



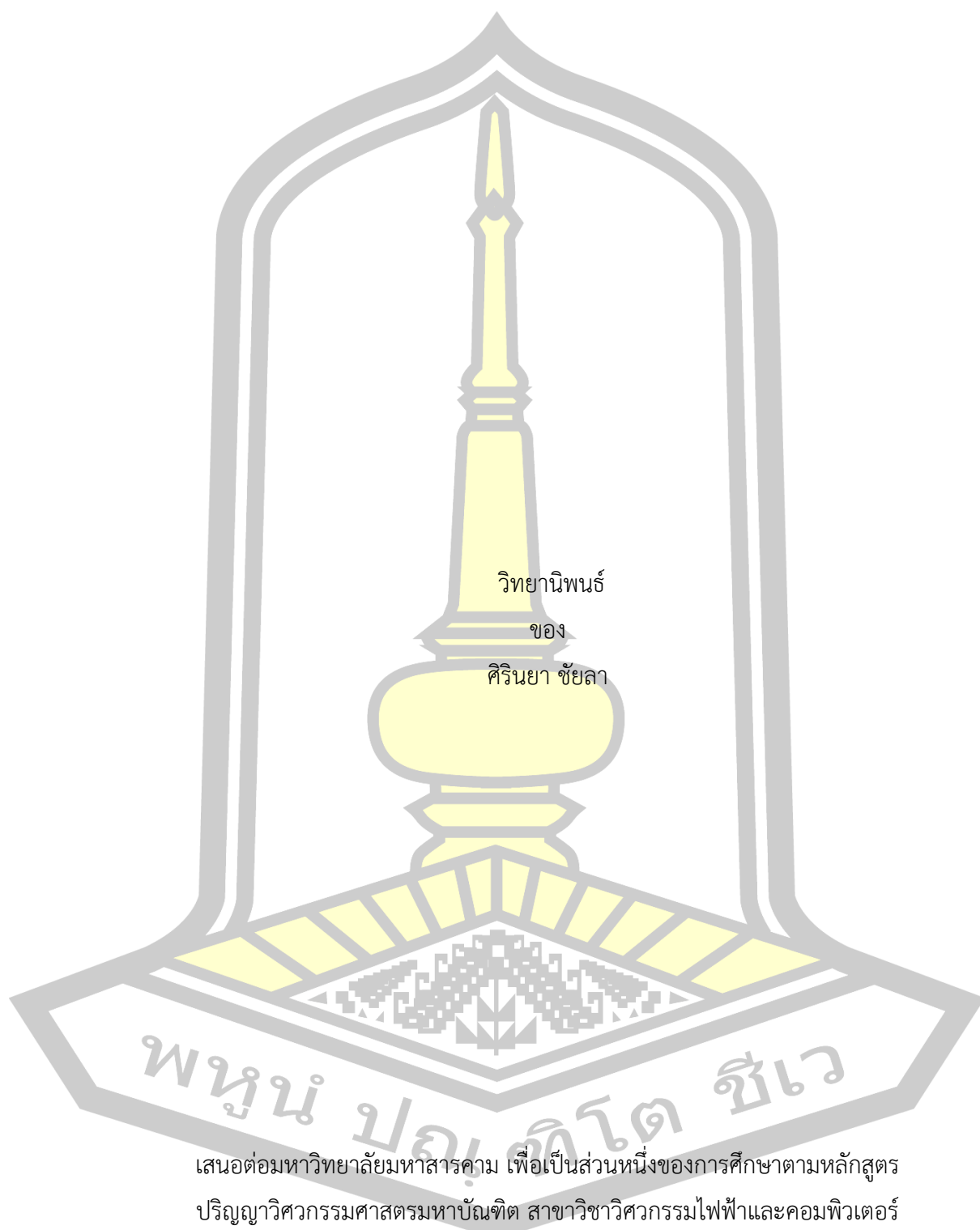
การออกแบบและทดสอบระบบควบคุมการให้สารละลายธาตุอาหารสำหรับการปลูกพืชไร้ดิน

วิทยานิพนธ์
ของ
ศรินยา ชัยลา

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
มิถุนายน 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การออกแบบและทดสอบระบบควบคุมการให้สารละลายธาตุอาหารสำหรับการปลูกพืชไร้ดิน

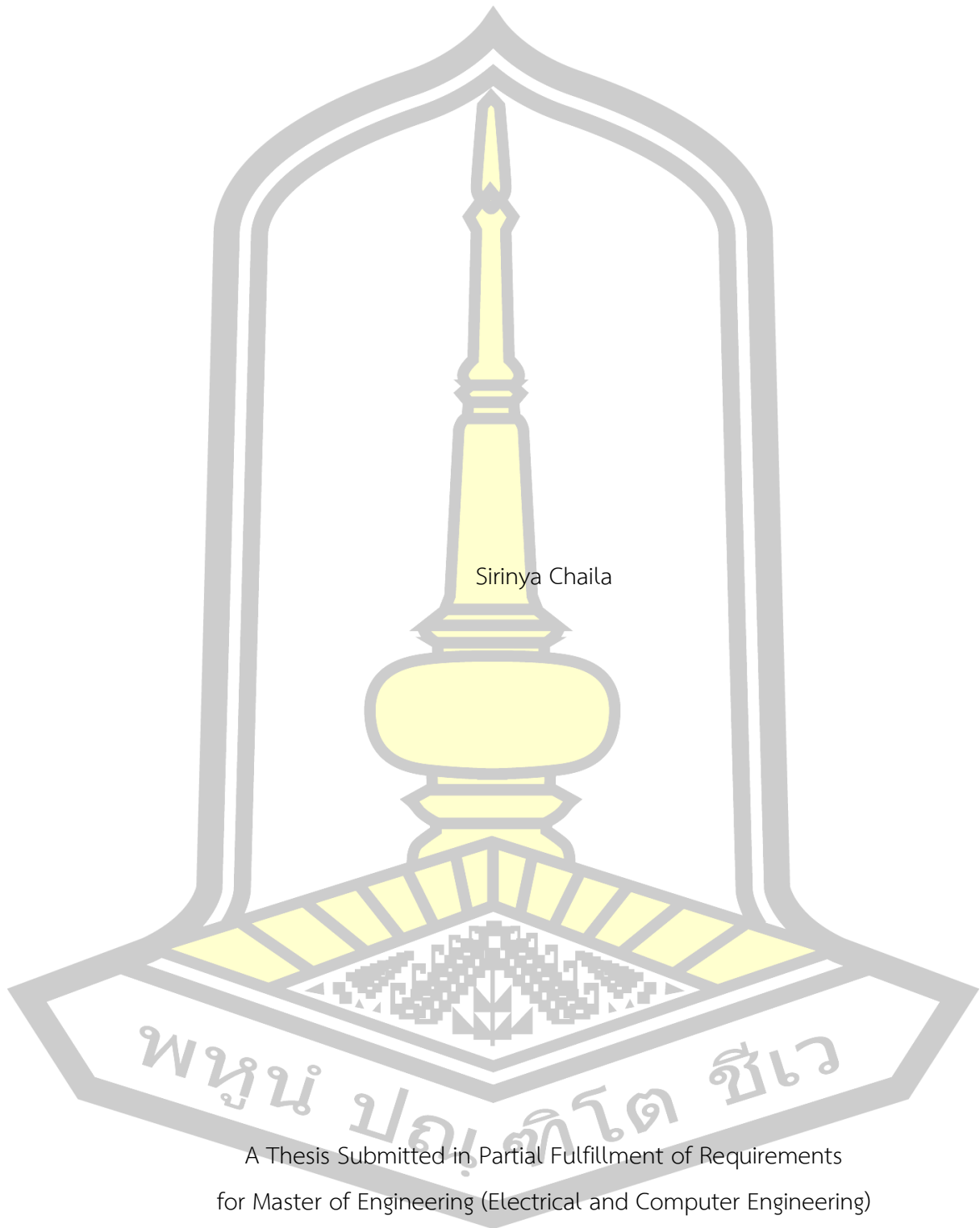


เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

มิถุนายน 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Design and testing of a nutrient solution control system for soilless culture



Sirinya Chaila

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Electrical and Computer Engineering)

June 2022

Copyright of Maharakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวศรินยา ชัยลา แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. อติเรก จันทะคุณ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ. ดร. ชัยยงค์ เสริมผล)

กรรมการ

(รศ. ดร. ชลธิ์ โพธิ์ทอง)

กรรมการ

(ผศ. ดร. ณัฐวุฒิ สุวรรณทา)

มหาวิทยาลัยขอนแก่นให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)

(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การออกแบบและทดสอบระบบควบคุมการให้สารละลายธาตุอาหารสำหรับการปลูกพืชไร้ดิน		
ผู้วิจัย	ศรินยา ชัยลา		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยยงค์ เสริมผล		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2565

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการออกแบบระบบควบคุมสารละลายธาตุอาหารสำหรับการปลูกพืชไร้ดินมากมาย โดยเน้นไปที่การปลูกพืชไร้ดินแบบใช้น้ำเป็นสื่อกลางในการปลูกและมีออกแบบระบบควบคุมให้รักษาสภาวะแวดล้อมของน้ำให้อยู่ในสภาวะตามที่ต้องการมากที่สุด แต่ยังไม่มีการออกแบบระบบควบคุมสารละลายธาตุอาหารสำหรับการปลูกพืชแบบใช้วัสดุปลูก มีงานวิจัยหลายฉบับได้ทำการศึกษาค่าความนำไฟฟ้าที่ความเหมาะสมต่อความต้องการของพืชที่ปลูกแบบใช้วัสดุปลูก โดยงานวิจัยนี้จะศึกษาการออกแบบระบบควบคุมสารละลายธาตุอาหารก่อนนำไปใช้ในรูปแบบการรดน้ำและให้ไปในระบบน้ำ ด้วยการนำเอาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มาใช้ในการปรับตั้งค่าของระบบ กำหนดการทดสอบระบบอยู่ที่ค่าความนำไฟฟ้าตั้งแต่ 1.5-2.3 mS/cm และปริมาณการผสมที่ 10, 50 ลิตร ผลการทดสอบที่ปริมาณการผสม 10 ลิตร มีค่าความผิดพลาดสูงสุดอยู่ที่ 1.75 % และ 50 ลิตร มีค่าความผิดพลาดสูงสุดอยู่ที่ 2.89 % ซึ่งระบบที่ออกแบบสามารถผสมได้ทุกปริมาณและทุกค่าความนำไฟฟ้า ที่ได้จากค่าความสัมพันธ์ของสมการการหาปริมาณปุ๋ย AB ที่มีผลต่อค่าความนำไฟฟ้า $R^2 = 0.9924$ บ่งบอกถึงว่าค่าความสัมพันธ์ของการเพิ่มขึ้นของปริมาณปุ๋ย AB ที่มีผลต่อค่าความนำไฟฟ้าเป็นอย่างมาก

คำสำคัญ : ควบคุมสารละลายธาตุอาหาร, ปลูกพืชไร้ดินแบบใช้วัสดุปลูก, ค่าความนำไฟฟ้า, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์, ซับสเตอร์ทคัลเจอร์

TITLE	Design and testing of a nutrient solution control system for soilless culture		
AUTHOR	Sirinya Chaila		
ADVISORS	Assistant Professor Chaiyong Soemphol , Ph.D.		
DEGREE	Master of Engineering	MAJOR	Electrical and Computer Engineering
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2022

ABSTRACT

there are many forms of nutrient solution control systems for soilless culture Today. Emphasis is placed on hydroponics by using water as a medium for planting and designing a control system to maintain the water environment to best suit the needs of the plants. However, the nutrient solution control system has not been designed for substrate culture. Several studies have looked at electrical conductivity suitable for the needs of substrate culture. This research will study the design of the nutrient solution control system before use in the irrigation model using a mathematical model. The experimental is at electrical conductivity from 1.5-2.3 mS/cm and mixing volume at 10, 50 liters. results at a mixed volume of 10 liters have a maximum error of 1.75% and 50 liters have a maximum error of 2.89%, respectively. The designed system can mix all electrical conductivity from the relationship of the AB fertilizer quantification equation. From the relationship of the quantitative equation of AB fertilizer affecting the electrical conductivity at $R^2 = 0.9924$, it has been found that increasing the amount of AB fertilizer has a high electrical conductivity effect.

Keyword : Control system for soilless culture, substrate culture, electrical conductivity, linear equation, a mathematical model

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากบุคคลหลายท่านได้กรุณาช่วยเหลือและให้ความอนุเคราะห์อย่างสูงยิ่งจากหลายฝ่ายดังต่อไปนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยยงค์ เสริมผล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ ที่เป็นประโยชน์ในการจัดทำวิทยานิพนธ์และสถานที่สำหรับทำงานวิจัยตลอดจนช่วยตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จได้ด้วยดี

ทางผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณอย่างสูงที่ได้ทำงานวิจัยร่วมกับ
บริษัท All Information Technologies Co., Ltd

ขอขอบพระคุณโครงการ TIME ที่มอบทุนการศึกษาและวิจัย

ขอขอบพระคุณ ท่านอาจารย์ ดร.ศกุล ตลา นิลแก้ว คณะชีววิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การช่วยเหลือให้ยืมเครื่องมือวัดในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ท่านอาจารย์ ผศ.ดร. อติเรก จันทะคุณ ประธานกรรมการ

ท่านอาจารย์ รศ.ดร. ชลธิ์ โพธิ์ทอง กรรมการ

ท่านอาจารย์ ผศ.ดร. ณัฐวุฒิ สุวรรณทา กรรมการ

ขอขอบพระคุณอาจารย์สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่วิชาการระดับบัณฑิตศึกษาประจำคณะ

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัยทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและสนับสนุนในหลายๆ

ขอขอบพระคุณพี่ๆเพื่อนๆที่น่ารักทุกท่าน ที่สนับสนุนทั้งร่างกาย แรงใจ ตลอดจนงานวิจัยเสร็จสิ้น

สุดท้ายนี้ที่ขาดมิได้ขอขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัวที่คอยสนับสนุนในทุกๆด้านมา

ตลอด

พูน ปรณ ทิโต ชีเว

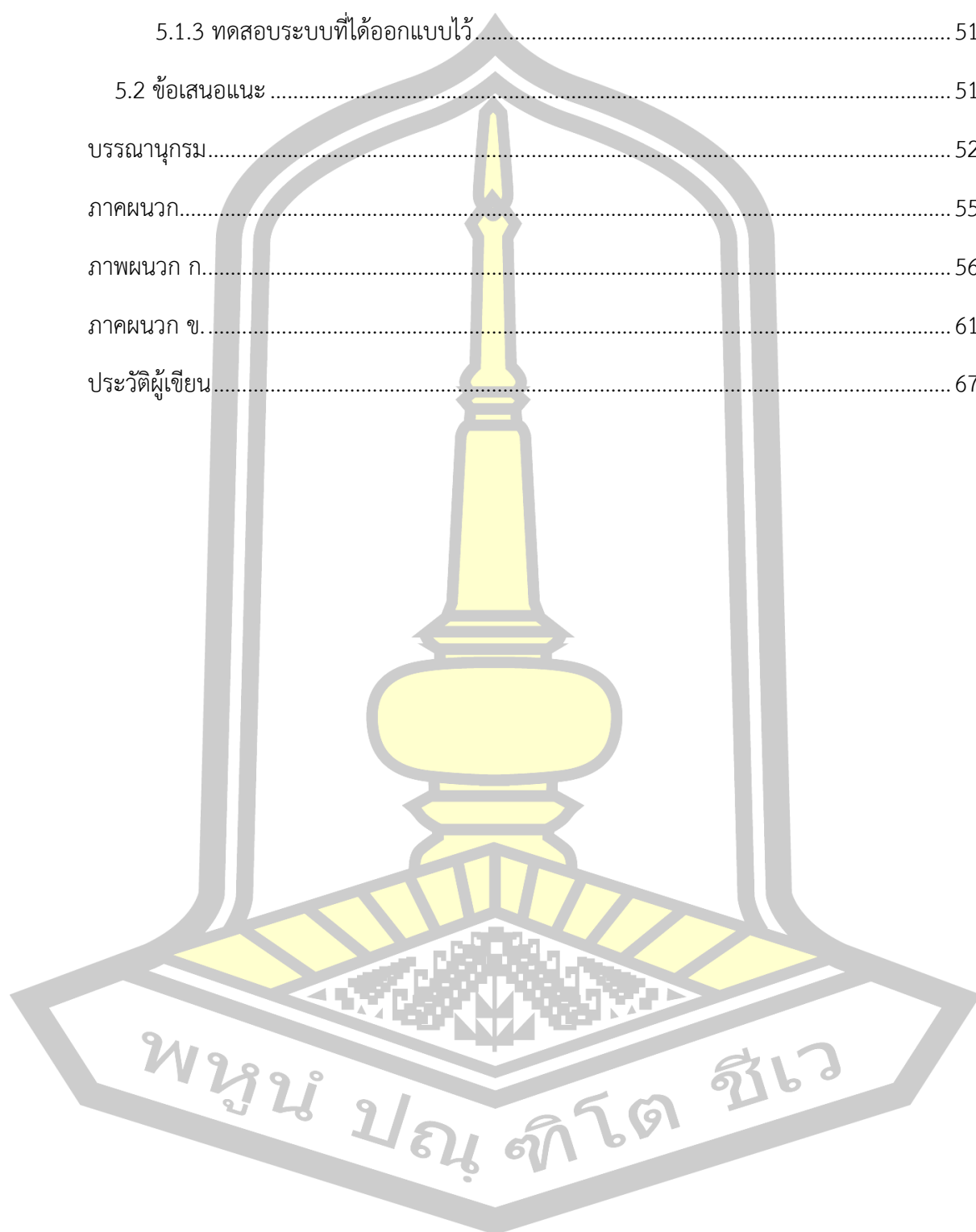
ศิรินยา ชัยลา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
1.1 หลักการและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ความสำคัญของปัญหา.....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 แผนการดำเนินการ.....	3
1.7 สถานที่ทำการดำเนินการศึกษา.....	4
บทที่ 2.....	6
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 โครงสร้างของการปลูกพืชไร้ดิน.....	6
2.1.1 ประเภทการปลูกในน้ำ(Water culture).....	6
2.1.2 การปลูกในวัสดุปลูก (Substrate culture).....	10
2.1.3 การปลูกพืชในอากาศ.....	11

2.2	วิธีการที่นิยมใช้ในการออกแบบระบบควบคุมสารละลายธาตุอาหารในการปลูกพืชไร่นา	12
2.2.1	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	12
2.2.2	ระบบควบคุมแบบ PID	14
2.2.3	ระบบควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ	19
2.3	การนำไฟฟ้าของสารละลาย	24
2.3.1	สารละลายอิเล็กโทรไลต์	25
2.4	ค่าพีเอชของสารละลายธาตุอาหาร	26
2.5	ค่าการนำไฟฟ้า	27
2.6	ไมโครคอนโทรลเลอร์	30
2.6	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
บทที่ 3		38
วิธีดำเนินงานวิจัย		38
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน	38
3.1.1	ศึกษาอุปกรณ์และสอบเทียบอุปกรณ์	38
3.1.2	ออกแบบระบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหารัศมีส่วนในการผสม	41
3.1.3	การออกแบบและสร้างระบบควบคุม	43
3.2	เก็บผลการทดสอบ	45
บทที่ 4		46
ผลการทดลองและการอภิปราย		46
4.1	ผลการทดสอบระบบ	46
บทที่ 5		50
สรุปผลและข้อเสนอแนะ		50
5.1	สรุปผล	50
5.1.1	การทดลองหาสมการควบคุมระบบด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	50

5.1.2 สอบเทียบอุปกรณ์	51
5.1.3 ทดสอบระบบที่ได้ออกแบบไว้	51
5.2 ข้อเสนอแนะ	51
บรรณานุกรม	52
ภาคผนวก	55
ภาพผนวก ก	56
ภาคผนวก ข	61
ประวัติผู้เขียน	67



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1.1 การดำเนินงานการศึกษาค้นคว้าและวิจัย.....	3
ตาราง 3.1 ตารางการสอบเทียบค่า pH.....	39
ตาราง 3.2 การสอบเทียบเซนเซอร์วัดค่าความนำไฟฟ้า.....	40
ตาราง 3.3 การทดลองหาค่าความสัมพันธ์ของค่าความนำไฟฟ้าเมื่อเพิ่มปริมาณปุ๋ย AB	41
ตาราง 3.4 จำนวนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสาร	44
ตาราง 4.1 ผลการทดสอบระบบการผสมสารละลายธาตุอาหารที่ปริมาณ 10 ลิตร	47
ตาราง 4.2 ผลการทดสอบระบบการผสมสารละลายธาตุอาหารที่ปริมาณ 50 ลิตร	47



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 2.1 ระบบปลูกพืชแบบ NFT [6].....	7
ภาพประกอบ 2.2 ระบบปลูกพืชแบบ DFT [6].....	8
ภาพประกอบ 2.3 ระบบปลูกพืชแบบ DRFT [7].....	9
ภาพประกอบ 2.4 ระบบปลูกพืชแบบ DWT [8]	9
ภาพประกอบ 2.5 ระบบการปลูกพืชในวัสดุปลูก และใ้ไฮสารละลายด้วยระบบน้ำหยด [6].....	11
ภาพประกอบ 2.6 ระบบการผักแบบบรากลอยในอากาศ หรือแอโรโพนิกส์ [6].....	12
ภาพประกอบ 2.7 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมพีไอดีแบบวงปิด [9].....	14
ภาพประกอบ 2.8 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมพีแบบวงปิด [9].....	15
ภาพประกอบ 2.9 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบดีคอนโทรล [9]	16
ภาพประกอบ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบพีไอคอนโทรล [9].....	17
ภาพประกอบ 2.11 การต่อบล็อกระบบควบคุมพีและไอแบบอนุกรม [9].....	17
ภาพประกอบ 2.12 การต่อบล็อกระบบควบคุมพีและไอแบบขนาน [9]	17
ภาพประกอบ 2.13 กราฟผลตอบสนองของระบบควบคุมพีไอคอนโทรล [9].....	18
ภาพประกอบ 2.14 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบพีไอดีคอนโทรล [9].....	18
ภาพประกอบ 2.15 การต่อบล็อกระบบควบคุมพีไอดีแบบขนาน [9].....	19
ภาพประกอบ 2.16 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี [9]	19
ภาพประกอบ 2.17 บูลีนลอจิกและพีซีลอจิก [10].....	21
ภาพประกอบ 2.18 ตัวอย่างอุณหภูมิปานกลางของเซตหวนัยและเซตของพีซี [10]	22
ภาพประกอบ 2.19 แนวคิดในการพัฒนาระบบพีซีลอจิก [10]	23
ภาพประกอบ 2.20 การเป็นอีเล็กโทรไลต์และนอนอีเล็กโทรไลต์ของสาร [11].....	25
ภาพประกอบ 2.21 ปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช ในค่า pH ระดับต่างๆ [13].....	27

ภาพประกอบ 2.22 ค่า EC และ pH ของพืชแต่ละชนิด [13] 30

ภาพประกอบ 2.0.23 ส่วนประกอบ Arduino Uno R3 [14]..... 31

ภาพประกอบ 3.1 การประมาณค่าของสมการยกกำลังเชิงเส้น 42

ภาพประกอบ 3.2 ค่าความสัมพันธ์ของการกำหนดเวลาในการปล่อยปริมาณของเหลว 42

ภาพประกอบ 3.3 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของระบบควบคุมการให้สารละลายธาตุอาหาร 43

ภาพประกอบ 3.4 การออกแบบวงจรควบคุม 44

ภาพประกอบ 3.5 แผงผังการทำงานของระบบ 45

ภาพประกอบ 4.1 กราฟแนวโน้มผลการทดสอบการผสมสารละลายธาตุอาหาร 10 ลิตร 48

ภาพประกอบ 4.2 กราฟแนวโน้มผลการทดสอบการผสมสารละลายธาตุอาหาร 50 ลิตร 48



บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและความสำคัญ

ปัจจุบันการปลูกพืชไร้ดินเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากพื้นที่การเกษตรลดลงเพราะการขยายตัวของสังคมเมือง สภาพดินฟ้าอากาศที่เอื้ออำนวยน้อยลง จำนวนเกษตรกรที่น้อยลง ผลกระทบจากภัยพิบัติ ฯลฯ อีกทั้งความต้องการบริโภคอาหารเพิ่มมากขึ้น การปลูกพืชไร้ดินจึงเป็นอีกหนึ่งวิธีการในการแก้ไขปัญหาเหล่านี้ โดยการปลูกพืชไร้ดินมีลักษณะการปลูกอยู่ 3 แบบใหญ่ๆ แบบแรกเรียกว่า ไฮโดรโปนิคส์ (Hydroponics) เป็นการปลูกแบบให้รากพืชเจริญเติบโตอยู่ในสารละลายธาตุอาหารโดยตรง แบบที่สองเรียกว่า ซับสเตรทคัลเจอร์ (Substrate culture) เป็นการปลูกด้วยวัสดุปลูกที่ไม่ใช่ดิน มีการให้น้ำและธาตุอาหารแก่วัสดุปลูกผ่านไปยังรากพืช และแบบสุดท้ายเรียกว่า แอโรโพนิคส์ (Aeroponics) เป็นการปลูกพืชแบบไร้ดินแบบที่มีการจับยึดลำต้นพืชไว้ในลักษณะที่ปล่อยให้รากพืชลอยอยู่ในอากาศโดยไม่สัมผัสสิ่งใดและมีวิธีการให้น้ำและอาหารแก่รากพืชโดยการฉีดพ่นน้ำสารละลายอาหารไปที่รากพืชโดยตรงเป็นระยะๆ [1] ซึ่งการปลูกพืชไร้ดินเป็นการปลูกพืชในลักษณะที่ผู้ปลูกเป็นผู้ควบคุมปริมาณน้ำและสารละลายธาตุอาหารให้กับพืชได้อย่างสมบูรณ์ โดยมีการออกแบบวิธีการการควบคุมระบบการให้สารละลายธาตุอาหารหลากหลายวิธี เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมตามความต้องการของพืชแต่ละชนิดและแต่ละช่วงวัย ซึ่งวิธีการการออกแบบการควบคุมการให้สารละลายธาตุอาหารจะใช้หลักการการวัดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำเป็นตัวบ่งชี้แทนค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร โดยวิธีการการออกแบบการควบคุมค่าความนำไฟฟ้าของระบบควบคุมสารละลายธาตุอาหารแบบอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ก็มีหลายวิธีการไม่ว่าจะเป็น วิธีการถดถอยเชิงเส้น [2] เพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบแล้วนำสมการที่ได้ไปคำนวณปรับลดค่าความนำไฟฟ้าและค่าพีเอชให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ วิธีการตรรกศาสตร์คลุมเครือ[3] โดยใช้หลักการตรรกศาสตร์คลุมเครือไปใช้ในกระบวนการตัดสินใจเพื่อปรับค่าความนำไฟฟ้าและค่าพีเอชให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ วิธีนี้ต้องใช้ความรู้จากผู้ที่มีประสบการณ์ในการปรับตั้งค่าของตัวควบคุมและออกแบบกฎหรือเงื่อนไขในการควบคุมให้เหมาะสม จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าการออกแบบระบบควบคุมสารละลายธาตุอาหารแบบอัตโนมัติถูกนำมาใช้กับการปลูกพืชไร้ดินแบบไฮโดรโปนิคส์ (Hydroponics) ที่ให้รากพืชเจริญเติบโตอยู่ในสารละลายธาตุอาหารโดยตรง แต่ยังไม่ค่อยมีการออกแบบระบบควบคุมการให้สารละลายธาตุอาหารที่ใช้กับการปลูกพืชไร้ดินแบบ

อื่น ซึ่งมีงานวิจัยหลากหลายที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชไร้ดินแบบซับสเตรทคัลเจอร์ (Substrate culture) ที่ใช้วัสดุปลูกอย่างอื่นที่ไม่ใช่การใช้น้ำเป็นสื่อกลางในการปลูก เช่น งานวิจัยศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของฟักทองบัตเตอร์นัท [4] ผลของความเข้มข้นของธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของแตงกวาญี่ปุ่นในวัสดุปลูกไร้ดิน [5] ซึ่งทางผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษากระบวนการออกแบบการให้สารละลายธาตุอาหารสำหรับการปลูกพืชในรูปแบบการให้วัสดุปลูก (Substrate culture) โดยเน้นการออกแบบไปที่การผสมสารละลายธาตุอาหารก่อนนำไปใช้ในรูปแบบการรดน้ำและให้ไปในระบบน้ำ ด้วยวิธีการ การจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาสมการถดถอยเชิงเส้นในการควบคุมระบบให้ได้ค่าการผสมสารละลายธาตุอาหารในช่วงที่ต้องการ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการออกแบบและทดสอบระบบควบคุมการผสมสารละลายธาตุอาหารอัตโนมัติ
2. หาสมการถดถอยเชิงเส้นของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการควบคุมระบบอัตโนมัติ
3. ระบบสามารถกำหนดค่าความนำไฟฟ้าในการผสมได้ตามที่ต้องการ

1.3 ความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการออกแบบระบบควบคุมสารละลายธาตุอาหารสำหรับการปลูกพืชไร้ดินมากมาย โดยมุ่งเน้นไปที่การปลูกพืชไร้ดินแบบใช้น้ำเป็นสื่อกลางในการปลูกและมีออกแบบระบบควบคุมให้รักษาสถานะแวดล้อมของน้ำให้อยู่ในสถานะตามที่ต้องการมากที่สุด แต่ในงานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษากระบวนการออกแบบการให้สารละลายธาตุอาหารสำหรับการปลูกพืชในรูปแบบการให้วัสดุปลูก โดยเน้นการออกแบบไปที่การผสมสารละลายธาตุอาหารก่อนนำไปใช้ในรูปแบบการรดน้ำและให้ไปในระบบน้ำ ด้วยการนำเอาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยไม่จำเป็นต้องเป็นผู้ที่มีความรู้หรือประสบการณ์ในการปรับตั้งค่าของระบบ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบและทดสอบระบบควบคุมการให้สารละลายธาตุอาหารสำหรับการปลูกพืชไร้ดิน โดยมีการออกแบบและทดสอบระบบควบคุมเพื่อให้ได้ค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุที่ต้องการก่อนจ่ายเข้าสู่ระบบให้กับพืช ดังนั้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ จะประกอบไปด้วย ทฤษฎี ข้อมูลของงานวิจัย รวมถึงความรู้พื้นฐาน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 โครงสร้างของการปลูกพืชไร้ดิน

จากการที่มนุษย์ค้นพบว่าสามารถปลูกพืชในเจริญเติบโตได้โดยไม่ต้องใช้ดิน เพียงแต่จัดการให้พืชได้รับ น้ำ ธาตุอาหาร ออกซิเจน และที่ยึดเกาะพยุงลำต้นจากภายนอก เพื่อทดแทนที่ไม่ได้รับจากดินนั้น ต่อมาจึงได้มีการพัฒนารูปแบบและวิธีการต่างๆในการที่จะให้น้ำ ธาตุอาหารแก่รากพืช ในการเพิ่มออกซิเจนในแก๊ส และในการให้ที่ยึดเกาะแก่นและรากพืช ทำให้เกิดเป็นวิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในรูปแบบต่างๆได้มากมาย หากจัดกลุ่มประเภทของการปลูกไร้ดินโดยพิจารณาจากที่อยู่ของรากพืชแล้ว สามารถแบ่งประเภทของการปลูกพืชไร้ดินออกได้เป็น 3 ประเภทหลัก คือ [1]

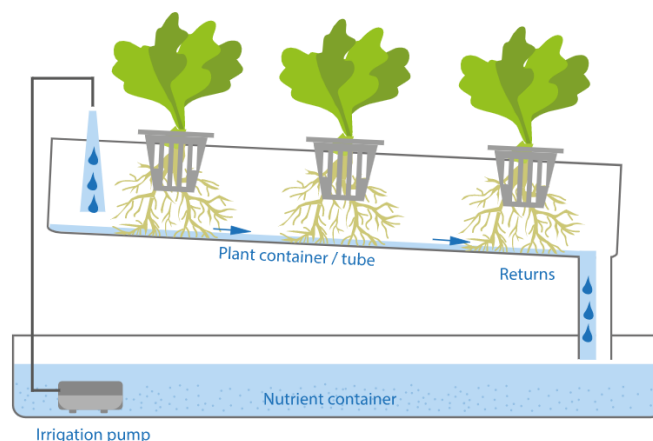
1. ประเภทการปลูกในน้ำ (Water culture)
2. ประเภทการปลูกในวัสดุปลูก (Substrate culture)
3. ประเภทการปลูกในอากาศ (Aeroponics)

2.1.1 ประเภทการปลูกในน้ำ (Water culture)

หมายถึงลักษณะของการปลูกไร้ดินที่รากพืชจะต้องสัมผัสหรือแช่อยู่ในน้ำสารละลายธาตุอาหาร (nutrient solution) โดยตรงและตลอดเวลา ซึ่งยังสามารถแบ่งย่อยออกเป็นเทคนิคต่างๆตามวิธีการให้น้ำสัมผัสกับรากพืชและวิธีการเติมอากาศให้กับน้ำได้ อีกหลายวิธี สำหรับเทคนิคที่มีการนำมาใช้ปลูกเป็นการค้าในปัจจุบัน มีดังนี้

1. เทคนิคน้ำไหลบาง (NFT ย่อมาจากคำว่า Nutrient Film Technique)

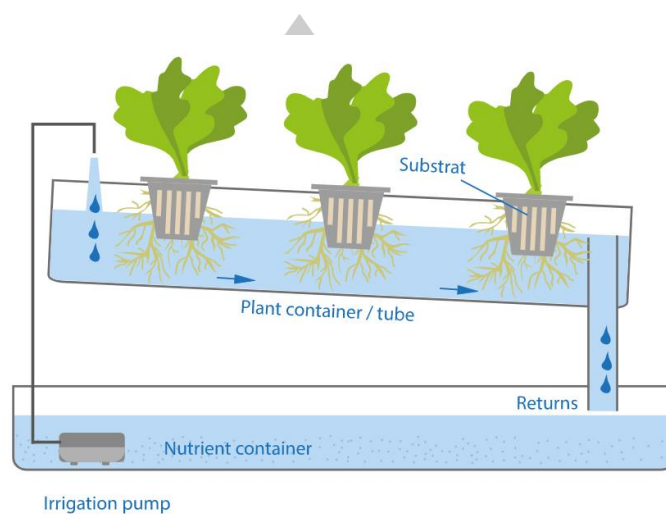
เป็นเทคนิคการปลูกพืชลงในน้ำโดยกรปล่อยสารละลายธาตุอาหารให้ไหลเป็นแผ่นบางๆหนาเพียง 2-3 มม. ไหลผ่านรากพืชที่ปลูกอยู่บนรางปลูกที่ทำจวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลาย เช่น พลาสติกเป็นต้น เทคนิคนี้ไม่ต้องมีการเติมอากาศให้กับสารละลายธาตุอาหารโดยตรง แต่อาศัยการที่น้ำสารละลายอาหารจะต้องมีการเคลื่อนที่หมุนเวียนอยู่ระบบ เมื่อไหลกลับมาตักสู่ถังพักจะทำให้เกิดฟองอากาศแทรกเข้าไปในสารละลายโดยอัตโนมัติ



ภาพประกอบ 2.1 ระบบปลูกพืชแบบ NFT [6]

2. เทคนิคการปลูกพืชในน้ำลึกไหลสั้น (DFT ย่อมาจากคำว่า Deep Flow Technique)

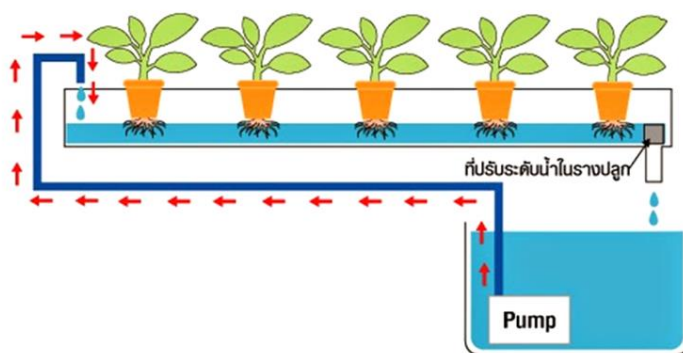
เป็นการปลูกพืชลงในภาชนะบรรจุน้ำที่มีความลึก 5-10 ซม. ภาชนะที่ใช้อาจเป็นกระบะรางหรือรูปทรงอื่นๆ โดยที่ด้านหนึ่งจะมีท่อน้ำไหลเข้าและที่ปลายอีกด้านหนึ่งมีท่อน้ำไหลออก ตำแหน่งหรือความสูงของท่อน้ำออกที่เจาะไว้เป็นตัวกำหนดความลึกหรือความสูงของน้ำที่จะขังอยู่ในราง เมื่อน้ำไหลท่วมภาชนะจนสูงเกินกว่าท่อน้ำออก น้ำจะไหลสั้นออกไปสู่ท่อน้ำออก และไหลสู่ระบบท่อน้ำโดยอัตโนมัติและสูบกลับเข้าวนเวียนกับเข้ามาในภาชนะอีกทำให้เกิดการเคลื่อนที่ไหลวนของน้ำผ่านภาชนะที่รากพืชอาศัยอยู่โดยไม่ต้องมีการเป่าอากาศให้กับน้ำในภาชนะนั้นโดยตรงอีก



ภาพประกอบ 2.2 ระบบปลูกพืชแบบ DFT [6]

3. เทคนิคการปลูกพืชในน้ำลึก (DRFT ย่อมาจาก Dynamic Root Floating Technique)

เป็นเทคนิคแบบ DFT ที่ดัดแปลงและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมีรางปลูกที่กว้างและมีร่องน้ำอยู่บริเวณกลางรางหลายร่อง เพื่อบังคับให้สารละลายธาตุอาหารไหลอย่างมีทิศทาง คือผ่านร่องจากหัวรางไปยังปลายรางก่อนที่จะล้นลงสู่ถังพักใต้โต๊ะ ก่อนที่จะถูกดูดกลับขึ้นมาไหลวนอย่างต่อเนื่อง ระดับของสารละลายในรางจะสูงไม่เกินสันราง คือ ประมาณ 6 ซม. ด้านบนปิดด้วยแผ่นโฟมที่เจาะเป็นช่องเพื่อสอดต้นกล้าผักที่เพาะอยู่ในก้อนฟองน้ำ รากผักจะเจริญและทอดตัวอยู่ในร่องน้ำ ได้รับแร่ธาตุอาหารและออกซิเจนจากสารละลายที่ไหลอย่างต่อเนื่อง เมื่อผักมีอายุมากขึ้นและรากเริ่มยาวปลายรากไปอยู่ในระดับน้ำที่ลึกลง ซึ่งมีปริมาณออกซิเจนที่น้อยลง ก็จะมีการลดระดับของน้ำลง โดยการปรับลดความสูงของท่อตักน้ำล้นที่ท้ายราง เมื่อระดับน้ำลดลง จะเกิดช่องว่างระหว่างระดับน้ำกับพื้นโฟม เรียกว่า Air gap ที่ช่วยให้รากได้สัมผัสกับอากาศอีกทางหนึ่ง



การทำงานของระบบปลูก DRFT

ภาพประกอบ 2.3 ระบบปลูกพืชแบบ DRFT [7]

4. เทคนิคการปลูกพืชในน้ำนิ่งแบบเติมอากาศ (DWT มาจาก Deep Water Technique) เป็นการปลูกพืชในภาชนะที่บรรจุน้ำที่มีความลึก ตั้งแต่ 15 ซม. (สำหรับผักกินใบ) ขึ้นไป ขึ้นกับขนาดของต้นพืชและรากที่ปลูก รากพืชต้องแช่ตลอดเวลาอยู่ในน้ำสารละลายที่ไม่มี การหมุนเวียน วิธีการปลูกแบบนี้จึงต้องมีการเติมอากาศให้กับน้ำตลอดเวลา



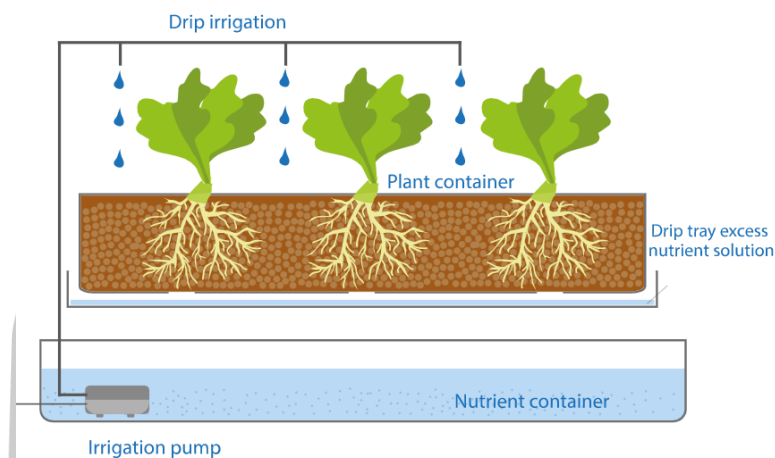
ภาพประกอบ 2.4 ระบบปลูกพืชแบบ DWT [8]

2.1.2 การปลูกในวัสดุปลูก (Substrate culture)

หมายถึงการปลูกพืชไร้ดินที่ปลูกพืชลงในวัสดุอื่นๆ แทนที่จะเป็นดิน วัสดุอื่นๆในที่หมายถึงทั้งที่เป็นอินทรีย์สารและอนินทรีย์สาร ที่จะต้องไม่มีธาตุอาหารพืชสะสมอยู่ การปลูกพืชลงในวัสดุปลูกแบบนี้เป็นการปลูกพืชไร้ดินที่มีลักษณะใกล้เคียงกับการปลูกพืชในดินที่เป็นการปลูกพืชลงในกระถางหรือในภาชนะโดยใช้น้ำหยดมากที่สุดแตกต่างกันตรงที่ถ้าปลูกลงดิน พืชจะได้รับสารอาหารที่มีอยู่แล้วในดิน หรือจากปุ๋ยที่ใส่ให้แต่ละครั้งและได้รับน้ำจากการให้น้ำแบบน้ำหยด เพราะน้ำที่ให้เป็นน้ำสารละลายธาตุอาหารในแบบของการปลูกพืชไร้ดินนั่นเอง หัวใจสำคัญของวิธีการปลูกพืชในวัสดุปลูกนี้คือ การให้สารละลายธาตุอาหารในปริมาณและความถี่ที่พอเหมาะกับความต้องการของพืช ในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโต และยังมีวิธีการวางระบายน้ำส่วนเกินออกจากวัสดุปลูกด้วย การปลูกโดยเทคนิคนี้นิยมใช้กับพืชกินผลที่ต้นพืชมักมีขนาดใหญ่

วัสดุที่เป็นอนินทรีย์สาร ได้แก่ กรวด (Gravel) ทราย (Sand) เม็ดดินเผา (Expanded clay) ไยหิน (Rock wool) หินภูเขาไฟ (Pumice) เพอร์ไรท์ (Perlite) เวอร์มิคูไลต์ (Vermiculite) ฯลฯ วัสดุปลูกเหล่านี้จะไม่มีธาตุอาหารให้แก่พืช บางชนิดต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงมีราคาแพง แต่มีคุณสมบัติที่ร่วนโปร่งและเบาจึงมีอากาศแทรกอยู่เพียงพอต่อความต้องการของรากพืชและมีคุณสมบัติอุ้มความชื้นตั้งแต่ร้อยละน้อยจนถึงดีมาก ข้อดีอีกประการหนึ่งของวัสดุประเภทอนินทรีย์สารคือ มักมีความสะอาด ปราศจากเชื้อโรคปนเปื้อนและยังคงทนไม่สลายตัวหรือยุบตัวง่าย ยกเว้นสำหรับเพอร์ไรท์และเวอร์มิคูไลต์

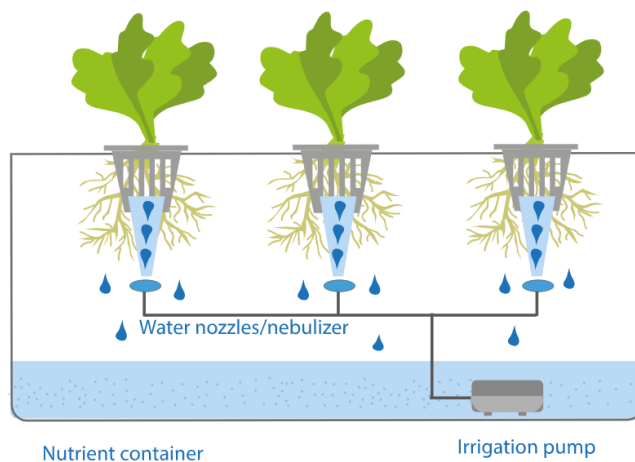
วัสดุที่เป็นอินทรีย์สาร ได้แก่ ขุยมะพร้าว ขี้เลื่อย แกลบ ถ่านแกลบ เปลือกไม้ เปลือกถั่ว ชานอ้อย เหล่านี้เป็นต้น วัสดุเหล่านี้จัดเป็นวัสดุธรรมชาติหาได้ง่ายในท้องถิ่น มีราคาถูก แต่ข้อเสียคือ มักมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำและบายอากาศที่ยังไม่สมดุลกับภายในวัสดุตัวเดียวกัน ขุยมะพร้าว เมื่อให้น้ำมากเกินไปจะอุ้มน้ำจนชุ่มและขาดอากาศ ในขณะที่แกลบเพียงอย่างเดียวจะไม่อุ้มน้ำและแห้งเกินไป สำหรับรากพืช ในการเลือกใช้วัสดุเหล่านี้จึงนิยมนำวัสดุที่อุ้มน้ำมากเกินไปผสมกับวัสดุอื่นๆ เพื่อให้ได้วัสดุผสมที่มีคุณสมบัติอุ้มน้ำและระบายที่กำลังดี



ภาพประกอบ 2.5 ระบบการปลูกพืชในวัสดุปลูก และให้สารละลายด้วยระบบน้ำหยด [6]

2.1.3 การปลูกพืชในอากาศ

การปลูกพืชในอากาศ นิยมเรียกกันว่า แอโรโพนิค (Aeroponics) หมายถึงการปลูกพืชไร้ดิน ในลักษณะรากพืชไม่ได้แช่อยู่ในน้ำ หรืออยู่ในวัสดุปลูกใดๆ แต่ปล่อยให้รากเปลือยอยู่ในอากาศ ไม่สัมผัสกับสิ่งใดเลย ดังนั้นจึงต้องมีการจับยึดส่วนโคนของลำต้นพืชให้ตั้งตรงและรากลอยอยู่ในอากาศได้ จากนั้นจะมีการฉีดพ่นสารละลายธาตุอาหารในรูปของละอองน้ำไปที่รากของพืชโดยตรงเป็นระยะๆ และต้องมีการกำบังรากไม่ให้ได้รับแสง จึงมักสร้างเป็นภาชนะรูปทรงต่างๆ ภายในกลวงให้เป็นที่อยู่ของรากและระบบพ่นละอองน้ำสารละลาย ส่วนต้นพืชจะเจริญเติบโตทรงต้นอยู่ด้านบนกล่อง ข้อดีของระบบนี้คือสามารถประหยัดสารละลายธาตุอาหารได้เป็นอย่างดีเหมาะสำหรับการปลูกพืชในที่ที่มีพื้นที่จำกัดและมีน้ำน้อย เช่น ชายคาบ้านหรือยอดอาคารตึก แต่มีข้อเสียคือค่อนข้างยุ่งยากในการติดตั้งระบบ และสำหรับประเทศในเขตร้อน ยังพบปัญหาการสะสมความร้อนภายในภาชนะที่เป็นที่อยู่ของราก ยิ่งระบบมีขนาดใหญ่ยิ่งมีปัญหาคาระบายอากาศภายในระบบราก จึงยังไม่เหมาะที่จะทำเป็นระบบใหญ่เพื่อเป็นการค้าในประเทศไทย ยกเว้นในพื้นที่ที่มีอากาศค่อนข้างเย็น



ภาพประกอบ 2.6 ระบบการฝักแบบรากลอยในอากาศ หรือแอโรโพนิกส์ [6]

2.2 วิธีการที่นิยมใช้ในการออกแบบระบบควบคุมสารละลายธาตุอาหารในการปลูกพืชไร้ดิน

การปลูกพืชไร้ดินต้องควบคุมปัจจัยหลายอย่างเพื่อป้องกันความเสียหายต่อพืชและให้ผลผลิตตามที่ต้องการ ปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ต้องควบคุมคือ สารละลายธาตุอาหาร ที่สามารถวัดได้ด้วยการวัดค่าความนำไฟฟ้า บ่งบอกถึงค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร เพื่อให้เหมาะสมตามความต้องการของพืช โดยปัจจุบันก็มีวิธีการควบคุมระบบควบคุมสารละลายธาตุที่นิยมอยู่ 3 วิธีหลักๆ

- 1.แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
- 2.ระบบควบคุมแบบ PID
- 3.ระบบควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ

2.2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในสมัยก่อนหน้าการออกแบบระบบควบคุมนั้นเป็นไปในลักษณะลองผิดลองถูกไม่ได้มีการใช้คณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ออกแบบระบบจนในปี.ศ.1840 นักดาราศาสตร์ชาวอังกฤษจอร์จแอร์รี (George Airy) ได้ประดิษฐ์อุปกรณ์ควบคุมทิศทางของกล้องดูดาวโดยอุปกรณ์นี้จะหมุนกล้องดูดาว

เพื่อชดเชยกับการหมุนของโลกโดยอัตโนมัติในระหว่างการออกแบบแอร์ได้สังเกตถึงความไม่เสถียรของระบบจึงใช้สมการเชิงอนุพันธ์ในการจำลองและวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบนี้เป็นหัวใจสำคัญของทฤษฎีระบบควบคุม ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) โดยการแทนระบบด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ สำหรับใช้ในการบรรยายคุณลักษณะทางไดนามิก (Dynamic Model) ทำได้โดยการใช้วิธีการแทนค่าพารามิเตอร์ในระบบด้วยสมการดิฟเฟอเรนเชียล จากนั้นใช้การแปลงลาปลาซ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมการทางอินพุตกับสมการทางเอาต์พุต ซึ่งอยู่ในเอสโดเมน ผลลัพธ์ที่ได้จะเรียกว่าฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ ดังนั้นการจำลองระบบด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่ดีจะต้องเข้าใจง่าย มีความแม่นยำให้ผลใกล้เคียงกับระบบจริง การจำลองระบบจึงมีความสำคัญมากในการวิเคราะห์ระบบ รูปแบบของแบบจำลองของระบบพอสรุปได้ดังนี้ [9]

- ระบบทางกล (Mechanical System) ระบบทางกลจะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ระบบทางกลการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น (Mechanical Translational System)
2. ระบบทางกลการเคลื่อนที่แบบเชิงมุม (Mechanical Rotation System)

- ระบบทางไฟฟ้า (Electrical System) ตัวแปรที่ใช้ในระบบทางไฟฟ้ามี 3 ตัว คือ กระแส (I)

แรงดัน (E) ประจุ (Q) การเขียนสมการเชิงอนุพันธ์แทนอุปกรณ์ใน วงจรไฟฟ้าพื้นฐานของระบบมีอุปกรณ์ 3 ชนิด คือ ตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ

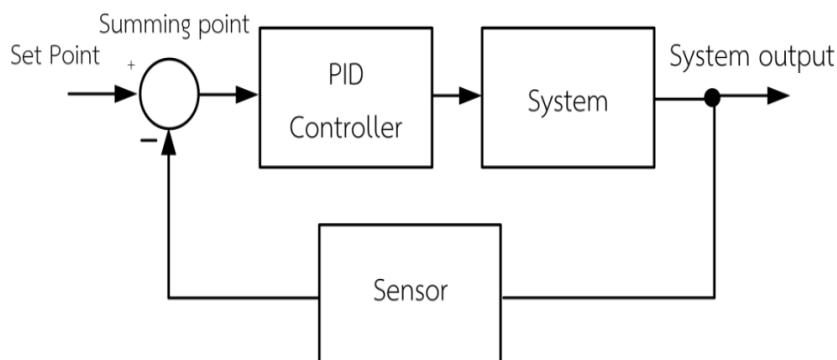
- การเขียนแบบจำลองระบบควบคุมด้วยไดอะแกรมแผนภาพ ใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ของระบบควบคุมคือไดอะแกรมแผนภาพหรือบล็อกไดอะแกรม (Block Diagram) โดยส่วนประกอบของบล็อกไดอะแกรมประกอบด้วย สัญญาณเข้า (Input) ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) และสัญญาณออก (Output)

- พืชคณิตของบล็อกไดอะแกรมคือการลดรูปบล็อกไดอะแกรมของระบบที่มีความซับซ้อนให้อยู่ในรูปอย่างง่ายได้ เพื่อลดเวลาในการวิเคราะห์ระบบ

- การแสดงระบบด้วยเส้นทางเดินของสัญญาณคือวิธีการ หาค่าฟังก์ชันถ่ายโอนระบบโดยใช้กราฟทางเดินของสัญญาณ ทำให้สามารถแทนระบบที่ซับซ้อนได้ การใช้ทางเดินของสัญญาณมักแทนระบบให้เป็นสมการพีชคณิตในเอสโดเมน (S-Domain)

2.2.2 ระบบควบคุมแบบ PID

เนื่องการควบคุมแบบเปิดปิด (ON-OFF Control) นั้นจะไม่สามารถทำให้ค่าของกระบวนการ (Process Variable) มีค่าคงที่เท่ากับค่าที่เราต้องการ (Set point) ได้เนื่องจาก เอาต์พุตของตัวควบคุมจะทำงานเปิดปิดอยู่ตลอดเวลาทำให้ค่าของกระบวนการแกว่ง ขึ้นลงไปมาตลอดเวลาซึ่งการแกว่งขึ้นลงไปมาของกระบวนการแบบนี้เรียกว่าออสซิลเลชัน (Oscillation) ถ้าต้องการควบคุมให้กระบวนการหยุดนิ่งอยู่ที่ค่าที่ต้องการ ดังนั้นการควบคุมนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมนั้นคือการควบคุมแบบพีไอดี การควบคุมแบบพีไอดีเป็นการควบคุมแบบรวมกัน โดยอาศัยสัดส่วน (Proportional) ปริพันธ์ (Integral) และอนุพันธ์ (Derivative) เพื่อใช้เป็นตัวควบคุมระบบเพื่อทำให้การตอบสนองของระบบมีเสถียรภาพที่ดีขึ้นในการควบคุมแบบพีไอดีจะเป็นมีรูปแบบการควบคุมแบบวงปิด (Close loop) ประกอบด้วย จุดรวมสัญญาณ (Summing Point) ตัวควบคุม(Controller), ระบบที่ต้องการควบคุม (System) และสัญญาณป้อนกลับ (Feedback Signal)



ภาพประกอบ 2.7 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมพีไอดีแบบวงปิด [9]

การควบคุมแบบพีคอนโทรลเลอร์ (P Controller)

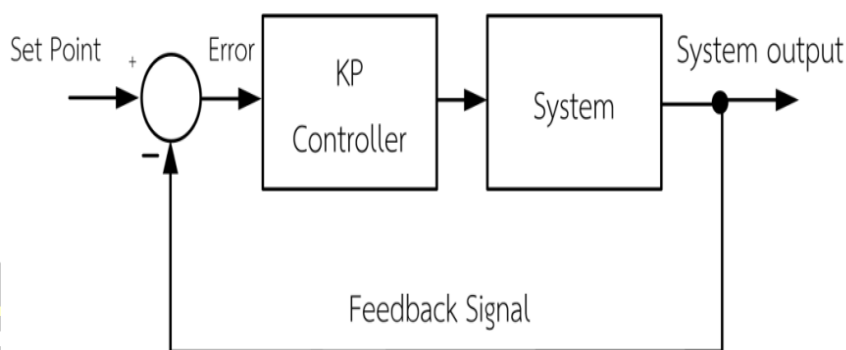
เป็นการควบคุมโดยกำหนดอัตราขยายของตัวควบคุม หรือเป็นการกำหนดสัดส่วนเอาต์พุตต่ออินพุต การควบคุมแบบพีจะควบคุมเฉพาะค่า สัดส่วนอัตราขยาย (Proportional Gain) เพียงอย่างเดียวในกรณีที่ค่าอัตราขยายมาก จะทำให้ระบบเปลี่ยนแปลงได้เร็ว ส่งผลให้ผลตอบสนองเกิดการแกว่ง

ขณะเดียวกันเมื่อค่าอัตราขยายมีค่าน้อยจะทำให้ระบบเกิดสถานะ Offset โดยสมการค่าสัดส่วนของระบบพีคอนโทรลเลอร์หาได้จากสมการ 2.1

$$\Delta \text{OUTPUT} \propto \Delta \text{INPUT} \quad (2.1)$$

$$K_p = \frac{\Delta \text{OUTPUT}}{\Delta \text{INPUT}}$$

เมื่อ K_p คือค่าคงที่เรียกว่าอัตราขยาย Proportional Gain ซึ่งบางครั้งเรียกว่าเป็นอัตราขยายของตัวควบคุม ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่แสดงค่าอินพุตที่ป้อนเข้าระบบมีการเปลี่ยนแปลงส่งผลให้เอาต์พุตแปรผันตาม โดยอินพุตคือค่ากระบวนการ (Process Variable) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการ (Set Point) จะได้เป็นค่าคลาดเคลื่อน (Error) ซึ่งจะนำเข้าไปเป็นค่าอินพุตในการคำนวณแบบสัดส่วน (Proportional) ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาด (Error) และเอาต์พุต (Output) บล็อกไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ของระบบควบคุมพีแบบดังภาพประกอบ 2.8

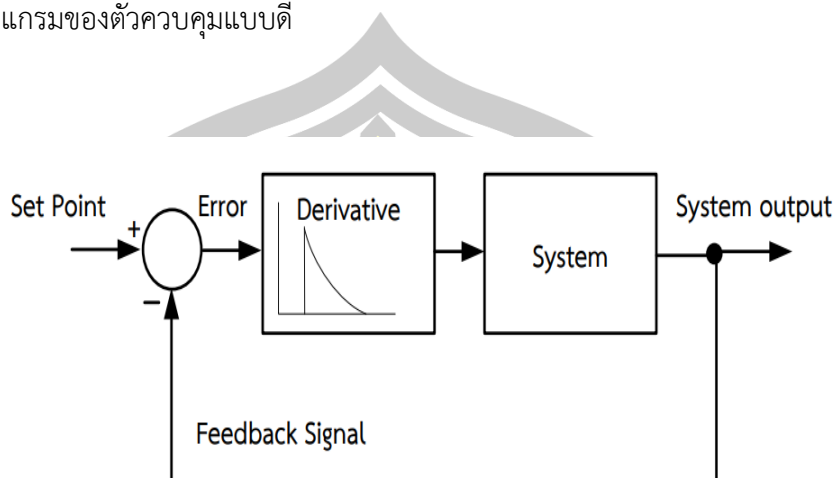


ภาพประกอบ 2.8 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมพีแบบวงปิด [9]

การควบคุมแบบดี (Derivative)

เป็นการควบคุมแบบอนุพันธ์สัญญาณอินพุต เมื่อสัญญาณผ่านการอนุพันธ์แล้ว จะทำให้สัญญาณมีค่าสูงสุดแล้วค่อยๆลดลงจนมีค่าถึงเป้าหมาย (Set Point) ที่กำหนดไว้ ระบบมีการตอบสนองต่อ

อินพุตรวดเร็วแต่มีข้อเสียคือไม่สามารถใช้แบบเดี่ยวไม่ได้ต้องใช้ร่วมแบบพีดีหรือพีไอดี ซึ่งบล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบดี

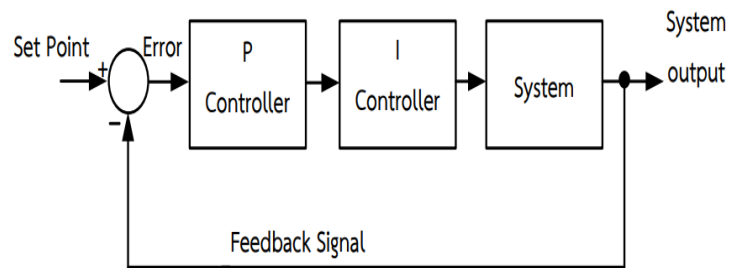


ภาพประกอบ 2.9 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบดีคอนโทรล [9]

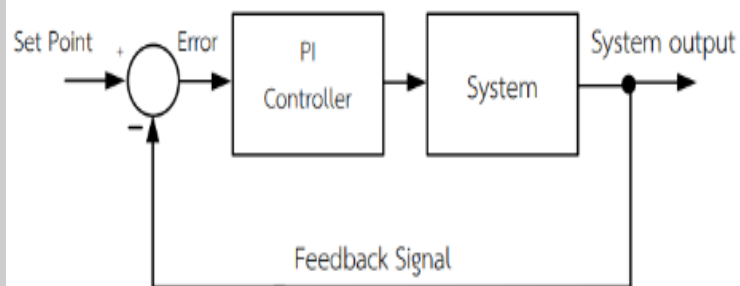
การควบคุมแบบพีไอ (Proportional Plus Integral)

คือการนำเอาวิธีควบคุมแบบพีและไอ มาประกอบรวมกันโดยมีเป้าหมายคือเพิ่มความสามารถของการควบคุมให้มีเสถียรภาพที่ดียิ่งขึ้น ซึ่งบล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบพีไอ แสดงภาพประกอบ 2.10 ในส่วนของการควบคุมแบบพีไอสามารถต่อบล็อกไดอะแกรมได้ 2 แบบ คือ การต่ออนุกรม (Serial Connection) คือผลที่ได้จะนำเอาสัญญาณที่ผ่านตัวควบคุมพีและไอ คู่กันรูปแบบการต่อแสดงดังภาพประกอบ 2.11 ส่วนการต่อแบบขนาน (Parallel Connection) ผลที่ได้จะนำเอาสัญญาณที่ผ่านตัวควบคุมมาบวกกันดังภาพประกอบ 2.13

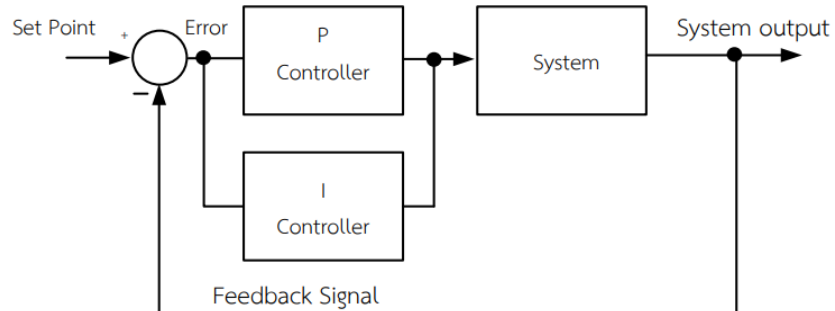
พหุ ประ โท ชีวะ



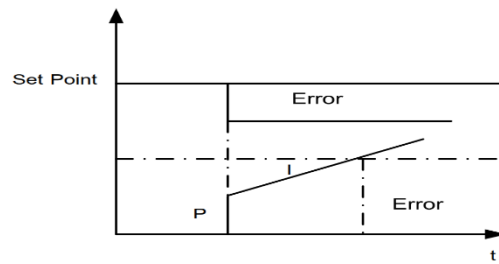
ภาพประกอบ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบพีไอคอนโทรล [9]



ภาพประกอบ 2.11 การต่อบล็อกระบบควบคุมพีและไอแบบอนุกรม [9]



ภาพประกอบ 2.12 การต่อบล็อกระบบควบคุมพีและไอแบบขนาน [9]

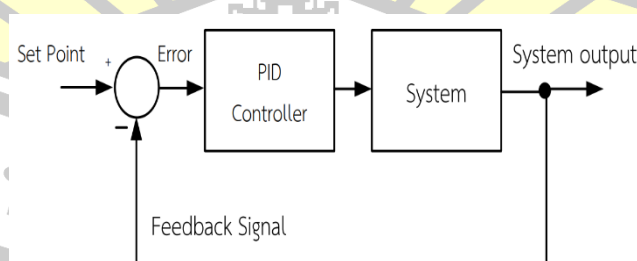


ภาพประกอบ 2.13 กราฟผลตอบสนองของระบบควบคุมพีไอคอนโทรล [9]

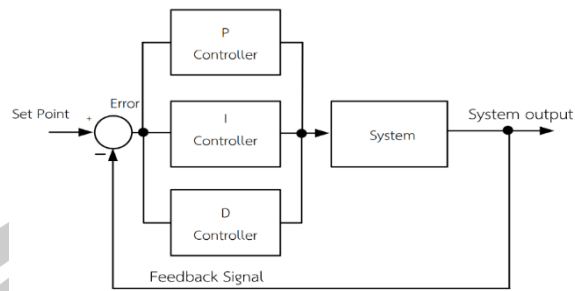
จากภาพประกอบ 2.13 แสดงกราฟสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบพีไอโดยการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมจะเริ่มต้นเป็นเส้นตรงซึ่งจะเป็นผลของการควบคุมแบบพี และในกราฟส่วนที่ลาดชันจะเป็นผลของการควบคุมแบบไอซึ่งการควบคุมแบบพีไอทำให้การควบคุมเข้าสู่ Set Point ได้รวดเร็ว นั่นคือผลของการปรับค่าพีและไอ โดยการปรับค่าพีช่วยแก้ไขปัญหาค่าชดเชย (Offset) และการปรับค่าไอจะช่วยลดการแกว่งของระบบ (Oscillation)

การควบคุมแบบพีไอดี (Proportional Plus Integral Plus Derivative)

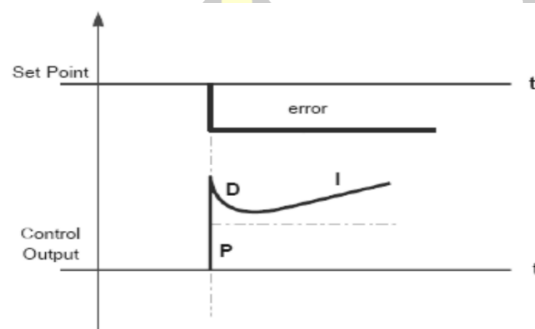
การนำเอาหลักการการควบคุมแบบ Proportional, Integral และ Derivative รวมกัน การควบคุมแบบพีไอดีนี้จะทำงานรองรับการตอบสนองแบบทันทีทันใดได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าการควบคุมแบบพีไอหรือพีดีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าเป้าหมาย หรือ ระบบที่ถูกควบคุมมีการเปลี่ยนแปลง ตัวควบคุมแบบพีไอดีจะช่วยในการควบคุมเข้าสู่เป้าหมายได้รวดเร็ว ซึ่งจะลดการเกิดการ Offset และการแกว่งของระบบได้ โดยบล็อกไดอะแกรม ของระบบควบคุมแบบพีไอดี ดังภาพประกอบ 2.14



ภาพประกอบ 2.14 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบพีไอดีคอนโทรล [9]



ภาพประกอบ 2.15 การต่อบล็อกระบบควบคุมพีไอดีแบบขนาน [9]



ภาพประกอบ 2.16 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี [9]

จากภาพประกอบ 2.16 แสดงผลตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีการควบคุมแบบนี้เหมาะกับการควบคุมที่ค่าเป้าหมาย (Set Point) มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา หรือใช้กับระบบ (System) ที่มีการตอบสนองช้า อีกทั้งสามารถใช้การควบคุมแบบพีไอดีแก้ปัญหาในกรณีที่ระบบที่ควบคุมได้รับสัญญาณรบกวน (Disturbance) จากสัญญาณภายนอก ส่งผลให้ระบบมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น สำหรับข้อเสียของระบบนี้คือถ้ากำหนดค่าพารามิเตอร์มีค่ามากเกินไปจะทำให้การตอบสนองในการทำงานของตัวควบคุมต่อการเปลี่ยนแปลงของอินพุตช้าลง

2.2.3 ระบบควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ

หลายทศวรรษที่ผ่านมาการพัฒนาเทคโนโลยีส่วนหนึ่งได้มุ่งเน้นและให้ความสนใจศึกษาลอกเลียนกระบวนการคิด การให้เหตุผล การตัดสินใจ และการกระทำของมนุษย์ ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence; AI) คือ การพัฒนาดังกล่าว โดยที่ปัญญาประดิษฐ์ก็คือการสร้างฉลาด

เทียมให้กับสิ่งที่ไม่มีชีวิต และเป็นสาขาหนึ่งในด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ แม้ว่าดั้งเดิม ปัญญาประดิษฐ์จะเป็นสาขาหลักในวิทยาการคอมพิวเตอร์ แต่ในปัจจุบันได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ใน ศาสตร์สาขาอื่นๆ อีกมากมาย [10] หากเมื่อพิจารณาถึงไปถึงการกระทำได้อย่างมนุษย์ (Acting Humanly) เป็นการ หมายถึง การกระทำทั้งที่ใช้และไม่ใช้ปัญญา การสื่อสารโดยใช้ภาษา การ อ่าน การพูด การเคลื่อนไหว การเรียนรู้ การรับรู้ทางประสาทสัมผัส และเมื่อพิจารณาถึงการคิดอย่าง มีเหตุผล (Thinking Rationally) ก็จะมีหมายถึงการคิดอย่างถูกต้องมีเหตุผลซึ่งโดยมากมักจะแปลง กระบวนการคิดให้อยู่ในรูปตรรกศาสตร์ (Logic) ที่ประกอบด้วยสัญลักษณ์และกฎเกณฑ์ รากฐานของ ปัญญาประดิษฐ์ เกิดจากแนวคิด มุมมอง และเทคนิคของศาสตร์สาขาต่างๆ ซึ่งโดยทั่วไปประกอบด้วย

ปรัชญา (ตรรกะ การมีเหตุผล พื้นฐาน การเรียนรู้ ภาษา ความมีเหตุผล)

คณิตศาสตร์ (รูปแบบภาษา การอัลกอริทึม การพิสูจน์)

จิตวิทยา (การปรับตัว การรับรู้ และการควบคุมการเคลื่อนที่)

เศรษฐศาสตร์ (ทฤษฎีการตัดสินใจอย่างมีเหตุผล ทฤษฎีเกม)

ภาษาศาสตร์ (ไวยากรณ์ รูปแบบที่ใช้แทนความรู้)

ประสาทวิทยา (การทำงานของสมอง ที่นำไปสู่ความคิดการกระทำ)

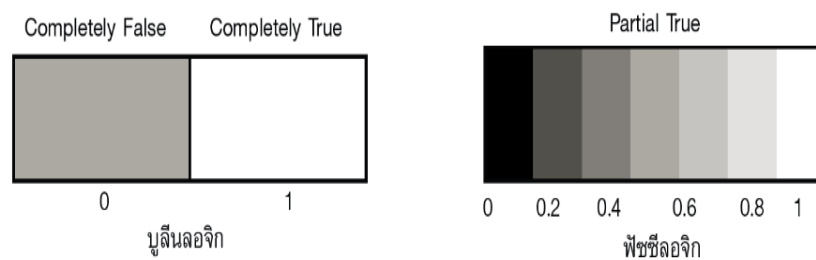
ทฤษฎีการควบคุม (การเคลื่อนไหว การทรงตัว การออกแบบความเป็นอัตโนมัติ)

ความหมายของฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) คือ ในที่นี้จะขอแยกออกเป็น 2 คำหลักคือ ฟัซซีและลอจิก คำว่า ฟัซซี (Fuzzy) ในความหมายโดยทั่วไปก็คือ คลุมเครือ ในโลกแห่งความเป็นจริงความไม่แน่นอน (Uncertainty) ซึ่งหมายถึง สถานะภาพของความลังเล สงสัย ไม่แน่ใจ หรือไม่มั่นใจ โดยความไม่แน่นอนดังกล่าวอาจเกิดมาจาก หลายปัจจัย เช่น ข้อมูลไม่ครบถ้วน มีเพียงบางส่วน ขาดหลักฐาน ยืนยันความน่าเชื่อถือที่จะสร้าง ความมั่นใจในตัวข้อมูลได้ การใช้ภาษามีรูปแบบที่เข้าใจยากหรือตีความได้ยาก ข้อมูลจากแหล่งอ้างอิง แตกต่างกันจนเกิดความขัดแย้ง ไม่สามารถชี้แจงข้อมูลด้วยเหตุ และผลได้อย่างชัดเจน ข้อมูลอาจได้ มาจากการประมาณการ แหล่งที่มาของข้อมูลขาดความน่าเชื่อถือ ซึ่งจากที่กล่าวมาทั้งหมดเหล่านี้ก็ คือความคลุมเครือหรือฟัซซีนั่นเอง ส่วนลอจิก (Logic) หรือตรรกศาสตร์ มีรากศัพท์มาจากคำว่า $\lambda\omicron\sigma\varsigma$ (Logos) ในภาษากรีก โดยทั่วไปประกอบด้วย การศึกษารูปแบบของการโต้แย้งอย่างเป็นระบบ ข้อโต้แย้งที่สมเหตุสมผล คือข้อโต้แย้งที่มี

ความสัมพันธ์ของการสนับสนุนเชิงตรรกะที่เฉพาะเจาะจงระหว่างข้อสมมติฐานของ ข้อโต้แย้งและข้อสรุป ตรรกศาสตร์เป็นการศึกษาเชิงปรัชญาว่าด้วยการให้เหตุผล โดยมักจะเป็นส่วนสำคัญของวิชาปรัชญา คณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ รวมถึงภาษาศาสตร์ ตรรกศาสตร์เป็นการตรวจสอบ ข้อโต้แย้งที่สมเหตุสมผล (Valid Argument) จากที่กล่าวมาในข้างต้นก็พอที่จะสรุปได้ว่า ฟัชซีลอจิกก็คือ ตรรกศาสตร์คลุมเครือ และ วัตถุประสงค์หลักของการพัฒนาฟัชซีลอจิกในเบื้องต้นก็เพื่อนำมาใช้เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการ ตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูล โดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ มีการใช้หลักเหตุผลที่คล้าย การเลียนแบบวิถีคิดและตัดสินใจที่ซับซ้อนของมนุษย์ ดังนั้นฟัชซีลอจิกจึงถือได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของ ระบบ AI (Artificial Intelligence) หรือระบบปัญญาประดิษฐ์นั่นเอง

- ฟัชซีลอจิกกับบูลีนลอจิก

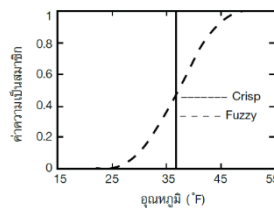
แล้วบูลีนลอจิก (Boolean Logic) หรือตรรกะแบบดั้งเดิม (Classical Logic) หรือบางครั้ง อาจเรียกว่า คริสป์ลอจิก (Crisp Logic) กับฟัชซีลอจิก (Fuzzy Logic) มีความแตกต่างกันคือ ตรรกะแบบดั้งเดิม หรือบูลีนลอจิก นั้นเป็นข้อสรุปที่มีแค่ จริง (True) กับ เท็จ (False) หรือ 1 กับ 0 เท่านั้น แต่ฟัชซีลอจิกมีลักษณะที่พิเศษกว่าบูลีนลอจิก เป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายในส่วน ของความจริง (Partial True) โดยค่าความจริงจะอยู่ระหว่างจริง 1 กับเท็จ 0 ดังแสดงในภาพประกอบ 2.17



ภาพประกอบ 2.17 บูลีนลอจิกและฟัชซีลอจิก [10]

- ฟัชซีเซต

ฟัชซีเซต (Set) เป็นคำที่ไม่ต้องนิยามความหมาย เราใช้เซตแทนกลุ่มของคน สัตว์ สิ่งของ ใด ๆ ที่อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม นอกจากนี้สิ่งที่อยู่ในเซตที่เรียกว่า สมาชิก (Membership) จะการระบุคุณสมบัติที่ชัดเจน แล้วฟัชซีเซต (Fuzzy Set) คืออะไร ฟัชซีเซตเป็นเครื่องมือทาง ศาสตร์ที่สื่อถึงความไม่แน่นอน ที่สามารถจะสร้างและกำหนดรูปแบบ (Modeling) ของลักษณะ ไม่แน่นอนที่เป็นความคลุมเครือ ความไม่ตายตัว รวมถึงข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ อยู่ในรูปของเซต โดยทฤษฎีของฟัชซีเซตจะใช้ลักษณะความหมายตัวแปรภาษา (Linguistic) มากกว่าปริมาณ (Quantitative) ตัวแปร ซึ่งแตกต่างจากเซตแบบดั้งเดิม (Classical Set) หรือเซตทวินัย (Crisp Set) ที่เป็นเซต -ความเป็นสมาชิกตามแนวคิดเลขฐานสองโดยที่ตัวแปรหนึ่งๆ จะมีค่าเพียง 2 ค่าคือ 0 ไม่เป็นสมาชิก หรือ 1 เป็นสมาชิกเท่านั้น

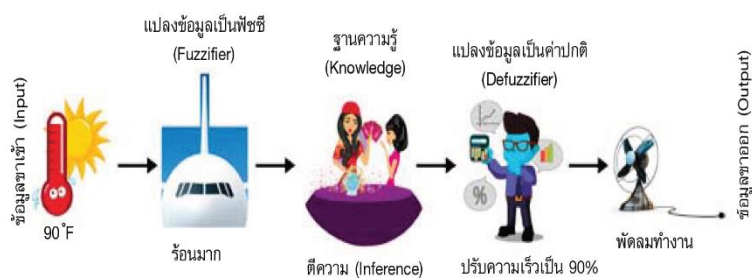


อุณหภูมิ "ปานกลาง" "F" (°C)	15 (-9)	20 (-6)	25 (-4)	30 (-1)	35 (1.6)	40 (4)	45 (7)	50 (10)
Crisp (ค่าความเป็นสมาชิก)	0	0	0	0	0	0	1	1
Fuzzy (ค่าความเป็นสมาชิก)	0	0	0	0.1	0.3	0.6	0.8	1

ภาพประกอบ 2.18 ตัวอย่างอุณหภูมิปานกลางของเซตทวินัยและเซตของฟัชซี [10]

- โครงสร้างพื้นฐานการทำงานของฟัชซีลอจิก

ฟัชซีลอจิก เป็นส่วนหนึ่งของ AI หรือปัญญาประดิษฐ์ ดังนั้นกระบวนการการทำงานของฟัชซีลอจิกจึงเป็นการเลียนแบบการคิด การหาเหตุผล การตัดสินใจ และการกระทำของมนุษย์ ภาพประกอบ 2.19 แสดงตัวอย่างแนวคิดในการพัฒนาระบบฟัชซีลอจิก



ภาพประกอบ 2.19 แนวคิดในการพัฒนาระบบฟัซซีลอจิก [10]

จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงเป็น 90°F (32°C) ซึ่งในที่นี้หมายถึงเป็นข้อมูลอินพุตหรือ ข้อมูลขาเข้า โดยทั่วไปเราจะรู้สึกร้อนมาก การนำเอาข้อมูลอินพุตดังกล่าวมาระบุว่าร้อนมากถือว่าเป็น การแปลงข้อมูลเป็นฟัซซี (Fuzzification) ต่อจากนั้นก็นำเอาความรู้สึกหรือข้อมูลดังกล่าวมาตีความ (Inference) ตามฐานความรู้ (Knowledge) ที่มีอยู่ หลังจากการตีความหรือประมวลผลแล้วก็จะทำการเปลี่ยนข้อมูลที่ได้เหล่านั้น (Defuzzification) ไปใช้งานโดยในที่นี้คือการปรับพัดลมให้มีความเร็วเป็น 90% จากตัวอย่างที่นำเสนอ เป็นแนวคิดเพื่อให้เห็นภาพว่าการพัฒนาระบบฟัซซีลอจิกก็มีหลักการ ในทำนองเดียวกันคือเลียนแบบการคิดและตัดสินใจเช่นเดียวกับมนุษย์ ดังนั้นฟัซซีลอจิกจึงมีโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นองค์ประกอบสำคัญ 4 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนแปลงข้อมูลให้เป็นฟัซซี (Fuzzifier) ทำหน้าที่จัดแบ่งและรวบรวมกลุ่มของข้อมูลอินพุตที่รับเข้ามาเติมซึ่งอยู่ในรูปของเซต แบบดั้งเดิมหรือเซตทวินัย (Crisp Set) ที่มีค่าข้อมูลเป็น 0 และ 1 ให้เป็นฟัซซีเซตที่สามารถมีค่า อยู่ระหว่าง 0 และ 1 โดยกระบวนการดังกล่าวนี้จะถูกเรียกเป็นศัพท์ทางเทคนิคว่า ฟัซซิฟิเคชัน (Fuzzification)

2. ฐานความรู้ (Knowledge Base) ทำหน้าที่ ในการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลของการควบคุมซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

- ฐานกฎ (Rule Base) หรือกฎฟัซซี (Fuzzy Rule) เป็นส่วนของการกำหนดวิธีการควบคุมซึ่งได้มาจากผู้เชี่ยวชาญในรูปแบบของชุดข้อมูล แบบกฎของภาษา (Linguistic Rule)

- ฐานข้อมูล (Database) เป็นการเตรียมส่วนที่จำเป็น เพื่อที่จะใช้ในการกำหนดกฎการควบคุมและจัดการข้อมูลของฟัซซีจิก

3. ส่วนของการอนุมานหรือตีความ (Inference Engine) ทำหน้าที่ตรวจสอบข้อเท็จจริงและกฎเพื่อใช้ในการตีความหาเหตุผล เป็นเหมือนกลไก สำหรับควบคุมการใช้ความรู้ในการแก้ไขปัญหา รวมทั้งการกำหนดวิธีการของการตีความเพื่อหาคำตอบ

4. ส่วนที่แปลงข้อมูลเอาต์พุตให้เป็นข้อมูลทั่วไป (Defuzzifier) ทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบฟัซซีให้กลับไปเป็นค่าแบบดั้งเดิมคือ 0 และ 1 (Crisp Value) เหมือนกับตอนที่รับเข้ามาจากอินพุตหรือเป็นการสรุปผลหรือค่าที่นำไปใช้งานด้านเอาต์พุต โดย กระบวนการดังกล่าวนี้จะถูกเรียกเป็นศัพท์ทางเทคนิคว่า ดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification)

อย่างไรก็ตาม จากที่ได้กล่าวมาเป็นเพียงการฉายภาพให้เห็นเพียงแนวคิดพื้นฐานโครงสร้างและกระบวนการทำงานของระบบฟัซซีลอจิกเท่านั้น นั้นย่อมหมายความว่าหากต้องการนำเอาระบบฟัซซีลอจิกไปประยุกต์ใช้งานจริงๆ แล้ว ยังคงจำเป็นอย่างยิ่งที่เราจะต้องศึกษาให้ลึกกลงไปในรายละเอียด ของแต่ละส่วน

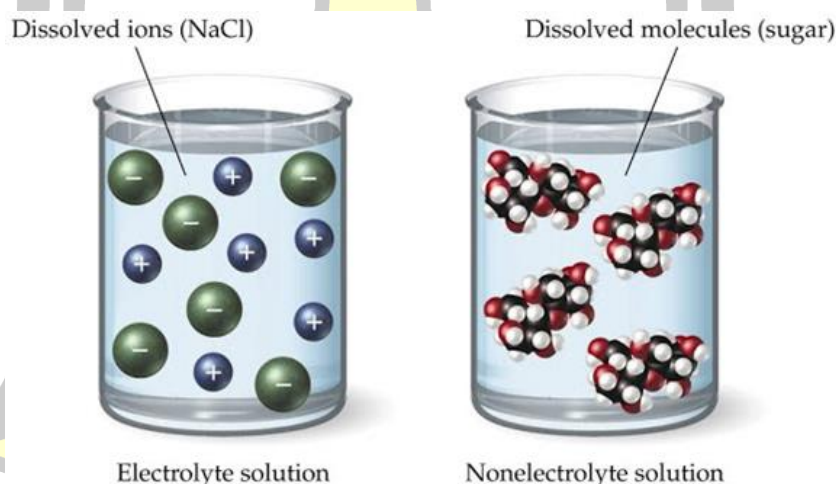
2.3 การนำไฟฟ้าของสารละลาย

อิเล็กโทรไลต์ คือ สารที่สามารถแตกตัวเป็นไอออนอิสระเมื่อละลายน้ำหรือหลอมเหลว ทำให้สามารถนำไฟฟ้าได้เนื่องจากโดยทั่วไป สารละลายนั้นจะประกอบไปด้วยไอออน จึงมักเรียกกันว่า สารละลายไอออนิก ในบางครั้งอาจเรียกสั้นๆ ว่า ไลต์ โดยปกติแล้วอิเล็กโทรไลต์จะอยู่ในรูปของกรด เบส หรือเกลือ นอกจากนี้ แก๊สบางชนิดอาจทำตัวเป็นอิเล็กโทรไลต์ได้ภายใต้อุณหภูมิสูงและความดันต่ำ การจำแนกอิเล็กโทรไลต์ออกเป็นอิเล็กโทรไลต์เข้มข้นหรือเจือจางสามารถจำแนกได้จากความเข้มข้นของไอออน ถ้าความเข้มข้นมาก จะเรียกว่า อิเล็กโทรไลต์เข้มข้น แต่ถ้ามีความเข้มข้นของไอออนน้อยจะเรียกว่า อิเล็กโทรไลต์เจือจาง ถ้าสัดส่วนการแตกตัวเป็นไอออนของสารใดมีมาก จะเรียกว่าอิเล็กโทรไลต์แก่ แต่ถ้าสัดส่วนนั้นน้อย(ส่วนใหญ่ไม่แตกตัวเป็นไอออน) จะเรียกว่าอิเล็กโทรไลต์อ่อน [11]

2.3.1 สารละลายอิเล็กโทรไลต์

1. อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) หมายถึง สารที่เมื่อละลายในน้ำจะนำไฟฟ้าได้ เนื่องจากมีไอออนซึ่งอาจจะเป็นไอออนบวก หรือไอออนลบเคลื่อนที่ที่อยู่ในสารละลาย สารละลายอิเล็กโทรไลต์นี้อาจเป็นสารละลายกรด เบส หรือเกลือก็ได้ ตัวอย่างเช่น สารละลายกรดเกลือ (HCl) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารละลายของเกลือ KNO_3 เป็นต้น โดยในสารละลายดังกล่าวประกอบด้วยไอออน H^+ , Cl^- , OH^- , K^+ และ NO_3^- ตามลำดับ

2. นอนอิเล็กโทรไลต์ (Non-electrolyte) หมายถึง สารที่ไม่สามารถนำไฟฟ้าได้เมื่อละลายน้ำ ทั้งนี้เนื่องจาก สารพวกนอนอิเล็กโทรไลต์ จะไม่สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้ เช่น น้ำบริสุทธิ์ น้ำตาล แอลกอฮอล์ เป็นต้น ความแตกต่างของสารอิเล็กโทรไลต์และนอน-อิเล็กโทรไลต์ พิจารณาจากสาร 2 ชนิด เมื่อละลายน้ำจะรวมกับน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้



ภาพประกอบ 2.20 การเป็นอิเล็กโทรไลต์และนอนอิเล็กโทรไลต์ของสาร [11]

3. อิเล็กโทรไลต์แก่และอิเล็กโทรไลต์อ่อน สารละลายอิเล็กโทรไลต์ต่างๆ นำไฟฟ้าได้ไม่เท่ากัน เนื่องจากการแตกตัวเป็นไอออนของอิเล็กโทรไลต์ไม่เท่ากัน อิเล็กโทรไลต์ที่แตกตัวเป็นไอออนได้มากกว่า ก็จะนำไฟฟ้าได้ดีกว่าอิเล็กโทรไลต์ที่แตกตัวเป็นไอออนได้น้อยกว่า อิเล็กโทรไลต์แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

- อิเล็กโทรไลต์แก่ (strong electrolyte) หมายถึง สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวเป็นไอออนได้มาก อาจแตกตัวได้ 100% และนำไฟฟ้าได้ดีมาก เช่น กรดแก่ และเบสแก่ และเกลือส่วนใหญ่จะแตกตัวได้ 100% เป็นต้น

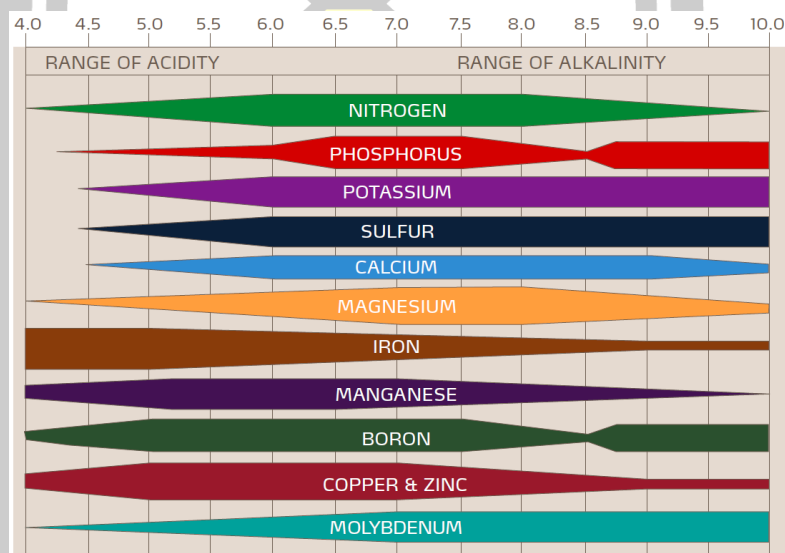
- อิเล็กโทรไลต์อ่อน (weak electrolyte) หมายถึง สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวได้บางส่วน นำไฟฟ้าได้น้อย [12]

2.4 ค่าพีเอชของสารละลายธาตุอาหาร

ค่าพีเอช (pH) หรือ Positive potential of the Hydrogen ions [13] ในความหมายของการปลูกพืชไร้ดิน คือค่าความเป็นกรด-เบส ของสารละลาย (น้ำผสมธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกพืช) โดยค่า pH จะมีช่วงการวัดอยู่ที่ 1 - 14 โดยจะนับค่าที่ 7 เป็นกลาง กล่าวคือ หากวัดค่าได้ต่ำกว่า 7 แสดงว่าของเหลวเป็นกรด หากวัดได้สูงกว่า 7 ขึ้นไปแสดงว่าเป็นเบส สำหรับการปลูกพืชด้วยน้ำนั้นค่า pH มีส่วนสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับการทำปฏิกิริยาทางเคมีกับธาตุอาหารที่ใช้เลี้ยงพืช โดยธรรมชาติน้ำที่มีความเป็นกรดจะทำให้ธาตุอาหารพืชละลายตัวได้ดี และพืชสามารถดูดซึมไปใช้งานได้ อย่างสะดวก แต่ถ้าหากน้ำที่ใช้ผสมธาตุอาหารพืชมีความเป็นเบสสูงจะทำให้ธาตุอาหารพืชตกตะกอนจนพืชไม่สามารถดูดซึมไปใช้งานได้ ดังนั้น การปรับค่า pH ผู้ปลูกจะต้องปรับให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับอายุการปลูกและชนิดของพืชนั้นๆ ด้วย โดยปกติค่า pH ที่ใช้ในการปลูกพืชจะมีค่าอยู่ในช่วง 5.5 - 7.0 แต่ค่าที่ดีที่สุดต่อการละลายตัวของธาตุอาหารพืชจะอยู่ที่ 5.8 - 6.3 การลดค่า pH นิยมใช้ กรดไนตริก (Nitric Acid) มีสูตรทางเคมี คือ (HNO₃) ซึ่งกรดชนิดนี้เมื่อผสมกับน้ำจะแตกตัวเป็นอนุมูลย่อย เป็นไนโตรเจน ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักของพืช และกรดที่นิยมใช้อีกชนิดหนึ่งคือ กรดฟอสฟอริก (Phosphoric Acid) มีสูตรทางเคมี คือ H₃PO₄ ซึ่งกรดชนิดนี้เมื่อผสมกับน้ำจะแตกตัวเป็นอนุมูลย่อย เป็นฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักของพืชเช่นกัน การใช้กรดทั้งสองชนิดนี้จึงมีผลพลอยได้จากการปรับลดค่า pH แล้วยังได้ธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้นมาในระบบอีกด้วย การเพิ่มค่า pH นิยมใช้ โพแทสเซียมคาร์บอเนต (Potassium Carbonate) หรือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide) ซึ่งเคมีทั้ง 2 ชนิดนี้เมื่อผสมกับน้ำจะแตกตัวเป็นอนุมูลย่อย ได้ โพแทสเซียม ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักของพืชเช่นกัน

ข้อควรระวังในการปรับค่า pH

การปรับค่า pH ค่อยปรับด้วยความระมัดระวัง และค่อยปรับลดลง อย่าปรับค่า pH ให้ต่ำเกินกว่า 4 จะทำให้รากพืชได้รับอันตรายจากการกัดกร่อนของกรด จนทำให้รากพืชอ่อนแอ และเชื้อโรคเข้าทำลายได้ง่ายขึ้น ค่า pH ที่ต่ำเกินไปยังส่งผลให้ความเข้มข้นของธาตุเหล็กในระบบปลูกมีสูงขึ้น ถ้าธาตุเหล็กในระบบปลูกมีมากเกินไปจะเป็นพิษกับพืชได้ ในทางกลับกันถ้าปล่อยให้ค่า pH สูงเกินกว่า 7 เป็นระยะเวลาติดต่อกัน 2 - 3 วัน จะส่งผลต่อการดูดซึมธาตุอาหารพืช เช่น ฟอสฟอรัส, เหล็ก, แมงกานีส โดยค่า pH ที่เหมาะสมคือ 5.8 - 6.3



ภาพประกอบ 2.21 ปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช ในค่า pH ระดับต่างๆ [13]

2.5 ค่าการนำไฟฟ้า

ค่าการนำไฟฟ้า (EC) หรือ Electric Conductivity คือ ค่าเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าในของเหลว ในการปลูกไฮโดรโปนิกส์หมายถึงปริมาณแร่ธาตุที่ละลายอยู่ในของเหลว โดยปกติน้ำบริสุทธิ์จะมีค่า นำกระแสไฟฟ้าต่ำหรือมีค่าเป็นศูนย์ แต่เมื่อมีการเติมสารละลายต่างๆ ลงในน้ำนั้นจะทำให้ค่า สารละลาย หรือค่านำกระแสไฟฟ้าในน้ำนั้นๆ สูงขึ้นด้วย พืชแต่ละชนิดจะมีความต้านทานต่อค่า EC หรือ (ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช) ที่ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์, อายุของพืช และ

สภาพแวดล้อมในการปลูกขณะนั้นด้วย หากเราใช้ค่า EC ไม่เหมาะสมกับพืช แล้วจะทำให้พืชนั้น เจริญเติบโตไม่เป็นปกติ หรือขาดความสมบูรณ์ได้ ปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดค่า EC มีอยู่ 3 ปัจจัยหลักๆ

1. ชนิดและสายพันธุ์พืช กล่าวคือ พืชต้องอาศัยการคายน้ำทางใบเพื่อให้เกิดแรงดันที่ราก พืชเพื่อให้น้ำที่ผสมธาตุอาหารซึมผ่านจากรากไปยังส่วนต่างๆ ของพืชได้ หากค่า EC สูงกว่าค่า มาตรฐาน ของพืชชนิดนั้นๆ พืชจะไม่สามารถนำพาน้ำที่มีธาตุอาหารไปยังส่วนต่างๆของพืชได้ ส่งผลให้พืชเจริญเติบโตได้ไม่ดี และเกิดขาดธาตุอาหารต่างๆ ได้

2. อายุของพืช กล่าวคือ พืชในแต่ละช่วงอายุจะมี การใช้ธาตุอาหารไม่เท่ากัน โดยจะแบ่ง ออกเป็น 3 ช่วงของการเจริญเติบโต ดังนี้

- ช่วงต้นกล้า : ช่วงสัปดาห์แรกของการเจริญเติบโต เมื่อพืชงอกออกจากเมล็ดพืชจะใช้ พลังงานและอาหารจากใบเลี้ยงเป็นหลัก ทำให้การกำหนดค่า EC ในช่วงสัปดาห์แรกนี้จะอยู่ที่ ประมาณ 30 - 50 % ของค่า EC ในพืชชนิดนั้นๆ และจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในสัปดาห์ต่อไป

- ช่วงเจริญเติบโต : ช่วงสัปดาห์ที่ 3 เป็นต้นไป ช่วงนี้เป็นช่วงที่พืชต้องการใช้พลังงานและ ธาตุอาหารสูงมาก เพื่อใช้ในการสร้างส่วนต่างๆ ของใบ, ลำต้น, ดอก โดยจะใช้ธาตุอาหารประมาณ 80 - 100% ของค่า EC ในพืชชนิดนั้นๆ

- ช่วงขยายพันธุ์ : เป็นช่วงที่พืชผ่านการเจริญเติบโตอย่างเต็มที่มาแล้วพืชได้ทำการสะสม อาหารและพลังงานมาไว้อย่างเต็มที่แล้ว พืชจะเริ่มใช้ธาตุอาหารใหม่น้อยลง โดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ ประมาณ 50 - 70% ของค่า EC ในพืชชนิดนั้นๆ

3. สภาพอากาศและฤดูกาล หากช่วงเวลาดังกล่าวมีปัจจัยที่ทำให้พืชต้องคายน้ำสูง เช่น แสงแดดจัด, อากาศร้อน พืชจำเป็นต้องมีการดูดซึมน้ำมากขึ้นเพื่อนำมาชดเชยน้ำที่สูญเสียไป หากมี การใช้ค่า EC ที่สูง ในช่วงเวลาดังกล่าวแล้ว พืชจะนำน้ำไปชดเชยน้ำที่สูญเสียไปได้ลำบาก เราจึงเห็นพืช เหี่ยวเฉาในช่วงเวลาที่อากาศร้อนและแสงแดดจัด ดังนั้นช่วงเวลาที่อากาศร้อนมากๆ และแสงแดด แแรงเกินไปเราต้องปรับลดค่า EC ลง พร้อมกับลดกิจกรรมการคายน้ำของพืชลง เช่น พรางแสง, สเปรย์น้ำ เพื่อลดอุณหภูมิลง

ค่ามาตรฐานสำหรับน้ำที่จะนำมาใช้ในการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ จะต้องมีค่าเริ่มต้นก่อนใส่ ปุ๋ยไม่เกิน 0.3 mS/cm หากค่าเกินจะทำให้มีข้อจำกัดในการใส่ธาตุอาหารพืช (ใส่ธาตุอาหารพืชได้ น้อยลง) เพราะกังวลว่าค่า EC จะเกินกว่าที่พืชนั้นๆ จะรับได้ จนกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชได้

น้ำที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้ในการปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์ ได้แก่ น้ำฝน, น้ำประปาส่วนภูมิภาค และประปานครหลวง ฯลฯ เนื่องจากมีค่า EC ต่ำและเป็นแหล่งน้ำที่ประหยัด ส่วนน้ำที่ไม่แนะนำนำมาใช้ในการปลูก เช่น น้ำบาดาล เนื่องจากส่วนใหญ่ น้ำบาดาล จะมีค่า EC สูง แล้วยังมี แคลเซียม คาบอเนท (หินปูน) สาเหตุของความกระด้างในน้ำ ทำให้ปุ๋ยตกตะกอนได้ง่าย หากไม่สามารถหาน้ำได้จากแหล่งดังกล่าวจริงอาจจะต้องมีการบำบัด ด้วยวิธีการกรองเพื่อลดค่าสารละลายในน้ำลงก่อนเพื่อให้มีค่า EC อยู่ในระดับที่เหมาะสมที่จะนำมาปลูกพืชได้ โดยวิธีการกรองต้องใช้เครื่องกรองที่สามารถกรองสารละลายในน้ำได้ เช่น ระบบกรอง Reverse Osmosis (R.O.) หรือการกรองด้วยระบบกรอง Softener ด้วยสารกรอง Resin เป็นต้น

ค่าความนำไฟฟ้า (EC) ต่อผลผลิตพืช

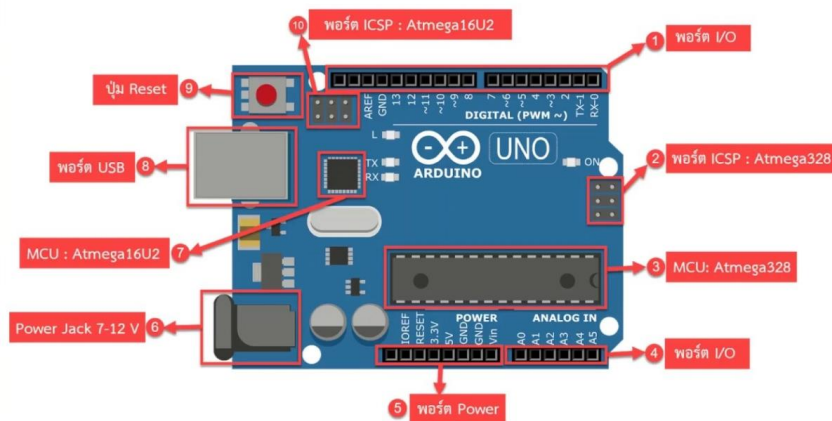
การปลูกพืชในสารละลายที่มี ค่า EC สูง กับ การปลูกพืชในสารละลายที่มี ค่า EC ต่ำ มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ไปในทิศทางใด และให้ผลผลิตที่สูงต่ำกว่ากันอย่างไร ต้องศึกษาโดยทั่วไปในระบบ Hydroponics การวัดความเข้มข้นของสารละลายในถังสารละลาย จะวัดเป็นค่า EC (Electrical Conductivity) โดยมีหน่วยเป็น mS/cm ซึ่งค่าจะอยู่ในช่วงระหว่าง 1 - 4 mS/cm การตอบสนองของผลผลิต ต่อค่า EC คือ เมื่อค่า EC ต่ำ ผลผลิตก็จะต่ำ และเมื่อเพิ่มค่า EC ถึงระดับหนึ่ง จะได้ค่าผลผลิตสูงสุด และเมื่อเพิ่มค่า EC ต่อไป ผลผลิตจะไม่เพิ่ม หลังจากนั้น ถ้าเพิ่มค่า EC ต่อไปอีก ผลผลิตจะลดลง ดังนั้นโจทย์คือ การหาค่า EC ที่เหมาะสมกับพืชที่เราปลูกให้ได้ ค่า EC ในที่นี้หมายถึง ค่า EC บริเวณรากพืช ซึ่งอาจจะแตกต่างจาก ค่า EC ของสารละลายในถัง หรือที่เตรียมไว้ เมื่อเราเลี้ยงที่ค่า EC ต่ำกว่า 1.0 mS/cm จะทำให้ผลผลิตที่ได้ อ่อนนุ่ม ซึ่งจะดีในการปลูกผักสลัด ทำให้ผักมีรสชาติอร่อย ไม่ขม แต่ถ้าในมะเขือเทศ และพืชผักชนิดอื่นที่เก็บผลสด คุณภาพของผลจะไม่ดี เนื่องจากผลอ่อนนุ่มเกินไป และรสชาติจะไม่ดีด้วย นอกจากนี้จะทำให้อายุหลังเก็บเกี่ยวทั้งผักและทั้งไม้ดอก ไม้ประดับสั้น แต่เมื่อเพิ่มค่า EC ให้สูงขึ้น จะช่วยให้พืชมีความแข็งแรงมากขึ้น มีการเจริญเติบโตเร็วขึ้น เพิ่มน้ำหนักใบ ผลและดอก ทำให้คุณภาพผลผลิตดีขึ้น เช่น มะเขือเทศ จะมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น ปริมาณธาตุอาหาร และกรดในผลเพิ่มขึ้น และมีอายุหลังเก็บเกี่ยวนานขึ้น แต่ถ้าค่า EC สูงมากเกินไป จะทำให้ผักสลัดมีรสขมได้ การปลูกพืชที่มี ค่า EC สูงๆ จะดูแลยากกว่า การปลูกใน EC ที่ต่ำค่ะ เพราะการปลูกใน EC สูงๆ อาจทำให้มะเขือเทศ เกิดอาการผลเน่าที่ปลาย (Blossom – end rot) ส่วนผักสลัด อาจเกิดอาการยอดไหม้ (Tip burn) ได้

ตารางแสดงค่า PH และ EC ของพืชผักแต่ละชนิด					
ชนิดพืช	ค่า PH	ค่า EC	ชนิดพืช	ค่า PH	ค่า EC
กล้วย	5.5 – 6.5	1.8 – 2.2	บาเซล, โหระพา	5.5 – 6.0	1.0 – 1.6
กวางตุ้งใบ, กวางตุ้งดอก, ฮ่องเต้	6.0 – 7.0	1.5 – 2.5	บิทรูท	6.0 – 6.5	1.8 – 5.0
กะหล่ำดอก	6.5 – 7.0	1.5 – 2.0	ผักขม	6.0 – 7.0	1.8 – 2.3
กะหล่ำปลี, กะหล่ำดาว	6.5 – 7.0	2.5 – 3.0	พาสเลย์	5.5 – 6.0	0.8 – 1.8
ข้าวโพดหวาน	6	1.6 – 2.4	ฟักทอง	5.5 – 7.0	1.8 – 2.4
แครอท	6.3	1.6 – 2.0	มะเขือเทศ	6.0 – 6.8	2.0 – 4.0
เซอลารี	6.5	1.8 – 2.4	มะเขือม่วง	6	2.5 – 3.5
แตงกวา	5.5	1.7 – 2.5	เมล่อน	6.0 – 6.8	2.0 – 2.5
แตงกวาชุกินี	6	1.8 – 2.4	เรดิช, หัวไชเท้า	6.0 – 7.0	1.6 – 2.2
แตงโม	5.8	1.8 – 2.4	วอเตอร์เครส	6.5 – 6.8	0.4 – 1.6
ถั่ว	6	2.0 – 4.0	สตรอเบอร์รี่	6.0 – 6.8	1.8 – 2.2
บลอคเคอรี่	6.0 – 6.8	2.8 – 3.5	สลัด	6.0 – 7.0	1.1 – 1.7
บลูเบอร์รี่	4.0 – 5.0	1.8 – 2.0	สะระแหน่, มิ้น	5.5 – 6.0	2.0 – 2.4
บาเซล, โหระพา	5.5 – 6.0	1.0 – 1.6	สับปะรด	5.5 – 6.5	2.0 – 2.4
บิทรูท	6.0 – 6.5	1.8 – 5.0	เสาวรส	6.5	1.6 – 2.4
ผักขม	6.0 – 7.0	1.8 – 2.3	หน่อไม้ฝรั่ง	6.0 – 6.8	1.4 – 1.8

ภาพประกอบ 2.22 ค่า EC และ pH ของพืชแต่ละชนิด [13]

2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์

Arduino Uno R3 คำว่า Uno [14] เป็นภาษาอิตาลี ซึ่งแปลว่าหนึ่ง เป็นบอร์ด Arduino รุ่นแรกที่ผลิตออกมา มีขนาดประมาณ 68.6×53.4 mm. เป็นบอร์ดมาตรฐานที่นิยมใช้งานมากที่สุด เนื่องจากเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการเริ่มต้นเรียนรู้ Arduino และมี Shields ให้เลือกใช้งานได้มากกว่าบอร์ด Arduino รุ่นอื่นๆ ที่ออกแบบมาเฉพาะมากกว่า โดยบอร์ด Arduino Uno ได้มีการพัฒนาเรื่อยมา ตั้งแต่ R2 R3 และรุ่นย่อยที่เปลี่ยนชิปไอซีเป็นแบบ SMD เป็นบอร์ด Arduino ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากราคาไม่แพง และส่วนใหญ่โปรเจคและ Library ต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมา Support จะอ้างอิงกับบอร์ดนี้เป็นหลัก และข้อดีอีกอย่างคือกรณีที่ MCU เสียผู้ใช้งานสามารถซื้อมาเปลี่ยนเองได้ง่าย Arduino Uno R3 มี MCU ที่เป็น Package DIP



ภาพประกอบ 2.0.23 ส่วนประกอบ Arduino Uno R3 [14]

ส่วนประกอบ Arduino Uno R3

1. I/O Port: Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin 0,1 เป็นขา Tx, Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
2. ICSP Port Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
3. MCU Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
4. I/O Port: นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็นช่องรับสัญญาณอนาล็อกตั้งแต่ขา A0 -A5
5. Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขา ไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, Vin
6. Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V
7. MCU: ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2
8. USB Port: ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับ Computer เพื่อใช้ในการอัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU และใช้จ่ายไฟให้กับตัวบอร์ด
9. Reset Button: เป็นปุ่ม Reset เพื่อเริ่มการทำงานใหม่
10. ICSP Port: ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chen CH et al. (2021) [3] ได้ทำการศึกษาตัวควบคุมลوجิกแบบคลุมเครือสำหรับปรับค่า EC pH ในระบบไฮโดรโปนิกส์ ระบบควบคุมที่เสนอจะตรวจจับ EC และ pH ของสารละลายผ่านเซ็นเซอร์ และปรับเวลาการทำงานของปั๊มสารละลายผ่านตัวควบคุมแบบฟuzzyใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็น Raspberry Pi3 ผลการทดลองระบุว่ารระบบควบคุมที่เสนอสสามารถลดภาระการวัดและการคำนวณที่ซับซ้อนของผู้ปลูกได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยการปรับสารละลายธาตุอาหาร

A. Nursyahid et al. (2021) [15] ได้ศึกษาระบบควบคุมธาตุอาหารแบบไฮโดรโปนิกส์ของ NFT มีวัตถุประสงค์เพื่ออำนวยความสะดวกให้เกษตรกรในการรักษาปริมาณธาตุอาหารตามความต้องการของพืช ระบบนี้ใช้วิธีถดถอยเชิงเส้นเพื่อควบคุมปริมาณสารอาหาร ผลความแม่นยำที่ได้จากการทดลองระบบควบคุมเท่ากับ 87.84%

E. Y. Fitria et al. (2021) [2] ได้ศึกษาการออกแบบระบบควบคุมด้วย Context Aware Method ออกแบบระบบควบคุมแบบบูรณาการในพีซีไร้ดิน ซึ่งรวมถึงระบบควบคุมค่า pH ของน้ำและระบบควบคุมสารละลายธาตุอาหาร ข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ pH และเซ็นเซอร์ EC จะถูกประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วส่งไปยังแพลตฟอร์ม IoT Antares ผ่านโมดูลการสื่อสารที่มี ข้อมูลถูกเก็บไว้ในคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของ Antares ผลการทดสอบ ระบบเฝ้าติดตามและควบคุมแบบบูรณาการสำหรับพีซีไร้ดินได้สร้างและดำเนินการได้ดี ความแม่นยำของเซ็นเซอร์ pH คือ 99.99% และเซ็นเซอร์ EC คือ 99.93% จากลักษณะเวลาตอบสนองของระบบควบคุม pH เวลาที่เพิ่มขึ้นคือ 2.5 นาที เวลาสูงสุดคือ 5 นาที การเกินพิกัดสูงสุดคือ 131.53% เวลาในการตกตะกอนคือ 16 นาที และค่าความผิดพลาดในสถานะคงตัวคือ 109.90% ในขณะที่เวลาตอบสนองที่เป็นลักษณะเฉพาะของระบบควบคุมสารละลายธาตุอาหารจะได้รับเวลาเพิ่มขึ้น 1.2 วินาที เวลาสูงสุด 2 วินาที เกินพิกัดสูงสุด 159.55% เวลาตกตะกอน 14 วินาที และค่าความผิดพลาดในสถานะคงตัว 1.29%

K. Phuphanphet and W. Sa-Ngiamvibool (2019) [16] นำเสนอประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์ธาตุอาหารในดินในการตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าและระดับ pH ของสารละลายน้ำในระบบไฮโดรโปนิกส์ ผลการวิจัยพบว่าค่าการนำไฟฟ้าวัดได้ระหว่าง 90-120 มิลลิโวลต์ ในขณะที่ค่า EC วัดได้ระหว่าง 67 ถึง 138 us/cm. เพื่อตรวจสอบระดับ pH ค่าการนำไฟฟ้าถูกวัดระหว่าง 43-60 มิลลิ

โวลต์ ซึ่งระดับ pH อยู่ที่ 6.52-7.22 นอกจากนี้ ยังพบว่าค่าจากเซ็นเซอร์และมิเตอร์ EC มีความแปรผันผกผัน สรุปได้ว่ามีความเป็นไปได้บางประการในการใช้เซ็นเซอร์ธาตุอาหารในดินในการนำไฟฟ้าและการวัดระดับ pH ของสารละลายน้ำในระบบไฮโดรโปนิคส์

M. Fuangthong and P. Pramokchon (2018) [17] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้การควบคุมลอจิกแบบคลุมเครือสำหรับการควบคุมค่า EC และ pH ในการปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์โดยอัตโนมัติ ใช้ลอจิกคลุมเครือเพื่อตัดสินใจเกี่ยวกับการปรับสารอาหารและ pH แทนกฎคลาสสิก วิธีการที่นำเสนอได้ทำการทดลองในเรือนกระจกแบบไฮโดรโปนิคส์ DRFT กับการปลูกผักกาดหอมกรีนโอ๊ค ผลการวิจัยพบว่าระบบที่ใช้การควบคุมลอจิกแบบคลุมเครือสามารถปรับค่า EC และ pH ได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อช่วยในการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ระบบยังช่วยลดการสูญเสียทรัพยากร

Omer Mohamed Elhassan Ahmed et al. (2018) [18] ได้ศึกษาการออกแบบระบบให้ปุ๋ยอัตโนมัติโดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE) ทำได้และควบคุมโดยใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้นเมื่อความชื้นในดินลดลงต่ำกว่า 30% เปิดและปิดเมื่อถึง 70% (ข้อมูลที่ตั้งไว้ล่วงหน้าตามความต้องการของพืช) การควบคุมการปฏิสนธิเป็นกระบวนการปรับศักยภาพของไฮโดรเจน (pH) และค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC) ตามฐานข้อมูลที่ตั้งไว้ล่วงหน้าและด้วยเหตุนี้ความเป็นกรดและด่าง นอกจากนั้น โชนรากพืชยังถูกควบคุมตามต้องการ เมื่อนำระบบไปใช้ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำและปุ๋ย จึงช่วยประหยัดแรงงาน เวลา พลังงาน เพิ่มการผลิตและผลผลิต

T. Kaewwiset and T. Yooyativong (2017) [19] ได้ศึกษานี้คือการนำระบบ EC และ pH ควบคุมอัตโนมัติไปใช้ในอ่างเก็บน้ำ ระบบควบคุมอัตโนมัติทำงานเมื่อได้รับสัญญาณเอาต์พุตจากไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้สมการการปรับ EC และ pH ที่ใช้จากการถดถอยเชิงเส้น ทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบที่ใช้สมการการปรับค่า EC สามารถควบคุมความแม่นยำของ EC ได้มากกว่า 80.8% จากการทดลอง และสมการการปรับค่า pH สามารถควบคุมความถูกต้องของค่า pH ได้มากกว่า 95% จากการทดลอง

นภาพร จิตต์ศรีธาและพิบูลนุช นวลรัตน์ (2021) [4] ได้ศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของฟักทองปัตเตอร์นัทที่ปลูกในกระถางพลาสติกขนาด 15 นิ้ว โดยใช้ขุยมะพร้าวเป็นวัสดุปลูกและให้สารละลายไปพร้อมระบบน้ำหยด โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) มี 3 ตำรับการทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ ได้แก่ ระดับค่า EC 2.0, 2.5 และ 3.0 mS/cm เริ่มดำเนินการทดลองในเดือน

เมษายน-กรกฎาคม พ.ศ. 2563 จากการทดลองพบว่า ระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร ส่งผลต่อการเจริญเติบโตสูงที่สุด คือ $EC=2.5$ mS/cm ให้ความกว้างใบ และความยาวใบสูงที่สุด เท่ากับ 18.81 เซนติเมตร และ 18.14 เซนติเมตร ตามลำดับ และ $EC=3.0$ mS/cm ให้ความสูงต้น และขนาดลำต้นสูงที่สุด เท่ากับ 330.86 เซนติเมตร และ 13.75 มิลลิเมตร ตามลำดับ และผลผลิตสูงที่สุด คือ $EC=3.0$ mS/cm ให้ความหนาเนื้อ น้ำหนักผล และน้ำหนักผลรวมสูงที่สุด เท่ากับ 6.02 มิลลิเมตร, 498.06 กรัม และ 1,494 กรัม ตามลำดับ ดังนั้นการปลูกผักทองปัตเตอร์นัท ควรปลูกที่ ระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารในช่วง EC 2.5-3.0 mS/cm ซึ่งให้ผลการเจริญเติบโตของ ต้นผักทองปัตเตอร์นัทที่ดีที่สุด

กฤษฎา หงษ์ทองและศิวาพร ธรรมดี (2010) [5] ได้ศึกษาผลของระดับความเข้มข้นของ สารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของแตงกวาญี่ปุ่นในวัสดุปลูกไร้ดินในเขตศูนย์ พัฒนาโครงการหลวงห้วยลึก โดยดำเนินงานระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2553 วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ Randomized Completely Block Design (RCBD) ประกอบด้วย 4 กรรมวิธี 4 ซ้ำ (26 ต้นต่อซ้ำ) โดยให้ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร เทียบเป็นค่า Electro-conductivity (EC) เมื่อเข้าสู่ระยะติดผลเป็น 4 ระดับ คือ 1.0, 2.0, 2.5 หรือ 3.0 mS/cm พบว่า การให้สารละลายธาตุอาหารที่ EC เท่ากับ 3.0 mS/cm มีค่าเฉลี่ยของผลผลิต แตงกวาที่ขายได้และผลผลิตเกรด 1 ไม่แตกต่างจากที่ EC เท่ากับ 2.5 และ 2.0 mS/cm แต่มากกว่าที่ EC เท่ากับ 1.0 mS/cm ส่วนของการเจริญเติบโตนั้น ความยาวของใบของแตงกวาญี่ปุ่นที่ได้รับ สารละลายธาตุอาหารที่ EC เท่ากับ 2.5 mS/cm มีค่ามากกว่ากรรมวิธีอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ

Madanu Parimala et al. (2021) [20] ได้ทำการศึกษาในอินเดียวการวิเคราะห์เฟรมเวิร์ค ระบบน้ำหยดและระบบน้ำสปริงเกลอร์ที่ให้อุปห้หมักในการเพาะปลูก การให้อุปช่วยให้อาหารในปริมาณที่พอเหมาะและสม่ำเสมอ ซึ่งจะทำให้พืชได้รับน้ำและอาหารเสริมตามข้อกำหนด เบื้องต้นทั้งหมด เป็นกุญแจสำคัญสำหรับผลตอบแทนที่สูงขึ้นและเพิ่มคุณภาพผลผลิต

Shah Abd Hafiz Zainal Abidin and S. Noorjannah Ibrahim (2015) ได้ศึกษาการนำ IoT ไปใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการตรวจสอบระบบการให้อุปอัตโนมัติ ระบบตรวจสอบประกอบด้วยระบบบนเว็บ ระบบให้อุปอัตโนมัติ และเครือข่ายการสื่อสาร จุดสนใจ หลักของบทความนี้อยู่ที่ระบบบนเว็บที่ใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูล SQLite ใน web-GUI เพื่อแสดง

พารามิเตอร์ต่างๆ เช่น สถานะระดับน้ำ สภาพการไหลของวาล์วและท่อ ตลอดจนภาพรวม การทำงานของระบบให้ปุ๋ยอัตโนมัติ วิธีการของเราใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ในการจัดการฐานข้อมูล เว็บ GUI และควบคุมการสื่อสารระหว่างระบบการให้ปุ๋ยกับระบบบนเว็บ ระบบนี้จะช่วยให้เกษตรกรสามารถจัดการระบบให้ปุ๋ยอัตโนมัติได้เสมือนจริงโดยใช้อุปกรณ์เคลื่อนที่

J. E Mohd Salih et al. (2012) [22] ได้ศึกษาการผลิตผักและผลไม้ในประเทศมาเลเซียโดยใช้วิธีการให้ปุ๋ยมีการเติบโตอย่างรวดเร็ว การให้ปุ๋ยช่วยให้เกษตรกรส่งปริมาณสารอาหารและความเข้มข้นที่เพียงพอโดยอัตโนมัติผ่านการชลประทานแบบหยดไปยังพื้นที่รากที่กระฉับกระเฉงของพืชตลอดฤดูปลูก ตามธรรมเนียมแล้ว ตัวจับเวลาแบบดิจิทัลที่ตั้งไว้ล่วงหน้าสามตัวจะถูกใช้เพื่อเปิด/ปิดหัวฉีดและปั๊มชลประทานสำหรับการผสมปุ๋ยและการตั้งค่าความถี่ของการชลประทานรายวัน คุณภาพของระดับสารละลายสารอาหารจะถูกตรวจสอบด้วยตนเองโดยใช้เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC) เพื่อกำหนดคุณภาพของสารละลายธาตุอาหาร โครงการนี้ได้รับการพัฒนาและทดสอบเพื่อจัดหาโซลูชันต้นทุนต่ำสำหรับการควบคุมการผสมปุ๋ยและการชลประทานที่แม่นยำแก่เกษตรกรในท้องถิ่น ค่า EC ที่กำหนดไว้ล่วงหน้าจะถูกใช้เป็นอินพุตเดียวที่ควบคุมกระบวนการอัตโนมัติทั้งหมดในการเพาะปลูก cucumis melo L. โดยใช้ระบบการให้ปุ๋ย ระบบที่พัฒนาขึ้นซึ่งขับเคลื่อนโดยระบบพลังงานแสงอาทิตย์โดยสิ้นเชิง และทดสอบประสิทธิภาพเพื่อควบคุมกระบวนการผสมสารอาหารและการฉีดสารละลายธาตุอาหารตามอัตราการเจริญเติบโตของพืช และในขณะเดียวกันก็ตรวจสอบพารามิเตอร์สำคัญทั้งหมดในระบบการให้ปุ๋ย

Sumran Chaikhamwang et al. (2021) [23] ได้ศึกษาออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมปุ๋ยโดยใช้ Internet of Things และพัฒนาแอปพลิเคชันควบคุมเครื่องผสมปุ๋ยโดยใช้แอปพลิเคชันมือถือ ผลการศึกษาพบว่าเครื่องผสมปุ๋ยที่ใช้เทคโนโลยี IoT และผสมกับแอปพลิเคชันผ่านสมาร์ตโฟนงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ 1. ฮาร์ดแวร์ 2. ซอฟต์แวร์ ฮาร์ดแวร์ที่ใช้แพลตฟอร์ม ESP32S สำหรับอุปกรณ์ควบคุมและแอปพลิเคชันผู้ใช้สามารถผสมปุ๋ยตามสูตรที่ต้องการด้วยโปรแกรมที่ทำงานบนสมาร์ตโฟนคำนวณสูตร N-P-K เพื่อให้ได้ปุ๋ยผสมตามน้ำหนักของปุ๋ย ผู้ใช้สามารถกำหนดตารางเวลาสำหรับเครื่องผสมปุ๋ยได้ 2 วิธี คือ 1. เครื่องผสมปุ๋ยทันที 2. กำหนดวันเวลาในการผสมปุ๋ย ผู้ใช้ยังสามารถเลือกรูปแบบการผสมได้ 2 รูปแบบ 1. เลือกตามสูตรที่แนะนำหรือสูตรที่บันทึกไว้ (โดยเลือกจากชื่อพืชและอายุพืช) 2. โดยกำหนดค่า NPK เช่น 16-20-0 หรือ 15-15-15 เป็นต้น ผลการ

ผสมปุ๋ยอัตโนมัติพบว่าเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติสามารถทำงานตามกำลังการผลิตที่กำหนดได้อย่างมีประสิทธิภาพและความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักปุ๋ยจากเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติเท่ากับ 7% ของน้ำหนักรวมที่ต้องการ

D Hamidin et al. (2019) [24] ได้ออกแบบระบบการใส่ปุ๋ยอัตโนมัติในระบบไฮโดรโปนิคส์ ระบบไม่เพียงแต่เพื่อให้แน่ใจว่าการทำงานทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์เท่านั้น แต่ยังรวมถึงการใช้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการทดสอบเพื่อพิสูจน์ว่า Hydroponic ทำได้จะดำเนินการ การทดสอบเชิงสำรวจ เพื่อทดสอบความสามารถในการใช้งานและความถูกต้องของเครื่องมืออัญญาฉลาดในการปลูกผักในระบบการปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์ ผลลัพธ์ของไฟล์การวิจัยคือ Internet of Things Hydroponic อาจยังไม่สามารถนำไปใช้กับกิจกรรมกลางแจ้งได้สิ่งแวดล้อมจำเป็นต้องมีการออกแบบ Hydroponic ใหม่สำหรับการใช้งานกลางแจ้งรวมถึงการสร้างด้วย ปรับตัวให้เข้ากับการควบคุมอุณหภูมิและอากาศได้มากขึ้น

Crisnapati et al. (2017) [25] ได้สร้างระบบตรวจสอบไฮโดรโปนิคส์และระบบอัตโนมัติที่สามารถตรวจสอบโดยใช้เซ็นเซอร์ที่เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno, โมดูล Wi-Fi ESP8266 และไมโครคอมพิวเตอร์ Raspberry Pi 2 Model B เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ด้วยแนวคิด Internet of Things ซึ่งการทำฟาร์มไฮโดรโปนิคส์แต่ละบล็อกสามารถสื่อสารกันได้ กับเว็บเซิร์ฟเวอร์ (นายหน้า) เว็บที่ใช้เป็นอินเทอร์เน็ตเฟสของระบบที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบและควบคุมการทำฟาร์มไฮโดรโปนิคส์ NFT ระบบการจัดการเว็บอินเทอร์เน็ตเฟส NFT hydroponic โดยใช้เว็บเฟรมเวิร์กที่ตอบสนองเช่น Bootstrap สำหรับไลบรารีฟรอนต์เอนด์ JQuery และ JavaScript ผลปรากฏว่าระบบนี้ช่วยให้เกษตรกรเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการติดตามและควบคุม NFT Hydroponic Farm

Mehra et al. (2018) [26] ได้เสนอให้พัฒนาระบบไฮโดรโปนิคส์ที่ใช้ IoT อัจฉริยะโดยใช้ Deep Neural Networks ซึ่งเป็นครั้งแรกในประเภทนี้ ระบบที่พัฒนาขึ้นมีความชาญฉลาดเพียงพอในการจัดเตรียมการดำเนินการควบคุมที่เหมาะสมสำหรับสภาพแวดล้อมแบบไฮโดรโปนิคส์โดยพิจารณาจากพารามิเตอร์อินพุตหลายตัวที่รวบรวม ต้นแบบสำหรับการเจริญเติบโตของพืชมะเขือเทศเป็นกรณีศึกษาได้รับการพัฒนาโดยใช้ Arduino, Raspberry Pi3 และ Tensor Flow

M.F.Saaid et al. (2020) [27] นำเสนอเครื่องผสมปุ๋ยอัตโนมัติ สำหรับระบบการเพาะปลูก โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ วัตถุประสงค์ของโครงการนี้คือการศึกษาศักยภาพของระบบในการ

ผสมวัตถุดิบของปุ๋ยเป็นปุ๋ยชุด A หรือชุด B โดยใช้ระบบต้นทุนต่ำ ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino, LCD, ปุ่มกดและมอเตอร์ที่ใช้ในการสั่งงานระบบสำหรับแยกไฟล์วัตถุดิบและผสมเพื่อสร้างผลลัพธ์ของปุ๋ยสารผสม ผลการผสมขั้นสุดท้ายเรียกว่าจำนวนวัตถุดิบที่บันทึกไว้สำหรับระดับน้ำที่ระบุโดยยึดมั่นในสูตรที่กำหนด หลังจากทดลองมาหลายครั้งเทคนิคนี้ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพแยกและผสมปุ๋ย ส่วนผสมถูกผสมเรียบร้อยแล้วและสูตรที่กำหนดคือปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด การรวมกันได้รับการผสมกับระดับต่ำเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของข้อผิดพลาดโดยแยกโดยใช้สิ่งนี้ที่พัฒนาขึ้นระบบ การทำงานโดยรวมของระบบเป็นไปตามวัตถุประสงค์



บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยเรื่องการออกแบบและทดสอบระบบควบคุมการให้สารละลายธาตุอาหาร สำหรับการปลูกพืชไร้ดิน จากการวิเคราะห์ปัญหาและศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้นำเสนอไปใน บทที่ 1 และ บทที่ 2 แล้วนั้น เพื่อให้การดำเนินงานวิจัยเป็นตามขอบเขตและแผนงานที่กำหนดไว้ ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอการออกแบบระบบควบคุมเพื่อใช้ในการทดสอบสำหรับการทดลองจริง และขั้นตอนวิธีการทดลอง โดยมีรายละเอียด ดังนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 3.1.1 ศึกษาอุปกรณ์และสอบเทียบอุปกรณ์ก่อนนำมาทำการทดลอง
- 3.1.2 ออกแบบระบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาอัตราส่วนในการผสม
- 3.1.3 การออกแบบสร้างระบบควบคุม

3.1.1 ศึกษาอุปกรณ์และสอบเทียบอุปกรณ์

1. อุปกรณ์

- เครื่องวัดค่าความนำไฟฟ้า (EC meter) ใช้วัดค่า EC ของระบบ
- เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ใช้วัดค่า PH ของระบบ
- บีกเกอร์ ใช้ตวงปริมาณของเหลวในระบบ

2. วัสดุเคมี

- ปุ๋ย AB สูตรตามท้องตลาด
- กรดไนตริกเจือจาง
- โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์

พนัน ปณ ทิโต ชเว

- สารละลายบัฟเฟอร์ค่าพีเอช 4.01, 6.86, 9.18

- สารละลายค่าความนำไฟฟ้า 1413

3.วิธีการสอบเทียบเซนเซอร์วัดค่าความนำไฟฟ้าและค่าพีเอช

การทดลองที่ 1 การสอบเทียบเซนเซอร์วัดค่าพีเอช

การสอบเทียบค่าพีเอช นำเซนเซอร์วัดค่าพีเอชไปจุ่มในสารละลายบัฟเฟอร์ค่าพีเอช 4.01, 6.86, 9.18

ทำการสอบเทียบแต่ละค่า ค่าละ 20 ครั้ง โดยแต่ละครั้งก่อนนำจุ่มลงสารละลายบัฟเฟอร์ค่าพีเอช 4.01, 6.86, 9.18 ในครั้งถัดไปต้องทำความสะอาดหัววัดทุกครั้งด้วยน้ำกลั่น

ตาราง 3.1 ตารางการสอบเทียบค่า pH

ค่าแรงดันไฟฟ้า (V)	pH Buffer Powder	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10
3.04	4.01	4.1	4.1	4.12	4.1	4.1	4.1	4.15	4.1	4.1	4.1
2.54	6.86	6.88	6.88	6.88	6.88	6.91	6.88	6.88	6.88	6.88	6.88
2.14	9.18	9.14	9.14	9.14	9.14	9.17	9.14	9.14	9.14	9.14	9.14

ตาราง 3.1 ตารางการสอบเทียบค่า pH (ต่อ)

ค่าแรงดันไฟฟ้า (V)	pH Buffer Powder	ครั้งที่ 11	ครั้งที่ 12	ครั้งที่ 13	ครั้งที่ 14	ครั้งที่ 15	ครั้งที่ 16	ครั้งที่ 17	ครั้งที่ 18	ครั้งที่ 19	ครั้งที่ 20
3.04	4.01	4.1	4.1	4.12	4.1	4.1	4.1	4.15	4.1	4.1	4.1
2.54	6.86	6.88	6.88	6.88	6.88	6.91	6.88	6.88	6.88	6.88	6.88
2.14	9.18	9.14	9.14	9.14	9.14	9.17	9.14	9.14	9.14	9.14	9.14

การทดลองที่ 2 การสอบเทียบเซนเซอร์วัดค่าความนำไฟฟ้า

การสอบเทียบค่าความนำไฟฟ้า นำเซนเซอร์ของผู้จัดทำ Electrical Conductivity Sensor Arduino ไปจุ่มในสารละลายค่าความนำไฟฟ้า เทียบกับเซนเซอร์ PCTestr35 Multi-Parameter ทำการสอบเทียบ 20 ครั้ง ครั้งละ 1 ค่า โดยแต่ละครั้งก่อนนำจุ่มลงสารละลายค่าความนำไฟฟ้าในครั้งถัดไปต้องทำความสะอาดหัววัดทุกครั้งด้วยน้ำกลั่น

ตาราง 3.2 การสอบเทียบเซนเซอร์วัดค่าความนำไฟฟ้า

จำนวนครั้ง เซ็นเซอร์	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10
PCTestr 35 Multi- Parameter	0.435	0.594	0.746	0.897	1.04	1.186	1.324	1.416	1.596	1.718
Electrical Conductivity Sensor Arduino	0.42	0.54	0.75	0.86	1.03	1.15	1.29	1.38	1.52	1.74

ตาราง 3.2 การสอบเทียบเซนเซอร์วัดค่าความนำไฟฟ้า (ต่อ)

จำนวนครั้ง เซ็นเซอร์	ครั้งที่ 11	ครั้งที่ 12	ครั้งที่ 13	ครั้งที่ 14	ครั้งที่ 15	ครั้งที่ 16	ครั้งที่ 17	ครั้งที่ 18	ครั้งที่ 19	ครั้งที่ 20
PCTestr 35 Multi- Parameter	1.846	2	2.14	2.27	2.4	2.53	2.66	2.78	2.89	3.02
Electrical Conductivity Sensor Arduino	1.83	1.98	2.1	2.22	2.41	2.49	2.6	2.73	2.85	3.04

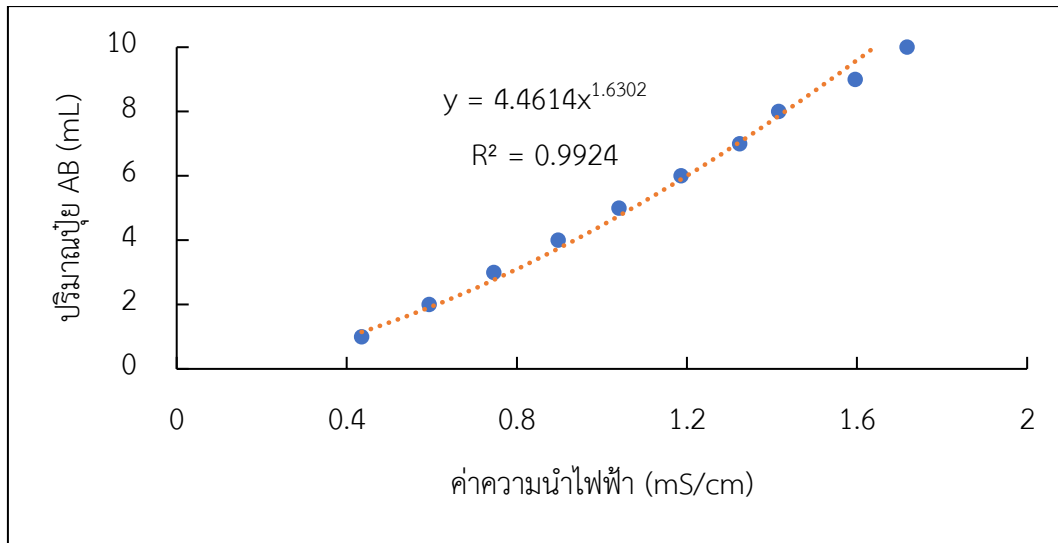
3.1.2 ออกแบบระบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหารอัตราส่วนในการผสม

การทดลองการหาค่าความสัมพันธ์ของค่าความนำไฟฟ้าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณปุ๋ย AB โดยให้ปุ๋ย AB 1 ml 10 ครั้ง ลงในการผสมที่ 1 L เพื่อหาสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการกำหนดปริมาณอัตราส่วนของการผสม

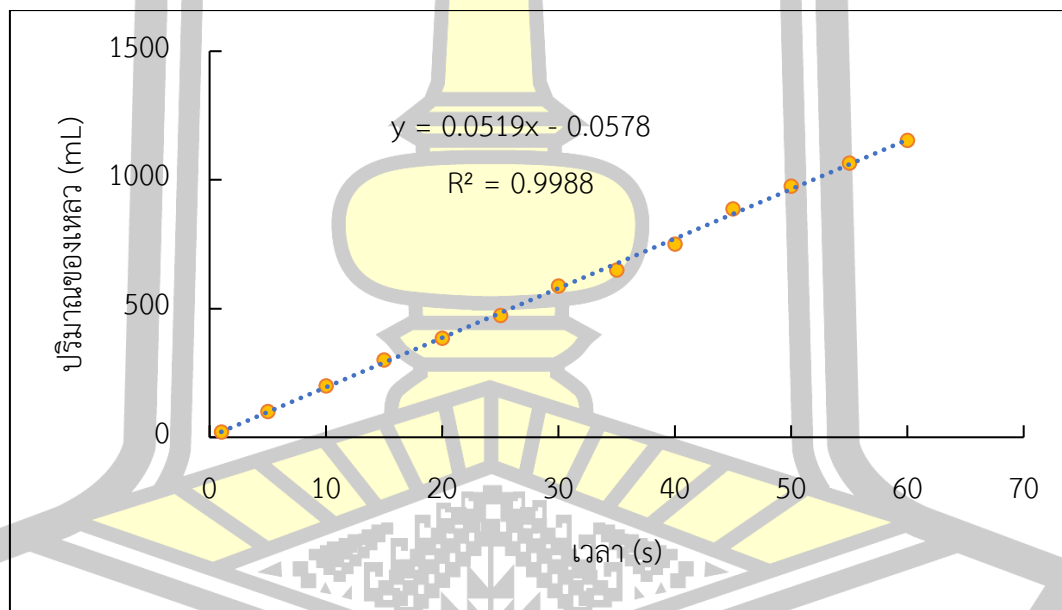
ตาราง 3.3 การทดลองหาค่าความสัมพันธ์ของค่าความนำไฟฟ้าเมื่อเพิ่มปริมาณปุ๋ย AB

ค่าความนำไฟฟ้า (mS/cm)	ปริมาณปุ๋ย AB (mL)
0.435	1
0.594	2
0.746	3
0.897	4
1.04	5
1.186	6
1.324	7
1.416	8
1.596	9
1.718	10

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปหาค่าความสัมพันธ์ปริมาณปุ๋ย AB ที่มีผลต่อค่าความนำไฟฟ้าในการผสมที่ปริมาณน้ำ 1 ลิตร ด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นจากการประมาณค่าของสมการยกกำลังเชิงเส้นเพื่อนำค่าความสัมพันธ์ไปหาปริมาณปุ๋ย AB ในการผสมให้ได้ค่าความนำไฟฟ้าและปริมาณการผสมตามที่ต้องการ



ภาพประกอบ 3.1 การประมาณค่าของสมการยกกำลังเชิงเส้น



ภาพประกอบ 3.2 ค่าความสัมพันธ์ของการกำหนดเวลาในการปล่อยปริมาณของเหลว

จากภาพประกอบ 3.1 เป็นการหาค่าความสัมพันธ์ของสมการประมาณค่ายกกำลังเชิงเส้นในการหาค่าความสัมพันธ์ของการกำหนดปริมาณปุ๋ย AB และ ภาพประกอบ 3.2 เป็นการหาค่าความสัมพันธ์ของการกำหนดเวลาในการปล่อยปริมาณของเหลว นำมาสู่ขั้นตอนการหาสมการความสัมพันธ์ที่ใช้ในการควบคุมระบบ ดังสมการ 3.1 และ 3.2

$$EC_{\text{required}} = 4.4614EC_{\text{set}}^{1.6302} \quad (3.1)$$

EC_{set} = ช่วงค่าความนำไฟฟ้าที่ต้องการผสม

$$EC_{\text{time}} = (0.0519 \times EC_{\text{required}}) - 0.0578 \times V \quad (3.2)$$

EC_{time} = ช่วงเวลาในการทำงานของปั๊ม

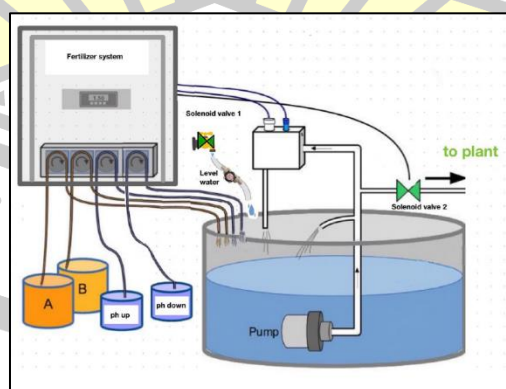
V = ปริมาณน้ำในการผสม

3.1.3 การออกแบบและสร้างระบบควบคุม

ในการสร้างระบบจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นการสร้างฮาร์ดแวร์ของระบบและส่วนที่เป็นการออกแบบวงจรควบคุม

- การสร้างฮาร์ดแวร์ของระบบ

ในการออกแบบฮาร์ดแวร์ของระบบควบคุมการให้สารละลายธาตุอาหารได้มีการออกแบบในส่วนที่เป็นบ่อวัดแยกออกมา เนื่องจากระบบเป็นแค่การผสมสารละลายธาตุอาหารเท่านั้น จึงไม่จำเป็นต้องมีการแช่หัวโพรบของเซ็นเซอร์ไว้ในสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลา เมื่อมีการเลือกค่าความนำไฟฟ้าที่ต้องการผสม ระบบจะทำการผสม ผสมได้สัก 5 นาที ปั๊มดูดสารละลายธาตุอาหารจะดูดออกจากบ่อผสมไปยังบ่อวัดเพื่อวัดค่าความนำไฟฟ้าว่าได้ตามที่ต้องการแล้วก็ถือว่าการผสมเสร็จเรียบร้อยแล้ว



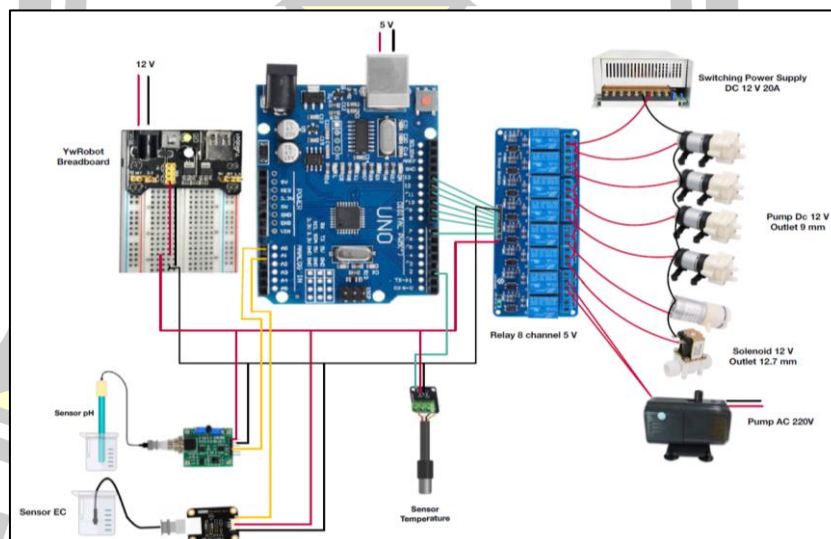
ภาพประกอบ 3.3 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของระบบควบคุมการให้สารละลายธาตุอาหาร

- การออกแบบวงจรควบคุม

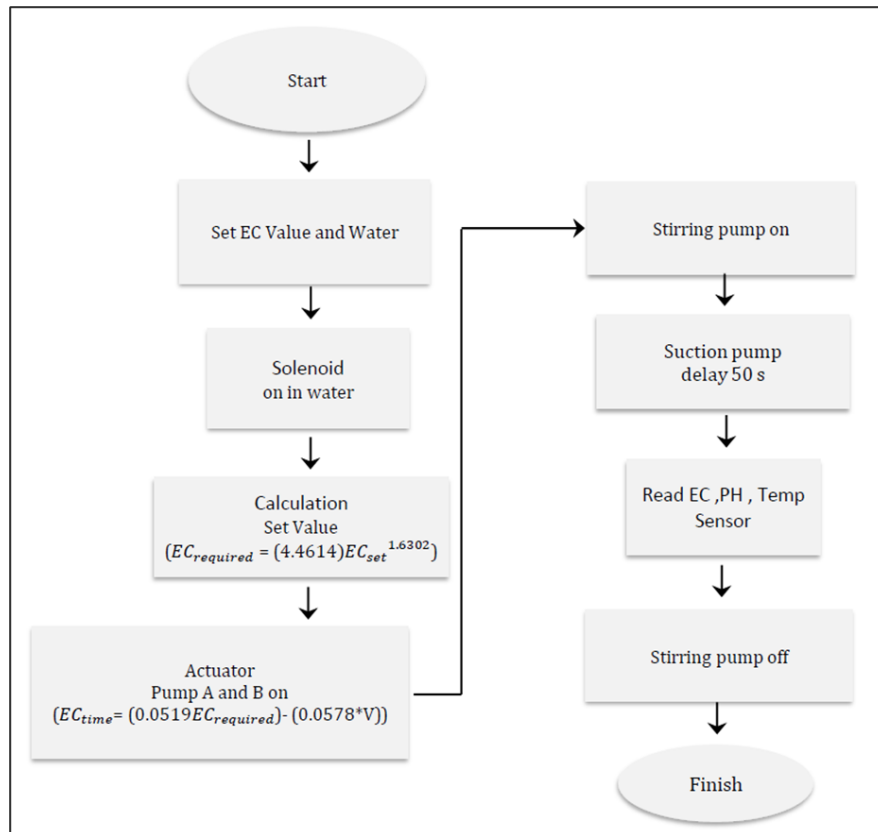
ในส่วนที่เป็นตัวควบคุมระบบเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 ในการควบคุมระบบ เนื่องจากในระบบใช้สัญญาณในการสื่อสารที่เป็น analog และ digital ค่อยข้างเยอะ Arduino UNO R3 มี port analog และ digital เยอะ จึงมีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ควบคุมระบบ

ตาราง 3.4 จำนวนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสาร

อุปกรณ์ที่ใช้	Port สื่อสาร	จำนวนช่อง
Sensor pH รุ่น PH-4502C	Analog	1
Sensor EC	Analog	1
Sensor Temperature รุ่น DS18B20	Digital	1
Relay 8 channel 5V	Digital	8



ภาพประกอบ 3.4 การออกแบบวงจรควบคุม



ภาพประกอบ 3.5 แผนผังการทำงานของระบบ

3.2 เก็บผลการทดสอบ

ในการทดสอบระบบจะทำการเก็บผลในส่วนของการทดลองระบบ เพื่อพิสูจน์สมการที่ได้มาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยกำหนดการทดสอบระบบอยู่ที่ค่าความนำไฟฟ้าตั้งแต่ 1.5-2.3 mS/cm เพราะเป็นค่าที่นิยมใช้ปลูกพืชมากที่สุด และปริมาณการผสมที่ 10 ลิตร และ 50 ลิตร เพื่อให้เห็นถึงค่าความแตกต่างในปริมาณการผสม

พูนุ ปณุ ทิโต ชีเว

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปราย

การดำเนินการวิจัยเรื่องการออกแบบและทดสอบระบบควบคุมการให้สารละลายธาตุอาหาร สำหรับการปลูกพืชไร้ดิน จากที่ได้กล่าวนำเสนอไปในบทที่ 3 การดำเนินงานวิจัยเพื่อให้เป็นไปตามขอบเขตและแผนงานที่กำหนดไว้ ในบทนี้จะเป็นการเก็บผลการทดสอบระบบควบคุมการให้สารละลายธาตุอาหารที่ได้จากสมการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4.1 ผลการทดสอบระบบ

โดยผลการทดสอบของระบบได้มาจากสมการของจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จาก

- การหาความสัมพันธ์ปริมาณปุ๋ย AB ที่มีผลต่อค่าความนำไฟฟ้าในการผสมที่ปริมาณน้ำ 1 ลิตร เพื่อนำสมการที่ได้ไปกำหนดอัตราส่วนของการผสมปุ๋ย AB ให้ได้ค่าความนำไฟฟ้าตามที่ต้องการ
- การหาความสัมพันธ์ของการกำหนดเวลาในการปล่อยปริมาณของเหลว เพื่อกำหนดเวลาในการปล่อยสารละลายธาตุอาหารตามปริมาณที่ได้จากสมการความสัมพันธ์การกำหนดอัตราส่วน
- การทดสอบระบบควบคุมการให้สารละลายธาตุอาหาร (ปุ๋ย AB) ในปริมาณการผสมที่ 10 และ 50 ลิตร โดยจะตั้งค่าความนำไฟฟ้าที่ต้องการ (EC desired value) ในแต่ละครั้ง คือ 1.5, 1.7, 1.8, 1.9, 2.1, 2.3 ซึ่งในแต่ละค่าจะทำการทดสอบ 3 ครั้ง และหาค่าความแตกต่าง (Difference value) ,ค่าความผิดพลาด (%Error), เวลาที่ระบบใช้ในการปล่อยปุ๋ย AB ลงบ่อผสม, พร้อมทั้งวัดค่า pH เพื่อดูแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของค่า pH เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความนำไฟฟ้า

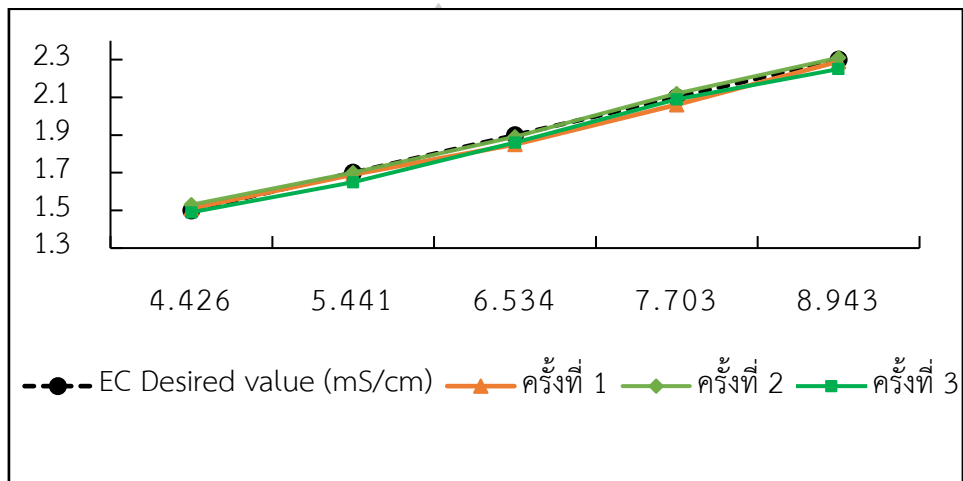
ตาราง 4.1 ผลการทดสอบระบบการผสมสารละลายธาตุอาหารที่ปริมาณ 10 ลิตร

ปริมาณการผสม 10 ลิตร							
EC Desired value (mS/cm)	EC Measured value mS/cm			EC Difference value (mS/cm)	%Error	Time (s)	pH value
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3				
1.5	1.51	1.53	1.49	0.01	0.66	4.426	6.6
1.7	1.69	1.7	1.65	-0.02	1.17	5.441	6.6
1.9	1.85	1.89	1.86	-0.03	1.75	6.534	6.6
2.1	2.06	2.12	2.09	-0.01	0.47	7.703	6.6
2.3	2.29	2.31	2.25	-0.01	0.72	8.943	6.6

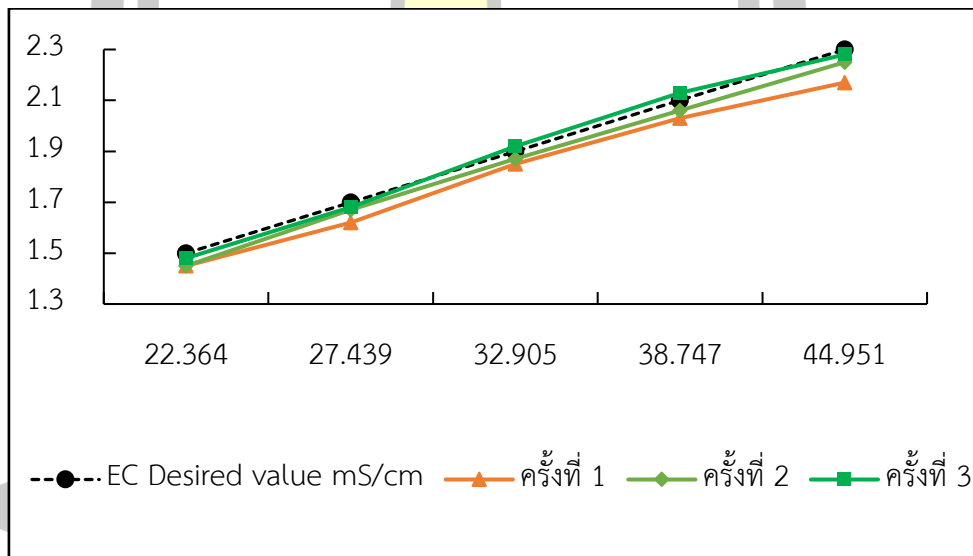
ตาราง 4.2 ผลการทดสอบระบบการผสมสารละลายธาตุอาหารที่ปริมาณ 50 ลิตร

ปริมาณการผสม 50 ลิตร							
EC Desired value (mS/cm)	EC Measured value mS/cm			EC Difference value (mS/cm)	%Error	Time (s)	pH value
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3				
1.5	1.45	1.45	1.48	-0.04	2.66	22.364	6.6
1.7	1.62	1.67	1.68	-0.04	2.54	27.439	6.6
1.9	1.85	1.87	1.92	-0.02	1.05	32.905	6.6
2.1	2.03	2.06	2.13	-0.02	1.26	38.747	6.6
2.3	2.17	2.25	2.28	-0.06	2.89	44.951	6.6

จากตาราง 4.1 และ 4.2 นำผลที่ได้จากตารางมาสร้างกราฟเพื่อให้เห็นแนวโน้มของความผิดพลาดในการผสมในปริมาณการผสม 10, 50 ลิตร โดยนำค่าความนำไฟฟ้า ที่วัดได้ในทั้ง 3 ครั้ง มาสร้างกราฟ



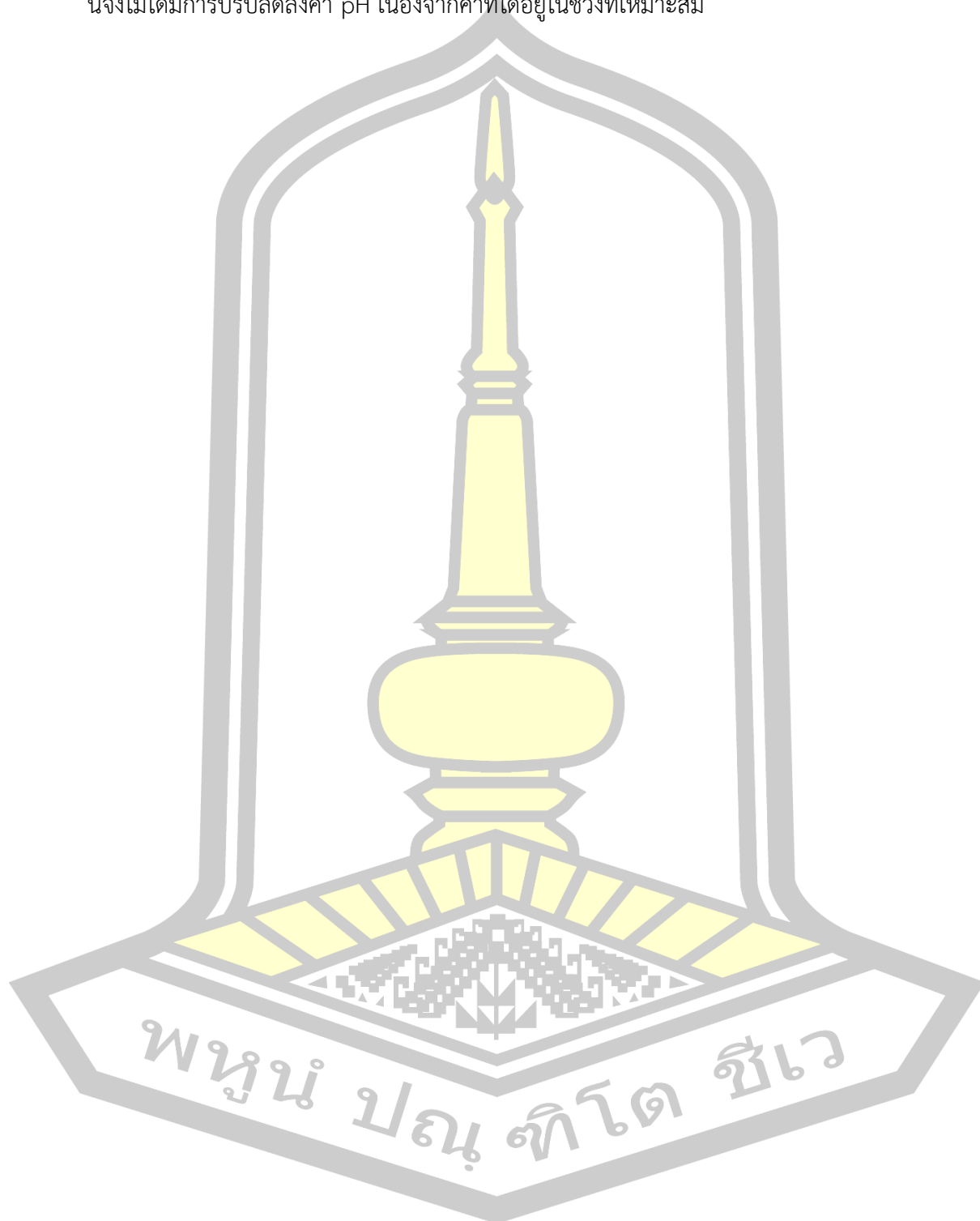
ภาพประกอบ 4.1 กราฟแนวโน้มผลการทดสอบการผสมสารละลายธาตุอาหาร 10 ลิตร



ภาพประกอบ 4.2 กราฟแนวโน้มผลการทดสอบการผสมสารละลายธาตุอาหาร 50 ลิตร

ผลการทดสอบโดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นสามารถหาค่าความนำไฟฟ้าตามที่ต้องการ โดยทดสอบในช่วง 1.5, 1.7, 1.9, 2.1, 2.3 mS/cm ในปริมาณน้ำ 10 ลิตร และ 50 ลิตร โดยที่การทดสอบที่ปริมาณการผสมที่ 10 ลิตร มีค่าความผิดพลาดสูงสุดอยู่ที่ 1.75 % และ 50 ลิตร มีค่า

ความผิดพลาดสูงสุด 2.89 % ส่วนค่า pH พบว่า ค่าความนำไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปไม่มีผลต่อค่า pH ระบบ
นี้จึงไม่ได้มีการปรับลดค่า pH เนื่องจากค่าที่ได้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

การออกแบบระบบควบคุมการให้สารละลายธาตุอาหารสำหรับการใช้ในการปลูกพืชไร้ดินที่ใช้วัสดุปลูก แทนการใช้น้ำเป็นสื่อกลางในการปลูก โดยไม่ได้มุ่งเน้นไปที่การควบคุมการรักษาภาวะแวดล้อมของระบบให้อยู่ในค่าที่ต้องการ แต่เพียงแต่ออกแบบการควบคุมการผสมปุ๋ย AB สำหรับการปลูกพืชที่ใช้วัสดุปลูกและมีลักษณะการให้ปุ๋ยแบบการรดน้ำและให้ไปในระบบน้ำ โดยมีการออกแบบอย่างง่ายในการหาค่าความสัมพันธ์ การถดถอยเชิงเส้นการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการควบคุมควบคุมระบบ โดยไม่จำเป็นต้องเป็นผู้ที่มีความรู้หรือประสบการณ์ในการปรับตั้งค่าของระบบควบคุมและออกแบบกฎหรือเงื่อนไขในการควบคุมการผสมปุ๋ยให้ได้ค่าความนำไฟฟ้าได้ตามที่ต้องการ โดยมีวิธีการดำเนินการ 3 วิธีการหลักๆ ดังนี้

- 1.การทดลองหาสมการควบคุมระบบด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
- 2.สอบเทียบอุปกรณ์
- 3.ทดสอบระบบที่ได้ออกแบบไว้

5.1.1 การทดลองหาสมการควบคุมระบบด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การทดลองหาค่าความสัมพันธ์ปริมาณปุ๋ย AB ที่มีผลต่อค่าความนำไฟฟ้าในการผสมที่ปริมาณน้ำ 1 L ด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นจากการประมาณค่าของสมการยกกำลังเชิงเส้น เพื่อนำค่าความสัมพันธ์ไปหาปริมาณปุ๋ย AB ในการผสมให้ได้ค่าความนำไฟฟ้าและปริมาณการผสมตามที่ต้องการ ก็จะได้สมการอัตราส่วนผสมมา 1 สมการ จากนั้นหาค่าความสัมพันธ์ของการกำหนดเวลาในการปล่อยปริมาณของเหลวเป็นสมการที่ 2 จะได้ 2 สมการออกมาเพื่อควบคุมระบบตามภาพประกอบ 3.3

5.1.2 สอบเทียบอุปกรณ์

ในทดสอบระบบจำเป็นต้องทำการสอบเทียบอุปกรณ์ก่อนนำมาใช้งานเพื่อให้ระบบมีความน่าเชื่อถือจากการเกิดข้อผิดพลาดจากอุปกรณ์ให้น้อยที่สุด โดยจะแบ่งการสอบเทียบออกเป็น 2 วิธี คือ สอบเทียบด้วย pH Buffer Powder และ สอบเทียบกับอุปกรณ์ที่มีความน่าเชื่อถือ

- สอบเทียบ pH Sensor ด้วย pH Buffer Powder มีค่าการสอบเทียบ 3 ค่า 4.01, 6.89, 9.14 ทำการสอบเทียบ 3 ค่า ค่าละ 20 ครั้ง ผลการสอบเทียบค่าความแม่นยำอยู่ที่ 99.59%

- สอบเทียบ Electrical Conductivity Sensor ด้วยการสอบเทียบกับเครื่องมือที่มีความน่าเชื่อถือ PCTestr35 Multi-Parameter ทำการสอบเทียบ 20 ครั้ง ครั้งละ 1 ค่า ผลการสอบเทียบค่าความแม่นยำอยู่ที่ 95.25%

5.1.3 ทดสอบระบบที่ได้ออกแบบไว้

จากที่ได้หาสมการของการควบคุมระบบแล้ว และกำหนดการทดสอบระบบอยู่ที่ค่าความนำไฟฟ้าตั้งแต่ 1.5-2.3 mS/cm เพราะเป็นค่าที่นิยมใช้ปลูกพืชมากที่สุด และปริมาณการผสมที่ 10 ลิตร และ 50 ลิตร เพื่อให้เห็นถึงค่าความแตกต่างในปริมาณการผสม ผลการทดสอบ ในช่วง 1.5-2.3 mS/cm ในปริมาณน้ำ 10 ลิตร และ 50 ลิตร โดยผลการทดสอบที่ปริมาณการผสม 10 ลิตร มีค่าความผิดพลาดสูงสุดอยู่ที่ 1.75 % และ 50 ลิตร มีค่าความผิดพลาดสูงสุดอยู่ที่ 2.89 % ซึ่งระบบที่ออกแบบสามารถผสมได้ทุกปริมาณและทุกค่าความนำไฟฟ้า ที่ได้จากค่าความสัมพันธ์ของสมการการหาปริมาณปุ๋ย AB ที่มีผลต่อค่าความนำไฟฟ้า $R^2 = 0.9924$ บ่งบอกถึงว่าค่าความสัมพันธ์ของการเพิ่มขึ้นของปริมาณปุ๋ย AB ที่มีผลต่อค่าความนำไฟฟ้าเป็นอย่างมาก

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. สามารถนำระบบการออกแบบการควบคุมการให้สารละลายธาตุอาหารสำหรับการปลูกพืชไร้ดิน ไปศึกษาต่อในส่วนที่ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง
2. พัฒนาต่อให้มีความทันสมัยสะดวกสบายมากยิ่งขึ้นด้วยการนำเอาแพลตฟอร์ม IoT เข้ามาควบคุมและเก็บข้อมูลของระบบ

บรรณานุกรม

- [1] ผศ.ดร.ธรรมศักดิ์ ทองเกต. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Soilless Culture). Available from: <http://www.eto.ku.ac.th/neweto/e-book/other/soliless%20plants.pdf>.
- [2] Fitria EY, Murti MA, Setianingsih C, editors. Design of Integrated Control System Based On IoT With Context Aware Method In Hydroponic Plants. 2021 IEEE International Conference on Industry 40, Artificial Intelligence, and Communications Technology (IAICT); 2021: IEEE.
- [3] Chen C-H, Jeng S-Y, Lin C-J. Fuzzy logic controller for automating electrical conductivity and pH in hydroponic cultivation. Applied Sciences. 2021;12(1):405.
- [4] ศรัทธา นภรจ, รัตน์ พนน. ผล ของ ระดับ ความ เข้มข้น สารละลาย ธาตุ อาหาร ที่ ส่ง ผล ต่อ การ เจริญ เติบโต และ ผลผลิต ของ พักทอง บั ต เตอร์ นั ท ใน ระบบ ปลูก พืช โดย ไม่ ใช้ ดิน. วารสาร เกษตร พระจอมเกล้า. 2021;39(4):257-63.
- [5] Hongthong K, Thumdee S. ผล ของ ความ เข้มข้น ของ ธาตุ อาหาร ต่อ การ เจริญ เติบโต และ ผลผลิต ของ แตงกวา ญี่ปุ่น ใน วัสดุ ปลูก ไร้ ดิน Effects of Nutrient Concentration on Growth and Development and Yield of Japanese Cucumber in Substrate Culture.
- [6] Hydroponic Urban Gardening Blog. Various hydroponics systems [\[https://www.hydroponic-urban-gardening.com/hydroponics-guide/various-hydroponics-systems/\]](https://www.hydroponic-urban-gardening.com/hydroponics-guide/various-hydroponics-systems/)
- [7] M-Group: Article. ทำไมเรียกผักไฮโดรโปนิคส์ [\[http://www.m-group.in.th/article\]](http://www.m-group.in.th/article)
- [8] Indoor Gi. รู้ไว้ไม่ตกเทรนด์ EP1. ตอน 6 วิธีการปลูกไฮโดรโปนิคส์ไร้สารพิษ [\[https://www.growshopthailand.com/article\]](https://www.growshopthailand.com/article)
- [9] วิภาพ ใจแข็ง. ระบบควบคุม. Available from: http://www.intech.crru.ac.th/research_ind/doc/52_dissemin_.
- [10] ผศ.ดร.พรจิต ประทุมสุวรรณ. การควบคุมแบบฟuzzyลอจิก.
- [11] วิกิพีเดียสารานุกรมเสรี. อิเล็กโทรไลต์ [สืบค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2564]. [\[https://th.wikipedia.org/wiki\]](https://th.wikipedia.org/wiki)
- [12] Acids and Bases tutorial. "สารละลายอิเล็กโทรไลต์" [สืบค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2564]. [\[https://sites.google.com/site/acidsandbasestutorial/acid\]](https://sites.google.com/site/acidsandbasestutorial/acid)
- [13] สมาร์ทฟาร์มตีไวยา. ค่า pH และค่า EC [สืบค้นเมื่อ 12 กุมภาพันธ์ 2564].

<http://www.smartfarmdiys.com/article/41/>

[14] The Invention. ทำความรู้จัก บอร์ด Arduino UNO R3 <https://www.ai-corporation.net/2021/11/19/arduino-uno-r3/>

[15] Nursyahid A, Helmy H, Karimah A, Setiawan T, editors. Nutrient Film Technique (NFT) hydroponic nutrition controlling system using linear regression method. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering; 2021: IOP Publishing.

[16] Phuphanphet K, Sa-Ngiamvibool W. Fertility Control System and pH Value for Hydroponics Cultivation: Maharakham University; 2019.

[17] Fuangthong M, Pramokchon P, editors. Automatic control of electrical conductivity and PH using fuzzy logic for hydroponics system. 2018 International Conference on Digital Arts, Media and Technology (ICDAMT); 2018: IEEE.

[18] Ahmed OME, Osman AA, Awadalkarim SD, editors. A design of an automated fertigation system using IoT. 2018 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCEEE); 2018: IEEE.

[19] Kaewwiset T, Yooyativong T, editors. Electrical conductivity and pH adjusting system for hydroponics by using linear regression. 2017 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON); 2017: IEEE.

[20] Parimala M, Rani MJ, Sai KB, Sunitha M, editors. IoT based Intelligent Fertigation through Drip Irrigation. 2021 Third International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks (ICICV); 2021: IEEE.

[21] Abidin SAHZ, Ibrahim SN, editors. Web-based monitoring of an automated fertigation system: An IoT application. 2015 IEEE 12th Malaysia International Conference on Communications (MICC); 2015: IEEE.

[22] Salih JM, Adom A, Shaakaf AM. Solar Powered automated fertigation control system for cucumis melo L. cultivation in green house. APCBEE procedia. 2012;4:79-87.

[23] Chaikhamwang S, Jantahajakowit C, Fongmanee S, editors. IoT for Smart Farm: A Case Study of the Fertilizer Mixer Prototype. 2021 Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunication Engineering; 2021: IEEE.

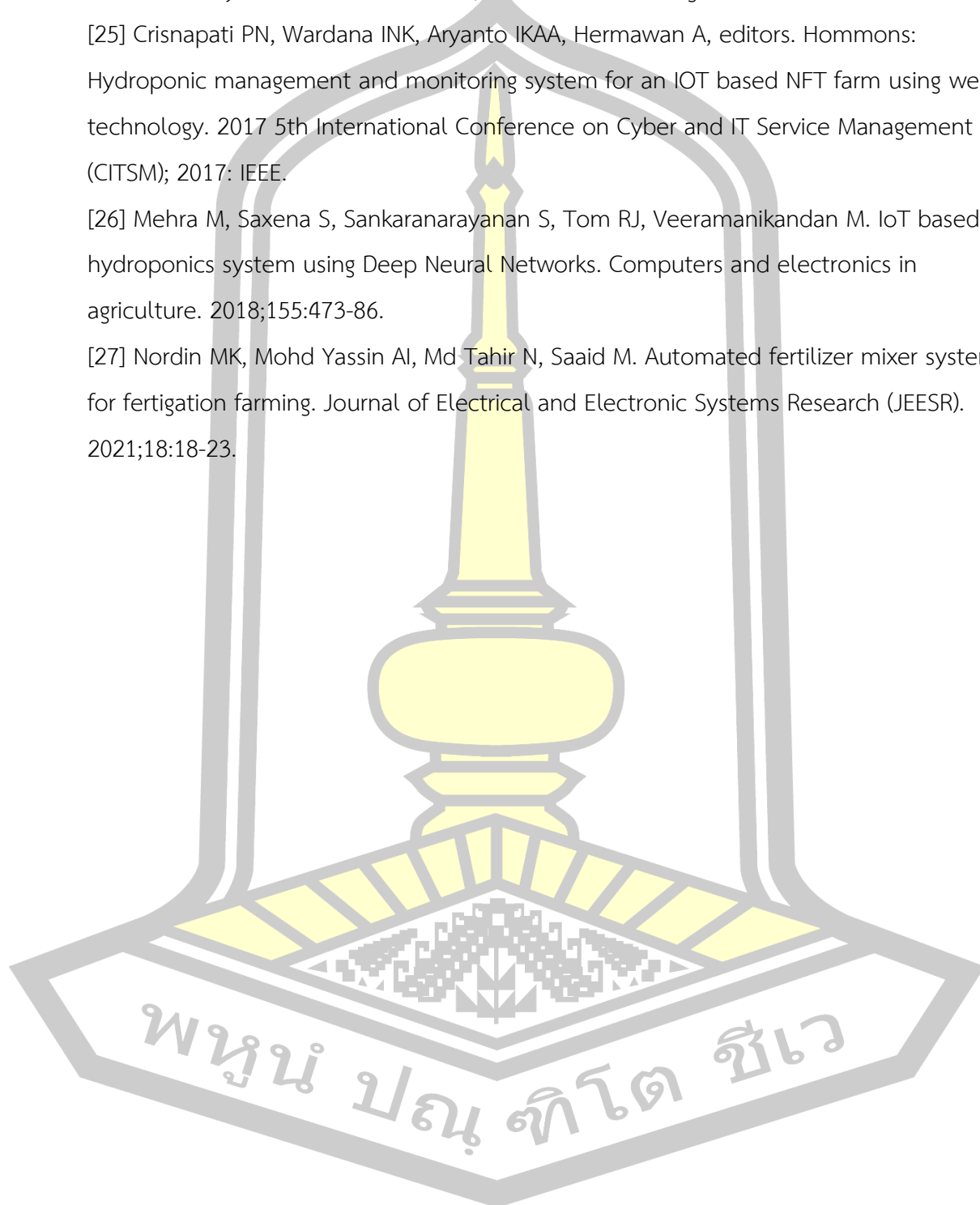
[24] Hamidin D, Fauzan M, Mulyati E, Suryana A, Muhammad E, editors. Exploratory

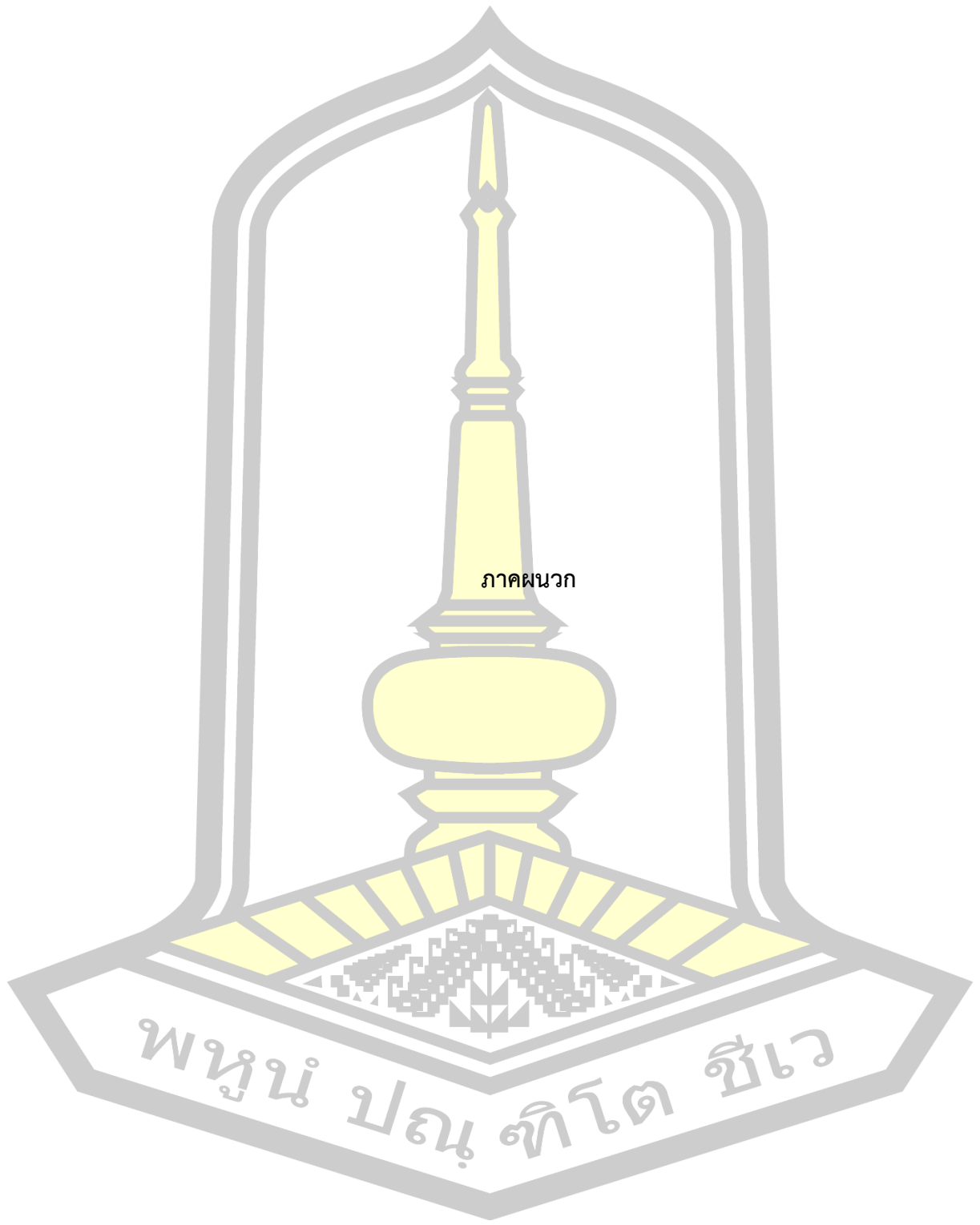
Testing for the Internet of Things in Smart Fertilizer Hydroponic System using Hydroponic. Journal of Physics: Conference Series; 2019: IOP Publishing.

[25] Crisnapati PN, Wardana INK, Aryanto IKAA, Hermawan A, editors. Hommons: Hydroponic management and monitoring system for an IOT based NFT farm using web technology. 2017 5th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM); 2017: IEEE.

[26] Mehra M, Saxena S, Sankaranarayanan S, Tom RJ, Veeramanikandan M. IoT based hydroponics system using Deep Neural Networks. Computers and electronics in agriculture. 2018;155:473-86.

[27] Nordin MK, Mohd Yassin AI, Md Tahir N, Saaid M. Automated fertilizer mixer system for fertigation farming. Journal of Electrical and Electronic Systems Research (JEESR). 2021;18:18-23.





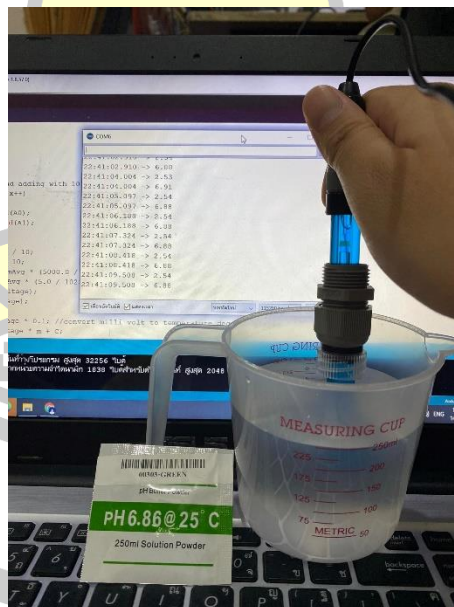
ภาคผนวก

พหุมนุ ปณ ทิโต ชีเว

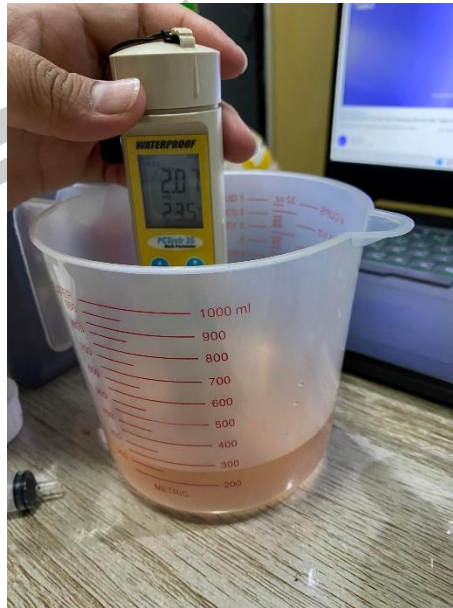
ภาพผนวก ก.



สอบเทียบเซ็นเซอร์วัดค่าความนำไฟฟ้า



สอบเทียบเซ็นเซอร์วัดค่าพีเอช



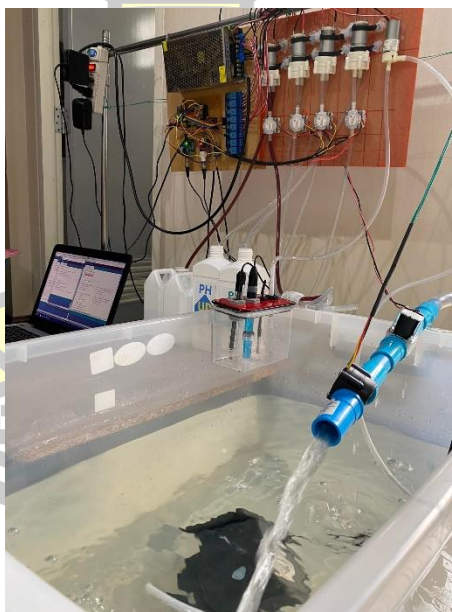
สอบเทียบกับเซ็นเซอร์ PCTestr35 Multi-Parameter



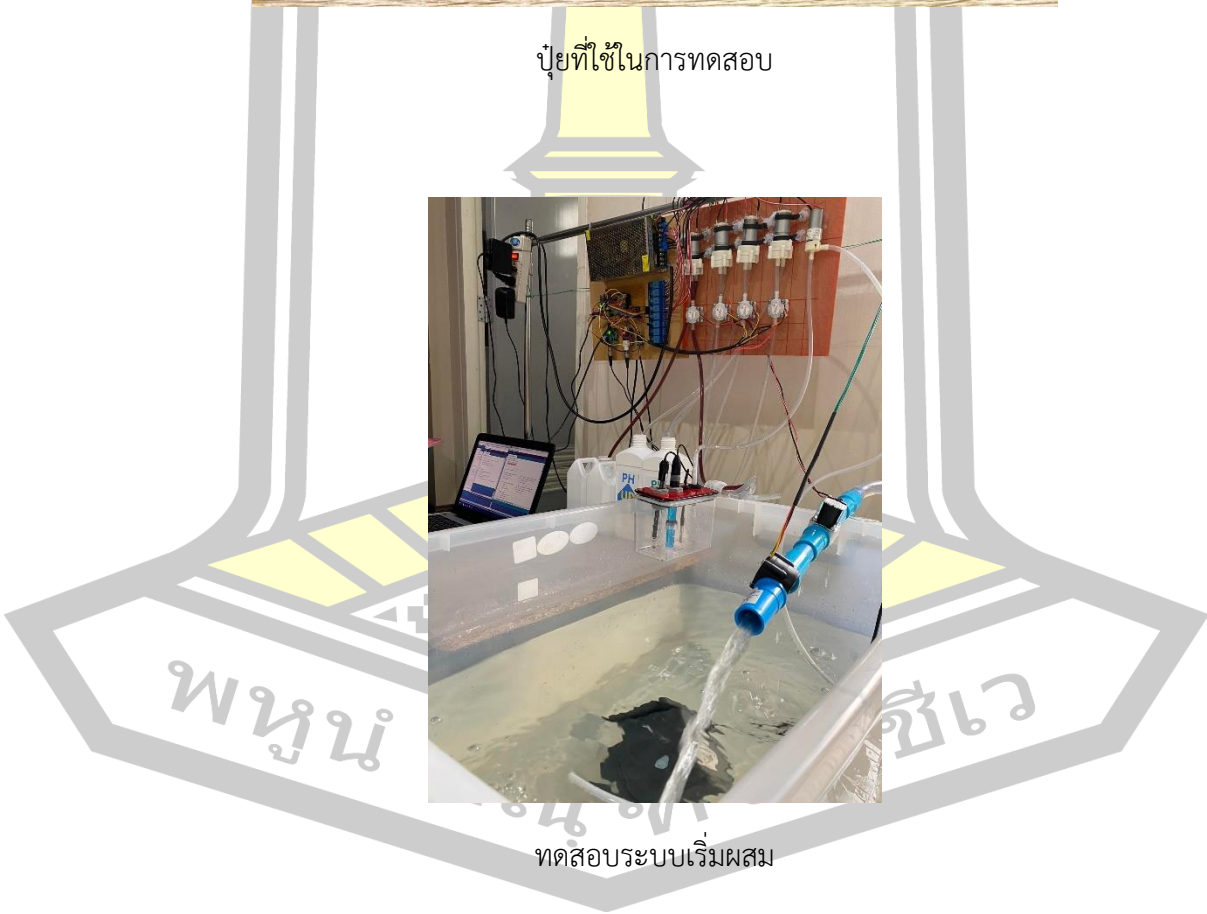
หาความสัมพันธ์อัตราการไหลของปริมาณของเหลว

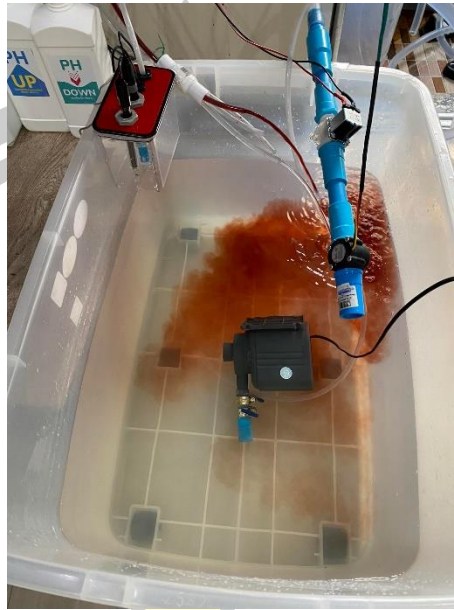


ปุ๋ยที่ใช้ในการทดสอบ

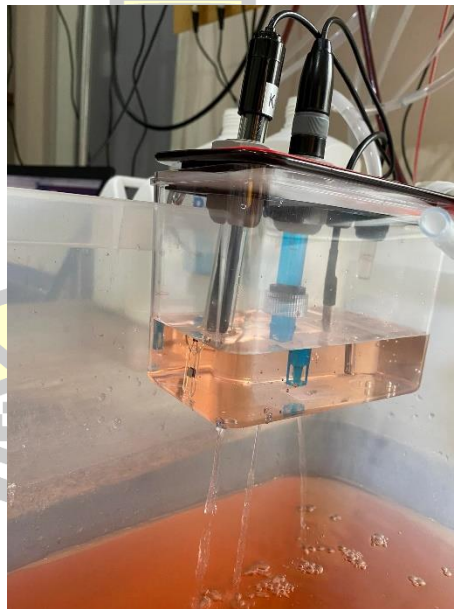


ทดสอบระบบเริ่มผสม





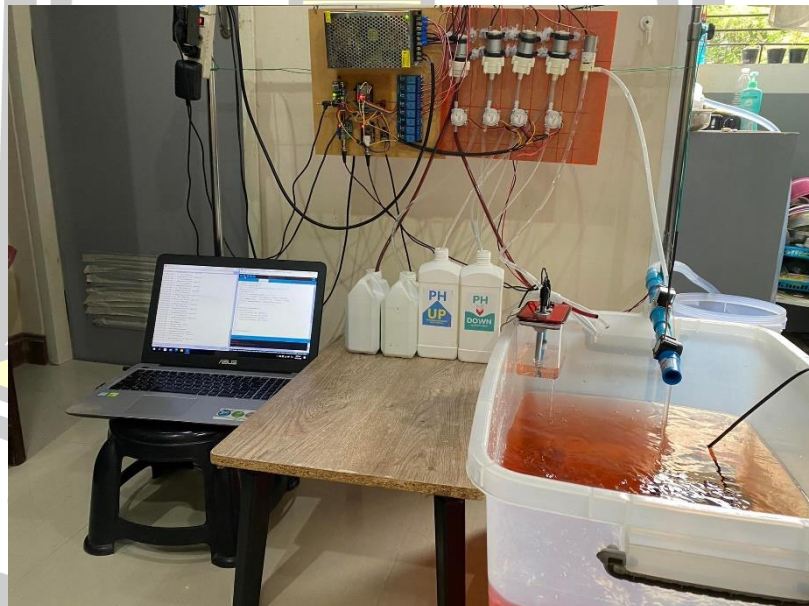
ปล่อยปริมาณปุ๋ยตามที่ได้คำนวณจากสมการ



ดูดเข้าบ่อวัด เพื่อทำการวัดค่าที่ผสม



ลักษณะของเหลวที่คั่งในสายยาง



ภาพรวมการทำงาน

ภาคผนวก ข.

```

#include "pumpAB.h"

#include "pumpAction.h"

#include "readSensor.h"

#define Relay5_PIN 17

const int numReadings = 10;

float phReadings[numReadings]; // the readings from the analog input

int phReadIndex = 0; // the index of the current reading

float phTotal = 0; // the running total

float phAverage = 5.5; // the average

float ecReadings[numReadings]; // the readings from the analog input

int ecReadIndex = 0; // the index of the current reading

float ecTotal = 0; // the running total

float ecAverage = 8.0; // the average

// pump_activation

float phUpperThreshold = 6.3;

float phLowerThreshold = 0;

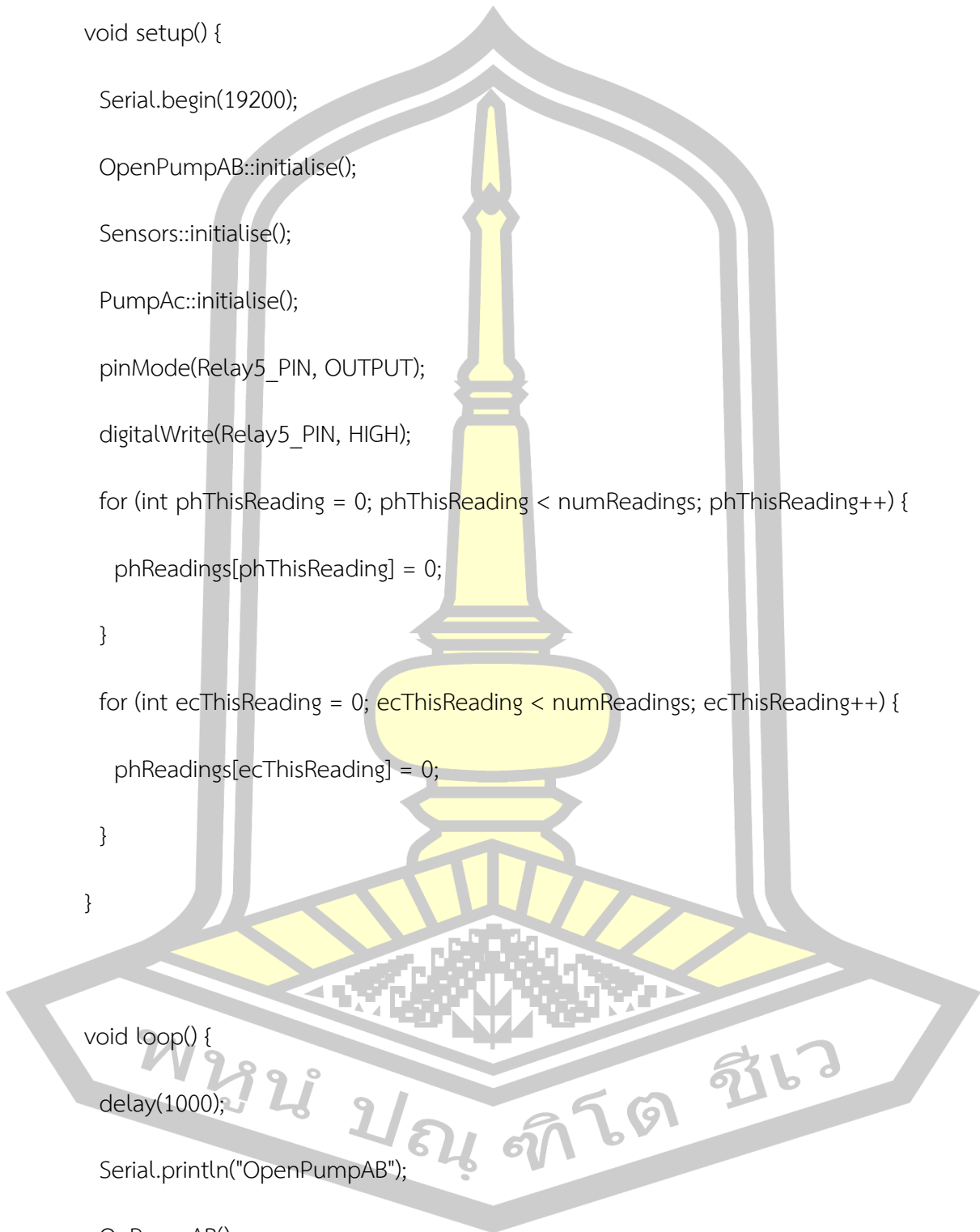
float ecLowerThreshold = 1.8;

const long pumpShutOffInterval = 350000; // 5+ mins

const long pumpOnInterval = 7000;

```

```
void setup() {  
  
  Serial.begin(19200);  
  
  OpenPumpAB::initialise();  
  
  Sensors::initialise();  
  
  PumpAc::initialise();  
  
  pinMode(Relay5_PIN, OUTPUT);  
  
  digitalWrite(Relay5_PIN, HIGH);  
  
  for (int phThisReading = 0; phThisReading < numReadings; phThisReading++) {  
  
    phReadings[phThisReading] = 0;  
  
  }  
  
  for (int ecThisReading = 0; ecThisReading < numReadings; ecThisReading++) {  
  
    phReadings[ecThisReading] = 0;  
  
  }  
  
}  
  
void loop() {  
  
  delay(1000);  
  
  Serial.println("OpenPumpAB");  
  
  OnPumpAB();  
  
  Serial.println("OnPumpAB Succes");  
  
}
```



```
delay(120000);

Serial.println("OpenPumpMeasurement");

PumpMeasurement();

Serial.println("OnPumpMeasurement Succes");

delay(10000);

for (int i = 0; i <= 10 ; i++) {

Serial.print("temperature:");

Serial.print(temperature, 1);

Serial.print("^C  pH:");

Serial.println(phSensorValue, 2);

Serial.print("^C  EC:");

Serial.print(ecSensorValue, 2);

Serial.println("ms/cm");

delay(20000);

}

// read sensors ~ EC and pH
static unsigned long timepoint = millis();

if (millis() - timepoint > 5000) {

timepoint = millis();

temperature = readTemperature();
```

```
ecTotal = ecTotal - ecReadings[ecReadIndex];

ecReadings[ecReadIndex] = read_ecSensor();

ecTotal = ecTotal + ecReadings[ecReadIndex];

ecReadIndex = ecReadIndex + 1;

if (ecReadIndex >= numReadings) {

    // ...wrap around to the beginning:

    ecReadIndex = 0;

}

ecAverage = ecTotal / numReadings;

// Serial.print("average EC:");

// Serial.println(ecAverage);

pHTotal = pHTotal - pHReadings[pHReadIndex];

pHReadings[pHReadIndex] = read_pHSensor();

pHTotal = pHTotal + pHReadings[pHReadIndex];

pHReadIndex = pHReadIndex + 1;

if (pHReadIndex >= numReadings) {

    // ...wrap around to the beginning:

    pHReadIndex = 0;

}

pHAverage = pHTotal / numReadings;
```

```

// Serial.print("average pH:");

// Serial.println(phAverage);

unsigned long currentMillis = millis();

//Send data

/*if (currentMillis - previousUploadMillis >= dataUploadInterval) {

    //Serial.println(valPump);

    send_data(apiKey, temperature, phAverage, ecAverage, pumpVal);

    previousUploadMillis = currentMillis;

}*/

// Activate and deactivate pump

pumpVal = 0.0;

if (currentMillis - previousMillis >= pumpShutOffInterval) {

    previousMillis, pumpVal = check_activate_pump(currentMillis, phAverage,
ecAverage, phLowerThreshold, phUpperThreshold, ecLowerThreshold );

    /*if ( pumpVal != 0.0) {

        send_data(apiKey, temperature, phAverage, ecAverage, pumpVal);

    }*/
}

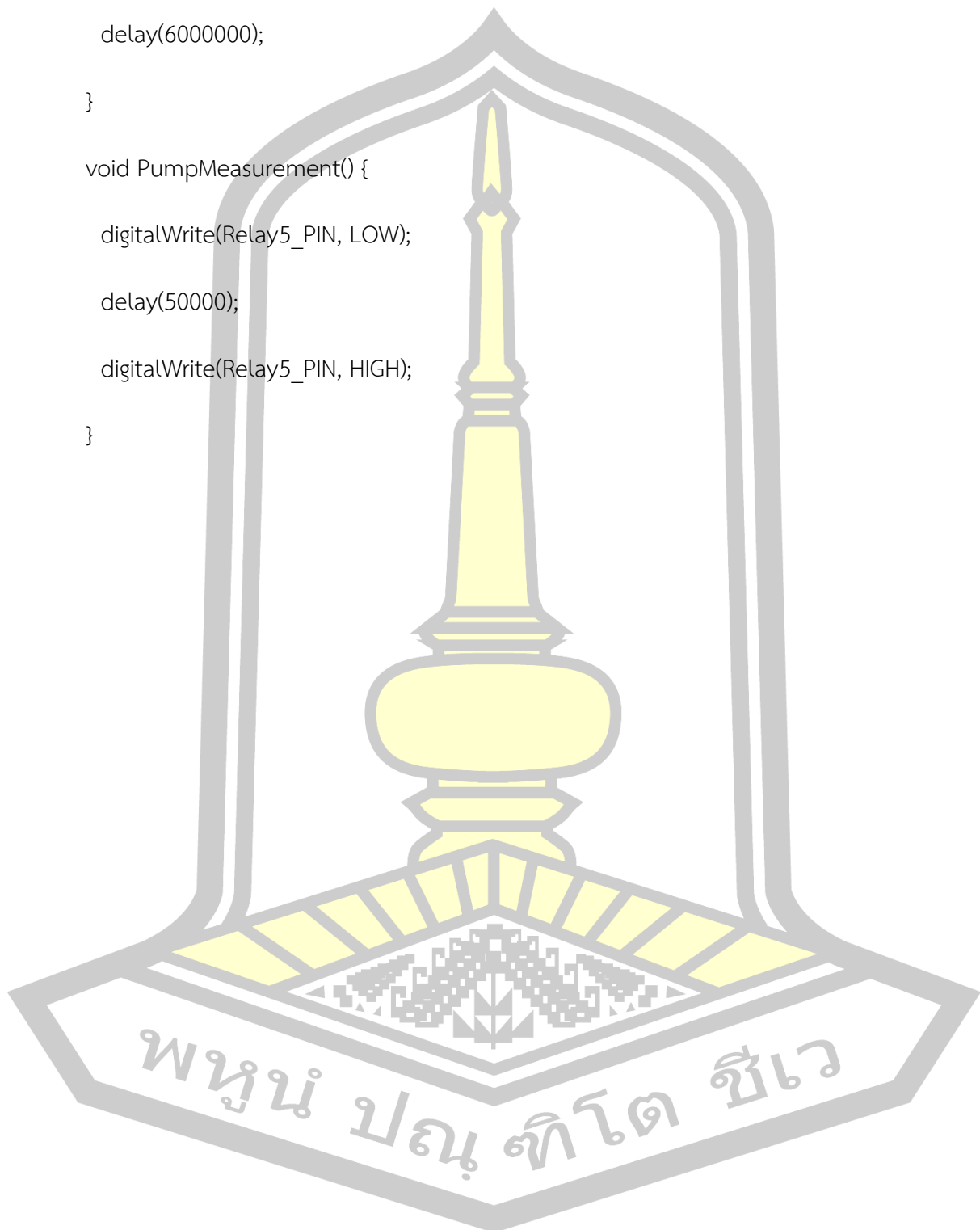
if (currentMillis - previousMillis >= pumpOnInterval) {

    deactivate_pump();

}

```

```
}  
  
delay(6000000);  
  
}  
  
void PumpMeasurement() {  
  
    digitalWrite(Relay5_PIN, LOW);  
  
    delay(50000);  
  
    digitalWrite(Relay5_PIN, HIGH);  
  
}
```



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	ศรินยา ชัยลา
วันเกิด	11 พฤศจิกายน 2540
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลสมเด็จพระ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	หอพักเคเคโสม 226/95 หมู่ 6 ซอยประชาสโมสร 40 ต.ในเมือง อ.เมือง จ. ขอนแก่น 40000
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	วิศวกรรมพัฒนาและวิจัย
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท ออล อินฟอร์เมชั่น เทคโนโลยีส์ จำกัด 512 หมู่ 11 ตำบลศิลา อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2559 มัธยมปลาย โรงเรียนสมเด็จพระพิทยาคม พ.ศ.2563 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ.2564 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย มหาสารคาม
ทุนวิจัย	โครงการ TIME (Total Innovation Management Enterprise)

พูน ปณ ทิโต ชีเว