

การพัฒนาอุปกรณ์ติดตามวัวด้วย GPS ราคาประหยัดสำหรับการเลี้ยงวัวแบบปล่อยเลี้ยงทุ่ง Development of a Low-Cost GPS-Based Cow Tracking Device for Free-Range Grazing

อุ้มบุญ เชื้อยรัชต์ชัย (Umboon Chareatrachai)^{1*} สรายุทธ ฐิตะภาส (Sarayut Thitapars)*

อามินท์ หล้าวงศ์ (Amin Lawong)**

(Received: July 7, 2023; Revised: September 12, 2023; Accepted: September 13, 2023)

บทคัดย่อ

การเลี้ยงวัวโดยใช้การปล่อยกินหญ้าอย่างอิสระเป็นวิธีการที่วัวได้หาอาหารด้วยตัวเองในสภาพแวดล้อมธรรมชาติ เป็นวิธีเลี้ยงดั้งเดิมที่เกษตรกรใช้ปฏิบัติอย่างแพร่หลายโดยวัวถือเป็นสัตว์ที่มีค่าทางเศรษฐกิจสูงทำให้การติดตามและระบุตำแหน่งของวัวเป็นปัญหาที่สำคัญสำหรับเกษตรกร ดังนั้น นักวิจัยได้พัฒนาอุปกรณ์ติดตามวัวโดยใช้เทคโนโลยี GPS ซึ่งสามารถแสดงพิกัดปัจจุบัน อีกทั้งยังเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาต่ำกว่าอุปกรณ์ที่มีจำหน่ายในตลาด กระบวนการวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนทั้งหมดสามขั้นตอน คือ การออกแบบระบบการทำงานของอุปกรณ์ต้นแบบผ่านการประชุมคิดค้นกับทีมวิจัยและการแก้ปัญหาตามความต้องการของลูกค้า ขั้นตอนที่สอง การสร้างอุปกรณ์ต้นแบบขึ้นอยู่กับข้อกำหนดที่ระบุในขั้นตอนแรก และ ขั้นตอนที่สาม การทดสอบความสามารถของอุปกรณ์ต้นแบบและการดำเนินการทดสอบทางสถิติ t-test จากผลการทดสอบพบว่าอุปกรณ์ต้นแบบมีความน่าเชื่อถือที่ระดับความมั่นใจ 95% และในการใช้งานจริงค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยพบว่าอยู่ที่ 10.3 เมตรซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยในช่วงทดสอบ

ABSTRACT

Free grazing is a method through which cattle procure their own food within their natural environment. This approach is rooted in traditional farming practices and is widely employed by farmers. Cattles, notably valuable in economic terms, pose a significant challenge for farmers in terms of tracking and locating them. To address this issue, researchers have developed a cow tracking device that utilizes GPS technology to provide real-time coordinates. Remarkably, this device is priced more affordable compared to those available in the market. The research process involves three key stages. Initially, the prototype device's functionality is designed through collaborative meetings with research team, focusing on tailoring solutions to meet customer-specific requirements. Subsequently, the device is prototyped based on the specifications outlined in Steps 1. and Finally, the capabilities of the prototype device are thoroughly tested, incorporating statistical t-tests. The outcomes of these tests reveal that the prototype performs reliably achieving a confidence level of 95%. In practical usage scenarios, the average discrepancy was measured at 10.3 meters, influenced by various factors during testing.

คำสำคัญ: อุปกรณ์ติดตามวัว เทคโนโลยีจีพีเอส รั้วเสมือน

Keywords: Cow Tracking Device, GPS Technology, Virtual Fence

¹Corresponding author: umboon.ch@ksu.ac.th

*อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และระบบอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
Professor, Department of Computer Engineering and Automation, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University

**อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University

บทนำ

การเลี้ยงสัตว์ประเภทวัวในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยเฉพาะเกษตรกรรายย่อยที่เลี้ยงเพื่อเป็นรายได้เสริมมักนิยมทำการเลี้ยงแบบปล่อยทุ่งให้ฝูงวัวเดินทางหาอาหารกินเองตามธรรมชาติซึ่งอาจสูญหายหรือเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลาดังกล่าวและเมื่อถึงเวลาพลบค่ำ ฝูงวัวจะไม่สามารถกลับมายังที่พักได้ด้วยตัวเองทำให้ผู้เลี้ยงหรือผู้เป็นเจ้าของจะต้องออกตามหาเพื่อไล่ให้ฝูงวัวกลับมายังที่พักโดยอาจต้องใช้เวลาในการตามหาเป็นชั่วโมงเนื่องจากฝูงวัวมักจะเดินทางอาหารไปเรื่อยไม่สามารถระบุตำแหน่งที่แน่นอนได้ทำให้หากไม่สามารถหาตำแหน่งของฝูงได้ก่อนค่ำจะเป็นเรื่องยากในการพาฝูงวัวกลับมายังที่พักซึ่งเป็นการเพิ่มภาระงานและอาจทำให้วัวสูญหาย

การนำเทคโนโลยีมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์ในต่างประเทศ [1] เสนอการนำเทคโนโลยีร้วเสมือนโดยการนำอุปกรณ์ไปติดที่วัวโดยใช้สายรัดคออุปกรณ์จะส่งเสียงเตือนเมื่อวัวเข้าใกล้ขอบรั้วเสมือนที่ถูกกำหนดเอาไว้ตามพิกัด GPS และหากมีการข้ามเขตที่กำหนด จะมีการปล่อยกระแสไฟฟ้าด้วยคุณสมบัติดังกล่าวทำให้สามารถกำหนดพื้นที่เลี้ยงสัตว์ได้อย่างยืดหยุ่นมากขึ้นรวมถึงการจัดการให้สัตว์อยู่ในพื้นที่ที่มีแหล่งอาหารที่เพียงพอ [2] ใช้เทคโนโลยี GPS ในการติดตามพฤติกรรมกรกินหญ้าและการจัดการพื้นที่ในการเลี้ยงวัวในระบบทุ่งหญ้า (Rangeland Ecosystems) โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาพฤติกรรมเคลื่อนที่ของวัวในการกินหญ้ารวมถึงการวางแผนจัดการพื้นที่อาหารอย่างมีประสิทธิภาพการใช้เทคโนโลยี GPS ช่วยให้สามารถติดตามและบันทึกตำแหน่งของวัวในเวลาจริงได้ทำให้สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมและการเคลื่อนที่ได้อย่างละเอียด

การใช้เทคโนโลยีเพื่อระบุตำแหน่งและติดตามฝูงวัวในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นสิ่งที่มีความสำคัญเนื่องจากสามารถช่วยลดปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการตามหาวัวเมื่อเวลาพลบค่ำหรือเกิดเหตุฉุกเฉินได้การใช้เทคโนโลยีประกอบด้วยอุปกรณ์ระบุตำแหน่งด้วย GPS ร่วมกับระบบแผนที่ดาวเทียมและการสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถเป็นเครื่องมือที่ติดตามฝูงวัวได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยสามารถดำเนินการตามหาฝูงวัวที่สูญหายหรือออกจากพื้นที่ได้ด้วยความแม่นยำสูงและผู้เลี้ยงสามารถติดตามตำแหน่งของฝูงวัวได้อย่างสะดวกสบายผ่านแอปพลิเคชันที่บนมือถือนอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลตำแหน่งที่ได้รับมาใช้ในการแสดงผลบนแผนที่ดาวเทียมเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ง่ายและตรงตามต้องการ อย่างไรก็ตามเครื่องมือที่ใช้หาตำแหน่งพิกัดที่มีขายตามท้องตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศนั้นจะมีราคาค่อนข้างสูง และยังมีข้อจำกัดในการกำหนดขอบเขตและการแจ้งเตือนในกรณีที่ตั้งตำแหน่งพิกัดของวัตถุอยู่นอกขอบเขตที่ได้มีการกำหนดไว้ ซึ่งทำให้เครื่องมือดังกล่าวนี้ไม่เหมาะกับลักษณะของงานที่ต้องการเพียงแค่ตำแหน่งพิกัดที่ต้องการ แนวทางการพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถลดข้อจำกัดและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน โดยมีราคาที่ถูกลงตามท้องตลาด และตอบโจทย์การใช้งานของลูกค้า [3-6] จึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่สำคัญต่อการสร้างอุปกรณ์และระบบติดตาม (Real – Time Tracking) ในประเทศไทยและการพัฒนาต่อยอดในเชิงพาณิชย์

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้อุปกรณ์และระบบติดตาม มีนักวิจัยหลายท่านดังนี้ [7] เสนอการใช้เทคโนโลยี GPS ในการติดตามสัตว์ในฟาร์มโดยใช้โมดูล ESP8266-12E ร่วมกับโมดูล GPS และเทคโนโลยี IOT เพื่อส่งข้อมูลตำแหน่งปัจจุบันไปเก็บในฐานข้อมูลและแสดงผลผ่านระบบของเว็บแอปพลิเคชัน cayenne เพื่อให้ผู้ใช้สามารถดูตำแหน่งปัจจุบันของสัตว์ที่สวมปลอกคอติดตามโดยสามารถช่วยป้องกันการโจรกรรมสัตว์และรับรองความปลอดภัยของสัตว์ได้เป็นอย่างดี [8] เสนอระบบการติดตามแมวตกปลาผ่านเครือข่ายมือถือที่ประกอบด้วย 3 ส่วนประกอบ โดยระบบประกอบด้วยอุปกรณ์ติดตามที่สวมติดกับแมวตกปลา เซิร์ฟเวอร์และฐานข้อมูล และโปรแกรมประยุกต์บนเว็บสำหรับการแสดงภาพแผนที่ดาวเทียมที่อุปกรณ์ติดตามส่งพิกัดตำแหน่งจากดาวเทียม GPS ซึ่งเป็นการส่งข้อมูลตำแหน่งในลักษณะเรียลไทม์ที่ไม่ต่อเนื่อง เพื่อประหยัดพลังงานการทดลองกับอุปกรณ์ต้นแบบแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์สามารถระบุตำแหน่งทางภูมิศาสตร์และรายงานตำแหน่งไปยังเซิร์ฟเวอร์ได้อย่างถูกต้องและมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของพิกัดที่อยู่

ในระดับ 5.38 เมตร ในงานวิจัยนี้ใช้โมดูลสำเร็จรูปจาก OriginIoT ที่มีราคา 6,140 บาท เป็นเครื่องมือหลักในการทำงานของระบบนี้ [9] เสนอการพัฒนาาระบบแจ้งเตือนสำหรับการป้องกันการโจรกรรมยานพาหนะและระบบติดตามยานพาหนะระบบถูกออกแบบมาเพื่อแจ้งเตือนและติดตามยานพาหนะผ่านแอปพลิเคชันในระบบปฏิบัติการ Android อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วยฮาร์ดแวร์ เช่น โมดูล GPS, โมดูล GSM, บอร์ด Arduino, อินดิกทีฟพว็อกซิมิตี, รีเลย์ โดยหลักการของระบบเตือนภัย คือ ระบบจะส่งละติจูดและลองจิจูดไปยังฐานข้อมูลทุก ๆ 5 นาทีและเมื่อประตูรถเปิดอยู่ระบบจะส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังโทรศัพท์มือถือเจ้าของรถสามารถโทรไปยังโมดูล GSM เพื่อตัดการเชื่อมต่อมอเตอร์สตาร์ทผลการทดสอบระบบมีความแม่นยำ 100% ในการตัดมอเตอร์สตาร์ท [10] เสนอการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ติดตามสำหรับผู้ป่วยอัลไซเมอร์ด้วยการใช้บอร์ด Arduino มาเป็นอุปกรณ์ควบคุมร่วมกับโมดูล GPS และ โมดูล GSM โดยอุปกรณ์จะบันทึกละติจูดและลองจิจูดของตำแหน่งปัจจุบันของผู้ป่วยและส่งการแจ้งเตือนทาง SMS เมื่ออุปกรณ์ถูกย้ายออกจากพื้นที่ที่กำหนดด้วยการระบุพิกัดของอุปกรณ์แต่ละตัวเอาไว้ในบอร์ดควบคุมและใช้การคำนวณระยะทางด้วยสมการพิทาโกรัส หรือแจ้งเตือนเมื่อแบตเตอรี่ต่ำกว่าที่กำหนด นอกจากนี้ยังสามารถดูข้อมูลพิกัดย้อนหลังจากข้อมูลมีการบันทึกเอาไว้เพื่อใช้ในการค้นหาผู้ป่วยในกรณีที่แบตเตอรี่ของอุปกรณ์หมด [11] เสนอพัฒนาการของระบบเฝ้าระวังผู้ป่วยสูงอายุเพื่อป้องกันไม่ให้หลงทางและระบบจะใช้เทคโนโลยีทางภูมิศาสตร์เพื่อกำหนดขอบเขตรั้วเสมือนและจีพีเอสเพื่อค้นหาคนไข้แบบเรียลไทม์และส่งการแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลเมื่อออกจากรั้วเสมือนระบบทำงานบนโปรแกรมประยุกต์ในระบบปฏิบัติการ Android และเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล Firebase ผลการทดสอบพบว่าระบบมีผลการประเมินความพึงพอใจเฉลี่ยอยู่ในระดับ 4.53 จากกลุ่มตัวอย่าง 20 คน ทั้งนี้ยังไม่มีนักวิจัยที่ได้มีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์และระบบติดตามกับงานปศุสัตว์ในท้องที่ทางเกษตร

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มีการออกแบบระบบให้สามารถแสดงผลแบบเรียลไทม์และยังสามารถกำหนดขอบเขตการเคลื่อนที่ของวัตถุแบบโพลิกัน (Polygon) ในเว็บไซต์ ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิน (Arduino) ที่นำมาใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานร่วมกับอุปกรณ์ระบุตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System: GPS) และสามารถเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล (Database) นอกจากนี้ยังมีการแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชัน (Line Application) ในกรณีที่วัตถุออกนอกขอบเขตที่กำหนดไว้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบกับฝูงวัวที่ทำการเลี้ยงแบบปล่อยทุ่งอิสระ

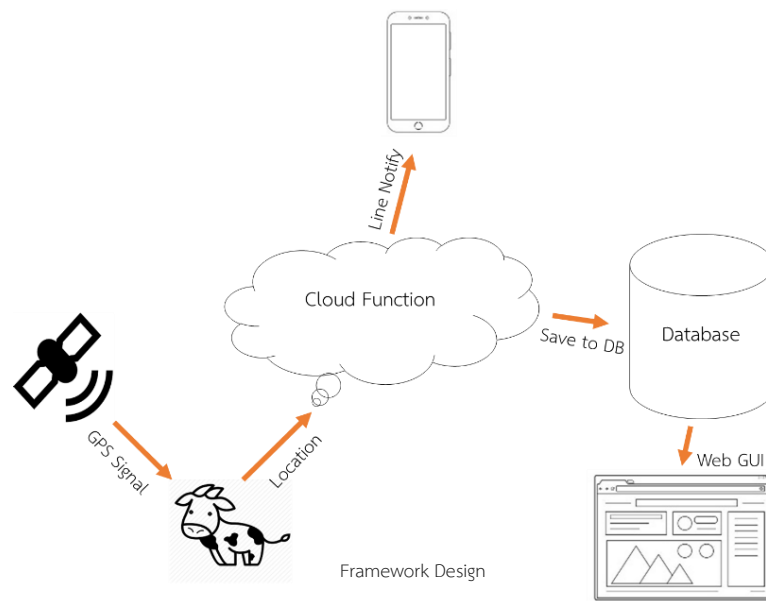
วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อออกแบบอุปกรณ์และระบบติดตามที่แสดงผลแบบเรียลไทม์ที่สามารถกำหนดขอบเขตการเคลื่อนที่ของวัตถุและการแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชัน กรณีศึกษาการทดสอบกับวัวที่ทำการเลี้ยงแบบปล่อยทุ่งอิสระ

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยจะแบ่งลักษณะงานออกเป็นขั้นตอนดังนี้ 3 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบระบบการทำงานของอุปกรณ์ต้นแบบ โดยการระดมสมอง (Brain Storming) จากทีมงานวิจัย และจากความต้องการของผู้ใช้งาน (Customer needs) [12] ที่นำมาวิเคราะห์และสร้างเป็นอุปกรณ์ต้นแบบ ดังภาพที่ 1



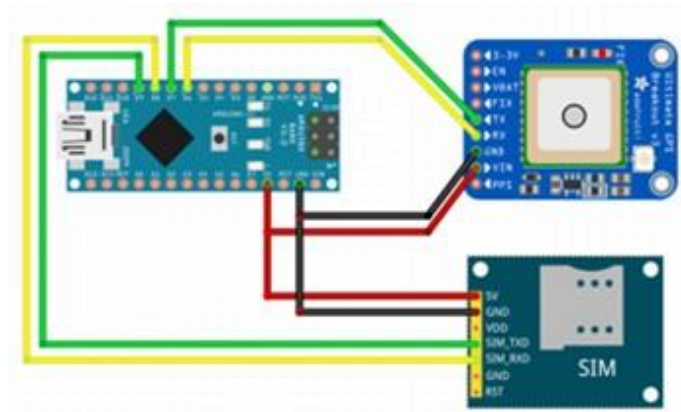
ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการออกแบบระบบ

ขั้นตอนที่ 2 นำความต้องการจากขั้นตอนที่ 1 มาสร้างอุปกรณ์ต้นแบบ โดยอุปกรณ์มีส่วนประกอบหลักดังนี้

- 1) อุปกรณ์ติดตามที่ควบคุมการทำงานด้วย Arduino nano [13] ใช้โมดูลรับข้อมูลสัญญาณ GPS รุ่น Adafruit Ultimate GPS [14] ทำหน้าที่ในการรับสัญญาณ GPS จากดาวเทียมอย่างน้อย 3 ดวงเพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งจากจึงส่งข้อมูลตำแหน่งปัจจุบันที่ผ่านเครือข่าย GSM ด้วยอุปกรณ์ซิมการ์ดรอยเอ (sim 900A) [15]
- 2) ส่วนรับข้อมูลและฐานข้อมูลทำหน้าที่ในการรับข้อมูลผ่าน Firebase Cloud Function [16] จากอุปกรณ์ติดตามเพื่อตรวจสอบตำแหน่งกับขอบเขตเสมือนและแจ้งเตือนผ่านระบบ Line Notify [17] ซึ่งเป็นบริการสำหรับการส่งข้อความไปยังกลุ่มหรือผู้ใช้ที่ถูกกำหนดไว้เมื่ออุปกรณ์ออกนอกพื้นที่ที่กำหนดไปยังโทรศัพท์ของผู้ใช้และบันทึกข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูล Firebase Realtime Database [18] ที่จัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของ JSON Object อาศัยการอ้างอิงถึงข้อมูลด้วย key และ value
- 3) ส่วนติดต่อผู้ใช้มีหน้าที่แสดงข้อมูลตำแหน่งของอุปกรณ์ติดตามแต่ละตัว รวมทั้งใช้ในการกำหนดขอบเขตเสมือนสำหรับการเลี้ยง โดยภาพที่ 2 และภาพที่ 3 แสดงอุปกรณ์ต้นแบบและวงจรเชื่อมต่อของอุปกรณ์



ภาพที่ 2 อุปกรณ์ต้นแบบ

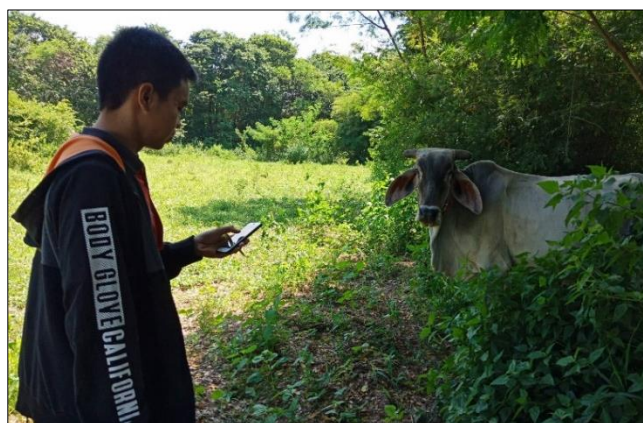


ภาพที่ 3 ตัวอย่างวงจรการเชื่อมต่ออุปกรณ์

ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ต้นแบบ จะแบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วนคือ 1) ทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบกับเครื่องวัดพิกัดจีพีเอสมาตรฐานรุ่น Garmin GPS 72h และ โทรศัพท์มือถือกับเครื่องวัดพิกัดจีพีเอสมาตรฐานรุ่น Garmin GPS 72h จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบโดยใช้สถิติด้วย t-test ของตำแหน่งพิกัดที่วัดจากอุปกรณ์เมื่ออุปกรณ์อยู่กับที่ โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ Microsoft Excel Add-in Data Analysis ในการประมวลผล 2) การทดสอบตำแหน่งของอุปกรณ์ติดตามรวมถึงการเชื่อมต่อกับระบบนำทางและการแสดงข้อความแจ้งเตือน กรณีเมื่ออุปกรณ์ออกนอกขอบเขตรั้วเสมือน ดังภาพที่ 4 และภาพที่ 5



ภาพที่ 4 การทดสอบความแม่นยำเมื่ออุปกรณ์ไม่มีการเคลื่อนที่



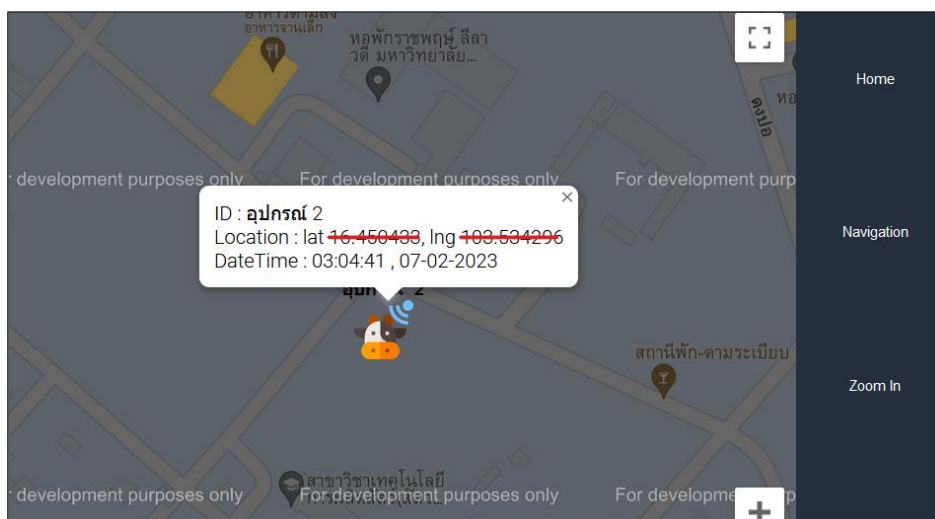
ภาพที่ 5 ทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบในสภาพแวดล้อมจริง

ผลการวิจัย

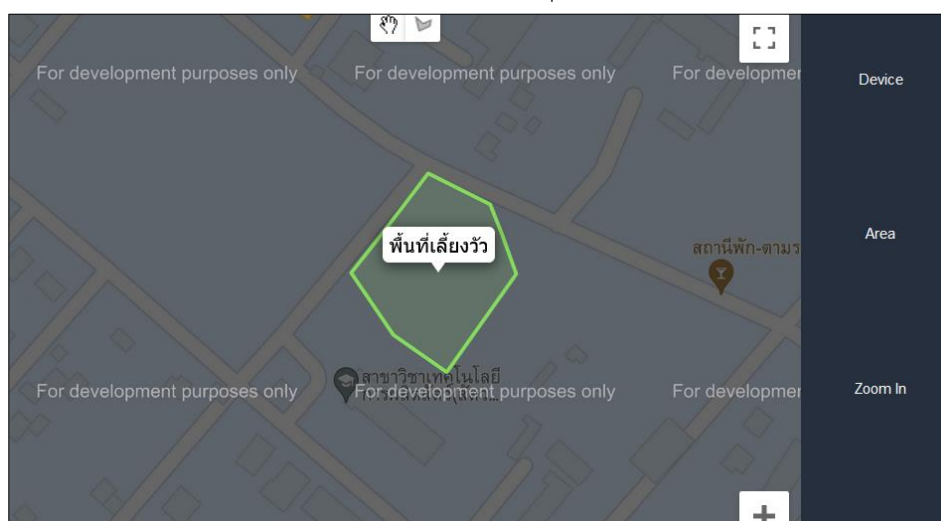
การทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดสอบเป็น 3 ส่วนดังนี้ 1) การออกแบบระบบสารสนเทศเพื่อใช้เป็นส่วนติดต่อผู้ใช้ 2) การเชื่อมต่อกับระบบนำทาง และ 3) การแจ้งเตือนเมื่ออุปกรณ์ออกนอกขอบเขตรั้วเสมือน

การออกแบบระบบสารสนเทศเพื่อใช้เป็นส่วนติดต่อผู้ใช้

การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้พัฒนาบนระบบของ Firebase Web Hosting ที่โดยมีแนวทางการออกแบบให้สามารถรองรับการทำงานผ่านโทรศัพท์มือถือและเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล การทำงานของส่วนติดต่อผู้ใช้จะเริ่มเมื่อผู้ใช้เข้าสู่เว็บไซต์ระบบของ Firebase ที่เป็นเว็บไซต์แบบ Static เขียนด้วยภาษา HTML และ JavaScript ซึ่งจะทำหน้าที่ในการนำข้อมูลพิกัดมาแสดงผลบนแผนที่ google map โดยเมื่อมีข้อมูลใหม่ถูกอัปเดตเข้าสู่ฐานข้อมูลเว็บไซต์จะทำการโหลดข้อมูลใหม่ในรูปแบบ Asynchronous จากนั้นจะทำการแสดงผลโดยอัตโนมัติ นอกจากนี้เว็บไซต์ยังทำหน้าที่เป็นส่วนจัดการข้อมูลต่างๆ เช่น การกำหนดขอบเขตรั้วเสมือนด้วยการวาด polygon บนแผนที่เพื่อใช้ในการแจ้งเตือนเมื่ออุปกรณ์มีการเคลื่อนที่ออกนอกบริเวณ ดังภาพที่ 6 และภาพที่ 7



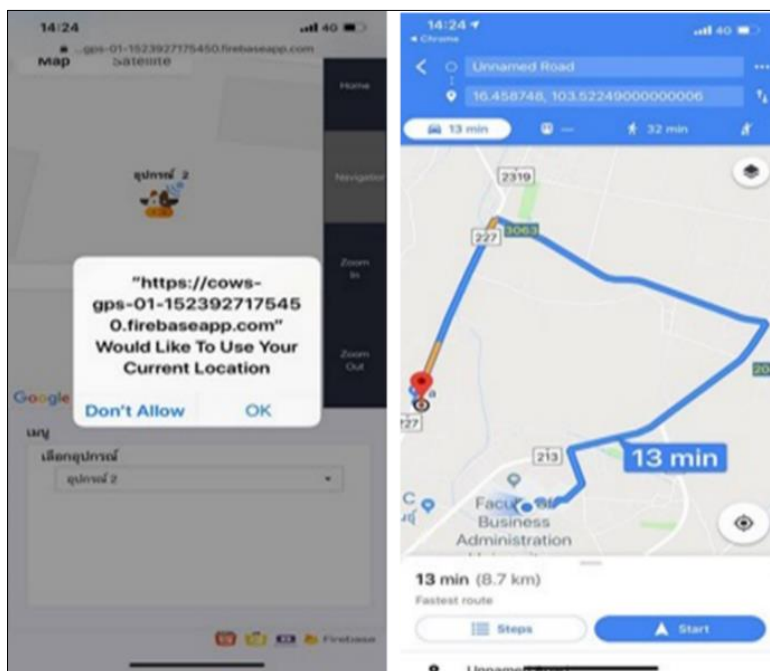
ภาพที่ 6 แสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ติดตาม



ภาพที่ 7 แสดงตำแหน่งพื้นที่เลี้ยงโดยใช้การกำหนดรั้วเสมือน

การเชื่อมต่อกับระบบนำทาง

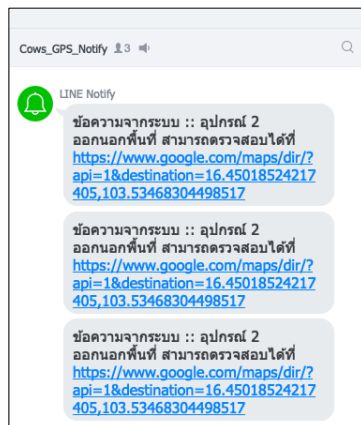
การทดสอบระบบนำทางจากหน้าเว็บสามารถนำข้อมูลพิกัดปัจจุบันของอุปกรณ์มาใช้งานร่วมกับโปรแกรมนำทางที่ได้รับความนิยมอย่าง Google Map บนอุปกรณ์มือถือได้ 2 ระบบประกอบด้วย 1) IOS 2) Android ซึ่งทั้ง 2 ระบบปฏิบัติการนี้เป็นระบบปฏิบัติการที่ได้รับความนิยมแพร่หลายที่สุดในปัจจุบัน รวมทั้งใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและโทรศัพท์มือถือได้ ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงการใช้ระบบนำทางเมื่อใช้งานผ่านโทรศัพท์มือถือ

การแจ้งเตือนเมื่ออุปกรณ์ออกนอกขอบเขตรั้วเสมือน

การแจ้งเตือนเมื่ออุปกรณ์ออกนอกขอบเขตรั้วเสมือนจะทำผ่านระบบ Line Notify นั้นจะทำงานเมื่ออุปกรณ์ทำการส่งพิกัดปัจจุบันเข้าสู่ฐานข้อมูลผ่านทางเว็บ API โดยระบบจะทำการตรวจสอบตำแหน่งปัจจุบันของอุปกรณ์เปรียบเทียบกับตำแหน่งขอบเขตรั้วเสมือนที่กำหนดให้เป็นพื้นที่เลี้ยงหากอุปกรณ์มีการเคลื่อนที่ออกนอกพื้นที่ระบบจะทำการส่งข้อความผ่านทางกลุ่มในแอปพลิเคชัน Line ที่กำหนดเอาไว้พร้อมตำแหน่งปัจจุบันของอุปกรณ์ ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงข้อความแจ้งเตือน

การทดสอบผลความแม่นยำของอุปกรณ์แบ่งออกเป็น 1) ทดสอบความแม่นยำเมื่ออุปกรณ์ไม่เคลื่อนที่โดยใช้ อุปกรณ์แสดงพิกัด GPS รุ่น Garmin GPS 72h เป็นมาตรฐานเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ต้นแบบ และโทรศัพท์มือถือ 2) ทดสอบความแม่นยำเมื่อนำอุปกรณ์ไปใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงโดยเปรียบเทียบความแม่นยำจาก GPS โทรศัพท์มือถือ ทำการทดสอบภายในพื้นที่ขนาด 12,000 ตารางเมตร ภายในฟาร์มคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ดังตารางที่ 1 การทดสอบใช้การวัดระยะทางด้วยสมการ Haversine [19] เพื่อวัดระยะทางระหว่าง พิกัด latitude และ longitude ดังสมการต่อไปนี้

$$\Delta lat = lat_2 - lat_1 \quad (1)$$

$$\Delta long = long_2 - long_1 \quad (2)$$

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(lat_1) * \cos(lat_2) * \sin^2\left(\frac{\Delta long}{2}\right) \quad (3)$$

$$c = 2 * \text{atan} 2 (\sqrt{a}, \sqrt{(1-a)}) \quad (4)$$

$$d = R * c \quad (5)$$

โดย R คือ รัศมีของโลกมีค่าเท่ากับ 6,371,000 เมตร

a คือ ค่าเส้นทางระหว่างดาวเทียม

c คือ ค่าเส้นทางตรงข้ามมุมของดาวเทียม

d คือ ระยะห่างระหว่างพิกัด

lat_1 คือ พิกัด latitude ที่ 1 ในหน่วย radians

lat_2 คือ พิกัด latitude ที่ 2 ในหน่วย radians

$long_1$ คือ พิกัด longitude ที่ 1 ในหน่วย radians

$long_2$ คือ พิกัด longitude ที่ 2 ในหน่วย radians

จากสมการที่ (1),(2) สมมติให้ lat_1 มีค่าเท่ากับ 16.448360, lat_2 มีค่าเท่ากับ 16.448341 จะทำให้ Δlat มีค่าเท่ากับ -3.316125e-07 และสมมติให้ $long_1$ มีค่าเท่ากับ 103.531450, $long_2$ มีค่าเท่ากับ 103.531460 จะทำให้ $\Delta long$ มีค่าเท่ากับ 1.745329e-07 จากนั้นคำนวณค่าเส้นทางระหว่างดาวเทียม a ดังสมการที่ (3) จะได้เท่ากับ 3.449659e-14 และคำนวณหาค่าเส้นทางตรงข้ามมุมของดาวเทียม c ดังสมการที่ (4) จะได้เท่ากับ 3.714651e-07 และคำนวณหาระยะห่างระหว่างพิกัด d ดังสมการที่ (5) จะได้ค่าระยะห่างเท่ากับ 2.365425 เมตร

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนเมื่ออุปกรณ์อยู่กับที่

ลำดับ	Garmin GPS 72h		อุปกรณ์ต้นแบบ		โทรศัพท์มือถือ		ความคลาดเคลื่อนระหว่างอุปกรณ์ (m)	
	latitude1	longitude1	latitude2	longitude2	latitude3	longitude3	อุปกรณ์ต้นแบบ	โทรศัพท์มือถือ
1	16.448360	103.531450	16.448341	103.531460	16.448292	103.531430	2.365425	7.626510
2	16.448340	103.531460	16.448301	103.531450	16.448307	103.531400	4.463550	6.616390
3	16.448340	103.531460	16.448362	103.531410	16.448357	103.531400	5.863820	5.970710
4	16.448340	103.531460	16.448328	103.531430	16.448418	103.531500	3.464800	10.068790
5	16.448340	103.531460	16.448292	103.531390	16.448338	103.531360	9.172480	9.884365
6	16.448340	103.531460	16.448271	103.531460	16.448402	103.531430	7.668560	7.636820
7	16.448340	103.531460	16.448265	103.531460	16.448433	103.531400	8.335390	12.126680
8	16.448350	103.531460	16.448339	103.531390	16.448373	103.531370	7.561120	9.471240
9	16.448360	103.531460	16.448328	103.531430	16.448452	103.531520	4.782720	12.545350
10	16.448360	103.531460	16.448294	103.531390	16.448362	103.531470	10.463280	2.071750

จากตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน ด้วยสมการ Haversine ทดสอบเมื่ออุปกรณ์ไม่เคลื่อนที่พบว่าเมื่อเปรียบเทียบอุปกรณ์ต้นแบบกับ Garmin GPS 72h ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างอุปกรณ์ มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 10.463280 มีค่าน้อยสุดเท่ากับ 2.365425 มีค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างอุปกรณ์ เฉลี่ยเท่ากับ 6.414115 และเมื่อทำการเปรียบเทียบโทรศัพท์มือถือกับ Garmin GPS 72h ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างอุปกรณ์ มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 12.545350 มีค่าน้อยสุดเท่ากับ 2.071750 มีค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างอุปกรณ์ เฉลี่ยเท่ากับ 8.401861

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี t-Test

	อุปกรณ์ต้นแบบ	โทรศัพท์มือถือ
Mean	6.414115	8.401861
Variance	6.938253	9.724214
Observations	10	10
df	9	
Hypothesized Mean Difference	0	
P-value	0.199695	

* มีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ < 0.05

จากตารางที่ 2 พบว่าผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย t-test ด้วยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนระหว่างอุปกรณ์ต้นแบบ และโทรศัพท์มือถือ โดยพิจารณาว่า $P\text{-value} > 0.05$ จึงสรุปได้ว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งการวิเคราะห์ผลทางสถิติทำให้เชื่อมั่นได้ว่าอุปกรณ์ต้นแบบนั้นมีความเชื่อถือได้เทียบเท่ากับโทรศัพท์มือถือที่นำมาเปรียบเทียบ

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบเมื่ออุปกรณ์ถูกนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมจริง

เวลา	อุปกรณ์ต้นแบบ		โทรศัพท์มือถือ		ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างอุปกรณ์ (m)
	latitude 1	longitude 1	latitude 2	longitude 2	
8.00	16.44951	103.53460	16.44952	103.53450	10.71720
8.30	16.44909	103.53570	16.44913	103.53560	11.59254
9.00	16.44903	103.53600	16.44901	103.53605	5.77466
9.30	16.45029	103.53623	16.45029	103.53622	1.07293
10.00	16.45273	103.53434	16.45272	103.53445	11.84309
10.30	16.45235	103.53439	16.45236	103.53449	10.71705
11.00	16.44958	103.53503	16.44956	103.53519	17.19930
11.30	16.44966	103.53509	16.44956	103.53519	15.31936
12.00	16.44960	103.53491	16.44960	103.53500	9.59927
12.30	16.44959	103.53520	16.44964	103.53511	11.37536
13.00	16.44982	103.53520	16.44980	103.53522	2.70630
13.30	16.44972	103.53539	16.44972	103.53529	10.65941
14.00	16.45223	103.53504	16.45223	103.53514	10.65927
14.30	16.44992	103.53498	16.44989	103.53493	6.08609
15.00	16.44986	103.53471	16.44983	103.53492	22.63169
15.30	16.44971	103.53500	16.44969	103.53502	3.34919
16.00	16.45018	103.53526	16.45019	103.53512	14.96202

จากตารางที่ 3 การทดสอบเมื่ออุปกรณ์ถูกนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงโดยการปล่อยว้าวให้เดินหาอาหารในบริเวณฟาร์มแล้วนำอุปกรณ์ไปวางเพื่อบันทึกตำแหน่งปัจจุบันพบว่ามีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ 10.3 เมตร ซึ่งเป็นระยะที่สามารถมองเห็นสัตว์ที่ต้องการตามหาได้ในระยะสายตาโดยพิกัดที่บันทึกได้อาจมีความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยภายนอก เช่น เมื่ออุปกรณ์รับสัญญาณอยู่ใกล้ต้นไม้ใหญ่ หรือ ใกล้กับอาคารทำให้อาจส่งผลต่อการรับสัญญาณ GPS

สรุปผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ต้นแบบที่แสดงผลแบบเรียลไทม์ที่สามารถกำหนดขอบเขตการเคลื่อนที่ของวัตถุและการแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชันซึ่งทำการทดสอบในสภาพแวดล้อมจริงในพื้นที่ขนาด 12,000 ตารางเมตร ภายในพื้นที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์โดยอุปกรณ์ต้นแบบมีต้นทุนอยู่ที่ 2,700 บาท ซึ่งมีราคาถูกกว่าอุปกรณ์นำทางมาตรฐานรวมทั้งมีประสิทธิภาพความแม่นยำในการระบุตำแหน่งทำให้สามารถช่วยให้เกษตรกรติดตามวัวได้อย่างมีประสิทธิภาพรวมทั้งสามารถแจ้งเตือนเมื่อมีการออกนอกบริเวณที่กำหนด

อภิปรายผล

การทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบที่ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างเป็นอุปกรณ์ติดตามที่แสดงผลแบบเรียลไทม์ที่สามารถกำหนดขอบเขตรั้วเสมือนให้กับอุปกรณ์และแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชัน โดยเปรียบเทียบความแม่นยำกับอุปกรณ์ที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดซึ่งมีราคาที่สูงกว่า พบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติ t-Test ของอุปกรณ์ต้นแบบที่ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างนั้นมีความเชื่อถือได้เทียบเท่ากับโทรศัพท์มือถือที่ความเชื่อมั่น 95% ซึ่งผลดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับการรับส่งสัญญาณของอุปกรณ์ผ่านดาวเทียมและพื้นที่ในการทดสอบ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง

และการทดสอบการใช้งานจริงก็สามารถระบุตำแหน่งของวัวได้ถูกต้อง รวมทั้งสามารถแจ้งเตือนเมื่ออุปกรณ์ออกนอกพื้นที่ที่กำหนดและสามารถนำทางด้วยการนำข้อมูลพิกัดไปใช้งานร่วมกับโปรแกรมนำทางได้โดยง่าย จากการทดลองหาอัตราการใช้พลังงาน พบว่าเมื่อมีการปรับแต่งการทำงานให้อุปกรณ์เข้าสู่โหมด Sleep และลดความเร็วสัญญาณนาฬิกาจะช่วยลดการใช้พลังงานได้จากเดิมที่ 101.8 mA ให้ลดลงเหลือ 34.2 mA เมื่อคิดเป็นระยะเวลาการใช้งานจากแบตเตอรี่ 1500 mA นั้นจะสามารถใช้งานได้เป็นระยะเวลาเพิ่มขึ้นถึง 29.1 ชม การใช้พลังงานของอุปกรณ์ต้นแบบสามารถใช้งานได้ประมาณ 43.8 ชม.ถึงจะมีการชาร์จหรือเปลี่ยนแบตเตอรี่สำรอง นอกจากนี้ผู้วิจัยพบว่าอุปกรณ์ต้นแบบต้องใช้เวลาประมาณ 1-2 นาทีในการเริ่มต้นการรับสัญญาณดาวเทียมให้ได้อย่างน้อย 3 ดวงเพื่ออ้างอิงพิกัดที่ถูกต้อง และอาจใช้เวลาที่ยาวขึ้นหากอยู่ภายในอาคารซึ่งหากต้องการให้สามารถรับสัญญาณได้เร็ว และแม่นยำยิ่งขึ้นจำเป็นต้องเพิ่มเสารับสัญญาณภายนอกเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ที่ส่งเสริมให้บุคลากรมีผลงานทางวิชาการ อนุเคราะห์สถานที่และเวลาในการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

1. Verdon M, Langworthy A, Rawnsley R. Virtual fencing technology to intensively graze lactating dairy cattle. II: Effects on cow welfare and behavior. *Journal of Dairy Science*. 2021; 104(6): 7084–7094.
2. Johnson EF, Smith CD. GPS Tracking of Grazing Behavior and Home Range of Cattle in Rangeland Ecosystems. *Rangeland Science Journal*. 2019; 8(2): 123-140.
3. Ishak A, Ginting R, Suwandira B, Fauzi Malik A. Integration of Kano Model and Quality Function Deployment (QFD) to Improve Product Quality: A Literature Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 1003(1): 012-025.
4. Lai X, Xie M, Tan TC. Optimizing product design using the Kano model and QFD. In: *Proceedings of the IEEE International Engineering Management Conference*; 2004
5. Ginting R, Hidayati J, Siregar I. Integrating Kano's Model into Quality Function Deployment for Product Design: A Comprehensive Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 319(1): 012-043.
6. Stansfield KE, Azmat F. Developing high value IoT solutions using AI enhanced ISO 16355 for QFD integrating market drivers into the design of IoT offerings. In: *Proceedings of the International Conference on Communication, Computing and Digital Systems (C-CODE)*. Piscataway (NJ): IEEE; 2017.
7. Ramesh G, Sivaraman K, Subramani V, Yoga Vignesh P, Venkata Veera Bhogachari S. Farm Animal Location Tracking System Using Arduino and GPS Module. In: *International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)*; 2021 Jun 15; Coimbatore, India.
8. Phornsachon P, Rujira M. Fishing Cat Tracking System via Mobile Network. *ECTI Transaction on Application Research and Development*. 2021; 1(2): 44-54. Thai



9. Chiawchan Y. Low-Cost Vehicle Theft Alert System and Tracking System for Mobile Phone using GPS, GSM, Arduino and FCM. *Science and Technology Nakhon Sawan Rajabhat University Journal*. 2019;13(1): 15-30. Thai
10. Nunthika B, Siriluck A, Kanokwan J, Jenjira L, Panisa T. The Prototype Development of GPS Tracking System for Alzheimer using Arduino and Android Operating System. *Journal of Science Ladkrabang*. 2017; 26(1): 47-56. Thai
11. Thong J, Ifsun M. Getting Lost Monitoring System for the Elderly Patients. *RMUTI JOURNAL Science and Technology*. 2018; 11(3): 89-100. Thai
12. Shvetsova OA, Park SC, Lee JH. Application of Quality Function Deployment for Product Design Concept Selection. *Applied Sciences*. 2021; 11(6): 26-81.
13. Arduino. Arduino Nano. [Internet]. Available from: <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano>
14. Adafruit Industries. Adafruit Feather M0 WiFi with uFL - ATSAMD21 + ATWINC1500. [Internet]. Available from: <https://www.adafruit.com/product/746>
15. AB Electronics. SIM900A GSM/GPRS Module. [Internet]. Available from: <https://www.ab.in.th/product/774/sim900a-gsm-gprs-module>
16. Firebase. Firebase Cloud Functions Documentation. [Internet]. Available from: <https://firebase.google.com/docs/functions>
17. LINE Corporation. LINE Notify. [Internet] 2023 Jun 15. Available from: <https://notify-bot.line.me/th/>
18. Firebase. Firebase Realtime Database. [Internet]. Available from: <https://firebase.google.com/docs/database>
19. Kannawat C, Chatchai K. Object Tracking System using Wireless Sensor Network in Open Area (Zigbee). In: *Proceedings of the 11th Graduate Research Conference*; 2010 Feb 12; Khon Kaen, Thai.