



โครงร่างกรอบแนวคิดบล็อกเรียนหลายชั้นสำหรับการประเมินประสิทธิภาพ  
และพลังงาน: การพัฒนาการบริการการท่องเที่ยว



คู่มือนี้ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ  
วิทยาลัยนวัตกรรมดิจิทัลเทคโนโลยี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรังสิต

ปีการศึกษา 2567



**MULTI- LAYERED BLOCKCHAIN FRAMEWORK FOR PERFORMANCE  
AND ENERGY EFFICIENCY EVALUATION:  
DEVELOPMENT OF TOURISM**

**BY  
SONGWUT BOONSONG**

**A DISSERTATION SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR  
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY  
IN INFORMATION TECHNOLOGY  
COLLEGE OF DIGITAL INNOVATION TECHNOLOGY**

**GRADUATE SCHOOL, RANGSIT UNIVERSITY  
ACADEMIC YEAR 2024**

คุษฎีนิพนธ์เรื่อง  
โครงร่างกรอบแนวคิดบล็อกเซนหลายชั้นสำหรับการประเมินประสิทธิภาพและพลังงาน:  
การพัฒนาการบริการการท่องเที่ยว

โดย

ทรงวุฒิ บุญส่ง

ได้รับการพิจารณาให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาปรัชญาคุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยรังสิต

ปีการศึกษา 2567

รศ. อานนท์ สุขเสถียรวงศ์  
ประธานกรรมการสอบ

ผศ. ดร. กวีวัฒน์ อำนาง โขติพันธุ์  
กรรมการ

รศ. ดร. สิริพร ศุภราทิตย์  
กรรมการ

รศ. ดร. ดวงอาทิตย์ ศรีมูล  
กรรมการ

ผศ. ดร. มินนภา รักษ์หิรัญ  
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ดร. ปณิธิ เนตินันท์  
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ศ. ดร. สือจิตต์ เพ็ชรประสาน)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

20 สิงหาคม 2567

Dissertation entitled

**MULTI- LAYERED BLOCKCHAIN FRAMEWORK FOR PERFORMANCE  
AND ENERGY EFFICIENCY EVALUATION:  
DEVELOPMENT OF TOURISM**

by

SONGWUT BOONSONG

was submitted in partial fulfillment of the requirements  
for the degree of Doctor of Philosophy in Information Technology

Rangsit University  
Academic Year 2024

---

Assoc. Prof. Anon Sukstrienwong  
Examination Committee Chairperson

---

Asst. Prof. Kawiwat Amnatchotiphan, Ph.D.  
Member

---

Assoc. Prof. Siriporn Supratid, D.Tech.Sci  
Member

---

Assoc. Prof. Duang-arthit Srimoon, D.Eng.  
Member

---

Asst. Prof. Meennapa Rukhiran, Ph.D.  
Member and Co-Advisor

---

Assoc. Prof. Paniti Netinant, Ph.D.  
Member and Advisor

Approved by Graduate School

(Prof. Suejit Pechprasarn, Ph.D.)

Dean of Graduate School

August 20, 2024

## กิตติกรรมประกาศ

คุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาโครงร่างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้นสำหรับการประเมินประสิทธิภาพและพลังงาน: การพัฒนาการบริการการท่องเที่ยว ซึ่งสำเร็จลุล่วงไปได้ดีด้วยความสนับสนุนและความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน โดยบุคคลท่านแรกและผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คือ รศ. ดร.ปณิธิ เนตินันท์ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ผศ. ดร.มีนภา รักษ์หิรัญ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และแนวทางรวมถึงตรวจทานแก้ไขคุษฎีนิพนธ์ในครั้งนี้มาโดยตลอด รศ.อานนท์ สุขเสถียรวงศ์ ประธานกรรมการสอบ รศ. ดร.สิริพร ศุภราทิตย์ ผศ. ดร. กวีวัฒน์ อานาจ โชติ-พันธุ์ และรศ. ดร.ดวงอาทิตย์ ศรีมูล กรรมการทุกท่านกรุณาให้เกียรติมาเป็นกรรมการสอบคุษฎีนิพนธ์ และให้ความคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ต่อคุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จโดยสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ที่ให้ความรู้ทางวิชาการ และเจ้าหน้าที่หลักสูตรปริญญาคุษฎีบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยรังสิตที่ให้ความอนุเคราะห์ในการประสานงานต่างๆ

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยส่งเสริมและเป็นแรงบันดาลใจในการพัฒนาตนเองอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่วันแรกของการเข้าศึกษา รวมทั้งกัลยาณมิตร ที่ร่วมยินดีในความสำเร็จ และสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลาย ที่ช่วยปกป้องคุ้มครอง

คุณค่าอันพึงมาจากคุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครูอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนชี้แนะแนวทางที่ดีและมีคุณค่าตลอดจนสำเร็จการศึกษา

ทรงวุฒิ บุญส่ง

ผู้วิจัย

6304705 : ทรงวุฒิ บุญส่ง  
 ชื่อคุณิพนธ์ : โครงร่างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้นสำหรับการประเมินประสิทธิภาพ  
 และพลังงาน: การพัฒนาการบริการการท่องเที่ยว  
 หลักสูตร : ปรัชญาคุณิพนธ์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ  
 อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ. ดร.ปณิธิ เนดินันท์  
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร.มินนภา รัศมิ์หิรัญ

### บทคัดย่อ

การออกแบบโครงร่างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้น ใช้วิธีการแบบองค์รวม ซึ่งผสมผสานการศึกษาเชิงทฤษฎีเข้ากับการตรวจสอบเชิงประจักษ์ กระบวนการวิจัยเริ่มต้นด้วยการทบทวนปัญหา การทบทวนวรรณกรรมเอกสารที่เกี่ยวข้องอย่างละเอียด ในงานวิจัยนี้ยังได้ออกแบบโครงร่างกรอบแนวคิดการบริการการท่องเที่ยวโดยใช้ต้นแบบโครงร่างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้นมาเป็นเครื่อง ได้พัฒนาระบบต้นแบบการบริการการท่องเที่ยว และทำการศึกษการปรับแต่งค่า กำหนดคุณลักษณะของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์เป็นเรื่องที่ซับซ้อนและมีผลกระทบต่อการใช้พลังงานและประสิทธิภาพของระบบอย่างมีนัยสำคัญ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองด้วยหน่วยประมวลผลกราฟิกส์รุ่นที่แตกต่างกัน และซอฟต์แวร์ทำเหมืองที่หลากหลาย เพื่อประเมินประสิทธิภาพของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ในสถานการณ์และการกำหนดค่าที่หลากหลาย ใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่สำคัญ เช่น การใช้พลังงาน อุณหภูมิ ความเร็ว อัตราการทำเหมือง และผลกระทบต่อประสิทธิภาพพลังงานและประสิทธิภาพการทำงาน ผลการวิจัยพบว่า การปรับแต่งฮาร์ดแวร์หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ ความเร็วของสัญญาณนาฬิกาแกนประมวลผล อุณหภูมิ ความเร็วสัญญาณนาฬิกาแรม ความเร็วของพัดลม และการใช้พลังงาน มีผลกระทบต่อตัวแปรประสิทธิภาพการคำนวณ ( $p = 0.000$  และ  $R^2 = 0.962$ ) ความเร็วของสัญญาณนาฬิกาแกนประมวลผล อุณหภูมิ ความเร็วสัญญาณนาฬิกาแรม ความเร็วของพัดลม และการใช้พลังงาน มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ( $p = 0.000$  และ  $R^2 = 0.989$ ) ผลงานวิจัยนี้มีส่วนร่วมในการนำเสนอที่เป็นประโยชน์ทางทฤษฎีสำหรับเป็นแนวทางการพัฒนาระบบแอปพลิเคชันบนบล็อกเชนจากโครงร่างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้น กรอบการทำงานที่แยกชั้นกันทำให้การพัฒนาและปรับปรุง เพิ่มขนาด ขยายความต้องการเรื่องของประสิทธิภาพการทำงานของระบบได้อย่างง่าย และโครงร่างกรอบแนวคิดการบริการการท่องเที่ยว ได้ออกแบบสัญญาอัจฉริยะแบบมัลติสมาร์คอนแทรก และทางปฏิบัติในการปรับค่ากำหนดคุณลักษณะของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ เพื่อลดการใช้พลังงาน บรรเทาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการดำเนินการบล็อกเชน และมีส่วนร่วมในการวิจัยปัจจุบันเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการใช้งานในแอปพลิเคชันบล็อกเชนแบบกลไกฉันทมติพิสูจน์การทำงาน

(คุณิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 86 หน้า)

คำสำคัญ: เทคโนโลยีบล็อกเชน, ระบบการท่องเที่ยว, หน่วยประมวลผลกราฟิกส์, พิสูจน์การทำงานลายมือชื่อ  
 นักศึกษา.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

6304705 : Songwut Boonsong  
 Dissertation Title : Multi-Layered Blockchain Framework for Performance and Energy Efficiency Evaluation: Development of Tourism  
 Program : Doctor of Philosophy in Information Technology  
 Dissertation Advisor : Assoc. Prof. Paniti Netinant, Ph.D.  
 Dissertation Co-Advisor : Asst. Prof. Meenapa Rukhiran, Ph.D.

**Abstract**

This research adopts a holistic research approach to design a multi-layered blockchain framework for tourism services. The framework integrates theoretical inquiry with empirical scrutiny. The research process begins with a comprehensive literature review and problem identification. Subsequently, a multi-layered blockchain framework for tourism services is designed, drawing upon a prototype multi-layered blockchain framework. A prototype tourism service system is developed and evaluated, focusing on GPU optimization. GPU optimization is a complex and crucial factor that significantly impacts system energy consumption and performance. To evaluate GPU performance in various scenarios and configurations, experiments were conducted using different GPU models and mining software. Multiple regression analysis was employed to investigate the intricate relationships between key performance indicators, including energy consumption, temperature, speed, hash rate, energy efficiency, and performance efficiency. The findings reveal that fine-tuning GPU hardware, including core clock speed, temperature, RAM clock speed, fan speed, and power consumption, significantly impacts computational performance variables ( $p = 0.000$  and  $R^2 = 0.962$ ). Additionally, core clock speed, temperature, RAM clock speed, fan speed, and power consumption significantly influence energy efficiency ( $p = 0.000$  and  $R^2 = 0.989$ ). This research contributes to the theoretical framework for developing blockchain-based applications using a multi-layered blockchain framework. The layered architecture facilitates the development, enhancement, and scaling of systems to meet varying performance requirements. Each layer comprises diverse components, enabling customization to suit specific organizational or operational needs. Furthermore, the proposed multi-layered blockchain framework for tourism services introduces a multi-signature smart contract, enabling the deployment of smart contracts across diverse blockchain networks. Additionally, the study provides practical guidance on optimizing GPU configurations to reduce energy consumption, mitigate the environmental impact of blockchain operations, and contribute to ongoing research on performance optimization in consensus-based blockchain applications.

(Total 86 pages)

Keyword: Blockchain Technology, Tourism System, Graphics Processing Unit, Proof of Work; PoW

Student’s Signature..... Dissertation Advisor’s Signature.....

Dissertation Co-Advisor’s Signature.....

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	4
1.3 ขอบเขตการศึกษา	5
1.4 กรอบแนวคิดการวิจัย	6
1.5 นิยามศัพท์	7
<b>บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>8</b>
2.1 เทคโนโลยีบล็อกเชน	8
2.2 เครือข่ายอินเทอร์เน็ต	13
2.3 ระบบสัญญาอัจฉริยะ	13
2.4 บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
<b>บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย</b>	<b>26</b>
3.1 สถาปัตยกรรมระบบสารสนเทศสำหรับเทคโนโลยีบล็อกเชน	26
3.2 โครงร่างกรอบแนวคิดระบบต้นแบบการบริการการท่องเที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต	33
3.3 ประสิทธิภาพด้านพลังงานของประมวลผลกราฟิกส์	34
3.4 การรวบรวมข้อมูล	36
3.5 การตรวจสอบชุดข้อมูลการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือ	41

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ	43
<b>บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล</b>	<b>46</b>
4.1 ผลการออกแบบโครงร่างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้นสำหรับการประเมิน ประสิทธิภาพและพลังงาน	46
4.2 ผลการออกแบบโครงร่างกรอบแนวคิดการบริการการท่องเที่ยว	49
4.3 การพัฒนาต้นแบบระบบการการท่องเที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนบนเครือข่าย อีเธอเรียม	51
4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในโครงสร้างบล็อกเชน ขั้นตอนพิสูจน์การทำงาน (Proof-of-Work: PoW) ของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์	58
4.5 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ	69
<b>บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>	<b>75</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย	75
5.2 ข้อเสนอแนะในการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์	78
5.3 ข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัยภายหน้า	79
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>80</b>
<b>ประวัติผู้ศึกษา</b>	<b>131</b>

## สารบัญตาราง

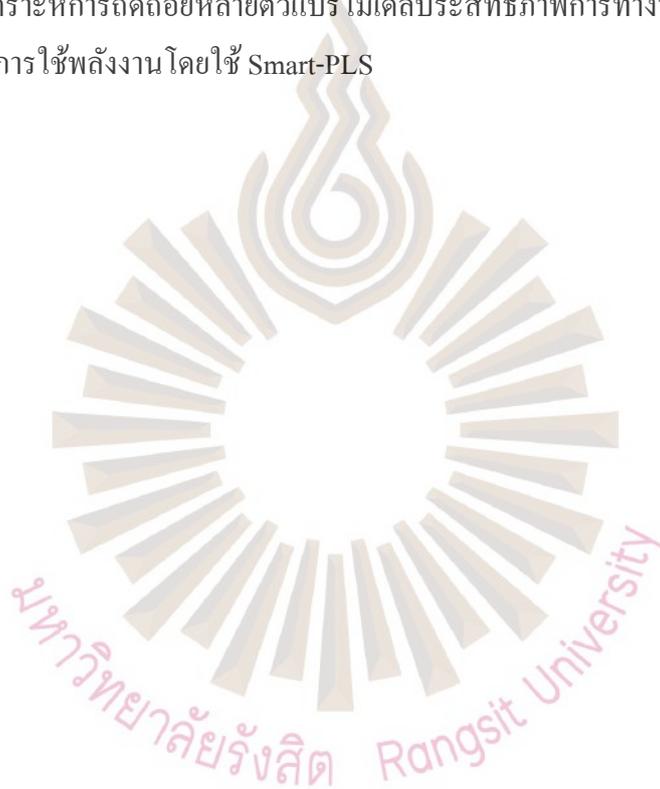
ตารางที่	หน้า
2.1 ประเด็นสำคัญของ โครงสร้างพื้นฐานบล็อกเชนเพื่อความยั่งยืนที่มีประสิทธิภาพ	18
2.2 เมตริกเกณฑ์การประเมินและสูตรการใช้พลังงานอย่างยั่งยืน	21
3.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติบล็อกเชนเฟรมเวิร์กระหว่าง Enterprise Ethereum และ Hyperledger Fabric	29
3.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติกลไกฉันทามติระหว่าง Pow และ PoS	31
3.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติเครือข่ายบล็อกเชนระหว่าง Ethereum และ Hyperledger	31
3.4 ข้อมูลอธิบายการทดลองหน่วยประมวลผลกราฟิกส์	38
3.5 ข้อมูลที่รวบรวมสำหรับการปรับแต่งตัวชี้วัดประสิทธิภาพหน่วยประมวลผลกราฟิกส์	39
4.1 สถิติเชิงพรรณนาของชุดข้อมูล	56
4.2 การแจกแจงความเบ้และความแหลมของชุดข้อมูล	58
4.3 บทสรุปการวิเคราะห์ ANOVA ของโมเดลประสิทธิภาพการทำงาน	62
4.4 บทสรุปการวิเคราะห์ ANOVA ของโมเดลประสิทธิภาพการใช้พลังงาน	63
4.5 การตรวจสอบปัญหาความสัมพันธ์ตัวแปรของโมเดล	64
4.6 สรุปค่าเชิงบวกของการถดถอยหลายตัวแปรสำหรับโมเดลประสิทธิภาพที่มีประสิทธิภาพ	70
4.7 สรุปค่าเชิงบวกของการถดถอยหลายตัวแปรสำหรับโมเดลพลังงานที่มีประสิทธิภาพ	71

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	6
1.2	6
2.1	9
2.2	10
2.3	11
2.4	12
3.1	28
3.2	28
3.3	35
4.1	48
4.2	49
4.3	50
4.4	51
4.5	53
4.6	53
4.7	54
4.8	54
4.9	55
4.10	55
4.11	56
4.12	56
4.13	57
4.14	57
4.15	60

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 ภาพรวมการทดสอบความเป็นเส้นตรงของพีเจอร์ในชุดข้อมูล	64
4.17 กราฟการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อประเมินความเป็นปกติของค่าเหลือ (Residuals) และการมีอยู่ของสหสัมพันธ์ตัวเอง (Autocorrelation) ในรูปแบบการถดถอย	68
4.18 การวิเคราะห์การถดถอยหลายตัวแปร โมเดลประสิทธิภาพการทำงาน และ โมเดลการใช้พลังงาน โดยใช้ Smart-PLS	70



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการเติบโตของเศรษฐกิจโลก มีการนำเทคโนโลยีบล็อกเชนมาผสมผสานเข้ากับระบบนิเวศดิจิทัล (Digital Ecosystem) เพื่อสร้างความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวให้กับองค์กร (Kitsantas & Chytis, 2022) โดยเทคโนโลยีบล็อกเชนมีการประยุกต์ใช้อย่างหลากหลายทั้งในชีวิตประจำวันและธุรกิจในรูปแบบโครงสร้างฐานข้อมูลแบบกระจายศูนย์ (Decentralized) (Zheng, Xie, Dai, Chen & Wang, 2017) ที่ไม่สามารถแก้ไขเปลี่ยนแปลงได้ นอกจากนี้การใช้เทคโนโลยีฐานข้อมูลแบบกระจายศูนย์ ของบล็อกเชนยังช่วยให้บุคคล หรือหน่วยงานสามารถติดตามและตรวจสอบธุรกรรมแบบเรียลไทม์ ช่วยเพิ่มความปลอดภัยของข้อมูล (Data Security) ความโปร่งใส (Transparency) และการตรวจสอบที่มาของข้อมูล (Traceability) ซึ่งนำไปสู่การสร้างแอปพลิเคชันที่ปฏิวัติวงการ ตัวอย่างเช่น ระบบบล็อกเชนสามารถจัดการ กระบวนการธุรกิจสำหรับการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ซับซ้อนและปลอดภัยแบบอัตโนมัติ (Supply Chain Management) (Kamble, Gunasekaran & Sharma, 2020) จัดการการศึกษาแบบเชื่อมโยงและปลอดภัย (Bucea Manea Tonis et al., 2021) ภาครัฐบาล (Government) (Böhme, Christin, Edelman & Moore, 2015) การเงิน (Finance) (Bessani et al., 2017) สาธารณสุข (Health) (Swan, 2018; Taherdoost, 2023) และสัญญาอัจฉริยะ (Smart Contract) ที่สามารถทำงานแบบอัตโนมัติ (Chernet and Jilled, 2020) ในด้านเทคโนโลยีทางการเงิน (Financial Technology) เทคโนโลยีบล็อกเชนเป็นรากฐานสำคัญในการรองรับสกุลเงินดิจิทัล (Cryptocurrencies)

โครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ เดิมทีหน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Units: CPU) เคยมีบทบาทหลักในการขุด (Mining) แต่การประมวลผลและความเร็วไม่เพียงพอต่อความต้องการในขั้นตอนกลไกฉันทามติแบบพิสูจน์การทำงาน (Proof of Work: PoW) โครงสร้างระบบสารสนเทศที่ใช้หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (Graphics Processing Units: GPUs) และวงจรรวมเฉพาะแอปพลิเคชัน (Application-Specific Integrated Circuits: ASICs) เพื่อการประมวลผลแบบขนานของการขุดบล็อกเชนช่วยทำให้ได้เปรียบในการรันคำสั่งหลายคำสั่งพร้อมกัน (Zheng et al.,

2017) ซึ่งปัจจุบันประสิทธิภาพและความเร็วเหมาะสมกับการคำนวณบล็อกเชน ทั้งนี้ความสามารถในการรันคำสั่งหลายคำสั่งพร้อมกันของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการแก้ปัญหาการคำนวณที่ซับซ้อนในหลายด้าน เช่น เครือข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) การประมวลผลภาพ (Image Processing) การประมวลผลภาพแบบเข้มข้น (Distilled Image Processing) และปริศนาเข้ารหัส (Cryptographic Puzzles) ของเทคโนโลยีบล็อกเชนในกลไกฉันทามติโดยใช้วิธีการพิสูจน์ด้วยการทำงาน (Proof of Work: Pow) ซึ่งวิวัฒนาการมาจากการขุดสกุลเงินดิจิทัล โดยเฉพาะการขุดเงินดิจิทัลในเครือข่ายบล็อกเชนหลายเครือข่ายส่วนมากใช้กลไกฉันทามติแบบพิสูจน์ด้วยการทำงาน เพื่อสนับสนุนการทำงานของสัญญาอัจฉริยะแบบสาธารณะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเครือข่ายของอีเธอเรียม (Ethereum) การขุดต้องใช้พลังงานมากในกระบวนการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ซึ่งการจัดการด้วยหน่วยประมวลผลกราฟิกส์และวงจรรวมเฉพาะแอปพลิเคชันในขั้นตอนการขุดมีความซับซ้อน เพื่อรักษาความปลอดภัยของเครือข่าย หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ทำงานได้ดีกว่าหน่วยประมวลผลกลาง เนื่องจากมีคอร์ประมวลผลหลายพันตัวในการคำนวณ จากการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพแสดงให้เห็นข้อดีของการขุดด้วยหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ในด้านประสิทธิภาพ ความเร็ว และความคุ้มค่ามากกว่าฮาร์ดแวร์ประมวลผลอื่น ๆ (Shuaib et al., 2022) นอกจากนี้ หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ยังออกแบบมาให้ใช้งานกับสถาปัตยกรรมแพลตฟอร์มต่าง ๆ ได้หลากหลาย เช่น สมาร์ทโฟน การคำนวณแบบเอดจ์ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เครื่องเล่นเกม ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์

ในขณะที่ความต้องการใช้งานจริงของเทคโนโลยีบล็อกเชนมีมากขึ้นสะท้อนถึงความสำคัญที่เพิ่มขึ้นของเทคโนโลยีที่มีประโยชน์มากมาย แต่โครงสร้างที่ซับซ้อนส่งผลต่อประสิทธิภาพด้านพลังงานและประสิทธิภาพของระบบเป็นอย่างมาก ไม่ใช่เพียงสถาปัตยกรรมระบบสารสนเทศหน่วยประมวลผลกราฟิกส์เท่านั้นที่จำเป็นสำหรับเทคโนโลยีบล็อกเชน แต่ยังคงต้องพิจารณาปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้อง เช่น ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ การจัดการข้อมูล และโครงสร้างเครือข่าย พลังงานต่อธุรกรรม (Mora et al., 2018) ค่าพลังงานต่อเหรียญ (Köhler, 2019) ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Ayanoglu, 2019) และอัตราการใช้ (Sarkodie and Owusu, 2022) ในการเป็นรากฐานสำหรับประสิทธิภาพของบล็อกเชน จากการศึกษาวิจัยหลายงานชี้ให้เห็นว่าศูนย์ข้อมูลของบล็อกเชนและระบบนิเวศดิจิทัลอื่นๆ ใช้พลังงานสูงมาก (European Institute of Innovation & Technology, 2022) ยืนยันว่าการพิสูจน์ด้วยการทำงาน (PoW) เป็นกลไกที่ใช้พลังงานมากที่สุดของบล็อกเชน ในขณะที่การจัดเก็บข้อมูลใช้พลังงานน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด (Ghosh and Das, 2019) ได้เน้นย้ำถึงการใช้พลังงานมหาศาลของบล็อกเชนอันเนื่องมาจากอัลกอริทึมการสร้างเหรียญ (Powell, Hendon, Mangle & Wimmer, 2021) ให้ความสำคัญของการทำให้บล็อกเชนเป็น

มิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น และเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างกลไกค้นหาต่าง ๆ (Schinckus, Nguyen & Ling, 2020) พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างปริมาณการซื้อขายสกุลเงินดิจิทัลและการใช้พลังงาน ซึ่งบ่งชี้ว่ากิจกรรมด้านสกุลเงินดิจิทัลมีอิทธิพลอย่างมากต่อการ ใช้พลังงาน

การระบาดของโควิด-19 เกิดจากไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ (SARS-CoV-2) เกิดในเมืองอู่ฮั่น ประเทศจีน เมื่อปลายปี พ.ศ.2562 โรคร้ายนี้แพร่กระจายอย่างรวดเร็ว ข้ามพรมแดน สู่มุมโลก องค์การอนามัยโลก (WHO) ประกาศให้การระบาดนี้เป็นภาวะฉุกเฉินทางสาธารณสุขระหว่างประเทศในเดือนมกราคม พ.ศ. 2563 และประกาศให้เป็นโรคระบาดทั่วในเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 (การระบาดทั่วของโควิด-19, 2567) การแพร่ระบาดส่งผลกระทบต่อสภาวะเศรษฐกิจภาคการท่องเที่ยวของประเทศไทย จากรายงานภาวะเศรษฐกิจการท่องเที่ยว COVID-19 กับผลกระทบต่อการท่องเที่ยว พบว่าไตรมาสแรกของปี 2563 การท่องเที่ยวโลกหยุดชะงักลง การเติบโตของจำนวนนักท่องเที่ยวระหว่างประเทศที่ติดลบร้อยละ 22.7 จากช่วงเวลาเดียวกันของปี 2562 และหยุดนิ่งต่อเนื่องมาจนถึงเดือนเมษายน 2563 การลดลงของจำนวนนักท่องเที่ยวสูงถึงร้อยละ 97 เมื่อเทียบกับเดือนเดียวกันในปี 2562 ถือเป็นช่วงตกต่ำที่สุดในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา หลังจากวิกฤติการเงินของโลกในปี 2552 ส่งผลกระทบต่อจำนวนนักท่องเที่ยวต่างชาติที่เดินทางเข้ามาในประเทศไทยในไตรมาส 1/2563 ลดลงร้อยละ 38.01 เช่นเดียวกับการท่องเที่ยวภายในประเทศโดยคนไทย (ไทยเที่ยวไทย) ที่หดตัวลงร้อยละ 30.77 (สถานการณ์การท่องเที่ยวของประเทศไทย ไตรมาส 1/2563, 2563) และมีมติจากคณะกรรมการโรคติดต่อแห่งชาติ เห็นชอบปรับโรคโควิดเป็นโรคประจำถิ่น เริ่ม 1 เดือนกรกฎาคม 2565 เป็นต้นมา อุตสาหกรรม การท่องเที่ยวกลับมาให้บริการนักท่องเที่ยว ในปัจจุบันธุรกิจเกี่ยวกับการให้บริการ เช่น ห้องพักรถเช่า สำหรับนักท่องเที่ยวส่วนใหญ่ให้บริการผ่านตัวแทนกลาง เช่น บริษัทนำเที่ยว เว็บไซต์ ซึ่งกระบวนการทำงานก่อให้เกิดข้อผิดพลาด ในการจองห้องพักระหว่างนักท่องเที่ยวกับตัวแทนกลาง และผู้ให้บริการห้องพัก ทำให้เกิดปัญหาขึ้น เช่น

1. ปัญหาในการเชื่อมต่อข้อมูลและการสื่อสาร การสื่อสารระหว่างตัวแทนกลางและผู้ให้บริการห้องพักมีข้อบกพร่อง บางครั้งข้อมูลไม่สมบูรณ์หรือมีความคลุมเครือ ซึ่งทำให้การจองห้องพักเกิดความผิดพลาดและทำให้ลูกค้าไม่พอใจกับการรับบริการ
2. การจัดการความต้องการที่เปลี่ยนแปลง ความต้องการของลูกค้าในการจองห้องพักมักมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา บางครั้งมีการยกเลิกการจองห้องพักหรือการเปลี่ยนแปลงรายละเอียดภายในระยะเวลาสั้น ๆ ซึ่งทำให้ตัวแทนกลางและผู้ให้บริการต้องมีความยืดหยุ่นในการจัดการและปรับปรุงความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว
3. การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล การจองห้องพักมักเกี่ยวข้องกับข้อมูลส่วนตัวของลูกค้า เช่น

ข้อมูลบัตรเครดิต และข้อมูลส่วนตัวอื่นๆ ซึ่งต้องมีการรักษาความปลอดภัยอย่างเคร่งครัดเพื่อป้องกันการละเมิดข้อมูล

ดังนั้น ด้วยคุณสมบัติของเทคโนโลยีบล็อกเชน และปัญหาการบริการระหว่างผู้ให้บริการและนักท่องเที่ยวผ่านตัวแทนกลางที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบโครงสร้างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้นสำหรับประเมินประสิทธิภาพและพลังงาน และออกแบบโครงสร้างกรอบแนวคิดการบริการการท่องเที่ยวโดยใช้ต้นแบบโครงสร้างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้นสำหรับประเมินประสิทธิภาพและพลังงาน พร้อมกับพัฒนาต้นแบบการบริการการท่องเที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนบนเครือข่ายอีเธอเรียม เพื่อเป็นการให้บริการระหว่างนักท่องเที่ยวกับผู้ประกอบการโดยตรง ไม่ต้องผ่านองค์กรหรือตัวแทนกลาง โดยอาศัยคุณสมบัติของเทคโนโลยีบล็อกเชน โครงสร้างฐานข้อมูลแบบกระจายศูนย์ (Decentralized) ที่ไม่สามารถแก้ไขเปลี่ยนแปลงได้ ความปลอดภัยของข้อมูล (Data security) ความโปร่งใส (Transparency) และการตรวจสอบที่มาของข้อมูล (Traceability) พร้อมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่สำคัญ การใช้พลังงาน อุณหภูมิ ความเร็ว และอัตราการทำเหมือง ของเทคโนโลยีบล็อกเชน ในการลดการใช้พลังงานในโครงสร้างบล็อกเชนของขั้นตอนพิสูจน์การทำงาน (Proof-of-Work: PoW) โดยดัดแปลงของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์มาเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานและประสิทธิภาพการทำงานของเทคโนโลยีบล็อกเชน

## 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบโครงสร้างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้นสำหรับประเมินประสิทธิภาพและพลังงาน

1.2.2 เพื่อออกแบบโครงสร้างกรอบแนวคิดการบริการการท่องเที่ยวโดยใช้ต้นแบบโครงสร้างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้นสำหรับประเมินประสิทธิภาพและพลังงาน

1.2.3 เพื่อพัฒนาต้นแบบการบริการการท่องเที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนบนเครือข่ายอีเธอเรียม

1.2.4 เพื่อศึกษาและประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในโครงสร้างบล็อกเชนขั้นตอนพิสูจน์การทำงาน (Proof-of-Work: PoW) ของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์

### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 การออกแบบโครงร่างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้น ผู้วิจัยจะออกแบบโครงร่างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้นสำหรับการประเมินประสิทธิภาพและพลังงาน

1.3.2 การออกแบบโครงร่างกรอบแนวคิดการบริการการท่องเที่ยว ผู้วิจัยจะออกแบบโครงร่างกรอบแนวคิดการบริการการท่องเที่ยวโดยใช้ต้นแบบโครงร่างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้น

1.3.3 การพัฒนาระบบต้นแบบการบริการการท่องเที่ยว ผู้วิจัยจะพัฒนาระบบต้นแบบการบริการการท่องเที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนบนเครือข่ายอีเธอเรียม

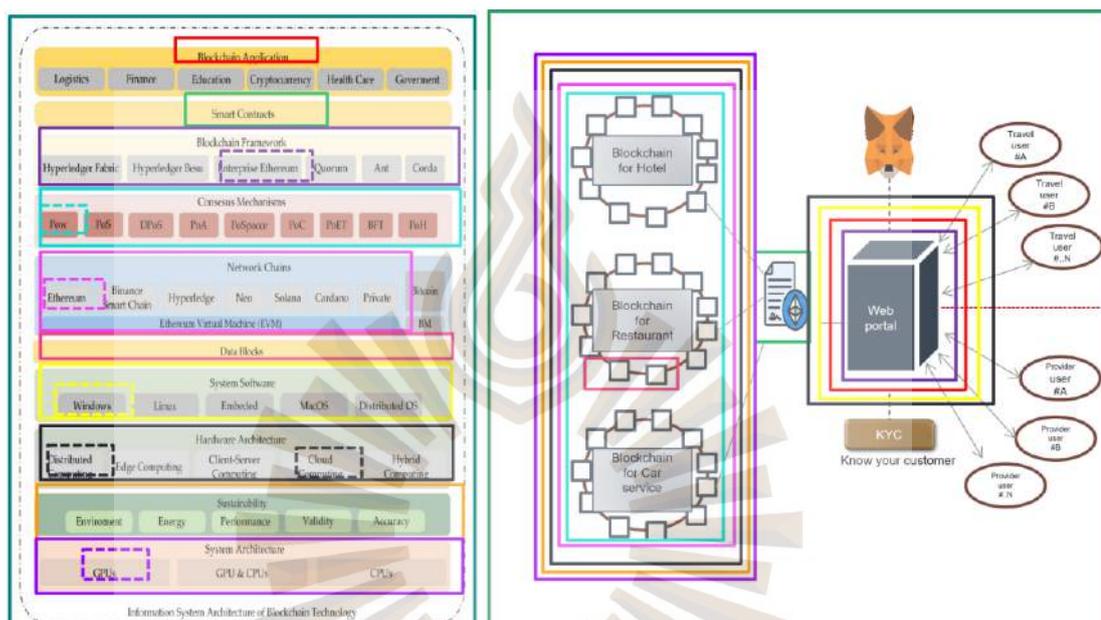
1.3.4 ทำการศึกษาประสิทธิภาพของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ ในการทำขั้นตอนพิสูจน์การทำงาน (Proof of Work: PoW) ของการใช้พลังงาน โดยใช้หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ รุ่นเฉพาะ ได้แก่ rx5700, rx6700xt, rx6800xt และ rx2080ti

1.3.5 การทดสอบประสิทธิภาพจะใช้โปรแกรมขุดเฉพาะทาง 4 โปรแกรม ได้แก่ SRBminer, Teamredminer, Gminer และ NBminer ซึ่งขึ้นชื่อเรื่องประสิทธิภาพในการรันอัลกอริทึม ETASH อันเป็นหัวใจสำคัญของระบบเข้ารหัสลับบนบล็อกเชนอีเธอเรียม (Ethereum)

1.3.6 การทดสอบทั้งหมดจะดำเนินการบนระบบปฏิบัติการ Windows 11 ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีการควบคุมอุณหภูมิห้องคงที่

## 1.4 กรอบแนวคิดการวิจัย

งานวิจัย เรื่อง โครงร่างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้นสำหรับการประเมินประสิทธิภาพ และพลังงาน: การพัฒนาการบริการการท่องเที่ยว นำเสนอกรอบแนวคิดของการวิจัยเป็นแผนภาพ แสดงดังรูปที่ 1.1 และรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.1 โครงร่างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้น / รูปที่ 1.2 โครงร่างกรอบแนวคิดการบริการการท่องเที่ยว  
ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

เริ่มจากการทบทวนปัญหา (Review Problem) การทบทวนวรรณกรรม (Blockchain Technology) ออกแบบ โครงร่างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้นสำหรับการประเมินประสิทธิภาพ และพลังงาน (Information System Architecture of Blockchain Technology) ออกแบบ โครงร่าง กรอบแนวคิดการบริการการท่องเที่ยวโดยใช้ต้นแบบ โครงร่างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้น พัฒนาระบบต้นแบบการบริการการท่องเที่ยว และวัดประสิทธิภาพพลังงานของหน่วยประมวลผล กราฟิกส์ เพื่อเสนอเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาระบบสารสนเทศบนเทคโนโลยีบล็อกเชนพร้อม กับปัจจัยในการกำหนดค่าหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

## 1.5 นิยามศัพท์

**เทคโนโลยีบล็อกเชน (Blockchain Technology)** หมายถึง ระบบฐานข้อมูลแบบกระจายศูนย์ (Decentralized Database) ที่ใช้บันทึกข้อมูลธุรกรรมต่างๆ โดยข้อมูลจะถูกเก็บในรูปแบบบล็อก (Block) ซึ่งเชื่อมต่อกันเป็นโซ่ (Chain)

**โครงร่างกรอบแนวคิด (Concept Framework)** หมายถึง การออกแบบและพัฒนาองค์ประกอบที่ทำงานเป็นขั้นของบนกรอบเทคโนโลยีบล็อกเชน

**ระบบต้นแบบบริการการท่องเที่ยว (Tourism System)** หมายถึง ระบบบริการการท่องเที่ยวที่ทำงานบนเครือข่ายอีเธอร์เรียม โดยให้บริการนักท่องเที่ยวและผู้ประกอบการโดยไม่มีตัวแทนกลาง

**หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (Graphics Processing Unit; GPU)** หมายถึง หน่วยประมวลผลประเภทหนึ่งมีหน้าที่หลักในการประมวลผลข้อมูลภาพ วิดีโอ และงานด้านกราฟิกส์ มีประสิทธิภาพสูงในการประมวลผลข้อมูลแบบขนาน

**พิสูจน์การทำงาน (Proof of Work; PoW)** หมายถึง กลไกฉันทามติ (Consensus Mechanism) ชนิดหนึ่งที่ใช้ในบล็อกเชน อาศัยการคำนวณที่ซับซ้อนเพื่อยืนยันการทำธุรกรรม

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เทคโนโลยีบล็อกเชน (Blockchain Technology)

บล็อกเชน (Blockchain) เป็นการกระจายข้อมูลไปยังทุกโหนดในเครือข่าย ซึ่งต่างจากระบบฐานข้อมูลดั้งเดิมที่ควบคุมโดยองค์กรเดียว คุณสมบัติเฉพาะ ความโปร่งใสทำให้ทุกคนในเครือข่ายสามารถตรวจสอบธุรกรรมได้ ข้อมูลบนบล็อกเชนยากต่อการปลอมแปลงทำให้มีความปลอดภัยสูง การทำธุรกรรมต้องได้รับการยืนยันจากสมาชิกในเครือข่ายทำให้มีความน่าเชื่อถือได้เป็นอย่างดี และการกระจายศูนย์บล็อกเชนจะไม่มีองค์กรใดองค์กรหนึ่งเป็นผู้ควบคุม

##### 2.1.1 องค์ประกอบหลักของบล็อกเชน

2.1.1.1 บล็อก (Block) เป็นสิ่งที่ใช้สำหรับบรรจุข้อมูล ประกอบด้วย 2 ส่วนคือส่วนของข้อมูลต่าง ๆ ที่ใส่เข้าไปในบล็อก (Block) เรียกว่า Item และส่วนใบปะหน้า (Header) เพื่อใช้บอกให้ผู้อื่นทราบว่าในบล็อก (Block) นั้นบรรจุข้อมูลอะไร ยกตัวอย่างเช่น กรณีของสกุลเงินบิตคอยน์ (Bitcoin) ในที่นี้ Item ที่เก็บข้อมูล หมายถึง จำนวนเงินและข้อมูลการโอนเงิน จากรูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของ Block ที่ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่

- 1) ส่วน Header ประกอบด้วย
  - 1.1) Version Info เป็นส่วนที่บ่งบอกถึง Version ของข้อมูลในบล็อก (Block)
  - 1.2) Nonce คือ ค่าของตัวเลขแบบสุ่มที่จะถูกเปลี่ยนค่าไปเรื่อย ๆ จนได้ค่าแฮช (Hash) ที่เหมาะสม
  - 1.3) Previous Block เป็นค่าแฮช (Hash) ของบล็อก (Block) ก่อนหน้าทำให้ผู้ใช้รู้ว่าบล็อก (Block) นี้ต่อมาจากบล็อก (Block) ไหน
  - 1.4) Timestamp คือ เวลาที่บล็อก (Block) นี้ถูกสร้างขึ้นมา
  - 1.5) Merkle คือ การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล เพื่อให้มั่นใจว่า ไม่มีผู้ใดแก้ไขข้อมูลรายการธุรกรรม (Transaction) ในบล็อก (Block) อีก

## 2) ส่วนทรานแซกชันประกอบด้วย

2.1) ไอดีบล็อกทำหน้าที่ระบุตัวตนที่บรรจุธุรกรรมเป็นตัวเลขแบบสุ่มที่ผ่านการเข้ารหัสแฮช

2.2) ไอดีบล็อกก่อนหน้า ทำหน้าที่บ่งบอกบล็อกก่อนหน้า

2.3) ข้อมูลรายการธุรกรรม บันทึกรายละเอียดธุรกรรม

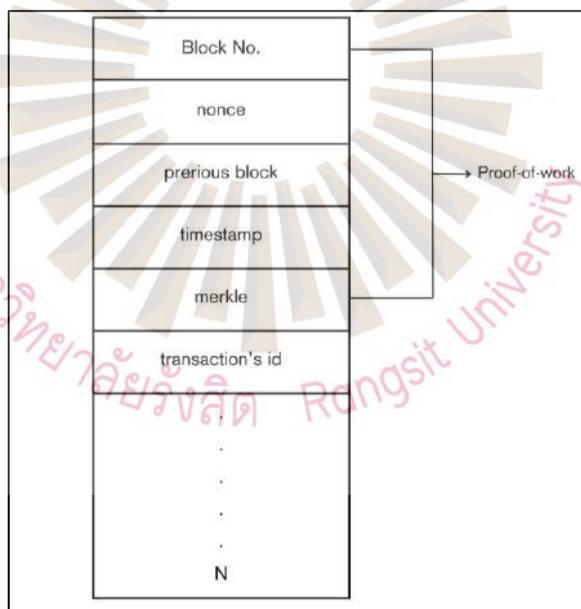
2.4) คีย์สาธารณะ บ่งบอกเจ้าของธุรกรรมระหว่างผู้ส่งกับผู้รับ

3) ส่วนแฮช (Hash) คือ กระบวนการค้นหาค่า ซึ่งเป็นการเข้ารหัสทางเดียว หรือเปรียบเทียบหลายเช่นดิจิทัลที่ปกป้องข้อมูลมีกระบวนการดังนี้

3.1) เข้ารหัสด้วยฟังก์ชันแฮช ใช้คีย์ประจำตัวของผู้ส่ง ผลลัพธ์คือลายเซ็นดิจิทัล

3.2) ส่งลายเซ็นดิจิทัลพร้อมกับคีย์สาธารณะไปให้ผู้รับ

3.3) ผู้รับตรวจสอบลายเซ็นดิจิทัล โดยใช้คีย์สาธารณะเปรียบเทียบค่าแฮชที่ได้ถ้าตรงกันก็แสดงว่าเป็นข้อความที่ถูกต้อง

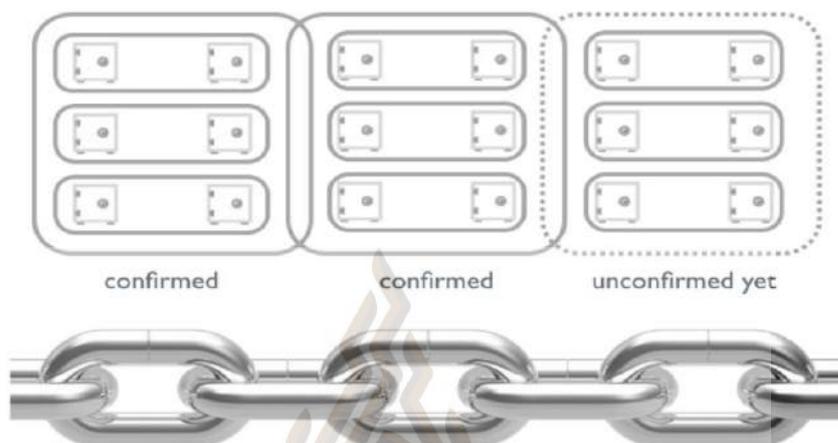


รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของ Block

ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

2.1.1.2 เซนคือ วิธีการจดจำข้อมูลทุก ๆ ธุรกรรมของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุก ๆ ฝ่ายในระบบ และบันทึกข้อมูลพร้อมจัดทำเป็นสำเนาแจกจ่ายให้กับทุกคนในระบบ โดยสำเนานั้นจะถูกกระจายส่งต่อไปให้ทุก ๆ Node ในระบบเพื่อให้ทุกคนรับทราบว่ามีธุรกรรมอะไรเกิดขึ้น

ตั้งแต่เปิดระบบบล็อกเชน ถึงแม้ว่า Node เกิดความเสียหายไปก็ยังสามารถยืนยันหรือกู้ข้อมูลธุรกรรมที่เกิดขึ้นจาก Node อื่น ๆ ให้ทั้งระบบได้เหมือนเดิม ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะของการยืนยันบัญชีธุรกรรมก่อนหน้าและที่จะเกิดขึ้นต่อไปซึ่งเรียกว่า Chain  
ที่มา: ชาติชาย วิเรขรัตน์, 2560

2.1.1.3 Consensus คือ ข้อตกลงร่วมกัน (General Agreement) ผู้ที่อยู่ในเครือข่ายบล็อกเชน (Blockchain) นั้น ได้ทำข้อตกลงในการใช้งานร่วมกัน โดยเป็นข้อตกลงในการพิสูจน์ความถูกต้องของข้อมูล หรือ Proof of work และการตรวจสอบความเป็นเจ้าของ หรือ Proof of Stake ซึ่งข้อตกลงเหล่านี้ถือเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการกำหนดเครือข่ายบล็อกเชน (Blockchain) ใด ๆ ขึ้นมาใช้ เพื่อยืนยันความถูกต้อง และนำเชื่อถือให้กับระบบบล็อกเชน (Blockchain) นั้น ๆ

2.1.1.4 Validation คือ การตรวจสอบความถูกต้องทุก Node ทั้งระบบบล็อกเชน (Blockchain) เพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นไม่ว่าจะมาจากส่วนใดก็ตาม ซึ่งก็คือส่วนหนึ่งของ Consensus ที่เรียกว่า Proof of work โดยหลักการแล้วการทำ Validation นั้น มีจุดประสงค์ 2 ประการคือ

- 1) วิธีการในการยอมรับหรือปฏิเสธธุรกรรมในบล็อก (Block) นั้น ๆ
- 2) วิธีการตรวจสอบที่ทุกคนในระบบยอมรับร่วมกัน

## 2.1.2 เครือข่ายบล็อกเชนแต่ละแบบ (Blockchain)

เทคโนโลยีบล็อกเชน (Blockchain) เปรียบเสมือนฐานข้อมูลดิจิทัลที่กระจายตัว บล็อกเชนแต่ละบล็อกประกอบด้วยข้อมูลธุรกรรม เวลา และลิงก์ไปยังบล็อกก่อนหน้า ระบบนี้มี

การรักษาความปลอดภัยโดยใช้เทคนิคเข้ารหัสลับ บล็อกเชนมีรูปแบบที่หลากหลาย ขึ้นอยู่กับโครงสร้างและการควบคุมการเข้าถึงข้อมูล

#### 2.1.2.1 บล็อกเชนสาธารณะแบบไร้การอนุญาต (Permission Less Ledgers)

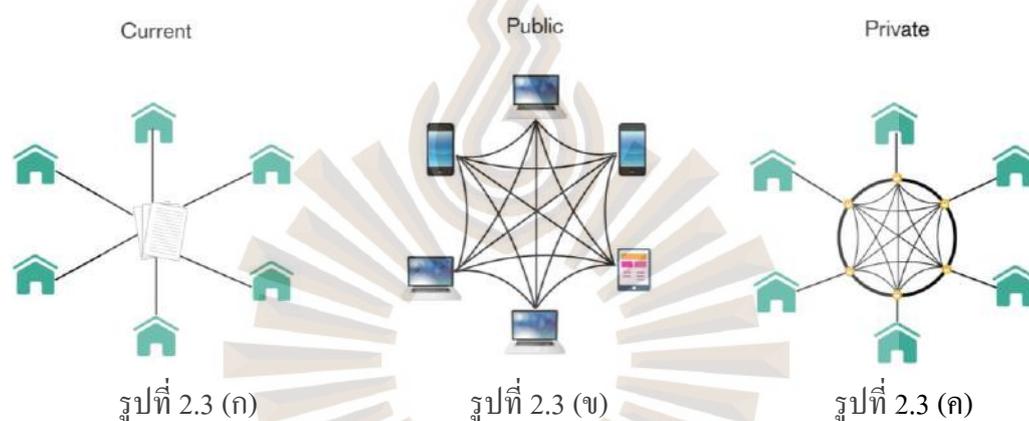
ทุกคนสามารถเข้าถึงและมีส่วนร่วมในเครือข่ายได้โดยไม่ต้องขออนุญาต แสดงดังรูปที่ 2.3 (ก)

#### 2.1.2.2 บล็อกเชนสาธารณะแบบมีการอนุญาต(Permissioned Public Ledgers)

ต้องได้รับอนุญาตจากผู้ดูแลระบบก่อนเข้าถึงเครือข่ายแสดงดังรูปที่ 2.3 (ข)

#### 2.1.2.3 บล็อกเชนส่วนตัว(Private Blockchain) เฉพาะบุคคลที่ได้รับอนุญาต

เท่านั้นที่สามารถเข้าถึงและใช้งานเครือข่าย แสดงดังรูปที่ 2.3 (ค)

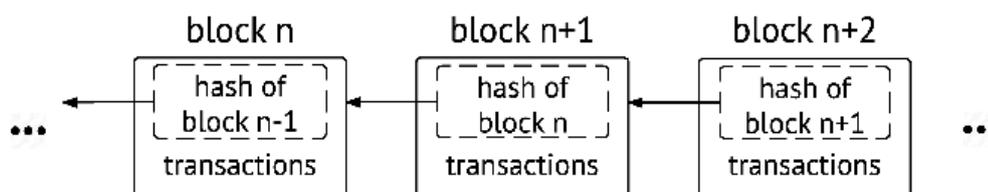


รูปที่ 2.3 ความแตกต่างของเครือข่ายบล็อกเชนแต่ละแบบ

ที่มา: สุวิชัย, 2567

#### 2.1.4 หลักการทำงานของบล็อกเชน

บล็อกเชน (Blockchain) เป็นการบันทึกธุรกรรมที่บล็อก (Block) แต่ละบล็อก (Block) จะถูกระบุตัวตนโดยการเข้ารหัสลับของแฮช (Hash) โดยแต่ละบล็อก (Block) จะอ้างอิงถึงแฮช (Hash) ของบล็อก (Block) ที่อยู่ก่อนหน้า จากนั้นจึงเกิดการสร้างความเชื่อมโยงระหว่างบล็อก (Block) โดยจะสร้างห่วงโซ่ (Chain) ของบล็อก (Block) หรือที่เรียกกันว่า บล็อกเชน (Blockchain) แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การดำเนินการรายการธุรกรรมและแฮชไปยังบล็อกก่อนหน้า

ที่มา: Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things Christidis and Devetsikiotis, 2016

โดยทั่วไปผู้ใช้แต่ละรายในบล็อกเชน (Blockchain) จะถูกกำหนดให้มีสิทธิ์ในการทำธุรกรรมบนเครือข่ายผ่าน Node ของตนเอง โดย Node เหล่านี้จะสร้างเครือข่ายแบบ Peer-to-Peer โดยผู้ใช้สามารถสื่อสารกับบล็อกเชน (Blockchain) ผ่านทางคีย์ส่วนตัว (Private Key) และคีย์สาธารณะ (Public Key) โดยผู้ใช้จะใช้คีย์ส่วนตัว (Private Key) เพื่อทำธุรกรรมของตนเอง และสามารถระบุตัวตนได้บนเครือข่ายผ่านคีย์สาธารณะ (Public Key) ดังนั้นทุกรายการธุรกรรมที่ผ่านการรับรองจะถูกแจ้งไปยังผู้ใช้รายอื่นที่อยู่ในบล็อกเชนเดียวกัน จากนั้นบล็อก (Block) ที่อยู่ข้างเคียงจะทำการตรวจสอบเพื่อให้แน่ใจว่ารายการธุรกรรมที่ได้รับนี้ถูกต้อง ก่อนส่งต่อไปยังบล็อก (Block) ถัดไป โดยหากพบว่ามีรายการธุรกรรมใดที่ไม่ถูกต้อง รายการนั้นจะถูกละทิ้งไปจนในที่สุดการทำธุรกรรมนี้จะถูกกระจายไปทั่วทั้งเครือข่าย โดย Node จะทำการตรวจสอบว่ามีธุรกรรมใหม่เกิดขึ้นหรือไม่ หากประมวลผลแล้วพบว่ามีธุรกรรมใหม่เกิดขึ้น ก็จะจัดธุรกรรมนั้นให้อยู่ในรูปของ “บล็อก (Block)” โดยจะประยุกต์ใช้สมการคณิตศาสตร์ขั้นสูงเข้ากับข้อมูลในบล็อก (Block) และแปลงให้เป็น “ลายเซ็นอิเล็กทรอนิกส์ (Digital Signature)” เพื่อความปลอดภัย เรียกว่า “แฮช (Hash)” จากนั้นจะนำแฮช (Hash) มาต่อท้ายบล็อกเชน (Blockchain) โดยแฮช (Hash) จากบล็อก (Block) สุดท้ายใน Chain ที่ก่อนจะถึงบล็อก (Block) ปัจจุบัน จะถูกนำมาสร้างเป็นแฮช (Hash) ใหม่ ดังนั้น แฮช (Hash) จึงเปรียบเป็น “การผนึกจดหมาย” โดยถ้าเปลี่ยนข้อมูลในบล็อกเพียงตัวอักษรตัวเดียว แฮช (Hash) ก็จะเปลี่ยนไปทั้งหมด ดังนั้นแฮช (Hash) จึงช่วย “ยืนยัน” ว่าธุรกรรมล่าสุดเกิดขึ้นจริง และยืนยันว่าธุรกรรมหลังจากนี้ทั้งหมดถูกต้องด้วยเช่นกัน (Christidis and Devetsikiotis, 2016)

## 2.2 เครือข่ายโหนดอีเธอเรียม (Ethereum Node)

เครือข่ายอีเธอเรียมเป็นระบบบล็อกเชนที่เปิดใช้งานสัญญาอัจฉริยะ (Smart Contracts) และแอปพลิเคชันแบบกระจายโดยโครงสร้างพื้นฐานหลักของเครือข่ายนี้คือ โหนด (Nodes) โหนดเหล่านี้ทำงานร่วมกันเพื่อรักษาความสมบูรณ์และความปลอดภัยของเครือข่าย ประเภทของโหนดอีเธอเรียม

2.2.1 โหนดเต็ม เก็บสำเนาทั้งหมดของบล็อกเชนและตรวจสอบทุกธุรกรรม

2.2.2 โหนดเบา เก็บข้อมูลบล็อกเชนเพียงบางส่วนเท่านั้น

2.2.3 โหนดอาร์คิฟ เก็บข้อมูลบล็อกเชนทั้งหมดรวมถึงสถานะเก่าๆ ของบล็อกเชน

## 2.3 ระบบสัญญาอัจฉริยะ (Smart Contract)

สัญญาอัจฉริยะเป็นนวัตกรรมทางเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นบนบล็อกเชน เพื่อให้การดำเนินการตามข้อตกลงเป็นไปอัตโนมัติและปลอดภัย โดยไม่ต้องพึ่งพาตัวแทนกลาง สัญญาอัจฉริยะเขียนขึ้นด้วยโค้ดที่สามารถรันคำสั่งต่าง ๆ ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้เมื่อเงื่อนไขดังกล่าวเป็นจริงธุรกรรมหรือการกระทำต่าง ๆ จะถูกดำเนินการโดยอัตโนมัติ Nick Szabo ได้นำเสนอแนวคิดดังกล่าวไว้เมื่อปี พ.ศ. 2537

คุณสมบัติหลักของสัญญาอัจฉริยะ

2.3.1 การทำงานอัตโนมัติ เมื่อเงื่อนไขที่กำหนดในสัญญาเป็นจริงสัญญาอัจฉริยะจะดำเนินการตามคำสั่งที่กำหนดไว้ทันที โดยไม่ต้องพึ่งพาการตรวจสอบหรือการอนุมัติจากบุคคลที่สาม

2.3.2 ความปลอดภัย ข้อมูลและธุรกรรมทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับสัญญาอัจฉริยะจะถูกบันทึกบนบล็อกเชน ซึ่งมีความปลอดภัยสูงและไม่สามารถแก้ไขหรือลบข้อมูลได้ง่าย

2.3.3 ความโปร่งใส ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องสามารถตรวจสอบการทำงานของสัญญาอัจฉริยะได้เนื่องจากข้อมูลทั้งหมดเป็นสาธารณะและสามารถเข้าถึงได้บนบล็อกเชน

## 2.4 บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.4.1 เทคโนโลยีบล็อกเชน

พลังแห่งการเปลี่ยนแปลงเปลี่ยนรูปร่างหลายอุตสาหกรรม เกิดการใช้งานต้นฉบับคือบิทคอยน์

บล็อกเชนนำเสนอระบบบัญชีแยกประเภทแบบกระจายอำนาจ ส่งเสริมความโปร่งใสและความสมบูรณ์ของข้อมูล โดยไม่มีอำนาจจากส่วนกลาง (Ju, Raofy, Yang, Laure & Schulz, 2022)

บล็อกเชนทำงานข้ามหลายโหนดทำให้ไม่มีจุดควบคุมหรือจุดล้มเหลวเพียงจุดเดียวซึ่งส่งเสริมความปลอดภัยและความน่าเชื่อถือในการทำงาน (Sikorski, 2017)

ความปลอดภัยของบล็อกเชนในการทำธุรกรรมและการจัดการข้อมูลถูกเสริมความปลอดภัยโดยการผสมเทคนิคการเข้ารหัส (Bonneau, 2015; Taherdoost, 2023; Zheng et al., 2017)

ทุกบล็อกในเชนครอบคลุมโดยแฮชเข้ารหัสของบล็อกก่อนหน้าทำให้เกิดเป็นเชนที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงและไม่สามารถปรับแต่งได้ (Shrimali & Patel, 2022)

การเปลี่ยนแปลงข้อมูลในบล็อกโดยย้อนหลังต้องการการปรับเปลี่ยนทุกบล็อกที่ตามหลัง และต้องมีความเห็นชอบจากผู้ร่วมระบบทั้งหมด (Feng, 2017)

ความโปร่งใสเป็นคุณสมบัติหลักอีกประการหนึ่งของบล็อกเชนทำให้มั่นใจได้ว่าทุกธุรกรรมสามารถมองเห็นได้ และไม่สามารถแก้ไขได้ ติดตามข้อมูลกลับไปยังแหล่งที่มาคุณลักษณะนี้พิสูจน์ให้เห็นถึงคุณค่าในด้านต่างๆ เช่น การจัดการห่วงโซ่อุปทาน ซึ่งการติดตามวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งสำคัญ (Kamble et al., 2020)

สัญญาอัจฉริยะที่ดำเนินการด้วยตนเองพร้อมเงื่อนไขข้อตกลงที่เข้ารหัสเป็นรหัส (Khan, David, Varro & McIntosh 2023; Taherdoost, 2023)

#### 2.4.2 หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (GPU) ในเทคโนโลยีบล็อกเชน

หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ได้รับการพัฒนาไปในทิศทางที่เกินหน้าบทบาททางด้านกราฟิกส์กลายเป็นสิ่งสำคัญในเทคโนโลยีบล็อกเชน หน่วยประมวลผลกราฟิกส์มีความสำคัญอย่างยิ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพและปรับปรุงเทคโนโลยีบล็อกเชน ซึ่งให้พลังการคำนวณและความเร็วสำหรับการตรวจสอบธุรกรรมและกลไกฉันทามติ การเริ่มต้นของสกุลเงินดิจิทัล (Cryptocurrencies) เช่นบิตคอยน์ และอีเธอเรียมแสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการคำนวณเพื่อไขปริศนาการเข้ารหัสที่ซับซ้อนซึ่งเป็นกระบวนการที่เรียกว่าการขุด

หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ มีประสิทธิภาพเหนือกว่าหน่วยประมวลผลกลางในการขุด เนื่องจากความสามารถในการประมวลผลแบบขนาน ซึ่งมีความสำคัญต่อการแก้ปัญหาอัลกอริทึมการพิสูจน์การทำงาน (Proof of Work) ที่เน้นการคำนวณ (Bartoletti & Pompianu, 2017)

อัลกอริทึมจำเป็นต้องมีการคำนวณจำนวนมากเพื่อตรวจสอบธุรกรรมและรักษาความปลอดภัยเครือข่ายบล็อกเชน (Eyal & Sirer, 2018)

หน่วยประมวลผลกราฟิกส์มีคอร์หลายพันคอร์ที่สามารถดำเนินการได้พร้อมกัน ซึ่งช่วยเร่งการแก้ปัญหาความท้าทายด้านการเข้ารหัสได้อย่างมาก (An and Seo, 2020)

ความสามารถในการปรับใช้ของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์สำหรับการใช้ในแอปพลิเคชันบล็อกเชน หน่วยประมวลผลกราฟิกส์สามารถใช้งานได้โดยมีประสิทธิภาพสำหรับการทำเหมืองสกุลเงินดิจิทัลและเพิ่มประสิทธิภาพของการทำธุรกรรมในเครือข่ายบล็อกเชน (Shuaib et al., 2022)

หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ได้ส่งเสริมกระบวนการนำส่งสมาร์ตคอนแทร็กบนแพลตฟอร์มบล็อกเชนทำให้มีความมั่นคงและประสิทธิภาพ (Iliakis, 2022)

การประยุกต์ใช้หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ในเทคโนโลยีบล็อกเชนมีความท้าทายมากมาย หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ได้รับการแสดงและนำไปใช้ในโดเมนเทคโนโลยีอื่นๆ มากมายรวมถึงการเรียนรู้ของเครื่องการประมวลผลตามธรรมชาติ (Krupa et al., 2021; Pandey, Fernandez &

Gentile, 2022) และการวิเคราะห์ข้อมูล (Pan et al., 2022; Shanbhag, Madden & Yu, 2020) อย่างไรก็ตาม ปัญหาหลักของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ได้กลายเป็นข้อกังวลที่โดดเด่นของการใช้พลังงาน และความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม (Mora et al., 2018) และในการศึกษานวัตกรรมในสถาปัตยกรรมหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ในส่วนของงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อจัดการกับข้อกังวลด้านการใช้พลังงานและความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม โดยการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยไม่ลดทอนประสิทธิภาพ

#### 2.4.3 เทคโนโลยีบล็อกเชนสำหรับองค์กรเอกชน

เทคโนโลยีบล็อกเชนมีศักยภาพในการเปรียบเทียบสำหรับองค์กรเอกชน โดยปฏิวัติกกระบวนการทางธุรกิจแบบดั้งเดิมตั้งแต่การจัดการห่วงโซ่อุปทานไปจนถึงการจัดการลูกค้าสัมพันธ์ (CRM) การยอมรับในภาคเอกชนส่วนใหญ่ได้รับแรงหนุนจากความสามารถในการสร้างความไว้วางใจเพิ่มความโปร่งใสและส่งเสริมการปฏิบัติที่ยั่งยืนตามที่ (Saber, Kouhizadeh & Sarkis, 2019) ได้เน้นบทบาทของบล็อกเชนในการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่มีความสำคัญมากทำให้คงสภาพและยั่งยืนของการดำเนินงาน ตามที่ (Xiang, Huaimin, Peichang, Xue & Xunhui, 2021) ได้ระบุบล็อกเชนส่วนตัวและสาธารณะได้รับการรู้จักว่าเป็นทางออกที่ช่วยแก้ไขปัญหาลูกค้าเกี่ยวกับบล็อกเชน ทำให้เหมาะสมมากขึ้นสำหรับการนำมาใช้ในองค์กร (Lacity and Khan, 2019) ได้ระบุถึงศักยภาพของบล็อกเชนที่สามารถลดการทำรายการตรวจสอบความถูกต้องและรักษาการติดตามแหล่งกำเนิดข้อมูล ความปลอดภัย ความเชื่อถือได้ ความโปร่งใสความไม่เปลี่ยนแปลง และความรับผิดชอบของบล็อก (Tariq, Ibrahim, Ahmad, Bouteraa & Elmogy, 2019) ได้เน้นถึงการปรับปรุงกระบวนการและการป้องกันข้อมูลส่วนบุคคลเป็นประการหลัก นอกจากนี้ (Gatomatis and Bogonikolos, 2020; Xia, Li & He, 2023) ยอมรับบทบาทของบล็อกเชนในการเพิ่มความมั่นคงในการดำเนินธุรกิจ ลดต้นทุน และปรับปรุงการทำธุรกรรมทางการเงิน เทคโนโลยีบล็อกเชนไม่จำกัดเฉพาะในการใช้ทางการเงิน แต่ยังขยายออกไปสู่นวัตกรรมแบบโมเดลธุรกิจและการเสริมประสิทธิภาพขององค์กร ตามที่ (Aini, Manongga, Rahardja, Sembiring & Efendy, 2023) ได้แนะนำ และ (Swan, 2018) ได้พูดถึงบทบาทในการขับเคลื่อนระบบปัญญาประดิษฐ์ขององค์กร การบริการข้อมูลที่ต้องการ และการชำระเงินผ่านระบบเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพในห่วงโซ่อุปทาน (Konstantinidis et al., 2018) ได้เน้นถึงศักยภาพของเทคโนโลยีที่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่กระทบต่อธุรกิจหลายภาคสาขาได้

เทคโนโลยีบล็อกเชนก่อให้เกิดความกังวลเกี่ยวกับการใช้พลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเฟรมเวิร์กบล็อกเชนกลไกฉันทามติแบบพิสูจน์ด้วยการทำงาน (PoW) (Matsenko, Tanashchuk, Piven, Matiushchenko & Melnyk, 2020) ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการใช้กรอบการกำกับดูแลแบบครบ

วงจรเป็นข้อเสียเปรียบที่สำคัญ ความจำเป็นในการใช้พลังงานที่มากในกระบวนการบล็อกเชน โดยเฉพาะในการทำเหมืองของกลไกฉันทมติ นำไปสู่ความท้าทายทางความยั่งยืนทำให้ต้องการการแก้ปัญหาด้านพลังงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นในบล็อกเชนขององค์กรเอกชน โดยสรุปเทคโนโลยีบล็อกเชนนำเสนอข้อเสนอน่าสนใจสำหรับองค์กรเอกชน โดยเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ ความปลอดภัยของข้อมูล และประโยชน์ของนวัตกรรมรูปแบบธุรกิจ อย่างไรก็ตามการนำไปใช้เป็นสิ่งที่ยังท้าทาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับการใช้พลังงานและความซับซ้อนด้านกฎระเบียบ การจัดการกับปัญหาเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการตระหนักถึงศักยภาพสูงสุดของบล็อกเชนในการปรับเปลี่ยนการทำงานของเอกชน

#### 2.4.6 การเร่งความเร็ว GPU เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของบล็อกเชนในองค์กร

การยกระดับประสิทธิภาพและประสิทธิผลของโครงสร้างพื้นฐานบล็อกเชน ส่งผลให้หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (GPU) มีประโยชน์ในหลากหลายด้านขององค์กรเอกชน (Kuznetsov et al., 2019) ศึกษาประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแฮชเข้ารหัสต่างๆ ที่ทำงานบนหน่วยประมวลผลกราฟิกส์และพบว่าหน่วยประมวลผลกราฟิกส์มีประสิทธิภาพในการคำนวณแฮชแบบขนาน (Parallelizing) ภายในเครือข่ายบล็อกเชน (Pandya, Sanghvi, Patel & Pandya, 2022) กล่าวถึงการใช้หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ในการขุดเหรียญดิจิทัล โดยเน้นย้ำถึงประสิทธิภาพการประมวลผลขั้นสูง (High-Performance Computing Capabilities) และพลังในการประมวลผล (High-Power) ของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์แม้ว่าประโยชน์จะกล่าวถึงการใช้ GPU สำหรับการขุดเหรียญดิจิทัลซ้ำสองครั้ง แต่สาระสำคัญคือ บทความวิจัยชิ้นนี้ชี้ให้เห็นว่าหน่วยประมวลผลกราฟิกส์มีประโยชน์ในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน (Drakopoulos et al., 2020) กล่าวถึงการใช้หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ในการเร่งความเร็วของบล็อกเชนในแอปพลิเคชันด้านสุขภาพบนอุปกรณ์เคลื่อนที่เนื่องจากงานด้านการเข้ารหัสและการยืนยันข้อมูลนั้นมีความซับซ้อน (Alkaeed, Alamro, Al-Ali, Al-Mohammed & Khan, 2020) กล่าวถึงข้อดีของการใช้ร่วมกันระหว่างหน่วยประมวลผลกลางและหน่วยประมวลผลกราฟิกส์สำหรับการขุดเหรียญดิจิทัล โดยชี้ให้เห็นจุดเด่นของทั้งสองอุปกรณ์ ดังนี้หน่วยประมวลผลกลางมีจุดเด่นที่ความแข็งแกร่ง (Strength) ส่วนหน่วยประมวลผลกราฟิกส์มีจุดเด่นที่ความเร็ว (Speed) โดยทั้งหน่วยประมวลผลกลางและหน่วยประมวลผลกราฟิกส์มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการขุดเหรียญดิจิทัลและการได้รับรางวัล งานวิจัยก่อนหน้านี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้หน่วยประมวลผลกราฟิกส์สำหรับโครงสร้างพื้นฐานบล็อกเชนในองค์กรเอกชน สามารถสร้างประโยชน์ได้ (Krishnaswamy, 2020) กล่าวถึงศักยภาพของเทคโนโลยีบล็อกเชนที่ตั้งอยู่ที่ขอบของเครือข่าย 5G และเสนอโมเดลประสิทธิภาพสำหรับแพลตฟอร์มบล็อกเชนแบบอนุญาติส่วนตัว ผลการวิจัยเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้หน่วย

ประมวลผลกราฟิกส์สามารถยกระดับประสิทธิภาพและประสิทธิผลของโครงสร้างพื้นฐานบล็อกเชนในองค์กรเอกชนได้

การนำเทคโนโลยีบล็อกเชนมาผสานใช้งานนั้น ย่อมส่งผลกระทบต่อประเด็นที่ต้องพัฒนาปรับปรุงหลายด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของการบูรณาการเข้ากับเทคโนโลยีอื่นๆ ที่ทันสมัย เช่น หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (GPU) กลไกฉันทามติ (Consensus Mechanisms) เช่น Proof of Work (PoW) Proof of Stake (PoS) Proof of Authority (PoA) ความยั่งยืน (Sustainability) และโครงสร้างพื้นฐานบล็อกเชน (Blockchain Frameworks) ซึ่งความสัมพันธ์เหล่านี้สามารถนำไปใช้ศึกษาจุดเชื่อมโยง (Intersections) และแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพ (Optimization) ของการนำเทคโนโลยีบล็อกเชนไปใช้งานจริง

#### 2.4.7 ความยั่งยืนในการปรับปรุงโครงสร้างของระบบสารสนเทศสำหรับขอบข่ายการทำงานของบล็อกเชน

บล็อกเชนทำหน้าที่เป็นบัญชีแยกประเภทแบบกระจาย (Distributed Ledger) ช่วยให้สามารถใช้งานสัญญาอัจฉริยะ (Smart Contract) ซึ่งเป็นสัญญาที่บังคับใช้เองได้ตามเงื่อนไขที่เขียนไว้ในโค้ดโดยตรง ความยั่งยืนของระบบบล็อกเชน ซึ่งพิจารณาจากการใช้พลังงาน ประสิทธิภาพและความสามารถในการปรับขนาด

ตารางที่ 2.1 ประเด็นสำคัญของโครงสร้างพื้นฐานบล็อกเชนเพื่อความยั่งยืนที่มีประสิทธิภาพ

ประเด็นที่น่าพึงกังวล	ที่มา	วิธีการวิจัย	เทคโนโลยี / ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง
ความสามารถในการปรับขนาดและประสิทธิภาพ	Androulaki et al., 2018; Cachin and Vukolic, 2017	ประเมินประสิทธิภาพและความสามารถในการปรับขนาดของโครงสร้างพื้นฐานบล็อกเชน โดยใช้กลไกฉันทามติที่หลากหลาย	หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (GPU), Proof of Work (PoW), Proof of Stake (PoS) และ Proof of Authority (PoA)
ความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัว	Zhang, 2020	วิเคราะห์อัลกอริทึม ความเป็นส่วนตัว และโปรโตคอลความปลอดภัย การจัดเก็บข้อมูลแบบ Hash Chained และลายเซ็นนิรนามที่ใช้ในระบบบนเทคโนโลยีบล็อกเชน	โครงสร้างพื้นฐานบล็อกเชน, Proof of Work (PoW), Proof of Stake (PoS) และอัลกอริทึมฉันทามติ

ตารางที่ 2.1 ประเด็นสำคัญของโครงสร้างพื้นฐานบล็อกเชนเพื่อความยั่งยืนที่มีประสิทธิภาพ (ต่อ)

ประเด็นที่น่าพึงกังวล	ที่มา	วิธีการวิจัย	เทคโนโลยี/ ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง
การปฏิบัติตามข้อกำหนด	Zohar, 2015	ประเมินความสอดคล้องของโครงสร้างพื้นฐานบล็อกเชนกับมาตรฐานทางกฎหมาย	โครงสร้างพื้นฐานบล็อกเชน
ความสามารถในการทำงานร่วมกัน	Hardjono, Lipton & Pentland, 2020	ตรวจสอบระดับความสามารถในการทำงานร่วมกันระหว่างโครงสร้างพื้นฐานบล็อกเชนที่หลากหลาย	โครงสร้างพื้นฐานบล็อกเชน
ต้นทุนและคาร์บอนฟุตพริ้นท์	Treiblmaier, 2018	วิเคราะห์ต้นทุนบล็อกเชนไปใช้งาน	Proof of Work (PoW), Proof of Stake (PoS) และ Proof of Authority (PoA)
ความง่ายในการพัฒนา	Tapscott and Tapscott, 2016	ประเมินความง่ายในการพัฒนาแอปพลิเคชันบนโครงสร้างพื้นฐานบล็อกเชน	โครงสร้างพื้นฐานบล็อกเชน, Proof of Work (PoW), Proof of Stake (PoS) และ Proof of Authority (PoA)

ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

สัญญาอัจฉริยะ ซึ่งได้รับความนิยมอย่างมากบนแพลตฟอร์มอีเธอริอัม(Ethereum)ช่วยเพิ่มความสามารถในการเขียนโปรแกรมให้กับเครือข่ายบล็อกเชนทำให้มีกรณีการใช้งานที่หลากหลายนอกเหนือจากการทำธุรกรรมสกุลเงินดิจิทัล อย่างไรก็ตาม ข้อกังวลเกี่ยวกับการใช้พลังงานจำนวนมากของแพลตฟอร์มเหล่านี้ นำไปสู่การแสวงหาทางเลือกที่ยั่งยืน ตัวอย่างเช่น การใช้กลไกฉันทามติแบบ Proof of Work (PoW) ของอีเธอริอัมซึ่งคล้ายกับบิตคอยน์ (Bitcoin) ถูกวิพากษ์วิจารณ์ว่าใช้พลังงานจำนวนมาก (Ghosh and Das, 2019; Powell et al., 2021) โดยในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา จุดเชื่อมต่อโยงระหว่างกรอบงานบล็อกเชนและสัญญาอัจฉริยะ เป็นที่สนใจอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของความยั่งยืนของโครงสร้างพื้นฐานระบบสารสนเทศ เบื้องหลัง งานวิจัยจำนวนมากที่มุ่งเน้นการปรับแต่งหน่วยประมวลผลกราฟิกส์สำหรับกลไกฉันทามติแบบ PoW ได้เน้นย้ำถึงความเร่งด่วนในการลดความต้องการพลังงานสำหรับการขุดสกุลเงินดิจิทัล (Powel,

Shaikh & Dash, 2023) ซึ่งรวมถึงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพฮาร์ดแวร์หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ และการปรับแต่งอัลกอริธึมการขุด เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวนมากที่จำเป็นสำหรับงาน PoW (Iliakis et al., 2022; Wang, 2019) ศึกษาการกำหนดค่าหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ที่ประหยัดพลังงานซึ่งสามารถรักษาประสิทธิภาพที่จำเป็นสำหรับแอปพลิเคชันบล็อกเชน รวมถึงสัญญาอัจฉริยะ และวิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงานของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ในการขุดบล็อกเชน ซึ่งเผยให้เห็นโอกาสในการประหยัดพลังงานผ่านการควบคุมสถานะการทำงานของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์แบบปรับตัว (Adaptive Control) ผลการวิจัยเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าการปรับความถี่ของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์แบบไดนามิก (Dynamically Adjusting) สามารถนำไปสู่การประหยัดพลังงานได้อย่างมาก โดยส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการขุดเพียงเล็กน้อย

นอกจากนี้งานวิจัยยังศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานกับผลกำไรในการขุด ซึ่งเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญ งานวิจัยโดย (Pathirana, Halgamuge & Syed, 2020) แสดงให้เห็นว่าการปรับแต่งค่าการตั้งค่าหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ เพื่อประหยัดพลังงานสามารถเพิ่มผลกำไรให้กับผู้ขุดได้สูงสุด (Asdadi et al., 2014) เน้นย้ำประโยชน์ของการวิเคราะห์ (Multilinear Regression) เพื่อระบุตัวแปรที่มีผลกระทบมากที่สุดช่วยให้กระบวนการปรับแต่งมีประสิทธิภาพ (Ju et al., 2022) ได้แนะนำอัลกอริทึมแบบขนานสำหรับการขุดข้อมูล โปรไฟล์เมตริกซ์หลายมิติบนหน่วยประมวลผลกราฟิกส์หลายตัว โดยใช้โหมคความแม่นยำที่ลดลงเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ (Ronkin, Akimova, & Misilov, 2024) ใช้การวิเคราะห์การถดถอยขั้นสูงและเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายการกำหนดค่าหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ที่เหมาะสม เพื่อให้สมดุลระหว่างผลผลิตการขุดและพลังงานที่ใช้ ประสิทธิภาพของโมเดลการทำนาย (Predictive Models) มักขึ้นอยู่กับปริมาณข้อมูลที่รวดเร็วและผลลัพธ์ที่แม่นยำ ซึ่งทรัพยากรเหล่านี้อาจไม่พร้อมใช้งานเสมอสิ่งนี้ยิ่งย้ำถึงความสำคัญในการใช้พลังงานประมวลผลอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อประมวลผลภาพความละเอียดสูงและชุดข้อมูลขนาดใหญ่ งานวิจัยหลายชิ้นได้ร่วมกันกล่าวถึงการปรับแต่งการขุดด้วยหน่วยประมวลผลกราฟิกส์โดยใช้เทคนิคการโอเวอร์คล็อก (Overclocking) และอันเดอร์โวลท์ (Undervolting) (Shuaib et al., 2022) เน้นย้ำถึงประโยชน์ของการใช้หน่วยประมวลผลกราฟิกส์สำหรับการขุดสกุลเงินดิจิทัล และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการโอเวอร์คล็อกและอันเดอร์โวลท์ในการปรับแต่งหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (Zamani, Tripathy, Bhuyan & Chen, 2020) มุ่งเน้นไปที่การประมวลผลด้วยหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ที่ประหยัดพลังงาน และนำเสนอโครงสร้าง SAOU ที่ช่วยลดการใช้พลังงานผ่านการโอเวอร์คล็อกและอันเดอร์โวลท์อย่างปลอดภัยโดยไม่ลดทอนประสิทธิภาพ

ดังนั้นความยั่งยืนของโครงสร้างพื้นฐานระบบสารสนเทศสำหรับกรอบงานบล็อกเชนและสัญญาอัจฉริยะ จึงเป็นหัวข้อวิจัยที่ยังคงพัฒนาอย่างต่อเนื่อง งานวิจัยต่างๆ มุ่งเน้นไปที่การปรับปรุง

กลไกฉันทามติ เพิ่มความสามารถในการปรับขนาด และปรับแต่งการออกแบบสัญญาอัจฉริยะ เพื่อให้มั่นใจว่าระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปลอดภัย และยั่งยืน การปรับแต่งโครงสร้างพื้นฐานระบบสารสนเทศสำหรับกรอบงานบล็อกเชนและสัญญาอัจฉริยะ จึงเป็นแนวทางที่สำคัญในการนำไปสู่โซลูชันที่ยั่งยืน งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบกรอบ โครงร่างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้นสำหรับประเมินประสิทธิภาพและพลังงาน หลังจากนั้นทำการออกแบบ โครงร่างกรอบแนวคิดการบริการการท่องเที่ยวโดยใช้ต้นแบบ โครงร่างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้นและ พัฒนาต้นแบบการบริการการท่องเที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนบนเครือข่ายอีเธอเรียมอีกทั้งยัง ประเมินปัจจัยต่างๆ ของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์สำหรับการกำหนดค่า โดยอาศัยการวิเคราะห์เชิงคำนวณและหลักฐานเชิงประจักษ์ ซึ่งจะช่วยส่งเสริมการพัฒนาของระบบบล็อกเชนที่ผสมผสาน ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีเข้ากับความรู้ที่ครอบคลุมต่อสิ่งแวดล้อม

#### 2.4.8 ความยั่งยืนของเมตริกการใช้พลังงาน

การทำความเข้าใจการใช้พลังงานที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีบล็อกเชนนั้นต้องอาศัยการวิเคราะห์เชิงลึกโดยใช้เมตริกเฉพาะทางที่สามารถอธิบายรายละเอียดของการใช้พลังงานได้ เมตริกการใช้พลังงานเป็นตัวชี้วัดสำคัญในการประเมินความยั่งยืนของสถาปัตยกรรมระบบสารสนเทศ (IS) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโครงสร้างของบล็อกเชนและสมาร์ตคอนแทร็ก มีการนำเสนอเมตริกต่างๆ เพื่อประเมินการใช้พลังงานในการดำเนินงานของบล็อกเชน โดยหนึ่งในเมตริกสำคัญคือ "พลังงานที่ใช้ต่อธุรกรรม" ซึ่งช่วยให้มองเห็นประสิทธิภาพของเครือข่ายบล็อกเชนได้อย่างละเอียด ผู้เขียนสามารถเปรียบเทียบเครือข่ายและการกำหนดค่าที่ต่างกันได้โดยการประเมินปริมาณพลังงานที่จำเป็นสำหรับการตรวจสอบและเพิ่มธุรกรรมหนึ่งรายการลงในบล็อกเชน ซึ่งรายละเอียดเพิ่มเติมในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เมตริกเกณฑ์การประเมินและสูตรการใช้พลังงานอย่างยั่งยืน

เมตริก	คำอธิบาย	ความสำคัญต่อบล็อกเชน	สูตรคำนวณ	ที่มา
พลังงานต่อธุรกรรม (EPT)	วัดปริมาณพลังงาน (หน่วย: กิโลวัตต์ชั่วโมง) ที่ใช้ในการประมวลผล และตรวจสอบธุรกรรม หนึ่งรายการบนบล็อกเชน	ช่วยวิเคราะห์ ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครือข่าย บล็อกเชนในการจัดการ ธุรกรรม	$EPT = \text{พลังงานที่ใช้ทั้งหมด} / \text{จำนวนธุรกรรมทั้งหมดที่ประมวลผล}$	Mora et al., 2018

ตารางที่ 2.2 เมตริกเกณฑ์การประเมินและสูตรการใช้พลังงานอย่างยั่งยืน (ต่อ)

เมตริก	คำอธิบาย	ความสำคัญต่อบล็อกเชน	สูตรคำนวณ	ที่มา
อัตราแฮชต่อวัตต์ (HPW)	วัดจำนวนแฮชที่คำนวณได้ต่อวัตต์ของพลังงานที่ใช้	บ่งบอกประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ลดลงในการคำนวณทางเข้ารหัสสำหรับการตรวจสอบบล็อกเชน	HPW = จำนวนแฮชทั้งหมดที่คำนวณได้ / พลังงานทั้งหมดที่ใช้	Stoll, Klaufßen & Gellersdörfer, 2019
ลายพิมพ์พลังงานของสมาร์ตคอนแทร็กต์ (EFSC)	ประมาณการพลังงานที่ใช้โดยการรันสมาร์ตคอนแทร็กต์บนเครือข่ายบล็อกเชน	ช่วยให้เข้าใจผลกระทบด้านพลังงานของการใช้สมาร์ตคอนแทร็กต์	EFSC = พลังงานที่ใช้โดยสมาร์ตคอนแทร็กต์ / จำนวนการรันทั้งหมด	Masanet et al., 2018
ต้นทุนพลังงานต่อเหรียญ (ECC)	แสดงต้นทุนพลังงาน (หน่วย: กิโลวัตต์ชั่วโมง) ที่ใช้ในการขุดสกุลเงินดิจิทัลหนึ่งหน่วย	ช่วยประเมินความยั่งยืนของกระบวนการขุดสกุลเงินดิจิทัล	ECC = พลังงานที่ใช้ทั้งหมด / จำนวนเหรียญทั้งหมดที่ขุดได้	Köhler and Pizzol., 2019
ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (PUE)	อัตราส่วนของพลังงานทั้งหมดที่ศูนย์ข้อมูลใช้ต่อพลังงานที่อุปกรณ์ไอทีภายในศูนย์ข้อมูลใช้	บ่งบอกประสิทธิภาพของศูนย์ข้อมูลที่ใช้สำหรับการดำเนินงานบล็อกเชน	PUE = พลังงานทั้งหมดของศูนย์ข้อมูล / พลังงานของอุปกรณ์ไอที	Ender, 2019
ประสิทธิภาพโครงสร้างพื้นฐานของศูนย์ข้อมูล (DCiE)	เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่อุปกรณ์ไอทีใช้ เมื่อเทียบกับพลังงานทั้งหมดที่ศูนย์ข้อมูลใช้	ประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโครงสร้างพื้นฐานศูนย์ข้อมูล	DCiE = (พลังงานของอุปกรณ์ไอที / พลังงานทั้งหมดของศูนย์ข้อมูล) × 100%	Masanet, Shehabi, Lei, Smith & Koomey, 2020

ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

อีกหนึ่งเมตริกที่สำคัญคือ "ต้นทุนพลังงานต่อสกุลเงินดิจิทัลที่ขุดได้" ซึ่งมักจะแสดงเป็น กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อเหรียญ (kWh/coin) เมตริกนี้ช่วยชี้แจงความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างกระบวนการขุดกับการใช้พลังงาน ช่วยให้ประเมินความยั่งยืนของฮาร์ดแวร์และอัลกอริทึมการขุดที่แตกต่างกันนอกจากนี้ ยังมีเมตริกเพิ่มเติม เช่น ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Power Usage Effectiveness: PUE) และประสิทธิภาพโครงสร้างพื้นฐานของศูนย์ข้อมูล (Data Center Infrastructure Efficiency: DCiE) ซึ่งจะขยายการวิเคราะห์ไปยังระดับโครงสร้างพื้นฐาน เมตริกเหล่านี้ช่วยให้สามารถตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของทั้งศูนย์ข้อมูลหรือสถานที่ขุด

ทั้งหมดรวมถึงองค์ประกอบการคำนวณ ระบบระบายความร้อน และส่วนประกอบเสริมอื่นๆ มุ่งนำเสนอภาพรวมของภูมิทัศน์การใช้พลังงานในการดำเนินงานของบล็อกเชน

#### 2.4.9 คะแนนประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Efficiency Score: EES)

คะแนนประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Efficiency Score: EES) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่ผู้วิจัยได้ออกแบบมาเพื่อประเมินความสมดุลระหว่างประสิทธิภาพการทำงานของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ และปริมาณพลังงานที่ใช้ คะแนน EES คำนวณโดยสมการ ดังนี้

$$EES = (\text{อัตราแฮช} / \text{ปริมาณพลังงานที่ใช้}) \times \sum (\text{น้ำหนักเกณฑ์} \times \text{คะแนนเกณฑ์ที่ปรับมาตรฐาน}) \quad (2-1)$$

อัตราแฮช (Hash Rate) คือ ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการขุดของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ ปริมาณพลังงานที่ใช้ (Power Consumption) คือ ปริมาณไฟฟ้าที่หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ใช้ขณะขุดเหรียญ

น้ำหนักเกณฑ์ (Criterion Weight) คือ ค่าความสำคัญที่กำหนดให้กับเกณฑ์ต่างๆ ขึ้นอยู่กับเป้าหมายขององค์กร เช่น ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ความคุ้มค่า หรือผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

คะแนนเกณฑ์ที่ปรับมาตรฐาน (Normalized Criterion Score) คือ คะแนนที่ได้จากแต่ละเกณฑ์นำมาปรับเป็นค่าระหว่าง 0 ถึง 1 เพื่อเปรียบเทียบกันได้ง่าย ตัวอย่างเช่น อาจให้ความสำคัญกับประสิทธิภาพการใช้พลังงานเป็นอันดับแรก รองลงมาอาจเป็นความคุ้มค่า หรือผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

### 2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA)

Fisher (1918) ได้พัฒนาแนวคิดและวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน หรือที่เรียกว่า Analysis of Variance; ANOVA การวิเคราะห์ความแปรปรวน เป็นเครื่องมือทางสถิติเพื่อดูว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หลักการพื้นฐานของ ANOVA ใช้ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่างๆ โดยการเปรียบเทียบความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between-group Variance) กับความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within-group Variance) ถ้าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับความแปรปรวนภายในกลุ่มก็มีแนวโน้มว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มนั้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ขั้นตอนการวิเคราะห์ มีดังนี้

#### 2.5.1 กำหนดสมมติฐาน

สมมติฐานศูนย์ (H0) : ค่าเฉลี่ยของทุกกลุ่มเท่ากัน

สมมติฐานทางเลือก (H1) : มีอย่างน้อยหนึ่งคู่ของค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกัน

### 2.5.2 คำนวณความแปรปรวน

การวัดความแปรปรวนทั้งหมดในข้อมูล (Total Sum of Squares; SST)

$$SST = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2 \quad (2-2)$$

เมื่อ  $x_{ij}$  = ค่าข้อมูลที่สังเกตในกลุ่มที่  $i$  และตัวอย่างที่  $j$   
 $\bar{x}_{..}$  = ค่าเฉลี่ยรวมของข้อมูลทั้งหมด

การวัดความแปรปรวนที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างกลุ่ม (Between-Group Sum of Squares; SSB)

$$SSB = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x}_{..})^2 \quad (2-3)$$

เมื่อ  $n_i$  = จำนวนตัวอย่างในกลุ่มที่  $i$   
 $\bar{x}_i$  = ค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่  $i$

การวัดความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within-Group Sum of Squares; SSW)

$$SSW = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad (2-4)$$

เมื่อ  $n_i$  = จำนวนตัวอย่างในกลุ่มที่  $i$   
 $\bar{x}_i$  = ค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่  $i$

### 2.5.3 คำนวณค่าเฉลี่ยของความแปรปรวน (Mean Squares)

ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มเฉลี่ย (Mean Square Between; MSB)

$$MMS = \frac{SSB}{k-1} \quad (2-5)$$

เมื่อ  $k$  = จำนวนกลุ่ม

ความแปรปรวนภายในกลุ่มเฉลี่ย (Mean Square Within; MSW)

$$MSW = \frac{SSW}{N-k} \quad (2-6)$$

เมื่อ  $N$  = จำนวนตัวอย่างทั้งหมด  
 $k$  = จำนวนกลุ่ม

#### 2.5.4 คำนวณค่า F-statistic

ค่า F-statistic เป็นอัตราส่วนของ MSB ต่อ MSW ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

$$F = \frac{MSB}{MSW} \quad (2-7)$$

เมื่อ MSB = ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม  
 MSW = ความแปรปรวนภายในกลุ่ม



## บทที่ 3

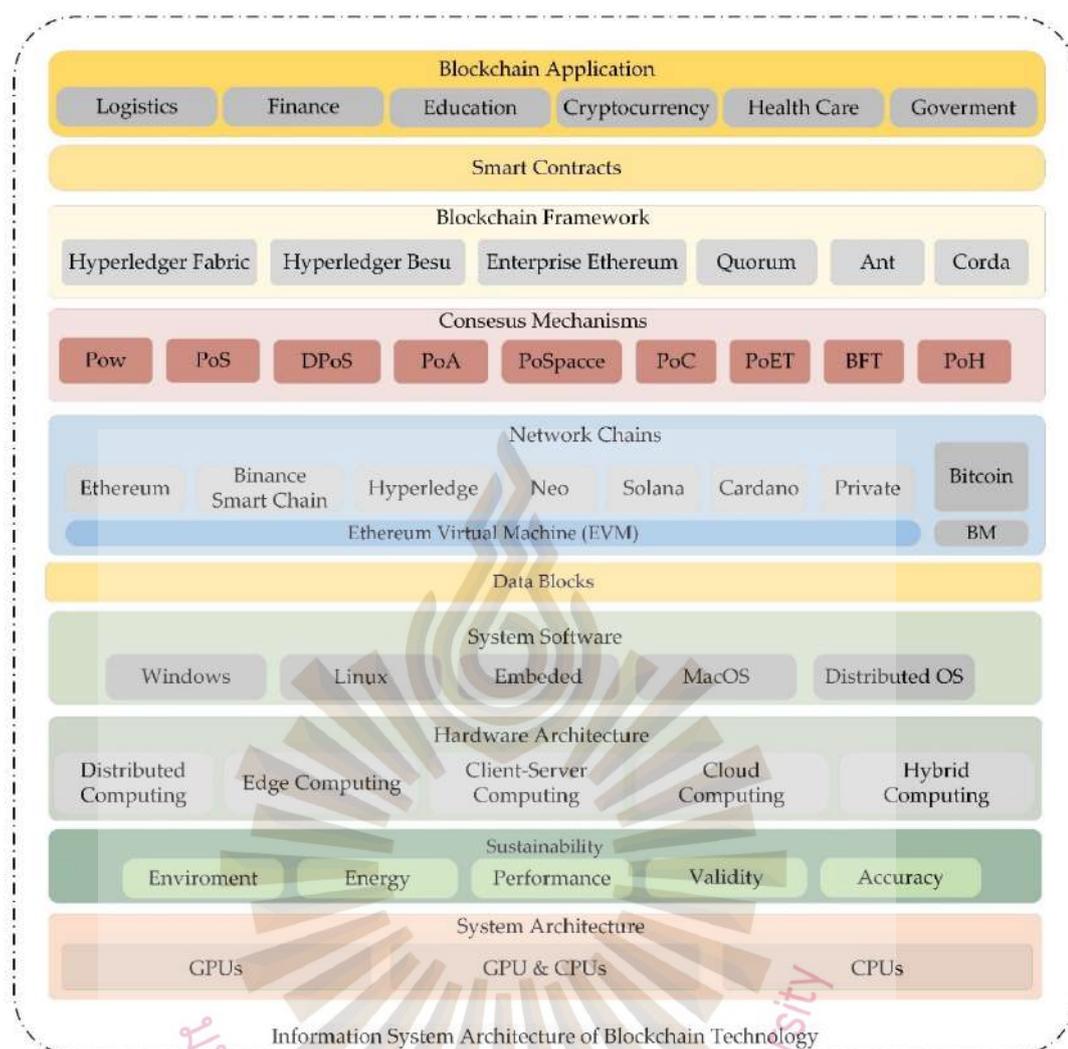
### ระเบียบวิธีการวิจัย

การวิจัยเรื่อง โครงร่างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้นสำหรับการประเมินประสิทธิภาพ และพลังงาน: การพัฒนาการบริการการท่องเที่ยว ใช้วิธีการแบบองค์รวม (Holistic Research Approach) ซึ่งผสมผสานการศึกษาเชิงทฤษฎี (Theoretical Inquiry) เข้ากับการตรวจสอบเชิงประจักษ์ (Empirical Scrutiny) กระบวนการวิจัยเริ่มต้นด้วยเริ่มจากการทบทวนปัญหา (Review Problem) การทบทวนวรรณกรรมเอกสารที่เกี่ยวข้องอย่างละเอียด ออกแบบโครงร่างกรอบแนวคิด บล็อกเชนหลายชั้นสำหรับการประเมินประสิทธิภาพและพลังงาน (Information System Architecture of Blockchain Technology) ออกแบบโครงร่างกรอบแนวคิดการบริการการท่องเที่ยว โดยใช้ต้นแบบโครงร่างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้น พัฒนาระบบต้นแบบการบริการการท่องเที่ยว วิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานระบบสารสนเทศของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ อย่างละเอียด ศึกษาลักษณะต่างๆ ของสถาปัตยกรรมหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ และผลกระทบต่อ ประสิทธิภาพการประมวลผลของบล็อกเชน เพื่อวางฐานสำหรับการระบุแนวทางในการปรับปรุง ประสิทธิภาพ การศึกษาและทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพด้านพลังงานภายในระบบ บล็อกเชน โดยการวิเคราะห์งานวิจัยที่มีอยู่และแนวทางปฏิบัติที่แพร่หลายช่วยให้แน่ใจว่างานวิจัยนี้ สอดคล้องกับองค์ความรู้ปัจจุบัน

#### 3.1 สถาปัตยกรรมระบบสารสนเทศสำหรับเทคโนโลยีบล็อกเชน

สถาปัตยกรรมระบบสารสนเทศของเทคโนโลยีบล็อกเชนรองรับการออกแบบเป็นเลเยอร์ (Layered Design) ที่เกี่ยวข้องกับ แอปพลิเคชัน เฟรมเวิร์ค อัลกอริทึม เครือข่าย ข้อมูล ซอฟต์แวร์ ระบบ ฮาร์ดแวร์ และประเด็นด้านความยั่งยืน แอปพลิเคชันบล็อกเชนมีการใช้งานที่หลากหลาย ครอบคลุมด้าน โลจิสติกส์ การเงิน การศึกษา สกุลเงินดิจิทัล สาธารณสุข และภาครัฐ ตัวอย่างที่เด่นชัดคือ สัญญาอัจฉริยะ (Smart Contract) ซึ่งเป็นสัญญาที่จัดเก็บไว้บนบล็อกเชนและสามารถ ดำเนินการเองโดยอัตโนมัติโดยไม่ต้องมีตัวแทนกลางช่วยแสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นของบล็อกเชนที่ไม่ได้จำกัดแค่การใช้งานเป็นสกุลเงิน เฟรมเวิร์คบล็อกเชน ตัวอย่างเช่น Hyperledger Fabric,

Hyperledger Besu, Enterprise Ethereum, Quorum, Ant และ Corda มีหน้าที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการสร้างโซลูชันบล็อกเชนโดยเฟรมเวิร์กเหล่านี้รองรับกลไกฉันทามติที่หลากหลาย เช่น Proof of Work (PoW), Proof of Stake (PoS), Delegated Proof of Stake (DPoS), Proof of Authority (PoA) และอื่นๆ ซึ่งแต่ละกลไกมีจุดเด่นเฉพาะตัวเพื่อตอบสนองความท้าทายด้านความปลอดภัยและการบริหารเครือข่าย เครือข่ายบล็อกเชน ตัวอย่างเช่น Ethereum, Binance Smart Chain ฯลฯ บางเครือข่ายสามารถทำงานร่วมกับ Ethereum Virtual Machine (EVM) ซึ่งช่วยให้เกิดการดำเนินงานร่วมกัน (Interoperability) และการติดตั้งสัญญาอัจฉริยะได้ง่ายขึ้น ข้อมูลภายในบล็อกเชนเหล่านี้ถูกจัดเก็บเป็นบล็อก ซึ่งสามารถทำงานบนระบบซอฟต์แวร์ที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็น Windows, Linux หรือระบบปฏิบัติการแบบกระจาย (Distributed Operating System) หลอมรวมและทำงานร่วมกับระบบเทคโนโลยีต่างๆ ได้อย่างราบรื่น ฮาร์ดแวร์ สถาปัตยกรรมบล็อกเชนยังขยายไปสู่การประมวลผลแบบกระจาย (Distributed Computing) และแนวคิดใหม่ที่เรียกว่า เอเดจคอมพิวติ้ง (Edge Computing) ซึ่งเป็นการนำการประมวลผลและการจัดเก็บข้อมูลไปใกล้กับแหล่งที่มาของข้อมูลมากขึ้น การประมวลผลแบบกระจายมีความแตกต่างจากระบบแบบ Client-Server ทั่วไป และยังมีการเสริมประสิทธิภาพด้วยระบบคลาวด์และระบบคอมพิวติ้งแบบผสม (Hybrid Computing) ที่ให้ทรัพยากรและบริการที่ปรับขนาดได้ผ่านอินเทอร์เน็ต การนำหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (GPU) มาผสานเข้ากับสถาปัตยกรรมระบบสารสนเทศของบล็อกเชน ถือเป็นความก้าวหน้าที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบบล็อกเชนแบบ Proof of Work (PoW) เนื่องจากหน่วยประมวลผลกราฟิกส์มีความสามารถในการประมวลผลแบบขนาน (Parallel Processing) ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการคำนวณของบล็อกเชนช่วยเร่งการตรวจสอบธุรกรรม และกระบวนการฉันทามติ นอกจากนี้หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ยังมีศักยภาพในการลดใช้พลังงาน ซึ่งเป็นประเด็นด้านความยั่งยืนที่สำคัญในการดำเนินงานบล็อกเชน การเปรียบเทียบหน่วยประมวลผลกราฟิกส์กับหน่วยประมวลผลกลางภายในสถาปัตยกรรมระบบ เน้นย้ำไปที่การรักษาสมดุลระหว่างการใช้พลังงานกับพลังประมวลผลสิ่งนี้สะท้อนถึงความสำคัญของการคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมในระบบดิจิทัลที่กำลังเติบโตอย่างรวดเร็วตามที่เทคโนโลยีบล็อกเชนมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง บทบาทของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ในสถาปัตยกรรมเหล่านี้ก็ยิ่งมีความสำคัญมากขึ้น สิ่งนี้เน้นย้ำถึงความจำเป็นในการพัฒนาฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์อย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองความต้องการระบบบล็อกเชนที่ยั่งยืน ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 สถาปัตยกรรมระบบสารสนเทศสำหรับเทคโนโลยีบล็อกเชน

ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

เทคโนโลยีบล็อกเชนรองรับสถาปัตยกรรมแบบเลเยอร์ (Layered Architecture) การพัฒนากรอบการทำงานบล็อกเชนแบบเลเยอร์นำเสนอประโยชน์ (Benefits) มากมายความสามารถในการปรับขนาด (Scalability) ได้ การปรับปรุงโดยการแยกเลเยอร์ที่แตกต่างกันสำหรับฟังก์ชันต่างๆ ในแต่ละเลเยอร์ส่งผลให้ประสิทธิภาพการประมวลผล (Processing Efficiency) ที่เพิ่มขึ้นและการอัปเกรด (Upgrades) ที่ง่ายขึ้น ความสามารถในการปรับตัว (Adaptability) ทำให้เป็นทางเลือกที่พึงประสงค์สำหรับการนำเทคโนโลยีบล็อกเชนไปใช้ เนื่องจากแต่ละเลเยอร์สามารถตรวจสอบและรักษาความปลอดภัยได้อย่างอิสระ วิธีการแบบเลเยอร์ยังช่วยปรับปรุงความปลอดภัย โดยลดโอกาสของช่องโหว่ (Vulnerability) ทั่วทั้งระบบ ความเข้ากันได้ (Compatibility) การออกแบบเลเยอร์ส่งเสริมความเข้ากันได้ ระบบบล็อกเชนและเครือข่ายที่หลากหลายช่วยเพิ่มการเชื่อมต่อ

(Connectivity) และสนับสนุนการแลกเปลี่ยนข้อมูล (Data Exchange) การรองรับแอปพลิเคชันและบริการ (Support for Applications and Services) ยิ่งไปกว่านั้นความสามารถของเฟรมเวิร์กแบบเลเยอร์รองรับแอปพลิเคชันและบริการที่หลากหลายยังช่วยเพิ่มความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับความต้องการทางธุรกิจ (Business Requirements) และการพัฒนา(Technological Developments) ที่ปรับเปลี่ยนไป

การตั้งค่าสถาปัตยกรรมระบบสารสนเทศของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์สำหรับประสิทธิภาพด้านพลังงานในการขุดบล็อกเชน ความสำคัญของเรื่องนี้ไม่อาจมองข้ามเนื่องจากเทคโนโลยีบล็อกเชนกำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในหลายอุตสาหกรรม และกระบวนการเหล่านี้มักใช้พลังงานจำนวนมาก ดังนั้นผลการวิจัยนี้จึงมีความเกี่ยวข้องอย่างยิ่งงานวิจัยนี้มุ่งหวังที่จะผลักดันให้การดำเนินงานด้านบล็อกเชนมีความยั่งยืนยิ่งขึ้น โดยการค้นหากลยุทธ์การผสมผสานระหว่างหน่วยประมวลผลกราฟิกส์และซอฟต์แวร์สำหรับการขุดที่เหมาะสมที่สุด การทดลองมีส่วนสำคัญในการผลักดันให้อุตสาหกรรมบล็อกเชนหันไปใช้วิธีปฏิบัติที่ยั่งยืนยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้ นอกจากออกแบบโครงสร้างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้นสำหรับการประเมินประสิทธิภาพและพลังงาน และออกแบบโครงสร้างกรอบแนวคิดการบริการการท่องเที่ยวโดยใช้ต้นแบบโครงสร้างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้น และพัฒนาระบบต้นแบบการบริการการท่องเที่ยว มุ่งเน้นไปที่การประเมินประสิทธิภาพของการผสมผสานระหว่างหน่วยประมวลผลกราฟิกส์และซอฟต์แวร์ต่างๆ เพื่อค้นหาชุดค่าการกำหนด (Configuration) ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด และงานวิจัยนี้ยังมีเป้าหมายที่จะสร้างคลังข้อมูล (Data Repository) ที่จะประโยชน์ต่อผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders) ในการตัดสินใจเลือกซื้อหน่วยประมวลผลกราฟิกส์และซอฟต์แวร์สำหรับการขุดบล็อกเชนอย่างชาญฉลาด

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติบล็อกเชนเฟรมเวิร์กระหว่าง Enterprise Ethereum และ Hyperledger Fabric

คุณสมบัติ	Enterprise Ethereum	Hyperledger Fabric
การอนุญาตเข้าถึง	ส่วนใหญ่เป็น Public Blockchain แต่สามารถสร้าง Private/Consortium Network ได้	Private Blockchain ที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในองค์กรและเครือข่ายที่มีการอนุญาตเข้าถึง
กลไกฉันทามติ	Proof of Work (PoW) หรือ Proof of Stake (PoS)	Modular Consensus (สามารถเลือกได้ เช่น Raft, Kafka และ PBFT) ที่สามารถปรับแต่งได้ตามต้องการ

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติบล็อกเชนเฟรมเวิร์กระหว่าง Enterprise Ethereum และ Hyperledger Fabric (ต่อ)

คุณสมบัติ	Enterprise Ethereum	Hyperledger Fabric
สถาปัตยกรรม	ใช้ EVM (Ethereum Virtual Machine) เพื่อใช้สัญญาอัจฉริยะ (Smart Contracts)	Modular architecture ที่สามารถปรับแต่งและเพิ่มโมดูลต่าง ๆ ได้ เช่น Consensus, Membership Services และ Ledger Storage
ภาษาสำหรับสัญญาอัจฉริยะ	ใช้ Solidity เป็นภาษาหลักสำหรับการพัฒนาสัญญาอัจฉริยะ	ใช้ Go, Java และ Node.js สำหรับการพัฒนาสัญญาอัจฉริยะ (Chaincode)
การจัดการข้อมูล	ข้อมูลทั้งหมดบน Ethereum เป็น Public โดยค่าเริ่มต้น แต่สามารถมี Privacy Enhancements	รองรับการแบ่งข้อมูลเป็นช่อง (Channels) ที่แต่ละช่องมีความเป็นส่วนตัวและการควบคุมการเข้าถึงที่แยกกัน
ความสามารถในการปรับขนาด	สามารถใช้ Layer 2 Solutions เช่น Plasma, Rollups	ออกแบบมาเพื่อรองรับการปรับขนาดได้ดีผ่านการใช้ Channels และ Modular Components
การกำกับดูแล	การกำกับดูแลแบบกระจายศูนย์ผ่านกลไกของการกำกับดูแลของ Consortium Network	การกำกับดูแลภายในองค์กรหรือ Consortium ที่ใช้งาน Hyperledger Fabric
การใช้งานและการนำไปใช้	เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการการกระจายศูนย์และการโปร่งใส เช่น DeFi, Supply Chain	เหมาะสำหรับการใช้งานในองค์กรที่ต้องการความเป็นส่วนตัว และการควบคุม เช่น Supply Chain, Healthcare, Finance

ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

จากตารางที่ 3.1 ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติบล็อกเชนเฟรมเวิร์กระหว่าง Enterprise Ethereum และ Hyperledger Fabric ซึ่ง Enterprise Ethereum มีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานที่ต้องการการกระจายศูนย์และการโปร่งใส ส่วน Hyperledger Fabric เหมาะสำหรับการใช้งานในองค์กรที่ต้องการความเป็นส่วนตัว และการเข้าถึงที่เฉพาะกลุ่มที่มีการอนุญาตสิทธิ์

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติกลไกฉันทามติระหว่าง PoW และ PoS

คุณสมบัติ	Proof of Work (PoW)	Proof of Stake (PoS)
กลไก	แข่งขันกันแก้โจทย์ทางคณิตศาสตร์ที่ยาก เพื่อรับสิทธิ์ในการตรวจสอบธุรกรรม	วางเงินเดิมพัน (stake) ในระบบ เพื่อรับสิทธิ์ในการตรวจสอบธุรกรรม
การใช้พลังงาน	ใช้พลังงานไฟฟ้ามาก	ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อย
ความเร็วในการทำธุรกรรม	ช้ากว่า PoS	เร็วกว่า PoW
ค่าธรรมเนียมธุรกรรม	ขึ้นอยู่กับราคาของ cryptocurrency และความหนาแน่นของธุรกรรม	ขึ้นอยู่กับกลไกการ staking และการออกแบบระบบ
การกระจายอำนาจ	การกระจายอำนาจขึ้นอยู่กับฮาร์ดแวร์การขุด	การกระจายอำนาจขึ้นอยู่กับจำนวนเหรียญที่ staked และการออกแบบระบบ
ความยั่งยืน	ไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
การพัฒนา	พัฒนาอย่างต่อเนื่อง	พัฒนาอย่างต่อเนื่อง
ตัวอย่างการใช้งาน	Bitcoin และ Ethereum (ก่อนเปลี่ยนเป็น PoS)	Cardano และ Polkadot

ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

จากตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติ PoW เหมาะสำหรับระบบที่ต้องการความปลอดภัยสูง แต่ใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวนมาก ส่วน PoS เหมาะสำหรับระบบที่ต้องการความเร็วในการทำธุรกรรม ประหยัดพลังงานเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแต่มีความเสี่ยงด้านการรวมศูนย์ ซึ่งขึ้นอยู่กับกลไกการ staking และการออกแบบระบบ

ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติเครือข่ายบล็อกเชนระหว่าง Ethereum และ Hyperledger

คุณสมบัติ	Ethereum	Hyperledger
ประเภท	สาธารณะ	ส่วนตัว
การอนุญาต	ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึง และใช้เครือข่ายได้ทุกคน	จำกัดเฉพาะผู้ได้รับอนุญาต

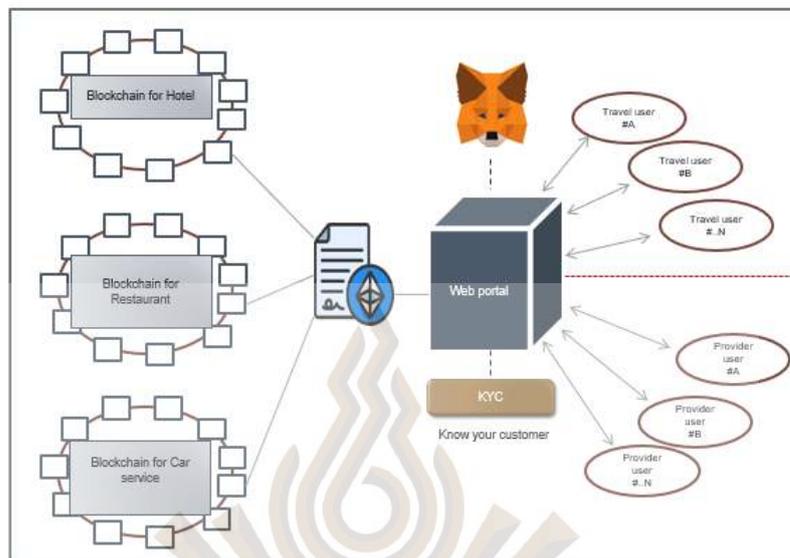
ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติเครือข่ายบล็อกเชนระหว่าง Ethereum และ Hyperledger (ต่อ)

คุณสมบัติ	Ethereum	Hyperledger
สถาปัตยกรรม	ใช้ EVM (Ethereum Virtual Machine)	Modular architecture ปรับแต่งได้
ภาษาสำหรับ สัญญาอัจฉริยะ	Solidity	Go, Java และ Node.js
กลไกฉันทามติ	Proof of Work (PoW) หรือ Proof of Stake (PoS)	Modular Consensus เช่น Raft, Kafka และ PBFT
การจัดการข้อมูล	ข้อมูลทั้งหมดบนอีเธอร์ียมเป็นสาธารณะ	รองรับการแบ่งข้อมูลเป็นช่อง ที่แต่ละช่องมีความเป็นส่วนตัวและการควบคุมการเข้าถึงที่แยกกัน
การกำกับดูแล	การกำกับดูแลแบบกระจายศูนย์ผ่านกลไกของ Ethereum Mainnet หรือการกำกับดูแลของ Consortium Network	การกำกับดูแลภายในองค์กรหรือ Consortium ที่ใช้งาน Hyperledger Fabric

ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

จากตารางที่ 3.3 บ่งบอกคุณสมบัติเฉพาะของเครือข่ายบล็อกเชน โดยอีเธอร์ียมเหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการการกระจายศูนย์และโปร่งใส มีชุมชนผู้ใช้ที่ใหญ่ รองรับการใช้งานหลากหลาย ส่วน Hyperledger Fabric เหมาะสำหรับการใช้งานในองค์กรที่ต้องการความเป็นส่วนตัวและการควบคุม ปรับแต่งได้ง่าย รองรับการปรับขนาดได้ดีแต่มีชุมชนผู้ใช้เฉพาะกลุ่ม

### 3.2 โครงร่างกรอบแนวคิดระบบต้นแบบการบริการการท่องเที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนบนเครือข่ายอีเธอเรียม



รูปที่ 3.2 โครงร่างกรอบแนวคิดการบริการการท่องเที่ยวโดยใช้ต้นแบบ  
โครงร่างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้น  
ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

จากรูปที่ 3.2 แผนภาพกรอบแนวคิดการบริการการท่องเที่ยวโดยใช้ต้นแบบโครงร่างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้นสำหรับธุรกิจ ระบบนี้ใช้งานบล็อกเชนเพื่อจัดเก็บข้อมูลธุรกรรมโดยมีการดำเนินงาน ดังนี้

Travel User หมายถึง นักท่องเที่ยวที่ใช้บริการ

Provider User หมายถึง ผู้ให้บริการหรือผู้ประกอบการ

Smart Contract หมายถึง ข้อมูลธุรกรรมที่จัดเก็บบนบล็อกเชน  
ขั้นตอนการทำงาน

3.2.1 Web Portal จะทำงานตอบสนองผู้ใช้งานทั้งนักท่องเที่ยวและผู้ประกอบการตามเงื่อนไขของระบบ ตัวอย่างเช่น การลงทะเบียน การจองบริการ การตรวจสอบสัญญา

3.2.2 ผู้ใช้งานใช้งานระบบต้องเชื่อมต่อกับกระเป๋าเงินดิจิทัลในงานวิจัยนี้ใช้แอปพลิเคชันเมตาแมส

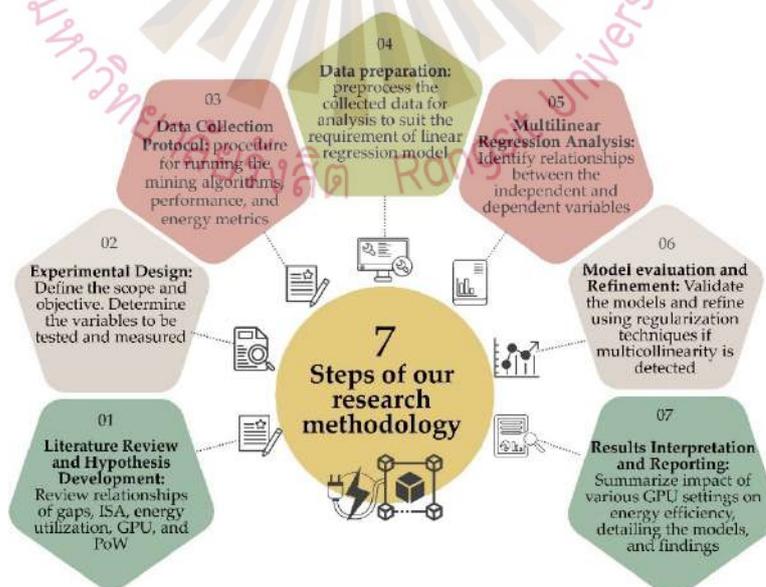
3.2.3 เมื่อผู้ใช้งานดำเนินการสร้างธุรกรรมการขอรับบริการระบบให้จ่ายเงินผ่านกระเป๋าดิจิทัล โดยนักท่องเที่ยวต้องจ่ายเงินค่าบริการกับผู้ประกอบการพร้อมกับจ่ายค่าบริการให้กับเครือข่ายบล็อกเชน (Gas) สถานะของรายการเป็น Pending

3.2.4 เครือข่ายทำการตรวจสอบข้อมูลของธุรกรรมโดยการแก้ไขปัญหาคณิตศาสตร์ (PoW) สำเร็จสถานะของรายการเป็น Approved

### 3.3 ประสิทธิภาพด้านพลังงานของประมวลผลกราฟิกส์

โดยเริ่มต้นด้วยการกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพด้านพลังงาน เพื่อสร้างมาตรฐานสำหรับประเมินอัตราการใช้พลังงานของระบบบล็อกเชนที่ใช้หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ เครื่องมือหลักในการวิเคราะห์ คือการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multilinear Regression Analysis) เทคนิคนี้ช่วยให้สามารถวัดและประเมินความสัมพันธ์ รวมถึงผลสะท้อนของปัจจัยต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการใช้พลังงาน โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างสถาปัตยกรรมหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ กรอบการทำงานของบล็อกเชน และสัญญาอัจฉริยะ เพื่อค้นหาแนวทางเชิงลึกที่จะนำไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีบล็อกเชนที่ยั่งยืนในอนาคต

งานวิจัยจะสรุปแนวทางวิจัยที่สำคัญโดยเน้นย้ำถึงศักยภาพในการปรับแต่งสถาปัตยกรรมหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ เพื่อให้การประมวลผลบล็อกเชนใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ควบคู่ไปกับการทำงานที่ดีที่สุด และส่งเสริมความเข้าใจในการรันเทคโนโลยีบล็อกเชนบนหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ด้วยพลังงานที่คุ้มค่า แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการวิจัยประสิทธิภาพด้านพลังงานของประมวลผลกราฟิกส์

ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

ขั้นตอนการวิจัยประสิทธิภาพด้านพลังงานของประมวลกราฟิกส์ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คือ การศึกษาเอกสารวิจัยที่มีอยู่โดยมุ่งวิเคราะห์งานวิจัยก่อนหน้าเกี่ยวกับประสิทธิภาพด้านพลังงานของประมวลกราฟิกส์ภายในกรอบงานบล็อกเชนซึ่งเป็นการวางรากฐานสำหรับการทดลองเชิงประจักษ์

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการออกแบบการทดลองโดยเน้นที่การเลือกหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ซอฟต์แวร์ สำหรับการบูต และกำหนดตัวแปรที่สำคัญสำหรับการศึกษาเช่นความเร็วของคอร์ (Core Speed) และการใช้พลังงานขั้นตอนนี้มีบทบาทสำคัญในการกำหนดพารามิเตอร์สำหรับการเก็บข้อมูลที่จะนำไปสู่ผลลัพธ์ของงานวิจัย

ขั้นตอนที่ 3 ทำการพัฒนาโปรโตคอลการเก็บข้อมูลที่น่าเชื่อถือมีการสร้างมาตรฐานขั้นตอนปฏิบัติการเพื่อให้แน่ใจว่ามีความสม่ำเสมอตลอดการทดสอบต่างๆ ซึ่งจะช่วยให้สามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ควบคุมได้อย่างน่าเชื่อถือ

ขั้นตอนที่ 4 การเตรียมข้อมูลเป็นขั้นตอนสำคัญข้อมูลที่เก็บรวบรวมมานั้นถูกจัดระเบียบและปรับแต่งล่วงหน้า เพื่อเตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ขั้นตอนนี้นั้นเน้นความถูกต้องของข้อมูล (Data Integrity)

ขั้นตอนที่ 5 การวิเคราะห์ข้อมูลใช้การถดถอยแบบมีหลายตัวแปร (Multilinear Regression Analysis) เครื่องมือทางสถิติที่มีประสิทธิภาพนี้ ช่วยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรที่เลือกไว้ ซึ่งให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างการตั้งค่าหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ และผลกระทบต่อประสิทธิภาพด้านพลังงาน

ขั้นตอนที่ 6 การสร้างและประเมินแบบจำลอง สร้างแบบจำลองโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องฝึกด้วยข้อมูลจำนวนมาก เรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ประเมินแบบจำลองด้วยข้อมูลชุดทดสอบ วัดประสิทธิภาพ ปรับแต่งด้วยเทคนิคการทำให้เรียบ เพื่อลดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ

ขั้นตอนที่ 7 การตีความและรายงานผลลัพธ์ สรุปผลกระทบของการตั้งค่าต่างๆของหน่วยประมวลกราฟิกส์ต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

### 3.4 การรวบรวมข้อมูล

การวิเคราะห์การใช้พลังงานของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (Graphics Processing Unit) ในกระบวนการบล็อกเชน เนื่องจากความสามารถในการประมวลผลคำสั่งแบบขนาน (Parallel

Processing) ได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้หน่วยประมวลผลกราฟิกส์เป็นอุปกรณ์สำคัญสำหรับโครงสร้างพื้นฐานของบล็อกเชน การวิเคราะห์และปรับแต่งสถาปัตยกรรมระบบสารสนเทศของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ให้เหมาะสมกับการรันอัลกอริทึมกลไกพิสูจน์การทำงาน(PoW)อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับการขุดเหรียญ Ethereum Cash (ETC) ข้อมูลขนาดใหญ่ที่รวบรวมจากสถานการณ์จริง (Proprietary Large-Scale Real-World Datasets) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของอัลกอริทึมกลไกพิสูจน์การทำงานโดยใช้ซอฟต์แวร์ 4 ตัวที่แตกต่างกัน โดยใช้ เหรียญ Ethereum Cash (ETC) เป็นกรณีศึกษาในสภาพแวดล้อมจริง ชุดข้อมูลนี้ทำหน้าที่เป็นการทดสอบประสิทธิภาพในสถานการณ์จริงช่วยให้ได้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับประสิทธิภาพและความคุ้มค่าของอัลกอริทึมเหล่านี้ ในการขุดเหรียญ ETC บนบล็อกเชนระยะเวลาการทดสอบแต่ละครั้งประมาณ 5 นาที ข้อมูลที่รวบรวมนำเสนอดังตารางที่ 3.4 โดยระบุลักษณะเฉพาะของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ภายในสภาพแวดล้อมบล็อกเชนที่แท้จริง ชุดข้อมูลมีการรวบรวมสถานการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในชุดข้อมูลขนาดใหญ่ที่หลากหลาย การทดลองนี้ใช้ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่หลากหลายสำหรับฮาร์ดแวร์มีการติดตั้งหน่วยประมวลผลกราฟิกส์จำนวน 4 ตัวบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

การเก็บข้อมูลอย่างละเอียดจากการทดสอบเชิงประจักษ์ (Empirical Investigation) โดยใช้หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ จำนวน 4 รุ่น ได้แก่ rx5700, rx6700xt, rx6800xt และ rtx2080ti การเลือกหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ดังกล่าวเนื่องจากเป็นตัวแทนของการ์ดจอรุ่นต่างๆ ที่วางจำหน่ายในตลาดปัจจุบัน ซึ่งแต่ละรุ่นมีประสิทธิภาพและคุณสมบัติเฉพาะตัว การทดสอบนี้ใช้โปรแกรมขุดเฉพาะทาง 4 โปรแกรม ได้แก่ SRBminer, Teamredminer, Gminer และ NBminer ซึ่งขึ้นชื่อเรื่องประสิทธิภาพในการรันอัลกอริทึม ETASH อันเป็นหัวใจสำคัญของระบบเข้ารหัสลับบนบล็อกเชน Ethereum โปรแกรมเหล่านี้ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows 11

หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ทั้งหมดถูกนำไปทดสอบประสิทธิภาพอย่างละเอียดในหลากหลายการตั้งค่าการทำงาน โดยแต่ละการตั้งค่าถูกเลือกมาเพื่อประเมินผลกระทบที่อาจมีต่อประสิทธิภาพของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ ความเร็วสัญญาณนาฬิกา (GPU Clock Speeds) มีการปรับความเร็วสัญญาณนาฬิกาตั้งแต่ระดับพื้นฐาน 1350 MHz ไปจนถึงสูงสุด 1750 MHz เพื่อทดสอบขีดจำกัดการประมวลผล ความเร็วสัญญาณนาฬิกาแรม (Memory Core Speeds): มีการปรับความเร็วสัญญาณนาฬิกาแรมควบคู่กันไปด้วย โดยรุ่น rx5700 ปรับตั้งแต่ 1750 MHz ไปจนถึง 1850 MHz รุ่น rx6700xt และ rx6800xt ปรับตั้งแต่ 2000 MHz ไปจนถึง 2150 MHz และ 2200 MHz ตามลำดับ ส่วนรุ่น rtx2080ti ปรับตั้งแต่ 6700 MHz ไปจนถึง 7250 MHz ผลกระทบของการปรับตั้ง

ค่า การปรับตั้งค่าเหล่านี้ช่วยให้ประเมินความสามารถของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ภายใต้ภาระงานที่หนักหน่วงต่าง ๆ

สร้างชุดข้อมูลที่ครอบคลุมได้บันทึกตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่สำคัญอย่างละเอียด อัตราแฮช (Hash Rates) วัดเพื่อประเมินประสิทธิภาพในการขุด โดยอัตราแฮชที่สูงกว่าบ่งบอกประสิทธิภาพการขุดที่ดีกว่า การใช้พลังงาน (Power Consumption) วัดเพื่อประเมินปริมาณพลังงานที่แต่ละชุดค่าการกำหนดของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ อุณหภูมิหน่วยประมวลผลกราฟิกส์และอุณหภูมิห้อง (GPU and Ambient Temperatures) บันทึกเพื่อทำความเข้าใจพลศาสตร์ความร้อน (Thermal Dynamics) และผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานและอายุการใช้งานของฮาร์ดแวร์ อุณหภูมิที่สูงเกินไปส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานและอายุการใช้งานของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ พารามิเตอร์อื่นๆ เช่น ความเร็วสัญญาณนาฬิกาแกนประมวลผล (GPU Core Clock Speeds) และความเร็วสัญญาณนาฬิกาแรม (Memory Clock Speeds) ซึ่งสะท้อนความถี่ในการทำงานและการใช้แรม ช่วยให้เข้าใจข้อมูลเกี่ยวกับความสามารถในการจัดการข้อมูลของแต่ละหน่วย ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลอธิบายการทดลองหน่วยประมวลผลกราฟิกส์

Variables	RX5700	RX6700XT	RX6800XT	RTX2080Ti
				
GPU card	RX5700	RX6700XT	RX6800XT	RTX2080Ti
Memory (GB)	8 GB	8 GB	8 GB	8 GB
Core clock speed (MHz)	1350–1750 MHz	2000–2150 MHz	2000–2200 MHz	6700–7250 MHz
Memory clock speed (MHz)	1750–1850 MHz	2000–2150 MHz	2000–2200 MHz	7000–7500 MHz
Ambient temperature (°C)	27 °C	27 °C	27 °C	27 °C
Hash rate (MH/s)	Varies	Varies	Varies	Varies

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลอธิบายการทดลองหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (ต่อ)

Variables	RX5700	RX6700XT	RX6800XT	RTX2080Ti
				
<b>Power consumption (wattH)</b>	Varies	Varies	Varies	Varies
<b>GPU temperature (°C)</b>	Varies	Varies	Varies	Varies
<b>Fan speed (%)</b>	Up to 95%	Up to 95%	Up to 95%	Up to 95%
<b>Compute units (CU)</b>	Varies	Varies	Varies	Varies
<b>Error rate (%)</b>	Varies	Varies	Varies	Varies
<b>Utilization rate (%)</b>	Varies	Varies	Varies	Varies
<b>Energy efficiency (Wh)</b>	Varies	Varies	Varies	Varies
<b>GPU VDC (mV)</b>	Varies	Varies	Varies	Varies
<b>GPU VDC setting (mV)</b>	Varies	Varies	Varies	Varies

ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

การทดสอบได้บันทึกข้อมูลประสิทธิภาพการระบายความร้อน ผ่านความเร็วรอบพัดลม (Fan Speed) และจำนวนหน่วยการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ (Number of Computer Units: CUs) ซึ่งมีความสำคัญสำหรับการประมวลผลแบบขนาน อัตราข้อผิดพลาด (Error Rates) ช่วยให้เข้าใจเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบ อัตราข้อผิดพลาดที่ต่ำกว่าบ่งบอกถึงความเสถียรภาพที่ดีกว่า อัตราการใช้งาน (Utilization Rates) สะท้อนระดับความหนักหน่วงที่หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ถูกใช้งานระหว่างการชุด ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Efficiency) เป็นตัวชี้วัดความยั่งยืนที่สำคัญ ถูกคำนวณเพื่อให้ได้สมดุลระหว่างพลังงานในการประมวลผลและปริมาณพลังงานที่ใช้ โดยคำนวณอัตราส่วนระหว่างประสิทธิภาพในการทำงานกับปริมาณพลังงานที่ใช้แรงดันไฟฟ้า (Voltage) บันทึกแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ

หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (GPU VDC Consumption) และแรงดันไฟฟ้าที่ใช้จริง (GPU VDC Setting) เพื่อให้เข้าใจภาพรวมของการใช้พลังงานอย่างครบถ้วน ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลที่รวบรวมสำหรับการปรับแต่งตัวชี้วัดประสิทธิภาพหน่วยประมวลผลกราฟิกส์

ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ	คำอธิบาย	หน่วยวัด
อัตราแฮช (Hash rate)	ความเร็วในการประมวลผลข้อมูลสำหรับการขุดของ GPU	เมกะแฮชต่อวินาที (MH/s)
การใช้พลังงาน (Power consumption)	ปริมาณไฟฟ้าที่ GPU ใช้ขณะทำงาน	วัตต์ (W)
อุณหภูมิ GPU	อุณหภูมิในการทำงานของ GPU บ่งบอกแนวโน้มของปัญหาความร้อนสูงเกินไป	องศาเซลเซียส (°C)
อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมในการทดลอง	องศาเซลเซียส (°C)
ความเร็วสัญญาณนาฬิกาแกนประมวลผล GPU	ความเร็วในการประมวลผลข้อมูลของแกนประมวลผล GPU	เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz)
ความเร็วสัญญาณนาฬิกาแรม	ความเร็วในการทำงานของแรม (VRAM) ของ GPU	เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz)
การใช้แรม	ปริมาณแรม (VRAM) ของ GPU ที่ใช้งานขณะทำงาน	เมกะไบต์ (MB) หรือ กิกะไบต์ (GB)
ความเร็วพัดลม	ความเร็วในการทำงานของพัดลมระบายความร้อนของ GPU	รอบต่อนาที (RPM) หรือ เปอร์เซ็นต์ (%)
หน่วยการประมวลผล (CU)	จำนวนหน่วยประมวลผลภายใน GPU บ่งบอกความสามารถในการประมวลผลแบบขนาน	จำนวน (หน่วย)
อัตราข้อผิดพลาด	จำนวนข้อผิดพลาดหรือความล้มเหลวในการทำงาน	จำนวน (ข้อผิดพลาด)
อัตราการใช้งาน	เปอร์เซ็นต์ของระยะเวลาที่ GPU ทำงานประมวลผลข้อมูลอย่างต่อเนื่อง	เปอร์เซ็นต์ (%)
ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน	อัตราแฮชต่อปริมาณไฟฟ้าที่ใช้	เมกะแฮชต่อวินาที ต่อ วัตต์ (MH/s/W)
แรงดันไฟฟ้าที่ GPU ใช้ (GPU Vdc consumption)	ปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ GPU ใช้ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง (DC)	มิลลิโวลต์ (mV)

ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

การรักษาความสม่ำเสมอและความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่รวบรวมโดยใช้หลายวิธีการควบคุมตัวแปรรบกวน (Confounding Variables) เพื่อเพิ่มความถูกต้องของผลลัพธ์ ประการแรกมีการใช้กลยุทธ์ที่ครอบคลุมเพื่อควบคุมตัวแปรรบกวน ตัวแปรรบกวนคือปัจจัยภายนอกทั้งหมดที่อาจส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัดประสิทธิภาพของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ เช่น อุณหภูมิห้อง การอัปเดตซอฟต์แวร์ และกระบวนการเบื้องหลัง (Background Processes) โดยมีการระบุและควบคุมปัจจัยเหล่านี้อย่างเป็นระบบ

นอกจากการควบคุมตัวแปรรบกวนแล้ว การสุ่มตัวอย่าง (Randomization) ยังเป็นอีกหนึ่งขั้นตอนสำคัญที่ช่วยลดอคติ (Bias) ในการทดลองในงานวิจัยนี้มีการสุ่มเลือกหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ และโปรแกรมชุดต่างๆเพื่อใช้ในการทดสอบโดยวิธีการสุ่มตัวอย่างช่วยให้มั่นใจว่าไม่มีข้อผิดพลาดเชิงระบบ (Systematic Errors) ที่ส่งผลต่อผลลัพธ์ เพื่อให้เงื่อนไขการทดสอบมีความสม่ำเสมอ (Homogeneous) มีการกำหนดให้หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ทุกตัวทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมและระบบที่เหมือนกันซึ่งการควบคุมสภาพแวดล้อมนี้ช่วยให้ผลการทดสอบของแต่ละกรณี (Test Case) สามารถเปรียบเทียบกันได้อย่างเท่าเทียม

ความคงที่ตามช่วงเวลา (Temporal Stability) โดยดำเนินการทดลองอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้แน่ใจว่าตัวแปรตามเวลา เช่น การอัปเดตระบบหรือความผันผวนของเครือข่ายไม่ส่งผลต่อผลลัพธ์ นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบการจัดการ (Manipulation Checks) เป็นระยะ ๆ เพื่อให้แน่ใจว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับตัวแปรอิสระ (Independent Variables) ส่งผลต่อตัวแปรตาม (Dependent Variables) อย่างถูกต้อง ตัวอย่างเช่น หากมีการปรับแรงดันไฟฟ้าของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (ตัวแปรอิสระ) การตรวจสอบการจัดการจะยืนยันว่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้จริงหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (ตัวแปรตาม) มีการเปลี่ยนแปลงตามที่ตั้งค่าไว้จริง

ความแม่นยำของการวัด (Measurement Precision) เพื่อให้แน่ใจว่าการเก็บข้อมูลมีความถูกต้องมีการตรวจสอบรายงานซอฟต์แวร์อย่างละเอียด (Meticulously Scrutinized) เพื่อลดข้อผิดพลาด นอกจากนี้ยังมีการใช้เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าด้วย Digital Multimeter เพื่อวัดปริมาณพลังงานที่หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ใช้การยืนยันข้อมูลข้ามแหล่ง (Cross-Verifying the Data)

### 3.5 การตรวจสอบชุดข้อมูลการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือ

#### 3.5.1 ความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการวิจัยในบริบทการวัดประสิทธิภาพหน่วยประมวลผลกราฟิกส์และการใช้พลังงาน

สองหลักการพื้นฐานที่ส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ ดังนี้ความถูกต้อง (Validity) ในบริบทนี้หมายถึงการวัดความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์และปริมาณพลังงานที่ใช้ได้อย่างแม่นยำ การวัดค่าเหล่านี้ต้องสะท้อนความสัมพันธ์ที่แท้จริง ความน่าเชื่อถือ (Reliability) หมายถึงความสม่ำเสมอและสามารถทำซ้ำได้ของผลการวัดผลการวัดประสิทธิภาพและการใช้พลังงานควรมีความสม่ำเสมอแม้ทำการทดสอบในสถานการณ์ (Testing Scenarios) ที่ไม่เหมือนกัน ขั้นตอนการวิจัยการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น (Exploratory Data Analysis) เป็นขั้นตอนสำคัญเพื่อทำความเข้าใจโครงสร้างพื้นฐานของข้อมูลที่เก็บรวบรวมมา ขั้นตอนนี้ช่วยค้นหาจุดผิดปกติ (Anomalies) หรือ ข้อมูลแปลกปลอม (Outliers) ที่อาจส่งผลต่อผลลัพธ์ ตัวอย่างของข้อมูลแปลกปลอม เช่น ค่าพลังงานที่ใช้สูงผิดปกติข้อมูลเหล่านี้อาจส่งผลต่อการวิเคราะห์ทำให้ผลลัพธ์ไม่น่าเชื่อถือได้

#### 3.5.2 ความถูกต้องภายใน (Internal Validity) ของประสิทธิภาพหน่วยประมวลผลกราฟิกส์

ความสัมพันธ์ระหว่างฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์(ตัวแปรอิสระ) เช่น ความเร็วสัญญาณนาฬิกา (Clock Speed) การใช้แรม (Memory Usage) และอุณหภูมิ (Temperature) กับตัวแปรตาม (Dependent Variable) เช่น ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Efficiency) หรืออัตราแฮช (Hash Rate) ความถูกต้องภายใน (Internal Validity) ปกติความถูกต้องภายในจะเน้นที่การควบคุมตัวแปรเพื่อลดผลกระทบจากปัจจัยภายนอกที่จะทำให้ผลการวิจัยไม่เที่ยงตรง งานวิจัยนี้ควบคุมตัวแปรอย่างละเอียดเพื่อให้แน่ใจว่าผลลัพธ์สะท้อนความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างตัวแปรต่างๆ การรักษาความน่าเชื่อถือของการวิจัยในหลายด้าน ดังนี้ความถูกต้องภายใน (Internal Validity) และความถูกต้องภายนอก (External Validity) การควบคุมปัจจัยต่างๆภายในงานวิจัย (Internal Validity) เพื่อให้แน่ใจว่าผลลัพธ์สะท้อนความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างตัวแปรที่ศึกษา นอกจากนี้ยังคำนึงถึงความถูกต้องภายนอก (External Validity) คือผลลัพธ์สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสถานการณ์อื่นๆ ได้กว้างแค่ไหน ความน่าเชื่อถือของข้อมูล (Data Integrity) คุณภาพของข้อมูลเน้นการรักษาความถูกต้องและแม่นยำของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ภาวะ Collinearity หลายตัว (Multicollinearity) ภาวะที่ตัวแปรอิสระ (Independent Variables) มีเกี่ยวข้องกันสูงซึ่งอาจส่งผลต่อการวิเคราะห์ทางสถิติ งานวิจัยใช้วิธีการตรวจสอบภาวะ

Collinearity หลายตัวระหว่างตัวแปรอิสระด้วยค่าความเพ้อของความแปรปรวน (Variance Inflation Factors: VIFs) การตรวจสอบ VIFs ช่วยให้แน่ใจว่าแต่ละตัวแปรอิสระยังคงมีความสามารถในการทำนาย (Predictive Power) ที่ชัดเจนและไม่ถูกลบโดยความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่น

### 3.5.3 ความถูกต้องของข้อมูลที่เก็บรวบรวม

โดยใช้มาตรการดังนี้การบันทึกข้อมูลอย่างละเอียด (Rigorous Record-Keeping) บันทึกข้อมูลอย่างครบถ้วนเพื่อลดข้อผิดพลาดที่เกิดจากคน (Human Error) ระบบบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Automated Logging Systems) ใช้ระบบบันทึกข้อมูลอัตโนมัติเพื่อให้แน่ใจว่าข้อมูลถูกต้องครบถ้วนอย่างสม่ำเสมอ (Uniform) นอกจากการเก็บข้อมูลแล้ว งานวิจัยยังเน้นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear Relationship) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม การตรวจสอบความเป็นเส้นตรง (Linearity Verification) เป็นขั้นตอนสำคัญในการประเมินข้อมูลงานวิจัยใช้วิธีต่างๆ เช่น โดยสร้างกราฟวิเคราะห์ (Diagnostic Plots) และการทดสอบทางสถิติ (Statistical Tests) การวิเคราะห์เหล่านี้ช่วยตรวจสอบว่าไม่มี การเบี่ยงเบนจากเส้นตรงอย่างเป็นระบบ (Systemic Deviations) ซึ่งเป็นข้อสันนิษฐาน (Assumption) ที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยหลายตัวแปร

## 3.6 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

ความสำคัญของประสิทธิภาพการใช้พลังงานในเทคโนโลยีบล็อกเชน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบบล็อกเชนที่ใช้ Proof-of-Work (PoW) เป็นกลไกฉันทามติ งานวิจัยใช้วิธีการพิจารณาการถดถอยหลายตัวแปร เพื่อศึกษาความเกี่ยวข้องที่ซับซ้อนระหว่างคุณลักษณะการทำงานของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (GPU) กับประสิทธิภาพ และ การใช้พลังงาน ต้องการทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ข้อมูลที่ใช้ในการพิจารณาจากการทดสอบการขุดเหรียญด้วยหน่วยประมวลผลกราฟิกส์จำนวน 4 รุ่นที่แตกต่างกัน แต่ละรุ่นมีการตั้งค่า (Configurations) ที่หลากหลาย ใช้โปรแกรมขุดเหรียญ 4 โปรแกรม อัลกอริทึมที่ใช้ในการขุดทั้งหมดเป็น PoW การวิจัยนี้ใช้การพิจารณาการถดถอยหลายตัวแปร เพื่อหาผลลัพธ์ ตัวแปรอิสระ เช่น อัตราแฮช (Hash Rate) จำนวนหน่วยประมวลผล (Computation Units) การใช้หน่วยความจำ (Memory Usage) ความเร็วสัญญาณนาฬิกาแกนประมวลผล (GPU Core Clock Speed) ความเร็วสัญญาณนาฬิกาแรม (Memory Clock Speed) ความเร็วพัดลม (Fan speed) การตั้งค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage Setting) อุณหภูมิในการทำงาน (Operational Temperature) มีผลต่อการใช้พลังงานอย่างไร วิธีการวิเคราะห์ห้อย่างเป็นระบบนี้ช่วยให้ระบุปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน ซึ่งนำไปสู่แนวทางในการปรับแต่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

การใช้พลังงาน รูปแบบจำลอง (Model) ที่สร้างขึ้นจากการวิเคราะห์แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear Relationship) ระหว่างตัวแปรต่างๆ บ่งชี้ว่าตัวชี้วัดประสิทธิภาพแต่ละตัวมีผลกระทบต่อการใช้พลังงานตามสัดส่วนช่วยให้เข้าใจความสัมพันธ์และการโต้ตอบระหว่างกันได้อย่างลึกซึ้ง สูตรนี้แสดงถึงความเกี่ยวข้องระหว่างตัวแปรตาม และตัวแปรต้น

$$E = \beta_0 + \beta_1 \times HR + \beta_2 \times MU + \beta_3 \times CCS + \beta_4 \times MCS + \beta_5 \times T + \epsilon \quad (3-1)$$

สมการนี้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานกับตัวแปรต่างๆ ที่ก่อให้เกิดผลการใช้พลังงานของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์

เมื่อ	E	= Energy (W) แทนค่า การใช้พลังงาน
	HR	= Hash (MH/s) แทนค่า อัตราแฮช
	MU	= Memory (GB) แทนค่า การใช้หน่วยความจำ
	CCS	= Core (MHz) แทนค่า ความเร็วสัญญาณนาฬิกาแกนประมวลผล
	MCS	= Memory (MHz) แทนค่า ความเร็วสัญญาณนาฬิกาแรม
	T	= Temperature (°C) แทนค่า อุณหภูมิในการทำงาน
	$\beta_0$	= 0 แทนค่า จุดตัดแกน Y (ค่าคงที่)
	$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$	= 1-5 แทนค่า สัมประสิทธิ์ ซึ่งบ่งบอกการเปลี่ยนแปลง

ขอตัวแปรอิสระแต่ละหน่วยส่งผลต่อการใช้พลังงาน (E) อย่างไร

	$\epsilon$	= Error term (ครั้ง) แทนค่า สัญญาณรบกวน (ข้อผิดพลาด)
--	------------	--

สูตรนี้เป็นการสร้างรูปแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพช่วยอธิบายว่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราแฮช (Hash Rate) การใช้หน่วยความจำ (Memory Usage) ความเร็วสัญญาณนาฬิกาแกนประมวลผล (Core Clock Speed) ความเร็วสัญญาณนาฬิกาแรม (Memory Clock Speed) และอุณหภูมิในการทำงาน (Temperature) มีความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear Relationship) กับการใช้พลังงาน วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ตั้งแต่  $\beta_1$  ถึง  $\beta_5$  เพื่อประเมินผลกระทบของตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่มีต่อการใช้พลังงาน ผลลัพธ์ที่ได้ช่วยให้เข้าใจกลไกดังกล่าว และนำไปสู่การปรับแต่งระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน งานวิจัยนี้ใช้การพิจารณาการถดถอยหลายตัวแปรเพื่อแยกแยะข้อมูลหลายชั้นช่วยชี้ว่าคุณลักษณะการทำงานต่างๆ ของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ส่งผลต่อการใช้พลังงานในการประมวลผลแบบ Proof-of-Work (PoW) ของเทคโนโลยีบล็อกเชนอย่างไร

พลังงานที่ใช้ (Energy Consumption) ซึ่งเป็นตัวแปรตามที่สำคัญ (Pivotal Dependent Variable) ถือเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการทำงาน (Operational Efficiency) และความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม (Ecological Responsibility) ในแวดวงเทคโนโลยีบล็อกเชนที่มีกระบวนการใช้พลังงานสูง (Energy-Intensive Processes) การปรับลดการใช้พลังงาน (Optimizing Energy Usage) ไม่เพียงเป็นกลยุทธ์ทางเทคนิคเท่านั้น แต่ยังเป็นการแสดงออกถึงความมุ่งมั่นต่อความยั่งยืน (Environmental sustainability) ด้วยการวิเคราะห์อย่างละเอียดได้รับการออกแบบมาเพื่อแยกแยะความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนของข้อมูล (Dissect the Data's Complex Relationships) ช่วยให้เข้าใจอย่างถ่องแท้ว่าการตั้งค่านำหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ที่แตกต่างกันส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างไร งานวิจัยเจาะลึกไปยังลักษณะการทำงานที่ละเอียดของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ขณะทำการขุดเหรียญ (GPU Behavior During Mining) โดยตรวจสอบตัวแปรต่างๆ เช่น อัตราแฮช (Hash Rate) และความเร็วสัญญาณนาฬิกาแกนประมวลผล (Core Clock Speed) ซึ่งบ่งบอกถึงกำลังการคำนวณ (Computational Capacity) และความถี่ในการทำงาน (Operational Frequencies) ของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ ข้อมูลเชิงลึกนี้เป็นเครื่องมือสำคัญในการประเมินผลกระทบที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานและประสิทธิภาพโดยรวม เป้าหมายอีกอย่างของงานวิจัยนี้คือการปรับแต่งประสิทธิภาพของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ให้ดียิ่งขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็บริหารจัดการการใช้พลังงานอย่างชาญฉลาด งานวิจัยเสนอมุมมองที่ละเอียดและหลากหลายมิติช่วยเสริมสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับการขุดเหรียญด้วยหน่วยประมวลผลกราฟิกส์อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน โดยอาศัยการประเมินและการตีความอย่างละเอียดเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการทำงานในท้ายที่สุดงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาตัวแปรต่างๆ เพื่อสร้างระบบโครงสร้างพื้นฐานของระบบสารสนเทศ (Information System Architecture) ที่เน้นย้ำประสิทธิภาพการใช้พลังงานในแอปพลิเคชันบล็อกเชน

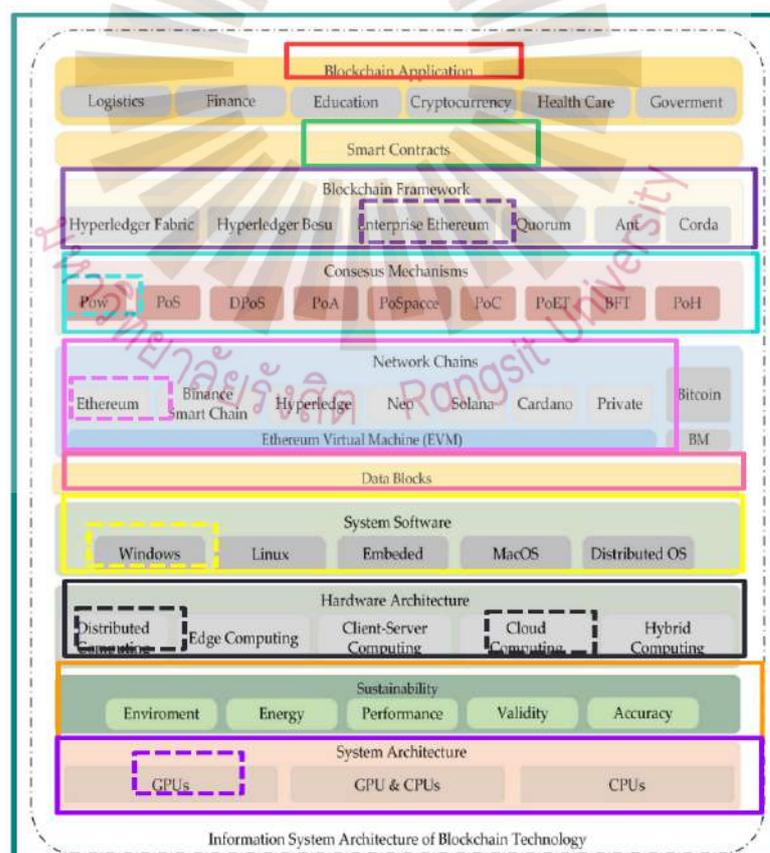
## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### 4.1 ผลการออกแบบโครงสร้างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้นสำหรับการประเมินประสิทธิภาพและพลังงาน

โครงสร้างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้นสำหรับการประเมินประสิทธิภาพและพลังงาน ใช้วิธีการแบบองค์รวม (Holistic Research Approach) ซึ่งผสมผสานการศึกษาระดับทฤษฎี (Theoretical Inquiry) เข้ากับการตรวจสอบเชิงประจักษ์ (Empirical Scrutiny) การทบทวนวรรณกรรมเอกสารที่เกี่ยวข้องอย่างละเอียด (Blockchain Technology) เพื่อออกแบบโครงสร้างกรอบแนวคิด โดยมีชั้นและแต่ละชั้นมีส่วนประกอบ ดังนี้ แอปพลิเคชันบล็อกเชน มีการใช้งานที่หลากหลาย ครอบคลุมด้าน โลจิสติกส์ การเงิน การศึกษา สกุลเงินดิจิทัล สาธารณสุข และภาครัฐ สัญญาอัจฉริยะ (Smart Contract) ซึ่งเป็นสัญญาที่จัดเก็บไว้บนบล็อกเชนและทำงานได้เองอัตโนมัติ โดยไม่ต้องมีตัวกลาง ช่วยแสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นของบล็อกเชนที่ไม่ได้จำกัด (Limited) แต่การใช้งานเป็นสกุลเงินดิจิทัล เฟรมเวิร์คบล็อกเชน ตัวอย่างเช่น Hyperledger Fabric, Hyperledger Besu, Enterprise Ethereum, Quorum, Ant และ Corda มีหน้าที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการสร้างโซลูชันบล็อกเชน โดยเฟรมเวิร์คเหล่านี้รองรับชั้นกลไกฉันทามติที่หลากหลาย เช่น Proof of Work (PoW), Proof of Stake (PoS), Delegated Proof of Stake (DPoS), Proof of Authority (PoA) และอื่นๆ ซึ่งแต่ละกลไกมีจุดเด่นเฉพาะตัวเพื่อตอบสนองความท้าทายด้านความปลอดภัยและการบริหารเครือข่าย เครือข่ายบล็อกเชน ตัวอย่างเช่น Ethereum, Binance Smart Chain ฯลฯ บางเครือข่ายสามารถทำงานร่วมกับ Ethereum Virtual Machine (EVM) ซึ่งช่วยให้เกิดการดำเนินงานร่วมกัน (Interoperability) และการติดตั้งสัญญาอัจฉริยะได้ง่ายขึ้น ข้อมูลภายในบล็อกเชนเหล่านี้ถูกจัดเก็บเป็นบล็อก ซึ่งสามารถทำงานบนระบบซอฟต์แวร์ที่หลากหลายไม่ว่าจะเป็น Windows, Linux หรือระบบปฏิบัติการแบบกระจาย (Distributed Operating System) ทำให้ทำงานร่วมกับระบบเทคโนโลยีต่างๆ ได้อย่างดี ฮาร์ดแวร์ สถาปัตยกรรมบล็อกเชนยังขยายไปสู่การประมวลผลแบบกระจาย (Distributed Computing) และแนวคิดใหม่ที่เรียกว่า เอจคอมพิวติ้ง (Edge Computing) ซึ่งเป็นการนำการประมวลผลและการจัดเก็บข้อมูลไปใกล้กับแหล่งที่มาของข้อมูลมากขึ้น การประมวลผลแบบกระจายมีความแตกต่างจากระบบแบบ Client-Server ทั่วไป และยังมีการเสริม

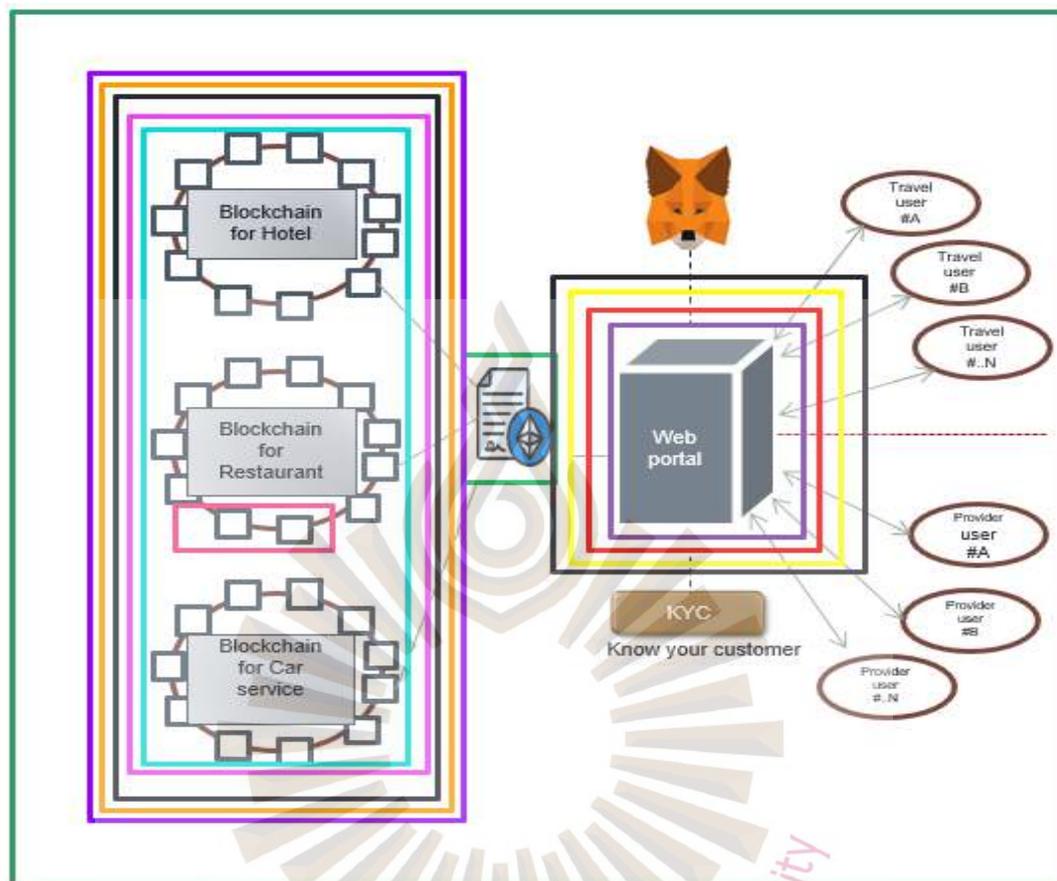
ประสิทธิภาพด้วยระบบคลาวด์และระบบคอมพิวเตอร์แบบผสม (Hybrid Computing) ที่ให้ทรัพยากรและบริการที่ปรับขนาดได้ผ่านอินเทอร์เน็ต การนำหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (GPU) มาผสานเข้ากับสถาปัตยกรรมระบบสารสนเทศของบล็อกเชน ถือเป็นความก้าวหน้าที่สำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบบล็อกเชนแบบ Proof of Work (PoW) เนื่องจากหน่วยประมวลผลกราฟิกส์มีความสามารถในการประมวลผลแบบขนาน (Parallel Processing) ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการคำนวณของบล็อกเชนช่วยเร่งการตรวจสอบธุรกรรมและกระบวนการนับตามติ นอกจากนี้หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ยังมีศักยภาพในการลดใช้พลังงาน ซึ่งเป็นประเด็นด้านความยั่งยืนที่สำคัญในการดำเนินงานบล็อกเชน การเปรียบเทียบหน่วยประมวลผลกราฟิกส์กับหน่วยประมวลผลกลางภายในสถาปัตยกรรมระบบเน้นย้ำไปที่การรักษาสมดุลระหว่างการใช้พลังงานกับพลังประมวลผล สิ่งนี้สะท้อนถึงความสำคัญของการคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมในระบบดิจิทัลที่กำลังเติบโตอย่างรวดเร็วตามที่เทคโนโลยีบล็อกเชนมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง บทบาทของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ในสถาปัตยกรรมเหล่านี้ก็ยิ่งมีความสำคัญมากขึ้น สิ่งนี้เน้นย้ำถึงความจำเป็นในการพัฒนาฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์อย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองความต้องการระบบบล็อกเชนที่ยั่งยืนปลอดภัย และมีประสิทธิภาพแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 สถาปัตยกรรมระบบสารสนเทศของเทคโนโลยีบล็อกเชน

ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

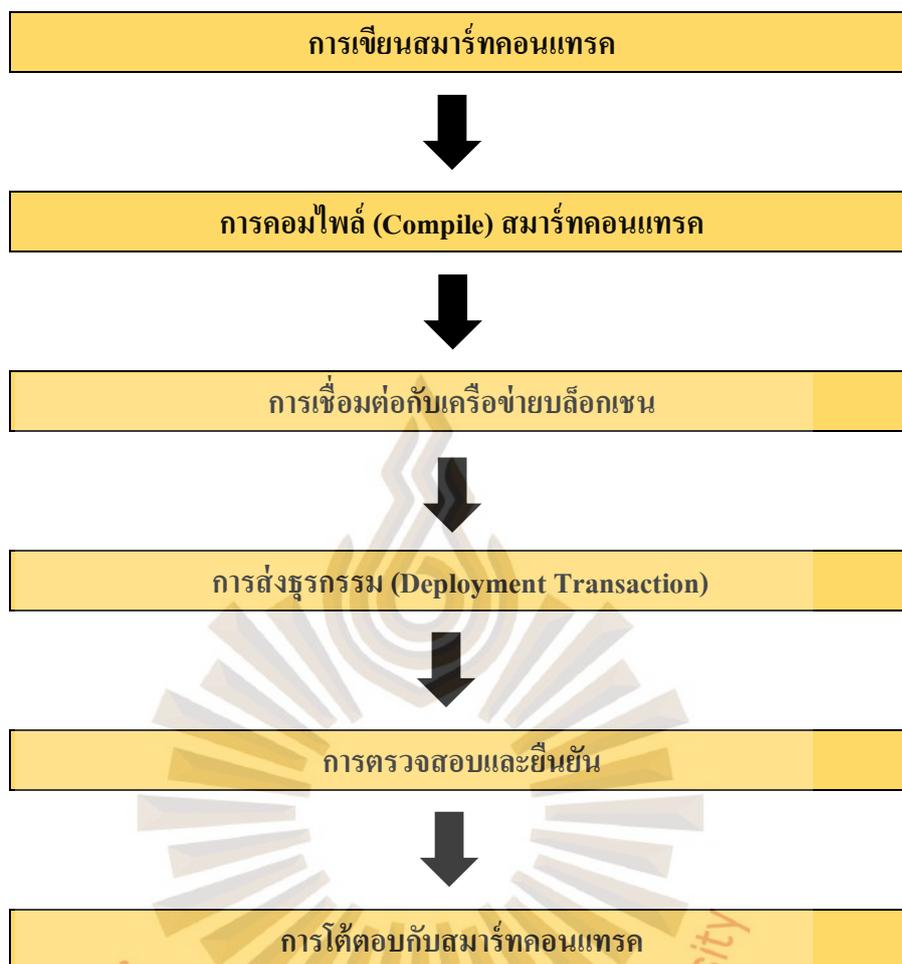
## 4.2 ผลการออกแบบโครงสร้างกรอบแนวคิดการบริการการท่องเที่ยว



รูปที่ 4.2 โครงสร้างกรอบแนวคิดการบริการการท่องเที่ยวโดยใช้ต้นแบบ  
โครงสร้างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้น

ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

จากรูปที่ 4.2 แสดงการออกแบบที่ใช้โครงสร้างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้น มาดำเนินการซึ่งกรอบที่แสดงถึงขั้นที่ตรงกันกับโครงสร้างกรอบแนวคิดการบริการการท่องเที่ยวโดยกรอบที่แสดงอยู่ในชั้นแอปพลิเคชันบล็อกเชน กรอบที่เชี่ยวชาญชั้นสัญญาอัจฉริยะ กรอบที่มุ่งชั้นเฟรมเวิร์คบล็อกเชน กรอบที่ฟ้าชั้นกลไกกันทามติ กรอบที่ชมพูชั้นเครือข่ายบล็อกเชน กรอบที่ชมพูเข้มชั้นข้อมูลบล็อก กรอบที่เหลืองชั้นระบบซอฟต์แวร์ กรอบที่ดำชั้นฮาร์ดแวร์ และกรอบที่ม่วงอ่อนชั้นหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการสร้างสมาร์ทคอนแทรค

ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

จากรูปที่ 4.3 แสดงขั้นตอนการสร้างสมาร์ทคอนแทรคและการนำไปใช้งาน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเขียนสมาร์ทคอนแทรค เขียนโค้ดสมาร์ทคอนแทรคโดยใช้ภาษาโปรแกรม Solidity ที่รองรับโค้ดสมาร์ทคอนแทรค ระบุเกณฑ์และเงื่อนไขสำหรับการดำเนินการ

ขั้นตอนที่ 2 การคอมไพล์ (Compile) สมาร์ทคอนแทรค โค้ดสมาร์ทคอนแทรคจะถูกคอมไพล์เป็น Bytecode โดยใช้เครื่องมือ Remix IDE

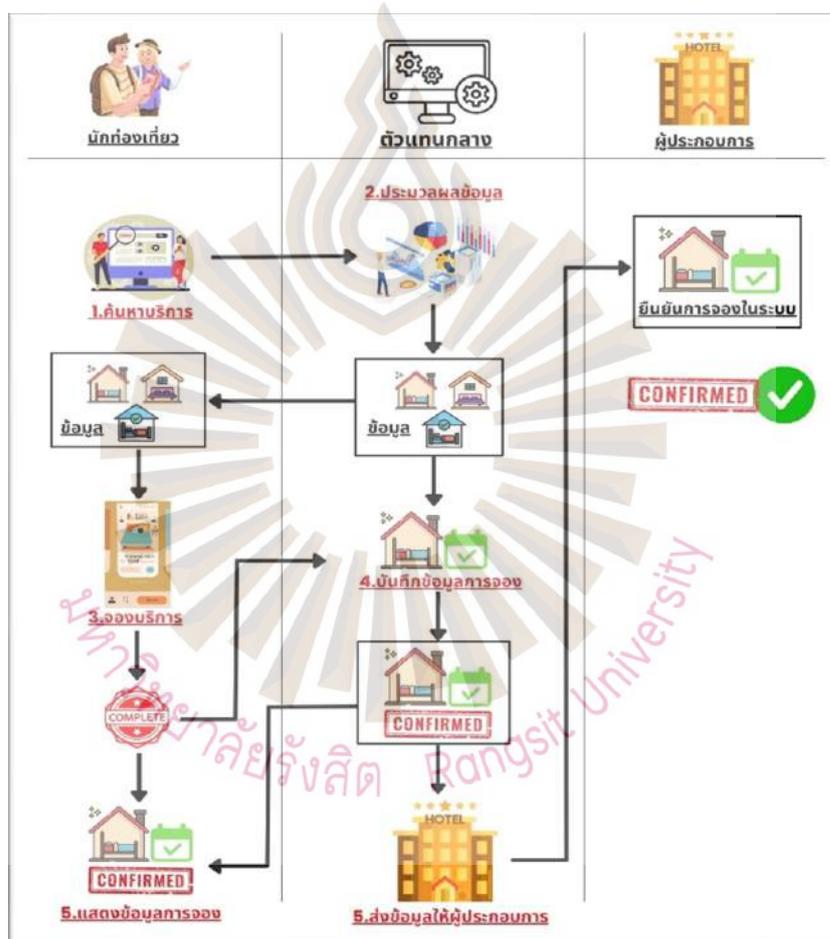
ขั้นตอนที่ 3 การเชื่อมต่อกับเครือข่ายบล็อกเชน ผู้พัฒนาเชื่อมต่อกับเครือข่ายบล็อกเชนที่ต้องการปรับใช้สมาร์ทคอนแทรค

ขั้นตอนที่ 4 การส่งธุรกรรมปรับใช้ ส่งธุรกรรมที่มี Bytecode ของสมาร์ทคอนแทรคไปยังเครือข่ายบล็อกเชน และถูกตรวจสอบและบันทึกลงในบล็อกเชน

ขั้นตอนที่ 5 การตรวจสอบและยืนยัน สมาร์ทคอนแทรคถูกบันทึกลงในบล็อกเชนจะมีการยืนยันโดยโหนดในเครือข่าย

ขั้นตอนที่ 6 การโต้ตอบกับสมาร์ทคอนแทรค ผู้ใช้สามารถโต้ตอบกับสมาร์ทคอนแทรค โดยการส่งธุรกรรมที่เรียกใช้ฟังก์ชันต่างๆ

#### 4.3 พัฒนาระบบระบบการการท่องเที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนบนเครือข่ายอีเธอเรียม

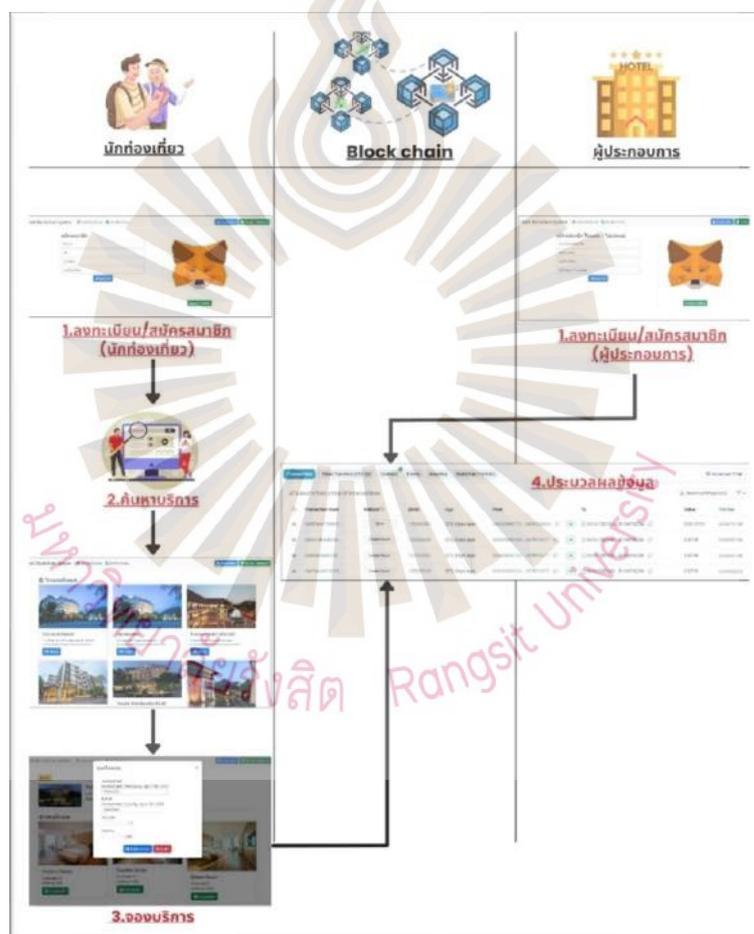


รูปที่ 4.4 โครงร่างกรอบแนวคิดระบบการท่องเที่ยวในปัจจุบัน

ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงระบบการทำงานที่มีความยากลำบากโดยมีตัวแทนกลางในการเชื่อมต่อ และส่งต่อข้อมูลจากนักท่องเที่ยวไปยังผู้ให้บริการหรือผู้ประกอบการ ซึ่งการทำงานเริ่มต้นจากนักท่องเที่ยวค้นหาบริการจากแพลตฟอร์มออนไลน์ต่าง ๆ เมื่อมีการค้นหาตัวแทนกลาง

จะทำการประมวลผลข้อมูลการค้นหาและแสดงผลไปยังนักท่องเที่ยว จากนั้นนักท่องเที่ยวจึงทำการจองบริการและยืนยันการจองโดยข้อมูลที่ได้รับการยืนยันจะส่งไปยังตัวแทนกลางเพื่อบันทึกข้อมูลการจองและส่งข้อมูลนั้น ไปยังนักท่องเที่ยวและเมื่อผู้ให้บริการ ได้รับข้อมูลการจองบริการจากตัวแทนกลางจึงทำการยืนยันการจองในระบบของตนเอง จะเห็นได้ว่าขั้นตอนมีความยุ่งยากก่อให้เกิดความผิดพลาดการส่งต่อข้อมูลระหว่างตัวแทนกลางกับผู้ให้บริการ ทำให้นักท่องเที่ยวเสียผลประโยชน์จากการทำงานของระบบการท่องเที่ยวในปัจจุบัน เช่น นักท่องเที่ยวได้จ่ายเงินค่าห้องพักให้กับตัวแทนกลาง แต่เมื่อถึงวันเข้าพักพบว่าทางโรงแรมไม่สามารถให้เข้าพักได้เนื่องจากไม่มีข้อมูลการจองและข้อมูลการทำธุรกรรมทางการเงิน

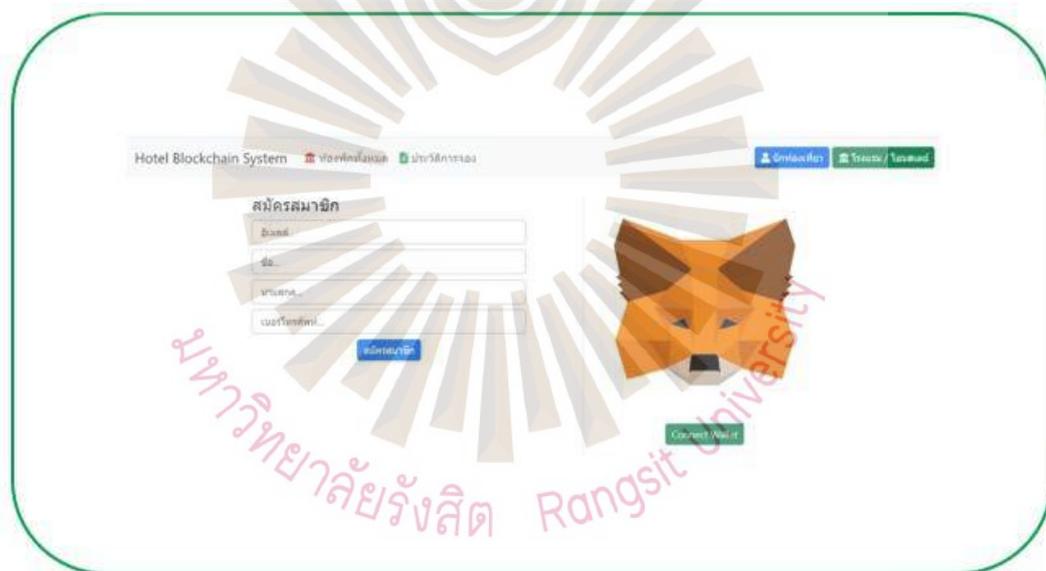


รูปที่ 4.5 โครงร่างกรอบแนวคิดระบบการทำงานที่นำเทคโนโลยีบล็อกเชนเข้ามาประยุกต์ใช้  
ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นถึงระบบการทำงานที่นำบล็อกเชนมาประยุกต์ใช้ในการเชื่อมโยงและส่งต่อความต้องการจากนักท่องเที่ยวไปยังผู้ให้บริการ โดยตรง ซึ่งการทำงานเริ่มต้นจาก

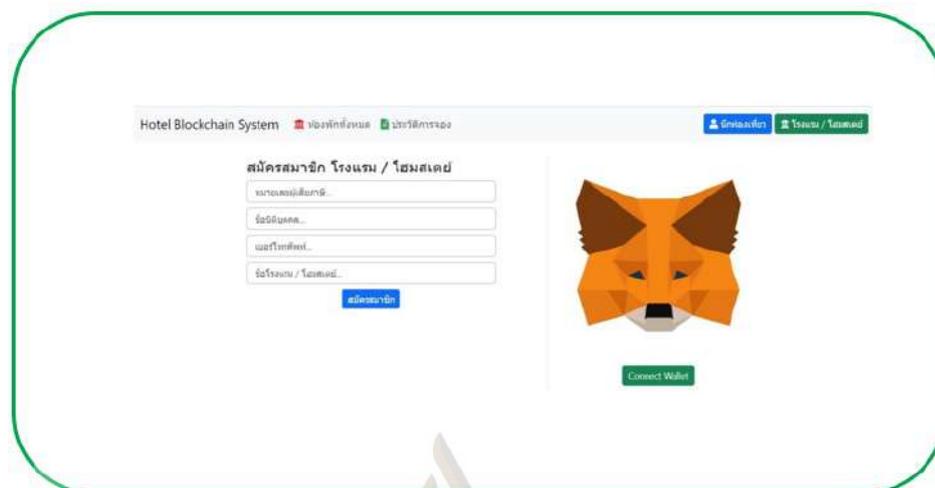
นักท่องเที่ยวค้นหาบริการจากแพลตฟอร์มออนไลน์ จากนั้นระบบแสดงข้อมูลผลการค้นหาและเมื่อนักท่องเที่ยวทำการจองบริการ ข้อมูลการทำธุรกรรมทางการเงินจะถูกบันทึกลงในเครือข่ายอีเธอเรียมบล็อกเชน นักท่องเที่ยวและผู้ให้บริการสามารถเข้าไปตรวจสอบข้อมูลการทำธุรกรรมและใช้เป็นหลักฐานในการยืนยันการจอง

จะเห็นได้ว่าการนำบล็อกเชนมาประยุกต์ในระบบบริการการท่องเที่ยวทำให้แก้ไขปัญหาเรื่องการส่งข้อมูลจากตัวกลางไปยังผู้ให้บริการ โดยสามารถลดความผิดพลาดจากการส่งข้อมูลของตัวแทนกลาง ทำให้นักท่องเที่ยวและผู้ให้บริการได้ข้อมูลที่ตรงกัน เช่น การทำธุรกรรมทางการเงิน เมื่อมีการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการโอนเงินผ่านเครือข่ายอีเธอเรียมบล็อกเชน จะทำให้ข้อมูลมีความโปร่งใส สามารถตรวจสอบได้ การพัฒนาระบบต้นแบบการบริการการท่องเที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนบนเครือข่ายอีเธอเรียมมีการขึ้นตอนดำเนินงานดังนี้



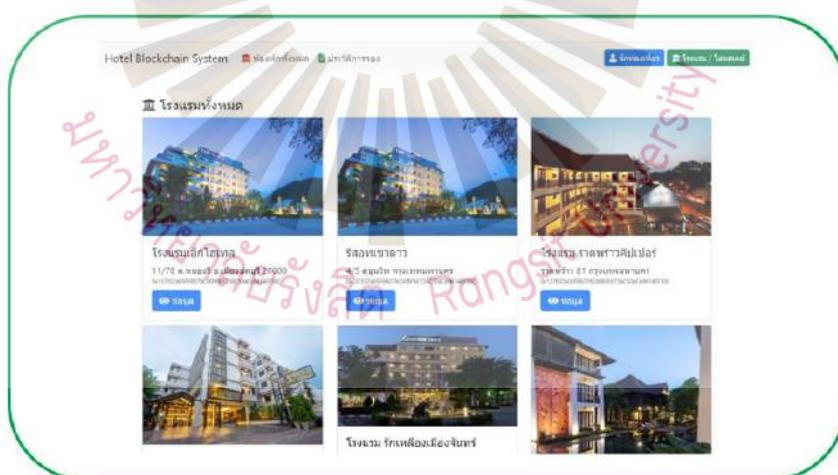
รูปที่ 4.6 การสมัครสมาชิกเข้าใช้ระบบสำหรับนักท่องเที่ยว  
ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

จากรูปที่ 4.6 นักท่องเที่ยวทำการสมัครสมาชิกเพื่อเข้าใช้งานระบบ โดยระบุข้อมูลประกอบไปด้วย อีเมล ชื่อ นามสกุล เบอร์โทรศัพท์ แล้วทำการกดปุ่มสมัครสมาชิก



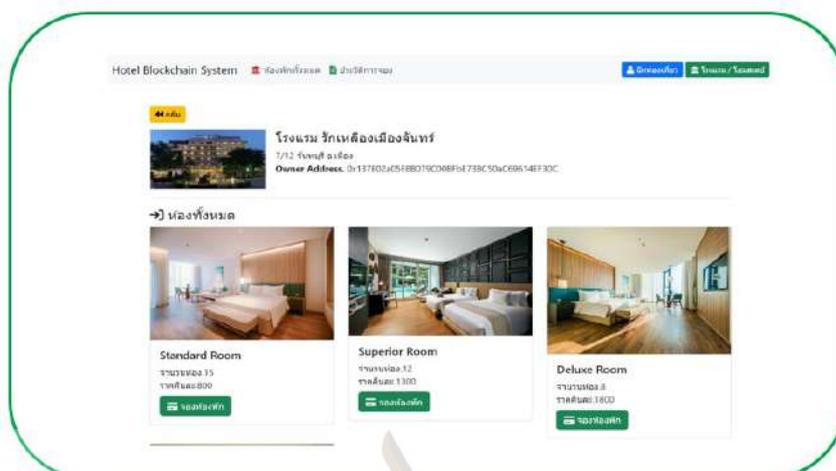
รูปที่ 4.7 การสมัครสมาชิกเข้าใช้ระบบสำหรับผู้ให้บริการ  
ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

จากรูปที่ 4.7 ผู้ประกอบการทำการสมัครสมาชิกเพื่อเข้าใช้งานระบบ โดยระบุข้อมูลประกอบไปด้วย หมายเลขผู้เสียภาษี ชื่อนิติบุคคล เบอร์โทรศัพท์ ชื่อสถานประกอบการ แล้วทำการกดปุ่มสมัครสมาชิก



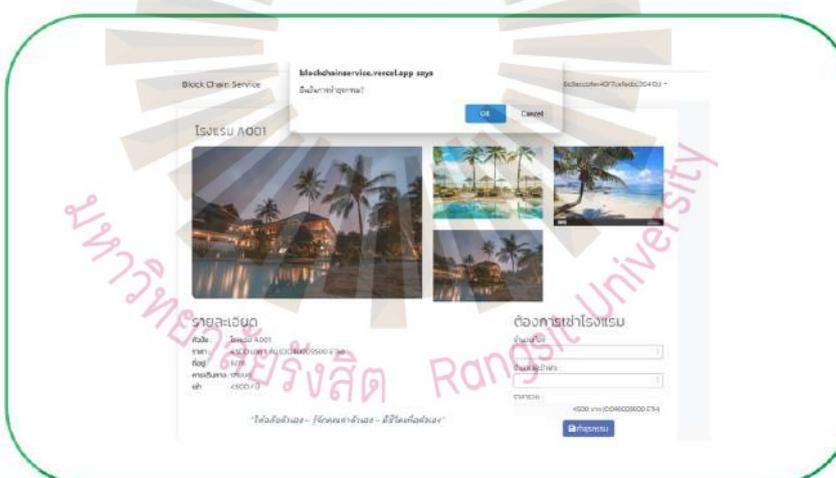
รูปที่ 4.8 ข้อมูลบริการของผู้ให้บริการที่เป็นสมาชิก  
ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

จากรูปที่ 4.8 นักท่องเที่ยวทำการค้นข้อมูลเกี่ยวกับบริการ ระบบจะทำการแสดงบริการของผู้ให้บริการที่เป็นสมาชิก เพื่อให้นักท่องเที่ยวสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมของแต่ละผู้ให้บริการ



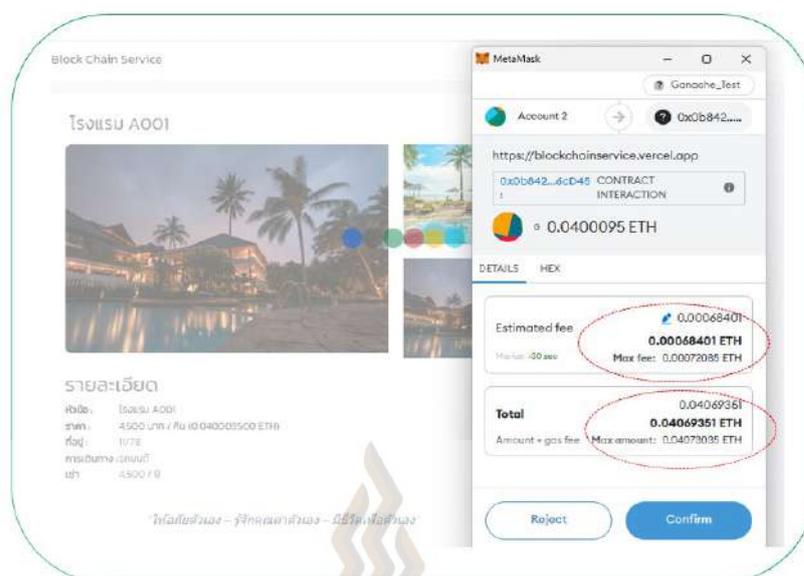
รูปที่ 4.9 ข้อมูลรายละเอียดการให้บริการของแต่ละสถานประกอบการ  
ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

จากรูปที่ 4.9 นักท่องเที่ยวทำการค้นข้อมูลเชิงลึกของบริการ โดยจะแสดงเป็นรายละเอียดเกี่ยวกับบริการ ตัวอย่างเช่น ห้องพัก โดยมีรายละเอียดดังนี้ ประเภทห้องพัก ราคา จำนวนห้องพักที่ว่าง



รูปที่ 4.10 การจองบริการ (ห้องพัก)  
ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

จากรูปที่ 4.10 นักท่องเที่ยวทำการเลือกบริการ(ห้องพัก) จากนั้นระบบจะแสดงหน้าจอให้ระบุช่วงวันที่เข้าพัก และทำการกดปุ่มยืนยันการจอง ระบบจะทำการบันทึกข้อมูลการจองและพร้อมแสดงหน้าจอการชำระค่าบริการโดยใช้เงินดิจิทัลอีเธอเรียม



รูปที่ 4.11 แสดงการชำระค่าบริการโดยใช้เงินดิจิทัลอีเธอเรียม  
ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

จากรูปที่ 4.11 นักท่องเที่ยวทำการชำระค่าบริการโดยใช้เงินดิจิทัลอีเธอ (ETC) ผ่านกระเป๋าเงินดิจิทัลเมตาแมส ซึ่งการชำระเงินนักท่องเที่ยวต้องจ่ายค่าบริการให้กับเครือข่ายบล็อกเชนเพิ่มเติมตรวจสอบความถูกต้องเรียบร้อยแล้วกดปุ่ม Confirm



รูปที่ 4.12 แสดงรายเอียดการทำธุรกรรมบนเครือข่ายอีเธอเรียมบล็อกเชน  
ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

จากรูปที่ 4.12 นักท่องเที่ยวและผู้ประกอบการสามารถตรวจสอบการทำธุรกรรมบนเครือข่ายอีเธอเรียมบล็อกเชนเพื่อยืนยันความสมบูรณ์ของการจองบริการ

BLOCK	MINED ON	GAS USED
5	2024-04-20 15:08:04	390287
4	2024-04-20 15:06:34	776626
3	2024-04-20 13:48:43	26248
2	2024-04-20 13:23:34	214858
1	2024-04-20 13:22:28	776626

รูปที่ 4.13 รายเอียดข้อมูลในบล็อกของการทำธุรกรรมบนเครือข่ายอีเธอเรียมบล็อกเชน  
ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

จากรูปที่ 4.13 นักท่องเที่ยวและผู้ประกอบการสามารถตรวจสอบบล็อกที่ถูกทำธุรกรรมบนเครือข่ายอีเธอเรียมบล็อกเชนเพื่อยืนยันความสมบูรณ์ของการจองบริการ

Block Chain Service

รายการขายของจับ

ค้นหา: 1000 Q, บาท

ลำดับ	ชนิด	รายละเอียด	รวม	วันที่รายการ	ที่ธุรกรรม
1	20240420050801	ทำธุรกรรม (โอนรับ ADO) ราคา 4,500 บาท จำนวน 2 ชิ้น 9,000 บาท จำนวนเงินอีก 6 ชิ้น	9,000 บาท	20/04/2024 05:08	0x66027ae04599868732a72e169588a62e4897508

---

รายการซื้อของจับ

ค้นหา: 1000 Q, บาท

ลำดับ	ชนิด	รายละเอียด	รวม	วันที่รายการ	ที่ธุรกรรม
1	20240420050801	ทำธุรกรรม (โอนรับ ADO) ราคา 4,500 บาท จำนวน 2 ชิ้น 9,000 บาท จำนวนเงินอีก 6 ชิ้น	9,000 บาท	20/04/2024 05:08	0x66027ae04599868732a72e169588a62e4897508

รูปที่ 4.14 รายเอียดการทำธุรกรรมบนเครือข่ายอีเธอเรียมบล็อกเชน  
ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

จากรูปที่ 4.14 นักท่องเที่ยวและผู้ให้บริการสามารถตรวจสอบการธุรกรรมในระบบต้นแบบบริการการท่องเที่ยวบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งนักท่องเที่ยวตรวจสอบที่รายการซื้อของจับ ส่วนผู้ให้บริการตรวจสอบที่รายการขายของจับ

#### 4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในโครงสร้างบล็อกเชน ขั้นตอนพิสูจน์การทำงาน (Proof-of-Work: PoW) ของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์

##### 4.4.1 การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาของชุดข้อมูล

ตารางที่ 4.1 สถิติเชิงพรรณนาของชุดข้อมูล

Features	Records	Mean	Std Dev	Min	25%	50%	75%	Max
GPU card (Recode)	7992	2.81	0.97	1.00	2.00	3.00	4.00	4.00
ETASH (MH/s)	7992	2.00	0.82	1.00	1.00	2.00	3.00	3.00
Memory (GB)	7992	8.00	0.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Core speed (MHz)	7992	1499.10	125.47	1300	1400	1500	1600	1750
Core memory (MHz)	7992	3535.48	2283.37	1750	2050	2100	6800	7200
Ambient temperature (%)	7992	27	0	27	27	27	27	27
Bandwidth (Mbps)	7992	265.89	62.54	192	192	256	352	352
Core units (CU)	7992	3699.89	976.04	2304	2560	4352	4608	4608
Fan speed (RPM)	7992	2919.34	588.89	2200	2600	2700	2900	4700
Fan (%)	7992	90.98	4.35	64.00	85.00	92.00	95.00	95.00
Core temperature (°C)	7992	51.26	4.87	44.00	44.00	54.00	55.00	55.00
Used Vdc (mV)	7992	877.48	11.5	800	875	880	880	910
Vdc (mV)	7992	977.61	70.57	780	920	980	1040	1100
Energy (Wh)	7992	129.6	20.14	100	108	130	153	163
Hash rate (MH/s)	7992	53.93	6.64	43.67	47.15	53.80	60.87	64.80
EES (MH/s/Wh)	7992	0.418	0.017	0.380	0.406	0.431	0.457	0.482

ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

จากตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์เชิงพรรณนาของชุดข้อมูลประสิทธิภาพการทำงาน  
ของ หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ ซึ่งมีข้อมูลทั้งหมด 7,992 รายการ ผลการวิเคราะห์เผยข้อมูลเชิงลึก  
ที่สำคัญเกี่ยวกับตัวชี้วัดประสิทธิภาพต่างๆของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์(GPU) และอัลกอริทึม  
ETASH (PoW) มีค่า 2.81 และ 2.00 ซึ่งบ่งบอกถึงความหลากหลายของชนิดและการตั้งค่าของ  
หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ ความจุของแรม มีค่าเท่ากันที่ 8 GB ซึ่งแสดงว่ามีการจัดสรรพื้นที่แรม

อย่างเท่าเทียม ความเร็วสัญญาณนาฬิกาแกนประมวลผล (Core Speed MHz) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1499.10 MHz แสดงความแปรปรวนของความเร็วในการประมวลผล ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับประสิทธิภาพการคำนวณ ค่าที่แปรปรวนนี้ชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์แต่ละตัว ความเร็วสัญญาณนาฬิกาแรม (Core Memory MHz) มีค่ากระจายตัวในช่วงกว้าง สะท้อนถึงความแตกต่างของความเร็วแรมระหว่างหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ อุณหภูมิห้อง มีค่าคงที่ที่ 27 °C ทุกเครื่อง สื่อถึงสภาพแวดล้อมที่ควบคุมในการทดสอบ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการประเมินประสิทธิภาพอย่างแม่นยำ แบนด์วิธ และจำนวนหน่วยประมวลผล มีค่าอยู่ที่ 265.89 และ 3699.89 ชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างในด้านความสามารถในการรับส่งข้อมูลและพลังประมวลผลของ หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ ความเร็วพัดลม และเปอร์เซ็นต์ความเร็วพัดลม มีค่าแปรปรวน แสดงถึงความต้องการระบบระบายความร้อนและประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่แตกต่างกันของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการรักษาภาวะการทำงานที่เหมาะสม อุณหภูมิแกนประมวลผลมีช่วงแคบ สะท้อนถึงการจัดการความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพในหน่วยเหล่านี้ แรงดันไฟฟ้าที่ใช้งาน แสดงโดยค่าเฉลี่ยของ Used Vdc (mV) และ Vdc (mV) ที่ 877.48 mV และ 977.61 mV ตามลำดับ ซึ่งบ่งบอกถึงความต้องการพลังงานและประสิทธิภาพของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ การใช้พลังงาน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 129.6 วัตต์ต่อชั่วโมง (Wh) และ อัตราแฮช มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 53.93 MH/s ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานและผลลัพธ์ด้านการคำนวณของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ ค่า EES (MH/s/Wh) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.418 เป็นตัวชี้วัดเชิงปริมาณประสิทธิภาพที่หน่วยประมวลผลกราฟิกส์สามารถแปลงพลังงานเป็นพลังประมวลผลได้ การวิเคราะห์เชิงลึกนี้ แสดงถึงความสามารถและประสิทธิภาพที่หลากหลายของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ในชุดข้อมูล ช่วยให้เข้าใจและปรับแต่งทรัพยากรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ได้ดียิ่งขึ้น

#### 4.4.2 การวิเคราะห์การแจกแจงของชุดข้อมูล

การวิเคราะห์การถดถอยหลายตัวแปร ควบคู่ในการพิจารณาความเบ้ (Skewness) และความแหลม (Kurtosis) ของข้อมูล ช่วยยืนยันว่าข้อมูลตรงตามข้อกำหนด (Assumptions) ที่จำเป็นสำหรับการสร้างโมเดลและการตีความผลอย่างแม่นยำ ความเบ้ วัดความไม่สมมาตรของการแจกแจงของข้อมูล มีความสำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการประเมินความเป็นปกติ (Normality) ของค่าผิดพลาด (Residuals) ในโมเดลการถดถอย ความเบ้ที่สำคัญอาจบ่งบอกว่า โมเดลเชิงเส้น (Linear Model) ยังไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์พื้นฐานในข้อมูลได้อย่างครอบคลุม ซึ่งอาจเกิดจากจุดค่าผิดปกติ (Outliers) หรือความสัมพันธ์ที่ไม่ใช่แบบเส้นตรง ความแหลม บ่งบอกลักษณะ “หาง” ของการแจกแจงข้อมูล มีความสำคัญในการระบุจุดผิดปกติ ค่าความแหลมที่สูงในค่าผิดพลาด

ชี้ให้เห็นว่าข้อผิดพลาดของโมเดลไม่ได้กระจายอย่างสม่ำเสมอ โดยมีค่าที่ผิดปกติสูง โมเดลไม่สามารถอธิบายได้ดี ทั้งความเบ้และความแหลมเป็นเครื่องมือในการพิจารณาสำคัญในการประเมินการถดถอย สถิติเชิงพรรณนาของความเบ้และความแหลม ช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับการแปลงข้อมูล (Data Transformation) ประเมินความแม่นยำของโมเดลและรับรองความน่าเชื่อถือของช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Intervals) ความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะต่างๆ ของการแจกแจงข้อมูล เป็นกุญแจสำคัญในการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณอย่างมีประสิทธิภาพ นำไปสู่ผลลัพธ์ที่แม่นยำ เชื่อถือได้ และสามารถตีความหมายได้ง่ายขึ้น

ตารางที่ 4.2 การแจกแจงความเบ้และความแหลมของชุดข้อมูล

Variable	Skewness	Kurtosis	Skewness Interpretation	Kurtosis Interpretation
GPU card (Record)	-0.23	-1.05	Fairly symmetrical	Less outliers
ETASH (MH/s)	0.00	-1.50	Fairly symmetrical	Less outliers
Memory (GB)	0.00	0.00	Fairly symmetrical	Less outliers
Core speed (MHz)	0.14	-1.02	Fairly symmetrical	Less outliers
Core memory (MHz)	0.86	-1.25	Moderately skewed	Less outliers
Ambient temperature (%)	0.00	0.00	Fairly symmetrical	Less outliers
Bandwith (Mbps)	0.29	-1.33	Fairly symmetrical	Less outliers
Core units (CU)	-0.42	-1.76	Fairly symmetrical	Less outliers
Fan speed (RMP)	2.56	4.98	Highly skewed	More outliers
Fan (%)	-0.76	-0.26	Moderately skewed	Less outliers
Core temperature (%)	-0.77	-1.33	Moderately skewed	Less outliers
Used Vdc (mV)	-3.29	20.45	Highly skewed	More outliers
Vdc (mV)	-0.08	-0.83	Fairly symmetrical	Less outliers
Energy (Wh)	0.24	-1.37	Fairly symmetrical	Less outliers
Hash rate (MH/s)	0.08	-1.26	Fairly symmetrical	Less outliers

ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

ตารางที่ 4.2 แสดงการวิเคราะห์ความเบ้ และความแหลม ของฟีเจอร์ต่างๆ ในชุดข้อมูลหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ ซึ่งเผยข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับลักษณะการแจกแจงของข้อมูล ตัวแปร

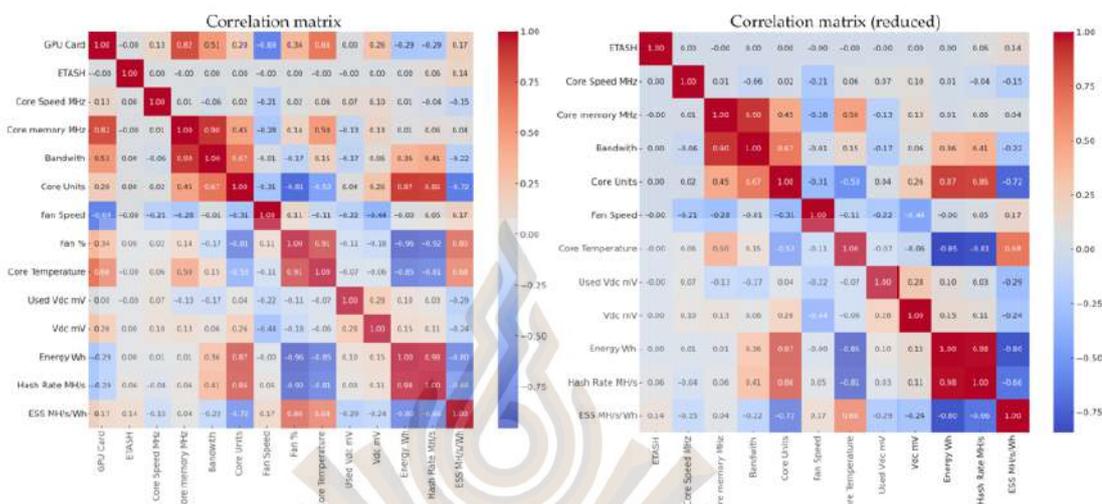
ต่างๆ เช่น รุ่นของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ อัลกอริทึม ETASH(PoW) ความจุของแรม ความเร็วสัญญาณนาฬิกาแกนประมวลผล อุณหภูมิห้อง แบนด์วิธ จำนวนหน่วยประมวลผล แรงดันไฟฟ้า การใช้พลังงาน และอัตราแฮช แสดงการแจกแจงข้อมูลที่ค่อนข้างสมมาตร โดยมีค่าความเบ้ใกล้เคียงกับศูนย์ บ่งบอกถึงการกระจายข้อมูลที่สมการรอบค่าเฉลี่ย ความสมมาตรนี้ได้รับแรงหนุนเพิ่มเติมจากค่าความแหลม ซึ่งชี้ให้เห็นว่ามีจุดผิดปกติ น้อยกว่าการแจกแจงแบบปกติ ในทางกลับกันความเร็วสัญญาณนาฬิกาแรม และเปอร์เซ็นต์ความเร็วพัฒนา แสดงค่าความเบ้ที่ปานกลาง ซึ่งบ่งบอกถึงความไม่สมมาตรเล็กน้อยในการแจกแจงข้อมูล แม้ว่าความเร็วสัญญาณนาฬิกาแรม จะเบ้ไปทางค่าที่สูงกว่าเล็กน้อย แต่เปอร์เซ็นต์ความเร็วพัฒนาจะเบ้ไปทางค่าที่ต่ำกว่า ทั้งคู่ยังคงมีจุดผิดปกติ

ถึงแม้ว่าพีเจอร์ส่วนใหญ่ในชุดข้อมูลจะมีการกระจายตัวค่อนข้างสมมาตร แต่ก็ยังมีบางพีเจอร์ที่แตกต่างออกไป ความเร็วพัฒนา และแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งาน มีการกระจายตัวแบบเบ้อย่างชัดเจนความเร็วพัฒนา มีค่าความเบ้เป็นบวกที่สำคัญ ซึ่งชี้ว่ากราฟการแจกแจงข้อมูลจะมีหางยาวไปทางค่าที่สูงกว่า ค่าความแหลมที่สูงของพีเจอร์นี้ยังบ่งบอกถึงจุดผิดปกติที่อยู่นอกช่วงการกระจายตัวหลักที่เด่นชัดอีกด้วย แรงดันไฟฟ้าที่ใช้งาน ในทางกลับกัน มีค่าความเบ้เป็นลบที่ค่อนข้างมาก ซึ่งสื่อว่าข้อมูลมีการกระจุกตัวอยู่ที่ปลายด้านบนและมีหางยาวไปทางค่าที่ต่ำกว่าประกอบกับค่าความแหลมที่สูง ชี้ให้เห็นว่ามีจุดผิดปกติจำนวนมาก

#### 4.4.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบมัลติคอลลีเนียร์ของพีเจอร์

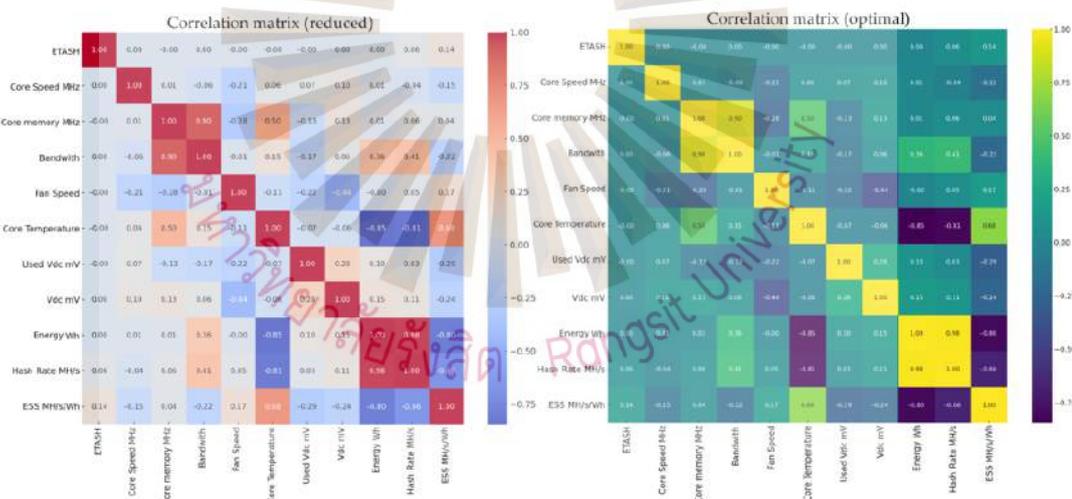
การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multilinear Regression Analysis) มุ่งเน้นการหาชุดพีเจอร์สัมพันธ์กันที่เหมาะสมที่สุด การค้นหาพีเจอร์ที่สัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่เดียวกันต้องลดปัญหาที่มีความสัมพันธ์แบบมัลติคอลลีเนียร์ระหว่างพีเจอร์เหล่านั้นให้น้อยที่สุด ความสัมพันธ์แบบมัลติคอลลีเนียร์ คือปัญหาเกิดขึ้นเมื่อตัวแปรอิสระสองตัวหรือมากกว่าในโมเดลการถดถอยมีความสัมพันธ์กันสูง ส่งผลต่อการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ไม่น่าเชื่อถือ ผลกระทบของความสัมพันธ์แบบมัลติคอลลีเนียร์ ลดทอนความน่าเชื่อถือของโมเดล ยากต่อการระบุผลกระทบเดี่ยวของแต่ละตัวแปรต้นที่มีต่อตัวแปรตาม วิธีการทวนความสัมพันธ์แบบมัลติคอลลีเนียร์ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ใช้เมทริกซ์ความสัมพันธ์ (Correlation Matrix) ของทุกตัวแปร เมทริกซ์นี้มีบทบาทสำคัญในการระบุของตัวแปรที่มีความเกี่ยวข้องกันสูง เกณฑ์ความเกี่ยวข้องที่ยอมรับได้ โดยทั่วไปนิยมตั้งเกณฑ์ความสัมพันธ์ที่สำคัญ เช่น ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตั้งแต่ 0.65 ขึ้นไป ซึ่งบ่งบอกความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ชัดเจน อย่างไรก็ตามเกณฑ์นี้ไม่ตายตัว ขึ้นอยู่กับบริบทของการวิจัย ตัวอย่างประกอบรูปที่ 4.15 (ก) ตัวแปร Fan% กับ Core Temperature มีค่า 0.91

Energy บ่งบอกว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์กันสูง เมื่อทำการจัดความสัมพันธ์กันสูงออก รูปที่ 4.15 (ข) (ค) (ง) แสดงความสัมพันธ์ที่มากกว่า 0.65 ซึ่งบ่งบอกความสัมพันธ์ที่สำคัญ แต่ยังไม่สูงมากพอที่จะชี้ว่ามีปัญหาอัลติคอลลีเนียร์



รูปที่ 4.15 (ก)

รูปที่ 4.15 (ข)



รูปที่ 4.15 (ค)

รูปที่ 4.15 (ง)

รูปที่ 4.15 (ก) (ข) (ค) (ง) ภาพขั้นตอนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบ

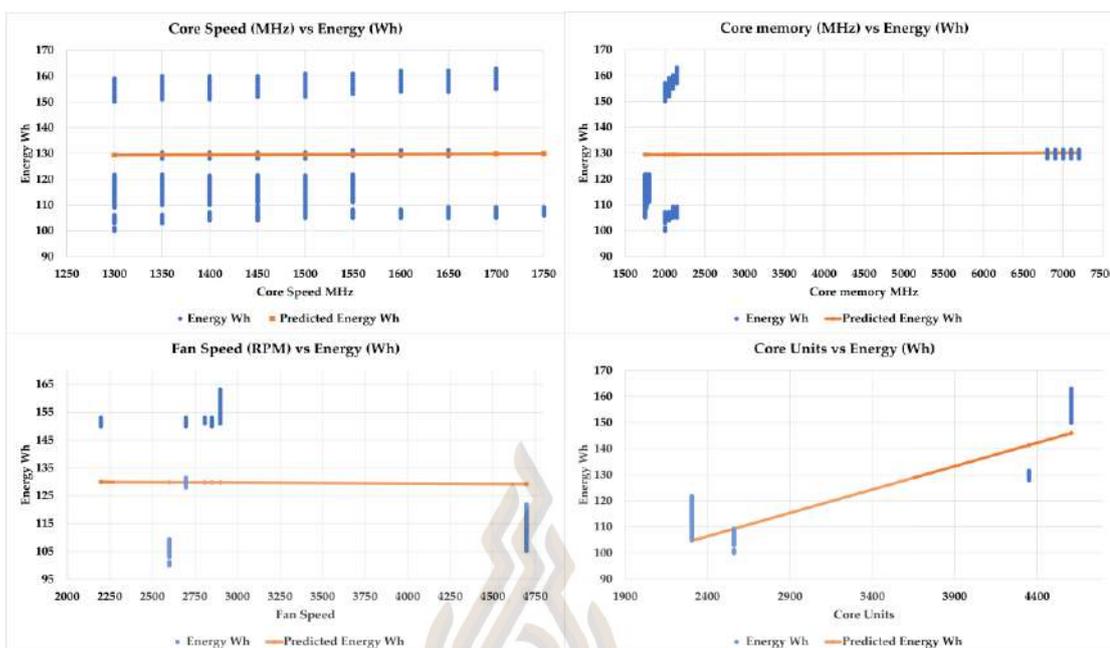
อัลติคอลลีเนียร์เพื่อลดความสัมพันธ์

ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

กราฟแบบกระจาย (Scatter Plots) ในรูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสเปคต่างๆ ของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (ความเร็วสัญญาณนาฬิกาแกนประมวลผล ความเร็วพัดลมแรม และ

จำนวนหน่วยประมวลผล) กับการใช้พลังงานเป็นวัตถุประสงค์เพื่อประเมินระดับความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear Relationship) ระหว่างคุณสมบัติเหล่านี้กับการใช้พลังงาน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการทำความเข้าใจว่าการตั้งค่าหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างไร กราฟแต่ละอันจะมีเส้นถดถอยเส้นตรง เพื่อช่วยในการวิเคราะห์หรือการมองเห็นความสัมพันธ์นั้นแม้ว่ากราฟแบบกระจายจะช่วยให้เบื้องต้นเห็นภาพความสัมพันธ์ที่อาจเกิดขึ้นระหว่างสเปคของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์กับการใช้พลังงาน แต่ก็ไม่สามารถวิเคราะห์ผลกระทบร่วมกันของสเปคเหล่านั้นได้ การถดถอยพหุคูณเป็นเทคนิคทางสถิติที่สำคัญในการศึกษา โดยทำการ เส้นตรงกับข้อมูลที่สังเกตได้ เพื่อสร้างโมเดลความเกี่ยวข้องระหว่างตัวแปรต้นสองตัวหรือมากกว่า กับตัวแปรตาม

การถดถอยพหุคูณ ช่วยวิเคราะห์ผลกระทบร่วมของการตั้งค่าสเปคหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ต่างๆ ที่มีต่อการใช้พลังงาน เช่น ความเร็วสัญญาณนาฬิกาแกนประมวลผล (Core Speed) เพียงอย่างเดียวอาจส่งผลต่อการใช้พลังงานไม่มาก แต่เมื่อพิจารณาควบคู่กับความเร็วพัดลม (Fan Speed) และแรม (Core Memory) แล้วผลกระทบจะเห็นได้ชัดเจนขึ้น การวิเคราะห์ผลกระทบร่วม ช่วยให้เรารับว่า ผลกระทบของการตั้งค่าหน่วยประมวลผลกราฟิกส์อย่างหนึ่งต่อการใช้พลังงานนั้น จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าของการตั้งค่าอีกอย่างหรือไม่ เทคนิคนี้มีประโยชน์ในการค้นพบความสัมพันธ์ที่ซับซ้อน ซึ่งอาจมองไม่เห็นเมื่อพิจารณาการตั้งค่าหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ทีละตัว อีกกรณีที่น่าสนใจ คือมีตัวซ่อนเร้น ซึ่งเป็นตัวแปรที่เราอาจมองไม่เห็นโดยตรง แต่ส่งผลต่อทั้งประสิทธิภาพและการใช้พลังงานของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณสามารถช่วยควบคุมผลกระทบจากตัวแปรแฝงได้ ทำให้สามารถประเมินผลกระทบของแต่ละการตั้งค่าของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้นขณะเดียวกันก็ช่วยให้เห็นความเกี่ยวข้องที่ชัดเจนระหว่างการปรับแต่งที่ต้องการต่อการใช้พลังงานของระบบ



รูปที่ 4.16 ภาพรวมการทดสอบความเป็นเส้นตรงของพีเจอร์ในชุดข้อมูล

ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

#### 4.4.4 บทสรุปการวิเคราะห์ ANOVA ของโมเดลประสิทธิภาพการทำงานและการใช้พลังงาน

ตารางที่ 4.3 บทสรุปการวิเคราะห์ ANOVA ของโมเดลประสิทธิภาพการทำงาน

	Sum Square	df	Mean Square	F	p-Value
Total	352,444.139	7991	0.000	0.000	0.000
Error	13,376.345	7985	1.675	0.000	0.000
Regression	339,067.794	6	56,511.299	33,734.381	0.000

ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

จากตารางที่ 4.3 แสดงรายละเอียดของโมเดลประสิทธิภาพการทำงาน ข้อมูลที่ปรากฏในตารางใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ในการหาค่าโดยมีสูตรดังตัวอย่าง เช่น ผลรวม (Sum of Squares)  $= \sum (x_i - \bar{X})^2$  คือ ผลรวมกำลังสองของค่าเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม, ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error)  $= \text{Sum Square\_Error} / \text{df\_Error}$  ( $13,376.345 / 7,985 = 1.675$ ), ค่าสถิติ F (F-Statistic)  $= \text{Mean Square\_Regression} / \text{Mean Square\_Error}$  ( $56,511.299 / 1.675 = 33,734.381$ ) ซึ่งมีความสำคัญดังนี้ ผลรวมมีค่าสูง แสดงว่าโมเดลแจกแจงค่าแปรปรวนของข้อมูล

ได้เป็นสัดส่วนที่สำคัญ ระดับอิสระภาพ (Degree of Freedom) มีค่ามาก ซึ่งว่ามีข้อมูลหลากหลายและเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน มีค่าเพียงเล็กน้อย ซึ่งหมายความว่าโมเดลสามารถแจกแจงค่าแปรปรวนของข้อมูลได้เกือบทั้งหมด ค่าสถิติ F (F-Statistic) มีค่าสูงมาก แสดงว่าตัวแปรอิสระทั้งหมด (Predictors) ร่วมกันส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตามที่วิเคราะห์ ค่า p-value ใกล้เคียงกับศูนย์ ย้ำความสำคัญทางสถิติ ซึ่งว่าโมเดลการถดถอยสามารถทำนายประสิทธิภาพการทำงานได้อย่างแม่นยำ

ตารางที่ 4.4 บทสรุปการวิเคราะห์ ANOVA ของโมเดลประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

	Sum Square	df	Mean Square	F	p-Value
Total	3,239,869.455	7991	0.000	0.000	0.000
Error	36,167.183	7986	4.529	0.000	0.000
Regression	3,203,702.272	5	640,740.454	141,480.560	0.000

ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

จากตารางที่ 4.4 สรุปการประเมินของโมเดลประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ข้อมูลที่ปรากฏในตารางใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเช่นเดียวกันกับตาราง 4.3 โดยมีสูตรดังตัวอย่าง เช่น ผลรวม (Sum of Squares) =  $\sum(x_i - \bar{X})^2$  คือ ผลรวมกำลังสองของค่าเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม, ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error) = Sum Square\_Error / df\_Error (36,167.183 / 7986 = 4.529), ค่าสถิติ F (F-Statistic) = Mean Square\_Regression / Mean Square\_Error (640,740.454 / 4.529 = 141,480.560) ซึ่งมีความสำคัญดังนี้ ผลรวมมีค่าสูงเช่นเดียวกันกับโมเดลประสิทธิภาพการทำงาน ซึ่งว่าการใช้พลังงานมีการแปรปรวนค่อนข้างมาก ระดับอิสระภาพ (Degrees of Freedom) มีค่าเท่ากับจำนวนตัวแปรอิสระทั้ง 5 ตัวที่อยู่ในโมเดลมีความผิดพลาดเฉลี่ยมีค่ามากกว่าโมเดลประสิทธิภาพการทำงานเล็กน้อย แสดงว่าโมเดลนี้อธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้น้อยกว่าเล็กน้อย ค่าสถิติ F (F-Statistic) มีค่าสูง แสดงถึงความสัมพันธ์ที่แข็งแกร่งระหว่างตัวแปรอิสระกับการใช้พลังงาน ค่า p-value ใกล้เคียงกับศูนย์ ยืนยันความสำคัญทางสถิติ ซึ่งว่าโมเดลการถดถอยสามารถทำนายการใช้พลังงานได้อย่างแม่นยำ

#### 4.4.5 การตรวจสอบปัญหาของความสัมพันธ์ตัวแปร (Multicollinearity)

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า Variance Inflation Factors (VIFs) ของพีเจอร์ทั้งหมดในสองโมเดล ได้แก่ โมเดลประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Efficient Energy Model) และ โมเดลประสิทธิภาพการ

ทำงาน (Efficient Performance Model) ความหมายของ VIF เป็นค่าที่ใช้ประเมินผลกระทบของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ ที่มีต่อความแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) ที่ประมาณได้ กล่าวอีกนัยหนึ่ง VIF บ่งบอกว่าความเกี่ยวข้องระหว่างตัวแปรต้นส่งผลทำให้ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์มีความแปรปรวนมากขึ้นแค่ไหนไม่มีปัญหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ ค่า VIF ของทุกตัวแปรจะมีค่าเท่ากับ 1

ค่า VIF บ่งชี้การไร้ปัญหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Multicollinearity) ในโมเดลประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ค่า VIF ของตัวแปรอิสระในโมเดลประสิทธิภาพการทำงาน อยู่ระหว่าง 1.000 ถึง 1.485 ซึ่งใกล้เคียงกับ 1 มากแสดงว่าตัวแปรอิสระในโมเดลนี้ มีความสัมพันธ์กันน้อยมากจนถึงไม่มีความสัมพันธ์กันเลย หลักการทั่วไปค่า VIF ต่ำกว่า 5 โดยทั่วไปถือว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระไม่มีผลกระทบต่อโมเดลอย่างมีนัยสำคัญยิ่งค่า VIF ใกล้ 1: ยิ่งแสดงว่าความเกี่ยวข้องระหว่างตัวแปรต้นส่งผลกระทบท่อโมเดลน้อยลง โมเดลประสิทธิภาพการใช้พลังงาน มีพีเจอร์เหมือนกับ โมเดลประสิทธิภาพการทำงาน ยกเว้น ETASH ค่า VIF ของทั้งสองโมเดลพีเจอร์ที่เหมือนกัน มีค่าเท่ากัน ความสอดคล้องกันนี้ ชี้ว่าโมเดลประสิทธิภาพการใช้พลังงานไม่มีปัญหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

โมเดลประสิทธิภาพการทำงาน (ETASH) VIF เท่ากับ 1.000 แสดงว่า ETASH ไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นๆ เลยค่า VIF ของพีเจอร์อื่นๆ ได้แก่ ความเร็วแรม (Core Memory MHz) ความเร็วสัญญาณนาฬิกาแกนประมวลผล (Core Speed MHz) แรงดันไฟฟ้า (Used Vdc mV) ความเร็วพัดลม (Fan Speed) และอุณหภูมิแกนประมวลผล (Core Temperature) อยู่ในระดับต่ำ ทั้งในโมเดลประสิทธิภาพการทำงานและโมเดลประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ซึ่งชี้ว่าพีเจอร์เหล่านี้มีความสัมพันธ์กันเองน้อยมาก ผลลัพธ์นี้เป็นที่พึงประสงค์ เนื่องจากพีเจอร์แต่ละตัวให้ข้อมูลที่แตกต่างกัน ไม่ได้มีการทับซ้อนหรือแทนที่กันด้วยข้อมูลจากพีเจอร์อื่น

ตารางที่ 4.5 การตรวจสอบปัญหาความสัมพันธ์ตัวแปรของโมเดล

Features	VIF's Efficient Performance Model	VIF's Efficient Energy Model
ETASH(MH/s)	1.000	-
Core memory (MHz)	1.485	1.485
Core speed (MHz)	1.057	1.057
Used Vdc (mV)	1.096	1.096

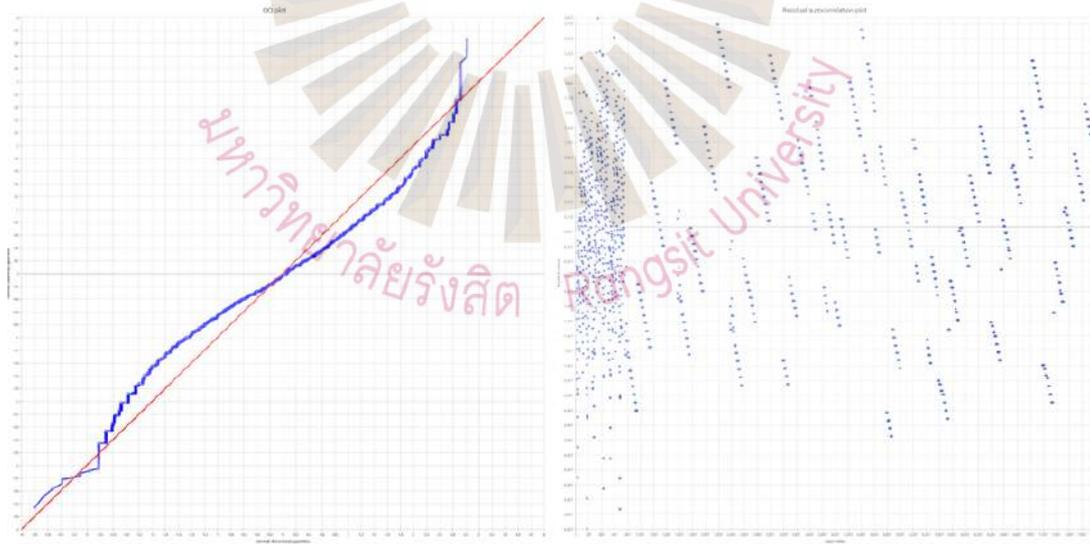
ตารางที่ 4.5 การตรวจสอบปัญหาความสัมพันธ์ตัวแปรของโมเดล (ต่อ)

Features	VIF's Efficient Performance Model	VIF's Efficient Energy Model
Fan speed (%)	1.224	1.224
Core temperature(°C)	1.338	1.338

ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

การที่ไม่มีปัญหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Multicollinearity) ช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือว่าค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอย ทั้งในโมเดลประสิทธิภาพการทำงานและโมเดลประสิทธิภาพการใช้พลังงาน มีความน่าเชื่อถือและมั่นคง ข้อดีในทางปฏิบัติ ความมั่นคงนี้ ช่วยเพิ่มความมั่นใจในการแปลผลความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรต่อตัวแปรตาม ตัวอย่างเช่น เมื่อปรับเปลี่ยนค่าของ ความเร็วสัญญาณนาฬิกาแกนประมวลผล (Core Speed MHz) เราสามารถมั่นใจได้มากขึ้นว่าความผันผวนที่สังเกตได้ในตัวแปรตาม เกิดขึ้นจริงจากคุณสมบัตินี้ ไม่ใช่เกิดจากตัวแปรอื่นที่สัมพันธ์กัน

#### 4.4.6 ผลการวิเคราะห์คุณภาพค่าเหลือและสหสัมพันธ์ตัวเอง



รูปที่ 4.17 (ก)

รูปที่ 4.17 (ข)

รูปที่ 4.17 กราฟการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อประเมินความเป็นปกติของค่าเหลือ (Residuals) และการมีอยู่ของสหสัมพันธ์ตัวเอง (Autocorrelation) ในรูปแบบการถดถอย

ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

จากรูปที่ 4.17 (ก) (ข) แสดงกราฟใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อประเมินความเป็นปกติของค่าเหลือ (Residuals) และการมีอยู่ของสหสัมพันธ์ตัวเอง (Autocorrelation) ในรูปแบบการถดถอย โดยใช้ซอฟต์แวร์ Smart PLS กราฟชี้ให้เห็นว่าแม้ว่ารูปแบบจะมีความพอดีสำหรับข้อมูลส่วนใหญ่ แต่ก็อาจกังวลเกี่ยวกับค่าสุด (Outliers) ค่าสุดขั้ว (Extreme) และสหสัมพันธ์ตัวเองที่อาจเกิดขึ้น

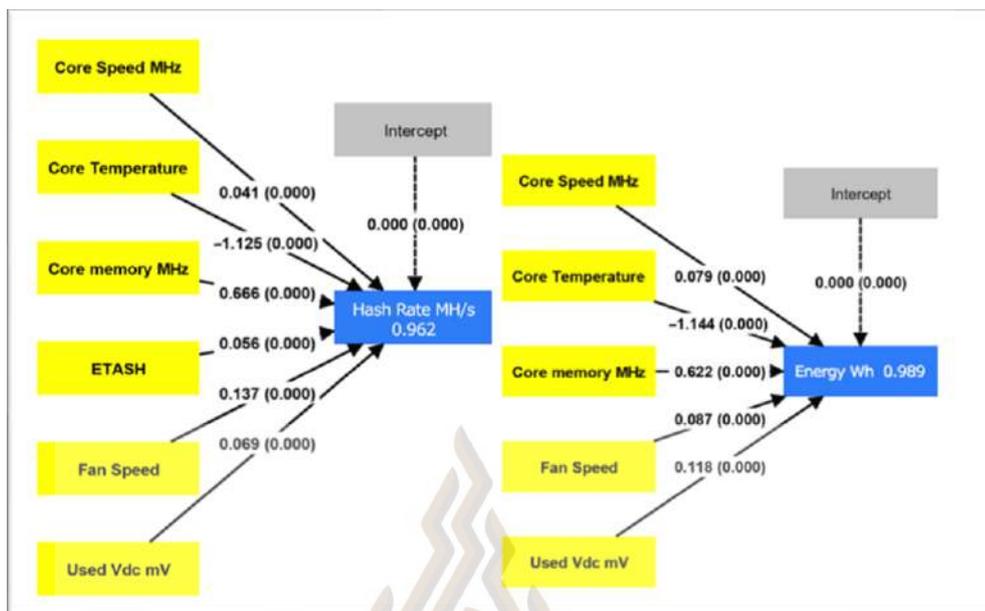
กราฟ Q-Q (Quantile-quantile) รูปที่ 17 (ก) เป็นเครื่องมือทางสถิติที่ใช้ประเมินว่าชุดข้อมูลชุดหนึ่งมีการกระจายตรงตามแบบจำลองการกระจายใดแบบหนึ่งหรือไม่ โดยทั่วไปมักใช้ประเมินเทียบกับการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) จุดสีน้ำเงินบนกราฟแสดงถึงคว้นไทล์ของค่าเหลือ จากโมเดลเส้นสีแดงแสดงถึงคว้นไทล์ที่คาดหวังของการกระจายแบบปกติ กราฟนี้แสดงว่าจุดข้อมูลจำนวนมากโดยเฉพาะบริเวณคว้นไทล์ตรงกลางมีแนวโน้มกระจายใกล้เคียงกับเส้นอ้างอิง ซึ่งสอดคล้องกับการกระจายแบบปกติ อย่างไรก็ตามมีจุดข้อมูลบางส่วนที่เบี่ยงเบนออกไปทางด้านท้ายของกราฟ ซึ่งอาจเป็นสัญญาณเบื้องต้นของการมีค่าผิดปกติ หรือข้อมูลมีความหนาแน่นที่ปลาย กราฟสหสัมพันธ์ตัวเองของค่าเหลือทางรูปที่ 17 (ข) แสดงถึงความสัมพันธ์ของค่าที่ห่างกันตามช่วงเวลา ผู้วิจัยคาดหวังว่าหากไม่มีสหสัมพันธ์ตัวเองจุดบนกราฟจะกระจายตัวอยู่รอบเส้น 0 อย่างสุ่ม เส้นประสีน้ำเงินแสดงถึงขอบเขตความเชื่อมั่นสำหรับการประมาณค่าสหสัมพันธ์ตัวเอง กราฟแสดงว่า จุดส่วนใหญ่ของสหสัมพันธ์ตัวเองอยู่ในช่วงที่คาดการณ์ไว้สำหรับกรณีที่ไม่มีสหสัมพันธ์ตัวเอง แต่ก็มีบางจุดที่อยู่เหนือหรือต่ำกว่าขอบเขตความเชื่อมั่น ซึ่งอาจเป็นสัญญาณเบื้องต้นที่บ่งชี้ถึงการมีสหสัมพันธ์ตัวเองอยู่ที่ช่วงเวลานั้นๆ

กราฟนี้มีความสำคัญเนื่องจากช่วยตรวจสอบความเป็นปกติของค่าเหลือ ซึ่งเป็นสมมติฐานพื้นฐานของโมเดลทางสถิติหลายชนิด รวมถึงการถดถอยเส้นตรง (Linear Regression) ค่าความคาดหวัง (Expectation Value) ที่ผิดปกติของเหลือ (Residuals) อาจส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือของการทดสอบสมมติฐานบางอย่างที่เกี่ยวข้องกับโมเดล การสังเกตว่าจุดข้อมูลส่วนใหญ่กระจายอยู่บนเส้นอ้างอิง ชี้ให้เห็นว่าสมมติฐานของการกระจายแบบปกติสำหรับข้อมูลช่วงกลางเป็นที่ยอมรับได้โดยประมาณ อย่างไรก็ตามอาจจำเป็นต้องมีการตรวจสอบเพิ่มเติมบริเวณหางของข้อมูล กราฟสหสัมพันธ์ตัวเองของค่าเหลือมีความสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากประเมินสมมติฐานพื้นฐานอีกประการหนึ่ง นั่นคือความอิสระของค่าเหลือที่ได้จากโมเดล ค่าที่ไม่เป็นอิสระซึ่งสังเกตได้จากการมีสหสัมพันธ์ตัวเองอาจส่งผลกระทบต่อการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของโมเดล

#### 4.5 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ

การพิจารณาความเกี่ยวข้องระหว่างการใช้พลังงาน การทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และเทคโนโลยีบล็อกเชนที่ใช้อัลกอริทึมกลไกฉันทามติพิสูจน์การทำงาน (PoW) การศึกษาตัวแปรที่มีผลสืบเนื่องในการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในเทคโนโลยีบล็อกเชนแบบ Proof-of-Work (PoW) โดยทำการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพกับปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงาน ตัวแปรตาม ได้แก่ ความเร็วพัดลม (Fan Speed) แรงดันไฟฟ้า (Used Vdc mV) ความเร็วสัญญาณนาฬิกาแกนประมวลผล (Core Speed MHz) อุณหภูมิแกนประมวลผล (Core Temperature °C) ผลลัพธ์จากการพิจารณาการถดถอย ค่า F-statistic ที่ 141,480.560 และค่า p-value ที่น้อยกว่า 0.000 แสดงว่า ปัจจัยอิสระทั้ง 4 ตัว (Fan Speed, Used Vdc mV, Core Speed MHz, Core temperature MHz) มีผลต่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Statistically Significant) ซึ่งชี้ว่าปัจจัยทั้ง 4 นี้ ส่งผลต่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ค่า R-squared ที่ 0.989 ยังชี้ว่า โมเดลนี้มีความแม่นยำ สามารถชี้แจงการแปรปรวนของการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพได้ถึง 98.90%

การพิจารณาความเกี่ยวข้องระหว่างประสิทธิภาพกับปัจจัยต่างๆ โดยการใช้การประเมินด้วยการถดถอย ผลกระทบแต่ละปัจจัยของประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นตัวแปรตาม ได้แก่ ETASH ความเร็วพัดลม (Fan Speed) ความเร็วสัญญาณนาฬิกาแกนประมวลผล (Core Speed MHz) อุณหภูมิแกนประมวลผล (Core Temperature) ความเร็วแรม (Core Memory MHz) แรงดันไฟฟ้า (Used Vdc mV) ผลลัพธ์ โดยพิจารณาค่า F-statistic 33,734.381 และ p-value น้อยกว่า 0.000 ซึ่งความสัมพันธ์ที่มีความสำคัญทางสถิติ ระหว่างปัจจัยอิสระทั้ง 5 กับประสิทธิภาพ ซึ่งหมายความว่าปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อประสิทธิภาพ ค่า R-squared 0.962 จากรูปที่ 4.16 ทางด้านซ้ายมือ บ่งบอกว่า โมเดลนี้มีความแม่นยำ สามารถบอกความแปรปรวนของประสิทธิภาพได้ 96.2%



รูปที่ 4.18 การวิเคราะห์การถดถอยหลายตัวแปร โมเดลประสิทธิภาพการทำงานและโมเดลการใช้พลังงานโดยใช้ Smart-PLS  
ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

การประเมินสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficients) เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของแต่ละปัจจัยที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Efficiency) ซึ่งเป็นตัวแปรตาม ผลลัพธ์ที่สำคัญ ความเร็วแรม (Core Memory MHz) มีความสัมพันธ์เชิงบวกที่สำคัญทางสถิติกับประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ( $B = 0.622$ ,  $t = 431.810$ ,  $p < 0.000$ ) ซึ่งว่าการเพิ่มความเร็วแรมส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานดีขึ้น อุณหภูมิแกนประมวลผล (Core Temperature MHz) มีความสัมพันธ์เชิงลบที่สำคัญทางสถิติกับประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ( $B = -1.144$ ,  $t = 836.190$ ,  $p < 0.000$ ) ซึ่งว่าอุณหภูมิที่สูงส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานอาจเป็นผลมาจากความต้องการในการระบายความร้อนที่เพิ่มขึ้น หรือสภาวะการทำงานที่ไม่เหมาะสม ปัจจัยอื่นๆ แม้ว่าจะมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยน้อยกว่า แต่ก็ยังส่งผลดีต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานแรงดันไฟฟ้า (Used Vdc mV) ( $B = 0.118$ ,  $t = 95.549$ ,  $p < 0.000$ ) ความเร็วสัญญาณนาฬิกาแกนประมวลผล (Core Speed MHz) ( $B = 0.079$ ,  $t = 64.962$ ,  $p < 0.000$ ) ความเร็วพัดลม (Fan Speed) ( $B = 0.087$ ,  $t = 66.205$ ,  $p < 0.000$ )

การวิเคราะห์ผลของแต่ละตัวแปรที่มีต่อประสิทธิภาพโดยอาศัยค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ผลลัพธ์ที่สำคัญ ความเร็วแรม (Core Memory Speed) มีความสัมพันธ์เชิงบวกที่สำคัญทางสถิติกับประสิทธิภาพ ( $B = 0.666$ ,  $t = 250.511$ ,  $p < 0.000$ ) ซึ่งว่าการเพิ่มความเร็วแรมส่งผลต่อการยกระดับ

ประสิทธิภาพ ความถี่แรม (Core Memory Frequency) เป็นปัจจัยสำคัญในการยกระดับประสิทธิภาพ อุณหภูมิแกนประมวลผล (Core Temperature) มีความสัมพันธ์เชิงลบที่สำคัญทางสถิติกับ ประสิทธิภาพ ( $B = -1.125, t = 446.168, p < 0.000$ ) ซึ่งอุณหภูมิที่สูงอาจส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพ เนื่องจากความร้อนส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของ ETASH ตัวแปรที่อาจเกี่ยวข้องกับ ความสามารถในการคำนวณแฮช (Hashing Capability) ของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์มีความสัมพันธ์เชิงบวกที่สำคัญทางสถิติกับประสิทธิภาพ ( $B = 0.056, t = 25.681, p < 0.000$ ) ความเร็วพัดลม (Fan Speed) และ แรงดันไฟฟ้า (Used Vdc mV) แม้ว่าจะมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยน้อยกว่าปัจจัยอื่น แต่ยังมีความสัมพันธ์เชิงบวกที่สำคัญทางสถิติกับประสิทธิภาพ ( $B = 0.137, t = 56.671, p < 0.000; B = 0.069, t = 30.440, p < 0.000$  ตามลำดับ) แสดงว่าการควบคุมแรงดันไฟฟ้าและการระบายความร้อนที่ดีส่งผลดีต่อประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4.6 สรุปค่าเชิงบวกของการถดถอยหลายตัวแปรสำหรับโมเดลประสิทธิภาพที่มีประสิทธิภาพ

Features	Standardized Coefficients	SE	T Value	p-Value	2.5%	97.5%
Core Speed (MHz)	0.041	0.000	18.283	0.000	0.002	0.002
Core Temperature (%)	-1.125	0.003	446.168	0.000	-1.541	-1.527
Core Memory (MHz)	0.666	0.000	250.511	0.000	0.002	0.002
ETASH (MH/s)	0.056	0.018	25.681	0.000	0.421	0.490
Fan Speed (%)	0.137	0.000	56.671	0.000	0.001	0.002
Used Vdc (mV)	-0.069	0.001	30.440	0.000	0.038	0.043
Intercept (W)	0.000	1.206	67.879	0.000	79.496	84.224

ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณของโมเดลประสิทธิภาพการทำงานของโมเดลประสิทธิภาพการทำงานใน ตารางที่ 4.6 และ โมเดลพลังงานที่มีประสิทธิภาพในตารางที่ 4.7 สรุปผลกระทบของคุณสมบัติต่างๆ ของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ที่มีต่อประสิทธิภาพ (Performance) ค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐาน ใช้ในการชี้วัดความสำคัญของแต่ละคุณสมบัติในการทำนายประสิทธิภาพ เครื่องหมายของค่าสัมประสิทธิ์ (+ หรือ -) บ่งบอกทิศทางของความสัมพันธ์ ระหว่างคุณสมบัติของ หน่วยประมวลผลกราฟิกส์กับประสิทธิภาพ โดยมีสมการในการแสดงค่า ดังนี้

สมการ Standardized Coefficients

$$\beta = b \left( \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2} \right) \quad (4-1)$$

เมื่อ  $\beta$  = แทนค่าสัมประสิทธิ์ Standardized Coefficients

$b$  = แทนค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

$\sigma_x^2$  = แทนค่าแปรปรวนของตัวแปรอิสระ

$\sigma_y^2$  = แทนค่าแปรปรวนของตัวแปรตาม

สมการ Standard Error (SE)

$$SE = \sqrt{(\sigma^2/n)} \quad (4-2)$$

เมื่อ SE = Standard Error (SE)

$\sigma^2$  = แทนค่าแปรปรวนของตัวอย่าง

$n$  = แทนจำนวนตัวอย่าง

สมการ T Value

$$t = (b/SE) \quad (4-3)$$

เมื่อ  $t$  = T Value

$b$  = สัมประสิทธิ์ถดถอยแบบเดิม (Unstandardized Regression Coefficient)

SE = Standard Error (SE)

ค่าความเชื่อมั่น 95% ของค่าสัมประสิทธิ์ของช่วงต่ำสุด 2.5% ค่าสูงสุด 97.5%

ค่าเชิงบวกที่ปรับมาตรฐานสำหรับความเร็วหลักของเมกะเฮิร์ตซ์ (MHz) มีค่าเล็กน้อยแต่มีความหมายทางสถิติ หมายถึงว่าสามารถคาดการณ์ได้ว่า จะมีการปรับปรุงผลการทำงานเล็กน้อย เมื่อความเร็วหลักเพิ่มขึ้น ข้อสรุปว่ามีความสำคัญทางสถิติได้ได้รับการยืนยันจากค่า T ที่สูงมาก และค่า p-value ที่เป็นเลข 0.000

ผลกระทบของอุณหภูมิแกนประมวลผล (Core Temperature) และความเร็วแรม (Core Memory MHz) ต่อประสิทธิภาพของระบบ อุณหภูมิแกนประมวลผล ค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient)

เป็นลบ และมีความสำคัญทางสถิติ ซึ่งว่าอุณหภูมิที่สูงส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพ สิ่งนี้มีความสำคัญ เพราะการรักษาอุณหภูมิแกนประมวลผลให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการรักษา ประสิทธิภาพให้สูง ค่า T และ p-value ที่สูงมาก ยืนยันความสำคัญของผลลัพธ์นี้ช่วงความเชื่อมั่น ไม่ตัดกับศูนย์ยืนยันว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแกนประมวลผลกับประสิทธิภาพมีความ แข็งแรง ความเร็วแรม (Core Memory MHz) ค่าสัมประสิทธิ์เป็นบวก และมีความสำคัญทางสถิติ ซึ่งว่า ความเร็วแรมส่งผลดีต่อประสิทธิภาพ ค่า T และ p-value ยืนยันความสำคัญทางสถิติของ ผลลัพธ์ ช่วงความเชื่อมั่นที่แคบบ่งบอกว่าการประมาณค่ามีความแม่นยำ

ความสัมพันธ์ระหว่าง ETASH กับประสิทธิภาพของระบบ ETASH ซึ่งอาจเป็นตัวชี้วัด ประสิทธิภาพมีค่าสัมประสิทธิ์เป็นบวก ผลลัพธ์นี้ชี้ว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกที่มั่นคงระหว่าง ETASH กับประสิทธิภาพ ค่า T ที่มีความสำคัญทางสถิติ และค่า p-value ที่น้อยกว่า 0.000 ยิ่งย้ำ ความสำคัญของความสัมพันธ์นี้

ผลกระทบของความเร็วพัดลมต่อประสิทธิภาพของระบบ ค่าสัมประสิทธิ์ของความเร็วพัด ลมเป็นบวก บ่งบอกว่าการเพิ่มความเร็วพัดลม มีความสัมพันธ์กับการยกระดับประสิทธิภาพ ค่า T และค่า p-value ยืนยันความสำคัญทางสถิติ

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (Vdc) ที่วัดเป็นมิลลิโวลต์ (mV) กับประสิทธิภาพ ของระบบ แรงดันไฟฟ้า Vdc มีค่าสัมประสิทธิ์เป็นบวก แม้จะมีขนาดเล็ก ผลการวิเคราะห์ชี้ว่า Vdc ยังคงเป็นตัวทำนายประสิทธิภาพที่สำคัญ

ตารางที่ 4.7 สรุปค่าเชิงบวกของการถดถอยหลายตัวแปรสำหรับ โมเดลพลังงานที่มีประสิทธิภาพ

Features	Standardized	SE	T Value	p-Value	2.5%	97.5%
<b>Coefficients</b>						
Core Speed MHz	0.079	0.000	64.962	0.000	0.012	0.013
Core Memory MHz	0.622	0.000	431.810	0.000	0.005	0.006
Core Temperature	-1.144	0.006	836.190	0.000	-4.739	-4.716
Fan Speed	0.087	0.000	66.205	0.000	0.003	0.003
Used Vdc mV	0.118	0.002	95.549	0.000	0.203	0.211
Intercept	0.000	1.982	72.259	0.000	139.335	147.105

ที่มา: ผู้วิจัย, 2567

ตัวแปร Core Speed MHz มีค่าสัมประสิทธิ์เป็นบวกที่เล็กน้อย ซึ่งว่าการเพิ่มความเร็วในส่วนกลางเชื่อมโยงกับการปรับปรุงในประสิทธิภาพทางพลังงานอย่างมีนัยสำคัญเล็กน้อย ส่วน Core Memory MHz ค่าเชิงบวกที่มีค่ามาก ซึ่งว่าความเร็วของหน่วยความจำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดประสิทธิภาพทางพลังงาน

ทางตรงกันข้ามค่าเชิงบวก Core Temperature เป็นลบอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งว่าการเพิ่มของอุณหภูมิหลัก ลดประสิทธิภาพทางพลังงานอย่างมีนัยสำคัญ สาเหตุเกิดจากความต้องการใช้พลังงานระบายความร้อนที่ต้องใช้พลังงานมากขึ้น

ความสัมพันธ์ที่เชิงบวกระหว่าง Fan Speed และ Used Vdc mV ซึ่งให้เห็นว่าตัวแปรเหล่านี้ยังเพิ่มประสิทธิภาพทางพลังงานได้ แม้ว่าจะน้อยกว่าความเร็วหน่วยความจำหลัก เนื่องจากความเร็วพัดลม มักเชื่อมโยงกับการระบายความร้อนและทำให้การใช้พลังงานเพิ่มขึ้น มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับประสิทธิภาพทางพลังงาน ข้อสังเกตนี้แสดงให้เห็นว่าการระบายความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพสามารถเสริมประสิทธิภาพทางพลังงาน โดยทำให้หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ทำงานที่สูงสุดได้

ช่วงความเชื่อมั่นที่แคบสำหรับทุกค่าเชิงบวกซึ่งครอบคลุมตั้งแต่เปอร์เซ็นต์ที่ 2.5 ถึง 97.5 แสดงให้เห็นว่าการประมาณนี้มีความแม่นยำอย่างมาก ความสัมพันธ์ที่เข้มงวดนี้พบว่าไม่มีหน่วยความเชื่อมั่นใดๆ ที่ตัดกับเลขศูนย์

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

##### 5.1.1 เพื่อออกแบบโครงสร้างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้นสำหรับประเมินประสิทธิภาพและพลังงาน

โครงสร้างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้นสำหรับการประเมินประสิทธิภาพและพลังงาน โดยแบ่งชั้นและแต่ละชั้นมีประกอบดังนี้ แอปพลิเคชันบล็อกเชน มีการใช้งานที่หลากหลายครอบคลุมด้านโลจิสติกส์ การเงิน การศึกษา สกุลเงินดิจิทัล สาธารณสุข และภาครัฐ สัญญาอัจฉริยะ (Smart Contract) ซึ่งเป็นสัญญาที่จัดเก็บไว้บนบล็อกเชนและสามารถดำเนินการเองโดยอัตโนมัติ โดยไม่ต้องมีตัวกลาง ช่วยแสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นของบล็อกเชนที่ไม่ได้จำกัด (Limited) แต่การใช้งานเป็นสกุลเงินดิจิทัล เฟรมเวิร์คบล็อกเชน ตัวอย่างเช่น Hyperledger Fabric, Hyperledger Besu, Enterprise Ethereum, Quorum, Ant และ Corda มีหน้าที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการสร้างโซลูชันบล็อกเชน โดยเฟรมเวิร์คเหล่านี้รองรับชั้นกลไกอื่นตามคติที่หลากหลาย เช่น Proof of Work (PoW), Proof of Stake (PoS), Delegated Proof of Stake (DPoS), Proof of Authority (PoA) และอื่นๆ ซึ่งแต่ละกลไกมีจุดเด่นเฉพาะตัวเพื่อตอบสนองความท้าทายด้านความปลอดภัยและการบริหารเครือข่าย เครือข่ายบล็อกเชน ตัวอย่างเช่น Ethereum, Binance Smart Chain ฯลฯ บางเครือข่ายสามารถทำงานร่วมกับ Ethereum Virtual Machine (EVM) ซึ่งช่วยให้เกิดการทำงานร่วมกัน (Interoperability) และการติดตั้งสัญญาอัจฉริยะได้ง่ายขึ้น ข้อมูลภายในบล็อกเชนเหล่านี้ถูกจัดเก็บเป็นบล็อก ซึ่งสามารถทำงานบนระบบซอฟต์แวร์ที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็น Windows, Linux หรือระบบปฏิบัติการแบบกระจาย (Distributed Operating System) ทำให้ใช้งานร่วมกับระบบเทคโนโลยีต่างๆ ได้อย่างดี ฮาร์ดแวร์ สถาปัตยกรรมบล็อกเชนยังขยายไปสู่การประมวลผลแบบกระจาย (Distributed Computing) และแนวคิดใหม่ที่เรียกว่า เอ็ดจคอมพิวติ้ง (Edge Computing) ซึ่งเป็นการนำการประมวลผลและการจัดเก็บข้อมูลไปใกล้กับแหล่งที่มาของข้อมูลมากขึ้น การประมวลผลแบบกระจายมีความแตกต่างจากระบบแบบ Client-Server ทั่วไป และยังมีการเสริมประสิทธิภาพด้วยระบบคลาวด์และระบบคอมพิวติ้งแบบผสม (Hybrid Computing) ที่ให้ทรัพยากรและบริการที่ปรับขนาดได้ผ่านอินเทอร์เน็ต การนำหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (GPU) ผสานเข้า

กับสถาปัตยกรรมระบบสารสนเทศของบล็อกเชน ถือเป็นความก้าวหน้าที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบบล็อกเชนแบบ Proof of Work (PoW) เนื่องจาก หน่วยประมวลผลกราฟิกส์มีความสามารถในการประมวลผลแบบขนาน (Parallel Processing) ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการคำนวณของบล็อกเชน ช่วยเร่งการตรวจสอบธุรกรรมและกระบวนการฉันทามติ นอกจากนี้ หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ยังมีศักยภาพในการลดใช้พลังงาน ซึ่งเป็นประเด็นด้านความยั่งยืนที่สำคัญในการดำเนินงานบล็อกเชน

จากกรอบการทำงานที่แยกชั้นกันทำให้การพัฒนาและปรับปรุง เพิ่มขนาด ขยายความต้องการเรื่องประสิทธิภาพการทำงานของระบบ บล็อกเชนดำเนินการได้อย่างง่ายเพราะการทำงานของแต่ละชั้นมีองค์ประกอบที่หลากหลายซึ่งจะส่งผลต่อการปรับให้เข้ากับองค์กรหรืองานในลักษณะต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม

### 5.1.2 เพื่อออกแบบโครงสร้างกรอบแนวคิดการบริการการท่องเที่ยวโดยใช้ต้นแบบโครงสร้างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้นสำหรับประเมินประสิทธิภาพและพลังงาน

การออกแบบโครงสร้างกรอบแนวคิดการบริการการท่องเที่ยวโดยใช้ต้นแบบ โครงสร้างกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้นได้ออกแบบ โดยอ้างอิงสถาปัตยกรรมระบบสารสนเทศเทคโนโลยีบล็อกเชน ผู้วิจัย (2567) ซึ่งสถาปัตยกรรมที่รองรับการออกแบบแบบเลเยอร์ ที่เกี่ยวข้องกับ แอปพลิเคชันบล็อกเชน เฟรมเวิร์คบล็อกเชน อัลกอริทึม เครือข่าย ข้อมูล ซอฟต์แวร์ระบบฮาร์ดแวร์ และประเด็นด้านความยั่งยืน ซึ่งในเลเยอร์แอปพลิเคชันบล็อกเชน โดยการออกแบบโครงสร้างกรอบแนวคิดการบริการการท่องเที่ยว ในชั้นสัญญาอัจฉริยะได้ออกแบบสัญญาอัจฉริยะแบบมัลติสมาร์คอนแทรค กล่าวคือในหนึ่งระบบสามารถนำสัญญาอัจฉริยะไปสร้างสัญญาบนเครือข่ายบล็อกเชนที่แตกต่างกันได้ โดยเครือข่ายที่รองรับการทำงานของสัญญาอัจฉริยะ

### 5.1.3 เพื่อพัฒนาต้นแบบการบริการการท่องเที่ยวที่ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนบนเครือข่ายอีเธอเรียม

ระบบต้นแบบทำงานบนเทคโนโลยีบล็อกเชนเพื่อใช้ในการสร้างธุรกรรมระหว่างนักท่องเที่ยวและผู้ให้บริการโดยตรง ข้อมูลการทำธุรกรรมทำผ่านสัญญาอัจฉริยะแบบอัตโนมัติ และถูกบันทึกลงในเครือข่ายอีเธอเรียมบล็อกเชน นักท่องเที่ยวและผู้ให้บริการสามารถเข้าไปตรวจสอบข้อมูลการทำธุรกรรมและใช้เป็นหลักฐานในการยืนยันการจอง ซึ่งจะเห็นได้ว่าการนำเทคโนโลยีบล็อกเชนมาในระบบบริการการท่องเที่ยวทำให้แก้ไขปัญหาเรื่องการส่งข้อมูลจากตัวกลางไปยังผู้ให้บริการ โดยสามารถลดความผิดพลาดจากการส่งข้อมูลของตัวแทนกลาง ทำให้

นักทอ้งเที่ยวและผู้ให้บริการได้ข้อมูลตรงกัน ด้วยคุณสมบัติของเทคโนโลยีบล็อกเชนทำให้ข้อมูลมีความโปร่งใส สามารถตรวจสอบได้

#### 5.1.4 เพื่อศึกษาและประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในโครงสร้างบล็อกเชนขั้นตอนพิสูจน์การทำงาน (Proof-of-Work: PoW) ของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์

ผู้วิจัยได้ทำการวัดประสิทธิภาพและการประหยัดพลังงานในเทคโนโลยีบล็อกเชนบนกลไกฉันทมติพิสูจน์การทำงาน การวิเคราะห์ผลลัพธ์เพื่อศึกษาความซับซ้อนของประสิทธิภาพการทำงานของ หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ ภายในกรอบของเทคโนโลยีบล็อกเชนแบบ Proof-of-Work (PoW) โดยเน้นที่ประสิทธิภาพ (Performance) และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Efficiency) ผลลัพธ์ที่ได้จากการพิจารณาการถอดหลายตัวแปร ช่วยให้เข้าใจถึงผลกระทบของการกำหนดค่าหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ ที่แตกต่างกัน ต่อการทำงานอย่างต่อเนื่องของระบบบล็อกเชน

ผลของแรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของบล็อกเชนแบบ Proof-of-Work (PoW) การตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันไฟฟ้า (Vdc mV) เป็นลบ และมีค่า p-value น้อยกว่า 0.001 บ่งชี้ความสัมพันธ์ทางสถิติที่สำคัญ การตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการขุด (Mining) เป็นสิ่งสำคัญต่อความยั่งยืนของระบบบล็อกเชน ในทางกลับกันค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ที่เป็นบวกอย่างมีนัยสำคัญ (p-value น้อยกว่า 0.001) ระหว่างอุณหภูมิแกนประมวลผลกับการจัดการความร้อน ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการควบคุมความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้การขุดดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ความเร็วแรม (Core Memory MHz) ต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของบล็อกเชนแบบ Proof-of-Work (PoW) ผลการวิจัยกลับพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของความเร็วแรมเป็นลบ (p-value น้อยกว่า 0.001 ชี้ว่าความสัมพันธ์ทางสถิติที่สำคัญ) การลดความเร็วแรมอาจส่งผลดีต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

การวิเคราะห์พบว่ามีความสัมพันธ์ทางกลับกันทางสถิติที่มีนัยสำคัญ ( $p < 0.001$ ) ระหว่างความเร็วของแกนกลางในหน่วยเมกะเฮิร์ตซ์และประสิทธิภาพ ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นว่าไม่มีการรับประกันว่าความเร็วที่สูงขึ้นจะทำให้มีประสิทธิภาพทางพลังงานเพิ่มขึ้น ผลลัพธ์ของการศึกษานี้ยังแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญ ( $p < 0.001$ ) ระหว่างความเร็วของพัดลมและ

ประสิทธิภาพ โดยเน้นความสำคัญของระบบระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพเพื่อรักษาผลิตภัณฑ์ การทำเหมืองในระดับสูงสุด

การกำหนดค่าหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ที่ช่วยให้การทำเหมืองบล็อกเชนใช้กลไกค้นหา มติพิสูจน์การทำงาน เป็นไปอย่างยั่งยืนได้รับการสนับสนุนจากหลักฐานประจักษ์ เนื่องจากการ ตรวจสอบผลกระทบของแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และความเร็วของนาฬิกาตามการใช้พลังงาน การ เข้าใจความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างประสิทธิภาพของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ และการใช้ พลังงาน เป็นตัวนำทางสู่การพัฒนาเทคนิคการทำเหมืองที่ใช้พลังงานต่ำ

ความสำคัญของการปรับแต่งสถาปัตยกรรมระบบสารสนเทศของหน่วยประมวลผล กราฟิกส์สำหรับประสิทธิภาพด้านพลังงานในการขุดบล็อกเชน ความสำคัญของเรื่องนี้ไม่อาจ มองข้าม เนื่องจากเทคโนโลยีบล็อกเชนกำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในหลายอุตสาหกรรม และ กระบวนการเหล่านี้มักใช้พลังงานจำนวนมาก ดังนั้นผลการวิจัยนี้จึงมีความเกี่ยวข้องอย่างยิ่ง งานวิจัยนี้มุ่งหวังที่จะผลักดันให้การดำเนินงานด้านบล็อกเชนมีความยั่งยืนยิ่งขึ้น โดยการค้นหากล ยุทธ์การผสมผสานระหว่างหน่วยประมวลผลกราฟิกส์และซอฟต์แวร์สำหรับการขุดที่เหมาะสม ที่สุด การทดลองมีส่วนสำคัญในการผลักดันให้อุตสาหกรรมบล็อกเชนหันไปใช้วิธีปฏิบัติที่ยั่งยืน ยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้ออกแบบกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้นสำหรับการประเมิน ประสิทธิภาพและพลังงาน และออกแบบกรอบแนวคิดการบริการการท่องเที่ยวโดยใช้ ต้นแบบกรอบแนวคิดบล็อกเชนหลายชั้น และพัฒนาระบบต้นแบบการบริการการ ท่องเที่ยว มุ่งเน้นไปที่การประเมินประสิทธิภาพของการผสมผสานระหว่างหน่วยประมวลผล กราฟิกส์และซอฟต์แวร์ต่างๆ เพื่อค้นหาชุดค่าการกำหนด (Configuration) ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด และงานวิจัยนี้ยังมีเป้าหมายที่จะสร้างคลังข้อมูล (Data Repository) ที่จะป็นประโยชน์ต่อผู้มีส่วน ได้ส่วนเสีย (Stakeholders) ในการตัดสินใจเลือกซื้อหน่วยประมวลผลกราฟิกส์และซอฟต์แวร์ สำหรับการขุดบล็อกเชนอย่างชาญฉลาดอีกด้วย

## 5.2 ข้อเสนอแนะในการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

5.2.1 กรอบแนวคิดการบริการการท่องเที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชน บน เครื่องข่ายอีเธอเรียมและทำธุรกรรมการเงินด้วยสกุลเงินดิจิทัล ETC โดยสามารถต่อยอดไปพัฒนา เป็นแอปพลิเคชันบนมือถือ อีกทั้งกรอบแนวคิดการบริการการท่องเที่ยว นำไปพัฒนาต่อในการ

พัฒนาซอฟต์แวร์ทุกแพลตฟอร์มในหลากหลายธุรกิจที่ต้องการความปลอดภัย และความโปร่งใสของข้อมูล

5.2.2 สามารถต่อยอดจากต้นแบบการบริการการท่องเที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนบนเครือข่ายอีเธอเรียมให้ครอบคลุมบริการที่เกี่ยวข้องกับนักท่องเที่ยวและผู้ให้บริการ ให้สามารถใช้งานเชิงพาณิชย์

5.2.3 ศึกษาความสามารถของหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ที่รุ่นที่ไม่เหมือนกันเพื่อค้นหาตั้งค่าที่เหมาะสมสำหรับประสิทธิภาพและการใช้งานพลังในการขุดบล็อกในเครือข่ายบล็อกเชน

### 5.3 ข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัยภายใน

อย่างไรก็ตาม โครงร่างกรอบแนวคิดการบริการการท่องเที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชน และการพัฒนาระบบต้นแบบยังไม่ครอบคลุมการใช้งานของระบบการท่องเที่ยวแบบครบวงจร และควรศึกษาอัลกอริทึมที่แตกต่างจาก Proof of Work (PoW) เพื่อเป็นทางเลือกในการพัฒนาแอปพลิเคชันบล็อกเชน โดยคำนึงถึงการใช้หน่วยประมวลผลกราฟิกส์เป็นอุปกรณ์สำหรับนักขุดบล็อก เพื่อประสิทธิภาพและการใช้พลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

## บรรณานุกรม

- กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา. (2563). สถานการณ์การท่องเที่ยวของประเทศไทย ไตรมาส 1/2563. สืบค้นจาก <https://www.mots.go.th/news/category/609>
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2567). การระบาดทั่วของโควิด-19. สืบค้นจาก <https://shorturl.asia/0mpdO>
- Aini, Q., Manongga, D., Rahardja, U., Sembiring, I., & Efendy, R. (2023) Innovation and key benefits of business models in blockchain companies *Blockchain Frontier Technology*, 2(2), 24–35. <https://doi.org/10.34306/bfront.v2i2.161>
- Alkaeed, M.K., Alamro, Z., Al-Ali, M.S., Al-Mohammed, H.A., & Khan, K.M. (2020) Highlight on cryptocurrencies mining with CPUs and GPUs and their benefits based on their characteristics. In *Proceedings of the IEEE 10th International Conference on System Engineering and Technology* (pp.67-72). Shah Alam, Malaysia. <https://doi.org/10.1109/ICSET51301.2020.9265386>
- An, S., & Seo, S.C. (2020). Highly efficient implementation of block ciphers on graphic processing units for massively large data. *Appl. Sci*, 10(11), 3711. <https://doi.org/10.3390/app10113711>
- Androulaki, E., Barger, A., Bortnikov, V., Cachin, C., Christidis, K., De Caro, A., . . . Manevich, Y. (2018). Hyperledger fabric: A distributed operating system for permissioned blockchains. In *Proceedings of the Thirteenth EuroSys Conference* (pp. 1-15). Porto, Portugal. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1801.10228>
- Androulaki, E., Cachin, C., De Caro, A., & Kokoris-Kogias, E. (2018). Channels: Horizontal scaling and confidentiality on permissioned blockchains. In *23rd European Symposium on Research in Computer Security, ESORICS* (pp. 111–131). Barcelona, Spain. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-99073-6\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-99073-6_6)
- Ang, L.M., & Seng, K.P. (2021). GPU-based embedded intelligence architectures and applications. *Electronics*, 10(8), 952. <https://doi.org/10.3390/electronics10080952>
- Asadi, S., Amiri, S.S., & Mottahedi, M. (2014). On the development of multi-linear regression analysis to assess energy consumption in the early stages of building design. *Energy Build.*, 85, 246–255. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.096>

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- Bartoletti, M., & Pompianu, L. (2017). An Empirical Analysis of Smart Contracts: Platforms, Applications, and Design Patterns. In *Financial Cryptography and Data Security* (pp. 494–509). Cham, Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-70278-0\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-319-70278-0_31)
- Belotti, M., Bozic, N., Pujolle, G., & Secci, S. (2019). A Vademecum on blockchain technologies: When, which, and how. *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, 21(4), 3796-3838. <https://doi.org/10.1109/comst.2019.2928178>
- Bessani, A., Sousa, J., & Vukolc, M. (2017). A byzantine fault-tolerant ordering service for the hyperledger fabric blockchain platform. In *Proceedings of the 1st Workshop on Scalable and Resilient Infrastructures for Distributed Ledgers* (pp. 1-2). New York, United States. <https://doi.org/10.1109/DSN.2018.00018>
- Böhme, R., Christin, N., Edelman, B., & Moore, T. (2015). Bitcoin: Economics, technology, and governance. *J. Econ. Perspective.*, 29(2), (pp.213–238). <https://doi.org/10.1257/jep.29.2.213>
- Bucea-Manea-Tonis, R., Martins, O.M.D., Gheorghita, C., Kuleto, V., Ilic, M.P., & Simion, V.E. (2021) Blockchain technology enhances sustainable higher education. *Sustainability* 13(22), 231-258. <https://doi.org/10.3390/su132212347>
- Cocco, L., Pinna, A., & Marchesi, M. (2017). Banking on blockchain: Costs savings thanks to the blockchain technology. *Future Internet*, 9(3), 25. <https://doi.org/10.3390/fi9030025>
- Desai, H., Kantarcioglu, M., & Kagal, L. (2019) A Hybrid Blockchain Architecture for Privacy-Enabled and Accountable Auctions, In *2019 IEEE International Conference on Blockchain* (pp. 34-43). Atlanta, GA, USA. doi: 10.1109/Blockchain.2019.00014
- Drakopoulos, G., Marountas, M., Liapakis, X., Tzimas, G., Mylonas, P., & Sioutas, S. (2020) Blockchain for mobile health applications acceleration with GPU computing. In *Advances in Experimental Medicine and Biology* (pp. 389-396). Cham, Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-32622-7\\_36](https://doi.org/10.1007/978-3-030-32622-7_36)
- Eyal, I., & Sirer, E.G. (2018) Majority is not enough: Bitcoin mining is vulnerable. *Communication of the ACM*, 61(7), 95–102. <https://doi.org/10.1145/3212998>

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- Far, S.B., Rad, A.I., & Asaar, M.R. (2023). Blockchain and its derived technologies shape the future generation of digital businesses: A focus on decentralized finance and the metaverse. *Data Sci. Manag*, 6(3), 183–197. <https://doi.org/10.1016/j.dsm.2023.06.002>
- Gatomatis, D.P., & Bogonikolos, D.N. (2020) Blockchain for reorganization of electronic business entrepreneurship. *Journal of Business & Economic Policy*, 7(4), 13-16. <https://doi.org/10.30845/jbep.v7n4p3>
- Ghosh, E., & Das, B. (2019). A study on the issue of blockchain's energy consumption. In *Proceedings of the International Ethical Hacking* (pp. 63-75). Kolkata, India. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-0361-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0361-0_5)
- Gupta, C., & Mahajan, A. (2020). Evaluation of Proof-of-Work Consensus Algorithm for Blockchain Networks. In *2020 11th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)* (pp. 1-7). Kharagpur, India. <https://doi.org/10.1145/3152824.3152830>
- Hardjono, T., Lipton, A., & Pentland, A. (2019) Toward an interoperability architecture for blockchain autonomous systems. *IEEE Trans. Eng. Manag*, 67(4), 1298–1309. <https://doi.org/10.1109/tem.2019.2920154>
- Hijma, P., Heldens, S., Sclocco, A., van Werkhoven, B., & Bal, H.E. (2023) Optimization techniques for GPU programming. *ACM Computing Surveys*, 55(11), 1–81. <https://doi.org/10.1145/3570638>
- Iliakis, K., Koliogeorgi, K., Litke, A., Varvarigou, T., & Soudris, D. (2022). GPU accelerated blockchain over key-value database transactions. *IET Blockchain*, 2(1), 1-12. <https://doi.org/10.1049/blc2.12011>
- Ju, Y., Raoofy, A., Yang, D., Laure, E., & Schulz, M. (2022). Exploiting reduced precision for GPU-based time series mining. In *Proceedings of the 2022 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium* (pp.124-134). Lyon, France. <https://doi.org/10.1109/IPDPS53621.2022.00021>

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- Junaidi, N., Abdullah, M.P., Alharbi, B., & Shaaban, M. (2023) Blockchain-based management of demand response in electric energy grids: A systematic review. *Energy Rep.*, 9, 5075–5100. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.04.020>
- Kamble, S.S., Gunasekaran, A., & Sharma, R. (2020). Modeling the blockchain enabled traceability in agriculture supply chain. *The International Journal of Information Management*, 52, 101967. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.023>
- Khan, A.A., Laghari, A.A., Liu, D.-S., Shaikh, A.A., Ma, D.-D., Wang, C.-Y., & Wagan, A.A. (2021). EPS-Ledger: Blockchain Hyperledger sawtooth-enabled distributed power systems chain of operation and control node privacy and security. *Electronics*, 10(19), 2395. <https://doi.org/10.3390/electronics10192395>
- Khan, F., David, I., Varro, D., & McIntosh, S., (2022) Code Cloning in Smart Contracts on the Ethereum Platform: An Extended Replication Study. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 4, 2006-2019. doi: 10.1109/TSE.2022.3207428
- Kiayias, A., Russell, A., David, B., & Oliynykov, R. (2017). Ouroboros: A provably secure proof-of-stake blockchain protocol. In *Advances in Cryptology-CRYPTO 2017* (pp. 357–388). Cham, Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-63688-7\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-63688-7_12)
- Kitsantas, T., & Chytis, E. (2022). Blockchain technology as an ecosystem: Trends and perspectives in accounting and management. *J. Theor. Appl. Electron. Commer. Res.*, 17(3), 1143–1161. <https://doi.org/10.3390/jtaer17030058>
- Köhler, S., & Pizzol, M. (2019). Life cycle assessment of bitcoin mining. *Environmental Science & technology*, 53(23), 13598–13606. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05687>
- Konstantinidis, I., Siaminos, G., Timplalexis, C., Zervas, P., Peristeras, V., & Decker, S. (2018). Blockchain for business applications: A systematic literature Review. In *Business Information Systems* (pp. 384–399). Cham, Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-93931-5\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-319-93931-5_28)
- Krichen, M., Ammi, M., Mihoub, A., & Almutiq, M. (2022). Blockchain for modern applications: A survey *Sensors*, 22(14), 5274. <https://doi.org/10.3390/s22145274>

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- Krishnaswamy. (2020). D. Performance considerations for edge blockchain systems in emerging 5G data networks. In *Proceedings of the 21st International Conference on Distributed Computing and Networking*, Kolkata, India. <https://doi.org/10.1145/3369740.3372767>
- Krupa, J., Lin, K., Acosta Flechas, M., Dinsmore, J., Duarte, J., Harris, P., . . . Klijnsma, T. (2020). GPU coprocessors as a service for deep learning inference in high energy physics. *Mach. Learn. Sci. Technol.*, 2, 035005. <https://doi.org/10.1088/2632-2153/abec21>
- Kuznetsov, A., Shekhanin, K., Kolhatin, A., Kovalchuk, D., Babenko, V., & Perevozova, I. (2019). Performance of hash algorithms on GPUs for use in blockchain. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory* (pp.166-170). Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.1109/ATIT49449.2019.9030442>
- Lacity, M., & Khan, S. (2019). Exploring preliminary challenges and emerging best practices in the use of enterprise blockchains applications. In *Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences* (pp. 720-732). Maui, HI, USA. <https://doi.org/10.24251/HICSS.2019.563>
- Lasla, N., Al-Sahan, L., Abdallah, M., & Younis, M. (2022). Green-PoW: An energy-efficient blockchain proof-of-work consensus algorithm. *Computer. Networks*, 214, 109118. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2022.109118>
- Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., & Koomey, J. (2020). Recalibrating global data center energy-use estimates. *Science.*, 367, 984-986. <https://doi.org/10.1126/science.aba3758>
- Matsenko, O., Tanashchuk, M., Piven, V., Matiushchenko, M., & Melnyk, L. (2020). Economic issues of blockchain use in business: Challenges of industry 4.0. In *Proceedings of the RTU 63rd International Scientific Conference on Economics and Entrepreneurship Proceedings* (pp. 68-76). Riga, Latvia. <https://doi.org/10.7250/scee.2022.007>
- Mora, C., Rollins, R.L., Taladay, K., Kantar, M.B., Chock, M.K., Shimada, M., Franklin, E.C. (2018). Bitcoin emissions alone could push global warming above 2 °C. *Nature. Climate. Change*, 8, 931–933. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0321-8>

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- Tian, N. (2017) A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things. In *2017 International Conference on Service Systems and Service Management* (pp. 1-6). Dalian, China. doi: 10.1109/ICSSSM.2017.7996119
- Netinant, P., Saengsuwan, N., Rukhiran, M., Pukdesree, S. (2023) Enhancing Data Management Strategies with a Hybrid Layering Framework in Assessing Data Validation and High Availability Sustainability. *Sustainability*, 15(20), 15034.  
<https://doi.org/10.3390/su152015034>
- Pan, Z., Zhang, F., Zhou, Y., Zhai, J., Shen, X., Mutlu, O., & Du, X. (2022) exploring data analytics without decompression on embedded GPU systems. *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, 33(7), 1553–1568. <https://doi.org/10.1109/tpds.2021.3119402>
- Pandey, M., Fernandez, M., & Gentile, F. (2022) The transformational role of GPU computing and deep learning in drug discovery. *Appl. Sci.*, 10(11), 711; <https://doi.org/10.3390/app10113711>
- Pandya, S.B., Sanghvi, H.A., Patel, R.H., & Pandya, A.S. (2022). GPU and FPGA based deployment of blockchain for cryptocurrency-A systematic review. In *Proceedings of the 2022 International Conference on Computational Intelligence and Sustainable Engineering Solution* (pp. 18-25). Greater Noida, India.  
<https://doi.org/10.1109/CISES54857.2022.9844407>
- Pathirana, A., Halgamuge, M.N., & Syed, A. (2020) Energy efficient bitcoin mining to maximize the mining profit: Using data from 119 bitcoin mining hardware setups. In *International Conference on Advances in Business Management and Information Technology* (pp. 7-14). Istanbul, Turkey. <https://iraj.doionline.org/dx/IJAECs-IRAJ-DOIONLINE-16933>
- Powel, N., Shaikh, I., & Dash, A. (2023). Impact of proof of work (PoW)-based blockchain applications on the environment: A systematic review and research agenda. *J. Risk Financial Manag.*, 16(4), 218. <https://doi.org/10.3390/jrfm16040218>

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- Powell, L.M., Hendon, M., Mangle, A. & Wimmer, H. (2021). Awareness of blockchain usage, structure, & generation of platform's energy consumption: Working towards a greener blockchain. *Issues in Information Systems*, 22(1), 114–123.  
[https://doi.org/10.48009/1\\_iis\\_2021\\_114-123](https://doi.org/10.48009/1_iis_2021_114-123)
- Ronkin, M.V., Akimova, E.N., & Misilov, V.E. (2023). Review of deep learning approaches in solving rock fragmentation problems. *AIMS Math.*, 8(10), 23900–23940.  
<https://doi.org/10.3934/math.20231219>
- Saberi, S., Kouhizadeh, M., & Sarkis, J. (2019). Blockchains and the supply chain: Findings from a broad study of practitioners. *IEEE Eng. Manag. Rev.*, 47(3), 95–103.  
<https://doi.org/10.1109/emr.2019.2928264>
- Sarkodie, S.A., Amani, M.A., Ahmed, M.Y., & Owusu, P.A. (2023) Assessment of bitcoin carbon footprint. *Sustain. Horiz.*, 7, 100060. <https://doi.org/10.1016/j.horiz.2023.100060>
- Schinckus, C., Nguyen, C.P., Ling, F.C.H. (2020). Crypto currencies trading and energy consumption. *Int. J. Energy Econ. Policy*, 10(3), 355-364.  
<https://doi.org/10.32479/ijeep.9258>
- Shanbhag, A., Madden, S., & Yu, X. (2020) A study of the fundamental performance characteristics of GPUs and CPUs for database analytics. In *Proceedings of the 2020 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data Portland* (pp. 1617-1632). New York, NY, USA, 2020
- Shrimali, B., & Patel, H.B. (2022). Blockchain state-of-the-art: Architecture, use cases, consensus, challenges and opportunities. *Journal of King Saud University*, 34(3), 6793–6807. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.08.005>
- Shuaib, M., Badotra, S., Khalid, M.I., Algarni, A.D., Ullah, S.S., Bourouis, S., . . . Gundaboina, L. (2022). A novel optimization for GPU mining using overclocking and undervaluing. *Sustainability*, 14(14), 8708. <https://doi.org/10.3390/su14148708>
- Sikorski, J.J., Haughton, J., & Kraft, M. (2017). Blockchain technology in the chemical industry: Machine-to-machine electricity market. *Applied. Energy*, 195, pp. 234–246.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.039>

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- Stachowski, M., Fiebig, A., & Rauber, T. (2021) Autotuning based on frequency scaling toward energy efficiency of blockchain algorithms on graphics processing units. *J. Supercomput.*, 77, 263–291. <https://doi.org/10.1007/s11227-020-03263-5>
- Stoll, C., Klaatzen, L., & Gellersdörfer, U. (2019) The Carbon Footprint of Bitcoin. *Joule.*, 3(7), 1647–1661. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.05.012>
- Swan, M. (2018). Blockchain for business: Next-generation enterprise artificial intelligence systems. *Advances in Computers*, 111, 121–162. <https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2018.03.013>
- Syed, T.A., Alzahrani, A., Jan, S., Siddiqui, M.S., Nadeem, A., & Alghamdi, T. (2019) A comparative analysis of blockchain architecture and its applications: Problems and recommendations. *IEEE Access*, 7, 176838–176869. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2957660>
- Tapscott, D. & Tapscott, A. (2016) *Blockchain Revolution: How the Technology behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World*. Portfolio: New York, UK
- Tariq, U., Ibrahim, A., Ahmad, T., Bouteraa, Y., & Elmogy, A. (2019) Blockchain in Internet-of-things: A necessity framework for security, reliability, transparency, immutability and liability. *IET Commun.*, 13(19), 3187–3192. <https://doi.org/10.1049/iet-com.2019.0194>
- Tkachuk, R.-V., Ilie, D., Robert, R., Kebande, V., & Tutschku, K. (2023). On the performance and scalability of consensus mechanisms in privacy-enabled decentralized renewable energy marketplace. *Ann. Telecommand.*, 79, 271-288. <https://doi.org/10.1007/s12243-023-00973-8>
- Tran, V.D., Ata, S., Tran, T.H., Lam, D.K., & Pham, H.L. (2023). Blockchain-powered education: A sustainable approach for secured and connected university systems. *Sustainability*, 15(21), 15545. <https://doi.org/10.3390/su152115545>
- Treiblmaier, H. (2018). The impact of the blockchain on the supply chain: A theory-based research framework and a call for action. *Supply Chain Manag. Int. J.*, 23(6), 545–559. <https://doi.org/10.1108/scm-01-2018-0029>

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- Xia, J., Li, H., & He, Z. (2023). The effect of blockchain technology on supply chain collaboration: A case study of lenovo. *Systems*, *11*(6), 299. <https://doi.org/10.3390/systems11060299>
- Xiang, F., Huaimin, W., Peichang, S., Xue, O., & Xunhui, Z. (2021). Jointgraph: A dag-based efficient consensus algorithm for consortium blockchains. *Softw. Pract. Exp.*, *51*(10), 1987–1999. <https://doi.org/10.1002/spe.2748>
- Yli-Huumo, J., Ko, D., Choi, S., Park, S., & Smolander, K. (2016). Where is current research on blockchain technology? - A systematic review. *PLoS ONE*, *11*(10), 1-27. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163477>
- Zamani, H., Tripathy, D., Bhuyan, L., & Chen, Z. (2020) SAOU: Safe adaptive overclocking and undervaluing for energy-efficient GPU computing. In *Proceedings of the ACM/IEEE International Symposium on Low Power Electronics and Design* (pp. 294-307). Boston, MA, USA. <https://doi.org/10.1145/3370748.340653>
- Zhang, R., Xue, R., & Liu, L. (2020). Security and privacy on blockchain. *ACM Comput. Surv.*, *52*(3), 1–34. <https://doi.org/10.1145/3316481>
- Zheng, Z., Xie, S., Dai, H., Chen, X., & Wang, H. (2017). An overview of blockchain technology: Architecture, consensus, and future trends. *2017 IEEE International Congress on Big Data (BigData Congress)* pp. 557-564. Honolulu, HI, USA. doi: 10.1109/BigDataCongress.2017.85. <https://doi.org/10.1109/BigDataCongress.2017.85>

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	ทรงวุฒิ บุญส่ง
วัน เดือน ปีเกิด	2 ธันวาคม 2522
สถานที่เกิด	จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	สถาบันราชภัฏราชนครินทร์ ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์, 2546 มหาวิทยาลัยบูรพา ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ, 2554
ที่อยู่ปัจจุบัน	56 หมู่ที่ 5 ตำบลคลองตะเกรา อำเภอท่าตะเียบ จังหวัดฉะเชิงเทรา
สถานที่ทำงาน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ตะวันออก
ตำแหน่งปัจจุบัน	หัวหน้าสาขาวิชาการจัดการ โลจิสติกส์และ ซัพพลายเชนดิจิทัล คณะมนุษยศาสตร์และ สังคมศาสตร์