การพัฒนาระบบตู้กุญแจอัจฉริยะและการติดตามการใช้งานกุญแจ

Development of Smart Key Cabinet System and Key Usage Tracking

พิเชษฐ์ เตียวตระกูลวัฒน[1], ณัฐวัตร กิจสอาจ[2] และ วาฤทธิ์ กันแก้ว[3]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

E-mail 466412221012-st@rmutsb.ac.th

[2]สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

E-mail 466412221005-st@rmutsb.ac.th

[3]สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

E-mail varit.k@rmutsb.ac.th

วันที่รับบทความ 25 มิถุนายน 2568

วันแก้ไขบทความ 30 มิถุนายน 2568

วันตอบรับบทความ 30 มิถุนายน 2568

บทคัดย่อ

ระบบตู้กุญแจอัจฉริยะและการติดตามการใช้งานกุญแจ พัฒนาขึ้นเพื่อลดปัญหาการสูญหายของกุญแจ เพิ่มความปลอดภัยในการเข้าถึง และอำนวยความสะดวกในการจัดการกุญแจในองค์กร โดยออกแบบให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงและใช้งานกุญแจได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมระบบติดตามการใช้งานแบบเรียลไทม์ผ่านเว็บแอปพลิเคชัน ระบบนี้ใช้เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ควบคู่กับ Firebase Realtime Database เพื่อจัดเก็บและประมวลผลข้อมูล ระบบฮาร์ดแวร์ถูกออกแบบโดยใช้ NodeMCU ESP8266 เป็นตัวควบคุมหลัก ร่วมกับกลอนไฟฟ้า รีเลย์ และเซ็นเซอร์วัดระยะทาง Ultrasonic เพื่อบันทึกและตรวจสอบสถานะของกุญแจทุกดอกแบบอัตโนมัติ ระบบได้รับการทดสอบด้วย Black Box Testing เพื่อประเมินความเสถียรและความถูกต้องของฟังก์ชัน โดยพบว่าระบบสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบ และรองรับการใช้งานในสถานการณ์จริงอย่างมีประสิทธิภาพ จากการประเมินความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้ทั่วไป พบว่าระบบได้รับคะแนนด้านความสามารถในการทำงานตามความต้องการในระดับดีมากจากผู้เชี่ยวชาญ ($\bar{x}$ = 4.44, S.D. = 0.38) และระดับดีจากผู้ใช้ทั่วไป ($\bar{x}$ = 3.93, S.D. = 0.74) ด้านความง่ายต่อการใช้งานได้รับคะแนนในระดับดีมากจากผู้เชี่ยวชาญ ($\bar{x}$ = 4.61, S.D. = 0.48) และระดับดีจากผู้ใช้ทั่วไป ($\bar{x}$ = 4.37, S.D. = 0.69) นอกจากนี้ด้านการนำไปใช้ประโยชน์ระบบได้รับคะแนนในระดับดีมาก ($\bar{x}$ = 4.48, S.D. = 0.61)

คำสำคัญ: ระบบตู้กุญแจอัจฉริยะ, การติดตามการใช้งาน, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, เซ็นเซอร์

ABSTRACT

The Smart Key Cabinet System and Key Usage Tracking was developed to reduce key loss problems, increase access security, and facilitate key management in organizations. The system is designed to allow

users to access and use keys efficiently with real-time usage tracking through a web application. This system uses Internet of Things (IoT) technology coupled with Firebase Realtime Database for data storage and processing. The hardware system is designed using NodeMCU ESP8266 as the main controller, along with electric locks, relays, and Ultrasonic distance sensors to automatically record and monitor the status of each key. During the development phase, the system was tested using Black Box Testing to evaluate the stability and accuracy of functions. The results showed that the system could work as designed and support real-world usage efficiently. From the satisfaction assessment of experts and general users, it was found that the system received scores in the aspect of functionality according to requirements at an excellent level from experts ($\bar{x}$ = 4.44, S.D. = 0.38) and good level from general users ($\bar{x}$= 3.93, S.D. = 0.74). The ease of use aspect received scores at an excellent level from experts ($\bar{x}$ = 4.61, S.D. = 0.48) and good level from general users $\bar{x}$ = 4.37, S.D. = 0.69). Additionally, the practical application aspect received scores at an excellent level ($\bar{x}$ = 4.48, S.D. = 0.61).

KEYWORDS: Smart Key Cabinet System, Usage Tracking, Internet of Things, Sensor

1. บทนำ

ในยุคปัจจุบันที่เทคโนโลยีดิจิทัลและระบบอัตโนมัติเข้ามามีบทบาทสำคัญในการพัฒนาระบบจัดการภายในขององค์กรต่าง ๆ การจัดการและการรักษาความปลอดภัยของกุญแจถือเป็นปัญหาหนึ่งที่พบบ่อยในสถานศึกษาและหน่วยงานต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานศึกษาที่มีห้องเรียนจำนวนมากและมีการใช้งานกุญแจอย่างหลากหลาย ทำให้เกิดความต้องการระบบจัดการกุญแจที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัย ตู้กุญแจแบบดั้งเดิมมักมีปัญหาเกี่ยวกับความไม่ปลอดภัยและความไม่สะดวกในการใช้งาน เช่น การสูญหายของกุญแจหรือการถูกขโมย การไม่สามารถติดตามการใช้งานได้ และการไม่ทราบสถานะของกุญแจในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานต้องเจอกับความไม่สะดวกและอาจส่งผลต่อความปลอดภัยของทรัพย์สินภายในห้องต่าง ๆ

ทางสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและเศรษฐกิจดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิได้จัดเตรียมตู้กุญแจสำหรับอาจารย์ โดยระบบการจัดเก็บกุญแจในรูปแบบเดิมยังขาดการติดตามการใช้งาน ทำให้ผู้ใช้งานไม่สามารถทราบได้ว่าใครใช้กุญแจในช่วงเวลาใด ส่งผลให้เกิดปัญหาในการใช้งานจึงต้องการรับรู้สถานะของลูกกุญแจ

ด้วยเหตุนี้ตู้กุญแจอัจฉริยะจึงถูกออกแบบมาเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน โดยมีฟังก์ชันการเข้าถึงที่ปลอดภัยและใช้งานง่าย ผ่านระบบการระบุตัวตน เช่น การเข้าถึงระบบโดยได้รับอนุญาตหรือเช็คผ่านการหยิบลูกกุญแจออกจากตู้ นอกจากนี้ยังสามารถบันทึกประวัติการใช้งานเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบข้อมูลย้อนหลังได้ ช่วยเพิ่มความปลอดภัยและความมั่นใจในการจัดเก็บกุญแจห้องเรียนอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ระบบตู้กุญแจอัจฉริยะและการติดตามการใช้งานกุญแจเข้ามาใช้ สามารถระบุตัวตนของผู้ใช้งานได้อย่างแม่นยำ และอนุญาตให้เข้าถึงตู้กุญแจได้โดยไม่ต้องพกพากุญแจ นอกจากนี้ ระบบยังสามารถบันทึกข้อมูลการใช้งาน เช่น วันที่และเวลาของผู้ใช้งานซึ่งจะทำให้การตรวจสอบและติดตามการใช้งานกุญแจมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นคณะผู้วิจัยมีแนวคิดในการพัฒนาระบบนี้คือการสร้างความสะดวกและปลอดภัยในการเข้าถึงลูกกุญแจ โดยเข้าถึงผ่านระบบล็อคอินของผู้ใช้งาน ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงจากการสูญหายหรือถูกขโมยของกุญแจ นอกจากนี้การติดตามการใช้งานกุญแจจะช่วยให้ผู้ดูแลสามารถตรวจสอบประวัติการเข้าถึงและระบุผู้ใช้งานได้ทันที ทำให้ระบบมี

ความปลอดภัยยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นการตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และระบบตู้กุญแจอัจฉริยะนี้จึงไม่เพียงแต่เพิ่มความสะดวกในการใช้งาน แต่ยังสร้างความมั่นใจให้กับผู้ใช้งานว่าของมีค่าจะได้รับการปกป้องอย่างดีที่สุด

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาระบบตู้กุญแจอัจฉริยะและการติดตามการใช้งานกุญแจที่มีประสิทธิภาพ

2.2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพระบบตู้กุญแจอัจฉริยะและการติดตามการใช้งานกุญแจในด้านต่างๆ

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ทฤษฎีและแนวคิดพื้นฐาน

3.1.1 เทคโนโลยี Internet of Things (IoT)

Internet of Things หรือ IoT เป็นแนวคิดที่อุปกรณ์ต่างๆ สามารถเชื่อมต่อและสื่อสารกันผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยไม่จำเป็นต้องมีการควบคุมจากมนุษย์โดยตรง (Ashton, 2009) เทคโนโลยี IoT ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 4 ส่วน คือ เซ็นเซอร์ (Sensors) การเชื่อมต่อ (Connectivity) การประมวลผลข้อมูล (Data Processing) และส่วนติดต่อผู้ใช้ (User Interface) (Gubbi et al., 2013)

ในการพัฒนาระบบตู้กุญแจอัจฉริยะ เทคโนโลยี IoT ถูกนำมาใช้เป็นแกนหลักในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ทำให้สามารถตรวจสอบสถานะของกุญแจและส่งข้อมูลไปยังระบบจัดการได้แบบเรียลไทม์ การประยุกต์ใช้ IoT ในระบบการจัดการทรัพย์สินและการรักษาความปลอดภัยได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน (Evans, 2011)

3.1.2 ระบบฐานข้อมูลแบบเรียลไทม์ (Real-time Database)

ฐานข้อมูลแบบเรียลไทม์เป็นระบบที่สามารถจัดเก็บ ประมวลผล และแสดงข้อมูลได้ทันทีที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น โดยไม่มีความล่าช้าที่เป็นการรบกวนต่อการใช้งาน (Date, 2019) Firebase Realtime Database เป็นหนึ่งในระบบฐานข้อมูลแบบ NoSQL ที่ได้รับความนิยมในการพัฒนาแอปพลิเคชัน IoT เนื่องจากมีความสามารถในการซิงค์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ระหว่างอุปกรณ์หลายเครื่องพร้อมกัน

3.1.3 เซ็นเซอร์และการตรวจจับ (Sensor Technology)

เซ็นเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถตรวจจับและวัดปริมาณทางกายภาพหรือเคมี แล้วแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่สามารถประมวลผลได้ (Fraden, 2016) ในการพัฒนาระบบตู้กุญแจอัจฉริยะ เซ็นเซอร์ Ultrasonic ถูกเลือกใช้เนื่องจากมีความแม่นยำสูงในการตรวจจับระยะทางและสามารถทำงานได้ดีในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย การใช้เซ็นเซอร์ในระบบการจัดการทรัพย์สินได้แพร่หลายมากขึ้นเนื่องจากต้นทุนที่ลดลงและประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น

3.1.4 ระบบจัดการการเข้าถึง (Access Control System)

ระบบจัดการการเข้าถึงเป็นระบบรักษาความปลอดภัยที่ควบคุมการเข้าถึงทรัพยากรหรือพื้นที่ต่างๆ โดยการตรวจสอบสิทธิ์ของผู้ใช้งาน (Sandhu et al., 1996) ระบบดังกล่าวประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน คือ การยืนยันตัวตน (Authentication) การให้สิทธิ์ (Authorization) และการตรวจสอบสิทธิ์ (Audit) ในระบบตู้กุญแจอัจฉริยะ การจัดการการเข้าถึงเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้มั่นใจได้ว่ามีเพียงผู้ใช้งานที่ได้รับอนุญาตเท่านั้นที่สามารถเข้าถึงกุญแจได้

3.2 เทคโนโลยีและเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง

3.2.1 NodeMCU ESP8266

NodeMCU ESP8266 เป็นบอร์ดพัฒนาที่มีชิป Wi-Fi ในตัว ทำให้สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้โดยตรง โดยมีขนาดเล็ก ราคาไม่แพง และมีประสิทธิภาพสูงในการใช้งานกับโปรเจค IoT (Kolban, 2016) ESP8266 รองรับการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C++ ผ่าน Arduino IDE และมีหน่วยความจำที่เพียงพอสำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชัน IoT ขนาดกลาง

3.2.2 Firebase และ Cloud Computing

Firebase เป็นแพลตฟอร์มการพัฒนาแอปพลิเคชันของ Google ที่ให้บริการฐานข้อมูลแบบเรียลไทม์ การจัดการผู้ใช้ และบริการ Cloud Functions ต่างๆ (Moroney, 2017) การใช้ Firebase ช่วยลดความซับซ้อนในการพัฒนาระบบ Backend และทำให้สามารถโฟกัสไปที่การพัฒนา Frontend และ Hardware ได้มากขึ้น

3.2.3 เว็บเทคโนโลยี (HTML, CSS, JavaScript)

HTML (HyperText Markup Language) เป็นภาษามาตรฐานสำหรับการสร้างเว็บเพจ โดยใช้แท็กต่างๆ ในการจัดโครงสร้างเนื้อหา (Duckett, 2014) CSS (Cascading Style Sheets) ใช้สำหรับการจัดรูปแบบและการแสดงผลของเว็บเพจ ส่วน JavaScript เป็นภาษาโปรแกรมที่ใช้สำหรับเพิ่มความโต้ตอบและความเป็นไดนามิกให้กับเว็บไซต์ (Flanagan, 2020) การรวมกันของเทคโนโลยีทั้งสามนี้ทำให้สามารถสร้างเว็บแอปพลิเคชันที่มีประสิทธิภาพและใช้งานง่ายได้

3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เจษฎา ขจรฤทธิ์ และคณะ (2560) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Internet of Things ในการควบคุมระบบส่องสว่างสำหรับบ้านอัจฉริยะ ใช้ NodeMCU ESP8266 เป็นตัวควบคุมหลัก ระบบสามารถตรวจจับการเข้า-ออกของผู้ใช้และควบคุมการเปิด-ปิดไฟได้อย่างอัตโนมัติ ผลการทดสอบพบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานและใช้งานง่าย

นันทิยา ตันติดลธเนศ และแสงทอง บุญยิ่ง (2563) ได้พัฒนาต้นแบบการตรวจสอบย้อนกลับการปลูกพืชอาหารปลอดภัยในชุมชนด้วยเทคโนโลยี RFID ระบบสามารถติดตามและบันทึกข้อมูลการผลิตตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงผู้บริโภค แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการใช้เทคโนโลยี IoT ในการจัดการและติดตามทรัพย์สิน

Patel et al. (2020) ได้พัฒนาระบบการจัดการกุญแจแบบ Smart Object (SO) ที่มีประสิทธิภาพสำหรับ IoT โดยกำหนดกระบวนการลงทะเบียน การสร้าง และการกระจายกุญแจเพื่อการสื่อสารที่ปลอดภัยระหว่างโหนด IoT ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถลดการใช้ทรัพยากรและเพิ่มความปลอดภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Alaba et al. (2017) ได้ทำการสำรวจความปลอดภัยและการจัดการกุญแจในสภาพแวดล้อม IoT อย่างครอบคลุม โดยวิเคราะห์ความต้องการด้านความปลอดภัย บริการ และความท้าทายที่เกี่ยวข้องกับแอปพลิเคชัน IoT สมัยใหม่ งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของระบบการจัดการกุญแจที่มีประสิทธิภาพในการรักษาความปลอดภัยของระบบ IoT

Whitmore et al. (2015) ได้ศึกษาแนวโน้มและหัวข้อการวิจัยด้าน Internet of Things พบว่าการประยุกต์ใช้ IoT ในระบบการจัดการทรัพย์สินมีแนวโน้มเติบโตอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในด้านการติดตามและการควบคุมการเข้าถึง

3.4 ทฤษฎีการทดสอบระบบ

3.4.1 Black Box Testing

Black Box Testing เป็นวิธีการทดสอบซอฟต์แวร์ที่เน้นการทดสอบฟังก์ชันการทำงานของระบบโดยไม่ต้องทราบถึงโครงสร้างภายในของโค้ด (Myers et al., 2011) การทดสอบแบบนี้จะมุ่งเน้นไปที่การตรวจสอบว่าระบบสามารถ

ทำงานได้ตามข้อกำหนดที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยการให้ข้อมูลเข้า (Input) และตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้ (Output) ว่าถูกต้องตามที่คาดหวังหรือไม่

3.4.2 การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้

การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้เป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาระบบ โดยสามารถใช้แบบสอบถามที่มีโครงสร้างในการรวบรวมข้อมูล (Nielsen, 2012) การประเมินจะครอบคลุมด้านต่างๆ เช่น ความสะดวกในการใช้งาน ประสิทธิภาพของระบบ และความพึงพอใจโดยรวม

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้มีการกำหนดขอบเขตการดำเนินงานในแต่ละด้าน เพื่อให้การพัฒนาระบบเป็นไปอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ โดยแบ่งขอบเขตออกเป็นด้านดังนี้

4.1.1 ขอบเขตด้านระบบ

ระบบตู้กุญแจอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นจะมีความสามารถในการทำงานดังนี้ การแสดงข้อมูลวันที่และเวลาของผู้ใช้ที่เข้าใช้งานตู้กุญแจอัจฉริยะ การแสดงสถานะวันที่และเวลาการเข้า-ออกของลูกกุญแจ การแสดงรายละเอียดสถานะไฟของลูกกุญแจ การบันทึกข้อมูลการเปิดตู้กุญแจไว้ดูภายหลังได้ การลงทะเบียนเพื่อใช้ระบบตู้กุญแจได้ และการตรวจสอบข้อมูลความถูกต้องของผู้ใช้ได้

4.1.2 ขอบเขตด้านฮาร์ดแวร์

อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบประกอบด้วย NodeMCU ESP8266 ซึ่งเป็นตัวควบคุมหลักของระบบ กลอนไฟฟ้า กลอนแม่เหล็กอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมการเปิด-ปิดตู้ รีเลย์ Relay สำหรับควบคุมการทำงานของกลอนไฟฟ้า เซ็นเซอร์วัดระยะทาง Ultrasonic สำหรับตรวจจับการเข้า-ออกของกุญแจ และตัวตู้กุญแจที่จะใช้ในการทดสอบระบบ

4.1.3 ขอบเขตด้านซอฟต์แวร์

เครื่องมือและซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบ ได้แก่ Firebase Realtime Database สำหรับจัดเก็บข้อมูลและการทำงานแบบเรียลไทม์ Visual Studio Code เป็น Integrated Development Environment (IDE) หลักในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน และ Arduino IDE สำหรับการเขียนโปรแกรมควบคุม NodeMCU ESP8266

4.1.4 ขอบเขตด้านภาษาในการพัฒนา

ภาษาโปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาระบบ ประกอบด้วย ภาษา HTML สำหรับการสร้างโครงสร้างหน้าเว็บ ภาษา JavaScript สำหรับการเพิ่มความโต้ตอบและการจัดการข้อมูลในส่วน Frontend ภาษา C++ สำหรับการเขียนโปรแกรมควบคุมฮาร์ดแวร์ และภาษา CSS สำหรับการจัดรูปแบบและการแสดงผลของเว็บแอปพลิเคชัน

4.2 การออกแบบและพัฒนาระบบ

4.2.1 การศึกษาและวิเคราะห์ความต้องการ

การศึกษาความต้องการของผู้ใช้งาน โดยทำการสำรวจและสัมภาษณ์ผู้ใช้งานกุญแจในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อทำความเข้าใจปัญหาและความต้องการที่แท้จริง จากการศึกษาพบว่าปัญหาหลักที่พบบ่อยคือ การสูญหายของกุญแจ การไม่สามารถติดตามได้ว่าใครเป็นผู้ใช้กุญแจล่าสุด และการไม่ทราบสถานะว่ากุญแจอยู่ในตู้หรือถูกนำออกไปใช้งาน

4.2.2 การออกแบบสถาปัตยกรรมระบบ

ระบบตู้กุญแจอัจฉริยะถูกออกแบบให้มีสถาปัตยกรรมแบบ 3-tier ประกอบด้วย ชั้นการนำเสนอ (Presentation Layer) ซึ่งเป็นเว็บแอปพลิเคชันที่ผู้ใช้โต้ตอบ ชั้นการประมวลผลทางธุรกิจ (Business Logic Layer) ที่ทำการประมวลผลข้อมูลและควบคุมการทำงานของระบบ และชั้นข้อมูล (Data Layer) ซึ่งเป็น Firebase Realtime Database ที่จัดเก็บข้อมูลทั้งหมดของระบบ

4.2.3 การพัฒนาฮาร์ดแวร์

การพัฒนาส่วนฮาร์ดแวร์ โดยทำการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เชื่อมต่อ NodeMCU ESP8266 กับอุปกรณ์ต่าง ๆ เซ็นเซอร์ Ultrasonic ถูกติดตั้งในแต่ละช่องของตู้กุญแจเพื่อตรวจจับการมีอยู่ของกุญแจ กลอนไฟฟ้าถูกควบคุมผ่านรีเลย์ เพื่อเปิด-ปิดตู้กุญแจ และมีระบบ LED เพื่อแสดงสถานะของแต่ละช่องกุญแจ

4.2.4 การพัฒนาซอฟต์แวร์

การพัฒนาซอฟต์แวร์แบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก คือ การพัฒนา Firmware สำหรับ NodeMCU ESP8266 ซึ่งเขียนด้วยภาษา C++ ผ่าน Arduino IDE และการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันซึ่งพัฒนาด้วย HTML, CSS และ JavaScript โดยใช้ Firebase SDK สำหรับการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล เว็บแอปพลิเคชันมีฟังก์ชันการลงทะเบียน การเข้าสู่ระบบ การตรวจสอบสถานะกุญแจ การควบคุมการเปิด-ปิดตู้ และการดูประวัติการใช้งาน

4.3 การทดสอบระบบ

4.3.1 การทดสอบแบบ Black Box Testing

การทดสอบระบบด้วยวิธี Black Box Testing เป็นการทดสอบฟังก์ชันการทำงานของระบบโดยไม่ต้องทราบถึงโครงสร้างภายในของโค้ด การทดสอบจะครอบคลุมฟังก์ชันหลักทั้งหมดของระบบ ได้แก่ การทดสอบระบบการลงทะเบียนและเข้าสู่ระบบ การทดสอบการตรวจจับการเข้า-ออกของกุญแจ การทดสอบการควบคุมกลอนไฟฟ้า การทดสอบการบันทึกและแสดงผลข้อมูล และการทดสอบการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล

4.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพ

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบจะทำการวัดเวลาตอบสนองของระบบ ความแม่นยำของเซ็นเซอร์ ความเสถียรของการเชื่อมต่อเครือข่าย และความน่าเชื่อถือของระบบในการใช้งานต่อเนื่อง การทดสอบจะดำเนินการในสภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้และในสภาพแวดล้อมจริง

4.4 การประเมินประสิทธิภาพ

4.4.1 การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ศึกษา ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ บุคลากรในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการใช้งานกุญแจ ประกอบด้วย อาจารย์ เจ้าหน้าที่ และนักวิชาการ รวมทั้งหมด 143 คน

กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน ประกอบด้วย อาจารย์และนักวิชาการด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ คอมพิวเตอร์และระบบอัตโนมัติ ที่มีประสบการณ์ในการพัฒนาระบบ IoT และมีคุณวุฒิระดับปริญญาเอกหรือมีประสบการณ์การทำงานด้านเทคโนโลยีมากกว่า 10 ปี

2. กลุ่มผู้ใช้ทั่วไป จำนวน 30 คน ประกอบด้วย อาจารย์และเจ้าหน้าที่ที่ใช้งานกุญแจในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิธีการสุ่มตัวอย่าง การเลือกกลุ่มตัวอย่างใช้วิธีการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยกำหนดเงื่อนไขการคัดเลือกดังนี้

กลุ่มผู้เชี่ยวชาญ มีความรู้และประสบการณ์ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ระบบ IoT หรือระบบอัตโนมัติ

กลุ่มผู้ใช้ทั่วไป เป็นบุคลากรในคณะที่มีการใช้งานกุญแจเป็นประจำ และสมัครใจเข้าร่วมการทดสอบระบบ

4.4.2 เครื่องมือในการประเมิน

เครื่องมือที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพเป็นแบบสอบถามที่มีโครงสร้าง โดยแบ่งการประเมินออกเป็น 4 ด้านหลัก คือ ความสามารถในการทำงานตามความต้องการ การทำงานของฟังก์ชัน ความง่ายต่อการใช้งาน และการนำไปใช้ประโยชน์ แบบสอบถามใช้มาตราส่วนการวัดแบบ Likert Scale 5 ระดับ (1 = ต้องปรับปรุง, 2 = พอใช้, 3 = ปานกลาง, 4 = ดี, 5 = ดีมาก)

4.4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ในการคำนวณค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของคะแนนการประเมินในแต่ละด้าน สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้ทั่วไป ใช้การทดสอบ Independent t-test โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

5.1 ผลการพัฒนาระบบ

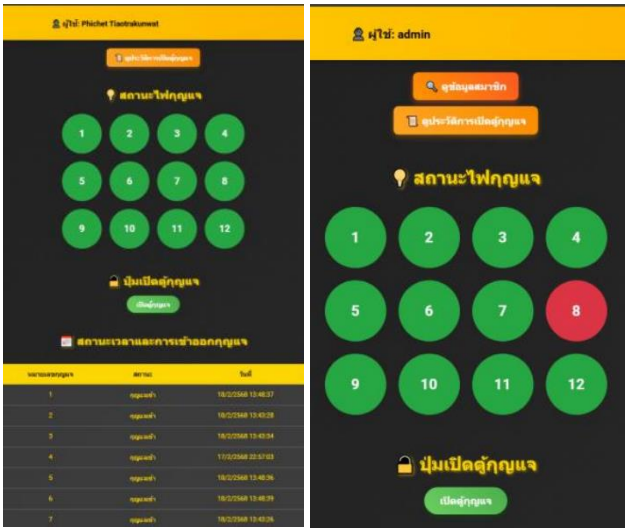
จากขั้นตอนการศึกษาและพัฒนาระบบ ได้ระบบตู้กุญแจอัจฉริยะและการติดตามการใช้งานกุญแจมีองค์ประกอบหลักและฟีเจอร์ที่สำคัญดังนี้

5.1.1 ระบบฮาร์ดแวร์

ระบบฮาร์ดแวร์ประกอบด้วย NodeMCU ESP8266 ที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมหลัก เชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ Ultrasonic จำนวน 12 ตัว สำหรับตรวจจับการเข้า-ออกของกุญแจในแต่ละช่อง กลอนไฟฟ้าแม่เหล็ก 1 ตัว สำหรับควบคุมการเปิด-ปิดตู้กุญแจ รีเลย์ 1 ตัว สำหรับควบคุมกลอนไฟฟ้า และ LED แสดงสถานะ 12 ดวง สำหรับแสดงสถานะของกุญแจในแต่ละช่อง ระบบฮาร์ดแวร์ได้รับการออกแบบให้มีความเสถียรและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

5.1.2 ระบบซอฟต์แวร์

ระบบซอฟต์แวร์ประกอบด้วยเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาด้วย HTML, CSS และ JavaScript ซึ่งมีฟังก์ชันหลักดังนี้ หน้าเข้าสู่ระบบ (Login) ที่ผู้ใช้สามารถเข้าสู่ระบบด้วยอีเมลและรหัสผ่าน หน้าลงทะเบียน (Register) สำหรับผู้ใช้ใหม่ หน้าแดชบอร์ด (Dashboard) ที่แสดงสถานะของกุญแจทั้งหมดแบบเรียลไทม์ หน้าควบคุมตู้กุญแจ ที่ผู้ใช้สามารถคลิกเพื่อเปิดตู้กุญแจได้ และหน้าประวัติการใช้งาน ที่แสดงรายการการเข้า-ออกของกุญแจพร้อมวันที่ เวลา และผู้ใช้งาน



(ก) (ข)

ภาพที่ 1 ตัวอย่างหน้าจอระบบตู้กุญแจอัจฉริยะ

ภาพที่ 1 แสดงหน้าจอของระบบตู้กุญแจอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วย (ก) หน้าจอแสดงประวัติการใช้งานกุญแจ และ (ข) หน้าจอแดชบอร์ดหลักที่แสดงสถานะของกุญแจทั้งหมดแบบเรียลไทม์ พร้อมปุ่มควบคุมการเปิดตู้กุญแจ

5.1.3 ระบบฐานข้อมูล

ระบบใช้ Firebase Realtime Database ในการจัดเก็บข้อมูล โดยมีโครงสร้างฐานข้อมูลที่ประกอบด้วย ตาราง Users สำหรับเก็บข้อมูลผู้ใช้งาน ตาราง KeyStatus สำหรับเก็บสถานะปัจจุบันของกุญแจแต่ละดอก ตาราง KeyLogs สำหรับเก็บประวัติการใช้งานกุญแจ และตาราง SystemSettings สำหรับเก็บการตั้งค่าระบบต่าง ๆ ระบบฐานข้อมูลได้รับการออกแบบให้รองรับการทำงานแบบเรียลไทม์

5.2 ผลการทดสอบระบบ

5.2.1 การทดสอบฟังก์ชันการทำงาน

การทดสอบระบบด้วยวิธี Black Box Testing ครอบคลุมฟังก์ชันหลักทั้งหมดของระบบ ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบฟังก์ชันการทำงานของระบบ

Test Case ID	ฟังก์ชันที่ทดสอบ	เงื่อนไขการทดสอบ	ผลลัพธ์ที่คาดหวัง	ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริง	สถานะ
TC001	การเข้าสู่ระบบ	กรอกอีเมลและรหัสผ่านที่ถูกต้อง	เข้าสู่หน้าหลักได้	เข้าสู่หน้าหลักสำเร็จ	ผ่าน
TC002	การตรวจสอบสถานะกุญแจ	เซ็นเซอร์ตรวจจับการเข้า-ออกของกุญแจ	สถานะเปลี่ยนแปลงแบบเรียลไทม์	สถานะแสดงผลถูกต้อง	ผ่าน
TC003	การปลดล็อคตู้กุญแจ	คลิกปุ่ม "เปิดตู้กุญแจ"	กลอนไฟฟ้าทำงานและตู้เปิด	ตู้เปิดสำเร็จ	ผ่าน
TC004	การบันทึกประวัติการใช้งาน	มีการเข้า-ออกของกุญแจ	ข้อมูลถูกบันทึกในฐานข้อมูล	ข้อมูลบันทึกครบถ้วน	ผ่าน
TC005	การออกจากระบบ	คลิกปุ่ม "ออกจากระบบ"	กลับสู่หน้าเข้าสู่ระบบ	ออกจากระบบสำเร็จ	ผ่าน

5.2.2 การทดสอบประสิทธิภาพ

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบในด้านต่างๆ พบว่า เวลาตอบสนองของระบบอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยเฉลี่ย 1.2 วินาที ความแม่นยำของเซ็นเซอร์ Ultrasonic อยู่ที่ 98.5% ความเสถียรของการเชื่อมต่อเครือข่าย Wi-Fi อยู่ที่ 99.2% และระบบสามารถทำงานต่อเนื่องได้นานกว่า 720 ชั่วโมง โดยไม่มีการหยุดทำงานที่ไม่พึงประสงค์

5.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพ

5.3.1 การประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ

จากการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน ผลการประเมินแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งแสดงผลในระดับที่น่าพอใจ

ตารางที่ 2 ผลการประเมินประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญ

ด้านการประเมิน	คะแนนเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ระดับ
ความสามารถในการทำงานตามความต้องการ	4.44	0.38	ดีมาก
การทำงานของฟังก์ชัน	4.00	0.58	ดี
ความง่ายต่อการใช้งาน	4.61	0.48	ดีมาก
การนำไปใช้ประโยชน์	4.48	0.61	ดีมาก

จากตารางที่ 2 พบว่าผู้เชี่ยวชาญให้การประเมินระบบในระดับดีถึงดีมากในทุกด้าน โดยด้านที่ได้คะแนนสูงสุดคือ ความง่ายต่อการใช้งาน ($\bar{x}$ = 4.61, S.D. = 0.48) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบมีส่วนติดต่อผู้ใช้ที่เข้าใจง่ายและใช้งานสะดวก ตามด้วยการนำไปใช้ประโยชน์ ($\bar{x}$ = 4.48, S.D. = 0.61) และความสามารถในการทำงานตามความต้องการ ($\bar{x}$ = 4.44, S.D. = 0.38) ตามลำดับ

5.3.2 การประเมินจากผู้ใช้ทั่วไป

จากการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้ใช้ทั่วไป จำนวน 30 คน ผลการประเมินแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งแสดงผลในระดับที่ดี

ตารางที่ 3 ผลการประเมินประสิทธิภาพจากผู้ใช้ทั่วไป

ด้านการประเมิน	คะแนนเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ระดับ
ความสามารถในการทำงานตามความต้องการ	3.93	0.74	ดี
ความง่ายต่อการใช้งาน	4.37	0.69	ดี
ความพึงพอใจโดยรวม	4.12	0.58	ดี

จากตารางที่ 3 พบว่าผู้ใช้ทั่วไปให้การประเมินระบบในระดับดีในทุกด้าน โดยด้านที่ได้คะแนนสูงสุดคือ ความง่ายต่อการใช้งาน ($\bar{x}$ = 4.37, S.D. = 0.69) ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ แสดงให้เห็นว่าระบบได้รับการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ที่เหมาะสมและเข้าใจง่าย

5.3.3 การวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มผู้ใช้งาน

เพื่อศึกษาความแตกต่างระหว่างการประเมินของผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้ทั่วไป ได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบด้วยการทดสอบ t-test แบบอิสระ (Independent t-test) ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้ทั่วไป

ด้านการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ (n=5)		ผู้ใช้ทั่วไป (n=30)		t-value	p-value	ระดับนัยสำคัญ
	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.			
ความสามารถในการทำงานตามความต้องการ	4.44	0.38	3.93	0.74	2.35	0.025*	มีนัยสำคัญ
ความง่ายต่อการใช้งาน	4.61	0.48	4.37	0.69	0.89	0.380	ไม่มีนัยสำคัญ

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 4 พบว่า ด้านความสามารถในการทำงานตามความต้องการมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.025 < 0.05$) ระหว่างการประเมินของผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้ทั่วไป โดยผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนสูงกว่าผู้ใช้ทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนด้านความง่ายต่อการใช้งานไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.380 > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าทั้งสองกลุ่มมีความเห็นสอดคล้องกันในเรื่องความง่ายต่อการใช้งานของระบบ

5.4 อภิปรายผลการวิจัย

5.4.1 ประสิทธิภาพของระบบ

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าระบบตู้กุญแจอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพและสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างดี การใช้เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ตามแนวคิดของ Ashton (2009) ที่เชื่อมโยงอุปกรณ์ต่าง ๆ เข้าด้วยกันผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การใช้เทคโนโลยี IoT ร่วมกับเซ็นเซอร์ Ultrasonic ทำให้ระบบสามารถตรวจสอบสถานะของกุญแจได้แบบเรียลไทม์ ซึ่งเป็นจุดเด่นสำคัญที่แตกต่างจากระบบแบบดั้งเดิม การใช้ Firebase Realtime Database ช่วยให้การซิงค์ข้อมูลระหว่างฮาร์ดแวร์และเว็บแอปพลิเคชันทำงานได้อย่างเสถียรและรวดเร็ว

5.4.2 ความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

ผลการประเมินความพึงพอใจจากทั้งผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้ทั่วไปอยู่ในระดับดีถึงดีมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบได้รับการยอมรับจากผู้ใช้งาน โดยเฉพาะในด้านความง่ายต่อการใช้งานที่ได้คะแนนสูงสุดจากทั้งสองกลุ่ม แสดงให้เห็นว่าการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ (User Interface) และประสบการณ์ผู้ใช้ (User Experience) ของระบบมีความเหมาะสมและตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานได้ดี

อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนด้านความสามารถในการทำงานตามความต้องการสูงกว่าผู้ใช้ทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.025$) ซึ่งอาจเป็นเพราะผู้เชี่ยวชาญมีความเข้าใจในเทคโนโลยีและสามารถประเมินศักยภาพของระบบได้มากกว่า ในขณะที่ผู้ใช้ทั่วไปอาจเน้นไปที่ความสะดวกในการใช้งานมากกว่าคุณสมบัติทางเทคนิค

5.4.3 ข้อจำกัดและปัญหาที่พบ

- ด้านการรองรับจำนวนกุญแจ ระบบในปัจจุบันสามารถรองรับกุญแจได้สูงสุด 12 ดอก ซึ่งอาจไม่เพียงพอสำหรับองค์กรขนาดใหญ่ที่มีความต้องการใช้งานกุญแจจำนวนมาก การขยายจำนวนช่องกุญแจจะต้องปรับปรุงทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์
- ด้านการใช้งานในเครือข่ายที่มีปัญหา ระบบมีการพึ่งพาการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต หากเครือข่าย Wi-Fi มีปัญหาหรือเสียหาย ระบบจะไม่สามารถทำงานได้ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการเข้าถึงกุญแจในสถานการณ์ฉุกเฉิน
- ด้านความปลอดภัยของข้อมูล แม้ว่าจะใช้ Firebase ที่มีระบบรักษาความปลอดภัยดี แต่การเก็บข้อมูลบนคลาวด์ยังคงมีความเสี่ยงด้านความปลอดภัยของข้อมูล โดยเฉพาะข้อมูลการเข้า-ออกของกุญแจที่เป็นข้อมูลสำคัญ

- ด้านการบำรุงรักษา เซ็นเซอร์ Ultrasonic และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต้องได้รับการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ เช่น การทำความสะอาดเซ็นเซอร์ การตรวจสอบการเชื่อมต่อสาย และการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ชำรุด
- ด้านการใช้พลังงาน ระบบต้องทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ทำให้มีการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอาจส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในระยะยาว

5.4.4 การประยุกต์ใช้ในอนาคต

ระบบตู้กุญแจอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหน่วยงานและองค์กรต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง โดยสามารถปรับปรุงและพัฒนาเพิ่มเติมให้เหมาะสมกับความต้องการเฉพาะของแต่ละองค์กร นอกจากนี้ยังสามารถขยายขนาดระบบให้รองรับกุญแจจำนวนมากขึ้นหรือเชื่อมต่อหลายตู้เข้าด้วยกันได้

การพัฒนาระบบในอนาคตอาจรวมถึงการเพิ่มคุณสมบัติการยืนยันตัวตนแบบชีวมาตร การใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการวิเคราะห์รูปแบบการใช้งาน หรือการพัฒนาแอปพลิเคชันมือถือสำหรับการใช้งานที่สะดวกยิ่งขึ้น

6. สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาระบบตู้กุญแจอัจฉริยะและการติดตามการใช้งานกุญแจที่พัฒนาขึ้นสามารถแก้ไขปัญหาการสูญหายของกุญแจและเพิ่มความปลอดภัยในการเข้าถึงได้อย่างดี โดยมีการใช้เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ร่วมกับ Firebase Realtime Database ทำให้ระบบสามารถทำงานแบบเรียลไทม์และมีความเสถียร การประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์ Ultrasonic ในการตรวจจับการเข้า-ออกของกุญแจ และสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นมีส่วนติดต่อผู้ใช้ที่เข้าใจง่ายและใช้งานสะดวก ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเรียนรู้และใช้งานได้อย่างรวดเร็ว

จากผลการประเมินประสิทธิภาพ พบว่าระบบได้รับการยอมรับในระดับดีถึงดีมากจากทั้งผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้ทั่วไป โดยเฉพาะด้านความง่ายต่อการใช้งานและการนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบมีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงในสถานศึกษาและหน่วยงานต่าง ๆ ระบบตู้กุญแจอัจฉริยะนี้ไม่เพียงแต่เพิ่มความสะดวกในการใช้งาน แต่ยังสร้างความมั่นใจให้กับผู้ใช้งานว่าทรัพย์สินจะได้รับการปกป้อง และสามารถตรวจสอบประวัติการใช้งานได้ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการกุญแจขององค์กรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตาม ระบบยังมีข้อจำกัดบางประการที่ควรนำไปพิจารณาในการพัฒนาต่อไป เช่น การพึ่งพาการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต การใช้พลังงาน และความจำเป็นในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ การแก้ไขข้อจำกัดเหล่านี้จะช่วยให้ระบบมีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือที่สูงยิ่งขึ้น

สำหรับการพัฒนาในอนาคต ควรมีการปรับปรุงระบบในด้านต่างๆ เช่น การพัฒนาระบบการยืนยันตัวตนเพิ่มเติม การพัฒนาแอปพลิเคชันบนมือถือ การเพิ่มระบบแจ้งเตือน การขยายเพื่อรองรับกุญแจจำนวนมากขึ้น และการเพิ่มระบบรายงานสำหรับการวิเคราะห์การใช้งาน

7. เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

เจษฎา ขจรฤทธิ์, ปิยนุช ชัยพรแก้ว, และหนึ่งฤทัย เอ้งฉ้วน. (2560). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Internet of Things ในการควบคุมระบบส่องสว่างสำหรับบ้านอัจฉริยะ. *วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ, 7*(1), 1-11.

นันทิยา ตันติดลธเนศ และแสงทอง บุญยิ่ง. (2563). ต้นแบบการตรวจสอบย้อนกลับการปลูกพืชอาหารปลอดภัยในชุมชนด้วยเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี. *วารสารวิชาการการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ, 1*(1), 83-98.

ภาษาอังกฤษ

Alaba, F. A., Othman, M., Hashem, I. A. T., & Alotaibi, F. (2017). Internet of Things security: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, *88*, 10-28. https://doi.org/10.1016/j.jnca.2017.04.002

Ashton, K. (2009). That 'internet of things' thing. *RFID Journal*, *22*(7), 97-114.

Date, C. J. (2019). *An introduction to database systems* (8th ed.). Addison-Wesley Professional.

Duckett, J. (2014). *HTML and CSS: Design and build websites*. John Wiley & Sons.

Evans, D. (2011). *The internet of things: How the next evolution of the internet is changing everything*. Cisco Internet Business Solutions Group.

Flanagan, D. (2020). *JavaScript: The definitive guide* (7th ed.). O'Reilly Media.

Fraden, J. (2016). *Handbook of modern sensors: Physics, designs, and applications* (5th ed.). Springer.

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, *29*(7), 1645-1660. https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010

Kolban, N. (2016). *Kolban's book on ESP32*. Leanpub.

Moroney, L. (2017). *Firebase: The definitive guide*. O'Reilly Media.

Myers, G. J., Sandler, C., & Badgett, T. (2011). *The art of software testing* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Nielsen, J. (2012). *Usability engineering*. Morgan Kaufmann.

Patel, K. K., Patel, S. M., Scholar, P. G., & Salazar, C. (2020). An efficient key management technique for the Internet of Things. *Sensors*, *20*(8), 2450. https://doi.org/10.3390/s20082450

Sandhu, R. S., Coyne, E. J., Feinstein, H. L., & Youman, C. E. (1996). Role-based access control models. *Computer*, *29*(2), 38-47. https://doi.org/10.1109/2.485845

Whitmore, A., Agarwal, A., & Da Xu, L. (2015). The internet of things—A survey of topics and trends. *Information Systems Frontiers*, *17*(2), 261-274. https://doi.org/10.1007/s10796-014-9489-2