AI

ระบบนิเวศบล็อกเชนเพื่อยกระดับอุตสาหกรรมการสื่อสารโทรคมนาคมประเทศไทย ให้ก้าวไปสู่การเป็นสังคมอัจฉริยะตามนโยบายไทยแลนด์ 4.0

BLOCKCHAIN ECOSYSTEM TO RAISE THAILAND'S TELECOMMUNICATION SECTOR TO A SMART SOCIETY ACCORDING TO THAILAND 4.0 POLICY

บุญประเสริฐ สุรักษ์รัตนสกุล[1]
วรพจน์ กรีสุระเดช[2]
อารยา อริยา[3]
พิรภพ จันทร์แสนตอ[4]
บัณฑิต บุษบา[5]
Boonprasert Surakratanasakul[1]
Worapoj Kreesuradej[2]
Araya Ariya[3]
Piraprob Junsantor[4]
Bundit Busaba[5]

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520[1 และ 2]
มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ลำปาง 52100[3 ถึง 5]
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520 Thailand[1 and 2]
Lampang Rajabhat University, Lampang 52100 Thailand[3 to 5]

Corresponding E-mail: boonprasert@it.kmitl.ac.th

Received Date July 18, 2022
Revised Date October 25, 2022
Accepted Date October 31, 2022

บทคัดย่อ

บล็อกเชนเป็นเทคโนโลยีที่มีการกล่าวถึงอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะการสร้างความน่าเชื่อถือและการยืนยันตัวตนในโลกดิจิทัล ปัจจัยสำคัญที่ทำให้บล็อกเชนประสบความสำเร็จในอุตสาหกรรมที่มีหลายองค์กรทำงานร่วมกันคือการสร้างระบบนิเวศบล็อกเชนสำหรับอุตสาหกรรมสื่อสารโทรคมนาคมที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบนิเวศบล็อกเชนในอุตสาหกรรมสื่อสารโทรคมนาคมในประเทศไทย การศึกษาครั้งนี้ใช้เทคนิควิธีอภิปรายกลุ่มเพื่อเก็บข้อมูลจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง และนำข้อมูลมาใช้ออกแบบระบบนิเวศบล็อกเชนในอุตสาหกรรมการสื่อสารโทรคมนาคม ผลการวิจัยแสดงถึงสภาพแวดล้อมการทำงานภายใต้ระบบนิเวศบล็อกเชน และการพัฒนาระบบสารสนเทศต้นแบบ 5 ระบบ ได้แก่ ระบบสารสนเทศต้นแบบเพื่อแจ้งข้อมูลข่าวสารของ กสทช. ระบบการจัดเก็บและตรวจสอบข้อมูลรายละเอียดการโทรและค่าใช้บริการ ระบบการจัดเก็บและการบริหารจัดการข้อมูลการตรวจสอบการแสดงเครื่องหมายที่เครื่องวิทยุคมนาคม ระบบตรวจสอบโพรโมชันและการใช้งานแบบออนไลน์เพื่อให้ประชาชนตรวจสอบได้ และระบบการเปลี่ยนค่ายด้วยเบอร์เดิม ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบพบว่า ด้านประสิทธิภาพหน้าที่ของโปรแกรมและด้านความปลอดภัยอยู่ในระดับมากที่สุดที่ค่าเฉลี่ย 4.76 และ 4.65 ตามลำดับ ส่วนด้านความสามารถของระบบที่ทำงานตรงกับความต้องการของผู้ใช้และความยากง่ายในการใช้งานระบบอยู่ในระดับมากที่ค่าเฉลี่ย 4.35 และ 4.24 ตามลำดับ

คำสำคัญ: บล็อกเชน ระบบนิเวศบล็อกเชน อุตสาหกรรมการสื่อสารโทรคมนาคม

Abstract

Blockchain is a technology that is widely mentioned about, particularly for building trust and authentication in the digital world. A crucial factor for the success of applying blockchain in an industry consisting of different organizations is to develop a blockchain ecosystem that can accommodate telecommunication sector. The article's goal was to design a blockchain ecosystem for Thailand's telecommunication industry. In this study, focus group discussions were used to collect information from stakeholders. This information was employed to design a blockchain ecosystem for the telecommunication industry. The research result demonstrated a working environment under the blockchain ecosystem. In addition, five information system prototypes were developed including: an information system for the office of NBTC's news and message notification; a system for gathering and verifying call data and service fees; a system for collecting and administering data on the verification of registration label on radiotelephony; a system for online checking of promotions and usage for general people; and a system for switching provider and keeping the same phone number. The system efficiency assessment indicated that the functional test and security test received highest scores with mean scores of 4.76 and 4.65 respectively. The functional requirement test and usability test received high scores with mean scores of 4.35 and 4.24 respectively.

Keywords: Blockchain, Blockchain ecosystem, Telecommunication industry

1. บทนำ

บล็อกเชน (Blockchain) เริ่มรู้จักครั้งแรกในปี ค.ศ. 1982 จากการนำเสนอเรื่องโพรโทคอลบล็อกเชนในงานวิทยานิพนธ์ปริญญาเอกของ Chaum (1982) จากนั้นในปี ค.ศ. 1991 Haber & Stornetta (1991) ได้อธิบายเกี่ยวกับห่วงโซ่ของบล็อกและการเข้ารหัส และในปี ค.ศ. 1998 "bit gold" หรือ กลไกสกุลเงินดิจิทัลแบบกระจายได้ถูกออกแบบและเสนอโดย Nick Szabo (Sharma, 2021) อย่างไรก็ตาม บล็อกเชนเริ่มเป็นที่นิยมและได้ถูกกล่าวถึงในวงกว้างจากการปรากฏของบทความที่นำเสนอโดย ซาโตชิ นาคาโมโตะ (Nakamoto, 2009) ซึ่งเขียนบทความเกี่ยวกับการใช้บล็อกเชนในระบบเงินสดอิเล็กทรอนิกส์แบบ peer-to-peer ส่งผลให้บล็อกเชนเป็นวิธีการที่ถูกกล่าวถึงบ่อยครั้งเกี่ยวกับการรักษาความปลอดภัยในการจัดเก็บและการถ่ายโอนข้อมูลผ่านระบบที่กระจายอำนาจและเชื่อถือได้ (Taylor et al., 2020) ทั้งนี้ มีนักวิจัยหลายคนที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการนำบล็อกเชนเข้ามาช่วยในการรักษาความปลอดภัย เช่น Guo & Yu (2022) และ Joshi et al., (2018)

ในช่วงแรกบล็อกเชนได้รับความสนใจอย่างมากในการนำไปประยุกต์ใช้และจัดการความปลอดภัยของข้อมูลทางด้านการเงินจากสถาบันการเงินทั่วโลก ซึ่งต่อมาบล็อกเชนได้ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในวงการอื่น ๆ นอกจากการเงิน อาทิ อุตสาหกรรมรถยนต์ (Mohammad et al., 2022) การดูแลสุขภาพ (Huang & Foysal, 2021) การโฆษณา (Liu et al., 2021) การประกันภัย (Shetty et.al., 2022) พลังงาน (Bao et al., 2021) กิจการการสื่อสารและโทรคมนาคม (Babu et al., 2016; Qasse et al., 2019; Ridgewell, 2019) หรือแม้กระทั่งรัฐบาลทั่วโลกก็ยังได้เริ่มมีการศึกษาแนวทางการนำบล็อกเชนไปใช้ในหน่วยงานราชการของตน (Chen et al., 2018)

ในอนาคตอันใกล้นี้ประเทศไทยจะก้าวสู่การเป็นสังคมอัจฉริยะตามนโยบายไทยแลนด์ 4.0 ที่ได้ประกาศนโยบายขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคมดิจิทัล (Digital economy) ที่เน้นการผลักดัน Smart city หรือเมืองอัจฉริยะให้เป็นกลไกที่จะสร้างโอกาสในการขยายตัวของเศรษฐกิจในระดับภูมิภาคให้ดีขึ้น อุตสาหกรรมสื่อสารโทรคมนาคมจะมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการส่งเสริมและสนับสนุนให้เกิดความสำเร็จ ทั้งบทบาทในฐานะเป็นระบบโครงสร้างพื้นฐานเพื่อการเชื่อมต่อกันในสังคมอัจฉริยะ และยังเป็นองค์ประกอบหลักหนึ่งในระบบนิเวศเมืองอัจฉริยะที่ไม่สามารถขาดหายไปได้ จึงทำให้มีความพยายามในการนำเทคโนโลยีบล็อกเชนมาใช้ประโยชน์ในการสร้างสภาพแวดล้อมทางดิจิทัลให้แก่สังคมและเศรษฐกิจ

สืบเนื่องจากพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียงวิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พุทธศักราช 2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติมบัญญัติให้สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ หรือ กสทช. ในมาตราที่ 50 เพื่อประโยชน์ในการจัดให้มีบริการโทรคมนาคมพื้นฐานโดยทั่วถึงและบริการเพื่อสังคมตามกฎหมายว่าด้วยการประกอบกิจการโทรคมนาคม ให้ กสทช. กำหนดแผนการจัดให้มีบริการโทรคมนาคมพื้นฐานโดยทั่วถึงและเพื่อบริการสังคม ซึ่งการนำเทคโนโลยีบล็อกเชนเข้ามาใช้ในการให้บริการ จะทำให้ประชาชนผู้ใช้มีความเชื่อถือและมีความปลอดภัยในการใช้บริการดิจิทัลจากภาครัฐ

ทั้งนี้ กสทช. ยังมิได้นำเทคโนโลยีบล็อกเชนเข้ามาใช้ร่วมกับระบบสารสนเทศภายในองค์กรและอุตสาหกรรมการสื่อสารโทรคมนาคมของประเทศไทย จึงเป็นช่องว่างงานวิจัยที่ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยเพื่อออกแบบระบบนิเวศบล็อกเชนของ กสทช. เพื่อเป็นต้นแบบสำหรับนำไปใช้ในกิจการสื่อสารโทรคมนาคมของประเทศไทยต่อไปในอนาคต

2. วัตถุประสงค์การศึกษา

เพื่อออกแบบระบบนิเวศบล็อกเชนในอุตสาหกรรมสื่อสารโทรคมนาคมในประเทศไทย

3. วิธีการศึกษา

การศึกษาเพื่อออกแบบระบบนิเวศบล็อกเชนในอุตสาหกรรมสื่อสารโทรคมนาคมในประเทศไทย มีวิธีการศึกษาดังนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร ได้แก่ ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ระดับสูงของ กสทช. เจ้าหน้าที่ระดับปฏิบัติการของ กสทช. และผู้ประกอบการด้านอุตสาหกรรมการสื่อสารโทรคมนาคม

กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ระดับสูงของ กสทช. จำนวน 5 คน เจ้าหน้าที่ระดับปฏิบัติการของ กสทช. จำนวน 10 คน และผู้ประกอบการธุรกิจด้านอุตสาหกรรมการสื่อสารโทรคมนาคม จำนวน 5 คน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เทคนิคที่ใช้ในการวิจัยคือการอภิปรายกลุ่ม (Focus group discussion) ด้วยการระดมความคิดเห็นจากผู้วิจัยและกลุ่มตัวอย่างจำนวน 2 ครั้ง โดยครั้งแรกจะเป็นการระดมความคิดเห็นโดยใช้แบบสัมภาษณ์ทั่วไป (Interview) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการออกแบบประเด็นคำถามประกอบด้วย 4 ประเด็นหลัก ได้แก่ ความคิดเห็นเกี่ยวกับสถานการณ์ปัจจุบันของอุตสาหกรรมการสื่อสารโทรคมนาคม แนวโน้มในอนาคตของอุตสาหกรรมการสื่อสารโทรคมนาคม แนวโน้มการให้บริการดิจิทัลของภาครัฐ และการนำเทคโนโลยีและระบบนิเวศบล็อกเชนมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการสื่อสารโทรคมนาคม ส่วนการระดมความคิดเห็นครั้งที่ 2 เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากรอบแรกไปวิเคราะห์แล้วนำไปออกแบบระบบนิเวศบล็อกเชนในอุตสาหกรรมสื่อสารโทรคมนาคมในประเทศไทย แล้วนำกลับมาเสนอให้แก่กลุ่มตัวอย่างอีกครั้งเพื่อระดมข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

หลังจากที่ได้ออกแบบต้นแบบสถานการณ์จำลองทั้งหมด 5 ระบบเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้นำเสนอการใช้งานและให้กลุ่มตัวอย่างทดลองใช้งาน จากนั้นจึงใช้แบบประเมินการทดสอบประสิทธิภาพระบบให้กลุ่มตัวอย่างได้กรอกข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบต่อไป

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อได้ข้อมูลจากการอภิปรายกลุ่มจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมสื่อสารโทรคมนาคมในประเทศไทยแล้ว ผู้วิจัยได้นำข้อมูลดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content analysis) โดยสรุปประเด็นจากเนื้อหาที่ได้สัมภาษณ์จากกลุ่มตัวอย่างเพื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปใช้สำหรับออกแบบระบบนิเวศบล็อกเชนในอุตสาหกรรมการสื่อสารโทรคมนาคม โดยแบ่งออกเป็น การวิเคราะห์เนื้อหาเพื่อจำแนกหลักเกณฑ์การสร้างระบบนิเวศบล็อกเชนสำหรับอุตสาหกรรมสื่อสารโทรคมนาคมในประเทศไทย และการวิเคราะห์เนื้อหาเกี่ยวกับความต้องการของผู้ใช้ (User requirement) เพื่อออกแบบระบบสารสนเทศในสถานการณ์จำลองต้นแบบโดยการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชน

ในส่วนผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบต้นแบบสถานการณ์จำลองทั้ง 5 ระบบ ผู้วิจัยได้นำแบบประเมินไปวิเคราะห์โดยใช้สถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการประเมินประสิทธิภาพของระบบดังกล่าว

3.4 การออกแบบและพัฒนาระบบ

เมื่อได้ข้อมูลความต้องการของผู้ใช้จากการวิเคราะห์เนื้อหาเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้นำความต้องการของผู้ใช้และการออกแบบระบบสารสนเทศด้วยวงจรชีวิตการพัฒนาระบบสารสนเทศ (System Development Life Cycle: SDLC) ซึ่งเป็นแนวคิดของกระบวนการพัฒนาซอฟต์แวร์ โดยโมเดลการออกแบบระบบผู้วิจัยได้นำหลักการของ Waterfall model (Royce, 1970) มาประยุกต์ใช้เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบสารสนเทศในสถานการณ์จำลองต้นแบบโดยการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชน

4. การทบทวนวรรณกรรม

บล็อกเชนเป็นเทคโนโลยีการจัดเก็บข้อมูลแบบกระจายที่รู้จักกันในชื่อ “Distributed Ledger Technology (DLT)” โดยเป็นการจัดเก็บข้อมูลที่ได้รับการรับรองว่าปลอดภัยจากการไม่สามารถแก้ไขข้อมูลก่อนหน้านั้นได้ หรือหากแก้ไขได้จะได้รับการยอมรับจากผู้ใช้งานทั้งหมด ซึ่งกระบวนการตรวจสอบข้อมูลดังกล่าวจะใช้หลักการของ Cryptography และความสามารถของ Distributed computing ในการสร้างกลไกความน่าเชื่อถือ (Yermack, 2017 อ้างถึงใน สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล, 2564)

4.1 สถาปัตยกรรมบล็อกเชน (Blockchain architecture)

Zheng et al. (2018) ได้อธิบายเกี่ยวกับสถาปัตยกรรมของบล็อกเชนว่า บล็อกเชนมีการทำงานเป็นลำดับของบล็อก ซึ่งแต่ละบล็อกจะมีรายการบันทึกการทำธุรกรรมทั้งหมดและค่าแฮช (Hash value) โดยทุก ๆ บล็อกจะมีตัวชี้ไปยังบล็อกก่อนหน้า ยกเว้นบล็อกแรกเท่านั้นที่จะไม่มีตัวชี้ไปยังบล็อกก่อนหน้า ซึ่งบล็อกแรกสุดจะเรียกว่าบล็อกกำเนิด (Genesis block)

ในแต่ละบล็อกจะประกอบด้วยบล็อกเฮดเดอร์ (Block header) และบล็อกบอดี้ (Block body) โดยบล็อกเฮดเดอร์จะประกอบด้วย

- Block version จะระบุชุดของการตรวจสอบบล็อก
- Parent block hash จะประกอบด้วยค่าแฮช 256 บิต ที่ชี้ไปยังบล็อกก่อนหน้า
- Merkle tree root hash จะระบุค่าแฮชของข้อมูลธุรกรรมทั้งหมดในบล็อก
- Timestamp จะระบุค่าเวลาปัจจุบันที่บันทึกข้อมูล
- nBits ระบุค่าเป้าหมายของแฮชปัจจุบันในลักษณะการบีบอัด
- Nonce คือฟิลด์ขนาด 4 ไบต์ โดยเริ่มต้นที่ 0 และเพิ่มขึ้นทุก ๆ ครั้งที่มีการคำนวณค่าแฮช

บล็อกบอดี้จะประกอบด้วย ตัวนับธุรกรรมและข้อมูลธุรกรรม จำนวนธุรกรรมสูงสุดที่แต่ละบล็อกสามารถบันทึกได้ขึ้นอยู่กับขนาดของบล็อกและของธุรกรรม ในส่วนนี้บล็อกเชนจะใช้กลไกการเข้ารหัสแบบอสมมาตร (Asymmetric cryptography) ในการตรวจสอบความถูกต้องของธุรกรรม ส่วนลายเซ็นดิจิทัล (Digital signature) ที่มีการเข้ารหัสแบบอสมมาตรจะถูกใช้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่น่าเชื่อถือ

สำหรับลายเซ็นดิจิทัล ผู้ใช้แต่ละคนจะเป็นเจ้าของทั้งคีย์ส่วนตัว (Private key) และคีย์สาธารณะ (Public key) โดยคีย์ส่วนตัวจะใช้สำหรับลงนามในการทำธุรกรรม และบุคคลอื่นจะสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ด้วยคีย์สาธารณะ ทั้งนี้ลายเซ็นดิจิทัลจะมีการทำงาน 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการลงนามและขั้นตอนการยืนยัน ตัวอย่างเช่น ผู้ใช้ A ต้องการลงนามในธุรกรรม จะมีการสร้างค่าแฮชที่ได้รับจากธุรกรรมก่อน จากนั้นจึงมีการเข้ารหัสค่าแฮชด้วยคีย์ส่วนตัว และส่งค่าแฮชที่เข้ารหัสด้วยข้อมูลดังเดิมไปยังผู้ใช้รายอื่น อาทิ ผู้ใช้ B ซึ่งผู้ใช้ B จะสามารถตรวจสอบธุรกรรมที่ได้รับผ่านการเปรียบเทียบกับค่าแฮชที่ถูกถอดรหัสแล้วโดยใช้กุญแจสาธารณะของผู้ใช้ A กับค่าแฮชที่ได้จากข้อมูลที่ได้รับโดยใช้ฟังก์ชันแฮชเดียวกับผู้ใช้ A

4.2 ตัวอย่างการนำบล็อกเชนไปประยุกต์ในหน่วยงานภาครัฐของประเทศต่าง ๆ

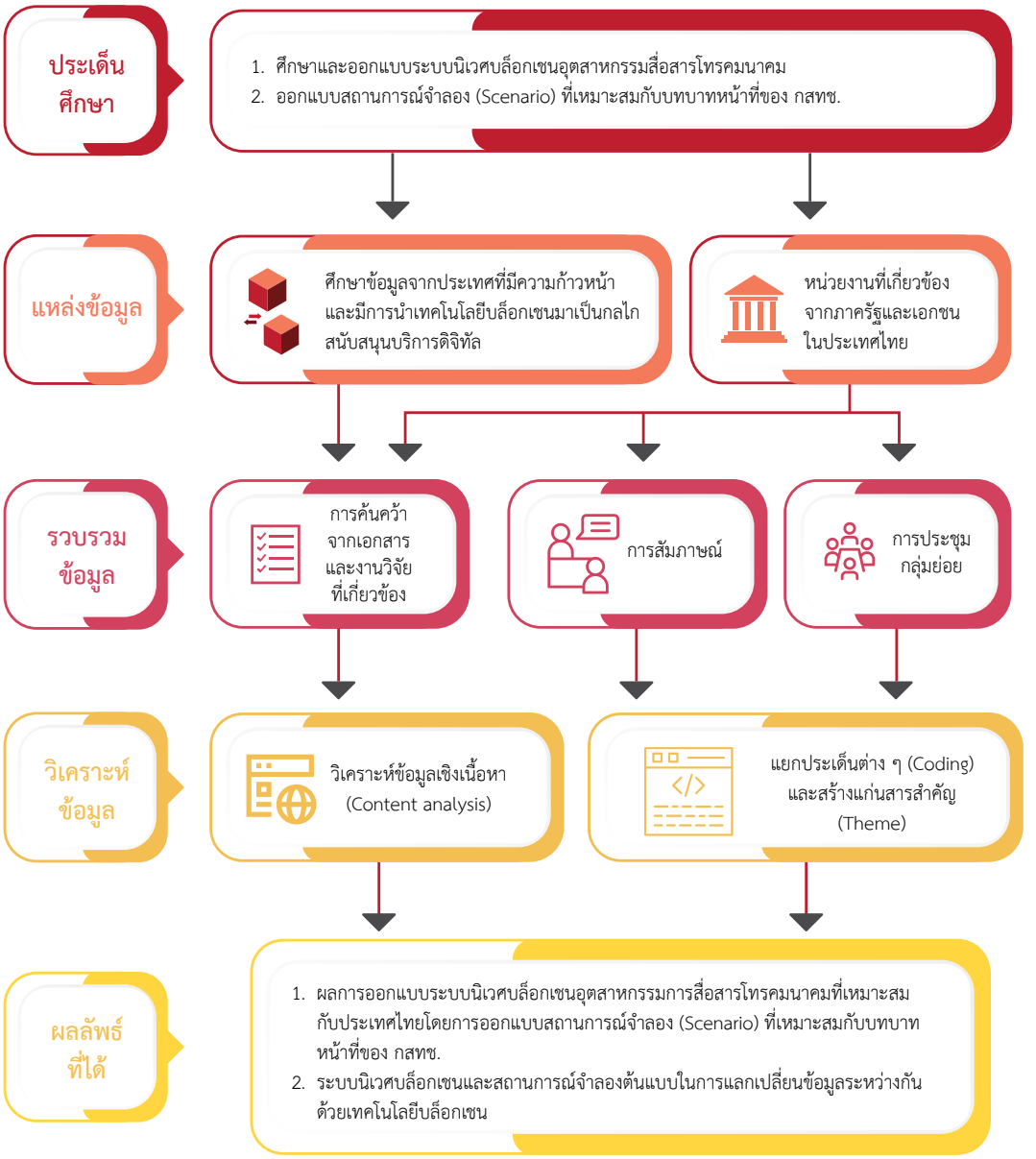
ในสาธารณรัฐเอสโตเนีย (Estonia, State Electoral Office of., 2017) มีความก้าวหน้าในด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและโทรคมนาคมอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งความก้าวหน้าในเรื่องของ e-Government โดยเอสโตเนียถือได้ว่าเป็นประเทศที่เป็นผู้นำด้านการพัฒนา e-Government เพื่อนำประเทศไปสู่สังคมดิจิทัล หรือ e-Estonia's digital society components โดยภายใต้ระบบ e-Estonia จะประกอบด้วย e-service ต่าง ๆ มากมาย อาทิ Digital signature, e-law, Keyless signature infrastructure, m-parking, e-residency, e-tax, electronic ID-card, Mobile-ID, Mobile payment, Population register, State e-service portal นอกจากนี้ เอสโตเนียจัดได้ว่าเป็นประเทศแรก ๆ ที่นำเทคโนโลยีบล็อกเชนและบริการดิจิทัลมาใช้ในการพัฒนาบริหารประเทศอย่างเต็มตัว การบริการภาครัฐทุกอย่างจะอยู่บนระบบออนไลน์ ไม่ว่าจะเป็นธุรกรรมการเงินการธนาคาร การเลือกตั้ง หรือการสั่งจ่ายยาให้คนไข้

สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ (Keith, 2016) ได้นำเอาเทคโนโลยีบล็อกเชนที่มีหลักการสำคัญคือ Cryptographic public/private key access, Proof of work และ Distributed data มาประยุกต์กับเทคโนโลยีสารสนเทศทางด้านการบริการสุขภาพในการแลกเปลี่ยนข้อมูลประวัติการรักษาคนไข้ได้อย่างปลอดภัย โดยคำนึงเรื่องความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของข้อมูลส่วนบุคคลของคนไข้ด้วย ทำให้คนไข้ได้รับประโยชน์จากการได้รับการวินิจฉัยโรคและได้รับการรักษาอย่างทันท่วงที ซึ่งช่วยป้องกันการเสียชีวิตของคนไข้ รวมไปถึงการลดการสูญเสียค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นในการรักษาคนไข้ลงได้

สหรัฐอเมริกา (World Economic Forum, 2015) ได้นำเทคโนโลยีบล็อกเชนมาช่วยในการตรวจสอบข้อมูลและบริการจัดการการยืนยันตัวบุคคลหรือการพิสูจน์ให้มีความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ และช่วยลดการใช้กระดาษลงโดยไม่จำเป็นต้องถ่ายเอกสารเพื่อเป็นหลักฐานการยืนยันตัวตน เช่น บัตรประชาชน สำเนาทะเบียนบ้าน สูติบัตร หรือเอกสารสำคัญทางราชการ ซึ่งเอกสารเหล่านี้ไม่จำเป็นต้องใช้อีกต่อไป ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือ ในรัฐอิลลินอยส์ได้นำระบบ Identity management บนเทคโนโลยีบล็อกเชนมาใช้ในการเก็บสูติบัตรของเด็กทารกแรกเกิด (Birth registration) โดยทางรัฐบาลได้ทำงานร่วมกับบริษัทสตาร์ทอัพ Evernym ซึ่งระบบดังกล่าวจะทำให้รัฐบาลสามารถตรวจสอบข้อมูลเกี่ยวกับการเกิดของประชาชน รวมไปถึงข้อมูลทางชีวภาพ (Biometric) อื่น ๆ ได้ เช่น กรุ๊ปเลือด ลายนิ้วมือ เสียง ม่านตา ดีเอ็นเอ โดยข้อมูลดังกล่าวจะถูกเข้ารหัสพร้อมทั้งใช้ลายเซ็นดิจิทัลเซ็นกำกับ หลังจากนั้นข้อมูลจะถูกเก็บไว้ใน Distributed ledger ที่สามารถเข้าถึงได้เฉพาะผู้ที่ได้รับอนุญาตเท่านั้น

5. กรอบแนวคิด

กรอบแนวคิดการออกแบบระบบนิเวศบล็อกเชนในอุตสาหกรรมสื่อสารโทรคมนาคมประเทศไทย แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

6. ผลการศึกษา

จากการเก็บข้อมูลด้วยวิธีสนทนากลุ่ม (Focus) จากผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ได้แก่ ผู้บริหาร เจ้าที่ระดับสูง และเจ้าหน้าที่ระดับปฏิบัติการของ กสทช. และผู้บริหารกลุ่มธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการสื่อสารและโทรคมนาคม ในการนำเทคโนโลยีบล็อกเชนมาเป็นกลไกสำคัญในการสนับสนุนเพื่อยกระดับอุตสาหกรรมการสื่อสารโทรคมนาคมประเทศไทยให้ก้าวไปสู่การเป็นสังคมอัจฉริยะตามนโยบายไทยแลนด์ 4.0 เพื่อออกแบบระบบนิเวศบล็อกเชนที่เหมาะสมกับประเทศไทยและอยู่ภายใต้การดำเนินงานของ กสทช. ซึ่งระบบนิเวศบล็อกเชนดังกล่าวจะสามารถนำไปใช้เป็นต้นแบบในการให้บริการดิจิทัลภาครัฐที่เหมาะสมต่อไป

6.1 แบบจำลองสถานการณ์

ผู้วิจัยได้ออกแบบการนำเทคโนโลยีบล็อกเชนมาใช้ให้มีความเหมาะสมกับประเทศไทยและอยู่ภายใต้หน้าที่การดำเนินงานของ กสทช. เพื่อสามารถนำระบบนิเวศบล็อกเชนอุตสาหกรรมสื่อสารโทรคมนาคมมาใช้เป็นบริการดิจิทัลภาครัฐ โดยมีรายละเอียดของสถานการณ์จำลอง (Scenario) ดังนี้

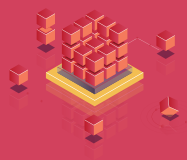
1) การพัฒนาระบบสารสนเทศต้นแบบเพื่อการแจ้งข้อมูลข่าวสารของ กสทช.

2) การพัฒนาระบบการจัดเก็บและตรวจสอบข้อมูลรายละเอียดการโทรและค่าใช้บริการ

3) การพัฒนาระบบการจัดเก็บและบริการจัดการข้อมูลการตรวจสอบการแสดงเครื่องหมายที่เครื่องวิทยุคมนาคม

4) การพัฒนาระบบตรวจสอบโพรโมชันและการใช้งานแบบออนไลน์เพื่อให้ประชาชนตรวจสอบได้

5) การพัฒนาระบบการเปลี่ยนค่ายด้วยเบอร์เดิม

Feature list mobile application	Feature list web/ API application	Feature list blockchain
		
1. เรียกดูข่าวผ่านระบบ Mobile ได้ 2. Share ข่าวสารดังกล่าวไปยังสังคมออนไลน์ โดยระบบจะทำการ Verified ความถูกต้องก่อน Share	จัดทำข่าวสารผ่านหน้า Web application เพื่อประชาสัมพันธ์	ข่าวสารที่จัดทำจะถูกจัดเก็บด้วยเทคโนโลยี blockchain
1. ทำการยืนยันตัวบุคคล โดยการทำ ORC กับบัตรประชาชน 2. ส่งเอกสารต่าง ๆ เพื่อขอตรวจสอบการใช้งานในรอบบิล 3. ตรวจสอบข้อมูล รายละเอียดการโทรและค่าใช้บริการ	1. ระบบทำการดึงข้อมูลรายละเอียดการโทรและค่าใช้บริการจาก Operator ผ่าน API 2. เจ้าหน้าที่ทำการตรวจสอบรายละเอียดการโทรและค่าใช้บริการผ่านระบบ Web application	เมื่อเสร็จสิ้นทำการเก็บข้อมูลรายละเอียดการโทรและค่าใช้บริการด้วยเทคโนโลยี blockchain
ตรวจสอบเอกสารสำคัญ โดยการ Scan QR code	1. Vendors ส่งเอกสารมาให้เจ้าหน้าที่บันทึก ผ่าน E-form บน Web application 2. ระบบ Web application ทำการ Generate QR code ตามจำนวนที่กำหนด	จัดเก็บเอกสารจาก Vendors และข้อมูลใน E-form ด้วยเทคโนโลยี blockchain
1. ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบ Promotion (แพ็กเกจปัจจุบัน) 2. ระบบสามารถแจ้งเตือนเมื่อใกล้ระยะเวลาในการหมด Promotion (60 วันก่อนหมด 30 วันก่อนหมด)	Operators ทำการส่งข้อมูล เบอร์มือถือ และ Promotion ผ่าน API	ดำเนินการจัดเก็บข้อมูล Promotion ด้วยเทคโนโลยี blockchain
1. แจ้งเรื่องย้ายค่าย (เลือกค่ายใหม่) 2. แจ้งเตือนการเก็บข้อมูล Profile กับผู้ใช้งาน 3. ตรวจสอบ Profile ผ่าน Smart contract	1. ระบบทำการแจ้งเรื่องย้ายค่ายไปยัง Operator เดิม และ Operator ใหม่ ผ่าน API 2. ระบบเปิดข้อมูล Profile ของผู้ใช้งานผ่าน Smart contract ให้กับ Operator ใหม่	ระบบดึงข้อมูล (Profile) ของผู้ใช้งานจาก Operator เดิม จัดเก็บข้อมูล จัดเก็บด้วยด้วยเทคโนโลยี blockchain

ภาพที่ 2 Operation/Business rule แบ่งตาม n-tier process

การพัฒนาระบบสารสนเทศต้นแบบดังกล่าวข้างต้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ ระบบสารสนเทศสำหรับใช้ภายใน กสทช. และระบบสารสนเทศสำหรับประชาชนใช้งาน สำหรับกลุ่มประชาชนผู้วิจัยได้ออกแบบให้บริการต่าง ๆ เรียกใช้งานผ่านแอปพลิเคชันเดียว เพื่อเพิ่มความสะดวกและเข้าถึงบริการดิจิทัลทั้งหมดได้อย่างรวดเร็ว โดยสามารถสรุปเป็นกระบวนการธุรกิจ (Operation/Business rule) โดยแบ่งตาม n-tier process ดังภาพที่ 2

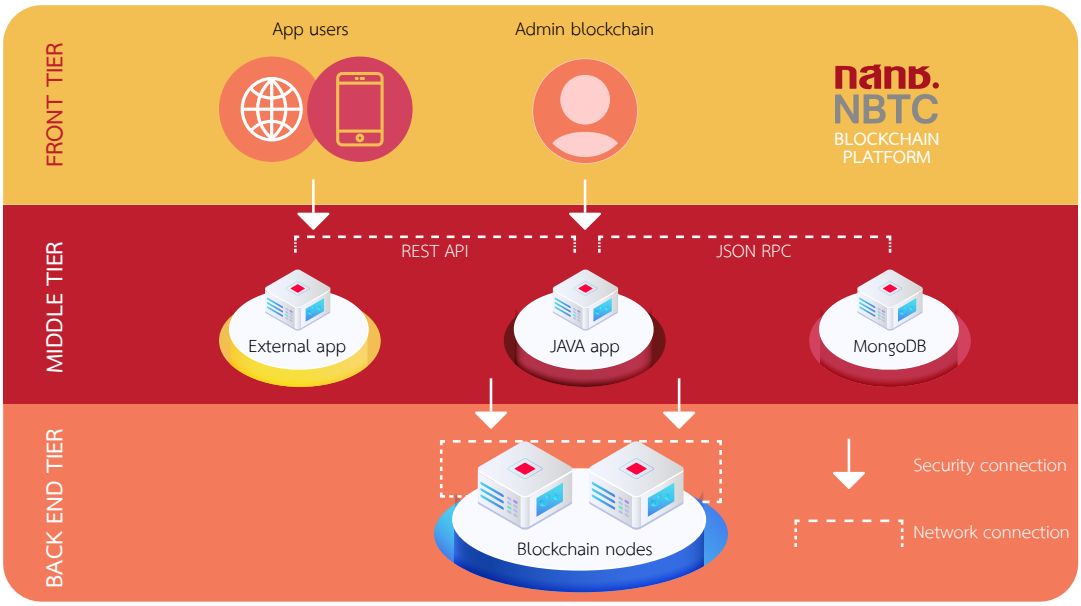
โดย n-tier process ของทั้ง 5 กระบวนการจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ 1) ส่วนแสดงผลบนโทรศัพท์มือถือ 2) ส่วนแสดงผลหน้าเว็บ หรือ API แอปพลิเคชัน และ 3) ส่วนที่เกี่ยวข้องกับบล็อกเชน ซึ่งในภาพที่ 2 จะแสดงให้เห็นถึงการทำงานของสถานการณ์จำลองทั้ง 5 สถานการณ์ตาม n-tier process ทั้ง 3 ส่วน

การพัฒนาระบบสารสนเทศต้นแบบและระบบที่เป็นสถานการณ์จำลองดังกล่าวข้างต้น แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ สำหรับการใช้งานภายใน กสทช. ตามหัวข้อที่ 6.2.1 และสำหรับประชาชนใช้งาน ตามหัวข้อที่ 6.2.2-6.2.5 ซึ่งสำหรับกลุ่มนี้ได้ออกแบบให้บริการต่าง ๆ เรียกใช้งานผ่านแอปพลิเคชันเดียว เพิ่มความสะดวกและเข้าถึงบริการดิจิทัลทั้งหมดได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้สภาพแวดล้อมการทำงานของบล็อกเชนที่ผู้วิจัยได้ออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับระบบนิเวศบล็อกเชนอุตสาหกรรมสื่อสารโทรคมนาคม แสดงดังตารางที่ 1 และการเชื่อมโยงการทำงานของบล็อกเชนภายใต้การกำกับดูแลของ กสทช. แสดงดังภาพที่ 3

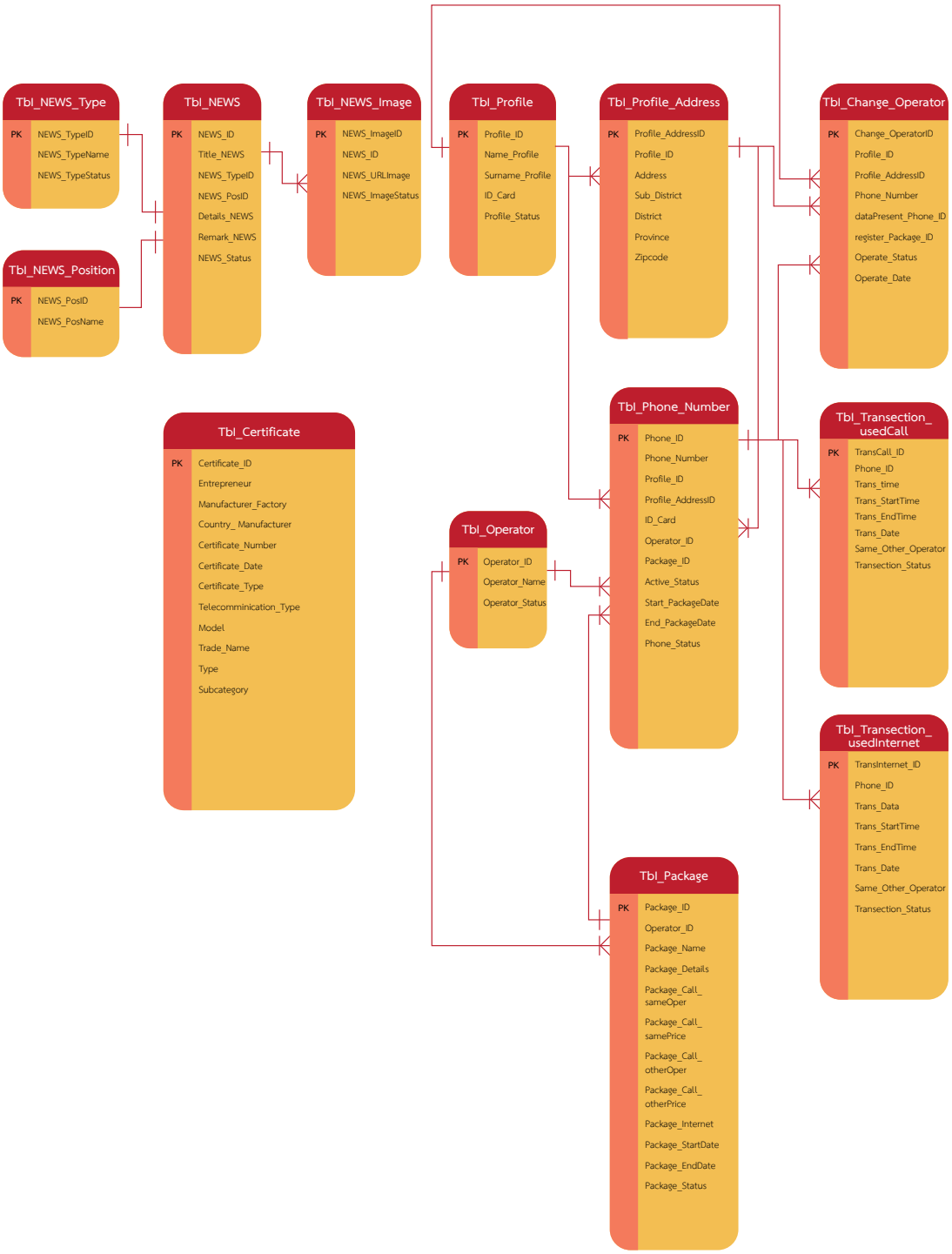
ตารางที่ 1 สภาวะแวดล้อมของการทำงานของบล็อกเชน

Application server software	Requirements
Server operating system	Linux distribution (CentOS7)
Development tools	VueJS3
Service software	**Requirements**
Web server	pm2
Database server	My Sql 10.3.27-MariaDB
API server	ExpressJS + Sequelize_MySQL (Node v14.16.0)
Design tools	**Requirements**
Design tools	Adobe XD

จากตารางที่ 1 สภาพแวดล้อมการทำงานของบล็อกเชนประกอบด้วยการทำงาน 3 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) Application server software 2) Service software และ 3) Design tools โดยในส่วนของ Application server software จะใช้ Linux distribution (CentOS7) เป็นระบบปฏิบัติการของเครื่องเซิร์ฟเวอร์ และใช้ VueJS3 เป็นเครื่องมือในการพัฒนา ในส่วนของ Service software ผู้วิจัยได้ใช้ pm2 เป็นเครื่องมือจำลองเว็บเซิร์ฟเวอร์ และใช้ My Sql 10.3.27-MariaDB เป็นเครื่องมือในการสร้างฐานข้อมูล และใช้ ExpressJS + Sequelize_MySQL (Node v14.16.0) เป็นเครื่องมือในการเชื่อมต่อระหว่างตัวซอฟต์แวร์และเซิร์ฟเวอร์ และในส่วนของ Design tools ผู้วิจัยได้ใช้ Adobe XD เป็นเครื่องมือในการออกแบบเว็บไซต์



ภาพที่ 3 การเชื่อมโยงการทำงานของบล็อกเชนภายใต้การกำกับดูแลของ กสทช.



ภาพที่ 4 โครงสร้างฐานข้อมูล (Database schema)

6.2 การออกแบบฐานข้อมูลของแบบจำลองสถานการณ์

การออกแบบฐานข้อมูลเป็นการกำหนดความสัมพันธ์ของข้อมูลจากส่วนต่าง ๆ ในแบบจำลองสถานการณ์ทั้ง 5 แบบ โดยมีรายละเอียดดังภาพที่ 4 โดยจากภาพจะแสดงโครงสร้างฐานข้อมูล รายละเอียดดังนี้

6.2.1 การพัฒนาระบบสารสนเทศต้นแบบเพื่อการแจ้งข้อมูลข่าวสารของ กสทช. ที่ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนในการตรวจสอบแหล่งที่มาของข่าวสารและสามารถยืนยันความถูกต้องของข้อมูลหรือสามารถแจ้งเตือนว่าข้อมูลนั้น ๆ ถูกปรับแต่งและไม่ใช่ข้อมูลต้นฉบับ ประกอบด้วย 4 ตาราง ได้แก่ ตารางข้อมูลข่าวสาร (Tbl_NEWS) ตารางข้อมูลรูปข่าว (Tbl_NEWS_Image) ตารางข้อมูลชนิดข่าว (Tbl_NEWS_Type) ตารางข้อมูลแสดงตำแหน่งข่าว (Tbl_NEWS_Position)

6.2.2 การพัฒนาระบบการจัดเก็บข้อมูลและตรวจสอบข้อมูลรายละเอียดการโทรและค่าใช้บริการ ประกอบด้วย 6 ตาราง ได้แก่ ตารางข้อมูลผู้ใช้งานระบบ (Tbl_Profile) ตารางข้อมูลที่อยู่ของผู้ใช้งานระบบ (Tbl_Profile_Address) ตารางข้อมูลมือถือและเครือข่ายผู้ใช้งาน (Tbl_Phone_Number) ตารางข้อมูลการใช้งานในรูปแบบการโทร (Tbl_Transection_UsedCall) ตารางข้อมูลการใช้อินเทอร์เน็ต (Tbl_Transection_usedInternet) และตารางข้อมูลเครือข่าย (Tbl_Operator)

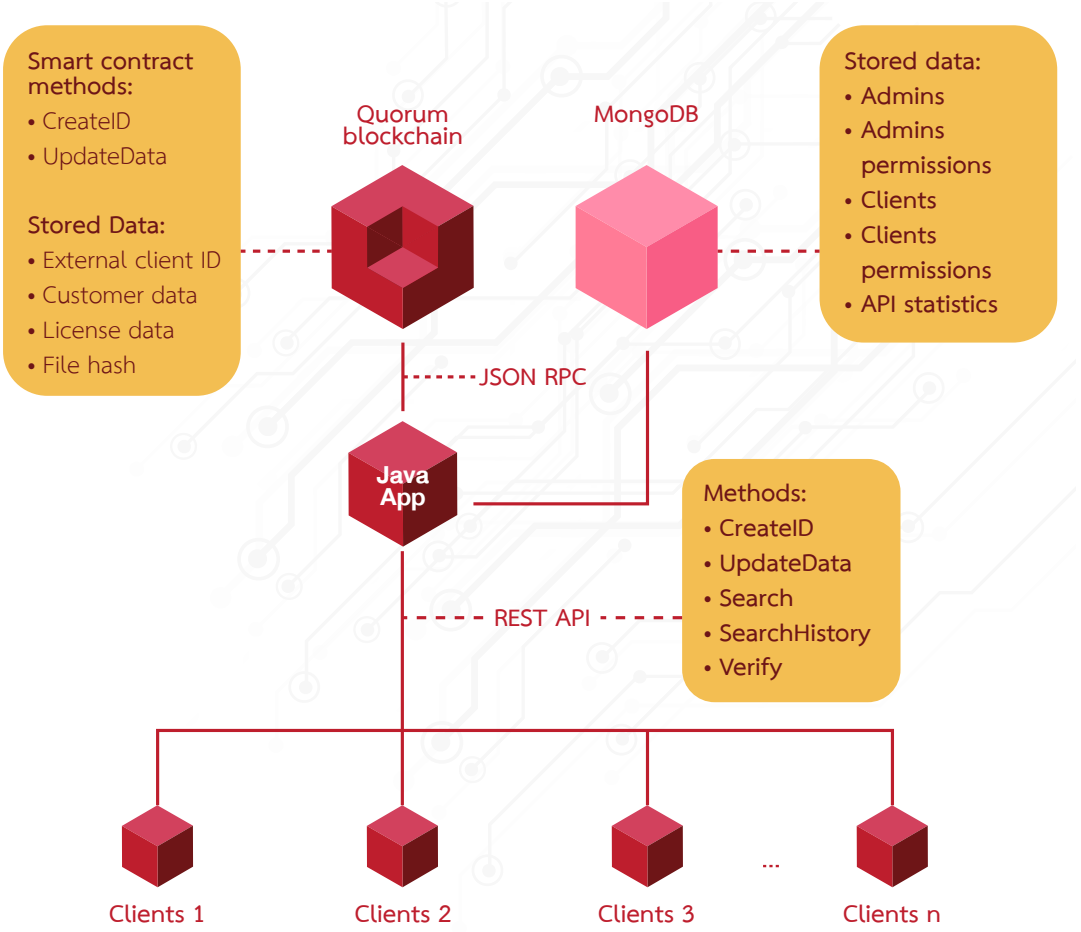
6.2.3 การพัฒนาระบบการจัดเก็บและบริหารจัดการข้อมูลการตรวจสอบเครื่องหมายหรือสลากสำหรับหมายเลขทะเบียนวิทยุคมนาคม ประกอบด้วย 1 ตาราง ได้แก่ ตารางข้อมูลเอกสารสิทธิ์โทรคมนาคม (Tbl_Certificate)

6.2.4 การพัฒนาระบบตรวจเช็กโพรโมชันและการใช้งานแบบออนไลน์เพื่อให้ประชาชนสามารถตรวจสอบได้ ประกอบด้วย ตารางข้อมูลผู้ใช้งานระบบ (Tbl_Profile) ตารางข้อมูลที่อยู่ของผู้ใช้งานระบบ (Tbl_Profile_Address) ตารางข้อมูลมือถือและเครือข่ายของผู้ใช้งาน (Tbl_Phone_Number) ตารางข้อมูลโพรโมชัน (Tbl_Package) ตารางข้อมูลการใช้งานในรูปแบบการโทร (Tbl_Phone_Number) ตารางข้อมูลการใช้งานในรูปแบบการโทร (Tbl_Transection_UsedCall) ตารางข้อมูลการใช้งานอินเทอร์เน็ต (Tbl_Transection_usedInternet) และตารางข้อมูลเครือข่าย (Tbl_Operator)

6.2.5 การพัฒนาระบบการเปลี่ยนค่ายด้วยเบอร์เดิม จะประกอบด้วยตารางข้อมูลผู้ใช้งานระบบ (Tbl_Profile) ตารางข้อมูลที่อยู่ของผู้ใช้งานระบบ (Tbl_Profile_Address) ตารางข้อมูลมือถือและเครือข่ายผู้ใช้งาน (Tbl_Phone_Number) ตารางข้อมูลโพรโมชัน (Tbl_Package) ตารางข้อมูลเครือข่าย (Tbl_Operator) และตารางข้อมูลการเคลื่อนย้ายเครือข่าย (Tbl_Change_Operator)

6.3 การติดตั้งระบบนิเวศบล็อกเชน

โครงสร้างของบล็อกเชนมีรูปแบบการจัดเก็บในรูปของบล็อกข้อมูล ในแต่ละบล็อกข้อมูลจะมีลายเซ็นดิจิทัลของบล็อกก่อนหน้าเซ็นกำกับไว้ ทำให้ข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้ในแต่ละบล็อกนั้นมีความถูกต้องสมบูรณ์และไม่สามารถถูกแก้ไขเปลี่ยนแปลงได้ ทำให้บล็อกเชนนั้นมีความปลอดภัยที่สูงมาก เมื่อบล็อกข้อมูลถูกสร้างขึ้นจะถูกทำการจัดเก็บในรูปแบบกระจาย ไปตามโหนดบล็อกเชนที่ทำการติดตั้งไว้ เป็นระบบบล็อกเชนประเภท Permissioned blockchain ที่ทำงานในรูปแบบ Private blockchain ผู้วิจัยได้เลือกใช้ Quorum blockchain มาทำการปรับแต่งให้เป็น Private blockchain platform ของ กสทช. (NBTC) แสดงได้ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 NBTC Private blockchain platform diagram design

การทำงาน ของ NBTC private blockchain platform มีองค์ประกอบ ดังนี้

6.3.1 ส่วนระบบ Quorum blockchain เป็นระบบ DLT (Distributed Ledger Technology) ระดับองค์กร สามารถสร้าง Permissioned access group ให้เกิดเป็น Private blockchain รองรับการสร้างสัญญาอัจฉริยะแบบกำหนดได้เฉพาะ ทำให้เกิดความสามารถรักษาความปลอดภัยและประสิทธิภาพการทำงานที่มีคุณภาพสูง และยังมีวิธีการตรวจสอบได้อย่างรวดเร็ว โดยในการออกแบบนั้น Quorum blockchain จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบบล็อกเชนทั้งหมด โดยผู้ดูแลสามารถควบคุมกำหนดให้สิทธิผู้ใช้งานเพิ่มเติม การกำหนดให้สิทธิ Client systems เข้าใช้งานระบบบล็อกเชน การจัดเก็บเงื่อนไขของ Smart contract รวมไปถึงการดูภาพรวมสถิติต่าง ๆ ของ NBTC private blockchain platform

ในการพัฒนาแพลตฟอร์มบล็อกเชน (Blockchain platform) ข้อสำคัญที่สุดคือการควบคุมและบริหารจัดการได้อย่างสะดวกภายใต้ความปลอดภัยสูงสุดของระบบ ทีมพัฒนาได้ปรับแต่ง Quorum blockchain จากระบบพื้นฐานให้สามารถควบคุมและสั่งงานได้สะดวกมากขึ้น โดยทำการพัฒนา Graphic user interface เรียกใช้งานผ่านหน้าเว็บเบราว์เซอร์ ผู้ที่มีสิทธิในการบริหารจัดการเท่านั้นที่จะสามารถเข้าถึงการจัดการด้านต่าง ๆ ของแพลตฟอร์มบล็อกเชนได้

1) สัญญาอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นเป็นกระบวนการทางดิจิทัล ที่กำหนดขั้นตอนการทำธุรกรรมโดยอัตโนมัติไว้ล่วงหน้า เมื่อระบบบล็อกเชนถูกเรียกขอให้ทำงาน และขั้นตอนการทำธุรกรรมถูกต้องตามเงื่อนไขของสัญญาอัจฉริยะ ก็จะสามารถสร้างบล็อกข้อมูลเกิดขึ้นได้ โดยจะทำงานสัมพันธ์กับ Rest API โดยสร้างความสัมพันธ์ขึ้นมาเป็นชุด Methods อันประกอบด้วย

   - Methods name: CreateID คือ การสร้างสิทธิของผู้ใช้งานเพื่อบริหารจัดการแพลตฟอร์มบล็อกเชน

   - Methods name: UpdateData คือ การจัดเก็บข้อมูลที่ถูกเปลี่ยนแปลง

2) Stored data คือการกำหนดให้บล็อกข้อมูล สามารถจัดเก็บข้อมูลประเภทใดได้บ้าง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเพื่อถูกสร้างเป็นบล็อกเชนแล้ว ก็จะถูกกระจายเก็บไปยัง nodes ต่าง ๆ ทั้งหมด เนื่องจากข้อกำหนดของทาง กสทช. ต้องการให้จัดเก็บข้อมูลสำคัญไว้นอกบล็อกเชน (Off chain) จึงได้ทำการวิเคราะห์สิ่งที่จะจัดเก็บในบล็อกข้อมูลประกอบด้วย

- External client ID คือ ข้อมูลการให้สิทธิของ Client systems เข้ามาผูกไว้กับแพลตฟอร์มบล็อกเชนเพื่อเรียกขอการใช้งานตามเงื่อนไขของสัญญาอัจฉริยะ

- Customer data คือ ข้อมูลธุรกรรมที่เกิดขึ้นจากการเรียกขอของ Client systems ที่ถูกผูกไว้กับแพลตฟอร์มบล็อกเชน

- License data คือ ข้อมูลประกอบของ Customer data ที่ยินยอมให้จัดเก็บในบล็อกเชนได้

- File hash คือ อัลกอริทึม การสร้างรหัสของชุดข้อมูลที่เป็นแบบทางเดียว (One-way function) โดยใช้ตามมาตรฐาน SHA256

6.3.2 ส่วนของฐานข้อมูล MongoDB การติดตั้งฐานข้อมูล MongoDB จะอยู่บน VMware VSphere จำนวน 1 node ซึ่ง Document file ที่ออกแบบไว้เพื่อจัดเก็บประกอบด้วย

1) Admins คือ รายชื่อของกลุ่มผู้ดูแลระบบบล็อกเชน

2) Admins permissions คือ รายการสิทธิที่แต่ละผู้ดูแลระบบบล็อกเชน สามารถเข้าถึงได้ โดยแต่ละรายการสิทธินั้นยังออกแบบให้กำหนดการใช้งานย่อย ดังนี้

   - Admin list (Denied, Read only, Read and edit)

   - Client list (Denied, Read only, Read and edit)

   - Login list (Denied, Read only, Read and edit)

6.3.3 ส่วนของ JavaAPP ทำหน้าที่เป็น Middleware จะมีหน้าที่คอยสื่อสารระหว่างแพลตฟอร์มบล็อกเชนกับระบบสารสนเทศต่าง ๆ ที่ได้สิทธิการเข้าใช้งานระบบบล็อกเชนตามที่ได้รับอนุญาตไว้ และกลไกของธุรกรรมดิจิทัลต่าง ๆ เป็นไปตามเงื่อนไขของสัญญาอัจฉริยะ โดยเมื่อได้ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว ทีมพัฒนาจึงได้ออกแบบให้ JavaAPP มีองค์ประกอบภายใน ดังนี้

1) JSON-RPC เป็นมาตรฐานโพรโทคอลหนึ่งสำหรับใช้รับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายบนคอมพิวเตอร์ โดยนำ JSON มารวมกับ RPC (Remote Procedure Call) ปัจจุบันมาตรฐานล่าสุดของ JSON-RPC คือ JSON-RPC 2.0 โดยมีการรับส่งข้อมูล ดังนี้

   - --> Data sent to server
   - <-- Data sent to client

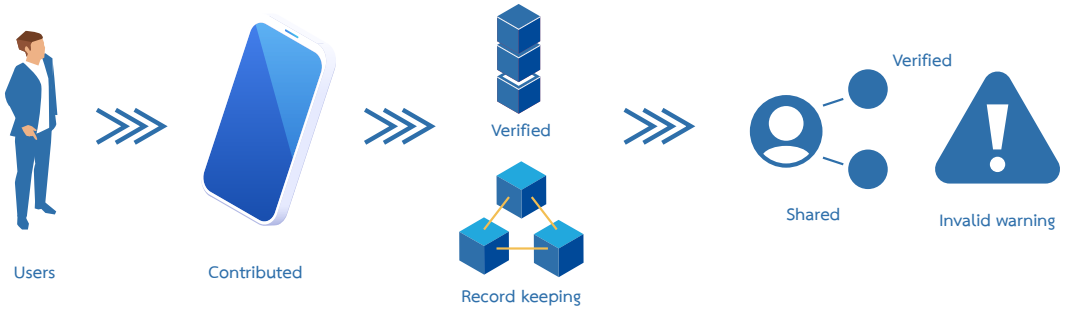
2) REST API หรือ RESTful API (Representational State Transfer) คือ การสร้าง Webservice ชนิดหนึ่งที่ใช้สื่อสารกันบนอินเทอร์เน็ต (Internet) ใช้หลักการแบบ Stateless คือ ไม่มี Session การทำงานของ RESTful Webservice จะอาศัย URI/URL ของ Request เพื่อค้นหาและประมวลผลแล้วตอบกลับไปในรูป JSON โดย Response ที่ตอบกลับจะเป็นการยืนยันผลของคำสั่งที่ส่งมา ซึ่งได้มีการพัฒนาชุด API ประกอบด้วย Create file, Create login, Create message, Search file และ Search message

6.3.4 ส่วนของ Client systems เมื่อติดตั้งแพลตฟอร์มบล็อกเชนเป็นที่เรียบร้อย ในระบบบล็อกเชนอื่น ๆ ระบบแอปพลิเคชันต่าง ๆ จะต้องทำการลงทะเบียนเข้าใช้งานกับบล็อกเชนก่อน และได้รับสิทธิต่าง ๆ ตามเงื่อนไขในสัญญาอัจฉริยะและธุรกรรมดิจิทัลต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นก็จะถูกจัดเก็บในบล็อกเชน ซึ่งไม่สามารถแก้ไขหรือปลอมแปลงได้ ในกรณีที่ธุรกรรมนั้น ๆ ผิดพลาดและต้องการแก้ไข ก็ต้องทำการปรับปรุงข้อมูลใหม่และยกเลิกข้อมูลเก่า โดยความสัมพันธ์ของธุรกรรมจะสามารถตรวจสอบย้อนหลังได้ เมื่อผู้ดูแลระบบลงทะเบียนให้เข้าใช้งานระบบบล็อกเชนได้แล้ว ก็จะต้องทำการผูก Clients list กับ REST API โดยสามารถเลือกให้อนุญาตหรือไม่อนุญาตตามชุดของ REST API ได้ตามความต้องการ

6.4 การพัฒนาระบบสารสนเทศต้นแบบที่เป็นสถานการณ์จำลอง

จากการที่ผู้วิจัยได้ปรับรูปแบบการนำบล็อกเชนมาใช้ให้เหมาะสมกับอุตสาหกรรมสื่อสารโทรคมนาคมในประเทศไทย และอยู่ภายใต้หน้าที่การดำเนินงานของ กสทช. โดยสร้างสถานการณ์จำลองจำนวน 5 สถานการณ์ดังที่กล่าวมาแล้ว ในหัวข้อนี้จะแสดงขั้นตอนการทำงานของระบบสารสนเทศจำลองทั้ง 5 ระบบ รายละเอียดดังนี้

6.4.1 ระบบสารสนเทศต้นแบบเพื่อการแจ้งข้อมูลข่าวสารของ กสทช. ขั้นตอนการทำงานของระบบแสดงดังภาพที่ 6

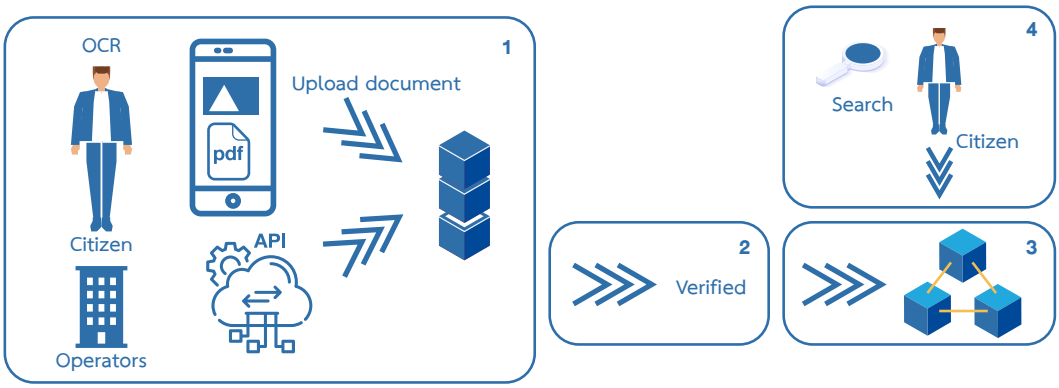


ภาพที่ 6 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

รายละเอียดการทำงานของระบบ รายละเอียดดังนี้

- สามารถจัดทำข่าวสารผ่านหน้าแอปพลิเคชันบนเว็บไซต์ (Web application) เพื่อประชาสัมพันธ์ไปยังระบบแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile application)
- ข่าวสารที่จัดทำจะถูกจัดเก็บด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชน
- ผู้ใช้งานแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ สามารถเรียกดูข่าวผ่านระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile) ได้
- ผู้ใช้งานแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถส่งต่อ (Share) ข่าวสารดังกล่าวไปยังสื่อสังคม (Social media) โดยระบบจะทำการตรวจสอบความถูกต้อง (Verify) ก่อนส่งต่อ

6.4.2 ระบบการจัดเก็บและการตรวจสอบข้อมูลรายละเอียดการโทรศัพท์ และค่าใช้บริการ ตอนระบบทำงานแสดงดังภาพที่ 7

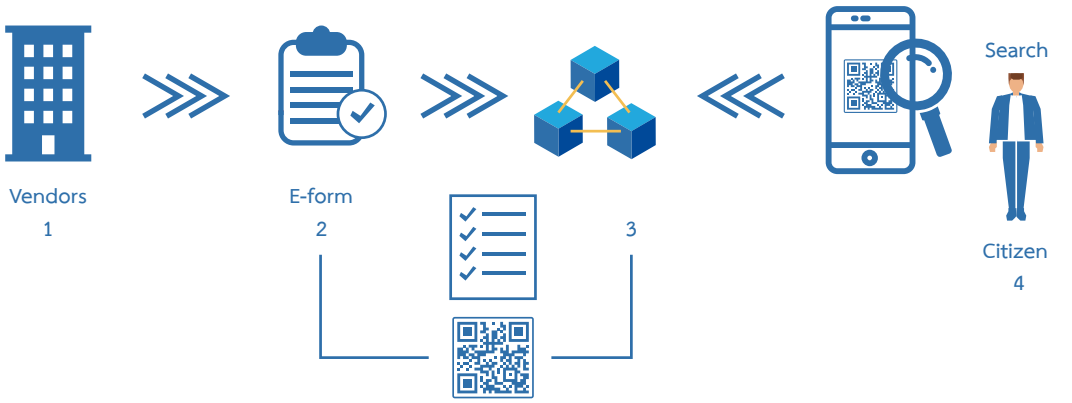


ภาพที่ 7 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

รายละเอียดการทำงานของระบบ รายละเอียดดังนี้

- ยืนยันตัวบุคคล โดยการทำ ORC กับบัตรประจำตัวประชาชน ผ่านระบบแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่
- ผู้ใช้งานสามารถเรียกดูการใช้งานในรอบบิล และขอตรวจสอบการใช้งานในรอบบิลที่ผิดปกติ
- ระบบทำการดึงข้อมูลจากยังโอเปอเรเตอร์ (Operator) ผ่าน API
- เมื่อเสร็จสิ้นทำการเก็บข้อมูลด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชน
- ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบข้อมูลผ่านระบบแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่

6.4.3 ระบบการจัดเก็บและบริหารจัดการข้อมูลการตรวจสอบการแสดงเครื่องหมายที่เครื่องวิทยุคมนาคม ขั้นตอนการทำงานของระบบแสดงดังภาพที่ 8

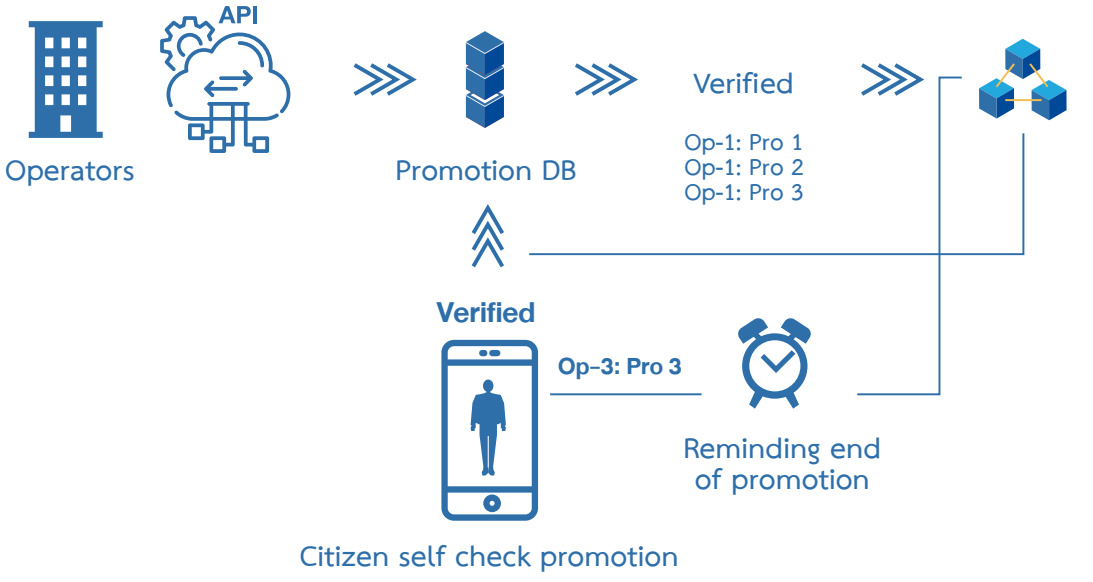


ภาพที่ 8 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

รายละเอียดการทำงานของระบบ รายละเอียดดังนี้

- จัดเก็บข้อมูลของใบอนุญาตลงฐานข้อมูล
- ทำการ Generate QR code
- ทำการจัดเก็บข้อมูล ใบอนุญาต และ QR code ด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชน
- ผู้ใช้งานระบบสามารถตรวจสอบ QR code โดยการสแกน (Scan) เพื่อแสดงข้อมูลใบอนุญาต

6.4.4 ระบบตรวจเช็กโพรโมชันและการใช้งานแบบออนไลน์ เพื่อให้ประชาชนใช้ตรวจสอบได้ ขั้นตอนการทำงานของระบบแสดงดังภาพที่ 9

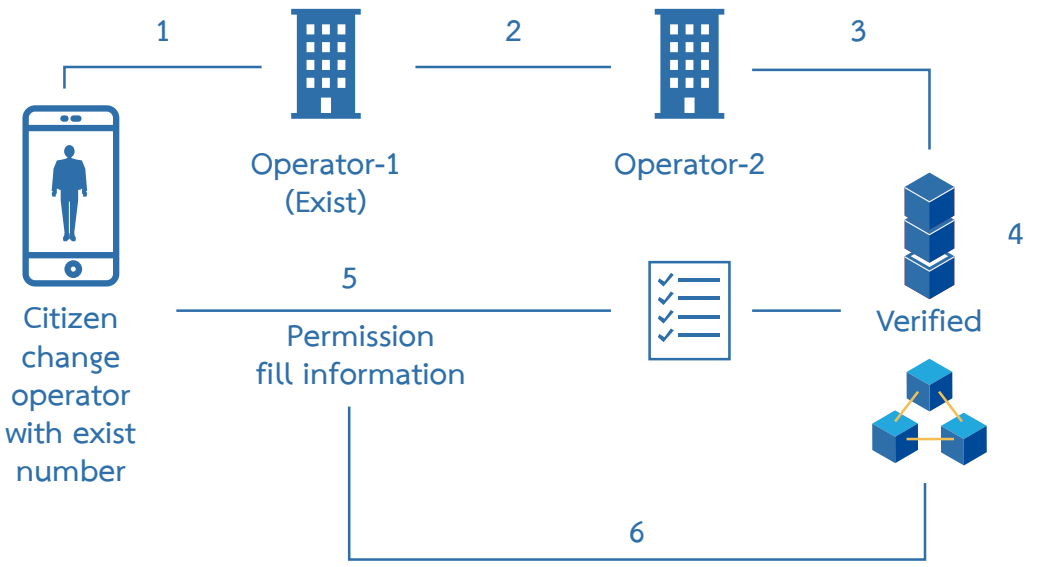


ภาพที่ 9 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

รายละเอียดการทำงานของระบบ รายละเอียดดังนี้

- โอเปอเรเตอร์ทำการส่งข้อมูล เบอร์โทรศัพท์เคลื่อนที่ และโพรโมชัน (Promotion) ผ่าน API มาลงที่ฐานข้อมูล
- ดำเนินการจัดเก็บข้อมูลโพรโมชันด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชน
- ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบโพรโมชัน (แพ็กเกจปัจจุบัน) ผ่านระบบแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่

6.4.5 ระบบการย้ายค่ายด้วยเบอร์โทรศัพท์เดิม ขั้นตอนการทำงานของระบบแสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

รายละเอียดการทำงานของระบบ รายละเอียดดังนี้

- ผู้ใช้งานทำการแจ้งเรื่องย้ายค่ายผ่านระบบแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ ข้อมูลคำขอจะถูกส่งไปยังโอเปอเรเตอร์ปัจจุบันและโอเปอเรเตอร์ที่ผู้ใช้งานเลือกใหม่
- โดยระบบทำการแจ้งไปยังโอเปอเรเตอร์เดิมและโอเปอเรเตอร์ใหม่ ผ่าน API
- เมื่อโอเปอเรเตอร์ใหม่ได้รับคำขอจะทำการติดต่อมายังฐานข้อมูลที่จัดเก็บข้อมูลปัจจุบันของผู้ใช้งาน
- คำขอทั้งหมดจะถูกขอให้อนุญาตและยืนยันจากผู้ใช้งานก่อน
- ผู้ใช้สามารถตรวจสอบคำร้องผ่านแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่

6.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ

ผู้วิจัยได้นำเสนอการใช้งานระบบสารสนเทศแก่กลุ่มตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วย ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ระดับสูงของ กสทช. จำนวน 5 คน เจ้าหน้าที่ระดับปฏิบัติการของ กสทช. จำนวน 10 คน และผู้ประกอบการธุรกิจด้านอุตสาหกรรมการสื่อสารโทรคมนาคม จำนวน 5 คน รวมทั้งสิ้น 20 คน และให้กลุ่มตัวอย่างประเมินประสิทธิภาพของระบบต้นแบบตามมาตรวัด Likert scale 5 ระดับ โดยแบ่งการประเมินระบบออกเป็น 4 ประเด็นหลัก ได้แก่

1) ด้านระบบทำงานได้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ (Functional requirement test)

2) ด้านระบบมีประสิทธิภาพการทำงานตามหน้าที่ของโปรแกรม (Functional test)

3) ด้านความยากง่ายในการใช้ระบบ (Usability test)

4) ด้านความปลอดภัยของระบบ (Security test)

การอธิบายผลการวิเคราะห์ข้อมูลการประเมินประสิทธิภาพระบบ มีรายละเอียดดังนี้

ค่าเฉลี่ย	4.51-5.00	หมายถึง	ระบบมีประสิทธิภาพการทำงานในระดับมากที่สุด
ค่าเฉลี่ย	3.51-4.50	หมายถึง	ระบบมีประสิทธิภาพการทำงานในระดับมาก
ค่าเฉลี่ย	2.51-3.50	หมายถึง	ระบบมีประสิทธิภาพการทำงานในระดับปานกลาง
ค่าเฉลี่ย	1.51-2.50	หมายถึง	ระบบมีประสิทธิภาพการทำงานในระดับน้อย
ค่าเฉลี่ย	1.00-1.50	หมายถึง	ระบบมีประสิทธิภาพการทำงานในระดับน้อยที่สุด

ตารางที่ 2 ผลการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบสารสนเทศต้นแบบด้านระบบทำงานได้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ (Functional requirement test)

ประสิทธิภาพด้านระบบทำงานได้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้	$\bar{x}$	S.D.	ระดับประสิทธิภาพ
ความสามารถในการแจ้งเตือนข่าวสารแก่ผู้ใช้	4.55	0.60	มากที่สุด
ความสามารถในการตรวจสอบข้อมูล	4.20	0.70	มาก
ความสามารถในการสืบค้นข้อมูล	4.30	0.66	มาก
ความสามารถในการจัดการฐานข้อมูล	4.35	0.67	มาก
คะแนนเฉลี่ยรวม	**4.35**	**0.66**	**มาก**

จากตารางที่ 2 ประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศด้านระบบทำงานได้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่ค่าเฉลี่ย 4.35 โดยด้านที่มีคะแนนมากที่สุดคือด้านความสามารถในการแจ้งเตือนข่าวสารแก่ผู้ใช้ที่ค่าเฉลี่ย 4.55 รองลงมาคือความสามารถในการจัดการฐานข้อมูลที่ค่าเฉลี่ย 4.35 ลำดับที่สามคือความสามารถในการสืบค้นข้อมูลที่ค่าเฉลี่ย 4.30 และลำดับสุดท้ายคือความสามารถในการตรวจสอบข้อมูลที่ค่าเฉลี่ย 4.20

ตารางที่ 3 ผลการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบสารสนเทศต้นแบบด้านระบบมีประสิทธิภาพการทำงานตามหน้าที่ของโปรแกรม (Functional test)

ประสิทธิภาพด้านระบบมีประสิทธิภาพการทำงานตามหน้าที่ของโปรแกรม	$\bar{x}$	S.D.	ระดับประสิทธิภาพ
ความสามารถในการแจ้งเตือนข่าวสารแก่ผู้ใช้	4.85	0.37	มากที่สุด
ความสามารถในการตรวจสอบข้อมูล	4.65	0.49	มากที่สุด
ความสามารถในการสืบค้นข้อมูล	4.75	0.44	มากที่สุด
ความสามารถในการจัดการฐานข้อมูล	4.80	0.41	มากที่สุด
คะแนนเฉลี่ยรวม	**4.76**	**0.43**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 3 ประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศด้านการทำงานตามหน้าที่ของโปรแกรมในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุดที่ค่าเฉลี่ย 4.76 โดยด้านที่มีคะแนนมากที่สุดคือด้านความถูกต้องในการแจ้งเตือนข่าวสารที่ค่าเฉลี่ย 4.85 รองลงมาคือด้านความถูกต้องในการจัดการฐานข้อมูลที่ค่าเฉลี่ย 4.80 ลำดับที่สามคือด้านความถูกต้องในการแสดงผลการสืบค้นข้อมูลที่ค่าเฉลี่ย 4.75 และลำดับสุดท้ายคือความถูกต้องในการแสดงผลการตรวจสอบข้อมูลที่ค่าเฉลี่ย 4.65

ตารางที่ 4 ผลการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบสารสนเทศต้นแบบด้านความยากง่ายในการใช้ระบบ (Usability test)

ประสิทธิภาพด้านความยากง่ายในการใช้ระบบ	$\bar{x}$	S.D.	ระดับประสิทธิภาพ
ความง่ายต่อการใช้งาน	4.45	0.69	มาก
ความเหมาะสมในการออกแบบหน้าจอการทำงาน	4.25	0.72	มาก
ความเหมาะสมในการใช้ภาษาและรูปไอคอนในการสื่อสารกับผู้ใช้	4.10	0.72	มาก
ความรวดเร็วในการประมวลผลข้อมูล	4.15	0.67	มาก
คะแนนเฉลี่ยรวม	**4.24**	**0.70**	**มาก**

จากตารางที่ 4 ประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศด้านความยากง่ายในการใช้ระบบในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่ค่าเฉลี่ย 4.24 โดยด้านที่มีคะแนนมากที่สุดคือด้านความง่ายต่อการใช้งานที่ค่าเฉลี่ย 4.45 รองลงมือคือด้านความเหมาะสมในการออกแบบหน้าจอการทำงานที่ค่าเฉลี่ย 4.25 ลำดับที่สามคือความรวดเร็วในการประมวลผลข้อมูลที่ค่าเฉลี่ย 4.15 และลำดับสุดท้ายคือความเหมาะสมในการใช้ภาษาและรูปไอคอนในการสื่อสารกับผู้ใช้ที่ค่าเฉลี่ย 4.10

ตารางที่ 5 ผลการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบสารสนเทศต้นแบบด้านความปลอดภัยของระบบ (Security test)

ประสิทธิภาพด้านความปลอดภัยของระบบ	$\bar{x}$	S.D.	ระดับประสิทธิภาพ
ความปลอดภัยในการป้อนข้อมูลเข้าสู่ระบบ	4.60	0.5	มากที่สุด
ความถูกต้องในการกำหนดสิทธิ์ใช้งาน	4.80	0.41	มากที่สุด
ความปลอดภัยในข้อมูล	4.65	0.49	มากที่สุด
ความปลอดภัยของระบบ	4.55	0.51	มากที่สุด
คะแนนเฉลี่ยรวม	**4.65**	**0.48**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 5 ประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศด้านความปลอดภัยของระบบในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุดที่ค่าเฉลี่ย 4.65 โดยด้านที่มีคะแนนมากที่สุดคือด้านความถูกต้องในการกำหนดสิทธิ์ใช้งานที่ค่าเฉลี่ย 4.80 รองลงมาคือด้านความปลอดภัยในข้อมูลที่ค่าเฉลี่ย 4.65 ลำดับที่สามคือด้านความปลอดภัยในการป้อนข้อมูลเข้าสู่ระบบที่ค่าเฉลี่ย 4.60 และลำดับสุดท้ายคือด้านความปลอดภัยของระบบที่ค่าเฉลี่ย 4.55

7. การอภิปรายผล

ระบบนิเวศบล็อกเชนเป็นกลไกสำคัญในการสนับสนุนเพื่อยกระดับอุตสาหกรรมการสื่อสารโทรคมนาคมในประเทศไทย ในบทความนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอการออกแบบระบบนิเวศบล็อกเชนในอุตสาหกรรมสื่อสารโทรคมนาคมในประเทศไทย ซึ่งประกอบด้วยสภาพแวดล้อมการทำงานของระบบนิเวศของบล็อกเชน 3 ส่วน ได้แก่ ส่วน Application server software ส่วน Service software และ ส่วน Design tools โดยทั้ง 3 ส่วน มีการออกแบบและเชื่อมโยงการทำงานระหว่างผู้ใช้ ทั้งผู้ใช้ในภาคประชาชนและผู้ใช้ที่เป็นระดับเจ้าหน้าที่ใน กสทช. ซึ่งบล็อกเชนจะมีส่วนช่วยในการยืนยันตัวตนและรักษาข้อมูลของผู้ใช้ ซึ่งผู้วิจัยได้ทดลองใช้ระบบนิเวศบล็อกเชนกับระบบสารสนเทศต้นแบบจำนวน 5 ระบบ ได้แก่ ระบบสารสนเทศต้นแบบเพื่อการแจ้งข้อมูลข่าวสารของ กสทช. ระบบการจัดเก็บและตรวจสอบข้อมูลรายละเอียดการโทรและค่าใช้บริการ ระบบการจัดเก็บและการบริการจัดการข้อมูลการตรวจสอบการแสดงเครื่องหมายที่เครื่องวิทยุโทรคมนาคม ระบบตรวจเช็กโพรโมชันและการใช้งานแบบออนไลน์เพื่อให้ประชาชนตรวจสอบได้ และระบบการเปลี่ยนค่ายด้วยเบอร์เดิม ซึ่งสอดคล้องกับการนำบล็อกเชนไปใช้ประโยชน์ในหน่วยงานภาครัฐของสาธารณรัฐเอสโตเนีย (Estonia, State Electoral Office of., 2017) และสหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ (Keith, 2016) และทุกระบบสารสนเทศต้นแบบที่ผู้วิจัยออกแบบจะมีการยืนยันตัวด้วยบุคคล (Identity management) ด้วยการใช้บล็อกเชนซึ่งสอดคล้องกับการประยุกต์ใช้งานบล็อกเชนในการยืนยันตัวตนของสหรัฐอเมริกา (World Economic Forum, 2015) ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบจากกลุ่มตัวอย่าง พบว่า ด้านประสิทธิภาพในหน้าที่ของโปรแกรม และด้านความปลอดภัยอยู่ในระดับมากที่สุด ส่วนด้านความสามารถของระบบที่ทำงานตรงตามความต้องการของผู้ใช้ และความยากง่ายในการใช้งานระบบอยู่ในระดับมาก ซึ่งจะเห็นได้ว่า ด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชนซึ่งได้ถูกกล่าวถึงอย่างมากในด้านความปลอดภัยในการเก็บรักษาข้อมูล จากผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบดังกล่าว ด้านความปลอดภัยอยู่ระดับมากที่สุด

8. บทสรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบนิเวศบล็อกเชนในอุตสาหกรรมสื่อสารโทรคมนาคมในประเทศไทย การศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีสนทนากลุ่มเพื่อเก็บข้อมูลจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องประกอบด้วย ผู้บริหาร เจ้าหน้าที่ระดับสูง เจ้าหน้าที่ระดับปฏิบัติการ และผู้บริหารกลุ่มธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการสื่อสารและโทรคมนาคม ในการนำเทคโนโลยีบล็อกเชนมาเป็นกลไกสำคัญในการสนับสนุนเพื่อยกระดับอุตสาหกรรมการสื่อสารโทรคมนาคมในประเทศไทยให้ก้าวไปสู่การเป็นสังคมอัจฉริยะตามนโยบายไทยแลนด์ 4.0

ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบนิเวศบล็อกเชนซึ่งมีสภาพแวดล้อมการทำงานประกอบด้วย Application server software, Service software และ Design tools และผู้วิจัยได้นำเสนอระบบสารสนเทศต้นแบบเพื่อจำลองการทำงานภายใต้ระบบนิเวศของบล็อกเชนจำนวน 5 ระบบ ได้แก่ ระบบสารสนเทศต้นแบบเพื่อการแจ้งข้อมูลข่าวสารของ กสทช. ระบบการจัดเก็บและตรวจสอบข้อมูลรายละเอียดการโทรและค่าใช้บริการ ระบบการจัดเก็บ

และการบริการจัดการข้อมูลการตรวจสอบการแสดงเครื่องหมายที่เครื่องวิทยุโทรคมนาคม ระบบตรวจสอบโพรโมชันและการใช้งานแบบออนไลน์เพื่อให้ประชาชนตรวจสอบได้ และระบบการเปลี่ยนค่ายด้วยเบอร์เดิม โดยมีรายละเอียดการออกแบบกระบวนการทำงานและฐานข้อมูลของแต่ละระบบ ตลอดจนถึงการรวมฐานข้อมูลแต่ละระบบเป็นระบบฐานข้อมูลเดียวกัน

อย่างไรก็ตาม การออกแบบระบบสารสนเทศต้นแบบภายใต้ระบบนิเวศบล็อกเชนที่นำเสนอในงานวิจัยนี้เป็นเพียงจุดเริ่มต้นของการก้าวสู่การเป็นสังคมอัจฉริยะตามนโยบายไทยแลนด์ 4.0 ที่ได้ประกาศนโยบายขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคมดิจิทัลเท่านั้น ยังคงมีอีกหลายส่วนงานที่ควรมีการร่วมกันพัฒนาการใช้งานระบบสารสนเทศภายใต้ระบบนิเวศบล็อกเชนต่อไป เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือ และความมั่นคงต่อการบริการดิจิทัลของภาครัฐในอนาคต

9. ข้อเสนอแนะ

9.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต

9.1.1 งานวิจัยนี้มุ่งเน้นให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีบล็อกเชนที่อยู่ภายใต้บริบทของ กสทช. อันเป็นการช่วยยกระดับมาตรฐานอุตสาหกรรมโทรคมนาคม สร้างความเชื่อมั่นการแบ่งปันข้อมูลที่น่าเชื่อถือ สร้างกระบวนการทางดิจิทัลตามนโยบายไทยแลนด์ 4.0 ซึ่งมีการทดสอบด้วยการออกแบบและพัฒนาระบบสารสนเทศต้นแบบที่ใช้กับระบบนิเวศบล็อกเชนเพียง 5 ระบบ ซึ่งอาจไม่ครอบคลุมการบริการดิจิทัลของภาครัฐทั้งหมดภายใต้บริบท กสทช. ทั้งหมด ดังนั้นในงานวิจัยในอนาคตจึงควรออกแบบระบบสารสนเทศในขอบเขตงานอื่น ๆ ที่อยู่ภายใต้การการกำกับของ กสทช. ให้ครบถ้วน

9.1.2 เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบระบบนิเวศบล็อกเชนในอุตสาหกรรมสื่อสารโทรคมนาคมในประเทศไทย เป็นกรณีศึกษาของสำนักงาน กสทช. ซึ่งตามข้อตกลงเบื้องต้นกับ กสทช. ในการออกแบบระบบแบบจำลองสถานการณ์ต้นแบบจำนวน 5 ระบบ จึงยังไม่ได้ถูกนำไปประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้ใช้ที่เป็น End user ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไป ผู้วิจัยหรือผู้ที่สนใจอาจนำประเด็นดังกล่าวไปใช้เพื่อให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

9.2 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายสำหรับกิจการสื่อสาร

ด้วยรูปแบบของเทคโนโลยีบล็อกเชนสามารถเลือกการพัฒนาได้หลายรูปแบบ แต่ยังไม่มีมาตรฐานกลางของประเทศไทย กระบวนการใช้งานยังอยู่ในกลุ่มสกุลเงินดิจิทัลเท่านั้น หาก กสทช. เป็นผู้ผลักดันการสร้างกรอบงานการประยุกต์ใช้งานบล็อกเชน (Conceptual blockchain technology framework) การผลักดันให้เกิดความสมบูรณ์ระบบนิเวศบล็อกเชนในอุตสาหกรรมโทรคมนาคม จะเกิดประโยชน์จากการใช้เทคโนโลยีดังกล่าวได้อย่างเต็มประสิทธิภาพในอนาคตได้

รายการเอกสารอ้างอิง

สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล. (2564). *BLOCKCHAIN for GOVERNMENT SERVICES การใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนสำหรับภาครัฐ เวอร์ชัน 2.0.* สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล (องค์การมหาชน).

Babu, A., Davis, B., Bruwer, T., Sallaba, M., & Gramatke, M. R. (2016). How Blockchain can Impact the Telecommunications Industry. *Blockchain@Telco.* https://www2.deloitte. com/content/dam/Deloitte/za/Documents/technology-media-telecommunications/za_ TMT_Blockchain_TelCo.pdf

Bao, J., He, D., Luo, M., & Choo, K. -K. R. (2021). A Survey of Blockchain Applications in the Energy Sector. *IEEE System Journal, 15*(3). 3370-3381. https://doi.org/10.1109/ JSYST.2020.2998791.

Chaum, D. (1982). *Computer Systems Established, Maintained and Trusted by Mutually Suspicious Groups* [Doctoral dissertation]. University of California. https://nakamotoinstitute.org/static/docs/computer-systems-by-mutually-suspicious-groups.pdf

Chen, W., Xu, Z., Shi, S., Zhao, Y., & Zhao, J. (2018, December 10-12). A Survey of Blockchain Applications in Different Domains. *In International Conference on Blockchain Technology and Applications. ICBTA 2018* (pp. 17-21). Xi'an: China. https://doi.org/10.1145 /3301403.3301407

Estonia, State Electoral Office of. (2017). *General Framework of Electronic Voting and Implementation thereof at National Elections in Estonia.* Tallinn.

Guo, H., & Yu, X. (2022). A survey on blockchain technology and its security. *Blockchain: Research and Applications, 3*(2). 1-15. https://doi.org/10.1016/j.bcra.2022.100067

Haber, S., & Stornetta, W. S. (1991). How to time-stamp a digital document. *Journal of Cryptology, 3*(3). 99-111. https://doi.org/10.1007/BF00196791

Huang, G., & Foysal, A. (2021). Blockchain in Healthcare. *Technology and Investment, 12*(3), 168-181. https://doi.org/10.4236/ti.2021.123010

Joshi, A. P., Han, M., & Wang, Y. (2018). A Survey on Security and Privacy Issues of Blockchain Technology. *Mathematical Foundations of Computing, 1*(2), 121-147. https://doi.org/ 10.1109/ICSSE.2019.8823094

Keith, B. (2016). *The 10 Countries Best Prepared for the New Digital Economy.* World Economic Forum. https://www.weforum.org/agenda/2016/07/countries-best-prepared-for-the-new-digital-economy/

Liu, L., Zhang, W., & Han, C. (2021). A survey for the application of blockchain technology in the media. *Peer-to-Peer Networking and Applications, 14*(5), 3143-3165. https://doi.org/ 10.1007/s12083-021-01168-5

Mohammad, A., Vargas, S., & Čermák, P. (2022). Using Blockchain for Data Collection in the Automotive Industry Sector: A Literature Review. *Journal of Cybersecurity and Privacy, 2*(2), 257-275. https://doi.org/10.3390/jcp2020014

Nakamoto, S. (2009). Bitcoin: *A Peer-to-Peer Electronic Cash System.* Bitcoin.org. http://bitcoin.org/bitcoin.pdf

Qasse, I. A., Talib, M. A., & Nasir, Q. (2019). Inter Blockchain Communication: A Survey. *In ArabWIC2019: Proceedings of the ArabWIC 16th Annual International Conference Research Trac*k (p. 1-6). https://doi.org/10.1145/3333165.3333167

Ridgewell, P. (2019, May). *Blockchain Where's the Value for Telecoms? TMForum.* Accenture. https://www.accenture.com/_acnmedia/pdf-101/accenture-blockchain-wheres-the-value-for-telecoms.pdf

Royce, W. W. (1970, August 25–28). Managing the Development of Large Software System: Concepts and Techniques. *In Technical Papers of Western Electronic Show and Convention (WesCon).* Los Angeles: USA.

Sharma, R. (2021). *Bit Gold.* Investopedia. https://www.investopedia.com/terms/b/bit-gold.asp

Shetty, A., Shetty, A. D., Pai, R. Y., Rao, R. R., Bhandary, R., Shetty, J., Nayak, S., Dinesh, T. K., & Dsouza, K. J. (2022). blockchain Application in Insurance Service: A Systematic Review of the Evidence. *SAGE Open, 12*(1), 1-15. https://doi.org/10.1177/21582440221079877

Taylor, J., P., Dargahi, T., Dehghantanha, A., Parizi, M., R., & Choo, R., K -K. (2020). A systematic literature review of blockchain cyber security. *Digital Communications and Networks, 6*(2). 147-156. https://doi.org/10.1016/j.dcan.2019.01.005

World Economic Forum. (2015, September). Deep Shift Technology Tipping Points and Society Impact. *Global Agenda Council on the Future of Software & Society.* https://www3.weforum.org/docs/WEF_GAC15_Technological_Tipping_Points_report_2015.pdf

Zheng, Z., Xie, S., Dai, H. -N., Chen, X., & Wang, H. (2018). Blockchain challenges and opportunities: a survey. *International Journal Web and Grid Service, 14*(4). 352–375. https://doi.org/10.1504/IJWGS.2018.095647