใช้บริการสามารถใช้ความสามารถต่างๆ ที่มีอยู่บนเครือข่ายและสามารถเข้าถึงเครือข่ายผ่านกลไกมาตรฐานที่ส่งเสริมการใช้งานจากหลายแพลตฟอร์มที่แตกต่างกัน, 3) การนำทรัพยากรมาใช้ร่วมกัน (resource pooling) ทรัพยากรคำนวณของผู้ให้บริการจะถูกร่วมกันไว้เพื่อให้บริการกับหลายๆ ผู้ใช้ตามตัวแบบมัลติเทนแนนท์ซึ่งด้วยการกำหนดทรัพยากรทางกายภาพและทรัพยากรเสมือนที่แตกต่างกันได้แบบพลวัตและสามารถทำการกำหนดใหม่ได้ตามความต้องการของผู้ใช้บริการ, 4) ความยืดหดอย่างรวดเร็ว (rapid elasticity) เป็นความสามารถในด้านการจัดหาทรัพยากรและจัดสรรทรัพยากรปรับขนาดได้อย่างรวดเร็วให้พอเหมาะกับความต้องการให้กับผู้ใช้บริการได้ทันทีและเมื่อใช้เสร็จสามารถคืนได้ทันที, 5) บริการสามารถถูกวัดปริมาณการใช้งานจริงได้ (measured service) ระบบคลาวด์ทำงานอัตโนมัติในการควบคุมและการใช้ทรัพยากรอย่างเหมาะที่สุดและบริการสามารถถูกวัดปริมาณการใช้งานจริงได้สำหรับแต่ละประเภทของบริการ เช่น หน่วยเก็บข้อมูล, การประมวลผล, แบนด์วิดท์, และการใช้ทรัพยากรสามารถถูกตรวจสอบ, ถูกควบคุม, ถูกรายงาน ได้อย่างโปร่งใสสำหรับทั้งผู้ให้บริการและผู้ใช้บริการ (Mell and Grance, 2011)

การคำนวณแบบคลาวด์มีตัวแบบการบริการ 3 ตัวแบบ อันได้แก่ บริการซอฟต์แวร์ (Software as a Service: SaaS), บริการแพลตฟอร์ม (Platform as a Service: PaaS), และบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ (Cloud Infrastructure as a Service: IaaS) (Mell and Grance, 2011)

1) บริการซอฟต์แวร์เป็นบริการโปรแกรมประยุกต์ของผู้ให้บริการที่ทำงานบนโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่ส่งมอบให้ผู้ใช้บนอินเทอร์เน็ตโดยผู้ให้บริการคลาวด์ ซึ่งบริการซอฟต์แวร์โปรแกรมประยุกต์ต่างๆ เหล่านี้สามารถเข้าถึงได้จากอุปกรณ์ต่างๆ ของผู้ใช้ผ่านทางส่วนต่อประสาน เช่น เว็บเบราว์เซอร์หรือโปรแกรมต่อประสาน ผู้ใช้ไม่ต้องจัดการหรือควบคุมโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ทั้งเครือข่าย, เครื่องบริการ, ระบบปฏิบัติการ, หน่วยเก็บข้อมูล (Mell and Grance, 2011) บริการซอฟต์แวร์ในปัจจุบันมีทั้งที่เป็นบริการฟรีและบริการซอฟต์แวร์ที่คิดค่าบริการ เช่น ฮอตเมล (Microsoft, 2015, Nov 11), จีเมล (Google, 2015, Nov 11), เฟซบุ๊ก (Facebook, 2015, Nov 11), ทวิตเตอร์ (Twitter, 2015, Nov 11), อีเบย์ (eBay, 2015, Nov 11), แอมะซอน (Amazon, 2010, May 4), เซลฟอร์ส (Salesforce, 2015, Nov 11) เป็นต้น

2) บริการแพลตฟอร์มเป็นบริการที่จัดเตรียมความสามารถให้กับผู้ใช้บริการคลาวด์ในการติดตั้งงานลงบนโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์หรือจัดเตรียมความสามารถในการสร้างโปรแกรมประยุกต์ต่างๆ ที่เขียนขึ้นด้วยภาษาโปรแกรม, คลังโปรแกรม, บริการ, และเครื่องมือ ที่จัดเตรียมไว้

ให้โดยผู้ให้บริการคลาวด์ ผู้ใช้บริการไม่ต้องจัดการหรือควบคุมโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ อันได้แก่ เครือข่าย, เครื่องบริการ, ระบบปฏิบัติการ, หรือหน่วยเก็บข้อมูล แต่ผู้ใช้สามารถควบคุมการทำงานบนโปรแกรมประยุกต์ต่างๆ ที่ได้ติดตั้งไว้และสามารถกำหนดตั้งค่าสภาพแวดล้อมที่โปรแกรมประยุกต์นั้นติดตั้งอยู่ได้ (Mell and Grance, 2011) ในปัจจุบันบริการแพลตฟอร์มมีหลากหลาย เช่น กูเกิ้ลแอพเอนจิ้น (Google App Engine) ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มที่ช่วยในการสร้างพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ต่างๆ ที่ติดตั้งเรียกใช้งานบนโครงสร้างพื้นฐานของกูเกิ้ล (Google, 2010, May 4), ไมโครซอฟท์ อะซัว (Microsoft Azure) เป็นบริการคลาวด์แพลตฟอร์มของบริษัทไมโครซอฟท์สำหรับพัฒนาซอฟต์แวร์ตามความต้องการ (Microsoft, 2015, Nov 24), โอเพนชิฟท์ (OpenShift) นั้นเป็นบริการแพลตฟอร์มของทางบริษัทเรดแฮท (Red Hat) ที่ใช้สำหรับการจัดเตรียมสภาพแวดล้อมพื้นฐานทั้งหมดที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ เช่น ฐานข้อมูล, เครื่องมือสำหรับการพัฒนาโปรแกรม, และเครื่องมือในการดูแลตรวจสอบระบบ (OpenShift, 2015, Nov 11), ฮีโรคู (Heroku) เป็นแพลตฟอร์มของบริษัทฮีโรคูที่ใช้ช่วยในการสร้างโปรแกรมประยุกต์, การส่งมอบ, และการตรวจสอบ (Heroku, 2015, Nov 11) เป็นต้น

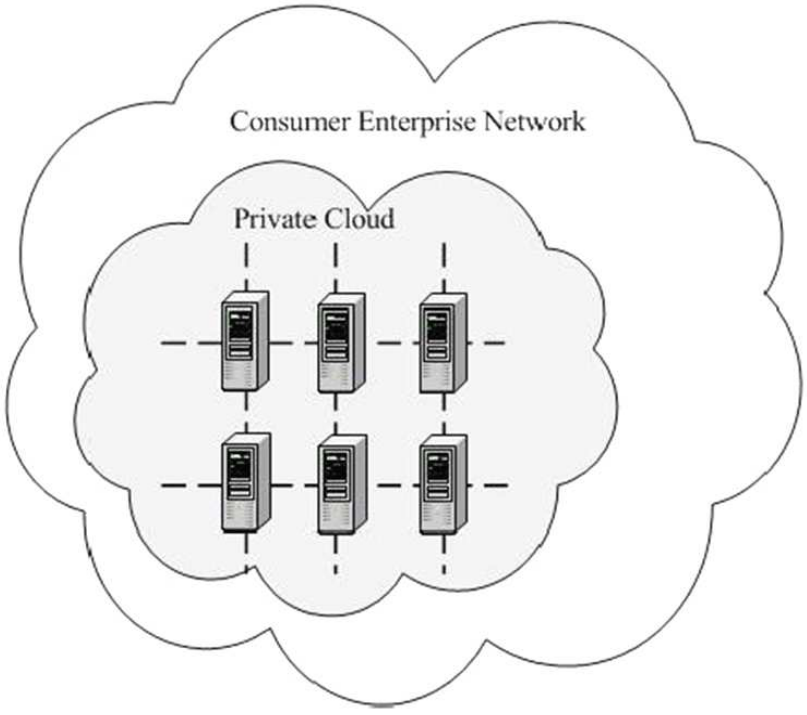
3) บริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์เป็นความสามารถในการจัดหาให้กับผู้ใช้บริการคลาวด์ในการจัดเตรียมทรัพยากรสำหรับการประมวลผล, หน่วยเก็บข้อมูล, เครือข่าย, และทรัพยากรคำนวณพื้นฐานอื่นๆ ที่ผู้ใช้บริการสามารถที่จะติดตั้งและรันเรียกใช้ซอฟต์แวร์ได้เอง ซึ่งรวมถึงระบบปฏิบัติการและโปรแกรมประยุกต์ต่างๆ โดยที่ผู้ใช้บริการไม่ต้องจัดการหรือควบคุมโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ แต่สามารถควบคุมระบบปฏิบัติการ, หน่วยเก็บข้อมูล, และโปรแกรมประยุกต์ที่ติดตั้งไว้ได้ (Mell and Grance, 2011) บริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์มีหลากหลาย เช่น ดรอปบ็อกซ์ (Dropbox) เป็นบริการฝากไฟล์ข้อมูลแบบออนไลน์สามารถแบ่งปันไฟล์ข้อมูลกับผู้อื่นได้ง่ายและสามารถเรียกใช้ไฟล์ได้จากทุกที่สามารถรองรับได้หลายระบบ (Dropbox, 2015 Nov 11), วันไดรฟ์ (OneDrive) เป็นบริการพื้นที่เก็บข้อมูลบนคลาวด์สำหรับเก็บไฟล์ต่างๆ ของบริษัทไมโครซอฟท์, แอมะซอนเอส3 (Amazon Simple Storage Service : AmazonS3) เป็นการบริการเช่าใช้ที่บันทึกข้อมูลที่มีการเรียกใช้งานผ่านทางโพรโทคอลเอชทีทีพี โดยระบบบริการมีความสามารถในการสเกลขยายขนาดได้สูงและมีความคงทนเหมาะกับการทำงานผ่านเว็บหรือโทรศัพท์มือถือและเป็นบริการที่เน้นการจัดเก็บและเรียกดูไฟล์ข้อมูลเป็นหลัก (Amazon, 2015, Nov 11), แอมะซอนอีซีทู (Amazon Elastic Compute Cloud: AWS EC2) เป็นบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ให้การบริการเช่าใช้ในรูปของเครื่องเสมือนเพื่อใช้ทำเป็นเครื่องบริการ (Amazon, 2015, Nov 24), กูเกิ้ลคอมพิวเอนจิ้น (Google Compute Engine) เป็นบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ของกูเกิ้ลคลาวด์แพลตฟอร์ม (Google Cloud Platform) ที่ให้บริการเครื่องเสมือนตามความ

ต้องการ (Google, 2015, Nov 24), และไมโครซอฟท์ อะซัว (Microsoft Azure) เป็นบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ของไมโครซอฟท์ (Microsoft, 2015, Nov 24) เป็นต้น

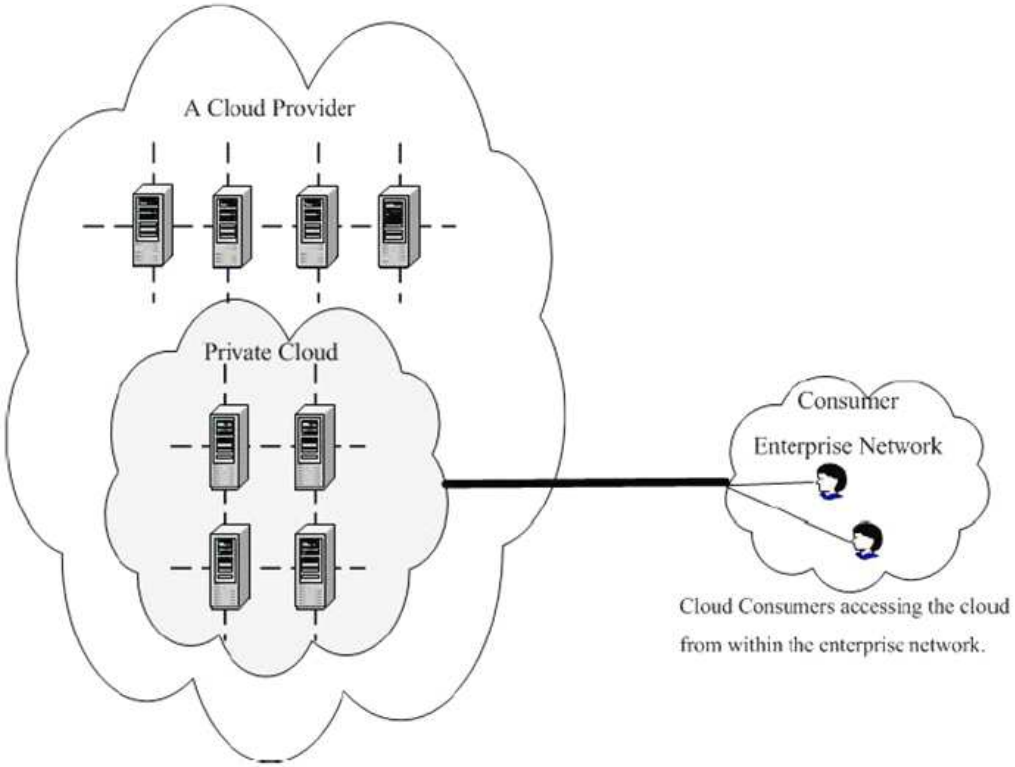
ซึ่งงานวิจัยนี้สามารถสนับสนุนการใช้บริการทั้ง 3 ตัวแบบการบริการได้

ตัวแบบการติดตั้งใช้งานการคำนวณแบบคลาวด์ (deployment model) มี 4 ตัวแบบ ได้แก่ ตัวแบบคลาวด์ส่วนบุคคล, คลาวด์ชุมชน (community cloud), คลาวด์สาธารณะ, และคลาวด์ลูกผสม (hybrid cloud) (Mell and Grance, 2011)

1) คลาวด์ส่วนบุคคลเป็นโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่จัดเตรียมไว้ใช้งานเฉพาะโดยองค์การหนึ่งองค์การใดๆ ที่มีหลายผู้ใช้ เช่น หน่วยธุรกิจ ซึ่งความเป็นเจ้าของที่ดูแลบริหารจัดการและดำเนินงานอาจจะเป็นขององค์การเดี่ยวนั้นเอง หรืออาจจะเป็นบุคคลที่สามที่เป็นองค์การภายนอกที่ดูแล หรืออาจจะเป็นการรวมกันขององค์การทั้งสองฝ่าย และโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์เหล่านี้อาจติดตั้งอยู่ภายในสถานที่ขององค์การผู้ใช้ (on premises private cloud) หรืออยู่ภายนอกสถานที่องค์การของผู้ใช้ (off premises private cloud) (Mell and Grance, 2011) ภาพประกอบที่ 1 แสดงคลาวด์ส่วนบุคคลในสถานที่ตั้ง และภาพประกอบที่ 2 แสดงคลาวด์ส่วนบุคคลภายนอกสถานที่ตั้ง ตามลำดับ



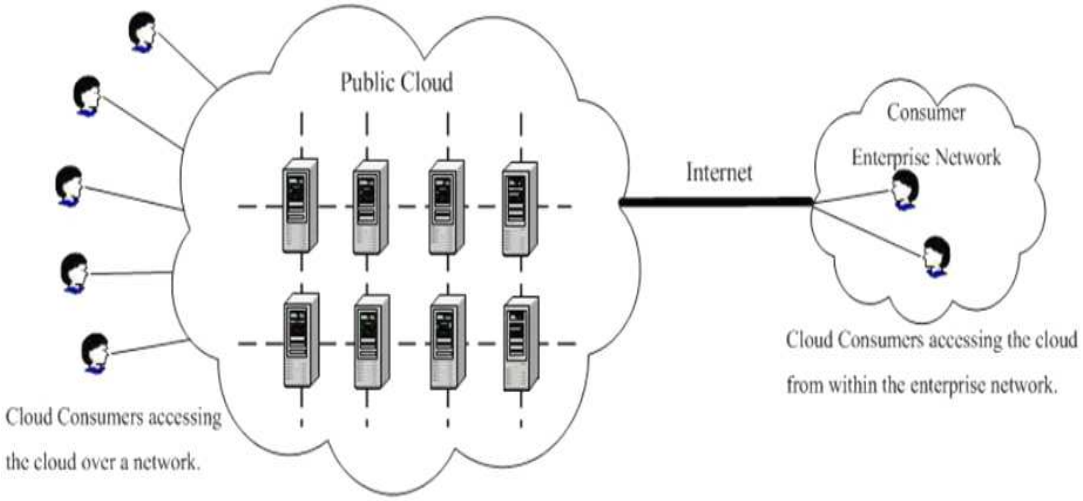
ภาพประกอบที่ 1 คลาวด์ส่วนบุคคลในสถานที่ตั้ง (on-premise private cloud) (Liu, et al., 2011)



ภาพประกอบที่ 2 คลาวด์ส่วนบุคคลภายนอกสถานที่ตั้ง (off-premise private cloud) (Liu, et al., 2011)

2) คลาวด์ชุมชนเป็นโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่จัดเตรียมไว้ใช้งานเฉพาะในกลุ่มชุมชนของผู้ใช้จากองค์การต่างๆ ที่คำนึงถึงร่วมกันถึงเรื่องต่างๆ เช่น ภาระหน้าที่, ความต้องการทางด้านความมั่นคงปลอดภัย, นโยบาย, และการพิจารณาข้อกฎระเบียบกติกาต่างๆ ที่ต้องปฏิบัติตาม ซึ่งความเป็นเจ้าของที่ดูแลบริหารจัดการและดำเนินงานอาจจะเป็นขององค์การหนึ่งองค์การ หรืออาจจะเป็นหลายๆ องค์การในชุมชนที่ดูแล หรืออาจจะเป็นบุคคลที่สามที่ดูแล หรืออาจจะเป็นการดูแลรวมกันขององค์การทุกฝ่าย และโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์เหล่านี้อาจติดตั้งอยู่ภายในสถานที่ขององค์การชุมชนผู้ใช้บริการหรืออยู่ภายนอกสถานที่องค์การชุมชนผู้ใช้บริการ (Mell and Grance, 2011)

3) คลาวด์สาธารณะเป็นโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่จัดเตรียมไว้สำหรับเปิดให้ใช้งานเป็นแบบสาธารณะทั่วไป ซึ่งความเป็นเจ้าของที่ดูแลบริหารจัดการและดำเนินงานอาจจะเป็นองค์การทางธุรกิจ องค์การทางวิชาการ หรือองค์การหน่วยงานของรัฐ หรืออาจจะเป็นการรวมกันขององค์การเหล่านี้ และติดตั้งอยู่ภายในสถานที่ของผู้ให้บริการคลาวด์ (Mell and Grance, 2011) และคลาวด์สาธารณะนั้นองค์การที่เป็นเจ้าของจะเป็นผู้ให้บริการกับลูกค้าที่หลากหลาย ภาพประกอบที่ 3 แสดงคลาวด์สาธารณะและลูกค้า



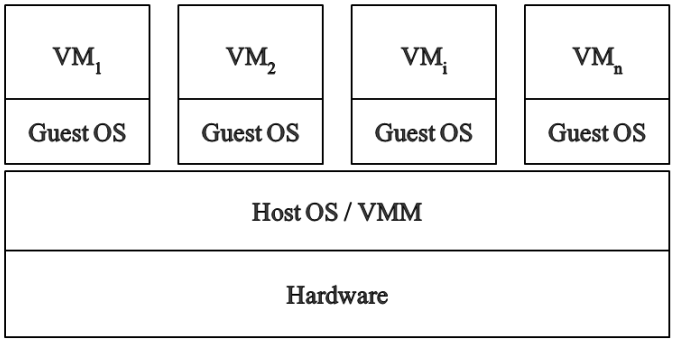
ภาพประกอบที่ 3 คลาวด์สาธารณะ (Liu, et al., 2011)

4) คลาวด์ลูกผสม (Hybrid cloud) เป็นโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่เป็นองค์ประกอบที่ผสมผสานของสองหรือมากกว่าโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่แตกต่างกัน (คลาวด์ส่วนบุคคล, คลาวด์ชุมชน, หรือคลาวด์สาธารณะ) แต่จะผูกพันเข้าด้วยกันด้วยมาตรฐานหรือกรรมสิทธิ์ทางเทคโนโลยีที่ยอมให้ข้อมูลและโปรแกรมประยุกต์สามารถถูกนำไปใช้ได้ (Mell and Grance, 2011)

สำหรับในงานวิจัยนี้จะเน้นเฉพาะคลาวด์สาธารณะและคลาวด์ส่วนบุคคลภายนอกสถานที่ตั้ง (off-premise private cloud)

เทคโนโลยีการคำนวณแบบคลาวด์ที่จริงแล้วเป็นผลิตผลที่เกิดขึ้นต่อมาจากการรับแนวคิดของหลายเทคโนโลยีที่มีมาก่อนหน้าอันได้แก่ การคอมพิวเตอร์แบบกระจาย (distributed computing), การคอมพิวเตอร์แบบขนาน (parallel computing), และการคอมพิวเตอร์แบบกริด (grid computing) เมื่อเทคโนโลยีพัฒนามาถึงปัจจุบันแนวคิดของเทคโนโลยีการคำนวณแบบคลาวด์จึงเป็นรูปแบบการประมวลผลที่มีความสามารถสูงและมีประโยชน์อย่างมาก ในเชิงสถาปัตยกรรมระบบแกนหลักของโครงสร้างเทคโนโลยีการคำนวณแบบคลาวด์ คือ เวอร์ชวลไลเซชั่นเทคโนโลยี (virtualization technology) ซึ่งเป็นแนวคิดการสร้างระบบจำลองเสมือนจริงที่ทำให้การใช้งานทรัพยากรเครื่องบริการที่มีอยู่เกิดประสิทธิภาพสูงสุด สามารถทำให้ระบบปฏิบัติการหลายระบบทำงานได้พร้อมกันอยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์ทางกายภาพเดียวกันได้ หรือพูดอีกอย่างหนึ่งได้ว่าเวอร์ชวลไลเซชั่นเทคโนโลยีเป็นเทคโนโลยีสำหรับการจำลองสภาพแวดล้อมให้เสมือนมีคอมพิวเตอร์หลายเครื่องทำงานอยู่ภายในคอมพิวเตอร์เครื่องหลัก โดยอาศัยการทำงานของเวอร์ชวลไลเซชั่นซอฟต์แวร์เป็นตัวจัดการเรื่องการจัดสรรทรัพยากรต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการใช้ฮาร์ดแวร์, ระบบปฏิบัติการ, ระบบไฟล์, เครือข่าย, และไฟล์วอลล์ให้กับระบบคอมพิวเตอร์เสมือน

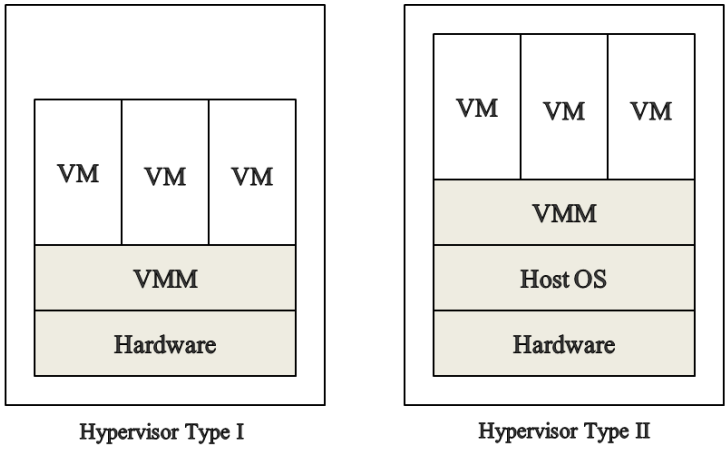
แต่ละตัว ซึ่งเวอร์ชวลไลเซชั่นซอฟต์แวร์จะทำการสร้างสภาพแวดล้อมจำลองของเครื่องเสมือนขึ้นมาโดยที่สภาพแวดล้อมจำลองนี้จะทำงานอยู่ภายใต้ฮาร์ดแวร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์จริงทางกายภาพและจะทำการสร้างส่วนควบคุมที่เชื่อมต่อกับซอฟต์แวร์ที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องเสมือน (virtual machine) และเครื่องเสมือนจะทำหน้าที่ในการทำงานเป็นตัวแทนของทรัพยากรบนเครื่องคอมพิวเตอร์จริงทางกายภาพ เช่น จำลองหน่วยประมวลผล, หน่วยความจำหลัก, การเชื่อมต่อกับเครือข่าย, และอุปกรณ์รับเข้าส่งออกข้อมูล ภาพประกอบที่ 4 แสดงสถาปัตยกรรมของระบบเครื่องเสมือน (virtual machine system) สำหรับการเข้าใช้ทรัพยากรเครื่องของตัวซอฟต์แวร์จะถูกควบคุม



ภาพประกอบที่ 4 สถาปัตยกรรมของระบบเครื่องเสมือน (Li, Li, and Jiang, 2010)

ด้วยซอฟต์แวร์ที่เรียกว่าเวอร์ชวลแมชชีนมอนิเตอร์ (virtual machine monitor: VMM) ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อช่วยในการจัดการและจัดสรรการใช้ทรัพยากรของระบบร่วมกันให้เครื่องเสมือนรวมถึงการแปลคำสั่งจากเครื่องเสมือนไปเป็นคำสั่งระบบของเครื่องคอมพิวเตอร์จริงทางกายภาพ (physical hardware) โดยซอฟต์แวร์เวอร์ชวลแมชชีนมอนิเตอร์จะทำการแนะนำเพื่อให้แน่ใจว่าแต่ละระบบปฏิบัติการของผู้ใช้บริการที่ทำงานบนเครื่องเสมือนจะมีการแบ่งปันทรัพยากรร่วมกันบนเครื่องคอมพิวเตอร์จริงทางกายภาพเดียวกัน (Liangli, et al., 2012) สำหรับเวอร์ชวลไลเซชั่นซอฟต์แวร์จะเรียกตัวซอฟต์แวร์ที่ทำหน้าที่เสมือนว่าไฮเปอร์ไวเซอร์ (hypervisor) ซึ่งก็คือโปรแกรมระบบที่ทำหน้าที่ในบริหารจัดสรรทรัพยากรในสภาพแวดล้อมของเครื่องเสมือน (virtual machine environment) ซึ่งได้มีการแบ่งไฮเปอร์ไวเซอร์ออกเป็น 2 ประเภท คือ ไฮเปอร์ไวเซอร์ประเภทที่ 1 (hypervisor type 1) และไฮเปอร์ไวเซอร์ประเภทที่ 2 (hypervisor type 2) สำหรับไฮเปอร์ไวเซอร์ประเภทที่ 1 คือ Native or Bare-metal เป็นแบบที่ตัวระบบเสมือนติดต่อกับฮาร์ดแวร์โดยตรงไม่ผ่านระบบปฏิบัติการ คือ ไฮเปอร์ไวเซอร์จะติดตั้งลงไปภายใต้ระบบปฏิบัติการ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น Xen (Barham, et al., 2003), (Pratt, et al., 2005), (Nakajima, et al., 2006), VMware ESX Server และ Microsoft Hyper-V (Leinenbach and Santen, 2009) สำหรับไฮเปอร์ไวเซอร์ประ

เภทที่ 2 คือ Hosted เป็นแบบที่ตัวระบบเสมือนจะไปอาศัยการทำงานในการติดต่อกับฮาร์ดแวร์ผ่านทางระบบปฏิบัติการโดยปรกติประสิทธิภาพสู้แบบ Native ไม่ได้ ซึ่งไฮเปอร์ไวเซอร์นี้จะทำงานเหมือนซอฟต์แวร์โปรแกรมประยุกต์บนระบบปฏิบัติการ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น VMware GSX Server (Vmware, 2015, Nov 11), Microsoft Virtual PC (Microsoft, 2015, Nov 11) และ Oracle Virtual Box (Oracle, 2015, Nov 11) ภาพประกอบที่ 5 ด้านซ้ายมือแสดงไฮเปอร์ไวเซอร์ประเภทที่ 1 (hypervisor type 1) และด้านขวามือแสดงไฮเปอร์ไวเซอร์ประเภทที่ 2 (hypervisor type 2)



ภาพประกอบที่ 5 แสดงไฮเปอร์ไวเซอร์ (Rodríguez-Haro, et al., 2012)

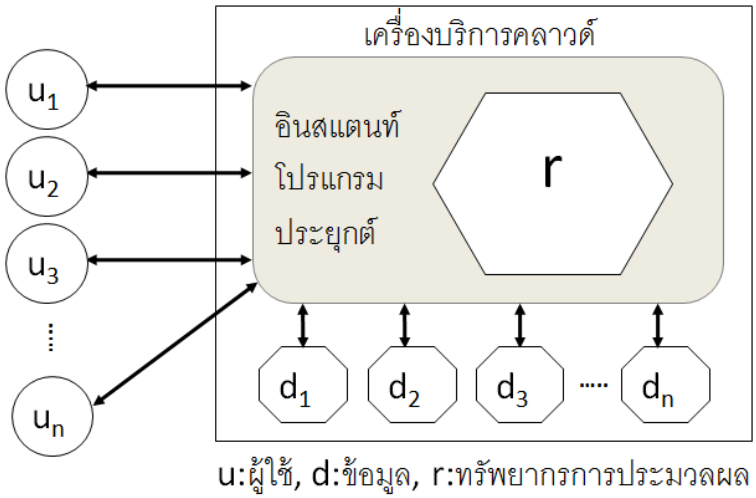
สำหรับในงานวิจัยนี้จะออกแบบระบบแคชคลาวด์ให้ติดตั้งบนเครื่องเสมือนที่ถูกดูแลโดยเวอร์ชวลแมชชีนมอนิเตอร์ของพื้นที่เช่าโคโลเคชั่น (colocation) แบบคลาวด์ส่วนบุคคลภายนอกสถานที่ตั้ง และออกแบบระบบแคชคลาวด์ให้ติดตั้งบนบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ (IaaS) แบบคลาวด์ส่วนบุคคลภายนอกสถานที่ตั้ง

แนวคิดของมัลติเทนแนนท์ซี่ (multi-tenancy) เป็นเทคโนโลยีพื้นฐานที่การคำนวณแบบคลาวด์ใช้ในการแบ่งปันทรัพยกรโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ร่วมกันระหว่างหลายผู้ใช้ที่ทำให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัย มัลติเทนแนนท์ซี่นั้นเป็นแนวคิดที่สำคัญของการคำนวณแบบคลาวด์ที่อินสแตนท์หรือโปรเซสโปรแกรมประยุกต์เดียวของการบริการสามารถให้บริการผู้ใช้หลายรายหรือหลายองค์การที่เป็นผู้เช่า (tenant)

มัลติเทนแนนท์ซี่เป็นสถาปัตยกรรมที่จัดเตรียมอินสแตนท์เดี่ยวของโปรแกรมประยุกต์เพื่อให้บริการกับหลายลูกค้าหรือหลายผู้เช่า ผู้เช่าได้รับอนุญาตให้มีมุมมองของโปรแกรมประยุกต์ของตัวเองและสามารถทำการปรับแต่งมุมมองของตัวเองได้และผู้เช่าได้รับอนุญาตให้สามารถเปลี่ยนแปลงส่วนต่อประสานกับผู้ใช้เพื่อให้โปรแกรมประยุกต์มีรูปลักษณ์การใช้งานในแบบของ

ตัวเอง การใช้โปรแกรมประยุกต์มัลติเทนแนนท์มีความซับซ้อนมากกว่าการทำงานร่วมกับโปรแกรมประยุกต์เทนแนนท์เดี่ยว โปรแกรมประยุกต์มัลติเทนแนนท์สนับสนุนการใช้หลายทรัพยากรร่วมกันโดยหลายผู้ใช้ เช่น ฐานข้อมูล, มิดเดิลแวร์, พอร์ทัล ในขณะเดียวกันก็ดูแลรักษาเรื่องความมั่นคงปลอดภัยของสภาพแวดล้อมด้วย การคำนวณแบบคลาวด์ได้ขยายความหมายของมัลติเทนแนนท์ซี่ให้กว้างออกไปเพราะว่าตัวแบบบริการสามารถใช้ประโยชน์จากระบบเสมือนจริงและการเข้าถึงระยะไกลและผู้ให้บริการซอฟต์แวร์สามารถเรียกใช้อินสแตนท์โปรแกรมประยุกต์บนฐานข้อมูลคลาวด์และจัดเตรียมการเข้าถึงผ่านทางเว็บให้กับหลายลูกค้า ข้อมูลของแต่ละผู้เช่าจะถูกแยกออกจากกันและผู้เช่ารายอื่นจะมองไม่เห็น (Stammer and Wilson, 2013)

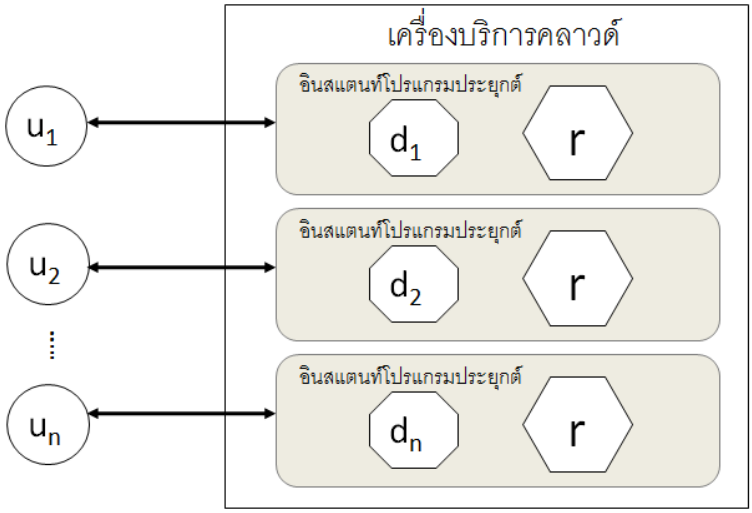
มัลติเทนแนนท์ซี่ในทางปฏิบัติคือการวางผู้เช่าหลายรายบนฮาร์ดแวร์จริงทางกายภาพเดียวกันข้อมูลที่มาจากหลายผู้ใช้จะถูกเก็บไว้บนเครื่องบริการเดียวกัน แต่ผู้ใช้บริการแต่ละรายจะสามารถเข้าถึงข้อมูลได้เฉพาะข้อมูลของตนเท่านั้นไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้รายอื่นได้ ในอินสแตนท์โปรแกรมประยุกต์จะดำเนินงานดูแลการเข้าถึงข้อมูล การเข้าถึงข้อมูลจะถูกควบคุมสำหรับผู้ใช้แต่ละรายเมื่อเชื่อมต่อกับอินสแตนท์โปรแกรมประยุกต์ ผู้ใช้บริการจะเห็นเฉพาะข้อมูลของตัวเองเท่านั้นเนื่องจากมีการแยกพาร์ทิชันกันในการดูแลข้อมูลอย่างชัดเจนและเป็นการป้องกันการย้ายข้อมูลจากผู้ใช้รายหนึ่งไปยังผู้ใช้รายอื่น ภาพประกอบที่ 6 แสดงแนวคิดมัลติเทนแนนท์ซี่



ภาพประกอบที่ 6 แนวคิดมัลติเทนแนนท์ซี่

มัลติแทนแนนซี่ได้รับการยอมรับว่าเป็นหนึ่งในลักษณะที่สำคัญของการคำนวณแบบคลาวด์และเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการออกแบบบริการคลาวด์ (Mell and Grance, 2011) อย่างไรก็ตามยังมีอีกแนวคิดหนึ่งคือมัลติอินสแตนท์ (multi-instance) ที่มีประโยชน์ที่แตกต่างไป มัลติ

อินสแตนท์ตรงข้ามกับมัลติเทนแนนท์ซี่ มัลติอินสแตนท์นั้นแยกอินสแตนท์โปรแกรมประยุกต์แต่ละตัวออกไปดำเนินงานกับแต่ละผู้ใช้บริการที่แตกต่างกันคืออินสแตนท์โปรแกรมประยุกต์หนึ่งอินสแตนท์ต่อหนึ่งผู้ใช้บริการ สำหรับในด้านของข้อมูลมัลติอินสแตนท์ระบุข้อมูลแยกกันตามขอบเขตของระบบเสมือนหรือระบบฮาร์ดแวร์ ผู้ใช้บริการแต่ละรายมีฐานข้อมูลและระบบที่แตกต่างกันของแต่ละผู้ใช้ที่วางอยู่บนเครื่องบริการ ในสภาพแวดล้อมมัลติอินสแตนท์ผู้ใช้บริการแต่ละรายจะเช่าซื้อสำเนาของอินสแตนท์โปรแกรมประยุกต์มาเป็นของผู้ใช้เองเพื่อที่สามารถปรับแต่งให้ตอบสนองความต้องการได้ในขณะที่ผู้ให้บริการคลาวด์ทำหน้าที่สนับสนุนอินสแตนท์โปรแกรมประยุกต์ล่าสุด ผู้ใช้บริการจะได้รับความสามารถที่สำคัญที่จะสามารถทำการกำหนดค่าได้เอง เช่น ผู้ใช้บริการสามารถปรับแก้ไขคุณสมบัติเพื่อเพิ่มโมดูลและเพิ่มช่องทางไปยังฐานข้อมูลภายในและภายนอกได้ ภาพประกอบที่ 7 แสดงแนวคิดมัลติอินสแตนท์



ภาพประกอบที่ 7 แนวคิดมัลติอินสแตนท์

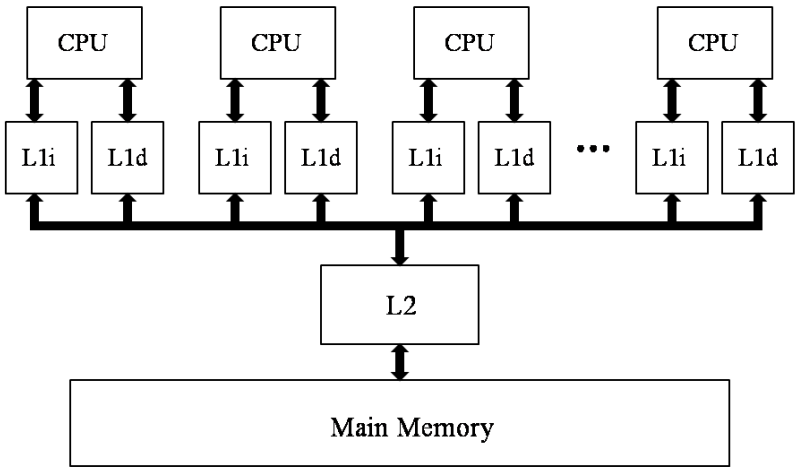
สำหรับในงานวิจัยนี้จะใช้ประโยชน์จากแนวคิดของมัลติเทนแนนท์ซี่ที่เป็นแนวคิดที่เป็นหลักการพื้นฐานของการคำนวณแบบคลาวด์และเป็นแนวคิดที่มีประโยชน์ในการให้บริการกับหลายผู้ใช้

2. การแคช

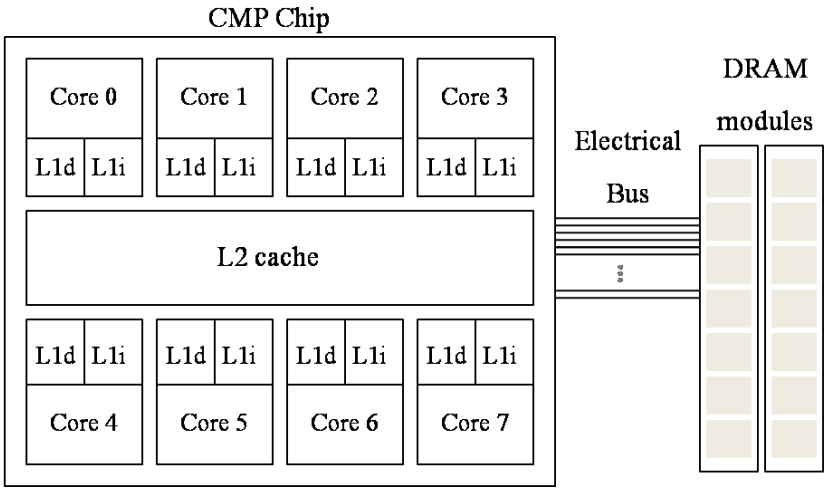
การแคชเป็นความคิดที่ดั้งเดิมที่ใช้งานโดยระบบคอมพิวเตอร์หลายประเภทเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบ (Cao, et al., 2012) เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพเทคนิคหนึ่งที่ได้รับการ

ยอมรับว่าสามารถปรับปรุงคุณภาพการให้บริการบนอินเทอร์เน็ตได้เป็นอย่างดีสามารถลดระยะเวลาที่ผู้ใช้บริการรอการตอบกลับจากเครื่องบริการและลดปริมาณการใช้แบนด์วิดท์ของเครือข่ายด้วยวิธีการจัดเก็บข้อมูลที่มีแนวโน้มถูกเรียกใช้งานอีกในอนาคตไว้ในพื้นที่ของแคชซึ่งเป็นพื้นที่ชั่วคราวของการอ้างอิง ซึ่งแคชตามหลักการคือหน่วยความจำประเภทหนึ่งซึ่งมีความเร็วในการเข้าถึงและการถ่ายโอนข้อมูลที่สูง แคชมีหลายรูปแบบคือ 1) แคชในหน่วยประมวลผล 2) แคชที่ไม่อยู่ในหน่วยประมวลผล ซึ่งในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นศึกษาเฉพาะแคชที่ไม่อยู่ในหน่วยประมวลผล

1) แคชในหน่วยประมวลผลเป็นส่วนที่มีความสำคัญมากของลำดับชั้นหน่วยความจำ เนื่องจากสามารถลดช่องว่างประสิทธิภาพระหว่างหน่วยความจำหลักกับซีพียูได้ (Hennessy and Patterson, 2012) และในการแก้ไขปัญหาช่องทางแออัดของหน่วยความจำ (memory bottle neck) หน่วยความจำแคชสามารถเพิ่มลำดับชั้นของแคชได้ เช่น แคชลำดับชั้นที่ 1 Level-1 (L1), แคชลำดับชั้นที่ 2 Level-2 (L2) และแคชลำดับชั้นที่ 3 Level-3 (L3) (Noguchi, et al., 2014) และ L1i เพื่อใช้สำหรับเก็บคำสั่งต่างๆ (instruction cache) และ L1d เพื่อใช้สำหรับเก็บข้อมูล (data cache) ซึ่งประสิทธิภาพการทำงานและพลังของซีพียูได้รับประโยชน์มาจากหน่วยความจำแคช (Ando et al., 2012) ภาพประกอบที่ 8 แสดงลำดับชั้นของแคช L1 และ L2 และภาพประกอบที่ 9 แสดงสถาปัตยกรรมชิปหลายหน่วยประมวลผลตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 8 ลำดับชั้นแคช L1 และ L2 (Maniotis, et al., 2013)



ภาพประกอบที่ 9 สถาปัตยกรรมชิปหลายหน่วยประมวลผล (Maniotis, et al., 2015)

2) แคชที่ไม่อยู่ในหน่วยประมวลผลคือการนำอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บข้อมูลหลายประเภทมาใช้เป็นอุปกรณ์แคช (cache devices) เพื่อเป็นพื้นที่แคช อันได้แก่ หน่วยเก็บข้อมูลแรม (random access memory: RAM), หน่วยขับโซลิดสเตท (solid state drive: SSD) และหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง (hard disk drive: HDD) ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

- อุปกรณ์หน่วยเก็บข้อมูลแรมเป็นพื้นที่หน่วยความจำหลักที่จำเป็นและถูกใช้เป็นพื้นฐานในการประมวลผลข้อมูลทำหน้าที่เก็บชุดคำสั่งและข้อมูลที่ระบบกำลังทำงานอยู่เป็นหน่วยความจำเมื่อไม่ได้รับกระแสไฟฟ้าในการหล่อเลี้ยงข้อมูลที่เก็บอยู่จะหายไป หน่วยเก็บข้อมูลแรมเป็นชิป (chip) เป็นวงจรรวม (ic) เล็กๆ ส่วนที่นำมาใช้เป็นหน่วยความจำหลัก มีหลักๆ อยู่ 2 โมดูล คือ SIMM และ DIMM และอุปกรณ์หน่วยเก็บข้อมูลแรมสามารถแบ่งได้หลายแบบ คือ DRAM, SRAM, CDRAM, SDRAM, SDRAM II(DDR), RDRAM, Fast Page DRAM, EDO RAM, Synclink DRAM

- อุปกรณ์หน่วยขับโซลิดสเตทถูกใช้เป็นเหมือนกับ File System Cache และถูกใช้เป็น Disk Device Cache ในหลายการศึกษาหน่วยขับโซลิดสเตทเป็นหน่วยความจำแฟลช (flash memory) คือ หน่วยความจำขนาดเล็กประเภทไม่ลบเลือน (Non-Volatile) ที่สามารถบันทึกข้อมูลลงไปได้โดยที่ไม่ต้องใช้แบตเตอรี่ข้อมูลไม่มีการสูญหายเมื่อปิดสวิตซ์ซึ่งใช้กระบวนการทางไฟฟ้าในการบันทึกข้อมูลและมีตัวควบคุมการอ่านและเขียนในตัวเองสามารถบันทึกข้อมูลได้มากและเคลื่อนย้ายข้อมูลได้รวดเร็ว หน่วยความจำแฟลชแบบแนนด์ (NAND) เหมาะจะใช้ทำหน่วยความจำสำรองมักถูกใช้เพื่อเก็บข้อมูลปริมาณมากเหมาะกับงานที่ต้องอ่านเขียนข้อมูลปริมาณมากๆ เป็น

ข้อมูลแบบเรียงต่อเนื่องกันหรืองานที่ต้องโหลดไฟล์ขนาดใหญ่จากหน่วยความจำอย่างรวดเร็วและถูกแทนที่ด้วยข้อมูลใหม่อยู่เรื่อยๆ

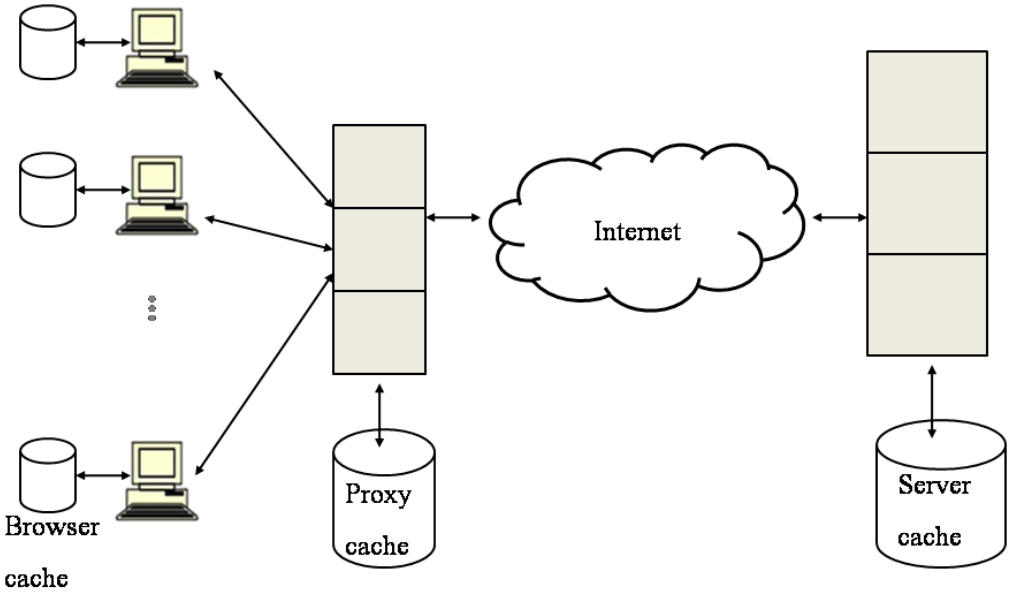
- อุปกรณ์หน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งคืออุปกรณ์ที่รวมองค์ประกอบด้วยกลไกการทำงานและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รวมเข้าไว้ด้วยกัน เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการจัดเก็บและเรียกใช้ข้อมูลดิจิตอล สามารถเก็บได้อย่างถาวรโดยไม่จำเป็นต้องมีไฟฟ้ามาหล่อเลี้ยงตลอดเวลา เมื่อปิดเครื่องข้อมูลก็จะไม่สูญหาย การจัดเรียงข้อมูลบนหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งมีลักษณะที่ข้อมูลถูกจัดเก็บไว้ในวง (track) บนแพล็ตเตอร์ (Platter) หน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งทั่วไปจะมีวงประมาณ 2000 วงต่อนิ้ว (tpi) หน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งทั่วไปมีระบบ 2 แบบใหญ่ๆ คือ EIDE (Enhanced Integrated Drive Electronics) และ SCSI (Small Computer System Interface) ที่ใช้งานทั่วไปเป็นระบบ EIDE ส่วนระบบ SCSI มีความเร็วของการรับส่งข้อมูลที่เร็วกว่าใช้กันในเครื่องบริการ หน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งมีมาตรฐานการต่อประสาน (standard interface) เชื่อมต่อแบบต่างๆ คือแบบ IDE, EIDE, SCSI, Serial ATA, Serial ATA II

การแคชที่ใช้งานโดยระบบคอมพิวเตอร์นั้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมของระบบดีขึ้น สำหรับรูปแบบการแคชสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ 1) การแคชที่เบราว์เซอร์ของไคลเอ็นท์, 2) การแคชที่พร็อกซี่ที่ฝั่งไคลเอ็นท์, และ 3) การแคชที่ฝั่งเครื่องบริการ(Ali, Shamsuddin, and Ismail, 2011) ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

1) การแคชที่เบราว์เซอร์ของไคลเอ็นท์ (browser cache) ข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในพื้นที่ดิสก์ของเครื่องไคลเอ็นท์ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 10 ด้านซ้ายมือ

2) การแคชที่พร็อกซี่ที่ฝั่งไคลเอ็นท์ (proxy cache) เป็นกลไกสำหรับการจัดเก็บข้อมูลไว้ชั่วคราวด้วยการเก็บสำเนาของข้อมูลที่เคยผ่านแคชและมีแนวโน้มที่จะถูกใช้ในอนาคตไว้ ข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในพร็อกซี่ที่เครื่องที่อยู่ใกล้ไคลเอ็นท์เพื่อหลีกเลี่ยงความล่าช้าในการเรียกข้อมูลซ้ำระหว่างไคลเอ็นท์และเครื่องบริการและเพื่อบรรเทาความแออัดของอินเทอร์เน็ต (Kumar, 2009), (Kumar and Norris, 2008), (Kaya, et al., 2009) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 10 ตรงกลาง

3) การแคชที่ฝั่งเครื่องบริการ (server cache) ช่วยลดความซ้ำซ้อนในการคำนวณต่างๆ และลดภาระงานของเครื่องบริการเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเครื่องบริการและทำให้เวลาในการตอบสนองเร็วขึ้น ดังแสดงในภาพประกอบที่ 10 ด้านขวามือ



ภาพประกอบที่ 10 รูปแบบการแคช 3 ประเภท (Ali, Shamsuddin, and Ismail, 2011)

3. การแคชคลาวด์

แนวคิดแคชคลาวด์ คือ แคชคลาวด์เป็นตัวช่วยเพิ่มความเร็วในการคำนวณของบริการประมวลผลของการคำนวณแบบคลาวด์ เนื่องจากความซ้ำซ้อนของข้อมูลที่ถูกเรียกใช้ระหว่างบริการต่างๆ บนคลาวด์สามารถที่จะใช้ประโยชน์ได้โดยนำกลับมาใช้ใหม่ด้วยการที่เก็บข้อมูลไว้ในพื้นที่แคชบนคลาวด์ ประโยชน์ที่ได้รับไม่เพียงแต่เป็นการเร่งความเร็วของการบริการคลาวด์เท่านั้น แต่ยังช่วยลดการจราจรของข้อมูลด้วย และประกอบกับความต้องการข้อมูลของผู้ใช้บริการคลาวด์มีเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ควรใช้ประโยชน์จากความยืดหดของสภาพแวดล้อมแบบคลาวด์และพื้นที่หน่วยเก็บข้อมูลชั่วคราวอย่างแคชคลาวด์

ดังนั้น การแคชคลาวด์ (cloud caching) จึงเป็นการทำซ้ำข้อมูลที่โหลดมาจากคลาวด์และข้อมูลนั้นมีโอกาสถูกเรียกใช้งานซ้ำอีกมาไว้ที่ฝั่งของกลุ่มผู้ใช้บริการคลาวด์ เพื่อป้องกันการโหลดข้อมูลเดิมจากคลาวด์ทุกครั้งที่มีการร้องขอ การใช้แคชคลาวด์สำหรับเก็บข้อมูลผลลัพธ์ที่ส่งออกมาของบริการคลาวด์ไว้ในหน่วยเก็บข้อมูลชั่วคราวที่ฝั่งของกลุ่มผู้ใช้บริการคลาวด์ เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูลอย่างรวดเร็วและมีเป้าหมายหลัก คือ การที่ข้อมูลและบริการทั้งหมดสามารถถูกใช้ร่วมกันในระหว่างหมู่ผู้ใช้บริการคลาวด์ในสภาพแวดล้อมแบบคลาวด์ ในทางเทคนิค "แคชคลาวด์โดยพื้นฐานสืบทอดความสามารถของเว็บพร็อกซี่แคชแบบเดิมเริ่มตั้งแต่ข้อมูลบนคลาวด์ถูกส่งมาโดยการใช้ HTTP / TCP / IP โพรโทคอลสแต็คชุดเดียวกันในเวิลด์ไวด์เว็บ WWW " (Banditwattanawong and Uthayopas, 2013)

4. ตัวแบบบริการ

สิ่งหนึ่งที่ช่วยสนับสนุนวงจรของการบริการได้ก็คือแนวคิดเรื่องตัวแบบพื้นฐานที่สามารถแนะนำการสร้างตัวแบบบริการทางธุรกิจได้ บริการ (service) นั้นเป็นกิจกรรมที่มีองค์ประกอบบางส่วนที่สัมผัสจับต้องได้และองค์ประกอบบางส่วนที่สัมผัสจับต้องไม่ได้เกี่ยวข้องกับการให้บริการซึ่งเกี่ยวข้องกับการมีปฏิสัมพันธ์บางอย่างกับลูกค้าที่ใช้บริการหรือเกี่ยวข้องกับทรัพย์สินในความครอบครองของลูกค้าและไม่มีผลในการโอนกรรมสิทธิ์ (Payne, 1993) บริการคือการกระทำโดยการใช้ทรัพยากรที่เกี่ยวข้องเพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่สนองต่อความต้องการ หรือบริการคือการส่งมอบคุณค่าให้กับลูกค้าโดยอำนวยความสะดวกเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ลูกค้าต้องการ บริการจึงเป็นแนวคิดที่ยากจะกำหนดคำจำกัดความเนื่องจากบริการเป็นได้ทั้งกิจกรรมหรือผลลัพธ์ของกระบวนการ (Lakunza, Astiazaran, and Elejoste, 2013)

ตัวแบบ (model) แนวความคิดของตัวแบบคือการมุ่งแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่สำคัญ (Ghobadian, Speller, and Jones, 1994) ตัวแบบเป็นคำอธิบายที่ไม่ซับซ้อนของสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงและเป็นตัวแทนของการทำงานบางอย่างของระบบ วัตถุประสงค์หนึ่งของตัวแบบคือช่วยให้สามารถคาดการณ์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงที่มีกับระบบได้ (Maria, 1997) ตัวแบบเป็นคำอธิบายว่าบางอย่างมีวิธีทำงานอย่างไรหรือใช้เป็นวิธีคำนวณว่าอะไรอาจจะเกิดขึ้น (Hornby, 2000) ดังนั้นตัวแบบจึงช่วยให้สามารถมีเหตุผลและสามารถเรียงลำดับความซับซ้อนของสาเหตุและผลลัพธ์และอิทธิพลระหว่างองค์ประกอบที่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกันผ่านการใช้งานตัวแบบ

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงค่าของข้อมูลต่างๆ ในรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์

ตัวแบบทางธุรกิจ (business model) การเกิดขึ้นของแนวความคิดตัวแบบทางธุรกิจ ตัวแบบทางธุรกิจมีสำคัญกับการค้าขายและพฤติกรรมทางเศรษฐกิจมานาน (Teece, 2010) แต่เริ่มเป็นที่แพร่หลายและมีการใช้งานกว้างขวางมากขึ้นอาจเป็นเพราะว่าได้รับแรงผลักดันจากการกำเนิดขึ้นของอินเทอร์เน็ต (Amit and Zott, 2001) การอธิบายแนวคิดตัวแบบทางธุรกิจมีพื้นฐานที่สำคัญคือตัวแบบทางธุรกิจเป็นหน่วยใหม่ของการวิเคราะห์เป็นมุมมองแบบองค์รวมว่าบริษัททำธุรกิจอย่างไรเป็นการให้น้ำหนักความสำคัญกับกิจกรรมต่างๆ เป็นการรับรู้ถึงความสำคัญของการสร้างมูลค่า ในเชิงธุรกิจตัวแบบทางธุรกิจเป็นกลไกในการขับเคลื่อนกระบวนการในการจัดการอย่างมีกลยุทธเพื่อนำพาธุรกิจให้ประสบความสำเร็จมีผลประกอบการที่ดี โดยที่ตัวแบบทางธุรกิจเป็นวิธีการที่คิดขึ้นมาเพื่อใช้ทรัพยากรอย่างเต็มที่ก่อให้เกิดผลกำไรสูงสุดและเพิ่มมูลค่าของสินค้าและบริการ ตัวแบบทางธุรกิจมีองค์ประกอบหลายส่วน อันได้แก่ รูปแบบธุรกิจที่ก่อให้เกิดผลกำไร, คุณค่าที่มอบให้ลูกค้า, การกำหนดราคา, ขอบเขต, แหล่งที่มาของรายได้, การนำไปใช้งาน, และ

โครงสร้างต้นทุน ตัวแบบทางธุรกิจจะเชื่อมโยงตรรกะและให้ข้อมูลและหลักฐานที่แสดงให้เห็นว่าธุรกิจสร้างและส่งมอบคุณค่าให้กับลูกค้าได้อย่างไร (Teece, 2010) ตัวแบบทางธุรกิจเป็นสถาปัตยกรรมสำหรับผลิตภัณฑ์, บริการ, กระแสข้อมูล, รายละเอียดของผลประโยชน์สำหรับผู้ทำธุรกิจ, และรายละเอียดของแหล่งที่มาของรายได้ (Timmers, 1998)

ตัวแบบทางธุรกิจบริการ (service business model) เป็นประเภทหนึ่งของตัวแบบทางธุรกิจที่อธิบายถึงการดำเนินงานเพื่อให้บริการผู้บริโภค ตัวแบบทางธุรกิจบริการมองหาวิธีการที่จะทำให้ธุรกิจสามารถสร้างผลกำไรในด้านการให้บริการ ตัวแบบบริการ (service model) เหมือนกับตัวแบบทางธุรกิจบริการที่เป็นเรื่องของการบริการเป็นการอธิบายถึงผู้ให้บริการที่สร้างมูลค่าให้กับผู้รับบริการ โดยเป็นการดำเนินงานทั้งด้านโครงสร้างและด้านพลวัตของการบริการ ในด้านโครงสร้าง คือ บริการที่ต้องการให้กับผู้รับบริการและรูปแบบที่มีการกำหนดค่า ส่วนในด้านพลวัต คือ กิจกรรมต่างๆ เช่น การไหลของทรัพยากร, การประสานงาน, และการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้รับบริการและผู้ให้บริการ

สำหรับในงานวิจัยนี้นำเสนอตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ และนำเสนอตัวแบบทางเทคนิคของบริการซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของตัวแบบทางธุรกิจบริการ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามหัวข้อดังต่อไปนี้ เว็บแคช, การแคชคลาวด์ฝั่งเครื่องบริการ, ตัวแบบบริการแคชคลาวด์ฝั่งเครื่องบริการ, และการแคชคลาวด์ฝั่งไคลเอ็นท์

1. เว็บแคช

ในอดีตมีงานวิจัยหลายชิ้นที่ศึกษาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของเว็บแคชให้ดีขึ้น Luotonen และ Altis (1994) ศึกษาเว็บพร็อกซี่ที่อนุญาตให้เบราว์เซอร์สามารถใช้โพรโทคอลระดับโปรแกรมประยุกต์อื่นๆ นอกเหนือจากเอชทีทีพีได้ เช่น ในการถ่ายโอนไฟล์ด้วยเอฟทีพี (FTP) ของเครื่องบริการ โดยเริ่มจากเบราว์เซอร์จะส่งคำขอเอชทีทีพีไปที่เว็บพร็อกซี่และเว็บพร็อกซี่จะส่งคำขอเอฟทีพีไปที่เอฟทีพีของเครื่องบริการ ซึ่งเอฟทีพีของเครื่องบริการจะทำการดึงข้อมูลไฟล์และส่งกลับมาที่เว็บพร็อกซี่และเว็บพร็อกซี่จะส่งกลับเป็นเอชทีทีพีมาที่เบราว์เซอร์เครื่องผู้ใช้ Gadde, Rabinovich และ Chase (1997) วิจัยและพัฒนาพร็อกซี่แคชแบบกระจาย (CRISP) ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของเครื่องบริการที่ประสานร่วมมือกันทำการแคชโดยการแบ่งปันสารบบกลางของข้อมูลที่แคช Wang (1999) ทำการสำรวจรูปแบบองค์ประกอบของระบบเว็บแคชและอธิบายถึง

คุณสมบัติที่พึงประสงค์ของเว็บแคชได้ศึกษารวบรวมข้อดีข้อด้อยของการใช้งานเว็บแคช และอธิบายถึงประโยชน์ของเว็บแคชว่าเว็บแคชเป็นเทคนิคหนึ่งที่มีประสิทธิผลในการหลีกเลี่ยงความแออัดของบริการและลดการจารจรในเครือข่ายและทำให้ความล่าช้าในการเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้น้อยลง และอธิบายถึงตัวแบบทั่วไปของระบบเว็บแคชที่ข้อมูลสามารถจะถูกแคชได้ที่ไคลเอ็นท์, ที่พร็อกซี่, และที่เครื่องบริการ Feldman และคณะ (1999) ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเว็บพร็อกซี่แคชในสภาพแวดล้อมที่แบนด์วิดท์ต่างกันโดยศึกษาจากผลกระทบของการเชื่อมต่อแบบถาวรและการยกเลิกการเชื่อมต่อพบว่าเว็บพร็อกซี่แคชที่เชื่อมต่อแบบถาวรสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพได้เพิ่มขึ้นโดยลดเวลาแฝงได้มากขึ้น Rodriguez, Spanner และ Biersack (2001) ศึกษาตัวแปรประสิทธิภาพที่สำคัญของการแคชแบบลำดับชั้น (hierarchical caching) และการแคชแบบการกระจาย (distributed caching) เช่น การรับรู้ความล่าช้าของผู้ใช้, การใช้งานแบนด์วิดท์โหลดในแคช, พื้นที่จานบันทึกที่ใช้งาน และศึกษาการแคชแบบลำดับชั้นซึ่งเป็นการวางแคชไว้ในระดับที่แตกต่างกันของเครือข่ายและศึกษาการแคชแบบกระจายที่เป็นวิธีการใช้งานแคชขนาดใหญ่ที่ซึ่งเป็นการร่วมกันทำงานของแคชที่ขอบของเครือข่ายในการให้บริการโดยแคชต่างๆ ที่กระจายอยู่ในขอบของเครือข่ายจะแบ่งโหลดเท่าๆ กันในระบบ อย่างไรก็ตามการแคชแบบกระจายจะมีเวลาการเชื่อมต่อที่นานกว่าเมื่อเทียบกับการแคชแบบลำดับชั้น รวมทั้งศึกษาสถาปัตยกรรมการแคชแบบผสม (hybrid caching) ที่รวมการแคชแบบลำดับชั้นกับการแคชแบบการกระจายเข้าด้วยกันในทุกระดับที่แตกต่างกันของเครือข่ายของการแคชแบบลำดับชั้น และพัฒนาตัวแบบการวิเคราะห์สำหรับวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการแคชแบบลำดับชั้นและการแคชแบบการกระจายในเรื่องของความล่าช้า, อัตราการพบข้อมูลในแคช, พื้นที่จานบันทึก, การใช้งานแบนด์วิดท์, และการโหลดข้อมูลในแคช Podlipnig และ Böszörmenyi (2003) ทำการสำรวจกลยุทธ์การแทนที่ข้อมูลของเว็บแคชและทำการจัดหมวดหมู่กลยุทธ์การแทนที่ข้อมูลโดยการแยกตามความแตกต่างข้อได้เปรียบข้อด้อยของแต่ละวิธีพร้อมทั้งให้คำอธิบายในเชิงลึกของกลยุทธ์การแทนที่ข้อมูล Wessels (2004) ศึกษาเว็บแคชและอธิบายเว็บแคชอ้างอิงถึงการจัดเก็บข้อมูลที่มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในอนาคตและอธิบายเกี่ยวกับซอฟต์แวร์โปรแกรมเว็บแคชที่มีชื่อว่าสควิดซึ่งเป็นโอเพนซอร์ซอฟต์แวร์โปรแกรมทำหน้าที่เป็นพร็อกซี่ที่มีประสิทธิภาพสูงทำงานบนหลากหลายแพลตฟอร์มซึ่งสควิดยอมรับทั้งคำร้องขอเอชทีทีพี (HTTP requests) และเอชทีทีพีเอส (HTTPS requests) จากไคลเอ็นท์และสามารถสื่อสารผ่านโพรโทคอลไปยังเครื่องบริการต่างๆ ได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งสควิดสามารถสื่อสารได้กับเครื่องบริการเอชทีทีพี, เครื่องบริการเอฟทีพี, และเครื่องบริการโกเฟอร์ (Gopher server) Xiao และคณะ (2004) ศึกษาระบบการแคชพบว่ามีหลายปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเว็บแคช และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเว็บแคชจึงพัฒนากรอบการ

ทำงานที่เรียกว่าเบราว์เซอร์-อะแวร์ (browsers-aware) ทำให้เบราว์เซอร์และพร็อกซี่แบ่งปันเนื้อหาร่วมกันทำให้มีข้อมูลเพิ่มมากขึ้นที่เบราว์เซอร์และลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลระหว่างพร็อกซี่และเบราว์เซอร์แคชทำให้ใช้ประโยชน์เว็บเนื้อหาและแบนด์วิดท์เครือข่ายระหว่างไคลเอ็นท์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ Balamash และ Krunz (2004) ศึกษาและทบทวนนโยบายการแทนที่ข้อมูลต่างๆ ของพร็อกซี่แคชและอธิบายในเชิงลึกของแต่ละนโยบาย อันได้แก่ นโยบาย GreedyDual-Based, LRV, LNC-R-W3-U, SLRU, LUV, Hybrid, Mix, LR และทำการจัดหมวดหมู่นโยบายการแทนที่ข้อมูลเหล่านี้โดยแบ่งเป็นนโยบายแบบกำหนด (deterministic policy) และนโยบายแบบสุ่ม (randomized policy) และอธิบายพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้กันทั่วไปในขั้นตอนวิธีการตัดสินใจของนโยบายการแทนที่ข้อมูลเหล่านั้น Bakiras และ Loukopoulos (2005) ศึกษาการใช้พร็อกซี่แคชโดยการใช้เครื่องบริการ CDN (Content Delivery Network) เป็นทั้งตัวที่ทำสำเนาข้อมูลและเป็นพร็อกซี่เพื่อช่วยลดความล่าช้าเวลาตอบสนอง ด้วยการเสนอขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาแบบไฮบริด (hybrid) ที่อยู่บนพื้นฐานของ Greedy พบว่าการแคชด้วยนโยบาย LRU สามารถช่วยปรับปรุงเวลาการตอบสนองของคำร้องขอเอชทีทีพี Liu และคณะ (2005) ศึกษาการทำพร็อกซี่แคชด้วยเทคนิคการแคชแบบพลวัต (dynamic caching) ในระบบอีคอมเมิร์ซพบว่าช่วยลดภาระของเครื่องบริการฐานข้อมูลและลดความจำเป็นในการเพิ่มขยายเครื่องบริการ Kumar และคณะ (2008), (2009) และ Kaya และคณะ (2009) ศึกษาการใช้พร็อกซี่แคชที่เครื่องบริการ (proxy cache server) ในการให้บริการกับผู้ใช้จำนวนมากวัตถุประสงค์เพื่อลดความล่าช้าของผู้ใช้บริการและลดความแออัดของอินเทอร์เน็ต Sangwongthong และ Siripongwutikorn (2012) ศึกษาการใช้พร็อกซี่แคชในเครือข่ายไร้สายด้วยเทคนิคการร้องขอแคชแบบเส้นทางสุ่มพบว่าให้ค่าเฉลี่ยความล่าช้าในการโอนถ่ายข้อมูลดีกว่าเทคนิคการร้องขอแคชแบบเส้นทางเดี่ยวอย่างต่อเนื่อง Ali, Shamsuddin และ Ismail (2012) ศึกษาระบบเว็บพร็อกซี่แคชระบุว่าเว็บพร็อกซี่แคชสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเว็บเบสและมีบทบาทสำคัญช่วยลดเวลาตอบสนองและช่วยประหยัดแบนด์วิดท์ของเครือข่าย

จะเห็นได้ว่างานวิจัยที่เกี่ยวกับพร็อกซี่แคชในหลายหัวข้อช่วยปรับปรุงเว็บพร็อกซี่แคชให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นวัตถุประสงค์เพื่อตอบสนองการทำงานของผู้ใช้ให้ได้ข้อมูลเร็วขึ้น อย่างไรก็ตามเว็บพร็อกซี่แคชและนโยบายการแทนที่ข้อมูลต่างๆ ดังอธิบายมาทั้งหมดไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อรองรับการจราจรในยุคการคำนวณแบบคลาวด์ซึ่งข้อมูลมีขนาดใหญ่ (Banditwattanawong and Uthayopas, 2013)

2. การแคชคลาวด์ฝั่งเครื่องบริการ

วัตถุประสงค์ของการแคชคลาวด์ฝั่งเครื่องบริการ (server-side cloud caching) คือ เพื่อลดภาระงานของเครื่องบริการและของฐานข้อมูลและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของโปรแกรมประยุกต์ของผู้ใช้บริการทำให้เวลาตอบสนองดีขึ้น ในอดีตที่ผ่านมาการแคชข้อมูลนั้นเป็นส่วนหนึ่งของบริการฐานข้อมูล เช่น IBM DB2, MySQL และ Oracle (Luo, et al., 2002) ปัจจุบันมีเพิ่มเติมมาอีกหลายบริการแคชคลาวด์เชิงพานิชเพื่อให้เลือกใช้ เช่น Memcache (Memcached, 2014) ซึ่งเป็นหน่วยความจำแคชที่ทำการแคชข้อมูลไว้ในหน่วยความจำของเครื่องบริการที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายเป็นระบบการแคชที่สามารถเพิ่มความเร็วในการส่งผ่านของข้อมูลของเว็บโปรแกรมประยุกต์โดยช่วยลดภาระโหลดของฐานข้อมูลและทำให้เวลาตอบสนองดีขึ้น (Waddington, et al., 2013), ElastiCache ซึ่งง่ายต่อการติดตั้งใช้งานสามารถปรับขยายขนาดแคชคลาวด์ได้และมีโพรโทคอลที่สอดคล้องกับ Memcache บริการ ElastiCache ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเว็บโปรแกรมประยุกต์ให้สามารถเรียกดึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ElastiCache มีการจัดเตรียมระบบที่มีความยืดหยุ่นที่ลดความเสี่ยงของภาระงานเกินของฐานข้อมูล (ElastiCache, 2014), (Amazon, 2014), Redis (Redis, 2014) Ramaswamy, Liu และ Iyengar (2005) ศึกษาความท้าทายในการออกแบบเครือข่ายของแคชที่ทำงานร่วมกันขนาดใหญ่ที่มุ่งเน้นกลไกและขั้นตอนวิธีการสำหรับการทำงานร่วมกันระหว่างแคชอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมทั้งหมดของเครือข่ายแคช และเสนอแนวคิดของแคชคลาวด์ที่ก่อเกิดจากกรอบพื้นฐานของการทำงานร่วมกันระหว่างแคชในเครือข่าย เสนอสถาปัตยกรรมของแคชคลาวด์ที่ออกแบบเพื่อสนับสนุนประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการทำงานร่วมกันของแคช ได้พิจารณาแคชคลาวด์ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่ประกอบไปด้วยชุดของแคชที่ทำงานร่วมกันเพื่อที่จะส่งมอบเนื้อหาข้อมูลบนเว็บและแบ่งปันเนื้อหาข้อมูลระหว่างแคช เสนอแบบแผนการทำงานร่วมกันที่อยู่บนฐานของไดนามิกแฮชชิงโพรโทคอลสำหรับค้นหาเอกสารและปรับปรุงเอกสารอย่างมีประสิทธิภาพภายในแต่ละแคชคลาวด์และร่างขั้นตอนกลไกการใช้ประโยชน์สำหรับการวางเอกสารแบบไดนามิกภายในแคชคลาวด์ Dash, Kantere และ Ailamaki (2009) เสนอระบบแคชคลาวด์ที่มีความสามารถปรับตัวเองได้เพื่อให้บริการสำหรับการบริการสอบถามชุดข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ขนาดใหญ่ที่มีคุณภาพสูง ระบบแคชคลาวด์ประกอบไปด้วยหลายซีพียูโหนด, ตารางคอลัมน์, ดัชนี, และหน่วยเก็บข้อมูลจานบันทึกเสมือนที่เป็นระบบไฟล์แบบคลัสเตอร์ และพื้นที่แคชซึ่งเป็นจานบันทึกเสมือนที่จะแบ่งปันทรัพยากรร่วมกันสำหรับทุกซีพียูโหนดในแคช และใช้นโยบายการแทนที่ข้อมูลแบบ LRU สำหรับขั้นตอนวิธีการทำงานเมื่อผู้ใช้ร้องขอการดำเนินการสอบถามผ่านมาทางอินเทอร์เน็ต คำร้องขอจะมาที่ส่วนโหนดต่อประสานงานก่อนจากนั้นโหนดต่อประสานงานจะกระจายการสอบถามไปยัง

ซีพียูโหนดที่เหมาะสมหรือไปยังฐานข้อมูลคลาวด์ซึ่งบริการสอบถามจะถูกดำเนินการทั้งในแคชคลาวด์และในฐานข้อมูลคลาวด์ และประสิทธิภาพของการสอบถามจะถูกวัดในเทอมของเวลาการดำเนินการ Ousterhout และคณะ (2010) เสนอวิธีการใหม่ในการประมวลผลข้อมูลและเสนอสถาปัตยกรรมที่เรียกว่า RAMCloud สำหรับจัดเก็บข้อมูลทั้งหมดในหน่วยเก็บข้อมูล DRAM ของระบบการกระจายเพื่อการปรับปรุงในเรื่องความล่าช้าในการเข้าถึงข้อมูลและเรื่องแบนด์วิดท์ ซึ่งข้อมูลจะถูกเก็บไว้ทั้งหมดใน DRAM ของระบบขนาดใหญ่ที่สร้างขึ้นโดยการรวมหน่วยความจำหลักของเครื่องบริการเป็นพันเครื่องเข้าด้วยกัน ซึ่งเป็นความสามารถของ RAMCloud ในการรวมทรัพยากรจำนวนมากของเครื่องบริการมาใช้งาน RAMCloud มีประสิทธิภาพดีเนื่องมาจากมีเวลาแฝงต่ำมากจึงอาจจะเป็นทางออกที่ดีในการแก้ปัญหาด้านอินพุต/เอาต์พุตของการคำนวณแบบคลาวด์แต่ RAMCloud ใช้พลังงานสูง สถาปัตยกรรม RAMCloud มีความสามารถในการปรับขนาดเพื่อตอบสนองความต้องการของการใช้งานเว็บขนาดใหญ่ วิธีการของ RAMCloud จึงน่าสนใจสำหรับสภาพแวดล้อมการคำนวณแบบคลาวด์ที่จำเป็นต้องมีระบบจัดเก็บข้อมูลที่ยืดหยุ่นและสามารถปรับขนาดได้ Chiu and Agrawal (2010) ทำงานวิจัยมุ่งเน้นไปที่ความสมดุลระหว่างค่าใช้จ่ายกับประสิทธิภาพในการดูแลข้อมูลที่อยู่ในแคชด้วยหลายตัวแปรของโปรแกรมประยุกต์คลาวด์ เช่น ขนาดของหน่วยข้อมูล, ขนาดทั้งหมดของแคช และความคงอยู่ของข้อมูล ซึ่งมีผลกระทบกับต้นทุนของการแคช โดยทำวิจัยมุ่งเน้นไปที่การประเมินเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับจำนวนของการแคชและตัวเลือกของหน่วยเก็บข้อมูลที่ซึ่งถูกเสนอโดยคลาวด์ ซึ่งการเปรียบเทียบทำบนหลายอะเมซอนเว็บเซอร์วิส ผลการวิจัยแสดงให้เห็นประเด็นที่สำคัญคือค่าใช้จ่ายที่มาคู่กับการใช้ตัวเลือกในการสนับสนุนแคชขึ้นอยู่กับตัวแปรของโปรแกรมประยุกต์คลาวด์ Chiu, Shetty และ Agrawal (2010) ศึกษาการแคชคลาวด์สำหรับเร่งบริการการคำนวณและวิจัยระบบแคชคลาวด์ที่ทำงานประสานร่วมกันสำหรับลดเวลาการประมวลผลโดยแสดงวิธีการ, ความต้องการแคช, และพัฒนาแบบแผนการทำงานร่วมกัน (cooperative scheme) สำหรับแคชข้อมูลที่ส่งออกจากบริการเพื่อใช้ซ้ำโดยพิจารณาความท้าทายของการสร้างบริการการแคชคลาวด์สำหรับใช้ร่วมกันที่เป็นส่วนหนึ่งของแพลตฟอร์มคลาวด์สำหรับการแคชข้อมูลที่สะดวกภายในคลาวด์ ได้พัฒนาและเสนอแบบแผนการทำงานของการแคชข้อมูลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่และการจัดเก็บข้อมูลในหน่วยความจำเพื่ออำนวยความสะดวกในการเข้าถึงอย่างรวดเร็ว Chockler, Laden และ Vigfusson (2010) ศึกษาการแคชข้อมูลซึ่งเป็นบริการคลาวด์และการใช้ประโยชน์จากบริการแคชข้อมูลและได้พัฒนา Blaze ซึ่งเป็นแบบแผนแคชข้อมูลสำหรับมัลติเทนแนนท์แบบง่ายที่อยู่บนพื้นฐานของกลไกการแทนที่ข้อมูลแบบ Clock-based ที่ใช้ประโยชน์จากส่วนของแคชระหว่างผู้เช่าซึ่งมีเป้าหมายที่ประสิทธิภาพสูงสุดในขณะที่รับประกันคุณภาพของการ

บริการให้กับแต่ละผู้เช่า Kiani และคณะ (2011) เสนอกลยุทธ์การแคชเนื้อหาและกลไกการแคชแบบสองฝ่ายในการบริการเนื้อหาบนคลาวด์ ที่อำนวยความสะดวกในการจัดเตรียมเนื้อหาระหว่างการให้บริการกับโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้งาน พร้อมทั้งแสดงให้เห็นประโยชน์ที่สัมพันธ์กันของกลยุทธ์การแคชที่แตกต่างกันภายใต้สถานการณ์การใช้งานเนื้อหาที่แตกต่างกันและแสดงให้ประโยชน์ของกลไกการแคชแบบสองฝ่ายในระบบการจัดเตรียมเนื้อหา Chockler, Laden และ Vigfusson (2011) มุ่งเน้นวิจัยความท้าทายต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสนับสนุนบริการการแคชคลาวด์ เช่น การกำหนดมาตรวัดที่เหมาะสม, ตัวแบบบริการ, การจัดการประสิทธิภาพ, และการใช้ทรัพยากรร่วมกันข้ามระหว่างผู้เช่า เสนอบริการของแคชคลาวด์แบบใหม่ที่เรียกว่าการแคชเรียบง่ายสำหรับคลาวด์ ซึ่งการแคชเรียบง่ายสำหรับคลาวด์ที่เสนอเกี่ยวข้องกับแนวคิดมัลติเทนแนนท์ซี่ เช่น การแบ่งปันข้อมูลและคุณภาพการให้บริการ และเสนอความเห็นว่าบริการแคชควรถูกเสนอโดยผู้ให้บริการคลาวด์ในลักษณะที่เป็นส่วนหนึ่งของบริการแพลตฟอร์ม Shi และคณะ (2011) เสนอระบบบริการการแคชคลาวด์ที่ใช้แผ่นแบบหน่วยความจำของเครื่องเสมือนที่เรียกว่า VCACHE เพื่อปรับปรุงเวลาตอบสนองของบริการคลาวด์และเพื่อลดความล่าช้าในการเข้าถึงจานบันทึก ระบบบริการการแคชคลาวด์ที่เสนอสามารถสร้างและดูแลรักษาบริการแคชเครื่องเสมือนผ่านทางแผ่นแบบหน่วยความจำโดยการสร้างเครื่องเสมือนจากไฟล์รูปภาพที่แคชเก็บไว้ชั่วคราว และบริการที่ทำงานอยู่ในเครื่องเสมือนสามารถติดตั้งใช้งานได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งช่วยลดเวลาในการให้บริการและลดโหลดของจานบันทึกในการปฏิบัติการอินพุต/เอาต์พุต Kim และคณะ (2011) เสนอระบบการแคชแบบประสานร่วมมือกันทำงานที่มีประสิทธิภาพเรียกว่า XHive ที่มีการดำเนินการในชั้นของการทำงานแบบเสมือนและระบบลดการปฏิบัติการอินพุต/เอาต์พุตของจานบันทึกสำหรับการแบ่งงานกันทำของเครื่องเสมือนและการรวมให้เป็นสภาพแวดล้อมเดียวกัน และเสนอวิธีการในการจัดการแคชที่รวมกันของเครื่องเสมือนต่างๆ เพื่อรองรับชุดของงานที่แบ่งกันทำในเครื่องที่มีหน่วยความจำจำกัด ซึ่งแบบแผนวิธีการนี้ช่วยให้เครื่องเสมือนต่างๆ สามารถร่วมกันดูแลรักษาสำเนาบล็อกข้อมูลที่อ่านจากหน่วยเก็บข้อมูลที่ใช้ร่วมกันซึ่งช่วยลดความซ้ำซ้อนในการปฏิบัติการอินพุต/เอาต์พุต Ahlehagh และ Dey (2012) วิจัยแบบแผนการแคชข้อมูลวีดิทัศน์แบบลำดับชั้นในเครือข่ายไร้สายคลาวด์ที่เกตเวย์ในเครือข่ายหลัก วิธีการแคชลำดับชั้นที่เสนอช่วยเพิ่มสมรรถนะเครือข่ายด้วยการทำให้หลายเซลล์ไซต์แบ่งปันแคชที่ระดับที่สูงขึ้นของลำดับชั้นทำให้ช่วยเพิ่มอัตราการพบข้อมูลในแคชโดยรวมมากขึ้นโดยไม่ต้องเพิ่มขนาดแคชโดยรวมที่ใช้งาน Han และคณะ (2012) เสนอบริการแคชเป็นบริการเพิ่มเติมจากบริการโครงสร้างพื้นฐานทั่วไปโดยวิธีการให้ผู้ให้บริการคลาวด์ทำการกำหนดพื้นที่หน่วยความจำขนาดใหญ่ที่สามารถแบ่งกั้นแบบพลวัตและการจัดสรรให้เป็นบริการแคชดิสก์ที่เป็นบริการโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นมาตรฐาน ซึ่ง

พื้นที่แคชรวมมาจากหน่วยความจำระยะไกลของเครื่องบริการภายนอก และสร้างต้นแบบระบบแคชยืดหยุ่นโดยการใช้หน่วยความจำระยะไกลเป็นแคชเป็นบริการที่ดำเนินการให้บริการแคชจากสถาปัตย์กรรมทางฝั่งเครื่องบริการ Li และคณะ (2015) เสนอแนวคิดของบริการแคชเป็นกรอบการทำงานแบบเสมือนของการแคช พร้อมด้วยการพัฒนาเครือข่ายการเข้าถึงคลื่นวิทยุบนคลาวด์ (C-RAN) และกรอบการทำงานแบบเสมือนของ Evolved Packet Core (EPC) และศึกษาเทคนิคที่มีศักยภาพที่เกี่ยวข้องกับแคชเสมือนและศึกษารายละเอียดทางเทคนิคของการแคชแบบเสมือนและรายละเอียดของระบบที่เหมาะสมสำหรับการบริการแคช

จะเห็นได้ว่าการแคชคลาวด์มีงานวิจัยครอบคลุมในหลายหัวข้อตั้งแต่เรื่องตัวระบบ, ขั้นตอนวิธี, กลไกการแคช, การสร้างและสนับสนุนบริการ, และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับค่าใช้จ่าย, และจากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าบริการการแคชคลาวด์ส่วนใหญ่ติดตั้งอยู่ที่ฝั่งผู้ให้บริการคลาวด์และเป็นการแคชคลาวด์ฝั่งเครื่องบริการที่มุ่งเน้นประสิทธิภาพของการประมวลผลของเครื่องบริการเน้นผลลัพธ์ในการประมวลผลเพื่อลดภาระของเครื่องบริการ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการคลาวด์มุ่งเน้นในมิติของอัตราการพบข้อมูลในแคช (hit rate) แต่มิได้มุ่งเน้นลดค่าใช้จ่ายของการโหลดข้อมูลจากคลาวด์ที่เกิดขึ้นกับผู้บริโภค อย่างไรก็ตามในการเสนอบริการการแคชคลาวด์ให้แก่ผู้บริโภค ผู้ให้บริการการแคชคลาวด์ (cloud cache provider) จำเป็นต้องจัดเตรียมตัวแบบบริการแคชคลาวด์ (cloud cache service model) ทั้งทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์เพื่อให้ผู้บริโภคมีโอกาสพิจารณาเลือกใช้ตัวแบบที่เหมาะสมกับความต้องการและข้อจำกัดทางด้านค่าใช้จ่ายของผู้บริโภคเองมากที่สุดและเกิดประโยชน์สูงสุด

3. ตัวแบบบริการแคชคลาวด์ฝั่งเครื่องบริการ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวแบบบริการแคชคลาวด์ฝั่งเครื่องบริการ (service model for server-side cloud cache) แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ทางด้านเทคนิคและทางด้านเศรษฐศาสตร์ ดังนี้

ทางด้านเทคนิค Chockler, Laden และ Vigfusson (2011) เสนอบริการของแคชคลาวด์แบบใหม่ที่เรียกว่าการแคชเรียบง่ายสำหรับคลาวด์ (Simple Cache for Cloud SC2) ซึ่งข้อมูลในแคชจะเก็บอยู่ในแคชของเครื่องบริการ และเสนอเทคนิคใหม่สำหรับการตรวจสอบข้อมูลที่อยู่ในแคชที่มีประสิทธิภาพและการแบ่งพื้นที่แคชให้เป็นส่วนๆ ในหมู่ผู้ใช้บริการซึ่งทรัพยากรหลักในการแคชคลาวด์คือพื้นที่หน่วยความจำสำหรับจัดเก็บข้อมูล Han และคณะ (2012) เสนอตัวแบบทางเทคนิคของบริการแคชคลาวด์ 2 ตัวแบบคือ 1) ตัวแบบประสิทธิภาพสูง (HP) ที่ใช้หน่วยความจำลบเลือนได้เป็นแคช (LM) ซึ่งสมรรถนะในการให้บริการจะมีขีดจำกัดอยู่ที่จำนวนสูงสุดของแคชที่มีอยู่ 2) ตัวแบบค่าที่ดีที่สุด (BV) ที่ใช้ประโยชน์จากหน่วยความจำระยะไกลของเครื่องบริการที่กำหนดเป็น

แคช (RM) ซึ่งสมรรถนะในการให้บริการจะไม่มีขีดจำกัดโดยวิธีการให้ผู้ให้บริการคลาวด์กำหนดพื้นที่หน่วยความจำขนาดใหญ่ที่สามารถแบ่งกั้นแบบพลวัต และเสนอการเลือกตัวแบบทางเทคนิคของบริการแคชคลาวด์ต้องพิจารณาลักษณะของข้อมูลเพราะการคำนึงถึงลักษณะของข้อมูลหลักอย่างปริมาณข้อมูล, รูปแบบการเข้าถึงข้อมูล, ชนิดการเข้าถึงข้อมูล เช่น ขนาดไฟล์, แบบสุ่ม/แบบลำดับ, อ่าน/เขียน มีความสำคัญในการเลือกอุปกรณ์แคชที่เหมาะสมและขนาดของแคชที่เหมาะสม เนื่องจากประสิทธิภาพของแคชจะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูลเหล่านี้และเสนอให้บริการแคชคลาวด์เป็นบริการเพิ่มเติมจากบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์

ทางด้านเศรษฐศาสตร์ Dash, Kantere และ Ailamaki (2009) เสนอตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ของการแคชคลาวด์ที่มีความสามารถปรับตัวเองได้เพื่อให้บริการสำหรับการบริการสอบถามชุดข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ขนาดใหญ่ที่มีคุณภาพสูง ตัวแบบมี 3 นโยบาย คือ 1) การส่งเสริมให้มีคุณภาพสูงในการให้บริการสอบถามกับแต่ละผู้ใช้ 2) การเพิ่มคุณภาพโดยรวมของการให้บริการสอบถาม 3) การที่ผู้ให้บริการยังคงสามารถมีกำไรจากการให้บริการ ตัวแบบค่าใช้จ่าย (cost model) ที่เสนอคำนึงถึงทุกการสอบถามทั้งหมดที่เป็นไปได้และค่าใช้จ่ายของทรัพยกรโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็น เช่น แบนด์วิดท์, เครือข่าย, พื้นที่จานบันทึก และเวลาที่ซีพียูใช้ Mach และ Schikuta (2011) ศึกษาวิเคราะห์ตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ของค่าใช้จ่ายสำหรับการคำนวณแบบคลาวด์เพื่อที่จะทำการประกอบรวมค่าใช้จ่ายทุกชนิดของสภาพแวดล้อมเชิงพาณิชย์ และเสนอตัวแบบค่าใช้จ่ายสำหรับผู้บริโภคและผู้ให้บริการคลาวด์ที่พิจารณาจากทั้งต้นทุนค่าใช้จ่ายคงที่และต้นทุนค่าใช้จ่ายผันแปรเพื่อที่จะขยายจากตัวแบบทั่วไปที่พิจารณาแต่เพียงต้นทุนค่าใช้จ่ายคงที่เท่านั้น โดยที่เป้าหมายของตัวแบบค่าใช้จ่ายคือการรวมปัจจัยพื้นฐานทางเศรษฐกิจที่สำคัญทั้งหมดและวิธีการเข้าด้วยกัน ตัวแบบค่าใช้จ่ายสนับสนุนกระบวนการตัดสินใจเพื่อที่จะนำมาใช้กับกรณีธุรกิจและช่วยให้ผู้บริโภคและผู้ให้บริการคลาวด์สามารถที่จะกำหนดกลยุทธ์ทางธุรกิจและวิเคราะห์ผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจได้ Chockler, Laden และ Vigfusson (2011) เสนอตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ของบริการแคชคลาวด์สำหรับการเรียกเก็บเงินที่พิจารณาถ่วงดุลระหว่างประโยชน์ของลูกค้ากับค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายให้ผู้ให้บริการในการใช้บริการ ซึ่งประโยชน์ที่ลูกค้าได้จากบริการการแคชคลาวด์คือการพบข้อมูลในแคช (cache hit) เพราะว่าการพบข้อมูลในแคชสามารถลดความล่าช้าในการได้รับข้อมูลที่ต้องการ ซึ่งทรัพยากรหลักที่เกี่ยวข้องในการแคชคลาวด์ประกอบไปด้วยพื้นที่หน่วยความจำสำหรับจัดเก็บข้อมูล, แบนด์วิดท์เครือข่ายสำหรับการถ่ายโอนข้อมูลเข้าและออกจากแคช, และซีพียูกับความจุการ์ดเครือข่ายสำหรับดูแลจัดการคำร้องขอ ตัวแบบการเรียกเก็บเงินจะคิดคำนวณค่าบริการการแคชคลาวด์จากการใช้บริการทรัพยากรทั้งหมดเหล่านี้และจำนวนครั้งของการเรียกข้อมูลจากแคช Kantere และคณะ (2011) เสนอตัวแบบราคาเทียบกับ

ความต้องการใช้บริการที่ออกแบบมาสำหรับแคชคลาวด์ เป็นตัวแบบการกำหนดราคาที่ใช้วิธีการใหม่ในการประมาณการความสัมพันธ์ของบริการแคชในลักษณะของเวลาที่มีประสิทธิภาพโดยการสะท้อนให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของโครงสร้างแคชที่เกี่ยวข้องกับการสอบถามเป็นการรวมความสัมพันธ์ของโครงสร้างในการบริการแคชช่วยทำให้สามารถกำหนดราคาที่เหมาะสมที่สุดของบริการ และเสนอการกำหนดราคาแบบพลวัตสำหรับการดำเนินการสอบถามข้อมูลในแคชคลาวด์ โดยที่การกำหนดราคาที่เหมาะสมจะอยู่บนพื้นฐานของแบบแผนการกำหนดราคาแบบพลวัตที่ปรับให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงของเวลาเป้าหมายเพื่อการให้บริการในราคาที่ไม่แพงของการสอบถามข้อมูลสำหรับหลายผู้ใช้ขณะที่ผู้ให้บริการคลาวด์ยังสามารถทำกำไรได้ Han และคณะ (2012) เสนอตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ของการกำหนดราคาบริการแคชคลาวด์ที่สามารถถ่วงดุลระหว่างประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายได้อย่างมีประสิทธิผล เป็นตัวแบบการกำหนดราคาที่ซึ่งสามารถแลกเปลี่ยนกันได้อย่างมีประสิทธิภาพระหว่างการรับส่งข้อมูลอินพุต/เอาต์พุตกับค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ ตัวแบบการกำหนดราคาจะคำนวณมาจากตัวแปรที่เกี่ยวข้องคือจำนวนเฉลี่ยของการให้บริการต่อเครื่องบริการทางกายภาพ, หน่วยความจำสูงสุดที่มีอยู่, จำนวนเฉลี่ยของหน่วยความจำ, จำนวนประเภทบริการโครงสร้างพื้นฐาน, ความจุหน่วยความจำของประเภทบริการ, อัตราค่าบริการของประเภทบริการ, อัตราของบริการแบบประสิทธิภาพสูง (HP), อัตราของบริการแบบค่าที่ดีที่สุด (BV), ประสิทธิภาพที่ดีขึ้นเฉลี่ยต่อหน่วย, อัตราค่าบริการโดยเฉลี่ย

อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังที่กล่าวมาเป็นการวิจัยการแคชคลาวด์และตัวแบบบริการแคชคลาวด์ที่เกิดขึ้นอยู่ทางฝั่งเครื่องบริการ (server side) ฝั่งของผู้ให้บริการคลาวด์ทั้งหมด แต่ยังมีอีกแนวความคิดหนึ่งคือวิธีการที่ผู้บริโภคเริ่มทำการทำซ้ำข้อมูล (data replication) ที่โหลดมาจากคลาวด์ที่มีโอกาสถูกเรียกโหลดใช้ซ้ำอีกมาไว้ที่พื้นที่ในฝั่งของผู้บริโภคเองที่เรียกว่าการแคชคลาวด์ฝั่งไคลเอ็นท์ (client-side cloud caching) (Banditwattanawong and Uthayopas, 2013)

4. การแคชคลาวด์ฝั่งไคลเอ็นท์

มีหลายการแคชฝั่งเครื่องไคล์เอ็นท์ (client cache) ที่มีการใช้อยู่ในระบบไฟล์ (file system) จำนวนมากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการลดภาระของเครื่องบริการและปรับปรุงความยืดหยุ่นของระบบ (Schroeder, Gifford, and Needham, 1985), (Nelson, Welch, and Ousterhout, 1988), (Birrell, et al., 1993) และมีการนำหน่วยความจำฝั่งเครื่องไคล์เอ็นท์ (client-side memory) มาใช้เป็นประโยชน์สำหรับการแคชข้อมูลและการจัดทำเมตะดาต้า (meta data) ในระบบไฟล์แบบกระจาย (distributed file system DFS) เช่น ระบบไฟล์เครือข่าย (network file system) (Pawlowski,

Juszczak, and Staubach, 1994) และ Spirit File System (Nelson, Welch, and Ousterhout, 1988) อย่างไรก็ตามการแคชฝั่งเครื่องไคล์เอ็นท์เหล่านี้ก็ยังไม่ใช่สำหรับคลาวด์

Arteaga, Otstott และ Zhao (2012) เสนอการจัดการแคชระดับกลุ่มก้อนแบบพลวัต (dynamic Block-level cache) ที่เรียกว่า dm-cache สำหรับระบบการคำนวณแบบคลาวด์โดยใช้หน่วยเก็บข้อมูลฝั่งไคลเอ็นท์เพื่อทำการแคชระดับบล็อกและใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่เก็บอยู่ในเครื่องเสมือน โดยการใช้ประโยชน์จากความสามารถของอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลที่มีความเร็วอย่างโซลิดสเตทที่อยู่บนตัวโฮสต์เครื่องเสมือนต่างๆ ซึ่งวิธีดำเนินการนี้มีศักยภาพในการช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องเสมือนและช่วยลดภาระในระบบจัดเก็บข้อมูลที่ใช้ร่วมกัน การที่ใช้บล็อกแคชร่วมกันช่วยให้หลายๆ ตัวโฮสต์เครื่องเสมือนสามารถใช้อุปกรณ์แคชเดียวกันโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับข้อมูลเป็นการใช้ประโยชน์แคชได้สูงสุดทำให้เครื่องเสมือนสามารถใช้ส่วนพื้นที่แคชที่ว่างอยู่สำหรับการจัดเก็บข้อมูลได้ Cao และคณะ (2012) ศึกษาวิจัยระบบไฟล์ของกูเกิ้ล GFS ที่ซึ่งไฟล์จะถูกแบ่งออกเป็นชิ้นและถูกจัดเก็บซ้ำ ไฟล์ส่วนใหญ่จะเปลี่ยนไปเมื่อมีการผนวกข้อมูลใหม่เข้ามาทำให้การสุ่มเขียนลงในไฟล์ไม่มีประสิทธิภาพรวมทั้งประสิทธิภาพของโปรแกรมประยุกต์แบบดั้งเดิมลดลงเมื่อย้ายไปอยู่บนคลาวด์ เพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้จึงเสนอความคิดและวิธีการเพิ่มระบบการแคชที่ฝั่งไคลเอ็นท์เพื่อเสริมหน่วยเก็บข้อมูลคลาวด์โดยออกแบบและดำเนินการใช้งาน LabCloud ที่คล้ายกับบล็อกหรือหน่วยเก็บไฟล์บนคลาวด์ซึ่งแต่ละชิ้นข้อมูลไฟล์ถูกทำซ้ำบนหลายเครื่องบริการเพื่อรับประกันความน่าเชื่อถือ และแต่ละชิ้นข้อมูลไฟล์จะถูกเก็บไว้อย่างครบทั้งหมดที่ระบบไฟล์การแคชแบบผสม (hybrid caching) เพื่อที่จะสามารถเข้าถึงไฟล์ขนาดแตกต่างกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีการติดตั้งอยู่บนระบบไฟล์ที่ฝั่งไคลเอ็นท์และสามารถเข้ากันได้กับส่วนต่อประสานของระบบไฟล์ POSIX และใช้การแคชจานบันทึกแบบแข็งระดับไฟล์และการแคชหน่วยความจำระดับบล็อกโดยที่ไม่ต้องปรับแต่งใดๆ และทำการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพของการเข้าถึงไฟล์แบบสุ่มในคลาวด์ดีขึ้น และด้วยการใช้งาน LabCloud การปฏิบัติการเข้าถึงข้อมูลส่วนใหญ่จะถูกดำเนินการที่ฝั่งไคลเอ็นท์มากกว่าการเข้าถึงในคลาวด์และความล่าช้าในการเขียนไฟล์และความล่าช้าในการโหลดไฟล์จากคลาวด์จะลดลง Banditwattanawong และ Uthayopas (2013) เสนอนโยบายการแทนที่แคชคลาวด์ฝั่งไคลเอ็นท์ (client-side cloud cache replacement policy) ด้วยวิธีใช้อ็อบเจกต์ข้อมูลใหม่เป็นปัจจัยในการจัดลำดับความสำคัญสำหรับการตัดสินใจลบอ็อบเจกต์ข้อมูลออกจากแคช และทำการทดลองพบว่าสามารถประหยัดแบนด์วิดท์เครือข่าย, ประหยัดค่าใช้จ่ายจากข้อมูลออก, และลดเวลาการโหลดข้อมูล และนโยบายการแทนที่แคชคลาวด์ที่เสนอมีประสิทธิภาพโดยรวมดีกว่านโยบายการแทนที่ข้อมูลแบบ LRU, GDSF และ LFUDA เกือบทุกกรณีของการทดสอบ รวมทั้งมีอัตราการพบข้อมูลในแคช (hit rate) และอัตรา

ขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช (byte-hit rate) ดีที่สุด Banditwattanawong และคณะ (2016) เสนอนโยบายการแทนที่แคชคลาวด์อัจฉริยะที่เรียกว่าไอ-คลาวด์ (i-Cloud) เป็นองค์ประกอบหลัก**ของ**แคชคลาวด์ฝั่งไคลเอ็นท์ โดยนโยบายไอ-คลาวด์ใช้การเข้าถึงครั้งล่าสุด (access recency) เป็นปัจจัยในการจัดลำดับความสำคัญสำหรับการตัดสินใจแทนที่ข้อมูล นโยบายการแทนที่แคชคลาวด์อัจฉริยะเป็นกลไกสำคัญของการพัฒนาระบบแคชคลาวด์สำหรับติดตั้งใช้งานที่ฝั่งผู้ใช้บริการคลาวด์ที่มุ่งเน้นการลดปริมาณการใช้แบนด์วิดท์และประหยัดเวลาและค่าโหลดข้อมูลจากคลาวด์

อย่างไรก็ตามงานวิจัยทางฝั่งไคล์เอ็นท์ยังขาดตัวแบบทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของบริการแคชสำหรับให้บริการการแคชคลาวด์ฝั่งไคล์เอ็นท์ได้อย่างแท้จริง งานวิจัยนี้จึงเสนอตัวแบบทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการดำเนินการบริการการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ โดยเสนอตัวแบบทางเทคนิคใหม่สำหรับบริการการแคชคลาวด์ฝั่งไคลเอ็นท์ที่มุ่งเน้นการลดค่าใช้จ่ายของการโหลดข้อมูลและการลดระยะเวลาการโหลดข้อมูลจากคลาวด์ โดยเลือกใช้นโยบายการแทนที่ข้อมูลไอ-คลาวด์ และวัดผลด้านสมรรถนะทางเทคนิคด้วยการจำลองการทำงาน และเสนอตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ของบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์ฝั่งไคลเอ็นท์ของการกำหนดราคาค่าบริการที่พิจารณาทั้งค่าใช้จ่ายด้านเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายด้านการดำเนินงานและอัตรากำไรที่ต้องการ เพื่อให้ผู้ให้บริการแคชคลาวด์มีคำแนะนำในการกำหนดค่าบริการและให้ผู้ใช้บริการระดับองค์การมีข้อมูลประกอบการตัดสินใจในเรื่องค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้บริการแคชคลาวด์แบบต่างๆ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้อยู่ในประเภทการวิจัยประยุกต์ การวิจัยเชิงทดลอง และการวิจัยเชิงปริมาณในสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ

แบบแผนทางการวิจัย

งานวิจัยนี้เสนอตัวแบบบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ วัตถุประสงค์เพื่อช่วยประหยัดค่าโหลดข้อมูลจากการใช้บริการคลาวด์และลดการใช้แบนด์วิดท์ของเครือข่ายและลดระยะเวลาการตอบสนองของบริการบนคลาวด์ การประเมินประสิทธิภาพของตัวแบบบริการแคชคลาวด์ใช้วิธีการจำลองการทำงานเปรียบเทียบกับการใช้บริการคลาวด์โดยตรง และข้อมูลที่ใช้ในการจำลองการทำงานคือชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บในอดีตโดยในแต่ละการจำลองการทำงานวัดผลด้วยตัววัดสมรรถนะทางเศรษฐศาสตร์คือราคาค่าบริการแคชคลาวด์ที่ฝั่งไคลเอ็นท์และด้วยตัววัดสมรรถนะทางเทคนิค ได้แก่ อัตราการพบข้อมูลในแคช, อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช, อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล, อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล ผลการวัดสมรรถนะจะถูกวิเคราะห์แบบบูรณาการเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพแต่ละมิติตามตัววัดที่ใช้

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. จัดหาชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บในอดีตสำหรับจำลองการทำงานและวัดผล
3. เสนอตัวแบบบริการแคชคลาวด์ใหม่ที่เป็นตัวแบบบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ที่มุ่งประหยัดค่าโหลดข้อมูลจากการใช้บริการคลาวด์และลดการใช้แบนด์วิดท์ของเครือข่ายและลดระยะเวลาการตอบสนองของบริการคลาวด์
4. สร้างโปรแกรมจำลองการทำงานตัวแบบบริการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์
5. ดำเนินการจำลองการทำงานและวัดสมรรถนะทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์
6. วิเคราะห์ข้อมูลผลการจำลองการทำงานอย่างบูรณาการ
7. พัฒนาต้นแบบระบบบริการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์
8. ประเมินต้นแบบระบบบริการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์
9. สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัยและเสนอแนะ
10. จัดทำบทความวิจัยเพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ในวงการวิชาการระดับนานาชาติ

แผนงานวิจัย

แผนงานวิจัย แสดงดังภาพประกอบที่ 11

กิจกรรมและ milestones	ระยะเวลาตามปีการศึกษาและภาคการศึกษา								
	ปี 56 ภาค1	ปี 56 ภาค2	ปี 56 ภาค3	ปี 57 ภาค1	ปี 57 ภาค2	ปี 57 ภาค3	ปี58 ภาค1	ปี58 ภาค2	ปี58 ภาค3
1. ศึกษาปัญหาวิจัยแนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง									
2. ทำการวิจัยและวัดผลวิจัยระยะแรก									
1) ทำความเข้าใจค้นคว้าตัวแบบบริการแคชคลาวด์หาแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถืออ้างอิง, วางแผนและออกแบบตัวแบบทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์, สร้างกรณีการใช้งานของตัวแบบ, หาตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง, ทำการพัฒนาตัวแบบบริการ, กำหนดสมการต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง, จัดหาชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลสำหรับจำลองการทำงาน									
2) เขียนร่างวิทยานิพนธ์บทที่ 1-3									
3) ทำการทดลองเริ่มจากกำหนดตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคและตัววัดสมรรถนะทางเศรษฐศาสตร์, ออกแบบการประเมินตัวแบบ, สร้างโปรแกรมจำลองการทำงาน, กำหนดค่าตัวแปรและคำนวณค่าตัวแปรต่างๆ, ทำการจำลองการทำงานแบบต่างๆ ของระบบแคชคลาวด์ระยะแรก, ทำการวัดผล									
3. ตีพิมพ์ผลการวิจัยระยะแรกในงานประชุมวิชาการ									
1) เขียนบทความส่ง KST2015									
2) เขียนบทความส่ง ICISA2015									
3) นำเสนอบทความในงานประชุมวิชาการ									
4. สอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์									
1) เขียนร่างบทที่ 1-3									
2) ทำบทความวิจัยส่งวารสารศรีปทุมปริทัศน์									
3) สอบหัวข้อวิทยานิพนธ์									

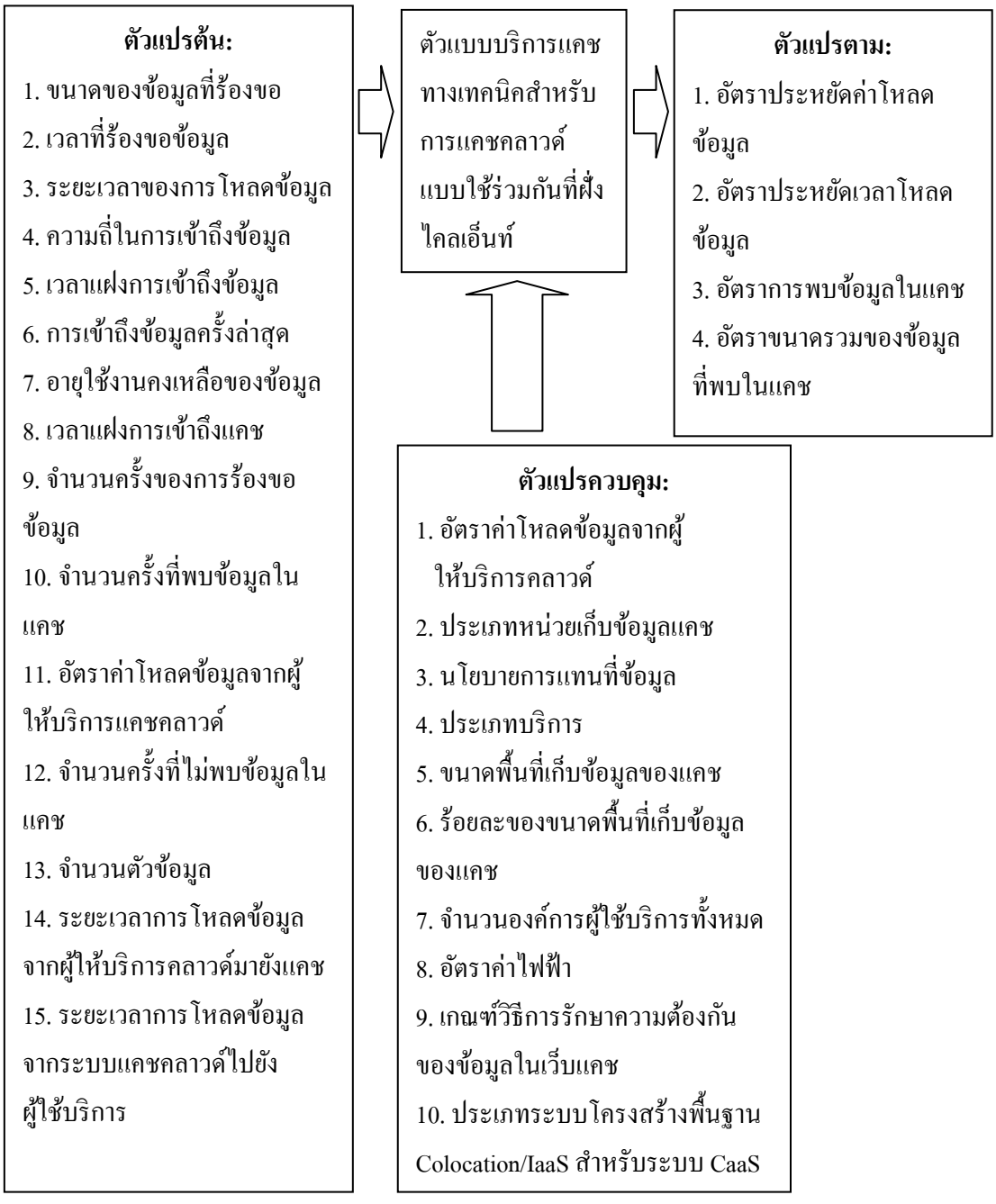
ภาพประกอบที่ 11 แผนงานวิจัย

กิจกรรมและ milestones	ระยะเวลาตามปีการศึกษาและภาคการศึกษา								
	ปี 56 ภาค1	ปี 56 ภาค2	ปี 56 ภาค3	ปี 57 ภาค1	ปี 57 ภาค2	ปี 57 ภาค3	ปี58 ภาค1	ปี58 ภาค2	ปี58 ภาค3
5. ทำการวิจัยและวัดผลวิจัยสมบูรณ์									
1) วางแผนการทำวิจัยเพิ่มในส่วนตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ในกรณีที่เช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์จากผู้ให้บริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์, ศึกษาทบทวนตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์หาตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณต้นทุนรวม TCO ในกรณีที่เช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์, ทำการพัฒนาตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ในกรณีที่เช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์,									
2) ทำการออกแบบการประเมินวัดผลตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ทั้งกรณีแบบเช่าพื้นที่โคโลเคชั่นและกรณีแบบเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์, ทำการจำลองการทำงาน, ทำการวัดผลตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ทั้ง 2 กรณี									
3) ทำการจำลองการทำงานและทำการวัดผลตัวแบบทางเทคนิคเสร็จสมบูรณ์									
4) สรุปผลวิจัย เขียนร่างวิทยานิพนธ์บทที่ 4									
5) วางแผนเตรียมการพัฒนาระบบต้นแบบบริการแคชคลาวด์ (prototype), ทำการรวบรวมข้อมูล, ทำการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างการทำงานของระบบลำดับขั้นตอนกระบวนการใช้บริการและให้บริการแคชคลาวด์และฟังก์ชั่นการทำงานภายในระบบ, ทำการวิเคราะห์ระบบและกำหนดเป็นข้อกำหนดความต้องการของระบบ (SRS)									
6) ทำการออกแบบระบบในระดับแนวคิด (conceptual design), ทำการออกแบบในระดับสถาปัตยกรรม (physical design), ทำการออกแบบระบบด้วยเครื่องมือโปรแกรมเชิงวัตถุยูเอ็มแอล, ออกแบบแผนภาพยูส, ออกแบบแผนภาพคลาส, ออกแบบแผนภาพซีเควนซ์, ออกแบบแผนภาพความสัมพันธ์เอนทิตี, และทำพจนานุกรมข้อมูล									
7) ทำการสร้างต้นแบบบริการแคชคลาวด์บน Local แล้ว Deploy ลงบนคลาวด์, ทำการศึกษาหาเครื่องมือที่เหมาะสมในการพัฒนาระบบ, ทำการพัฒนาระบบเขียนโปรแกรม และทดสอบโปรแกรม									
8) ทำการทดสอบระบบตรวจสอบการทำงานของระบบ และทำการประเมินผลการใช้งานระบบต้นแบบ									
9) สรุปผลวิจัย เขียนร่างวิทยานิพนธ์บทที่ 4-5									
6. ตีพิมพ์ผลการวิจัยสมบูรณ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ									
7. สอบวิทยานิพนธ์									

ภาพประกอบที่ 11 แผนงานวิจัย (ต่อ)

กรอบแนวคิดการวิจัย (conceptual framework)

กรอบแนวคิดการวิจัยในการศึกษาตัวแบบบริการแคชทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์สำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ให้มุมมองกระบวนการของการบริการโดยมุ่งไปที่การพัฒนาตัวแบบใหม่และการวัดผล ภาพประกอบที่ 12 แสดงกรอบแนวคิดการวิจัยตัวแบบบริการแคชทางเทคนิค และภาพประกอบที่ 13 แสดงกรอบแนวคิดการวิจัยตัวแบบบริการแคชทางเศรษฐศาสตร์ และภาพประกอบที่ 14 แสดงกรอบแนวคิดระบบบริการแคช (CaaS System)



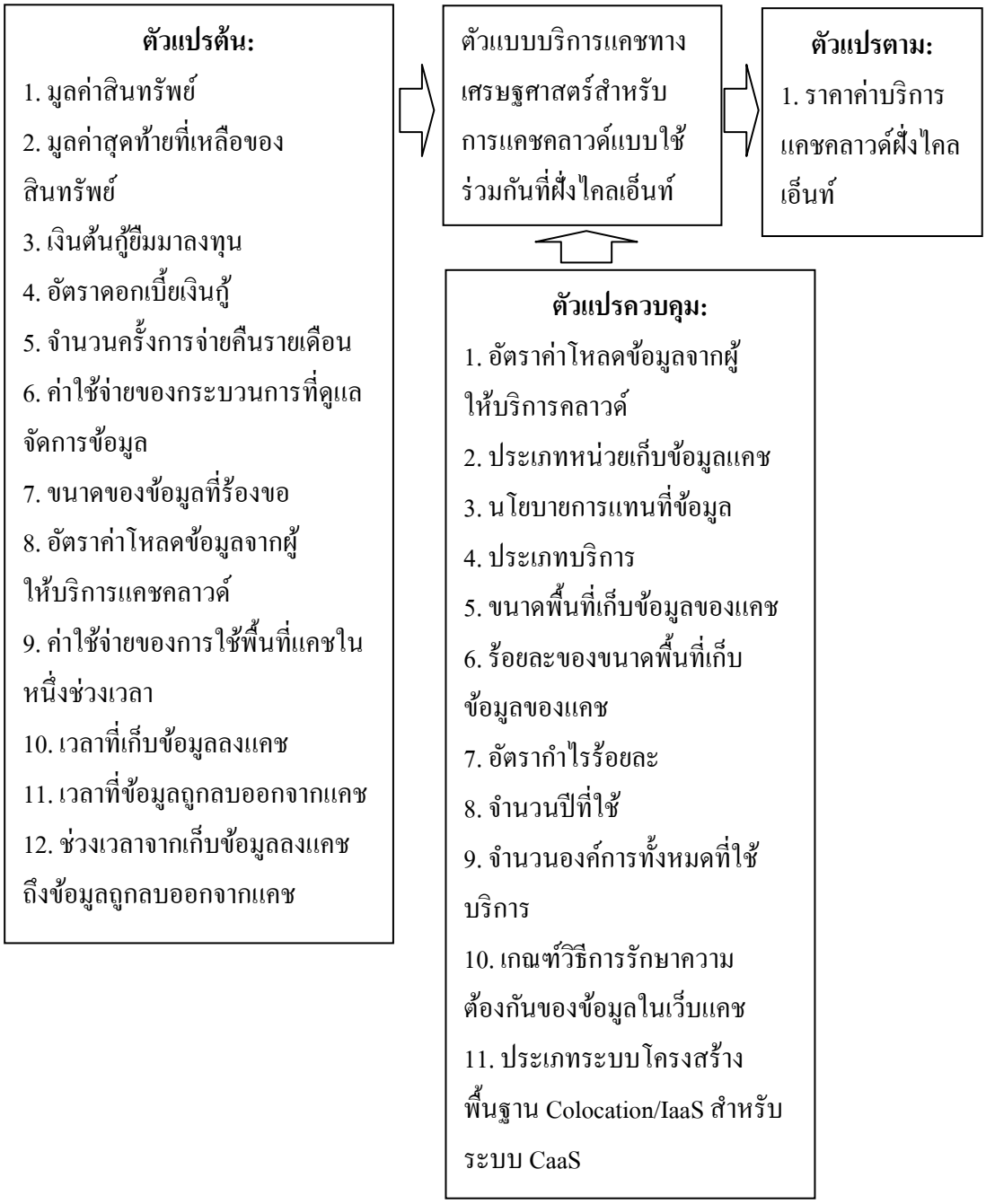
ภาพประกอบที่ 12 กรอบแนวคิดการวิจัยตัวแบบบริการแคชทางเทคนิค

กรอบแนวคิดการวิจัยตัวแบบบริการแคชทางเทคนิคประกอบด้วยตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังรายละเอียดต่อไปนี้

ตัวแปรต้น ได้แก่ 1. ขนาดของข้อมูลที่ร้องขอ คือขนาดของวัตถุข้อมูลที่มีความจำเป็นต่อการคำนวณค่าใช้บริการ 2. เวลาที่ร้องขอข้อมูลคือเวลา (time stamp) ณ เวลาที่ร้องขอข้อมูลหน่วยมิลลิวินาที 3. ระยะเวลาของการโหลดข้อมูล คือระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการโหลดข้อมูลของข้อมูลนั้นหน่วยมิลลิวินาที 4. ความถี่ในการเข้าถึงข้อมูล 5. เวลาแฝงการเข้าถึงข้อมูลคือช่วงเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเชื่อมต่อกันทางเครือข่ายและช่วงเวลาแฝงของความคั่งเฉลี่ยของเส้นทางเครือข่ายที่ถูกใช้ในการโหลด 6. การเข้าถึงข้อมูลครั้งล่าสุด 7. อายุใช้งานคงเหลือของข้อมูลคืออายุการใช้งานที่บ่งบอกถึงระยะเวลาก่อนข้อมูลจะถูกเปลี่ยนแปลงแก้ไขหรือยุติการใช้งานซึ่งอายุใช้งานคงเหลือของข้อมูลในแคชคลาวด์เกี่ยวข้องโดยตรงกับพื้นที่จัดเก็บข้อมูลของแคชคลาวด์ 8. เวลาแฝงการเข้าถึงแคช 9. จำนวนครั้งของการร้องขอข้อมูล 10.จำนวนครั้งที่พบข้อมูลในแคช 11. อัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการการแคชคลาวด์ 12. จำนวนครั้งที่ไม่พบข้อมูลในแคช 13. จำนวนตัวข้อมูล 14. ระยะเวลาการโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์มายังแคช 15. ระยะเวลาการโหลดข้อมูลจากระบบแคชคลาวด์ไปยังผู้ใช้บริการ

ตัวแปรควบคุม ได้แก่ 1. อัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์ ได้แก่ กูเกิ้ล, แอมะซอน 2. ประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคช ได้แก่ แรม, หน่วยขับโซลิดสเตท, หน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง 3. นโยบายการแทนที่ข้อมูล 4. ประเภทบริการแบบแยกเดี่ยวหรือแบบใช้ร่วมกัน 5. ขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 6. ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 7. จำนวนองค์การผู้ใช้บริการทั้งหมด 8. อัตราค่าไฟฟ้า 9. เกณฑ์วิธีการรักษาความต้องกันของข้อมูลในเว็บแคช

ตัวแปรตาม ได้แก่ 1. อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล 2. อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล 3. อัตราการพบข้อมูลในแคช 4. อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช



ภาพประกอบที่ 13 กรอบแนวคิดการวิจัยตัวแบบบริการแคชทางเศรษฐศาสตร์

กรอบแนวคิดการวิจัยตัวแบบบริการแคชทางเศรษฐศาสตร์ประกอบด้วยตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้

ตัวแปรต้น ได้แก่ 1. มูลค่าสินทรัพย์ (เครื่องบริการ, แรม, หน่วยขับโซลิดสเตท, หน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง, ค่าบริการติดตั้งโคโลเคชั่น) 2. มูลค่าสุดท้ายที่เหลือของสินทรัพย์ 3. เงินต้นกู้ยืมมาลงทุน (เงินเดือนผู้ดูแลระบบ, ค่าเช่าพื้นที่โคโลเคชั่นหรือค่าเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์เพื่อขึ้นระบบ, ค่าบำรุงรักษาฮาร์ดแวร์, ค่าบำรุงรักษาซอฟต์แวร์) 4. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 5. จำนวนครั้งการจ่ายคืนเป็นรายเดือน 6. ค่าใช้จ่ายของกระบวนการที่ดูแลจัดการข้อมูล 7. ขนาดของข้อมูลที่ร้องขอ 8. อัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการการแคชคลาวด์ 9. ค่าใช้จ่ายของการใช้พื้นที่แคชในหนึ่งช่วงเวลา 10. เวลาที่เก็บข้อมูลลงแคช 11. เวลาที่ข้อมูลถูกลบออกจากแคช 12. ช่วงเวลาจากเก็บข้อมูลลงแคชถึงข้อมูลถูกลบออกจากแคช

ตัวแปรควบคุม ได้แก่ 1. อัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์ ได้แก่ กูเกิ้ล, แอมะซอน 2. ประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคช ได้แก่ แรม, หน่วยขับโซลิดสเตท, หน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง 3. นโยบายการแทนที่ข้อมูล 4. ประเภทบริการแบบแยกเดี่ยวหรือแบบใช้ร่วมกัน 5. ขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 6. ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 7. อัตรากำไรร้อยละ 8. จำนวนปีที่ใช้ 9. จำนวนองค์การทั้งหมดที่ใช้บริการ 10. เกณฑ์วิธีการรักษาความต้องกันของข้อมูลในเว็บแคช 11. ประเภทระบบโครงสร้างพื้นฐาน Colocation/IaaS สำหรับระบบ CaaS

ตัวแปรตาม ได้แก่ ราคาค่าบริการแคชคลาวด์ฝั่งไคลเอ็นท์

ภาพประกอบที่ 14 กรอบแนวคิดระบบบริการแคช (CaaS System)

กรอบแนวคิดระบบบริการแคชประกอบด้วยตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้

ตัวแปรต้น ได้แก่ 1. ชุดข้อมูลที่ร้องขอ 2. ขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 3. นโยบายการแทนที่ข้อมูล

ตัวแปรตาม ได้แก่ 1. ความพึงพอใจของผู้ใช้ 2. ผลการทดสอบระบบตามยูสเคส

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

สำหรับชุดข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยเพื่อจำลองการทำงานตัวแบบบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์เป็นชุดคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บที่ถูกรวบรวมมาจากคำร้องขอที่ส่งไปยังเว็บไซต์ต่างๆ บนอินเทอร์เน็ตโดยประชากรกลุ่มผู้ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีการเชื่อมต่อกับเว็บแคชของโครงการ IRCache (NSF and NLANR, 2015) ซึ่งเป็นโครงการสนับสนุนการทำวิจัยด้านเว็บแคชของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้เลือกมาเฉพาะกลุ่มผู้ใช้ที่เข้าถึงเว็บที่ได้รับความนิยมสูงสุด 50โดเมนแรก ทั้งนี้เพื่อเป็นการจำลองสภาพการณ์ขององค์การขนาดใหญ่ (มีบุคลากรมากกว่า 200 คน) ที่มีปริมาณการรับส่งข้อมูลที่มีนัยสำคัญอยู่บนคลาวด์ส่วนบุคคลขององค์การ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. การสร้างโปรแกรมจำลองการทำงานใช้ภาษาจาวาและจาวารันไทม์ (Java (TM) SE Runtime Environment) รุ่น 1.8.0_20-b26 ที่สามารถนำเข้าชุดข้อมูลและประมวลผลการแคชในสภาวะแวดล้อมแบบคลาวด์ที่มีการกำหนดค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องทั้งหมด และใช้เน็ตบีนส์ (NetBeans) รุ่น 8.0.2 Patch 2 เป็นเครื่องมือหนึ่งในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ด้วยภาษาจาวา ซึ่งโปรแกรมเน็ตบีนส์เป็นซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ซที่มีความสามารถสูงในการสนับสนุนการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์

2. รายการฮาร์ดแวร์ได้แก่ คอมพิวเตอร์ 1 ชุดสำหรับพัฒนาโปรแกรมและจำลองการทำงานระบบแคชคลาวด์ สำหรับข้อกำหนดเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้จำลองการทำงานเป็นหน่วยประมวลอินเทลแกน i7-3667 U ซีพียู 2.00 จิกะเฮิร์ทซ์หน่วยความจำหลักขนาด 6 จิกะไบต์ ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 7 รุ่น 64 บิต

การรวบรวมข้อมูล

1. ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลของงานวิจัย ใช้ชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บในอดีตที่ถูกรวบรวมบันทึกไว้อย่างสม่ำเสมอโดยโครงการ IRCache และถูกเผยแพร่สู่สาธารณะผ่านเว็บไซต์ของโครงการ เพื่อทำการจำลองสถานการณ์การทำงานของตัวแบบบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์

2. การประมวลผลเบื้องต้นของข้อมูลนำเข้า ชุดข้อมูลนำเข้าที่ใช้เป็นชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บในอดีตเฉพาะของ 50 โดเมนแรกที่มีจำนวนคำร้องขอข้อมูลสูงสุดจำนวน 2 ชุดข้อมูล แต่ละชุดถูกรวบรวมมาจากเว็บแคชในเมือง Boulder และ New York โดยทั้ง 2 ชุดข้อมูลคำร้องขอถูกรวบรวมไว้เป็นเวลา 31 วัน แต่ละรายการคำร้องขอข้อมูล (transactions) ประกอบไปด้วยข้อมูลปัจจัยที่จำเป็นต่อการจำลองการทำงานดังนี้ เวลาที่ร้องขอข้อมูล, แหล่งที่อยู่ของข้อมูลในอินเทอร์เน็ต (URL), ระยะเวลาของการโหลดข้อมูล (download latency) ซึ่งเป็นผลรวมของระยะเวลาแท้จริงในการสร้างการเชื่อมต่อและการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายจากเครื่องบริการมายังแคช, ขนาดของข้อมูลที่ร้องขอ (object size), และเวลาที่ข้อมูลหมดอายุใช้งาน (expires)

3. การจัดเตรียมชุดข้อมูลนำเข้าเพื่อเป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่และเป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไปเพื่อการจำลองสถานการณ์การทำงาน โดยการนำชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บในอดีตเฉพาะของ 50 โดเมนแรกที่รวบรวมมาจากเว็บแคชในเมือง Boulder มาทำการสร้างเป็นชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่โดยการปรับขนาดข้อมูลให้สอดคล้องกับลักษณะข้อมูลที่ใช้ศึกษา ได้เป็นชุดข้อมูลตัวแทนจากองค์การที่มีลักษณะเน้นการใช้ข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่ โดยที่ปริมาณข้อมูลทั้งหมด (Banditwattanawong et al., 2016) เป็นลักษณะชุดข้อมูลเป็นตัวแทนขององค์การในสถานการณ์ที่องค์การใช้ข้อมูลที่อยู่บนคลาวด์ โดยการโอนถ่ายข้อมูลออกมาจากคลาวด์ด้วยอัตราความเร็ว 10 Gbps Metro Ethernet กับการใช้แบนด์วิดธ์ 50% โหลดข้อมูลและมีการใช้เวลา 8 ชั่วโมงการทำงานต่อวันโดยมีจำนวนข้อมูลคลาวด์ทั้งหมดที่ถ่ายโอนออกจากคลาวด์ 4,570.31 เทระไบต์ต่อปี (ราว 260 วันทำงานต่อปี) หรือ 380.86 เทระไบต์ต่อเดือน ซึ่งชุดข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่ประกอบด้วยเนื้อหาดิจิทัลขนาดใหญ่ คือ แฟ้มข้อมูลวีดิทัศน์ขนาดใหญ่ความละเอียดสูงขนาดข้อมูล 50 จิกะไบต์, แฟ้มข้อมูลการทำให้เคลื่อนไหวขนาดข้อมูล 20 จิกะไบต์, เนื้อหาการเรียนการสอนผ่านทางสื่ออิเล็กทรอนิกส์ขนาดข้อมูล 15 จิกะไบต์, แฟ้มข้อมูลวีดิทัศน์ความละเอียดมาตรฐานขนาดข้อมูล 4.7 จิกะไบต์ และนำชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บในอดีตเฉพาะของ 50 โดเมนแรกที่รวบรวมมาจากเว็บแคชในเมือง Boulder มาทำการสร้างเป็นชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไปโดยการปรับขนาดข้อมูลให้สอดคล้องกับลักษณะข้อมูลที่ใช้ศึกษา ได้เป็นชุดข้อมูลตัวแทนจากองค์การที่มีลักษณะเน้นการใช้ข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไป โดยที่ปริมาณข้อมูลทั้งหมด (Sriwiroj and Banditwattanawong, 2015) เป็นลักษณะชุดข้อมูลเป็นตัวแทนขององค์การในสถานการณ์ที่องค์การใช้ข้อมูลที่อยู่บนคลาวด์ โดยการโอนถ่ายข้อมูลออกมาจากคลาวด์ด้วยอัตราความเร็ว 10 Gbps Metro Ethernet กับการใช้แบนด์วิดธ์ 50% โหลดข้อมูล และมีการใช้เวลา 8 ชั่วโมงการทำงานต่อวัน โดยมีจำนวนข้อมูลคลาวด์ทั้งหมดที่ถ่ายโอนออก 6,697.69 จิกะไบต์ต่อเดือน ซึ่งชุดข้อมูล

คลาวด์ขนาดทั่วไปประกอบด้วยเนื้อหาดิจิทัล คือ แฟ้มข้อมูลวีดิทัศน์ความละเอียดมาตรฐานขนาดข้อมูลประมาณ 4.7 จิกะไบต์, แฟ้มข้อมูลโสตการเรียนรู้รูปแบบเอ็มพีสาม เอ็มพีสี่ขนาดข้อมูลประมาณ 300 เมกะไบต์, ภาพความละเอียดสูงรูปแบบเจเพ็ก ทิฟฟ์ จิฟฯ ขนาดข้อมูลประมาณ 25 เมกะไบต์, ภาพความละเอียดสูงรูปแบบเจเพ็ก ทิฟฟ์ จิฟฯ ขนาดข้อมูลประมาณ 7 เมกะไบต์, แฟ้มข้อมูลเอกสารคลาวด์อื่นๆ ขนาดข้อมูลประมาณ 1 เมกะไบต์

4. การจัดเตรียมข้อมูลปัจจัยอื่นที่ต้องใช้ในการวิจัยแต่ไม่มีในชุดคำร้องขอข้อมูลเว็บในอดีต คือ จำนวนครั้งที่ข้อมูลถูกร้องขอในอดีตสามารถนับได้จากจำนวนรายการคำร้องขอข้อมูลนั้นๆ ที่พบในชุดคำร้องขอข้อมูล, อัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์ใช้อัตราค่าบริการข้อมูลที่กำหนดโดยผู้ให้บริการคลาวด์สาธารณะ เช่น อะเมซอน (Amazon, 2014), กูเกิ้ล (Google, 2014) ซึ่งอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์นี้ไม่ว่าปลายทางจะเป็นที่ใดคือโหลดข้อมูลไปยังผู้ใช้บริการหรือไปยังระบบแคชคลาวด์ก็จะคิดอัตราค่าใช้จ่ายส่วนนี้เท่ากัน

การวิเคราะห์ข้อมูล

การประมวลผลการทำงานโดยใช้โปรแกรมจำลองการทำงานที่พัฒนาขึ้นด้วยภาษาจาวา สามารถนำเข้าชุดข้อมูลคำร้องขอการโหลดข้อมูลเว็บในอดีต และโปรแกรมจำลองการทำงานสามารถกำหนดค่าการจำลองการทำงานและสามารถกำหนดค่าตัวแปรต้นต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น เลือกกำหนดค่าประเภทบริการและเลือกกำหนดค่าประเภทของแคชเพื่อจำลองการทำงานได้ และสามารถกำหนดค่าขนาดพื้นที่จัดเก็บข้อมูลของแคชเพื่อศึกษาสมรรถนะการทำงานที่เปลี่ยนไปได้ และสามารถวัดผลประสิทธิภาพการทำงานของตัวแบบในรูปแบบของข้อมูลนำออกเชิงสถิติตามหน่วยวัดต่างๆ ได้ซึ่งได้แก่ หน่วยวัดสมรรถนะเชิงเศรษฐศาสตร์คือ ราคาค่าบริการแคชคลาวด์ฝั่งไคลเอ็นท์ และหน่วยวัดสมรรถนะเชิงเทคนิค อันได้แก่ อัตราการพบข้อมูลในแคช, อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช, อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล, และอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล และผลลัพธ์ประสิทธิภาพการทำงานของตัวแบบบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ถูกรวบรวมจากข้อมูลนำออกของโปรแกรมจำลองการทำงานระบบแคชคลาวด์ที่ซึ่งได้ทำการเลือกกำหนดค่าตัวแปรต้นที่เกี่ยวข้องทั้งหมดที่ต่างกันในแต่ละครั้งของการจำลองการทำงานบนชุดข้อมูลนำเข้าชุดเดียวกัน สถิติเชิงประสิทธิภาพถูกรายงานผลโดยโปรแกรมจำลองการทำงานระบบแคชคลาวด์ในรูปแบบของหน่วยวัดสมรรถนะเชิงเศรษฐศาสตร์และเชิงเทคนิค

1. การกำหนดตัวแปร

การจำลองการทำงานของตัวแบบบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ทั้งหมดถูกวิเคราะห์ด้วยสถิติบรรยาย (descriptive statistics) โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องเป็น ตัวแปรอิสระ (independent variable) ซึ่งเป็นปัจจัยต่างๆ ที่ผู้วิจัยดำเนินการจัดการโดยตรง, ตัวแปรตาม (dependent variable) เป็นตัวแปรที่ถูกวัดค่าได้ (Glazunov, 2012), และตัวแปรควบคุม (controlled variables) เป็นปัจจัยต่างๆ ที่เลือกโดยผู้วิจัยเพื่อทำการเปรียบเทียบ (Ott and Longnecker, 2010) และทำการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง ตามภาพประกอบที่ 12 และภาพประกอบที่ 13 ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์และรวบรวมไว้

สำหรับเกณฑ์วิธีการรักษาความต้องกันของข้อมูลในเว็บแคช (Web cache consistency protocols) ใช้สำหรับปรับเนื้อหาของข้อมูลในเว็บแคชให้เป็นปัจจุบันเหมือนกับเนื้อหาของข้อมูลต้นฉบับล่าสุดบนแม่ข่ายซึ่งอาจถูกเปลี่ยนแปลงไปจากเนื้อหาเดิมที่เว็บแคชโหลดไปก่อนหน้า ถ้าเว็บแคชถูกกำหนดให้ใช้เกณฑ์วิธีการรักษาความต้องกันแบบเข้มงวด เนื้อหาของข้อมูลในเว็บแคชจะถูกปรับให้เหมือนกับข้อมูลต้นฉบับบนแม่ข่ายเสมอด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่งข้อมูลที่ผู้ร้องขออ่านไปจากเว็บแคชจึงเป็นข้อมูลที่ทันสมัยเสมอ แต่เกณฑ์วิธีแบบนี้จำเป็นต้องทำการโหลดข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตเป็นปริมาณมาก เว็บแคชส่วนใหญ่ในปัจจุบันใช้เกณฑ์วิธีแบบไม่เข้มงวดโดยข้อมูลในเว็บแคชจะถูกกำหนดวันหมดอายุ หลังจากวันดังกล่าว เว็บแคชจะต้องโหลดข้อมูลใหม่จากแม่ข่าย (หากต้นฉบับมีการเปลี่ยนแปลง) ก่อนส่งต่อให้ผู้ร้องขอข้อมูล ทำให้ปริมาณการโหลดข้อมูลจากแม่ข่ายมายังเว็บแคชน้อยกว่าเกณฑ์วิธีแบบเข้มงวดเพราะไม่จำเป็นต้องโหลดข้อมูลทุกครั้งที่ข้อมูลต้นฉบับถูกเปลี่ยนแปลงแต่โหลดใหม่เฉพาะเมื่อผู้ใช้ร้องขอและข้อมูลหมดอายุแล้ว (Yin, 2002) ซึ่งเป็นผลดีต่อองค์การที่ต้องการใช้เว็บแคชเป็นเครื่องมือในการประหยัดค่าโหลดข้อมูล

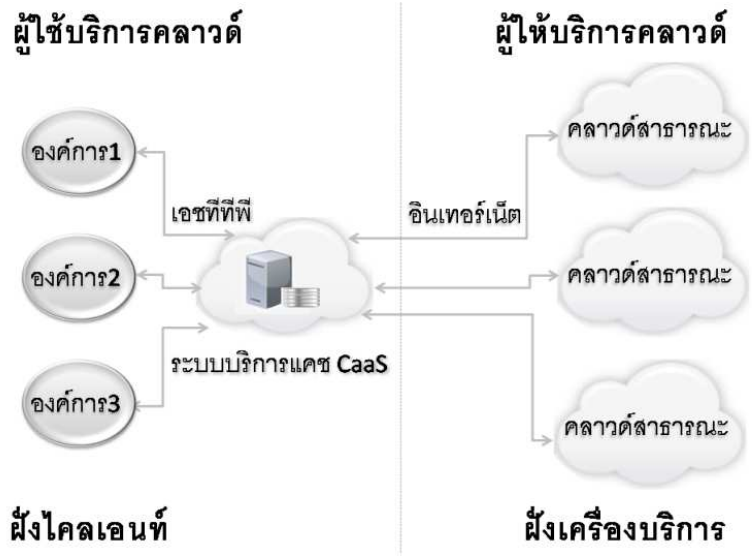
2. การออกแบบตัวแบบบริการแคชคลาวด์

1) ตัวแบบทางเทคนิค

- การติดตั้งใช้งานระบบบริการแคชคลาวด์ (deployment system)

การติดตั้งใช้งานระบบบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ระบบจะถูกติดตั้งอยู่ในพื้นที่ใกล้องค์การของผู้ใช้เพื่อทำหน้าที่เก็บสำเนาข้อมูลที่โหลดมาจากคลาวด์ระยะไกลซึ่งมีโอกาสถูกเรียกใช้ซ้ำอีกไว้ใช้ในอนาคตเมื่อมีผู้ใช้เรียกใช้ข้อมูลเดิมก็ไม่ต้องโหลดข้อมูลจากทางผู้ให้บริการคลาวด์อีกเป็นการช่วยลดการใช้แบนด์วิดท์ในเครือข่าย ประหยัด

ค่าใช้จ่ายในการโหลดข้อมูล และช่วยให้ส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้เร็วขึ้น การติดตั้งใช้งานระบบบริการแคช CaaS แสดงตามภาพประกอบที่ 15



ภาพประกอบที่ 15 รูปแบบการใช้บริการแคช CaaS

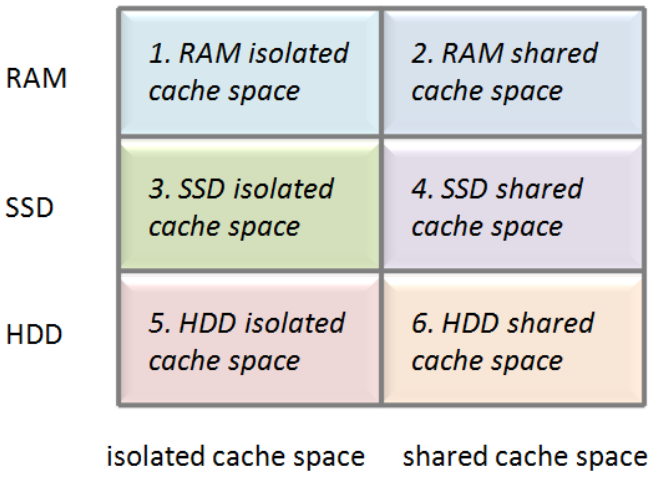
- กรณีการใช้งานตัวแบบ (use cases)

การให้บริการการแคชคลาวด์จำเป็นต้องจัดเตรียมตัวแบบทางเทคนิคของบริการแคชที่มีความยืดหยุ่นเพื่อให้ผู้ใช้มีทางเลือกที่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้ ตัวแบบทางเทคนิคของบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ที่เสนอจะเกิดจากองค์ประกอบ 2 มิติคือ

มิติแรกหมายถึงศักยภาพของเทคโนโลยีการจัดเก็บที่ใช้เป็นพื้นที่แคชที่มีแตกต่างกันของเวลาในการเข้าถึงข้อมูลคือแรม, หน่วยขับโซลิดสเตท, และหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง

มิติที่สองหมายถึงลักษณะการใช้งานซึ่งเป็นทางเลือกระหว่างการใช้พื้นที่แคชร่วมกันข้ามกลุ่มผู้ใช้ (shared cache space) ซึ่งการใช้พื้นที่แคชร่วมกันจะทำให้เกิดการประหยัดการใช้ทรัพยากรและใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างคุ้มค่าเหมาะกับหน่วยงานที่อยู่ภายใต้องค์การเดียวกันหรือมีความร่วมมือกันทางธุรกิจ หรือทางเลือกที่ผู้ใช้บริการกำหนดใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว (isolated cache space) เนื่องจากต้องการความเป็นส่วนตัวของข้อมูล

โดยการบูรณาการ 2 มิติดังกล่าวข้างต้นทำให้สามารถเสนอชุดตัวแบบทางเทคนิคซึ่งประกอบด้วย 6 ตัวแบบ แสดงตามภาพประกอบที่ 16



ภาพประกอบที่ 16 ชุดตัวแบบทางเทคนิคของบริการแคชคลาวด์

- ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว (RAM isolated cache space) เหมาะกับผู้ใช้ที่ต้องการความเร็วในการเข้าถึงและการถ่ายโอนข้อมูลสูงที่สุดและให้ความสำคัญกับความปลอดภัยของข้อมูลและความเป็นส่วนตัวของข้อมูล

- ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน (RAM shared cache space) เหมาะกับผู้ใช้ที่ต้องการความเร็วในการเข้าถึงและการถ่ายโอนข้อมูลสูงที่สุดและองค์การมีลักษณะที่หน่วยงานในสังกัดที่สามารถใช้พื้นที่แคชข้อมูลร่วมกันได้ เช่น ธุรกิจขนาดใหญ่ที่มีหลายสาขา

- ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว (SSD isolated cache space) เหมาะกับผู้ใช้องค์การที่ต้องการความเร็วในการเข้าถึงและการถ่ายโอนข้อมูลที่สูงและมีความเป็นส่วนตัวของข้อมูลมีงานที่ต้องโหลดข้อมูลใหม่ขนาดไฟล์ใหญ่ปริมาณมากอยู่เรื่อยๆ แต่มีงบประมาณปานกลาง เช่น ธุรกิจขนาดกลาง

- ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน (SSD shared cache space) เหมาะกับผู้ใช้องค์การที่ต้องการความเร็วในการเข้าถึงและการถ่ายโอนข้อมูลที่สูงและองค์การมีลักษณะที่หน่วยงานภายใต้สามารถใช้พื้นที่แคชข้อมูลร่วมกันได้แต่ยังมีข้อจำกัดเรื่องงบประมาณระดับหนึ่ง เช่น สถาบันการศึกษา

- ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว (HDD isolated cache space) เหมาะกับผู้ใช้องค์การที่ต้องการความเร็วในการเข้าถึงและการถ่ายโอนข้อมูลสูงระดับมาตรฐานปรกติและต้องการความเป็นส่วนตัวของข้อมูลและความปลอดภัยของข้อมูลมีงานที่ต้องโหลดข้อมูลใหม่ปริมาณมากขนาดไฟล์ใหญ่แต่มีงบประมาณน้อย เช่น ธุรกิจขนาดเล็ก

- ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน (HDD shared cache space) เหมาะกับผู้ใช้องค์การที่ต้องการความเร็วในการเข้าถึงและการถ่ายโอนข้อมูลที่

สูงระดับมาตรฐานปรกติและองค์การมีลักษณะที่หน่วยงานภายใต้หลายหน่วยงานสามารถใช้พื้นที่แคชข้อมูลร่วมกันได้และมีงานที่ต้องโหลดข้อมูลปริมาณมากขนาดไฟล์ใหญ่ มีงบประมาณน้อย เช่น หน่วยงานภาครัฐ

2) ตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์

การกำหนดสมการต่างๆ (formulate equations) ของตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ของบริการแคชคลาวด์เกี่ยวข้องกับหลายปัจจัยค่าใช้จ่ายและหลายตัวแปร โดยสมการต่างๆ จะอยู่บนพื้นฐานการพิจารณาให้ความสำคัญในหลายด้านทั้งเงินลงทุน, ค่าใช้จ่ายดำเนินการ, และอัตรากำไรขั้นต้น ซึ่งในการกำหนดสมการจำเป็นต้องเข้าใจเรื่องค่าใช้จ่ายพื้นฐานในการให้บริการ 2 ส่วนหลัก ส่วนแรกคือค่าใช้จ่ายในการลงทุน (CapEx) ซึ่งเป็นต้นทุนที่เป็นค่าใช้จ่ายสำหรับการเริ่มต้นธุรกิจหรือระบบบริการเพื่อซื้อสินทรัพย์ถาวรมาใช้ในการดำเนินงานซึ่งค่าใช้จ่ายนี้ต้องคำนวณตัดค่าเสื่อมราคาสินทรัพย์ตลอดช่วงเวลาการใช้งานหรือลดค่าลงในทุกรอบระยะเวลาขึ้นอยู่กับกฎเกณฑ์ที่กำหนด, ส่วนที่สองคือค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (OpEx) เป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินธุรกิจ เช่น ค่าใช้จ่ายทั่วไปและค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการ ซึ่งค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ต้นทุนคงที่ (OpExf) ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายคงที่ทุกงวด, และต้นทุนผันแปร (OpExv) ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายตามระยะเวลาที่แตกต่างของการให้บริการ

ตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ของบริการแคชคลาวด์มาจากการคำนวณ AC คือค่าใช้จ่ายจริงทั้งหมดซึ่งเป็นผลรวมของ CapEx กับ OpEx บวกรวมกับ PF คือกำไรทั้งหมด ได้เป็น PR เป็นสมการพื้นฐานตัวแบบการกำหนดราคา

$$PR = AC + PF \quad (1)$$

โดยจะนำเสนอตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ของบริการแคชคลาวด์ 2 ตัวแบบ ได้แก่ 1. ตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ของบริการแคชคลาวด์กรณีเช่าพื้นที่โคโลเคชั่น (colocation) และ 2. ตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ของบริการแคชคลาวด์กรณีเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ (IaaS)

2.1) กรณีเช่าพื้นที่โคโลเคชั่น เป็นการเช่าพื้นที่ชั้นวางเครื่องบริการ (server rack) เพื่อนำเครื่องบริการ เครื่องบริการฐานข้อมูล และอุปกรณ์แคช มาฝากวางไว้กับผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตคาตาเซ็นเตอร์เพื่อเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง โดยทำสัญญาเช่าพื้นที่ในการวางเครื่องบริการและคิดค่าบริการเป็นรายเดือน

สำหรับสมการคำนวณ CapEx จะต้องมีการคำนวณการเสื่อมราคา (depreciation) ตลอดอายุการใช้งานของแต่ละสินทรัพย์ถาวร กำหนด D_d คือค่าเสื่อมราคาต่อปีของสินทรัพย์ถาวร, d คือชุดของสินทรัพย์ถาวร {โครงสร้างพื้นฐาน, ฮาร์ดแวร์, ซอฟต์แวร์}, C_d คือมูลค่าสินทรัพย์, R_d คือมูลค่าสุดท้ายที่เหลือของสินทรัพย์, p_d คือจำนวนปีที่ใช้

$$D_d = ((C_d - R_d) / p_d) / 12 \quad (2)$$

สมการ CapEx รายเดือนต่อผู้ใช้บริการหนึ่งไซต์ กำหนด P คือจำนวนไซต์ทั้งหมดของผู้ใช้บริการ ได้สมการคือ

$$CapEx = \sum D_d / P \quad (3)$$

สมการ PfCapEx เป็นการคิดกำไรจากส่วนของ CapEx กำหนด pm คืออัตราเปอร์เซ็นกำไรที่ต้องการ ได้สมการคือ

$$PfCapEx = (CapEx \times pm) / 100 \quad (4)$$

ดังนั้นสมการตัวแบบการกำหนดราคาส่วนของ CapEx คือ

$$PRCapEx = CapEx + PfCapEx \quad (5)$$

สำหรับสมการคำนวณ OpExf จะต้องอยู่ในรูปของค่าตัดจำหน่าย (amortization) ที่ซึ่งเป็นกระบวนการทางบัญชีของจำนวนเงินในระหว่างช่วงเวลา กำหนด A_{am} คือค่าตัดจำหน่าย, P คือเงินต้นกู้ยืมมาลงทุน, e คืออัตราดอกเบี้ย, q คือจำนวนครั้งการจ่ายคืนเป็นรายเดือน, am คือชุดของเงินกู้ยืมสำหรับ {เงินเดือนผู้ดูแลระบบ, ค่าเช่าพื้นที่โคโลเคชั่นเพื่อขึ้นระบบ, ค่าบำรุงรักษาฮาร์ดแวร์, ค่าบำรุงรักษาซอฟต์แวร์}, ได้สมการคือ

$$A_{am} = (P_{am} \times e_{am} \times (1 + e_{am})q_{am}) / ((1 + e_{am})q_{am} - 1) \quad (6)$$

สมการ OpExf รายเดือนต่อผู้ใช้บริการหนึ่งไซต์คือ

$$OpExf = \sum A_{am} / P \quad (7)$$

สมการ PfOpExf เป็นการคิดกำไรจากส่วนของ OpExf คือ

$$PfOpExf = (OpExf \times pm) / 100 \quad (8)$$

ดังนั้นสมการตัวแบบการกำหนดราคาส่วนของ OpExf คือ

$$PROpExf = OpExf + PfOpExf \quad (9)$$

สำหรับสมการคำนวณ OpExv จะต้องพิจารณาจากตัวข้อมูลที่ก่อให้เกิดค่าใช้จ่าย กำหนด o_i คือตัวข้อมูล, $Sg_co_i(\Delta t)$ คือค่าใช้จ่ายที่ข้อมูลถูกเก็บรักษาอยู่ในแคชในช่วงเวลาหนึ่ง, t_{store} คือเวลาที่เก็บข้อมูลลงแคช, t_{evict} คือเวลาที่ข้อมูลถูกลบออกจากแคช, Δt คือช่วงเวลาจาก t_{store} ถึง t_{evict}, To_i คือค่าโหลดข้อมูลจากคลาวด์มาที่ระบบแคชคลาวด์, $S_co_i(\Delta t)$ คือค่าการใช้พื้นที่แคชในช่วงเวลาหนึ่ง สมการคำนวณค่าใช้จ่ายที่ข้อมูลถูกเก็บรักษาอยู่ในแคชคือ

$$Sg_co_i(\Delta t) = To_i + S_co_i(\Delta t) \quad (10)$$

สมการคำนวณค่าใช้จ่ายในส่วนของการทำการแคช

กำหนด M_po_i คือค่าใช้จ่ายของกระบวนการที่ดูแลจัดการข้อมูล, Oo_i คือค่าใช้บริการ CaaS ในการส่งออกข้อมูลให้กับผู้ใช้ ซึ่งในการแคชจะมีตรรกะเป็น 2 กรณีคือ กรณีแรกไม่พบข้อมูลในแคชจะเรียกว่า cache-miss และกรณีพบข้อมูลในแคชจะเรียกว่า cache-hit ซึ่งสมการในกรณี cache-miss คือ

$$Cmiss_{c,p}o_i = M_po_i + Sg_co_i(\Delta t) + Oo_i \quad (11)$$

สมการกำไรของกรณี cache-miss คือ $Pfmisso_i$ ดังนี้

$$Pfmisso_i = (Cmiss_{c,p}o_i \times pm) / 100 \quad (12)$$

สมการตัวแบบการกำหนดราคาในกรณี cache-miss คือ

$$PRmiss_{c,p}o_i = Cmiss_{c,p}o_i + Pfmisso_i \quad (13)$$

และสมการในกรณี cache-hit คือ

$$Chit_{c,p}o_i = M_p o_i + Oo_i \quad (14)$$

สมการกำไรของกรณี cache-hit คือ $Pfhito_i$ ดังนี้

$$Pfhito_i = (Chit_{c,p}o_i \times pm) / 100 \quad (15)$$

สมการตัวแบบการกำหนดราคาในกรณี cache-hit คือ

$$PRhit_{c,p}o_i = Chit_{c,p}o_i + Pfhito_i \quad (16)$$

ดังนั้นสมการตัวแบบการกำหนดราคาส่วนของ OpExv กำหนด h คือจำนวน cache-hit ต่อเดือน, m คือจำนวน cache-miss ต่อเดือน, j คือครั้งที่ hit, l คือครั้งที่ miss, คือ

$$PROpExv = \left(\sum_{l=1}^{m} PRmiss_{c,p}o_i + \sum_{j=1}^{h} PRhit_{c,p}o_i \right) / P \quad (17)$$

ดังนั้นสมการตัวแบบการกำหนดราคาส่วนของ OpEx คือ

$$PROpEx = PROpExf + PROpExv \quad (18)$$

และสุดท้าย สมการตัวแบบการกำหนดราคาสำหรับบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ในการคิดราคาค่าบริการต่อหนึ่งผู้ใช้บริการต่อเดือน คือ

$$PR = PRCapEx + PROpEx \quad (19)$$

2.2) กรณีเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ เป็นการเช่าบริการทรัพยากรการคำนวณอันได้แก่ เครื่องบริการ หน่วยประมวลผล หน่วยเก็บข้อมูล ระบบปฏิบัติการ ช่องสัญญาณในการส่งข้อมูล และส่วนประกอบอื่นๆ สำหรับเครื่องบริการ และระบบเครือข่ายความเร็วสูง ที่เป็นแบบเวอร์ชวล

ไลเซชั่นที่ทำงานอยู่บนระบบคลาวด์ที่มีระบบความปลอดภัยสูง โดยทำสัญญาเช่าบริการคิดค่าบริการเป็นรายเดือน

สำหรับสมการคำนวณ CapEx จะต้องมีการคำนวณการเสื่อมราคา (depreciation) ตลอดอายุการใช้งานของแต่ละสินทรัพย์ถาวร กำ หนด Dd คือค่าเสื่อมราคาต่อปีของสินทรัพย์ถาวร, d คือชุดของสินทรัพย์ถาวร {ซอฟต์แวร์}, Cd คือมูลค่าสินทรัพย์, Rd คือมูลค่าสุดท้ายที่เหลือของสินทรัพย์, pd คือจำนวนปีที่ใช้

$$Dd = ((Cd - Rd) / pd) / 12 \quad (20)$$

สมการ CapEx รายเดือนต่อผู้ใช้บริการหนึ่งไซต์ กำหนด P คือจำนวนไซต์ทั้ง หมดของผู้ใช้บริการได้สมการคือ

$$CapEx = \sum Dd / P \quad (21)$$

สำหรับสมการคำนวณ OpExf จะต้องอยู่ในรูปของค่าตัดจำหน่าย (amortization) ที่ซึ่งเป็นกระบวนการทางบัญชีของจำนวนเงินในระหว่างช่วงเวลา กำหนด Aam คือค่าตัดจำหน่าย, P คือเงินต้นกู้ยืมมาลงทุน, e คืออัตราดอกเบี้ย , q คือจำนวนครั้งการจ่ายคืนเป็นรายเดือน, am คือชุดของเงินกู้ยืมสำหรับ {เงินเดือนผู้ดูแลระบบ, ค่าเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์เพื่อขึ้นระบบบริการแคช}, ได้สมการคือ

$$A_{am} = (P_{am} \times e_{am} \times (1 + e_{am})^{q}{}_{am}) / ((1 + e_{am})^{q}{}_{am} - 1) \quad (22)$$

สมการ OpExf รายเดือนต่อผู้ใช้บริการหนึ่งไซต์คือ

$$OpExf = \sum Aam / P \quad (23)$$

สำหรับสมการคำนวณ OpExv จะต้องพิจารณาจากตัวข้อมูลที่ก่อให้เกิดค่าใช้จ่าย กำหนด o_i คือตัวข้อมูล, $Sg_c o_i(\Delta t)$ คือค่าใช้จ่ายที่ข้อมูลถูกเก็บรักษาอยู่ในแคชในช่วงเวลาหนึ่ง, t_{store} คือเวลาที่เก็บข้อมูลลงแคช, t_{evict} คือเวลาที่ข้อมูลถูกลบออกจากแคช, Δt คือช่วงเวลาจาก t_{store} ถึง t_{evict}, To_i คือค่าโหลดข้อมูลจากคลาวด์มาที่ระบบแคชคลาวด์, $S_c o_i(\Delta t)$ คือค่าการใช้พื้นที่แคชในช่วงเวลาหนึ่ง สมการคำนวณค่าใช้จ่ายที่ข้อมูลถูกเก็บรักษาอยู่ในแคชคือ

$$Sg_c o_i(\Delta t) = To_i + S_c o_i(\Delta t) \quad (24)$$

สมการคำนวณค่าใช้จ่ายในส่วนของการทำแคชชิง กำหนด $M_p o_i$ คือค่าใช้จ่ายของกระบวนการที่ดูแลจัดการข้อมูล, Oo_i คือค่าใช้บริการ CaaS ในการส่งออกข้อมูลให้กับผู้ใช้ ซึ่งในการแคชจะมีตรรกะเป็น 2 กรณีคือกรณีแรกไม่พบข้อมูลในแคชจะเรียกว่า cache-miss และกรณีพบข้อมูลในแคชจะเรียกว่า cache-hit

ซึ่งสมการในกรณี cache-miss คือ

$$Cmiss_{c,p} o_i = M_p o_i + Sg_c o_i(\Delta t) + Oo_i \quad (25)$$

และสมการในกรณี cache-hit คือ

$$Chit_{c,p} o_i = M_p o_i + Oo_i \quad (26)$$

ดังนั้นสมการตัวแบบค่าใช้จ่ายส่วนของ OpExv กำหนด h คือจำนวน cache-hit ต่อเดือน, m คือจำนวน cache-miss ต่อเดือน, j คือครั้งที่ hit, l คือครั้งที่ miss, คือ

$$OpExv = \left(\sum_{l=1}^{m} Cmiss_{c,p} o_i + \sum_{j=1}^{h} Chit_{c,p} o_i \right) / P \quad (27)$$

ดังนั้นสมการตัวแบบค่าใช้จ่ายส่วนของ OpEx คือ

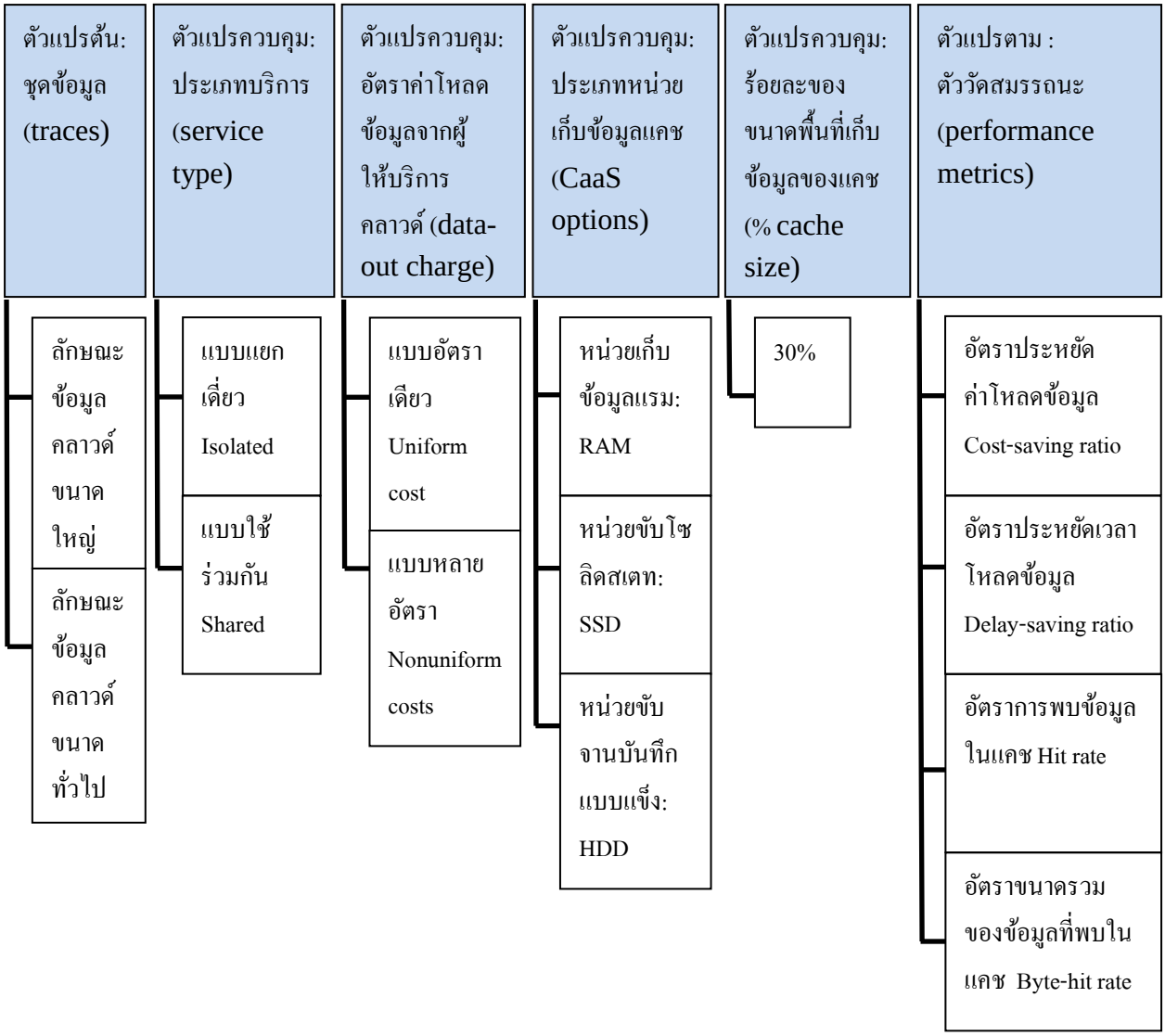
$$OpEx = OpExf + OpExv \quad (28)$$

และสุดท้าย สมการตัวแบบการกำหนดราคาสำหรับบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ในการคิดราคาค่าบริการต่อหนึ่งผู้ใช้บริการต่อเดือน คือ

$$PR = [(CapEx + OpEx)] + [((CapEx + OpEx) \times pm) / 100] \quad (29)$$

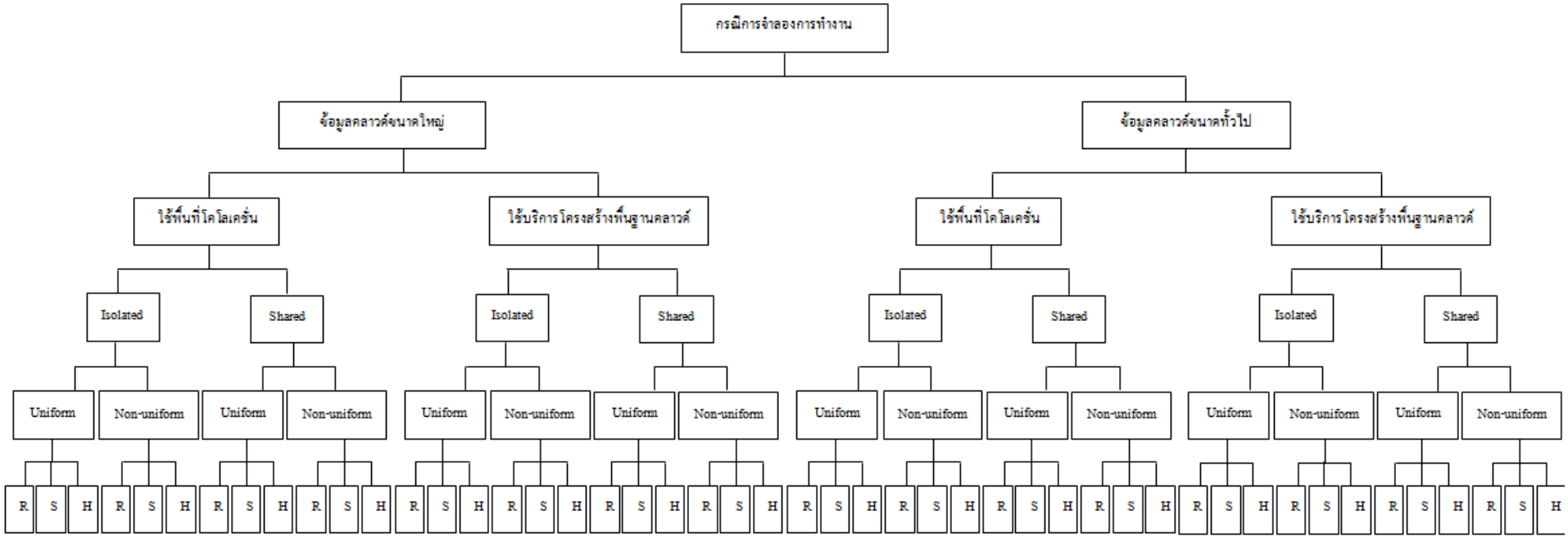
การจำลองการทำงาน

1. การออกแบบกรณีการจำลองการทำงาน (simulation cases) เพื่อประเมินตัวแบบทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์ทั้งหมดที่เสนอมีรายละเอียดแสดงดังภาพประกอบที่ 17



ภาพประกอบที่ 17 การออกแบบกรณีการจำลองการทำงาน

ตัวแปรต้นตัวแปรควบคุมและตัวแปรตามของการออกแบบกรณีการจำลองการทำงานในภาพประกอบที่ 17 จะเชื่อมโยงกับกรอบแนวคิดการวิจัยตัวแบบบริการแคชทางเทคนิคตามภาพประกอบที่ 12 และเชื่อมโยงกับกรอบแนวคิดการวิจัยตัวแบบบริการแคชทางเศรษฐศาสตร์ตามภาพประกอบที่ 13 และสามารถออกแบบกรณีการจำลองการทำงานทั้งหมด ตามภาพประกอบที่ 18



Isolated คือ ประเภทบริการแบบแยกเดี่ยว

Shared คือ ประเภทบริการแบบใช้ร่วมกัน

Uniform คือ อัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์อัตราเดียว

Non-uniform คือ อัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์หลายอัตรา

R คือ หน่วยเก็บข้อมูลแรม: RAM

S คือ หน่วยขับโซลิด สเตท: SSD

H คือ หน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง: HDD

ภาพประกอบที่ 18 การออกแบบกรณีการจำลองการทำงานทั้งหมด

2. การตั้งค่าระบบจำลองการทำงาน (configuration system)

กำหนดค่าตัวแปรต้นขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคชคำนวณมาจากชุดข้อมูลที่ใช้จำนวน 2 ชุด ลักษณะของข้อมูลนำเข้าชุดข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่ มีจำนวนคำร้องขอข้อมูลเท่ากับ 48,188 รายการและมีขนาดข้อมูลที่ร้องขอทั้งหมด 418,751,795,167,230 ไบต์ ส่วนชุดข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไปมีจำนวนคำร้องขอข้อมูลเท่ากับ 223,508 รายการและมีขนาดข้อมูลที่ร้องขอทั้งหมด 7,191,590,967,810 ไบต์

โดยแต่ละชุดข้อมูลเริ่มจากร้อยละ 100 ซึ่งหมายถึงของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคชที่ไม่ทำให้เกิดการแคชพลาด (cache miss) เลย เมื่อได้ค่าขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคชหน่วยไบต์ที่ร้อยละ100 จึงคำนวณหาร้อยละ 30 ของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคชซึ่งใช้ในการจำลองการทำงานตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคชของแต่ละชุดข้อมูล

ชุดข้อมูลและร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช	ขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช (ไบต์)
ชุดข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่ 30%	125,625,538,550,169
ชุดข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไป 30%	2,157,477,290,343

3. การกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ

1) การกำหนดค่าตัวแปรทางเทคนิค

ก่อนดำเนินการจำลองการทำงานเพื่อศึกษาสมรรถนะการทำงานและวัดผลประสิทธิภาพของตัวแบบจะต้องดำเนินการขั้นตอนการกำหนดค่าตัวแปรต้นและตัวแปรควบคุมก่อน ซึ่งค่าตัวแปรต้นและตัวแปรควบคุมที่ใช้ในการจำลองการทำงานถูกกำหนดดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

- กำหนดค่าตัวแปรควบคุมนโยบายการแทนที่ข้อมูลคือ ไอ-คลาวด์ (Banditwattanawong et al., 2016) ในการจำลองการทำงานประสิทธิภาพของการแคชขึ้นอยู่กับกลไกสำคัญใช้ควบคุมการลบข้อมูลออกจากแคชเมื่อพื้นที่เก็บข้อมูลในแคชไม่เพียงพอสำหรับการบันทึกข้อมูลใหม่ที่แคชโหลดมา สำหรับตัวแปรต้นความถี่ในการเข้าถึงข้อมูล, เวลาแฝงการเข้าถึงข้อมูล, การเข้าถึงข้อมูลครั้งล่าสุด, อายุใช้งานคงเหลือของข้อมูล เหล่านี้เป็นตัวแปรต้นสำหรับขั้นตอนวิธีของนโยบายการแทนที่ข้อมูลในแคช

- กำหนดค่าตัวแปรควบคุมประเภทบริการที่มีตัวเลือกเป็นแบบแยกเดี่ยวหรือแบบใช้ร่วมกัน

- กำหนดค่าตัวแปรควบคุมอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์เป็นแบบอัตราเดียวหรือเป็นแบบหลายอัตรา ใช้ 0.0829 ดอลลาร์ต่อจิกะไบต์ของอะเมซอนและ 0.1535 ดอลลาร์ต่อจิกะไบต์ของกูเกิ้ล (Banditwattanawong et al., 2016)

- กำหนดค่าตัวแปรควบคุมประเภทแคชที่มีตัวเลือกเป็นแรม, หรือโซลิดสเตท, หรือหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง

- กำหนดค่าตัวแปรต้นเวลาแฝงการเข้าถึงแคชโดยแรมมีเวลาแฝงการเข้าถึงประมาณ 10 ถึง 15 นาโนวินาที (Goering, 2011), ส่วนโซลิดสเตทมีเวลาแฝงการเข้าถึง 0.1 มิลลิวินาที, และหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งมีเวลาแฝงการเข้าถึงประมาณ 10 ถึง 12 มิลลิวินาที (Samsung, 2015)

สมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = (ค่าโหลดข้อมูลรวมของกรณีที่ไม่มีการแคชคลาวด์ - ค่าโหลดข้อมูลรวมของกรณีที่มีการแคชคลาวด์) / (ค่าโหลดข้อมูลรวมของกรณีที่ไม่มีการแคชคลาวด์)

กำหนด c_i คือค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์, i คือข้อมูลหนึ่งหน่วย, c_k คือค่าโหลดข้อมูลจากบริการการแคชคลาวด์, k คือหน่วยเก็บข้อมูลแคชได้แก่ {ram, ssd, hdd}, r_i คือจำนวนครั้งของการร้องขอข้อมูล i, s_i คือขนาดของข้อมูล i, h_i คือจำนวนครั้งที่พบข้อมูล i ในแคช, m_i คือจำนวนครั้งที่ไม่พบข้อมูลในแคช, n คือจำนวนตัวข้อมูลทั้งหมดที่ร้องขอ, 1 คือจำนวนตัวข้อมูลทั้งหมดที่พบข้อมูลในแคช, o คือจำนวนตัวข้อมูลทั้งหมดที่ไม่พบข้อมูลในแคช

ค่าโหลดข้อมูลรวมของกรณีที่ไม่มีการแคชคลาวด์ = ค่าโหลดข้อมูลทั้งหมดจากคลาวด์

$$= \sum_{i=1}^{n} c_i s_i r_i \quad (30)$$

ค่าโหลดข้อมูลรวมของกรณีที่มีการแคชคลาวด์ = ค่าโหลดข้อมูลที่ cache hit + ค่าโหลดข้อมูลที่ cache miss

$$= \sum_{i=1}^{l} c_k s_i h_i + \sum_{i=1}^{o} (c_i + c_k) s_i m_i \quad (31)$$

ได้สมการคำนวณอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คือ

$$[\sum_{i=1}^{n} c_i s_i r_i - [\sum_{i=1}^{l} c_k s_i h_i + \sum_{i=1}^{o} (c_i + c_k) s_i m_i]] / [\sum_{i=1}^{n} c_i s_i r_i] \quad (32)$$

- อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล = (เวลาโหลดข้อมูลรวมของกรณีที่ไม่มีการแคชคลาวด์ - เวลาโหลดข้อมูลรวมของกรณีที่มีการแคชคลาวด์) / (เวลาโหลดข้อมูลรวมของกรณีที่ไม่มีการแคชคลาวด์)

กำหนด d_i คือระยะเวลาการโหลดข้อมูล i จากผู้ให้บริการคลาวด์มายังแคช, e_i คือระยะเวลาการโหลดข้อมูล i จากระบบแคชคลาวด์ไปยังผู้ใช้บริการ

เวลาโหลดข้อมูลรวมของกรณีที่ไม่มีการแคชคลาวด์ = เวลาโหลดข้อมูลทั้งหมดจากคลาวด์

$$= \sum_{i=1}^{n} d_i r_i \quad (33)$$

เวลาโหลดข้อมูลรวมของกรณีที่มีการแคชคลาวด์ = เวลาโหลดข้อมูลที่ cache hit + เวลาโหลดข้อมูลที่ cache miss

$$= \sum_{i=1}^{l} e_i h_i + \sum_{i=1}^{o} (d_i + e_i) m_i \quad (34)$$

ได้สมการคำนวณอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล คือ

$$[\sum_{i=1}^{n} d_i r_i - [\sum_{i=1}^{l} e_i h_i + \sum_{i=1}^{o} (d_i + e_i) m_i]] / [\sum_{i=1}^{n} d_i r_i] \quad (35)$$

- อัตราการพบข้อมูลในแคช (Hit rate) เป็นอัตราส่วนของจำนวนครั้งทั้งหมดที่พบข้อมูลในแคชต่อจำนวนการร้องขอข้อมูลทั้งหมด สมการคำนวณ (Podlipnig and Böszörmenyi, 2003) คือ

$$\sum_{i=1}^{n} h_i \ / \sum_{i=1}^{n} r_i \quad (36)$$

- อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช (Byte hit rate) เป็นอัตราส่วนขนาดรวมของข้อมูลที่โหลดจากแคชต่อขนาดรวมของข้อมูลที่ร้องขอทั้งหมด สมการคำนวณ (Podlipnig and Böszörmenyi, 2003) คือ

$$\sum_{i=1}^{n} s_i h_i \ / \sum_{i=1}^{n} s_i r_i \quad (37)$$

2) การกำหนดค่าตัวแปรทางเศรษฐศาสตร์

- ก่อนการกำหนดค่าของตัวแปรต้นค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานไฟฟ้า, ตัวแปรต้นค่าใช้จ่ายของกระบวนการที่ดูแลจัดการข้อมูล (Mp_{oi}), และตัวแปรต้นจำนวนองค์การทั้งหมดที่เครื่องบริการสามารถรองรับได้ ต้องทำการปรับเทียบเครื่องบริการด้วยการวัดเปรียบเทียบสมรรถนะของคอมพิวเตอร์ก่อนเพื่อหาอัตราส่วนสมรรถนะของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ให้บริการการแคชคลาวด์เพื่อใช้อัตราส่วนสมรรถนะคำนวณในขั้นตอนการกำหนดค่าของตัวแปรต้นดังกล่าวข้างต้น เนื่องจากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้จำลองการทำงานมีข้อกำหนดเป็นหน่วยประมวลอินเทลแกน i7-3667U จึงต้องคำนวณเทียบดรรชนีประสิทธิภาพประเมินผลคะแนนการทำงานของซีพียู (CPUmark) กับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการให้บริการการแคชคลาวด์ที่มีข้อกำหนดเป็นหน่วยประมวล 64 แกนเอเอ็มดี รุ่นออพเทอรอนแบบจำลอง 6320 2.8 จิกะเฮิร์ทซ์ แคช 16 เมกะไบต์ ซึ่งใช้แค่ 56 แกนอีก 8 แกนใช้สำหรับการบริหารจัดการระบบ ผลการคำนวณได้สมรรถนะของซีพียูหน่วยประมวลเอเอ็มดีออพเทอรอนมากกว่าอินเทล i7-3667U เท่ากับ 18.18435754189944 เท่า

- กำหนดค่าตัวแปรต้นค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานไฟฟ้าของซีพียูหน่วยประมวลเอเอ็มดี 115 วัตต์ ใช้ค่าไฟฟ้าประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง 2.8095 บาทต่อหน่วย (ERC, 2011) และใช้อัตราแลกเปลี่ยน 1 ดอลลาร์ เท่ากับ 35.3950752 บาท ณ วันที่ 11สิงหาคม2015 คำนวณค่าไฟต่อชั่วโมงและคิดการใช้ประโยชน์ร้อยละ 25 ของซีพียูหน่วยประมวลได้เท่ากับ $6.3390116 \times 10^{-10}$ ดอลลาร์ต่อ 1 มิลลิวินาที

- กำหนดค่าตัวแปรต้นค่าใช้จ่ายของกระบวนการที่ดูแลจัดการข้อมูล (Mp_{oi}) ของซีพียูหน่วยประมวลเอเอ็มดีจากประเภทบริการแบบแยกเดี่ยวและแบบใช้ร่วมกัน และประเภทอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบอัตราเดียวและแบบหลายอัตรา โดยการคิดจากค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานไฟฟ้าของซีพียูประมวลผลต่อ 1 o_i ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าใช้จ่ายของ (Mp_{oi})

ประเภทบริการและอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์	ค่า Mp_{oi} (ดอลลาร์)
ประเภทบริการแบบแยกเดี่ยวและอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบอัตราเดียว	4.667612×10^{-11}
ประเภทบริการแบบแยกเดี่ยวและอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบหลายอัตรา	4.349841×10^{-11}
ประเภทบริการแบบใช้ร่วมกันและอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบอัตราเดียว	$9.0635659 \times 10^{-11}$

ประเภทบริการและอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์	ค่า Mp_{oi} (ดอลลาร์)
ประเภทบริการแบบใช้ร่วมกันและอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบหลายอัตรา	$9.6864047 \times 10^{-11}$

- กำหนดค่าตัวแปรต้นจำนวนองค์การทั้งหมดที่ใช้บริการทั้งหมดที่เครื่องบริการที่เป็นซีพียูหน่วยประมวลเอเอ็มดีออพเทอรอนสามารถรองรับได้ โดยอ้างอิงจากประสิทธิภาพของเครื่องที่ใช้จำลองการทำงานที่เป็นซีพียูอินเทล i7-3667Uโดยคำนวณความสามารถในการประมวลผลจำนวนรายการต่อมิลลิวินาทีหารด้วยจำนวนรายการที่ผู้ใช้ร้องขอต่อมิลลิวินาที ทำการปรับเทียบสมรรถนะเป็นซีพียูเอเอ็มดีออพเทอรอน ได้ผลเป็นจำนวนองค์การทั้งหมดที่เครื่องบริการซีพียูเอเอ็มดีสามารถรองรับได้โดยเฉลี่ยเท่ากับ 118 องค์การ

- กำหนดค่าตัวแปรต้นค่าการใช้พื้นที่แคช Sc_{oi}ซึ่งคำนวณหาจากขนาดความจุของแคช ราคาซื้อ และการใช้ประโยชน์เต็มที่ 3 ปี ได้เป็นราคาการใช้พื้นที่แคชหน่วย ดอลลาร์ต่อ 1 จิกะไบต์ต่อ 1 มิลลิวินาที ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าการใช้พื้นที่แคช (Sc_{oi})

ประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคช	ค่า Sc_{oi} (ดอลลาร์ต่อจิกะไบต์ต่อมิลลิวินาที)
แรม	$1.1495429 \times 10^{-10}$
หน่วยขับโซลิดสเตท	$9.1032991 \times 10^{-12}$
หน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง	$1.1346888 \times 10^{-12}$

- กำหนดค่าตัวแปรต้นค่าเช่าพื้นที่โคโลเคชั่นวางเซิร์ฟเวอร์ (TRUEIDC, 2016) แบบ 1U ราคา 7,000 บาทต่อเดือน เช่าใช้ 2 หน่วย 1 ปี ใช้อัตราแลกเปลี่ยน 1 ดอลลาร์ เท่ากับ 35.3950752 บาท ณ วันที่ 11 สิงหาคม 2015 ได้เท่ากับ 4,746.42 ดอลลาร์

- กำหนดค่าตัวแปรต้นค่าเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ (TRUEIDC, 2016) แบบ 4 CPU (cores) / RAM 60 ราคา 26,914 บาทต่อเดือน เช่าใช้ 1 ปี ใช้อัตราแลกเปลี่ยน 1 ดอลลาร์ เท่ากับ 35.3950752 บาท ณ วันที่ 11 สิงหาคม 2015 ได้เท่ากับ 9,124.66 ดอลลาร์

- กำหนดค่าตัวแปรต้นอัตรากำไรร้อยละ 3.8 (Foong and Delcroix, 2015)

- กำหนดค่าตัวแปรต้นอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการการแคชคลาวด์ โดยดำเนินการจำลองการทำงานของระบบแคชคลาวด์ ด้วยค่าตัวแปรต้นที่กำหนดของเครื่องผู้ให้บริการซีพียูหน่วยประมวลเอเอ็มดีออพเทอรอนโดยไม่คิดอัตราค่าโหลดข้อมูล ทำการจำลองการทำงานจนครบทุกกรณีและทำการคำนวณจนครบทุกกรณี ได้อัตราค่าโหลดตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 อัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการการแคชคลาวด์ (CaaS data-out charge rate) หน่วยดอลลาร์ต่อจิกะไบต์

ประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคช	อัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการการแคชคลาวด์ แบบอัตราเดียวหน่วยดอลลาร์ต่อจิกะไบต์	
	ประเภทบริการแบบแยกเดี่ยว	ประเภทบริการแบบใช้ร่วมกัน
แรม	$4.12635729693723 \times 10^{-4}$	$4.12635729782290 \times 10^{-4}$
หน่วยขับโซลิดสเตท	$4.12635729654190 \times 10^{-4}$	$4.12635729705524 \times 10^{-4}$
หน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง	$4.12635729651214 \times 10^{-4}$	$4.12635729699745 \times 10^{-4}$
	อัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการการแคชคลาวด์ แบบหลายอัตราหน่วยดอลลาร์ต่อจิกะไบต์	
	ประเภทบริการแบบแยกเดี่ยว	ประเภทบริการแบบใช้ร่วมกัน
แรม	$4.22656811026883 \times 10^{-4}$	$4.22656811134401 \times 10^{-4}$
หน่วยขับโซลิดสเตท	$4.22656810990041 \times 10^{-4}$	$4.22656811052360 \times 10^{-4}$
หน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง	$4.22656810987267 \times 10^{-4}$	$4.22656811046184 \times 10^{-4}$

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยในเนื้อหาบทที่ 4 นี้จะประกอบด้วยการวัดผลตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์และผลการประเมินตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ การวัดผลตัวแบบทางเทคนิคและผลการประเมินตัวแบบทางเทคนิค และการพัฒนาระบบต้นแบบบริการแคชคลาวด์ การวิเคราะห์และออกแบบระบบ การสร้างระบบ การทดสอบและประเมินผลการใช้งานระบบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

การวัดผลตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์

การวัดผลตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ของบริการแคชคลาวด์ด้วยวิธีการจำลองการทำงานแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ 1. การจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่ และ 2. การจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไป โดยที่แต่ละชุดลักษณะข้อมูลตัวแทนทำการจำลองการทำงานทั้งกรณีแบบเช่าพื้นที่โคโลเคชั่นและกรณีแบบเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่เป็นชุดข้อมูลตัวแทนจากองค์การที่มีลักษณะเน้นการใช้ข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ชุดข้อมูลตัวแทนจากองค์การที่มีลักษณะเน้นการใช้ข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่

เนื้อหาดิจิทัล	ขนาดข้อมูล (ไบต์)	จำนวนข้อมูล	พื้นที่แคชข้อมูลที่ถูกใช้ (ไบต์)
แฟ้มข้อมูลวีดิทัศน์ขนาดใหญ่ความละเอียดสูง	50 จิกะไบต์ = 53,687,091,200 ไบต์	617	6,979,321,856,000 ไบต์
แฟ้มข้อมูลการทำให้เคลื่อนไหว	20 จิกะไบต์ = 21,474,836,480 ไบต์	1,702	11,617,886,535,680 ไบต์
เนื้อหาการเรียนการสอนผ่านทางสื่ออิเล็กทรอนิกส์	15 จิกะไบต์ = 16,106,127,360 ไบต์	10,632	71,301,825,822,720 ไบต์

เนื้อหาดิจิทัล	ขนาดข้อมูล (ไบต์)	จำนวนข้อมูล	พื้นที่แคชข้อมูลที่ถูกใช้ (ไบต์)
แฟ้มข้อมูลวีดิทัศน์ความละเอียดมาตรฐาน	4.7 จิกะไบต์ = 5,046,586,572.8 ไบต์	35,237	119,518,309,803,622 ไบต์

2. การจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไปเป็นชุดข้อมูลตัวแทนจากองค์การที่มีลักษณะเน้นการใช้ข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไป แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ชุดข้อมูลตัวแทนจากองค์การที่มีลักษณะเน้นการใช้ข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไป

เนื้อหาดิจิทัล	ขนาดข้อมูล (ไบต์)	จำนวนข้อมูล	พื้นที่แคชข้อมูลที่ถูกใช้ (ไบต์)
แฟ้มข้อมูลวีดิทัศน์ความละเอียดมาตรฐาน	4.7 จิกะไบต์ = 5,046,586,572.8 ไบต์	522	2,634,318,191,106 ไบต์
แฟ้มข้อมูลโสตการเรียนรู้รูปแบบเอ็มพีสามเอ็มพีสี่	300 เมกะไบต์ = 314,572,800 ไบต์	8,552	2,690,226,585,600 ไบต์
ภาพความละเอียดสูงรูปแบบเจเพ็ก ทิฟฟ์ จิฟฯ	25 เมกะไบต์ = 26,214,400 ไบต์	51,857	1,359,400,140,800 ไบต์
ภาพความละเอียดสูงรูปแบบเจเพ็ก ทิฟฟ์ จิฟฯ	7 เมกะไบต์ = 7,340,032 ไบต์	53,592	393,366,994,944 ไบต์
แฟ้มข้อมูลเอกสารคลาวด์อื่นๆ	1 เมกะไบต์ = 1,048,576 ไบต์	108,985	114,279,055,360 ไบต์

โดยที่แต่ละชุดลักษณะข้อมูลทำการวัดผลตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ทั้งหมด 12 กรณีแยกตามประเภทแคชคือ แรม, โซลิดสเตท, หน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง และตามประเภทบริการคือแบบแยกเดี่ยว, แบบใช้ร่วมกัน และตามแบบอัตราค่าโหลดข้อมูลคือแบบอัตราเดียว, แบบหลายอัตรา ที่

ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30% ที่อัตรากำไรร้อยละ 3.8 แสดงดังตารางที่ 7 และตารางที่ 8

ตารางที่ 7 กรณีวัดผลตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ที่ชุดข้อมูลตัวแทนจากองค์การที่มีลักษณะเน้นการใช้ข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่

กรณีที่	ประเภทแคช	ประเภทบริการ	อัตราค่าโหลดข้อมูล
1	แรม	แบบแยกเดี่ยว	แบบอัตราเดียว
2	หน่วยขับโซลิดสเตท	แบบแยกเดี่ยว	แบบอัตราเดียว
3	หน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง	แบบแยกเดี่ยว	แบบอัตราเดียว
4	แรม	แบบแยกเดี่ยว	แบบหลายอัตรา
5	หน่วยขับโซลิดสเตท	แบบแยกเดี่ยว	แบบหลายอัตรา
6	หน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง	แบบแยกเดี่ยว	แบบหลายอัตรา
7	แรม	แบบใช้ร่วมกัน	แบบอัตราเดียว
8	หน่วยขับโซลิดสเตท	แบบใช้ร่วมกัน	แบบอัตราเดียว
9	หน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง	แบบใช้ร่วมกัน	แบบอัตราเดียว
10	แรม	แบบใช้ร่วมกัน	แบบหลายอัตรา
11	หน่วยขับโซลิดสเตท	แบบใช้ร่วมกัน	แบบหลายอัตรา
12	หน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง	แบบใช้ร่วมกัน	แบบหลายอัตรา

ตารางที่ 8 กรณีวัดผลตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ที่ชุดข้อมูลตัวแทนจากองค์การที่มีลักษณะเน้นการใช้ข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไป

กรณีที่	ประเภทแคช	ประเภทบริการ	อัตราค่าโหลดข้อมูล
1	แรม	แบบแยกเดี่ยว	แบบอัตราเดียว
2	หน่วยขับโซลิดสเตท	แบบแยกเดี่ยว	แบบอัตราเดียว
3	หน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง	แบบแยกเดี่ยว	แบบอัตราเดียว
4	แรม	แบบแยกเดี่ยว	แบบหลายอัตรา
5	หน่วยขับโซลิดสเตท	แบบแยกเดี่ยว	แบบหลายอัตรา
6	หน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง	แบบแยกเดี่ยว	แบบหลายอัตรา
7	แรม	แบบใช้ร่วมกัน	แบบอัตราเดียว

กรณีที่	ประเภทแคช	ประเภทบริการ	อัตราค่าโหลดข้อมูล
8	หน่วยขับโซลิดสเตท	แบบใช้ร่วมกัน	แบบอัตราเดียว
9	หน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง	แบบใช้ร่วมกัน	แบบอัตราเดียว
10	แรม	แบบใช้ร่วมกัน	แบบหลายอัตรา
11	หน่วยขับโซลิดสเตท	แบบใช้ร่วมกัน	แบบหลายอัตรา
12	หน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง	แบบใช้ร่วมกัน	แบบหลายอัตรา

ผลการประเมินตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์

1. ชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่

กรณีแบบเช่าพื้นที่โคโลเคชั่น

1) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (5) คำนวณ PRCapEx = 2.97162078207272

จากสมการ (9) คำนวณ PROpExf = 12.192541525

จากสมการ (17) คำนวณ PROpExv = 31715.9926612237

จากสมการ (18) คำนวณ PROpEx = PROpExf + PROpExv

= 12.192541525 + 31715.9926612237

= 31728.1852027487

จากสมการ (19) คำนวณ PR = PRCapEx + PROpEx

= 2.97162078207272 + 31728.1852027487

= 31731.15682353077

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 31731.15682353077 ดอลล่าร์ต่อเดือน

2) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (5) คำนวณ PRCapEx = 2.97162078207272

จากสมการ (9) คำนวณ PROpExf = 12.192541525

จากสมการ (17) คำนวณ PROpExv = 23784.2265473368

จากสมการ (18) คำนวณ PROpEx = PROpExf + PROpExv

= 12.192541525 + 23784.2265473368

= 23796.4190888618

จากสมการ (19) คำนวณ PR = PRCapEx + PROpEx

= 2.97162078207272 + 23796.4190888618

= 23799.39070964387

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 23799.39070964387 ดอลล่าร์ต่อเดือน

3) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (5) คำนวณ PRCapEx = 2.97162078207272

จากสมการ (9) คำนวณ PROpExf = 12.192541525

จากสมการ (17) คำนวณ PROpExv = 23187.1121563637

จากสมการ (18) คำนวณ PROpEx = PROpExf + PROpExv

= 12.192541525 + 23187.1121563637

= 23199.3046978887

จากสมการ (19) คำนวณ PR = PRCapEx + PROpEx

= 2.97162078207272 + 23199.3046978887

= 23202.27631867077

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 23202.27631867077 ดอลล่าร์ต่อเดือน

4) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (5) คำนวณ PRCapEx = 2.97162078207272

จากสมการ (9) คำนวณ PROpExf = 12.192541525

จากสมการ (17) คำนวณ PROpExv = 31143.8795956199

จากสมการ (18) คำนวณ PROpEx = PROpExf + PROpExv

= 12.192541525 + 31143.8795956199

= 31156.0721371449

จากสมการ (19) คำนวณ PR = PRCapEx + PROpEx

= 2.97162078207272 + 31156.0721371449

= 31159.04375792697

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 31159.04375792697 ดอลล่าร์ต่อเดือน

5) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (5) คำนวณ PRCapEx = 2.97162078207272

จากสมการ (9) คำนวณ PROpExf = 12.192541525

จากสมการ (17) คำนวณ PROpExv = 23322.8630768745

จากสมการ (18) คำนวณ PROpEx = PROpExf + PROpExv

= 12.192541525 + 23322.8630768745

= 23335.0556183995

จากสมการ (19) คำนวณ PR = PRCapEx + PROpEx

= 2.97162078207272 + 23335.0556183995

= 23338.02723918157

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 23338.02723918157 ดอลล่าร์ต่อเดือน

6) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (5) คำนวณ PRCapEx = 2.97162078207272

จากสมการ (9) คำนวณ PROpExf = 12.192541525

จากสมการ (17) คำนวณ PROpExv = 22734.0860695442

จากสมการ (18) คำนวณ PROpEx = PROpExf + PROpExv

= 12.192541525 + 22734.0860695442

= 22746.2786110692

จากสมการ (19) คำนวณ PR = PRCapEx + PROpEx

= 2.97162078207272 + 22746.2786110692

= 22749.25023185127

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 22749.25023185127 ดอลล่าร์ต่อเดือน

7) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (5) คำนวณ PRCapEx = 2.97162078207272

จากสมการ (9) คำนวณ PROpExf = 12.192541525

จากสมการ (17) คำนวณ PROpExv = 26272.2724570909

จากสมการ (18) คำนวณ PROpEx = PROpExf + PROpExv

= 12.192541525 + 26272.2724570909

= 26284.4649986159

จากสมการ (19) คำนวณ PR = PRCapEx + PROpEx

= 2.97162078207272 + 26284.4649986159

= 26287.43661939797

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 26287.43661939797 ดอลล่าร์ต่อเดือน

8) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (5) คำนวณ PRCapEx = 2.97162078207272

จากสมการ (9) คำนวณ PROpExf = 12.192541525

จากสมการ (17) คำนวณ PROpExv = 21625.9736253658

จากสมการ (18) คำนวณ PROpEx = PROpExf + PROpExv

= 12.192541525 + 21625.9736253658

= 21638.1661668908

จากสมการ (19) คำนวณ PR = PRCapEx + PROpEx

= 2.97162078207272 + 21638.1661668908

= 21641.13778767287

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 21641.13778767287 ดอลล่าร์ต่อเดือน

9) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (5) คำนวณ PRCapEx = 2.97162078207272

จากสมการ (9) คำนวณ PROpExf = 12.192541525

จากสมการ (17) คำนวณ PROpExv = 21276.1937834796

จากสมการ (18) คำนวณ PROpEx = PROpExf + PROpExv

= 12.192541525 + 21276.1937834796

= 21288.3863250046

จากสมการ (19) คำนวณ PR = PRCapEx + PROpEx

= 2.97162078207272 + 21288.3863250046

= 21291.35794578667

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 21291.35794578667 ดอลล่าร์ต่อเดือน

10) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (5) คำนวณ PRCapEx = 2.97162078207272

จากสมการ (9) คำนวณ PROpExf = 12.192541525

จากสมการ (17) คำนวณ PROpExv = 26969.7172606407

จากสมการ (18) คำนวณ PROpEx = PROpExf + PROpExv

= 12.192541525 + 26969.7172606407

= 26981.9098021657

จากสมการ (19) คำนวณ PR = PRCapEx + PROpEx

= 2.97162078207272 + 26981.9098021657

= 26984.88142294777

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 26984.88142294777 ดอลล่าร์ต่อเดือน

11) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (5) คำนวณ PRCapEx = 2.97162078207272

จากสมการ (9) คำนวณ PROpExf = 12.192541525

จากสมการ (17) คำนวณ PROpExv = 21390.5295138598

จากสมการ (18) คำนวณ PROpEx = PROpExf + PROpExv

= 12.192541525 + 21390.5295138598

= 21402.7220553848

จากสมการ (19) คำนวณ PR = PRCapEx + PROpEx

= 2.97162078207272 + 21402.7220553848

= 21405.69367616687

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 21405.69367616687 ดอลล่าร์ต่อเดือน

12) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (5) คำนวณ PRCapEx = 2.97162078207272

จากสมการ (9) คำนวณ PROpExf = 12.192541525

จากสมการ (17) คำนวณ PROpExv = 20970.5204962343

จากสมการ (18) คำนวณ PROpEx = PROpExf + PROpExv

= 12.192541525 + 20970.5204962343

= 20982.7130377593

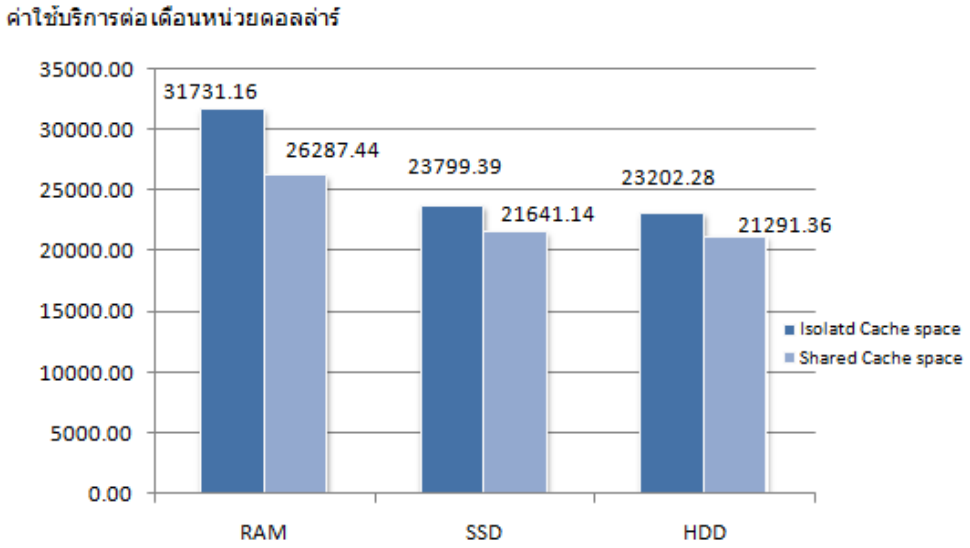
จากสมการ (19) คำนวณ PR = PRCapEx + PROpEx

= 2.97162078207272 + 20982.7130377593

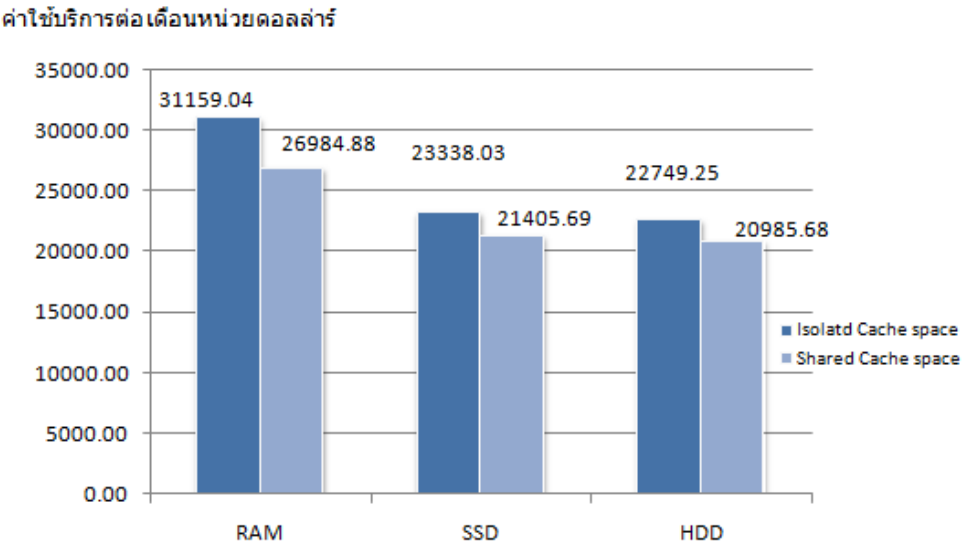
= 20985.68465854137

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 20985.68465854137 ดอลล่าร์ต่อเดือน

กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่กรณีเช่าพื้นที่โคโลเคชั่น กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว แสดงตามภาพประกอบที่ 19 และกรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา แสดงตามภาพประกอบที่ 20



ภาพประกอบที่ 19 กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่กรณีเช่าพื้นที่โคโลเคชั่น กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว



ภาพประกอบที่ 20 กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่กรณีเช่าพื้นที่โคโลเคชั่น กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา

กรณีแบบเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์

1) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (21) คำนวณ CapEx = 0.564265536723164

จากสมการ (23) คำนวณ OpExf = 14.08288136

จากสมการ (27) คำนวณ OpExv = 30870.2515494035

จากสมการ (28) คำนวณ OpEx = OpExf + OpExv

= 14.08288136 + 30870.2515494035

= 30884.3344307635

ดังนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย CapEx + OpEx = 0.564265536723164 + 30884.3344307635

= 30884.89869630022

จากสมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณได้ผลลัพธ์

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = 34.0367400796366

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร (profit sharing) ที่เป็นการแบ่งส่วนกำไรที่คิดจากส่วนที่ลูกค้าได้ประโยชน์จากการประหยัดค่าใช้บริการตามอัตรากำไรที่ตกลงไว้ก่อนการใช้บริการเท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร =

$$[(((30884.89869630022 \times 100) / (100 - 34.0367400796366)) - 30884.89869630022) \times 3.8] / 100$$

= 605.5857197184940

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 30884.89869630022 + 605.5857197184940

= 31490.48441601871

ดังนั้นได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 31490.48441601871 ดอลล่าร์ต่อเดือน

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย (cost sharing) ที่เป็นการคิดส่วนของกำไรที่คำนวณจากส่วนของค่าใช้จ่ายของการใช้บริการของลูกค้าตามอัตรากำไรที่ตกลงไว้ก่อนการใช้บริการเท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร

= [30884.89869630022 × 3.8] / 100

= 1173.6261504594100

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 30884.89869630022 + 1173.6261504594100

= 32058.52484675963

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 32058.52484675963 ดอลล่าร์ต่อเดือน

2) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (21) คำนวณ CapEx = 0.564265536723164

จากสมการ (23) คำนวณ OpExf = 14.08288136

จากสมการ (27) คำนวณ OpExv = 22938.4854355183

จากสมการ (28) คำนวณ OpEx = OpExf + OpExv

= 14.08288136 + 22938.4854355183

= 22952.5683168783

ดังนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย CapEx + OpEx = 0.564265536723164 + 22952.5683168783

= 22953.13258241502

จากสมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณได้ผลลัพธ์

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = 50.9852624770141

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร =

[(((22953.13258241502 × 100) / (100 - 50.9852624770141)) - 22953.13258241502) × 3.8] / 100

= 907.2846014067170

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 22953.13258241502 + 907.2846014067170

= 23860.41718382174

ดังนั้นได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 23860.41718382174 ดอลล่าร์ต่อเดือน

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร

= [22953.13258241502 × 3.8] / 100

= 872.2190381317710

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 22953.13258241502 + 872.2190381317710

= 23825.35162054679

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 23825.35162054679 ดอลล่าร์ต่อเดือน

3) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (21) คำนวณ CapEx = 0.564265536723164

จากสมการ (23) คำนวณ OpExf = 14.08288136

จากสมการ (27) คำนวณ OpExv = 22341.3710445456

จากสมการ (28) คำนวณ OpEx = OpExf + OpExv

= 14.08288136 + 22341.3710445456

= 22355.4539259056

ดังนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย CapEx + OpEx = 0.564265536723164 + 22355.4539259056

= 22356.01819144232

จากสมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณได้ผลลัพธ์

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = 52.2611708288100

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร =

[(((22356.01819144232 × 100) / (100 - 52.2611708288100)) - 22356.01819144232) × 3.8] / 100

= 930.0052981919720

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 22356.01819144232 + 930.0052981919720

= 23286.02348963429

ดังนั้นได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 23286.02348963429 ดอลล่าร์ต่อเดือน

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร

= [22356.01819144232 × 3.8] / 100

= 849.5286912748080

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 22356.01819144232 + 849.5286912748080

= 23205.54688271713

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 23205.54688271713 ดอลล่าร์ต่อเดือน

4) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (21) คำนวณ CapEx = 0.564265536723164

จากสมการ (23) คำนวณ OpExf = 14.08288136

จากสมการ (27) คำนวณ OpExv = 30314.6797917944

จากสมการ (28) คำนวณ OpEx = OpExf + OpExv

= 14.08288136 + 30314.6797917944

= 30328.7626731544

ดังนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย CapEx + OpEx = 0.564265536723164 + 30328.7626731544

= 30329.32693869112

จากสมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณได้ผลลัพธ์

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = 34.1568897009249

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร =

[(((30329.32693869112 × 100) / (100 - 34.1568897009249)) - 30329.32693869112) × 3.8] / 100

= 597.8804444264410

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 30329.32693869112 + 597.8804444264410

= 30927.20738311756

ดังนั้นได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 30927.20738311756 ดอลล่าร์ต่อเดือน

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร

= [30329.32693869112 × 3.8] / 100

= 1152.5144236702600

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 30329.32693869112 + 1152.5144236702600

= 31481.84136236138

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 31481.84136236138 ดอลล่าร์ต่อเดือน

5) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (21) คำนวณ CapEx = 0.564265536723164

จากสมการ (23) คำนวณ OpExf = 14.08288136

จากสมการ (27) คำนวณ OpExv = 22493.6632730542

จากสมการ (28) คำนวณ OpEx = OpExf + OpExv

= 14.08288136 + 22493.6632730542

= 22507.7461544142

ดังนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย CapEx + OpEx = 0.564265536723164 + 22507.7461544142

= 22508.31041995092

จากสมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณได้ผลลัพธ์

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = 51.1440410358926

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร =

[(((22508.31041995092 x 100) / (100 - 51.1440410358926)) - 22508.31041995092) x 3.8] / 100

= 895.3729922539700

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 22508.31041995092 + 895.3729922539700

= 23403.68341220489

ดังนั้นได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 23403.68341220489 ดอลล่าร์ต่อเดือน

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร

= [22508.31041995092 × 3.8] / 100

= 855.3157959581350

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 22508.31041995092 + 855.3157959581350

= 23363.62621590906

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 23363.62621590906 ดอลล่าร์ต่อเดือน

6) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (21) คำนวณ CapEx = 0.564265536723164

จากสมการ (23) คำนวณ OpExf = 14.08288136

จากสมการ (27) คำนวณ OpExv = 21904.8862657241

จากสมการ (28) คำนวณ OpEx = OpExf + OpExv

= 14.08288136 + 21904.8862657241

= 21918.9691470841

ดังนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย CapEx + OpEx = 0.564265536723164 + 21918.9691470841

= 21919.53341262082

จากสมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณได้ผลลัพธ์

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = 52.4228574278668

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร =

[(((21919.53341262082 × 100) / (100 - 52.4228574278668)) - 21919.53341262082) × 3.8] / 100

= 917.7771402066610

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 21919.53341262082 + 917.7771402066610

= 22837.31055282748

ดังนั้นได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 22837.31055282748 ดอลล่าร์ต่อเดือน

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร

= [21919.53341262082 × 3.8] / 100

= 832.9422696795910

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 21919.53341262082 + 832.9422696795910

= 22752.47568230041

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 22752.47568230041 ดอลล่าร์ต่อเดือน

7) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (21) คำนวณ CapEx = 0.564265536723164

จากสมการ (23) คำนวณ OpExf = 14.08288136

จากสมการ (27) คำนวณ OpExv = 25495.1985612257

จากสมการ (28) คำนวณ OpEx = OpExf + OpExv

= 14.08288136 + 25495.1985612257

= 25509.2814425857

ดังนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย CapEx + OpEx = 0.564265536723164 + 25509.2814425857

= 25509.84570812242

จากสมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณได้ผลลัพธ์

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = 45.5221021855295

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร =

[(((25509.84570812242 × 100) / (100 - 45.5221021855295)) - 25509.84570812242) × 3.8] / 100

= 810.015626275575

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 25509.84570812242 + 810.015626275575

= 26319.861334398

ดังนั้นได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 26319.861334398 ดอลล่าร์ต่อเดือน

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร

= [25509.84570812242 × 3.8] / 100

= 969.374136908652

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 25509.84570812242 + 969.374136908652

= 26479.21984503107

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 26479.21984503107 ดอลล่าร์ต่อเดือน

8) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (21) คำนวณ CapEx = 0.564265536723164

จากสมการ (23) คำนวณ OpExf = 14.08288136

จากสมการ (27) คำนวณ OpExv = 20848.8997295009

จากสมการ (28) คำนวณ OpEx = OpExf + OpExv

= 14.08288136 + 20848.8997295009

= 20862.9826108609

ดังนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย CapEx + OpEx = 0.564265536723164 + 20862.9826108609

= 20863.54687639762

จากสมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณได้ผลลัพธ์

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = 55.4502693407033

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร =

[(((20863.54687639762 × 100) / (100 - 55.4502693407033)) - 20863.54687639762) × 3.8] / 100

= 986.802669958998

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 20863.54687639762 + 986.802669958998

= 21850.34954635662

ดังนั้นได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 21850.34954635662 ดอลล่าร์ต่อเดือน

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร

= [20863.54687639762 × 3.8] / 100

= 792.81478130311

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 20863.54687639762 + 792.81478130311

= 21656.36165770073

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 21656.36165770073 ดอลล่าร์ต่อเดือน

9) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกันและอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (21) คำนวณ CapEx = 0.564265536723164

จากสมการ (23) คำนวณ OpExf = 14.08288136

จากสมการ (27) คำนวณ OpExv = 20499.1198876169

จากสมการ (28) คำนวณ OpEx = OpExf + OpExv

= 14.08288136 + 20499.1198876169

= 20513.2027689769

ดังนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย CapEx + OpEx = 0.564265536723164 + 20513.2027689769

= 20513.76703451362

จากสมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณได้ผลลัพธ์

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = 56.1976755802727

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร =

[(((20513.76703451362 ×100) / (100 - 56.1976755802727)) - 20513.76703451362) × 3.8] / 100

= 1000.11562217909

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 20513.76703451362 + 1000.11562217909

= 21513.88265669271

ดังนั้นได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 21513.88265669271 ดอลล่าร์ต่อเดือน

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร

= [20513.76703451362 × 3.8] / 100

= 779.523147311518

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 20513.76703451362 + 779.523147311518

= 21293.29018182514

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 21293.29018182514 ดอลล่าร์ต่อเดือน

10) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกันและอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (21) คำนวณ CapEx = 0.564265536723164

จากสมการ (23) คำนวณ OpExf = 14.08288136

จากสมการ (27) คำนวณ OpExv = 26204.1998148688

จากสมการ (28) คำนวณ OpEx = OpExf + OpExv

= 14.08288136 + 26204.1998148688

= 26218.2826962288

ดังนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย CapEx + OpEx = 0.564265536723164 + 26218.2826962288

= 26218.84696176552

จากสมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณได้ผลลัพธ์

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = 43.0848014704602

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร =

[(((26218.84696176552 × 100) / (100 - 43.0848014704602)) - 26218.84696176552) × 3.8] / 100

= 754.211284894992

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 26218.84696176552 + 754.211284894992

= 26973.05824666051

ดังนั้นได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 26973.05824666051 ดอลล่าร์ต่อเดือน

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร

= [26218.84696176552 × 3.8] / 100

= 996.31618454709

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 26218.84696176552 + 996.31618454709

= 27215.16314631261

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 27215.16314631261 ดอลล่าร์ต่อเดือน

11) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (21) คำนวณ CapEx = 0.564265536723164

จากสมการ (23) คำนวณ OpExf = 14.08288136

จากสมการ (27) คำนวณ OpExv = 20625.0120680994

จากสมการ (28) คำนวณ OpEx = OpExf + OpExv

= 14.08288136 + 20625.0120680994

= 20639.0949494594

ดังนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย CapEx + OpEx = 0.564265536723164 + 20639.0949494594

= 20639.65921499612

จากสมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณได้ผลลัพธ์

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = 55.2027283861593

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร =

[(((20639.65921499612 × 100) / (100 - 55.2027283861593)) - 20639.65921499612) × 3.8] / 100

= 966.484955492231

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 20639.65921499612 + 966.484955492231

= 21606.14417048835

ดังนั้นได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 21606.14417048835 ดอลล่าร์ต่อเดือน

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร

= [20639.65921499612 × 3.8] / 100

= 784.307050169853

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 20639.65921499612 + 784.307050169853

= 21423.96626516597

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 21423.96626516597 ดอลล่าร์ต่อเดือน

12) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (21) คำนวณ CapEx = 0.564265536723164

จากสมการ (23) คำนวณ OpExf = 14.08288136

จากสมการ (27) คำนวณ OpExv = 20205.0030504746

จากสมการ (28) คำนวณ OpEx = OpExf + OpExv

= 14.08288136 + 20205.0030504746

= 20219.0859318346

ดังนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย CapEx + OpEx = 0.564265536723164 + 20219.0859318346

= 20219.65019737132

จากสมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณได้ผลลัพธ์

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = 56.1149827877894

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร =

[(((20219.65019737132 × 100) / (100 - 56.1149827877894)) - 20219.65019737132) × 3.8] / 100

= 982.471125804339

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 20219.65019737132 + 982.471125804339

= 21202.12132317566

ดังนั้นได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 21202.12132317566 ดอลล่าร์ต่อเดือน

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร

= [20219.65019737132 × 3.8] / 100

= 768.34670750011

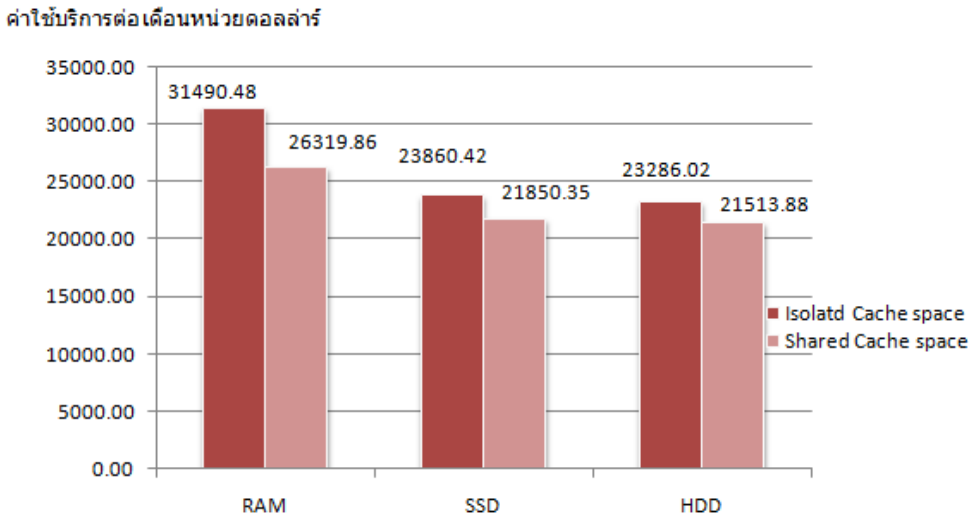
ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 20219.65019737132 + 768.34670750011

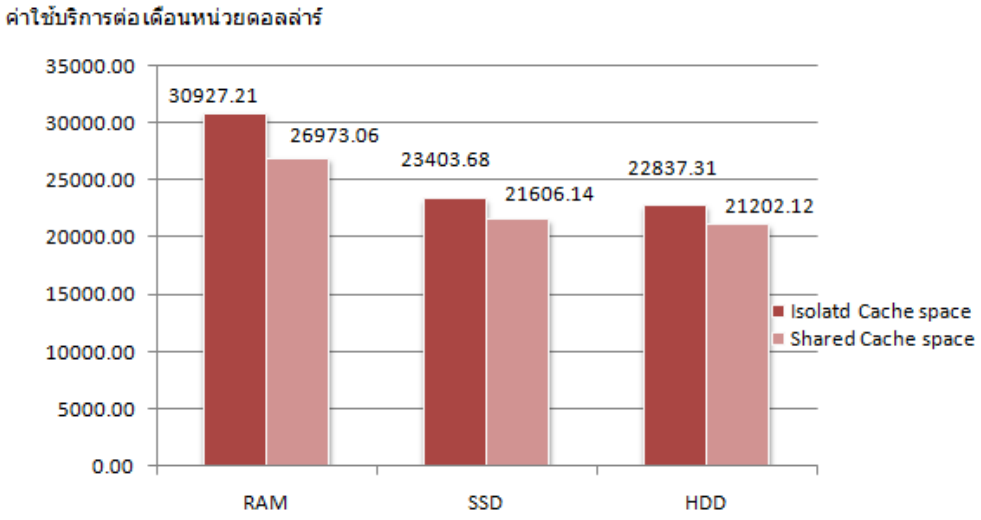
= 20987.99690487143

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 20987.99690487143 ดอลล่าร์ต่อเดือน

กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่กรณีเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว แสดงตามภาพประกอบที่ 21 และกรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา แสดงตามภาพประกอบที่ 22

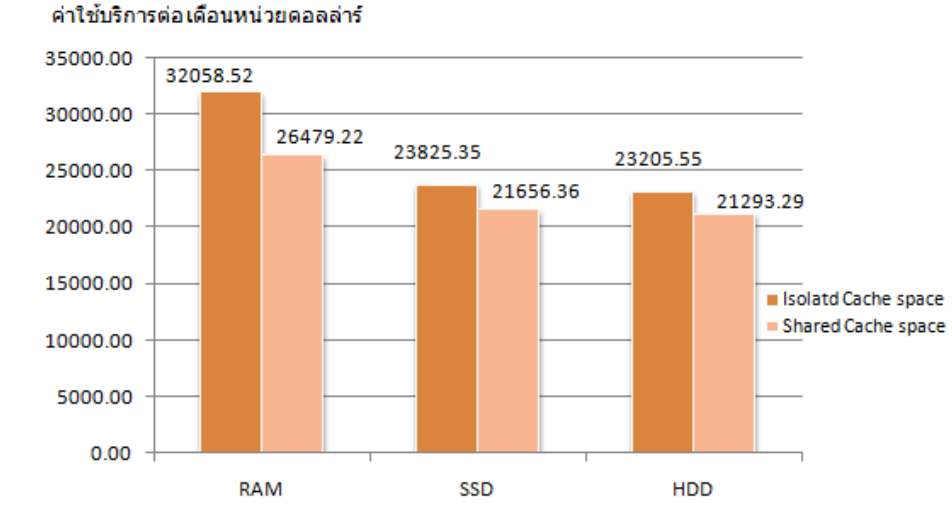


ภาพประกอบที่ 21 กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่กรณีเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว

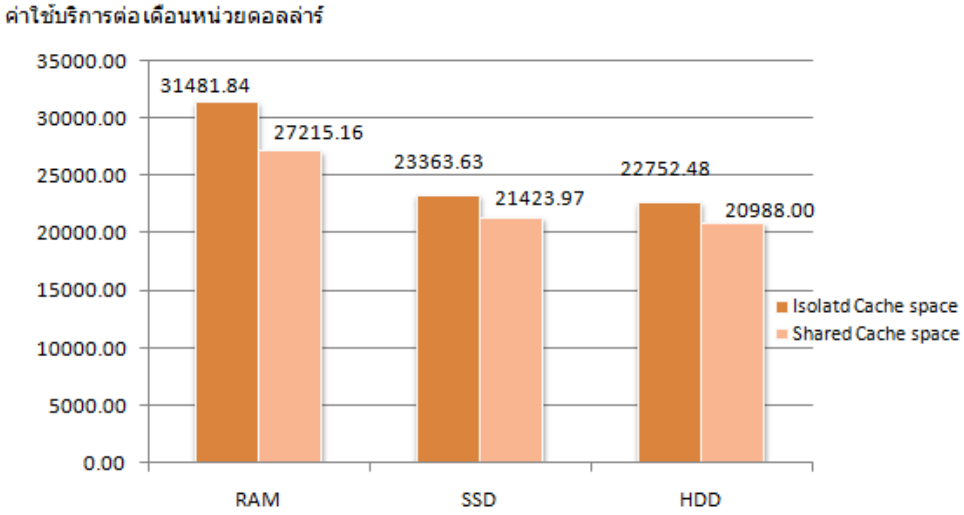


ภาพประกอบที่ 22 กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่กรณีเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา

กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่กรณีเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว แสดงตามภาพประกอบที่ 23 และกรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา แสดงตามภาพประกอบที่ 24

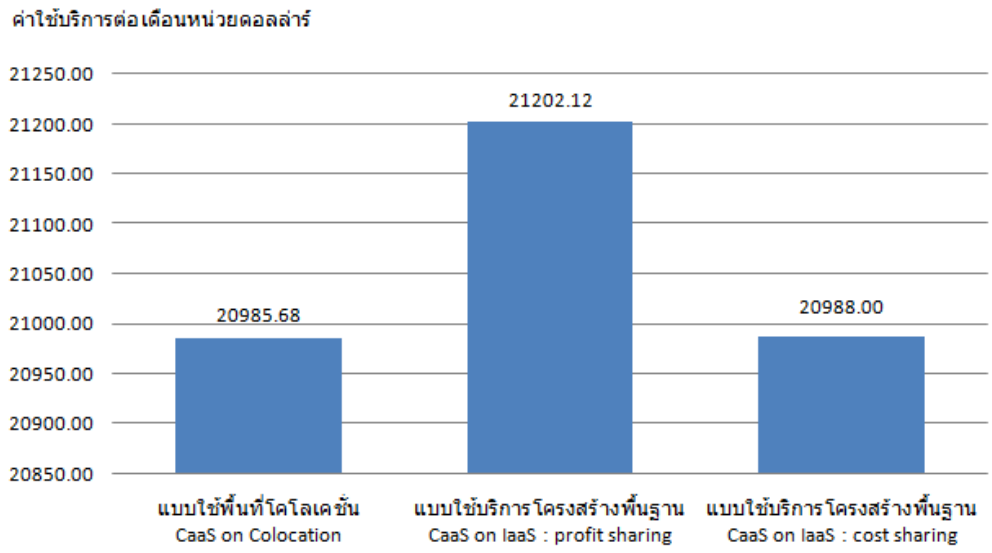


ภาพประกอบที่ 23 กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่กรณีเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว



ภาพประกอบที่ 24 กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่กรณีเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา

กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทระบบโครงสร้างพื้นฐาน Colocation/IaaS สำหรับระบบ CaaS ของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่ จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตราและร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30% แสดงตามภาพประกอบที่ 25 สำหรับกรณีที่ไม่ใช้การแคชคลาวด์ค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์เท่ากับ 46,040.77 ดอลล่าร์



ภาพประกอบที่ 25 กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทระบบโครงสร้างพื้นฐาน Colocation/IaaS สำหรับระบบ CaaS ของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่ จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

2. ชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไป

กรณีแบบเช่าพื้นที่โคโลเคชั่น

1) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (5) คำนวณ PRCapEx = 2.97162078207272

จากสมการ (9) คำนวณ PROpExf = 12.192541525

จากสมการ (17) คำนวณ PROpExv = 789.101251782676

จากสมการ (18) คำนวณ PROpEx = PROpExf + PROpExv

= 12.192541525 + 789.101251782676

= 801.293793307676

จากสมการ (19) คำนวณ PR = PRCapEx + PROpEx

= 2.97162078207272 + 801.293793307676

= 804.2654140897487

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 804.2654140897487 ดอลล่าร์ต่อเดือน

2) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (5) คำนวณ PRCapEx = 2.97162078207272

จากสมการ (9) คำนวณ PROpExf = 12.192541525

จากสมการ (17) คำนวณ PROpExv = 732.513919584315

จากสมการ (18) คำนวณ PROpEx = PROpExf + PROpExv

= 12.192541525 + 732.513919584315

= 744.706461109315

จากสมการ (19) คำนวณ PR = PRCapEx + PROpEx

= 2.97162078207272 + 744.706461109315

= 747.6780818913877

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 747.6780818913877 ดอลล่าร์ต่อเดือน

3) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (5) คำนวณ PRCapEx = 2.97162078207272

จากสมการ (9) คำนวณ PROpExf = 12.192541525

จากสมการ (17) คำนวณ PROpExv = 728.253946468985

จากสมการ (18) คำนวณ PROpEx = PROpExf + PROpExv

= 12.192541525 + 728.253946468985

= 740.446487993985

จากสมการ (19) คำนวณ PR = PRCapEx + PROpEx

= 2.97162078207272 + 740.446487993985

= 743.4181087760577

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 743.4181087760577 ดอลล่าร์ต่อเดือน

4) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (5) คำนวณ PRCapEx = 2.97162078207272

จากสมการ (9) คำนวณ PROpExf = 12.192541525

จากสมการ (17) คำนวณ PROpExv = 736.713090717868

จากสมการ (18) คำนวณ PROpEx = PROpExf + PROpExv

= 12.192541525 + 736.713090717868

= 748.905632242868

จากสมการ (19) คำนวณ PR = PRCapEx + PROpEx

= 2.97162078207272 + 748.905632242868

= 751.8772530249407

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 751.8772530249407 ดอลล่าร์ต่อเดือน

5) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (5) คำนวณ PRCapEx = 2.97162078207272

จากสมการ (9) คำนวณ PROpExf = 12.192541525

จากสมการ (17) คำนวณ PROpExv = 680.125758519720

จากสมการ (18) คำนวณ PROpEx = PROpExf + PROpExv

= 12.192541525 + 680.125758519720

= 692.31830004472

จากสมการ (19) คำนวณ PR = PRCapEx + PROpEx

= 2.97162078207272 + 692.31830004472

= 695.2899208267927

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 695.2899208267927 ดอลล่าร์ต่อเดือน

6) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (5) คำนวณ PRCapEx = 2.97162078207272

จากสมการ (9) คำนวณ PROpExf = 12.192541525

จากสมการ (17) คำนวณ PROpExv = 675.865785404383

จากสมการ (18) คำนวณ PROpEx = PROpExf + PROpExv

= 12.192541525 + 675.865785404383

= 688.058326929383

จากสมการ (19) คำนวณ PR = PRCapEx + PROpEx

= 2.97162078207272 + 688.058326929383

= 691.0299477114557

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 691.0299477114557 ดอลล่าร์ต่อเดือน

7) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (5) คำนวณ PRCapEx = 2.97162078207272

จากสมการ (9) คำนวณ PROpExf = 12.192541525

จากสมการ (17) คำนวณ PROpExv = 578.138935843063

จากสมการ (18) คำนวณ PROpEx = PROpExf + PROpExv

= 12.192541525 + 578.138935843063

= 590.331477368063

จากสมการ (19) คำนวณ PR = PRCapEx + PROpEx

= 2.97162078207272 + 590.331477368063

= 593.3030981501357

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 593.3030981501357 ดอลล่าร์ต่อเดือน

8) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (5) คำนวณ PRCapEx = 2.97162078207272

จากสมการ (9) คำนวณ PROpExf = 12.192541525

จากสมการ (17) คำนวณ PROpExv = 577.788287362834

จากสมการ (18) คำนวณ PROpEx = PROpExf + PROpExv

= 12.192541525 + 577.788287362834

= 589.980828887834

จากสมการ (19) คำนวณ PR = PRCapEx + PROpEx

= 2.97162078207272 + 589.980828887834

= 592.9524496699067

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 592.9524496699067 ดอลล่าร์ต่อเดือน

9) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (5) คำนวณ PRCapEx = 2.97162078207272

จากสมการ (9) คำนวณ PROpExf = 12.192541525

จากสมการ (17) คำนวณ PROpExv = 577.761890056685

จากสมการ (18) คำนวณ PROpEx = PROpExf + PROpExv

= 12.192541525 + 577.761890056685

= 589.954431581685

จากสมการ (19) คำนวณ PR = PRCapEx + PROpEx

= 2.97162078207272 + 589.954431581685

= 592.9260523637577

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 592.9260523637577 ดอลล่าร์ต่อเดือน

10) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (5) คำนวณ PRCapEx = 2.97162078207272

จากสมการ (9) คำนวณ PROpExf = 12.192541525

จากสมการ (17) คำนวณ PROpExv = 569.270884384430

จากสมการ (18) คำนวณ PROpEx = PROpExf + PROpExv

= 12.192541525 + 569.270884384430

= 581.46342590943

จากสมการ (19) คำนวณ PR = PRCapEx + PROpEx

= 2.97162078207272 + 581.46342590943

= 584.4350466915027

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 584.4350466915027 ดอลล่าร์ต่อเดือน

11) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (5) คำนวณ PRCapEx = 2.97162078207272

จากสมการ (9) คำนวณ PROpExf = 12.192541525

จากสมการ (17) คำนวณ PROpExv = 568.877575265226

จากสมการ (18) คำนวณ PROpEx = PROpExf + PROpExv

= 12.192541525 + 568.877575265226

= 581.070116790226

จากสมการ (19) คำนวณ PR = PRCapEx + PROpEx

= 2.97162078207272 + 581.070116790226

= 584.0417375722987

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 584.0417375722987 ดอลล่าร์ต่อเดือน

12) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (5) คำนวณ PRCapEx = 2.97162078207272

จากสมการ (9) คำนวณ PROpExf = 12.192541525

จากสมการ (17) คำนวณ PROpExv = 568.847966407296

จากสมการ (18) คำนวณ PROpEx = PROpExf + PROpExv

= 12.192541525 + 568.847966407296

= 581.040507932296

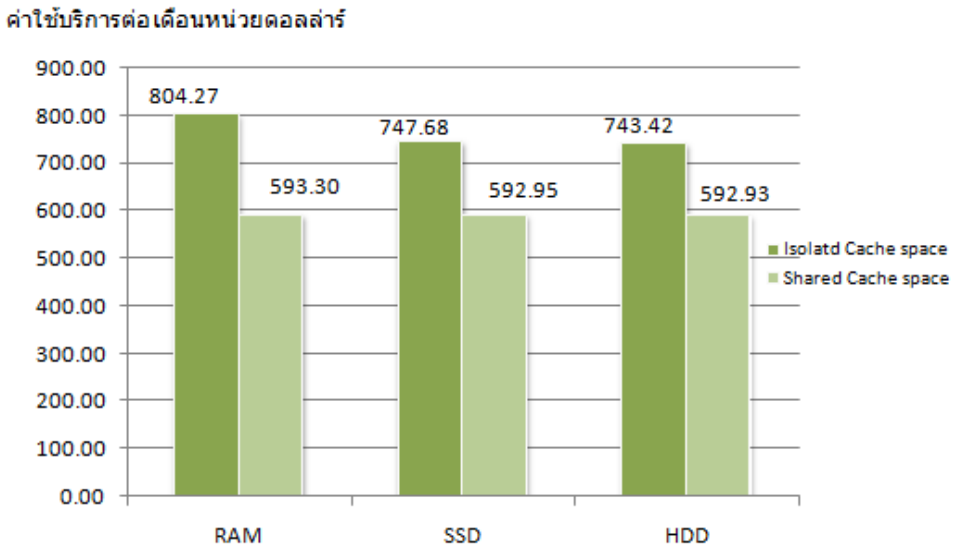
จากสมการ (19) คำนวณ PR = PRCapEx + PROpEx

= 2.97162078207272 + 581.040507932296

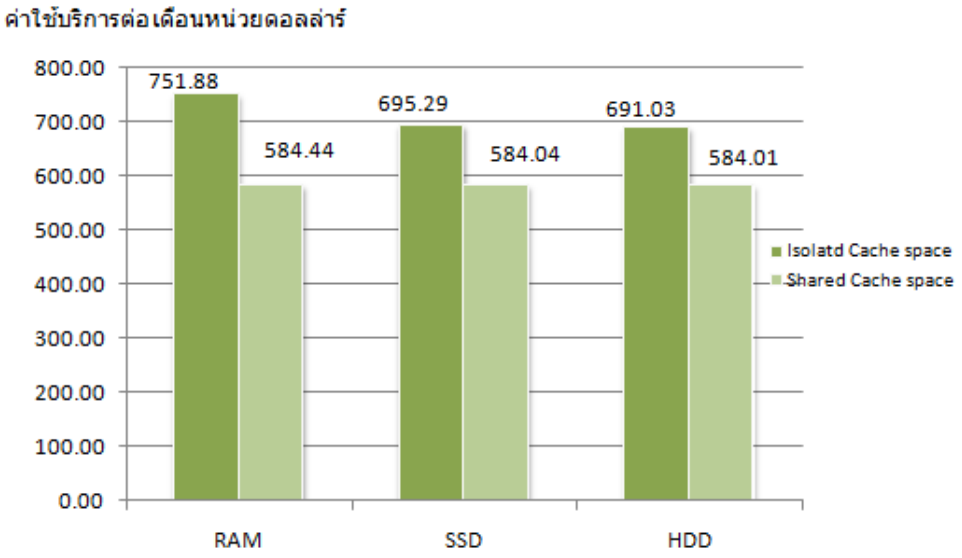
= 584.0121287143687

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 584.0121287143687 ดอลล่าร์ต่อเดือน

กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไปกรณีเช่าพื้นที่โคโลเคชั่น กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว แสดงตามภาพประกอบที่ 26 และกรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา แสดงตามภาพประกอบที่ 27



ภาพประกอบที่ 26 กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไปกรณีเช่าพื้นที่โคโลเคชั่น กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว



ภาพประกอบที่ 27 กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไปกรณีเช่าพื้นที่โคโลเคชั่น กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา

กรณีแบบเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์

1) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (21) คำนวณ CapEx = 0.564265536723164

จากสมการ (23) คำนวณ OpExf = 14.08288136

จากสมการ (27) คำนวณ OpExv = 762.462909556227

จากสมการ (28) คำนวณ OpEx = OpExf + OpExv

= 14.08288136 + 762.462909556227

= 776.545790916227

ดังนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย CapEx + OpEx = 0.564265536723164 + 776.545790916227

= 777.1100564529502

จากสมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณได้ผลลัพธ์

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = 5.13361149785068

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร =

[(((777.1100564529502 × 100) / (100 - 5.13361149785068)) - 777.1100564529502) × 3.8] / 100

= 1.597999934306040

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 777.1100564529502 + 1.597999934306040

= 778.7080563872562

ดังนั้นได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 778.7080563872562 ดอลล่าร์ต่อเดือน

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร

= [777.1100564529502 × 3.8] / 100

= 29.5301821452121

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 777.1100564529502 + 29.5301821452121

= 806.6402385981623

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 806.6402385981623 ดอลล่าร์ต่อเดือน

2) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (21) คำนวณ CapEx = 0.564265536723164

จากสมการ (23) คำนวณ OpExf = 14.08288136

จากสมการ (27) คำนวณ OpExv = 705.875577358142

จากสมการ (28) คำนวณ OpEx = OpExf + OpExv

= 14.08288136 + 705.875577358142

= 719.958458718142

ดังนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย CapEx + OpEx = 0.564265536723164 + 719.958458718142

= 720.5227242548652

จากสมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณได้ผลลัพธ์

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = 12.1742632768705

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร =

[(((720.5227242548652 × 100) / (100 - 12.1742632768705)) - 720.5227242548652) × 3.8] / 100

= 3.795352927679910

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 720.5227242548652 + 3.795352927679910

= 724.3180771825451

ดังนั้นได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 724.3180771825451 ดอลล่าร์ต่อเดือน

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร

= [720.5227242548652 × 3.8] / 100

= 27.3798635216849

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 720.5227242548652 + 27.3798635216849

= 747.9025877765501

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 747.9025877765501 ดอลล่าร์ต่อเดือน

3) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (21) คำนวณ CapEx = 0.564265536723164

จากสมการ (23) คำนวณ OpExf = 14.08288136

จากสมการ (27) คำนวณ OpExv = 701.615604242814

จากสมการ (28) คำนวณ OpEx = OpExf + OpExv

= 14.08288136 + 701.615604242814

= 715.698485602814

ดังนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย CapEx + OpEx = 0.564265536723164 + 715.698485602814

= 716.2627511395372

จากสมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณได้ผลลัพธ์

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = 12.7042933406314

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร =

[(((716.2627511395372 × 100) / (100 - 12.7042933406314)) - 716.2627511395372) × 3.8] / 100

= 3.961079794315120

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 716.2627511395372 + 3.961079794315120

= 720.2238309338523

ดังนั้นได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 720.2238309338523 ดอลล่าร์ต่อเดือน

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร

= [716.2627511395372 × 3.8] / 100

= 27.2179845433024

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 716.2627511395372 + 27.2179845433024

= 743.4807356828396

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 743.4807356828396 ดอลล่าร์ต่อเดือน

4) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (21) คำนวณ CapEx = 0.564265536723164

จากสมการ (23) คำนวณ OpExf = 14.08288136

จากสมการ (27) คำนวณ OpExv = 711.992619508149

จากสมการ (28) คำนวณ OpEx = OpExf + OpExv

= 14.08288136 + 711.992619508149

= 726.075500868149

ดังนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย CapEx + OpEx = 0.564265536723164 + 726.075500868149

= 726.6397664048722

จากสมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณได้ผลลัพธ์

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = 4.801799470594090

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร =

[(((726.6397664048722 × 100) / (100 - 4.801799470594090)) - 726.6397664048722) × 3.8] / 100

= 1.392765621585410

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 726.6397664048722 + 1.392765621585410

= 728.0325320264576

ดังนั้นได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 728.0325320264576 ดอลล่าร์ต่อเดือน

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร

= [726.6397664048722 × 3.8] / 100

= 27.6123111233851

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 726.6397664048722 + 27.6123111233851

= 754.2520775282573

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 754.2520775282573 ดอลล่าร์ต่อเดือน

5) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (21) คำนวณ CapEx = 0.564265536723164

จากสมการ (23) คำนวณ OpExf = 14.08288136

จากสมการ (27) คำนวณ OpExv = 655.405287310074

จากสมการ (28) คำนวณ OpEx = OpExf + OpExv

= 14.08288136 + 655.405287310074

= 669.488168670074

ดังนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย CapEx + OpEx = 0.564265536723164 + 669.488168670074

= 670.0524342067972

จากสมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณได้ผลลัพธ์

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = 12.3679062677935

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร =

[(((670.0524342067972 x 100) / (100 - 12.3679062677935)) - 670.0524342067972) x 3.8] / 100

= 3.593563992569220

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 670.0524342067972 + 3.593563992569220

= 673.6459981993664

ดังนั้นได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 673.6459981993664 ดอลล่าร์ต่อเดือน

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร

= [670.0524342067972 × 3.8] / 100

= 25.4619924998583

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 670.0524342067972 + 25.4619924998583

= 695.5144267066555

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 695.5144267066555 ดอลล่าร์ต่อเดือน

6) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (21) คำนวณ CapEx = 0.564265536723164

จากสมการ (23) คำนวณ OpExf = 14.08288136

จากสมการ (27) คำนวณ OpExv = 651.145314194732

จากสมการ (28) คำนวณ OpEx = OpExf + OpExv

= 14.08288136 + 651.145314194732

= 665.228195554732

ดังนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย CapEx + OpEx = 0.564265536723164 + 665.228195554732

= 665.7924610914552

จากสมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณได้ผลลัพธ์

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = 12.9374933165531

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร =

[(((665.7924610914552 × 100) / (100 - 12.9374933165531)) - 665.7924610914552) × 3.8] / 100

= 3.7595982709553

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 665.7924610914552 + 3.7595982709553

= 669.5520593624105

ดังนั้นได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 669.5520593624105 ดอลล่าร์ต่อเดือน

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร

= [665.7924610914552 × 3.8] / 100

= 25.3001135214753

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 665.7924610914552 + 25.3001135214753

= 691.0925746129305

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 691.0925746129305 ดอลล่าร์ต่อเดือน

7) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (21) คำนวณ CapEx = 0.564265536723164

จากสมการ (23) คำนวณ OpExf = 14.08288136

จากสมการ (27) คำนวณ OpExv = 556.987867450261

จากสมการ (28) คำนวณ OpEx = OpExf + OpExv

= 14.08288136 + 556.987867450261

= 571.070748810261

ดังนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย CapEx + OpEx = 0.564265536723164 + 571.070748810261

= 571.6350143469842

จากสมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณได้ผลลัพธ์

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = 30.6990192411142

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร =

[(((571.6350143469842 × 100) / (100 - 30.6990192411142)) - 571.6350143469842) × 3.8] / 100

= 9.62249157605374

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 571.6350143469842 + 9.62249157605374

= 581.2575059230379

ดังนั้นได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 581.2575059230379 ดอลล่าร์ต่อเดือน

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร

= [571.6350143469842 × 3.8] / 100

= 21.7221305451854

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 571.6350143469842 + 21.7221305451854

= 593.3571448921696

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 593.3571448921696 ดอลล่าร์ต่อเดือน

8) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (21) คำนวณ CapEx = 0.564265536723164

จากสมการ (23) คำนวณ OpExf = 14.08288136

จากสมการ (27) คำนวณ OpExv = 556.637218969277

จากสมการ (28) คำนวณ OpEx = OpExf + OpExv

= 14.08288136 + 556.637218969277

= 570.720100329277

ดังนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย CapEx + OpEx = 0.564265536723164 + 570.720100329277

= 571.2843658660002

จากสมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณได้ผลลัพธ์

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = 30.7426472715506

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร =

[(((571.2843658660002 × 100) / (100 - 30.7426472715506)) - 571.2843658660002) × 3.8] / 100

= 9.6363221559508

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 571.2843658660002 + 9.6363221559508

= 580.920688021951

ดังนั้นได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 580.920688021951 ดอลล่าร์ต่อเดือน

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร

= [571.2843658660002 × 3.8] / 100

= 21.708805902908

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 571.2843658660002 + 21.708805902908

= 592.9931717689082

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 592.9931717689082 ดอลล่าร์ต่อเดือน

9) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกันและอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (21) คำนวณ CapEx = 0.564265536723164

จากสมการ (23) คำนวณ OpExf = 14.08288136

จากสมการ (27) คำนวณ OpExv = 556.610821664024

จากสมการ (28) คำนวณ OpEx = OpExf + OpExv

= 14.08288136 + 556.610821664024

= 570.693703024024

ดังนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย CapEx + OpEx = 0.564265536723164 + 570.693703024024

= 571.2579685607472

จากสมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณได้ผลลัพธ์

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = 30.7459316503501

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร =

[(((571.2579685607472 ×100) / (100 - 30.7459316503501)) - 571.2579685607472) × 3.8] / 100

= 9.63736336703841

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 571.2579685607472 + 9.63736336703841

= 580.8953319277856

ดังนั้นได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 580.8953319277856 ดอลล่าร์ต่อเดือน

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร

= [571.2579685607472 × 3.8] / 100

= 21.7078028053084

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 571.2579685607472 + 21.7078028053084

= 592.9657713660556

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 592.9657713660556 ดอลล่าร์ต่อเดือน

10) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (21) คำนวณ CapEx = 0.564265536723164

จากสมการ (23) คำนวณ OpExf = 14.08288136

จากสมการ (27) คำนวณ OpExv = 548.446161351263

จากสมการ (28) คำนวณ OpEx = OpExf + OpExv

= 14.08288136 + 548.446161351263

= 562.529042711263

ดังนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย CapEx + OpEx = 0.564265536723164 + 562.529042711263

= 563.0933082479862

จากสมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณได้ผลลัพธ์

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = 26.6690605810375

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร =

[(((563.0933082479862 × 100) / (100 - 26.6690605810375)) - 563.0933082479862) × 3.8] / 100

= 7.78187825545906

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 563.0933082479862 + 7.78187825545906

= 570.8751865034453

ดังนั้นได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 570.8751865034453 ดอลล่าร์ต่อเดือน

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร

= [563.0933082479862 × 3.8] / 100

= 21.3975457134235

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 563.0933082479862 + 21.3975457134235

= 584.4908539614097

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 584.4908539614097 ดอลล่าร์ต่อเดือน

11) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (21) คำนวณ CapEx = 0.564265536723164

จากสมการ (23) คำนวณ OpExf = 14.08288136

จากสมการ (27) คำนวณ OpExv = 548.052852230493

จากสมการ (28) คำนวณ OpEx = OpExf + OpExv

= 14.08288136 + 548.052852230493

= 562.135733590493

ดังนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย CapEx + OpEx = 0.564265536723164 + 562.135733590493

= 562.6999991272162

จากสมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณได้ผลลัพธ์

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = 26.7216486550192

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร =

[(((562.6999991272162 × 100) / (100 - 26.7216486550192)) - 562.6999991272162) × 3.8] / 100

= 7.79736870654509

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 562.6999991272162 + 7.79736870654509

= 570.4973678337613

ดังนั้นได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 570.4973678337613 ดอลล่าร์ต่อเดือน

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร

= [562.6999991272162 × 3.8] / 100

= 21.3825999668342

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 562.6999991272162 + 21.3825999668342

= 584.0825990940504

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 584.0825990940504 ดอลล่าร์ต่อเดือน

12) ผลลัพธ์จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

จากสมการ (21) คำนวณ CapEx = 0.564265536723164

จากสมการ (23) คำนวณ OpExf = 14.08288136

จากสมการ (27) คำนวณ OpExv = 548.023243373425

จากสมการ (28) คำนวณ OpEx = OpExf + OpExv

= 14.08288136 + 548.023243373425

= 562.106124733425

ดังนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย CapEx + OpEx = 0.564265536723164 + 562.106124733425

= 562.6703902701482

จากสมการคำนวณตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล คำนวณได้ผลลัพธ์

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล = 26.7256075582935

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร =

[(((562.6703902701482 × 100) / (100 - 26.7256075582935)) - 562.6703902701482) × 3.8] / 100

= 7.79853488087006

ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 562.6703902701482 + 7.79853488087006

= 570.4689251510183

ดังนั้นได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 570.4689251510183 ดอลล่าร์ต่อเดือน

ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย ที่เท่ากับ 3.8% ซึ่งคำนวณกำไร

= [562.6703902701482 × 3.8] / 100

= 21.3814748302656

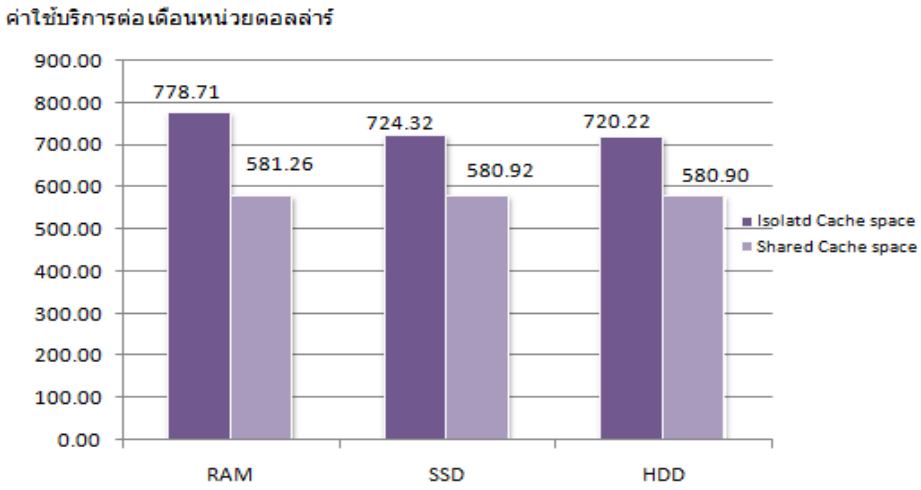
ดังนั้นคำนวณ PR = ค่าใช้จ่าย + กำไร

= 562.6703902701482 + 21.3814748302656

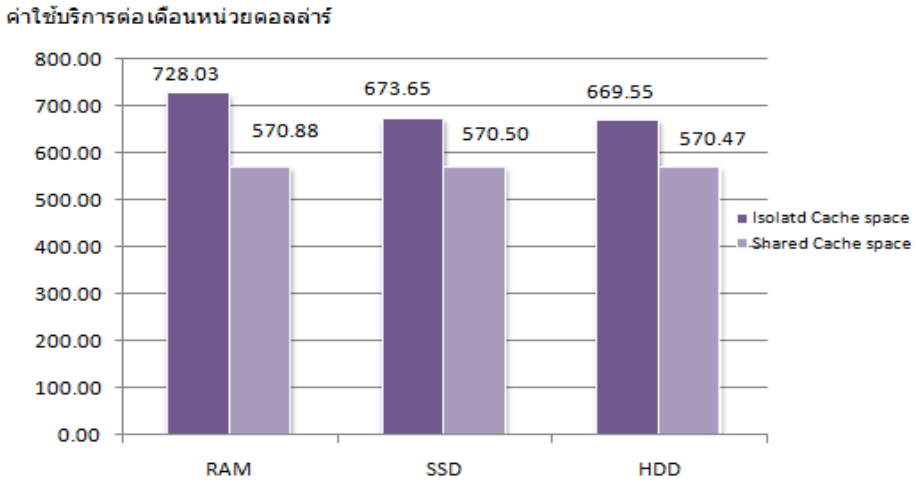
= 584.0518651004138

ดังนั้น ได้ผลลัพธ์จากตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนเท่ากับ 584.0518651004138 ดอลล่าร์ต่อเดือน

กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไปกรณีเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว แสดงตามภาพประกอบที่ 28 และกรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา แสดงตามภาพประกอบที่ 29

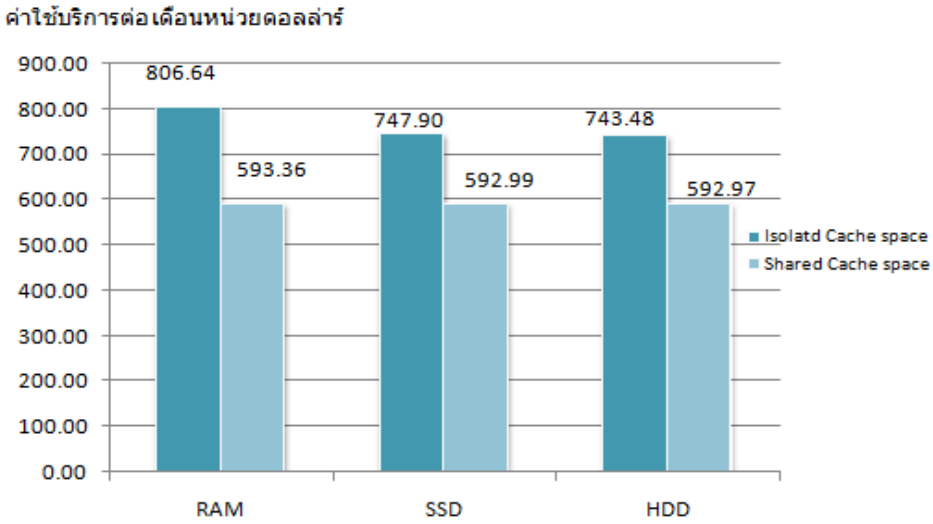


ภาพประกอบที่ 28 กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไปกรณีเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว

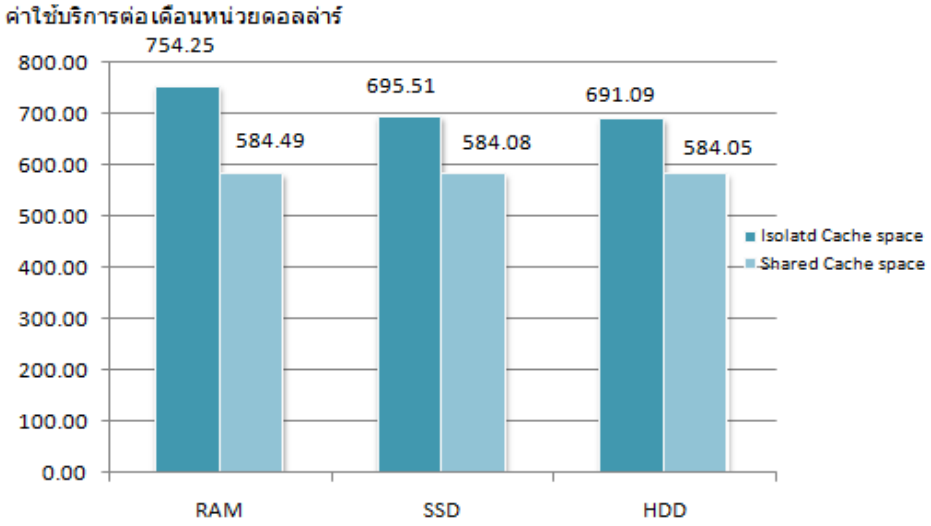


ภาพประกอบที่ 29 กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไปกรณีเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไร กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา

กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไปกรณีเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว แสดงตามภาพประกอบที่ 30 และกรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา แสดงตามภาพประกอบที่ 31

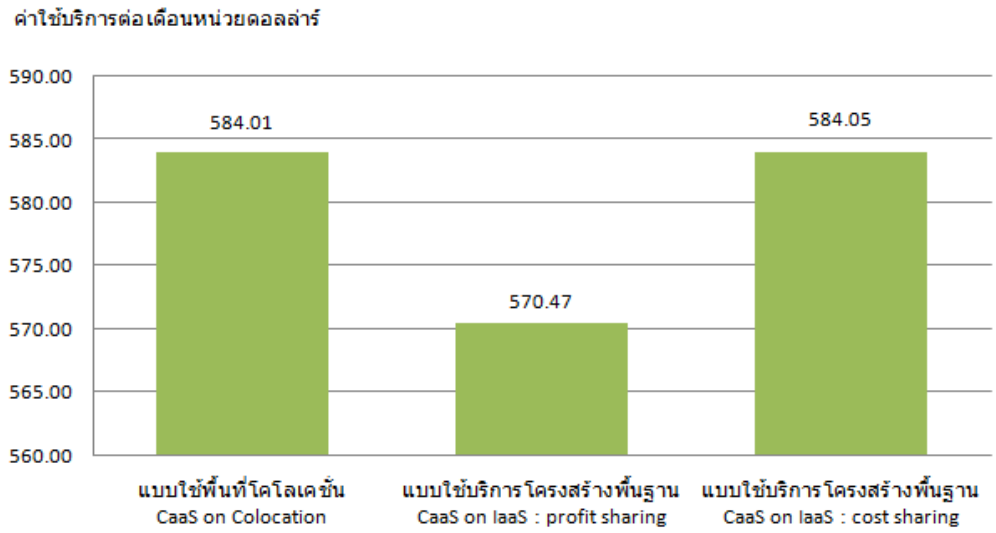


ภาพประกอบที่ 30 กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไปกรณีเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบอัตราเดียว



ภาพประกอบที่ 31 กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทหน่วยเก็บข้อมูลแคชและระหว่างประเภทบริการของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไปกรณีเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่ใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย กรณีใช้อัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา

กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทระบบโครงสร้างพื้นฐาน Colocation/IaaS สำหรับระบบ CaaS ของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไป จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตราและร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30% แสดงตามภาพประกอบที่ 32 สำหรับกรณีที่ไม่ใช้การแคชคลาวด์ค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์เท่ากับ 747.90 ดอลล่าร์



ภาพประกอบที่ 32 กราฟเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทระบบโครงสร้างพื้นฐาน Colocation/IaaS สำหรับระบบ CaaS ของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไป จากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน และแบบอัตราค่าโหลดข้อมูลแบบหลายอัตรา และร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

การวัดผลตัวแบบทางเทคนิค

การวัดผลตัวแบบทางเทคนิคของบริการแคชคลาวด์ด้วยวิธีการจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรมจำลองการทำงานเพื่อศึกษาสมรรถนะการทำงานและวัดผลประสิทธิภาพการทำงานของตัวแบบในรูปแบบของข้อมูลสถิติเชิงประสิทธิภาพตามหน่วยวัดสมรรถนะเชิงเทคนิค อันได้แก่ อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล, อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล, อัตราการพบข้อมูลในแคช, อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช

ผลการประเมินตัวแบบทางเทคนิค

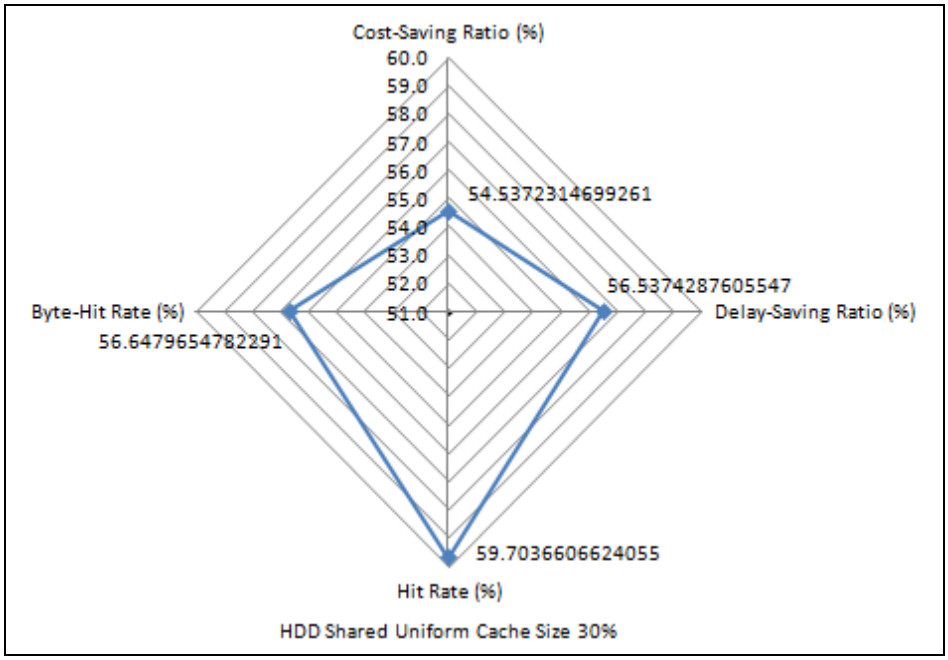
1. ชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่

กรณีแบบเช่าพื้นที่โคโลเคชั่น

1. พบว่ากรณีทดสอบที่ 9 ในตารางที่ 7 ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน อัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30% มีอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลสูงที่สุดเท่ากับ 54.5372314699261 มากกว่าทุกกรณีทดสอบ ผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพแสดงดังตารางที่ 9 และกราฟแสดงตามภาพประกอบที่ 33

ตารางที่ 9 ผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพของตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, อัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล (%)	อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล (%)	อัตราการพบข้อมูลในแคช (%)	อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช (%)
54.5372314699261	56.5374287605547	59.7036606624055	56.6479654782291



ภาพประกอบที่ 33 กราฟผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพของตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

2. พบว่ากรณีทดสอบที่ 7,10 ในตารางที่ 7 มีอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลสูงที่สุดเท่ากับ 56.6541273020894 มากกว่ากรณีทดสอบอื่นๆ ที่เหลือ ผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพแสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลลัพธ์ของตัวแบบที่มีอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลสูงที่สุด

กรณีทดสอบที่	อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล (%)
7. ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน,	56.6541273020894

แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	
10. ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบหลายอัตรา, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	56.6541273020894

3. พบว่ากรณีทดสอบที่ 7,8,9,10,11,12 ในตารางที่ 7 มีอัตราการพบข้อมูลในแคชสูงที่สุดเท่ากันเท่ากับ 59.7036606624055 และมีอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชสูงที่สุดเท่ากันเท่ากับ 56.6479654782291 ผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพของตัวแบบที่มีอัตราการพบข้อมูลในแคชสูงที่สุดและอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชสูงที่สุด แสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลลัพธ์ของตัวแบบที่มีอัตราการพบข้อมูลในแคชสูงที่สุดและอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชสูงที่สุด

กรณีทดสอบที่	อัตราการพบข้อมูลในแคช (%)	อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช (%)
7. ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	59.7036606624055	56.6479654782291
8. ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	59.7036606624055	56.6479654782291
9. ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	59.7036606624055	56.6479654782291
10. ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบหลายอัตรา, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	59.7036606624055	56.6479654782291
11. ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบหลายอัตรา, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	59.7036606624055	56.6479654782291

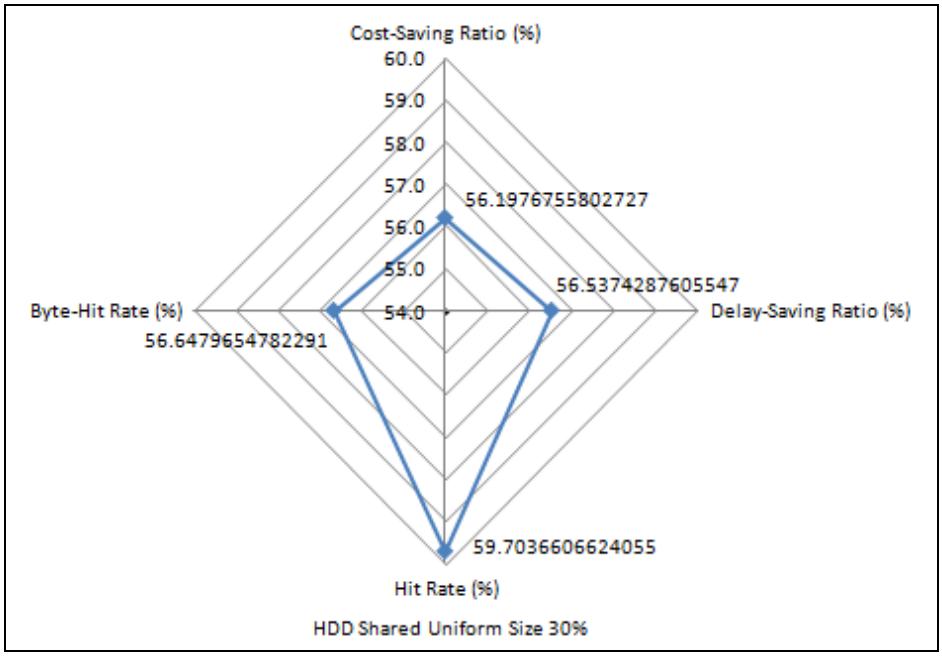
12. ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบหลายอัตรา, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	59.7036606624055	56.6479654782291

กรณีแบบเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์

1. พบว่ากรณีทดสอบที่ 9 ในตารางที่ 7 ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30% มีอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลสูงที่สุดเท่ากับ 56.1976755802727 มากกว่าทุกกรณีทดสอบ ผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพแสดงดังตารางที่ 12 และกราฟแสดงตามภาพประกอบที่ 34

ตารางที่ 12 ผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพของตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล (%)	อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล (%)	อัตราการพบข้อมูลในแคช (%)	อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช (%)
56.1976755802727	56.5374287605547	59.7036606624055	56.6479654782291



ภาพประกอบที่ 34 กราฟผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพของตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

2. พบว่ากรณีทดสอบที่ 7,10 ในตารางที่ 7 มีอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลสูงที่สุดเท่ากับ 56.6541273020894 มากกว่าทุกกรณีทดสอบอื่นๆ ที่เหลือ ผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพแสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ผลลัพธ์ของตัวแบบที่มีอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลสูงที่สุด

กรณีทดสอบที่	อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล (%)
7. ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	56.6541273020894
10. ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบหลายอัตรา, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	56.6541273020894

3. พบว่ากรณีทดสอบที่ 7,8,9,10,11,12 ในตารางที่ 7 มีอัตราการพบข้อมูลในแคชสูงที่สุดเท่ากันเท่ากับ 59.7036606624055 และมีอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชสูงที่สุดเท่ากันเท่ากับ 56.6479654782291 ผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพของตัวแบบที่มีอัตราการพบข้อมูลในแคชสูงที่สุดและอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชสูงที่สุด แสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ผลลัพธ์ของตัวแบบที่มีอัตราการพบข้อมูลในแคชสูงที่สุดและอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชสูงที่สุด

กรณีทดสอบที่	อัตราการพบข้อมูลในแคช (%)	อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช (%)
7. ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	59.7036606624055	56.6479654782291
8. ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบ	59.7036606624055	56.6479654782291

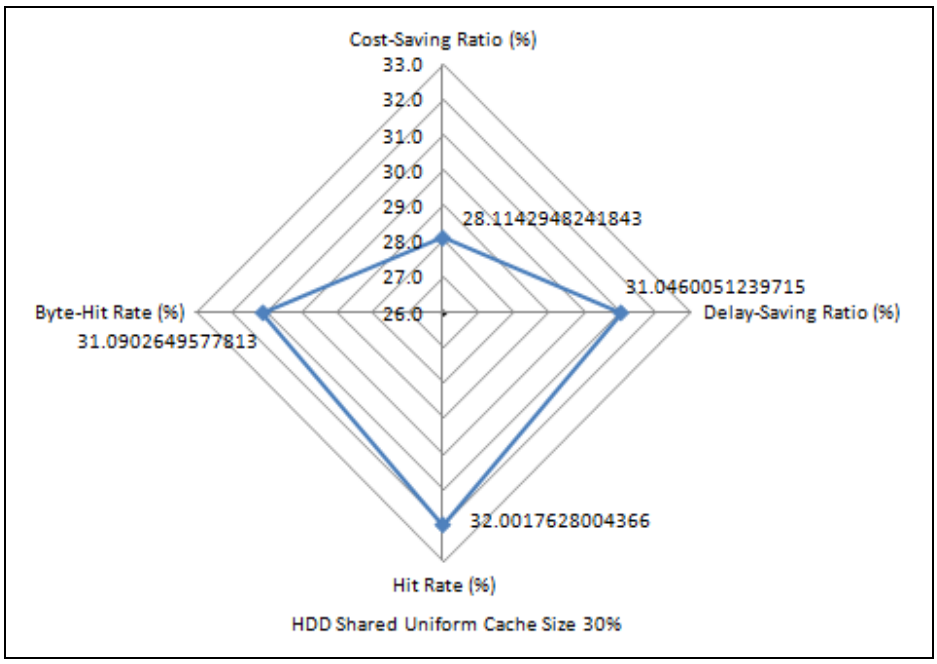
ใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%		
9. ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	59.7036606624055	56.6479654782291
10. ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบหลายอัตรา, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	59.7036606624055	56.6479654782291
11. ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบหลายอัตรา, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	59.7036606624055	56.6479654782291
12. ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบหลายอัตรา, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	59.7036606624055	56.6479654782291

2. ชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดทั่วไป
กรณีแบบเช่าพื้นที่โคโลเคชั่น

1. พบว่ากรณีทดสอบที่ 9 ในตารางที่ 8 ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30% มีอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลสูงที่สุดเท่ากับ 28.1142948241843 มากกว่าทุกกรณีทดสอบ ผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพแสดงดังตารางที่ 15 และกราฟแสดงตามภาพประกอบที่ 35

ตารางที่ 15 ผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพของตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล (%)	อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล (%)	อัตราการพบข้อมูลในแคช (%)	อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช (%)
28.11429482418430	31.04600512397150	32.00176280043660	31.09026495778130



ภาพประกอบที่ 35 กราฟผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพของตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

2. พบว่ากรณีทดสอบที่ 7,10 ในตารางที่ 8 มีอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลสูงที่สุดเท่ากับ 31.0774478031981 มากกว่าทุกกรณีทดสอบอื่นๆ ที่เหลือ ผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพแสดงดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ผลลัพธ์ของตัวแบบที่มีอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลสูงที่สุด

กรณีทดสอบที่	อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล (%)
7. ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	31.0774478031981
10. ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบหลายอัตรา, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	31.0774478031981

3. พบว่ากรณีทดสอบที่ 7,8,9,10,11,12 ในตารางที่ 8 มีอัตราการพบข้อมูลในแคชสูงที่สุดเท่ากันเท่ากับ 32.0017628004366 และมีอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชสูงที่สุดเท่ากัน

เท่ากับ 31.0902649577813 ผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพของตัวแบบที่มีอัตราการพบข้อมูลในแคชสูงที่สุดและอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชสูงที่สุด แสดงดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ผลลัพธ์ของตัวแบบที่มีอัตราการพบข้อมูลในแคชสูงที่สุดและอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชสูงที่สุด

กรณีทดสอบที่	อัตราการพบข้อมูลในแคช (%)	อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช (%)
7. ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	32.0017628004366	31.0902649577813
8. ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	32.0017628004366	31.0902649577813
9. ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	32.0017628004366	31.0902649577813
10. ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบหลายอัตรา, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	32.0017628004366	31.0902649577813
11. ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบหลายอัตรา, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	32.0017628004366	31.0902649577813
12. ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบหลายอัตรา, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	32.0017628004366	31.0902649577813

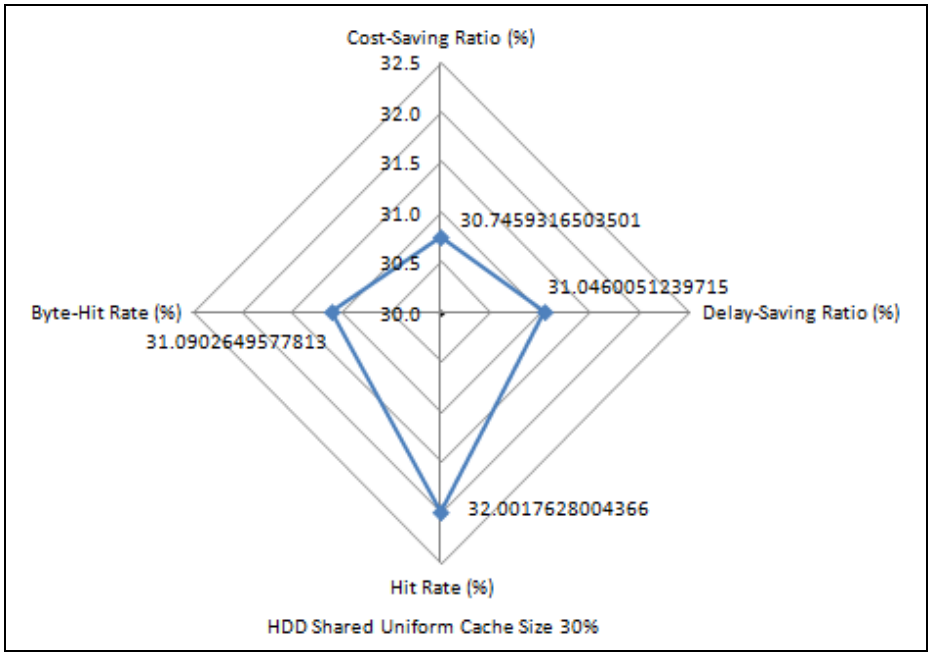
กรณีแบบเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์

1. พบว่ากรณีทดสอบที่ 9 ในตารางที่ 8 ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30% มีอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลสูงที่สุดเท่ากับ

30.7459316503501 มากกว่าทุกกรณีทดสอบ ผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพแสดงดังตารางที่ 18 และกราฟแสดงตามภาพประกอบที่ 36

ตารางที่ 18 ผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพของตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

อัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล (%)	อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล (%)	อัตราการพบข้อมูลในแคช (%)	อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช (%)
30.74593165035010	31.04600512397150	32.00176280043660	31.09026495778130



ภาพประกอบที่ 36 กราฟผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพของตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราค่าโหลดข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%

2. พบว่ากรณีทดสอบที่ 7,10 ในตารางที่ 8 มีอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลสูงที่สุดเท่ากับ 31.0774478031981 มากกว่าทุกกรณีทดสอบอื่นๆ ที่เหลือ ผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพแสดงดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ผลลัพธ์ของตัวแบบที่มีอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูลสูงที่สุด

กรณีทดสอบที่	อัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล (%)
7. ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	31.0774478031981
10. ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบหลายอัตรา, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	31.0774478031981

3. พบว่ากรณีทดสอบที่ 7,8,9,10,11,12 ในตารางที่ 8 มีอัตราการพบข้อมูลในแคชสูงที่สุดเท่ากันเท่ากับ 32.0017628004366 และมีอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชสูงที่สุดเท่ากันเท่ากับ 31.0902649577813 ผลลัพธ์เชิงประสิทธิภาพของตัวแบบที่มีอัตราการพบข้อมูลในแคชสูงที่สุดและอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชสูงที่สุด แสดงดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ผลลัพธ์ของตัวแบบที่มีอัตราการพบข้อมูลในแคชสูงที่สุดและอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชสูงที่สุด

กรณีทดสอบที่	อัตราการพบข้อมูลในแคช (%)	อัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช (%)
7. ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	32.0017628004366	31.0902649577813
8. ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	32.0017628004366	31.0902649577813
9. ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบอัตราเดียว, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	32.0017628004366	31.0902649577813
10. ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบหลายอัตรา, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	32.0017628004366	31.0902649577813

11. ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบหลายอัตรา, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	32.0017628004366	31.0902649577813
12. ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, แบบหลายอัตรา, ร้อยละของขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช 30%	32.0017628004366	31.0902649577813

การพัฒนาระบบต้นแบบบริการแคช

การพัฒนาระบบต้นแบบบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ ผู้วิจัยได้ปฏิบัติตามขั้นตอนของการพัฒนาระบบซึ่งประกอบไปด้วยกระบวนการดังต่อไปนี้ 1. การวิเคราะห์และออกแบบระบบ 2. การสร้างระบบ 3. การทดสอบและประเมินผลการใช้งานระบบ

1. การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่ศึกษามาวิเคราะห์และกำหนดเป็นข้อกำหนดความต้องการของระบบ (software requirement specification: SRS) ของระบบต้นแบบบริการแคชคลาวด์ และทำการออกแบบระบบต้นแบบบริการแคชคลาวด์โดยใช้โปรแกรมเชิงวัตถุยูเอ็มแอล (UML) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) ระบบบริการแคชคลาวด์ในระดับแนวคิด (conceptual design)

2) ระบบบริการแคชคลาวด์ในระดับสถาปัตยกรรม (physical design)

3) ระบบการไหลของงาน (system workflow)

4) แผนภาพยูสเคส (use case diagram)

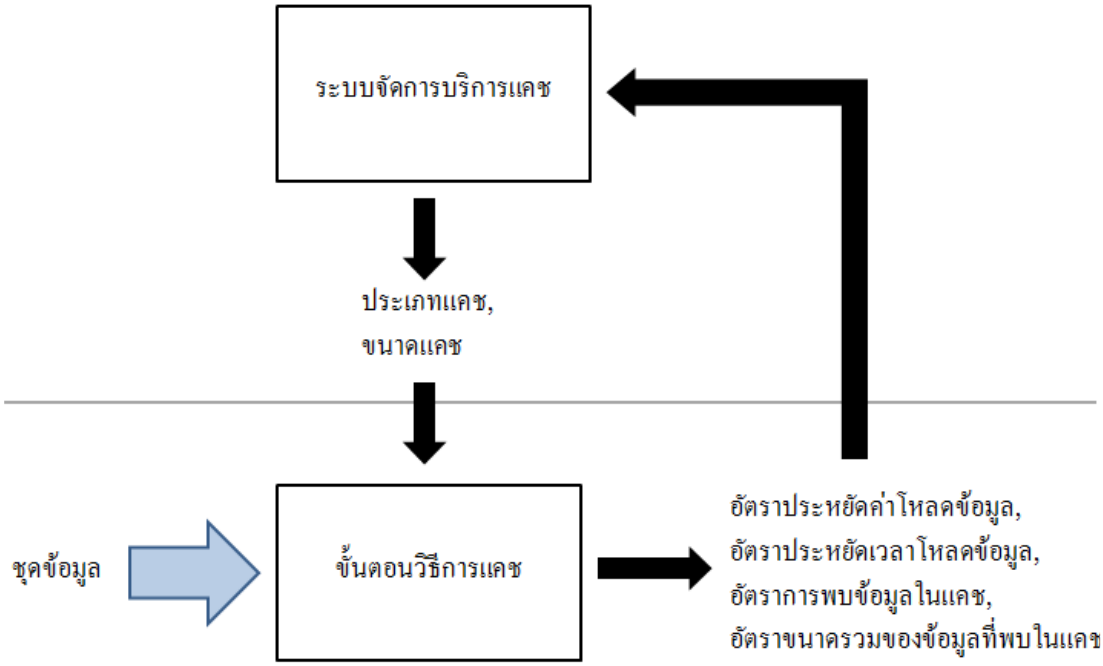
5) แผนภาพคลาส (class diagram)

6) แผนภาพซีเควนซ์ (sequence diagram)

7) แผนภาพความสัมพันธ์เอนทิตี (entity relationship diagram)

8) พจนานุกรมข้อมูล (data dictionary)

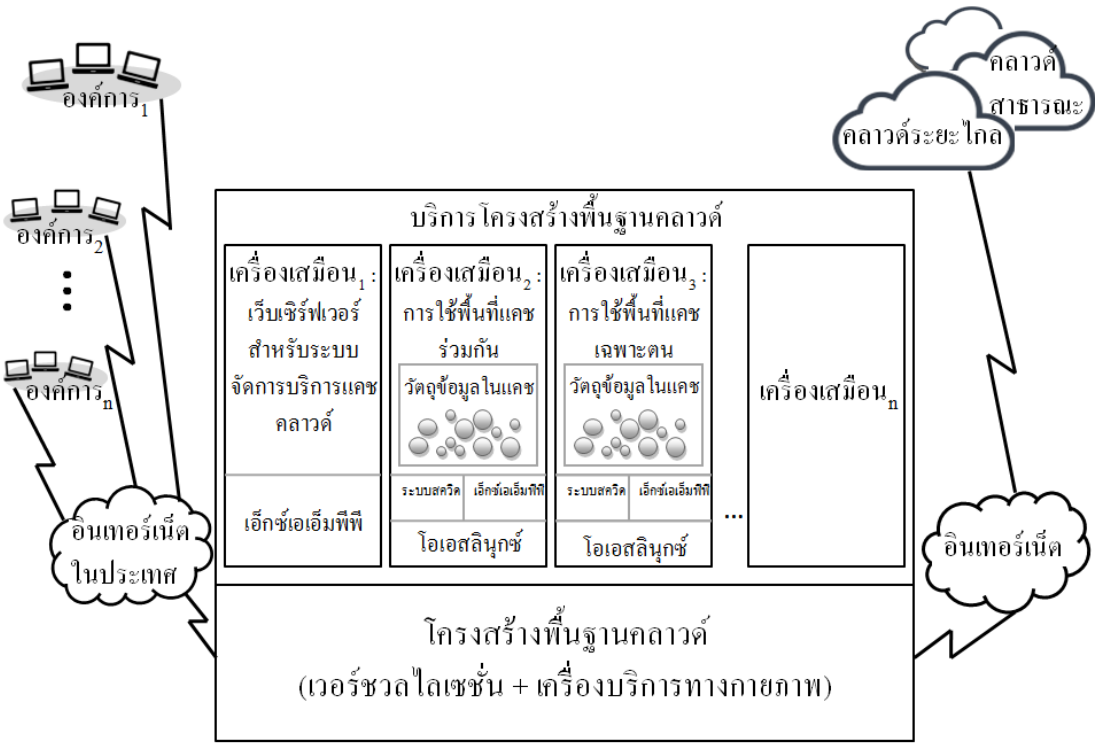
1) ระบบบริการแคชคลาวด์ในระดับแนวคิดแสดงการทำงานของระบบและความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในระบบว่ามีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบส่วนอื่นๆ อย่างไรระดับในแนวความคิดเท่านั้นยังไม่ใช่วิธีการจริงทางกายภาพ แสดงตามภาพประกอบที่ 37



โดยที่เป็นเครื่องบริการคนละเครื่องกันระหว่างเครื่องบริการระบบจัดการบริการแคชกับเครื่องบริการที่ทำขั้นตอนวิธีการแคช

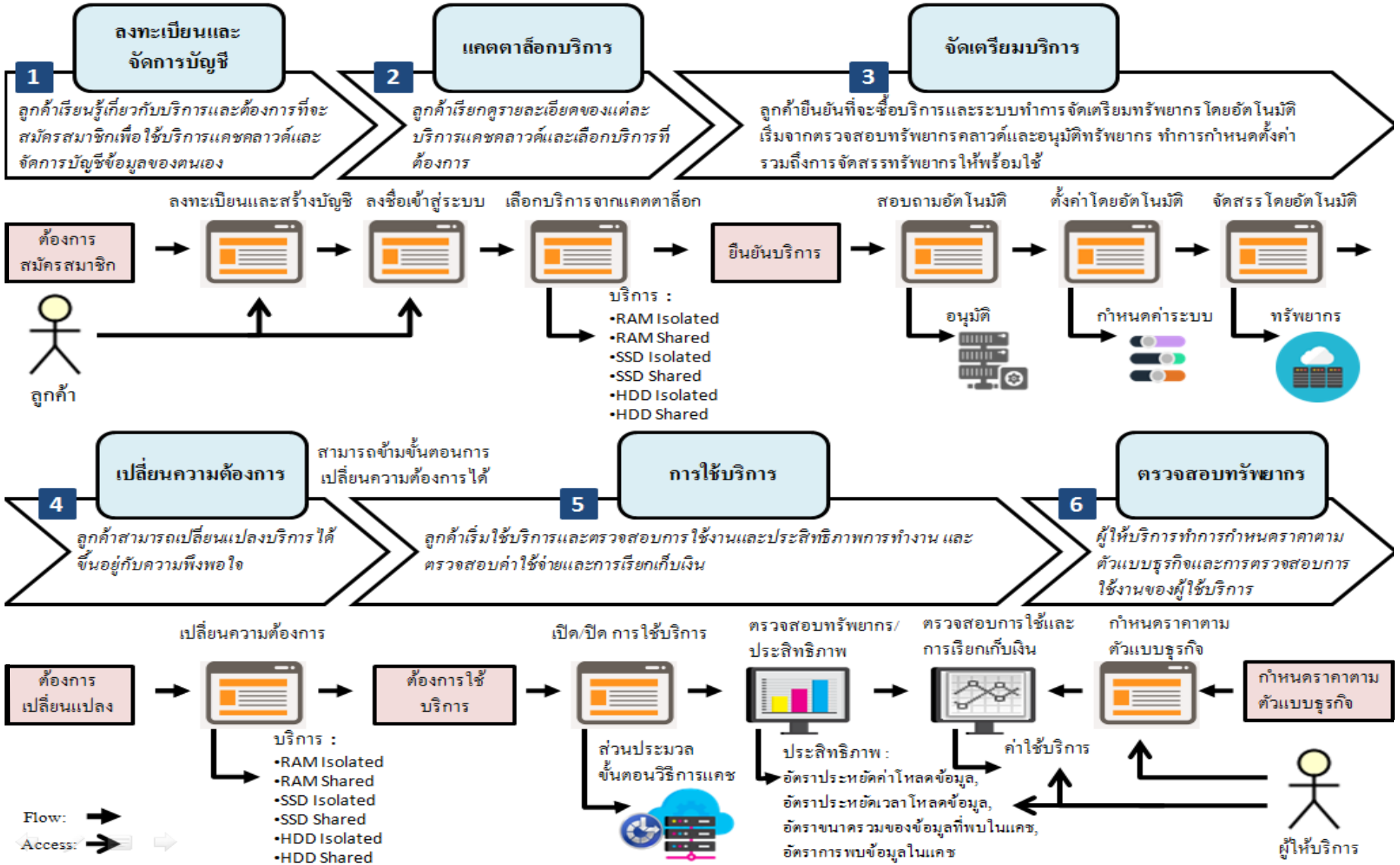
ภาพประกอบที่ 37 ระบบบริการแคชคลาวด์ในระดับแนวคิด

2) ระบบบริการแคชคลาวด์ในระดับสถาปัตยกรรมแสดงโครงสร้างของสถาปัตยกรรมโดยรวมและความสัมพันธ์ระหว่างกันขององค์ประกอบส่วนต่างๆ ที่ประกอบกันเป็นระบบจริงทางกายภาพ แสดงให้เห็นภาพของระบบบริการแคชคลาวด์ทั้งหมดในระดับภาพรวม ตามภาพประกอบที่ 38



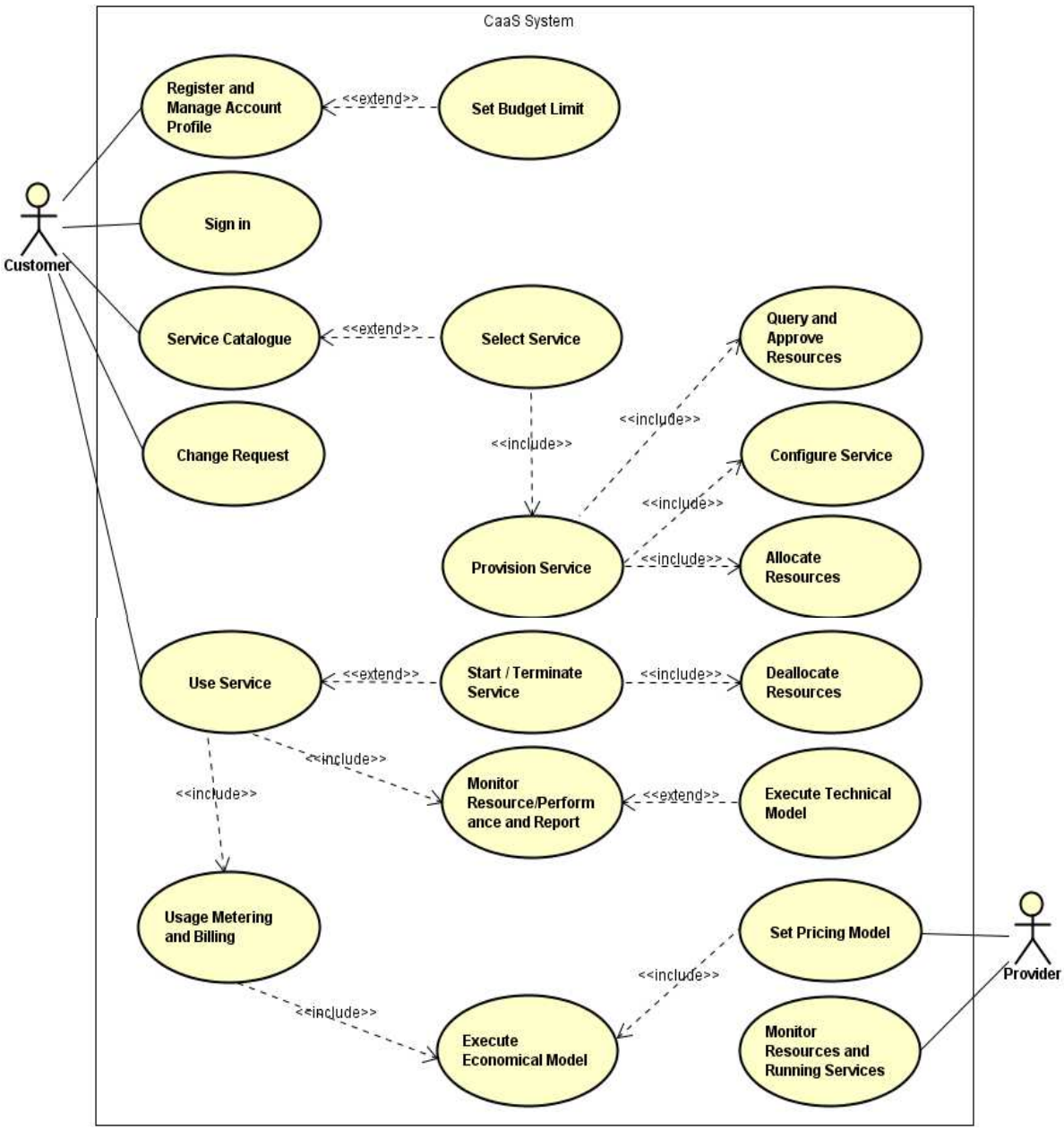
ภาพประกอบที่ 38 สถาปัตยกรรมระบบบริการแคชคลาวด์

3) กระบวนการใช้บริการและให้บริการแคชคลาวด์แสดงกระแสการทำงานของระบบต้นแบบบริการแคชคลาวด์ที่ประกอบไปด้วยโมดูลการทำงานหลักๆ คือ การลงทะเบียนและจัดการบัญชี, แคตตาล็อกบริการ, การจัดเตรียมบริการ, การเปลี่ยนความต้องการ, การใช้บริการ, การตรวจสอบทรัพยากร/ประสิทธิภาพและค่าใช้บริการ แสดงตามภาพประกอบที่ 39



ภาพประกอบที่ 39 กระบวนการใช้บริการและให้บริการแคชคลาวด์

4) แผนภาพยูสเคส อธิบายถึงภาพรวมของระบบ ขอบเขต และกิจกรรมการทำงานหลักๆ ที่เกิดขึ้นภายในระบบบริการแคชคลาวด์ แสดงตามภาพประกอบที่ 40



ภาพประกอบที่ 40 แผนภาพยูสเคสระบบบริการแคชคลาวด์

คำอธิบายแผนภาพยูสเคสระบบบริการแคชคลาวด์

ชื่อยูสเคส : ลงทะเบียนสมัครสมาชิกและจัดการบัญชีข้อมูลลูกค้าสมาชิก (Register and Manage Account Profile)	**รหัสยูสเคส :** 1
วัตถุประสงค์ : เพื่อดูแลในส่วนของการลงทะเบียนสมัครสมาชิกของลูกค้าและการสร้างบัญชีสมาชิกเป็นโปรไฟล์เก็บข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับลูกค้าสมาชิกและให้ลูกค้าสมาชิกจัดการบัญชีข้อมูลของตัวเอง	
เงื่อนไขก่อนหน้า: ลูกค้าได้เรียนรู้เกี่ยวกับบริการและต้องการที่จะสมัครสมาชิกเพื่อใช้บริการแคชคลาวด์	
การไหลหลัก : 1. ลูกค้าเข้าถึงบริการที่หน้าบ้านเว็บแรกและทำการคลิกเลือกเมนูลงทะเบียนสมัครสมาชิก 2. ระบบแสดงหน้าเว็บสำหรับกรอกข้อมูลในการลงทะเบียนสมัครสมาชิก 3. ลูกค้าทำการกรอกข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดจนครบ 4. ระบบตรวจสอบความถูกต้องครบถ้วนของข้อมูลที่ลูกค้ากรอก และเมื่อระบบตรวจสอบข้อมูลถูกต้องครบถ้วนผ่าน 5. ลูกค้าทำการคลิกยืนยันการลงทะเบียนสมัครสมาชิก 6. ระบบบันทึกการลงทะเบียนเก็บโปรไฟล์รายละเอียดเกี่ยวลูกค้าสมาชิกและเพิ่มลูกค้าสมาชิกเข้าสู่ระบบ ระบบแสดงข้อมูลสมาชิก 7. ลูกค้าสมาชิกจะได้รับอีเมล์แจ้งยืนยันการเป็นสมาชิกและได้รับบัญชีชื่อผู้ใช้ (username) และรหัสผ่าน (password) สำหรับเข้าสู่ระบบบริการแคชคลาวด์ 8. ลูกค้าสามารถทำการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงแก้ไขข้อมูลรายละเอียดของลูกค้าสมาชิกเองได้และทำการคลิกยืนยันบันทึกการแก้ไขเพื่อทำข้อมูลให้เป็นปัจจุบัน	
การไหลที่ยกเว้นที่ 1 : 1. กรณีลูกค้ากรอกข้อมูลไม่ถูกต้องไม่ครบถ้วน ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่ระบบกำหนด เช่น ไม่ใส่ข้อมูลในฟิลด์ที่จำเป็นระบบจะมีการแจ้งเตือนและจะไม่สามารถทำการยืนยันการลงทะเบียนสมัครสมาชิกได้ ลูกค้าต้องกรอกข้อมูลให้ถูกครบถ้วนต้องเสียก่อน	

ชื่อยูสเคส : กำหนดการจำกัดวงเงินงบประมาณ (Set Budget Limit)	**รหัสยูสเคส :** 1.1
วัตถุประสงค์ : เพื่อดูแลในส่วนของการจำกัดวงเงินสูงสุดของการใช้งานต่อเดือนของลูกค้าและเก็บรายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลเครดิตทางการเงินของลูกค้าสมาชิก	
เงื่อนไขก่อนหน้า: ลูกค้าต้องผ่านการลงทะเบียนสมัครสมาชิกและมีการบัญชีลูกค้าสมาชิกแล้ว	

การไหลหลัก :

1. ลูกค้าทำการคลิกเลือกเมนูการกำหนดจำกัดวงเงินงบประมาณ
2. ระบบแสดงหน้าเว็บเพจสำหรับกรอกข้อมูลในการกำหนดจำกัดวงเงินงบประมาณและรายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลเครดิตทางการเงิน
3. ลูกค้าทำการกรอกข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดจนครบ
4. ระบบตรวจสอบความถูกต้องครบถ้วนของข้อมูลที่ลูกค้ากรอก และเมื่อระบบตรวจสอบข้อมูลถูกต้องครบถ้วนผ่าน
5. ลูกค้าทำการคลิกยืนยันการกำหนดจำกัดวงเงินงบประมาณและรายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลการเงิน
6. ระบบบันทึกการกำหนดจำกัดวงเงินงบประมาณและรายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลการเงินของลูกค้าเข้าสู่ระบบ ระบบแสดงข้อมูลการเงินของลูกค้า

การไหลทางเลือกที่ 1:

1. กรณีลูกค้ากรอกข้อมูลไม่ถูกต้องไม่ครบถ้วน ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่ระบบกำหนด เช่น ไม่ใส่ข้อมูลในฟิลด์ที่จำเป็น ระบบจะมีการแจ้งเตือนและจะไม่สามารถทำการยืนยันการกำหนดจำกัดวงเงินงบประมาณได้ ลูกค้าต้องกรอกข้อมูลให้ถูกต้องเสียก่อนระบบจึงจะบันทึกข้อมูลเข้าสู่ระบบได้

ชื่อยูสเคส **:** เข้าสู่ระบบ (Sign in)	**รหัสยูสเคส :** 2
วัตถุประสงค์ **:** เพื่อจัดการตรวจสอบในส่วนของการเข้าสู่ระบบ เมื่อลูกค้าต้องการเข้าสู่ระบบเพื่อไปดำเนินการต่างๆ กับระบบ	
เงื่อนไขก่อนหน้า (Pre-condition) : ลูกค้าต้องลงทะเบียนสมัครสมาชิกและมีบัญชีสมาชิกก่อน เมื่อเป็นสมาชิกแล้วจะมีชื่อผู้ใช้ (user namet) และรหัสผ่าน (password) สำหรับการเข้าสู่ระบบบริการแคชคลาวด์	
การไหลหลัก : 1. ลูกค้าสมาชิกเชื่อมต่อกับเว็บระบบบริการแคชคลาวด์และทำการกรอกชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านแล้วทำการคลิกปุ่มยืนยัน Sign in เพื่อเข้าสู่ระบบ 2. ระบบตรวจสอบชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านที่ลูกค้าสมาชิกกรอกว่าถูกต้องหรือไม่ 3. ถ้าถูกต้องจะเข้าสู่ระบบไปที่หน้าเว็บหลักของบริการแคชคลาวด์ และแสดงข้อมูลลูกค้าสมาชิกที่เข้าใช้งานระบบ	
การไหลที่ยกเว้นที่ 1 :	

1. กรณีลูกค้ากรอกชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านไม่ถูกต้อง ระบบแสดงข้อความแจ้งเตือนว่าชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านไม่ถูกต้อง และให้ลูกค้าสมาชิกทำการกรอกชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านใหม่ 2. กรณีลูกค้ากรอกข้อมูลไม่ครบถ้วน ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่ระบบกำหนด เช่น ไม่ใส่ข้อมูลในฟิลด์ชื่อผู้ใช้หรือรหัสผ่าน ระบบแสดงข้อความแจ้งเตือนว่าผู้ใช้หรือรหัสผ่านไม่สามารถเป็นค่าว่าง

ชื่อยูสเคส : แคตตาล็อกบริการ (Service Catalogue)	**รหัสยูสเคส :** 3
วัตถุประสงค์ **:** เพื่อดูแลในส่วนของการแสดงรายการบริการแคชคลาวด์จากแคตตาล็อก เพื่อให้ลูกค้าเรียกดูรายละเอียดของแต่ละบริการ และสามารถเลือกซื้อบริการที่ต้องการ และการจัดเตรียมทรัพยากรต่างๆ เพื่อให้พร้อมสำหรับการให้บริการแคชคลาวด์	
เงื่อนไขก่อนหน้า (Pre-condition) : ลูกค้าสมาชิกต้องการเรียกดูรายการบริการแคชคลาวด์จากแคตตาล็อก และลูกค้าสมาชิกทำการ Sign in ผ่านและเข้าสู่ระบบแล้ว	
การไหลหลัก : 1. เมื่อลูกค้าสมาชิกเข้าสู่ระบบแล้วและอยู่ที่หน้าเว็บเพจแคตตาล็อกรายการบริการแคชคลาวด์ และลูกค้าสมาชิกต้องการเรียกดูรายการบริการ 2. ลูกค้าสมาชิกทำการคลิกเลือกเมนูแคตตาล็อกบริการ 3. ระบบแสดงหน้าเว็บแคตตาล็อกรายการบริการแคชคลาวด์ 4. เมื่อลูกค้าสมาชิกต้องการทราบรายละเอียดเบื้องต้นของแต่ละบริการแคชคลาวด์ ลูกค้าสมาชิกสามารถทำการเลื่อนเมาส์ไปชี้ที่รายการบริการแคชคลาวด์ เพื่อเรียกดูรายละเอียดของบริการ 5. ระบบแสดงรายละเอียดเบื้องต้นของบริการแคชคลาวด์ที่ลูกค้าสมาชิกเรียกดู	
การไหลที่ยกเว้นที่ 1 : -	

ชื่อยูสเคส **:** เลือกซื้อบริการแคชคลาวด์ (Select Service)	**รหัสยูสเคส :** 3.1
วัตถุประสงค์ **:** เพื่อดูแลในส่วนของการเลือกสั่งซื้อบริการจากแคตตาล็อกของตัวเลือกรายการบริการแคชคลาวด์	
เงื่อนไขก่อนหน้า (Pre-condition) : ลูกค้าสมาชิกต้องการเลือกซื้อบริการแคชคลาวด์ และลูกค้าสมาชิกทำการ Sign in ผ่านและเข้าสู่ระบบแล้ว	
การไหลหลัก : 1. เมื่อลูกค้าสมาชิกเข้าสู่ระบบแล้วและอยู่ที่หน้าเว็บเพจแคตตาล็อกรายการบริการแคช และ	

ลูกค้าสมาชิกต้องการซื้อบริการ 2. ลูกค้าสมาชิกทำการคลิกเลือกเมนูแคตตาล็อกบริการ 3. ระบบแสดงหน้าเว็บแคตตาล็อกรายการบริการแคชคลาวด์ 4. เมื่อลูกค้าสมาชิกต้องการเลือกซื้อบริการ ลูกค้าสมาชิกทำการคลิกเลือกซื้อบริการที่ต้องการ และลูกค้าสมาชิกสามารถทำการกำหนดขนาดแคชที่ต้องการใช้ได้ 5. เมื่อลูกค้าสมาชิกทำการเลือกบริการแคชคลาวด์และกำหนดขนาดแคชเสร็จ ลูกค้าสมาชิกต้องทำการคลิกปุ่ม Select Service เพื่อบันทึกรายการ 6. ระบบตรวจสอบความครบถ้วนของการเลือกบริการแคชคลาวด์และกำหนดขนาดแคชที่ลูกค้าสมาชิกดำเนินการ และเมื่อระบบตรวจสอบครบถ้วนผ่าน 7. ระบบบันทึกรายการบริการแคชคลาวด์และขนาดแคชที่ลูกค้าเลือกซื้อเข้าสู่ระบบ และระบบแสดงข้อมูลรายการบริการแคชคลาวด์และขนาดแคชของลูกค้าที่หน้าเว็บเพจ 8. ลูกค้าสมาชิกดำเนินการยืนยันการสั่งซื้อบริการโดยทำการคลิกปุ่ม Confirm Order 9. ระบบบันทึกคำสั่งยืนยันการสั่งซื้อ สถานะของรายการในระบบจะเป็น Confirmed
การไหลที่ยกเว้นที่ 1 : 1. กรณีลูกค้าสมาชิกกรอกข้อมูลไม่ถูกต้องไม่ครบถ้วน ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่ระบบกำหนด เช่นไม่เลือกรายการบริการแคชคลาวด์ หรือไม่กำหนดขนาดแคช ระบบจะมีข้อความแจ้งเตือน และจะไม่สามารถทำการบันทึกรายการได้ ลูกค้าสมาชิกต้องเลือกและกรอกข้อมูลให้ถูกครบถ้วนต้องเสียก่อน 2. กรณีลูกค้าสมาชิกต้องการเปลี่ยนแปลงรายการบริการแคชคลาวด์หรือขนาดแคช ที่บันทึกเข้าระบบไปแล้ว ลูกค้าสมาชิกสามารถทำการคลิกเลือกเมนูเปลี่ยนความต้องการ Change Request ได้

ชื่อยูสเคส **:** เปลี่ยนความต้องการ (Change Request)	**รหัสยูสเคส :** 4
วัตถุประสงค์ **:** เพื่อดูแลในส่วนของการเปลี่ยนความต้องการ	
เงื่อนไขก่อนหน้า (Pre-condition) : ลูกค้าสมาชิกเลือกซื้อบริการแคชคลาวด์แล้ว และลูกค้าสมาชิกต้องการเปลี่ยนแปลงบริการแคชคลาวด์ หรือต้องการเปลี่ยนแปลงขนาดแคช	
การไหลหลัก : 1. เมื่อลูกค้าสมาชิกเข้าสู่ระบบแล้ว ทำการคลิกเลือกเมนูการเปลี่ยนความต้องการ Change Request 2. ระบบแสดงหน้าเว็บเพจรายการสั่งซื้อบริการแคชคลาวด์ที่มีอยู่ในระบบของลูกค้าสมาชิก	

3. ลูกค้าสมาชิกทำการเลือกเปลี่ยนบริการแคชคลาวด์หรือเปลี่ยนขนาดแคช และทำการคลิกปุ่ม เปลี่ยนความต้องการ Change Request เพื่อยืนยันการเปลี่ยนแปลงความต้องการ 4. ระบบบันทึกการเปลี่ยนแปลงความต้องการ และระบบแสดงรายการที่เปลี่ยนแปลงของลูกค้าสมาชิกที่หน้าเว็บเพจ
การไหลที่ยกเว้นที่ 1 : 1. กรณีลูกค้าสมาชิกกรอกข้อมูลไม่ถูกต้องไม่ครบถ้วน ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่ระบบกำหนด เช่น ไม่เลือกรายการบริการแคชคลาวด์ หรือไม่กำหนดขนาดแคช ระบบจะมีข้อความแจ้งเตือน และจะไม่สามารถทำการบันทึกรายการได้ ลูกค้าสมาชิกต้องเลือกและกรอกข้อมูลให้ถูกครบถ้วนต้องเสียก่อน

ชื่อยูสเคส **:** การจัดเตรียมบริการ (Provision Service)	**รหัสยูสเคส :** 5
วัตถุประสงค์ **:** เพื่อดูแลในส่วนของการจัดเตรียมทรัพยากรให้สำหรับพร้อมให้บริการ ดูแลในส่วนของการที่ลูกค้าสมาชิกร้องขอทรัพยากรแคช ทำการจัดเตรียมกำหนด**สำรอง**ทรัพยากรเพื่อตอบสนองกับความต้องการที่เฉพาะเจาะจงของลูกค้า ทั้งการตรวจสอบดูทรัพยากรแคชของระบบที่มีเหลืออยู่, การกำหนดตั้งค่าทรัพยากรสำหรับลูกค้าสมาชิก, การจัดสรรทรัพยากรแคชให้ลูกค้าสมาชิก และอนุมัติคำขอร้องของลูกค้าสมาชิก	
เงื่อนไขก่อนหน้า (Pre-condition) : เมื่อลูกค้าสมาชิกทำการยืนยันการสั่งซื้อบริการเรียบร้อยแล้ว	
การไหลหลัก : 1. เมื่อลูกค้าสมาชิกเข้าสู่ระบบแล้ว และลูกค้าสมาชิกดำเนินการยืนยันการสั่งซื้อบริการโดยทำการคลิกปุ่ม Confirm Order แล้ว 2. ระบบแสดงหน้าเว็บเพจการจัดเตรียมบริการ Provision Service และแสดงข้อมูลรายการสั่งซื้อที่มีสถานะของรายการเป็น Confirmed 3. ลูกค้าสมาชิกทำการคลิกปุ่มจัดเตรียมบริการ Provision Service 4. ระบบทำการจัดเตรียมทรัพยากรให้โดยอัตโนมัติ เริ่มจากตรวจสอบข้อมูลเครดิตทางการเงินของลูกค้าสมาชิกว่ามีสถานะเป็นปกติอยู่หรือเปล่า และเมื่อระบบตรวจสอบเครดิตทางการเงินของลูกค้าสมาชิกมีสถานะเป็นปกติถูกต้องครบถ้วนผ่านแล้ว 5. ระบบจะเริ่มดำเนินการกระบวนการอัตโนมัติในขั้นตอนการตรวจสอบทรัพยากรคลาวด์ โดยทำการสอบถามถึงทรัพยากรที่มีให้บริการ, การอนุมัติทรัพยากร, การกำหนดตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง, และรวมถึงการจัดสรรทรัพยากรให้พร้อมสำหรับให้บริการ	
การไหลที่ยกเว้นที่ 1 : -	

1. กรณีระบบตรวจสอบข้อมูลเครดิตทางการเงินของลูกค้าสมาชิกพบว่ามีสถานะไม่เป็นปกติ หรือมีข้อมูลไม่ถูกต้องไม่ครบถ้วน ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่ระบบกำหนด เช่น ไม่มีข้อมูลบัตรเครดิต หรือไม่มีข้อมูลวันที่ออกบัตร หรือไม่มีข้อมูลวันที่สิ้นสุดของบัตร ระบบจะมีข้อความแจ้งเตือนว่าข้อมูลเครดิตทางการเงินของลูกค้าไม่ผ่าน และระบบจะไม่ดำเนินการในขั้นตอนต่อไป ลูกค้าสมาชิกต้องทำการตรวจสอบและปรับปรุงทางการเงินของตนให้ถูกต้องก่อน โดยลูกค้าสมาชิกสามารถเข้าไปปรับปรุงข้อมูลได้ที่เมนูจัดการบัญชีข้อมูลลูกค้าสมาชิก Manage Account Profile

ชื่อยูสเคส **:** การสอบถามทรัพยากร (Query and Approve Resources)	**รหัสยูสเคส :** 5.1
วัตถุประสงค์ **:** เพื่อดูแลในส่วนของการสอบถามทรัพยากรคลาวด์ต่างๆ ในระบบ และการตรวจสอบดูทรัพยากรแคชของระบบที่มีเหลืออยู่	
เงื่อนไขก่อนหน้า (Pre-condition) : ลูกค้าสมาชิกทำการคลิกปุ่มจัดเตรียมบริการ Provision Service และระบบตรวจสอบข้อมูลเครดิตทางการเงินของลูกค้าสมาชิกผ่านแล้ว	
การไหลหลัก : 1. ระบบเริ่มดำเนินการกระบวนการอัตโนมัติในขั้นตอนการตรวจสอบทรัพยากรคลาวด์ต่างๆ โดยทำการสอบถามถึงทรัพยากรที่มีให้บริการอยู่ปัจจุบันและที่เหลืออยู่ว่ามีเพียงพอหรือไม่ และเมื่อระบบตรวจสอบทรัพยากรคลาวด์ต่างๆ ที่มีให้บริการอยู่ในปัจจุบันพบว่ามีเพียงพอสำหรับให้บริการแก่ลูกค้าสมาชิก 2. ระบบดำเนินการอนุมัติทรัพยากรแก่ลูกค้าสมาชิก 3. และระบบเริ่มดำเนินการในขั้นตอนการกำหนดตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป	
การไหลที่ยกเว้นที่ 1 : 1. กรณีระบบตรวจสอบทรัพยากรคลาวด์ต่างๆ พบว่าทรัพยากรที่เหลืออยู่มีน้อยไม่เพียงพอสำหรับให้บริการ ระบบจะมีข้อความแจ้งเตือนให้ลูกค้าสมาชิกทราบว่ากรุณารอสักครู่ เนื่องจากระบบกำลังดำเนินการจัดเตรียมทรัพยากรอยู่ และระบบจะมีอีเมล์แจ้งเตือนผู้ดูแลระบบให้ตรวจสอบและจัดหาทรัพยากรเพิ่ม และระบบจะยังไม่ดำเนินการในขั้นตอนการอนุมัติทรัพยากรแก่ลูกค้าสมาชิก	

ชื่อยูสเคส **:** การกำหนดตั้งค่าบริการ (Configure Service)	**รหัสยูสเคส :** 5.2
วัตถุประสงค์ **:** เพื่อดูแลในส่วนของการกำหนดตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการจัดเตรียมทรัพยากรให้พร้อมสำหรับให้บริการ	

เงื่อนไขก่อนหน้า (Pre-condition) : ระบบดำเนินการอนุมัติทรัพยากรแก่ลูกค้าสมาชิกแล้ว
การไหลหลัก : 1. ระบบเริ่มดำเนินการกระบวนการอัตโนมัติในขั้นตอนการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง 2. เมื่อระบบตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องเสร็จ 3. ระบบเริ่มดำเนินการในขั้นตอนการจัดสรรทรัพยากรต่อไป
การไหลที่ยกเว้นที่ 1 : -

ชื่อยูสเคส **:** การจัดสรรทรัพยากร (Allocate Resources)	**รหัสยูสเคส :** 5.3
วัตถุประสงค์ **:** เพื่อดูแลในส่วนของการจัดสรรทรัพยากรให้ลูกค้าสมาชิก	
เงื่อนไขก่อนหน้า (Pre-condition) : ระบบดำเนินการกำหนดตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องแล้วเสร็จ	
การไหลหลัก : 1. ระบบเริ่มดำเนินการกระบวนการอัตโนมัติในขั้นตอนการจัดสรรทรัพยากรให้ลูกค้าสมาชิกตามที่ลูกค้าสมาชิกร้องขอไว้ 2. เมื่อระบบจัดสรรทรัพยากรเสร็จ ระบบจะมีข้อความแจ้งว่าการจัดเตรียมบริการเสร็จเรียบร้อย Provision service completed 3. ระบบแสดงรายการบริการแคชคลาวด์ของลูกค้าสมาชิกและสถานะของรายการเป็น Approved	
การไหลที่ยกเว้นที่ 1 : -	

ชื่อยูสเคส **:** การใช้บริการ (Use Service)	**รหัสยูสเคส :** 6
วัตถุประสงค์ **:** เพื่อดูแลในส่วนของการใช้บริการของลูกค้าสมาชิกเริ่มต้นตั้งแต่ เปิดการใช้บริการ (Start Service) การตรวจสอบการใช้งานและประสิทธิภาพการทำงาน และตรวจสอบสถิติการใช้งานต่างๆ ดูสถานะต่างๆ ของบริการ, การเรียกดูรายงานการใช้ทรัพยากร การวัดค่าการใช้ทรัพยากร**และ**การเรียกเก็บเงิน และการปิด การใช้บริการ (Terminate Service)	
เงื่อนไขก่อนหน้า (Pre-condition) : เมื่อระบบดำเนินการจัดเตรียมบริการ Provision Service เสร็จเรียบร้อยแล้ว และลูกค้าต้องการเปิดใช้บริการ	
การไหลหลัก : 1. ลูกค้าเข้าสู่ระบบ และทำการคลิกเลือกเมนูการใช้บริการ Use Service	

2. ระบบแสดงเมนูย่อยการทำงานต่างๆ คือ - การเปิด/ปิด การใช้บริการ (Start / Terminate Service) - การตรวจสอบการใช้ทรัพยากรและประสิทธิภาพ (Monitor Resource/Performance) - การวัดค่าการใช้งานและการเรียกเก็บเงิน (Usage Metering and Billing)
การไหลที่ยกเว้นที่ 1 : -

ชื่อยูสเคส **:** การเปิด/ปิด การใช้บริการ (Start / Terminate Service)	**รหัสยูสเคส :** 6.1
วัตถุประสงค์ **:** เพื่อดูแลในส่วนของการเปิดใช้บริการและปิดการใช้บริการ	
เงื่อนไขก่อนหน้า (Pre-condition) : เมื่อระบบดำเนินการจัดเตรียมบริการ Provision Service เสร็จเรียบร้อยแล้ว	
การไหลหลัก : 1. เมื่อลูกค้าสมาชิกเข้าสู่ระบบแล้ว และลูกค้าสมาชิกต้องการเปิดใช้บริการ โดยทำการคลิกปุ่ม Start 2. ระบบจะเปลี่ยนสถานะของรายการจาก Approved เป็นสถานะ Running เป็นการเปิดใช้บริการแคชข้อมูล เริ่มต้นการส่งมอบบริการให้ลูกค้าใช้งาน 3. ระบบส่งอีเมล์**แจ้งให้ลูกค้า**สมาชิกทราบสถานะเปิดใช้งานบริการ 4. เมื่อลูกค้าสมาชิกต้องการเลิกใช้บริการ ลูกค้าสมาชิกต้องทำการปิดการใช้บริการ โดยการคลิกปุ่ม Terminate 5. ระบบจะหยุดการทำงานในส่วนของกระบวนการขั้นตอนวิธีแคชข้อมูลของลูกค้าสมาชิก และระบบจะเปลี่ยนสถานะของบริการจาก Running เป็นสถานะ Terminated เป็นการปิดการใช้บริการแคชข้อมูล 6. ระบบดำเนินการในขั้นตอนการคืนทรัพยากร (Deallocate Resources) ต่อไป	
การไหลที่ยกเว้นที่ 1 : -	

ชื่อยูสเคส **:** การคืนทรัพยากร (Deallocate Resources)	**รหัสยูสเคส :** 6.1.1
วัตถุประสงค์ **:** เพื่อดูแลในส่วนของการคืนทรัพยากรที่ถูกใช้เมื่อลูกค้าสมาชิกปิดการใช้บริการ	
เงื่อนไขก่อนหน้า (Pre-condition) : เมื่อลูกค้าสมาชิกต้องทำการปิดการใช้บริการ โดยการคลิกปุ่ม Terminate แล้ว	
การไหลหลัก :	

1. ระบบจะคืนทรัพยากรที่ถูกจัดสรรไว้ให้กับลูกค้าสมาชิกกลับคืนโดยอัตโนมัติ 2. ระบบส่งอีเมล์แจ้งให้ลูกค้าสมาชิกทราบสถานะปิดการใช้งานบริการแล้ว
การไหลที่ยกเว้นที่ 1 : -

ชื่อยูสเคส **:** การตรวจสอบการใช้ทรัพยากรและประสิทธิภาพ (Monitor Resource/Performance)	**รหัสยูสเคส :** 6.2
วัตถุประสงค์ **:** เพื่อดูแลในส่วนของการตรวจสอบปริมาณการใช้งานทรัพยากรและประสิทธิภาพการทำงาน และตรวจสอบสถิติการใช้งานต่างๆ ดูสถานะของบริการ, การเรียกดูรายงานและกราฟการใช้งาน	
เงื่อนไขก่อนหน้า (Pre-condition) : ลูกค้าสมาชิกเปิดใช้บริการ สถานะ Running	
การไหลหลัก : 1. ลูกค้าเข้าสู่ระบบ Sign in และลูกค้าเริ่มใช้บริการแล้ว 2. ลูกค้าทำการคลิกเลือกเมนูการตรวจสอบการใช้ทรัพยากรและประสิทธิภาพ Monitor Resource/Performance 3. ระบบแสดงแดสบอร์ด Dashboard ข้อมูลภาพรวมผลลัพธ์ของการใช้ทรัพยากรและประสิทธิภาพ สถานะและสถิติการทำงานต่างๆ ของลูกค้าสมาชิกที่กำลังใช้บริการอยู่ 4. ระบบดึงผลลัพธ์มาจากขั้นตอนการประมวลผลตามตัวแบบทางเทคนิค Execute Technical Model	
การไหลที่ยกเว้นที่ 1 : -	

ชื่อยูสเคส **:** การดำเนินงานตามตัวแบบทางเทคนิค (Execute Technical Model)	**รหัสยูสเคส :** 6.2.1
วัตถุประสงค์ **:** เพื่อดูแลในส่วนของการดำเนินงานตามตัวแบบทางเทคนิค	
เงื่อนไขก่อนหน้า (Pre-condition) : ลูกค้าสมาชิกเปิดใช้บริการอยู่ สถานะ Running	
การไหลหลัก : 1. ระบบจัดกำหนดการตั้งตารางเวลาดำเนินการประมวลผลตามตัวแบบทางเทคนิค Execute Technical Model โดยดำเนินการเบื้องหลังทุก 1 สัปดาห์	
การไหลที่ยกเว้นที่ 1 : -	

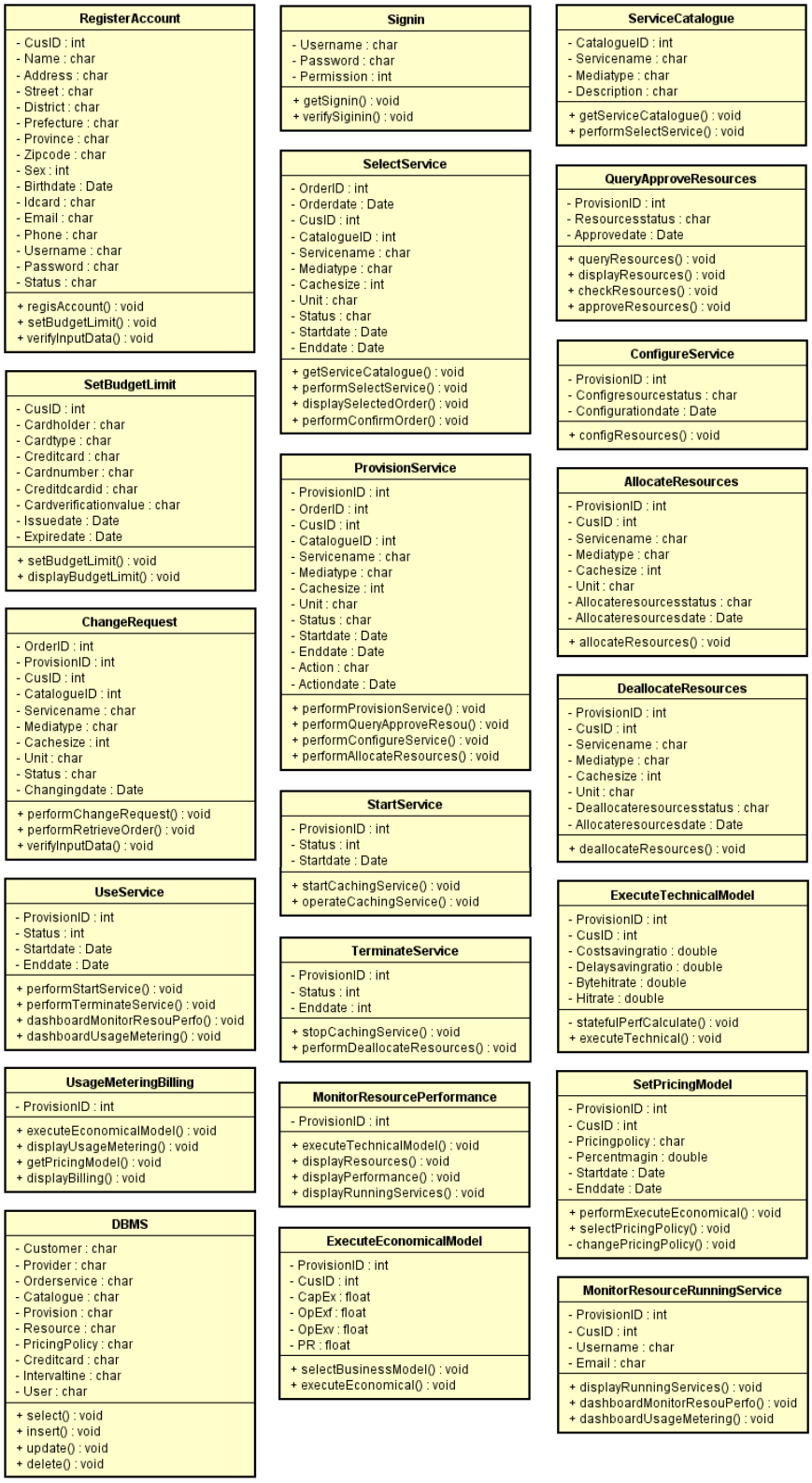
ชื่อยูสเคส **:** การวัดปริมาณการใช้งานและการเรียกเก็บเงิน (Usage Metering and Billing)	**รหัสยูสเคส :** 6.3
วัตถุประสงค์ **:** เพื่อดูแลในส่วนของการตรวจสอบการวัดค่าการใช้งานทรัพยากร**และ**การคำนวณค่าใช้จ่ายและการเรียกเก็บเงิน การเรียกดูรายงานและกราฟ	
เงื่อนไขก่อนหน้า (Pre-condition) : ลูกค้าสมาชิกเปิดใช้บริการ สถานะ Running	
การไหลหลัก : 1. ลูกค้าเข้าสู่ระบบ Sign in และลูกค้าเริ่มใช้บริการแล้ว 2. ลูกค้าทำการคลิกเลือกเมนูการวัดปริมาณการใช้งานและการเรียกเก็บเงิน Usage Metering and Billing 3. ระบบแสดงแดสบอร์ด Dashboard ข้อมูลภาพรวมผลลัพธ์ของการใช้ทรัพยากรและการคำนวณค่าใช้จ่ายและการเรียกเก็บเงินของลูกค้าสมาชิกที่กำลังใช้บริการอยู่ 4. ระบบดึงผลลัพธ์มาจากขั้นตอนการประมวลผลตามตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ Execute Economical Model โดยระบบจะการคำนวณค่าใช้จ่ายตามที่อ้างอิงจากตัวแบบทางธุรกิจที่ได้ตกลงไว้กับผู้ให้บริการในขั้นตอน Set Pricing Model 5. ลูกค้าทำการตรวจสอบการใช้ทรัพยากรและการใช้จ่ายเป็นรายเดือน	
การไหลที่ยกเว้นที่ 1 : -	

ชื่อยูสเคส **:** การดำเนินงานตามตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ (Execute Economical Model)	**รหัสยูสเคส :** 6.3.1
วัตถุประสงค์ **:** เพื่อดูแลในส่วนของการดำเนินงานตามตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์	
เงื่อนไขก่อนหน้า (Pre-condition) : ลูกค้าสมาชิกเปิดใช้บริการอยู่ สถานะ Running	
การไหลหลัก : 1. ระบบจัดกำหนดการตั้งตารางเวลาดำเนินการประมวลผลตามตัวแบบทางเทคนิค Execute Economical Model โดยดำเนินการเบื้องหลังทุก 1 เดือน 2. ระบบดึงข้อมูลจากขั้นตอนการกำหนดตัวแบบราคา Set Pricing Model มาเป็นข้อมูลตั้งต้นในการคำนวณค่าใช้จ่ายตัวแบบทางเทคนิค Execute Economical Model	
การไหลที่ยกเว้นที่ 1 : -	

ชื่อยูสเคส **:** การกำหนดตัวแบบราคา (Set Pricing Model)	**รหัสยูสเคส :** 7
วัตถุประสงค์ **:** เพื่อดูแลในส่วนของการกำหนดตัวแบบราคา	
เงื่อนไขก่อนหน้า (Pre-condition) :	
การไหลหลัก : 1. ผู้ดูแลระบบ Administrator Sign in เข้าสู่ระบบ 2. ผู้ดูแลระบบทำการคลิกเลือกเมนูการกำหนดตัวแบบราคา Set Pricing Model 3. ระบบแสดงหน้าเว็บเพจสำหรับกรอกข้อมูลการกำหนดราคาตามตัวแบบธุรกิจ Business Model 4. ผู้ดูแลระบบทำการกรอกข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดจนครบ 5. ระบบตรวจสอบความถูกต้องครบถ้วนของข้อมูล และเมื่อระบบตรวจสอบข้อมูลถูกต้องครบถ้วนผ่าน 6. ผู้ดูแลระบบทำการคลิกปุ่ม Update เพื่อบันทึกการกำหนดตัวแบบราคา 7. ระบบบันทึกการกำหนดตัวแบบราคาเข้าสู่ระบบ	
การไหลที่ยกเว้นที่ 1 : -	

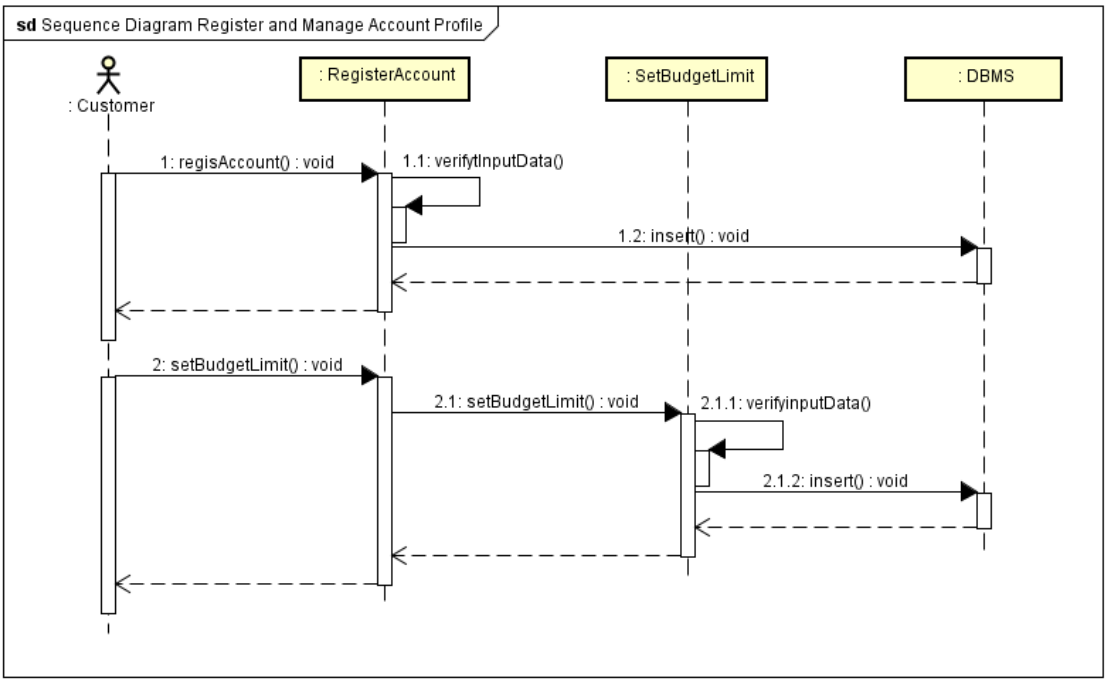
ชื่อยูสเคส **:** การตรวจสอบการใช้ทรัพยากรและบริการที่ดำเนินการอยู่ (Monitor Resources and Running Services)	**รหัสยูสเคส :** 8
วัตถุประสงค์ **:** เพื่อดูแลในส่วนของการตรวจสอบการใช้ทรัพยากรและบริการที่ดำเนินการอยู่ของลูกค้าสามาชิกแต่ละราย	
เงื่อนไขก่อนหน้า (Pre-condition) :	
การไหลหลัก : 1. ผู้ดูแลระบบ Administrator Sign in เข้าสู่ระบบ 2. ผู้ดูแลระบบทำการคลิกเลือกเมนูการตรวจสอบการใช้ทรัพยากรและบริการที่ดำเนินการอยู่ Monitor Resources and Running Services 3. ระบบแสดงหน้าเว็บเพจรายชื่อลูกค้าสมาชิกทั้งหมดที่ใช้บริการแคชคลาวด์ 4. ผู้ดูแลระบบสามารถเลือกคลิกปุ่มการตรวจสอบการใช้ทรัพยากรและประสิทธิภาพ Monitor Resource/Performance และคลิกปุ่มการวัดปริมาณการใช้งานและการเรียกเก็บเงิน Usage Metering and Billing ของลูกค้าสามาชิกแต่ละรายได้	
การไหลที่ยกเว้นที่ 1 : -	

5) แผนภาพคลาส แสดงถึงโครงสร้างของระบบบริการแคชคลาวด์ที่ประกอบไปด้วยคลาสต่างๆ เหล่านี้ ดังแสดงตามภาพประกอบที่ 41

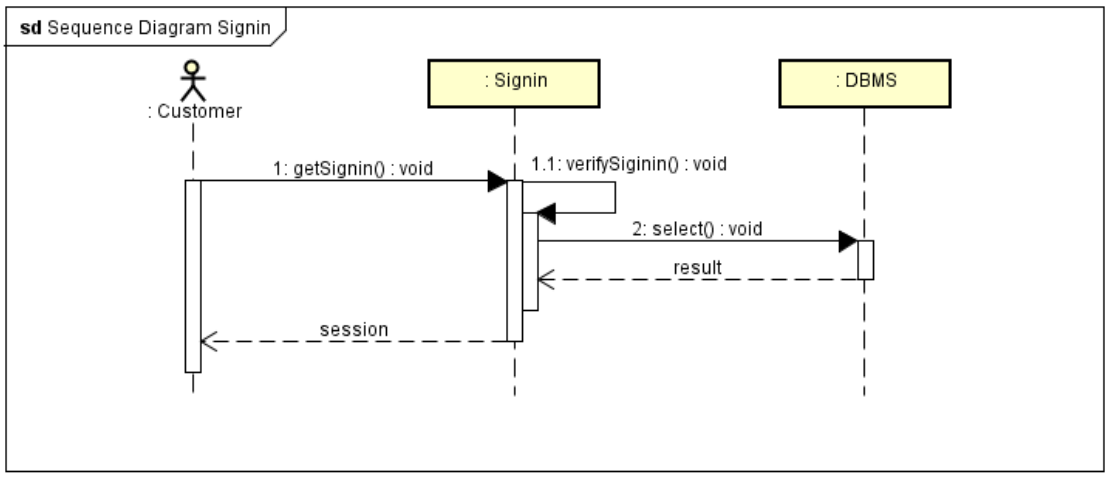


ภาพประกอบที่ 41 แผนภาพคลาส

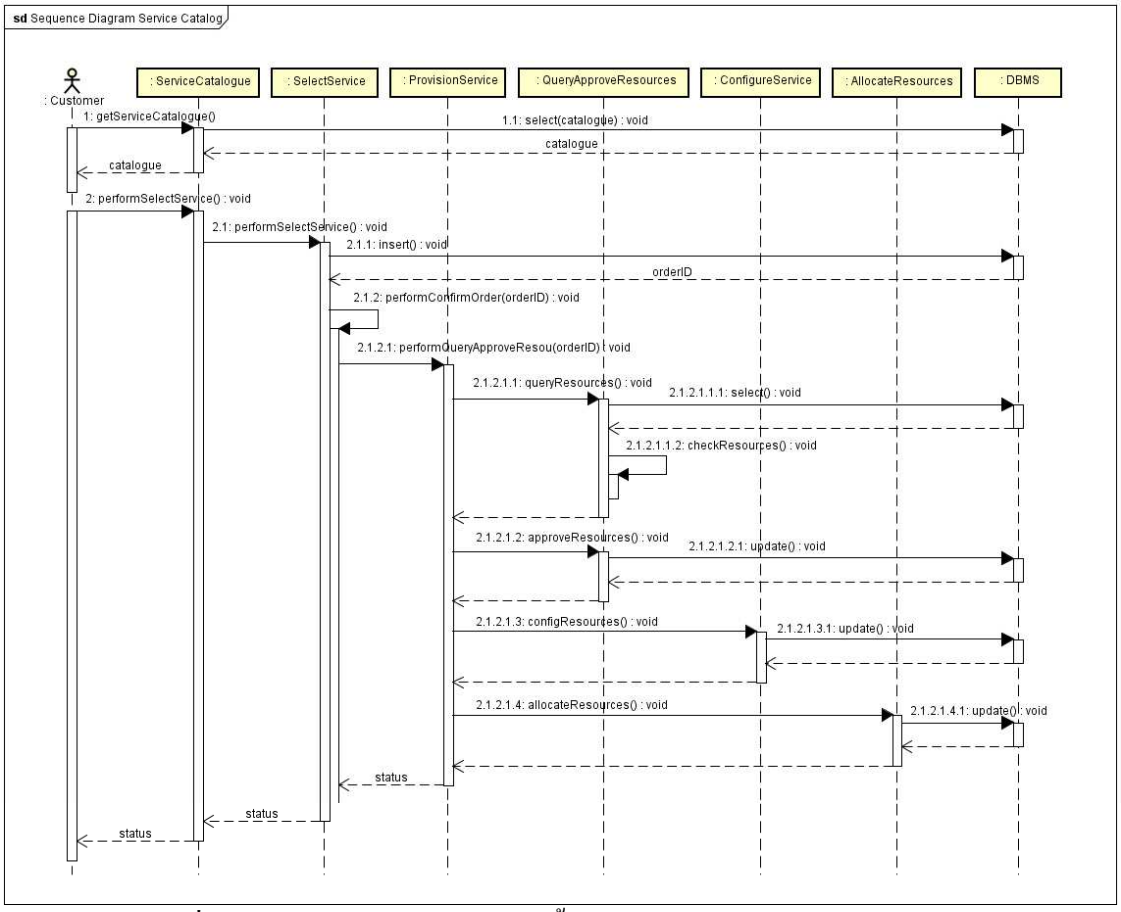
6) แผนภาพซีเควนซ์ (sequence diagram) อธิบายกิจกรรมการทำงานต่างๆที่เกิดขึ้นภายในยูสเคสนั้นๆ ว่าวัตถุแต่ละตัวติดต่อสื่อสารกันอย่างไรและอธิบายรายละเอียดของลำดับขั้นตอนการทำงานในยูสเคสนั้นทำให้เห็นปฏิสัมพันธ์ระหว่างวัตถุตามลำดับของเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นณเวลาที่กำหนด ซึ่งแผนภาพซีเควนซ์ทั้งหมดของระบบบริการแคชคลาวด์มีดังต่อไปนี้ แผนภาพซีเควนซ์การลงทะเบียนสมัครสมาชิกและจัดการบัญชีข้อมูลลูกค้าสมาชิก (Register and Manage Account Profile) แสดงตามภาพประกอบที่ 42, แผนภาพซีเควนซ์การเข้าสู่ระบบ (Sign in) แสดงตามภาพประกอบที่ 43, แผนภาพซีเควนซ์การเลือกซื้อบริการแคชคลาวด์ (Select Service) และการจัดเตรียมบริการ (Provision Service) แสดงตามภาพประกอบที่ 44, แผนภาพซีเควนซ์การเปลี่ยนความต้องการ (Change Request) แสดงตามภาพประกอบที่ 45, แผนภาพซีเควนซ์การใช้บริการ (Use Service) แสดงตามภาพประกอบที่ 46, แผนภาพซีเควนซ์การกำหนดตัวแบบราคา (Set Pricing Model) แสดงตามภาพประกอบที่ 47, และแผนภาพซีเควนซ์การตรวจสอบการใช้ทรัพยากรและบริการที่ดำเนินการอยู่ (Monitor Resources and Running Services) แสดงตามภาพประกอบที่ 48



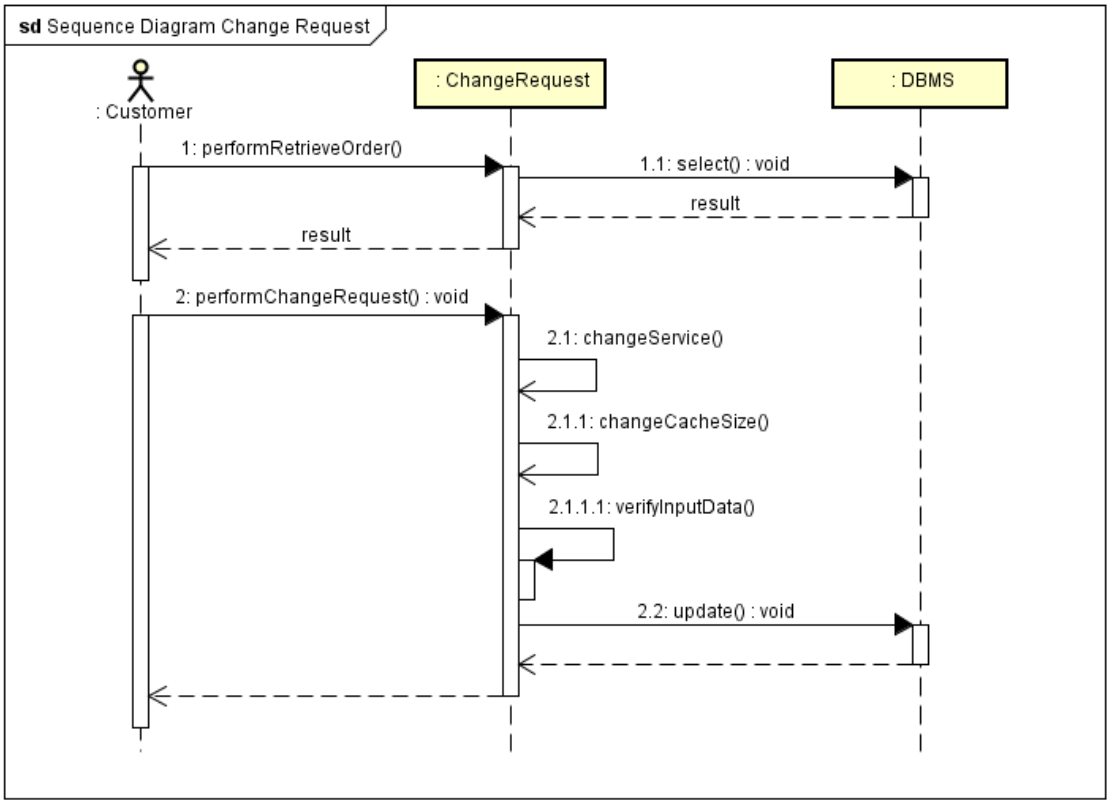
ภาพประกอบที่ 42 แผนภาพซีเควนซ์การลงทะเบียนสมัครสมาชิกและจัดการบัญชีข้อมูลลูกค้าสมาชิก (Register and Manage Account Profile)



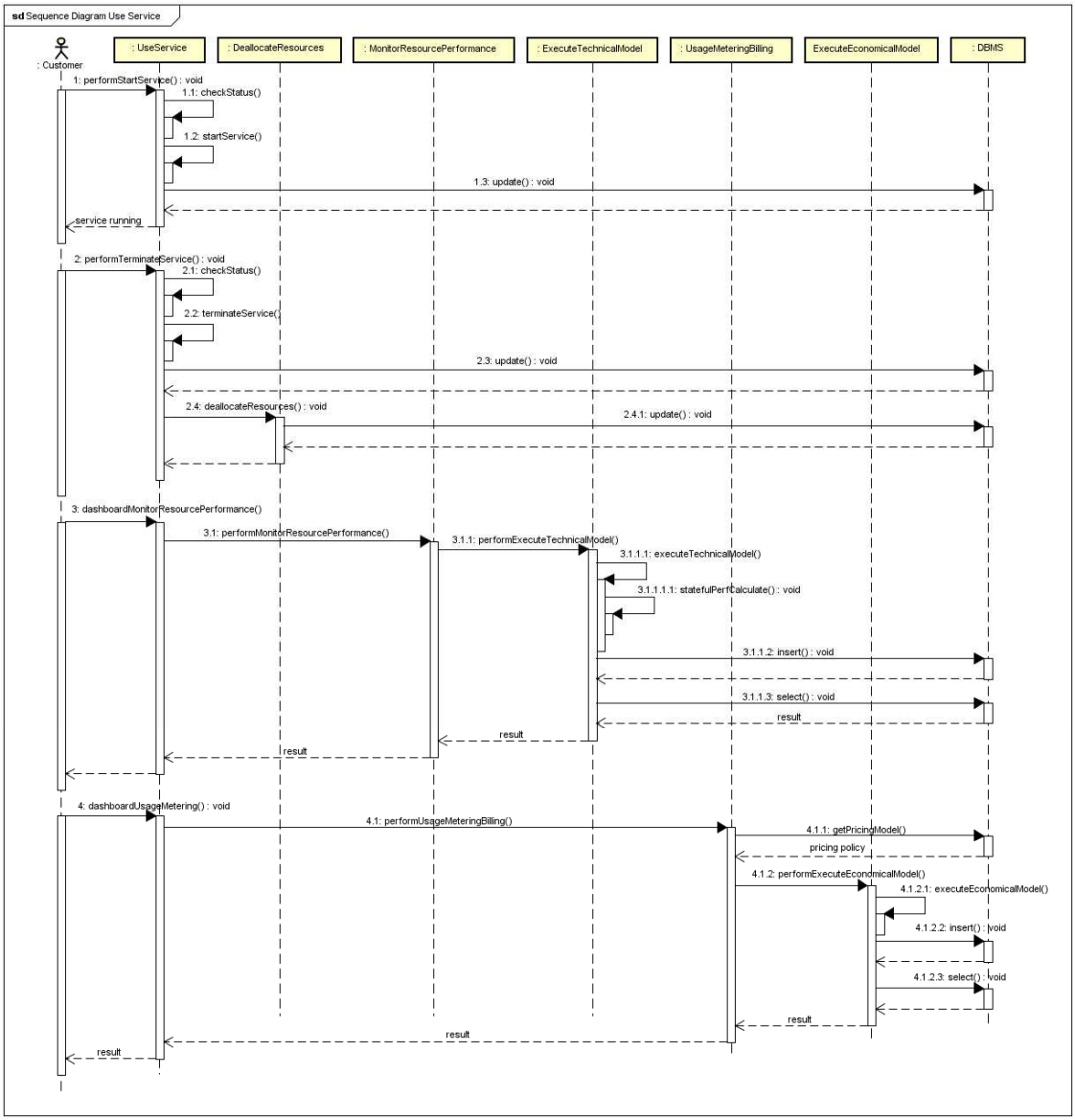
ภาพประกอบที่ 43 แผนภาพซีเควนซ์การเข้าสู่ระบบ (Sign in)



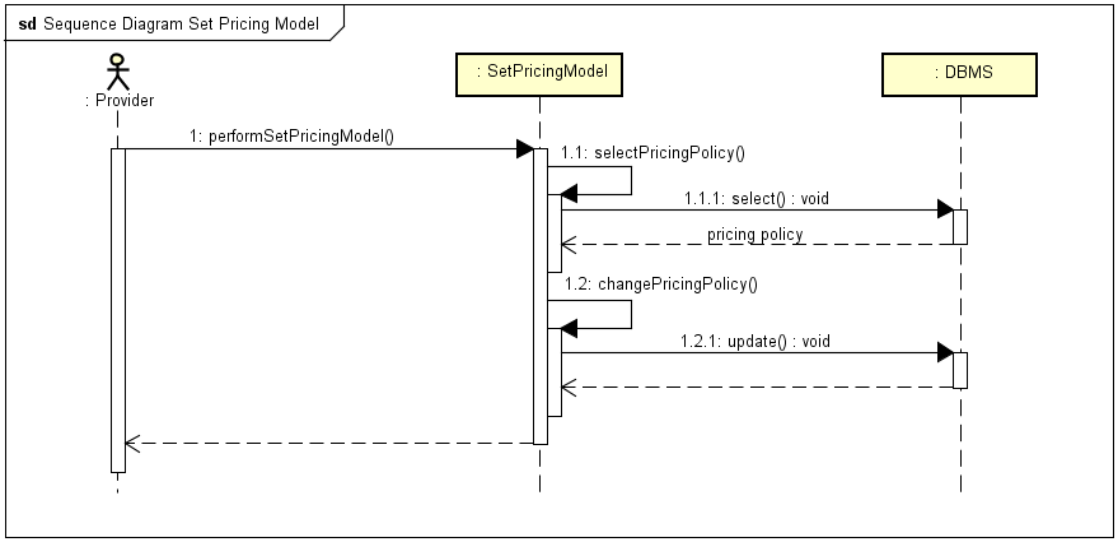
ภาพประกอบที่ 44 แผนภาพซีเควนซ์การเลือกซื้อบริการแคชคลาวด์ (Select Service) และการจัดเตรียมบริการ (Provision Service)



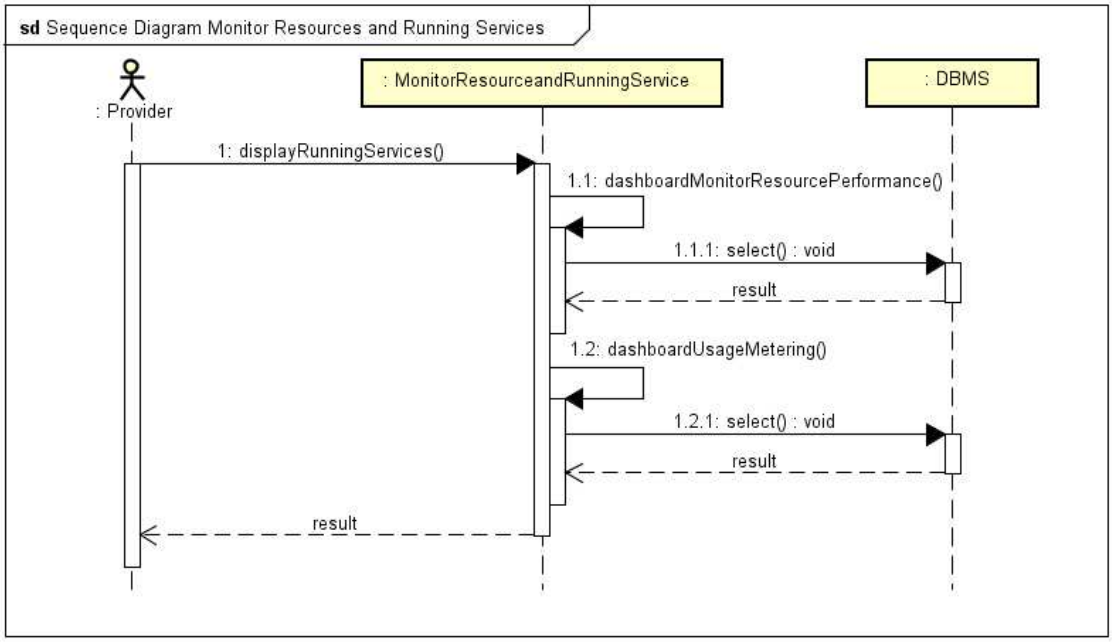
ภาพประกอบที่ 45 แผนภาพซีเควนซ์การเปลี่ยนความต้องการ (Change Request)



ภาพประกอบที่ 46 แผนภาพซีเควนซ์การใช้บริการ (Use Service)

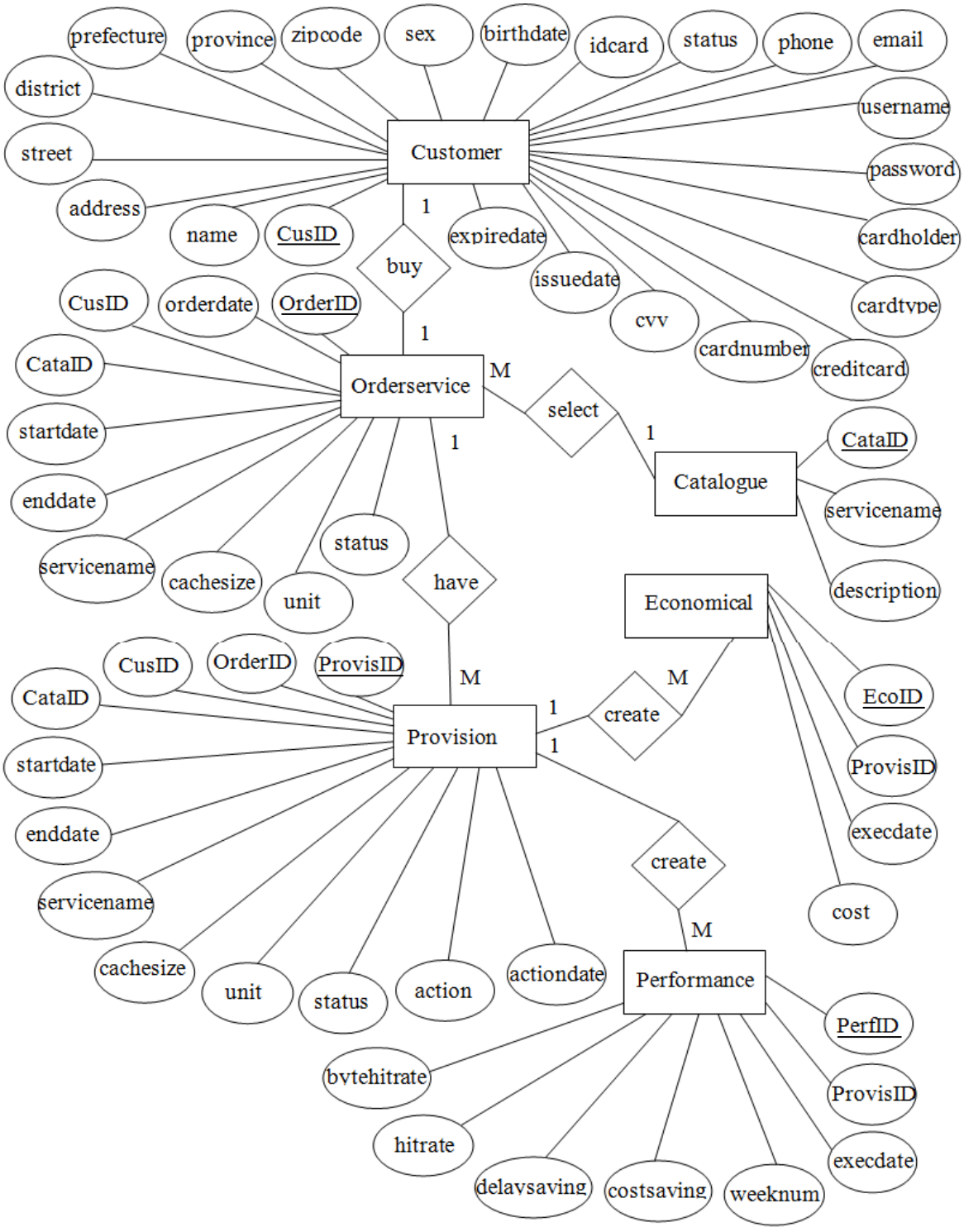


ภาพประกอบที่ 47 แผนภาพซีเควนซ์การกำหนดตัวแบบราคา (Set Pricing Model)



ภาพประกอบที่ 48 แผนภาพซีเควนซ์การตรวจสอบการใช้ทรัพยากรและบริการที่ดำเนินการอยู่ (Monitor Resources and Running Services)

7) แผนภาพความสัมพันธ์เอนทิตี แสดงการออกแบบระบบฐานข้อมูลด้วยการแสดงแผนผังความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มข้อมูล ช่วยให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลต่างๆ ภายในระบบบริการแคชคลาวด์ แสดงตามภาพประกอบที่ 49



ภาพประกอบที่ 49 แผนภาพอี-อาร์ของระบบบริการแคชคลาวด์

8) พจนานุกรมข้อมูล (data dictionary) แสดงคำอธิบายรายละเอียดข้อมูลต่างๆ ในฐานข้อมูลของระบบบริการแคชคลาวด์ แสดงตามตารางที่ 21 - ตารางที่ 27

ตารางที่ 21 ข้อมูลลูกค้า (Table Name : Customer)

Name	Description	Type	Null	Key
CusID	รหัสลูกค้าสมาชิก	int(11)	NN	PK
name	ชื่อลูกค้า	Varchar(255)	NN	
address	เลขที่อยู่	Varchar(255)	Null	
street	ถนน	Varchar(255)	Null	
district	ตำบล	Varchar(255)	NN	
prefecture	อำเภอ	Varchar(255)	NN	
province	จังหวัด	Varchar(255)	NN	
zipcode	รหัสไปรษณีย์	Varchar(20)	NN	
sex	เพศ	Varchar(10)	NN	
birthdate	วันเดือนปีเกิด	Date	NN	
idcard	เลขบัตรประจำตัวประชาชน	Varchar (13)	NN	
status	สถานะ	smallint(6)	NN	
phone	เบอร์โทรศัพท์	Varchar(50)	NN	
email	อีเมล	Varchar(50)	NN	
username	ชื่อผู้ใช้	Varchar(50)	NN	
password	รหัสผ่าน	Varchar(50)	NN	
authkey	กุญแจสำคัญในการตรวจสอบสิทธิ์	Varchar(32)	NN	
cardholder	ชื่อผู้ถือบัตรเครดิต	Varchar(255)	Null	
cardtype	ประเภทบัตรเครดิต เช่น Master Card, Visa Card	Varchar(50)	Null	
creditcard	ชื่อบัตรเครดิต เช่น KBank MasterCard Titanium	Varchar(255)	Null	
cardnumber	หมายเลขบัตรเครดิต	Varchar(20)	Null	
cvv	รหัสความปลอดภัยสำหรับตรวจสอบยืนยันบัตร	Varchar(4)	Null	
issuedate	วันที่ทำการออกบัตรเครดิต	Datetime	Null	
expiredate	วันที่บัตรเครดิตหมดอายุ	Datetime	Null	

busimodel	รูปแบบธุรกิจที่ตกลง เช่น Profit sharing	Varchar(20)	NN	
created_at	วันที่สร้างรายการ	Datetime	NN	
updated_at	วันที่ปรับปรุงแก้ไขรายการ	Datetime	NN	

ตารางที่ 22 ข้อมูลการสั่งซื้อ (Table Name : Orderservice)

Name	Description	Type	Null	Key
OrderID	รหัสการสั่งซื้อ	int(11)	NN	PK
orderdate	วันที่ทำการสั่งซื้อบริการ	Datetime	NN	
CusID	รหัสลูกค้าสมาชิก	int(11)	NN	FK
CataID	รหัสแค็ตตาล็อก	int(11)	NN	FK
startdate	วันที่เริ่มต้นการใช้บริการ	Datetime	NN	
enddate	วันที่สิ้นสุดการใช้บริการ	Datetime	NN	
servicename	ชื่อตัวแบบบริการแคชคลาวด์	Varchar(255)	NN	
cachesize	ขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช	int(11))	NN	
unit	หน่วยขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช เช่น GB	Varchar(2)	NN	
status	สถานะของรายการสั่งซื้อบริการ	Varchar(20)	NN	
created_at	วันที่สร้างรายการสั่งซื้อบริการ	Datetime	NN	
updated_at	วันที่ปรับปรุงแก้ไขรายการสั่งซื้อบริการ	Datetime	NN	

ตารางที่ 23 ข้อมูลแค็ตตาล็อกของตัวแบบบริการแคชคลาวด์ (Table Name : Catalogue)

Name	Description	Type	Null	Key
CataID	รหัสแค็ตตาล็อก	int(11)	NN	PK
servicename	ชื่อตัวแบบบริการแคชคลาวด์	Varchar(255)	NN	
description	รายละเอียดของตัวแบบบริการแคชคลาวด์	Varchar(500)	NN	
created_at	วันที่สร้างรายการสั่งซื้อบริการ	Datetime	NN	
updated_at	วันที่ปรับปรุงแก้ไขรายการสั่งซื้อบริการ	Datetime	NN	

ตารางที่ 24 ข้อมูลรายละเอียดของการสั่งซื้อและการเปลี่ยนการสั่งซื้อ (Table Name : Provision)

Name	Description	Type	Null	Key
ProvisID	รหัสรายละเอียดการสั่งซื้อ	int(11)	NN	PK
OrderID	รหัสการสั่งซื้อ	int(11)	NN	FK
CusID	รหัสลูกค้าสมาชิก	int(11)	NN	FK
CataID	รหัสแค็ตตาล็อก	int(11)	NN	FK
startdate	วันที่เริ่มต้นการใช้บริการ	Datetime	NN	
enddate	วันที่สิ้นสุดการใช้บริการ	Datetime	NN	
servicename	ชื่อตัวแบบบริการแคชคลาวด์	Varchar(255)	NN	
cachesize	ขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช	int(11))	NN	
unit	หน่วยขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช เช่น GB	Varchar(2)	NN	
status	สถานะของรายการสั่งซื้อบริการ	Varchar(20)	NN	
action	การกระทำกับรายการ เช่น การเปลี่ยนตัวแบบบริการคลาวด์, การสิ้นสุดการใช้บริการ	Varchar(20)	NN	
actiondate	วันที่ของการการกระทำกับรายการ	Datetime	NN	
created_at	วันที่สร้างรายการรายละเอียดการสั่งซื้อ	Datetime	NN	

ตารางที่ 25 ข้อมูลรายการคำนวณค่าใช้บริการแคชคลาวด์ตามตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ (Table Name : Economical)

Name	Description	Type	Null	Key
EcoID	รหัสรายการคำนวณค่าใช้บริการ	int(11)	NN	PK
ProvisID	รหัสรายละเอียดการสั่งซื้อแคชคลาวด์	int(11)	NN	FK
execdate	วันที่ทำการคำนวณค่าใช้บริการตามตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์	Datetime	NN	
cost	ค่าใช้บริการแคชคลาวด์	Double	NN	
created_at	วันที่สร้างรายการ	Datetime	NN	

ตารางที่ 26 ข้อมูลรายการประมวลผลตัววัดสมรรถนะเชิงประสิทธิภาพตามตัวแบบทางเทคนิค (Table Name : Performance)

Name	Description	Type	Null	Key
PerfID	รหัสรายการประมวลผลตัววัดสมรรถนะเชิงประสิทธิภาพ	int(11)	NN	PK
ProvisID	รหัสรายละเอียดการสั่งซื้อแคชคลาวด์	int(11)	NN	FK
execdate	วันที่ทำการประมวลผลตัววัดสมรรถนะเชิงประสิทธิภาพตามตัวแบบทางเทคนิค	Datetime	NN	
weeknum	เลขสัปดาห์ที่ทำการประมวลผล	int(3)	NN	
costsaving	ตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูล	Double	NN	
delaysaving	ตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราประหยัดเวลาโหลดข้อมูล	Double	NN	
hitrate	ตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราการพบข้อมูลในแคช	Double	NN	
bytehitrate	ตัววัดสมรรถนะทางเทคนิคอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคช	Double	NN	
created_at	วันที่สร้างรายการ	Datetime	NN	

ตารางที่ 27 ข้อมูลรายการชื่อบัตรเครดิต (Table Name : Creditcard)

Name	Description	Type	Null	Key
CardID	รหัสบัตรเครดิต	int(11)	NN	PK
creditcard	ชื่อบัตรเครดิต	Varchar(255)	NN	
created_at	วันที่สร้างรายการ	Datetime	NN	
updated_at	วันที่ปรับปรุงแก้ไขรายการ	Datetime	NN	

2. การสร้างระบบบริการแคชคลาวด์

เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างระบบ

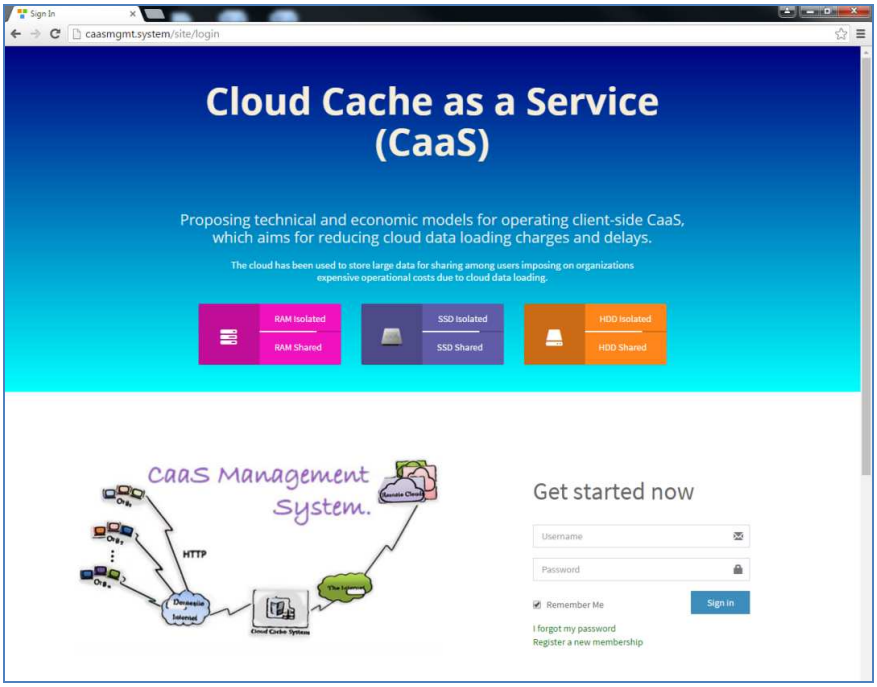
1. การสร้างโปรแกรมระบบแคชคลาวด์ ด้วยภาษาพีเอชพี (PHP) แบบ Yii2 PHP Framework ในลักษณะ Model, View และ Controller (MVC) และเขียนโค้ดคำสั่งโปรแกรมในรูปแบบการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object Oriented Programming : OOP) โดยใช้โปรแกรมเขียนโค้ดคำสั่งโปรแกรม (code editor) คือ พีเอชพีสตรอม (PhpStorm) และซับไลม์แท็กทรี่ (Sublime Text3) เป็นเครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรมและใช้โปรแกรมเอ็กซ์เอเอ็มพีพี (XAMPP) สำหรับจำลองเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์บนระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์วินโดวส์เซเวน (Microsoft Windows 7) และใช้ระบบจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์มายเอสคิวแอล (MySQL) และใช้โปรแกรมจัดการฐานข้อมูลพีเอชพีมายแอดมิน (phpMyAdmin) รุ่น 4.5.1 และใช้โปรแกรมคอมโพสเซอร์ (Composer) สำหรับจัดการติดตั้งแพ็กเกจส่วนชุดคำสั่งสำเร็จ (software package) และใช้กิตฮับ (github) สำหรับติดตั้งแพ็กเกจเสริมวิดเจ็ต (Widgets) และแพ็กเกจส่วนขยาย (extensions) ที่จำเป็นในการพัฒนาระบบ

2. รายการฮาร์ดแวร์ได้แก่ คอมพิวเตอร์ 1 ชุดสำหรับพัฒนาโปรแกรมระบบแคชคลาวด์ สำหรับข้อกำหนดเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการสร้างระบบเป็นหน่วยประมวลอินเทลแกน i7-3667 U ซีพียู 2.00 จิกะเฮิร์ทซ์ หน่วยความจำหลักขนาด 6 จิกะไบต์ ฮาร์ดดิสก์ 120 จิกะไบต์ ใช้ระบบปฏิบัติการ ไมโครซอฟท์วินโดวส์ 7 รุ่น 64 บิต และโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์อินเทอร์เน็ตเอกซ์พลอเรอร์ (Internet Explorer), กูเกิ้ลโครม (Google Chrome), ไฟร์ฟอกซ์ (Firefox) ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และใช้ระบบปฏิบัติการลินุกซ์สำหรับการจำลองการติดตั้งระบบบนคลาวด์และสำหรับการเชื่อมต่อกับพร็อกซี่เซิร์ฟเวอร์สควิด (Squid)

การพัฒนาโปรแกรมส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI)

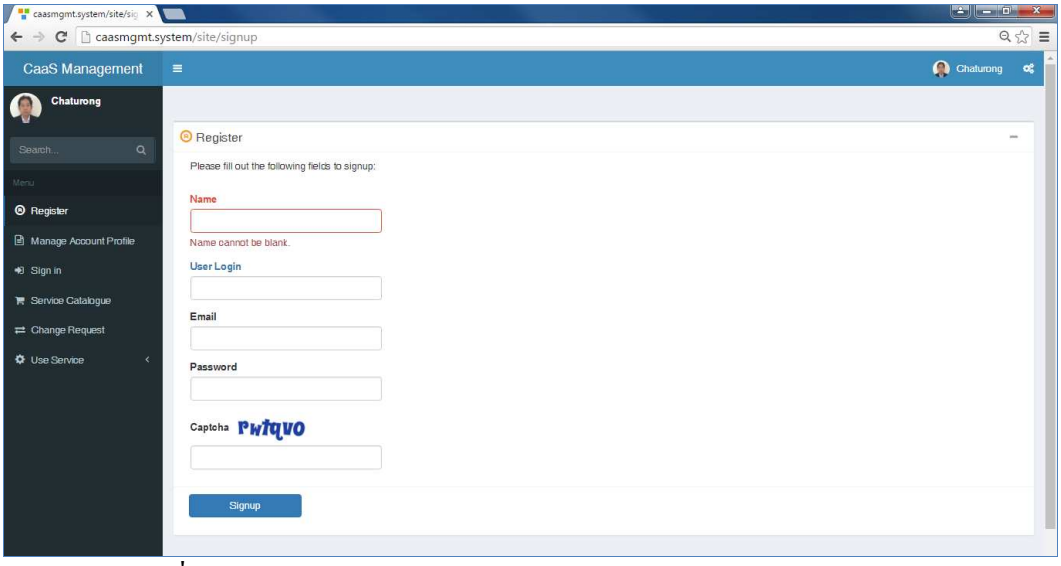
ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบต้นแบบแคชคลาวด์โดยแบ่งระบบออกเป็น 2 ส่วน คือ 1. ส่วนติดต่อกับผู้ใช้สำหรับลูกค้าผู้ใช้บริการ (Front End) และ 2. ส่วนการจัดการแบล็คเอ็นสำหรับผู้ดูแลระบบ (Back End) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ส่วนติดต่อกับผู้ใช้สำหรับลูกค้าผู้ใช้บริการ ผู้วิจัยทำการพัฒนาโปรแกรมส่วนการเข้าระบบ (sign in) สำหรับให้ลูกค้าสมาชิกกรอกชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านเพื่อเข้าสู่ระบบ แสดงตามภาพประกอบที่ 50



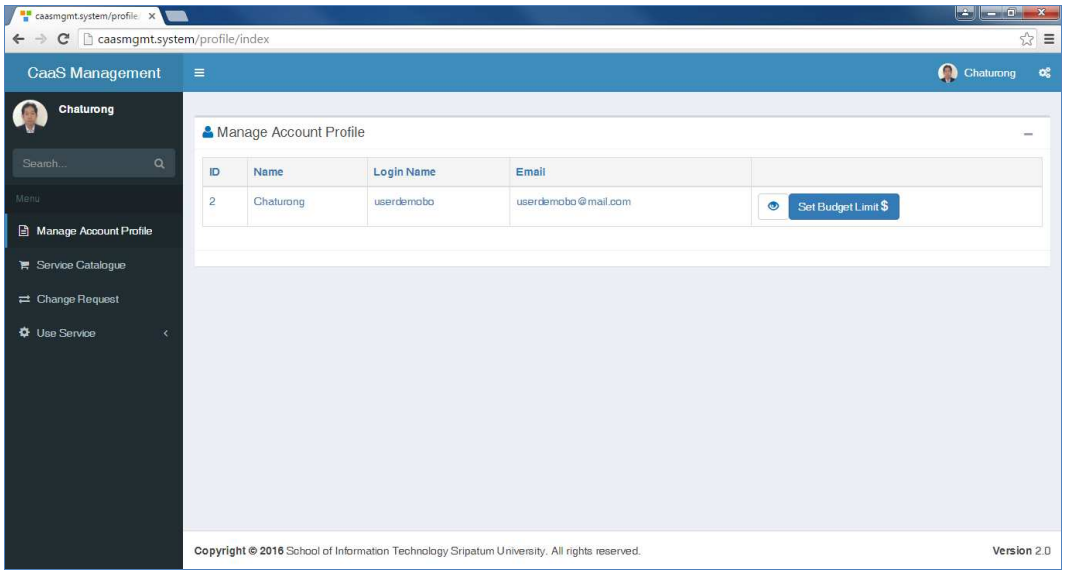
ภาพประกอบที่ 50 แสดงหน้าจอในส่วนของการเข้าระบบสำหรับลูกค้าผู้ใช้บริการ

โปรแกรมส่วนการลงทะเบียนสมัครสมาชิกของลูกค้า (Register) สำหรับเก็บข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวลูกค้าสมาชิก แสดงตามภาพประกอบที่ 51



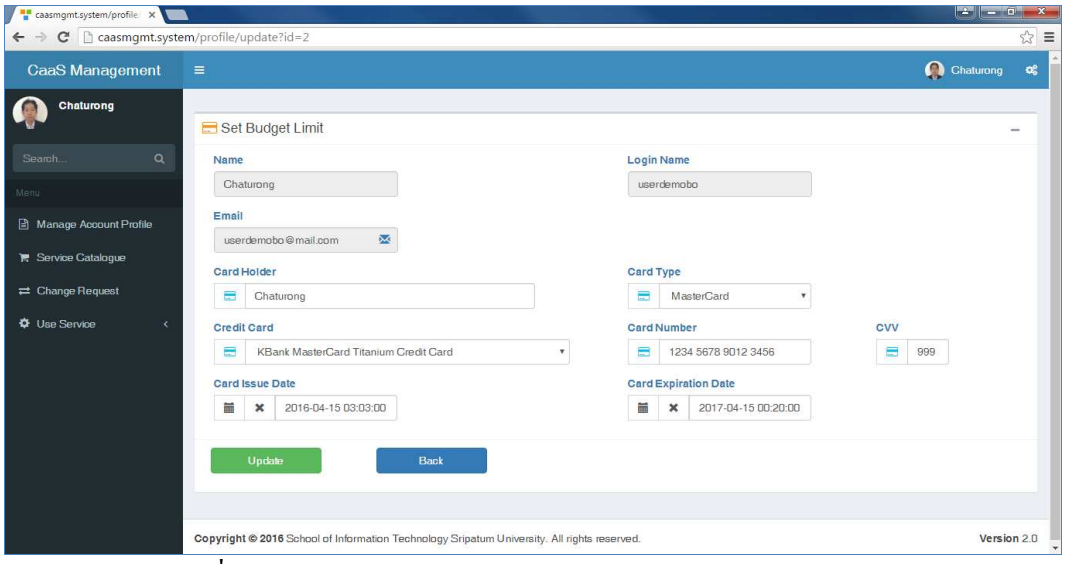
ภาพประกอบที่ 51 แสดงหน้าจอในส่วนของการลงทะเบียนสมัครสมาชิกของลูกค้า (Register)

โปรแกรมส่วนการจัดการบัญชีข้อมูลลูกค้าสมาชิก (Manage Account Profile) เพื่อให้ลูกค้าสมาชิกจัดการบัญชีข้อมูลของตัวเอง แสดงตามภาพประกอบที่ 52



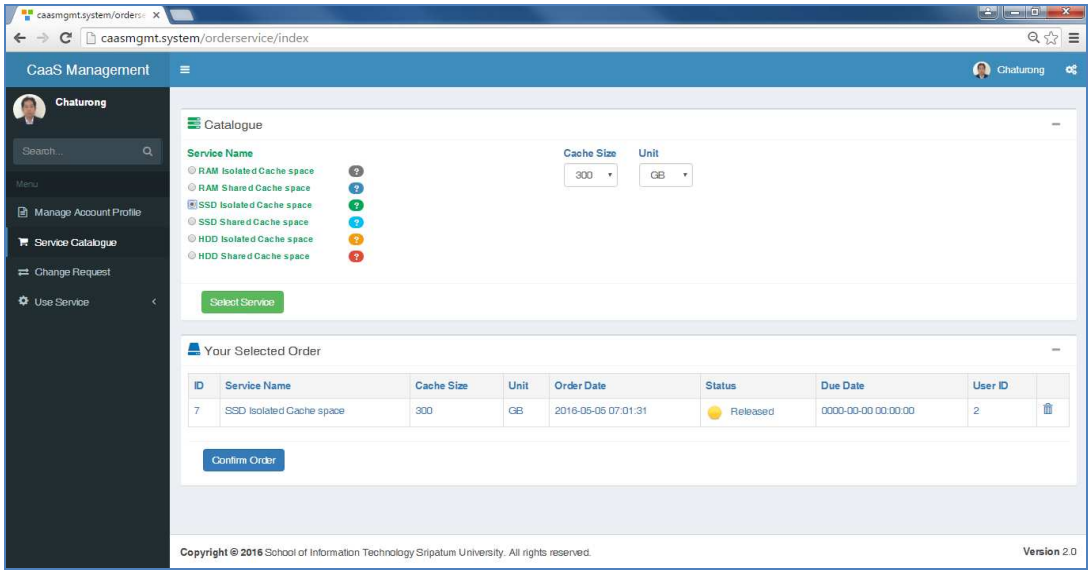
ภาพประกอบที่ 52 แสดงหน้าจอในส่วนการจัดการบัญชีข้อมูลลูกค้าสมาชิก (Manage Account Profile)

โปรแกรมส่วนการกำหนดการจำกัดวงเงิน (Set Budget Limit) เพื่อให้ลูกค้าสมาชิกบันทึกรายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลการเงินของลูกค้าเข้าสู่ระบบ แสดงตามภาพประกอบที่ 53



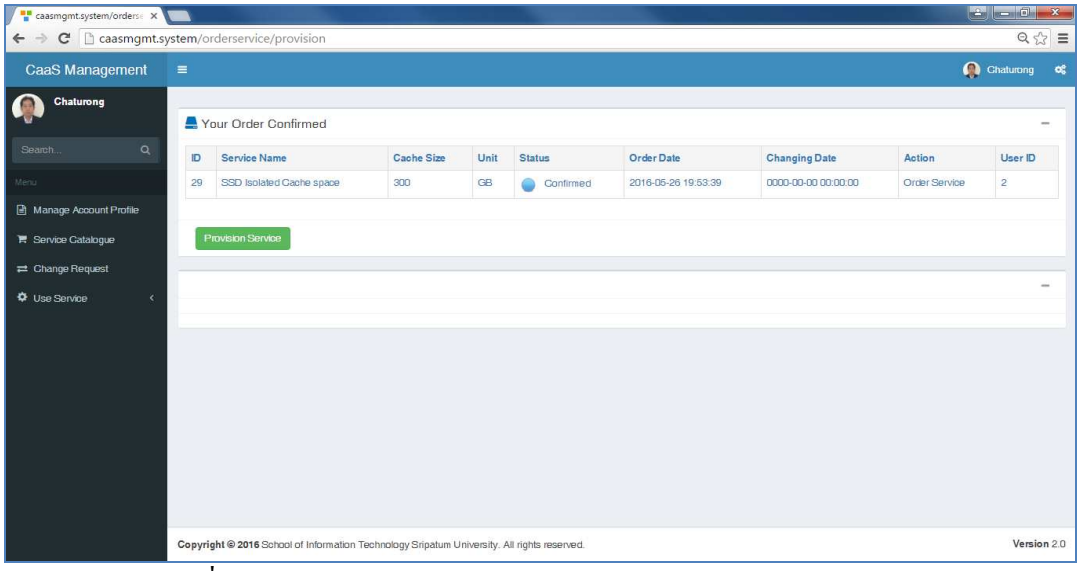
ภาพประกอบที่ 53 แสดงหน้าจอในส่วนการกำหนดการจำกัดวงเงิน (Set Budget Limit)

โปรแกรมส่วนการแสดงแคตตาล็อกรายการบริการแคชคลาวด์ (Service Catalogue) เพื่อให้ลูกค้าเรียกดูรายละเอียดของแต่ละบริการและการเลือกสั่งซื้อบริการที่ต้องการ แสดงตามภาพประกอบที่ 54



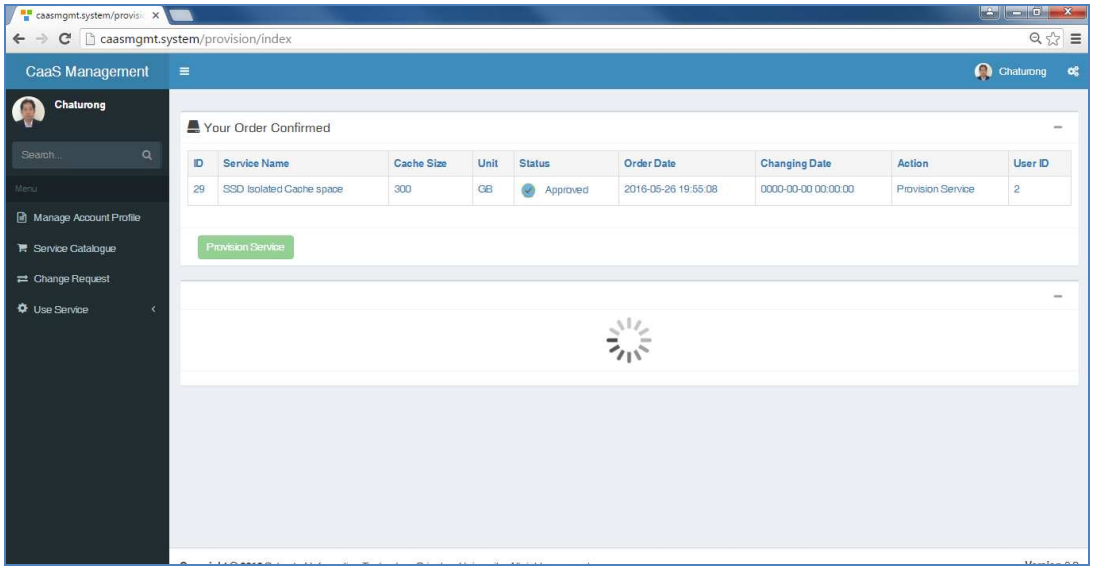
ภาพประกอบที่ 54 แสดงหน้าจอในส่วนแคตตาล็อกรายการบริการแคชคลาวด์ (Service Catalogue)

โปรแกรมส่วนการจัดเตรียมทรัพยากรให้พร้อมสำหรับให้บริการ (Provision Service) เพื่อจัดเตรียมสำรองทรัพยากร ตั้งค่า และจัดสรรทรัพยากรให้ลูกค้าโดยอัตโนมัติ แสดงตามภาพประกอบที่ 55



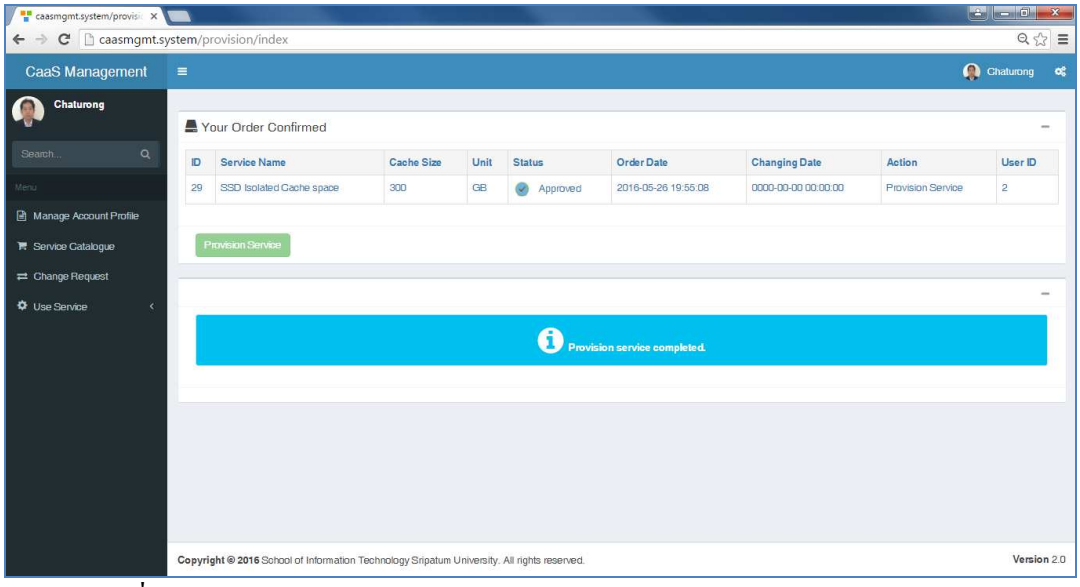
ภาพประกอบที่ 55 แสดงหน้าจอในส่วนการจัดเตรียมทรัพยากรให้พร้อมสำหรับให้บริการ

โปรแกรมส่วนการประมวลผลเพื่อจัดเตรียมสำรองทรัพยากร ตั้งค่า และจัดสรรทรัพยากรให้ลูกค้าโดยอัตโนมัติ (Provision Service) แสดงตามภาพประกอบที่ 56



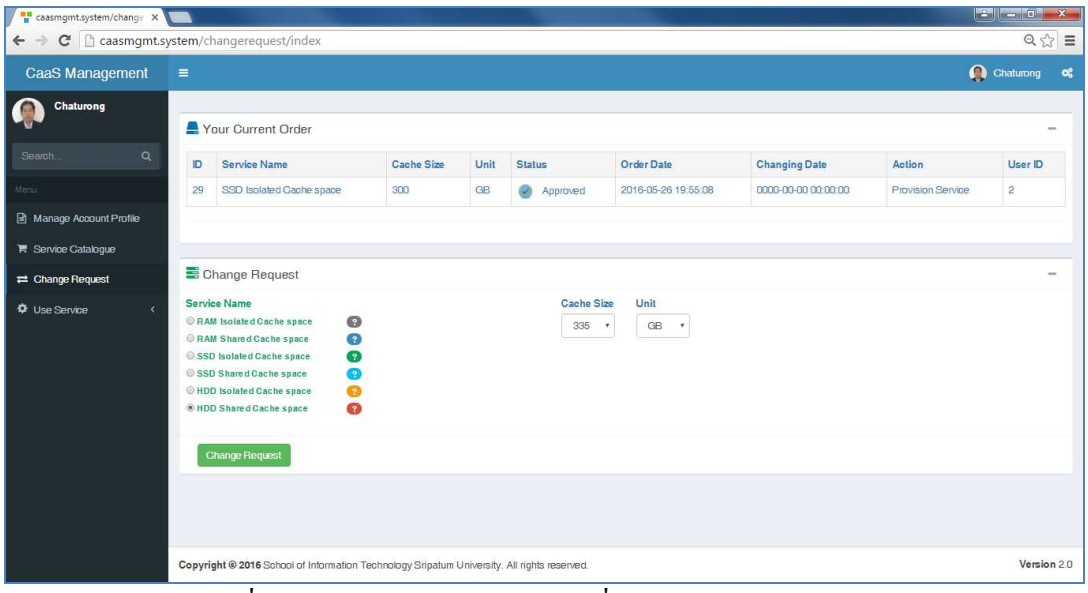
ภาพประกอบที่ 56 แสดงหน้าจอในส่วนการประมวลผลจัดเตรียมทรัพยากรโดยอัตโนมัติ

โปรแกรมส่วนการแจ้งผลการประมวลผลการจัดเตรียมสำรองทรัพยากร ตั้งค่า และจัดสรรทรัพยากรให้ลูกค้าโดยอัตโนมัติ (Provision Service) แสดงตามภาพประกอบที่ 57



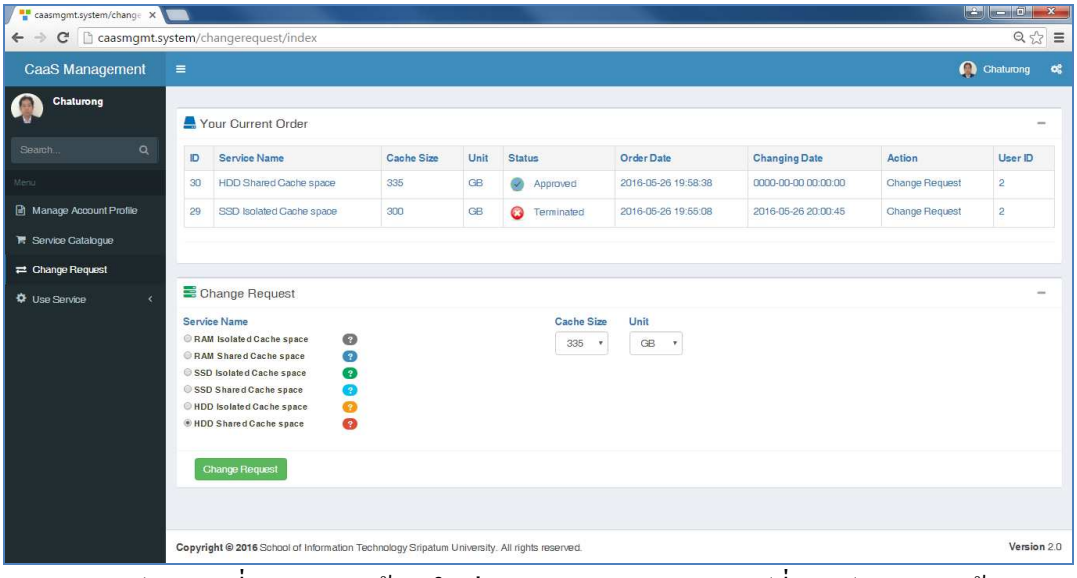
ภาพประกอบที่ 57แสดงหน้าจอในส่วนการแจ้งผลการประมวลผลการจัดเตรียมทรัพยากรโดยอัตโนมัติ

โปรแกรมส่วนการเปลี่ยนความต้องการ (Change Request) เพื่อให้ลูกค้าสมาชิกสามารถเปลี่ยนบริการแคชคลาวด์หรือเปลี่ยนขนาดแคชตามความต้องการ แสดงตามภาพประกอบที่ 58



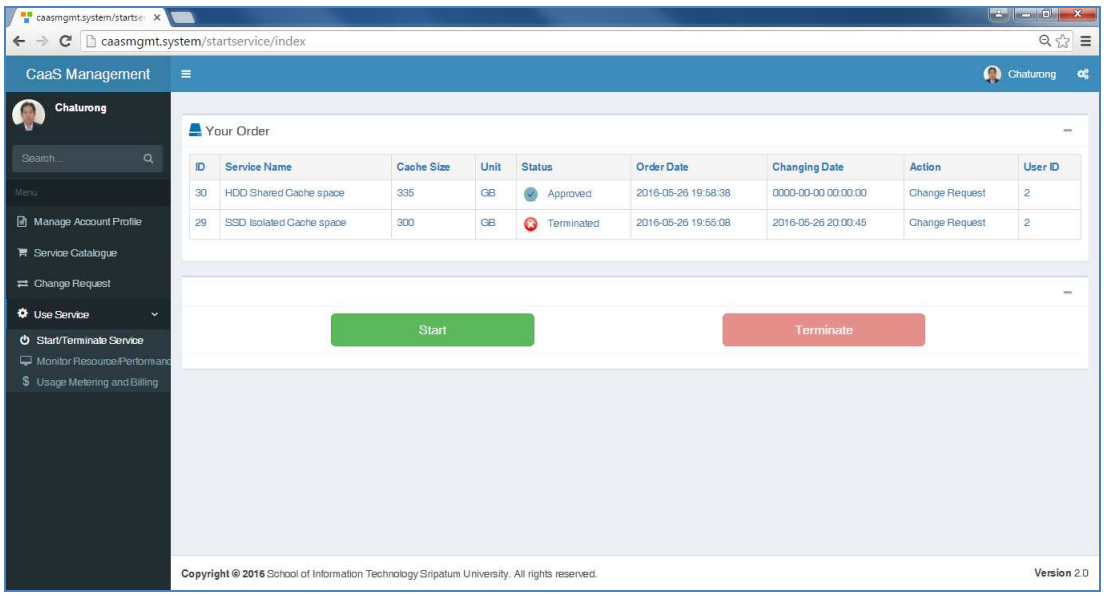
ภาพประกอบที่ 58 แสดงหน้าจอในส่วนการเปลี่ยนความต้องการ (Change Request)

โปรแกรมส่วนการเปลี่ยนความต้องการ (Change Request) ที่แสดงรายการการเปลี่ยนแปลงที่ลูกค้าได้ดำเนินการเปลี่ยนความต้องการไป แสดงตามภาพประกอบที่ 59



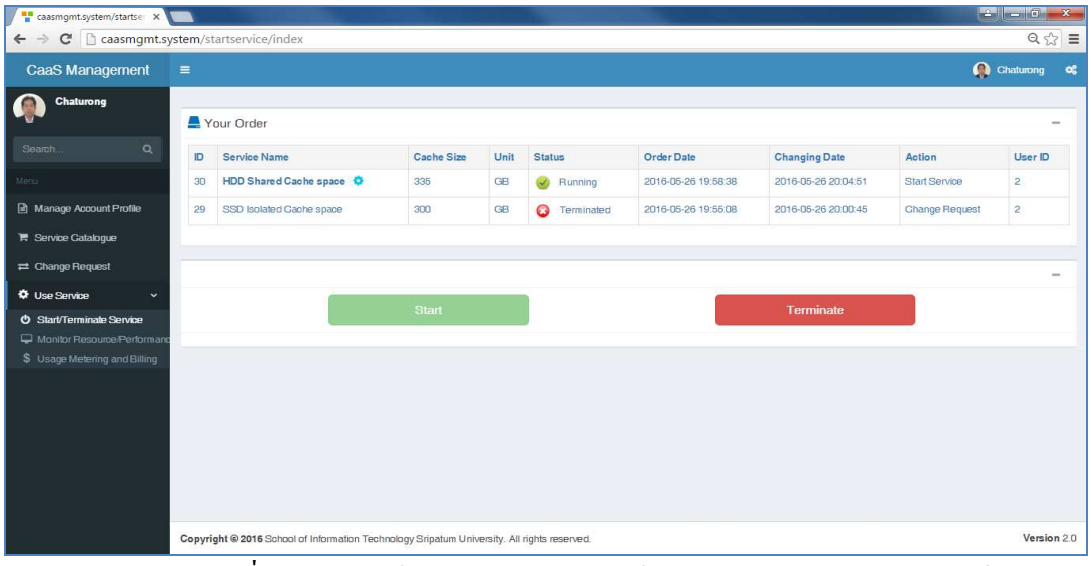
ภาพประกอบที่ 59 แสดงหน้าจอในส่วนการแสดงรายการการเปลี่ยนแปลงของลูกค้า

โปรแกรมส่วนการใช้บริการ (Use Service) เพื่อให้ลูกค้าเริ่มต้นเปิดการใช้บริการ ตรวจสอบการใช้งาน ประสิทธิภาพ ค่าสถิติ สถานะบริการ และการปิดการใช้บริการ แสดงตามภาพประกอบที่ 60



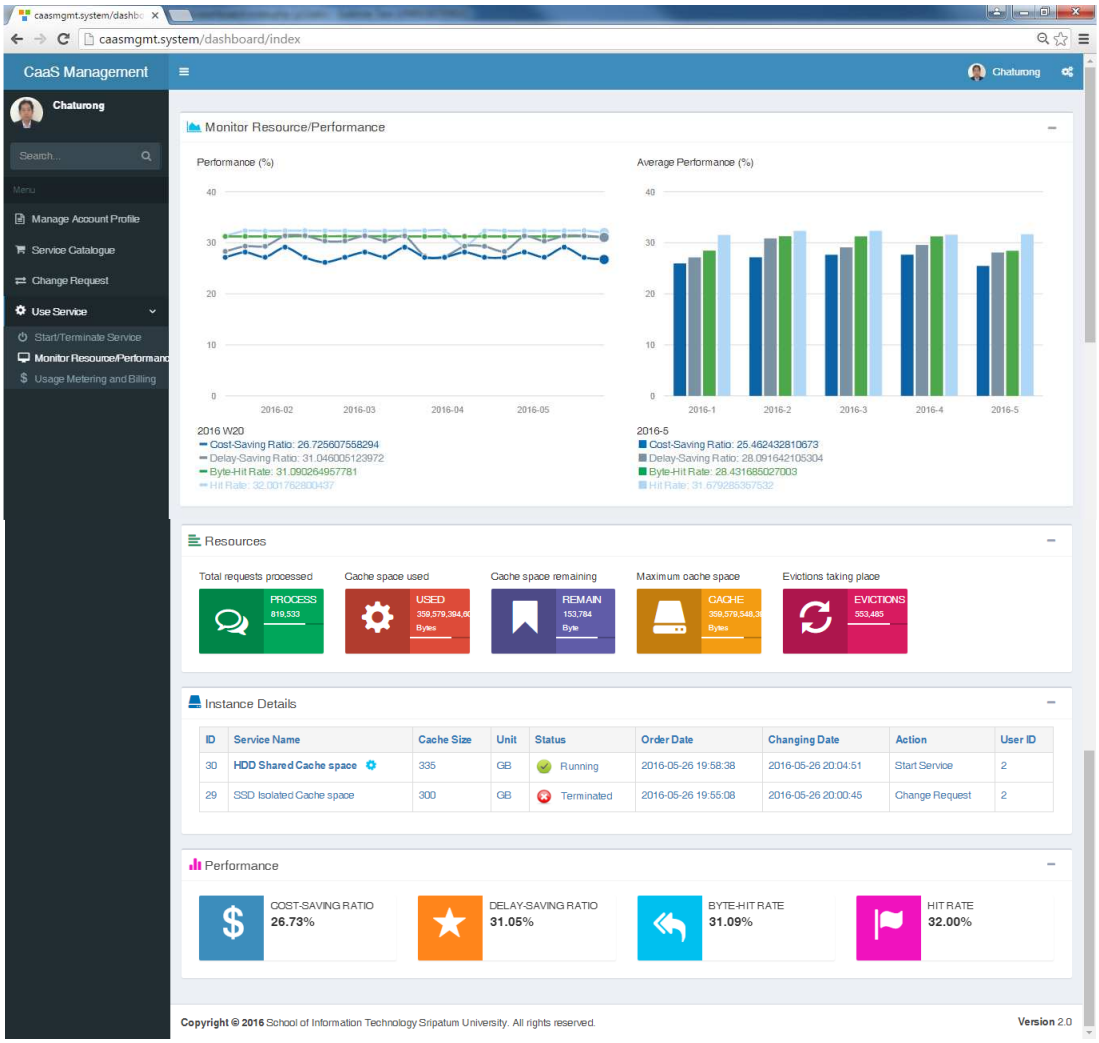
ภาพประกอบที่ 60 แสดงหน้าจอในส่วนการใช้บริการ (Use Service) ของลูกค้า

โปรแกรมส่วนการเปิดใช้บริการ (Start Service) เพื่อให้ลูกค้าเริ่มต้นเปิดใช้บริการที่ได้ และระบบเข้าสถานะ Running เป็นการส่งมอบบริการให้ลูกค้าใช้งาน แสดงตามภาพประกอบที่ 61



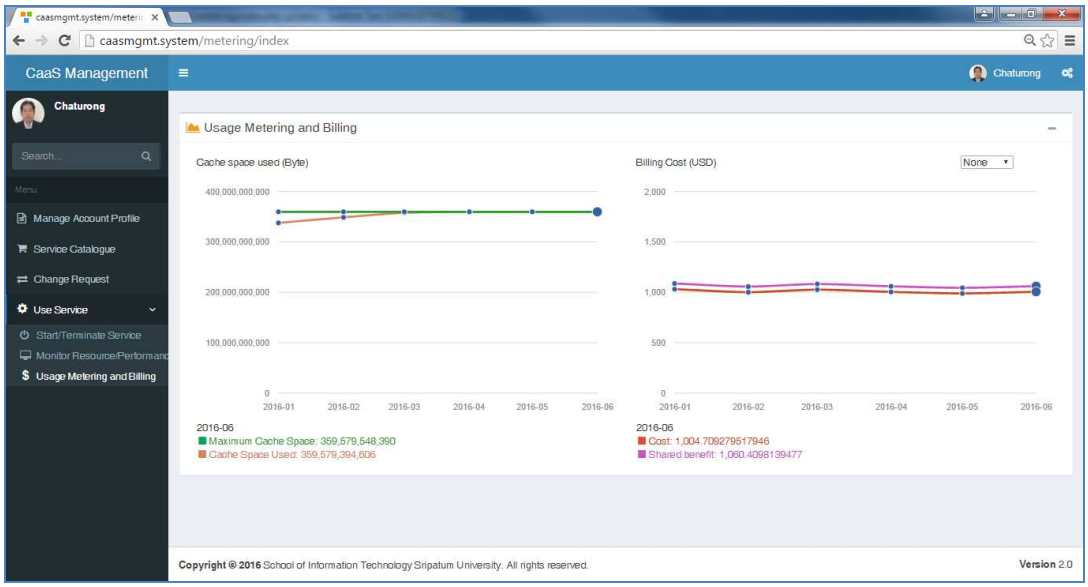
ภาพประกอบที่ 61 แสดงหน้าจอในส่วนการเปิดใช้บริการ (Start Service) ของลูกค้า

โปรแกรมส่วนการตรวจสอบการใช้ทรัพยากรและประสิทธิภาพ (Monitor Resource/Performance) เพื่อให้ลูกค้าเรียกดูแดสบอร์ด (Dashboard) ข้อมูลภาพรวมที่ซึ่งโปรแกรมได้ทำการประมวลผลตามตัวแบบทางเทคนิคของบริการแคชคลาวด์เพื่อให้ลูกค้าสามารถตรวจสอบปริมาณการใช้งานทรัพยากรและประสิทธิภาพการทำงาน และตรวจสอบสถิติการใช้งานต่างๆ ดูสถานะของบริการ โดยรายงานในเชิงตัวเลขและกราฟการใช้งานบริการแคชคลาวด์ที่ลูกค้ากำลังใช้บริการอยู่ แสดงตามภาพประกอบที่ 62



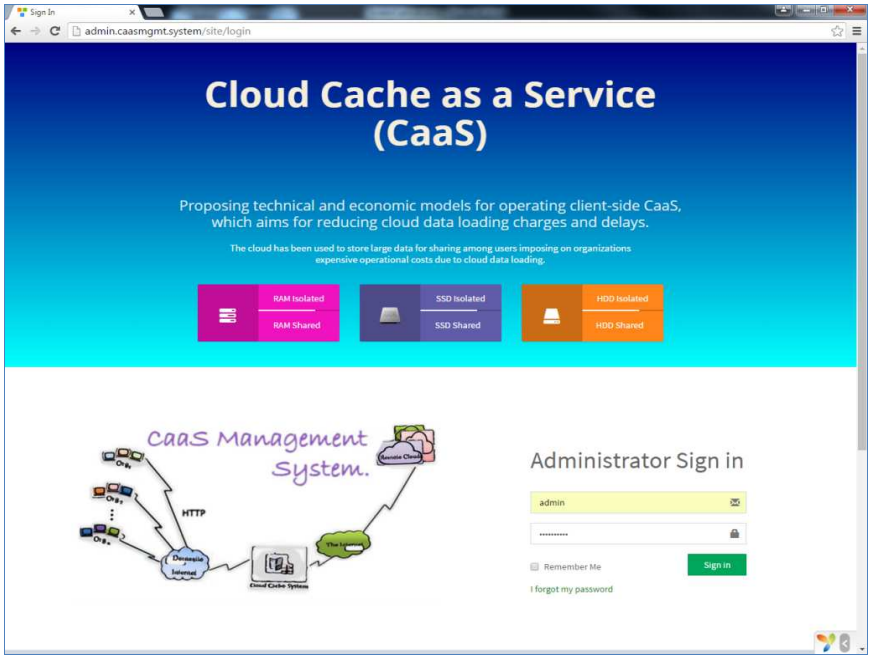
ภาพประกอบที่ 62 แสดงหน้าจอในส่วนการตรวจสอบการใช้ทรัพยากรและประสิทธิภาพของตัวแบบบริการแคชคลาวด์ของลูกค้าที่กำลังใช้บริการอยู่ (Monitor Resource/Performance)

โปรแกรมส่วนการวัดปริมาณการใช้งานและการเรียกเก็บเงิน (Usage Metering and Billing) เพื่อให้ลูกค้าตรวจสอบปริมาณการใช้งานทรัพยากร และโปรแกรมทำการคำนวณค่าใช้จ่ายตามตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์แล้วแสดงผลเป็นกราฟค่าใช้บริการรายเดือน แสดงตามภาพประกอบที่ 63



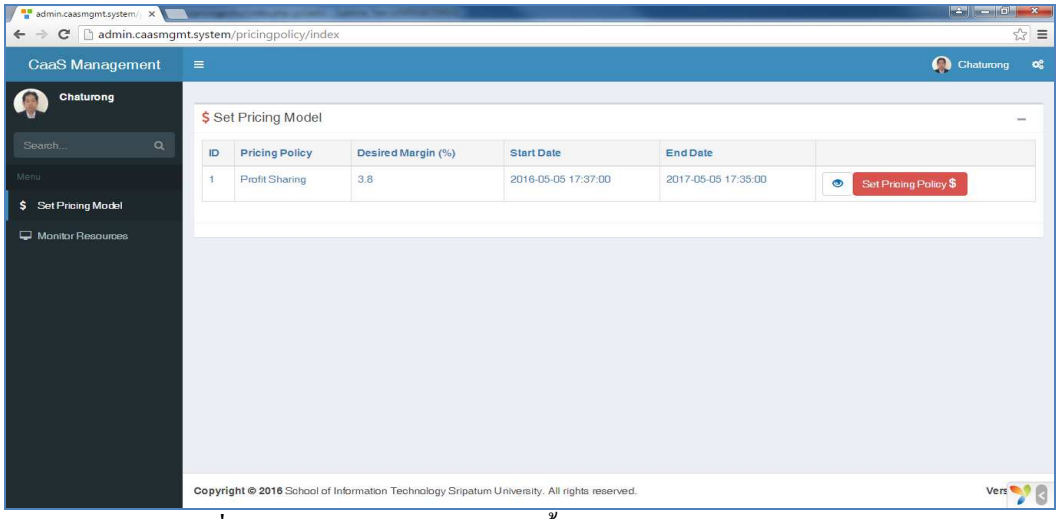
ภาพประกอบที่ 63 แสดงหน้าจอในส่วนการวัดปริมาณการใช้งานและการเรียกเก็บเงิน (Usage Metering and Billing)

2. ส่วนการจัดการแบล็คเอ็นสำหรับผู้ดูแลระบบ (Back End) ผู้วิจัยทำการพัฒนาโปรแกรมส่วนการเข้าระบบ (sign in) สำหรับให้ผู้ดูแลระบบกรอกชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านเพื่อเข้าสู่ระบบในส่วนการจัดการเบื้องหลัง แสดงตามภาพประกอบที่ 64



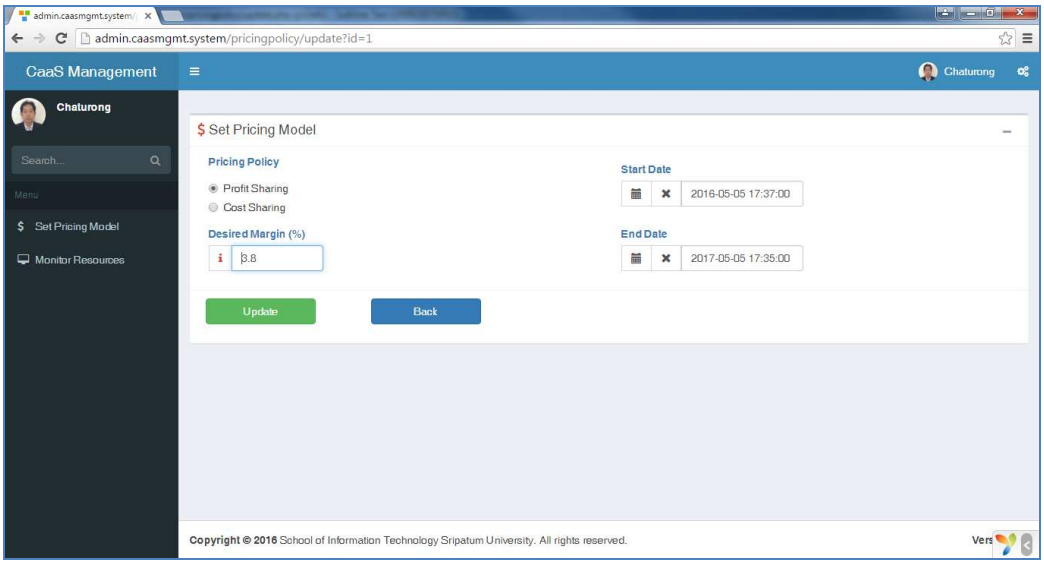
ภาพประกอบที่ 64 แสดงหน้าจอในส่วนของการเข้าระบบสำหรับผู้ดูแลระบบ

โปรแกรมส่วนการตั้งค่าตัวแบบทางธุรกิจในการกำหนดราคา (Set Pricing Model) สำหรับผู้ดูแลระบบในการกำหนดนโยบายการคิดราคาค่าบริการ (Pricing Policy) ตามที่ผู้ให้บริการแคชคลาวด์ระบุให้ใช้ในปีนั้น เช่น การแบ่งปันกำไร (profit sharing) หรือการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย (cost sharing) แสดงตามภาพประกอบที่ 65



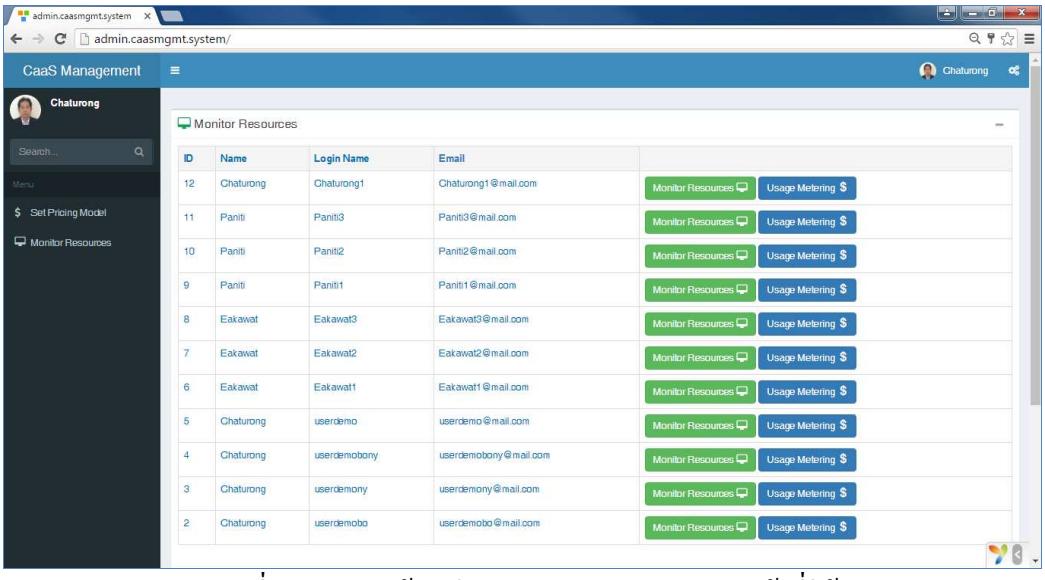
ภาพประกอบที่ 65 แสดงหน้าจอในส่วนการตั้งค่าตัวแบบทางธุรกิจในการกำหนดราคา

โปรแกรมส่วนการตั้งค่าตัวแบบทางธุรกิจในการกำหนดราคา (Set Pricing Model) สำหรับผู้ดูแลระบบในการกำหนดเปอร์เซ็นกำไร (Profit%) แสดงตามภาพประกอบที่ 66



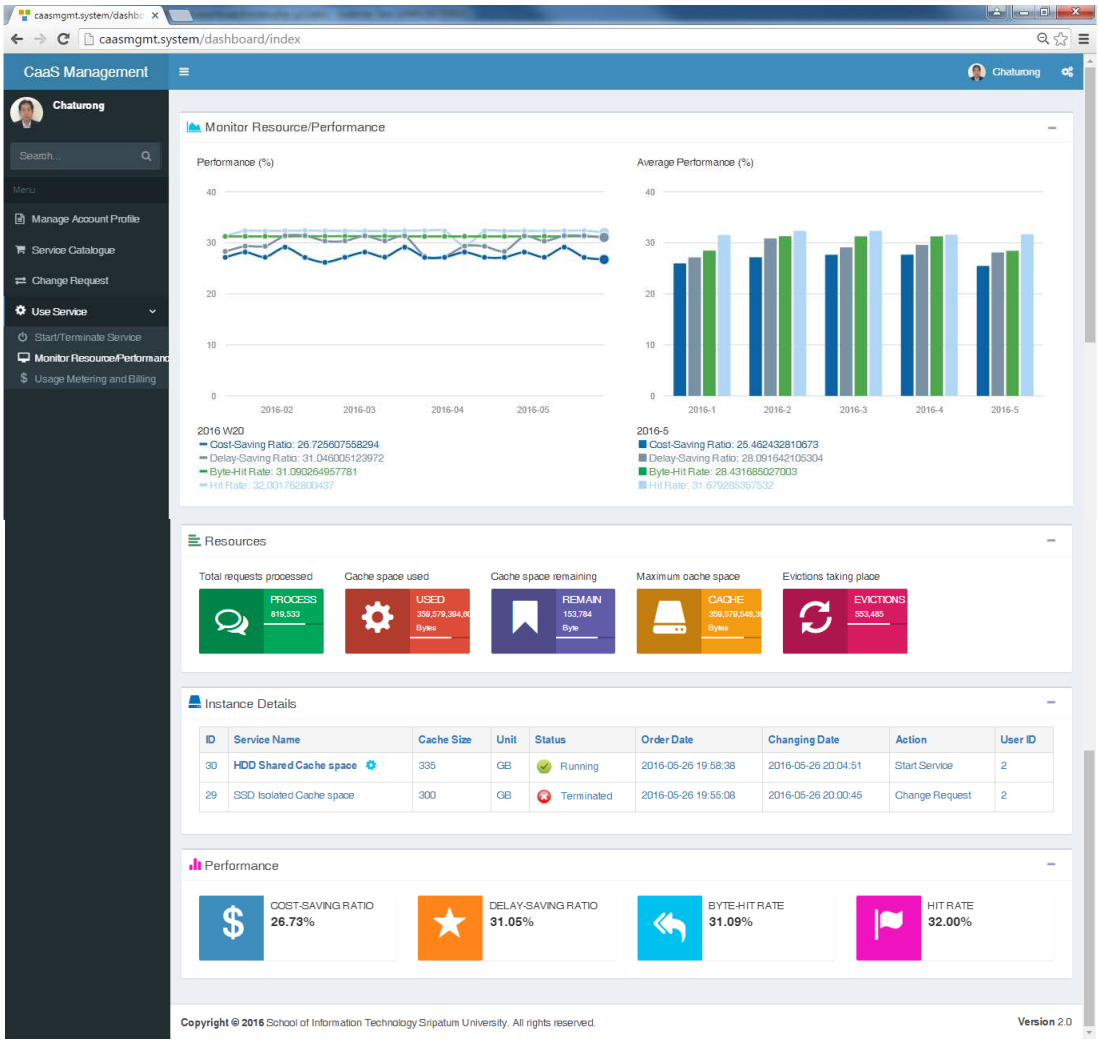
ภาพประกอบที่ 66 แสดงหน้าจอในส่วนการกำหนดเปอร์เซ็นกำไร (Profit%)

โปรแกรมส่วนการตรวจสอบการใช้ทรัพยากรและบริการที่ดำเนินการอยู่ (Monitor Resources and Running Services) สำหรับผู้ดูแลระบบในการเรียกดูแต่ละรายลูกค้า แสดงตามภาพประกอบที่ 67



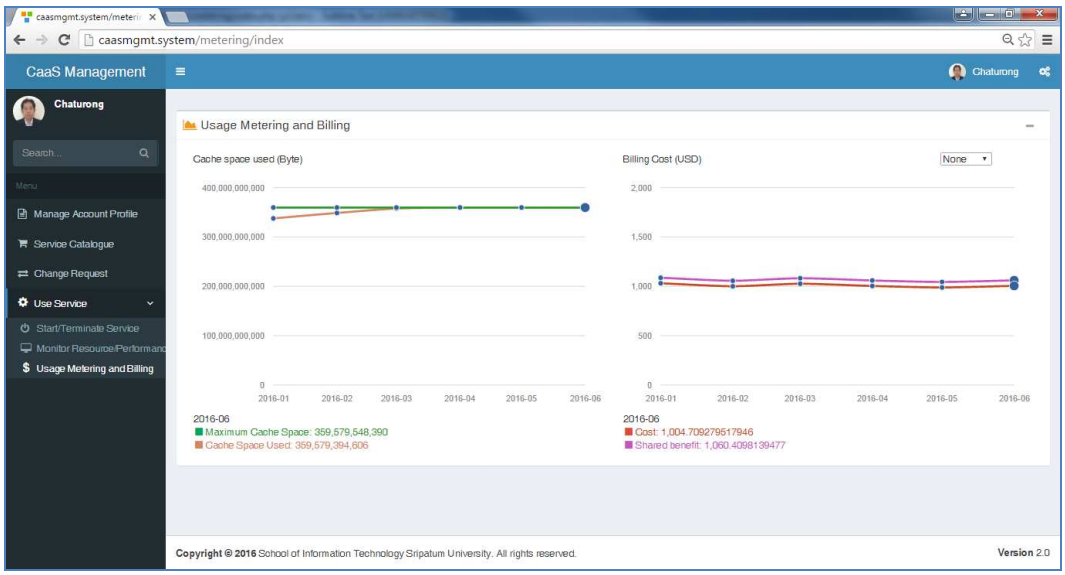
ภาพประกอบที่ 67 แสดงหน้าจอในส่วนการแสดงรายการลูกค้าที่ใช้บริการอยู่

โปรแกรมส่วนการตรวจสอบการใช้ทรัพยากรและบริการที่ดำเนินการอยู่ (Monitor Resources and Running Services) เพื่อให้ผู้ดูแลระบบเรียกดูแดสบอร์ด (Dashboard) ข้อมูลภาพรวมให้สามารถตรวจสอบปริมาณการใช้งานทรัพยากรและประสิทธิภาพการทำงานโดยเฉลี่ยในภาพรวมของแต่ละรายลูกค้าที่กำลังใช้บริการอยู่โดยแสดงการรายงานทั้งในเชิงตัวเลขและกราฟ แสดงตามภาพประกอบที่ 68



ภาพประกอบที่ 68 แสดงหน้าจอในส่วนการตรวจสอบการใช้ทรัพยากรและบริการที่ดำเนินการอยู่ (Monitor Resources and Running Services)

โปรแกรมส่วนการวัดปริมาณการใช้งานและการเรียกเก็บเงิน (Usage Metering and Billing) เพื่อให้ผู้ดูแลระบบตรวจสอบปริมาณการใช้งานทรัพยากรและค่าใช้ของแต่ละรายลูกค้าที่กำลังใช้บริการอยู่ โดยแสดงการรายงานในรูปแบบกราฟ แสดงตามภาพประกอบที่ 69



ภาพประกอบที่ 69 แสดงหน้าจอในส่วนการวัดปริมาณการใช้งานและการเรียกเก็บเงิน (Usage Metering and Billing)

การต่อประสานระหว่างระบบจัดการบริการแคชคลาวด์ (CaaS Management) กับสควิด (Squid)

การต่อประสานระหว่างระบบจัดการบริการแคชคลาวด์กับสคิวดใช้สควิดรุ่นล่าสุด คือ รุ่น 3.5.15 ที่ออกเมื่อ 23 กุมภาพันธ์ 2016 และทำการกำหนดค่าสควิดสำหรับการทำงานบนเครื่องบริการลินุกซ์ โดยมีขั้นตอนและรายละเอียดดังนี้ 1. การติดตั้งสควิด (squid installation) 2. การกำหนดค่าสควิดสำหรับการทำงานขั้นพื้นฐาน (configure squid) 3. การกำหนดขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช (configure cache space) 4. การกำหนดนโยบายการแทนที่ข้อมูล 5. การแก้ไขแฟ้มการตั้งค่าโครงแบบ (configuration) 6. การตั้งค่าโครงแบบเพื่อให้สควิดสร้างแฟ้มล็อกข้อมูลของ HTP requests 7. อ่านแฟ้มล็อกมาคำนวณสมรรถนะรายสัปดาห์และเก็บสมรรถนะบันทึกลงในฐานข้อมูลเพื่อการรายงานผล

1. การติดตั้งสควิดบนลินุกซ์เซิร์ฟเวอร์ด้วยคำสั่ง : sudo apt-get install squid (Wessels, 2004)

การสั่งสควิดพร็อกซี่เซิร์ฟเวอร์ทำงานด้วยคำสั่ง $ /opt/squid/sbin/squid โดยที่สควิดจะใช้พอร์ต 3128 เป็นค่าโดยปริยายในทุกการเชื่อมต่อเครือข่าย

2. การกำหนดค่าสควิดสำหรับการทำงานขั้นพื้นฐานจะทำการปรับแต่งระบบด้วยการตั้งค่าในแฟ้มหลัก squid.conf ที่ path /opt/squid/etc/squid.conf ดังรายละเอียดต่อไปนี้

การควบคุมการเข้าถึง (Access control lists : ACL) จะควบคุมการเข้าถึงส่วนประกอบต่างๆ ของสควิดและควบคุมการเข้าถึงทรัพยากรว่าควรได้รับอนุญาตหรือไม่

การอนุญาตให้เข้าใช้เครือข่าย ด้วยคำสั่ง : sudo nano /etc/squid/squid.conf

: acl localhost src 127.0.0.1/32

การอนุญาตให้เข้าถึงเอชทีทีพี ด้วยคำสั่ง : httpd_access allow localhost

เริ่มต้นใช้งานสควิด ด้วยคำสั่ง : service squid start

การกำหนดช่องทางเอชทีทีพี ด้วยคำสั่ง : http_port 3128 หรือ http_port 8080

3. การกำหนดขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช (configure cache space) ด้วยการตั้งค่าในแฟ้มหลัก squid.conf ที่ path /opt/squid/etc/squid.conf (Wessels, 2004) ตามคำสั่งรูปแบบดังรายละเอียดต่อไปนี้

ด้วยคำสั่ง : cache_dir ufs /opt/squid/var/cache/ < cache space 500> 16 256

การสร้างไดเรกทอรี่แคชบนสควิดด้วยคำสั่ง : $ /opt/squid/sbin/squid -z

mkdir /usr/local/squid/var/cache

chown -R squid:squid /usr/local/squid/var/cache

chmod -R 777 /usr/local/squid/var/cache

การกำหนดขนาดพื้นที่เก็บหน่วยเก็บข้อมูลด้วยคำสั่ง :

cache_dir STORAGE_TYPE DIRECTORY SIZE_IN_Mbytes L1 L2 [OPTIONS]

การปรับขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคชด้วยคำสั่ง:

cache_dir ufs /var/cache/squid 20480 16 256

การกำหนดให้แคชสามารถเข้าถึงได้โดยผู้ใช้ด้วยคำสั่ง :

cache_effective_user squid

การสร้างไดเร็คทอรี cache swap ด้วยคำสั่ง :

```
cd /usr/local/squid/sbin
./squid -z
```

การกำหนดประเภทเก็บหน่วยเก็บข้อมูลด้วยคำสั่ง :

```
cache_dir diskd DIRECTORY SIZE_Mbytes L1 L2 [OPTIONS] [Q1=n] [Q2=n]
```

4. การกำหนดนโยบายการแทนที่ข้อมูลบนสควิดด้วยคำสั่ง (Wessels, 2004) :

```
cache_replacement_policy LRU
cache_replacement_policy heap GDSF
cache_replacement_policy LFUDA
```

สควิดมี 3 นโยบายการแทนที่ข้อมูลได้แก่ LRU, GDSF, LFUDA แต่ในงานวิจัยนี้ใช้นโยบายการแทนที่ข้อมูล i-cloud

5. การแก้ไขแฟ้มการตั้งค่าโครงแบบ (configuration) ของสควิด

โดยวิธีการเพิ่มสคริปต์ init (adding init script) โดยการที่ระบบจัดการบริการแคชคลาวด์ทำการเขียนเชลล์สคริปต์คำสั่งเพื่อทำการกำหนดประเภทแคช กำหนดขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลของแคช และกำหนดนโยบายการแทนที่ข้อมูลเ ป็นเชลล์สคริปต์ที่ไม่ซับซ้อนแล้วระบบจัดการบริการแคชคลาวด์ส่งคำสั่ง เช่น /etc/init.d/, /etc/rc.d/, or /etc/rc.d/init.d/. ให้เชลล์สคริปต์ทำงาน

การเพิ่มเชลล์สคริปต์เพื่อการรันคำสั่งจะใช้เชลล์สคริปต์ขนาดเล็ก ตามตัวอย่างนี้

```
#!/bin/bash
# init script to control Squid server
case "$1" in
reload)
/opt/squid/sbin/squid -k reconfigure
;;
*)
echo $"Usage: $0 { reload}"
exit $
```

6. การตั้งค่าโครงแบบเพื่อให้สควิดสร้างแฟ้มล็อกข้อมูลของ HTTP requests (Wessels, 2004)

ด้วยการใช้ access.log ที่เก็บรายการคำร้องขอ (HTTP transactions) ด้วยการตั้งค่าในแฟ้มหลัก squid.conf ที่ path /opt/squid/etc/squid.conf ตามคำสั่งรูปแบบดังรายละเอียดต่อไปนี้

Syntax log_icp_queries on|off

ทำการตั้งค่า default เป็น on

log_icp_queries on

7. อ่านแฟ้มล็อกมาคำนวณสมรรถนะรายสัปดาห์และเก็บสมรรถนะบันทึกลงในฐานข้อมูลเพื่อการรายงานผล

tail -f /usr/local/squid/var/logs/access.log

call statefulperformance algorithm

ขั้นตอนวิธีการคำนวณประสิทธิภาพแบบสเตทฟูล (StatefulPerformance Algorithm)

คือขั้นตอนการอ่านแฟ้มล็อกของสควิดมาคำนวณประสิทธิภาพเป็นรายสัปดาห์ ซึ่งแต่ละผลลัพธ์การคำนวณจะถูกเขียนลงฐานข้อมูลเพื่อให้ระบบจัดการบริการแคชคลาวด์นำไปวาดกราฟ

ขั้นตอนวิธีของ StatefulPerformance จะเก็บสถานะสุดท้ายของสัปดาห์ก่อนหน้าไว้ แล้วนำมาตั้งต้นคำนวณประสิทธิภาพของสัปดาห์ต่อไปได้เลย โดยไม่ต้องใช้แฟ้มล็อกของสัปดาห์ที่ผ่านมา ซึ่งขั้นตอนวิธีของ StatefulPerformance ในคำนวณประสิทธิภาพรายสัปดาห์ อธิบายตามภาพประกอบที่ 70

```
1   algorithm StatefulPerformance
2   description Implements Performance Calculate
3   declare   csv : current_state_value
4             ct  : current_timestamp
5            eofl : end_of_file_logfile
6             ltl : latest_timestamp_logfile
7           ncpv : new_calculated_performance_values
8   begin
9           read csv;        //  current_state_value
```

```
10              read ct;                    //  current_timestamp
11              read log;                   //  logfile
12              while eofl != null  do  // not at end of this logfile
13                 if (!eofl)  then
14                     ncpv = perform_cptm();    // calculate_performance_technical_model
15                     csv = ncpv;  // cost-saving ratio, delay-saving ratio, hit-rate, byte-hit rate
16                     write csv;
17                     ct = ltl;
18                     write ct;
19                 end
20              end
21        end
```

ภาพประกอบที่ 70 ขั้นตอนวิธีของ StatefulPerformance ในคำนวณประสิทธิภาพรายสัปดาห์

คำอธิบายขั้นตอนวิธีการคำนวณประสิทธิภาพแบบสเตทฟูล

บรรทัดที่ 3 ทำการกำหนดตัวแปร csv (current state value) คือ ตัวแปรที่เก็บค่าผลลัพธ์การคำนวณสมรรถนะทางเทคนิคที่เป็นค่าปัจจุบัน

บรรทัดที่ 4 ทำการกำหนดตัวแปร ct (current timestamp) คือ ตัวแปรที่เก็บค่าเวลาปัจจุบัน

บรรทัดที่ 5 ทำการกำหนดตัวแปร eofl (end of file logfile) คือ ตัวแปรเพื่อใช้ตรวจสอบว่ายังมีรายการข้อมูล HTTP requests อยู่ในแฟ้มล็อกอีกหรือไม่มีรายการข้อมูล HTTP requests อยู่ในแฟ้มล็อกแล้ว

บรรทัดที่ 6 ทำการกำหนดตัวแปร ltl (latest timestamp logfile) คือ ตัวแปรที่เก็บค่าเวลาของรายการข้อมูล HTTP requests รายการสุดท้าย

บรรทัดที่ 7 ทำการกำหนดตัวแปร ncpv (new calculated performance values) คือ ตัวแปรที่เก็บค่าผลลัพธ์การคำนวณสมรรถนะทางเทคนิคที่เป็นค่าใหม่ล่าสุด

บรรทัดที่ 9 ทำการอ่านค่าตัวแปร csv ที่เก็บค่าผลลัพธ์ของการประมวลการคำนวณสมรรถนะทางเทคนิคของขั้นตอนวิธีประสิทธิภาพแบบสเตทฟูลก่อนหน้านี้มา

บรรทัดที่ 10 ทำการอ่านตัวแปร ct ที่เก็บค่าเวลาของการประมวลการคำนวณสมรรถนะทางเทคนิคของขั้นตอนวิธีประสิทธิภาพแบบสเตทฟูลก่อนหน้านี้มา

บรรทัดที่ 11 ทำการอ่าน log แฟ้มล็อกข้อมูลของ HTTP requests มาทำการคำนวณประสิทธิภาพรายสัปดาห์

บรรทัดที่ 12 ทำสั่ง Loop while เพื่อทำการตรวจสอบให้ขั้นตอนวิธีประสิทธิภาพแบบสเตทฟูลทำคำสั่งลำดับต่อไปในขณะที่แฟ้มล็อกยังมีข้อมูลรายการ HTTP requests อยู่ ถ้าแฟ้มล็อกไม่มีข้อมูลรายการ HTTP requests อยู่จะจบขั้นตอนวิธีประสิทธิภาพแบบสเตทฟูล

บรรทัดที่ 13 ทำสั่ง if เพื่อทำการตรวจสอบเงื่อนไข if ว่ารายการ HTTP requests ที่อ่านมาจากแฟ้มล็อกยังไม่ใช่รายการ end of file จริงหรือไม่ ถ้าเงื่อนไข if เป็น true จะทำการประมวลผลคำสั่งของขั้นตอนวิธีประสิทธิภาพแบบสเตทฟูลลำดับต่อไป ถ้าเงื่อนไข if เป็น false จะทำการออกจากคำสั่งการตรวจสอบเงื่อนไข if

บรรทัดที่ 14 ทำสั่งให้ตัวแปร ncpv เรียกรัน module การคำนวณประสิทธิภาพ perform cptm โดยเริ่มต้นที่เวลาตัวแปร ct เพื่อทำการคำนวณประมวลผลค่าสมรรถนะประสิทธิภาพของการแคชคลาวด์ตามตัวแบบทางเทคนิค และเมื่อ module ประมวลผลเสร็จและส่งค่าผลลัพธ์ใหม่กลับมาเก็บที่ตัวแปร ncpv

บรรทัดที่ 15 ทำการส่งค่าผลลัพธ์สมรรถนะใหม่คือ cost-saving ratio, delay-saving ratio, hit-rate, byte-hit rate ไปเก็บที่ตัวแปร csv เป็นค่าผลลัพธ์การคำนวณสมรรถนะทางเทคนิคปัจจุบันไว้

บรรทัดที่ 16 ทำการเขียนค่าตัวแปร csv ลงในฐานข้อมูลเพื่อนำไปใช้วาดกราฟเชิงประสิทธิภาพในระบบ CaaS

บรรทัดที่ 17 ทำการนำค่าตัวแปร ltl ที่เก็บค่าเวลาของ HTTP requests รายการสุดท้ายที่อ่านมาเก็บที่ตัวแปร ct

บรรทัดที่ 18 ทำการเขียนค่าตัวแปร ct ลงในฐานข้อมูล เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพในครั้งต่อไป โดยไม่ต้องใช้แฟ้มล็อกของครั้งก่อนหน้า

3. การทดสอบและประเมินผลการใช้งานระบบ

การทดสอบระบบบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์เพื่อประเมินหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1. การทดสอบโดยผู้พัฒนาระบบ 2. การทดสอบโดยผู้เชี่ยวชาญกลุ่มผู้ดูแลระบบ

1. การทดสอบโดยผู้พัฒนาระบบ โดยทำการทดสอบการทำงานของระบบในด้านความถูกต้องความครบถ้วนตามความต้องการของงานความเร็วในการตอบสนองและความใช้ง่ายของระบบ เพื่อสร้างความมั่นใจว่าระบบสามารถทำงานได้ถูกต้องตามที่ได้ออกแบบไว้และข้อผิดพลาดของระบบได้รับการตรวจสอบและปรับปรุงแก้ไขให้มีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพแล้ว

2. ดำเนินการทดสอบโดยผู้เชี่ยวชาญกลุ่มผู้ดูแลระบบ โดยทำการทดสอบการทำงานของระบบแล้วทำการประเมินผลการใช้งานระบบตามแบบประเมินเพื่อหาความพึงพอใจของผู้ดูแลระบบต่อระบบบริการแคชคลาวด์ที่พัฒนาขึ้น โดยแบบประเมินแบ่งการประเมินระบบตามลักษณะการทดสอบระบบเป็น 4 ด้าน คือ 1. ด้านประสิทธิภาพและความมั่นคงความปลอดภัยของระบบเพื่อประเมินความถูกต้องประสิทธิภาพความสามารถในการทำงานและความปลอดภัยของข้อมูลและระบบ 2. ด้านเนื้อหาเพื่อประเมินความถูกต้องของเนื้อหาและความครบถ้วนสมบูรณ์ของเนื้อหาที่ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ 3. ด้านกระบวนการขั้นตอนการดำเนินการของระบบเพื่อประเมินความถูกต้องของการดำเนินการของระบบที่ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ 4. ด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบเพื่อประเมินความสามารถของระบบที่ง่ายต่อการใช้งาน

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวมรวมข้อมูล

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวมรวมข้อมูล คือ แบบประเมินการใช้งานระบบบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ โดยแบบประเมินแบ่งออกเป็น 3 ตอน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ดูแลระบบที่เป็นผู้ตอบแบบประเมิน ลักษณะเป็นแบบตรวจสอบรายการ

ตอนที่ 2 ความพึงพอใจต่อการใช้ระบบบริการแคชคลาวด์ ลักษณะแบบสอบถามเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ตามแบบของลิเคิร์ท

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงและพัฒนาระบบบริการแคชคลาวด์

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบความสมบูรณ์และความถูกต้องของแบบประเมิน เมื่อได้รับการตอบกลับแบบประเมินจะนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดทำการป้อนข้อมูลในโปรแกรม Excel เพื่อประมวลผล

2. ข้อมูลทั่วไปของผู้ดูแลระบบที่เป็นผู้ตอบแบบประเมิน ทำการวิเคราะห์โดยใช้สถิติแจกแจงความถี่ (Frequency) และค่าร้อยละ (Percentage)

3. ข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพความพึงพอใจต่อการใช้ระบบบริการแคชคลาวด์ ทำการวิเคราะห์โดยใช้สถิติค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Mean : $\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : SD) จากนั้นนำค่าเฉลี่ยไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์การยอมรับประสิทธิภาพของระบบ แสดงตามตารางที่ 28

ตารางที่ 28 เกณฑ์ระดับคะแนน

เกณฑ์ระดับคะแนน		**ความหมาย**
เชิงคุณภาพ	**เชิงปริมาณ**	
ดีมาก	4.51 – 5.00	ระดับที่พัฒนามีประสิทธิภาพในระดับดีมาก
ดี	3.51 – 4.50	ระดับที่พัฒนามีประสิทธิภาพในระดับดี
ปานกลาง	2.51 – 3.50	ระดับที่พัฒนามีประสิทธิภาพในระดับดีปานกลาง
พอใช้	1.51 – 2.50	ระดับที่พัฒนามีประสิทธิภาพในระดับดีน้อย
ควรปรับปรุง	1.00 – 1.50	ระดับที่พัฒนามีประสิทธิภาพในระดับน้อยมาก

4. ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงและพัฒนาระบบบริการแคชคลาวด์ดำเนินการโดยวิธีบรรยายอธิบายความ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ สถิติที่ได้ในการประเมิน คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ซึ่งได้จากการนำข้อมูลทั้งหมดมารวมกัน แล้วหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด เมื่อกำหนด $\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยเลขคณิต, $\sum Xi$=ผลรวมของข้อมูลตัวที่ i ถึง n, N = จำนวนข้อมูลทั้งหมด, และสมการค่าเฉลี่ย คือ

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{N}$$

และส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน คือ ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างข้อมูลแต่ละตัวจากค่าเฉลี่ยเลขคณิตเป็นค่าที่แสดงถึงการกระจายของข้อมูลแต่ละตัวที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยเลขคณิต เมื่อกำหนด SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, Xi = ค่าของข้อมูลตัวที่ i, N = จำนวนข้อมูลทั้งหมด, และสมการส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน คือ

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{X})^2}{N-1}}$$

ผลการประเมิน

ผลการประเมิน ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ดูแลระบบที่เป็นผู้ตอบแบบประเมิน โดยที่ผู้ตอบแบบประเมินทั้งหมดเป็นเพศชาย (ร้อยละ 100.00), อายุระหว่าง 31-40 ปีมากที่สุด (ร้อยละ 40.00), ตำแหน่งงาน System Engineer มากที่สุด (ร้อยละ 80.00), ประเภทองค์การตามกลุ่มอุตสาหกรรมเป็นหน่วยงานของรัฐมากที่สุด (ร้อยละ 80.00), จำนวนบุคลากรทั้งหมดในองค์การมากกว่า 200 คนมากที่สุด (ร้อยละ 80.00), การศึกษาสูงสุดปริญญาโทมากที่สุด (ร้อยละ 60.00) รายละเอียดปรากฏในตารางที่ 29

ตารางที่ 29 ร้อยละของข้อมูลทั่วไปของผู้ดูแลระบบที่เป็นผู้ตอบแบบประเมิน

ลำดับที่	รายการ	จำนวนแจกแจงความถี่	ร้อยละ
1.	เพศ		
	ชาย	5	100.00
	หญิง	0	0.00
รวม		5	100.00
2.	อายุ		
	ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 20 ปี	0	0.00
	21-30 ปี	2	40.00
	31-40 ปี	2	40.00
	41-50 ปี	1	20.00
	51-60 ปี	0	0.00
รวม		5	100.00
3.	ตำแหน่งงาน		
	System Administrator	1	20.00

ลำดับที่	รายการ	จำนวนแจกแจงความถี่	ร้อยละ
	System Analyst	0	0.00
	System Engineer	4	80.00
	System Supervisor	0	0.00
รวม		5	100.00
4.	ประเภทองค์การ		
	หน่วยงานของรัฐ	4	80.00
	หน่วยงานเอกชน	1	20.00
รวม		5	100.00
5.	จำนวนบุคลากรทั้งหมดในองค์การ		
	พนักงานไม่เกิน 50 คน	1	20.00
	พนักงานระหว่าง 50 – 200 คน	0	0.00
	พนักงานมากกว่า 200 คน	4	80.00
รวม		5	100.00
6.	การศึกษาสูงสุด		
	ต่ำกว่าปริญญาตรี	0	0.00
	ปริญญาตรีหรือเทียบเท่า	2	40.00
	ปริญญาโท	3	60.00
	ปริญญาเอก	0	0.00
รวม		5	100.00

ผลการประเมิน ตอนที่ 2 ความพึงพอใจต่อการใช้ระบบบริการแคชคลาวด์ โดยที่ผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มผู้ดูแลระบบที่มีต่อระบบบริการแคชคลาวด์โดยรวม พบว่ากลุ่มผู้ดูแลระบบมีความพึงพอใจอยู่ในระดับดี มีคะแนนค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.39, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.54 และจำแนกเป็นรายด้านจำนวน 4 ด้าน พบว่า

1. ผลการประเมินความพึงพอใจด้านประสิทธิภาพและความมั่นคงความปลอดภัยของระบบโดยภาพรวมอยู่ในระดับดี มีคะแนนค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.29, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.54 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ผู้ดูแลระบบมีความพึงพอใจสูงสุดอยู่ในระดับดีมาก คือ การประมวลผลของระบบมีความรวดเร็ว มีคะแนนค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.60, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.55 และระบบมีการตรวจสอบสถานะผู้ใช้งาน มี

คะแนนค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.60, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.55 ส่วนข้อที่เหลือทุกข้อได้รับความพึงพอใจอยู่ในระดับดี แสดงให้เห็นว่าระบบบริการแคชคลาวด์มีประสิทธิภาพและความมั่นคงความปลอดภัยของระบบตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานอยู่ในระดับดี

2. ผลการประเมินความพึงพอใจด้านเนื้อหาโดยภาพรวมอยู่ในระดับดี มีคะแนนค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.44, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.54 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ผู้ดูแลระบบมีความพึงพอใจสูงสุดอยู่ในระดับดีมาก คือ ข้อมูลในระบบมีความถูกต้องเชื่อถือได้และสามารถตรวจสอบได้ มีคะแนนค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.60, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.55 และการกำหนดรูปแบบของระบบถูกต้องและครบถ้วน มีคะแนนค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.60, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.55 และมีการจัดหมวดหมู่ให้ใช้งานง่าย มีคะแนนค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.60, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.55 และรายงานผลในระบบสามารถนำไปเป็นข้อมูลการตัดสินใจของผู้ใช้บริการได้ มีคะแนนค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.60, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.55 ส่วนข้อที่เหลือทุกข้อได้รับความพึงพอใจอยู่ในระดับดี แสดงให้เห็นว่าระบบบริการแคชคลาวด์มีความถูกต้องของเนื้อหาและความครบถ้วนสมบูรณ์ของเนื้อหาที่ตรงตามความต้องการของผู้ใช้อยู่ในระดับดี

3. ผลการประเมินความพึงพอใจด้านกระบวนการขั้นตอนการดำเนินการของระบบโดยภาพรวมอยู่ในระดับดี มีคะแนนค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.44, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.55 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ผู้ดูแลระบบมีความพึงพอใจสูงสุดอยู่ในระดับดีมากหลายข้อ คือ กระบวนการบริการแคชคลาวด์เป็นระบบมีมาตรฐานโปร่งใสตรวจสอบได้ มีคะแนนค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.60, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.55 และกระบวนการทำงานของระบบมีความรวดเร็วในการเรียกใช้บริการแคชคลาวด์ มีคะแนนค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.60, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.55 และการเรียกดูรายงานได้ตรงตามความต้องการ มีคะแนนค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.60, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.55 และรองรับการทำงานได้ตามต้องการในการปฏิบัติงาน มีคะแนนค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.60, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.55 และมีความเร็วในการแสดงผลของข้อมูลภาพตัวอักษร มีคะแนนค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.60, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.55 และการออกจากการใช้งานสะดวกรวดเร็ว มีคะแนนค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.60, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.55 ตามลำดับ ส่วนข้อที่เหลือทุกข้อได้รับความพึงพอใจอยู่ในระดับดี แสดงให้เห็นว่าระบบบริการแคชคลาวด์มีกระบวนการดำเนินงานของระบบที่ตอบสนองการทำงานตามหน้าที่อยู่ในระดับดี

4. ผลการประเมินความพึงพอใจด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบโดยภาพรวมอยู่ในระดับดี มีคะแนนค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.39, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.53 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ผู้ดูแลระบบมีความพึงพอใจสูงสุดอยู่ในระดับดีมากหลายข้อ คือ การใช้งานระบบใช้งานง่ายไม่ซับซ้อนไม่ยุ่งยากง่ายต่อการเรียนรู้ มีคะแนนค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.60, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.55 และการออกแบบให้ใช้งานง่ายเมนูไม่ซับซ้อน มีคะแนนค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.60, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.55 และขนาดตัวอักษรและรูปแบบอ่านง่าย มีคะแนนค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.60, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.55 และการออกแบบภาพกราฟิกมีความชัดเจนเหมาะสม มีคะแนนค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.60, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.55 ตามลำดับ ส่วนข้อที่เหลือทุกข้อได้รับความพึงพอใจอยู่ในระดับดี แสดงให้เห็นว่าระบบบริการแคชคลาวด์ใช้งานง่ายและมีความสะดวกในการใช้งานอยู่ในระดับดี

สรุปผลการประเมิน ตอนที่ 2 ความพึงพอใจต่อการใช้ระบบบริการแคชคลาวด์ แสดงดังตารางที่ 30 และรายละเอียดผลการประเมินที่ประกอบด้วยข้อคำถาม ผู้ประเมิน ร้อยละ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความพึงพอใจของผู้ดูแลระบบ แสดงดังตารางที่ 31

ตารางที่ 30 สรุปผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้ระบบบริการแคชคลาวด์

ผู้ประเมิน	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	ระดับความพึงพอใจ
กลุ่มผู้ดูแลระบบ	4.39	0.54	ดี

ตารางที่ 31 รายละเอียดผลการประเมินที่ประกอบด้วยข้อคำถาม ผู้ประเมิน ร้อยละ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความพึงพอใจของผู้ดูแลระบบ

ข้อคำถาม		ผู้ประเมิน					$\bar{X}$	SD	%	ระดับความพึงพอใจ
		1	2	3	4	5				
ด้านประสิทธิภาพและความมั่นคงความปลอดภัยของระบบ										
1.	การประมวลผลของระบบมีความรวดเร็ว	5	4	5	5	4	4.60	0.55	92.00	ดีมาก
2.	การประมวลผลถูกต้องแม่นยำ	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
3.	ความสามารถของระบบรองรับการทำงานในปัจจุบัน	4	3	4	4	4	3.80	0.45	76.00	ดี
4.	สามารถเข้าถึงข้อมูลที่ต้องการได้ง่ายและรวดเร็ว	4	4	5	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
5.	มีฟังก์ชันหรือเครื่องมือให้ใช้งานอย่างเหมาะสม	4	3	4	4	4	3.80	0.45	76.00	ดี
6.	ระบบมีเสถียรภาพสามารถเข้าใช้งานได้ตลอดเวลาการเชื่อมต่อไม่เกิดปัญหา	5	3	4	5	4	4.20	0.84	84.00	ดี
7.	ระบบมีการตรวจสอบสถานะผู้ใช้งาน	5	4	5	5	4	4.60	0.55	92.00	ดีมาก
8.	มีระบบการรักษาข้อมูลที่เป็นส่วนตัว	5	3	4	5	4	4.20	0.84	84.00	ดี
9.	ระบบมีการเก็บรักษาข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
10.	ประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการตอบสนองของระบบ	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
11.	ระบบสามารถให้บริการได้อย่างต่อเนื่อง รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ	4	4	4	5	4	4.20	0.45	84.00	ดี
12.	ความถูกต้องแม่นยำของระบบ	4	4	5	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
13.	การเข้ารหัสเพื่อใช้งานสะดวกและปลอดภัย	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี

14.	ระบบมีการจัดระดับความปลอดภัยหรือกำหนดสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูลได้อย่างเหมาะสม	4	4	4	5	4	4.20	0.45	84.00	ดี
15.	ระบบมีการป้องกันความผิดพลาดของระบบจากการใช้งาน	4	4	4	5	4	4.20	0.45	84.00	ดี
16.	ระบบมีการเก็บข้อมูลจราจรทางคอมพิวเตอร์ (Log file) ตาม พรบ. ว่าต้องการกระทำผิดเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ พ.ศ. 2550	4	4	4	5	4	4.20	0.45	84.00	ดี
17.	ระบบมีการสำรองข้อมูลสารสนเทศตามระยะเวลาที่กำหนด	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
18.	การกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลเหมาะสม	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
19.	ความปลอดภัยในการใช้บริการแคชคลาวด์	4	4	4	5	4	4.20	0.45	84.00	ดี
20.	ระบบปฏิบัติงานได้ดี	4	4	4	5	4	4.20	0.45	84.00	ดี
21.	ระบบสามารถใช้งานได้อยู่ตลอดเวลา	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
รวม							4.29	0.54	85.80	ดี
ด้านเนื้อหา										
1.	เนื้อหาครอบคลุม	5	4	5	4	4	4.40	0.55	88.00	ดี
2.	เนื้อหามีความชัดเจนถูกต้องน่าเชื่อถือ	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
3.	ข้อมูลมีความถูกต้องสมบูรณ์และครบถ้วนชัดเจน	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
4.	การจัดลำดับเนื้อหาเป็นขั้นตอนมีความต่อเนื่องอ่านแล้วเข้าใจ	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
5.	มีการจัดหมวดหมู่ให้ใช้งานง่าย	5	4	5	5	4	4.60	0.55	92.00	ดีมาก
6.	ความสะดวกในการเรียกดูรายงานผลลัพธ์	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี

7.	ข้อมูลในระบบมีความถูกต้องเชื่อถือได้และสามารถตรวจสอบได้	5	4	5	5	4	4.60	0.55	92.00	ดีมาก
8.	ข้อมูลมีความทันสมัยและเป็นปัจจุบันเสมอ	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
9.	ข้อมูลสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ	4	4	4	5	5	4.40	0.55	88.00	ดี
10.	การกำหนดรูปแบบของระบบถูกต้องและครบถ้วน	5	4	5	5	4	4.60	0.55	92.00	ดีมาก
11.	การรายงานข้อมูลตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
12.	ปริมาณข้อมูลเพียงพอกับความต้องการ	4	4	4	5	4	4.20	0.45	84.00	ดี
13.	ข้อมูลมีความถูกต้อง ตรงกัน และมีความแน่นอน เชื่อถือได้	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
14.	ความถูกต้องของข้อมูลที่ให้บริการ	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
15.	รายงานผลในระบบสามารถนำไปเป็นข้อมูลการตัดสินใจของผู้ใช้บริการได้	5	4	5	5	4	4.60	0.55	92.00	ดีมาก
16.	ระบบมีข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
รวม							4.44	0.54	88.80	ดี
ด้านกระบวนการขั้นตอนการดำเนินการของระบบ										
1.	กระบวนการบริการแคชคลาวด์เป็นระบบมีมาตรฐานโปร่งใสตรวจสอบได้	5	4	5	5	4	4.60	0.55	92.00	ดีมาก
2.	ระบบมีขั้นตอนการทำงานเป็นลำดับเข้าใจง่าย	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
3.	กระบวนการทำงานของระบบ มีความรวดเร็วในการเรียกใช้บริการแคชคลาวด์	5	4	5	5	4	4.60	0.55	92.00	ดีมาก
4.	การให้บริการมีระบบขั้นตอนที่ชัดเจน	5	4	5	4	4	4.40	0.55	88.00	ดี
5.	เมนูหลักครอบคลุมการทำงาน	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
6.	เมนูย่อยครบถ้วนตามขั้นตอนการทำงาน	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี

7.	รายการข้อมูลแต่ละหน้าจอครบถ้วนตามการใช้งาน	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
8.	การเรียกดูรายงานได้ตรงตามความต้องการ	5	4	5	5	4	4.60	0.55	92.00	ดีมาก
9.	การเรียกดูรายงานทำได้ง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อน	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
10.	มีการจัดหมวดหมู่ของรายการใช้งานได้อย่างชัดเจน	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
11.	การเข้าถึงระบบทำได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
12.	การออกจากการใช้งานสะดวกรวดเร็ว	5	4	5	5	4	4.60	0.55	92.00	ดีมาก
13.	มีฟังก์ชันครอบคลุมการทำงาน	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
14.	ระบบมีการแสดงผลข้อมูลที่รวดเร็ว	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
15.	ความเร็วในการแสดงผลของข้อมูล ภาพ ตัวอักษร	5	4	5	5	4	4.60	0.55	92.00	ดีมาก
16.	มีรูปแบบการแสดงผลบนจอภาพเหมาะสมและสวยงาม	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
17.	ระบบสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้ดี	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
18.	ความเร็วในการให้บริการของระบบปฏิบัติงานได้ดี	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
19.	รองรับการทำงานได้ตามต้องการในการปฏิบัติงาน	5	4	5	5	4	4.60	0.55	92.00	ดีมาก
20.	หน้าจอระบบงานดึงดูดใจในการใช้บริการ	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
21.	การเข้าถึงระบบสามารถเข้าได้ทุกที่ทุกเวลา	4	4	4	5	4	4.20	0.45	84.00	ดี
22.	ความสามารถของระบบในการนำไปใช้ประโยชน์	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
23.	ระบบบริการตรงตามความต้องการ	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
24.	การให้บริการครบถ้วน ถูกต้อง ทันสมัย	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี

รวม							4.44	0.55	88.80	ดี
ด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ										
1.	การจัดวางรูปแบบง่ายต่อการใช้งาน	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
2.	การจัดวางองค์ประกอบของหน้าจอดูเหมาะสม	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
3.	การใช้งานระบบใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน ไม่ยุ่งยาก ง่ายต่อการเรียนรู้	5	4	5	5	4	4.60	0.55	92.00	ดีมาก
4.	ความสวยงามและน่าสนใจของระบบ	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
5.	ข้อความสื่อความหมายชัดเจน	4	4	4	5	4	4.20	0.45	84.00	ดี
6.	ความเหมาะสมของรูปแบบที่ใช้ในระบบ	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
7.	การออกแบบภาพกราฟิก มีความชัดเจน เหมาะสม	5	4	5	5	4	4.60	0.55	92.00	ดีมาก
8.	การเชื่อมโยงการทำงานมีความเหมาะสม	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
9.	ขนาด สี รูปแบบตัวอักษรมีความเหมาะสม	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
10.	ขนาดตัวอักษรและรูปแบบอ่านง่าย	5	4	5	5	4	4.60	0.55	92.00	ดีมาก
11.	มีข้อความบอกรายละเอียดช่วยเหลือผู้ใช้งาน	4	4	4	5	4	4.20	0.45	84.00	ดี
12.	สีหลังและสีตัวอักษรมีความเหมาะสมต่อการอ่าน	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
13.	ระบบมีข้อความ คำสั่ง ชัดเจน เหมาะสม ง่ายต่อการใช้งาน	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
14.	รูปแบบการแสดงผลมีความสวยงาม	5	4	4	4	4	4.20	0.45	84.00	ดี
15.	ระบบแสดงข้อมูลได้อย่างเหมาะสม	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
16.	การออกแบบให้ใช้งานง่าย เมนูไม่ซับซ้อน	5	4	5	5	4	4.60	0.55	92.00	ดีมาก

17.	รูปแบบในการให้บริการสนับสนุนความต้องการหรือดึงดูดความสนใจในการใช้บริการแคชคลาวด์	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
18.	ความเหมาะสมของรูปแบบรายงานและวิธีการนำเสนอข้อมูล	4	4	4	5	4	4.20	0.45	84.00	ดี
19.	ระบบมีคำอธิบาย คำแนะนำบริการต่างๆ ชัดเจน	4	4	4	5	4	4.20	0.45	84.00	ดี
20.	มีเมนูการใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน	4	4	5	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
21.	การกรอกข้อมูล ทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
22.	การแก้ไขข้อมูล ทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน	5	4	4	5	4	4.40	0.55	88.00	ดี
รวม							4.39	0.53	87.80	ดี
โดยรวม							4.39	0.54	87.80	ดี

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงและพัฒนาระบบบริการแคชคลาวด์

กลุ่มผู้ดูแลระบบมีความคิดเห็นและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงและพัฒนาระบบบริการแคชคลาวด์ ดังนี้

1. ภาพรวมของระบบบริการแคชคลาวด์ใช้งานได้ดี แต่ในบ้างจุดควรจะต้องมีข้อมูลที่ช่วยเหลือการใช้งานเพิ่มเติม เช่น ควรมีคู่มือ help ช่วยเหลือการใช้งานและการกรอกข้อมูล สำหรับสิ่งที่ควรปรับปรุงเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น ควรปรับปรุงการแสดงการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างกราฟกับข้อมูลในรูปแบบตารางให้สามารถดูได้ชัดเจนมากขึ้น

2. ความคิดเห็นต่อระบบบริการแคชคลาวด์เป็นระบบที่ดีสามารถนำไปต่อยอดงานวิจัยได้อีกในอนาคต

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ได้แก่

1. เพื่อพัฒนาชุดตัวแบบบริการแคชทางเทคนิคสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์

2. เพื่อพัฒนาตัวแบบบริการแคชทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์

3. เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์

องค์ความรู้ใหม่ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อันเกิดจากการทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ทั้ง 3 ประการข้างต้นมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ทางเทคนิค คือ ชุดตัวแบบทางเทคนิคของบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ 6 ตัวแบบที่เกิดจากองค์ประกอบ 2 มิติ คือ มิติแรกคือศักยภาพของเทคโนโลยีการจัดเก็บที่ใช้เป็นพื้นที่แคชที่มีแตกต่างกันของเวลาในการเข้าถึงข้อมูล คือ แรม, หน่วยขับโซลิดสเตท, หน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง และมิติที่สองคือลักษณะการใช้งานซึ่งเป็นแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว (isolated cache space) หรือแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกันข้ามกลุ่มผู้ใช้ (shared cache space) โดยการบูรณาการ 2 มิติได้ตัวแบบทางเทคนิค อันได้แก่ ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว, ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว, ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว, ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน เป็นชุดตัวแบบทางเทคนิคของบริการแคชคลาวด์ที่มีความยืดหยุ่นเพื่อให้ผู้ใช้บริการแคชคลาวด์มีทางเลือกที่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้

2. ทางเศรษฐศาสตร์ คือ ตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ของบริการแคชคลาวด์ที่สามารถใช้เป็นแบบแผนการกำหนดราคาค่าบริการแบบใหม่ 2 ตัวแบบ อันได้แก่ ตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ของบริการแคชคลาวด์กรณีเช่าพื้นที่โคโลเคชั่นสำหรับระบบ CaaS และตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์

ของบริการแคชคลาวด์กรณีเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์สำหรับระบบ CaaS ที่มีเหตุผลใช้ได้จริงสำหรับผู้ให้บริการแคชคลาวด์สามารถกำหนดราคาค่าบริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. CaaS system คือ ระบบต้นแบบบริการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ที่ต่อประสานกับสควิดซอฟต์แวร์รหัสเปิดเพื่อทำการประมวลผลขั้นตอนวิธีการแคชข้อมูลที่โหลดจากคลาวด์ช่วยให้สามารถทำหน้าที่เป็นบริการแคชคลาวด์สำหรับให้ผู้ให้บริการเปิดบริการแก่กลุ่มผู้ใช้แบบมุ่งเน้นประหยัดค่าใช้จ่ายของการโหลดข้อมูลจากคลาวด์ ประหยัดเวลาการโหลดข้อมูลและลดปริมาณการใช้แบนด์วิดท์ของระบบเครือข่ายภายนอกองค์การ และระบบมีฟังก์ชั่นสำคัญที่ผู้ใช้บริการแคชคลาวด์สามารตรวจสอบการใช้งานทรัพยากร ตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานและตรวจสอบค่าใช้จ่ายในการใช้บริการ ระบบต้นแบบบริการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์นี้เป็นต้นแบบแรกในโลก

ผลการวิจัยที่เสนอตัวแบบและระบบบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์นี้สามารถนำไปสู่คุณภาพของบริการการคำนวณแบบคลาวด์ทั้งในด้านของสมรรถนะทางเทคนิคและสมรรถนะทางเศรษฐศาสตร์และเป็นการส่งเสริมการใช้บริการแคชคลาวด์ฝั่งไคลเอ็นท์ซึ่งเป็นกลไกที่สามารถช่วยสร้างความยั่งยืนในระดับโครงสร้างพื้นฐานการคำนวณแบบคลาวด์เพื่อเพิ่มขีดความสามารถของการใช้บริการคลาวด์ได้อย่างเต็มที่และเป็นการเพิ่มศักยภาพของการบริการเพื่อการแข่งขันในระยะยาวซึ่งโดยรวมแล้วจะช่วยสร้างผลกระทบเชิงบวกโดยตรงต่อเศรษฐกิจและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีต่อไป

คำถามการวิจัยมีสองประการดังนี้

1. การให้บริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ควรจะมีหลักเกณฑ์ในการกำหนดค่าใช้บริการที่เหมาะสมอย่างไร

2. การให้บริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ควรจะมีทางเลือกในการให้บริการทางเทคนิคอะไรบ้างที่มีสมรรถนะเหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้แต่ละราย

สมมุติฐานของการวิจัยมีสองประการดังนี้

1. ตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ของบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์น่าจะใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการกำหนดค่าใช้บริการที่เหมาะสมได้

2. ตัวแบบทางเทคนิคของบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์น่าจะใช้เป็นทางเลือกในการให้บริการทางเทคนิคที่มีสมรรถนะเหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้แต่ละราย

ผลการพิสูจน์สมมุติฐานที่ 1

จากคำถามการวิจัยที่กล่าวว่าการให้บริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ควรจะมีหลักเกณฑ์ในการกำหนดค่าใช้บริการที่เหมาะสมอย่างไร และจากสมมุติฐานของการวิจัยที่เห็นว่าตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ของบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์น่าจะใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการกำหนดค่าใช้บริการที่เหมาะสมได้นั้น

สามารถพิสูจน์ได้ว่าสมมุติฐานนี้เป็นจริงเนื่องจากตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ของบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ที่เสนอในงานวิจัยนี้เกิดมาจากหลักการคำนวณต้นทุนการเป็นเจ้าของกิจการ (TCO), ค่าใช้จ่ายในด้านการลงทุน (CapEx), ค่าใช้จ่ายในด้านการดำเนินงาน (OpEx), และอัตรากำไรขั้นต้นที่ต้องการ ตามทฤษฎีต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์

ดังนั้นตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ของบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์จึงเป็นหลักเกณฑ์ที่ถูกต้องเหมาะสมจริงตามหลักการและสามารถใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการกำหนดค่าใช้บริการที่เหมาะสมได้จริง

ผลการพิสูจน์สมมุติฐานที่ 2

จากคำถามการวิจัยที่กล่าวว่าการให้บริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ควรจะมีทางเลือกในการให้บริการทางเทคนิคอะไรบ้างที่มีสมรรถนะเหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้แต่ละราย และจากสมมุติฐานของการวิจัยที่เห็นว่าตัวแบบทางเทคนิคของบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์น่าจะใช้เป็นทางเลือกในการให้บริการทางเทคนิคที่มีสมรรถนะเหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้แต่ละรายนั้น

สามารถพิสูจน์ได้ว่าสมมุติฐานนี้เป็นจริงเนื่องจากตัวแบบทางเทคนิคของบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ที่เป็นทางเลือกเทคนิคที่เสนอทั้ง 6 ตัวแบบ คือ ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว, ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว, ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน, ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยว, ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกัน ซึ่งมีสมรรถนะของแต่ละตัวแบบที่แตกต่างกันทำให้ผู้ใช้บริการแคชคลาวด์มีทางเลือกที่

ตรงตามความต้องการ กล่าวคือ ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยวมีความเร็วในการเข้าถึงและการถ่ายโอนข้อมูลสูงที่สุดแต่มีค่าใช้จ่ายแพงที่สุด เหมาะกับผู้ใช้ที่ต้องการความเร็วและไม่มีข้อจำกัดเรื่องงบประมาณและให้ความสำคัญกับความปลอดภัยของข้อมูลและต้องการความเป็นส่วนตัวของข้อมูลสูง อย่างเช่น ธุรกิจขนาดใหญ่, ตัวแบบบริการแคชแรมแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกันมีความเร็วในการเข้าถึงและการถ่ายโอนข้อมูลสูงที่สุดแต่มีค่าใช้จ่ายแพง เหมาะกับผู้ใช้ที่ต้องการความเร็วและไม่มีข้อจำกัดเรื่องงบประมาณและผู้ใช้เป็นองค์การที่มีลักษณะที่มีหน่วยงานในสังกัดสามารถใช้พื้นที่แคชข้อมูลร่วมกันได้ อย่างเช่น หน่วยงานภาครัฐ ธุรกิจขนาดใหญ่ที่มีหลายสาขา, ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยวมีความเร็วในการเข้าถึงและการถ่ายโอนข้อมูลที่สูงแต่มีค่าใช้จ่ายไม่แพงมาก เหมาะกับผู้ใช้องค์การที่ต้องการความเร็วแต่มีงบประมาณปานกลางและต้องการความเป็นส่วนตัวของข้อมูลสูง อย่างเช่น ธุรกิจขนาดกลาง, ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกันมีความเร็วในการเข้าถึงและการถ่ายโอนข้อมูลที่สูงแต่มีค่าใช้จ่ายไม่แพงมากแต่ยังมีข้อจำกัดเรื่องงบประมาณระดับหนึ่ง เหมาะกับผู้ใช้องค์การที่ต้องการความเร็วและผู้ใช้เป็นองค์การที่มีลักษณะที่มีหน่วยงานในสังกัดสามารถใช้พื้นที่แคชข้อมูลร่วมกัน อย่างเช่น สถาบันการศึกษา, ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชแยกเดี่ยวมีความเร็วในการเข้าถึงและการถ่ายโอนข้อมูลสูงระดับมาตรฐานปรกติ มีค่าใช้จ่ายไม่แพง เหมาะกับผู้ใช้องค์การที่ต้องการความเร็วมีงบประมาณน้อยและต้องการความเป็นส่วนตัวของข้อมูลและความปลอดภัยของข้อมูลสูง อย่างเช่น ธุรกิจขนาดเล็ก, ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งแบบใช้พื้นที่แคชร่วมกันมีความเร็วในการเข้าถึงและการถ่ายโอนข้อมูลที่สูงระดับมาตรฐานปรกติ มีค่าใช้จ่ายไม่แพง เหมาะกับผู้ใช้องค์การที่ต้องการความเร็วแต่มีงบประมาณน้อยและองค์การมีลักษณะที่หน่วยงานภายใต้หลายหน่วยงานสามารถใช้พื้นที่แคชข้อมูลร่วมกันได้ อย่างเช่น หน่วยงานภาครัฐ

ดังนั้นตัวแบบทางเทคนิคของบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ทั้ง 6 ตัวแบบจึงมีความเหมาะสมตามหลักการเหตุผลความเป็นจริง ตัวแบบสามารถประหยัดได้จริงสามารถใช้เป็นทางเลือกในการให้บริการทางเทคนิคที่มีสมรรถนะเหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้แต่ละรายได้จริง

อภิปรายผล

1. ทางเทคนิค

1.1 การที่ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการโหลดข้อมูลจากคลาวด์ได้มากกว่าตัวเลือกตัวแบบบริการที่เหลือ เนื่องจากเพราะว่าราคาต่อ

หนึ่งหน่วยความจุของหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งนั้นต่ำกว่าราคาต่อหนึ่งหน่วยความจุของหน่วยเก็บข้อมูลแบบแรมและของหน่วยขับโซลิดสเตท

1.2 การที่ตัวแบบบริการแคชแรมสามารถประหยัดเวลาโหลดข้อมูลจากคลาวด์ได้มากกว่าตัวเลือกตัวแบบบริการที่เหลือ เนื่องจากเพราะว่าตัวแบบบริการแคชแรมเป็นหน่วยเก็บข้อมูลความเร็วสูงที่มีความเร็วในการเข้าถึงข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยเวลาสูงกว่าความเร็วในการเข้าถึงข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยเวลาของหน่วยขับโซลิดสเตทและของหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง

1.3 การที่ชุดตัวแบบบริการแคชทั้ง 6 ตัวแบบมีอัตราการพบข้อมูลในแคชสูงที่สุดเท่ากันและมีอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชสูงที่สุดเท่ากันตามประเภทบริการแบบแยกเดี่ยวและตามประเภทบริการแบบใช้ร่วมกัน เนื่องจากเพราะว่าอัตราการพบข้อมูลในแคชและอัตราขนาดรวมของข้อมูลที่พบในแคชขึ้นอยู่กับขั้นตอนวิธีของนโยบายการแทนที่ข้อมูลที่ใช้ ซึ่งการจำลองการทำงานของชุดตัวแบบบริการแคชทั้ง 6 ตัวแบบใช้นโยบายการแทนที่ข้อมูลแบบเดียวกัน

2. ทางเศรษฐศาสตร์

จากผลการวิจัยที่พบว่าตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ของบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์สามารถใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการกำหนดค่าใช้บริการที่เหมาะสมได้ การที่ได้สรุปเช่นนี้เนื่องมากจาก

2.1 ตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์จะอยู่บนพื้นฐานหลักการการพิจารณาให้ความสำคัญในหลายด้านทั้งเงินลงทุน ค่าใช้จ่ายดำเนินการ และอัตรากำไรขั้นต้นที่ต้องการ สอดคล้องกับทฤษฎีต้นทุนของเศรษฐศาสตร์จุลภาคเบื้องต้น (ศรีวิชัยลำพันธ์, 2548)

2.2 ตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์จะอยู่บนพื้นฐานการพิจารณาให้ความสำคัญต้นทุนการเป็นเจ้าของที่เกิดค่าใช้จ่ายทางตรงและทางอ้อมของการได้มาซึ่งกิจการและการดำเนินงาน Total Cost of Ownership TCO = $\sum$ (Direct cost, Indirect cost, Overhead) ซึ่งในการกำหนดตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์จึงพิจารณาใช้ค่าใช้จ่ายพื้นฐานในการให้บริการเป็นแกนหลักของตัวแบบ ซึ่งมี 2 ส่วนหลักคือ ส่วนแรกคือค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Capital Expenditures: CapEx) (Hill, et al., 2012) เป็นต้นทุนที่เป็นค่าใช้จ่ายสำหรับการเริ่มต้นธุรกิจหรือระบบบริการเพื่อซื้อสินทรัพย์ถาวรมาใช้ในการดำเนินงาน และส่วนที่สองคือค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operating Expenditures: OpEx) (Hill, et al., 2012) ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินธุรกิจเช่นค่าใช้จ่ายทั่วไปและค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการ ซึ่งค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (OpEx) นี้จะประกอบขึ้นมาจากค่าใช้จ่าย 2 ส่วนคือต้นทุนคงที่ (OpExf) ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายคงที่ทุกงวดและต้นทุนผันแปร (OpExv) ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายตาม

ระยะเวลาที่แตกต่างของการให้บริการ จะเห็นได้ว่ากำหนดตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์จะอยู่บนแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง Total Cost of Ownership (TCO) (Hill, et al., 2012)

2.3 ตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์จะประกอบด้วยค่าใช้จ่าย TCO ซึ่งจะรวมค่าใช้จ่ายทุกอย่างจากเงินลงทุนเริ่มแรกเป็นค่าใช้จ่ายฮาร์ดแวร์ (server cost, storage cost) และค่าใช้จ่ายการติดตั้งซอฟต์แวร์ (software - OS, licenses) ค่าใช้จ่ายการบริหารจัดการ (admin cost) การฝึกอบรม ค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษา (maintenance) บริการและการสนับสนุน การรักษาความปลอดภัย และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง (overhead) ซึ่งหลายปัจจัยค่าใช้จ่ายดังที่กล่าวมา สอดคล้องกับวิธีการคิดคำนาณประมาณการค่าใช้จ่ายสำหรับการให้บริการแบบ เช่าใช้ในสถานที่แบบส่วนตัวใช้ภายในองค์การโดยแต่ละองค์การดูแลและบริหารจัดการเอง On-Premises และแบบเช่าพื้นที่โคโลเคชั่นของแอมะซอนเว็บเซอร์วิส (Amazon Web Services, 2014)

2.4 จากภาพประกอบที่ 19 การเปรียบเทียบผลตัวแบบการกำหนดราคาค่าใช้บริการต่อเดือนหน่วยดอลล่าร์ระหว่างประเภทระบบโครงสร้างพื้นฐาน Colocation/IaaS สำหรับระบบ CaaS ของกรณีการจำลองการทำงานกับชุดข้อมูลที่เป็นตัวแทนลักษณะข้อมูลคลาวด์ขนาดใหญ่ การที่ระบบ CaaS ที่ติดตั้งบนบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์มีค่าบริการแพงกว่าระบบ CaaS ที่ติดตั้งแบบเช่าพื้นที่โคโลเคชั่น เพราะว่าต้นทุนค่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ในประเทศยังแพงอยู่ เนื่องจากเพราะว่าต้นทุนค่าดำเนินการ OpEx ที่เป็นค่าเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์เมื่อคำนวณต่อเดือนแล้วมีราคาสูงกว่าค่าเช่าพื้นที่โคโลเคชั่น จึงทำให้ราคาค่าใช้บริการแคชคลาวด์แบบเวอร์ชวล (virtual) แพงกว่าแบบโคโลเคชั่น แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ค่าใช้บริการแคชคลาวด์แบบที่เป็นแบบเวอร์ชวลจะแพงกว่าแบบโคโลเคชั่น แต่เนื่องจากลักษณะรูปแบบการใช้บริการภายในมีการใช้ประโยชน์ (utilization) สูงอย่างต่อเนื่องดังนั้นแบบเวอร์ชวลจึงมีข้อดีที่สามารถหักล้างราคาที่แพงกว่าได้ เพราะว่าระบบแบบที่ติดตั้งบนบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์จะสามารถสร้างเครื่องเสมือนได้เร็วกว่าทำให้ได้เปรียบในเรื่องของการปรับขยายขนาดมากกว่าแบบโคโลเคชั่น

2.5 ในการเปรียบเทียบผลราคาค่าใช้บริการของระบบ CaaS ที่ติดตั้งแบบเช่าพื้นที่โคโลเคชั่นกับระบบ CaaS ที่ติดตั้งบนบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ ซึ่งมีการใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไรและตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย อธิบายเป็นข้อสังเกตได้ว่าการที่แบบโคโลเคชั่นไม่มีการใช้ตัวแบบทางธุรกิจทั้ง 2 แบบ เนื่องจากสมการของตัวแบบทางเศรษฐศาสตร์ของการกำหนดราคาค่าบริการแบบโคโลเคชั่นนั้น สมการคำนวณค่าใช้บริการได้บวกกำไรตามอัตรากำไรที่ต้องการเข้าไปในแต่ละส่วนแล้ว เริ่มตั้งแต่ส่วน CapEx บวกกำไร, OpExf บวกกำไร, OpExv บวกกำไร ซึ่งการคำนวณกำไรของแบบโคโลเคชั่นจะคิดกำไรจาก

แต่ละรายการข้อมูล ดังนั้น สมการแบบโคโลเคชั่นจึงเป็นสมการที่คำนวณค่าใช้บริการที่มาจากต้นทุนค่าใช้จ่ายบวกกำไรของแต่ละรายการ แตกต่างจากแบบบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ ที่คิดเฉพาะต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดของการบริการก่อนแล้วจึงมาเลือกบวกกำไรแบบการแบ่งปันกำไรหรือการแบ่งปันจากค่าใช้จ่าย

2.6 ในกรณีที่ถ้าราคาค่าใช้บริการแบบแยกเดี่ยวกับแบบใช้ร่วมกันเท่ากัน ควรจะเลือกบริการแบบแยกเดี่ยวเพราะว่าได้ประโยชน์ในเรื่องความมั่นคงปลอดภัยของข้อมูลและความเป็นส่วนตัวของข้อมูล

3. ทางระบบ

3.1 จากผลการประเมินต้นแบบระบบบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์ การที่ผู้เชี่ยวชาญกลุ่มผู้ดูแลระบบทำการประเมินต้นแบบระบบบริการแคชสำหรับการแคชคลาวด์แบบใช้ร่วมกันที่ฝั่งไคลเอ็นท์แล้วมีความคิดเห็นต่อต้นแบบระบบบริการแคชที่พัฒนาขึ้นว่ามีความเหมาะสมในระดับดี เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาต้นแบบระบบบริการแคชคลาวด์โดยใช้การประยุกต์ความรู้ทางวิศวกรรมซอฟต์แวร์มาใช้ในกระบวนการพัฒนาระบบโดยมีการกำหนดขั้นตอนในการปฏิบัติงานที่ชัดเจน ผู้วิจัยได้ปฏิบัติตามกระบวนการขั้นตอนของการพัฒนาระบบเริ่มตั้งแต่ทำการศึกษาความต้องการ การวิเคราะห์และออกแบบระบบ การสร้างระบบ ทดสอบ และประเมินผลการใช้งานระบบ อย่างครบถ้วนทุกขั้นตอน โดยสอดคล้องกับวิศวกรรมซอฟต์แวร์ทฤษฎีและการปฏิบัติ ฉบับที่ 4 (Pfleeger and Atlee, 2010) ทำให้สามารถควบคุมคุณภาพได้ง่ายทำให้สามารถตรวจสอบคุณภาพและปรับปรุงแก้ไขโปรแกรมได้ง่ายและทำให้ได้ระบบที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเพื่อนำผลการวิจัยไปใช้

1. ในมุมของผู้ให้บริการ

1.1 ผู้ให้บริการแคชคลาวด์ควรเลือกใช้ตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันกำไรในกรณีที่ผู้ใช้บริการมีค่าอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลสูงๆ คือผู้ใช้ประหยัดได้มาก ซึ่งจะมีผลทำให้ผู้ให้บริการแคชคลาวด์จะได้ประโยชน์มากตามไปด้วย ทำให้ผู้ให้บริการได้กำไรมาก

1.2 ผู้ให้บริการแคชคลาวด์ควรตัวแบบทางธุรกิจแบบการแบ่งปันจากค่าใช้จ่ายในกรณีที่ผู้ใช้บริการมีค่าอัตราประหยัดค่าโหลดข้อมูลต่ำๆ คือผู้ใช้ประหยัดได้น้อย ซึ่งจะมีผลทำให้ผู้ให้บริการแคชคลาวด์ จะได้กำไรมาก

1.3 สำหรับในการนำต้นแบบระบบบริการแคชไปใช้งานจริง การทำงานโดยรวมของระบบบริการแคชคลาวด์ใช้งานได้ดี แต่ในบางจุดควรต้องมีข้อมูลที่ช่วยเหลือการใช้งานเพิ่มเติม เช่น ข้อความช่วยเหลือการใช้งานและการกรอกข้อมูลที่ยังไม่ได้พัฒนาไว้ และควรจัดทำคู่มือการใช้งานให้มีเนื้อหาและภาพประกอบโดยละเอียดครบถ้วนมากยิ่งขึ้นเพื่อง่ายและสะดวกต่อการใช้งานระบบสำหรับผู้ใช้งานทั่วไป

1.4 ควรปรับปรุงเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น ควรปรับปรุงการแสดงการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างกราฟกับข้อมูลในรูปแบบตารางให้ผู้ใช้งานทั่วไปสามารถดูได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

2. ในมุมผู้ใช้บริการ

2.1 ผู้ใช้บริการแคชคลาวด์ควรเลือกใช้ประเภทบริการแบบแยกเดี่ยว เมื่อผู้ใช้เป็นองค์การที่ไม่น่าจะใช้ข้อมูลร่วมกับองค์การอื่นได้และเป็นองค์การที่ต้องการความเป็นส่วนตัวหรือความมั่นคงปลอดภัยของข้อมูลสูง

2.2 ผู้ใช้บริการแคชคลาวด์ควรเลือกใช้ประเภทบริการแบบใช้ร่วมกัน เมื่อผู้ใช้เป็นองค์การที่น่าจะใช้ข้อมูลร่วมกับองค์การอื่นได้ ผู้ใช้จะได้ประโยชน์จากการใช้พื้นที่แคชร่วมกันจะทำให้ประหยัดค่าโหลดข้อมูลได้มาก

2.3 ผู้ใช้บริการแคชคลาวด์ควรเลือกใช้ตัวแบบบริการแคชแรม เมื่อผู้ใช้ต้องการความเร็วในการอ่านข้อมูลและไม่มีข้อจำกัดเรื่องงบประมาณค่าใช้บริการ เนื่องจากตัวแบบบริการแคชแรมมีสมรรถนะดีที่สุด แต่มีค่าใช้บริการแพงที่สุด

2.4 ผู้ใช้บริการแคชคลาวด์ควรเลือกใช้ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตท เมื่อผู้ใช้ต้องการความเร็วในการอ่านข้อมูลและมีข้อจำกัดเรื่องงบประมาณค่าใช้บริการ เนื่องจากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตทมีสมรรถนะอยู่ในระดับปานกลาง มีสมรรถนะน้อยกว่าตัวแบบบริการแคชแรมแต่ดีกว่าตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง และมีค่าใช้บริการไม่แพงมาก

2.5 ผู้ใช้บริการแคชคลาวด์ควรเลือกใช้ตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็ง เมื่อผู้ใช้ต้องการความเร็วในการอ่านข้อมูลในระดับมาตรฐานและให้ความสำคัญเรื่องของการเรียกคืนข้อมูล เนื่องจากตัวแบบบริการแคชหน่วยขับจานบันทึกแบบแข็งมีสมรรถนะน้อยกว่าตัวแบบบริการแคชแรมและตัวแบบบริการแคชหน่วยขับโซลิดสเตท ค่าใช้บริการจึงถูกที่สุดและมีข้อดีเรื่องข้อมูลไม่หายสามารถเรียกคืนข้อมูลได้

ข้อเสนอแนะเพื่อทำการวิจัยต่อไป

สำหรับความคิดเห็นต่อระบบบริการแคชคลาวด์เป็นระบบที่ดีสามารถนำไปต่อยอดงานวิจัยได้อีกในอนาคต

1. สามารถทำการวิจัยต่อโดยการทดลองนำระบบไปติดตั้งใช้งานจริงบนสภาพแวดล้อมแบบเช่าพื้นที่โคโลเคชั่นและแบบเช่าบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ แล้วทำการวัดผลตามแบบทางเศรษฐศาสตร์และวัดผลตัวแบบทางเทคนิคเพื่อวัดประสิทธิภาพตามหน่วยวัดสมรรถนะเชิงเทคนิค รวมทั้งทำการวัดผลระบบบริการแคชคลาวด์ที่ติดตั้งใช้งานจริงด้วย

2. สามารถทำการวิจัยต่อให้ระบบบริการแคชสามารถแนะนำตัวเลือกที่เหมาะสมอย่างอัตโนมัติ

3. ระบบบริการแคชที่สร้างตามวิทยานิพนธ์นี้สามารถวิจัยพัฒนาต่อเป็นเครือข่ายการจัดส่งเนื้อหา (CDN)

บรรณานุกรม

Ahlehagh, H., and Dey, S. 2012. "Hierarchical video caching in wireless cloud: Approaches and algorithms." **In Communications (ICC), 2012 IEEE International Conference on** : 7082-7087.

Ali, W., Shamsuddin, S. M., and Ismail, A. S. 2011. "Patterns Analysis and Classification for Web Proxy Cache", **11th International Conference on Hybrid Intelligent Systems (HIS), IEEE**

Ali, W., Shamsuddin, S. M., and Ismail, A. S. 2012. "Intelligent Naïve Bayes-based approaches for Web proxy caching." **Knowledge-Based Systems.** 31: 162-175.

Amazon. (2014). "Amazon Web Services." Retrieved, 2014, from http://aws.amazon.com/ec2/pricing/

Amazon. (2015). "Amazon Web Services EC2" Retrieved Nov 24, 2015, from http://aws.amazon.com/ec2

Amazon. (2015). "Amazon Web Services. AmazonS3" Retrieved Nov 11, 2015, from http://aws.amazon.com/s3/

Amit, R., and Zott, C. 2001. "Value creation in e-business." **Strategic management journal.** 22 : 493-520.

Ando, K., et al., Hu, W. C. and Kaabouch, N. 2012. "Roles of nonvolatile devices in future computer system: Normally-off computer", I**n Energy-Aware Systems and Networking for Sustainable Initiatives, Information Science Reference**

Armbrust, M., et al. 2009. **Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing.** Retrieved February 4, 2010, from Electrical Engineering and Computer Sciences.University of California at Berkeley Web site: www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2009/

Arteaga, D., Otstott, D., and Zhao, M. 2012. "Dynamic Block-level Cache Management for Cloud Computing Systems." **In Conference on File and Storage Technologies.**

Bakiras, S. and Loukopoulos, T. 2005. "Increasing the Performance of CDNS Using Replication and Caching: A Hybrid Approach." **In Parallel and Distributed Processing Symposium Proceedings. 19th IEEE International, Denver, April 3-8, 2005** : 92.

Balamash, A., and Krunz, M., 2004. "An Overview of Web Caching Replacement Algorithms." **IEEE Communications Surveys and Tutorials.** 6(2) : 44-56.

Banditwattanawong, T., and Uthayopas, P. 2013. "A Client-Side Cloud Cache Replacement Policy." **ECTI Transactions on Computer and Information Technology: Special section on papers selected from ECTI-CON 2013** 8(2): 113-121.

Banditwattanawong, T., and Uthayopas, P. 2013. "Improving cloud scalability, economy and responsiveness with client-side cloud cache." **In Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2013. 10th International Conference on.**

Banditwattanawong, T., Masdisornchote, M., and Uthayopas, P. 2016 "Multi-provider cloud computing network infrastructure optimization" **Future Generation Computer Systems.** 55 : 116-128.

Barham, P., Dragovic, B., Fraser, K., Hand, S., Harris, T., Ho, A., Neugebauer, R., Pratt, I., and Warfield, A. 2003. "Xen and the art of virtualization." **Proceedings of ACM Symposium on Operating Systems Principles.**

Barish, G., and Obraczka, K. 2000. "World Wide Web Caching: Trends and Techniques." **IEEE Comm. Magazine, Internet Technology Series.** pp. 178-185.

Buyya, R., Yeo, C. S., Venugopal, S., Broberg, J., and Brandic, I., 2009 "Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility." **Future Generation computer systems**, *25*(6), 599-616.

Cao, L., Huang, L., Lei, K., Zhang, Z., and Huang, L. E. 2012. "Hybrid caching for cloud storage to support traditional application." **Cloud Computing Congress (APCloudCC), IEEE Asia Pacific. IEEE.** : 11-15.

Chiu, D., and Agrawal, G. 2010. "Evaluating caching and storage options on the Amazon Web Services Cloud." **Proc. 11th ACM/IEEE Int. Conf. Grid Computing, IEEE Computer Society, Brussels, October 25-28, 2010** : 17-24.

Chiu, D., Shetty, A., and Agrawal, G. 2010. "Elastic Cloud Caches for Accelerating Service-Oriented Computations." **In High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis 2010 International Conference, New Orleans, November 13-19, 2010** : 1-11.

Chockler, G., Laden, G., and Vigfusson, Y. 2010. "Data caching as a cloud service." **Proceedings of the 4th International Workshop on Large Scale Distributed Systems and Middleware. ACM, Zurich, July 25-28, 2010** : 18-21.

Chockler, G., Laden, G., and Vigfusson, Y. 2011. "Design and implementation of caching services in the cloud." **IBM Journal of Research and Development.** 55(6), 9:1–11.

Dash, D., Kantere, V., and Ailamaki, A. 2009. "An economic model for self-tuned cloud caching." **In IEEE International Conference on Data Engineering, Shanghai, March 29 - April 2, 2009** : 1687-1693.

Dropbox. (2015). "Dropbox" Retrieved Nov 11, 2015, from https://www.dropbox.com/

eBay. (2015). "eBay" Retrieved Nov 11, 2015, http://ebay.com/

ERC. (2011). "Study on Thailand Power Tariffs 2011-2015." Retrieved September 1, 2015, from http: //www.erc.or.th/ERCWeb/Upload/.../เอกสารแนบ_อัตราค่าไฟฟ้า.pdf

Facebook. (2015). "Facebook" Retrieved Nov 11, 2015, http://mail.yahoo.com/

Feldman, A., Caceres, R., Douglis, F., Glass, G., and Rabinovich, M. 1999. "Performance of Web Proxy Caching in Heterogeneous Bandwidth Environments." **Proceeding of INFOCOM 99, New York, Mar 21-25, 1999** 1 : 107-116.

Foong, K.,Y., and Delcroix, J., C. 2015. "Market Trends: New Revenue Opportunities for Telecom Carriers in 2015" Gartner, Retrieved September 22, 2015, from http://docslide.us/documents/gartner-market-trends-revenue-opportunities-for-telecom-carriers.html

Gadde, S., Rabinovich, M., and Chase., J. 1997 "Reduce, reuse, recycle: An approach to building large internet caches." **Workshop on Hot Topics in Operating Systems** : 93.

Ghobadian, A., Speller, S., and Jones, M. 1994. "Service Quality: Concepts and Models." **International Journal of Quality & Reliability Management.** 11(9) : 43-66.

Glazunov, N.M. (2012) "Foundations of scientific research." National Aviation University, 167 p, from http://arxiv.org/abs/1212.1651

Goering, R. (2011). "ARM TechCon Paper: Why DRAM Latency is Getting Worse", Retrieved September 2, 2015, from http://community.cadence.com/cadence_blogs_8/b/ii/archive/2011/11/17/arm-techcon-paper-why-dram-latency-is-getting-worse

Google. (2015). "Google Compute Engine" Retrieved Nov 24, 2015, from https://cloud.google.com/compute/

Google. (2015). "Google email service" Retrieved Nov 11, 2015, from http://mail.google.com/

Google. (2014). "Google." Retrieved, 2014, from https://cloud.google.com/products/calculator/

Han, H., Lee, Y. C., Shin, W., Jung, H., Yeom, H. Y., and Zomaya, A. Y. 2012. "Cashing in on the Cache in the Cloud." **IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems.** 23(8) : 1387-1399.

Hennessy, J. L. and Patterson, D. A. 2012. "Computer Architecture" **Fifth Edition: A Quantitative Approach. MA, USA: Elsevier.**

Heroku. (2015). "Heroku" Retrieved Nov 11, 2015, http://heroku.com/

Hill, R., Hirsch, L., Lake, P., and Moshiri, S. 2012. "Guide to cloud computing: principles and practice." **Springer Science & Business Media.**

Hornby, A. S. 2000. "Oxford Advanced Learner's Dictionary." **6th ed., Oxford University Press.**

Jadeja, Y., Modi, K. 2012. "Cloud computing-concepts, architecture and challenges." **In Computing, Electronics and Electrical Technologies (ICCEET), 2012 International Conference on IEEE.** pp. 877-880.

Kantere, V., Dash, D., Francois, G., Kyriakopoulou, S., and Ailamaki, A. 2011. "Optimal Service Pricing for a Cloud Cache." **IEEE Trans. Knowledge and Data Eng.** 23(9) : 1345-1358.

Kaya, C. C., Zhang, G., Tan, Y., and Mookerjee, V. S. 2009. "An admission-control technique for delay reduction in proxy caching." **Decision Support Systems.** vol. 46, pp. 594-603.

Kiani, S. L., Anjum, A., Munir, K., McClatchey, R., and Antonopoulos, N. 2011. "Towards Context Caches in the Clouds." **Utility and Cloud Computing (UCC), 2011 Fourth IEEE International Conference, Victoria, December 5-8, 2011** : 403-408.

Kim, H., Jo, H., and Lee, J. 2011. "Xhive: Efficient cooperative caching for virtual machines." **Computers, IEEE Transactions** 60(1) : 106-119.

KSC. (2015). "BIZ CO-LOCATION" Retrieved September 22, 2015, from http://www.ksc.net/TH/Products-IDC-BizCoLocation.html

Kumar, C., and Norris, J. B. 2008. "A new approach for a proxy-level web caching mechanism." **Decision Support Systems.** 46 : 52-60.

Kumar, C. 2009. "Performance evaluation for implementations of a network of proxy caches." **Decision Support Systems.** 46 : 492-500.

Lakunza, J. A., Astiazaran, J. C., and Elejoste, M. 2013. "Service Model for the Service Configuration." **IFIP Advances in Information and Communication Technology.** 398 : 430-437.

Leinenbach, D., and Santen, T. 2009. "Verifying the Microsoft Hyper-V Hyper-visor with VCC." **FM 2009: Formal Methods** : 806–809.

Li, Y., Li, W., and Jiang, C. 2010. "A survey of virtual machine system: Current technology and future trends." **In Electronic Commerce and Security (ISECS) Third International Symposium on IEEE** : 332-336.

Li, X., Wang, X., Zhu, C., Cai, W., and Leung, V.C.M. 2015. "Caching-as-a-Service: Virtual caching framework in the cloud-based mobile networks" **Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), IEEE Conference on, Hong Kong, April 26 2015- May 1 2015** : 372-377.

Liangli, M., Yanshen, C., Yufei, S., and Qingyi, W. 2012. "Virtualization Maturity Reference Model for Green Software." **Proceedings of the 2012 International Conference on Control Engineering and Communication Technology IEEE Computer Society**.

Liu, F., Makaroff, D., and Elnaffar, S. 2005. "Classifying e-commerce workloads under dynamic caching." **Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Waikoloa, October 10-12, 2005** 3 : 2819-2824.

Liu, F., Tong, J., Mao, J., Bohn, R. B., Messina, J. V., Badger, M. L., and Leaf, D. M. 2011. "NIST Cloud Computing Reference Architecture." **National Institute of Standards and Technology. NIST Special Publication** 500-292 : 35.

Luotonen, A. and Altis, K. 1994. "World-Wide Web Proxies." **Compo Netw. & ISDN Syst.,** (27) 2 : 1845-1855, 555.

Mach, W., and Schikuta, E. 2011. "A consumer-provider cloud cost model considering variable cost." **In the 9th IEEE International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing (DASC), Sydney, December 12-14, 2011** : 628-635.

Maniotis, P., Fitsios, D., Kanellos, G. T. and Pleros, N. 2013."Optical Buffering for Chip Multiprocessors: A 16GHz Optical Cache Memory Architecture", **Journal of Lightwave Technology, IEEE** 31(24).

Maniotis, P. Gitzenis, S., Tassiulas L., and Pleros, N. 2015. "High-Speed Optical Cache Memory as Single-Level Shared Cache in Chip-Multiprocessor architectures", **Workshop on Exploiting Silicon Photonics for Energy-Efficient High Performance Computing, IEEE.**

Maria, A. 1997. "Introduction to modeling and simulation." **Proceedings of the 29th conference on Winter simulation. IEEE Computer Society.**

Marinescu, Dan C. 2012. "Cloud Computing: Theory and Practice" **Elsevier**, ISBN: 978-0-12404-627-6.

Mell, P., and Grance, T. 2011. "NIST Definition of Cloud Computing." Retrieved March 11, 2013, from the National Institute of Standards and Technology, from http://csrc.nist.gov/groups/SNS/cloud-computing/

Microsoft. (2015). "Microsoft Azure" Retrieved, 2015, from http://azure.microsoft.com/en-us/

Microsoft. (2015). "Microsoft Hotmail" Retrieved Nov 11, 2015, from http://www.hotmail.com/

Microsoft. (2015). "Microsoft Virtual PC" Retrieved Nov 11, 2015, http://www.virtualbox.org/

Nakajima, J., Mallick, A., Pratt, I., and Fraser, K. 2006. "X86-64 XenLinux: Architecture, Implementation, and Optimizations." **Ottawa Linux Symposium.**

Noguchi, H., Ikegami, K., Shimomura, N., Tetsufumi, T., Ito, J., and Fujita, S., 2014. "Highly Reliable and Low-Power Nonvolatile Cache Memory with Advanced Perpendicular STT-MRAM for High-Performance CPU", Symposium on VLSI Circuits Digest of Technical Papers, IEEE

NSF and NLANR. 2010. "IRCache." Retrieved June 2, 2010, from http://www.ircache.net/

Onedrive. (2015). "Onedrive Live" Retrieved Nov 11, 2015, from http://onedrive.live.com/

OpenShift. (2015). "OpenShift" Retrieved Nov 11, 2015, http://openshift.com/

Oracle. (2015). "Oracle Virtual Box" Retrieved Nov 11, 2015, https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=4580

Ott, R. L., and Longnecker, M. T. 2010. "An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis", **6th Edition**

Ousterhout, J., Agrawal, P., Erickson, D., Kozyrakis, C., Leverich, J., Mazières, D., Mitra, S., Narayanan, A., Parulkar, G., Rosenblum, M., Rumble, S. M., Stratmann, E., and Stutsman, R. 2010. "The case for RAMClouds: scalable high-performance storage entirely in DRAM." **ACM SIGOPS Operating Systems Review** 43(4) : 92-105.

Payne, A. 1993. "The Essence of Services Marketing." **Hemel Hempstead: Prentice Hall.** : 253.

Podlipnig, S. and Böszörmenyi, L. 2003. "A Survey of Web Cache Replacement Strategies." **ACM Computing Surveys** 35(4) : 374-398.

Pratt, I., Fraser, K., Hand, S., Limpach, C., Warfield, A., Magenheimer, D., Nakajima, J., and Mallick, A. 2005. "Xen 3.0 and the Art of Virtualization." **Ottawa Linux Symposium.** : 2.

Ramaswamy, L., Liu, L., and Iyengar, A. 2005. "Cache clouds: Cooperative caching of dynamic documents in edge networks. In Distributed Computing Systems" **ICDCS 2005 Proceedings 25th IEEE International Conference on IEEE** : 229-238.

Rodriguez, P., Spanner, C., and Biersack, E. W. 2001. "Analysis of web caching architectures: hierarchical and distributed caching." **Networking, IEEE/ACM Transactions** 9(4) : 404-418.

Rodríguez-Haro, F., Freitag, F., Navarro, L., Hernánchez-sánchez, E., Farías-Mendoza, N., Guerrero-Ibáñez, J. A., and González-Potes, A. 2012. "A summary of virtualization techniques." **Procedia Technology** 3 : 267-272.

Salesforce. (2015). "Salesforce" Retrieved Nov 11, 2015, http://www.salesforce.com/

Samsung. (2015). "Why SSDs Are Awesome", Retrieved September 7, 2015, from http://www.samsung.com/global/business/semiconductor/minisite/SSD/global/html/whitepaper/whitepaper01.html

Sangwongthong, T., and Siripongwutikorn, P. 2012. "Proxy caching in wireless mesh networks." **Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 9th International Conference on. IEEE.**

Shi, X., Liu, C., Wu, S., Jin, H., Wu, X., and Deng, L. 2011. "A cloud service cache system based on memory template of virtual machine." **In Chinagrid Conference (ChinaGrid), 2011 Sixth Annual** : 168-173.

Teece, D. J. 2010. "Business models, business strategy and innovation." **Long range planning.** 43(2) : 172-194.

Timmers, P. 1998. "Business Models for Electronic Markets." **Electronic Markets.** 8(2) : 3-8.

TRUEIDC. (2016). "CLOUD TRUE IDC" Retrieved January 15, 2016, from http://cloud.trueidc.co.th/pricing.html

Twitter. (2015). "Twitter" Retrieved Nov 11, 2015, http://twitter.com/

Vmware. (2015). "VMware GSX Server" Retrieved Nov 11, 2015, https://www.vmware.com/support/pubs/gsx_pubs.html

Wang, J. 1999 "A survey of web caching schemes for the Internet" **ACM SIGCOMM Computer Communication Review,** 29(5) : 36-46.

Wessels, D., 2004. "Squid: The Definitive Guide." **O'Reilly Media Inc,** 496.

Xiao, L., Zhang, X., Andrzejak, A., and Chen, S. 2004. "Building a Large and Efficient Hybrid Peer-to-Peer Internet Caching System." **IEEE TKDE,** 16(6) : 754-769.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ - สกุล จตุรงค์ ศรีวิโรจน์

วัน เดือน ปีเกิด 12 มกราคม 2509

สถานที่เกิด จังหวัดกรุงเทพฯ

วุฒิการศึกษา

พ.ศ. 2534 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาสถิติ
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

พ.ศ. 2540 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศทางธุรกิจ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสบการณ์ทำงาน

พ.ศ. 2546-ปัจจุบัน นักวิเคราะห์ ฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศและการจัดการข้อมูล ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ

พ.ศ. 2537-2543 นักวิเคราะห์ระบบ บริษัทสยามซิตี้ ไอที

พ.ศ. 2534-2537 โปรแกรมเมอร์ ฝ่ายคอมพิวเตอร์ ธนาคารนครหลวงไทย

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

1. วารสารทางวิชาการ

   1.1 Sriwiroj, C., and Banditwattanawong, T. 2015, " Cache-as-a-Service Models for Client-Side Shared Cloud Caching : Technical and Economical Perspectives.", วารสารศรีปทุมปริทัศน์ (ได้รับหนังสือตอบรับแล้ว)

2. การประชุมทางวิชาการ

   2.1 Sriwiroj, C., and Banditwattanawong, T. 2015a, "An economic model for client-side cloud caching service.", In Knowledge and Smart Technology (KST), 2015 7thInternational Conference on IEEE, Chonburi, January 28-31, 2015 :131-136.

   2.2 Sriwiroj, C., and Banditwattanawong, T. 2015b. "A cost model for client-side caas." Information Science and Applications. Lecture Notes in Electrical Engineering, Springer Berlin Heidelberg, 2015 339 : 361–368.