

# ระบบตรวจวัดคุณภาพดินและสถานีตรวจอากาศอัจฉริยะสำหรับไร่ อ้อยโดยใช้เครือข่าย LoRaWAN

## Smart Soil Quality Measurement and Weather Station System for Sugarcane fields using LoRaWAN Network

ศราวุธ ชัยมูล\* และ ธนศ คณะดี

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
\* ผู้รับผิดชอบบทความ  
sarachai@kku.ac.th

Received: 16 Jun 2023  
Revised: 6 Aug 2023  
Accepted: 15 Aug 2023

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอระบบตรวจวัดคุณภาพดินและสถานีตรวจอากาศอัจฉริยะสำหรับไร่อ้อยโดยใช้เทคโนโลยีเครือข่าย LoRaWAN ระบบที่นำเสนอประกอบด้วยเครือข่ายเซนเซอร์และสถานีสภาพอากาศที่ติดตั้งในไร่อ้อยเพื่อวัดค่าพารามิเตอร์ของดินและสภาพอากาศแบบเรียลไทม์ ข้อมูลที่รวบรวมโดยเซนเซอร์จะถูกส่งไปยังเกตเวย์และส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์บนคลาวด์เพื่อจัดเก็บและวิเคราะห์ โดยขนาดไร่อ้อยที่ใช้ในการทดสอบมีขนาด 295 ไร่ ผ่านการทดสอบผ่านพารามิเตอร์ RSSI และ SNR เพื่อให้มั่นใจว่าระบบสามารถใช้งานได้ครอบคลุมและถูกต้อง ระบบนี้ให้ข้อมูลที่ถูกต้องและทันเวลาที่เกษตรกรเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ของดินและสภาพอากาศ ทำให้สามารถตัดสินใจได้อย่างเหมาะสมเกี่ยวกับการให้น้ำ การให้ปุ๋ย และการจัดการศัตรูพืช การใช้ระบบนี้สามารถปรับปรุงผลผลิตและประสิทธิภาพของการทำไร่อ้อยได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งนำไปสู่ผลผลิตพืชที่สูงขึ้นและคุณภาพของพืชที่ดีขึ้น

**คำสำคัญ:** เกษตรอัจฉริยะ สถานีตรวจอากาศ ไอโอที LoRaWAN

### Abstract

This paper proposes a smart soil quality measurement and weather station system for sugarcane fields using LoRaWAN network technology. The proposed system consists of a network of soil sensors and weather sensors placed in the fields to measure soil parameters and weather conditions in real-time. The data collected by the sensors are transmitted to gateways and then to a cloud-based server for storage and analysis. The size of the sugarcane plantation used in the test is 295 rai (0.472 km<sup>2</sup>). It has been verified through RSSI and SNR parameters to ensure that the system can be used comprehensively and accurately. The system provides farmers with accurate and timely information on the soil parameters and weather conditions, enabling them to make informed decisions on irrigation, fertilization, and pest management. The implementation of this system can significantly improve the productivity and efficiency of sugarcane farming operations, leading to higher crop yields and better crop quality.

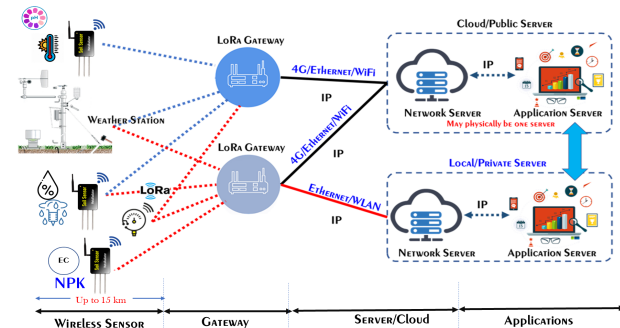
**Keywords:** Smart agricultural, IoT, LoRaWAN, Weather station, LoRaWAN

## 1. บทนำ

เกษตรกรรมเป็นกระดูกสันหลังของเศรษฐกิจสำหรับประเทศไทย และหลายประเทศทั่วโลก รวมทั้งเป็นภาคส่วนสำคัญที่จัดหาอาหารและวัตถุดิบเพื่อหล่อเลี้ยงประชากรโลกที่เพิ่มขึ้น อ้อยเป็นหนึ่งในพืชที่สำคัญที่สุดในโลกและมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมน้ำตาลและเชื้อเพลิงชีวภาพ ผลผลิตและคุณภาพของอ้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อม เช่น คุณภาพของดิน ปุ๋ย สภาพอากาศ และการจัดการศัตรูพืชเทคโนโลยี การเกษตรอัจฉริยะได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาเพื่อเพิ่มผลผลิตและประสิทธิภาพของการดำเนินงานด้านการเกษตร และเพื่อความยั่งยืนของการดำเนินงานด้านการเกษตร เทคโนโลยี การเกษตรอัจฉริยะมีประโยชน์หลายประการสำหรับเกษตรกร ข้อมูลตามเวลาจริงที่ได้รับจากการตรวจวัดคุณภาพดินและระบบสถานีตรวจอากาศอัจฉริยะสามารถช่วยเกษตรกรปรับแนวทางการให้น้ำและการใส่ปุ๋ยให้เหมาะสมที่สุด ซึ่งจะนำไปสู่ผลผลิตพืชผลที่สูงขึ้นและคุณภาพพืชผลที่ดีขึ้น ข้อมูลนี้ยังสามารถใช้สำหรับการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ ทำให้เกษตรกรสามารถคาดการณ์สภาพอากาศและใช้มาตรการที่เหมาะสมในการปกป้องพืชผลของพวกเขาจากศัตรูพืชและโรคต่าง ๆ

ปัจจุบันเครือข่ายไร้สายระยะไกลที่ใช้พลังงานต่ำ (LPWAN -Low Power Wide Area Network) ที่ได้รับความนิยมและเป็นที่ยอมรับเป็นอย่างมากคือ เครือข่าย LoRaWAN (Long Range WAN) โดยเมื่อเปรียบเทียบกับระยะทางการส่งสัญญาณและการใช้พลังงานของการสื่อสารไร้สาย 4 แบบคือ WiFi BLE (Bluetooth low energy) Zigbee และ LoRaWAN พบว่า LoRaWAN เป็นเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายที่ใช้พลังงานต่ำที่สุดและระยะทางไกลที่สุดเหมาะสำหรับโครงข่ายสื่อสารบริเวณกว้างซึ่งเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานด้าน IoT (Internet of Things) [1] นอกจาก LoRa จะใช้พลังงานที่ต่ำ ครอบคลุมพื้นที่กว้างยังมีความคุ้มค่าและราคาค่อนข้างต่ำ สามารถปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเครือข่ายให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ [2-3] เทคโนโลยี LoRaWAN ได้รับการพัฒนาและนำมาประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ตัวอย่างเช่น งานวิจัยทางด้านการตรวจวัดคุณภาพ

อากาศ [4] ระบบตรวจสอบคุณภาพอากาศอัจฉริยะบนเครือข่าย LoRaWAN โดยเฉพาะการนำมาใช้งานด้านเกษตรอัจฉริยะ [5-7]



รูปที่ 1 แผนภาพรวมของระบบตรวจวัดคุณภาพดินและสถานีตรวจอากาศอัจฉริยะสำหรับไร่อ้อยโดยใช้เครือข่าย LoRaWAN

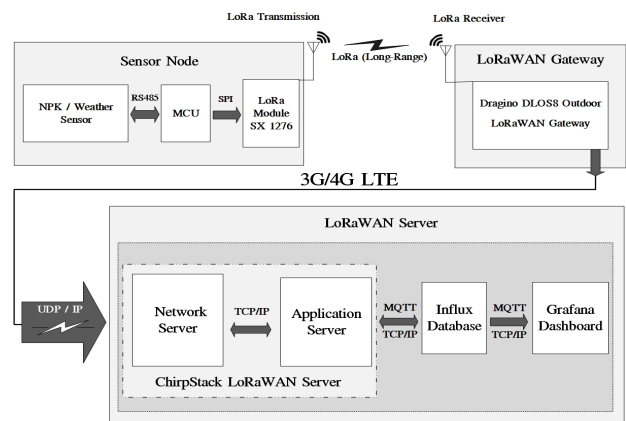
บทความนี้ นำเสนอการออกแบบและใช้งานระบบตรวจวัดคุณภาพดินและสถานีตรวจอากาศอัจฉริยะสำหรับไร่อ้อยบนเครือข่าย LoRaWAN โดยเซนเซอร์วัดคุณภาพของดินจะใช้แบบในอุตสาหกรรมเพราะมีความแม่นยำและเที่ยงตรง พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดคุณภาพของดินประกอบด้วย ความชื้นและอุณหภูมิใต้ดิน pH ระดับธาตุอาหาร NPK (N-ไนโตรเจน P-ฟอสฟอรัส และ K-โพแทสเซียม) และ EC (Electrical conductivity-ค่าการนำไฟฟ้าของดิน) นอกจากคุณภาพของดิน สภาพอากาศก็มีส่วนสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของอ้อย ดังนั้นระบบที่นำเสนอจึงมีส่วนของสถานีตรวจอากาศเพื่อใช้ประกอบในการวิเคราะห์ข้อมูล เนื่องจากพื้นที่ทดสอบซึ่งมีขนาดใหญ่ประมาณ 295 ไร่ และมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง รวมทั้งไม่มีระบบไฟฟ้า ดังนั้นการออกแบบระบบจึงถูกออกแบบมาอย่างพิถีพิถันให้สอดคล้องกับปริมาณงานและสถานที่ใช้งาน จากผลการทดสอบหลายเดือนพบว่าระบบสามารถใช้งานได้ครอบคลุมและมีเสถียรภาพ รายละเอียดการออกแบบและผลการทดสอบจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

## 2. อุปกรณ์ที่ใช้และวิธีการทดสอบระบบ

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบจากสถาปัตยกรรม LoRaWAN อุปกรณ์ โปรโตคอลและการเชื่อมต่อระหว่างส่วนต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ โหนดเซ็นเซอร์ เกตเวย์

และส่วนของเซิร์ฟเวอร์ โดยโนดเซ็นเซอร์ ประกอบไปด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ATmega328PU ที่ใช้ในการประมวลผลจากการอ่านค่าพารามิเตอร์จากเซ็นเซอร์รวมทั้งสถานีตรวจอากาศผ่านการสื่อสารแบบ RS-485 [8] และทำการจัดรูปแบบของแพ็คเกจตามมาตรฐาน LoRaWAN ที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ของ LoRa เช่น SF (Spreading factor) ความถี่หรือช่องสัญญาณ ขนาดข้อมูล (Payload) ซึ่งแพ็คเกจเหล่านี้จะถูกทำการมอดูเลชันผ่านโมดูล LoRa เบอร์ SX1276 [9] ที่สื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมแบบซิงโครนัส (Serial peripheral interface: SPI) กับไมโครคอนโทรลเลอร์ โมดูล LoRa จะรับส่งข้อมูลแบบไร้สายกับเกตเวย์ตามระยะทางและพารามิเตอร์ที่กำหนด ตัวเกตเวย์ในที่นี้ใช้รุ่น Dragino DLOS8 [10] ที่มีจำนวน 8 ช่องสัญญาณตามมาตรฐานของ AS923 ที่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 4G ไปยัง LoRaWAN Server (LS) โดยเกตเวย์จะทำการจัดเรียงและส่งต่อแพ็คเกจข้อมูลที่ได้รับจากโนดเซ็นเซอร์ไปยัง LS ซึ่งเป็นหัวใจหลักของเครือข่าย LoRaWAN ในงานวิจัยนี้ใช้ LS แบบ โอเพ่นซอร์สที่ชื่อว่า Chirpstack (www.chirpstack.io) [11] ที่ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักคือ ส่วนของเน็ตเวิร์กเซิร์ฟเวอร์ (Network server: NS) และ แอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ (Application server: AS) โดย NS จะทำหน้าที่ในการบริหารจัดการเกี่ยวกับโปรโตคอลและข้อมูลเกี่ยวกับ LoRaWAN และจะจัดการแพ็คเกจข้อมูลที่ได้รับมาจากเกตเวย์ซึ่งจะทำการกำจัดแพ็คเกจที่ซ้ำกันที่เข้ามาจากเกตเวย์หลายตัวและทำการส่งต่อข้อมูลไปยัง AS เพื่อทำการถอดรหัสข้อมูลรวมถึงส่งต่อข้อมูลที่ได้ทำการถอดรหัสแล้วไปจัดเก็บบันทึกยังฐานข้อมูลและแสดงผล โดยที่ NS มีวิธีการส่งต่อข้อมูลไปยัง AS ในหลายรูปแบบโดยเฉพาะโปรโตคอล MQTT [12] อย่างไรก็ตาม Chirpstack ได้ทำการอินทิเกรตส่วนของการแสดงผลโดยใช้ Grafana Dashboard [13] และส่วนของการเก็บข้อมูลใน Influx DB [14] ตัวอย่างการแสดงผลบน Grafana และเก็บข้อมูลบน Influx DB ซึ่งข้อมูลทั้งหมดที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลที่ได้มาจาก Influx DB ซึ่งโครงสร้างแพ็คเกจข้อมูลที่ถูกส่งจะอยู่ในรูปแบบของแพลตฟอร์ม CayenneLPP (Cayenne low power payload) [15] เป็นรูปแบบการเข้ารหัสและถอดรหัสข้อมูลทำให้ขนาดของข้อมูลที่ส่งมีขนาดเล็กลงโดยข้อกำหนดขนาดข้อมูลของ CayenneLPP ประกอบไปด้วย

ส่วนหัวที่มีขนาด 11 ไบต์ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือลำดับพารามิเตอร์แต่ละตัวในอุปกรณ์ ประเภทของข้อมูลและรหัสคีย์ที่ใช้ในการยืนยันตัวตนกับ LS ซึ่งในงานวิจัยนี้จะส่งข้อมูลพารามิเตอร์คุณภาพดินทั้งหมด 14 ไบต์ รวมเป็น 27 ไบต์ และสภาพอากาศทั้งหมด 24 ไบต์ รวมเป็น 37 ไบต์ ทั้งนี้เนื่องจากมีข้อกำหนดตามมาตรฐานของ กสทช. เรื่องกำลังงานที่ส่งรวมกับอัตราขยายสายอากาศ EIRP ต้องไม่เกิน 50 mW (กำลังส่ง 14 dBm + อัตราขยายสายอากาศ 3 dBi) ที่ได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาตให้ทำการทดสอบ [16] ซึ่งตัว SX1276 ทั่วไปจะส่งกำลังงานไม่เกิน 14 dBm และกำหนดช่วงความถี่ 923-925 MHz ซึ่งอยู่ในช่วงของมาตรฐาน AS923

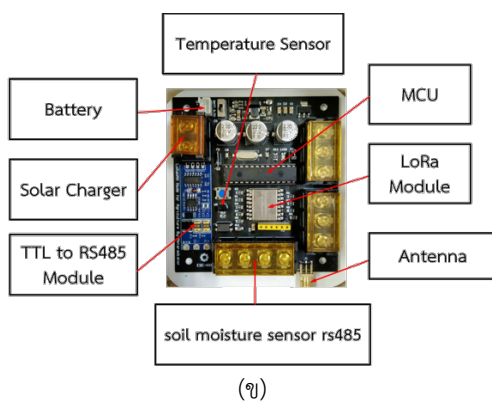
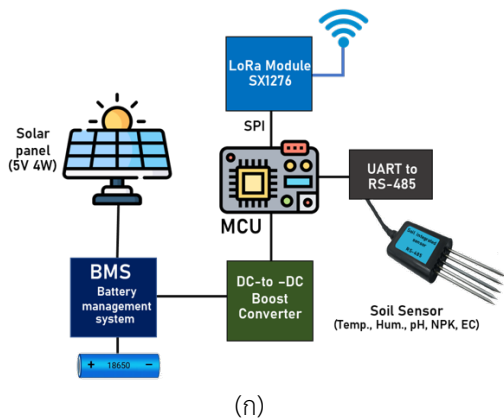


รูปที่ 2 โดยแอมแกรมสื่อสารของเครือข่าย LoRaWAN

## 2.1 เซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพดินและสถานีตรวจอากาศ

ระบบตรวจวัดคุณภาพดินและสถานีตรวจอากาศอัจฉริยะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ (1) เซนเซอร์วัดคุณภาพดินและสถานีตรวจอากาศ (2) เกตเวย์ และ (3) เซิร์ฟเวอร์เครือข่ายและเซิร์ฟเวอร์การประยุกต์ใช้งาน แสดงดังรูปที่ 2 โดยเซนเซอร์ต่างๆ จะทำหน้าที่เหมือนโนดเพื่อส่งข้อมูลผ่านเกตเวย์ไปยังเซิร์ฟเวอร์เครือข่าย LoRaWAN ที่สามารถกำหนดค่าต่าง ๆ ของเครือข่ายผ่านเว็บอินเตอร์เฟซสำหรับการจัดการเกตเวย์ โหนดและผู้ใช้ รวมถึงผนวกรวมข้อมูลกับผู้ใช้บริการคลาวด์ ฐานข้อมูลและบริการอื่น ๆ ที่นิยมใช้ สำหรับการจัดการข้อมูลอุปกรณ์ในเครือข่าย ChirpStack มี API ที่ใช้โปรโตคอล gRPC (Google protocol remote procedure call) สำหรับแสดงผลและ

เก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้ใช้แพลตฟอร์มของ Grafana (grafana.com) โดยทั้ง Chirpstack เซิร์ฟเวอร์และ Grafana ส่วนทางสำนักเทคโนโลยีดิจิทัล มหาวิทยาลัยขอนแก่นได้ให้บริการสำหรับบุคลากรและนักศึกษาโดยไม่มีค่าใช้จ่าย



รูปที่ 3 (ก) แผนภาพ และ (ข) ภาพถ่ายองค์ประกอบบอร์ดทดสอบการตรวจวัดคุณภาพดิน

รูปที่ 3 แสดงแผนภาพและองค์ประกอบบอร์ดทดสอบการตรวจวัดคุณภาพดิน โดยเซนเซอร์ทำหน้าที่ตรวจวัดข้อมูลทางกายภาพในที่นี้คือ อุณหภูมิ ความชื้น pH NPK EC และพารามิเตอร์ของการวัดสภาพอากาศต่าง ๆ และจะถูกแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลและจัดเรียงข้อมูลตามรูปแบบที่กำหนดเพื่อส่งต่อไปยังเกตเวย์ผ่านมาตรฐานการสื่อสารของ LoRa (LoRa เป็นวิธีการมอดูเลชันแบบ CSS (Chirp spread spectrum)) ขณะที่เกตเวย์จะทำการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์เครือข่าย LoRaWAN ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตบนโปรโตคอล IP ผ่าน

ตัวกลางได้ทั้งแบบใช้สายหรือแบบไร้สายผ่านเครือข่ายโทรศัพท์ 4G/5G หรือ Wi-Fi ถ้า LoRaWAN เซิร์ฟเวอร์รับข้อมูลจากเกตเวย์หลาย ๆ ตัว จะจัดการกับแพ็กเก็ตข้อมูลว่ามีซ้ำกันหรือไม่ ถ้าซ้ำก็จะตัดทิ้ง หรือเป็นแพ็กเก็ตที่ได้ลงทะเบียนกับเครือข่ายไว้หรือไม่ ถ้าไม่ใช่ก็จะทำการตัดทิ้งเช่นกันและถ้าแพ็กเก็ตถูกต้องจะถูกส่งข้อมูลไปจัดเก็บและแสดงผลหรือสามารถส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์การประยุกต์ใช้งาน อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ใช้เกตเวย์เพียง 1 ตัวเพราะครอบคลุมพื้นที่ใช้งานซึ่งทำให้เกิดการซ้ำกันของแพ็กเก็ตที่ส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์จากเกตเวย์ที่มากกว่า 1 ตัว แต่อาจจะมีแพ็กเก็ตเกิดจากโนดอื่น ๆ ที่ไม่ใช่โนดในงานวิจัยนี้ส่งมายังเกตเวย์และถูกส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์ เนื่องจากข้อมูลจากโนดที่ไม่ได้ลงทะเบียนเมื่อมาถึงเซิร์ฟเวอร์ ก็จะถูกตัดทิ้งไม่ส่งไปประมวลผลต่อในส่วนอื่น ๆ

## 2.2 ระบบตรวจวัดคุณภาพดิน

คุณภาพของดินเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อย คุณภาพของดินสามารถวัดได้จากพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ความชื้นในดิน อุณหภูมิ pH EC และระดับธาตุอาหาร NPK โดยระบบตรวจวัดคุณภาพดินประกอบด้วย 4 ส่วนหลักคือ เซนเซอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU-Microcontroller) ระบบสื่อสารผ่าน LoRa และระบบจัดการพลังงานแผนภาพของระบบตรวจวัดคุณภาพดินแสดง ดังรูปที่ 3 (ก) เนื่องจากเซนเซอร์ถูกติดตั้งที่ไร่อ้อยที่ไม่มีพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นระบบพลังงานจะได้จากแผงพลังงานแสงอาทิตย์และประจุไฟฟ้าให้แบตเตอรี่ขนาด 3.7 โวลต์ ชนิด 18650 ผ่าน BMS (Battery management system) และตัวเซนเซอร์ดินต้องใช้ระดับแรงดัน 5 โวลต์ขึ้นไป ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีตัวเพิ่มแรงดันให้แก่ระบบ เนื่องจากเซนเซอร์วัดคุณภาพดินมีการเชื่อมต่อแบบ RS-485 ดังนั้น MCU จะติดต่อเซนเซอร์ผ่านตัวแปลง UART เป็น RS-485 และจะทำการรับส่งข้อมูลผ่านโมดูล LoRa ที่ใช้เบอร์ SX1276 ผ่านโปรโตคอล SPI (Serial peripheral interface) ภาพถ่ายต้นแบบองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบตรวจวัดคุณภาพดินแสดงดังรูปที่ 3 (ข) เพื่อให้สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ โดยในการออกแบบจะคำนึงถึงทั้งเรื่องขนาดและการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลักเนื่องจากในระหว่างที่ทำการออกแบบผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการใช้ของโนดเซนเซอร์ไปพร้อมกันด้วยดังรูปที่ 4

โดยในเบื้องต้นพบว่าการจัดการพลังงานมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งไม่ว่าจะเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ในการชาร์จพลังงานรวมถึงความจุของแบตเตอรี่ที่ใช้งาน ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการวัดอัตราการใช้พลังงานของโนดเพื่อให้สามารถเลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่ให้สอดคล้องกัน โดยเบื้องต้นพบว่าโนดมีอัตราการใช้พลังงานที่ประมาณ 60 มิลลิแอมป์ต่อชั่วโมง และจากการใช้แบตเตอรี่ที่มีความจุ 4500 มิลลิแอมป์ แผงโซลาร์เซลล์ที่ชาร์จแบตเตอรี่ 800 มิลลิแอมป์ต่อชั่วโมง ซึ่งจากการคำนวณแล้วสามารถบอกได้ว่าพลังงานที่ใช้กรณีที่ฟ้าปิดและไม่สามารถใช้งานโซลาร์เซลล์ได้จะอยู่ได้ประมาณ 3 วัน หรืออาจอยู่ได้นานมากกว่านั้น ซึ่งทั้งหมดล้วนแล้วต้องมีความสอดคล้องกัน ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้ต้องออกแบบใหม่ทั้งหมด เนื่องจากถ้าซื้อบอร์ดและเซนเซอร์ที่วางขายทั่วไปมาประกอบอาจจะมีความใหญ่และกินพลังงานมากเพราะบอร์ดถูกออกแบบมาใช้ในการทดลองทั่วไปมากกว่าใช้งานเฉพาะ



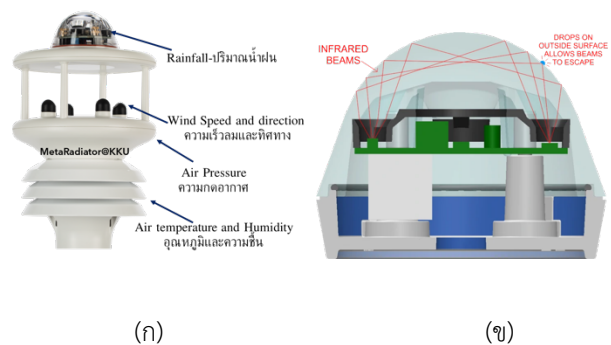
รูปที่ 4 โหนดเซนเซอร์ที่นำไปใช้ติดตั้งจริง

ตามปกติแล้ว ตัวอย่างดินจะถูกเก็บและส่งไปยังห้องปฏิบัติการเพื่อทำการวิเคราะห์ ซึ่งใช้เวลานานและมีค่าใช้จ่ายสูง ระบบตรวจวัดคุณภาพดินอัจฉริยะสามารถให้ข้อมูลเรียลไทม์เกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ของดิน ช่วยให้เกษตรกรสามารถตัดสินใจเกี่ยวกับการใส่ปุ๋ยและการให้น้ำได้อย่างชาญฉลาด ระบบตรวจวัดคุณภาพดินอัจฉริยะประกอบด้วยเครือข่ายเซนเซอร์ดินที่ติดตั้งในไร่อ้อยเพื่อวัดค่าพารามิเตอร์ของดิน ข้อมูลที่รวบรวมโดยเซนเซอร์จะถูกส่งไปยังเกตเวย์กลางโดยใช้เทคโนโลยีเครือข่าย LoRaWAN ซึ่งเป็นการสื่อสารไร้สายระยะไกล ใช้พลังงานต่ำที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน IoT ในภาค

การเกษตร เกตเวย์รวบรวมข้อมูลและส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์บนคลาวด์เพื่อจัดเก็บและวิเคราะห์

### 2.3 สถานีตรวจอากาศ

นอกจากคุณภาพของดิน สภาพอากาศก็มีส่วนสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของอ้อย อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำฝน และความเร็วลมเป็นตัวแปรสภาพอากาศที่สำคัญบางประการที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของอ้อย ระบบสถานีตรวจอากาศประกอบด้วยเครือข่ายเซนเซอร์ที่วัดพารามิเตอร์สภาพอากาศแบบเรียลไทม์ โดยระบบสถานีตรวจอากาศเชื่อมต่อกับเครือข่าย LoRaWAN เดียวกันกับระบบตรวจวัดคุณภาพดิน ข้อมูลที่รวบรวมโดยเซนเซอร์สภาพอากาศจะถูกส่งไปยังเกตเวย์กลางและจากนั้นไปยังเซิร์ฟเวอร์บนคลาวด์เพื่อจัดเก็บและวิเคราะห์ ระบบสถานีตรวจอากาศช่วยให้เกษตรกรได้รับข้อมูลที่ถูกต้องและทันท่วงทีเกี่ยวกับสภาพอากาศ ทำให้สามารถตัดสินใจอย่างชาญฉลาดเกี่ยวกับการชลประทานและการจัดการศัตรูพืช



รูปที่ 5 (ก) เซนเซอร์ที่ใช้ในสถานีตรวจอากาศและ (ข) เซนเซอร์วัด

ระบบของสถานีตรวจอากาศในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยเซนเซอร์วัดความชื้น อุณหภูมิ ความกดอากาศ ปริมาณน้ำฝนโดยใช้แสงอินฟราเรด และความเร็วและทิศทางลมโดยใช้คลื่น อัลตราโซนิค แสดงดังรูปที่ 5 (ก) โดยเซนเซอร์วัดความเร็วลมจะไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวเหมือนแบบถั่วหรือใบพัดดั้งเดิม ทำให้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้นและมีแนวโน้มที่จะสึกหรอน้อยลง หรือต้องการบำรุงรักษาน้อยกว่าและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน มี

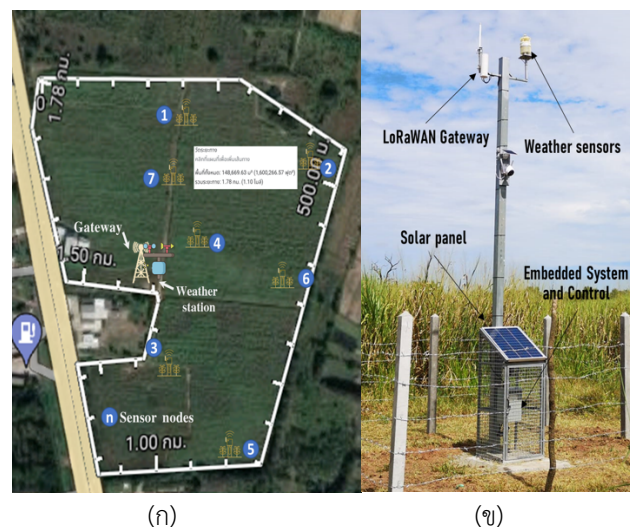


ความแม่นยำและความไวสูงกว่า และยังใช้พลังงานที่น้อยกว่า ตัวอย่างเซนเซอร์วัดปริมาณน้ำฝนที่ใช้แสงอินฟราเรดแสดงดังรูปที่ 5 (ข) ที่เป็นเซนเซอร์ประเภท Optical Rain Gauge นอกจากนี้เซนเซอร์ที่วัดปริมาณน้ำฝนที่ใช้เทคโนโลยีการตรวจจับด้วยแสงอินฟราเรดซึ่งต่างจากแบบเดิมที่ใช้ถังขนาดเล็กที่จับวัดปริมาณน้ำฝนที่มีช่องทางซึ่งใบไม้หรือฝุ่นเข้าไปอุดตัน รวมทั้งมีความละเอียดที่สูงและน้ำหนักเบา โดยความเร็วของ คลื่นอัลตราโซนิคในอากาศจะถูกช้อนทับกับความเร็วของลมในอากาศ ถ้าคลื่นอัลตราโซนิคเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับลมความเร็วจะเพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน หากคลื่นอัลตราโซนิคเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับลม ความเร็วของคลื่นก็จะช้าลง ดังนั้นภายใต้เงื่อนไขการตรวจจับคงที่ ความเร็วของการแพร่กระจายคลื่นอัลตราโซนิคในอากาศสามารถสอดคล้องกับฟังก์ชันความเร็วลมได้ โดยเซนเซอร์ทั้งหมดจะต่อรวมกันและส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านโปรโตคอล RS-485 ก่อนที่จะส่งข้อมูลผ่านโมดูล LoRa นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังได้ทำการเพิ่มส่วนของเซนเซอร์วัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปทดสอบด้วย เพื่อวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในบริเวณไร่ย่อย

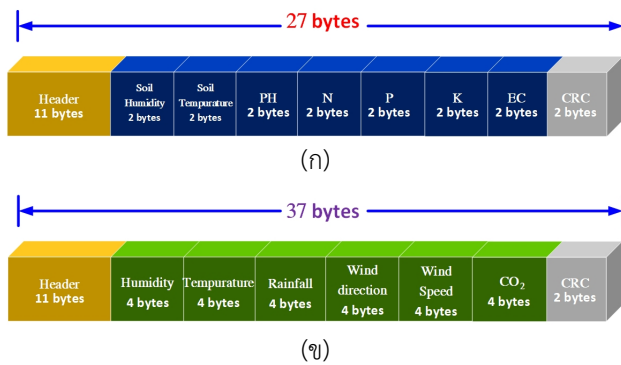
### 3. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

ระบบที่นำเสนอถูกนำไปติดตั้งที่ไร่ย่อยที่จังหวัดขอนแก่นขนาด 471,428 ตารางเมตร หรือประมาณ 295 ไร่ สถานที่ไร่ย่อยที่ใช้ในการทดสอบและรูปถ่ายของระบบที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้วแสดงดังรูปที่ 6 โดยความสูงเสาที่ใช้ติดตั้งเกตเวย์และเซนเซอร์ตรวจวัดอากาศอยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 3 เมตร เนื่องจากไร่ย่อยไม่มีระบบไฟฟ้าจึงต้องใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นตัวให้พลังงานทั้งหมด เกตเวย์จะทำการเชื่อมต่อกับ LoRaWAN เซิร์ฟเวอร์ผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 4G (ภายในเกตเวย์จะมีโมดูล 4G และที่ใส่ซิมการ์ด) เนื่องจากเฟสแรกเป็นการทดลองความเป็นไปได้ เสถียรภาพของระบบและข้อจำกัดทางด้านงบประมาณจำนวนโนดเซนเซอร์วัดคุณภาพดินที่ติดตั้งทั้งหมดมีจำนวน 7 โนด และสถานีตรวจวัดสภาพอากาศ 1 สถานี โดยโนดเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพดินจะส่งขนาดแพ็กเก็ตจำนวน 27 ไบต์ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลแต่ละตัวอย่างอย่างละ 2 ไบต์ ส่วนหัว 11 ไบต์และ CRC (Cyclic redundancy check) อีก 2 ไบต์ แสดง

ดังรูปที่ 7 (ก) โดยถ้าเซนเซอร์มีการวัดพารามิเตอร์น้อยลงขนาดของแพ็กเก็ตก็จะลดลงทีละ 2 ไบต์ เช่น เซนเซอร์ไม่มีการวัด EC ขณะที่ในส่วนของการตรวจวัดอากาศจะมีขนาด 4 ไบต์ของแต่ละพารามิเตอร์ในการตรวจวัด รวม CRC และส่วนหัวจะมีขนาด 37 ไบต์ (รูปที่ 7 (ข)) และกำหนดให้โนดทุกตัวใช้ SF10 ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนได้ขึ้นอยู่กับขนาดของแพ็กเก็ตและระยะห่างระหว่างเซนเซอร์กับเกตเวย์ เช่น ถ้าขนาด แพ็กเก็ตลดลงและต้องการระยะห่างมากที่สุดอาจจะทดลองเปลี่ยนมาใช้ SF12 แต่ช่วงเวลานานอากาศ (Air time) ก็จะมีนานมากขึ้น โดยบริเวณติดตั้งครอบคลุมทั้งหมดของไร่ อย่างไรก็ตามเพื่อให้ทราบถึงพื้นที่ครอบคลุมการใช้งาน (Coverage area) ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบโดยใช้โนด 1 ตัว เคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งในพื้นที่อย่างน้อย 30 จุดรอบพื้นที่ใช้งานแสดงจุดทดสอบดังรูปที่ 9 โดยจะทำการวัดระดับสัญญาณ RSSI (Received signal strength indicator) และ SNR (Signal-to-noise ratio) ในแต่ละจุดเทียบกับระยะห่างจากเกตเวย์ผลการวัดแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจากตารางจะเห็นได้ว่าระดับสัญญาณที่รับส่งข้อมูลนั้นมีค่าอยู่ในระดับที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด กล่าวคือสามารถนำระบบนี้ไปใช้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยค่าระดับสัญญาณ RSSI อยู่ในช่วง -45 ถึง -96 dBm และ SNR อยู่ในช่วง 8.5 dB ถึง 13.8 dB ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเซนเซอร์สามารถใช้งานได้ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่



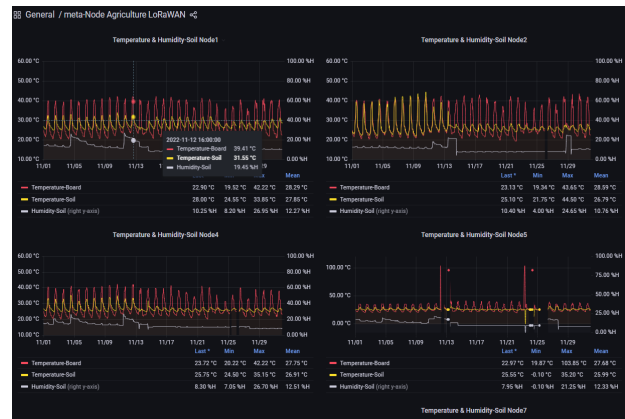
รูปที่ 6 (ก) ไร่ย่อยที่ใช้ทดสอบขนาด 295 ไร่และ (ข) รูปถ่ายของระบบที่นำเสนอ



รูปที่ 7 ขนาดแพ็คเกจ (ก) เซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพดิน และ (ข) สถานีตรวจอากาศ

ตารางที่ 1 ระดับ RSSI และ SNR เทียบกับระยะห่างจากเกตเวย์

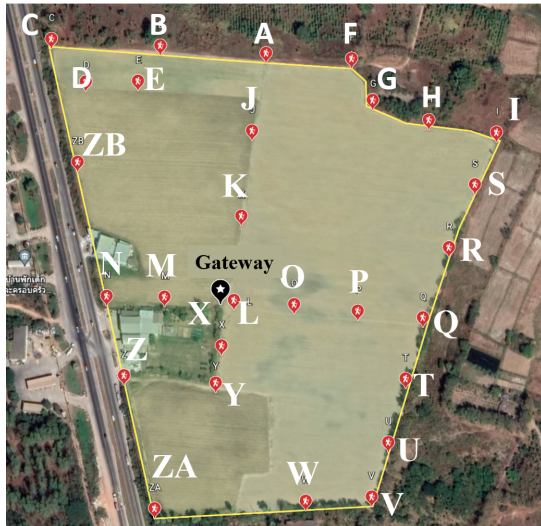
Node Locations	Distance from Gateway (m)	RSSI (dBm)	SNR (dB)
A	254	-88	13
B	265	-84	13.8
C	320	-85	10.5
D	258	-95	8.5
E	232	-90	12
F	279	-88	11.5
G	260	-81	12.2
H	279	-88	12
I	340	-95	10
J	159	-84	11.8
K	82	-58	12.8
L	20	-45	13.5
M	59	-54	11.8
N	120	-62	11.8
O	88	-61	12
P	145	-83	11
Q	225	-78	12.5
R	243	-87	12.5
S	290	-90	10.8
T	214	-88	12.2
U	225	-76	12
V	255	-88	11
W	234	-96	11.5
X	46	-64	12.5
Y	95	-77	12
Z	130	-88	11.2
ZA	227	-88	12.2
ZB	209	-71	9.2



รูปที่ 8 ข้อมูลจาก Grafana ในการวัดทดสอบ 105 วัน จาก (ก) เซนเซอร์วัดคุณภาพดินตัวที่ 1 ถึง 4 และ (ข) สถานีตรวจวัดอากาศ

ข้อมูลจากการติดตั้งในการวัดทดสอบจำนวน 105 วัน ของเซนเซอร์วัดคุณภาพดินและสถานีตรวจวัดอากาศจาก Grafana แสดงดังรูปที่ 8 นอกจากนี้เพื่อให้ทราบถึงพื้นที่ครอบคลุมการใช้งาน (Coverage area) ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบติดตั้งโนดอย่างน้อย 30 จุดรอบพื้นที่ใช้งานโดยผลการทดสอบในรูปของระยะห่างระหว่างโนดเซนเซอร์กับเกตเวย์มีหน่วยเป็นเมตรและระดับสัญญาณ RSSI (Received signal strength indicator) และ SNR (Signal-to-noise ratio) ในแต่ละจุดที่วัดแสดงดังรูปที่ 9 โดยตัวเลขแรกคือ ระยะห่าง และตัวเลขตัวที่สองคือ ค่า RSSI/ตัวหลังสุดคือค่า SNR ซึ่งจะเห็นได้ว่าระดับสัญญาณที่ไ้รับส่งข้อมูลนั้นมีค่าอยู่ในระดับที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด คือค่า RSSI มากกว่า -120 dBm และ SNR มากกว่า -15

dB กล่าวคือสามารถนำระบบนี้ไปใช้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยค่าระดับสัญญาณ RSSI อยู่ในช่วง -45 ถึง -96 dBm และ SNR อยู่ในช่วง 8.5 dB ถึง 13.8 dB ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเซนเซอร์สามารถใช้งานได้ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่



รูปที่ 9 จุดในการทดสอบพื้นที่ใช้งานโดยวัดค่า RSSI และ SNR

#### 4. สรุป

การนำระบบตรวจวัดคุณภาพดินและสถานีตรวจอากาศอัจฉริยะไปใช้งานโดยใช้เทคโนโลยีเครือข่าย LoRaWAN สามารถปรับปรุงผลผลิตและประสิทธิภาพของการทำไร่อ้อยได้อย่างมาก ข้อมูลตามเวลาจริงและข้อมูลที่เก็บไว้ในระยะยาวที่ระบบจัดเตรียมไว้สามารถช่วยเกษตรกรในการตัดสินใจเกี่ยวกับการชลประทาน การให้ปุ๋ย และการจัดการศัตรูพืช ซึ่งนำไปสู่ผลผลิตพืชผลที่สูงขึ้น และคุณภาพพืชผลที่ดีขึ้น เทคโนโลยี การเกษตรอัจฉริยะเป็นหนทางสู่การเกษตรที่ยั่งยืนและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การใช้เทคโนโลยีเครือข่าย LoRaWAN แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้งานครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ และสามารถนำไปประยุกต์กับพืชชนิดอื่น ๆ ได้

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ขวัญตรี แสงประชานารักษ์ ที่นำระบบตรวจวัดคุณภาพดินและสถานีตรวจอากาศอัจฉริยะสำหรับไร่อ้อยโดยใช้เครือข่าย LoRaWAN ไปติดตั้งใช้จริง ผ่าน

แพลตฟอร์มหุ่นยนต์และยานพาหนะไร้คนขับสำหรับการเกษตรที่มีความแม่นยำเพื่อสร้างฟาร์มขนาดใหญ่เสมือน

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel and F. Meyer, "Overview of Cellular LPWAN Technologies for IoT Deployment: Sigfox, LoRaWAN, and NB-IoT," *2018 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)*, Athens, Greece: pp. 197-202, 2018.
- [2] ศราวุธ ชัยมูล และกมล บุญล้อม "การประเมินผล IoT LoRaWAN สำหรับเมืองอัจฉริยะ: กรณีใช้ตรวจสอบสภาพแวดล้อม" *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 41 EECON*. 21 - 23 พฤศจิกายน. อุบลราชธานี, 2561.
- [3] U. Raza, P. Kulkarni and M. Sooriyabandara, "Low Power Wide Area Networks: An Overview," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 19, no. 2, pp. 855-873, 2017.
- [4] M. Y. Thu, W. Htun, Y. L. Aung, P. E. E. Shwe and N. M. Tun, "Smart Air Quality Monitoring System with LoRaWAN," *2018 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence System (IOTAIS)*, Bali, Indonesia : pp. 10-15, 2018.
- [5] A. Pagano, D. Croce, I. Tinnirello and G. Vitale, "A Survey on LoRa for Smart Agriculture: Current Trends and Future Perspectives," in *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 10, no. 4, pp. 3664-3679, 2023.
- [6] S. R. J. Ramson *et al.*, "A Self-Powered, Real-Time, LoRaWAN IoT-Based Soil Health Monitoring System," in *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 8, no. 11, pp. 9278-9293, 2021.
- [7] F. F. Hossain *et al.*, "Soil Moisture Monitoring Through UAS-Assisted Internet of Things LoRaWAN Wireless Underground Sensors," in *IEEE Access*, Vol. 10, pp. 102107-102118, 2022.



- [8] National Electronics and Computer Technology Center. (10 January 2022). *Industrial Communication with Modbus Protocol*. [Online] Available : <http://www.nectec.or.th/news/news-public-document/modbus-protocol.html/>
- [9] SMTc. (18 April 2022). *SX1276*. [Online] Available : <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-core/sx1276/>
- [10] Dragino. (15 February 2022). *DLOS8 Outdoor LoRaWAN Gateway*. [Online] Available : <https://www.dragino.com/products/lora-lorawan-gateway/item/160-dlos8.html/>
- [11] ChirpStack. (20 June 2022). *ChirpStack Open-source LoRaWAN Network Server*. [Online] Available : <https://www.chirpstack.io/>
- [12] B. Mishra and A. Kertesz, "The Use of MQTT in M2M and IoT Systems: A Survey," in *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 201071-201086, 2020.
- [13] Grafana Labs. (3 February 2022). *Grafana Leading Observability Tool for Visualizations and Dashboards*. [Online] Available : <https://grafana.com/oss/grafana>
- [14] InfluxData. (12 January 2022). *InfluxDB time series platform*. [Online] Available : <https://www.influxdata.com/products/influxdb/>
- [15] myDevices. (9 March 2022). *Simplify Sensor Deployments*. [Online] Available : <https://mydevices.com/cayenne/docs/lora/>
- [16] สำนักงาน กสทช. (12 มีนาคม 2565). *ประกาศ กสทช. เรื่อง หลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ย่าน ๙๒๐-๙๒๕ เมกะเฮิรตซ์, [ระบบ ออนไลน์], แหล่งที่มา: https://www.nbtc.go.th/spectrum\_management/*