



## รายงาน

เรื่อง ศึกษาบทความวิจัย : IoT, Smart farm

จัดทำโดย

นางสาวภูมิภานุ์ เอกปัจฉิมศิริ รหัสนิสิต 6220504658

เสนอ

อ.ดร.บุญรัตน์ เมdimรอด

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา สัมมนา (02204497-60)

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2564

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

## สารบัญ

Monitoring Method of Movement of Grazing Cows using Cloud-Based System	1
บทคัดย่อ:	1
บทนำ	1
งานที่เกี่ยวข้อง	2
โครงการเฝ้าระวังสัตว์บนคลาวด์	4
ผลลัพธ์	7
สรุปผลการวิจัย	11
สรุปบทความวิจัยภาษาอังกฤษ	12
สรุปงานวิจัยภาษาไทย	15
References	18

## Monitoring Method of Movement of Grazing Cows using Cloud-Based System

### วิธีการเฝ้าสังเกตการเคลื่อนที่ของโคที่เลี้ยงหญ้าโดยใช้ระบบคลาวด์

**บทคัดย่อ:** ปัจจุบันมีการดำเนินการหลายอย่างด้วยตนเองในฟาร์มเพื่อการเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะฟาร์มส่วนใหญ่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ในการทำความเข้าใจสภาพของสัตว์ แต่อาศัยมุมมองของเกษตรกร หากข้อมูลสามารถได้จากการเฝ้าติดตามสัตว์เลี้ยงในฟาร์ม ผู้จัดการสามารถกำหนดพฤติกรรมของสัตว์และใช้ข้อมูลนี้ในการทำงานสุขภาพของสัตว์ ในงานวิจัยนี้เป็นการนำเสนองานที่พัฒนาตามมาตรฐาน WSN ระบบที่นำเสนอสามารถตรวจสอบสัตว์เลี้ยงในฟาร์มโดยใช้อุปกรณ์ IoT และแพลตฟอร์มคลาวด์ ประกอบด้วยตัวติดตั้งบนคอของสัตว์โดยใช้อุปกรณ์ IoT และกิจกรรมของปศุสัตว์ได้รับการตรวจสอบ เกษตรกรสามารถดูแลข้อมูลสดโดยส่งข้อมูลการสังเกตปศุสัตว์ไปยังแพลตฟอร์มคลาวด์ ผ่านการใช้งานจริง เราตรวจสอบแล้วว่าระบบที่เสนอสามารถตรวจสอบสัตว์ได้ในฟาร์มแบบเรียลไทม์

### บทนำ

อุตสาหกรรมปศุสัตว์ครอบคลุมสัดส่วนที่ใหญ่มากของธุรกิจอาหารแห่งชาติ ตามไปสำรวจในประเทศไทย พัฒนาแล้ว 50% ของทั้งหมดผลิตทางการเกษตร คือ ปศุสัตว์ และกำลังพัฒนาประเทศต่างๆ ประมาณ 34% มีส่วนร่วมในการผลิตปศุสัตว์การเห็นยืนในทศวรรษที่ผ่านมา การผลิตปศุสัตว์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามแนวทางการจัดการชีวิตและการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการกินของผู้คน อย่างไรก็ตามฟาร์มปศุสัตว์ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่างๆ ตามกฎหมายสมัยใหม่ เช่น ความต้องการรวมถึงการรับรองสุขภาพสัตว์และสวัสดิการค่าโดยสาร การป้องกันการแพร่ระบาด การจัดการที่มีประสิทธิภาพ และความปลอดภัยของอาหารเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดมากมายที่อธิบายไว้ข้างต้น

ulatory ปัจจัยต้องได้รับการจัดการโดยเกษตรกรผู้เลี้ยงปศุสัตว์ อย่างไรก็ตามในฟาร์มเลี้ยงสัตว์สามารถตรวจสอบและควบคุมสัตว์แต่ละตัวได้เป็นรายบุคคล 24 ชม. ฟาร์มปศุสัตว์มักจะจัดการสัตว์โดยอาศัยประสบการณ์ส่วนตัวของผู้จัดการฟาร์ม ส่งผลให้มีกำลังคนและต้นทุนสูงจัดการสัตว์จำนวนมาก นอกจากนี้ในบางกรณี ภาวะสุขภาพของสัตว์หมวดไปมองเมื่อตรวจสอบด้วยการสังเกตด้วยสายตาตามลำดับ เพื่อแก้ปัญหานี้ ธุรกิจปศุสัตว์อาจได้รับประโยชน์จากการเลี้ยงปศุสัตว์ที่แม่นยำ (PLF)

PLF หมายถึงการจัดการสัตว์เลี้ยงในฟาร์มโดยใช้โซลูชันเทคโนโลยี IoT และ Wireless Sensor Network เทคโนโลยี (WSN) ถูกนำมาใช้ในหลายสาขาสามารถตรวจสอบสัตว์ได้ในราคาต่ำโดยใช้การยื่นขนาด แผงผึ้งตัวและเทคโนโลยี IoT ในการเฝ้าติดตามสัตว์ การใช้เทคโนโลยี IoT มีประสิทธิภาพมากขึ้นและมีน้ำหนักตัวน้อยกว่าการตรวจสอบด้วยตาเปล่าโดยผู้จัดการฟาร์ม สามารถตรวจสอบได้อย่างต่อเนื่อง สถานะของสัตว์แต่ละตัวออกเหนือจากการเฝ้าติดตามของผู้ดูแลฟาร์มแบบเรียลไทม์ นอกเหนือจากนี้สามารถส่งข้อมูลที่วัดได้ไปยังผู้ดูแลฟาร์มแบบเรียลไทม์

การติดตามสัตว์โดยใช้เทคโนโลยี WSN สามารถเป็นประโยชน์มหาศาลสำหรับฟาร์มปศุสัตว์ ผลประโยชน์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้ ขั้นแรก สามารถวิเคราะห์สถานะสุขภาพของปศุสัตว์ได้ผ่านการเฝ้าติดตามสัตว์แต่ละตัว ดังนั้นทำให้เกิดการติดเชื้อร่วมที่เกิดจากความเจ็บป่วย ขั้นที่สอง เป็นไปได้ที่จะรักษาสภาพแวดล้อมที่

เหมาะสมที่สุดเพื่อปศุสัตว์โดยรวมข้อมูลในฟาร์มสภาพแวดล้อมแบบเรียลไทม์ ขั้นที่สาม เมื่อปศุสัตว์แห่งเลี้มกี ป้องกันการสูญเสียปศุสัตว์ได้โดยการวิเคราะห์เส้นทางการเคลื่อนที่ของปศุสัตว์โดยติดเชินเซอร์ GPS กับสัตว์

สามารถทราบข้อมูลตำแหน่งของสัตว์ต่างๆ ได้แบบเรียลไทม์เมื่อพากมันถึงหมู่บ้านใดพื้นที่ไหนได้ทันที สามารถใช้ข้อมูลตำแหน่งที่ได้รับเพื่อวัดคุณภาพคงทนต่อสัตว์ 1. เมื่อปศุสัตว์กำลังเลี้มหมูในพื้นที่ขนาดใหญ่และถึงเวลาที่ต้องนำม้าแล้วกลับไปที่โรงนา ข้อมูลตำแหน่งของปศุสัตว์สามารถใช้สะสูนได้ 2. ผู้จัดการฟาร์มสามารถเข้าใจรูปแบบของสัตว์ได้โดยการระบุตัวเส้นทางการเคลื่อนที่ของสัตว์ ข้อมูลรูปแบบนี้สามารถใช้ระบุตำแหน่งที่เลี้ยงสัตว์แต่ละตัวได้ 3. หากมีโรคติดเชื้อเกิดขึ้นในสัตว์ตัวใดตัวหนึ่ง สามารถแยกสัตว์ที่อยู่รอบๆ ตัวออกได้ ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาการเริ่มมีอาการเจ็บป่วยจำนวนมาก การเลี้ยงสัตว์อย่างปลอดภัยสามารถทำได้ด้วยวิธีนี้

ในการศึกษานี้ เราออกแบบและนำระบบการตรวจสอบปศุสัตว์ในฟาร์มไปใช้ จุดมุ่งหมายคือการลดโครงสร้างพื้นฐานเพื่อนำระบบไปใช้ ด้วยเหตุผลนี้ เราจึงเสนอระบบที่ใช้ WSN สำหรับผู้ติดตามสัตว์ในฟาร์มปศุสัตว์ ระบบที่เสนอได้แนะนำแพลตฟอร์มคลาวด์โดยคำนึงถึงพลังการประมวลผลและความสามารถในการปรับขนาดในอนาคตของข้อมูลที่รวบรวม ระบบบันทึกตำแหน่งการเคลื่อนย้ายปศุสัตว์แบบเรียลไทม์ วัดที่กินได้มักจะเป็นผู้ที่กินหมูบ้านทุ่งหญ้ากว้างใหญ่ วัวที่ไม่เคลื่อนไหวเป็นระยะสามารถคาดการณ์ได้ว่าไม่สบาย ผู้จัดการฟาร์มสามารถใช้ข้อมูลนี้เพื่อระบุลักษณะของสัตว์และสถานะสุขภาพ นอกจากนี้ เมื่อปศุสัตว์กำลังเลี้มหมู ผู้บริหารสามารถทราบได้หากออกจากฟาร์ม

## งานที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับการทำฟาร์มอย่างชาญฉลาด

เมื่อเร็ว ๆ นี้ IoT ได้รับการแนะนำอย่างรวดเร็วในสภาพแวดล้อมฟาร์มอัจฉริยะ ในสภาพแวดล้อมการทำฟาร์ม สภาพแวดล้อมของพืชผลได้รับการตรวจสอบ การจัดหน้า และการจัดหาสารอาหาร IoT ยังทำหน้าที่ตรวจสอบสัตว์และผู้คนจากนอกฟาร์ม ในสภาพแวดล้อมของปศุสัตว์ สุขภาพสัตว์ เช่น อุณหภูมิของร่างกายและอัตราการเต้นของหัวใจ จะได้รับการตรวจสอบเพื่อติดตามสุขภาพของสัตว์และป้องกันการแพรร่องบาด เรายังใช้ข้อมูลสัตว์เพื่อศึกษาพฤติกรรมสัตว์ตั้งที่แสดงในตัวอย่างก่อนหน้านี้ IoT ถูกนำมาใช้ในด้านการศึกษา สิ่งแวดล้อมวิทยาศาสตร์ และอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว

ในการวิจัยของ Shadrin IoT ถูกนำไปใช้กับการเกษตรอัจฉริยะ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง วัดความชื้นภายในฟาร์มที่ปลูกต้นไม้ และข้อมูลนี้ได้รับการตรวจสอบแบบเรียลไทม์ ข้อมูลที่รวมได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืชและเพื่อยกระดับระบบฟาร์มในอนาคต นอกจากนี้ ได้มีการจัดตั้งระบบเพื่อแจ้งผู้จัดการเมื่อมีปัญหาในการรักษาความชื้นภายในฟาร์ม เช่นเดียวกับในการศึกษาก่อนหน้านี้ ฟาร์มพืชหลายแห่งใช้ IoT

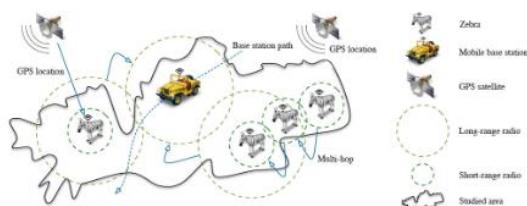
ในการวิจัยของวอนหัน IoT ถูกใช้เพื่อแก้ปัญหาที่ต้องวัดน้ำหนักตัวของสัตว์ในฟาร์มปศุสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง มีการติดตั้งพื้นยางที่พื้นฟาร์มเพื่อวัดน้ำหนักและข้อมูลการเดินของปศุสัตว์ และว่างเข็นเชอร์ไว้ด้านล่าง ข้อมูลที่วัดผ่านเข็นเชอร์ที่วางไว้ในการวิเคราะห์รูปแบบการเดินของปศุสัตว์ ในรายงานของ Wang มีการตรวจสอบปริมาณอาหารในสัตว์และรูปแบบของน้ำที่รับประทาน เพื่อดำเนินการตรวจสอบก่อนกำหนดเพื่อรับรู้ว่าสัตว์ในกลุ่มนี้ป่วยหรือไม่ ใช้เสารากาศแบบมีทิศทางและเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายเพื่อรับรวมข้อมูลที่รวมมาจากสัตว์ต่างๆ

## 2.2 การตรวจสอบสัตว์

โปรเจกต์ ZebraNet ได้พัฒนาระบบสำหรับการรับข้อมูลสัตว์ก่อนที่เทคโนโลยี IoT จะเติบโตเต็มที่ ในระบบนี้ ข้อมูลของสัตว์ในป่าถูกได้มา และข้อมูลนี้ถูกส่งไปยังนักวิจัยสัตว์เพื่อวิเคราะห์นิเวศวิทยาของสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ระบบนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อตรวจสอบและศึกษาแมลงที่กระจายอยู่ทั่วภูมิประเทศที่กว้างใหญ่ของเคนยา ในช่วงเวลาของโครงการ ไม่มีเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด ด้วยเหตุนี้จึงใช้เทคโนโลยีเฉพาะกิจเพื่อส่งข้อมูลจากโหนดไปยังสถานีฐาน

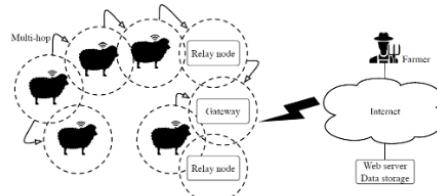
โหนดทั้งหมดยกเว้นสถานีฐานได้รับข้อมูลและส่งไปยังสถานีฐาน โดยปกติ สถานีฐานจะถูกติดตั้งในตำแหน่งคงที่และรวมข้อมูล ในขณะที่ในโครงการนี้ สถานีฐานว่าสถานีฐานมีการเคลื่อนไหวเป็นระยะ สถานีฐานของโครงการติดตั้งอยู่บนรถยกตัวและรวมข้อมูลของโหนดโดยรอบ

ม้าลายแต่ละตัวมีสัมภาระพัชร์อมเซ็นเซอร์ซึ่งเก็บข้อมูล GPS ของเส้นทางการเคลื่อนที่ของม้าลาย โหนดเซ็นเซอร์นี้ประกอบด้วยอุปกรณ์สื่อสารสองเครื่อง เพื่อให้สามารถปรับและใช้พลังงานได้ อุปกรณ์สื่อสารเครื่องแรก เป็นอุปกรณ์สื่อสารระยะใกล้ และโดยทั่วไปมักใช้สำหรับการสื่อสารแบบหลายช่อง อุปกรณ์นี้ใช้สำหรับการสื่อสารระยะใกล้ภายใน 100 เมตรโดยใช้พลังงานหลักต่ำ มีการใช้อุปกรณ์สื่อสารอื่นๆ เพื่อสื่อสารกับสถานีฐานด้วยการสื่อสารทางไกลภายในระยะ 8 กม. แม้ว่าโหนดเซ็นเซอร์นี้มีความสามารถในการสื่อสารทางไกล อาจไม่ถูกใช้ในช่วงของสถานีฐาน เพื่อแก้ปัญหานี้ เป็นไปได้ที่จะส่งผ่านโหนดอื่นโดยไม่ต้องส่งโดยตรงจากโหนดไปยังสถานีฐาน ZebraNet ใช้โปรโตคอลการให้อาหารและโปรโตคอลตามประวัติเพื่อใช้รูปแบบการส่งสัญญาณก่อนหน้า ดังรูปด้านล่าง ที่แสดงสถาปัตยกรรมของ ZebraNet



งานของ Nadimi ได้เสนอระบบที่ตรวจสอบสัตว์แต่ละตัวโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและส่งข้อมูลในโหนดการกระทำที่เหมาะสม ตัวอย่างเช่น ผ่านรัศมีการเคลื่อนที่ของสัตว์ เกษตรกรสามารถกำหนดสถานที่กินหญ้าใหม่สำหรับสัตว์ได้ เนื่องจากพฤติกรรมและข้อมูลเกี่ยวกับสัตว์เลี้ยงในฟาร์มปศุสัตว์สามารถนำมาใช้เพื่อกำหนดสถานะสุขภาพของสัตว์เหล่านั้นได้

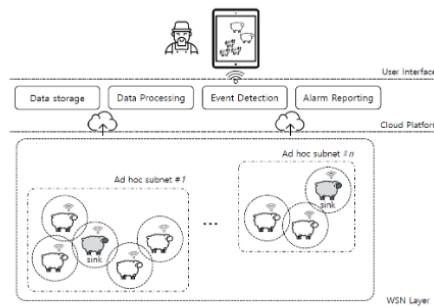
วัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้คือเพื่อติดตามพฤติกรรมของผู้สัตว์ในยุโรป เราใช้ WSN เนพากิจตาม MCU พร้อมตัวรับสัญญาณไร้สาย เส้นทางการเคลื่อนที่และการเคลื่อนไหวศีรษะของสัตว์แต่ละตัวถูกวัดและติดตามโดยใช้ระบบ ในระบบ อุปกรณ์เซ็นเซอร์จำนวนมากถูกใช้เป็นโหนดของเครือข่ายเซ็นเซอร์ และวัดและส่งข้อมูลสิ่งแวดล้อม ในระบบนี้โดยใช้เทคโนโลยีเฉพาะกิจ แต่ละโหนดทำหน้าที่เป็นเราเตอร์ในเครือข่ายแบบมัลติชูป ในเครือข่าย หนึ่งเกตเวย์และสองโหนดเครื่องรีเลย์ถูกจัดเรียงรอบหนึ่งหนึ่ง ด้วยการออกแบบระบบของเราด้วยวิธีนี้ เป็นไปได้ที่จะส่งข้อมูลของโหนดเซ็นเซอร์ไปยังเกตเวย์โดยตรงหรือเพื่อกำหนดเส้นทางใหม่โดยใช้โหนดรีเลย์ รูปที่ 3 แสดงสถาปัตยกรรม WSN ที่ใช้ Zie Bee



**Fig.3:** WSN Architecture using ZigBee.

## โครงการเฝ้าระวังสัตว์บนคลาวด์

ส่วนนี้อธิบายโครงสร้างของระบบตรวจสอบที่เสนอ ระบบสามารถแบ่งออกเป็นสามองค์ประกอบ ขั้นแรก จะอธิบายโครงสร้างเครือข่ายและรายละเอียดการสื่อสารภายในสถาปัตยกรรม WSN ส่วนที่สองคือแพลตฟอร์ม Cloud ซึ่งจัดการข้อมูลที่ส่งจาก WSN ในสภาพแวดล้อม WSN ส่วนใหญ่ สถานีฐานใช้เพื่อรวมและประมวลผล ข้อมูล ดำเนินบทความนี้ แพลตฟอร์มระบบคลาวด์ใช้ในการประมวลผลข้อมูล ส่วน WSN รวมรวมและส่งข้อมูลที่ สร้างโดยหนึ่ง แต่การประมวลผลข้อมูลจริงดำเนินการบนแพลตฟอร์มคลาวด์ อินเทอร์เฟซผู้ใช้ช่วยให้มองเห็น สถานะของระบบปัจจุบันและข้อมูลที่ประมวลผลได้ รูปที่ 4 แสดงส่วนประกอบทั้งสามและรายละเอียดเกี่ยวกับ ส่วนประกอบเหล่านี้



**Fig.4:** Cloud-based Architecture for Animal Monitoring.

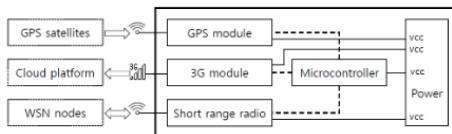
### 3.1 WSN Layer

เลเยอร์ WSN แสดงไว้ในรูปที่ 4 จุดประสงค์ของการกำหนดค่า WSN คือการส่งข้อมูลที่วัดที่แต่ละโหนดไป ยังแพลตฟอร์มคลาวด์ ในบทความนี้ สัตว์สวมสร้อยคอที่มีเซ็นเซอร์ถูกกำหนดให้เป็นโหนด แต่ละโหนดรับข้อมูล ตำแหน่งโดยใช้เครื่องรับ GPS ในเวลาที่กำหนด เมื่อสัตว์ต่าง ๆ มารวมกันเป็นจำนวนมาก ผู้สัตว์ก็ถูกตัวเข้า และ ผู้นำก็ถูกตัวเข้าท่ามกลางพวkmn สัตว์ที่เป็นผู้นำยังคงไม่เปลี่ยนแปลง หัวหน้าสัตว์ได้รับเลือกให้เป็นโหนดซิงก์ เหมือนในการวิจัยครั้งก่อน สัตว์ที่มีความเป็นผู้นำในกลุ่มปศุสัตว์ได้รับการระบุล่วงหน้าโดยผู้จัดการฟาร์ม สัตว์ที่ ไม่ใช่โหนด sink ปกติส่งข้อมูลไปยัง sink nodes โดยใช้การสื่อสารระยะสั้นและ multi-hop ในสภาพแวดล้อมการ ทดลอง การสื่อสารแบบเซลลูลาร์ 3G/4G เป็นไปได้ ดังนั้นจึงใช้การสื่อสาร 3G เพื่อส่งข้อมูลโหนดไปยังคลาวด์ ใน การทดลอง ได้แนะนำโมดูล 3G เข้ากับโหนดซิงก์และใช้เป็นโหนดเกตเวย์

สัตว์ในฟาร์มสามารถแบ่งออกเป็นหลายกลุ่มแทนที่จะเป็นกลุ่มเดียวพวkmn ย้ายเป็นกลุ่มตาม ลักษณะของพวkmn ซึ่งอาจทำให้สูญเสียการเชื่อมตอกับโหนดซิงก์ เพื่อแก้ปัญหานี้ สัตว์ทุกตัวได้รับการติดตั้ง สร้อยคอที่มีโมดูลการสื่อสาร 3G ซึ่งช่วยให้โหนดช่วยทราบตำแหน่งที่เป็นโหนดสำหรับรับข้อมูลเมื่อมีโหนดสำหรับ

ซึ่งคุณต้องดูวิธีนี้ ข้อมูลที่ได้รับจากโหนดสามารถส่งข้อมูลไปยังคลาวด์ได้อย่างเสถียรผ่านโหนดซิงก์ที่เปลี่ยนแปลงการกำหนดค่า WSN อาจขึ้นอยู่ในการจัดการข้อมูลจากหลายโหนด อย่างไรก็ตาม แพลตฟอร์มคลาวด์สามารถแก้ปัญหานี้ได้ โหนดที่สามารถลดความขับช้อนได้มีข้อได้เปรียบในการลดต้นทุนในการผลิตจริง รูปที่ 5 แสดงแผนผังของโครงสร้างโหนด มีโมดูลการสื่อสารไร้สายสำหรับการสื่อสารระยะสั้นและโมดูล 3G สำหรับการสื่อสารบนคลาวด์

MSP430F2274 MCU ถูกใช้เพื่อนำโหนดไปใช้ในรูปที่ 5 MCU เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์พลังงานต่ำขนาด 16 บิตที่ใช้กันอย่างแพร่หลายจาก Texas Instruments MCU สามารถตั้งโปรแกรมและตีบักได้อย่างง่ายดายโดยใช้โมดูลการสื่อสาร UART สำหรับการใช้งานโหนดอย่างรวดเร็ว เราใช้ชุดพัฒนา eZ430RF2500 กับ MSP430F2274



**Fig.5:** Schematic of the node structure.

**Table 1:** The detailed specifications of MCU and Wireless receiver.

MSP430F2274 (MCU)	CC2500 (Wireless receiver)
- 16Bit Ultra Low Power	- 2.4 GHz RF Transceiver
MCU	Low current consumption
Active Mode: 270 $\mu$ A	(13.3 mA in RX, 250 kBaud)
Standby Mode: 0.7 $\mu$ A	- Frequency : 2400-2483.5 MHz
- 1K RAM	- Data rate : 1.2-500 kBaud
- 32KB Flash memory	- High sensitivity :
- UART, SPI, I2C, IrDA	(-104 dBm at 2.4 kBaud)

ชุดพัฒนาประกอบด้วยสองบอร์ด ez430-RF2500T พร้อม MCU, ตีบัก USB-อินเทอร์เฟซตีบักเกอร์ และชุดแบบตเตอรี่ เมนบอร์ดติดตั้งคอมมิวนิตี้ระยะใกล้ CC2500โมดูล.ioออนไลน์บนบานหนาเหนือจาก MCUBผลิตเครื่องรับส่งสัญญาณไร้สาย CC2500โดย Texas Instruments เช่น MSP430F2274 MCUและใช้สำหรับการสื่อสารระยะสั้น ดิโมดูลใช้ความถี่ 2.4 GHz และใช้ความถี่ต่ำที่สุด การตั้งค่าพลังงานเมื่อสื่อสาร โดยทั่วไป, โมดูลนี้ใช้ 2400-2483.5MHz และได้รับการพัฒนาสำหรับการใช้งานทางวิทยาศาสตร์การแพทย์และอุตสาหกรรม ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลจำเพาะโดยละเอียดของ MSP430F2274MCU และตัวรับสัญญาณไร้สาย CC2250 รูปที่ 6 แสดงโหนดที่ใช้ในการทดสอบจริง และรูปที่ 7 แสดงวิวรวมประกอบ



**Fig.6:** Node module used in experiment.

### 3.2 แพลตฟอร์มคลาวด์

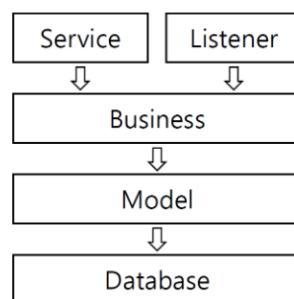
การศึกษานี้สันนิษฐานว่าการใช้คลาวด์คอมพิวติ้งสำหรับโครงสร้างพื้นฐานส่วนหลังของ WSN แพลตฟอร์มการประมวลผลแบบคลาวด์มอบพลังการประมวลผล การจัดเก็บข้อมูล และแอปพลิเคชัน นอกจากระบบ

โดยไม่ใช้สถานีฐานใน WSN โหนดซิงก์จะทำหน้าที่เป็นเกตเวย์เพื่อส่งข้อมูลไปยังคลาวด์โดยตรง ด้วยการประมวลผลแบบคลาวด์ ผู้จัดการฟาร์มไม่ต้องกังวลกับสภาพแวดล้อมแบ็คเอนด์ที่ซับซ้อน



**Fig.7:** Cow wearing a node collar.

ในบทความนี้ เรายังใช้ Amazon Web Service (AWS) เป็นแพลตฟอร์มระบบคลาวด์ AWS ของ Amazon ให้บริการที่หลากหลายและมีโครงสร้างแบบหลายชั้น รูปที่ 8 แสดงเลเยอร์ใน AWS เลเยอร์บริการบนสุดคือ จุดเริ่มต้นสำหรับโหนดซิงก์และแพลตฟอร์มคลาวด์ในการสื่อสาร เลเยอร์ผู้ฟังทำงานบางอย่างบนระบบในคลาวด์ เป็นระยะ ตัวอย่างเช่นเมื่อสิบวันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หากคำนวณระยะทางที่สัตว์แต่ละตัวเดินทางต่อวัน ชั้น ธุรกิจวิเคราะห์และประมวลผลขั้นตอนต่างๆ เพื่อดำเนินการงานระบบต่างๆ ในโหนดซิงก์ ข้อมูลดิบที่ได้จะถูกแปลงเป็นรูปแบบ JSON ชั้นล่างที่ได้รับข้อมูลจะวิเคราะห์ข้อมูลประเภท JSON และจัดเก็บเฉพาะข้อมูล GPS จริง ในฐานข้อมูล ระดับฐานข้อมูลได้รับการจัดการโดยระดับธุรกิจ และใช้เซิร์ฟเวอร์ฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ PostgreSQL จริงๆ



**Fig.8:** Layers of Cloud Platform.

### 3.3 ส่วนต่อประสานผู้ใช้

ข้อมูลที่ได้รับจากโหนดใน WSN ถูกเก็บไว้ในที่เก็บข้อมูลบนคลาวด์ หน้าจอ GUI จะแสดงข้อมูลสถานะของโหนดและตำแหน่งของโหนดบนแผนที่ ข้อมูลสถานะโหนดจะแสดงหมายเลขซีเรียลของฮาร์ดแวร์ หมายเลขโหนด ข้อมูลครั้งล่าสุดที่ถูกส่ง ความจุของแบตเตอรี่ และสัญญาณ GUI ปัจจุบันประกอบด้วยเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้รูปแบบการออกแบบ Model-View-Controller (MVC) เราใช้รูปแบบข้อมูล JSON สำหรับการสื่อสารภายในระบบคลาวด์และเว็บแอปพลิเคชัน รูปที่ 9 แสดงหน้าเว็บสำหรับตรวจสอบตำแหน่งของสัตว์ หน้าเว็บการจัดการจะรีเฟรชโดยอัตโนมัติทุกๆ สามนาที และผู้ดูแลระบบสามารถรีเฟรชได้ด้วยตนเอง

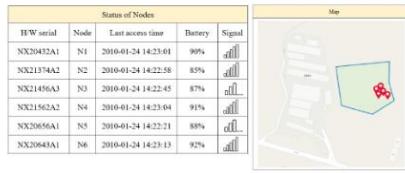


Fig. 9: Webpage for animal monitoring.

## ผลลัพธ์

การทดลองดำเนินการในสามวิธีหลัก ครั้งแรกที่วัดค่าของ RSI ในระยะใกล้เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพพื้นฐานของเครื่องรับไว้สาย การส่งข้อความที่วัดผลและประสิทธิภาพการประมวลผลที่สองเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแพลตฟอร์มคลาวด์ ประการที่สาม เรายกตัวอย่างการใช้แบบเตอร์เรียและระบบการเดินทางของสัตว์โดยการสร้างหนندในฟาร์มจริง

### 4.1 การตรวจสอบการรวมข้อมูล

การทดลองครั้งแรกดำเนินการเพื่อยืนยันพฤติกรรมบน WSN การทดสอบปัจจุบัน ได้ตรวจสอบว่าโหนดได้รับข้อมูลตำแหน่งเป็นประจำหรือไม่ และส่งข้อมูลที่รวมไว้ในเครือข่ายอย่างถูกต้องหรือไม่ ทั้งระบบมีหนนดทั่วไปจำนวนหนึ่งที่รวมรวมและส่งข้อมูลตำแหน่ง และโหนดเหล่านี้จะส่งข้อมูลที่รวมไว้ในโหนดซิงก์

ในการทดลองครั้งแรก เครื่องรับ GPS ที่ติดตั้งในโหนดถูกตั้งค่าให้เปิดทุกๆ 30 วินาทีเพื่อรวมข้อมูลตำแหน่ง โหนดยังได้รับการตั้งโปรแกรมให้ใช้เป็นโหนดซิงก์ที่สามารถรับข้อมูลจากโหนดปกติได้ โหนดใช้ชุดอุปกรณ์ eZ430-RF2500 ที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.1 และโหนดซิงก์เข้ามายื่นต่อ กับพีซีตรวจสอบเพื่อตรวจสอบข้อมูล เราตรวจสอบข้อมูลที่ส่งจากโหนดซิงก์โดยแสดงบนแผนที่แบบเรียลไทม์โดยใช้พีซีสำหรับตรวจสอบ ในการทำเช่นนี้ โหนดได้รับการตั้งโมดูลตัวรับสัญญาณ SIM808 เพื่อการรับสัญญาณตำแหน่งที่แม่นยำ คุณภาพการใช้ชิปประบูรุ่นสามารถวัดที่ระยะ 50 ถึง 60 เมตรได้ อย่างไรก็ตาม การทดลองจริงโดยใช้อุปกรณ์ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนหลายอย่างที่สูงกว่า 20 เมตร และค่าที่แม่นยำสามารถวัดได้อย่างน่าเชื่อถือภายในระยะ 20 เมตรเท่านั้น

ทำการทดลองรับข้อมูลตำแหน่งโดยใช้โหนดเป็นเวลา 15 นาทีและรวมข้อมูลตำแหน่ง 30 ครั้ง โหนด WSN ยังคงเคลื่อนที่ต่อไปภายในพื้นที่ 500 ตารางเมตรระหว่างการทดลอง โหนดปกติและโหนดซิงก์เคลื่อนที่ไปด้วยกันในระยะใกล้ประมาณ 10 ม. และแพ็กเก็ตทั้งหมดถูกส่งตามปกติโดยไม่สูญเสียแพ็กเก็ตที่ส่ง ข้อมูล GPS ที่ได้รับจากโหนดถูกเก็บไว้ในรูปแบบ NMEA (มาตรฐานอุตสาหกรรมที่ใช้กันทั่วโลก) 0183 เพื่อใช้ข้อมูลใน Google Map รูปที่ 10 แสดงแผนที่จริงที่แสดงโดยใช้วันที่วัดที่โหนด



Fig.10: Actual map with GPS information.

#### 4.2 การตรวจสอบเครื่องรับสัญญาณไร้สาย CC2500

ในระบบที่เสนอ การสื่อสารเฉพาะกิจระหว่างโหนดในแบบเลื่อน WSN มีบทบาทสำคัญที่สุด ด้วยเหตุนี้ เราจึงทดสอบประสิทธิภาพของตัวรับส่งสัญญาณ CC2500 ปัจจัยสำคัญในการเลือกตัวรับส่งสัญญาณไร้สายใน WSN คือช่วงการสื่อสารของผู้สื่อสาร ด้วยเหตุนี้ ช่วงการสื่อสารจึงได้รับเลือกให้เป็นการทดลองแรกเพื่อใช้ตัวรับส่งสัญญาณ CC2200 วัดการเปลี่ยนแปลง RSSI (Received Signal Strength Indication) ตามระยะห่างทางกายภาพระหว่างตัวรับส่งสัญญาณสองตัว การทดลองนี้พยายามกำหนดระยะทางสูงสุดที่สามารถส่งข้อมูลระหว่างตัวรับส่งสัญญาณได้อย่างน่าเชื่อถือ

มีการเตรียมโหนดสองโหนดสำหรับการทดลอง โดยหนึ่งในนั้นใช้เป็นโหนดทั่วไปและอีกโหนดหนึ่งเป็นโหนดซิงก์ โหนดซิงก์เข้มต่อแบบบีร์สไตน์กับโน็ตบุ๊กสำหรับการตรวจสอบข้อมูลและการตรวจสอบข้อมูล RSSI การทดลองโหนดได้ดำเนินการในพื้นที่กว้างโดยไม่มีสิ่งกีดขวางรอบการทดลอง โหนดถูกกำหนดให้มีความสูง 1 เมตรเมื่อพิจารณาจากความสูงของสัตว์ ในการทดลอง โหนดซิงก์ได้รับการแก้ไขและย้ายโหนดทั่วไปไปที่ 1, 2, 4, 8 และ 16 ม. โหนดทั่วไปส่งแพ็กเก็ตไปยังโหนด sink ทุกๆวินาทีและใช้พลังงานสูงสุด

เรายืนยันว่าได้รับแพ็กเก็ตที่โหนดซิงก์ และซอฟต์แวร์ของเราแสดงภาพข้อมูล RSSI ที่ได้รับจากการสื่อสารแบบอนุกรมไปพร้อม ๆ กัน โหนดส่ง 10 แพ็กเก็ตในแต่ละตำแหน่ง โหนดซิงก์บันทึกข้อมูล RSSI เมื่อได้รับแพ็กเก็ตที่สิบ รูปที่ 11 แสดงค่า RSSI สำหรับระยะทาง เพื่อลดพลังงานที่ใช้โดยโหนดไร้สาย มีวิธีลดความซับซ้อนในการเชื่อมต่อเครือข่ายหรือการใช้พลังงาน ในการทดลองหน่วย หากระยะห่างของโหนดไร้สายมากกว่า 20 เมตร การใช้พลังงานบนโหนดจะเพิ่มขึ้นประมาณ 25% และข้อมูลที่ได้รับมักจะสูญหาย

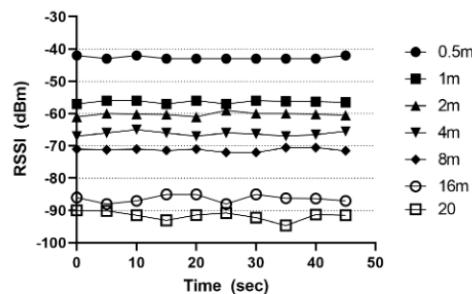


Fig.11: RSSI value according to change in distances.

#### 4.3 การตรวจสอบแพลตฟอร์มคลาวด์

ระบบที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบันนี้ถูกผลิตขึ้นเพื่อเป็นต้นแบบสำหรับการฝึกอบรมตามสัตว์ ด้วยเหตุนี้ ข้อมูลสัตว์จำนวนมากจึงมีอยู่ในระบบ ตามเวลาจริงและส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์คลาวด์ ในอนาคต เราจะรวบรวมข้อมูลสัตว์และข้อมูลตำแหน่งจำนวนมากโดยใช้ต้นแบบ และใช้แพลตฟอร์มระบบคลาวด์เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับสัตว์ ข้อมูลอ้างอิงถึงนิสัยของสัตว์ที่ค้นพบโดยการวิเคราะห์ หากเราทราบข้อมูล เราสามารถทำนายสถานะสุขภาพของสัตว์ได้

ในการทดลองนี้ เราใช้ Amazon Elastic Compute Cloud (EC2) เป็นแพลตฟอร์มระบบคลาวด์สำหรับการทดลองฟรี เราสังเกตสถานะของแพลตฟอร์มคลาวด์เมื่อจำนวนข้อความที่ส่งจากโหนดเพิ่มขึ้น ในการทดสอบระบบคลาวด์ เราตรวจสอบเวลาแห่งของข้อความ เวลาล่าช้าที่นี่หมายถึงเวลา ก่อนที่ข้อความจะมาถึง EC2 และประมวลผลโดยแพลตฟอร์มจริง

มีการใช้ Amazon API Gateway เพื่อส่งข้อมูลข้อความไปยังเซิร์ฟเวอร์คลาวด์ EC2 และทำการสื่อสารซึ่งกันและกัน งานส่งข้อความจำนวนมาก (10,100, 1000, 10000 และ 100000) ไปยังเซิร์ฟเวอร์ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง มีการทดลองทั้งหมดห้าครั้งและค่าเฉลี่ยและค่านวนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาประมวลผลของข้อความทั้งหมดที่ส่ง รูปที่ 12 แสดงจำนวนข้อความที่ส่งและเวลาในการประมวลผล

เข่นเดียวกับในเซิร์ฟเวอร์ทั่วไป เซิร์ฟเวอร์ ec2 จะเพิ่มเวลาในการประมวลผลเป็นเส้นตรงเมื่อปริมาณข้อความที่ส่งเพิ่มขึ้น โดยพื้นฐานแล้ว ยิ่งส่งข้อความมากเท่าใด จำนวนข้อความใน ก็ยิ่งมากขึ้นเท่านั้น คิวข้อความของเซิร์ฟเวอร์ ด้วยเหตุผลนี้ ความแตกต่างระหว่างเวลาประมวลผลของข้อความที่มาถึงครั้งแรกกับเวลาการประมวลผลของข้อความที่มาถึงล่าสุดจะแตกต่างกันมาก เป็นผลให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความล่าช้าในการประมวลผลข้อความมีขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ เซิร์ฟเวอร์จะประมวลผลข้อความในคิวข้อความแบบขนาดแทนที่จะเรียงตามลำดับ ในปัจจุบันเนื่องจากข้อจำกัดของประสิทธิภาพของเซิร์ฟเวอร์ ข้อความจะได้รับการประมวลผลแบบขนาด แต่ยังคงเกิดความล่าช้าในการประมวลผล

#### 4.4 การตรวจสอบฟาร์มปศุสัตว์ 1

เพื่อตรวจสอบระบบที่เสนอ ได้มีการทดลองฟาร์มปศุสัตว์ในพื้นที่ที่โรงเรียนตั้งอยู่ มีวัวประมาณ 30 ตัวในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ที่เข้าร่วมการทดลอง กินหญ้าในตอนกลางวัน และนอนในโรงนาตอนกลางคืน ผู้จัดการฟาร์มปศุสัตว์จำเป็นต้องเฝ้าติดตามเมื่อสัตว์กำลังเลี้มหญ้าอยู่ข้างนอก ในการทดสอบครั้งแรก เราใช้โหนดทั้งหมดห้าโหนดที่ประกอบด้วยโหนดซิงก์ 2 โหนดและโหนดปกติ 3 โหนด เราเลือกกลุ่มวัวที่มีวัวหัวดัวด้วยความช่วยเหลือของช่างนาและสมปโลกคอที่คอวัวแต่ละตัว รูปที่ 13 แสดงพื้นที่ที่ทำการทดลองจริงในการตรวจสอบปศุสัตว์ในฟาร์ม โหนดในรูปที่ 6 ถูกติดตั้งไว้ที่คอของวัว โดยใช้โหนดเหล่านั้น เราจะรวมข้อมูลตำแหน่ง GPS และข้อมูลแบตเตอรี่ ข้อมูลนี้ถูกส่งทุก 15 นาทีเพื่อติดตามพฤติกรรมการเคลื่อนไหวของวัวและทำให้แบตเตอรี่ใช้งานได้นานขึ้น ในการทดลองในฟาร์ม มีเพียงสองในห้าโหนดเท่านั้นที่เปิดใช้งานโมดูล 3G/4G เพื่อใช้เป็นโหนดซิงก์ อีกสามโหนดที่เหลือถูกใช้เป็นโหนดปกติและบันทึกข้อมูลที่รวมเมื่อโหนดซิงก์ถูกตัดการเชื่อมต่อ ข้อมูลที่รวมที่โหนดถูกส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์ EC2 โดยใช้โหนดซิงก์ การทดลองนี้ดำเนินการเป็นเวลา 3 วันโดยพิจารณาจากแบตเตอรี่ เหตุผลในการตั้งค่าความถี่ของการส่งผ่านข้อมูลเป็น 15 นาที เนื่องจากโมดูล 4G ไม่ได้อยู่ในโหมดสลีปและมีการใช้แบตเตอรี่สูง



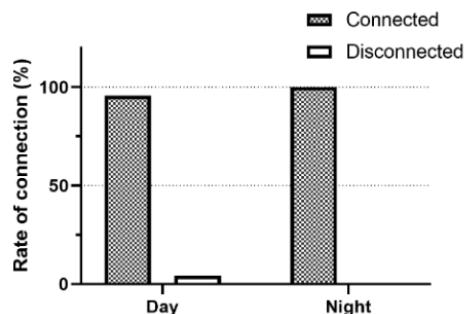
**Fig.13:** Environment of livestock farm.

โครงการสร้างพื้นฐานของ WSN มีบทบาทสำคัญในการตรวจสอบสัตว์แต่ละตัวในฟาร์ม ในการตรวจสอบนี้ เราได้ตรวจสอบเวลาเชื่อมต่อของโหนดและปริมาณการใช้แบตเตอรี่ของโหนดใน WSN ขั้นแรก เราตรวจสอบเวลาการเชื่อมต่อระหว่างการทำงานของโหนด เมื่อวัวเลี้มหญ้าในระหว่างวันจะแบ่งออกเป็นหลายกลุ่ม และในตอนกลางคืนวัวจะย้ายไปที่

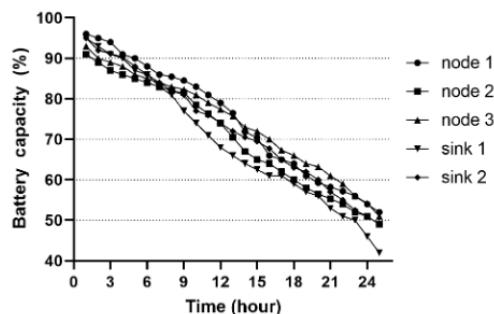
โรงงานและอยู่ในบ้านในเวลากลางคืน ด้วยเหตุนี้ จึงสันนิษฐานว่า ว่าทั้งหมดจะอยู่ในช่วงการประมวลผลของโมดูลรับสัญญาณไร้สาย CC2500 ที่ฝังอยู่ในโหนด และโหนดซิงก์และโหนดปกติที่เก็บรวบรวมข้อมูลจะยังคงเชื่อมต่อ กันเกือบตลอดเวลา เพื่อตรวจสอบสิ่งนี้ โหนดปกติจะเชื่อมต่อกับโหนดซิงก์ทุก ๆ 30 นาทีเพื่อส่งข้อมูลที่รวบรวมไว้ ในขณะนี้ การเชื่อมต่อกับโหนดซิงก์ถูกตั้งค่าให้เปิดใช้งานทั้งอีอฟเดียวและอีอฟหลายอัน ผลลัพธ์ของการทดลองนี้แสดงไว้ในรูปที่ 14

ในการวิเคราะห์อัตราการเชื่อมต่อระหว่างโหนด จะใช้ข้อมูลทั้งหมด 12 ชั่วโมง โดยใช้เวลา 6 ชั่วโมงในตอนกลางวัน และ 6 ชั่วโมงในตอนเย็น โหนดร้อยละ 95% ในเวลา 342 นาที (ประมาณ 95%) จาก 360 นาที นอกจากนี้ ในเวลากลางคืน การเชื่อมต่อระหว่างโหนดเมชกับโหนดซิงก์คือ 100% เนื่องจากว่าอยู่ด้วยกันในโรงงาน ดังที่เห็นได้จากการทดลองในหัวข้อ 4.2 ระยะการส่ง/รับสูงสุดของโมดูลการสื่อสาร CC2500 คือ 20 เมตร ข้อเท็จจริงนี้แสดงให้เห็นว่า ว่า อาศัยอยู่ด้วยกันเกือบทุกวัน

เมื่อใช้งานระบบตรวจสอบแบบไร้สายในฟาร์ม สิ่งสำคัญคือต้องทราบการใช้พลังงานที่แท้จริงของโหนดไร้สาย ใน การพิจารณาการใช้พลังงานของโหนด เราได้วัดการใช้แบตเตอรี่ของโหนดซิงก์สองโหนดและโหนดเมชสามโหนด รูปที่ 15 แสดงการใช้พลังงานของโหนดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนการทดลอง สันนิษฐานว่า sink nodes มีการใช้พลังงานสูงกว่า mesh nodes เนื่องจากโหนดซิงก์ทำหน้าที่ส่องอย่าง: โหนดตัวข่ายทำหน้าที่เพิ่มเติม (รับข้อมูล GPS วัดการใช้แบตเตอรี่ ฯลฯ) และ ส่งข้อมูลไปยังคลาวด์ อย่างไรก็ตาม การใช้แบตเตอรี่จริงแสดงให้เห็นว่า ความแตกต่างใน power usage ระหว่าง sink node และ mesh node มีขนาดไม่ใหญ่นัก การวิเคราะห์โดยละเอียดของโหนด sink และแสดงให้เห็นว่า เหตุใดจึงใช้กระแส 80 ถึง 430 mA เมื่อถ่ายโอนข้อมูลจากโหนด sink ไปยังแพลตฟอร์มคลาวด์ แต่เวลาโอนจริงสั้นมาก (น้อยกว่าสองสามวินาที) ในโหนดปกติ โมดูล 3G/4G ใช้กระแสไฟ 20 mA ที่โหนด โมดูล GPS ใช้พลังงานจำนวนมากประมาณ 78 mA จะได้รับข้อมูล GPS ที่แม่นยำจากอุปกรณ์ ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก



**Fig.14:** Connection rate between sink node and mesh node.



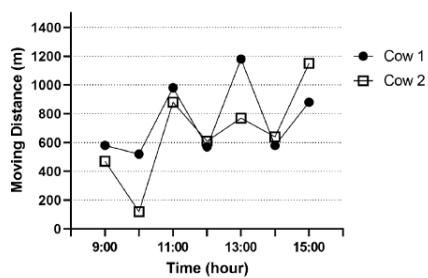
**Fig.15:** Battery consumption of nodes.

#### 4.5 การตรวจสอบฟาร์มปศุสัตว์ 2

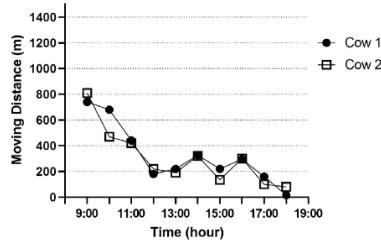
เป้าหมายหนึ่งของการศึกษาครั้งนี้คือการทำความเข้าใจลักษณะพฤติกรรมของสัตว์ ในการทำเช่นนี้ เราตัดสินใจจัดเก็บข้อมูล GPS ทุก ๆ สามนาที และเปิดโมดูล GPS ของ SIM808 ตลอดเวลาเพื่อรับรวมข้อมูลสัตว์ให้ได้มากที่สุด เพื่อให้

เข้าใจถึงลักษณะของสัตว์ เราใช้วัวในฟาร์มและเลือกวัวสองตัวจาก 58 ตัว ทำการทดลองเป็นเวลาสองวันและรวบรวมข้อมูล จนกระทั่งแบตเตอรี่ทั้งหมดของโหนดที่ติดตั้งบนวัวหมด

รูปที่ 16 แสดงระยะทางการเดินทางของวัวสองตัวที่วัดระหว่างวัน ระยะเริ่มต้นไม่เป็นศูนย์ เพราะรวมระยะทางสะสมก่อน 9 นาฬิกา เมื่อเริ่มการเลี้ยงสัตว์ รูปที่ 16(a) แสดงระยะการเดินทางของวัวสองตัวในวันแรก วัวทั้งสองมีระยะทางต่างกันเล็กน้อยและอยู่ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน แต่จะรวมตัวกันอีกรอบเพื่อยุ่ร่วมกันเป็นผู้ตั้งแต่เริ่มเลี้ยงจนกลับมาที่บ้านในตอนเย็น การมีข้อมูลดังกล่าวเกี่ยวกับโคสามารถระบุอาการผิดปกติได้เมื่อโคในกลุ่มนี้มีระยะการเดินทางแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับวันอื่นๆ



(a) Day 1



(b) Day 2

Fig. 16: Total distance travelled by cattle.

### สรุปผลการวิจัย

ในบทความนี้ เรายังเสนอระบบ WSN ที่ใช้แพลตฟอร์มคลาวด์สำหรับการเฝ้าระวังตามสัตว์ในฟาร์ม ระบบที่เสนอสร้าง WSN โดยใช้โปรโตคอลของตัวเองและส่งข้อมูลที่วัดโดยโหนดข้อมูลแต่ละโหนดไปยังโหนดซิงก์ โหนดซิงก์ส่งข้อมูลที่รวบรวมไปยังแพลตฟอร์มคลาวด์โดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสาร แพลตฟอร์มคลาวด์เก็บข้อมูลของโหนดทั้งหมดและประมวลเป็นหน้าเว็บที่ผู้ดูแลระบบตรวจสอบแบบเรียลไทม์ ผู้ดูแลการฟาร์มสามารถตรวจสอบสถานะของสัตว์แต่ละตัวผ่านหน้าเว็บและวิเคราะห์พฤติกรรมของกลุ่มสัตว์ได้ เราใช้ระบบที่เสนอและทำการทดลองโดยใช้สัตว์ตัวอย่างความช่วยเหลือของฟาร์ม จากผลการทดลองได้รับการยืนยันว่าปกติแล้วข้อมูลถูกส่งและรับ หน้าเว็บช่วยให้ผู้ดูแลระบบสามารถรับข้อมูลสถานะแบบเรียลไทม์สำหรับสัตว์แต่ละตัวและสามารถตรวจสอบตำแหน่งของสัตว์ได้บนแผนที่

## สรุปบทความวิจัยภาษาอังกฤษ

ชื่อบทความวิจัย Monitoring Method of Movement of Grazing Cows using Cloud-Based System

ชื่อนักวิจัย Jung Kyu Park and Eun Young Park

ปีที่เผยแพร่ 2020

Conference/ Journal ECTI-CIT

**ปัญหาที่นำมาสู่การทำวิจัย ความสำคัญของงานวิจัย และวัตถุประสงค์/เป้าหมายงานวิจัย (problem and motivation, objective/aim of the study)**

เนื่องจากฟาร์มส่วนใหญ่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ในการทำความสะอาดเข้าใจสภาพของสัตว์ แต่อาศัยมุมมองของเกษตรกร ทำให้อาจข้อมูลสามารถได้จากการเฝ้าติดตามสัตว์เลี้ยงในฟาร์ม ผู้จัดการสามารถกำหนดพฤติกรรมของสัตว์และใช้ข้อมูลนี้ในการทำนายสุขภาพของสัตว์ ในงานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอระบบติดตามปศุสัตว์ตาม WSN ระบบที่นำเสนอสามารถตรวจสอบสัตว์เลี้ยงในฟาร์มโดยใช้อุปกรณ์ IoT จุดมุ่งหมายคือการลดโครงสร้างพื้นฐานเพื่อนำระบบไปใช้ ด้วยเหตุผลนี้ เราจึงเสนอระบบที่ใช้ WSN สำหรับเฝ้าติดตามสัตว์ในฟาร์มปศุสัตว์ ระบบที่เสนอได้แนะนำแพลตฟอร์มคลาวด์โดยคำนึงถึงพลังการประมวลผลและความสามารถในการปรับขนาดในอนาคตของข้อมูลที่รวบรวม ระบบบันทึกดำเนินการเคลื่อนย้ายปศุสัตว์แบบเรียลไทม์ ว่าที่กินได้มักจะเป็นผุ่งที่กินหญ้าบนทุ่งหญ้ากว้างใหญ่ วัวที่ไม่เคลื่อนไหวเป็นระยะสามารถคาดการณ์ได้ว่าไม่สบาย ผู้จัดการฟาร์มสามารถใช้ข้อมูลนี้เพื่อรับรู้สถานะของสัตว์และสถานะสุขภาพ นอกจากนี้ เมื่อปศุสัตว์กำลังเคลื่อนที่ ผู้บริหารสามารถทราบได้หากออกจากฟาร์ม

**ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและซ่องว่างระหว่างงานวิจัย (related research articles and research gap)**

อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับการทำฟาร์มอย่างชาญฉลาด

ในการวิจัยของ Shadrin IoT ถูกนำไปใช้กับการเกษตรอัจฉริยะ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง วัดความชื้นภายในฟาร์มที่ปลูกต้นไม้ และข้อมูลนี้ได้รับการตรวจสอบแบบเรียลไทม์ ข้อมูลที่รวมมาได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช และเพื่อยกระดับระบบฟาร์มในอนาคต นอกจากนี้ ได้มีการจัดตั้งระบบเพื่อแจ้งผู้จัดการเมื่อมีปัญหาในการรักษาความชื้นภายในฟาร์ม เช่นเดียวกับในการศึกษาภายนอกหน้าที่ ฟาร์มพืชหลายแห่งใช้ IoT

**แนวคิดและวิธีการ เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย (research methodology)**

ระบบสามารถแบ่งออกเป็นสามองค์ประกอบ ขั้นแรกจะอธิบายโครงสร้างเครือข่ายและรายละเอียดการสื่อสารภายในสถาปัตยกรรม WSN ส่วนที่สองคือแพลตฟอร์ม Cloud ซึ่งจัดการข้อมูลที่ส่งจาก WSN ในสภาพแวดล้อม WSN ส่วนใหญ่ สถานีฐานใช้เพื่อรับรวมและประมวลผลข้อมูล แต่ในบทความนี้ แพลตฟอร์มระบบคลาวด์ใช้ในการประมวลผลข้อมูล ส่วน WSN รวบรวมและส่งข้อมูลที่สร้างโดยหนึ่ด แต่การประมวลผลข้อมูลจริงดำเนินการบนแพลตฟอร์มคลาวด์ อินเทอร์เฟซผู้ใช้ที่วายให้มองเห็นสถานะของระบบปัจจุบันและข้อมูลที่ประมวลผลได้

เครื่องมือที่ใช้ 1. สร้อยคอที่มีเซ็นเซอร์

2. ez430-RF2500T พร้อม MCU

3. เครื่องรับ GPS

4. เซลลูลาร์ 3G/4G

5. คลาวด์

6. MSP430F2274 MCU

### ผลสรุปที่ได้ของงานวิจัยหรือ การนำไปใช้ประโยชน์ (research findings and benefits)

แพลตฟอร์มคลาวด์เก็บข้อมูลของโหนดทั้งหมดและประกอบเป็นหน้าเว็บที่ผู้ดูและระบบตรวจสอบแบบเรียลไทม์

ผู้จัดการฟาร์มสามารถตรวจสอบสถานะของสัตว์แต่ละตัวผ่านหน้าเว็บและวิเคราะห์พฤติกรรมของกลุ่มสัตว์ได้ เราใช้ระบบที่เสนอและทำการทดลองโดยใช้สัตว์ด้วยความช่วยเหลือของฟาร์ม จากผลการทดลอง ได้รับการยืนยันว่าปกติแล้วข้อมูลถูกส่งและรับ หน้าเว็บช่วยให้ผู้ดูและระบบสามารถรับข้อมูลสถานะแบบเรียลไทม์สำหรับสัตว์แต่ละตัวและสามารถตรวจสอบตำแหน่งของสัตว์ได้บนแผนที่

การทดลองดำเนินการในสามวิธีหลัก ครั้งแรกที่วัดค่าของ RSI ในระยะใกล้เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพพื้นฐานของเครื่องรับไร้สาย การส่งข้อความที่วัดผลและประสิทธิภาพการประมวลผลที่สองเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแพลตฟอร์มคลาวด์ ประการที่สาม เราตรวจสอบการใช้แบตเตอรี่และการเดินทางของสัตว์โดยการสร้างโหนดในฟาร์มจริง

#### 1. การตรวจสอบการรวมข้อมูล

ทำการทดลองรับข้อมูลตำแหน่งโดยใช้โหนดเป็นเวลา 15 นาทีและรวมข้อมูลตำแหน่ง 30 ครั้ง โหนด WSN ยังคงเคลื่อนที่ต่อไปภายในพื้นที่ 500 ตารางเมตรระหว่างการทดลอง โหนดปกติและโหนดซิงก์เคลื่อนที่ไปด้วยกันในระยะใกล้ประมาณ 10 ม.

#### 2. การตรวจสอบเครื่องรับสัญญาณไร้สาย CC2500

ใช้เป็นโหนดทั่วไปและอีกโหนดหนึ่งเป็นโหนดซิงก์ โหนดซิงก์เข้ามารับแบบไร้สายกับโน็ตบุ๊กสำหรับการตรวจสอบข้อมูลและการตรวจสอบข้อมูล RSSI การทดลองโหนดได้ดำเนินการในพื้นที่กว้างโดยไม่มีสิ่งกีดขวางรอบการทดลอง โหนดถูกกำหนดให้มีความสูง 1 เมตรเมื่อพิจารณาจากความสูงของสัตว์ ในการทดลอง โหนดซิงก์ได้รับการแก้ไขและย้ายโหนดทั่วไปที่ 1,2, 4, 8 และ 16 ม. โหนดทั่วไปส่งแพ็กเกตไปยังโหนด sink ทุกๆวินาทีและใช้พลังงานสูงสุด แสดงค่า RSSI สำหรับระยะทาง เพื่อลดพลังงานที่ใช้โดยโหนดไร้สาย มีวิธีลดความชับช้อนในการเข้มต่อเครือข่ายหรือการใช้พลังงาน ในการทดลองหน่วย ทางระยะห่างของโหนดไร้สายมากกว่า 20 เมตร การใช้พลังงานบนโหนดจะเพิ่มขึ้นประมาณ 25% และข้อมูลที่ได้รับมักจะสูญหาย

#### 3. การตรวจสอบแพลตฟอร์มคลาวด์

ใช้ Amazon API Gateway เพื่อส่งข้อมูลข้อความไปยังเซิร์ฟเวอร์คลาวด์ EC2 และทำการสื่อสารซึ่อกัน กันส่งข้อความจำนวนมาก (10,100, 1000, 10000 และ 100000) ไปยังเซิร์ฟเวอร์ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง มีการทดลองทั้งหมดท้าครั้งและค่าเฉลี่ยและค่าวนกลางค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาประมวลผลของข้อความทั้งหมดที่ส่ง ยิ่งส่งข้อความมากเท่าใด จำนวนข้อความใน ก็ยิ่งมากขึ้นเท่านั้นคิวข้อความของเซิร์ฟเวอร์ ด้วยเหตุผลนี้ ความแตกต่างระหว่างเวลา

ประมวลผลของข้อความที่มาถึงครั้งแรกกับเวลาการประมวลผลของข้อความที่มาถึงล่าสุดจึงแตกต่างกันมาก เป็นผลให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความล่าช้าในการประมวลผลข้อความมีขนาดใหญ่

#### 4. การตรวจสอบฟาร์มปศุสัตว์ 1

การใช้แบบทดสอบให้เห็นว่าความแตกต่างใน power usage ระหว่าง sink node และ mesh node มีขนาดไม่ใหญ่นัก การวิเคราะห์โดยละเอียดของหนนด sink แสดงให้เห็นว่าเหตุใดจึงใช้กระแส 80 ถึง 430 mA เมื่อถ่ายโอนข้อมูลจากหนนด sink ไปยังแพลตฟอร์มคลาวด์ เดเวลาโอนจึงสั้นมาก (น้อยกว่าสองสามวินาที) ในขณะเดียวกัน โมดูล 3G/4G ใช้กระแสไฟ 20 mA ที่หนนด โมดูล GPS ใช้พลังงานจำนวนมากประมาณ 78 mA จะได้รับข้อมูล GPS ที่แม่นยำจากอุปกรณ์ทำให้สั้นเปลืองพลังงานมาก

#### 5. การตรวจสอบฟาร์มปศุสัตว์ 2

เป้าหมายหนึ่งของการศึกษาครั้งนี้คือการทำความเข้าใจลักษณะพฤติกรรมของสัตว์ ในการทำเช่นนี้ มีการจัดเก็บข้อมูล GPS ทุก ๆ สามนาที และเปิดโมดูล GPS ของ SIM808 ตลอดเวลาเพื่อรับรวมข้อมูลสัตว์ให้ได้มากที่สุด เพื่อให้เข้าใจลักษณะของสัตว์ เราใช้วัวในฟาร์มและเลือกวัวสองตัวจาก 58 ตัว ทำการทดลองเป็นเวลาสองวันและรวบรวมข้อมูลจนครบถ้วนทั้งแบบเตอร์ทั้งหมดที่ติดตั้งบนวัวหมด

แสดงให้เห็นว่าวัวสองตัวอาศัยอยู่ร่วมกันเป็นผู้ตั้งแต่เริ่มเลี้มหญ้าจนกลับมาที่ยังชาในตอนเย็น การมีข้อมูลดังกล่าวเกี่ยวกับความสามารถระบุอาการผิดปกติได้มีประโยชน์อย่างมาก มีระยะเดินทางแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับวัวอื่นๆ

#### ความคิดเห็นของนิสิตที่มีต่องานวิจัย (Your opinion of the study)

เป็นงานวิจัยที่มีประโยชน์ต่อสัตว์และผู้ดูแลสัตว์เป็นอย่างมาก เนื่องจากช่วยลดแรงงานคน แต่ในอนาคตอาจจะต้องทำให้โมเดลสามารถใช้กับสัตว์หลากหลายมากขึ้น

สรุปงานวิจัยภาษาไทย

ชื่อบทความวิจัย การพัฒนาระบบสมาร์ทฟาร์มสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในบ่อ

ชื่อนักวิจัย กำธร สารวรรณ, สรายุทธ กรวิรัตน์, อุ้มบุญ เฉลียงรัชต์ชัย, รณชัย สังหมื่นเม้า, เกษม เขตตะวัน และสาวิกา รัตนกร  
ปีที่เผยแพร่ พ.ศ. 2563

### Conference/ Journal วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา

ปัญหาที่นำมาสู่การทำวิจัย ความสำคัญของงานวิจัย และวัตถุประสงค์/เป้าหมายงานวิจัย (problem and motivation, objective/aim of the study)

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบสมาร์ทฟาร์มเพื่อการจัดการบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดกาฬสินธุ์ โดยระบบมุ่งเน้นพัฒนาการตรวจคุณภาพน้ำ เนื่องจากคุณภาพน้ำมีความสำคัญเป็นอันดับแรกต่อการดำเนินชีวิตและการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ จากการสำรวจสภาพเศรษฐกิจของจังหวัดกาฬสินธุ์พบว่า รายได้ส่วนใหญ่ของประชากรมาจากภาคเกษตร การล่าสัตว์และป่าไม้ ร่องมานเป็นภาคอุตสาหกรรม ภาคการศึกษาและสาขาวิชาค้าปลีกค้าส่งตามลำดับ ทั้งนี้การประมงถือเป็นอาชีพทางด้านการเกษตรอันดับที่ 3 ของจังหวัดกาฬสินธุ์ รองจากการเพาะปลูกและปศุสัตว์ และจากข้อมูลการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในจังหวัดกาฬสินธุ์พบว่า การเพาะเลี้ยงในบ่อ มีปริมาณการผลิตเป็นจำนวนมากที่สุด รองลงมาคือการเลี้ยงในกระชัง และในนาปริมาณและคุณภาพของผลผลิตที่ได้จากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ประกอบด้วยหลักหลายปัจจัย ได้แก่ การเตรียมบ่อ การควบคุมคุณภาพน้ำ คุณภาพของอาหารและการให้อาหาร โรคและการป้องกัน เป็นต้น หนึ่งในปัจจัยที่สำคัญ คือ การควบคุมคุณภาพน้ำให้เหมาะสมกับการเพาะเลี้ยง ซึ่งน้ำมีคุณสมบัติทางเคมีที่สามารถวัดปัจจัยต่างๆ ซึ่งต้องใช้ความรู้วิธีการและเครื่องมือที่วัดแต่ละรูปแบบที่แตกต่าง หากการจัดการบริหารงานไม่มีประสิทธิภาพจะเกิดปัญหา เช่น ข้อมูลคลาดเคลื่อน ข้อมูลสถิติสูญหาย และการบริหารงานที่ไม่มีประสิทธิภาพ เป็นต้น ทั้งนี้คุณภาพน้ำมีผลกระทบต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จำกัดปัญหาปีพ.ศ.2560 เกี่ยวกับปลาในกระชังในพื้นที่ข่อนลำปาง จังหวัดกาฬสินธุ์ ซึ่งสภาพอากาศเปลี่ยนแปลง ในฤดูร้อนพบปลาตายเฉลี่ยวันละ 5-10 ตัน

จากปัญหาดังกล่าวเกี่ยวกับการบริหารจัดการคุณภาพน้ำให้มีประสิทธิภาพมีข้อมูลที่แม่นยำและรวดเร็วและสามารถปรับคุณภาพน้ำได้แบบทันท่วงที่ของบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงมีความสำคัญ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและพัฒนาระบบสมาร์ทฟาร์มสำหรับบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำซึ่งเป็นการนำเอาระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ ควบคู่กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพน้ำโดยระบบนี้จะช่วยอำนวยความสะดวกแก่เกษตรกรและทีดแทนการใช้แรงงานผู้ดูแลบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ รวมทั้งเป็นการบริหารจัดการบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างมีประสิทธิภาพด้วยข้อมูลที่ถูกต้องรวดเร็วและแม่นยำบนพื้นฐานของเทคโนโลยี ซึ่งเป้าหมายของงานวิจัยนี้ คือ การทำสมาร์ทฟาร์มหรือเกษตรอัจฉริยะเป็นรูปแบบการบริหารจัดการฟาร์ม โดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยตามขั้นตอนกระบวนการต่างๆ เช่น การเก็บข้อมูลจากระบบเซ็นเซอร์ การส่งข้อมูลไร้สาย การวิเคราะห์และสนับสนุนการตัดสินใจ การสั่งงานแบบอัตโนมัติ เพื่อใช้แก้ไขปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพด้วยการทำงานแบบอัจฉริยะ เป็นต้น

## ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและซ่องว่างระหว่างงานวิจัย (related research articles and research gap)

ช่วงซ้าย ทองเหลี่ยม และคณะ ได้นำเทคโนโลยีระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำและประมวลผลแบบอัตโนมัติสำหรับระบบทั้งปลาททบมิ โดยวิธีการการตรวจปริมาณออกซิเจนในน้ำ วัดความเป็นกรดด่างและวัดอุณหภูมิ ค่าที่ได้จะถูกส่งไปประมวลผลด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ และแสดงผลไปที่ LCD และสั่งให้ไอซี GAL22V10 ควบคุม LED แสดงสถานะของคุณภาพน้ำงานวิจัยนี้ได้ใช้ทำการเก็บผลการทดลองเป็นระยะเวลา 2 เดือน ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำสามารถตรวจวัดคุณภาพน้ำได้ 3 สถานะ คือสถานะคุณภาพน้ำปกติสถานะคุณภาพน้ำผิดระดับ และสถานะคุณภาพผิดปกติ แสดงระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำในระบบทั้งปลาททบมิ แบบอัตโนมัติได้ถูกออกแบบไว้ส่วนคือเซ็นเซอร์ออกซิเจนน้ำ เซ็นเซอร์ pH และเซ็นเซอร์อุณหภูมิ ส่งค่าไปประมวลผลด้วยไมโครคอมพิวเตอร์แล้วแสดงค่าด้วย LCD และแจ้งเตือนเกณฑ์กราฟที่เลี้ยงปลาระยะ ด้วย LED งานวิจัยดังกล่าวมีการพัฒนาระบบที่เพื่อตรวจวัดคุณภาพน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงกุ้งขาวและปลาทั้งหมด แต่การรายงานข้อมูลของระบบทั้งสองยังไม่สามารถติดตามข้อมูลออนไลน์ได้

## แนวคิดและวิธีการ เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย (research methodology)

1. ข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพทางเคมีของน้ำ คณะวิจัยได้รวบรวมข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญสรุปเป็นตารางที่แสดงคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของกุ้งก้ามgram เนื่องจากกุ้งก้ามgram เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจของจังหวัดและมีความอ่อนไหวต่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงมากที่สุด
2. ศึกษาองค์ประกอบของระบบ ดังนี้
  - โหนดเซ็นเซอร์ประกอบด้วยอุปกรณ์ ได้แก่
    - 1) ตัวประมวลผลกลาง NodeMCU มีหน้าที่อ่านค่าจากเซ็นเซอร์ต่างๆ และแสดงผลบนหน้าจอ LCD หน้าจอ LCD ขนาด 16x2 ตัวอักษรซึ่งอ่านต่อ กับขา D1 และ D2 ของ NodeMCU
    - 2) เซ็นเซอร์ความเป็นกรดด่างซึ่งอ่านต่อ กับ NodeMCU แบบ Serial
    - 3) เซ็นเซอร์การละลายออกซิเจนในน้ำ ซึ่งอ่านต่อ กับ NodeMCU แบบ Serial
    - 4) เซ็นเซอร์อุณหภูมิ มีจำนวน 3 ตัวสำหรับการอ่านค่าอุณหภูมิ 3 ระดับน้ำ (DS18B20)
  - โหนดกระทำ เช่นเดียวกับโหนดเซ็นเซอร์ที่ประกอบด้วย NodeMCU ที่มีหน้าที่ประมวลผลกลาง อ่านสถานะจากฐานข้อมูล เพื่อสั่งรีเลย์ 2 ตัว ซึ่งซึ่งอ่านต่อ กับเครื่องตัน้ำที่ต้องการสั่งเปิด-ปิด
  - โหนดศูนย์กลาง ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลระหว่างโหนดเซ็นเซอร์หรือโหนดกระทำเขื่อมเข้ากับไฟเบอร์ฟibre ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือตัวกระจายสัญญาณไฟไฟที่มีขนาดเล็กสามารถต่อ กับอินเทอร์เน็ตโดยใช้ชิมการ์ด
  - ระบบฐานข้อมูล มีหน้าที่จัดเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำแต่ละช่วงเวลา รวมถึงข้อมูลสถานะการสั่งเปิด-ปิด สวิตช์รีเลย์สถานะคุณภาพน้ำวันและเวลาที่เก็บ และสถานะของการสั่งการของรีเลย์ 2 ตัว
3. มีการพัฒนาระบบ คณะผู้วิจัยได้สร้างอุปกรณ์ยาร์ดแวร์เป็นเครื่องวัดคุณภาพน้ำโดยรวมโหนดเซ็นเซอร์ต่างๆ เชื่อมต่อระบบเครือข่ายส่งข้อมูลการส่งข้อมูลแจ้งเตือนผ่านแอพพลิเคชันไลน์และพัฒนาระบบเว็บแอพพลิเคชัน เพื่อแสดงผลข้อมูล
  1. ตารางที่แสดงคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของกุ้งก้ามgram
  2. NodeMCU

3. หน้าจอ LCD ขนาด 16x2 ตัวอักษร
4. เซ็นเซอร์ความเป็นกรดด่าง (Atlas pH Sensor)
5. เซ็นเซอร์การละลายออกซิเจนในน้ำ (Atlas DO Sensor)
6. เซ็นเซอร์อุณหภูมิ (DS18B20) จำนวน 3 ตัว
7. ตัวกระจาบสัญญาณໄวไฟ
8. ชิมาร์ด
9. ระบบฐานข้อมูล
10. แอพพลิเคชันไลน์
11. เว็บแอพพลิเคชันเพื่อแสดงผลข้อมูล

#### ผลสรุปที่ได้ของงานวิจัยหรือ การนำไปใช้ประโยชน์ (research findings and benefits)

ระบบได้ประมวลผลเพื่อแจ้งเตือนเกี่ยวกับคุณภาพน้ำผ่านแอพพลิเคชันไลน์ โดยได้นำความรู้จากเชี่ยวชาญและนำป้อนลงโปรแกรม ผลที่ได้จากการนำระบบไปใช้แสดงการเปรียบเทียบเวลาการทำงานต่อเดือนที่ลดลงจากเดิมร้อยละ 31.64 กรณีเปรียบเทียบการเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำวันละหนึ่งครั้ง ทั้งนี้ไม่มีการตรวจวัดจำนวนครั้งต่อวันที่เพิ่มมากขึ้น ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 53.1 นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้ทดลองเพื่อทดสอบคุณภาพของเซ็นเซอร์เพื่อหาประสิทธิภาพความถูกต้อง โดยเฉพาะเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิทั้ง 3 ตัวได้ใช้วิธีการทดสอบโดยเชิงเส้นเพื่อลดข้อผิดพลาดให้น้อยลง จากเดิมมีความผิดพลาดอยู่ที่ 2.090.53 และ 2.36 ตามลำดับมีค่าเป็น 0.180.06 และ 0.06 ตามลำดับ ขณะที่เซ็นเซอร์ความเป็นกรดด่างและการละลายออกซิเจนได้วัดความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับ 0.023 และ 0.012 ตามลำดับ สามารถนำระบบบันทึกและส่งงานผ่านเครือข่ายของระบบอินเทอร์เน็ตด้วยเทคโนโลยีไอโอโทป ในส่วนของระบบสารสนเทศพัฒนาเป็นรูปแบบเว็บแอพพลิเคชันที่สามารถแสดงผล และดาวน์โหลดข้อมูลย้อนหลังได้ทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงระบบได้ทุกที่และทุกเวลา

#### ความคิดเห็นของนิสิตที่มีต่องานวิจัย (Your opinion of the study)

เป็นระบบที่ช่วยลดเวลาและแรงในการทำงาน เพิ่มความแม่นยำและยังสามารถทราบผลได้จงย แค่ผ่านไลน์ แต่อาจจะใช้ต้นทุนที่ราคาสูง

## References

J. K. Park and E. Y. . Park, “Animal Monitoring Scheme in Smart Farm using Cloud-Based System”, *ECTI-CIT*, vol. 15, no. 1, pp. 24–33, Dec. 2020.

การ สารวารณ, สรายุทธ กรวิรัตน์, อุ่มบุญ เฉลี่ยรัชต์ชัย, รณชัย สังหมื่นเม้า, เกษม เชตาวัน และ สาวิกา รัตนกร “การพัฒนาระบบสมาร์ทฟาร์มสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในบ่อ”, วิศวกรรมสารฉบับวิจัย และพัฒนา, Oct. 2020.

# Monitoring Method of Movement of Grazing Cows using Cloud-Based System

Jung Kyu Park<sup>1</sup> and Eun Young Park<sup>2</sup>

**ABSTRACT:** Currently, many operations are carried out manually on farms for raising livestock. In particular, most farms do not use equipment to understand the condition of animals, but rely on the farmer's perspective. If information can be obtained by monitoring farm animals, managers can determine the behavior of the animals and use this information to predict the health of the animals. In this paper, we propose a livestock monitoring system based on WSN. The proposed system can monitor farm animals using IoT equipment and cloud platforms. Collars were mounted on the necks of animals using IoT equipment, and the activity of the livestock was monitored. Farm managers can supervise live information by transmitting livestock observation information to cloud platforms. Through actual implementation, we verified that the proposed system can monitor animals on farms in real time.

**DOI:** 10.37936/ecti-cit.2021151.240087

Received March 18, 2020; revised April 20, 2020; accepted July 29, 2020; available online November 18, 2020

**Keywords:** Cloud Computing, Monitoring, IoT, Smart Farm, Wireless Sensor Networks

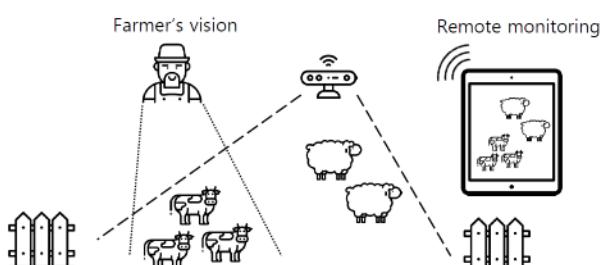
## 1. INTRODUCTION

Of the national food businesses, the livestock industry occupies a very large proportion. According to a survey, in developed countries, 50% of the total output of agriculture is livestock, and in developing countries, about 34% are engaged in livestock production [1]. In recent decades, livestock production has continued to increase due to livestock management practices and changes in people's eating habits [2]. However, livestock farms have to meet various requirements in accordance with modern laws [3]. Requirements include ensuring animal health and welfare, epidemic prevention, efficient management, and food safety.

In order to meet the many requirements described above, many factors must be managed by the livestock farmers. In animal farms, however, it is impossible to monitor and control each animal individually 24 hours day [4]. Livestock farms often manage animals based on the personal experience of farm managers. This leads to a lot of manpower and cost to manage large numbers of animals. In addition, in some instances, the health status of animals is overlooked when checked by visual observation. In order

to solve this problem, a livestock business may benefit from precise livestock farming (PLF) [5, 6].

PLF means managing farm animals using advanced IT technology. Due to the rapid evolution of IT technology, IoT and Wireless Sensor Network (WSN) technologies are used in many fields. Animals can be monitored at low cost by using miniaturized embedded boards and WSN technology in animal husbandry. Using IT technology is more efficient and more accurate than visual monitoring by farm managers [7]. It is possible to continuously monitor the state of each animal in addition to the monitoring of



**Fig.1:** Animal Monitoring using WSN.

<sup>1</sup>Department of Computer Software Engineering, Changshin University, Korea., E-mail: jk-park@cs.ac.kr

<sup>2</sup>Liberal Arts Education, Shinhann University, Korea., E-mail: eypark@shinhann.ac.kr

the herd at the remote site. In addition, the measured data can be delivered to a farm administrator in real time [8, 9]. Figure 1 shows an architecture of animal monitoring using WSN.

Tracking animals using WSN technology can be a huge benefit for livestock farms [11, 12, 14]. The benefits can be divided into three categories as follows. First, the health status of livestock can be analyzed through monitoring of individual animals, thereby reducing collective infections caused by illness. Second, it is possible to maintain the optimal environment for livestock by collecting information on the farm environment in real time. Third, when livestock are grazing, it is possible to prevent the loss of livestock by analyzing the moving path of livestock.

By attaching a GPS sensor to the animals, it is possible to know the location information of the animals in real time when they are grazing in a large area. The location information thus obtained can be used for various purposes. In the first place, when livestock are grazing in large areas and it is time to bring them back to the barn, the livestock's location information can be used to collect them. Second, the farm manager can grasp the pattern of animals by identifying the movement path of animals. This pattern information can be used to determine each animal's grazing location. Third, if an infectious disease occurs in a particular animal, animals around it can be isolated and this can help solve the problem of mass onset of illness. Safer animal husbandry is possible this way.

In this study, we design and implement a system for monitoring livestock on farms. The aim is to minimize infrastructure to implement the system. For this reason, we propose a WSN based system for monitoring animals on livestock farms. The proposed system introduced a cloud platform taking into account the processing power and future scalability of the data collected. The system saves livestock moving locations in real time. Edible cows are often herds that graze on large areas of pasture [10]. Cows that do not move at regular intervals can be predicted to be unwell. Farm managers can use this information to identify animal characteristics and health status. In addition, when livestock are grazing, managers can know if leaves the farm.

## 2. RELATED WORKS

### 2.1 The Internet of Things for Smart Farming

Recently, IoT has been introduced rapidly in a smart farm environments. In the farming environment, the environment of the crop is monitored, water is supplied, and nutrients are supplied. IoT also serves to monitor animals and people from outside the farm. In the livestock environment, animal health such as body temperature and heart rate are monitored to monitor the animal's health and prevent epidemics [12]. We also use animal information to study animal behavior [13]. As shown in the previous exam-

ple, IoT is now being adopted in the education, environment, science, and industrial fields rapidly [15–17].

In Shadrin's research, IoT was applied to smart agriculture [18]. In particular, humidity was measured inside the farm where the plants were grown and this information was monitored in real time. The collected information was used to analyze the growth of plants and to upgrade the farm system in the future. In addition, a system was established to notify the manager when there was a problem in maintaining humidity inside the farm. As in the previous study, many plant farms are using IoT [19–22].

In Vaughan's research, IoT was used to solve the problem of having to measure the body weight of animals on a livestock farm. In particular, a rubber bottom was installed on the farm floor to measure the weight and gait data of the livestock, and a sensor was placed below it. The data measured through the placed sensor was used to analyze the walking pattern of the livestock [5]. In Wang's paper, the amount of food in animals and the form of water intake were monitored in order to perform early checks to determine whether or not the animals in the group were sick. Directional antenna and wireless network technology were used to collect data collected from the animals [23].

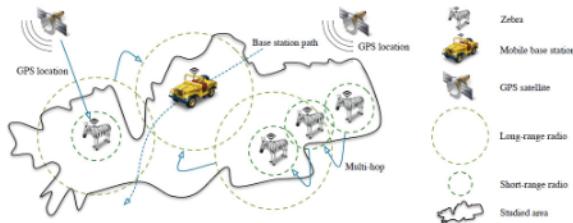
### 2.2 Animal Monitoring

The ZebraNet project developed a system for acquiring animal data before IoT technology matured [24]. In this system, the data of animals in the wild was acquired and this information was transmitted to animal researchers to analyze animal ecology. In particular, the system aimed to monitor and study zebras distributed over Kenya's wide terrain. At the time of the project, there was no cellular network covering the entire area. For this reason, an ad hoc topology was used to transmit data from the node to the base station.

All nodes except the base station acquired the data and transmitted it to the base station. Typically, a base station is installed in a fixed location and collects data, while in this project it was assumed that the base station was moving periodically. The base station of the project was mounted on a car and collected information of the surrounding nodes.

Each zebra had a necklace with a sensor which stored GPS information of the zebra's movement route. This sensor node was made up of two communication devices, so that the energy could be adjusted and used. The first communication device was a short-distance communication device, and was generally used for multi-hop communication. This equipment was used for short distance communication within 100 m using main low power. Other communication equipment was used to communicate with the base station over long distance communication within 8 km. Even though this sensor node

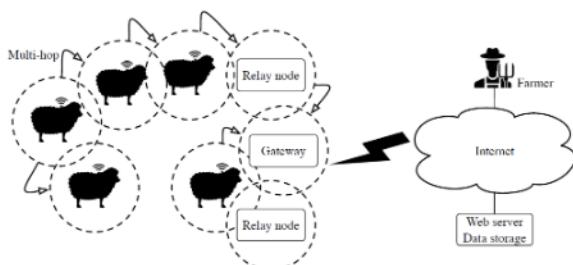
was capable of long-distance communication, it might not be within the range of the base station. In order to solve this problem, it was possible to transmit through another node without transmitting directly from the node to the base station. The ZebraNet used flooding a protocol and a history-based protocol to use the previous transmission scheme [24]. Figure 2 shows the architecture of ZebraNet.



**Fig.2:** Architecture of ZebraNet project.

Nadimi's work has proposed a system that monitors each animal using an Artificial Neural Network and transmits information in the appropriate mode of action [13]. For example, through the moving radius of an animal, a farmer can determine a new grazing place for an animal, because the behavior and information about livestock farm animals can be used to determine the health status of those animals.

The purpose of this study was to monitor the behavior of herds of animals in Europe. We used an ad hoc WSN based on a MCU with wireless receiver. Movement path and head movement of each animal were measured and monitored using the system. In the system, many sensor devices were used as nodes of the sensor network and measured and transmitted environmental information. In this system using an ad hoc topology, each node acts as a router in a multi-hop based network. In the network, one gateway and two relay nodes are arranged around one node. By designing our system this way, it is possible to send the data of the sensor node directly to the gateway or to re-route it using the relay node. Figure 3 shows a ZigBee-based WSN architecture.



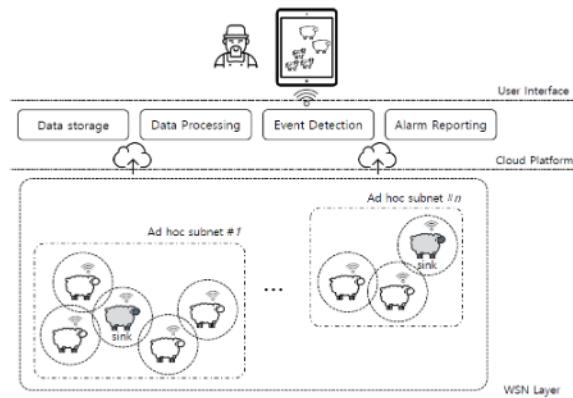
**Fig.3:** WSN Architecture using ZigBee.

### 3. CLOUD-BASED ANIMAL MONITORING SCHEME

This section describes the structure of the proposed monitoring system. The system can be divided into three components. The first describes the network structure and communication details within the WSN architecture. The second part is the Cloud platform, which handles the data sent from the WSN. In most WSN environments, the base station is used to collect and process data, but in this paper, the cloud platform is used to process the data. The WSN part collects and transmits the data generated by the nodes, but the actual data processing is performed on the cloud platform. The user interface allows the visualization of the status of the current system and processed data. Figure 4 shows the three components and details about them.

#### 3.1 WSN Layer

The WSN layer is presented in Figure 4. The purpose of the WSN's configuration is to deliver the information measured at each node to the cloud platform. In this paper, an animal wearing a necklace



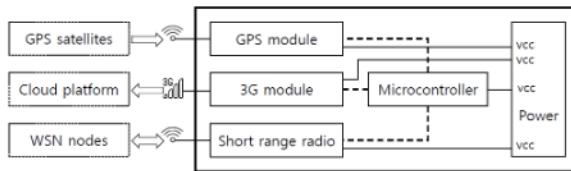
**Fig.4:** Cloud-based Architecture for Animal Monitoring.

containing a sensor is defined as a node. Each node acquires location information using a GPS receiver at a given time. As animals gather in large numbers, groups are formed and leaders are formed among them. The animal that became the leader remains unchanged. The animal leader was selected as the sink node as in the previous research [10]. Animals with leadership in the livestock group were identified in advance by farm managers. Animals which are not regular sink nodes transmit data to the sink nodes using short-range communication and multi-hop. In the experimental environment, 3G/4G cellular communication was possible, so 3G communication was used to transmit node data to the cloud. In the experiment, a 3G module was attached to the sink node and used as gateway node.

Animals on the farm can be divided into several groups instead of one because they move in groups according to their characteristics. This can lead to

a loss of connection to the sink node. To solve this problem, all animals were equipped with a necklace with a 3G communication module. This allows temporary nodes to act as sink nodes when the regular sink node is not available. Using this method, the information acquired from the node can be transmitted to the cloud stably through the changed sink node. WSN configurations can be complex to handle data from many nodes. However cloud platforms can solve this problem. Nodes that can reduce complexity have the advantage of reducing costs in actual production. Figure 5 shows a schematic of the node structure. It is equipped with a wireless communication module for short range communication and a 3G module for cloud communication.

The MSP430F2274 MCU was used to implement the nodes in the Figure 5. The MCU is a widely used 16-bit low-power micro-controller from Texas Instruments [25]. The MCU can be easily programmed and debugged using the UART communication module. For quick node implementation, we used the eZ430-RF2500 development kit with MSP430F2274



**Fig.5:** Schematic of the node structure.

**Table 1:** The detailed specifications of MCU and Wireless receiver.

MSP430F2274 (MCU)	CC2500 (Wireless receiver)
- 16Bit Ultra Low Power MCU	- 2.4 GHz RF Transceiver
Active Mode: 270 $\mu$ A	Low current consumption (13.3 mA in RX, 250 kBaud)
Standby Mode: 0.7 $\mu$ A	- Frequency : 2400-2483.5 MHz
- 1K RAM	- Data rate : 1.2-500 kBaud
- 32KB Flash memory	- High sensitivity :
- UART, SPI, I2C, IrDA	(-104 dBm at 2.4 kBaud)

MCU [26]. The development kit includes two ez430-RF2500T boards with MCUs, a USB debugger interface, and a battery pack. The motherboard is equipped with the CC2500 short-range communication module in addition to the MCU.

The CC2500 wireless transceiver is manufactured by Texas Instruments, like the MSP430F2274 MCU, and is used for short-range communications. The module uses the 2.4 GHz frequency and uses the lowest power setting when communicating. Typically, this module uses 2400-2483.5MHz and was developed for scientific, medical, and industrial use. Table 1 shows the detailed specifications of the MSP430F2274 MCU and the CC2250 wireless receiver. Figure 6 shows the nodes used in the actual experiment. And Figure 7 shows a cow wearing a node collar.



**Fig.6:** Node module used in experiment.

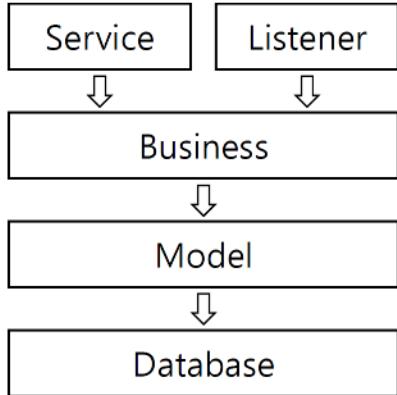
### 3.2 Cloud Platform

This study assumed the use of cloud computing for the back-end infrastructure of WSN. Cloud computing platforms deliver computing power, data storage, and applications. In addition, without using a base station in WSN, sink nodes act as gateways to send data directly to the cloud. With cloud computing, farm managers do not have to worry about complex back-end environments.



**Fig.7:** Cow wearing a node collar.

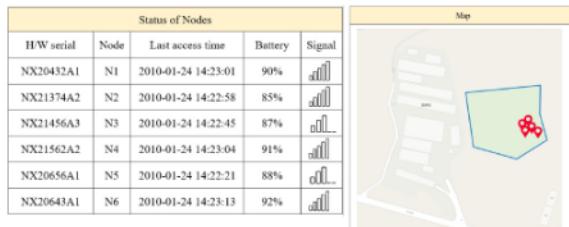
In this paper, we used Amazon web Service (AWS) as a cloud platform. The Amazon's AWS offers multiple services and has a multi-tiered structure. Figure 8 shows the layers in AWS. The uppermost service layer is the starting point for the sink node and cloud platform to communicate. The listener layer periodically performs certain tasks on the system in the cloud. For example, at the end of the day on a 24-hour basis, if calculated the distance travelled for each animal per day. The business layer analyzes and processes steps to perform various system tasks. In the sink node, the measured raw data is converted to JSON format. The lower layer receiving the data analyzes that JSON-type data and stores only the actual GPS information in the database. The database tier is managed by the business tier and actually uses the PostgreSQL relational database server.



**Fig.8:** Layers of Cloud Platform.

### 3.3 User Interface

Data obtained from nodes in the WSN was stored in cloud storage. The GUI screen displays the status information of the nodes and the location of the nodes on the map. Node status information displays hardware serial number, node number, last time data was sent, battery capacity, and signals. The current GUI is composed of web applications applying the Model-View-Controller (MVC) design pattern. We used the JSON data format for communication within the cloud system and web applications. Figure 9 shows a web page for monitoring the animal's location. The management web page is automatically refreshed every three minutes and can be manually refreshed by the administrator.



**Fig.9:** Webpage for animal monitoring.

## 4. RESULTS

The experiment was carried out in three main ways. The first measured the value of RSI over distance to analyze the basic performance of the wireless receiver. The second measured message transmission and processing performance to analyze the performance of the cloud platform. Third, we monitored the battery consumption and the animal's travel distance by establishing nodes on the actual farm.

### 4.1 Verification of Data Gathering

The first experiment was conducted to confirm the WSN-based behavior. The experiment checked

whether the node receives location information regularly and whether it transmits the collected information to the network accurately. The whole system is equipped with a number of general nodes that collect and transmit location information, and these nodes send the collected information to the sink node.

In the initial experiment, the GPS receiver installed in the node was set to turn on every 30 seconds to collect location information. Nodes are also programmed to be used as sink nodes that can receive data from normal nodes. The node used the eZ430-RF2500 kit described in Section 3.1, and the sink node was connected to the monitoring PC for information verification. We checked the data transmitted from the sink node by displaying it on a real-time map using a monitoring PC. To do this, the node was equipped with the SIM808 receiver module for accurate position reception. The chip manual stated that it was possible to measure at a distance of 50 to 60 m. However, the actual experiment using the device resulted in many deviations above 20 m, and accurate values were only measured reliably within 20 m

The experiment of location information acquisition using a node was performed for 15 minutes and location information was collected 30 times. The WSN node continued to move within a 500 m square area during the experiment. The normal node and the sink node moved together at a close distance of about 10 m, and all packets were transmitted normally without losing any transmitted packets. GPS information received from the node was stored in NMEA (The National Marine Electronics Association) 0183 format to utilize the information in Google Map. Figure 10 shows the actual map displayed using the days measured at the nodes.



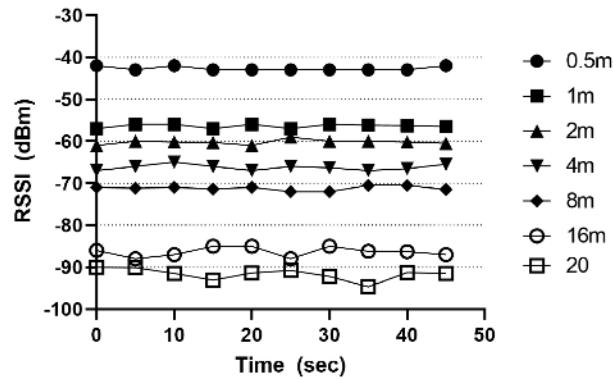
**Fig.10:** Actual map with GPS information.

#### 4.2 Verification of CC2500 Wireless Receiver

In the proposed system, Ad Hoc communication between nodes in the WSN layer plays the most important role. For this reason, we tested performance of the CC2500 transceiver. An important factor in selecting a wireless transceiver in a WSN is the communication range of the communicator. For this reason, the communication range was chosen as the first experiment to perform using the CC2200 transceiver. The change of RSSI (Received Signal Strength Indication) according to the physical distance between two transceivers was measured. This experiment attempts to determine the maximum distance that can be transmitted reliably data between transceivers.

Two nodes were prepared for the experiment, one of which was used as a general node and one as a sink node. The sink node connected wirelessly to the notebook for data verification and RSSI information verification. The node experiment was performed in a wide area without obstacles around the experiment. The node was set to 1 m in height considering the height of the animal. In the experiment, the sink node was fixed and the general node was moved to 1, 2, 4, 8, and 16 m. The general node transmits the packet to the sink node every 5 seconds and uses the maximum power.

We confirmed that the packet was received at the sink node and our software simultaneously visualized the RSSI information received by serial communication. The node sent 10 packets at each location. The sink node recorded RSSI information when it received the tenth packet. Figure 11 shows the RSSI values for distances. To reduce the energy used by the wireless nodes, there is a way to reduce network connectivity complexity or power consumption. In unit experiments, if the distance of the wireless node was more than 20 m, the power usage on the node increased by about 25% and received data was often lost.



**Fig.11:** RSSI value according to change in distances.

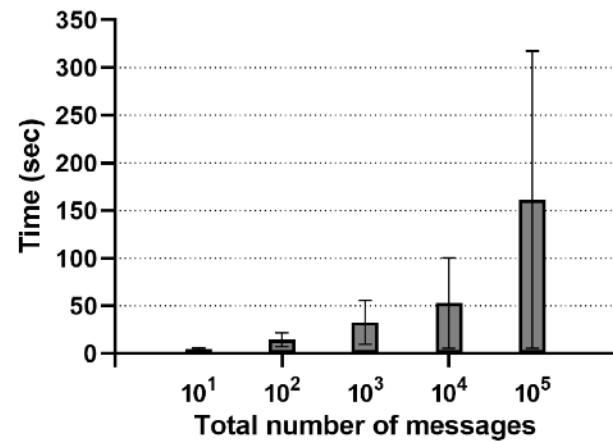
#### 4.3 Verification of Cloud Platform

The currently implemented system was produced as a prototype for animal monitoring. For this reason, a large amount of animal information is not currently collected in real time and transmitted to a cloud server. In the future, we will collect a large amount of animal data and location information using a prototype, and use a cloud platform to analyse various information about the animal. The information refers to the habits of animals discovered through analysis. If we collect the information, we can predict the health status of animals.

In this experiment, we used Amazon Elastic Compute Cloud (EC2) as our cloud platform for free experimentation. We observed the state of the cloud platform as the number of messages sent from nodes increased. In the cloud experiment, we examined the latency of the messages. The delay time here means the time before the message arrives at EC2 and is processed by the actual platform.

Amazon API Gateway was used to send message data to EC2 cloud server and socket communication was performed. The task sent various numbers of messages (10, 100, 1000, 10000, and 100000) to the server. In order to obtain accurate results, a total of five experiments were performed, and the average and standard deviation of the processing time of all messages sent were calculated. Figure 12 shows the number of messages sent and the processing time.

As in general servers, the ec2 server increases the processing time linearly as the amount of transmitted messages increases. Basically, the more messages sent, the greater the number of messages in the



**Fig.12:** Mean value of processing latency after sending messages.

server's message queue. For this reason, the difference between the processing time of the first arrived message and the processing time of the last arrived message is large. As a result, the standard deviation of the message processing delay is large. However, to improve performance, the server processes

messages in the message queue in parallel instead of in order. Currently, due to the limitation of server performance, messages are processed in parallel, but processing delays still occur.

#### 4.4 Verification of Livestock Farm 1

In order to verify the proposed system, experiments were conducted on livestock farms in the area where the school is located. There were about 30 cows on the animal farm participating in the experiment, grazing in the daytime, and sleeping in the barn at night. Livestock farm managers need monitoring when animals are grazing outside. In the first experiment, we used a total of five nodes that consisted of 2 sink nodes and 3 normal nodes. We selected a cow group which included five cows with the help of a farmer and put a collar on each cow's neck. Figure 13 shows the area where the actual experiment was performed.



**Fig.13:** Environment of livestock farm.

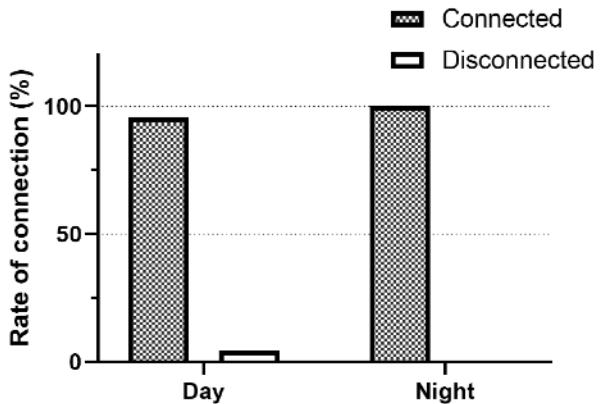
To monitor the cattle in the farm, the nodes in Figure 6 were mounted on the cow's neck. Using those nodes, we collected GPS location information and battery information. This information was transmitted every 15 minutes in order to track the cow's movement habits and make the batteries last longer. In the farm experiments, only two of the five nodes enabled 3G/4G modules to be used as sink nodes. The remaining three nodes were used as normal nodes and buffered the data collected when the sink node was disconnected. The information collected at the node was transmitted to the EC2 server using the sink node. This experiment was performed for 3 days considering the battery. The reason for setting the frequency of transmissions to 15 minutes is that the 4G module was out of sleep and the battery usage was high.

WSN infrastructure plays a major role in monitoring individual animals on the farm. To verify this, we checked the node's connection time and the battery consumption of the nodes in the WSN. First, we verified the connection time during node operation. When cattle graze during the day, they are divided into several groups. And at night, the cows move to

the barn and stay indoors at night. For this reason, it was assumed that all cows will be within the processing range of the CC2500 wireless receiver module embedded in the node, and that the sink node and the normal node collecting data will remain connected most of the time. To verify this, the normal node is connected to the sink node every 30 minutes to transmit the collected data. At this time, the connection with the sink node was set to enable both single hop and multiple hop. The results of this experiment are shown in Figure 14.

To analyze the connection rate between nodes, 12 hours of total data were used, with 6 hours during the day and 6 hours during the evening. Daytime hourly nodes stayed connected to sink nodes for about 342 minutes (about 95%) out of 360 minutes. In addition, at night time, the connection between mesh node and sink node was 100%, because the cows were together in the barn. As can be seen from the experiment in section 4.2, the maximum transmit/receive range of the CC2500 communication module is 20 meters. This fact shows that cows live together most of the day.

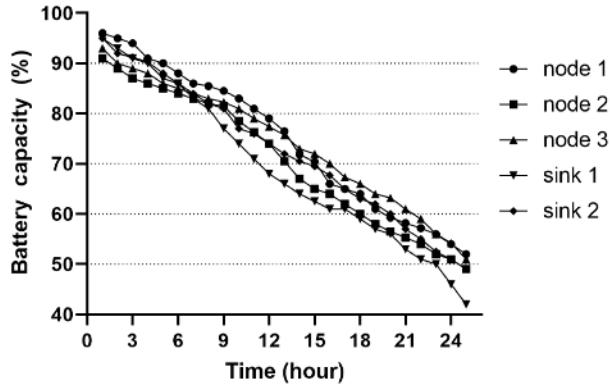
When running a wireless monitoring system on a farm, it is important to know the actual energy consumption of the wireless nodes. To determine the energy consumption of the nodes, we measured the battery usage of two sink nodes and three mesh nodes. Figure 15 shows the energy consumption of nodes for 24 hours. Before the experiment, it was assumed that sink nodes had higher energy utilization than mesh nodes. This is because the sink node performs two functions: the mesh node performs more functions (receives GPS information, measures battery usage, etc.) and sends information to the cloud. However, the actual battery usage shows that the difference in



**Fig.14:** Connection rate between sink node and mesh node.

power usage between the sink node and the mesh node is not large. A detailed analysis of the sink node reveals why it used a current of 80 to 430 mA when transferring data from the sink node to the cloud platform, but the actual transfer time was very short (less

than a few seconds). In idle mode, the 3G/4G modules used 20 mA of current. At the node, the GPS module uses a large amount of energy of about 78 mA until it receives accurate GPS information from the device, causing with high energy consumption.

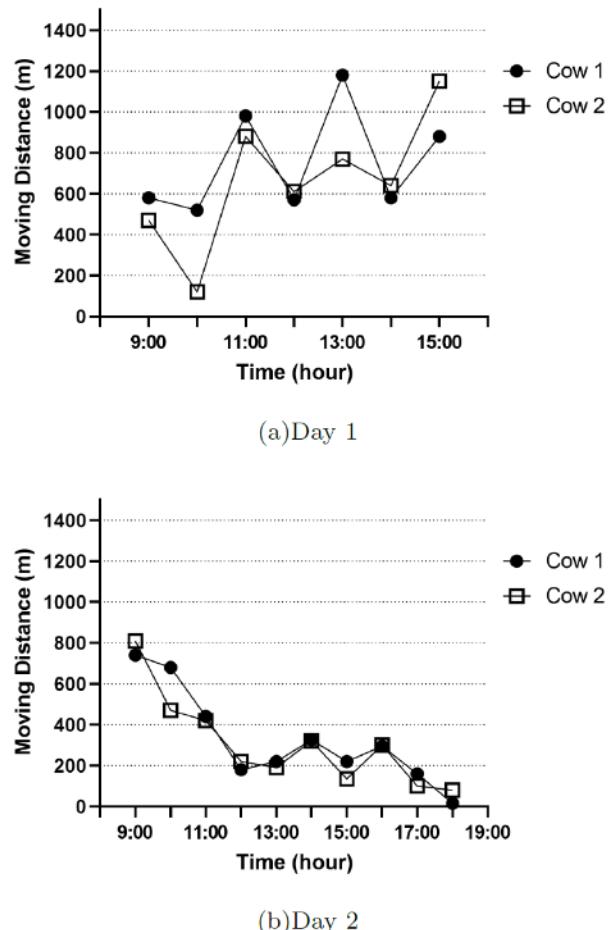


**Fig.15:** Battery consumption of nodes.

#### 4.5 Verification of Livestock Farm 2

One of the goals of this study is to understand the behaviour characteristics of animals. To do this, we decided to store GPS information every three minutes and turn on the SIM808's GPS module at all times to collect as much animal information as possible. In order to understand the characteristics of the animals, we used the cattle on the farm and selected two of 58 cows. The experiment was carried out for two days and the information was collected until all the batteries of the nodes mounted on the cows were used up.

Figure 16 shows the distance of travel by two cows measured during the day. The starting distance is not zero because the cumulative distance is included before 9 o'clock when grazing begins. Figure 16(a) shows the travel distance of the two cattle on the first day. The two cows have slightly different distances and are in different positions, but are gathered again to live as a group. Figure 16(b) shows the travel distance of the second two cattle. The day shows that the two cows are living in groups from the start of grazing until they return to their barn in the evening. Having such information on cattle can identify abnormal signs when the cows in the group vary significantly in travel distance compared to other cows.



**Fig.16:** Total distance travelled by cattle.

#### 5. CONCLUSIONS

In this paper, we proposed a cloud platform based WSN system for farm animal monitoring. The proposed system constructed a WSN using its own protocol and transmitted the data measured by each data node to the sink node. The sink node transmitted the collected data to the cloud platform utilizing communication technology. The cloud platform stored the data of all nodes and composed a web page that administrators could check in real time. The farm manager can check the status of each animal through a web page and analyze the behavior of the animal group. We implemented the proposed system and conducted experiments using animals with the help of a farm. As a result of the experiment, it was confirmed that data was normally transmitted and received. The web page enabled the administrator to get real-time status information for each animal and its location could be checked on a map.

In the future, we will develop a system that predicts the health status of animals by compiling longterm data. Also, we will modify the WSN model to be more robust so it can monitor many animals.

## References

- [1] S. Jo, D. Park and S. Kim, "Smart Livestock Farms Using Digital Twin: Feasibility Study," *2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, Jeju, pp.1461–1463, Oct. 2018.
- [2] E. Tullo, I. Fontana and M. Guarino, "Precision Livestock Farming: An Overview of Image and Sound Labelling," in *Proc. of 6th European conference on Precision Livestock Farming*, pp. 30—38, Sep. 2013.
- [3] National Law Information Center, *Livestock Law*, 17099, <http://www.law.go.kr/%EB%B2%95%EB%A0%B9%EC%B6%95%EC%82%B0%EB%B2%95>, Mar. 2020.
- [4] A. Zgank, "Bee Swarm Activity Acoustic Classification for an IoT-Based Farm Service," *Sensors (Basel)*, vol. 20, no. 1, pp.1–14, Dec. 2019.
- [5] J. Vaughan, P. M. Green, M. Salter, B. Grieve and K. B. Ozanyan, "Floor sensors of animal weight and gait for precision livestock farming," *2017 IEEE SENSORS*, Glasgow, pp.1–3, 2017.
- [6] S. P. le Roux, R. Wolhuter and T. Niesler, "Energy-Aware Feature and Model Selection for Onboard Behavior Classification in Low-Power Animal Borne Sensor Applications," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, no. 7, pp. 2722–2734, Apr. 2019.
- [7] L. Nóbrega, A. Tavares, A. Cardoso, P. Gonçalves, "Animal monitoring based on IoT technologies," *2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture - Tuscany (IOT Tuscany)*, Tuscany, pp.1–5, May 2018.
- [8] K. H. Kwong, T. Wu, H. G. Goh, K. Sasloglou, B. Stephen, et. al., "Practical Considerations for Wireless Sensor Networks in Cattle Monitoring Applications," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 81, pp.33–44, 2012.
- [9] Faruq, I. Syarif, A. S. Ahsan, M. Udin Harun Al Rasyid and Y. P. Pratama, "Health Monitoring and Early Diseases Detection on Dairy Cow Based on Internet of Things and Intelligent System," *2019 International Electronics Symposium (IES)*, Surabaya, Indonesia, pp.183–188, Sep. 2019.
- [10] D. F. Lott and B. L.Hart, "Applied ethology in a nomadic cattle culture," *Applied Animal Ethology*, vol. 5, no. 4, pp.309–319, Oct. 1979.
- [11] B. Sharma and D. Koundal, "Cattle health monitoring system using wireless sensor network: a survey from innovation perspective," *IET Wireless Sensor Systems*, vol. 81, no. 4, pp. 143–151, Mar. 2018.
- [12] P. Khatate, A. Savkar and C. Y. Patil, "Wearable Smart Health Monitoring System for Animals," *2018 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*, Tirunelveli, pp.162–164, 2018.
- [13] E. S.Nadimi, R. N. Jørgensen, V. Blanes-Vidala and S. Christensen, "Monitoring and Classifying Animal Behavior Using ZigBee-Based Mobile Ad Hoc Wireless Sensor Networks and Artificial Neural Networks," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 82, pp.44–54, Mar. 2012.
- [14] L. T. Beng, P. B. Kiat, L. N. Meng and P. N. Cheng, "Field testing of IoT devices for livestock monitoring using Wireless Sensor Network near field communication and Wireless Power Transfer," *2016 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech)*, Phoenix, AZ, pp. 169–173, Oct. 2016.
- [15] V. Puranik, Sharmila, A. Ranjan and A. Kumari, "Automation in Agriculture and IoT," *2019 4th International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU)*, Ghaziabad, India, pp.1–6, Apr. 2019.
- [16] L. Chettri and R. Bera, "A Comprehensive Survey on Internet of Things (IoT) Toward 5G Wireless Systems," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 7, no. 1, pp. 16–32, Jan. 2020.
- [17] Y. Park, J. Choi and J. Choi, "A system architecture to control robot through the acquisition of sensory data in IoT environments," *2016 13th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)*, Xi'an, pp.749–752, Aug. 2016.
- [18] D. Shadrin, A. Menshchikov, D. Ermilov and A. Somov, "Designing Future Precision Agriculture: Detection of Seeds Germination Using Artificial Intelligence on a Low-Power Embedded System," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, no. 23, pp. 11573–11582, 2019.
- [19] J. K. Park and H. Park, "Implementation of a Smart Farming Monitoring System Using Raspberry Pi," *Journal of Next-generation Convergence Technology Association*, vol. 4, no. 4, pp. 354–360, 2020.
- [20] M. Hate, S. Jadhav and H. Patil, "Vegetable Traceability with Smart Irrigation," *2018 International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET)*, Mumbai, pp.1–4, Nov. 2018.
- [21] Y. J. Jeong, K. E. An, S. W. Lee and D. Seo, "Improved durability of soil humidity sensor for agricultural IoT environments," *2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, Las Vegas, NV, pp.1–2, Jan. 2018.
- [22] M. M. Islam, S. Sourav Tonmoy, S. Quayum, A. R. Sarker, S. Umme Hani and M. A. Mannan, "Smart Poultry Farm Incorporating GSM and IoT," *2019 International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST)*, Dhaka, Bangladesh, pp. 277–280, Jan. 2019.
- [23] H. Wang, A. O. Fapojuwo and R. J. Davies, "A Wireless Sensor Network for Feedlot Animal Health Monitoring," in *IEEE Sensors Journal*,

vol. 16, no.16, pp. 6433-6446, Aug. 2016.

- [24] P. Juang, H. Oki, Y. Wang and M. Martonosi, "Energy-Efficient Computing for Wildlife Tracking: Design Tradeoffs and Early Experiences with ZebraNet," in *Proc. of 10th International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems (ASPLOS-X)*, pp. 96–107, Oct. 2002.
- [25] Texas Instruments. *MSP430F22x2 MSP430F22x4 Mixed Signal Microcontroller*, <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430f2272.pdf>, Aug. 2012.
- [26] Texas Instruments. *eZ430-RF2500 Development Tool User's Guide*, <http://www.ti.com/lit/ug/slau227f/slau227f.pdf>, Jun. 2015.



**Jung Kyu Park** received the M.S. and Ph.D. degrees in computer engineering from Hongik University in 2002 and 2013, respectively. He has been a research professor at the Dankook University since 2014. From 2016 to 2017, he was a visiting professor at Department of Digital Media Design and Applications, Seoul Women's University. In 2018, he joined the assistant professor of Department of Computer Software Engineering, Changshin University. His research interests include operating system, new memory, embedded system and robotics theory and its application.



**Eun Young Park** received the Ph.D. degree in energy and environmental system engineering from University of Seoul in 2014. She has been a research professor at the Shinhan University since 2017.



## การพัฒนาระบบสมาร์ทฟาร์มสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในบ่อ

## DEVELOPMENT OF SMART FARM SYSTEM FOR AQUACULTURE IN THE POND

ก้าวธร สารวารณ์<sup>1\*</sup>, สรายุทธ กรวิรัตน์<sup>1</sup>, อุ่มนบุญ ชลียงรัชต์ชัย<sup>1</sup>, รณชัย สังหวินเมฆ<sup>1</sup> เกษม เขตตะวัน<sup>2</sup> และสาวิกา รัตนกร<sup>2</sup>

<sup>1</sup>อาจารย์ สาขาวิชาศวกรรมคอมพิวเตอร์และระบบอัตโนมัติ คณะศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

<sup>2</sup>อาจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

\*Corresponding author: kamthorn.sa@ksu.ac.th

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบสมาร์ทฟาร์มสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในบ่อที่จังหวัดกาฬสินธุ์ ระบบประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพน้ำ ด้วยเซ็นเซอร์วัดค่า อุณหภูมิ ความเป็นกรดค่างและการละลายออกซิเจนในน้ำ และสามารถส่งงานปิดเปิดเครื่องตีน้ำตามแนวทางเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งที่สามารถเข้าถึงและส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ได้โดยผ่านระบบอินเทอร์เน็ต และมีเว็บแอปพลิเคชันที่สามารถเรียกคุณข้อมูลได้ทุกเวลา ทุกสถานที่บนหน้าจออุปกรณ์เคลื่อนที่หรือเครื่องคอมพิวเตอร์ ทั้งนี้ระบบได้มีการพัฒนาตามแนวทางเทคโนโลยีอัจฉริยะ โดยการนำความรู้จากผู้เชี่ยวชาญมาสร้างเป็นข้อกำหนดแจ้งเตือนเมื่อคุณภาพน้ำอยู่ในสภาพความเสี่ยง โดยผลที่ได้จากการพัฒนาครั้งนี้ได้ทดสอบความถูกต้องของอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดคุณภาพน้ำ และการใช้ระบบที่สามารถแสดงผลและบันทึกข้อมูลช่วยลดเวลาการทำงานลงร้อยละ 31.64 ค่อเดือน

**คำสำคัญ:** อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, สมาร์ทฟาร์ม, การติดตามคุณภาพน้ำ, ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

## ABSTRACT

This research developed a smart farm system for aquatic pond in area of Kalasin province. The system consists of a water quality measuring device with sensors that can detect temperature, pH and dissolved oxygen attributes in the water. One can switch on/off the water machine using the technology of IoT that can be accessed and transmitted to the device via the internet. And also, there is a web application that one can retrieve data anytime from anywhere either on the mobile's screen or computer's screen. The system was developed according to the intelligent technology guidelines by applying knowledge from experts to create a warning when the water quality is at risk. As the result of this development, the accuracy of the sensoring equipment used to measure water quality was tested. Moreover, using a system that can display and collect data help to reduce the work time by 31.64 percent per month.

**KEYWORDS:** Internet of Thing , Smart Farm, Water Quality Monitoring, Management Information System for Aquatic Pond

Kamthorn Sarawan<sup>1\*</sup>, Sarayut Kornwirat<sup>1</sup>, Umboon Chareatratchai<sup>1</sup>, Ronnachai Sangmuenmao<sup>1</sup>, Kasame Chetawan<sup>2</sup> and Sawipa Ruttanakorn<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lecturer, Department of Computer and Automation Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University

<sup>2</sup>Lecturer, Department of Fisheries Technology, Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University

## 1. บทนำ

สมาร์ทฟาร์มหรือเกษตรอัจฉริยะ เป็นรูปแบบการบริหารจัดการฟาร์มโดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยในการขับเคลื่อนกระบวนการต่าง ๆ เช่น การเก็บข้อมูลจากระบบเซ็นเซอร์ การส่งข้อมูลไปสู่สาย การวิเคราะห์และสนับสนุนการตัดสินใจ การสั่งงานแบบอัตโนมัติ เพื่อใช้แก้ไขปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพด้วยการทำงานแบบอัจฉริยะ เป็นต้น การพัฒนาสมาร์ทฟาร์มอยู่บนพื้นฐานของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) ที่สามารถประมวลผล เชื่อมต่อ และส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต สำหรับกระบวนการของสมาร์ทฟาร์ม [1] มีขั้นตอนประกอบด้วย 1) การเก็บข้อมูล (Data Collection) 2) การวิเคราะห์ข้อมูล (Analysis) 3) การปฏิบัติการอย่างแม่นยำ (Precision Operation) และ 4) การประเมินประสิทธิภาพ (Evaluation) ซึ่งกระบวนการและเทคโนโลยีที่กล่าวมาข้างต้นจะต้องรวมเข้าด้วยกันเพื่อใช้ในการตัดสินใจ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถตัดสินใจได้คุ้มค่า นอกจากระบบที่ทำหน้าที่จัดเตรียมข้อมูลแก่ผู้ใช้งาน ปัจจุบันมีงานวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับการเทคโนโลยีสมาร์ทฟาร์มมากขึ้น เช่น [2] ได้พัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System) ที่สามารถให้คำแนะนำและวินิจฉัยได้แบบอัตโนมัติเกี่ยวกับการกำจัดศัตรูพืช ทั้งนี้ นอกจากการเพาะปลูกพืช ยังมีการประยุกต์ใช้ระบบสมาร์ทฟาร์มสำหรับการจัดการการเพาะเลี้ยงสัตว์ ได้แก่ การเพาะเลี้ยงไก่ [3] และการเพาะเลี้ยงกุ้งขาว [4] เป็นต้น ในการพัฒนาระบบที่ระวังจำเป็นจะต้องมีระบบการส่งข้อมูลและเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติ ระบบการส่งข้อมูลมีข้อจำกัดเรื่องระยะทางที่ห่างไกล เนื่องจากฟาร์มทั่วไปตั้งอยู่ห่างจากชุมชน ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาระบบตรวจจับในรูปแบบเครือข่ายตรวจจับ ไทร์สายระยะไกล [5,6] การออกแบบโครงสร้างรูปแบบโหนด โดยใช้วิธีการส่งข้อมูลไปยังโหนดกลางก่อนส่งข้อมูลไปยังเซ็นเซอร์กลาง และการเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัตินิยมใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อกับเซ็นเซอร์วัดค่าโดยตรง [3-4, 6] นอกจากการเก็บคุณภาพน้ำในบ่อแล้ว มีที่มาที่น้ำที่จำกัดระยะทางไม่เกิน 100 เมตร ยังมีงานวิจัยบางเรื่องได้พัฒนาการใช้ระบบเซ็นเซอร์ไทร์สายระยะไกลสำหรับการตรวจวัดคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำหนทางท่าน จังหวัดสกลนคร ซึ่งเป็นแหล่งน้ำขนาดใหญ่ [7]

จากการสำรวจภาคเศรษฐกิจของจังหวัดกาฬสินธุ์พบว่า [8] ประชากรของจังหวัดมีรายได้เฉลี่ยต่อคน 42,775 บาทต่อปี รายได้ส่วนใหญ่มาจากเกษตร การล่าสัตว์และป่าไม้ รองมาเป็นภาคอุตสาหกรรม ภาคการศึกษา และสาขาค้าปลีกค้าส่ง ตามลำดับ ทั้งนี้การประมงถือเป็นอาชีพทางด้านการเกษตรอันดับที่ 3 ของจังหวัดกาฬสินธุ์รองจากการเพาะปลูกและปลูกสัตว์ จากข้อมูลการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในจังหวัดกาฬสินธุ์ [9] พบว่าการเพาะเลี้ยงในบ่อ มีปริมาณการผลิตผลร้อยละ 86.67 ซึ่งถือว่าเป็นจำนวนมากที่สุด รองลงมาคือการเลี้ยงในกระชังร้อยละ 10.46 และในน้ำร้อยละ 2.66 ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตที่ได้จากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำประกอบด้วยหากายปัจจัย ได้แก่ การเติมบ่อ การควบคุมคุณภาพน้ำ คุณภาพของอาหารและการให้อาหาร โรคและการป้องกัน เป็นต้น หนึ่งในปัจจัยที่สำคัญคือการควบคุมคุณภาพน้ำให้เหมาะสมกับการเพาะเลี้ยง ซึ่งน้ำมีคุณสมบัติทางเคมีที่สามารถวัดปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเค็มของน้ำ (Salinity) ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ความเป็นกรด (Acidity) ความกระด้าง (Hardness) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (Free Carbon dioxide) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) สารประกอบในโครเรนฟอสฟอรัส (Phosphorus) ปริมาณบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide, H<sub>2</sub>S) เป็นต้น ซึ่งต้องใช้ความรู้ วิธีการและเครื่องมือที่วัดแต่ละรูปแบบที่แตกต่าง [10] กระบวนการควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีขั้นตอนดังนี้ เริ่มที่การตรวจวัดคุณภาพน้ำ การเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อนำไปตรวจในห้องทดลองหรือการวัดค่าน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงโดยตรง เก็บและวิเคราะห์ข้อมูล ป้องกันและแก้ไขคุณภาพน้ำ ซึ่งงานในทางปฏิบัติจริงจะต้องใช้

ความรู้ เครื่องมือ และ แรงงานที่ใช้ในการปฏิบัติการเก็บข้อมูล การบันทึกข้อมูลสถิติเป็นฐานข้อมูลในไฟล์คอมพิวเตอร์หรือเอกสารรายงาน การใช้แรงงานปฏิบัติการแก้ไขปัญหา หากการจัดการบริหารงานไม่ประสิทธิภาพจะเกิดปัญหา เช่น ข้อมูลคลาดเคลื่อน ข้อมูลสถิติสูญหาย และการบริหารงานที่ไม่ประสิทธิภาพ เป็นต้น ทั้งนี้คุณภาพน้ำมีผลกระทบต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จากปัจจัยปี พ.ศ. 2560 เกี่ยวกับปลาในกระชังในพื้นที่เขื่อนลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ ซึ่งสภาพอากาศเปลี่ยนแปลงในฤดูร้อน พ布ปลายเดือนตุลาคม-ธันวาคม 5-10 ต้น

จากประเด็นปัญหาดังกล่าวที่เกี่ยวกับการบริหารจัดการคุณภาพน้ำให้มีประสิทธิภาพ มีข้อมูลที่แม่นยำและรวดเร็ว และสามารถปรับคุณภาพน้ำได้แบบทันท่วงที่ของน้ำเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จึงมีความสำคัญ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและพัฒนาระบบสมาร์ทฟาร์มสำหรับน้ำเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งเป็นการนำอาระบบทekโนโลยีสารสนเทศควบคู่กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพน้ำ โดยระบบนี้จะช่วยอำนวยความสะดวกแก่เกษตรกรและทีมงานการใช้แรงงานผู้ดูแลน้ำเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ รวมทั้งเป็นการบริหารจัดการน้ำเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยข้อมูลที่ถูกต้อง รวดเร็ว และแม่นยำ บนพื้นฐานของ tekโนโลยี

## 2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนเดียวกัน และคณ [11] ได้นำ tekโนโลยีระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำและประมวลผลแบบอัตโนมัติสำหรับกระชังปลาทันที โดยการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในน้ำ วัดความเป็นกรดด่าง และวัดอุณหภูมิ ค่าที่ได้จะถูกส่งไปขยายและปรับแต่งระดับแรงดันที่เหมาะสม จากนั้นส่งค่าต่างๆ ไปประมวลผลด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ X86 รุ่น VSX6117 แล้วส่งค่าไปแสดงผลที่ LCD และสั่งให้อิซี GAL22V10 ควบคุม LED และแสดงสถานะของคุณภาพน้ำ งานวิจัยนี้ได้ใช้ทำการเก็บผลการทดลองเป็นระยะเวลา 2 เดือน ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำสามารถตรวจวัดคุณภาพน้ำได้ 3 สถานีคือ สถานะคุณภาพน้ำปกติ สถานะคุณภาพน้ำเสื่อม สถานะคุณภาพผิดปกติ และระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำในกระชังปลาทันที แบบอัตโนมัติได้ถูกออกแบบไว้ 3 ส่วน คือ เซ็นเซอร์ออกซิเจนในน้ำ เซ็นเซอร์ pH และเซ็นเซอร์อุณหภูมิ ส่งค่าไปประมวลผลด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ และแสดงค่าด้วย LCD และแจ้งเตือนเกียรติกรรมที่เลี้ยงปลากระชังด้วย LED

เจยถุ อรุณฤกษ์ และคณ [4] ได้พัฒนาระบบสำหรับการเลี้ยงกุ้งขาวเป็นอุดสาหรรมเกยตรที่มีความสำคัญประเท่านี้โดยได้ทำการพัฒนาวิธีการตรวจวัดคุณภาพน้ำในน้ำเพาะเลี้ยงกุ้งขาว โดยประยุกต์ใช้อุปกรณ์เซ็นเซอร์วัดค่าคุณภาพน้ำที่จำเป็นร่วมกับการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สาย เพื่อบันทึกข้อมูลค่าคุณภาพน้ำ ที่ต้องการควบคุมและมีการแจ้งเตือนไปยังเกยตรผู้เลี้ยงกุ้งขาว หากค่าความคุณภาพน้ำค่าที่ต้องการตั้งไว้ ผลการทำงานระบบการตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำในน้ำเพาะเลี้ยงกุ้งขาวสามารถแจ้งเตือนเป็นสัญญาณไฟและเสียงให้ผู้ดูแลน้ำเพาะเลี้ยงกุ้งทราบได้ หน่วยเซ็นเซอร์วัดค่าคุณภาพน้ำแบบเคลื่อนที่ ทำหน้าที่วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง

สรaruwit บุญเกิดรัมย์ [7] ได้นำ tekโนโลยีสื่อสารแบบไร้สายโดยใช้ชิปนี เพื่อพัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพน้ำ โดยการรับ-ส่งข้อมูลด้วยคลื่นความถี่วิทยุตามมาตรฐานโปรโตคอล IEEE 802.15.4 ย่านความถี่ 2.4GHz โดยใชบอร์ด อาดูโน่ควบคุมการทำงานของระบบและโมดูลรับสัญญาณไร้สายพร้อมกระจายสัญญาณจากตัวรับสัญญาณ ค่าความถี่ 900MHz อุณหภูมิ และค่าความเป็นกรดด่างของน้ำจากแหล่งน้ำหนทาง สำหรับเมืองจังหวัดสกนธ์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าความสูง เฉลี่ย 2.89 เมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

0.12 อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ย  $29.99^{\circ}\text{C}$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $1.53$  และค่าความเป็นกรดด่างของน้ำเฉลี่ย  $7.01$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $0.14$  ผลการทดลองแสดงให้เห็นระบบการตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยใช้ชิปบีสามารถตรวจวัดค่าต่างๆ ได้ และระบบมีการทำงานไม่ซับซ้อนราคาไม่แพง สะดวกและสามารถใช้งานได้จริง สอดคล้องกับค่าที่ต้องการตรวจวัด

จากการวิจัยที่กล่าวถึงได้มีการพัฒนาระบบที่มีความสามารถในการตรวจวัดคุณภาพน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงกุ้งขาวและปลาทับทิม [4, 11] แต่การรายงานข้อมูลของระบบทั้งสองยังไม่สามารถคุ้มครองข้อมูลออนไลน์ได้ หรืองานวิจัย [7] เป็นการพัฒนาระบบสำหรับการวัดคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติยังไม่ได้มีการประยุกต์ใช้งานจริงกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งงานวิจัยข้างต้นต่างมีจุดเด่นที่ต่างกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำไปใช้ในการทำงานมาพัฒนา เพื่อได้ให้ระบบที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยประยุกต์ใช้กับบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำ ล่วงข้อมูลไปจัดเก็บในระบบฐานข้อมูลกลางทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลได้สะดวก มีระบบแสดงผลบนอินเทอร์เน็ตแบบทันที (Real-Time) และสามารถสั่งการเปิดอุปกรณ์เพื่อแก้ปัญหา เช่น เครื่องเติมน้ำ เป็นต้น และยังลดการใช้แรงงานของผู้ดูแลฟาร์มได้อีกด้วย

### 3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 ข้อคุณภาพนำทางเคมี

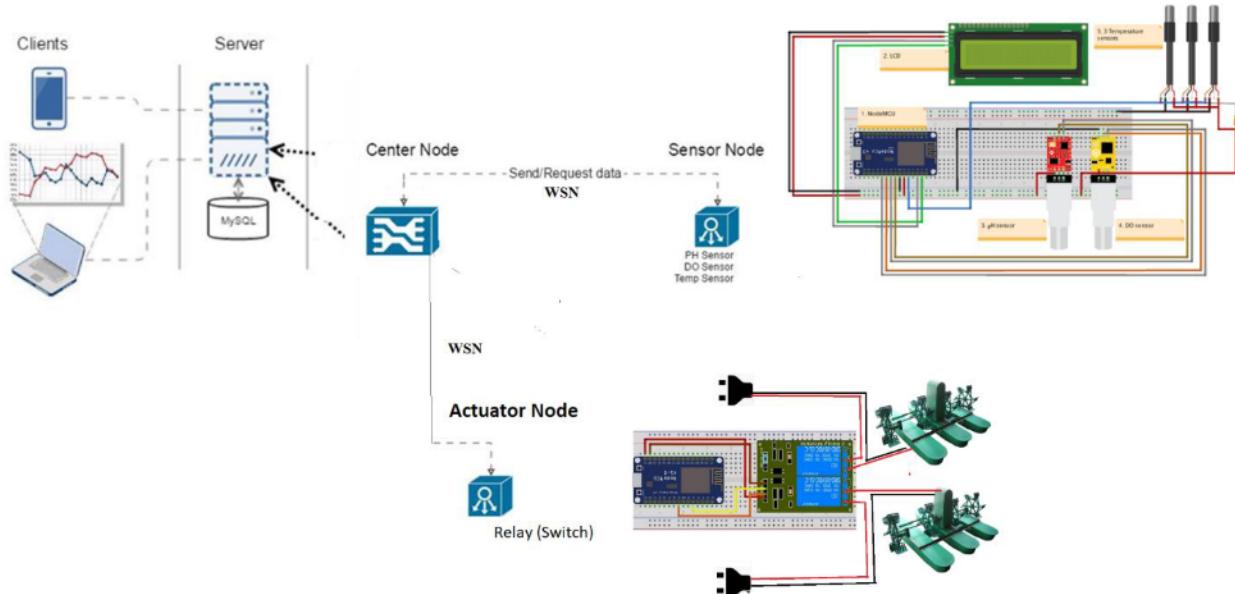
พื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในบ่อ ได้แก่ กุ้งก้ามgram ปลา尼ล ปลากุดและปลาหม่อน เป็นต้น ผลกระทบคุณภาพน้ำต่อปัจจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในบ่อ เมื่อจากกุ้งก้ามgram เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจของจังหวัดและมีความอ่อนไหวต่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ดังนั้น คณวิจัยจึงได้รวบรวมข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญ สรุปได้ว่าดังตารางที่ 1 แสดงคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของกุ้งก้ามgram

ตารางที่ 1 แสดงคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของกุ้งก้ามgram

ข้อกำหนดความเหมาะสม	ค่าที่ความเหมาะสม
1. ค่าอุณหภูมิได้น้ำมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างช่วงเวลา 5 นาที	ไม่เกิน $0.5$ องศาเซลเซียส
2. ช่วงค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสม	$6.5-9$
3. ค่าการละลายออกซิเจนในน้ำ	ไม่น้อยกว่า $5 \text{ mg/L}$

#### 3.2 องค์ประกอบของระบบ

ภาพรวมของระบบดังรูปที่ 1 ประกอบด้วยโหนดศูนย์กลาง (Center Node) ที่มีหน้าที่รับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เชื่อมต่อโหนดเซ็นเซอร์ (Sensor Node) และโหนดรับคำสั่ง (Actuator Node) ผ่านเครือข่ายไร้สาย (Wireless) ข้อมูลที่อ่านจากเซ็นเซอร์และข้อมูลสั่งงานจากผู้ใช้จะถูกเก็บไว้บนเซิร์ฟเวอร์ที่มีระบบฐานข้อมูล MySQL ทั้งนี้ผู้ใช้สามารถเรียกคุ้มครองข้อมูลจากฐานข้อมูลได้บนอุปกรณ์มือถือ เครื่องคอมพิวเตอร์และแล็ปท็อป อธิบายรายละเอียดเพิ่มเติม ดังนี้



รูปที่ 1 โครงสร้างระบบ

3.2.1 โหนดเซ็นเซอร์ ประกอบด้วยอุปกรณ์ ได้แก่ 1) ตัวประมวลผลกลาง NodeMCU มีหน้าที่อ่านค่าจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ และแสดงผลบนหน้าจอ LCD หน้าจอ LCD ขนาด 16x2 ตัวอักษร เชื่อมต่อกับขา D1 และ D2 ของ NodeMCU 2) เซ็นเซอร์ความเป็นกรดด่าง (Atlas pH Sensor) เชื่อมต่อกับ NodeMCU แบบ Serial 3) เซ็นเซอร์การละลายออกซิเจนในน้ำ (Atlas DO Sensor) เชื่อมต่อกับ NodeMCU แบบ Serial และ 4) เซ็นเซอร์อุณหภูมิมีจำนวน 3 ตัว สำหรับการอ่านค่าอุณหภูมิ 3 ระดับน้ำ (DS18B20)

3.2.2 โหนดรำทำ เช่นเดียวกับโหนดเซ็นเซอร์ที่ประกอบด้วย NodeMCU ที่มีหน้าที่ประมวลผลกลาง อ่านสถานะจากฐานข้อมูลเพื่อส่งเรีเลย์ 2 ตัว ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องตีน้ำที่ต้องการสั่งเปิด-ปิด

3.2.3 โหนดศูนย์กลางทำหน้าที่รับส่งข้อมูลระหว่างโหนดเซ็นเซอร์หรือโหนดรำทำ เชื่อมเชิร์ฟเวอร์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ตัวกระจายสัญญาณไวไฟที่มีขนาดเล็ก สามารถต่อ กับอินเทอร์เน็ตโดยใช้ชิมการ์ด

3.2.4 ระบบฐานข้อมูล ระบบฐานข้อมูลมีหน้าที่จัดเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำแต่ละช่วงเวลา รวมถึงข้อมูลสถานะการสั่งเปิด-ปิดสวิตช์เรียล สถานะคุณภาพน้ำ วันและเวลาที่เก็บ และสถานะของการสั่งการของเรียล 2 ตัว

### 3.3 การพัฒนาระบบ

จากโครงสร้างระบบรูปที่ 1 คงจะวิจัยได้สร้างอุปกรณ์อาร์ดแวร์เป็นเครื่องวัดคุณภาพน้ำ โดยรวมโหนดเซ็นเซอร์ต่าง ๆ เชื่อมต่อบรรบเครือข่ายส่งข้อมูล การส่งข้อมูลแจ้งเตือนผ่านแอพพลิเคชันไลน์ และพัฒนาระบบเว็บแอพพลิเคชันเพื่อแสดงผลข้อมูลด้วยภาษา HTML JavaScript PHP และ MySQL

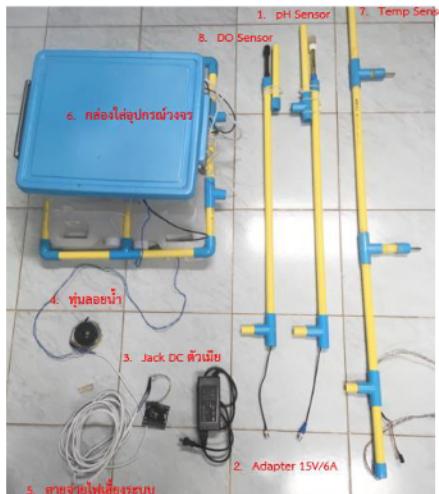
#### 4. ผลการทดลองและอภิปรายผลการวิจัย

การทดลองในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย รายละเอียดผลการพัฒนาระบบ และประสิทธิภาพการใช้งานของระบบ โดยวัดจากระยะเวลาในการทำงาน แสดงรายละเอียดตามหัวข้อ ดังนี้

##### 4.1 ผลการพัฒนาระบบ

ระบบนี้ได้ถูกพัฒนาสามารถใช้งาน โดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ประกอบด้วย เครื่องตรวจคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ระบบแสดงผล การจัดเก็บข้อมูล และการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ รายละเอียดของระบบมีดังนี้

4.1.1 เครื่องตรวจคุณภาพน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2 อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบเครื่องคุณภาพในรูปที่ 2 (ก) ที่ด้านในกล่องบรรจุกล่อง อุปกรณ์โหนด เชื่อมโซ่และตัวส่งสัญญาณไวไฟ เพื่อเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ตในรูปที่ 2 (ข) สามารถอยู่ในน้ำได้ทุนลอยและ หย่อนเชื่อมโซ่เพื่อวัดคุณภาพน้ำ และลากสายไฟแรงดัน 12 V เป็นอินพุต การติดตั้งระบบลงบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในรูปที่ 2 (ง)



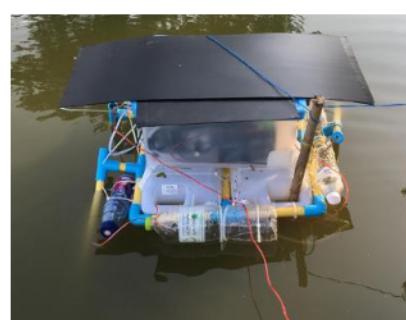
(ก)



(ж)



(ค)

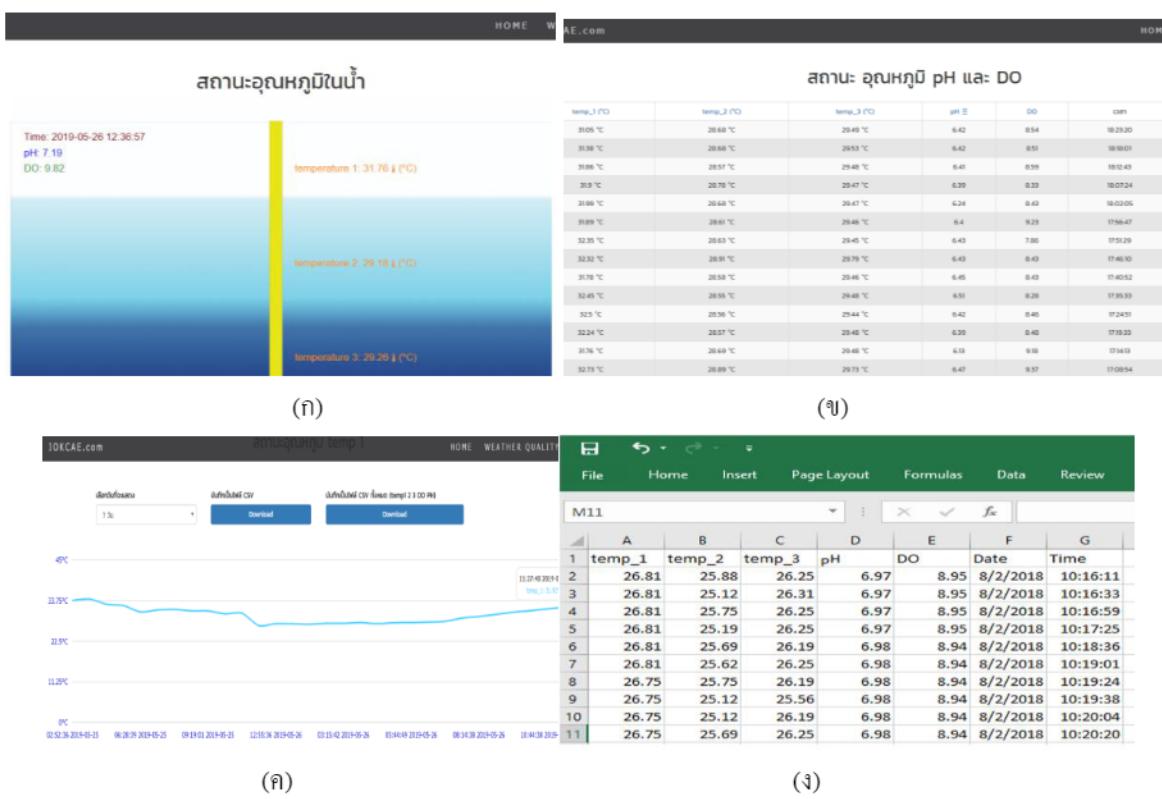


(ง)

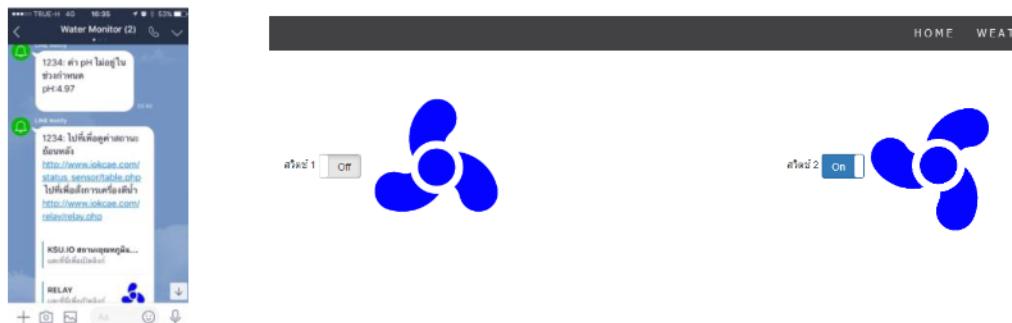
รูปที่ 2 (ก) ส่วนประกอบอุปกรณ์ (ข) การประกอบอุปกรณ์ในกล่องทุนลอย (ค) และแสดงผลบนหน้าจอ LCD ในແພອງ อุปกรณ์ และ (ง) ทุนลอยในบ่อเพาะเลี้ยง

4.1.2 ระบบแสดงผลบนเว็บแอปพลิเคชันและผลข้อมูลระบบคุณภาพน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3 (ก) แสดงผลสถานะคุณภาพน้ำ ณ เวลาปัจจุบัน และแสดงสถานะ อุณหภูมน้ำ สามระดับความลึก ได้แก่ อุณหภูมน้ำ表层 อุณหภูมน้ำที่ระดับความลึก 50 เมตร และ อุณหภูมน้ำที่ 1 เมตร พร้อมทั้งค่าความเป็นกรดเป็นด่างและค่าการละลายออกซิเจนในน้ำ แสดงตัวอย่างอุณหภูมน้ำ วันที่ 26 พฤษภาคม 2562 เวลา 12.36 นาฬิกา ค่าอุณหภูมิสามระดับ ได้แก่ 31.76 29.18 และ 29.26 องศาเซลเซียส pH และ DO มีค่าเท่ากับ 7.19 และ 9.82 mg/L ตามลำดับ รูปที่ 3 (ข) แสดงผลสถานะคุณภาพน้ำเป็นตาราง แต่ละข้อมูลจะอัพเดททุกครั้งโดยเฉลี่ยประมาณ 5 นาที ด้านบนคือสถานะคุณภาพน้ำล่าสุดและเวลาที่อ่านหน้าจอหนึ่งต่อหนึ่งของตาราง รูปที่ 3 (ค) แสดงผลสถานะเป็นกราฟ คุณภาพน้ำ โดยสามารถเลือกกราฟที่องค์กรและสามารถเลือกช่วงเวลาที่ต้องการ ตัวอย่างการดาวน์โหลด สามารถโหลดข้อมูลไฟล์ CSV ดังแสดงในรูปที่ 3 (ง) ของข้อมูลที่แสดงผลปัจจุบัน

4.1.3 การแจ้งเตือนคุณภาพน้ำผ่านแอปพลิเคชันไลน์ เมื่อคุณภาพน้ำในสภาพที่มีความเสี่ยง ซึ่งไม่เป็นตามข้อกำหนดในตารางที่ 1 ระบบจะส่งข้อความเข้ามายังกลุ่มในแอปพลิเคชันไลน์ ดังแสดงในรูปที่ 4 (ก) การสั่งอุปกรณ์รีเลย์เพื่อควบคุมการเปิด-ปิดเครื่องตื้นน้ำ ผ่านหน้าเว็บแอปพลิเคชันที่ประกอบด้วยสองส่วน (ก) ตารางแสดงสถานะ (ข) ตัวอย่างไฟล์ข้อมูล CSV ที่ดาวน์โหลดจากระบบ



รูปที่ 3 (ก) หน้าจอแสดงกราฟคุณภาพสถานะ (ข) ตารางแสดงสถานะ (ค) กราฟแสดงสถานะ (ง) ตัวอย่างไฟล์ข้อมูล CSV ที่ดาวน์โหลดจากระบบ



รูปที่ 4 การแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ และหน้าจอส่วนงานบีด-ปิดสวิตช์เครื่องตีน้ำ

#### 4.2 ผลการเปรียบเทียบเวลาการปฏิบัติงานการตรวจคุณภาพน้ำ

ผลการทดลองนี้เพื่อหาระยะเวลาการปฏิบัติงานการตรวจคุณภาพน้ำ จากข้อมูลการสำรวจบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ในจังหวัดกาฬสินธุ์ จำนวน 5 บ่อ โดยแบ่งขึ้นตอนการตรวจสอบออกเป็น 9 ขั้นตอน แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบเวลาปฏิบัติงานแต่ละขั้นตอนการตรวจคุณภาพน้ำ

ขั้นตอนการทำงาน	เวลาปฏิบัติงาน (นาที)		
	บุคลากรปฏิบัติงาน (1 ครั้งต่อวัน)	ระบบที่นำเสนอด้วยตัวเอง (1 ครั้งต่อวัน)	ระบบที่นำเสนอด้วยตัวเอง (2 ครั้งต่อวัน)
1. การเดินทางไปกลับแหล่งน้ำ	7.18	7.18	7.18
2. การตักน้ำในบ่อ	0.80	-	-
3. การวัดค่าอุณหภูมิ	1.00		
4. การวัดค่าความเป็นกรดด่าง	1.00	0.01	0.01
5. การวัดค่าการละลายออกซิเจนในน้ำ	1.00		
6. การจดบันทึกลงสมุด	0.50	-	-
7. การจดบันทึกลงเครื่องคอมพิวเตอร์	0.50	0.01	0.01
8. การปรับเซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรดด่าง	-	1.00	1.00
เวลาปฏิบัติงาน 1 วัน	11.98	8.19	9.19
เวลาปฏิบัติงาน 1 เดือน (30 วัน)	359.4	245.7	335.7
9. การจัดทำรายงานแสดงข้อมูลรายเดือน	10	0.10	0.10
รวมเวลาปฏิบัติงาน 1 เดือน (30 วัน)	369.4	245.80	335.80

จากตารางที่ 2 กรณีที่มีการเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำ 1 ครั้งต่อวัน ระบบที่นำเสนอมีความสามารถลดเวลาการทำงานได้ 113.7 นาทีต่อเดือน คิดเป็นประสิทธิภาพของเวลาปฏิบัติงานลดลงร้อยละ 31.64 แต่กรณีที่เก็บข้อมูลมากกว่าหนึ่งครั้งต่อวัน ระบบสามารถลดเวลาทำงานได้นานกว่า 473.1 นาที หรือประมาณ 7 ชั่วโมง 53 นาที ต่อเดือน คิดเป็นร้อยละที่มากกว่า 53.1 ขึ้นไป ทั้งนี้เนื่องจากการเก็บคุณภาพน้ำจำนวนหลายครั้งต่อวัน โดยใช้บุคลากรปฏิบัติงาน จะทำให้เสียเวลาการเดินทางไปกลับระหว่างบ่อ ขณะที่ระบบที่นำเสนอนี้จำเป็นจะต้องเดินทางหนึ่งครั้งต่อวัน เพื่อปรับค่าการอ่านของเซ็นเซอร์ความเป็นกรดค่าง

จากการพัฒนาระบบทัวร์ที่ 4.1 ระบบแสดงผลในงานวิจัยนี้มีสองรูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่แสดงผลบนหน้าจอ LCD บนชุดควบคุม เช่นเดียวกับที่พบในงานวิจัยของ ขาวชัย ทองเหลี่ยม และคณะ [11] และพบในงานวิจัยของ เจริญ อรุณฤกษ์และคณะ [4] ทั้งนี้งานวิจัยนี้ได้เพิ่มรูปแบบการแสดงผลบนเว็บแอปพลิเคชันที่ทำให้สามารถดูข้อมูลผ่านบันทึกอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต ได้ทุกสถานที่และทุกเวลา ส่วนระบบการบันทึกข้อมูล งานวิจัยที่สองก่อนหน้านี้ มีการบันทึกบนหน่วยความจำที่เชื่อมต่อกับชุดควบคุม ซึ่งแตกต่างจากระบบที่ถูกพัฒนาในงานวิจัยนี้ ที่เก็บข้อมูลบนระบบเซิร์ฟเวอร์ เมื่อต้องการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถโหลดข้อมูลจากฐานข้อมูลจนถึงปัจจุบันได้ทันที ทำให้ลดเดินทางไปโหลดข้อมูลจากชุดควบคุมโดยตรง และสุดท้ายในส่วนระบบแจ้งเตือนเมื่อสภาพคุณภาพน้ำมีความเสี่ยง งานวิจัยของ ขาวชัย ทองเหลี่ยม ได้ติดตั้งสถานะไฟ LED ที่ชุดควบคุมเพื่อแสดงสถานะปกติหรือมีความเสี่ยง ขณะที่งานวิจัยของ เจริญ อรุณฤกษ์และคณะ ได้ติดตั้งสัญญาณเสียงไซเรน เพื่อให้เกย์ตระรับรู้ในระยะไกล ซึ่งงานวิจัยนี้มีความแตกต่างเนื่องจากส่งข้อมูลแจ้งเตือนผ่านโปรแกรมไลน์ที่สามารถรับรู้ได้แม้อยู่ไกลบ่อเพาเดี่ยง และสามารถสั่งงานเปิดเครื่องสวิตช์เครื่องตื้น้ำผ่านมือถือได้ทันที จากกล่าวมาระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นช่วยลดเวลาการปฏิบัติงานจากการทดลองที่ 4.2 ลดลงร้อยละ 31.64 จากกระบวนการลดเวลาที่สำคัญ ได้แก่การบันทึกข้อมูลแต่ละวันและการทำรายงานต่อเดือนคิดร้อยละ 99 ซึ่งเป็นการลดเวลาการปฏิบัติงานและลดแรงงานพร้อมกันด้วย

## 5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบสมาร์ทฟาร์มเพื่อการจัดการบ่อเพาเดี่ยงสัตว์ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดกาฬสินธุ์ โดยระบบมุ่งเน้นพัฒนาการตรวจสอบคุณภาพน้ำ เนื่องจากคุณภาพน้ำมีความสำคัญเป็นอันดับแรกต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ การพัฒนาระบบประกอบด้วย การพัฒนาระบบสารสนเทศที่สามารถทำงานร่วม ardunio ที่เป็นอุปกรณ์เซ็นเซอร์ ได้แก่ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ 3 ระดับความสูงเหนือน้ำและในน้ำ เซ็นเซอร์วัดความเป็นกรดค่าง และเซ็นเซอร์วัดการคลายออกซิเจนในน้ำ และมีอุปกรณ์ตัวกระทำสั่งงานรีเลย์เพื่อปิด-ปิดสวิตช์ที่เชื่อมต่อกับเครื่องตื้น้ำ ทั้งนี้ระบบส่งข้อมูลและสั่งงานผ่านเครือข่ายของระบบอินเทอร์เน็ต ด้วยเทคโนโลยีไอโอที ในส่วนของระบบสารสนเทศพัฒนาเป็นรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันที่สามารถแสดงผลและดาวน์โหลดข้อมูลย้อนหลังได้ ทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงระบบได้ทุกที่และทุกเวลา ทั้งนี้ระบบได้ประมวลผลเพื่อแจ้งเตือนเกี่ยวกับคุณภาพน้ำผ่านแอปพลิเคชันไลน์ โดยได้นำความรู้ผู้จากเชี่ยวชาญแนะนำป้อนลงโปรแกรม ผลที่ได้จากการนำระบบไปใช้แสดงการเปรียบเทียบเวลาการทำงานต่อเดือนที่ลดลงจากเดิมร้อยละ 31.64 กรณีเปรียบเทียบการเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำวันละหนึ่งครั้ง ทั้งนี้ถ้ามีการตรวจวัดจำนวนครั้งต่อวันที่เพิ่มมากขึ้น ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 53.1 นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้ทดลองเพื่อทดสอบคุณภาพของเซ็นเซอร์เพื่อหาประสิทธิภาพความถูกต้อง โดยเฉพาะเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิทั้ง 3 ตัว ได้ใช้วิธีการทดสอบอย่างเชิง

เส้นเพื่อผลข้อผิดพลาดให้น้อยลง จากเดิมมีความผิดพลาดอยู่ที่ 2.09 0.53 และ 2.36 ตามลำดับ มีค่าเป็น 0.18 0.06 และ 0.06 ตามลำดับ ขณะที่เซ็นเซอร์ความเป็นกรดด่างและการละลายออกซิเจนได้วัดความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับ 0.023 และ 0.012 ตามลำดับ จากการระบบที่พัฒนาจะวิจัยมีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการพัฒนาระบบที่เพิ่มเติมและปัญหาอุปสรรคที่พบ ได้แก่ การเพิ่มรูปแบบเซ็นเซอร์วัดคุณสมบัติทางน้ำอื่น ๆ การวิเคราะห์และศึกษาความคุ้มค่าทางด้านคืนทุนและการเพิ่มประสิทธิภาพ และการออกแบบของระบบให้เป็นอัตโนมัตินำไปเพิ่มขึ้น

### กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติปีงบประมาณ 2561 มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ และความร่วมมืออื่น ๆ ของหลายท่าน ซึ่งให้การสนับสนุนคณาจารย์วิจัยตั้งแต่เริ่มต้นงานวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

### เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Manwicha, Smart Farms Technology, *Hatyai Academic Journal*, vol. 14, no. 2, 2016, pp. 201–210.
- [2] B. Mahaman, H. Christopher Passam, A.B. Sideridis, C.P. Yialouris, DIARES-IPM: a diagnostic advisory rule-based expert system for integrated pest management in Solanaceous crop systems, *Agricultural Systems*, 2003, vol. 76, no. 3, pp. 1119–1135.
- [3] N. Jarusombat, *Layer chicken smart farm*, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 2013.
- [4] J. Arunruerk, S. Jantarat, W. Yaemvachi, Development of a water quality measurement system in whiteleg shrimp pond, *7th National Conference on Information Technology*, 2015.
- [5] S. Plyphan, *Wireless Sensor Network Manager with Real-time and Historical Visualization*, Kasetsart University, 2012.
- [6] Xiuna Zhua, Daoliang Li, Dongxian He, Jianqin Wang, Daokun Ma, Feifei Li. A Remote wireless system for water quality online monitoring in intensive, fish Culture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2010, 71(1), S9-S9.
- [7] S. Boonkirdram, Development of Water Quality Monitoring Wireless Communication System Using Zigbee, *Kasem Bundit Engineering Journal*, Jun. 2017, vol. 7, no. 1, pp. 92–104.
- [8] Kalasin Cooperative Auditing Office, *Annual report*, 2014, Available from:  
<https://cad.go.th/ewtadmin/ewt/kalasin/download/notice/detail57.pdf> [Access 1 October 2018].
- [9] Kalasin Fisheries, *Aquaculture statistics*, 2017, Available from: <http://www.fisheries.go.th/fpokalasin>. [Access 1 October 2018].
- [10] Boyd, E. Claude, Water quality and pond soil analyses for aquaculture. *Alabama Agricultural Experiment Station*, Auburn University, 1992.
- [11] T. Thawatchai et al, Automatic Water Quality Measurement and Processing for Krachang-Taptim Fish, *6th, ECTI-CARD Proceeding*, 2014.