

รหัสโครงการ SUT3-302-61-12-11



## รายงานการวิจัย

เทคโนโลยีการผลิตพืชแบบอัจฉริยะ



ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



## รายงานการวิจัย

### เทคโนโลยีการผลิตพืชแบบอัจฉริยะ



คณะผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุตชล วุ่นประเสริฐ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพร มะชิโกวา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ร้อยเอก ดร. ประโยชน์ คำสวัสดิ์

รองศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พันทิพย์ ปิยะทัศนานนท์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

สิงหาคม 2564

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการเทคโนโลยีการผลิตพืชแบบอัจฉริยะ ซึ่งอยู่ภายใต้การบริหารงานชุดโครงการวิจัย เรื่อง การพัฒนาฟาร์มเกษตรกรไปสู่ระบบการเกษตรแบบแม่นยำ (Precision Agriculture) หรือ ฟาร์มอัจฉริยะ (Smart Farm) โดยการบูรณาการเทคโนโลยีการเกษตรและวิศวกรรม ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย (งบบูรณาการ การวิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561) จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผ่านสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ร่วมกับสำนักงาน คณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ (สวทน.) ปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 ซึ่งการดำเนินงานวิจัยสำเร็จได้ด้วยดีต้องขอขอบคุณฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้พื้นที่ทำการทดลอง และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยอำนวยความสะดวกทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ และห้องปฏิบัติการในการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ และพืช จนเกิดผลสำเร็จที่ดี



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มุ่งพัฒนาและปรับใช้นวัตกรรมสำหรับการผลิตพืชทั้งในสภาพแปลงปลูกนอกโรงเรือนและภายใต้สภาพโรงเรือน เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพพืชที่ดีมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค และช่วยลดการใช้แรงงาน โดยมีการบูรณาการงานด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตรเพื่อการพัฒนาเครื่องมือหรือนวัตกรรมที่ใช้ในการผลิตพืชที่มีความแม่นยำสูง โดยโครงการวิจัยมี 2 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 การพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตพืชแบบแม่นยำในสภาพแปลง และส่วนที่ 2 การพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับการผลิตพืชในโรงเรือน โดยส่วนที่ 1 มี 5 กิจกรรม ได้แก่ 1.1) การพัฒนาการควบคุมการให้น้ำแบบแม่นยำในการผลิตพืชไร่ โดยได้พัฒนาแอปพลิเคชันควบคุมการให้น้ำในระบบน้ำหยด และการควบคุมโดยใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้นดิน เพื่อใช้ในการกำหนดการให้น้ำแก่พืชอย่างเหมาะสม ผลการทดสอบพบว่าทั้งสองวิธีสามารถให้น้ำได้อย่างแม่นยำและสามารถเพิ่มผลผลิตอ้อยให้สูงขึ้นได้ และยังได้มีการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการให้ปุ๋ยในระบบน้ำ ซึ่งสามารถใช้ได้ง่าย รวดเร็ว และมีความแม่นยำสูง 1.2) การพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในการจำแนกพืช (พันธุ์มันสำปะหลัง และ วัชพืช) การพัฒนาแอปพลิเคชันพบว่าสามารถใช้จำแนกพันธุ์มันสำปะหลังได้แม่นยำสูง และในการตรวจสอบชนิดวัชพืชสามารถจำแนกได้แม่นยำ 81% 1.3) การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับ (UAV) ในการประเมินความหนาแน่นของวัชพืชในแปลงปลูกพืชหลัก ซึ่งสามารถใช้ประเมินได้ความถูกต้องสูง และทำให้ง่ายต่อการจัดการวัชพืช สำหรับการประเมินการเจริญเติบโต และผลผลิตอ้อยโดยใช้ภาพถ่ายจาก UAV และ remote sensing พบว่าการประเมินได้มีความแม่นยำสูง (98%) 1.4) การพันสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชโดยการใส่โดรน พบว่าพาคโคลบิวทาโซลอัตรา 1,000 ppm เหมาะสมสำหรับการใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพผลผลิตของอ้อยและมันสำปะหลังได้ 1.5) การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการสูบน้ำสำหรับระบบน้ำหยด พบว่าสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานในการสูบน้ำเพื่อให้น้ำหยดได้ดี แต่ต้องมีการพัฒนาระบบเก็บพลังงานเพื่อใช้ในเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์

สำหรับส่วนที่ 2 การพัฒนาโรงเรือนอัจฉริยะสำหรับการผลิตพืช โดยมี 4 กิจกรรมหลัก ได้แก่ 2.1) การพัฒนาและทดสอบการปลูกพืชภายใต้โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิระบบปิด โดยการพัฒนารองเรือนประกอบด้วยระบบควบคุมอุณหภูมิแบบ Evaporation และมีระบบพ่นหมอก ม่านพรางแสง ระบบปลูกแบบ NFT ระบบการให้สารละลายอัตโนมัติและระบบจ่ายพลังงานจากแสงอาทิตย์ หลังการพัฒนาระบบต่างๆ ได้ทดลองผลิตผักในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมินี้ การทดสอบพบว่าระบบควบคุมอุณหภูมิสามารถควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่าภายนอกโรงเรือนได้ 7–8 °C การใช้ระบบโซลาเซลล์เป็นแหล่งพลังงานใช้ได้ดี มีความเสถียร และช่วยลดค่าไฟฟ้าได้ 80.3% โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิสามารถผลิตพืชราคาสูงนอกฤดูกาลได้ผลดี ผักที่ปลูกได้มีผลผลิต และคุณภาพผลผลิตสูง และลดการใช้สารเคมีได้ 2.2) การพัฒนาและทดสอบการปลูกพืชภายใต้โรงเรือนระบายอากาศระบบเปิด โดย



โรงเรือนประกอบด้วยระบบพ่นหมอก ม่านพรางแสง ระบบปลูกแบบ DRFT วัสดุปลูก และระบบการให้สารละลายอัตโนมัติ หลังการพัฒนาระบบต่างๆ ได้ทดลองผลิตพืชภายใต้โรงเรือนนี้ ซึ่งผลการทดสอบพบว่าสามารถลดอุณหภูมิในโรงเรือนให้ต่ำกว่าภายนอกโรงเรือนได้เล็กน้อย สามารถผลิตพืชนอกฤดูกาล พืชที่ทดสอบทุกชนิดให้ผลผลิตสูง และมีต้นทุนการผลิตต่อพื้นที่ต่ำกว่าโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิมาก 2.3) การพัฒนาระบบควบคุมการให้น้ำและให้ปุ๋ยอัตโนมัติผ่านระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในโรงเรือน พบว่าระบบสามารถตรวจสอบ EC, pH ของสารละลายได้แบบปัจจุบัน ระบบมีความเสถียร สามารถควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยได้แม่นยำ 2.4) การพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับควบคุมความเข้มแสง และความยาวคลื่นแสง โดยใช้แสงจากหลอด LED ให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิด พบว่าพืชแต่ละชนิดต้องการความเข้มแสงและความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตแตกต่างกัน นอกจากนี้การใช้แสงจาก LED ที่จำเพาะมีผลในการกระตุ้นความงอกของเมล็ดพืชได้



## Abstract

This research project aimed to develop and implement innovations for crop production both in field conditions and under greenhouse conditions, to improve crop productivity, yield quality and to reduce the use of labor. The project integrated engineering and agricultural technology to develop tools or innovations used to produce high-precision crop management. The research project was divided into 2 parts: Part 1: Technology development for precision crop production under field conditions, and Part 2: Technology development for greenhouse crop production.

Part 1 consisted of 5 activities: 1.1) Precision irrigation for crop production. We had developed an irrigation application to control the water supply for the drip irrigation system and a wireless sensor network to monitor soil moisture for precision irrigation control. The results showed that both methods could be used to provide accurate drip irrigation and could increase sugarcane yields. We had also developed fertigation applications for drip irrigated crops which could be used easily, quickly and with high accuracy. 1.2) Application development for plant identification (cassava cultivars and weed species). These applications could be used to identify cassava cultivars with high accuracy and in the examination of weed species, the classification was 81% accurate. 1.3) Weed density assessment and crop growth analysis by unmanned aerial vehicle (UAV). It was found that UAV could be used to evaluate weed density with high accuracy and make it easier for weed management. For sugarcane growth and yield assessment using UAV imagery and remote sensing found that the assessment was highly accurate (98%). 1.4) Foliar application of plant growth regulators using UAV. The result showed that a 1,000 ppm of paclobutrazol was suitable for foliar application which could increase yield and quality of sugarcane and cassava. 1.5) Use of solar energy to pump water for drip irrigation systems. It was found that solar panel can be used as a power source for pumping water to provide accurate drip irrigation. However, the energy storage systems need to be developed for energy use during low or no sunlight periods.

Part 2, the development of smart greenhouses for crop production, there were 4 activities: 2.1) The development and testing of crop cultivation under a closed system temperature control greenhouse. This greenhouse consisted of an evaporation

temperature control system, a mist spraying system, shading curtains, a NFT planting system, an automatic fertilizer feeding system and a solar power supply system. The series of experiments with vegetables production had been conducted under this temperature control greenhouse. The results showed that the temperature control system could control the temperature 7–8 °C lower than outside the greenhouse. The use of solar energy system as a source of energy for greenhouse operation was effective, stable and could reduce the electricity cost by 80.3%. The greenhouse could be used to produce off season high-priced crops, high yielding vegetables with good quality and reduce the use of harmful chemicals. 2.2) The development and testing of crops under the ventilation system greenhouse. The greenhouse consisted of a mist spraying system, shading curtains, DRFT and substrate planting systems and an automatic nutrient solution feeding system. The series of experiments with crops production had been conducted under this ventilation system greenhouse. It was found that the system can slightly lower the temperature in the greenhouse. The greenhouse was able to produce off-season plants with high yields and good quality and the production cost per area was much lower than the temperature control greenhouses. 2.3) Development of automatic irrigation and fertilizer control systems through wireless sensor networks. It was found that the system was stable and can be used for real time monitoring of EC and pH of solutions and can precisely control fertilizer and water supply. 2.4) Development of automation for light intensity and wavelength control. By testing the light from the LED lamp to suit the growth of each type of plant, It was found that each plant needed different light intensity and wavelength for optimal growth and yield. In addition, the use of specific LED light could stimulate seed germination.

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ .....	ข
Abstract .....	ง
สารบัญ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ช
สารบัญรูป .....	ญ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
บทที่ 3 การพัฒนาเทคโนโลยีอัจฉริยะสำหรับการผลิตพืชไร่นาเศรษฐกิจ .....	25
บทที่ 4 การพัฒนาโรงเรือนอัจฉริยะสำหรับการผลิตพืช .....	97
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	200
เอกสารอ้างอิง .....	208
ภาคผนวก.....	219
ประวัตินักวิจัย .....	254

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ปริมาณน้ำฝนและน้ำชลประทาน .....	47
ตารางที่ 3.2 ผลของวิธีการให้น้ำต่อความสูงของอ้อยเมื่อปลูกในดินร่วนทรายและดินร่วนเหนียว ...	48
ตารางที่ 3.3 ผลของวิธีการให้น้ำต่อจำนวนหน่อของอ้อยเมื่อปลูกในดินร่วนทรายและดินร่วนเหนียว.	48
ตารางที่ 3.4 ผลของวิธีการให้น้ำต่อองค์ประกอบผลผลิต และผลผลิตของอ้อยเมื่อปลูกในดินร่วน ทรายและดินร่วนเหนียว.....	49
ตารางที่ 3.5 ผลของวิธีการให้น้ำ ต่อปริมาณการให้น้ำ ผลผลิต และประสิทธิภาพการใช้น้ำ ของอ้อย .....	50
ตารางที่ 3.6 ต้นทุน และผลตอบแทนจากการให้น้ำด้วยวิธีต่างกันที่ดิน 2 ชนิด.....	53
ตารางที่ 3.7 ตัวอย่างภาพถ่ายคุณลักษณะต่างๆ ของมันสำปะหลังที่ใช้สำหรับจำแนกพันธุ์ มันสำปะหลัง.....	57
ตารางที่ 3.8 ลักษณะประจำพันธุ์เพื่อใช้ในการจำแนกมันสำปะหลังพันธุ์ต่างๆ .....	59
ตารางที่ 3.9 ข้อมูลการเรียนรู้เชิงลึกในมันสำปะหลัง .....	61
ตารางที่ 3.10 ข้อมูลการเรียนรู้เชิงลึกในวัชพืช .....	69
ตารางที่ 3.11 ผลของสาร PBZ และไกลโฟเสต ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตมันสำปะหลัง พันธุ์ระยอง 9 .....	90
ตารางที่ 3.12 ผลของสาร PBZ และไกลโฟเสต ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตมันสำปะหลัง พันธุ์ศรีราชา 1 .....	91
ตารางที่ 3.13 ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อความสูงและความหวานของอ้อยปลูก พันธุ์ขอนแก่น 3 .....	95
ตารางที่ 3.14 ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อความสูงและความหวานของอ้อยต่อ พันธุ์ขอนแก่น 3.....	95
ตารางที่ 4.1 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ติดตั้งในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิระบบปิด .....	101
ตารางที่ 4.2 ต้นทุนการพัฒนาโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิขนาด 192 ตารางเมตร.....	104
ตารางที่ 4.3 สูตรสารละลายธาตุอาหารพืชที่ใช้ในการปลูกมะเขือเทศภายในโรงเรือน .....	106
ตารางที่ 4.4 ปริมาณผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตมะเขือเทศราชินี .....	108
ตารางที่ 4.5 ชั้นคุณภาพของกะหล่ำดอก.....	114
ตารางที่ 4.6 สูตรสารละลายธาตุอาหารพืชที่ใช้ในการปลูกพืชภายในโรงเรือน.....	116

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.7 ต้นทุนและผลตอบแทนการผลิตพืชชนิดต่างๆ ในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ .....	121
ตารางที่ 4.8 ผลของการปลูกมะเขือเทศราชินีด้วยวัสดุปลูกต่างๆ .....	123
ตารางที่ 4.9 ผลผลิต ต้นทุน และผลตอบแทนของการปลูกมะเขือเทศราชินีด้วยวัสดุปลูก ชนิดต่างๆ พื้นที่ 100 ตารางเมตร.....	124
ตารางที่ 4.10 ต้นทุนการพัฒนาโรงเรือนระบายอากาศขนาด 1,200 ตารางเมตร.....	131
ตารางที่ 4.11 สูตรของสารละลายธาตุอาหารพืช (mg/l) ที่ใช้ในการทดลอง .....	133
ตารางที่ 4.12 ผลของระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช ต่อผลผลิตมะเดื่อฝรั่ง .....	136
ตารางที่ 4.13 ผลของระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช ต่อคุณภาพผลผลิตมะเดื่อฝรั่ง.....	137
ตารางที่ 4.14 ต้นทุน และผลตอบแทนของการผลิตมะเดื่อฝรั่งภายใต้ระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดิน ภายใต้พื้นที่ปลูก 1,000 ตารางเมตร.....	138
ตารางที่ 4.15 สูตรสารละลายธาตุอาหารพืช (mg/l) ที่ใช้ในการทดลอง.....	139
ตารางที่ 4.16 ผลของระดับ N และ K ที่ต่างกันต่อผลผลิตของมะเดื่อฝรั่ง .....	141
ตารางที่ 4.17 ผลของระดับ N และ K ที่ต่างกันต่อคุณภาพผลผลิตของมะเดื่อฝรั่ง .....	143
ตารางที่ 4.18 สูตรสารละลายธาตุอาหารพืชที่ใช้ในการปลูกพืชในโรงเรือน .....	145
ตารางที่ 4.19 ต้นทุนและผลตอบแทนของการผลิตในโรงเรือน (ต่อพื้นที่ 100 ตารางเมตร).....	149
ตารางที่ 4.20 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของค่าความเป็นกรด-ด่าง.....	159
ตารางที่ 4.21 การปรับเทียบเซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้า (EC Sensor).....	163
ตารางที่ 4.22 ตารางเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่าง จาก pH Sensor และ PH meter .....	164
ตารางที่ 4.23 การปรับเทียบเซ็นเซอร์วัดค่าอุณหภูมิ.....	165
ตารางที่ 4.24 ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารพืช จากเซ็นเซอร์ .....	166
ตารางที่ 4.25 ผลการตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของระบบควบคุมสารละลายธาตุอาหารตาม เงื่อนไขที่กำหนด.....	169
ตารางที่ 4.26 ผลการตรวจวัดค่า pH ของระบบควบคุมสารละลายธาตุอาหารตามเงื่อนไข ที่กำหนด .....	169
ตารางที่ 4.27 คุณสมบัติเฉพาะทางไฟฟ้าของหลอด LED สำหรับการปลูกพืชในโรงเรือน .....	171
ตารางที่ 4.28 การทดลองการเปิด/ปิดอุปกรณ์โดยผ่านบนแอปพลิเคชัน Blynk.....	175
ตารางที่ 4.29 การทดลองการปรับความสว่างของอุปกรณ์ควบคุมไฟ LED.....	176

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.30 การทดลองระบบการทำงานอุปกรณ์แบบปกติ และการทำงานอุปกรณ์แบบ อัตโนมัติบนแอปพลิเคชัน Blynk .....	177
ตารางที่ 4.31 ผลการทดลองการใช้งานจริงกับพีซีรอบที่ 1 หลังการเก็บเกี่ยว .....	178
ตารางที่ 4.32 ผลการทดลองการใช้งานจริงกับพีซีรอบที่ 2 หลังการเก็บเกี่ยว .....	179
ตารางที่ 4.33 อัตราส่วนต่าง ๆ ของความยาวคลื่นแสงที่ให้กับพืช .....	181
ตารางที่ 4.34 อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพของแสงต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณสารสำคัญในผักแพว .....	188
ตารางที่ 4.35 ปัจจัยของแสงที่ให้กับเมล็ดพืช .....	189
ตารางที่ 4.36 ผลของความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ A-amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลิกในข้าว .....	191
ตารางที่ 4.37 อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ A- amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลิกในข้าว .....	191
ตารางที่ 4.38 ผลของความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ A-amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลิกในถั่วเขียว .....	192
ตารางที่ 4.39 อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์ A- amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลิกในถั่วเขียว .....	192



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 3.1 แผนผังแบบจำลองการประมาณค่า ETp ในพื้นที่ปลูกพืช .....	27
รูปที่ 3.2 การเลือกประเภทของพืชที่ต้องการปลูก .....	28
รูปที่ 3.3 การเลือกประเภทดินที่ใช้ปลูก.....	29
รูปที่ 3.4 เลือกวันที่เริ่มปลูกพืช เพื่อคำนวณแต่ละช่วงอายุต่าง ๆ ของพืช.....	30
รูปที่ 3.5 การกำหนดรายละเอียดระบบน้ำหยด ประกอบไปด้วย 1) ระยะห่างระหว่างเทปน้ำ 2) ระยะห่างระหว่างหัวน้ำหยด 3) อัตราการไหลของหัวน้ำหยด และ 4) การสร้าง และบันทึกข้อมูลฟาร์มใหม่ไว้ในเครื่อง.....	31
รูปที่ 3.6 การแสดงสถานะการให้น้ำ “ตารางให้น้ำวันนี้ 1 ชั่วโมง 2 นาที” .....	32
รูปที่ 3.7 1) ข้อมูลการให้น้ำแสดงอยู่บนสุดของหน้าจอ และมีส่วนแผนที่แสดงตำแหน่งของฟาร์ม 2) ส่วนของระบบน้ำหยดแสดงข้อมูลเกี่ยวกับระบบน้ำหยดสามารถแก้ไขข้อมูลได้.....	32
รูปที่ 3.8 รายละเอียดตารางการให้น้ำในรูปแบบปฏิทินรายเดือน และหน้าปฏิทินการให้น้ำ .....	33
รูปที่ 3.9 1) กรณีมีฝนตกสามารถกรอกปริมาณน้ำฝนได้ 2) ระบบสามารถเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์ การควบคุมน้ำได้.....	34
รูปที่ 3.10 ระบบแสดงสถานะแจ้งเตือนการให้น้ำ.....	35
รูปที่ 3.11 การติดตั้ง A) โหนดโคออร์ดิเนเตอร์ B) โหนดเร้าเตอร์ C) sensor EC5 .....	36
รูปที่ 3.12 การเปรียบเทียบค่าความชื้นดินจากเซ็นเซอร์ EC5 และวิธีมาตรฐาน (Gravimetric method).....	37
รูปที่ 3.13 การติดตั้งปั้มน้ำอัตโนมัติและโซลินอยด์วาล์ว .....	38
รูปที่ 3.14 วิธีการใช้งานเริ่มต้นของแอปพลิเคชันปุ๋ยแม่นยำ .....	40
รูปที่ 3.15 วิธีการเลือกพืชและระบบปุ๋ยของแอปพลิเคชันปุ๋ยแม่นยำ.....	40
รูปที่ 3.16 ก) การกำหนดรายละเอียดผลการวิเคราะห์ดิน ข) ระบบคำนวณผลการวิเคราะห์ดิน ให้โดยอัตโนมัติ .....	41
รูปที่ 3.17 ก) การปรับค่าการวิเคราะห์ดินและเปลี่ยนเนื้อดิน ข) แนวทางปรับปรุงดินตามผลการ วิเคราะห์ดิน.....	42
รูปที่ 3.18 ก) หน้าจอส่วนแสดงสูตรปุ๋ย ข) การกำหนดปริมาณปุ๋ยที่ต้องการใช้ ค) การคำนวณ แม่ปุ๋ยให้อัตโนมัติ พร้อมทั้งระบุปริมาณที่ต้องใช้.....	43
รูปที่ 3.19 แผงควบคุมข้อมูลสูตรปุ๋ย.....	43
รูปที่ 3.20 รูปแบบการควบคุมการให้น้ำในแปลงอ้อยโดยระบบอัตโนมัติ .....	45



## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.21 การติดตั้ง ก) ระบบน้ำ ข) เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน และ ค) เครื่องมือวัด ปริมาณน้ำฝน .....	45
รูปที่ 3.22 การเก็บข้อมูลความสูง จำนวนหน่อต่อไร่ และลักษณะต่างๆ ของอ้อย.....	46
รูปที่ 3.23 ปริมาณน้ำฝนและความต้องการน้ำของอ้อย .....	47
รูปที่ 3.24 ระบบปั้มน้ำอัตโนมัติโดยใช้ solar cell .....	54
รูปที่ 3.25 ระบบปั้มน้ำอัตโนมัติโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์.....	56
รูปที่ 3.26 เทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) ในการเรียนรู้ภาพส่วนต่าง ๆ ของ มันสำปะหลังพันธุ์ต่างๆ .....	61
รูปที่ 3.27 ตัวอย่างแอปพลิเคชันจำแนกพันธุ์มันสำปะหลัง .....	62
รูปที่ 3.28 ตัวอย่างหน้าจอการสแกนรูปทรงใบมันสำปะหลัง ก) พันธุ์ห่านาที่ ข) พันธุ์ระยอง 9 และ ค) พันธุ์พิจิตร 1 .....	63
รูปที่ 3.29 ตัวอย่างการสแกนก้านใบมันสำปะหลัง ก) พันธุ์ห่านาที่ ข) พันธุ์ห้วยบง 80 และ ค) พันธุ์ระยอง 7.....	64
รูปที่ 3.30 ตัวอย่างการสแกนยอดอ่อนมันสำปะหลัง ก) พันธุ์ศรีราชา 1 ข) พันธุ์ห้วยบง 72 และ ค) พันธุ์พิจิตร 2 .....	64
รูปที่ 3.31 ตัวอย่างการสแกนลักษณะลำต้นของมันสำปะหลัง ก) CMR89-13 ข) พันธุ์ห่านาที่ และ ค) พันธุ์พิจิตร 2 .....	65
รูปที่ 3.32 ตัวอย่างการสแกนหูใบของมันสำปะหลัง ก) พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ข) พันธุ์พิจิตร 1 และ ค) ศรีราชา 1 .....	65
รูปที่ 3.33 ตัวอย่างการสแกนใบอ่อนมันสำปะหลัง ก) พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ข) พันธุ์พิจิตร 1 และ ค) พันธุ์ศรีราชา 1.....	66
รูปที่ 3.34 ตัวอย่างการสแกนพันธุ์จากทรงพุ่มมันสำปะหลัง ก) พันธุ์ระยอง 72 ข) พันธุ์พิจิตร 2 และ ค) พันธุ์ระยอง 7.....	66
รูปที่ 3.35 ประเภทของวัชพืชชนิดต่างๆ (A, B, C, D).....	68
รูปที่ 3.36 เทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) ในการเรียนรู้ภาพส่วนต่างๆ ของวัชพืชชนิดต่างๆ .....	70
รูปที่ 3.37 ตัวอย่างหน้าใช้งานแอปพลิเคชันระบบจำแนกชนิดวัชพืช.....	71
รูปที่ 3.38 ตัวอย่างหน้าจอการตรวจเพื่อจำแนกวัชพืช ก) ผักโขมหัด และ ข) หญ้ารังนก .....	72

## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.39 ตัวอย่างการสแกนวัชพืชหญ้าวงช้างที่มูกล้องและเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง แตกต่างกัน.....	72
รูปที่ 3.40 ก) ภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับ ข) เส้นชั้นความสูงในแปลง พื้นที่ศึกษาและตารางกริดทุกๆ ระยะ 2 ไร่.....	76
รูปที่ 3.41 แผนที่ภาพถ่ายรายละเอียดสูงแสดงบริเวณที่มีวัชพืชระบาด .....	76
รูปที่ 3.42 การวางแผนพื้นที่ในการบิน .....	77
รูปที่ 3.43 Flight plan จากโปรแกรม Pix4D capture .....	78
รูปที่ 3.44 ก) อากาศยานไร้คนขับ และ ข) Flight plan ที่บินสำรวจ .....	78
รูปที่ 3.45 ภาพที่ได้จากการบินสำรวจ.....	79
รูปที่ 3.46 ภาพถ่ายทั้งหมดที่ถูกนำมาประมวลผลภาพ.....	79
รูปที่ 3.47 จุดสามมิติ (Point cloud).....	80
รูปที่ 3.48 แผนที่ความละเอียดสูง และแบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM).....	81
รูปที่ 3.49 แผนผังแสดงวิธีการสร้างชั้นข้อมูลดัชนีต่างๆ.....	81
รูปที่ 3.50 ภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับแปลงอ้อยเมื่ออายุ 4 เดือน ที่ระดับ ความสูง 50 เมตร.....	82
รูปที่ 3.51 ภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับแปลงอ้อยเมื่ออายุ 8 เดือน ที่ระดับ ความสูง (ก) 65 เมตร และ (ข) 150 เมตร.....	82
รูปที่ 3.52 แผนที่แสดงค่าดัชนีความอุดมสมบูรณ์ NDVI ของอ้อยอายุ 8 เดือน.....	83
รูปที่ 3.53 แผนที่แสดงภาพถ่ายรายละเอียดสูงที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับเมื่ออ้อยอายุ 11 เดือน	85
รูปที่ 3.54 แผนที่แสดงแบบจำลองพื้นผิวของอ้อยเมื่ออายุ 11 เดือน .....	86
รูปที่ 3.55 แผนที่แสดงพื้นที่แปลงอ้อยและตำแหน่งอ้อยล้ม .....	87
รูปที่ 3.56 แผนที่แปลงอ้อยที่ทำการทดสอบเพื่อประเมินผลผลิต.....	88
รูปที่ 4.1 โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิระบบปิด (Evaporation Greenhouse).....	98
รูปที่ 4.2 รางปลูกไม้เลื้อย .....	99
รูปที่ 4.3 รางปลูกผักแบบยกสูง .....	99
รูปที่ 4.4 แผนผังการจัดวางระบบการปลูกพืชและระบบน้ำภายในโรงเรือน .....	100
รูปที่ 4.5 การติดตั้งรางปลูก และระบบการให้น้ำและปุ๋ยภายในโรงเรือน .....	100
รูปที่ 4.6 ระบบควบคุมการให้ปุ๋ยอัตโนมัติ .....	101

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.7 การติดตั้งอุปกรณ์ผลิตพลังงานแสงอาทิตย์และแผงโซลาเซลล์ .....	102
รูปที่ 4.8 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ .....	103
รูปที่ 4.9 ต้นทุนค่าไฟฟ้าของโรงเรือนควบคุมอุณหภูมিরบบปิด .....	104
รูปที่ 4.10 อุณหภูมิสูงสุดของวันระหว่างการทดลองปลูกมะเขือเทศราชินี .....	107
รูปที่ 4.11 ผลผลิตมะเขือเทศที่ปลูกภายนอกและภายในโรงเรือน .....	109
รูปที่ 4.12 อุณหภูมิสูงสุด/ต่ำสุดของวัน และอุณหภูมิสูงสุดในโรงเรือนระหว่างการทดลองในช่วง ฤดูหนาว .....	111
รูปที่ 4.13 อุณหภูมิสูงสุด/ต่ำสุดของวัน และอุณหภูมิสูงสุดในโรงเรือนระหว่างการทดลองในช่วง ฤดูร้อน .....	111
รูปที่ 4.14 ผลผลิตของกะหล่ำปม .....	112
รูปที่ 4.15 ผลผลิตของบรอกโคลี .....	113
รูปที่ 4.16 ผลผลิตของกะหล่ำดอก .....	115
รูปที่ 4.17 ผลผลิตเฉลี่ยของผักที่ปลูกในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนภายในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ .....	115
รูปที่ 4.18 ผักสลัดต่างๆ ที่ปลูกภายในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ .....	117
รูปที่ 4.19 คื่นช่ายใบหยิกสีเขียว และสีม่วง .....	117
รูปที่ 4.20 แดงกวาญี่ปุ่นที่ปลูกภายในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ .....	118
รูปที่ 4.21 ฟักทอง (บัตเตอร์นัท) ที่ปลูกภายในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ .....	118
รูปที่ 4.22 คื่นช่ายฮ่องกงที่ปลูกภายในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ .....	119
รูปที่ 4.23 การทดสอบวัสดุปลูกมะเขือเทศราชินี .....	120
รูปที่ 4.24 ผลผลิตการปลูกมะเขือเทศภายใต้วัสดุปลูกชนิดต่างๆ .....	123
รูปที่ 4.25 ลักษณะของโรงเรือนปลูกพืชทรงหลังคาพินเลื่อย .....	125
รูปที่ 4.26 ลักษณะการวางผังการปลูกพืชเป็นโซนในโรงเรือนปลูกพืชทรงหลังคาพินเลื่อย .....	126
รูปที่ 4.27 ติดตั้งระบบพ่นหมอก สแลนพรางแสง และพัดลมระบายอากาศภายในโรงเรือน .....	126
รูปที่ 4.28 ระบบหมุนเวียนน้ำแบบ DRFT (Dynamic Root Floating Technique) .....	127
รูปที่ 4.29 ลักษณะของรางปลูกแบบต่างๆ .....	127
รูปที่ 4.30 การติดตั้งรางปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน .....	128
รูปที่ 4.31 การปลูกพืชแบบใช้วัสดุปลูก .....	129
รูปที่ 4.32 การทำบ่อพักสารละลายธาตุอาหารพืช .....	129
รูปที่ 4.33 ติดตั้งระบบไฟฟ้า ประปา ระบบจ่ายน้ำ และหมุนเวียนน้ำกลับ .....	130

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.34 ติดตั้งระบบน้ำ ป้อนน้ำ Timer ตั้งเวลาให้น้ำ และระบบผสมปุ๋ยอัตโนมัติ สำหรับระบบ น้ำหยด .....	130
รูปที่ 4.35 ระบบผสมปุ๋ยอัตโนมัติ สำหรับระบบ DRFT .....	131
รูปที่ 4.36 ผลผลิตมะเดื่อฝรั่ง ก) ลักษณะของผลผลิตดี ข) ลักษณะผลผลิตเสีย (ผลแตกร้า).....	134
รูปที่ 4.37 ต้นทุนของสารละลายธาตุอาหารพืชในการผลิตผลมะเดื่อฝรั่ง ที่มีการให้ปริมาณ N และ K ที่ต่างกัน (รวมระยะเวลา 6 เดือนหลังตัดแต่ง) .....	144
รูปที่ 4.38 มะเขือเทศเชอร์รี่หลายพันธุ์ที่ปลูกในโรงเรือนระบบเปิด .....	145
รูปที่ 4.39 มะระหลายพันธุ์ที่ปลูกในโรงเรือนระบบเปิด .....	146
รูปที่ 4.40 ฟักทองที่ปลูกในโรงเรือนระบบเปิด .....	146
รูปที่ 4.41 แดงกวาญี่ปุ่นที่ปลูกในโรงเรือนระบบเปิด .....	147
รูปที่ 4.42 ผลการผลิตแคนตาลูปภายใต้การจัดการในโรงเรือนระบบเปิด .....	148
รูปที่ 4.43 ผลผลิตคะนํ้าในโรงเรือนระบบเปิด .....	148
รูปที่ 4.44 อุปกรณ์ในกล่องควบคุมหลัก .....	150
รูปที่ 4.45 การติดตั้งกล่องควบคุมระบบป้อนน้ำและโซลินอยด์วาล์ว และระบบน้ำหยดและ หัวน้ำหยด.....	151
รูปที่ 4.46 แผนภาพการทำงานระบบรวมการให้น้ำสำหรับพืชในโรงเรือนแบบอัตโนมัติ .....	152
รูปที่ 4.47 แผนภาพการทำงานของระบบการให้น้ำสำหรับพืชในโรงเรือนแบบอัตโนมัติ .....	153
รูปที่ 4.48 หน้าต่างแอปพลิเคชัน Blynk.....	154
รูปที่ 4.49 กราฟและสมการความสัมพันธ์ระหว่าง ESP32 กับเครื่อง Procheck ของ ดินร่วนทราย.....	154
รูปที่ 4.50 กราฟและสมการความสัมพันธ์ระหว่าง ESP32 กับเครื่อง Procheck ของ ดินร่วนเหนียว.....	154
รูปที่ 4.51 กราฟและสมการความสัมพันธ์ระหว่าง ESP32 กับเครื่อง Procheck ของวัสดุปลูก....	155
รูปที่ 4.52 การวัดค่าความชื้นในดิน/วัสดุปลูก จากเซ็นเซอร์ส่งข้อมูลผ่าน WIFI ไปที่ แอปพลิเคชัน Blynk และแสดงค่าต่ำกว่าจุดวิกฤต.....	156
รูปที่ 4.53 การติดตั้งระบบปุ๋ยอัตโนมัติควบคุมการปลูกพืชในโรงเรือน .....	157
รูปที่ 4.54 การทดสอบการทำงานของ EC Sensor และ PH Probe .....	158
รูปที่ 4.55 หน้าต่างที่มีข้อมูลอัปเดตบน Thingspeak ของ Channel EC และ PH .....	160
รูปที่ 4.56 หน้าต่างแอปพลิเคชันที่ใช้งานในระบบ .....	161

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.57 ภาพรวมการทำงานของระบบการให้ปุ๋ยอัตโนมัติ.....	162
รูปที่ 4.58 กราฟแสดงค่าการปรับเทียบ EC Sensor กับ EC meter.....	163
รูปที่ 4.59 กราฟและสมการที่ได้จากการปรับเทียบ (Calibration).....	165
รูปที่ 4.60 วงจรควบคุมความเข้มแสงของโคมไฟ LED หลอดไฟ LED ขนาด 5 และ 480 วัตต์ ....	172
รูปที่ 4.61 อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการส่องสว่างของ LED.....	172
รูปที่ 4.62 ผังการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมการส่องสว่างของ LED.....	173
รูปที่ 4.63 การแสดงผลค่าความสว่าง (lux).....	174
รูปที่ 4.64 ปุ่มควบคุมค่าต่างๆ บนแอปพลิเคชัน Blynk.....	178
รูปที่ 4.65 พีชที่ได้จากการทดลองรอบที่ 1 .....	180
รูปที่ 4.66 ความแตกต่างสีใบจากการทดลองรอบที่ 2 .....	180



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 หลักการและเหตุผล

ฟาร์มอัจฉริยะ (Smart farming) หรือเกษตรกรรมแบบแม่นยำ (Precision Agriculture) คือ การเกษตรที่มีการจัดการบริหารให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ และสภาพภูมิอากาศของการปลูกพืช โดยการนำเทคโนโลยีมาผสมผสานเพื่อการเกษตรยุคดิจิทัล ไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีสารสนเทศและดิจิทัล เซ็นเซอร์ เทคโนโลยีชีวภาพ รวมทั้งนาโนเทคโนโลยี โดยมีวัตถุประสงค์ในการผลิตเพื่อเพิ่มปริมาณ และคุณภาพของผลผลิต ให้ได้ผลตอบแทนสูงจากการใช้ปัจจัยการผลิตอย่างประหยัด และรักษา สภาพแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติอย่างเหมาะสม เป็นการทำเกษตรที่มีการให้น้ำ ปุ๋ย และยาฆ่า แมลงในปริมาณและเวลาที่ถูกต้องเพื่อประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งการผลิตพืชให้มีความแม่นยำรวมถึงพันธุ์ พืช การเตรียมดิน การจัดการดิน การปลูก การให้น้ำ การให้ปุ๋ย การป้องกันกำจัดศัตรูพืช และการ เก็บเกี่ยว เช่น การเลือกพันธุ์พืชให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ปลูก การเลือกระบบปลูกให้เหมาะกับชนิด พืชและสภาพแวดล้อม การให้น้ำและการให้ปุ๋ยตรงตามความต้องการของพืช และความอุดมสมบูรณ์ ของดิน ซึ่งเป็นลักษณะการทำเกษตรรูปแบบใหม่ที่แพร่หลายในต่างประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย ญี่ปุ่น แต่ในประเทศไทยยังมีความรู้ ความเข้าใจ เรื่องนี้ในวงจำกัด อย่างไรก็ตามปัจจุบัน มีลักษณะการทำเกษตรแม่นยำสูงบ้างแล้ว ดังนั้นจำเป็นต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม ที่ใช้ในการผลิตพืชให้มีความแม่นยำสูงทั้งในสภาพแปลงปลูกนอกโรงเรือน และภายใต้สภาพโรงเรือน เพื่อเพิ่มผลผลิต และเพิ่มคุณภาพให้สูงขึ้น มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ลดการใช้แรงงาน และลด ต้นทุนการผลิต

การผลิตพืชแบบแม่นยำ หรือการผลิตพืชอัจฉริยะ เป็นการผลิตพืชที่ใช้เทคโนโลยีและปัจจัย การผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพเหมาะสมกับสภาพของพื้นที่และสภาพแวดล้อม ดังได้กล่าวแล้วว่าปัจจัย ที่ต้องจัดการให้มีความแม่นยำ ได้แก่ พันธุ์พืช การเตรียมดิน การจัดการดิน การปลูก การให้น้ำ การ ให้ปุ๋ย การป้องกันกำจัดศัตรูพืช และการเก็บเกี่ยว ซึ่งเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแต่ละชนิด มีความแตกต่างกัน เช่น พืชที่ผลิตในโรงเรือน หรือพืชที่ต้องผลิตในสภาพแปลง เทคโนโลยีที่ใช้มีความ แตกต่างกัน ต้องใช้ให้เหมาะสมจึงจะเกิดประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับสถานการณ์การผลิตพืชใน ปัจจุบันเกษตรกรไทยส่วนใหญ่ผลิตในสภาพแปลง (นอกโรงเรือน) ซึ่งเป็นการผลิตพืชที่มีอิทธิพลจาก สภาพภูมิอากาศ สภาพดิน และการระบาดของศัตรูพืช เป็นตัวจำกัดที่สำคัญในการผลิตพืช ซึ่งจาก สถิติการเกษตรของประเทศไทยพบว่าผลผลิตพืชที่ได้ต่ำมากเมื่อเทียบกับศักยภาพการผลิตจริงของพืช แต่ละชนิด ตัวอย่างเช่น ผลผลิตมันสำปะหลังโดยเฉลี่ยประมาณ 3.5 ตัน/ไร่ และผลผลิตอ้อยที่



เกษตรกรผลิตได้โดยเฉลี่ยประมาณ 10 ตัน/ไร่ แต่ผลการทดสอบในงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า ศักยภาพการผลิตของอ้อยมีถึง 25–30 ตัน/ไร่ และมันสำปะหลัง 10–15 ตัน/ไร่ สาเหตุหลักที่ทำให้ผลผลิตต่ำเพราะเป็นการผลิตส่วนใหญ่ไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมที่มีความแปรปรวนสูงและขาดการใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมที่สามารถใช้ประโยชน์จากข้อมูลสถานะแวดล้อม หรือดินมาใช้ในการจัดการผลิตอย่างเหมาะสม เช่น การจัดการน้ำ ธาตุอาหารพืช และการป้องกันกำจัดศัตรูพืช ดังนั้นเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีที่ช่วยจัดการสภาพการปลูกในสภาพแปลงให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตของพืช การวิจัยจึงมุ่งเน้นพัฒนาเทคโนโลยีที่ช่วยในการจัดการน้ำ และธาตุอาหารพืช เพื่อผลิตพืชได้อย่างแม่นยำ

สำหรับการผลิตพืชอีกระบบเป็นการผลิตพืชในโรงเรือน ซึ่งปัจจุบันเกษตรกรไทยเริ่มนิยมใช้ผลิตพืชมากขึ้น โดยเฉพาะผัก และผลไม้ ที่มีราคาสูง และสามารถปลูกภายใต้สภาพโรงเรือนได้คุ้มทุน เนื่องจากคนมีความใส่ใจสุขภาพมากขึ้น เลือกรับประทานอาหารและผักที่ปลอดภัย พยายามหลีกเลี่ยงการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่ปนเปื้อนสารเคมี ดังนั้นผู้ผลิตพืชต่างตระหนักถึงคุณภาพของผลผลิตที่ดีต่อสุขภาพผู้บริโภค ซึ่งการปลูกผักในโรงเรือนระบบปิด การปลูกในห้องปลูกพืช หรือการปลูกในโรงเรือนเพาะเลี้ยง เป็นรูปแบบการผลิตที่ช่วยลดการเข้าทำลายของแมลง ช่วยลดการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช ผลผลิตสะอาด ซึ่งในปัจจุบันมีการจำหน่ายผักปลอดภัยมากขึ้น ถึงแม้มีราคาแพงกว่าผักทั่วไป แต่มีผู้บริโภคกลุ่มที่คำนึงถึงการบริโภคเพื่อสุขภาพที่นับวันมีเพิ่มมากขึ้น (พรรณนีย์ วิชชาชู, 2547) การปลูกผักในโรงเรือนนิยมปลูกผักที่ใช้ระยะเวลารอบปลูกสั้น มีราคาสูง และทำการตลาดได้ง่าย เช่น มะเขือเทศ พริกหวาน แตงกวา เป็นต้น เพื่อลดปัญหาเรื่องโรคและแมลงศัตรูพืช รวมไปถึงลดการใช้สารเคมีเพื่อกำจัดศัตรูพืช แต่การปลูกพืชด้วยวิธีดังกล่าวมีปัจจัยหลายอย่างที่ต้องควบคุมให้มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำ ได้แก่ แสง น้ำ อุณหภูมิ ความชื้น และธาตุอาหารพืช เป็นต้น (ฐิตินา บุชบาตรี, 2555) ดังนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการผลิตพืชในโรงเรือน เพื่อให้การผลิตพืชมีความแม่นยำ ต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่ช่วยในการจัดการน้ำ การจัดการธาตุอาหารสำหรับการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน การจัดการสภาพแวดล้อมในโรงเรือน เช่น ความชื้น อุณหภูมิ และแสง เป็นต้น เพื่อให้การผลิตพืชในโรงเรือนมีความแม่นยำ การวิจัยนี้จึงพัฒนาเทคโนโลยีที่สามารถควบคุมการให้น้ำ ให้อุณหภูมิ การให้แสง ให้เป็นแบบอัตโนมัติ เพื่อให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชต่างๆ และผู้ผลิตพืชใช้งานได้ง่าย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อพัฒนาระบบควบคุมการให้น้ำ และให้อุณหภูมิ แบบอัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติในสภาพแปลง (อ้อย มันสำปะหลัง) และในสภาพโรงเรือนของพืชผัก

2. เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันการจัดการน้ำและธาตุอาหารพืช เชิงปัญญาประดิษฐ์จากข้อมูลดินและข้อมูลจากเซ็นเซอร์ที่ใช้ได้บนโทรศัพท์มือถือ
3. เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการควบคุมสภาพแวดล้อมแบบอัตโนมัติและกึ่งอัตโนมัติในสภาพโรงเรือน เช่น ความยาวคลื่นแสง และความเข้มแสง (ใช้หลอด LED) ในโรงเรือน
4. เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการประเมินวัชพืชในสภาพแปลงได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำโดยใช้โดรน
5. เพื่อหาอัตราสารควบคุมการเจริญเติบโตที่เหมาะสมกับการพ่น (ใช้โดรน) ในพืชไร่เศรษฐกิจ เช่น มันสำปะหลัง และอ้อย
6. เพื่อพัฒนา software (Imagine analysis) สำหรับตรวจสอบพันธุ์พืช (มันสำปะหลัง) software ตรวจสอบชนิดของวัชพืชในแปลงปลูกพืช และพัฒนาแอปพลิเคชันการคำนวณปุ๋ยแบบแม่นยำ
7. เพื่อประยุกต์ใช้แหล่งพลังงานจากแสงอาทิตย์สำหรับการผลิตพืชอัจฉริยะ

### 1.3 เป้าหมายโครงการและตัวชี้วัด

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้เทคโนโลยี/นวัตกรรม ได้แก่ พนักงานส่งเสริมของหน่วยงานรัฐและเอกชน เกษตรกรผู้ผลิตพืชเศรษฐกิจชนิดต่างๆ รวมทั้งภาคเอกชนที่ต้องการนำนวัตกรรมไปผลิตเป็นต้นแบบ ผลจากงานวิจัยนี้มีผู้สนใจเข้ารับการอบรมอย่างน้อย 50 ราย โดยโครงการมีเป้าหมายให้ได้เทคโนโลยีและนวัตกรรม ดังนี้

1. Software การจัดการน้ำและปุ๋ยที่ใช้ได้บนโทรศัพท์เคลื่อนที่
2. ระบบควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติในสภาพแปลง (อ้อย มันสำปะหลัง) และการควบคุมการให้น้ำในสภาพโรงเรือนของพืชผัก
3. เทคโนโลยีการควบคุมสภาพแวดล้อมแบบอัตโนมัติและกึ่งอัตโนมัติในสภาพโรงเรือน เช่น ความเข้มแสง ความยาวคลื่น ความชื้น การควบคุมการให้น้ำ และให้ปุ๋ย
4. เทคโนโลยีการประเมินวัชพืชในสภาพแปลงได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ โดยใช้โดรน
5. ปริมาณสารควบคุมการเจริญเติบโตที่เหมาะสมกับการพ่นพืชไร่โดยใช้โดรน
6. Software (Imagine analysis) สำหรับตรวจสอบพันธุ์พืช (มันสำปะหลัง) และ software ตรวจสอบชนิดของวัชพืชในแปลงปลูกพืช
- 7 แหล่งพลังงานจากแสงอาทิตย์สำหรับการผลิตพืชอัจฉริยะ



## บทที่ 2

### ตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การจัดการน้ำสำหรับการผลิตพืช

น้ำเป็นปัจจัยในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช เป็นตัวละลายธาตุอาหารในดินเพื่อให้พืชดูดไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดปริมาณผลผลิตของพืชด้วย (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2564) ซึ่งพืชแต่ละชนิดมีความต้องการในการใช้น้ำต่างกันในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต หากทราบความต้องการน้ำในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของพืชปลูกจะช่วยให้เกษตรกรลดความเสียหายจากการขาดน้ำของพืชได้ โดยทั่วไปการให้น้ำพืชของเกษตรกรมักให้ตามความรู้สึกโดยไม่คำนึงถึงความต้องการของพืช ซึ่งส่วนใหญ่ให้น้ำมากเกินไปเกินความต้องการของพืช แต่การให้น้ำพืชตามหลักชลประทานคือการให้น้ำเพื่อควบคุมความชื้นในดินบริเวณรากพืชให้อยู่ระหว่างจุดเหี่ยวเฉาถาวรกับความชื้นชลประทานซึ่งเป็นช่วงที่พืชสามารถดูดใช้ได้ โดยการให้น้ำแก่พืชต้องเริ่มทำเมื่อความชื้นในดินลดลงถึงจุดวิกฤตและปริมาณน้ำที่ให้อาจมากพอจนถึงระดับความชื้นชลประทาน หากให้น้ำไม่ทันจนทำให้ความชื้นในดินต่ำกว่าความชื้นที่จุดวิกฤตอาจส่งผลให้ผลผลิตพืชเสียหายได้

ในระบบการผลิตพืชแบบแม่นยำสูง เทคโนโลยีการจัดการน้ำเป็นสิ่งสำคัญมาก เพราะน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตพืช การจัดการน้ำอย่างแม่นยำจำเป็นต้องรู้ความต้องการใช้น้ำของพืชที่ปลูก ซึ่งการใช้น้ำของพืชปลูกขึ้นอยู่กับตัวพืชเอง (ชนิด และอายุพืช) และยังขึ้นอยู่กับสภาพอากาศรอบๆ พืช (ดิน อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น) ดังนั้นการให้น้ำอย่างแม่นยำจึงให้ความสำคัญกับสภาพแวดล้อมย่อย ๆ ที่เรียกว่า Micro-climate และสภาพของดินที่ใช้ในการปลูกพืช ดังนั้นข้อมูลดังกล่าวจึงมีความสำคัญมาก การตรวจวัดข้อมูลต้องมีความรวดเร็วและแม่นยำ ดังนั้นเทคโนโลยีเซ็นเซอร์ต่างๆ สามารถช่วยในการตรวจวัดข้อมูลสภาพแวดล้อม จากนั้นข้อมูลจะถูกนำมาวิเคราะห์และประมวลผลเพื่อให้มีการจัดการใช้ปัจจัยการผลิตหรือทรัพยากร (Input) ไปเป็นผลผลิตพืช (Output) ให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด เช่น การให้น้ำ หรือใช้ปุ๋ยอย่างประหยัด แต่ให้ได้ผลผลิตสูงและผลผลิตมีคุณภาพดี

จากงานวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งทำการศึกษาวิธีการให้น้ำในมันสำปะหลังและอ้อย พบว่าการให้น้ำหยดส่งผลให้ผลผลิตอ้อยในปีแรกสูงถึง 30 ตัน/ไร่ และสามารถไว้ต่ออ้อยได้มากกว่า 5 ปี โดยผลผลิตอ้อยไม่ต่ำกว่า 20 ตัน/ไร่ ส่วนการให้น้ำในการปลูกมันสำปะหลังในทุกสภาพดินมีผลทำให้การเจริญเติบโต การดูดใช้ธาตุอาหารของพืช ผลผลิต ประสิทธิภาพการใช้น้ำและปุ๋ยสูงกว่าการไม่ให้น้ำชัดเจน โดยผลผลิตที่ไม่ให้น้ำอยู่ระหว่าง 4-7 ตัน/ไร่ ในขณะที่ให้น้ำอยู่ระหว่าง

8-14 ตัน/ไร่ สำหรับรูปแบบในการให้น้ำแก่อ้อยและมันสำปะหลัง ได้แก่ ปริมาณ และความถี่ของการให้น้ำของอ้อย ซึ่งการให้น้ำตามความต้องการของอ้อย และมันสำปะหลัง (Crop evapotranspiration, ETc) โดยคำนวณจากค่าการใช้ น้ำของพืชอ้างอิง (Potential evapotranspiration, ETp) และค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) ค่า ETp ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ เช่น แสง อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น ค่า Kc ขึ้นอยู่กับชนิดและการเจริญเติบโตของพืช อย่างไรก็ตามการให้น้ำตามหลักการดังกล่าวจำเป็นต้องมีการคำนวณในแต่ละพื้นที่ที่ปลูกหรือเมื่อฤดูกาลปลูกเปลี่ยนไปต้องมีการคำนวณใหม่ทั้งหมด ซึ่งการคำนวณนั้นต้องมีความรู้เกี่ยวกับตัวพืชและหลักการคำนวณ ซึ่งค่อนข้างยุ่งยากแก่เกษตรกรผู้ปลูกอ้อย ดังนั้นหากมีการพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูป (software) หรือมีเครื่องมือช่วยในการคำนวณ จะช่วยให้การวิเคราะห์และประมวลผลทำได้ง่ายและรวดเร็ว และไม่จำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับดินหรือพืช ปัจจุบันการให้น้ำได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่เกษตรกร และช่วยให้ใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยอาศัยหลักการให้น้ำตามความต้องการของพืช ซึ่งสามารถช่วยลดความเสียหายของพืชเนื่องจากการขาดน้ำได้ และการใช้เทคโนโลยีการให้น้ำยังช่วยลดการใช้แรงงานลงด้วย โดยเฉพาะในสวนผลไม้ สวนผัก และพืชไร่ สำหรับการให้น้ำตามหลักชลประทานหรือให้ตามความต้องการของพืชจำเป็นต้องทราบความชื้นในดินว่าถึงจุดวิกฤต ซึ่งสามารถตรวจวัดความชื้นในดินบริเวณเขตรากพืชได้ 3 วิธี คือ 1) การวัดความชื้นในดินด้วยการชั่งน้ำหนัก เป็นวิธีที่ง่ายและให้ค่าแม่นยำ แต่เป็นวิธีที่ใช้เวลาในการตรวจวัดนาน ทำให้เกิดความล่าช้าและไม่ทันการ 2) การวัดความชื้นโดยดูลักษณะและความรู้สึกสัมผัส ซึ่งมีความแม่นยำต่ำ และ 3) การวัดด้วยเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน (เกษตรกรรมธรรมชาติ, 2562) ซึ่งในปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินมาปรับใช้ในแปลงเกษตร เพื่อความสะดวก เพราะสามารถควบคุมการทำงานได้จากทางไกล รวมถึงการทำงานอย่างเป็นระบบทดแทนการทำงานของแรงงานคน นอกจากนี้ยังสามารถช่วยลดปัญหาเรื่องการขาดแคลนทรัพยากรน้ำ (ทองล้วน สิงห์พันธ์ และวันดี หวังคะพันธ์, 2559) ซึ่งเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินมี 2 ประเภท ได้แก่ 1) เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินแบบ resistor เป็นวิธีการวัดด้วยเซ็นเซอร์แบบเดิมที่ใช้แผ่นทองแดงไปสัมผัสกับดินโดยตรง ซึ่งมีข้อเสียคือหัววัดจะไม่ทน เป็นสนิม และชำรุดง่าย ส่งผลให้ค่าที่ได้เกิดความคลาดเคลื่อน 2) เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินแบบ capacitive ซึ่งปรับปรุงจากการวัดแบบเดิม แต่ใช้หลักการตรวจสอบประจุไฟฟ้า ซึ่งหากมีค่าประจุมากแสดงว่ามีความชื้นสูง โดยแผ่นเซ็นเซอร์ไม่จำเป็นต้องสัมผัสกับดินหรือวัสดุที่ต้องการวัดโดยตรง เนื่องจากมีฉนวนกันที่ขั้ววัด ส่งผลให้เซ็นเซอร์ไม่ชำรุดเสียหายหรือเสื่อมสภาพ ทำให้ค่าที่วัดได้เกิดความแม่นยำมากกว่า (SP Micro Tech, 2564) หลักการทำงานของเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินคืออ่านค่าที่ได้จากแผ่นหรือขั้ววัดที่เสียบลงในดินหรือวัสดุปลูก จากนั้นข้อมูลที่ได้จะถูกประมวลผล

โดยโมดูล ค่าที่ได้จะบ่งบอกถึงความชื้นในดินหรือวัสดุปลูก ซึ่งเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าความชื้นสามารถนำไปปรับใช้กับเครื่องรดน้ำอัตโนมัติ เมื่อเซ็นเซอร์ตรวจพบว่าค่าความชื้นในดินต่ำจะส่งสัญญาณเตือนให้มีการรดน้ำอัตโนมัติ (SVGROUP Online Farmer Assistant, 2020)

ประโยชน์ของเซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นในดิน คือ (1) ได้ค่าความชื้นที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง ซึ่งมีการทดลองวัดความชื้นในดินของนาข้าวโดยใช้เซ็นเซอร์ในดินแบบไร้สาย ที่สามารถวัดได้ทั้งความชื้นในดิน และความลึกของน้ำได้ในเวลาเดียวกัน ผลการทดลองพบว่าเซ็นเซอร์วัดความชื้นดินมีความแม่นยำสูง โดยมีความผิดพลาดในการวัดข้อมูลน้อยกว่า 5% และนอกจากนี้เซ็นเซอร์ยังสามารถทำงานได้นานสูงสุดถึง 4 เดือน (Xiao et al., 2013) (2) สามารถตรวจวัดค่าความชื้นในดินได้อย่างต่อเนื่อง การพัฒนาระบบชุดตรวจวัดความชื้นในดินโดยใช้เทคนิคตรวจวัดแบบความจุไฟฟ้า หรือ capacitive พบว่าสามารถใช้งานเพื่อเก็บข้อมูลความชื้นดินได้อย่างต่อเนื่องนาน 14 ชั่วโมง 40 นาที (สุเจนต์ พรหมเหมือน, 2562) (3) สามารถเก็บบันทึกข้อมูลได้เป็นจำนวนมาก และนำไปใช้เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการตรวจวัดค่าความชื้นต่อไป (4) ช่วยให้การรดน้ำถูกต้องเหมาะสมตามหลักชลประทาน หรือเหมาะสมตามความต้องการของพืชในแต่ละช่วงอายุ (5) ช่วยให้เกษตรกรสามารถวางแผนการทำงานได้สะดวก และง่ายต่อการจัดการ (6) ช่วยประหยัดต้นทุนในการให้น้ำ และลดการสูญเสียน้ำ

อย่างไรก็ตามการใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินมักมีค่าใช้จ่ายเนื่องจากเซ็นเซอร์มีราคาสูงให้อัตราผลประโยชน์ต่อต้นทุนเพียง 1.35 เท่า มีระยะคืนทุนมากกว่า 3 ปี และต้องมีการสอบเทียบค่าความชื้นในดินของดินแต่ละชนิดก่อนนำไปใช้งาน (สุเจนต์ พรหมเหมือน, 2562) ดังนั้นการใช้เซ็นเซอร์จึงไม่ได้เหมาะกับพืชทุกชนิด จำเป็นต้องมีวิธีอื่นเป็นทางเลือกให้กับเกษตรกร ซึ่งอาจใช้วิธีการคำนวณความต้องการน้ำของพืชโดยวิธีการอื่นๆ เพื่อลดต้นทุนในการปลูกพืชลง เช่น การจำลองปริมาณความต้องการน้ำโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ WUSMO (พื้นที่ชลประทาน) และ SWAT (พื้นที่เกษตรน้ำฝน) จาก Cropping Pattern และปริมาณฝนใช้การจากสถานีตรวจวัด มีรูปแบบการคำนวณ ดังนี้

1) การคำนวณความต้องการใช้น้ำชลประทานด้วยแบบจำลอง WUSMO (Water Uses Study Model) ในการคำนวณหาความต้องการน้ำชลประทานต้องทราบข้อมูลพื้นฐานได้แก่ (1) พื้นที่เพาะปลูก (2) อัตราการคายระเหย และปริมาณฝนแต่ละพื้นที่เพาะปลูก (3) สัมประสิทธิ์การคายระเหยของพืชชนิดต่างๆ (4) ชนิดของพืชปลูก และ (5) ปฏิทินการปลูกพืชชนิดต่างๆ ในแต่ละพื้นที่ จากนั้นนำข้อมูลต่างๆ มาคำนวณหาความต้องการน้ำของพืชได้จากสมการ

$$ET_o = KC \times ET_p$$

โดยที่  $ET_o$  = ความต้องการใช้น้ำของพืช (มม./วัน)

KC= สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

ETp; ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มม. /วัน)

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) ขึ้นอยู่กับชนิดและอายุการเจริญเติบโตของพืช และค่า ETp (Potential Evapotranspiration) คำนวณโดยวิธี Modified Penman หรือคำนวณโดยใช้โปรแกรม Excel และโปรแกรม CWR-RID ที่เป็นโปรแกรมสำหรับคำนวณค่าความต้องการน้ำของพืช ซึ่งโปรแกรมดังกล่าว เกษตรกรจำเป็นต้องทราบค่าสภาพภูมิอากาศ (ปริมาณน้ำฝน) ชนิดของพืช ปลูก ความยาวรากของพืชแต่ละช่วงอายุและค่าอัตราการใช้น้ำของพืชในแต่ละเดือน รวมถึงทราบชนิดของดินและความสามารถในการเก็บน้ำของดิน (คณิต โชติกะ, 2564)

2) แบบจำลองปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall Model) ฝนใช้การหมายถึงฝนที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ปริมาณฝนใช้การของพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามชนิดของพืชและวิธีการให้น้ำ เช่น ฝนใช้การของข้าวเป็นส่วนหนึ่งของปริมาณน้ำฝนที่ซังอยู่ในแปลงนาในระดับที่ไม่เป็นอันตรายแก่ต้นข้าว ส่วนฝนใช้การของพืชไร่หรือพืชอื่นเป็นส่วนหนึ่งของปริมาณน้ำฝนที่ซังอยู่ในเขตรากพืชและพืชสามารถดูดไปใช้ได้ แบบจำลองปริมาณฝนใช้การเป็นแบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์ประเมินปริมาณฝนที่สามารถนำมาใช้แทนน้ำชลประทาน ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญคือ ปริมาณฝนตกในแต่ละช่วงเวลา ปริมาณการใช้น้ำของพืช และความสูงของคันนา (กรมทรัพยากรน้ำ, 2548) นอกจากนี้เกษตรกรสามารถใช้โปรแกรม WAPE เพื่อคำนวณความต้องการน้ำเพื่อการปลูกข้าว (คณิต โชติกะ, 2564)

สำหรับโปรแกรมคำนวณความต้องการใช้น้ำของพืชไร่ที่มีการทดลองใช้ในข้าวสาลี และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยการให้น้ำตามความต้องการของพืช จากโปรแกรม SVAT-crop เปรียบเทียบกับการให้น้ำฝนอย่างเดียว ผลการทดลองพบว่าผลผลิตของข้าวสาลีและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ให้น้ำตามโปรแกรมสูงกว่าการให้น้ำฝน โดยข้าวสาลีที่ใช้โปรแกรมการให้น้ำมีผลผลิต 3.9–7.2 ตัน/เฮกตาร์ ส่วนการให้น้ำฝนให้ผลผลิตเพียง 0.1–2.6 ตัน/เฮกตาร์ สำหรับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พบว่าการใช้โปรแกรมให้น้ำมีผลผลิต 5.8–8.6 ตัน/เฮกตาร์ ในขณะที่การปลูกให้น้ำฝนมีผลผลิต 1.4–4.8 ตัน/เฮกตาร์ (Mo et al., 2005) นอกจากนี้ยังเพิ่มผลผลิตแล้วโปรแกรมการให้น้ำตามความต้องการของพืชยังสามารถลดปริมาณการใช้น้ำในการปลูกพืชลง โดยงานวิจัยที่มีการให้น้ำตามโปรแกรมคำนวณความต้องการของข้าวสาลีสามารถลดปริมาณการใช้น้ำ 21–53 % (Mohammed et al., 2009) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ทำการเปรียบเทียบการให้น้ำแบบต่างๆ ได้แก่ การให้น้ำกับพืชแบบคงที่คือให้ทุกๆ 2 วัน และการให้น้ำด้วยโปรแกรม GET-OPTIS ที่คำนวณการใช้น้ำตามความต้องการของพืชเปรียบเทียบกับการให้น้ำฝนเพียงอย่างเดียว พบว่าการให้น้ำตามโปรแกรมเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ

สูง โดยพบว่ามีการใช้น้ำในปริมาณน้อย และส่งผลให้ผลผลิตของพืชปลูก ได้แก่ ข้าวโพด ผักกาด และ ข้าวสาลี สูงที่สุด (Kuschel–Otarola et al., 2020)

เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการให้น้ำที่ใช้ได้ง่าย และมีราคาไม่แพง สามารถแข่งขันกับเครื่องมือจากต่างประเทศที่มีราคาสูงได้ ทีมนักวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีได้มีการพัฒนาโปรแกรมการให้น้ำพืช (Irrigation software) ซึ่งเป็นโปรแกรมประมวลรูปแบบการให้น้ำที่สามารถช่วยลดความยุ่งยากในการคำนวณให้แก่เกษตรกร และเมื่อทดสอบใช้โปรแกรมแล้วพบว่ามีความแม่นยำ และลดปริมาณการใช้น้ำ แต่การใช้โปรแกรมดังกล่าวมาแล้วการคำนวณการให้น้ำแก่พืชจะใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศในอดีตในการตัดสินใจให้น้ำ ซึ่งยังมีจุดอ่อนเพราะค่า  $ET_p$  ได้มาจากสภาพภูมิอากาศในอดีตที่ผ่านมา แต่ความเป็นจริงแล้วสภาพภูมิอากาศปัจจุบันมีความแปรปรวนอยู่ตลอดเวลา อาจทำให้ค่า  $ET_p$  ที่ใช้อาจไม่ถูกต้องสำหรับทุกแปลง ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความต้องการน้ำของพืช ( $ET_c$ ) และการให้น้ำผิดพลาดได้ ดังนั้นเพื่อให้การคำนวณการให้น้ำมีความแม่นยำ และข้อมูลมีความเป็นปัจจุบัน จำเป็นต้องมีการตรวจสอบสภาพอากาศในช่วงที่มีการปลูกพืช เพื่อนำค่าสภาพอากาศปัจจุบันนั้นไปใช้ในการคำนวณ  $ET_p$  โดยค่าที่เป็นปัจจุบันและเป็นค่าที่ถูกต้องทำได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอากาศใกล้กับพื้นที่ปลูก การวิจัยครั้งนี้นอกจากพัฒนาโปรแกรมการคำนวณการให้น้ำแล้ว ยังมีการพัฒนาการคำนวณให้เป็นปัจจุบันในพื้นที่ต่างๆ โดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศของแปลงพืชที่กำลังปลูก จึงได้ค่าการคำนวณที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น ดังมีรายละเอียดการพัฒนาและการทดสอบในการทดลองนี้

การให้น้ำนอกจากเกษตรกรสามารถเลือกใช้การให้น้ำโดยใช้ software แล้ว หากต้องการให้น้ำที่มีความแม่นยำและทำได้ง่ายกว่า สามารถทำได้โดยการวัดความชื้นที่ลดลงบริเวณรากพืชเมื่อความชื้นต่ำกว่าจุดวิกฤต (จุดที่พืชดูดใช้น้ำได้ยาก) ก็ให้น้ำกลับไปจุด Field capacity ซึ่งการวัดปริมาณความชื้นดังกล่าวทำได้โดยใช้อุปกรณ์วัดความชื้น เช่น เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน (soil moisture sensor) ที่มีความแม่นยำและวัดในจุดและความลึกที่เหมาะสม การให้น้ำตามวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องคำนวณบ่อยๆ ตามระยะเวลาปลูก สถานที่ปลูก หรือสภาวะอากาศ การวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาเทคโนโลยีการจัดการน้ำในสภาพแปลงให้สามารถจัดการได้อย่างแม่นยำ โดยการพัฒนาเทคโนโลยีที่เป็นทางเลือกสำหรับการจัดการน้ำอย่างแม่นยำในสภาพแปลงให้แก่เกษตรกร ได้แก่ การพัฒนา irrigation software และการใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้นดิน ผ่านการควบคุมโดยใช้แอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยทั้งสองเทคโนโลยีนี้มีต้นทุนและการใช้งานต่างกัน ขึ้นอยู่กับต้นทุนและความต้องการของผู้ใช้ ดังมีรายละเอียดการพัฒนาและการทดสอบเทคโนโลยีในวิธีการทดลองและผลการวิจัยในเนื่อหารายงานฉบับนี้



## 2.2 การจัดการปุ๋ยแบบแม่นยำสำหรับการผลิตพืช

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าเกษตรแม่นยำ เป็นการนำเทคโนโลยีมาผสมผสานเพื่อการเกษตรยุคดิจิทัล เช่น เทคโนโลยีสารสนเทศและดิจิทัล เซ็นเซอร์ เทคโนโลยีชีวภาพ รวมทั้งนาโนเทคโนโลยี เพื่อเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิตพืช เป็นการทำเกษตรที่มีการให้น้ำ ปุ๋ย และยาฆ่าแมลงในปริมาณและเวลาที่ถูกต้องเพื่อประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตพืชที่นอกจากการต้องจัดการน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการของพืชแล้ว การจัดการปุ๋ยเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการกำหนดผลผลิตของพืชด้วย เนื่องจากการให้ปุ๋ยหรือธาตุอาหารพืชอย่างมีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับความต้องการธาตุอาหารพืชแต่ละชนิด และยังขึ้นคุณสมบัติของดินที่ปลูกพืชด้วย ปัจจุบันมีลักษณะการทำเกษตรแม่นยำสูงบ้างแล้ว ตัวอย่างการใช้เครื่องมือและข้อมูลมาช่วยการวางแผนและพัฒนาการเพาะปลูก การให้ปุ๋ยแก่พืชในอดีตของเกษตรกรมักเชื่อว่าใส่ปุ๋ยเคมีมากๆ ผลผลิตพืชจะสูง แต่จากสถิติที่ผ่านมากลับพบว่าการใส่ปุ๋ยมากเกินไปส่งผลให้ผลผลิตลดและยังส่งผลให้ดินเสื่อมด้วย การใส่ธาตุอาหารลงในดินที่มีธาตุอาหารเพียงพออยู่แล้วเป็นการลงทุนที่เปล่าประโยชน์ ซึ่งข้อมูลต่างๆ ยังบ่งชี้ว่าการใส่ปุ๋ยเคมีให้มีประสิทธิภาพสูง ควรใส่ให้ถูกต้องตรงกับชนิดดินและความต้องการของพืช ซึ่งนอกจากช่วยเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้นแล้ว ยังช่วยลดต้นทุนการผลิตได้อย่างดี ปัจจุบันมีการสร้างแอปพลิเคชันเกษตรแม่นยำสูง เช่น การพยากรณ์อากาศเฉพาะพื้นที่ ตรวจสอบสุขภาพพืช การให้ปุ๋ย หรือวางแผนการปลูกพืช เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าถึงของเกษตรกรในยุค 4.0 สำหรับการให้ปุ๋ยแบบแม่นยำ กรมพัฒนาที่ดิน และกรมวิชาการเกษตร ได้ร่วมกันพัฒนาแอปพลิเคชัน “รู้จริง พืช ดิน ปุ๋ย” เป็นแอปฯ หนึ่งที่ทำให้ความรู้ทั้งด้านพืช ดิน ปุ๋ย ที่ทำได้อย่างรวดเร็ว ประหยัดเวลา และลดค่าใช้จ่ายให้เกษตรกร (ไทยรัฐออนไลน์, 2563) หรือแอปพลิเคชันอื่นๆ เช่น Kaset Go และปุ๋ยรายแปลง เป็นต้น ซึ่งการคำนวณการให้ปุ๋ยช่วยเกษตรกรให้สามารถผสมปุ๋ยใช้เอง ช่วยลดต้นทุนและช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรได้ เนื่องจากเกษตรกรสามารถให้ปุ๋ยตามสูตรที่พืชแต่ละชนิดต้องการ และให้ปุ๋ยได้ถูกต้องตามค่าวิเคราะห์ดิน นอกจากนี้ยังลดปัญหาเรื่องการใส่ปุ๋ยปลอมหรือปุ๋ยไม่ได้มาตรฐานได้ จากการสำรวจจากสมาชิกของกรมส่งเสริมการเกษตรพบว่าการผสมปุ๋ยใช้เองช่วยให้เกษตรกรผู้ปลูกข้าวลดต้นทุนค่าปุ๋ยได้ตั้งแต่ 15–51% ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว สภาพภูมิอากาศ และราคาแม่ปุ๋ย แต่การผสมปุ๋ยใช้เองมีข้อจำกัดคือควรใช้ให้หมดในครั้งเดียว และไม่สามารถเก็บปุ๋ยที่ผสมแล้วไว้ได้นาน เนื่องจากปุ๋ยที่ผสมแล้วมักเกิดความชื้นได้ง่าย แต่หากจำเป็นต้องเก็บไว้ต้องใช้ให้หมดภายใน 15 วัน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2019) อย่างไรก็ตามการปลูกพืชแต่ละชนิดในบางพื้นที่ เช่น ในตำบลหรืออำเภอเดียวกัน อาจมีสภาพแวดล้อมและสภาพดินที่แตกต่างกัน จึงควรมีการพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อให้ครอบคลุมกับพื้นที่นั้นให้มากที่สุด ซึ่งการเก็บข้อมูลและการแปลผลจึงมีความสำคัญอย่างมาก

กับการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับเกษตรกรเพื่อใช้ในวางแผนการจัดการพื้นที่ในแปลงปลูก การให้ปุ๋ยอย่างถูกต้องเหมาะสม ถ้ามีการใช้ปุ๋ยเคมีทั้งชนิดและอัตราที่เหมาะสม สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการให้ปุ๋ยในการปลูกพืช ช่วยลดต้นทุนค่าปุ๋ย และลดมลภาวะที่เกิดจากการปนเปื้อนของปุ๋ยในอากาศและน้ำ รวมทั้งลดค่าใช้จ่ายการนำเข้าปุ๋ยจากต่างประเทศด้วย

การวิจัยนี้ได้มีแผนการพัฒนาแอปพลิเคชันการให้ปุ๋ยพืช ทั้งพืชที่ปลูกในสภาพโรงเรือน และพืชที่ปลูกภายใต้สภาพโรงเรือน ซึ่งพืชชนิดเดียวกันแต่ปลูกในสภาพที่ต่างกัน (นอกโรงเรือน และในโรงเรือน) มีสูตรปุ๋ยและรูปแบบการให้ปุ๋ยที่แตกต่างกัน นอกจากนี้แล้วพืชแต่ละชนิดมีความต้องการปุ๋ยในปริมาณที่แตกต่างกันด้วย ซึ่งการพัฒนาแอปพลิเคชันให้ปุ๋ยแก่พืชที่หลากหลายจะช่วยให้เกษตรกรวางแผนการจัดการปุ๋ยได้ดีขึ้น ช่วยให้การปลูกพืชได้ผลผลิตและคุณภาพสูง

### 2.3 การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle) ในการผลิตพืช

ปัญหาการขาดแคลนแรงงานในภาคเกษตรที่เกิดขึ้นในปัจจุบันเป็นปัญหาใหญ่ของการเกษตร เนื่องจากสัดส่วนแรงงานในภาคเกษตรมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ โดยในปี 2562 พบมีแนวโน้มลดลงประมาณ 27% สำหรับประเทศไทยการขาดแคลนแรงงานร่วมกับพื้นที่ทำการเกษตรแบบแปลงใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นปัจจัยกระตุ้นให้เกิดความต้องการเครื่องมือที่ช่วยลดการใช้แรงงานในภาคเกษตรมากขึ้น เช่น การใช้เครื่องจักรกลแทนแรงงาน หรือการใช้อากาศยานไร้คนขับ (UAV หรือ โดรน) มาใช้ในการทำเกษตรมากขึ้น ทั้งนี้โดรนเพื่อการเกษตรมีหลายรูปแบบ แต่ในแง่ของการใช้งานสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) โดรนสำรวจพื้นที่ (Data-mapping drone) ซึ่งถูกออกแบบให้สามารถเก็บข้อมูลแบบ Real-Times และนำข้อมูลไปประมวลผลด้วยโมเดลทางการเกษตร โดยทั่วไปมักถูกนำไปใช้ในการสำรวจพื้นที่ปลูกพืช การตรวจสอบสุขภาพพืช ตลอดจนวางแผนการปลูกพืช โดยในปัจจุบันโดรนชนิดนี้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในต่างประเทศ เช่น สหรัฐฯ และญี่ปุ่น โดยมีการพัฒนา เทคโนโลยีการแปลผลค่าดัชนีพรรณพืช (NDVI) จากภาพถ่ายด้วยโดรนสำรวจพื้นที่ หรือภาพถ่ายเทียม 2) โดรนฉีดพ่น (Spraying drone) โดยทั่วไปนำมาใช้พ่นสารเคมีหรือปุ๋ย และน้ำในแปลงเกษตร โดยปัจจุบันโดรนชนิดนี้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายทั่วโลก รวมทั้งฟิลิปปินส์ และไทย ซึ่งมีรายงานที่บ่งชี้ว่าการใช้โดรนฉีดพ่นในการพ่นสารเคมีให้กับพืชช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีถึง 30–50% รวมทั้งมีประสิทธิภาพมากกว่าแรงงานมนุษย์ 40–60 เท่า (มานะ นิมิตรวานิช และพงษ์ประภา นภาพฤกษ์ชาติ, 2563) ซึ่งจากรายงานพบว่าโดรนทั้ง 2 ชนิด มีการนำมาใช้งานในการเกษตรเพื่อประหยัดเวลา ลดแรงงาน และลดต้นทุนในการปลูกพืช โดยทั่วไปสามารถนำมาใช้งานในการเกษตรได้ดังนี้

1) โดรนสำหรับหว่านปุ๋ย และฉีดพ่นสารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืช ตัวอย่างมีการนำมาใช้ในนาข้าว เนื่องจากโดยปกติแล้วการฉีดพ่นยากำจัดศัตรูพืชและหว่านปุ๋ยในแปลงนาข้าวใช้แรงงานคน ซึ่งพบว่าใช้เวลาในการทำงานหลายชั่วโมงมีค่าจ้างอยู่ที่ประมาณ 50 บาท/ไร่ แต่หากใช้โดรนมาใช้ในการฉีดพ่นยาและหว่านปุ๋ยในแปลงนามีค่าใช้จ่ายประมาณ 120 บาท/ไร่ (MGR Online, 2560) ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการใช้แรงงานคน แต่พบว่าการใช้เวลาในการพ่นยาโดยใช้โดรนน้อยกว่าการใช้แรงงานคน ซึ่งพื้นที่ปลูกข้าว 10 ไร่ การใช้โดรนในการฉีดพ่นยาและหว่านปุ๋ยใช้เวลาประมาณ 10 นาที และใช้แรงงานคนในการควบคุมเพียง 1-2 คน ซึ่งข้อดีของการใช้โดรนพ่นสารเคมี คือลดเวลาที่ต้องใช้คนงานนำถังน้ำยาเดินฉีดหรือพ่นยาที่ใช้เวลานาน และไม่สามารถพ่นยาได้อย่างทั่วถึง อีกทั้งการเดินฉีดพ่นยาอาจเกิดการเหยียบย่ำพืชให้เสียหาย และมีความเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายจากการฟุ้งกระจายของสารเคมีต่อแรงงานผู้ฉีดพ่นยา ซึ่งหากมีการวางแผนในระยะยาว การใช้โดรนพ่นยาทำให้คุ้มทุนมากกว่าการจ้างคนเพื่อพ่นยา และสามารถแก้ไขปัญหาเรื่องการขาดแคลนแรงงานคนได้

2) โดรนสำหรับการพ่นฮอร์โมนหรือการพ่นสารทางใบ ซึ่งการให้ฮอร์โมนพืชช่วงเวลาเป็นสิ่งที่สำคัญ เนื่องจากพืชสามารถดูดซึมสารอาหารและฮอร์โมนได้ดีที่สุดเมื่อปากใบเปิดในช่วงเช้า หากเกษตรกรมีพื้นที่ปลูกพืชหลายไร่จำเป็นต้องใช้แรงงานจำนวนมากในการฉีดฮอร์โมนพืชเพื่อให้ทันเวลา ซึ่งปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการใช้โดรนในการพ่นแทนการใช้แรงงานคน ซึ่งสามารถช่วยลดเวลาและการทำงานได้ และยังลดความเสียหายจากการเหยียบย่ำพืชในแปลงด้วย โดยโดรน 1 ลำสามารถฉีดพ่นพืชไร่ เช่น ข้าว ข้าวโพด อ้อย และมันสำปะหลัง ได้ประมาณ 100-200 ไร่/วัน โดยใช้คนควบคุมการทำงานของโดรนเพียง 1-2 คน ในขณะที่การพ่นฮอร์โมนพืชโดยใช้แรงงานคนต้องใช้แรงงาน 10-20 คน (ตลาดแอป, 2562)

3) โดรนสำหรับการถ่ายภาพวิเคราะห์ และตรวจโรคพืช สามารถช่วยให้เกษตรกรดูแลรักษาโรคพืชได้อย่างตรงจุด โดยการนำโดรนมาติดตั้งระบบเซ็นเซอร์ และกล้อง สำหรับการถ่ายภาพทางอากาศโดยใช้ระบบ GPS ในการหาพิกัดต่างๆ การตรวจสอบภาพพื้นที่ปลูกพืชในมุมสูง เพื่อวิเคราะห์หาการเจริญเติบโตของพืชในแต่ละจุด และหากพบความผิดปกติจะพบได้อย่างรวดเร็วและหาวิธีแก้ไขได้อย่างทั่วถึง (สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล, 2564) สำหรับโดรนชนิดนี้สามารถแบ่งตามการใช้งานเป็น 2 ประเภท ได้แก่

3.1) โดรนถ่ายภาพนิ่งด้านแผนที่ ใช้งานสำหรับถ่ายภาพเพื่อวางแผนการปลูกพืช ช่วยจัดการแปลงปลูก เช่น การทำแผนที่ 3 มิติ เพื่อดูทิศทางการไหลของน้ำ เป็นต้น

3.2) โดรนถ่ายภาพแบบหลายช่วงคลื่น ใช้ถ่ายภาพเพื่อตรวจสอบการเจริญเติบโตของพืช เพื่อดูความสม่ำเสมอในแปลงปลูก รวมไปถึงตรวจหาการเกิดโรคในพืชปลูก และสามารถใช้เพื่อแยก



พันธุ์ปนในพืชได้ด้วย โดยมีงานทดลองตรวจสอบการปนในแปลงข้าวและวัชพืชที่มีลักษณะคล้ายต้นข้าวโดยใช้ภาพถ่ายแบบหลายช่วงคลื่น RGB, RGB + NGRDI, และ RGB-NGRDI จากการถ่ายภาพของโดรน พบว่าสามารถตรวจจับวัชพืชได้และมีความแม่นยำที่ 70–85% (Barrero and Perdomo, 2018) นอกจากนี้ยังสามารถตรวจสอบคุณภาพดิน และหาความชื้นของดินในแปลงปลูกได้ (พิชัย ถิ่นสันติสุข, 2563)

การใช้โดรนในทางการเกษตรในประเทศไทยมีการใช้อย่างหลากหลาย และมีหลายงานวิจัยที่ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการใช้โดรนเทียบกับการพ่นสารโดยใช้แรงงานคน เช่น การทดสอบประสิทธิภาพของโดรน เพื่อพ่นสารเคมีสำหรับป้องกันกำจัดโรคเมล็ดต่างข้าวที่อัตราพ่น 3.5 และ 5 ลิตร/ไร่ เปรียบเทียบกับกรรมวิธีการพ่นของเกษตรกรด้วยก้านพ่นแบบปรับมุมด้านท้ายที่อัตราพ่น 40 และ 60 ลิตร /ไร่ ผลการทดลองพบว่า การพ่นสารเคมีด้วยโดรนมีการตกค้างของละอองสารบนต้นข้าวไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีการพ่นของเกษตรกรทั้ง 2 อัตรา สำหรับประสิทธิภาพการป้องกันกำจัดโรคเมล็ดต่างข้าว พบว่าการพ่นด้วยโดรนมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับวิธีการพ่นของเกษตรกร ตัวอย่างจากการประมวลผลภาพศัตรูพืชด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยทดสอบในนาข้าว เพื่อตรวจจับไข่หอยเชอรี่ ตลอดจนกำจัดหอยเชอรี่เมื่อมีการระบาดโดยใช้สารกำจัดพ่นด้วยโดรน เพื่อลดความเสี่ยงในการใช้ยาฉีดพ่นเองของเกษตรกร ผลการศึกษาพบว่าโดรนสามารถบินสำรวจและตรวจจับหอยเชอรี่ รวมถึงพ่นสารกำจัดหอยเชอรี่ได้ตามพิกัดที่กำหนดไว้ตามสมมุติฐานที่กำหนดไว้ร้อยละ 70 (ศิริเรือง พัฒน์ช่วย และคณะ, 2559; กฤษณ์พันธ์ พรณรัตน์ชัย, 2562)

การวิจัยเพื่อประเมินผลผลิตของอ้อยในประเทศไทย ได้ศึกษาความสามารถของค่าการสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่น (Red, Green, Blue) ที่ได้จากโดรนเพื่อนำใช้ในการประมาณค่าผลผลิตของอ้อยช่วงก่อนเก็บเกี่ยว 3 เดือน สำหรับการประเมินผลผลิตอ้อยด้วยภาพถ่ายระยะเฉียดสูงที่ติดตั้งกับอากาศยานไร้คนขับ ประยุกต์ใช้โดยภาพถ่ายระยะเฉียดสูงที่ติดตั้งกับอากาศยานไร้คนขับ และข้อมูลการสะท้อนช่วงคลื่นทั้งในระยะที่ตามนุษย์มองเห็น และช่วงคลื่น Near Infrared ที่นำมาใช้งานด้านการเกษตรแม่นยำอย่างแพร่หลายในระยะเวลาไม่ถึง 10 ปีนี้ ความรุดหน้าของเทคโนโลยีนี้ทำให้การทำการเกษตรมีความแม่นยำมากขึ้นทั้งในด้านการวางแผนการปลูกพืช การเพิ่มผลผลิต การติดตามการเจริญเติบโต และประเมินผลผลิต ผลการศึกษาพบว่าโดรนสามารถนำมาประมาณค่าผลผลิตอ้อยได้ดี ทั้งนี้หากมีการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของอ้อยที่ช่วงอายุต่างๆ เพิ่มขึ้น อาจส่งผลให้ปริมาณผลผลิตที่วิเคราะห์ได้มีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น (โพธิวิฑูฒิ บุญเรือง และคณะ, 2564)

สำหรับค่าดัชนีความสมบูรณ์ของพืชพรรณที่ได้จาก Multispectral sensors ที่ติดตั้งกับอากาศยานไร้คนขับ ค่าดัชนีเหล่านี้ได้จากการคำนวณค่าการสะท้อนช่วงคลื่นที่ได้จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดชนิด Optical และ Multispectral sensors ดัชนีแสดงค่าความสมบูรณ์ของพืชพรรณนี้ได้มีการวิเคราะห์กันอย่างแพร่หลายมานานแล้วจากการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม ในขณะที่ปัจจุบันมีการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่สามารถตรวจจับค่าแสงหลายช่วงคลื่นติดตั้งกับอากาศยานไร้คนขับเป็นที่ยืนยันจากผลการศึกษาของ Matese et al. (2015) พบว่า Multispectral sensors ที่ติดตั้งกับอากาศยานไร้คนขับ สามารถแสดงค่าดัชนีความสมบูรณ์ของพืชพรรณได้อย่างเด่นชัด เนื่องจากความละเอียดของจุดภาพที่ได้มีขนาดเล็กกว่าขนาดของจุดภาพจากภาพถ่ายดาวเทียม ทำให้สามารถแยกแยะพืชออกจากวัชพืชได้อย่างชัดเจน และแม้แต่การใช้ภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับที่ถ่ายด้วย Visible bands (RGB) ก็ยังสามารถจำแนกแยกแยะวัชพืชรวมถึงการเฝ้าติดตามการขยายตัวของพื้นที่ที่มีหญ้าปกคลุมได้ด้วย (Lussem et al., 2017) ทำให้มั่นใจได้ว่า Multispectral sensors ที่ติดตั้งกับอากาศยานไร้คนขับสามารถนำมาแสดงค่าดัชนีความอุดมสมบูรณ์ของพืช (NDVI: Normalized Difference Vegetation Index) ได้อย่างแม่นยำ (Zhou et al., 2017) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าดัชนีแสดงอัตราส่วนของเรือนพุ่มต่อพื้นที่ ยังพบว่าเซ็นเซอร์นี้สามารถให้ผลลัพธ์ที่แสดงให้เห็นค่าความสัมพันธ์ในระดับสูงอีกด้วย (Berni, et al., 2009)

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$

เมื่อ NIR = Near-infrared

R = Red

**ความแม่นยำในการแสดงค่าความสูงของอ้อยด้วยอากาศยานไร้คนขับ** การประเมินผลผลิตอ้อย ต้องพิจารณาหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความสูง จำนวนต้นต่อกอ ขนาดของลำต้น และปัจจัยอื่นๆ อีกมากมาย การวัดหรือประมาณค่าความสูงของต้นอ้อย สามารถทำได้ด้วยการสำรวจภาคสนามซึ่งจำเป็นต้องใช้เวลานานพอสมควร ในขณะที่เทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น ภาพถ่ายทางอากาศรายละเอียดสูงที่ได้จากกล้องที่ติดตั้งกับอากาศยานไร้คนขับ ทำให้สามารถวัดความสูงของต้นอ้อยได้อย่างแม่นยำ จากการศึกษาของ Zarco-Tejada et al. (2014) แสดงผลลัพธ์ในการประมาณค่าความสูงของต้นอ้อยจากแบบจำลองพื้นผิว (DSM: Digital surface model) เปรียบเทียบกับค่าความสูงของต้นอ้อยที่ได้จากการวัดในแปลงอ้อย พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมอยู่ที่ 0.3 เมตร และมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์อยู่ที่ 11.5 เปอร์เซ็นต์ของต้นอ้อยที่มีความสูงตั้งแต่ 1.16–4.38 เมตร ที่ค่า  $R^2 = 0.83$  ผลลัพธ์ดังกล่าวมีความใกล้เคียงกับการศึกษาของ De-Souza et al. (2017) ซึ่งทำ

การวัดค่าความสูงที่ได้จากการสำรวจต้นอ้อยในพื้นที่ศึกษาเปรียบเทียบกับความสูงของต้นอ้อยที่ได้จากการแบบจำลองความสูงและภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับ พบว่ามีความใกล้เคียงกันมาก โดยที่ค่าความแตกต่างระหว่างความสูงที่ได้จากการบินสำรวจและค่าความสูงจริงห่างกันเพียง 0.40 เมตร การหาความสูงของต้นอ้อยสามารถหาได้จากการวัดในเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล โดยทำการสร้างจุด Point clouds ที่มีค่าทั้ง 3 มิติ คือ x, y และ z

$$CSM = DSM - DTM$$

เมื่อ DSM = Digital Surface Model

DTM = Digital Terrain Model

นอกจากนี้คมกริช พรหมหากุล และคณะ (2563) ศึกษาวิธีจำแนกความหนาแน่นพื้นที่ปลูกอ้อยจากข้อมูลอากาศยานไร้คนขับด้วยวิธีการจำแนกแบบลำดับขั้นร่วมกับค่าดัชนีความเขียว (ExG) เพื่อวิเคราะห์ความหนาแน่นและคาดการณ์ผลผลิตอ้อย โดยใช้หลักการค่าสะท้อนระหว่างช่วงคลื่นและดัชนีความเขียวที่มีความแตกต่างกันขึ้นกับอายุของอ้อย เมื่อนำภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับที่ได้จากการสำรวจในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตมาวิเคราะห์ดัชนีสีเขียว (Som-ard et al., 2018) เพื่อแยกระหว่างพื้นที่อ้อยและไม่ใช่อ้อย ดังสมการ (Bruno et al., 2017)

$$ExG = 2G - R - B$$

โดยที่ ExG คือ ค่าดัชนีสีเขียว G คือ ค่าช่วงคลื่นสีเขียว R คือ ค่าสีแดง B คือ ค่าสีน้ำเงิน เมื่อได้ค่าดัชนีสีเขียวแล้วจึงนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ด้วยสมการ (Rinthaisong, 2016)

$$r = \frac{\sum xy - n\bar{x}\bar{y}}{\sqrt{(\sum xi^2 - nx\bar{x})(\sum yi^2 - ny\bar{y})}}$$

โดยที่ r คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ n คือ จำนวนแปลงตัวอย่าง  $\bar{X}$  คือ ค่าเฉลี่ยจำนวนต้น  $\bar{Y}$  คือ ค่าเฉลี่ยของค่าดัชนี ExG

จากนั้นสร้างสมการคาดการณ์ผลผลิตด้วยวิธีสมการถดถอยอย่างง่าย ระหว่างดัชนีสีเขียวและน้ำหนักของผลผลิตต่อต้น ด้วยสมการ (Malczewski, 1999)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X$$

โดยที่ Y คือตัวแปรตาม X คือ ตัวแปรต้น

จากนั้นนำมาตรวจสอบหาความถูกต้อง โดยการหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ระหว่างผลผลิตจริง/ไร่ กับผลผลิตอ้อยที่ได้จากการวิเคราะห์ดังสมการ (Kanjanasut, 2014)

$$MAPE = \left[ \frac{\sum A_t - F_t}{A_t} \right] \times 100$$

โดยที่  $A_t$  คือผลผลิตจริง/ไร่  $F_t$  คือผลผลิตที่ได้จากการคาดการณ์  $N$  คือ จำนวนทั้งหมด สำหรับผลการศึกษาพบว่าความหนาแน่นของอ้อยระยะแก่มีค่าความสัมพันธ์ระดับสูง ( $r = 0.84$ ) และการคาดการณ์ผลผลิตมีค่าความคลาดเคลื่อน RMSE และแบบสัมบูรณ์ 0.90 และ 0.06% โดยมีผลผลิตคาดการณ์ที่ 396.60 ตัน/แปลง ส่วนผลผลิตจริงได้ 413 ตัน/แปลง

จากตัวอย่างงานวิจัยสามารถสรุปประโยชน์ของโดรนในการผลิตพืชได้ดังนี้

1. สามารถทำงานในปริมาณมากและรวดเร็ว สามารถใช้ทดแทนแรงงานคนที่ฉีดพ่นยา ซึ่งโดรนมีความเร็วในการฉีดพ่นสูงสุดที่ 1 ไร่/นาที่ ช่วยลดการทำงานของแรงงานคนลง 80% (Thamos Co. Ltd, 2021) ตัวอย่างการทดลองพ่นสารชีวภัณฑ์ในแปลงผักคะน้า หอม ผักชี นาข้าว และอ้อย พบว่ามีความสามารถในการทำงาน 3–5 นาที่/ไร่ ซึ่งเร็วกว่าการใช้งานแบบที่ใช้คนพ่นแบบสะพายหลัง 6–9 เท่า รวมทั้งมีละอองสารติดที่ใบได้มากกว่า เนื่องจากมีแรงลมจากใบพัดของโดรนช่วยเป่าให้กระจายมากขึ้น (วิชัย โอภาณุกุล และคณะ, 2560)
2. มีประสิทธิภาพและความแม่นยำสูง เนื่องจากมีการฉีดพ่นอย่างสม่ำเสมอในทุกพื้นที่ และสามารถควบคุมปริมาณการฉีดพ่นได้อย่างแม่นยำ โดยการทดสอบความหนาแน่นของละอองสารจากการพ่นสารชีวภัณฑ์ด้วยโดรนพบว่าเมื่อฉีดพ่นบนใบให้จำนวนละออง 76.6 ละออง/ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการฉีดพ่นด้วยเครื่องพ่นแรงดันสูงแบบสะพายหลังที่มีจำนวนละอองของสารที่ 84.8 ละออง/ตารางเซนติเมตร แต่จำนวนละอองใต้ออกของการพ่นสารด้วยโดรน (49.6 ละออง/ตารางเซนติเมตร) สูงกว่าการฉีดพ่นด้วยเครื่องพ่นแรงดันสูงแบบสะพายหลัง (26.8 ละออง/ตารางเซนติเมตร) เกือบ 2 เท่า (อุดมพร สุพคุณศรี, 2563)
3. ช่วยลดต้นทุนในการผลิต เนื่องจากสามารถควบคุมปริมาณการฉีดพ่นได้ จึงส่งผลให้ละอองของสารเคมีที่ฉีดพ่นสัมผัสกับพืชได้ดี และสามารถลดการสูญเสียปริมาณสารเคมีที่ใช้ในระหว่างการฉีดพ่นได้ โดยพบว่าการใช้โดรนฉีดพ่นสารเคมีสามารถลดปริมาณการใช้สารเคมีลงร้อยละ 15–20 เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แรงงานคน (สยามรัฐออนไลน์, 2562) ช่วยเกษตรกรลดการสัมผัสกับสารเคมี โดยทั่วไปการฉีดสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเกษตรกรต้องสะพายถังสารเคมี แล้วเดินฉีดในแปลง ทำให้สารเคมีฟุ้งกระจาย ผู้ฉีดมีโอกาสสัมผัสและสูดดมสารเคมี ซึ่งการใช้โดรนพ่นสารแทนการใช้แรงงานคนสามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าว เนื่องจากการใช้โดรนพ่นสารสามารถลดการฟุ้งกระจายของสารเคมี ช่วยลดอันตรายจากการสัมผัสสารเคมี (ศศิวัฒน์ ต้นตัญญยานนท์, 2562) นอกจากนี้การใช้โดรนสามารถลดการใช้น้ำ ลดแรงงาน และทำให้เกษตรกรปลอดภัยจากการสัมผัสสารเคมี (พฤทธิชาติ ปุญญวัฒน์ และคณะ, 2562)

4. ช่วยให้เกษตรกรแก้ไขปัญหของพืชได้อย่างตรงจุดและเพิ่มคุณภาพผลผลิตได้ ในอดีตมีการเก็บข้อมูลแบบสุ่มโดยการเดินสำรวจ เช่น การตรวจการเจริญเติบโตของพืชที่อาจไม่สม่ำเสมอหรือมีพื้นที่ท่วมขัง ซึ่งเดิมต้องใช้คนจำนวนมากในการสำรวจ และต้องใช้เวลาอันกว่าจะทราบผลการจัดการทำไมทันเวลา ซึ่งส่งผลให้คุณภาพและปริมาณผลผลิตลดลง (กรุงเทพฯธุรกิจ, 2564) สำหรับปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับเพื่อสำรวจแปลงพืช ซึ่งสามารถตรวจสอบคุณภาพผลผลิต หรือตรวจสอบโรคพืช รวมถึงตรวจสอบพื้นที่แปลงโดยรวม ทำให้ทราบปัญหาที่เกิดขึ้น และสามารถแก้ไขได้รวดเร็วและตรงจุด (Thamos Corporation Co. Ltd., 2021)

การวิจัยครั้งนี้เป็นการประยุกต์เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล (Remote sensing) ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) โดยมีเป้าหมายในการนำเทคนิคการประเมินผลผลิตอ้อยด้วยเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลและภูมิสารสนเทศ โดยการคำนวณหาปริมาตรของผลผลิตอ้อยที่สอดคล้องกับการใช้ดัชนีแสดงความอุดมสมบูรณ์ของอ้อยในแต่ละบริเวณของแปลงปลูกอ้อย โดยใช้เซ็นเซอร์ 2 ชนิด คือ Optical sensors (ที่สะท้อนช่วงคลื่นสีแดง เขียว น้ำเงิน) และ Multispectral sensors (ที่สะท้อนช่วงคลื่น Near Infrared) ที่ติดตั้งกับอากาศยานไร้คนขับและการคำนวณความสูงจากแบบจำลองพื้นผิวของพืช (Crop Surface Model, CSM) เพื่อประเมินผลผลิตอ้อยในแปลง

#### 2.4 การประยุกต์ใช้ระบบโซลาเซลล์ (Solar Cell) สำหรับการผลิตพืช

โซลาเซลล์ หรือพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูงในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบ คือการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน และการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความเย็น ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และความร้อนอย่างแพร่หลาย และมีความคุ้มค่า เช่น การใช้เครื่องผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโรงพยาบาล โรงแรม การทำเครื่องต้มน้ำจากแสงอาทิตย์ การทำเตาแสงอาทิตย์ การทำเครื่องกลั่นน้ำแสงอาทิตย์ การทำเครื่องอบแห้งผลิตผลเกษตรกรรม และอื่นๆ เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ระบบ คือ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ และระบบผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนแสงอาทิตย์ (สำนักงานพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์, 2554) สำหรับเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic) เป็นการใช้เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์โดยตรง จะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่ เครื่องปรับระบบไฟฟ้า และแบตเตอรี่ ส่วนเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ (Solar Thermal) เป็นเทคโนโลยีที่ทำการรวมแสงจากดวง



อาทิตย์ไว้ที่วัสดุสะท้อนแสง เพื่อส่งไปยังตัวรับแสงแล้วแปลงเป็นพลังงานความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ได้โดยตรง

ประเทศไทยใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือที่เรียกว่าโซลาเซลล์ เพื่อใช้ในชีวิตประจำวันเนื่องจากภูมิประเทศมีการรับแสงแดดสูง ซึ่งประโยชน์ของโซลาเซลล์นอกจากสามารถทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่นที่มีราคาแพงแล้ว ยังสามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า รวมถึงเป็นพลังงานสะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม การนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า ต้องอาศัยแผงโซลาเซลล์ ที่นำเอาซิลิกอนมาผ่านกระบวนการเพื่อให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ เมื่อแสงตกกระทบแผ่นเซลล์ มีการถ่ายทอดพลังงาน ทำให้มีการสะสมประจุ ดังนั้นเมื่อมีการเชื่อมวงจร เช่น หลอดไฟ จะทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที หรือกักเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อใช้งานภายหลัง (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2541) มีการนำโซลาเซลล์มาใช้งานกันอย่างแพร่หลายในเชิงพาณิชย์ เช่น เพื่อขายไฟฟ้าให้ภาครัฐ การนำมาใช้ในครัวเรือนเพื่อลดภาระค่าใช้จ่าย และที่สำคัญคือการนำมาใช้ในกิจกรรมต่างๆ สำหรับการทำการเกษตร เช่น ใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องสูบน้ำ โดยเฉพาะพื้นที่ห่างไกลที่ระบบไฟฟ้าพื้นฐานเข้าไม่ถึง (สำนักงานปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม, 2563) ซึ่งระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ คือการนำแสงโซลาเซลล์มาใช้ในการผลิตไฟฟ้าให้กับเครื่องสูบน้ำ เป็นระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระโดยไม่มีการเชื่อมต่อสายส่งของการไฟฟ้า มีส่วนประกอบ ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบควบคุมทางไฟฟ้า เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสำหรับสูบน้ำ บั๊มสูบน้ำ จุดเด่นของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ คือเป็นพลังงานสะอาด ทำให้ไม่มีปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถติดตั้งได้ทุกพื้นที่เนื่องจากประเทศไทยมีแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปี สามารถติดตั้งและเคลื่อนย้ายได้ง่าย ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษามีน้อย ช่วยลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิง เช่น น้ำมัน หรือถ่านหิน จึงลดค่าใช้จ่ายหรือลดต้นทุนได้ ส่วนจุดด้อยของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ คือสามารถใช้ไฟได้อย่างจำกัด (ใช้ได้ดีช่วงมีแสงอาทิตย์) มีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากต้องใช้พื้นที่ค่อนข้างมากในการผลิตไฟฟ้า โดยพื้นที่ 10 ตารางเมตร สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด 1 กิโลวัตต์ สำหรับต้นทุนของระบบปั๊มสูบน้ำหอยโข่งโซลาเซลล์สูบน้ำผิวดินสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด 450 วัตต์ มีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 30,000–40,000 บาท หากต้องการสูบน้ำบาดาลไปพักไว้ที่บ่อพักเพื่อใช้งานในที่ไม่มีไฟฟ้าค่าใช้จ่ายจะเพิ่มไปที่ 40,000–60,000 บาท (กระทรวงพลังงาน, 2564) สำหรับการใช้โซลาเซลล์ในการผลิตพืช โดยทดสอบประสิทธิภาพระบบปลูกผักสลัดกรีนโอ๊คในสารละลายแบบใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยไม่ใช้แบตเตอรี่ในการหมุนเวียนสารละลาย พบว่าปั๊มน้ำเริ่มทำงานได้ในเวลา 9.30 น. และปั๊มน้ำหยุดทำงานเมื่อแสงแดดเริ่มหมดในเวลา 16.30 น. ของทุกวัน สำหรับต้นทุนการผลิตระบบ

ปลูกพืชมีค่าใช้จ่าย 7,850 บาท เมื่อกำนวนระยะคืนทุนพบว่าต้องใช้เวลาประมาณ 1 ปี 8 เดือน (สุเมธ ตรีศักดิ์ศรี และคณะ, 2557) นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้งานปั้มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ควบคู่กับการให้ระบบน้ำแบบสปริงเกอร์ โดยมีเซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นในการควบคุมการเปิด-ปิดน้ำ ซึ่งระบบอัตโนมัติที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้า รวมถึงสามารถลดปริมาณการใช้น้ำในแปลงปลูกพืชได้ ซึ่งระบบดังกล่าวมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศปากีสถาน (Ali and Shah, 2019) หรือในพื้นที่ห่างไกลจากตัวเมือง ให้สามารถสร้างโรงเรือนปลูกพืช หรือใช้เพื่อการสร้างระบบชลประทานให้พืชปลูกได้ รวมไปถึงการสร้างตู้อบแห้งเพื่ออบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วย (Torshizi, 2017) โดยหลักการสำคัญของการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทดแทนพลังงานไฟฟ้าหรือน้ำมัน และสามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย ซึ่งจากผลการวิจัยสามารถลดค่าใช้จ่ายในการทำการเกษตรได้ถึง 300% (Hilarydoss, 2021) ดังนั้นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ถือว่าเป็นตัวเลือกพลังงานทดแทนที่มีประสิทธิภาพสูงและยั่งยืน เนื่องจากไม่มีวันหมดและไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม

โครงการวิจัยนี้มุ่งพัฒนาหรือใช้นวัตกรรมสำหรับการผลิตพืชที่มีความแม่นยำสูงทั้งในสภาพแปลงปลูกนอกโรงเรือนและภายใต้สภาพโรงเรือน เพื่อเพิ่มผลผลิต และคุณภาพพืชที่ดีมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค และช่วยลดการใช้แรงงาน โดยดำเนินการพัฒนาเทคโนโลยีในระบบเกษตรอัจฉริยะ ได้แก่ การจัดการน้ำและธาตุอาหารพืชแบบอัจฉริยะ การพัฒนาวิธีการจัดการน้ำหยดโดยใช้ sensor การพัฒนา software การให้น้ำแก่พืชไร่ พัฒนาระบบการประเมิน การควบคุมและกำจัดศัตรูพืชแบบแม่นยำ เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการประเมินวัชพืชในสภาพแปลงได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ พัฒนาระบบตรวจสอบการเจริญเติบโต และการพยากรณ์ผลผลิตของพืช โดยเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ เทคโนโลยีสารสนเทศ รวมทั้งหาอัตราสารควบคุมการเจริญเติบโตที่เหมาะสมกับการฉีดพ่นพืชไร่เศรษฐกิจ เพื่อพัฒนาต่อเนื่องในการใช้โดรนพ่นสารอย่างแม่นยำเพื่อการเกษตรสำหรับการพัฒนาเพื่อให้ได้ต้นแบบระบบอัตโนมัติในการควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือน ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นแสง ความยาวคลื่น และความชื้นสัมพัทธ์ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของประเทศไทยและพัฒนาระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดต้นทุนพลังงานไฟฟ้า

## 2.5 การพัฒนาโรงเรือนปลูกพืชอัจฉริยะ (Smart Greenhouses) สำหรับการผลิตพืช

จากสภาพภูมิอากาศโลกที่เปลี่ยนแปลง ภัยธรรมชาติ การระบาดของโรคและแมลงศัตรูพืช การนำเทคโนโลยีโรงเรือนมาปรับใช้ในการปลูกพืชเป็นทางเลือกที่ได้รับความสนใจมากขึ้น เพราะช่วยให้ผู้ผลิตสามารถปลูกพืชได้ทุกฤดูกาล สามารถควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยได้ง่าย ลดการระบาดของโรคและแมลงศัตรูพืช แต่โครงสร้างโรงเรือนที่ใช้ปลูกพืชส่วนใหญ่มักใช้หลังคาพลาสติกใสป้องกันฝน และใช้มุ้งกันแมลงที่มีความหนาต้านข้างโดยรอบ ซึ่งในสภาพแวดล้อมของประเทศไทยที่มีอุณหภูมิค่อนข้าง

สูง หากโรงเรือนไม่มีระบบควบคุมอุณหภูมิ มักทำให้เกิดปัญหาอุณหภูมิในโรงเรือนสูงโดยเฉพาะในช่วงที่มีแสงแดดมาก ซึ่งส่งผลให้รากพืชไม่สามารถดูดน้ำได้ทันกับอัตราการคายน้ำ และปริมาณออกซิเจนที่ละลายได้ในน้ำลดต่ำลงไม่เพียงพอต่อการหายใจของรากพืช โดยปัญหาเหล่านี้มีผลต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของพืชที่ปลูกในโรงเรือน ซึ่งที่ผ่านมาภาคเอกชนหลายแห่งได้มีการนำเข้าโรงเรือนสำเร็จรูปจากต่างประเทศมาจำหน่าย มีการปรับแปลงบ้างในบางจุด ซึ่งสามารถพัฒนาไปได้ระดับหนึ่งและเริ่มมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นแต่ยังมีงานวิจัยรองรับน้อย (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2546) เทคโนโลยีโรงเรือนปลูกพืชมีหลายรูปแบบ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้ของเกษตรกรขึ้นอยู่กับงบประมาณ สภาพแวดล้อม รวมถึงความรู้และทักษะของผู้ใช้งาน (ปิยะพร เศรษฐศิริไพบูลย์, 2563) โรงเรือนที่นิยมใช้งานในประเทศไทยเป็นแบบโรงเรือนพลาสติก ซึ่งเป็นโรงเรือนหลังคา 2 ชั้น ที่ออกแบบให้มีการไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิในโรงเรือนให้เหมาะสมกับสภาพอากาศที่ร้อนของไทย และง่ายต่อการบริหารจัดการประกอบด้วย 2 รูปแบบ ได้แก่ 1) โรงเรือนแบบเปิด ผนังและหลังคาเป็นตาข่ายกันแมลง มีระบบการให้น้ำแบบต่างๆ อากาศถ่ายเทสะดวก 2) โรงเรือนปรับอุณหภูมิแบบปิด ผนังและหลังคาเป็นแผ่นโพร่งแสงหรือโพร่งใสแบบอ่อน หรือแบบแข็ง มีอุปกรณ์อื่นๆ เช่น ระบบแผ่นระเหยน้ำ ระบบพ่นหมอก และระบบการให้น้ำ เป็นต้น (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2563) สำหรับปัญหาหลักของการปลูกพืชในโรงเรือนของประเทศไทย คือ ความร้อน หรือความร้อนสะสมภายในโรงเรือน โดยเฉพาะโรงเรือนแบบปิดที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ในการช่วยระบายความร้อน อุณหภูมิสะสมภายในโรงเรือนอาจสูงถึง 50 องศาเซลเซียส ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช นอกจากนี้เนื่องจากในโรงเรือนมีความร้อนสูงจนผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถทำงานในโรงเรือนได้นาน (B.C. Greenhouse, 2018) ดังนั้นจึงมีการพัฒนาโรงเรือนที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมอัตโนมัติ สามารถติดตามและควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือน ได้แก่ ความเข้มแสงอุณหภูมิ ความชื้นอากาศ และความชื้นในดิน/วัสดุปลูก โดยใช้เซ็นเซอร์ และระบบควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยแบบอัตโนมัติตามความต้องการของพืช ซึ่งโรงเรือนรูปแบบนี้เรียกว่า โรงเรือนอัจฉริยะ (สถาบันการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม, 2563) ซึ่งมี 2 ลักษณะ ได้แก่

#### 1) โรงเรือนอัจฉริยะแบบธรรมดา ภายในประกอบด้วยอุปกรณ์ ได้แก่

1.1 ผู้ควบคุมพร้อมซอฟต์แวร์ ที่สามารถติดตามสภาพแวดล้อมในโรงเรือน เช่น อุณหภูมิ ความชื้นดิน ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสง รวมทั้งสามารถควบคุมสภาพอากาศได้ทั้งระบบอัตโนมัติ และกำหนดเองจากผู้ใช้

1.2 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ สำหรับติดตั้งบริเวณใต้หลังคา เหนือม่านพรางแสง



1.3 ระบบระบายอากาศ สำหรับพัดลมขนาดใหญ่ที่ติดตั้งภายในโรงเรือน ทำหน้าที่ดูดอากาศร้อนออกจากโรงเรือน การติดตั้งระบบ Evaporative cooling ซึ่งเป็นระบบทำความเย็นที่ต้องใช้การระเหยของน้ำเพื่อช่วยในการทำความเย็น โดยมีหลักการทำงานคือ มีพัดลมขนาดใหญ่ซึ่งทำหน้าที่ดึงกระแสลมให้ไหลผ่านตัวกลางที่มีน้ำเข้ามาในโรงเรือน ซึ่งอุณหภูมิสูงเมื่อไหลผ่านน้ำจะทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอ เป็นการดึงความร้อนของอากาศออก ส่งผลให้อุณหภูมิลดลง 5–6 °C โดยหน้าที่หลักของระบบระบายอากาศ คือระบายความร้อน ควบคุมความชื้น และช่วยให้คาร์บอนไดออกไซด์มีการหมุนเวียนดีขึ้น (Bucklin, 2004)

1.4 เซ็นเซอร์วัดความชื้น ติดตั้งไว้เพื่อตรวจสอบความชื้นดิน/วัสดุปลูก และควบคุมการให้น้ำตามความต้องการของพืช นอกจากนี้การควบคุมความชื้นในโรงเรือนยังช่วยลดการเกิดโรค ช่วยให้การดูดใช้น้ำและธาตุอาหารของพืชดีขึ้น ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้น 4% จะส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนลดลงประมาณ 1 °C (Both, 2002)

1.5 เซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง ติดตั้งไว้ภายในโรงเรือนเพื่อติดตามความเข้มแสง เพื่อสั่งเปิด-ปิดม่านพรางแสงตามความต้องการแสงของพืชแต่ละชนิด และการติดตั้งไว้นอกโรงเรือน สำหรับเปรียบเทียบกับความเข้มแสงในโรงเรือน เพื่อใช้วางแผนทำความสะอาดหรือเปลี่ยนหลังคาโรงเรือน

1.6 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ที่ติดตั้งไว้ภายในโรงเรือน เพื่อติดตามและควบคุมการทำงานของสเปร์ย์พ่นหมอก และการติดตั้งนอกโรงเรือน เพื่อใช้เปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในและนอกโรงเรือน ซึ่งช่วยในการวางแผนการควบคุมอุณหภูมิ และระบายความชื้น รวมถึงการนำคาร์บอนไดออกไซด์จากภายนอกเข้ามาในโรงเรือน เพื่อให้พืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้น (Wheeler, 2002)

1.7 สถานีน้ำ สำหรับติดตั้งปั้มน้ำอัตโนมัติ พร้อมด้วยระบบท่อกรองน้ำ

2) โรงเรือนอัจฉริยะแบบฟังก์ชันพิเศษ มีอุปกรณ์ชุดเดียวกับโรงเรือนอัจฉริยะแบบมาตรฐาน และมีอุปกรณ์เพิ่มเติม ดังนี้

2.1 ม่านพรางแสงอัตโนมัติ มีระบบที่สามารถเลื่อนเปิดปิดอัตโนมัติ เพื่อควบคุมความเข้มแสงตามเงื่อนไขการเจริญเติบโตของพืช ควบคุมได้ทั้งระบบอัตโนมัติ และกำหนดเองจากผู้ใช้ โดยทั่วไปผู้ปลูกมักติดตั้งม่านพรางแสงเพื่อลดอุณหภูมิของใบพืชลง โดยหลักการทำงานของม่านพรางแสงคือช่วยสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ออกไป หรือดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์ไว้ ส่งผลให้รังสีจากดวงอาทิตย์ตกกระทบใบพืชน้อยลง ซึ่งม่านพรางแสงมีประสิทธิภาพการพรางแสงตั้งแต่ 20–80 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการใช้งานในโรงเรือนขึ้นกับชนิดพืชที่ปลูก ส่วนใหญ่ใช้ม่านพรางแสงที่ 30–50 เปอร์เซ็นต์ (Soni, 2004)

2.2 ระบบสเปรย์หมอก เป็นเทคนิคที่ช่วยลดการสูญเสียความชื้นของพืช โดยลดอุณหภูมิของใบพืชลง เนื่องจากใบสัมผัสกับไอ และช่วยรักษาความชื้นที่ใบ ทำให้ใบลดการคายน้ำ (Schnelle et al., 1992) ซึ่งพบว่า การติดตั้งระบบพ่นหมอกช่วยลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนลง 6.6 °C โดยทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนอยู่ที่ 25 °C (Ozturk, 2006)

สำหรับข้อดีของโรงเรือนปลูกพืชแบบอัจฉริยะ ได้แก่

- 1) ป้องกันแมลงศัตรูพืช โรงเรือนมีวัสดุตาข่ายติดตั้งรอบด้านจึงช่วยป้องกันแมลงได้ดี ผู้ปลูกสามารถเลือกความถี่ของมุ้งตาข่ายได้ตามความเหมาะสม
- 2) ป้องกันโรคที่มากับความชื้น โรคพืชส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นบ่อยในฤดูฝนที่มีความชื้นสูง ได้แก่ โรครากเน่าที่มีสาเหตุจากเชื้อราเนื่องจากสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูง โรงเรือนปลูกพืชแบบธรรมดาสามารถป้องกันเฉพาะฝน แต่โรงเรือนอัจฉริยะสามารถช่วยควบคุมความชื้นของพืชได้
- 3) เทคโนโลยีเซ็นเซอร์สามารถช่วยตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือน และควบคุมการทำงานของอัตโนมัติของระบบพ่นหมอกและตาข่ายพรางแสงได้
- 4) เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ที่เป็นข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ ซึ่งสามารถช่วยเกษตรกรในการบันทึกและเก็บข้อมูลในแต่ละรอบปลูก ช่วยให้สามารถนำข้อมูลเพื่อปรับปรุงการจัดการหรือนำข้อมูลไปพัฒนา/ปรับปรุงระบบ สำหรับการผลิตพืชต่อไป
- 5) ช่วยลดภาระงานของเกษตรกร เนื่องจากการให้น้ำ ให้อุณหภูมิ เป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการปลูกพืช ซึ่งเกษตรกรต้องจัดการน้ำและปุ๋ยแก่พืชอย่างเหมาะสม ทำให้เวลาส่วนใหญ่ทั้งหมดไปกับการดูแลพืช ดังนั้นหากมีเครื่องมือ หรือเทคโนโลยีเซ็นเซอร์ที่สามารถตรวจวัด และควบคุมระบบการให้น้ำ ให้น้ำ เกษตรกรจะมีเวลาไปดูแลงานส่วนอื่นๆ ได้มากขึ้น (SP Smartplants, 2563) อีกทั้งยังมีเวลาสำหรับวางแผนการผลิตได้มากขึ้น และสามารถควบคุมผลผลิตให้ได้มาตรฐานสม่ำเสมอ

## 2.6 การประยุกต์ใช้ LED (Light-emitting diode) สำหรับการผลิตพืช

เนื่องจากการปลูกพืชในโรงเรือนหรือระบบปิดมากขึ้น โดยสภาพปกติในโรงเรือนมักมีแสงไม่เพียงพอจึงต้องมีการประยุกต์ใช้หลอดไฟเพื่อทดแทนแสงจากดวงอาทิตย์ให้กับพืช หลอดไฟที่ใช้มีหลายชนิด ได้แก่ 1) หลอดไส้ ที่ตัวไส้ทำด้วยทั้งสเตนทาซีอไดต์ง่าย มีราคาถูก แต่คุณภาพของแสงที่ได้ไม่เหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช และพลังงานที่ปล่อยออกมาอยู่ในรูปความร้อน 2) หลอด Halogen เป็นประเภทเดียวกับหลอดไส้ แต่ปล่อยพลังงานความร้อนมากกว่า และเปล่งแสงในช่วงสีแดง ถึงแม้ว่าแสงสีแดงมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่พลังงานความร้อนปริมาณมากไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช 3) หลอดฟลูออเรสเซนต์หรือหลอดไฟนีออน เป็นชนิดที่หาซื้อได้ง่าย ราคาไม่แพง มีประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดไฟทั่วไป 4 เท่า โดยส่วนใหญ่ใช้สำหรับให้ความสว่างใน

บ้าน และยังสามารถใช้เพื่อให้แสงกับพืชได้ เนื่องจากหาซื้อง่าย ราคาถูก แต่หลอดไฟแบบนี้ให้แสงในช่วงสีเขียวยังไม่เหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช 4) หลอดไฟ plant growth lights ผลิตมาเพื่อทดแทนแสงจากดวงอาทิตย์ให้กับพืช ให้แสงสีแดง และสีน้ำเงิน เมื่อนำมารวมกันทำให้เกิดแสงช่วงสีม่วง ซึ่งเป็นความยาวคลื่นแสงที่ไม่เหมาะกับการเจริญเติบโตของพืชเช่นกัน และ 5) หลอดไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting diode, LED) หลอดไฟชนิดนี้สามารถเปล่งแสงออกมาเป็นคลื่นความถี่เดียวและมีเฟสต่อเนื่อง ต่างจากแสงทั่วไปที่ตาคนมองเห็น โดยหลอด LED สามารถเปล่งแสงได้เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าเล็กน้อย และมีประสิทธิภาพการให้แสงสว่างดีกว่าหลอดไฟทั่วไป รวมทั้งสามารถเลือกช่วงความยาวคลื่นแสงแบบจำเพาะเจาะจงได้ (Journal Online, 2021) จากคุณสมบัติที่กล่าวมาหลอดไฟ LED จึงถูกนำมาใช้ในการปลูกพืช เมื่อต้องการให้พืชมีการเจริญเติบโตปกติในสภาพที่มีแสงแดดไม่เพียงพอ เช่น การปลูกพืชในหน้าหนาว การปลูกพืชในสภาพปิด เป็นต้น หรือสามารถใช้เพิ่มช่วงเวลาให้กับพืชที่ต้องการแสงเป็นเวลานานกว่าปกติ เพื่อกระตุ้นการออกดอก เช่น การปลูกเบญจมาศ นอกจากนี้หลอด LED ยังมีข้อดีกว่าหลอดไฟชนิดอื่นๆ คือใช้พลังงานไฟฟ้าน้อย ปลดปล่อยความร้อนน้อย ส่งผลให้สามารถเปิดได้ตลอด 24 ชั่วโมง และยังช่วยลดมลพิษเมื่อเปรียบเทียบกับหลอดชนิดอื่น เนื่องจากไม่มีรังสี UV ไม่มีก๊าซพิษ หรือโลหะหนักในการบรรจุ (ดนัยบุญเกียรติ, 2554)

ดังนั้นการปลูกพืชในสภาพโรงเรือนหรือพื้นที่ที่มีแสงไม่เพียงพอ สามารถใช้หลอด LED เพื่อทดแทนแสงจากดวงอาทิตย์ได้ แต่การให้แสงต้องมีการให้ความชื้น และความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตในพืชแต่ละชนิด มีงานวิจัยในพืชสวนครัว (กะเพรา โหระพา และแมงลัก) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของแสงกับการเจริญเติบโต พบว่าการให้แสงจากหลอด LED พืชทั้งสามชนิดมีการเจริญเติบโต ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และจำนวนใบ สูงกว่าเมื่อปลูกภายใต้แสงจากฟลูออเรสเซนต์สำหรับความสัมพันธ์ผลของระยะเวลาให้แสงต่อการเจริญเติบโต พบว่าการให้แสงจาก LED สีขาวนาน 12 ชั่วโมง/วัน ทำให้พืชทั้ง 3 ชนิด มีชีวิตรอดและมีการเจริญเติบโตดีกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์สีขาวที่ให้แสงนาน 12 ชั่วโมง/วัน สำหรับความเข้มแสงที่ต่างกันส่งผลต่อพืช 3 ชนิด โดยต้นเจริญเติบโตได้ดีที่ความเข้มแสง  $160 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงระยะห่างระหว่างทรงพุ่มของพืชกับหลอดไฟ เพื่อให้พืชได้รับแสงเพียงพอต่อการเจริญเติบโต ซึ่งผลการทดลองพบว่าควรติดหลอดไฟให้ห่างจากปลายทรงพุ่มที่ระยะ 10 เซนติเมตร (จุนธิภา โยธาพิทย์ และคณะ, 2553) นอกจากนี้การให้แสงจาก LED สีแดงร่วมกับสีน้ำเงินที่อัตราส่วน 25:75 พบว่าพืชมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมมากที่สุด (รำไพ นามพิลา และคณะ, 2559) และยังมีรายงานว่าแสงสีน้ำเงินทำให้การเจริญเติบโตของ

ต้นอ่อนบล็อคโคลี่สูงที่สุด (Cho et al., 2008) รวมถึงมีผลทำให้ความสูงต้น ความยาวราก น้ำหนักสด และสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนของกรีนโอ๊คเพิ่มสูงขึ้น (Masahumi et al., 2010)

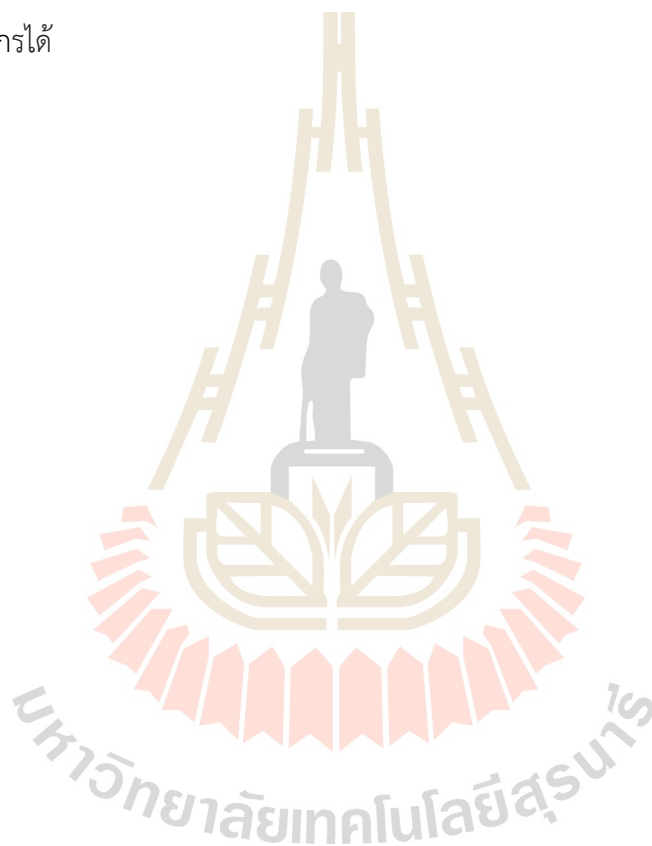
การทดสอบผลของ LED ต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของไหลสตรอบเออรี่ โดยให้แสงสีแดง และสีแดงร่วมกับน้ำเงิน ที่ความเข้มแสง  $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  นาน 16 ชั่วโมง/วัน พบว่าการให้แสงสีแดง ร่วมกับน้ำเงินทำให้สตรอบเออรี่เจริญเติบโตและพัฒนาดีกว่าการให้แสงสีแดงอย่างเดียว สำหรับการให้แสงสีแดงอย่างเดียวส่งผลให้สตรอบเออรี่มีลำต้นยืดยาวมากกว่าปกติ หากต้องการให้พืชหยุดยืดยาว ควรใช้แสงสีน้ำเงิน เนื่องจากแสงสีสุดท้ายที่ให้กับพืชมีผลต่อการแสดงออกทางลักษณะของพืช (Giedre et al., 2010) สำหรับการให้แสงเพื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดขาวปลี พบว่าแสงจากหลอด LED ทำให้ผลผลิตสูงกว่าแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ นอกจากนี้ยังพบว่า หลอดไฟ LED มีการใช้ไฟน้อย ประหยัดค่าไฟ และให้ความยาวคลื่นแสงช่วงที่พืชต้องการได้มากกว่า หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Jane and Neil, 2011)

สำหรับในพืชไร่มีการทดสอบผลของแสงต่อการสังเคราะห์แสง และผลผลิต ของข้าวสาลี โดยให้แสงสีแดงจากหลอด LED สีขาวจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ และสีแดงจาก LED ร่วมกับสีน้ำเงินจาก หลอดฟลูออเรสเซนต์ ที่ความเข้มแสง  $350 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ให้แสงนาน 24 ชั่วโมง/วัน พบว่าข้าวสาลีที่ ได้รับแสงสีแดงจากหลอด LED ร่วมกับสีน้ำเงินจากฟลูออเรสเซนต์ (10 เปอร์เซ็นต์) มีการเจริญเติบโต การสังเคราะห์แสง และน้ำหนักแห้งสูงที่สุด และแสงสีแดงมีผลต่อการเปิดปิดของปากใบด้วย (Goins et al., 1997) นอกจากนี้มีการศึกษาผลของอัตราส่วนของหลอด LED สีน้ำเงิน แดง และขาว ต่อการ เจริญเติบโตของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อยูคาลิปตัส พบว่าแสงสีน้ำเงิน แดง และขาว อัตราส่วน 7:8:5 ให้ แสง 16 ชั่วโมง/วัน ทำให้เนื้อเยื่อยูคาลิปตัสมีการเจริญเติบโตสูงสุด (อภิชาติ ชิตบุรี และคณะ, 2557)

หลอด LED นอกจากมีผลในการส่งเสริมการเจริญเติบโตทางลำต้น และการสืบพันธุ์ของพืช แล้ว ยังมีผลกระทบต่อการสร้างสารสำคัญที่มีประโยชน์ในพืช เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะพืช สมุนไพรที่สามารถสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ และนำมาใช้เป็นอาหารเสริมได้ รวมถึงใช้ในทางเวชภัณฑ์ กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นสารที่สกัดมาจากธรรมชาติจึงปลอดภัยต่อผู้บริโภคสูง การประยุกต์ใช้ หลอดไฟประดิษฐ์กับพืชหลายชนิดเพื่อทดสอบผลของแสงต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ โดยให้แสง จากหลอด LED ได้แก่ แสงสีแดง 100 เปอร์เซ็นต์ และแสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 5:1, 10:1 และ 19:1 ให้แสงนาน 16 ชั่วโมง/วัน ที่ความเข้มแสง  $120 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  แก่ผักชี พบว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินอัตราส่วน 10:1 ส่งผลทำให้พืชเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีที่สุด อย่างไรก็ตามการ สะสมปริมาณสารออกฤทธิ์มากที่สุดเมื่อปลูกภายใต้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินอัตราส่วน 5:1 (Naznin et al., 2006) สำหรับการทดสอบในถั่วลันเตา โดยให้แสงจากหลอด LED 3 ทริตเมนต์ ได้แก่ สีขาว

สีแดง และสีน้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 1.5, 1.7 และ 1.8  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ตามลำดับ ให้แสงนาน 96 ชั่วโมง พบว่าแสงสีแดงทำให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนลันเตา มีค่าสูงที่สุด (Ming et al., 2007) จากข้อมูลบ่งชี้ว่าการใช้หลอด LED ที่ช่วงความยาวคลื่นแสง และความเข้มแสง ที่เหมาะสมกับช่วงการเจริญเติบโตของพืช สามารถเพิ่มผลผลิต และปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระได้ นอกจากนี้ยังมีมูลค่าเพิ่มจากปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของวัตถุดิบที่นำไปใช้ในทางเวชภัณฑ์ได้

จากงานวิจัยที่กล่าวมาทั้งหมด เห็นได้ว่าประเทศไทยจำเป็นต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมด้านการผลิตพืช เพื่อช่วยให้การผลิตพืชทำได้อย่างแม่นยำ เพิ่มผลผลิต และลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกรได้





### บทที่ 3

#### การพัฒนาเทคโนโลยีอัจฉริยะสำหรับการผลิตพืชไร่เศรษฐกิจ

การผลิตพืชไร่เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย เช่น อ้อย และมันสำปะหลัง ในสภาพแปลงปลูกทั่วไป ผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ และสภาพแวดล้อม ซึ่งปัจจัยส่วนใหญ่ไม่สามารถควบคุมได้ แต่ถ้าทราบสภาพแวดล้อมต่างๆ ในการปลูกพืชจะสามารถใช้ข้อมูลดังกล่าวในการปรับระบบให้เหมาะสมกับการปลูกพืชเหล่านี้ เริ่มตั้งแต่การเลือกชนิดและพันธุ์พืช พร้อมทั้งจัดการปัจจัยการผลิตให้แม่นยำได้ เช่น การให้น้ำ ให้อปุ๋ย และการป้องกันกำจัดศัตรูพืชได้อย่างแม่นยำ ซึ่งการจัดการได้อย่างแม่นยำนี้จำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีการตรวจวัดและวิเคราะห์ เช่น การตรวจวัดภูมิอากาศ ความชื้นดินและธาตุอาหารพืชในดิน ตลอดจนต้องใช้เทคโนโลยีในการจัดการให้สะดวกและประหยัดแรงงานเป็น เช่น เทคโนโลยี wireless sensor และระบบอัตโนมัติ เทคโนโลยีทางภาพถ่ายทางอากาศ การใช้อากาศยานไร้คนขับ เพื่อตรวจวัดข้อมูลดินหรือสภาพอากาศรวมทั้งประเมินศัตรูพืชและการเจริญเติบโตของพืช แล้วนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ ประมวลผล เพื่อนำไปสู่การตัดสินใจในการจัดการกับพื้นที่หรือพืชให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งโครงการวิจัยนี้ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีอัจฉริยะสำหรับการผลิตพืชไร่ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในประเทศไทย โดยมีรายละเอียดในการวิจัยดังนี้

#### กิจกรรมที่ 1 การพัฒนาเทคโนโลยีควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยระบบน้ำสำหรับการผลิตพืชในระบบน้ำหยด

การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อให้เกษตรกรสามารถควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยแก่พืชในระบบน้ำหยดอย่างถูกต้องและแม่นยำ พร้อมทั้งสามารถให้น้ำได้แบบอัตโนมัติหรือควบคุมการให้น้ำจากระยะไกลผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นสิ่งที่มีความสำคัญเพราะการให้น้ำและปุ๋ยได้ถูกต้องและแม่นยำ นอกจากช่วยให้เกษตรกรประหยัดการใช้น้ำและปุ๋ยแล้ว ยังเป็นการประกันปริมาณผลผลิตและคุณภาพที่ดีของพืชด้วย เนื่องจากการควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติโดยควบคุมผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นวิธีการจัดการในการให้น้ำที่สามารถทำได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว และประหยัดแรงงาน อย่างไรก็ตามการนำเทคโนโลยีจากต่างประเทศมาใช้ อาจไม่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และชนิดของพืชที่ปลูกในประเทศไทย โครงการนี้จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยกับพืชไร่เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย 2 ชนิด คือ อ้อย และมันสำปะหลัง โดยพัฒนาเทคโนโลยีการควบคุมการให้น้ำ 2 แบบ ได้แก่ 1) การควบคุมการให้น้ำโดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศ (Weather based irrigation) แล้วพัฒนาเป็นแอปพลิเคชันการให้น้ำ และ 2) การควบคุมการให้น้ำตามความชื้นดิน (Soil based irrigation) โดยใช้เซ็นเซอร์

สำหรับวิธีการควบคุมการให้น้ำโดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศได้มีการพัฒนาแอปพลิเคชัน ให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น มีหลักการโดยการนำข้อมูลสภาพอากาศจากสถานีอุตุนิยมวิทยาที่ใกล้ที่สุดมาใช้ ส่วน

การให้น้ำและการให้น้ำตามความชื้นดินโดยวัดความชื้นในดินโดยตรง ได้มีการพัฒนาระบบ wireless sensor เพื่อใช้ติดตามความชื้นดินในแปลงพืช ซึ่งทั้งสองระบบสามารถเชื่อมโยงกับการควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติหรือการควบคุมจากระยะไกลได้ โดยมีรายละเอียดการดำเนินการดังนี้

### 1.1 การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อใช้ในการควบคุมการให้น้ำ

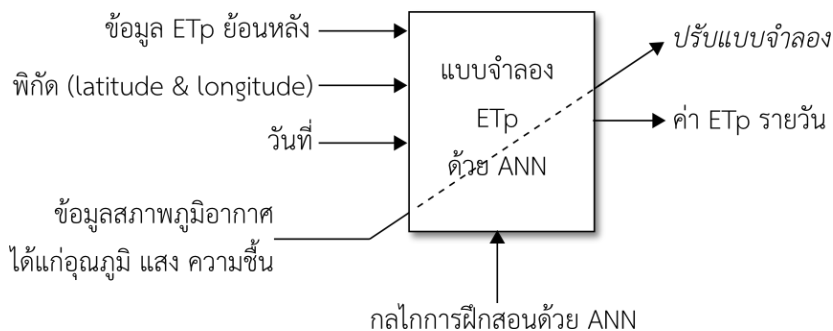
1.1.1 วิธีการพัฒนา เป็นการพัฒนาแอปพลิเคชันการควบคุมการให้น้ำโดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศ (Weather based irrigation) จากรูปแบบที่ต้องคำนวณด้วยมือตามหลักการ  $ET_c = ET_p \times K_c$  ให้อยู่ในรูปแบบที่ใช้งานได้ง่ายสำหรับเกษตรกร (เกษตรกรไม่ต้องคำนวณ) โดยนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มาใช้ในการคำนวณและกำหนดรูปแบบการให้น้ำ (irrigation pattern) สำหรับมันสำปะหลังและอ้อยซึ่งมีพารามิเตอร์ที่ต้องใช้ในการคำนวณดังหมวดหมู่ต่อไปนี้

- ชนิดพืช (มันสำปะหลัง/อ้อย) เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ ( $K_c$ ) และความยาวรากในแต่ละเดือน
- สภาพภูมิอากาศ คือ ค่าศักยภาพการใช้น้ำของพืช (Potential Evapotranspiration หรือ  $ET_p$ ) ในแต่ละพื้นที่
- พื้นที่ปลูก เช่น ชนิดดิน การอุ้มน้ำของดิน เป็นต้น
- ระบบน้ำ เช่น ขนาดพื้นที่ของโซนให้น้ำ จำนวนหัวน้ำหยดต่อพื้นที่ และอัตราการไหลของหัวน้ำหยด

โดยผลลัพธ์ของการพัฒนาเทคโนโลยีนี้ จะนำไปสู่การคำนวณหาปริมาณการให้น้ำของระบบน้ำหยด ได้แก่ 1) จำนวนชั่วโมงที่ต้องให้น้ำในแต่ละครั้ง และ 2) ความถี่ (ระยะห่างระหว่างวันที่ต้องให้น้ำ)

นอกจากนี้การพัฒนาแอปพลิเคชันนี้ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองในการประมาณค่า  $ET_p$  ให้เป็นปัจจุบัน และมีความถูกต้องมากขึ้น เนื่องจากการคำนวณ  $ET_p$  โดยปกติใช้ข้อมูลสภาพอากาศย้อนหลังซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนสูง ดังนั้นการประมาณค่า  $ET_p$  ในพื้นที่เพาะปลูกจริงจึงมีความสำคัญ โดยมีการดำเนินการตามแผนผังในรูปที่ 3.1 โดยการพัฒนาแบบจำลองค่า  $ET_p$  ใช้กลไกหลักเครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network หรือ ANN) ในการเรียนรู้ในการประมาณค่า  $ET_p$  จากข้อมูล อุณหภูมิ แสง และความชื้นในพื้นที่





รูปที่ 3.1 แผนผังแบบจำลองการประมาณค่า ETp ในพื้นที่ปลูกพืช

1.1.2 ผลการพัฒนาแอปพลิเคชัน หลังจากการพัฒนาแอปพลิเคชันและทดสอบใช้ในพืชไร่ ทั้งสองชนิด (อ้อย และมันสำปะหลัง) โดยควบคุมการให้น้ำผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้ชื่อว่า “Smart Irrigation System” เมื่อทดสอบใช้โดยนักวิชาการ และเกษตรกร (ที่ร่วมทดสอบในโครงการ) พบว่าใช้งานได้ง่าย (ไม่ต้องมีความรู้เกี่ยวกับดินและการให้น้ำพืช) และสามารถคำนวณเพื่อวางแผนการให้น้ำได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งระบบจะทำการคำนวณวันที่ต้องให้น้ำและระยะเวลาที่ต้องเปิดบ่มจ่ายน้ำให้อย่างอัตโนมัติ ตามสภาพภูมิอากาศในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของพืชตลอดทั้งฤดูปลูก เมื่อนำมาเปรียบเทียบโดยการคำนวณโดยใช้ excel ตามสูตร  $ETc = ETp \times Kc$  พบว่ามีค่าเท่ากัน ดังนั้นการใช้แอปพลิเคชันทำได้รวดเร็ว มีความถูกต้อง และสะดวกต่อการใช้งานของเกษตรกร

### 1.1.3 คู่มือการใช้งานแอปพลิเคชันการให้น้ำสำหรับมันสำปะหลังและอ้อย มีดังนี้

1) การใช้งานแอปพลิเคชัน Smart Irrigation System เป็นแอปพลิเคชันสำหรับอุปกรณ์มือถือที่มีคุณสมบัติต่อไปนี้

- ระบบปฏิบัติการ Android ตั้งแต่เวอร์ชัน 8.0 (Oreo) ขึ้นไป
- หน้าจอความละเอียด HD (ความละเอียดต่ำกว่านี้อาจมีผลต่อความคมชัดของข้อมูลบนหน้าจอ)

2) การติดตั้งแอปพลิเคชัน Smart Irrigation System ดาวน์โหลดไฟล์แอปพลิเคชัน SUTSmartIrrigationSystem.apk ได้ที่

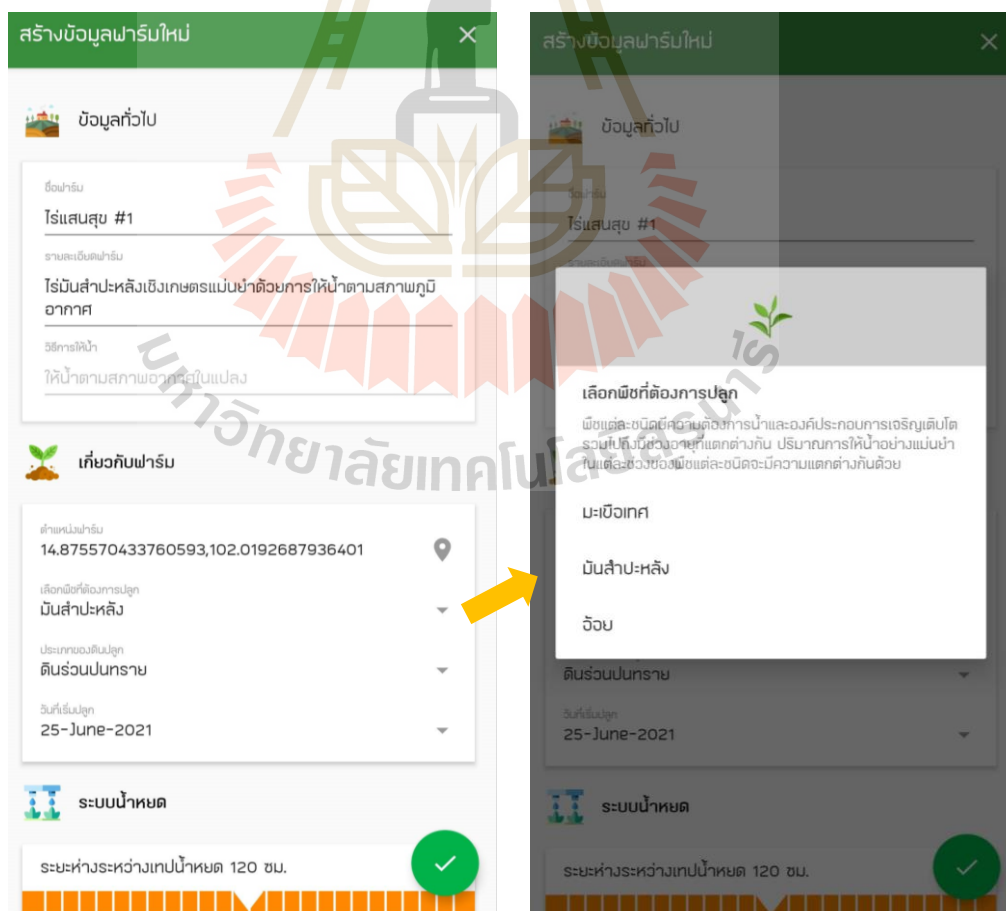
[https://drive.google.com/file/d/12awA0vRQJGaVS99N\\_R6DL1i60blcNj84/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/12awA0vRQJGaVS99N_R6DL1i60blcNj84/view?usp=sharing)

เมื่อดาวน์โหลดไฟล์แล้ว การติดตั้งไฟล์ apk บนอุปกรณ์ Android สามารถใช้แอปพลิเคชันช่วยเหลือในการติดตั้งไฟล์ apk ได้ เช่น APK Installer จาก Play Store ของระบบ Android

3) เริ่มต้นใช้งานแอปพลิเคชัน Smart Irrigation System ทำการแตะที่แอปพลิเคชัน Smart Irrigation System เพื่อเข้าสู่หน้าจอแรกของแอปพลิเคชัน จากนั้น “เข้าสู่ระบบ” เพื่อเริ่มใช้งาน และการระบุตัวตนด้วยบัญชีอีเมลของ Gmail ระบบจะแสดงหน้าจอการใช้บริการของ Google Service ให้แตะเพื่อเข้าสู่หน้าจอหลักของแอปพลิเคชันต่อไป

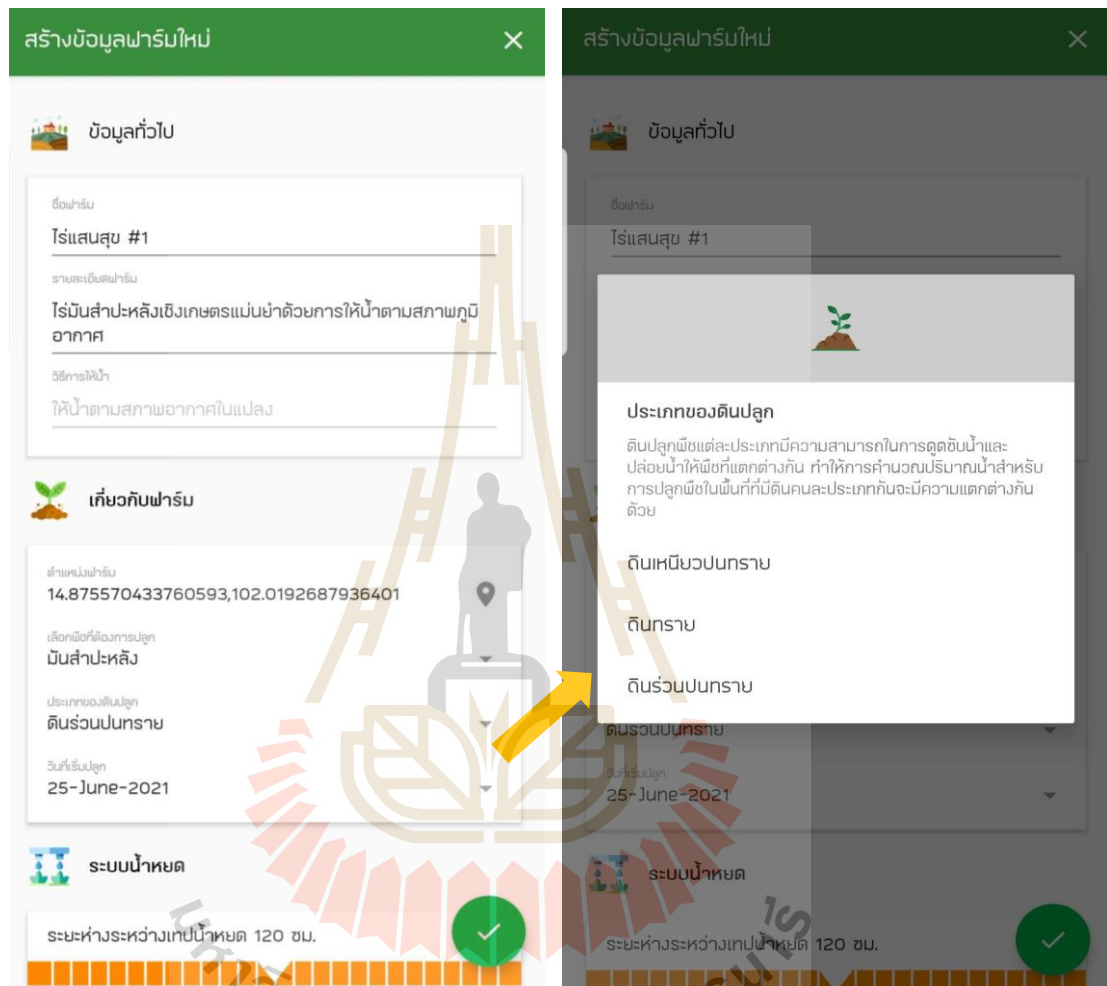
4) การใช้งานแอปพลิเคชัน Smart Irrigation System การใช้งานเริ่มต้นของแอปพลิเคชัน Smart Irrigation System ผู้ใช้งานสามารถเข้าใช้งานในแอปพลิเคชันโดยต้องบันทึกข้อมูลต่างๆ ดังนี้ (มีรายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวกที่ 1)

1. ตั้งชื่อฟาร์มและรายละเอียดของฟาร์มในแอปพลิเคชัน Smart Irrigation System
2. ระบุตำแหน่ง GPS ของฟาร์ม (ตำแหน่งฟาร์มมีผลต่อการคำนวณค่า ETp เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณการให้น้ำของพืชที่ปลูก)
3. เลือกประเภทของพืชที่ต้องการปลูก (พืชแต่ละชนิดมีความต้องการน้ำและองค์ประกอบการเจริญเติบโต รวมไปถึงมีช่วงอายุที่แตกต่างกัน) ปัจจุบันระบบรองรับการให้น้ำของพืช 3 ชนิด ได้แก่ มะเขือเทศ มันสำปะหลัง และอ้อย (รูปที่ 3.2)



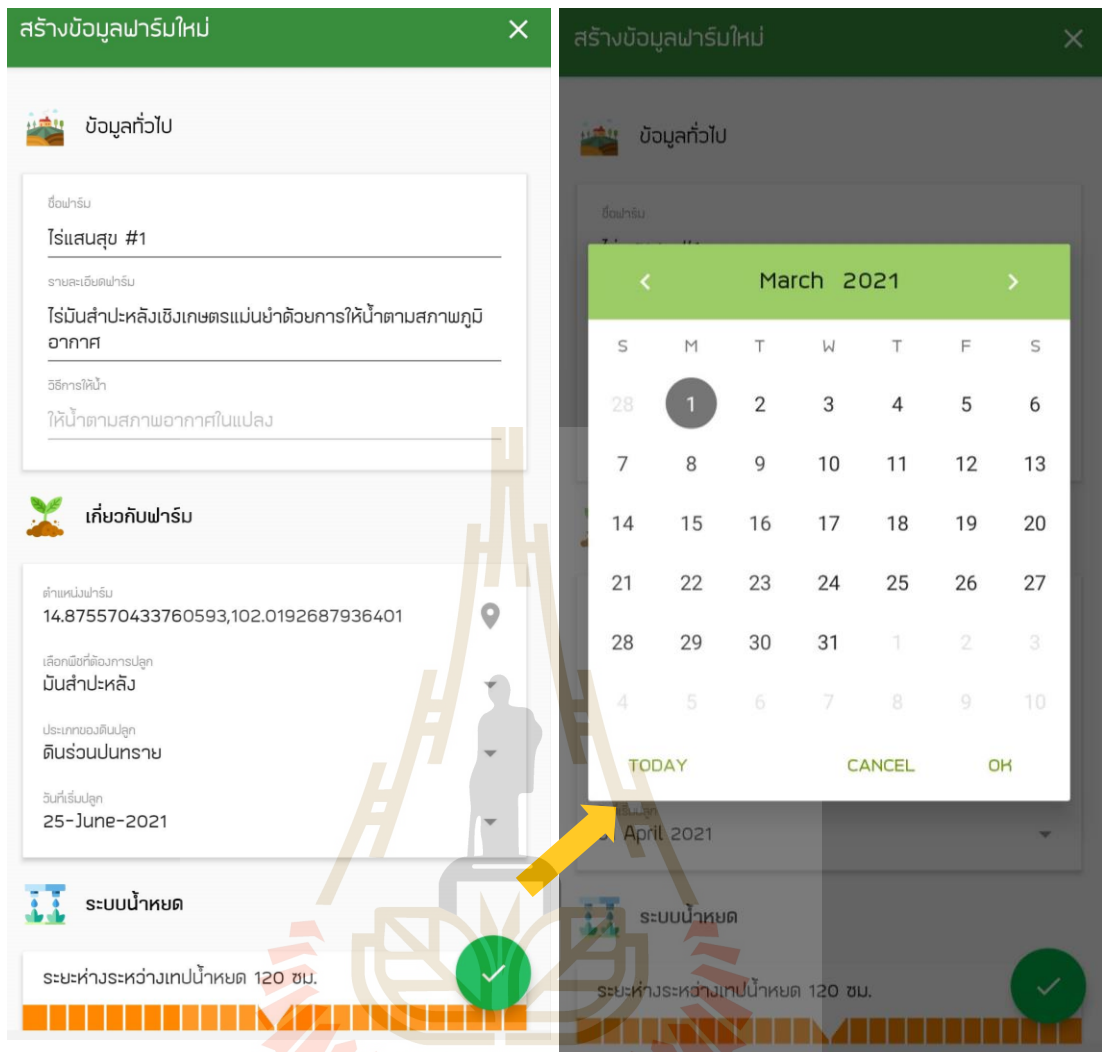
รูปที่ 3.2 การเลือกประเภทของพืชที่ต้องการปลูก

4. เลือกชนิดดินที่ใช้ปลูก ดินปลูกพืชแต่ละชนิดมีความสามารถในการอุ้มน้ำของดินแตกต่างกัน ทำให้การคำนวณปริมาณน้ำสำหรับการปลูกพืชในดินต่างชนิดกันมีความแตกต่างกันด้วย (รูปที่ 3.3)



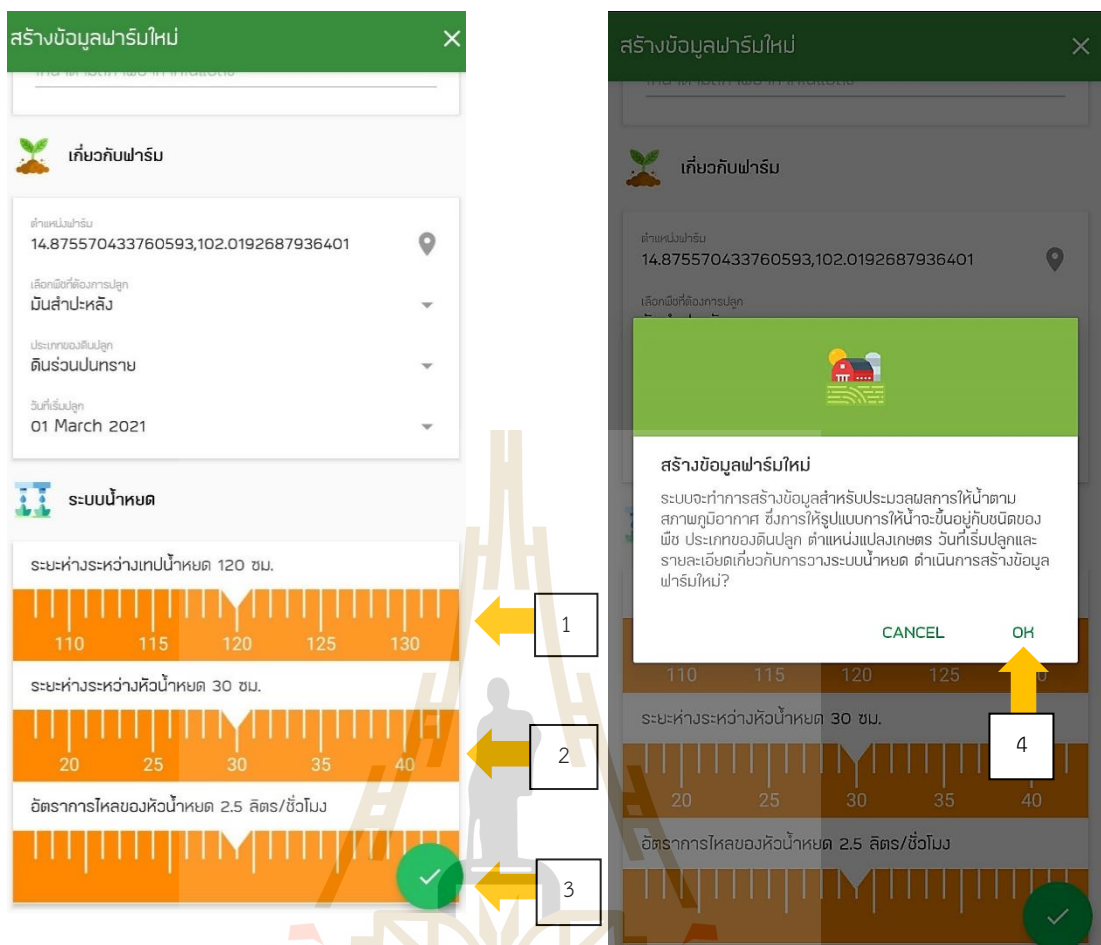
รูปที่ 3.3 การเลือกประเภทดินที่ใช้ปลูก

5. ระบุวันที่เริ่มปลูกพืช ซึ่งจะมีผลต่อการคำนวณแต่ละช่วงอายุต่างๆ ของพืช (รูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.4 เลือกวันที่เริ่มปลูกพืช เพื่อคำนวณแต่ละช่วงอายุต่าง ๆ ของพืช

6. เลือกรายละเอียดระบบน้ำหยด ซึ่งประกอบไปด้วยระยะห่างระหว่างเทปน้ำหยด (ค่าปกติ 120 ซม.) ตั้งค่าระยะห่างระหว่างหัวน้ำหยด (ค่าปกติ 30 ซม.) และตั้งค่าอัตราการไหลของหัวน้ำหยด (ค่าปกติ 2.5 ลิตร/ชั่วโมง) (รูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.5 การกำหนดรายละเอียดระบบน้ำหยด ประกอบไปด้วย 1) ระยะห่างระหว่างเทปน้ำ 2) ระยะห่างระหว่างหัวน้ำหยด 3) อัตราการไหลของหัวน้ำหยด และ 4) การสร้างและบันทึกข้อมูลฟาร์มใหม่ไว้ในเครื่อง

5) การแสดงผลการคำนวณการให้น้ำโดยแอปพลิเคชัน Smart Irrigation System เมื่อบันทึกข้อมูลต่างๆ เสร็จสิ้นแล้ว ระบบจะคำนวณตารางการให้น้ำบนแม่ข่ายประมวลผลจากข้อมูลฟาร์มที่ได้สร้างขึ้นใหม่ แล้วแสดงผลข้อมูลต่างๆ คือ

1. ตารางการให้น้ำ ระบบแสดงสถานการณ์ให้น้ำ เช่น ในฟาร์ม “ไร่แสนสุข #1” จะปรากฏสถานะการให้น้ำ “ตารางให้น้ำ 1 ชั่วโมง 2 นาที” เป็นการแจ้งเตือนว่าวันนี้ต้องให้น้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 2 นาที (รูปที่ 3.6)



รูปที่ 3.6 การแสดงสถานะการให้น้ำ  
“ตารางให้น้ำวันนี้ 1 ชั่วโมง 2 นาที”

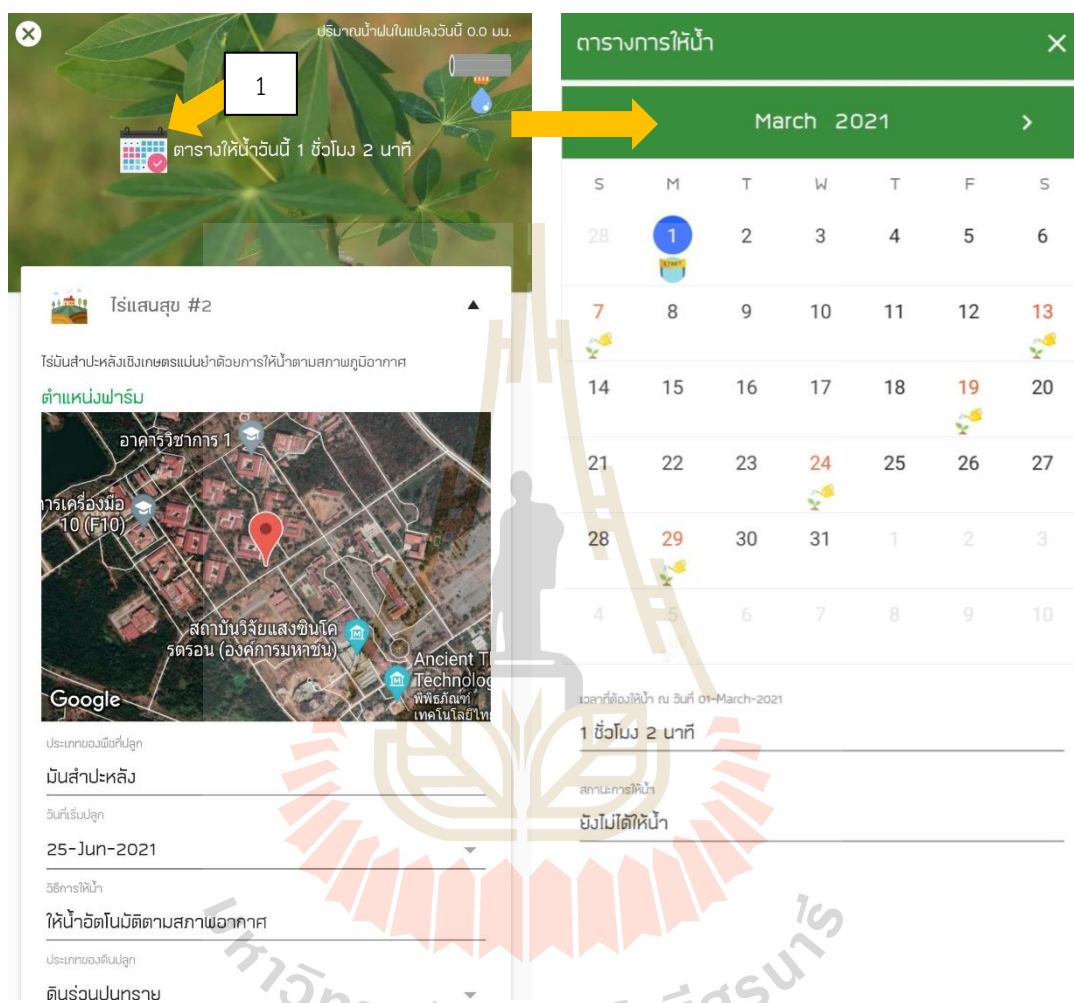
2. ข้อมูลการให้น้ำมีรายละเอียด โดยระบบแสดงข้อมูลของฟาร์มทั้งหมด บางส่วนของข้อมูลสามารถแก้ไขได้ บางส่วนไม่สามารถแก้ไขได้ การแสดงข้อมูลเกี่ยวกับระบบน้ำหยดในรูปที่ 3.7 (ส่วนที่ 2) สามารถปรับแก้ข้อมูลอัตราการไหลของหัวน้ำหยด ระยะห่างระหว่างหัวน้ำหยด และระยะห่างระหว่างเทบน้ำหยดได้ เมื่อแก้ไขแล้วระบบจะคำนวณตารางการให้น้ำใหม่



รูปที่ 3.7 1) ข้อมูลการให้น้ำแสดงอยู่บนสุดของหน้าจอ และมีส่วนแผนที่แสดงตำแหน่งของฟาร์ม 2) ส่วนของระบบน้ำหยดแสดงข้อมูลเกี่ยวกับระบบน้ำหยดสามารถแก้ไขข้อมูลได้



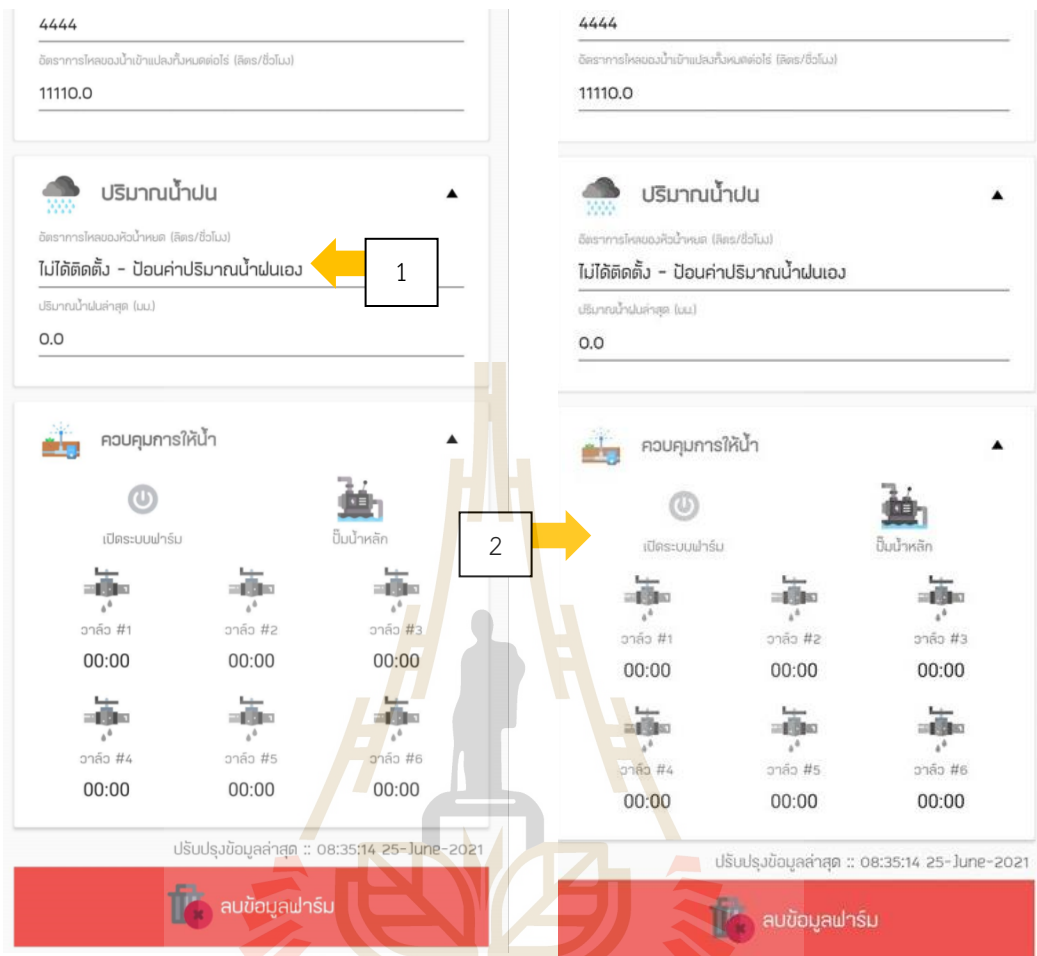
3. ปฏิทินการให้น้ำ เมื่อแตะที่ไอคอนปฏิทิน (รูปที่ 3.8 (1)) ระบบจะแสดงรายละเอียดตารางการให้น้ำในรูปแบบปฏิทินรายเดือน (หน้าปฏิทินการให้น้ำ)



รูปที่ 3.8 รายละเอียดตารางการให้น้ำในรูปแบบปฏิทินรายเดือน และหน้าปฏิทินการให้น้ำ

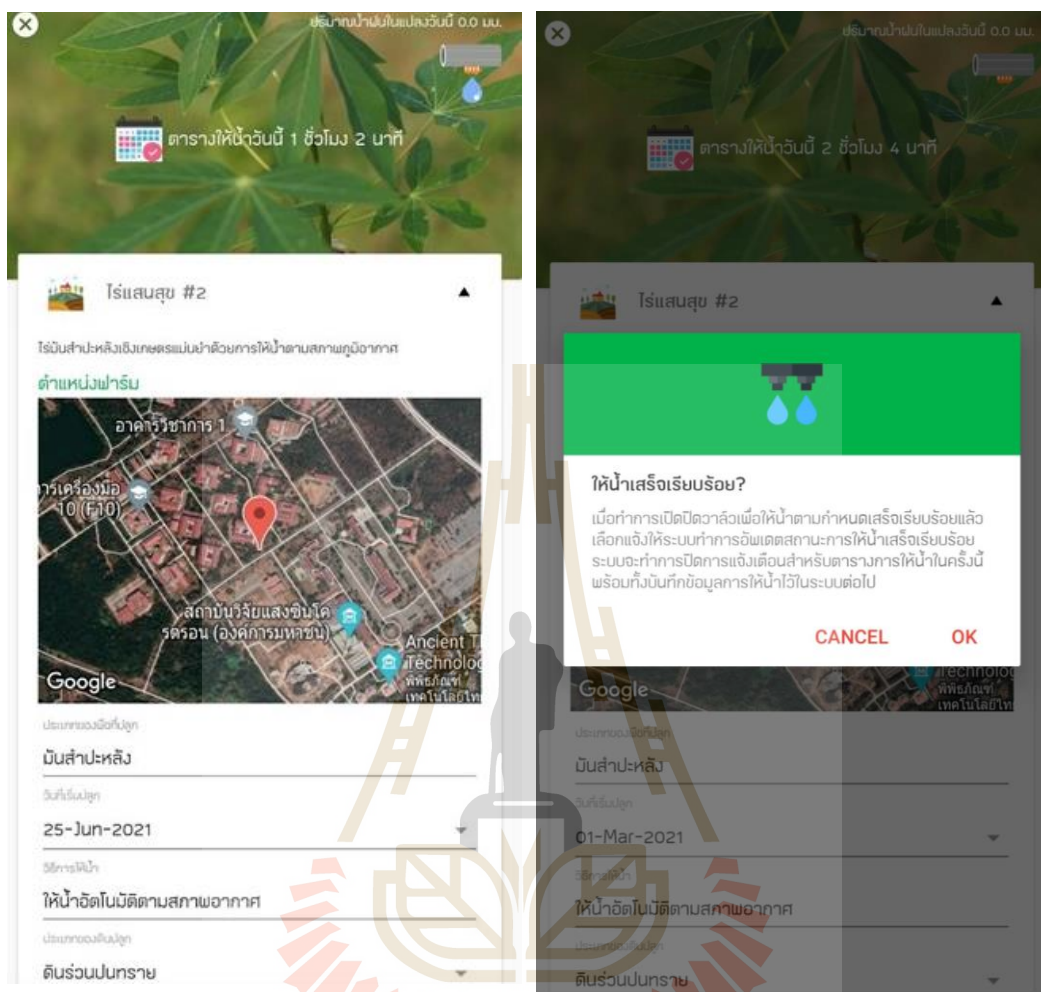
4. กรณีมีฝนตก สามารถรอกข้อมูลปริมาณน้ำฝนล่าสุดในฟาร์มได้ (หน่วยเป็นมิลลิเมตร) ระบบจะปรับตารางการให้น้ำใหม่ดังรูปที่ 3.9 (1) และระบบยังสามารถเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์การควบคุมน้ำได้ แต่ต้องมีการติดตั้งและปรับแต่งระบบ ปกติแล้วส่วนของการควบคุมน้ำนี้มีไว้เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ (แบบ IoT) ดังรูปที่ 3.9 (2)





รูปที่ 3.9 1) กรณีมีฝนตกสามารถกรอกปริมาณน้ำฝนได้ 2) ระบบสามารถเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์การควบคุมน้ำได้

5. การแจ้งเตือนของระบบในวันที่ต้องให้น้ำ ระบบแสดงสถานะเตือนว่าต้องให้น้ำ เมื่อให้น้ำ ตามระยะเวลาตารางการให้น้ำเสร็จแล้ว สามารถแตะที่ข้อความเตือน “ตารางให้น้ำวันนี้ 1 ชั่วโมง 2 นาที” และแตะ OK ระบบจะปิดการแจ้งเตือนสำหรับการให้น้ำในครั้งนี้อย่างสมบูรณ์ พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลการให้น้ำไว้ในระบบต่อไปดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ระบบแสดงสถานะแจ้งเตือนการให้น้ำ

## 1.2 การพัฒนาระบบ Wireless sensor สำหรับตรวจวัดความชื้นดินในการควบคุมการให้น้ำ

การให้น้ำตามความชื้นดิน (Soil based irrigation) การวัดความชื้นดินเป็นการวัดการใช้ น้ำโดยตรงของพืชซึ่งจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่สามารถวัดความชื้นได้แม่นยำ ต่อเนื่อง และสามารถส่งข้อมูลให้ผู้ควบคุมการให้น้ำได้ง่าย สะดวกรวดเร็ว การใช้ระบบ Wireless sensor จึงเป็นทางเลือกที่ดีในการจัดการหรือควบคุมการให้น้ำให้มีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพสูง

### 1.2.1 วิธีการพัฒนาระบบ Wireless sensor สำหรับตรวจวัดความชื้นดิน มีขั้นตอนดังนี้

1) ระบบมีอุปกรณ์ที่สำคัญ 4 ส่วนคือ โหนดเราท์เตอร์ (Router node) โหนดโคออร์ดิเนเตอร์ (Coordinator node) เครือข่ายอินเตอร์เน็ตหรือเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless local area networks) และอุปกรณ์เก็บสำรองพลังงาน โดยโหนดเราท์เตอร์ มีหน้าที่เป็นโหนดตรวจวัดค่า ความชื้นในดิน จากนั้นระบบส่งข้อมูลแบบไร้สายไปยังโหนดโคออร์ดิเนเตอร์ ซึ่งมีหน้าที่ส่งข้อมูลไปยังระบบประมวลผลแบบกลุ่มเมฆผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต โดยการทำงานของโหนดเราท์เตอร์ โหนดโคออร์ดิเน

เตอร์ ถูกออกแบบให้สามารถใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยมีโซลาร์เซลล์และอุปกรณ์การชาร์ตเก็บสำรองพลังงานไว้ที่แบตเตอรี่เพื่อใช้ใน ช่วงกลางคืน

2) การออกแบบเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายได้ประยุกต์ใช้ระบบสมองกลฝังตัวในการควบคุม โดยในการสร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายใช้การเชื่อมต่อผ่านโมดูล Xbee ย่านความถี่ 2.4 GHz ด้วยเครือข่ายแบบเมช (Mesh network) เนื่องจากอุปกรณ์ที่เป็นโหนดเราท์เตอร์ (Router) ทุกตัวสามารถติดต่อผ่านกันได้โดยตรง ซึ่งการเชื่อมต่อลักษณะนี้สามารถป้องกันข้อผิดพลาดของระบบได้ดี และถ้าหากโหนดเราท์เตอร์ไม่สามารถติดต่อผ่านกันได้โดยตรง ยังสามารถส่งข้อมูลผ่านอีกเส้นทางหนึ่งเพื่อเชื่อมโยงผ่านไปยังโหนดที่ต้องการสื่อสารได้ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล STM32TM ARM 32-bits CortexTM M3 ซึ่งอยู่บนบอร์ด FIOStd และบอร์ด Waijung ซึ่งสามารถทำงานร่วมกับโปรแกรม Simulink ได้เป็นอย่างดี ประกอบกับมีการใช้งานง่าย โดยเฉพาะด้านการเขียนและการพัฒนาโปรแกรมโดยสามารถทำการเขียนโปรแกรมเชิงกราฟฟิกด้วยโปรแกรม Simulink



รูปที่ 3.11 การติดตั้ง A) โหนดโคออร์ดิเนเตอร์ B) โหนดเราท์เตอร์ C) sensor EC5

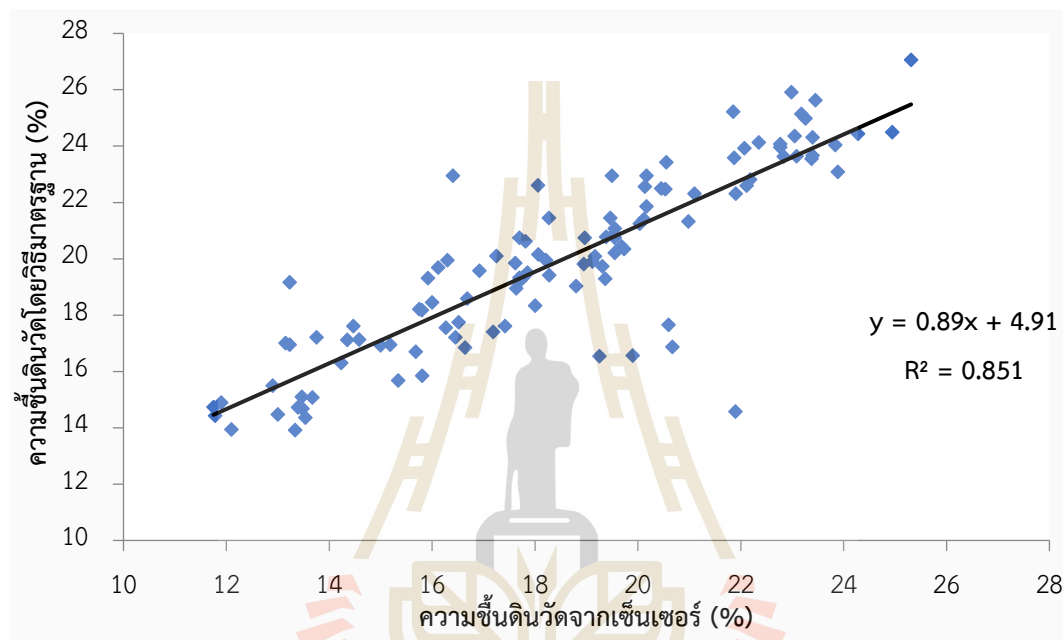
3) การเปรียบเทียบค่าความชื้นดินจากเซ็นเซอร์ EC5 กับความชื้นในดินโดยวิธีมาตรฐาน โดยเมื่อมีการให้น้ำ ทำการบันทึกข้อมูลความชื้นในดินตามค่าของเซ็นเซอร์ EC5 โดยในขณะเดียวกัน ทำการสูบน้ำในตำแหน่งใกล้เคียง และความลึกเดียวกับตำแหน่งของเซ็นเซอร์ นำดินที่สูบน้ำครั้งละ 3 ตัวอย่างไปวัดความชื้นโดยวิธีมาตรฐาน ทำการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 15 วัน แล้วนำความชื้นดินจากทั้งสองวิธีการมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ

**1.2.2 ผลการทดสอบการใช้งานระบบ Wireless sensor เบื้องต้น** ได้ดำเนินการทดสอบระบบ Wireless sensor ในแปลงปลูกพืชขนาดเล็กโดยใช้ sensor EC5 พบว่า

1) การส่งข้อมูลจากการตรวจวัดด้วยเซ็นเซอร์วัดความชื้นดินในแปลงปลูกพืชขึ้นสู่คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของ [www.thingspeak.com](http://www.thingspeak.com) พบว่าสามารถส่งข้อมูลขึ้นเซิร์ฟเวอร์ได้อย่างถูกต้อง สามารถ

แสดงผลในรูปแบบกราฟข้อมูลได้ และข้อมูลที่ได้อาจสามารถนำไปวิเคราะห์เพื่อใช้ในระบบควบคุมการให้น้ำต่อไป

2) เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินชนิด EC5 วัดค่าได้ตรงกับความชื้นจริงเพราะทำการ calibrate กับวิธีมาตรฐาน และมีตรวจสอบระหว่างการทดลองโดยการสุ่มวัดความชื้นดินด้วยวิธีมาตรฐานมีค่า  $R^2=0.851$  ซึ่งบ่งชี้ว่าเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการทดลองมีเสถียรภาพในการวัดที่ดี (รูปที่ 3.12)



รูปที่ 3.12 การเปรียบเทียบค่าความชื้นดินจากเซ็นเซอร์ EC5 และวิธีมาตรฐาน (Gravimetric method)

### 1.3 การพัฒนาระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ

**1.3.1 วิธีการพัฒนา** การให้น้ำในพืชไร่แปลงใหญ่ให้มีประสิทธิภาพ ต้องมีการแบ่งการให้น้ำออกเป็นโซนย่อยหลายแปลง และการควบคุมการให้น้ำที่หน้าแปลงต้องใช้เวลาเพราะต้องมีการเปิดปั๊มน้ำพร้อมกับเปิดวาล์วที่หน้าแปลงในแต่ละแปลงในเวลาที่สุดคล้องกัน ดังนั้นการมีระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติหรือควบคุมได้จากโทรศัพท์เคลื่อนที่ผ่านเครือข่ายไร้สาย จึงมีความจำเป็นสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ ซึ่งโครงการได้พัฒนาระบบการให้น้ำอัตโนมัติโดยประกอบด้วยปั๊มน้ำอัตโนมัติ โซลินอยด์วาล์ว และชุดควบคุมการเปิด-ปิด ปั๊มน้ำและโซลินอยด์วาล์ว (รูปที่ 3.13) ซึ่งระบบการให้น้ำอัตโนมัตินี้สามารถใช้งานร่วมกับการควบคุมการให้น้ำจากแอปพลิเคชัน และการควบคุมน้ำด้วยระบบ Wireless sensor





รูปที่ 3.13 การติดตั้งปั้มน้ำอัตโนมัติและโซลินอยด์วาล์ว

**1.3.2 ผลการทดสอบระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ** จากการทดสอบเบื้องต้นของระบบควบคุมการให้น้ำทั้งตามความชื้นในดินโดยใช้เซ็นเซอร์ และการให้น้ำตามแอปพลิเคชันผ่านระบบเครือข่ายไร้สายบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ พบว่าระบบการให้น้ำระบบมีความเสถียร สามารถให้น้ำตามความชื้นในดินทั้งตามวิธีที่วัดจากเซ็นเซอร์ และการให้น้ำตามแอปพลิเคชันนอกจากนี้การควบคุมการให้น้ำในแต่ละโซนผ่านการควบคุมของโซลินอยด์วาล์วทำได้ถูกต้องสะดวกและรวดเร็ว

#### 1.4 การพัฒนาแอปพลิเคชันการให้ปุ๋ยในระบบน้ำสำหรับอ้อยและมันสำปะหลัง

**1.4.1 วิธีการพัฒนาแอปพลิเคชัน** การให้ปุ๋ยแก่พืชแต่ละชนิดให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตและศักยภาพของพืช เพื่อนำไปสู่การให้ผลผลิตสูง ควรให้ตามความต้องการของพืชและความอุดมสมบูรณ์ของดิน แต่การให้ปุ๋ยของเกษตรกรไทยในปัจจุบันเป็นการให้ตามความเชื่อหรือคำบอกเล่า โดยขาดการวิเคราะห์ดินก่อนปลูก ซึ่งมักส่งผลเสียทั้งแก่พืชเอง ผลเสียต่อดิน สภาพแวดล้อม และต้นทุนการผลิตของเกษตรกร ดังนั้นการตรวจวิเคราะห์ดินก่อนปลูกพืชจึงเป็นสิ่งสำคัญในการให้ปุ๋ยอย่างเหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด อย่างไรก็ตามถึงแม้เกษตรกรบางรายได้มีการส่งดินเพื่อตรวจวิเคราะห์แล้ว แต่ยังไม่สามารถแปลผลเองหรือไม่สามารถนำผลการวิเคราะห์ดินมาใช้ในการจัดการปุ๋ยสำหรับปลูกพืชในแปลงของตนเองได้ ดังนั้นจำเป็นต้องมีการพัฒนาเครื่องมือที่ช่วยให้การคำนวณปุ๋ยให้เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิดให้สามารถใช้งานได้ง่ายโดยผ่านการพัฒนาเป็นแอปพลิเคชัน

สำหรับสูตรปุ๋ยสำหรับอ้อยและมันสำปะหลังที่นำมาใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันในโครงการนี้ คำนวณจากสมการของ Nutrient balance ดังต่อไปนี้

$$NS = (NR - (SAN - SM))/Ue \quad (1)$$

โดย NS = ปริมาณธาตุอาหารที่ให้ (Nutrient supply)  
 NR = ความต้องการธาตุอาหารของพืช (Nutrient requirement)  
 SAN = ปริมาณธาตุอาหารในรูปเป็นประโยชน์ในดิน (Soil available nutrient)  
 SM = ปริมาณธาตุอาหารขั้นต่ำที่ควรมีอยู่ในดิน (Safe margin)

Ue = ประสิทธิภาพการดูดธาตุอาหารของพืช (Nutrient uptake efficiency)

โดยความต้องการธาตุอาหารของพืช (Nutrient requirement) ขึ้นอยู่กับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช สำหรับปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดิน (Soil available nutrient) ได้จากการวิเคราะห์ดิน ส่วนปริมาณธาตุอาหารขั้นต่ำที่ควรมีอยู่ในดิน (Safe margin) ขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดธาตุอาหารของดิน โดยในดินเนื้อละเอียด เช่น ดินเหนียวมีความสามารถในการดูดธาตุอาหารได้ดีกว่าดินเนื้อหยาบ ซึ่งประสิทธิภาพการดูดธาตุอาหารของพืช (Nutrient uptake efficiency) ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ชนิดของปุ๋ย และรูปของธาตุอาหาร และคุณสมบัติของดิน ทั้งนี้สูตรปุ๋ยตามหลักการ Nutrient balance ได้มีการวิจัยและทดสอบในหลายพืชที่ปลูกในดินหลายชนิด ทั้งสภาพที่มีการให้น้ำและไม่ให้น้ำ (สุดชล วันประเสริฐ และคณะ 2562; สุดชล วันประเสริฐ และคณะ, 2563)

**1.4.2 ผลการทดสอบแอปพลิเคชัน** จากการทดลองใช้แอปพลิเคชันการให้ปุ๋ยแบบแม่นยำสำหรับการผลิตพืชไร่ในระบบน้ำหยด พบว่าค่าที่คำนวณได้จากแอปพลิเคชันตรงกับค่าที่คำนวณโดยใช้ excel แต่การใช้แอปพลิเคชันเกษตรกรสามารถทำได้ง่าย และรวดเร็ว นอกจากนี้ยังใช้ได้สะดวกบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยมีขั้นตอนการใช้งานแอปพลิเคชัน ดังนี้

**1.4.3 คู่มือการใช้งานแอปพลิเคชันการให้ปุ๋ยระบบน้ำ** มีดังนี้


1) การใช้งานแอปพลิเคชัน การให้ปุ๋ยระบบน้ำ เป็นแอปพลิเคชันสำหรับอุปกรณ์มือถือที่มีคุณสมบัติต่อไปนี้

- ระบบปฏิบัติการ Android ตั้งแต่เวอร์ชัน 8.0 (Oreo) ขึ้นไป
- หน้าจอความละเอียด HD (ความละเอียดต่ำกว่านี้อาจมีผลต่อความคมชัดของข้อมูลบนหน้าจอ)

2) การติดตั้งแอปพลิเคชันปุ๋ยแม่นยำ ดาวน์โหลดไฟล์แอปพลิเคชัน ปุ๋ยแม่นยำ.apk ได้ที่

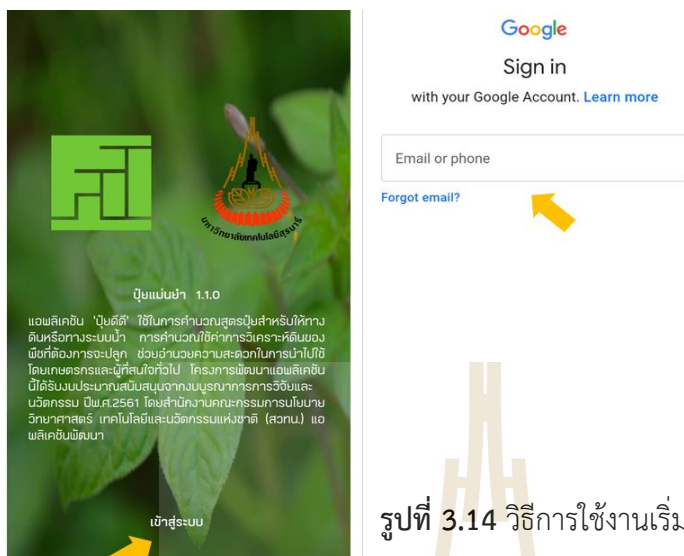
<https://drive.google.com/file/d/1LVD6i04a0RZTmgUaoMMbLFji0uUdBTBf/view?usp=sharing>

เมื่อดาวน์โหลดไฟล์ ปุ๋ยแม่นยำ.apk มาแล้วทำการติดตั้งไฟล์ (รายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวกที่

2) เมื่อติดตั้งเสร็จสิ้นแตะที่แอปพลิเคชัน **ปุ๋ยแม่นยำ** หรือไอคอน  เพื่อเข้าสู่หน้าแรกของแอปพลิเคชัน

3) การเริ่มต้นใช้งานแอปพลิเคชัน การใช้งานเริ่มต้นของแอปพลิเคชัน โดยแตะที่ไอคอนแอปพลิเคชัน ปุ๋ยแม่นยำ เพื่อเข้าสู่หน้าจอแรกจากนั้น “เข้าสู่ระบบ” เพื่อเริ่มใช้งาน และการระบุตัวตนด้วยบัญชีอีเมลของ Gmail (รูปที่ 3.14) ระบบจะแสดงหน้าจอกำหนดการใช้บริการของ Google Service ให้แตะเพื่อเข้าสู่หน้าจอหลักของแอปพลิเคชันต่อไป





รูปที่ 3.14 วิธีการใช้งานเริ่มต้นของแอปพลิเคชันปุ๋ยแม่นยำ

4) การใช้งานแอปพลิเคชัน โดยวิธีการใช้งานเริ่มต้นของแอปพลิเคชันปุ๋ยแม่นยำ ใส่ข้อมูลสูตรปุ๋ยที่สร้างขึ้นใหม่แล้วทำการบันทึก จะถูกแสดงที่หน้า dashboard ซึ่งเป็นส่วนแสดงข้อมูลสูตรปุ๋ยต่างๆ ผู้ใช้สามารถเลือกเข้าไปดูหรือปรับแก้รายละเอียดของสูตรนั้นๆ ได้ โดยเลือกสร้างสูตรปุ๋ยใหม่ การเข้าสู่หน้าจอรายละเอียดสูตรปุ๋ย การบันทึกข้อมูลต่างๆ มีดังนี้

1. เลือกพืชที่ต้องการปลูก ปัจจุบันระบบรองรับการให้ปุ๋ยในมันสำปะหลัง และอ้อย และเลือกระบบการให้ปุ๋ย (ทางดิน/ระบบน้ำ) (รูปที่ 3.15)

รายการวิเคราะห์ดิน	ค่าที่ได้	การแปลผล
ความเป็นกรดด่าง (pH)	4.9	กรดจัดมาก
การนำไฟฟ้า (dS/m)	0.2	เป็นปกติ
อินทรีย์วัตถุ (%)	1.2	ค่อนข้างต่ำ
ฟอสฟอรัส (ppm)	4.2	ต่ำ
โพแทสเซียม (ppm)	59.6	ต่ำ
แคลเซียม (ppm)	1414.6	ปานกลาง
แมกนีเซียม (ppm)	379.0	สูง

รายการวิเคราะห์ดิน	ค่าที่ได้	การแปลผล
ความเป็นกรดด่าง (pH)	4.9	กรดจัดมาก
การนำไฟฟ้า (dS/m)	0.2	เป็นปกติ
อินทรีย์วัตถุ (%)	1.2	ค่อนข้างต่ำ
ฟอสฟอรัส (ppm)	4.2	ต่ำ
โพแทสเซียม (ppm)	59.6	ต่ำ
แคลเซียม (ppm)	1414.6	ปานกลาง
แมกนีเซียม (ppm)	379.0	สูง

รูปที่ 3.15 วิธีการเลือกพืชและระบบปุ๋ยของแอปพลิเคชันปุ๋ยแม่นยำ

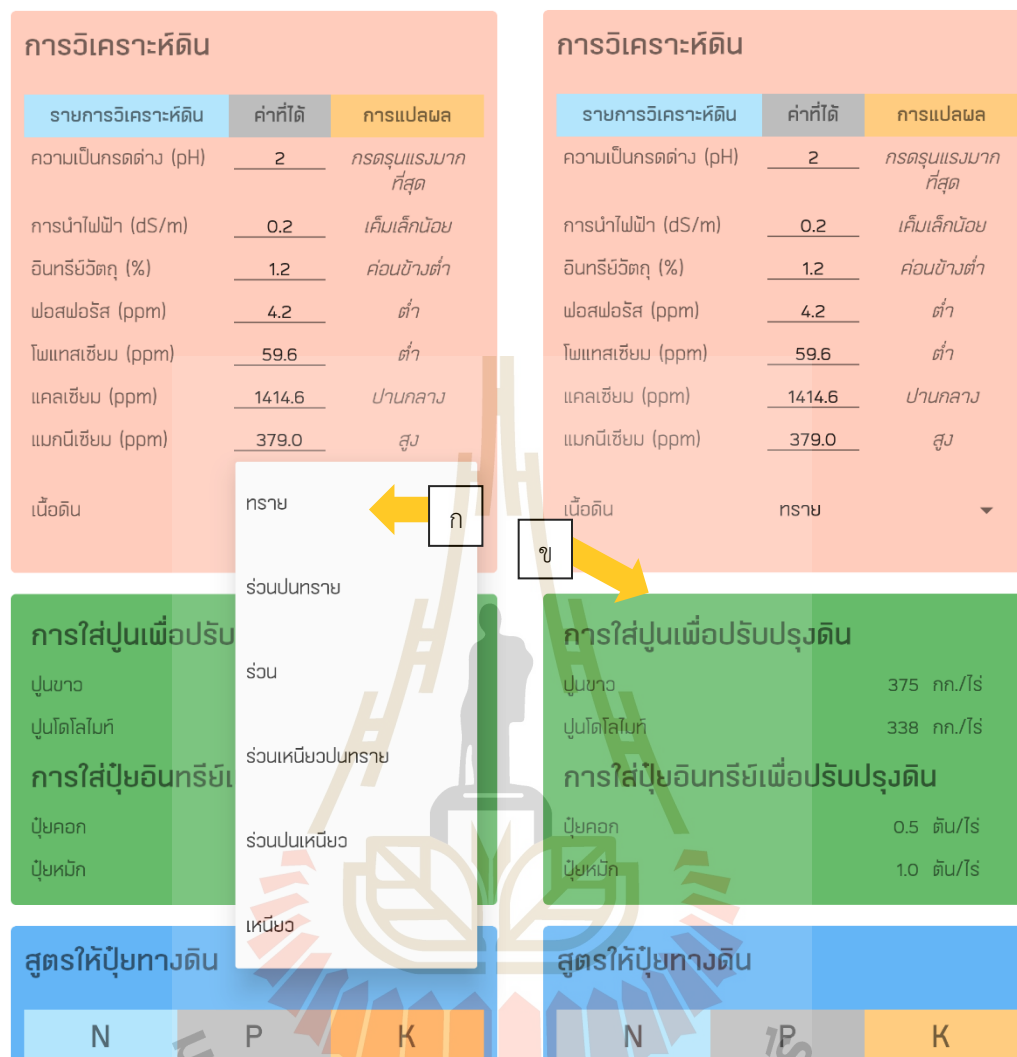
2. กำหนดรายละเอียดผลการวิเคราะห์ดิน เมื่อบันทึกข้อมูลต่างๆ เสร็จสิ้นแล้ว ระบบจะคำนวณผลการวิเคราะห์ดินให้อัตโนมัติ และแสดงผลข้อมูลต่างๆ เช่น แปลผลจาก ‘กรดจัดมาก’ เป็น ‘กรดเล็กน้อย’ ดังรูปที่ 3.16

การวิเคราะห์ดิน			การวิเคราะห์ดิน		
รายการวิเคราะห์ดิน	ค่าที่ได้	การแปลผล	รายการวิเคราะห์ดิน	ค่าที่ได้	การแปลผล
ความเป็นกรดต่าง (pH)	4.8	กรดจัดมาก	ความเป็นกรดต่าง (pH)	6.2	กรดเล็กน้อย
การนำไฟฟ้า (dS/m)	0.2	เค็มเล็กน้อย	การนำไฟฟ้า (dS/m)	0.2	เค็มเล็กน้อย
อินทรีย์วัตถุ (%)	1.2	ค่อนข้างต่ำ	อินทรีย์วัตถุ (%)	1.2	ค่อนข้างต่ำ
ฟอสฟอรัส (ppm)	4.2	ต่ำ	ฟอสฟอรัส (ppm)	4.2	ต่ำ
โพแทสเซียม (ppm)	59.6	ต่ำ	โพแทสเซียม (ppm)	59.6	ต่ำ
แคลเซียม (ppm)	1414.6	ปานกลาง	แคลเซียม (ppm)	1414.6	ปานกลาง
แมกนีเซียม (ppm)	379.0	สูง	แมกนีเซียม (ppm)	379.0	สูง
เนื้อดิน	ทราย		เนื้อดิน	ทราย	

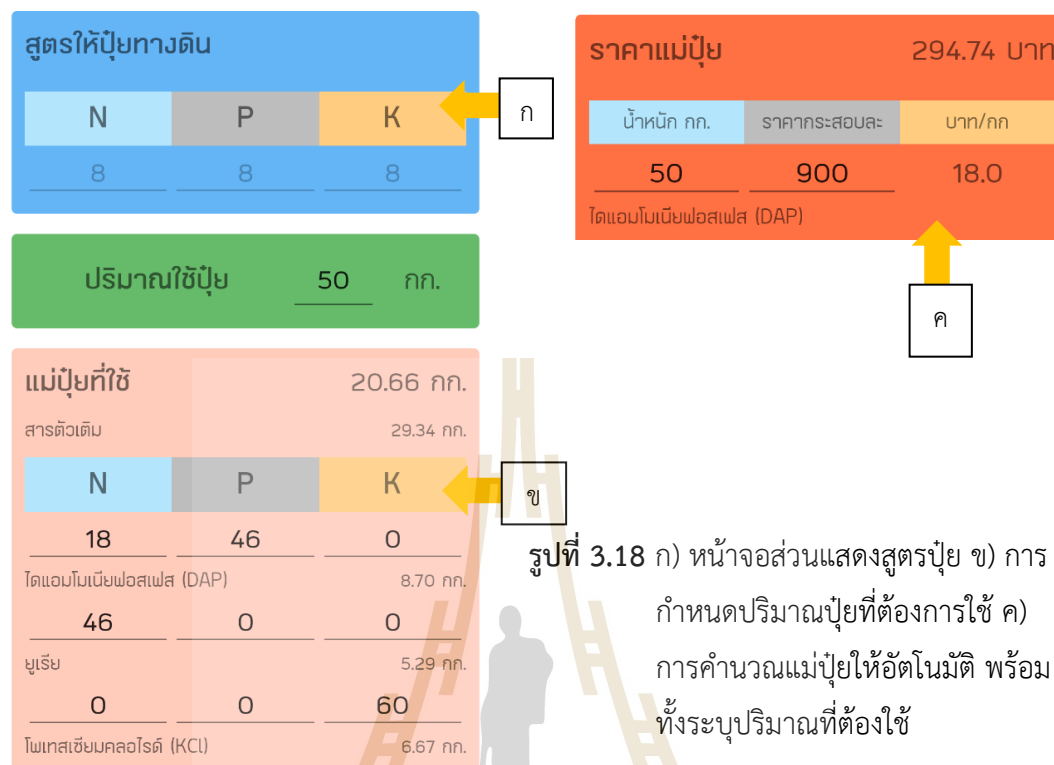
รูปที่ 3.16 ก) การกำหนดรายละเอียดผลการวิเคราะห์ดิน ข) ระบบคำนวณผลการวิเคราะห์ดินให้อัตโนมัติ

#### 5) การแสดงผลการคำนวณการให้น้ำโดยแอปพลิเคชัน ปุยแม่นยำ มีดังนี้

1. การปรับค่าการวิเคราะห์ดินและเปลี่ยนเนื้อดิน ระบบสามารถเปลี่ยนเนื้อดินได้ (รูปที่ 3.17 ก) และแสดงแนวทางการปรับปรุงดินตามผลการวิเคราะห์ดินโดยการใส่ปุ๋ยเพื่อปรับปรุงดินจากการวิเคราะห์ดินที่ได้ความเป็นกรดรุนแรงมากที่สุด (รูปที่ 3.17 ข) ส่วนต่อไประบบแสดงเป็นสูตรปุ๋ย ผู้ใช้งานสามารถกำหนดปริมาณปุ๋ยที่ต้องการใช้ และเมื่อเสร็จสิ้นระบบจะทำการคำนวณแม่ปุ๋ยให้อัตโนมัติ พร้อมทั้งระบุปริมาณที่ต้องใช้ (รูปที่ 3.18)



รูปที่ 3.17 ก) การปรับค่าการวิเคราะห์ดินและเปลี่ยนเนื้อดิน ข) แนวทางปรับปรุงดินตามผลการวิเคราะห์ดิน



รูปที่ 3.18 ก) หน้าจอส่วนแสดงสูตรปุ๋ย ข) การกำหนดปริมาณปุ๋ยที่ต้องการใช้ ค) การคำนวณแม่ปุ๋ยให้อัตโนมัติ พร้อมทั้งระบุปริมาณที่ต้องใช้

2. การส่งออกข้อมูล ในส่วนล่างสุดของระบบแสดงแผงควบคุมข้อมูลสูตรปุ๋ย (รูปที่ 3.19) ประกอบไปด้วยคำอธิบายปุ๋ย ปุ่มบันทึกข้อมูล ปุ่มส่งออกข้อมูลเป็นไฟล์ CSV ปุ่มส่งออกข้อมูลเป็นไฟล์ PDF และปุ่มถึงขยะสำหรับลบข้อมูล



รูปที่ 3.19 แผงควบคุมข้อมูลสูตรปุ๋ย

## 1.5 การทดสอบเทคโนโลยีควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยทางระบบน้ำสำหรับการผลิตอ้อยในระบบน้ำหยด

1.5.1 วิธีการและขั้นตอนการทดลอง หลังจากพัฒนาและทดสอบระบบควบคุมการให้น้ำด้วยแอปพลิเคชันและ Wireless sensor พร้อมทั้งระบบควบคุมการจ่ายน้ำอัตโนมัติ ได้นำระบบทั้งหมดมาทำการทดสอบในการผลิตอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ภายใต้ระบบน้ำหยด โดยขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้

- 1) ออกแบบและจัดเตรียมอุปกรณ์ระบบ wireless sensor และระบบการควบคุมการให้น้ำบนโทรศัพท์เคลื่อนที่

2) สำรวจและวิเคราะห์พื้นที่ โดยเลือก 2 สถานที่ที่มีเนื้อดินต่างกัน วิเคราะห์ข้อมูลดินทั้งคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี รวมทั้งปริมาณธาตุอาหารพืช ค่าการอุ้มน้ำของดิน (Water Holding Capacity, WHC) เพื่อกำหนดการให้น้ำและให้ปุ๋ย

3) ทดสอบการควบคุมการให้น้ำโดยใช้แอปพลิเคชันเปรียบเทียบกับการใช้ระบบ Wireless sensor (รูปที่ 3.20) โดยทั้งสองระบบเชื่อมต่อกับระบบควบคุมปั๊มและวาล์วน้ำแบบอัตโนมัติ โดยในดินแต่ละชนิด วางแผนการทดลองแบบ RCBD จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 3 ทริตเมนต์ ได้แก่

T1 = ไม่ให้น้ำ และให้ปุ๋ยทางดิน

T2 = ให้น้ำตาม Wireless sensor และให้ปุ๋ยทางระบบน้ำ

T3 = ให้น้ำตามแอปพลิเคชันและให้ปุ๋ยทางระบบน้ำ

รายละเอียดทริตเมนต์ประกอบด้วย T1 ไม่ให้น้ำ T2-T3 ให้น้ำโดยระบบน้ำหยด โดยใช้เทปน้ำหยดที่มีระยะห่างระหว่างหัวน้ำหยด 30 ซม. และมีอัตราการไหล 2 ลิตร/ชม. จำนวน 1 เส้น/ร่องคู ในการกำหนดปริมาณการให้น้ำ T3 ให้น้ำตามแอปพลิเคชันตามปริมาณการใช้น้ำของพืช (ETc model) ซึ่งดัดแปลงมาจากการใช้น้ำของอ้อย (สุดชล วุ่นประเสริฐ และธีรยุทธ เกิดไทย, 2558) และให้ปุ๋ยทางระบบน้ำ สำหรับ T3 ให้น้ำตาม Wireless sensor (EC5) และให้ปุ๋ยทางระบบน้ำ โดยใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้นดินที่ความลึกดิน 20 ซม. และ 35 ซม. ให้น้ำเมื่อระดับความชื้นมีค่าเฉลี่ยในดินลดลงมาถึง 50% ของปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ (AWHC) แล้วให้น้ำกลับจนความชื้นอยู่ในระดับ Field Capacity โดยการควบคุมการให้น้ำทั้ง 2 แบบมีระบบการควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ (รูปที่ 3.21)

4) การปลูกอ้อย ในทั้งสอง 2 พื้นที่ ใช้อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 โดยใช้รถปลูกระยะห่างระหว่างแถว 1.5 เมตร หลังจากปลูกแบ่งแปลงตามทริตเมนต์โดยให้มีขนาดแปลงย่อยกว้าง 15 เมตรยาว 12 เมตร โดยทำการปลูกอ้อยในเดือนธันวาคม พ.ศ.2561 และเก็บผลผลิตอ้อยที่อายุ 12 เดือน

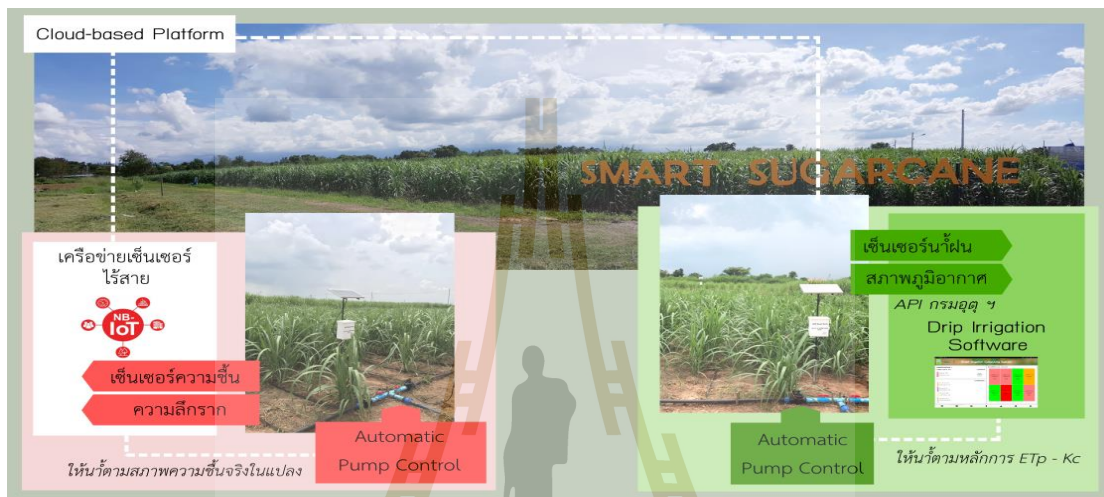
5) การให้ปุ๋ย ทุกทริตเมนต์ในแต่ละดินให้ปุ๋ยเท่ากันตามหลักการ Nutrient balance (ตามแอปพลิเคชันการให้ปุ๋ย) คือ ในดินร่วนเหนียวใช้ปุ๋ย 16-8-8 กก. N P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> K<sub>2</sub>O /ไร่ และในดินร่วนทรายใช้ปุ๋ย 21-12-28 กก. N P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> K<sub>2</sub>O /ไร่ โดยในทริตเมนต์ที่ T1 (ใส่ปุ๋ยทางดินโดย) แบ่งใส่ 2 ครั้งๆ ละครึ่งโดยแบ่งให้เมื่ออ้อยอายุประมาณ 1 เดือนและ 3 เดือน สำหรับการให้ปุ๋ยในทริตเมนต์ที่ T2 และ T3 (ให้ทางระบบน้ำ) แบ่งให้ปุ๋ยครั้งละเท่าๆ กันจำนวน 5 ครั้ง ห่างกันครั้งละ 2 สัปดาห์ โดยเริ่มให้ครั้งแรกที่อ้อยอายุประมาณ 30 วัน

สำหรับปุ๋ยที่ให้ทางดินในทริตเมนต์ T1 คือยูเรีย (46-0-0) ไตแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) ส่วนปุ๋ยที่ให้ทางระบบน้ำ (T2-T3) ใช้ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) โมโน



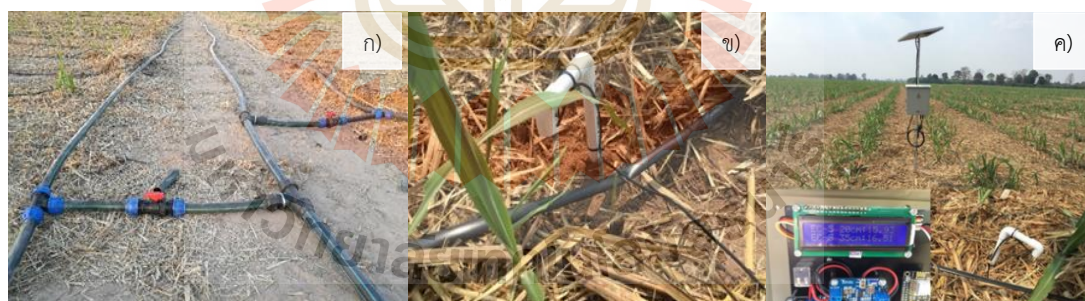
แอมโมเนียมฟอสเฟต (12-60-0) โพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) มาผสมกันให้ได้ธาตุอาหารตามที่กำหนด

6) บันทึกข้อมูลความสูง จำนวนหน่อต่อไร่ (รูปที่ 3.22) จำนวนลำต่อไร่ น้ำหนักลำ ผลผลิต และความหวานอ้อย



ให้น้ำตาม wireless sensor (soil based irrigation)      ให้น้ำตาม Application (weather based irrigation)

รูปที่ 3.20 รูปแบบการควบคุมการให้น้ำในแปลงอ้อยโดยระบบอัตโนมัติ



รูปที่ 3.21 การติดตั้ง ก) ระบบน้ำ ข) เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน และ ค) เครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝน



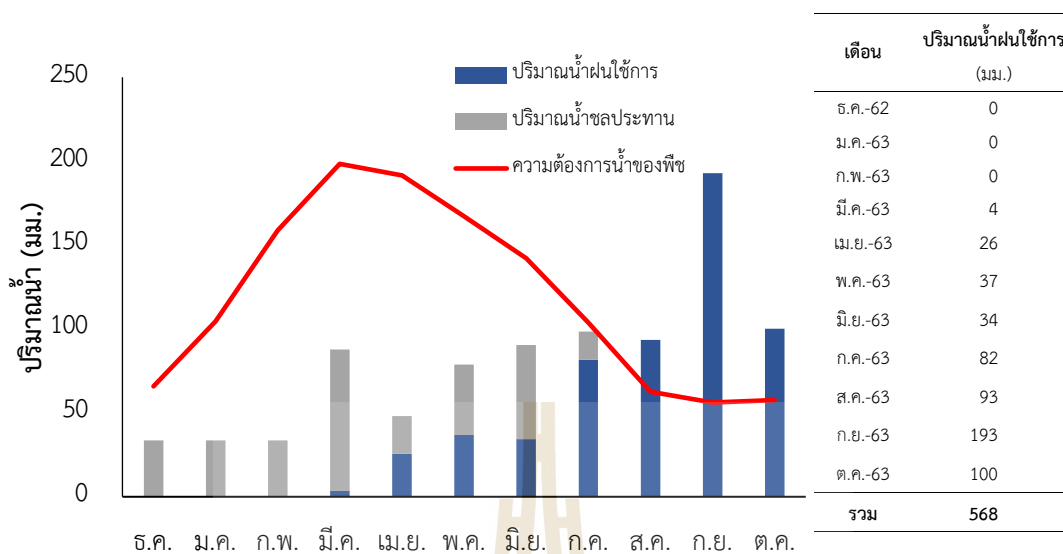


รูปที่ 3.22 การเก็บข้อมูลความสูง จำนวนหน่อต่อไร่ และลักษณะต่างๆ ของอ้อย

### 1.5.2 ผลการทดสอบเทคโนโลยีควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยในระบบน้ำสำหรับการผลิตอ้อยในระบบน้ำหยด

การทดลองนี้หลังการปลูกอ้อยทุกทรีตเมนต์มีการให้น้ำในช่วงแรกเพื่อช่วยให้อ้อยงอกอย่างสม่ำเสมอ หลังจากอ้อยงอก 1 เดือน เริ่มให้น้ำอ้อยตามทรีตเมนต์ต่างๆ ได้แก่ ให้น้ำตามแอปพลิเคชันและตามค่าความชื้นดินที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ ซึ่งการควบคุมการให้น้ำทั้งสองระบบใช้การควบคุมผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ และระบบทั้งหมดทำงานโดยการส่งข้อมูลผ่าน cloud computing ได้ผลดังนี้

1) ปริมาณน้ำฝน และความต้องการน้ำของอ้อยตลอดฤดู ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.23 เป็นปริมาณน้ำฝนที่ตกในช่วงการทดลอง และความต้องการน้ำของอ้อยและปริมาณน้ำชลประทานที่ให้กับอ้อยซึ่งได้จากการคำนวณจากแอปพลิเคชัน โดยในช่วงแรกอ้อยต้นเล็กต้องการปริมาณน้ำไม่มาก แต่เมื่ออ้อยอายุ 4 เดือนมีความต้องการปริมาณน้ำมาก สำหรับกราฟสีน้ำเงินแสดงปริมาณฝนตกใน ช่วงที่ปลูกและสีเทาคือปริมาณน้ำที่ต้องให้แก่อ้อยให้เพียงพอกับความ ต้องการ โดยพบว่าในดินทั้งสองชนิดมีการให้น้ำชลประทานแก่อ้อยตามแอปพลิเคชันมีปริมาณการให้น้ำมากกว่าการควบคุมการให้น้ำโดยใช้เซ็นเซอร์เล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 3.1



\* ปริมาณน้ำฝนใช้การ คือปริมาณน้ำฝนที่ตกลงบนพื้นที่เพาะปลูกและเป็นประโยชน์ต่อการเพาะปลูกพืช

รูปที่ 3.23 ปริมาณน้ำฝนและความต้องการน้ำของอ้อย

ตารางที่ 3.1 ปริมาณน้ำฝนและน้ำชลประทาน

เนื้อดิน(A)	การให้น้ำ(B)	ความต้องการน้ำของพืช (มม.)	ปริมาณน้ำฝนใช้การ* (มม.)	ปริมาณที่ให้ (มม.)
ดินร่วนทราย	ไม่ให้น้ำ			-
	ให้น้ำควบคุมด้วยเซ็นเซอร์	1,308	568	374
	ให้น้ำควบคุมด้วย Application			381
ดินร่วนเหนียว	ไม่ให้น้ำ			-
	ให้น้ำควบคุมด้วยเซ็นเซอร์	1,308	568	356
	ให้น้ำควบคุมด้วย Application			381

2) ผลของการให้น้ำต่อการเจริญเติบโตของอ้อย การปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ในดิน 2 ชนิด พบว่าการปลูกอ้อยในดินทั้งสองชนิดไม่มีผลให้ความสูงต้นแตกต่างกันในทางสถิติ และจากการเปรียบเทียบวิธีการให้น้ำที่ต่างกันต่อความสูงของอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 พบว่าการไม่ให้น้ำส่งผลให้อ้อยมีความสูงน้อยที่สุด ในขณะที่การให้น้ำทั้งสองวิธีอ้อยมีความสูงต้นไม่แตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ผลของวิธีการให้น้ำต่อความสูงของอ้อยเมื่อปลูกในดินร่วนทรายและดินร่วนเหนียว

ชนิดดิน	วิธีการให้น้ำ	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	8 เดือน
ดินร่วน ทราย	ไม่ให้น้ำ	23.5	50.9	113.1b	181.7b
	ให้น้ำควบคุมด้วยเซ็นเซอร์	31.2	78.3	164.6a	239.8a
	ให้น้ำควบคุมด้วย Application	36.4	71.4	157.9a	226.2a
	F-test	ns	ns	*	*
	CV (%)	12.5	18.2	22.8	24.6
ดินร่วน เหนียว	ไม่ให้น้ำ	28.6	52.4	100.4b	170.4b
	ให้น้ำควบคุมด้วยเซ็นเซอร์	52.8	82.8	175.2a	265.2a
	ให้น้ำควบคุมด้วย Application	60.2	85.4	180.2a	270.2a
	F-test	ns	ns	*	*
	CV (%)	17.4	23.3	27.7	26.8

การปลูกอ้อยในดิน 2 ชนิด พบว่าการปลูกในดินทั้งสองชนิดมีผลให้จำนวนหน่อต่อไร่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการปลูกอ้อยในดินร่วนเหนียวมีผลให้ความสูงอ้อยมากกว่าการปลูกในดินร่วนปนทราย และจากการเปรียบเทียบวิธีการให้น้ำที่แตกต่างกันเมื่ออ้อยอายุ 6 และ 8 เดือน พบว่ามีผลให้จำนวนหน่อแตกต่างกันในทางสถิติ โดยการไม่ให้น้ำอ้อยมีจำนวนหน่อน้อยที่สุดในขณะที่การให้น้ำทั้งสองวิธีอ้อยมีจำนวนหน่อไม่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ผลของวิธีการให้น้ำต่อจำนวนหน่อของอ้อยเมื่อปลูกในดินร่วนทรายและดินร่วนเหนียว

ชนิดดิน	วิธีการให้น้ำ	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน	8 เดือน
ดินร่วน ทราย	ไม่ให้น้ำ	19,411	12,197	11,254b	10,098b
	ให้น้ำควบคุมด้วยเซ็นเซอร์	21,314	13,321	12,472a	11,619a
	ให้น้ำควบคุมด้วย Application	20,215	13,308	12,360a	11,469a
	F-test	ns	ns	*	*
	CV (%)	24.4	18.4	16.7	18.8
ดินร่วน เหนียว	ไม่ให้น้ำ	23,063	13,876	12,728b	11,641b
	ให้น้ำควบคุมด้วยเซ็นเซอร์	24,784	14,889	14,716a	12,641a
	ให้น้ำควบคุมด้วย Application	27,470	14,642	13,913a	12,519a
	F-test	ns	ns	*	*

CV (%)	28.3	17.6	18.5	17.4
--------	------	------	------	------

3) ผลของการให้น้ำต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิตของอ้อย การปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ในดินร่วนทราย และดินร่วนเหนียว โดยในดินแต่ละชนิดให้น้ำต่างกัน มีผลให้จำนวนลำ และผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ (ตารางที่ 3.4) โดยการไม่ให้น้ำพบว่าอ้อยมีผลผลิตต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามการให้น้ำตามเซ็นเซอร์ และให้น้ำตาม software ผลผลิตของอ้อยไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ซึ่งผลการทดลองในดินทั้งสองชนิดให้ผลไปในทางเดียวกัน โดยพบการปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ในดินร่วนปนทรายเมื่อให้น้ำที่ควบคุมด้วยเซ็นเซอร์ และให้น้ำควบคุมด้วย software มีผลผลิตเฉลี่ย 21.08 และ 20.84 ตัน/ไร่ ตามลำดับ ซึ่งให้ผลผลิตสูงกว่าไม่ให้น้ำ (15.62 ตัน/ไร่) สำหรับการปลูกอ้อยในดินร่วนเหนียว พบว่าการให้น้ำที่ควบคุมด้วยเซ็นเซอร์ และให้น้ำตามแอปพลิเคชัน อ้อยมีผลผลิตเฉลี่ย 23.04 และ 22.96 ตัน/ไร่ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าการไม่ให้น้ำ (17.20 ตัน/ไร่) ประมาณ 5 ตัน/ไร่

ตารางที่ 3.4 ผลของวิธีการให้น้ำต่อองค์ประกอบผลผลิต และผลผลิตของอ้อยเมื่อปลูกในดินร่วนทราย และดินร่วนเหนียว

เนื้อดิน	การให้น้ำ	ความยาวลำ(ซม.)	ขนาดลำ (ซม.)	น้ำหนักลำ (กก/ลำ)	จำนวนลำ (ลำ/ไร่)	ผลผลิต (ตัน/ไร่)	CCS
ร่วนทราย	ไม่ให้น้ำ	303	1.7	2.9	9,262b	15.62b	12.3
	ควบคุมด้วยเซ็นเซอร์	322	1.9	3.0	10,314a	21.08a	12.5
	ควบคุมด้วยแอปพลิเคชัน	315	1.8	3.0	10,250a	20.84a	12.0
	F-test	ns	ns	ns	*	*	ns
	CV (%)	9.7	8.8	9.8	24.3	16.9	10.1
ร่วนเหนียว	ไม่ให้น้ำ	306	1.8	3.0	10,006b	17.20b	13.1
	ควบคุมด้วยเซ็นเซอร์	312	2.1	3.1	11,772a	23.04a	12.2
	ควบคุมด้วย Application	318	2.0	3.0	11,340a	22.96a	13.0
	F-test	ns	ns	ns	*	*	ns
	CV (%)	10.2	8.2	7.5	22.9	15.8	14.6

4) ผลของการให้น้ำต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำของอ้อย การปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ในดินร่วนทราย และดินร่วนเหนียว โดยในดินแต่ละชนิดให้น้ำต่างกัน พบว่าการไม่ให้น้ำมีผลผลิตต่ำที่สุด และมีประสิทธิภาพการใช้น้ำต่ำกว่าการให้น้ำทั้งสองวิธี (ตารางที่ 3.5) อย่างไรก็ตามการให้น้ำตามเซ็นเซอร์ และให้น้ำตาม software ผลผลิตของอ้อยไม่แตกต่างกันในทางสถิติ และยังคงพบว่าประสิทธิภาพการใช้น้ำเมื่อให้น้ำทั้งสองวิธีการไม่แตกต่างกันในทางสถิติ โดยการให้น้ำที่ควบคุมด้วยเซ็นเซอร์ และให้น้ำควบคุม

ด้วย software มีผลผลิตเฉลี่ย 21.8 และ 21.5 ตัน/ไร่ ตามลำดับ ซึ่งให้ผลผลิตสูงกว่าไม่ให้น้ำ (18.4 ตัน/ไร่) ซึ่งผลการทดลองในดินทั้งสองชนิดให้ผลไปในทางเดียวกัน

ตารางที่ 3.5 ผลของวิธีการให้น้ำ ต่อปริมาณการให้น้ำ ผลผลิต และประสิทธิภาพการใช้น้ำของอ้อย

ชนิดดิน	วิธีการให้น้ำ	ปริมาณการให้น้ำ (มม.)	ผลผลิต (ตัน/ไร่)	ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (ตัน/ไร่/มม.)
ดินร่วนทราย	ไม่ให้น้ำ	–	15.62b	–
	ควบคุมด้วยเซ็นเซอร์	374	21.08a	0.056
	ควบคุมด้วย Application	381	20.84a	0.055
	CV (%)	–	21.2	–
ดินร่วนเหนียว	ไม่ให้น้ำ	–	17.20b	–
	ควบคุมด้วยเซ็นเซอร์	356	23.04a	0.065
	ควบคุมด้วย Application	381	22.96a	0.060
	CV (%)	–	25.1	–

5) สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบวิธีการควบคุมการให้น้ำจากการใช้แอปพลิเคชัน โดยใช้หลักการ water balance และวิธีการใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้นดินโดยตรงเพื่อควบคุมการให้น้ำ พบว่าการให้น้ำทั้งสองวิธีการในดินแต่ละชนิดส่งผลให้อ้อยมีการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงกว่าการไม่ให้น้ำ แต่การให้น้ำสองวิธีไม่ทำอ้อยมีการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตแตกต่างกัน แต่การให้น้ำหยดทั้งสองวิธีการส่งผลให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และประสิทธิภาพการใช้น้ำปุ๋ยทั้งในดินร่วนทราย และดินร่วนเหนียว มีค่าสูงกว่าไม่ให้น้ำ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองที่ผ่านมา (สุดชล วุ่นประเสริฐ และฐิติพร มะชิโกว, 2557) ที่พบว่า การให้น้ำหยดทำให้มันสำปะหลังมีผลผลิตเพิ่มขึ้นทั้งในดินร่วนทราย ดินร่วนเหนียว ปนทราย และดินเหนียว โดยเมื่อมีการให้น้ำในการปลูกมันสำปะหลังในทุกสภาพดิน มีผลทำให้การเจริญเติบโต การดูดใช้ธาตุอาหารของมันสำปะหลัง และผลผลิตสูงกว่าการไม่ให้น้ำ โดยผลผลิตที่ไม่ให้น้ำอยู่ระหว่าง 4–7 ตัน/ไร่ ในขณะที่ให้น้ำอยู่ระหว่าง 8–14 ตัน/ไร่

นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการควบคุมการให้น้ำทั้งการใช้แอปพลิเคชัน และการใช้เซ็นเซอร์ มีปริมาณการให้น้ำและประสิทธิภาพการใช้น้ำชลประทานไม่แตกต่างกันในทางสถิติ การควบคุมการให้น้ำในดินร่วนทรายด้วยแอปพลิเคชันมีการให้น้ำมากที่สุด (381 มม.) ส่วนการควบคุมด้วยเซ็นเซอร์ มีการให้น้ำ 374 มม. เช่นเดียวกับในดินร่วนเหนียวก็พบเช่นกันว่าควบคุมการให้น้ำด้วยแอปพลิเคชัน มีการให้น้ำมากที่สุด (381 มม.) ส่วนการควบคุมด้วยเซ็นเซอร์มีการให้น้ำเท่ากับ 356 มม. ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในการควบคุมด้วยเซ็นเซอร์อาจมีความแม่นยำในการให้น้ำมากกว่าการใช้แอปพลิเคชัน เพราะใช้น้ำปริมาณน้อยกว่าแต่ไม่



ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตที่ต่างกัน ผลการทดลองที่พบนี้อาจเกิดจากการใช้หลักการ water balance ซึ่งใช้การประเมินความต้องการน้ำจากสภาพอากาศมาเป็นการประเมิน ซึ่งความแม่นยำขึ้นอยู่กับข้อมูลสภาพอากาศที่นำมาใช้ และอีกประการในการใช้หลักการ water balance ไม่สามารถทราบถึงปริมาณน้ำที่มาจากแหล่งอื่นนอกเหนือจากปริมาณน้ำฝนและน้ำชลประทาน แต่การใช้เซ็นเซอร์สามารถตรวจสอบน้ำหรือความชื้นใต้ดินได้ เพราะเป็นการวัดความชื้นจากดินโดยตรง จึงอาจทำให้การใช้เซ็นเซอร์มีความแม่นยำกว่า ประหยัดน้ำได้มากกว่า และมีประสิทธิภาพการใช้น้ำที่ดีกว่าการใช้ software ในการควบคุมการให้น้ำ อย่างไรก็ตามการนำเทคโนโลยีเซ็นเซอร์มาใช้ในการควบคุมการให้น้ำมีต้นทุนการผลิตสูงขึ้น เพราะราคาอุปกรณ์ เช่น เซ็นเซอร์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ยังมีราคาค่อนข้างสูงเพราะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นในปัจจุบันอาจเป็นไปได้ในการนำไปใช้เฉพาะในพื้นที่ขนาดใหญ่ (>100 ไร่) ที่ต้องใช้ต้นทุนแรงงานในการดูแลรักษาสูง และแหล่งน้ำมีปริมาณน้ำจำกัด จึงจะทำให้เกิดความคุ้มค่า แต่ในการผลิตของเกษตรกรที่มีขนาดพื้นที่ประมาณ 10 ไร่ สามารถใช้แอปพลิเคชันในการควบคุมการให้น้ำน่าจะเหมาะสมมากกว่าเนื่องจากไม่ต้องลงทุนซื้อเซ็นเซอร์สำหรับวัดความชื้นดิน

นอกจากนี้ระบบควบคุมการให้น้ำที่พัฒนาขึ้นสามารถรองรับพืชชนิดต่างๆ ได้ไม่จำกัด โดยหากให้น้ำตามเซ็นเซอร์วัดความชื้นดิน ระบบจำเป็นต้องทราบค่าข้อมูลดินที่เกี่ยวข้อง เพื่อสามารถกำหนดระดับการให้น้ำตามค่าความชื้นวิกฤตที่จำเป็นได้ ซึ่งระบบนี้สามารถให้น้ำได้อย่างแม่นยำเนื่องจากการใช้ค่าความชื้นจริงจากในแปลงเกษตร ในขณะที่ระบบการให้น้ำตามแอปพลิเคชัน ไม่ต้องใช้ฮาร์ดแวร์ (เซ็นเซอร์) แต่ใช้ข้อมูลพืชที่เกี่ยวข้องได้แก่ค่า Kc และค่าความยาวรากพืชในทุกช่วงอายุของพืชสำหรับใช้ในการคำนวณปริมาณการให้น้ำอัตโนมัติ ข้อมูลสภาพภูมิอากาศได้มาจากการเรียนรู้ข้อมูลเดิมในอดีต การผนวกเซ็นเซอร์น้ำฝนเพื่อตรวจรู้ความชื้นดินในแปลงปัจจุบันช่วยทำให้ระบบมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

#### 6) ปัญหาที่พบในการใช้เทคโนโลยีเซ็นเซอร์เพื่อควบคุมการให้น้ำ

- 1) การติดตั้งเซ็นเซอร์ถ้าเซ็นเซอร์ไม่สัมผัสผิวดินสม่ำเสมอ อาจเกิดความคลาดเคลื่อนของค่าความชื้นในดินหรือทำให้ค่าแปรปรวนได้ โดยเฉพาะในช่วงหลังเตรียมดิน
- 2) ช่วงที่มีอากาศร้อนมากดินมักมีความร้อนสะสมสูง ส่งผลทำให้ระบบหยุดทำงาน (off-line) ต้องมีการ Reset อุปกรณ์กระจายสัญญาณให้เริ่มทำงานใหม่ ซึ่งเป็นปัญหาหลักของระบบ
- 3) หัววัดความชื้นของ sensor บางส่วนเกิดความเสียหายจากปลวก ทำให้ค่าความชื้นไม่เสถียรและการส่งข้อมูลบางช่วงขาดหาย
- 4) เซ็นเซอร์วัดความชื้นเกิดความเสียหายและมีอายุการใช้งานสั้น เนื่องจากถูกกัดกร่อนด้วยความเค็มของดินและปุ๋ย

7) แนวทางการแก้ปัญหาและการพัฒนาระบบควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติ โดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อให้มีเสถียรภาพมากขึ้น มีแนวทางดังนี้



- ออกแบบฮาร์ดแวร์สำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Lora WAN สำหรับการใช้งานให้ครอบคลุมพื้นที่ของการพืชแปลงใหญ่ และมีความทนทานต่อสภาพอากาศกลางแจ้งที่มีความร้อนสูง ซึ่งอาจนำอุปกรณ์กระจายสัญญาณ WIFI มาติดตั้งในโรงเรือนหรือที่พักใกล้กับแปลง ทั้งนี้เพื่อลดผลกระทบจากความร้อนในเวลากลางวันที่มีอากาศร้อน

- การออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมการให้น้ำในระบบน้ำหยดโดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่สามารถควบคุมการให้น้ำได้ในระยะไกลด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT, Internet of Things) เพื่อให้สามารถเพิ่มเติมหรือเชื่อมต่อระบบระบบอัตโนมัติแบบต่างๆ ในทางการเกษตรที่จะมีการพัฒนาขึ้นในอนาคตได้ เช่น เครื่องมือวัดค่าสภาพแวดล้อมแบบเคลื่อนที่ เป็นต้น ซึ่งเทคโนโลยี IoT จะทำให้การผลิตพืชมีความแม่นยำและลดต้นทุนการผลิตได้

- สร้างชุดต้นแบบระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ (mobile wireless sensor networks) สำหรับใช้เพื่อการสำรวจวัดค่าความชื้นดินในพื้นที่แปลงใหญ่เพื่อลดต้นทุนการใช้ sensor

#### 8) ความคุ้มค่าของการใช้เทคโนโลยีควบคุมการให้น้ำ

**ต้นทุน**ในการปลูกอ้อยแปลงดินร่วนทราย พบว่าการควบคุมการให้น้ำต่างวิธีกัน คือ

1. วิธีการให้น้ำควบคุมด้วยเซ็นเซอร์วัดความชื้นดินมีต้นทุนในการปลูก 18,064 บาท/ไร่ (ตารางที่ 3.6) จำแนกเป็นต้นทุนคงที่ คิดเป็นเงิน 4,363 บาท/ไร่ (รายละเอียดในตารางภาคผนวกที่ 1) และต้นทุนผันแปร คิดเป็นเงิน 13,701 บาท/ไร่
2. วิธีการให้น้ำควบคุมด้วยแอปพลิเคชันมีต้นทุนในการปลูก 17,175 บาท/ไร่ จำแนกเป็นต้นทุนคงที่คิดเป็นเงิน 3,563 บาท/ไร่ และต้นทุนผันแปร คิดเป็นเงิน 13,612 บาท/ไร่
3. ต้นทุนในการปลูกอ้อยแบบไม่ให้น้ำ (ใช้น้ำฝน) มีต้นทุนในการปลูก 13,262 บาท/ไร่ จำแนกเป็นต้นทุนคงที่คิดเป็นเงิน 1,500 บาท/ไร่ และมีต้นทุนผันแปรจำนวน 11,762 บาท/ไร่

**ผลตอบแทน**จากการปลูกอ้อยในดินร่วนทรายด้วยวิธีการให้น้ำควบคุมด้วยเซ็นเซอร์วัดความชื้นดินมีรายได้จากการขายผลผลิตจำนวน 24,832 บาท/ไร่ และมีกำไรสุทธิจำนวนทั้งสิ้น 6,768 บาท/ไร่ ส่วนวิธีการให้น้ำควบคุมด้วยแอปพลิเคชันมีรายได้ 24,550 บาท/ไร่ และมีกำไรสุทธิจำนวนทั้งสิ้น 7,375 บาท/ไร่ และผลตอบแทนจากการปลูกอ้อยแบบไม่ให้น้ำมีรายได้ 18,400 บาท/ไร่ และมีกำไรสุทธิจำนวนทั้งสิ้น 5,138 บาท/ไร่ (ตารางที่ 3.6)

สรุปจากการปลูกอ้อยในดินร่วนทราย โดยการให้น้ำควบคุมด้วยเซ็นเซอร์วัดความชื้นดินและวิธีการให้น้ำควบคุมด้วยแอปพลิเคชัน มีต้นทุนในการปลูกอ้อยเป็นเงินทั้งสิ้น 18,064 และ 17,175 บาท/ไร่ ตามลำดับ มีรายได้จากการขายผลผลิต 24,550–23,716 บาท/ไร่ และมีกำไรสุทธิจากการปลูกอ้อย 6,768–6,768 บาท/ไร่ ในขณะที่การไม่ให้น้ำมีต้นทุนต่ำกว่า แต่มีกำไรสุทธิต่อไร่ต่ำกว่าการให้น้ำทั้งสองวิธี อย่างไรก็ตามผลผลิตของแปลงที่ไม่ให้น้ำจากการทดลองนี้มีผลผลิตสูง ซึ่งเกิดขึ้นได้เฉพาะในปีที่ฝนตก

สม่ำเสมอ แต่หากเกิดภาวะฝนแล้งหรือฝนทิ้งช่วงนานการไม่ให้น้ำจะมีความเสี่ยงต่อผลผลิตอ้อยเกษตรกรอาจได้ผลผลิตต่ำกว่าในปีที่ทำการทดลองนี้

**ตารางที่ 3.6** ต้นทุน และผลตอบแทนจากการให้น้ำด้วยวิธีต่างกันในดิน 2 ชนิด

ชนิดดิน	วิธีการให้น้ำ	ผลผลิต (ตัน/ไร่)	ต้นทุน <sup>2</sup> (บาท/ไร่)	รายได้ <sup>3</sup> (บาท/ไร่)	ผลตอบแทน (บาท/ไร่)
ดินร่วน ทราย	ไม่ให้น้ำ	15.62b	13,262	18,400	5,138
	ควบคุมด้วยเซ็นเซอร์ <sup>1</sup>	21.08a	18,064	24,832	6,768
	ควบคุมด้วย Application	20.84a	17,175	24,550	7,375
ดินร่วน เหนียว	ไม่ให้น้ำ	17.20b	13,853	20,262	6,409
	ควบคุมด้วยเซ็นเซอร์	23.04a	18,797	27,141	8,344
	ควบคุมด้วย Application	22.96a	17,967	27,047	9,080

<sup>1</sup> ต้นทุนค่าวัสดุและดูแลรักษาเมื่อใช้เซ็นเซอร์ในการควบคุมการให้น้ำประมาณปีละ 800 บาท/ไร่

<sup>2</sup> ต้นทุนค่าเก็บเกี่ยวและการขนส่งขึ้นกับปริมาณของผลผลิตและระยะทางในการขนส่งอ้อย

<sup>3</sup> ราคาอ้อยเบื้องต้น ปี 2563/2564: ต้นละ 920 บาท ที่ความหวาน 10 ccs (คิดเพิ่ม ccs ละ 55.2 บาท/ตันและเงินเพิ่มตามนโยบายรัฐบาล กรณีตัดอ้อยสดอีก 120 บาท/ตัน)

**ต้นทุน**ในการปลูกอ้อยแปลงดินร่วนเหนียว พบว่าการปลูกอ้อยโดยการให้น้ำวิธีการต่างๆ คือ

1. วิธีการให้น้ำควบคุมด้วยเซ็นเซอร์วัดความชื้นดินมีต้นทุนในการปลูกทั้งสิ้น 18,798 บาท/ไร่ (ตารางที่ 3.6) จำแนกเป็นต้นทุนคงที่คิดเป็นเงิน 4,363 บาท/ไร่ และต้นทุนผันแปร คิดเป็นเงิน 14,434 บาท/ไร่ (รายละเอียดในตารางภาคผนวกที่ 1)
2. วิธีการให้น้ำควบคุมด้วยแอปพลิเคชันมีต้นทุนในการปลูกรวมทั้งสิ้น 17,967 บาท/ไร่ จำแนกเป็นต้นทุนคงที่คิดเป็นเงิน 3,563 บาท/ไร่ และต้นทุนผันแปร 14,404 บาท/ไร่
3. ต้นทุนในการปลูกอ้อยแบบไม่ให้น้ำ (ใช้น้ำฝน) มีต้นทุนในการปลูก 13,853 บาท/ไร่ จำแนกเป็นต้นทุนคงที่ 1,500 บาท/ไร่ และมีต้นทุนผันแปร 12,353 บาท/ไร่

**ผลตอบแทน**จากการปลูกอ้อยในดินร่วนเหนียว ด้วยวิธีการให้น้ำควบคุมด้วยเซ็นเซอร์วัดความชื้นดินมีรายได้จากการขายผลผลิต 27,141 บาท/ไร่ และมีกำไรสุทธิ 8,344 บาท/ไร่ ส่วนวิธีการให้น้ำควบคุมด้วยแอปพลิเคชันมีรายได้ 27,047 บาท/ไร่ และมีกำไรสุทธิ 9,080 บาท/ไร่ และผลตอบแทนจากการปลูกอ้อยแบบไม่ให้น้ำมีรายได้ 20,262 บาท/ไร่ และมีกำไรสุทธิ 6,409 บาท/ไร่

สรุปจากการปลูกอ้อยในดินร่วนเหนียว โดยการให้น้ำควบคุมด้วยเซ็นเซอร์วัดความชื้นดินและการให้น้ำตามแอปพลิเคชัน มีต้นทุนในการปลูกอ้อยเป็นเงิน 18,797 และ 17,967 บาท/ไร่ ตามลำดับ มีรายได้จากการขายผลผลิต 27,141–27,047 บาท/ไร่ และมีกำไรสุทธิจากการปลูกอ้อย 8,344–9,080 บาท/ไร่ ในขณะที่การไม่ให้น้ำมีต้นทุนต่ำกว่า แต่มีกำไรสุทธิต่อไร่ต่ำกว่าการให้น้ำทั้งสองวิธี อย่างไรก็ตาม

ผลผลิตของแปลงที่ไม่ให้น้ำจากการทดลองนี้มีผลผลิตสูง ซึ่งเกิดขึ้นได้เฉพาะในปีที่ฝนตกสม่ำเสมอ แต่หากเกิดภาวะฝนแล้งหรือฝนทิ้งช่วงนานการไม่ให้น้ำจะมีความเสี่ยงต่อการให้ผลผลิต เกษตรกรอาจได้ผลผลิตต่ำกว่าในปีนี้

## กิจกรรมที่ 2 การทดสอบระบบปั้มน้ำอัตโนมัติโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar cell)

เนื่องจากพื้นที่เกษตรส่วนใหญ่มักเป็นพื้นที่ห่างไกลไม่มีไฟฟ้าสำหรับสูบน้ำ การใช้น้ำมันเป็นแหล่งพลังงานในการสูบน้ำมีต้นทุนที่สูง ดังนั้นการใช้พลังงานทางเลือกเพื่อทดแทนการใช้ไฟฟ้าหรือน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับสูบน้ำโดยการใช้ solar cell เป็นทางเลือกหนึ่งซึ่งปัจจุบันวัสดุอุปกรณ์มีราคาถูกลง ดังนั้นวัตถุประสงค์การทดลองนี้เพื่อ 1) ทดสอบความเสถียรของระบบ 2) ศึกษาข้อจำกัดในการใช้ solar cell สำหรับใช้กับระบบน้ำหยด และ 3) เพื่อศึกษาความคุ้มค่าของการใช้ solar cell ซึ่งมีขั้นตอน และผลการดำเนินงานดังนี้

### 2.1 ขั้นตอนการพัฒนาและทดสอบระบบปั้มน้ำอัตโนมัติโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

1) ออกแบบระบบปั้มน้ำอัตโนมัติโดยใช้พลังงานจาก solar cell โดยพีซีที่ใช้ทดสอบเป็นมันสำปะหลังที่ปลูกในพื้นที่ 10 ไร่ โดยใช้ระบบน้ำหยด ซึ่งในการทดลองนี้ทดสอบในพื้นที่ 10 ไร่ ใช้แผง solar cell จำนวน 8 แผงๆ ละ 310 วัตต์ รวม 2,180 วัตต์ และใช้ปั้มน้ำขนาด 1.5 kW สามารถให้น้ำได้สูงสุด 30 ลบม./ชม. และแรงดันสูงสุด 2.6 บาร์ (รูปที่ 3.24)

2) ทดสอบการใช้ระบบปั้มน้ำอัตโนมัติโดยใช้พลังงานจาก solar cell ปลูกมันสำปะหลังพื้นที่ 5 ไร่ โดยแบ่งพื้นที่เป็น 2 โซนๆ ละ 2.5 ไร่ ระยะระหว่างแถว 1.2 เมตร และวางสายน้ำหยด 1 เส้น/แถว มีระยะห่างระหว่างหัวน้ำหยด 30 ซม. อัตราการไหล 1.5 ลิตร/ชม.



ให้พลังงานรวม 2,180 วัตต์

(มีทั้งหมด 8 แผงๆ ละ 310 วัตต์; ก. 0.95 x ย.1.90 เมตร)

ไม่มีที่เก็บพลังงาน

<b>SUPER PUMP</b>		<b>LAND PUMP</b>		<b>MODEL WCM-1505T</b>	
DISCHARGE	2 inch	min <sup>3</sup>	2900		
TOTAL HEAD	26.4-10.7 m	CAPACITY	0-500	l/min	
THREE PHASE INDUCTION MOTOR					
OUTPUT	1.5 kW	2 HP	POLE	2	
Hz	50	IP	55	OUTDOOR TYPE	
V	220	380	TH CLASS	155(F)	
A	8.5	4.9	SERIAL	F16	
MITSUBISHI ELECTRIC AUTOMATION (THAILAND) CO., LTD.					

รูปที่ 3.24 ระบบปั้มน้ำอัตโนมัติโดยใช้ solar cell

3) หลังจากคำนวณปริมาณการให้น้ำแล้วทดสอบให้น้ำครั้งละ 1 โชน (2.5 ไร่) ซึ่งในแต่ละโชนมีหัวน้ำหยดเท่ากับ 11,111 หัว และมีอัตราการไหลรวมเท่ากับ 16.7 ลบ.ม./ชม. ดินที่ปลูกมันสำปะหลังมีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย และจากการคำนวณการให้น้ำในแต่ละโชนใช้เวลาให้น้ำทั้งสิ้น 4.8 ชม./ครั้ง และมีรอบเวรการให้น้ำในช่วงที่มีความต้องการน้ำสูงสุด 4 วัน/ครั้ง

4) การออกแบบการให้น้ำและระบบควบคุมการให้น้ำกึ่งอัตโนมัติมีส่วนประกอบคือ โหนดเร้าเตอร์ โหนดโคออร์ดิเนเตอร์ ชุดขับโซลินอยด์วาล์ว ซึ่งได้ถูกออกแบบให้สามารถใช้ solar cell เป็นแหล่งให้พลังงาน

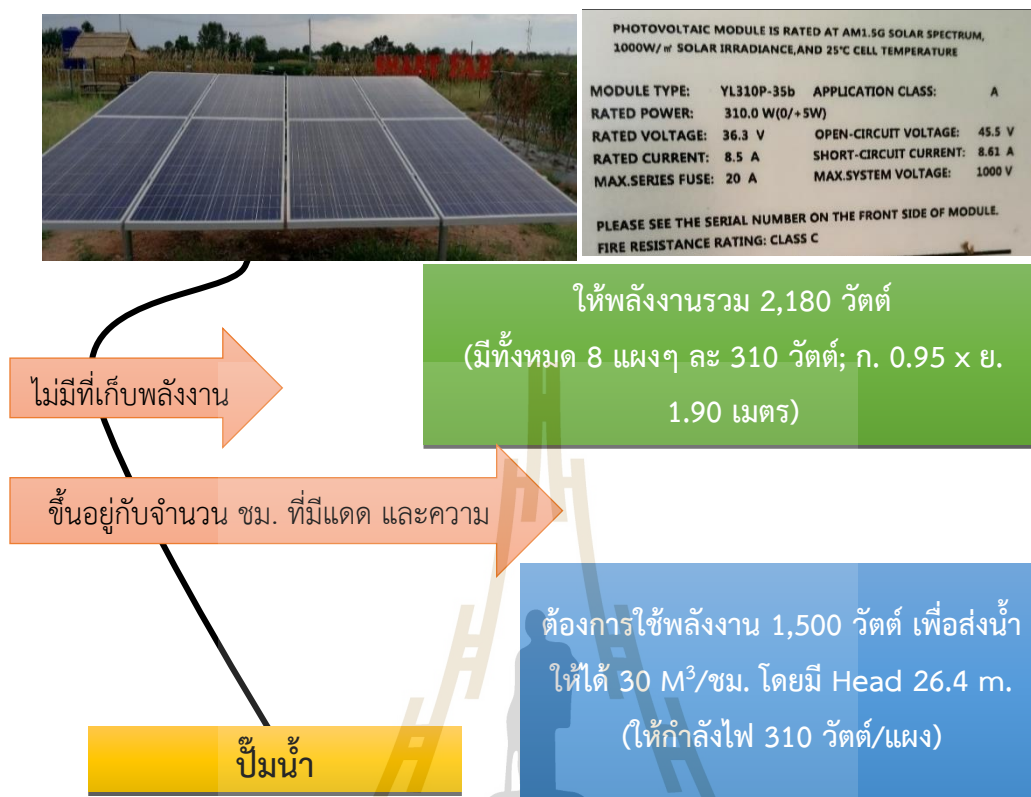
5) บันทึกปริมาณการสูบน้ำ เวลาที่ใช้ในการให้น้ำ ปัญหาและอุปสรรคในการให้น้ำ

## 2.2 ผลการพัฒนาและทดสอบระบบปั้มน้ำอัตโนมัติโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar cell)

จากการทดสอบระบบปั้มน้ำอัตโนมัติโดยใช้แผง solar cell จำนวน 8 แผงๆ 310 วัตต์ รวม 2,180 วัตต์ (รูปที่ 3.25) และใช้ปั้มน้ำขนาด 1.5 kW สามารถให้น้ำได้สูงสุด 30 ลบ.ม./ชม. ที่แรงดันสูงสุด 2.6 บาร์ ได้ผลการทดสอบดังนี้

1) การทดสอบให้น้ำครั้งละ 1 โชน โดยมีปริมาณน้ำเท่ากับ 16.7 ลบ.ม./ชม. พบว่าระบบสามารถให้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงกลางวัน (7 ชม./วัน) ในวันที่ไม่มีเมฆมาก ดังนั้นจึงสามารถให้น้ำได้ประมาณ 1.5 โชน/วัน โดยรอบเวรการให้น้ำสูงสุด 4 วัน/ครั้ง ดังนั้นระบบนี้สามารถให้น้ำได้สูงสุด 6 โชนหรือพื้นที่ 15 ไร่ แต่จากการทดสอบในระยะยาวพบว่าระยะเฉลี่ยการทำงานประมาณ 5 ชม./วัน ดังนั้นการให้น้ำจึงทำได้เพียง 1 โชน/วัน หรือ 4 โชนต่อรอบการให้น้ำ ดังนั้นจึงเหมาะสมกับพื้นที่ประมาณ 10 ไร่เท่านั้น อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้จากการใช้แผง solar cell ดังกล่าวยังไม่ใช้เต็มประสิทธิภาพ เพราะในช่วงที่มีแสงแดดมากกว่า 5 ชม./วัน ไม่ได้มีการนำพลังงานไปใช้ให้เกิดประโยชน์ ดังนั้นถ้าจะใช้พลังงานแสงให้มีประสิทธิภาพสูงสุด อาจต้องใช้แบตเตอรี่สำรองพลังงาน

2) การทดสอบการให้น้ำอัตโนมัติโดยกำหนดการให้น้ำ 4.8 ชม./วัน ในช่วงกลางวัน พบว่าสามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งการควบคุมผ่านระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือการตั้งเวลาอัตโนมัติ ในช่วงวันที่มีแดดสม่ำเสมอ แต่ในวันที่มีเมฆมากจะไม่สามารถกำหนดระยะเวลาการให้น้ำโดยอัตโนมัติได้ เพราะในช่วงที่มีเมฆมากอัตราการไหลของน้ำไม่ได้ตามปริมาณที่กำหนด (16.7 ลบ.ม./ชม.) ซึ่งการแก้ไขอาจทำได้คือการใช้แบตเตอรี่สำรองพลังงานเพื่อให้มีพลังงานคงที่ในช่วงที่มีเมฆมาก หรือการมีใช้การวัดปริมาณน้ำเป็นตัวกำหนดการให้น้ำแทนระยะเวลา โดยติดตั้งรีเลย์วัดน้ำที่สามารถส่งข้อมูลปริมาณน้ำมาประมวลผลและควบคุมการให้น้ำตามปริมาณน้ำที่ได้จริง



รูปที่ 3.25 ระบบปั้มน้ำอัตโนมัติโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

### กิจกรรมที่ 3 การพัฒนา software เพื่อจำแนกพันธุ์พืชและวัชพืช

การวิจัยนี้เพื่อพัฒนา software ใช้เป็นต้นแบบสำหรับจำแนกพันธุ์พืชจากภาพถ่ายด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการจำแนกพันธุ์พืชต่างๆ สำหรับเป็นต้นแบบในการพัฒนาเครื่องมือสำหรับจำแนกพันธุ์พืชอื่นๆ การจำแนกชนิด/พันธุ์เพื่อการวางแผนผลิตพืช หรือวางแผนบริหารจัดการพืชได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง ซึ่งการทดลองนี้ได้เลือกทดสอบโดยใช้มันสำปะหลังและวัชพืช เป็นพืชต้นแบบในการพัฒนาแอปพลิเคชัน เพราะเกษตรกรส่วนใหญ่ไม่สามารถจำแนกชนิด โดยเฉพาะวัชพืชได้ ทำให้มีผลต่อการวางแผนป้องกันกำจัด การเลือกใช้สารเคมีป้องกันกำจัด ดังนั้นหากมีเครื่องมือช่วยจะทำให้เกษตรกรจัดการได้อย่างแม่นยำ

#### 3.1 การจำแนกพันธุ์มันสำปะหลังจากภาพถ่ายด้วยการเรียนรู้แบบเชิงลึก (deep learning)

เนื่องจากเกษตรกรมีปัญหาในการแยกพันธุ์เมื่อซื้อต้นพันธุ์มันสำปะหลัง การจำแนกพันธุ์ออกจากกันได้ยาก ทำให้บางครั้งเกษตรกรถูกหลอกขายท่อนพันธุ์ ดังนั้นการวิจัยนี้ได้ปลูกมันสำปะหลัง 12 พันธุ์ใน 2 สภาพแวดล้อม (ดินทรายร่วน และดินร่วนเหนียวปนทราย) หลังจากต้นงอกบันทึกลักษณะและถ่ายภาพลักษณะต่างๆ ที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน โดยถ่ายภาพลักษณะสัญญาณของมันสำปะหลัง 7 ลักษณะ ได้แก่ ลักษณะแผ่นใบ หูใบ โคนใบ ทรงพุ่ม (ลำต้น) สียอด สีใบอ่อน และสีเปลือกหัวมัน

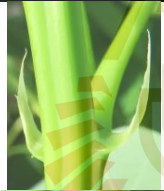





























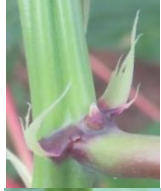













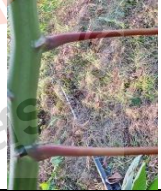

สำปะหลัง โดยลักษณะใบและยอดบันทึกภาพถ่ายทุก 30 วัน เพื่อบันทึกการเจริญเติบโต และลักษณะต่างๆ ของมันสำปะหลัง สำหรับสีเปลือกหัว-ลักษณะหัวมันสำปะหลัง ถ่ายภาพครั้งเดียวในระยะเก็บเกี่ยว แล้วนำข้อมูลภาพถ่ายที่ได้มาใช้เทคนิค Imagine analysis ประมวลผลและแก้ไข (ตารางที่ 3.7) โดยมีขั้นตอนดังนี้

### 3.1.1 การพัฒนา software เพื่อจำแนกพันธุ์มันสำปะหลัง

1) รวบรวมภาพถ่ายมันสำปะหลังส่วนต่างๆ ที่ใช้ในการจำแนกพันธุ์มันสำปะหลัง โดยการถ่ายภาพลักษณะสัณฐานของมันสำปะหลัง 7 ลักษณะ ได้แก่ ลักษณะใบ ลำต้น ยอด ฯลฯ ที่อายุต่างๆ ทุกๆ 30 วัน จนถึงอายุเก็บเกี่ยว ภาพถ่ายมันสำปะหลังแต่ละพันธุ์ที่อายุการเจริญเติบโตต่างๆ นำมาใช้เป็นฐานข้อมูลในการใช้ฝึกสอนเครือข่ายการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับพัฒนา software ซึ่งการมีภาพถ่ายจำนวนมากจะทำให้เครือข่ายฯ สามารถเรียนรู้ตัวอย่างได้ดีกว่า รวมไปถึงการเตรียมข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดสอบระบบ ซึ่งใช้ชุดตัวอย่างคนละชุดกันกับชุดที่ใช้ในการฝึกสอน

ตารางที่ 3.7 ตัวอย่างภาพถ่ายคุณลักษณะต่างๆ ของมันสำปะหลังที่ใช้สำหรับจำแนกพันธุ์มันสำปะหลัง

ชื่อพันธุ์	ลักษณะหุบใบ	ลักษณะแผ่นใบ	ลักษณะโคนใบ	ลักษณะลำต้น
ห้วยบง 60				
ห้วยบง 80				
ระยอง 5				
ระยอง 7				
ระยอง 9				

ชื่อพันธุ์	ลักษณะหุบใบ	ลักษณะแผ่นใบ	ลักษณะโคนใบ	ลักษณะลำต้น
ระยอง 11				
ระยอง 86-13				
ระยอง 72				
พิรุณ 1				
พิรุณ 2				
ห้านาที				

2) ทำการประมวลผลข้อมูลภาพและฝึกสอนด้วยเครือข่าย CNN แบบ Inception โดยแยกเครือข่ายออกเป็น 7 ชุดสำหรับคุณลักษณะของพันธุ์มันทั้ง 7 คุณลักษณะ ได้แก่ สียอดอ่อน สีใบอ่อน หูใบ สีก้าน ลักษณะแผ่นใบ สีลำต้น ทรงพุ่ม และทดสอบผลการเรียนรู้แบบเชิงลึก (deep learning) ของแต่ละคุณลักษณะ

3) จัดเตรียมเครือข่าย CNN (Convolutional Neural Network) สำหรับการเรียนรู้คุณลักษณะของมันสำปะหลังพันธุ์ต่างๆ จากชุดภาพถ่ายข้างต้น เนื่องจากการจำแนกพันธุ์มันสำปะหลังหนึ่งๆ ต้องใช้การวิเคราะห์คุณลักษณะที่แตกต่างกันหลายๆ ลักษณะร่วมกัน



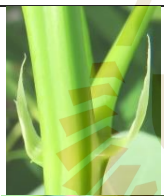


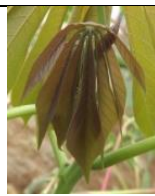






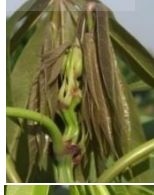





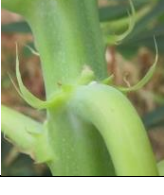



4) ทำการออกแบบซอฟต์แวร์ในส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้ (User interface) เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่สามารถใช้งานได้สะดวก ในลักษณะที่สามารถถ่ายรูปมันสำปะหลังจากโทรศัพท์เคลื่อนที่แล้วสามารถระบุพันธุ์ได้เลย รวมไปถึงการออกแบบการใช้งานระบบแบบ API เพื่อให้สามารถรองรับการเชื่อมต่อกับระบบอื่นๆ ได้ ทั้งนี้การประมวลผลต่างๆ ที่ต้องใช้ทรัพยากรการคำนวณที่สูงจะดำเนินการในลักษณะ cloud computing



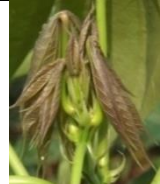









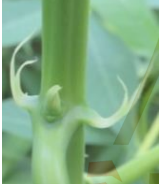





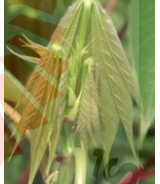





5) ทดสอบระบบการจำแนกมันสำปะหลังโดยพัฒนาเป็นแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ แล้วทดสอบใช้เพื่อประเมินความถูกต้องแม่นยำของแอปพลิเคชัน

### 3.1.2 ผลการพัฒนา software เพื่อจำแนกพันธุ์มันสำปะหลัง

จากการบันทึกข้อมูลโดยมีจำนวนภาพถ่ายของแต่ละลักษณะแสดงในตารางที่ 3.8 และแบ่งภาพถ่ายส่วนหนึ่งไว้ในการทดสอบระบบ

ตารางที่ 3.8 ลักษณะประจำพันธุ์เพื่อใช้ในการจำแนกมันสำปะหลังพันธุ์ต่างๆ

พันธุ์	ลักษณะ			
	หุบใบ	แผ่นใบ	สียอดอ่อน	สีใบอ่อน
ห้วยบง 60				
ห้วยบง 80				
ระยอง 5				
ระยอง 7				
ระยอง 9				

พันธุ์	ลักษณะ			
	หุบใบ	แผ่นใบ	สีเขียวอ่อน	สีใบอ่อน
ระยอง 11				
ระยอง 86-13				
ระยอง 72				
พิจิตร 1				
พิจิตร 2				
ห่านาที่				

1) การออกแบบซอฟต์แวร์ในส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้ (User interface) เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ให้สามารถใช้งานได้สะดวก ในลักษณะที่สามารถถ่ายรูปแล้วสามารถใช้จำแนกพันธุ์มันสำปะหลังได้ รวมถึงการออกแบบการใช้งานระบบแบบ API เพื่อให้สามารถรองรับการเชื่อมต่อกับระบบอื่นได้

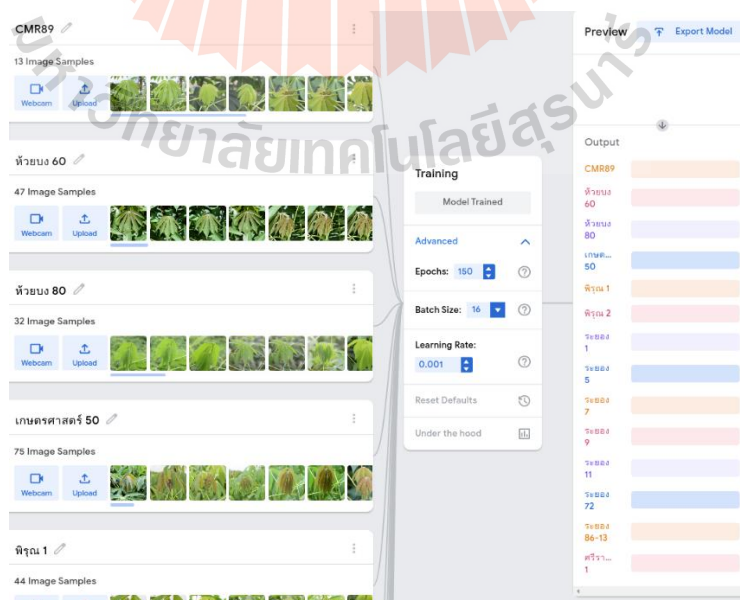
2) การประมวลผลและการทดสอบระบบดำเนินการในลักษณะ cloud computing ซึ่งจากการทดสอบการใช้งานพบว่าระบบมีความถูกต้องแม่นยำในการจำแนกพันธุ์มันสำปะหลังด้วยคุณลักษณะทั้ง 7 ตามแสดงในตารางที่ 3.9 โดยเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำดังกล่าวได้มาจากการแบ่งชุดข้อมูลในการเรียนรู้ออกเป็นข้อมูลสำหรับทำการทดสอบต่างหาก และเมื่อทดสอบแอปพลิเคชันโดยใช้การถ่ายรูปจากกล้อง

ของโทรศัพท์มือถือ โดยรูปถ่ายแสดงลักษณะต่างๆ ของมันสำปะหลังจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ แอปพลิเคชันซึ่งสามารถแสดงผลได้อย่างถูกต้อง 82.5%

ตารางที่ 3.9 ข้อมูลการเรียนรู้เชิงลึกในมันสำปะหลัง

คุณลักษณะ	จำนวนรูปภาพที่ใช้ฝึกสอน	เปอร์เซ็นต์ทดสอบความถูกต้อง
สีเขียวอ่อน	1,734	97.3
สีใบอ่อน	627	95.2
หุบใบ	607	88.0
สีก้าน	574	92.0
ลักษณะแผ่นใบ	439	78.1
สีลำต้น	1,738	77.9
ทรงพุ่ม	497	73.2

3) การทดลองใช้แอปพลิเคชันและขั้นตอนการใช้งาน Cassava Breed Classifier เป็นแอปพลิเคชัน สำหรับใช้ในการตรวจหาพันธุ์ของมันสำปะหลังจากการสแกนส่วนต่าง ๆ ของต้นมันสำปะหลัง โดยใช้ กล้องบนอุปกรณ์มือถือเป็นเครื่องมือหลักในการสแกน ส่วนต่าง ๆ ของต้นมันสำปะหลังที่ใช้ในการฝึกสอน ได้แก่ รูปทรงใบ ก้านใบ ทรงพุ่ม ยอดอ่อน ลำต้น หุบใบ และใบอ่อน แอปพลิเคชันนี้ใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึกหรือ deep learning ในการเรียนรู้ภาพส่วนต่างๆ ของมันสำปะหลังพันธุ์ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 เทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) ในการเรียนรู้ภาพส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลังพันธุ์ต่างๆ



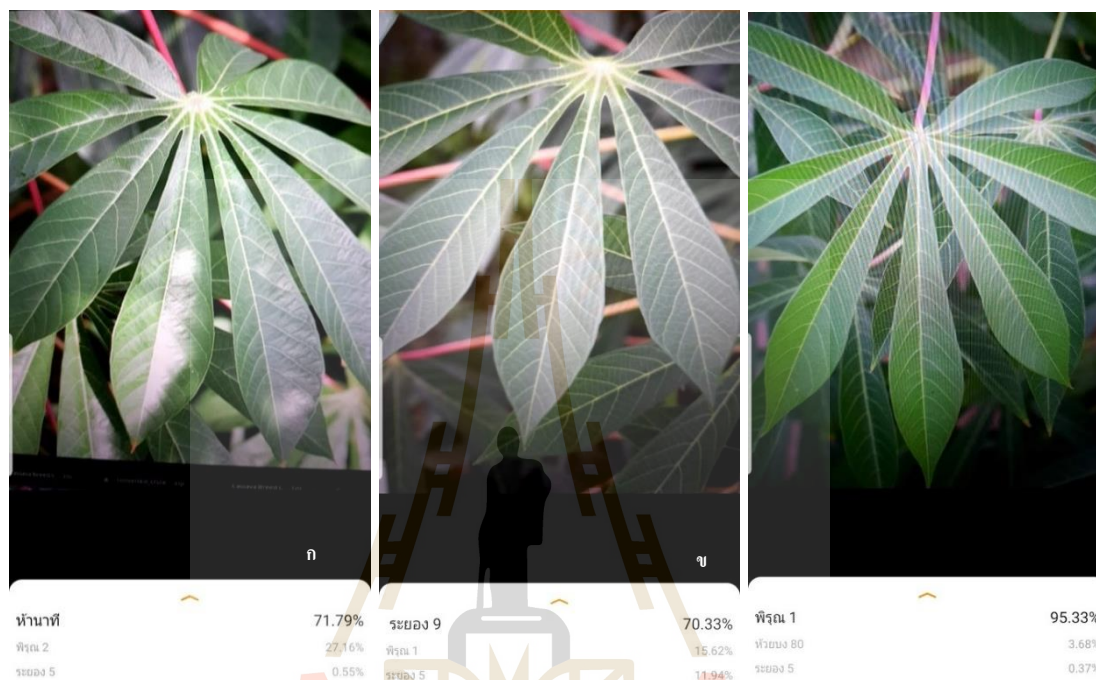
4) การทดลองใช้แอปพลิเคชันและขั้นตอนการใช้งาน Cassava Breed Classifier เป็นแอปพลิเคชันที่สามารถใช้งานได้บนอุปกรณ์มือถือระบบปฏิบัติการ Android เวอร์ชัน 8.0 เป็นต้นไป การติดตั้งไฟล์ APK บนอุปกรณ์ Android สามารถใช้แอปพลิเคชันช่วยเหลือในการติดตั้งไฟล์ APK ได้ เช่น APK Installer จาก Play Store ของระบบ Android ผู้ใช้งานสามารถโหลดแอปพลิเคชันในรูปแบบไฟล์ APK ได้ตามลิงก์นี้ คือ [https://drive.google.com/file/d/1YGvHuezX6RHjt4JWkyW6U\\_Hui8\\_r2G0hG/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1YGvHuezX6RHjt4JWkyW6U_Hui8_r2G0hG/view?usp=sharing)

โดยมีขั้นตอนการใช้งานแอปพลิเคชัน Cassava Breed Classifier โดยเมื่อทำการติดตั้งแอปพลิเคชัน Cassava Breed Classifier เรียบร้อยแล้วสามารถเรียกใช้งานจาก Icon Launcher นี้ได้ แอปพลิเคชันจะเริ่มเปิดหน้าใช้งานหน้าแรกดังต่อไปนี้



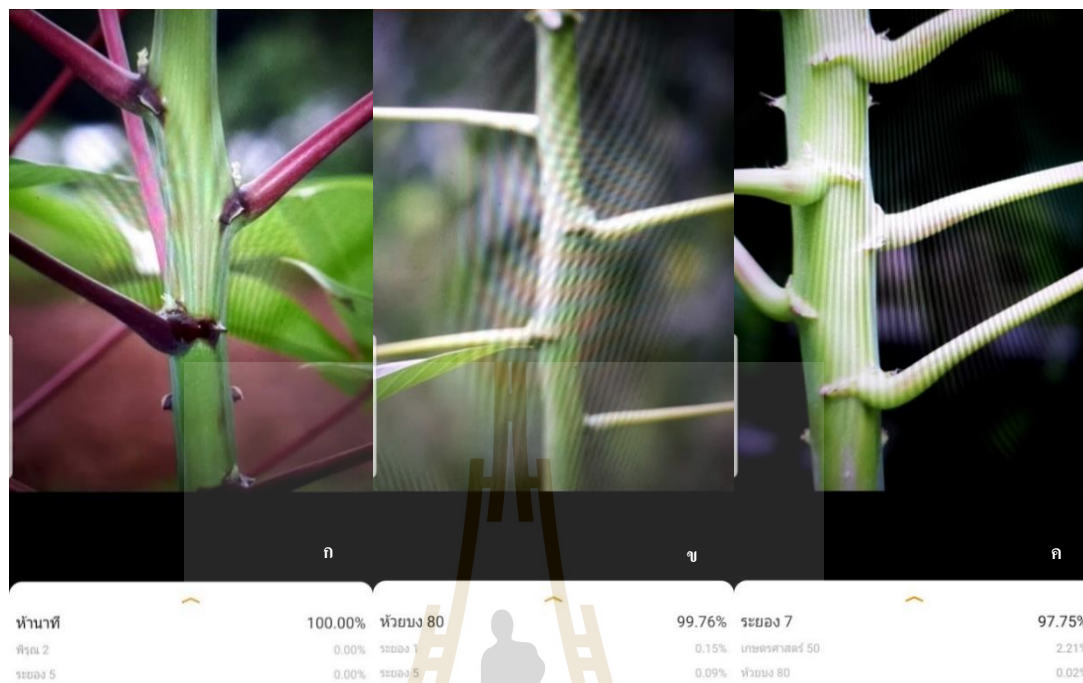
ผู้ใช้งานสามารถเริ่มใช้งานโดยเลือกเมนูส่วนของมันสำปะหลังเพื่อเริ่มสแกนมันสำปะหลัง โดยระบบจะทำการเปิดกล้องพร้อมทั้งทำการสแกนแบบเวลาจริง ดังตัวอย่างหน้าจอแสดงในรูปต่อไปนี้ เมื่อผู้ใช้งานใช้กล้องส่องไปยังใบมันสำปะหลังที่ต้องการสแกน กล้องข้อความด้านล่างของจอจะแสดงผลการสแกนพันธุ์แบบเวลาจริง โดยแสดงชื่อพันธุ์มันสำปะหลังที่ทำการตรวจจับได้ พร้อมทั้งเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่ระบบทำการคำนวณได้ เช่นจากตัวอย่างเมื่อแอปพลิเคชันประมวลผลและแสดงผลที่พบว่าต้นหรือส่วนที่สแกนภาพรูปทรงใบมันสำปะหลัง 3 พันธุ์ พบว่าพันธุ์แรกมีความเป็นพันธุ์ห่านาที่ 71.79% (รูปที่ 3.28 ก) รูปต่อมามีเปอร์เซ็นต์ที่เหมือนพันธุ์ระยอง 9 ประมาณ 70.33% (รูปที่ 3.28 ข) ส่วนรูปสุดท้ายมีเปอร์เซ็นต์ที่เหมือนพันธุ์พิจิตร 1 95.33% (รูปที่ 3.28 ค) เป็นต้น ในขณะที่เดียวกันเมื่อสแกนแล้ว

ลักษณะนั้นมีความคล้ายกับพันธุ์อื่นๆ ที่ระบบทำการตรวจค้นเจอ แต่ด้วยเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่ต่ำกว่า รายชื่อพันธุ์ดังกล่าวนั้นจะถูกแสดงในด้านล่าง เช่นพันธุ์พิจูณ 2 27.16% หรือพันธุ์ห้วยบง 60 3.68% ระบบจะเลือกรายชื่อพันธุ์มันสำปะหลังที่มีเปอร์เซ็นต์การตรวจจับที่สูงที่สุดมาแสดงเป็นอันดับแรกเสมอ

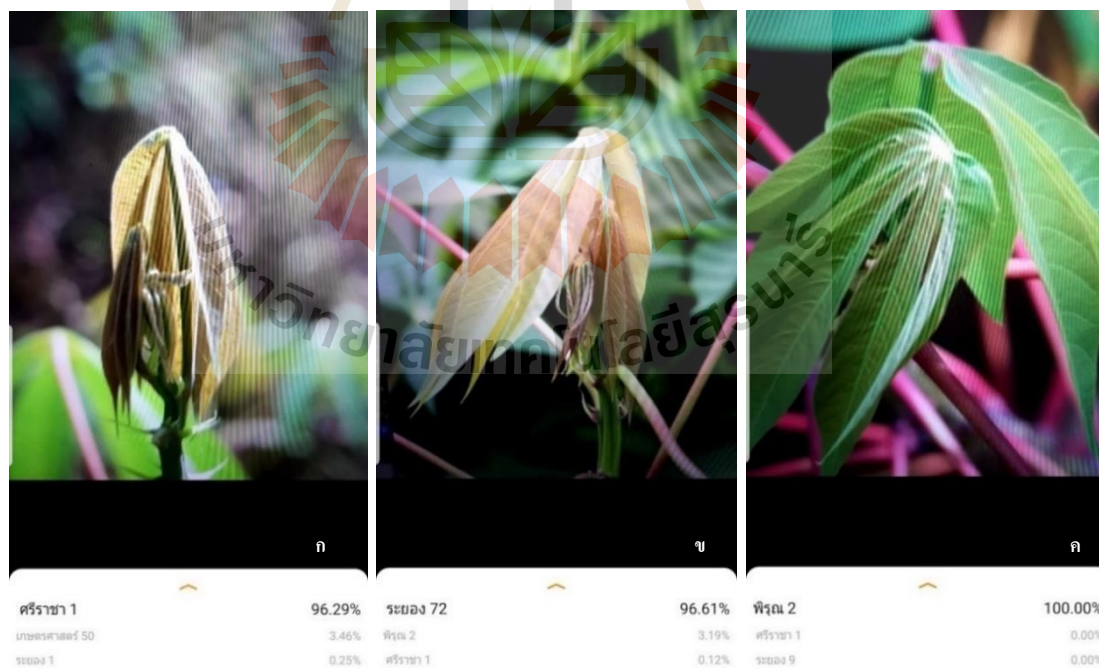


รูปที่ 3.28 ตัวอย่างหน้าจอการสแกนรูปทรงใบมันสำปะหลัง ก) พันธุ์ห่านาที่ ข) พันธุ์ระยอง 9 และ ค) พันธุ์พิจูณ 1

ระบบได้ทำการเรียนรู้ส่วนต่างๆ ของมันไว้ทั้งหมด 7 ส่วน ได้แก่ ส่วนใบ ก้านใบ ทรงพุ่ม ยอดอ่อน ลำต้น หูใบ และใบอ่อน ตัวอย่างในรูปที่ 3.29 เป็นตัวอย่างการจำแนกโดยใช้ส่วนก้านใบ รูปที่ 3.30 เป็นตัวอย่างการจำแนกโดยใช้ส่วนยอดอ่อน รูปที่ 3.31 เป็นตัวอย่างการจำแนกโดยใช้ส่วนลำต้น รูปที่ 3.32 เป็นตัวอย่างการจำแนกโดยใช้ส่วนหูใบ รูปที่ 3.33 เป็นตัวอย่างการจำแนกโดยใช้ส่วนใบอ่อน และรูปที่ 3.34 เป็นตัวอย่างการจำแนกโดยใช้ส่วนของทรงพุ่ม (มีความถูกต้องค่อนข้างต่ำที่สุดในกลุ่ม) ซึ่งแต่ละพันธุ์มีสีและลักษณะที่แตกต่างกันจากความจำเพาะของแต่ละพันธุ์ ดังนั้นการประเมินเพื่อจำแนกพันธุ์มันสำปะหลังจะทำได้อย่างแม่นยำเพราะไม่ได้สรุปจากเพียงส่วนใดส่วนหนึ่งแต่มาจากการประมวลผลหลายลักษณะ ซึ่งแต่ละลักษณะของมันสำปะหลังระบบได้รับการเรียนรู้ด้วยความถูกต้องที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปริมาณข้อมูลที่ใช้ฝึกสอน และรูปแบบความยากง่ายของส่วนนั้นๆ เช่น ส่วนของทรงพุ่มมันสำปะหลังที่มีความยากในการจำแนกความแตกต่างระหว่างพันธุ์มันสำปะหลัง ดังนั้นอาจใช้ลักษณะนี้เพื่อจำแนกความแตกต่างกันได้น้อย และแต่ละรูปอาจมีเปอร์เซ็นต์แตกต่างกัน

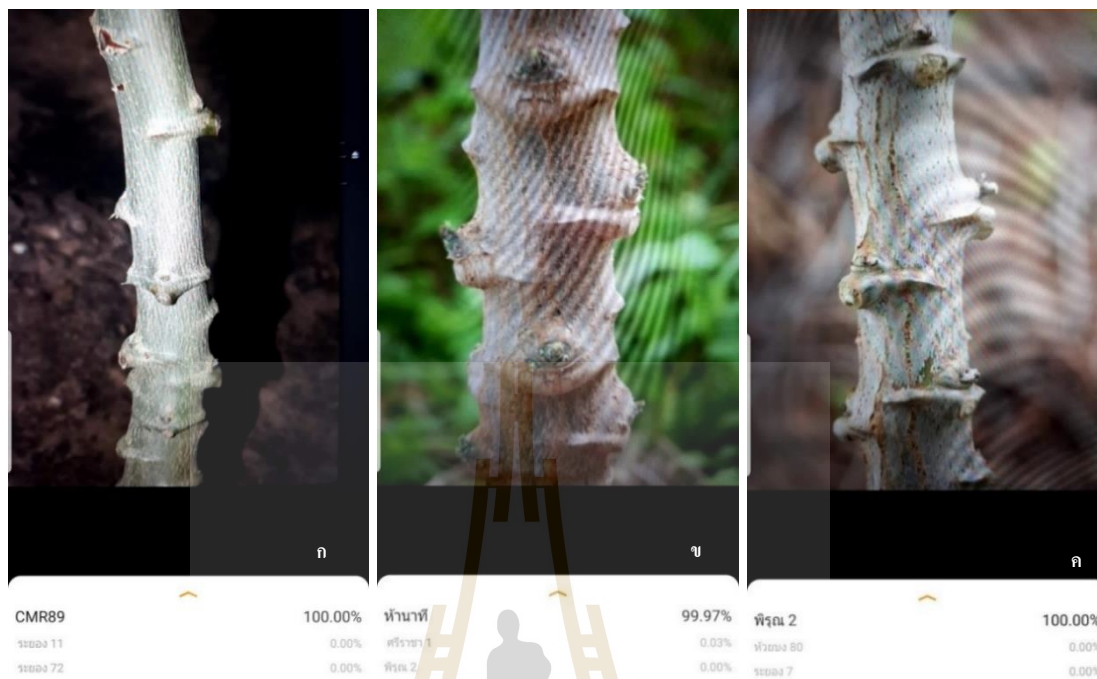


รูปที่ 3.29 ตัวอย่างการสแกนก้านใบมันสำปะหลัง ก) พันธุ์ห่านาที่ 1 ข) พันธุ์ห้วยบง 80 และ ค) พันธุ์ระยอง 7

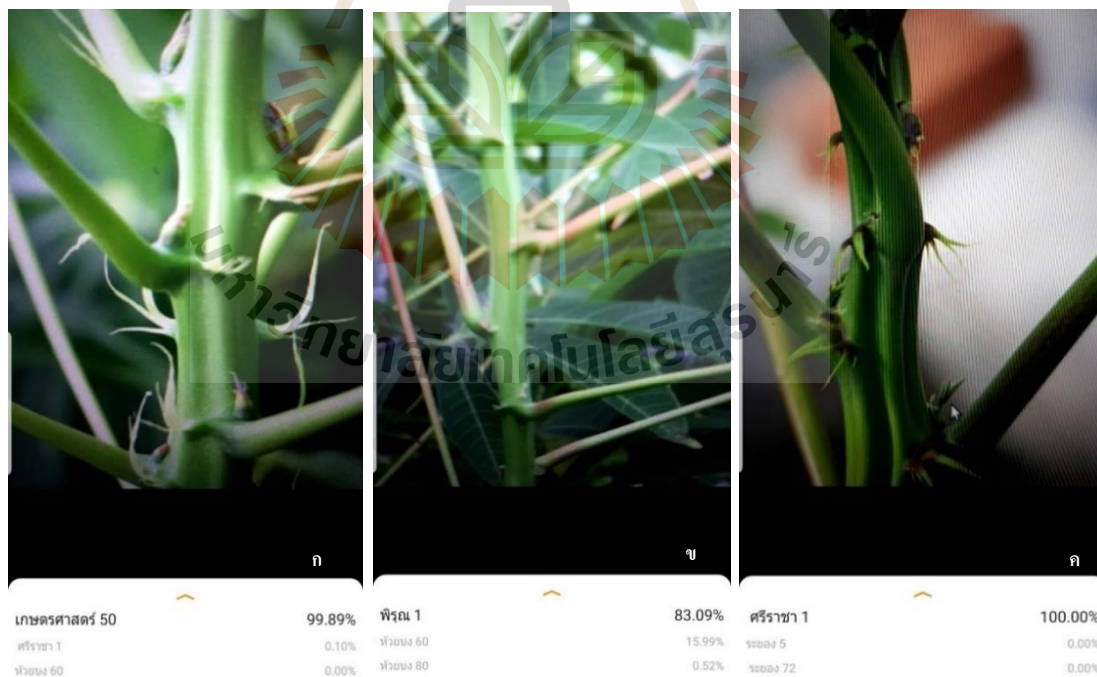


รูปที่ 3.30 ตัวอย่างการสแกนยอดค่อนมันสำปะหลัง ก) พันธุ์ศรีราชา 1 ข) พันธุ์ห้วยบง 72 และ ค) พันธุ์พิจิตร 2

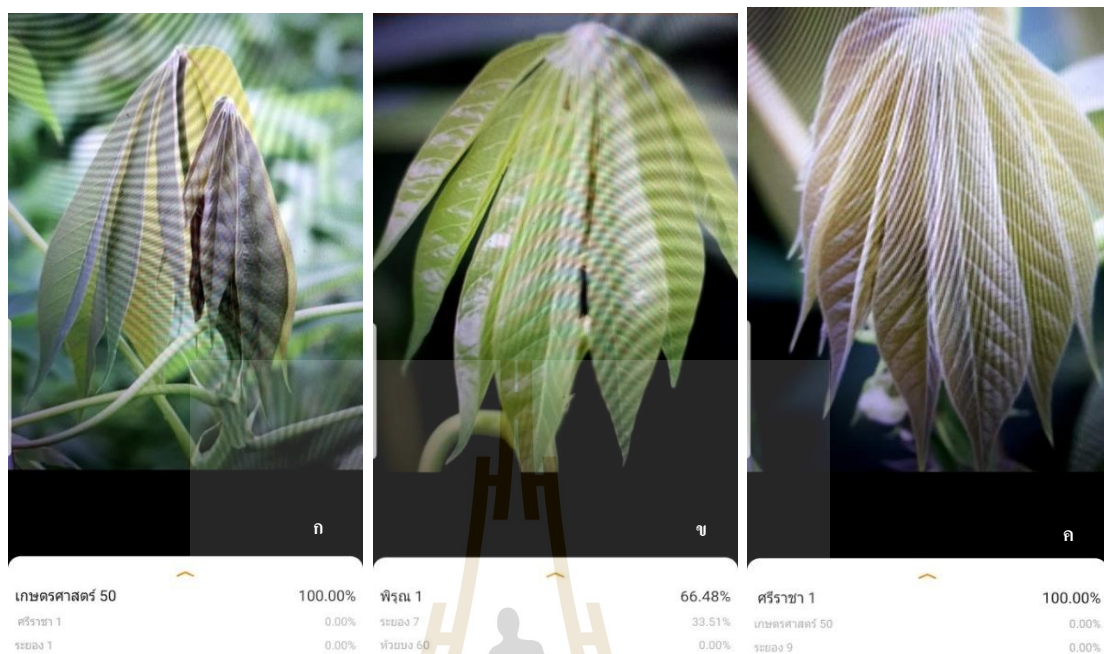




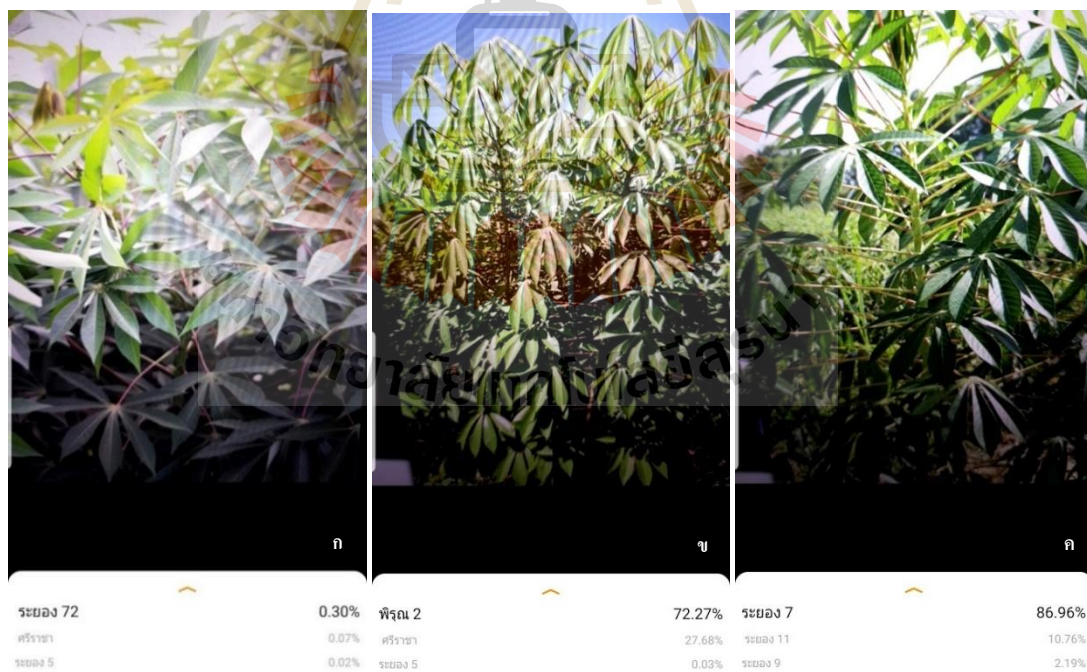
รูปที่ 3.31 ตัวอย่างการสแกนลักษณะลำต้นของมันสำปะหลัง ก) CMR89-13 ข) พันธ์ห่านาที และ  
ค) พันธ์พืรุณ 2



รูปที่ 3.32 ตัวอย่างการสแกนท่อน้ำของมันสำปะหลัง ก) พันธ์เกษตรศาสตร์ 50 ข) พันธ์พืรุณ 1 และ  
ค) ศรีราชา 1



รูปที่ 3.33 ตัวอย่างการสแกนใบอ่อนมันสำปะหลัง ก) พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ข) พันธุ์พิจิตร 1 และ ค) พันธุ์ศรีราชา 1



รูปที่ 3.34 ตัวอย่างการสแกนพันธุ์จากทรงพุ่มมันสำปะหลัง ก) พันธุ์ระยอง 72 ข) พันธุ์พิจิตร 2 และ ค) พันธุ์ระยอง 7



### 3.2 การจำแนกประเภทวัชพืชจากภาพถ่ายด้วยการเรียนรู้แบบเชิงลึก

การวางแผนป้องกันกำจัดวัชพืชอย่างแม่นยำ เกษตรกรจำเป็นต้องมีความรู้ในการจำแนกชนิดของวัชพืช เพื่อให้สามารถเลือกใช้สารกำจัดวัชพืช และวิธีการจัดการได้อย่างถูกต้องแม่นยำ จึงจะทำให้การป้องกันกำจัดมีประสิทธิภาพ

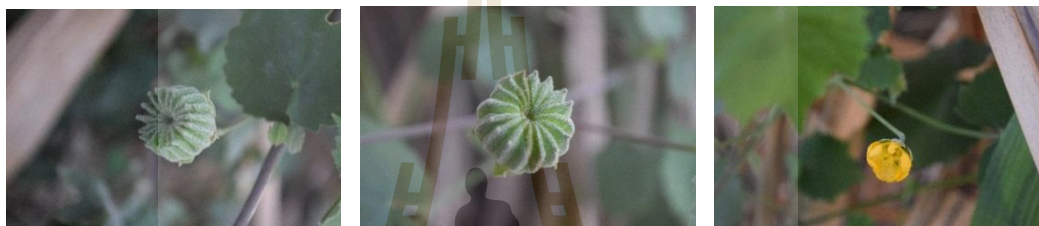
**3.2.1 ขั้นตอนการพัฒนา software เพื่อจำแนกวัชพืช** การทดลองนี้ได้ศึกษาวัชพืชในแปลงมันสำปะหลังและแปลงอ้อย ในจังหวัดนครราชสีมา โดยมีการบันทึกภาพถ่ายของวัชพืชแต่ละชนิดที่อายุต่างกัน จากหลายสภาพแวดล้อม เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาเป็น software สำหรับจำแนกวัชพืช ซึ่งมีขั้นตอนการพัฒนาดังนี้

- 1) รวบรวมข้อมูลภาพถ่ายวัชพืชชนิดต่างๆ ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างกัน และมุมกล้องที่แตกต่างกัน
- 2) ตรวจสอบข้อมูลรูปภาพและคัดเลือกประเภทของวัชพืชที่มีจำนวนรูปภาพเพียงพอต่อการเรียนรู้แบบเชิงลึก
- 3) สร้างเครือข่ายประสาทเทียมแบบ Convolutional Neural Network (CNN) ด้วยซอฟต์แวร์ MATLAB เพื่อเป็นต้นแบบในการเรียนรู้ประเภทของวัชพืชด้วยการเรียนรู้แบบเชิงลึก โดยเลือกใช้เครือข่ายที่มีการฝึกสอนล่วงหน้า (pre-trained network) ชื่อว่า alexnet เป็นเครือข่ายหลักในการเรียนรู้
- 4) รายละเอียดของ alexnet จากการทดสอบการทำงานบนซอฟต์แวร์ MATLAB มีดังนี้
  - ประเภทของวัชพืช (label ใช้สำหรับเรียนรู้ในเครือข่าย) พร้อมจำนวนรูปภาพทั้งหมดของแต่ละประเภท โดยเครือข่ายจะเลือกใช้จำนวนรูปภาพจากประเภทของวัชพืชที่มีจำนวนน้อยที่สุดคือ 115 รูปภาพ สำหรับฝึกสอนแต่ละประเภทของวัชพืช (จำนวนรูปภาพที่ใช้ฝึกสอนต้องเท่ากันทุกประเภทวัชพืช เพื่อให้ไม่ให้เกิดประเภทใดประเภทหนึ่งมีผลต่อการฝึกสอนมากกว่าวัชพืชประเภทอื่นๆ) รวมแล้วมีจำนวนประเภทของวัชพืชที่ต้องฝึกสอนทั้งหมด 42 ชนิด
  - เครือข่าย CNN แบบ pre-trained alexnet ขนาด 25 ชั้น
  - กระบวนการปรับปรุงให้ระบบมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มจำนวนรูปของวัชพืชแต่ละประเภท แล้วคัดกรองใช้เฉพาะรูปที่มีรายละเอียดของแต่ละวัชพืชที่ใกล้เคียงกัน (ไม่ให้แตกต่างกันมากดังตัวอย่างในรูปที่ 3.35 เพื่อให้แต่ละประเภทของวัชพืชมีลักษณะร่วมกันของรูปมากที่สุด ตัวอย่างเช่น

a) วัชพืช *Abutilon indicum* ที่มีลักษณะร่วมกันของภาพถ่าย



b) วัชพืช *Abutilon indicum* เน้นที่ดอกมากเกินไป ทำให้ได้คุณลักษณะที่แยกไปจากรูปโดยรวมข้างต้น



c) วัชพืช *Chromolaena odorata* ที่มีลักษณะร่วมกันของภาพถ่าย (โดยไม่มีส่วนดอกเลย)



d) วัชพืช *Chromolaena odorata* ที่เน้นดอกเกินไป ทำให้ได้คุณลักษณะที่แยกไปจากรูปโดยรวมข้างต้น



รูปที่ 3.35 ประเภทของวัชพืชชนิดต่างๆ (a, b, c, d)

5) จัดทำแอปพลิเคชันในการจำแนกวัชพืช และตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกอีกครั้ง โดยการทดสอบถ่ายภาพผ่านแอปพลิเคชันของโทรศัพท์เคลื่อนที่ แล้วประเมินความถูกต้องของการประมวลผล

**3.2.2 ผลการพัฒนา software เพื่อจำแนกวัชพืช** จากการฝึกสอนเครือข่าย โดยแบ่งอัตราส่วนรูปภาพสำหรับฝึกสอน 70% ต่อรูปภาพที่ใช้สำหรับทดสอบความถูกต้องในการจำแนกประเภทวัชพืช 30% ซึ่งผลจากการฝึกสอนได้ผลลัพธ์การจำแนกประเภทวัชพืชที่มีความถูกต้องที่ 81.4%

ทำการออกแบบซอฟต์แวร์ในส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้ (User interface) เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่สามารถใช้งานได้สะดวก ในลักษณะที่สามารถถ่ายรูปพืชแล้วสามารถระบุประเภทได้เลย รวมไปถึงการออกแบบการใช้งานระบบแบบ API เพื่อให้สามารถรองรับการเชื่อมต่อกับระบบอื่นๆ ได้ ทั้งนี้การประมวลผลต่างๆ ที่ต้องใช้ทรัพยากรการคำนวณที่สูงจะดำเนินการในลักษณะ cloud computing เมื่อนำข้อมูลภาพถ่ายที่ได้มาใช้เทคนิค Imagine analysis ประมวลผลและแก้ไข แล้วประมวลผลข้อมูลภาพและฝึกสอนด้วยเครือข่าย CNN แบบ Inception ได้เปอร์เซ็นต์ทดสอบความถูกต้องอยู่ที่ 81.4% ดังรายละเอียดสรุปในตารางที่ 3.10

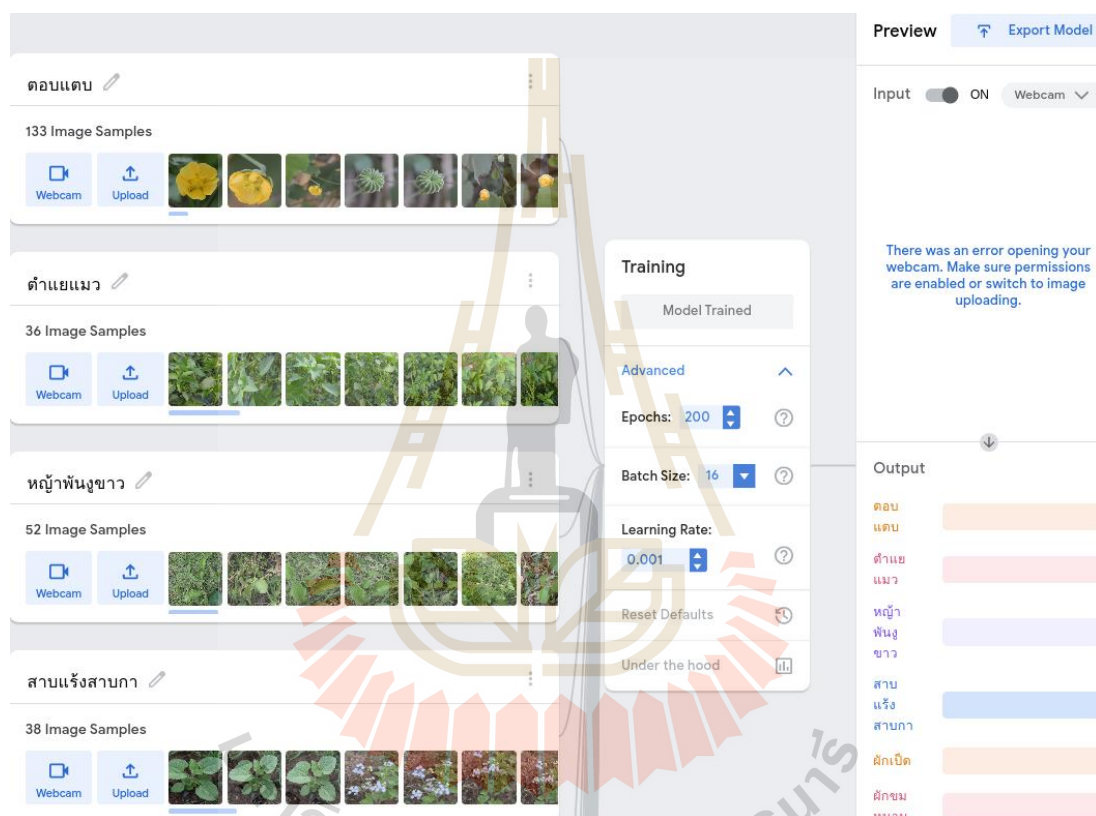
ตารางที่ 3.10 ข้อมูลการเรียนรู้เชิงลึกในวัชพืช

ประเภทวัชพืช	จำนวนรูปที่ใช้ฝึกสอน	ประเภทวัชพืช	จำนวนรูปที่ใช้ฝึกสอน	ประเภทวัชพืช	จำนวนรูปที่ใช้ฝึกสอน
ครอบจักรวาล	226	หญ้าดอกขาว	139	ตดหมูตดหมา	176
ตำแยแมว	118	กก	124	กะทกรก	194
พญางูขาว	126	แห้วหมู	140	หญ้าขจรจบดอกใหญ่	119
ผักโขมหนาม	123	หญ้าปากควาย	125	หญ้าขจรจบดอกเล็ก	183
ผักโขมหัด	151	หญ้าข้าวนก	233	ลูกใต้ใบ	182
ถั่วบราซิล	129	กะเม็งตัวเมีย	125	โทงเทง	209
กันจ้ำ	137	หญ้าตีนกา	140	สาบม่วง	211
ผักโขมหิน	144	หญ้ายาง	133	หญ้าท่าพระ	127
ไมยราบ	125	น้ำนมราชสีห์	115	พญางูเขียว	145
หญ้าสนกระบจับ	148	บานไม่รู้โรยป่า	127	ผักแครด	154
หญ้ารังนก	124	หญ้าลั่นจูง	126	ตีนตุ๊กแก	131
สาบเสือ	135	วงช้าง	193	โคกกระสุน	116
ผักเสี้ยนขน	173	แมงลักคา	128	ผักเบี้ยหิน	137
ผักเสี้ยนผี	130	ครามขน	126	ปอวัชพืช	120
ถั่วผี	145				

สรุปผลทดสอบการใช้งาน พบว่าระบบมีความถูกต้องแม่นยำในการจำแนกประเภทวัชพืชที่ความถูกต้องแม่นยำเท่ากับ 81.4% (จากการทดสอบด้วยการแบ่งข้อมูลสำหรับฝึกสอนไว้ทดสอบแยกต่างหาก) ในการทดสอบระบบ ได้ทำการค้นหารูปภาพวัชพืชจากอินเทอร์เน็ต แล้วแสดงผลบนหน้าจอบริบทคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้แอปพลิเคชัน ทำการทดสอบจำแนกประเภทวัชพืช พบว่าแอปพลิเคชันทำงานได้ดีตามเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการฝึกสอน

### 3.2.3 การทดลองใช้แอปพลิเคชันและขั้นตอนการใช้งาน Weed Classifier Application

การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อจำแนกวัชพืช (Weed Classifier Application) เป็นแอปพลิเคชันสำหรับการตรวจ/จำแนกวัชพืช แล้ววางแผนการป้องกันกำจัดได้อย่างแม่นยำ โดยสามารถใช้กล้องบนอุปกรณ์มือถือเป็นเครื่องมือหลักในการตรวจวัชพืช ซึ่งแอปพลิเคชันนี้ใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) ในการเรียนรู้รูปภาพวัชพืชชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.36




รูปที่ 3.36 เทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) ในการเรียนรู้รูปภาพส่วนต่างๆ ของวัชพืชชนิดต่างๆ

ขั้นตอนการใช้งานแอปพลิเคชัน Weed Classifier แอปพลิเคชันสามารถใช้งานได้บนอุปกรณ์มือถือระบบปฏิบัติการ Android เวอร์ชัน 8.0 เป็นต้นไป สามารถโหลดแอปพลิเคชันในรูปแบบไฟล์ APK ได้ตามลิงค์ด้านล่าง การติดตั้งไฟล์ APK บนอุปกรณ์ Android สามารถใช้แอปพลิเคชันช่วยเหลือในการติดตั้งไฟล์ APK ได้ เช่น APK Installer จาก Play Store ของระบบ Android

[https://drive.google.com/file/d/1vG\\_F8kXL75ngrD1mP7vHclhrjLO\\_rfb3S/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1vG_F8kXL75ngrD1mP7vHclhrjLO_rfb3S/view?usp=sharing)

เมื่อติดตั้งแอปพลิเคชัน Weed Classifier เสร็จเรียบร้อยแล้ว สามารถเรียกใช้งานจาก Icon

Launcher  นี้ได้ แอปพลิเคชันจะเริ่มเปิดหน้าใช้งานหน้าแรกดังต่อไปนี้



## Weed Scanner



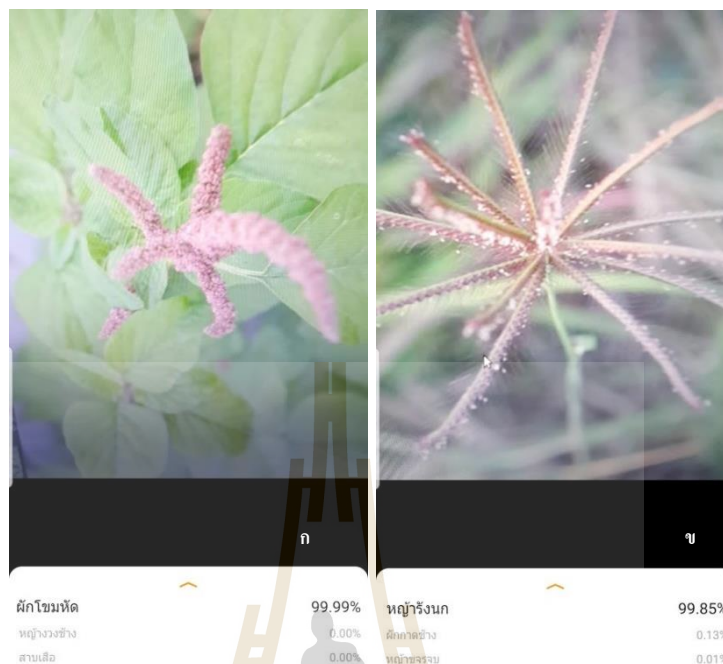
งบบูรณาการวิจัยและนวัตกรรม ปีพ.ศ. 2561



### รูปที่ 3.37 ตัวอย่างหน้าใช้งานแอปพลิเคชัน ระบบจำแนกชนิดวัชพืช

ผู้ใช้งานสามารถเริ่มใช้งานโดยแตะที่ไอคอนรูปกล้องถ่ายรูปเพื่อเริ่มทำการสแกนวัชพืช ระบบจะทำการเปิดกล้องพร้อมทั้งทำการสแกนวัชพืชแบบเวลาจริง ดังตัวอย่างหน้าจอแสดงในรูปต่อไปนี้ เมื่อผู้ใช้งานใช้กล้องส่องไปยังวัชพืชที่ต้องการสแกน กล้องข้อความด้านล่างของจอจะแสดงผลการสแกนวัชพืช โดยแสดงชื่อวัชพืชที่ทำการตรวจจับได้ พร้อมทั้งเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่ระบบทำการคำนวณได้ เช่น ในรูปที่ 3.38 ก ผลการตรวจจับพบที่มีความเหมือนหรือเป็นผักโขมประมาณ 99.99% ในรูปที่ 3.38 ข ภาพที่สแกนใกล้เคียงกับหญ้าร้างนก 99.85% เป็นต้น ในขณะที่เดียวกันเมื่อตรวจจับแล้วแอปพลิเคชันจะแสดงชื่อวัชพืชอื่นๆ ที่ระบบทำการตรวจค้นเจอที่อาจเป็นไปได้ (หรือมีลักษณะใกล้เคียง) แต่มีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่ต่ำกว่า ซึ่งรายชื่อวัชพืชที่อาจเป็นไปได้นั้นจะถูกแสดงรายชื่ออยู่ด้านล่างของวัชพืชหลักที่หาเจอ เช่นตัวอย่างในการตรวจจับพบผักโขมหัดในรูปที่ 3.38 ก ที่พบมีความถูกต้อง 99.99% ส่วนวัชพืชอื่นๆ ที่เป็นไปได้ มีหญ้าวงช้าง 0.00% หรือผักกาดช้าง 0.13% ซึ่งระบบจะเลือกรายชื่อวัชพืชที่มีเปอร์เซ็นต์การตรวจจับที่สูงที่สุดแสดงในลำดับแรกเสมอ





รูปที่ 3.38 ตัวอย่างหน้าจอบการตรวจเพื่อจำแนกวัชพืช ก) ผักโขมหัด และ ข) หญ้าร้างนก

อย่างไรก็ตามเนื่องจากการสแกนด้วยกล้อง มีปัจจัยเรื่องแสงและมุมกล้องที่แตกต่างกัน ผู้ใช้งานอาจจำเป็นต้องทำการปรับมุมกล้องเพื่อให้ได้การสแกนที่ถูกต้อง และทดสอบหลายๆ เนื่องจากในการสแกนวัชพืชชนิดหนึ่งๆ แต่ละมุมกล้องหรือแต่ละส่วนของต้นวัชพืชอาจส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องไม่เท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 3.39



รูปที่ 3.39 ตัวอย่างการสแกนวัชพืชหญ้างวงช้างที่มีมุมกล้องและเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องแตกต่างกัน

ระบบการเรียนรู้เชิงลึกที่ใช้ในการเรียนรู้พืชในแอปพลิเคชันนี้ ใช้จำนวนรูปภาพในการฝึกสอนจำนวนมาก ซึ่งมุมมองและรูปแบบของพืชยังมีอีกหลากหลายไม่จำกัด ระบบจำเป็นต้องได้รับการฝึกสอนรูปภาพใหม่ๆ เพิ่มเติม เพื่อให้ได้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการสแกนพืชที่สูงขึ้น

#### กิจกรรมที่ 4 การประเมินการระบาดของวัชพืช การเจริญเติบโตและผลผลิตพืชจากภาพถ่ายทาง

##### อากาศ

การประเมินการระบาดของวัชพืชในแปลงปลูกพืชหลักโดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศ เป็นการพัฒนาใช้เทคโนโลยีสำหรับการบริหารจัดการแปลงปลูกพืชได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ และมีประสิทธิภาพ เนื่องจากค่าแรงงานในการเดินตรวจแปลง และการจัดการวัชพืชร่อนข้างสูง ดังนั้นหากมีเครื่องมือที่สามารถตรวจสอบแปลงขนาดใหญ่ให้ประเมินได้อย่างรวดเร็ว สามารถวางแผนการจัดการได้อย่างรวดเร็ว เช่น ใน ข้าว อ้อย และมันสำปะหลัง ที่มีพื้นที่ปลูกขนาดใหญ่ โดยในการทดลองนี้ได้ทดลองประเมินการระบาดของวัชพืชในแปลงปลูกมันสำปะหลัง ส่วนการประเมินการเจริญเติบโต และการประเมินผลผลิต ได้ทดลองในแปลงอ้อยที่มีอายุแตกต่างกัน

การสำรวจและวิเคราะห์พื้นที่ โดยเริ่มทำการสำรวจแปลงปลูกมันสำปะหลัง หรืออ้อย สำหรับทำแผนที่ภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อสร้างเส้นชั้นความสูงและสำรวจสภาพพื้นที่เบื้องต้น เครื่องมือและโปรแกรมที่ใช้งาน ได้แก่ 1) อากาศยานไร้คนขับ Dji Phantom 4- RGB sensor 2) Multispectral sensors 3) Programme Pix4D ใช้ในการประมวลผลและทำแผนที่ภาพถ่ายรายละเอียดสูง 4) Programme ArcGIS ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลสถิติเชิงพื้นที่ในระบบภูมิสารสนเทศ การสร้างแผนที่ภาพถ่ายรายละเอียดสูงนี้จะทำการถ่ายภาพในระยะเตรียมพื้นที่ เพื่อให้เห็นลักษณะทางกายภาพอย่างชัดเจน โดยแผนที่ภาพถ่ายรายละเอียดสูงนี้สามารถนำไปใช้ในการวางแผนและอ้างอิงในโครงการอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- ตรวจสอบข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศข้อมูล การถ่ายทำแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับ
- ปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายให้มีความเหมาะสมต่อการประมวลผลและสร้างแผนที่ภาพถ่าย
- นำเข้าภาพถ่ายฯ ในโปรแกรม Pix4D และทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ ได้แก่
  - 1) กำหนดค่าพิกัดและค่า Orientation ให้กับภาพถ่ายด้วยวิธีการ image geolocation
  - 2) ตั้งค่ากล้องและบันทึกค่า metadata ของภาพถ่าย

3) กำหนดพารามิเตอร์สำหรับขั้นตอน Initial Processing โดยมีตัวแปรสำคัญดังนี้ คือขนาดภาพที่นำไปใช้ในการสกัด (extract) ภาพและวิธีจับคู่ภาพ (matching) วิธีการ Optimize พารามิเตอร์แบบภายในและภายนอกของกล้องถ่ายภาพ

4) กำหนดพารามิเตอร์สำหรับขั้นตอน Point Cloud and Mesh โดยคำนึงถึงตัวแปรสำคัญดังนี้  
 1) Image Scale หรือมาตราส่วนของภาพถ่ายที่นำมาประมวลผล 3D 2) ความหนาแน่นของ Points Cloud 3) จำนวนคู่ภาพน้อยที่สุดที่ถูกจับคู่เพื่อสร้าง 3D Point 4) ระดับ Resolution ของ 3D Textured Mesh 5) ค่าพิกัดของแต่ละ Vertex ของ 3D Textured Mesh 6) ค่าพารามิเตอร์สำหรับการเพิ่มความหนาแน่นของ Point Cloud (Point Cloud Densification) 7) กลุ่มของภาพถ่ายที่นำไปใช้ในการประมวลผล 8) ตัวกรอง (Filter) ที่นำไปใช้ในการ Generate Point Cloud และ 3D Textured Mesh

5) กำหนดพารามิเตอร์สำหรับขั้นตอน DSM, Orthomosaic and Index สำหรับการประเมินความสูงจากภาพถ่าย เพื่อใช้ในการประเมินการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของพืช

#### 4.1 การประเมินการระบาดของวัชพืชในแปลงพืชด้วยอากาศยานไร้คนขับ (UAV)

การใช้อากาศยานไร้คนขับในการประเมินการระบาดของวัชพืช เป็นการถ่ายภาพที่ถ่ายด้วยกล้อง Optical sensor (RGB) และกล้องที่ตรวจจับการสะท้อนค่าแสงหลายช่วงคลื่น (Multispectral sensors) เพื่อระบุตำแหน่ง และชนิดของวัชพืชในแปลงพืชที่มีขนาดใหญ่ เช่น แปลงอ้อย หรือมันสำปะหลัง เพื่อใช้ในการวางแผนการกำจัดวัชพืชอย่างแม่นยำ โดยนำภาพถ่ายที่ได้มาเพื่ออ่านและแปลตีความจากภาพถ่าย ผลของข้อมูลอยู่ในรูปของแผนที่ที่แสดงบริเวณแปลงมันสำปะหลังที่มีวัชพืชระบาด (ส่วนใหญ่จะทำการประเมินในช่วงที่พืชปลูกยังต้นเล็ก) โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

##### 4.1.1 ขั้นตอนการประเมินการระบาดของวัชพืชในแปลงพืชด้วยอากาศยานไร้คนขับ

1) การทดลองนี้ได้ถ่ายภาพแปลงมันสำปะหลัง (อายุ 2 เดือนหลังปลูก) เพื่อประเมินการระบาดของวัชพืชด้วยกล้อง RGB และกล้อง Multispectral sensors จากนั้นตรวจสอบข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจากข้อมูลบินภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับ

2) ปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายให้มีความเหมาะสมต่อการประมวลผลและสร้างแผนที่ภาพถ่าย

3) นำเข้าภาพถ่ายฯ ในโปรแกรม Pix4D และการกำหนดค่าพารามิเตอร์

- กำหนดค่าพิกัดและค่า Orientation ให้กับภาพถ่ายด้วยวิธีการ image geolocation
- ตั้งค่ากล้องและบันทึกค่า metadata ของภาพถ่าย

- กำหนดพารามิเตอร์สำหรับขั้นตอน Initial Processing โดยมีตัวแปรสำคัญ ได้แก่ 1) ขนาดภาพที่จะนำไปใช้ในการสกัด 2) คู่ภาพและวิธีจับคู่ภาพ 3) วิธีการ Optimize พารามิเตอร์แบบภายในและภายนอกของกล้องถ่ายภาพ

- กำหนดพารามิเตอร์สำหรับขั้นตอน Point Cloud and Mesh โดยมีตัวแปรสำคัญ ได้แก่ 1) Image Scale หรือมาตราส่วนของภาพถ่ายที่จะประมวลผล 3D 2) ความหนาแน่นของ Points Cloud 3) จำนวนคู่ภาพน้อยที่สุดที่ถูกจับคู่เพื่อสร้าง 3D Point 4) ระดับ Resolution ของ 3D Textured Mesh

- ค่าพิกัดของแต่ละ Vertex ของ 3D Textured Mesh

- ค่าพารามิเตอร์สำหรับเพิ่มความหนาแน่นของ Point Cloud (Point Cloud Densification)

- กลุ่มของภาพถ่ายที่จะนำไปใช้ในการประมวลผล

- ตัวกรอง (Filter) ที่จะนำไปใช้ในการ Generate Point Cloud และ 3D Textured Mesh

- กำหนดพารามิเตอร์สำหรับขั้นตอน DSM, Orthomosaic ได้แก่ 1) สร้างแผนที่ Orthophoto map 2) สร้างแผนที่ดัชนีแสดงความอุดมสมบูรณ์ของพืชพรรณ (NDVI) 3) อ่านแปลตีความรายละเอียดของแผนที่เพื่อแสดงพื้นที่ที่วัชพืชระบาด

- 4) สร้างแผนที่แสดงการระบาดของวัชพืชในแปลงมันสำปะหลัง

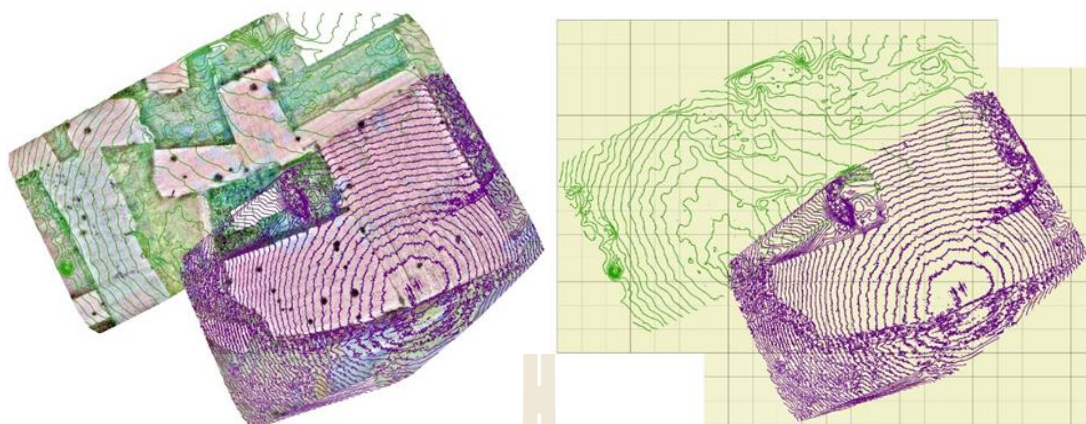
- 5) นำเข้าข้อมูลและแผนที่ชนิดต่างๆ ในระบบภูมิสารสนเทศ GIS ด้วยโปรแกรม ArcGIS

- 6) ประมวลผลและแปลผลจากภาพถ่าย

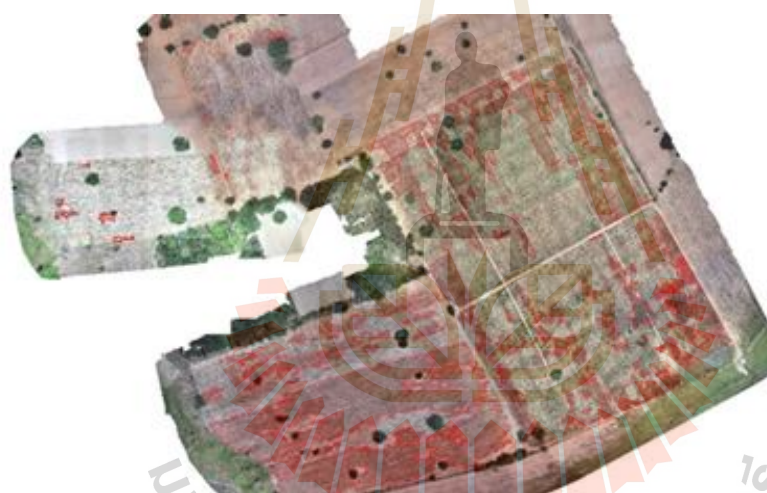
#### 4.1.2 ผลการประเมินการระบาดของวัชพืชในแปลงพืชด้วยอากาศยานไร้คนขับ จากการ


ประเมินการระบาดของวัชพืชด้วยอากาศยานไร้คนขับ โดยนำภาพถ่ายแปลงมันสำปะหลังที่ได้มาสร้างแผนที่ Orthophoto map และตารางกริดในระยะทุกๆ 2 ไร่ เมื่อใช้ภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับมาวิเคราะห์ ได้ผลดังรูปที่ 3.40 จากนั้นสร้างเส้นชั้นความสูง (Contour Lines) จากข้อมูล DSM หรือ DTM ดังรูปที่ 3.41 แล้วนำเข้าข้อมูลและแผนที่ชนิดต่างๆ ในระบบภูมิสารสนเทศ GIS ด้วยโปรแกรม ArcGIS





รูปที่ 3.40 ก) ภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับ ข) เส้นชั้นความสูงในแปลงพื้นที่ศึกษาและตารางกริดทุกๆ ระยะ 2 ไร่



 บริเวณที่มีวัชพืชรบาด

รูปที่ 3.41 แผนที่ภาพถ่ายรายละเอียดสูงแสดงบริเวณที่มีวัชพืชรบาด

จากการประเมินการระบาดของวัชพืช โดยการแปลและตีความภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับที่มีค่าความละเอียดของจุดภาพขนาด 5 เซนติเมตร โดยในรูปที่ 3.41 พื้นที่สีแดงแสดงถึงบริเวณที่มีการระบาดของวัชพืช ซึ่งสามารถระบุบริเวณที่มีวัชพืชรบาดในแปลงมันสำปะหลังได้อย่างแม่นยำใกล้เคียงกับการตรวจโดยใช้คนประเมิน โดยการตรวจสอบความถูกต้องโดยภาพถ่ายในแปลงมีค่าความถูกต้อง 95% ที่กำลังขยายภาพระดับ 1:200 ที่แต่กำลังขยายระดับ 1:500 ความแม่นยำลดลงเหลือ 90% อย่างไรก็ตามถึงแม้มีความแม่นยำในระดับสูงในการประเมินวัชพืชในแปลงมันสำปะหลังเนื่องจากพืชหลักและวัชพืชในแปลงมีลักษณะแตกต่างกันชัดเจน ทำให้การแยกระหว่างพืชปลูกกับวัชพืชด้วยการอ่านแปลและตีความด้วยสายตาทำได้ง่ายและมีความถูกต้อง

ข้อจำกัดของวิธีการประเมินการระบาดของวัชพืชด้วยวิธีการนี้แม้ว่าการถ่ายภาพทำได้รวดเร็ว และสามารถถ่ายภาพพื้นที่กว้างๆ ของแปลงใหญ่ใช้เวลาไม่นาน แต่ต้องใช้เวลาในการประมวลผล



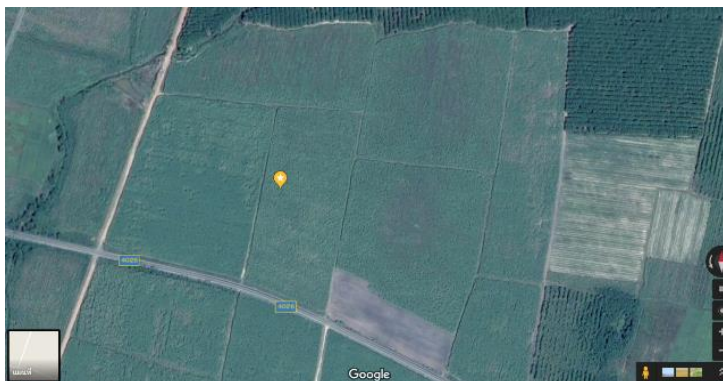
และแปลผลภาพถ่าย โดยในการวิจัยนี้ใช้พื้นที่ขนาด 100 ไร่ พบว่าใช้เวลาในการประมวลผลและแปลภาพถ่ายรายละเอียดสูงประมาณ 1 เดือน ทำให้เทคนิคนี้ต้องมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นสำหรับการทำเกษตรแปลงใหญ่ ดังนั้นเทคนิคการจำแนกเชิงวัตถุ (Object-based image analysis) จึงควรนำมาพิจารณาใช้ โดยสร้าง rule set และทดสอบเทคนิคต่างๆ ที่เหมาะสมกับการจำแนก เพื่อใช้เวลาน้อยลงสำหรับขั้นตอนในการจำแนกวัชพืชในแปลงพืชหลัก เช่น แปลงอ้อย หรือมันสำปะหลัง นอกจากนี้การประเมินวัชพืชในการวิจัยนี้สามารถทำได้ดีเมื่อพืชปลูกยังไม่โตจนบดบังวัชพืช หรือหากวัชพืชมีลักษณะใกล้เคียงกับพืชปลูก เช่น ในนาข้าว การประเมินโดยใช้ภาพถ่ายอาจทำได้ยาก

#### 4.2 การประเมินการเจริญเติบโต และผลผลิตพืชด้วยอากาศยานไร้คนขับ

การประเมินพืชด้วยอากาศยานไร้คนขับสามารถใช้ประเมินการเจริญเติบโตของพืชไร่ และยังสามารถประเมินผลผลิตพืชในแปลงก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิต เพื่อการวางแผนการเก็บเกี่ยว ซึ่งในทดลองนี้ได้ใช้อ้อยเป็นพืชต้นแบบในการประเมินผลจากภาพถ่าย โดยใช้หลักการอ่านแปลตีความจากภาพถ่ายจากกล้อง RGB และกล้อง Multispectral sensors ผลของข้อมูลอยู่ในรูปของแผนที่ที่แสดงบริเวณแปลงอ้อย แผนที่ดัชนีแสดงความอุดมสมบูรณ์ของพืช (NDVI) และแผนที่แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่และปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของอ้อยในแปลงที่ทำการศึกษา ซึ่งมีขั้นตอนทำงานคือ ถ่ายภาพอ้อยในระยะการเจริญเติบโตหลังปลูก 4 เดือน และ 8 เดือน เพื่อประเมินการเจริญเติบโตและความอุดมสมบูรณ์ของอ้อย สำหรับการถ่ายภาพอ้อยที่อายุ 11 เดือนใช้สำหรับประเมินผลผลิต ซึ่งขั้นตอนการถ่ายภาพ การประมวลผล และการแปลผล ของการประเมินทั้งสองแบบมีดังนี้

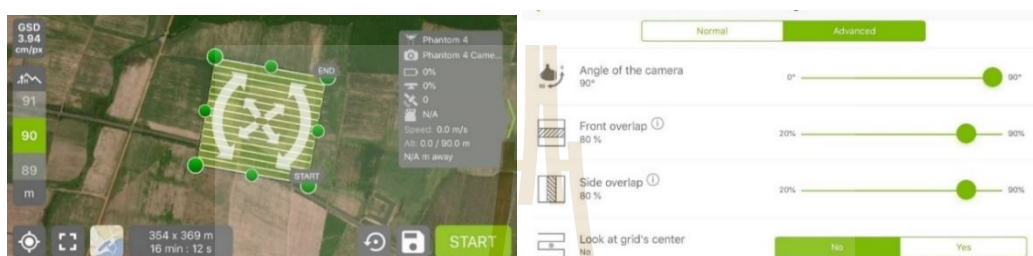
##### 4.2.1 ขั้นตอนการประเมินการเจริญเติบโตและความอุดมสมบูรณ์ของอ้อย (อายุ 4 และ 8 เดือน)

1) เลือกแปลงอ้อยที่ทำการศึกษา วางแผนการบิน และวางแผน Benchmarks รอบแปลงอ้อย เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงการสำรวจและเก็บข้อมูล ซึ่งการวางแผนพื้นที่ในการบิน (รูปที่ 3.42) โดยดูพื้นที่ศึกษาจาก Google map เพื่อกำหนดขนาดของ flight plan และสำหรับวางแผน RTK



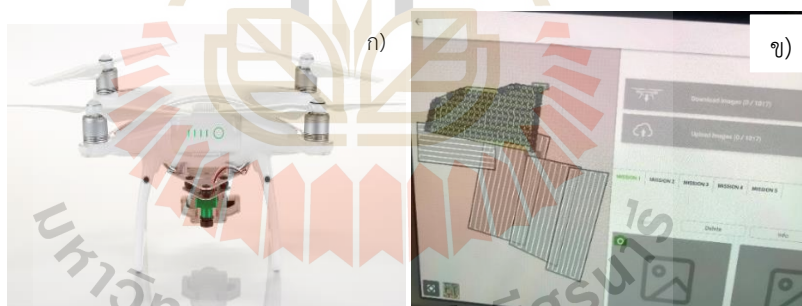
รูปที่ 3.42 การวางแผนพื้นที่ในการบิน

- Flight plan ที่กำหนดให้ UAV แบ่งแผนการบินตามขนาดที่ดูไว้ โดยใช้โปรแกรม Pix4d capture (รูปที่ 3.43) โดยในการวางแผนการบินนั้นต้องทำการกำหนดรูปแบบในการบิน ความสูง มุมมองของกล้อง Overlap ของการบิน และปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการถ่ายภาพ
- จากนั้นทำการรังวัดพื้นที่ศึกษาด้วย RTK GPS ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการรังวัดจะเป็นข้อมูล Ground Control Point



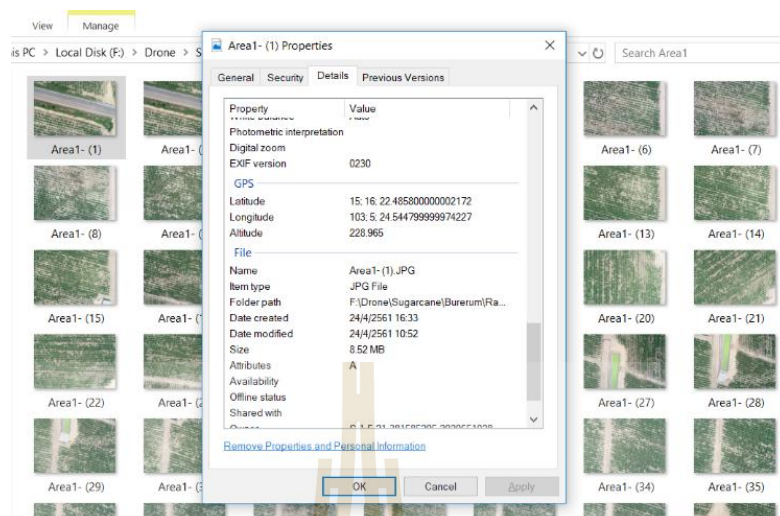
รูปที่ 3.43 Flight plan จากโปรแกรม Pix4d capture

2) บินถ่ายภาพด้วย Optical sensors (RGB) ที่ติดตั้งกับอากาศยานไร้คนขับ (รูปที่ 3.44 ก) จากนั้นบินถ่ายภาพตามแผนที่วางไว้โดยอากาศยานไร้คนขับ (รุ่น DJI Phantom 4) ติดกล้อง Multispectral sensors



รูปที่ 3.44 ก) อากาศยานไร้คนขับ และ ข) Flight plan ที่บินสำรวจ

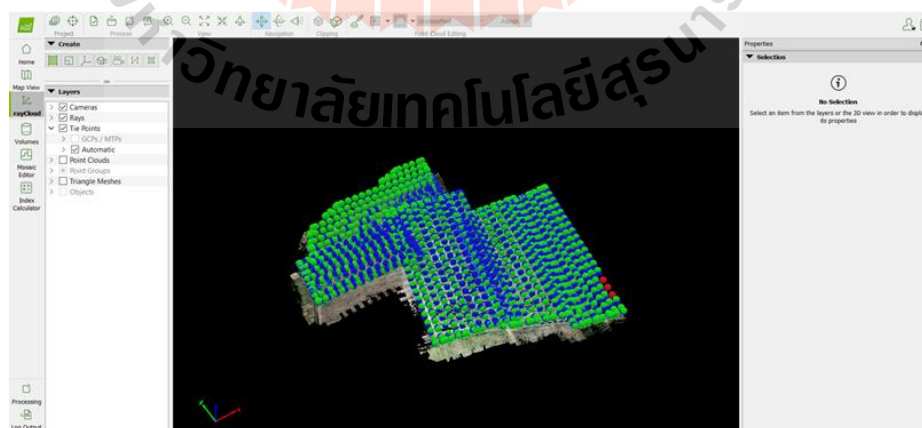
3) ตรวจสอบข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจากข้อมูลบินถ่าย ทำแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการบินสำรวจจะเป็นข้อมูลภาพที่มีระบบพิกัด XYZ โดยภาพที่ได้เป็นไฟล์ JGP (รูปที่ 3.45) นำมาปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายให้มีความเหมาะสมต่อการประมวลผลและสร้างแผนที่ภาพถ่าย



รูปที่ 3.45 ภาพที่ได้จากการบินสำรวจ

4) นำข้อมูลที่ได้ไปประมวลผลในโปรแกรม Pix4D mapper ซึ่งขั้นตอนประมวลผลแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นตอนการต่อภาพ 2) การสร้าง Point cloud และสร้างโมเดลสามมิติ 3) การสร้างแผนที่ความละเอียดสูงและข้อมูลอื่นๆ โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

- การต่อภาพ เป็นขั้นตอนการนำภาพที่ได้การบินสำรวจมาทำ Matching เพื่อต่อภาพทั้งหมดให้เป็นผืนเดียวกัน และทำการตรวจสอบ Calibration การได้มาของข้อมูลและใช้ข้อมูลจุด GCP ที่ทำไว้แล้วมาทำในขั้นตอน Auto replication โดยในขั้นตอนนี้ทำการต่อภาพทั้งหมดที่ได้ร่วมกับจุด GCP แล้วทำการสร้างจุด Tiepoint หลังจากสร้าง tiepoint เสร็จแล้วโปรแกรมจะจับคู่จุดภาพทั้งหมดเพื่อสร้างจุดสามมิติหรือ point cloud (รูปที่ 3.46)



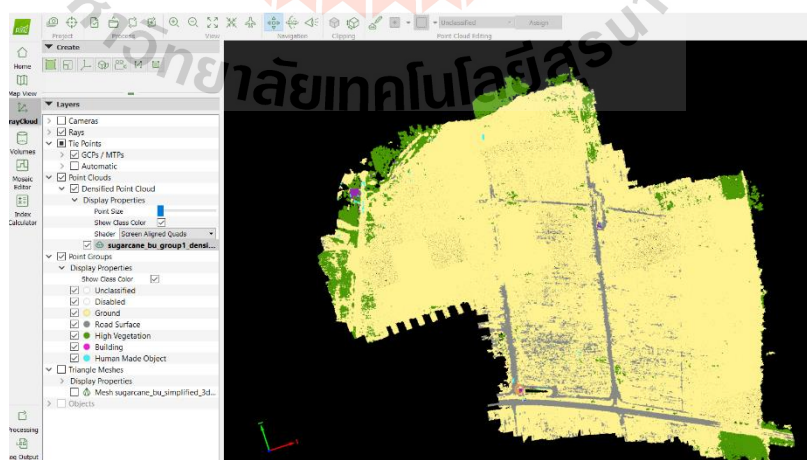
รูปที่ 3.46 ภาพถ่ายทั้งหมดที่ถูกนำมาประมวลผลภาพ

- การสร้าง point cloud และโมเดลสามมิติ เป็นการสร้างจุดสามมิติที่ได้จากข้อมูลภาพทั้งหมด (รูปที่ 3.47) โดยข้อมูลจุดสามมิตินี้เป็นข้อมูลตำแหน่งพิกัด  $x$ ,  $y$ ,  $z$  โดยค่า  $z$  ที่ได้นำไปสร้างเป็นชุด

ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) และแบบจำลองภูมิศาสตร์เชิงเลข (DTM) สำหรับการนำเข้าภาพถ่ายๆ ในโปรแกรม Pix4D และทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ ดังนี้

- 1) กำหนดค่าพิกัดและค่า Orientation ให้กับภาพถ่ายด้วยวิธีการ image geolocation
- 2) ตั้งค่ากล้องและบันทึกค่า metadata ของภาพถ่าย
- 3) กำหนดพารามิเตอร์สำหรับขั้นตอน Initial Processing โดยคำนึงถึงตัวแปรสำคัญดังนี้ 1) ขนาดภาพที่จะนำไปใช้ในการสกัด (Extract) 2) คู่ภาพและวิธีจับคู่ภาพ (Matching) 3) วิธีการ Optimize พารามิเตอร์แบบภายในและภายนอกของกล้องถ่ายภาพ
- 4) กำหนดพารามิเตอร์สำหรับขั้นตอน Point Cloud and Mesh โดยคำนึงถึงตัวแปรสำคัญได้แก่

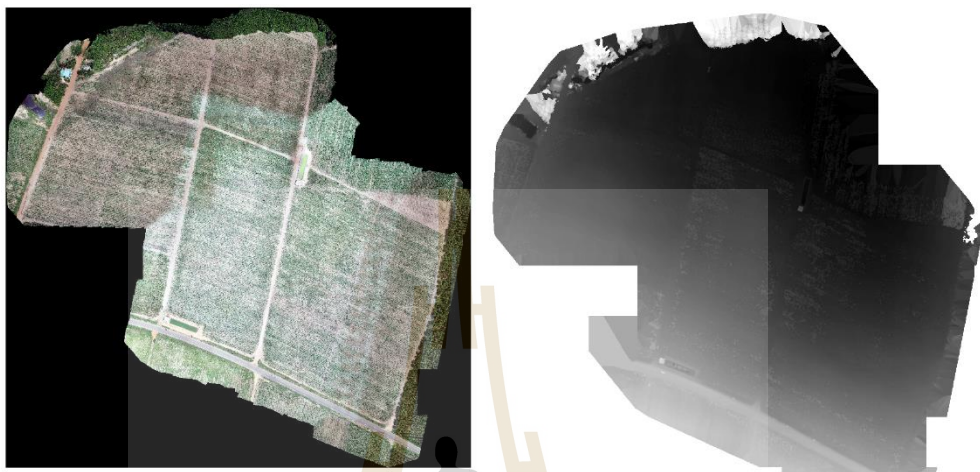
- Image Scale หรือมาตราส่วนของภาพถ่ายที่จะถูกทำการประมวลผล 3D
- ความหนาแน่นของ Points Cloud
- จำนวนคู่ภาพน้อยที่สุดที่ถูกจับคู่เพื่อสร้าง 3D Point
- ระดับ Resolution ของ 3D Textured Mesh
- ค่าพิกัดของแต่ละ Vertex ของ 3D Textured Mesh
- ค่าพารามิเตอร์สำหรับการเพิ่มความหนาแน่นของ Point Cloud (Point Cloud Densification)
- กลุ่มของภาพถ่ายที่จะนำไปใช้ในการประมวลผล
- ตัวกรอง (Filter) ที่จะนำไปใช้ในการ Generate Point Cloud และ 3D Textured Mesh



รูปที่ 3.47 จุดสามมิติ (Point cloud)



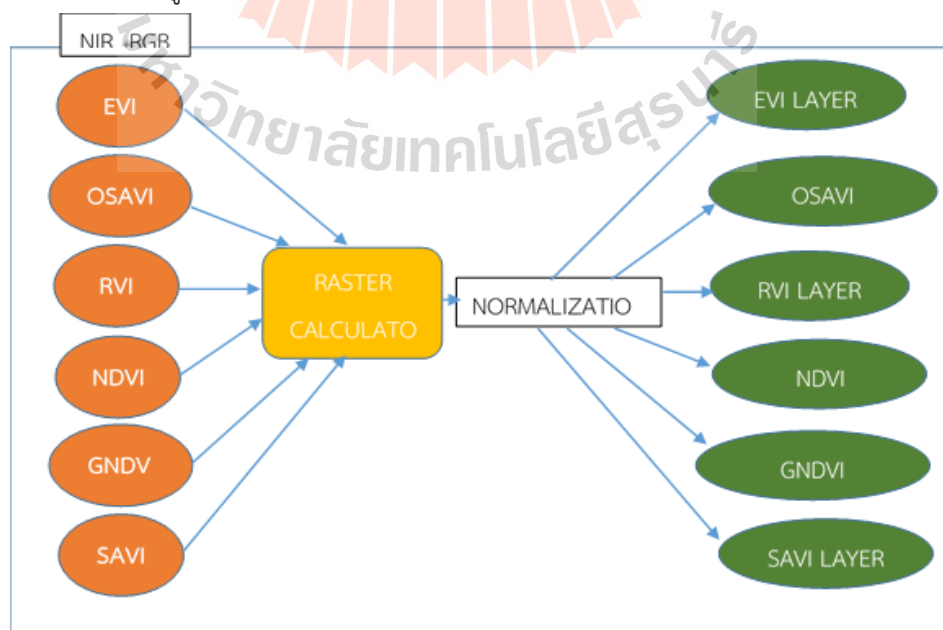
- การสร้างแผนที่ความละเอียดสูง เป็นขั้นตอนหลังจากได้ชุดข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) และแบบจำลองภูมิศาสตร์เชิงเลข (DTM) แล้วนำข้อมูล DEM และข้อมูล point cloud มารวมกันเพื่อสร้างแผนที่ความละเอียดสูง หรือ ortho photo แสดงดังรูปที่ 3.48



รูปที่ 3.48 แผนที่ความละเอียดสูง และแบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM)

การกำหนดพารามิเตอร์สำหรับขั้นตอน DSM, Orthomosaic ประกอบด้วย

- 1) สร้างแผนที่ Orthophoto map
- 2) สร้างแผนที่ดัชนีต่างๆ NDVI: Normalised Difference Vegetation Index ที่ได้จากภาพถ่ายจาก Multispectral Sensors เพื่อใช้ในการแสดงค่าความอุดมสมบูรณ์ของอ้อยในแต่ละบริเวณ (รูปที่ 3.49)



รูปที่ 3.49 แผนผังแสดงวิธีการสร้างชั้นข้อมูลดัชนีต่างๆ



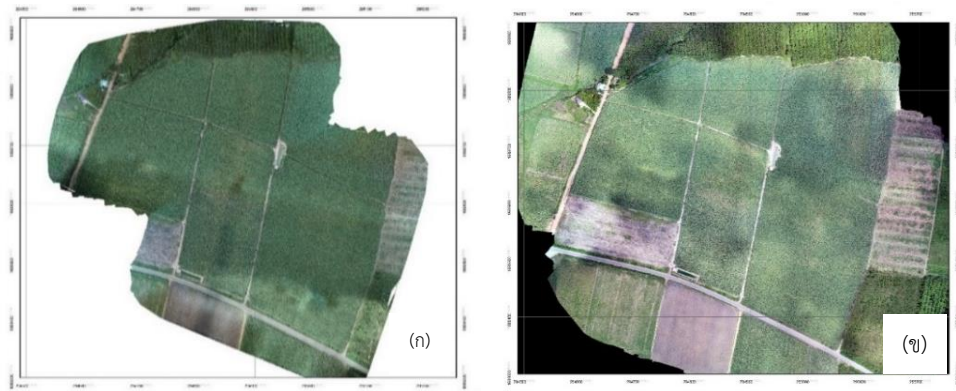
- 3) อ่านแปลตีความรายละเอียดของแผนที่เพื่อแสดงความอุดมสมบูรณ์ของพืช
- 4) สร้างแผนที่แสดงความอุดมสมบูรณ์ในแปลงอ้อย
- 5) นำเข้าข้อมูลและแผนที่ชนิดต่างๆ ในระบบภูมิสารสนเทศ GIS ด้วยโปรแกรม ArcGIS
- 6) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่และปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของอ้อยในแปลงที่ทำการศึกษาด้วยฟังก์ชัน Spatial correlation and Spatial regression ในโปรแกรม ArcGIS
- 7) สร้างแผนที่แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลจากการวิเคราะห์ข้อมูลภูมิสารสนเทศ (GIS)

#### 2.4.2 ผลการประเมินการเจริญเติบโตและความอุดมสมบูรณ์ของอ้อย (อายุ 4 และ 8 เดือน)

ทำการประเมินการเจริญเติบโต ความอุดมสมบูรณ์ของพืช และประเมินผลผลิตพืช ซึ่งมีอ้อยเป็นพืชตัวอย่าง โดยจากการสร้างแผนที่ Orthophoto map ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 3.50 และ 3.51 จากนั้นสร้างผังแบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์ค่าดัชนีต่างๆ ของชั้นข้อมูลภาพ และทำการวิเคราะห์ค่าดัชนีต่างๆ ที่แสดงความอุดมสมบูรณ์ของพืชพรรณ

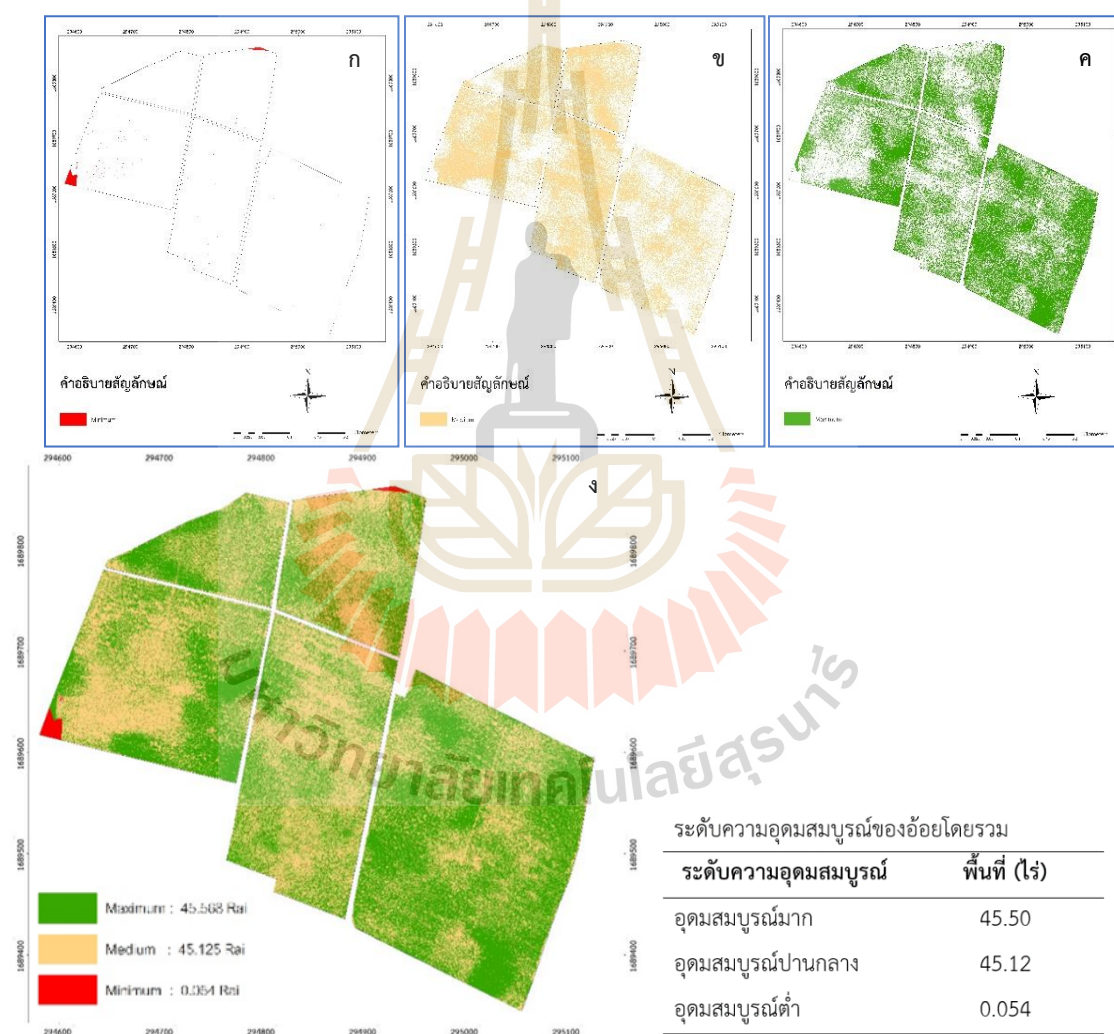


รูปที่ 3.50 ภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับแปลงอ้อยเมื่ออายุ 4 เดือน ที่ระดับความสูง 50 เมตร



รูปที่ 3.51 ภาพถ่ายรายละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับแปลงอ้อยเมื่ออายุ 8 เดือน ที่ระดับความสูง (ก) 65 เมตร และ (ข) 150 เมตร

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่และปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของอ้อยในแปลงที่ทำการศึกษาด้วยฟังก์ชัน Spatial correlation and Spatial regression ในโปรแกรม ArcGIS สร้างแผนที่แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลจากการวิเคราะห์ข้อมูลภูมิสารสนเทศ (GIS) แล้วจากนั้นนำเข้าข้อมูลและแผนที่ชนิดต่างๆ ในระบบภูมิสารสนเทศ GIS ด้วยโปรแกรม ArcGIS ผลการอ่านแปลและตีความภาพถ่ายรายละเอียดสูงที่มาตราส่วนขยาย 1:300 พบว่าสามารถตรวจสอบได้ว่ามีบริเวณที่อ้อยมีการเจริญเติบโตสมบูรณ์มาก ปานกลาง และอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยแสดงความแตกต่างด้วยสีดังแสดงในรูปที่ 3.52 ก-ค



รูปที่ 3.52 แผนที่แสดงค่าดัชนีความอุดมสมบูรณ์ NDVI ของอ้อยอายุ 8 เดือน

สรุปผลการประเมินการเจริญเติบโต และระดับความอุดมสมบูรณ์ของอ้อยโดยภาพรวม (เมื่ออายุ 8 เดือน) พบว่าอ้อยในแปลงที่ทดสอบมีระดับความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงมากจำนวน 45.12 และ 45.50 ไร่ ตามลำดับ (รูปที่ 3.52 ง) และเมื่อพิจารณาอ้อยในแปลงย่อยเพื่อให้คำแนะนำในการดูแลหรือการจัดการ (รูปที่ 3.56) พบว่าอ้อยในแปลงหมายเลข 01-79698-04 (KK3) (Plot: A) ซึ่งเป็นอ้อยพันธุ์

ขอนแก่น 3 เป็นพื้นที่ที่มีดัชนีแสดงค่าความอุดมสมบูรณ์ต่ำกระจายอยู่มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงอื่นๆ โดยพบว่าพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำของอ้อยคิดเป็น 50.60 ตารางเมตร หรือประมาณ 0.03 ไร่ ซึ่งถือว่าเป็นพื้นที่ที่มีอ้อยอุดมสมบูรณ์ต่ำอยู่มากอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นแนะนำเกษตรกรให้เข้าไปจัดการปัญหาหรือดูแลเป็นพิเศษ สำหรับแปลงที่อ้อยมีความอุดมสมบูรณ์สูงสุดคือ แปลง 01-79698-01 (KK3) (Plot:D) เนื่องจากตรวจพบว่าเป็นพื้นที่ที่มีอ้อยที่อุดมสมบูรณ์มากถึง 33,214.31 ตารางเมตร หรือประมาณ 20.76 ไร่

#### 4.2.3 ขั้นตอนการประเมินผลผลิตอ้อยโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ (อายุ 11 เดือน) มีขั้นตอนการประเมินดังนี้

1) สำรวจแปลง วางแผนการบิน และถ่ายภาพด้วย Optical sensors (RGB) ที่ติดตั้งกับอากาศยานไร้คนขับ ทำในแปลงเดิมที่มีการประเมินการเจริญเติบโตของอ้อย มีขั้นตอนการบินเช่นเดียวกับการบินถ่ายภาพเมื่ออ้อยอายุ 8 เดือน

2) สร้างแผนที่ดัชนีแสดงแบบจำลองเชิงพื้นผิวของอ้อย (Crop Surface Model, CSM) ซึ่ง CSM คือค่าดัชนีแสดงค่าความสูงของพืชที่ปกคลุมพื้นที่ในแปลงปลูก โดยที่ CSM มาจากการลบค่าแบบจำลองความสูงของภูมิประเทศออกจากค่าแบบจำลองเชิงพื้นผิว ดังสมการ

$$CSM = DSM - DTM$$

เมื่อ CSM คือ ค่าดัชนีแบบจำลองความสูงของพืช, DSM คือ ค่าแบบจำลองเชิงพื้นผิวที่ปกคลุมดิน, DTM คือ ค่าแบบจำลองความสูงของภูมิประเทศ

3) การประเมินเพื่อแสดงบริเวณพื้นที่อ้อยล้มในแปลง โดยใช้ภาพในการบินถ่ายภาพที่อายุ 8 เดือน เปรียบเทียบร่องรอยที่ปรากฏบนภาพที่บินถ่ายเมื่ออ้อยอายุ 11 เดือน เพื่อระบุชี้ชัดบริเวณที่เป็นพื้นที่อ้อยล้ม

4) การคำนวณเพื่อประเมินผลผลิตของอ้อยด้วยเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล การคำนวณค่าผลผลิตของอ้อยด้วยเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล ใช้หลักการจำลองค่าความสูงของอ้อย และค่าความอุดมสมบูรณ์ของอ้อยในแปลง โดยทำการคำนวณตามระดับความอุดมสมบูรณ์ของอ้อยในแปลง โดยแบ่งค่าดัชนีความอุดมสมบูรณ์ของอ้อยเป็น 3 ช่วงคือ ระดับความอุดมสมบูรณ์สูง (ค่าดัชนีเท่ากับ 1-0.6) ระดับความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง (ค่าดัชนีเท่ากับ 0.6-0.3) และระดับความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (ค่าดัชนีน้อยกว่า 0.3) เมื่อได้ค่าพื้นที่ของแต่ละดัชนีความอุดมสมบูรณ์ของอ้อยแล้ว ทำการหักลบบริเวณที่มีอ้อยล้มในแปลงเพื่อให้ได้ผลผลิตเป็นลูกบาศก์เมตร ได้จากสมการ

$$Y_{\max} = ((CSM_{\text{Avg.max}} * \text{Area}_{\max}) * K_t) / 1,600 \quad \text{..... Eq.1}$$

$$Y_{\text{medium}} = ((CSM_{\text{Avg.medium}} * 0.6 * \text{Area}_{\text{medium}}) * K_t) / 1,600 \quad \text{..... Eq.2}$$

$$Y_{\min} = ((CSM_{\text{Avg.min}} * 0.3 * \text{Area}_{\min}) * K_t) / 1,600 \quad \text{..... Eq.3}$$

$$Y = Y_{\max} + Y_{\text{medium}} + Y_{\min} \quad \text{..... Eq.4}$$

เมื่อ  $CSM_{\text{Avg.max}}$ ,  $CSM_{\text{Avg.medium}}$  และ  $CSM_{\text{Avg.min}}$  คือ ค่าแบบจำลองความสูงของอ้อยในแปลง  
เฉลี่ยสูงสุด ปานกลาง และเฉลี่ยต่ำสุด ตามลำดับ

$K_t = 0.400$  คือค่าสัมประสิทธิ์การแปลงค่าปริมาตรของอ้อยให้มีความหนาแน่นเป็นตัน การแปลง  
ค่าความหนาแน่นของอ้อยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณที่ได้จากการศึกษาของ <http://www.sugartech.co.za/density/index.php> ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงค่าความหนาแน่นของอ้อยทั้งต้นที่มีการตัดยอดทิ้งแล้ว  
มีค่าเท่ากับ 400.5 กก./ลบม. หรือคิดเป็น 0.400 ตัน/ลบม.

**4.2.4 ผลการประเมินผลผลิตอ้อยโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ เมื่อนำภาพถ่ายอ้อยอายุ 11  
เดือน ซึ่งเป็นช่วงที่อ้อยหยุดการเจริญเติบโตในระยะเก็บเกี่ยวมาจัดเรียงและจัดทำแผนที่แสดงภาพถ่าย  
รายละเอียดสูงได้ผลดังแสดงในรูปที่ 3.53**

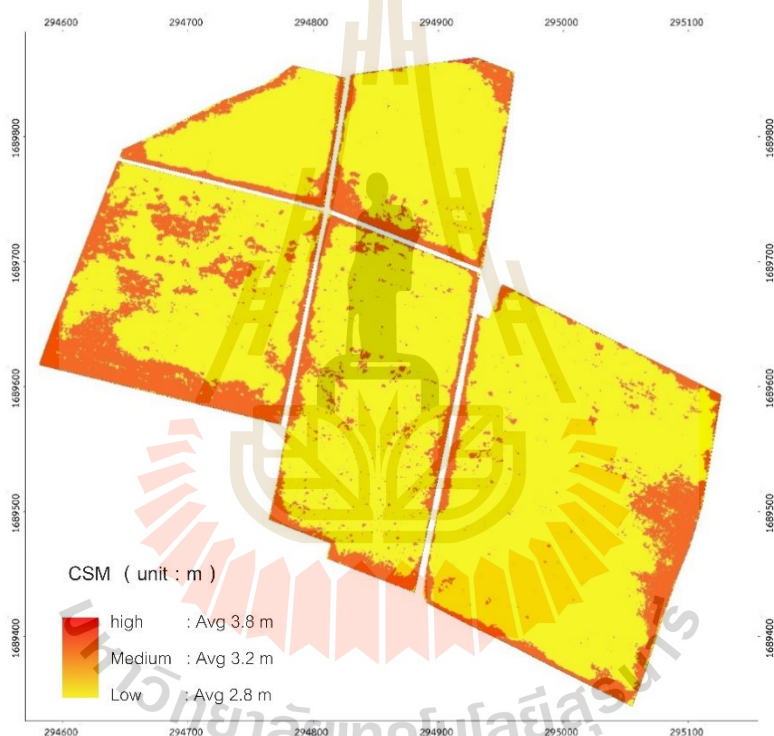


**รูปที่ 3.53** แผนที่แสดงภาพถ่ายรายละเอียดสูงที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับเมื่ออ้อยอายุ 11 เดือน

การประเมินผลผลิตอ้อยได้จากหลายปัจจัย ได้แก่ ความหนาแน่นต้นอ้อย ความสูงต้น DTM (ค่า  
แบบจำลองความสูงของภูมิประเทศ) เป็นต้น ตามที่ได้ให้รายละเอียดในวิธีการทดลอง ซึ่งผลการประเมิน  
ผลผลิตอ้อยพบดังนี้คือ



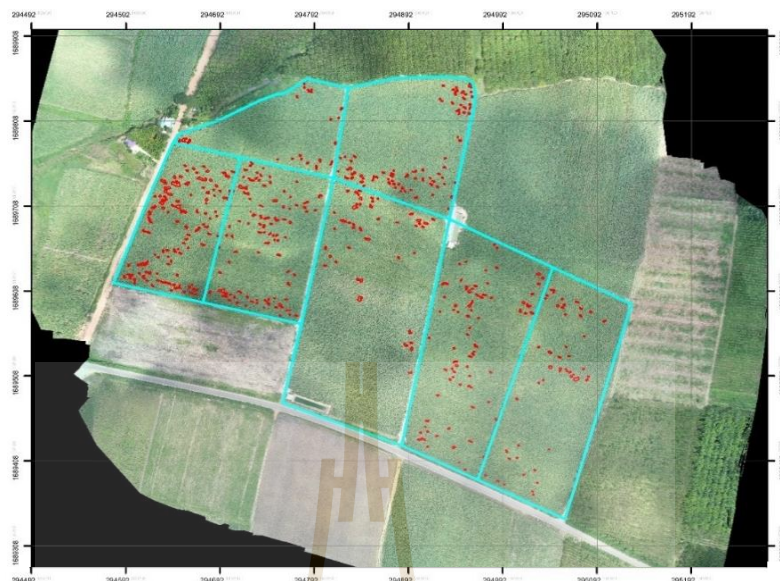
1) สำหรับการติดตามและประเมินค่าความสูงของอ้อยในแปลงเมื่ออ้อยอายุ 11 เดือน พบบริเวณแปลง 01-79698-04 (KK3) (Plot: A) มีค่าการเจริญเติบโตสูงและปานกลาง และยังสามารถสร้างแบบจำลองความสูงของอ้อยเฉลี่ยออกเป็น 3 ช่วงค่าความสูง โดยใช้สีแตกต่างกัน ได้แก่ สีแดงแทนความสูงมากที่สุด สูงปานกลางแทนด้วยสีส้ม และความสูงน้อยแทนด้วยสีเหลือง ซึ่งจากการสร้างแบบจำลองความสูง พบว่าด้านริมแปลงเป็นบริเวณที่ต้นมีความสูงมากกว่าด้านในแปลง และจากการแปลผลพบพื้นที่ที่มีค่าความสูงของอ้อยสูงสุดโดยเฉลี่ย 3.8 เมตร ระดับความสูงปานกลางโดยเฉลี่ย 3.2 เมตร และระดับความสูงต้นน้อยที่สุดในแปลงโดยเฉลี่ย 2.8 เมตร ซึ่งแสดงการกระจายตัวในบริเวณต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.54



รูปที่ 3.54 แผนที่แสดงแบบจำลองพื้นผิวของอ้อยเมื่ออายุ 11 เดือน

2) การประเมินความหนาแน่นและความสูงต้น เมื่อประเมินความสูงต้นของอ้อยแล้ว การแปลผลยังสามารถแสดงบริเวณพื้นที่อ้อยล้มในแปลง โดยใช้ภาพในการบินถ่ายภาพที่อายุ 11 เดือน เปรียบเทียบกับเมื่ออายุ 8 เดือน เพื่อระบุชี้ชัดบริเวณที่เป็นพื้นที่อ้อยล้ม ซึ่งได้ผลเป็นจุดสีแดงในรูปที่ 3.55



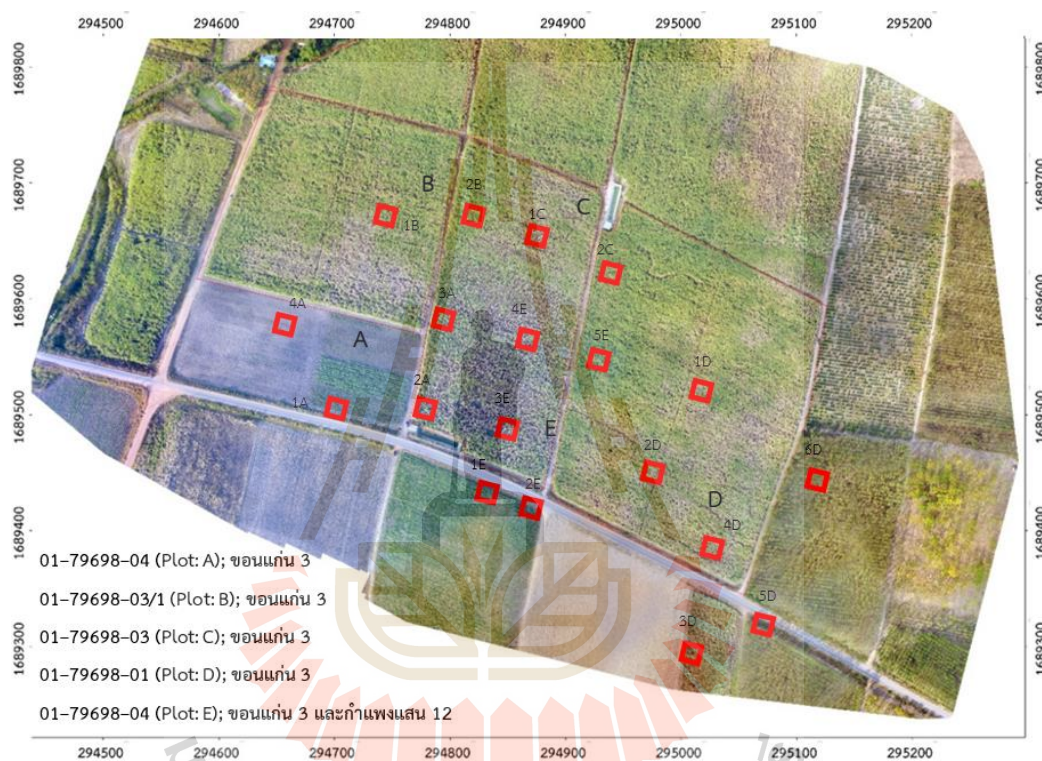


รูปที่ 3.55 แผนที่แสดงพื้นที่แปลงอ้อยและตำแหน่งอ้อยล้ม

เมื่อทำการซ้อนทับชั้นข้อมูลภาพแสดงบริเวณอ้อยล้ม และดัชนีความอุดมสมบูรณ์ของพืชพรรณ พบว่าบริเวณอ้อยล้มเป็นบริเวณเดียวกับชั้นข้อมูลดัชนีพืชพรรณที่มีค่าต่ำ (0-0.25) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (0.90) เนื่องจากบริเวณที่อ้อยล้มเป็นบริเวณที่มีสีดินปรากฏให้เห็นชัดเจนในภาพถ่าย ทำให้ค่าสะท้อนช่วงคลื่นที่แสดงสีดินมีค่ามากกว่าค่าสะท้อนช่วงคลื่นที่แสดงสีของพืช ซึ่งแผนที่ดัชนีความอุดมสมบูรณ์ของพืชพรรณนี้สามารถแสดงบริเวณที่พืชมีความอุดมสมบูรณ์สูง (สีแดงในแผนที่) บริเวณที่พืชมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง (สีเหลืองในแผนที่) และบริเวณที่พืชมีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างต่ำ (สีเขียวในแผนที่) ดังนั้นหากมีการตรวจสอบโดยใช้ภาพถ่ายในพื้นที่บริเวณกว้างช่วยให้เกษตรกรสามารถปรับปรุง/แก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับอ้อยได้ทันท่วงที

2) การคำนวณผลผลิตโดยประเมินจากการสุ่มตัดในพื้นที่ และการประเมินโดยแปลผลจากภาพถ่ายทางอากาศ (รูปที่ 3.56) ผลลัพธ์จากการคำนวณหาค่าผลผลิตอ้อย พบว่าการประเมินผลจากภาพถ่ายทางอากาศในแปลงอ้อยที่มีขนาดพื้นที่มากกว่า 20 ไร่ ได้ผลผลิตจากการประเมินแตกต่างจากการประเมินจากภาพถ่ายทางอากาศแปลงเล็กที่มีพื้นที่น้อยกว่า 20 ไร่ โดยเมื่อประเมินภาพถ่ายแปลงปลูกอ้อยที่มีพื้นที่มากกว่า 20 ไร่ พบว่าผลผลิตจากทั้งสองวิธี (การประเมินจากภาพถ่ายและการสุ่มตัดจริง) ให้ค่าผลผลิตอ้อยแตกต่างกันประมาณ 1.75 ตัน/ไร่ โดยแปลง 01-79698-04 (Plot: E) ที่มีอ้อย 2 พันธุ์ คือพันธุ์ขอนแก่น 3 และกำแพงแสน 12 (KK3+KPS12) ผลจากการประเมินด้วยเทคนิคการรับรู้จากระยะไกลได้ผลผลิตอ้อยสูงกว่าการสุ่มตัดจริง 1.43 ตัน/ไร่ และแปลง 01-79698-01 (Plot:D) ซึ่งปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 มีค่าประเมินผลผลิตด้วยเทคนิคการรับรู้จากระยะไกลสูงกว่าวิธีการสุ่มตัด 1.57 ตัน/

ไร่ ในขณะที่แปลงอ้อยขนาดพื้นที่น้อยกว่า 20 ไร่ ซึ่งได้แก่แปลง 01-79698-03 (KK3) (Plot: C) และ 01-79698-03/1 (KK3) (Plot: B) ผลการประเมินผลผลิตอ้อยด้วยเทคนิคการรับรู้จากระยะไกลมีค่าต่ำกว่าการสุ่มตัดจริง (-1.49 และ -1.51 ตัน/ไร่ ตามลำดับ) ซึ่งให้ผลลัพธ์แตกต่างเมื่อใช้ขนาดพื้นที่ในการวิเคราะห์ต่างกัน ดังนั้นการประเมินอ้อยพันธุ์ที่แตกต่างกัน หรือมีขนาดแปลงแตกต่างกันอาจต้องปรับใช้วิธีการในการประเมิน หรือสมการที่ใช้ในการประเมินต่างกัน



รูปที่ 3.56 แผนที่แปลงอ้อยที่ทำการทดสอบเพื่อประเมินผลผลิต

3) การตรวจสอบค่าความถูกต้องในการประเมินผลผลิตอ้อย โดยทำการตรวจสอบค่าความถูกต้องจากการประเมินผลผลิตอ้อยในแปลงอ้อยโดยใช้ภาพถ่าย ใช้วิธีการเปรียบเทียบกับผลผลิตจริงโดยสุ่มตัดตัวอย่างอ้อยเมื่ออ้อยอายุ 11 เดือน เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการประเมินสำหรับตรวจสอบค่าความถูกต้อง ซึ่งผลการตรวจสอบค่าความถูกต้องในการใช้ค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณในสมการที่ 1 ถึง 4 (กล่าวถึงในวิธีการทดลอง) พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่ทำการเก็บข้อมูลภาคสนาม (รายละเอียดตามตารางภาคผนวกที่ 3) มีความถูกต้องตรงกับข้อมูลที่ได้จากการบินถ่ายรูปลักษณ์ด้วยอากาศยานไร้คนขับ 98%

## กิจกรรมที่ 5 การใช้โดรนพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโตในพืชไร่เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพผลผลิต

การใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในการเกษตรมีเป้าหมายคือลดต้นทุน ลดค่าแรงงาน เพิ่มความปลอดภัยในกับเกษตรกรผู้ผลิตพืช ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้โดรนพ่นสารอย่างแพร่หลาย เนื่องจากอัตราค่าบริการต่ำกว่าการใช้แรงงานคน แต่สามารถทำงานได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากกว่า เนื่องจากสามารถเข้าไปพ่นได้แม้พืชมีต้นสูงและหนาแน่น อย่างไรก็ตามการใช้โดรนพ่นสารต้องมีการทดสอบหาอัตราการใช้ที่เหมาะสม เพื่อลดต้นทุนค่าสารและปลอดภัยกับผู้ใช้ สำหรับการปลูกมันสำปะหลัง หรืออ้อย ในบางสภาพแวดล้อม เช่น ในฤดูฝนมักมีผลต่อความสูงต้นที่มากเกินไปส่งผลให้ต้นล้ม ซึ่งมีผลให้ผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตต่ำ ดังนั้นการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตช่วยลดปัญหาได้ แต่ต้องใช้ความเข้มข้นที่เหมาะสม ซึ่งการทดลองนี้ได้ทดสอบในมันสำปะหลัง และอ้อย ซึ่งเป็นพืชที่มีต้นสูง การเข้าไปพ่นสารให้พืชเหล่านี้หลังจากอายุ 4 เดือน ทำได้ยาก แรงงานหาได้ยาก และหากใช้แรงงานจะใช้คนจำนวนมากทำให้มีต้นทุนสูง โดยการทดลองมีขั้นตอน ดังนี้

### 5.1 การหาอัตราการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต (ใช้โดรนพ่น) ในมันสำปะหลัง

#### 5.1.1 ขั้นตอนการวิจัย ดังนี้

- 1) การเตรียมพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง โดยไถพรวน 4, พรวน 7 จากนั้นยกร่องโดยใช้ระยะห่างระหว่างแถว 1.2 เมตร ปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 และศรีราชา 1 ภายใต้สภาพน้ำหยด
- 2) การเตรียมท่อนพันธุ์ และการปลูกมันสำปะหลังโดยเลือกท่อนพันธุ์อายุ 8-12 เดือน ที่สมบูรณ์ปราศจากโรคและแมลง ตัดท่อนพันธุ์ให้มีขนาดยาว 20 ซม. ก่อนปลูกแช่ท่อนพันธุ์ด้วยสารเคมี ไทอะมีโดแซม (Thiamethoxam) เพื่อป้องกันเพลี้ยแป้ง มีระยะระหว่างแถวและต้น 1.2 x 0.8 เมตร
- 3) เมื่ออายุ 6 เดือน และ 8 เดือน (180 และ 240 วันหลังปลูก) ใช้โดรนพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโต โดยสารที่ใช้ในการทดลองนี้มี 2 ชนิด คือ พาโคลบิวทราโซล (PBZ) และไกลโฟเสตที่ความเข้มข้นต่างกัน ได้แก่ 0, 250, 500, 750, 1,000 ppm
- 4) หลังพ่นสาร 1 เดือน ทำการบันทึกความยาวยอด และเมื่ออายุ 12 เดือน บันทึกข้อมูลปริมาณแป้ง และผลผลิตมันสำปะหลัง จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติ และสรุปผลการทดลอง เพื่อหาอัตรา/ความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารในการพ่นโดยใช้โดรนพ่นสาร

#### 5.1.2 ผลการทดสอบอัตราที่เหมาะสมในการพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโตในมันสำปะหลัง

จากผลการพ่นสารพาโคลบิวทราโซล (PBZ) และไกลโฟเสตในมันสำปะหลัง 2 พันธุ์ (พันธุ์ระยอง 9 และศรีราชา 1) ที่มีการเจริญเติบโตทางลำต้นในฤดูฝนแล้วมีเปอร์เซ็นต์แป้งต่ำ พบว่าการพ่นสารทั้งสอง

ชนิดที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน มีผลทำให้ความยาวยอดมันสำปะหลังของแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกัน ในทางสถิติ (ตารางที่ 3.11) โดยเมื่อใช้ PBZ และไกลโฟเสตที่ความเข้มข้น 1,000 ppm ส่งผลให้ความยาวยอดของมันสำปะหลัง 2 พันธุ์เพิ่มขึ้นน้อยกว่าเมื่อพ่นสารด้วยความเข้มข้น 500 ppm ซึ่งข้อมูลบ่งชี้ว่าการพ่นสารที่ความเข้มข้นสูงกว่า 500 ppm ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง ส่วนการไม่ฉีดสาร (Control) พบมีความยาวยอดมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบอายุที่พ่นสาร พบว่าการพ่นสารเมื่อมันสำปะหลังอายุ 240 วัน พบว่าทั้ง 2 พันธุ์ มีความยาวยอดเพิ่มขึ้นน้อยกว่าการพ่นสารเมื่อต้นอายุ 180 วัน เนื่องจากช่วงอายุนี้มันสำปะหลังไม่มีการเจริญเติบโตทางลำต้นแล้ว

สำหรับผลผลิตของหัวมันสำปะหลัง พบว่าการพ่นสาร PBZ และไกลโฟเสต มีผลต่อน้ำหนักหัวต่อต้นของมันสำปะหลังพันธุ์ศรีราชา 1 และพันธุ์ระยอง 9 (ตารางที่ 3.12) โดยสาร PBZ ที่ความเข้มข้น 500 และ 1,000 ppm มีผลให้มันสำปะหลังมีน้ำหนักหัวต่อต้นเพิ่มขึ้นมากกว่าการไม่พ่นสาร นอกจากนี้การพ่นสารฯ เมื่อมันสำปะหลังอายุ 240 วัน ส่งผลให้มันสำปะหลังมีน้ำหนักหัวต่อต้นสูงกว่าการพ่นเมื่ออายุ 180 วัน และยังพบว่าสาร PBZ และไกลโฟเสตความเข้มข้น 500 และ 1,000 ppm ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์แป้งสูงกว่าการไม่พ่นสาร และการพ่นสารเมื่อมันสำปะหลังอายุ 240 วันหลังปลูก (เก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 12 เดือนพร้อมกัน) มีแนวโน้มทำให้เปอร์เซ็นต์แป้งสูงกว่าการพ่นเมื่อมันสำปะหลังอายุ 180 หลังปลูก

ตารางที่ 3.11 ผลของสาร PBZ และไกลโฟเสต ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9

ทรีตเมนต์	ความยาวยอด (ซม.)		ผลผลิต (กก./ต้น)		เปอร์เซ็นต์แป้ง (%)	
	180 วัน	240 วัน	180 วัน	240 วัน	180 วัน	240 วัน
Control	30.8a	28.8a	5.18b	5.75b	26.40b	26.50b
PBZ 500 ppm	26.3ab	20.75ab	6.30a	6.52a	27.35a	27.95a
PBZ 1,000 ppm	21.4b	15.9b	6.07a	6.47a	27.10ab	27.52a
ไกลโฟเสต 500 ppm	24.9ab	19.6ab	5.82ab	6.57a	27.40a	27.85a
ไกลโฟเสต 1,000 ppm	19.8b	17.9b	5.42ab	6.20ab	27.15ab	27.45a
F-test	*	*	*	*	*	*
CV (%)	19.2	21.3	16.4	19.7	14.5	17.6



ตารางที่ 3.12 ผลของสาร PBZ และไกลโฟเสต ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตมันสำปะหลังพันธุ์ศรีราชา 1

ทรีตเมนต์	ความยาวยอด (ซม.)		ผลผลิต (กก./ต้น)		เปอร์เซ็นต์แป้ง (%)	
	180 วัน	240 วัน	180 วัน	240 วัน	180 วัน	240 วัน
Control	29.0a	23.7a	2.90b	3.73b	26.70b	27.10b
PBZ 500 ppm	22.7ab	20.0ab	4.13a	4.41a	28.10a	28.90a
PBZ 1,000 ppm	20.9b	16.7ab	3.72a	4.22ab	28.00a	28.35a
ไกลโฟเสต 500 ppm	21.7ab	17.4ab	3.96a	4.21ab	27.90a	28.77a
ไกลโฟเสต 1,000 ppm	20.2b	15.1b	3.41ab	4.05ab	27.95a	28.35a
F-test	*	*	*	*	*	*
CV (%)	20.2	23.4	18.9	21.7	12.4	14.8

สรุปผลการทดลองกิจกรรมที่ 5.1 ผลการทดสอบพ่นสารโดยใช้โดรน โดยทดสอบความเข้มข้นของสาร PBZ และไกลโฟเสตที่ความเข้มข้นต่างกัน ในมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 และศรีราชา 1 ให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน คือการพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโตไม่ว่าพ่นที่อายุใดมีผลลดการเจริญเติบโต เห็นได้จากความยาวยอดเพิ่มขึ้นน้อยกว่าการไม่พ่นสาร บ่งชี้ว่าในพื้นที่ที่อุดมสมบูรณ์สูง/มีการให้น้ำสูงเกินไป หรืออาจเป็นฤดูฝนที่มีความชื้นสูงส่งผลให้ต้นมันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตทางลำต้นสูง จนส่งผลให้ต้นล้มหรืออาจทำให้ไม่ลงหัว สามารถแก้ปัญหาได้โดยการพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเก็บเกี่ยวในฤดูฝนมักมีเปอร์เซ็นต์แป้งต่ำ ซึ่งการพ่น PBZ ที่ความเข้มข้น 500, 1,000 ppm และไกลโฟเสตความเข้มข้น 500 ppm มีแนวโน้มส่งผลให้มันสำปะหลังทั้งสองพันธุ์มีผลผลิต และเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวสูงกว่าการไม่พ่นสารและการใช้ไกลโฟเสตที่ความเข้มข้นสูง ดังนั้นการใช้โดรนพ่นสาร PBZ ความเข้มข้นที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 500–1,000 ppm ส่วนไกลโฟเสตควรใช้ที่ความเข้มข้น 500 ppm อย่างไรก็ตามควรใช้สาร PBZ ในการพ่นเนื่องจากปัจจุบันไม่สามารถใช้ไกลโฟเสตแล้ว

**วิจารณ์ผลการทดลอง** จากผลการทดลองเพื่อทดสอบผลของสาร PBZ และไกลโฟเสต ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณแป้ง ของมันสำปะหลัง 2 พันธุ์ (ระยอง 9 และศรีราชา 1) โดยมีการพ่นสารที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน และใช้ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารทั้ง 2 ชนิด ผลการทดลองพบว่าสารทั้งสองชนิดส่งผลให้มันสำปะหลังมีความยาวยอดน้อยกว่าการไม่พ่นสาร นั่นคือสารทั้งสองชนิดมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ซึ่งการที่ความยาวยอดลดลง เนื่องจากสาร PBZ เป็นสารในกลุ่มไตรอะโซล ซึ่งสารในกลุ่มนี้ ได้แก่ PBZ, chlorocholine chloride (CCC), Triadimefon (TDM) และ Hexaconazole (HEX) เป็นต้น มีผลในการยับยั้งการสร้างจิบเบอเรลลิน และเอทิลีน แต่ส่งเสริมการสร้างไซโตไคนิน และกรดแอบไซซิก (Kamountsis et al., 1999; จาวภา ศิริกร และชนิดา รมะณีย์, 2562) ซึ่งส่งผลลดการยืดยาวของต้นและยอดมันสำปะหลัง และลดการแบ่งตัวของ



เซลล์ส่วนเหนือดิน การทดลองของ Medina et al. (2012) ได้พบว่าการพ่น PBZ ทางใบในมันสำปะหลังส่งผลให้ความสูง และการเจริญเติบโตส่วนเหนือดินลดลง โดยเฉพาะเมื่อใช้ความเข้มข้นสูงจะมีผลให้การเจริญเติบโตลดลงมาก ซึ่งมีหลายงานทดลองที่พบว่าการใช้สาร PBZ ที่ความเข้มข้น 500 และ 1,000 มก./ต้น ส่งผลให้ความสูงต้นของมันสำปะหลังลดลง (Li et al., 2008; อรุณี พรหมคำบุตร และคณะ, 2557; จาวภา ศิริการ และชนิดา รมะณีย์, 2562) สำหรับผลของไกลโฟเสตซึ่งเป็นสารในกลุ่มเร่งการแกมมีรายงานว่ามีบทบาทในการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชเช่นกัน โดยไกลโฟเสตไปยับยั้งเอนไซม์ 5-enolpyruvyl shikimic acid-3-phosphate (EPSP) synthase ในกระบวนการ Shikimate pathway ส่งผลให้ส่วนยอดของต้นพืชหยุดชะงัก แต่มีการเคลื่อนย้ายคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบของน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น จึงมีการนำไกลโฟเสตมาใช้เพื่อเร่งการแก่ของพืช และการเพิ่มความหวานในลำต้นพืชได้ (ปรีชา สุริยพันธ์ และนางลักษณ์ รัตนารักษ์, 2535)

จากการทดลองครั้งนี้สารควบคุมการเจริญเติบโตนอกจากสามารถลดการเจริญเติบโตซึ่งส่งผลต่อการให้ผลผลิต และเปอร์เซ็นต์แป้งของมันสำปะหลังทั้งสองพันธุ์สูงขึ้น การที่มันสำปะหลังมีผลผลิตและเปอร์เซ็นต์แป้งสูงขึ้น เนื่องจากสารควบคุมการเจริญเติบโตมีอิทธิพลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ใน carbohydrate metabolism โดยเฉพาะการสังเคราะห์น้ำตาลซูโครสในพืช พบว่ามีเอนไซม์ที่เข้ามาเร่งปฏิกิริยา คือ Sucrose phosphate synthase (SPS) และ Sucrose synthase (SuS) โดย SuS มีบทบาทหลักในการเปลี่ยนน้ำตาลซูโครสให้อยู่ในรูปของ UDP-glucose+fructose โดย UDP-glucose ได้จากการทำงานของ SuS (บุษรินทร์ ตานะ, 2558) นอกจากนี้สารควบคุมการเจริญเติบโตมีผลกระตุ้นฮอร์โมน cytokinin และ ABA ทำให้กิจกรรม invertase enzyme เพิ่มขึ้น ซึ่ง invertase enzyme มีบทบาทในการขนส่ง sucrose เพื่อส่งไปยังแหล่งเก็บ (sink) และมีผลต่อการเพิ่มของกิจกรรม carbohydrate metabolizing enzymes เช่น starch phosphorylase หรือเอนไซม์ SuS (อรุณี พรหมคำบุตร และคณะ, 2557) ส่งผลให้เกิดการสร้างและสะสมแป้งในหัวมันสำปะหลังเร็วขึ้น จากการทดลองนี้ การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตส่งผลให้กิจกรรมเอนไซม์ SuS และ SPS มีค่าสูงกว่าการไม่พ่นสาร ซึ่งสอดคล้องกับ Gomathinayagam et al. (2007) ได้รายงานว่าการราดสารชะลอการเจริญเติบโต ได้แก่ TDM และ HEX ให้กับมันสำปะหลังที่อายุแตกต่างกัน (25, 45, 65 และ 100 วันหลังปลูก) พบว่าการราดสารทั้งสองชนิดมีกิจกรรมของเอนไซม์ SuS สูงกว่าการไม่ใช้สาร และมีผลให้ความสูงต้นและพื้นที่ใบลดลง แต่ส่งผลให้ปริมาณแป้ง ปริมาณคาร์โบไฮเดรต และกิจกรรมของเอนไซม์ใน carbohydrate metabolism ของมันสำปะหลังเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโตในช่วงเวลาดังกล่าวมีผลต่อการกระตุ้นให้มีการ partitioning จากส่วนเหนือดิน คือลำต้นและใบไปยังหัวได้มากกว่า (อรุณี พรหมคำบุตร และคณะ, 2557) เพื่อเป็นการทำให้ส่วนรากเป็น sink ที่แรงกว่าที่ส่วนยอดและใบแก่ที่ต้องการอาหารอยู่ มีรายงานว่าเมื่อราด PBZ ความเข้มข้น 500 มก./ต้น มีผลทำให้ผลผลิตหัวสดต่อไร่เพิ่ม

สูงขึ้นกว่าการไม่ราดสาร 23% (จาวภา ศิริการ และชนิดา รมะณีย์, 2562) และ Panyapruet et al. (2015) พบเช่นกันว่าการราด PBZ ที่ความเข้มข้น 10, 20 และ 30 ppm ทำให้ผลผลิตมันสำปะหลัง สูงกว่าไม่ราดสาร สำหรับผลของไกลโฟเสตมีผลในการเพิ่มสะสมน้ำตาลและแป้งเช่นกัน สำหรับตัวอย่าง งานทดลองในการใช้เพิ่มความหวานในอ้อย

นอกจากผลของสารและระดับความเข้มข้นของสารแล้ว การพ่นสารที่อายุมันสำปะหลังต่างกัน มีผลต่อการให้ผลผลิตและปริมาณแป้งในมันสำปะหลังด้วย โดยการทดลองนี้พบว่า การพ่นสารในมัน สำปะหลังที่อายุ 240 วันหลังปลูก ส่งผลให้ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์แป้งของพันธุ์ระยอง 9 และศรีราชา 1 สูงกว่าการพ่นที่ระยะอื่น ๆ เนื่องจากมันสำปะหลังที่อายุ 240 วันหลังปลูก เป็นช่วงที่มันสำปะหลังอยู่ในระยะการสะสมแป้ง (ช่วงสำคัญในการให้ผลผลิต) ซึ่งโดยทั่วไปมันสำปะหลังมีการสะสมแป้งตั้งแต่เดือน ที่ 3 ขึ้นไป ในช่วงดังกล่าวอาจยังมีการเจริญเติบโตทางลำต้นอยู่ จึงทำให้สารอาหารอาจยังมีการ เคลื่อนย้ายสะสมที่หัวน้อยกว่าระยะ 7-9 เดือน และเมื่ออายุเพิ่มขึ้นอาหารสะสมจะถูกเคลื่อนย้าย ออกจากท่อนพันธุ์ ลำต้น และใบ ไปสะสมไว้ในหัวมากขึ้น ซึ่งการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตใน ช่วงเวลาดังกล่าวมีผลต่อการกระตุ้นให้มีการ partitioning จากส่วนเหนือดิน คือลำต้นและใบไปยังหัวได้ มากกว่า (อรุณี พรหมคำบุตร และคณะ, 2557) เพื่อเป็นการทำให้ส่วนรากเป็น sink ที่แรงกว่าที่ส่วนยอด และใบแก่ที่ต้องการอาหารอยู่ ได้มีการศึกษาการใช้ PBZ ราดที่หลายระยะการเจริญเติบโตของมัน สำปะหลัง พบว่าการราดสารในมันสำปะหลังอายุ 7 เดือนหลังปลูก ส่งผลให้ผลผลิต และคุณภาพแป้ง หัวมันสำปะหลังสูงกว่าที่อายุ 3 และ 5 เดือนหลังปลูก (Panyapruet et al., 2015) นอกจากนี้ยังมี รายงานการใช้ PBZ ในพืชหัวอื่น ๆ เช่นในมันฝรั่ง โดยการพ่น PBZ ให้มันฝรั่งที่อายุแตกต่างกัน (28, 35 และ 42 วันหลังปลูก) พบว่าการพ่นสารที่อายุ 28 วันหลังปลูก ส่งผลให้ปริมาณแป้งและผลผลิตมัน ฝรั่งเพิ่มสูงขึ้นกว่าอายุอื่น ๆ และสูงกว่าการไม่พ่นสาร (Mabvongwe et al., 2016) การใช้สาร ควบคุมการเจริญเติบโตแล้วส่งผลให้ผลผลิตมันสำปะหลังสูงขึ้น อาจเป็นผลมาจากสารเหล่านี้มีผลใน การเร่งการแก่ โดยยับยั้งการส่งแป้ง ที่ได้จากการสังเคราะห์แสงไปสร้างใบและกิ่งใหม่ เพื่อให้สารอาหาร เคลื่อนย้ายไปเก็บไว้ที่รากและสะสมน้ำหนักในหัวสูงขึ้น จึงทำให้มันสำปะหลังมีผลผลิตสูงกว่าการไม่พ่น สาร

## 5.2 การหาอัตราการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต (ใช้โดรนพ่น) ในอ้อย

### 5.2.1 ขั้นตอนการวิจัย มีดังนี้

1) การเตรียมดินโดยการไถตะ ไถแปร และไถพรวน แล้วปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 สำหรับอีก แปลงที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นพันธุ์ขอนแก่น 3 ที่อยู่ในแปลงเดียวกันแต่เป็นอ้อยต่อ 2 โดยอ้อยอ้อยต่อ และอ้อยปลูกมีการให้น้ำแบบระบบน้ำหยด

2) สำหรับการเตรียมท่อนพันธุ์สำหรับอ้อยปลูก เลือกท่อนพันธุ์อ้อยที่มีอายุ 8–10 เดือน จากแปลงที่มีการเจริญเติบโตดี ปราศจากโรคและแมลงปราศจากโรคใบขาวระบาด

3) ปลูกอ้อยโดยใช้ระยะห่างแถว 1.6 เมตร (ภายในแถวปลูกเป็นร่องคู ระยะห่างระหว่างร่อง และท่อนพันธุ์ห่าง 30x30 เซนติเมตร) โดยใช้รถปลูก

4) เมื่ออ้อยอายุ 8 และ 9 เดือน ทำการพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโตโดยใช้โดรนพ่นสาร ซึ่งในการทดลองใช้สาร 2 ชนิดเช่นเดียวกันกับมันสำปะหลัง คือ พาโคลบิวทาโซล (PBZ) และไกลโฟเสต สารแต่ละชนิดใช้ความเข้มข้น 0, 500, 1,000 ppm เปรียบเทียบกับการไม่พ่นสาร (Control)

5) หลังพ่นสาร 1 เดือน ทำการบันทึกความสูงต้น เมื่ออ้อยอายุ 12 เดือน บันทึกความหวานจากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติ และสรุปผลการทดลอง

### 5.2.2 ผลการทดสอบอัตราที่เหมาะสมในการพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโตในอ้อย

1) ผลของ PBZ และไกลโฟเสต ต่อความสูงและความหวานของอ้อยปลูก

ผลสารควบคุมการเจริญเติบโตต่ออ้อยปลูกพันธุ์ขอนแก่น 3 ภายใต้ระบบน้ำหยด พบว่าเมื่อใช้ PBZ และไกลโฟเสตความเข้มข้น 1,000 ppm ทำให้อ้อยมีความสูงต้นน้อยกว่าการไม่พ่นสาร (ตารางที่ 3.13) เมื่ออ้อยอายุ 8 และ 9 เดือน สำหรับผลของการพ่นสารต่อความหวานของอ้อย พบว่าการพ่นสารมีผลให้ความหวานเพิ่มขึ้น โดยการใช้ความเข้มข้นของสารที่ 1,000 ppm มีผลทำให้ความหวานระหว่าง 24.73–26.40 °Brix (เมื่อพ่นสารใน 2 อายุ) ซึ่งมีค่าสูงกว่าการไม่พ่นสาร (อ้อยมีความหวานต่ำ 22.65–23.21°Brix) ประมาณ 1.5–3 °Brix แต่การใช้สารที่ความเข้มข้นต่ำ (500 ppm) ความหวานอ้อยไม่แตกต่างทางสถิติกับการไม่พ่นสาร โดยอายุที่เหมาะสมในการพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโตควรพ่นเมื่ออ้อยปลูกอายุ 9 เดือน เพราะอ้อยมีความหวานเฉลี่ยเพิ่มมากที่สุด 26.40°Brix (เมื่อใช้สารทั้งสองชนิดที่ความเข้มข้น 1,000 ppm)

ตารางที่ 3.13 ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อความสูงและความหวานของอ้อยปลูกพันธุ์ขอนแก่น 3

Treatment	ความสูง (ซม.)		ความหวาน (°Brix)	
	8 เดือน	9 เดือน	8 เดือน	9 เดือน
ไม่พ่นสาร (Control)	239a	230a	22.65b	23.21b
ไกลโฟเสต 500 ppm	211bc	221ab	22.80b	23.34b
ไกลโฟเสต 1,000 ppm	212bc	213b	24.73a	25.88a
PBZ 500 ppm	220b	219ab	22.75b	23.45b
PBZ 1,000 ppm	206c	211b	24.93a	26.40a
F-Test	**	*	**	**
CV (%)	20.4	18.6	14.9	17.2

\*, \*\* = มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.01 ตามลำดับ

2) ผลของ PBZ และไกลโฟเสต ต่อความสูงและความหวานของอ้อยต่อ ผลการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตต่ออ้อยต่อพันธุ์ขอนแก่น 3 เมื่ออายุ 8 และ 9 เดือน พบว่าการพ่นและไม่พ่นสารควบคุมการเจริญเติบโตไม่ทำให้ความสูงต้นอ้อยแตกต่างกันในทางสถิติ (ตารางที่ 3.14) อย่างไรก็ตามการพ่นสารเมื่ออ้อยอายุ 8 และ 9 เดือน ทุกความเข้มข้นมีผลทำให้ความหวานสูงกว่าการไม่พ่นสารประมาณ 1–2°Brix โดยการพ่นสาร PBZ เมื่ออ้อยอายุ 8 เดือน การพ่นสารที่ความเข้มข้นต่างกันทำให้มีความหวานเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่หากพ่นสาร PBZ เมื่ออ้อยอายุ 9 เดือน การใช้สารที่ความเข้มข้น 1,000 ppm ส่งผลให้อ้อยมีความหวานมากที่สุด

ตารางที่ 3.14 ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อความสูงและความหวานของอ้อยต่อพันธุ์ขอนแก่น 3

Treatment	ความสูง (ซม.)		ความหวาน (°Brix)	
	8 เดือน	9 เดือน	8 เดือน	9 เดือน
ไม่พ่นสาร (Control)	270	280	23.01b	23.16c
ไกลโฟเสต 500 ppm	264	278	24.02a	24.32ab
ไกลโฟเสต 1,000 ppm	265	279	24.34a	25.06a
PBZ 500 ppm	266	277	24.08a	24.25b
PBZ 1,000 ppm	260	276	24.50a	24.84ab
F-Test	ns	ns	*	**
CV (%)	18.0	16.6	12.0	14.1

ns, \*, \*\* = ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ, มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.01 ตามลำดับ

3) สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง ผลการทดสอบพ่นสารโดยใช้โดรนเพื่อทดสอบความเข้มข้นของสาร PBZ และไกลโฟเสตที่ความเข้มข้นต่างๆ ในอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ทั้งอ้อยตอและอ้อยปลูก พบว่าให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน คือการพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโตไม่ว่าพ่นที่อ้อยอายุใดไม่มีผลต่อความสูง แต่มีแนวโน้มความสูงลดลง และยังพบว่าการพ่นไกลโฟเสต และ PBZ เมื่ออ้อยตอและอ้อยปลูกอายุ 8 และ 9 เดือน การใช้ความเข้มข้น 1,000 ppm ส่งผลให้อ้อยมีความหวานสูงกว่าการใช้สารที่ความเข้มข้นต่ำ (500 ppm) และการไม่พ่นสาร ดังนั้นการพ่นสารไกลโฟเสต และ PBZ โดยใช้โดรนควรใช้ความเข้มข้น 1,000 ppm อย่างไรก็ตาม เนื่องจากไกลโฟเสตเป็นสารควบคุมการใช้งาน ดังนั้นสามารถใช้ PBZ แทนการใช้ไกลโฟเสตเนื่องจากให้ผลการทดสอบใกล้เคียงกับไกลโฟเสตที่มีการใช้ในอดี้อย่างแพร่หลายในพืชอื่น ๆ

เมื่อพ่นสารไกลโฟเสตทางใบ พบว่าส่งผลให้อ้อยมีน้ำตาลเพิ่มถึง 15.92 เปอร์เซ็นต์ (นิรันดร์ จันทวงศ์ และคณะ, 2531) โดยไกลโฟเสตที่ความเข้มข้น 200 ppm เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเพิ่มผลผลิตอ้อย อย่างไรก็ตามการให้ไกลโฟเสตที่ความเข้มข้นสูงเกินไป มีผลทำให้จำนวนปล้องลดลงอย่างมาก (Kirubakaran et al., 2013) นอกจากนี้มีการทดลองใช้เพิ่มความหวานในข้าวฟ่างหวาน (อรรณพ แสนเมือง และสมยศ เดชภีรัตนมงคล, 2552) โดยใช้ไกลโฟเสตในอัตรา 0, 500 และ 1,000 ppm ซึ่งพบว่าไกลโฟเสตอัตรา 1,000 ppm ทำให้ความหวานของข้าวฟ่างหวานสูงกว่าการให้อัตราอื่น ๆ แต่การพ่นสารไม่ส่งผลให้น้ำหนักสดสูงขึ้น



## บทที่ 4

### การพัฒนาโรงเรือนอัจฉริยะสำหรับการผลิตพืช

การผลิตพืชภายใต้สภาพแวดล้อมทั่วไปที่มีความแปรปรวนสูง ประกอบกับเกษตรกรมีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชร่วมด้วย และเมื่อมีการใช้อย่างไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดการปนเปื้อนในผลผลิต และสิ่งแวดล้อมได้ ผู้บริโภคมีความต้องการผลผลิตพืชที่มีความปลอดภัย และมีความหลากหลายเพิ่มมากขึ้น การปลูกพืชภายใต้โรงเรือนจึงเป็นทางเลือกในการผลิตพืชที่ปลอดภัย ที่สามารถป้องกันโรค-แมลงจากนอกโรงเรือน ช่วยลดการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช โดยเฉพาะโรงเรือนที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมได้ สามารถใช้ในการผลิตพืชได้หลากหลายชนิดและผลิตได้ตลอดทั้งปี เกษตรกรจึงมีโอกาสรายได้ในการผลิตพืชมากขึ้น ดังนั้นการนำเทคโนโลยีต่างๆ มาใช้ในการควบคุมสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ แสง และความชื้น ภายในโรงเรือนให้อยู่ในช่วงที่พืชต้องการได้ รวมถึงการให้ปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญมาก ที่จะช่วยให้การปลูกพืชภายใต้โรงเรือนสามารถให้ผลผลิตที่สูงและช่วยลดต้นทุนแรงงานในการดูแลการปลูกพืชได้ ซึ่งการพัฒนาโรงเรือนอัจฉริยะสำหรับการผลิตพืช ประกอบด้วย

1. การพัฒนาและทดสอบการปลูกพืชภายใต้โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิระบบปิด (Evaporation Greenhouse)
2. การพัฒนาและทดสอบการปลูกพืชภายใต้โรงเรือนระบายอากาศระบบเปิด
3. การออกแบบและพัฒนาระบบการให้ปุ๋ยอัตโนมัติในโรงเรือนด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย
4. การพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับควบคุมแสงในโรงเรือนปลูกพืชอัจฉริยะ

#### กิจกรรมที่ 1 การพัฒนาและทดสอบการปลูกพืชภายใต้โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิระบบปิด (Evaporation Greenhouse)

โรงเรือนปลูกพืชควบคุมอุณหภูมิระบบปิด (Evaporation greenhouse) เป็นโรงเรือนที่สามารถลดอุณหภูมิภายในลงได้ด้วยวิธีการระเหยของน้ำ (Evaporative cooling) ซึ่งเป็นวิธีการทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง หลักการทำงานเป็นการใช้น้ำในการลดอุณหภูมิของอากาศร้อน โดยการแบ่งอนุภาคของน้ำให้มีขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวมาก เมื่ออากาศร้อนผ่านพื้นผิวน้ำ อากาศร้อนส่วนหนึ่งจะถูกน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าดูดความร้อน (Latent heat) และน้ำบางส่วนได้รับความร้อนกลายเป็นไอ ผลที่ได้คืออากาศร้อนอุณหภูมิจะลดลงแต่มีปริมาณไอน้ำในอากาศเพิ่มมากขึ้นและน้ำบางส่วนมีอนุภาคเล็กมากที่ยังไม่เปลี่ยนสถานะเมื่อสัมผัสความร้อนจะเปลี่ยนเป็นไอน้ำได้รวดเร็ว โครงการวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิที่มีขนาดกว้าง 9.6 เมตร และยาว 20 เมตร รวมพื้นที่ภายในโรงเรือนทั้งหมด 192 ตารางเมตร (รูปที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิระบบปิด (Evaporation Greenhouse)

## 1.1 การพัฒนาและทดสอบการปลูกพืชภายใต้โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิระบบปิด

### 1.1.1 วิธีการพัฒนาโรงเรือนประกอบควบคุมอุณหภูมิ ประกอบด้วยระบบต่างๆ ดังนี้

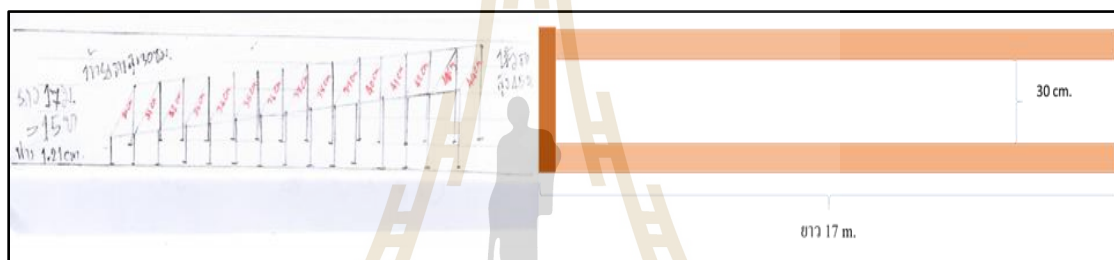
#### 1) ระบบควบคุมอุณหภูมิ ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ คือ

- ม่านด้านข้างโรงเรือน โรงเรือนถูกออกแบบให้มีผนังด้วยข้าง 2 ชั้น คือชั้นในเป็นตาข่าย และชั้นนอกเป็นพลาสติกใสที่สามารถม้วนขึ้นลงได้ โดยตั้งค่าของระบบควบคุมให้เมื่ออุณหภูมิสูงม่านด้านข้างจะปิดลง เพื่อจำกัดพื้นที่การทำควมเย็น และเปิดเมื่ออุณหภูมิกายนอกต่ำกว่าที่กำหนด
- แผ่นทำความเย็น (Cooling pad) โดยการทำงาน เมื่ออุณหภูมิสูงระบบควบคุมจะสั่งการให้เปิดปั้มน้ำเพื่อให้ความชื้นแก่แผ่นทำความเย็น และเมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่าค่าที่กำหนดระบบจะสั่งปิดปั้มน้ำ
- พัดลมดูดอากาศใช้เพื่อดูดไอน้ำ และอากาศร้อนออกจากโรงเรือน เพื่อให้อากาศจากด้านหลังแผ่นทำความเย็นเคลื่อนที่ผ่านแผ่นทำความเย็น เป็นการทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศ
- ระบบม่านพรางแสงและพ่นหมอก ระบบนี้ใช้ในกรณีที่อุณหภูมิสูงมาก เพื่อพรางแสงจากดวงอาทิตย์ลง และพ่นหมอกเพื่อเพิ่มไอน้ำที่มาจับกับไอร้อนในอากาศ โดยระบบนี้สามารถกำหนดค่าให้ทำงานพร้อมกันหรือต่างกันได้ เช่น ที่อุณหภูมิ 30 °C ขึ้นไปให้ระบบพ่นหมอกทำงาน แต่หากวิธีการดังกล่าวไม่สามารถลดอุณหภูมิลงได้ ระบบจะสั่งการให้ม่านพรางแสงปิดเพื่อลดอุณหภูมิอีกช่องทางหนึ่ง

- พัฒลระบายอากาศ ติดตั้งไว้กึ่งกลางของโรงเรือน เพื่อช่วยกระจายไอน้ำ และพัดอากาศร้อนให้หมุนเวียนได้ดีขึ้น

2) ระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินแบบ NFT (Nutrient Film Technique) โดยใช้รางปลูกพืชแบบจัมโบ้ (Jumbo Gully) ขนาดกว้าง 150 มิลลิเมตร สูง 75 มิลลิเมตร ที่ทำจากวัสดุ uPVC สีขาวแบบปิด (ไม่มีฝาเปิด-ปิดราง) แบ่งการออกแบบการจัดวางรางปลูกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

- รางปลูกไม้เลื้อย มีจำนวน 4 ชุด สามารถปลูกพืชได้สูงสุด 68 ต้นต่อชุด (รูปที่ 4.2) มีการออกแบบระบบการให้น้ำและสารละลายไว้ 2 ระบบ คือ ระบบการหมุนเวียนสารละลายแบบ NFT และระบบน้ำหยดที่อัตราการไหล 2 ลิตร/ชั่วโมง ชนิดหัวน้ำหยดแบบชดเชยแรงดัน (Pressure-Compensating Drippers)



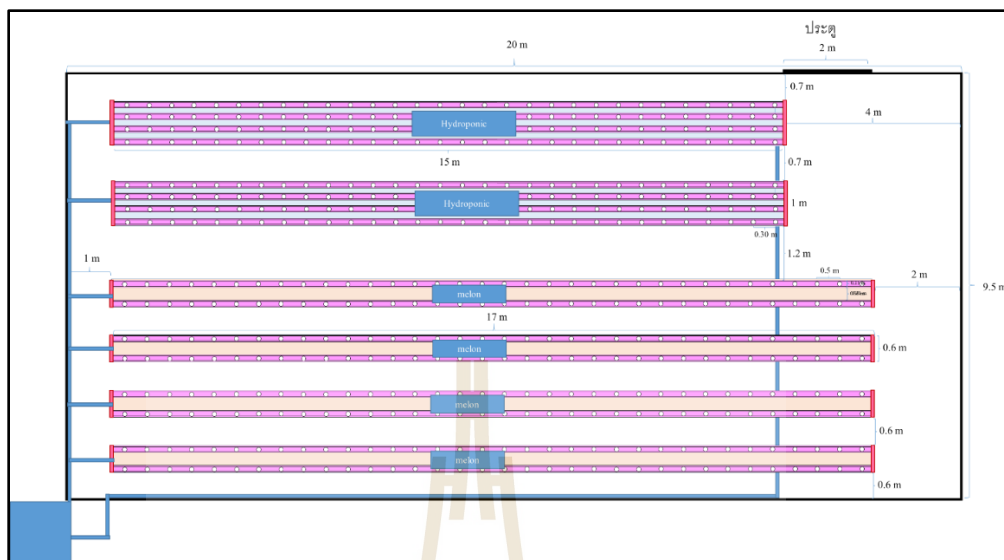
รูปที่ 4.2 รางปลูกไม้เลื้อย

- รางปลูกผัก จำนวน 2 ชุด สามารถปลูกพืชได้สูงสุด 200 ต้นต่อชุด (รูปที่ 4.3) การออกแบบระบบการให้น้ำและสารละลายเป็นแบบ NFT ที่สามารถต่อแยกถึงสารละลายออกได้ทั้งหมด 4 ชุด เพื่อใช้ในการทดสอบการปลูกพืชต่อไป

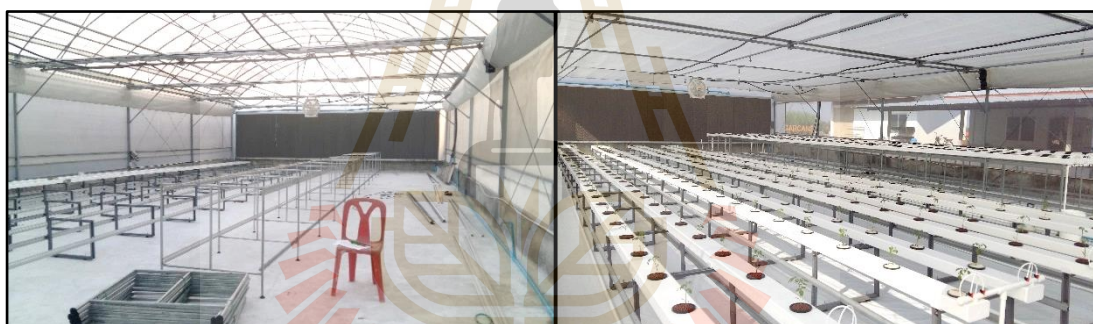


รูปที่ 4.3 รางปลูกผักแบบยกสูง

ดำเนินการจัดวางชุดรางปลูกและออกแบบการติดตั้งระบบ (รูปที่ 4.4) เพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานที่สามารถใช้ระบบการให้น้ำและสารละลายร่วมกันทั้งโรงเรือน และสามารถต่อแยกถึงสารละลายต่อชุดรางปลูกได้



รูปที่ 4.4 แผนผังการจัดวางระบบการปลูกพืชและระบบน้ำภายในโรงเรือน



รูปที่ 4.5 การติดตั้งรางปลูก และระบบการให้น้ำและปุ๋ยภายในโรงเรือน

3) ระบบการให้สารละลายธาตุอาหารพืชแบบอัตโนมัติ โดยได้ออกแบบให้ระบบสารละลายธาตุอาหารพืชอยู่นอกโรงเรือน เพื่อให้ง่ายต่อการปฏิบัติงานและทำความสะอาด ไม่สิ้นเปลืองพื้นที่ภายในโรงเรือน และลดการเข้าออกภายในโรงเรือนเพื่อป้องกันโรคและแมลง (รูปที่ 4.6)

1. การทำบ่อสารละลายธาตุอาหารพืช โดยใช้เป็นบ่อปูนซีเมนต์ขนาด 1,000 ลิตร ฝังไว้ใต้ดิน เพื่อช่วยลดอุณหภูมิของสารละลาย และง่ายต่อการหมุนเวียนสารละลาย ภายในบ่อติดตั้งปั๊มซับเมอร์ส 2 เครื่อง เพื่อใช้ในการปั๊มสารละลายเข้าโรงเรือน

2. ติดตั้งระบบการให้ปุ๋ยอัตโนมัติ โดยใช้อุปกรณ์ผสมปุ๋ยอัตโนมัติที่ถูกพัฒนาและขายเป็นการค้าซึ่งมีส่วนประกอบของระบบดังนี้

- ตัวควบคุมการทำงานของปั๊มดูดสารละลาย ที่สามารถสลับการทำงานของปั๊มภายในบ่อสารละลายตามที่ต้องการได้ เช่น สลับการทำงานของปั๊มที่ 1 และ 2 ทุก 1 ชั่วโมง เป็นต้น และออกแบบให้สามารถตั้งเวลาการให้น้ำเป็นรอบได้ กรณีใช้ระบบน้ำหยดเป็นระบบการให้



- น้ำพีช ประกอบกับติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันและแจ้งเตือนเมื่อระบบมีปัญหาเกิดขึ้น คือลูกลอยไฟฟ้า Pressure switch เสียงและไฟสัญญาณแจ้งเตือนการทำงาน
- อุปกรณ์การผสมปุ๋ยอัตโนมัติ ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน Dosing pump เซ็นเซอร์สำหรับตรวจวัดระดับ pH, EC และอุณหภูมิของสารละลาย



รูปที่ 4.6 ระบบควบคุมการให้ปุ๋ยอัตโนมัติ

4) ระบบจ่ายพลังงานให้แก่โรงเรือนจากพลังงานแสงอาทิตย์ การปลูกพืชภายใต้โรงเรือนที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมต้องอาศัยการทำงานของระบบการลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือน ที่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าหลายชนิดเข้ามาดำเนินการ เช่น มอเตอร์ควบคุมการเปิด-ปิดม่านต่างๆ ปั๊มน้ำ และพัดลมดูดอากาศ เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะใช้แหล่งพลังงานในรูปของไฟฟ้า ซึ่งข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของโรงเรือนควบคุมสภาพแวดล้อม ในโครงการนี้มีอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ติดตั้งในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิระบบปิด

เครื่องใช้ไฟฟ้า	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้าของเครื่อง (วัตต์)
1. พัดลมดูดอากาศ ขนาด 50 นิ้ว	2	1,500/เครื่อง
2. พัดลมระบายอากาศ	1	125
3. ปั๊มน้ำ สำหรับ Cooling pad	1	370
4. ปั๊มน้ำ ขนาด 0.7 แรง	2 (ครั้งละ 1 เครื่อง)	550/เครื่อง
5. Intel Compute Stick	1	65
6. อุปกรณ์ควบคุมระบบปุ๋ยและโรงเรือน	2	115
7. มอเตอร์เปิด-ปิดม่านต่าง ๆ	3 (ทำงานนานๆ ครั้ง)	750
8. พัดลมกวนอากาศ	1 (ทำงานนานๆ ครั้ง)	500
รวม (1-6)		4,225



5) การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานให้กับระบบโรงเรือนระบบปิด อาจสามารถลดหรือทดแทนการใช้ไฟฟ้าได้อย่างยั่งยืน จึงได้ดำเนินการปรับปรุงระบบโรงเรือนต้นแบบให้สามารถใช้พลังงานได้จาก 2 แหล่ง คือ ไฟฟ้าและพลังงานโซลาร์เซลล์ ซึ่งระบบจ่ายพลังงานให้แก่โรงเรือนโดยใช้โซลาร์เซลล์ ประกอบด้วย

1. แผงโซลาร์เซลล์ จำนวน 20 แผง ๆ ละ 240 วัตต์ รวม 4,800 วัตต์
2. ไฮบริดโซล่า อินเวอร์เตอร์ จำนวน 2 ชุด
3. แบตเตอรี่ 48 V 55 Ah จำนวน 4 ชุด

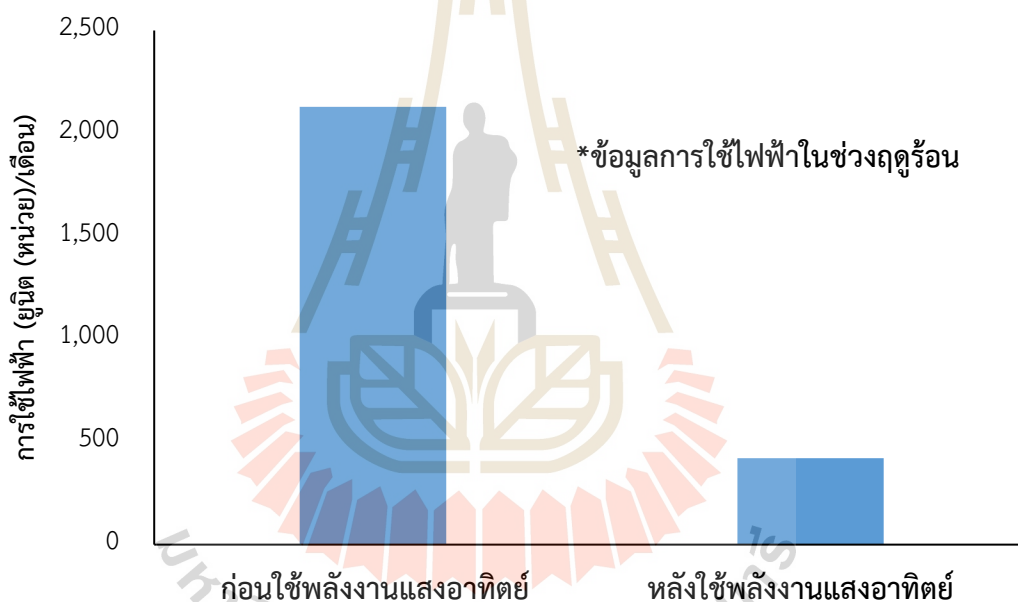
โดยมีการออกแบบการทำงานของระบบให้ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงก่อนถ้ามีแสงไม่พอจะใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่จัดเก็บไว้ด้วยแบตเตอรี่ และใช้ไฟฟ้าในกรณีที่พลังงานจากแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอกับการใช้งาน (รูปที่ 4.7)



รูปที่ 4.7 การติดตั้งอุปกรณ์ผลิตพลังงานแสงอาทิตย์และแผงโซลาร์เซลล์

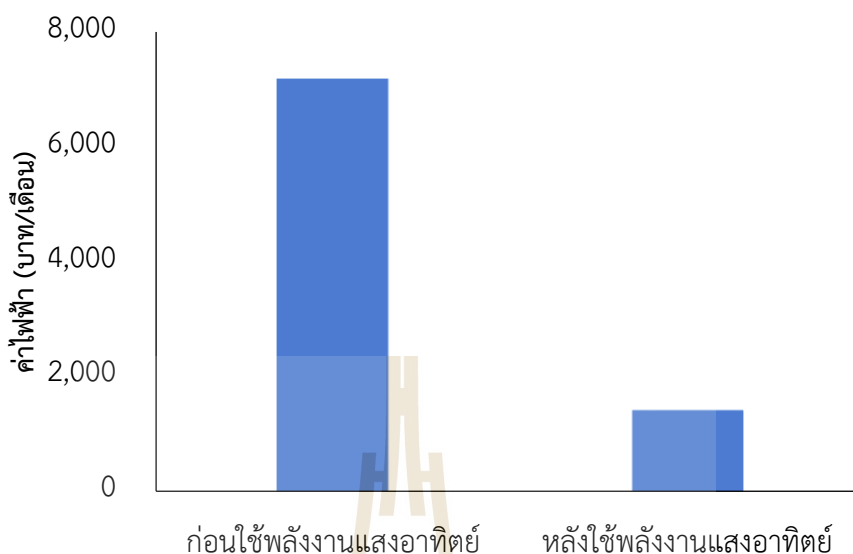
### 1.1.2 ผลการพัฒนาโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิระบบปิด

1) การเปรียบเทียบข้อมูลการใช้ไฟฟ้า ได้ดำเนินการเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าก่อนและหลังการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (รูปที่ 4.8) พบว่าช่วงฤดูร้อนที่มีอุณหภูมิของอากาศสูง การทำงานของระบบโรงเรือนเพื่อลดอุณหภูมิมีการทำงานที่สูงและระยะเวลาาน โดยใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 2,128.8 หน่วย/เดือน และเมื่อมีการนำพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาเป็นแหล่งพลังงานหลักของระบบพบว่าสามารถลดการใช้ไฟฟ้าได้ถึง 80.3 % ของการใช้ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว และระบบการจ่ายพลังงานมีความเสถียร เนื่องจากมีแบตเตอรี่เก็บสำรองไฟฟ้าไว้ ลดการเกิดปัญหาไฟฟ้าทกหรือไฟฟ้าดับได้ด้วย ในอนาคตหากได้มีการปรับปรุงเพิ่มเติมด้วยการเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และแหล่งเก็บพลังงานให้มากขึ้น สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทั้งหมดของระบบโรงเรือนได้



รูปที่ 4.8 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ

เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนของการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (รูปที่ 4.9) พบว่าการปลูกพืชภายใต้โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิในพื้นที่และอุปกรณ์ไฟฟ้าข้างต้นมีต้นทุนการใช้ไฟฟ้าที่สูงมากเมื่อคิดที่อัตราค่าไฟฟ้า 3.37 บาทต่อหน่วย คือ 7,174 บาท/เดือน เมื่อทำการติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์ การผลิตพลังงานและแหล่งกักเก็บพลังงานในปัจจุบันยังไม่เพียงพอต่อการใช้งานทั้งหมด แต่สามารถลดการใช้ไฟฟ้าลงได้ เหลือต้นทุนของค่าไฟฟ้าเพียง 1,415 บาท/เดือน ลดรายจ่ายได้ 5,759 บาท/เดือน ซึ่งการใช้ในระยะยาวเป็นการลดต้นทุนการผลิตได้อย่างมาก



รูปที่ 4.9 ต้นทุนค่าไฟฟ้าของโรงเรียนควบคุมอุณหภูมิระบบปิด

2) **ต้นทุนการพัฒนาโรงเรียนควบคุมอุณหภูมิ** โรงเรียนควบคุมอุณหภูมิมิมีต้นทุนสูง เนื่องจากโครงสร้างโรงเรียนที่ต้องแข็งแรงเพื่อรองรับการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เช่น พัดลม cooling pad และม่านพรายแสง และยังมีระบบปลุก ระบบการให้สารละลายอัตโนมัติ และเพื่อประหยัดการใช้พลังงานในระยะยาว จึงติดตั้งระบบระบบโซลาร์เซลล์ พร้อมแบตเตอรี่ ซึ่งทำให้โรงเรียนควบคุมอุณหภูมิขนาด 192 ตารางเมตร มีต้นทุนรวมทั้งสิ้นเท่ากับ 980,000 บาท หรือคิดเป็นต้นทุนต่อตารางเมตรเท่ากับ 5,151 บาท/ตารางเมตร (ตารางที่ 4.2) ซึ่งต้นทุนดังกล่าวนี้จะนำไปใช้เป็นตัวทุนการปลูกพืชในรูปของค่าเสื่อมราคาในงานทดลองต่อไป

ตารางที่ 4.2 ต้นทุนการพัฒนาโรงเรียนควบคุมอุณหภูมิขนาด 192 ตารางเมตร

รายการ	ราคา (บาท)
1. โครงสร้างโรงเรียน	400,000
2. ระบบควบคุมอุณหภูมิ (Cooling pad พัดลม ตาข่ายพรายแสง)	134,000
3. ระบบปลุก	80,000
4. ระบบการให้สารละลายอัตโนมัติ	125,000
5. ระบบโซลาร์เซลล์ พร้อมแบตเตอรี่	250,000
<b>รวมรายการทั้งหมด</b>	<b>980,000</b>

### 1.2 การทดสอบปลูกมะเขือเทศราชินีในโรงเรียนควบคุมอุณหภูมิ

หลังการพัฒนาโรงเรียนควบคุมอุณหภูมิระบบปิด ได้ทดสอบปลูกมะเขือเทศราชินีเพื่อทดสอบการทำงานของระบบต่างๆ พร้อมทั้งทดสอบผลของการควบคุมอุณหภูมิต่อการให้ผลผลิตของมะเขือเทศ

เนื่องจากอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศอยู่ระหว่าง 21–24 °C (Jones et al., 1991) ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมในแต่ละระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน เช่น ระยะต้นกล้า 16–24 °C (Harland and Larrinua, 2009) และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการติดผลคืออุณหภูมิกลางวัน 17–20 °C กลางวัน 28–30 °C (กรุง สีตะธนี, 2555) ดังนั้นในประเทศไทยฤดูที่เหมาะสมที่สุดในการปลูกมะเขือเทศคือฤดูหนาว การทดสอบครั้งนี้ดำเนินการทดสอบในช่วงฤดูร้อน โดยทำการเปรียบเทียบการปลูกนอกโรงเรือนในช่วงเวลาเดียวกัน

### 1.2.1 วิธีการทดสอบปลูกมะเขือเทศราชีนีในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ

#### 1) แผนการทดลอง มีการทดลอง 4 ซ้ำ 2 กรรมวิธี ดังนี้

- ปลูกภายในโรงเรือนควบคุมควบคุมอุณหภูมิ
- ปลูกภายนอกโรงเรือน

#### 2) วิธีการปลูกและทดสอบ ทำการทดลองระหว่างเดือน มีนาคม–กรกฎาคม 2561

1. ทำการปลูกพืชภายในโรงเรือนโดยกำหนดอุณหภูมิที่ 27 °C ทำการเพาะกล้าและย้ายปลูกเมื่ออายุกล้าได้ 25 วัน โดยปลูกในระบบ NFT มีระยะห่างระหว่างต้น 50 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างแถว 50 เซนติเมตร (ร่างปลูก)

2. การปลูกนอกโรงเรือน ทำการเพาะกล้า และย้ายปลูกกล้า พร้อมกับในโรงเรือน โดยยกร่องแปลงปลูกให้มีขนาด 1.2 เมตร ปลูก 2 แถว/แปลงปลูก ระยะห่างระหว่างแถว 75 เซนติเมตร ทำการวางระบบน้ำหยดโดยใช้เทปน้ำหยด (ระยะหัวหยด 30 เซนติเมตร) 1 เส้น/แถวปลูก และคลุมด้วยพลาสติกคลุมร่องทำการเจาะรูปลูกให้มีระยะห่างระหว่างต้นและแถว 50 เซนติเมตร แล้วทำการย้ายกล้าปลูก 1 ต้น/หลุม

#### 3. การให้ปุ๋ย

- ในโรงเรือนปลูกด้วยระบบ NFT ให้สารละลายธาตุอาหารพืชตามระยะการเจริญเติบโตดังตารางที่ 3.3 (Hochmuth and Hochmuth, 1995) โดยมีการควบคุมสารละลายให้มี pH เท่ากับ 6.0 และความเข้มข้นของสารละลาย (EC) เท่ากับ 1.2–2.2 dS/m ตามอายุของมะเขือเทศ ด้วยระบบการให้ปุ๋ยอัตโนมัติ
- การปลูกนอกโรงเรือน ให้ปุ๋ยสูตร 16–12–12 กิโลกรัม/ไร่ แบ่งให้ในระบบน้ำทั้งหมด 11 ครั้ง ตลอดอายุปลูก

#### 3) การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

1. อุณหภูมิภายในและภายนอกโรงเรือน
2. ผลผลิต และคุณภาพผลผลิตมะเขือเทศ

3. วิเคราะห์ผลการทดลองด้วยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของลักษณะต่างๆ ด้วย independent t-test เป็นการทดลองที่ sample แต่ละตัวเป็นอิสระต่อกัน ด้วย SPSS. V16

ตารางที่ 4.3 สูตรสารละลายธาตุอาหารพืชที่ใช้ในการปลูกมะเขือเทศภายในโรงเรือน

Plant Nutrients	Nutrient Solution Formulation for Hydroponic (Perlite, Rockwool, NFT) Tomatoes in Florida						
	Transplant to 1 <sup>st</sup> cluster	1 <sup>st</sup> cluster to 2 <sup>nd</sup> cluster	2 <sup>nd</sup> cluster to 3 <sup>rd</sup> cluster	3 <sup>rd</sup> cluster to 5 <sup>th</sup> cluster	5 <sup>th</sup> cluster to termination	6 <sup>th</sup> cluster to termination	7 <sup>th</sup> cluster to termination
N	70	80	100	120	150	150	156.8
P	50	50	50	50	50	50	50
K	120	120	150	150	200	200	300
Ca	150	150	150	150	150	150	160
Mg	40	40	40	50	50	50	40
S	56	56	56	56	56	56	54.4
Fe	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	11.98	11.98
Mn	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.94	0.94
B	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	3.26	3.26
Cu	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.87	0.87
Zn	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.30	0.30
Mo	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07
	1.2 dS/m	1.5 dS/m	1.8 dS/m	2.2 dS/m	2.2 dS/m	ปรับจุลธาตุตามศูนย์วิจัยพืชผัก	

### 1.2.2 ผลและอภิปรายผลการทดสอบปลูกมะเขือเทศราชนีในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ

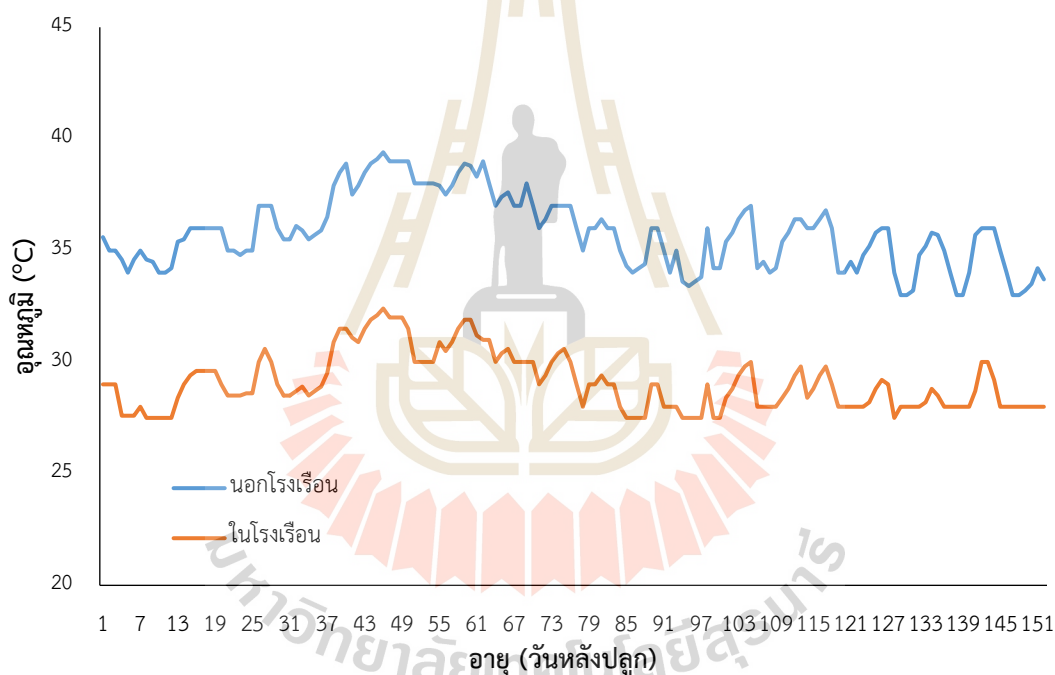
1) อุณหภูมิในช่วงการทดลอง สภาพแวดล้อมโดยเฉพาะอุณหภูมิเป็นสิ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช การปลูกพืชให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชนั้นๆ จะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตเต็มที่ ส่งผลให้ได้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพ โดยเฉพาะการปลูกมะเขือเทศที่เจริญเติบโตได้ดีในช่วงที่อากาศเย็น การปลูกนอกฤดูเพื่อให้ได้ผลตอบแทนที่คุ้มค่า ทั้งจากราคาผลผลิตที่สูงและผลผลิตได้คุณภาพอาจต้องมีการควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต

การปลูกมะเขือเทศภายในโรงเรือนมีการตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 27.5 °C ถ้าอุณหภูมิเกินกว่า 27.5 °C ระบบทำความเย็นทำงานโดยอัตโนมัติ และถ้าอุณหภูมิลดลงถึง 26 °C ระบบจะหยุดทำงาน โดยระบบการลดอุณหภูมิจะเริ่มจากการเปิดพัดลมดูดอากาศ 1 ตัว เพื่อดึงไอน้ำจาก cooling pad ถ้าอุณหภูมิยังไม่ได้ตามที่กำหนดระบบจะเปิดพัดลมดูดอากาศตัวที่ 2 และถ้าอุณหภูมิยังสูงกว่าที่กำหนด ระบบจะปิดม่านพร่างแสงเพื่อลดความร้อนจากแสงแดด และพ่นหมอก จากการทดสอบพบว่าระบบทำความเย็นสามารถ



ลดอุณหภูมิได้สูงสุดประมาณ 7 °C ดังนั้นถ้าอุณหภูมิภายนอกเกินกว่า 35 °C ระบบจะไม่สามารถทำอุณหภูมิได้ตามที่ตั้งไว้ (27.5 °C)

ผลการวัดค่าอุณหภูมิสูงสุดของวันระหว่างการทดลอง (รูปที่ 4.10) พบว่าช่วงที่ปลูกมะเขือเทศ อุณหภูมิสูงสุดภายนอกโรงเรือนอยู่ระหว่าง 33–39.5 °C โดยในช่วงอุณหภูมิสูงที่สุดอยู่ในช่วงเดือนเมษายนถึงกลางเดือนพฤษภาคม สำหรับอุณหภูมิสูงสุดของวันภายในโรงเรือนมีค่าต่ำกว่าภายนอก โดยมีค่าต่ำสุดสูงกว่าที่ตั้งไว้เล็กน้อยคือประมาณ 28 °C แต่โดยส่วนใหญ่แล้วมีอุณหภูมิสูงกว่านี้และในช่วงกลางเดือนเมษายนถึงต้นเดือนพฤษภาคม อุณหภูมิสูงสุดของวันภายในโรงเรือนส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่า 30 °C เพราะในช่วงดังกล่าวอุณหภูมิภายนอกสูงกว่า 37 °C อย่างไรก็ตามการที่อุณหภูมิภายในโรงเรือนมีค่าลดลงมา 7–8 °C อาจทำให้พืชที่ไม่ต้องการอุณหภูมิที่เย็นมาก เช่น มะเขือเทศราชินีสามารถปลูกได้ทั้งปี



รูปที่ 4.10 อุณหภูมิสูงสุดของวันระหว่างการทดลองปลูกมะเขือเทศราชินี

1) ผลผลิต และคุณภาพผลผลิตมะเขือเทศ จากการทดลองเปรียบเทียบการปลูกมะเขือเทศราชินีนอกโรงเรือน กับการปลูกภายในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ (รูปที่ 4.11) พบว่าน้ำหนักผลของมะเขือเทศราชินีภายในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิมีน้ำหนักแตกต่างจากการปลูกรวมโรงเรือนอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 4.4) โดยการปลูกในโรงเรือนให้น้ำหนักผลเฉลี่ยต่อลูก (14.9 กรัม) สูงกว่าการปลูกรวมโรงเรือน (4.9 กรัม) ถึง 3 เท่า ส่วนผลผลิตทั้งหมดของมะเขือเทศ โดยการปลูกรวมโรงเรือน มีอายุปลูกถึงเก็บเกี่ยวเป็นเวลา 5 เดือน (ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต 3 เดือน) เนื่องจากมะเขือเทศถูกโรคและแมลงทำลายจึงทำให้ต้นส่วนใหญ่ตายไม่สามารถเก็บผลผลิตต่อได้ แต่การปลูกมะเขือเทศในโรงเรือนมีอายุปลูกถึงเก็บเกี่ยวมากกว่า 8 เดือน (เก็บเกี่ยวผลผลิตได้มากกว่า 6 เดือน) อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ทำการ

เปรียบเทียบผลผลิตที่เก็บเกี่ยวในช่วงระยะเวลาที่เท่ากันคือ 3 เดือน ผลการทดลองพบว่า ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ของการปลูกภายในโรงเรือน (24,911 กก./ไร่) สูงกว่าการปลูกนอกโรงเรือน (4,692กก./ไร่) ถึง 5 เท่าตัว ทั้งนี้เนื่องจากการปลูกมะเขือเทศนอกโรงเรือน ในช่วงเดือนมีนาคม-มิถุนายน เป็นช่วงฤดูร้อน-ฤดูฝน ผลกระทบจากอุณหภูมิที่สูงในช่วงเวลากลางวัน ทำให้การเจริญเติบโตของมะเขือเทศเป็นไปอย่างช้าๆ ดอกเกิดการหลุดร่วง และติดผลน้อย ประกอบกับการปลูกนอกโรงเรือนไม่สามารถควบคุมความชื้นได้อย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะช่วงที่มีฝนตกมีน้ำท่วมขังช่วงระยะเวลาซึ่งอาจทำให้รากขาดออกซิเจน การรดน้ำและธาตุอาหารไม่มีประสิทธิภาพ จึงเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้มะเขือเทศมีการเจริญเติบโตน้อย (ยุวดี หรือเจริญ, 2557) ส่งผลให้มีอาหารไปสะสมในผลได้น้อย ผลมีขนาดเล็กและผลผลิตโดยรวมมีปริมาณน้อย

จากการวัดคุณภาพผลผลิตมะเขือเทศ ได้แก่ ความแน่นเนื้อ และปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (ตารางที่ 4.4) พบว่าการปลูกมะเขือเทศภายในโรงเรือนและนอกโรงเรือนมีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่การปลูกในโรงเรือนมีแนวโน้มมีความแน่นเนื้อสูงกว่า ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของการปลูกนอกโรงเรือนและในโรงเรือนมีค่าแตกต่างกันในทางสถิติ โดยการปลูกนอกโรงเรือนมีผลทำให้มีของแข็งที่ละลายในน้ำ (10 Brix) สูงกว่าการปลูกภายในโรงเรือน (7.05 Brix) เนื่องจากเมื่อมะเขือเทศเกิดความเครียดส่งผลให้ผลผลิตมีขนาดเล็กลง พื้นที่ในการสะสมน้ำตาลมีจำกัดทำให้มะเขือเทศมีความหวานมากขึ้น

ตารางที่ 4.4 ปริมาณผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตมะเขือเทศราชินี

กรรมวิธี	น้ำหนักผล	ผลผลิต	ความแน่นเนื้อ	ของแข็งที่ละลายในน้ำ
การทดลอง	กรัม/ผล	กิโลกรัม/ไร่	(N)	(Brix)
นอกโรงเรือน	4.9	4,692	6.75	10.0
โรงเรือน	14.9	24,911	8.28	7.05
T-Test	**	**	ns	*



รูปที่ 4.11 ผลผลิตมะเขือเทศที่ปลูกภายนอกและภายในโรงเรือน

### 1.3 การทดลองปลูกกะหล่ำปม กะหล่ำดอก และบรอกโคลี ในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ

โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิระบบปิด สามารถลดอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนให้ต่ำลงได้ 7–8 °C จากอุณหภูมิอากาศภายนอกโรงเรือน จึงอาจมีความเหมาะสมสำหรับการปลูกพืชได้หลายชนิด แต่การปลูกพืชที่มีความต้องการอุณหภูมิต่ำมากเพื่อช่วยในการเกิดดอก ขยายขนาดของดอก และการขยายขนาดของหัว ฤดูยังมีส่วนสำคัญมากในการปลูกพืชชนิดนี้ เนื่องจากในช่วงที่มีอากาศภายนอกสูงระบบควบคุมความเย็นอาจไม่สามารถทำความเย็นให้พอดีกับความต้องการของพืชเหล่านี้ได้ ดังนั้นจึงได้ดำเนินการทดสอบการปลูกพืชที่ต้องการอากาศเย็นในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิใน 2 ฤดู คือ ฤดูร้อน และ ฤดูหนาว โดยพืชที่ใช้ทดสอบ ได้แก่ กะหล่ำปม กะหล่ำดอก และบรอกโคลี ซึ่งเป็นตัวแทนของพืชเมืองหนาวที่ต้องการอากาศเย็น

#### 1.3.1 วิธีการทดลองปลูกกะหล่ำปม กะหล่ำดอก และบรอกโคลี ในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ

##### 1) วิธีการปลูกและทดลอง

– ปลูกกะหล่ำปม (พันธุ์ Winner F1) กะหล่ำดอก (พันธุ์ พอลล่า) และบรอกโคลี (พันธุ์ Top Green) โดยการเพาะกล้าและย้ายปลูกในระบบปลูกแบบ NFT ด้วยสูตรสารละลายธาตุอาหารของ Hoagland ที่ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร 1.5–2.2 dS/m ตามอายุของพืชปลูก

– ฤดูปลูก คือฤดูหนาวเริ่มปลูกเดือนตุลาคม และเก็บผลผลิตในเดือนมกราคม และฤดูร้อนเริ่มปลูกเดือนกุมภาพันธ์ และเก็บผลผลิตในเดือนพฤษภาคม

– ตลอดการทดลองตั้งค่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนไว้ที่ 27.5 °C ให้ระบบควบคุมความเย็นทำงานและหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิลดลงถึง 26 °C

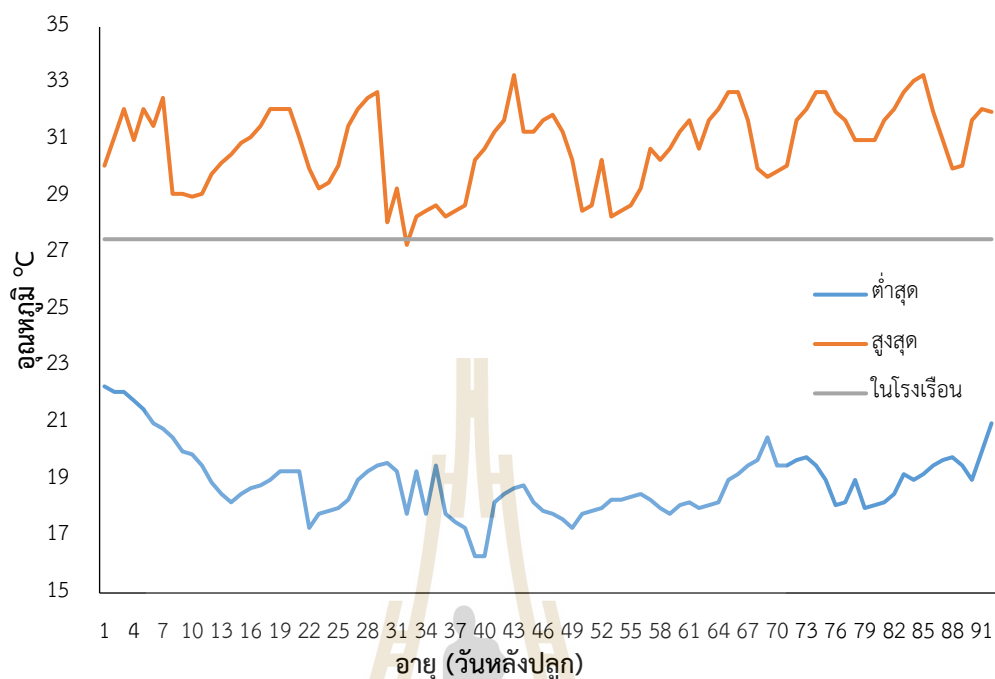
## 2) การเก็บข้อมูล

1. อุณหภูมิภายในและภายนอกโรงเรือน ตลอดระยะเวลาที่ปลูก
2. บันทึกผลผลิตต่อต้น และต่อพื้นที่ ของพืชทั้ง 3 ชนิด

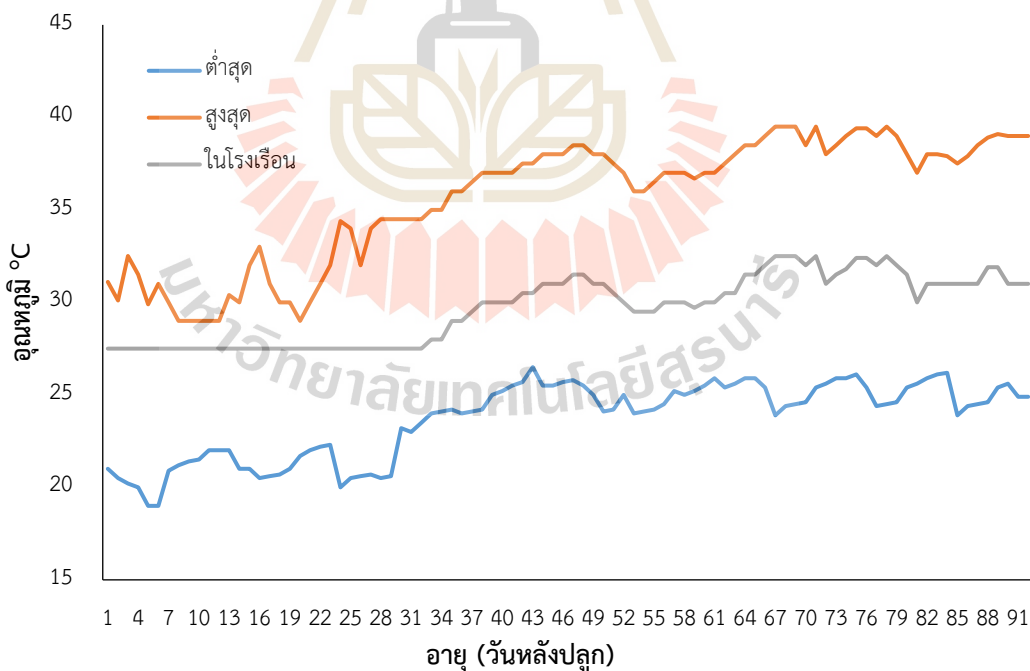
### 1.3.2 ผลการทดลองปลูกกะหล่ำปลม กะหล่ำดอก และบรอกโคลี ในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ

1) อุณหภูมิในช่วงการทดลอง ในช่วงฤดูหนาวมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในช่วงกลางวันประมาณ 30 °C ซึ่งภายในโรงเรือนสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามที่กำหนดคือประมาณ 27.5 °C ตลอดฤดูปลูกส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงกลางคืนประมาณ 18 °C และบางครั้งมีอุณหภูมิลดต่ำลงไปถึง 16 °C (รูปที่ 4.12) ซึ่งมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโต สะสมอาหาร และพัฒนาของหัวและดอกในพืชเมืองหนาว

ส่วนในฤดูร้อนช่วงกลางวันมีอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่า 35 °C ในช่วงต้นฤดู หลังจากประมาณ 1 เดือนหลังปลูกเป็นต้นไป อุณหภูมิสูงสุดมากกว่า 35 °C ทำให้ระบบควบคุมอุณหภูมิไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนได้ตามที่กำหนด ถึงแม้ว่าอุณหภูมิช่วงกลางคืนมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ต่ำประมาณ 25 °C (รูปที่ 4.13) แต่สภาพอากาศที่ร้อนในช่วงกลางวันอาจส่งผลกระทบต่อพืชที่ชอบอากาศเย็นทั้งทางตรงและทางอ้อม เนื่องจากอากาศที่ร้อนมีผลทำให้อุณหภูมิของสารละลายสูงทำให้ธาตุอาหารพืชบางชนิดตกตะกอน อาจทำให้พืชดูดใช้ธาตุอาหารได้น้อย และออกซิเจนในสารละลายต่ำ พืชหายใจได้น้อย จึงส่งผลให้พืชที่ต้องการอากาศที่เย็นมีการเจริญเติบโตลดลง กระสะสมอาหารน้อย และผลผลิตต่ำและไม่มีคุณภาพ



รูปที่ 4.12 อุณหภูมิสูงสุด/ต่ำสุดของวัน และอุณหภูมิสูงสุดในโรงเรือนระหว่างการทดลองในช่วงฤดูหนาว



รูปที่ 4.13 อุณหภูมิสูงสุด/ต่ำสุดของวัน และอุณหภูมิสูงสุดในโรงเรือนระหว่างการทดลองในช่วงฤดูร้อน

2) **ผลผลิตพืช** ผลผลิตเฉลี่ยของพืชที่ปลูกในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิแสดงในรูปที่ 4.17 โดยการปลูกพืชทั้ง 3 ชนิดถึงแม้จะอยู่ภายใต้สภาพโรงเรือนที่ควบคุมอุณหภูมิแต่สภาพอากาศภายนอกที่ต่างกันมากระหว่างฤดูจึงทำให้ผลของการปลูกแตกต่างกันระหว่างฤดูร้อนและฤดูหนาวในพืชทั้ง 3 ชนิด



2.1 กะหล่ำปม เป็นพืชที่ต้องการอากาศที่เย็นในการสะสมอาหาร โดยช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการปลูกคือ 20–30 °C เมื่อปลูกในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิในช่วงฤดูหนาวได้ผลผลิตเฉลี่ยถึง 1.34 กิโลกรัม/ต้น (0.8–2 กิโลกรัม) แต่ในการปลูกช่วงฤดูร้อนได้ผลผลิตเฉลี่ยเพียง 0.34 กิโลกรัม (0.2–0.8 กิโลกรัม) ซึ่งมีผลผลิตลดลงถึง 3 เท่า

ในประเทศไทยมีพื้นที่การปลูกกะหล่ำปมน้อยมาก ส่วนใหญ่ปลูกแบบใช้ดินอยู่ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ภายใต้การดูแลของมูลนิธิโครงการหลวง และพบการปลูกบางส่วนในจังหวัดกาญจนบุรี แต่ก็มักปลูกในช่วงฤดูหนาว โดยผลผลิตมีปริมาณ 0.1–0.5 กิโลกรัม/ต้น ซึ่งมีการทดลองการปลูกกะหล่ำปม เพื่อศึกษาระดับ N P K ระดับต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของกะหล่ำปมในประเทศ ปากีสถาน พบว่าการให้ปุ๋ยครบถ้วนในปริมาณ 25.6–19.2–9.6 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตสูงที่สุดคือ 0.43 กิโลกรัม/ต้น (Ahmed et al., 2003) ซึ่งจากการทดลองนี้ การปลูกกะหล่ำปมภายใต้โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดินในช่วงฤดูหนาวให้ผลผลิตที่สูงกว่างานทดลองข้างต้น ซึ่งเป็นแนวโน้มที่ดีในการปลูกกะหล่ำปมในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ ส่วนการปลูกในฤดูร้อนก็ยังสามารถให้ผลผลิตได้ใกล้เคียงกับผลผลิตที่ปลูกนอกโรงเรือนในฤดูหนาวของการทดลองอื่นๆ (รูปที่ 4.14)



รูปที่ 4.14 ผลผลิตของกะหล่ำปม

2.2 บรอกโคลี เป็นพืชเมืองหนาวที่ต้องการอุณหภูมิในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่ 15–25 °C ผลผลิตโดยทั่วไปมีขนาด 350–500 กรัม/ต้น การปลูกในช่วงฤดูที่แตกต่างกันมีผลมากต่อผลผลิต โดยจากการทดลองการปลูกบรอกโคลีภายใต้โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิในช่วงฤดูหนาว พบว่าผลผลิตมีน้ำหนัก

เฉลี่ย 0.49 กิโลกรัม/ตัน (0.4–0.7 กิโลกรัม/ตัน) และในฤดูร้อนมีน้ำหนักผลผลิตต่ำกว่าในฤดูหนาวมาก มีผลผลิตเฉลี่ย 0.15 กิโลกรัม/ตัน (0.1–0.3 กิโลกรัม/ตัน) จากงานทดลองวันปลูกและการผลิตบรอกโคลีนอกฤดูในจังหวัดสงขลา พบว่าการปลูกบรอกโคลีในฤดูร้อน (เริ่มปลูกช่วงเดือนธันวาคม–กุมภาพันธ์ และสามารถเก็บผลผลิตในช่วงเดือนกุมภาพันธ์–เมษายน) พบว่าผลผลิตบรอกโคลีพันธุ์ Top Green ให้ผลผลิต 0.18–0.26 กิโลกรัม/ตัน ซึ่งมีผลผลิตต่ำกว่าการปลูกในช่วงฤดูอื่น และสายพันธุ์มีผลต่อการเจริญเติบโตในฤดูร้อน โดยพันธุ์ Top Green ให้ผลผลิตน้อยที่สุด ส่วนพันธุ์ Yok Kheo ที่เป็นพันธุ์ทนร้อนให้ผลผลิตสูงที่สุด (0.33–0.29 กิโลกรัม/ตัน) เมื่อปลูกในวันและเวลาเดียวกัน (ศรีรัฐสพล หนูพรหม, 2557)

การทดลองนี้ใช้พันธุ์ Top Green เป็นพันธุ์ที่ไม่ทนร้อน การปลูกภายในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิยังมีความจำเป็นที่ต้องปลูกในฤดูหนาวด้วย เพราะนอกจากให้ผลผลิตสูงแล้ว ดอกมีขนาดใหญ่สม่ำเสมอและอัดแน่น แต่เมื่อปลูกในฤดูร้อนการควบคุมอุณหภูมิทำได้ไม่ต่ำพอกับความต้องการ ทำให้การเจริญเติบโตช้า แตกตาข้างเป็นจำนวนมาก ช่อดอกมีขนาดเล็ก ดอกย่อยมีขนาดไม่เท่ากัน และดอกบานเร็ว (รูปที่ 4.15)



รูปที่ 4.15 ผลผลิตของบรอกโคลี

2.3 กะหล่ำดอก เป็นผักเมืองหนาวที่ต้องการอุณหภูมิในการปลูก 18–25 °C ซึ่งต้องการอากาศหนาวเย็นเพื่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต อุณหภูมิช่วงกลางคืนที่เหมาะสมคือ 12 °C และอุณหภูมิช่วงกลางวันที่เหมาะสม 20 °C แต่มีความจำเป็นที่ต้องการอุณหภูมิสูงประมาณ 20–25 °C ในการเปลี่ยนระยะการเจริญเติบโตเป็นระยะสีบพันธุ์ และขนาดมาตรฐานของกะหล่ำดอก (พิทยา สรวมศิริ และทศพล เทพจันทร์, 2561) เมื่อพิจารณาจากน้ำหนัก ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ชั้นคุณภาพของกะหล่ำดอก

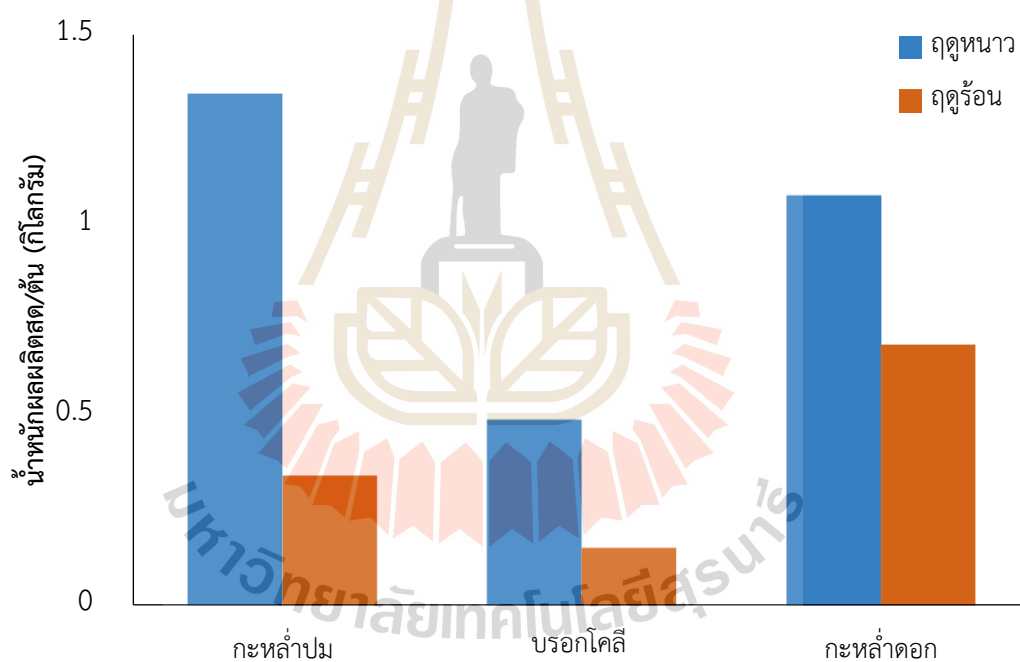
ชั้นคุณภาพ	น้ำหนักหัว (กรัม/หัว)
1	>700
2	>500-700
3	>300-500
4	100-300

จากการทดลองการปลูกกะหล่ำดอกภายใต้โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิในสองฤดู พบว่าให้ผลผลิตแตกต่างกัน โดยในฤดูหนาวกะหล่ำดอกให้น้ำหนักผลผลิตเฉลี่ย 1.08 กิโลกรัม/ต้น (0.9–1.3 กิโลกรัม/ต้น) ซึ่งผลผลิตมีคุณภาพสูงจัดอยู่ในชั้น 1 ของการจัดลำดับคุณภาพ ในฤดูร้อนให้ผลผลิตน้อยกว่าการปลูกในช่วงฤดูหนาว และดอกมีสีอมม่วงจากอากาศที่มีความร้อนสูง โดยมีน้ำหนักผลผลิตเฉลี่ย 0.68 กิโลกรัม/ต้น (0.6–0.8 กิโลกรัม/ต้น) แต่ผลผลิตมีคุณภาพสูงจัดอยู่ในชั้น 1–2 ของการจัดลำดับคุณภาพ (รูปที่ 4.16) ซึ่งกะหล่ำดอกมีความทนร้อนได้ดีกว่า บรอกโคลี และกะหล่ำปม เพราะผลผลิตมีความแตกต่างกันไม่มากระหว่างการปลูกในฤดูร้อนและฤดูหนาว

มีงานทดลองการปลูกกะหล่ำดอกในฤดูร้อนเขตพื้นที่ จ.สงขลา พบว่ากะหล่ำดอกพันธุ์ต่างๆ ให้น้ำหนักผลผลิตที่แตกต่างกัน โดยในพันธุ์ลูกผสมพันธุ์จักรพรรดิมีน้ำหนักสดหลังการตัดแต่งในฤดูร้อนสูงที่สุดคือ 262.04 กรัม/ต้น (ศรีษัฐสพล หนูพรหม และคณะ, 2016) และจากการทดลองเปรียบเทียบพันธุ์กะหล่ำดอกในฤดูร้อน พบว่าพันธุ์มีผลให้น้ำหนักผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกะหล่ำดอกพันธุ์ B52 ให้ผลผลิตสูงที่สุดคือ 104.44 กรัม/ดอก (มูลนิธิโครงการหลวง, 2548) ซึ่งการปลูกในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิครั้งนี้ใช้พันธุ์พอลล่า ซึ่งสามารถให้น้ำหนักผลผลิต (0.68 กิโลกรัม) สูงกว่าการปลูกกะหล่ำดอกในฤดูร้อนนอกโรงเรือนตามงานวิจัยข้างต้น ซึ่งอาจสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการปลูกเป็นการค้านอกฤดูปลูกได้ แต่อย่างไรก็ตามต้องมีการประเมินผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์และเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่นๆ ด้วย



รูปที่ 4.16 ผลผลิตของกะหล่ำดอก



รูปที่ 4.17 ผลผลิตเฉลี่ยของผักที่ปลูกในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนภายในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ

#### 1.4 การทดลองปลูกพืชชนิดต่างๆ ภายใต้โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ

นอกจากงานทดลองมะเขือเทศเชอร์รี่ กะหล่ำปม กะหล่ำดอก และบรอกโคลี แล้วได้ดำเนินการทดสอบการปลูกพืชชนิดต่างๆ ภายในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ เพื่อใช้ในการประเมินการเลือกชนิดพืชปลูกให้เหมาะสม และคุ้มค่าต่อการผลิตพืชในทางเศรษฐศาสตร์ โดยได้ปลูกทดสอบต่อเนื่องกันตลอดทั้งปี



#### 1.4.1 วิธีการปลูกพืชชนิดต่างๆ ในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ

- 1) ชนิดของพืชที่ปลูก ได้แก่ สลัดสายพันธุ์ต่างๆ ค่ะน้ำใบหยิกสีเขียว ค่ะน้ำใบหยิกสีม่วง ค่ะหล่ำปลี แดงกวางญี่ปุ่น ฟักทอง (บัตเตอร์นัท) และคะน้าฮ่องกง โดยมีพื้นที่ปลูกผักแต่ละครั้งไม่ต่ำกว่า 50 ตารางเมตร
- 2) ทำการเพาะกล้าและย้ายปลูกในระบบ NFT โดยมีสูตรธาตุอาหารพืชของผักแต่ละชนิด โดยได้ตัดแปลงสูตรสารละลายธาตุอาหารพืชให้เหมาะสมกับผักแต่ละชนิด (ตารางที่ 4.6)
- 3) ใช้ระบบควบคุมการให้สารละลายอัตโนมัติ และควบคุมอุณหภูมิให้ไม่เกิน 27.5 °C ตลอดช่วงปลูก
- 4) เก็บข้อมูลต้นทุนการผลิต ผลผลิต และประเมินผลตอบแทนของผักแต่ละชนิด

ตารางที่ 4.6 สูตรสารละลายธาตุอาหารพืชที่ใช้ในการปลูกพืชภายในโรงเรือน

ชนิดพืช	ความเข้มข้น (mg/L)											
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
แดงกวางญี่ปุ่น	198	36	222	140	55	74	2.85	0.77	0.02	0.04	0.32	0.02
ฟักทอง (บัตเตอร์นัท)	109	25	152	60	22	29	2.85	0.77	0.02	0.04	0.32	0.02
คะหล่ำดอก	210	31	234	200	48	64	5.00	0.50	0.02	0.05	0.50	0.01
ผักสลัด	95	25	152	40	34	45	2.85	0.77	0.02	0.04	0.32	0.02
คะน้าฮ่องกง	187	41	312	80	48	64	4.90	0.77	0.02	0.04	0.32	0.02
คะน้าใบหยิก (เคล)	187	41	312	80	48	64	4.90	0.77	0.02	0.04	0.32	0.02

#### 1.4.2 ผลการปลูกพืชชนิดต่างๆ ในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ

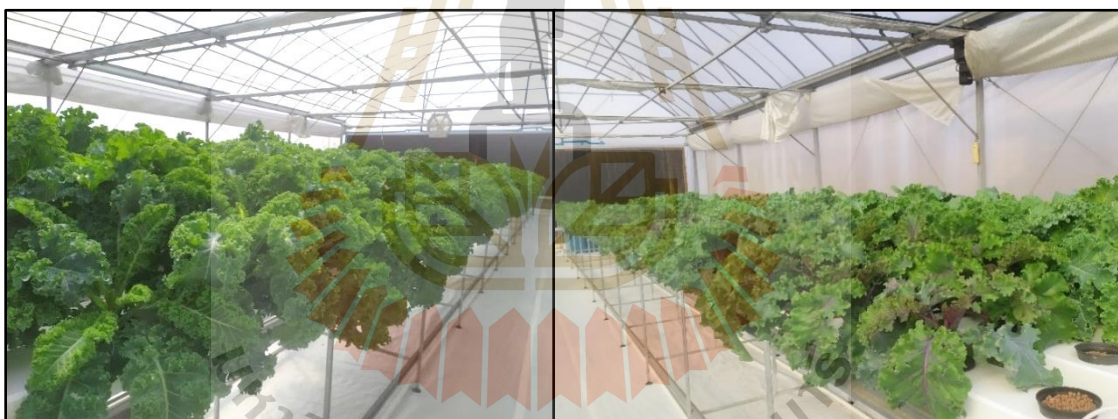
1) ผักสลัด (กรีนโอ๊ค เรคโอ๊ค กรีนบิวตี้ กรีนโครอล เรดโครอล แกรนด์แรปิดส์ กรีนคอส เรคปัตตาเวีย พิลเลย์ และสลัดแก้ว) สลัดส่วนใหญ่สามารถปลูกภายใต้โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิได้ตลอดทั้งปี โดยให้น้ำหนักผลผลิตต่อต้นที่สูง โดยเฉพาะในฤดูร้อนและฤดูฝนของประเทศไทยที่ให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกผักสลัดกลางแจ้ง





รูปที่ 4.18 ผักสลัดต่างๆ ที่ปลูกภายในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ

2) คะน้าใบหยิก การปลูกภายใต้โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี ผลผลิตมีคุณภาพ ปราศจากโรคและแมลง ไม่มีความจำเป็นต้องใช้สารเคมีทางการเกษตรต่างๆ การปลูก 1 รอบสามารถเก็บผลผลิตได้นานอย่างน้อย 4-5 เดือน



รูปที่ 4.19 คะน้าใบหยิกสีเขียว และสีม่วง

3) แต่งภาวณึ่งปน ในการปลูกในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ ให้ผลผลิตสูง และมีคุณภาพดี การใช้ น้ำและปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีข้อจำกัดในการปลูกอยู่ 2 ประการ คือ

1. การปลูกในโรงเรือน ต้องใช้แรงงานในการผสมเกสรของแตงกวา
2. ระบบการลดอุณหภูมิของโรงเรือน แบบ Evaporation System ส่งผลให้มีความชื้นสัมพัทธ์ ภายในโรงเรือนค่อนข้างสูง เป็นเหตุให้เกิดโรคต่างๆ ได้ง่าย คือ รา น้ำค้าง และราแป้ง ทำให้อายุปลูกลดลง หากมีการปลูกติดต่อกันเป็นเวลานานโดยไม่มีการหมุนเวียนพืชอื่นๆ อาจเป็นแหล่งสะสมโรคได้



รูปที่ 4.20 แสดงกวาญี่ปุ่นที่ปลูกภายในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ

4) ฟักทอง (บัตเตอร์นัท) มีการเจริญเติบโตที่รวดเร็วมาก ช่วงลงปลูกถึงระยะผลอ่อนการปลูกไม่พบการเกิดโรคใดๆ แต่เมื่อระยะขยายให้ผลผลิต ถึงก่อนเก็บเกี่ยวเกิดราแป้งเข้าทำลายจากการมีความชื้นที่สูง



รูปที่ 4.21 ฟักทอง (บัตเตอร์นัท) ที่ปลูกภายในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ

5) ค่าน้ำฮองกง มีการเจริญเติบโตที่ดี มีลำต้นขนาดใหญ่ รสชาติหวานกรอบ เส้นใยน้อย สามารถไว้แขนงเพื่อได้ผลผลิตถึง 3 รุ่น





รูปที่ 4.22 ค่ะน้ำฮ่องกงที่ปลูกภายในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ

#### 1.4.3 การประเมินต้นทุน และผลตอบแทนของการปลูกพืชชนิดต่างๆ ภายในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ

การประเมินมูลค่าทางการค้าของผักต่างๆ ที่ปลูกภายใต้โรงเรือน ขนาดพื้นที่ 100 ตารางเมตร ด้วยระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดินแบบ NFT และใช้พลังงานส่วนใหญ่จากระบบโซลาร์เซลล์ จากการประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่า การปลูกมะเขือเทศราชินี ให้ผลกำไรต่อพื้นที่ต่อเดือนสูงที่สุด คือ 4,648 บาท/เดือน/พื้นที่ 100 ตารางเมตร รองลงมาคือคะน้าใบหยิก ส่วนกะหล่ำดอกให้ผลตอบแทนน้อยที่สุดคือ 268 บาท/เดือน/พื้นที่ 100 ตารางเมตร (ตารางที่ 4.7)

#### 1.5 การทดสอบใช้วัสดุปลูกในระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดิน แบบหมุนเวียนสารละลาย

การเลือกใช้วัสดุปลูกเพื่อใช้ในการพองสำตันพืชเป็นสิ่งสำคัญมาก เนื่องจากการปลูกพืชในช่วงแรก ต้นกล้าจะมีความอ่อนแอ และมีรากน้อย การเลือกใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสมอาจมีผลกระทบทำให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าล่าช้า ชะงักการเจริญเติบโต หรืออาจตายได้ รวมถึงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนในการผลิตพืช

##### 1.5.1. วิธีการทดสอบวัสดุปลูกในระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดิน แบบหมุนเวียนสารละลาย

- 1) **แผนการทดลอง** วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 5 ซ้ำ โดยใช้วัสดุปลูกในการทดลองจำนวน 6 ชนิด ดังนี้
  1. ขุยมะพร้าวอัดก้อน
  2. เม็ดดินเผา เบอร์ M
  3. ฟองน้ำ
  4. เพอร์ไลท์

- 5. โยมะพร้าว
- 6. มะพร้าวสับ



รูปที่ 4.23 การทดสอบวัสดุ  
ปลูกมะเขือเทศ  
ราชินี



ตารางที่ 4.7 ต้นทุนและผลตอบแทนการผลิตพืชชนิดต่างๆ ในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ

ชนิดพืช	จำนวน ต้นต่อ พื้นที่	ผลผลิต/ พื้นที่ (กก/100 ม <sup>2</sup> )	ผลผลิตที่ขาย ได้ (%)	ราคา (บาท)	มูลค่า ผลผลิต (บาท)	ต้นทุน* (บาท)	กำไร (บาท)	ระยะเวลา การผลิต (วัน)	กำไร (บาท/ เดือน)
มะเขือเทศเชอร์รี่	266	1,722	80	60	82,656	31,529	51,127	330	4,648
แตงกวาญี่ปุ่น	266	580	60	40	13,920	9,000	4,920	60	2,460
ฟักทอง	266	350	80	80	22,400	14,396	8,004	110	2,183
คะน้าฮ่องกง	532	275	70	50	9,625	6,098	3,527	80	1,323
คะน้าใบหยิก	532	505	70	100	35,350	16,146	19,204	180	3,201
ผักสลัด	532	85	80	80	5,440	4,675	765	55	417
กะหล่ำดอก	400	270	80	40	8,640	7,301	1,339	150	268
บล๊อคโคลี่	400	180	80	60	8,640	6,533	2,107	100	632
กะหล่ำปม	400	240	80	60	11,520	7,733	3,787	100	1,136

\* ต้นทุนการผลิตประกอบด้วย ค่าปุ๋ย เมล็ดพันธุ์ วัสดุปลูก ค่าแรงงาน ค่าไฟฟ้า ค่าเสื่อมราคาโรงเรือน และอุปกรณ์



## 2) วิธีการปลูกทดสอบ

1. เพาะต้นกล้ามะเขือเทศราชินีเป็นระยะเวลา 25 วัน โดยใช้วัสดุเพาะคือ พีทมอส
2. ย้ายปลูกลงในวัสดุปลูกตามกรรมวิธีการทดลอง โดยใช้กระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว
3. ปลูกภายใต้ระบบน้ำหยดแบบหมุนเวียนสารละลาย ในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้สูตรสารละลายธาตุอาหารพืชดังตารางที่ 4.3 มีการควบคุม EC และ pH ของสารละลายอัตโนมัติ

## 3) การเก็บข้อมูล ทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตมะเขือเทศราชินี

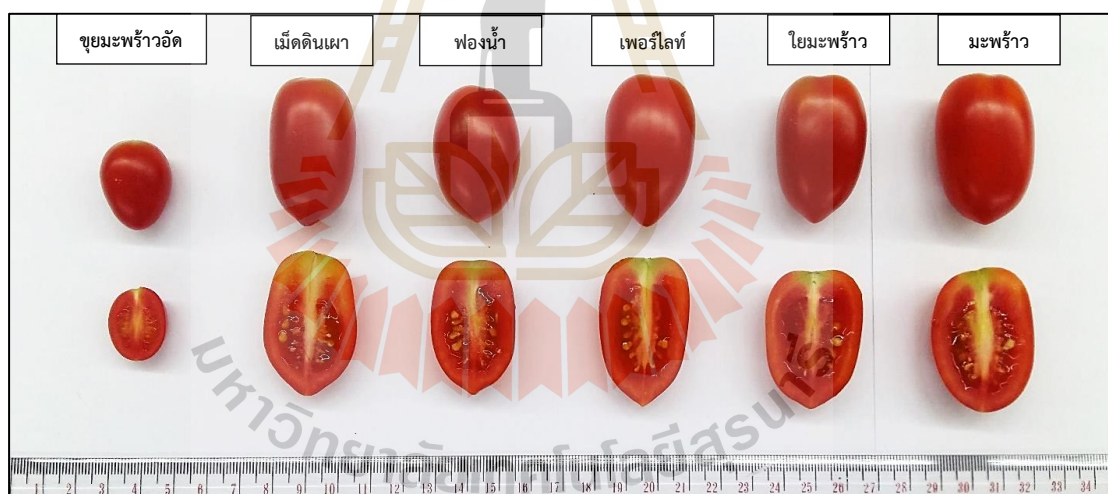
### 1.5.2 ผลการทดสอบวัสดุปลูกในระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดิน แบบหมุนเวียนสารละลาย

1) การเจริญเติบโต ผลการทดลองเบื้องต้นพบว่าการเจริญเติบโตของมะเขือเทศอายุปลูก 6 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ การปลูกลงในวัสดุปลูกด้วยมะพร้าวอัดก้อนส่งผลให้การเจริญเติบโตของมะเขือเทศน้อยที่สุด (511 เซนติเมตร) รวมถึงมีอัตราการตายระหว่างการปลูกสูงถึงร้อยละ 75 ของจำนวนที่ปลูกด้วยมะพร้าวอัดก้อนทั้งหมด การปลูกด้วยฟองน้ำทำให้การเจริญเติบโตสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกันกับการปลูกด้วยเพอร์ไลต์ และใยมะพร้าว ทั้งนี้เนื่องมาจากการปลูกด้วยมะพร้าวอัดก้อน วัสดุมีลักษณะการอัดตัวกันแน่น ทำให้มีช่องว่างของวัสดุมีขนาดเล็ก การเจริญของรากจึงเป็นไปได้ยาก และคุณสมบัติของขุยมะพร้าวยังสามารถดูดซับสารละลายไว้ได้ดีช่องว่างเต็มไปด้วยน้ำจึงอาจเกิดการขาดออกซิเจนบริเวณเขตรากได้ ประกอบกับการสะสมความเค็มของวัสดุที่สูงถึง 7.12 dS/m (วิเคราะห์ EC สัดส่วน 1:5 ) ทำให้มะเขือเทศบางส่วนตายในเวลาต่อมา

2) น้ำหนักผลผลิตของมะเขือเทศ ทำการสุ่มตัวอย่างผลเพื่อประเมินน้ำหนักต่อผลของมะเขือเทศพบว่า น้ำหนักต่อผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ การปลูกด้วยเม็ดดินเผา เพอร์ไลต์ และใยมะพร้าว มีผลให้น้ำหนักผลผลิตสูงที่สุด และการปลูกด้วยมะพร้าวอัดก้อนส่งผลให้น้ำหนักของผลน้อยที่สุด เนื่องจากการเจริญเติบโตน้อย และความเค็มในวัสดุปลูกทำให้การดูดน้ำของพืชได้ยาก จึงมีผลโดยตรงต่อการขยายขนาดของผล และใช้พลังงานบางส่วนในการสะสมสารต่างๆ เพิ่มขึ้นเพื่อช่วยลดศักย์ของน้ำในดินและผลเพื่อให้สามารถดูดน้ำใช้ได้ จึงมีผลดีที่ทำให้มะเขือเทศที่ปลูกด้วยขุยมะพร้าวอัดก้อนมีความหวานของผลผลิตมากที่สุด (ตารางที่ 4.8)

ตารางที่ 4.8 ผลของการปลูกมะเขือเทศราชินีด้วยวัสดุปลูกต่างๆ

ชนิดของวัสดุ	ความสูง (เซนติเมตร)	น้ำหนักผล (กรัม)	ของแข็งที่ละลายน้ำ (%Brix)	ปริมาณ	
				กรด (%)	ความแน่นเนื้อ (N)
มะพร้าวอัด					
ก้อน	511d	6.84c	10.74a	0.44	0.72
เม็ดดินเผา	723bc	14.39a	6.92b	0.45	0.78
ฟองน้ำ	767a	11.48b	6.88b	0.44	0.67
เพอร์ไลต์	748ab	13.97a	6.56b	0.43	0.65
ไยมะพร้าว	748ab	15.07a	6.74b	0.45	0.70
มะพร้าวสับ	700c	13.58b	6.60b	0.43	0.68
F-test	**	**	**	ns	ns
CV (%)	3.42	14.36	8.43	10.18	15.66



รูปที่ 4.24 ผลผลิตการปลูกมะเขือเทศภายใต้วัสดุปลูกชนิดต่างๆ

### 1.5.3 การประเมินต้นทุน และผลตอบแทนของการปลูกมะเขือเทศด้วยระบบการปลูกพืช ไม่ใช้ดินในพื้นที่โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ

เมื่อประเมินผลผลิตของการปลูกมะเขือเทศด้วยระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดินในพื้นที่โรงเรือนขนาด 100 ตารางเมตร พบว่าสามารถให้ผลผลิตได้สูง การเลือกใช้วัสดุในการปลูกส่งผลให้ปริมาณผลผลิตมะเขือเทศแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ การใช้ไยมะพร้าวเป็นวัสดุปลูกทำให้ได้ผลผลิตสูงที่สุด และการใช้ขุยมะพร้าวอัดก้อนมีผลให้ผลผลิตต่อพื้นที่น้อยที่สุด หากพิจารณาเพียงผลผลิตต่อพื้นที่อาจสามารถแนะนำการปลูกมะเขือเทศด้วยไยมะพร้าว เพอร์ไลต์ และเม็ดดินเผาได้

แต่เพอร์ไลต์ และเม็ดดินเผา มีต้นทุนของวัสดุปลูกต่อพื้นที่สูง จึงทำให้ผลตอบแทนที่ได้ไม่ต่างจากมะพร้าวสับและฟองน้ำที่มีต้นทุนของวัสดุปลูกต่ำที่สุด สำหรับโยมะพร้าวนอกจากให้ผลผลิตสูงที่สุดแล้วยังได้ผลตอบแทนสูงที่สุดด้วย (ตารางที่ 4.9) ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุจึงต้องควรคำนึงถึงต้นทุนและผลกำไรที่จะได้รับทั้งนี้ราคาของวัสดุในแต่ละพื้นที่อาจมีราคาที่แตกต่างกันไป

**ตารางที่ 4.9** ผลผลิต ต้นทุน และผลตอบแทนของการปลูกมะเขือเทศราชินีด้วยวัสดุปลูกชนิดต่างๆ พื้นที่ 100 ตารางเมตร

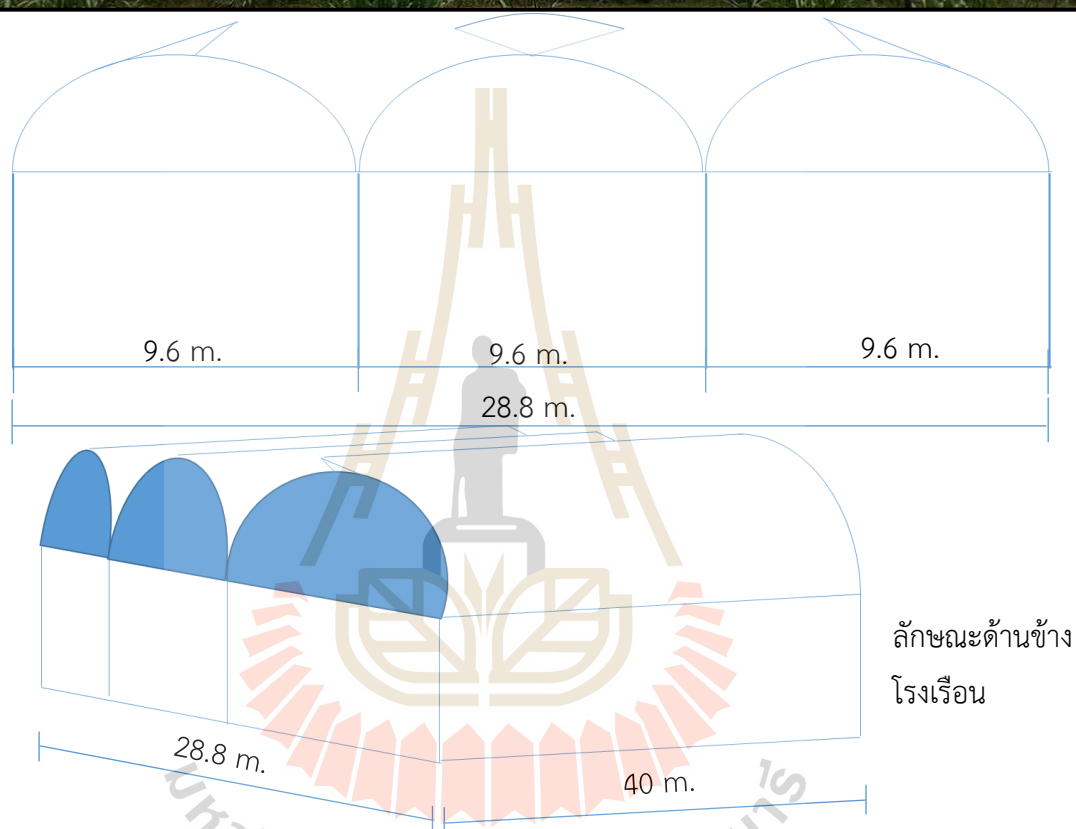
ชนิดของวัสดุ	ผลผลิต/พื้นที่ (กิโลกรัม)	ต้นทุนวัสดุปลูก (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ผลตอบแทน (บาท)
ขุยมะพร้าวอัดก้อน	750c	2,360	33,889	14,111
เม็ดดินเผา	1,701a	5,880	37,409	71,455
ฟองน้ำ	1,609b	324	31,853	71,123
เพอร์ไลต์	1,665ab	4,280	35,809	70,751
โยมะพร้าว	1,720a	3,520	35,049	75,031
มะพร้าวสับ	1,639b	2,040	33,569	71,327
F-test	**	-	-	-
CV (%)	13.86	-	-	-

## กิจกรรมที่ 2 การพัฒนาและทดสอบการปลูกพืชภายใต้โรงเรือนระบายอากาศระบบเปิด

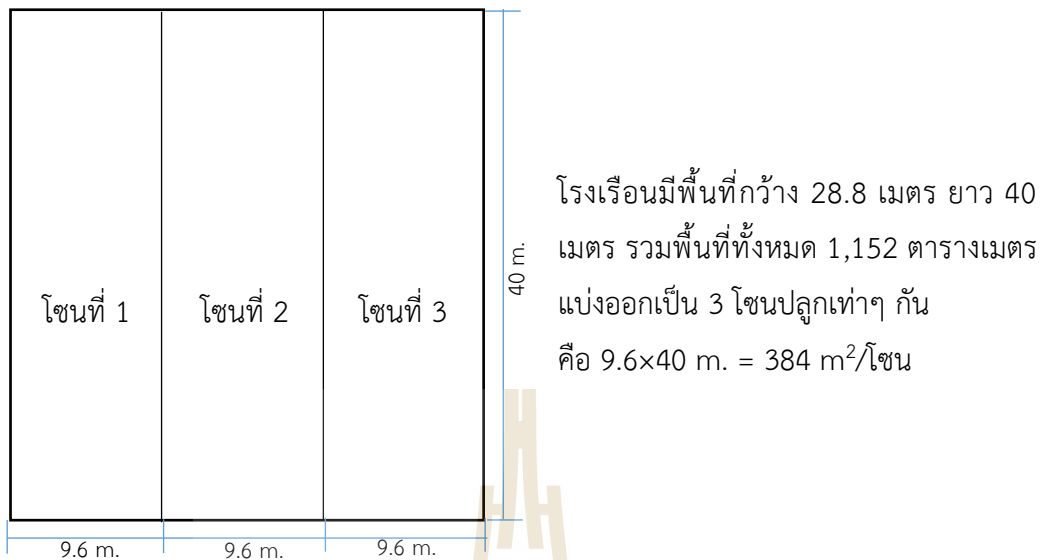
โรงเรือนระบายอากาศแบบเปิด เป็นโรงเรือนที่ไม่มีระบบควบคุมความชื้นแบบ Evaporation แต่สามารถลดอุณหภูมิลงได้เล็กน้อยจากการใช้ระบบพ่นหมอก พัฒนาระบายอากาศและม่านพรางแสง โรงเรือนลักษณะนี้ไม่สามารถปลูกพืชที่ต้องการอากาศเย็นมากได้ แต่สามารถควบคุมโรคและแมลง และสามารถผลิตพืชได้หลายชนิดที่ไม่สามารถผลิตได้ในช่วงฤดูฝน และถ้าเปรียบเทียบกับโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิแบบ Evaporation มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าทั้งค่าก่อสร้างและค่าไฟฟ้าระหว่างการปลูกพืช

### 2.1 การพัฒนาโรงเรือนระบายอากาศระบบเปิด และต้นทุนโรงเรือน

โครงการวิจัยได้พัฒนาต้นแบบโรงเรือนระบายอากาศแบบเปิดขนาด 1,200 ตารางเมตร โดยลักษณะของโรงเรือนปลูกพืชทรงหลังคาฟันเลื่อย (Saw Tooth Greenhouse) เพื่อให้ระบายความร้อนภายในโรงเรือนได้ดีขึ้น (รูปที่ 4.25) มีระบบปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน 3 ระบบ คือวัสดุปลูก ระบบหมุนเวียนน้ำระบบ DRFT (Dynamic Root Floating Technique) และ Aeroponic (รูปที่ 4.26) มีระบบควบคุมการให้สารละลายอัตโนมัติ มีม่านพรางแสงระบบพ่นหมอก และพัฒนาระบายอากาศ (รูปที่ 4.27)



รูปที่ 4.25 ลักษณะของโรงเรือนปลูกพืชทรงหลังคาฟันเลื่อย



รูปที่ 4.26 ลักษณะการวางผังการปลูกพืชเป็นโซนในโรงเรือนปลูกพืชทรงหลังคาพื้นเลื้อย

#### 2.1.1 การพัฒนาโรงเรือนระบายอากาศระบบเปิด และติดตั้งระบบต่างๆ ภายในโรงเรือน

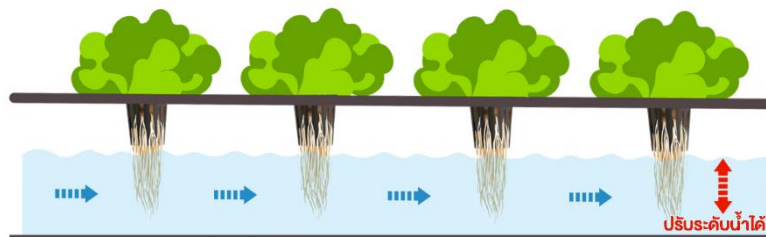
1. ติดตั้งโรงเรือนตามรูปแบบ ซึ่งเป็นโรงเรือนแบบน็อคดาวนขนาด 28.8 เมตร ยาว 40 เมตร
2. ติดตั้งระบบไฟฟ้า 3 เฟส เข้าสู่โรงเรือน
3. ติดตั้งระบบพ่นหมอกภายในโรงเรือน
4. ติดตั้งม่านพรางแสงสีดำ พร้อมมอเตอร์ปิด-เปิดอัตโนมัติ
5. ติดตั้งพัดลมระบายอากาศภายในโรงเรือนจำนวน 3 เครื่อง
6. ติดตั้งระบบแสงสว่างภายในโรงเรือน แบบสโตนไลท์



รูปที่ 4.27 ติดตั้งระบบพ่นหมอก สแลนพรางแสง และพัดลมระบายอากาศภายในโรงเรือน

ระบบปลูกพืชภายในโรงเรือนใช้ระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน 2 ระบบ คือ วัสดุปลูก และระบบหมุนเวียนน้ำแบบ DRFT (Dynamic Root Floating Technique) ดังรูปที่ 4.28



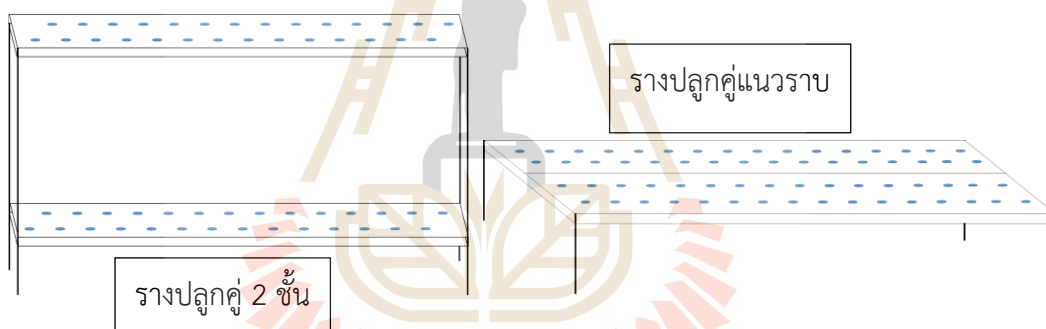


รากสัมผัสและอยู่ในสารละลายธาตุอาหาร โดยใช้ระบบหมุนเวียนน้ำ  
เหมือนกับ NFT แต่น้ำจะลึกแบบ DFT แต่สามารถปรับระดับน้ำได้

รูปที่ 4.28 ระบบหมุนเวียนน้ำแบบ DRFT (Dynamic Root Floating Technique)

#### รูปแบบการวางรางปลูกพืช (รูปที่ 4.29)

1. รางปลูก 2 ชั้นระบบ Hydroponic (DRFT) โดยชั้นล่างปลูกไม้เลื้อย และชั้นบนปลูกผักกินใบ
2. รางคู่แนวราบ สามารถใช้ได้ทั้งระบบ Hydroponic (DFT) และระบบ Substrates ใช้ปลูกไม้เลื้อย และผักกินใบ



รูปที่ 4.29 ลักษณะของรางปลูกแบบต่างๆ

โดยรางปลูก 1 ชุด ประกอบไปด้วยรางปลูกขนาดกว้าง 0.30 เมตร ยาว 18 เมตร จำนวน 2 รางคู่ สามารถปลูกพืชได้ตั้งแต่ 35-90 ต้น/รางปลูก การติดตั้งและทดสอบระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดินพบว่า รางปลูกพืชขนาดความกว้าง 0.3 เมตร และมีฝาเปิด เป็นรางปลูกที่มีพื้นที่ภายในรางปลูกมาก สามารถปรับระดับการขังน้ำได้ จึงไม่มีปัญหาการขาดออกซิเจนของรากพืช ส่งผลให้พืชมีการพัฒนาของรากได้อย่างเต็มที่ ซึ่งสามารถสรุปข้อดี และข้อจำกัดของระบบการปลูกพืชได้ดังนี้

1. รางปลูกขนาดใหญ่ มีช่องว่างและพื้นที่ในการเจริญเติบโตของรากมาก
2. รางที่สามารถเปิดฝาได้ ง่ายต่อการทำความสะอาด
3. ในระบบ DRFT ช่วยลดความเสี่ยงของการขาดน้ำของพืชกรณีไฟฟ้าดับชั่วคราวได้
4. สามารถปลูกพืชได้หลากหลาย

### ข้อจำกัด

1. รางปลูกที่มีความกว้างมาก หากติดตั้งไม่ดีพออาจเกิดการรั่วซึมของน้ำได้
2. การติดตั้งรางปลูกต้องคำนึงถึงระดับการติดตั้งรางปลูก เพราะมีผลโดยตรงต่อความสม่ำเสมอของระดับการขังน้ำในรางปลูก
3. รูปแบบระบบปลูกแบบ 2 ชั้น ไม่สะดวกต่อการปฏิบัติงาน รวมถึงหากติดตั้งไม่ดีพอปัญหาการรั่วซึมของน้ำจะส่งผลเสียหายทั้งสภาพโรงเรือนและพืชปลูก จึงดำเนินการยกเลิกระบบการปลูก 2 ชั้น
4. รางปลูกที่สามารถเปิด-ปิดรางได้ ต้องใช้ความระมัดระวังสูง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของรางอาจมีผลให้รางรั่วซึมได้ง่าย
5. ระบบ DRFT มีการใช้น้ำและสารละลายมาก



รูปที่ 4.30 การติดตั้งรางปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน

ระบบการปลูกพืชแบบใช้วัสดุปลูก (รูปที่ 4.31) แบบหมุนเวียนน้ำ เป็นระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดินที่ได้น้ำวัสดุต่างๆ มาทดแทน ซึ่งในการปลูกครั้งนี้ใช้มะพร้าวสับ และขุยมะพร้าว ที่ผ่านการชะล้างความเค็มและสิ่งเจือปนออกไปแล้ว เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในพื้นที่ โดยการใช้ระบบน้ำหยดในการให้น้ำและสารละลายธาตุอาหารแก่พืชปลูก ทำให้ประหยัดน้ำ แต่การใช้น้ำแบบหมุนเวียนกลับพบว่า อาจเกิดปัญหาสมดุลของธาตุอาหาร จึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนสารละลายใหม่เป็นระยะ



รูปที่ 4.31 การปลูกพืชแบบใช้วัสดุปลูก

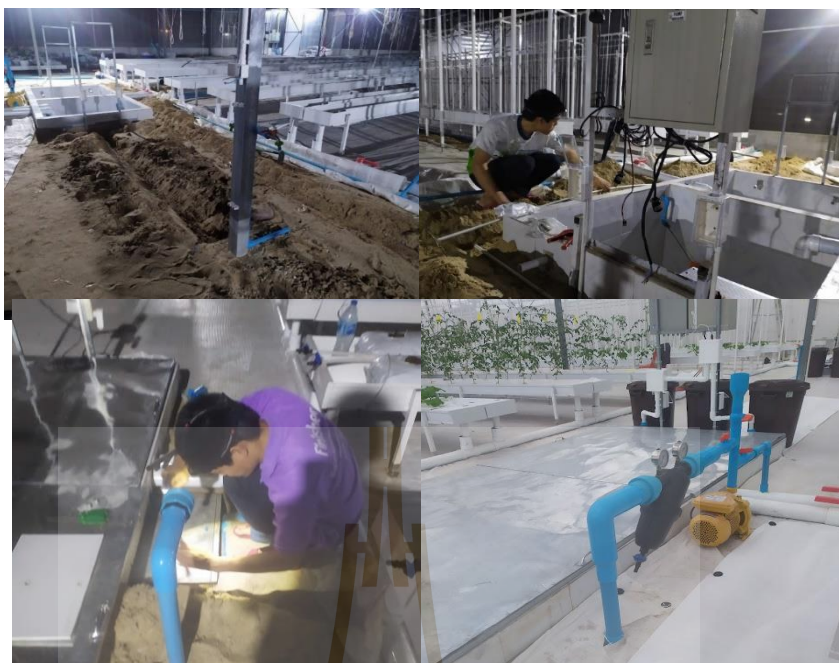
ระบบการจัดการให้น้ำและสารละลายภายในโรงเรือน (รูปที่ 3.32)

1. ดำเนินการโดยการขุดบ่อพักสารละลาย กว้าง 1.2 เมตร ยาว 2 เมตร และลึก 1.5 เมตร
2. ดำเนินการติดตั้งระบบส่งจ่ายน้ำ ระบบตั้งเวลาการให้น้ำในระบบน้ำหยด และหมุนเวียนน้ำกลับ (รูปที่ 3.33)
3. ติดตั้งระบบการผสมปุ๋ยแบบอัตโนมัติสำหรับระบบน้ำหยด (รูปที่ 3.34) และติดตั้งระบบการผสมปุ๋ยแบบอัตโนมัติสำหรับระบบ DRFT (รูปที่ 3.35)
4. ติดตั้งท่อน้ำทิ้ง



รูปที่ 4.32 การทำบ่อพักสารละลายธาตุอาหารพืช

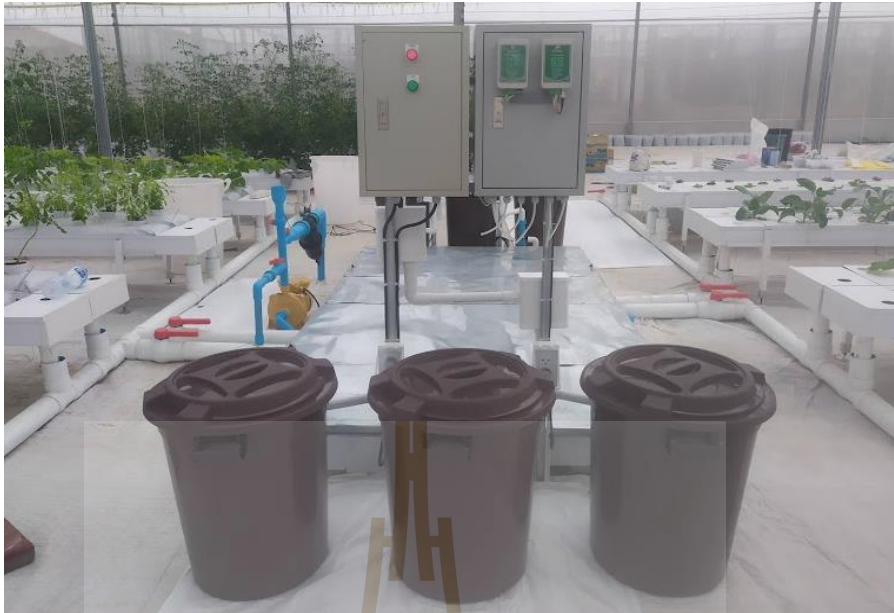




รูปที่ 4.33 ติดตั้งระบบไฟฟ้า ประปา ระบบจ่ายน้ำ และหมุนเวียนน้ำกลับ



รูปที่ 4.34 ติดตั้งระบบน้ำ ปั๊มน้ำ Timer ตั้งเวลาให้น้ำ และระบบผสมปุ๋ยอัตโนมัติ สำหรับระบบน้ำหยด



รูปที่ 4.35 ระบบผสมปุ๋ยอัตโนมัติ สำหรับระบบ DRFT

### 2.1.2 ต้นทุนโรงเรือนระบายอากาศระบบเปิด

โรงเรือนระบายอากาศแบบเปิด ขนาด 1,200 ตารางเมตร มีต้นทุนดังแสดงในตารางที่ 4.10 ซึ่งประกอบด้วย ระบบพ่นหมอก พัฒลมระบายอากาศ และม่านพรางแสง พร้อมระบบปลูก และระบบการให้สารละลายอัตโนมัติ มีต้นทุนรวมทั้งสิ้นเท่ากับ 2,102,500 บาท หรือคิดเป็นต้นทุนต่อตารางเมตรเท่ากับ 1,752 บาท/ตารางเมตร ซึ่งถูกกว่าต้นทุนโรงเรือนระบายอากาศแบบ evaporation เกือบ 3 เท่า ซึ่งต้นทุนดังกล่าวนี้นำไปใช้เป็นต้นทุนการปลูกพืชในรูปของค่าเสื่อมราคาในงานทดลองต่อไป

ตารางที่ 4.10 ต้นทุนการพัฒนาโรงเรือนระบายอากาศขนาด 1,200 ตารางเมตร

รายการ	ราคา (บาท)
1. โครงสร้างโรงเรือนและค่าติดตั้ง	1,200,000.00
2. ระบบพ่นหมอกและสแลนพรางแสง	400,000.00
3. ระบบปลูกพืช	250,000.00
4. ชุดอนุบาลต้นกล้า	20,000.00
5. ระบบส่งจ่ายสารละลาย	63,000.00
6. อุปกรณ์ผสมปุ๋ยอัตโนมัติ 3 ชุด	150,000.00
7. ระบบไฟฟ้า	19,500.00
<b>รวม</b>	<b>2,102,500.00</b>



## 2.2 การผลิตมะเดื่อฝรั่งภายใต้สภาพโรงเรือนระบบระบายอากาศระบบเปิด

มะเดื่อฝรั่ง (Fig) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Ficus carica* L. อยู่ในวงศ์ Moraceae เช่นเดียวกับหม่อน (mulberry) เป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงอุดมไปด้วยวิตามินและเกลือแร่ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย และมีปริมาณน้ำตาลธรรมชาติมากถึง 83 % (นิดดา หงส์วิวัฒน์ และทวีทอง หงส์วิวัฒน์, 2550) ในปัจจุบันมีความต้องการบริโภคมะเดื่อฝรั่งอบแห้งเพื่อสุขภาพเป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีการนำเข้ามะเดื่อฝรั่งอบแห้งจากอเมริกา ตุรกี และประเทศอื่นๆ แม้ว่ามะเดื่อฝรั่งอบแห้งจะมีผลผลิตตลอดทั้งปี แต่มะเดื่อฝรั่งสดมีรสชาติเฉพาะตัว และเนื้อสัมผัสของผลที่ไม่เหมือนผลไม้ชนิดอื่น จึงมีความต้องการบริโภคผลสดเพิ่มมากขึ้น (Narongchai et al., 2008) ประกอบกับมีผู้สนใจปลูกมะเดื่อฝรั่งทั้งการปลูกเพื่อบริโภคในครัวเรือน และเชิงพาณิชย์ โดยรูปแบบการปลูกส่วนใหญ่คือการปลูกในสภาพแปลง ซึ่งมีข้อจำกัดหลายอย่างเช่น ดินมีคุณสมบัติที่ไม่แน่นอนแตกต่างกันไปตามสภาพพื้นที่ เช่น โครงสร้างดิน ความหนาแน่นของดิน ปริมาณธาตุอาหาร ระดับ pH ของดิน และโรคทางดิน นอกจากนี้แล้วปัญหาที่สำคัญมากที่สุดคือการเป็นโรคราสนิมโคนเฉพาะในช่วงฤดูฝน การหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวอาจทำได้ด้วยการปลูกภายใต้โรงเรือนโดยการปลูกแบบไม่ใช้ดินซึ่งจำเป็นต้องมีการให้ธาตุอาหารที่ครบถ้วนและเหมาะสม ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาหาสูตรและความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชภายใต้ระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดิน ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพผลผลิตของมะเดื่อฝรั่ง

### 2.2.1 การทดลองระดับความเข้มข้นของการให้สารละลายธาตุอาหารพืช ต่อผลผลิตของมะเดื่อฝรั่ง

การทดลองนี้เป็นการศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืช จากสูตรธาตุอาหารพืชของ Hoagland and Arnon (1950) ซึ่งเป็นสูตรธาตุอาหารมาตรฐานที่มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลาย และสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของมะเดื่อฝรั่งได้

1) วิธีการทดลองระดับความเข้มข้นของการให้สารละลายธาตุอาหารพืช ต่อผลผลิตของมะเดื่อฝรั่ง วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Design (CRD) จำนวน 7 ซ้ำ 5 กรรมวิธีดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช EC 1 dS/m

กรรมวิธีที่ 2 ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช EC 2 dS/m

กรรมวิธีที่ 3 ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช EC 3 dS/m

กรรมวิธีที่ 4 ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช EC 4 dS/m

กรรมวิธีที่ 5 ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช EC 5 dS/m

โดยมีปริมาณธาตุอาหารพืช (ตารางที่ 4.11) ความเข้มข้นประมาณ 2.5 dS/m

ตารางที่ 4.11 สูตรของสารละลายธาตุอาหารพืช (mg/L) ที่ใช้ในการทดลอง

ธาตุอาหารพืช	ความเข้มข้น (mg/L)**
N	210
P	31
K	234
Mg	48
Ca	200
S	64
Fe	2.5
Mn	0.5
B	0.5
Cu	0.02
Zn	0.05
Mo	0.01

### 1.1 วิธีการปลูกและทดลอง

- 1) ทำการทดลองภายใต้สภาพโรงเรือน ระหว่างเดือนเมษายน-พฤศจิกายน 2562 อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุด คือ 39.4 และ 24.9 °C ปิดม่านพรางแสงเมื่อมีอุณหภูมิสูงกว่า 32 °C
- 2) การปลูกด้วยวัสดุปลูก คือ ทรายหยาบและขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1 : 1 โดยปริมาตร โดยผสมวัสดุปลูกให้เข้ากัน แล้วบรรจุลงในกระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 นิ้ว สูง 12 นิ้ว ติดตั้งระบบน้ำ และทำการชะล้างวัสดุก่อนปลูก ย้ายต้นมะเดื่อฝรั่งที่ได้จากการตอนกิ่งและผ่านการอนุบาลในวัสดุปลูกอายุ 45 วัน ลงปลูกในกระถางที่เตรียมไว้ หลังปลูกให้น้ำเปล่าเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นให้ปุ๋ยตามกรรมวิธี
- 3) การตัดแต่งและดูแลมะเดื่อฝรั่ง เมื่อมะเดื่อฝรั่งแตกยอดหลังตัดแต่งยาว 15-20 เซนติเมตร ทำการคัดเลือกเพื่อให้เจริญเติบโตจำนวน 3 กิ่ง/ต้น ทำการจัดทรงพุ่มด้วยการโยงเชือกพวงให้กิ่งตั้งตรงและไปในแนวเดียวกันตลอดทั้งแถวเพื่อไม่ให้บดบังแสง

### 1.2 การเก็บข้อมูล

- **ผลผลิต** เมื่อมะเดื่อฝรั่งอายุได้ 120 วันหลังตัดแต่งเป็นต้นไป สามารถเก็บผลผลิตได้ โดยเก็บเกี่ยวเมื่อผลมะเดื่อฝรั่งสุกเต็มที่ในระยะสุกแก่ทางการค้า สีของผลเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงบริเวณปลายผลและสีม่วงอมเหลืองบริเวณใกล้กับขั้วผล และผลเริ่ม

น้มน้ำหนักน้ำหนักผลผลิตสดต่อผล สุ่มวัดน้ำหนักสดจำนวน 20 ผล/ต้น จำนวนผลผลิต/ต้น จำนวนผลดีและเสียต่อต้น (รูปที่ 4.36)

#### ■ คุณภาพผลผลิต

- ความแน่นเนื้อวัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส TA–XT2i (firmness tester) (Crisosto et al., 2010)
- ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ วัดด้วย Hand Refractometer อ่านค่าที่ได้เป็น องศาบริกซ์ (°Brix)
- ปริมาณกรดได้จากนำมะเดื่อฝรั่งมาคั้นน้ำ แล้วกรองด้วยสำลี นำน้ำคั้น 5 มิลลิลิตร ไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐาน NaOH 0.1 N โดยใช้สารละลาย phenoptalein 1 % เป็นสารอินดิเคเตอร์ จุดยุติ (end point) เกิดเมื่อสารละลายเริ่มเปลี่ยนเป็นสีชมพูอย่างน้อย 30 วินาที นำปริมาณของ NaOH ใช้ในการคำนวณปริมาณกรดในรูปของกรดซิตริก (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>) จากสูตร

$$\% \text{ TA} = \frac{\text{N NaOH (0.1)} \times \text{NaOH ที่ใช้ (ml.)} \times 0.064 \times 100}{\text{ปริมาณน้ำคั้น (ml.)}}$$



รูปที่ 4.36 ผลผลิตมะเดื่อฝรั่ง ก) ลักษณะของผลผลิตดี ข) ลักษณะผลผลิตเสีย (ผลแตก้าว)

- การวิเคราะห์ผลการทดลอง การวิเคราะห์ผลการทดลอง วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS for Window V.16 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ของข้อมูลการเจริญเติบโตผลผลิต คุณภาพผลผลิต และปริมาณธาตุอาหารในผลดิบมะเดื่อฝรั่ง

## 2) ผลและการอภิปรายผลทดลองระดับความเข้มข้นของการให้สารละลายธาตุอาหารพืช ต่อผลผลิตของมะเดื่อฝรั่ง

มะเดื่อฝรั่งเป็นพืชที่มีความต้องการปริมาณธาตุอาหารสูง และมีศักยภาพในการให้ผลผลิตมาก โดยการปลูกภายใต้วัสดุปลูกมีการให้ธาตุอาหารอย่างครบถ้วน การให้ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายที่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของพืช รวมถึงผลตอบแทนที่คุ้มค่า แต่ในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาในระดับความเข้มข้นของการให้สารละลายธาตุอาหารพืช ในการปลูกมะเดื่อฝรั่งภายใต้ระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดิน การศึกษานี้จึงมีความสำคัญอย่างมากเพื่อเป็นข้อมูลในการวางแผนหรือประกอบการตัดสินใจของเกษตรกร

**2.1 ผลผลิตของมะเดื่อฝรั่ง** ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชไม่ส่งผลที่แตกต่างกันของน้ำหนักเฉลี่ยต่อผล ผลผลิตต่อต้น และผลผลิตต่อไร่ แต่ส่งผลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับจำนวนผลผลิตที่ดี (ลักษณะตรงตามความต้องการของตลาด) และปริมาณผลเสีย (ตารางที่ 4.12) โดยน้ำหนักต่อผล การให้ระดับความเข้มข้นต่ำ (EC 1 และ 2 dS/m) มีแนวโน้มให้ผลที่มีน้ำหนักสูงกว่าการให้ระดับความเข้มข้นสูง อาจเนื่องจากระดับสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ ทำให้มีความแตกต่างระหว่างศักย์ของน้ำภายนอกและภายในเซลล์ โดยศักย์ของน้ำภายนอกสูงกว่าศักย์ของน้ำภายในเซลล์ (ศักย์ของน้ำบริสุทธิ์มีค่าเป็น 0) มะเดื่อฝรั่งจึงสามารถดูดน้ำและสารละลายได้ง่าย โดยน้ำมีส่วนสำคัญในการขยายขนาดและการเต่งของเซลล์ (นวรรตน์ อุดมประเสริฐ, 2558) แต่การให้ระดับความเข้มข้นต่ำส่งผลให้ผลผลิตเสียหายเป็นจำนวนมากด้วยเช่นกัน อาจเกิดจากการรักษาระดับน้ำภายในวัสดุปลูกที่ไม่คงที่ เพราะการให้น้ำตามรอบเวลาในกรรมวิธีที่ให้สารละลายระดับความเข้มข้นต่ำ พืชมีประสิทธิภาพการใช้น้ำสูง อาจเกิดความเข้มข้นสูงขึ้นภายในวัสดุปลูกขึ้นได้ในช่วงวันการให้น้ำ จากการดูดใช้น้ำของพืชมากกว่าการดูดใช้ธาตุอาหารและการระเหยของน้ำ ส่งผลให้ศักย์ของน้ำภายในวัสดุปลูก (ภายนอกเซลล์) และภายในเซลล์ไม่สมดุล เมื่อศักย์ของน้ำภายนอกลดลง น้ำอาจจะไหลออกจากเซลล์ได้ เป็นผลให้ปริมาณน้ำในเซลล์และแรงดันเต่งลดลง ทำให้ผนังเซลล์เสียรูปและความแข็งแรงลดลงตามระดับความรุนแรง และเมื่อมีการให้น้ำก็จะมีน้ำไหลเข้าสู่เซลล์เพิ่มขึ้นที่อาจทำให้เกิดผนังเซลล์ปริแตก (Verstlues et al., 2006) การให้ความเข้มข้นของ

สารละลายสูงพืชจะเกิดกลไกการสะสมไอออนเพื่อลดศักย์ของน้ำภายในเซลล์มากขึ้น และมีผลทำให้เกิดการยับยั้งการขยายขนาดของผนังเซลล์ และมีการรักษาสมดุลของ pH ในผนังเซลล์ให้เหมาะสมในการขยายขนาดของเซลล์ (ยงยุทธ โอสดสภา, 2558; นวรรตน์ อุดมประเสริฐ, 2558) การให้สารละลายระดับ EC 5 dS/m ส่งผลให้มีปริมาณผลผลิตต่อต้นต่ำ เนื่องจากการเจริญเติบโตต่ำที่สุด สอดคล้องกับการปลูกมะเดื่อเทศภายใต้ระบบไฮโดรโปนิคส์ พบว่าที่ระดับ EC 5 dS/m หรือมากกว่าภายใต้ความเค็มของ NaCl มีผลทำให้ลดการขยายตัวของเนื้อเยื่อ ยับยั้งการแบ่งเซลล์ และผลผลิตรวมของมะเดื่อเทศลดลง (Zhang et al., 2016)



ตารางที่ 4.12 ผลของระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช ต่อผลผลิตมะเดื่อฝรั่ง

ระดับความเข้มข้นของ	น้ำหนักเฉลี่ย/ผล	จำนวนผลผลิตเฉลี่ยต่อต้น <sup>2</sup>		ผลผลิต /ต้น <sup>3</sup>	ผลผลิต /ไร่
สารละลาย	(g)	ผลดี	ผลเสีย	(kg)	(ton)
EC 1 dS/m	72.6	102.4c <sup>1</sup>	4.29a	7.39	10.35
EC 2 dS/m	71.4	107.6bc	1.13b	7.63	10.68
EC 3 dS/m	68.8	119.1a	1.07b	8.21	11.49
EC 4 dS/m	67.5	114.9ab	1.04b	7.73	10.82
EC 5 dS/m	68.5	102.1c	0.86b	6.98	9.78
CV (%)	6.7	9.3	26.0	10.4	10.4
F-test	ns	**	**	ns	ns

<sup>1</sup> ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

<sup>2</sup> จำนวนผลผลิตประเมินที่ความยาวกิ่งที่อายุ 90 วันหลังให้กรรมวิธีการทดลอง และมีจำนวน 3 กิ่งต่อต้น

<sup>3</sup> น้ำหนักผลผลิตต่อต้นเป็นน้ำหนักของผลผลิตที่ดีทางการค้า

**2.2 คุณภาพผลผลิตของมะเดื่อฝรั่ง** การให้สารละลายธาตุอาหารพืชที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน ส่งผลให้คุณภาพของผลผลิต ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (ความหวาน) ปริมาณกรดและความแน่นเนื้อของผลมะเดื่อฝรั่งที่เก็บเกี่ยวในระยะเก็บเกี่ยวทางการค้า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 4.13) การให้สารละลายที่ EC สูง (EC 5 dS/m) ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ ปริมาณกรด และความแน่นเนื้อของผลสูงที่สุด คือ 17.73 brix 0.19 % และ 2.65 นิวตัน ตามลำดับ และการให้สารละลายที่ EC 1 dS/m มีผลทำให้ลักษณะคุณภาพผลผลิตดังกล่าวต่ำที่สุด เนื่องจากที่ระดับสารละลายความเข้มข้นต่างๆ พืชจะดูดใช้น้ำได้ง่ายและปริมาณมากที่เป็นผลดีต่อการเจริญเติบโต แต่การได้รับมากเกินไป อาจส่งผลให้ คุณภาพผลผลิตลดลงได้ จึงจำเป็นต้องมีการให้ในระดับที่เหมาะสม (Liu et al., 2019) และการตอบสนองต่อระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืช และความเค็มของสารละลาย มักมีการแสดงออกสอดคล้องกับการตอบสนองต่อปริมาณน้ำของพืช (นวรรตน์ อุดมประเสริฐ, 2558) สอดคล้องกับการปลูกมะเดื่อเทศภายใต้สารละลายธาตุอาหารพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์ และมีการเติม NaCl ที่ระดับความเค็มต่างๆ ความเค็มของสารละลายจะส่งผลให้ผลผลิตมีปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ ปริมาณกรด และความแน่นเนื้อสูงขึ้น และมีผลให้ลดการแตกร้าว รวมถึงรูปทรงของผลตรงตามความต้องการของตลาด เนื่องจากปริมาณการสะสมน้ำในผลน้อย (Zhang et al., 2016; Du et al., 2017; Moya et al., 2017) นอกจากนี้ความเครียดจากน้ำยังช่วยเพิ่มการสะสมแป้งในผลไม้อ่อน ที่ส่งเสริมการเคลื่อนย้าย

แป้งที่กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเข้าสู่ภายในผลไม้สุกจึงช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ และปริมาณน้ำตาลในผลไม้ (Wang et al., 2011) ซึ่งเป็นวิธีการเพิ่มคุณภาพผลผลิตที่ทำได้ง่ายที่สุด

**ตารางที่ 4.13** ผลของระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช ต่อคุณภาพผลผลิตมะเดื่อฝรั่ง

ระดับความเข้มข้น ของสารละลาย	ของแข็งที่ละลายน้ำ (°Brix)	ปริมาณกรด (%)	ความแน่นเนื้อ (นิวตัน)
EC 1 dS/m	15.28b <sup>1</sup>	0.12c	2.39b
EC 2 dS/m	16.17b	0.16b	2.62a
EC 3 dS/m	17.39a	0.15b	2.58a
EC 4 dS/m	17.63a	0.16b	2.63a
EC 5 dS/m	17.73a	0.19a	2.65a
CV (%)	4.85	12.67	5.76
F-test	**	**	**

<sup>1</sup> ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

### 2.3 ต้นทุน และผลตอบแทนของการปลูกมะเดื่อฝรั่งภายใต้ระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดิน

จากการประเมินการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพผลผลิตมะเดื่อฝรั่งที่ปลูกภายใต้ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารระดับต่างๆ ข้างต้น อาจยังไม่สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้ระดับความเข้มข้นในการปลูกมะเดื่อฝรั่งได้ เนื่องจากระดับธาตุอาหารพืชที่ EC 2, 3 และ 4 dS/m มะเดื่อฝรั่งมีการเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิต และคุณภาพผลผลิตที่ไม่แตกต่างกัน ซึ่งการให้ปริมาณธาตุอาหารเพิ่มขึ้นแต่ไม่ส่งเสริมให้การเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นหรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อยถือเป็นการให้ที่ฟุ่มเฟือย (ลิลลี่ กาวีตะ และคณะ, 2552) และส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น การทำการเกษตรปัจจัยหลักในการตัดสินใจในการผลิต คือต้นทุน และผลตอบแทนที่จะได้รับ โดยจากข้อมูลในตารางที่ 4.14 พบว่าที่การให้สารละลายธาตุอาหารพืช 3 dS/m มีมูลค่าของผลผลิตสูงที่สุดที่ระยะเวลาการปลูก 6 เดือน คือ 4.64 แสนบาทต่อพื้นที่ปลูก 1,000 ตารางเมตร แต่เมื่อพิจารณาผลต่างระหว่างมูลค่าผลผลิตและต้นทุน กำไรที่ได้อาจไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจนกับการให้ระดับความเข้มข้นต่ำ การคำนวณจุดคุ้มทุนจึงเป็นตัวชี้วัดหนึ่งในการหาระดับที่เหมาะสม และใช้ในการวางแผนและประกอบการตัดสินใจในการผลิตมะเดื่อฝรั่ง

**ตารางที่ 4.14** ต้นทุน และผลตอบแทนของการผลิตมะเดื่อฝรั่งภายใต้ระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดิน  
ภายใต้พื้นที่ปลูก 1,000 ตารางเมตร

ระดับความเข้มข้น ของสารละลาย	ผลผลิต <sup>1</sup> (กก.)	ราคาปุ๋ย <sup>2</sup>	ต้นทุน ทั้งหมด <sup>3</sup> (บาท)	ราคา ผลผลิต <sup>4</sup>	ผลกำไร
EC 1 dS/m	6,429	23,698	61,108	514,344	453,235
EC 2 dS/m	6,634	46,840	84,250	530,748	446,497
EC 3 dS/m	7,141	69,982	107,392	571,318	463,925
EC 4 dS/m	6,725	93,124	130,534	538,008	407,473
EC 5 dS/m	6,075	116,266	153,676	486,009	332,333

<sup>1</sup> จำนวนผลผลิตประเมินที่มะเดื่อฝรั่งมีอายุ 120 วัน หลังให้กรรมวิธีการทดลอง และมีจำนวน 3 กิ่ง/ต้น

<sup>2</sup> ราคาปุ๋ยที่ใช้ในแต่ละกรรมวิธีต่อต้น 27.24, 53.84, 80.44, 107.04 และ 133.64 บาทตามลำดับ

<sup>3</sup> ต้นทุนการผลิตคงที่ 43 บาท/ต้น

<sup>4</sup> ราคาผลผลิตคิดที่ราคาต่ำที่สุด 80 บาท/กิโลกรัม

หมายเหตุ: สิ้นสุดอายุการเก็บเกี่ยวเป็นเวลา 6 เดือนหลังปลูกหรือตัดแต่ง และต้นมะเดื่อฝรั่งระยะระหว่างต้น 0.95 เมตร ระยะระหว่างแถว 1.2 เมตร

## 2.2.2 การทดลองระดับ N และ K ที่ต่างกันต่อการสะสมธาตุอาหารพืช การเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพผลผลิตมะเดื่อฝรั่ง

1) วิธีการทดลองระดับ N และ K ที่ต่างกันต่อการสะสมธาตุอาหารพืช การเจริญเติบโต  
ผลผลิต และคุณภาพผลผลิตมะเดื่อฝรั่ง ทำการปลูกและเตรียมต้นพันธุ์มะเดื่อฝรั่งเช่นเดียวกับการ  
ทดลองในข้อ 2.1.2 วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 7 ซ้ำ โดยมีการให้ปุ๋ยแตกต่างกัน 6  
กรรมวิธี (ตารางที่ 4.15) ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 สูตรธาตุอาหารพืช Hoagland and Arnon (กรรมวิธีควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ลด N 25 %

กรรมวิธีที่ 3 เพิ่ม N 25 %

กรรมวิธีที่ 4 ลด K 25 %

กรรมวิธีที่ 5 เพิ่ม K 25 %

กรรมวิธีที่ 6 เพิ่ม N ที่ 2 เดือนแรกหลังตัดแต่ง และเพิ่ม K หลัง 2 เดือนเป็นต้นไป

โดยการดัดแปลงสัดส่วนของธาตุอาหารพืชจากกรรมวิธีควบคุม เป็นการลดและเพิ่มใน  
อัตราส่วน 25 % ของปริมาณตั้งต้น โดยการลดลงของปริมาณธาตุอาหารดังกล่าวอยู่ในระดับการขาด  
แคลนปานกลาง (Rajagopal and Rao, 1974) และการเพิ่มปริมาณของธาตุอาหารให้อยู่ในระดับที่  
ไม่เกินระดับเป็นพิษของธาตุอาหาร

ตารางที่ 4.15 สูตรสารละลายธาตุอาหารพืช (mg/L) ที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดของธาตุอาหาร (mg/L)	กรรมวิธีที่ 1 Hoagland and Arnon	กรรมวิธีที่ 2 (ลด N)	กรรมวิธีที่ 3 (เพิ่ม N)	กรรมวิธีที่ 4 (ลด K)	กรรมวิธีที่ 5 (เพิ่ม K)
N	210	157	263	210	210
K	234	234	234	175.5	292.5

ธาตุอาหารอื่นๆ ให้ในปริมาณที่เท่ากันดังนี้ 31 mg-P/L, 48 mg-Mg/L, 200 mg-Ca/L, 64 mg-S/L, 2.5 mg-Fe/L, 0.5 mg-Mn/L, 0.5 mg-B/L, 0.02 mg-Cu/L, 0.05 mg-Zn/L และ 0.01 mg-Mo/L

### 1.1 วิธีการปลูกและทดสอบ

- 1) ทำการทดลองภายใต้สภาพโรงเรือน ระหว่างเดือนเมษายนถึงพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 โดยการปลูกด้วยวัสดุปลูก เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1
- 2) หลังปลูกให้น้ำเปล่าเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นให้สารละลายธาตุอาหารพืชที่ระดับ EC 1.5 dS/m เมื่อต้นมะเดื่อฝรั่งอายุ 30 วัน หลังย้ายปลูก ทำการตัดแต่งเพื่อให้เกิดการแตกตาใหม่ โดยให้สูตรธาตุอาหารพืชตามกรรมวิธีการทดลองข้างต้นที่ EC 1.5 dS/m เป็นเวลา 2 สัปดาห์ และให้สารละลายตามสัดส่วนของธาตุอาหารตามกรรมวิธีการทดลองที่อายุ 14 วัน หลังตัดแต่งเป็นต้นไป โดยปริมาณน้ำที่ให้ต่อต้นต่อวันดังนี้
  - หลังตัดแต่ง 14 วัน เวลา 8.00 น. ให้น้ำสะอาด 500 ml และ 13.00 น. ให้สารละลายธาตุอาหารพืชปริมาณ 2 ลิตรต่อต้นต่อวัน
  - อายุ 14 ถึงอายุ 60 วัน เวลา 8.00 น. ให้น้ำสะอาด 500 ml และ 13.00 น. ให้สารละลายธาตุอาหารพืชปริมาณ 2 ลิตรต่อต้นต่อวัน
  - อายุ 60 วันหลังตัดแต่งเป็นต้นไป เวลา 7.30 น. ให้น้ำสะอาด 500 ml และ 11.00 และ 15.00 น. ให้สารละลายธาตุอาหารพืชปริมาณครึ่งละ 2 ลิตรต่อต้นต่อวัน
- 3) การตัดแต่งและดูแลมะเดื่อฝรั่ง เมื่อมะเดื่อฝรั่งแตกยอดหลังตัดแต่งยาว 15–20 เซนติเมตร ทำการคัดเลือกเพื่อให้มีการเจริญเติบโตจำนวน 3 ยอดต่อต้น ทำการจัดทรงพุ่มด้วยการโยงเชือกพวงให้กิ่งตั้งตรงและไปในแนวเดียวกันตลอดทั้งแถวเพื่อไม่ให้บดบังแสง และห่อผลด้วยถุงผ้าป้องกันแมลง

## 1.2 การเก็บข้อมูล

- 1) การเจริญเติบโต ได้แก่ จำนวนใบ ความยาวของกิ่ง เส้นผ่านศูนย์กลางของกิ่งและพื้นที่ใบ จำนวน 3 กิ่งต่อต้น และทำการวัดทุกต้นในแต่ละกรรมวิธีการทดลองทุก 7 วัน บันทึกผลก่อนและหลังการให้สารละลายตามกรรมวิธี เป็นเวลารวม 14 สัปดาห์
- 2) ผลผลิต และคุณภาพผลผลิต เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อผลมะเดื่อฝรั่งสุกเต็มที่ โดยบันทึกน้ำหนักสดต่อผล จำนวนผลผลิตต่อต้น จำนวนผลดีและเสีย ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ และปริมาณกรด เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.1.1

## 1.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS.

for Window V.16 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ของข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิต คุณภาพผลผลิต และปริมาณธาตุอาหารในใบและผลดิบของมะเดื่อฝรั่ง

## 2) ผลและการอภิปรายผลการทดลองระดับ N และ K ที่ต่างกันต่อการสะสมธาตุอาหารพืช การเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพผลผลิตมะเดื่อฝรั่ง

**2.1 ผลผลิตของมะเดื่อฝรั่ง** จากการให้ปุ๋ยตามสูตรต่างๆ ในกรรมวิธีการทดลอง พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยต่อผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเชิงทางสถิติ โดยการให้ปุ๋ยสูตร Hoagland and Arnon ที่ใช้เป็นกรรมวิธีควบคุมมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อผลสูงที่สุด คือ 71.24 กรัม และการให้ปริมาณเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณ N และ K ส่งผลให้น้ำหนักผลผลิตลดน้อยลง (กรรมวิธีที่ 2 ถึง 6) โดยการเพิ่ม K ตลอดระยะการปลูก (กรรมวิธีที่ 5) ส่งผลให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อผลต่ำที่สุด คือ 56.84 กรัม (ตารางที่ 4.16) เนื่องมาจากการพัฒนาของผลผลิตต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของ N และ K ที่อยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสมจึงจะทำให้ผลผลิตมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากขึ้น โดยในการทดลองนี้ในกรรมวิธีควบคุมมีสัดส่วนระหว่าง N:K คือ 1:1.1 โดยน้ำหนัก จึงอาจเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการพัฒนาของผลมะเดื่อฝรั่ง ในการลดลงของ N และการเพิ่ม K มีสัดส่วน N:K คือ 1:1.5 และ 1:1.4 ตามลำดับ ซึ่งสัดส่วนนี้อาจมีธาตุ N เป็นตัวจำกัดการขยายขนาดของผลได้ และการเพิ่ม N และลด K มีสัดส่วน N:K คือ 1:0.9 และ 1:0.8 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณ K เป็นธาตุอาหารที่จำกัดการเจริญเติบโตของผลผลิตได้ (ตารางที่ 4.16) โดย Cardoso et al. (2017) พบว่าสมดุลของอัตราส่วนระหว่าง N : K มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต เมื่อมีปริมาณ N เพียงพอ การเพิ่มความเข้มข้นของ K ในสารละลายธาตุอาหารพืชจะสามารถเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผล มวล และปริมาณผลผลิตในแตงกวาที่ปลูกภายใต้ระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดินได้ เพราะ N มีบทบาทในการสังเคราะห์ IAA ที่กระตุ้นให้เกิดกลไกการยืดหยุ่นของเซลล์ และ K ช่วยไปลดศักย์ออสโมซิสของสารละลายภายในเซลล์ทำให้น้ำไหลเข้าเซลล์พืชเกิดการขยายขนาดของเซลล์ (ยงยุทธ โอสภสกา, 2558)



ลักษณะของผลผลิตจากผลการทดลอง พบว่าการเพิ่มปริมาณ K สูงขึ้นในระยะเวลาการพัฒนาของผลผลิต (กรรมวิธีที่ 6) จะส่งเสริมให้ผลผลิตมีลักษณะที่ดี และการแตกตัวของผลผลิต ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เป็นที่ต้องการของห้องตลาด รวมทั้งเกิดโรคน้อยลง โดยมีปริมาณผลเสียต่ำที่สุดคือ 0.68 ผลต่อต้น และการให้ปริมาณ N ที่สูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโต (กรรมวิธีที่ 3) ทำให้มีจำนวนผลผลิตต่อต้นสูงที่สุด แต่มีผลผลิตเสียหายมากที่สุดด้วย คือ 3.72 ผล/ต้น เนื่องมาจากในระยะเวลาพัฒนาของผลผลิตพืชต้องการ K ในปริมาณที่สูง (Francisco et al., 2015) และ K ก็เป็นธาตุอาหารที่มีบทบาทที่สำคัญในการรักษาระดับของ pH ภายในเซลล์ให้มีเสถียรภาพในกลไกการขยายขนาดของเซลล์ให้เหมาะสม (ยงยุทธ โอสดสภา, 2558) อีกทั้งการเพิ่ม K จะช่วยลดการเกิดโรคจากเชื้อรา และแบคทีเรียลงได้ (Amtmann, 2008) การให้สารละลายธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณ N ที่สูงในขณะที่ K มีไม่เพียงพอจะยิ่งทำให้การดูดใช้ K ยิ่งน้อยลงไปด้วย ประกอบกับหากความชื้นในวัสดุปลูกมีน้อยลงในรอบวันจะทำให้พืชเกิดการเหี่ยวเฉาได้ง่าย เมื่อให้น้ำเพิ่มขึ้นจึงเกิดการขยายตัวที่ไม่เหมาะสม ส่งผลถึงเกิดการแตกตัวของผลผลิตได้มากขึ้น (Kong, 2013) แต่ทว่าการได้รับ K สูงเกินความต้องการก็จะส่งผลเสียต่อการดูดใช้ Ca และ B ได้ จึงทำให้การเพิ่ม K ตลอดการปลูกมะเดื่อฝรั่ง (กรรมวิธีที่ 5) ใน การทดลองนี้มีผลทำให้ร้อยละของผลเสียสูงกว่ากรรมวิธีที่ 6 เนื่องจาก Ca และ B เป็นธาตุอาหารประจวบควที่มีหน้าที่สำคัญในการเป็นองค์ประกอบและรักษาความแข็งแรงของผนังเซลล์ (ยงยุทธ โอสดสภา, 2558) โดยมีรายงานว่า การให้ปุ๋ย N, P และ K ทางดินและมีการเพิ่ม Ca จะส่งผลให้ผลผลิตมะเดื่อฝรั่งมีคุณภาพดีขึ้น โดยลดการแตกตัวของผล ลดการซีดจางของผลจากการถูกแสงแดด (sunsclad) และสามารถบรรเทาผลกระทบจากสภาวะความไม่เหมาะสมของการให้น้ำได้ (Irget et al., 2008; Holstein, 2015) การเพิ่ม Ca และ B ด้วยการฉีดพ่นทางใบที่เป็นธาตุอาหารที่เคลื่อนย้ายได้ยากในพืช มีผลเชิงบวกต่อการเพิ่มการสะสมมากขึ้นที่ใบ ป้องกันผลแตก และน้ำหนักรวมของผลสูงขึ้น (วันทรา แซ่เฮ้ง และคณะ 2561) และเมื่อพิจารณาน้ำหนักผลผลิตรวมต่อต้นพบว่าทุกกรรมวิธีให้น้ำหนักผลผลิตต่อต้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ และมะเดื่อฝรั่งยังมีแนวโน้มที่สามารถให้ผลผลิตได้อย่างต่อเนื่องมากกว่าระยะเวลาที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 4.16 ผลของระดับ N และ K ที่ต่างกันต่อผลผลิตของมะเดื่อฝรั่ง

กรรมวิธีการทดลอง	น้ำหนัก เฉลี่ย/ผล (g)	จำนวนผลผลิตเฉลี่ย/ต้น <sup>2</sup>		น้ำหนักผลผลิต/ ต้น <sup>3</sup> (kg)
		ผลดี	ผลเสีย	
T1 กรรมวิธีควบคุม	71.24a <sup>1</sup>	106.9	1.13b	7.60
T2 ลด N 25%	61.42bc	111.4	1.19b	6.79
T3 เพิ่ม N 25%	63.08b	119.3	3.72a	7.48
T4 ลด K 25%	63.35b	110.0	1.14b	6.94
T5 เพิ่ม K 25%	56.84c	118.9	1.03b	6.77

T6 เพิ่ม N 2 เดือนแรก และเพิ่ม K ต่อไป	62.20b	115.5	0.68c	7.20
CV (%)	8.17	12.57	18.24	12.96
F-test	**	ns	**	ns

<sup>1</sup> ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

<sup>2</sup> จำนวนผลผลิตประเมินที่ความยาวกิ่งที่มะเดื่อฝรั่งอายุ 91 วันหลังให้กรรมวิธีการทดลอง

<sup>3</sup> น้ำหนักผลผลิตต่อต้นเป็นน้ำหนักของผลผลิตที่ดีทางการค้า

**2.2 คุณภาพผลผลิตของมะเดื่อฝรั่ง** จากการวิเคราะห์คุณภาพของผลผลิต พบว่าการให้สูตรสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีระดับของ N และ K ที่ต่างกันไม่มีผลต่อปริมาณกรด และความแน่นเนื้อของมะเดื่อฝรั่ง แต่การมีสัดส่วนของปริมาณ N ที่สูงขึ้นในสูตรธาตุอาหารพืชมีแนวโน้มทำให้ความแน่นเนื้อลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณของ K ไม่เพียงพอ ซึ่ง K จะมีผลโดยตรงต่อความแน่นเนื้อของผล และถ้าปริมาณของ N และ K ไม่สมดุลในสูตรธาตุอาหาร จะทำให้ความแน่นเนื้อของผลน้อยลง (Jones, 2008) อีกทั้งการเก็บเกี่ยวผลผลิตอยู่ในระยะการเก็บเกี่ยวทางการค้าและทุกกรรมวิธีจะเก็บเกี่ยวที่ระยะ อายุการติดผล สีของผล และลักษณะภายนอกอื่น ๆ ที่ใกล้เคียงกัน โดยความแน่นเนื้อของผลผลิตมะเดื่อฝรั่ง การสุกแก่จะมีผลกระทบมากที่สุด โดยหากละทิ้งให้ผลผลิตสุกแก่มากขึ้นความแน่นเนื้อของผลผลิตก็จะลดลง นอกจากนี้พบว่า การให้ปริมาณ N และ K ที่ต่างกันในการทดลองนี้ ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการเพิ่มปริมาณ K 25 % ในรูปแบบการเพิ่ม K ทั้ง 2 กรรมวิธี คือ กรรมวิธีที่ 5 และ 6 ส่งผลให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำสูงที่สุด คือ 17.6 และ 17.5 °Brix ตามลำดับ และปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำน้อยที่สุดคือกรรมวิธีควบคุม ซึ่งไม่แตกต่างกันกับกรรมวิธีที่ 2, 3 และ 4 (ตารางที่ 4.17) เพราะปริมาณของ K ที่เพิ่มขึ้นไปช่วยส่งเสริมกระบวนการเคลื่อนย้ายกลูโคสในโพลีเอมของต้นไปยังผล และการสังเคราะห์สารอินทรีย์ และน้ำตาลเพิ่มขึ้น (ยงยุทธ โอสดสภา, 2558) และการปลูกมะเดื่อฝรั่งทุกกรรมวิธีการทดลองภายใต้การปลูกพืชไม่ใช้ดิน มีแนวโน้มส่งเสริมให้มีปริมาณกรดในผลต่ำ น้ำหนักผลผลิตในตารางที่ 4.15 ความแน่นเนื้อ และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำสูงกว่าการปลูกบนดินสภาพแปลงปลูกของมะเดื่อฝรั่งพันธุ์ Brown Turkey (กลุ่ม common fig เช่นเดียวกับพันธุ์ที่ใช้ในการทดลอง) ในรัฐแคลิฟอร์เนีย ซึ่งให้น้ำหนักผลผลิตเฉลี่ยเพียง 44.3–52 กรัมต่อผล มีความแน่นเนื้อที่การสุกแก่ทางการค้า 1.07 นิวตัน ปริมาณกรด (TA) 0.28 % และความหวาน 15.9 °Brix (Crisosto, 2010)

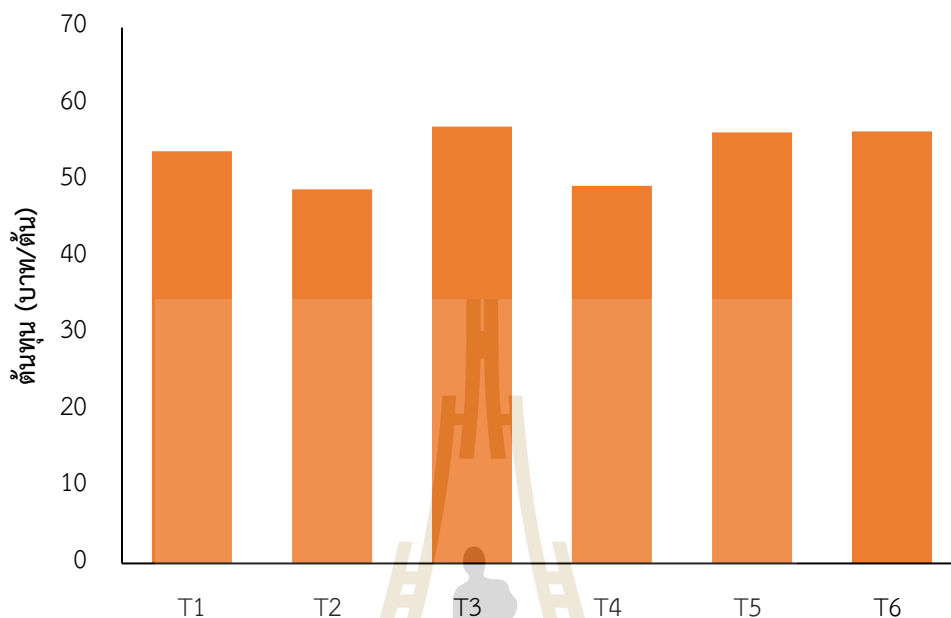
ตารางที่ 4.17 ผลของระดับ N และ K ที่ต่างกันต่อคุณภาพผลผลิตของมะเดื่อฝรั่ง

กรรมวิธีการทดลอง	ของแข็งที่ละลายน้ำ	ปริมาณกรด	ความแน่นเนื้อ
	(°Brix)	(%)	(นิวตัน)
T1 กรรมวิธีควบคุม	16.1b <sup>1</sup>	0.16	2.62
T2 ลด N 25%	16.2b	0.16	2.61
T3 เพิ่ม N 25%	16.3b	0.16	2.53
T4 ลด K 25%	16.5b	0.16	2.56
T5 เพิ่ม K 25%	17.6a	0.17	2.63
T6 เพิ่ม N 2 เดือนแรก และเพิ่ม K ต่อไป	17.5a	0.15	2.65
CV (%)	4.69	14.87	7.68
F-test	**	ns	ns

<sup>1</sup> ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

**2.3 ต้นทุนของสารละลายธาตุอาหารพืชของการผลิตมะเดื่อฝรั่ง** การผลิตมะเดื่อฝรั่งทางการค้า การพิจารณาต้นทุนการผลิตมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะการผลิตที่มีต้นทุนต่ำ หรือการผลิตสามารถส่งผลให้มีผลกำไรสูงที่สุด เป็นสิ่งที่ผู้ประกอบการตัดสินใจในการวางแผนการผลิตในอนาคต โดยต้นทุนการผลิตแบ่งออกเป็น ต้นทุนคงที่ (ค่าเช่าที่ดิน ค่าเสื่อมของอุปกรณ์ และโรงเรือน เป็นต้น) และต้นทุนผันแปร (ราคาต้นพันธุ์ สารเคมี แรงงาน และปุ๋ย เป็นต้น) (ดิเรก ทองอร่าม, 2550) โดยการทดลองครั้งนี้มีการปลูกและการจัดการอื่นๆ เหมือนกันทุกกรรมวิธี โดยต้นทุนที่มีความผันแปร และมีความสำคัญมากที่สุดในการผลิตมะเดื่อฝรั่งในการทดลองนี้ คือ ต้นทุนของสารละลายธาตุอาหารพืช โดยคำนวณจากราคาของแม่ปุ๋ยต่างๆ ในปี 2562 (ราคาปุ๋ยอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้) (ตารางภาคผนวกที่ 7) รวมระยะเวลาตลอดอายุการทดลองจำนวน 6 เดือนหลังตัดแต่ง จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณของธาตุอาหารในสูตรสารละลายธาตุอาหารพืช (กรรมวิธีที่ 1 ควบคุม ต้นทุน คือ 53.84 บาทต่อต้น) ส่งผลให้มีต้นทุนที่เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย กรรมวิธีที่ 3 มีต้นทุนของสารละลายธาตุอาหารพืชสูงที่สุด คือ 57.05 บาทต่อต้น รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 5 และ 6 คือ 56.32 และ 56.45 บาทต่อต้นตามลำดับ และการลดปริมาณ N และ K ส่งผลให้มีต้นทุนที่ต่ำลง คือ 48.88 และ 49.34 บาทต่อต้นตามลำดับ (รูปที่ 4.37) เมื่อพิจารณาร่วมกับปริมาณผลผลิต และคุณภาพผลผลิต การเพิ่ม N ถึงแม้จะให้จำนวนผลผลิตมากที่สุด แต่มีปริมาณผลไม่ได้มาตรฐาน และต้นทุนสูงที่สุด จึงไม่เหมาะสมสำหรับการใช้เป็นสูตรสารละลายธาตุอาหารในการผลิตผลสดมะเดื่อฝรั่ง การให้สารละลายธาตุอาหารพืชตามกรรมวิธีที่ 6 ถึงแม้จะมีต้นทุนของราคาสารละลายธาตุอาหารสูง และน้ำหนักต่อผลต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุม แต่มีแนวโน้มให้จำนวนผลผลิตที่สูงกว่า รวมทั้งผลผลิตมีคุณภาพ (ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำสูง ความแน่นเนื้อสูง และมีปริมาณกรดต่ำ) การให้สัดส่วน

ของธาตุอาหารตามการเจริญเติบโตจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการให้สารละลายธาตุอาหารในการผลิตมะเดื่อฝรั่ง



รูปที่ 4.37 ต้นทุนของสารละลายธาตุอาหารพืชในการผลิตผลมะเดื่อฝรั่ง ที่มีการให้ปริมาณ N และ K ที่ต่างกัน (รวมระยะเวลา 6 เดือนหลังตัดแต่ง)

### 2.3 การทดลองการปลูกผักชนิดต่างๆ ในโรงเรือนระบบเปิด

นอกเหนือจากงานทดลองมะเดื่อฝรั่ง แล้วได้ดำเนินการทดสอบการปลูกพืชชนิดต่างๆ ภายในโรงเรือน เพื่อใช้ในการประเมินการเลือกชนิดพืชปลูกที่เหมาะสม และคุ้มค่าต่อการผลิตพืชในทางเศรษฐกิจ โดยทำการปลูกทดสอบต่อเนื่องกันตลอดทั้งปี

#### 2.3.1 วิธีการทดลองการปลูกผักชนิดต่างๆ ในโรงเรือนระบบเปิด

- 1) ชนิดของพืชที่ปลูก ได้แก่ มะเขือเทศ แตงกวา ฟักทอง มะระ แคนตาลูป และ คื่นช่าย อ่องกง โดยมีพื้นที่ปลูกผักแต่ละครั้งไม่ต่ำกว่า 100 ตารางเมตร
- 2) ทำการเพาะกล้าและย้ายปลูกในระบบ DRFT และ substrate โดยมีสูตรธาตุอาหารพืชของผักแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 4.18
- 3) ใช้ระบบควบคุมการให้สารละลายอัตโนมัติ และมีการปิดม่านพรางแสงและพ่นหมอกเมื่ออุณหภูมิเกินกว่า 32 °C
- 4) เก็บข้อมูลต้นทุนการผลิต ผลผลิต และประเมินผลตอบแทนของพืชแต่ละชนิด

ตารางที่ 4.18 สูตรสารละลายธาตุอาหารพืชที่ใช้ในการปลูกพืชในโรงเรือน

ชนิดพืช	ความเข้มข้น (mg/L)											
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
มะเขือเทศ	157	50	300	160	40	54	11.9	0.94	0.30	0.87	3.26	0.07
แคนตาลูป	198	36	222	140	55	74	2.85	0.77	0.02	0.04	0.32	0.02
แตงกวา	198	36	222	140	55	74	2.85	0.77	0.02	0.04	0.32	0.02
ฟักทอง (ปัตเตอร์นัท)	109	25	152	60	22	29	2.85	0.77	0.02	0.04	0.32	0.02
มะระ	109	25	152	60	22	29	2.85	0.77	0.02	0.04	0.32	0.02
คะน้าฮ่องกง	187	41	312	80	48	64	4.90	0.77	0.02	0.04	0.32	0.02
คะน้าใบหยิก (เคล)	187	41	312	80	48	64	4.90	0.77	0.02	0.04	0.32	0.02

### 2.3.2 ผลการปลูกผักชนิดต่างๆ ในโรงเรือนระบบเปิด

1) มะเขือเทศเชอร์รี่ มะเขือเทศทั้งแบบทานผลสด และแปรรูปสามารถปลูกภายใต้โรงเรือนแบบเปิดได้ ตลอดทั้งปี โดยให้น้ำหนักผลผลิตต่อต้นสูง โดยเฉพาะในฤดูร้อนและฤดูฝนของประเทศไทยที่ให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกกลางแจ้ง ผลผลิตมีคุณภาพ ปราศจากโรคและแมลง ไม่ต้องใช้สารเคมีทางการเกษตรต่างๆ การปลูก 1 รอบสามารถตัดแต่งและเก็บผลผลิตได้นาน 6-8 เดือน



รูปที่ 4.38 มะเขือเทศเชอร์รี่หลายพันธุ์ที่ปลูกในโรงเรือนระบบเปิด

2) มะระ ผลการทดสอบปลูกมะระหลายพันธุ์ในโรงเรือนแบบเปิด พบว่ามะระทุกพันธุ์สามารถปลูกภายใต้โรงเรือนแบบเปิดได้ตลอดทั้งปี ให้ผลผลิตต่อต้นสูง โดยเฉพาะในฤดูร้อนและฤดู



ฝนของประเทศไทย ผลผลิตมีคุณภาพ ปราศจากโรคและแมลง ไม่มีความจำเป็นต้องใช้สารเคมี  
ป้องกันกำจัด



รูปที่ 4.39 มะระหลายพันธุ์ที่ปลูกในโรงเรือนระบบเปิด

3) ฟักทอง (บัตเตอร์นัท) ผลการทดสอบปลูกฟักทองในโรงเรือนแบบเปิด พบว่าสามารถ  
ปลูกได้ตลอดทั้งปี ให้ผลผลิตสูง โดยเฉพาะในฤดูร้อนและฤดูฝนของประเทศไทย ไม่จำเป็นต้องใช้  
สารเคมีป้องกันกำจัด



รูปที่ 4.40 ฟักทองที่ปลูกในโรงเรือนระบบเปิด

4) **แตงกวาญี่ปุ่น** แตงกวาญี่ปุ่นหากปลูกลงนอกโรงเรือนมักพบการระบาดของโรคและแมลง โดยในฤดูฝนจะพบโรคทางใบที่เกิดจากความชื้นสูง ในขณะที่ช่วงอุณหภูมิสูงพบการระบาดของแมลงศัตรูพืช ซึ่งส่งผลให้ผลผลิตต่ำ และเกษตรกรต้องใช้สารเคมีปริมาณมาก ซึ่งการปลูกในโรงเรือนแบบเปิดช่วยลดการใช้สารเคมีได้ และยังสามารถปลูกภายใต้โรงเรือนแบบเปิดได้ตลอดทั้งปี และพบว่าให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกลงนอกโรงเรือน โดยเฉพาะในฤดูร้อนและฤดูฝนของประเทศไทย อย่างไรก็ตามพบว่ามีข้อดีและข้อจำกัดเช่นเดียวกับการปลูกในโรงเรือนแบบปิด ได้แก่ ต้องใช้แรงงานในการผสมเกสร และช่วงที่มีอุณหภูมิสูงต้องมีระบบการลดอุณหภูมิของโรงเรือนโดยการพ่นหมอก อาจส่งผลให้มีความชื้นภายในโรงเรือนค่อนข้างสูง เป็นเหตุให้เกิดโรคราน้ำค้าง และราแป้ง



รูปที่ 4.41 แตงกวาญี่ปุ่นที่ปลูกในโรงเรือนระบบเปิด

5) **แคนตาลูป** พืชนี้หากปลูกลงนอกโรงเรือนมักพบการระบาดของโรคและแมลงเช่นเดียวกับแตงกวา ซึ่งส่งผลให้ผลผลิตต่ำ ผลผลิตไม่ได้คุณภาพ และเกษตรกรต้องใช้สารเคมีปริมาณมาก แต่การปลูกในโรงเรือนแบบเปิดช่วยลดการใช้สารเคมีได้ และยังสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี โดยให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกลงนอกโรงเรือน โดยเฉพาะในฤดูร้อนและฤดูฝนของประเทศไทย อย่างไรก็ตามการปลูกในโรงเรือนมีข้อดี และข้อจำกัดเช่นเดียวกับแตงกวาญี่ปุ่น





รูปที่ 4.42 ผลการผลิตแคนตาลูปภายใต้การจัดการในโรงเรือนระบบเปิด

6) **คะน้าฮ่องกง** มีการเจริญเติบโตที่ดี มีลำต้นขนาดใหญ่ รสชาติหวานกรอบ เส้นใยน้อย สามารถไว้แขนงเพื่อได้ผลผลิตถึง 3 รุ่น



รูปที่ 4.43 ผลผลิตคะน้าในโรงเรือนระบบเปิด

### 2.3.3 ผลการประเมินต้นทุน และผลตอบแทนของการปลูกพืชชนิดต่างๆ ภายในโรงเรือนระบบเปิด

การประเมินมูลค่าทางการค้าของพืชชนิดต่างๆ ที่ปลูกภายใต้โรงเรือน ขนาดพื้นที่ 100 ตารางเมตร (ตารางที่ 4.19) จากการประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่า การปลูกมะเขือมะเดื่อฝรั่ง ให้ผลกำไรต่อพื้นที่ต่อเดือนสูงที่สุด คือ 8,739 บาท/เดือน/พื้นที่ 100 ตารางเมตร รองลงมาคือ แคนตาลูป ส่วนคะน้าฮ่องกงให้ผลตอบแทนน้อยที่สุดคือ 1,961 บาท/เดือน/พื้นที่ 100 ตารางเมตร

ตารางที่ 4.19 ต้นทุนและผลตอบแทนของการผลิตในโรงเรือน (ต่อพื้นที่ 100 ตารางเมตร)

ชนิดพืช	จำนวน ต้น	ผลผลิต (กก.)	ผลผลิตที่ขายได้ (%)	ราคา (บาท/กก.)	มูลค่าผลผลิต (บาท)	ต้นทุน (บาท)	กำไร (บาท)	ระยะเวลาการผลิต (วัน)	กำไร (บาท/เดือน)
มะเขือเทศเชอร์รี่	300	1,053	80	60	50,520	18,000	32,520	330	2,956
แตงกวา	300	563	60	40	13,500	3,735	9,766	60	4,883
ฟักทอง	300	263	80	80	16,855	6,161	10,693	110	2,916
คะน้าฮ่องกง	500	229	70	50	8,020	2,790	5,230	80	1,961
มะระ	100	444	60	60	15,973	4,029	11,944	70	5,119
แคนตาลูป	150	281	80	80	17,994	5,844	12,150	80	4,556
มะเดื่อฝรั่ง	80	714	80	80	45,696	10,739	34,957	120	8,739

- ต้นทุนการผลิตประกอบด้วยค่าไฟฟ้า (3.37 บาท/หน่วย) ค่าปุ๋ยและวัสดุปลูก ค่าแรงงาน (50 บาท/ชั่วโมง) และค่าเสื่อมราคาโรงเรือนและอุปกรณ์

### กิจกรรมที่ 3 การพัฒนาระบบควบคุมการให้น้ำและให้ปุ๋ยอัตโนมัติผ่านระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในโรงเรือน

การพัฒนาระบบควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยอัตโนมัติผ่านระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ ได้แก่ การออกแบบระบบให้น้ำและให้ปุ๋ยแบบอัตโนมัติ จากนั้นเป็นการพัฒนาระบบแล้วติดตั้งระบบส่งสัญญาณผ่านระบบเครือข่ายไร้สายผ่านระบบมือถือ เพื่อควบคุมสภาพแวดล้อม จากนั้นส่งข้อมูลขึ้น cloud แล้วข้อมูลทุกอย่างสามารถ download และแสดงผลได้แบบ real time และหากเกินระดับที่ต้องการมีการควบคุมสภาพแวดล้อมโดยมีการส่งสัญญาณ จากนั้นทำการปรับระบบอัตโนมัติผ่านมือถือ เปรียบเทียบค่าจากข้อมูลจากระบบเครือข่ายไร้สายกับข้อมูลที่วัดได้จริง เพื่อตรวจสอบความเสถียร ซึ่งรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

#### 3.1 การออกแบบระบบการให้น้ำอัตโนมัติในโรงเรือนด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

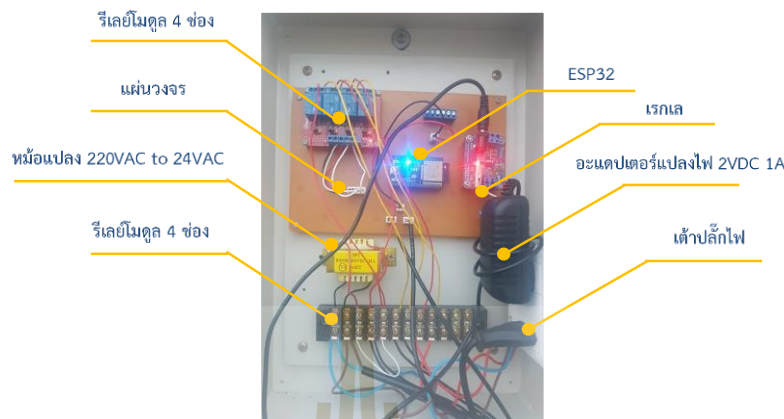
##### 3.1.1 วิธีการออกแบบระบบการให้น้ำอัตโนมัติในโรงเรือนด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

1) การออกแบบระบบการให้น้ำสำหรับพืชในโรงเรือน ระบบการให้น้ำสำหรับพืชในโรงเรือนแบบอัตโนมัติเป็นการตรวจวัดค่าความชื้นในวัสดุปลูกที่ใช้ปลูกพืชเพื่อนำมาประมวลผล และควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ในการออกแบบได้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ 1) การออกแบบระบบรวม 2) การออกแบบฮาร์ดแวร์ 3) การออกแบบซอฟต์แวร์ และ 4) การออกแบบแอปพลิเคชัน ซึ่งขั้นตอนการออกแบบมีดังนี้

1.1) การออกแบบระบบรวม ระบบการให้น้ำสำหรับพืชในโรงเรือนแบบอัตโนมัติ ออกแบบโดยใช้บอร์ด Espressif ESP32 Development Board (ESP32) ในการรับค่าความชื้นดินจากเซ็นเซอร์ EC-5 แล้วนำมาประมวลผลไปยังระบบคลาวด์ (Cloud Computing) เพื่อตัดสินใจให้น้ำกับพืช และสามารถควบคุม สั่งการจากแอปพลิเคชัน Blynk ผ่านการสื่อสารแบบไร้สายเซลลูลาร์

1.2) การออกแบบฮาร์ดแวร์ กล้องควบคุมหลักมีอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ Espressif ESP32 Development Board (ESP32) อะแดปเตอร์แปลงไฟ 220VAC เป็น 12VDC 1A, เรกูเลเตอร์ Step

Down 12VDC เป็น 5VDC, รีเลย์โมดูล 4 ช่อง หม้อแปลง Input 220VAC Output 24VAC แผงวงจร Terminal Block 12 ช่อง และเต้าปลั๊กไฟ (รูปที่ 4.44)



รูปที่ 4.44 อุปกรณ์ในกล่องควบคุมหลัก

1.3) การออกแบบซอฟต์แวร์ ระบบการให้น้ำสำหรับพืชในโรงเรือนแบบอัตโนมัติจะใช้บอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ซึ่งมีการพัฒนาโปรแกรมภาษา C++ โดยใช้โปรแกรม Arduino IDE โดยการรับค่าความชื้นในดินจากเซ็นเซอร์ EC-5 ที่เป็นค่าทางไฟฟ้า แล้วทำการแปลงค่าทางไฟฟ้าให้เป็นค่าความชื้นในดินจากสมการที่ 1.1 ซึ่งคำสั่งนี้ใช้เตือนให้ทราบว่าต้องให้น้ำและหยุดให้น้ำแก่พืช

$$\text{Soil Moisture (\%)} = [34.396 \times \text{Voltage (V)}] - 5.6003 \quad (1.1)$$

โดยที่ Soil Moisture คือ ค่าความชื้นในดิน  
Voltage คือ ค่า Voltage ที่ได้จากเซ็นเซอร์ EC-5

1.4) การออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อใช้ในการควบคุม สั่งการ และแสดงค่าความชื้นในดิน/ วัสดุปลูก ของระบบการให้น้ำสำหรับพืชในโรงเรือนแบบอัตโนมัติจะใช้แอปพลิเคชัน Blynk ในการใช้งาน

2) การเปรียบเทียบและทดสอบระบบการให้น้ำในโรงเรือน โดยเริ่มจากการเปรียบเทียบเซ็นเซอร์ การติดตั้ง และการทดสอบระบบการให้น้ำ มีขั้นตอนคือ 1) เปรียบเทียบการทำงานของเซ็นเซอร์ (EC-5) ตรวจวัดความชื้นในดิน/วัสดุปลูก ซึ่งการทดสอบโดยปลูกมะเขือเทศในดินร่วนทราย ดินร่วนเหนียว และวัสดุปลูก แล้วเก็บค่าความชื้นในดินและวัสดุปลูกเป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าความชื้นจากค่าเซ็นเซอร์ และวิธีมาตรฐาน เมื่อได้ค่าความชื้นแล้วนำมาสร้างสมการหาค่าวิกฤตของความชื้นในดิน/วัสดุปลูก 2) ออกแบบระบบการตรวจวัด การรายงานผล และการจัดเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมในโรงเรือนด้วยเซ็นเซอร์อิเล็กทรอนิกส์ 3) ออกแบบและพัฒนาระบบการส่งข้อมูลเข้าด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและระบบประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ 4) ออกแบบและ



พัฒนาระบบการให้น้ำในโรงเรือนแบบอัตโนมัติ แล้วติดตั้งและทดสอบระบบควบคุมการให้น้ำในโรงเรือนแบบอัตโนมัติ (รูปที่ 4.45) 5) เก็บข้อมูลผลการทดสอบ



รูปที่ 4.45 การติดตั้งกล่องควบคุมระบบปั้มน้ำและโซลินอยด์วาล์ว และระบบน้ำหยดและหัวน้ำหยด

3) การทดสอบการทำงานของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของระบบควบคุมการให้น้ำ เพื่อตรวจสอบว่าการทำงานของซอฟต์แวร์นั้นถูกต้องตามที่กำหนดไว้หรือไม่ รวมทั้งตรวจสอบข้อผิดพลาดการใช้งานจริงของระบบ และทำการแก้ไขให้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังทดสอบการส่งและรับข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายไปยังแอปพลิเคชัน Blynk รวมถึงตรวจสอบการทำงานของระบบทั้งหมด ขั้นตอนระบบการทำงานแบบอัตโนมัติ มีดังนี้

3.1) ใช้เซ็นเซอร์ (EC-5) วัดความชื้นในดิน/วัสดุปลูกที่ปลูกมะเขือเทศไว้ โดยวัดค่าความชื้นออกมาในหน่วย analog 12 บิต (0-4095) แล้วแปลงเป็นหน่วย Volt (0-3.3V)

3.2) เมื่อได้ค่าความชื้นของดินในหน่วย Volt แล้วแปลงค่า Volt ที่ได้เป็นค่าความชื้นในหน่วยเปอร์เซ็นต์

3.3) เมื่อได้ค่าความชื้นในหน่วยเปอร์เซ็นต์แล้ว ระบบส่งค่าความชื้นในดิน/วัสดุปลูก ที่ได้ไปประมวลผลต่อที่บอร์ด ESP32 ซึ่งระบบเริ่มการทำงานจากขั้นตอนนี้

3.4) เมื่อบอร์ด ESP32 ประมวลผลค่าแล้ว ค่าความชื้นในดิน/วัสดุปลูก ที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่าวิกฤต (ค่าวิกฤตคือค่าที่บ่งบอกว่าควรให้น้ำหรือหยุดให้น้ำแก่พืช) จะสั่งให้บอร์ดรีเลย์ (4 Channels) ทำงาน

3.5) เมื่อบอร์ดรีเลย์ (4 Channels) ทำงาน กำหนดให้ Channel ที่ 3 เป็นตัวสั่งให้ปั้มทำงาน และ Channel ที่ 1 และ 2 เป็นตัวสั่งให้ Solenoid 1 และ Solenoid 2 ทำงานตามลำดับ เมื่อค่าความชื้นในดิน/วัสดุปลูก ต่ำกว่าค่าวิกฤตจึงเริ่มให้น้ำแก่พืช โดยที่เซ็นเซอร์ EC-5 จะส่งค่าความชื้นในดิน/วัสดุปลูก เข้ามาที่บอร์ด ESP32 เพื่อทำการประมวลผลตลอดเวลา

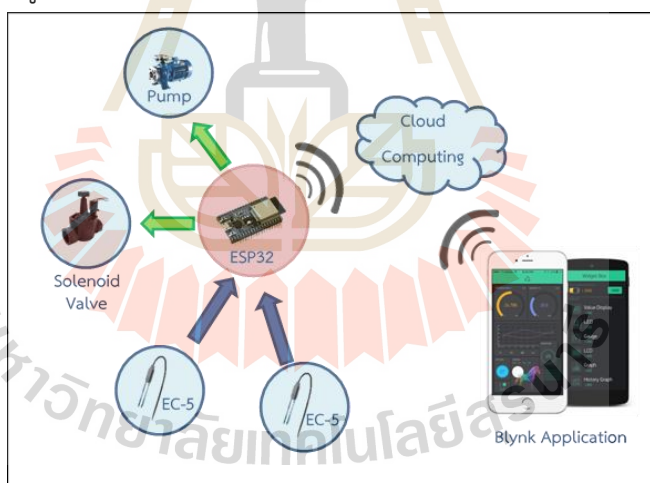
3.6) เมื่อค่าความชื้นในดิน/วัสดุปลูก มีค่ามากกว่าค่าที่กำหนด (36%) แล้วบอร์ด ESP32 จะสั่งให้รีเลย์ Channel ที่ 3 หยุดการทำงานของปั๊ม

4) การออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันให้น้ำอัตโนมัติในโรงเรือน

### 3.1.2 ผลออกแบบระบบการให้น้ำอัตโนมัติในโรงเรือนด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

จากการออกแบบและติดตั้งระบบการให้น้ำสำหรับพืชแบบอัตโนมัติในโรงเรือนแล้ว ทำการทดสอบเซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นในของวัสดุปลูกในโรงเรือน โดยมีการออกแบบระบบทางด้านฮาร์ดแวร์และออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการบันทึกผลข้อมูลการตรวจวัดบนระบบประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ (Cloud computing) การออกแบบระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและการรับ-ส่งข้อมูล

1) การออกแบบระบบรวม ระบบการให้น้ำสำหรับพืชในโรงเรือนแบบอัตโนมัติ ได้แผนการทำงานของระบบรวมดังรูปที่ 4.46 โดยใช้บอร์ด Espressif ESP32 Development Board (ESP32) ในการรับค่าความชื้นดินจากเซ็นเซอร์ EC-5 แล้วนำมาประมวลผลไปยังระบบคลาวด์ (Cloud Computing) เพื่อตัดสินใจให้น้ำกับพืช และสามารถควบคุม สั่งการจากแอปพลิเคชัน Blynk ผ่านการสื่อสารแบบไร้สายเซลลูลาร์

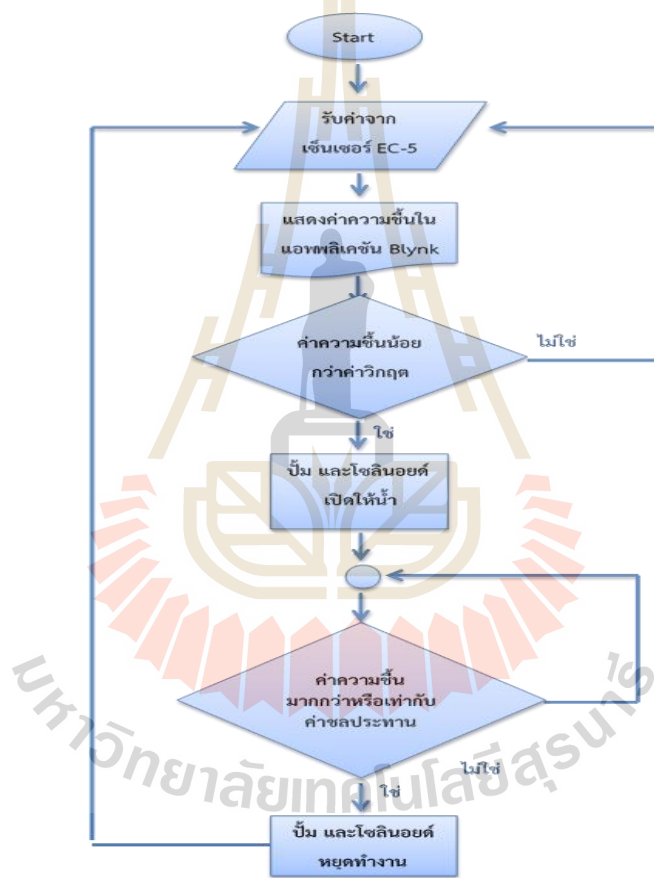


รูปที่ 4.46 แผนภาพการทำงานระบบรวมการให้น้ำสำหรับพืชในโรงเรือนแบบอัตโนมัติ

2) การออกแบบฮาร์ดแวร์ ได้แก่ Espressif ESP32 Development Board (ESP32) อะแดปเตอร์แปลงไฟ 220VAC เป็น 12VDC 1A, เรกูเลเตอร์ Step Down 12VDC เป็น 5VDC, รีเลย์ โมดูล 4 ช่อง หม้อแปลง Input 220VAC Output 24VAC ซึ่งการทำงานของระบบการให้น้ำสำหรับพืชในโรงเรือนแบบอัตโนมัติ มีขั้นตอนการทำงาน คือใช้อะแดปเตอร์แปลงไฟ 220VAC เป็น 12VDC จากนั้นแปลงจาก 12VDC เป็น 5VDC โดยใช้เรกูเลเตอร์เพื่อนำไปใช้กับบอร์ด ESP32 และรีเลย์โมดูล เพื่อให้ ESP32 รับค่าความชื้นในดินจาก EC-5 ทั้งสองตัวเพื่อนำมาประมวลผล และเมื่อ ESP32 ประมวลผลเสร็จจะส่งไปที่รีเลย์โมดูลเพื่อสั่งการให้ปั๊มน้ำกับโซลินอยด์เปิดทำงาน เมื่อค่าความชื้นใน

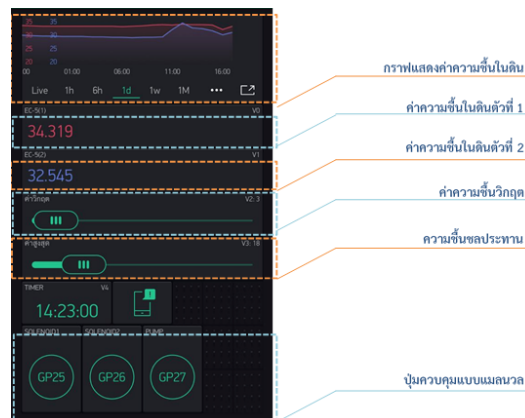
ดิน/วัสดุปลูกต่ำกว่าจุดวิกฤต (critical point) และหยุดให้น้ำเมื่อดิน/วัสดุปลูกพืช มีค่าความชื้นถึงค่าความชื้นชลประทาน (Field Capacity: FC) ซึ่งสามารถตั้งการทำงานให้เป็นแบบอัตโนมัติ และแบบแมนวล (Manual) โดยให้ค่าความชื้นในดิน/วัสดุปลูกพืช แสดงในแอปพลิเคชัน Blynk ทุกๆ 20 วินาที

3) การออกแบบซอฟต์แวร์ ระบบการให้น้ำสำหรับพืชในโรงเรือนแบบอัตโนมัติ มีโปรแกรมการทำงานดังรูปที่ 4.47 โดยมีขั้นตอนคือรับค่าความชื้นในดินจากเซ็นเซอร์ EC-5 ที่เป็นค่าทางไฟฟ้าแล้วทำการแปลงค่าทางไฟฟ้าให้เป็นค่าความชื้นในดิน เมื่อค่าความชื้นในดินต่ำกว่าจุดวิกฤต ปั๊มและโซลินอยด์จะทำงาน และหยุดเมื่อความชื้นในดินถึงค่าความชื้นชลประทาน



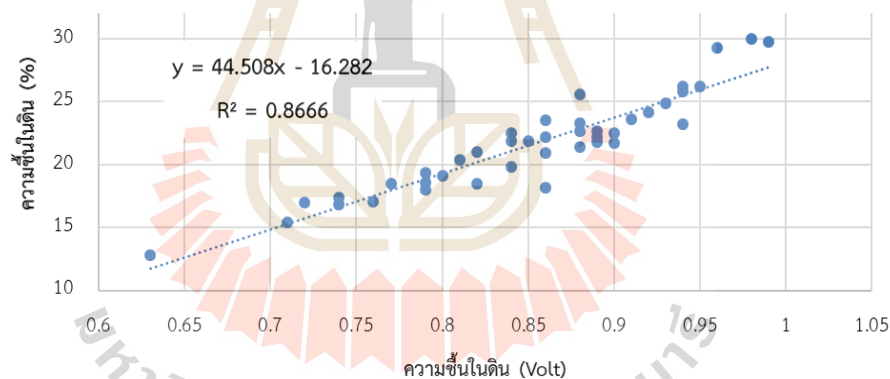
รูปที่ 4.47 แผนภาพการทำงานของระบบการให้น้ำสำหรับพืชในโรงเรือนแบบอัตโนมัติ

4) การออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชัน ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันสำหรับควบคุม สั่งการ และแสดงค่าความชื้นในดิน/วัสดุปลูกของระบบการให้น้ำสำหรับพืชในโรงเรือนแบบอัตโนมัติโดยใช้แอปพลิเคชัน Blynk ในการใช้งาน โดยหน้าต่างแอปพลิเคชัน Blynk แสดงดังรูปที่ 4.48

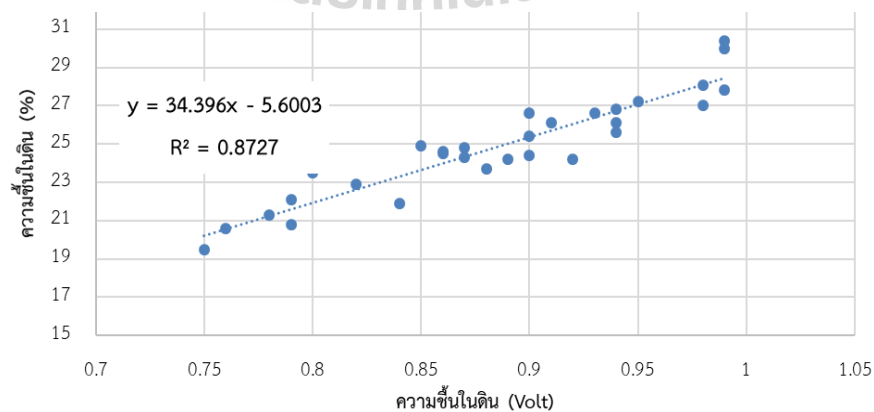


รูปที่ 4.48 หน้าต่างแอปพลิเคชัน Blynk

5) การปรับเทียบค่าเซ็นเซอร์เพื่อวัดความชื้นในดิน/วัสดุปลูก เมื่อทดสอบและเปรียบเทียบระหว่างความชื้นในดินหรือวัสดุปลูก ในหน่วย Volt และหน่วยเปอร์เซ็นต์ พบว่าในดินร่วนทราย และดินร่วนเหนียว ที่ใช้ในการปลูกทดสอบมะเขือเทศในดินร่วนทรายมีค่า  $R^2 = 0.866$  และในดินร่วนเหนียว  $R^2 = 0.872$  สูงกว่าการใช้วัสดุปลูกที่มีค่า  $R^2 = 0.590$  ซึ่งมีค่าต่ำ บ่งชี้ถึงความแม่นยำในการปรับค่าในดินมีสูงกว่าในวัสดุปลูก (รูปที่ 4.49, 4.50 และ 4.51)

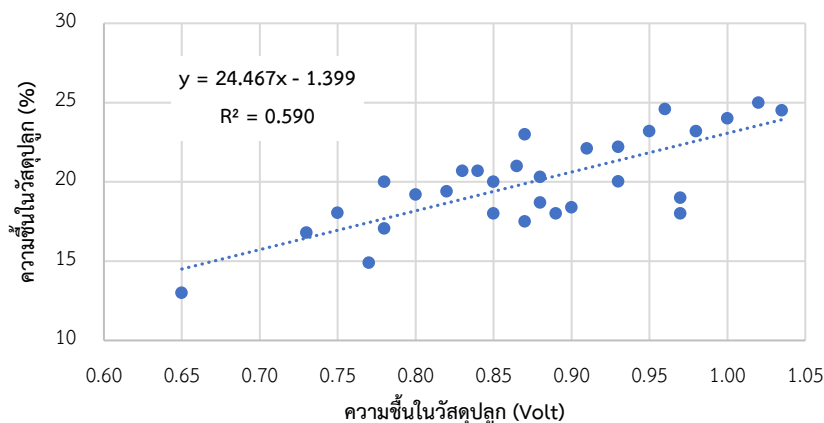


รูปที่ 4.49 กราฟและสมการความสัมพันธ์ระหว่าง ESP32 กับเครื่อง Procheck ของดินร่วนทราย



รูปที่ 4.50 กราฟและสมการความสัมพันธ์ระหว่าง ESP32 กับเครื่อง Procheck ของดินร่วนเหนียว





รูปที่ 4.51 กราฟและสมการความสัมพันธ์ระหว่าง ESP32 กับเครื่อง Procheck ของวัสดุปลูก

6) การออกแบบระบบการตรวจวัด การรายงานผลค่าจากข้อมูลจากระบบเครือข่ายไร้สาย กับข้อมูลที่วัดได้จริง เพื่อตรวจสอบโดยเปรียบเทียบการวัดความชื้นในวัสดุปลูกโดยใช้เครื่องมือวัด ความชื้นต่างกันระหว่าง Volt และค่าความชื้นในวัสดุปลูกในหน่วยเปอร์เซ็นต์พบว่ามีความใกล้เคียงกัน

7) ผลการทดสอบการใช้งานจริงของการออกแบบระบบการให้น้ำสำหรับพืชในโรงเรือน ของระบบการให้น้ำแบบอัตโนมัติ มีหลักการทำงานโดยการที่ sensor EC-5 ทำการส่งข้อมูลความชื้น เป็นอนาล็อกไปที่ ESP32 Module ทำการประมวลผลเพื่อแปลงให้เป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้น พร้อมทั้ง ส่งข้อมูลไปที่แอปพลิเคชัน Blynk ทุกๆ 10 วินาที เพื่อตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ความชื้นปัจจุบัน หากค่า ความชื้นที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าจุดวิกฤต (ค่าที่จุดวิกฤตสำหรับมะเขือเทศคือ 30%) แสดงดังรูปที่ 4.52 และอยู่ในช่วงเวลาที่ตั้งไว้จากการใช้ Timer ในแอปพลิเคชัน Blynk (เพื่อช่วยกำหนดขอบเขตเวลาใน การให้น้ำ) ESP32 จะทำการแจ้งเตือนเข้าไปในแอปพลิเคชัน Blynk เพื่อแจ้งเตือนสถานะ Pump-On และทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้ารีเลย์ เพื่อควบคุมการทำงานของรีเลย์ โดยรีเลย์จะคอยควบคุม การเปิดปิดของปั้มน้ำและโซลินอยด์วาล์ว ระบบจะเริ่มการให้น้ำแบบอัตโนมัติทันที โดยจะทำการให้ น้ำพืชไปเรื่อยๆ จนกระทั่ง sensor EC-5 สามารถวัดค่าความชื้นได้มากกว่าค่าสูงสุด ESP32 จะทำ การตัดไฟจากรีเลย์ ทำให้ปั้มน้ำและโซลินอยด์วาล์วหยุดทำงาน ระบบจะทำการประมวลผลอยู่ ตลอดเวลา และปั้มน้ำกับโซลินอยด์วาล์วจะเริ่มทำงานอีกครั้งเมื่อเข้าเงื่อนไขที่กล่าวไว้ข้างต้น



**รูปที่ 4.52** การวัดค่าความชื้นในดิน/วัสดุปลูก จากเซ็นเซอร์ส่งข้อมูลผ่าน WIFI ไปที่แอปพลิเคชัน Blynk และแสดงค่าต่ำกว่าจุดวิกฤต

8) ผลการทดสอบการทำงานของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ สรุปได้ดังนี้

8.1 กล่องควบคุมที่สร้างขึ้นเพื่อควบคุมระบบสามารถทำงานได้อย่างครบถ้วนทุกกระบวนการทั้งการวัดค่าความชื้นในดินหรือวัสดุปลูกจาก sensor EC-5 ส่งไปที่แอปพลิเคชัน Blynk และการประมวลผลของระบบการทำงานของรีเลย์รวมถึงกระบวนการให้น้ำทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

8.2 ระบบสามารถส่งค่าความชื้นในดินไปยังแอปพลิเคชัน Blynk ได้อย่างราบรื่น

8.3 รีเลย์สามารถควบคุมการทำงานของปั๊มและโซลินอยด์วาล์วได้อย่างมีประสิทธิภาพ

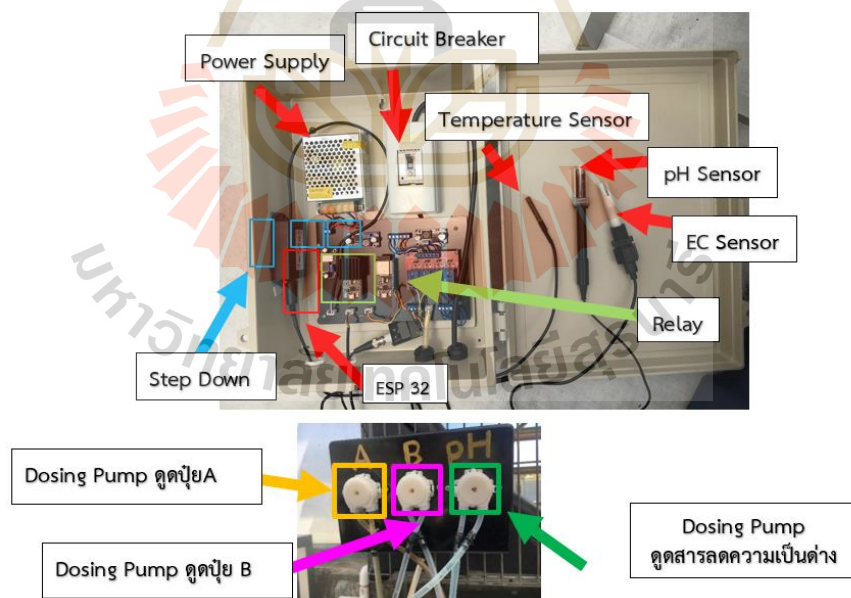
### 3.2 การออกแบบและพัฒนาระบบการให้ปุ๋ยแบบอัตโนมัติในโรงเรือนด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

โดยทั่วไปการให้ปุ๋ยกับพืชในโรงเรือนมีระบบอัตโนมัติที่มีราคาค่อนข้างสูง ทีมวิจัยจึงพัฒนาระบบการให้ปุ๋ยแก่พืชในโรงเรือนด้วยเครือข่ายไร้สายที่มีต้นทุนไม่สูงเกินไป เพื่อเป็นทางเลือกให้กับเกษตรกร โดยทำการออกแบบระบบให้ปุ๋ยทางน้ำในโรงเรือนด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเริ่มจาก 1) ออกแบบฮาร์ดแวร์ 2) การออกแบบและใช้งานโปรแกรม (software) สำหรับสำหรับควบคุมบอร์ด Arduino NodeMCU ESP-WROOM-32 Wi-Fi ที่ควบคุมการทำงานของระบบให้ปุ๋ยอัตโนมัติสำหรับพืชในโรงเรือน โดยเป็นการวัดจากค่าเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าในน้ำ (Electrical conductivity sensor, EC) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความเข้มข้นของปุ๋ยในสารละลาย และมีเซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยทั้งค่า EC และ pH ต้องปรับให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับพืชแต่ละชนิด 3) ก่อน

นำเซ็นเซอร์มาใช้ในการตรวจวัด EC pH และค่าต่างๆ ดังได้กล่าวมาแล้ว ต้องมีการปรับเทียบค่าที่วัดได้กับเครื่องมือวัดมาตรฐาน

### 3.2.1 วิธีการออกแบบและพัฒนาระบบการให้ปุ๋ยแบบอัตโนมัติในโรงเรือนด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

1) การออกแบบฮาร์ดแวร์หรือระบบควบคุมการตรวจวัดค่าของอุปกรณ์เซ็นเซอร์การรายงานผล และการจัดเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมในโรงเรือนโดยใช้เซ็นเซอร์ ได้แก่ เซ็นเซอร์วัดความเป็นกรด-ด่าง (pH sensor) เซ็นเซอร์วัดค่าเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าในน้ำ (EC sensor) เซ็นเซอร์อุณหภูมิแบบกันน้ำ (waterproof temperature sensor DS18B20) การใช้งานโปรแกรมสำหรับออกแบบหรือโปรแกรมสำหรับควบคุมบอร์ด Arduino NodeMCU ESP-WROOM-32 Wi-Fi ซึ่งควบคุมการทำงานของระบบให้ปุ๋ยสำหรับพืชในโรงเรือนให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าในน้ำ (EC) ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับพืชแต่ละชนิด ซึ่งการออกแบบฮาร์ดแวร์ ซึ่งอุปกรณ์ต้นแบบระบบให้ปุ๋ยสำหรับพืชในโรงเรือนแบบอัตโนมัตินี้เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับ pH sensor, EC sensor, Temperature sensor และรีเลย์ (Relay) โดยรีเลย์ควบคุมการทำงานของปั๊มสารละลายธาตุอาหารพืช A, B และค่า pH ดังรูปที่ 4.53



รูปที่ 4.53 การติดตั้งระบบปุ๋ยอัตโนมัติควบคุมการปลูกพืชในโรงเรือน

2) ทดสอบการทำงานของเซ็นเซอร์ต่างๆ โดยทำการตรวจวัดและเปรียบเทียบค่าที่ได้กับเครื่องมือวัดมาตรฐาน การทดสอบและการปรับเทียบเซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้า (EC Sensor) เซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH Sensor) และเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิของสารละลาย การทดลองนี้

เพื่อเปรียบเทียบเซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้า เซ็นเซอร์วัดความเป็นกรด-ด่าง เซ็นเซอร์วัดค่าอุณหภูมิ ให้มีค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดน้อยที่สุด ได้ค่าที่แม่นยำและเชื่อถือได้

- การทดสอบและปรับเทียบ (Calibrate) EC sensor เปรียบเทียบกับเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC Meter) โดยวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำยาคาร์เบต EC=1.413 ที่อุณหภูมิ 25°C ดังรูปที่ 9 จากนั้นบันทึกค่าที่วัดได้ เพื่อนำไปใช้ในการปรับเทียบเซ็นเซอร์ แล้วใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการอัปโหลดโค้ดที่ใช้ในการปรับเทียบเซ็นเซอร์ลงบอร์ด Arduino NodeMCU ESP-WROOM-32 Wi-Fi จากนั้นนำเซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย แล้วปรับเทียบเพื่อปรับค่าที่เซ็นเซอร์วัดได้ให้ตรงกับค่าที่บันทึกได้ ดังรูปที่ 4.54
- การทดสอบ pH sensor เพื่อปรับเทียบกับเครื่อง pH Meter โดยนำมาวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งวัดค่าของน้ำยาคาร์เบตที่มีค่า pH 4 จากนั้นบันทึกค่าแล้วเปิดโปรแกรม Arduino IDE อัปโหลดโค้ดการปรับเทียบค่า pH ลงบอร์ด Arduino NodeMCU ESP-WROOM-32 Wi-Fi ทำซ้ำจากอีกรอบโดยเปลี่ยนค่า pH โดยใส่น้ำยาเพิ่ม-ลด ค่า pH บันทึกค่าหาสมการ



รูปที่ 4.54 การทดสอบการทำงานของ EC sensor และ pH Probe

จากการปรับเทียบจะได้สมการที่เปลี่ยนเป็นค่า pH ได้ตามสมการ (1) เมื่อได้สมการทำการตรวจสอบ %Error ดังตารางที่ 4.20

$$Y = 3.2543X - 0.9693 \quad \text{—————} \quad (1)$$



ตารางที่ 4.20 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของค่าความเป็นกรด-ด่าง

pH sensor (Volt)	pH meter	ค่าที่ได้จากสมการ 4.1	% Error
0.68	1.16	1.24	0.07
1.07	2.17	2.51	15.80
1.27	2.68	3.16	18.05
1.24	3.00	3.07	2.20
1.52	4.00	3.98	0.57
1.56	4.18	4.11	1.74
1.98	4.76	5.47	15.00
2.19	6.26	6.16	1.64
2.34	6.90	6.65	3.68
2.44	7.78	6.97	10.40
3.03	9.60	8.89	7.38
3.29	10.00	9.74	2.63
3.57	10.94	10.65	2.66
3.99	12.14	12.02	1.03
4.27	12.76	12.93	1.31
4.91	13.91	15.01	7.90

- การทดสอบ Temperature sensor เปรียบเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิ นำมาวัดค่าอุณหภูมิของสารละลายที่เตรียมไว้ จากนั้นบันทึกค่าที่วัดได้ เพื่อนำไปใช้ในการเปรียบเทียบเซ็นเซอร์ จากนั้นเปิดโปรแกรม Arduino IDE แล้วอัปโหลดโค้ดที่ใช้ในการเปรียบเทียบเซ็นเซอร์ลงบอร์ด Arduino NodeMCU ESP-WROOM-32 Wi-Fi จากนั้นทำการปรับเทียบ (Calibrate) เพื่อปรับค่าที่เซ็นเซอร์วัดได้ให้ตรงกับค่าที่บันทึกไว้

3) การออกแบบซอฟต์แวร์เพื่อใช้ควบคุมระบบการให้ปุ๋ยอัตโนมัติ ประกอบไปด้วยการควบคุมทำงานของระบบควบคุมสารละลาย การส่งข้อมูลขึ้น Cloud Computing โดยใช้ NodeMCU และการพัฒนาแอปพลิเคชันโดยใช้ Blynk ซึ่งมีรายละเอียด คือ

- การทำงานของระบบควบคุมสารละลายธาตุอาหารพืชให้ทำงานอัตโนมัติตามเงื่อนไข โดยควบคุมผ่าน Application Blynk ซึ่งสามารถเลือกใช้ระบบแบบ Auto, Manual และ Setting Time on ส่วน Thing speak เป็นการเก็บข้อมูล ซึ่งระบบนี้สามารถตั้งค่าการทำงานได้ 3 รูปแบบคือ 1) ระบบ Auto ต้องตั้งค่า EC โดยค่าจากเซ็นเซอร์อ่านและส่งค่า

- ทุก 5 นาที 2) ระบบ Manual สามารถวัดค่าสารละลาย และสามารถ เปิด-ปิดปั๊มทั้งหมดได้ตามต้องการ 3) ระบบ Setting Time on กำหนดเวลาในการเปิดของปั๊ม
- การทำงานของปั๊มควบคุมสารละลายธาตุอาหาร A และ B ทำงานอัตโนมัติตามเงื่อนไข โดยปั๊ม A เป็นตัวดูดสารละลายธาตุอาหาร A ส่วนปั๊ม B เป็นตัวดูดสารละลายธาตุอาหาร B ซึ่งปั๊มทั้ง 2 ทำงานเมื่อ ESP32 ตรวจวัดค่าและประมวลผลว่าค่า EC มีค่าน้อยกว่า EC ที่ตั้งค่า ( $\pm 0.3$ ) แต่หากตรวจวัดค่าและประมวลผลแล้วค่า EC มีค่าเกินกว่า EC ที่ตั้งค่า ( $\pm 0.3$ ) ปั๊มน้ำจะทำงาน
  - การทำงานของระบบควบคุมความเป็นกรด-ด่าง (pH) จะทำงานอัตโนมัติตามเงื่อนไข โดยปั๊มน้ำ pH เป็นตัวดูดสารเพื่อปรับลดค่า pH ซึ่งทำงานเมื่อ ESP32 ตรวจวัดค่าและประมวลผลว่าค่า pH มีค่ามากกว่า pH ที่ตั้งค่า ( $\pm 0.3$ ) แต่หากตรวจวัดและประมวลผลแล้วค่า pH น้อยกว่า pH ที่ตั้งค่า ( $\pm 0.3$ ) ปั๊มน้ำจะทำงาน เนื่องจากน้ำที่ใช้เป็นน้ำประปามีค่าเป็นต่าง
  - การส่งข้อมูลขึ้น Cloud Computing โดยใช้ NodeMCU ซึ่ง Thingspeak เป็น Cloud ที่ถูกออกแบบสำหรับเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ IoT (Internet of Things) เป็นบริการฟรีทำงานสร้าง Chanel และ Field เพื่อเก็บข้อมูล EC และ pH ดังรูปที่ 4.55



รูปที่ 4.55 หน้าต่างที่มีข้อมูลอัปเดตบน Thingspeak ของ Channel EC และ pH

4) ออกแบบระบบการตรวจวัด การรายงานผลและการจัดเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมในโรงเรือนด้วยเซ็นเซอร์อิเล็กทรอนิกส์ EC, pH และอุณหภูมิ การออกแบบระบบการส่งข้อมูลในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย และระบบประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ และการตรวจสอบว่าระบบให้ปุ๋ย

สำหรับปลูกพืชในโรงเรือนมีการทำงานตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดได้อย่างถูกต้องหรือไม่ โดยได้มีขั้นตอนดังนี้

- เปิด Arduino IDE จากนั้นอัปโหลดเงื่อนไขการทำงานต่างๆ ของปั๊มลงบอร์ด Arduino Node MCU ESP-WROOM-32 Wi-Fi โดยกำหนดค่าที่แอปพลิเคชัน Blynk ดังนี้ EC=1.2 และนำสารละลายที่ได้วัดค่าจาก EC Meter มาเทียบกับค่าที่ได้จาก EC sensor โดยค่าที่วัดได้จาก EC Meter มีค่าดังนี้ 1.2, 1.2, 1.2, 1.6, 4.5, 0.80, 0.76 ตามลำดับ
- การทำงานของปั๊มในการทดลองเปิด-ปิด ปั๊มดูดสารละลาย A และปั๊มดูดสารละลาย B ทำงานพร้อมกัน จากนั้นเปิด Thing Speak ตรวจสอบสถานการณ์ทำงานของปั๊มว่าตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดหรือไม่ โดยกำหนดค่า pH = 6.0 และใช้สารละลายที่ได้วัดค่าจาก pH Meter โดยค่าที่วัดได้จาก pH Meter มีดังนี้ 6.0, 6.0, 6.0, 5.0, 4.0, 7.0 และ 7.0 ตามลำดับ แล้วสังเกตการทำงานของปั๊ม pH และตรวจสอบสถานะการทำงานของปั๊มผ่าน ThingSpeak

**\*\*หมายเหตุ** ในการทดลองนี้กำหนดช่วงระยะเวลาในการส่งข้อมูลขึ้น ThingSpeak รอบละ 30 วินาที

5) การพัฒนาแอปพลิเคชันควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยอัตโนมัติ โดยใช้ Blynk ซึ่งเป็น Cloud Platform ที่ให้บริการฟรี สำหรับ IoT ทั้ง Arduino, Raspberry Pi หรือ ESP32 โดยในโปรแกรมสามารถสร้างปุ่มกดเพื่อสั่งงานบน Module ผ่าน Wi-Fi ได้ หรือสามารถสร้างหน้าจอแสดงผลเป็นกราฟ โดยหน้าต่างของแอปพลิเคชันที่ใช้ในการควบคุมระบบให้น้ำและปุ๋ยสำหรับพืชในโรงเรือนแบบอัตโนมัติแสดงดังรูปที่ 4.56



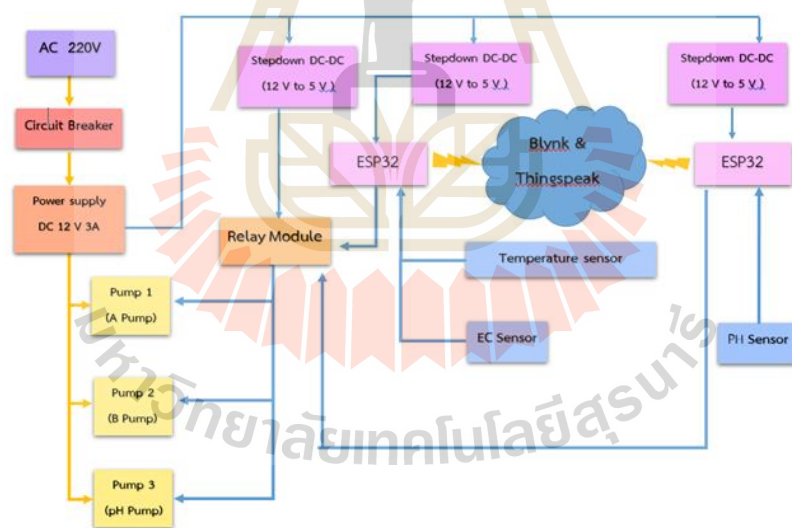
รูปที่ 4.56 หน้าต่างแอปพลิเคชันที่ใช้งานในระบบ

- 6) ติดตั้งและทดสอบระบบควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยในโรงเรือน
- 7) เก็บข้อมูลผลการทดสอบ วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

### 3.2.2 ผลการออกแบบและพัฒนาระบบการให้ปุ๋ยแบบอัตโนมัติในโรงเรือนด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

การออกแบบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ในการพัฒนาระบบการให้ปุ๋ยแบบอัตโนมัติมีวิธีการเหมือนกับการให้น้ำ (รูปที่ 4.57) โดยสรุปมีขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุมการให้ปุ๋ยอัตโนมัติในโรงเรือนประกอบด้วย

- การตรวจวัดโดยได้ค่า Ec, pH ความชื้น และอุณหภูมิ จากเซ็นเซอร์ที่อ่านได้ส่งให้ส่วนประมวลผลและเก็บข้อมูลโดยใช้บอร์ด Arduino NodeMCU ESP-WROOM-32 Wi-Fi
- เก็บข้อมูลแล้วนำค่าที่ได้ไปประมวลผลตามเงื่อนไขการทำงานของระบบ และส่งข้อมูลให้แสดงผลผ่าน Application Blynk
- ส่วนควบคุมและแสดงผลใช้ตรวจสอบข้อมูลของเซ็นเซอร์ EC และ pH Sensor, % RH Voltage Humidity และ Temperature sensor และยังสามารถควบคุมค่า EC และ pH ได้ตามต้องการผ่าน Application Blynk แล้วส่งค่าจากเซ็นเซอร์ไปแสดงผลที่ Thing speak
- ระบบเบรกเกอร์กันดูด (Earth Leakage Circuit Breaker) เป็นตัวตัดวงจรการทำงาน หากมีการรั่วของกระแสไฟฟ้าที่เชื่อมต่อมาจากไฟบ้าน (AC 220V)

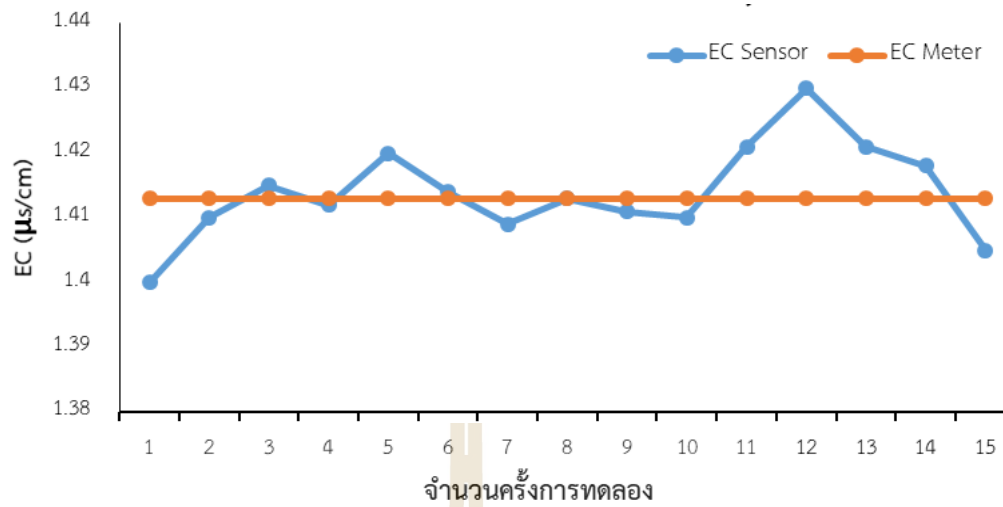


รูปที่ 4.57 ภาพรวมการทำงานของระบบการให้ปุ๋ยอัตโนมัติ

#### 1) ผลการทดสอบและเปรียบเทียบเซ็นเซอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

1.1) การทดสอบและการเปรียบเทียบเซ็นเซอร์ต่างๆ ได้แก่ เซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้า (EC Sensor) กับเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC Meter) พบว่าค่า EC จากเซ็นเซอร์มีค่าคลาดเคลื่อนเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าจาก EC meter (รูปที่ 4.58) อย่างไรก็ตามค่าที่ได้จากเครื่องมือทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยอยู่ในช่วงสามารถยอมรับได้ (ตารางที่ 4.21)





รูปที่ 4.58 กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบ EC Sensor กับ EC meter

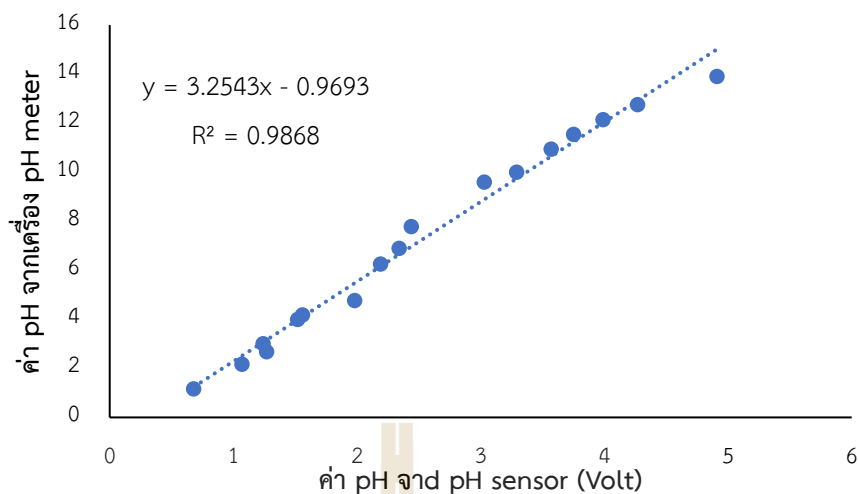
ตารางที่ 4.21 การเปรียบเทียบเซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้า (EC Sensor)

ครั้งที่	ค่า EC (μS/cm)		ค่าความคลาดเคลื่อน %Error = $\left  \frac{X_{\text{sensor}} - X_{\text{meter}}}{X_{\text{meter}}} \right  \times 100$
	EC Sensor	EC Meter	
1	1.400	1.413	0.92
2	1.410	1.413	0.21
3	1.415	1.413	0.14
4	1.412	1.413	0.07
5	1.420	1.413	0.49
6	1.414	1.413	0.07
7	1.409	1.413	0.28
8	1.413	1.413	0.00
9	1.411	1.413	0.14
10	1.410	1.413	0.21
11	1.421	1.413	0.56
12	1.430	1.413	1.20
13	1.421	1.413	0.56
14	1.418	1.413	0.35
15	1.405	1.413	0.56
ค่าเฉลี่ย	1.414	1.413	0.384

1.2) การทดสอบและการปรับเทียบเซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH sensor) กับ pH meter พบว่าการปรับเทียบค่าเซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH sensor) กับ pH meter พบว่ามีค่า  $R^2 = 0.9868$  ซึ่งมีค่าสูง (รูปที่ 4.59) และยังพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำยาคาร์เบต และค่าที่ได้ใกล้เคียงกับค่าจาก pH meter (ตารางที่ 4.22) จึงสามารถนำมาใช้ในการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ในสารละลายได้ ซึ่งนอกจากวัดค่าได้ถูกต้องแล้ว ยังสามารถวัดได้รวดเร็วและข้อมูลเป็นแบบเรียลไทม์

ตารางที่ 4.22 ตารางเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่าง จาก pH sensor และ pH meter

ครั้งที่	ค่าความเป็นกรด-ด่าง		ค่าความคลาดเคลื่อน $\%Error = \left  \frac{X_{sensor} - X_{meter}}{X_{meter}} \right  \times 100$
	pH Sensor	pH Meter	
1	4.000	4.100	2.50
2	4.000	4.100	2.50
3	4.000	4.000	0.00
4	4.000	4.168	4.20
5	4.000	4.110	2.75
6	4.000	4.019	0.48
7	4.000	4.020	0.50
8	4.000	4.012	0.30
9	4.000	4.090	2.25
10	4.000	4.169	4.23
11	4.000	4.044	1.10
12	4.000	4.000	0.00
13	4.000	3.980	0.50
14	4.000	4.120	3.00
15	4.000	4.000	0.00
ค่าเฉลี่ย	4.000	4.062	1.62



รูปที่ 4.59 กราฟและสมการที่ได้จากการปรับเทียบ (Calibration)

1.3) การทดสอบวัดค่าและการปรับเทียบเซ็นเซอร์อุณหภูมิกับอุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิ พบค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์มีค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัดอุณหภูมิ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยในช่วงสามารถยอมรับได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 การเปรียบเทียบเซ็นเซอร์วัดค่าอุณหภูมิ

ครั้งที่	ค่าอุณหภูมิ (°C)		ค่าความคลาดเคลื่อน %Error = $\left  \frac{X_{\text{sensor}} - X_{\text{meter}}}{X_{\text{meter}}} \right  \times 100$
	Temperature Sensor	เครื่องวัดอุณหภูมิ	
1	28.31	29.20	3.04
2	28.31	29.20	3.04
3	28.31	29.20	3.04
4	28.31	29.20	3.04
5	28.31	29.20	3.04
6	28.31	29.20	3.04
7	28.31	29.20	3.04
8	28.31	29.20	3.04
9	28.31	29.20	3.04
10	28.31	29.20	3.04
11	28.31	29.20	3.04
12	28.31	29.20	3.04
13	28.31	29.20	3.04
14	28.31	29.20	3.04
15	28.31	29.20	3.04
ค่าเฉลี่ย	28.31	29.20	3.04

2) ผลการออกแบบซอฟต์แวร์และการทดสอบระบบการทำงานของ ThingSpeak ตารางที่ 4.24 เป็นการแสดงตัวอย่างการเก็บข้อมูลและการรายงานผลของค่าการนำไฟฟ้า (EC) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิ (Temp) ของสารละลายธาตุอาหารพืช โดยบันทึกผลการทดลองต่อเนื่องเป็นเวลา 1 เดือน พบว่าค่า EC, pH มีการเปลี่ยนแปลง แต่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงมากนักมีค่าอยู่ระหว่าง 25–30 °C ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ค่า EC และ pH มีการเปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากปัจจัยหลายประการ เช่น สภาพอากาศมีความแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาของวัน ซึ่งมีผลต่อการดูดและคายน้ำของพืช ส่งผลให้ค่า EC ค่า pH และค่าอุณหภูมิ ของสารละลายมีการเปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารยังอยู่ในช่วงที่เหมาะสมแก่การปลูกพืช

ตารางที่ 4.24 ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารพืชจากเซ็นเซอร์

ครั้งที่	ค่าการนำไฟฟ้า EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	ค่า pH	อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	1980	6.50	26.31
2	1200	6.10	27.31
3	1100	6.20	25.88
4	1200	6.13	28.00
5	1200	6.20	25.94
6	1400	6.07	30.69
7	1200	6.34	26.62
8	1200	6.20	27.62
ค่าเฉลี่ย	1310	6.22	27.29

3) ผลการออกแบบระบบการตรวจวัด การรายงานผล และการเก็บข้อมูลในโรงเรือนระบบให้ปุ๋ยสำหรับพืชในโรงเรือนแบบอัตโนมัติ (Automatic control system for hydroponics) โดยใช้ ESP32 เป็นระบบควบคุมและรับค่าการนำไฟฟ้า (EC) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิ เพื่อส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ไปประมวลผลตามเงื่อนไขการทำงานของระบบ ระบบควบคุมที่ออกแบบผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

3.1) เซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้า (EC Sensor) ใช้วัดความเข้มข้นของสารละลาย โดย ESP32 รับค่าที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์และประมวลผลให้ค่าที่อยู่ในช่วงที่กำหนดได้

3.2) เซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH Sensor) ใช้วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ในสารละลายธาตุอาหาร โดย ESP32 รับค่าที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์และประมวลผลให้ค่าที่อยู่ในช่วงที่กำหนด

3.3) ThingSpeak เป็น Cloud Platform ให้บริการสำหรับ IoT และยังสามารถแสดงผลข้อมูลในรูปแบบของกราฟ หรือ Export ข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้

3.4) Blynk เป็น Application ทำหน้าที่แสดงผลค่าพารามิเตอร์และใช้ในการควบคุมการเปิด/ปิดปั๊ม โดยแบ่งเป็น 3 ระบบคือ 1) Auto คือส่วนที่ใช้กำหนดค่า EC และ pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิดแบบอัตโนมัติ และแสดงค่าพารามิเตอร์ (EC, pH, อุณหภูมิ) และสถานะการทำงานของปั๊ม A, B และ pH 2) Manual คือส่วนที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของปั๊ม A, B, pH และควบคุมการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ EC, pH และอุณหภูมิด้วยตัวเอง 3) Set time คือส่วนที่กำหนดเวลาในการปิด-เปิดของปั๊ม A, B, pH และปั๊มน้ำ

3.5) ระบบควบคุมสารละลายในการปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์ เมื่อกำหนดค่า EC และ pH ที่ต้องการแล้วเซ็นเซอร์ EC, pH, Temperature จะวัดค่าโดยถ้าค่ายังอยู่ในช่วงที่กำหนด ( $\pm 0.3$ ) ปั๊ม A, B, pH และปั๊มน้ำจะไม่ทำงาน แต่ถ้าไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด ปั๊ม A, B, pH และปั๊มน้ำ จะทำงานตามเงื่อนไข ต่อจากนั้นจะส่งข้อมูลขึ้น Cloud Computing ผ่าน Thingspeakm ทุกๆ 5 นาทีและแสดงผลบนแอปพลิเคชัน Blynk และผลการปลูกพืช

3.6) การทดสอบระบบการให้ปุ๋ยอัตโนมัติในโรงเรือนด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เป็นการแสดงการทำงานตามเงื่อนไข (ตารางที่ 4.25) ดังนี้

- กรณีที่ 1 EC ที่กำหนด = EC ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้ ( $\pm 0.3$ ) ซึ่งค่า EC ที่เซ็นเซอร์อ่านได้มีค่าเท่ากับ EC ที่กำหนด สถานะปั๊ม A&B และปั๊มน้ำจึงไม่ทำงาน

- กรณีที่ 2 EC ที่กำหนด = EC ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้ ( $\pm 0.3$ ) ซึ่งค่า EC ที่เซ็นเซอร์อ่านได้มีค่า 1.205 ซึ่งต่างจากค่าที่กำหนดไว้ 0.005 ทำให้สถานะปั๊ม A&B และปั๊มน้ำไม่ทำงานเนื่องจากกำหนดให้ทำงานเมื่อค่า เกินจากที่กำหนด  $\pm 0.3$

- กรณีที่ 3 EC ที่กำหนด = EC ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้ ( $\pm 0.3$ ) ซึ่งค่า EC ที่เซ็นเซอร์อ่านได้มีค่า 1.198 ซึ่งต่างจากค่าที่กำหนดไว้ 0.002 ทำให้สถานะปั๊ม A&B และปั๊มน้ำไม่ทำงานเนื่องจากกำหนดให้ทำงานเมื่อค่า เกินจากที่กำหนด  $\pm 0.3$

- กรณีที่ 4 EC ที่กำหนด > EC ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้ ซึ่งค่า EC ที่เซ็นเซอร์อ่านได้มีค่า 1.52 ซึ่งต่างจากค่าที่กำหนดไว้ 0.32 เกินจากค่าที่กำหนดไว้ ทำให้ปั๊มน้ำทำงาน แต่ปั๊ม A&B ไม่ทำงานเนื่องจาก ค่า EC ที่เซ็นเซอร์อ่านได้มีค่าสูงกว่าที่กำหนดไว้ จึงทำให้ปั๊มน้ำทำงานเพื่อเจือจางความเข้มข้น ทำให้ค่า EC มีค่าลดลง

- กรณีที่ 5 EC ที่กำหนด > EC ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้ ซึ่งค่า EC ที่เซ็นเซอร์อ่านได้มีค่า 4.527 ซึ่งต่างจากค่าที่กำหนดไว้ 3.327 เกินจากค่าที่กำหนดไว้ ทำให้ปั๊มน้ำทำงาน แต่ปั๊ม A&B ไม่ทำงาน



เนื่องจากค่า EC ที่เซ็นเซอร์อ่านได้มีค่าสูงกว่าที่กำหนด จึงทำให้ปั๊มน้ำทำงานเพื่อเจือจางความเข้มข้น ทำให้ค่า EC มีค่าลดลง

- กรณีที่ 6 EC ที่กำหนด < EC ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้ซึ่งค่า EC ที่เซ็นเซอร์อ่านได้มีค่า 0.822 ซึ่งต่างจากค่าที่กำหนดไว้ 0.378 น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ ทำให้ปั๊ม A&B ทำงาน แต่ปั๊มน้ำไม่ทำงาน เนื่องจาก ค่า EC ที่เซ็นเซอร์อ่านได้มีค่าสูงกว่าที่กำหนดไว้ จึงทำให้ปั๊ม A&B ทำงานเพื่อเพิ่มความเข้มข้น ทำให้ค่า EC มีค่าเพิ่มขึ้น

- กรณีที่ 7 EC ที่กำหนด < EC ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้ซึ่งค่า EC ที่เซ็นเซอร์อ่านได้มีค่า 0.751 ซึ่งต่างจากค่าที่กำหนดไว้ 0.449 น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ ทำให้ปั๊ม A&B ทำงาน แต่ปั๊มน้ำไม่ทำงาน เนื่องจากค่า EC ที่เซ็นเซอร์อ่านได้มีค่าน้อยกว่าที่กำหนดไว้ จึงทำให้ปั๊ม A&B ทำงานเพื่อเพิ่มความเข้มข้น ค่า EC มีค่าเพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4.26 เป็นการแสดงการทำงานตามเงื่อนไขดังนี้

- กรณีที่ 1 pH ที่กำหนด = pH ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้ ( $\pm 0.3$ ) pH ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้ ( $\pm 0.3$ ) ซึ่งค่า pH ที่เซ็นเซอร์อ่านได้มีค่าเท่ากับ pH ที่กำหนด สถานะปั๊ม pH และ ปั๊มน้ำจึงไม่ทำงาน

- กรณีที่ 2 pH ที่กำหนด = pH ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้ ( $\pm 0.3$ ) ค่า pH ที่เซ็นเซอร์อ่านได้มีค่า 5.80 ซึ่งต่างจากค่าที่กำหนดไว้ 0.2 ทำให้สถานะปั๊ม pH และ ปั๊มน้ำจึงไม่ทำงานเนื่องจาก กำหนดให้ทำงานเมื่อค่า เกินจากที่กำหนด  $\pm 0.3$

- กรณีที่ 3 pH ที่กำหนด = pH ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้ ( $\pm 0.3$ ) ค่า pH ที่เซ็นเซอร์อ่านได้มีค่า 6.15 ซึ่งต่างจากค่าที่กำหนดไว้ 0.15 ทำให้สถานะปั๊ม pH และ ปั๊มน้ำจึงไม่ทำงานเนื่องจาก กำหนดให้ทำงานเมื่อค่า เกินจากที่กำหนด  $\pm 0.3$

- กรณีที่ 4 pH ที่กำหนด > pH ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้ ซึ่งค่า pH ที่เซ็นเซอร์อ่านได้มีค่า 5.10 ซึ่งต่างจากค่าที่กำหนดไว้ 0.9 น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ ทำให้ปั๊มน้ำทำงาน แต่ปั๊ม pH ไม่ทำงาน เนื่องจาก ค่า pH ที่เซ็นเซอร์อ่านได้มีความเป็นกรดมากกว่าที่กำหนดไว้ ทำให้ปั๊มน้ำทำงาน เพราะ น้ำที่ใช้มีค่าไปทางด่าง ส่วนปั๊ม pH ไม่ทำงานเนื่องจากสารที่อยู่ใช้เป็นสารลดค่า pH

- กรณีที่ 5 pH ที่กำหนด > pH ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้ ซึ่งค่า pH ที่เซ็นเซอร์อ่านได้มีค่า 4.0 ซึ่งต่างจากค่าที่กำหนดไว้ 2.0 น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ ทำให้ปั๊มน้ำทำงาน แต่ปั๊ม pH ไม่ทำงาน เนื่องจาก ค่า pH ที่เซ็นเซอร์อ่านได้มีค่ามากกว่าที่กำหนดไว้ ทำให้ปั๊มน้ำทำงาน เพราะน้ำที่ใช้มีค่าเป็นด่าง ส่วนปั๊ม pH ไม่ทำงานเนื่องจากสารที่อยู่ใช้เป็นสารลดค่า pH

- กรณีที่ 6 pH ที่กำหนด < pH ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้ ซึ่งค่า pH ที่เซ็นเซอร์อ่านได้มีค่า 7.00 ซึ่งต่างจากค่าที่กำหนดไว้ 1.0 มากกว่าค่าที่กำหนดไว้ ทำให้ปั๊ม pH ทำงาน แต่ปั๊มน้ำไม่ทำงาน

เนื่องจาก ค่า pH ที่เซ็นเซอร์อ่านได้มีความเป็นต่างมากกว่าที่กำหนดไว้ ทำให้ปั๊ม pHทำงาน เพราะสารที่อยู่ใช้เป็นสารลดค่า pH ส่วนปั๊มน้ำมีค่าไปทางต่าง

- กรณีที่ 7 pH ที่กำหนด < pH ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้ ซึ่งค่า pH ที่เซ็นเซอร์อ่านได้มีค่า 7.50 ซึ่งต่างจากค่าที่กำหนดไว้ 1.5 มากกว่าค่าที่กำหนดไว้ทำให้ปั๊ม pH ทำงาน แต่ปั๊มน้ำไม่ทำงาน เนื่องจากค่า pH ที่เซ็นเซอร์อ่านได้มีความเป็นต่างมากกว่าที่กำหนดไว้ ทำให้ปั๊ม pH ทำงาน เพราะสารที่อยู่ใช้เป็นสารลดค่า pH

**ตารางที่ 4.25** ผลการตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของระบบควบคุมสารละลายธาตุอาหารตามเงื่อนไขที่กำหนด

เงื่อนไข	Input		output	
	EC ที่กำหนด	EC Sensor	A&B Pump	Water Pump
EC ที่กำหนด=EC ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้ ( $\pm 0.3$ )	1.200	1.200	OFF	OFF
EC ที่กำหนด=EC ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้ ( $\pm 0.3$ )	1.200	1.205	OFF	OFF
EC ที่กำหนด=EC ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้ ( $\pm 0.3$ )	1.200	1.198	OFF	OFF
EC ที่กำหนด>EC ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้	1.200	1.520	OFF	ON
EC ที่กำหนด>EC ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้	1.200	4.527	OFF	ON
EC ที่กำหนด<EC ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้	1.200	0.822	ON	OFF
EC ที่กำหนด<EC ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้	1.200	0.751	ON	OFF

**ตารางที่ 4.26** ผลการตรวจวัดค่า pH ของระบบควบคุมสารละลายธาตุอาหารตามเงื่อนไขที่กำหนด

เงื่อนไข	Input		output	
	pH ที่กำหนด	pH Sensor	pH Pump	Water Pump
pH ที่กำหนด=pH ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้ ( $\pm 0.3$ )	6.00	6.00	OFF	OFF
pH ที่กำหนด=pH ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้ ( $\pm 0.3$ )	6.00	5.80	OFF	OFF
pH ที่กำหนด=pH ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้ ( $\pm 0.3$ )	6.00	6.15	OFF	OFF
pH ที่กำหนด > pH ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้	6.00	5.10	OFF	ON
pH ที่กำหนด > pH ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้	6.00	4.00	OFF	ON
pH ที่กำหนด < pH ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้	6.00	7.00	ON	OFF
pH ที่กำหนด < pH ที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้	6.00	7.50	ON	OFF

ผลการทดลองพบว่าระบบควบคุมสารละลายในการปลูกพืชในโรงเรือนใช้งานได้ดี มีความเสถียรของระบบ หากเกษตรกรนำระบบนี้ไปใช้งานจะง่ายต่อการควบคุมและติดตามความเข้มข้นของสารละลายให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม นอกจากนี้ระบบควบคุมสารละลายช่วยให้สามารถควบคุมค่าการนำไฟฟ้า (EC) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสารละลายอยู่ในช่วงที่พืชต้องการได้ในทุกช่วงระยะของการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตสม่ำเสมอทุกฤดู

#### กิจกรรมที่ 4 การพัฒนาและทดสอบระบบการควบคุมแสงภายในโรงเรือนปลูกพืชอัจฉริยะ

การปลูกพืชในโรงเรือนหรือระบบปิดมักมีแสงไม่เพียงพอจึงต้องมีการประยุกต์ใช้หลอดไฟเพื่อทดแทนแสงจากดวงอาทิตย์ให้กับพืช ซึ่งหลอดไฟที่ใช้ทดแทนมักเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์เนื่องจากหาซื้อง่าย ราคาไม่แพง แต่หลอดไฟนี้ให้แสงในช่วงสีเขียวยาวซึ่งไม่เหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช หรืออาจมีการใช้หลอดไฟ plant growth lights แต่มีความยาวคลื่นแสงที่ไม่เหมาะกับการเจริญเติบโตของพืชเช่นกัน ดังนั้นจึงมีการประยุกต์ใช้หลอดไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting diode, LED) เพราะสามารถเปล่งแสงออกมาเป็นคลื่นความถี่เดียวและมีเฟสต่อเนื่อง มีประสิทธิภาพการให้แสงสว่างดีกว่าหลอดชนิดอื่น รวมทั้งสามารถเลือกช่วงความยาวคลื่นแสงแบบจำเพาะเจาะจงได้จากคุณสมบัติที่กล่าวมาหลอดไฟ LED จึงถูกนำมาใช้ในการปลูกพืช อย่างไรก็ตามต้องมีการพัฒนาระบบให้ใช้ได้ง่าย และต้องทดสอบความเข้มแสง และความยาวคลื่นแสงให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิด

##### 4.1 การพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับควบคุมความเข้มแสง และความยาวคลื่นแสง

###### 4.1.1 วิธีการพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับควบคุมความเข้มแสง และความยาวคลื่นแสง

- 1) ออกแบบและติดตั้งระบบควบคุมแสงในโรงเรือน (ระบบหลอดไฟ LED ที่ช่วยในการเพิ่มแสงให้เพียงพอกับความต้องการของพืช)
- 2) ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง วัดความยาวคลื่นแสง และความชื้นสัมพัทธ์ ในโรงเรือนที่มีการปลูกผักชนิดต่างๆ และวัดการเจริญเติบโตของผัก
- 3) ตรวจสอบระบบแสงในหลายช่วงคลื่นเพื่อใช้ในโรงเรือนจำลองทดสอบระบบเซ็นเซอร์และตรวจสอบระบบแสงภายในโรงเรือนจำลอง เมื่อทำการทดลองปลูกผักชนิดต่างๆ
- 4) ปลูกผักในสภาพที่มีการควบคุมระบบที่มีความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสง และความยาวคลื่น ตามที่กำหนด หากไม่เป็นตามกำหนดต้องปรับระบบให้ได้ตามต้องการ โดยมีระบบเซ็นเซอร์วัดสภาพแวดล้อม และหากเกินระดับที่ต้องการจะมีการควบคุมสภาพแวดล้อมโดยมีการส่งสัญญาณและมีการปรับระบบอัตโนมัติ

5) บันทึกข้อมูลสภาพแวดล้อมตลอดระยะเวลาการปลูก ความแปรปรวนของสภาพแวดล้อมหลังจากมีการควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ บันทึกการเจริญเติบโตพืช ผลผลิต และคุณภาพผลผลิต

ระบบไฟแบบ LED สำหรับการปลูกพืชในโรงเรือน ได้เลือกใช้หลอด LED ที่มีคุณลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้าที่มีค่าแรงดันการใช้งานและย่านของความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน (สีแดง สีน้ำเงิน และสีขาว) ตามชนิดของหลอด LED สำหรับการปลูกพืชในโรงเรือน (ตารางที่ 4.27) จากนั้นออกแบบวงจรควบคุมความเข้มแสงของไฟ LED โดยภาพรวมคือการออกแบบวงจรจ่ายกระแสให้ไฟ LED ให้สามารถปรับค่าความเข้มแสงได้โดยใช้หลักการควบคุมความกว้างของพัลส์ (Pulse Width Modulation : PWM) การควบคุมวงจรขับเคลื่อนควบคุมการส่องสว่างของ LED ทำงานร่วมกับแอปพลิเคชัน ใช้บอร์ด NodeMCU ที่ทำงานเชื่อมต่อกับอินเตอร์เน็ตมาควบคุมการทำงาน ซึ่งการควบคุมความส่องสว่างของ LED ในการทดลองนี้ใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการควบคุม และการแสดงผลค่าความส่องสว่างผ่านแอปพลิเคชัน Blynk เพื่อให้ได้ความเข้มแสงตามที่พืชต้องการ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ จากนั้นพัฒนาแอปพลิเคชันที่สามารถควบคุมความเข้มของโคมไฟ LED และแสดงผลค่าความเข้มแสงบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ (Mobile devices) จากนั้นนำอุปกรณ์ควบคุมการส่องสว่างของไฟ LED ไปทดสอบใช้งานจริงกับการปลูกพืชในโรงเรือน โดยได้พัฒนาทั้งหมด 5 ขั้นตอนคือ 1) การออกแบบอุปกรณ์ควบคุมการส่องสว่างของ LED 2) การทดลองการเปิด/ปิดอุปกรณ์ 3) การทดลองการปรับความสว่างของระบบควบคุมไฟ LED 4) การทดลองการทำงานของแอปพลิเคชัน Blynk และ 5) การทดลองใช้งานจริงกับพืชในโรงเรือน เพื่อทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนต่อไปนี้

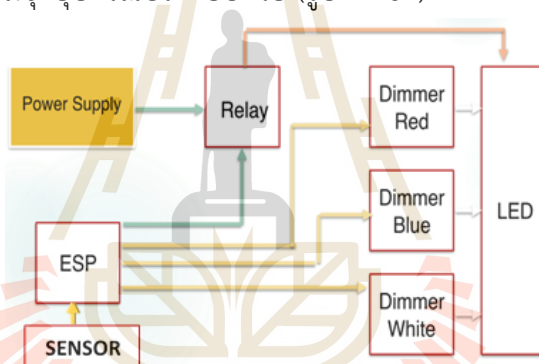
ตารางที่ 4.27 คุณลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้าของหลอด LED สำหรับการปลูกพืชในโรงเรือน

Power (Watt)	Color	Wavelength/ Temperature	Forward Voltage (V)	Forward Current (A)	Luminous Flux (lm)	Lens Angle (Degree)
5	Red	640–660nm	2.0–2.2 V	1200 mA	115–120	120
5	Blue	460–470nm	6.0–7.0 V	700 mA	400–500	120
5	White	4000–4500K	6.0–7.0 V	700 mA	500–600	120



รูปที่ 4.60 วงจรควบคุมความเข้มแสงของโคมไฟ LED หลอดไฟ LED ขนาด 5 และ 480 วัตต์

1) การออกแบบอุปกรณ์ควบคุมการส่องสว่างของ LED ซึ่งชุดอุปกรณ์ต้นแบบเป็นการทำงานร่วมกันของโมดูลเซ็นเซอร์วัดแสง BH1750 วงจรขับกระแสควบคุมการส่องสว่างของ LED และบอร์ด NodeMCU ที่ทำงานเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตมาควบคุมการทำงาน โดยการควบคุมความส่องสว่างของ LED ใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการควบคุม และการแสดงผลค่าความส่องสว่างผ่านแอปพลิเคชัน Blynk โดยมีชุดอุปกรณ์ประกอบด้วย (รูปที่ 4.61)



รูปที่ 4.61 อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการส่องสว่างของ LED

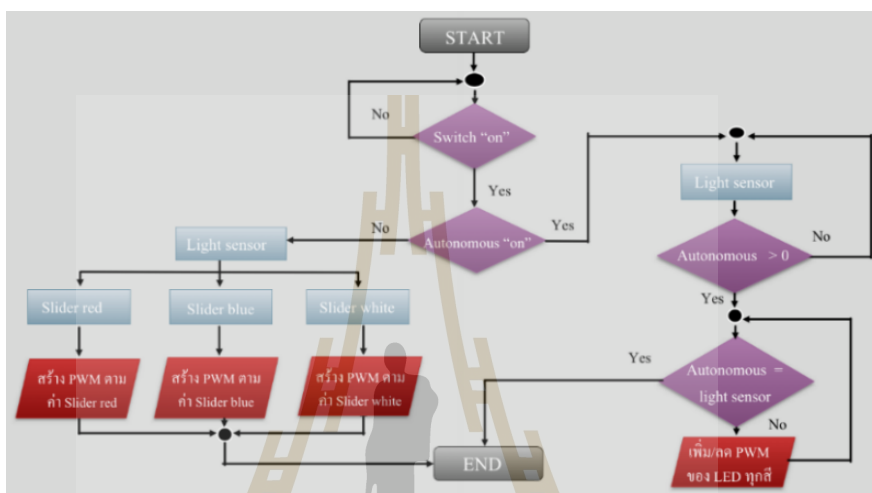
2) หลักการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมการส่องสว่างของ LED มีหลักการทำงานดังรูปที่ 4.62 โดยรับข้อมูลจากโมดูลเซ็นเซอร์วัดแสง BH1750 จากนั้น NodeMCU ดึงข้อมูลมาประมวลผล และควบคุมการทำงานตามเงื่อนไขโปรแกรมที่เขียนไว้เพื่อปรับสัญญาณพัลส์ (Duty cycle) แล้วส่งต่อไปยังวงจรควบคุมการส่องสว่างของ LED ให้ปรับความเข้มการส่องสว่างของหลอดไฟตามที่กำหนด โดยมีเงื่อนไขการทำงาน

โดยหลักการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมการส่องสว่างของ LED มีดังนี้

*การทำงานแบบอัตโนมัติ* มีหลักการคือเมื่อความเข้มแสงมีค่าน้อยกว่าค่าที่ต้องการ NodeMCU จะสั่งการเพื่อปรับค่า Duty cycle ของสัญญาณพัลส์ให้เพิ่มขึ้น ไฟทุกสีจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น เท่ากันจนความเข้มแสงของหลอดไฟมีค่าตามต้องการ แต่หากความเข้มแสงมีค่ามากกว่าต้องการ NodeMCU จะสั่งการเพื่อปรับค่า Duty cycle ของสัญญาณพัลส์ให้ลดลง ไฟทุกสีจะค่อยๆ ลดลง เท่ากันจนความเข้มแสงของหลอดไฟมีค่าตามต้องการ



การทำงานแบบปกติ มีหลักการคือเมื่อค่าระดับความสว่างของหลอดไฟสีแดง สีขาว หรือสีน้ำเงิน มีค่ามากขึ้น NodeMCU จะสั่งการเพื่อปรับค่า Duty cycle ของสัญญาณพัลส์ให้เพิ่มขึ้น วงจรควบคุมการส่องสว่างของ LED ได้รับสัญญาณพัลส์เพิ่มขึ้นจะทำการขับกระแสสูงขึ้นทำให้ไฟสว่างขึ้น แต่เมื่อค่าระดับความสว่างของหลอดไฟสีแดง สีขาว หรือสีน้ำเงิน มีค่าน้อยลง NodeMCU จะสั่งการเพื่อปรับค่า Duty cycle ของสัญญาณพัลส์ให้ลดลงวงจรควบคุมการส่องสว่างของ LED ได้รับสัญญาณพัลส์ลดลงจะทำการขับกระแสลดลงทำให้ไฟสว่างน้อยลง



รูปที่ 4.62 ผังการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมการส่องสว่างของ LED

สำหรับการทดสอบการปรับความสว่างของระบบควบคุมไฟ LED การทดลองเริ่มจากการนำอุปกรณ์ควบคุมการส่องสว่างของไฟ LED จากนั้นเชื่อมต่อ Wi-Fi ของอุปกรณ์ควบคุมการส่องสว่างของไฟ LED กับโทรศัพท์มือถือเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงาน แล้วนำ Digital multimeter มาเชื่อมต่อเพื่อวัดกระแสแล้วทำการปรับค่าระดับความสว่างของไฟ LED อ่านค่ากระแสบน Digital multimeter แล้วบันทึกผลการทดสอบ

3) การทดสอบการควบคุมและแสดงผลค่าความเข้มการส่องสว่างบนแอปพลิเคชัน Blynk การใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการส่องสว่างของ LED ต้องควบคุมผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ที่เชื่อมต่อผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ทำให้สะดวกต่อการใช้งานมากขึ้นมี 2 รูปแบบ คือ 1) การใช้งานในระบบปกติ จะควบคุมค่าระดับความสว่าง ซึ่งสามารถปรับบนสไลด์เดอร์ของหลอดไฟ LED แต่ละสี และ 2) การใช้งานในระบบอัตโนมัติจะควบคุมค่าความสว่างได้ตามที่ต้องการ โดยปรับบนสไลด์เดอร์ เมื่อวางอุปกรณ์ไว้ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร สามารถวัดค่าความสว่างได้สูงสุด 6,500 lux การทดลองเริ่มจากการนำอุปกรณ์ควบคุมการส่องสว่างของไฟ LED จัดวางอุปกรณ์แล้วเชื่อมต่อ Wi-Fi ของอุปกรณ์ควบคุมการส่องสว่างของไฟ LED กับโทรศัพท์มือถือเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงาน ทำการควบคุมการทำงานเปิด/ปิดอุปกรณ์ และทำการควบคุมการทำงานเปิด/ปิดอุปกรณ์โดยใช้การตั้งเวลา สังเกตและบันทึกผลการทดลอง การแสดงผลค่าความสว่างของอุปกรณ์ รูปที่ 4.63



รูปที่ 4.63 การแสดงผลค่าความสว่าง (lux)

4) ติดตั้งและทดสอบการทำงานส่วนต่างๆ ของอุปกรณ์ เช่น ทดสอบระบบควบคุมไฟ LED ในโรงเรือน 3 แบบ ได้แก่ LED แบบปรับค่าได้, LED แบบปรับค่าไม่ได้ และปลุกนอกโรงเรือน (แสงอาทิตย์) ซึ่งการทดสอบประกอบด้วย 1) ทดลองการเปิด/ปิดอุปกรณ์ 2) ทดลองการปรับความสว่างของระบบควบคุมไฟ LED และ 3) ทดลองการทำงานของแอปพลิเคชัน Blynk

4.1) การทดลองการเปิด/ปิดอุปกรณ์ และการตั้งเวลาบนแอปพลิเคชัน Blynk การทดลองเริ่มจากการนำอุปกรณ์ควบคุมการส่องสว่างของไฟ LED เชื่อมต่อ Wi-Fi กับโทรศัพท์มือถือเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงาน ทำการควบคุมการทำงานเปิด/ปิดอุปกรณ์ และทำการควบคุมการทำงานเปิด/ปิดอุปกรณ์โดยใช้การตั้งเวลา สังเกตและบันทึกผลการทดลอง

4.2) การทดลองปรับความสว่างของระบบควบคุมไฟ LED โดยเริ่มจากการนำอุปกรณ์ควบคุมการส่องสว่างของไฟ LED เชื่อมต่อ Wi-Fi กับโทรศัพท์มือถือเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงาน แล้วนำ Digital multimeter มาเชื่อมต่อเพื่อวัดกระแสไฟแล้วปรับค่าระดับความสว่างของไฟ LED อ่านค่ากระแสบน Digital multimeter แล้วบันทึกผลการทดลอง

- 4.3) การทดสอบระบบการทำงานระบบปกติและระบบอัตโนมัติของแอปพลิเคชัน Blynk
- การใช้งานการทำงานระบบปกติบนแอปพลิเคชัน Blynk การทดลองเริ่มจากการนำอุปกรณ์ควบคุมการส่องสว่างของไฟ LED เชื่อมต่อ Wi-Fi ของอุปกรณ์ควบคุมไฟกับโทรศัพท์มือถือ เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงาน โดยการควบคุมอุปกรณ์โดยใช้แถบสไลด์เตอร์ แล้วสังเกตค่าความสว่าง และบันทึกผลการทดลอง
  - การใช้งานการทำงานระบบอัตโนมัติบนแอปพลิเคชัน Blynk การทดลองเริ่มจากการนำอุปกรณ์ควบคุมการส่องสว่างของไฟ LED เชื่อมต่อ Wi-Fi ของอุปกรณ์ควบคุมการส่องสว่างกับโทรศัพท์มือถือเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงาน แล้วทำการควบคุมอุปกรณ์โดยใช้แถบอัตโนมัติสไลด์เตอร์ เพื่อควบคุมค่าความสว่าง และสังเกตระดับความสว่าง และบันทึกผลการทดลอง

#### 4.1.2 ผลการพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับควบคุมความเข้มแสง และความยาวคลื่นแสง

1) ผลการทดสอบการควบคุมและแสดงผลค่าความเข้มการส่องสว่างบนแอปพลิเคชัน Blynk โดยการทดลองเปิด/ปิดอุปกรณ์ โดยบนแอปพลิเคชัน Blynk และการตั้งเวลาบนแอปพลิเคชัน Blynk ซึ่งมีการเปิด/ปิดอุปกรณ์โดยกด Button บนแอปพลิเคชัน Blynk ทดสอบเปิดและปิด 10 ครั้ง พบว่ามีการหน่วงเวลาเฉลี่ย 0.796 และ 0.591 วินาที ตามลำดับ และการทดสอบการเปิด/ปิดอุปกรณ์โดยการตั้งเวลาบนแอปพลิเคชัน Blynk ทดสอบเปิดและปิด 10 ครั้ง พบว่ามีการหน่วงเวลาเฉลี่ย 0.870 และ 0.608 วินาที ตามลำดับ (ตารางที่ 4.28) สำหรับการทดสอบการเปิด/ปิดอุปกรณ์โดยผ่านบนแอปพลิเคชัน Blynk พบว่าการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมการส่องสว่างนั้นมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดี อาจมีการหน่วงเวลาเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากการความคลาดเคลื่อนในการวัดหรือปัจจัยอื่น ๆ

ตารางที่ 4.28 การทดลองการเปิด/ปิดอุปกรณ์โดยผ่านบนแอปพลิเคชัน Blynk

ครั้งที่	การเปิด/ปิดโดยใช้สวิตช์				การเปิด/ปิดโดยใช้การตั้งเวลา			
	เปิดการทำงาน (ON)		ปิดการทำงาน (OFF)		เปิดการทำงาน (ON)		ปิดการทำงาน (OFF)	
	การทำงาน	การหน่วงเวลา (วินาที)	การทำงาน	การหน่วงเวลา (วินาที)	การทำงาน	การหน่วงเวลา (วินาที)	การทำงาน	การหน่วงเวลา (วินาที)
1	ON	0.63	OFF	0.45	ON	0.72	OFF	0.52
2	ON	0.9	OFF	0.56	ON	0.96	OFF	0.68
3	ON	1.14	OFF	0.53	ON	0.87	OFF	0.64
4	ON	0.74	OFF	0.78	ON	0.75	OFF	0.45
5	ON	0.57	OFF	0.54	ON	1.18	OFF	0.52
6	ON	0.9	OFF	0.63	ON	0.94	OFF	0.87
7	ON	0.91	OFF	1.03	ON	0.76	OFF	0.61
8	ON	0.72	OFF	0.48	ON	0.74	OFF	0.57
9	ON	0.72	OFF	0.41	ON	0.9	OFF	0.63
10	ON	0.73	OFF	0.5	ON	0.88	OFF	0.59
เวลาหน่วงเฉลี่ย		0.796		0.591		0.87		0.608

2) ผลการทดสอบปรับความสว่างของระบบควบคุมไฟ LED พบว่าการทดสอบปรับระดับความสว่างของอุปกรณ์ควบคุมไฟ LED พบระดับความสว่างดังตารางที่ 4.29 ซึ่งเห็นได้ว่าเมื่อปรับค่าระดับความสว่างให้มีค่าเพิ่มมากขึ้นค่ากระแสไฟฟ้ารวมที่จ่ายให้จะมากขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 4.29 การทดลองการปรับความสว่างของอุปกรณ์ควบคุมไฟ LED

ระดับความสว่าง	กระแสไฟ (A)	ระดับความสว่าง
123	0.05	0.03
223	0.11	0.06
323	0.15	0.08
423	0.19	0.11
523	0.24	0.13
623	0.28	0.16
723	0.33	0.18
823	0.37	0.20
923	0.42	0.23
1,023	0.45	0.24

3) ผลของการทำงานการปรับความสว่างระบบปกติและระบบอัตโนมัติของแอปพลิเคชัน Blynk

3.1) ผลการทดสอบการปรับระดับความสว่างแบบปกติผ่านบนแอปพลิเคชัน Blynk พบระดับความสว่างดังแสดงในตารางที่ 4.24 โดยระบบการทำงานอุปกรณ์แบบปกติบนแอปพลิเคชันพบว่าเมื่อปรับค่าระดับความสว่างของอุปกรณ์ให้มีค่าเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่างของอุปกรณ์มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย โดยค่าความสว่างสูงสุด วัดที่ระยะห่างจากอุปกรณ์ 30 เซนติเมตร จะมีความสว่างอยู่ที่ประมาณ 6,500 lux

3.2) ผลการทดสอบปรับความสว่างโดยระบบอัตโนมัติบนแอปพลิเคชัน Blynk พบว่าเมื่อปรับค่าความสว่างที่อัตโนมัติสไลด์เดอร์มีระดับความสว่างต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.30 เมื่อใช้งานในระบบอัตโนมัติเพื่อปรับค่าความสว่างตามที่ต้องการแล้ว ตัวอุปกรณ์จะทำการเพิ่มหรือลดระดับความสว่างอัตโนมัติ จนมีค่าความสว่างตามที่ต้องการอย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4.30 การทดลองระบบการทำงานอุปกรณ์แบบปกติ และการทำงานอุปกรณ์แบบอัตโนมัติ บนแอปพลิเคชัน Blynk

การทำงานอุปกรณ์แบบปกติ		การทำงานอุปกรณ์แบบอัตโนมัติ	
ระดับความสว่าง	ค่าความสว่าง (lux)	ระดับความสว่าง	ค่าความสว่าง (lux)
123	1056	114	1000
223	1679	154	1500
323	2306	279	2000
423	2923	329	2500
523	3541	404	3000
623	4152	487	3500
723	4786	571	4000
823	5389	721	4500
923	5971	762	5000
1023	6581	866	5500

#### 4.2 การทดสอบระบบควบคุม LED แบบอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชในโรงเรือน

##### 4.2.1 วิธีการทดสอบระบบควบคุมแสง LED ในการปลูกผักกาดหอม

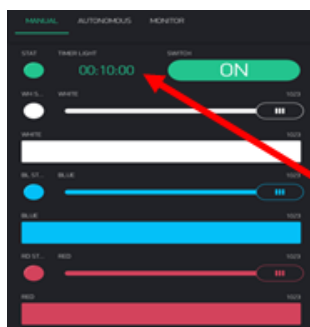
การทดลองนี้เลือกใช้ผักกาดกรีนโอ๊ค (Green oak) และเรดโอ๊ค (Red oak) ซึ่งนิยมปลูกในโรงเรือน มีขั้นตอนคือ

1) การทดสอบปลูกผักกรีนโอ๊ค และเรดโอ๊ค เริ่มจากเพาะเมล็ดผักทั้งสองชนิดจนมีใบจริง 2 ใบจึงย้ายลงปลูกในโรงเรือนที่มีการควบคุมความเข้มแสงแบบอัตโนมัติ

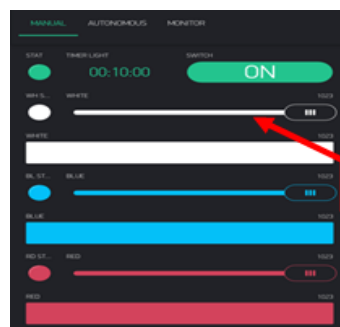
2) ติดตั้งวัสดุอุปกรณ์ควบคุมการส่องสว่างของไฟ LED จากนั้นเชื่อมต่อ Wi-Fi ของอุปกรณ์ LED นี้กับโทรศัพท์มือถือเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงาน ควบคุมการให้แสงแก่ผักเรดโอ๊ค และกรีนโอ๊คพืช ในโรงเรือน โดยตั้งเวลาการทำงานอุปกรณ์เพื่อให้แสงเพิ่มให้ผักรวม 5 ชั่วโมง โดยเริ่มให้แสงจาก LED ตั้งแต่เวลา 17.00–22.00 น. โดยตั้งค่าระดับความสว่างไว้สูงสุดในการปลูกผักทั้งสองชนิด บันทึกการเจริญเติบโต และผลผลิต

3) ปลูกทดสอบผักกรีนโอ๊ค และเรดโอ๊ค รอบที่สอง ซึ่งมีการเตรียมต้นกล้าและการปลูกโดยควบคุมการให้แสงแก่ผักเรดโอ๊ค และกรีนโอ๊ค ในโรงเรือนเช่นเดียวกับการทดสอบรอบที่ 1 แต่ในรอบนี้มีช่วงเวลาในการให้แสงเพิ่มอีก 1 ชั่วโมงโดยตั้งเวลาการทำงานอุปกรณ์เพื่อให้แสงเพิ่มให้ผักรวมเป็น 6 ชั่วโมง โดยเริ่มให้แสงจาก LED ตั้งแต่เวลา 17.00–23.00 น. โดยตั้งค่าระดับความสว่างไว้สูงสุดในการปลูกผักทั้งสองชนิด (รูปที่ 4.64) บันทึกการเจริญเติบโต และผลผลิต

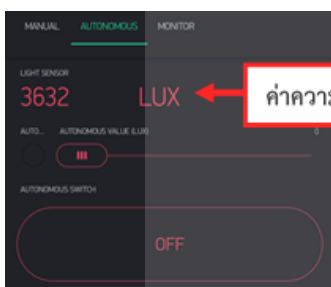




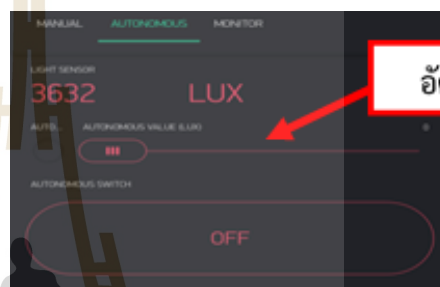
การตั้งเวลาบนแอปพลิเคชัน Blynk



แถบสไลด์เตอร์แสดงค่าความสว่าง



ค่าความสว่างบนแอปพลิเคชัน Blynk



แถบอัตโนมัติสไลด์เตอร์บนแอปพลิเคชัน

รูปที่ 4.64 ปุ่มควบคุมค่าต่างๆ บนแอปพลิเคชัน Blynk

#### 4.2.2 ผลการทดสอบระบบควบคุมแสง LED ในการปลูกผักกาดหอม

จากการทดลอง LED ปรับค่าไม่ได้ พบว่าผักกาดหอมกรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค มีความสูงต้น (15.0 และ 14.8 เซนติเมตร) และความกว้างทรงพุ่ม (12.8 และ 14.5 เซนติเมตร) ซึ่งสูงกว่าการใช้ LED ปรับค่าได้และการใช้แสงอาทิตย์ และเมื่อปลูกผักกาดหอมทั้งสองชนิดในระบบควบคุมแสงที่แตกต่าง พบว่าค่าความเขียวใบมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 3 ระบบ สำหรับการปลูกผักกาดหอมกรีนโอ๊ค โดยใช้ LED ปรับค่าไม่ได้ พบว่าผักกาดหอมมีน้ำหนักราก 18.7 กรัม ในขณะที่ใช้กับผักกาดหอมเรดโอ๊คให้น้ำหนักต้นไม่ต่างกับการใช้แสงอาทิตย์ และปลูกผักกาดหอมกรีนโอ๊คและเรดโอ๊ค ภายใต้การควบคุมแบบใช้แสงอาทิตย์ พบว่าผักกาดทั้ง 2 ชนิดมีน้ำหนักต้นมากที่สุด (20.90 และ 22.95 กรัม ตามลำดับ) (ตารางที่ 4.31) ซึ่งพบว่าค่าที่ได้จากการปลูกทั้งสามแบบมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการทดลองไม่ได้ทำการควบคุมแสงจากภายนอกทำให้หลอด LED ทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4.31 ผลการทดลองการใช้งานจริงกับพืชรอบที่ 1 หลังการเก็บเกี่ยว

พารามิเตอร์	Green oak			Red oak		
	LED แบบปรับ ค่าได้	LED แบบปรับค่า ไม่ได้	แบบใช้ แสงอาทิตย์	LED แบบปรับ ค่าได้	LED แบบปรับค่า ไม่ได้	แบบใช้ แสงอาทิตย์
ความสูง (ซม.)	14.3	15.0	13.8	15.4	14.8	13.6
ความกว้าง (ซม.)	11.3	12.8	10.2	13.7	14.5	13.0
ความเขียวใบ (SPAD Unit)	26.5	26.2	20.9	18.5	20.4	22.9
น้ำหนักราก (กรัม)	7.16	18.7	16.9	10.1	21.7	21.9
น้ำหนักต้น (กรัม)	18.0	18.8	20.9	18.5	20.4	22.9

**1) การทดลองในพีช** (รอบที่ 2) จากการทดลองการใช้งานจริงกับพีชรอบที่ 2 โดยใช้หลอด LED ปรับค่าได้ พบว่าความสูงต้นมีค่าเฉลี่ย 10.50 และ 11.5 เซนติเมตร ความกว้างทรงพุ่มมีค่าเฉลี่ย 19.50 และ 22.00 เซนติเมตร น้ำหนักราก 11.49 และ 4.79 กรัม และน้ำหนักต้นมีค่าเฉลี่ย 21.27 และ 10.29 กรัม ตามลำดับ สำหรับ LED ปรับค่าไม่ได้ พบว่าผักสลัดกรีนโอ๊คและเรดโอ๊คมีความสูงต้นเฉลี่ย 8.75 และ 9.75 เซนติเมตร ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ย 14.75 และ 16.50 เซนติเมตร น้ำหนักราก 7.18 และ 1.88 กรัม และน้ำหนักต้น 10.01 และ 3.98 กรัม ตามลำดับ สำหรับแบบที่ใช้แสงอาทิตย์ พบว่าความสูงต้นมีค่าเฉลี่ย 9 และ 10 เซนติเมตร ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ย 13.00 และ 17.00 เซนติเมตร น้ำหนักรากเฉลี่ย 6.54 และ 7.90 กรัม และน้ำหนักต้น 8.88 และ 15.58 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.32) จากการทดลองการใช้งานจริงกับพีชรอบที่ 2 หลังเก็บเกี่ยว พบว่าค่าความสูง ความกว้างทรงพุ่ม น้ำหนักของราก น้ำหนักของต้นที่ได้จาก LED ปรับค่าได้มีค่ามากกว่า LED ปรับค่าไม่ได้ และแบบที่ใช้แสงอาทิตย์ ตามลำดับ

**ตารางที่ 4.32** ผลการทดลองการใช้งานจริงกับพีชรอบที่ 2 หลังการเก็บเกี่ยว

พารามิเตอร์	Green oak			Red oak		
	LED แบบปรับค่าได้	LED แบบปรับค่าไม่ได้	แบบใช้แสงอาทิตย์	LED แบบปรับค่าได้	LED แบบปรับค่าไม่ได้	แบบใช้แสงอาทิตย์
ความสูง (ซม.)	10.5	8.75	9.00	11.5	9.75	10.0
ความกว้าง (ซม.)	19.5	14.8	13.0	22.0	16.5	17.0
น้ำหนักของราก(กรัม)	11.5	7.18	6.54	4.79	1.88	7.90
น้ำหนักของต้น(กรัม)	21.3	10.0	8.88	10.3	3.98	15.6

**2) สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ LED** จากการทดลองการเปิด/ปิดอุปกรณ์ควบคุมไฟ LED ผ่านปุ่ม Button หรือตัวตั้งเวลาบนแอปพลิเคชัน Blynk ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งการให้รีเลย์ เปิดหรือปิดการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมไฟ LED โดยทำหน้าที่เหมือนสวิตช์ การทดลองการปรับความสว่างของอุปกรณ์ควบคุมไฟ LED โดยควบคุมด้วยการปรับสไลด์เดอร์บนแอปพลิเคชัน Blynk ที่มีระดับความสว่างอยู่ที่ 1023 ระดับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผลและปรับค่า Pulse width modulation ให้ขับกระแสผ่านวงจรควบคุมไฟ LED ซึ่งปริมาณกระแสที่ขับให้อุปกรณ์ควบคุมไฟ LED จะแปรผันตรงกับความสว่างที่เกิดจากอุปกรณ์ควบคุมไฟ LED การควบคุมความสว่างของอุปกรณ์ควบคุมไฟ LED ด้วยระบบอัตโนมัติโดยรับค่าความสว่างจากเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงมาเทียบกับค่าความเข้มแสงที่ปรับสไลด์เดอร์บนแอปพลิเคชัน Blynk เมื่อค่าความเข้มแสงที่ต้องการไม่เท่ากับค่าความเข้มแสงที่รับได้จากเซ็นเซอร์วัดค่าความเข้มแสง ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล และปรับระดับความสว่าง โดยระดับความสว่างจะแปรผันตรงกับค่าความเข้มแสง

การทดลองการใช้งานจริงกับพีชรอบที่ 1 ทดลองโดยให้พีช (ผักสลัดเรดโอ๊คและกรีนโอ๊ค) รับแสงอาทิตย์ในตอนกลางวันและการชดเชยแสงอาทิตย์ที่ให้กับพีชในช่วงที่แสงอาทิตย์หมดด้วยอุปกรณ์ควบคุมไฟ LED จนเพียงพอที่พีชต้องการในแต่ละวัน วันละ 16 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบระหว่างชุด

อุปกรณ์ควบคุมไฟ LED ชุดโคมไฟ LED ที่มีขายทั่วไป และแสงอาทิตย์ปกติ ได้ผลคือ พืชมีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกันทั้งความสูงทรงพุ่ม ความกว้างทรงพุ่ม และน้ำหนักของต้นพืช (รูปที่ 3.65) ส่วนการทดลองการใช้งานจริงกับพืชรอบที่ 2 ทดลองโดยให้พืช (ผักสลัดเรดโอ๊คและกรีนโอ๊ค) รับแสงจากอุปกรณ์ควบคุมไฟ LED จนเพียงพอที่พืชต้องการในแต่ละวัน (16 ชั่วโมง) โดยเปรียบเทียบระหว่างชุดอุปกรณ์ควบคุมไฟ LED ชุดโคมไฟ LED ที่มีขายทั่วไป และแสงอาทิตย์ปกติ พบว่าพืชที่ใช้ชุดอุปกรณ์ควบคุมไฟ LED มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าชุดโคมไฟ LED ทั่วไป และแสงอาทิตย์ อย่างเห็นได้ชัดทั้งความสูงทรงพุ่ม ความกว้างทรงพุ่ม และน้ำหนักของต้นพืช (รูปที่ 4.65)



รูปที่ 4.65 พืชที่ได้จากการทดลองรอบที่ 1 รูปที่ 4.66 ความแตกต่างสีใบจากการทดลองรอบที่ 2

#### 4.2.3 วิธีการทดสอบระบบควบคุมแสง LED ในการปลูกผักแพว

1) การเตรียมต้นพืช โดยเลือกยอดผักแพวมาปักชำจากส่วนที่ไม่แก่หรืออ่อนเกินไป ตัดให้ได้ความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร หรือยาว 3–5 ข้อ แล้วนำไปปักชำลงในฟองน้ำที่อยู่ในภาชนะ เมื่ออายุครบ 3 วัน หรือกิ่งชำเริ่มมีรากงอก จึงให้สารละลายธาตุอาหาร Hoagland (Hoagland and Arnon, 1950)

2) เมื่อกิ่งชำอายุ 2 สัปดาห์ ย้ายไปขึ้นปลูกที่ให้แสงจาก LED ที่ความเข้มแสงและความยาวคลื่นแสงต่างกัน (ตารางที่ 4.32) มีการควบคุมแสงด้วยระบบอัตโนมัติ ภายใต้สภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิ 25–30 °C ความชื้น 70–75 เปอร์เซ็นต์ แล้วให้สารละลายธาตุอาหารอีกครั้ง (ให้ธาตุอาหารพืชตามการวัดค่า EC=1.5–1.8 และค่า pH=5.5–6.5 โดยเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุก 7 วัน) วางแผนการทดลองแบบ factorial in CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำๆ ละ 20 ต้น โดยมีปัจจัยของความเข้มแสงและความยาวคลื่นแสงต่างกัดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ความเข้มแสง 2 ระดับ คือ 120  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  และ 160  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ให้แสง 14 ชั่วโมง/วัน  
ปัจจัยที่ 2 ความยาวคลื่นแสงต่างกักัน ดังแสดงในตารางที่ 4.33 ดังนี้

ตารางที่ 4.33 อัตราส่วนต่าง ๆ ของความยาวคลื่นแสงที่ให้กับพืช

ทรีตเมนต์	คุณภาพแสง	ช่วงความยาวคลื่นแสง (นาโนเมตร)	อัตราส่วน (%)
control	แสงจากธรรมชาติ	–	–
A1	สีขาว	400–800	–
A2	สีแดง	630	–
A3	สีน้ำเงิน	470	–
A4	แดง:น้ำเงิน	630 : 470	9:1
A5	แดง:น้ำเงิน	630 : 470	7:3
A6	แดง:น้ำเงิน	630 : 470	5:5
A7	แดง : ขาว	630 : (400–800)	9:1
A8	แดง : ขาว	470 : (400–800)	5:5
A9	น้ำเงิน : ขาว	630 : (400–800)	9:1
A10	น้ำเงิน : ขาว	470 : (400–800)	5:5
A11	แดง : น้ำเงิน : ขาว	630 : 470 : (400–800)	4:4:2
A12	แดง : น้ำเงิน : ขาว	630 : 470 : (400–800)	4:3:3

3) การบันทึกข้อมูล หลังย้ายปลูกทำการบันทึกลักษณะต่างๆ ได้แก่

3.1) การเจริญเติบโต โดยวัดจากความสูงต้น และพื้นที่ใบ

3.2) ลักษณะทางสรีรวิทยา โดยวัดความเขียวใบ (SPAD chlorophyll meter reading; SCMR) วัดความเขียวใบจำนวน 3 ใบต่อต้น โดยนับจากใบที่เจริญเต็มที่ลงมา (ใบที่ 2, 3, 4 นับจากยอด) วัดอัตราการสังเคราะห์แสง ด้วยเครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์แสงรุ่น LCI 400 จำนวน 3 ใบ/ต้น นับจากใบที่เจริญเต็มที่ลงมา (ใบที่ 2, 3, 4 นับจากยอด)

3.3) ผลผลิต วัดจากน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต่อต้น โดยสุ่มตัวอย่างพืชอายุ 4 สัปดาห์ จำนวน 5 ต้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนักสด หลังจากนั้นนำต้นพืชไปอบที่อุณหภูมิ 120 °C นาน 72 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักแห้ง

3.4) การสะสมสารสำคัญในพืช เมื่อผักแพวอายุครบ 4 สัปดาห์ (ที่อายุเก็บเกี่ยว 40–45 วันหลังปลูก) วัดการสะสมสารสำคัญ ได้แก่

- ปริมาณคลอโรฟิลล์ ทำการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช (ใช้ใบที่ 3 นับจากใบที่เจริญเต็มที่) โดยการชั่งน้ำหนักใบจำนวน 100 มิลลิกรัม ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นนำตัวอย่างพืชมาเติมสารสกัด N,N-dimethylformide ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง (เมื่อสกัดคลอโรฟิลล์ออกจากตัวอย่างหมดแล้วใบจะซีดขาว) จากนั้นนำสารสกัดที่ได้มากรองแยกส่วนของกากออก แล้วปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วย N,N-dimethylformide ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์

เริ่มจากนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer (UH-5000) ที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 นาโนเมตร แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Arnon, 1949 อ้างถึงใน สุมาลี คงสอดทรัพย์ และวัฒนา พัฒนากุล, 2548)

สูตรคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด

$$\text{คลอโรฟิลล์เอ} = [12.7 (\text{OD}663) - 2.69(\text{OD}645)] \times \frac{V}{1,000 (\text{m})}$$

$$\text{คลอโรฟิลล์บี} = [22.9 (\text{OD}645) - 4.68(\text{OD}663)] \times \frac{V}{1,000 (\text{m})}$$

$$\text{คลอโรฟิลล์รวมทั้งหมด} = [20.02 (\text{OD}645) - 8.02(\text{OD}663)] \times \frac{V}{1,000 (\text{m})}$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของสารละลายที่ตรวจวัดคลอโรฟิลล์ (ml)

m คือ น้ำหนักตัวอย่าง (mg)

OD คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ

- ปริมาณสารแอนโทไซยานิน ตามวิธีของ Mustafa et al. (2010) วัดแอนโทไซยานินในใบผักแพว (ใช้ใบที่ 3 นับจากใบที่เจริญเต็มที่) โดยการชั่งน้ำหนักใบจำนวน 1 กรัม ใส่ในหลอดทดลอง นำใบพืชที่ได้ไปสกัดด้วยวิธี acidified method จากนั้นนำสารสกัดที่ได้มากรองเอากากออก แล้วนำไประเหยด้วยไฟให้ความเข้มข้นสูงด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ นำมาปรับปริมาตรให้ได้ 40 มิลลิลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน สำหรับขั้นตอนวิเคราะห์หาปริมาณสารแอนโทไซยานินโดยนำสารสกัดที่ได้ 1 มิลลิลิตร ไปวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินรวม โดยการเจือจางสารสกัดด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ 2 ชนิด คือ KCl Buffer 0.025 M และ  $\text{C}_2\text{H}_3\text{NaO}_2$  Buffer 0.4 M อัตราส่วน 1 : 20 จากนั้นปรับค่า pH ให้มีค่า pH 1.0 และ pH 4.5 ทิ้งไว้ 15 นาที จากนั้นนำ



สารละลายที่ได้ไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer (UH-5000) ที่ความยาวคลื่น 520 และ 700 นาโนเมตร แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินตามสูตรดังนี้

$$\text{Total anthocyanin content} = (\text{Acorrection} \times \text{MW} \times \text{DF} \times 100) / (\text{E} \times \text{L})$$

เมื่อ  $\text{Acorrection} = [(A_{520} - A_{700}) \text{ pH } 1.0 - (A_{520} - A_{700}) \text{ pH } 4.5]$  โดย  $A_{520}$  และ  $A_{700}$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 และ 700 นาโนเมตร

MW คือ น้ำหนักโมเลกุลของแอนโทไซยานิน (เปรียบเทียบกับ cyaniding-3-glucoside 449.2 กรัมต่อโมล)

DF คือ สัดส่วนที่ทำการเจือจาง

E คือ molar extinction coefficient ซึ่งมีค่า 26,900

L คือ ช่วงความยาวที่แสงผ่านสารละลายที่ทำการวัด

- ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH° scavenging assay ทำการวิเคราะห์ตามวิธีของ Mustafa et al. (2010) โดยเตรียมสารละลาย DPPH° ในเอทานอล ให้มีความเข้มข้น  $6 \times 10^{-5}$  โมลาร์ จำนวน 100 มิลลิลิตร โดยชั่งน้ำหนัก DPPH° 2.4 มิลลิกรัม ละลายและปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วย absolute ethanol แล้วเก็บในขวดสีชา ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสารสกัดพืช โดยนำตัวอย่างใบพืชมาชั่งน้ำหนัก 1 กรัม บดด้วยไนโตรเจนเหลว จากนั้นใช้ absolute ethanol 2 มิลลิลิตร เป็นตัวทำละลาย สำหรับการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ บีบอัดสารละลายตัวอย่าง 100 ไมโครลิตร เติมสารละลาย DPPH° ที่เตรียมไว้ 100 ไมโครลิตร แล้วนำไปเขย่าให้สารละลายผสมกันดี แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer (UH-5000) ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ใช้สารละลาย 100 ไมโครลิตร ผสมกับ absolute ethanol 100 ไมโครลิตร เป็น blank ค่าที่ได้นำมาคำนวณหา % inhibition จากสูตรดังนี้

$$\% \text{ inhibition} = ([\text{OD.Control} - \text{OD.Sample}] / (\text{OD.Control}) \times 100$$

เมื่อ OD control คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลาย DPPH°

OD sample คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลายตัวอย่าง  
นำ % inhibition ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน Trolox

การทำกราฟมาตรฐาน Trolox โดยเตรียมสารมาตรฐาน Trolox ที่ความเข้มข้น 10, 20, 50, 70 และ 100 ไมโครโมลต่อลิตร แล้วปิเปตสารมาตรฐานมา 100 ไมโครลิตร เติมสารละลาย DPPH<sup>o</sup> ที่เตรียมไว้ 100 ไมโครลิตร จากนั้นเขย่าให้สารละลายผสมกันดี แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer (UH-5000) ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร โดยใช้สารมาตรฐาน 100 ไมโครลิตร ผสมกับ absolute ethanol 100 ไมโครลิตร เป็น blank ค่าที่ได้นำมาคำนวณหา % inhibition จากสูตรด้านบน สำหรับการคำนวณหาการยับยั้งสารอนุมูลอิสระเทียบกับสารมาตรฐาน โดยนำ % inhibition ของตัวอย่างพืชที่ได้ไปแทนค่า Y ในสมการจากกราฟมาตรฐานเพื่อหาค่า X ก็จะได้ค่าการยับยั้งสารอนุมูลอิสระในตัวอย่าง มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมของ Trolox ต่อน้ำหนักแห้งของพืช (กรัม)

- ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ตามวิธีของ Mustafa et al. (2010) การเตรียมตัวอย่างสารสกัดพืช โดยชั่งน้ำหนักใบจำนวน 1 กรัม (ใช้ใบที่ 3 นับจากใบที่เจริญเต็มที่) แล้วนำไปสกัดด้วยวิธี acidified method ซึ่งมีตัวทำละลายประกอบด้วย acetone: Deionized water: acetic acid อัตราส่วน 70:29.5:0.5 ปริมาณ 40 มิลลิลิตร นาน 1 ชั่วโมง แล้วนำสารสกัดที่ได้มากรองเอากากออก จากนั้นนำไประเหยด้วยไฟใต้ความเข้มข้นสูงด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ จากนั้นนำมาปรับปริมาตรให้ได้ 40 มิลลิลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด โดยนำสารสกัดที่ได้ปริมาณ 1 มิลลิลิตร มาเติมสาร Folin-Ciocalteu's phenol : Deionized water อัตราส่วน 1 : 20 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 8 นาที นำสารละลายที่ได้นำมาเติมด้วย Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 7% ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer (UH-5000) ที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน Gallic acid

การคำนวณหาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด โดยนำค่าดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างพืชที่ได้ไปแทนค่า Y ในสมการจากกราฟ มาตรฐานเพื่อหาค่า X แล้วนำค่า X คูณด้วยค่า dilution factor ก็จะได้ค่าความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่าง มีหน่วยเป็น ppm หรือไมโครกรัมต่อกรัม (as Gallic acid)

4) การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ นำข้อมูลการเจริญเติบโต ลักษณะทางสรีรวิทยา ผลผลิต และการสะสมสารสำคัญ วิเคราะห์หว่าเรียนซ์ (ANOVA) ด้วยโปรแกรม SPSS v.14 for window หากมีความแตกต่างเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT (Duncan' New Multiple Range Test) (Norman et al., 1970)

#### 4.2.4 ผลการทดสอบระบบควบคุมแสง LED ในการปลูกผักแพว

จากการปลูกผักแพว ภายใต้คุณภาพแสงต่างกัน 12 อัตราส่วน และความเข้มแสงต่างกัน 2 ระดับ (140 และ 160  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ) โดยมีแสงสีขาวเป็นตัวเปรียบเทียบ (Control) หลังจากให้แสงครบ 4 สัปดาห์ ทำการเก็บข้อมูลพืชแต่ละชนิด ได้ผลการทดลองดังนี้

1) **การเจริญเติบโต** อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพแสงในตารางที่ 4.34 พบว่าการให้แสงสีน้ำเงินที่ความเข้มแสง 140  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ทำให้ความสูงต้นมีแนวโน้มสูงที่สุด (36.60 ซม.) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการให้แสงสีขาวที่ความเข้มแสง 140  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  (35.80 ซม.) ในขณะที่การให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 7:3 ที่ความเข้มแสง 140  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  และแสงสีแดงที่ความเข้มแสง 160  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  มีแนวโน้มให้ความสูงต้นต่ำที่สุด (17.60 และ 18.60 ซม. ตามลำดับ) สำหรับพื้นที่ใบพบว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง 160  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ส่งผลให้พื้นที่ใบมีแนวโน้มสูงที่สุด (391.12 ตร.ซม.) ซึ่งสูงกว่าการให้แสงสีขาว (Control) มากกว่า 2 เท่า (194.30 ตร.ซม.) ในขณะที่การให้ความเข้มแสง 140  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ในทุกคุณภาพแสงมีแนวโน้มให้ค่าพื้นที่ใบต่ำที่สุดโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 39.29–66.62 ตร.ซม. แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการให้แสงสีแดง และการให้แสงสีน้ำเงินร่วมกับสีขาว อัตราส่วน 9:1 ที่ความเข้มแสง 160  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$

2) **ลักษณะทางสรีรวิทยา** อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงกับคุณภาพแสง (ตารางที่ 4.34) พบว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินและสีขาว อัตราส่วน 4:3:3 ที่ความเข้มแสง 160  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ผักแพวมีแนวโน้มให้ความเร็วใบสูงที่สุด (59.83 SCMR) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการให้แสงสีขาว (53.38 SCMR) แต่การให้แสงสีแดงอย่างเดียว และสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 7:3 ที่ความเข้มแสง 140  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ส่งผลให้ค่าความเร็วใบต่ำที่สุด (33.44 และ 28.52 SCMR ตามลำดับ) สำหรับอัตราการสังเคราะห์แสงมีค่าสูงที่สุดเมื่อให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 7:3 ที่ความเข้มแสง 160  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  (4.62  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ) ซึ่งให้ค่าสูงกว่า 2 เท่าของการให้แสงสีขาว (2.10 SCMR) ในขณะที่ทุกคุณภาพแสงทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงมีแนวโน้มต่ำที่สุดเมื่อให้ความเข้มแสง 140  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.10–1.35  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$

3) **ผลผลิต** อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพแสงจากตารางที่ 4.34 พบว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 5:5 และการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินและสีขาว อัตราส่วน 4:4:2 ที่ความเข้มแสง 160  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  มีแนวโน้มให้น้ำหนักสดสูงที่สุด (18.93 และ 17.75 กรัม/ต้น) แต่ไม่แตกต่างจากการให้แสงสีขาว (14.95 กรัม/ต้น) ในขณะที่น้ำหนักแห้งให้ค่าสูงสุดเมื่อให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง 160  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  (5.86

กรัม/ตัน) นอกจากนี้ที่ทุกคุณภาพแสงที่ความเข้มแสง 140  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  มีแนวโน้มให้น้ำหนักแห้งต่ำที่สุด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.24–2.12 กรัม/ตัน

**4) ปริมาณสารสำคัญ** อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพแสงจากตารางที่ 4.34 ปริมาณคลอโรฟิลล์มีแนวโน้มสูงที่สุดเมื่อให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินและสีขาวย อัตราส่วน 4:4:2 ที่ความเข้มแสง 160  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  (0.039  $\mu\text{g}/\text{g}$ ) ในขณะที่การให้แสงสีน้ำเงินร่วมกับสีขาวย อัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง 140  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  มีแนวโน้มให้ค่าคลอโรฟิลล์ต่ำที่สุด (0.014  $\mu\text{g}/\text{g}$ ) ส่วนปริมาณฟีนอลมีแนวโน้มให้ค่าสูงสุดภายใต้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 5:5, แสงสีแดงร่วมกับสีขาวย อัตราส่วน 9:1 และ 5:5 รวมไปถึงแสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินและสีขาวย อัตราส่วน 4:3:3 ที่ความเข้มแสง 160  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  (2.10, 2.09, 2.07 และ 2.11  $\mu\text{g}/\text{g}$  ตามลำดับ) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการให้แสงสีขาวย ที่ความเข้มแสง 160  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  (2.34  $\mu\text{g}/\text{g}$ ) ในขณะที่ปริมาณฟีนอลมีแนวโน้มให้ค่าต่ำที่สุดเมื่อให้แสงสีแดง ที่ความเข้มแสง 140  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ในทางตรงกันข้าม กิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มให้ค่าสูงที่สุดเมื่อให้แสงสีขาวย และแสงสีแดง ที่ความเข้มแสง 140  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  (44.61 และ 44.61% ตามลำดับ) แต่การให้แสงสีน้ำเงินอย่างเดียว ที่ความเข้มแสง 160  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  มีกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุด (15.33%)

จากผลการทดลองพบว่าผักแพวตอบสนองต่อคุณภาพแสงและความเข้มแสง สำหรับการปลูกแพวผักเพื่อให้ได้น้ำหนักสดและมีปริมาณฟีนอลสูงภายใต้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 5:5 ความเข้มแสง 160  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  มีแนวโน้มให้ผักแพวมีย่าน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และการสะสมปริมาณฟีนอลสูงที่สุด

#### 5) วิจัยรณผลการทดลอง

จากผลการทดสอบความเข้มแสงและคุณภาพแสงต่อน้ำหนักสด พบว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 7:3, 5:5 และการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินและสีขาวย อัตราส่วน 4:4:2 ที่ความเข้มแสง 160  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ส่งผลให้น้ำหนักสดมีแนวโน้มสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่าแสงสีแดงและสีน้ำเงินช่วยเพิ่มน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และพื้นที่ใบของพืชได้ (Heo et al., 2012) นอกจากนี้ยังพบว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินส่งผลให้โหระพามีน้ำหนักสดสูงกว่าการให้แสงสีอื่น (วิจิตรา จันอุทัย และคณะ, 2562) เนื่องจากรงควัตถุคลอโรฟิลล์เอและบี สามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่สุดในช่วงคลื่นแสง 430 และ 662 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงคลื่นสีน้ำเงิน และสีแดง (Hopkin and Huner, 2004) โดยแสงสีแดงมีส่วนช่วยในการเพิ่มน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความสูงต้น และพื้นที่ใบ ส่วนแสงสีน้ำเงินมีผลต่อการสังเคราะห์แสง การสร้างปริมาณคลอโรฟิลล์ รวมไปถึงมีส่วนในการพัฒนาของคลอโรพลาสต์ ซึ่งมีผลโดยตรงกับการสร้างผลผลิตของพืช (Johken et al., 2010) นอกจากนี้ความเข้มแสงที่สูงมีผลต่อลักษณะดังกล่าวเช่นกัน โดยเมื่อพืชได้รับความเข้มแสงที่สูงขึ้นทำ

ให้กระบวนการสังเคราะห์แสงในพืชเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชสูงขึ้นเช่นกัน (พิญชสิทธิ์ เพรชไทย และธรรมศักดิ์ ทองเกต, 2560) นอกจากนี้พบว่า การให้แสงสีน้ำเงินร่วมกับสีขาว อัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง  $140 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  มีแนวโน้มให้น้ำหนักสดของผักแพวสูงที่สุดเช่นกัน ทั้งนี้เป็นผลจากการให้แสงสีน้ำเงินร่วมกับสีขาวมีอัตราส่วนเหมาะสมสำหรับการเพิ่มน้ำหนักสดผักแพว โดยมีงานทดลองพบว่าพืชสร้างคลอโรฟิลล์เอและบี และสามารถสังเคราะห์แสงได้ดีในแสงสีน้ำเงิน ส่วนการเพิ่มอัตราส่วนสีขาวมีผลต่อการเพิ่มน้ำหนัก โดยพบว่าแสงสีขาวทำให้ความสูงของผักแพวสูงขึ้น

นอกจากการให้แสงที่ต่างกันสามารถเพิ่มน้ำหนักสดของผักแพว ในงานทดลองครั้งนี้ต้องการให้ผักแพวมีปริมาณฟีนอลิกและกิจกรรมการต้านอนุมูลที่สูงด้วย ซึ่งผลการทดลองพบว่าปริมาณฟีนอลิกและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Huang et al. (2005) ที่พบว่าการสะสมปริมาณฟีนอลิกไม่มีความสัมพันธ์กับกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ทั้งนี้หากต้องการปลูกผักแพวให้ได้น้ำหนักสดและมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง สำหรับรับประทานเป็นผักสด ต้องปลูกผักแพวภายใต้แสงสีน้ำเงินร่วมกับสีขาว อัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง  $140 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  เนื่องจากแสงสีน้ำเงินเนื่องจากแสงสีน้ำเงินมีการดูดกลืนแสงโดย photoreceptor proteins ที่ตอบสนองจำเพาะกับช่วงคลื่นแสงที่ชัดเจนส่งผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระขึ้นกับชนิดของพืช (Bantis et al., 2016) สำหรับอัตราส่วนสีขาวที่ให้ร่วมกันส่งเสริมให้ปริมาณฟีนอลิกสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กัญตนา หลอดทองกลาง และคณะ (2562) พบว่าการให้แสงผสมระหว่างสีน้ำเงินและสีขาวส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกในกระชายดำสูงกว่าการให้แสงสีขาวอย่างเดียว แต่อย่างไรก็ตามหากต้องการให้ผักแพวมีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณฟีนอลิก สำหรับนำไปดเป็นตัวอย่างแห้งเพื่อใช้ทางเวชภัณฑ์ ต้องใช้แสงที่มีความจำเพาะโดยการปลูกผักแพวภายใต้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินอัตราส่วน 5:5 ที่ความเข้มแสง  $160 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  โดยมีงานวิจัยในอดีตพบว่าการให้แสงร่วมกันระหว่างสีแดงและสีน้ำเงินส่งผลให้ สารประกอบฟีนอลิกในกะเพราและโหระพาสูงกว่าการให้แสงสีขาว (วิจิตรา จันอุทัย และคณะ, 2562; Piovene et al., 2015) เนื่องจากแสงสีแดงและสีน้ำเงินมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญเพื่อสร้างสารปฐมภูมิ (คาร์โบไฮเดรต และกรดอะมิโน) ที่เป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารประกอบฟีนอลิกที่เป็นหนึ่งในสารทุติยภูมิ (Lattanzio et al., 2006)



ตารางที่ 4.34 อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพของแสงต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณสารสำคัญในผักแพว

ความเข้มแสง ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ )	ความยาว คลื่นแสง	Height (cm)	Leaf area ( $\text{cm}^2$ )	SPAD (SCMR)	Net photosynthesis ( $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Total chlorophyll (mg/g)	DPPH activity (%)	Total phenol ( $\mu\text{g}/\text{g}$ )
140	White (W)	35.80 ab	46.56 d	43.62 hi	1.35 fg	6.65 e-h	0.86 gh	0.026 efg	44.61 a	1.27 ghi
	Red (R)	20.20 jkl	48.52 d	33.44 j	0.21 i	2.17 h	0.24 h	0.021 gh	44.61 a	1.17 i
	Blue (B)	36.60 a	48.34 d	40.71 i	0.93 gh	9.03 defg	2.03 efg	0.024 fgh	44.11 abc	1.24 hi
	R: B (9:1)	20.80 i-l	42.34 d	46.56 gh	0.26 i	2.98 h	0.39 h	0.018 hi	43.89 a-d	1.25 ghi
	R: B (7:3)	17.60 l	39.29 d	28.52 j	0.25 i	2.10 h	0.28 h	0.018 hi	44.21 ab	1.24 hi
	R: B (5:5)	28.00 d-h	57.64 d	47.44 fgh	0.16 i	9.40 def	1.03 gh	0.035 a-d	43.49 bcd	1.33 f-i
	R: W (9:1)	30.80 cde	57.43 d	47.74 fgh	0.26 i	2.01 h	0.40 h	0.028 d-g	43.39 bcd	1.35 f-i
	R: W (5:5)	29.20 d-g	73.03 d	49.98 c-g	0.10 i	11.57 cd	1.74 fg	0.035 a-d	43.64 bcd	1.38 e-i
	B: W (9:1)	34.10 abc	44.30 d	43.57 hi	0.61 h	14.63 abc	2.12 efg	0.028 d-g	43.82 a-d	1.25 ghi
	B: W (5:5)	34.00 abc	54.70 d	43.57 hi	0.23 i	16.43 ab	2.06 efg	0.014 i	43.68 bcd	1.43 d-i
R: B: W (4:4:2)	31.40 bcd	66.37 d	49.24 d-h	0.60 h	9.07 d-g	0.96 gh	0.033 a-e	43.06 d	1.40 d-i	
R: B: W (4:3:3)	27.00 d-h	63.62 d	46.88 gh	0.11 i	5.25 fgh	0.89 gh	0.035 a-d	43.28 cd	1.30 ghi	
160	White (W)	24.70 g-j	194.30 bc	58.38 ab	2.10 def	14.95 abc	4.62 b	0.030 b-f	15.55 lm	2.34 a
	Red (R)	18.60 l	76.22 d	53.08 b-f	1.65 c-f	4.50 gh	2.45 ef	0.037 abc	16.09 kl	1.71 cde
	Blue (B)	23.50 h-k	209.99 bc	49.20 d-h	2.95 bc	10.89 cde	2.72 def	0.035 a-d	15.23 m	1.59 c-g
	R: B (9:1)	25.40 f-i	163.84 c	53.17 b-f	2.21 cde	9.60 def	4.62 b	0.037 abc	21.37 e	1.73 cd
	R: B (7:3)	24.20 hij	217.93 bc	48.15 e-h	4.62 a	16.44 ab	3.86 bcd	0.037 abc	20.51 f	1.57 c-h
	R: B (5:5)	29.70 c-f	391.12 a	47.66 fgh	3.63 b	18.93 a	5.86 a	0.035 a-d	19.72 g	2.10 ab
	R: W (9:1)	27.70 d-h	195.16 bc	51.61 c-g	1.58 def	11.06 cde	4.46 b	0.037 abc	19.00 gh	2.09 ab
	R: W (5:5)	26.80 d-h	197.68 bc	55.11 abc	1.44 ef	10.72 cde	3.06 cde	0.038 ab	17.67 i	2.07 ab
	B: W (9:1)	19.30 kl	52.86 d	53.68 b-e	1.67 c-f	5.48 fgh	2.30 ef	0.036 a-d	18.78 h	1.77 bc
	B: W (5:5)	25.30 f-i	196.30 bc	58.33 ab	2.30 cde	9.51 def	3.77 bcd	0.030 b-f	17.34 i	1.67 c-f
R: B: W (4:4:2)	26.50 e-h	327.90 ab	54.80 a-d	2.07 c-f	17.75 a	4.29 bc	0.039 a	16.99 ij	1.84 bc	
R: B: W (4:3:3)	26.80 d-h	240.37 bc	59.83 a	1.91 def	12.49 bcd	4.19 bc	0.031 a-f	16.45 jk	2.11 ab	
CV (%)		24.50	31.17	11.17	19.51	18.65	22.52	12.78	1.50	33.95

#### 4.2.5 วิธีการทดสอบระบบควบคุมแสง LED แบบอัตโนมัติในการเพาะเมล็ดพืช

การผลิตพืชให้ได้ผลผลิตสูง และมีคุณภาพดี นอกจากการให้น้ำ และธาตุอาหารที่เหมาะสมแล้ว แสงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในการกำหนดคุณภาพของพืช ปัจจุบันมีความนิยมบริโภคพืชงอกมากขึ้น ซึ่งการเพาะหรือการปลูกให้ได้ผลผลิตและคุณภาพดี ต้องมีการกำหนดปัจจัยแสงให้เหมาะสมด้วย สำหรับการทดลองนี้ได้เลือกใช้เมล็ดพืชในการทดสอบ 2 พืช ได้แก่ งาม (พันธุ์อุบล 6) และทานตะวัน (พันธุ์อะควารา 6)

1) นำเมล็ดพืชทั้ง 2 ชนิด มาทดสอบโดยวิธี TP (Top of paper) ทำพีชละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 100 เมล็ด จากนั้นนำเมล็ดที่เพาะแล้ววางใสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิ 25–30 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 80–90% โดยมีการให้แสง LED ที่มีการควบคุมแบบอัตโนมัติ ซึ่งมีปัจจัยของแสงที่แตกต่างกัน

2) ให้แสงโดยจัดพรีติเมนต์แบบ factorial in CRD โดยมีปัจจัยของแสงที่ให้กับพืช ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 คุณภาพแสง (ความยาวคลื่นแสง) โดยใช้หลอด LED ที่มีความยาวคลื่นแสงแตกต่างกัน 3 ระดับ และปัจจัยที่ 2 ความเข้มแสง 2 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.35

ตารางที่ 4.35 ปัจจัยของแสงที่ให้กับเมล็ดพืช

ความเข้มแสง ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ )	ชนิดของ LED	ความยาวคลื่นแสง (nm)	อัตราส่วน
Control	ไม่ให้แสง	–	–
50	สีขาว	400–800	–
	สีแดง	630	–
	สีแดง: น้ำเงิน	630:470	7:3
100	สีขาว	400–800	–
	สีแดง	630	–
	สีแดง: น้ำเงิน	630:470	7:3

3) การบันทึกข้อมูลลักษณะต่างๆ ดังนี้

- บันทึกเปอร์เซ็นต์ความงอก วัดโดยทำการนับต้นกล้าปกติ (normal seedling) ของเมล็ดพืชแต่ละชนิดที่อายุ 7–12 วันหลังเพาะ
- ดัชนีการงอกของเมล็ด วัดโดยนับเมล็ดที่งอกในแต่ละวันจนครบ 7–12 วัน แล้วนำมาคำนวณหาดัชนีการงอกตามวิธีของ Blackman (1919) จากสูตร

$$\text{ดัชนีการงอกของเมล็ด} = \sum \left[ \frac{X}{Y} \right]$$

เมื่อ X = จำนวนเมล็ดที่งอกแต่ละวัน

Y = จำนวนวันหลังเพาะ

- กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์  $\alpha$ -amylase ของเมล็ดพืช Kato-Noguchi and Macias (2005) เริ่มจากการเตรียมสารละลาย เพื่อทดสอบผลของสารสกัดจากพืชต่อกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์  $\alpha$ -amylase ของเมล็ดพืชที่มีการสะสมแป้ง
- ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ตามวิธีของ Mustafa et al. (2010) รายละเอียดวิธีการตามหัวข้อที่กล่าวมาแล้ว
- ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH<sup>o</sup> scavenging assay ตามวิธีของ Mustafa et al. (2010) รายละเอียดวิธีการตามหัวข้อที่กล่าวมาแล้ว

4) การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ นำข้อมูลการเจริญเติบโต ลักษณะทางสรีรวิทยา ผลผลิต และการสะสมสารสำคัญ วิเคราะห์หว่าเรียนซ์ (ANOVA) ด้วยโปรแกรม SPSS v.14 for window หากมีความแตกต่างเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT (Duncan' New Multiple Range, Test) (Norman et al., 1970)

#### 4.2.6 ผลการทดสอบระบบควบคุมแสง LED แบบอัตโนมัติในการเพาะเมล็ดพืช

จากการให้คุณภาพแสง ได้แก่ สีขาว สีแดง และสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน โดยใช้ความเข้มแสงต่างกัน 2 ระดับ ได้แก่ 50 และ 100  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  กับเมล็ดพืชทั้ง 2 ชนิด คือ ข้าว และ ถั่วเขียว เปรียบเทียบกับการไม่ให้แสง ทำการเก็บข้อมูลหลังจากเพาะเมล็ดที่อายุต่างกันตามชนิดพืช ดังนี้

1) ข้าว เมื่อเพาะเมล็ดข้าวที่ความเข้มแสงและคุณภาพแสงต่างกัน พบว่ากิจกรรมเอนไซม์  $\alpha$ -amylase ดัชนีความงอก และปริมาณฟีนอลิก มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (ตารางที่ 4.36) สำหรับอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพแสงในตารางที่ 4.37 พบว่ากิจกรรมเอนไซม์  $\alpha$ -amylase และดัชนีความงอกมีแนวโน้มสูงที่สุด ภายใต้แสงสีแดงที่ความเข้มแสง 50  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  (0.769  $\mu\text{g}/\text{min}$  และ 34.40 ต้น/วัน ตามลำดับ) เปอร์เซ็นต์ความงอกมีค่าสูงที่สุดในทุกคุณภาพแสง ที่ความเข้มแสง 50  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ในขณะที่แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 100  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ส่งผลให้ต้นอ่อนมีปริมาณฟีนอลิกสูงที่สุด (20.32  $\mu\text{g}/\text{g}$ )

2) ถั่วเขียว จากการเพาะเมล็ดถั่วเขียวที่ความเข้มแสงต่างกัน ส่งผลให้กิจกรรมเอนไซม์  $\alpha$ -amylase เปอร์เซ็นต์ความงอก ดัชนีความงอก และปริมาณฟีนอลิกแตกต่างทางสถิติ ในขณะที่การให้คุณภาพแสงที่ต่างกันส่งผลให้ทุกลักษณะแตกต่างกัน ยกเว้นกิจกรรมเอนไซม์  $\alpha$ -amylase (ตารางที่ 4.38) สำหรับอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและคุณภาพแสง พบว่าเปอร์เซ็นต์ความงอกให้ค่าสูงที่สุดภายใต้แสงสีแดง และสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 50  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  นอกจากนี้พบว่าเปอร์เซ็นต์ความงอกมีค่าสูงในทุกคุณภาพแสง ที่ความเข้มแสง 100  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  แต่ไม่แตกต่างกับการไม่ให้แสง ในขณะที่ดัชนีความงอกสูงภายใต้ความเข้มแสง 100  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ทุกคุณภาพแสง ทั้งแสงสีขาว สีแดง และสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน (100, 98.30 และ 100 ต้น/วัน ตามลำดับ) สำหรับ

ปริมาณฟีนอลิกพบว่าสูงที่สุดภายใต้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน ที่ความเข้มแสง 100  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  (11.48  $\mu\text{g}/\text{g}$ ) อย่างไรก็ตามการให้ความเข้มแสงและคุณภาพแสงต่างกัน ไม่มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์  $\alpha$ -amylase โดยมีค่าระหว่าง 1.20–1.48  $\mu\text{g}/\text{min}$  (ตารางที่ 4.39)

ตารางที่ 4.36 ผลของความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์  $\alpha$ -amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลิกในข้าว

ทริทเมนต์	$\alpha$ -amylase ( $\mu\text{g}/\text{min}$ )	Germination (%)	Speed of germination (seed/day)	Total phenol ( $\mu\text{g}/\text{g}$ )
<b>ความเข้มแสง (<math>\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}</math>)</b>				
0	0.34 b	83.33 c	21.00 b	5.42 c
50	0.39 b	98.66 a	20.60 b	14.88 b
100	0.59 a	87.66 b	33.18 a	16.91 a
p-value	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>คุณภาพแสง</b>				
Dark	0.34 c	83.33 c	21.00 c	5.42 d
White	0.57 a	90.50 b	25.90 b	18.02 a
Red	0.45 b	95.00 a	27.90 a	14.46 c
Red: Blue	0.45 b	94.00 a	26.86 ab	15.22 b
p-value	0.00	0.01	0.03	0.00
A*B	0.00	0.78	0.00	0.00
CV (%)	11.57	2.68	4.54	0.00

ตารางที่ 4.37 อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์  $\alpha$ -amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลิกในข้าว

ความเข้มแสง ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ )	คุณภาพแสง	$\alpha$ -amylase ( $\mu\text{g}/\text{min}$ )	Germination (%)	Speed of germination (seed/day)	Total phenol ( $\mu\text{g}/\text{g}$ )
ไม่ให้แสง	–	0.34 d	83.00 d	21.00 c	5.40 g
50	White	0.47 c	96.00 a	18.40 d	17.72 c
	Red	0.38 cd	100.00 a	21.40 c	16.82 d
	Red: Blue	0.33 d	100.00 a	22.00 c	10.12 f
100	White	0.44 c	85.00 cd	33.40 ab	18.32 b
	Red	0.76 a	90.00 b	34.40 a	12.10 e
	Red: Blue	0.57 b	88.00 bc	31.73 b	20.32 a
p-value		0.00	0.00	0.00	0.00
CV (%)		11.57	2.54	4.61	0.00

ตารางที่ 4.38 ผลของความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์  $\alpha$ -amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลิกในถั่วเขียว

พรีทเมนต์	$\alpha$ -amylase ( $\mu\text{g}/\text{min}$ )	Germination (%)	Speed of germination (seed/day)	Total phenol ( $\mu\text{g}/\text{g}$ )
ความเข้มแสง ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ )				
0	1.33 b	100.00 a	48.08 b	6.66 b
50	1.25 c	96.66 b	40.26 b	5.23 b
100	1.42 a	100.00 a	99.43 a	10.26 a
p-value	0.01	0.00	0.00	0.00
คุณภาพแสง				
Dark	1.33	100.00 a	48.03 c	6.66 c
White	1.31	95.00 b	62.81 b	8.21 a
Red	1.30	100.00 a	73.19 a	7.86 ab
Red: Blue	1.40	100.00 a	73.54 a	7.17 bc
p-value	0.39	0.00	0.00	0.01
A*B	0.94	0.00	0.00	0.00
CV (%)	9.73	2.26	3.35	7.29

ตารางที่ 4.39 อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสง และคุณภาพแสง ต่อกิจกรรมเอนไซม์  $\alpha$ -amylase ความงอก และปริมาณฟีนอลิกในถั่วเขียว

ความเข้มแสง ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ )	คุณภาพแสง	$\alpha$ -amylase ( $\mu\text{g}/\text{min}$ )	Germination (%)	peed of germination (seed/day)	Total phenol ( $\mu\text{g}/\text{g}$ )
ไม่ให้แสง	-	1.33	100.00 a	48.03 b	6.66 d
50	White	1.23	90.00 b	25.62 c	7.28 d
	Red	1.20	100.00 a	48.08 b	5.57 e
	Red: Blue	1.31	100.00 a	47.08 b	2.86 f
100	White	1.38	100.00 a	100.00 a	9.15 c
	Red	1.41	100.00 a	98.30 a	10.15 b
	Red: Blue	1.48	100.00 a	100.00 a	11.48 a
p-value		0.19	0.00	0.00	0.00
CV (%)		9.73	2.26	3.64	13.16

วิจารณ์ผลการทดลอง จากการทดลองเพื่อทดสอบความเข้มแสง และคุณภาพแสงต่อการงอกของเมล็ด และปริมาณฟีนอลิกในต้นอ่อนในพืช พบว่าความเข้มแสงที่  $50 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ส่งผลให้เมล็ดข้าวมีความงอกสูงที่สุด อย่างไรก็ตามเมล็ดถั่วเขียว มีความงอกสูงที่ความเข้มแสง  $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  เช่นกัน ซึ่งเมล็ดที่ให้แสงมีความงอกสูงกว่าการเพาะในที่มืด เนื่องจากกระบวนการงอกของเมล็ดเกี่ยวข้องโดยตรงกับการทำงานของเอนไซม์ amylase ที่มีผลจากการทำงานของฮอร์โมนจิบเบอเรลลิน (มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ชนิดต่างๆ ในเมล็ด ได้แก่ amylase, protease,



ribonuclease) เมื่อจิบเบอเรลลินถูกกระตุ้นโดยแสงทำให้ปริมาณจิบเบอเรลลินเพิ่มขึ้น ซึ่งจิบเบอเรลลินควบคุมการทำงานของเอนไซม์ amylase ผ่านการสังเคราะห์ RNA โดยการสังเคราะห์เริ่มต้นที่กรดเมวาโลนิคแล้วเปลี่ยนไปตามกระบวนการเป็นจิบเบอเรลลินจึงส่งผลให้ปริมาณ amylase เพิ่มขึ้น ซึ่งเอนไซม์ amylase ส่งผลโดยตรงกับการงอกของเมล็ดพืช (Mitsuhashi et al., 2003) อย่างไรก็ตามการให้ความเข้มแสงต้องอยู่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม สำหรับผลการวิจัยในครั้งนี้ความเข้มแสงมีผลต่อกิจกรรมเอนไซม์  $\alpha$ -amylase และความงอกของ ทานตะวัน และข้าว แต่ไม่ส่งผลต่อกิจกรรมเอนไซม์  $\alpha$ -amylase ของถั่วเขียว และถั่วเหลือง

นอกจากนี้ยังพบว่า เมล็ดข้าว และถั่วเขียว ที่เพาะภายใต้แสงสีแดงมีความงอกสูงกว่าแสงอื่นๆ ในอดีตมีการทดลองให้คุณภาพแสงที่ต่างกันกับเมล็ดถั่วฝักยาวและฝักกาดหอม พบว่าแสงสีแดงมีผลให้เปอร์เซ็นต์ความงอกสูงกว่าการให้แสงสีอื่นๆ (दनัย बुण्यเกียรติ, 2563; Nand and Priti, 2017) เป็นผลจากการทำงานของไฟโตโครมที่พืชสร้างขึ้นในรูปของ Pr ซึ่งเมื่อ Pr ได้รับแสงสีแดงจะถูกเปลี่ยนเป็น Pfr ซึ่งเป็นรูปที่ส่งผลให้พืชมีการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของต้นอ่อน โดยมีการศึกษาผลกระทบการงอกของเมล็ดที่ถูกควบคุมด้วยไฟโตโครม พบว่าส่งเสริมการสร้างจิบเบอเรลลินที่กระตุ้นให้เมล็ดงอกได้เช่นเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งเป็นผลจากแสงสีแดงและแสง far red ที่กระตุ้นและยับยั้งกิจกรรมต่างๆ ในเมล็ด (นภัทร วัจนเทพินทร และไชยยันต์ บุญมี 2560) อย่างไรก็ตามผลการทดลองครั้งนี้พบว่าพืชที่เมล็ดขนาดใหญ่ เช่น ถั่วเขียว และถั่วเหลืองไม่ต้องการแสงในการงอก อาจเป็นผลจากการที่เมล็ดขนาดใหญ่สามารถสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตในความมืด แสงจึงไม่จำเป็นสำหรับการงอกของเมล็ด (दनัย बुण्यเกียรติ, 2563)

ปริมาณฟีนอลิกในการทดลองครั้งนี้พบว่าการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินที่ความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจาก 50 เป็น 100  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกในต้นอ่อนทานตะวัน ข้าว และถั่วเขียว มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้สารประกอบฟีนอลิกเป็นหนึ่งในสารทุติยภูมิที่มีสารตั้งต้นจากสารปฐมภูมิ (คาร์โบไฮเดรต และกรดอะมิโน) และมีแสงเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการสร้าง ซึ่งแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินมีผลต่อการผลิตสารประกอบฟีนอลิก (วิจิตร จันอุทัย และคณะ, 2561) โดยงานวิจัยที่ผ่านมาการศึกษาผลของแสงต่อปริมาณฟีนอลิก โดยการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 4:6 ที่ความเข้มแสง 38  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ส่งผลให้สารในกลุ่มฟีนอลิกของต้นอ่อน *Taraxacum officinale* สูงกว่าการให้แสงสีขาว (Ryu et al., 2012)

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การทดลองนี้เป็นการทดสอบและพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตพืชแบบแม่นยำ โดยได้แบ่งงานทดลองเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การพัฒนาเทคโนโลยีอัจฉริยะสำหรับการผลิตพืชเศรษฐกิจในสภาพแปลง และส่วนที่ 2 การพัฒนาโรงเรือนอัจฉริยะสำหรับการผลิตพืช โดยการพัฒนาระบบเทคโนโลยีทั้งสองส่วนเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อให้เกษตรกรใช้สำหรับการผลิตพืชให้มีผลผลิตสูง คุณภาพดี โดยมีการใช้ทรัพยากรต่างๆ รวมถึงจัดการปัจจัยการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อลดต้นทุนการผลิต ซึ่งการพัฒนาเทคโนโลยีแต่ละส่วนมีกิจกรรมต่างๆ ที่สรุปได้ดังนี้

#### ส่วนที่ 1 การพัฒนาเทคโนโลยีอัจฉริยะสำหรับการผลิตพืชไร่เศรษฐกิจ

การพัฒนาเทคโนโลยีอัจฉริยะในส่วนนี้ดำเนินการวิจัยเพื่อให้สามารถแก้ปัญหา หรือมีการจัดการปัจจัยการผลิต และสภาพแวดล้อม ให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในสภาพแปลงใหญ่ ซึ่งมีกิจกรรมต่างๆ ได้แก่ 1) การควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยระบบน้ำสำหรับการผลิตพืชในระบบน้ำหยด และการทดสอบระบบในระดับแปลงใหญ่ 2) การทดสอบใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการใช้กับระบบน้ำหยด 3) การพัฒนา software เพื่อจำแนกพันธุ์พืชและวัชพืช 4) การประเมินการระบาดของวัชพืช การเจริญเติบโตและผลผลิตพืชจากภาพถ่ายทางอากาศ และ 5) การประยุกต์ใช้โดรนในการพันสารควบคุมการเจริญเติบโตในพืชไร่เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพผลผลิต ซึ่งแต่ละกิจกรรมมีข้อสรุปจากการทดลองดังนี้

#### กิจกรรมที่ 1 การพัฒนาเทคโนโลยีควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยระบบน้ำสำหรับการผลิตพืชในระบบน้ำหยด ซึ่งมีกิจกรรมย่อยที่สามารถสรุปได้ดังนี้

การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อใช้ในการควบคุมการให้น้ำ ผลจากการพัฒนาแอปพลิเคชันโดยใช้หลักการให้น้ำตามความต้องการของพืช ซึ่งผู้ใช้สามารถคำนวณปริมาณการให้น้ำแก่พืชได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว โดยไม่จำเป็นต้องมีความรู้ในการคำนวณน้ำหรือชนิดดิน และแอปพลิเคชันนี้สามารถใช้ได้ง่ายบนโทรศัพท์มือถือ อย่างไรก็ตามผู้ใช้ต้องระบุชนิดพืช ชนิดดิน ระยะห่างแถวพืชที่ปลูก ระยะห่างรูเทปน้ำหยด สถานที่ปลูก และวัน-เวลา ที่ปลูกพืชนั้น จึงจะทำให้การคำนวณมีความแม่นยำสำหรับเกษตรกรแต่ละราย เมื่อกำหนดแล้วแอปพลิเคชันจะแจ้งปฏิทินการให้น้ำกับพืชตลอดอายุการปลูก ซึ่งง่ายต่อผู้ใช้ในการวางแผนการให้น้ำและการผลิตพืชแต่ละชนิด

**การพัฒนา ระบบ Wireless sensor สำหรับตรวจวัดความชื้นดินในการควบคุมการให้น้ำ** ซึ่งเป็นเทคโนโลยีควบคุมการให้น้ำที่มีความแม่นยำมากกว่าการใช้แอปพลิเคชัน เนื่องจากการวัดความชื้นดินโดยตรง แล้วส่งข้อมูลจากการตรวจวัดด้วยเซ็นเซอร์วัดความชื้นดินในแปลงปลูกพืชขึ้นสู่คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ ผลจากการพัฒนาระบบพบว่ามีความแม่นยำในการตรวจวัดความชื้นดิน แต่ต้องมีการเลือกใช้ชนิดและติดตั้งเซ็นเซอร์ในแปลงปลูกที่เหมาะสม

**การพัฒนา ระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ** เพื่อให้การควบคุมการให้น้ำมีความสะดวกแก่เจ้าของแปลง และสามารถตรวจสอบ ติดตามการให้น้ำได้ตลอดเวลา จึงได้พัฒนาระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ ซึ่งผลการทดสอบระบบพบว่าระบบมีความเสถียรและสามารถตั้งการให้น้ำได้แบบอัตโนมัติหรือควบคุมได้จากโทรศัพท์เคลื่อนที่

**การพัฒนา แอปพลิเคชันการให้ปุ๋ยในระบบน้ำสำหรับอ้อยและมันสำปะหลัง** การให้ปุ๋ยทางระบบน้ำเป็นวิธีการให้ปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าการโรยหรือหว่านทางดิน อย่างไรก็ตามต้องมีการวิเคราะห์ดิน และคำนวณการให้ปุ๋ยให้เหมาะสมกับความต้องการพืช แต่เกษตรกรมักทำเองได้ยาก เพราะไม่มีความรู้เรื่องการจัดการปุ๋ย ดังนั้นการพัฒนาแอปพลิเคชันนี้จะเป็นเครื่องมือช่วยให้เกษตรกรสามารถคำนวณการให้ปุ๋ยได้อย่างรวดเร็ว และถูกต้อง เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด ผลการทดสอบใช้กับเกษตรกรหลายรายพบว่าเกษตรกรสามารถทำได้เองอย่างรวดเร็ว และสามารถผสมปุ๋ยเองได้ เพียงแต่เกษตรกรนำผลการวิเคราะห์ดินกรอกลงในแอปพลิเคชัน และเลือกชนิดพืช จะได้ตารางการให้ปุ๋ย ปริมาณปุ๋ย และข้อเสนอแนะสำหรับการปรับปรุงดินด้วย

**การทดสอบเทคโนโลยีควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยทางระบบน้ำสำหรับการผลิตอ้อยในระบบน้ำหยด** เมื่อทดสอบเทคโนโลยีควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยในระบบน้ำสำหรับการผลิตอ้อยในระบบน้ำหยด เปรียบเทียบกับการไม่ให้น้ำหยด พบว่าระบบควบคุมการให้น้ำทั้งสองวิธีการมีความเสถียร ปริมาณการให้น้ำสองวิธีการไม่แตกต่างกัน แต่การให้น้ำที่ควบคุมโดยแอปพลิเคชันมีปริมาณการให้น้ำมากกว่าการใช้เซ็นเซอร์เล็กน้อย สำหรับการให้ผลผลิตเมื่อมีการให้น้ำหยดที่ควบคุมทั้งสองวิธีส่งเสริมให้อ้อยมีการเจริญเติบโต และมีจำนวนลำต่อต้นมากกว่าการไม่ให้น้ำ ส่งผลให้อ้อยมีผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างน้อย 6 ตัน/ไร่ โดยเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนกับการไม่ให้น้ำ พบว่าการให้น้ำหยดมีต้นทุนการวางระบบน้ำสูงกว่าการไม่ให้น้ำ 6,000 บาท/ไร่ แต่การให้น้ำหยดส่งผลให้อ้อยงอกดีกว่า ช่วยลดค่าแรงการให้ปุ๋ย ลดค่าปุ๋ย และให้ผลผลิตสูงกว่าการไม่ให้น้ำ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีการให้น้ำพบว่าการใช้แอปพลิเคชันมีต้นทุนน้อยกว่าการใช้เซ็นเซอร์ประมาณ 800 บาท/ไร่/ปี แต่การใช้เซ็นเซอร์มีความแม่นยำมากกว่า หากในอนาคตสามารถพัฒนาเซ็นเซอร์ให้ถูกลงจะช่วยลดต้นทุนลงได้

## กิจกรรมที่ 2 การทดสอบระบบปั๊มน้ำอัตโนมัติโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar cell)

กิจกรรมนี้เป็นผลเนื่องจากการทำเกษตรมักเป็นพื้นที่ห่างไกลไม่มีไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานในการสูบน้ำ หรือหากใช้น้ำมันหรือไฟฟ้าในการสูบน้ำมักมีต้นทุนสูงไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ดังนั้นการพัฒนา ระบบโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นทางเลือกสำหรับเกษตรกร ซึ่งการทดลองได้ทดสอบระบบปั๊มน้ำอัตโนมัติโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยกำหนดการให้น้ำ 4.8 ซม./วัน ในช่วงกลางวัน ซึ่งการใช้พลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพดีทดแทนการใช้น้ำมัน/ไฟฟ้าในการสูบน้ำได้ แต่ช่วงที่แดดน้อยกำลังไฟอาจไม่เพียงพอ ซึ่งควรมีการพัฒนาแหล่งเก็บพลังงานสำรองต่อไป

## กิจกรรมที่ 3 การพัฒนา software เพื่อจำแนกพันธุ์พืชและวัชพืช

เป้าหมายของกิจกรรมนี้เพื่อช่วยเกษตรกรในการจำแนกพันธุ์พืช และจำแนกวัชพืช ได้อย่างรวดเร็วเพื่อประโยชน์ในการวางแผนจัดการ หรือการป้องกันกำจัดได้อย่างรวดเร็ว ทันเวลา สำหรับพืชตัวอย่างในการวิจัยนี้ คือน้ำมันสำปะหลัง เนื่องจากพืชนี้มักมีปัญหาการจำแนกพันธุ์และมีการหลอกขายพันธุ์ราคาสูงมาก สำหรับวัชพืชได้ทดสอบหลายชนิด โดยเฉพาะวัชพืชที่พบการระบาดทั่วไปและพบเห็นบ่อยๆ ในแปลงพืช หากเกษตรกรจำแนกได้เร็วจะสามารถเลือกใช้วิธีการกำจัดให้เหมาะสม

### การจำแนกพันธุ์มันสำปะหลังจากภาพถ่ายด้วยการเรียนรู้แบบเชิงลึก (deep learning)

การพัฒนา software เพื่อจำแนกพันธุ์มันสำปะหลังโดยใช้มันสำปะหลัง 12 พันธุ์ใน 2 ฤดู แล้วถ่ายรูปจำนวนมากจากหลายช่วงอายุแล้วนำมาพัฒนาซอฟต์แวร์ในส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้ (User interface) ประมวลผลและการทดสอบระบบใน cloud computing เมื่อทดลองใช้แอปพลิเคชัน Cassava Breed Classifier สามารถจำแนกพันธุ์มันสำปะหลังได้เร็วโดยสามารถถ่ายรูปต้นมันสำปะหลังโดยโทรศัพท์มือถือ แล้วจำแนกได้อย่างรวดเร็ว

### การจำแนกประเภทวัชพืชจากภาพถ่ายด้วยการเรียนรู้แบบเชิงลึก

การพัฒนา software เพื่อจำแนกวัชพืช โดยถ่ายรูปวัชพืช 42 ชนิดที่อายุต่างกัน จากหลายสภาพแวดล้อม เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่สามารถใช้งานได้สะดวกที่สามารถถ่ายรูปวัชพืชแล้วสามารถระบุประเภทได้ และนำข้อมูลภาพถ่ายมาใช้เทคนิค Imagine analysis แล้วประมวลผลข้อมูลภาพและฝึกสอนด้วยเครือข่าย CNN แบบ Inception ได้เปอร์เซ็นต์ทดสอบความถูกต้องอยู่ที่ 81.4% เมื่อทดลองใช้ Weed Classifier Application พบว่าสามารถจำแนกชนิดของวัชพืชได้อย่างรวดเร็วโดยใช้โทรศัพท์มือถือ

#### กิจกรรมที่ 4 การประเมินการระบาดของวัชพืช การเจริญเติบโตและผลผลิตพืชจากภาพถ่ายทางอากาศ

การประเมินการระบาดของวัชพืชในแปลงพืชด้วยอากาศยานไร้คนขับ (UAV) การปลูกพืชไร่ในสภาพแปลงใหญ่ เช่น อ้อย หรือมันสำปะหลัง การตรวจสอบการระบาดของวัชพืชอาจทำได้ไม่ทั่วถึง ดังนั้นการใช้เครื่องมือมาช่วยในการตรวจได้เร็วขึ้นจะช่วยการวางแผนจัดการทำได้อย่างรวดเร็ว การวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับและเทคโนโลยี remote sensing เพื่อประเมินความหนาแน่นวัชพืช พบว่าใช้ประเมินได้แม่นยำและใช้เวลาในการประเมินน้อยกว่าใช้คนสำรวจสามารถเข้าไปแก้ปัญหาวัชพืชได้เร็วและตรงจุด อย่างไรก็ตามต้องมีการพัฒนาให้มีราคาต้นทุนการประเมินที่ต่ำลง

การประเมินการเจริญเติบโต และผลผลิตพืชด้วยอากาศยานไร้คนขับ การประเมินการเจริญเติบโต และความอุดมสมบูรณ์ของพืชแปลงใหญ่ทำได้ยาก และไม่ทั่วถึง โดยเฉพาะสถานการณ์ที่แรงงานหายากและราคาแรงงานสูง ดังนั้นการประเมินโดยใช้อากาศยานไร้คนขับช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการประเมินเพื่อให้สามารถเข้าไปดูแลหรือจัดการพืชได้ทันเวลา การวิจัยนี้ได้ประเมินการเจริญเติบโตและความอุดมสมบูรณ์ของอ้อย (อายุ 4 และ 8 เดือน) ผลการประเมินการเจริญเติบโต พบว่าสามารถระบุพื้นที่ที่ต้นเจริญเติบโตน้อย (ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ) สามารถเข้าไปแก้ปัญหาได้ทันการ สำหรับการประเมินผลผลิตอ้อยโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ และ remote sensing (อ้อย 11 เดือน) พบว่าทำได้รวดเร็วและแม่นยำ ทดแทนการใช้แรงงานคนเข้าไปสำรวจ ซึ่งทำได้ยากและใช้เวลานาน โดยผลการประเมินผลผลิตเป็นประโยชน์กับโรงงานน้ำตาลในการวางแผนการจัดคิวการรับอ้อยเข้าโรงงาน การวางแผนจัดการและวางแผนการตลาดได้ล่วงหน้าก่อนถึงฤดูหีบอ้อย

#### กิจกรรมที่ 5 การใช้โดรนพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโตในพืชไร่เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพ

##### ผลผลิต

การหาอัตราการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต (ใช้โดรนพ่น) ในมันสำปะหลัง และอ้อย เนื่องจากมันสำปะหลัง เมื่อปลูกในบางฤดู หรือบางพื้นที่ที่มีปัญหาการเจริญเติบโตทางลำต้นแล้วไม่ลงหัว โดยเฉพาะในช่วงอายุที่ให้ผลผลิต ในขณะที่อ้อยที่อายุ 9-11 เดือนหากปล่อยให้ต้นสูงเกินไปมักมีปัญหาต้นหักล้ม และหากมีฝนในช่วงระยะใกล้เก็บเกี่ยวมักมีความหวานลดลง การลดความสูงและเพิ่มความหวานในอ้อย หรือการควบคุมการเจริญเติบโตเพื่อให้มีการสะสมแป้งในหัวมันสำปะหลัง สามารถทำได้โดยการพ่นสารควบคุมการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตามมันสำปะหลังและอ้อย อายุ 8-11 เดือนมีต้นสูงไม่สามารถเข้าไปฉีดพ่นสารได้จำเป็นต้องใช้โดรนพ่นสารที่มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าใช้แรงงานคน และยังฉีดได้เร็วแม้ต้นพืชสูง แต่จำเป็นต้องหาอัตราการพ่นที่เหมาะสมกับการพ่นโดยใช้โด



รณ ซึ่งการวิจัยนี้ได้ทดสอบพ่นสารพาโคลบิวทาโซล (PBZ) และไกลโฟเสต ให้พืชทั้งสองชนิด ผลการทดสอบพบว่าต้นและยอดยาวนานน้อยกว่าการไม่พ่น แต่มีผลผลิต และแป้งของมันสำปะหลังสูงกว่าการไม่พ่นสาร โดยการใช้โดรนพ่นสาร PBZ อัตราส่วนที่เหมาะสมคือความเข้มข้นระหว่าง 500–1,000 ppm สำหรับอ้อยการพ่น PBZ ที่อัตรา 1,000 ppm มีผลทำให้ความหวานสูงกว่าการไม่พ่นสาร

## ส่วนที่ 2 การพัฒนาโรงเรือนอัจฉริยะสำหรับการผลิตพืช

### กิจกรรมที่ 1 การพัฒนาและทดสอบการปลูกพืชภายใต้โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิระบบปิด

#### (Evaporation Greenhouse)

การพัฒนาและทดสอบปลูกพืชภายใต้โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิระบบปิด ได้ทำการพัฒนาโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิแบบ evaporation ที่ประกอบด้วย แผ่นทำความเย็น พัดลมดูดอากาศ ระบบพ่นหมอก และม่านพรางแสง สำหรับระบบปลูกใช้ระบบปลูกแบบไม่ใช้ดินแบบ Nutrient Film Technique (NFT) โดยมีทั้งรางปลูกไม้เลื้อยและรางปลูกผัก นอกจากนี้ได้พัฒนาระบบการให้สารละลายธาตุอาหารพืชแบบอัตโนมัติ และระบบจ่ายพลังงานให้แก่โรงเรือนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ผลการพัฒนาโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิระบบปิดพบว่าระบบใช้ได้ดีสามารถควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่าภายนอกโรงเรือน 7–8 °C การใช้ระบบโซลาเซลล์เป็นแหล่งพลังงานใช้ได้ดี ระบบจ่ายพลังงานมีความเสถียร และช่วยลดค่าไฟฟ้าได้ 80.3% เมื่อเปรียบเทียบกับไม่ใช้โซลาเซลล์ สำหรับต้นทุนการพัฒนาโรงเรือนขนาด 192 ตารางเมตร มีต้นทุนโครงสร้างรวมกับระบบควบคุมอัตโนมัติต่างๆ และระบบโซลาเซลล์รวมทั้งสิ้นเท่ากับ 980,000 บาท หรือคิดเป็นต้นทุนต่อตารางเมตรเท่ากับ 5,151 บาท/ตารางเมตร ซึ่งเป็นต้นทุนที่สูงมาก ดังนั้นต้องใช้ในการผลิตพืชที่มีมูลค่าสูงที่ไม่สามารถปลูกนอกโรงเรือนได้

**การทดสอบปลูกมะเขือเทศราชินีในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ** การปลูกมะเขือเทศราชินีซึ่งมีมูลค่าผลผลิตสูง เป็นการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและระบบต่างๆ พร้อมทั้งทดสอบผลของการควบคุมอุณหภูมิต่อการให้ผลผลิตของมะเขือเทศ พบว่าสามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนลงและต่ำกว่าภายนอกโรงเรือน 7–8 °C ทำให้มะเขือเทศมีการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตสูงกว่าเปรียบเทียบกับปลูกนอกโรงเรือนในช่วงเวลาเดียวกัน และไม่ได้ใช้สารเคมีควบคุมแมลงและโรคศัตรูพืช ในขณะที่เมื่อปลูกนอกโรงเรือนต้องใช้สารเคมีปริมาณมาก สำหรับผลผลิตในโรงเรือนสูงกว่าการปลูกนอกโรงเรือนประมาณ 5 เท่าตัว นอกจากนี้การปลูกในโรงเรือนสามารถเก็บผลผลิตได้นาน 6–8 เดือน ขึ้นกับการตัดแต่งและดูแลรักษา ในขณะที่นอกโรงเรือนสามารถเก็บผลผลิตได้เพียง 3–5 เดือน

**การทดลองปลูกกะหล่ำปม กะหล่ำดอก และบรอกโคลี ในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ** การปลูกพืชทั้ง 3 ชนิด (พืชต้องการอุณหภูมิต่ำในการฟอร์มดอกและสะสมอาหาร) ในโรงเรือนในช่วงฤดู

ร้อน และฤดูหนาว พบว่ามีการเจริญเติบโตดีทั้งสองฤดู แต่ผลผลิตพืชทั้งสามชนิดให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพดีในฤดูหนาว ในฤดูร้อนให้ผลผลิตต่ำกว่าในฤดูหนาวและคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน เนื่องจาก 3 พืชนี้ต้องการอุณหภูมิต่ำสำหรับการพัฒนาดอก ทำให้ผลผลิตไม่ได้คุณภาพตามต้องการของตลาด

**การทดลองปลูกพืชชนิดต่างๆ ภายใต้โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ** การปลูกผักชนิดต่างๆ ได้แก่ ผักสลัด คะน่ำใบหยิก แตงกวาญี่ปุ่น ฟักทอง (บัตเตอร์นัท) และคะน่ำฮ่องกง พบว่าพืชทุกชนิดมีการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกนอกโรงเรือน และพืชบางชนิด เช่น คะน่ำใบหยิก คะน่ำฮ่องกง สามารถเก็บผลผลิตได้นาน 4-5 เดือน นอกจากนี้พืชที่ทดสอบทั้งหมดสามารถปลูกได้ทั้งปี ลดการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดโรคและแมลง สำหรับต้นทุนและผลตอบแทนของการปลูกพืชชนิดต่างๆ ภายในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ พบว่ามะเขือเทศราชินีให้ผลกำไรต่อพื้นที่ต่อเดือนสูงที่สุด คือ 4,648 บาท/เดือน/พื้นที่ 100 ตารางเมตร รองลงมาคือคะน่ำใบหยิก

## กิจกรรมที่ 2 การพัฒนาและทดสอบการปลูกพืชภายใต้โรงเรือนระบายอากาศระบบเปิด

**การพัฒนาโรงเรือนระบายอากาศระบบเปิด** การพัฒนาโรงเรือนระบายอากาศระบบเปิดซึ่งเป็นโรงเรือนที่ไม่มีระบบควบคุมความชื้นแบบ Evaporation แต่สามารถลดอุณหภูมิลงได้เล็กน้อยจากการใช้ระบบพ่นหมอก พัฒนาระบายอากาศ และผ่านพรางแสง โรงเรือนลักษณะนี้ไม่สามารถปลูกพืชที่ต้องการอากาศเย็นมากได้ แต่สามารถควบคุมโรคและแมลง และสามารถผลิตพืชได้หลายชนิดที่ไม่สามารถปลูกได้ในช่วงฤดูฝน การวิจัยนี้ได้พัฒนาต้นแบบโรงเรือนระบายอากาศแบบเปิดขนาด 1,200 ตารางเมตร โดยใช้แบบโรงเรือนปลูกพืชทรงหลังคาพื้นเลื้อยเพื่อให้ระบายความร้อนภายในโรงเรือนได้ดีขึ้น มีระบบปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน 3 ระบบ คือวัสดุปลูก และระบบหมุนเวียนน้ำระบบ DRFT (Dynamic Root Floating Technique) มีระบบควบคุมให้สารละลายอัตโนมัติ ระบบผ่านพรางแสง ระบบพ่นหมอก และพัฒนาระบายอากาศ เมื่อเปรียบเทียบกับโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิแบบ Evaporation มีต้นทุนโรงเรือน/ต่อพื้นที่ปลูกต่ำกว่าประมาณ 3 เท่าตัว

**การผลิตมะเดื่อฝรั่งภายใต้สภาพโรงเรือนระบายอากาศระบบเปิด** เนื่องจากมะเดื่อฝรั่งมีราคาผลผลิตแพง แต่การปลูกนอกโรงเรือนมักพบปัญหาโรคทางใบในฤดูฝนเนื่องจากความชื้นสูง และมีปัญหาแมลง เช่น เพลี้ยแป้ง และแมลงหวี่ ในช่วงติดผล ดังนั้นการปลูกในโรงเรือนเป็นการป้องกันปัญหาเหล่านี้ แต่ต้องมีการพัฒนาสูตรสารละลายธาตุอาหารพืชสำหรับพืชนี้ พบว่าการปลูกมะเดื่อฝรั่งในโรงเรือนมีการเจริญเติบโตดี ลดการเกิดโรคทางใบ และใช้ความเข้มข้นสารละลายที่ EC 3 dS/m ให้ผลผลิตสูงสุด แต่คุณภาพผลผลิตไม่แตกต่างจากที่ระดับความเข้มข้นอื่น และเมื่อทดสอบการปรับธาตุอาหารพืช N และ K ให้เหมาะสม พบว่าการเพิ่ม K ให้สูงขึ้นในระยะติดผลทำให้ผลผลิตมีความหวานสูงขึ้น และลดการสูญเสียผลผลิตจากการแตกร่วงได้

**การทดลองการปลูกผักชนิดต่างๆ ในโรงเรือนระบบเปิด** การปลูกพืชในโรงเรือนเป็นการลดปัญหาศัตรูพืช ลดการใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัด แต่ต้องมีการพัฒนาวิธีการปลูกให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ การวิจัยนี้ได้ทดสอบในพืชหลายชนิด ได้แก่ มะเขือเทศเชอร์รี่ มะระ ฟักทอง (ปัตเตอร์-นัท) แตงกวาญี่ปุ่น แคนตาลูป และคะน้าฮ่องกง โดยผลการวิจัยนี้ได้พัฒนาสูตรสารละลายธาตุอาหารพืช (ดัดแปลง) ให้เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด พบว่าผักทั้งหมดเจริญเติบโตดี และให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกนอกโรงเรือน นอกจากนี้ยังสามารถปลูกได้ทั้งปี และลดการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชด้วยการประเมินต้นทุนและผลตอบแทนของการปลูกพืชชนิดต่างๆ ภายในโรงเรือนระบบเปิดพบว่า การปลูกมะเขือเทศเชอร์รี่ และมะเดื่อฝรั่ง ให้ผลกำไรต่อพื้นที่ต่อเดือนสูงสุด คือ 8,739 บาท/เดือน/พื้นที่ 100 ตารางเมตร รองลงมาคือแคนตาลูป

### **กิจกรรมที่ 3 การพัฒนาระบบควบคุมการให้น้ำและให้ปุ๋ยอัตโนมัติผ่านระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในโรงเรือน**

**การออกแบบระบบการให้น้ำอัตโนมัติในโรงเรือนด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย** การวิจัยนี้มีการออกแบบระบบการให้น้ำด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย มีการออกแบบฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ พัฒนาแอปพลิเคชัน และระบบตรวจวัด ผลการวิจัยพบว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างครบถ้วนทุกกระบวนการทั้งการวัดค่าความชื้นในดิน/วัสดุปลูกจาก sensor EC-5 ส่งไปที่แอปพลิเคชัน Blynk และการประมวลผลของระบบการทำงานของรีเลย์รวมไปถึงกระบวนการให้น้ำทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ระบบสามารถส่งค่าความชื้นในดินไปยังแอปพลิเคชัน Blynk ได้อย่างราบรื่น และรีเลย์สามารถควบคุมการทำงานของปั๊มและโซลินอยด์วาล์วได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**การออกแบบและพัฒนาระบบการให้ปุ๋ยแบบอัตโนมัติในโรงเรือน ด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย** โดยการวิจัยนี้ได้ออกแบบฮาร์ดแวร์หรือระบบควบคุมการตรวจวัดค่าของอุปกรณ์เซ็นเซอร์การรายงานผล ทดสอบและเปรียบเทียบเซ็นเซอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ออกแบบซอฟต์แวร์และการทดสอบระบบการทำงานของ ThingSpeak และการพัฒนาแอปพลิเคชันควบคุมการของให้ปุ๋ยอัตโนมัติ ผลการทดลอง พบว่าระบบควบคุมสารละลายในการปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์ เมื่อกำหนดค่า EC และ pH ที่ต้องการแล้วเซ็นเซอร์ EC, pH, Temperature วัดค่าโดยค่ายังอยู่ในช่วงที่กำหนด ระบบควบคุมสารละลายในการปลูกพืชในโรงเรือนใช้งานได้ดี ระบบมีความเสถียร ใช้งานง่ายต่อการควบคุมและติดตามความเข้มข้นของสารละลายให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม นอกจากนี้ระบบควบคุมสารละลายช่วยให้สามารถควบคุมค่าการนำไฟฟ้า (EC) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสารละลายอยู่ในช่วงที่พืชต้องการได้ในทุกช่วงระยะของการเจริญเติบโต

#### กิจกรรมที่ 4 การพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับควบคุมแสงภายในโรงเรือนปลูกพืชอัจฉริยะ

การพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับควบคุมความเข้มแสง และความยาวคลื่นแสง ได้มีการพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับควบคุมความเข้มแสง และความยาวคลื่นแสง LED พัฒนาการควบคุมและแสดงผลค่าความเข้มการส่องสว่างบนแอปพลิเคชัน พบว่าสามารถปรับค่าความสว่างอัตโนมัติสไลด์เตอร์มีระดับความสว่างต่างกัน เมื่อปรับค่าความสว่างที่ต้องการแล้ว ตัวอุปกรณ์ทำการเพิ่มหรือลดระดับความสว่างอัตโนมัติ จนมีค่าความสว่างตามที่ต้องการอย่างมีประสิทธิภาพ

การทดสอบระบบควบคุม LED แบบอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชโรงเรือน เมื่อใช้ระบบควบคุมแสง LED อัตโนมัติมาใช้ในโรงเรือนสำหรับปลูกผักกาดหอม (กรีนโอ๊ค และเรดโอ๊ค) พบว่าการการใช้การควบคุม LED ปรับค่า ทำให้ผักมีความสูง ความกว้างทรงพุ่ม น้ำหนักของราก น้ำหนักของต้นมากกว่าผักที่ปลูกโดยการใช้ LED ที่ปรับค่าไม่ได้ และปลูกแบบใช้แสงอาทิตย์ สำหรับการทดสอบระบบควบคุมแสง LED ในการปลูกผักแพว โดยการควบคุมความยาวคลื่นแสงต่างๆ (สีแดง ขาว น้ำเงิน) ให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช พบว่าการใช้ความยาวคลื่นแสงที่อัตราส่วนต่างกัมีผลต่อการเจริญเติบโต โดยการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงิน อัตราส่วน 7:3, 5:5 และการให้แสงสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินและสีขาว อัตราส่วน 4:4:2 ที่ความเข้มแสง  $160 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ส่งผลให้น้ำหนักสดมีแนวโน้มสูงที่สุด

สำหรับการทดสอบระบบควบคุมแสง LED แบบอัตโนมัติในการเพาะเมล็ดพืช โดยได้ทดสอบผลของการใช้แสง LED ที่มีความยาวคลื่นแสง (สีขาวย แดง และน้ำเงิน) ต่อความงอกของเมล็ดถั่วเขียวและข้าว พบว่าทุกความยาวคลื่นแสงส่งผลให้เมล็ดมีความงอกสูงกว่าการเพาะไม่ใช้แสง และการใช้ความเข้มแสงที่  $50 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ส่งผลให้เมล็ดข้าวมีความงอกสูงที่สุด แต่เมล็ดถั่วเขียวมีความงอกสูงที่ความเข้มแสง  $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  เช่นกัน

## เอกสารอ้างอิง

- กรุง สีตะธนี. (2555). การปลูกมะเขือเทศเชอร์รี่ในภาคกลาง. ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม
- เกษตรกรรมธรรมชาติ. (2562). เซ็นเซอร์วัดความชื้น นวัตกรรมอัจฉริยะควบคุมการให้น้ำ. ได้จาก [ออนไลน์] : <https://www.kasetthammachart.com/>
- กรมทรัพยากรน้ำ. (2548). การประเมินความต้องการใช้น้ำ. ได้จาก [ออนไลน์]: <https://sites.google.com/site/lumnamul>
- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2562). การผสมปุ๋ยเคมีใช้เองตามค่าวิเคราะห์ดิน. ได้จาก [ออนไลน์] : <https://www.ryt9.com/s/prg/2965064>
- กระทรวงพลังงาน. (2564). คู่มือโครงการศึกษาพัฒนาต้นแบบชุมชนพลังงานทดแทนเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับชุมชน. ได้จาก [ออนไลน์]: [https://www.dede.go.th/ewt\\_dl\\_link.php?nid=42136/](https://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=42136/)
- กรุงเทพธุรกิจ. (2564). ดึง 'โดรน' วิเคราะห์ไร่อ้อย 'ลดต้นทุน-เพิ่มผลผลิต' พลิกโฉมสู่เกษตรแม่นยำ. ได้จาก [ออนไลน์]: <https://www.bangkokbiznews.com/news/detail/928107>
- กฤษฎีพันธ์ พรรณรัตน์ชัย. (2562). การพัฒนาระบบประมวลผลภาพจากอากาศยานไร้คนขับ เพื่อการตรวจจับศัตรูทางการเกษตร. (รายงานการวิจัย) คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2541). โครงการเฉลิมพระเกียรติระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารศูนย์การพัฒนาดันเนื่องมาจากพระราชดำริ. ได้จาก [ออนไลน์]: <http://www.egat.co.th/re>
- คณิต โชติกะ. (2564). การคำนวณการใช้น้ำของพืช. ได้จาก [ออนไลน์] : [http://kmcenter.rid.go.th/kmc09/data/2/Calculation\\_water.pdf](http://kmcenter.rid.go.th/kmc09/data/2/Calculation_water.pdf)
- คมกริช พรหมหากุล, ณัฐพงศ์ เพื่อนสงคราม, จตุรงค์ สมอาจ และ วรวิทย์ จิตรสุชา. (2563). รูปแบบการเปลี่ยนแปลงและคาดการณ์ผลผลิตอ้อยด้วยข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat และภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 25(1): 168–186.
- ศรีษัฐสพล หนูพรหม. (2557). วันปลูกและการผลิตบรอกโคลีนอกฤดูในจังหวัดสงขลา (Doctoral dissertation, มหาวิทยาลัย สงขลา นครินทร์).



จาวภา ศิริการ และชนิดา รมะณีย์. (2562). ผลของอัตราสารควบคุมการเจริญเติบโตพอลิโคลบิวทราโซล ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณแป้งของมันสำปะหลังที่ปลูกโดยอาศัยน้ำฝน. **วารสารสำนักบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น**. 27(2): 15–23.

จารุวัฒน์ ดอนหนู และสมคิด ชัยเพชร. (2557). **โรงเรือนระบบปิดกับการเพิ่มสมรรถภาพการผลิตสัตว์**. สาขาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช.

จุนลิฎา โยธาทิพย์, พาสินี สุนากร และพัชรียา บุญกอแก้ว. (2553). การศึกษาการปลูกพืชภายในอาคารโดยใช้แสงประดิษฐ์. ใน **รายงานการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน** (หน้า 2007–2014). นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฐิติพร มะชิโกวา, สุตชล วันประเสริฐ, ประโยชน์ คำสวัสดิ์ และอาทิตย์ ศรีแก้ว. (2562). เทคโนโลยีเซ็นเซอร์สำหรับการให้น้ำในการผลิตมันสำปะหลัง ปีที่ 2. ใน **รายงานการวิจัย พัฒนาและวิศวกรรม**. 59 หน้า.

दनัย บุญยเกียรติ. (2554). **สรุวิทยาของพืช**. [ออนไลน์]. ได้จาก: [www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc\\_classroom/...Doc/10\\_Plant%20and%20Solar.pdf](http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_classroom/...Doc/10_Plant%20and%20Solar.pdf)

ดิเรก ทองอร่าม, วิทยา ตั้งสกุล, นาวิ จิระชีวี และอิทธิสุนทร นันทกิจ. (2545). การออกแบบและเทคโนโลยีการให้น้ำแก่พืช. **เคหการเกษตร**. 470 หน้า.

ตลาดแอป. (2562). โดรนช่วยเกษตรกรทำงานในหลายๆ ด้าน ได้จริงหรือ? ได้จาก [ออนไลน์] : <https://talad.co/blog/drones-for-agriculture/>

ทัฬหิม ม่วงทุง. (2551). การผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศพันธุ์ดอยคำ. **วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิตสาขาเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้**. 67 หน้า.

ทองดี บ้านดอน. (2540). เทคโนโลยีระบบน้ำ. **วารสารเคหการเกษตร**. 21 (10) : 157–165.

ทองล้วน สิงห์นันท์ และวันดี หวังคะพันธ์. (2559). ระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ความชื้นของดิน. ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติ ราชมงคลสุรินทร์ ครั้งที่ 8**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์. สุรินทร์.

นิตยา ถมหนอง. (2551). สมรรถนะการรวมตัวของมะเขือเทศรับประทานสดผลเล็กเพื่อเพิ่มปริมาณไลโคพีนเบต้า-แคโรทีนและวิตามินซี. **วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยขอนแก่น**. 70 หน้า.

นิตริรงค์ พงษ์พานิช, วัชรพล ชยประเสริฐ, ภัทรพร สัญชาติเจตน, อิทธิเดช มูลมั่งมี และกฤษฎา แสงเพ็ชรส่อง. (2558). **การพัฒนาและทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ใน**

- โรงเรือนแบบ Evaporative cooling.** การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย  
ไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 8
- นิรันดร์ จันทวงศ์, สุมน มาสุชน, วัลลภ อารีรบ และมาลี ณ นคร. (2531). ผลของไกลโฟเซตต่อการ  
เติบโต และปริมาณซูโครสของอ้อยพันธุ์ เอฟ 140. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของ  
**มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์** (หน้า 237–241). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.  
เนต้าฟิม ประเทศไทย. (มปป). คู่มือการปลูกอ้อยด้วยระบบน้ำหยดใต้ดิน. กรุงเทพฯ : ม.ป.ท. (แผ่น  
พับ).
- บุษรินทร์ ตานะ. (2558). การศึกษาการสะสมน้ำตาลซูโครส และกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เทสใน  
อ้อย. **วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.** 79 หน้า
- ปิยะ ดวงพัตรา. (2538). การให้ปุ๋ยทางระบบชลประทาน. หลักการและวิธีการใช้ปุ๋ยเคมี.  
ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. หน้า 273–276.
- ปิยะพร เศรษฐศิริไพบูลย์. (2563). โรงเรือนปลูกพืช. ได้จาก [ออนไลน์]:  
<https://www.nstda.or.th/agritec/tag/>
- ปรีชา พรหมณีย์. (2544). รายงาน: โครงการพัฒนาระบบคำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีในการผลิตอ้อย  
โดยใช้โปรแกรม CaneFert 1.0 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- ปรีชา สุริยพันธ์ และนงลักษณ์ รัตนารักษ์. (2535). ผลของไกลโฟเซตและซีอีพีเอต่อการเพิ่มผลผลิต  
และความหวานของอ้อย. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
(หน้า 525–530). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พฤทธิชาติ ปุญวัฒน์, วรวิษ สุดจรีธรรมจริยางกูร, นลินา ไชยสิงห์ และสุชาดา สุพรศิลป์. (2562).  
ประสิทธิภาพของอากาศยานไร้คนขับ (UAV). **วารสารวิชาการเกษตร.** 37(1): 27–36.
- โพธิ์ฤทธิ บัญเรือง, ชยันต์ ภัคดีไทย และศิเว แก้วปลั่ง. (2564). การประเมินภาพถ่ายทางอากาศจาก  
อากาศยานไร้คนขับสำหรับประมาณผลผลิตอ้อย. **วารสารแก่นเกษตร.** 1: 306–313.
- ยุวดี หริมเจริญ. (2557). การพัฒนาการให้ปุ๋ยทางระบบน้ำสำหรับการผลิตมะเขือเทศในระบบน้ำ  
หยด. **วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิตสาขาวิชาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.**
- พรรณนีย์ วิชชาชู. (2547). กระแสผักปลอดภัยจากสารพิษ. ได้จาก [ออนไลน์] : <http://www.nrru.ac.th/knowledge/agr001.asp>
- พิชัย ถิ่นสันติสุข. (2563). Drone อากาศยานไร้คนขับกับเกษตรวิถีใหม่ ปลอดภัยมลพิษ เพิ่มผลผลิต  
สู่ยุคเกษตรแม่นยำ. ได้จาก [ออนไลน์] : <https://www.greennetworkthailand.com/drone>

- พิทยา สรวมศิริ และทศพล เทพจันทร์. (2548). รายงานความก้าวหน้าการวิจัยตามโครงการวิจัยที่ 3011-3468. มุขนิธิโครงการหลวง
- มนตรี คำชู. (2538). หลักการชลประทานแบบหยด. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. หน้า 152-209.
- มานะ นิมิตรวานิช และพงษ์ประภา นภาพฤกษ์ชาติ. (2563). กลยุทธ์พืชตัดรูกิจโดรนเกษตรไทย. ได้จาก [ออนไลน์] : <https://krungthai.com>
- จำไพ นามพิลา, สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา และสังคม เตชะวงศ์เสถียร. (2559). อิทธิพลของไดโอดเปล่งแสง (LEDs) ต่อการงอกและการเจริญของเมล็ดมะละกอ (*Carica papaya* L.). **วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์**. 3(1): 13-17.
- วันชัย ถนอมทรัพย์ และทักษิณา ศันสยะวิชัย. (2549). การจัดการน้ำสำหรับอ้อยบนดินเหนียวชุดราชบุรี ในเขตชลประทานภาคกลาง บทคัดย่อใน **การประชุมวิชาการอ้อยและน้ำตาลทรายแห่งชาติครั้งที่ 6**, 17-19 สิงหาคม 2549 ณ โรงแรมเบเวอร์ลีฮิลล์ปาร์ค จังหวัดนครสวรรค์
- วิชัย โอภานุกุล, อานนท์ สายคำฟู, พลฤทธิชาติ ปุณวัฒน์, อิศเรศ เทียนทัด, บาลทิตย์ ทองแดง และวีระ สุขประเสริฐ. (2560). การวิจัยอากาศยานไร้คนขับ (Drone) สำหรับเกษตรอินทรีย์. ใน **การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 18 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 10 ประจำปี 2560**. กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ.
- ศศิวัฒน์ ตันติบุญยานนท์. (2562). การเกษตรแม่นยำสูง. เทคโนโลยีชาวบ้าน: 31 (701). 102.
- ศิริเรือง พัฒน์ช่วย, ศิวะพร วิวัฒน์ภิญโญ, พรประสิทธิ์ บุญทอง และวิลาวรรณ สุขชนะ. (2559). การพัฒนาอากาศยานไร้คนขับสำหรับการเฝ้าระวังและควบคุมการแพร่ขยายของหอยเชอรี่ในนาข้าวหอมมะลิ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.
- สถาบันการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม. (2563). โรงเรือนอัจฉริยะ: นวัตกรรมตอบโจทย์เกษตร 4.0. ได้จาก [ออนไลน์] : <https://agtech4otop.nia.or.th/agri-innovation>
- สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง. (2559). **มะเขือเทศเชอร์รี่**. (ออนไลน์). ได้จาก: "<https://hkm.hrdi.or.th/knowledge/detail/69> เมื่อ 13 มกราคม 2559
- สยามรัฐออนไลน์. (2562). ศึกษาต้นทุนใช้โดรนทำนา!! นำร่องพื้นที่ภาคกลาง-เหนือตอนล่าง. ได้จาก [ออนไลน์] : <https://siamrath.co.th/n/80911>
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2563). เทคโนโลยีโรงเรือนสำหรับการปลูกพืช. ได้จาก [ออนไลน์] : <https://www.nstda.or.th/agritec/wpcontent/uploads/2020/06/20200507-catalog-greenhouse-final.pdf>

- สำนักงานปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม. (2563). คู่มือโซลาเซลล์เพื่อการเกษตรฉบับชาวบ้าน. ได้จาก [ออนไลน์] : [https://www.alro.go.th/alro\\_th/ewt\\_dl\\_link.php?nid=18178&filename=index](https://www.alro.go.th/alro_th/ewt_dl_link.php?nid=18178&filename=index)
- สำนักงานพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์. (2554). พลังงานแสงอาทิตย์. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัทเอเปิลคอนซัลแตนท์ จำกัด, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2561). กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร: มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 1520-2561 กะหล่ำดอก.
- สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล. (2564). โดรนกับเกษตรไทย Tech Series: Drone for Smart Farming. ได้จาก [ออนไลน์] : <https://www.depa.or.th/th/article-view/tech-series-drone-smart-farming>
- สุเจนต์ พรหมเหมือน. (2562). การพัฒนาระบบตรวจวัดความชื้นในดินด้วยเทคนิคความจุไฟฟ้าโดยใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ประจุแบตเตอรี่. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- สุเมธ ตรีศักดิ์ศรี, วันทนีย์ โชติสกุล, พิศณุ คุ่มฉายา และอัมฤทธิ์ ปุเต็ม. (2557). ระบบปลูกพืชในสารละลายแบบใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยไม่ใช้แบตเตอรี่ในการหมุนเวียนสารละลาย. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53. 439-445.
- อรรณพ แสนเมือง และสมยศ เดชภีร์ตันมงคล. (2552). ผลของไกลโฟเซตที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวฟ่างหวาน [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.lib.ku.ac.th/kuconf/data53/kc4801049.pdf>
- อรุณี พรหมคำบุตร, บุปผา สิมมา และอนันต์ พลธานี. (2557). อิทธิพลของสารพาโคลบิวทราโซลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตมันสำปะหลัง. ว. แก่นเกษตร. 42(1): 485-492.
- อภิชาติ ชิตบุรี, อนนท์ นำอิน, กริช แสนสุภา และธีรวัฒน์ กลายเพชร. (2557). ผลของหลอดไดโอดเปล่งแสงร่วมกันสีน้ำเงิน/สีแดง/สีขาวยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อคาลิปต์สในสภาพปลอดเชื้อ. วารสารแก่นเกษตร. 42(3): 409-414.
- อุดมพร สุพคุดร์. (2563). โดรนเพื่อเกษตรอินทรีย์. วารสารผลิใบ 22(4): 11-15.
- Ahmed, S., Ahmed, F., & Hussain, M. (2003). Effect of different NPK levels on the growth and yield of kohlrabi (*Brassica caulorapa* L.) at northern areas of Pakistan. Asian Journal of Plant Sciences.

- Al-Aubidy, K.M., Ali, M.M., Derbas, A.M. and Al-Mutairi, A.W. (2014). Real-time monitoring and intelligent control for greenhouses based on wireless sensor network. In **Proc. 2014 International Conference on Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)**. Vol. 1: 1–7.
- Ali, R. and Shah, M.A. (2019). Solar Powered Irrigation System for Agriculture based on Moisture Content in the Field and Saving Energy and Water with Optimum Designing. **Asian journal of Engineering, Sciences & Technology**. 8(1): 1–10.
- Ayars, J.E., Phene, C.J., Hutmacher, R.B., Davis, K.R., Schoneman, R.A., Vail, S.S. and Mead, R.M. (1999). Subsurface drip irrigation of row crops. **Agricultural Water Management**. 42 (1), 1–27.
- B.C. Greenhouse. (2018). ปัญหาการปลูกพืชในโรงเรือน. ได้จาก [ออนไลน์] : <https://www.facebook.com/737726349725041/posts/1036760759821597/>
- Barrero, O. and Perdomo, S.A. (2018). RGB and multispectral UAV image fusion for Gramineae weed detection in rice fields. **Precision Agriculture**. 19(5): 809–822.
- Berni, J.A.J., Zarco-Tejada, P.J., Suarez, L. and Fereres, E. (2009). Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. 47(3): 722-738.
- Both, A. J. (2002). Automated water management workshop. **Horticultural Engineering**. 17(1): 1–8.
- Bruno, M., Hilton Luis Ferraz da Silveira, Ieda Del'Arco Sanche and Thales Sehn Körting. (2017). **Identification of gaps in sugarcane plantations using UAV images**. Faculty of Mechanical Engineering, University of Campinas. 1169-1176.
- Bucklin, R.A., Leary, J.D., Mcconnell, D.B. and Wilkerson, E.G. (2004). Fan and Pad Greenhouse Evaporative Cooling Systems1. Available from [Online]: [https://www.researchgate.net/publication/237365768\\_Fan\\_and\\_Pad\\_Greenhouse\\_Evaporative\\_Cooling\\_Systems1](https://www.researchgate.net/publication/237365768_Fan_and_Pad_Greenhouse_Evaporative_Cooling_Systems1)



- Cardenas–Lailhacar, B. and Dukes, M.D. (2012) . Soil moisture sensor landscape irrigation controller: A review of multi– study results and future implications. **Transaction of the ASABE**, 55 (2): 581–590.
- Cho, V., Cheng, T.C.E. and Hung, H. (2008). Regulatory ATPase sites of cytoplasmic dynein affect processivity and force generation. **J. Biol. Chem.** 283(38): 39–45.
- De–Souza, C.H.W., Lamparelli, R.A.C., Rocha, J.V., and Magalhães, P.S.G. (2017). Height estimation of sugarcane using an unmanned aerial system (UAS) based on structure from motion (SfM) point clouds. **International Journal of Remote Sensing**, 38 (8–10), 2218–2230. doi:10.1080/01431161.2017.1285082
- Erge, H.S. and Karadeniz, F. (2011). Bioactive compounds and antioxidant activity of tomato cultivars. **Int. J. Food Prop.** 14 (5) : 968–977.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2005). New\_LocClim: Local Climate Estimator. Environment and Natural Resources, 20 (CD–ROM).
- Ghasemi, R., Chavoshi, Z.Z., Boyd, R.S., and Rajakaruna, N. (2014). A preliminary study of the role of nickel in enhancing flowering of the nickel hyperaccumulating plant *Alyssum inflatum* Nyár. (Brassicaceae). **South African Journal of Botany**, 92: 47–52.
- Giedre, S., Ausra, B., Akvile, U., Gintara S. and Pavelas, D. (2010). The effect of red and blue light component on growth and development of frigo strawberries. **Zemdirbyste–Agriculture**. 97 (2): 99–104.
- Goins, G.D., Yorio, N.C., Sanwo, M.M. and Brown, C.S. (1997). Photomorphogenesis, photosynthesis, and seed yield of wheat plants grown under red light–emitting diodes (LEDs) with and without supplemental blue lighting. **J. Exp. Bot.** 48(312): 1407–1413.
- Gomathinayagam, M.C., Abdul Jaleel, G.M., Alagu, L., and Panneerselvam, R. (2007). Changes in carbohydrate metabolism by triazole growth regulator in cassava (*Manihot esculenta Crantz*); effects on tuber production and quality. **Comptes Rendus Biologies**. 330: 644–655.

- Harland, G. and Larrinua, S. (2009). *The Tomato. A guide to the pleasures of choosing, growing and cooking.* London.
- Hilarydoss, S. (2021). Suitability, sizing, economics, environmental impacts and limitations of solar photovoltaic water pumping system for ground water irrigation– A brief review. **Environmental Science and Pollution Research**. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12402-1>
- Jane, B. and Neil, A. (2011). Plant growth as a function of LED light. **Nat. Photonics**. 3: 835.
- Jones, J.B., Jones, R.E.S. and Zitter, T.A. (1991). *Compendium of Tomato Diseases.* APS Press, Saint Paul, Minnesota, USA.
- Journal Online. (2021). **วิธีการเลือกหลอดไฟ LED สำหรับพืช.** ได้จาก [ออนไลน์] : <https://th.dikidaycare.com/3070-how-to-choose-a-led-lamp-for-plants.html>
- Kaewwiset, T. and Yooyativong, T. (2017) . Electrical conductivity and pH adjusting system for hydroponics by using linear regression. In Proc. 14<sup>th</sup> International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 27–30 June 2017.
- Kamoutsis, A.P., Chronopoulou-Sereli, A.G. and Paspatis, E.A. (1999). Paclobutrazol affects growth and flower bud production in gardenia under different light regimes. **HortScience**. 34(4): 674–675.
- Kim, B., Park, S., Kim, H.K.H., Godfrey, D. and Kim, K. (2017). A survey on real-time communications in wireless sensor networks. **Journal of Wireless Communications and Mobile Computing**. Article ID 1864847: 1-14.
- Kirubakaran, R., Venkataramana, S. and Mohamed, J.M.S. (2013). Effect of ethrel and glyphosate on the ripening of sugar cane. **Int J ChemTech Res**. 5(4): 1927–1938.
- Kuschel-Otarola, M., Rivera, D., Holzapfel, E., Schutze, N., Neuman, P. and Godoy-Faundez, A. (2020). Simulation of water-use efficiency of crops under different irrigation strategies. **Water**. 12(4): 1–16.

- Li, S. (2012). Application of the Internet of Things Technology in Precision Agriculture Irrigation Systems. In Proc. 2012 International Conference on Computer Science and Service System. 2: 1009–1013, August 2012.
- Li, Y., Chen, Z., Zou, G., Wang, Q. and Cheng, W. (2008). Effects of paclobutrazol on the yield and starch content of cassava. **Guangxi Agricultural Sciences**. 2008: 3.
- Lussem, U., Hollberg, J., Menne, J., Schellberg, J. and Bareth, G. (2017). Using calibrated RGB imagery from low-cost UAVS for grassland monitoring: case study at the rengen grassland experiment (RGE), Germany. In **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W6, 2017**. (229-233). 4–7 September 2017, Bonn, Germany.
- Mabvongwe, O., Manenji, B.T., Gwazane, M. and Chandiposha, M. (2016). The effect of paclobutrazol application time and variety on growth, yield, and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). **Advances in Agriculture**. 2016: 1–5.
- Masahumi, J., Kazuhiro, S., Fumiyuki, G., Shin-nosuke, H. and Toshihiro, Y. (2010). **Hortscience**. 45(12): 1809–1814.
- Matese, A., Toscano, P., Di Gennaro, S., Genesio, L., Vaccari, F., Primicerio, J., Belli, C., Zaldei, A., Bianconi, R. and Gioli, B. (2015). Intercomparison of UAV, aircraft and satellite remote sensing platforms for precision viticulture. **Remote Sens**, 7(3): 2,971–2,990.
- Medina, R., Burgos (ex aequo), A., Difrancò, V., Mroginski, L. and Cenóz, P. (2012). Effects of chlorocholine chloride and paclobutrazol on cassava (*Manihot esculenta* Crantz cv. Rocha) plant growth and tuberous root quality. **Agriscientia**. 209: 51–58.
- MGR Online. (2560). ทางเลือกใหม่เกษตรกรไทย บ.เอกชนหัวใสใช้ “โดรน” พ่นยา หวานปุ๋ยแทนแรงงานคนลดผลกระทบต่อเพียงบ.ได้จาก [ออนไลน์] : <https://mgronline.com/local/detail/9600000100476>
- Ming, C.W., Chi, Y.H., Chii, M.J., Yuh, T.W., Chih, Y.W., Ho, H.C. and Hung, M.C. (2007). A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. **Food Chem**. 101(10): 1753–1758.

- Mo, X., Liu, S., Lin, Z. and Xu, Y. (2005). Prediction of crop yield, water consumption and water use efficiency with a SVAT–crop growth model using remotely sensed data on the North China Plain. **Ecological Modelling**. 183(2): 301–322.
- Mohammed, B.M., Tanakamaru, H. and Tada, A. (2009). Application of remote sensing for estimating crop water requirements, yield and water productivity of wheat in the Gezira Scheme. **International Journal of Remote Sensing**. 31(16): 4281–4292.
- Moon, P.H. (1936). Scientific Basis of Illuminating Engineering. McGraw–Hill Book Co. New York; London.
- Naznin, M.T., Lefsrud, M., Gravel, V. and Hao, X. (2006). Different ratios of red and blue LED light effects on coriander productivity and antioxidant properties. **Acta Hort**. 1134(10): 223–229.
- Ozturk, H.H. (2006). Evaporative cooling efficiency of a fogging system in a rose greenhouse. **Australian Journal of Experimental Agriculture**. 46(9): 1231–1237.
- Panyapruerk, S., Sinsiri, W., Sinsiri, N., Arimatsu, P. and Polthanee, A. (2016). Effect of paclobutrazol growth regulator on tuber production and starch quality of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Asian J Plant Sci**. 15: 1–7.
- Schnelle, M.A., Cole, J.C. and Dole, J.M. (1992). Mist Propagation Systems and Humidity Chambers for the Nursery and Greenhouse. Available from [Online] : [https://dlscrib.com/download/greenhouses-mist-propagation-systems-and-humidity-chambers-for-the-nursery-and-greenhouse\\_58fbd1a6dc0d60c128959e7e\\_pdf](https://dlscrib.com/download/greenhouses-mist-propagation-systems-and-humidity-chambers-for-the-nursery-and-greenhouse_58fbd1a6dc0d60c128959e7e_pdf)
- Soni, P. and Salokhe, V.M. (2004). Greenhouse automation and its viability under Tropical conditions”. Proceedings of Joint Conference of the 4<sup>th</sup> International Conference of the Asian Federation of Information Technology in Agriculture (AFITA) and the 2<sup>nd</sup> World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources (WCCA), August 9–12, 2004, Bangkok, THAILAND.
- SP Micro Tech. (2564). เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน. ได้จาก [ออนไลน์] : <https://www.spmicrotech.com/product/เซ็นเซอร์วัดความชื้นใน/>

- SP Smart plants. (2563). ข้อดีของสวนที่ใช้โรงเรือนอัจฉริยะ. ได้จาก [ออนไลน์] : <https://www.spsmartplants.com/blog/detail/>
- SVGROUP online farmer assistant. (2020). วางแผนและปรับปรุงพื้นที่เกษตรกรรมด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าความชื้นในดิน. ได้จาก [ออนไลน์] : <https://www.svgroun.co.th/blog>
- Thomas Co., Ltd. (2021). เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับเพื่อการเกษตร Drone Technology for Agriculture. ได้จาก [ออนไลน์] : <https://www.greennetworkthailand.com/drone>
- Torshizi, M.V. (2017). The application of solar energy in agricultural system. **Journal of Renewable Energy and Sustainable Development**. 3(2): 233–240.
- Wheeler, E.F. (2002). Evaluating Greenhouse Mechanical Ventilation System Performance–Part 3 of 3. Available from [Online]: <https://njaes.rutgers.edu/pubs/publication.php?pid=E277>
- Xiao, D., Feng, J., Wang, N., Luo, X. and Hu, Y. (2013). Integrated soil moisture and water depth sensor for paddy fields. **Computers and Electronics in Agriculture**. 98: 214–221.
- Yildirin, M. and Demirel, M. (2011). An automated drip irrigation system based on soil electrical conductivity. **Philippine Agricultural Scientist**. 94(4): 343–349.
- Yorio, N.C, Goins, G.D., Kagie, H.R., Wheeler, R. and Sager, J.C. (2001). Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. **HortScience**. 36(2): 380–383.
- Zen hydroponics. (2017). Green Oak Lettuce. January 2017. Retrieved from <http://zen-hydroponics.blogspot.com/>
- Zarco-Tejada, P.J., Diaz-Varela, R., Angileri, V., and Loudjani, P. (2014). Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. **European Journal of Agronomy**. 55(April 2014): 89–99.
- Zhou, X., Zheng, H.B., Xu, X.Q., He, J.Y., Ge, X.K., Yao, X., Cheng, T., Zhu, Y., Cao, W.X. and Tian, Y.C. (2017). Predicting grain yield in rice using multi-temporal vegetation indices from UAV-based multispectral and digital imagery. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. 130: 246-255.



## ภาคผนวก

ภาคผนวกที่ 1 คู่มือการใช้งาน Application การให้น้ำสำหรับมันสำปะหลังและอ้อย มีดังนี้

Smart Irrigation System

Android Application



รูป ผ.1 แอปพลิเคชัน Smart Irrigation System

### 2) การใช้งานแอปพลิเคชัน Smart Irrigation System

แอปพลิเคชัน Smart Irrigation System เป็นแอปพลิเคชันสำหรับอุปกรณ์มือถือที่มีคุณสมบัติต่อไปนี้

- ระบบปฏิบัติการ Android ตั้งแต่เวอร์ชัน 8.0 (Oreo) ขึ้นไป
- หน้าจอความละเอียด HD (ความละเอียดต่ำกว่านี้อาจมีผลต่อความคมชัดของข้อมูลบนหน้าจอ)


### 2) การติดตั้งแอปพลิเคชัน Smart Irrigation System

ดาวน์โหลดไฟล์แอปพลิเคชัน SUTSmartIrrigationSystem.apk ได้ที่

[https://drive.google.com/file/d/12awA0vROJGaVS99N\\_R6DL1i60blcNj84/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/12awA0vROJGaVS99N_R6DL1i60blcNj84/view?usp=sharing)

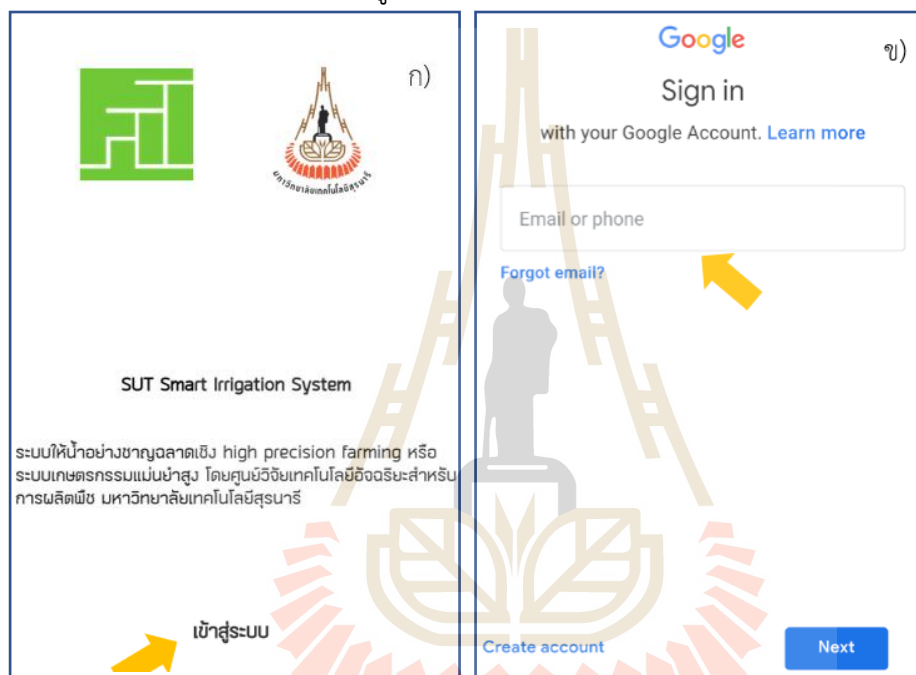
เมื่อดาวน์โหลดไฟล์แล้วทำการติดตั้งไฟล์ apk บนอุปกรณ์ Android สามารถใช้แอปพลิเคชันช่วยเหลือในการติดตั้งไฟล์ apk ได้ เช่น APK Installer จาก Play Store ของระบบ Android

### 3) เริ่มต้นใช้งานแอปพลิเคชัน Smart Irrigation System

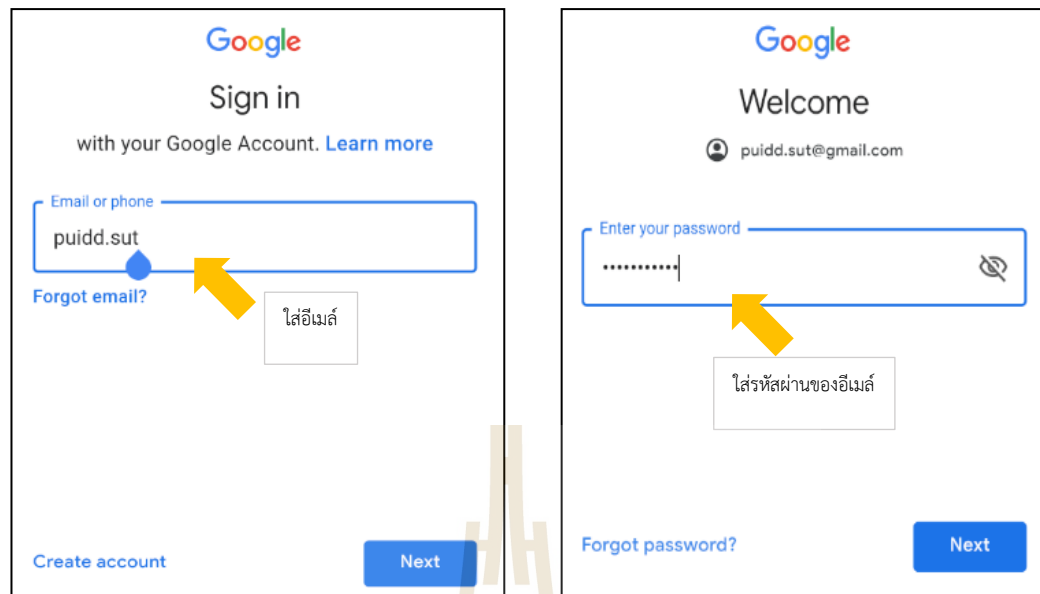
แตะที่แอปพลิเคชัน Smart Irrigation System หรือไอคอน  เพื่อเข้าสู่หน้าจอแรกของแอปพลิเคชัน จากนั้นแตะ “เข้าสู่ระบบ” เพื่อเริ่มใช้งาน และการระบุตัวตนด้วยบัญชีอีเมลของ gmail หลังจากนั้นจะปรากฏหน้าจอการให้บริการของ Google Service ให้แต่ละเลือกตามต้องการเพื่อเข้าสู่หน้าจอหลักของแอปพลิเคชันต่อไป

4) การใช้งานแอปพลิเคชัน Smart Irrigation System การใช้งานแอปพลิเคชัน Smart Irrigation System สำหรับหน้าจอหลัก dashboard เป็นส่วนแสดงข้อมูลรายละเอียดแปลงเกษตรหรือฟาร์มต่างๆ ผู้ใช้งานสามารถเข้าใช้งานแอปพลิเคชันโดยการบันทึกข้อมูลต่างๆ ดังนี้

1. แตะ “เข้าสู่ระบบ” เพื่อเริ่มใช้งาน จากนั้นระบุตัวตนด้วยบัญชีอีเมลของ Gmail โดยปกติแล้วระบบ Android จะจดจำการระบุตัวตนเข้าใช้งานแอปพลิเคชันไว้แบบอัตโนมัติ ผู้ใช้งานต้อง Sign in เข้าใช้งานครั้งแรกเท่านั้น หลังจากนั้นระบบจะแสดงหน้าจอการให้บริการของ Google Service ให้แตะเลือกตามต้องการ เพื่อเข้าสู่หน้าจอหลักของแอปพลิเคชันต่อไป

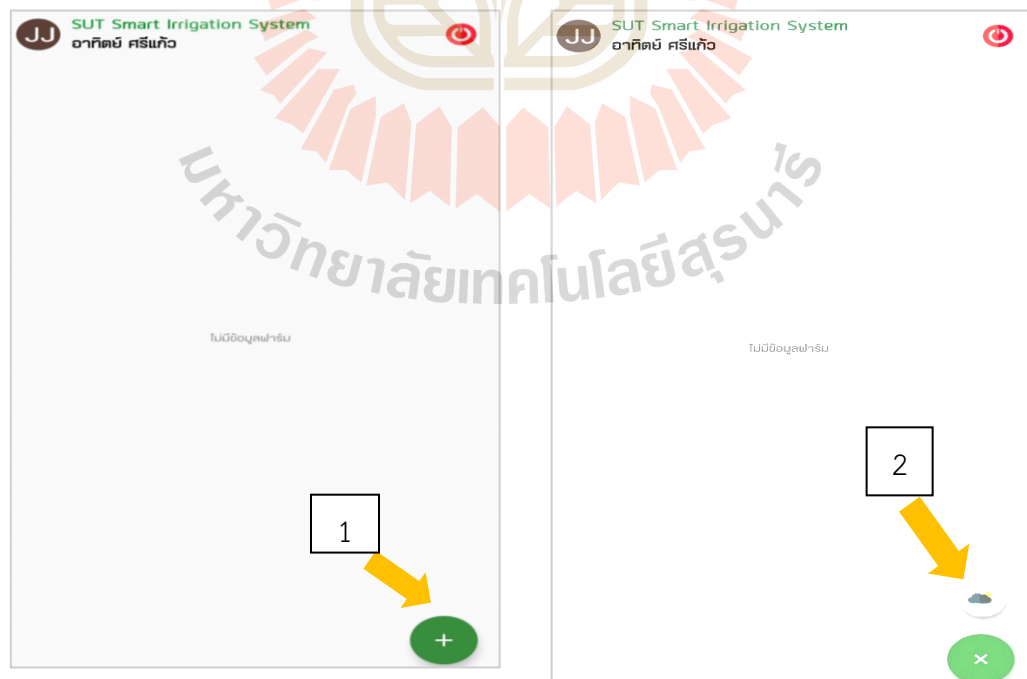


รูป ผ.2 ก) การเริ่มใช้งานระบบ ข) การระบุตัวตนด้วยบัญชีอีเมลของ Gmail




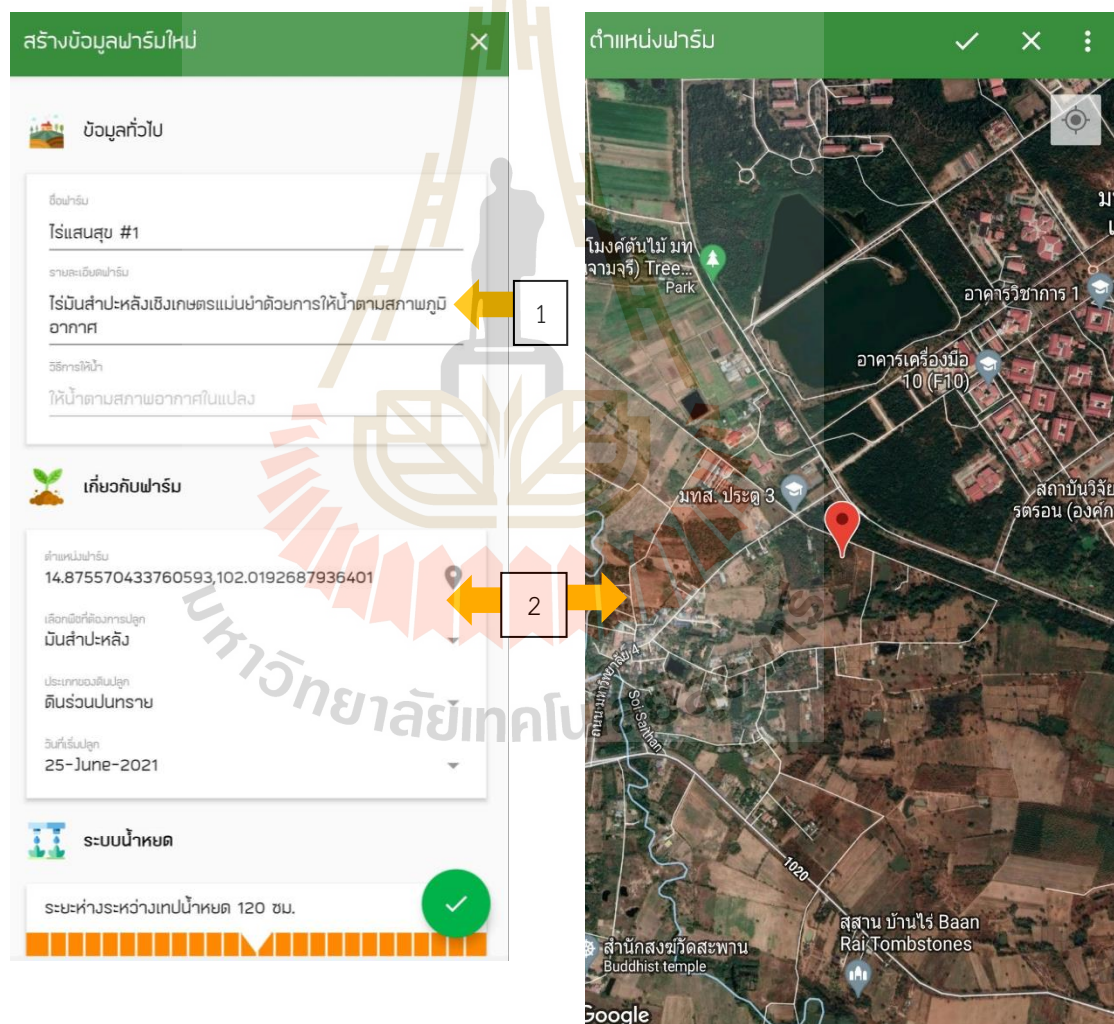
รูป ผ.3 ระบบแสดงหน้าจอการให้บริการของ Google Service ให้แต่ละเลือกตามต้องการ เพื่อเข้าสู่หน้าจอหลักของแอปพลิเคชันต่อไป

2. หน้าจอหลัก dashboard เป็นส่วนแสดงข้อมูลรายละเอียดแปลงเกษตรหรือฟาร์มต่าง ๆ คลิกที่ + เพื่อเพิ่มฟาร์มใหม่ (รูป ผ.4 (1)) และที่ไอคอน “ฟาร์มให้น้ำตามสภาพอากาศ” เพื่อเริ่มสร้างรายละเอียดของฟาร์ม (รูป ผ.4 (2))



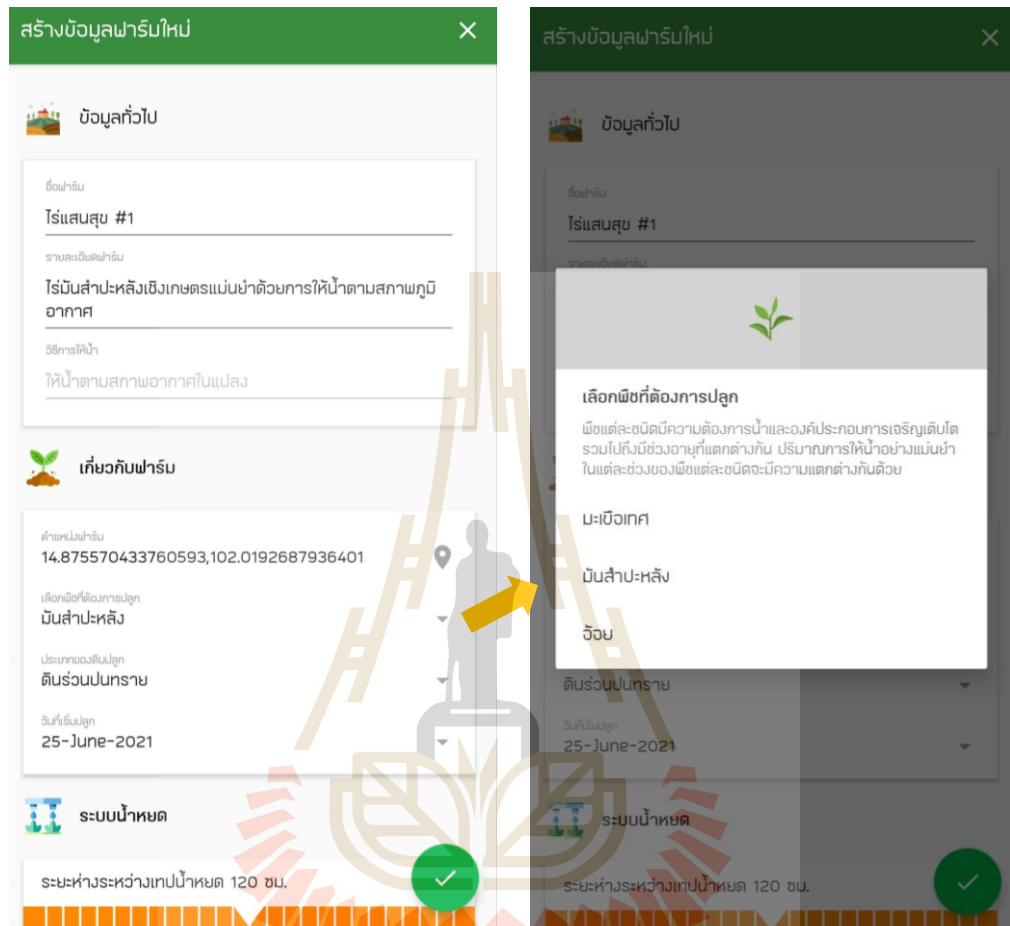
รูป ผ.4 การเพิ่มฟาร์มใหม่ (1) และการสร้างรายละเอียดของฟาร์ม (2)

3. เมื่อเลือกสร้างฟาร์มใหม่ จะเข้าสู่หน้าจอรายละเอียดของฟาร์ม ทำการตั้งค่าชื่อฟาร์ม และรายละเอียดของฟาร์ม (รูป ผ.5 (1)) จากนั้นเลือกตำแหน่งฟาร์ม โดยระบบจะใช้ค่าตำแหน่ง GPS ปัจจุบันจากอุปกรณ์มือถือ ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนตำแหน่งฟาร์มได้โดยแตะที่ไอคอน  ระบบจะแสดงแผนที่เพื่อเลือกตำแหน่งฟาร์มได้ (รูป ผ.5 (2)) เมื่อได้ตำแหน่งที่ต้องการแล้ว เลือกตะแคงเครื่องหมายลูกศรเพื่อทำการบันทึกตำแหน่งฟาร์ม ตำแหน่งฟาร์มมีผลต่อการคำนวณค่า ETp เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณการให้น้ำของพืชต่อไป นั่นคือฟาร์มแต่ละที่จะมีค่า ETp ที่แตกต่างกัน ทำให้การคำนวณปริมาณน้ำที่ได้แตกต่างกันไปด้วย



รูป ผ.5 1) การตั้งค่าชื่อฟาร์มและรายละเอียดของฟาร์ม 2) การเลือกตำแหน่งฟาร์มจากค่าตำแหน่ง GPS ปัจจุบันจากอุปกรณ์มือถือ

4. เลือกประเภทของพืชที่ต้องการปลูก พืชแต่ละชนิดมีความต้องการน้ำและองค์ประกอบ การเจริญเติบโต รวมไปถึงมีช่วงอายุที่แตกต่างกัน ปริมาณการให้น้ำอย่างแม่นยำในแต่ละ

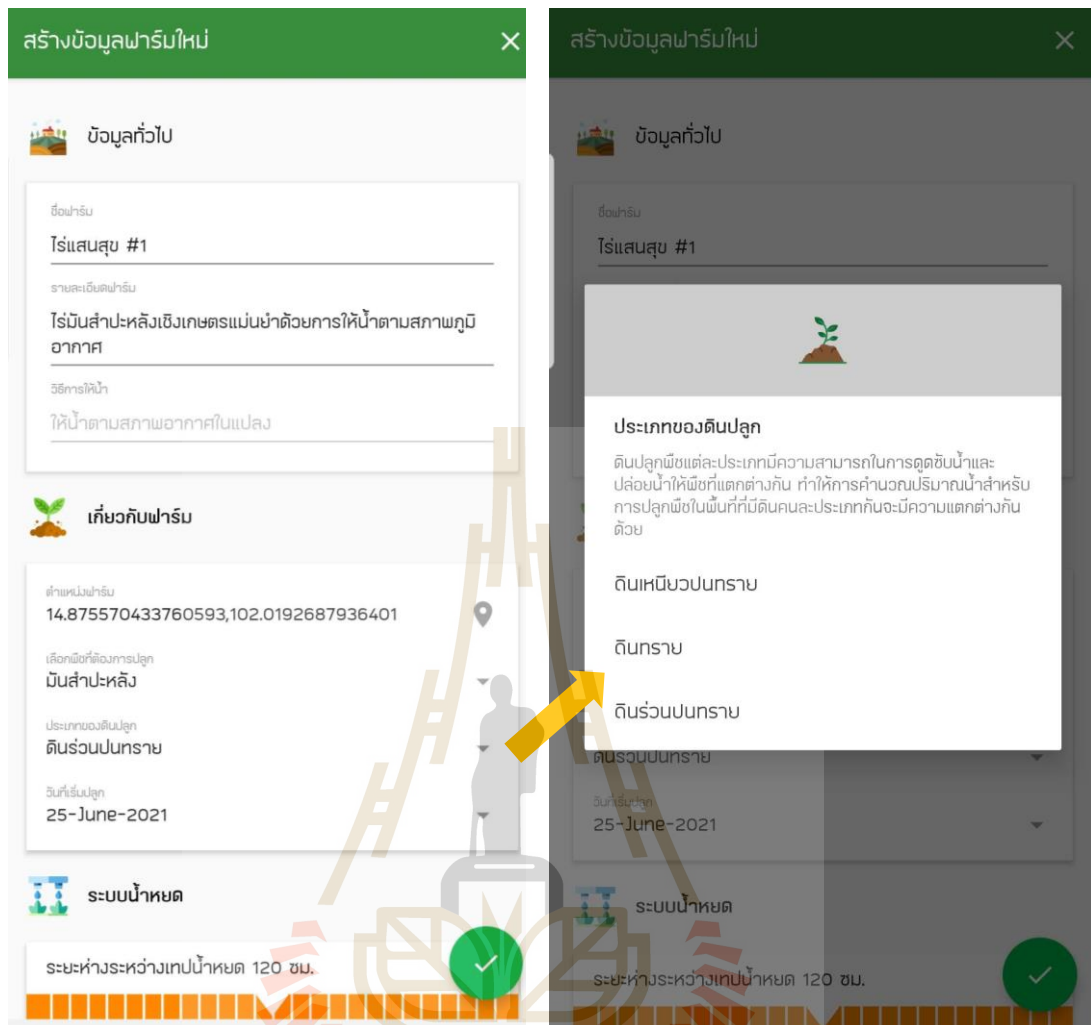


ละช่วงของพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันด้วย ปัจจุบันระบบรองรับพืชที่ต้องการปลูกคือ มะเขือเทศ มันสำปะหลัง และอ้อย (รูป ผ.6)

รูป ผ.6 การเลือกประเภทของพืชที่ต้องการปลูก

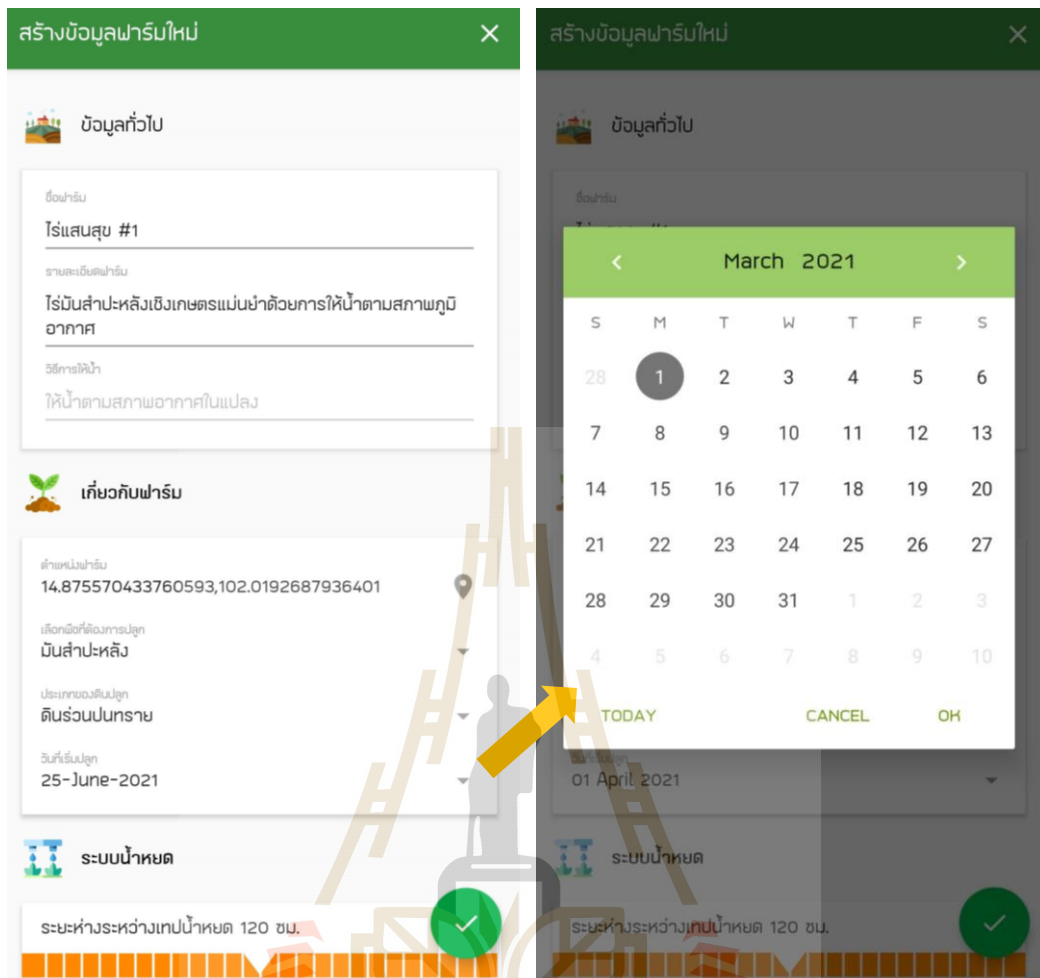
5. เลือกชนิดดินที่ใช้ปลูก ดินปลูกพืชแต่ละชนิดมีความสามารถในการอุ้มน้ำแตกต่างกัน ทำให้การคำนวณปริมาณน้ำสำหรับการปลูกพืชในดินต่างชนิดกัน มีความแตกต่างกันด้วย (รูป ผ.7)






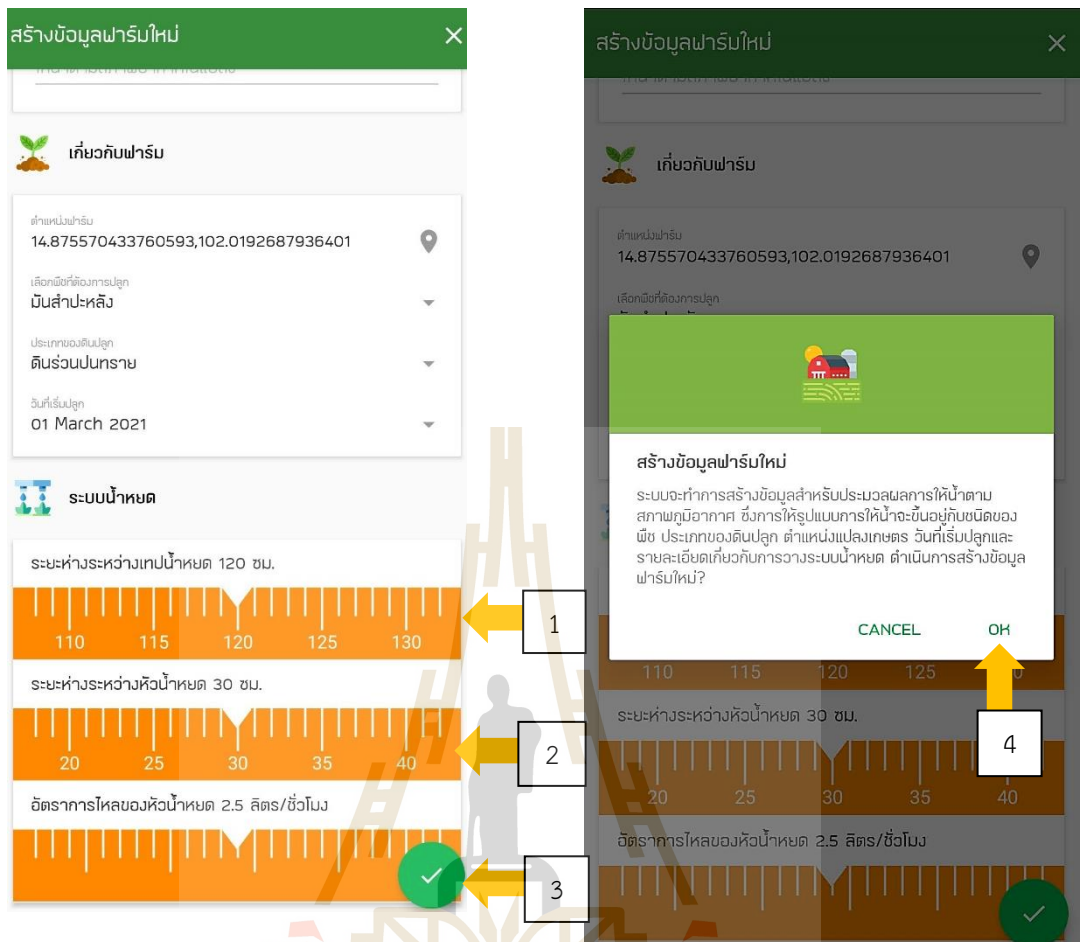
รูป ผ.7 การเลือกชนิดดินที่ใช้ปลูก

6. เลือกวันที่เริ่มปลูกพืช ซึ่งมีผลต่อการคำนวณแต่ละช่วงอายุของพืช ซึ่งมีความต้องการน้ำที่แตกต่างกัน รวมไปถึงช่วงเวลาที่มีสัมพันธ์กับค่า ETP ซึ่งมีความแตกต่างกันตามช่วงเวลาตลอดปีด้วยเช่นกัน (รูป ผ.8)



รูป ผ.8 การเลือกวันที่เริ่มปลูกพืช เพื่อคำนวณแต่ละช่วงอายุต่าง ๆ ของพืช

7. เมื่อเลื่อนหน้าจอลงมา จะเป็นส่วนการกำหนดรายละเอียดระบบน้ำหยด ประกอบไปด้วย ระยะห่างระหว่างเทบน้ำหยด (ค่าปกติ 120 ซม.) โดยทำการแตะเลื่อนเพื่อเลือกค่าที่ต้องการ (รูป ผ.9 (1)) จากนั้นทำการตั้งค่าระยะห่างระหว่างหัวน้ำหยด (ค่าปกติ 30 ซม.) (รูป ผ.9 (2)) และตั้งค่าอัตราการไหลของหัวน้ำหยด (ค่าปกติ 2.5 ลิตร/ชั่วโมง) (รูป ผ.9 (3)) สุดท้ายแตะที่ปุ่ม  เพื่อทำการบันทึกข้อมูลฟาร์มใหม่ไว้ในเครื่อง จากนั้นระบบจะถามเพื่อทำการสร้างและบันทึกข้อมูลฟาร์มใหม่ไว้ในเครื่อง (รูป ผ.9 (4))



รูป ผ.9 การกำหนดรายละเอียดระบบน้ำหยด ประกอบไปด้วย 1) ระยะห่างระหว่างเทปน้ำ 2) ระยะห่างระหว่างหัวน้ำหยด 3) อัตราการไหลของหัวน้ำหยด และ 4) การสร้างและบันทึกข้อมูลฟาร์มใหม่ไว้ในเครื่อง

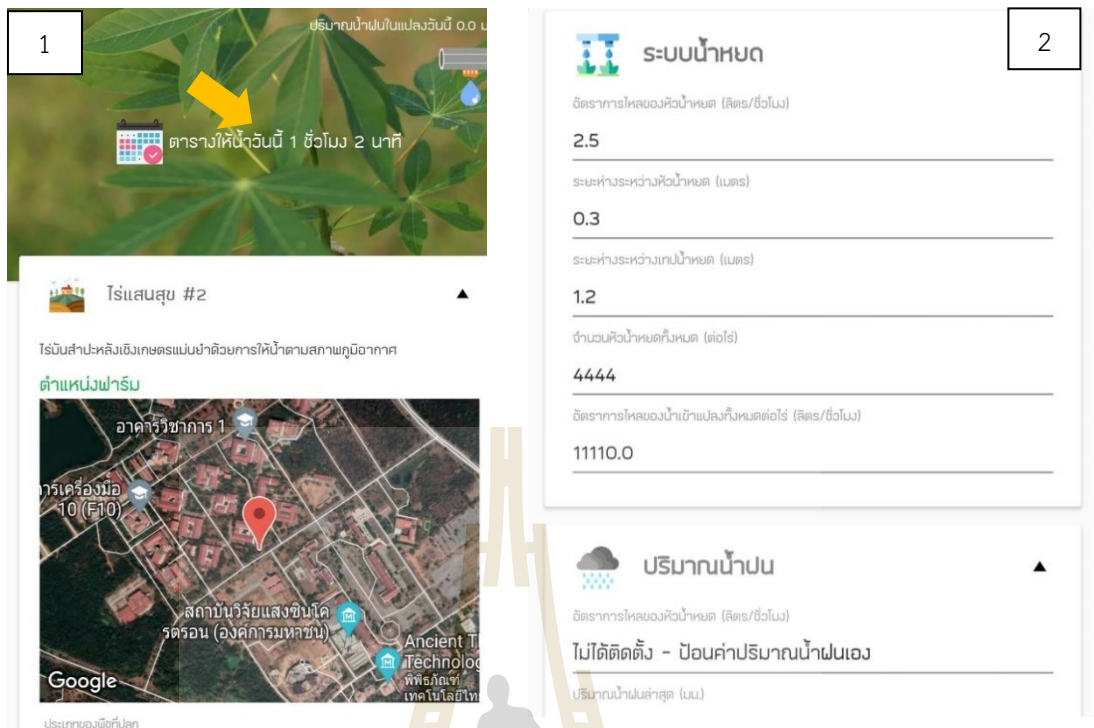
เมื่อบันทึกข้อมูลต่างๆ เสร็จสิ้นแล้ว ระบบจะแสดงรายการฟาร์มทั้งหมดไว้ที่หน้า dashboard ในขณะที่ระบบมีการคำนวณตารางการให้น้ำบนแม่ข่ายประมวลผลจากข้อมูลฟาร์มที่ได้สร้างขึ้นใหม่ โดยระบบจะแสดงผลข้อมูลต่างๆ คือ

- ระบบจะแสดงรายการฟาร์มทั้งหมดไว้ที่หน้า dashboard ดังตัวอย่างในรูปนี้คือ “ไร่แสนสุข #2” (รูป ผ.10 (1)) ในขณะเดียวกัน ระบบจะทำการคำนวณตารางการให้น้ำบนแม่ข่ายประมวลผลจากข้อมูลฟาร์มที่ได้สร้างขึ้นใหม่ พร้อมแสดงสถานะว่ากำลังประมวลผล เมื่อเสร็จสิ้นการประมวลผลตารางการให้น้ำ ระบบจะแสดงสถานะการให้น้ำ เช่นในฟาร์ม “ไร่แสนสุข #1” (รูป ผ.10 (2)) จะปรากฏสถานะ “ตารางให้น้ำวันนี้ 1 ชั่วโมง 2 นาที” เป็นการแจ้งเตือนว่าวันนี้จะต้องให้น้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 2 นาที



รูป ผ.10 ระบบทำการคำนวณ ตารางการให้น้ำบนแม่ข่าย ประมวลผล พร้อมแสดงสถานะว่า 1) กำลังประมวลผล “กำลังอัปเดต ตารางการให้น้ำ” และ 2) เมื่อเสร็จสิ้นระบบจะแสดงสถานะการให้น้ำ “ตารางให้น้ำวันนี้ 1 ชั่วโมง 2 นาที”

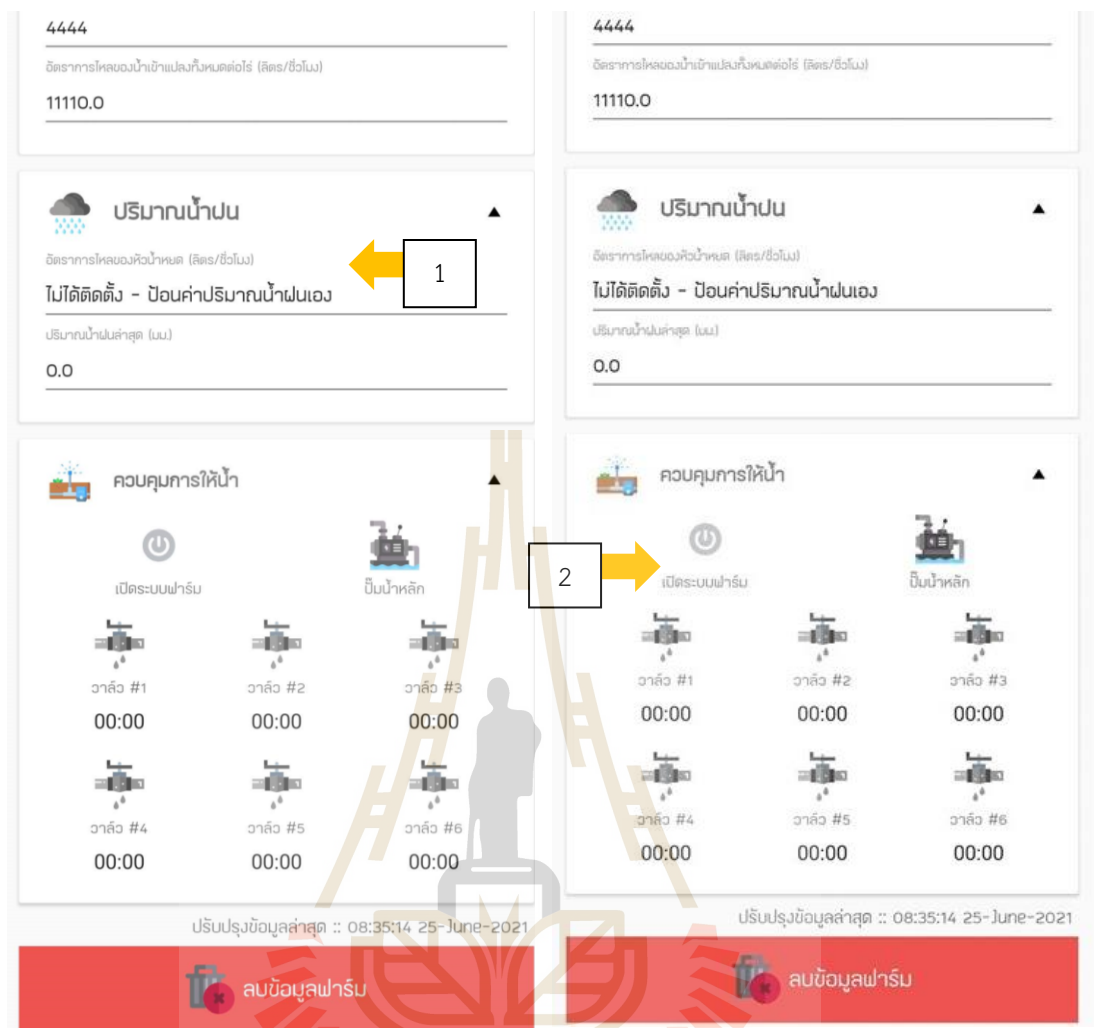
- เมื่อแตะเข้าไป “ดูรายละเอียด” ระบบมีการแสดงข้อมูลของฟาร์มทั้งหมด บางส่วนของ ข้อมูลสามารถแก้ไขได้ บางส่วนจะไม่สามารถแก้ไขได้ ข้อมูลการให้น้ำแสดงอยู่ส่วน บนสุดของหน้าจอ และมีส่วนแผนที่แสดงตำแหน่งของฟาร์มที่กำหนดไว้ (รูป ผ. 11 (1)) และส่วนของระบบน้ำหยดจะแสดงข้อมูลเกี่ยวกับระบบน้ำหยด เราสามารถแก้ไขข้อมูล อัตราการไหลของหัวน้ำหยด ระยะห่างระหว่างหัวน้ำหยด และระยะห่างระหว่างเทปน้ำ หยดได้ เมื่อทำการแก้ไข ระบบจะคำนวณตารางการให้น้ำใหม่ (รูป ผ.11 (2))



รูป ผ.11 1) ข้อมูลการให้น้ำจะแสดงอยู่ส่วนบนสุดของหน้าจอ และมีส่วนแผนที่แสดงตำแหน่งของฟาร์ม 2) ส่วนของระบบน้ำหยดจะแสดงข้อมูลเกี่ยวกับระบบน้ำหยดสามารถแก้ไขข้อมูลได้

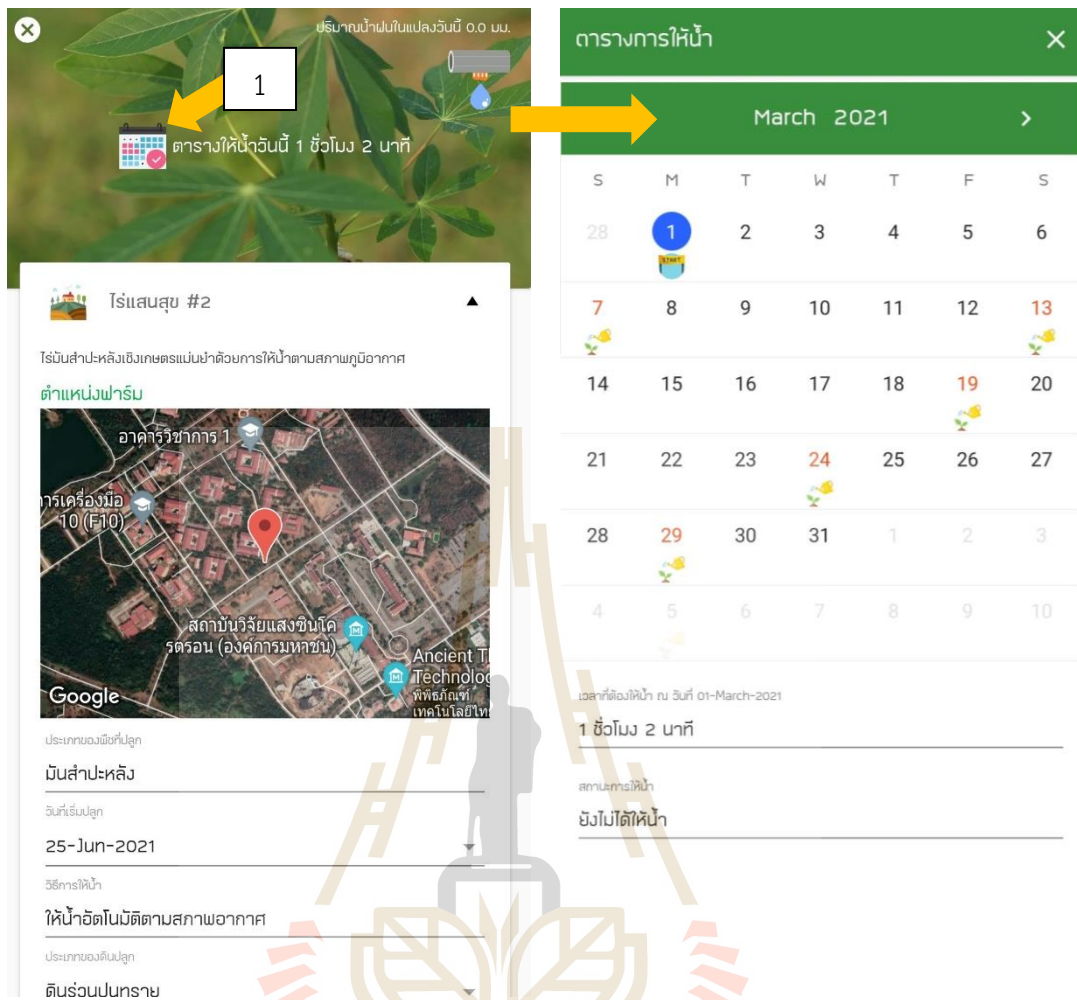
- สำหรับส่วนของปริมาณน้ำฝน สามารถกรอกข้อมูลปริมาณน้ำฝนล่าสุดในฟาร์มได้ (หน่วยเป็นมิลลิเมตร) ระบบทำการปรับตารางการให้น้ำใหม่ (รูป ผ.12 (1)) และระบบสามารถเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์การควบคุมน้ำได้ แต่ต้องมีการติดตั้งและปรับแต่งระบบ (จำเป็นต้องมีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตกับฮาร์ดแวร์ - ติดต่อนักวิจัยสำหรับรายละเอียดเพิ่มเติม) ปกติแล้วส่วนของการควบคุมน้ำนี้มีไว้เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ (แบบ IoT)





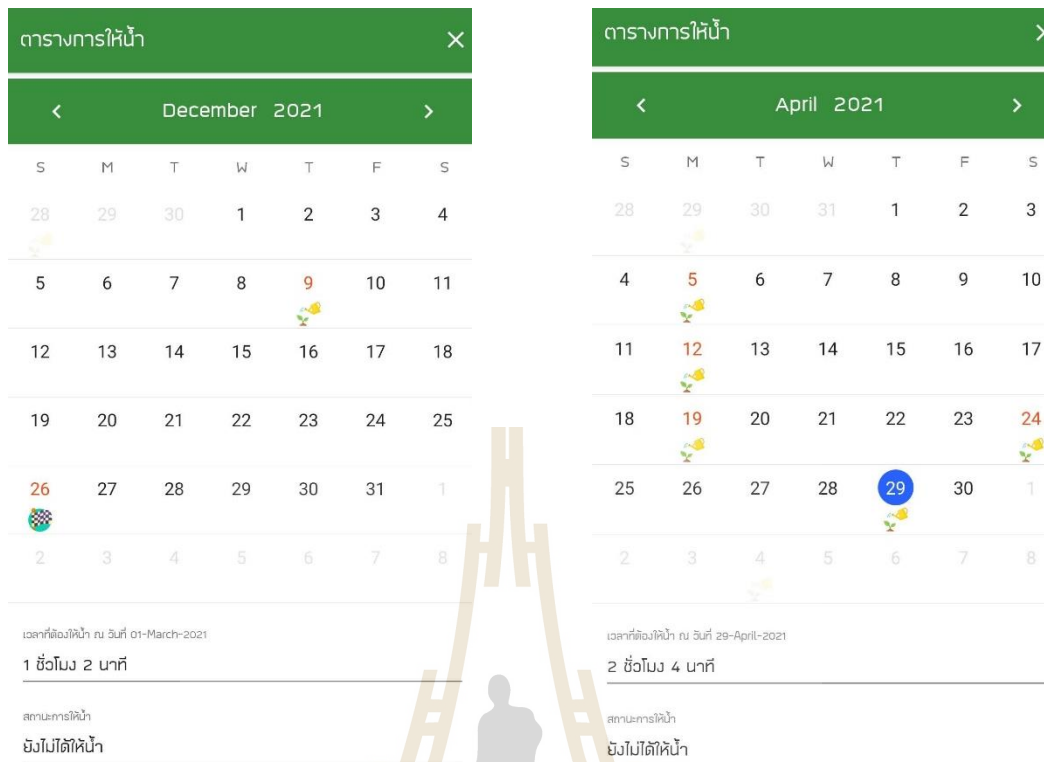
รูป ผ.12 1) สามารถกรอกข้อมูลปริมาณน้ำฝนล่าสุดในฟาร์มได้ ระบบจะทำการปรับตารางการให้น้ำใหม่ 2) ระบบสามารถเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์การควบคุมน้ำได้

- เมื่อแตะที่ไอคอนปฏิทิน ระบบจะทำการแสดงรายละเอียดตารางการให้น้ำในรูปแบบปฏิทินรายเดือน และในหน้าปฏิทินการให้น้ำ วันที่ต้องให้น้ำจะมีไอคอนเป็นรูปฝักบัวรดน้ำ (ได้แก่วันที่ 7, 13, 19, 24 และ 29 มีนาคม 2021 ในรูป) วันเริ่มต้นการให้น้ำจะแสดงไอคอน Start (ได้แก่วันที่ 1 มีนาคม 2021 ในรูป ผ.13) ส่วนวันสุดท้ายของการให้น้ำจะแสดงไอคอนรูปธงเส้นชัย (ได้แก่วันที่ 26 มีนาคม 2021 ในรูป ผ. 14 (1)) นอกเหนือไปจากไอคอนรูปฝักบัวรดน้ำแล้ว ระบบยังแสดงรายละเอียดการให้น้ำของแต่ละวันไว้ด้วย เช่น วันที่ 29 เมษายน 2021 เวลาที่ต้องให้น้ำทั้งสิ้น 2 ชั่วโมง 4 นาที และสถานะการให้น้ำคือ “ยังไม่ได้ให้น้ำ” (รูป ผ.14 (2))

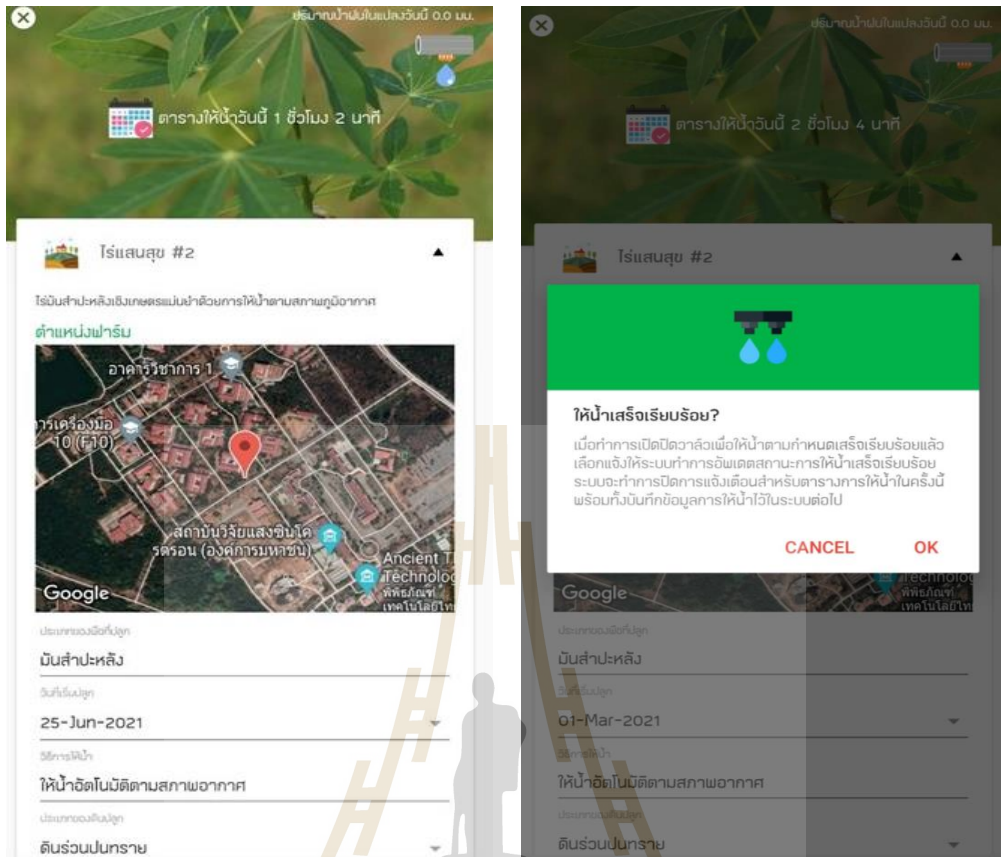


รูป ผ.13 รายละเอียดตารางการให้น้ำในรูปแบบปฏิทินรายเดือน และหน้าปฏิทินการให้น้ำ

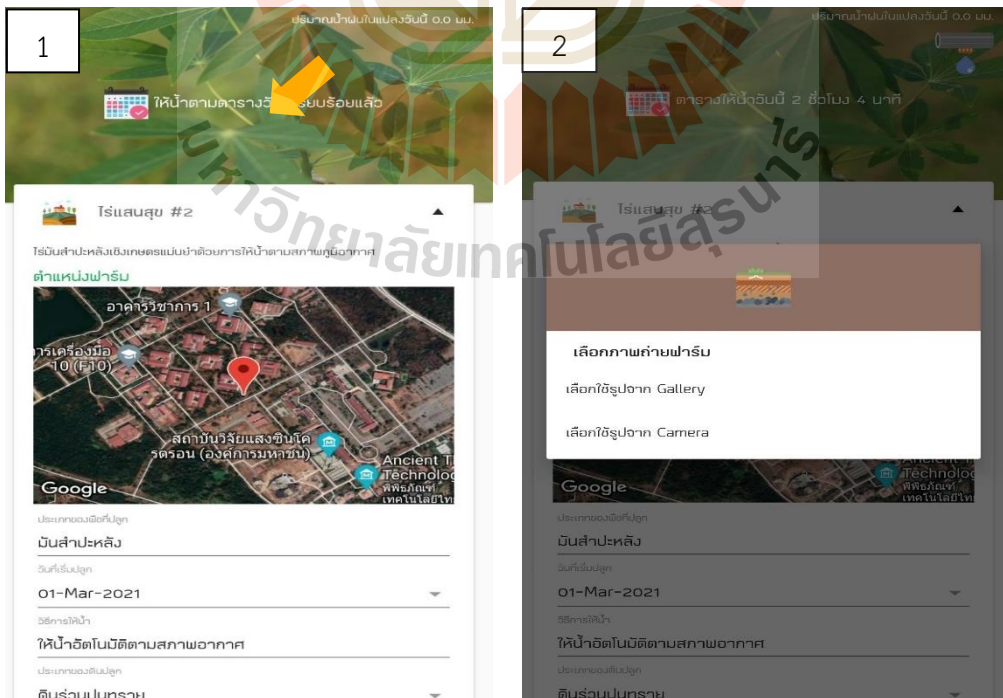




- รูป ผ.14** 1) รายละเอียดหน้าปฏิทินการให้น้ำวันสุดท้าย 2) รายละเอียดการให้น้ำของแต่ละวัน
- ในวันที่ต้องให้น้ำ ระบบแสดงสถานะเตือนว่าต้องให้น้ำ เมื่อให้น้ำเสร็จเรียบร้อยแล้ว (ตามระยะเวลาตารางการให้น้ำ) ผู้ใช้งานสามารถแตะที่ข้อความเตือน “ตารางให้น้ำวันนี้ 1 ชั่วโมง 2 นาที” ระบบจะถามสถานการณ์ให้น้ำ หากทำการให้น้ำเสร็จเรียบร้อยแล้ว และทำการแตะ OK ระบบจะทำการปิดการแจ้งเตือนสำหรับการให้น้ำในครั้งนี้อย่างสมบูรณ์ พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลการให้น้ำไว้ในระบบต่อไป (รูป ผ.15) เมื่อปรับสถานะการให้น้ำเสร็จสิ้นเรียบร้อยแล้ว ระบบจะแสดงสถานะ “ให้น้ำตามตารางวันนี้เรียบร้อยแล้ว” พร้อมทั้งปิดไอคอนแจ้งเตือนการให้น้ำ (ปกติจะกระพริบ) (รูป ผ.16 (1)) ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนรูปของฟาร์มตามต้องการได้โดยแตะที่รูปภาพ ระบบจะถามว่าจะเลือกภาพถ่ายจากในเครื่อง หรือทำการเปิดกล้องเพื่อถ่ายรูป (รูป ผ.16 (2))



รูป ผ.15 ระบบแสดงสถานะแจ้งเตือนการให้น้ำ



รูป ผ.16 ระบบแสดงสถานะแจ้งเตือนการให้น้ำ

## ภาคผนวกที่ 2 คู่มือการใช้งาน Application การให้ปุ๋ยระบบน้ำ มีดังนี้

2) การใช้งานแอปพลิเคชัน การให้ปุ๋ยระบบน้ำ เป็นแอปพลิเคชันสำหรับอุปกรณ์มือถือที่มีคุณสมบัติต่อไปนี้

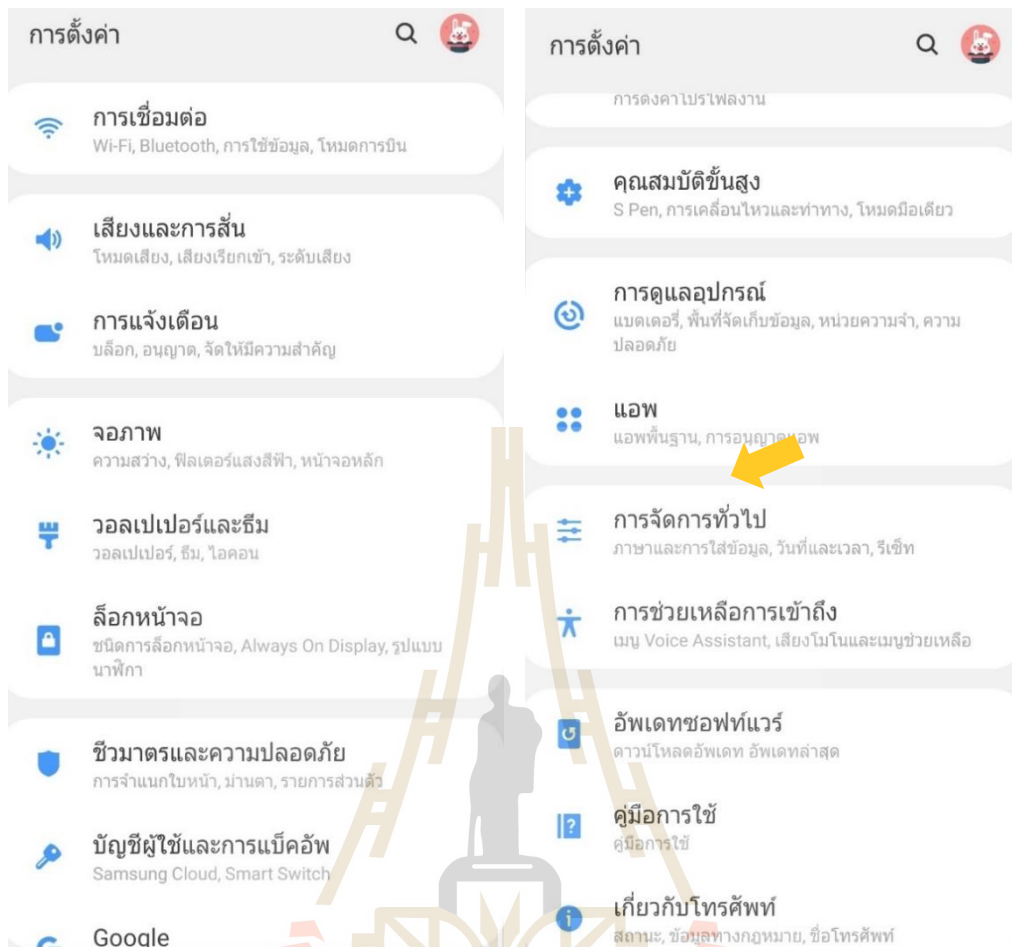
- ระบบปฏิบัติการ Android ตั้งแต่เวอร์ชัน 8.0 (Oreo) ขึ้นไป
- หน้าจอความละเอียด HD (ความละเอียดต่ำกว่านี้อาจมีผลต่อความคมชัดของข้อมูลบนหน้าจอ)

### 3) การติดตั้งแอปพลิเคชันปุ๋ยแม่นยำ

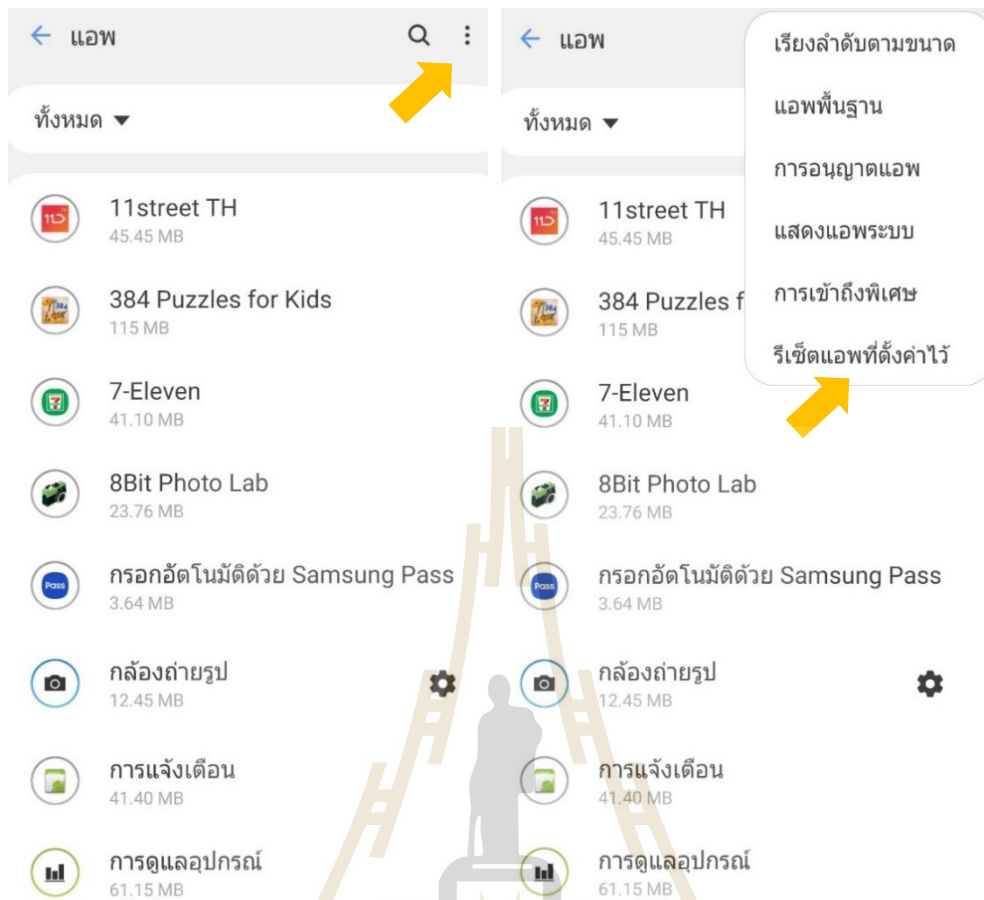
ดาวน์โหลดไฟล์แอปพลิเคชัน ปุ๋ยแม่นยำ.apk ได้ที่ <https://drive.google.com/file/d/1LVD6i04a0RZTmgUaoMMbLFji0uUdBTBf/view?usp=sharing>


เมื่อดาวน์โหลดไฟล์ **ปุ๋ยแม่นยำ.apk** มาแล้ว ทำการเปิดไฟล์ด้วย File Manager (แต่ละรุ่นของโทรศัพท์ Android จะมี File Manager ที่ไม่เหมือนกัน เลือกใช้ตามความสะดวก) ปกติแล้วหากโหลดมาเก็บไว้ในเครื่อง ไฟล์จะอยู่ที่ไดเรกทอรี Downloads ภายในตัวเครื่อง หากผู้ใช้โหลดจาก Google Drive สามารถเลือกติดตั้งแอปพลิเคชันจาก Google Drive ได้เลย ซึ่งก่อนการติดตั้งไฟล์ apk ซึ่งเป็นการติดตั้งภายนอก Google Play จะต้องทำการกำหนดค่าในระบบเพื่อให้ได้รับอนุญาตติดตั้งแอปพลิเคชันดังกล่าว ดังนี้

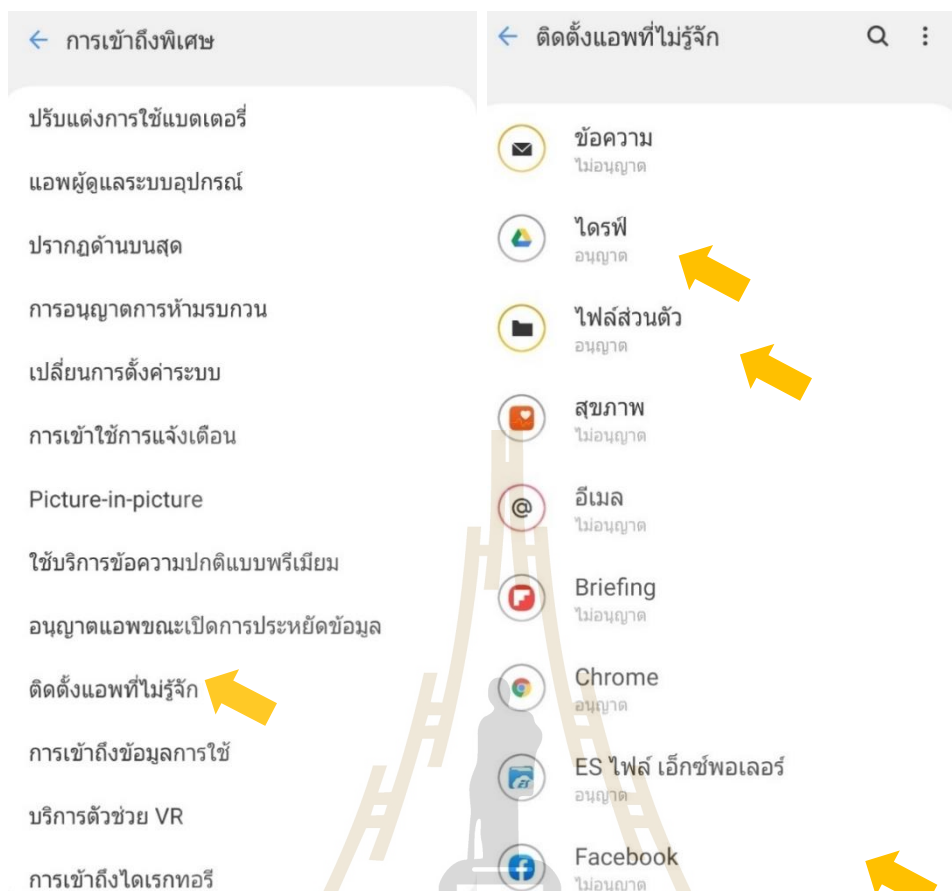




1. เข้าไปที่การตั้งค่า (Settings) ของระบบ
2. เลื่อนหน้าจอเพื่อหา “แอป”(App)

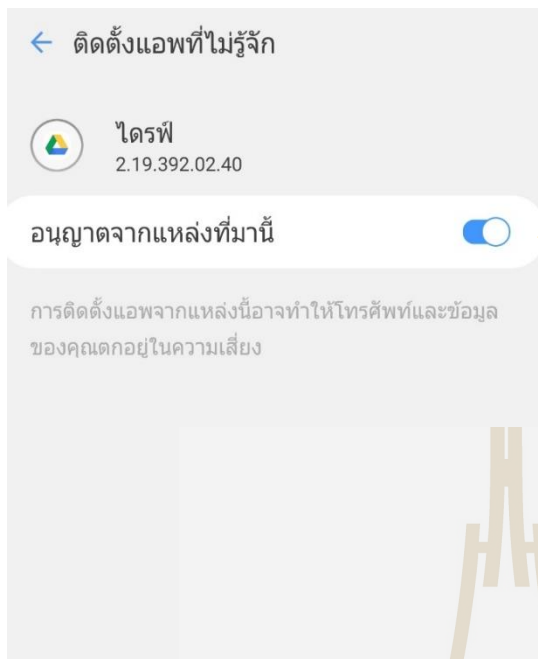


3. เข้าไปใน “แอปพลิเคชัน” แล้วแตะที่  4. เลือก “การเข้าถึงพิเศษ” เพื่อขออนุญาตให้ติดตั้ง  
 ปุ่มขบวนการ แอปพลิเคชันจากไฟล์ apk ได้

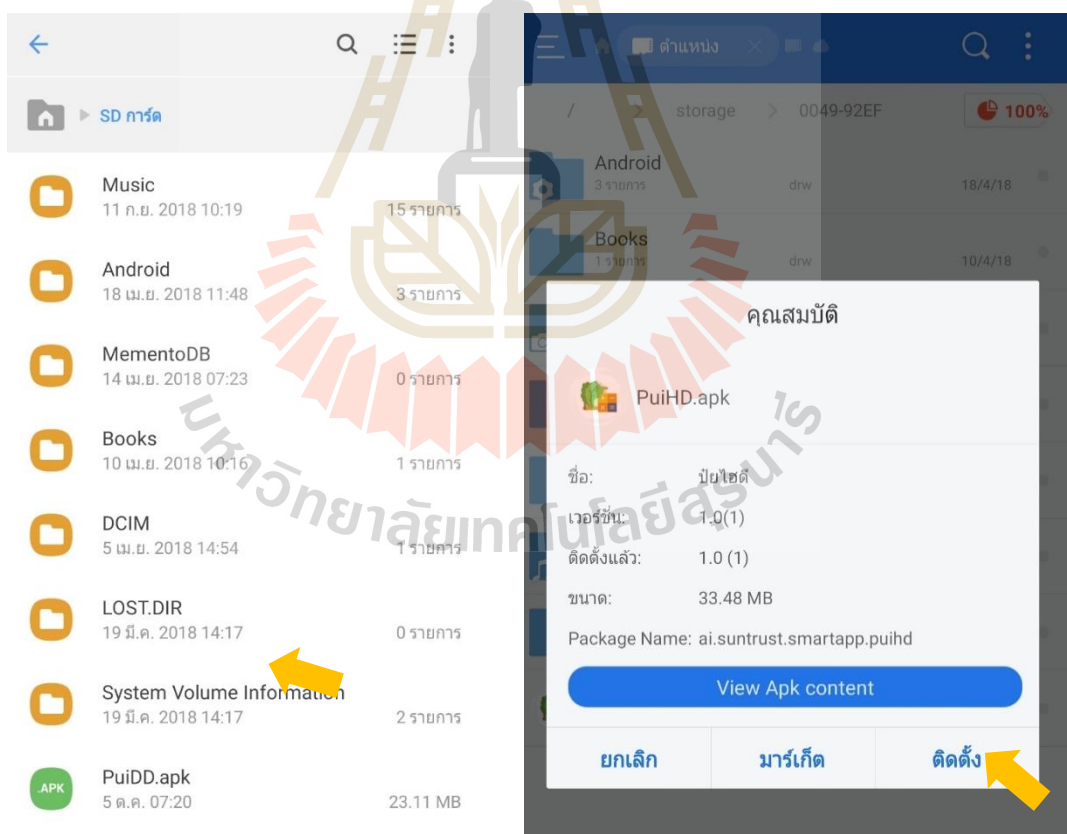


5. เลือก “ติดตั้งแอปพลิเคชันที่ไม่รู้จัก”

6. เลือกแอปพลิเคชันที่จะใช้ติดตั้งไฟล์ apk ถ้าติดตั้งไฟล์ที่แชร์ไว้ด้วย Google Drive ให้เลือก “ไดรฟ์” หรือถ้าดาวน์โหลดไฟล์มาไว้ที่เครื่อง ให้เลือก File Manager ที่ต้องการใช้ เช่น “ไฟล์ส่วนตัว” (My File ในเครื่อง Samsung) หรือ “ES ไฟล์ เอ็กซ์พอเรอร์” ติดตั้งจาก Google Play Store

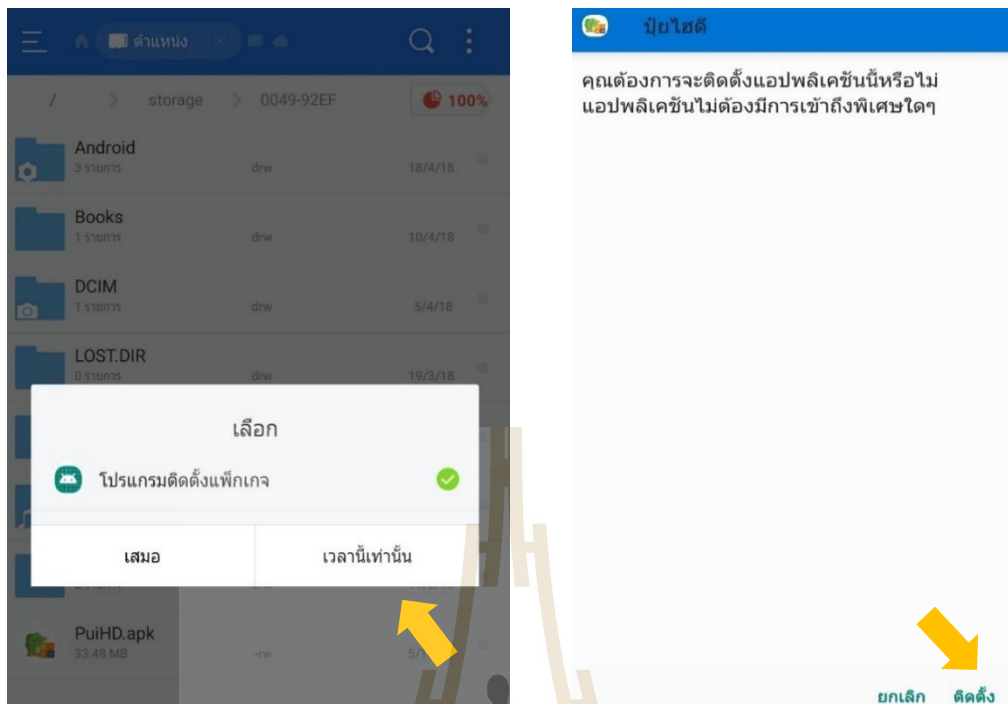


7. เลือก “อนุญาตจากแหล่งที่มา” จะทำให้เราสามารถติดตั้งแอปพลิเคชันจากไฟล์ apk ได้



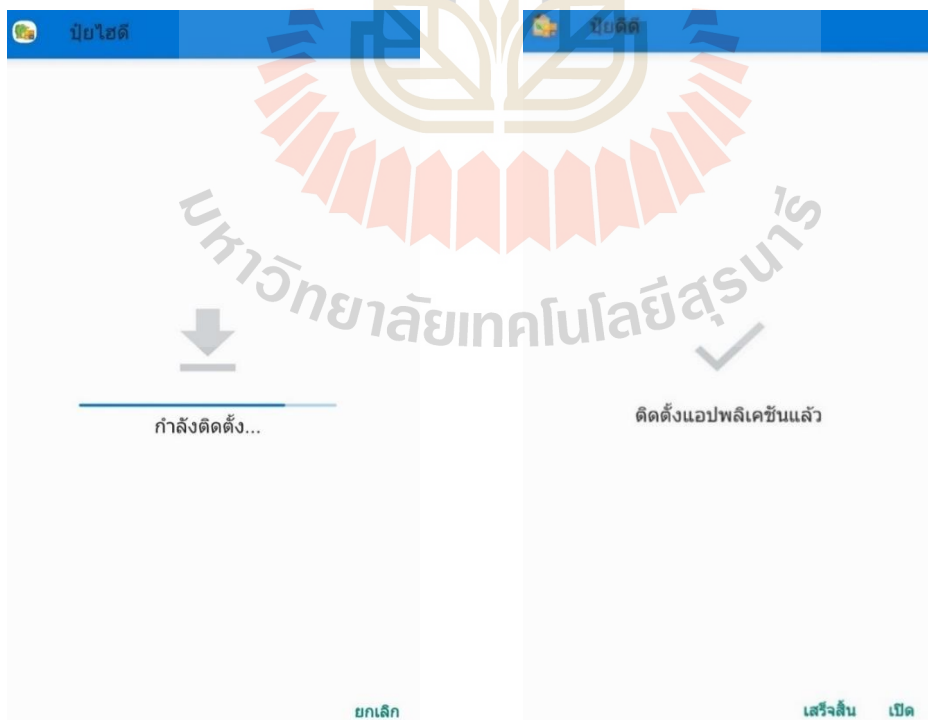
8. เปิด File Manager เพื่อหาไฟล์ **ปุ๋ยแมนย่า.apk** แล้วแตะที่ไฟล์เพื่อเริ่มการติดตั้ง

9. File Manager จะแสดงกล่องข้อความเพื่อให้ยืนยันการติดตั้ง ให้ทำการแตะ “ติดตั้ง”



10. ระบบอาจจะถามให้เลือกโปรแกรมติดตั้งแอปพลิเคชันให้เลือก “เวลานี้เท่านั้น”

11. ระบบจะถามยืนยันการติดตั้งอีกครั้ง แอปพลิเคชันนี้ไม่ต้องการการเข้าถึงพิเศษใด ๆ

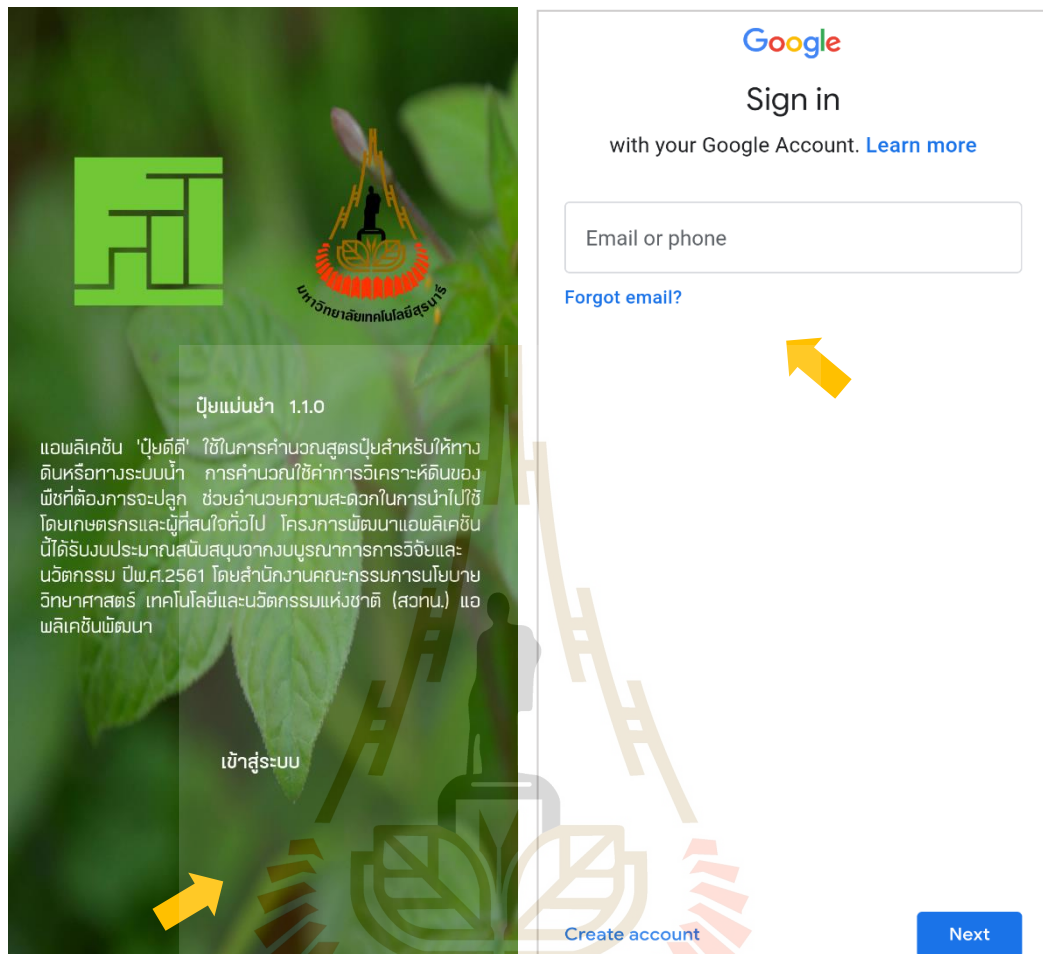


12. ระบบจะเริ่มติดตั้งแอปพลิเคชันลงในเครื่อง

13. ติดตั้งแอปพลิเคชันเรียบร้อยแล้ว



#### 4) การเริ่มต้นใช้งานแอปพลิเคชันปุ๋ยแม่นยำ โดยวิธีการเริ่มต้นใช้งานมีดังนี้



1. แตะ “เข้าสู่ระบบ” เพื่อเริ่มใช้งาน
2. ระบบใช้การระบุตัวตนด้วยบัญชีอีเมลของ gmail ให้ใส่หมายเลขอีเมล โดยปกติแล้วระบบ Android จะจดจำการระบุตัวตนเข้าใช้งานแอปพลิเคชันไว้อย่างอัตโนมัติ ผู้ใช้งานจำเป็นต้อง Sign in เข้าใช้งานครั้งแรกเท่านั้น

ใส่อีเมลล์


ใส่รหัสผ่านของอีเมลล์

3. หลังจากนั้นระบบจะแสดงหน้าจอการใช้บริการของ Google Service ให้แต่ละเลือกตามต้องการ เพื่อเข้าสู่หน้าจอหลักของแอปพลิเคชันต่อไป


5) การใช้งานแอปพลิเคชันปุ๋ยแม่นยำ โดยวิธีการใช้งานเริ่มต้นของแอปพลิเคชันปุ๋ยแม่นยำ ใส่ข้อมูลสูตรปุ๋ยที่สร้างขึ้นใหม่แล้วทำการบันทึก จะถูกแสดงที่หน้า dashboard ซึ่งเป็นส่วนแสดงข้อมูลสูตรปุ๋ยต่าง ๆ ผู้ใช้สามารถเลือกเข้าไปดู/ปรับแก้รายละเอียดของสูตรนั้น ๆ ได้ โดยเลือกสร้างสูตรปุ๋ยใหม่ จะเข้าสู่หน้าจอรายละเอียดสูตรปุ๋ย การบันทึกข้อมูลต่างๆ มีดังนี้



1. หน้าจอหลัก dashboard เป็นส่วนแสดงข้อมูลสูตรปุ๋ยต่าง ๆ คลิกที่ + เพื่อเพิ่มสูตรปุ๋ยใหม่
2. ข้อมูลสูตรปุ๋ยที่สร้างขึ้นใหม่แล้วทำการบันทึก จะถูกแสดงที่หน้า dashboard นี้ ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกเข้าไปดู/ปรับแก้รายละเอียดของสูตรนั้น ๆ ได้



ปุ๋ยพืชเกษตร  
JJ Dinton



ปุ๋ยพืชเกษตร  
JJ Dinton

พืชที่ต้องการปลูก

มันสำปะหลัง - ปุ๋ยทางดิน

**การวิเคราะห์ดิน**

รายการวิเคราะห์ดิน	ค่าที่ได้	การแปลผล
ความเป็นกรดด่าง (pH)	4.8	กรดจัดมาก
การนำไฟฟ้า (dS/m)	0.2	เค็มเล็กน้อย
อินทรีย์วัตถุ (%)	1.2	ค่อนข้างต่ำ
ฟอสฟอรัส (ppm)	4.2	ต่ำ
โพแทสเซียม (ppm)	59.6	ต่ำ
แคลเซียม (ppm)	1414.6	ปานกลาง
แมกนีเซียม (ppm)	379.0	สูง
เนื้อดิน	ทราย	

**การใส่ปุ๋ยเพื่อปรับปรุงดิน**

ปุ๋ยขาว	225 กก./ไร่
ปุ๋ยโดโลไมท์	203 กก./ไร่

**การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อปรับปรุงดิน**

พืชที่ต้องการปลูก

มันสำปะหลัง - ปุ๋ยทางดิน

มันสำปะหลัง - ปุ๋ยระบบน้ำ

อ้อย - ปุ๋ยทางดิน

อ้อย - ปุ๋ยระบบน้ำ

**การวิเคราะห์ดิน**


รายการวิเคราะห์ดิน	ค่าที่ได้	การแปลผล
ความเป็นกรดด่าง (pH)	4.8	กรดจัดมาก
การนำไฟฟ้า (dS/m)	0.2	เค็มเล็กน้อย
อินทรีย์วัตถุ (%)	1.2	ค่อนข้างต่ำ
ฟอสฟอรัส (ppm)	4.2	ต่ำ
โพแทสเซียม (ppm)	59.6	ต่ำ
แคลเซียม (ppm)	1414.6	ปานกลาง
แมกนีเซียม (ppm)	379.0	สูง
เนื้อดิน	ทราย	

**การใส่ปุ๋ยเพื่อปรับปรุงดิน**

ปุ๋ยขาว	225 กก./ไร่
ปุ๋ยโดโลไมท์	203 กก./ไร่


**การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อปรับปรุงดิน**

3. เมื่อเลือกสร้างสูตรปุ๋ยใหม่ จะเข้าสู่หน้าจอรายละเอียดสูตรปุ๋ย เลือกพืชที่ต้องการปลูก (มันสำปะหลัง/อ้อย) และระบบการให้ปุ๋ย (ทางดิน/ระบบน้ำ)



ปุ๋ยพืชเกษตร  
JJ Dinton

ก



ปุ๋ยพืชเกษตร  
JJ Dinton

ข

พืชที่ต้องการปลูก

**มันสำปะหลัง - ปุ๋ยทางดิน**

พืชที่ต้องการปลูก

**มันสำปะหลัง - ปุ๋ยทางดิน**

**การวิเคราะห์ดิน**

รายการวิเคราะห์ดิน	ค่าที่ได้	การแปลผล
ความเป็นกรดต่าง (pH)	4.8	กรดจัดมาก
การนำไฟฟ้า (dS/m)	0.2	เค็มเล็กน้อย
อินทรีย์วัตถุ (%)	1.2	ค่อนข้างต่ำ
ฟอสฟอรัส (ppm)	4.2	ต่ำ
โพแทสเซียม (ppm)	59.6	ต่ำ
แคลเซียม (ppm)	1414.6	ปานกลาง
แมกนีเซียม (ppm)	379.0	สูง
เนื้อดิน	ทราย	

**การวิเคราะห์ดิน**

รายการวิเคราะห์ดิน	ค่าที่ได้	การแปลผล
ความเป็นกรดต่าง (pH)	6.2	กรดเล็กน้อย
การนำไฟฟ้า (dS/m)	0.2	เค็มเล็กน้อย
อินทรีย์วัตถุ (%)	1.2	ค่อนข้างต่ำ
ฟอสฟอรัส (ppm)	4.2	ต่ำ
โพแทสเซียม (ppm)	59.6	ต่ำ
แคลเซียม (ppm)	1414.6	ปานกลาง
แมกนีเซียม (ppm)	379.0	สูง
เนื้อดิน	ทราย	

**การใส่ปุ๋ยเพื่อปรับปรุงดิน**

ปุ๋ยขาว	225 กก./ไร่	
ปุ๋ยโตโลโบค	203 กก./ไร่	

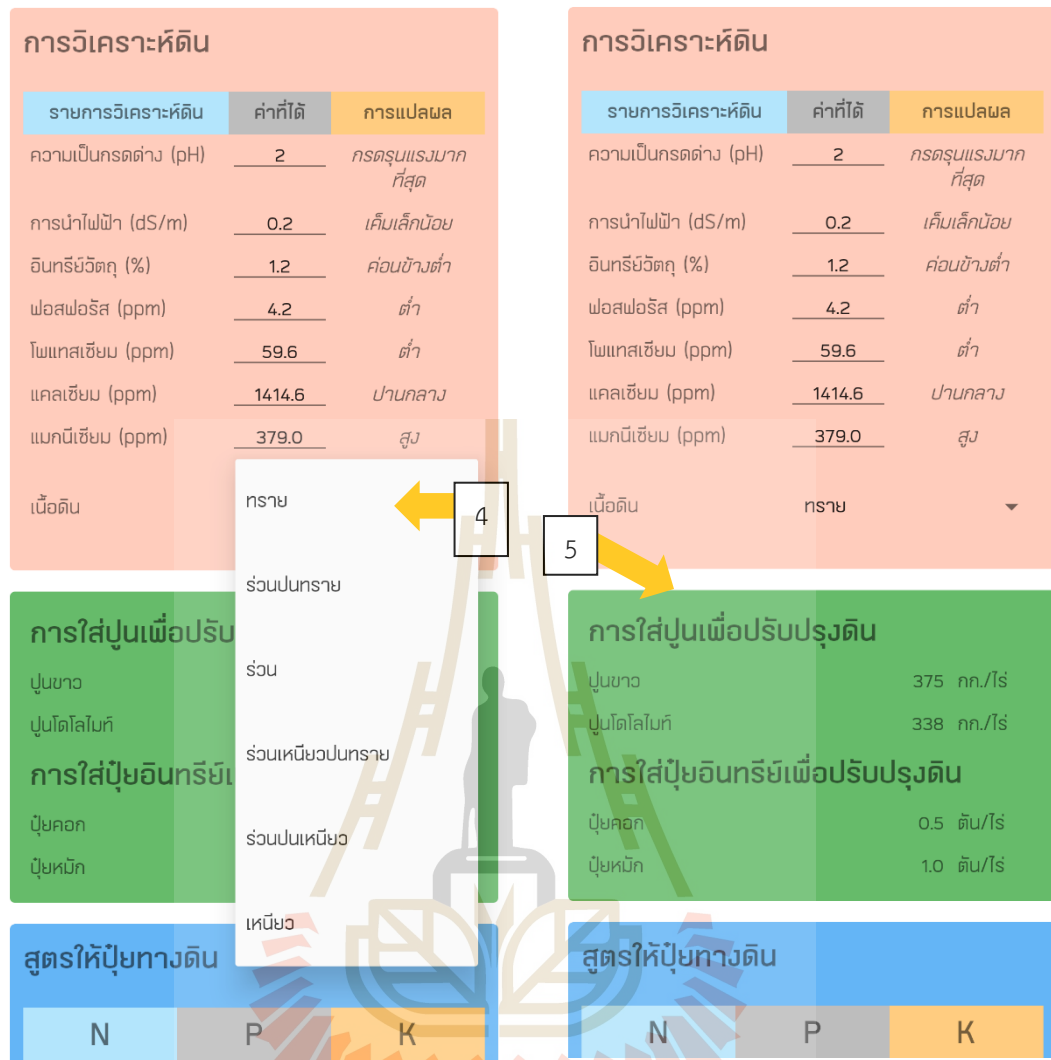
**การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อปรับปรุงดิน**

**การใส่ปุ๋ยเพื่อปรับปรุงดิน**

ปุ๋ยขาว	- กก./ไร่	
ปุ๋ยโตโลโบค	- กก./ไร่	

**การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อปรับปรุงดิน**

ก) การกำหนดรายละเอียดผลการวิเคราะห์ดิน ข) ระบบคำนวณผลการวิเคราะห์ดินให้อัตโนมัติ เช่น แปลผลจาก ‘กรดจัดมาก’ เป็น ‘กรดเล็กน้อย’



4. ตัวอย่างการปรับค่าการวิเคราะห์ดินและเปลี่ยนเนื้อดิน

5. แนวทางการปรับปรุงดินตามผลการวิเคราะห์ดินโดยการใส่ปุ๋ยเพื่อปรับปรุงดินจากการวิเคราะห์ดินที่ได้ความเป็นกรดรุนแรงมากที่สุด



สูตรให้ปุ๋ยทางดิน		
N	P	K
8	8	8

6

ปริมาณใช้ปุ๋ย	50	กก.
---------------	----	-----

แม่ปุ๋ยที่ใช้	20.66 กก.	
สารตัวเต็ม	29.34 กก.	
N	P	K
18	46	0
ไดแอมโมเนียมฟอสเฟส (DAP)	8.70 กก.	
46	0	0
ยูเรีย	5.29 กก.	
0	0	60
โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	6.67 กก.	

7

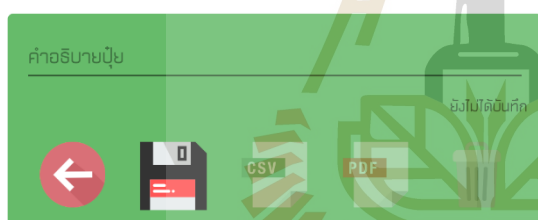
ราคาแม่ปุ๋ย	294.74 บาท	
น้ำหนัก กก.	ราคากระสอบละ	บาท/กก
50	900	18.0
ไดแอมโมเนียมฟอสเฟส (DAP)		

8

6. เมื่อเลื่อนหน้าจอลงมา จะเป็น ส่วนแสดงสูตรปุ๋ย
7. กำหนดปริมาณปุ๋ยที่ต้องการใช้
8. แอปพลิเคชันจะทำการคำนวณ แม่ปุ๋ยให้อัตโนมัติ พร้อมทั้งระบุ ปริมาณที่ต้องใช้

สารตั้งเดิม	29.34 กก.		
<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	
18	46	0	
โตแอมโบเนียฟอสเฟส (DAP)	8.70 กก.		
46	0	0	
ยูเรีย	5.29 กก.		
0	0	60	
โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	6.67 กก.		

ราคาแม่ปุ๋ย	294.74 บาท	
น้ำหนัก กก.	ราคากระสอบละ	บาท/กก
50	900	18.0
โตแอมโบเนียฟอสเฟส (DAP)	11.0	
50	550	11.0
ยูเรีย	12.0	
50	600	12.0
โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)		



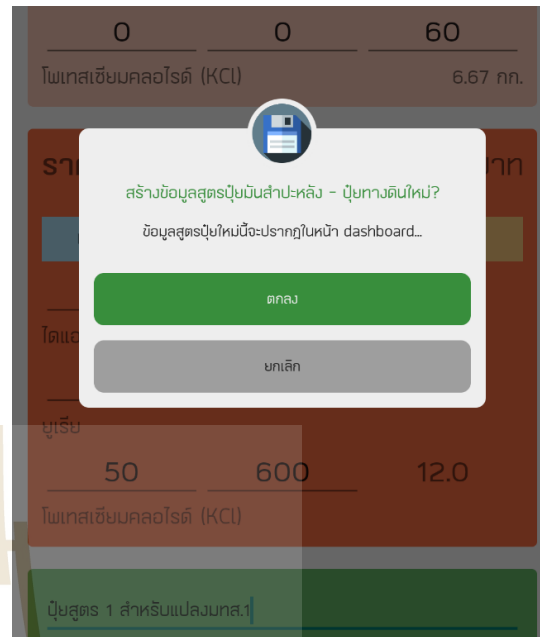
9. เมื่อเลื่อนหน้าจอลงมาจะเป็นส่วนที่แสดงราคาแม่ปุ๋ยตามที่กำหนดปริมาณเอาไว้ ผู้ใช้สามารถระบุราคาต่อกระสอบและน้ำหนักกระสอบเพื่อคำนวณราคาแม่ปุ๋ยที่ต้องใช้

10. เมื่อเลื่อนหน้าจอลงมาด้านล่างสุด จะเป็นแผงควบคุมข้อมูลสูตรปุ๋ย ประกอบไปด้วยคำอธิบายปุ๋ย ปุ่มบันทึกข้อมูล ปุ่มส่งออกข้อมูลเป็นไฟล์ CSV ปุ่มส่งออกข้อมูลเป็นไฟล์ PDF และปุ่มถึงขยะสำหรับลบข้อมูล สำหรับข้อมูลสูตรปุ๋ยใหม่ที่ยังไม่ได้ทำการบันทึกไว้ในระบบ ปุ่ม CSV PDF และปุ่มถึงขยะจะไม่สามารถใช้งานได้

น้ำหนัก กก.	ราคากระสอบละ	บาท/กก
50	900	18.0
โตแอมโบนีฟอสเฟส (DAP)		
50	550	11.0
ยูเรีย		
50	600	12.0

ราคาแม่ปุ๋ย 294.74 บาท

ปุ๋ยสูตร 1 สำหรับแปลงบส.1



11. การเพิ่มเติมข้อมูลปุ๋ยใหม่นี้ (ผู้ใช้สามารถใช้เป็นส่วนบันทึกรายละเอียดเพิ่มเติมของสูตรปุ๋ย เช่น ใช้ที่แปลงไหน สูตรที่เท่าไร ฯลฯ)

12. การบันทึกข้อมูล (ปุ่มแผ่นดิสก์) เพื่อบันทึกข้อมูลสูตรปุ๋ยใหม่นี้ แต่ที่ 'ตกลง' เพื่อบันทึกข้อมูล หรือ 'ยกเลิก' เพื่อทำการยกเลิกการบันทึกข้อมูลใหม่นี้



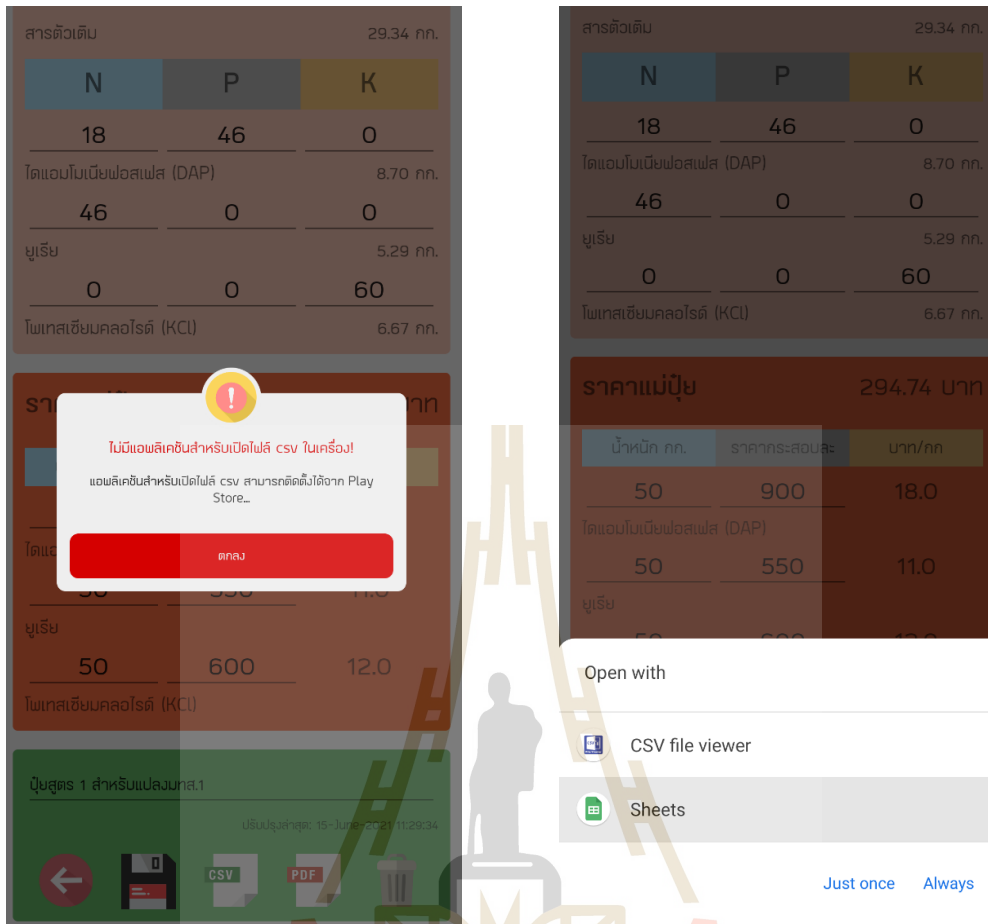
สารตัวเต็ม		29.34 กก.
N	P	K
18	46	0
โตแอมโมเนียฟอสเฟส (DAP)		8.70 กก.
46	0	0
ยูเรีย		5.29 กก.
0	0	60
โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)		6.67 กก.

ราคาแม่ปุ๋ย		294.74 บาท
น้ำหนัก กก.	ราคากระสอบละ	บาท/กก
50	900	18.0
โตแอมโมเนียฟอสเฟส (DAP)		
50	550	11.0
ยูเรีย		
50	600	12.0
โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)		



13. ข้อมูลสูตรปุ๋ยใหม่นี้จะปรากฏที่หน้า dashboard

14. ผู้ใช้สามารถเข้าไปแก้ไขรายละเอียดสูตรปุ๋ยได้ ซึ่งปุ่ม CSV, PDF และปุ่มถังขยะจะสามารถใช้งานได้แล้ว



15. แต่ที่ปุ่ม CSV เพื่อ export ข้อมูลสูตรปุ๋ยเป็นไฟล์ประเภท csv หากอุปกรณ์มือถือที่ใช้ ไม่มีแอปพลิเคชันรองรับไฟล์ csv จะมีหน้าต่างเตือน ผู้ใช้งานสามารถติดตั้งแอปพลิเคชันสำหรับเปิดไฟล์ csv ได้จาก Play Store
16. หากภายในเครื่องมีแอปพลิเคชันที่รองรับการเปิดไฟล์ประเภท csv ระบบจะถามว่าให้เปิดด้วยแอปพลิเคชันอะไร (หากมีเพียงแอปพลิเคชันเดียวที่รองรับ csv ระบบจะเปิดไฟล์ด้วยแอปพลิเคชันนั้นทันที) ในกรณีนี้เลือกใช้แอปพลิเคชัน Google Sheet

17.



สารตั้งเดิม			29.34 กก.
N	P	K	
18	46	0	
โตแอมโบเนียฟอสเฟส (DAP)			8.70 กก.
46	0	0	
ยูเรีย			5.29 กก.
0	0	60	
โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)			6.67 กก.

ราคาแม่ปุ๋ย			294.74 บาท
น้ำหนัก กก.	ราคากระสอบละ	บาท/กก	
50	900	18.0	
โตแอมโบเนียฟอสเฟส (DAP)			
50	550	11.0	
ยูเรีย			
50	600	12.0	
โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)			

ปุ๋ยสูตร 1 สำหรับแปลงบส.1

18

ปรีจันล่างสุด: 15-June-2021 11:29:34

← [Printer Icon] [CSV] [PDF] [Trash Icon]

18. แตะที่ปุ่ม PDF เพื่อ export ข้อมูลสูตรปุ๋ยเป็นไฟล์ประเภท pdf

← puiDD2.pdf [Share Icon] [Print Icon] [More Icon]

Pui+DD : ข้อมูลทั่วไป		
ชื่อผู้จัด	JJ Dixon	
ชื่อผู้ดำเนินการปลูก	ปรีจันล่างสุด - ปุ๋ยงานบส	
หมายเลข	ปุ๋ยสูตร 1 สำหรับแปลงบส.1	
สร้างข้อมูลเมื่อ	15-June-2021 11:29:34	
ปรับปรุงข้อมูลล่าสุดเมื่อ	15-June-2021 11:29:34	
ภาวะดินธาตุเคมี		
ภาวะดินธาตุเคมี	ค่าที่วัด	การแปลผล
ความชื้นดิน (%)	2.0	ลดลงจนมาฟ้าๆ
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	0.2	เป็นกรดน้อย
อินทรีย์วัตถุ (%)	1.2	ค่อนข้างต่ำ
ไนโตรเจน (%)	4.2	ต่ำ
ฟอสฟอรัส (%)	59.6	ต่ำ
โพแทสเซียม (%)	1414.6	ปานกลาง
แคลเซียม (%)	379.0	สูง
แมกนีเซียม (%)		
ซัลเฟอร์ (%)		
การประเมินปริมาณ		
ธาตุหลัก		
ปุ๋ยขาว (กก/ไร่)	375.0	
ปุ๋ยสีน้ำเงิน (กก/ไร่)	338.0	
ธาตุรองเสริม		
ปุ๋ยคอก (กก/ไร่)	0.5	
ปุ๋ยหมัก (กก/ไร่)	1.0	
สูตรให้ปุ๋ยทางดิน		
N	P	K
18	46	0
ปุ๋ยคอก (กก)		50.0
แม่ปุ๋ยทั้งหมด 294.74 กก.		
สารตั้งเดิม (กก)	29.344675	

โตแอมโบเนียฟอสเฟส - DAP 8.695652 กก.		
N	P	K
18	46	0
ยูเรีย - Urea 5.293006 กก.		
N	P	K
46	0	0
โพแทสเซียมคลอไรด์ - KCl 6.666665 กก.		
N	P	K
0	0	60
ราคาแม่ปุ๋ย 294.74 บาท		
โตแอมโบเนียฟอสเฟส - DAP 8.70 กก.		
น้ำหนัก (กก)	ราคากระสอบละ (บาท)	ราคา (บาท/กก.)

19. หากภายในเครื่องมีแอปพลิเคชันรองรับการเปิดไฟล์ประเภท PDF ระบบจะเปิดไฟล์ให้ทันที รายละเอียดของสูตรปุ๋ยทั้งหมดถูกจัดไว้ในไฟล์ PDF ผู้ใช้สามารถบันทึกหรือนำไปใช้งานต่อได้ (ดูตัวอย่างไฟล์ PDF ได้ที่ท้ายคู่มือ)



สารตั้งเดิม	29.34 กก.	
<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>
18	46	0
โตแอมโมเนียมฟอสเฟส (DAP)	8.70 กก.	
46	0	0
ยูเรีย	5.29 กก.	
0	0	60
โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	6.67 กก.	

สารตั้งเดิม	29.34 กก.	
<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>
18	46	0
โตแอมโมเนียมฟอสเฟส (DAP)	8.70 กก.	
46	0	0
ยูเรีย	5.29 กก.	
0	0	60
โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	6.67 กก.	

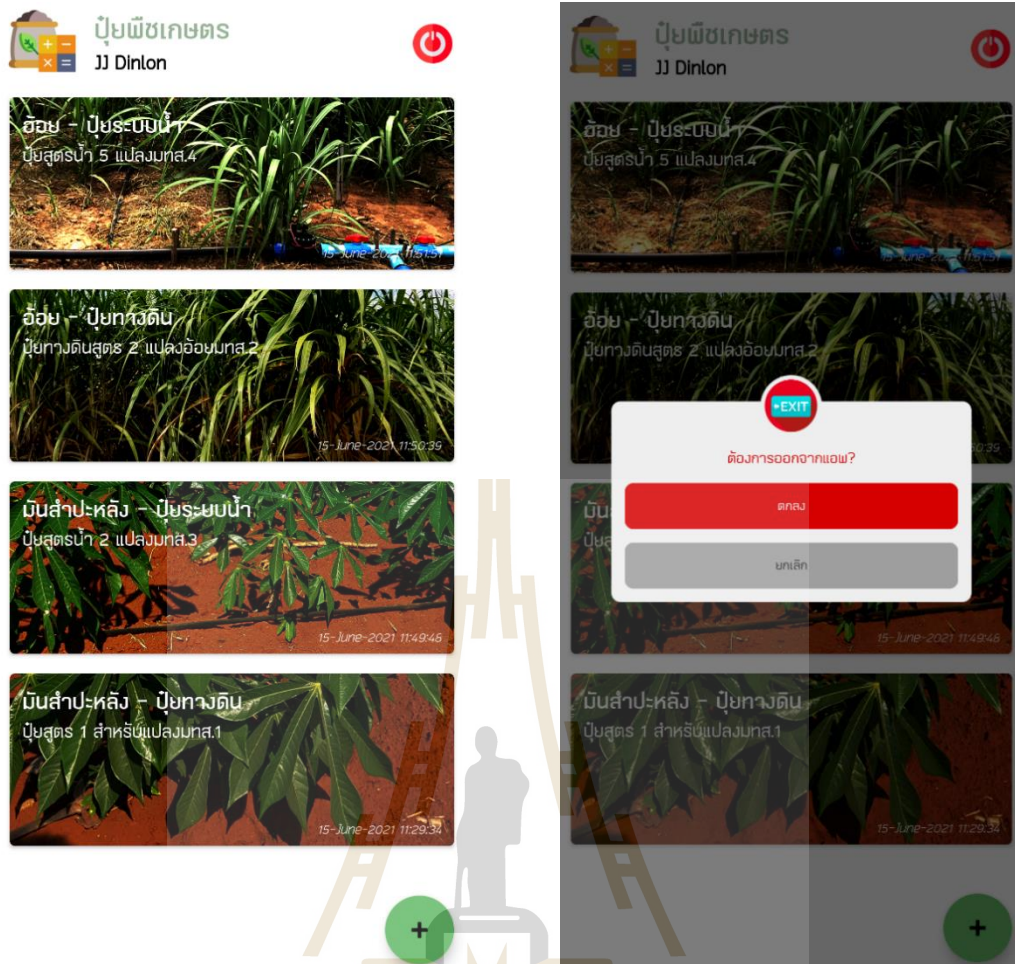
ราคาแม่ปุ๋ย	294.74 บาท	
<b>น้ำหนัก กก.</b>	<b>ราคากระสอบละ</b>	<b>บาท/กก</b>
50	900	18.0
โตแอมโมเนียมฟอสเฟส (DAP)	11.0	
50	550	11.0
ยูเรีย	12.0	
50	600	12.0
โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)		

ราคาแม่ปุ๋ย	294.74 บาท	
<b>น้ำหนัก กก.</b>	<b>ราคากระสอบละ</b>	<b>บาท/กก</b>
50	900	18.0
โตแอมโมเนียมฟอสเฟส (DAP)	11.0	
50	550	11.0
ยูเรีย	12.0	
50	600	12.0
โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)		



20. หากต้องการลบข้อมูลสูตรปุ๋ยนี้ ให้แตะที่  
ถังขยะ

21. เมื่อออกจากหน้าสูตรปุ๋ย จะกลับไปสู่  
หน้า dashboard



22. เมื่อบันทึกข้อมูลสูตรปุ๋ยหลายๆ สูตร หน้าจอหลักจะแสดงสูตรปุ๋ยทั้งหมด ภาพที่ปรากฏเป็นเพียงสัญลักษณ์ข้อมูลเท่านั้น ซึ่งสื่อถึงประเภทของพืชที่เลือก และประเภทของการให้ปุ๋ย
23. หากต้องการออกจากแอปพลิเคชัน ให้ทำการแตะที่ปุ่ม Power มุมขวาบน ระบบจะถามยืนยันความต้องการออกจากการใช้งานแอปพลิเคชัน

**ตารางภาคผนวกที่ 1** ต้นทุนการผลิตอ้อยที่ปลูกในดินร่วนทรายและดินร่วนเหนียว และควบคุมการให้น้ำต่างกัน

รายการ	ดินร่วนทราย			ดินร่วนเหนียว		
	ไม่ให้น้ำ	ควบคุมด้วย เซ็นเซอร์ <sup>1</sup>	ควบคุมด้วย Application	ไม่ให้น้ำ	ควบคุมด้วย เซ็นเซอร์	ควบคุมด้วย Application
<b>1. ต้นทุนคงที่</b>						
1) ค่าเช่าที่ดิน	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
2) ค่าเสื่อมวัสดุนี้้หายด	-	2,063	2,063	-	2,063	2,063
3) ค่าค่าวัสดุและดูแล รักษาเมื่อใช้ เซ็นเซอร์ <sup>1</sup>	-	800	-	-	800	-
<b>2. ต้นทุนผันแปร</b>						
1) ค่าเตรียมพื้นที่ปลูก	950	950	950	950	950	950
2) ค่าจ้างแรงงาน	900	720	720	900	720	720
3.1) ค่าปลูก และดูแล	650	650	650	650	650	650
3.2) ค่าเก็บเกี่ยว	5,842	7,884	7,794	6,433	8,617	8,587
4) ค่าท่อนพันธุ์พืช	1,750	1,500	1,500	1,750	1,500	1,500
5.1) ค่าปุ๋ย	1,470	1,797	1,797	1,470	1,797	1,797
5.2) ค่ายากำจัด ศัตรูพืช	200	200	200	200	200	200
<b>รวม</b>	<b>13,262</b>	<b>18,064</b>	<b>17,175</b>	<b>13,853</b>	<b>18,797</b>	<b>17,967</b>

<sup>1</sup> ต้นทุนค่าวัสดุและดูแลรักษาเมื่อใช้เซ็นเซอร์ในการควบคุมการให้น้ำประมาณปีละ 800 บาท/ไร่

**ตารางภาคผนวกที่ 2** ต้นทุนและผลตอบแทนจากการผลิตอ้อย

รายการ	ดินร่วนทราย			ดินร่วนเหนียว		
	ไม่ให้น้ำ	ควบคุมด้วย เซ็นเซอร์	ควบคุมด้วย แอปพลิเคชัน	ไม่ให้น้ำ	ควบคุมด้วย เซ็นเซอร์	ควบคุมด้วย แอปพลิเคชัน
1. ผลผลิต (ตัน/ไร่)	15.62	21.08	20.84	17.2	23.04	22.96
2. ราคาขายอ้อย <sup>1</sup> (บาท/ ตัน)	1,178	1,178	1,178	1,178	1,178	1,178
3. รายได้ทั้งหมด (บาท/ไร่)	18,400	24,832	24,550	20,262	27,141	27,047
4. ต้นทุนทั้งหมด (บาท/ไร่)	13,262	18,064	17,175	13,853	18,797	17,967
5. กำไรสุทธิ (บาท/ไร่)	5,138	6,768	7,375	6,409	8,344	9,080

<sup>1</sup> ราคาอ้อยเบื้องต้น ปี 2563/2564: ต้นละ 920 บาท ที่ความหวาน 10 ccs (คิดเพิ่ม ccs ละ 55.2 บาท/ตัน) การทดลองนี้ได้ค่าความหวาน 12.5 ccs (เงินเพิ่มตามนโยบายรัฐบาล กรณีตัดอ้อยสดอีก 120 บาท/ตัน) การทดลองนี้ได้ค่าความหวาน 12.5 ccs (เงินเพิ่มตามนโยบายรัฐบาล กรณีตัดอ้อยสดอีก 120 บาท/ตัน)

ตารางภาคผนวกที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในภาคสนามที่ใช้ประกอบการประเมินผลผลิตอ้อย

เลขแปลง	ชื่อตำแหน่ง สำรวจ	จำนวนต้น/ พื้นที่	ความสูงต้น (m.)	ความสูงลำ (m.)	เส้นรอบวง ของลำ (cm.)
01-79698-04 (KK3)	1A	6	3.6	2.6	8.5
	2A	5	3.5	2.8	7.4
	3A	6	3.6	2.7	6.8
	4A	8	3.6	2.9	9.0
01-79698- 03/1(KK3)	1B	6	3.6	2.9	8.2
	2B	4	3.5	2.65	7.5
01-79698-03 (KK3)	1C	6	3.6	2.85	8.6
	2C	4	3.5	2.5	7.8
01-79698-01 (KK3)	1D	5	3.5	2.6	6.35
	2D	4	3.5	2.6	8.5
	3D	7	3.3	2.30	9.1
	4D	6	3.5	2.65	10.2
	5D	3	3.5	2.50	10.8
	6D	6	3.5	2.60	9.6
01-79698-04 (KK3+KPS12)	1E	8	3.3	2.85	10.15
	2E	9	4.0	3.0	8.93
	3E	3	3.7	2.8	8.93
	4E	6	3.4	2.3	8.53
เฉลี่ย		5.6	3.5	2.6	8.6



## ประวัตินักวิจัย

### 1. หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดชล วุ่นประเสริฐ เกิดเมื่อวันที่ 24 พฤษภาคม 2505 ที่จังหวัดสมุทรสาคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขา Agronomy ในปี 2526 สำเร็จการศึกษาปริญญาโทจาก University of Western Australia ประเทศออสเตรเลีย สาขา Crop science ในปี 2535 และปริญญาเอกจาก University of Kentucky ประเทศสหรัฐอเมริกา สาขา Soil science ในปี 2546 ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา มีความชำนาญการพิเศษในด้าน 1. การจัดการดิน ปุ๋ย และธาตุอาหารพืช 2. การจัดการน้ำ ได้เคยทำการวิจัยหรือเป็นหัวหน้าโครงการสำเร็จมาแล้วกว่า 10 โครงการ มีผลงานวิจัยและสิ่งตีพิมพ์ทั้งในประเทศไทยและนานาชาติ กว่า 30 บทความ อีกทั้งยังได้เขียนหนังสือ และเอกสารวิชาการกว่า 5 เล่ม ตัวอย่างเช่น เอกสารประกอบการเรียนเรื่องการวิเคราะห์ดินและพืช ซึ่งใช้เป็นเอกสารประกอบการเรียนการสอนในสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

### 2. ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 1

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จูติพร มะชิโกวา เกิดเมื่อวันที่ 26 ตุลาคม 2519 จบการศึกษาปริญญาเอก สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สถาบันมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี 2547 และปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สถาบันมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี 2541 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งหัวหน้าสาขาวิชา และอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา มีความชำนาญพิเศษด้านเทคโนโลยีการผลิตพืช การปรับปรุงพันธุ์พืช และการวิเคราะห์ข้อมูลสถิติด้านการเกษตร ได้เคยทำการวิจัยเป็นหัวหน้าโครงการที่สำเร็จมาแล้วมากกว่า 10 โครงการ มีสิ่งตีพิมพ์ทั้งระดับชาติ และนานาชาติมากกว่า 30 บทความ ให้บริการวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยด้านการปรับปรุงพันธุ์พืช เทคโนโลยีการผลิตพืช และการผลิตพืชอัจฉริยะ มากกว่า 20 ครั้ง

### 3. ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 2

รองศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว เกิดวันที่ 19 พฤศจิกายน 2515 สำเร็จการศึกษาปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบัน Vanderbilt University ประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี 2543 และปริญญาตรี ในสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี 2537 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา มีความชำนาญพิเศษด้านการ

มองเห็นของคอมพิวเตอร์และหุ่นยนต์ การประมวลผลสัญญาณภาพ ปัญญาประดิษฐ์ ระบบชาญฉลาด ได้เคยทำการวิจัยเป็นหัวหน้าโครงการที่สำเร็จมาแล้วมากกว่า 17 โครงการ มีสิ่งตีพิมพ์ทั้งระดับชาติ และนานาชาติมากกว่า 60 บทความ

#### 4. ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 3

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รอ. ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 10 กรกฎาคม 2512 ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน จบการศึกษาปริญญาตรีจากโรงเรียนนายเรืออากาศ สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า ในปี 2536 จบการศึกษาปริญญาโทจาก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ในปี 2541 และปริญญาเอกจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า ในปี 2549 ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา มีความชำนาญการพิเศษในด้าน 1. Digital signal and image processing 2. Artificial intelligence and application 3. Microcontroller and embedded systems 4. Internet of Thing (IoT) applications อีกทั้งยังมีผลงานวิจัยและสิ่งตีพิมพ์ทั้งในประเทศไทยและนานาชาติ กว่า 40 บทความ

#### 5. ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 4

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนทิพย์ ปิยะทัศนานนท์ เกิดเมื่อวันที่ 7 พฤศจิกายน 2515 ที่จังหวัดนครปฐม จบการศึกษาปริญญาตรีจากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สาขาภูมิศาสตร์ ในปี 2538 จบการศึกษาปริญญาโทจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สาขาการวางแผนชุมชนเมืองและสภาพแวดล้อม ในปี 2545 และปริญญาเอกจาก University of Salford ประเทศ สหราชอาณาจักร ในปี 2557 ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายพันธกิจสัมพันธ์ นวัตกรรม และความเป็นผู้ประกอบการ หัวหน้าสาขาวิชา และอาจารย์ประจำสาขาภูมิสารสนเทศ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา อีกทั้งยังดำรงตำแหน่ง รองผู้อำนวยการศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา มีความชำนาญการพิเศษในด้าน 1. UAV mapping 2. Photogrammetry 3. Network and Spatial analysis ได้เคยทำการวิจัยหรือเป็นหัวหน้าโครงการสำเร็จมาแล้วกว่า 20 โครงการ มีผลงานวิจัยและสิ่งตีพิมพ์ทั้งในประเทศไทยและนานาชาติ กว่า 20 บทความ