



โครงการวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

การพัฒนาระบบซื้อขายพลังงานไฟฟ้าแบบเพียร์ทูเพียร์ด้วยบล็อกเชน

Implementation of a peer-to-peer energy trading system using blockchain

นางสาวรัชฎาภรณ์ รัตนพันธ์

นายอินทัช ทวีปัญญาภรณ์

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

ปีการศึกษา 2563



ใบรับรองโครงการวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และสารสนเทศศาสตร์)

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา

เรื่อง การพัฒนาระบบซื้อขายพลังงานไฟฟ้าแบบเพียร์ทูเพียร์ด้วยบล็อกเชน
Implementation of a peer-to-peer energy trading system using blockchain

นามผู้จัดทำ นางสาวรัชฎาภรณ์ รัตนพันธ์
นายอินทัช ทวีปัญญาภรณ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

(ผศ.ดร.กุลวดี สมบูรณ์วิวัฒน์)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการ

(ผศ.ดร.อุมารินทร์ แสงพานิช)

กรรมการโครงการ

(อ.ดร.นันทา จันทรพิทักษ์)

กรรมการโครงการ

(อ.ดร.อดิศักดิ์ สุภิสุน)

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา รับรองแล้ว

(รศ.ดร.อนันต์ บรรหารสกุล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

โครงการวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ เรื่อง

การพัฒนาระบบซื้อขายพลังงานไฟฟ้าแบบเพียร์ทูเพียร์ด้วยบล็อกเชน

Implementation of a peer-to-peer energy trading system
using blockchain

โดย

นางสาวรัชฎาภรณ์ รัตนพันธ์

นายอินทัช ทวีปัญญาภรณ์

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

ปีการศึกษา 2563

นางสาวรัชฎาภรณ์ รัตนพันธ์ \ นายอินทัช ทวีปัญญาภรณ์ \ 2564 \ การพัฒนาระบบซื้อขาย
พลังงานไฟฟ้าแบบเพียร์ทูเพียร์ด้วยบล็อกเชน \ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรม
คอมพิวเตอร์และสารสนเทศศาสตร์) \ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ \ คณะวิศวกรรมศาสตร์
ศรีราชา \ อาจารย์ที่ปรึกษา: อาจารย์กุลวดี สมบูรณ์วัฒน์ \ ผศ.ดร. \ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม:
อาจารย์อุมารินทร์ แสงพานิช \ ผศ.ดร. \ 62 หน้า

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนผ่านไปสู่โครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) และการแพร่หลายของแหล่งพลังงานที่กระจาย
อยู่ทั่วไป (Distributed Energy Resources: DER) ทำให้เกิดโอกาสของตลาดการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าแบบ
กระจายศูนย์ซึ่งเปิดโอกาสให้ทุกคนได้มีส่วนร่วมมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้เกิดการพัฒนาแบบการซื้อขายพลังงานแบบ
เพียร์ทูเพียร์ (peer-to-peer Energy Trading Paradigm) ที่ทำให้ผู้ผลิต (producers) และผู้ซื้อพลังงาน
(consumer) สามารถซื้อขายแลกเปลี่ยนพลังงานกันได้โดยไม่ต้องผ่านคนกลาง

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าแบบเพียร์ทูเพียร์ (peer-to-peer
energy trading system) โดยใช้บล็อกเชน โดยระบบที่พัฒนาขึ้นจะสามารถจำลองการซื้อขายระหว่างผู้ผลิต
พลังงาน (producers) ผู้ซื้อพลังงาน (consumers) และผู้ที่เป็นทั้งผู้ผลิตและผู้ซื้อพลังงาน (prosumers) ผ่าน
ทางเว็บแอปพลิเคชันที่เชื่อมต่อไปยังเครือข่ายบล็อกเชนเพียร์ทูเพียร์ ที่สร้างขึ้นโดยใช้แพลตฟอร์มบล็อกเชนที่
เรียกว่า Multichain ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระบบซื้อขายพลังงานไฟฟ้าแบบเพียร์ทูเพียร์ที่ได้พัฒนาขึ้น
สามารถทำธุรกรรมการแลกเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง

Ratchadagorn Ratthanapan \ Intouch Thaweepunyaporn \ 2021 \ Implementation of a peer-to-peer energy trading system using blockchain \ Bachelor of Engineering (Computer Engineering and Informatics) \ Department of Computer Engineering \ Faculty of Engineering at Siracha \ Project Advisor: Kulwadee Somboonviwat \ Asst.Prof.Dr. \ Co-Project Advisor: Umarin Sangpanich \ Asst.Prof.Dr. \ 62 pages.

Abstract

Transformation of electric power grid into Smart Grid and the proliferation of distributed energy resources (DER) have given rise to the opportunity for a more decentralized and democratized energy market. This opportunity has inspired the development of peer-to-peer energy trading systems which allow consumers and producers to exchange without any intermediaries.

This project aims to develop a peer-to-peer energy trading system using blockchain. The proposed system will be able to simulate energy trading among producers, consumers, and prosumers via a web application. The web application is communicated with a blockchain peer-to-peer network built using a blockchain platform, called Multichain. The experiments show that our energy trading platform can correctly execute energy exchange transactions.

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินโครงการ การพัฒนาระบบซื้อขายพลังงานไฟฟ้าแบบเพียร์ทูเพียร์ด้วยบล็อกเชน จะไม่สามารถสำเร็จลงได้ด้วยดี หากขาดการสนับสนุนและกำลังใจจากหลาย ๆ ฝ่าย อาทิ

ผศ.ดร.กุลวดี สมบูรณ์วิวัฒน์ และ ผศ.ดร.อุมารินทร์ แสงพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ สำหรับคำแนะนำ คำปรึกษาต่าง ๆ และแนวทางการแก้ไขเมื่อเกิดปัญหาต่าง ๆ ในการพัฒนาโครงการ

อ.ดร.นันทา จันทรพิทักษ์ และ อ.ดร.อดิศักดิ์ สุภิสุน อาจารย์กรรมการโครงการ สำหรับคำแนะนำ และคำปรึกษา ในการพัฒนาโครงการ

คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจ สอบถามและติดตามการทำโครงการนี้ด้วยความห่วงใยตลอดการทำโครงการนี้

เพื่อนนิสิตภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ปีการศึกษา 2561 ทุกคนที่ได้ช่วยให้คำแนะนำเพิ่มเติมในหลาย ๆ เรื่องที่มีประโยชน์ต่อการทำโครงการ

ผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ที่ได้ช่วยให้การดำเนินโครงการนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี

รัชฎากรณ์ รัตนพันธ์

อินทัช ทวีปัญญาภรณ์

เมษายน 2564

สารบัญ

โครงงานวิศวกรรมคอมพิวเตอร์.....	ข
บทคัดย่อ.....	ค
Abstract	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1.คำสำคัญ (Key Words).....	1
1.2.หลักการและเหตุผล.....	1
1.3.วัตถุประสงค์.....	2
1.4.ปัญหาหรือประโยชน์เป็นเหตุผลให้พัฒนาระบบ	2
1.5.เป้าหมายและขอบเขตของโครงงาน.....	2
1.6.กลุ่มผู้ใช้งาน	3
1.7.ประโยชน์ที่ได้รับ	3
1.8.แผนการดำเนินงาน.....	3
บทที่ 2	4
ความรู้พื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1.บล็อกเชน	4
2.2.ระบบการซื้อขายพลังงาน (Energy Trading System)	10
2.3.เครือข่ายบล็อกเชนแบบเพียร์ทูเพียร์ (Blockchain Peer-to-Peer System).....	11
2.4.การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน Django	15
2.5.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3	19
บล็อกเชนเพียร์ทูเพียร์สำหรับการซื้อขายพลังงาน	19
3.1.โมเดลการซื้อขายพลังงานด้วยบล็อกเชน	19

3.2.การซื้อขายพลังงานด้วย Multichain	23
3.2.1.การสร้างบล็อกเชน.....	23
3.2.2.สร้างสินทรัพย์ (Asset)	23
3.2.3. การเชื่อมต่อโหนด	23
3.2.4.การสร้าง Energy Asset	24
3.2.5.การซื้อขาย Ecoin.....	24
3.2.6.การเสนอขายพลังงาน	24
3.2.7.การซื้อขายพลังงาน.....	25
บทที่ 4.....	26
เว็บแอปพลิเคชันสำหรับการซื้อขายพลังงาน	26
(Energy Trading Web Application).....	26
4.1.ความต้องการของระบบ.....	26
4.2.การออกแบบฐานข้อมูล	29
4.3.ฟังก์ชันการทำงานหลักของระบบและส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน.....	34
บทที่ 5.....	47
ผลและวิจารณ์	47
5.1.ผลการทดสอบระบบโดยรวม	47
5.2.ผลการทดสอบระบบในส่วนย่อย.....	47
5.3.สรุปผลและวิจารณ์	47
บทที่ 6.....	49
สรุปและข้อเสนอแนะ.....	49
6.1.สรุป.....	49
6.2.แนวทางในการพัฒนาต่อ	49
ภาคผนวก	50
ก1.....	54

คู่มือการติดตั้งระบบ.....	54
ก2.....	59
คู่มือการใช้งาน.....	59
เอกสารอ้างอิง.....	61

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1	แผนการดำเนินงาน	3
ตารางที่ 2	ข้อมูลโดยสรุปของ Ethereum.....	11
ตารางที่ 3	ข้อมูลโดยสรุปของ Hyperledger	12
ตารางที่ 4	ข้อมูลโดยสรุปของ Bitcoin	13
ตารางที่ 5	ข้อมูลโดยสรุปของ Multichain	14
ตารางที่ 6	ข้อมูลโดยสรุปของการสร้าง Blockchain.....	23
ตารางที่ 7	ข้อมูลโดยสรุปของการสร้าง Asset.....	23
ตารางที่ 8	ข้อมูลโดยสรุปของการเชื่อมต่อโหนด	23
ตารางที่ 9	ข้อมูลโดยสรุปของการสร้าง Energy Asset	24
ตารางที่ 10	ข้อมูลโดยสรุปของการซื้อ Ecoin	24
ตารางที่ 11	ข้อมูลโดยสรุปของการเสนอขายพลังงาน	24
ตารางที่ 12	ข้อมูลโดยสรุปของการซื้อพลังงาน	25
ตารางที่ 13	ตารางแสดงคำอธิบายของ auth_user table	30
ตารางที่ 14	ตารางแสดงคำอธิบายของ blog_wallettopup table	31
ตารางที่ 15	ตารางแสดงคำอธิบายของ blog_history table	32
ตารางที่ 16	ตารางแสดงคำอธิบายของ blog_rpcconfig Table	32
ตารางที่ 17	ตารางแสดงคำอธิบายของ blog_sell Table	33
ตารางที่ 18	ตารางแสดงผลการทดสอบระบบส่วนย่อย	47

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1 การดำเนินการรายการธุรกรรมและแฮชไปยังบล็อกก่อนหน้า.....	5
ภาพที่ 2 กระบวนการทำงานของระบบ blockchain	6
ภาพที่ 3 Gideon	10
ภาพที่ 4 PowerLedger.....	10
ภาพที่ 5 Ethereum	11
ภาพที่ 6 Hyperledger	12
ภาพที่ 7 Bitcoin	13
ภาพที่ 8 Multichain	14
ภาพที่ 9 การเรียกใช้ Savoir	15
ภาพที่ 10 โครงสร้างโปรเจค Django Framework.....	16
ภาพที่ 11 Model View Template	16
ภาพที่ 12 ภาพแสดงโครงสร้างของโหนดต่างๆ.....	19
ภาพที่ 13 ภาพแสดง flow chart ขั้นตอนการขาย.....	20
ภาพที่ 14 ภาพแสดง flow chart ขั้นตอนการซื้อ.....	21
ภาพที่ 15 ภาพแสดง flow chart วิธีจับคู่การซื้อขาย	22
ภาพที่ 16 ภาพแสดง Use case ของผู้ใช้งาน.....	26
ภาพที่ 17 E/R Diagram.....	29
ภาพที่ 18 Auth_user Table	30
ภาพที่ 19 blog_wallettopup Table	31
ภาพที่ 20 blog_history Table	31
ภาพที่ 21 blog_rpcconfig Table.....	32
ภาพที่ 22 blog_sell Table	33
ภาพที่ 23 ภาพแสดง flow chart ของหน้า Register	34
ภาพที่ 24 ภาพแสดงหน้าเว็บของหน้า Register	35
ภาพที่ 25 ภาพแสดง flow chart ของหน้า Log-in	35

ภาพที่ 26 ภาพแสดงหน้าเว็บของหน้า Log-in	36
ภาพที่ 27 ภาพแสดง flow chart ของหน้า Home	36
ภาพที่ 28 ภาพแสดงหน้าเว็บของหน้า Home	37
ภาพที่ 29 ภาพแสดง flow chart ของหน้า Offer	38
ภาพที่ 30 ภาพแสดงหน้าเว็บของหน้า Offer	39
ภาพที่ 31 ภาพแสดง flow chart ของหน้า Bid.....	40
ภาพที่ 32 ภาพแสดงหน้าเว็บของหน้า Bid.....	41
ภาพที่ 33 ภาพแสดง flow chart ของหน้า Bid.....	42
ภาพที่ 34 ภาพแสดง flow chart ของหน้า Deposit Energy	43
ภาพที่ 35 ภาพแสดงหน้าเว็บของหน้า Deposit energy	44
ภาพที่ 36 ภาพแสดง flow chart ของหน้า Wallet Top up.....	44
ภาพที่ 37 ภาพแสดงหน้าเว็บของหน้า Wallet Top up.....	45
ภาพที่ 38 ภาพแสดง flow chart ของหน้า Admin.....	45
ภาพที่ 39 ภาพแสดงหน้าเว็บของหน้า Admin.....	46
ภาพที่ 40 ภาพแสดงการสร้างบล็อกเชน	54
ภาพที่ 41 ภาพแสดงการเปิดโหนดเซิร์ฟเวอร์.....	55
ภาพที่ 42 ภาพแสดงการตรวจสอบ Address.....	55
ภาพที่ 43 ภาพแสดงการสร้าง Asset Energy.....	56
ภาพที่ 44 ภาพแสดงการสร้าง Asset Ecoin.....	57
ภาพที่ 45 ภาพแสดงการเชื่อมต่อโหนด	57
ภาพที่ 46 ภาพแสดงการเพิ่มสิทธิ์การเชื่อมต่อ	58

บทที่ 1

บทนำ

1.1. คำสำคัญ (Key Words)

1. Energy Trading System
2. Blockchain
3. Peer to Peer

1.2. หลักการและเหตุผล

ในปัจจุบันประเทศไทยมีหน่วยงานที่ดูแลและกำกับกิจการทางด้านไฟฟ้าคือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเป็นผู้ผลิต การไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นผู้จำหน่ายไฟฟ้า การไฟฟ้ามีรูปแบบการซื้อขายไฟฟ้าตามประกาศของการไฟฟ้า คือ อัตราค่าหน่วย TOU และ TOD ผู้ประกอบการกิจการไฟฟ้ารายย่อย (ไมโครกริด นาโนกริด เป็นต้น) จำเป็นต้องขออนุญาตการไฟฟ้าและกองกำกับกิจการพลังงาน เนื่องจากแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP2018)^[1] ประเทศไทยมีเป้าหมายเพิ่มสัดส่วนพลังงานทดแทน 30% ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย มีการสนับสนุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าทดแทนเพื่อใช้เอง และสนับสนุนการซื้อขายไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพื่อให้เกิดความคุ้มค่า และในอนาคตประเทศไทยจะพัฒนาการเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กและกลาง (Nanogrid and Microgrid) กับโครงข่ายของการไฟฟ้า ให้เป็นโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart grid) ที่มีการซื้อขายไฟฟ้าระหว่างกันได้และระหว่างผู้ซื้อรายย่อยได้เช่นเดียวกัน ระบบซื้อขายพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ผ่านคนกลางและมีความปลอดภัย จึงมีความสำคัญต่อการพัฒนาโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ^[1]

จากปัญหาข้างต้นได้พบงานวิจัยและบทความต่างๆในต่างประเทศพบว่าการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าแบบเพียร์ทูเพียร์ ด้วยบล็อกเชนเป็นระบบที่เหมาะสม มีความปลอดภัยและมีความเป็นส่วนตัวพร้อมด้วยต้นทุนที่ต่ำ เราจึงพัฒนาระบบซื้อขายพลังงานไฟฟ้าแบบเพียร์ทูเพียร์ด้วยบล็อกเชน

ประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงข่ายนี้คือ จะไม่มีการผูกขาดในการซื้อขายพลังงาน ประชาชนมีสิทธิเลือกซื้อพลังงานในราคาที่ถูกลง สนับสนุนการใช้พลังงานทดแทน ประชาชนมีโอกาสในการสร้างรายได้จากการขายพลังงาน พลังงานไฟฟ้าไม่ต้องขนส่งจากโรงไฟฟ้าที่ตั้งอยู่ใจกลางเมืองช่วยลดต้นทุนการขนส่งไฟฟ้า การใช้บล็อกเชน ในการทำธุรกรรมซื้อขายไฟฟ้า สร้างความโปร่งใสอย่างเต็มที่ ลดการคอร์รัปชัน ข้อมูลจำนวนมากมหาศาล (Big data) ที่จะถูกเก็บมา สามารถนำไปวิเคราะห์วางแผนการติดตั้งแหล่งกักเก็บพลังงานทดแทนที่เหมาะสม นำไปใช้ในการวิเคราะห์การลงทุนด้านพลังงานต่อไปในอนาคตได้

1.3. วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาระบบการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าที่สามารถซื้อขายพลังงานไฟฟ้าโดยไม่ผ่านคนกลางได้อย่างปลอดภัย โดยใช้บล็อกเชน

1.4. ปัญหาหรือประโยชน์เป็นเหตุผลให้พัฒนาระบบ

1. จากสถิติเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแต่ละแหล่งพลังงาน จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์ของการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ถ่านหินมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่การผลิตไฟฟ้าโดยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมกลับมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้น
2. ปัญหาหนึ่งของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ คือ ช่วงเวลาที่ Solar Panel สามารถผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ได้มากที่สุดกลับเป็นช่วงเวลาเดียวกันที่มีการใช้ไฟฟ้าในบ้านน้อย จึงทำให้เกิดพลังงานส่วนเกินในเวลาดังกล่าว เราจะทำอย่างไรกับพลังงานที่เหลือใช้นี้
3. ทางเลือกแรก คือการเก็บพลังงานส่วนเกินไว้ในระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (Battery Energy Storage System) แต่เนื่องจากราคาที่ค่อนข้างสูงในเวลานี้ ทำให้ทางเลือกนี้ยังเป็นไปได้อย่างยากในปัจจุบัน
4. จึงทำให้ทางเลือกที่สอง นั่นคือ การซื้อขายไฟฟ้าระหว่างผู้ใช้ไฟฟ้า (Peer to peer: P2P) กลายเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีความสนใจกันเยอะมากในปัจจุบัน ทั้งในภาครัฐ ภาคเอกชนหรือแม้แต่ภาคการศึกษา เพราะนอกจากจะเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนที่เหลือใช้ให้เกิดประโยชน์แล้ว ยังเป็นการลดภาระการผลิตไฟฟ้าของประเทศ รวมถึงสร้างรายได้ให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าย่อยได้อีกด้วย
5. เทคโนโลยีบล็อกเชนในปัจจุบัน ผู้ผลิตไฟฟ้าจะสามารถทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้ากับผู้ต้องการใช้ไฟฟ้าได้โดยตรง ไม่ต้องผ่านตัวกลาง เพราะการซื้อขายในระบบบล็อกเชน นั้นยากต่อการปลอมแปลง มีความโปร่งใสและสามารถตรวจสอบได้

1.5. เป้าหมายและขอบเขตของโครงการ

1.5.1 เป้าหมายของโครงการ

1. สร้างแพลตฟอร์มระบบจำลองการซื้อขายพลังงานแบบเพียร์ทูเพียร์ด้วยการใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนมาช่วยเรื่องความปลอดภัย
2. สร้างระบบจำลองการซื้อขายพลังงานที่สามารถแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างกันได้โดยไม่ผ่านคนกลาง

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. บล็อกเชน

2.1.1. เทคโนโลยีบล็อกเชนคืออะไร

บล็อกเชน (Blockchain) คือเทคโนโลยีการจัดเก็บข้อมูลแบบ Shared Database หรือ ที่รู้จักกันในชื่อ “Distributed Ledger Technology (DLT)” โดยเป็นรูปแบบการบันทึกข้อมูลที่รับประกันความปลอดภัยว่าข้อมูลที่ถูกบันทึกไปก่อนหน้านี้ ไม่สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงหรือแก้ไขได้ ซึ่งทุกผู้ใช้งานจะได้เห็นข้อมูลชุดเดียวกันทั้งหมด โดยใช้หลักการ Cryptography และความสามารถของ Distributed Computing เพื่อสร้างกลไกความน่าเชื่อถือ^[2]

บล็อกเชนได้เปลี่ยนแปลงระบบการเงินจากที่มีธนาคารเป็นศูนย์กลางให้กลายเป็นการสร้างเครือข่ายข้อมูลในรูปแบบของระบบบัญชีสาธารณะแบบกระจาย เพื่อให้เกิดความปลอดภัยและโปร่งใสมากขึ้น รวมถึงช่วยลดต้นทุนในการทำธุรกรรมทางการเงิน ซึ่งไม่เพียงแต่ใช้ประโยชน์ในเรื่องของการเงินเพียงอย่างเดียว แต่สามารถนำไปใช้ในเรื่องการซื้อขายหุ้น อสังหาริมทรัพย์ การจัดการเอกสารจากลายเซ็นดิจิทัล และอื่นๆ ได้อีกมากมาย

2.1.2. ทำไมถึงแก้ไขข้อมูลในบล็อกเชนไม่ได้

แต่ละกล่องของบล็อกเชนที่เก็บข้อมูล จะมีการทำลายนิ้วมือ (hash) ของกล่องนั้นๆ ที่เกิดจากข้อมูลในกล่องตัวเองรวมถึงลายนิ้วมือของกล่องก่อนหน้า ดังนั้นถ้าเราตรวจสอบความถูกต้องของลายนิ้วมือในกล่องใดๆ เทียบกับลายนิ้วมือในกล่องก่อนหน้านั้นแล้วไม่ตรงตามที่ควรจะเป็น นั่นแปลว่าข้อมูลถูกแก้ไขแล้ว ซึ่งโดยธรรมชาติแล้วจะไม่เกิดขึ้น เพราะว่าโดยการทำงานแล้วมันจะไม่ยอมให้เกิดขึ้นถามว่าใครเป็นคนที่ไม่ยอมให้มันเกิดขึ้น นั่นก็คือทุกคนที่อยู่ในระบบนั่นเอง เพราะทุกคนเห็นข้อมูลเหมือนกัน มีการกำหนดมาตรฐานการต่อข้อมูลแต่ละกล่องแบบเดียวกัน จึงทำให้ทราบว่ากล่องต่อไปที่จะต่อได้ จะต้องมีความสัมพันธ์เช่นไร^[3]

2.1.3. การทำงานของเทคโนโลยีบล็อกเชน

บล็อกเชนเป็นการบันทึกธุรกรรมที่บล็อก (Block) แต่ละบล็อกจะถูกระบุตัวตนโดยการเข้ารหัสลับของแฮช (Hash) โดยแต่ละบล็อกจะอ้างอิงถึงแฮชของบล็อกที่อยู่ก่อนหน้า จากนั้นจึงเกิดการสร้างความเชื่อมโยงระหว่างบล็อกโดยจะสร้างห่วงโซ่ (Chain) ของบล็อกหรือที่เรียกกันว่า บล็อกเชน (Blockchain)



ภาพที่ 1 การดำเนินการรายการธุรกรรมและแฮชไปยังบล็อกก่อนหน้า

โดยทั่วไปผู้ใช้แต่ละรายในบล็อกเชนจะถูกกำหนดให้มีสิทธิ์ในการทำธุรกรรมบนเครือข่ายผ่าน Node ของตนเอง โดย Node เหล่านี้จะสร้างเครือข่ายแบบ Peer-to-Peer โดยผู้ใช้สามารถสื่อสารกับบล็อกเชนผ่านทางคีย์ส่วนตัว (Private Key) และคีย์สาธารณะ (Public Key) โดยผู้ใช้จะใช้คีย์ส่วนตัวเพื่อทำธุรกรรมของตนเอง และสามารถระบุตัวตนได้บนเครือข่ายผ่านคีย์สาธารณะ ดังนั้นทุกรายการธุรกรรมที่ผ่านการรับรองจะถูกแจ้งไปยังผู้ใช้รายอื่นที่อยู่ในบล็อกเชนเดียวกัน จากนั้นบล็อกที่อยู่ข้างเคียงจะทำการตรวจสอบเพื่อให้แน่ใจว่ารายการธุรกรรมที่ได้รับนี้ถูกต้อง ก่อนส่งต่อไปยังบล็อกถัดไป โดยหากพบว่ามีรายการธุรกรรมใดที่ไม่ถูกต้อง รายการนั้นจะถูกทิ้งไป จนในที่สุดการทำธุรกรรมนี้จะถูกกระจายไปทั่วทั้งเครือข่าย โดย Node จะทำการตรวจสอบว่ามีธุรกรรมใหม่เกิดขึ้นหรือไม่ หากประมวลผลแล้วพบว่ามีธุรกรรมใหม่เกิดขึ้น ก็จะจัดธุรกรรมนั้นให้อยู่ในรูปของ “บล็อก (Block)” โดยจะประยุกต์ใช้สมการคณิตศาสตร์ขั้นสูงเข้ากับข้อมูลในบล็อก และแปลงให้เป็น “ลายเซ็นอิเล็กทรอนิกส์ (Digital Signature)” เพื่อความปลอดภัย เรียกว่า “แฮช (Hash)” จากนั้นจะนำแฮชมาต่อท้ายบล็อกเชน โดยแฮชจากบล็อกสุดท้ายใน Chain ที่ก่อนจะถึงบล็อกปัจจุบัน จะถูกนำมาสร้างเป็นแฮชใหม่ ดังนั้นแฮชจึงเปรียบเป็น “การผนึกจดหมาย” โดยถ้าเปลี่ยนข้อมูลในบล็อกเพียงตัวอักษรตัวเดียว แฮชก็จะเปลี่ยนไปทั้งหมด ดังนั้นแฮชจึงช่วย “ยืนยัน” ว่าธุรกรรมล่าสุดเกิดขึ้นจริง และยืนยันว่าธุรกรรมหลังจากนี้ทั้งหมดถูกต้องด้วยเช่นกัน โดยหลักการทำงานพื้นฐานที่สำคัญของเทคโนโลยี Blockchain อย่างน้อยจะต้องประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ๆ ^[4] ดังแสดงในรูปภาพที่ 3



ภาพที่ 2 กระบวนการทำงานของระบบ blockchain

2.1.3. องค์ประกอบของเทคโนโลยีบล็อกเชน

ประกอบด้วย 4 องค์ประกอบสำคัญ ได้แก่

1. บล็อก (Block)

คือ สิ่งที่ใช้สำหรับบรรจุข้อมูล ประกอบด้วย 2 ส่วน คือส่วนของ Block Header เพื่อใช้บอกให้คนอื่นทราบว่าภายในบรรจุข้อมูลอะไรไว้ และส่วนของ Block Data เพื่อใช้ในการบรรจุข้อมูลต่างๆ โดยแต่ละบล็อกจะเชื่อมโยงเข้าหาบล็อกก่อนหน้าด้วยค่า Hash Function ของบล็อกก่อน และจะเรียงร้อยต่อกันเป็น Chain ทำให้ยากต่อการปลอมแปลง แก้ไข และสามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลได้ทุกลบล็อกตลอดทั้ง Chain ซึ่งสามารถตรวจสอบย้อนกลับไปได้จนถึงบล็อกเริ่มต้น Genesis Block ได้ โดยโครงสร้างของแต่ละบล็อกจะประกอบไปด้วยข้อมูล 7 ส่วน

- **หมายเลขบล็อก** คือ ตัวเลขจำนวนเต็มเรียงกันตั้งแต่ 1, 2, 3, 4, 5 ไปเรื่อย ๆ โดยมีความหมายแสดงถึงลำดับก่อนหลัง คือ บล็อกหมายเลข 1 เกิดก่อนบล็อกหมายเลข 2
- **Timestamp** คือ เวลาที่บล็อกนั้นถูกสร้างขึ้น

- **Nonce** คือ ค่าของตัวเลขแบบสุ่มที่ถูกเปลี่ยนค่าไปเรื่อยๆ จนได้ค่าแฮชที่เหมาะสม
- **Difficulty Target** คือ ค่าระดับความยากที่จะถูกใช้ในการค้นหาค่า Nonce โดยค่า Hash ที่ได้นั้นจะต้องมีค่าต่ำกว่าค่า Difficulty Target นั้นเอง
- **Previous Hash** คือ ค่า Current Hash ของบล็อกก่อนหน้า ซึ่งเปรียบได้กับค่า Digital Signature ของบล็อกก่อนหน้า ช่วยให้ผู้ใช้รู้ว่าบล็อกนี้ต่อมาจากบล็อกไหน โดยหากมีการแก้ไขข้อมูลใน Block ก่อนหน้าจะทำให้ค่า Hash ของบล็อกไม่เท่ากัน
- **Data** คือ ข้อมูลที่ถูกบันทึกอยู่ใน Block ซึ่งข้อมูลนี้จะเป็นอะไรก็ได้ที่เราจะบันทึก เช่น ข้อมูล Transaction ต่าง ๆ เป็นต้น
- **Merkle Root** คือ ค่า Hash ของ Transactions ทั้งหมดใน Block ซึ่งเป็นวิธีการ Hash ข้อมูลชุดใหญ่ โดยใช้รูปแบบ Hash Tree ซึ่งจะ Hash Transactions ทั้งหมดใน Block ให้กลายเป็น Hash Value ขนาด 32 ไบต์

2. Chain

คือ หลักการจดจำธุรกรรมของทุกคนในระบบและบันทึก ข้อมูลพร้อมจัดทำเป็นสำเนาบัญชี Ledger แจกจ่ายให้กับทุกคนในระบบ สำเนาบัญชี Ledger ที่ว่านั้นจะถูกกระจายส่งต่อไปให้ทุกๆ Node ในระบบ เพื่อให้ทุกคนรับทราบว่ามีธุรกรรมอะไรเกิดขึ้นมาบ้างตั้งแต่เปิดระบบบล็อกเชนนั่นขึ้นมา ถึงแม้ว่าจะมี Node ใด Node หนึ่งเสียหายไปก็สามารถยืนยัน หรือกู้ข้อมูล Ledger จาก Node อื่น ๆ กลับมาอัปเดตให้ทั้งระบบได้เหมือนเดิม

3. Consensus

คือ การกำหนดข้อตกลงและความเห็นชอบร่วมกันระหว่างสมาชิกในเครือข่ายบล็อกเชน ด้วยกลไกในการควบคุมความถูกต้องของข้อมูลในทุก Node ผ่านอัลกอริทึมต่างๆ เพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้องเที่ยงตรงและเป็นข้อมูลชุดเดียวกัน รวมทั้งข้อมูลมีการจัดเก็บที่สอดคล้องและมีลำดับการจัดเก็บตรงกัน ทั้งนี้กระบวนการ Consensus มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี โดยจะใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของบล็อกเชนในแต่ละประเภท รวมถึงแนวทางการออกแบบระบบบล็อกเชนด้วย ยกตัวอย่างเช่น

- **Proof-of-Work** คือ การแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีความซับซ้อนและต้องใช้เวลาในการแก้ปัญหานั้นๆ จาก Nodes ต่างๆ ที่อยู่ในเครือข่ายหรือเรียกว่า “Miners” เพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่จะถูกบันทึกเข้ามาในเครือข่าย และจะได้รับค่าตอบแทนจากการทำ Proof-of-Work ทำให้การแก้ไขข้อมูลที่ถูกบันทึกลงในระบบบล็อกเชนแล้วนั้นทำได้ยาก ยกตัวอย่างเช่น Bitcoins ซึ่งเป็น Public Blockchain ใช้วิธีการยืนยันรายการแบบ Proof-of-Work
- **Proof-of-Stake** คือ การใช้หลักการวาง “สินทรัพย์” ของผู้ตรวจสอบ (Validator) ในการยืนยันธุรกรรม ผู้ตรวจสอบที่ทำการวางสินทรัพย์จำนวนมากจึงมีโอกาสสูงที่จะได้รับสิทธิ์ในการเขียนข้อมูลธุรกรรมบน Block ถัดไป โดยผู้ที่ทำการเขียนข้อมูล บน Block ถัดไปจะได้รับค่าธรรมเนียมการดำเนินงานเป็นรางวัล ยกตัวอย่างเช่น Ethereum ซึ่งเป็น Public Blockchain ใช้วิธีการยืนยันรายการแบบ Proof-of-Stake
- **Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT)** คือ การใช้หลักการเสียงข้างมาก ซึ่งต้องมีจำนวนผู้ตรวจสอบทั้งสิ้นจำนวน $3f+1$ node เพื่อรับประกันความถูกต้องของระบบ โดย f คือ จำนวนผู้ตรวจสอบที่ไม่สามารถทำงานได้ในขณะนั้น ยกตัวอย่างเช่น HyperLedger ซึ่งเป็น Private Blockchain ใช้วิธีการยืนยันรายการแบบ PBFT
- **Proof-of-Authority** คือ การทำข้อตกลงร่วมกันในการกำหนดสิทธิผู้ใช้งานหรือองค์กรที่เชื่อถือได้ สำหรับการทำธุรกรรมด้วยวิธีการระบุชื่อผู้ใช้อย่างเป็นทางการให้กับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียแต่ละ Node บนเครือข่ายบล็อกเชน ในการทำ ธุรกรรมจะได้รับการตรวจสอบสิทธิ์จากบัญชีที่ได้รับอนุมัติหรือเรียกว่าผู้ตรวจสอบ (Validator) ซึ่งทำหน้าที่ในการรักษาความปลอดภัย โดยใช้รูปแบบการหมุนเวียนสิทธิเพื่อกระจายความรับผิดชอบ และ เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยงานอย่างเป็นธรรม

4. Validation

คือ การตรวจสอบความถูกต้องแบบทวนทั้งระบบ เพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น ซึ่งก็คือส่วนหนึ่งของ Consensus ที่เรียกว่า Proof-of-Work โดยหลักการแล้วการทำ Validation นั้นมีจุดประสงค์อยู่ 3 ประการคือ

- วิธีการในการยอมรับ/ปฏิเสธรายการในบล็อกนั้นๆ
- วิธีการตรวจสอบที่ทุกคนในระบบยอมรับร่วมกัน
- วิธีตรวจสอบความถูกต้องของแต่ละบล็อกยกตัวอย่างเช่น
 - หมายเลข Block โดยตรวจสอบบล็อกก่อนหน้าที่ติดกันว่าเป็นบล็อกที่ถูกต้องหรือไม่ โดยเวลาที่บล็อกถูกสร้างต้องมากกว่าเวลาของบล็อกก่อนหน้า
 - ค่า Nonce โดยการตรวจสอบค่า Nonce ซึ่งก็คือค่า Hash ของบล็อกที่ได้มาจากการทำ Proof-of-Work นั้นเอง
 - ค่า Previous Hash และ ค่า Current Hash โดยการตรวจสอบสถานะเริ่มต้นในบล็อกต้องมีข้อมูลตรงตามสถานะสุดท้ายของบล็อกก่อนหน้า

การทำ Validation นั้นอาจจะมีขั้นตอนมากกว่านี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบการเก็บข้อมูลในบล็อกของแต่ละคายนั่นเอง ยกตัวอย่างเช่น ค่าย Ethereum นั้นจะมีขั้นตอน การ Validation ถึง 5 ขั้นตอนด้วยกัน ซึ่งจะต้องสัมพันธ์กับการเก็บข้อมูลในบล็อก

2.2. ระบบการซื้อขายพลังงาน (Energy Trading System)

2.2.1. Gideon



ภาพที่ 3 Gideon

บันทึกธุรกรรมของผู้ใช้ทุกคนด้วยเทคโนโลยีที่ใช้บล็อกเชน ทำให้บันทึกธุรกรรมแทบจะไม่ถูกดัดแปลง สามารถกำหนดราคาเสนอซื้อ และอัปเดตข้อมูลการใช้พลังงานแบบเรียลไทม์ และมีอัลกอริทึมสำหรับการซื้อขายซึ่งคาดการณ์ช่วงราคาที่ตรงกัน โดยใช้ข้อมูลผู้ใช้และข้อมูลการตลาดด้วยอัลกอริทึม AI ^[5]

2.2.2. PowerLedger



ภาพที่ 4 PowerLedger

คือเทคโนโลยี Blockchain ในรูปแบบของ Ethereum ซึ่งใช้ Consensus แบบ Proof of Steak ซึ่งจะทำให้การซื้อขายไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียนสามารถทำได้ Real-Time ในรูปแบบ Peer-to-Peer ผ่านระบบ Internet โดยมี 4 Application Layers คือ Layer1: Ethereum Blockchain ซึ่งเป็นพื้นฐานการทำงานของ Power Ledger โดยใช้ Ethereum, Layer2: Power Ledger Core หลักๆจะมีในส่วนของ Token Generation Event (TGE) Power Management, Layer3: Ecochain Services ใช้ในการดึงข้อมูลจาก Smart Meter (Meter Reading) ผ่าน API หรือ Direct Push เข้า Server ของ Power Ledger และ Layer4: Power Ledger Applications เช่น Carbon Trading หรือ Microgrid Manager ^[6]

2.3. เครือข่ายบล็อกเชนแบบเพียร์ทูเพียร์ (Blockchain Peer-to-Peer System)

2.3.1. Ethereum



ภาพที่ 5 Ethereum

Ethereum เป็น Blockchain Platform ที่ได้รับความนิยมสูงสุดและมีการใช้งานมากที่สุดในปัจจุบัน โดยเมื่อผู้ใช้งานสร้าง DApp หรือ Smart Contract บน Ethereum นั้นจะต้องใช้ Ether เป็นค่าธรรมเนียม เป็นสกุลเงินดิจิทัลที่ใหญ่เป็นอันดับสองตามมูลค่าตลาดรองจาก Bitcoin

จุดเด่น: Ethereum จะจัดสรรข้อมูลได้ดีเพื่อให้ผู้เข้าร่วมเครือข่ายไม่ต้องพึ่งพางค์กรส่วนกลางในการจัดการระบบ Ethereum สามารถทำงานกับหลายร้อยโหนดและผู้ใช้นับล้าน คู่แข่งบล็อกเชนส่วนใหญ่ใช้เครือข่ายที่มีโหนดน้อยกว่า 10 โหนด ระบบเปิดให้อิสระกับผู้พัฒนาและเป็นรายการที่ทำให้ผู้คนยอมรับและเชื่อถือได้ง่าย^[7]

จุดด้อย: ระบบไม่เสถียรยังมีปัญหาคอขวดจากจำนวนธุรกรรมที่เพิ่มขึ้นทันทีทันใด ปัญหาเรื่องการทำให้ Smart contract ไม่มีความปลอดภัย เนื่องจากตัวระบบ Ethereum มีความปลอดภัย แต่ตัวแอปพลิเคชันที่ต่อยอด เช่น DApp ต่างๆยังมีการถูก Hack และยังไม่ปลอดภัยเท่าตัวระบบ Ethereum

ตารางที่ 2 ข้อมูลโดยสรุปของ Ethereum

ลำดับ	หัวข้อ	คำอธิบาย
1	วัตถุประสงค์	เรียกใช้ Smart Contracts
2	สามารถจัดเก็บข้อมูลประเภทใดได้บ้าง	Cryptocurrency, Digital Assets, Smart Contracts
3	ภาษา Scripting ที่ใช้	Solidity, Serpent, LLL
4	สาธารณะ/ส่วนตัว	สาธารณะ
5	Native Currency	Ether (ETH or ETC)
6	ระยะเวลาในการสร้าง Block	12 วินาที
7	ขนาดของ Transaction	ในทางทฤษฎีไม่มีสูงสุด (สูงสุดจริง: 89 kB)
8	Transaction Rate	ในทางทฤษฎีไม่มีค่าสูงสุด
9	Consensus Model	คล้ายกับ Bitcoin แต่ใช้ Ethereum Virtual Machine
10	Mining	Proof-of-work โดยใช้ Ethash algorithm

2.3.2. Hyperledger



ภาพที่ 6 Hyperledger

เป็น Open Source ที่มุ่งเน้นการพัฒนาชุดของเฟรมเวิร์กเครื่องมือและไลบรารีที่เสถียรสำหรับการปรับใช้บล็อกเชนระดับองค์กร เป็นการร่วมมือกันจัดทำโดย The Linux Foundation และรวมถึงผู้นำด้านการเงินธนาคาร และ Internet of Things (IoT)^[8]

จุดเด่น: ฐานข้อมูลเอกสารที่เก็บเนื้อหาเป็น JSON ทำให้ฐานข้อมูลสืบค้นได้ง่ายมาก มีช่องทางสำหรับการแบ่งส่วนข้อมูล

จุดด้อย: ไม่ใช่บล็อกเชนสาธารณะ จึงไม่เกิดความโปร่งใสอย่างสมบูรณ์ ไม่มี Cryptocurrency

ตารางที่ 3 ข้อมูลโดยสรุปของ Hyperledger

ลำดับ	หัวข้อ	คำอธิบาย
1	วัตถุประสงค์	ใช้ในสร้างบล็อกเชนสำหรับกรณีการใช้งานในอุตสาหกรรม
2	สามารถจัดเก็บข้อมูลประเภทใดได้บ้าง	Chaincode (เช่น Smart Contracts)
3	ภาษา Scripting ที่ใช้	Go (Golang), Java
4	สาธารณะ/ส่วนตัว	ส่วนตัว
5	Native Currency	ไม่มี
6	ระยะเวลาในการสร้าง Block	ไม่ปรากฏ
7	ขนาดของ Transaction	ปรับได้
8	Transaction Rate	> 10k tx/วินาที
9	Consensus Model	PBFT กับ Dummy
10	Mining	ไม่มี

2.3.3. Bitcoin



ภาพที่ 7 Bitcoin

เป็นชื่อของสกุลเงินหนึ่งของ Cryptocurrency ที่ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนในการควบคุม Transaction ทั้งหมด ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นรางวัลสำหรับกระบวนการที่เรียกว่า Mining สามารถแลกเปลี่ยนเป็นสกุลเงินอื่นและบริการอื่น ๆ แต่มูลค่าในโลกแห่งความเป็นจริงของเหรียญนั้นมีความผันผวนอย่างมาก^[9]

จุดเด่น: เป็นที่นิยม เงิน Bitcoin สามารถแลกกลับเป็นเงินสกุลดั้งเดิม เงิน Bitcoin ไม่ได้ถูกควบคุมโดยใครคนใดคนหนึ่ง

จุดด้อย: ความผันผวนของราคา ความปลอดภัยในการเก็บรักษา

ตารางที่ 4 ข้อมูลโดยสรุปของ Bitcoin

ลำดับ	หัวข้อ	คำอธิบาย
1	วัตถุประสงค์	Cryptocurrency
2	สามารถจัดเก็บข้อมูลประเภทใดได้บ้าง	Cryptocurrency Transactions
3	ภาษา Scripting ที่ใช้	Script
4	สาธารณะ/ส่วนตัว	สาธารณะ
5	Native Currency	Bitcoin (BTC)
6	ระยะเวลาในการสร้าง Block	10 นาที
7	ขนาดของ Transaction	200 bytes ต่ำสุด, 250 bytes ค่าเฉลี่ย
8	Transaction Rate	3 tx/วินาที (ค่าเฉลี่ย), 7 tx/วินาที (สูงสุดตามทฤษฎี)
9	Consensus Model	โหนดทำหน้าที่ตรวจสอบบล็อกและ Transaction และเลือกบล็อกเชนที่มีบล็อกมากที่สุดก่อน
10	Mining	Proof-of-work

2.3.4. Multichain



MultiChain

ภาพที่ 8 Multichain

เป็นแพลตฟอร์มสำหรับการสร้างและการใช้งานบล็อกเชนส่วนตัว เช่น ภายในหรือระหว่างองค์กร มีจุดมุ่งหมายเพื่อเอาชนะอุปสรรคสำคัญในการปรับใช้บล็อกเชน ในเทคโนโลยีในภาคการเงิน รองรับเซิร์ฟเวอร์ Windows, Linux และ Mac และมีอินเทอร์เฟซ API และ Command Line ที่เรียบง่าย รองรับการทำงานด้วย JSON-RPC ซึ่งเป็นการส่งคำสั่งและพารามิเตอร์ผ่านระบบเครือข่ายเข้าไปสู่การและใช้งานได้โดยใช้โปรแกรมภาษาอะไรก็ได้เช่น Java หรือ Python หมายถึงไม่ต้องเขียนโปรแกรมเป็น Smart Contract ด้วยภาษาที่ต้องเรียนรู้ใหม่^[10]

จุดเด่น: สามารถกำหนด Rule ต่างๆของ Blockchain Network เองได้โดยไม่ต้องออกแบบระบบให้เป็นไปตามกฎของโลก (Public) เข้าไปสั่งการและใช้งานได้โดยใช้โปรแกรมภาษาอะไรก็ได้ ไม่ต้องเขียนโปรแกรมเป็น Smart Contract ด้วยภาษาที่ต้องเรียนรู้ใหม่

จุดด้อย: มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนในการสร้างระบบ Infrastructure ขึ้นมาให้รองรับการทำงานภายในองค์กร ค่าบำรุงรักษา รวมถึง Admin สำหรับดูแลระบบ

ตารางที่ 5 ข้อมูลโดยสรุปของ Multichain

ลำดับ	หัวข้อ	คำอธิบาย
1	วัตถุประสงค์	จัดเตรียมแพลตฟอร์มสำหรับสร้างบล็อกเชนของตนเอง
2	สามารถจัดเก็บข้อมูลประเภทใดได้บ้าง	Asset ดิจิทัลใด ๆ ที่คุณต้องการจัดเก็บ
3	ภาษา Scripting ที่ใช้	Script
4	สาธารณะ/ส่วนตัว	ส่วนตัว
5	Native Currency	ไม่มี
6	ระยะเวลาในการสร้าง Block	กำหนดค่าได้
7	ขนาดของ Transaction	กำหนดขนาดสูงสุดได้
8	Transaction Rate	กำหนดค่าได้
9	Consensus Model	เป็นอัตราส่วนคงที่ ผู้ดูแลระบบปรับอนุมัติการเปลี่ยนแปลงสิทธิ์
10	Mining	Round-Robin , Proof-of-Work สามารถกำหนดค่าเองได้

2.4. การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน Django

2.4.1. เครื่องมือที่ใช้เชื่อมต่อบล็อกเชนกับเว็บแอปพลิเคชัน

Savoir เป็น JsonRPC wrapper สำหรับ Multichain ซึ่งมีพื้นฐานมาจาก python-bitcoinrpc แต่ปรับให้เหมาะกับเชิร์ฟเวอร์ Multichain และแทนที่ HTTPlib^[11] มีวิธีการเรียกใช้งานดังนี้

```
from Savoir import Savoir
rpcuser = 'multichainrpc'
rpcpasswd = 'YoUrLoNgRpCpAsSwOrD'
rpchost = 'localhost'
rpcport = '22335'
chainname = 'myChain'

api = Savoir(rpcuser, rpcpasswd, rpchost, rpcport, chainname)
api.getinfo()
```

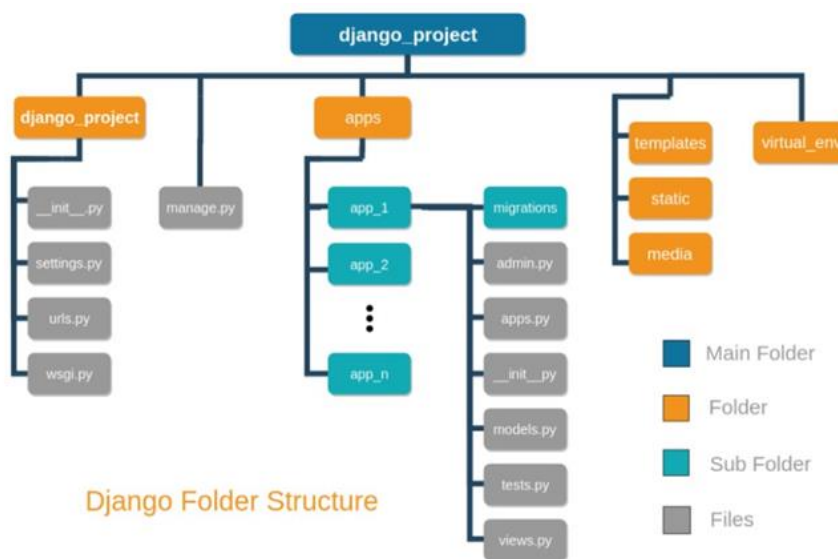
ภาพที่ 9 การเรียกใช้ Savoir

จากภาพที่ 9 rpcuser และ rpcpasswd นำมาจาก multichain.conf ของบล็อกเชนที่สร้างขึ้น rpcport ได้มาจากการสร้างบล็อกเชนผ่าน Multichain โดย Multichain จะกำหนด port ที่เรียกใช้งาน api ให้อัตโนมัติและ chainname คือชื่อบล็อกเชนที่เราสร้างขึ้น

2.4.2. เครื่องมือที่ใช้สร้างหน้าเว็บ

1. Django

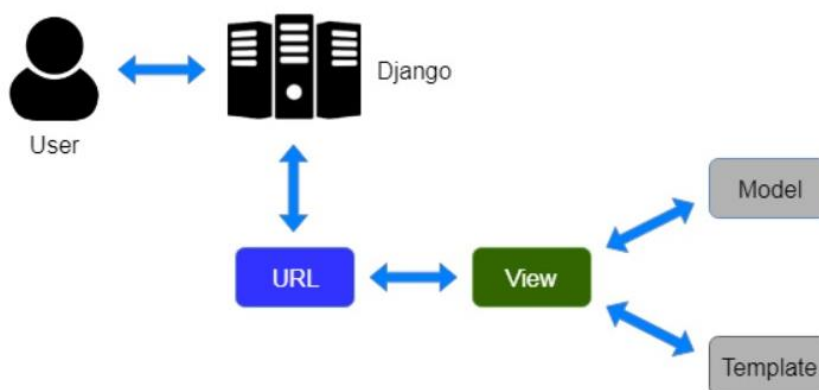
Django^[12] เป็น Framework ที่ใช้สร้าง Web Application ในฝั่งของ Back End ซึ่งถูกพัฒนาด้วยภาษา Python โดยในตัว framework จะมีส่วนประกอบทุกอย่างที่จำเป็น ตั้งแต่การเชื่อมต่อฐานข้อมูล ไปจนถึงการ render ข้อมูลออกมาให้ฝั่ง Front End แสดงผลข้อมูลเหล่านั้น



ภาพที่ 10 โครงสร้างโปรเจค Django Framework

จากภาพที่ 10 สามารถอธิบายได้ว่า

- **manage.py** คือ ไฟล์ Script สำหรับรันคำสั่งต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ Django เช่น Run Server , Collectstatic , Model & Migration เป็นต้น
- **__init__.py** คือ initial ไฟล์หรือไฟล์เปล่าๆมีไว้เก็บ Python Package เราสามารถเพิ่ม Script การทำงานเข้าไปในไฟล์นี้ได้
- **settings.py** คือ ไฟล์ที่ใช้สำหรับการตั้งค่าโปรเจกต์เช่น การตั้งค่าแอปพลิเคชัน , เวลา , Path, ฐานข้อมูลที่ใช้ เป็นต้น
- **urls.py** คือ ไฟล์ที่ใช้เก็บการ Routing ของ HTTP Request หรือเรียกอีกอย่างว่า การกำหนด url pattern ของ Django Project
- **wsgi.py** คือ ไฟล์ที่ใช้เก็บข้อมูลโปรเจกต์สำหรับการ Deployment (Production)



ภาพที่ 11 Model View Template

จากภาพที่ 11 สามารถอธิบายได้ว่า

- **Model** คือ ส่วนที่เก็บข้อมูลของ Application
- **View** คือ ส่วนสำหรับประมวลผลคำสั่งหรือข้อมูลต่างๆ (เหมือนกับ Controller) แล้วโยนไปแสดงผลตรงส่วนของ Template
- **Template** คือหน้าตา Application เป็นส่วนที่ไว้ใช้แสดงผลข้อมูลผลลัพธ์จากการประมวลผลใน View มาแสดงผลในหน้าเว็บร่วมกับ HTML

2. Python

Python คือชื่อภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมภาษาหนึ่ง ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาโดยไม่ยึดติดกับแพลตฟอร์ม กล่าวคือสามารถรันภาษา Python ได้ทั้งบนระบบ Unix, Linux , Windows NT, Windows 2000, Windows XP หรือแม้แต่ระบบ FreeBSD อีกอย่างหนึ่งภาษาตัว นี้เป็น Open Source เหมือนอย่าง PHP ทำให้ทุกคนสามารถที่จะนำ Python มาพัฒนาโปรแกรมของเราได้ฟรีๆโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย และความเป็น Open Source ทำให้มีคนเข้ามาช่วยกันพัฒนาให้ Python มีความสามารถสูงขึ้น และใช้งานได้ครอบคลุมกับทุกลักษณะงาน^[13]

3. HTML

HTMLหรือ HyperText Markup Language^[14] เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้สร้างหน้าเว็บ(WebPage) ในรูปแบบของไฟล์ HTML (คือไฟล์ที่มีนามสกุลเป็น .htm หรือ .html) ซึ่งมีเว็บเบราว์เซอร์ (WebBrowser) เป็นโปรแกรมที่ใช้แปลงไฟล์HTML เพื่อแสดงผลในรูปของหน้าเว็บ

4. CSS

CSS หรือ Cascading Style Sheet คือภาษาที่ใช้เป็นส่วนของการจัดรูปแบบการแสดงผลเอกสาร HTML โดยที่ CSS กำหนดรูปแบบ ของเว็บ ได้แก่ สีของข้อความ สีพื้นหลัง ประเภทตัวอักษร และการจัดวางข้อความ^[15]

5. XAMPP

XAMPP เป็นโปรแกรม Apache web server ไว้จำลอง web server เพื่อไว้ทดสอบสคริปหรือเว็บไซต์ในเครื่องของเรา โดยที่ไม่ต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตและไม่ต้องมีค่าใช้จ่ายใดๆ ง่ายต่อการติดตั้งและใช้งานโปรแกรม Xampp จะมาพร้อมกับ PHP ภาษาสำหรับพัฒนาเว็บแอพลิเคชันที่เป็นที่นิยม , MySQL ฐานข้อมูล, Apache จะทำหน้าที่เป็นเว็บ เซิร์ฟเวอร์, Perl อีกทั้งยังมาพร้อมกับ OpenSSL , phpMyadmin (ระบบบริหารฐานข้อมูลที่พัฒนาโดย PHP เพื่อใช้เชื่อมต่อไปยังฐานข้อมูล สนับสนุนฐานข้อมูล MySQL และ SQLite^[16]

2.4.3. เครื่องมือที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลหน้าเว็บ และจัดการข้อมูล

phpMyAdmin คือโปรแกรมที่ถูกพัฒนาโดยใช้ภาษา PHP เพื่อใช้ในการบริหารจัดการฐานข้อมูล Mysql แทนการคีย์คำสั่ง เนื่องจากถ้าเราจะใช้ฐานข้อมูลที่เป็น MySQL บางครั้งจะมีความลำบากและยุ่งยากในการใช้งาน ดังนั้นจึงมีเครื่องมือในการจัดการฐานข้อมูล MySQL ขึ้นมาเพื่อให้สามารถจัดการ ตัวDBMS ที่เป็น MySQL ได้ง่ายและสะดวกยิ่งขึ้น^[17] โดยความสามารถของ phpMyAdmin มีดังนี้ เป็นต้น

- 1) สร้างและลบ Database
- 2) สร้างและจัดการ Table เช่น แทรก record, ลบ record, แก้ไข record, ลบ Table, แก้ไข field
- 3) โหลดเท็กซ์ไฟล์เข้าไปเก็บเป็นข้อมูลในตารางได้
- 4) หาผลสรุป (Query) ด้วยคำสั่ง SQL

2.4.4. เครือข่ายที่ใช้ในบล็อกเชนและหน้าเว็บ

Peer to Peer คือ รูปแบบการเชื่อมต่อแลนไร้สายแบบ Peer to Peer เป็นการเชื่อมต่อแบบโครงข่ายโดยตรง ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยเครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องนั้นจะมีความเท่าเทียมกันสามารถทำงานของตนเองและขอใช้บริการเครื่องอื่นได้ จึงเหมาะสำหรับนำมาใช้งานเพื่อจุดประสงค์ด้านความเร็ว หรือติดตั้งได้โดยง่ายเมื่อไม่มีโครงสร้างพื้นฐานที่จะรองรับ ตัวอย่างเช่น ในศูนย์ประชุม หรือการประชุมที่จัดนอกสถานที่อีกทั้ง Peer to Peer เป็นระบบเครือข่ายขนาดเล็ก และเหมาะกับหน่วยงาน ที่มีคอมพิวเตอร์น้อยกว่า 10 เครื่อง ระบบ Peer to Peer นี้คอมพิวเตอร์แต่ละเครื่อง สามารถเข้าไปใช้ไฟล์ที่เก็บบนเครื่องไหนก็ได้^[18]

2.5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1. Se-Chang Oh, et.al."Implementation of blockchain-based energy trading system", Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship, Vol. 11 Issue: 3, pp.322-334, 2017.

สร้างระบบซื้อขายพลังงานด้วยบล็อกเชน โดยใช้แพลตฟอร์มบล็อกเชนที่เรียกว่า Multichain ซึ่งทั้งรวดเร็วและปรับขนาดได้สูง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากระบวนการทั้งหมด เช่น การสร้างบล็อกเชน การเชื่อมต่อโหนดธุรกรรม และการแลกเปลี่ยนสินทรัพย์ได้รับการจัดการอย่างถูกต้องตามสถานการณ์^[19]

2.5.2. S.J.Pee, et.al."Blockchain based smart energy trading platform using smart contract" ICAIIC2019

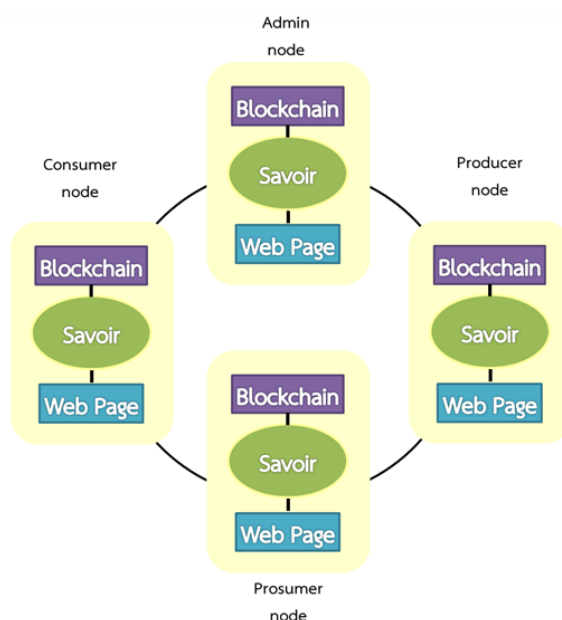
ในการทำธุรกรรมพลังงานจะถูกถ่ายโอนโดยใช้ Energy Storage System ซึ่งผู้ขายและผู้ซื้อเป็นเจ้าของและชำระเงินโดยการโอนโทเคนผ่านธุรกรรม โดยใช้บล็อกเชน และใช้ระบบเพียร์ทูเพียร์ ทำให้สามารถแลกเปลี่ยนพลังงานที่ผลิตได้อย่างอิสระ^[20]

บทที่ 3

บล็อกเชนเพียร์ทูเพียร์สำหรับการซื้อขายพลังงาน

3.1. โมเดลการซื้อขายพลังงานด้วยบล็อกเชน

3.1.1 ประเภทของผู้ใช้งาน



ภาพที่ 12 ภาพแสดงโครงสร้างของโหนดต่างๆ

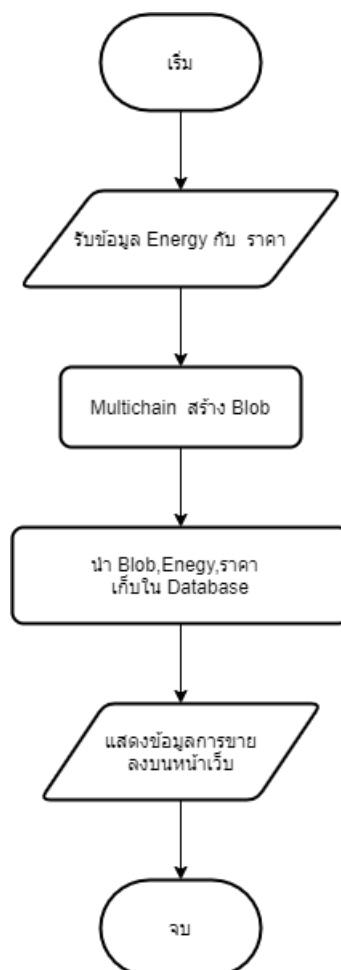
จากภาพที่ 12 รูปแบบการทำงานจะจำลองการซื้อขายพลังงาน โดยประกอบไปด้วย 4 Node ดังนี้

- 1) Admin Node คือ ผู้ดูแลระบบ
- 2) Producer Node คือ ผู้ผลิตหรือผู้ที่ขายพลังงานเพียงอย่างเดียว
- 3) Consumer Node คือ ผู้ซื้อพลังงาน
- 4) Prosumer Node คือ ผู้ที่ขายและผู้ซื้อพลังงาน

โดยใช้แพลตฟอร์มบล็อกเชนที่เรียกว่า Multichain ซึ่งมีความรวดเร็ว ในการทำ Transactions และใช้ Savoir ซึ่งเป็นโมดูล JsonRPC ที่ใช้ Python เพื่อทำการเชื่อมต่อ Multichain กับ หน้าเว็บ โดยมี Phpmyadmin เป็นตัวช่วยในการเก็บข้อมูลบางส่วนของผู้ใช้งาน

3.1.2 ขั้นตอนการซื้อขาย

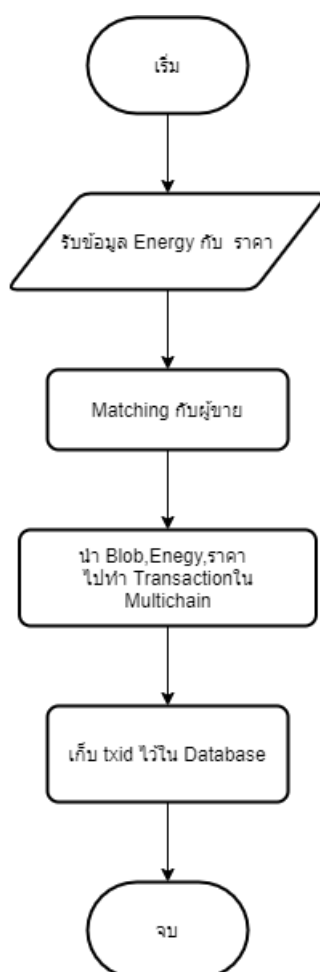
1. ผู้ขาย



ภาพที่ 13 ภาพแสดง flow chart ขั้นตอนการขาย

จากภาพ ผู้ขายจะวางคำสั่งขาย โดยการระบุจำนวนพลังงานที่ต้องการขายและราคา Multichain จะสร้าง Binary Large Object (Blob) ซึ่งภายใน Blob จะเก็บค่าจำนวนพลังงานของผู้ขายและราคารวมไว้ นำค่า Blob จำนวนพลังงานของผู้ขายและราคารวมไว้ใน database และแสดงข้อมูลการขายลงบนหน้าเว็บไซต์

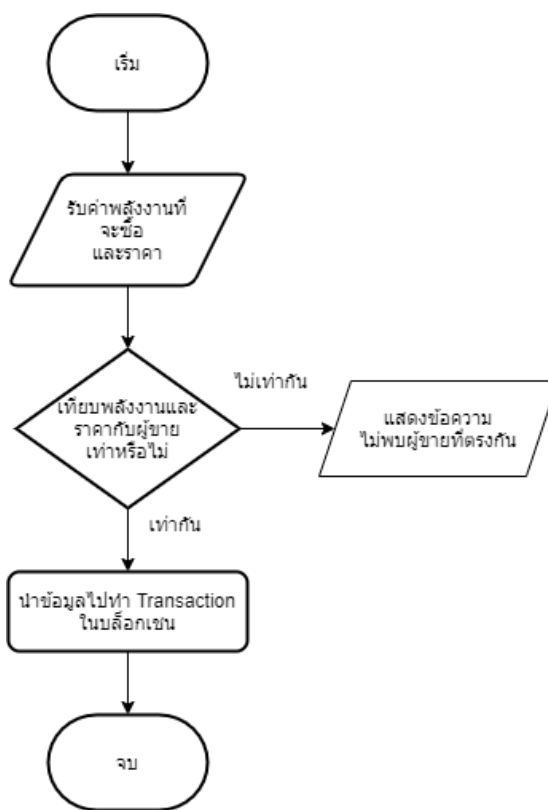
2. ผู้ซื้อ



ภาพที่ 14 ภาพแสดง flow chart ขั้นตอนการซื้อ

จากภาพ ผู้ซื้อจะทำการซื้อ โดยโดยการระบุจำนวนพลังงานที่ต้องการจะซื้อและราคา ระบบจะทำการ Matching กับผู้ขาย และนำค่า Blob จำนวนพลังงานที่ต้องการจะซื้อและราคา รวมไปทำ Transaction ใน Multichain และทำการเก็บค่า Transaction ID (TXID) ไว้ใน Database

3.1.3. วิธีการจับคู่คำสั่งซื้อขาย



ภาพที่ 15 ภาพแสดง flow chart วิธีจับคู่การซื้อขาย

จากภาพ ผู้ซื้อจะทำการซื้อ โดยโดยการระบุจำนวนพลังงานที่ต้องการจะซื้อและราคาระบบ ค้นหาว่ามีผู้ขายที่วางขายจำนวนพลังงานและราคาที่ตรงกับที่ผู้ซื้อต้องการหรือไม่ ถ้าพบผู้ขายที่ตรงกับความต้องการของผู้ซื้อ ระบบจะทำ transaction ซื้อขายระหว่างบุคคลทั้งสอง แต่ถ้าไม่พบผู้ขายที่ตรงกับความต้องการของผู้ซื้อ จะมีการแสดงข้อความว่าไม่พบผู้ขายที่ตรงกับความต้องการของคุณขึ้นมาแทน

3.2. การซื้อขายพลังงานด้วย Multichain

3.2.1. การสร้างบล็อกเชน

ตารางที่ 6 ข้อมูลโดยสรุปของการสร้าง Blockchain

Command	Parameters	คำอธิบาย
multichain-util create	ชื่อบล็อกเชน	สร้าง Blockchain
Multichaind	ชื่อบล็อกเชน -daemon	การเปิดโหนดเซิร์ฟเวอร์ Blockchain
multichain-cli ชื่อบล็อกเชน listaddresses		การตรวจสอบ Address ที่กำหนดให้กับ Wallet

3.2.2. สร้างสินทรัพย์ (Asset)

ตารางที่ 7 ข้อมูลโดยสรุปของการสร้าง Asset

Command	Parameters	คำอธิบาย
multichain-cli ชื่อบล็อกเชน issuefrom	from-address to-address name params qty (units=1) (native-amount=min-per-output)(custom-fields)	สร้าง Asset

3.2.3. การเชื่อมต่อโหนด

ตารางที่ 8 ข้อมูลโดยสรุปของการเชื่อมต่อโหนด

Command	Parameters	คำอธิบาย
multichaind	ชื่อบล็อกเชน [ip-address]:[port]	การเชื่อมต่อโหนดเพื่อเชื่อมต่อโหนดกับบล็อกเชนที่สร้างขึ้น
multichain-cli ชื่อบล็อกเชน grant	address connect,send,receive	การเพิ่มสิทธิ์การเชื่อมต่อ

3.2.4. การสร้าง Energy Asset

ตารางที่ 9 ข้อมูลโดยสรุปของการสร้าง Energy Asset

Command	Parameters	คำอธิบาย
multichain-cli ซื้อบล็อกเชน grantfrom	Address Address ซื้อ Asset.issue	กำหนดโทนดผ่าน Address และ กำหนด Asset เพื่อให้โทนด ดังกล่าวออก Asset ได้เอง
multichain-cli ซื้อบล็อกเชน issuemore	address asset qty (native-amount=min-per- output) (custom-fields)	ออก Asset ตามที่ Address

3.2.5. การซื้อ Ecoin

ตารางที่ 10 ข้อมูลโดยสรุปของการซื้อ Ecoin

Command	Parameters	คำอธิบาย
multichain-cli ซื้อบล็อกเชน issuemore	address asset qty (native-amount=min-per- output) (custom-fields)	ออก Asset ตามที่ Address

3.2.6. การเสนอขายพลังงาน

ตารางที่ 11 ข้อมูลโดยสรุปของการเสนอขายพลังงาน

Command	Parameters	คำอธิบาย
multichain-cli ซื้อบล็อกเชน preparelockunspent	“{\”ซื้อ Asset ที่ต้องการ แลกเปลี่ยน \”:จำนวนที่ต้องการ แลกเปลี่ยน}”	เพื่อสร้าง txid และ vout ในการ วางคำสั่งแลกเปลี่ยน
multichain-cli ซื้อบล็อกเชน createrawexchange	txid vout “{\”ซื้อ Asset ที่ ต้องการได้รับ \”:จำนวนที่ต้องการ ได้รับ}”	เพื่อสร้าง Binary large object หรือ blob เพื่อส่งต่อให้คนที่ทำ การแลกเปลี่ยนด้วย

3.2.7. การซื้อพลังงาน

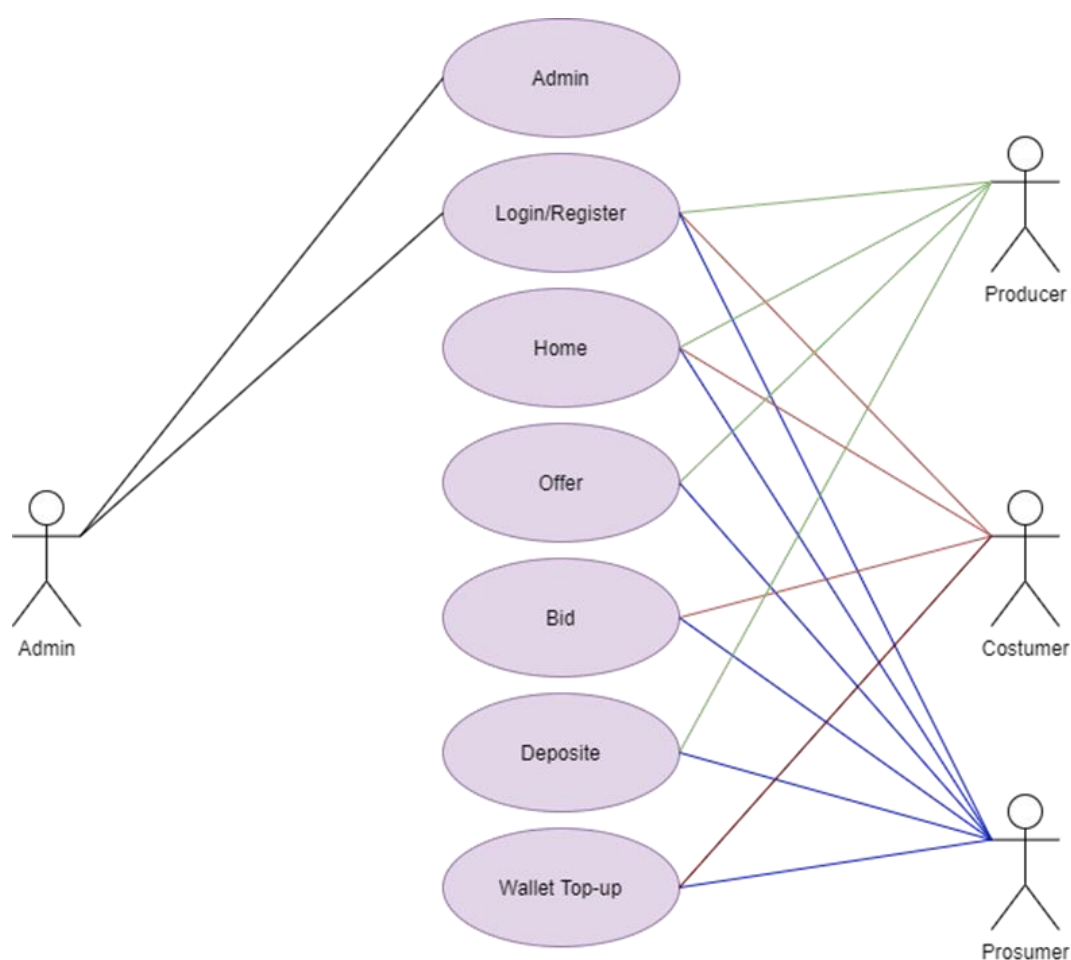
ตารางที่ 12 ข้อมูลโดยสรุปของการซื้อพลังงาน

Command	Parameters	คำอธิบาย
multichain-cli ชื่อบล็อกเชน decoderawexchange	blob	เพื่อเช็คข้อมูล ใน Transaction ก่อนทำการแลกเปลี่ยน
multichain-cli ชื่อบล็อกเชน preparelockunspentfrom	Addressของตนเอง "{ชื่อ Asset ที่ต้องแลกเปลี่ยน\":จำนวนที่ผู้แลก ร้องขอ}"	เพื่อสร้าง txid และ vout ในการ วางคำสั่งแลกเปลี่ยน
multichain-cli ชื่อบล็อกเชน appendrawexchange	ด้วย blob txid vout "{ชื่อ Asset ที่ต้องการได้รับ\":จำนวนที่ต้องการ ได้รับ}"	เพื่อทำการแลกเปลี่ยนและสร้าง blobtxid
multichain-cli ชื่อบล็อกเชน sendrawtransaction	blobtxid	ส่งค่า transaction ไปยังเครือข่าย

บทที่ 4

เว็บแอปพลิเคชันสำหรับการซื้อขายพลังงาน (Energy Trading Web Application)

4.1. ความต้องการของระบบ



ภาพที่ 16 ภาพแสดง Use case ของผู้ใช้งาน

จากภาพที่ 16 แสดงให้เห็นว่าระบบ Energy Trading Platform จะมีฟังก์ชันการใช้งานดังนี้

- 1) ฟังก์ชัน Log-in เป็นฟังก์ชันระบุตัวตนเพื่อเข้าใช้งานบนหน้าเว็บ
- 2) ฟังก์ชัน Register เป็นฟังก์ชันลงทะเบียนระบุตัวตนสำหรับผู้ใช้งานใหม่
- 3) ฟังก์ชัน Home เป็นฟังก์ชันสำหรับโชว์ข้อมูลจำนวนพลังงานและจำนวนเงินปัจจุบันของผู้ใช้งาน และประวัติการทำรายการต่างๆของผู้ใช้งาน
- 4) ฟังก์ชัน Offer เป็นฟังก์ชันสำหรับวางขายพลังงาน
- 5) ฟังก์ชัน Bid เป็นฟังก์ชันสำหรับซื้อพลังงาน
- 6) ฟังก์ชัน Deposit เป็นฟังก์ชันฝากพลังงานมีไว้สำหรับเตรียมพลังงานที่จะลงขาย
- 7) ฟังก์ชัน Wallet Top-up เป็นฟังก์ชันเติมเงินเข้าระบบ
- 8) ฟังก์ชัน Admin เป็นฟังก์ชันสำหรับผู้ดูแลระบบ

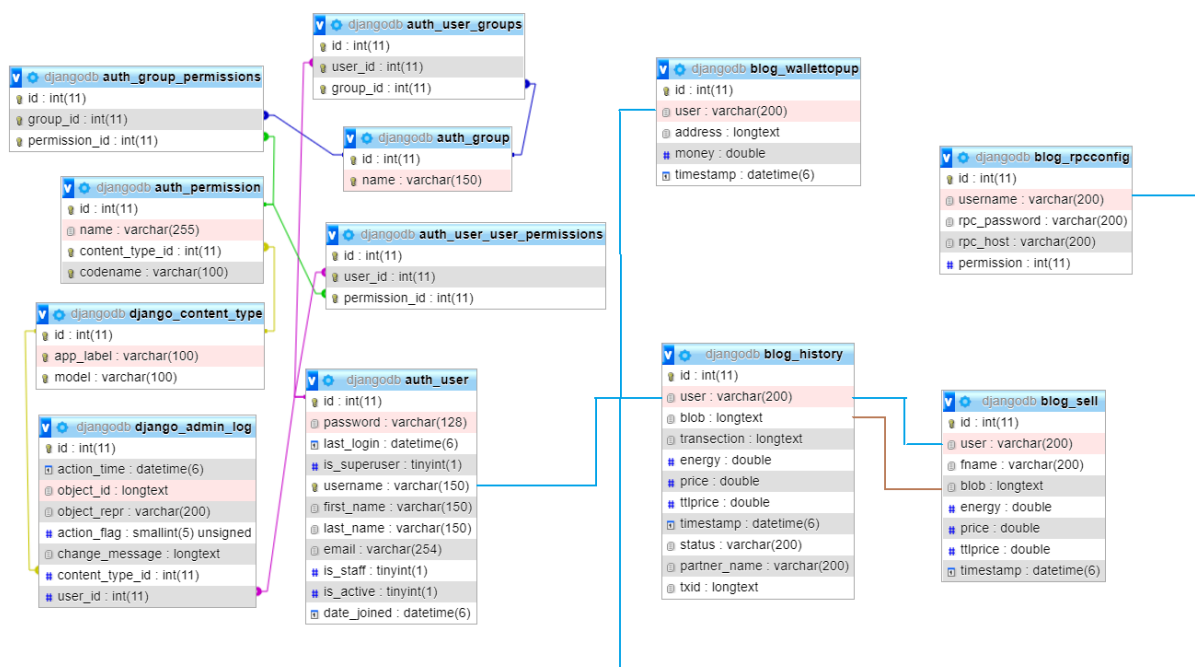
โดยแต่ละฟังก์ชันจะแสดงฟังก์ชันตามประเภทของผู้ใช้งานโดยดังนี้

1. **Producer** คือ ผู้ผลิตที่ขายพลังงานเพียงอย่างเดียว ผู้ใช้ประเภทนี้จะสามารถใช้ฟังก์ชันของระบบได้ ดังต่อไปนี้
 - ฟังก์ชัน Log-in
 - ฟังก์ชัน Register
 - ฟังก์ชัน Home
 - ฟังก์ชัน Offer
 - ฟังก์ชัน Deposit
2. **Consumer** คือ ผู้ซื้อที่ซื้อพลังงานเพียงอย่างเดียว ผู้ใช้ประเภทนี้จะสามารถใช้ฟังก์ชันของระบบได้ ดังต่อไปนี้
 - ฟังก์ชัน Log-in
 - ฟังก์ชัน Register
 - ฟังก์ชัน Home

- ฟังก์ชัน Bid
 - ฟังก์ชัน Wallet Top-up
3. Prosumer คือ เป็นทั้งผู้ซื้อและผู้ขาย ผู้ใช้ประเภทนี้สามารถใช้ฟังก์ชันของระบบได้ดังต่อไปนี้
- ฟังก์ชัน Log-in
 - ฟังก์ชัน Register
 - ฟังก์ชัน Home
 - ฟังก์ชัน Offer
 - ฟังก์ชัน Bid
 - ฟังก์ชัน Deposit
 - ฟังก์ชัน Wallet Top-up
4. Admin คือ ผู้ดูแลระบบ ผู้ใช้ประเภทนี้สามารถใช้ฟังก์ชันของระบบได้ ดังต่อไปนี้
- ฟังก์ชัน Log-in
 - ฟังก์ชัน Register
 - ฟังก์ชัน Admin

4.2. การออกแบบฐานข้อมูล

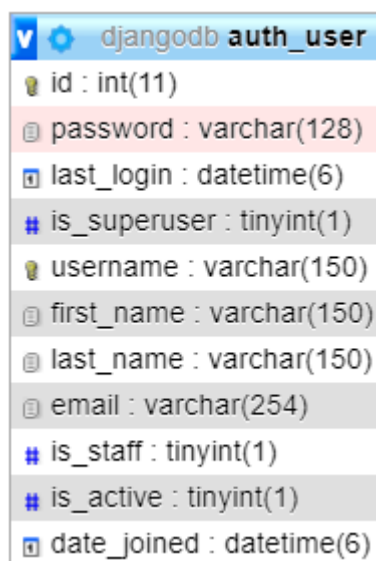
4.2.1. E/R Diagram



ภาพที่ 17 E/R Diagram

4.2.2. Logical Database Design

1. auth_user Table



Field	Type
id	int(11)
password	varchar(128)
last_login	datetime(6)
is_superuser	tinyint(1)
username	varchar(150)
first_name	varchar(150)
last_name	varchar(150)
email	varchar(254)
is_staff	tinyint(1)
is_active	tinyint(1)
date_joined	datetime(6)

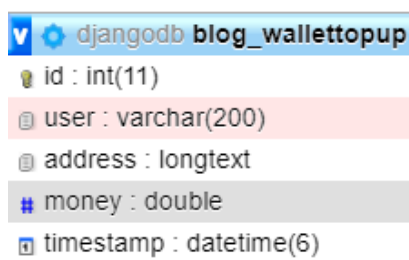
ภาพที่ 18 Auth_user Table

auth_user table เป็นตารางที่ถูกสร้างขึ้นจาก Django framework เพื่อช่วยในการควบคุมการใช้งานของ user ให้สะดวกสบายมากขึ้น โดย table จะเก็บข้อมูลทั่วไปและกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงของ user แต่ละคนด้วย

ตารางที่ 13 ตารางแสดงคำอธิบายของ auth_user table

ลำดับ	ชื่อฟิลด์	ความหมาย
1	Id	หมายเลขลำดับของข้อมูลในตาราง
2	password	รหัสผ่านที่ทำการ encrypt ไว้แล้ว
3	last_login	วันเวลาที่ user นี้ login เข้ามาครั้งล่าสุด
4	is_superuser	กำหนดคนที่มีสิทธิ์สูงสุดในการใช้งานหน้า Admin
5	username	ชื่อ account ของผู้ใช้งาน
6	first_name	ชื่อจริงของผู้ใช้งาน
7	last_name	นามสกุลของผู้ใช้งาน
8	email	อีเมลล์ของผู้ใช้งาน
9	is_staff	กำหนดสิทธิ์ในการเข้าถึงหน้าต่างๆ

2. blog_wallettopup Table



Field	Type
id	int(11)
user	varchar(200)
address	longtext
money	double
timestamp	datetime(6)

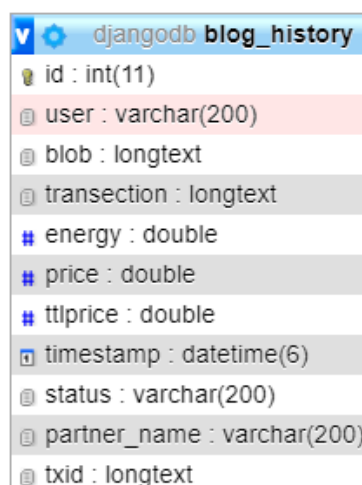
ภาพที่ 19 blog_wallettopup Table

blog_wallettopup table เป็นตารางที่ใช้เก็บข้อมูลของ user ที่ต้องการเติมเงินเข้าในระบบ และกำลังรอให้ Admin เติมเงินให้

ตารางที่ 14 ตารางแสดงคำอธิบายของ blog_wallettopup table

ลำดับ	ชื่อฟิลด์	ความหมาย
1	Id	หมายเลขลำดับของข้อมูลในตาราง
2	User	ชื่อ account ของผู้ใช้งาน
3	Address	address multichain ของ user
4	Money	จำนวนเงินที่ user ต้องการเติม
5	timestamp	เวลาที่ทำการขอเติมเงิน

3. blog_history Table



Field	Type
id	int(11)
user	varchar(200)
blob	longtext
transection	longtext
energy	double
price	double
ttlprice	double
timestamp	datetime(6)
status	varchar(200)
partner_name	varchar(200)
txid	longtext

ภาพที่ 20 blog_history Table

blog_history table เป็นตารางที่เก็บประวัติการทำรายการของ user ทุกคน

ตารางที่ 15 ตารางแสดงคำอธิบายของ blog_history table

ลำดับ	ชื่อฟิลด์	ความหมาย
1	id	หมายเลขลำดับของข้อมูลในตาราง
2	user	ชื่อ account ของผู้ใช้งาน
3	blob	รหัสที่ใช้ระบุการซื้อขายแต่ละครั้ง
4	transaction	บอกประเภทของการทำรายการ เช่น bid หรือ offer เป็นต้น
5	energy	จำนวนพลังงานที่ใช้ไปใน transaction นี้
6	price	ราคาขายต่อหน่วยของพลังงาน
7	ttlprice	ราคาขายทั้งหมด
8	timestamp	เวลาที่เกิด transaction นี้
9	status	สถานะคำสั่งซื้อ
10	partner_name	User ที่มากระทำการร่วมกัน
11	txid	Transaction id เอาไว้ใช้ตรวจสอบประวัติที่ผ่านไปเรียบร้อยแล้ว

4. blog_rpcconfig Table



```

v djangodb blog_rpcconfig
id : int(11)
username : varchar(200)
rpc_password : varchar(200)
rpc_host : varchar(200)
permission : int(11)

```

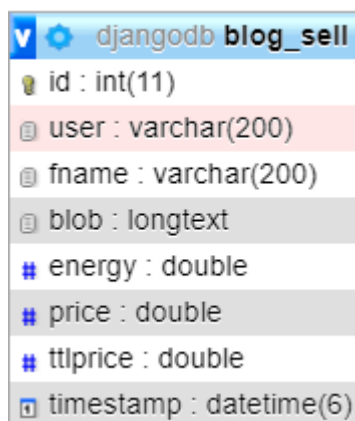
ภาพที่ 21 blog_rpcconfig Table

blog_rpcconfig table เป็นตารางที่ใช้เก็บข้อมูลที่ใช้เชื่อมต่อกับ multichain

ตารางที่ 16 ตารางแสดงคำอธิบายของ blog_rpcconfig Table

ลำดับ	ชื่อฟิลด์	ความหมาย
1	id	หมายเลขลำดับของข้อมูลในตาราง
2	username	ชื่อ account ของผู้ใช้งาน
3	rpc_password	รหัสที่เอาไว้เชื่อมบล็อกเชนของผู้ใช้งานแต่ละคน
4	rpc_host	ip address ของ user แต่ละคน
5	permission	สิทธิ์การเข้าถึงของ user แต่ละคน ที่ admin เป็นผู้กำหนด

5. blog_sell Table



Field	Type
id	int(11)
user	varchar(200)
fname	varchar(200)
blob	longtext
energy	double
price	double
ttlprice	double
timestamp	datetime(6)

ภาพที่ 22 blog_sell Table

blog_sell table เป็นตารางที่ใช้เก็บข้อมูล user ที่ลงขายพลังงานไว้ในระบบ แล้วยังไม่

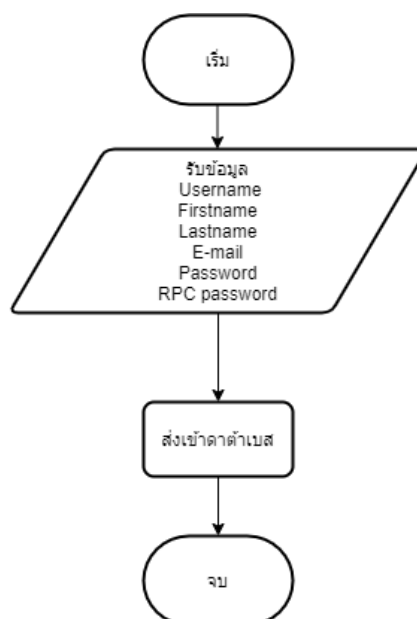
มีคนซื้อ

ตารางที่ 17 ตารางแสดงคำอธิบายของ blog_sell Table

ลำดับ	ชื่อฟิลด์	ความหมาย
1	Id	หมายเลขลำดับของข้อมูลในตาราง
2	User	ชื่อ account ของผู้ใช้งาน
3	Fname	ชื่อจริงของ user ที่วางขาย
4	Blob	รหัสที่ใช้ระบุการซื้อขายแต่ละครั้ง
5	Energy	จำนวนพลังงานที่วางขาย
6	Price	ราคาขายต่อหน่วยของพลังงานที่วางขาย
7	Ttlprice	ราคารวมทั้งหมดของพลังงานที่วางขาย
8	timestamp	เวลาที่ทำการวางขาย

4.3. ฟังก์ชันการทำงานหลักของระบบและส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน

4.3.1. ฟังก์ชัน Register



ภาพที่ 23 ภาพแสดง flow chart ของหน้า Register

จากภาพที่ 23 เป็นแสดงการทำงานของฟังก์ชัน Register คือ เมื่อเข้าสู่หน้า Register จะมีการรับข้อมูลจากผู้ใช้ คือ Username , Firstname , Lastname , E-mail, Password และ RPC Password ซึ่งได้มาจากการเชื่อมต่อโหนดของผู้ใช้กับเซิร์ฟเวอร์โหนด และจะนำ RPC Password นี้ไปใช้ในการเชื่อมต่อหน้าเว็บกับบล็อกเชน ทำการส่งข้อมูลทั้งหมดที่รับเข้ามาไปเก็บใน Database เพื่อเป็นข้อมูลของ User แต่ละคน

Energy Trading Platform
Register
Login

Register

Username :

First Name :

Last Name :

Email :

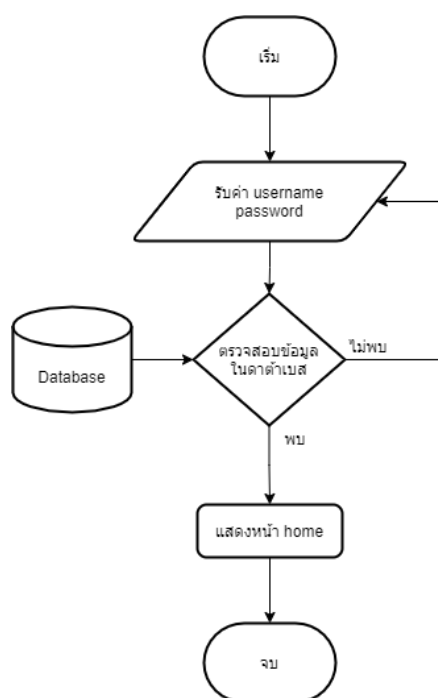
Password :

Re-Password :

RPC Password :

ภาพที่ 24 ภาพแสดงหน้าเว็บของหน้า Register

4.3.2 ฟังก์ชัน Log-in



ภาพที่ 25 ภาพแสดง flow chart ของหน้า Log-in

จากภาพที่ 25 เป็นแสดงการทำงานของฟังก์ชัน Log-in เมื่อเข้าสู่หน้า Log-in จะมีการรับข้อมูลจากผู้ใช้ คือ Username และ Password แล้วนำไปเช็คข้อมูลใน Database ถ้าข้อมูลตรงกับใน Database จะแสดงผลหน้า Home ต่อไป ถ้าไม่ตรงกับข้อมูลในดาต้าเบสจะกลับเข้าสู่หน้า login ใหม่

Energy Trading Platform
Register
Login

Login

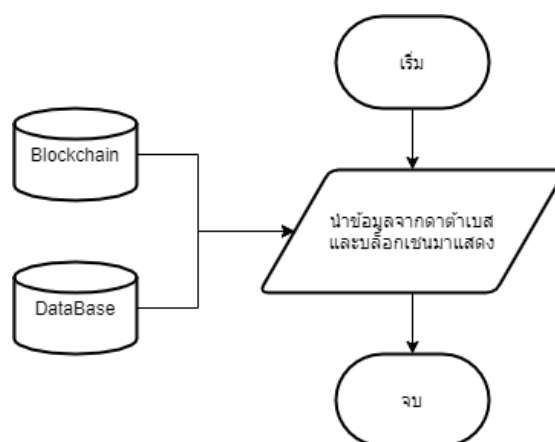
Username :

Password :

Login

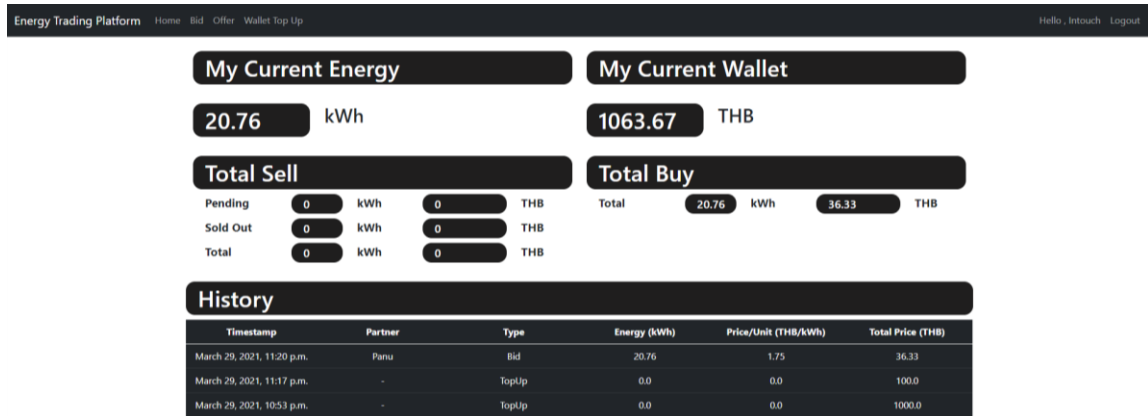
ภาพที่ 26 ภาพแสดงหน้าเว็บของหน้า Log-in

4.3.3. ฟังก์ชัน Home



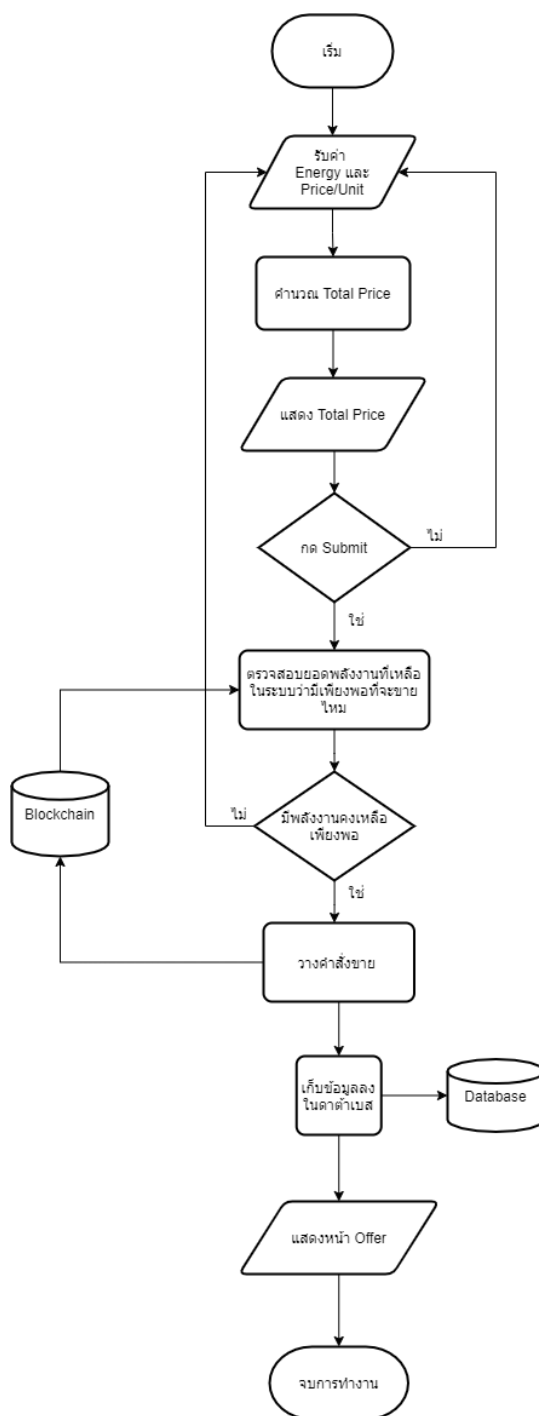
ภาพที่ 27 ภาพแสดง flow chart ของหน้า Home

จากภาพที่ 27 เป็นแสดงการทำงานของฟังก์ชัน Home เมื่อเข้าสู่หน้า Home จะมีการแสดงค่า Current Energy กับ Current wallet ซึ่งเป็นพลังงานและเงินที่มีอยู่ ณ ปัจจุบันของผู้ใช้ ดึงค่ามาจาก Blockchain และแสดงตาราง History ซึ่งเป็นประวัติการทำรายการต่างๆของผู้ใช้ ซึ่งนำค่ามาจาก Database ใน Database จะเก็บค่าการทำรายการทั้งหมดของผู้ใช้ไว้ และแสดงฟังก์ชัน Bid, Offer, Wallet Top up และ Deposit



ภาพที่ 28 ภาพแสดงหน้าเว็บของหน้า Home

4.3.4. ฟังก์ชัน Offer



ภาพที่ 29 ภาพแสดง flow chart ของหน้า Offer

จากภาพที่ 29 เป็นแสดงการทำงานของฟังก์ชัน Offer เมื่อเข้าสู่หน้า Offer จะมีการรับค่าพลังงานที่ต้องการวางคำสั่งขาย และราคาต่อหน่วย เมื่อกรอกเสร็จระบบจะทำการคำนวณค่าราคารวมมาแสดงผลที่หน้าจอ เมื่อกดปุ่มยืนยันจะมีการตรวจสอบพลังงานในระบบคงเหลือของผู้ใช้ว่าเพียงพอต่อการ

วางขายหรือไม่ ถ้ามีพอจะมีการวางคำสั่งขายในบล็อกเชน บล็อกเชนจะทำการสร้าง Blob (Binary Large Object) ขึ้น เพื่อ เก็บค่าพลังงานที่ต้องการวางคำสั่งขายและราคารวมรวมถึง Blob ไว้ที่ Database และดึงข้อมูลใน Database มาแสดงในตารางบนหน้าจอเพื่อแสดงรายการคำสั่งขายของผู้ใช้ หากผู้ใช้วางคำสั่งขายไว้แล้วยังไม่มีผู้ซื้อ มาซื้อ จะแสดงสถานะ Pending ในตารางการทำรายการ วางขาย หากมีผู้ซื้อแล้ว ข้อมูลจะแสดงที่หน้า Home ในตาราง History

Energy Trading Platform Home Bid Offer Wallet Top Up Hello, Intouch Logout

Offer

Energy : kWh

Price/Unit : THB

Total Price : 0 THB

[submit](#)

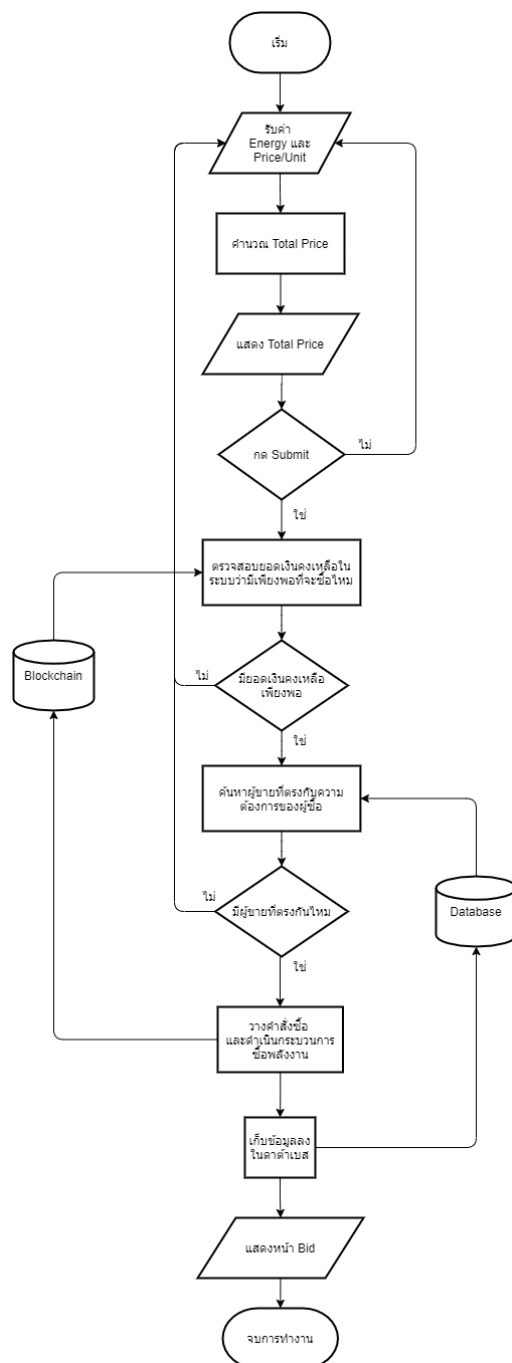
Your Offerings

Timestamp	Energy (kWh)	Price/Unit (THB/kWh)	Price (THB)	Status
-----------	--------------	----------------------	-------------	--------

ภาพที่ 30 ภาพแสดงหน้าเว็บของหน้า Offer

4.3.5 ฟังก์ชัน Bid มี 2 แบบ คือ

แบบที่ 1 การ bid แบบ Matching



ภาพที่ 31 ภาพแสดง flow chart ของหน้า Bid

จากภาพที่ 31 เป็นแสดงการทำงานของฟังก์ชัน Bid เมื่อเข้าสู่หน้า Bid จะมีการรับค่าพลังงานที่ต้องการซื้อ และราคาต่อหน่วย โดยสามารถดูรายการวางขายของผู้อื่นจากตาราง List offerings เมื่อกรอกเสร็จระบบจะทำการคำนวณค่าราคารวมมาแสดงผลที่หน้าจอ เมื่อกดปุ่ม Submit ระบบจะทำการตรวจสอบจำนวนเงินคงเหลือของผู้ซื้อ ว่ามีเพียงพอหรือไม่ หากมีไม่เพียงพอจะแสดงข้อความ Your wallet isn't enough หากเพียงพอระบบจะทำการ Matching ข้อมูลกับรายการวางขายใน database โดยการ filter จำนวนพลังงานที่วางขายกับจำนวนพลังงานที่ผู้ซื้อกรอก และราคารวมของพลังงานที่วางขายและราคารวมของผู้ซื้อ เมื่อ Match ตรงกัน จะดึง Binary Large Object ของรายการนั้นที่เก็บไว้ใน Database มาทำคำสั่ง api ของ Multichain เพื่อทำ Transaction เมื่อทำการเสร็จสิ้นจะเก็บค่า Txid ของรายการนั้น พร้อมทั้ง ข้อมูลผู้ซื้อและขายลงใน database

Bid

Energy : kWh

Price/Unit : THB

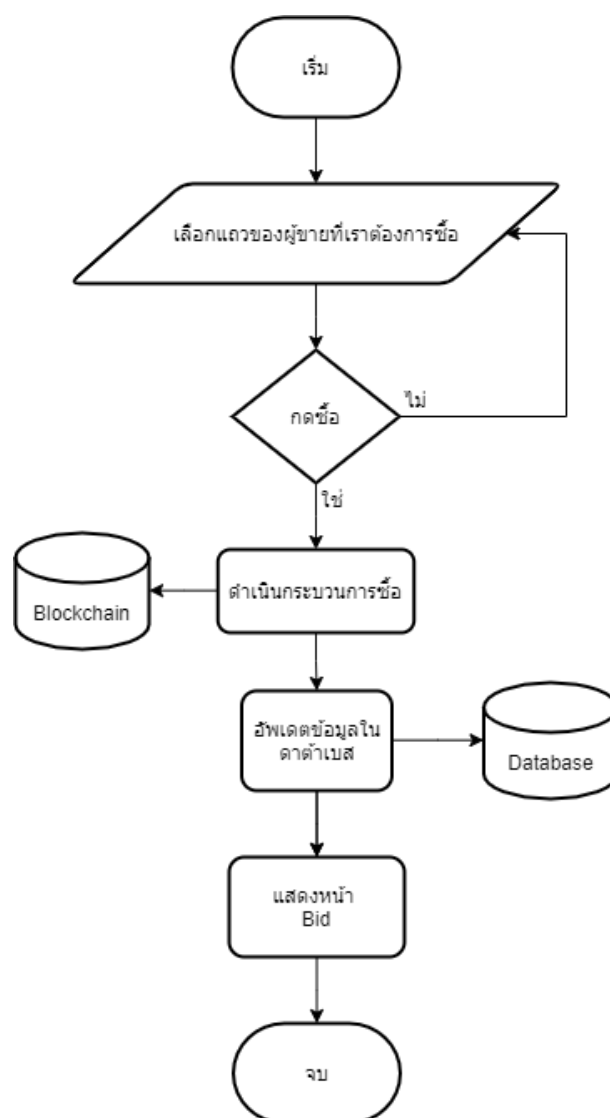
Total Price : THB

List of Offerings

Name	Energy (kWh)	Price/Unit (THB/kWh)	Price (THB)
------	--------------	----------------------	-------------

ภาพที่ 32 ภาพแสดงหน้าเว็บของหน้า Bid

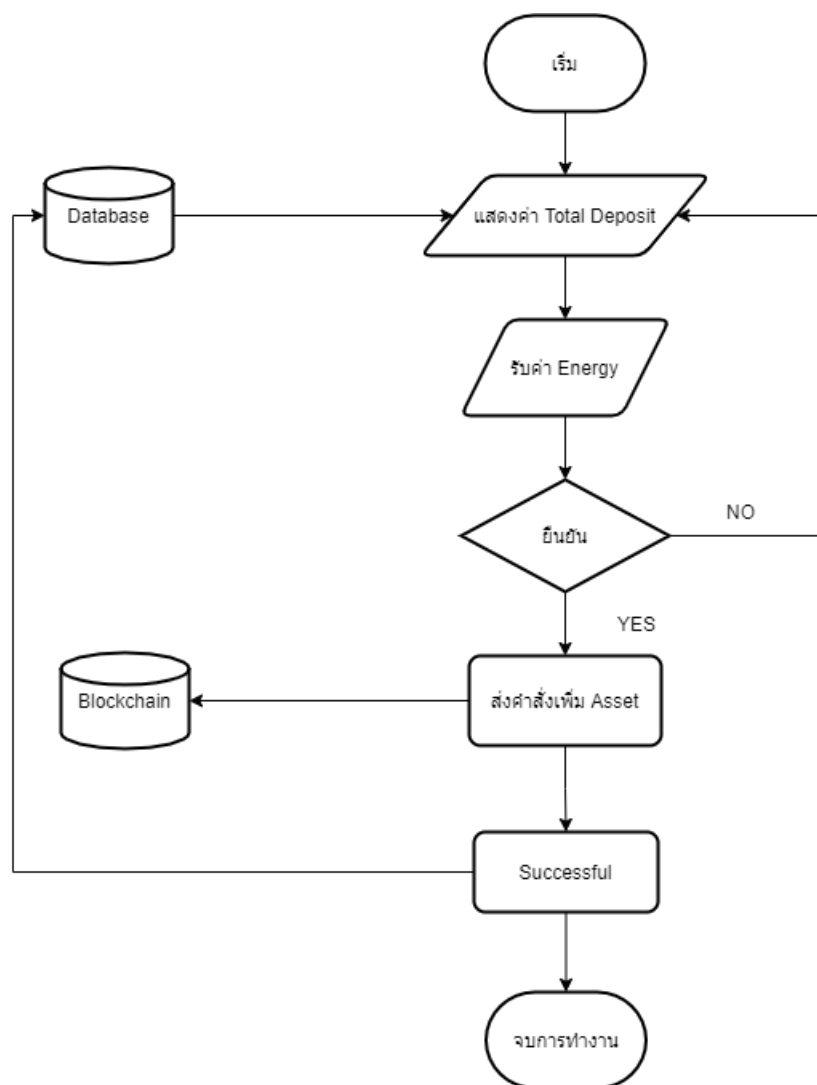
แบบที่ 2 การ bid แบบเลือกซื้อเอง



ภาพที่ 33 ภาพแสดง flow chart ของหน้า Bid

จากภาพที่ 33 กระบวนการไม่แตกต่างจาก ภาพที่ 32 มากนะ เพียงแต่ไม่มีการ Matching กับผู้ขาย เนื่องจากผู้ซื้อได้เลือกผู้ขายจาก list ของตาราง

4.3.6 ฟังก์ชัน Deposit Energy



ภาพที่ 34 ภาพแสดง flow chart ของหน้า Deposit Energy

จากภาพที่ 34 เป็นแสดงการทำงานของฟังก์ชัน Deposit Energy เมื่อเข้าสู่หน้า Deposit Energy จะมีการแสดงค่าพลังงานรวมจากการฝากพลังงาน จะมีการรับค่าพลังงานที่จะฝากจากผู้ใช้ เมื่อมีการกดปุ่มยืนยัน จะมีการส่งคำสั่งเข้าบล็อกเชนเพื่อทำการเพิ่มพลังงานในบล็อกเชนของโหนดผู้ใช้ ถ้าทำรายการสำเร็จจะเก็บข้อมูลใน database และแสดงข้อความ Successful และมีการเปลี่ยนแปลงในส่วน of Current Energy ของผู้ใช้

Energy Trading Platform Home Bid Offer Wallet Top Up Deposit Energy Hello, Panu Logout

Total Deposit Energy

1000.0 kWh

Deposit Energy

Energy : kWh

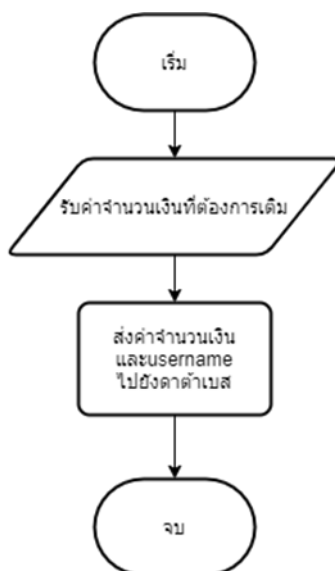
submit

Energy Deposit History

Timestamp	Energy (kWh)
March 29, 2021, 10:45 p.m.	1000.0

ภาพที่ 35 ภาพแสดงหน้าเว็บของหน้า Deposit energy

4.3.7 ฟังก์ชัน Wallet Top up



ภาพที่ 36 ภาพแสดง flow chart ของหน้า Wallet Top up

จากภาพที่ 36 เป็นแสดงการทำงานของฟังก์ชัน Wallet Top up จะมีการรับค่าจำนวนเงินที่ผู้ใช้งานต้องการเติม แล้วส่งค่าผู้ใช้ไป และจำนวนเงิน และ Address ในบล็อกเชนของผู้ใช้ไปยัง Database ประวัติการเติมเงินของผู้ใช้จะเก็บอยู่ใน Database และ บล็อกเชน

Energy Trading Platform Home Bid Offer Wallet Top Up Hello, Intouch Logout

Total Money Top Up

Money Top Up

1100.0

THB

Money :

1063.67

THB

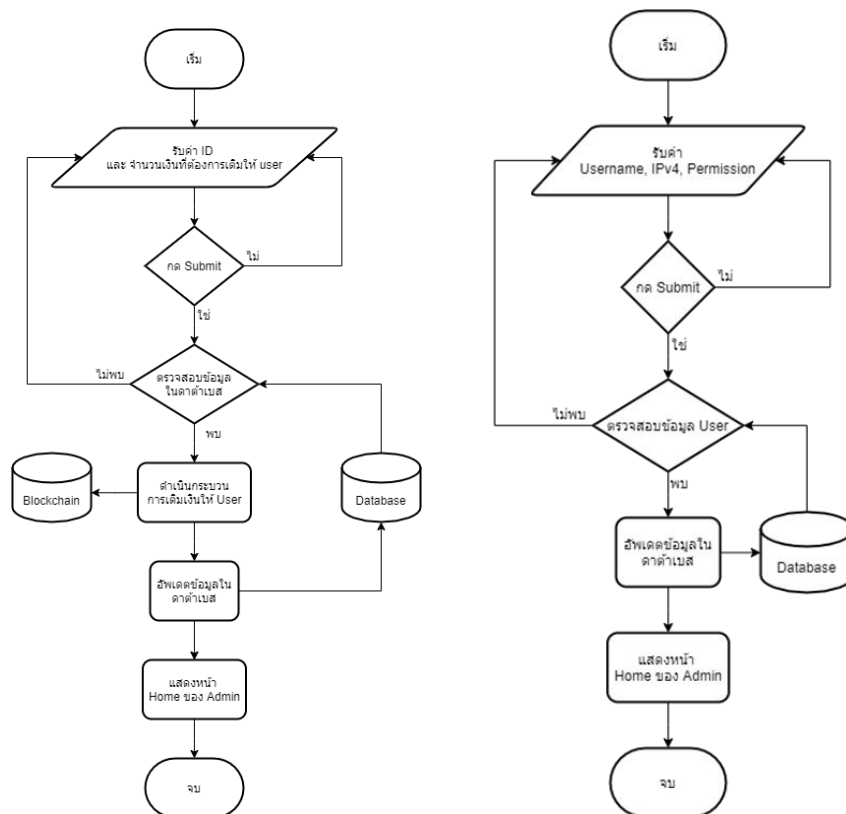
Submit

Money Top Up History

Timestamp	Amount (THB)	Status
-----------	--------------	--------

ภาพที่ 37 ภาพแสดงหน้าเว็บของหน้า Wallet Top up

4.3.8 ฟังก์ชัน Admin



ภาพที่ 38 ภาพแสดง flow chart ของหน้า Admin

จากภาพที่ 38 เป็นแสดงการทำงานของฟังก์ชัน Admin โดยมี 2 ฟังก์ชันการทำงานหลักคือหนึ่ง กำหนดประเภทของผู้ใช้งาน โดยการรับค่า username, ip address, และ permission type จะทำการส่งค่าไปเก็บใน Database เมื่อ username มีในระบบ และสองฟังก์ชันสำหรับเติมเงินให้ลูกค้า โดยดูรายการผู้ต้องการเติมเงินจากราย โดยตารางดึงค่ามาจาก Database และทำการรับค่าเป็น id กับจำนวนเงิน จะนำค่าเหล่านี้ไป filter ใน database เพื่อนำค่า address ของลูกค้า มาทำการส่งคำสั่ง api ให้บล็อกเชน หรือจะกดปุ่มเติมเงินจากในตารางก็ได้เช่นเดียวกัน

ภาพที่ 39 ภาพแสดงหน้าเว็บของหน้า Admin

บทที่ 5

ผลและวิจารณ์

5.1. ผลการทดสอบระบบโดยรวม

จากผลการทำงานของโครงการ และมีการทำงานตรงกับเป้าหมายและขอบเขตของโครงการ มีฟังก์ชันการทำงานครบถ้วนทั้งหมด โดยผู้ใช้งานสามารถใช้งานฟังก์ชันต่างๆได้ตาม ขอบเขตของตนเอง และข้อมูลที่แสดงบนหน้าเว็บนั้นสัมพันธ์กับบล็อกเชน

5.2. ผลการทดสอบระบบในส่วนย่อย

ตารางที่ 18 ตารางแสดงผลการทดสอบระบบส่วนย่อย

Test case	Yes/No
ข้อมูลที่แสดงหน้า Home ถูกต้อง	Yes
ข้อมูลที่แสดงหน้า Bid ถูกต้อง	Yes
ข้อมูลที่แสดงหน้า Offer ถูกต้อง	Yes
ข้อมูลที่แสดงหน้า Wallet top up ถูกต้อง	Yes
ข้อมูลที่แสดงหน้า Deposit Energy ถูกต้อง	Yes
ระบบ Register สามารถใช้งานและเก็บข้อมูลได้	Yes
ระบบ login สามารถใช้งานได้และแจ้งเตือนเมื่อผิดพลาด	Yes
ระบบสั่งซื้อในหน้า Bid สามารถกรอกและตรวจหาข้อมูลที่ตรงกันได้	Yes
ระบบวางขายในหน้า offer สามารถกรอกและเก็บค่าลงดาต้าเบสได้	Yes
ระบบสามารถทำงานร่วมกับบล็อกเชนได้อย่างปกติ	Yes
การทำธุรกรรมส่งค่าไปเก็บไว้ในบล็อกเชนได้	Yes
Admin กำหนด permission ให้ user ได้ผ่านหน้าเว็บโดยไม่เกิดข้อผิดพลาด	Yes

5.3. สรุปผลและวิจารณ์

5.3.1. สรุป

จากผลการทดสอบระบบในข้อ 5.1 และ 5.2 ระบบมีการทำงานตรงกับเป้าหมายและขอบเขตของโครงการ มีฟังก์ชันการทำงานครบถ้วนทั้งหมด โดยผู้ใช้งานสามารถใช้งานฟังก์ชันต่างๆได้ตาม ขอบเขตของตนเอง และข้อมูลที่แสดงบนหน้าเว็บนั้นสัมพันธ์กับบล็อกเชน

5.3.2. ข้อจำกัด

1. มีวิธีการจับคู่คำสั่งซื้อขายรูปแบบเดียวซึ่งยังไม่เพียงพอ ต้องพัฒนาต่อให้ทำการซื้อขายได้ในหลายรูปแบบ
2. การเชื่อมต่อจำกัด เฉพาะแบบ Local Network ควรจะมีการพัฒนาเพิ่มเติมให้ใช้งานได้บน Cloud Server

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1. สรุป

วัตถุประสงค์ของการทำโครงการนี้คือ เพื่อพัฒนาระบบการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าที่สามารถซื้อขายพลังงานไฟฟ้าโดยไม่ผ่านคนกลางได้อย่างปลอดภัยโดยใช้บล็อกเชน

ประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการนี้คือ จะไม่มีการผูกขาดในการซื้อขายพลังงาน ประชาชนมีสิทธิเลือกซื้อพลังงานในราคาที่ถูกลง สนับสนุนการใช้พลังงานทดแทน ประชาชนมีโอกาสรายได้จากการขายพลังงาน พลังงานไฟฟ้าไม่ต้องขนส่งจากโรงไฟฟ้าที่ตั้งอยู่ใจกลางเมืองช่วยลดต้นทุนการขนส่งไฟฟ้า การใช้บล็อกเชน ในการทำธุรกรรมซื้อขายไฟฟ้า สร้างความโปร่งใสอย่างเต็มที่ ลดการคอร์รัปชัน ข้อมูลจำนวนมาก (Big data) ที่จะถูกเก็บมา สามารถนำไปวิเคราะห์วางแผนการติดตั้งแหล่งกักเก็บพลังงานทดแทนที่เหมาะสม นำไปใช้ในการวิเคราะห์การลงทุนด้านพลังงานต่อไปในอนาคตได้

6.2. แนวทางในการพัฒนาต่อ

1. สร้างแพลตฟอร์มที่ใช้งานได้บน Cloud Server
2. สร้างรูปแบบการซื้อขายในหลายๆรูปแบบ

ภาคผนวก

คำศัพท์	ความหมาย
Blockchain	เทคโนโลยีการจัดเก็บข้อมูลแบบ Shared Database หรือ ที่รู้จักกันในชื่อ “Distributed Ledger Technology (DLT)” โดยเป็นรูปแบบการบันทึกข้อมูลที่รับประกันความปลอดภัยว่า ข้อมูลที่ถูกบันทึกไปก่อนหน้านี้ไม่สามารถที่จะเปลี่ยนแปลง หรือแก้ไข ซึ่งทุกผู้ใช้งานจะได้เห็นข้อมูลชุดเดียวกันทั้งหมด โดยใช้หลักการ Cryptography และความสามารถของ Distributed Computing เพื่อสร้างกลไกความน่าเชื่อถือ
Block	ชุดบรรจุข้อมูล แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของข้อมูล ต่าง ๆ ที่ต้องการบรรจุลงใน Block เรียกว่า Block Data เช่น ข้อมูลการทำธุรกรรมต่าง ๆ และส่วนของ Block Header ที่ใช้เก็บ ข้อมูลประจำ Block นั้น ๆ ได้แก่ หมายเลข Block, ค่า Nounce, ค่า Previous Hash และ ค่า Current Hash เป็นต้น
Nonce	ค่าที่ถูกสุ่มขึ้นมา เพื่อใช้ในการค้นหาค่า Hash ของ Block ซึ่งจะต้องเป็นไปตามกฎของระบบ ที่ได้กำหนดไว้ โดยค่า Hash ที่ได้นั้นจะต้องมีค่าต่ำกว่าค่า Target หรืออีกชื่อหนึ่ง คือ ค่า Difficulty นั่นเอง ซึ่งส่วนใหญ่มักใช้ในการออกแบบ โครงสร้าง Block ของ Bitcoin
Previous Hash	ค่า Current Hash ของ Block ก่อนหน้า ซึ่งเปรียบได้กับ ค่า Digital Signature ของ Block ก่อนหน้าโดยจะถูกจัดเก็บ อยู่ในโครงสร้างของ Block ถัดไปเสมอ และหากมีการแก้ไข ข้อมูล ใน Block ก่อนหน้าจะทำให้ค่า Hash ของ Block ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ในการออกแบบโครงสร้าง Block แต่ละแพลตฟอร์มอาจ มีการใช้ชื่อเรียกที่แตกต่างกันออกไป
Current Hash	ค่า Hash ของข้อมูลทั้งหมดใน Block นั้นๆ รวมถึงค่า Previous Hash ของ Block ก่อนหน้านั้นด้วย ทั้งนี้ในการออกแบบ โครงสร้าง Block แต่ละแพลตฟอร์มอาจมีการใช้ชื่อเรียก ที่แตกต่างกันออกไป
Hash Value	ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการทำ Hash Function โดยการทำ Hash Function คือ การนำ ข้อมูลต้นฉบับที่ต้องการแปลงข้อมูล มาผ่านกระบวนการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นฟังก์ชันทางเดียว ในการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่มีลักษณะเฉพาะของข้อมูล และมีขนาดความยาวที่ คงที่เสมอโดยข้อมูลต้นฉบับที่ผ่านการทำ Hash Function แล้วจะไม่สามารถดำเนินการ ย้อนกลับเพื่อให้ได้ ซึ่งข้อมูลเดิม
Consensus	การกำหนดข้อตกลงและความเห็นชอบร่วมกันระหว่างสมาชิกในเครือข่าย Blockchain โดย สมาชิกต้องยอมรับกฎระเบียบร่วมกัน ด้วยกลไกในการควบคุมความถูกต้องของข้อมูลในทุก Node ผ่านอัลกอริทึมต่าง ๆ เพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้อง เทียบตรงและเป็นข้อมูลชุดเดียวกัน รวมทั้งข้อมูลมีการจัดเก็บ ที่สอดคล้องและมีลำดับการจัดเก็บตรงกัน ทั้งนี้ กระบวนการ

	Consensus มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี โดยการเลือกใช้วิธีใดนั้น ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของ Blockchain ในแต่ละประเภท
Proof-of-Work	เป็นกระบวนการ Consensus วิธีหนึ่ง โดยใช้การแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีความซับซ้อน และต้องใช้เวลาในการแก้ปัญหานั้น ๆ จาก Nodes ต่างๆ ที่อยู่ในเครือข่ายหรือเรียกว่า “Miner” เพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่จะถูกบันทึกเข้ามาในเครือข่าย โดย Miner จะได้รับค่าตอบแทนจากการทำ Proof-of-Work และด้วยวิธีการดังกล่าวทำให้การแก้ไข ข้อมูลที่ถูกบันทึกลงในระบบ Blockchain แล้วทำได้ยากโดยที่ไม่แก้ไขข้อมูลใน Block ถัดๆ ไป ซึ่งจะต้องทำ Proof-of-Work ในทุก Block ค่อนข้างยุ่งยากและใช้เวลาในการคำนวณพอสมควร อีกทั้งยังจะต้องทำการแก้ไขทุก Block ในเวลาเดียวกัน การจะแก้ไขปัญหาดังกล่าว ในระยะเวลาที่จะจำกัดจึงเป็นเรื่องยากมากด้วยความสามารถของเครื่องคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน ดังนั้นการทำ Proof-of-Work จึงเป็นการป้องกันการโจมตีระบบด้วยการเพิ่มต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ให้กับผู้โจมตี เพื่อให้เกิดความไม่คุ้มค่าที่จะทำการโจมตี
Proof-of-Stake	เป็นกระบวนการ Consensus วิธีหนึ่ง โดยใช้หลักการวาง “สินทรัพย์” ของผู้ตรวจสอบ (Validator) ในการยืนยันธุรกรรม ผู้ตรวจสอบที่ทำการวางสินทรัพย์จำนวนมากจึงมีโอกาสสูงที่จะได้รับสิทธิ์ในการเขียนข้อมูลธุรกรรมบน Block ถัดไป โดยผู้ที่ ทำการเขียนข้อมูลบน Block ถัดไปจะได้รับค่าธรรมเนียม การดำเนินงานเป็นรางวัลตอบแทน
Proof-of-Authority	เป็นกระบวนการ Consensus วิธีหนึ่ง โดยทำข้อตกลงร่วมกัน ในการกำหนดสิทธิ์ผู้ใช้งานหรือองค์กรที่เชื่อถือได้ สำหรับ การทำธุรกรรมด้วยวิธีการระบุชื่อผู้ใช้อย่างเป็นทางการให้กับ ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียแต่ละ Node บนเครือข่าย Blockchain ในการทำธุรกรรมจะได้รับการตรวจสอบสิทธิ์จากบัญชีที่ได้รับอนุมัติ หรือเรียกว่า ผู้ตรวจสอบ (Validator) ซึ่งทำหน้าที่ในการรักษา ความปลอดภัย โดยใช้รูปแบบการหมุนเวียนสิทธิเพื่อกระจาย ความรับผิดชอบ และ เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยงาน อย่างเป็นธรรม
Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT)	เป็นกระบวนการ Consensus วิธีหนึ่ง โดยใช้หลักการเสียงข้างมาก ซึ่งต้องมีจำนวนผู้ตรวจสอบ (Validator) ทั้งสิ้นจำนวน $3f+1$ Node เพื่อรับประกันความถูกต้องของระบบ โดย f คือ จำนวน ผู้ตรวจสอบที่ไม่สามารถทำงานได้ในขณะนั้น
Public Blockchain	Blockchain วงเปิดที่อนุญาตให้ทุกคนสามารถเข้าใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นการอ่าน หรือการทำธุรกรรมต่าง ๆ ได้อย่างอิสระ โดยไม่จำเป็นต้องขออนุญาต
Private Blockchain	Blockchain วงปิดที่เข้าใช้งานได้เฉพาะผู้ที่ได้รับอนุญาต เท่านั้น ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการสร้างขึ้นเพื่อใช้งานภายในองค์กร ดังนั้นข้อมูลการทำธุรกรรมต่าง ๆ จะถูกจำกัดอยู่เฉพาะภายในเครือข่าย ซึ่งประกอบไปด้วยสมาชิกที่ได้รับอนุญาตเท่านั้น
Consortium Blockchain	Blockchain ที่เปิดให้ใช้งานได้เฉพาะกลุ่มเท่านั้น ซึ่งส่วนมาก จะเป็นการรวมตัวกันขององค์กรที่มีลักษณะธุรกิจเหมือนกัน และต้องมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกัน ยกตัวอย่างเช่น เครือข่ายระหว่างธนาคาร ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลการทำ ธุรกรรม หรือแลกเปลี่ยนสินทรัพย์ภายในกลุ่มของธนาคาร เช่น Japanese Bank และ R3CEV
Merkle Root	ค่า Hash ที่อยู่บนสุดของ Hash Tree โดยค่าดังกล่าวจะถูกแสดง ใน Block Information ซึ่ง

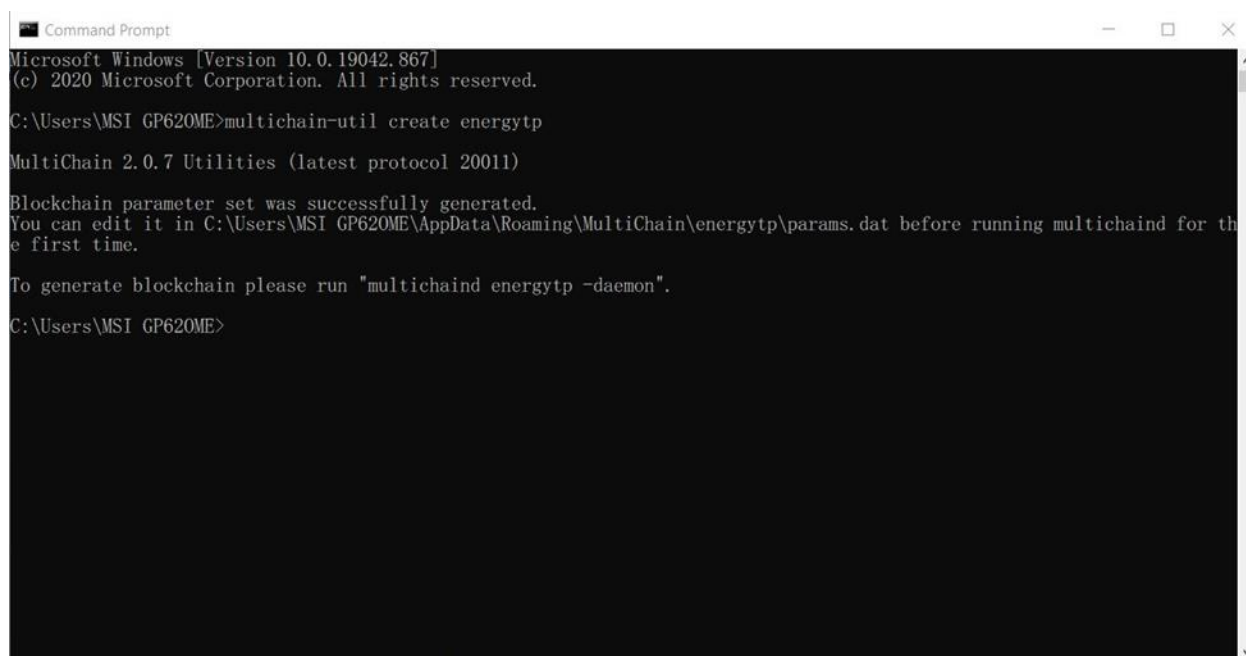
	Hash Tree จะใช้กับการออกแบบ Block ที่มีการรวบเอา Transaction ที่เกิดขึ้นในเวลาใกล้เคียงกัน รวมเข้าไว้ใน Block เดียวกัน โดยทำการ Hash รายการ Transaction ทั้งหมดใน Block ซึ่งเป็นวิธีการ Hash ข้อมูล ชุดใหญ่ โดยใช้รูปแบบ Hash Tree ซึ่งจะ Hash Transactions ทั้งหมดใน Block ให้กลายเป็น Hash Value ขนาด 32 ไบต์
Ethereum	เป็น Platform ของ Blockchain แบบเปิด โดย Ethereum มีความแตกต่างจาก Bitcoin เนื่องจาก Ethereum ถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถปรับตัวได้และความยืดหยุ่นและเป็น Open Source โดยมีความสามารถทัดเทียมกับ Bitcoin แต่ว่ามีฟีเจอร์ที่เรียกว่า Smart Contract ที่อนุญาตให้ผู้ใช้หรือนักพัฒนาโปรแกรม สามารถเขียนโปรแกรมลงไปข้อมูลของสกุลเงิน Ether ได้ เพื่อให้ทำงานอัตโนมัติเมื่อเงื่อนไขเป็นไปตามที่กำหนดในสัญญา ดังนั้นจึงทำให้สามารถสร้าง Application ต่างๆ ขึ้นมาบนเครือข่าย Ethereum อีกชั้นหนึ่งได้ ทำให้เกิดรูปแบบที่หลากหลายในการใช้งานซึ่งแตกต่างจาก Bitcoin ที่เน้นการทำธุรกรรมเพียงอย่างเดียว
Cryptocurrency	สกุลเงินดิจิทัลซึ่งมีมูลค่าเหมือนกับธนบัตรในสกุลเงินประเทศ ต่าง ๆ และถูกใช้เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนแบบดิจิทัล โดยการแลกเปลี่ยนรูปแบบดิจิทัลได้เริ่มขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 2009 ซึ่ง Blockchain Application ในกลุ่มเงินดิจิทัลได้ถูกพัฒนา ขึ้นเพื่อใช้ในธุรกิจการให้บริการทางการเงินทั้งการโอนและ การจ่ายเงิน ยกตัวอย่างเช่น Bitcoin และ Ripple
Ledger	บัญชีประวัติการทำธุรกรรมซึ่งจะถูกบันทึกและทำสำเนา แจกจ่ายให้กับทุก Node ที่อยู่ในเครือข่าย Blockchain
Smart Contract	สัญญาอัจฉริยะโดยจะเก็บเงื่อนไขหรือข้อตกลงของสัญญาต่าง ๆ ไว้ในรูปแบบ Code คอมพิวเตอร์ ซึ่งจะถูกรวบรวมไว้ในเครือข่าย Blockchain
Node	อุปกรณ์ในเครือข่าย Blockchain เปรียบได้กับเครื่อง คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ หรืออื่นๆ ที่สามารถเชื่อมต่อ อินเทอร์เน็ตและประมวลผลได้ ซึ่งถือว่าเป็นโครงสร้างพื้นฐาน ที่สำคัญในการกระจายและเชื่อมโยงกันในเครือข่ายเพื่อให้ ระบบสามารถทำงานและประมวลผลได้ ทั้งนี้ประเภทของ Node ในเครือข่าย Blockchain สามารถจำแนกได้เป็น 1. Node ที่ทำหน้าที่ในการจัดเก็บสำเนาข้อมูลเท่านั้น ประกอบด้วย Full Node และ Light Node 2. Node ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้องเท่านั้น หรือที่รู้จักกัน ในชื่อ Consensus Node
Token	สิ่งสมมุติแทนมูลค่าของโปรเจกต์นั้นๆ (Virtual Currency) ตัวอย่าง คุณเอาเงินมาให้ผม \$10,000 ผมจะให้ Token คุณไป 10 Tokens เป็นเครื่องสมมุติมูลค่า \$10,000 ซึ่งคุณและผมยอมรับมูลค่าตามนั้น ณ วันซื้อขาย
Miner	คือโหนดที่เข้าร่วมเครือข่ายบล็อกเชนเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของธุรกรรม ซึ่งต้องปฏิบัติตามฉันทามติที่ระบบกำหนดไว้ก่อนที่จะปิดบัญชีเพื่อสร้างบล็อกใหม่และประกาศให้โหนดอื่น ๆ ทราบต่อไป โดยกระบวนการนี้จะมีรางวัลให้กับนักขุดที่สามารถปิดบล็อกและประกาศได้เป็นลำดับแรก รวมทั้งค่าธรรมเนียมที่ผู้ส่งธุรกรรมต้องชำระมายังนักขุด
Blob	ย่อมาจาก Binary Large OBject ซึ่งมันก็คือ การระบุว่าข้อมูลที่อยู่ในนั้นมันจะเป็นไฟล์ Binary มีขนาดใหญ่ แต่ไม่ได้ระบุว่า เป็น data ของอะไร ซึ่งมันสามารถเป็นไฟล์ Type ไหนก็ได้ ขอ

	แค่เป็น Library
TXID	ย่อมาจาก Transaction ID คือ รหัสธุรกรรมมันใช้รูปแบบของสตริงของตัวอักษรและตัวเลขที่ช่วยระบุธุรกรรมใน Blockchain เพื่อให้มันดูเรียบง่ายขึ้น Txid เป็นรูปแบบของคีย์การทำธุรกรรมซึ่งหมายความว่าเมื่อคุณทำการโอนเหรียญจากที่อยู่กระเป๋าเงิน A ไปยังกระเป๋าเงิน B คุณจะได้รับ รหัสแฮช เพื่อตรวจสอบอินพุตและเอาต์พุตของธุรกรรมนั้นและ Txid นี้ที่เก็บไว้ใน Blockchain ไม่สามารถแก้ไขหรือลบได้

ก1

คู่มือการติดตั้งระบบ

1. ทำการติดตั้ง Multichain ในโนหนดผู้ดูแลระบบ โหนดผู้ผลิตไฟฟ้าหรือผู้ขายไฟฟ้า โหนดผู้ซื้อไฟฟ้า โหนดที่เป็นทั้งผู้ซื้อและผู้ขาย และทำการสร้าง path เพื่อผู้ใช้งานสามารถใช้งานคำสั่งผ่าน command line ได้
2. โหนดผู้ผลิตทำการสร้าง Blockchain โดยใช้คำสั่ง `multichain-util create energytd` โดยในที่นี้ใช้ `energytd` เป็นชื่อของบล็อกเชน



```

Microsoft Windows [Version 10.0.19042.867]
(c) 2020 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\MSI GP620ME>multichain-util create energytd

MultiChain 2.0.7 Utilities (latest protocol 20011)

Blockchain parameter set was successfully generated.
You can edit it in C:\Users\MSI GP620ME\AppData\Roaming\MultiChain\energytd\params.dat before running multichaind for the first time.

To generate blockchain please run "multichaind energytd -daemon".

C:\Users\MSI GP620ME>

```

ภาพที่ 40 ภาพแสดงการสร้างบล็อกเชน

3. ทำการเปิดโหนดเซิร์ฟเวอร์โดยใช้คำสั่ง `multichaind energytp -daemon` จะเห็นข้อความ Node ready

```

C:\Users\MSI GP620ME>multichaind energytp -daemon

MultiChain 2.0.7 Daemon (Community Edition, latest protocol 20011)

Looking for genesis block...
Genesis block found

Other nodes can connect to this node using:
multichaind energytp@169.254.192.250:9229

This host has multiple IP addresses, so from some networks:
multichaind energytp@169.254.210.53:9229
multichaind energytp@169.254.208.78:9229
multichaind energytp@172.20.10.2:9229

Listening for API requests on port 9228 (local only - see rpcallowip setting)

Node ready.

```

ภาพที่ 41 ภาพแสดงการเปิดโหนดเซิร์ฟเวอร์

4. ตรวจสอบ Address ของโหนดผู้ดูแลระบบ เพื่อนำไปใช้ในการสร้าง Asset

```

Microsoft Windows [Version 10.0.19042.867]
(c) 2020 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\MSI GP620ME>multichain-cli energytp listaddresses
{"method": "listaddresses", "params": [], "id": "45302896-1616905555", "chain_name": "energytp"}

[
  {
    "address" : "1Qtv8LZXo5576zP9EN15ScsbTGV1tDjaUgKqx",
    "ismine" : true
  }
]

C:\Users\MSI GP620ME>

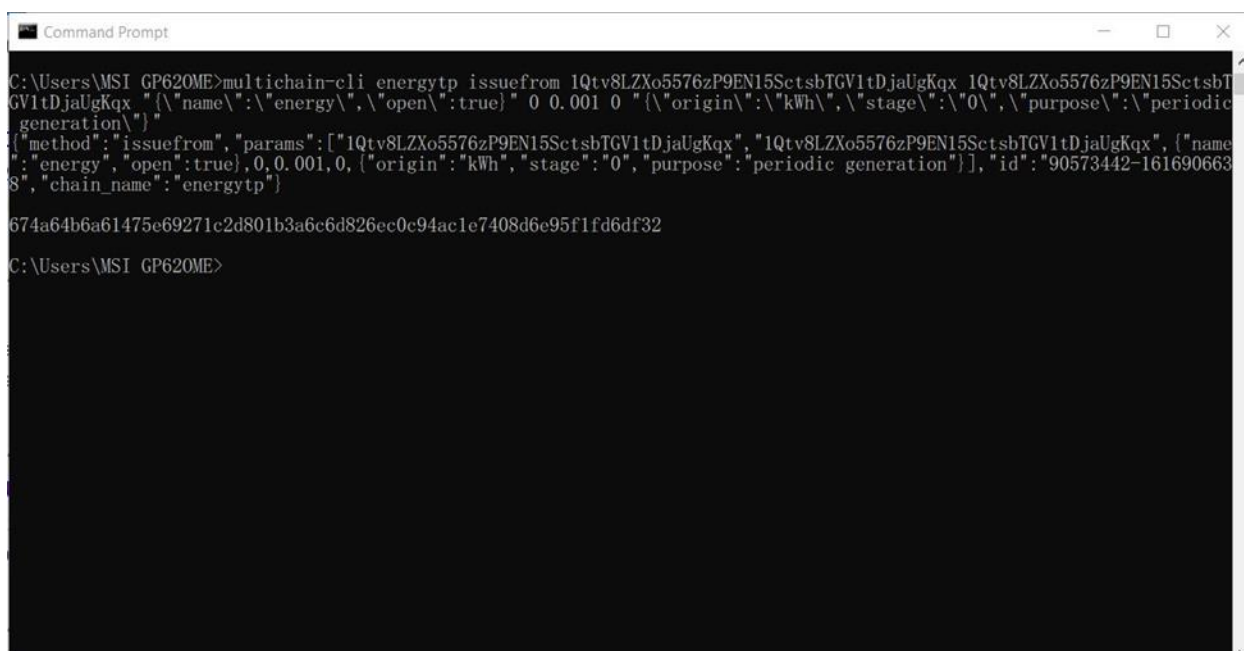
```

ภาพที่ 42 ภาพแสดงการตรวจสอบ Address

5. ทำการสร้าง Asset ในบล็อกเชน ในที่นี้มีการสร้าง 2 Asset คือ Asset Energy เพื่อเก็บพลังงาน มีหน่วยเป็น kWh และ Ecoin เพื่อเก็บเงิน มีหน่วยเป็น BTH โดยใช้คำสั่ง

5.1 สร้าง asset energy

```
multichain-cli energytd issuefrom 1Qtv8LZXo5576zP9EN15SctsbTGV1tDjaUgKqx
1Qtv8LZXo5576zP9EN15SctsbTGV1tDjaUgKqx '{"name\":\"energy\\",\"open\":true}' 0 0.001 0
{'origin\":\"KWh\\",\"stage\":\"0\\",\"purpose\":\"periodic generation\"}'
```



ภาพที่ 43 ภาพแสดงการสร้าง Asset Energy

5.2 สร้าง asset ecoin

```
multichain-cli energytd issuefrom 1Qtv8LZXo5576zP9EN15SctsbTGV1tDjaUgKqx
1Qtv8LZXo5576zP9EN15SctsbTGV1tDjaUgKqx '{"name\":\"ecoin\\",\"open\":true}' 0 0.001 0
{'origin\":\"THB\\",\"stage\":\"0\\",\"purpose\":\"ecoin sale\"}'
```

```

C:\Users\MSI GP620ME>multichain-cli energytp issuefrom 1Qtv8LZXo5576zP9EN15SctsbTGV1tDjaUgKqx 1Qtv8LZXo5576zP9EN15SctsbTGV1tDjaUgKqx {"name":"ecoin","open":true} 0 0.001 0 {"origin":"THB","stage":"0","purpose":"ecoin sale"}
{"method":"issuefrom","params":["1Qtv8LZXo5576zP9EN15SctsbTGV1tDjaUgKqx","1Qtv8LZXo5576zP9EN15SctsbTGV1tDjaUgKqx",{"name":"ecoin","open":true},0,0.001,0,{"origin":"THB","stage":"0","purpose":"ecoin sale"}],"id":"53059480-1616906838","chain_name":"energytp"}
8fb7352eef5c34e6d997e7e4bf89186d3dbf4f336798b30450b6220fad264aa3
C:\Users\MSI GP620ME>

```

ภาพที่ 44 ภาพแสดงการสร้าง Asset Ecoin

6. ผู้ดูแลระบบทำการติดตั้งโหนดให้ผู้ใช้งานโดยไปติดตั้งตามสถานที่ที่ผู้ใช้งานกำหนด โดยทำการเชื่อมต่อโหนดด้วยคำสั่ง `multichaind energytd@172.17.0.2:6823 -daemon` ตามไอพีที่โหนดผู้ดูแลระบบใช้สร้างโหนดเซิร์ฟเวอร์

```

Microsoft Windows [Version 10.0.19042.867]
(c) 2020 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\Marnie>multichaind energytp@172.20.10.2:9229

MultiChain 2.1.2 Daemon (Community Edition, latest protocol 20012)

Retrieving blockchain parameters from the seed node 172.20.10.2:9229 ...
Blockchain successfully initialized.

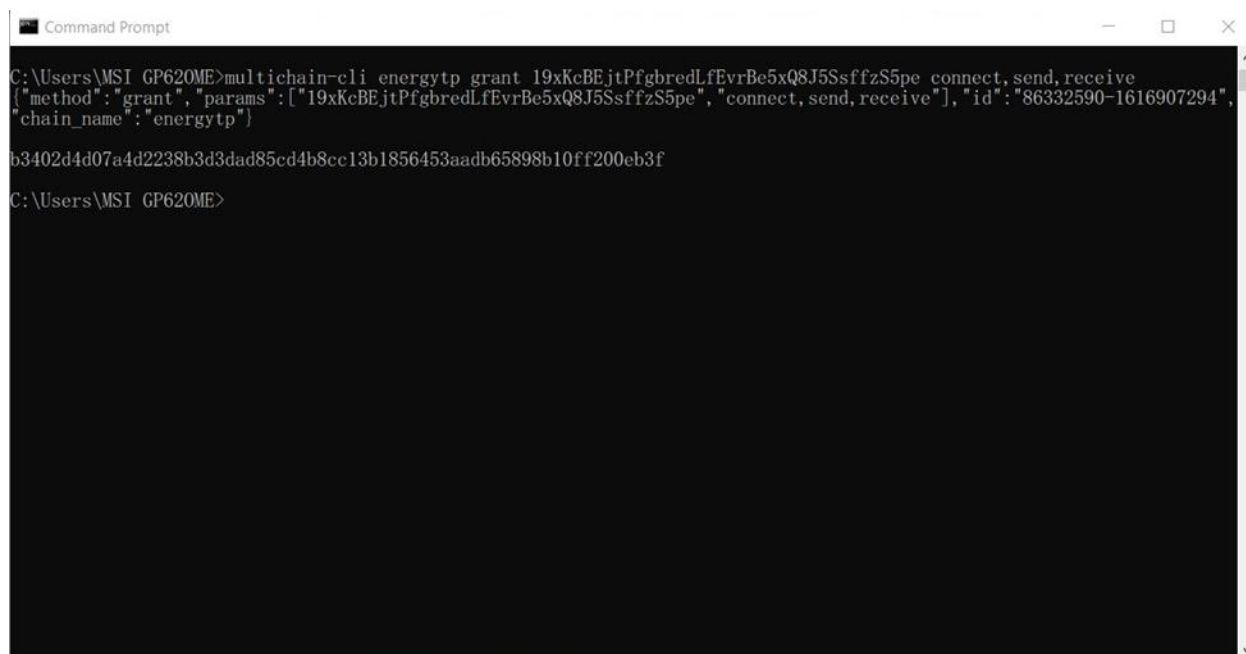
Please ask blockchain admin or user having activate permission to let you connect and/or transact:
multichain-cli energytp grant 19xKcBEjtPfgbredLfEvrBe5xQ8J5SsffzS5pe connect
multichain-cli energytp grant 19xKcBEjtPfgbredLfEvrBe5xQ8J5SsffzS5pe connect,send,receive

C:\Users\Marnie>

```

ภาพที่ 45 ภาพแสดงการเชื่อมต่อโหนด

โดยผู้ดูแลระบบใส่คำสั่ง multichain-cli energytd grant 19xKcBEjtPfgbredLfEvrBe5xQ8J5SsffzS5pe connect,send,receive ในโหมดเซฟเวอร์



```

Command Prompt
C:\Users\MSI_GP620ME>multichain-cli energytd grant 19xKcBEjtPfgbredLfEvrBe5xQ8J5SsffzS5pe connect,send,receive
{"method": "grant", "params": ["19xKcBEjtPfgbredLfEvrBe5xQ8J5SsffzS5pe", "connect, send, receive"], "id": "86332590-1616907294",
"chain_name": "energytd"}
b3402d4d07a4d2238b3d3dad85cd4b8cc13b1856453aadb65898b10ff200eb3f
C:\Users\MSI_GP620ME>
  
```

ภาพที่ 46 ภาพแสดงการเพิ่มสิทธิ์การเชื่อมต่อ

7. ผู้ใช้งานต้องใช้คำสั่ง multichain-cli energytd -daemon เพื่อทำการเปิดโหมดทุกครั้งก่อนใช้งานบนหน้าเว็บ
8. ผู้ใช้งานต้องเข้าไปใช้รหัส RPC Password ของตนเองผ่านไฟล์ multichain.conf และนำรหัสไปกรอกตอน Register บนเว็บไซต์ และทำการแจ้ง Username แก่ผู้ดูแลระบบ
9. ผู้ดูแลระบบทำการกำหนดสถานะของผู้ใช้งานผ่านหน้าผู้ดูแลระบบบนเว็บไซต์

ก2

คู่มือการใช้งาน

1. ทำการเปิดโหนดก่อนเข้าใช้งานบนหน้าเว็บทุกครั้ง โดยใช้คำสั่ง Multichaind energytd –daemon
2. ทำการเปิดหน้าเว็บ โดยจะแนะนำการใช้งานแต่ละฟังก์ชันโดยละเอียดดังนี้

2.1 ฟังก์ชัน Log-in

กรอก Username และ Password เพื่อทำการ Login

2.2 ฟังก์ชัน Register

กรอก Username, Name, Lastname, E-mail, Password และ Rpc password ซึ่งได้มาจาก multichain.conf ไฟล์ ใน folder Multichain

2.3 ฟังก์ชัน Home

จะเป็นการแสดงรายละเอียดต่างๆของผู้ใช้งาน

2.4 ฟังก์ชัน Offer

เมื่อผู้ใช้งานต้องการวางคำสั่งขาย กรอกจำนวนพลังงานที่ต้องการวางคำสั่งขาย และ ราคาต่อหน่วย ผู้ใช้สามารถเช็คสถานะคำสั่งขายได้ผ่านตารางด้านล่าง และ ตาราง History ในหน้า Home

2.5 ฟังก์ชัน Bid

เมื่อผู้ใช้งานต้องการซื้อพลังงาน กรอกจำนวนพลังงาน และ ราคาต่อหน่วย ที่ต้องการซื้อ โดยใช้รายการผู้ขายในขณะนั้นได้จากตารางด้านล่าง

2.6 ฟังก์ชัน Deposit

กรอกพลังงานที่ต้องการฝาก

2.7 ฟังก์ชัน Wallet Top-up

กรอกจำนวนเงินที่ต้องการเติม

2.8 ฟังก์ชัน Admin

กรอก Username, IP Address และ Permission Type เพื่อกำหนดชนิดของผู้ใช้งาน กรอก ID และจำนวนเงินที่ต้องการเติมของผู้ใช้เพื่อทำการเติมเงินให้ลูกค้า

เอกสารอ้างอิง

- [1] Alternative Energy Development Plan: AEDP2015. กระทรวงพลังงาน. 2558. bankkok : กระทรวงพลังงาน, 2558.
- [2] Don Tapscott, Alex Tapscott. BLOCKCHAIN REVOLUTION: How the Technology Behind Bitcoin is Changing Money, Business, and the World. 978-1101980149.
- [3] Kiangkrai Chaonithi. spicydog. 05 09 2018. <https://www.spicydog.org/blog/what-blockchain-actually-solve/> (22 01 2020 ที่เข้าถึง).
- [4] Blockchain for government services. Digital Government Development Agency.
2562. 1, กรุงเทพฯ : สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล.
- [5] Blockfint. blockfint. [ออนไลน์] [สืบค้นเมื่อ 10 12 2020.] <https://www.blockfint.com/products/gideon>.
- [6] Dr. Warodom Khamphanchai. medium. [ออนไลน์] [สืบค้นเมื่อ 21 11 2020.] <https://medium.com/pea-hive-platform/powerledger-digital-energy-trading-platform-%E0%B8%81%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B9%83%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B9%88%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9B%E0%B8%8F%E0%B8%B4%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0>.
- [7] upgrad. [ออนไลน์] [สืบค้นเมื่อ 14 10 2020.] https://www.upgrad.com/blog/guide-to-ethereum-pros-cons-uses-application/#Pro_Cons_of_Ethereum_applications.
- [8] devteam.space. [ออนไลน์] [สืบค้นเมื่อ 15 10 2563.] <https://www.devteam.space/blog/pros-and-cons-of-hyperledger-fabric-for-blockchain-networks/>.
- [9] Zane Hintzman. (2017). Comparing Blockchain Implementations.
- [10] multichain. [ออนไลน์] [สืบค้นเมื่อ 10 10 2020.] <https://www.multichain.com/>.
- [11] DXMarkets. [ออนไลน์] [สืบค้นเมื่อ 10 1 2021.] <https://github.com/DXMarkets/Savoir>.
- [12] codeburst.io. [ออนไลน์] [สืบค้นเมื่อ 21 10 2020.]
- [13] python. [ออนไลน์] python Software Foundation. [สืบค้นเมื่อ 30 12 2020.] <https://www.python.org/>.

- [14] w3school. [ออนไลน์] [สืบค้นเมื่อ 10 12 2020.] <https://www.w3schools.com/html/>.
- [15] w3school. [ออนไลน์] [สืบค้นเมื่อ 15 12 2020.] <https://www.w3schools.com/css/>
- [16] Kai 'Oswald' Seidler. apachefriends. [ออนไลน์] [สืบค้นเมื่อ 10 1 2021.] <https://www.apachefriends.org/index.html>.
- [17] Isaac Bennetch. phpmyadmin. [ออนไลน์] [สืบค้นเมื่อ 14 12 2020.] <https://www.phpmyadmin.net/>.
- [18] James Cope. computerworld. [ออนไลน์] [สืบค้นเมื่อ 10 1 2021.] <https://www.computerworld.com/article/2588287/networking-peer-to-peer-network.html>.
- [19] Se-Chang Oh. “Implementation of blockchainbased energy trading system.” 2017.
- [20] Seung Jae Pee. “Blockchain based smart energy trading platform.” 2019.