# รายงานฉบับสมบูรณ์

# การศึกษาและพัฒนาการใช้ระบบตรวจจับพื้นที่สีเขียวพร้อมระบบสารสนเทศ

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรรเพชญ ชื้อนิธิไพศาล และคณะ

ตุลาคม 2563

# รายงานฉบับสมบูรณ์

# การศึกษาและพัฒนาการใช้ระบบตรวจจับพื้นที่สีเขียวพร้อมระบบสารสนเทศ

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรรเพชญ ชื้อนิธิไพศาล และคณะ

ตุลาคม 2563

สัญญาเลขที่ SIP6230023

# รายงานฉบับสมบูรณ์

# โครงการ“การศึกษาและพัฒนาการใช้ระบบตรวจจับพื้นที่สีเขียวพร้อมระบบสารสนเทศ”


| คณะผู้วิจัย | สังกัด |
|---|---|
| 1. ผศ.ดร.สรรเพชญ ชื้อนิธิไพศาล | คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 2. ดร.พงษ์ศักดิ์ สุทธินนท์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 3. ดร.ชาญยุทธ กาฬกาญจน์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา |
| 4. นางสาวรัศมี สืบชมภู | Synergy Technology and Synergy Innovation Co., Ltd |
| 5. นายชานนท์ รัศมีประเสริฐ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 6. นายธรณินทร์ เป่าสง่า | คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 7. นางสาวมนัสวี บัวศรี | คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |



สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม

สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ และ

แผนงานยุทธศาสตร์เป้าหมาย ด้านสังคม แผนงานการบริหารจัดการน้ำปีที่ 1

# คำนำ

(ร่าง)รายงานฉบับสมบูรณ์ของโครงการ “การศึกษาและพัฒนาการใช้ระบบตรวจจับพื้นที่สีเขียวพร้อมระบบสารสนเทศ” โดยหน่วยปฏิบัติการวิจัยระบบการจัดการแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้สรุปผลการศึกษาของโครงการรวมระยะเวลา 1 ปี (30 ส.ค. 62 - 30 ต.ค. 63) ซึ่งประกอบด้วยการดำเนินการวิจัยและพัฒนาด้านระบบตรวจจับ และมาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย เนื่องจากปัจจุบันเทคโนโลยีด้านระบบตรวจจับ และการใช้ระบบ Internet of Thing (IoT) มีความก้าวหน้าและมีผู้พัฒนาที่หลากหลาย หากมีการศึกษาเทคนิคและวิธีการที่เกี่ยวข้องจะช่วยให้การใช้ประโยชน์ และการขยายผลเป็นประโยชน์ต่อประเทศในอนาคต

ทางทีมวิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า (ร่าง)รายงานฉบับสมบูรณ์เล่มนี้ จะมีเนื้อหาที่เป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานทั้งภาคราชการ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นรวมถึงประชาชนในการนำองค์ความรู้ ด้านระบบตรวจจับไปประยุกต์ใช้ได้อย่างเหมาะสม

หัวหน้าโครงการวิจัย

ตุลาคม 2563

# กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาของโครงการ “การศึกษาและพัฒนาการใช้ระบบตรวจจับพื้นที่สีเขียวพร้อมระบบสารสนเทศ”สามารถดำเนินการมาได้ด้วยความร่วมมือจากหลายฝ่ายทั้งในด้านบุคลากร และการสนับนุนข้อมูลในงานวิจัย ทางโครงการฯ ขอขอบคุณหน่วยงานทุกฝ่ายอันประกอบด้วยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา โรงเรียนสาธิตพิบูลบำเพ็ญมหาวิทยาลัยบูรพา และ Synergy Technology and Synergy Innovation Co., Ltd

การศึกษาครั้งนี้ ยังได้รับการสนับนสนุนเป็นอย่างดีตั้งแต่เริ่มโครงการฯ จากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ และแผนงานยุทธศาสตร์เป้าหมาย ด้านสังคม แผนงานการบริหารจัดการน้ำปีที่ 1

ทางคณะผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณหน่วยงาน ผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และอุปกรณ์ประกอบการวิจัย และขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ และแผนงานยุทธศาสตร์เป้าหมายด้านสังคม แผนงานการบริหารจัดการน้ำปีที่ 1 มา ณ โอกาสนี้

คณะผู้วิจัย

ตุลาคม 2563

# บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

## 1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีต้นทุนการผลิตด้านการเกษตรสูงเนื่องจากขาดการนำเอาความรู้และเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ใน “ระบบการเกษตร” ประกอบกับการที่สังคมเริ่มเข้าสู่ “สังคมผู้สูงอายุ” อันนำไปสู่การ “ขาดแคลนแรงงาน” และ “ค่าแรงในการทำงาน” ที่ส่งผลให้ต้นทุนด้านการเกษตรสูง นอกจากนี้ “การจัดการน้ำ” ก็เป็นความเสี่ยงที่สำคัญสำหรับเกษตรกร ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตโดยเฉพาะการขาดแหล่งน้ำต้นทุนในช่วงหน้าแล้ง ดังนั้นการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่ มาช่วยส่งเสริมกระบวนการผลิตและการประหยัดน้ำจะช่วยให้เกิดความมั่นคงทางด้านทรัพยากรน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โดยปัจจุบันระบบสื่อสารและสารสนเทศมีการพัฒนาเป็นอย่างมาก เช่น 3G, 4G, LoRa, NB Iot เป็นต้น การใช้เครื่องมือดังกล่าวมาประกอบกับระบบอุปกรณ์ตรวจจับความชื้นในดินและสภาพอากาศในระดับแปลง จะช่วยควบคุมการจัดสรรน้ำเพื่อการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผ่านระบบอินเตอร์เน็ตมาสู่แม่ข่ายสารสนเทศที่ทำให้สามารถนำข้อมูลดังกล่าวช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในการปรับปรุงการจัดสรรน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการของพืชทั้งด้านปริมาณและช่วงเวลาที่มีประสิทธิภาพโดยการศึกษานี้จะมุ่งศึกษาพัฒนาระบบอุปกรณ์ตรวจจับความชื้นในดินและสภาพอากาศแบบเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สาย ที่ส่งผ่านข้อมูลไปยังระบบสื่อสารสารสนเทศ ทั้งในด้านประสิทธิภาพการตรวจจับความชื้นในดินและสภาพอากาศ, อุปกรณ์ควบคุมสั่งการ, การสื่อสาร, การรวบรวมข้อมูล, การวิเคราะห์ข้อมูล และการประมวลผลพร้อมนำเสนอข้อมูล เพื่อให้ได้อุปกรณ์ที่เหมาะสมในการนำไปใช้ในภาคสนามระดับฟาร์มพืช ในราคาที่เหมาะสม, มีประสิทธิภาพ และนำมาใช้ประโยชน์ได้ ช่วยลดการสูญเสียทรัพยากรน้ำโดยไม่จำเป็น เพราะทรัพยากรน้ำมีต้นทุนการจัดการที่สูง และจำเป็นต่อการพัฒนาประเทศ การได้เครื่องมือดังกล่าวจะช่วยลดภาระการใช้น้ำด้านการเกษตรซึ่งเป็นต้นทุนของประเทศ

## 2. วัตถุประสงค์

1) ศึกษาอุปกรณ์ตรวจจับ ความชื้นในดิน, ปริมาณน้ำฝน และระดับน้ำ เป็นข้อกำหนดเบื้องต้นที่เหมาะสมในการใช้งานในประเทศไทย

2) พัฒนาแม่ข่ายระบบตรวจจับและควบคุมการให้น้ำพืชที่ประมวลผลและเชื่อมโยงข้อมูลพร้อมประมวลผล ให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศและความต้องการพืช เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรน้ำที่ยังคงประสิทธิผลในการผลิตการเกษตรแสดงผล

## 3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

การพัฒนาเทคนิควิธีการของอุปกรณ์ตรวจวัด ควบคุม และสารสนเทศข้อมูลพร้อมระบบประมวลผล ในการศึกษาเพื่อให้ทราบปัญหาและจัดการอุปกรณ์ได้ง่ายจึงใช้พื้นที่อุทยาน 100 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ โรงเรียนสาธิตพิบูลบำเพ็ญมหาวิทยาลัยบูรพา เป็นพื้นที่ศึกษา โดยจะติดตั้งอุปกรณ์เพื่อตรวจสอบและสอบเทียบข้อมูลระหว่างกัน โดยใช้การเชื่อมต่อที่หลากหลาย เช่น WiFi, 3G, LoRa และ NB IoT เพื่อประมวลข้อดี-ข้อเสียของการเชื่อมโยงแต่ละแบบ พร้อมทั้งศึกษาข้อมูลที่ได้จากแต่ละระบบตรวจจับ โดยให้ความสำคัญที่การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการระบบให้น้ำ โดยอาศัยอุปกรณ์ตรวจจับ หลายระบบและหลายรูปแบบ เพื่อพัฒนาระบบและข้อกำหนดที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์ตรวจจับและระบบแม่ข่ายรวบรวมข้อมูล พร้อมศึกษาการนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประโยชน์

## 4. สรุปผลการศึกษา

ในโครงการ “การศึกษาและพัฒนาการใช้ระบบตรวจจับพื้นที่สีเขียวพร้อมระบบสารสนเทศ” มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการตรวจจับเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานกับระบบอุปกรณ์ประเภท IoT โดยอาศัยการศึกษาจากระบบต้นแบบของประเทศไต้หวัน เพื่อนำมาพัฒนาเป็นระบบที่เหมาะกับประเทศไทย ทั้งนี้มีความจำเป็นต้องพัฒนาอุปกรณ์เพื่อนำมาเทียบกับระบบดังกล่าว รวมถึงพัฒนาระบบรองรับที่สามารถทำงานร่วมกับระบบอื่นๆ ที่มีในโครงการต่างๆ ภายใต้โครงการเข็มมุ่ง แต่จากเหตุการณ์สถานการณ์ COVID-19 ทำให้ไม่สามารถเบิกจ่ายงบประมาณในส่วนหลังนี้ได้ ทำให้ปัจจุบันต้องใช้การศึกษาจากระบบต้นแบบของไต้หวันเป็นฐานของการศึกษาแทนการพัฒนาระบบขึ้นมาเอง

**อุปกรณ์ตรวจจับ**

ผลลัพธ์ที่ได้จากการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดจากการทดสอบการใช้อุปกรณ์จากเทคโนโลยีของประเทศไต้หวันเกี่ยวกับระบบตรวจจับที่เหมาะสมในด้านอุปกรณ์และระบบแม่ข่ายบนระบบ IoT ควรมีความสามารถเบื้องต้น ดังนี้ 1) ความสามารถในการหยุดทำงานแบบ sleep mode เพื่อประหยัดพลังงาน 2) การสอบทานข้อมูลจากการส่งข้อมูลโดยการส่งข้อมูลอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาเฉลี่ยเป็นข้อมูลจัดเก็บ 3) การรองรับปัญหาการสื่อสารระหว่างแม่ข่ายกับลูกข่ายในช่วงการขาดการติดต่อ โดยสามารถเรียกทวนข้อมูลที่ขาดไประหว่างการสื่อสารมาบันทึกในฐานข้อมูลของเครื่องแม่ข่ายได้โดยอัตโนมัติ 4) ความสามารถในการแปลงข้อมูลโดยอุปกรณ์ให้เป็นค่าที่นำไปใช้งาน 5) การปรับเทียบเวลาให้ตรงกันของอุปกรณ์โดยอาศัยการเรียกข้อมูลจากระบบอินเตอร์เน็ตเพื่อให้ได้เวลาที่เป็นมาตรฐาน 6) ระบบสำรองไฟฟ้าที่ควรรองรับการทำงานได้มากกว่า 2 สัปดาห์ 7) สามารถรองรับการปรับปรุง Firmware เพื่อให้สามารถรองรับอุปกรณ์และการเชื่อมต่อใหม่ๆ ได้ หรือสามารถปรับปรุงอุปกรณ์ภายในได้ ในส่วนอุปกรณ์จำเป็นต้องคำนึงถึงสถานที่ติดตั้งเพื่อเลือกใช้อุปกรณ์ได้อย่างเหมาะสม เช่น ในที่ร่มควรหาแหล่งพลังงานเพื่อจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบโดยตรง และกลางแจ้งอาจมีทางเลือกเป็นระบบพลังงานแสงอาทิตย์ รวมถึงการเชื่อมโยงระหว่างแม่ข่ายที่ต้องสามารถรองรับการเชื่อมโยงได้หลายรูปแบบ เช่น Bluetooth สำหรับการควบคุมและการติดตั้ง Firmware ให้กับอุปกรณ์, WiFi/3G/4G/LoRa/NB-IoT สำหรับการเชื่อมโยงกับระบบแม่ข่ายและเรื่องความปลอดภัยโดยรวมของระบบ

**แม่ข่าย**

แม่ข่ายของระบบอุปกรณ์ตรวจจับเป็นส่วนที่มีความสำคัญกับระบบทำหน้าที่เชื่อมโยงข้อมูลระหว่างแม่ข่ายกับอุปกรณ์ตรวจจับ ทั้งนี้จากการศึกษาระบบแม่ข่ายถูกแยกเป็นส่วนจัดเก็บข้อมูลและแม่ข่ายประมวลข้อมูล เนื่องจากเป็นการพัฒนาระบบร่วมกันระหว่างผู้ติดตั้งระบบตรวจจับและทีมงานวิจัย จากการวิจัยแม่ข่ายส่วนที่เป็นระบบจัดเก็บข้อมูลจะมีส่วนรวบรวม, ตรวจสอบ และแสดงผลข้อมูลผ่านทางส่วนติดต่อในลักษณะเว็ปไซต์ ในการรวบรวมข้อมูลจากระบบตรวจจับแล้วระบบควรรองรับการนำเข้าข้อมูลจากระบบตรวจจับอื่นจากภายนอกด้วย เพื่อให้ระบบรองรับการขยายได้ในอนาคต นอกจากนี้ยังสามารถเชื่อมต่อข้อมูลผ่านทางรูปแบบ Application Programming Interface (API) ซึ่งเป็นทั้งระบบรับและระบบส่งข้อมูลจากภายนอก โดยทางทีมวิจัยได้พัฒนาระบบประมวลข้อมูลเพื่อดึงข้อมูลจากแม่ข่ายระบบจัดเก็บข้อมูล มาประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์แล้วส่งข้อมูลกลับไปยังระบบจัดเก็บข้อมูลแม่ข่ายแบบอัตโนมัติ ซึ่งทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นและเป็นการไม่รบกวนการจัดเก็บข้อมูลของระบบแม่ข่ายจัดเก็บข้อมูลที่ต้องรับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับอยู่ตลอดเวลา และทำให้การพัฒนา

ระบบโดยรวมสามารถดำเนินการได้อย่างอิสระต่อกัน ทั้งนี้ในการศึกษาพบว่าการเชื่อมโยงข้อมูลกับแม่ข่ายระบบ Cloud มีความเสถียรเป็นอย่างมาก เพราะภาระในการดูแลระบบเป็นของผู้ให้บริการ แต่จะมีค่าใช้จ่ายในการเชื่อมโยงต่อครั้ง ดังนั้นการออกแบบระบบที่ดีจึงควรคำนึงถึงความจำเป็นในการเรียกใช้บริการจากระบบเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายที่เหมาะสม

นอกจากนี้ทางโครงการได้พยายามทำการทดสอบระบบควบคุมน้ำสำหรับสวน 100 ปีฯ ซึ่งเป็นที่ตั้งของอุปกรณ์ทดสอบ เพื่อทดสอบการทำงานของระบบอุปกรณ์ IoT เพื่อทดสอบการควบคุมการให้น้ำในสวน 100 ปีฯ ในส่วนบริเวณสวนลอย แต่ติดปัญหาจากสถานการณ์ COVID-19 ทำให้ไม่สามารถเบิกจ่ายงบประมาณและเข้าพื้นที่ได้เพราะจำเป็นต้องใช้บุคลากรในการติดตั้งจำนวนมากทั้งในส่วนของการติดตั้งระบบน้ำ และการติดตั้งระบบควบคุมซึ่งเป็นข้อจำกัดของมาตรการควบคุมโรค ทำให้ทางโครงการได้ปรับเปลี่ยนการทำงานโดยการนำเอาข้อมูลจากระบบมาพัฒนาเป็นระบบแจ้งเตือนการรดน้ำเพื่อทดแทนงานที่ไม่ได้เบิกใช้งบประมาณในส่วนนี้ ซึ่งข้อมูลที่ได้ช่วยให้ผู้ดูแลสวนทราบถึง สถานะดิน, สถานะการให้น้ำ, ปริมาณน้ำที่ใช้ และ เวลาในการให้น้ำ ที่ช่วยให้ผู้ดูแลสวนสามารถติดตามสถานะและปรับเปลี่ยนรูปแบบการรดน้ำทำให้ลดการให้น้ำได้ถึง 20-30 เปอร์เซ็นต์ ของการให้น้ำในในปัจจุบัน (ข้อมูลจากการทดสอบในแบบจำลอง)

ในส่วนงานด้านของมหาวิทยาลัยบูรพา เนื่องจากทางพื้นที่ติดปัญหาการขอใช้พื้นที่และสถานการณ์ COVID-19 ทำให้งานในส่วนนี้ล่าช้ากว่ากำหนด ทั้งนี้ทางทีมงานก็ได้เข้าพื้นที่เพื่อช่วยเหลือและสนับสนุนในการดำเนินการโครงการของมหาวิทยาลัยบูรพา ทั้งนี้ระบบที่จะติดตั้งจำเป็นต้องดำเนินการหลังจากงานก่อสร้างของมหาวิทยาลัยบูรพาเสร็จสิ้น ทำให้งานในส่วนนี้ทางโครงการขอยกเลิกเนื่องจากไม่สามารถดำเนินการได้ทันในระยะเวลาโครงการ อีกทั้งในส่วนการพัฒนาระบบขึ้นมาเองยังไม่ได้จัดทำ ทำให้อาจต้องใช้ระบบของทางได้หวันในการติดตั้งในพื้นที่

## 5. ข้อเสนอแนะ

1) ควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเพื่อต่อยอดการพัฒนาอุปกรณ์และระบบเพื่อให้รองรับการทำงานและอุปกรณ์ที่มากขึ้น รวมถึงการพัฒนาเรื่องระบบควบคุมเพื่อให้ใช้ประโยชน์จากอุปกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2) ควรมีการศึกษาอุปกรณ์ตรวจจับที่สามารถตรวจวัดปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชร่วมด้วย ที่นอกเหนือจากด้านการจัดสรรน้ำ

3) ควรมีการนำข้อมูลผลการทำนายปริมาณฝน 72 ชม. มาทำการศึกษาเพิ่มเติมร่วมกับการทำงานของระบบตรวจจับและระบบแจ้งเตือนการรดน้ำเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนการรดน้ำ

4) ควรศึกษาการรวมระบบแม่ข่ายจัดเก็บข้อมูลเข้ากับระบบประมวลผลเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเชื่อมโยงและให้ได้รูปแบบที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยเพื่อปรับปรุงระบบในอนาคต

# Executive Summary

## 1. Introduction

Nowadays, Thailand has high agricultural production costs due to the lack of appropriate knowledge and technology to be applied to the "Agricultural system", as well society began to enter "Aging society" leading to "Labor shortages" and "working wages" resulting in high agricultural costs. In addition, "Water Management" is an important risk for farmers, so it should be studied to improve the efficiency of the production process, especially the lack of costly water sources during the drought. Therefore, the adoption of modern technologies to promote production processes and water savings will help to ensure the stability of water resources effectively.

Today's communication and information systems have been very developed, such as 3G, 4G, LoRa, NB Iot, etc. The use of such tools in conjunction with a system of soil moisture and climate detectors at the plots will help control water allocation for agriculture effectively through the Internet. An information server can bring information to support decision-making to improve the water allocation to suit the needs of the plant both in terms of quantity and time efficiency. The study aims to develop a system of soil moisture and weather-connected wireless networks that transmit data to information communication systems in terms of efficiency, soil moisture detection and weather conditions, control equipment, communication, data collection, data analysis and data processing. This is to obtain the right equipment for use in the field at the plant farm level at a reasonable price, efficient and useful. To reduce unnecessary loss of water resources because water resources have high management costs and are essential to developing countries. This tool ingress reduces the burden of agricultural water, which is the cost of the country.

## 2. Objective

1) To study a device for detecting soil moisture, rainfall and water level, which are the basic requirements for use in Thailand.

2) To develop a network of monitoring and control systems for plant irrigation that processes and connects data and processes them to suit climatic conditions and crop needs, and to increase the efficiency of the use of water resources that remain productive in agricultural production.

## 3. Operating procedure

IoT is development of techniques, methods of measuring, control and information technology equipment for a processing system. In order to study to identify problems and to easily manage equipments, the Chulalongkorn University Centenary Park and Piboonbamphen Demonstration School, Burapha University was used as a study area. It is equipped respectively to verify and calibrate data between them using a variety of connections such as WiFi, 3G, LoRa and NB IoT to process the pros and cons of each link along with studying the data obtained from each detection system. The study emphasis on improving the efficiency of water supply system management by relying on multiple systems and formats to develop suitable systems and requirements for detector and server systems, collect data and learn how to use the data.

## 4. Summary of study results

In the project "Study and Development of the Green Area Detection System with Information System", the objective is to develop a sensing system to increase the efficiency of the IoT device system based on the study from the prototype system of Taiwan to be developed. Is a system that is suitable for Thailand However, it is necessary to develop a device to be compared with the said system. Including developing a support system that can work with other systems Available in various projects Under the Chem Moong project. However, the situation of COVID-19, the budget cannot be

disbursed in the latter. As a result, it is now necessary to use the study from the Taiwan model system as the base of education instead of developing the system itself.

**Sensor**

The results obtained from the installation of measuring devices from the testing of the use of equipment from Taiwan technology on suitable detection systems in the field of IoT devices and servers should have the following basic capabilities: Stop working in sleep mode to save energy 2) Review the data from the transmission by sending at least 3 transmissions and then using the average data as storage data 3) Support for communication problems between server and client. During the absence of contact missing data during the communication can be retrieved and saved in the server's database automatically. 4) Ability to convert data by the device to low usage. 5) Time synchronization of device relies on data retrieval from the Internet to get a standardized time 6) Power backup systems that should support more than 2 weeks 7) Firmware updates to support new devices and connections. Or can improve the internal equipment In terms of equipment, it is necessary to consider the installation location in order to select the appropriate equipment, for example, indoors, should find a power source to supply electricity directly to the system. And outdoors, there may be an alternative to a solar system. Including the link between the servers that must be able to support multiple links such as Bluetooth for controlling and installing firmware to the device, WiFi / 3G / 4G / LoRa / NB-IoT. For being connected to the host system and on the overall security of the system.

**Server**

The server of the detector system is an important part of the system, acting as a data link between the server and the detector. From the study, the server system was split into data storage and data processing server. Since it is a joint system development between the detector installer and the research team from the research of the host, the data storage system will collect, review and display the data via the web interface.

In order to collect data from detectors, the system should also support importing data from other external detectors so that the system can support future expansion. In addition, data can be connected via an Application Programming Interface (API) which is both a receiving system and an external transmission system. The research team has developed a data processing system to retrieve data from the storage system server. It is processed by software and automatically sends the data back to the host storage system. This allows the system to be flexible and does not interfere with the storage of the server, storing information that must receive data from the detector all the time and makes the overall system development able to be carried out independently of each other. In this study, it was found that the data link with the cloud server is very stable because the administrative burden belongs to the service provider. But there will be a cost of per link so. A good system design should take into account the need to run service from the system in order to achieve optimal efficiency and cost.

In addition, the project has tried to test the water control system for the 100-year-old garden, where the test equipment is located. To test the operation of the IoT device system to test the control of watering in the 100-year garden in the floating garden area But facing the problem of the COVID-19 situation, it is unable to disburse the budget and enter the area because a lot of installation personnel are required, both for the installation of water systems. And the installation of a control system which is a limitation of disease control measures Causing the project to modify the work by bringing information from the system to develop a watering alert system to replace the unused budget in this section The information provided helps gardeners know soil status, hydration status, amount of water used, and watering time, allowing gardeners to monitor and adjust watering patterns, reducing irrigation up to 20-30 percent of current irrigation (Data from testing in the model).

As for Burapha University's work, due to the problem of requesting the use of the area and the epidemic situation of the COVID-19 coronavirus, this part has been delayed. In this regard, the working group entered the area to assist and support the

implementation of the Burapha University project The system to be installed must be implemented after the construction work of Burapha University is completed. As a result, the work in this section, the project request to cancel because it cannot be carried out in time for the project period. Also in the development of the system itself not yet made Therefore, it may be necessary to use Taiwan's system for local installation.

**5. Recommendations**

1) Further research should be undertaken to further develop the device and system to support more work and equipment Including the development of control systems in order to utilize the equipment efficiently.
2) Sensor that can measure other factors should be studied. That affect the growth of plants together with In addition to water allocation.
3) The results of the 72-hour rainfall forecast should be further studied in conjunction with the watering detection and alarm system to help increase the efficiency of watering planning.
4) The integration of the storage server with the processing system should be studied in order to reduce the cost of linkage and to obtain a suitable format for research to improve the system in the future.

# บทคัดย่อ

**รหัสโครงการ** : SIP6230023

**ชื่อโครงการ** : การศึกษาและพัฒนาการใช้ระบบตรวจจับพื้นที่สีเขียวพร้อมระบบสารสนเทศ

**ชื่อนักวิจัย** :

| | |
|---|---|
| ผศ.ดร.สรรเพชญ ชื้อนิธิไพศาล | คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| ดร.พงษ์ศักดิ์ สุทธินนท์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| ดร.ชาญยุทธ กาฬกาญจน์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา |
| นางสาวรัศมี สืบชมภู | Synergy Technology and Synergy Innovation Co., Ltd |
| นายชานนท์ รัศมีประเสริฐ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| นายธรณินทร์ เป่าสง่า | คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| นางสาวมนัสวี บัวศรี | คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |

**ระยะเวลาโครงการ** : 30 สิงหาคม 2562 – 30 ตุลาคม 2563

**คำสำคัญ** : ระบบตรวจจับ, ระบบสาสนเทศ, การสื่อสาร

ปัจจุบันประเทศไทยมีต้นทุนการผลิตด้านการเกษตรสูงเนื่องจากขาดการนำเอาความรู้และเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ใน “ระบบการเกษตร” ประกอบกับการที่สังคมเริ่มเข้าสู่ “สังคมผู้สูงอายุ” อันนำไปสู่การ “ขาดแคลนแรงงาน” และ “ค่าแรงในการทำงาน” ที่ส่งผลให้ต้นทุนด้านการเกษตรสูง นอกจากนี้ “การจัดการน้ำ” ก็เป็นความเสี่ยงที่สำคัญสำหรับเกษตรกร ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตโดยเฉพาะการขาดแหล่งน้ำต้นทุนในช่วงหน้าแล้ง ดังนั้นการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่ มาช่วยส่งเสริมกระบวนการผลิตและการประหยัดน้ำจะช่วยให้เกิดความมั่นคงทางด้านทรัพยากรน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โดยปัจจุบันระบบสื่อสารและสารสนเทศมีการพัฒนาเป็นอย่างมาก เช่น 3G, 4G, LoRa, NB Iot เป็นต้น การใช้เครื่องมือดังกล่าวมาประกอบกับระบบอุปกรณ์ตรวจจับความชื้นในดินและสภาพอากาศในระดับแปลง จะช่วยควบคุมการจัดสรรน้ำเพื่อการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผ่านระบบอินเตอร์เน็ตมาสู่แม่ข่ายสารสนเทศที่ทำให้สามารถนำข้อมูลดังกล่าวช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในการปรับปรุงการจัดสรรน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการของพืชทั้งด้านปริมาณและช่วงเวลาที่มีประสิทธิภาพโดยการศึกษานี้จะมุ่งศึกษาพัฒนาระบบอุปกรณ์ตรวจจับความชื้นในดินและสภาพอากาศ

แบบเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สาย ที่ส่งผ่านข้อมูลไปยังระบบสื่อสารสารสนเทศ ทั้งในด้านประสิทธิภาพการตรวจจับความชื้นในดินและสภาพอากาศ, อุปกรณ์ควบคุมสั่งการ, การสื่อสาร, การรวบรวมข้อมูล, การวิเคราะห์ข้อมูล และการประมวลผลพร้อมนำเสนอข้อมูล เพื่อให้ได้อุปกรณ์ที่เหมาะสมในการนำไปใช้ในภาคสนามระดับฟาร์มพืช ในราคาที่เหมาะสม, มีประสิทธิภาพ และนำมาใช้ประโยชน์ได้ ช่วยลดการสูญเสียทรัพยากรน้ำโดยไม่จำเป็น เพราะทรัพยากรน้ำมีต้นทุนการจัดการที่สูง และจำเป็นต่อการพัฒนาประเทศ การได้เครื่องมือดังกล่าวจะช่วยลดภาระการใช้น้ำด้านการเกษตรซึ่งเป็นต้นทุนของประเทศ

# Abstract

**Project Code**: SIP6230023

**Project Name**: The study and development of the use of green space detection system with information system

**Researcher name**:

Asst. Prof. Sanphet Chunithipaisan, Ph.D. Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
Pongsak Suttinon, D.Eng Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
Chanyut Kalakan, Ph.D. (Civil Engineering) Faculty of Engineering, Burapha University
Rassamee Suebchompoo Synergy Technology and Synergy Innovation Co., Ltd.
Chanon Rusamiprasert Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
Toranin Pawsanga Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
Manasawee Bousri Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

**Project duration**: 30th August 2019 – 30th October 2020

**Keywords**: sensor, Information system, communication

Nowadays, Thailand has high agricultural production costs due to the lack of appropriate knowledge and technology to be applied to the "Agricultural system", as well society began to enter "Aging society" leading to "Labor shortages" and "working wages" resulting in high agricultural costs. In addition, "Water Management" is an important risk for farmers, so it should be studied to improve the efficiency of the production process, especially the lack of costly water sources during the drought. Therefore, the adoption of modern technologies to promote production processes and water savings will help to ensure the stability of water resources effectively.

Today's communication and information systems have been very developed, such as 3G, 4G, LoRa, NB Iot, etc. The use of such tools in conjunction with a system of soil moisture and climate detectors at the plots will help control water allocation for

agriculture effectively through the Internet. An information server can bring information to support decision-making to improve the water allocation to suit the needs of the plant both in terms of quantity and time efficiency. The study aims to develop a system of soil moisture and weather-connected wireless networks that transmit data to information communication systems in terms of efficiency, soil moisture detection and weather conditions, control equipment, communication, data collection, data analysis and data processing. This is to obtain the right equipment for use in the field at the plant farm level at a reasonable price, efficient and useful. To reduce unnecessary loss of water resources because water resources have high management costs and are essential to developing countries. This tool ingress reduces the burden of agricultural water, which is the cost of the country.

# สารบัญ

หน้า


รายชื่อคณะวิจัยและผู้เกี่ยวข้อง

คำนำ

กิตติกรรมประกาศ

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

Executive Summary

บทคัดย่อไทย

Abstract

สารบัญ

สารบัญรูป

สารบัญตาราง

**บทที่ 1 บทนำ**

| | | |
|---|---|---|
| 1.1 | หลักการและเหตุผล | 1-1 |
| 1.2 | แนวคิดและเป้าหมาย | 1-2 |
| 1.3 | วัตถุประสงค์ | 1-2 |
| 1.4 | ขอบเขตโครงการ | 1-3 |
| 1.5 | ระเบียบวิธีวิจัยและขั้นตอนการดำเนินงาน | 1-3 |
| 1.6 | กิจกรรมที่ดำเนินไปในระยะที่ 1 | 1-11 |
| 1.7 | เนื้อหารายงาน | 1-12 |

**บทที่ 2 ระบบตรวจจับ**

| | | |
|---|---|---|
| 2.1 | ระบบและมาตรฐานระบบตรวจจับ | 2-1 |
| 2.2 | องค์ประกอบของระบบตรวจจับแบบ Internet of Thing | 2-16 |
| 2.3 | มาตรฐานโปรโตคอล (Protocal) ในงานระบบตรวจจับ | 2-17 |
| 2.4 | เทคโนโลยีการสื่อสารในงานระบบตรวจจับ | 2-30 |
| 2.5 | การประยุกต์ใช้ระบบตรวจจับในงานด้านการเกษตร | 2-33 |

# สารบัญ (ต่อ)


| | | หน้า |
|---|---|---|
| **บทที่ 3** | **ระบบให้น้ำพืช** | |
| 3.1 | การออกแบบระบบให้น้ำพืช | 3-1 |
| 3.2 | การศึกษาการให้น้ำพืชที่เหมาะสม | 3-5 |
| **บทที่ 4** | **ผลการดำเนินงาน** | |
| 4.1 | แผนงานติดตั้งอุปกรณ์ | 4-1 |
| 4.2 | การศึกษาการให้น้ำในสวน 100 ปีฯ | 4-7 |
| 4.3 | การติดตามข้อมูลระบบตรวจจับความชื้นในดิน สวน 100 ปีฯ และการใช้ประโยชน์ | 4-10 |
| 4.4 | ระบบตรวจจับเพื่อการจัดการการให้น้ำ | 4-20 |
| 4.5 | การออกแบบระบบตรวจจับและควบคุมฟาร์มพืช มหาวิทยาลัยบูรพา | 4-25 |
| 4.6 | การประชุมเชิงปฏิบัติการ เรื่องระบบตรวจจับและระบบประมวลข้อมูลด้านทรัพยากรน้ำและการเกษตร | 4-28 |
| **บทที่ 5** | **บทสรุปและข้อเสนอแนะ** | |
| 5.1 | บทสรุป | 5-1 |
| 5.2 | ข้อเสนอแนะ | 5-3 |
| 5.3 | ปัญหาและอุปสรรค | 5-4 |

**เอกสารอ้างอิง**

**ภาคผนวก**

ก หนังสือยื่นเสนอแผนงานติดตั้ง

ข โครงการพัฒนาต้นแบบระบบตรวจวัดสภาพอากาศ

ค SENSLINK WEB

# สารบัญรูป


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1.1-1 | แสดงโครงสร้างการทำงานของระบบสารสนเทศ Internet of Thing (IoT) | 1-2 |
| 1.5-1 | แสดงรูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ IoT | 1-3 |
| 1.5-2 | ระบบตรวจจับที่ใช้ แบบที่ 1 | 1-4 |
| 1.5-3 | ระบบตรวจจับแบบที่ 2 | 1-4 |
| 1.5-4 | แนวคิดการการพัฒนาระบบตรวจจับ | 1-5 |
| 1.5-5 | ผังการทดลองในพื้นที่อุทยานฯ 100 ปี | 1-6 |
| 1.5-6 | แนวคิดการการพัฒนาระบบตรวจจับ | 1-8 |
| 1.5-7 | แนวคิดการพัฒนาแปลงทดลองการให้น้ำพืช พร้อมระบบประมวลผล | 1-8 |
| 1.5-8 | แนวคิดการพัฒนาในพื้นที่มหาวิทยาลัยบูรพา | 1-9 |
| 1.5-9 | พื้นที่แปลงเกษตรของโรงเรียนพิบูลบำเพ็ญมหาวิทยาลัยบูรพา ในส่วนอาคารอินเตอร์เนชันแนล | 1-10 |
| 2.1-1 | โครงสร้างของ IoT RA | 2-3 |
| 2.1-2 | โครงสร้างของ CM | 2-3 |
| 2.1-3 | RM และมุมมองสถาปัตยกรรม | 2-4 |
| 2.1-4 | ภาพรวมโมเดลสำหรับแนวคิด IoT ของ CM | 2-6 |
| 2.1-5 | ลักษณะและขอบเขตแนวคิดของ CM | 2-7 |
| 2.1-6 | การติดต่อระหว่างขอบเขตของ CM | 2-8 |
| 2.1-7 | ขอบเขตประกอบของ CM | 2-8 |
| 2.1-8 | ความสัมพันธ์ระหว่าง IoT CM, RM และ RA | 2-10 |
| 2.1-9 | ลักษณะ-พื้นฐาน IoT RM | 2-10 |
| 2.1-10 | ขอบเขตและลักษณะความสัมพันธ์, และภาพนำเสนอลักษณะแนวคิดในระบบ IoT | 2-13 |
| 2.1-11 | ขอบเขต-พื้นฐาน IoT RM | 2-14 |
| 2.1-12 | ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะ-พื้นฐาน RM และ ขอบเขต-พื้นฐาน RM | 2-15 |
| 2.1-13 | มุมมองฟังก์ชั่น IoT RA – การแจกแจงขององค์ประกอบฟังก์ชั่น IoT RA | 2-15 |
| 2.2-1 | โครงสร้างองค์ประกอบของระบบตรวจจับแบบ Internet of Thing | 2-16 |
| 2.3-1 | เทคโนโลยีการสื่อสารแบบต่างๆ | 2-23 |
| 2.3-2 | แสดงการแบ่งเทคโนโลนีการสื่อสารออกตามระยะสัญญาณ | 2-26 |

# สารบัญรูป (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.3-3 | โครงสร้างสถาปัตยกรรม IoT | 2-29 |
| 2.3-4 | ชั้นของ TCP/IP และ ชั้น IP Smart Object Protocal | 2-29 |
| 2.5-1 | แนวคิดการพัฒนาสู่เกษตรสมัยใหม่ | 2-34 |
| 3.1-1 | เซลล์ใบของพืชที่มีรูเปิดปากใบ (Klein and Klein,1988) | 3-2 |
| 3.1-2 | การจำแนกความชื้นในดินและความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้และไม่ได้ | 3-4 |
| 3.2-1 | ระบบสปริงเกอร์แบบ 360 องศา ที่ใช้อยู่ในสวนฯ 100 ปี | 3-6 |
| 3.2-2 | ระบบน้ำหยดที่ใช้ในการศึกษาระบบอัตโนมัติ | 3-6 |
| 4.1-1 | แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ | 4-1 |
| 4.1-2 | ตำแหน่งติดตั้งอุปกรร์ตรวจจับที่เชื่อมกับระบบไฟฟ้าของสวนฯ 100 ปีฯ | 4-2 |
| 4.1-3 | แสดงอุปกรณ์ที่เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าของสวนฯ 100 ปีฯ | 4-2 |
| 4.1-4 | แสดงจุดติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ สถานีที่ 2 บริเวณสวนลอย สวน 100 ปีฯ | 4-3 |
| 4.1-5 | แสดงจุดติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ สถานีที่ 3 บริเวณสวนลอย สวน 100 ปีฯ | 4-3 |
| 4.1-6 | แสดงจุดติตั้งอุปกรณ์วัดสถาพอากาศ และระดับน้ำ สวน 100 ปีฯ | 4-4 |
| 4.1-7 | แสดงโครงสร้างของอุปกรณ์วัดสภาพอากาศ และระดับน้ำ สวน 100 ปีฯ | 4-4 |
| 4.1-8 | แสดงโครงสร้างการเชื่อมโยง อุปกรณ์ตรวจจับกับกล่องควบคุมและส่งข้อมูลระบบตรวจจับ | 4-5 |
| 4.2-1 | แสดงกราฟความชื้นในดินที่เปลี่ยนแปลงบริเวณสวนลอย ของสวน 100 ปีฯ | 4-8 |
| 4.2-2 | แสดงการใช้น้ำของหญ้าเนเปียร์ด้วยวิธีการ Penman Monteith และสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง | 4-8 |
| 4.2-3 | ค่า Eto กรุงเทพ (คลองเตย) | 4-9 |
| 4.3-1 | การแบ่งชนิดดิน | 4-10 |
| 4.3-2 | แสดงชนิดดินจากจุดที่ติดตั้งระบบตรวจจับ | 4-11 |
| 4.3-3 | รูปร่างโค้งทั่วไปแสดงให้เห็นว่าการผลิตพืช (การเจริญเติบโต) ได้รับผลกระทบจากความเครียดของน้ำในดินอย่างไร | 4-12 |
| 4.3-4 | ความชื้นในดินตามชนิดดิน | 4-12 |

# สารบัญรูป (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| **4.3-5** | ระบบให้น้ำอัตโนมัติเวลา 8.00 น. และ 13.30 น. เว้นวันที่ฝนตก โดยรดเป็นเวลา 5 นาที อัตราการให้น้ำของปั๊มน้ำ 35 ลบ.ม./ชัวโมง สถานีที่ 2 | 4-13 |
| **4.3-6** | การให้น้ำแบบใช้คนรดน้ำสถานีที่ 3-5 | 4-14 |
| **4.3-7** | กราฟแสดงปริมาณฝนและอุณหภูมิสถานีที่ 1 | 4-14 |
| **4.3-8** | กราฟแสดงระดับน้ำของสระเก็บน้ำสถานีที่ 1 | 4-15 |
| **4.3-9** | ช่วงแสดงการใช้น้ำของสถานีที่ 2 | 4-15 |
| **4.3-10** | ช่วงแสดงการใช้น้ำของสถานีที่ 3 | 4-16 |
| **4.3-11** | ช่วงแสดงการใช้น้ำของสถานีที่ 4 | 4-16 |
| **4.3-12** | ช่วงแสดงการใช้น้ำของสถานีที่ 5 | 4-17 |
| **4.3-13** | การให้น้ำดินร่วนปนทรายจากการติดตามข้อมูลจากระบบตรวจจับความชื้นในดิน | 4-18 |
| **4.3-14** | การให้น้ำดินร่วนตะกอนจากการติดตามข้อมูลจากระบบตรวจจับความชื้นในดิน | 4-18 |
| **4.3-15** | การเปรียบเทียบความชื้นในดินจากการให้น้ำในอดีต กับแบบจำลองทางเลือกการ | 4-19 |
| **4.3-16** | การเปรียบเทียบปริมาณการให้น้ำในอดีต กับแบบจำลองทางเลือกปริมาณการให้ | 4-19 |
| **4.4-1** | แสดงการเชื่อมโยงระบบตรวจจับ ประมวลผล และระบบแจ้งเตือนการรดน้ำที่พัฒนา | 4-20 |
| **4.4-2** | ตำแหน่งติดตั้งสถานี และจุดที่ตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ | 4-21 |
| **4.4-3** | หน้าจอเข้าสู่ระบบ Senslink | 4-22 |
| **4.4-4** | หน้าจอหลักของระบบ | 4-22 |
| **4.4-5** | โครงสร้างเมนูของ Web Application | 4-23 |
| **4.4-6** | กระบวนการการแจ้งเตือนการรดน้ำ | 4-23 |
| **4.4-7** | Rule Curve ของดินร่วนปนทราย และดินร่วนตะกอน | 4-24 |
| **4.4-8** | ตัวอย่างการรายงานสถานะสถานีวัดบนแอปพลิเคชัน Line | 4-25 |
| **4.5-1** | แผนผังการทำงานระบบควบคุม | 4-27 |
| **4.6-1** | บรรยากาศการประชุมเชิงปฏิบัติการ | 4-29 |
| **4.6-2** | ภาพเอกสารประกอบการประชุมเชิงปฏิบัติการ | 4-29 |

# สารบัญตาราง

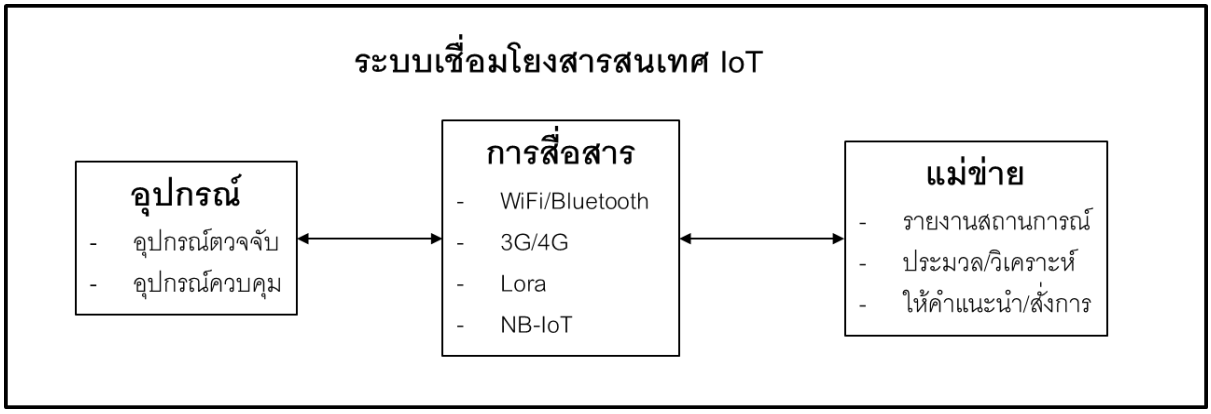

| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| **2.4-1** | เทคโนโลยีการสื่อสาร - การเปรียบเทียบ | 2-32 |
| **3.1-1** | รูปแบบการให้น้ำตามประเภทการปลูก | 3-5 |
| **4.1-1** | แผนการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ | 4-1 |
| **4.1-2** | แสดงรายการข้อมูลระบบตรวจจับ | 4-5 |
| **4.3-1** | จุดที่กระทบการจัดการผลผลิตที่ยอมรับได้ (management allowable deficit (MAD)) ค่าทั่วไปของความลึกรากของพืชต่างๆ ค่าที่ได้อาจแต่กต่างขึ้นอยู่กับชนิดดินหรือพื้นที่ที่แตกต่าง | 4-11 |
| **4.4-1** | กระบวนการการแจ้งเตือนการรดน้ำ | 4-24 |
| **4.6-1** | สรุปแบบประเมินการประชุมเชิงปฏิบัติการ | 4-28 |

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 หลักการและเหตุผล

ปัจจุบันประเทศไทยมีต้นทุนการผลิตด้านการเกษตรสูงเนื่องจากขาดการนำเอาความรู้และเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ใน “ระบบการเกษตร” ประกอบกับการที่สังคมเริ่มเข้าสู่ “สังคมผู้สูงอายุ” อันนำไปสู่การ “ขาดแคลนแรงงาน” และ “ค่าแรงในการทำงาน” ที่ส่งผลให้ต้นทุนด้านการเกษตรสูง นอกจากนี้ “การจัดการน้ำ” ก็เป็นความเสี่ยงที่สำคัญสำหรับเกษตรกร ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตโดยเฉพาะการขาดแหล่งน้ำต้นทุนในช่วงหน้าแล้ง ดังนั้นการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่ มาช่วยส่งเสริมกระบวนการผลิตและการประหยัดน้ำจะช่วยให้เกิดความมั่นคงทางด้านทรัพยากรน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โดยปัจจุบันระบบสื่อสารและสารสนเทศมีการพัฒนาเป็นอย่างมาก เช่น 3G, 4G, LoRa, NB Iot เป็นต้น การใช้เครื่องมือดังกล่าวมาประกอบกับระบบอุปกรณ์ตรวจจับความชื้นในดิน และสภาพอากาศในระดับแปลง จะช่วยควบคุมการจัดสรรน้ำเพื่อการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผ่านระบบอินเตอร์เน็ตมาสู่แม่ข่ายสารสนเทศที่ทำให้สามารถนำข้อมูลดังกล่าวช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในการปรับปรุงการจัดสรรน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการของพืชทั้งด้านปริมาณและช่วงเวลาที่มีประสิทธิภาพโดยการศึกษานี้จะมุ่งศึกษาพัฒนาระบบอุปกรณ์ตรวจจับความชื้นในดินและสภาพอากาศแบบเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สาย ที่ส่งผ่านข้อมูลไปยังระบบสื่อสารสารสนเทศ ทั้งในด้านประสิทธิภาพการตรวจจับความชื้นในดินและสภาพอากาศ, อุปกรณ์ควบคุมสั่งการ, การสื่อสาร, การรวบรวมข้อมูล, การวิเคราะห์ข้อมูล และการประมวลผลพร้อมนำเสนอข้อมูล เพื่อให้ได้อุปกรณ์ที่เหมาะสมในการนำไปใช้ในภาคสนามระดับฟาร์มพืช ในราคาที่เหมาะสม, มีประสิทธิภาพ และนำมาใช้ประโยชน์ได้ ช่วยลดการสูญเสียทรัพยากรน้ำโดยไม่จำเป็น เพราะทรัพยากรน้ำมีต้นทุนการจัดการที่สูง และจำเป็นต่อการพัฒนาประเทศ การได้เครื่องมือดังกล่าวจะช่วยลดภาระการใช้น้ำด้านการเกษตรซึ่งเป็นต้นทุนของประเทศ




**รูปที่ 1.1-1** แสดงโครงสร้างการทำงานของระบบสารสนเทศ Internet of Thing (IoT)

## 1.2 แนวคิดและเป้าหมาย

1) ข้อกำหนดเบื้องต้นที่เหมาะสมในการพัฒนาระบบอุปกรณ์ตรวจจับ เพื่อรองรับการเชื่อมโยงข้อมูล ขยายผล และการทำงานร่วมกันของแต่ละหน่วยงานที่มีการพัฒนาระบบตรวจจับ เช่น กรมชลประทาน, กรมทรัพยากรน้ำ, สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร และสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) เป็นต้น

2) พัฒนาระบบตรวจจับ ควบคุมการให้น้ำพืชที่ประมวลผลและแม่ข่ายเชื่อมโยงข้อมูลพร้อมประมวลผล ให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศและความต้องการพืช เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรน้ำที่ยังคงประสิทธิผลในการผลิตการเกษตร

## 1.3 วัตถุประสงค์

1) ศึกษาอุปกรณ์ตรวจจับ ความชื้นในดิน, ปริมาณน้ำฝน และระดับน้ำ เป็นข้อกำหนดเบื้องต้นที่เหมาะสมในการใช้งานในประเทศไทย

2) พัฒนาแม่ข่ายระบบตรวจจับและควบคุมการให้น้ำพืชที่ประมวลผลและเชื่อมโยงข้อมูลพร้อมประมวลผล ให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศและความต้องการพืช เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรน้ำที่ยังคงประสิทธิผลในการผลิตการเกษตรแสดงผล

## 1.4 ขอบเขตโครงการ

พื้นที่ศึกษาที่ได้จากอุทยาน 100 ปีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และพื้นที่มหาวิทยาลัยบูรพา กับพื้นที่ศึกษาอื่นในโครงการวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้ประโยชน์จากข้อมูลและผลวิเคราะห์ โดยอาศัยต้นแบบจากระบบที่มีอยู่ทั้งในและต่างประเทศ มาพัฒนาต่อยอดการใช้งานให้เหมาะสมกับการจัดการทรัพยากรน้ำในประเทศไทย โดยเฉพาะในเขตชลประทานและพื้นที่การเกษตรขนาดใหญ่ ที่จะช่วยลดต้นทุนการจัดการทั้งในด้านบุคลากร และงบประมาณ ที่เพิ่มประสิทธิภาพการจัดการจากระบบเดิมที่เป็นการจัดการแบบรอบเวรที่คงที่ เป็นแบบแปรผันตามสถานการณ์ทรัพยากรน้ำที่เปลี่ยนไป โดยอาศัยอุปกรณ์ตรวจจับในการช่วยการติดตามสถานการณ์

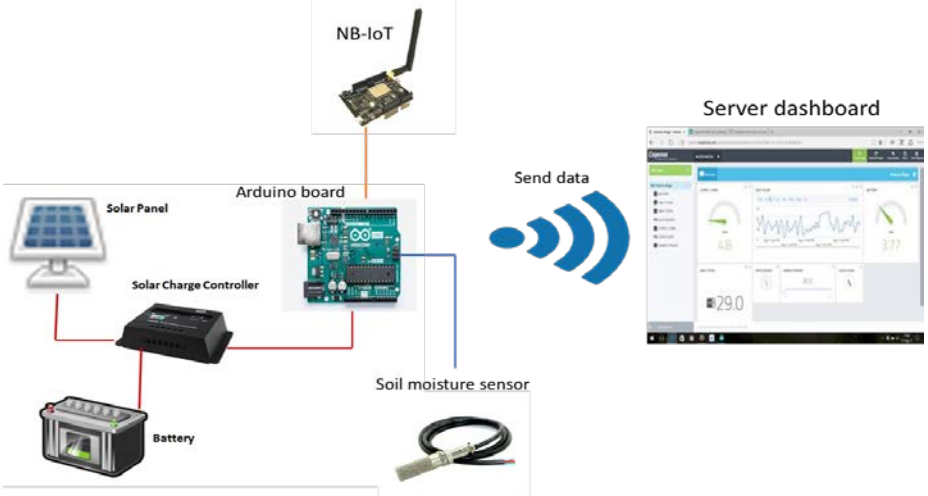
## 1.5 ระเบียบวิธีวิจัยและขั้นตอนการดำเนินงาน

การพัฒนาเทคนิควิธีการของอุปกรณ์ตรวจวัด ควบคุม และสารสนเทศข้อมูลพร้อมระบบประมวลผล ในการศึกษาเพื่อให้ทราบปัญหาและจัดการอุปกรณ์ได้ง่ายจึงใช้พื้นที่อุทยาน 100 ปีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ โรงเรียนสาธิตพิบูลบำเพ็ญมหาวิทยาลัยบูรพา เป็นพื้นที่ศึกษา โดยจะติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ 7 จุด และ 12 จุด ตามลำดับ เพื่อตรวจสอบและสอบเทียบข้อมูลระหว่างกัน โดยใช้การเชื่อมต่อที่หลากหลาย เช่น WiFi, 3G, LoRa และ NB IoT เพื่อประมวลข้อดี-ข้อเสียของการเชื่อมโยงแต่ละแบบ พร้อมทั้งศึกษาข้อมูลที่ได้จากแต่ละระบบตรวจจับ โดยให้ความสำคัญที่การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการระบบให้น้ำ โดยอาศัยอุปกรณ์ตรวจจับ หลายระบบและหลายรูปแบบ เพื่อพัฒนาระบบและข้อกำหนดที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์ตรวจจับและระบบแม่ข่ายรวบรวมข้อมูล พร้อมศึกษาการนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประโยชน์

**รูปที่ 1.5-1** แสดงรูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ IoT

**รูปที่ 1.5-2** ระบบตรวจจับที่ใช้ แบบที่ 1

**รูปที่ 1.5-3** ระบบตรวจจับแบบที่ 2




**รูปที่ 1.5-4** แนวคิดการการพัฒนาระบบตรวจจับ

เทคนิคทางเทคโนโลยีในโครงการให้ความสำคัญกับการศึกษาและพัฒนาระบบสารสนเทศ Internet of Thing (IoT) โดยการศึกษาจากระบบต้นแบบและพัฒนาระบบจากองค์ความรู้ในประเทศ

ต้นแบบระบบสารสนเทศฯ ทางโครงการใช้ของบริษัท AnaSystem ผลิตภัณฑ์ SensLink เป็นฐานในการพัฒนาต่อยอด เนื่องจากประเทศไต้หวันได้มีการพัฒนาองค์ความรู้ด้านการใช้ระบบสารสนเทศเพื่อการเกษตรมาเป็นระยะเวลามากกว่า 20 ปี มีเทคโนโลยีและมีการใช้งานจริงในระบบชลประทาน โดยมีการพัฒนาต่อยอดทั้งทางด้านอุปกรณ์ และเทคโนโลยีแม่ข่าย โดยบริษัทที่ใช้เพื่อศึกษาต้นแบบก็เป็นทีมที่พัฒนาระบบดังกล่าวมาโดยตลอด ทำให้มีความเชื่อมั่นในด้านการทำงานและความมั่นคงของระบบที่มากเพียงพอที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นต้นแบบการทำงานในโครงการศึกษา

การพัฒนาระบบสารสนเทศฯ อาศัยการพัฒนาระบบต้นแบบระบบสารสนเทศฯ ในการพัฒนาขึ้นใช้ในประเทศไทย โดยสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น (TNI) ที่มีความเชี่ยวชาญด้านอุปกรณ์และแม่ข่ายจะช่วยพัฒนาระบบด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ทั้งนี้เพื่อให้โครงการมีระบบที่สามารถถ่ายทอดองค์ความรู้จากระบบสารสนเทศฯ ต้นแบบ เพื่อเป็นฐานพัฒนาระบบสารสนเทศฯ ที่เหมาะสมกับประเทศไทย ทั้งด้านความทนทาน, การเชื่อมโยง, การรักษาพลังงานอุปกรณ์, ราคาอุปกรณ์ และการพัฒนาขยายผลเพื่อใช้ในพื้นที่ศึกษาอื่นของโครงการ ทั้งนี้การถ่ายทอดระบบสารสนเทศ IoT จากต้นแบบจะนำมาเพียงส่วนที่เหมาะสมจะปรับใช้กับประเทศไทย โดยให้ความสำคัญกับการบริหารจัดการแม่ข่าย ได้แก่ การรวบรวมข้อมูล, การตรวจสอบชำระข้อมูล, การประมวลรายงาน และการประมวลวิเคราะห์

บทบาทของทีมวิจัยโครงการ ทำหน้าที่ในการศึกษาทดลองระดับแปลงและพัฒนากลไกการทำงานด้านตรรกะ รวมถึงการวิเคราะห์ (เป็นหน้าที่ของทีมวิจัย) เช่น การรวบรวมข้อมูลจากระบบสารสนเทศฯ, การศึกษาการความสัมพันธ์ของความชื้นในดินกับสภาพอากาศ, การควบคุมระบบให้น้ำพืชแบบอัตโนมัติที่มีความสัมพันธ์กับสภาพอากาศ, การพัฒนาเงื่อนไขและตรรกะการจัดการควบคุมระบบน้ำ, การเชื่อมโยงองค์ความรู้ด้านการพยากรณ์อากาศกับการวางแผนการให้น้ำระบบน้ำ เป็นต้น โดยแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็น 2 พื้นที่ คือ

### 1.5.1. พื้นที่ศึกษาอุทยาน 100 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทั้งนี้มีเป้าหมายในการลดการใช้น้ำของอุทยานฯ 100 ปี ซึ่งปัจจุบันมีค่าน้ำรายเดือนเฉลี่ยเดือนละ 120,000 บาท โดยทางโครงการคาดการณ์ว่าจะพยายามลดการใช้น้ำลง 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะช่วยให้ค่าน้ำทั้งโครงการลดลงได้ราว 20,000 บาทต่อเดือน ทั้งนี้โครงการจะเริ่มด้วยการทดลองในพื้นที่ดาดฟ้าของอุทยานฯ 100 ปี เป็นพื้นที่ทดลอง แล้วขยายผลเงื่อนไขการจัดการในพื้นที่ที่เป็นระบบให้น้ำอัตโนมัติอื่นๆ ของอุทยานฯ 100 ปี โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์ 7 ชุด ดังรูปที่ 1.5-5

**รูปที่ 1.5-5** ผังการทดลองในพื้นที่อุทยานฯ 100 ปี

รายละเอียดอุปกรณ์ประกอบด้วย

1) อุปกรณ์การตรวจวัดระดับน้ำ (Water Level) ของสระเก็บน้ำสำรองเพื่อตรวจจับการสูญเสียน้ำจากการระเหย และจากการใช้น้ำผ่านระบบให้น้ำของอุทยานฯ

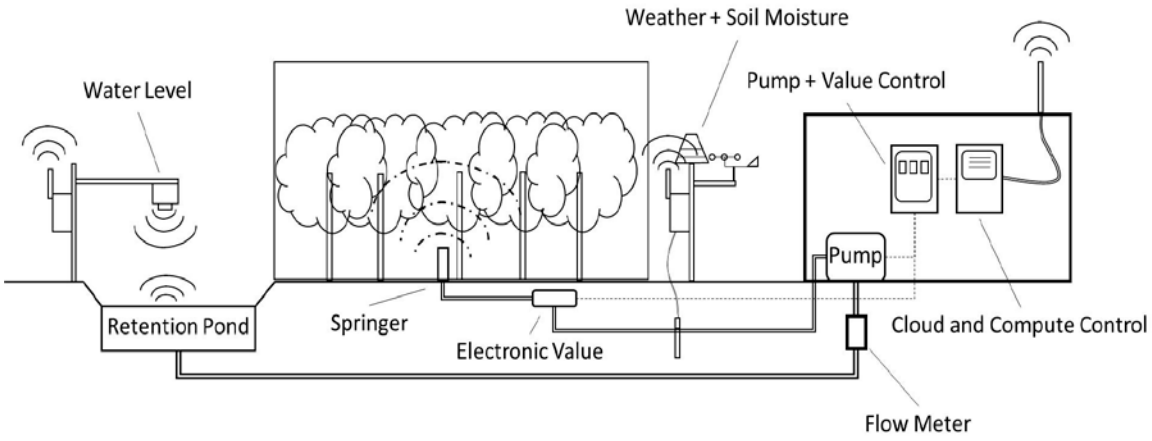
2) อุปกรณ์ตรวจจับความชื้นในดิน (Soil Moisture Sensor) เพื่อใช้ศึกษาความเพียงพอของการให้น้ำพืชที่เหมาะสม

3) อุปกรณ์ตรวจวัสภาพอากาศ (Weather Station) เพื่อศึกษาสภาพแวดล้อมของอุทยาน เช่น ความเข้มแสง อุณหภูมิ ความกดอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณฝน ซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการใช้น้ำของพืช

4) อุปกรณ์ประมวลข้อมูลจากระบบตรวจจับ (Sensor Computing Server) และสร้างรายงานรูปแบบการให้น้ำที่เหมาะสมรายวัน พร้อมคำแนะนำในการปรับปรุงการจัดการระบบน้ำ

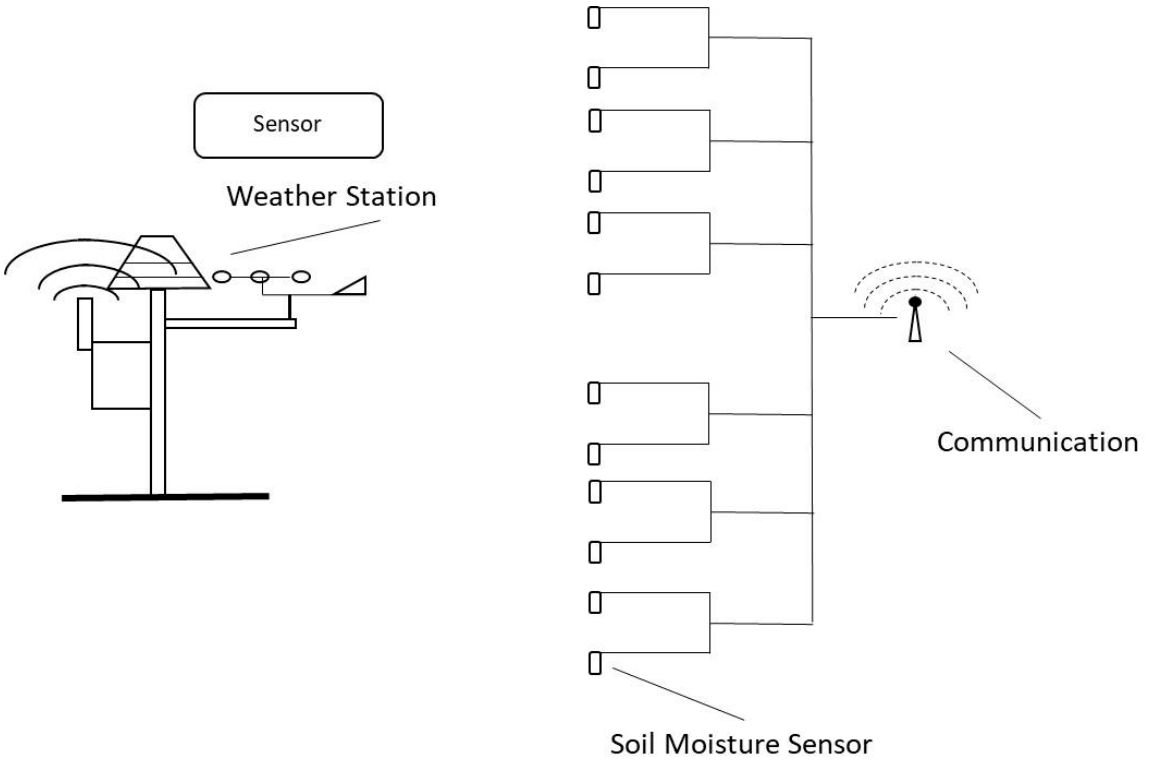
ในการทดสอบจะเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการให้น้ำพืชด้วยระบบตั้งเวลาอัตโนมัติในปัจจุบันกับการทดลองให้น้ำมากกว่าและน้อยกว่าการให้น้ำในปัจจุบันเพื่อหาช่วงความทนทานของพืช เพื่อประเมินการให้น้ำที่เหมาะสมโดยอัตโนมัติที่แปรผันได้ผ่านกระบวนการตรรกะที่พัฒนาขึ้นและข้อมูลการพยากรณ์อากาศจากโครงการอื่นที่เกี่ยวเนื่องเพื่อช่วยให้สามารถวางแผนการให้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพลดการใช้น้ำ โดยที่การดูแลสภาพการให้น้ำพืชยังเป็นปกติ

นอกจากนี้ในการศึกษาได้พัฒนาระบบตรวจจับและควบคุมของ TNI ขึ้นเพื่อเป็นทางเลือก โดยนำข้อดี-ข้อเสียของแต่ละระบบมาพัฒนาระบบตรวจจับทางเลือก เพื่อให้ได้องค์ความรู้ด้านอุปกรณ์ตรวจจับที่เหมาะสม และง่ายต่อการประยุกต์ใช้ ทั้งด้านการติดตั้ง ปรับแต่ง การเชื่อมโยง และการประยุกต์ใช้เป็นองค์ความรู้สำหรับเผยแพร่ และพัฒนางานวิจัยด้านระบบตรวจจับในพื้นที่สีเขียว และการจัดการทรัพยากรน้ำ โดยนำเอาเทคโนโลยีทั้งด้านการตรวจจับ และด้าน IoT มาสนับสนุนการจัดการ




**รูปที่ 1.5-6** แนวคิดการการพัฒนาระบบตรวจจับ

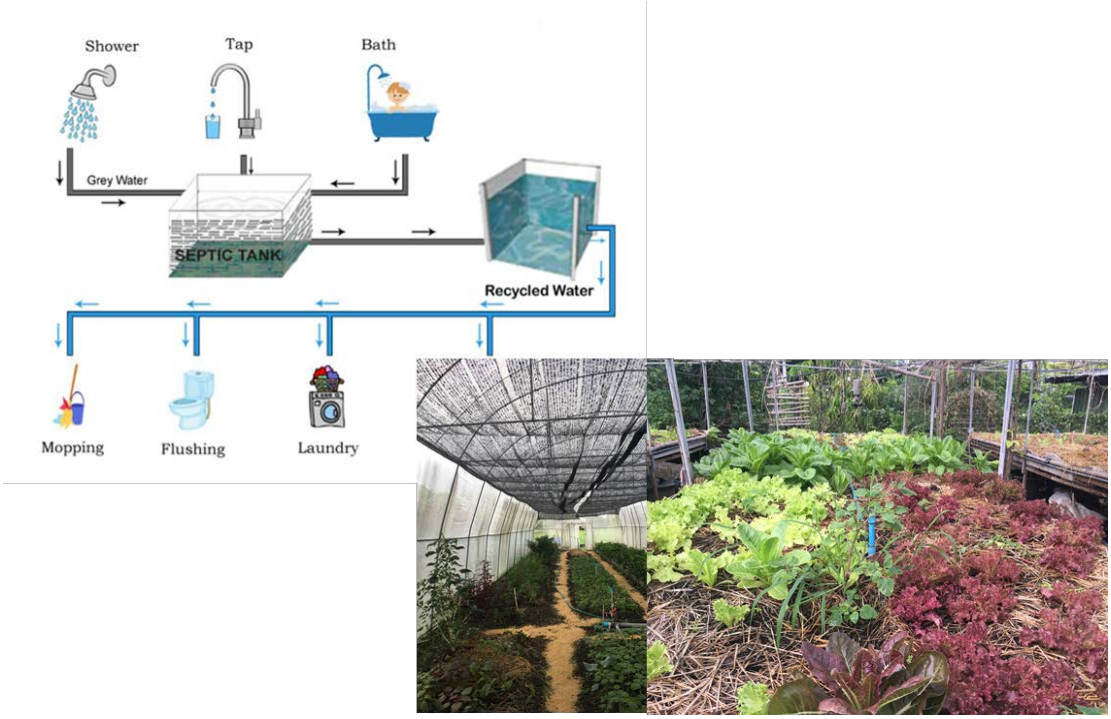
เพื่อให้ทราบถึงความต้องการของพืชในอุทยาน จึงพัฒนาชุดทดสอบความทนทานของพืช ในด้านการทนต่อการขาดน้ำ และความต้องการใช้น้ำของพืช โดยพัฒนาชุดควบคุมสภาพแวดล้อมเพื่อใช้ในการทดสอบดังกล่าว และลดระยะเวลาในการศึกษาสภาพการเปลี่ยนแปลงตามเวลาจริงของพืชตามฤดูกาล




**รูปที่ 1.5-7** แนวคิดการพัฒนาแปลงทดลองการให้น้ำพืช พร้อมระบบประมวลผล

### 1.5.2. พื้นที่ศึกษามหาวิทยาลัยบูรพา

โครงการในพื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก (EEC.) ที่ทำร่วมกับมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และมหาวิทยาลัยบูรพา โดยโครงการจะขยายผลของการทำงานทดลองในพื้นที่ของมหาวิทยาลัยบูรพา (ในช่วง 6 เดือนหลัง) โดยมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาต้นแบบระบบตัวอย่างในการนำน้ำเสียจากอาคารของมหาวิทยาลัยฯ ที่ผ่านการบำบัดมาเป็นน้ำต้นทุนใช้ในฟาร์มพืช ซึ่งทางทีมวิจัยและมหาวิทยาลัยบูรพาได้ประสานขอพื้นที่ของโรงเรียนสาธิตพิบูลบำเพ็ญมหาวิทยาลัยบูรพา ในส่วนอาคารอินเตอร์เนชันแนลที่อยู่ติดกับคณะวิศวกรรมศาสตร์ ทางโรงเรียนกำลังพัฒนาเป็น Green School และมีการพัฒนาการประหยัดน้ำอาคารในระบบ 3R ซึ่งเป็นโครงการที่เกี่ยวเนื่องกับโครงการหลัก ทั้งนี้ทางโรงเรียนมีพื้นที่แปลงเกษตรเดิมที่พร้อมให้โครงการพัฒนาเป็นฟาร์มเกษตรแบบ Smart Farm โดยด้านระบบตรวจจับและควบคุมจะทำงานร่วมกับมหาวิทยาลัยบูรพา และด้านการเกษตรจะทำงานร่วมกับมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ในการพัฒนาระบบการเพาะปลูกโดยเชื่อมต่อกับระบบตรวจจับเพื่อใช้ในระบบให้น้ำที่ได้จากการบำบัดจากอาคารในระบบ 3R เพื่อส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากระบบ 3R อาคารและพัฒนาต่อยอดการเพิ่มประสิทธิภาพการให้น้ำเพื่อการเกษตร โดยโครงการจะพัฒนาเป็นต้นแบบเพื่อใช้ในการฝึกอบรมเกษตรกรและผู้สนใจในการนำระบบตรวจจับ และระบบควบคุมน้ำเพื่อการเกษตรไปใช้ประโยชน์ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการด้านการเกษตร




**รูปที่ 1.5-8** แนวคิดการพัฒนาในพื้นที่มหาวิทยาลัยบูรพา

**รูปที่ 1.5-9** พื้นที่แปลงเกษตรของโรงเรียนพิบูลบำเพ็ญมหาวิทยาลัยบูรพา
ในส่วนอาคารอินเตอร์เนชันแนล

โดยศึกษาระบบตรวจจับและระบบควบคุมที่จะพัฒนาขึ้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ

1. ตรวจสอบปริมาณน้ำดี-น้ำเสียเข้าสู่ระบบ เพื่อรวบรวมข้อมูลทั้งปริมาณน้ำใช้ที่เป็นน้ำประปาและปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัด เพื่อประเมินพฤติการรมการใช้น้ำของอาคาร รวมถึงเป็นข้อมูลสำหรับประเมินระบบบำบัดน้ำเสียและกำลังผลิตที่ต้องใช้

2. ตรวจสอบกระบวนการบำบัดน้ำใช้ซ้ำ เนื่องจากเป็นกระบวนการที่นำน้ำเสียมาใช้เป็นน้ำต้นทุนให้กับระบบฟาร์มจึงต้องตรวจสอบทั้งด้านปริมาณ, ประสิทธิภาพ และคุณสมบัติของน้ำที่ได้ที่จะนำเข้าสู่ระบบฟาร์ม

3. ตรวจสอบและควบคุมฟาร์มพืช ภายหลังจากได้น้ำใช้ซ้ำเข้าสู่ถังเก็บน้ำในฟาร์มระบบบภายในฟาร์มที่จำเป็น ต้องตรวจสอบได้แก่ อุณหภูมิ, ความชื้นในอากาศ, ความชื้นในดิน, ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์, ปริมาณแสง, ธาตุอาหาร ฯลฯ

## 1.6 กิจกรรมที่ดำเนินไปในระยะที่ 1

| เดือน | กิจกรรม (activities) | ผลที่คาดว่าจะได้รับ (outputs) |
|---|---|---|
| 3 เดือนที่ 1 | ศึกษาเปรียบเทียบอุปกรณ์ด้านเทคนิค อุปกรณ์ การติดตั้ง และการปรับแต่ง อุทยาน 100 ปี จุฬาฯ | การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจจับพร้อมติดตั้ง ในพื้นที่อุทยาน 100 ปี จุฬาฯ |
| 3 เดือนที่ 2 | ศึกษาเรื่องการเชื่อมโยงแต่ละระบบ แม่ข่ายและการประยุกต์ใช้ข้อมูลจาก ระบบตรวจจับ ด้านการนำเสนออุทยาน 100 ปี จุฬาฯ | ระบบแม่ข่ายเชื่อมโยงข้อมูลจากระบบตรวจจับ พร้อมการประยุกต์ใช้อุทยาน , 100 ปี จุฬาฯ |
| 3 เดือนที่ 3 | ติดตั้ง และเชื่อมโยงระบบแม่ข่าย พื้นที่ มหาวิทยาลัยบูรพา | ระบบแม่ข่ายเชื่อมโยงข้อมูลจากระบบตรวจจับ พร้อมการประยุกต์ใช้ พื้นที่ มหาวิทยาลัยบูรพา |
| 3 เดือนที่ 4 | ประชุมเชิงปฏิบัติการ เรื่องระบบตรวจจับ และระบบประมวลข้อมูลด้านทรัพยากรน้ำ และการเกษตร | เผยแพร่การใช้ประโยชน์ระบบตรวจจับและ ระบบประมวลข้อมูลด้านทรัพยากรน้ำและ การเกษตร |

มาตฐานระบบตรวจจับและควบคุมเชื่อมโยงที่เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทย สำหรับเกษตรกร, นักวิจัย และผู้ใช้ทั่วไป เนื่องจากเทคโนโลยีที่เข้ามาในปัจจุบันมีความหลากหลาย ทั้งด้านมาตรฐานและการนำไปใช้ ดังนั้นการเรียนรู้ถึงข้อดี-ข้อเสียและข้อจำกัดจึงมีประโยชน์สำคัญ ในการนำเทคโนโลยีมาใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะการขยายการใช้ประโยชน์ในวงกว้างของระบบตรวจจับ และระบบควบคุมที่สามารถมีมาตรฐานที่ร่วมกัน เพราะหากไม่มีการวางแนวทางของมาตรฐานที่เหมาะสม จะทำให้ภาครัฐ และเอกชนเสียผลประโยชน์จากการพัฒนาอุปกรณ์และข้อมูลจากระบบที่พัฒนาขึ้น ในอนาคต เพราะไม่สามารถ “เชื่อมโยงระหว่างระบบอุปกรณ์เก่าและระบบอุปกรณ์ใหม่” ในการเพิ่ม อุปกรณ์ รวมถึงเงื่อนไขการเชื่อมโยงที่มีมาตรฐานต่างกันทำให้พัฒนา “ความสามารถของระบบ ในอนาคต” ไม่ได้ ทำให้ผู้ใช้เกิด “ความสับสนในการเลือกใช้เทคโนโลยี” และ “ขาดโอกาสในการเลือกใช้ อุปกรณ์ที่เหมาะสม” จากผู้ผลิตที่หลากหลายเพราะไม่มี “มาตรฐานกลางร่วมกัน”

ระบบแม่ข่ายเชื่อมโยงข้อมูลจากระบบตรวจจับและควบคุมแต่ละชนิด สำหรับเจ้าหน้าที่รัฐ, เอกชน และนักวิจัย ปัจจุบันการเติบโตของแม่ข่ายอุปกรณ์ IoT ที่มีปัจจัยที่ต้องรองรับและนำมาพิจารณา ได้แก่ อัตราการเติบโต, ความหลากหลาย และขนาดที่โครงสร้างฮาร์ดแวร์, ระบบ และฐานข้อมูลปัจจุบัน

ไม่สามารถรองรับ จำเป็นต้องศึกษาเพื่อสร้างระบบแม่ข่ายที่รองรับภาระงานเหล่านี้ ทำให้ภาครัฐ และเอกชนสามารถมี “เครื่องมือประมวลข้อมูลสำหรับรับมือความเปลี่ยนแปลงด้านทรัพยากรน้ำเพื่อการเกษตร” จากเครือข่ายระบบตรวจจับและระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพในการจัดการมากกว่าเดิมจากข้อมูลที่ใกล้เคียงเวลาจริงมากที่สุด (Real Time) รวมถึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการจัดกากรอื่นๆ ในลักษณะใกล้เคียงกันได้

## 1.7 เนื้อหารายงาน

รายงานฉบับสมบูรณ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหา 5 บทประกอบด้วย เนื้อหารายงานฉบับสมบูรณ์การดำเนินงานในช่วง 1 ปี (30 สิงหาคม 2562 - 30 ตุลาคม 2563)

- **บทที่ 1 บทนำ** กล่าวถึง หลักการและเหตุผล แนวคิดและเป้าหมาย วัตถุประสงค์ ขอบเขตโครงการ ระเบียบวิธีวิจัยและขั้นตอนการดำเนินงาน กิจกรรมที่ดำเนินไปในระยะที่ 1 และเนื้อหารายงาน
- **บทที่ 2 ระบบตรวจจับ** กล่าวถึง ระบบและมาตรฐานระบบตรวจจับ องค์ประกอบของระบบตรวจจับแบบ Internet of Thing มาตรฐานโปรโตคอล (Protocal) ในงานระบบตรวจจับ เทคโนโลยีการสื่อสารในงานระบบตรวจจับ และการประยุกต์ใช้ระบบตรวจจับในงานด้านการเกษตร
- **บทที่ 3 ระบบให้น้ำพืช** กล่าวถึง การออกแบบระบบให้น้ำพืช และการศึกษาการให้น้ำพืชที่เหมาะสม
- **บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน** กล่าวถึง แผนงานติดตั้งอุปกรณ์ การศึกษาการให้น้ำในสวน 100 ปีฯ การติดตามข้อมูลระบบตรวจจับความชื้นในดิน สวน 100 ปีฯ และการใช้ประโยชน์ระบบตรวจจับเพื่อการจัดการการให้น้ำ การออกแบบระบบตรวจจับและควบคุมฟาร์มพืช มหาวิทยาลัยบูรพา และการประชุมเชิงปฏิบัติการเรื่องระบบตรวจจับและระบบประมวลข้อมูลด้านทรัพยากรน้ำและการเกษตร
- **บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ**

# บทที่ 2
# ระบบตรวจจับ

เพื่อให้เข้าใจถึงมาตรฐาน ขอบเขตและความสามารถของระบบตรวจจับทางผู้วิจัย ได้ทำการประมวลองค์ความรู้ด้านระบบตรวจจับ ซึ่งในการศึกษาผู้วิจัยใช้ระบบตรวจจับบนพื้นฐานของเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ซึ่งเป็นระบบที่กำลังมีการเติบโตและพัฒนาอยู่ในปัจจุบัน เป็นระบบที่มีอุปกรณ์ให้เลือกใช้จากหลากหลายผู้ผลิต ที่มีทั้งประสิทธิภาพและราคาที่เหมาะสมกับการพัฒนาในวงกว้าง แต่ทั้งนี้การเข้าใจถึงมาตรฐาน ขอบเขต และความสามารถจะช่วยให้ผู้ใช้ และนักวิจัยเลือกใช้ประโยชน์ได้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์การใช้ ทั้งด้าน ความทนทาน, ความปลอดภัย, ประสิทธิภาพและความประหยัด ซึ่งจะเป็นต้นทุนที่จะเกิดขึ้นในการพัฒนาระบบตรวจจับ

## 2.1 ระบบและมาตรฐานระบบตรวจจับ

จำนวนของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกันทั่วโลกนั้นเติบโตขึ้นแบบทวีคูณ และสิ่งเหล่านี้คือ “Internet of Things” ส่งผลกระทบกับทุกพื้นที่ของการใช้ชีวิตของเราจากไฟฟ้าสู่การเกษตร เมื่อไม่นานมานี้เอกสารเผยแพร่จาก International Standard จะช่วยให้เรามั่นใจว่าระบบเหล่านี้นั้น แบบไร้รอยต่อที่ปลอดภัยมากยิ่งขึ้นและมีความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้น

จากยานยนต์อัตโนมัติสู่เกษตรแม่นยำ, การผลิตอัจฉริยะ, e-health และ เมืองอัจฉริยะ Internet of Things (IoT) นั้นพร้อมในทุกๆ ที่ และกำลังเติบโต มันก่อให้เกิดการเชื่อมโยง “สิ่งต่างๆ” ภายในระบบ ITดังนั้นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ตอบสนองกับโลกทางกายภาพ

การประยุกต์ใช้นั้นไม่มีที่สิ้นสุด, แต่จากการแพร่ขยายเป็นวงกว้าง เพื่อให้เป็นแบบนั้นจำเป็นจะต้องมีความไว้วางใจ, ปลอดภัย และฐานจากเทคโนโลยีอันใดที่จะพัฒนาต่อไปกับการวัดอัตโนมัติและระบบในแต่ละที่

ISO/IEC30141, Internet of Things (IoT) – อ้างอิงสถาปัตยกรรมการจัดเตรียมมาตรฐานสากลอ้างอิงสถาปัตยกรรม IoT โดยใช้คำศัพท์ทั่วไป, การออกแบบที่นำกลับมาใช้ได้ และข้อปฏิบัติที่ดีทางอุตสาหกรรม โดยสรุปกว้างๆ มาตรฐานดังกล่าวจะเกี่ยวข้องกับ Internet of Things Reference Architectue (IoT RA) โดยทั่วไปมีเนื้อหาดังนี้

### 2.1.1 ภาพรวมทั่วไป

IoT ถูกกำหนดให้เป็นโครงสร้างพื้นฐานของหน่วยงานทางกายภาพที่เชื่อมต่อกับระบบและแหล่งข้อมูลพร้อมกับบริการอัจฉริยะที่สามารถประมวลผลและตอบสนองข้อมูลของทั้งโลกทางกายภาพกับโลกเสมือนจริงและสามารถมีอิทธิพลต่อกิจกรรมในโลกทางกายภาพ

Internet of Things Reference ArchitectueIoT (IoT RA) ที่อธิบายไว้ในเอกสารนี้ให้รูปแบบแนวคิด (Conceptual Model (CM)) โมเดลอ้างอิง (Reference Model (RM)) และสถาปัตยกรรมอ้างอิง (Reference Architectures (RA)) จากมุมมองสถาปัตยกรรมที่แตกต่างกัน IoT RA ไม่เพียงแต่แสดงให้เห็นถึง "อะไร" วิธีการที่มีโครงสร้างโดยรวมสำหรับการสร้างระบบ IoT โดยใช้คำอธิบายโครงสร้างสถาปัตยกรรม แต่ยังระบุถึง "วิธี" สถาปัตยกรรมและขอบเขตหรือลักษณะของมันจะทำงาน กล่าวอย่างย่อ IoT RA มีกฎและคำแนะนำสำหรับการพัฒนาสถาปัตยกรรมระบบ IoT

IoT RA รองรับวัตถุประสงค์ต่อไปนี้:

1) เพื่ออธิบายคุณสมบัติของระบบ IoT
2) เพื่อกำหนดขอบเขตของระบบ IoT
3) เพื่ออธิบาย CM, RM ของระบบ IoT; มุมมองสถาปัตยกรรม IoT
4) เพื่ออธิบายการทำงานร่วมกันของลักษณะของ IoT

ระบบ IoT แต่ละระบบมีข้อกำหนดเฉพาะของระบบที่ควรปฏิบัติตามและข้อกำหนดของระบบเฉพาะอาจแตกต่างกันไปจากระบบ IoT หนึ่งไปยังอีกระบบหนึ่งต่อกลุ่มผู้ใช้และ / หรือขอบเขตIoT RA ให้ชิ้นส่วนทั่วไปเป็นจุดเริ่มต้นซึ่งสามารถใช้เพื่อสร้างสถาปัตยกรรมเฉพาะของระบบ

IoT RA สนับสนุนวัตถุประสงค์มาตรฐานที่สำคัญต่อไปนี้:

1) เพื่อเปิดใช้งานการผลิตชุดมาตรฐานสากลที่สอดคล้องกันสำหรับ IoT;
2) เพื่อให้เป็นจุดอ้างอิงที่เป็นกลางทางเทคโนโลยีสำหรับการกำหนดมาตรฐานสำหรับ IoT;
3) เพื่อส่งเสริมความเปิดกว้างและความโปร่งใสในการพัฒนาสถาปัตยกรรมระบบ IoT เป้าหมายและในการใช้งานระบบ IoT

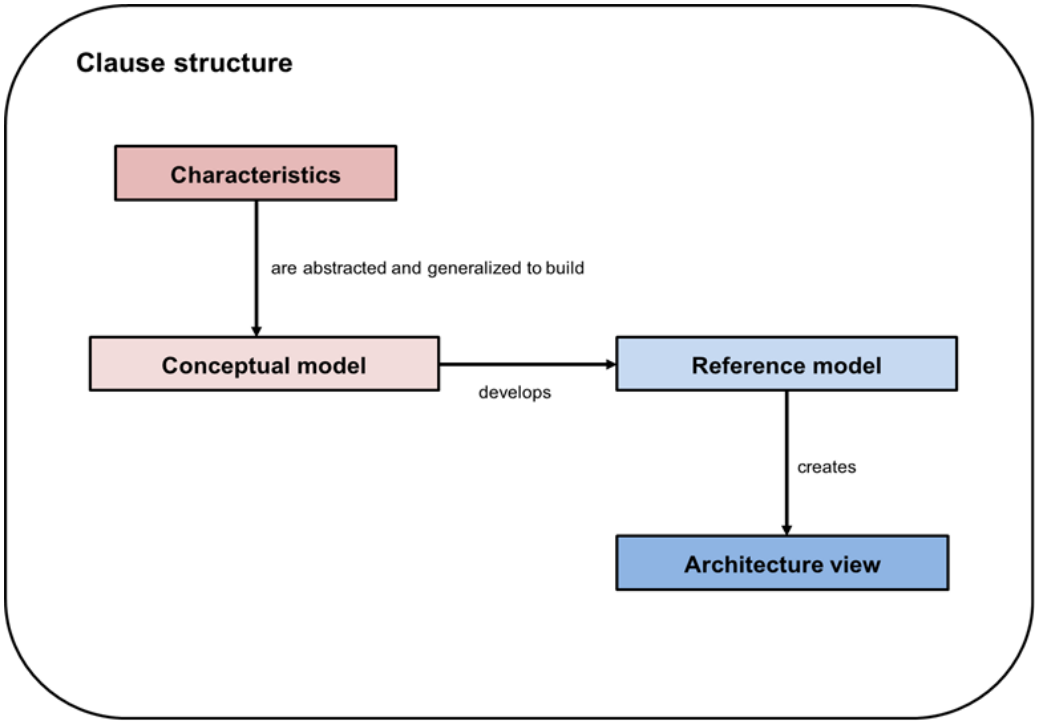
IoT RA มีวัตถุประสงค์เพื่อ:

1) อำนวยความสะดวกในการทำความเข้าใจโครงสร้างโดยรวมของระบบ IoT
2) แสดงและให้ความเข้าใจเกี่ยวกับ IoT RA จากมุมมองสถาปัตยกรรมที่แตกต่างกัน
3) จัดทำข้อมูลอ้างอิงทางเทคนิคเพื่อให้ชุมชนนานาชาติเข้าใจทำความเข้าใจจัดหมวดหมู่และเปรียบเทียบระบบ IoT
4) อำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์กรณีการใช้งานผู้เข้าร่วม / การใช้งานรวมถึงการไหลของข้อมูล / ข้อมูล

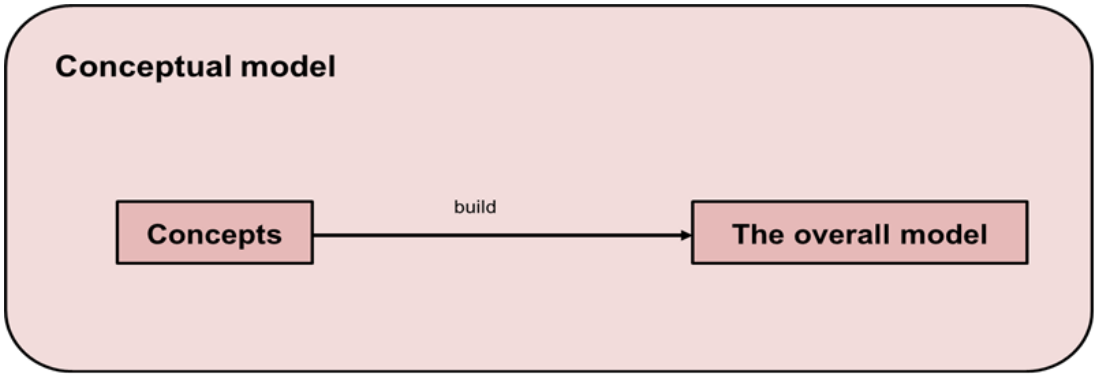
### 2.1.2 ภาพรวมโครงสร้าง

IoT RA ที่อธิบายประกอบมีดังนี้:

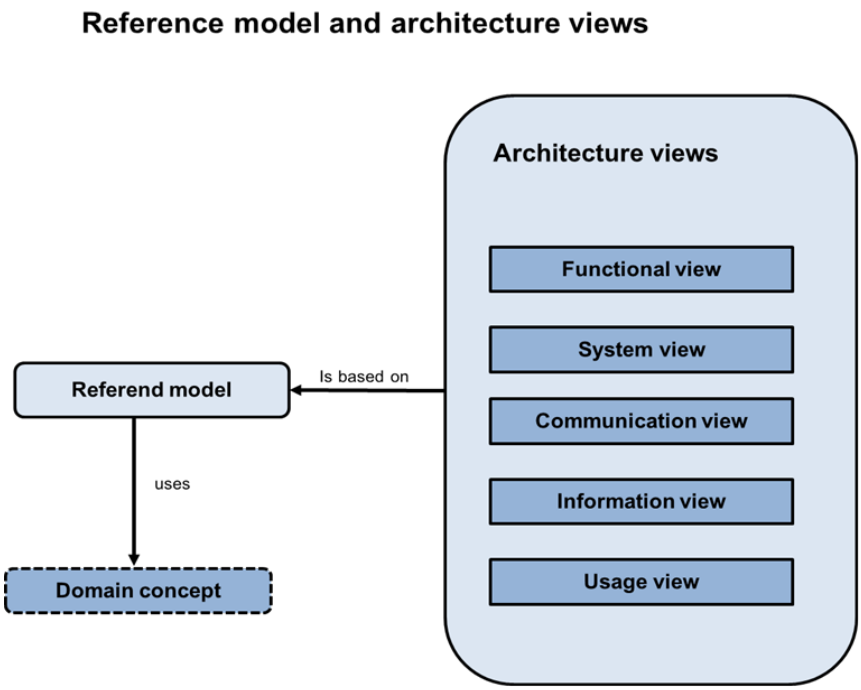
1) CM ที่มีลักษณะทั่วไปและความสัมพันธ์ของสิ่งเหล่านั้นและ
2) RM และมุมมองสถาปัตยกรรมที่แตกต่างกัน




**รูปที่ 2.1-1** โครงสร้างของ IoT RA




**รูปที่ 2.1-2** โครงสร้างของ CM




**รูปที่ 2.1-3** RM และมุมมองสถาปัตยกรรม

### 2.1.3 คุณสมบัติหลักของระบบ IoT

ข้อนี้ให้คุณสมบัติของระบบ IoT ฟังก์ชั่นที่ใช้คุณสมบัติเหล่านี้ทั้งหมดหรือบางส่วนสามารถนำไปใช้ในระบบ IoT ตามบริการและการปฏิบัติงาน ลักษณะจะเรียงตามลำดับตัวอักษร

| Grouping | 1st Level |
|---|---|
| 1. IoT System Characteristics | 1.1 Auto-configuration |
| | 1.2 Function and management capabilities separation |
| | 1.3 Highly distributed systems |
| | 1.4 Network communication |
| | 1.5 Network management and operation |
| | 1.6 Real-time capability |
| | 1.7 Self-description |
| | 1.8 Service subscription |
| 2. IoT Service Characteristics | 2.1 Content-Awareness |
| | 2.2 Context-Awareness |
| | 2.3 Timeliness |

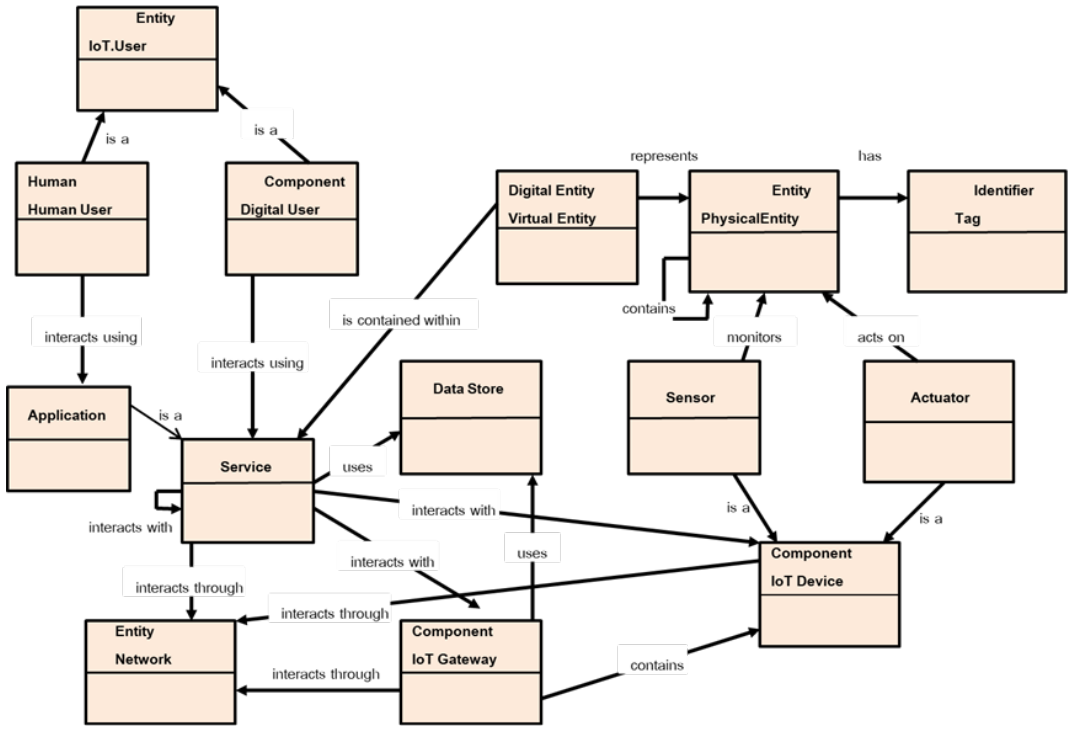
| Grouping | 1st Level |
|---|---|
| 3. IoT Component Characteristics | 3.1 Composability |
| | 3.2 Discoverability |
| | 3.3 Modularity |
| | 3.4 Network connectivity |
| | 3.5 Shareability |
| | 3.6 Unique identification |
| 4. Compatibility | 4.1 Legacy support |
| | 4.2 Well defined components |
| 5. Usability | 5.1 Flexibility |
| | 5.2 Manageability |
| 6. Robustness | 6.1 Accuracy |
| | 6.2 Reliability |
| | 6.3 Resilience |
| 7. Security | 7.1 Availability |
| | 7.2 Confidentiality |
| | 7.3 Integrity |
| | 7.4 Safety |
| 8. Protection of Personally Identifiable Information | |
| 9. Other Characteristics | 9.1 Data-Volume, Velocity, Veracity, Variability and Variety |
| | 9.2 Heterogeneity |
| | 9.3 Regulation compliance |
| | 9.4 Scalability |
| | 9.5 Trustworthiness |

### 2.1.4 Internet of Things Conceptual Model (IoT CM)

โครงสร้างโดยทั่วไปคำจำกัดความสำหรับที่จะอธิบายแนวความคิด และความสัมพันธ์ระหว่างกัน ลักษณะภายในระบบ IoT โดยทั่วไป นามธรรม และอย่างง่าย ในการกล่าวอ้างถึงเป้าหมาย จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องชัดเจนถึงรากฐานของระบบ IoT โดยการตั้งคำถามดังนี้:

1) อะไรคือความหมายรวมโมเดล IoT ทั้งหมดของลักษณะ และความสัมพันธ์
2) อะไรคือกุญแจของแนวความคิดในระเบียบระบบ IoT
3) อะไรคือความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะ, โดยเฉพาะอย่างยิ่งลักษณะระหว่างดิจิตอลและลักษณะทางกายภาพ
4) ใครและที่ไหนคือผู้มีบทบาท
5) อย่างไรที่สิ่งต่างๆ และบริหารร่วมมือเชื่อมโยงกับเครือข่าย

สิ่งที่จะอธิบายต่อไปนี้จะแจกแจงให้เห็นถึง CM โดยมุ่งความสนใจไปที่ประเด็นทั้งห้าข้างบน โมเดลที่นำเสนอนี้ใช้ simplified Unified Modelling Language™(UML®, hereafter “UML”) ความหมายอย่างสั้นของ simplified UML1 ในที่นี้เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจได้ดีเกี่ยวกับ CM diagram




**รูปที่ 2.1-4** ภาพรวมโมเดลสำหรับแนวคิด IoT ของ CM

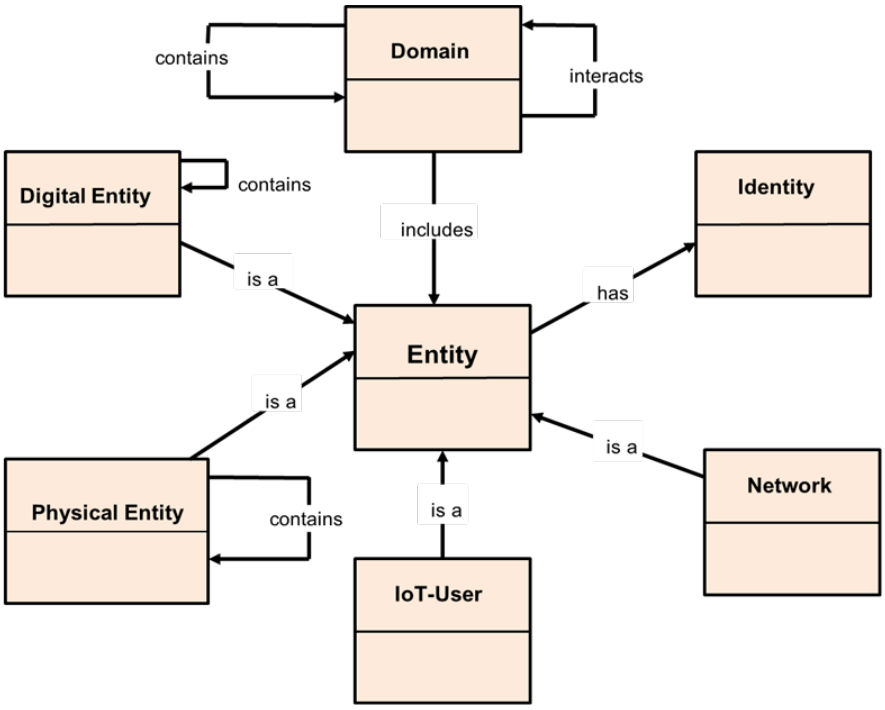
จากรูปที่ 2.1-4 แสดงให้เห็นภาพรวมโมเดลของกุญแจลักษณะ IoT ใน CM นี้ ซึ่งความสัมพันธ์และการกระทำ ผู้ใช้ IoT (IoT-User)อาจเป็นมนุษย์ (Human User) หรือ สิ่งอื่น (Digital User) ดังเช่น หุ่นยนต์ หรือ บริการอัตโนมัติ, ซึ่งมีการกระทำส่วนหนึ่งของมนุษย์ผู้ใช้ ผู้ใช้บริการบริการที่เป็นดิจิตอลนั้นอาจจะกระทำผ่านการสื่อสารเครือข่าย ผู้ใช้มนุษย์กระทำโดยการใช้โปรแกรมประยุกต์, ที่ซึ่งจัดเตรียมเป็นพิเศษในรูปแบบของบริการ บางโปรแกรมประยุกต์กระทำการกับบริการอื่นผ่านทางเครือข่าย

ลักษณะทางกายภาพนั้นเป็นสิ่งในโลกจริงที่สามารถควบคุมโดยการกระทำ หรือ การติดตามโดยใช้การตรวจจับ (Sensor)ลักษณะทางกายภาพอาจมีการเชื่อมต่อดังเช่นการติดตามโดยการตรวจจับ, มากกว่าลักษณะทางกายภาพของมันเอง, ลักษณะเสมือนแสดงออกทางลักษณะกายภาพในโลก IT ทั้งการกระทำ และการตรวจจับนั้นเป็นชนิดหนึ่งของอุปกรณ์ IoT อุปกรณ์ IoT กระทำผ่านทางเครือข่ายและสามารถสื่อสารวงกว้างโดยตรง หรือเป็นการเชื่อมต่อกับ IoT Gateway ที่ซึ่งสามารถที่จะสื่อสารสู่วงกว้างได้

การจัดเก็บข้อมูล (Data Store)รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบ IoT ที่อาจเป็นข้อมูลโดยตรงที่ได้รับจากอุปกรณ์ IoT หรืออาจเป็นผลลัพธ์ของข้อมูลจากบริการที่กระทำบนข้อมูลอุปกรณ์ IoT

### 2.1.5 ลักษณะ IoT และ ขอบเขต Conceptual Model (CM)

ลักษณะและขอบเขตแนวคิดของ CMสิ่งที่มีการดำรงอยู่อย่างชัดเจนและเป็นอิสระที่ถูกเรียกว่าลักษณะ ดังตัวอย่าง, คน, องค์กร, อุปกรณ์, ส่วนของระบบ หรือ กลุ่มของดังเช่นวัสดุ ทุกสิ่งในระบบ IoT นั้นเป็นชนิดของลักษณะ เพื่อให้มีแนวคิดง่ายๆเกี่ยวกับลักษณะ IoT และความสัมพันธ์ของพวกเขามีการกำหนดลักษณะพื้นฐานสี่รายการที่นี่สิ่ง (ลักษณะทางกายภาพ) ผู้ใช้ (IoT-User) ระบบไอที (ลักษณะดิจิตอล) และเครือข่ายการสื่อสาร (เครือข่าย)

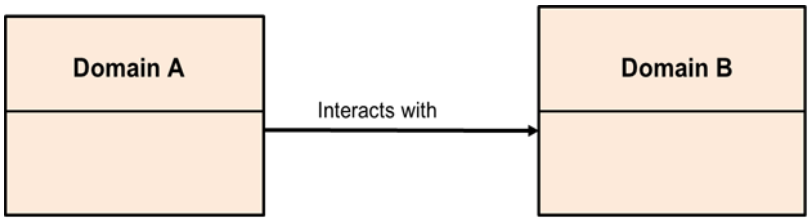



**รูปที่ 2.1-5** ลักษณะและขอบเขตแนวคิดของ CM

ลักษณะดิจิตอล (Digital Entity) นั้นเป็นหนึ่งในการประมวล และองค์ประกอบของข้อมูลของระบบ IoT, ที่รวมไปถึงโปรแกรมประยุกต์, บริการ, ลักษณะเสมือน, การจัดเก็บข้อมูล, อุปกรณ์ IoT และ IoT Gateways ผู้ใช้ IoT (IoT User) ในลักษณะที่อาจเป็นมนุษย์ หรือสิ่งอื่น, ในขณะที่ลักษณะกายภาพ

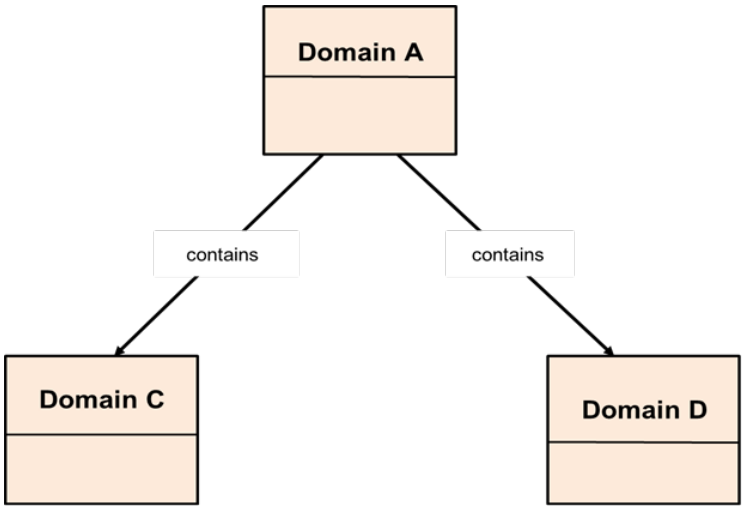
(Physical Entity)นั้นแยกกันระบุและสังเกตได้ เครือข่าย (Network) เป็นอีกหนึ่งลักษณะที่สำคัญในระบบ IoT ซึ่งเอนทิตีอื่นๆ สื่อสารกัน ลักษณะมีตัวตนที่มีตัวระบุที่เกี่ยวข้องและตัวระบุเป็นวิธีหนึ่งสำหรับลักษณะดิจิทัลในการติดต่อสื่อสารกับลักษณะดิจิทัลอื่นๆ ผ่านเครือข่ายมีตัวระบุหลายรูปแบบซึ่งอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับธรรมชาติของลักษณะ

เมื่อพิจารณาถึงระบบ IoT มีความจำเป็นที่จะต้องสลายระบบออกเป็นส่วนเล็กๆ และจัดกลุ่มองค์ประกอบที่มีลักษณะคล้ายกันหรือที่พบบ่อยในสิ่งที่เรียกว่าขอบเขตเฉพาะ แต่ละขอบเขตมีขอบเขตของตัวเอง การแสดงการโต้ตอบระหว่างขอบเขตแทนระหว่างลักษณะทั้งหมดในระบบสามารถให้มุมมองระดับสูงที่เรียบง่ายว่าระบบที่ซับซ้อนทำงานอย่างไร รูปที่ 2.1-6 แสดงว่าหนึ่ง IoT โดเมน A โต้ตอบกับอีกขอบเขต IoT B แน่นอนว่าขอบเขต IoT หนึ่งขอบเขตยังสามารถโต้ตอบกับขอบเขต IoTหลายขอบเขต




**รูปที่ 2.1-6** การติดต่อระหว่างขอบเขตของ CM

ขอบเขตประกอบด้วยลักษณะหลายประเภทบางครั้งขอบเขตใหญ่หนึ่งขอบเขตสามารถแบ่งออกเป็นขอบเขตย่อยเพิ่มเติม รูปที่ 2.1-7 แสดงว่าขอบเขต A มีขอบเขตย่อยสองขอบเขตคือขอบเขต C และขอบเขต D




**รูปที่ 2.1-7** ขอบเขตประกอบของ CM

ส่วนย่อยต่อไปนี้มีตารางแสดงความสัมพันธ์ที่แสดงในแผนภาพด้านบน เพื่อหลีกเลี่ยงการซ้ำซ้อนในคำอธิบายของความสัมพันธ์ระหว่างสองลักษณะเฉพาะลักษณะที่มีความสัมพันธ์ขาออกเท่านั้นที่จะได้รับการอธิบาย

### 2.1.6 ความสัมพันธ์ระหว่างConceptual Model (CM), Reference Models (RMs) และ Reference Architectures (RAs)

Reference Model(RM)เป็นกรอบนามธรรมสำหรับทำความเข้าใจความสัมพันธ์ที่สำคัญระหว่างลักษณะของสภาพแวดล้อมและสำหรับการพัฒนามาตรฐานหรือข้อกำหนดที่สอดคล้องกันที่สนับสนุนสภาพแวดล้อมนั้น RM ขึ้นอยู่กับแนวคิดรวบยอดจำนวนเล็กน้อยและสามารถใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการศึกษาและการอธิบายมาตรฐานให้กับผู้ที่ไม่ใช่ผู้เชี่ยวชาญ RM ไม่ได้เชื่อมโยงโดยตรงกับมาตรฐานเทคโนโลยีหรือรายละเอียดการใช้งานที่เป็นรูปธรรมอื่น ๆ แต่จะให้ความหมายทั่วไปที่สามารถใช้งานได้อย่างชัดเจนทั้งในและระหว่างการใช้งานที่แตกต่างกัน มีแนวคิดจำนวนหนึ่งที่นำมารวมกันเป็น RM ซึ่ง RM นั้นเป็นนามธรรมและให้ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมบางชนิด

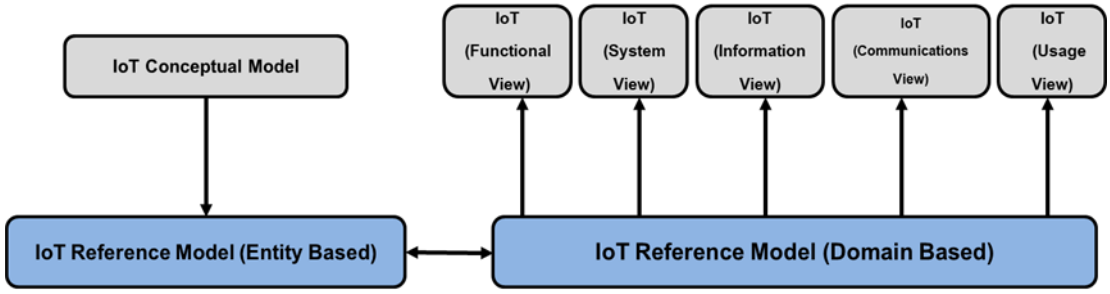
RM อธิบายถึงชนิดหรือชนิดของลักษณะที่อาจเกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมดังกล่าวไม่ใช่ลักษณะเฉพาะที่เกิดขึ้นจริงในสภาพแวดล้อมที่เฉพาะเจาะจง RM อธิบายถึงลักษณะหรือขอบเขตทั้งสองประเภทและความสัมพันธ์ รายการของลักษณะเองไม่ได้ให้ข้อมูลเพียงพอที่จะทำหน้าที่เป็น RM ซึ่ง RM ไม่ได้อธิบายลักษณะทั้งหมดในกรอบ มันสามารถใช้เพื่อชี้แจงตัวแทนที่เฉพาะเจาะจง

เพื่อเป็นประโยชน์ RM มีคำอธิบายที่ชัดเจนของปัญหาที่แก้ไขและความกังวลของผู้มีส่วนได้เสียที่ต้องการแก้ไขปัญหา RM โดยทั่วไปมีจุดมุ่งหมายและไม่ใช่เรื่องมหัศจรรย์เทคโนโลยี RM ไม่ได้ตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับเทคโนโลยีหรือแพลตฟอร์มในสภาพแวดล้อมการคำนวณเฉพาะ RM โดยทั่วไปมีจุดประสงค์เพื่อส่งเสริมความเข้าใจในระดับของปัญหาไม่ใช่เพื่อแก้ปัญหาเฉพาะสำหรับปัญหาเหล่านั้นด้วยความเคารพในเรื่องนี้ RM ช่วยกระบวนการในการประดิษฐ์และประเมินแนวทางทำงานที่มีศักยภาพหลากหลายเพื่อช่วยเหลือผู้ปฏิบัติงาน

RM มีประโยชน์ในการ: สร้างมาตรฐานสำหรับทั้งวัตถุที่อาศัยอยู่ในแบบจำลองและความสัมพันธ์ของพวกเขากับอีกคนหนึ่ง ให้ความรู้แก่ผู้มีส่วนได้เสีย; ปรับปรุงการสื่อสารระหว่างผู้คน สร้างบทบาทและความรับผิดชอบที่ชัดเจน และอนุญาตให้ทำการเปรียบเทียบลักษณะต่างๆ

RA สามารถเข้าใจได้ว่าเป็นบริบทที่มาพร้อมกับคุณสมบัติทั่วไปคำศัพท์และข้อกำหนดรวมถึงการสนับสนุนสิ่งประดิษฐ์เพื่อให้สามารถใช้งานได้ สิ่งประดิษฐ์คือคำอธิบายของส่วนประกอบสถาปัตยกรรมพื้นฐานที่สำคัญซึ่งให้แนวทางและข้อ จำกัด สำหรับสถาปัตยกรรมแนวทางทำงานการสร้างตัวแทน สถาปัตยกรรมแนวทางทำงานสามารถกำหนดได้ไม่เฉพาะจากมุมมองที่แตกต่างกัน แต่ยังมีรายละเอียดและนามธรรมที่แตกต่างกัน ประกอบด้วยรายการของลักษณะและฟังก์ชันและตัวบ่งชี้ของการเชื่อมต่อความสัมพันธ์และการโต้ตอบซึ่งกันและกันและกับฟังก์ชันที่อยู่นอกรูปแบบสถาปัตยกรรมที่กำหนดไว้ล่วงหน้าซึ่งแสดงถึงลักษณะและฟังก์ชัน รูปที่ 2-8 แสดงความต่อเนื่องทางสถาปัตยกรรมจาก CM ผ่าน RM ที่อิงลักษณะและ RM ที่อิงกับโดเมนไปยังจำนวนมุมมองที่ต่างกันของ RA ความต่อเนื่องทางสถาปัตยกรรมที่สอดคล้องกันควรได้รับการบำรุงรักษาไม่เพียง แต่ในลำดับชั้นนี้

(เช่น CM -> RM -> RA) แต่ยังอยู่ในการปรับปรุงวิวัฒนาการตลอดเวลา คำอธิบายสถาปัตยกรรมควรมีการบันทึกไว้อย่างชัดเจน

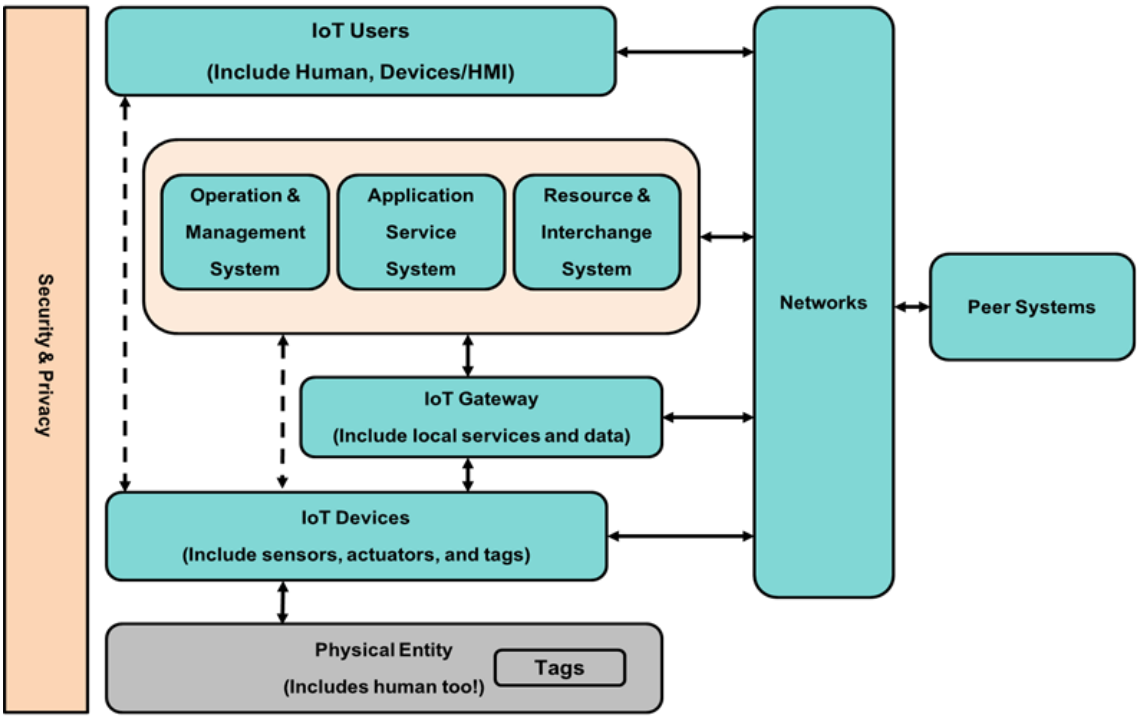



**รูปที่ 2.1-8** ความสัมพันธ์ระหว่าง IoT CM, RM และ RA

ขอบเขตของระบบ IoT ได้รับการระบุโดยมุ่งเน้นไปที่ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียของระบบ IoT และฮาร์ดแวร์ซอฟต์แวร์และการใช้ขอบเขตทั่วไปและขอบเขตตัวแทนจะให้ RM ที่มีประสิทธิภาพและเป็นตัวแทนของระบบ IoT สำหรับวัตถุประสงค์และการใช้ RM

### 2.1.7 ลักษณะ-พื้นฐาน Reference Model (RM)

อิงตาม IoT CM ระดับสูงก่อนหน้านี้ RM ที่อิงลักษณะประกอบของระบบ IoT มีการอธิบายไว้ข้อนี้ RM แบบอิงลักษณะของระบบ IoTแสดงในรูปที่ 2.1-9 รูปนี้แสดงการโต้ตอบระหว่างลักษณะหลักโดยใช้บรรทัดหัวลูกศร




**รูปที่ 2.1-9** ลักษณะ-พื้นฐาน IoT RM

การเริ่มต้นคำอธิบายของ RM ตามเอนทิตีของ IoT จากลักษณะที่ด้านล่างของแผนภาพ:

1) ลักษณะทางกายภาพ (Physical entities) เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นจริงในโลกซึ่งเป็นส่วนสำคัญของระบบ IoT

2) แท็กประเภทต่างๆสามารถแนบกับหน่วยงานทางกายภาพเพื่อช่วยในการตรวจสอบและระบุ

3) อุปกรณ์ IoT เชื่อมต่อลักษณะทางกายภาพกับระบบ IoT อุปกรณ์ IoT ประกอบด้วย:

ก) ตัวตรวจจับซึ่งตรวจสอบหรือสแกนลักษณะทางกายภาพเพื่อดึงข้อมูลบางอย่างเกี่ยวกับอุปกรณ์

ข) ตัวรวบรวมซึ่งกระทำหรือเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางอย่างของลักษณะทางกายภาพตามคำแนะนำแบบดิจิตอล

4) อุปกรณ์ IoT สื่อสารผ่านเครือข่าย เป็นเรื่องปกติสำหรับอุปกรณ์ IoT ในการสื่อสารโดยใช้เครือข่ายระยะสั้นและเครือข่ายความใกล้ชิดโดยเฉพาะเนื่องจากข้อจำกัด ด้านพลังงานและการประมวลผล อย่างไรก็ตามอุปกรณ์บางอย่างสามารถสื่อสารในระดับอินเทอร์เน็ตโดยใช้เครือข่ายการเข้าถึงบางชนิด

5) IoT Gateways มักใช้ในระบบ IoT นั้นสร้างการเชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายเครือข่ายท้องถิ่นและเครือข่ายการเข้าถึงพื้นที่กว้าง IoT Gateways สามารถมีลักษณะอื่นๆ และให้ความสามารถที่หลากหลาย IoT Gateway มักจะมีตัวแทนการจัดการที่ให้ความสามารถในการจัดการระยะไกล เกตเวย์ IoT Gateways สามารถมีที่เก็บข้อมูลอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT ที่เกี่ยวข้องซึ่งสามารถสนับสนุนความสามารถในการประมวลผลในพื้นที่ ("edge" หรือ "fog") หรือเป็นวิธีการจัดการกับเครือข่าย

การสื่อสารเป็นระยะ บริการการวิเคราะห์อย่างน้อยหนึ่งบริการสามารถได้รับการสนับสนุนจาก IoT Gatewaysซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะทำงานกับการดึงข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT หรือจากแหล่งข้อมูลอุปกรณ์ IoT Gateway ยังมีโปรแกรมประยุกต์ซึ่งสามารถควบคุมโปรแกรมประยุกต์ได้ซึ่งจำเป็นต้องมีการประมวลผลในท้องถิ่นอย่างรวดเร็วสำหรับตัวรวบรวมโดยตรงจากข้อมูลนำเข้าจากตัวตรวจจับ

6) โปรแกรมประยุกต์และบริการหลายประเภทมีอยู่ในระบบ IoT ส่วนใหญ่ที่มีแหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้อง มักจะมีที่เก็บข้อมูลอุปกรณ์ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ IoT อาจมีที่เก็บข้อมูลการวิเคราะห์ที่มีผลลัพธ์จากบริการวิเคราะห์ที่ทำงานบนข้อมูลอุปกรณ์และข้อมูลจากแหล่งอื่นๆ บริการการวิเคราะห์ประเภทต่างๆ มักจะนำเสนอการประมวลผลข้อมูลอุปกรณ์และข้อมูลอื่น ๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึก การจัดการกระบวนการมักจะมีอยู่ควบคุมกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับระบบ IoT มีโปรแกรมประยุกต์ที่สะท้อนถึงความสามารถของระบบ IoT นั้นเอง ในที่สุดก็มีบริการธุรกิจที่ให้ความสามารถที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานเชิงพาณิชย์ของระบบไม่ว่าจะโดยผู้ใช้ปลายทางหรือโดยระบบขาเชื่อมต่อภายนอกอื่นๆ โปรแกรมประยุกต์และบริการสื่อสารกับ IoT Gateways และอุปกรณ์ IoT โดยใช้เครือข่ายการเข้าถึงในขณะที่สื่อสารกันโดยใช้เครือข่ายบริการ

7) โปรแกรมประยุกต์บริการและแหล่งข้อมูลอื่น ๆ นั้นใช้สำหรับการดำเนินงานและการจัดการของระบบ IoT เอง ซึ่งรวมถึงที่เก็บข้อมูลลงทะเบียนอุปกรณ์และบริการระบุตัวตนอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องซึ่งให้ความสามารถในการค้นหาโปรแกรมประยุกต์และบริการต่างๆ มีโปรแกรมประยุกต์การจัดการอุปกรณ์ซึ่งให้ความสามารถในการตรวจสอบและจัดการสำหรับอุปกรณ์ IoT ในระบบ มีระบบสนับสนุนการปฏิบัติงานที่ให้ความสามารถที่หลากหลายที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบและการจัดการของระบบ IoT โดยรวมรวมถึงการเสนอความสามารถในการดูแลระบบให้กับผู้ใช้

8) การเข้าถึงความสามารถของระบบ IoT สำหรับผู้ใช้นั้นจัดทำโดยลักษณะการเข้าถึงและการแลกเปลี่ยนซึ่งจัดให้มีการควบคุมส่วนติดต่อสำหรับความสามารถในการให้บริการสำหรับความสามารถในการบริหารและความสามารถทางธุรกิจ ความสามารถใดที่มีให้นั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการควบคุมการเข้าถึงที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับผู้ใช้ซึ่งจำเป็นต้องมีการรับรองความถูกต้องและการอนุญาตก่อนจึงจะสามารถใช้ความสามารถนั้นได้

9) ผู้ใช้ระบบ IoT สามารถรวมถึงผู้ใช้ที่เป็นมนุษย์และผู้ใช้ดิจิทัล ผู้ใช้ที่เป็นคนมักจะโต้ตอบกับระบบ IoTโดยใช้อุปกรณ์ผู้ใช้บางประเภท อุปกรณ์ผู้ใช้สามารถมีได้หลายรูปแบบเช่นสมาร์ทโฟน, คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล, แท็บเล็ตหรืออุปกรณ์พิเศษอื่นๆ ในทุกกรณีโปรแกรมประยุกต์รูปแบบบางรูปแบบจะถูกนำเสนอให้กับผู้ใช้ที่เป็นมนุษย์ซึ่งความสามารถนั้นได้มาจากโปรแกรมประยุกต์พื้นฐานที่โต้ตอบกับส่วนที่เหลือของระบบ IoT

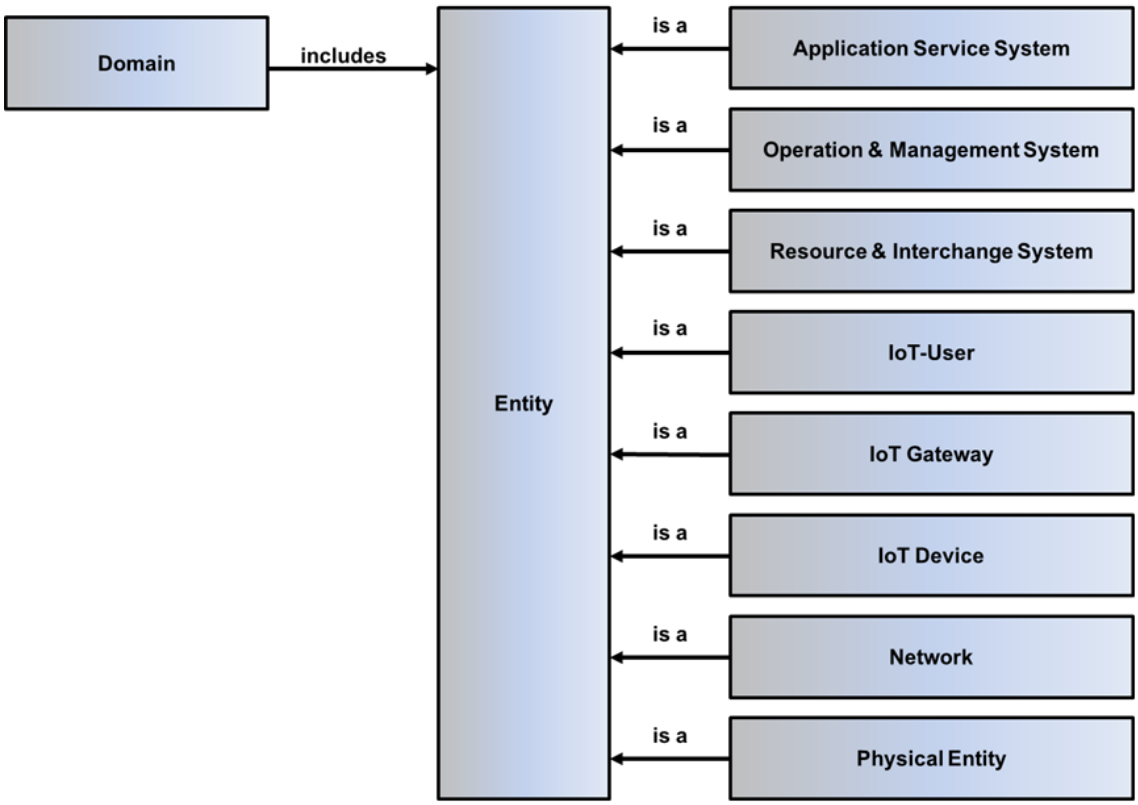
10) ระบบดิจิตอลสามารถใช้ระบบ IoT จัดให้มีการใช้ระบบอัตโนมัติ ทั้งอุปกรณ์ผู้ใช้และผู้ใช้ดิจิตอลสื่อสารกับส่วนที่เหลือของระบบ IoT ผ่านเครือข่ายผู้ใช้ซึ่งสามารถเป็นอินเทอร์เน็ตหรืออาจเป็นเครือข่ายรูปแบบพิเศษอื่นๆ สำหรับระบบ IoT บางระบบอุปกรณ์ผู้ใช้สามารถโต้ตอบโดยตรงกับอุปกรณ์ IoT หรือ IoT Gateways หนึ่งในตัวอย่างทั่วไปของระบบดังกล่าวเกิดขึ้นกับสมาร์ทโฟนหรืออุปกรณ์ที่สวมใส่ได้ซึ่งอุปกรณ์ IoT และอุปกรณ์ผู้ใช้เป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์เดียว

11) ระบบช่องเชื่อมต่อ (Peer System) ซึ่งอาจเป็นระบบ IoT อื่น ๆ หรืออาจเป็นระบบที่ไม่ใช่ IoT สามารถเป็นผู้ใช้ระบบ IoT และ / หรือให้บริการกับระบบ IoT

ระบบช่องเชื่อมต่อ (Peer System) มีปฏิสัมพันธ์กับระบบ IoT ผ่านเครือข่ายผู้ใช้ – โดยทั่วไปคืออินเทอร์เน็ต

องค์ประกอบความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวมีผลกับระบบ IoT ที่สมบูรณ์ สิ่งเหล่านี้อาจรวมถึงการรับรองความถูกต้องการอนุญาตใบรับรองการเข้ารหัสการจัดการกุญแจการบันทึกและการตรวจสอบการปกป้องข้อมูลเช่นการไม่ระบุชื่อและการปลอมแปลง

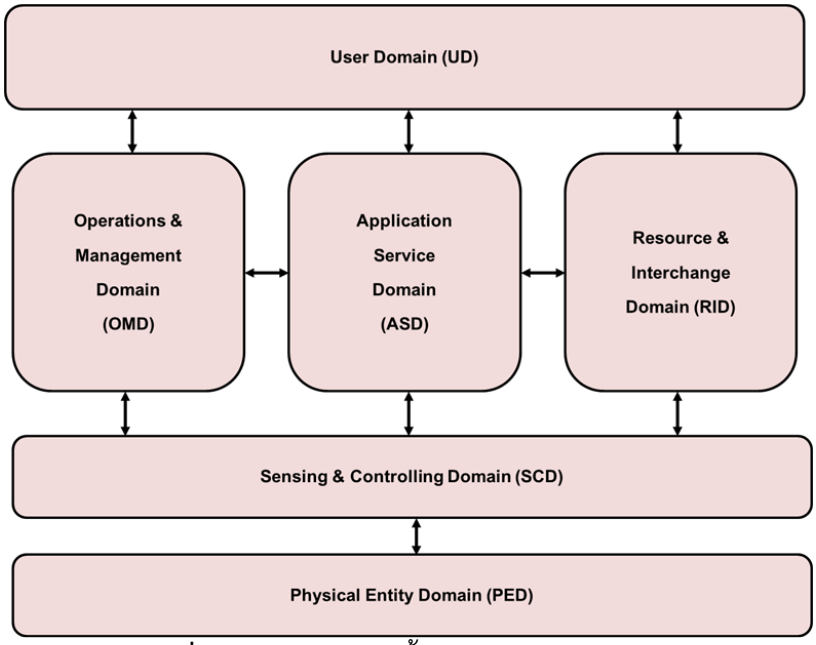
จากการศึกษารายละเอียดของระบบ IoT ต่างๆในสถานการณ์การใช้งานที่แตกต่างกันรูปที่ 2.1-10 แสดงลักษณะ IoT ที่พบมากที่สุดที่พบในระบบ IoT นอกจากนี้รูปภาพนี้แสดงความสัมพันธ์ระดับสูงระหว่างขอบเขตและลักษณะ




**รูปที่ 2.1-10** ขอบเขตและลักษณะความสัมพันธ์, และภาพนำเสนอลักษณะแนวคิดในระบบ IoT

### 2.1.8 ขอบเขต-พื้นฐาน Reference Model (RM)

รูปที่ 2.1-11 แสดงให้เห็นขอบเขตที่แสดงให้เห็นถึงของ IoT RM ขอบเขต-พื้นฐาน RM นั้นประกอบด้วย ขอบเขตผู้ใช้ (User Domain (UD)), ปฏิบัติการและการจัดการ (Operation & Management (OMD)), ขอบเขตบริการโปรแกรมประยุกต์ (Application Service Domain (ASD)), ขอบเขตทรัพยากรและการแลกเปลี่ยน (Resource & Interchange Domain (RID)), ขอบเขตตัวตรวจจับและควบคุม (Sensing & Controlling Domain (SCD)), และขอบเขตลักษณะกายภาพ (Physical Entity Domain (PED)) แต่ละการจำแนกขอบเขตนั้นระบุนั้นเป็นเอกสิทธิ์เฉพาะบุคคลจากขอบเขตอื่นทั้งหมด

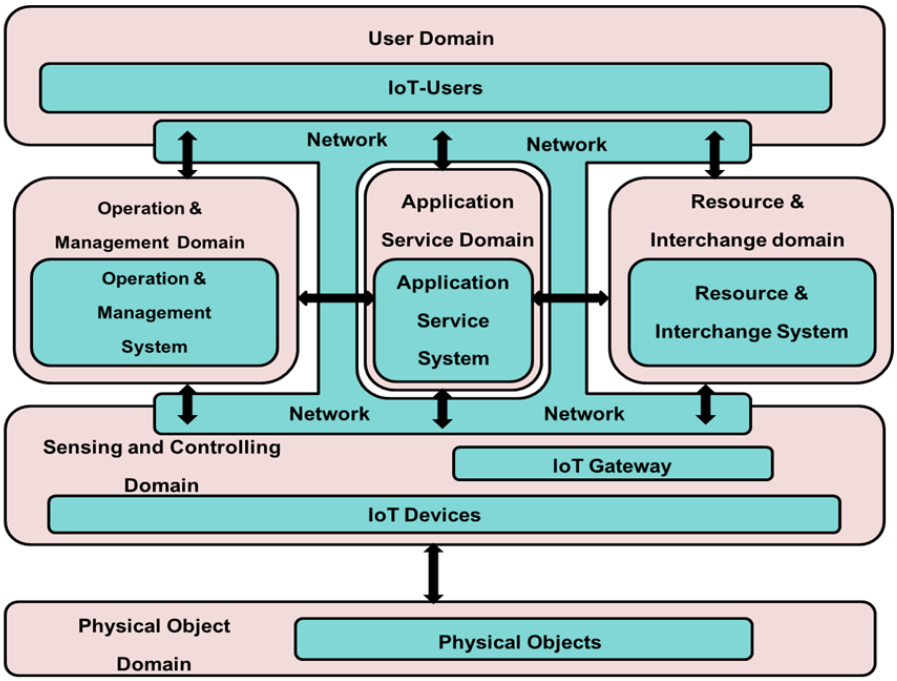



**รูปที่ 2.1-11** ขอบเขต-พื้นฐาน IoT RM

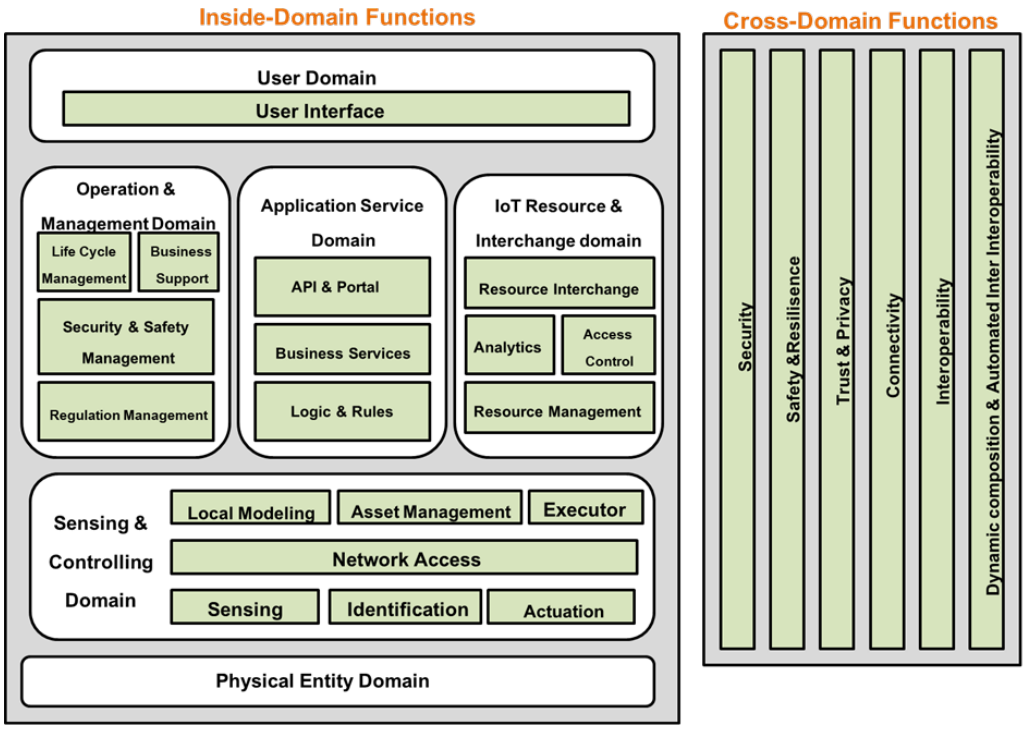
สภาพแวดล้อมของระบบ IoT ส่วนใหญ่เกิดขึ้นจาก PED แต่ในบางสถานการณ์ลักษณะ SCD บางส่วนสามารถจัดสรรให้เป็นส่วนหนึ่งของสภาพแวดล้อมได้ ฮาร์ดแวร์ (เช่นลักษณะทางกายภาพ (Physical Entities)) และซอฟต์แวร์ (ตัวอย่าง ขอบเขตเสมือน (Virtual Entities)) ซึ่งปรากฏในขอบเขตอื่นนอกเหนือจาก PED และ SCD รองรับฟังก์ชั่นและความสามารถของขอบเขตที่อุปกรณ์ติดตั้งอยู่และอุปกรณ์ไม่ตอบสนอง (เช่นการตรวจจับและกระตุ้น (Sense and Actuate)) ด้วย สภาพแวดล้อมที่ระบบ IoT รับผิดชอบและตรวจสอบ สภาพแวดล้อมของระบบ IoT นั้นส่วนใหญ่เกิดจาก PED แต่ในบางสถานการณ์ SCD อาจถือเป็นส่วนหนึ่งของสภาพแวดล้อม ฮาร์ดแวร์ (เช่นลักษณะทางกายภาพ (Physical Entities)) และซอฟต์แวร์ (เช่น ลักษณะเสมือน (Virtual Entities)) ซึ่งปรากฏในขอบเขตอื่นนอกเหนือจาก PED และ SCD สนับสนุนฟังก์ชั่นและความสามารถของขอบเขตที่อุปกรณ์ติดตั้งอยู่และอุปกรณ์ไม่ตอบสนอง (เช่นความรู้สึกและกระตุ้น (Sense and Actuate)) กับสภาพแวดล้อม ซึ่งระบบ IoTนั้นมีความรับผิดชอบและตรวจสอบ

RM ซึ่งใช้ขอบเขต IoT รองรับการวางแผนและการจัดระเบียบของชุดการรวบรวมที่หลากหลายและขยายเครือข่ายที่เชื่อมต่อกัน เครือข่ายเชื่อมต่อระหว่างกันให้การเชื่อมต่อการสื่อสารรวมถึงการเชื่อมโยงข้อมูล เหล่านี้สามารถเชื่อมโยงแบบจุดต่อจุดในหรือระหว่างระบบ IoT งระหว่างและภายในขอบเขตและกับระบบและองค์กรอื่นๆ เครือข่ายที่เชื่อมต่อควรรักษาการทำงานร่วมกันจากเครือข่ายหนึ่งไปอีกเครือข่ายหนึ่ง เครือข่ายส่วนใหญ่ให้เส้นทางสู่การสื่อสารและการแลกเปลี่ยนข้อมูล ดังนั้นบทบาทสำคัญของเครือข่ายคือการสนับสนุนและให้การสื่อสารและกิจกรรมการแลกเปลี่ยนข้อมูล และการมีปฏิสัมพันธ์ ประเภทของกิจกรรมและการโต้ตอบระหว่างสองเอนทิตี้ระหว่างสองโดเมนหรือระหว่างสองระบบ IoT จะกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะขอบเขตและระบบ IoT ตามลำดับ แม้ว่าเครือข่ายการ

สื่อสารระหว่างขอบเขตไม่ได้ถูกกำหนดเป็นส่วนหนึ่งของหนึ่งในหกขอบเขตเครือข่ายเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในระบบ IoT ขึ้นอยู่กับโครงสร้างพื้นฐานของระบบ IoT เครือข่ายการสื่อสารระหว่างขอบเขตสามารถเป็นเครือข่ายท้องถิ่นอินเทอร์เน็ตอินทราเน็ตเครือข่ายแกนหลักขององค์กรหรือเครือข่ายบริเวณกว้าง ฯลฯ เครือข่ายธุรกิจกับธุรกิจ (B2B) ก็ถือว่าเป็นเครือข่าย เครือข่ายการสื่อสารขอบเขตหลัก




**รูปที่ 2.1-12** ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะ-พื้นฐาน RM และ ขอบเขต-พื้นฐาน RM



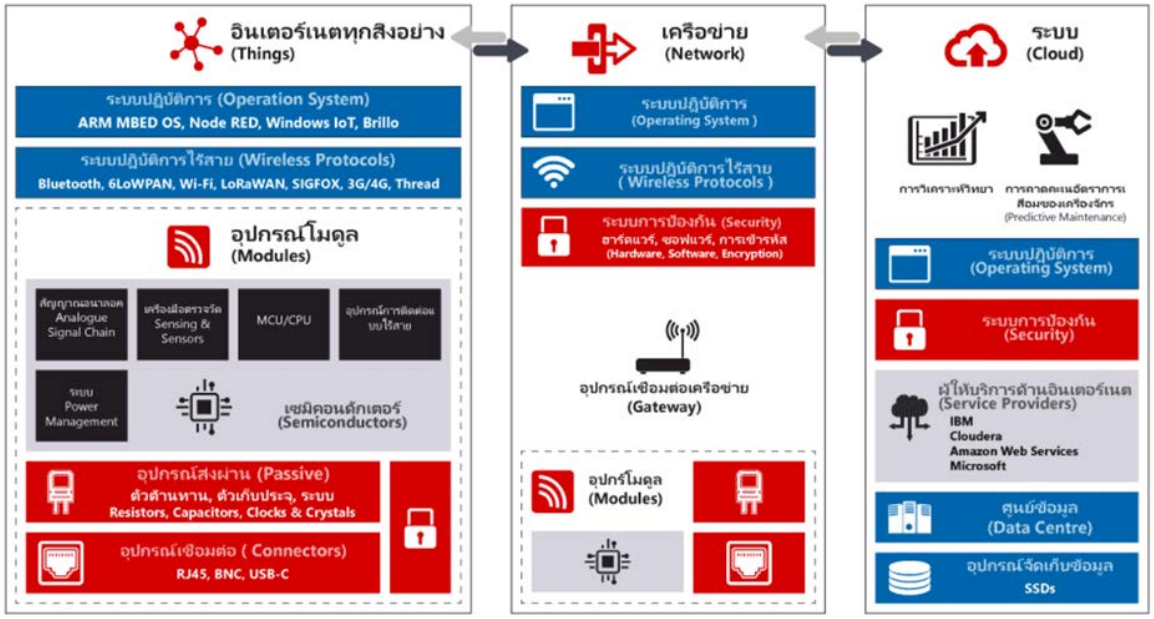

**รูปที่ 2.1-13** มุมมองฟังก์ชั่น IoT RA – การแจกแจงขององค์ประกอบฟังก์ชั่น IoT RA

## 2.2 องค์ประกอบของระบบตรวจจับแบบ Internet of Thing

ระบบตรวจจับ (Sensor) แบบ Internet of Thing คือ ชุดอุปกรณ์ วงจร หรือ ระบบ ที่ทำหน้าที่ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ หรือลักษณะของสิ่งต่างๆ โดยรอบวัตถุเป้าหมาย และนำข้อมูลจำนวนมหาศาล (Big Data) ที่ได้จากการตรวจวัด เข้าสู่กระบวนการแจกแจง และวิเคราะห์พฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลง ประมวลผลเป็นองค์ความรู้และปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ให้มนุษย์สามารถนำองค์ความรู้มาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพลดขั้นตอนของกระบวนการทำงาน เพื่อให้เข้าใจองค์ประกอบของ จึงขออธิบายรายละเอียดองค์ประกอบของระบบตรวจจับดังนี้

### 2.2.1 ส่วนสั่งการและประมวลผล

เป็นส่วนที่ระบบรับข้อมูลจากส่วนตรวจจับ แล้วทำการประมวลผล โดยทั่วไปจะมี 3 แนวทางคือ 1) ประมวลและส่งข้อมูลไปยังเครื่องแม่ข่าย ใช้สำหรับระบบติดตามข้อมูล 2) ประมวลผลและสั้งการอัตโนมัติพร้อมส่งข้อมูลให้แม่ข่าย ใช้สำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติที่สั่งการภายใน และ 3) ประมวลผลแล้วส่งข้อมูลให้แม่ข่ายพร้อมเตรียมรับคำสั่งจากแม่ข่าย ใช้สำหรับระบบควบคุมทางไกล ทั้งนี้เงื่อนไขการใช้ประโยชน์อาจจะผสมระหว่างรูปแบบได้ เพื่อความยืดหยุ่นในการสั้งการ โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องมีการสื่อสารภายนอกที่มีความเสี่ยงจากระบบการสื่อสารที่ขัดข้อง




**รูปที่ 2.2-1** โครงสร้างองค์ประกอบของระบบตรวจจับแบบ Internet of Thing

### 2.2.2 ส่วนการสื่อสาร

ปัจจุบันการสื่อสารภายในวงอุปกรณ์และกับระบบแม่ข่าย โดยรับ-ส่งข้อมูลจากส่วนประมวลผล สามารถรองรับการเชื่อมต่อได้ 2 ลักษณะ 1) แบบในวงปิดเครือข่ายภายในหรือระยะใกล้ เช่น WiFi, Bluetooth และ LAN ซึ่งใช้เพื่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์และส่งข้อมูลภายในเครือข่ายแบบจำกัด

2) แบบในวงเปิดเครื่อข่ายสื่อสารภายนอก เช่น 3G, 4G, 5G, LoRa, NB-IoT ซึ่งเป็นการเชื่อมโยงไปยังแม่ข่ายระยะไกล โดยอาศัยโครงสร้างระบบอินเตอร์เน็ตเป็นฐาน โดยปัจจุบันความสามารถของอุปกรณ์สือสารสามารถรองรับรูปแบบการสื่อสารทั้งสองรูปแบบได้ ทำให้มีการใช้รูปแบบการสื่อสารแบบผสมอยู่บ่อยครั้ง

### 2.2.3 ส่วนระบบพลังงาน

อุปกรณ์ตรวจจับแบบ Internet of Thing มีการใช้พลังงานรวของอุปกรณ์ที่ต่ำทำให้มีทางเลือกเรื่องแหล่งพลังงานที่หลากหลาย เช่น การเชื่อมกับระบบจ่ายไฟฟ้าโดยตรง, การใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าภายในได้แก่ แบตเตอรี่แบบต่างๆ, ตัวเก็บประจุ เป็นต้น และ การใช้แหล่งพลังงานทางเลือก เช่น พลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งหมดนี้ทำให้อุปกรณ์สามารถไปติดตั้งในที่ที่ขาดระบบสาธารณูปโภคได้ โดยยังคงรักษาคุณภาพของการจ่ายพลังงาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้อุปกรณ์ให้เหมาะสมกับสถานที่ตั้งเป็นสำคัญ

### 2.2.4 ส่วนตรวจจับ

เป็นอุปกรณ์ที่นำค่าตรวจวัดส่งไปยังส่วนประมวลผล โดยทำงานใน 2 ลักษณะ คือ 1) แบบสัมผัสกับสิ่งตรวจวัดโดยตรง เช่น อุปกรณ์วัดความชื้นในดิน, อุปกรณ์วัดน้ำฝน, อุปกรณ์วัดคุณภาพน้ำ เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จำเป็นต้องมีควาทนทานเป็นพิเศษเพื่อทนการกัดกร่อน หรือปฏิกริยาเคมีที่จะมีผลกระทบกับคุณภาพการตรวจวัด 2) แบบไม่สัมผัสกับสิ่งตรวจวัดโดยตรง เช่น เครื่องวัดระดับน้ำแบบวัดค่าการสะท้อน, อุปกรณ์วัดหลายช่วงคลื่นแสง, อุปกรร์วัดอุณหภูมิด้วยอินฟาเรด เป็นต้น ซึ่งถึงแม้นจะไม่ได้สัมผัสวัตถุโดยตรงแต่การที่มีสื่อขั้นกลางทำให้ต้องให้ความสำคัญต่อความเที่ยงตรงการการตรวจวัดในทุกสถานการณ์ เช่น อุณหภูมิ, ความชื้น, ฝุ่น และ ฝน เป็นต้น

## 2.3 มาตรฐานโปรโตคอล (Protocal) ในงานระบบตรวจจับ

ภาพรวมของโปรโตคอลที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์และแอพพลิเคชั่น Internet of Things ช่วยชี้แจงด้วยเทคโนโลยีเลเยอร์ของ IOT และการเปรียบเทียแบบตัวต่อตัว

Internet of Things ครอบคลุมหลากหลายอุตสาหกรรมและการใช้งานกรณีที่ปรับขนาดจากอุปกรณ์ที่มีข้อ จำกัด เดียวจนถึงขนาดใหญ่ การปรับใช้ข้ามแพลตฟอร์มของเทคโนโลยีฝังตัวและคลาวด์ระบบเชื่อมต่อแบบเรียลไทม์

การผูกมันเข้าด้วยกันเป็นสิ่งที่สืบทอดและเกิดขึ้นใหม่มากมาย โปรโตคอลการสื่อสารที่อนุญาตให้อุปกรณ์และเซิร์ฟเวอร์สื่อสารกันได้ซึ่งกันและกันในรูปแบบใหม่เชื่อมโยงกันมากขึ้น
ในเวลาเดียวกันพันธมิตรและพันธมิตรหลายสิบกำลังก่อตัว

### 2.3.1 โปรโตคอล

แทนที่จะพยายามปรับให้พอดีกับโปรโตคอล IoT ทั้งหมดด้านบนของโมเดลสถาปัตยกรรมที่มีอยู่ เช่นโมเดล OSI (https://en.wikipedia.org/wiki/OSI_model) สามารถแบ่งโปรโตคอลดังกล่าวเป็นเลเยอร์ต่อไปนี้เพื่อให้องค์กรบางระดับ :

1. โครงสร้างพื้นฐาน (เช่น 6LowPAN, IPv4 / IPv6, RPL)
2. การระบุ (เช่น EPC, uCode, IPv6, URIs)
3. Comms / Transport (เช่น Wifi, Bluetooth, LPWAN)
4. การค้นพบ (เช่น เว็บ, mDNS, DNS-SD)
5. Data Protocols (เช่น MQTT, CoAP, AMQP, Websocket, โหนด)
6. การจัดการอุปกรณ์ (เช่น TR-069, OMA-DM)
7. ความหมาย (เช่น JSON-LD, Web Thing Model)
8. กรอบหลายชั้น (เช่น Alljoyn, IoTivity, Weave, Homekit)

ความปลอดภัย

อุตสาหกรรมแนวตั้ง (บ้านที่เชื่อมต่อ, อุตสาหกรรม ฯลฯ )

### 2.3.2 โครงสร้างพื้นฐาน

IPv6 (https://en.wikipedia.org/wiki/IPv6) - "IPv6 เป็นโปรโตคอล Internet Layer สำหรับการส่งข้อมูลระหว่างเครือข่ายแบบ packet-switched และให้การส่งดาตาแกรมแบบ end-to-end ข้ามเครือข่าย IP หลายเครือข่าย

6LoWPAN (https://en.wikipedia.org/wiki/6LoWPAN) - "6LoWPAN เป็นตัวย่อของ IPv6 ผ่านเครือข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สายพลังงานต่ำมันเป็นชั้นการปรับสำหรับ IPv6 ผ่าน IEEE802.15.4 ลิงค์นี้ทำงานเฉพาะใน ช่วงความถี่ 2.4 GHz พร้อมอัตราการถ่ายโอน 250 kbps "

UDP (https://tools.ietf.org/html/rfc768) (โพรโทคอลเดตาแกรมผู้ใช้) - โปรโตคอลเลเยอร์การขนส่ง OSI แบบง่ายสำหรับแอปพลิเคชันเครือข่ายไคลเอนต์ / เซิร์ฟเวอร์ที่ใช้ Internet Protocol (IP) UDP เป็นทางเลือกหลักของ TCP และเป็นหนึ่งในโปรโตคอลเครือข่ายที่เก่าแก่ที่สุดที่มีอยู่ซึ่งเปิดตัวในปี 1980 UDP มักใช้ในแอปพลิเคชั่นที่ปรับมาเป็นพิเศษเพื่อประสิทธิภาพแบบเรียลไทม์

- QUIC (https://en.wikipedia.org/wiki/QUIC) (การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต UDP ด่วนการออกเสียงอย่างรวดเร็ว) สนับสนุนชุดการเชื่อมต่อแบบมัลติเพล็กซ์ระหว่างจุดปลายสองจุดผ่าน User Datagram Protocol (UDP) และได้รับการออกแบบเพื่อให้การป้องกันความปลอดภัย เทียบเท่ากับ

TLS / SSL พร้อมการเชื่อมต่อที่ลดลงและเวลาแฝงในการขนส่งและการประมาณแบนด์วิดท์ในแต่ละทิศทางเพื่อหลีกเลี่ยงความแออัด

- Aeron (https://github.com/real-logic/Aeron) - ยูนิคาสต์ UDP ที่เชื่อถือได้อย่างมีประสิทธิภาพ UDP มัลติคาสต์และการส่งข้อความ IPC

uIP (https://en.wikipedia.org/wiki/UIP_%28micro_IP%29) - uIP เป็นสแต็ก TCP / IP แบบโอเพ่นซอร์สที่สามารถใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็ก 8- และ 16 บิต มันถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย Adam Dunkels ของกลุ่ม "ระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัว" ที่สถาบันวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ของสวีเดนได้รับใบอนุญาตภายใต้ใบอนุญาตสไตล์ BSD และได้รับการพัฒนาเพิ่มเติมโดยกลุ่มนักพัฒนาที่กว้างขวาง

DTLS (https://tools.ietf.org/html/rfc4347) (Datagram Transport Layer) - "โปรโตคอล DTLS มอบความเป็นส่วนตัวในการสื่อสารสำหรับโปรโตคอลดาตาแกรมโปรโตคอลอนุญาตให้แอปพลิเคชันไคลเอนต์ / เซิร์ฟเวอร์สื่อสารในลักษณะที่ออกแบบมาเพื่อป้องกัน กำลังดักข้อมูลการแก้ไขดัดแปลงหรือการปลอมแปลงข้อความโปรโตคอล DTLS ใช้โปรโตคอล Transport Layer Security (TLS) และให้การรับรองความปลอดภัยที่เทียบเท่า"

ROLL (https://datatracker.ietf.org/wg/roll/) / RPL (การกำหนดเส้นทาง IPv6 สำหรับเครือข่ายพลังงาน / สูญเสียต่ำ)

NanoIP (http://www.cwc.oulu.fi/nanoip/)

"NanoIP ซึ่งย่อมาจาก nano Internet Protocol เป็นแนวคิดที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อนำบริการระบบเครือข่ายเช่นอินเทอร์เน็ตไปยังอุปกรณ์เซ็นเซอร์และฝังตัวโดยไม่ต้องมีค่าใช้จ่ายของ TCP / IP NanoIP ได้รับการออกแบบด้วยค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ที่อยู่ในใจ "

เครือข่ายเนื้อหาเป็นศูนย์กลาง (http://www.ccnx.org/) (CCN) - ภาพรวมทางเทคนิค (http://www.ccnx.org/releases/latest/doc/technical/CCNxProtocol.html)

"สถาปัตยกรรมเครือข่ายยุคหน้าเพื่อแก้ปัญหาความท้าทายในการปรับขนาดการกระจายเนื้อหาความคล่องตัวและความปลอดภัย

CCN จัดเส้นทางและส่งเนื้อหาที่มีชื่อในระดับแพ็กเก็ตของเครือข่ายโดยตรง ทำให้สามารถแคชอัตโนมัติ และแอปพลิเคชันที่เป็นกลางในทุกที่ที่อยู่ในเครือข่าย ผลลัพธ์ส่งเนื้อหาที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลได้ทุกที่และทุกเวลาที่ต้องการ เนื่องจากสถาปัตยกรรมเปิดใช้งานเอฟเฟกต์แคชเหล่านี้เป็นผลข้างเคียงโดยอัตโนมัติของการส่งแพ็กเก็ตจึงสามารถใช้หน่วยความจำได้โดยไม่ต้องสร้างบริการแคชระดับแอปพลิเคชันที่มีราคาแพง "

โปรโตคอลตาข่ายแบบซิงโครไนซ์เวลา (https://en.wikipedia.org/wiki/TSMP)(TSMP) โปรโตคอลการสื่อสารสำหรับเครือข่ายที่จัดระเบียบตัวเองของอุปกรณ์ไร้สายที่เรียกว่า motes อุปกรณ์ TSMP จะทำข้อมูลให้ตรงกันและสื่อสารกันในไทม์ล็อตคล้ายกับระบบ TDM อื่น ๆ (การแบ่งส่วนมัลติเพล็กซ์)

### 2.3.3 การค้นพบ

mDNS (https://en.wikipedia.org/wiki/Multicast_DNS) (ระบบชื่อโดเมนแบบหลายผู้รับ) - แก้ไขชื่อโฮสต์เป็นที่อยู่ IP ภายในเครือข่ายขนาดเล็กที่ไม่มีเซิร์ฟเวอร์ชื่อโลคัล

ฟิสิคัลเว็บ (https://google.github.io/physical-web/faq) - ฟิสิคัลเว็บช่วยให้คุณเห็นรายการ URL ที่กำลังออกอากาศโดยวัตถุในสภาพแวดล้อมรอบตัวคุณด้วยสัญญาณบลูทูธพลังงานต่ำ (BLE)
HyperCat (http://www.hypercat.io/standard.html) - รูปแบบแคตตาล็อกไฮเปอร์มีเดียที่ใช้ JSON แบบเปิดที่มีน้ำหนักเบาสำหรับเปิดเผยคอลเลกชันของ URIs

UPnP (https://openconnectivity.org/upnp) (Universal Plug and Play) - ตอนนี้จัดการโดย Open Connectivity Foundation เป็นชุดของโปรโตคอลเครือข่ายที่อนุญาตให้อุปกรณ์เครือข่ายค้นหาสถานะของกันและกันบนเครือข่ายและสร้างบริการเครือข่ายที่ใช้งานได้อย่างราบรื่น สำหรับการแบ่งปันข้อมูลการสื่อสารและความบันเทิง

### 2.3.4 โปรโตคอลข้อมูล

MQTT (https://mqtt.org/) (การส่งข้อความ Telemetry ที่จัดคิว)

"โปรโตคอล MQTT เปิดใช้งานรูปแบบการส่งข้อความเผยแพร่ / สมัครสมาชิกในวิธีที่เบามากมันมีประโยชน์สำหรับการเชื่อมต่อกับสถานที่ห่างไกลซึ่งจำเป็นต้องใช้รหัสขนาดเล็กและ / หรือแบนด์วิธเครือข่ายอยู่ที่ระดับพรีเมียม"

ทรัพยากรเพิ่มเติม (http://postscapes2.webhook.org/cms#mqtt)
MQTT-SN (https://mqtt.org/2013/12/mqtt-for-sensor-networks-mqtt-sn) (MQTT สำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์)

- โปรโตคอลการเผยแพร่ / สมัครสมาชิกแบบเปิดและน้ำหนักเบาที่ออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับแอปพลิเคชันระหว่างเครื่องจักรกับโทรศัพท์

-Mosquitto (http://mosquitto.org/): โบรกเกอร์โอเพ่นซอร์ส MQTT v3.1

- IBM MessageSight (https://www-01.ibm.com/common/ssi/cgi-bin/ssialias?subtype=ca&infotype=an& appname = iSource & supplier = 877 & letternum = ENUSZP13-0146 # h2-abstrx)

CoAP (https://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-core-coap/) (จำกัด แอปพลิเคชันโปรโตคอล)

"CoAP เป็นโปรโตคอลชั้นแอปพลิเคชันที่มีไว้สำหรับใช้ในอุปกรณ์อินเทอร์เน็ตที่ จำกัด ทรัพยากรเช่นโหนด WSN CoAP ได้รับการออกแบบมาเพื่อแปลเป็น HTTP ได้อย่างง่ายดายสำหรับการรวมกับเว็บที่ง่ายขึ้น ค่าใช้จ่ายต่ำและความเรียบง่ายกลุ่ม CoRE ได้เสนอคุณสมบัติดังต่อไปนี้สำหรับ CoAP: การออกแบบโปรโตคอล RESTful ช่วยลดความซับซ้อนของการทำแผนที่ด้วย HTTP, ค่าใช้จ่ายของส่วน

หัวที่ต่ำและความซับซ้อนในการแยกวิเคราะห์, สนับสนุน URI และประเภทเนื้อหา รู้จักบริการ CoAP การสมัครสมาชิกอย่างง่าย ๆ สำหรับทรัพยากรและการแจ้งเตือนแบบพุชทำให้การแคชง่ายขึ้นอยู่กับอายุสูงสุด "

- แหล่งข้อมูลเพิ่มเติม (http://postscapes2.webhook.org/cms#coap)

- SMCP (https://github.com/darconeous/smcp/tree/smcp-0.6)— สแต็ก CoAP แบบ C ซึ่งเหมาะสำหรับสภาพแวดล้อมแบบฝังตัว คุณสมบัติรวมถึง: รองรับร่าง -ietf-core-coap-13, I / O แบบอะซิงโครนัสอย่างเต็มที่, รองรับทั้งซ็อกเก็ต BSD และ UIP

STOMP (https://stomp.github.io/implementations.html) – โปรโตคอลการส่งข้อความเชิงข้อความอย่างง่าย

XMPP (https://xmpp.org/) (โปรโตคอลการส่งข้อความและการแสดงตนที่ขยายได้)

"เทคโนโลยีแบบเปิดสำหรับการสื่อสารแบบเรียลไทม์ซึ่งสนับสนุนแอพพลิเคชั่นที่หลากหลายรวมถึงการส่งข้อความโต้ตอบแบบทันทีการแสดงตนการแชทหลายฝ่ายการโทรด้วยเสียงและวิดีโอการทำงานร่วมกันมิดเดิลแวร์น้ำหนักเบาการเผยแพร่เนื้อหา

- แหล่งข้อมูลเพิ่มเติม (http://postscapes2.webhook.org/cms#xmpp)

- XMPP-IoT (https://github.com/joachimlindborg/XMPP-IoT)

"ในคฤหาสน์เดียวกับ XMPP อย่างเงียบ ๆ ได้สร้างผู้คนให้ทำงานร่วมกันกับผู้คนในการสื่อสารเรากำลังตั้งเป้าที่จะสร้างเครื่องสื่อสารให้กับผู้คนและใช้เครื่องทำงานร่วมกันได้"

Mihini / M3DA (https://wiki.eclipse.org/Mihini/M3DA_Specification)

"ตัวแทน Mihini เป็นส่วนประกอบซอฟต์แวร์ที่ทำหน้าที่เป็นสื่อกลางระหว่างเซิร์ฟเวอร์ M2M และแอปพลิเคชันที่ทำงานบนเกตเวย์ที่ฝังตัว M3DA เป็นโปรโตคอลที่ปรับให้เหมาะสำหรับการขนส่งข้อมูลไบนารี M2M ซึ่งมีให้ในโครงการ Mihini ทั้งสองวิธี ของการจัดการอุปกรณ์โดยการทำให้การจัดการและการซิงโครไนซ์ของตัวแบบข้อมูลของอุปกรณ์ง่ายขึ้นและสำหรับการจัดการสินทรัพย์โดยการอนุญาตให้แอปพลิเคชันผู้ใช้แลกเปลี่ยนข้อมูล / คำสั่งที่พิมพ์ซ้ำไปมากับเซิร์ฟเวอร์ M2M "

AMQP (http://www.amqp.org/) (โปรโตคอลการจัดคิวข้อความขั้นสูง)
"โพรโทคอลเลเยอร์แอปพลิเคชันมาตรฐานแบบเปิดสำหรับมิดเดิลแวร์ที่มุ่งเน้นข้อความการกำหนดคุณสมบัติของ AMQP คือการวางแนวข้อความการจัดคิวการกำหนดเส้นทาง (รวมถึงแบบจุดต่อจุดและการเผยแพร่และสมัครสมาชิก) ความน่าเชื่อถือและความปลอดภัย"

- แหล่งข้อมูลเพิ่มเติม (http://postscapes2.webhook.org/cms#amqp)

DDS (http://portals.omg.org/dds/)(Data-Distribution Service สำหรับระบบเรียลไทม์)
"มาตรฐานมิดเดิลแวร์ระหว่างประเทศแบบเปิดแห่งแรกที่เชื่อมโยงโดยตรงกับการเผยแพร่เผยแพร่สมัครสมาชิกสำหรับระบบเรียลไทม์และระบบฝังตัว"

JMS (Java Message Service) - Java Message Oriented Middleware (MOM) API สำหรับการส่งข้อความระหว่างไคลเอนต์สองคนขึ้นไป

LLAP (http://openkontrol.org/llap/index.php/openkontrol/69-LLAP%20-%20Lightweight%20Local%20Automation%20Protocol) (โปรโตคอลอัตโนมัติในท้องถิ่นที่มีน้ำหนักเบา)

"LLAP เป็นข้อความสั้น ๆ ง่ายๆที่ส่งระหว่างวัตถุ inteligent โดยใช้ข้อความปกติไม่เหมือน TCP / IP, bluetooth, zigbee, 6lowpan, WiFi ฯลฯ ซึ่งบรรลุในระดับต่ำ" วิธี "การย้ายข้อมูลไปรอบ ๆ ซึ่งหมายความว่า LLAP สามารถ วิ่งผ่านสื่อการสื่อสารใด ๆ จุดแข็งทั้งสามของ LLAP คือมันจะทำงานกับอะไรก็ได้ในอนาคตและในอนาคตและมนุษย์สามารถเข้าใจได้ง่าย "

LWM2M (http://yucianga.info/?p=786) (M2M แบบเบา)

"Lightweight M2M (LWM2M) เป็นมาตรฐานของระบบใน Open Mobile Alliance ซึ่งรวมถึง DTLS, CoAP, Block, Observ, SenML และ Resource Directory และนำมารวมไว้ในส่วนต่อประสานอุปกรณ์ - เซิร์ฟเวอร์พร้อมกับโครงสร้างวัตถุ"

SSI (https://en.wikipedia.org/wiki/Simple_Sensor_Interface_protocol) (อินเทอร์เฟซเซ็นเซอร์แบบง่าย)

"โปรโตคอลการสื่อสารอย่างง่ายที่ออกแบบมาสำหรับการถ่ายโอนข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์หรืออาคารผู้โดยสารและเซ็นเซอร์อัจฉริยะ"

Reactive Streams (http://www.reactive-streams.org/)

"มาตรฐานสำหรับการประมวลผลสตรีมแบบอะซิงโครนัสที่ไม่มีแรงกดดันด้านหลังใน JVM"

ONS 2.0 (http://www.gs1.org/gsmp/kc/epcglobal/ons)

REST (https://en.wikipedia.org/wiki/Representational_state_transfer) (การโอนสถานะตัวแทน)

- RESTful HTTP

- ข้อมูลเพิ่มเติมในบริบทของ IoT (http://postscapes2.webhook.org/cms#http)

HTTP / 2 (http://httpwg.org/specs/rfc7540.html) – เปิดใช้งานการใช้ทรัพยากรเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นและลดการรับรู้ของความล่าช้าโดยการแนะนำการบีบอัดส่วนหัวของฟิลด์

SOAP (https://en.wikipedia.org/wiki/SOAP) (Simple Object Access Protocol), JSON / XML, WebHooks (http://wiki.webhooks.org/w/page/13385124/FrontPage), Jelastic ( http://jelastic.com/), MongoDB (https://en.wikipedia.org/wiki/MongoDB) Websocket (https://websocket.org/)

ข้อมูลจำเพาะ WebSocket ที่พัฒนาโดยเป็นส่วนหนึ่งของการริเริ่ม HTML5 ได้แนะนำอินเทอร์เฟซ WebSocket JavaScript ซึ่งกำหนดการเชื่อมต่อซ็อกเก็ตแบบเต็มรูปแบบดูเพล็กซ์เดียวซึ่ง

ข้อความสามารถส่งระหว่างไคลเอนต์และเซิร์ฟเวอร์ มาตรฐาน WebSocket ช่วยลดความซับซ้อนในการสื่อสารผ่านเว็บแบบสองทิศทางและการจัดการการเชื่อมต่อ

โครงการ JavaScript / Node.js IoT (http://postscapes2.webhook.org/javascript-and-the-internet-of-things)

รายการโครงการซอฟต์แวร์ IoT เช่น Contiki, Riot OS และอื่นๆ สามารถดูได้ที่นี่ (http://postscapes2.webhook.org/internet-of-things-software-guide)

### 2.3.5 ชั้นการสื่อสาร / การขนส่ง

| Technology | Frequency | Data Rate | Range | Power Usage | Cost |
|---|---|---|---|---|---|
| 2G/3G | Cellular Bands | 10 Mbps | Several Miles | High | High |
| Bluetooth/BLE | 2.4Ghz | 1, 2, 3 Mbps | ~300 feet | Low | Low |
| 802.15.4 | subGhz, 2.4GHz | 40, 250 kbps | > 100 square miles | Low | Low |
| LoRa | subGhz | < 50 kbps | 1-3 miles | Low | Medium |
| LTE Cat 0/1 | Cellular Bands | 1-10 Mbps | Several Miles | Medium | High |
| NB-IoT | Cellular Bands | 0.1-1 Mbps | Several Miles | Medium | High |
| SigFox | subGhz | < 1 kbps | Several Miles | Low | Medium |
| Weightless | subGhz | 0.1-24 Mbps | Several Miles | Low | Low |
| Wi-Fi | subGhz, 2.4Ghz, 5Ghz | 0.1-54 Mbps | < 300 feet | Medium | Low |
| WirelessHART | 2.4Ghz | 250 kbps | ~300 feet | Medium | Medium |
| ZigBee | 2.4Ghz | 250 kbps | ~300 feet | Low | Medium |
| Z-Wave | subGhz | 40 kbps | ~100 feet | Low | Medium |

**รูปที่ 2.3-1** เทคโนโลยีการสื่อสารแบบต่างๆ

ที่มา : (https://www.postscapes.com/wp-content/uploads/2018/03/1_T75ssuHY8ygRiuheqfXJgA.png)

ภาพอ้างอิง : Helium (https://blog.helium.com/802-15-4-wireless-for-internet-of-things-developers-1948fc313b2e)

Ethernet (https://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet)

WirelessHart (http://www.hartcomm.org/protocol/wihart/wireless_technology.html) "เทคโนโลยี WirelessHART มอบโปรโตคอลไร้สายที่มีประสิทธิภาพสำหรับแอพพลิเคชั่นการวัด การควบคุมและการจัดการสินทรัพย์"

DigiMesh (http://www.digi.com/technology/digimesh/) "DigiMesh เป็นโครงสร้างเครือข่ายเพียร์ทูเพียร์ที่เป็นกรรมสิทธิ์สำหรับใช้ในโซลูชันการเชื่อมต่อจุดปลายแบบไร้สาย

ISA100.11a (https://en.wikipedia.org/wiki/ISA100.11a)"ISA100.11a เป็นมาตรฐานเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายที่พัฒนาโดย International Society of Automation (ISA) คำอธิบายอย่างเป็นทางการคือ "ระบบไร้สายสำหรับระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม: กระบวนการ แอพพลิเคชั่นการควบคุมและที่เกี่ยวข้อง"

IEEE 802.15.4 (https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4)IEEE 802.15.4 เป็นมาตรฐานที่ระบุเลเยอร์ทางกายภาพและการควบคุมการเข้าถึงสื่อสำหรับเครือข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สายอัตราต่ำ (LR-WPANs) ดูแลโดยคณะทำงาน IEEE 802.15 มันเป็นพื้นฐานของข้อกำหนด ZigBee, ISA100.11a, WirelessHART และ MiWi ซึ่งแต่ละข้อจะขยายมาตรฐานเพิ่มเติมโดยการพัฒนาชั้นบนที่ไม่ได้กำหนดใน IEEE 802.15.4 หรือสามารถใช้กับ 6LoWPAN และอินเทอร์เน็ตโปรโตคอลมาตรฐานเพื่อสร้างอินเทอร์เน็ตแบบฝังตัวแบบไร้สาย

NFC (http://www.nfc-forum.org/home/)

ตามมาตรฐาน ISO / IEC 18092: 2004 โดยใช้อุปกรณ์คู่อุปนัยที่ความถี่กลาง 13.56 MHz อัตราการส่งข้อมูลสูงถึง 424 kbps และระยะทางที่สั้นเพียงไม่กี่เมตรเมื่อเทียบกับเครือข่ายไร้สาย

ANT (https://en.wikipedia.org/wiki/ANT_(network))

ANT เป็นเทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่เป็นกรรมสิทธิ์ที่มีโปรโตคอลการสื่อสารไร้สายที่ช่วยให้วิทยุเซมิคอนดักเตอร์ที่ทำงานใน 2.4 GHz อุตสาหกรรมวิทยาศาสตร์และการแพทย์การจัดสรรคลื่นความถี่วิทยุ ("วง ISM") เพื่อสื่อสารโดยการสร้างกฎมาตรฐานสำหรับการอยู่ร่วม การแทนข้อมูล การส่งสัญญาณการตรวจสอบและการตรวจสอบข้อผิดพลาด

บลูทูธ (http://www.bluetooth.com/Pages/Bluetooth-Home.aspx)

บลูทูธ ทำงานในย่านความถี่ 2.4 GHz ISM และใช้การข้ามความถี่ ด้วยอัตราข้อมูลสูงสุด 3 Mbps และช่วงสูงสุด 100m แอปพลิเคชั่นแต่ละประเภทที่สามารถใช้บลูทูธ มีโปรไฟล์ของตัวเอง

Eddystone (https://github.com/google/eddystone) - ข้อกำหนดคุณสมบัติของโปรโตคอลที่กำหนดรูปแบบข้อความบลูทู ธ พลังงานต่ำ (BLE) สำหรับข้อความบีคอนใกล้เคียง

ZigBee (http://www.zigbee.org/)

โปรโตคอล ZigBee ใช้มาตรฐาน 802.15.4 และทำงานในช่วงความถี่ 2.4 GHz ที่ 250 kbps จำนวนโหนดสูงสุดในเครือข่ายคือ 1024 โดยมีช่วงสูงสุด 200 เมตร ZigBee สามารถใช้การเข้ารหัส AES 128 บิต

EnOcean (http://www.enocean.com/en/home/)

EnOcean เป็นเทคโนโลยีไร้สายสำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงานซึ่งทำงานในความถี่ 868 MHz สำหรับยุโรปและ 315 MHz สำหรับอเมริกาเหนือ ช่วงการส่งสัญญาณสูงถึง 30 เมตรในอาคารและสูงถึง 300 เมตรกลางแจ้ง

WiF (https://www.wi-fi.org/)i

WiMax (https://en.wikipedia.org/wiki/WiMAX)

WiMax ใช้มาตรฐาน IEEE 802.16 และมีไว้สำหรับเครือข่ายไร้สายในเขตเมืองใหญ่ ช่วงนั้นแตกต่างกันไปสำหรับสถานีที่ตายตัวซึ่งสามารถไปได้ไกลถึง 50 กม. และอุปกรณ์มือถือที่มี 5 ถึง 15 กม. WiMAx ทำงานที่ความถี่ระหว่าง 2.5 GHz ถึง 5.8 GHz และถ่ายโอนข้อมูล 40 Mbps

### 2.3.6 LPWAN

Weightless (http://www.weightless.org/)

Weightless เป็นมาตรฐานเทคโนโลยีไร้สายแบบเปิดที่มีกรรมสิทธิ์สำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างสถานีฐานและเครื่องจักรหลายพันเครื่องรอบ ๆ เครื่อง (ใช้การส่งสัญญาณวิทยุความยาวคลื่นในช่องสัญญาณโทรทัศน์ที่ไม่ว่าง) ที่มีความปลอดภัยระดับสูง

NB-IoT (https://en.wikipedia.org/wiki/NarrowBand_IOT) (Narrow-Band IoT) เทคโนโลยีที่ได้มาตรฐานโดยมาตรฐาน 3GPP

LTE-MTC (http://www.gsma.com/connectedliving/long-term-evolution-machine-type-communication-lte-mtc-cat-m1/) (การสื่อสารประเภทเครื่อง LTE) - ตระกูลมาตรฐานของเทคโนโลยีรองรับเทคโนโลยีหลายประเภทเช่น Cat-1 และ CatM1 เหมาะสำหรับ IoT

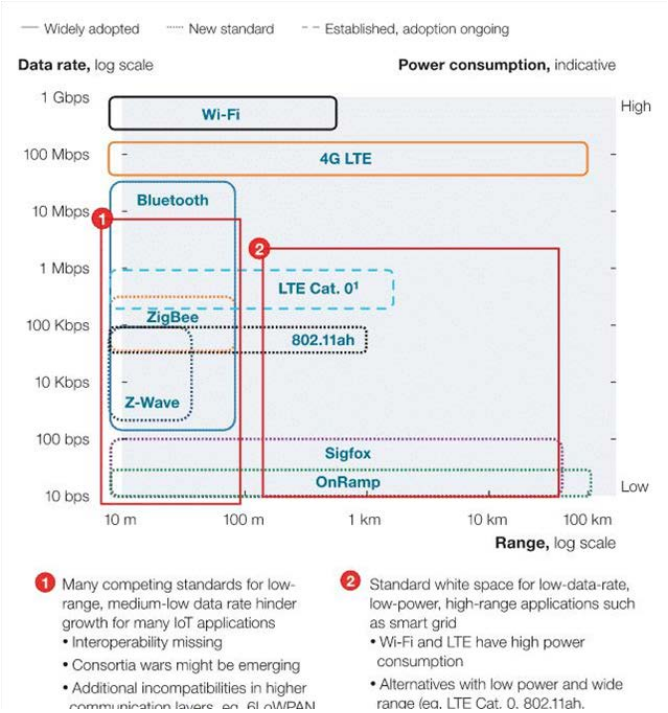
EC-GSM-IoT (https://www.ericsson.com/news/1987789) (Extended Coverage-GSM-IoT) - เปิดใช้งานความสามารถใหม่ของเครือข่ายเซลลูล่าร์ที่มีอยู่สำหรับแอพพลิเคชั่น IoT LPWA (พื้นที่กว้างต่ำ) EC-GSM-IoT สามารถเปิดใช้งานผ่านซอฟต์แวร์ใหม่ที่ติดตั้งผ่านเครือข่าย GSM ที่มีขนาดใหญ่มากเพิ่มความครอบคลุมมากยิ่งขึ้นในการให้บริการอุปกรณ์ IoT

LoRaWAN (https://www.lora-alliance.org/What-Is-LoRa/Technology) – โปรโตคอลเครือข่ายมีไว้สำหรับแบตเตอรี่ไร้สายที่ดำเนินการสิ่งต่างๆในภูมิภาคภูมิภาคระดับชาติหรือระดับโลก

RPMA (https://en.wikipedia.org/wiki/Random_phase_multiple_access) (การเข้าถึงหลายเฟสแบบสุ่ม) ระบบสื่อสารเทคโนโลยีที่ใช้สเปกตรัมการแพร่กระจายโดยตรง (DSSS) พร้อมการเข้าถึงหลายจุด มือถือ:

GPRS / 2G / 3G / 4G เซลลูล่าร์

ดูภาพรวมที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้นของการสื่อสารและเทคโนโลยี IoT ได้ที่นี่ (/เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสิ่งต่างๆ /)




**รูปที่ 2.3-2** แสดงการแบ่งเทคโนโลนีการสื่อสารออกตามระยะสัญญาณ

### 2.3.7 ความหมาย

IOTDB (http://iotdb.org/)

"มาตรฐาน JSON / ข้อมูลที่เชื่อมโยงสำหรับการอธิบายอินเทอร์เน็ตสิ่งต่างๆ "

SensorML

(https://en.wikipedia.org/wiki/SensorML)"SensorML ให้แบบจำลองมาตรฐานและการเข้ารหัส XML สำหรับอธิบายเซ็นเซอร์และกระบวนการวัด "

Semantic Sensor Net Ontology

(https://www.w3.org/2005/Incubator/ssn/wiki/Semantic_Sensor_Net_Ontology) - W3C "อภิปรัชญานี้อธิบายเซ็นเซอร์และการสังเกตและแนวคิดที่เกี่ยวข้องซึ่งไม่ได้อธิบายแนวคิดของโดเมนเวลาสถานที่และอื่น ๆ สิ่งเหล่านี้มีจุดประสงค์เพื่อรวมไว้จาก ontology อื่น ๆ ผ่านการนำเข้า OWL"

ภาษา Wolfram - อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อ (https://reference.wolfram.com/language/guide/ConnectingToDevices.html) - "การแสดงสัญลักษณ์ของแต่ละอุปกรณ์จากนั้นจะมีชุดฟังก์ชั่นภาษา Wolfram เช่น DeviceRead, DeviceExecute, DeviceReadBuffer และ DeviceReadTimeSeries ที่ดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ "

RAML (http://raml.org/) (RESTful API Modeling Language) - ทำให้ง่ายต่อการจัดการวงจรชีวิต API ทั้งหมดตั้งแต่การออกแบบไปจนถึงการแบ่งปัน เป็นเรื่องย่อ – คุณเขียนเฉพาะสิ่งที่คุณต้องการกำหนดและนำมาใช้ซ้ำได้

SENML (https://tools.ietf.org/html/draft-jennings-senml-08) (ประเภทสื่อสำหรับภาษามาร์กอัปเซนเซอร์)

- เซ็นเซอร์ง่าย ๆ เช่นเซ็นเซอร์อุณหภูมิสามารถใช้สื่อประเภทนี้ในโปรโตคอลเช่น HTTP หรือ CoAP เพื่อส่งผ่านการวัดค่าของเซ็นเซอร์หรือกำหนดค่า

LsDL (http://www.lemonbeat.com/lsdl/) (ภาษาอุปกรณ์ Lemonbeat สมาร์ท) - ภาษาอุปกรณ์ที่ใช้ XML สำหรับอุปกรณ์ที่มุ่งเน้นบริการ

### 2.3.8 กรอบหลายชั้น

Alljoyn (https://allseenalliance.org/framework) – กรอบซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ซที่ทำให้อุปกรณ์และแอพค้นพบและสื่อสารระหว่างกันได้ง่าย

IoTivity (https://www.iotivity.org/) เป็นโครงการโอเพ่นซอร์สที่โฮสต์โดยมูลนิธิ Linux และได้รับการสนับสนุนจาก OIC

IEEE P2413 (https://standards.ieee.org/develop/project/2413.html) - มาตรฐานสำหรับกรอบสถาปัตยกรรมสำหรับอินเทอร์เน็ตของสิ่งต่าง ๆ (IoT)

หัวข้อ (http://www.threadgroup.org/About.aspx) - สร้างขึ้นบนมาตรฐานเปิดและเทคโนโลยี IPv6 ที่มี 6LoWPAN เป็นรากฐาน

กรอบแอพพลิเคชันของ IPSO (http://www.ipso-alliance.org/wp-content/media/draft-ipso-app-framework-04.pdf) (PDF)

"การออกแบบนี้กำหนดชุดของส่วนต่อประสาน REST ที่อาจใช้โดยวัตถุอัจฉริยะเพื่อแสดงทรัพยากรที่มีอยู่โต้ตอบกับวัตถุอัจฉริยะและบริการด้านหลังอื่นๆ กรอบงานนี้ได้รับการออกแบบให้เสริมกับโปรไฟล์เว็บที่มีอยู่รวมถึง SEP2 และ oBIX"

OMA LightweightM2M v1.0 (http://technical.openmobilealliance.org/Technical/release_program/lightweightM2M_v1_0.aspx)

"แรงจูงใจของ LightweightM2M คือการพัฒนาคุณสมบัติไคลเอนต์ – เซิร์ฟเวอร์ที่ปรับใช้ได้อย่างรวดเร็วเพื่อให้บริการกับเครื่องจักร LightweightM2M เป็นโปรโตคอลการจัดการอุปกรณ์เป็นหลัก แต่ควรได้รับการออกแบบให้สามารถขยายเพื่อตอบสนองความต้องการของแอปพลิเคชัน LightweightM2M ไม่ได้ จำกัด อยู่ที่การจัดการอุปกรณ์ แต่ควรจะสามารถถ่ายโอนข้อมูลบริการ / แอปพลิเคชัน "

Weave (https://developers.google.com/weave/) - แพลตฟอร์มการสื่อสารสำหรับอุปกรณ์ IoT ที่เปิดใช้งานการตั้งค่าอุปกรณ์การสื่อสารระหว่างโทรศัพท์กับอุปกรณ์กับระบบคลาวด์และการโต้ตอบผู้ใช้จากอุปกรณ์มือถือและเว็บ

Telehash (http://telehash.org/) - JSON + UDP + DHT = Freedom
โปรโตคอลลวดที่ปลอดภัยเปิดใช้งานเครือข่ายการซ้อนทับแบบกระจายศูนย์สำหรับแอพและอุปกรณ์

### 2.3.9 ความปลอดภัย

Open Trust Protocol (https://www.ietf.org/id/draft-pei-opentrustprotocol-01.txt) (OTrP) - โปรโตคอลสำหรับติดตั้งอัปเดตและลบแอปพลิเคชันและจัดการการกำหนดค่าความปลอดภัยใน Trusted Execution Environment (TEE)

X.509 (https://en.wikipedia.org/wiki/X.509) - มาตรฐานสำหรับโครงสร้างพื้นฐานกุญแจสาธารณะ (PKI) เพื่อจัดการใบรับรองดิจิทัลและการเข้ารหัสคีย์สาธารณะ ส่วนสำคัญของโพรโทคอล Transport Layer Security ใช้เพื่อความปลอดภัยของการสื่อสารผ่านเว็บและอีเมล

### 2.3.10 เฉพาะแนวตั้ง

IEEE 1451 (http://grouper.ieee.org/groups/1451/0/body%20frame_files/Family-of-1451_handout.htm): The IEEE 1451 ตระกูลมาตรฐานอินเทอร์เฟซสำหรับ Transducer อธิบายชุดเปิด อินเตอร์เฟซการสื่อสารทั่วไปที่ไม่ขึ้นกับเครือข่ายสำหรับการเชื่อมต่อทรานสดิวเซอร์ (เซ็นเซอร์หรือแอคชูเอเตอร์) กับไมโครโปรเซสเซอร์ระบบเครื่องมือวัดและเครือข่ายการควบคุม / สนาม

IEEE 1888.3-2013 (http://standards.ieee.org/findstds/standard/1888.3-2013.html) - "มาตรฐาน IEEE สำหรับเครือข่ายการควบคุมชุมชนสีเขียวที่แพร่หลาย: ความปลอดภัย"

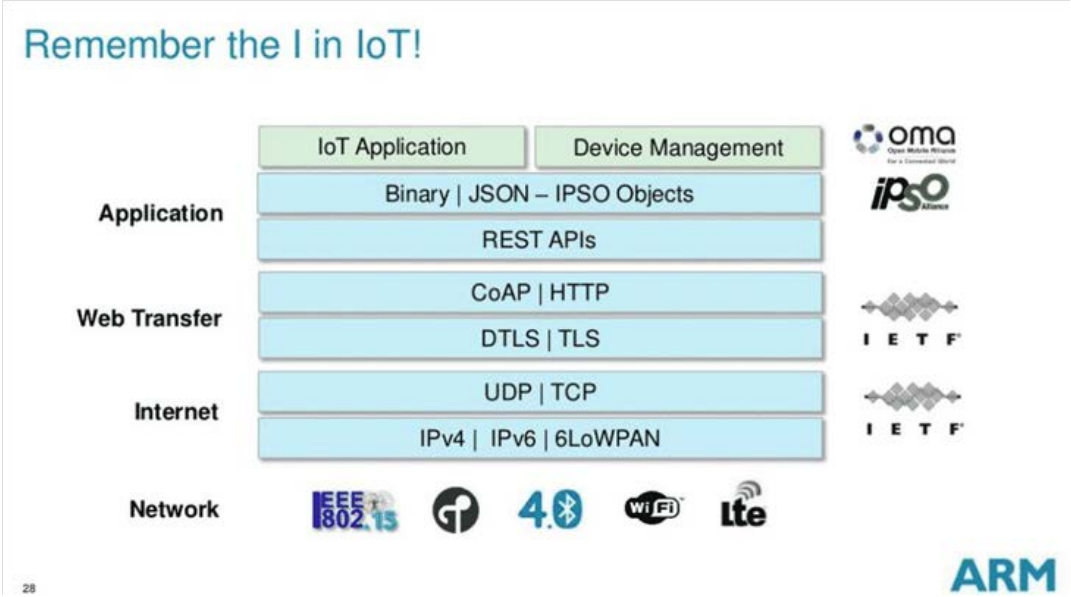
IEEE 1905.1-2013 (http://standards.ieee.org/findstds/standard/1905.1-2013.html)- "มาตรฐาน IEEE สำหรับเครือข่ายบ้านดิจิตอลคอนเวอร์เจนท์สำหรับเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน"

IEEE 802.16p-2012 (http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.16p-2012.html)
-“ มาตรฐาน IEEE สำหรับการเชื่อมต่ออากาศสำหรับระบบการเข้าถึงบรอดแบนด์ไร้สาย”
IEEE 1377-2012 (http://standards.ieee.org/findstds/standard/1377-2012.html) -“ มาตรฐาน IEEE สำหรับยูทิลิตี้การวัดโปรโตคอลการสื่อสารอุตสาหกรรมยูทิลิตี้เลเยอร์”

IEEE P1828 (http://standards.ieee.org/develop/project/1828.html) -“ มาตรฐานสำหรับระบบที่มีส่วนประกอบเสมือน”

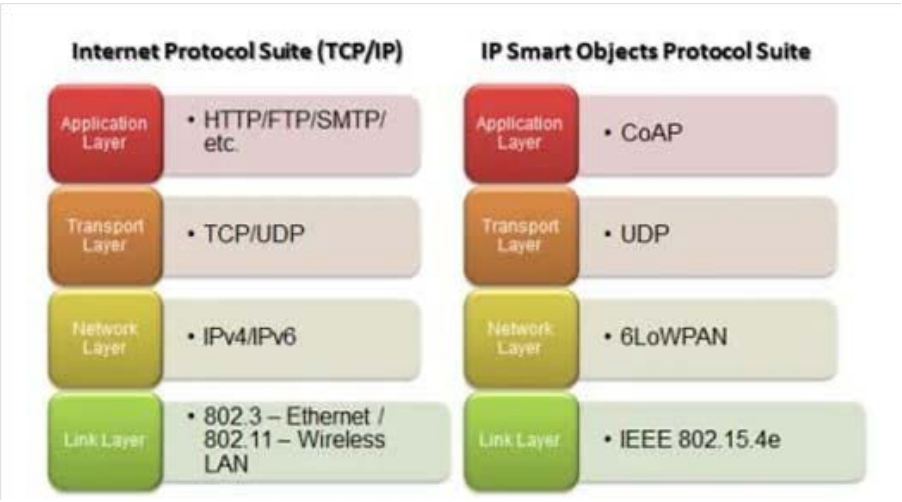
IEEE P1856 (http://standards.ieee.org/develop/project/1856.html) -“ กรอบมาตรฐานสำหรับการพยากรณ์และการจัดการสุขภาพของระบบอิเล็กทรอนิกส์”

### 2.3.11 สถาปัตยกรรม / กราฟฟิค




**รูปที่ 2.3-3** โครงสร้างสถาปัตยกรรม IoT

ที่มา : Simon Ford - Director of IoT Platforms ARM (https://www.slideshare.net/slideshow/embed_code/45755086)




**รูปที่ 2.3-4** ชั้นของ TCP/IP และ ชั้น IP Smart Object Protocal

ที่มา: Ronak Sutaria (https://www.linkedin.com/in/rsutaria) และ Raghunath Govindachari (https://www.linkedin.com/pub/dr-raghunath-govindachari/8/8a2/454) จาก Mindtree Labs

## 2.4 เทคโนโลยีการสื่อสารในงานระบบตรวจจับ

เทคโนโลยีการสื่อสารที่สำคัญที่สามารถใช้งานได้โดยอุปกรณ์ IoT มีดังนี้:

### 2.4.1 ZigBee

ZigBee เป็นมาตรฐาน IEEE 802.15.4 มันเป็นเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายที่เชื่อถือได้ซึ่งพัฒนาโดย ZigBee Alliance มันถูกออกแบบมาสำหรับการตรวจสอบและควบคุมเครือข่ายช่วง จำกัด เนื่องจากอัตราข้อมูลต่ำและช่วงสั้น พื้นที่หลักของ utili-zation ของเทคโนโลยีนี้คือ Home Automation, อุปกรณ์ Smart Energy, แสง, HVAC และความปลอดภัยเป็นต้นเนื่องจากโปรโตคอลการสื่อสารที่ใช้พลังงานต่ำและมีระดับสูงโดยใช้วิทยุดิจิตอลขนาดเล็กจึงอยู่ภายใต้เครือข่ายพื้นที่ไร้สายส่วนบุคคล (WPAN) นอกจากนี้ยังมีฟังก์ชั่นที่เป็นเอกลักษณ์ของการจัดระเบียบตัวเองมัลติฮอปและเครือข่ายตาข่ายที่เชื่อถือได้พร้อมอายุการใช้งานแบตเตอรี่ที่ยาวนาน [13-15]

### 2.4.2 RF Links

การตั้งค่าอื่นเพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์และทำให้พวกเขาคุยกันคือใช้ขอบเขตคลื่นความถี่วิทยุ (RF) อย่างง่าย สามารถให้ช่วงการสื่อสารระหว่าง 100m ถึง 1km (ขึ้นอยู่กับกำลังส่งและเสาอากาศที่ใช้)

โมดูลการสื่อสาร RF ไม่ได้ให้การใช้งานโปรโตคอลการสื่อสาร TCP / IP ใดๆ (หรือโปรโตคอลอื่นๆ ) อัตราการส่งข้อมูลค่อนข้างต่ำ (สูงถึง 1Mpbs) และยังต้องการเกตเวย์ที่เปิดใช้งานอินเทอร์เน็ตซึ่งจะช่วยให้สามารถเข้าถึงอุปกรณ์เพื่อสร้างเครือข่าย IoT ที่สมบูรณ์

เทคโนโลยี Radio Frequency Identification (RFID) ได้รับการแนะนำเบื้องต้นสำหรับการระบุและติดตามวัตถุด้วยความช่วยเหลือของชิปอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่เรียกว่าแท็ก เดิมทีอาร์เอฟไอถูกจัดประเภทเป็นพลังการสื่อสารสำหรับอินเทอร์เน็ตสิ่งต่าง ๆ เนื่องจากมีต้นทุนต่ำความคล่องตัวสูงและมีประสิทธิภาพในการระบุอุปกรณ์และวัตถุ แม้จะมี RFID เป็นเรื่องธรรมดามากสำหรับการระบุอุปกรณ์และการแลกเปลี่ยนข้อมูล

ข้อเสียเปรียบ ไม่สามารถสนับสนุนการสร้างเครือข่าย IoT เพียงอย่างเดียวเนื่องจากไม่สามารถให้การสื่อสารทางตรงหรือทางอ้อม (เช่นผ่านเกตเวย์) การสื่อสารไปยังอินเทอร์เน็ต ความใกล้ชิดของอุปกรณ์เป็นข้อเสียเปรียบอีกประการหนึ่ง [4]

### 2.4.3 บลูทูธ

Bluetooth เป็นมาตรฐาน IEEE 802.15.1 สำหรับอุปกรณ์ราคาถูกช่วงสั้นและราคาถูกของเทคโนโลยีวิทยุไร้สาย บลูทูธ เป็นหนึ่งในการสื่อสารไร้สายครั้งแรกโปรโตคอลที่ออกแบบมาเพื่อลดการใช้พลังงานสำหรับการเปลี่ยนการสื่อสารแบบมีสายระยะสั้น (ในอุปกรณ์ต่อพ่วงคอมพิวเตอร์, อุปกรณ์เสริมของโทรศัพท์มือถือ ฯลฯ ), การแบ่งปันข้อมูลที่สั้นและการสนับสนุนการเคลื่อนไหวของอุปกรณ์ มันมี

คุณสมบัติพิเศษในการสร้างเครือข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลในระหว่างการสื่อสารและค้นพบและสื่อสารกับเพื่อนบ้านโดยไม่จำเป็นต้องอยู่ในแนวสายตา เนื่องจากมาตรฐานระดับโลกจึงเป็นที่รู้จักกันในชื่อ WPAN (เครือข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สาย) มันเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับกรณีของ IoT เนื่องจากอุปกรณ์หลายตัวที่เราต้องการเชื่อมต่อกับ IoT (เซ็นเซอร์แอคชูเอเตอร์และอื่นๆ ) ที่มีแหล่งพลังงาน จำกัด

ข้อเสียเปรียบ ข้อเสียเปรียบที่สำคัญของ Bluetooth ก็คือมันไม่สามารถให้บริการเชื่อมต่อโดยตรงกับอินเทอร์เน็ตได้ เมื่อต้องจัดเตรียมโหนดระดับกลางเช่นพีซีที่จะทำหน้าที่เป็นเกตเวย์สู่โลกภายนอก [13-14]

### 2.4.4 บลูทูธ 4.0 LE

เดิมบลูทูธ ถูกใช้ในลักษณะการเชื่อมต่อและไม่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตโดยตรง เมื่อเชื่อมต่อแล้ว ลิงก์ยังคงอยู่แม้ว่าจะไม่มีการไหลของข้อมูล Bluetooth low energy (BLE) ใหม่ชื่อเก่าคือ WiBree เป็นส่วนย่อยของ Bluetooth v 4.0 มันมีโปรโตคอลสแต็คใหม่และสถาปัตยกรรมโปรไฟล์ใหม่ รุ่นนี้ได้รับการรับรองเมื่อเดือนมิถุนายน 2010 มันมีกลไกการ adverting ใหม่ dis-covery อย่างรวดเร็วและเปิดใช้งานการเชื่อมต่อและใช้ Asynchronous น้อยกว่าการเชื่อมต่อ MAC สำหรับอัตราความล่าช้าต่ำและการสื่อสารที่รวดเร็ว บลูทูธ 4.0 เป็นมิตรกับผู้ใช้เนื่องจากแนะนำโปรไฟล์ใหม่ทั่วไปซึ่งง่ายต่อการใช้ [16]

### 2.4.5 LoWPAN

6LoWPAN เป็น Wireless PAN ที่ใช้พลังงานต่ำและรองรับเครือข่าย IPv6 เป็นเทคโนโลยีที่มุ่งเน้นการเชื่อมต่อที่เราเตอร์ส่งต่อข้อมูลไปยัง hop ถัดไปของเกตเวย์ 6LoWPAN ซึ่งเชื่อมต่อกับ 6LoWPAN ด้วยโดเมน IPv6 แล้วส่งต่อข้อมูลไปยังอุปกรณ์ที่ได้รับการเคารพอย่างถูกต้อง

ด้วย IPv6 เรามีพื้นที่ที่อยู่เพียงพอที่จะระบุทุกสิ่งในโลก ในโปรโตคอลมาตรฐานเครือข่ายที่ใช้ IP (HTTP, TCP / IP) จะถูกนำไปใช้โดยตรงบนโหนดเซ็นเซอร์เช่นเดียวกับที่ทำกับเว็บเซิร์ฟเวอร์แบบดั้งเดิมในอินเทอร์เน็ต [11] [17]

### 2.4.6 Z-Wave

สถาปัตยกรรมโปรโตคอล Z-Wave ที่พัฒนาโดย ZenSys และสนับสนุนโดย Z-Wave Alliance เป็นอีกหนึ่งการใช้พลังงานต่ำซึ่งส่วนใหญ่ใช้ในระบบอัตโนมัติและสภาพแวดล้อมการค้าแสง มันมีโปรโตคอลการสื่อสารแบบเปิด จุดประสงค์หลักของ Z-wave สำหรับการนวดที่เชื่อถือได้ผ่านจากหน่วยควบคุมไปยังโหนดอย่างน้อยหนึ่งโหนดในเครือข่าย Z-wave มีอุปกรณ์สองประเภทหนึ่งคือแบบสำรวจความคิดเห็นที่ส่งคำสั่งไปยังทาสอุปกรณ์ประเภทที่สองซึ่งตอบกลับไปยังตัวควบคุมเพื่อดำเนินการคำสั่ง [6] [19]

### 2.4.7 WiFi

Wireless fidelity นั้นรู้จักกันในชื่อ Wi-Fi ซึ่งเป็นมาตรฐาน IEEE 802.11x ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันมากที่สุดในการเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบไร้สายกับอินเทอร์เน็ต แล็ปท็อปสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตพีซีมีการเชื่อมต่อ WiFi และพูดคุยกับเราเตอร์ไร้สายและให้การเข้าถึงอินเทอร์เน็ตแบบสองทาง ตระกูลมาตรฐาน Wi-Fi อนุญาตให้สร้างเครือข่ายไร้สายในระยะทางสั้น Wi-Fi มีเครือข่ายประเภทต่างๆ เช่น IEEE 802.11, IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n, IEEE 802.11e: ส่วนขยาย QoS, IEEE 802.11f: ส่วนขยายสำหรับการจัดการการส่งมอบและ IEEE 802.11i ส่วนขยายความปลอดภัย กลุ่ม Wi-Fi ทำงานบนย่านความถี่ 2.4 GHz (ISM) ที่ไม่มีใบอนุญาต

**ตารางที่ 2.4-1** เทคโนโลยีการสื่อสาร – การเปรียบเทียบ

| **Standard** | **Bluetooth** | **Bluetooth 4.0 LE** | **ZigBee** | **Wi-Fi** | **6LoWPAN** | **RF - Link** | **Z-Wave** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| IEEE Spec. | IEEE 802.15.1 | IEEE 802.15.4 | IEEE 802.15.4 | IEEE 802.11a/b/g/n | IEEE 802.15.4 2006 | IEEE C95.1-2005 | Z-Wave alliance |
| Topology | Star | Star | Mesh, Star, Tree | Star | Mesh, Star | - | Mesh |
| Bandwidth | 1 Mbps | 1 Mbps | 250 Kbps | Upto 54 Mbps | 250 Kbps | 18 MHz | 900 MHz |
| Power Con-sumption | Very Low | Very Low | Very Low | Low | Very Low | Very Low | Very Low |
| Max. data rate (M bit/s) | 0.72 | 5-10 m | 0.25 | 54 | 800 m (Sub-GHz) | 1 | 9600 bits Or 40 kbits |
| Bit time (µs) | 1.39 | - | 4 | 0.0185 | - | - | - |
| Range | <30 m | 5-10 m | 10-300 m | 4-20 m | 800 m (Sub-GHz) | <3 m | 30 m |
| Spectrum | 2.4 GHz | 2.4 GHz | 2.4 GHz | 2.4-5 GHz | 2.4 GHz | 2.4 GHz | 2.4 Ghz |
| Channel Bandwidth | 1 MHz | 2400-2480 MHz | 0.3/0.6 MHz,2 MHz | 22 MHz | 868-868.6 MHz (EU) 902-928 MHz (NA) 2400-2483.5 MHz (WW) | - | 868 MHz |

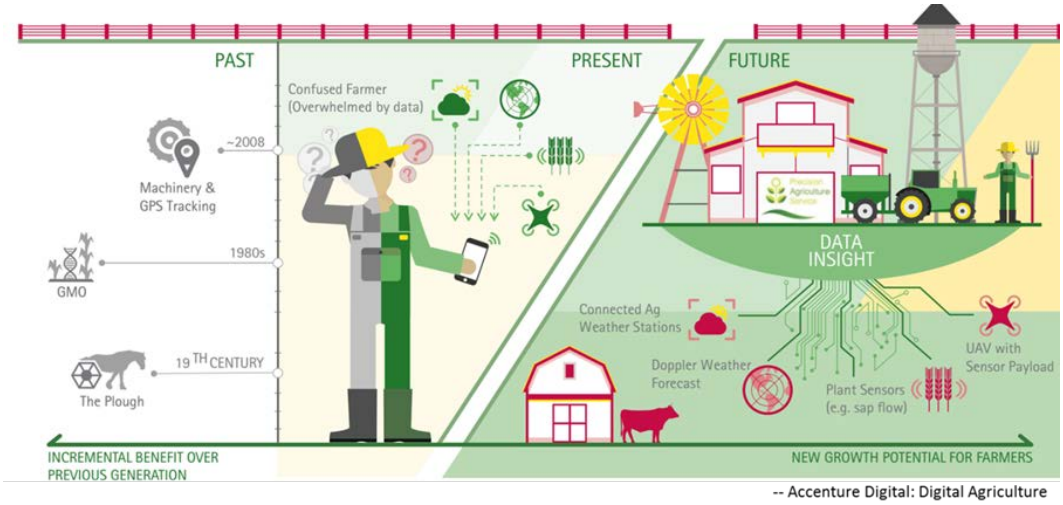
มาตรฐาน 802.11e จะมีโหมดการทำงานสองโหมดสำหรับการปรับปรุงบริการของเสียง (i) ส่วนต่อขยาย Wi-Fi Multimedia (WME) - ข้อบังคับและ (ii) Wi-Fi Sche-duled Multimedia (WSM) – ตัวเลือก

โมดูล WiFi ที่มีวางจำหน่ายทั่วไป (เช่นโมดูลการสื่อสาร WiFi หนึ่งเครื่องในรูปแบบที่เสียบได้ซึ่งรู้จักกันในชื่อโมดูลซีรีส์ XBee) สามารถรวมเข้ากับอุปกรณ์ IoT โดยตรงและให้การเชื่อมต่อทันที ข้อได้เปรียบที่สำคัญเหนือกว่าเทคโนโลยีไร้สายอื่นๆ คือความจริงที่ว่าเครือข่าย WiFi นั้นง่ายต่อการสร้างและทำให้อุปกรณ์ IoT ที่มีโมดูล WiFi สามารถเชื่อมต่อโดยตรงกับอินเทอร์เน็ต

ข้อเสียเปรียบ เทคโนโลยีนี้ (ซึ่งไม่ได้ออกแบบมาสำหรับเครือข่าย IoT) เป็นความต้องการพลังงานมากกว่าเทคโนโลยีอื่นๆ

## 2.5 การประยุกต์ใช้ระบบตรวจจับในงานด้านการเกษตร

ในยุคปัจจุบันนี้ ระบบเกษตรกรรมความแม่นยำสูงนั้นเข้ามามีบทบาทอย่างมากในการทำเกษตรกรรม เนื่องจากสิ่งที่ได้จากการทำเกษตรกรรมในรูปแบบดังกล่าว ก่อให้เกิดการลดภาระค่าใช้จ่ายในหลายด้าน อีกทั้งยังให้ผลผลิตที่สูง หรือหากไม่สูง ก็เป็นผลผลิตที่สามารถคาดการณ์ได้ จึงทำให้การเกษตรในรูปแบบดังที่กล่าวมาข้างต้นมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งในการตรวจคุณภาพผลผลิต การควบคุมการเพาะปลูกรวมไปถึงการบริหารจัดการทรัพยากรที่ใช้ในการทำเกษตรกรรม ทคโนโลยีระบบตรวจจับนั้นเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งในการพัฒนาระบบเกษตรกรรมความแม่นยำสูง เนื่องจากระบบดังกล่าวอาศัยการตรวจวัดค่าต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการเพาะปลูกเพื่อใช้ในการคิดวิเคราะห์ หรือคำนวณค่าต่างๆ ซึ่งนำไปสู่แนวทางในการพัฒนาระบบเกษตรกรรมที่ไม่จำเป็นต้องอาศัยองค์ความรู้แบบลึกซึ้งมากนัก กล่าวคือ ด้วยศักยภาพในการใช้งานระบบตรวจจับเพื่อตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆ รวมไปถึงการพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อใช้งานควบคู่กับระบบเกษตรอัจฉริยะจึงทำให้การทำการเกษตรด้วยวิธีดังกล่าวจึงสามารถลดความยุ่งยากในการเรียนรู้ของเกษตรกรรุ่นใหม่และยังช่วยอำนวยความสะดวกให้แก่เกษตรกรที่มีประสบการณ์อยู่แล้วในการบริหารจัดการการทำเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ระบบตรวจจับที่สามารถใช้งานร่วมกับการทำเกษตรกรรมความแม่นยำสูงหรือเกษตรอัจฉริยะนั้นถูกจำแนกออกเป็นกลุ่มใหญ่ ซึ่งแต่ละประเภทมีการกำหนดความสามารถในการแสดงผลเพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ดังต่อไปนี้




**รูปที่ 2.5-1** แนวคิดการพัฒนาสู่เกษตรสมัยใหม่

### 2.5.1 ระบบตรวจจับวัดสภาวะแวดล้อมโดยรอบและสภาพอากาศ

ระบบตรวจจับในกลุ่มนี้จะทำหน้าที่ตรวจวัดสภาพอากาศทั้งในรูปแบบที่เป็นวงกว้าง (ข้อมูลจากดาวเทียมอากาศ หรือ การวัดแบบเมโสไคลเมท) และที่เป็นพื้นที่จำเพาะ (การตรวจวัดแบบไมโครไคลเมท) ซึ่งอาจจะทำการวัดอุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ ปริมาณแสงแดด ปริมาณน้ำฝน ความเร็วลม ทิศทางลม และ ปริมาณก๊าซพื้นฐานที่จำเป็นต่อพืชนั้นๆ

### 2.5.2 ระบบตรวจจับตรวจวัดคุณสมบัติของวัสดุปลูกและสภาพดินที่ใช้สำหรับเพาะปลูก

เป็นระบบตรวจจับในกลุ่มที่สำคัญมากสำหรับการทำเกษตรกรรมความแม่นยำสูง เนื่องจากเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อพืชโดยตรง ซึ่งอาจจะมีการวัดค่าต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นในวัสดุปลูกหรือในดิน ระบบตรวจจับตรวจวัดปริมาณแร่ธาตุ รวมไปถึงการวัดความโปร่งของดินที่ส่งผลต่อการยึดตัวของรากในดิน

### 2.5.3 ระบบตรวจจับตรวจวัดการได้รับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

ค่าต่างๆ ของต้นพืชอันมีลักษณะจำเพาะที่จำเป็นต่อการทำการเกษตร ระบบตรวจจับในส่วนนี้อาจมีการจำลองการทำงานให้ใกล้เคียงกับลักษณะขององค์ประกอบพืชเช่น ระบบตรวจจับที่มีลักษณะคล้ายใบพืช เพื่อตรวจวัดความเปียกของใบ

### 2.5.4 ระบบตรวจจับตรวจสอบคุณภาพและปริมาณของผลผลิตในการทำการเกษตร

ระบบตรวจจับอีกหนึ่งกลุ่มที่ช่วยลดภาระให้กับเกษตรกรในเรื่องของการตรวจสอบผลผลิต ไม่ว่าจะเป็นช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยว หรือตรวจวัดปริมาณของผลผลิต ระบบตรวจจับกลุ่มนี้มักมีราคาสูงและมีการออกแบบจำเพาะตามชนิดของพืช ไม่ว่าจะเป็นการใช้กล้องทำ Image Processing เพื่อทำ แผนที่ผลผลิต หรือการใช้อุปกรณ์วัดคุณสมบัติทางกลิ่นในการตรวจวัดความสุขของพืชผล

งานวิจัยทางด้าน Smart farm ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นการตรวจวัดสภาพอากาศและปัจจัยพื้นฐานที่ใช้ในการเพาะปลูก ในส่วนของการตรวจวัดสภาพอากาศที่ใช้งานในปัจจุบันเป็นการตรวจวัดทั้งที่เป็นแบบสภาพภูมิอากาศขนาดใหญ่, ขนาดกลาง และขนาดเล็ก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของแปลงเพาะปลูกและวัตถุประสงค์ในการตรวจวัดเพื่อใช้ประโยชน์ต่างๆ สำหรับการพัฒนาเซ็นเซอร์เพื่อใช้งานสำหรับตรวจวัดปัจจัยในการเพาะปลูกก็มีการระบุการตรวจวัดที่จำเพาะในแต่ละชนิดของพืช เช่น เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินเพื่อใช้ในการควบคุมระบบการให้น้ำให้ปุ๋ยในโรงเรือน เป็นต้น สำหรับผมเมื่อมองภาพอนาคตของงานวิจัยในด้านนี้นับได้ว่ามีความก้าวหน้าอย่างมาก เทคโนโลยีทางด้านระบบตรวจจับต่างๆ ที่ถูกพัฒนาขึ้นในปัจจุบันสามารถช่วยให้ระบบ Smart farm นั้นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น รวมไปถึงการพัฒนาระบบตรวจจับเพื่อใช้งานในพืชบางชนิดที่มีความซับซ้อนสูง ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการทำเกษตรกรรมความแม่นยำสูงแพร่หลายเป็นวงกว้างมากยิ่งขึ้น และช่วยให้มีการใช้ทรัพยากรที่สำคัญให้ก่อเกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วย

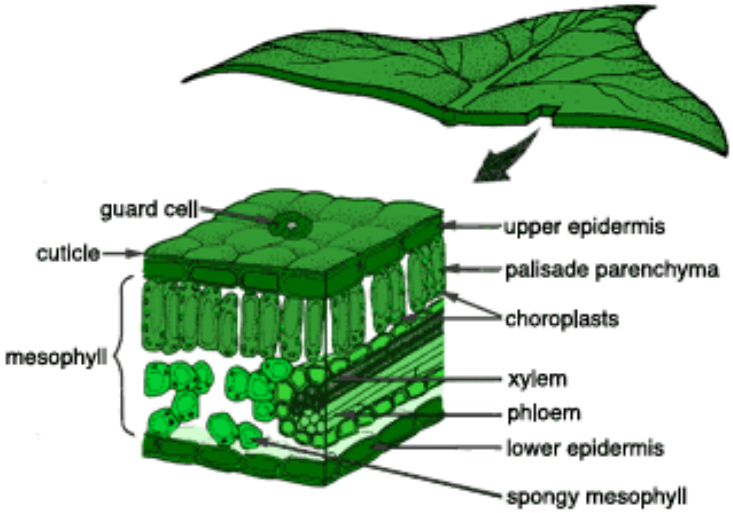
# บทที่ 3
# ระบบให้น้ำพืช

## 3.1 การออกแบบระบบให้น้ำพืช

น้ำเป็นปัจจัยหลักสำหรับการเพาะปลูกพืช ภายใต้สภาพการปลูกพืชที่มีน้ำเพียงพอ ธาตุอาหาร อุดมสมบูรณ์ สภาพฟ้าอากาศเหมาะสมแล้วพืชสามารถสังเคราะห์แสงสร้างอาหารนำไปใช้ในการเจริญเติบโต เก็บสะสมอาหารให้เป็นผลผลิตที่มนุษย์ต้องการได้อย่างเต็มที่ การปลูกพืชจึงต้องให้ได้รับน้ำอย่างเพียงพอและเหมาะสมตามระยะเวลาที่ต้องการ สภาพการปลูกพืชที่อาศัยน้ำฝนตามฤดูกาลเพียงอย่างเดียว อาจมีโอกาสที่พืชจะขาดน้ำในระยะใดระยะหนึ่งได้มาก เช่นเมื่อประสบกับปัญหาฝนทิ้งช่วงจนพืชขาดน้ำรุนแรงจนกระทั่งตายได้ หรือหากฝนตกมากเกินไปจนทำให้เกิดน้ำท่วมขังจนต้นพืชเหี่ยวเฉาเนื่องจากรากขาดอากาศจนกระทั่งตายได้เช่นกัน ดังนั้นการจัดการให้พืชปลูกได้รับน้ำอย่างเพียงพอและเหมาะสมจะต้องใช้การชลประทานเข้าช่วย ตามความหมายแล้วการชลประทานเป็นการให้น้ำแก่พืชโดยการเพิ่มความชื้นให้แก่ดินเพื่อให้ดินมีความชุ่มชื้นพอเหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืช และรวมถึงการจัดหาน้ำและการส่งน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าวข้างต้นด้วย ในการจัดการชลประทานให้กับพืชปลูกจึงต้องคำนึงถึงน้ำ ดิน และพืชตลอดเวลา

### 3.1.1 การใช้น้ำพืช

ปริมาณการใช้น้ำของพืช เป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียจากพื้นที่เพาะปลูกสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ จากกระบวนการที่สำคัญคือ การคายน้ำของพืช และการระเหยการคายน้ำของพืช เป็นการที่พืชดูดน้ำไปจากดินเข้าสู่ลำต้นไปสู่ใบและสูญเสียไปในบรรยากาศในรูปของไอน้ำทางรูเปิดปากใบ โดยเซลล์ใบของพืชบริเวณรูเปิดปากใบอยู่ติดกับท่อลำเลียงน้ำ (รูปที่ 3.1-1) เมื่อน้ำจากเซลล์ใบถูกคายออกไปทำให้เซลล์ใบเหี่ยวและมีแรงดูดน้ำจากท่อลำเลียงน้ำมากขึ้น เป็นผลให้น้ำเคลื่อนย้ายจากลำต้นเข้าสู่ใบ เมื่อน้ำในลำต้นน้อย ทำให้รากพืชต้องดูดน้ำจากดินเพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้าดินมีความชื้นอย่างเพียงพออยู่ตลอดเวลา อัตราที่พืชดูดน้ำจากดินจะขึ้นอยู่กับอัตราการคายน้ำ (transpiration rate) แต่ถ้าความชื้นในดินลดลงจนไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช อัตราการคายน้ำก็จะขึ้นอยู่กับอัตราที่พืชดูดน้ำได้จากดิน การคายน้ำของพืชเป็นการระเหยของน้ำในช่องอากาศระหว่างเซลล์ของใบ (intercellular space) และแพร่กระจาย (diffuse) ออกจากรูเปิดปากใบสู่บรรยากาศช่องอากาศในใบจะมีไอน้ำอยู่เกือบอิ่มตัว การคายน้ำของพืชจึงขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของไอน้ำในใบกับบริเวณรอบๆใบ ดังนั้นถ้าอากาศแห้ง หรือความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ไอน้ำในบรรยากาศมีน้อย




**รูปที่ 3.1-1** เซลล์ใบของพืชที่มีรูเปิดปากใบ (Klein and Klein,1988)

พืชก็ยิ่งมีการคายน้ำมากขึ้น และเมื่อใบของพืชได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ จะทำให้ใบมีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศที่อยู่รอบๆ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทั้ง 2 บริเวณนี้ อาจจะมากถึง 3-6 ° C เมื่ออุณหภูมิของบรรยากาศสูงขึ้นทำให้ความชื้นที่จุดอิ่มตัวสูงขึ้น ดังนั้นใบพืชซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าจะมีความเข้มข้นของไอน้ำในช่องอากาศในใบมากกว่าบริเวณรอบๆ ซึ่งทำให้การแพร่กระจายของไอน้ำจากรูเปิดปากใบสูงขึ้นและพืชจะมีการคายน้ำเพิ่มขึ้น การคายน้ำของพืชเมื่อเกิดขึ้นติดต่อกันทำให้ไอน้ำในบรรยากาศรอบๆ ต้นพืชมีความเข้มข้นสูงขึ้น เป็นผลให้อัตราการคายน้ำลดลง แต่ถ้าหากมีลมพัดมาพัดพาไอน้ำรอบๆ ต้นพืชไป อัตราการคายน้ำของพืชก็จะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อระดับความชื้นในดินลดลงหรืออัตราการคายน้ำของพืชสูงกว่าอัตราที่พืชดูดน้ำได้จากดิน พืชก็จะเหี่ยว รูเปิดปากใบจะปิด การคายน้ำของพืชจะลดลงหรือหยุดการคายน้ำ กลไกดังกล่าวเป็นการป้องกันไม่ให้พืชต้องได้รับความเสียหายมาก เพราะการที่พืชไม่มีการคายน้ำจะทำให้เซลล์เหี่ยว และลดการสังเคราะห์แสงลง เป็นผลให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง ดังนั้นในทางปฏิบัติดูแลรักษาพืชปลูก จึงมีทางป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายแก่พืช โดยพยายามจัดให้พืชนั้นมีน้ำใช้อย่างพอเพียงตลอดเวลา และทำให้ดินมีคุณสมบัติที่จะทำให้รากพืชสามารถแพร่กระจายออกไปได้อย่างกว้างขวางและลึก ซึ่งจะทำให้พืชดูดน้ำไปใช้อย่างเพียงพออยู่ตลอดเวลา

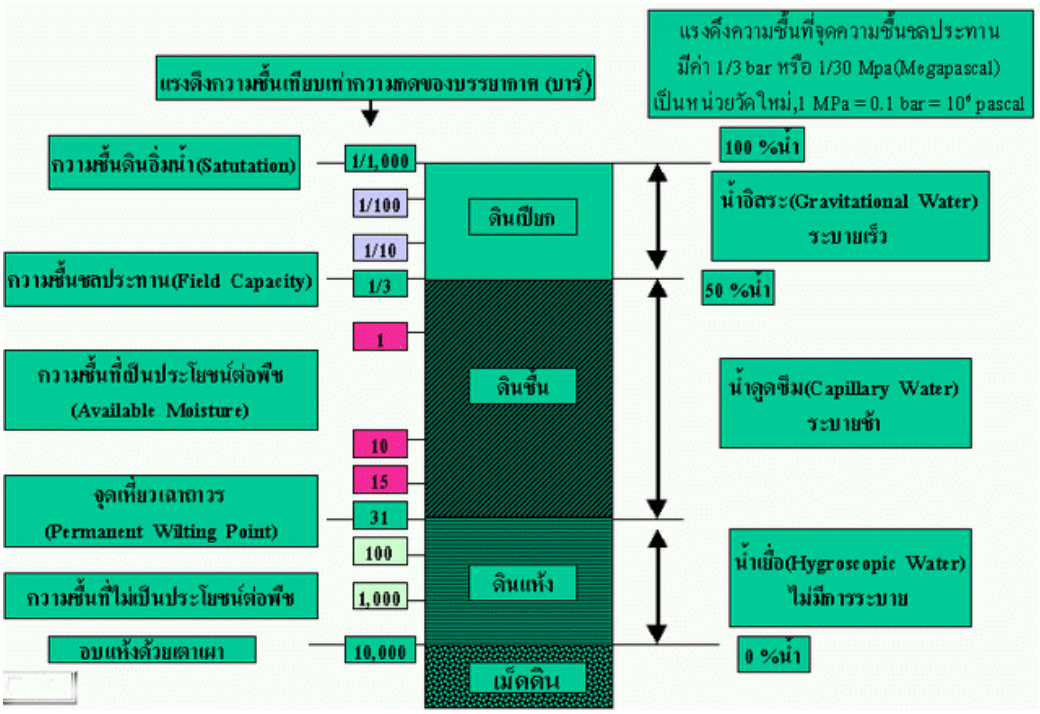
การระเหยน้ำ เป็นการแพร่กระจาย ของน้ำในรูปของไอน้ำจากผิวดินสู่บรรยากาศ อัตราการระเหยจะขึ้นอยู่กับลักษณะของผิวดินที่มีการระเหย ความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ลม แสงแดด ความเร็วของลมและความกดดันของบรรยากาศ ฯลฯ นอกจากนั้นการเขตกรรม เช่น วิธีการให้น้ำ การจัดการดิน หรือวิธีการเพาะปลูกพืชล้วนมีผลต่อการระเหยน้ำ การให้น้ำแก่พืชครั้งละน้อย ๆ แต่ให้บ่อยครั้งจะทำให้มีการสูญเสียน้ำโดยการระเหยมากขึ้น ถ้าหากให้น้ำแก่พืชในปริมาณเท่ากัน แต่ให้น้อยครั้งลงจะช่วยลดการระเหยได้มาก เพราะผิวดินมีการเปียกน้อยครั้ง และน้ำซึมลงไปเก็บ

ไว้ในดินได้ลึกกว่า ซึ่งเป็นผลให้น้ำที่พืชจะดูดไปใช้ได้มากกว่า การให้น้ำแก่พืชโดยวิธีให้น้ำท่วมผิวดิน โอกาสการระเหยน้ำจากผิวดินและผิวน้ำโดยตรงเกิดขึ้นได้มาก ส่วนการให้น้ำแบบฉีดฝอย ซึ่งมีระยะเวลาการให้น้ำยาวนาน จะมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยมากกว่าการให้น้ำแบบอื่น อย่างไรก็ตาม การระเหยจากผิวดินผิวน้ำและจากที่เกาะอยู่ตามใบและต้นพืช ก่อให้เกิดประโยชน์กับพืชโดยการที่พลังงานความร้อนส่วนนั้นไม่ถูกใช้ไปในการทำให้เกิดการคายน้ำของพืชเพิ่มขึ้น ในพื้นที่ที่ปลูกพืชต้นชิดกัน เช่น พวกข้าว หรือหญ้าเลี้ยงสัตว์ การระเหยน้ำจากผิวดินจะลดลง ทั้งนี้เพราะนอกจากพืชจะใช้ความชื้นในดินไปในการคายน้ำเป็นจำนวนมากแล้ว ใบของพืชยังปกคลุมมิให้แดดส่องไปถึงผิวดิน และความหนาแน่นของต้นพืชจะช่วยป้องกันมิให้ลมพัดพาเอาอากาศรอบต้นพืชซึ่งมีไอน้ำมากไปจากพื้นที่เพาะปลูกอย่างรวดเร็วอีกด้วยการระเหยของน้ำจากผิวดินจะถูกควบคุมจากเนื้อดินด้วย ดินที่มีการไหลซึมของความชื้น (capillary movement) สูงจะมีการระเหยจากผิวดินมาก ในทางตรงกันข้าม ดินที่มีเนื้อหยาบซึ่งมีการไหลซึมของความชื้นได้ช้ากว่าจะมีการระเหยจากผิวดินได้น้อย แต่อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้นของอากาศ ฯลฯ จะมีผลต่อการระเหยลงน้ำจากผิวดินดังกล่าวตลอดเวลา การคลุมดิน และการให้ร่มเงาแก่ดิน จะช่วยลดการระเหยจากผิวดินลงได้

### 3.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างดินและน้ำ

ดังที่ได้นำเสนอในเนื้อหาบทที่ 3 ว่าดินประกอบด้วยสสาร 3 สถานะ คือของแข็งทั้งอินทรีย์วัตถุและอนินทรีย์วัตถุ ของเหลวซึ่งส่วนใหญ่คือน้ำ และแก๊ส เนื้อดินและโครงสร้างของดินจะกำหนดขนาดช่องว่างของเม็ดดินให้เป็นที่อยู่ของน้ำและแก๊ส ดินที่มีเนื้อหยาบ เช่นดินทรายมีคุณสมบัติให้น้ำซึมผ่านได้ง่าย แต่อุ้มน้ำไว้ได้น้อย ในทางตรงกันข้ามดินเนื้อละเอียดเช่นดินเหนียว มีคุณสมบัติให้น้ำซึมผ่านได้ยาก จึงอุ้มน้ำไว้ได้มาก ทั้งดินเนื้อหยาบและละเอียดเกินไป จึงมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำและระบายน้ำไม่เหมาะสมตามความต้องการของพืช ดินที่เหมาะต่อการเพาะปลูกพืชและสามารถจัดการชลประทานได้เหมาะสมควรเป็นดินเนื้อปานกลางที่สามารถเก็บกักและระบายน้ำได้ดี ช่วยให้น้ำที่ถูกส่งเข้ามายังบริเวณรากพืชจะถูกดูดยึดเก็บกักเอาไว้ใช้ได้มาก และหากน้ำมากเกินความต้องการดินก็สามารถระบายออกไปได้ดี

น้ำในดินหรือความชื้นที่พืชดูดไปใช้ได้ (available moisture) เป็นน้ำดูดซึม (capillary water) ตั้งแต่ระดับความชื้นชลประทาน (field capacity) คือความชื้นในดินหลังจากน้ำอิสระถูก ระบายออกไปจนถึงความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร (permament wilting point) คือความชื้นในดินที่มีน้อยจนกระทั่งพืชไม่สามารถดูดมาใช้ทดแทนการคายน้ำจนพืชเหี่ยวเฉาอย่างถาวร ดังรูปที่ 3.1-2




**รูปที่ 3.1-2** การจำแนกความชื้นในดินและความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้และไม่ได้

### 3.1.3 แนวคิดการออกแบบปริมาณน้ำที่พืชต้องการสวนฯ 100 ปี

ปริมาณน้ำที่พืชต้องการสามารถจำแนกออกเป็น 4 กลุ่มหลักได้แก่ สวน ไม้ดอกไม้ประดับ (พุ่มไม้) สนามหญ้า และไม้กระถาง หรือระเบียง ในการแบ่งพื้นที่การให้น้ำให้คำนึงถึงสภาพพื้นที่ เช่น ในร่มหรือกลางแจ้ง เมื่อสามารถทำความเข้าใจกับปริมาณน้ำที่พืชต้องการจะช่วยให้การวางผังการรดน้ำในแต่ละกลุ่มพืชมีความชัดเจนขึ้น เพื่อให้ง่ายในการวางแผนตารางข้างล่างนี้ จะแสดถึงระยะเวลาในการรดน้ำโดยทั่วไปของพืชแต่ละกลุ่ม และวิธีการรดน้ำแต่ละแบบ ซึ่งสามารถปรับระยะเวลาให้เหมาะสมตามสภาพอากาศ และลักษณะดิน

**ตารางที่ 3.1-1** รูปแบบการให้น้ำตามประเภทการปลูก

| ปริมาณน้ำที่ต้องการ | ชนิดของระบบรดน้ำ | ลักษณะดิน | อากาศเย็น | อากาศอบอุ่น | อากาศร้อน |
|---|---|---|---|---|---|
| สวน | มินิสปริงเกอร์ | ดินเหนียว | 30 นาที ทุกๆ 3 วัน | 35 นาที ทุกๆ 2 วัน | 35 นาที ทุกวัน |
| | | ดินทราย | 15 นาทีทุกๆ 2 วัน | 15 นาที ทุกวัน | 15 นาที 2 ครั้ง ต่อ วัน |
| พุ่มไม้ | ระบบน้ำหยด | ดินเหนียว | 3 ชัวโมง สัปดาห์ละครั้ง | 3 ชัวโมงทุกๆ 3 วัน | 4 ชัวโมง ทุกๆ 2 วัน |
| | | ดินทราย | 1 ชัวโมง ทุกๆ 2 วัน | 2 ชัวโมง ทุกๆ 2 วัน | 2 ชัวโมง ทุกวัน |
| ไม้กระถาง | มินิสปริงเกอร์ | ดินผสม | ทุกๆ 2 วันจนเต็มกระถาง | ทุกๆ วันจนเต็มกระถาง | ทุกๆ วันจนเต็มกระถาง |
| สนามหญ้า | Pop Up (หัวฉีดสเปรย์) | ดินเหนียว | 15 นาที สัปดาห์ละ 2 ครั้ง | 15 นาที่ ทุกๆ 4 วัน | 35 นาที่ ทุกๆ 2 วัน |
| | | ดินทราย | 10-15 นาที ทุกๆ 4 วัน | 10-15 นาที ทุกๆ 2 วัน | 10-15 นาที ทุกวัน |

**หมายเหตุ :** ตาราง เป็นแนวทางการให้น้ำ เวลาที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและพื้นที่

จากตารางแสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณการให้น้ำ ได้แก่ ชนิดดิน, ลักษณะการปลูก, สภาพภูมิอากาศ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการให้น้ำ ดังนั้นในการออกแบบการให้น้ำพืชจำเป็นต้องปริมาณการให้น้ำให้เหมาะสมกับเงื่อนไขทั้งหมด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการการให้น้ำแก่พืช และลดการสูญเสียให้ได้มากที่สุด

## 3.2 การศึกษาการให้น้ำพืชที่เหมาะสม

ระบบการให้น้ำสำหรับพืชที่มีประสิทธิภาพ คือ การให้น้ำแบบเฉพาะจุดบริเวณรากพืชโดยตรง น้ำจะถูกปล่อยจากหัวปล่อยน้ำลงสู่ดินแล้วซึมลงสู่เขตรากพืช ซึ่งปัจจุบันระบบให้น้ำของสวนฯ 100 ปี เป็นแบบสริงเกอร์ 360 องศา โดยมีแรงดันใช้การอยู่ที่ 10-20 เมตร และมีอัตรการไหลของหัวปล่อยน้ำ 20-300 ลิตร ต่อชัวโมง คุณภาพน้ำที่ใช้อยู่ในระดับปานกลาง มีต้นทุนด้านเครื่องสูบน้ำและพลังงานเพื่อรักษาความดัน โดยอาศัยการขยับเปลี่ยนที่เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด และการให้น้ำเป็นแบบใช้แรงงานคนในการควบคุมทำให้เริ่มให้น้ำได้ในเวลา 9.00 น. ถึง 12.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาทำงานปกติที่ได้รับผลกระทบต่อความร้อนของแสงแดดทำให้เกิดการระเหยอย่างน้อย 10-15 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้การใช้สปริงเกอร์แบบ 360 องศา ทำให้น้ำบางส่วนตกลงที่ใบของพืชและพื้นทางเดินทำให้เกิดการสูญเสียเพิ่มข้นอีกถึง 10-15 เปอร์เซ็นต์ รวมการสูญเสียน้ำโดยประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์

**รูปที่ 3.2-1** ระบบสปริงเกอร์แบบ 360 องศา ที่ใช้อยู่ในสวนฯ 100 ปี

ดังนั้นในการศึกษาการให้น้ำพืชที่เหมาะสมจึงใช้ระบบน้ำหยดที่ใช้แรงดัน 5-10 เมตร และอัตราการไหลอยู่ที่ 2-8 ลิตรต่อชั่วโมง เป็นการปล่อยน้ำจากหัวจ่ายลงสู่ดินโดยตรง แล้วซึมผ่านดินเข้าสู่เขตรากพืชโดยตรง โดยอาศัยการซึมผ่านดินด้วยแรงดูดซับของดิน ระบบน้ำหยดเหมาะกับแหล่งน้ำที่มีปริมาณน้ำจำกัด คุณภาพน้ำดี ต้องการระบบกรองน้ำที่ดี เพื่อไม่ให้เกิดการอุดตัน เป็นระบบมราใช้แรงดันค่อนข้างต่ำ ทำให้ลดการลงทุนเรื่องเครื่องสูบน้ำ และค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน นอกจากการใช้น้ำที่ต่ำของระบบแล้วโครงการยังอาศัยระบบควบคุมอัตโนมัติและระบบตรวจจับความชื้นในดินเพื่อช่วยให้กำหนดปริมาณน้ำที่เหมาะสมและกำหนดการให้น้ำในช่วงเวลาที่เหมาะสมได้อีกด้วย

**รูปที่ 3.2-2** ระบบน้ำหยดที่ใช้ในการศึกษาระบบอัตโนมัติ

# บทที่ 4
# ผลการดำเนินงาน

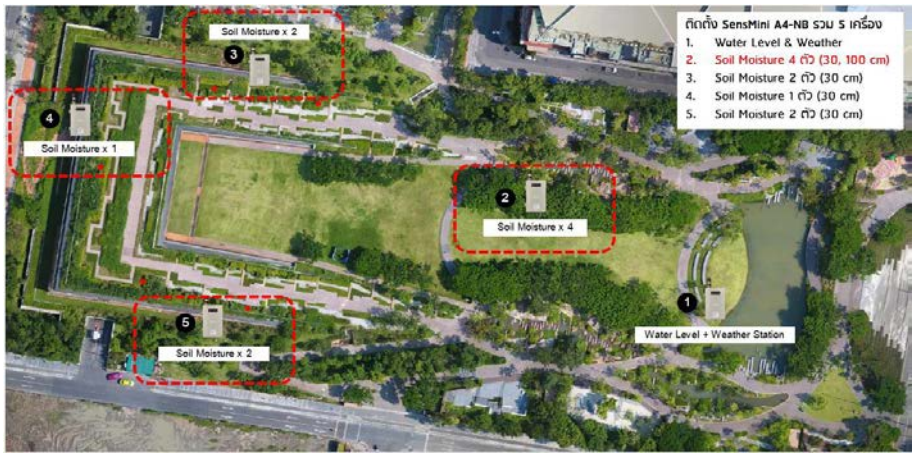
## 4.1 แผนงานติดตั้งอุปกรณ์

โครงการพื้นที่สีเขียวระบบสารสนเทศฯ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระยะเวลาดำเนินการ

**ตารางที่ 4.1-1** แผนการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ

| | | 2019 | | | 2020 | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. | Detail | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Status | Remarks |
| **PHASE 1** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Meeting and get requirement | | | | | | | | | | | | | | | Done | |
| 2 | Proposal Phase 1 | 25 | | | | | | | | | | | | | | Done | |
| 3 | PAYMENT | | | | | | | | | | | | | | | Pending | |
| 4 | QQT Phase 1 | 25 | | | | | | | | | | | | | | Done | |
| 5 | QQT Phase 1 Rev01 | | 18 | | | | | | | | | | | | | Done | Sperate 2 QTT |
| 6 | QQT Phase 1 Rev02 | | 27 | | | | | | | | | | | | | Done | Sperate 3 QTT of 1.2M |
| 7 | QQT Phase 1 Rev03 | | | 11 | | | | | | | | | | | | Done | withdrawing durable form |
| 8 | Installation Soil moisture 4 station | | | 18-24 | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | Installation Weather station ( 1 station) | | | | 13-17 | | | | | | | | | | | | |
| 10 | Delivery Phase 1 | | | | 20-22 | | | | | | | | | | | | |

**ครั้งที่ 1** ติดตั้งชุดอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นในดินระหว่างวันที่ 18-24 ธันวาคม 2562




**รูปที่ 4.1-1** แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ

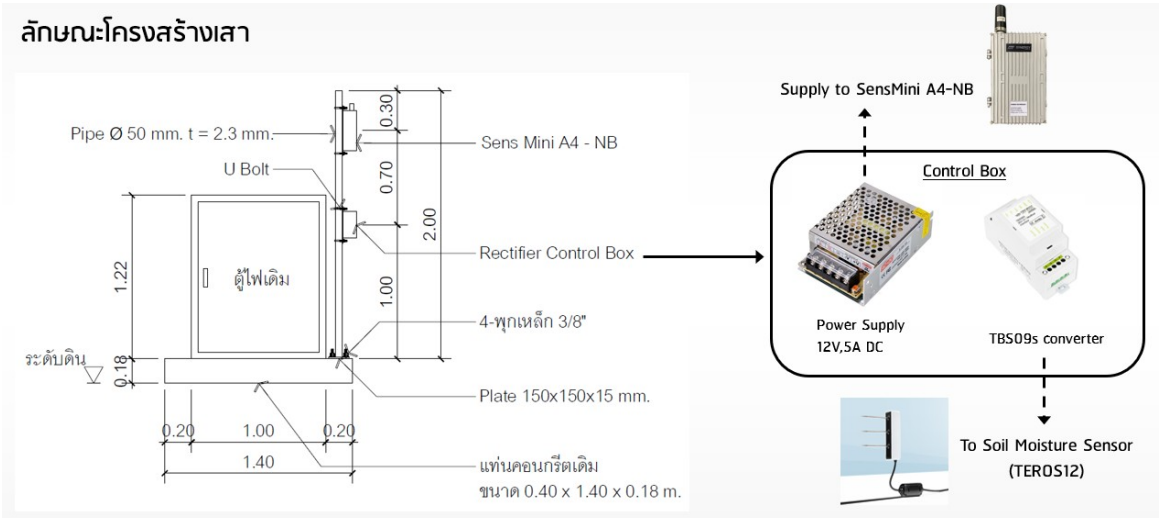
**รายละเอียดงาน** : ติดตั้งชุดอุปกรณ์วัดความชื้นในดินจานวน 4 สถานี แบ่งเป็น

- ภาคสนามหญ้า 1 สถานีโดยวัดความชื้นในดิน 2 จุด จุดละ 2 ระดับ (30 cm, 60 cm)
- ภาคสวนลอย 3 สถานีโดยวัดความชื้นในดิน 5 จุด จุดละ 1 ระดับ (30 cm)

**รูปแบบการติดตั้ง**

สถานีที่ 1 บริเวณภาคสภาพสนามหญ้า : ติดตั้งเสาอุปกรณ์ด้านข้างตู้ไฟเดิมเดินสายร้อยท่อ HDPE ลงดิน วัดความชื้น 2 จุดระดับความลึกที่ 30 cm และ 60 cm ตามลาดับ

**รูปที่ 4.1-2** ตำแหน่งติดตั้งอุปกรร์ตรวจจับที่เชื่อมกับระบบไฟฟ้าของสวนฯ 100 ปีฯ




**รูปที่ 4.1-3** แสดงอุปกรณ์ที่เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าของสวนฯ 100 ปีฯ

สถานีที่ 2 และสถานีที่ 3

**รูปที่ 4.1-4** แสดงจุดติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ สถานีที่ 2 บริเวณสวนลอย สวน 100 ปีฯ

ติดตั้งบริเวณภาคสวนลอยติดตั้งอุปกรณ์กับเสาไฟเดิมทีมีอยู่แล้วเดินสายไฟร้อยท่อ HDPE ไปยังหัวเซ็นเซอร์ผ่านตามรั้วด้านหลัง เพื่อความเรียบร้อยและภาพลักษณ์ของสวนสถานีที่ 4

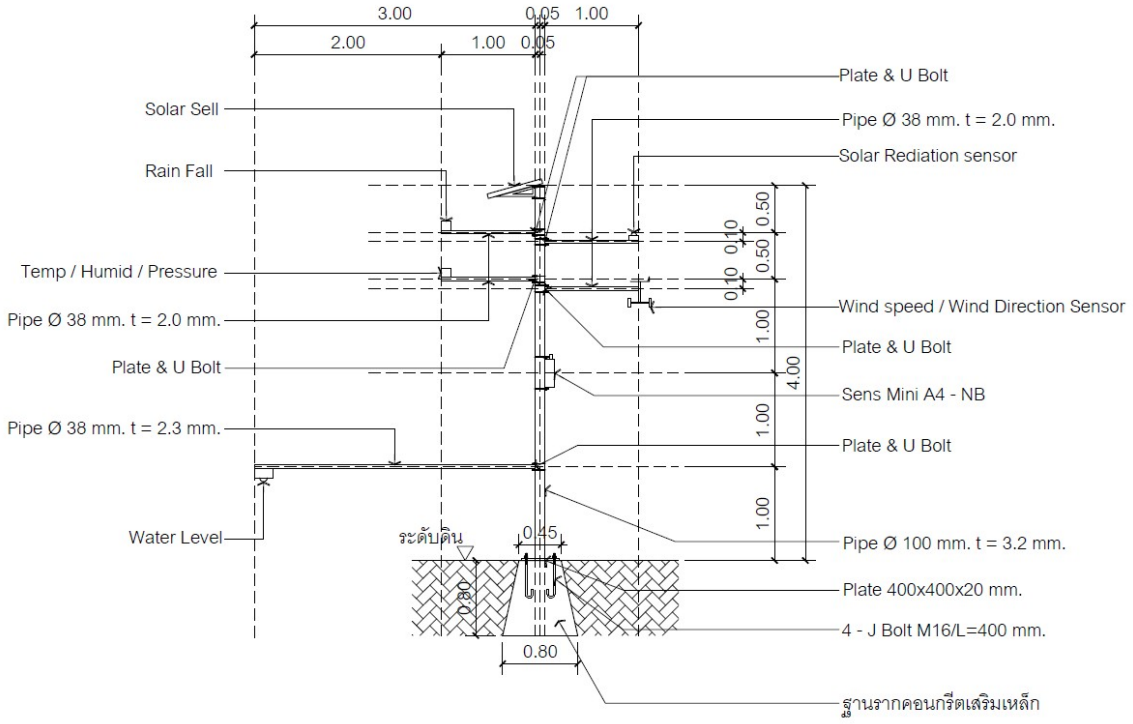
**รูปที่ 4.1-5** แสดงจุดติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ สถานีที่ 3 บริเวณสวนลอย สวน 100 ปีฯ

ติดตั้งบริเวณภาคสวนลอยติดตั้งอุปกรณ์กับเสาไฟเดิมทีมีอยู่แล้วเดินสายไฟร้อยท่อ HDPE ไปยังหัวเซ็นเซอร์ครั้งที่ 2 ติดตั้งชุดอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอากาศ และระดับน้ำ 1 สถานี ระหว่างวันที่ 13-17 มกราคม 2563

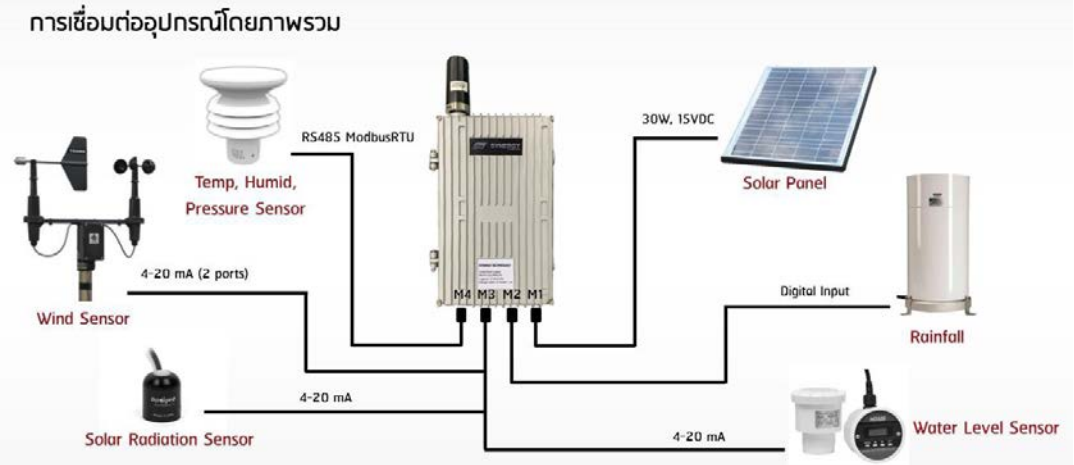
ลักษณะจุดติดตั้งบริเวณหน้างานจริง

**รูปที่ 4.1-6** แสดงจุดติตั้งอุปกรณ์วัดสถาพอากาศ และระดับน้ำ สวน 100 ปีฯ

ลักษณะโครงสร้างเสา




**รูปที่ 4.1-7** แสดงโครงสร้างของอุปกรณ์วัดสภาพอากาศ และระดับน้ำ สวน 100 ปีฯ




**รูปที่ 4.1-8** แสดงโครงสร้างการเชื่อมโยง อุปกรณ์ตรวจจับกับกล่องควบคุมและส่งข้อมูลระบบตรวจจับ

**ตัวอย่างข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์ตรวจจับ**

ในโครงการมีการใช้อุปกรณ์ตรวจจับหลายประเภท เพื่อตรวจจับสภาพแวดล้อม และบันทึกข้อมูลที่ได้เพื่อใช้ในการจัดการระบบรดน้ำของสวนฯ 100 ปี โดยข้อมูลที่ได้จะนำไปสร้างเป็นผลการวิเคราะห์เพื่อควบคุมและจัดการสภาพน้ำให้เหมาะสมกับพืชในสาน โดยข้อมูลที่จัดเก็บ มีดังนี้

**ตารางที่ 4.1-2** แสดงรายการข้อมูลระบบตรวจจับ

| ลำดับ | รายการ | | | รหัสสถานี | ช่วงเวลา |
|---|---|---|---|---|---|
| **ข้อมูลวัดจริง** | | | | | |
| | | **Name** | **Unit** | | |
| 1 | Water level + Weather station<br><br>(ข้อมูลระดับน้ำ, ฝน, อุณหภูมิ, ความกดอากาศ, ความชื้น, ความเร็วลม, Solar Radiation, Solar Voltage) | Battery Voltage | V | Sta_1 | 29 ม.ค. 63 - ปัจจุบัน |
| | | Solar Voltage | V | | |
| | | Board Temp | Celsius | | |
| | | NB-IoT Signal Strength | dBm | | |
| | | Pressure | hPa | | |
| | | Humidity | % Rh | | |
| | | Temperature | Celsius | | |
| | | Rainfall | mm | | |
| | | Wind Direction | deg | | |

| ลำดับ | รายการ | | | รหัสสถานี | ช่วงเวลา |
|---|---|---|---|---|---|
| **ข้อมูลวัดจริง** | | | | | |
| | | **Name** | **Unit** | | |
| | | Wind Direction X | | | |
| | | Wind Direction Y | | | |
| | | Wind Speed | m/s | | |
| | | Solar Radiation | W/m^2 | | |
| | | Water Level | m | | |
| 2 | Soil moisture - จุดกลางสนามหญ้า | Battery Voltage | V | | |
| | วัดจุดที่ 1 (ใต้ต้นไม้ใหญ่) ที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร | Power Supply | V | Sta_2#1 | 18 ธ.ค. 62 - ปัจจุบัน |
| | วัดจุดที่ 1 (ใต้ต้นไม้ใหญ่) ที่ระดับความลึก 60 เซนติเมตร | Board Temp | Celsius | Sta_2#2 | 18 ธ.ค. 62 - ปัจจุบัน |
| | วัดจุดที่ 2 (กลางสนาม) ที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร | NB-IoT Signal Strength | dBm | Sta_2#3 | 18 ธ.ค. 62 - ปัจจุบัน |
| | วัดจุดที่ 2 (กลางสนาม) ที่ระดับความลึก 60 เซนติเมตร | VWC | m^3/m^3 | Sta_2#4 | 18 ธ.ค. 62 - ปัจจุบัน |
| 3 | Soil moisture – สวนลอยฝั่งขวา (ติดแอมพาร์ค) | Soil Temp | Celsius | | |
| | วัดจุดที่ 1 (ด้านล่าง) ที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตร | EC | dS/m | Sta_3#1 | 18 ธ.ค. 62 - ปัจจุบัน |
| | วัดจุดที่ 2 (ด้านบน) ที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตร | | | Sta_3#2 | 18 ธ.ค. 62 - ปัจจุบัน |
| 4 | Soil moisture - สวนลอยตรงกลาง | | | | |
| | วัดจุดที่ 1 ที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตร | | | Sta_4 | 18 ธ.ค. 62 - ปัจจุบัน |
| 5 | Soil moisture - สวนลอยฝั่งซ้าย | | | | |
| | วัดจุดที่ 1 (ด้านล่าง) ที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตร | | | Sta_5#1 | 18 ธ.ค. 62 - ปัจจุบัน |
| | วัดจุดที่ 2 (ด้านบน) ที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตร | | | Sta_5#2 | 18 ธ.ค. 62 - ปัจจุบัน |

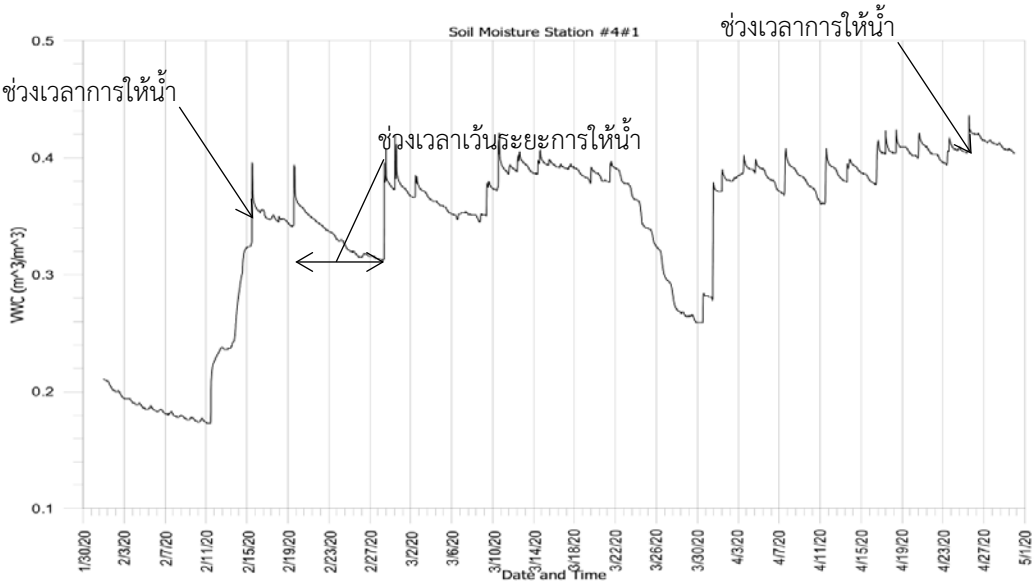
## 4.2 การศึกษาการให้น้ำในสวน 100 ปีฯ

เนื่องจากโครงการมีข้อจำกัดไม่สามารถติดตั้งระบบตรวจจับเพื่อติดตามการใช้น้ำของสวนฯ 100 ปีได้เนื่องจากติดปัญหาการรับประกันสัญญาของผู้รับจ้าดูแลและพัฒนาสวน ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงอัตราการใช้น้ำของสวงในบริเวณสวนลอย ทางโครงการจึงได้ทำการทดลองติดตั้งมิเตอร์ที่ปลายระบบจ่ายน้ำเพื่อทดสอบอัตราการจ่ายน้ำ แทนและใช้การติดตามการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของความชื้นในดินเป็นตัวแทนช่วงระยะเวลาในการจ่ายน้ำเพื่อรดน้ำในสวน และใช้การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินลดลงเป็นตัวแทนช่วงระยะเวลาในการรดน้ำครั้งต่อไป นอกจากนี้ทางโครงการได้ใช้หญ้าเนเปียร์เป็นพืชตัวแทนเพื่อศึกษาความต้องการน้ำของพืชเนื่องจากหญ้าเนเปียร์เป็นพืชส่วนใหญ่ที่ปลูกในบริเวณสวนลอย และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณการให้น้ำที่เหมาะสม

<u>แนวทางในการคำนวณ</u>

1. อัตราการจ่ายน้ำของ หัวจ่ายน้ำ 20 ลิตร/นาที (หรือ 0.020 ลูกบาศก์เมตร/นาที) ถ้าพิจารณาปริมาณการให้น้ำให้น้ำของหัวสปริงเกอร์มีค่า 1.20 ลูกบาศก์เมตร รัศมีการกระจายน้ำของหัวสปริงเกอร์มีค่า 3.5 เมตร (คิดเป็นพื้นที่ 38.48 ตารางเมตร) คิดเป็นความลึกของน้ำในมวลดินมีค่า 0.031 เมตร
2. เราทราบช่วงเวลาการให้น้ำหญ้าเนเปียร์[1] และเวลาการให้น้ำครั้งต่อไป โดยสังเกตจากค่าความชื้นในดินที่เซ็นเซอร์วัดค่า Soil Moisture ซึ่งติดตั้งไว้ที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตรจากผิวดิน โดยการประมาณปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับพืชโดยอาศับเงื่อนไข
    1) ช่วงเว้นระยะการให้น้ำ ค่าความชื้นในดินสูงสุด (Max Soil Moisture) – ค่าความชื้นในดินต่ำสุด (Min Soil Moisture) โดยที่ค่าต่ำสุดต้องมากกว่า 0.03 (ค่าความชื้นในดินที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้)
    2) ช่วงเวลาการให้น้ำ การเปลี่ยนแปลงของเวลา ($\Delta t$)=การเปลี่ยนแปลงความชื้นต่ำสุด (Min Soil Moisture) เปลี่ยนแปลงถึง
    3) ปริมาณการให้น้ำ (q) = 20 ลิตร/นาที (จากการสำรวจ)
    4) ปริมาณน้ำที่ให้รวม (Q) = q * $\Delta t$ (หน่วยลิตร/วัน)

[1]รากเป็นระบบรากฝอยแผ่กระจายออกรอบลำต้นในรัศมีประมาณ 50-100 เซนติเมตร ลึก 30-50 เซนติเมตร




**รูปที่ 4.2-1** แสดงกราฟความชื้นในดินที่เปลี่ยนแปลงบริเวณสวนลอย ของสวน 100 ปีฯ

3. สามารถคำนวณหาช่วงเวลาการให้น้ำจริงที่เหมาะสมกับหญ้าเนเปียร์จากปริมาณความชื้นในชั้นดิน (Soil Moisture) ที่ตรวจวัดได้จากเซ็นเซอร์

4. สามารถนำวิธีการคำนวณความต้องการน้ำของพืช (Crop Water Requirement) โดยทฤษฎี เช่น FAO Penman-Monteith method เป็นต้น แล้วนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำที่ใช้จริงในสนาม

| ช่วงการตัดหญ้า | | ETc เปียร์ปากช่อง 1 | ETo (PM) | สัมประสิทธิ์การใช้น้ำ |
|---|---|---|---|---|
| วัน เดือนปี | อายุปลูก (วัน) | (มิลลิเมตร/ วัน) | (มิลลิเมตร/วัน) | (Kc) |
| 29-ส.ค.-56 | 63 | 3.18 | 4.04 | 0.79 |
| 15-ต.ค.-56 | 110 | 5.72 | 3.41 | 1.68 |
| 2-ธ.ค.-56 | 158 | 3.01 | 2.97 | 1.01 |
| 24-มี.ค.-57 | 270 | 5.00 | 3.58 | 1.40 |
| เฉลี่ย | | 4.35 | 3.50 | 1.23 |

**รูปที่ 4.2-2** แสดงการใช้น้ำของหญ้าเนเปียร์ด้วยวิธีการ Penman Monteith และสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง

ที่มา : การจัดการน้ำในการปลูกหญ้าเนเปียร์ เพื่อเป็นพืชอาหารสัตว์ KM สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา วันที่ 14 สิงหาคม 2558 โดย สถานีทดสองการใช้น้ำชลประทานที่ 3 (ห้วยบ้านยาง) ต.โคกกรวด อ.เมือง จ.นครราชสีมา กรมชลประทาน

5. จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point (PWP)) หรือจุดเหี่ยวเฉา (Wilting Point (WP)) หมายถึงปริมาณน้ำขั้นต่ำในดินที่พืชไม่ต้องการเหี่ยวแห้ง หากปริมาณน้ำในดินลดลงถึงจุดนี้หรือต่ำกว่าพืชจะเหี่ยวแห้งและไม่สามารถฟื้นตัวได้อีกต่อไปเมื่ออยู่ในบรรยากาศอิ่มตัวเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากข้อมูลการบันทึกของอุปกรณ์ตรวจจับพบว่าจุดเหี่ยวเฉาคือ 0.1-0.15

6. สูตรคำนวณการใช้น้ำพืช คือ ETc=Eto x Kc (mm/day) โดย

ETc คือ ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช

ETo คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง

Kc คือ ค่าสัมประสิทธิ์พืช

Reference Evapotransiration ETo according Penman - Monteith

Country THAILAND Meteo Station : BANGKOK PORT (KLONG TOEI) (17 Yrs )
Altitude : 3 meter Coordinates : 13 - 42 N.L. 100 - 34 E.L.

| Month | Min Temp °C | Max Temp °C | Humidity % | Wind km/day | Sun hours | Rad $MJ/m^2/day$ | ETo mm/day |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| January | 23.9 | 32.5 | 58.0 | 187.0 | 5.7 | 15.2 | 4.51 |
| February | 25.3 | 33.3 | 64.0 | 173.0 | 5.8 | 16.6 | 4.57 |
| March | 26.6 | 34.3 | 64.0 | 196.0 | 6.0 | 18.2 | 5.18 |
| April | 27.4 | 35.5 | 66.0 | 182.0 | 4.9 | 17.1 | 5.04 |
| May | 26.7 | 34.8 | 69.0 | 178.0 | 3.8 | 15.3 | 4.56 |
| June | 26.7 | 34.4 | 68.0 | 191.0 | 3.8 | 15.1 | 4.61 |
| July | 26.5 | 33.8 | 70.0 | 191.0 | 3.8 | 15.2 | 4.47 |
| August | 26.2 | 33.7 | 69.0 | 187.0 | 3.7 | 15.1 | 4.46 |
| September | 25.6 | 33.6 | 70.0 | 182.0 | 3.6 | 14.6 | 4.27 |
| October | 25.7 | 33.2 | 70.0 | 173.0 | 3.5 | 13.6 | 3.97 |
| November | 25.1 | 32.9 | 58.0 | 222.0 | 5.7 | 15.4 | 4.96 |
| December | 23.7 | 32.1 | 55.0 | 218.0 | 5.6 | 14.6 | 4.77 |
| Average | 25.8 | 33.7 | 65.0 | 190.0 | 4.7 | 15.5 | 4.61 |

Climatic data of 30 yrs ( 1981 - 2010 ) : Meteorological Department , Bangkok, 2011

**รูปที่ 4.2-3** ค่า Eto กรุงเทพ (คลองเตย)

ที่มา : ข้อมูลสภาพอากาศ 30 ปี (1981-2010), กรมอุตุนิยมวิทยา, กรุงเทพ 2011

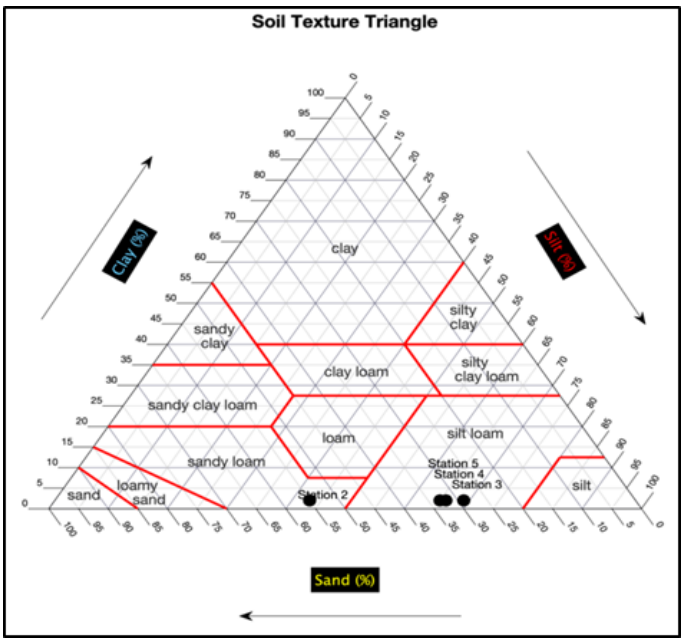
7. เปรียบเทียบกับปริมาณการให้น้ำรวมที่มีประสิทธิภาพ โดยปริมาณการให้น้ำรวม (Q)/(ช่วงเวลาการให้น้ำ * พื้นที่ให้น้ำ) เปรียบทียบกับ ETc ต้องมากกว่าเท่ากับ ค่าการใช้น้ำที่มีประสิทธิภาพ

## 4.3 การติดตามข้อมูลระบบตรวจจับความชื้นในดิน สวน 100 ปีฯ และการใช้ประโยชน์

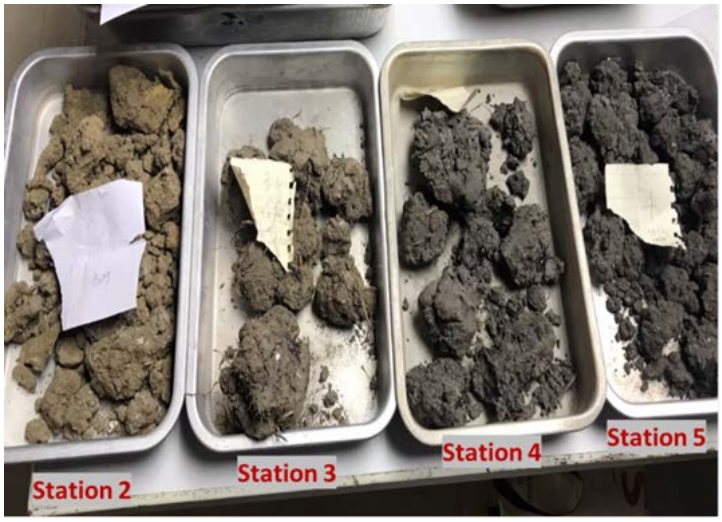
โดยเนื้อหาที่ทำการศึกษาประกอบด้วย 1) ตำแหน่งติดตั้งระบบตรวจจับความชื้นในดิน และชนิดดิน 2) การติดตามความชื้นในดิน, ปริมาณฝน, อุณหภูมิ 3) การใช้น้ำ 4) การเปรียบเทียบการใช้น้ำในอดีต และการประมาณการการใช้น้ำ และ 5) ขั้นตอนการให้น้ำ

1) ตำแหน่งติดตั้งระบบตรวจจับความชื้นในดิน และชนิดดิน

จากเนื้อหาเบื้องต้นที่ได้ทำการศึกษาในหัวข้อ 4.2 ทางทีมวิจัยได้ทำการเก็บดินตามสถานีระบบตรวจจับความชื้นในดิน ประกอบด้วย สถานีที่ 2, 3, 4 และ 5 เพื่อประเมินและแบ่งกลุ่มชนิดของดินตามรูปที่ 4.3-1 และรูปที่ 4.3-2 โดยวิธีการทางห้องปฏิบัติการ จากนั้นได้ทำการศึกษาความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (available water holding capacity (AWC)) และทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลจากสถานีวัดเพื่อปรับเทียบค่าความสัมพันธ์ของค่าความชื้นในดินที่วัดได้กับปริมาณน้ำที่สามารถใช้ได้จากดิน ตามชนิดของดิน (รูปที่ 4.3-13 และ 4.3-14) นอกจากนี้เพื่อหาจุดต่ำสุดของปริมาณน้ำที่สามารถใช้ได้จากดินจึงนำเอาข้อมูลจาก ตารางที่ 4.3-1 ที่มีการเปรียบเทียบจุดที่กระทบการจัดการผลผลิตที่ยอมรับได้ (management allowable deficit (MAD)) เพื่อใช้ศึกษาความลึกข้อรากพืชและค่า MAD ที่ยอมรับได้จนได้กราฟแสดงตามรูปที่ 4.3-3 ที่แสดงความสัมพันธ์ของผลผลิตกับปริมาณน้ำที่มีเพื่อใช้อ้างอิงในช่วงการให้น้ำพืช โดยจากความสัมพันธ์ของความชื้นในดินและค่า MAD ที่ได้ถูกนำมาพัฒนาช่วงการจัดการน้ำตามชนิดดิน รูปที่ 4.3-4



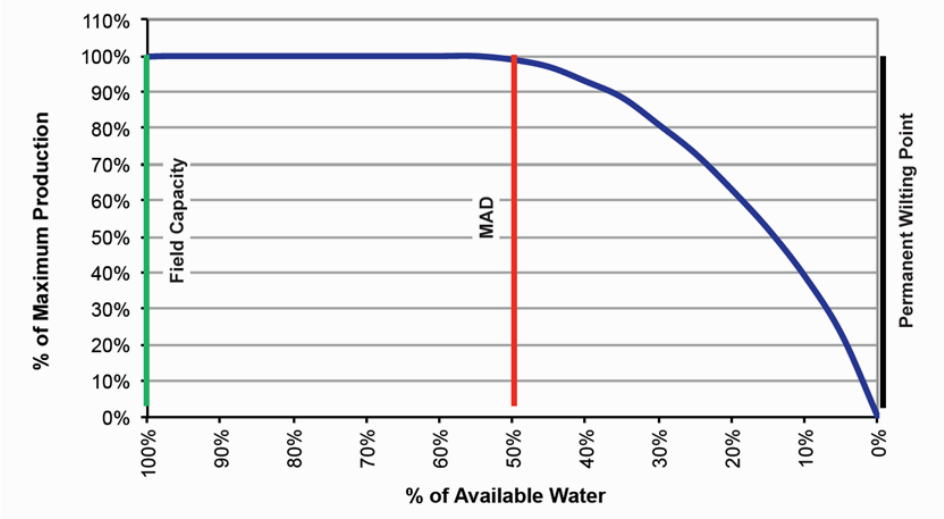

**รูปที่ 4.3-1** การแบ่งชนิดดิน




**รูปที่ 4.3-2** แสดงชนิดดินจากจุดที่ติดตั้งระบบตรวจจับ

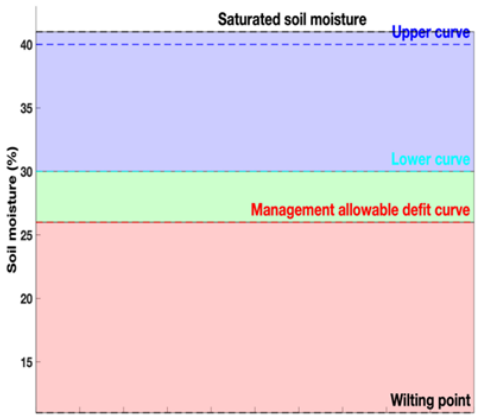
**ตารางที่ 4.3-1** จุดที่กระทบการจัดการผลผลิตที่ยอมรับได้ (management allowable deficit (MAD)) ค่าทั่วไปของความลึกรากของพืชต่างๆ ค่าที่ได้อาจแต่กต่างขึ้นอยู่กับชนิดดินหรือพื้นที่ที่แตกต่าง

| **พืช** | **MAD (%)** | **ความลึกราก (ft)** |
|---|---|---|
| หน่อไม่ฝรั่ง | 50 | 4 |
| ถั่ว | 40 | 2.5 |
| บลูเบอรี่ | 50 | 3 |
| แครอท | 50 | 2 |
| ข้าวโพด | 50 | 3 |
| องุ่น | 50 | 3.5 |
| ถั่วเขียว | 50 | 2 |
| หัวหอม | 40 | 1.5 |
| มันฝรั่ง | 30 | 1.5 |
| ราสเบอรี่ | 50 | 3 |
| ดอกคำฝอย | 50 | 4 |
| สตอเบอรี่ | 50 | 1 |

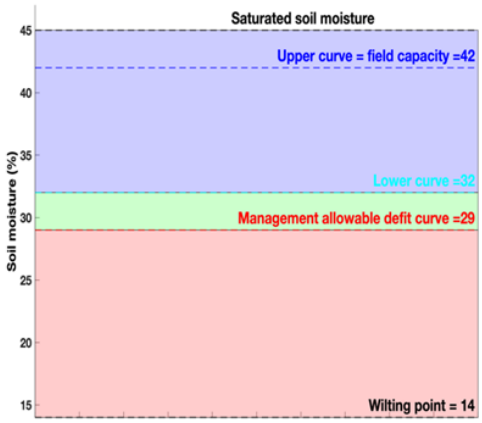



**รูปที่ 4.3-3** รูปร่างโค้งทั่วไปแสดงให้เห็นว่าการผลิตพืช (การเจริญเติบโต) ได้รับผลกระทบจากความเครียดของน้ำในดินอย่างไร

จากรูปที่ 4.3-3 แสดงให้เห็นถึงจุดที่ปริมาณน้ำในดินที่มีกระทบต่อผลผลิต โดยเมื่อระดับความชื้นในดินต่ำกว่า 50% (ในตัวอย่าง) คือจุดที่กระทบการจัดการผลผลิตที่ยอมรับได้ (management allowable deficit (MAD)) ซึ่งจะถูกใช้เป็นจุดอ้างอิงต่ำสุดสำหรับการจัดการน้ำ โดยการจัดการจะต้องมีช่วงเผื่อระดับต่ำสุดเหนือกว่าค่า MAD ประมาณ 5% ของปริมาณน้ำในดิน และมีช่วงการจัดการอีก 10% ของปริมาณน้ำในดิน ตามรูปที่ 4.3-4




**ก)** ความชื้นในดินของดินร่วนปนทราย

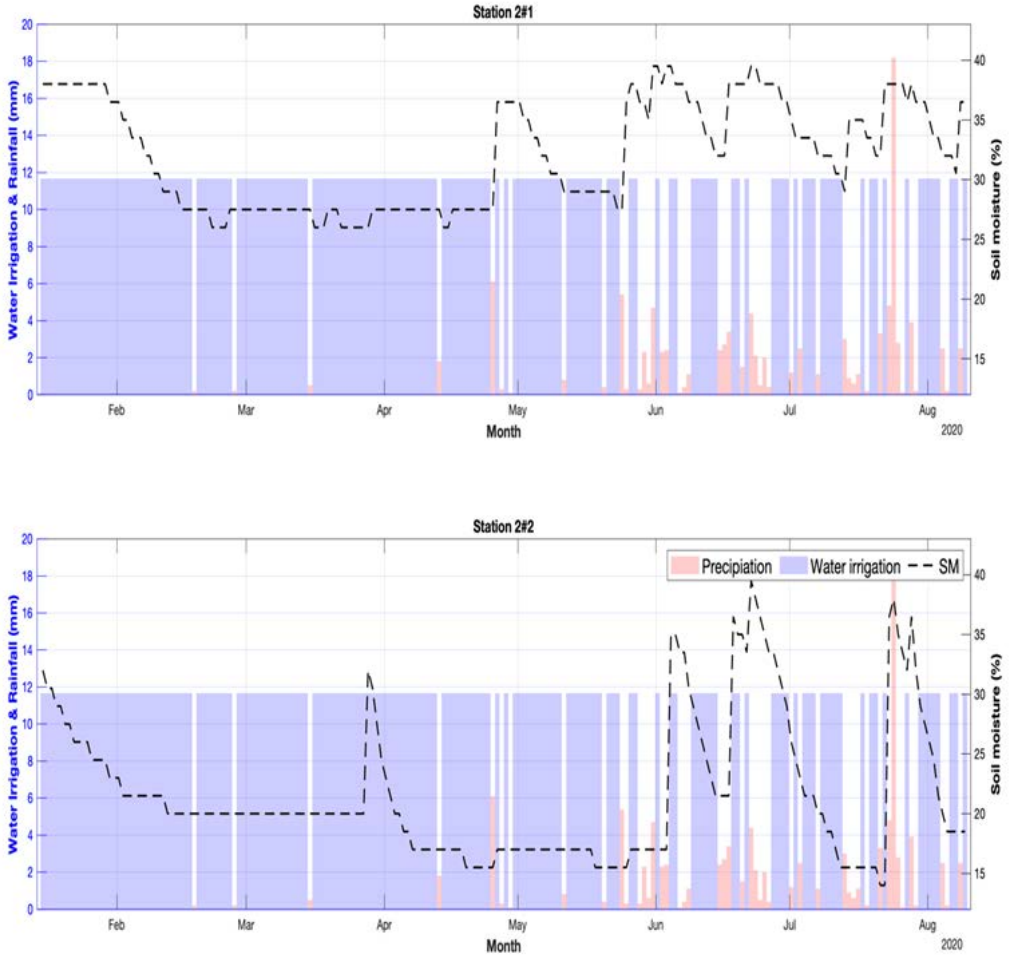



**ข)** ความชื้นในดินของดินร่วนตะกอน

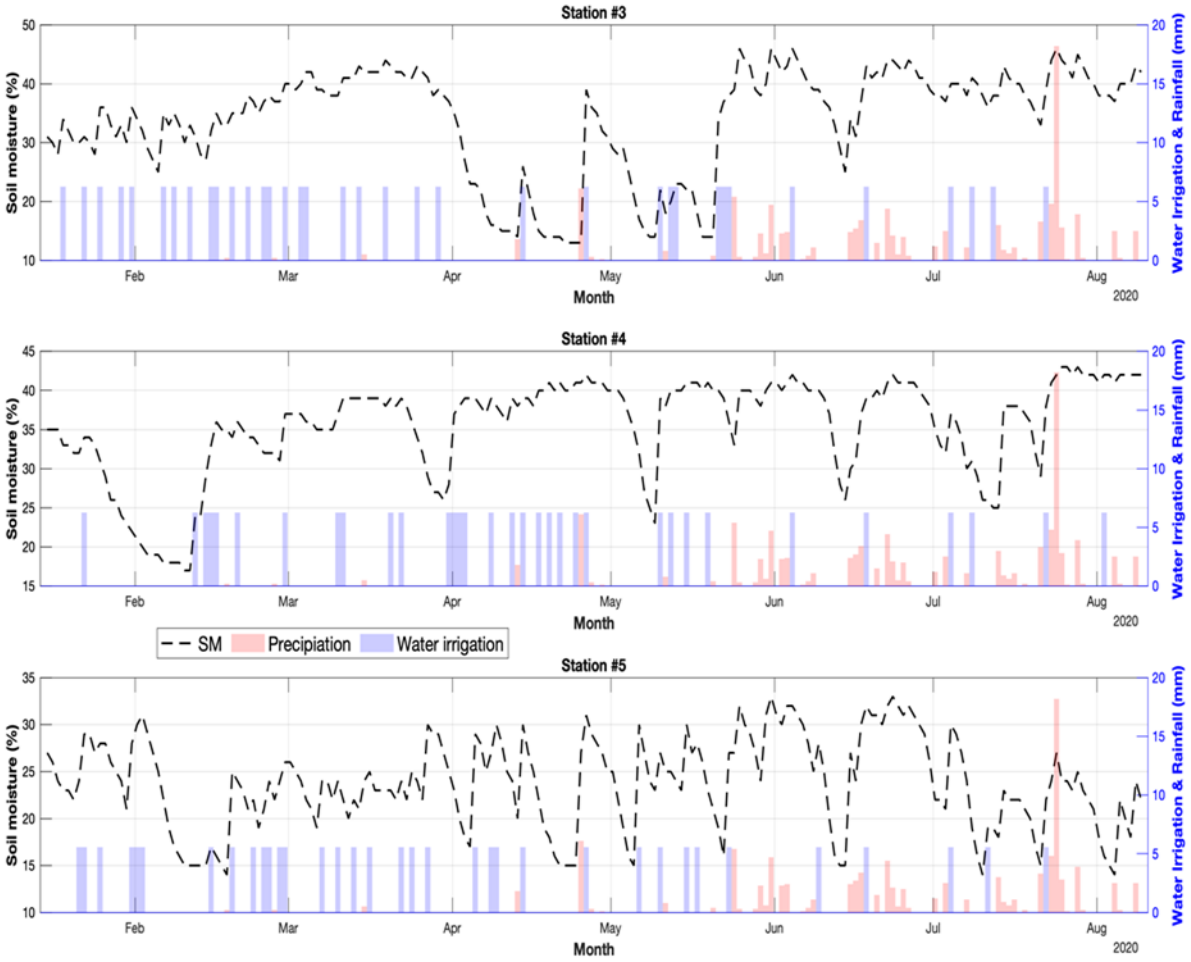
**รูปที่ 4.3-4** ความชื้นในดินตามชนิดดิน

2) การติดตามความชื้นในดิน, ปริมาณฝน, อุณหภูมิ

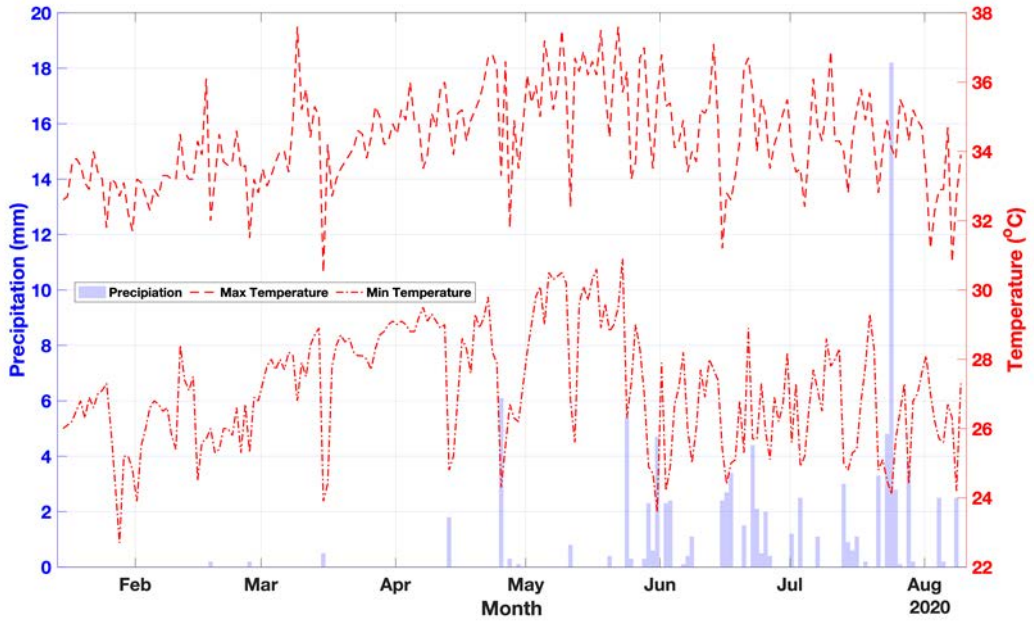
ทางทีมงานได้ศึกษารูปแบบการให้น้ำเดิมของสวน 100 ปีฯ และความสัมพันธ์ของปริมาณฝนและอุณหภูมิ พบว่ามีการจัดการ 2 รูปแบบ คือ 1) แบบอัตโนมัติ โดยมีการกำหนดช่วงเวลาในการรดน้ำ 2 ครั้ง คือ 8.00 น. และ 13.30 น. เป็นเวลา 5 นาที ทุกวันโดยจะเว้นการรดในวันที่ฝนตก 2) แบบใช้อุปกรณ์สปริงเกอร์โดยใช้แรงงานคนเข้าไปติดตังอุปกรณ์และรดน้ำจุดละ 30 นาที ซึ่งได้ผลการศึกษาตามรูปที่ 4.3-5 และ 4.3-6 แล้วจึงศึกษาช่วงการให้น้ำแต่ละสถานีที่เป็นไปได้ตามรูปที่ 4.3-9 ถึง 4.3-12 เพื่อให้ทราบถึงปริมาณการใช้น้ำในแต่ละสถานีโดยเทียบจากปริมาณความชื้นในดินที่วัดได้



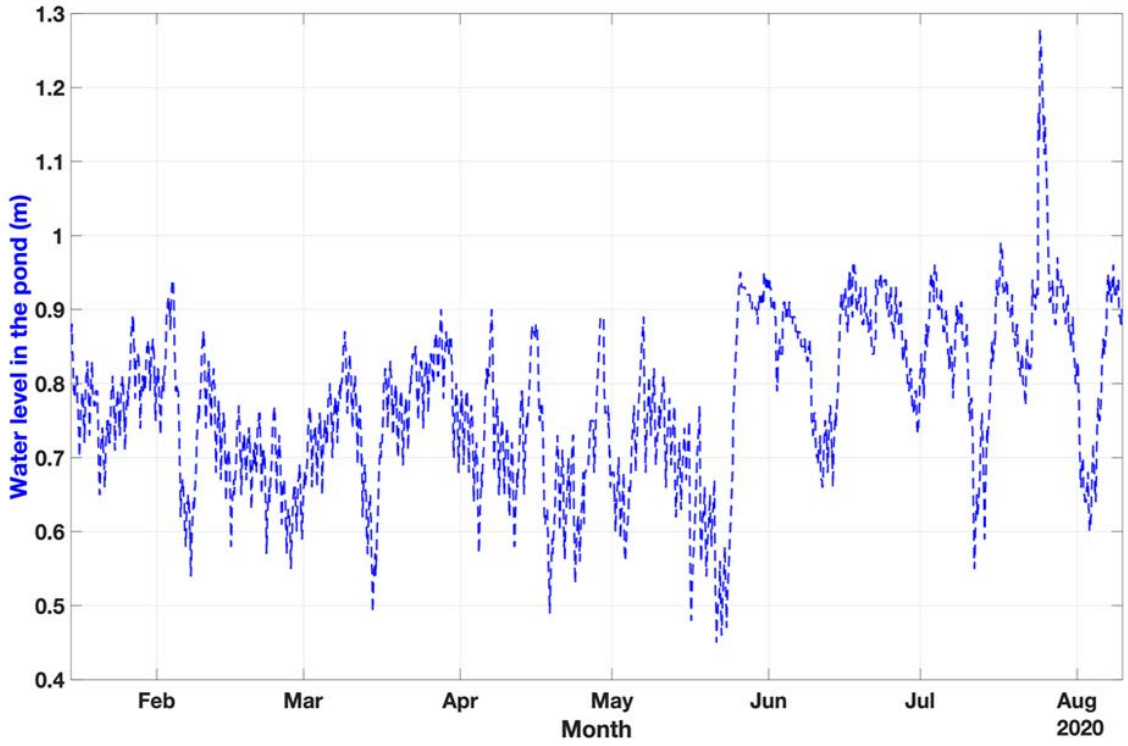

**รูปที่ 4.3-5** ระบบให้น้ำอัตโนมัติเวลา 8.00 น. และ 13.30 น. เว้นวันที่ฝนตก โดยรดเป็นเวลา 5 นาที อัตราการให้น้ำของปั๊มน้ำ 35 ลบ.ม./ชั่วโมง สถานีที่ 2




**รูปที่ 4.3-6** การให้น้ำแบบใช้คนรดน้ำสถานีที่ 3-5

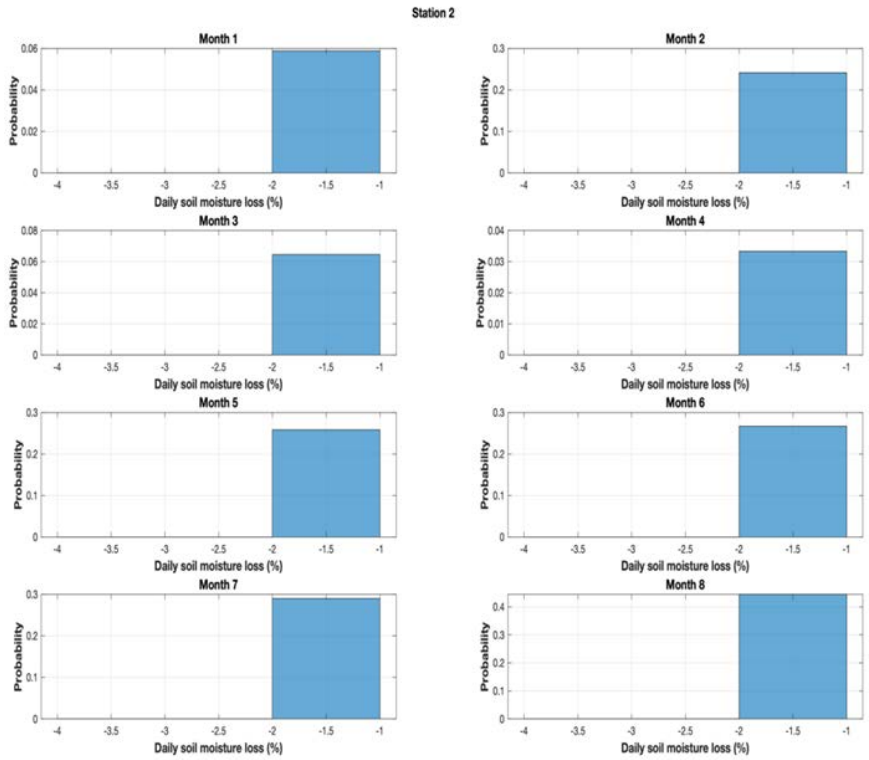



**รูปที่ 4.3-7** กราฟแสดงปริมาณฝนและอุณหภูมิสถานีที่ 1

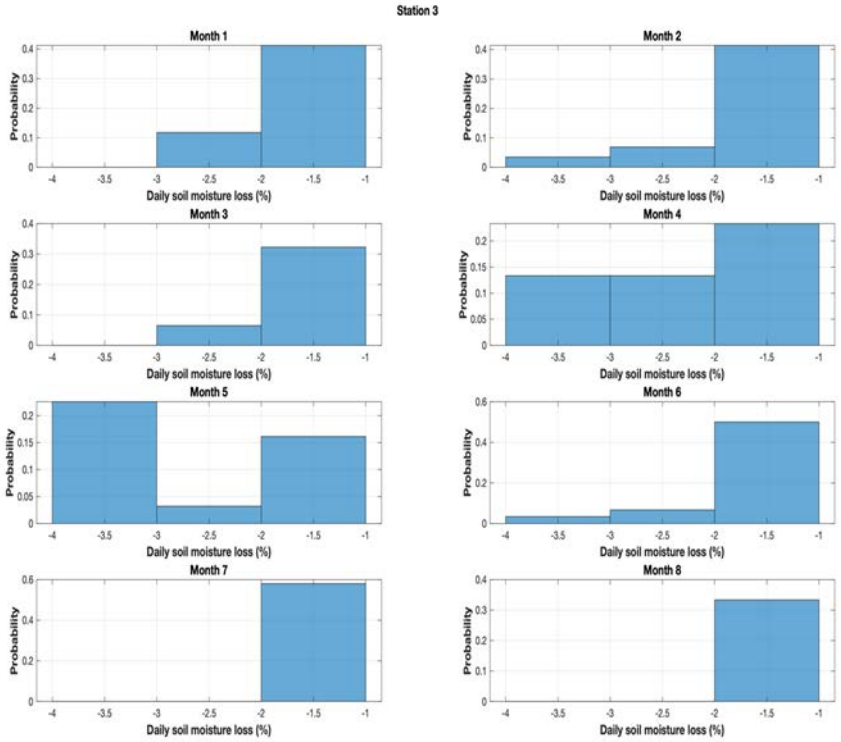



**รูปที่ 4.3-8** กราฟแสดงระดับน้ำของสระเก็บน้ำสถานีที่ 1

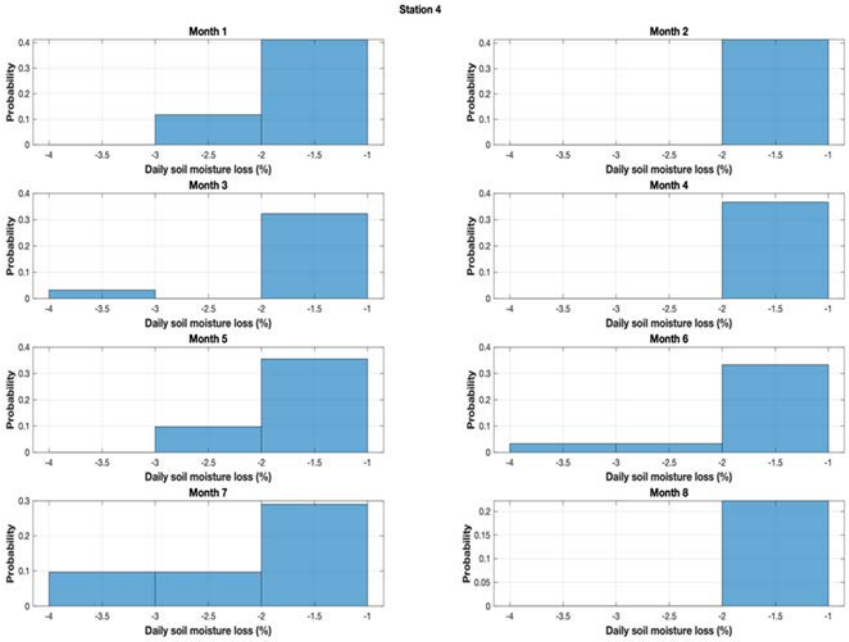
3) การใช้น้ำ



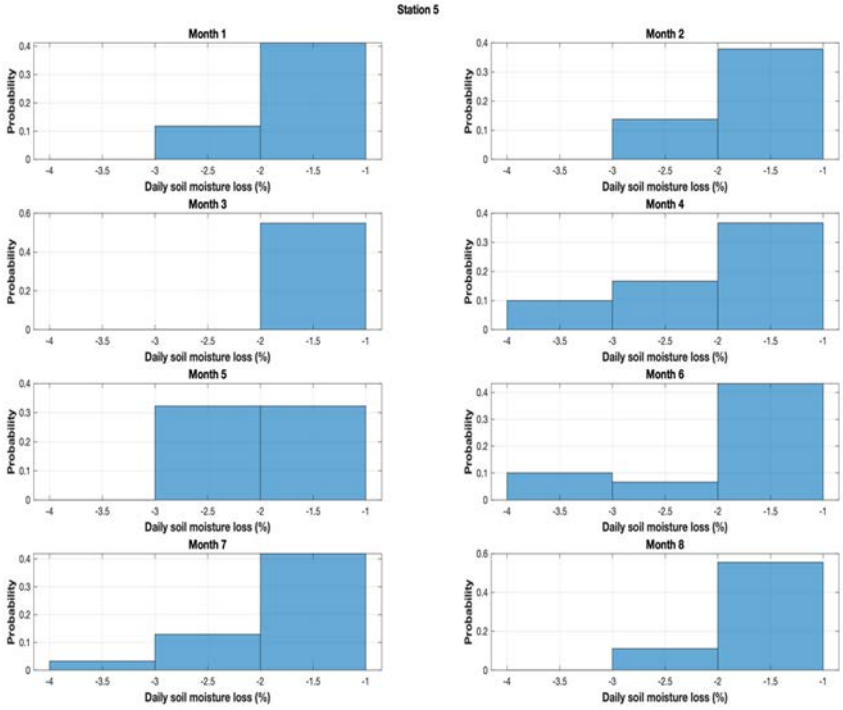

**รูปที่ 4.3-9** ช่วงแสดงการใช้น้ำของสถานีที่ 2




**รูปที่ 4.3-10** ช่วงแสดงการใช้น้ำของสถานีที่ 3




**รูปที่ 4.3-11** ช่วงแสดงการใช้น้ำของสถานีที่ 4

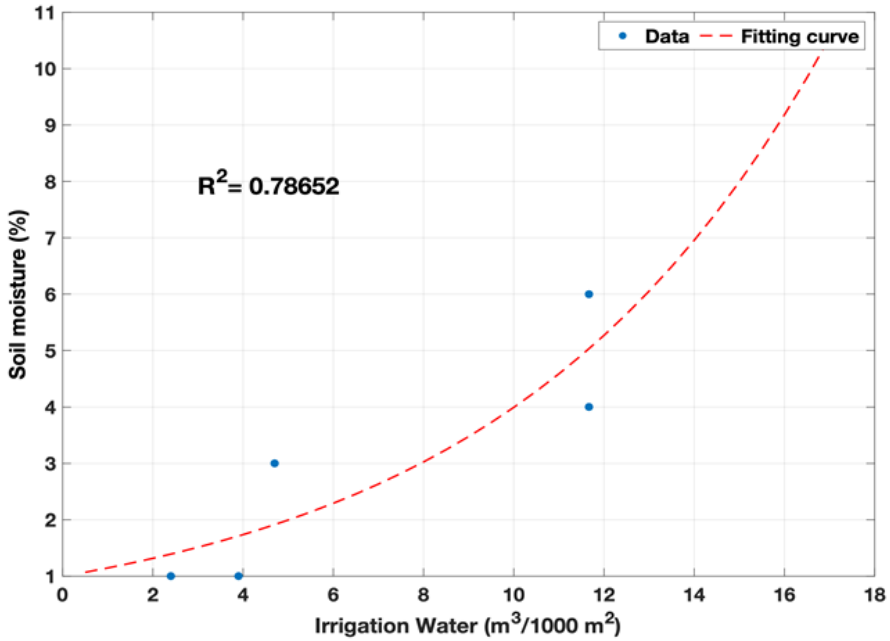



**รูปที่ 4.3-12** ช่วงแสดงการใช้น้ำของสถานีที่ 5

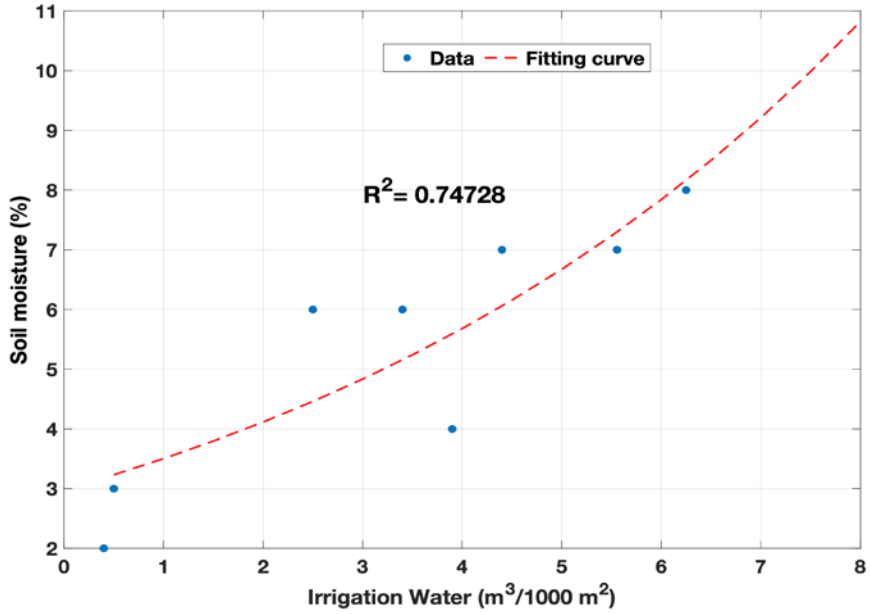
4) การเปรียบเทียบการใช้น้ำในอดีต และการประมาณการการใช้น้ำ

เนื่องจากความชื้นในดินของดินร่วนปนทรายจะสูญเสียความชื้นในดิน 2% / วันและดินร่วนตะกอนจะสูญเสียความชื้นในดิน 2-3% / วัน ความชื้นในดินจะลดลงหลังจาก 5 วันสำหรับดินร่วนปนทรายและ 4 วันสำหรับดินร่วนตะกอน ดังนั้นการศึกษาจึงแนะนำให้ล้างน้ำทุกๆ 5 วันสำหรับดินร่วนซุยและ 4 วันสำหรับดินร่วน

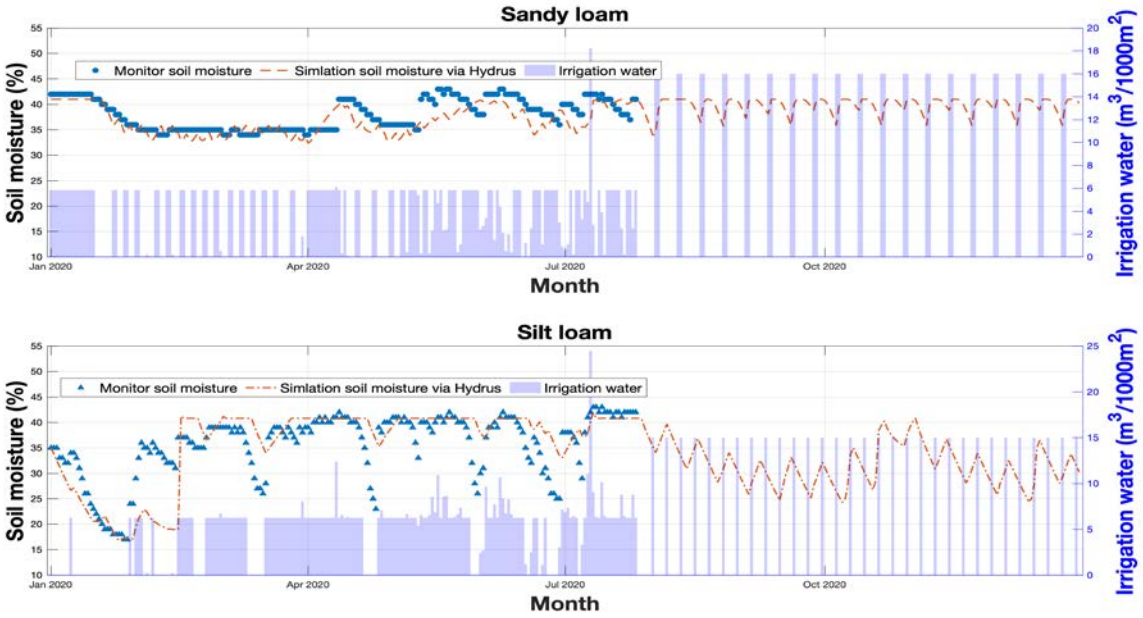
หลังจากนั้นทางทีมวิจัยได้ทำการจำลองการให้น้ำที่เหมาะสมจากข้อมูลที่ได้ตามชนิดของดินก่อนหน้านี้ตามรูปที่ 4.3-15 แล้วทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการให้น้ำจากการให้น้ำเดิมของสวนกับการให้น้ำตามแบบจำลองตามชนิดของดินพบว่าสามารถรดการใช้น้ำลงได้ 20 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ตามรูปที่ 4.3-16



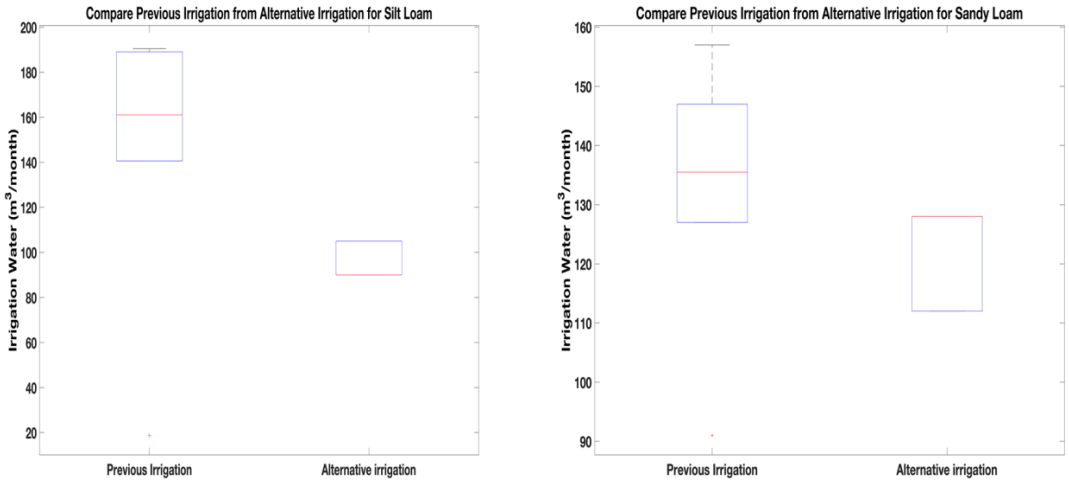

**รูปที่ 4.3-13** การให้น้ำดินร่วนปนทรายจากการติดตามข้อมูลจากระบบตรวจจับความชื้นในดิน




**รูปที่ 4.3-14** การให้น้ำดินร่วนตะกอนจากการติดตามข้อมูลจากระบบตรวจจับความชื้นในดิน




**รูปที่ 4.3-15** การเปรียบเทียบความชื้นในดินจากการให้น้ำในอดีต กับแบบจำลองทางเลือกการให้น้ำ




**รูปที่ 4.3-16** การเปรียบเทียบปริมาณการให้น้ำในอดีต กับแบบจำลองทางเลือกปริมาณการให้น้ำ

จากรูปที่ 4.3-15 และ 4.3-16 แสดงให้เห็นถึงความชื้นในดินจากข้อมูลการรดน้ำในปัจจุบันเทียบกับการปรับเปลี่ยนการรดน้ำตามแบบจำลอง ตามชนิดดิน โดยภาพที่ 4.3-15 หากทำตามแบบจำลองจะสามารถรักษาระดับความชื้นและปริมาณน้ำที่ใช้ในการจัดการในระดับที่ควบคุมได้อย่างคงที่ และเมื่อเทียบกับรูปที่ 4.3-16 ที่แสดงให้เห็นปริมาณน้ำที่ใช้รายเดือนที่มีประสิทธิภาพดีกว่าการรดน้ำแบบเดิมอย่างชัดเจน

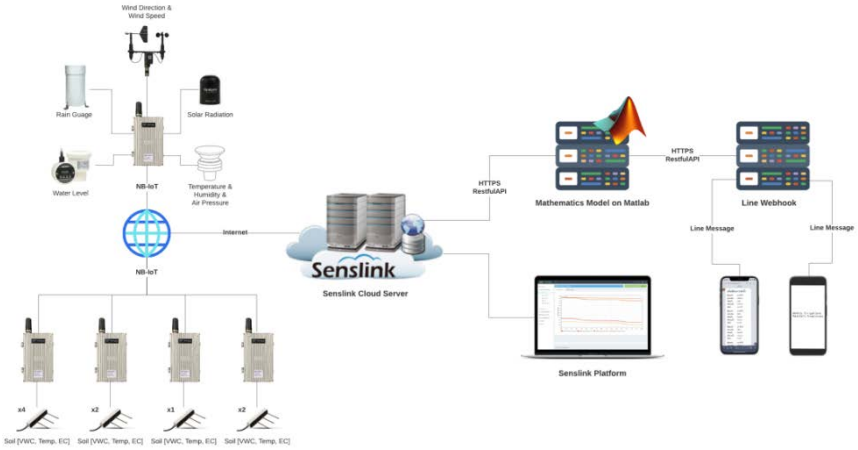
## 4.4 ระบบตรวจจับเพื่อการจัดการการให้น้ำ

จากข้อจำกัดจากเหตุการณ์การระบาดของ Covid-19 ทำให้ไม่สามารถพัฒนาในส่วนงานการพัฒนาระบบควบคุมการให้น้ำในพื้นที่แปลงทดลอง ทางทีมนักวิจัยจึงพัฒนางานในส่วนที่ทำได้ภายใต้ข้อจำกัด โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ในหัวข้อ 4.3 มาพัฒนาเป็นระบบแจ้งเตือนการให้น้ำโดยอาศัยระบบแม่ข่ายประมวลข้อมูลกับพัฒนาโปรแกรมเพื่อการแจ้งเตือนระบบแจ้งเตือนในส่วนนี้จะนำเสนอโครงสร้างระบบการทำงานทั้งหมดที่เกี่ยวข้องพร้อมขั้นตอนการใช้งานระบบเพื่อให้เข้าใจการทำงานของระบบ

### 4.4.1 โครงสร้างระบบตรวจจับ

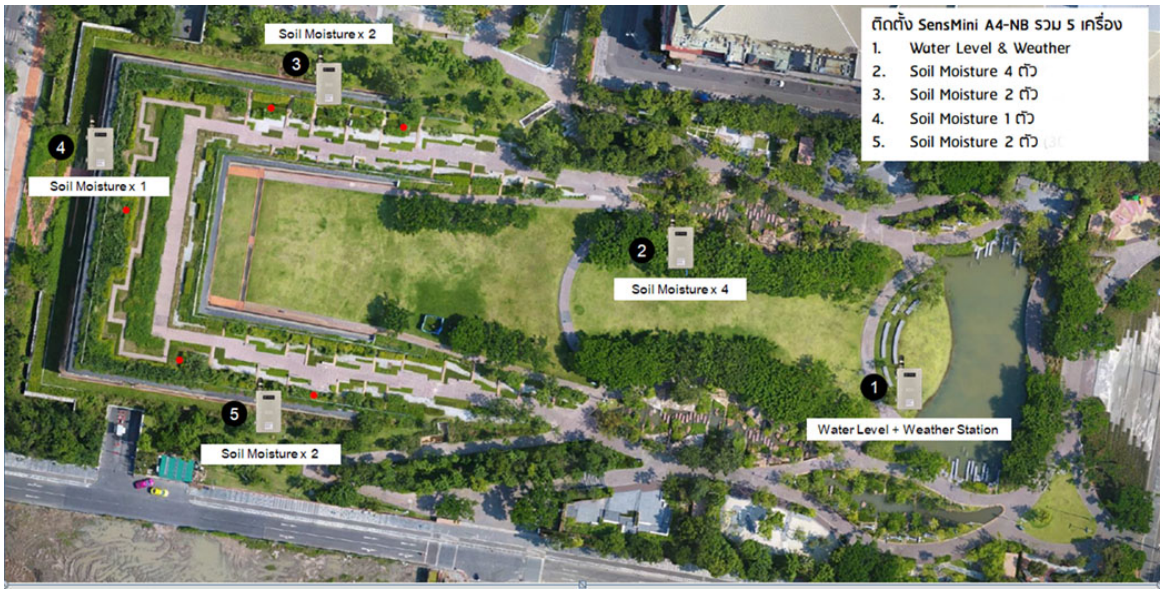
ในการพัฒนาโครงการระบบตรวจจับเป็นส่วนสำคัญ ทางโครงการได้ศึกษาจากระบบที่ถูกพัฒนาโดยประเทศไต้หวันเป็นต้นแบบที่มีตัวแทนอยู่ในประเทศไทย ระบบดังกล่าวถูกพัฒนาและใช้ในประเทศไต้หวันมาเป็นเวลานานกว่า 20 ปี ทำให้ระบบมีความเข้าใจปัญหาที่เกิดขึ้นจากการรับส่งข้อมูลและประมวลจากระบบตรวจจับแบบ IoT เป็นอย่างดี มีความเสถียร และมั่นคงสูงรองรับการเชื่อมต่อกับระบบตรวจจับแบบ IoT อื่นๆ ได้ทุกรูปแบบ ทำให้ระบบมีความคล่องตัวในการปรับขยายและเชื่อมโยงเป็นเครือข่ายอุปกรณ์จำนวนมากได้ (Scalable) ซึ่งคุณสมบัติส่วนนี้ทำให้มีความยืดหยุ่น และผู้พัฒนาไม่ติดกับข้อจำกัดของระบบใดระบบหนึ่ง

ตามารูปที่ 4.4-1 อุปกรณ์จะถูกเชื่อมโยงกับสถานีที่ทำงานบนระบบ IoT เชื่อมโยงสู่ระบบกลางที่ชื่อว่า Senslink ผ่านระบบอินเตอร์เน็ต จากนั้นข้อมูลจะถูกนำไปบันทึกจัดเก็บในแม่ข่ายที่มีการทำงานย่อยประกอบด้วย 1) Database Server ที่ทำการรวบรวมข้อมูลจากสถานีบนระบบ IoT, 2) Application Server เป็นส่วนรองรับการให้บริการการให้ข้อมูลเข้า-ออกจากระบบ และ 3) Web Server เป็นแสดงผลข้อมูลให้ผู้ใช้ นอกจากนี้ทางระบบยังได้พัฒนาการแจ้งเตือนการรดน้ำของสวน 100 ปีฯ ผ่านแอปพลิเคชัน Line เพื่อส่งข้อมูลสถานะดิน, การปฏิบัติในการให้น้ำ, ปริมาณน้ำ (ลบ.ม.) และ เวลาที่รด (นาที) ของสถานี




**รูปที่ 4.4-1** แสดงการเชื่อมโยงระบบตรวจจับ ประมวลผล และระบบแจ้งเตือนการรดน้ำที่พัฒนา

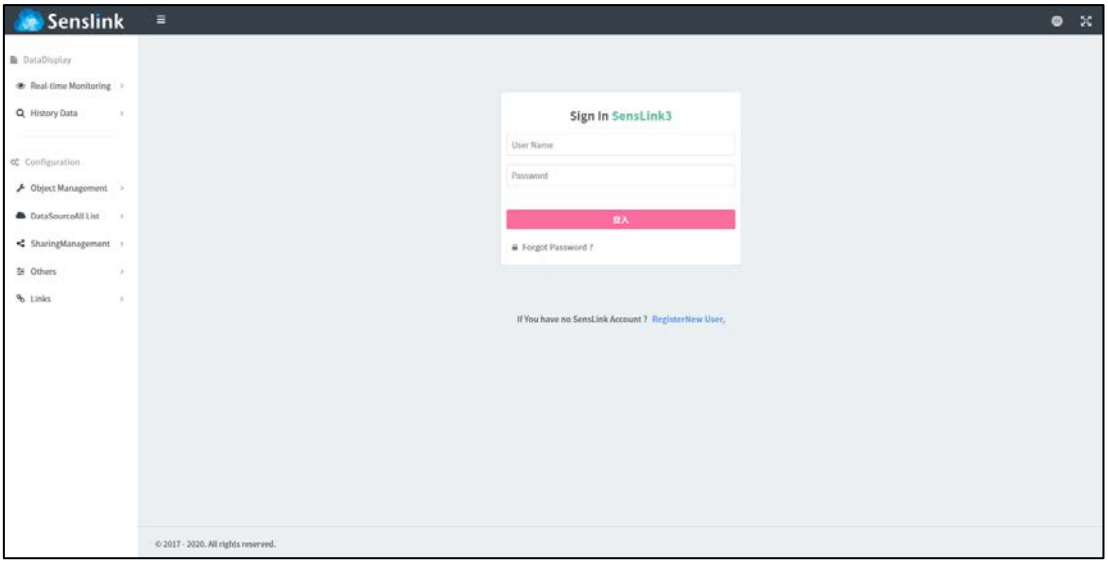
ในการทดลองจุดติดตั้งสถานีตามรูปที่ 4.4-2 ทางนักวิจัยได้เลือกติดตั้ง 5 จุดประกอบด้วย สถานีที่ 1 บริเวณสระน้ำเพื่อเป็นตัวแทนของพื้นที่ โดยมีการจัดเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ ปริมาณน้ำฝน (Precipitation Gauges), ความเร็วลม ( Wind Speed), อุณหภูมิ (Temperature), ความชื้นในอากาศ (Humidity), ความกดอากาศ (Pressure), ความเข้มของแสง (Solar Radiation) และ การวัดระดับน้ำ (Water Level) การเลือกอุปกรณ์ดังกล่าวถูกใช้เพื่อทดสอบถึงอุปกรณ์ที่จำเป็นทั้งหมดในการรวบรวมข้อมูลภาคสนาม (Field Data) ในกรณีที่จะทำการขยายการติดตั้งอุปกรณ์ในพื้นที่ศึกษาอื่น สถานีที่ 2 บริเวณสนามหญ้าติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นในดิน บริเวณใต้ร่มไม้และกลางสนาม เพื่อเป็นตัวแทนการให้น้ำระบบอัตโนมัติของสวน 100 ปีฯ และ สถานีที่ 3-5 ติดตั้งบริเวณสวน โดยติดตั้งอุปกรณ์วัดความชื้นในดิน เพื่อเป็นตัวแทนของการให้น้ำแบบใช้คนรดน้ำด้วยอุปกรณ์สปิงเกอร์ ทั้งนี้ในการติดตั้งอุปกรณ์วัดความชื้นในดินมีการติดตั้ง 3 รูปแบบคือ 1) ระดับลึก 15 เซนติเมตร เป็นตัวแทนการใช้น้ำของพืชคลุมดิน, 2) ระดับลึก 30 เซนติเมตร เป็นตัวแทนของไม้พุ่ม และ 3) ระดับลึก 60 เซนติเมตรเป็นตัวแทนของไม้ยืนต้น เพื่อให้ได้ทราบค่าเปลี่ยนแปลงของความชื้นในดินในแต่ละระดับ



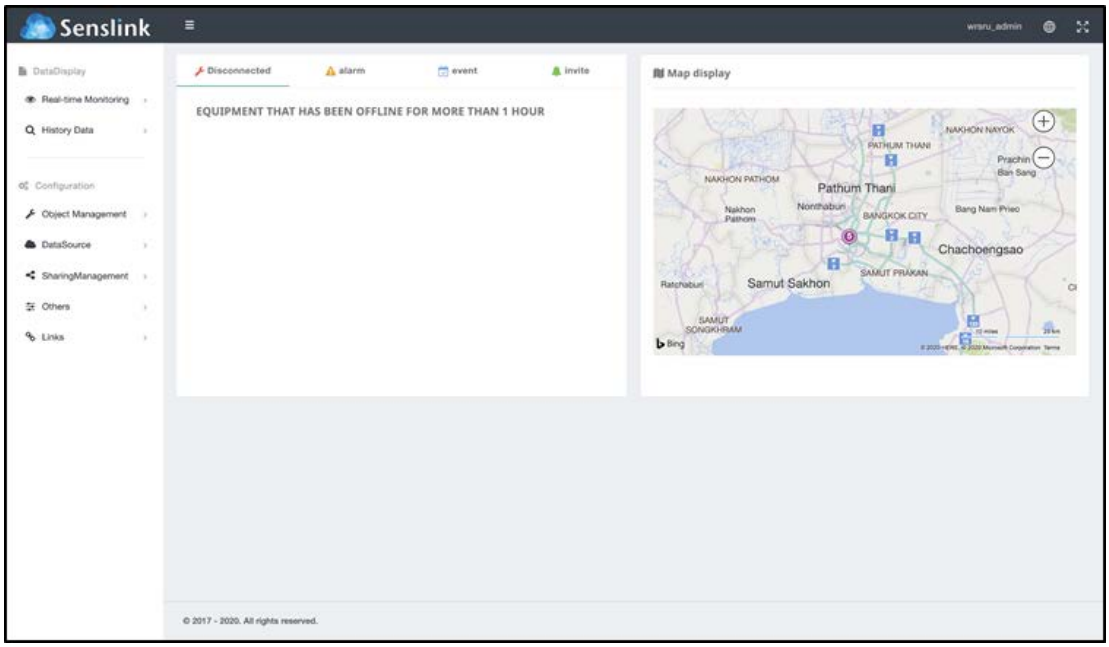

**รูปที่ 4.4-2** ตำแหน่งติดตั้งสถานี และจุดที่ตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ

### 4.4.2 ระบบแสดงข้อมูลและรับส่งข้อมูลผ่านเว็บ

หลังจากติดตั้งอุปกรณ์และสถานี IoT เรียบร้อยแล้วทีมวิจัยจะทำการตั้งค่าอุปกรณ์เพื่อส่งข้อมูลไปยังระบบ Senslink Platform เพื่อรวบรวมและจัดส่งข้อมูลไปยังเครื่องแม่ข่าย ซึ่งผู้ใช้สามารถเข้าดูข้อมูลผ่านเว็บ http://iot.senslink.net/v3/web/ โดยการเข้าใช้จำเป็นต้องใส่ชื่อผู้ใช้ (User) และ รหัสผู้ใช้ (Password) เพื่อความปลอดภัย ตามรูปที่ 4.4-3



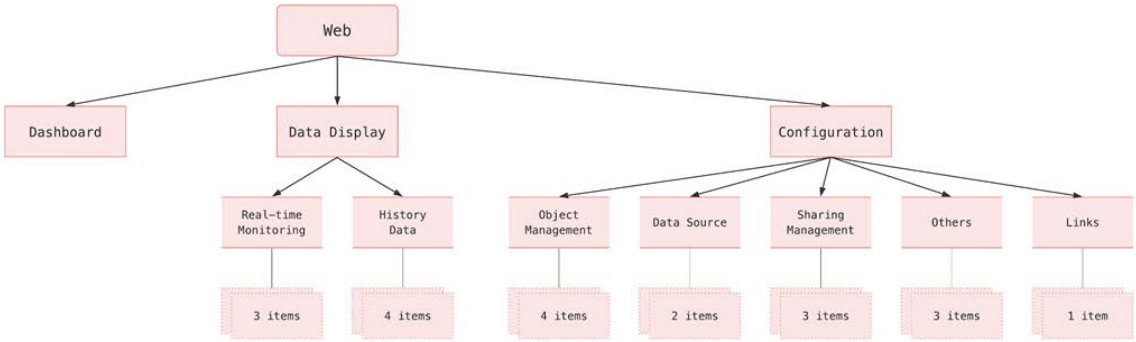

**รูปที่ 4.4-3** หน้าจอเข้าสู่ระบบ Senslink




**รูปที่ 4.4-4** หน้าจอหลักของระบบ

รายละเอียดการใช้งานระบบทั้งหมดอยู่ใน ภาคผนวก ค. โดยขออธิบายโครงสร้างของระบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักตามรูปที่ 4.4-5 คือ 1) ส่วนแสดงข้อมูล (Data Display) เป็นส่วนการแสดงการติดตามข้อมูลทั้ง แบบเวลาจริง (Real-Time Monitor) และแบบข้อมูลในอดีต (History Data) และ 2) ส่วนการปรับแต่งระบบ (Configuration) เป็นส่วนปรับแต่งระบบและการจัดการสถานีพร้อมอุปกรณ์ IoT ประกอบด้วย (1) การจัดการอุปกรณ์ (Object Management) เช่น การจัดการกลุ่มสถานี, การจัดการสถานี, สร้างชนิดของข้อมูลที่ได้รับมาจาก Data Logger, สร้างประเภทของข้อมูลได้,

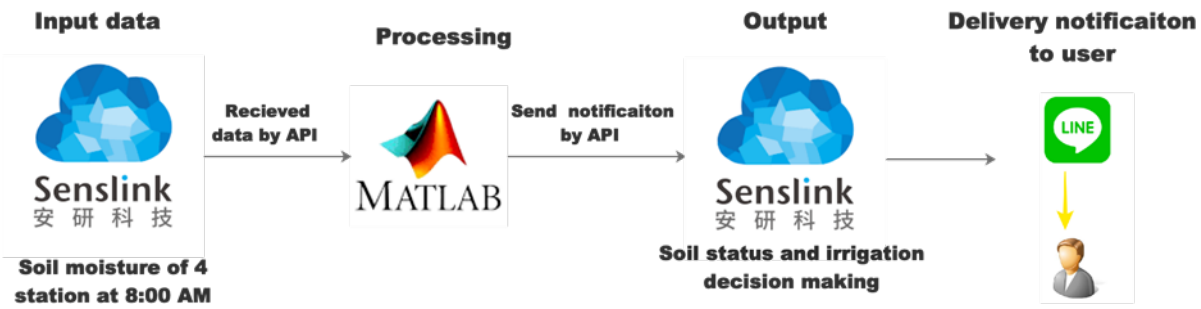
(2) แหล่งข้อมูล (Data Source) เช่น สามารถทำการเพิ่ม Data Logger, (3) การจัดการการแบ่งปัน (Sharing Management) บริหารจัดการการแชร์ข้อมูลกับผู้ใช้คนอื่น, บริหารจัดการการแชร์ข้อมูลใน Mesh, บริหารจัดการข้อมูลที่ถูกแชร์มาว่าจะนำข้อมูลไหนบ้างขึ้นไปแสดงผลในส่วน Data Display, (4) อื่นๆ (Other) ตั้งค่าการแจ้งเตือนต่างๆ, เพิ่มรายชื่อและช่องทางการแจ้งเตือนและ (5) การเชื่อมโยง (Link) แนบลิ้งค์ที่เกี่ยวข้องกับระบบไว้ได้เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าถึงในการใช้งาน




**รูปที่ 4.4-5** โครงสร้างเมนูของ Web Application

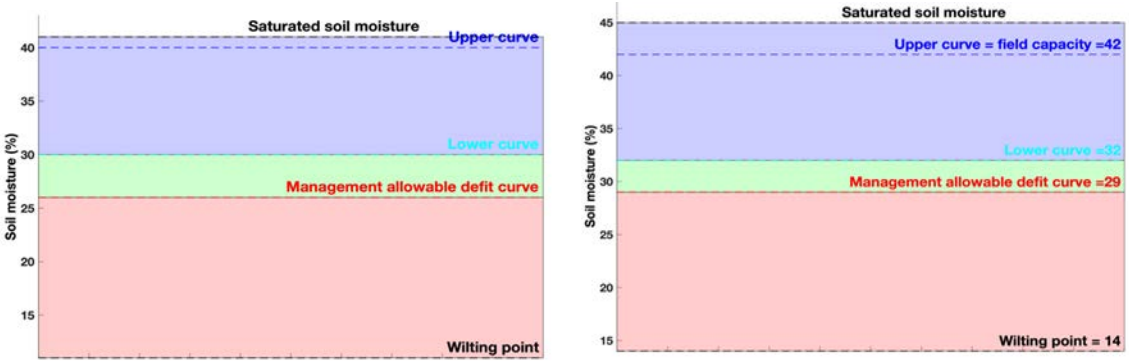
### 4.4.3 การประมวลข้อมูลเพื่อแจ้งเตือนด้วยโปรแกรม Matlab

ในการทำงานเฉพาะด้านระบบพื้นฐานอาจไม่เพียงพอในการทำงานแต่ระบบก็สามารถรองรับการดึงข้อมูลจากระบบมาทำการประมวลผลภายนอกแล้วส่งกลับเข้าสู่ระบบ ซึ่งการประมวลข้อมูลเพื่อหาสถานะดิน, การปฏิบัติเพื่อการให้น้ำ, ปริมาณน้ำที่ใช้ และ เวลาในการให้น้ำ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มาจากการศึกษาข้อมูลสนาม และข้อมูลจากระบบตรวจจับ เพื่อประมวลเป็นผลที่ต้องการ โดยทีมนักวิจัยใช้การพัฒนาการประมวลผลด้วยโปรแกรม Matlab ที่มีความสามารถดึงข้อมูลจากระบบแม่ข่ายและส่งกลับข้อมูลไปยังระบบแม่ข่ายเพื่อการทำงานแบบอัตโนมัติ




**รูปที่ 4.4-6** กระบวนการการแจ้งเตือนการรดน้ำ

ขั้นตอนการแจ้งการรดน้ำแสดงในรูปที่ 4.4-6 ขั้นแรก API ได้รับความชื้นในดินจำนวน 4 สถานี เวลา 8.00 น. ทุกวัน ขั้นตอนสอง Matlab จะเปรียบเทียบความชื้นในดินกับ Rule Curve สำหรับดินแต่ละประเภท เพื่อให้คำแนะนำในการรดน้ำ Rule Curve แสดงไว้ในรูปที่ 4.4-7 ดินจะอิ่มตัวเมื่อความชื้นในดิน 40% สำหรับดินร่วนปนทรายและ 42% สำหรับดินร่วนตะกอน ความชื้นในดินระหว่าง 30% ถึง 40% หมายถึงดินเปียกสำหรับดินร่วนปนทราย ในขณะที่ดินร่วนตะกอนเปียกมีความชื้นในดิน 32% ถึง 42% ไม่แนะนำให้รดน้ำในดินอิ่มตัวและดินเปียก ดินร่วนปนทรายแห้งยังคงมีความชื้นในดินตั้งแต่ 26% ถึง 30% ในขณะที่ดินร่วนแห้งจะพิจารณาความชื้นในดินระหว่าง 29% ถึง 32% ดินที่แห้งมากจะต่ำกว่า 26% สำหรับดินร่วนปนทรายและ 29% สำหรับดินร่วนปนทราย แนะนำให้รดน้ำเมื่อดินกำลังจะแห้ง ปริมาตรน้ำเติมคือ 16 ลบ.ม. สำหรับดินแห้งและ 25 ลบ.ม. สำหรับดินแห้งมาก สรุปผลการตัดสินใจในการให้น้ำในตารางที่ 4.4-1 ขั้นสุดท้ายสถานะและคำแนะนำการให้น้ำของดินจะส่งย้อนกลับไปยัง Senslink เพื่อส่งไปใช้ทางระบบส่งข้อความของแอปพลิเคชัน LINE




ก) ดินร่วนปนทราย ข) ดินร่วนตะกอน

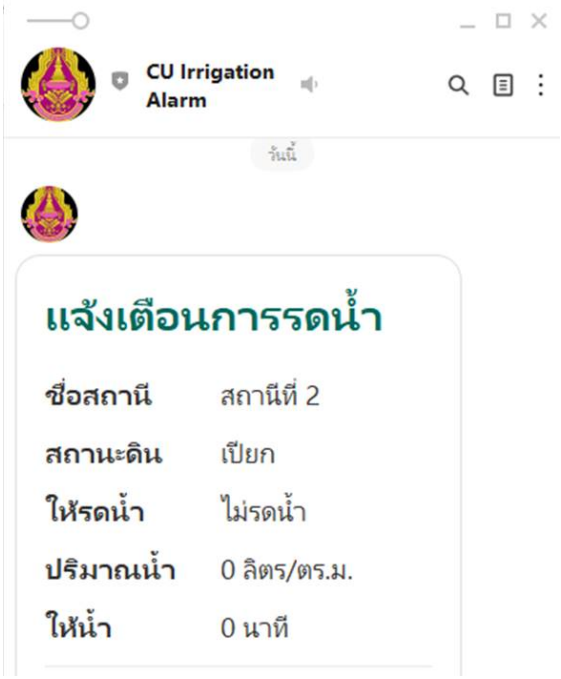
**รูปที่ 4.4-7** Rule Curve ของดินร่วนปนทราย และดินร่วนตะกอน

**ตารางที่ 4.4-1** กระบวนการการแจ้งเตือนการรดน้ำ

| **ชนิดดิน** | **ดินร่วนปนทราย** | | | **ดินร่วนตะกอน** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **สถานะ** | **ปริมาณความชื้นในดิน (%)** | **การรดน้ำ** | **ปริมาณน้ำ ($ม.^3$)** | **ปริมาณความชื้นในดิน (%)** | **การรดน้ำ** | **ปริมาณน้ำ ($ม.^3$)** |
| อิ่มน้ำ | >40 | ไม่รด | 0 | 42 | ไม่รด | 0 |
| เปียก | 30-40 | ไม่รด | 0 | 32-42 | ไม่รด | 0 |
| แห้ง | 26-30 | รดน้ำ | 16 | 26-30 | รดน้ำ | 16 |
| แห้งมาก | <26 | รดน้ำ | 25 | <26 | รดน้ำ | 25 |

### 4.4.4 การแจ้งเตือนข้อมูลการรดน้ำผ่านแอปพลิเคชัน Line

เมื่อได้รับข้อมูลส่งกลับจากการประมวลข้อมูลเพื่อแจ้งเตือนด้วยโปรแกรม Matlab ระบบต้องทำการพัฒนาระบบการทำงานเพิ่มเติมเพื่อรายงานข้อมูลที่ได้ไปยังแอปพลิเคชัน Line เพื่อให้ผู้รับผิดชอบในการรดน้ำสวนสามารถรับทราบ และนำข้อมูลที่ได้ไปปฏิบติอย่างรวดเร็วโดยระบบจะดำเนินการส่งข้อมูลรายงานไปยังมือถือของผู้ที่รับข้อมูลในเวลา 8.00 น. ของทุกวัน ซึ่งกระบวนการทั้งหมดเป็นแบบอัตโนมัติตามรูปที่ 4.4-8




**รูปที่ 4.4-8** ตัวอย่างการรายงานสถานะสถานีวัดบนแอปพลิเคชัน Line

## 4.5 การออกแบบระบบตรวจจับและควบคุมฟาร์มพืช มหาวิทยาลัยบูรพา

การทดสอบเก็บผลระบบควบคุมที่ออกแบบสร้างแล้วเสร็จ จะทำการเก็บผลโดยใช้อุปกรณ์เก็บข้อมูล (Data Acquisition; DAQ) ที่สามารถรับสัญาณแรงดันจากเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทั้งภายในและภายนอกโรงเรือนและการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิด้วยวิธีการระเหยของน้ำและระบบสเปรย์ละอองน้ำ โดยทำการเก็บข้อมูลต่อเนื่องอย่างน้อย 2 สัปดาห์ บันทึกค่าต่างๆ ทุก 15 วินาที เพื่อให้สามารถพิจารณาประสิทธิผลของระบบควบคุม เปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างภายในและภายนอกโรงเรือน และการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิด้วยวธีการระเหยของน้ำและระบบสเปรย์ละอองน้ำ ได้อย่างชัดเจน

### 4.5.1 การออกแบบระบบ

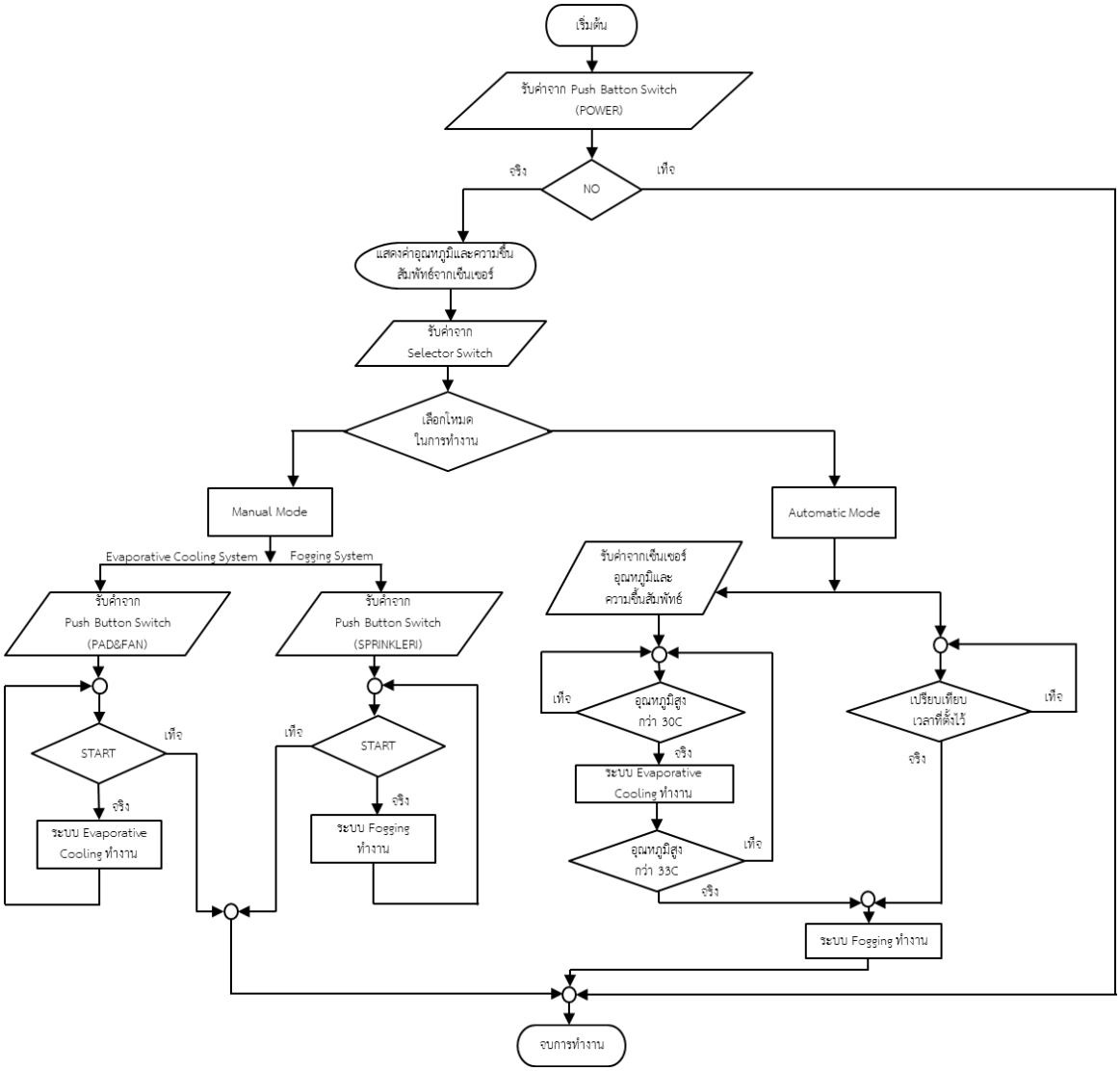
โดยอุปกรณ์ที่ใช้สามารถจำแนกกลุ่มอุปกรณ์ได้ดังนี้

1) อุปกรณ์เปิด-ปิดการทำงานและรับข้อมูล
   - สวิทช์กด ได้แก่ สวิทช์เปิด/ปิดระบบควบคุม, สวิทช์เปิด/ปิดระบบเปิดปิดระบบควบคุมอุณหภูมิด้วยความชื้น และสวิทช์เปิด/ปิดระบบสเปรย์ละอองน้ำ หรือ สปริงเกอร์
   - สวิทช์เลือก สำหรับเลือกการสั่งการแบบ Manual/Auto
   - อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ สำหรับรับค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือน
2) อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ
   - อุปกรณ์ระบบควบคุมอุณหภูมิ
   - อุปกรณ์ควบคุมระบบสเปรย์ละอองน้ำ

หมายเหตุ: อุปกรณ์ควบคุมไม่สามารถควบคุมระบบควบคุมอุณหภูมิและระบบสเปรย์ละอองน้ำได้โดยตรง ต้องผ่านตัว Relay และ Magnetic Contractor เพื่อให้สามารถสั่งการให้ระบบควบคุมอุณหภูมิและระบบสเปรย์ละอองน้ำ ทำงานได้

3) อุปกรณ์แผงควบคุม
   - PLC สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์เปิด-ปิดการทำงานและรับข้อมูล และอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ
   - Analog Input สำหรับรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
4) อุปกรณ์แสดงผล
   - Pilot Lamp สำหรับแสดงสถานะการทำงานของระบบควบคุม การทำงานของอุปกรณ์ระบบควบคุมอุณหภูมิ และอุปกรณ์ควบคุมระบบสเปรย์ละอองน้ำ
   - DC Volt Meter สำหรับแสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือน
5) อุปกรณ์จัดเก็บและสื่อสารข้อมูล
   - อุปกรณ์สำรองข้อมูลที่ตรวจวัด Data Logger สำหรับสำรองข้อมูล
   - อุปกรณ์สื่อสาร IoT สำหรับส่งข้อมูลไปให้แม่ข่ายระบบ

จากการกำหนดเกี่ยวกับอุปกรณ์สามารถเขียนแผนผังการทำงานของระบบควบคุมได้ดังรูปที่ 4.5-1




**รูปที่ 4.5-1** แผนผังการทำงานระบบควบคุม

### 4.5.2 การออกแบบระบบบันทึกข้อมูลตรวจจับและระบบควบคุม

ระบบตรวจจับในงานวิจัยนี้จะให้อุปกรณ์ SensMIni A4 เช่นเดียวกับที่ใช่ที่อุทยาน 100 ปีจุฬาฯ ในการติดตามข้อมูลในการวัดและค่าต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ทั้งภายในและภายนอกโรงเรือนรวมถึงการทำงานของ ระบบควบคุมอุณหภูมิและระบบสเปรย์ละอองน้ำ บันทึกค่าเป็ไฟล์ข้อมูล โดยทำการเก็บข้อมูลต่อเนื่องอย่างน้อย 2 สัปดาห์ บันทึกค่าต่างๆ ทุก 15 วินาที เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างภายในและภายนอกโรงเรือน และการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิและระบบสเปรย์ละอองน้ำ เพื่อบันทึกและส่งไปจัดเก็บในแม่ข่ายของระบบ เพื่อใช้พัฒนางานวิจัยในขั้นต่อไป

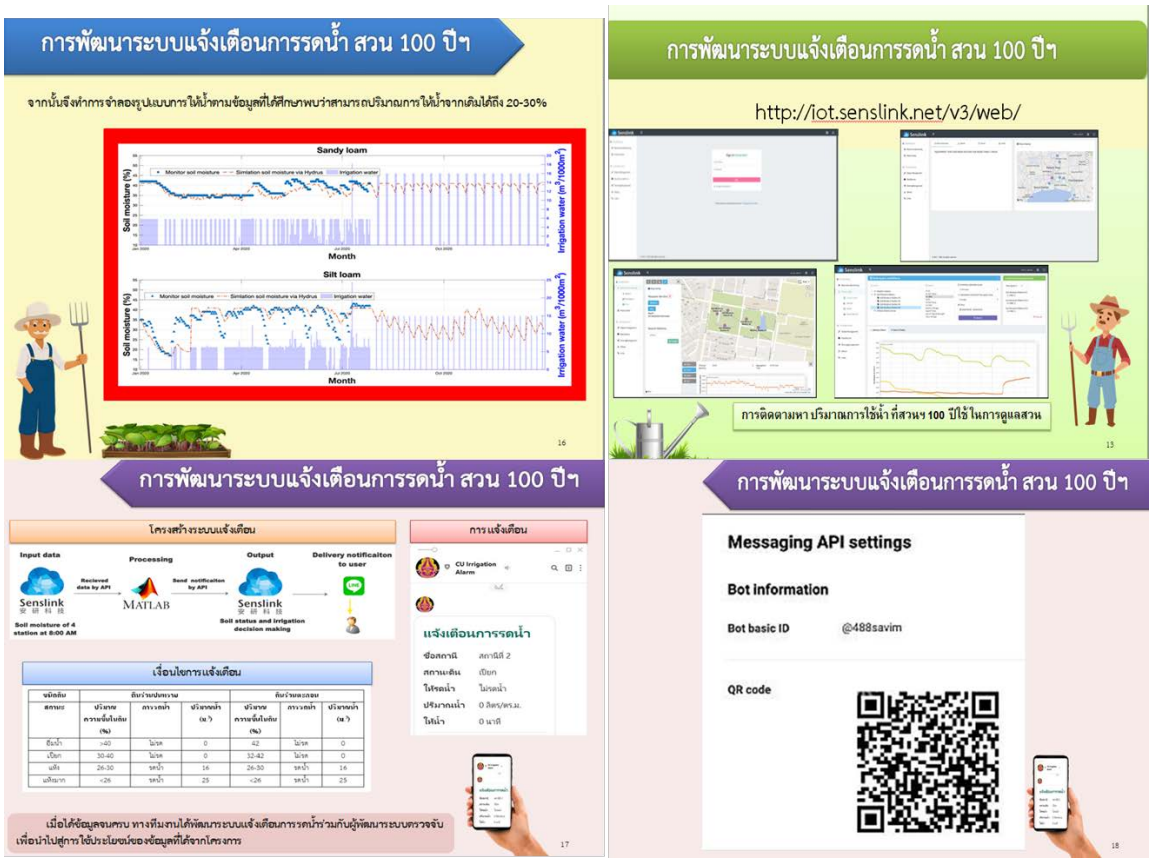
**4.6 การประชุมเชิงปฏิบัติการ เรื่องระบบตรวจจับและระบบประมวลข้อมูลด้านทรัพยากรน้ำและการเกษตร**

ในการเผยแพร่การใช้ประโยชน์จากระบบที่โครงการได้พัฒนาขึ้น ทางโครงการได้จัดประชุมเชิงปฏิบัติการเพื่อเผยแพร่ในวันที่ 14 ตุลาคม 2563 ที่ห้องประชุมอุทยาน 100 ปีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยเนื้อหานำเสนอแนวคิดของโครงการ การเข้าใช้ระบบแสดงข้อมูลระบบตรวจจับ และการใช้งานระบบแจ้งเตือนการรดน้ำ โดยมีผู้เกี่ยวข้องและผู้รับผิดชอบการดูแลอุทยาน 100 ปีฯ จำนวน 8 ท่าน ซึ่งการนำเสนอผู้เข้าร่วมได้ให้ความสนใจซักถามรายละเอียดและแลกเปลี่ยนความรู้และความคิดเห็นกับทีมงาน และให้ความสนใจในการนำระบบที่นำเสนอไปใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะการแจ้งเตือนการรดน้ำ ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ของโครงการ เพราะปัจจุบันทางอุทยานฯ จะมีการใช้น้ำเฉลี่ย 200,000 บาทต่อเดือน โดยการจำลองการให้น้ำจากระบบแจ้งเตือนการรดน้ำสามารถประหยัดน้ำได้ถึง 20-30 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้สามารถประเมินความสำเร็จการประชุมเชิงปฏิบัติการ

**ตารางที่ 4.6-1** สรุปแบบประเมินการประชุมเชิงปฏิบัติการ

| ประเด็นความคิดเห็น | ระดับความพึงพอใจ / ความรู้ความเข้าใจ / การนำความรู้ไปใช้ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | มากที่สุด 5 | มาก 4 | ปานกลาง 3 | น้อย 2 | น้อยที่สุด 1 |
| **ด้านวิทยากร** | | | | | |
| 1. การเตรียมตัวและความพร้อมของวิทยากร | 2 | 6 | | | |
| 2. การถ่ายทอดของวิทยากร | 2 | 5 | 1 | | |
| 3. สามารถอธิบายเนื้อหาได้ชัดเจนและตรงประเด็น | 2 | 4 | 2 | | |
| 4. การตอบคำถามของวิทยากร | 3 | 4 | 1 | | |
| **ด้านความรู้ความเข้าใจ** | | | | | |
| 5. ความรู้ ความเข้าใจในเรื่องนี้ก่อนการประชุม | 2 | 2 | 3 | 1 | |
| 6. ความรู้ ความเข้าใจในเรื่องนี้หลังการประชุม | 3 | 4 | 1 | | |
| 7. สามารถบอกประโยชน์ได้ | 2 | 6 | | | |
| **ด้านการนำความรู้ไปใช้** | | | | | |
| 8. สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานได้ | 2 | 5 | 1 | | |
| 9. สามารถนำความรู้ไปเผยแพร่ / ถ่ายทอดแก่ชุมชนได้ | 2 | 5 | 1 | | |
| **รวม** | **20** | **41** | **10** | **1** | |

**รูปที่ 4.6-1** บรรยากาศการประชุมเชิงปฏิบัติการ




**รูปที่ 4.6-2** ภาพเอกสารประกอบการประชุมเชิงปฏิบัติการ

# บทที่ 5
# บทสรุปและข้อเสนอแนะ

## 5.1 บทสรุป

แนวคิดของโครงการข้อกำหนดเบื้องต้นที่เหมาะสมในการพัฒนาระบบอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อรองรับการเชื่อมโยงข้อมูล ขยายผล และการทำงานร่วมกันของแต่ละหน่วยงานที่มีการพัฒนาระบบตรวจจับ เช่น กรมชลประทาน, กรมทรัพยากรน้ำ, สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร และสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) เป็นต้น และพัฒนาระบบตรวจจับควบคุมการให้น้ำพืชที่ประมวลผลและแม่ข่ายเชื่อมโยงข้อมูลพร้อมประมวลผล ให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศและความต้องการพืช เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรน้ำที่ยังคงประสิทธิผลในการผลิตการเกษตร

วิธีการดำเนินงานการพัฒนาเทคนิควิธีการของอุปกรณ์ตรวจวัด ควบคุม และสารสนเทศข้อมูลพร้อมระบบประมวลผล ในการศึกษาเพื่อให้ทราบปัญหาและจัดการอุปกรณ์ได้ง่ายจึงใช้พื้นที่อุทยาน 100 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ โรงเรียนสาธิตพิบูลบำเพ็ญมหาวิทยาลัยบูรพา เป็นพื้นที่ศึกษา โดยจะติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ เพื่อตรวจสอบและสอบเทียบข้อมูลระหว่างกัน โดยใช้การเชื่อมต่อที่หลากหลาย เช่น WiFi, 3G, LoRa และ NB IoT เพื่อประมวลข้อดี-ข้อเสียของการเชื่อมโยงแต่ละแบบ พร้อมทั้งศึกษาข้อมูลที่ได้จากแต่ละระบบตรวจจับ โดยให้ความสำคัญที่การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการระบบให้น้ำ โดยอาศัยอุปกรณ์ตรวจจับ หลายระบบและหลายรูปแบบ เพื่อพัฒนาระบบและข้อกำหนดที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์ตรวจจับและระบบแม่ข่ายรวบรวบข้อมูล พร้อมศึกษาการนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประโยชน์

### ด้านอุปกรณ์ตรวจจับ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดจากการทดสอบการใช้อุปกรณ์จากเทคโนโลยีของประเทศไต้หวันเกี่ยวกับระบบตรวจจับที่เหมาะสมในด้านอุปกรณ์และระบบแม่ข่ายบนระบบ IoT ควรมีความสามารถเบื้องต้น ดังนี้ 1) ความสามารถในการหยุดทำงานแบบ sleep mode เพื่อประหยัดพลังงาน 2) การสอบทานข้อมูลจากการส่งข้อมูลโดยการส่งข้อมูลอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาเฉลี่ยเป็นข้อมูลจัดเก็บ 3) การรองรับปัญหาการสื่อสารระหว่างแม่ข่ายกับลูกข่ายในช่วงการขาดกการติดต่อ โดยสามารถเรียกทวนข้อมูลที่ขาดไประหว่างการสื่อสารมาบันทึกในฐานข้อมูลของเครื่องแม่ข่ายได้โดยอัตโนมัติ 4) ความสามารถในการแปลงข้อมูลโดยอุปกรณ์ให้เป็นต่าที่นำไปใช้งาน 5) การปรับเทียบเวลาให้

ตรงกันของอุปกรณ์โดยอาศัยการเรียกข้อมูลจากระบบอินเตอร์เน็ตเพื่อให้ได้เวลาที่เป็นมาตรฐาน 6) ระบบสำรองไฟฟ้าที่ควรรองรับการทำงานได้มากกว่า 2 สัปดาห์ 7) สามารรองรับการปรับปรุง Firmware เพื่อให้สามารถรองรับอุปกรณ์และการเชื่อมต่อใหม่ๆ ได้ หรือสามารถปรับปรุงอุปกรณ์ภายในได้ ในส่วนอุปกรณ์จำเป็นต้องคำนึงถึงสถานที่ติดตั้งเพื่อเลือกใช้อุปกรณ์ได้อย่างเหมาะสม เช่น ในที่ร่มควรหาแหล่งพลังงานเพื่อจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบโดยตรง และกลางแจ้งอาจมีทางเลือกเป็นระบบพลังงานแสงอาทิตย์ รวมถึงการเชื่อมโยงระหว่างแม่ข่ายที่ต้องสามารถรองรับการเชื่อมโยงได้หลายรูปแบบ เช่น Bluetooth สำหรับการควบคุมและการติดตั้ง Firmware ให้กับอุปกรณ์, WiFi/3G/4G/LoRa/NB-IoT สำหรับการเชื่อมโยงกับระบบแม่ข่ายและเรื่องความปลอดภัยโดยรวมของระบบ

**แม่ข่าย**

แม่ข่ายของระบบอุปกรณ์ตรวจจับเป็นส่วนที่มีความสำคัญกับระบบทำหน้าที่เชื่อมโยงข้อมูลระหว่างแม่ข่ายกับอุปกรณ์ตรวจจับ ทั้งนี้จากการศึกษาระบบแม่ข่ายถูกแยกเป็นส่วนจัดเก็บข้อมูลและแม่ข่ายประมวลข้อมูล เนื่องจากเป็นการพัฒนาระบบร่วมกันระหว่างผู้ติดตั้งระบบตรวจจับและทีมงานวิจัย จากการวิจัยแม่ข่ายส่วนที่เป็นระบบจัดเก็บข้อมูลจะมีส่วนรวบรวม, ตรวจสอบ และแสดงผลข้อมูลผ่านทางส่วนติดต่อในลักษณะเว็บไซต์ ในการรวบรวมข้อมูลจากระบบตรวจจับแล้วระบบควรรองรับการนำเข้าข้อมูลจากระบบตรวจจับอื่นจากภายนอกด้วย เพื่อให้ระบบรองรับการขยายได้ในอนาคต นอกจากนี้ยังสามารถเชื่อมต่อข้อมูลผ่านทางรูปแบบ Application Programming Interface (API) ซึ่งเป็นทั้งระบบรับและระบบส่งข้อมูลจากภายนอก โดยทางทีมวิจัยได้พัฒนาระบบประมวลข้อมูลเพื่อดึงข้อมูลจากแม่ข่ายระบบจัดเก็บข้อมูล มาประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์แล้วส่งข้อมูลกลับไปยังระบบจัดเก็บข้อมูลแม่ข่ายแบบอัตโนมัติ ซึ่งทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นและเป็นการไม่รบกวนการจัดเก็บข้อมูลของระบบแม่ข่ายจัดเก็บข้อมูลที่ต้องรับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับอยู่ตลอดเวลา และทำให้การพัฒนาระบบโดยรวมสามารถดำเนินการได้อย่างอิสระต่อกัน ทั้งนี้ในการศึกษาพบว่าการเชื่อมโยงข้อมูลกับแม่ข่ายระบบ Cloud มีความเสถียรเป็นอย่างมากเพราภาระในการดูแลระบบเป็นของผู้ให้บริการ แต่จะมีค่าใช้จ่ายในการเชื่อมโยงต่อครั้งดังนั้น การออกแบบระบบที่ดีจึงควรคำนึงถึงความจำเป็นในการเรียกใช้บริการจากระบบเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายที่เหมาะสม

นอกจากนี้ทางโครงการได้พยายามทำการทดสอบระบบควบคุมน้ำสำหรับสวน 100 ปีฯ ซึ่งเป็นที่ตั้งของอุปกรณ์ทดสอบ เพื่อทดสอบการทำงานของระบบอุปกรณ์ IoT เพื่อทดสอบการควบคุมการให้น้ำในสวน 100 ปีฯ ในส่วนบริเวณสวนลอย แต่ติดปัญหาจากสถานการณ์ COVID-19 ทำให้ไม่สามารถ

เบิกจ่ายงบประมาณและเข้าพื้นที่ได้เพราะจำเป็นต้องใช้บุคลากรในการติดตั้งจำนวนมากทั้งในส่วนของการติดตั้งระบบน้ำ และการติดตั้งระบบควบคุมซึ่งเป็นข้อจำกัดของมาตรการควบคุมโรค ทำให้ทางโครงการได้ปรับเปลี่ยนการทำงานโดยการนำเอาข้อมูลจากระบบมาพัฒนาเป็นระบบแจ้งเตือนการรดน้ำโดยเทคนิคและวิธีการที่ใช้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเป็นระบบควบคุมการให้น้ำได้ในภายหลังเพื่อทดแทนงานที่ไม่ได้เบิกใช้งบประมาณในส่วนนี้ โดยทางโครงการได้ศึกษาดินของอุทยาน 100 ปีฯ เพื่อหาค่าการหน่วงน้ำของดินที่มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นในดินที่ระบบตรวจจับวัดได้ พร้อมศึกษาค่าจุดที่กระทบต่อการจัดการผลผลิตที่ยอมรับได้ (Management Allowable Deficit (MAD)) เพื่อใช้อ้างอิงในการจัดการน้ำที่เหมาะสม ทำให้ได้เงื่อนไขที่เหมาะสมในการรดน้ำของอุทยาน 100ปีฯ มาพัฒนาเป็นระบบแจ้งเตือนการรดน้ำ ซึ่งข้อมูลจากระบบที่ได้ช่วยให้ผู้ดูแลสวนทราบถึง สถานะดิน, สถานะการให้น้ำ, ปริมาณน้ำที่ใช้ และ เวลาในการให้น้ำ ที่ช่วยให้ผู้ดูแลสวนสามารถติดตามสถานะและปรับเปลี่ยนรูปแบบการรดน้ำทำให้ลดการให้น้ำได้ถึง 20-30 เปอร์เซ็นต์ ของการให้น้ำในในปัจจุบัน (ข้อมูลจากการทดสอบในแบบจำลอง) ทั้งนี้ทางโครงการได้ถ่ายทอดความรู้ให้กับบุคลากรชองอุทยานและเข้าหารือกับคณะผู้บริหารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเพื่อส่งมอบผลสำเร็จของโครงการ ซึ่งผลของการศึกษาสามารถนำไปต่อยอดในการศึกษาในพื้นที่มหาวิทยาลัยบูรพาได้

**5.2 ข้อเสนอแนะ**

1) ควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเพื่อต่อยอดการพัฒนาอุปกรณ์และระบบเพื่อให้รองรับการทำงานและอุปกรณ์ที่มากขึ้น รวมถึงการพัฒนาเรื่องระบบควบคุมเพื่อให้ใช้ประโยชน์จากอุปกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2) ควรมีการศึกษาอุปกรณ์ตรวจจับที่สามารถตรวจวัดปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชร่วมด้วย ที่นอกเหนือจากด้านการจัดสรรน้ำ
3) ควรมีการนำข้อมูลผลการทำนายปริมาณฝน 72 ชม. มาทำการศึกษาเพิ่มเติมร่วมกับการทำงานของระบบตรวจจับและระบบแจ้งเตือนการรดน้ำ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนการรดน้ำ
4) ควรศึกษาการรวมระบบแม่ข่ายจัดเก็บข้อมูลเข้ากับระบบประมวลผลเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเชื่อมโยงและให้ได้รูปแบบที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยเพื่อปรับปรุงระบบในอนาคต

**5.3 ปัญหาและอุปสรรค**

ในโครงการ “การศึกษาและพัฒนาการใช้ระบบตรวจจับพื้นที่สีเขียวพร้อมระบบสารสนเทศ” มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการตรวจจับเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานกับระบบอุปกรณ์ประเภท IoT โดยอาศัยการศึกษาจากระบบต้นแบบของประเทศไต้หวันเพื่อนำมาพัฒนาเป็นระบบที่เหมาะกับประเทศไทย ทั้งนี้มีความจำเป็นต้องพัฒนาอุปกรณ์เพื่อนำมาเทียบกับระบบดังกล่าว รวมถึงพัฒนาระบบรองรับที่สามารถทำงานร่วมกับระบบอื่นๆ ที่มีในโครงการต่างๆ ภายใต้โครงการเซ็มมุ่ง แต่จากเหตุการณ์สถานการณ์ COVID-19 ทำให้ไม่สามารถเบิกจ่ายงบประมาณในส่วนหลังนี้ได้ ทำให้ปัจจุบันต้องใช้การศึกษาจากระบบต้นแบบของไต้หวันเป็นฐานของการศึกษาแทนการพัฒนาระบบขึ้นมาเอง

ในส่วนงานด้านของมหาวิทยาลัยบูรพา เนื่องจากทางพื้นที่ติดปัญหาการขอใช้พื้นที่และสถานการณ์ COVID-19 ทำให้งานในส่วนนี้ล่าช้ากว่ากำหนด ทั้งนี้ทางทีมงานก็ได้เข้าพื้นที่เพื่อช่วยเหลือและสนับสนุนในการดำเนินการโครงการของมหาวิทยาลัยบูรพา ทั้งนี้ระบบที่จะติดตั้งจำเป็นต้องดำเนินการหลังจากงานก่อสร้างของมหาวิทยาลัยบูรพาเสร็จสิ้น ทำให้งานในส่วนนี้ทางโครงการขอยกเลิกเนื่องจากไม่สามารถดำเนินการได้ทันในระยะเวลาโครงการ อีกทั้งในส่วนการพัฒนาระบบขึ้นมาเองยังไม่ได้จัดทำ ทำให้อาจต้องใช้ระบบของทางไต้หวันในการติดตั้งในพื้นที่

# เอกสารอ้างอิง


ภาษาไทย

ภาคภูมิมโนยุทธ, มัลลิกาอุณหวิวรรธน์, วรรณรัช สันติอมรทัต. (2553). ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาและการต่ออุปกรณ์เสริมเพื่อใช้ในสวนยางพารา. งานประชุมวิชาการ ECTI-CARD 2010. (1) : 1-6.

ระวิน สืบค้า. 2557. การให้น้ำแบบหยดแก่ไม้ผลที่ปลูกเชิงแถบอนุรักษ์ในระบบเกษตรน้ำฝนบนที่ลาดชัน วารสารนเรศวรพะเยา. (3) ธันวาคม 2557.

เกรียงกานต์ กาญจนะโภคิน. 2555. ต่อไป ทุกอย่างจะเป็น Smart Device. แหล่งที่มา: http://www.bangkokbiznews.com/blog/detail/468586, 10 พฤศจิกายน 2558

ประโยชน์ คำสวัสดิ์ 2556 การพัฒนาเครือข่ายเซนเซอรสำหรับระบบชลประทานอัตโนมัติ แหล่งที่มา: http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/5558/1/SUT7-709-56-12-59 - Fulltext.pdf 10 พฤศจิกายน 2561

วรพล เกตุตรง, ณัฐธยาน์ นามอินทร์, วัชรินทร์ โสภาพ (2554), การศึกษาและปรับปรุงการให้น้ำแบบสปริงเกอร์:กรณีศึกษาหมู่บ้านหลักเมตร ต.ทุ่งขวาง อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม, ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม

อินเตอร์เน็ตในทุกสิ่ง (Internet of Things) (2019), https://th.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=i/iot-internet-of-things

Horizon Magazine (2016), เทคโนโลยีเซนเซอร์กับเกษตรกรรม, http://horizon.sti.or.th/node/56

ภาษาอังกฤษ

Venkata Sriharsha Kuncham, Prof Rao N.V 2014 Sensor For Managing Water Resources In Agriculture Vol-9,2 pp: 145-163

Amar Pratap Singh,Shakti Kumar,Tara Singh Kamal,2003.ANN Based Virtual Instrumentation System for Estimation of Non –Linear Characteristics of Sensors ,IETE Journal Of Education.Vol-44,2,pp:63-72.

Algeeb A,Albaul A,A Asseni ,Jomah S, Khalifa O,2010.Design and Fabrication Of an Intelligent Irrigation Control System, Advances in Sensors, Proceedings of 3rd WSEAS International Conference on Advances in Sensors, Signal and Materials, pp : 119-124,U.S.A

AlexanderLoew,FlorianSchlenz,JoachimFallmann,Marzahn,Wolfram,Mauser,2012.Characterists of Rape Field Microwave Emission and Implicants to surface soil moisture retrievals, Remote Sesing,vol-4,pp:247-270.

Bheli, Macro, 2007 .Soil Moisture Sensors, Department of Agro Environmental Sciences & Technology, Bolonga.

Brent, Philpot, T., 2008. Field Guide to Soil Moisture Sensor Use in Florida, University of Florida, Florida.

Devices, Decagon, 2010. EC-20, EC-10, EC-5 Soil Moisture Sensors User Manual, Decagon devices Inc, Pullmann WA 99163, U.S.A.

R.Troy.P, Kefyalew.D and Leigh.N (2013) Practical Use of Soil and Their Data for Irrigation Scheduling, Washington State University Extension

ISO/IEC CD 30141 (2016), Information Technology – Internet of Things Reference Architecture (IoT RA), www.iso.org

Clare.N (2018), Reference Framwork for The Internet of Things, https://www.iso.org/news/ref2340.html

# ภาคผนวก

# ภาคผนวก ก
# หนังสือยื่นเสนอแผนงานติดตั้ง

# ภาคผนวก ก

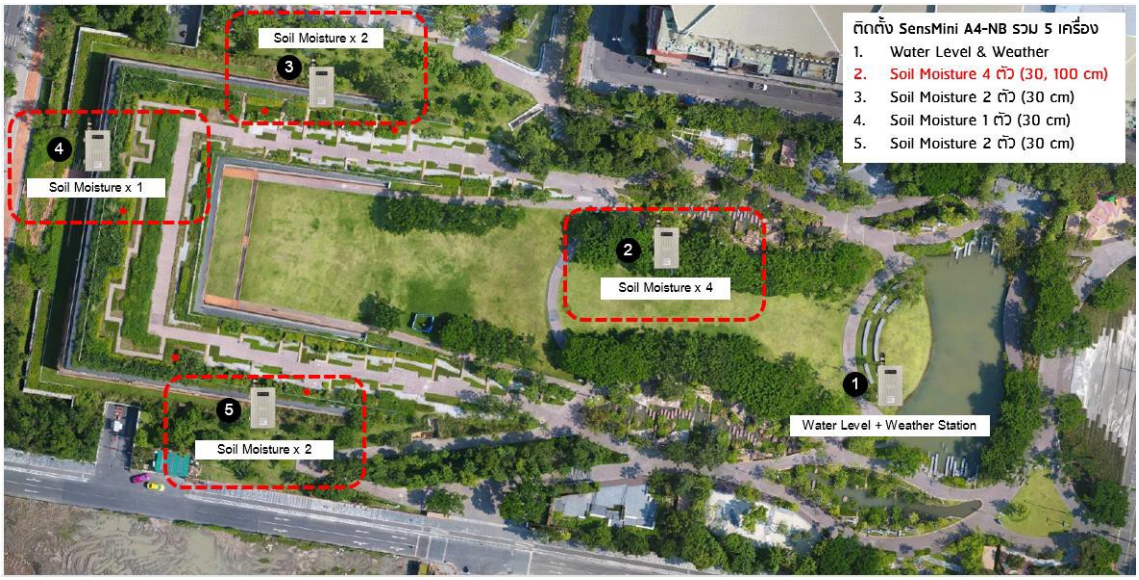
# หนังสือยื่นเสนอแผนงานติดตั้ง

โครงการพื้นที่สีเขียว ระบบสารสนเทศฯ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระยะเวลาดำเนินการ

| No. | Detail | 2019 | | | 2020 | | | | | | | | | | | Status | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | | |
| | **PHASE 1** | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Meeting and get requirement | | | | | | | | | | | | | | | Done | |
| 2 | Proposal Phase 1 | 25 | | | | | | | | | | | | | | Done | |
| 3 | PAYMENT | | | | | | | | | | | | | | | Pending | |
| 4 | QQT Phase 1 | 25 | | | | | | | | | | | | | | Done | |
| 5 | QQT Phase 1 Rev01 | | 18 | | | | | | | | | | | | | Done | Sperate 2 QTT |
| 6 | QQT Phase 1 Rev02 | | 27 | | | | | | | | | | | | | Done | Sperate 3 QTT of 1.2M |
| 7 | QQT Phase 1 Rev03 | | | 11 | | | | | | | | | | | | Done | withdrawing durable form |
| 8 | Installation Soil moisture 4 station | | | 18-24 | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | Installation Weather station ( 1 station) | | | | 13-17 | | | | | | | | | | | | |
| 10 | Delivery Phase 1 | | | | 20-22 | | | | | | | | | | | | |

ครั้งที่ 1 ติดตั้งชุดอุปกรณตรวจวัดความชื้นในดิน ระหว่างวันที่ 18-24 ธันวาคม 2562

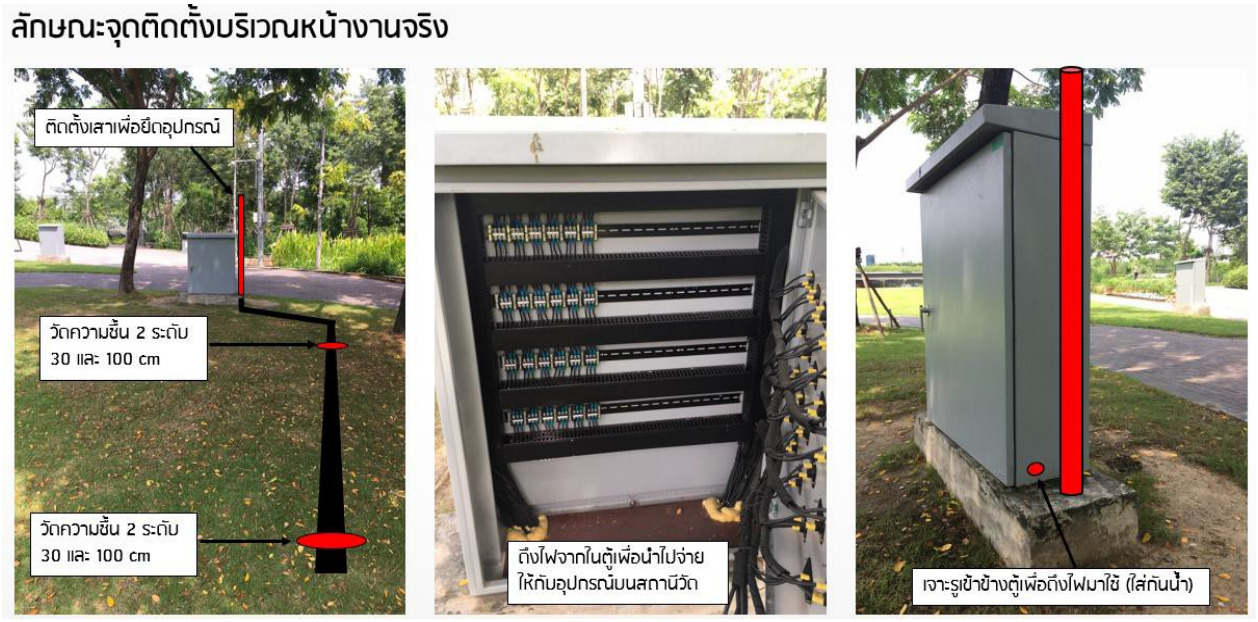


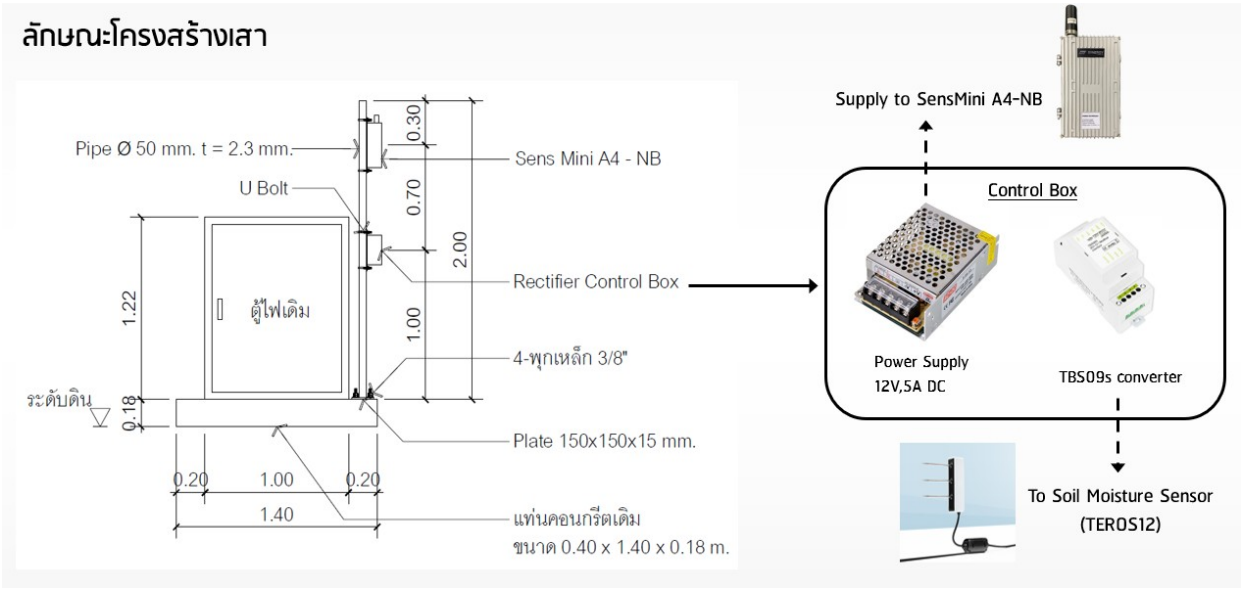

**รายละเอียดงาน** : ติดตั้งชุดอุปกรณ์วัดความชื้นในดิน จำนวน 4 สถานี แบ่งเป็น

- ภาคสนามหญ้า 1 สถานี โดยวัด ความชื้นในดิน 2 จุด จุดละ 2 ระดับ (30 cm ,60 cm)
- ภาคสวนลอย 3 สถานี โดยวัดความชื้นในดิน 5 จุด จุดละ 1 ระดับ (30 cm)

**รูปแบบการติดตั้ง**

สถานีที่ 1 บริเวณภาคสภาพสนามหญ้า : ติดตั้งเสาอุปกรณ์ด้านข้างตู้ไฟเดิมเดินสายร้อยท่อ HDPE ลงดิน วัดความชื้น 2 จุด ระดับความลึกที่ 30 cm และ 60 cm ตามลำดับ



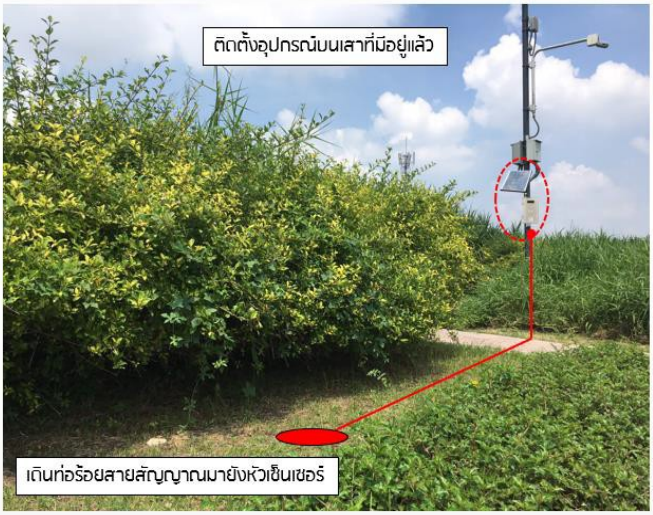
สถานีที่ 2 และ สถานีที่ 3

**ลักษณะจุดติดตั้งบริเวณหน้างานจริง**

ติดตั้งบริเวณภาคสวนลอย ติดตั้งอุปกรณ์กับเสาไฟเดิมทีมีอยู่แล้ว เดินสายไฟร้อยท่อ HDPE ไปยังหัวเซ็นเซอร์ผ่านตามรั้วด้านหลัง เพื่อความเรียบร้อยและภาพลักษณ์ของสวน

สถานีที่ 4

**ลักษณะจุดติดตั้งบริเวณหน้างานจริง**



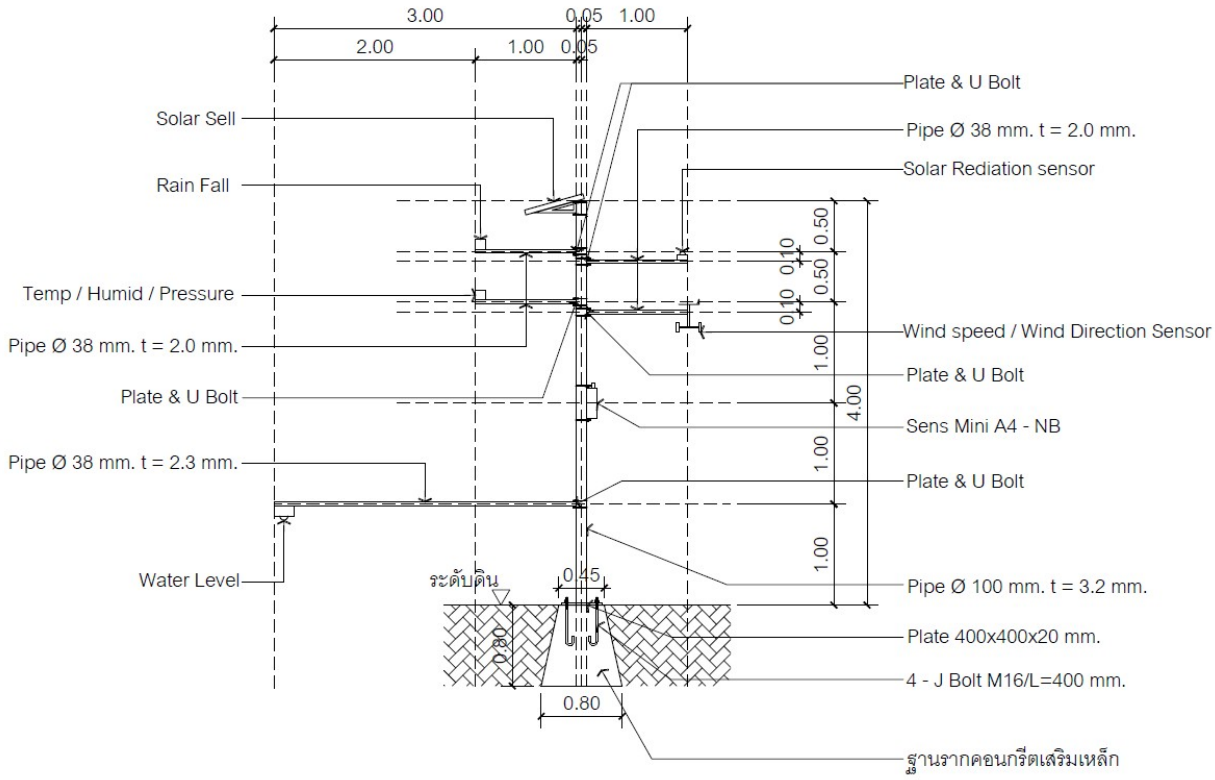

ติดตั้งบริเวณภาคสวนลอย ติดตั้งอุปกรณ์กับเสาไฟเดิมทีมีอยู่แล้ว เดินสายไฟร้อยท่อ HDPE ไปยังหัวเซ็นเซอร์

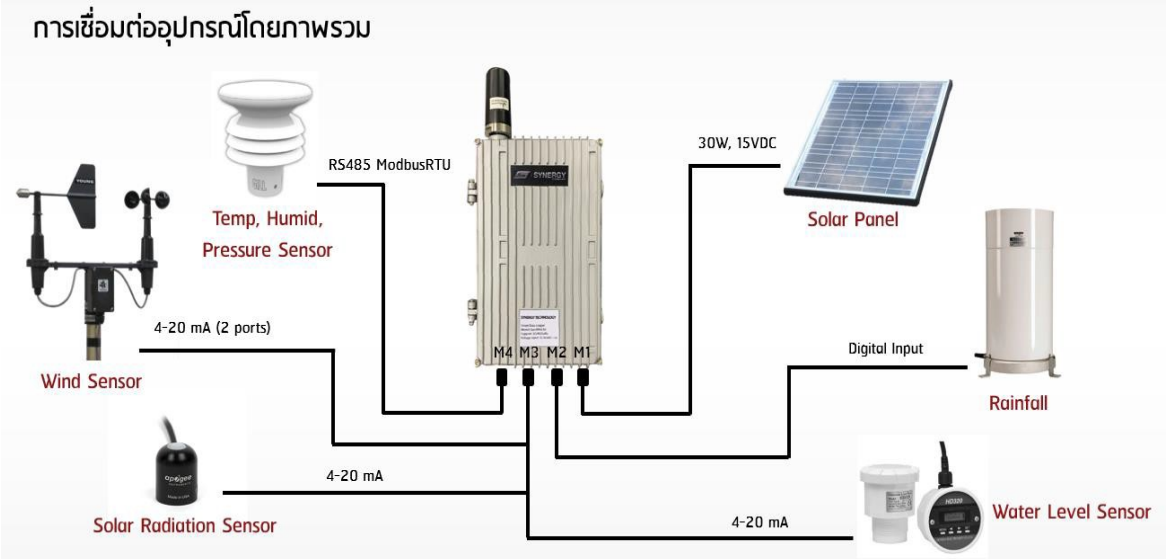
ครั้งที่ 2 ติดตั้งชุดอุกรณตรวจวัดสภาพอากาศลและระดับน้ำ 1 สถานี

ระหว่างวันที่ 13-17 มกราคม 2563

**ลักษณะจุดติดตั้งบริเวณหน้างานจริง**

ลักษณะโครงสร้างเสา






จึงเรียนมาเพื่อพิจารณา อนุมัติเข้าดำเนินการติดตั้งตามระยะเวลาที่กำหนด

# ภาคผนวก ข

# โครงการพัฒนาต้นแบบระบบตรวจวัดสภาพอากาศ

# ภาคผนวก ข

# โครงการพัฒนาต้นแบบระบบตรวจวัดสภาพอากาศ

## หัวข้อหลัก

ร่างแนวคิดการทำงานของระบบ

Flow การทำงานของเฟิร์มแวร์

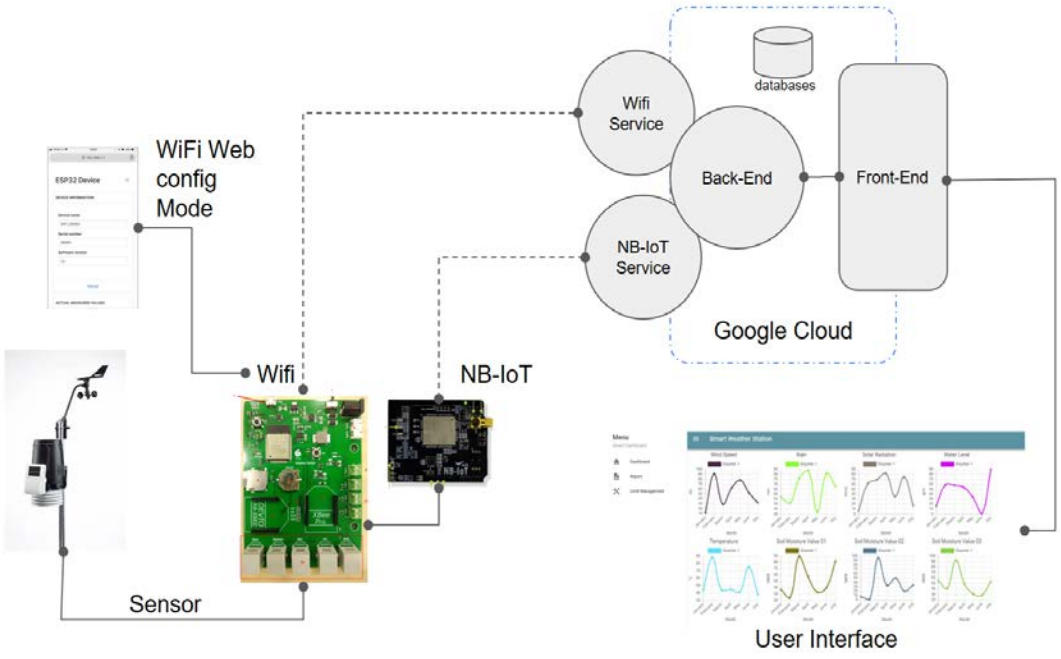
Hardware

- อุปกรณ์
- แบบทางไฟฟ้าของบอร์ดควบคุม
- การทดสอบอุปกรณ์ (บอร์ดควบคุม)
- การตั้งค่าอุปกรณ์

Software

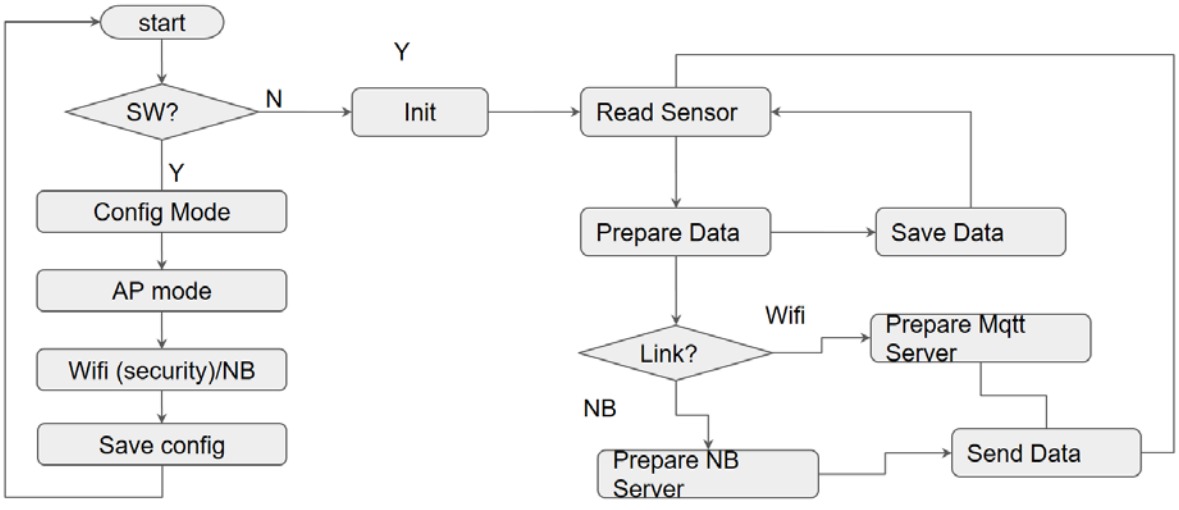
- ไลบรารี่และชุดคำสั่ง
- การตั้งค่าโปรแกรมและชุดคำสั่ง
- Diagram การสื่อสาร ฐานข้อมูลและเซิร์ฟเวอร์
- เว็บเบราเซอร์

## ร่างแนวคิดการทำงานของระบบ



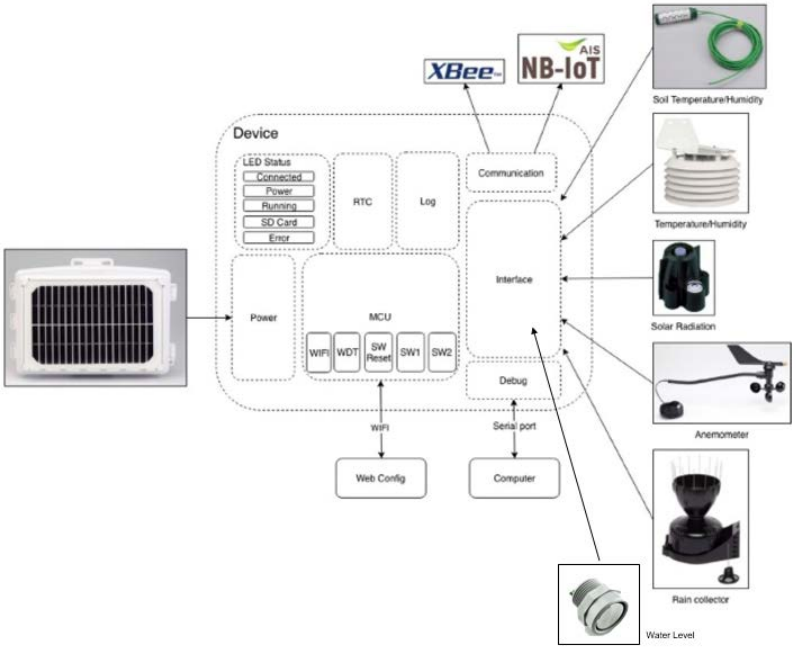

ระบบตรวจวัดสภาพอากาศ จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก ๆคือ อุปกรณ์ (Hardware) ที่มีเซ็นเซอร์ จำนวน 6 เซ็นเซอร์ (8 พารามิเตอร์) ในการรับค่าต่าง ๆจากสภาพอากาศ มายังบอร์ดควบคุมที่ได้อับโหลดชุดคำสั่งต่าง ๆ ไว้และทำการส่งค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์ผ่านอินเทอร์เน็ตด้วยการสื่อสาร Wi-Fi (wireless fidelity) หรือ NB-IoT (Narrow band Internet of Things) ไปเก็บยัง Google Cloud Server และส่งค่ามาแสดงผลและประมวลผ่าน Web Base Application (Web Browser) พร้อมระบบแจ้งเตือนเป็น Pop-up บนหน้าแสดงผลบน Web Browser

## Flow การทำงานของเฟิร์มแวร์



## Hardware

## อุปกรณ์




ประกอบไปด้วย

- บอร์ดควบคุม (Controller Board)
    1. Node MCU (ESP 32)
    2. บอร์ด PCB
- เซ็นเซอร์ (Sensor)
    1. อุณหภูมิ / ความชื้น (Davis Series: 6834)
    2. ปริมาณน้ำฝน (Davis Series: 6465)
    3. ความเร็วลม / ทิศทางลม (Davis Series: 6410)
    4. ความเข้มของแสง (Davis Series: 6450)
    5. ความชื้นในดิน (Davis Series: 6440)
    6. ระดับน้ำ (XL-Maxsonar-WRC 1)
- แหล่งจ่ายไฟสำรอง (Backup Power Supply)
    1. โมดูลโซล่าเซลล์
    2. โมดูลชาร์จไฟ
    3. แบตเตอรี่
- โมดูลสื่อสาร (Communication Module)
    1. โมดูล Devio NB-Xbee

# คุณสมบัติของบอร์ดควบคุม

## 1. Node MCU (ESP 32)

| | |
|---|---|
| **RAM** | 520 KB |
| **CPU** | Tensilica Xtensa LX6<br>32 bit Dual-Core @ 160 / 240Mhz |
| **Flash** | up to 64 MBytes |
| **Input Voltage** | 2.2 V - 3.6 V |
| **Operating Current** | 80 mA average |
| **Temperature Range** | -40°C to 125°C |
| **Standards** | FCC/CE/TELEC/KCC |
| **Connectivity** | |
| **Wi-Fi** | 802.11b/g/n |
| **Bluetooth®** | 4.2 BR/EDR + BLE |
| **UART** | 3x UART |
| **I/O** | |
| **I2C** | up to 2 |
| **GPIO** | 32 (up to) |
| **PCM** | up to 1 |
| **PWM** | up to 8 |
| **ADC** | 12 bit SAR ADC up to 18 channels |
| **DAC** | 8 bit up to 2 channels |
| **Dimensions** | |
| **Package** | QFN-48 |
| **Height** | 0.23622 in (6 mm) |
| **Width** | 0.23622 in (6 mm) |

## 2. บอร์ด PCB

**คุณสมบัติของเซ็นเซอร์**

**1. อุณหภูมิ / ความชื้น (Davis Series: 6834)**

| | |
|---|---|
| **อุณหภูมิในการทำงาน** | -40° ถึง +65° C |
| **วัสดุครอบ** | พลาสติก PVC ทน UV |
| **ความชื้น** | |
| **ช่วง/ระยะ** | 1 to 100% RH |
| **ความแม่นยำ** | ±2% |
| **ความคาดเคลื่อน** | <0.25% ต่อปี |
| **ช่วงเวลาในการอัพเดท** | 50 วินาที ถึง 1 นาที |
| **อุณหภูมิ** | |
| **ช่วง/ระยะ** | -40° ถึง +65°C) |
| **ความแม่นยำ** | ±0.3°C |
| **ช่วงเวลาในการอัพเดทข้อมูล** | 0 ถึง 12 วินาที |

**2. ปริมาณน้ำฝน (Davis Series: 6465)**

| | |
|---|---|
| **ประเภทของเซ็นเซอร์** | ถังเก็บขากระดกแบบสวิตช์สนามแม่เหล็ก |
| **ความแม่นยำ** | สำหรับอัตราน้ำฝนสูงถึง 4 "/ ชม. (100 มม. / ชม.) : ± 4% ของทั้งหมดหรือ ± 1 ทิปของถัง (0.01" /0.2 มม.) แล้วแต่จำนวนใดจะสูงกว่า |
| **ประเภทของสายเคเบิล** | 4-ลวดตัวนำ, ขนาด 0.4 มม. |
| **การเชื่อมต่อ** | RJ-11 |
| **วัสดุครอบ** | พลาสติก ABS ป้องกันรังสี UV |
| **ขนาด** | |
| **Rain Collector** | เส้นผ่านศูนย์กลาง 16.5 ซม.x สูง 24 ซม. โดยไม่มีหนามแหลม |
| **Collection Area** | 214 ตร.ซม. |

### 3. ความเร็วลม / ทิศทางลม (Davis Series: 7911)

| ประเภทเซ็นเซอร์ | |
|---|---|
| **ความเร็วลม** | เซ็นเซอร์สนามแม่เหล็กแบบ Solid State |
| **ทิศทางลม** | กังหันลมและโพเทนชิออมิเตอร์ |
| **ประเภทของสายเคเบิล** | 4-ลวดตัวนำ, ขนาด 0.4 มม. |
| **การเชื่อมต่อ** | RJ-11 |
| **วัสดุ** | |
| **หัวควบคุมและกังหันลม** | พลาสติก ABS ป้องกันรังสี UV |
| **ถ้วยรับลม** | โพลีคาร์บอร์เนต |
| **ก้าน Anemometer** | อลูมิเนียมสีดำ |
| **ความเร็วลม (ถ้วยรับลมขนาดใหญ่) (ดูหมายเหตุ 1)** | 1 ถึง 200 ไมล์ต่อชม., 1 ถึง 173 นอต, 0.5 ถึง 89 เมตรต่อวินาที , 1 ถึง 322 กิโลเมตรต่อชม. |
| **ทิศทางลม** | 0° ถึง 360° |

### 4. ความเข้มของแสง (Davis Series: 6450)

| | |
|---|---|
| **อุณหภูมิในการทำงาน** | -40° ถึง +65° C |
| **ประเภทของสายเคเบิล** | 4-ลวดตัวนำ, ขนาด 0.4 มม. |
| **การเชื่อมต่อ** | Modular RJ-11 |
| **อินพุต/เอาร์พุต** | |
| **สายเขียว** | Output (0 to +3VDC); 1.67 mV per W/m2 |
| **สายแดงและสายดำ** | กราวน์ |
| **สายเหลือง** | +3 VDC ±10%; 1mA |
| **ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ** | + 0.12% ต่อ °C |
| **อุณหภูมิอ้างอิง** | 25°C |

## 5. ความชื้นในดิน (Davis Series: 6440)

| | |
|---|---|
| **ประเภทเซ็นเซอร์** | ความต้านทานไฟฟ้า |
| **ประเภทสายเคเบิล** | มาตรฐานการป้องกันน้ำ |
| **เซ็นเซอร์ Output** | |
| **ความละเอียด** | 1 cb |
| **ระยะ/ช่วง** | 0 ถึง 200 cb |
| **ช่วงเวลาในการอัพเดทข้อมูล** | 77 ถึง 90 วินาที |

## 6. ระดับน้ำ (XL-Maxsonar-WRC 1)

**Features**
- Extra Compact Housing
- High acoustic power output
- Designed for outdoor or indoor environments
- Real-time auto calibration and noise rejection for every ranging cycle
- Precise narrow beam
- Continuously variable gain
- Object detection as close as 3 cm from the sensor
- 3.0V to 5.5V supply with very low average current draw
- Free run operation can continually measure and output range information
- Triggered operation provides the range reading as desired
- All interfaces are active simultaneously
- Serial, 0 to Vcc 9600Baud, 81N
- Analog, (Vcc/1024) / cm
- Real-time analog envelope (MB7077)
- Pulse Width (MB7067)
- Sensor operates at 42KHz

**Benefits**
- Lightweight, compact, weather resistant design
- Acoustic and electrical noise resistance
- Reliable and stable range data
- Sensor dead zone virtually gone
- Low cost IP67 sensor
- Quality narrow beam characteristics
- Very low power excellent for multiple sensor or battery based systems
- Ranging can be triggered externally or internally
- Sensor reports the range reading directly, frees up user processor
- No calibration requirement is perfect for when objects may be directly in front of the sensor during power up
- Easy hole mounting or mating with standard electrical fittings

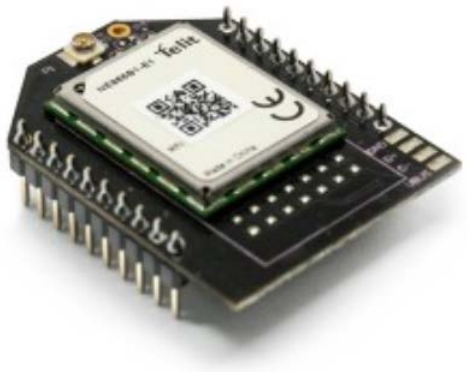
**Applications and Uses**
- Tank level measurement
- UAV Blimps, micro planes, and some helicopters
- Bin level measurement
- Proximity zone detection
- People detection
- Robot ranging sensor
- Autonomous navigation
- Environments with acoustic and electrical noise
- Multi-sensor arrays
- Distance measuring
- Long range object detection
- Users who prefer to process the analog voltage envelope (MB7077)
- -40°C to +65°C (limited operation to +85°C)
- Physical drop-in upgrade for LV-MaxSonar-WRC1 product, part numbers: MB7081

**คุณสมบัติของกำลังไฟฟ้า**

| | |
|---|---|
| **ตัวแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ** | 5 VDC, 300 mA, regulated |
| **แบตเตอรี่สำรอง** | แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ขนาด 3.7 V จำนวน 2 เซลล์ |
| **อายุการใช้งาน (โดยไม่มีไฟเลี้ยงจากกระแสไฟฟ้าหลัก)** | 1 เดือน |
| **การเชื่อมต่อ** | RJ-11 |

**คุณสมบัติของโมดูลสื่อสาร**

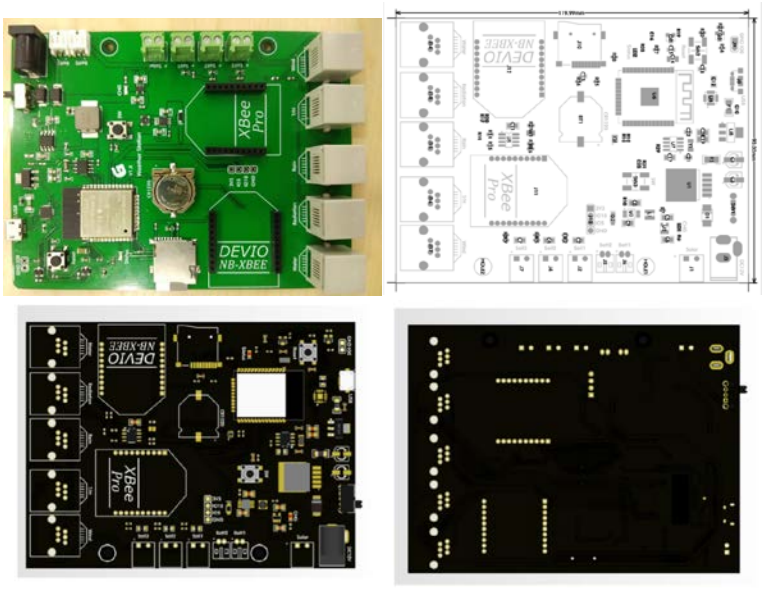
**1. บอร์ด Devio NB-Xbee**



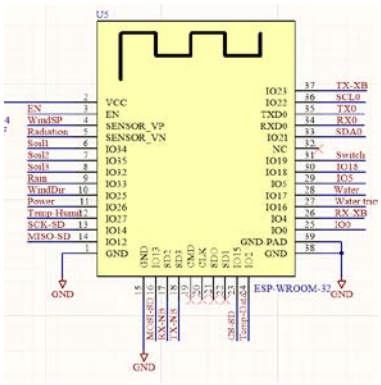
| | |
|---|---|
| **ขนาด** | 25x35x2 มม. |
| **ความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล** | Downlink 250 kbps<br>Uplink 20 kbps (Single-tone) |
| **โมดูลสื่อสาร** | Telit NE866B1-E1 |
| **เทคโนโลยีของเครือข่าย** | LTE Cat. NB1 (NB-IoT) |
| **ความถี่** | B8 (900 MHz) /B20 (800MHz) |
| **รูปแบบของชุดโปรโตคอล** | UDP/IP |
| **การรับประกัน** | 1 ปี |

## แบบทางไฟฟ้าของบอร์ดควบคุม

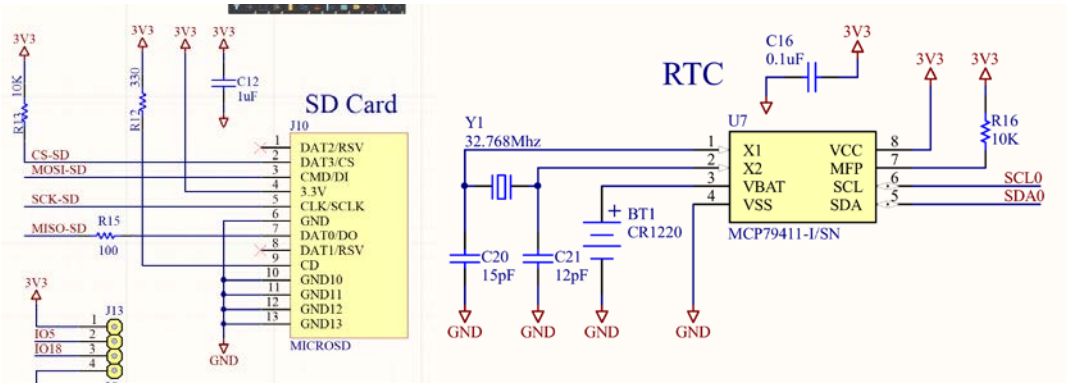
PCB Board



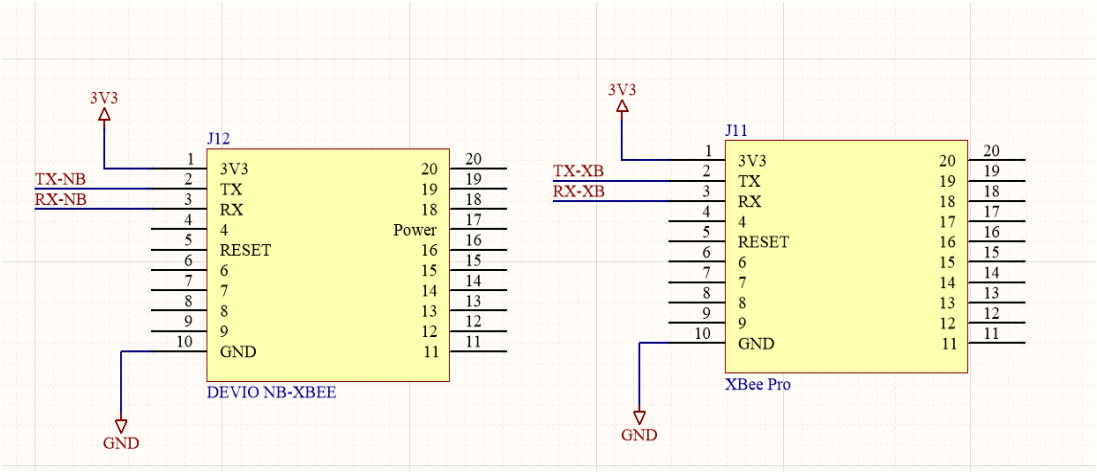

ESP-WROOM-32



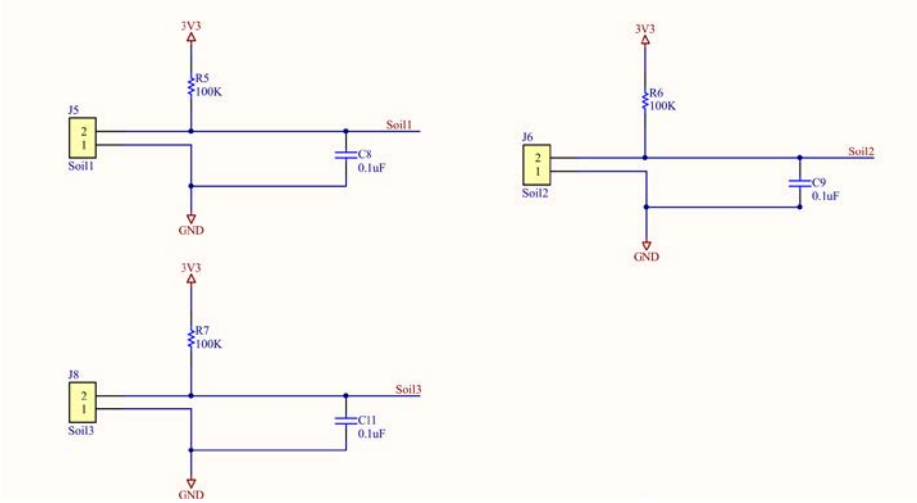

โมดูล SD Card & RTC



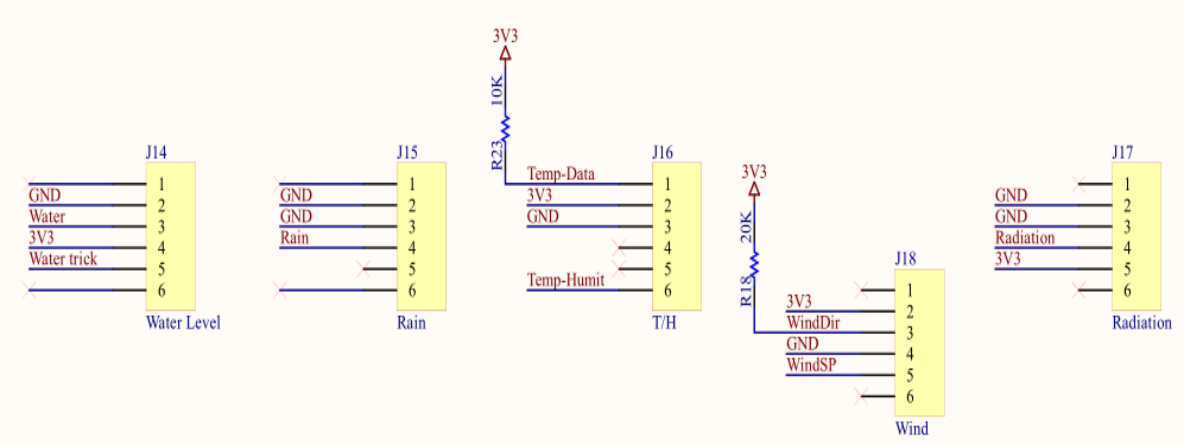
โมดูลสื่อสาร




เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน 1-3




เซ็นเซอร์อื่นๆ

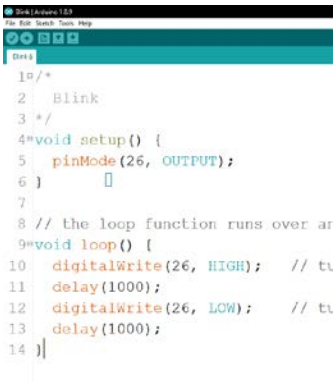


## การทดสอบอุปกรณ์ (บอร์ดควบคุม)

ทดสอบแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์

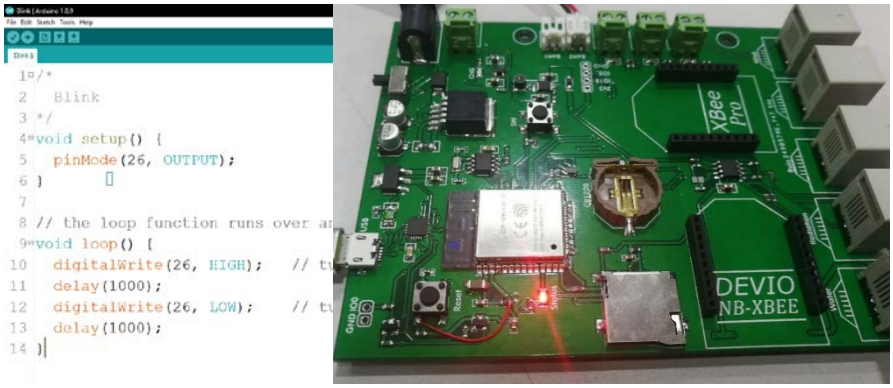
ทดสอบวงจร Regulator 3.3 โวลต์

ทดสอบการ Upload Program / ESP32



```
/*
  Blink
*/
void setup() {
  pinMode(26, OUTPUT);
}

// the loop function runs over ar
void loop() {
  digitalWrite(26, HIGH);   // tu
  delay(1000);
  digitalWrite(26, LOW);    // tu
  delay(1000);
}
```

ทดสอบการทำงานของขา IO / LED Status

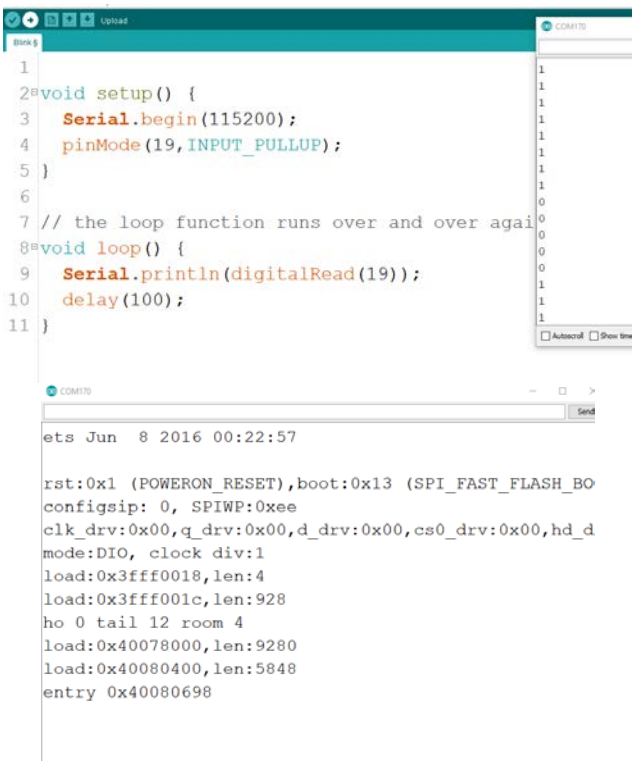


ทดสอบ Serial Port

```
1
2  void setup() {
3    Serial.begin(115200);
4  }
5
6  // the loop function runs over and over agai
7  void loop() {
8    Serial.println("Hello Coding");
9    delay(1000);
10 }
```

```
Hello Coding
Hello Coding
Hello Coding
Hello Coding
Hello Coding
Hello Coding
Hello Coding
Hello Coding
Hello Coding
Hello Coding
Hello Coding
Hello Coding
Hello Coding
Hello Coding
Autoscroll  Show timestamp
```

ทดสอบ Switch และ Reset



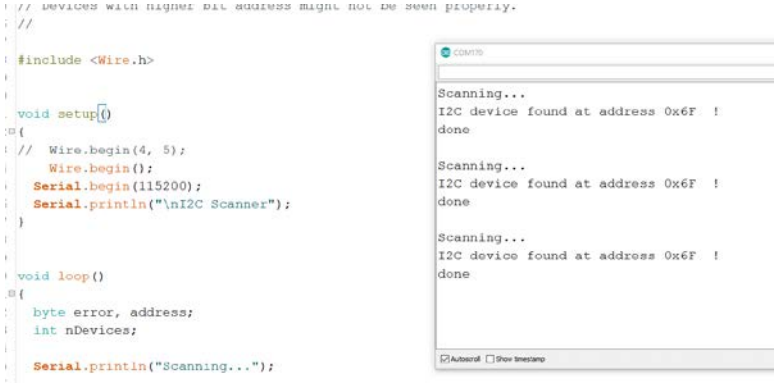
```
1
2  void setup() {
3    Serial.begin(115200);
4    pinMode(19,INPUT_PULLUP);
5  }
6
7  // the loop function runs over and over agai
8  void loop() {
9    Serial.println(digitalRead(19));
10   delay(100);
11 }
```

```
1
1
1
1
1
1
1
1
0
0
0
0
0
1
1
1
Autoscroll  Show time
```

```
ets Jun  8 2016 00:22:57

rst:0x1 (POWERON_RESET),boot:0x13 (SPI_FAST_FLASH_BO
configsip: 0, SPIWP:0xee
clk_drv:0x00,q_drv:0x00,d_drv:0x00,cs0_drv:0x00,hd_d
mode:DIO, clock div:1
load:0x3fff0018,len:4
load:0x3fff001c,len:928
ho 0 tail 12 room 4
load:0x40078000,len:9280
load:0x40080400,len:5848
entry 0x40080698
```

ทดสอบโมดูล RTC (i2C)

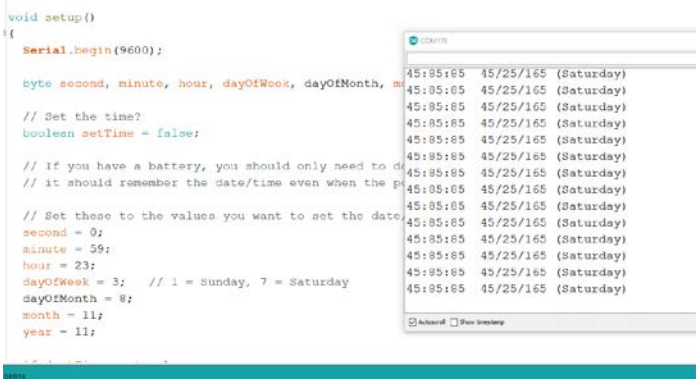
1. RTC ADDR (0x6F)



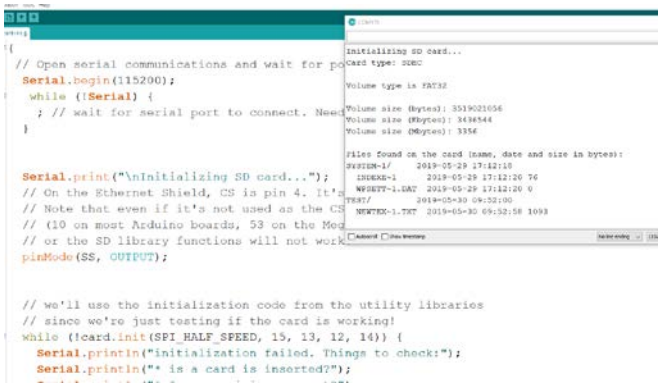
```
//
//
#include <Wire.h>


void setup()
{
//  Wire.begin(4, 5);
    Wire.begin();
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("\nI2C Scanner");
}


void loop()
{
  byte error, address;
  int nDevices;

  Serial.println("Scanning...");
```

```
Scanning...
I2C device found at address 0x6F  !
done

Scanning...
I2C device found at address 0x6F  !
done

Scanning...
I2C device found at address 0x6F  !
done
Autoscroll  Show timestamp
```

2. RTC สามารถอ่านค่าได้

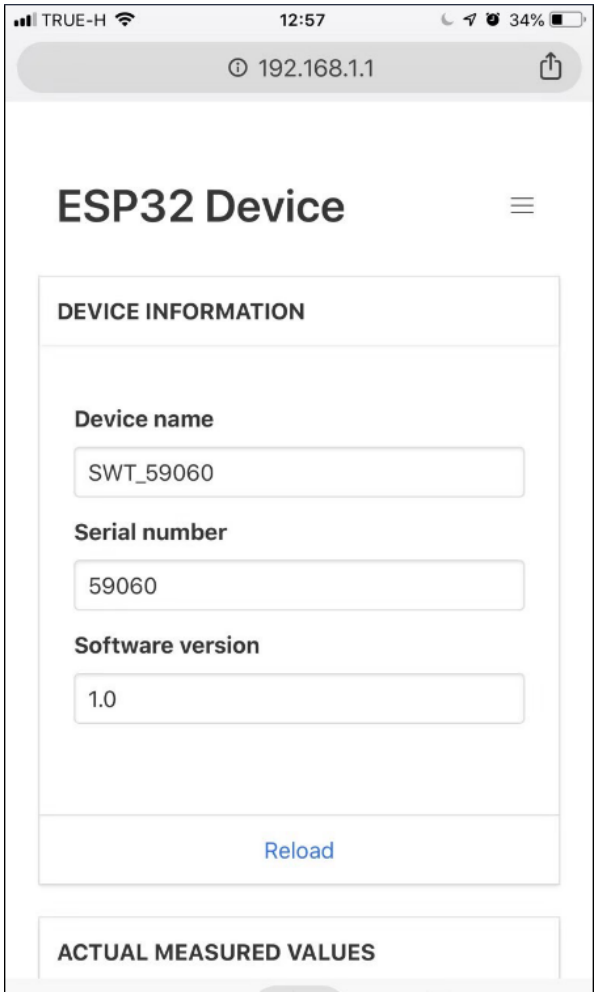



3. ทดสอบการบันทึกค่าลง SD Card




ทดสอบการจ่ายไฟของ Battery

## การตั้งค่าอุปกรณ์




- กด SW 3-5 วินาที
- เปิดค้นหาการเชื่อมต่อ Wi-Fi จากคอมพิวเตอร์หรือมือถือ
- เลือกเชื่อมต่ออุปกรณ์ชื่อ Device ที่ตามด้วยเลข Serial Number ของอุปกรณ์
- ใส่รหัส 123456789
- เข้า Web Browser แล้วพิมพ์ 192.168.1.1
- Web Browser จะแสดงหน้าเมนูการตั้งค่าต่าง ๆของอุปกรณ์
- เข้าเมนูการตั้งค่าที่ต้องการแล้วกด Submit

**Software**

**ไลบรารี่และชุดคำสั่ง**

```
#include <Arduino.h>
#include "esp_system.h"
#include "Time.h"
#include <Wire.h>
#include "MCP79412RTC.h"
#include <WiFi.h>
#include "ESPAsyncWebServer.h"
#include "SPIFFS.h"
#include "SPI.h"
#include <SD.h>
#include <PubSubClient.h>
 #include "AIS_NB_BC95.h"
#define SYS_MODE 0 //0 Running Mode1 WiFi ,1 Running MOde2 NB-IoT, 2 Config Mode
bool SYS_INIT = false;  //Check when enter mode for init parameter
////////PORT Define ////////////////////////
#define SCK_PIN 18
#define MISO_PIN 19
#define MOSI_PIN 23
#define SS_PIN 5
// Set GPIO
#define SW_CONFIG 16
#define PIN_WINDSPEED 36
#define PIN_WINDDIR 25
#define PIN_RAIN 33
#define PIN_SOLAR_RADIATION 39
#define PIN_SOIL_MOISTURE_VALUE_01 34
#define PIN_SOIL_MOISTURE_VALUE_02 35
#define PIN_SOIL_MOISTURE_VALUE_03 32
```

```
#define PIN_WATER_LEVEL 17
///////Global Variable Define/////////////////
const char *SSID = "DEVICE";
const char *PASSWORD = "123456789";
String DEVICE_NAME = "";
String SERIAL_NUMBER = "";
String SOFTWARE_VERSION = "1.0";
String DEVICE_TITLE = "ESP32 Device";
String EVENT_LIST = "";
int SYS_SDCARD_CONNECTED = 0;
//Measure Value
int SOIL_MOISTURE_VALUE_01 = 0;
int SOIL_MOISTURE_VALUE_02 = 0;
int SOIL_MOISTURE_VALUE_03 = 0;
double RAIN_VALUE = 0;
int RAIN_COUNTER = 0;
double WATER_LEVEL_VALUE = 0;
int SOLAR_RADIATION_VALUE = 0;
double TEMPERATURE_VALUE = 0;
double HUMIDITY_VALUE = 0;
int WIND_DIR_VALUE = 0;
double WINDSPEED_VALUE = 0;
int WINDSPEED_COUNTER = 0;
unsigned long WINDSPEED_TIME_START = 0;
unsigned long WINDSPEED_TIME_STOP = 5000;
unsigned long WINDSPEED_TIME_OFFSET = 0;
bool WINDSPEED_ISSAMPLING = false;
int RTC_YEAR = 2019;
int RTC_MONTH = 3;
int RTC_DATE = 31;
```

```
int RTC_DAY = 1;
int RTC_HOURS = 15;
int RTC_MINUTES = 02;
int RTC_SECONDS = 30;
String SYS_TIME = String(RTC_YEAR) + "/" + String(RTC_MONTH) + "/" + String(RTC_DATE) +
" " + String(RTC_HOURS) + ":" + String(RTC_MINUTES) + ":" + String(RTC_SECONDS);
String SERVER_PORT = "6000";
String SERVER_IP = "68.183.189.135";
String serverIP = "35.187.250.8"; // NB-IoT
String serverPort = "2201"; // NB-IoT
//
int COMMUNICATION_TYPE = 1;  //0 = NB-IoT ,1 = WIFI
//wifi
String WIFI_SSID = "MBRX_Home";
String WIFI_PASSWORD = "mong1925";
String payload = "";
bool IS_REBOOT = false;
//interval time
int CONFIG_INTERVAL_TIME = 30; //sec  defalut 120
// Create AsyncWebServer object on port 80
AsyncWebServer server(80);
WiFiClient espClient;
PubSubClient mqttclient(espClient);
AIS_NB_BC95 AISnb;
///////Function Define /////////////////
void init_spiffs();
void configMode();
void initSDCard();
void writeEvent(String msg);
void initEvent();
```

```
void initSetup();
void initIntervalTime();
void initDateTime();
void initRTC();
void setRTC();
void readRTC();
void RunningMODE1();  //Wifi Mode
void RunningMODE2();  //NB-IoT
//////////////////////
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Weather Station init...");
  //initSDCard();
  //SPIFFS init data
  init_spiffs();
  initEvent();
  initSetup();
  initIntervalTime();
  initRTC();
  initDateTime();
  //readRTC();
  setRTC();
  //configMode();
}
void loop()
{
  // readRTC();
  // Serial.print("SYS TIME :: ");
  // Serial.println(SYS_TIME);
```

```
  // delay(1000);
  //RunningMODE1();  //WiFi
   RunningMODE2();  //NB-IoT
}
//////////////////////////////////////////F U N C T I O N
//////////////////////////////////////////////////////////////////////////
void init_spiffs()
{
  Serial.println("spiffs init..");
  if (!SPIFFS.begin(true))
  {
    Serial.println("An Error has occurred while mounting SPIFFS");
  }
}
void initSDCard()
{
  SPI.begin(SCK_PIN, MISO_PIN, MOSI_PIN, SS_PIN);
  for (int i = 0; i < 10; i++)
  {
    if (!SD.begin(SS_PIN))
    {
      delay(1000);
      SYS_SDCARD_CONNECTED = 1;
    }
    else
    {
      SYS_SDCARD_CONNECTED = 0;
      break;
    }
  }
```

```
  Serial.println("initialization done.");
}
void configMode()
{
  Serial.println("Enter Config Mode..");
  // Wi-Fi
  char ssid1[15];
  char ssid2[15];
  uint64_t chipid = ESP.getEfuseMac(); // The chip ID is essentially its MAC address(length:
6 bytes).
  uint16_t chip = (uint16_t)(chipid >> 32);
  snprintf(ssid1, 15, "%04X", chip);
  snprintf(ssid2, 15, "%08X", (uint32_t)chipid);
  SERIAL_NUMBER = String(ssid1) + String(ssid2);
  DEVICE_NAME = String(SSID) + "_" + SERIAL_NUMBER;
  if (!WiFi.softAPConfig(IPAddress(192, 168, 1, 1), IPAddress(192, 168, 1, 1), IPAddress(255,
255, 255, 0)))
  {
    Serial.println("AP Config Failed");
  }
  WiFi.softAP(DEVICE_NAME.c_str(), PASSWORD, random(1, 12), 0, 2);
  Serial.print("AP IP address: ");
  Serial.println(WiFi.softAPIP());
  //Route to load style.css file
  server.on("/style.css", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest *request) {
    request->send(SPIFFS, "/style.css", "text/css");
  });
  //Route
  server.on("/", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest *request) {
    request->send(SPIFFS, "/index.html", String(), false, [](const String &var) {
```

```
if (var == "TITLE")
  return String(DEVICE_TITLE);
if (var == "DEVICE_NAME")
  return String(DEVICE_NAME);
if (var == "SERIAL_NUMBER")
  return String(SERIAL_NUMBER);
if (var == "SOFTWARE_VERSION")
  return String(SOFTWARE_VERSION);
if (var == "WINDSPEED_VALUE")
  return String(WINDSPEED_VALUE);
if (var == "WIND_DIR_VALUE")
  return String(WIND_DIR_VALUE);
if (var == "RAIN_COUNTER")
  return String(RAIN_COUNTER);
if (var == "SOLAR_RADIATION_VALUE")
  return String(SOLAR_RADIATION_VALUE);
if (var == "TEMPERATURE_VALUE")
  return String(TEMPERATURE_VALUE);
if (var == "HUMIDITY_VALUE")
  return String(HUMIDITY_VALUE);
if (var == "SOIL_MOISTURE_VALUE_01")
  return String(SOIL_MOISTURE_VALUE_01);
if (var == "SOIL_MOISTURE_VALUE_01")
  return String(SOIL_MOISTURE_VALUE_01);
if (var == "SOIL_MOISTURE_VALUE_01")
  return String(SOIL_MOISTURE_VALUE_01);
if (var == "WATER_LEVEL_VALUE")
  return String(WATER_LEVEL_VALUE);
if (var == "DATE_TIME")
{
```

```
      String DATE_TIME = "";
      return String(DATE_TIME);
    }
    return String();
  });
});
server.on("/setup", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest *request) {
  request->send(SPIFFS, "/setup.html", String(), false, [](const String &var) {
    if (var == "TITLE")
      return String(DEVICE_TITLE);
    if (var == "DEVICE_TITLE")
      return String(DEVICE_TITLE);
    if (var == "DEVICE_NAME")
      return String(DEVICE_NAME);
    if (var == "SERIAL_NUMBER")
      return String(SERIAL_NUMBER);
    if (var == "SERVER_IP")
      return String(SERVER_IP);
    if (var == "SERVER_PORT")
      return String(SERVER_PORT);
    if (var == "DATE_TIME")
    {
      String DATE_TIME = "";
      return String(DATE_TIME);
    }
    return String();
  });
});
server.on("/datetime", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest *request) {
  request->send(SPIFFS, "/datetime.html", String(), false, [](const String &var) {
```

```
    if (var == "TITLE")
      return String(DEVICE_TITLE);
    if (var == "RTC_YEAR")
      return String(RTC_YEAR);
    if (var == "RTC_MONTH")
      return String(RTC_MONTH);
    if (var == "RTC_DATE")
      return String(RTC_DATE);
    if (var == "RTC_DAY")
      return String(RTC_DAY);
    if (var == "RTC_HOURS")
      return String(RTC_HOURS);
    if (var == "RTC_MINUTES")
      return String(RTC_MINUTES);
    if (var == "RTC_SECONDS")
      return String(RTC_SECONDS);
    return String();
  });
});
server.on("/communication", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest *request) {
  request->send(SPIFFS, "/communication.html", String(), false, [](const String &var) {
    if (var == "TITLE")
      return String(DEVICE_TITLE);
    if (var == "WIFI_SSID")
      return String(WIFI_SSID);
    if (var == "WIFI_PASSWORD")
      return String(WIFI_PASSWORD);
    return String();
  });
});
```

```
server.on("/intervaltime", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest *request) {
  request->send(SPIFFS, "/intervaltime.html", String(), false, [](const String &var) {
    if (var == "TITLE")
      return String(DEVICE_TITLE);
    if (var == "CONFIG_INTERVAL_TIME")
      return String(CONFIG_INTERVAL_TIME);
    return String();
  });
});
server.on("/reset", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest *request) {
  request->send(SPIFFS, "/reset.html", String(), false, [](const String &var) {
    if (var == "TITLE")
      return String(DEVICE_TITLE);
    return String();
  });
});
server.on("/event", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest *request) {
   initEvent();
  request->send(SPIFFS, "/event.html", String(), false, [](const String &var) {
    if (var == "TITLE")
      return String(DEVICE_TITLE);
    if (var == "EVENT_LIST")
      return String(EVENT_LIST);
    return String();
  });
});
//Router POST
server.on("/setup", HTTP_POST, [](AsyncWebServerRequest *request) {
  File file = SPIFFS.open("/setup.txt", FILE_WRITE);
  if (!file)
```

```
{
  Serial.println("There was an error opening the file for writing");
}
for (byte i = 1; i <= request->params(); i++)
{
  AsyncWebParameter *p = request->getParam(request->params() - i);
  if (p->name() == "DEVICE_TITLE")
  {
    DEVICE_TITLE = (p->value() != "") ? p->value() : DEVICE_TITLE;
    if (file.println("DEVICE_TITLE::" + DEVICE_TITLE))
    {
      Serial.println("File was written");
    }
    else
    {
      Serial.println("File write failed");
    }
  }
  else if (p->name() == "DEVICE_NAME")
  {
    DEVICE_NAME = (p->value() != "") ? p->value() : DEVICE_NAME;
    if (file.println("DEVICE_NAME::" + DEVICE_NAME))
    {
      Serial.println("File was written");
    }
    else
    {
      Serial.println("File write failed");
    }
  }
```

```
else if (p->name() == "SERIAL_NUMBER")
{
  SERIAL_NUMBER = (p->value() != "") ? p->value() : SERIAL_NUMBER;
  if (file.println("SERIAL_NUMBER::" + SERIAL_NUMBER))
  {
    Serial.println("File was written");
  }
  else
  {
    Serial.println("File write failed");
  }
}
else if (p->name() == "SERVER_IP")
{
  SERVER_IP = (p->value() != "") ? p->value() : SERVER_IP;
  if (file.println("SERVER_IP::" + SERVER_IP))
  {
    Serial.println("File was written");
  }
  else
  {
    Serial.println("File write failed");
  }
}
else if (p->name() == "SERVER_PORT")
{
  SERVER_PORT = (p->value() != "") ? p->value() : SERVER_PORT;
  if (file.println("SERVER_PORT::" + SERVER_PORT))
  {
    Serial.println("File was written");
```

```
      }
      else
      {
        Serial.println("File write failed");
      }
    }
    else
    {
    }
  }
  file.close();
  writeEvent("{datetime},{status},{event type},{event description},{value}");
  request->send(SPIFFS, "/setup.html", String(), false, [](const String &var) {
    if (var == "TITLE")
      return String(DEVICE_TITLE);
    if (var == "DEVICE_TITLE")
      return String(DEVICE_TITLE);
    if (var == "DEVICE_NAME")
      return String(DEVICE_NAME);
    if (var == "SERIAL_NUMBER")
      return String(SERIAL_NUMBER);
    if (var == "SERVER_IP")
      return String(SERVER_IP);
    if (var == "SERVER_PORT")
      return String(SERVER_PORT);
    return String();
  });
});
server.on("/intervaltime", HTTP_POST, [](AsyncWebServerRequest *request) {
  File file = SPIFFS.open("/sys_config_interval_time.txt", FILE_WRITE);
```

```
    if (!file)
    {
      Serial.println("There was an error opening the file for writing");
    }
    for (byte i = 1; i <= request->params(); i++)
    {
      AsyncWebParameter *p = request->getParam(request->params() - i);
      if (p->name() == "CONFIG_INTERVAL_TIME")
      {
        CONFIG_INTERVAL_TIME = (p->value() != "") ? p->value().toInt() :
CONFIG_INTERVAL_TIME;
        if (file.print("CONFIG_INTERVAL_TIME::") && file.println(CONFIG_INTERVAL_TIME))
        {
          Serial.print("CONFIG_INTERVAL_TIME::");
          Serial.println(CONFIG_INTERVAL_TIME);
        }
        else
        {
          Serial.println("File write failed");
        }
      }
      else
      {
      }
    }
    file.close();
    writeEvent("{datetime},{status},{event type},{event description},{value}");
    request->send(SPIFFS, "/intervaltime.html", String(), false, [](const String &var) {
      if (var == "TITLE")
        return String(DEVICE_TITLE);
```

```
    if (var == "CONFIG_INTERVAL_TIME")
      return String(CONFIG_INTERVAL_TIME);
    return String();
  });
});
////////Communication////
server.on("/communication", HTTP_POST, [](AsyncWebServerRequest *request) {
  File file = SPIFFS.open("/sys_config_communication.txt", FILE_WRITE);
  if (!file)
  {
    Serial.println("There was an error opening the file for writing");
  }
  for (byte i = 1; i <= request->params(); i++)
  {
    AsyncWebParameter *p = request->getParam(request->params() - i);
    if (p->name() == "CONN")
    {
      COMMUNICATION_TYPE = (p->value() != "") ? p->value().toInt() :
COMMUNICATION_TYPE;
      if (file.print("COMMUNICATION::") && file.println(COMMUNICATION_TYPE))
      {
        Serial.print("COMMUNICATION::");
        Serial.println(COMMUNICATION_TYPE);
      }
      else
      {
        Serial.println("File write failed");
      }
    } else if (p->name() == "WIFI_SSID")
    {
```

```
    WIFI_SSID = (p->value() != "") ? p->value() : WIFI_SSID;
    if (file.println("WIFI_SSID::" + WIFI_SSID))
    {
      Serial.println("File was written");
       Serial.print("WIFI_SSID::");
      Serial.println(WIFI_SSID);
    }
    else
    {
      Serial.println("File write failed");
    }
  }else if (p->name() == "WIFI_PASSWORD")
  {
    WIFI_PASSWORD = (p->value() != "") ? p->value() : WIFI_PASSWORD;
    if (file.println("WIFI_PASSWORD::" + WIFI_PASSWORD))
    {
      Serial.println("File was written");
     Serial.print("WIFI_PASSWORD::");
      Serial.println(WIFI_PASSWORD);
    }
    else
    {
      Serial.println("File write failed");
    }
  }
}
file.close();
writeEvent("{datetime},{status},{event type},{event description},{value}");
request->send(SPIFFS, "/communication.html", String(), false, [](const String &var) {
    if (var == "TITLE")
```

```
      return String(DEVICE_TITLE);
    if (var == "WIFI_SSID")
      return String(WIFI_SSID);
    if (var == "WIFI_PASSWORD")
      return String(WIFI_PASSWORD);
        return String();
  });
});
server.on("/datetime", HTTP_POST, [](AsyncWebServerRequest *request) {
  File file = SPIFFS.open("/sys_datetime.txt", FILE_WRITE);
  if (!file)
  {
    Serial.println("There was an error opening the file for writing");
  }
  for (byte i = 1; i <= request->params(); i++)
  {
    AsyncWebParameter *p = request->getParam(request->params() - i);
    if (p->name() == "RTC_YEAR")
    {
      RTC_YEAR = (p->value() != "") ? p->value().toInt() : RTC_YEAR;
      if (file.print("RTC_YEAR::") && file.println(RTC_YEAR))
      {
        Serial.print("RTC_YEAR::");
        Serial.println(RTC_YEAR);
      }
      else
      {
        Serial.println("File write failed");
      }
    }
```

```
else if (p->name() == "RTC_MONTH")
{
  RTC_MONTH = (p->value() != "") ? p->value().toInt() : RTC_MONTH;
  if (file.print("RTC_MONTH::") && file.println(RTC_MONTH))
  {
    Serial.print("RTC_MONTH::");
    Serial.println(RTC_MONTH);
  }
  else
  {
    Serial.println("File write failed");
  }
}
else if (p->name() == "RTC_DATE")
{
  RTC_DATE = (p->value() != "") ? p->value().toInt() : RTC_DATE;
  if (file.print("RTC_DATE::") && file.println(RTC_DATE))
  {
    Serial.print("RTC_DATE::");
    Serial.println(RTC_DATE);
  }
  else
  {
    Serial.println("File write failed");
  }
}
else if (p->name() == "RTC_DAY")
{
  RTC_DAY = (p->value() != "") ? p->value().toInt() : RTC_DAY;
  if (file.print("RTC_DAY::") && file.println(RTC_DAY))
```

```
  {
    Serial.print("RTC_DAY::");
    Serial.println(RTC_DAY);
  }
  else
  {
    Serial.println("File write failed");
  }
}
else if (p->name() == "RTC_HOURS")
{
  RTC_HOURS = (p->value() != "") ? p->value().toInt() : RTC_HOURS;
  if (file.print("RTC_HOURS::") && file.println(RTC_HOURS))
  {
    Serial.print("RTC_HOURS::");
    Serial.println(RTC_HOURS);
  }
  else
  {
    Serial.println("File write failed");
  }
}
else if (p->name() == "RTC_MINUTES")
{
  RTC_MINUTES = (p->value() != "") ? p->value().toInt() : RTC_MINUTES;
  if (file.print("RTC_MINUTES::") && file.println(RTC_MINUTES))
  {
    Serial.print("RTC_MINUTES::");
    Serial.println(RTC_MINUTES);
  }
```

```
    else
    {
      Serial.println("File write failed");
    }
  }
  else if (p->name() == "RTC_SECONDS")
  {
    RTC_SECONDS = (p->value() != "") ? p->value().toInt() : RTC_SECONDS;
    if (file.print("RTC_SECONDS::") && file.println(RTC_SECONDS))
    {
      Serial.print("RTC_SECONDS::");
      Serial.println(RTC_SECONDS);
    }
    else
    {
      Serial.println("File write failed");
    }
  }
  else
  {
  }
}
file.close();
writeEvent("{datetime},{status},{event type},{event description},{value}");
request->send(SPIFFS, "/datetime.html", String(), false, [](const String &var) {
  if (var == "TITLE")
    return String(DEVICE_TITLE);
  if (var == "RTC_YEAR")
    return String(RTC_YEAR);
  if (var == "RTC_MONTH")
```

```
      return String(RTC_MONTH);
    if (var == "RTC_DATE")
      return String(RTC_DATE);
    if (var == "RTC_DAY")
      return String(RTC_DAY);
    if (var == "RTC_HOURS")
      return String(RTC_HOURS);
    if (var == "RTC_MINUTES")
      return String(RTC_MINUTES);
    if (var == "RTC_SECONDS")
      return String(RTC_SECONDS);
    return String();
  });
});
server.on("/reboot", HTTP_POST, [](AsyncWebServerRequest *request) {
  Serial.println("ESP32 Reboot....");
  request->send(200, "text/plain", "ESP32 Reboot....");
  setRTC();
  ESP.restart();
});
server.on("/resetdevice", HTTP_POST, [](AsyncWebServerRequest *request) {
  request->send(SPIFFS, "/loading.html", String(), false, [](const String &var) {
    if (var == "TITLE")
      return String(DEVICE_TITLE);
    if (var == "REBOOT")
    {
      IS_REBOOT = true;
    }
    return String();
  });
```

```
  });
  // server.on("/factoryreset", HTTP_POST, [](AsyncWebServerRequest *request) {
  //   request->send(SPIFFS, "/loading.html", String(), false, [](const String &var) {
  //     if (var == "TITLE")
  //       return String(DEVICE_TITLE);
  //     return String();
  //   });
  // });
  // Start server
  server.begin();
}
void writeEvent(String msg)
{
  File file = SPIFFS.open("/sys_event.txt", FILE_APPEND);
  if (!file)
  {
    Serial.println("There was an error opening the file for writing");
  }
  if (file.println(msg))
  {
    Serial.println("sys_event.txt ,message appended");
  }
  else
  {
    Serial.println("sys_event.txt ,append failed");
  }
  file.close();
}
void initEvent()
{
```

```
  String path = "/sys_event.txt";

  Serial.println("init from file :" + path);
  File file = SPIFFS.open(path);
  if (!file)
  {
    Serial.println("ERROR::failed to open file for reading");
    return;
  }
  String str = "";
  EVENT_LIST = "";
  while (file.available())
  {
    char c = file.read();
    if (c == '\n')
    {
      Serial.println(str);
      EVENT_LIST += str + "<br>";
      str = "";
    }
    else
    {
      str += c;
    }
  }
  file.close();
}
void initSetup()
{
  String path = "/setup.txt";
```

```
Serial.println("init from file :" + path);


File file = SPIFFS.open(path);
if (!file)
{
  Serial.println("ERROR::failed to open file for reading");
  return;
}
String str = "";
while (file.available())
{
  char c = file.read();
  if (c == '\n')
  {
    String key = str.substring(0, str.indexOf("::"));
    String value = str.substring(str.indexOf("::") + 2, str.length());
    if (key == "DEVICE_TITLE")
    {
      DEVICE_TITLE = (value != "") ? value : DEVICE_TITLE;
      Serial.println(key + "=" + DEVICE_TITLE);
    }
    if (key == "DEVICE_NAME")
    {
      DEVICE_NAME = (value != "") ? value : DEVICE_NAME;
      Serial.println(key + "=" + DEVICE_NAME);
    }
    if (key == "SERIAL_NUMBER")
    {
      SERIAL_NUMBER = (value != "") ? value : SERIAL_NUMBER;
      Serial.println(key + "=" + SERIAL_NUMBER);
```

```
      }

      if (key == "SERVER_IP")
      {
        SERVER_IP = (value != "") ? value : SERVER_IP;
        Serial.println(key + "=" + SERVER_IP);
      }
      if (key == "SERVER_PORT")
      {
        SERVER_PORT = (value != "") ? value : SERVER_PORT;
        Serial.println(key + "=" + SERVER_PORT);
      }
      str = "";
    }
    else if (c == '#')
    {
      //comment or disable
    }
    else
    {
      str += c;
    }
  }
  file.close();
}
void initIntervalTime()
{
  String path = "/sys_config_interval_time.txt";
  Serial.println("init from file :" + path);
  File file = SPIFFS.open(path);
```

```
if (!file)
{
  Serial.println("ERROR::failed to open file for reading");
  return;
}
String str = "";
while (file.available())
{
  char c = file.read();
  if (c == '\n')
  {
    String key = str.substring(0, str.indexOf("::"));
    String value = str.substring(str.indexOf("::") + 2, str.length());
    if (key == "CONFIG_INTERVAL_TIME")
    {
      CONFIG_INTERVAL_TIME = (value != "") ? value.toInt() : CONFIG_INTERVAL_TIME;
      Serial.print(key);
      Serial.print("=");
      Serial.println(CONFIG_INTERVAL_TIME);
    }
    str = "";
  }
  else if (c == '#')
  {
    //comment or disable
  }
  else
  {
    str += c;
  }
```

```
  }
  file.close();
}
void initRTC()
{
  setSyncProvider(RTC.get);

    if(timeStatus()!= timeSet)
     Serial.println("Unable to sync with the RTC");
  else
     Serial.println("RTC has set the system time");
   }
void initDateTime()
{
  String path = "/sys_datetime.txt";

  Serial.println("init from file :" + path);
  File file = SPIFFS.open(path);
  if (!file)
  {
    Serial.println("ERROR::failed to open file for reading");
    return;
  }
  String str = "";
  while (file.available())
  {
    char c = file.read();
    if (c == '\n')
    {
      String key = str.substring(0, str.indexOf("::"));
```

```
String value = str.substring(str.indexOf("::") + 2, str.length());
if (key == "RTC_YEAR")
{
  RTC_YEAR = (value != "") ? value.toInt() : RTC_YEAR;
  Serial.print(key);
  Serial.print("=");
  Serial.println(RTC_YEAR);
}
if (key == "RTC_MONTH")
{
  RTC_MONTH = (value != "") ? value.toInt() : RTC_MONTH;
  Serial.print(key);
  Serial.print("=");
  Serial.println(RTC_MONTH);
}
if (key == "RTC_DATE")
{
  RTC_DATE = (value != "") ? value.toInt() : RTC_DATE;
  Serial.print(key);
  Serial.print("=");
  Serial.println(RTC_DATE);
}
if (key == "RTC_DAY")
{
  RTC_DAY = (value != "") ? value.toInt() : RTC_DAY;
  Serial.print(key);
  Serial.print("=");
  Serial.println(RTC_DAY);
}
if (key == "RTC_HOURS")
```

```
  {
    RTC_HOURS = (value != "") ? value.toInt() : RTC_HOURS;
    Serial.print(key);
    Serial.print("=");
    Serial.println(RTC_HOURS);
  }
  if (key == "RTC_MINUTES")
  {
    RTC_MINUTES = (value != "") ? value.toInt() : RTC_MINUTES;
    Serial.print(key);
    Serial.print("=");
    Serial.println(RTC_MINUTES);
  }
  if (key == "RTC_SECONDS")
  {
    RTC_SECONDS = (value != "") ? value.toInt() : RTC_SECONDS;
    Serial.print(key);
    Serial.print("=");
    Serial.println(RTC_SECONDS);
  }
  str = "";
}
else if (c == '#')
{
  //comment or disable
}
else
{
  str += c;
}
```

```
  }
  file.close();
  setRTC();
}
void setRTC()
{
  tmElements_t tm;
  tm.Hour = RTC_HOURS ;
  tm.Minute = RTC_MINUTES;
  tm.Second = RTC_SECONDS;
  tm.Year = RTC_YEAR-1970;
  tm.Month = RTC_MONTH;
  tm.Day = RTC_DATE;
  RTC.write(tm);
}
void readRTC()
{
   RTC_YEAR = year();
  RTC_MONTH = month();
  RTC_DATE = day();
  RTC_HOURS = hour();
  RTC_MINUTES = minute();
  RTC_SECONDS = second();
  SYS_TIME = String(RTC_YEAR) + "/" + String(RTC_MONTH) + "/" + String(RTC_DATE) + " " +
String(RTC_HOURS) + ":" + String(RTC_MINUTES) + ":" + String(RTC_SECONDS);
}
////////////////////////////////////////////////////////////////R U N N I N G M O D E 1 : : W I F
I ////////////////////////////////////////////////////
void WiFiSTA_INIT();
void MQTT_CLIENT_INIT();
```

```
void reconnect();
void readSensors();
void createDataSet();
long LastInterval = millis();
void RunningMODE1(){
//TODO
  // init WiFi STA
  // init MQTT
  // Loop
    // Read Sensor
    // Prepare Sensor Data
    // Interval Public
    if(!SYS_INIT){
      Serial.println("Init Running Mode1 WiFi..");
      WiFiSTA_INIT();
      MQTT_CLIENT_INIT();
        char ssid1[15];
        char ssid2[15];
        uint64_t chipid = ESP.getEfuseMac(); // The chip ID is essentially its MAC
address(length: 6 bytes).
        uint16_t chip = (uint16_t)(chipid >> 32);
        snprintf(ssid1, 15, "%04X", chip);
        snprintf(ssid2, 15, "%08X", (uint32_t)chipid);
        SERIAL_NUMBER = String(ssid1) + String(ssid2);
      SYS_INIT = 1;
    }
     //LOOP
    long  now = millis();
    //MQTT LOOP
        if (!mqttclient.connected()) {
```

```
        reconnect();
      }
      mqttclient.loop();
    if(now - LastInterval > CONFIG_INTERVAL_TIME*1000){
         LastInterval = now;
        // Serial.print("Running Mode1 WiFi Interval Time(s) :: ");
        // Serial.println(CONFIG_INTERVAL_TIME);
        readSensors();
        createDataSet();
        //public
        // readRTC();
        // mqttclient.publish("/wstdevice",SYS_TIME.c_str());  //Test OK
        mqttclient.publish("/wstudpbridge",payload.c_str());
        Serial.println(payload);
        payload= "";
    }
}
void WiFiSTA_INIT(){
      const char* ssid = WIFI_SSID.c_str();
      const char* password = WIFI_PASSWORD.c_str();
      delay(10);
      WiFi.mode(WIFI_STA);  ///change to wifi station
      Serial.println();
      Serial.print("Connecting to ");
      Serial.println(ssid);
      WiFi.begin(ssid, password);
       while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
        }
```

```
}
void MQTT_CLIENT_INIT(){
      const char* mqtt_server = "35.187.250.8";
      mqttclient.setServer(mqtt_server, 1883);
      // PubSubClient client(espClient);
}
void reconnect(){
    while (!mqttclient.connected()) {
      Serial.print("Attempting MQTT connection ...");
      if (mqttclient.connect("ESP32Client")) {
      Serial.println("connected");
      // Subscribe
      mqttclient.subscribe("/wstdevice");
      // Pubblic
      mqttclient.publish("/wstdevice","hello");
        } else {
      Serial.print("failed, rc=");
      Serial.print(mqttclient.state());
      Serial.println(" try again in 5 seconds");
      // Wait 5 seconds before retrying
      delay(5000);
    }
    }
}
void readSensors()
{
    // Wind
  //windSpeedSampling();
  //WIND_DIR_VALUE = analogRead(PIN_WINDDIR);
  WIND_DIR_VALUE = map(analogRead(PIN_WINDDIR),0,4095,0,360);  //0-360 degree
```

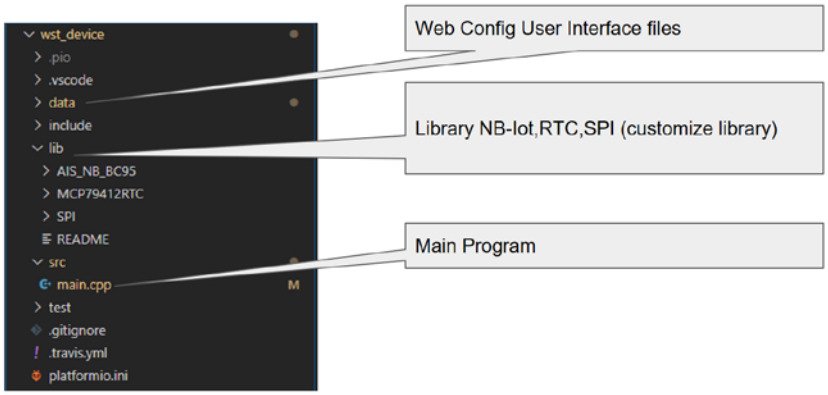
```
  // Solar
  SOLAR_RADIATION_VALUE = analogRead(PIN_SOLAR_RADIATION);
  // Soil moisture
  SOIL_MOISTURE_VALUE_01 =
map(analogRead(PIN_SOIL_MOISTURE_VALUE_01),0,4095,0,100);
  SOIL_MOISTURE_VALUE_02 =
map(analogRead(PIN_SOIL_MOISTURE_VALUE_02),0,4095,0,100);
  SOIL_MOISTURE_VALUE_03 =
map(analogRead(PIN_SOIL_MOISTURE_VALUE_03),0,4095,0,100);
  // CPU Temp
  //SYS_CPU_TEMPERATURE = (temprature_sens_read() - 32) / 1.8;
  // Air Temp & Humid
  //TEMPERATURE_VALUE = SHT21.getTemperature();
  //HUMIDITY_VALUE = SHT21.getHumidity();
  // Ultrasonic Water Level
  WATER_LEVEL_VALUE = pulseIn(PIN_WATER_LEVEL, HIGH) / 58.0;
}
void createDataSet()
{
  readRTC();
  payload += String(SYS_TIME)+",";
  payload += String(SERIAL_NUMBER)+",";
  payload += String(WINDSPEED_VALUE)+",";
  payload += String(WIND_DIR_VALUE) +",";
  payload += String(RAIN_VALUE)+",";
  payload += String(SOLAR_RADIATION_VALUE)+",";
  payload += String(SOIL_MOISTURE_VALUE_01)+",";
  payload += String(SOIL_MOISTURE_VALUE_02)+",";
  payload += String(SOIL_MOISTURE_VALUE_03)+",";
  payload += String(WATER_LEVEL_VALUE)+",";
```

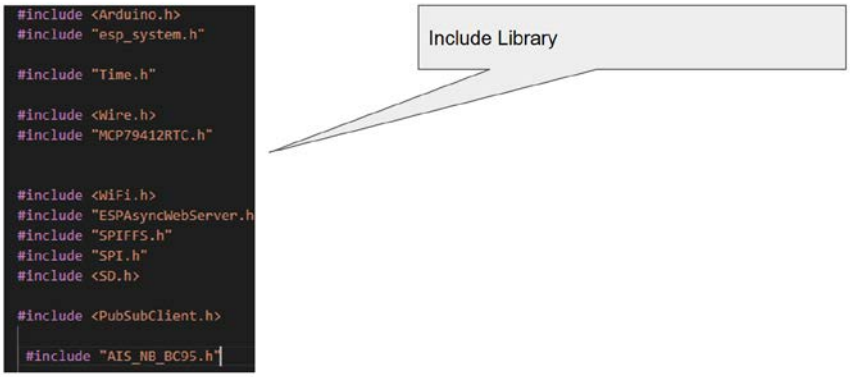
```
  payload += String(TEMPERATURE_VALUE)+",";
  payload += String(HUMIDITY_VALUE);
}
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
////
//////////////////////////////////////////////////////////////R U N N I N G M O D E 2 : : N B -
I O T ////////////////////////////////////////////////////
 void AISNB_INIT();
void RunningMODE2(){
//TODO
  // init NB-IOT
  // Loop
    // Read Sensor
    // Prepare Sensor Data
    // Interval Public
    if(!SYS_INIT){
      Serial.println("Init Running Mode2 NB-IoT..");
      AISNB_INIT();
        char ssid1[15];
        char ssid2[15];
        uint64_t chipid = ESP.getEfuseMac(); // The chip ID is essentially its MAC
address(length: 6 bytes).
        uint16_t chip = (uint16_t)(chipid >> 32);
        snprintf(ssid1, 15, "%04X", chip);
        snprintf(ssid2, 15, "%08X", (uint32_t)chipid);
        SERIAL_NUMBER = String(ssid1) + String(ssid2);
      SYS_INIT = 1;
    }
    //Loop
     long  now = millis();
```

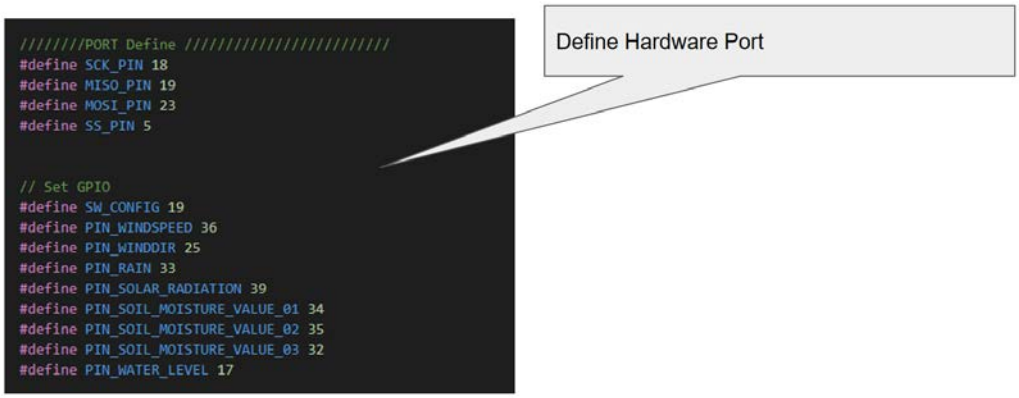
```
        if(now - LastInterval > CONFIG_INTERVAL_TIME*1000){
          LastInterval = now;
         // Serial.print("Running Mode1 WiFi Interval Time(s) :: ");
         // Serial.println(CONFIG_INTERVAL_TIME);
        readSensors();
        createDataSet();
        //public
          UDPSend udp = AISnb.sendUDPmsgStr(serverIP, serverPort, payload);
        Serial.println(payload);
        payload= "";
    }
     UDPReceive resp = AISnb.waitResponse();
}
void  AISNB_INIT(){
       AISnb.debug = true;
       AISnb.setupDevice(serverPort);
       String ip1 = AISnb.getDeviceIP();
       delay(1000);
       pingRESP pingR = AISnb.pingIP(serverIP);
}
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
////
///// TEST SPIFFS
// File root = SPIFFS.open("/");
// File file = root.openNextFile();
// while (file)
// {
//   Serial.print("FILE: ");
//   Serial.println(file.name());
//   file = root.openNextFile();
```

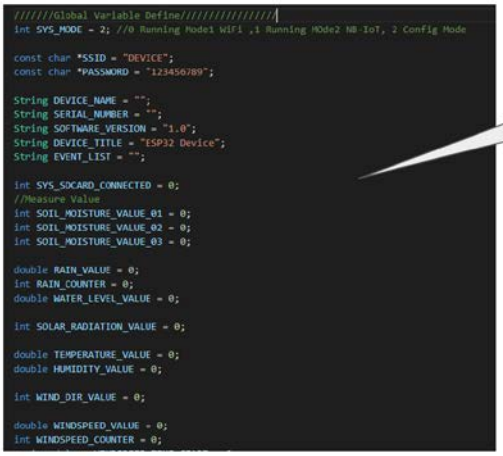
```
// }
// server.on("/", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest *request) {
//   request->send(200, "text/plain", "Hello, world");
// });
```

**การตั้งค่าโปรแกรมและชุดคำสั่ง**



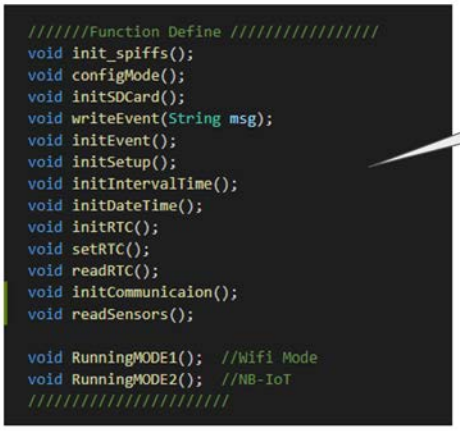





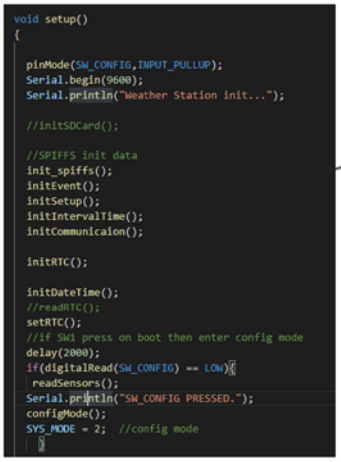
```
///////Global Variable Define/////////////////
int SYS_MODE = 2; //0 Running Mode1 WIFi ,1 Running MOde2 NB-IoT, 2 Config Mode

const char *SSID = "DEVICE";
const char *PASSWORD = "123456789";

String DEVICE_NAME = "";
String SERIAL_NUMBER = "";
String SOFTWARE_VERSION = "1.0";
String DEVICE_TITLE = "ESP32 Device";
String EVENT_LIST = "";

int SYS_SDCARD_CONNECTED = 0;
//Measure Value
int SOIL_MOISTURE_VALUE_01 = 0;
int SOIL_MOISTURE_VALUE_02 = 0;
int SOIL_MOISTURE_VALUE_03 = 0;

double RAIN_VALUE = 0;
int RAIN_COUNTER = 0;
double WATER_LEVEL_VALUE = 0;

int SOLAR_RADIATION_VALUE = 0;

double TEMPERATURE_VALUE = 0;
double HUMIDITY_VALUE = 0;

int WIND_DIR_VALUE = 0;

double WINDSPEED_VALUE = 0;
int WINDSPEED_COUNTER = 0;
```





```
///////Function Define /////////////////
void init_spiffs();
void configMode();
void initSDCard();
void writeEvent(String msg);
void initEvent();
void initSetup();
void initIntervalTime();
void initDateTime();
void initRTC();
void setRTC();
void readRTC();
void initCommunicaion();
void readSensors();

void RunningMODE1();  //Wifi Mode
void RunningMODE2();  //NB-IoT
//////////////////////
```



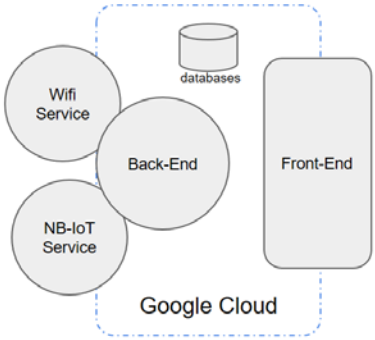


```
void setup()
{

  pinMode(SW_CONFIG,INPUT_PULLUP);
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Weather Station init...");

  //initSDCard();

  //SPIFFS init data
  init_spiffs();
  initEvent();
  initSetup();
  initIntervalTime();
  initCommunicaion();

  initRTC();

  initDateTime();
  //readRTC();
  setRTC();
  //if SW1 press on boot then enter config mode
  delay(2000);
  if(digitalRead(SW_CONFIG) == LOW){
   readSensors();
  Serial.println("SW_CONFIG PRESSED.");
  configMode();
  SYS_MODE = 2;  //config mode
    }
```

```
void loop()
{

  // readRTC();
  // Serial.print("SYS TIME :: ");3

  // Serial.println(SYS_TIME);
  // delay(1000);

    switch (SYS_MODE)
    {
      case 0 :
              RunningMODE1();  //WiFi
             break;
      case 1 :
             RunningMODE2();  //NB-IoT
             break;

    }//else enter config mode


  //RunningMODE1();  //WiFi
  //RunningMODE2();  //NB-IoT
}
```

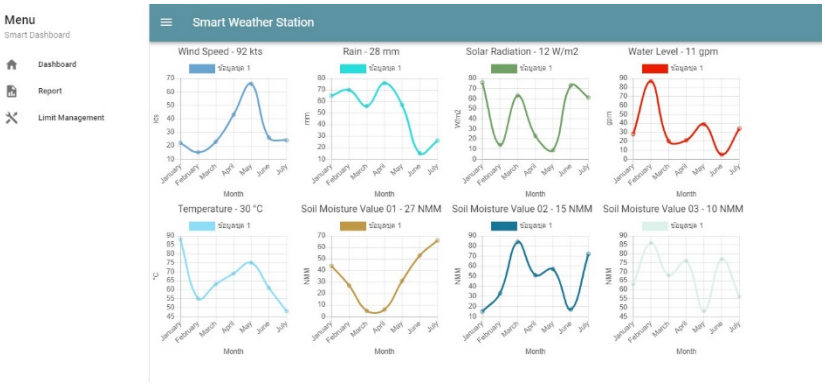
Run Function (loop run infinite)

## Diagram การสื่อสาร ฐานข้อมูลและเซิร์ฟเวอร์

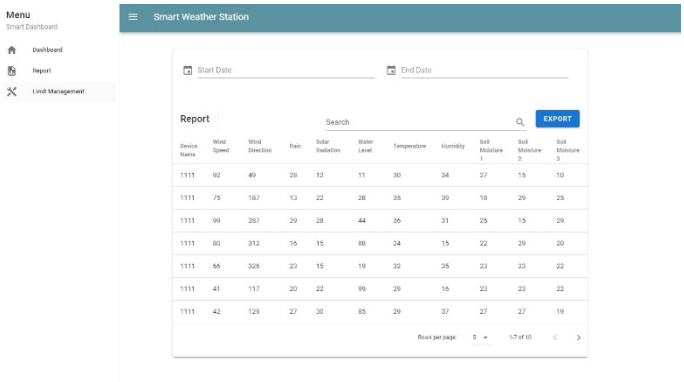



## เว็บเบราเซอร์ (หน้าแสดงผล)

หน้าแสงผล (Dashboard)



หน้าบันทึกการทำงาน (Report)




หน้ากำหนดค่าการแจ้งเตือนต่างๆ (Limit Management)

# ภาคผนวก ค

SENSLINK WEB

**ภาคผนวก ค**

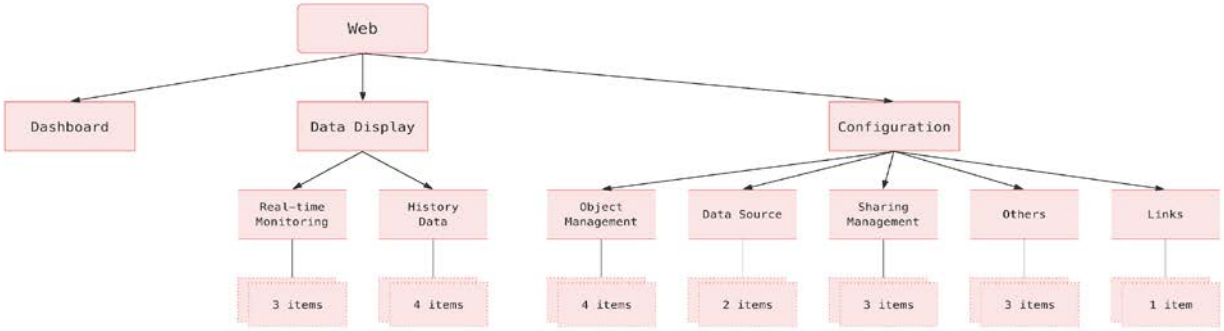
**SENSLINK WEB**

AnaSystem
安研科技股份有限公司

SYNERGY TECHNOLOGY

## Introduction

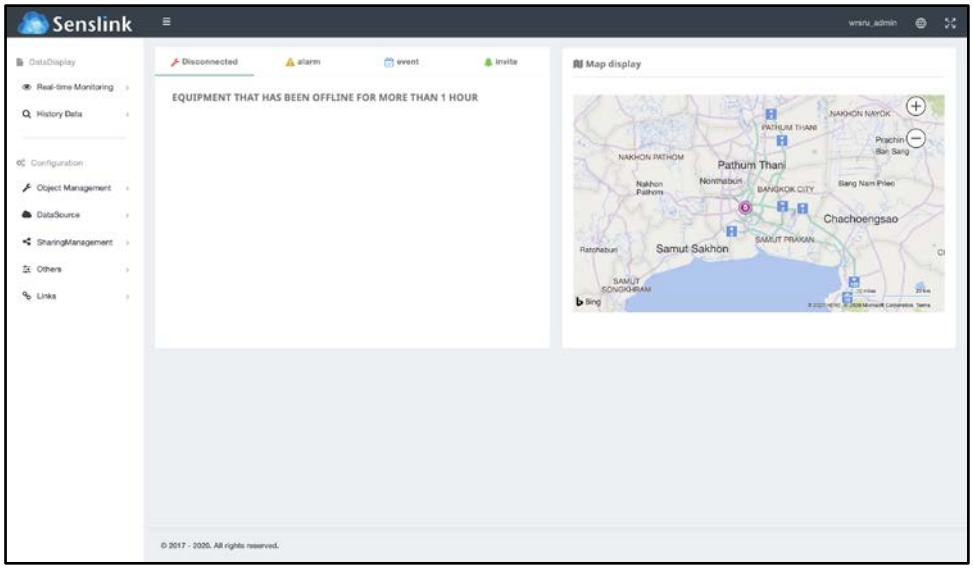
เอกสารชุดนี่อธิบายวิธีการใช้งาน Senslink Web Application v3.0 ซึ่งจะแบ่งเป็นสามส่วนหลักๆ ส่วนแรกเป็นหน้าหลักที่จะแสดงข้อมูลที่สำคัญต่างๆ ส่วนที่สองอธิบายถึงวิธีการใช้งาน เพื่อดูข้อมูลแบบ Real-time และข้อมูลแบบย้อนหลัง ส่วนที่สามอธิบายถึงวิธีการตั้งค่าต่างๆ ของตัว Web Application เช่น การสร้าง Physical Quantity, Station, and Station Group การเชื่อมต่อกับ Data Logger การแชร์ข้อมูล และการแจ้งเตือนต่างๆ




โครงสร้างเมนูของ Web Application

## Dashboard

เมื่อทำการ Login สำเร็จระบบจะพาเข้ามายังหน้าหลักที่จะมีการแสดงผลข้อมูลที่สำคัญต่างๆ โดยข้อมูลที่แสดงผลจะเป็นข้อมูลแบบ Real-time




ที่หน้าหลักจะแสดงข้อมูล Metadata ต่างๆ เช่น

- สถานะการเชื่อมต่อของ Data Logger ว่า Offline หรือไม่
- การแจ้งเตือนระดับของค่าต่างๆ
- แผนที่แสดงพิกัดและข้อมูลของ Data Logger

## Data Display

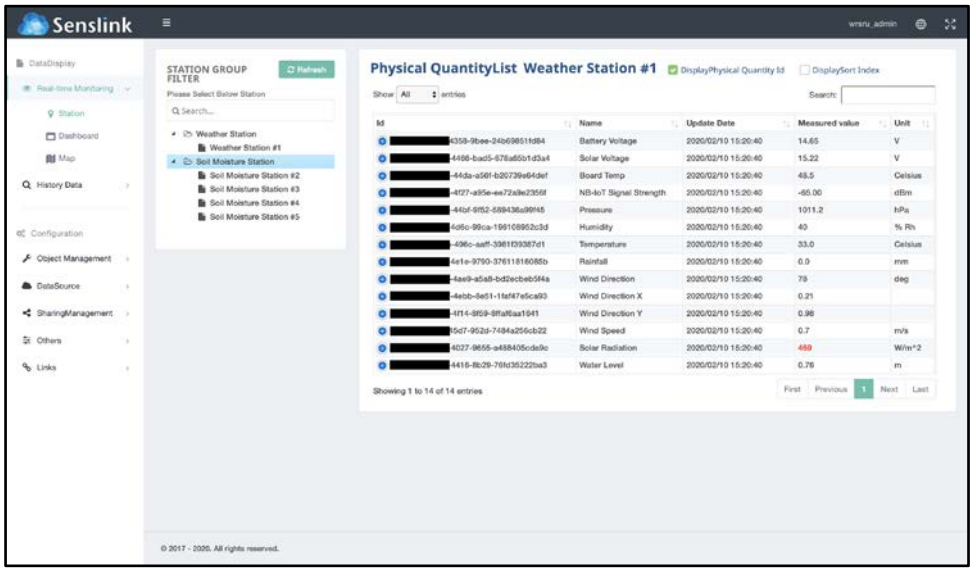
### Real-time Monitoring

### Station

ที่เมนู Station จะมีการแสดงผลรายการสถานีที่ถูกสร้างไว้ สามารถคลิกที่สถานีต่างๆ เพื่อทำการแสดงผลข้อมูล Real-time ของเซ็นเซอร์ หรือ Physical Quantity ที่เป็นของสถานีนั้นๆ ได้โดยข้อมูลตั้งต้นที่แสดงผลจะมีดังนี้

- ชื่อของ Physical Quantity
- Timestamp ของข้อมูล
- ค่าของข้อมูล
- หน่วยของข้อมูล

โดยที่ผู้ใช้สามารถเพิ่มการแสดงผล Physical Quantity Id และ Index ได้โดยกดกดเลือกที่ Checkbox



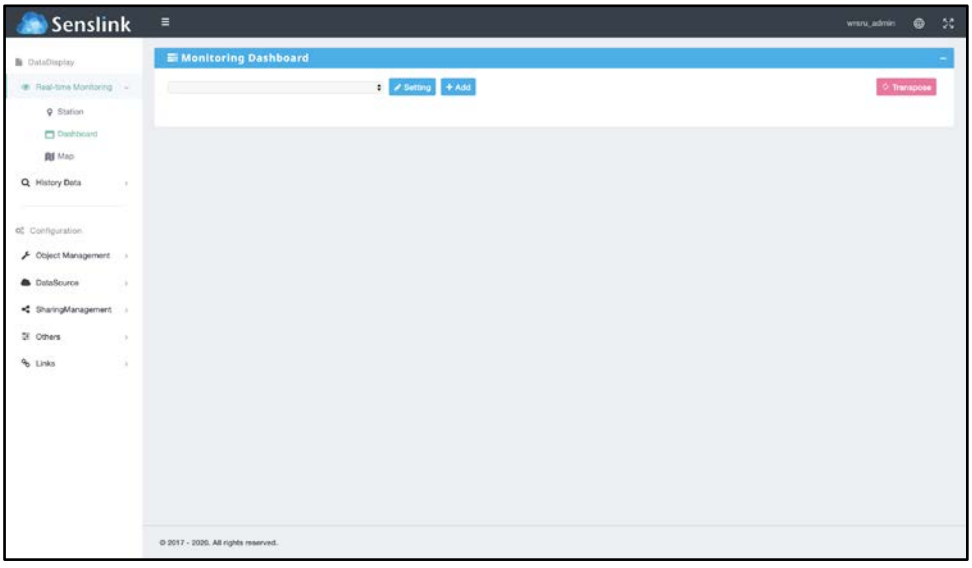

สถานีที่แสดงผลในหน้า Dashboard จะเป็นสถานีที่ถูกสร้างโดยเจ้าของบัญชีผู้ใช้ หรือถูกแชร์มาจากบัญชีอื่นเท่านั้น

สีที่แสดงผลตรงค่า Physical Quantity หมายถึงระดับของการแจ้งเตือนต่างๆ ที่ได้ตั้งค่าไว้ในส่วนของ Alarm

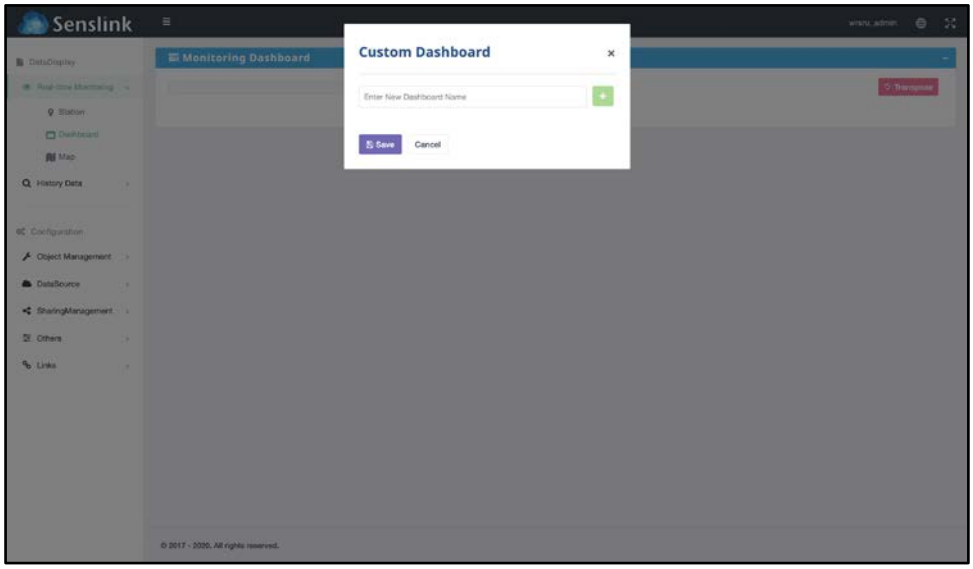
- Red = Danger
- Orange = Warning
- Green = Caution
- Black = Normal

## Dashboard

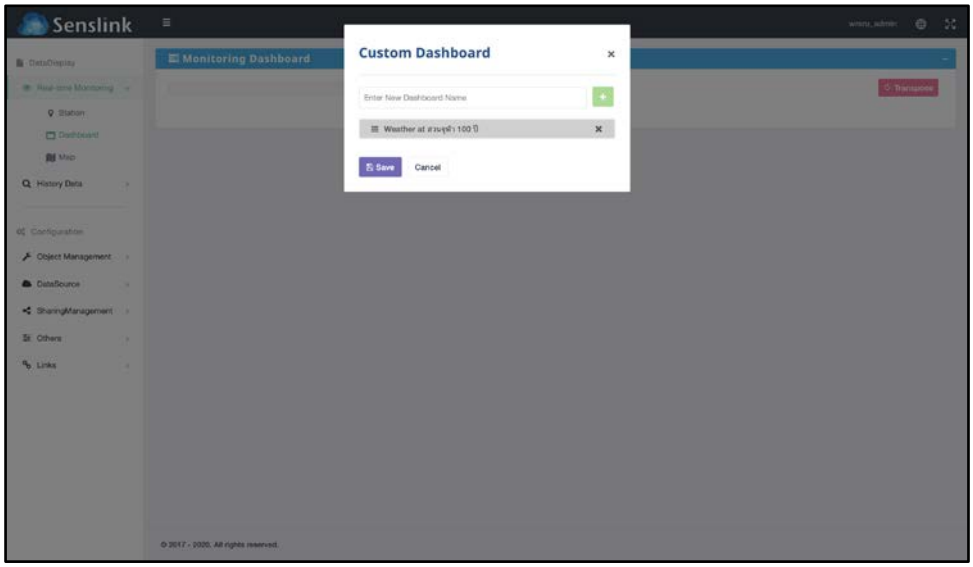
ที่เมนู Dashboard อนุญาตให้ผู้ใช้สามารถที่จะ group ข้อมูล Physical Quantity จากสถานีต่างๆ มาแสดงผลได้แบบ Real-time โดยที่ข้อมูลจะแสดงในรูปของตาราง สามารถสร้างได้มากกว่าหนึ่งตารางและตั้งชื่อตารางได้



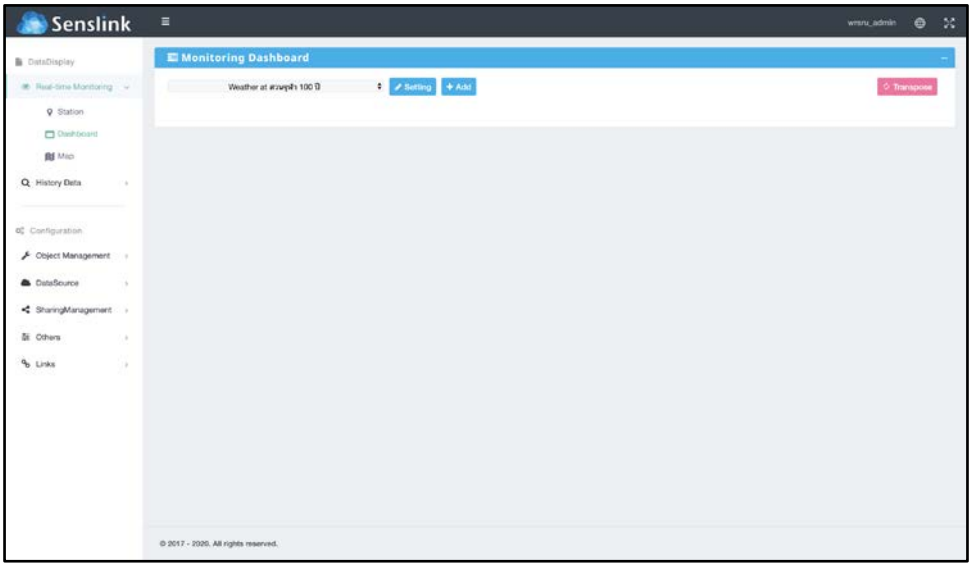

หากไม่เคยมีการสร้างตาราง Dashboard มาก่อน การเข้าใช้งานครั้งแรกจะปรากฏเป็นช่องว่าง



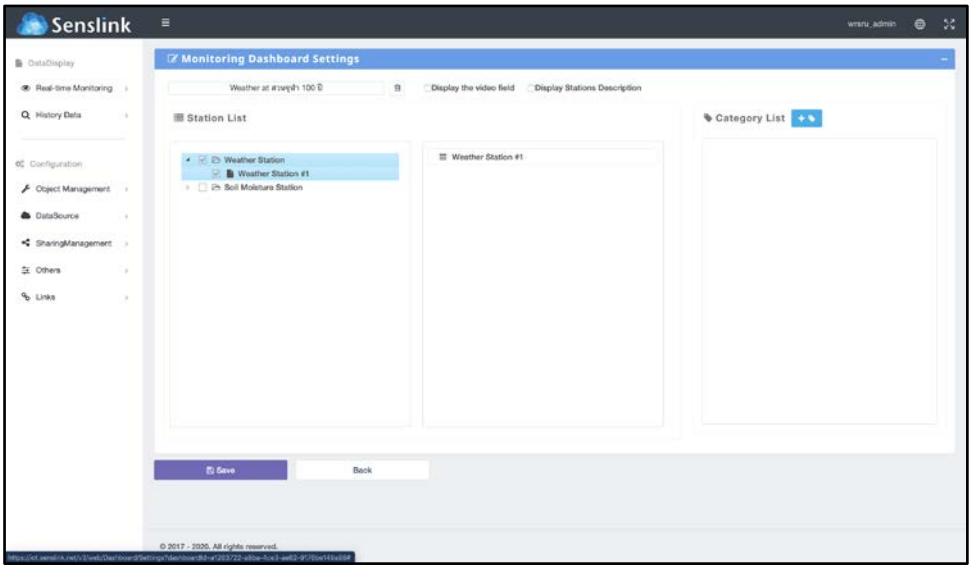

ในการสร้างตาราง Dashboard นั้นให้กดที่ปุ่ม “Add” จากนั้นใส่ชื่อตารางลงในช่องว่างและกดปุ่ม “+” สีเขียว



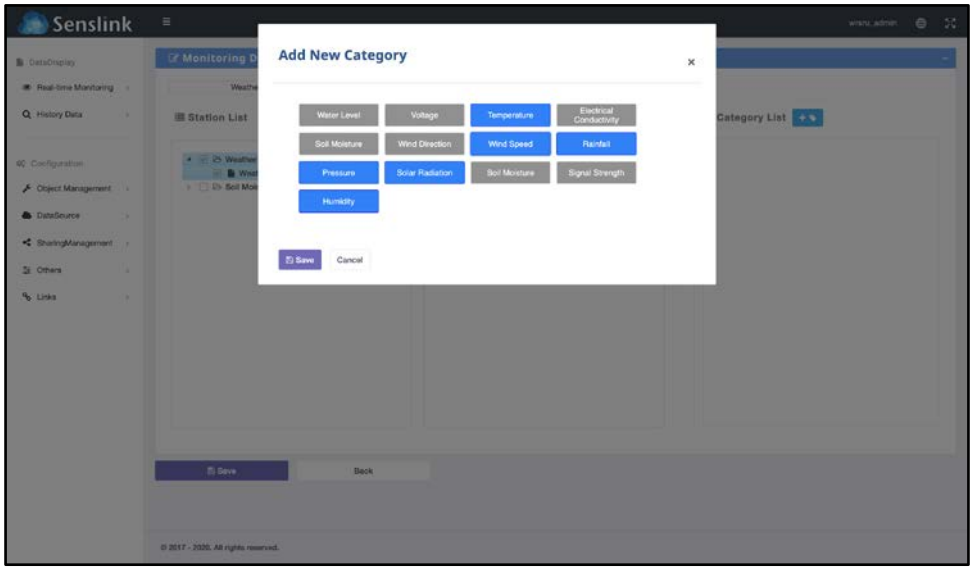

หลังจากที่กดปุ่ม “+” สีเขียวแล้ว ระบบจะแสดงผลชื่อของตารางที่ระบุไว้ ให้กดปุ่ม “Save” เพื่อเป็นการยืนยันการสร้างตาราง



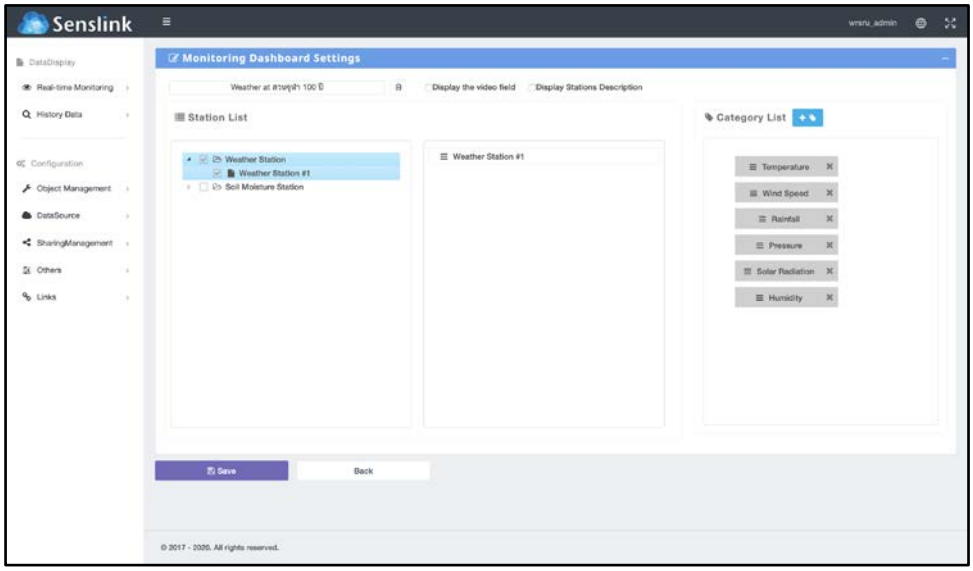

เมื่อทำการสร้างตารางแล้วจะสังเกตว่าตารางยังว่างอยู่เนื่องจากผู้ใช้ยังไม่ได้ระบุว่าต้องการให้ตารางแสดงข้อมูลอะไรบ้าง ในขั้นตอนการเพิ่ม Physical Quantity เข้ามาแสดงผลในตาราง ให้กดที่ปุ่ม “Add”



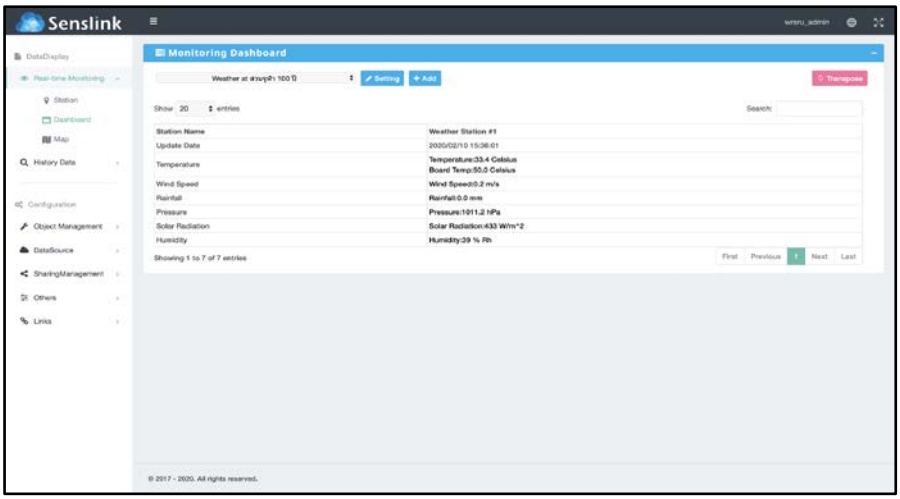

เมื่อกดปุ่ม “Add” แล้ว ระบบจะแสดงหน้าต่างขึ้นมาสามหน้าต่าง ฝั่งซ้ายสุดจะแสดงรายการสถานีที่อยู่ในระบบทั้งหมด ให้กดเลือกสถานีที่มีข้อมูลที่ต้องการให้แสดงผล




จากนั้นกดที่ปุ่ม “+” ด้านข้าง Category List แล้วกดเลือกข้อมูล Physical Quantity ที่ต้องการให้แสดงผลในตาราง จากนั้นกดปุ่ม “Save”




เมื่อทำการเพิ่ม Physical Quantity ที่จะแสดงผลแล้ว ให้กดปุ่ม “Save” เพื่อสร้างตาราง

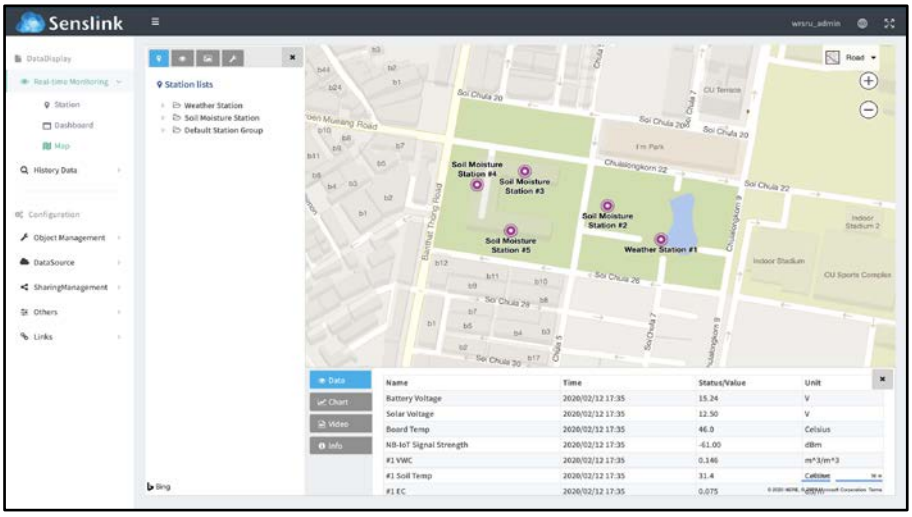



ข้อมูลในตารางจะเป็นข้อมูลแบบ Real-time

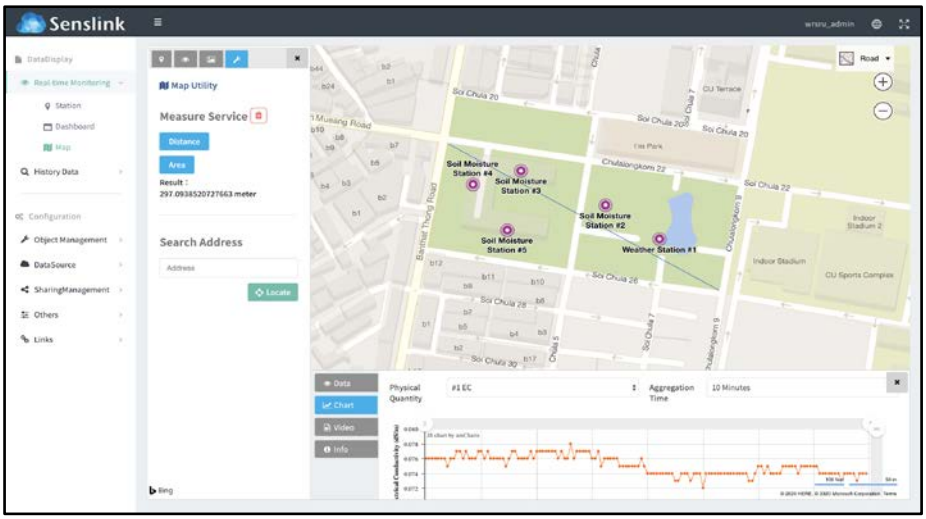
ผู้ใช้สามารถสลับ Row กับ Column ได้ด้วยการกดที่ปุ่ม Transpose

## Map

ที่เมนู Map อนุญาตให้ผู้ใช้สามารถดูพิกัดของทุกสถานี ข้อมูล Real-time และข้อมูลย้อนหลังของแต่ละ Physical Quantity ในสถานีต่างๆ



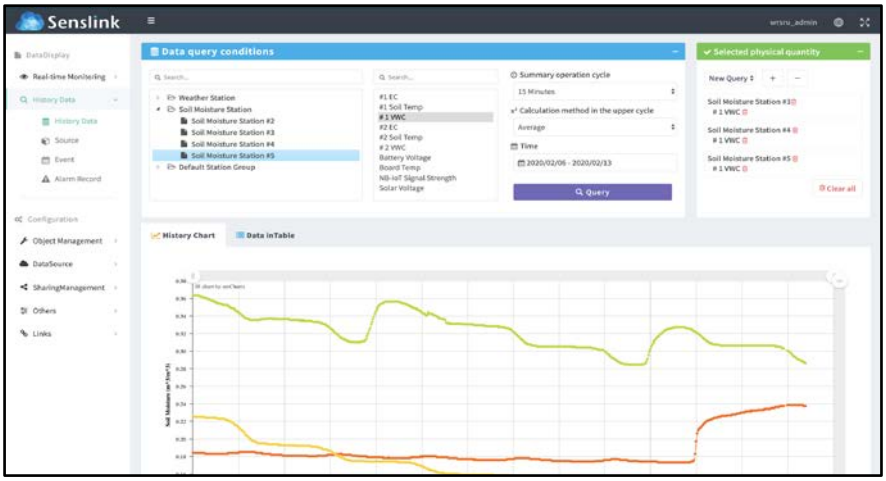

หากกดที่จุดวงกลมบนแผนที่ (สถานี) ระบบจะแสดงข้อมูล Real-time และข้อมูลย้อนหลังของสถานีนั้นๆ ที่ด้านล่างสำหรับข้อมูลย้อนหลัง ผู้ใช้จำเป็นต้องระบุด้วยว่าจะแสดงข้อมูลประเภทใด โดยข้อมูลจะแสดงผลในรูปของกราฟ




หากเข้าไปที่ “Measure Service” ผู้ใช้สามารถกดที่ปุ่ม Distance หรือ Area เพื่อทำการวัดระยะทาง หรือพื้นที่บนแผนที่ได้

## History Data

ที่เมนู History Data จะเป็นการแสดงข้อมูลย้อนหลังของแต่ละ Physical Quantity ที่มีการบันทึกไว้ในฐานข้อมูล โดยสามารถที่จะแสดงผลในรูปของกราฟหรือตาราง และสามารถ Export ไฟล์ออกเป็น Excel หรือ CSV ได้

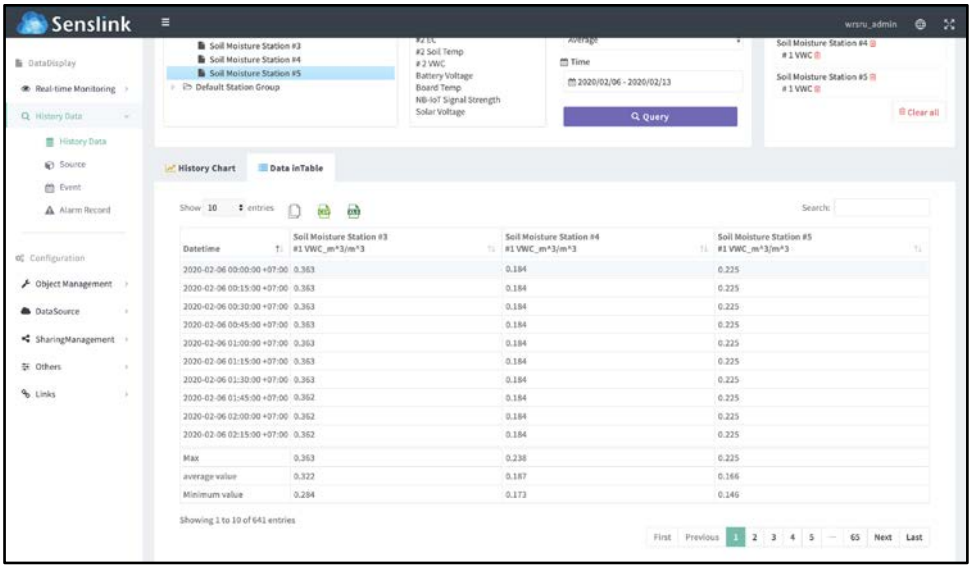



ผู้ใช้จำเป็นจะต้องกดเลือก Physical Quantity จากสถานีต่างๆ รวมถึงเลือกความถี่ของข้อมูล ฟังค์ชั่นการคำนวนข้อมูล และช่วงของวันที่ที่ต้องการดึงข้อมูลมาแสดงผล เมื่อทำการเลือกทุกอย่างครบแล้วให้กดที่ปุ่ม “Query” เพื่อทำการดึงข้อมูลมาแสดงผล

*ในส่วนของฟังค์ชั่นการคำนวนของข้อมูล สามารถดูเพิ่มเติมได้ที่

https://kairosdb.github.io/docs/build/html/restapi/Aggregators.html

ตัวกราฟสามารถขยายเข้าหรือขยายออกได้ตามความต้องการของผู้ใช้




ในหน้าการแสดงผลแบบตาราง จะมีการแสดงค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด และค่ามากสุดในช่วงเวลาที่ดึงข้อมูลไว้ด้วย ผู้ใช้สามารถทำการ Export ข้อมูลได้ในหน้านี้ โดยจะมีปุ่มสำหรับการ Export ไฟล์เป็น Excel หรือ CSV อยู่ด้านบนของตาราง

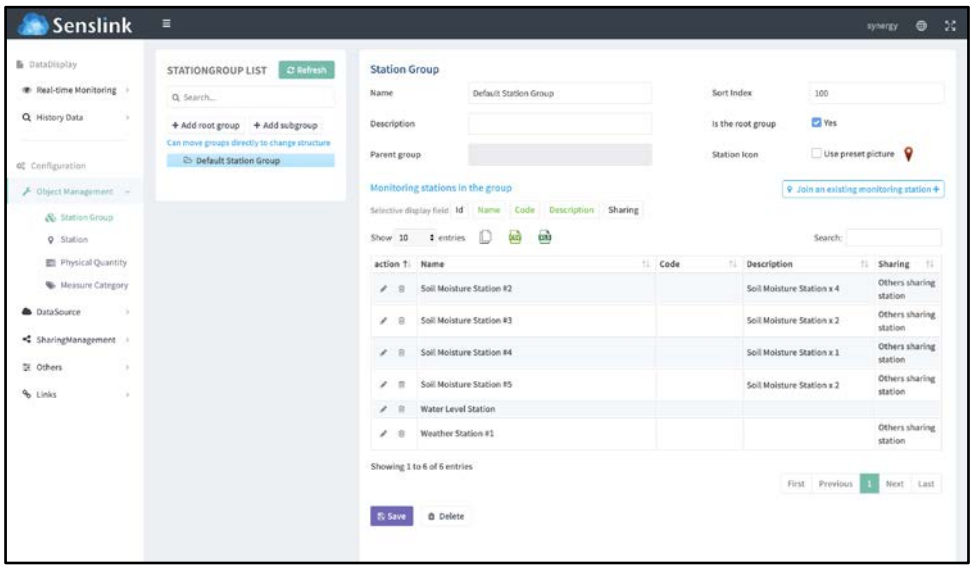
* ระบบไม่สามารถ Export รูปของกราฟได้

# Configuration

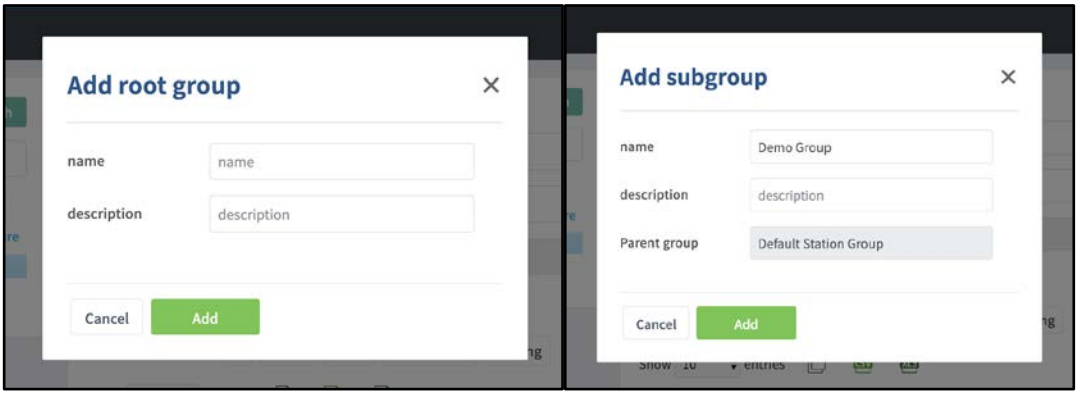
## Object Management

### Station Group

เมนู Station Group มีไว้ให้ผู้ใช้สามารถทำการรวมกลุ่มของสถานีต่างๆ ไว้เป็นกลุ่มเดียวกันได้ โดยที่สามารถสร้าง Station Group ซ้อนกันได้มากกว่าหนึ่งชั้น

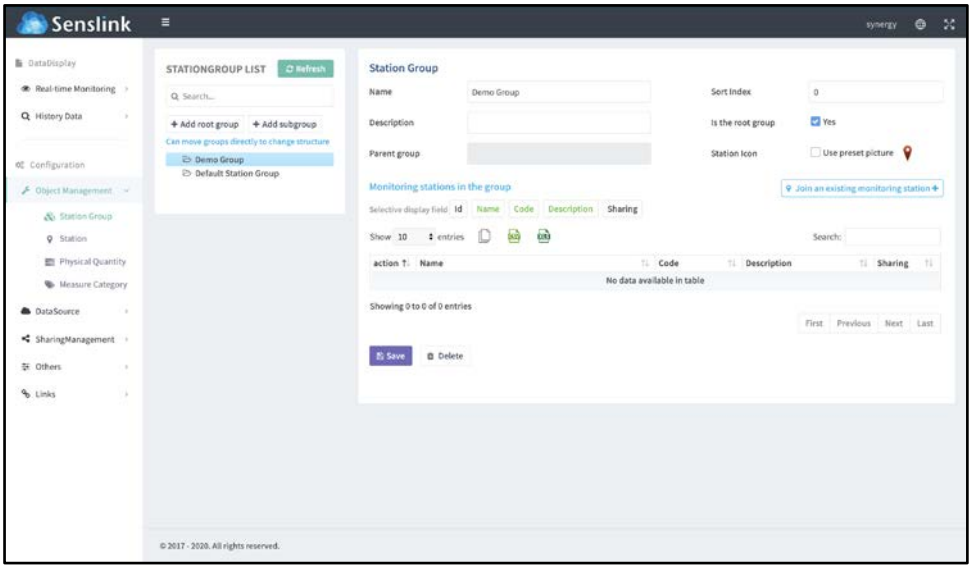



ในการสร้าง Station Group ใหม่ ให้กดที่ปุ่ม “Add Root Group” เพื่อสร้าง Station Group แบบ Parent Folder หรือกดที่ “Add Sub Group” เพื่อสร้าง Station Group ซ้อนอีก Station Group หนึ่ง

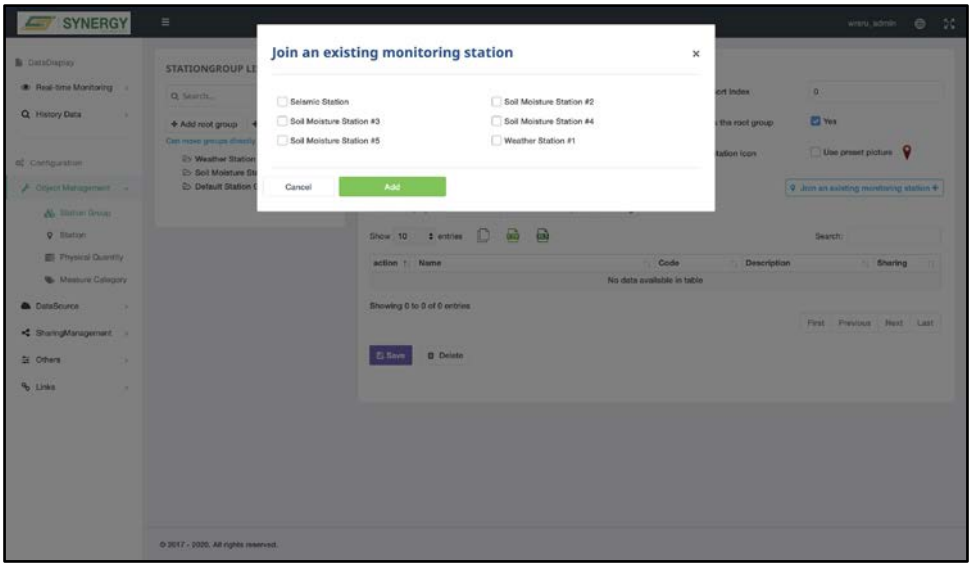



ตั้งชื่อและใส่รายละเอียดให้ Station Group

สำหรับ Sub Group ผู้ใช้จำเป็นต้องกำหนด Parent Group ด้วย



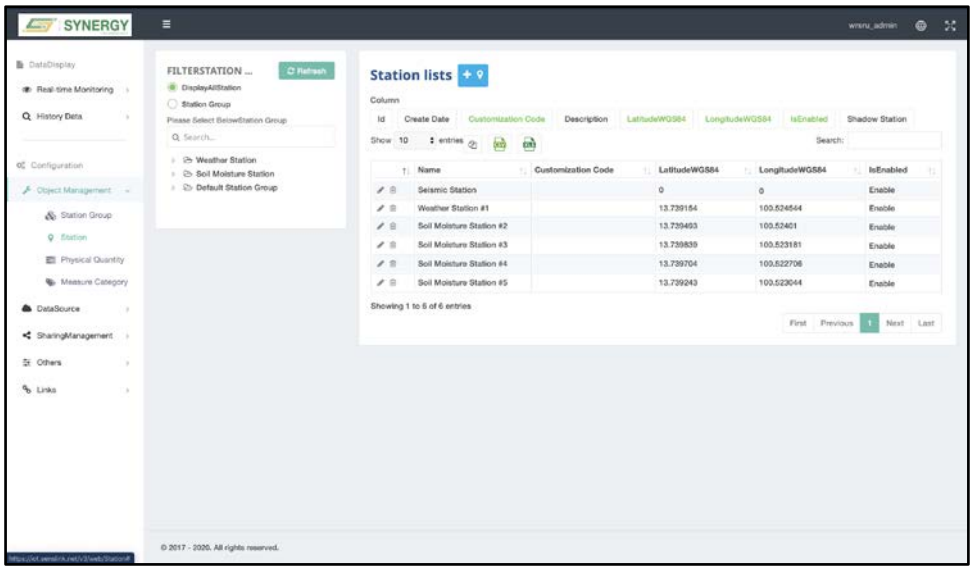

จากนั้นกดที่ปุ่ม “Join Station” เพื่อเลือกว่าจะเพิ่มสถานีไหนเข้ามาในกลุ่มบ้าง



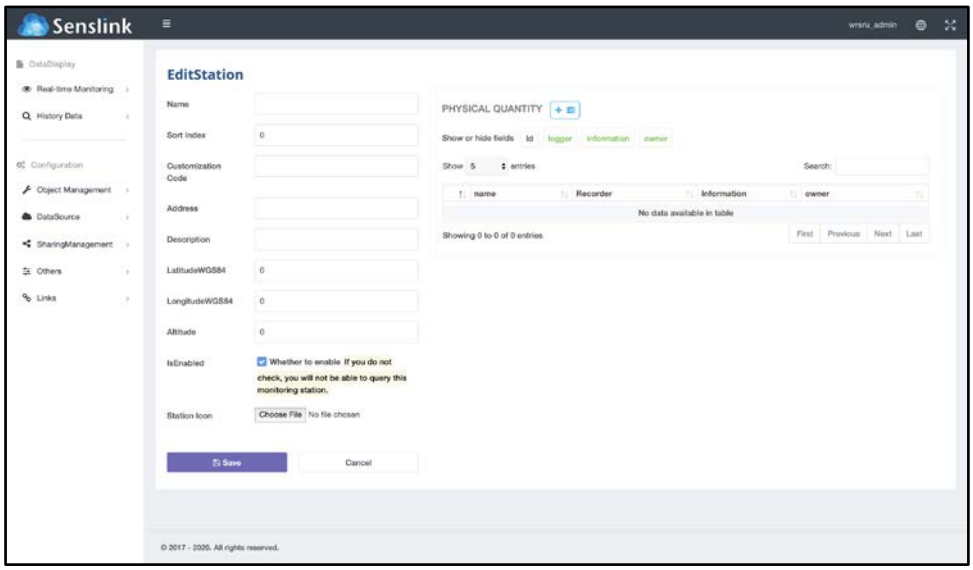

เมื่อกดเลือกสถานีเสร็จแล้ว ให้กดที่ปุ่ม “Add” ตามด้วยปุ่ม “Save” เป็นอันเสร็จการสร้าง Station Group หากต้องการแก้ลำดับการแสดงผลของ Station Group ให้ทำการแก้ไขที่ “Sort Index” โดยที่ Sort Index 0 หมายถึงให้แสดงผลไว้เป็นอันดับแรก

## Station

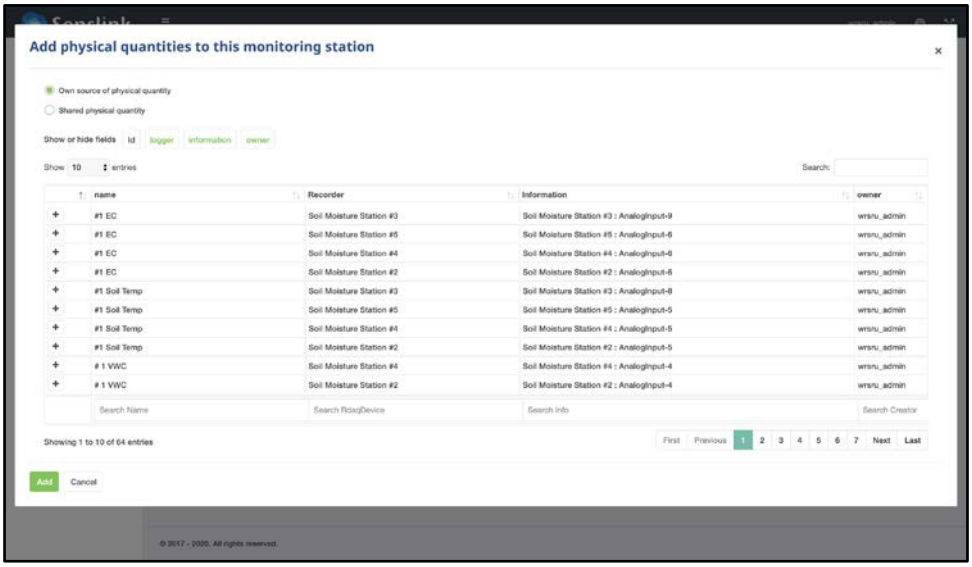
เมนู Station มีไว้ให้ผู้ใช้สามารถทำการรวมกลุ่มของ Physical Quantity ต่างๆ ไว้เป็นกลุ่มเดียวกันได้ โดยปกติแล้วคำว่าสถานีมีความหมายอ้างอิงถึง Data Logger แต่ละตัว




ในการสร้าง Station ใหม่ ให้กดที่ปุ่ม “Add”




ตั้งชื่อสถานี ใส่ค่าพิกัด และอื่นๆ จากนั้นกดที่ปุ่ม “Add” เพื่อเลือกว่าจะเพิ่ม Physical Quantity ไหนเข้ามาในสถานีบ้าง

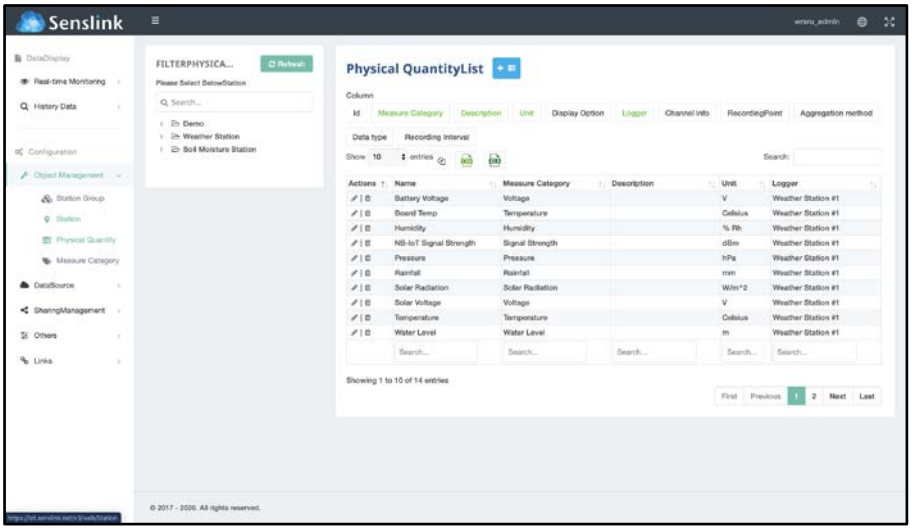



ในหน้าต่างนี้จะแสดงรายการ Physical Quantity ทั้งหมดที่มีอยู่ โดยสามารถเลือกได้ว่าต้องการ Physical Quantity ที่เป็นของตัวเองหรือถูกแชร์มาจากผู้อื่น กดที่เครื่องหมาย “+” เพื่อเพิ่ม Physical Quantity เข้ามาในรายการ จากนั้นกดที่ปุ่ม “Add” เป็นอันเสร็จการสร้างสถานี

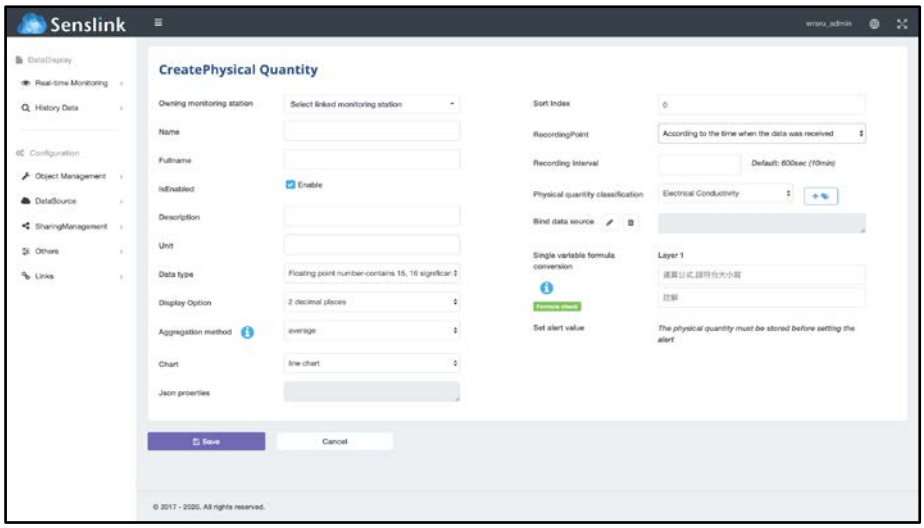
**Physical Quantity**

เมนู Physical Quantity มีไว้ให้ผู้ใช้สามารถทำการสร้างชนิดของข้อมูลที่ได้รับมาจาก Data Logger ได้ โดยที่การตั้งค่าในส่วนนี้จำเป็นต้องทำทั้งฝั่ง Senslink และที่ตัว Data Logger

*เอกสารชุดนี้อธิบายถึงวิธีตั้งค่าเฉพาะในส่วนของ Senslink




ในการสร้าง Physical Quantity ใหม่ ให้กดที่ปุ่ม “Add”




Owning monitoring station: สถานีที่จะให้เชื่อมกับ Physical Quantity

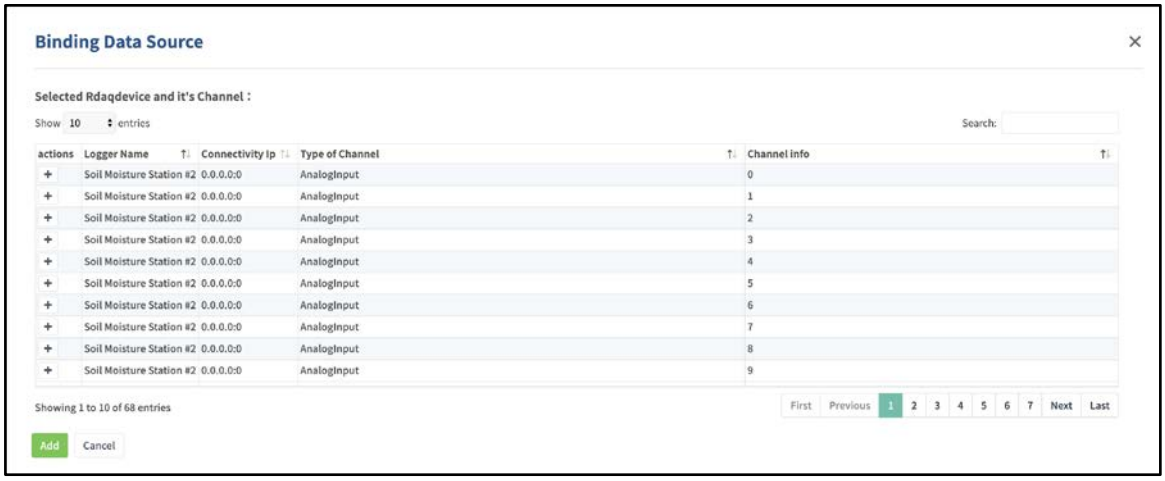
Name: ชื่อ Physical Quantity

Is Enable: เช็คเพื่อให้ PQ อยู่ในสถานะใช้งานได้

Sort Index: ลำดับของ Physical Quantity ที่จะแสดงผล

PQ Classification: ประเภทหรือชนิดของข้อมูล (ถูกสร้างในเมนู Measure Category)

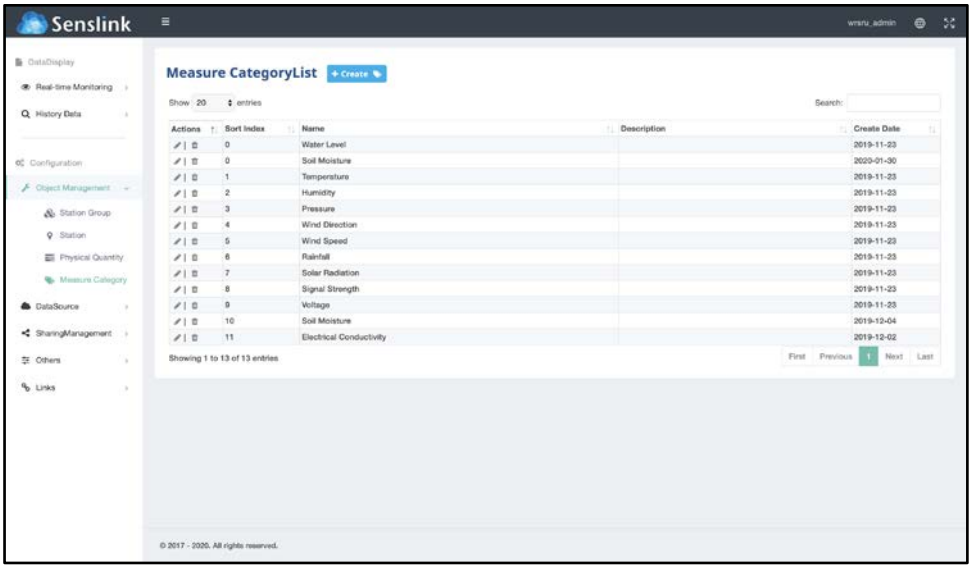
Recording Interval: ความถี่การบันทึกข้อมูล




ในการเชื่อม Physical Quantity กับ Channel บน Data Logger ให้กดที่ปุ่มด้านข้าง “Binding Data Source” จากนั้นให้คลิกเลือก Channel จาก Data Logger ที่ต้องการ เสร็จแล้วให้กดปุ่ม “Add” และ “Save” เป็นอันเสร็จการสร้างและเชื่อมต่อ Physical Quantity กับ Data Logger

## Measure Category

เมนู Measure Category มีไว้ให้ผู้ใช้สามารถสร้างประเภทของข้อมูลได้ เช่น ระดับน้ำ อุณหภูมิ ความเร็วลม ระดับ CO2 โดยที่ประเภทข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปอ้างอิงกับ Physical Quantity ที่ถูกสร้างขึ้น

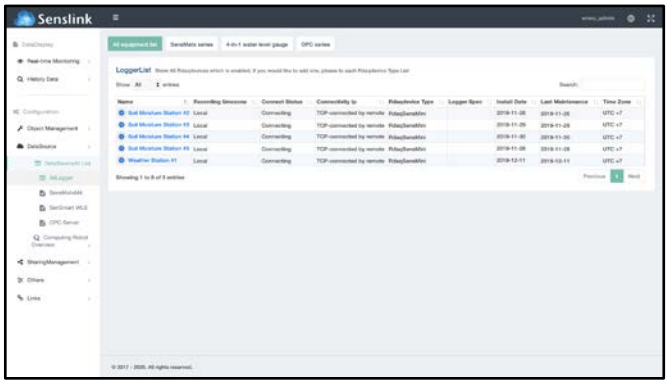


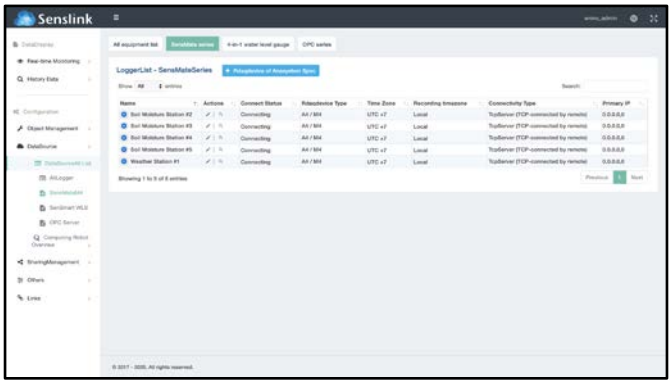

สามารถสร้างประเภทของข้อมูลได้ด้วยการกดที่ปุ่ม “Create”

ใส่ชื่อประเภทข้อมูล ลำดับที่จะให้แสดงผล จากนั้นกดปุ่ม “Save” เป็นอันเสร็จการสร้างประเภทข้อมูล

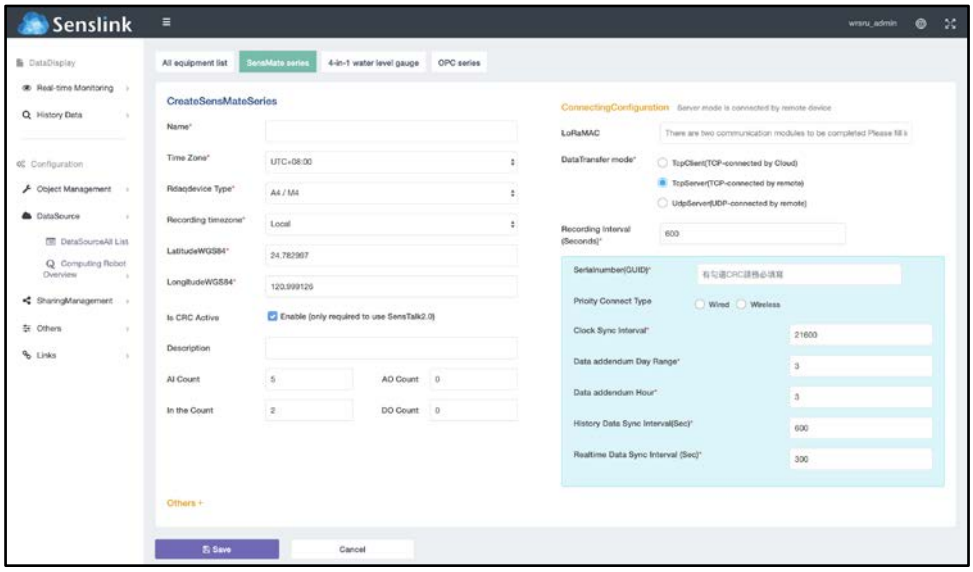
## Data Source

เมนู Data Source เป็นส่วนที่ผู้ใช้สามารถทำการเพิ่ม Data Logger เข้ามาในระบบ สามารถตั้งค่าและดูสถานะของ Data Logger แต่ละตัวได้





ในการเพิ่ม Data Logger เข้ามาในระบบ ให้กดที่ปุ่ม “Add”




Recording Timezone: Timezone ที่จะบันทึกข้อมูล

Rdaq Device Type: ชนิดของเครื่อง Data Logger

Priority Connect Type: Priority การเชื่อมต่อผ่าน Ethernet หรือ Wireless Card

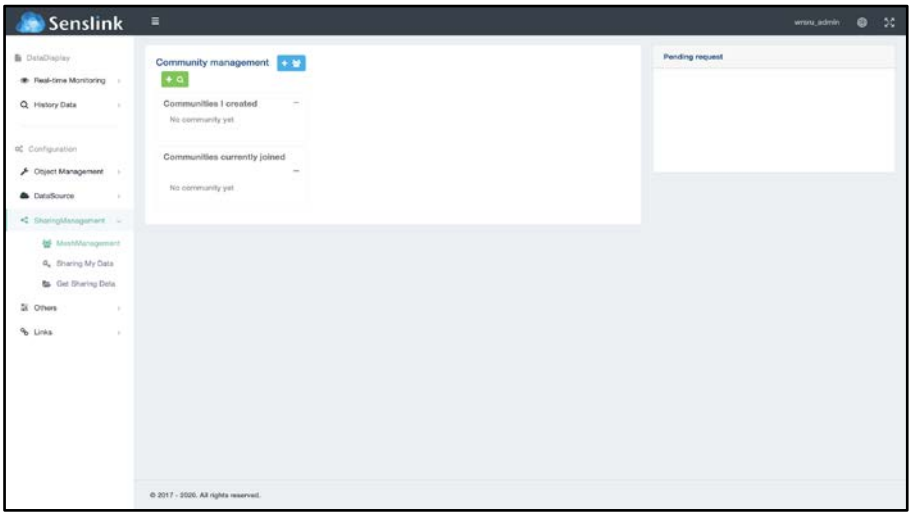
หากตัว Priority ขาดการเชื่อมต่อจะเปลี่ยนไปใช้ Secondary แทน

เมื่อใส่ข้อมูลเสร็จแล้วให้กดปุ่ม “Save” เป็นอันเสร็จสมบูรณ์การเชื่อมต่อ Data Logger กับระบบ

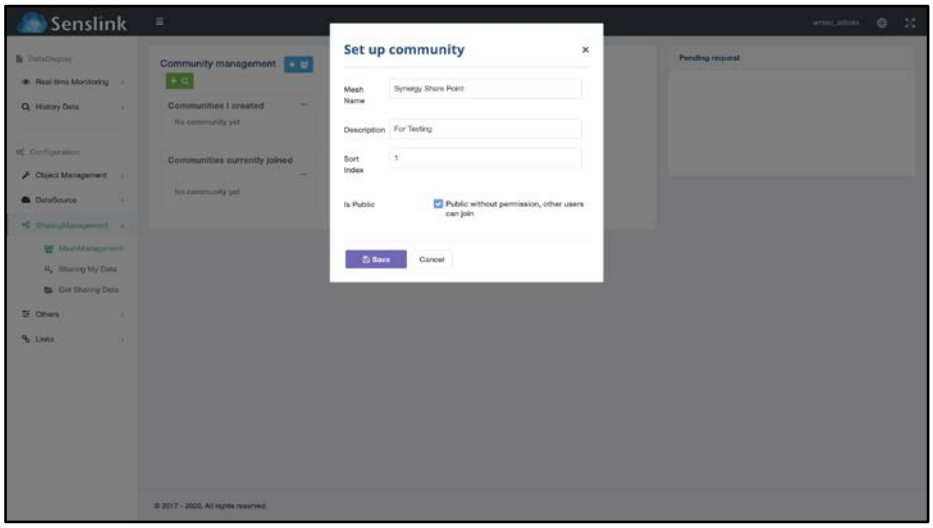
## Sharing Management

### Mesh Management

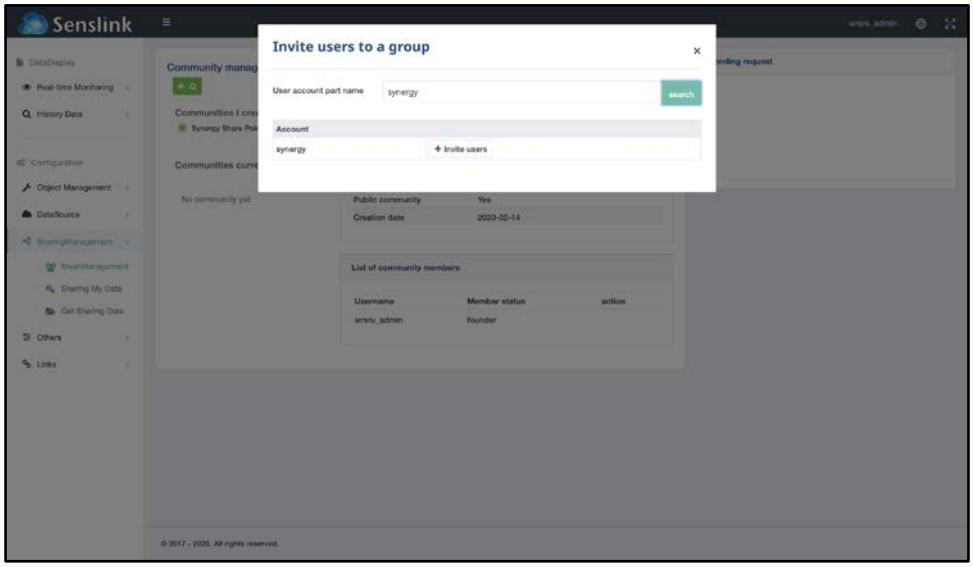
เมนู Mesh Management เป็นส่วนที่ผู้ใช้สามารถบริหารจัดการการแชร์ข้อมูลกับผู้ใช้คนอื่นได้



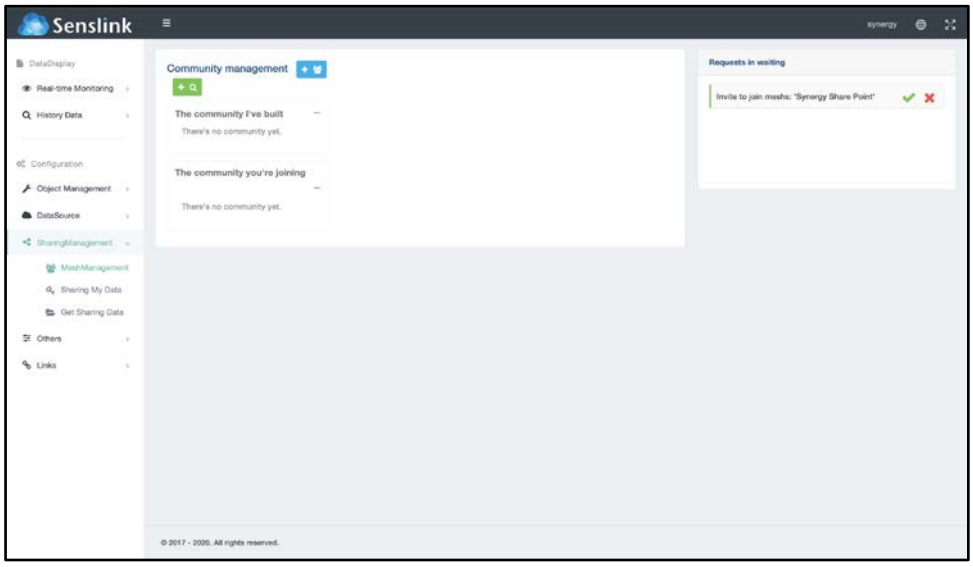

ในการสร้าง Mesh สำหรับการแชร์ข้อมูล ให้กดที่ปุ่ม “Add”




ทำการตั้งชื่อ Mesh รวมถึงควรใส่รายละเอียดให้ Mesh ว่าเป็นการแชร์ข้อมูลให้ใครและมีจุดประสงค์เพื่ออะไร ในส่วนของ “Is Public Checkbox” ให้ทำการเช็คไว้เพื่อเปิดการใช้งาน Mesh นี้ จากนั้นกดที่ปุ่ม “Save”



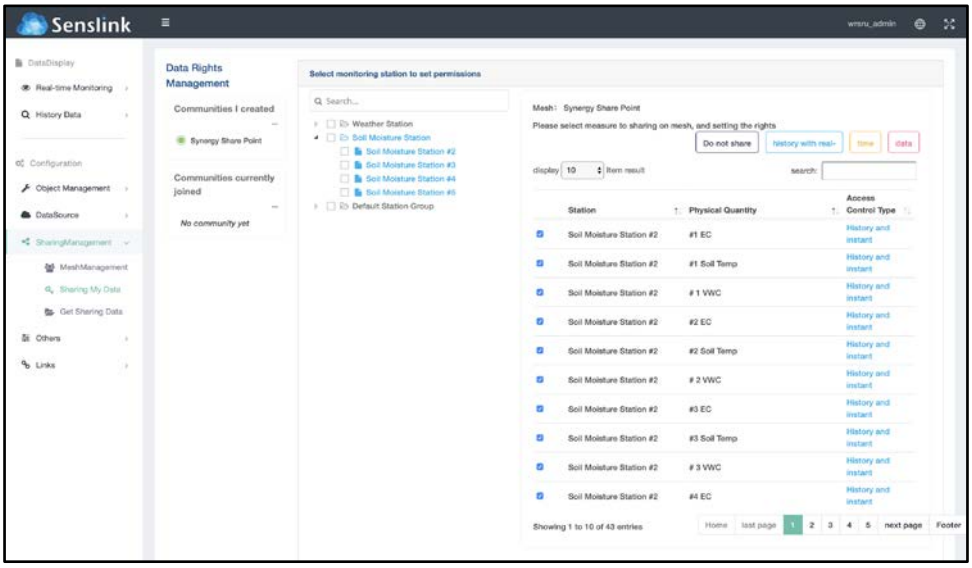

หลังจากที่ได้ทำการสร้าง Mesh แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการเพิ่มบัญชีผู้ใช้ที่ต้องการแชร์ข้อมูลให้เข้ามาใน Mesh ด้วยการกดที่ปุ่ม “Add” จากนั้นให้ทำการพิมพ์ชื่อบัญชีผู้ใช้เพื่อทำการค้นหา หากพบชื่อที่ค้นหาจะมีการแสดงผลพร้อมกับปุ่ม “Invite User” ให้ทำการกดที่ปุ่ม “Invite User” เพื่อทำการเพิ่มบัญชีผู้ใช้นั้นเข้ามาใน Mesh




ที่บัญชีผู้ใช้ที่ได้รับการแชร์ข้อมูล หากเข้าไปที่เมนู Mesh Management และสังเกตตรงฝั่งขวาจะพบว่าที่หน้าต่าง “Request in waiting” จะมีรายการ Mesh ที่ถูกแชร์มา ให้ผู้ใช้ทำการกดยืนยันเพื่อเชื่อมต่อกับ Mesh

## Sharing My Data

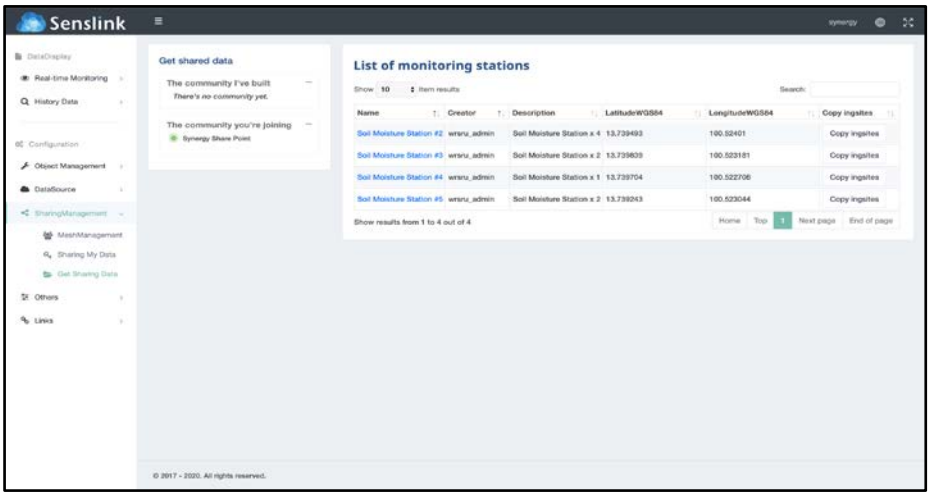
เมนู Sharing My Data คือส่วนที่อนุญาตให้ผู้ใช้บริหารจัดการการแชร์ข้อมูลใน Mesh ได้



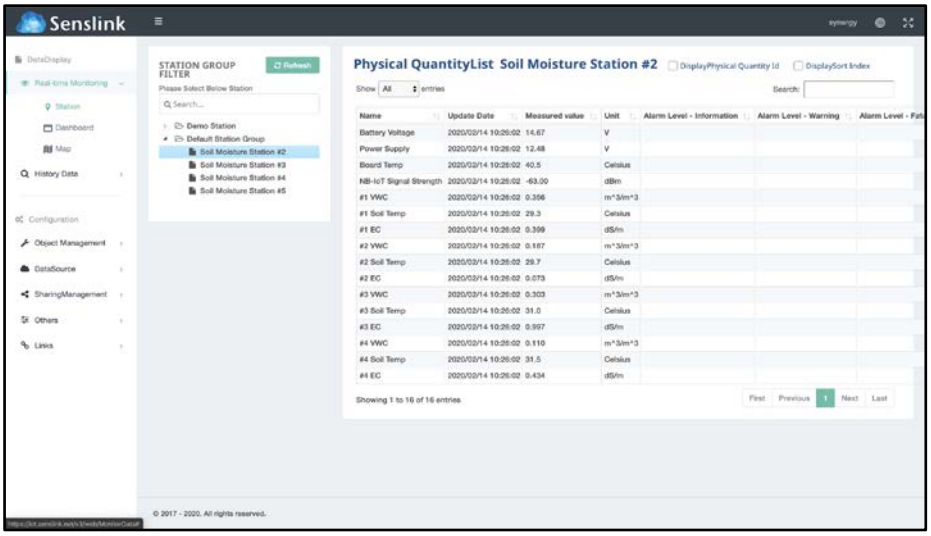

ที่บัญชีผู้แชร์ข้อมูล หลังจากที่ทำการสร้าง Mesh แล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการกำหนดว่าจะให้มีข้อมูลใดบ้างถูกแชร์ใน Mesh ที่สร้างขึ้นในขั้นตอนแรกให้ทำการคลิกเลือก Mesh ที่หน้าต่างซ้ายสุด จากนั้นที่หน้าต่างตรงกลางให้ทำการคลิกเลือกสถานีที่ต้องการ สุดท้ายที่หน้าต่างฝั่งขวกสุดจะแสดงรายการ Physical Quantity จากสถานีที่ถูกเลือก โดยผู้ใช้สามารถกำหนดได้ว่าจะแชร์ Physical Quantity ไหนบ้าง และจะแชร์เฉพาะข้อมูล Real-time ข้อมูลย้อนหลัง หรือทั้งสองอย่าง

## Get Sharing Data

เมนู Get Sharing Data เป็นส่วนที่ให้ผู้ใช้สามารถบริหารจัดการข้อมูลที่ถูกแชร์มาว่าจะนำข้อมูลไหนบ้างขึ้นไปแสดงผลในส่วน Data Display




ที่บัญชีผู้ใช้ที่ถูกแชร์ข้อมูล เมื่อเข้าไปที่เมนู Get Sharing Data จะพบกับรายการของข้อมูลที่ถูกมาจาก Mesh ที่ได้ทำการยืนยันการเชื่อมต่อ ให้กดที่ปุ่ม “Copy Ingsites” เพื่อนำข้อมูลนั้นขึ้นไปแสดงผลที่ส่วน Data Display

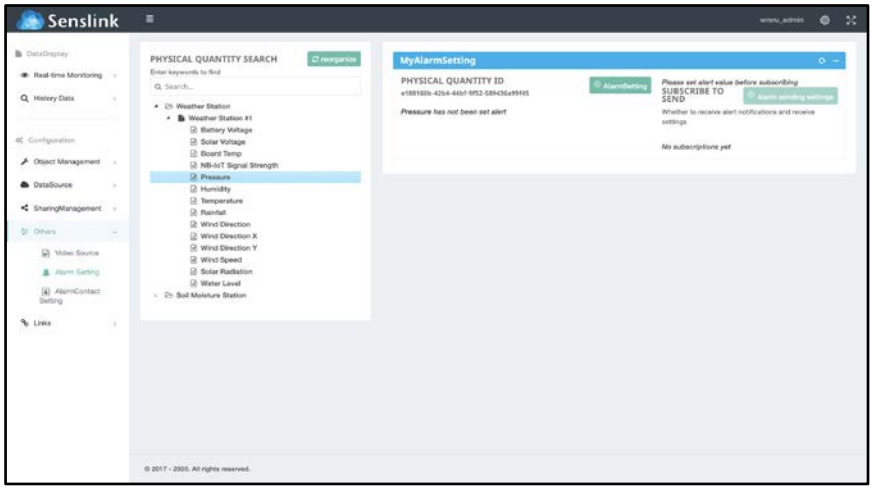



เมื่อไปที่เมนู Station จะเห็นว่าข้อมูลที่ถูกแชร์มาถูกนำมาแสดงผลแล้ว อย่างไรก็ตาม ข้อมูลนั้นจะสามารถแสดงผลได้แบบ Real-time แสดงผลแบบข้อมูลย้อนหลัง หรือทั้งคู่ขึ้นอยู่กับการตั้งค่า Permission ในฝั่งของผู้แชร์ข้อมูล

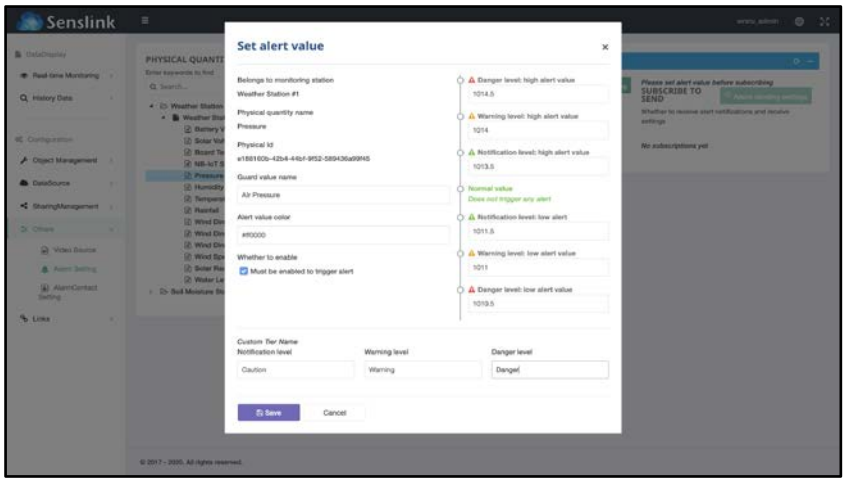
## Others

### Alarm Setting

เมนู Alarm Setting เป็นส่วนที่อนุญาตให้ผู้ใช้สามารถทำการตั้งค่าการแจ้งเตือนต่างๆของ Physical Quantity เช่น การแจ้งเตือนเมื่อข้อมูลมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าจุดที่กำหนด และสามารถกำหนดได้ว่าจะให้ทำการแจ้งเตือนที่ช่องทางไหน แจ้งเตือนถี่แค่ไหน และข้อความที่แจ้งเตือนเป็นอย่างไร




เมื่อต้องการตั้งค่าการแจ้งเตือน ในขั้นตอนแรกให้ทำการเลือก Physical Quantity ที่หน้าต่างฝั่งซ้าย จากนั้นที่หน้าต่างฝั่งขวาให้กดที่ปุ่ม “Alarm Setting”

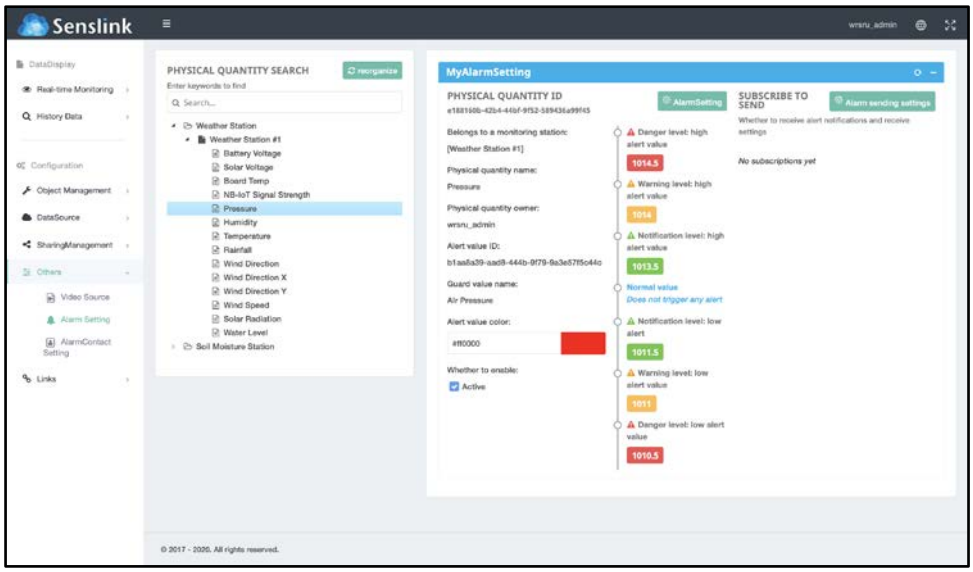



ที่ฝั่งซ้าย ผู้ใช้สามารถแก้ไขชื่อและสีของการแจ้งเตือนได้ที่ฝั่งขวา ผู้ใช้สามารถกำหนด Thresholds ของข้อมูลเพื่อให้ทำการแจ้งเตือนในระดับต่างๆได้ (ไม่จำเป็นต้องใส่ทุกช่อง)

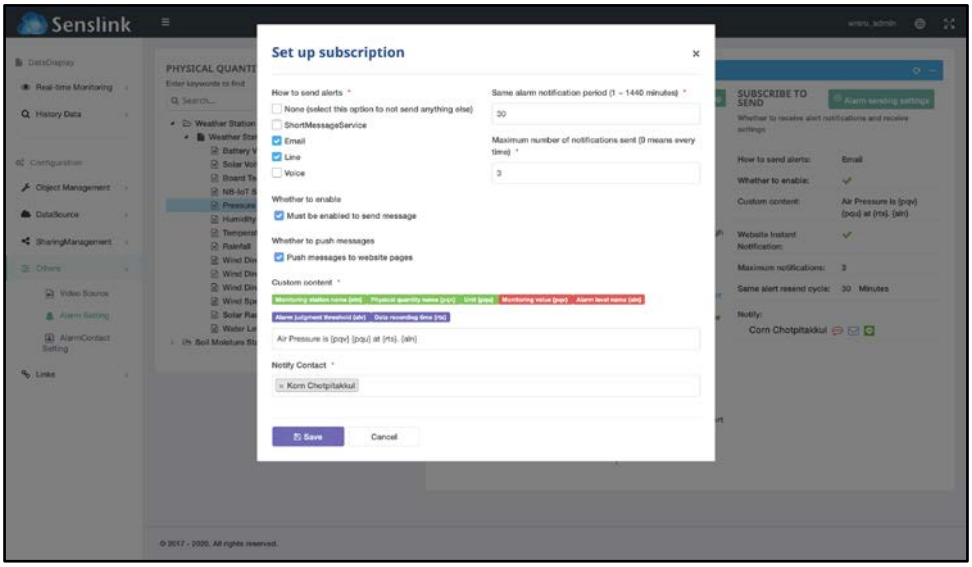
ที่ด้านล่าง ผู้ใช้สามารถตั้งชื่อระดับการแจ้งเตือนได้ด้วยตัวเอง ตามความหมายที่ระบบได้ระบุเอาไว้

- Notification หมายถึง การแจ้งเตือนเบื้องต้น
- Caution หมายถึง การแจ้งเตือนระดับกลาง
- Danger หมายถึง การแจ้งเตือนระดับอันตราย

เมื่อทำการใส่ข้อมูลครบแล้ว ให้กดที่ปุ่ม “Save”




ระบบจะทำการสรุปข้อมูลการแจ้งเตือนที่ผู้ใช้ได้ตั้งค่าไว้ ในขั้นตอนต่อไปคือการตั้งค่าว่าจะให้ระบบแจ้งเตือนผ่านช่องทางไหนและมีข้อความลักษณะแบบใด ให้ทำการกดที่ปุ่ม “Alarm Sending Setting”

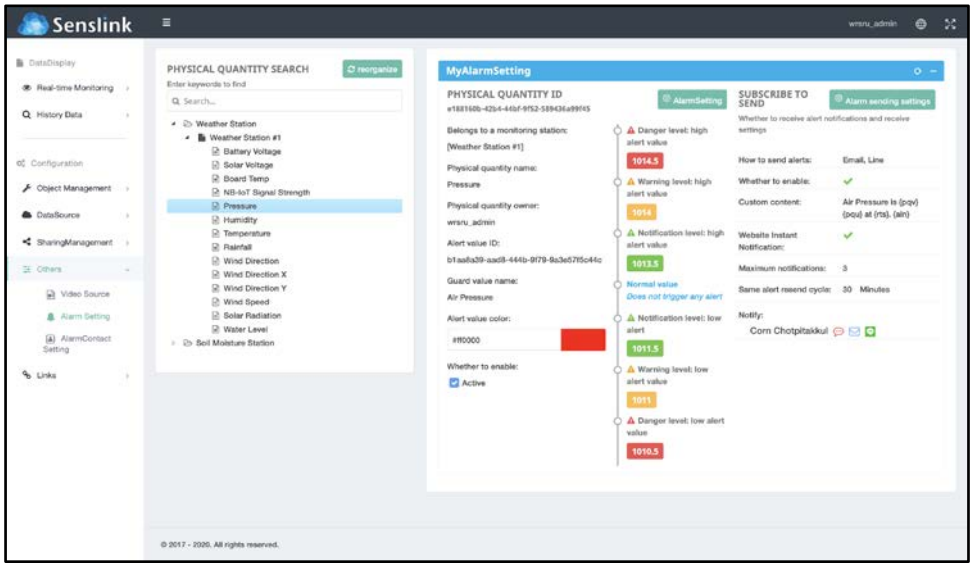



ที่หน้าต่างนี้ผู้ใช้สามารถกำหนดได้ว่าต้องการให้ระบบแจ้งเตือนผ่านช่องทางไหนบ้าง ต้องการให้มีการแจ้งเตือนที่หน้าเว็บไซต์ด้วยหรือไม่ ต้องการให้แจ้งเตือนมากที่สุดกี่ครั้งในเวลาที่กำหนด ในส่วนของข้อความนั้นผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้ว่าจะให้ข้อความแจ้งเตือนมีข้อมูลอะไรบ้าง โดยการใส่ข้อความในช่อง Custom Content และผู้ใช้สามารถแทรกข้อมูลเหล่านี้เพิ่มเติมเข้าไปได้ผ่านข้อความ {accronym}

- Station Name: {stn}
- PQ Name: {pqn}
- PQ Unit: {pqu}
- PQ Value: {pqv}
- Alarm Name: {aln}
- Alarm Value: {alv}
- Timestamp: {rts}

การตั้งค่าทั้งหมดในหน้านี้จะมีผลแค่กับ Physical Quantity ที่กำลังตั้งค่าอยู่เท่านั้น สุดท้ายแล้วให้ทำการเพิ่มรายชื่อผู้ติดต่อใน Notify Contact โดยที่รายชื่อผู้ใช้จะต้องถูกสร้างมาก่อนในเมนู Alarm

Contact และหากผู้ใช้ตั้งค่าการแจ้งเตือนทาง Line และ Email หมายความว่า Notify Contact นั้นจะต้องมีการเชื่อมต่อกับ Line และมีการใส่รายละเอียด Email ไว้ด้วย

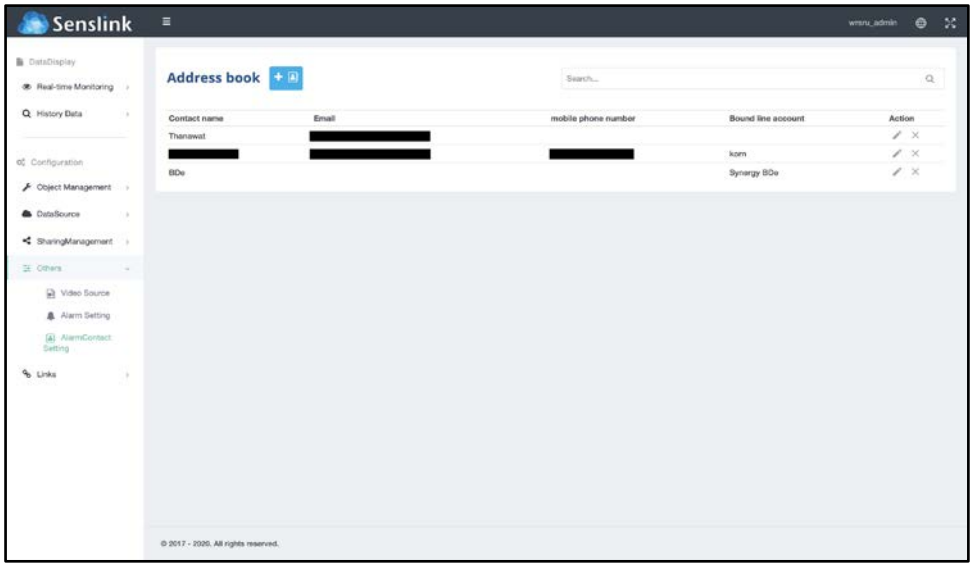



เมื่อทำการตั้งค่าทั้งหมดแล้วระบบจะแสดงผลดังรูป

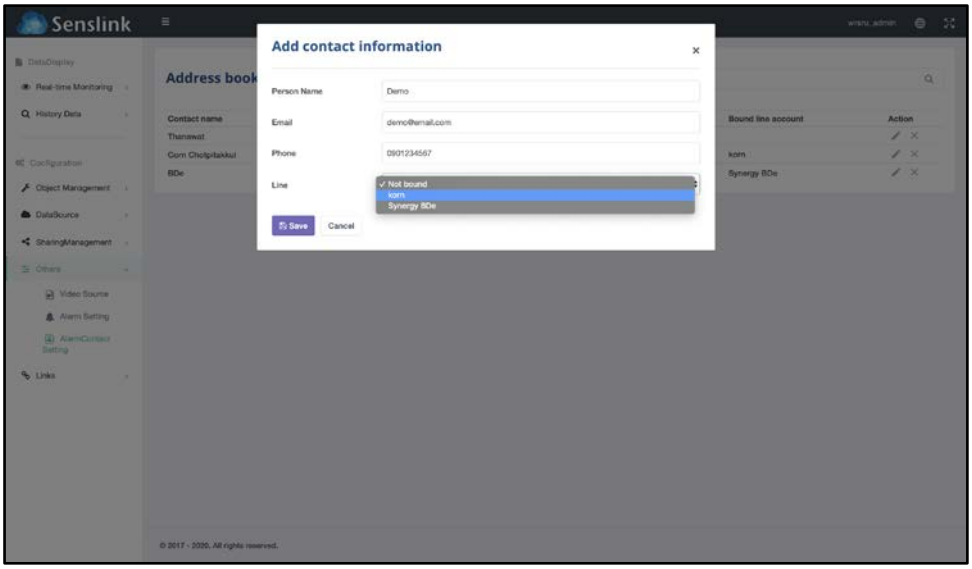
หากต้องการหยุดการแจ้งเตือน ให้ทำการ Check Out ที่ “Whether to enable”

## Alarm Contact Setting

เมนู Contact เป็นส่วนที่ผู้ใช้สามารถทำการเพิ่มรายชื่อและช่องทางการแจ้งเตือนได้



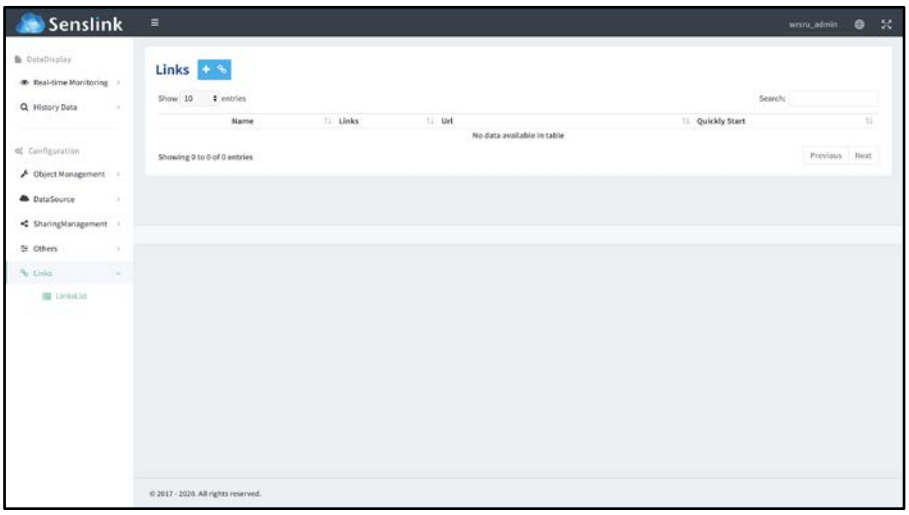

เมื่อเข้ามาในส่วน Alarm Contact Setting จะมีการแสดงรายชื่อทั้งหมดที่ถูกสร้างไว้



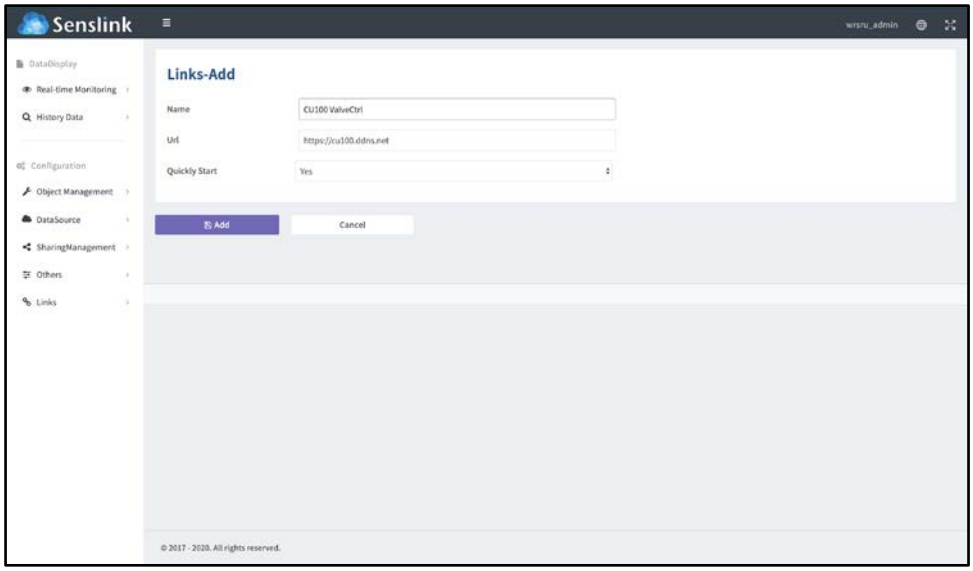

ในการสร้างรายชื่อการแจ้งเตือนใหม่ ให้กดที่ปุ่ม “Add” จากนั้นใส่ชื่อผู้แจ้งเตือน และช่องทางการติดต่อต่างๆ ในส่วนของช่องทางการแจ้งเตือนทาง Line นั้นจะแสดงรายชื่อของ Line Account ที่ได้ทำการเชื่อมต่อไว้ในขั้นตอนการตั้งค่าในส่วนของ Line Account Binding ที่เมนู Abnormal Notify Setting (เข้าไปที่ชื่อผู้ใช้มุมขวาบน)

## Links

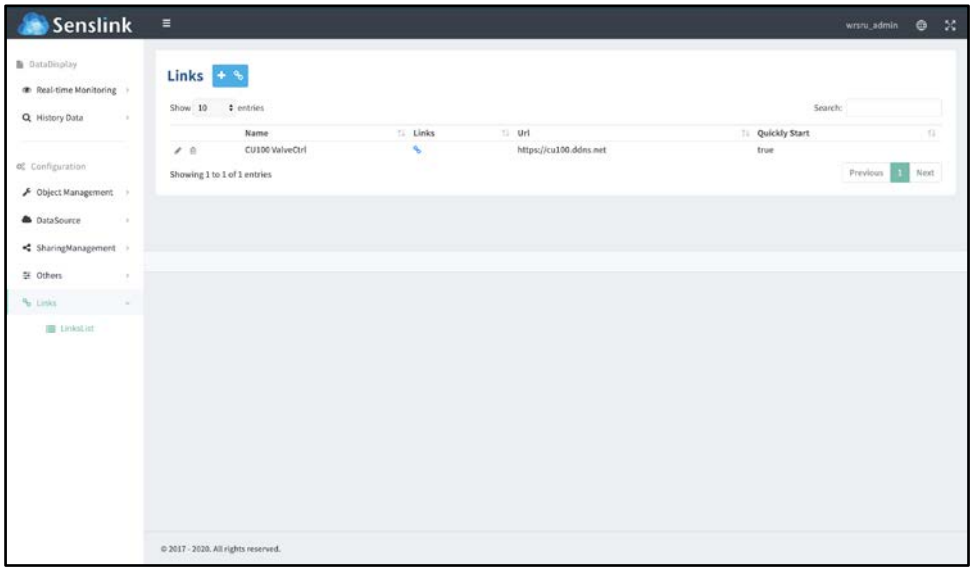
เมนู Link List คือส่วนที่ผู้ใช้สามารถแนบลิ้งค์ที่เกี่ยวข้องกับระบบไว้ได้เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าถึงในการใช้งานควบคู่กับ โดยอาจจะเป็นลิ้งค์ของเว็บไซต์ต่างๆ หรือลิ้งค์ของระบบกล้องวงจรปิด



ในการเพิ่มลิ้งค์ใหม่ ให้กดที่ปุ่ม “Add”




จากนั้นให้ทำการตั้งชื่อลิ้งค์และใส่ Link URL




เมื่อสร้างลิ้งค์เสร็จแล้วระบบจะแสดงชื่อและ URL ของลิงค์บนตาราง หากต้องการเข้าไปยังลิ้งค์ที่ได้สร้างไว้ให้กดที่สัญลักษณ์ของลิ้งค์และระบบจะพาไปยังหน้าต่างใหม่ที่เป็นของ URl นั้นๆ

## System Setting

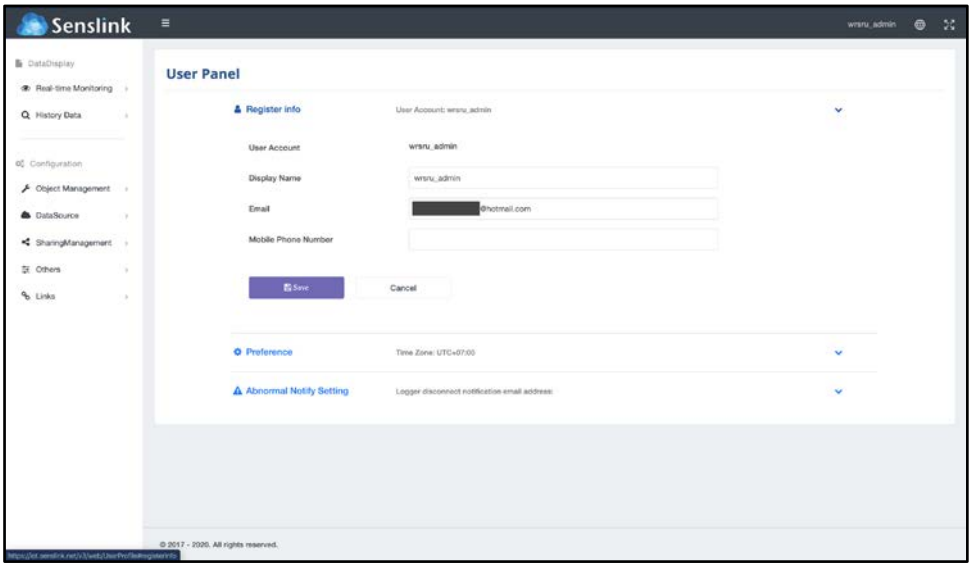
หากทำการกดที่ชื่อบัญชีผู้ใช้งานที่บริเวณมุมขวาบนของเว็บไซต์ ผู้ใช้สามารถที่จะทำการตั้งค่าได้ 4 ส่วน

- บัญชีผู้ใช้งาน
- API Token
- การเปลี่ยนรหัสผ่าน
- การขอรหัสผ่านใหม่

## User Account Settings

### Register Info

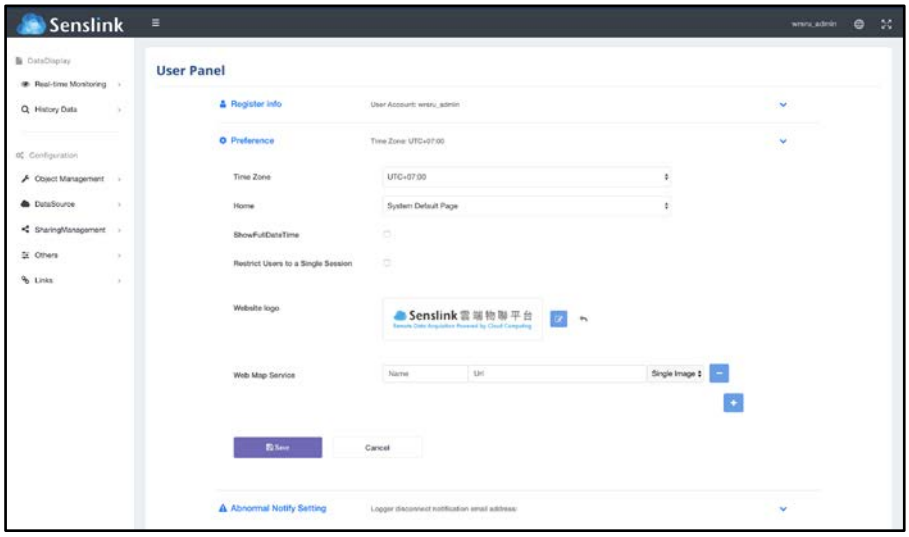
ในส่วนของ Register Info ผู้ใช้สามารถทำการตั้งค่าข้อมูลพื้นฐานของผู้ใช้ได้




ผู้ใช้สามารถตั้งค่าชื่อของผู้ใช้ที่จะแสดงผลบนเว็บไซต์ได้ สามารถแก้ไข Email และใส่เบอร์ติดต่อได้

## Preference

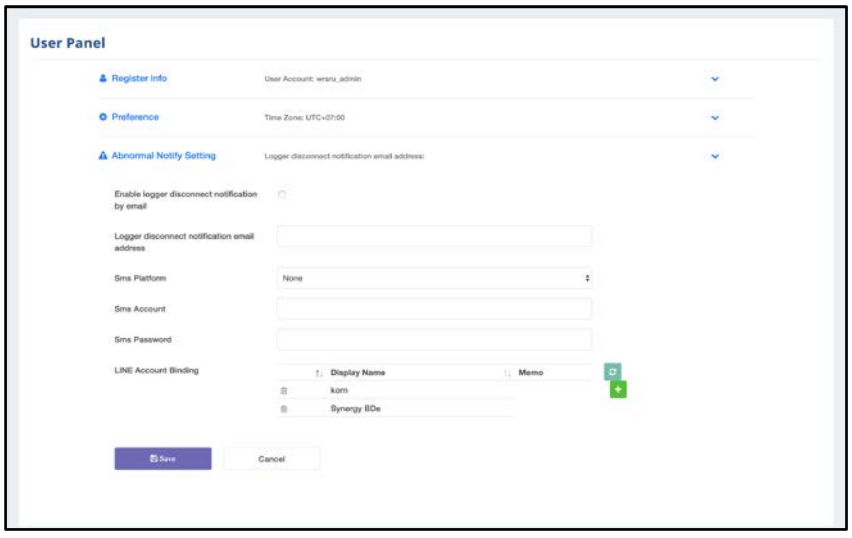
ในส่วนของ Preference ผู้ใช้สามารถทำการตั้งค่าพื้นฐานของการใช้งาน Senslink Website ได้




ผู้ใช้สามารถตั้งค่าได้ว่าจะให้หน้า Home Page เป็นหน้าไหน เลือก Time zone ที่จะให้แสดงผลบนเว็บไซต์ได้ รวมไปถึงการเลือก Website Logo

## Notify Setting

ในส่วนของ Notify Setting ผู้ใช้สามารถกำหนดการแจ้งเตือนความผิดปกติเบื้องต้นได้ เช่น ให้ระบบแจ้งเตือนทาง Email หรือ SMS ในกรณีที่มี Data Logger ขาดการเชื่อมต่อ



ในส่วนการตั้งค่าให้ระบบสามารถทำการแจ้งเตือนทาง Line ได้ ผู้ใช้จำเป็นต้องทำการเชื่อมต่อบัญชี Line ของตัวเองหรือผู้อื่นเข้ามาในระบบโดยการตั้งค่าในส่วนของ Line Account Binding เมื่อทำตามขั้นตอนการเชื่อมต่อกับ Line เสร็จแล้ว ระบบ Senslink จะทำการแจ้งเตือนผ่านทาง Line Notify ผู้ใช้สามารถรับการแจ้งเตือนผ่านทาง Line Notify Account ได้ หรือทำการเพิ่มบัญชี Line Notify Account เข้าไปในกลุ่ม Line ได้ อย่างไรก็ตาม บัญชีหรือกลุ่ม Line ที่จะรับการแจ้งเตือนได้นั้นจำเป็นจะต้องเชื่อมต่อกับ Senslink ก่อน ดังขั้นตอนที่ได้ทำไปก่อนหน้านี้

**API Token**

ในส่วนของ API Token ผู้ใช้สามารถนำ Client Id และ Client Secret ไปใช้ในการขอ Bearer Token สำหรับการใช้งาน Senslink API โดยที่ Client Id และ Client Secret จะเป็นตัวกำหนดว่า Token ที่ได้ไปจะสามารถใช้ดึงได้เฉพาะข้อมูลจากเจ้าของบัญชีนี้เท่านั้น