ระบบควบคุมสารอาหารสำหรับการปลูกพืช แบบไฮโดรโพนิกส์

NUTRIENT SOLUTION CONTROL SYSTEM FOR HYDROPONICS

พุทธิพงศ์ เหมะวณิช
PUTTIPONG HEMAWANIT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2550

KMITL-2007-EN-M-060-112

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบควบคุมสารอาหารสำหรับการปลูกพืช แบบไฮโดรโพนิกส์

NUTRIENT SOLUTION CONTROL SYSTEM FOR HYDROPONICS

พุทธิพงศ์ เหมะวณิช

PUTTIPONG HEMAWANIT

เลขหมู่ 77991
เลขทะเบียน
วัน,เดือน,ปี 12 ก.พ. 2551

b 11881045
i

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2550

KMITL-2007-EN-M-060-112

NUTRIENT SOLUTION CONTROL SYSTEM FOR HYDROPONICS

PUTTIPONG HEMAWANIT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEER IN INSTRUMENTATION ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2007

KMITL-2007-EN-M-060-112

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบควบคุมสารอาหารสำหรับระบบการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์

Nutrient Solution Control System for Hydroponics

นักศึกษา นายพุทธิพงศ์ เหมะวณิช

รหัสประจำตัว 46061712

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.สุพรรณ กุลพาณิชย์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.วิทยา	ทิพย์สุวรรณพร	
รศ.พิพัฒน์	เลาหสงคราม	
ดร.มงคล	กลิ่นกระจาย	
รศ.วิริยะ	กองรัตน์	
รศ.สุพรรณ	กุลพาณิชย์	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 3 ตุลาคม 2550 เวลา 09.00-11.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ห้องประชุม 2 ชั้น 3

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....4.....**เดือน**.....ธันวาคม.....**พ.ศ**.....๒๕๕๐.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบควบคุมสารอาหารสำหรับการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์
นักศึกษา	นายพุทธิพงศ์ เหมะวณิช
รหัสนักศึกษา	46061712
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ. สุพรรณ กุลพาณิชย์

บทคัดย่อ

การปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์เป็นการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินลักษณะหนึ่ง ด้วยวิธีการปลูกพืชแบบนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการปลูกพืชและสามารถเพิ่มคุณภาพของพืชที่ผลิตได้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการออกแบบระบบที่ใช้ควบคุมสารละลายธาตุอาหารของการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์และการจำลองการทำงานของระบบ ซึ่งระบบควบคุมนี้ประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์หลักที่ใช้ในการควบคุมและบันทึก, หน่วยอินพุทเอาท์พุทหลายหน่วยที่เชื่อมต่อกันแบบมัลติดร็อปกับคอมพิวเตอร์ตามมาตรฐานการสื่อสารแบบ RS-485 , เซ็นเซอร์ที่ใช้วัดคุณสมบัติของสารละลายธาตุอาหารและโซลินอยด์วาล์วที่ใช้ควบคุมการปิดเปิดสารละลายต่างๆเพื่อปรับคุณสมบัติของสารละลายธาตุอาหาร กระบวนการควบคุมจะเริ่มจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดระดับปริมาณ, ค่าความนำไฟฟ้าและค่าความเป็นกรดของสารละลายธาตุอาหาร หลังจากนั้นสัญญาณจากเซ็นเซอร์ดังกล่าวจะถูกส่งไปยังหน่วยอนาล็อคอินพุทเพื่อเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณข้อมูลแบบดิจิตอลในรูปแบบข้อมูลตามโปรโตคอลที่กำหนดไว้ สัญญาณข้อมูลจะถูกส่งไปยังคอมพิวเตอร์หลักที่มีซอฟท์แวร์สำหรับควบคุมระบบทั้งหมด โดยหลังจากผ่านการกระบวนตัดสินใจของซอฟท์แวร์เพื่อปรับเปลี่ยนสถานะของวาล์วต่างๆ ข้อมูลสัญญาณจะถูกส่งกลับไปยังหน่วยดิจิตอลเอาท์พุทเพื่อเปลี่ยนสัญญาณควบคุมการปิด-เปิดวาล์วเพื่อปรับปริมาณ, ค่าความนำไฟฟ้าและค่าความเป็นกรดของสารละลายธาตุอาหารให้ได้ตามที่กำหนด โดยซอฟท์แวร์ควบคุมนี้สามารถบันทึกค่าคุณสมบัติต่างๆของสารละลายและจำลองการทำงานของระบบเพื่อใช้ในการศึกษาการทำงานของระบบและออกแบบพัฒนาระบบควบคุมให้เหมาะสมกับระบบการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์

Thesis Title	NUTRIENT SOLUTION CONTROL SYSTEM FOR HYDROPONICS
Student	Puttipong Hemawanit
Student ID.	46061712
Degree	Master of Engineering
Program	Instrumentation Engineering
Year	2550
Thesis Advisor	Assc. Prof. Supan Kulphanich

ABSTRACT

Hydroponics is the one type of soilless culture that can improve quality of plant and efficiency of plant production. This paper presents the design of system used for control nutrient solution in hydroponics and the simulation of this control system. This system comprises a computer, I/O units, sensors and solenoid valves. The computer and I/O units are connected together in form of multi-drop network through serial communication via RS-485. The computer is a supervisor working as a central monitor and control. It comprises the software program for control and record the properties of nutrient solution and the status of solenoid valves. In each the I/O units comprises the analog input unit and digital output unit, the analog input unit is connected sensors and receive analog signal form them, the digital output unit is connected solenoid valve and force them on/off. The software program is developed base on Microsoft Visual Basic 6.0. It can control the system and record data inform Microsoft Access database. The software program processes the data from sensors and manages on/off solenoid valves in order to adjust the volume, pH and electrical conductivity (EC) of nutrient solution at there set points. This network can control, monitor and record the nutrient solution. When the nutrient solution always suitable for vegetables, so that the efficient of vegetable production will increase. Moreover the simulation function of software program can analyze the designed system before it will be built.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี โดยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก รศ. สุพรรณ กุลพาณิชย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์, รศ. วิทยา ทิพย์สุวรรณพร, รศ. วิริยะ กองรัตน์ และ รศ. ทวีพล ซื่อสัตย์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ทั้งสี่ท่าน และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ. อิทธิสุนทร นันทกิจ หัวหน้าภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ความเข้าใจทางด้านการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์ แนะนำและให้ความช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ในภาควิชาวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำและกำลังใจตลอดมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆศิษย์เก่า ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำและกำลังใจตลอดมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวข้าพเจ้าที่ให้การสนับสนุนในทุกๆเรื่องและคอยให้กำลังใจตลอดมาทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ข้าพเจ้าหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์กับผู้ที่สนใจทุกท่าน

พุทธิพงศ์ เหมะวณิช

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญรูป.....IX

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....2

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดในการวิจัย.....2

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีแบบพื้นฐาน.....3

1.6 ขอบเขตการวิจัย.....3

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน.....5

2.1 ความหมายของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน.....5

2.1.1 การปลูกพืชในวัสดุปลูก.....5

2.1.2 การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร.....5

2.1.3 การปลูกพืชในอากาศ.....5

2.2 ประโยชน์ของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน.....6

2.3 รูปแบบของการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร.....7

2.3.1 การปลูกแบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง.....7

2.3.2 การปลูกแบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชแบบแผ่นหนา บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง.....7

2.3.3 การปลูกแบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชในระดับลึก บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง.....7

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.4 การปลูกแบบให้สารละลายธาตุอาหารและอากาศไหลวนผ่านรากพืชในระดับลึกในถาดปลูกอย่างต่อเนื่อง.....7

2.4 ปัจจัยในการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกโดยไม่ใช่ดิน.....7

2.4.1 ปัจจัยภายใน.....7

2.4.2 ปัจจัยภายนอก.....8

2.5 การปรับค่าความเป็นกรดด่างของน้ำที่นำมาใช้ในการปลูกพืช.....9

2.6 สารละลายธาตุอาหาร.....11

2.6.1 การจำแนกธาตุอาหารตามปริมาณที่พืชต้องการ.....11

2.6.2 รูปแบบของธาตุอาหารที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้.....12

2.7 ทฤษฎีการคำนวณปริมาณธาตุอาหาร.....14

2.8 การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร.....17

2.9 การตรวจสอบสารละลายธาตุอาหารที่เตรียมได้.....19

บทที่ 3 การควบคุมสารละลายธาตุอาหาร.....21

3.1 ความสำคัญของการควบคุมสารละลายธาตุอาหาร.....21

3.2 การควบคุมค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายธาตุอาหาร.....21

3.2.1 ที่มาของการควบคุมค่า pH ของสารละลายธาตุอาหาร.....21

3.2.2 สาเหตุที่ทำให้ค่า pH เปลี่ยนแปลง.....23

3.2.3 การควบคุมค่า pH.....24

3.3 การควบคุมค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร.....24

3.3.1 ที่มาของการควบคุมค่า EC ของสารละลายธาตุอาหาร.....24

3.3.2 สาเหตุที่ทำให้ค่า EC เปลี่ยนแปลง.....25

3.3.3 การควบคุมค่า EC.....26

3.4 รูปแบบการควบคุมสารละลายธาตุอาหาร.....27

3.4.1 ระบบควบคุมสารละลายอัตโนมัติ.....27

3.4.2 ระบบที่เติมน้ำอัตโนมัติแต่เติมปุ๋ยโดยผู้ดูแล.....28

3.4.3 ระบบที่เติมน้ำและปุ๋ยโดยผู้ดูแลและมีการตรวจวัดค่า.....30

3.4.4 ระบบที่เติมน้ำและปุ๋ยโดยผู้ดูแลและไม่มีการวัดค่า.....31

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 กระบวนการควบคุมสารละลายธาตุอาหาร.....33

4.1 ขั้นตอนการจัดการสารละลายธาตุอาหาร.....33

4.2 ลักษณะของกระบวนการควบคุม.....35

4.3 ลักษณะของหน่วยอินพุทเอาท์พุท.....36

4.4 ข้อกำหนดในการสื่อสาร.....39

4.4.1 การกำหนดตำแหน่งเฉพาะ.....39

4.4.2 ชุดคำสั่งในการติดต่อสื่อสารกับหน่วยอนาล็อกอินพุท.....41

4.4.3 ชุดคำสั่งในการติดต่อสื่อสารกับหน่วยดิจิตอลเอาท์พุท.....42

4.5 การควบคุมคุณสมบัติของสารละลายธาตุอาหาร.....43

4.5.1 การควบคุมค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร.....43

4.5.2 การควบคุมค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายธาตุอาหาร.....45

4.6 การทำงานของโปรแกรมซอฟท์แวร์.....47

4.6.1 รูปแบบการทำงานของโปรแกรมซอฟท์แวร์.....47

4.6.2 ลำดับการทำงานของโปรแกรมซอฟท์แวร์.....47

4.6.3 ลักษณะของโปรแกรมซอฟท์แวร์.....49

4.6.4 การจำลองค่าของโปรแกรมซอฟท์แวร์.....62

บทที่ 5 การหาค่าสมรรถนะของกระบวนการควบคุมสารอาหาร.....65

5.1 รูปแบบที่ใช้ในการจำลองการทำงาน.....65

5.2 ตัวแปรที่ควบคุมในการจำลองการทำงาน.....65

5.2.1 ตัวแปรในกลุ่มค่าเป้าหมายที่ต้องการกำหนด.....65

5.2.2 ตัวแปรในกลุ่มค่าการจำลองเหตุการณ์.....66

5.3 สมรรถนะของกระบวนการควบคุมสารอาหาร.....68

5.3.1 ผลการทดลองในการจำลองการเตรียมสารละลายธาตุอาหาร.....68

5.3.2 ผลการทดลองในการจำลองการควบคุมสารละลายธาตุอาหาร.....74

5.3.3 ผลการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของกระบวนการที่นำเสนอ
เปรียบเทียบกับวิธีการแบบพื้นฐาน.....80

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....82

เอกสารอ้างอิง.....84

ภาคผนวก.....85

ภาคผนวก ก. ช่วงเวลาในการทำงานของโปรแกรมซอฟท์แวร์.....86

ภาคผนวก ข. สูตรธาตุอาหารและค่าความเข้มข้นของสารละลาย
ของพืชชนิดต่างๆ.....91

ภาคผนวก ค. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....97

ประวัติผู้เขียน.....103

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ข้อดีของเสียของการปลูกพืชโดยไม่ใช่ดิน....6

2.2 ปริมาณของกรดไนตริกที่ใช้เพื่อทำลายฤทธิ์ของไบคาร์บอเนตสำหรับการเตรียมสารละลาย 1,000 ลิตร ของสารละลายเข้มข้น 100 เท่า....10

2.3 ความเข้มข้นของกรดไนตริก (HNO_3) ที่ใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน....10

2.4 ปริมาณของธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญและพัฒนาของพืช....12

2.5 ตัวอย่างชนิดธาตุอาหารรูปแบบของไอออนในสารละลาย ชนิดปุ๋ย และสูตรปุ๋ย....12

2.6 องค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหาร โคอิค-เลเซนต์ pH 5.8....14

2.7 น้ำหนัก 1 milliequivalent (me) ของธาตุอาหารหลักที่พบในสารละลายธาตุอาหาร....14

2.8 น้ำหนักของปุ๋ยที่ต้องใช้ (mg) เพื่อให้ได้ธาตุอาหาร 1me....15

2.9 ตารางที่ใช้ประกอบการคำนวณองค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหาร....16

2.10 การหาค่า EC จากความเข้มข้นของผลรวมของอนุมูลทั้งหมดในสารละลาย....20

3.1 ค่า EC และ pH สำหรับการปลูกพืชชนิดต่างๆ....27

4.1 รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึกในแต่ละตาราง....58

5.1 ตัวแปรในกลุ่มค่าเป้าหมายที่ต้องการกำหนดที่ควบคุมและค่าที่กำหนด....66

5.2 ค่าพารามิเตอร์ของน้ำดิบและค่าที่กำหนด....66

5.3 ค่าพารามิเตอร์ของสารละลายเข้มข้นและค่าที่กำหนด....67

5.4 ค่าพารามิเตอร์ของสารละลายกรดและค่าที่กำหนด....67

5.5 ค่าพารามิเตอร์จำลองการเปลี่ยนแปลงของสารละลายและค่าที่กำหนด....68

5.6 ค่าสมรรถนะของการจำลองการเตรียมสารละลายธาตุอาหารของชุดข้อมูลที่ 1....68

5.7 ค่าสมรรถนะของการจำลองการเตรียมสารละลายธาตุอาหารของชุดข้อมูลที่ 2....70

5.8 ค่าสมรรถนะของการจำลองการเตรียมสารละลายธาตุอาหารของชุดข้อมูลที่ 3....72

5.9 ค่าสมรรถนะของการจำลองการควบคุมสารละลายธาตุอาหารของชุดข้อมูลที่ 1....74

5.10 ค่าสมรรถนะของการจำลองการควบคุมสารละลายธาตุอาหารของชุดข้อมูลที่ 2....76

5.11 ค่าสมรรถนะของการจำลองการควบคุมสารละลายธาตุอาหารของชุดข้อมูลที่ 3....78

5.12 เปรียบเทียบค่าสมรรถนะของการควบคุมสารละลายธาตุอาหาร....80

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ช่วงความยาวคลื่นแสงที่มีอิทธิพลต่อการปลูกพืช....8

2.2 ความสัมพันธ์ของปริมาณกรดที่ต้องใช้เติมในน้ำเพื่อปรับค่า pH....9

3.1 ความสามารถของรากที่ดูดธาตุอาหารแต่ละธาตุภายใต้ค่า pH ที่แตกต่างกัน....23

3.2 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่า EC กับผลผลิตพืช....25

3.3 ผังของระบบควบคุมสารละลายอัตโนมัติ....28

3.4 การเปลี่ยนแปลงค่า EC ในระบบควบคุมสารละลายอัตโนมัติ....28

3.5 ผังกระบวนการของระบบที่เติมน้ำอัตโนมัติแต่เติมปุ๋ยโดยผู้ดูแล....29

3.6 การเปลี่ยนแปลงค่า EC ในระบบที่เติมน้ำอัตโนมัติแต่เติมปุ๋ยโดยผู้ดูแล....29

3.7 ผังกระบวนการของระบบที่เติมน้ำและปุ๋ยโดยผู้ดูแลและมีการตรวจวัดค่า....30

3.8 การเปลี่ยนแปลงค่า EC ในระบบที่เติมน้ำและปุ๋ยโดยผู้ดูแลและมีการตรวจวัดค่า....30

3.9 ผังกระบวนการของระบบที่เติมน้ำและปุ๋ยโดยผู้ดูแลและไม่มีการวัดค่า....31

3.10 การเปลี่ยนแปลงค่า EC ในของระบบที่เติมน้ำและปุ๋ยโดยผู้ดูแลและไม่มีการวัดค่า....32

4.1 ผังของระบบการจัดการสารละลายธาตุอาหาร....34

4.2 ผังการเชื่อมต่อของกระบวนการควบคุม....35

4.3 อุปกรณ์ควบคุมที่เชื่อมต่อในการทดลอง....36

4.4 ผังส่วนประกอบของหน่วยอินพุทเอาท์พุท....36

4.5 ผังการเชื่อมต่อของหน่วยอนาล็อกอินพุท....37

4.6 หน่วยอนาล็อกอินพุทที่ใช้ในการทดลอง....37

4.7 ลักษณะของหน่วยดิจิตอลเอาท์พุท....38

4.8 หน่วยดิจิตอลเอาท์พุทที่ใช้ในการทดลอง....38

4.9 การสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์หลักกับหน่วยอินพุทเอาท์พุท....39

4.10 รูปแบบบล็อกคำสั่งในการอ่านข้อมูลจากหน่วยอนาล็อกอินพุท
และตัวอย่างบล็อกคำสั่ง....41

4.11 รูปแบบบล็อกตอบสนองจากหน่วยอนาล็อกอินพุทและตัวอย่างบล็อกตอบสนอง....42

4.12 รูปแบบบล็อกคำสั่งในการส่งข้อมูลไปยังหน่วยดิจิตอลเอาท์พุท
และตัวอย่างบล็อกคำสั่ง....42

4.13 รูปแบบบล็อกตอบสนองจากหน่วยดิจิตอลเอาท์พุทและตัวอย่างบล็อกตอบสนอง....43

4.14 ลำดับการทำงานของโปรแกรมซอฟท์แวร์....49

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.15 ผังการทำงานของหน้าโปรแกรมหลัก....50

4.16 หน้าโปรแกรมหลัก....51

4.17 หน้าโปรแกรมหลักและหน้าโปรแกรมที่ใช้ควบคุมหน่วยทั้ง 3 หน่วย....52

4.18 ผังการทำงานของหน้าโปรแกรมที่ใช้ควบคุมหน่วย....53

4.19 หน้าโปรแกรมของส่วนที่ควบคุมหน่วยอินพุทเอาท์พุท....54

4.20 แถบตัวเลือกค่าสารละลายธาตุอาหาร....54

4.21 หน้าโปรแกรมที่ใช้กำหนดเพิ่มหรือลบแถบตัวเลือกค่าสารละลายธาตุอาหาร....55

4.22 หน้าโปรแกรมของส่วนที่ควบคุมค่าการจำลองเหตุการณ์....55

4.23 หน้าโปรแกรมแสดงผลการทำงานของระบบ....56

4.24 หน้าโปรแกรมแสดงชาร์ตของค่าต่างๆในระบบ....57

4.25 ไฟล์ฐานข้อมูลแบบ Access....59

4.26 ข้อมูลที่เก็บในไฟล์ฐานข้อมูลแบบ Access....59

4.27 ข้อมูลในไฟล์แบบ Excel....60

4.28 ชาร์ตแสดงค่าที่สร้างจากไฟล์แบบเอกซ์เซล (Excel)....61

4.29 ลำดับขั้นตอนของการคำนวณการจำลองค่า....64

5.1 ผลการทำงานของการจำลองการเตรียมสารละลายธาตุอาหารของชุดข้อมูลที่ 1....69

5.2 ผลการทำงานของการจำลองการเตรียมสารละลายธาตุอาหารของชุดข้อมูลที่ 2....71

5.3 ผลการทำงานของการจำลองการเตรียมสารละลายธาตุอาหารของชุดข้อมูลที่ 3....73

5.4 ผลการทำงานของการจำลองการควบคุมสารละลายธาตุอาหารของชุดข้อมูลที่ 1....75

5.5 ผลการทำงานของการจำลองการควบคุมสารละลายธาตุอาหารของชุดข้อมูลที่ 2....77

5.6 ผลการทำงานของการจำลองการควบคุมสารละลายธาตุอาหารของชุดข้อมูลที่ 3....79

5.7 เปรียบเทียบผลการควบคุมสารละลายธาตุอาหารของแบบที่นำเสนอกับแบบพื้นฐาน....81

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์ (Hydroponics) หรือการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ได้รับความนิยมมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากตลาดมีความต้องการพืชที่ปลูกด้วยวิธีนี้มากขึ้น สาเหตุเพราะพืชที่ปลูกด้วยวิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช่ดินนั้นมีความสะอาดและคุณภาพสูง อีกทั้งการปลูกผักด้วยวิธีนี้ยังให้ผลดีต่อผู้ผลิต เนื่องจากให้ผลิตที่รวดเร็ว, มีค่าตอบแทนต่อหน่วยสูง และใช้เนื้อที่ในการเพาะปลูกน้อย

ปกติแล้วพืชจะเจริญเติบโตได้ดีนั้นต้องมีสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม เช่น แสง, น้ำ, ธาตุอาหาร, อุณหภูมิ, ความเป็นกรด-ด่าง, ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ในการปลูกพืชในดินนั้นพืชจะได้รับธาตุอาหารมากจากดิน ส่วนการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินพืชจะได้รับธาตุอาหารจากสารละลายธาตุอาหาร (Nutrient Solution) ในสารละลายธาตุอาหารนี้จะประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช โดยคุณสมบัติของสารละลายที่จำเป็นต้องพิจารณาคือ ความเข้มข้นของสารละลายซึ่งในที่นี่จะพิจารณาจากค่าความนำไฟฟ้าของสารละลาย (Electrical Conductivity :EC) และค่าความเป็นกรดด่างของสารละลาย (pH) โดยพืชแต่ละชนิดจะมีความต้องการสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความนำไฟฟ้าและค่าความเป็นกรดอยู่ที่ค่าๆหนึ่งโดยเฉพาะ เมื่อพืชได้ดูดซึมธาตุอาหารจากสารละลายธาตุอาหารไปจะทำให้ค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายลดลง และมีความเป็นด่างมากขึ้น ดังนั้นถ้าต้องการให้พืชได้รับสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมอยู่ตลอดเวลาก็ต้องมีการปรับค่าความนำไฟฟ้าและค่าความเป็นกรดของสารละลายอยู่ตลอดเวลาด้วยเช่นกัน

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในประเทศไทยจะนิยมใช้แรงงานคนในการปรับค่าของสารละลายธาตุอาหารให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ซึ่งในการใช้คนดำเนินการนี้จะมีข้อจำกัดในจำนวนครั้งของการปรับค่าของสารละลายธาตุอาหารทั้งนี้มีสาเหตุมาจากความยุ่งยากของการดำเนินงาน จึงทำให้สารละลายธาตุอาหารมีค่าไม่สม่ำเสมอ ซึ่งมีผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืชและบางกรณีที่ร้ายแรงก็อาจจะทำให้พืชเสียหายได้ ปัญหาทั้งหมดที่กล่าวมานี้สามารถแก้ไขได้ด้วยระบบควบคุมสารละลายธาตุอาหารอัตโนมัติ เนื่องจากระบบควบคุมอัตโนมัติสามารถควบคุมสารละลายให้มีค่าต่างๆตามที่ต้องการได้ตลอดเวลา แต่ทั้งนี้ระบบควบคุมอัตโนมัติยังมีข้อเสียอยู่บางประการ เช่น ราคาของอุปกรณ์ควบคุม และความยุ่งยากในการดูแลรักษา ซึ่งถ้ามีการวิจัยและพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติกันอย่างต่อเนื่องก็จะช่วยแก้ปัญหาต่างๆเหล่านี้ได้

ในอนาคตการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในประเทศไทยจะมีการขยายตัวอีกมาก การเพิ่มจำนวนโรงเรือนที่ใช้ปลูกจึงเป็นสิ่งที่ต้องเกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้โดยเช่นกัน ในการแจกจ่ายสารละลายธาตุอาหารให้แต่ละโรงเรือนจะนิยมติดตั้งแยกออกเป็นส่วนเฉพาะแต่ละโรงเรือน ทั้งนี้เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงปัญหาโรคพืชที่มากับสารละลายธาตุอาหาร อีกทั้งยังสะดวกในการปลูกพืชที่มีความต้องการสารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกัน การใช้ระบบควบคุมแบบเครือข่ายจึงเป็นทางเลือกที่ดีทางหนึ่งเนื่องจากสามารถลดต้นทุนในการติดตั้งอุปกรณ์แล้วยังสามารถทำให้การจัดการควบคุมสารละลายธาตุอาหารในส่วนต่างๆทำได้ง่ายขึ้นด้วย

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้มุ่งหวังในการศึกษาและออกแบบระบบควบคุมสารละลายธาตุอาหารเพื่อใช้สำหรับในการควบคุมสารละลายธาตุอาหารได้อย่างอัตโนมัติ พร้อมทั้งสามารถตรวจสอบการทำงานของระบบและบันทึกการทำงานของระบบได้ตลอดเวลา เพื่อช่วยให้การควบคุมระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินนั้นทำงานได้ง่ายขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ในการควบคุมสารละลายโดยใช้การวัดและการผสมสารละลายให้ได้ค่าตามที่ต้องการนั้นมีข้อจำกัดในด้านความถี่ในการทำงานและความรวดเร็วในการทำงาน ทำให้ค่าของสารละลายไม่ได้มีค่าตามที่ต้องการอย่างตลอดเวลา ในการใช้ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติมาควบคุมจะสามารถควบคุมให้สารละลายมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดไว้อย่างตลอดเวลา จึงทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมสารละลายนั้นสูงขึ้น ในการออกแบบให้มีตำแหน่งควบคุมระบบการทำงานที่จุดเดียวเป็นการเพิ่มความสะดวกในการดูแลระบบทำให้การควบคุมระบบนั้นทำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดในการวิจัย

ระบบควบคุมที่ได้ทำการออกแบบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ใช้สำหรับควบคุมสารละลายธาตุอาหารสำหรับการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์ โดยระบบนี้ประกอบด้วยคอมพิวเตอร์หลักที่ติดตั้งซอฟท์แวร์ที่ได้ออกแบบไว้ใช้ในการควบคุมระบบทั้งหมด, ระบบเครือข่ายแบบ RS-485, หน่วยอินพุทที่ติดต่อกับเซ็นเซอร์ และหน่วยเอาท์พุทที่ติดต่อกับโซลินอยด์วาล์วต่างๆ ในการควบคุมนั้นจะเป็นการควบคุมแบบปิด-เปิด ในกระบวนการตัดสินใจทั้งหมดจะอยู่ในตัวซอฟท์แวร์โดยอาศัยค่าจากเซ็นเซอร์ต่างๆเป็นตัวแปรมาเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดไว้ที่ซอฟท์แวร์ในขณะนั้นในการตัดสินใจสถานะของวาล์วต่างๆในระบบที่ควบคุม ที่ตัวซอฟท์แวร์นี้มีส่วนที่ทำหน้าที่บันทึก

ข้อมูลในรูปแบบไฟล์ฐานข้อมูลเพื่อเก็บสถานะการทำงานของระบบทั้งหมด จากการบันทึกข้อมูลในรูปแบบฐานข้อมูลดังกล่าวจะช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลภายหลังทำได้โดยสะดวกขึ้น

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีแบบพื้นฐาน

การควบคุมสารละลายธาตุอาหารแบบอัตโนมัติแบบที่นำเสนอนี้มีความแม่นยำและแน่นอนกว่าการการควบคุมสารละลายธาตุอาหารแบบพื้นฐานที่ใช้แรงงานคนในการดูแล อีกทั้งยังมีความรวดเร็วและความถี่ในการทำงานมากกว่าใช้แรงงานคน จึงทำให้การควบคุมคุณสมบัติของสารละลายธาตุอาหารนั้นมีความเที่ยงตรง แน่นอน และมีการตอบสนองความต้องการในการควบคุมได้ดีกว่า

1.6 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบระบบที่ใช้ควบคุมสารละลายธาตุอาหารสำหรับการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์และการจำลองการทำงานของระบบที่กำหนดขึ้น ในการควบคุมจะอาศัยการทำงานของซอฟท์แวร์ที่ติดตั้งบนคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งหมด พร้อมทั้งแสดงผลและบันทึกสถานะการทำงานทั้งหมดของระบบ ในการหาค่าสมรรถนะของระบบจะใช้ความสามารถในการจำลองการทำงานของระบบในซอฟท์แวร์ที่ได้ทำการสร้างขึ้นแสดงสมรรถนะของระบบที่ได้จำลองตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ซึ่งประกอบด้วยความหมายของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ประโยชน์ของการปลูกโดยไม่ใช่ดิน รูปแบบของการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร ปัจจัยในการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกโดยไม่ใช่ดิน การปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่นำมาใช้ในการปลูกพืช สารละลายธาตุอาหาร ทฤษฎีการคำนวณหาปริมาณธาตุอาหารที่ใช้ในการทำสารละลายธาตุอาหาร การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร และการตรวจสอบสารละลายธาตุอาหารที่เตรียมได้

บทที่ 3 กล่าวถึงการควบคุมสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งประกอบด้วยความสำคัญของการควบคุมสารละลายธาตุอาหาร การควบคุมค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายธาตุอาหาร การควบคุมค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร และรูปแบบการควบคุมสารละลายธาตุอาหาร

บทที่ 4 กล่าวถึงกระบวนการควบคุมสารละลายธาตุอาหาร ลักษณะของกระบวนการควบคุม ลักษณะของหน่วยอินพุทเอาท์พุท ข้อกำหนดในการสื่อสาร การควบคุมคุณสมบัติของสารละลายธาตุอาหาร และการทำงานของซอฟท์แวร์

บทที่ 5 กล่าวถึงการหาค่าสมรรถนะของระบบควบคุมสารละลายธาตุอาหารโดยการจำลองการทำงานจากซอฟท์แวร์ที่ได้ทำการสร้างขึ้น และการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของกระบวนการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการแบบพื้นฐาน

บทที่ 6 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2
ทฤษฎีพื้นฐานของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ในหัวข้อนี้อธิบายถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ซึ่งกล่าวถึงความหมายของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ประโยชน์ของการปลูกโดยไม่ใช่ดิน รูปแบบของการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร ปัจจัยในการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกโดยไม่ใช่ดิน การปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่นำมาใช้ในการปลูกพืช สารละลายธาตุอาหาร ทฤษฎีการคำนวณปริมาณธาตุอาหาร การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร และการตรวจสอบสารละลายธาตุอาหารที่เตรียมได้

2.1 ความหมายของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน มาจากรากคำภาษาอังกฤษว่า ซอยเลสคัลเจอร์ (Soilless Culture) ซึ่งหมายถึงการปลูกพืชโดยที่ไม่ใช้ดินมาเป็นวัสดุปลูก [1] ซึ่งสามารถจำแนกได้ตามลักษณะของวิธีการปลูกได้ดังนี้

2.1.1 การปลูกพืชในวัสดุปลูก (Substrate Culture)

เป็นวิธีการปลูกพืชเลียนแบบการปลูกพืชบนดินโดยไม่ใช้ดินเป็นวัสดุในการปลูกแต่เป็นการปลูกพืชลงบนวัสดุปลูกพืชชนิดต่างๆ ซึ่งวัสดุปลูกแทนดินนี้มีหลายชนิด คือวัสดุปลูกที่เป็นอนินทรียสารและวัสดุปลูกที่เป็นอินทรียสาร โดยพืชสามารถเจริญเติบโตบนวัสดุปลูกจากการได้รับสารละลายธาตุอาหารจากทางรากพืช

2.1.2 การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร (Hydroponics)

เป็นวิธีการปลูกพืชลงบนสารละลายธาตุอาหารโดยให้รากพืชสัมผัสกับสารละลายธาตุอาหารโดยตรง โดยการปลูกพืชในลักษณะนี้จะเป็นที่นิยมในประเทศไทยเพราะเป็นระบบแรกที่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย

2.1.3 การปลูกพืชในอากาศ (Aeroponics)

เป็นวิธีการปลูกพืชในภาชนะที่มีการยึดต้นพืชโดยให้ส่วนของรากแขวนลอยอยู่ในอากาศเพื่อรับสารอาหารที่พ่นให้เป็นระยะๆตามช่วงเวลาที่กำหนด การปลูกแบบนี้มีข้อเสียคือนอกจากต้องลงทุนค่าใช้จ่ายในด้านวัสดุอุปกรณ์ค่อนข้างสูงแล้วยังต้องเสียค่าไฟฟ้าจากการสูบน้ำเพื่อพ่นสูงกว่าวิธีอื่นๆ เนื่องจากต้องพ่นสารอาหารไปที่รากของพืชเป็นระยะๆ ที่สำคัญคือถ้าระบบการพ่นอุดตันหรือปั๊มไม่ทำงาน ก็จะทำให้พืชเสียหายได้ ในอดีตการปลูกพืชด้วยวิธีนี้จึงมักจะใช้ในด้าน

การศึกษาวิจัย แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้มีการปรับปรุงเทคโนโลยีการผลิตที่สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ดีขึ้นจึงมีการใช้ในด้านเชิงธุรกิจมากขึ้น

2.2 ประโยชน์ของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมีข้อดีคือสามารถผลิตพืชที่ได้ผลผลิตมากโดยใช้พื้นที่น้อยหรือใช้พื้นที่ไม่เหมาะสมที่จะใช้ทำการเกษตร ดังนั้นจึงสามารถเลือกพื้นที่ปลูกใกล้แหล่งชุมชนได้ดี เนื่องจากสามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่องและสามารถเพิ่มรอบเวรการผลิต ซึ่งการปลูกพืชบนดินจะทำได้ยาก โดยปกติแล้วอายุการเก็บเกี่ยวจะเร็วกว่าการปลูกพืชบนดิน สามารถใช้ปัจจัยการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพและยังสามารถช่วยประหยัดน้ำและปุ๋ยได้เป็นอย่างดี ที่สำคัญคือสามารถตัดปัญหาเรื่องการปนเปื้อนของดินและลดการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช ส่วนข้อเสียก็คือมีการลงทุนเริ่มต้นค่อนข้างสูง ต้องการการดูแลและการจัดการมากกว่าการปลูกพืชบนดิน

ข้อดีข้อเสียของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสามารถสรุปได้ดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อดีของเสียของการปลูกพืชโดยไม่ใช่ดิน

ข้อดี	ข้อเสีย
1. สามารถปลูกพืชในบริเวณพื้นที่ดินไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก 2. ใช้พื้นที่เพาะปลูกน้อย 3. ประหยัดค่าขนส่งเพราะสามารถเลือกผลิตใกล้แหล่งรับซื้อได้ 4. ตัดขั้นตอนในการเตรียมดินและกำจัดวัชพืช 5. มีประสิทธิภาพทางด้านแรงงานสูง 6. สามารถปลูกพืชได้ตลอดทั้งปี 7. พืชเจริญเติบโตได้รวดเร็วกว่า 8. ตัดปัญหาเกี่ยวกับศัตรูพืชที่มาจากดิน 9. ลดปริมาณการใช้น้ำ 10. ทำให้สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชได้ดีขึ้น	1. มีต้นทุนการผลิตเริ่มต้นค่อนข้างสูง 2. ผู้ปลูกต้องมีความชำนาญในการควบคุมดูแล 3. ต้องการการควบคุมดูแลอย่างสม่ำเสมอ 4. หากมีการควบคุมที่ไม่ดีอาจจะทำให้ปริมาณธาตุอาหารในผลผลิตพืชสูง จนเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ 5. วัสดุปลูกบางชนิดอาจก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้หากไม่มีการควบคุมและจัดการที่ดีพอ

2.3 รูปแบบของการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร

การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร (Hydroponics) สามารถจำแนกเป็น 5 รูปแบบดังนี้

2.3.1 การปลูกแบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆบนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (Nutrient Film Technique, NFT)

เป็นการให้สารละลายธาตุอาหารไหลไปอย่างช้าๆ แบบเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ประมาณ 1-3 มิลลิเมตรผ่านรากพืชที่ปลูกบนรางปลูกตามความลาดชันของรางปลูก

2.3.2 การปลูกแบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชแบบแผ่นหนาบนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (Nutrient Flow Technique, NFLT)

วิธีนี้จะดูเสมือนกับการปลูกพืชให้ลอยแช่อยู่ในลำธารเล็กๆ ที่มีน้ำตื้นๆไหลช้าๆอย่างสม่ำเสมอบนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง แต่มีระดับความลึกของสารละลายที่ส่งมาให้ลึกกว่าระบบ NFT คือประมาณ 10-15 มิลลิเมตร

2.3.3 การปลูกแบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชในระดับลึกบนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง (Deep Flow Technique, DFT)

วิธีนี้จะนำต้นกล้าที่ปลูกบนแผ่นโฟมมาปลูกบนวัสดุปลูกแล้วให้สารละลายธาตุอาหารลึกกว่า 2 แบบแรกที่กล่าวมา

2.3.4 การปลูกแบบให้สารละลายธาตุอาหารและอากาศไหลวนผ่านรากพืชในระดับลึกในถาดปลูกอย่างต่อเนื่อง (Dynamic Root Floating Technique, DRFT)

ระบบปลูกแบบนี้พัฒนาเพิ่มเติมจากแบบ DFT โดยเพิ่มการไหลเวียนของอากาศและสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งมีถาดปลูกทำด้วยโฟมเจาะรูปลูกพืชและมีอุปกรณ์สำหรับปรับระดับของสารละลายธาตุอาหาร เพื่อต้องการให้พืชได้รับทั้งอากาศและสารละลายธาตุอาหารที่มีการหมุนเวียนที่รากพืชอย่างต่อเนื่อง

2.4 ปัจจัยในการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกโดยไม่ใช่ดิน

ปัจจัยที่เป็นตัวควบคุมการเจริญเติบโตของพืชสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ปัจจัยดังนี้คือ

2.4.1 ปัจจัยภายใน

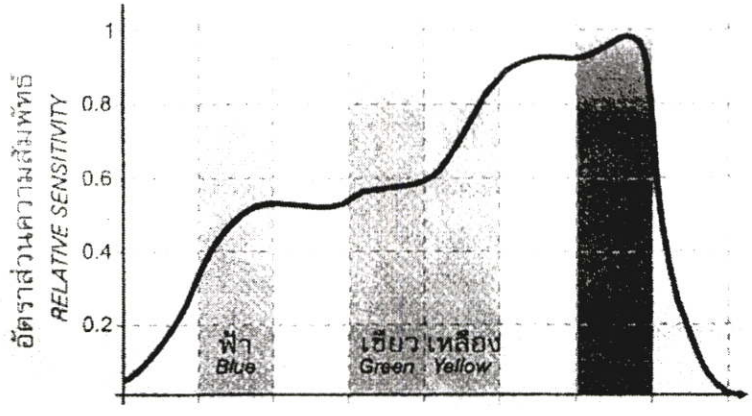
ปัจจัยภายในได้แก่ พันธุกรรมของพืช (Genetic Factor) และสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (Plant Growth and Regulator) ซึ่งพันธุกรรมนั้นจะเป็นตัวกำหนดลักษณะและความ

ต้องการปัจจัยภายนอกของพืช ส่วนฮอร์โมนนั้นจะเป็นสารที่ควบคุมการเจริญเติบโตในส่วนต่างๆ ของพืช

2.4.2 ปัจจัยภายนอก

ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้แก่

1 แสง แสงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญและพัฒนาการของพืช เพราะแสงเป็นสิ่งสำคัญในการสังเคราะห์แสงของพืช ลักษณะของแสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชจะมีอยู่ 3 ลักษณะคือ ความเข้มของแสง ระยะเวลาของการได้รับแสง และช่วงความยาวคลื่นแสง โดยพืชแต่ละชนิดจะมีความต้องการลักษณะของแสงแตกต่างกันออกไป ดังแสดงในรูปที่ 2.1 [2]



รูปที่ 2.1 ช่วงความยาวคลื่นแสงที่มีอิทธิพลต่อการปลูกพืช

2 อุณหภูมิ อุณหภูมิมีบทบาทต่อการผลิตพืชไม่น้อยกว่าแสง เพราะมีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยา เคมี และชีววิทยาของพืช ปกติแล้วอุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่าง 15-40 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำกว่านี้จะมีผลต่อการเจริญเติบโต โดยชนิดของพืช พันธุ์ และระยะการเจริญเติบโตที่ต่างกันของพืชก็จะทำให้มีความต้องการช่วงอุณหภูมิที่ต่างกันไป

3 น้ำ น้ำหรือความชื้นจัดว่าเป็นปัจจัยในการที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ถ้ามีปริมาณความชื้นมากหรือน้อยเกินไปก็จะทำให้พืชตายได้

4 องค์ประกอบของบรรยากาศ พืชต้องการใช้กาซคาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสง โดยในอากาศทั่วไปจะมีกาซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ประมาณ 0.03% ถ้ามีกาซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่น้อยเกินไปก็จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ นอกจากนี้กาซบางอย่างเช่นกาซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และกาซคาร์บอนมอนอกไซด์ ถ้ามีในปริมาณมากก็จะเป็นผลเสียต่อการเจริญเติมโตของพืช

5 ธาตุอาหาร คือสิ่งที่พืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต ธาตุอาหารของพืชนั้นจะมีหลายชนิด ซึ่งธาตุแต่ละชนิดนั้นก็จะมีบทบาทแตกต่างกันออกไป โดยธาตุหลักที่พืชต้องการมาก คือ คาร์บอน(C) ออกซิเจน (O) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน(N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม(P)

6 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) จะมีผลต่อการเจริญเติบโต เพราะจะเกี่ยวข้องกับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้

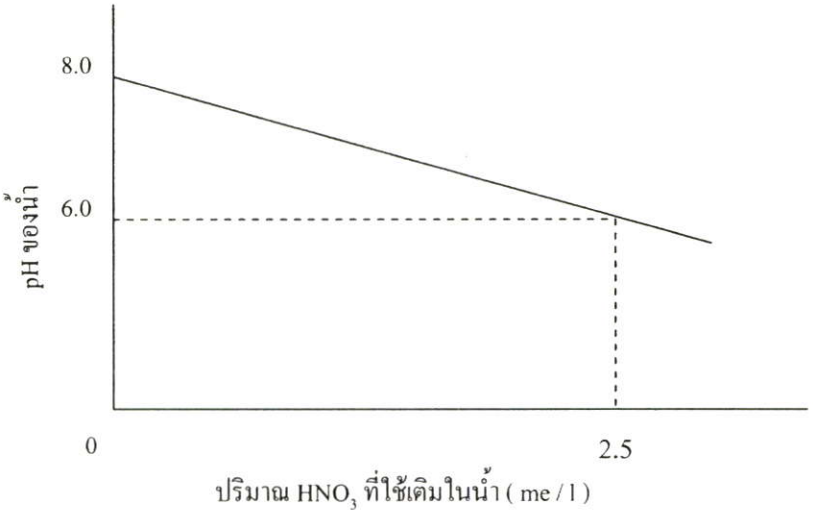
7 องค์ประกอบของอากาศในน้ำ รากพืชมีความต้องการออกซิเจนเพื่อช่วยในการเจริญเติบโตของราก

8 สิ่งมีชีวิตอื่นๆที่เกี่ยวข้อง สิ่งมีชีวิตเช่น ศัตรูพืช จุลินทรีย์ในน้ำ และสัตว์ ก็มีอิทธิพลต่อพืชอีกเช่นกัน

2.5 การปรับค่าความเป็นกรดด่างของน้ำที่นำมาใช้ในการปลูกพืช

โดยธรรมชาติน้ำทั่วไปจะมีสภาพเป็นด่าง (pH > 7) เนื่องจากมีอนุมูลไบคาร์บอเนต (HCO_3) ของแคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) อนุมูลคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) และธาตุอาหารอื่นๆ เจือปนอยู่ ในการปรับค่า pH ของน้ำเพื่อให้ได้ค่า pH = 5.8 สามารถทำได้โดยการเติมกรดเช่นกรดไนตริก (HNO_3) เพื่อทำการลดหรือกำจัดอนุมูลเหล่านี้

ในบางครั้งน้ำอาจจะมีสภาพเป็นกรด (pH < 5.5) เนื่องจากไหลผ่านแหล่งที่มีความเป็นกรด ในการปรับค่า pH ของน้ำเพื่อให้ได้ค่า pH = 5.8 สามารถแก้ไขโดยใช้โพแทสเซียมไบคาร์บอเนต หรือใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของปริมาณกรดที่ต้องใช้เติมในน้ำเพื่อปรับค่า pH

ปริมาณกรดที่ใช้ในการปรับค่า pH สามารถทราบได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเราสามารถหาได้เองจากการค่อยๆเติมกรดลงในน้ำแล้ววัดค่า pH ที่เปลี่ยนแล้วเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดที่ใช้กับการเปลี่ยนค่า pH หลังจากนั้นสามารถคำนวณปริมาณกรดที่ต้องใช้ต่อปริมาณสารละลายที่ต้องการ ทำให้ทราบความสัมพันธ์ของปริมาณกรดที่ต้องใช้เติมน้ำเพื่อปรับค่าของ pH ดังแสดงในรูปที่ 2.2 [3]

ตัวอย่างปริมาณของกรดไนตริกที่ใช้เพื่อทำลายฤทธิ์ของไบคาร์บอเนตสำหรับการเตรียมสารละลาย 1,000 ลิตร ของสารละลายเข้มข้น 100 เท่า และความเข้มข้นของกรดไนตริก (HNO_3) ที่ใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน แสดงในตารางที่ 2.2 [3] และ 2.3 [5] ตามลำดับ

ตารางที่ 2.2 ปริมาณของกรดไนตริกที่ใช้เพื่อทำลายฤทธิ์ของไบคาร์บอเนตสำหรับการเตรียมสารละลาย 1,000 ลิตร ของสารละลายเข้มข้น 100 เท่า

ปริมาณของอนุมูลไบคาร์บอเนตในน้ำ		จำนวนที่ต้องการเอาออก	จำนวนกรดไนตริกเข้มข้น 60% ที่ต้องใช้
mg/l (ppm)	millimol	mg/l (ppm)	ลิตร
50	0.8	-	-
125	2.1	75	10.54
250	4.1	200	28.11
375	6.2	325	45.67

ตารางที่ 2.3 ความเข้มข้นของกรดไนตริก (HNO_3) ที่ใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

HNO_3		
ความหนาแน่น	$\%HNO_3$	ปริมาตร (ml) / กรด 1eq
1.13	30	178
1.33	53.3	89
1.355	57.9	80.4
1.356	58	80
1.361	59	78.5
1.372	61	75
1.38	62.5	73
1.39	65	70
1.4	67	67
1.41	60	64.5

2.6 สารละลายธาตุอาหาร

ในการปลูกพืชโดยไม่ใช่ดินนั้นพืชจะได้รับธาตุอาหารจากสารละลายธาตุอาหาร ดังนั้นในสารละลายธาตุอาหารจะประกอบด้วยธาตุอาหารที่พืชต้องการนำไปใช้ ในการจำแนกธาตุอาหารของพืชนั้นสามารถจำแนกได้หลายวิธี โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงการจำแนกธาตุอาหารตามปริมาณที่พืชต้องการเพียงอย่างเดียว

2.6.1 การจำแนกธาตุอาหารตามปริมาณที่พืชต้องการ

นักวิทยาศาสตร์ค้นพบว่าธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญและพัฒนาของพืชประกอบด้วยธาตุต่างๆคิดเป็นร้อยละโดยประมาณ ดังแสดงในตารางที่ 2.4 [2] พบว่าส่วนใหญ่แล้วประกอบด้วยธาตุสำคัญ 3 ธาตุคือ ออกซิเจน คาร์บอน และไฮโดรเจนรวมกันถึงร้อยละ 95

ปริมาณร้อยละของธาตุอาหารในพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป แม้แต่พืชพันธุ์เดียวกันปลูกในสภาพแวดล้อมที่ต่างกันก็จะสะสมธาตุอาหารในปริมาณที่ต่างกันด้วย ข้อมูลที่แสดงในตารางนี้เป็นเพียงค่าเฉลี่ยที่บ่งบอกถึงสัดส่วนเปรียบเทียบปริมาณของแต่ละธาตุเท่านั้น

จะเห็นว่า 3 ธาตุแรกคือ ออกซิเจน คาร์บอน และไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลักของโครงสร้างพืชเนื่องจากเป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณมาก พืชจะได้รับธาตุออกซิเจนและคาร์บอนจากอากาศในรูปแบบของก๊าซคือคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนจากน้ำ

ส่วนที่เหลืออีก 13 ธาตุ พืชได้รับมาจากดินหรือจากการจัดเตรียมเป็นสารละลายเพื่อให้พืชใช้สำหรับการเจริญเติบโตหรือที่เรียกว่า "สารละลายธาตุอาหาร" ซึ่งจะแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มคือ

1 มหธาตุ (Macronutrient elements) หรือธาตุอาหารมหัพภาค คือธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก กล่าวคือมีความเข้มข้นของธาตุอาหารโดยน้ำหนักแห้งเมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มวัยสูงกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยธาตุอาหารประเภทนี้มี 6 ธาตุซึ่งจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ

1.1 กลุ่มธาตุอาหารหลัก (Primary nutrient elements) คือธาตุอาหารที่พืชต้องการมากได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

1.2 กลุ่มธาตุอาหารรอง (Secondary nutrient element) คือธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณลดน้อยลงมา ได้แก่ แคลเซียม กำมะถัน และแมกนีเซียม

2 จุลธาตุ (Micronutrient elements) หรือธาตุอาหารเสริม คือธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย กล่าวคือมีความเข้มข้นของธาตุโดยน้ำหนักแห้งเมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มวัยต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีอยู่ 8 ธาตุด้วยกันคือ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โบรอน โมลิบดินัม และคลอรีน

นอกจากนี้ยังมีจุลธาตุอื่นๆอีกที่พืชต้องการใช้ในปริมาณน้อย จึงจัดเป็นกลุ่ม "ธาตุอาหารพิเศษ" เช่น โคบอลต์ โซเดียม อลูมิเนียม ซีลีเนียม ซิลิคอน นิกเกิล และวาเนเดียม

ตารางที่ 2.4 ปริมาณของธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญและพัฒนาของพืช

ธาตุ	ปริมาณ %	ธาตุ	ปริมาณ %
ออกซิเจน (O)	45	แมกนีเซียม (Mg)	0.3
คาร์บอน (C)	44	โบรอน (B)	0.005
ไฮโดรเจน (H)	6	คลอรีน (Cl)	0.015
ไนโตรเจน (N)	2	ทองแดง (Cu)	0.001
ฟอสฟอรัส (P)	0.5	แมงกานีส (Mn)	0.05
โพแทสเซียม (K)	1.0	เหล็ก (Fe)	0.02
แคลเซียม (Ca)	0.6	สังกะสี (Zn)	0.01
กำมะถัน (S)	0.4	โมลิบดินัม (Mo)	0.0001

2.6.2 รูปแบบของธาตุอาหารที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน พืชจะนำธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบตามตารางที่ 2.5 [2] ดังนั้นในการจัดการธาตุอาหารจึงต้องคำนึงถึงรูปแบบของธาตุอาหารที่พืชจะนำไปใช้ได้ โดยคำนวณหาปริมาณหรือค่าแปรค่าของธาตุต่างๆให้อยู่ในรูปแบบที่พืชสามารถนำไปใช้ได้เช่น ไนโตรเจนอยู่ในรูป NO_3^- หรือ NH_4^+, ฟอสฟอรัสอยู่ในรูป H_2PO_4 หรือ HPO_4^{2-}, โพแทสเซียม อยู่ในรูปของ K^+

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างชนิดธาตุอาหารรูปแบบของไอออนในสารละลาย ชนิดปุ๋ย และสูตรปุ๋ย

ชนิดธาตุอาหาร	รูปแบบของไอออนในสารละลาย	ชนิดของปุ๋ยเคมี	สูตรของปุ๋ย
มหธาตุ (Macronutrient Elements)			
ไนโตรเจน (N)	NO_3^-	Ammonium nitrate	NH_4NO_3
		Calcium nitrate	$Ca(NO_3)_2$
		Nitric acid	HNO_3
		Potassium nitrate	KNO_3
	NH_4^+	Ammonium nitrate	NH_4NO_3
		Ammonium phosphate (mono)	$NH_4H_2PO_4$
		Ammonium phosphate (di)	$(NH_4)_2HPO_4$
		Ammonium sulphate	$(NH_4)_2SO_4$

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

ชนิดธาตุอาหาร	รูปแบบของไอออนในสารละลาย	ชนิดของปุ๋ยเคมี	สูตรของปุ๋ย
ฟอสฟอรัส (P)	$H_2PO_4^-$	Ammonium phosphate (mono)	$NH_4H_2PO_4$
	HPO_4^{2-}	Ammonium phosphate (di)	$(NH_4)_2HPO_4$
	$H_2PO_4^-$	Potassium phosphate (mono)	KH_2PO_4
	$H_2PO_4^{2-}$	Potassium phosphate (di)	K_2HPO_4
	$H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}	Phosphoric acid	H_3PO_4
โพแทสเซียม (K)	K^+	Potassium chloride	KCl
		Potassium nitrate	KNO_3
		Potassium phosphate (mono)	KH_2PO_4
		Potassium phosphate (di)	K_2HPO_4
		Potassium sulphate	K_2SO_4
แคลเซียม (Ca)	Ca^{2+}	Calcium chloride	$CaCl_2$
		Calcium nitrate	$Ca(NO_3)_2$
		Calcium sulphate	$CaSO_4$
แมกนีเซียม (Mg)	Mg^{2+}	Magnesium sulphate	$MgSO_4.7H_2O$
กำมะถัน (S)	SO_4^{2-}	Ammonium sulphate	$(NH_4)_2SO_4$
		Calcium sulphate	$CaSO_4$
		Magnesium sulphate	$MgSO_4.7H_2O$
		Potassium sulphate	K_2SO_4
จุลธาตุ (Micronutrient Elements)			
โบรอน (B)	H_3BO_3, BO_3^{3-}	Boric acid	H_3BO_3, $B(OH)_3$
ทองแดง (Cu)	Cu^{2+}	Copper sulphate	$CuSO_4.5H_2O$
เหล็ก (Fe)	Fe^{3+}	Iron chelate	FeEDTA
แมงกานีส (Mn)	Mn^{2+}	Manganese sulphate	$MnSO.H_2O$
โมลิบดินัม(Mo)	MoO_4^{2-}	Ammonium molybdate	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}4H_2O$
สังกะสี(Zn)	Zn^{2+}	Zine sulphate	$ZnSO_4.7H_2O$

2.7 ทฤษฎีการคำนวณปริมาณธาตุอาหาร

นับแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้มีการคิดค้นสูตรสารละลายธาตุอาหารมากกว่าร้อยสูตร โดยมีตั้งแต่แต่สูตรที่คิดขึ้นมาเพื่อให้เหมาะสมสำหรับพืชชนิดนั้นๆไปจนถึงสูตรที่คิดขึ้นมาเพื่อให้ใช้ได้กับพืชได้หลายชนิด

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารโคอิค-เลเซนต์ pH 5.8

ไอออน	ความเข้มข้น (me/l)	ธาตุ
NO_3^-	12.2	N
NH_4^+	2.2	N
HPO_4^{2-}	2.2	P
K^+	5.2	K
Ca^{2+}	6.2	Ca
Mg^{2+}	1.5-3	Mg
SO_4^{2-}	0.7	S

ตารางที่ 2.7 น้ำหนัก 1 milliequivalent (me) ของธาตุอาหารหลักที่พบในสารละลายธาตุอาหาร

ธาตุ/อนุมูล	น้ำหนักอะตอมหรือโมเลกุล (mg)	วาเลนซี	น้ำหนักต่อ 1 me (mg)
K^+	39	1	39
Ca^{2+}	40	2	20
Mg^{2+}	24	2	12
NH_4^+	18	1	18
Na^+	23	1	23
NO_3^-	62	1	62
$H_2PO_4^-$	97	1	97
HPO_4^{2-}	96	2	48
SO_4^{2-}	96	2	48
Cl^-	35	1	35
CO_3^{2-}	60	2	30
HCO_3^-	61	1	61

ในการคำนวณนี้ได้ใช้องค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารตามสูตรของโคอิค-เลเซนต์ (Coic-Lesaint) [4] ที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจน 12.2 me/l และมีค่า pH = 5.8 มาเป็นตัวอย่างในการคำนวณหาปริมาณธาตุอาหาร ซึ่งสารละลายธาตุอาหารสูตรนี้จะเหมาะกับพืชผักและไม้ดอกไม้ประดับทั่วๆไป องค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารโคอิค-เลเซนต์ แสดงในตารางที่ 2.6 [5]

เนื่องจากค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารโคอิค-เลเซนต์จะบอกในหน่วย me/l ในการคำนวณจำเป็นต้องเปลี่ยนค่า me ของธาตุอาหารให้เป็นหน่วยน้ำหนักโดยการคูณด้วยน้ำหนักต่อ 1 me ของธาตุอาหารด้วยค่าจากในตารางที่ 2.7 [3] ในการหาน้ำหนักของปุ๋ยที่ต้องใช้เพื่อให้ได้ธาตุอาหาร 1 me จะใช้ค่าจากตารางที่ 2.8 [5]

ตารางที่ 2.8 น้ำหนักของปุ๋ยที่ต้องใช้ (mg) เพื่อให้ได้ธาตุอาหาร 1me

ชื่อปุ๋ย	สูตรทางเคมี	น้ำหนักโมเลกุล (mg)	น้ำหนักต่อ 1 me (mg)
Ammonium nitrate	NH_4NO_3	80	80
Potassium nitrate	KNO_3	101	101
Calcium nitrate	$Ca(NO_3)_2$	164	82
	$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	236	118
	$Ca(NO_3)_2.H_2O$	182	91
Magnesium nitrate	$Mg(NO_3)_2.6H_2O$	256	128
Ammonium dihydrogenphosphate	$NH_4H_2PO_4$	115	115
Ammonium monohydrogenphosphate	$(NH_4)_2HPO_4$	132	66
Potassium dihydrogenphosphate	KH_2PO_4	136	136
Potassium sulphate	K_2SO_4	174	87
Ammonium sulphate	$(NH_4)_2SO_4$	132	66
Magnesium sulphate	$MgSO_4.7H_2O$	246	123
	$MgSO_4$	120	60

ตารางที่ 2.9 ตารางที่ใช้ประกอบการคำนวณองค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหาร

ความเข้มข้น (me/l)										ปุ๋ยที่ใส่ต่อลิตร
	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+	H_3O^+	NO_3^-	$H_2PO_4^-$	HPO_4^{2-}	SO_4^{2-}	
ค่าวิเคราะห์น้ำ	0.05	3.5	0.55			0.2			0.6	
HNO_3					3.4	3.4				$3.4 \times 89 \times 10^{-3} = 0.3$ ml
H_3PO_4										
$NH_4H_2PO_4$										
$(NH_4)_2HPO_4$				2.2				2.2		2.2 x 66 = 145 mg
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$		3.12				3.12				3.12 x 118 = 368 mg
KNO_3	5.48					5.48				5.48 x 101 = 553 mg
K_2SO_4										
$MgSO_4.7H_2O$			1.23						1.23	1.23 x 123 = 151 mg
$Mg(NO_3)_2.6H_2O$										
NH_4NO_3										
ผลรวมทั้งหมด	5.53	6.62	1.78	2.2	3.4	12.2		2.2	1.83	

ในการคำนวณจะยึดหลักให้ค่าความเข้มข้นของ NO_3^-, NH_4^+ และ HPO_4^{2-} คงที่ คือ 12.2, 2.2 และ 2.2 me/l ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของธาตุอาหารอื่นสามารถเปลี่ยนแปลงได้บ้าง แต่อัตราส่วนร้อยละของ K : Ca : Mg จะต้องคงที่ คือ 39.6 : 47.6 : 12.8

โดยในตัวตัวอย่างนี้ เราต้องการเตรียมสารละลายธาตุอาหารจากน้ำที่มีองค์ประกอบดังนี้ $K^+ = 0.05$ me/l, $Ca^{2+} = 3.5$ me/l, $Mg^{2+} = 0.55$ me/l, $NH_4^+ = 0$ me/l, $NO_3^- = 0.2$ me/l, $H_2PO_4^- = 0$ me/l, $HPO_4^{2-} = 0$ me/l และ $SO_4^{2-} = 0.6$ me/l วิธีการโดยจะเริ่มจากเติมค่าต่างๆลงในตารางที่ 2.9 [5] เป็นลำดับดังนี้

1 เติมค่าวิเคราะห์น้ำลงในแถวที่ 1 ในหน่วยของ me/l

2 ใส่ค่า 2.2 me ของ HPO_4^{2-} และ 2.2 me ของ NH_4 ลงในช่องของ $(NH_4)_2HPO_4$

3 จากการทดลองปรับค่า pH ของน้ำโดยการค่อยๆ เติมกรดและวัดค่า pH ของน้ำที่เปลี่ยน พบว่าเพื่อปรับค่า pH ให้ได้ 5.8 จะต้องใช้กรด 2.4 me (pH เริ่มต้น = 8.3) ในที่นี้ใช้ กรด HNO_3 ในการปรับค่า pH ดังนั้นเติมค่า 2.4 me ลงในแถว HNO_3

4 การที่เราใช้ $(NH_4)_2HPO_4$ ใส่ลงในสารละลาย และเนื่องจากเกลือนี้มีฤทธิ์เป็นด่าง มีผลให้ pH ของสารละลายสูงขึ้น เพื่อลดค่า pH จะต้องเติมกรด โดยต้องใช้กรด HNO_3 1me/l เพื่อแก้ความเป็นด่างของ $(NH_4)_2HPO_4$ ที่ใช้ 2.2 me/l

5 ใส่ NO_3^- ทั้งหมดเป็นจำนวน 2.4 + 1 = 3.4 me ใส่ค่า 3.4 ลงในแถว NO_3^- เนื่องจากในน้ำมีอนุมูล NO_3^- อยู่แล้ว 0.2 me เหลืออนุมูล NO_3^- ที่จะต้องเติมลงไปอีก 12.2 - 3.4 - 0.2 = 8.6 me โดยจะใส่ในรูปของ $Ca(NO_3)_2$ และ KNO_3

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

6 เมื่อเราใส่อนุมูล NO_3^- 8.6 me ในรูปของเกลือที่กล่าวมาแล้วก็จะเป็นการใส่ K^{2+} , Ca^{2+} รวมกันจำนวน 8.6 me ด้วย เนื่องจากในน้ำมี (K^+) = .05 + (Ca^{2+}) = 3.5 = 3.55 me ซึ่งรวมทั้งหมดจะมี Ca^{2+} รวมกับ K^+ อยู่ในสารละลายทั้งหมด เท่ากับ 8.6 + 3.55 = 12.15 me

7 เนื่องจากอัตราส่วนร้อยละของ K : Ca : Mg ในสารละลายจะต้องเท่ากับ 39.6 : 47.6 : 12.8 หรือเมื่อคิดเป็น % ของ K : Ca = 39.6 x 100 / (39.6 + 47.6) : 47.6 x 100 / (39.6 + 47.6) = K : Ca = 45.5 : 54.5 ดังนั้นในสารละลายจะมี

K^+ = (12.15 x 45.5) / 100 = 5.53 me ปริมาณของ KNO_3 ที่ใส่จะเท่ากับ 5.53 - 0.05 = 5.48 me

Ca^{2+} = (12.15 x 54.5) / 100 = 6.62 me ปริมาณของ $Ca(NO_3)_2$ ที่ใส่จะเท่ากับ 6.62 - 3.5 = 3.12 me

8 ใส่ค่า 5.48 ในช่องจุดตัดระหว่างแนวนอนของ KNO_3 กับแนวตั้งของ K^+ และ NO_3^- ตามลำดับ

9 ใส่ค่า 3.12 ในช่องจุดตัดระหว่างแนวนอนของ $Ca(NO_3)_2$ กับแนวตั้งของ Ca^{2+} และ NO_3^- ตามลำดับ

10 อัตราส่วนร้อยละของ K : Ca : Mg จะต้องเท่ากับ 39.6:47.6:12.8 (เมื่อคิดเป็น % ของผลรวมของ K + Ca + Mg) ในสารละลายมี Ca = 6.62 ดังนั้นจะต้องใส่ Mg = (12.8 x 6.62) / 47.6 = 1.78 me Mg^{2+} ในน้ำมี Mg^{2+} อยู่แล้ว 0.55 me ดังนั้นจะต้องใส่เพิ่มอีก 1.78 - 0.55 = 1.23 me ใส่ในรูปของ $MgSO_4.7H_2O$ ใส่ค่า 1.23 ในช่องจุดตัดระหว่างแนวนอนของ $MgSO_4.7H_2O$ กับแนวตั้งของ Mg^{2+} และ SO_4^{2-} ตามลำดับ

11 ผลรวมของ SO_4^{2-} ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 0.6 + 1.23 = 1.83 ซึ่งค่านี้จะสูงกว่าค่าในสูตรสารอาหารเล็กน้อย (1.5 me/l) แต่เป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่ใช้ได้ คือความเข้มข้นของ SO_4^{2-} ในสารละลายสามารถมีได้ถึง 2 me/l

12 ในการคำนวณปริมาณสารที่ต้องใช้ (มิลลิกรัม) ในการเตรียมสารละลาย 1 ลิตร คำนวณโดยคูณจำนวน me ของสารที่ใช้ในแต่ละแถวด้วย น้ำหนักปุ๋ย และกรดที่ให้ไว้ในตารางที่ 2.3 และ 2.9 ใส่ค่าเหล่านี้ในแนวตั้งของช่องสุดท้าย

2.8 การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร

หลังจากที่ทราบปริมาณของสารต่างๆที่ต้องเติมลงในน้ำเพื่อเตรียมสารละลายธาตุอาหารปริมาณขนาด 1 ลิตร ในการเตรียมสารละลายนั้นโดยทั่วไปจะเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงและเมื่อต้องการใช้ก็จะนำมาเจือจางให้ได้ความเข้มข้นตามต้องการ โดยจะเตรียมสารละลายแยกไว้เป็น 2 ถัง เนื่องจากปุ๋ยบางชนิดไม่สามารถผสมกันโดยตรงที่ระดับความเข้มข้นสูงๆ ซึ่งวิธีการเตรียมจะมีขั้นตอนดังนี้ เช่น เมื่อเราต้องการสารละลายธาตุอาหารทั้งหมด 1,000 ลิตร จะต้องเตรียมสารละลายธาตุอาหารเข้มข้นไว้ 2 ถัง ถังละ 5 ลิตร โดยใช้ตัวอย่างจากที่คำนวณมาแล้วในตอนต้น

77991

สารละลายธาตุอาหารเข้มข้นถังที่ 1

ต้องทำการผสมตามลำดับขั้นดังนี้

1 ใส่น้ำ 2 ลิตร

2 ใส่กรด HNO_3 เท่ากับปริมาณที่ต้องใช้เพื่อปรับ pH ของสารละลาย 995 ลิตร ให้ได้ pH = 5.8 รวมกับปริมาณเพื่อแก้ความเป็นด่างเนื่องจากผลของปุ๋ย $(NH_4)_2HPO_4$ จากตัวอย่างใช้ HNO_3 (53.5%) = 0.305 มิลลิลิตร ต่อสารละลายธาตุอาหาร 1 ลิตร ดังนั้นใช้กรดทั้งหมด 995 x 0.303 / 1000 = 301 มิลลิลิตร

3 ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้งหมดในรูป ($(NH_4)_2HPO_4$ = 1,000 x 145 / 1000= 145 กรัม (ปุ๋ยนี้ต้องละลายในน้ำ 1 ลิตร ก่อนผสม)

4 ในถังที่ 1 นี้อาจใส่ N, K, Mg ในรูปของ ซัลเฟต, ไนเตรท, ฟอสเฟต, แอมโมเนียม ที่ละลายในน้ำก่อนผสมแต่ในถังนี้ห้ามใส่แคลเซียมเด็ดขาดเพราะจะทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตและซัลเฟตจนตกตะกอน

5 ในที่นี้จะใส่ KNO_3 ในถังนี้ปริมาณ KNO_3 ที่ใส่เท่ากับ 1000 x 553 / 1000 = 553 กรัม (หรืออาจแบ่งใส่ KNO_3 ในถังนี้ครึ่งหนึ่งและแบ่งใส่ถังที่ 2 อีกครึ่งหนึ่งได้)

6 ใส่ $MgSO_4$ เท่ากับ 1000 x 151 / 1000 = 151 กรัม

7 ใส่จุลธาตุอาหารทั้งหมดในถังนี้ ยกเว้นเหล็ก

8 เติมน้ำให้ได้ปริมาตร 5 ลิตร คนสารละลายให้ผสมกันดี pH ของสารละลายในถังนี้จะต้องต่ำกว่า 3

สารละลายธาตุอาหารเข้มข้นถังที่ 2

ต้องทำการผสมตามลำดับดังนี้

1 ใส่น้ำ 2 ลิตร

2 ใส่กรด HNO_3 เพื่อปรับ pH ของน้ำในถังนี้ (5 ลิตร) ในที่นี้ต้องใส่ 5 x 0.303 / 1000 = 1.51 มิลลิลิตร

3 ใส่ปุ๋ยที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบทั้งหมดในถังนี้ (ปุ๋ยนี้ต้องละลายในน้ำ 1.2 ลิตร ก่อน) ในที่นี้เราจะละลายปุ๋ย $Ca(NO_3)_2$ จำนวน 1,000 x 305 / 1000 = 305 กรัม ในน้ำ 1.2 ลิตร หลังจากนั้นจึงเทใส่ในถังที่ 2

4 ใส่เหล็กทั้งหมดในรูปคีเลต (chelate) อัตราที่ใช้จะมีส่วนผสมของเหล็กอยู่ในช่วง 0.6 ถึง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ในที่นี้จะใส่ในรูป Fe-EDTA (6% Fe) ซึ่งมีเหล็ก 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นต้องใส่เหล็กในรูป Fe-EDTA ทั้งหมดเป็นจำนวน 1,000 x (100 x 0.6/6) / 1000 = 10 กรัม โดยที่จะต้องนำเอาสารประกอบเหล็กละลายในน้ำ 1.2 ลิตรก่อน

5 เติมน้ำลงในถังให้ครบ 5 ลิตร คนสารละลายให้เข้ากันดี pH ของสารละลายในถังที่ 2 จะอยู่ในช่วง 4 ถึง 6

สารละลายทั้งสองถังนี้เมื่อจะนำไปใช้ จะทำการเจือจางในอัตราส่วน 1:200 เช่นถ้าต้องการใช้สารละลายธาตุอาหารพืช 500 ลิตร ต้องใช้สารละลายธาตุอาหรเข้มข้นถังที่ 1 และถังที่ 2 ถังละเท่ากับ (1/200) x 500 = 2.5 ลิตร และปรับปริมาตรโดยเติมน้ำให้ครบ 500 ลิตร

2.9 การตรวจสอบสารละลายธาตุอาหารที่เตรียมได้

หลังจากที่เตรียมสารละลายเสร็จแล้วจำเป็นต้องมีการตรวจสอบว่าสารละลายที่ได้มีค่า pH และค่าความเข้มข้น (EC) เป็นไปตามที่เราต้องการหรือไม่

1 ค่า pH ของสารละลายที่ได้จะต้องได้ประมาณ 5.8

2 ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร คือผลรวมของอนุมูลที่มีอยู่แล้วในน้ำรวมกับอนุมูลของปุ๋ยและกรดที่ใส่เพิ่มเข้าไป ซึ่งวัดเป็นกรัมของเกลือต่อลิตร สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$EC = \frac{Q}{K} \tag{2.1}$$

เมื่อ EC เป็นค่าความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity : mS/cm)

Q เป็นความเข้มข้นของอนุมูลทั้งหมดในสารละลาย (g/l)

K เป็นค่าคงที่อยู่ในช่วง 0.8 ถึง 0.9 ขึ้นอยู่กับชนิดของอนุมูล

จากตัวอย่างจากที่คำนวณมาแล้วในตอนต้น สามารถนำมาคำนวณหาค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร จากค่าความเข้มข้นของผลรวมของอนุมูลทั้งหมดในสารละลายโดยนำค่าความเข้มข้นของอนุมูลจากตารางที่ 2.9 และน้ำหนักสมมูลของอนุมูลจากตารางที่ 2.7 มาใช้คำนวณแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 การหาค่า EC จากความเข้มข้นของผลรวมของอนุมูลทั้งหมดในสารละลาย

อนุมูล	ความเข้มข้น (me/l)	น้ำหนักสมมูลของอนุมูล (mg)	ความเข้มข้น (mg/l)
K^+	5.53	39	215.67
Ca^{2+}	6.62	20	132.4
Mg^{2+}	1.78	12	21.36
NH_4^+	2.2	18	39.6
H_3O^+	3.4	19	64.6
NO_3^-	12.2	62	756.4
HPO_4^{2-}	2.2	48	105.6
SO_4^{2-}	1.83	48	87.84
ผลรวมของอนุมูลทั้งหมด			1423.47 (หรือ 1.423 g/l)
ค่า EC มีค่าเท่ากับ 1.423 / 0.85 = 1.67 mS/cm			

บทที่ 3

การควบคุมสารละลายธาตุอาหาร

ในหัวข้อนี้อธิบายถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งกล่าวถึงความสำคัญของการควบคุมสารละลายธาตุอาหาร การควบคุมค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายธาตุอาหาร การควบคุมค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร และรูปแบบการควบคุมสารละลายธาตุอาหาร

3.1 ความสำคัญของการควบคุมสารละลายธาตุอาหาร

การที่พืชจะเจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหารได้ดีนั้น จะต้องประกอบด้วยปัจจัยสำคัญ 3 ประการคือ

1 มีน้ำที่ใช้ผสมเป็นสารละลายธาตุอาหารพืชเพียงพอ

2 มีออกซิเจนอย่างเพียงพอ

3 มีปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสม

ในการควบคุมให้มีปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมนั้น จะเป็นการดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของสารละลายธาตุอาหาร และค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารโดยวัดจากค่าความนำไฟฟ้า (EC) ของสารละลาย เพื่อให้พืชสามารถดูดใช้ธาตุอาหารจากสารละลายธาตุอาหารได้ดี

3.2 การควบคุมค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายธาตุอาหาร

ในการควบคุมค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของสารละลายธาตุอาหารสามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อหลักได้ดังนี้

3.2.1 ที่มาของการควบคุมค่า pH ของสารละลายธาตุอาหาร

ค่าของ pH หมายถึงค่าของความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลาย โดย pH = 7 หมายถึงสารละลายมีความเป็นกลาง ค่า pH ที่ต่ำกว่า 7 ถือว่าสารละลายเป็นกรด และค่า pH ที่สูงกว่า 7 ถือว่าสารละลายเป็นด่าง

เนื่องจากสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวกลางที่มีความเป็นกรด กลาง และด่างนั้นจะต้องประกอบด้วยไอออนของไฮโดรเจน (Hydrogen Ion) หรือ $[H^+]$ และไอออนของไฮดรอกไซด์ (Hydroxide Ion) หรือ $[OH^-]$ อยู่เสมอโดย

ไอออนของไฮโดรเจน [H^+] จะบอกถึงความเป็นกรดในสารละลาย

ไอออนของไฮดรอกไซด์ [OH^-] จะบอกถึงความเป็นด่างในสารละลายที่ 25°C ความเข้มข้นของ [H^+] และ [OH^-] คูณกันจะได้ 10^{-14} โมล/ลิตร ดังนั้น

$$[H^+][OH^-] = 10^{-14} \tag{3.1}$$

นั่นคือที่ที่มีความเข้มข้นของ [H^+] และ [OH^-] เท่ากัน จะมีค่าความเข้มข้นดังนี้

$$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7} \tag{3.2}$$

เพื่อให้การแสดงผลเข้าใจได้ง่ายโดยไม่มีค่าติดลบ จึงมีการคิดวิธีการโดยใช้ค่าลอกาลิทึม (Logarithm) ของเลขฐาน 10 ทำให้ความเข้มข้นที่มีกำลังเป็นค่าติดลบสามารถเขียนเป็นค่าไม่ติดลบได้โดย

$$p = power = -\log \tag{3.3}$$

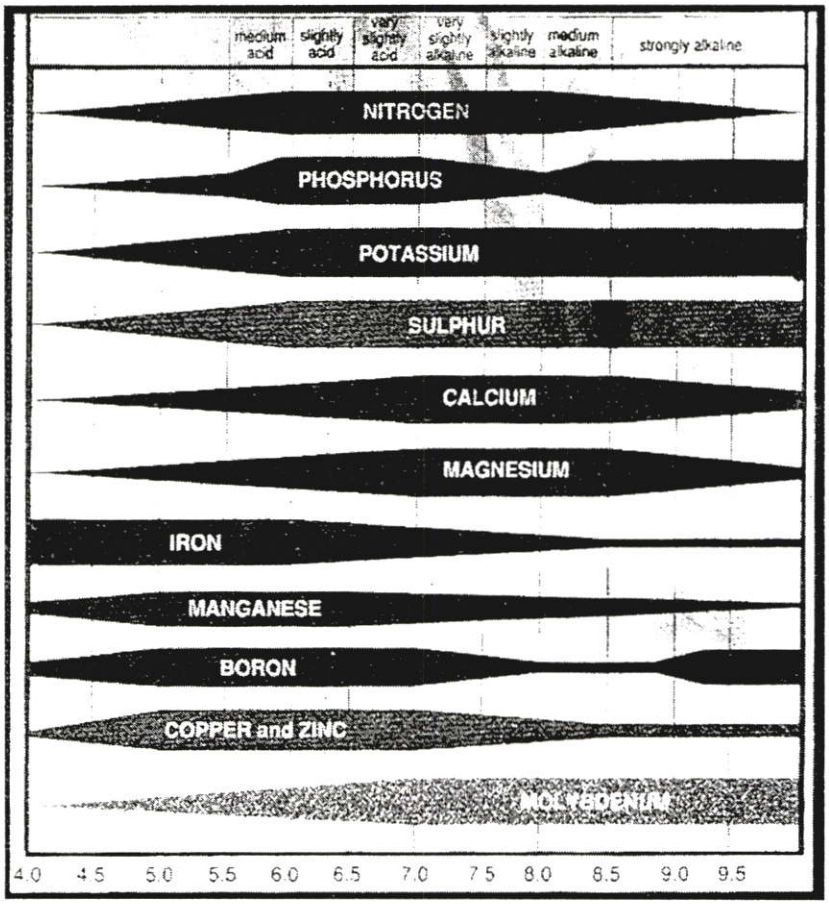
$$pH = -\log[H^+] \text{ หรือ } pOH = -\log[OH^-] \tag{3.4}$$

จากสมการที่ (3.1) ก็จะได้

$$pH + pOH = 14 \tag{3.5}$$

ดังนั้น pH ของสารละลายจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-14 ค่า pH ที่ 7 ถือว่าสารละลายมีค่าเป็นกลาง ค่า pH ต่ำกว่า 7 ถือว่าสารละลายเป็นกรดและค่า pH ที่สูงกว่า 7 ถือว่าสารละลายเป็นด่างหรือเบส

เนื่องจากธาตุอาหารพืชแต่ละธาตุที่มีอยู่ในสารละลายธาตุอาหารนั้นรากพืชจะดูดนำไปใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใดก็ขึ้นกับค่า pH ที่แตกต่างกันไป ดังนั้นค่า pH ในสารละลายจะเป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงความสามารถของรากที่จะดูดธาตุอาหารต่างๆที่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารได้ โดยถ้าสารละลายมีค่า pH ที่ต่ำ จะทำให้พืชดูดธาตุอาหารหลักเช่น ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และดูดธาตุอาหารรองเช่น แคลเซียม และแมกนีเซียมได้น้อยลง ในทางกลับกันถ้าสารละลายมีค่า pH ที่สูง จะทำให้พืชดูดธาตุพวกจุลธาตุเช่น เหล็ก สังกะสี ทองแดง และแมงกานีสได้น้อยลง ตามที่แสดงในรูปที่ 3.1 [8]



รูปที่ 3.1 ความสามารถของรากที่ดูดธาตุอาหารแต่ละธาตุภายใต้ค่า pH ที่แตกต่างกัน

3.2.2 สาเหตุที่ทำให้ค่า pH เปลี่ยนแปลง

ค่าของ pH ในสารละลายธาตุอาหารสามารถเปลี่ยนแปลงได้จากหลายสาเหตุอันเนื่องมาจากการที่รากพืชดูดธาตุอาหารในสารละลายธาตุอาหารแล้วปลดปล่อยไอออนของไฮโดรเจน [H^+] และไอออนของไฮดรอกไซด์ [OH^-] สู่สารละลายธาตุอาหาร ทำให้ pH เปลี่ยนแปลงไปดังเช่น

1 พืชดูดธาตุอาหารที่มีไอออนลบ เช่น ไนเตรต (NO_3^-) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) แล้วปลดปล่อยไอออนของไฮดรอกไซด์ [OH^-] สู่สารละลายธาตุอาหารทำให้สารละลายมีค่า pH สูงขึ้น

2 พืชดูดธาตุอาหารที่มีไอออนบวก เช่น แคลเซียม (Ca^{2+}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) โพแทสเซียม (K^+) แอมโมเนียม (NH_4^+) แล้วปลดปล่อยไอออนของไฮโดรเจน [H^+] สู่สารละลายธาตุอาหารทำให้สารละลายมีค่า pH ลดลง

3.2.3 การควบคุมค่า pH

พืชแต่ละชนิดต้องการ pH ที่แตกต่างกันไป โดย pH ที่ 4.0 จะเป็นค่าต่ำสุดและ pH ที่ 10.0 จะเป็นค่าสูงสุด โดยปกติแล้วจะนิยมรักษาค่า pH เอาไว้ที่ 6 ในการปรับเพื่อลดหรือเพิ่มค่า pH นั้น สามารถทำได้โดยการเติมสารลงไปในสารละลายธาตุอาหารดังนี้

1 การปรับเพื่อเพิ่มค่า pH ในกรณีที่สารละลายธาตุอาหารเป็นกรดมากเกินไป ในการควบคุมจะต้องปรับค่า pH ให้สูงขึ้นโดยการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) หรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) สารใดสารหนึ่งลงไปในสารละลายธาตุอาหาร การใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จะทำให้สารละลายธาตุอาหารมีโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันการใช้แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ก็จะทำให้สารละลายธาตุอาหารมีแอมโมเนียมเพิ่มขึ้นด้วย

2 การปรับเพื่อลดค่า pH ในกรณีที่สารละลายธาตุอาหารเป็นด่างมากเกินไป ในการควบคุมจะต้องปรับค่า pH ให้ลดลงโดยการเติมกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) หรือกรดไนตริก (HNO_3) หรือกรดไฮโดรคลอริก (HCl) หรือกรดอะซิติก (CH_3COOH) หรือกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) สารใดสารหนึ่งลงไปในสารละลายธาตุอาหาร การใช้กรดฟอสฟอริกถึงแม้จะมีอันตรายน้อยกว่าแต่ก็จะเป็นการทำให้พืชได้รับธาตุฟอสฟอรัสมากขึ้น

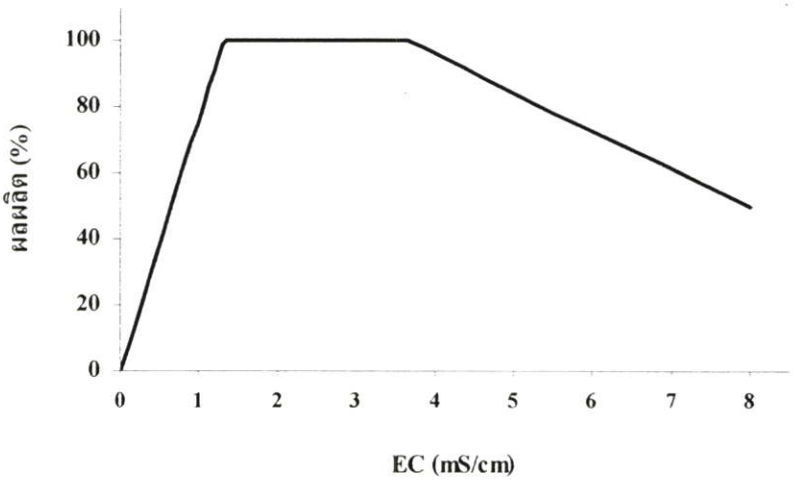
3.3 การควบคุมค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร

ในการควบคุมค่าความเข้มข้น(EC) ของสารละลายธาตุอาหารสามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อหลักได้ดังนี้

3.3.1 ที่มาของการควบคุมค่า EC ของสารละลายธาตุอาหาร

เนื่องจากธาตุอาหารที่ละลายในน้ำมีค่าของไอออนที่สามารถนำไฟฟ้าได้ ดังนั้นสารละลายที่เข้มข้นจึงมีการนำไฟฟ้าสูงขึ้นเป็นสัดส่วนจึงทำให้สามารถวัดความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารได้โดยการวัดค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร โดยมีหน่วยที่วัดได้เป็นมิลลิซิเมนต่อเซนติเมตร (mS/cm) ค่าการนำไฟฟ้านี้จะเป็นตัวที่บอกให้ทราบเพียงแค่ความเข้มข้นของสารละลายแต่ไม่ทราบชนิดของธาตุในสารละลายนั้น ธาตุอาหารแต่ละชนิดที่มีความเข้มข้นเท่ากันก็อาจจะมีค่าการนำไฟฟ้าที่ต่างกันได้ เช่นแอมโมเนียมซัลเฟตมีค่าการนำไฟฟ้ามากกว่าแคลเซียมไนเตรตอยู่ 2 เท่า และมีค่ามากกว่าแมกนีเซียมซัลเฟตถึง 3 เท่า ส่วนยูเรียไม่มีการนำไฟฟ้าเพราะไม่แตกตัวเป็นไอออน ไนเตรตไอออนมีค่าการนำไฟฟ้าน้อยกว่าโพแทสเซียมไอออนจึงทำให้การที่มีไนโตรเจนต่อโพแทสเซียมที่สูงจะทำให้ค่าของการนำไฟฟ้าต่ำ ทั้งนี้ค่าการนำไฟฟ้าจะขึ้นกับความสามารถในการแตกตัวของธาตุในสารละลาย

เหตุผลที่ต้องมีการควบคุมค่า EC ของสารละลายธาตุอาหารก็เนื่องจากค่า EC มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของพืช



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่า EC กับผลผลิตพืช

รูปที่ 3.2 [2] แสดงให้เห็นว่าถ้าไม่มีค่า EC หรือไม่มีสารละลายธาตุอาหารเลยก็จะไม่เกิดมีผลผลิต และถ้าไม่มีการให้ธาตุอาหารในรูปสารละลายธาตุอาหาร ผลผลิตที่ได้ก็จะไม่อยู่ในช่วงสูงสุด ดังนั้นการควบคุมค่า EC เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุดจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ นอกเหนือกว่านั้นค่า EC ที่เหมาะสมของพืชแต่ละชนิดก็จะมีค่าที่แตกต่างกันออกไป

3.3.2 สาเหตุที่ทำให้ค่า EC เปลี่ยนแปลง

ในสภาพภูมิอากาศที่ส่งเสริมให้พืชมีอัตราการคายน้ำสูง เช่นแสงมาก ลมแรง อุณหภูมิสูง หรือความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ พืชจะมีอัตราการดูดใช้ธาตุอาหารน้อยกว่าอัตราการดูดน้ำ และในทางกลับกันถ้าสภาพภูมิอากาศส่งเสริมให้อัตราการคายน้ำต่ำ เช่นในช่วงหน้าร้อนและหน้าฝน พืชก็จะดูดใช้ธาตุอาหารในอัตราที่สูงกว่าดูดใช้น้ำ ซึ่งพืชจะมีอัตราการคายน้ำต่างกันมากจำเป็นต้องมีการจัดการความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารให้เหมาะสม เช่น ถ้าในขณะหนึ่งพืชดูดสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC = 1.5 แต่ในขณะนั้นสารละลายธาตุอาหารที่ให้กับพืชมีค่า EC = 2.0 ดังนั้นพืชจะดูดน้ำมากกว่าธาตุอาหารมีผลให้ธาตุอาหารสะสมอยู่ในสารละลายมากขึ้นทำให้สารละลายบริเวณรากพืชมีค่า EC สูงขึ้นมากกว่า 2 และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในทางกลับกันถ้าขณะเดียวกันพืชดูดใช้สารละลายที่มีค่า EC = 1.5 แต่สารละลายที่ให้แก่พืชมีค่า EC = 1 ดังนั้นพืชจะดูดธาตุอาหารมากกว่าดูดน้ำทำให้สารละลายบริเวณรากพืชมีความเข้มข้นลดลงคือมีค่า EC ลดลงต่ำกว่า 1 ลงเรื่อยๆ ซึ่งสิ่งที่เราต้องการคือเตรียมสารละลายที่มีค่า EC เท่ากับที่พืชดูดใช้ ดังนั้นค่า EC บริเวณรากพืชจะคงที่ตลอดเวลา โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า EC ของสารละลายรอบรากพืชจะขึ้นอยู่กับ

1 ค่า EC ตั้งต้นของสารละลายว่ามีความแตกต่างจากค่า EC ที่พืชดูดใช้มากน้อยแค่ไหนถ้าต่างกันมากอัตราการเปลี่ยน EC ก็จะมากด้วย

2 อัตราการคายน้ำของพืช ถ้าพืชมีอัตราการคายน้ำสูงก็จะส่งเสริมให้การเปลี่ยนEC เร็ว

3 ปริมาตรของถังเก็บสารละลายเมื่อเทียบกับจำนวนพืชที่ปลูก ถ้าถังมีขนาดเล็กการเปลี่ยนค่า EC ก็จะเปลี่ยนเร็ว

3.3.3 การควบคุมค่า EC

พืชแต่ละชนิดจะมีค่า EC ที่เหมาะสมแตกต่างกันไป โดยค่า EC ที่ต่ำอยู่ระหว่าง 0.5-2.0 mS/cm จะเหมาะสำหรับการปลูกผักสลัด ค่า EC ที่อยู่ระหว่าง 1.5-2.0 mS/cm จะเหมาะสำหรับการปลูกแตงกวา ค่า EC ที่อยู่ระหว่าง 1.8-2.0 mS/cm จะเหมาะสำหรับการปลูกไม้ดอกไม้ประดับทั่วไป ค่า EC ที่สูงอยู่ระหว่าง 2.5-3.5 mS/cm จะเหมาะสำหรับการปลูกมะเขือเทศ ค่า EC ที่สูงมากอยู่ระหว่าง 4-6 mS/cm จะเหมาะสำหรับการปลูกแคนตาลูป

ในทางปฏิบัติอาจจะมีการควบคุมค่า EC ของสารละลายธาตุอาหารให้แตกต่างกันไปตามช่วงการเจริญเติบโตของพืชเช่น เมื่อพืชยังเล็กจะควบคุมค่า EC ไว้ต่ำแล้วค่อยๆเพิ่มขึ้นตามการเจริญเติบโตของพืช

โดยคาร์รุธเธอร์ส (Carruthers) [6] และโจนส์ (Jones) [7] ได้แนะนำในการควบคุมค่า EC และ pH สำหรับการปลูกพืชชนิดต่างๆดังแสดงในตารางที่ 3.1

ในการปรับเพื่อลดหรือเพิ่มค่า EC นั้นสามารถทำได้โดยการเติมสารละลายธาตุอาหารเข้มข้นหรือเติมน้ำดิบได้ดังนี้

1 การปรับเพื่อเพิ่มค่า EC ในกรณีที่สารละลายธาตุอาหารมีค่า EC ต่ำเกินไป ในการควบคุมค่าจะต้องเพิ่มค่า EC โดยการเติมสารละลายธาตุอาหารเข้มข้นทั้งสองถังในปริมาณเท่ากันลงไปในสารละลายธาตุอาหารเพื่อเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของธาตุอาหาร

2 การปรับเพื่อลดค่า EC ในกรณีที่สารละลายธาตุอาหารมีค่า EC สูงเกินไป ในการคบคุมค่าจะต้องลดค่า EC โดยการเติมน้ำดิบลงไปในสารละลายธาตุอาหารเพื่อเป็นการเจือจางธาตุอาหาร

ตารางที่ 3.1 ค่า EC และ pH สำหรับการปลูกพืชชนิดต่างๆ

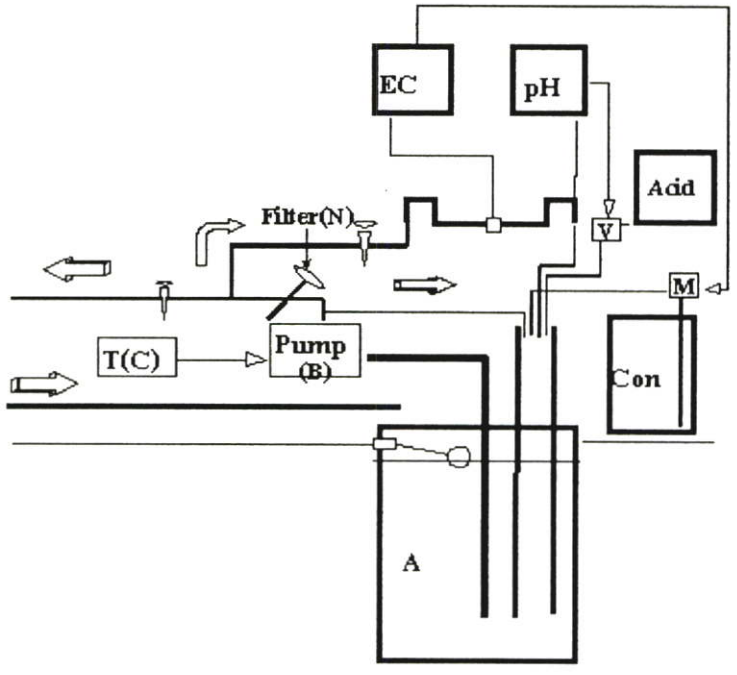
พืช	pH	EC (mS/cm)
กะหล่ำดอก	6.0-6.5	2.5-3.0
กะหล่ำปลี	6.6-7.0	2.5-3.0
บล็อกโคลี่	6.0-6.5	1.8-2.4
แครอท	5.8-6.3	1.8-2.2
คะน้า	6.0-6.4	1.5-3.5
แตงกวา	5.5-6.0	1.0-2.5
ผักกาดหอม	6.0-6.5	0.8-1.2
ผักกาดหัว	7.0-7.2	1.8-5.0
มะเขือเทศ	5.5-6.5	2.0-5.0
กุหลาบ	5.0-6.0	1.8-2.2
แตงโม	5.8-6.2	1.7-2.5
มะละกอ	6.0-6.5	1.6-2.4
สตรอเบอร์รี่	6.0-6.5	1.4-2.0
ส้ม	5.5-6.5	1.8-2.2
สับปะรด	5.5-6.0	2.0-2.4
แอปเปิล	6.8-7.2	2.2-3.0

3.4 รูปแบบการควบคุมสารละลายธาตุอาหาร

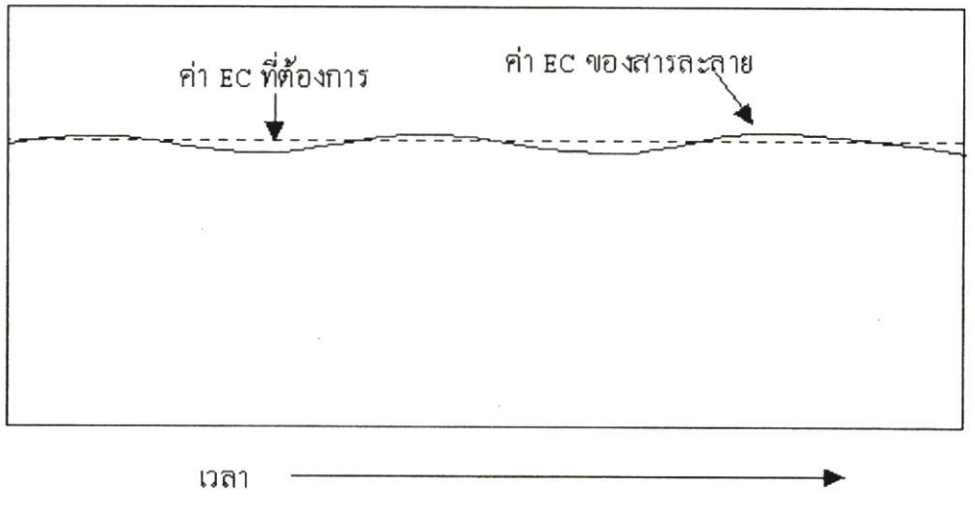
รูปแบบในการควบคุมสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ปฏิบัติในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

3.4.1 ระบบควบคุมสารละลายอัตโนมัติ

ด้วยระบบนี้การควบคุมค่า pH และ EC จะถูกควบคุมโดยอัตโนมัติตลอดเวลา ดังนั้นค่า pH และ EC ของสารละลายจะเกือบคงที่ตลอดเวลาและมีค่าที่แตกต่างจากค่าที่ต้องการน้อยมาก ดังรูปที่ 3.3 [6] และ 3.4 [6] โดยระบบชนิดนี้จะเป็นระบบที่ดีที่สุดในการควบคุมค่า pH และ EC ของสารละลาย แต่ข้อเสียของระบบชนิดนี้คือเนื่องจากเป็นระบบที่มีราคาแพง



รูปที่ 3.3 ผังของระบบควบคุมสารละลายอัตโนมัติ

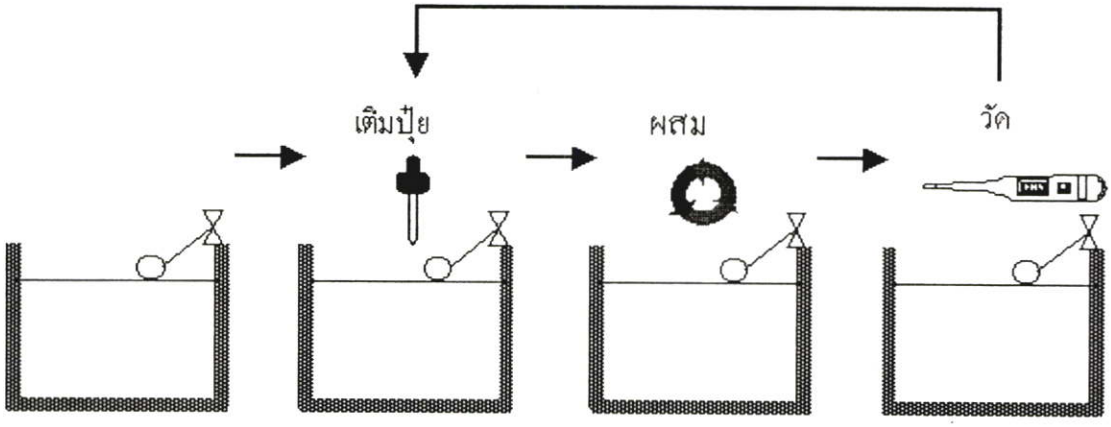


รูปที่ 3.4 การเปลี่ยนแปลงค่า EC ในระบบควบคุมสารละลายอัตโนมัติ

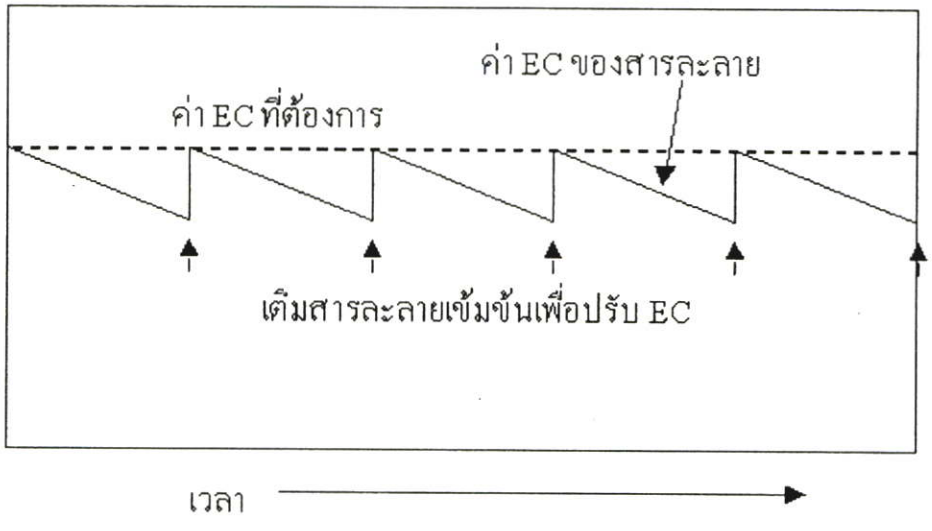
3.4.2 ระบบที่เติมน้ำอัตโนมัติแต่เติมปุ๋ยโดยผู้ดูแล

ระบบนี้จะมีลูกลอยรักษาระดับน้ำในถังสารละลาย เมื่อพืชดูดสารละลายไปใช้ลูกลอยจะคอยรักษาระดับน้ำให้คงที่ตลอดเวลา ดังนั้นค่า EC ของสารละลายจะลดลงเรื่อยๆ โดยที่คนดูแลจะวัดค่า pH และ EC เป็นช่วงเวลาเช่นทุกๆเช้าและจะเติมสารละลายเข้มข้นเพื่อปรับให้ค่า EC

ของสารละลายขึ้นถึงค่าที่ต้องการ ลักษณะการเปลี่ยนค่า EC ของสารละลายจะเป็นดังรูปที่ 3.6 ช่วงความแตกต่างของค่า EC ที่ต้องการและค่า EC ต่ำสุดจะขึ้นกับความถี่ในการตรวจวัดและปรับค่า EC ถ้าทำบ่อยๆค่าความแตกต่างจะน้อยพืชจะเจริญเติบโตดี ผังกระบวนการของระบบที่เติมน้ำอัตโนมัติแต่เติมปุ๋ยโดยผู้ดูแลและการเปลี่ยนแปลงค่า EC ในระบบที่เติมน้ำอัตโนมัติแต่เติมปุ๋ยโดยผู้ดูแล แสดงดังรูปที่ 3.5 [6] และ 3.6 [6] ตามลำดับ



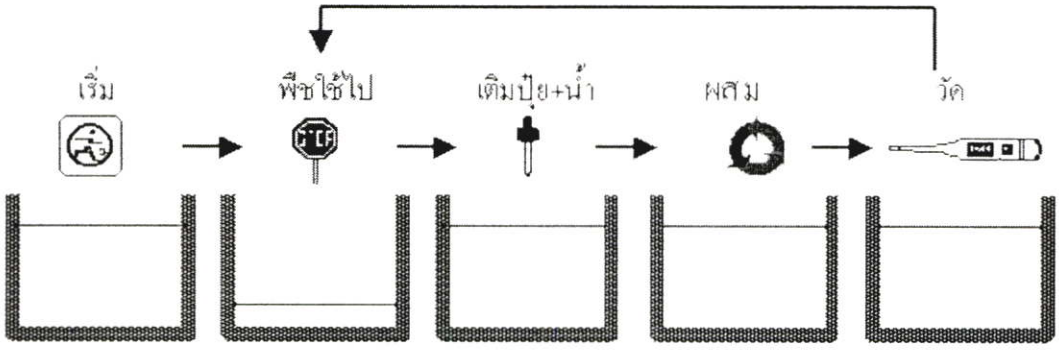
รูปที่ 3.5 ผังกระบวนการของระบบที่เติมน้ำอัตโนมัติแต่เติมปุ๋ยโดยผู้ดูแล



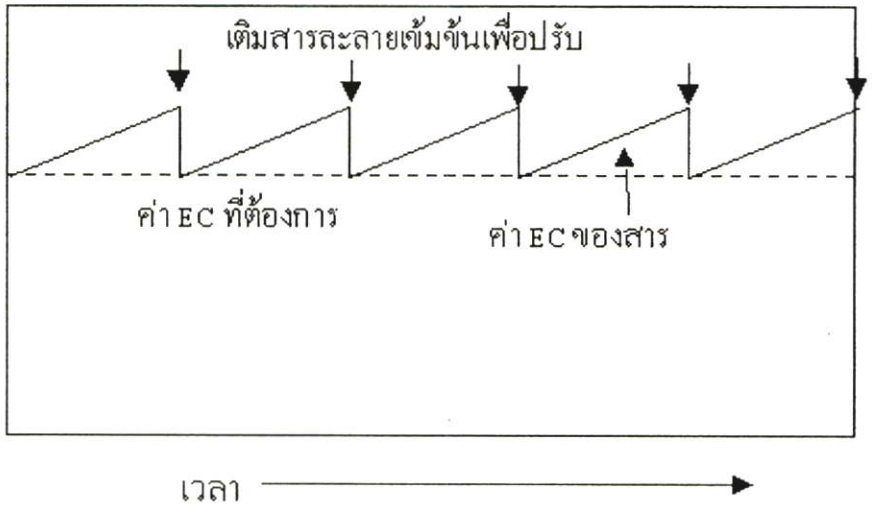
รูปที่ 3.6 การเปลี่ยนแปลงค่า EC ในระบบที่เติมน้ำอัตโนมัติแต่เติมปุ๋ยโดยผู้ดูแล

3.4.3 ระบบที่เติมน้ำและปุ๋ยโดยผู้ดูแลและมีการตรวจวัดค่า

ระบบนี้จะปล่อยให้พืชใช้สารละลายไปเรื่อยๆจนถึงระดับหนึ่งและผู้ดูแลจะเข้าไปเติมน้ำและปรับค่า EC ของสารละลายให้เท่ากับที่ต้องการ การเข้าไปปรับค่าอาจจะเป็นช่วงเวลาเช่นทุกเช้าหรือดูจากปริมาณสารละลายที่พืชใช้ไปเช่น 50%, 60% หรือ 70% ของความจุถังสารละลาย ค่า EC ของระบบนี้จะเพิ่มค่าขึ้นเรื่อยๆจนกว่าจะมีการเข้าไปปรับค่า EC หลังจากทำการปรับค่า EC แล้วค่าก็จะลดลงมาที่ระดับที่ต้องการ ผังกระบวนการของระบบที่เติมน้ำและปุ๋ยโดยผู้ดูแลและมีการตรวจวัดค่าและการเปลี่ยนแปลงค่า EC ในระบบที่เติมน้ำและปุ๋ยโดยผู้ดูแลและมีการตรวจวัดค่าแสดงดังรูปที่ 3.7 [6] และ 3.8 [6] ตามลำดับ



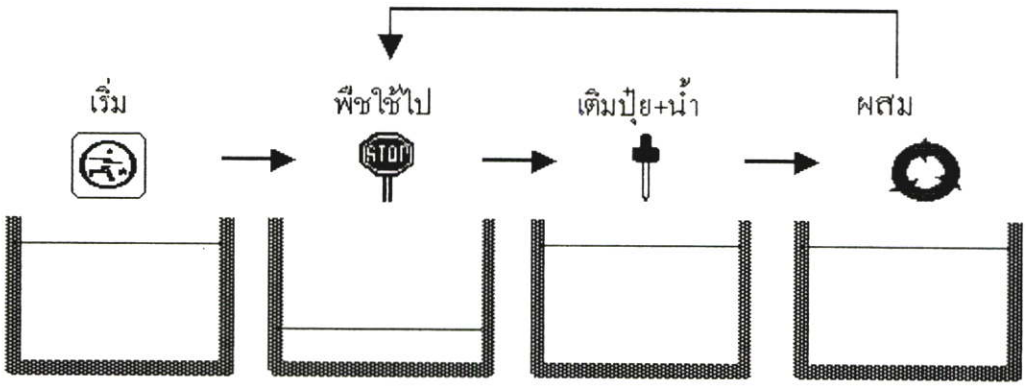
รูปที่ 3.7 ผังกระบวนการของระบบที่เติมน้ำและปุ๋ยโดยผู้ดูแลและมีการตรวจวัดค่า



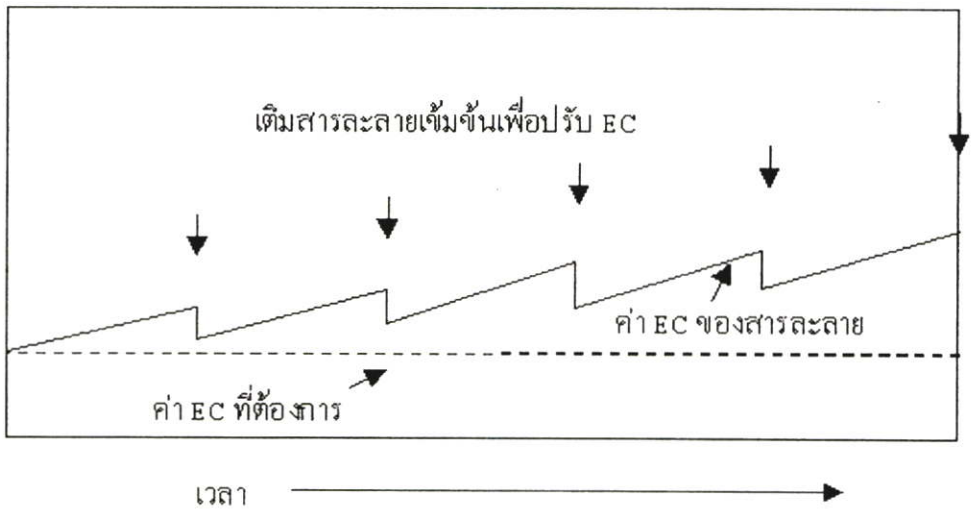
รูปที่ 3.8 การเปลี่ยนแปลงค่า EC ในระบบที่เติมน้ำและปุ๋ยโดยผู้ดูแลและมีการตรวจวัดค่า

3.4.4 ระบบที่เติมน้ำและปุ๋ยโดยผู้ดูแลและไม่มีการวัดค่า

วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกที่สุดแต่เป็นระบบที่ควบคุมค่า EC ที่แย่ที่สุด ระบบนี้จะปล่อยให้พืชใช้สารละลายไปเรื่อยๆจนถึงระดับหนึ่ง หลังจากนั้นจะมีการเติมสารละลายที่เตรียมไว้แล้ว (สารละลายที่มีค่า EC ที่ต้องการ) หรือโดยการเติมน้ำและสารละลายเข้มข้นตามอัตราที่กำหนดไว้เช่น สารละลายเข้มข้น 1 ส่วน น้ำ 100 ส่วน แต่ไม่มีการวัดค่า EC ในถังสารละลาย ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันมากในการปลูกเป็นงานอดิเรกไม่มีเครื่องวัดค่า EC การเปลี่ยนค่า EC ในระบบนี้คือค่า EC ของสารละลายจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนอาจถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อพืช สิ่งที่ต้องระวังในการปรับค่า EC ของสารละลายคือถึงแม้จะมีการถ่ายสารละลายในถังสารละลายทิ้งทั้งหมดและเติมสารละลายที่เตรียมใหม่ที่มีค่า pH และค่า EC ตามต้องการลงในถังผสม แล้วจะต้องมีการตรวจวัดค่า pH และ EC ของสารละลายอีกครั้งหลังจากที่ปล่อยให้ระบบทำงานไปสักพัก เนื่องจากเมื่อเราถ่ายสารละลายในถังผสมทิ้งยังมีปริมาณสารละลายเป็นจำนวนมากที่อยู่บริเวณรากพืชและมีค่า EC สูงกว่าที่ต้องการ ดังนั้นเมื่อสารละลายส่วนที่เป็นน้ำไหลกลับถังผสมจะมีผลให้ค่า EC สูงกว่าที่ต้องการ จึงต้องมีการวัดค่า EC ของสารละลายหลังจากที่ปล่อยให้สารละลายไหลเวียนอยู่ในระบบช่วงเวลาหนึ่ง ลักษณะการเปลี่ยนค่า EC ดังที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดเป็นกรณีที่ค่า EC ตั้งต้นสูง (สูงกว่าค่า EC ของสารละลายที่พืชดูดใช้)และอยู่ในสภาพที่พืชมีการคายน้ำสูงกว่าอัตราการดูดใช้ธาตุ ผังกระบวนการของระบบที่เติมน้ำและปุ๋ยโดยผู้ดูแลและไม่มีการวัดค่าและการเปลี่ยนแปลงค่า EC ในของระบบที่เติมน้ำและปุ๋ยโดยผู้ดูแลและไม่มีการวัดค่า แสดงดังรูปที่ 3.9 [6] และ 3.10 [6] ตามลำดับ



รูปที่ 3.9 ผังกระบวนการของระบบที่เติมน้ำและปุ๋ยโดยผู้ดูแลและไม่มีการวัดค่า



รูปที่ 3.10 การเปลี่ยนแปลงค่า EC ในของระบบที่เติมน้ำและปุ๋ยโดยผู้ดูแลและไม่มีการวัดค่า

บทที่ 4

กระบวนการควบคุมสารละลายธาตุอาหาร

ในการควบคุมสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในระบบการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์นั้นมีรูปแบบกรรมวิธีตามที่อธิบายไว้ในบทที่ 3 ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มคือแบบที่ใช้แรงงานคน กับแบบที่ใช้ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ โดยแบบที่ใช้แรงงานคนนั้นจะมีข้อด้อยในเรื่องความสะดวกและความถี่ในการตรวจวัดและควบคุมเพื่อให้สารละลายนั้นมีค่าเป็นไปตามที่ต้องการ และเมื่อมีระบบปลูกพืชมากขึ้นงานของการควบคุมและดูแลก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ส่วนแบบที่ใช้ระบบควบคุมแบบอัตโนมัตินั้นจะมีข้อด้อยในเรื่องงบประมาณค่าใช้จ่ายในส่วนของอุปกรณ์ควบคุมที่มีราคาสูง ซึ่งถ้าต้องใช้ชุดอุปกรณ์ควบคุมที่มีความสามารถในการทำงานที่สูงขึ้นก็จะต้องใช้งบประมาณสูงขึ้นและถ้าในมีระบบที่ใช้ปลูกพืชหลายระบบจะต้องใช้ชุดอุปกรณ์ควบคุมเหล่านั้นเพิ่มขึ้นตามจำนวนของระบบที่ใช้งานด้วย

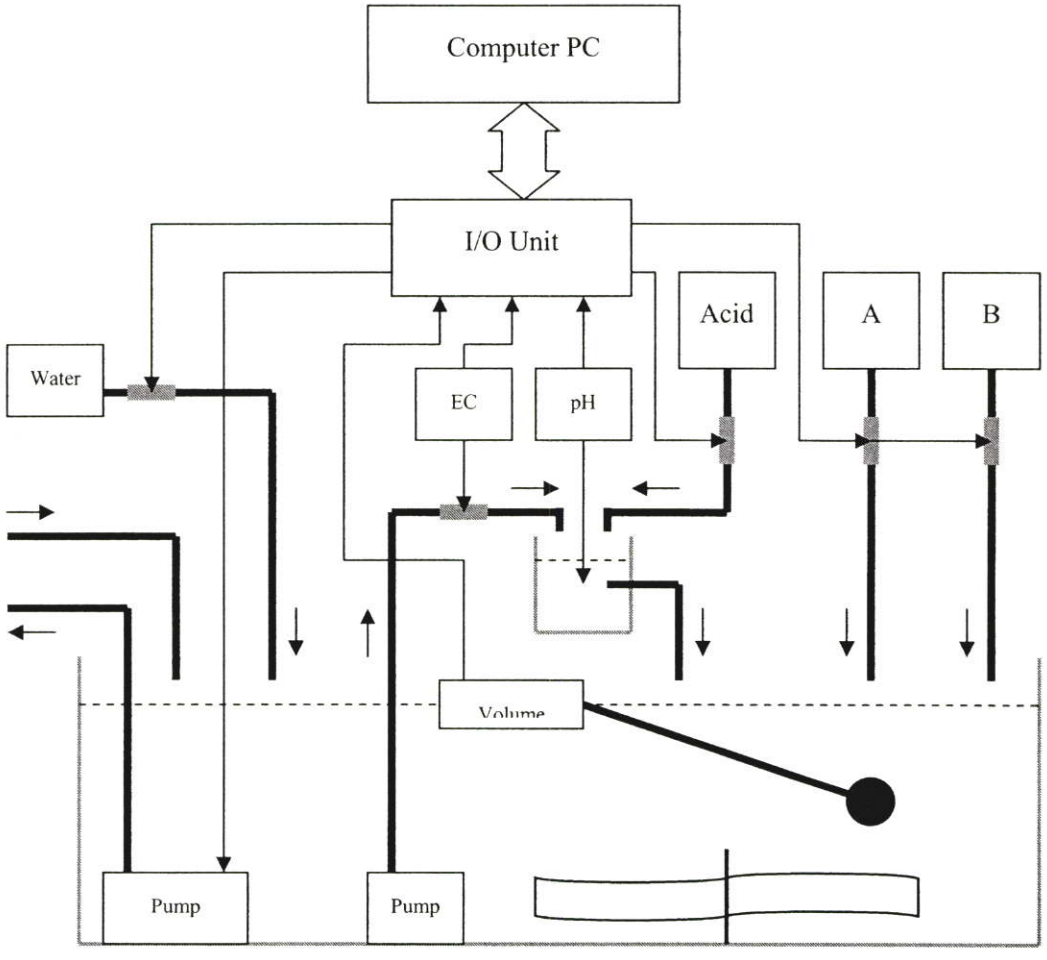
ในการแก้ปัญหาดังกล่าวของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้โปรแกรมที่ทำการสร้างขึ้นเพื่อควบคุมติดตามและบันทึกผล โดยโปรแกรมนี้จะถูกติดตั้งอยู่บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่เชื่อมต่อกับหน่วยอินพุทเอาท์พุทกันที่มีอยู่ในระบบ ซึ่งทำให้โปรแกรมสามารถทำงานผ่านการเชื่อมต่อไปยังหน่วยต่างๆได้ จึงทำให้สามารถควบคุมระบบปลูกพืชทั้งหมดได้โดยที่จุดควบคุมจุดเดียว ในการเพิ่มระบบที่ใช้ปลูกพืชนั้นสามารถทำได้โดยเพิ่มหน่วยอินพุทเอาท์พุทโดยที่ยังใช้โปรแกรมตัวเดิมในการควบคุม ในการทำงานของโปรแกรมนี้ยังมีความสามารถในการบันทึกข้อมูลทั้งหมดไว้อยู่ในรูปแบบของฐานข้อมูล ในจุดนี้จะช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลภายหลังทำได้สะดวกและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในบทที่ 4 นี้อธิบายถึงหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการควบคุมสารละลายธาตุอาหารสำหรับการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์ซึ่งจะประกอบด้วยขั้นตอนการจัดการสารละลายธาตุอาหาร ลักษณะของกระบวนควบคุม ลักษณะของหน่วยอินพุทเอาท์พุท ข้อกำหนดในการสื่อสาร การควบคุมคุณสมบัติของสารละลายธาตุอาหาร และการทำงานของโปรแกรม

4.1 ขั้นตอนการจัดการสารละลายธาตุอาหาร

ขั้นตอนการจัดการสารละลายธาตุอาหารที่ได้ออกแบบไว้จะประกอบไปด้วยถังเก็บสารละลาย เครื่องปั๊มสารละลายไปยังส่วนที่ใช้ปลูกพืช เครื่องปั๊มสารละลายเพื่อใช้ในการวัดและการผสม เครื่องกวนสารละลาย ถังเก็บสารละลายเข้มข้นจำนวนสองถัง ถังเก็บสารละลายกรด

ส่วนของการตรวจวัดคุณสมบัติของสารละลาย และวาล์วโซลินอยด์ที่ใช้ควบคุมการปิดเปิดสารละลายต่าง โดยระบบการจัดการสารละลายดังกล่าวจะมีลักษณะดังที่แสดงในรูปที่ 4.1



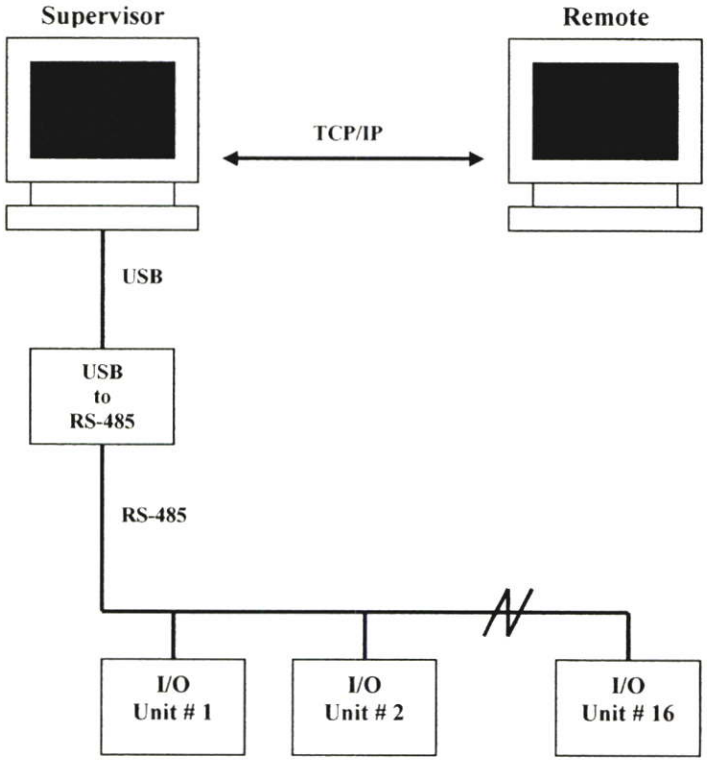
รูปที่ 4.1 ผังของระบบการจัดการสารละลายธาตุอาหาร

ในการทำงานของระบบจัดการสารละลายธาตุอาหารจะเริ่มจากโปรแกรมทำการส่งข้อมูลให้หน่วยอินพุทเอาท์พุททำการส่งสัญญาณเปิดโซลินอยด์วาล์วให้น้ำดิบเข้ามายังถังเก็บ เมื่อน้ำมีปริมาณตามที่กำหนดไว้แล้วก็จะส่งสัญญาณไปยังโซลินอยด์วาล์วทั้งสองเพื่อทำการปล่อยสารละลายเข้มข้นจากถัง A และ B ลงมาเพื่อผสมให้ได้สารละลายตามที่ต้องการ เมื่อสารละลายมีปริมาณตามที่กำหนดไว้วาล์วที่ควบคุมน้ำดิบก็จะถูกสั่งให้ปิด ในส่วนของการตรวจวัดค่าความนำไฟฟ้าและค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายนั้นจะเริ่มจากการปั๊มสารละลายจากถังขึ้นไปตามท่อเพื่อให้หัววัดค่าความนำไฟฟ้า และค่าความเป็นกรดด่างทำการวัดค่าและส่งค่ากลับไปยังหน่วยอินพุทเอาท์พุทเพื่อส่งข้อมูลกลับไปยังคอมพิวเตอร์หลักเพื่อให้โปรแกรมทำการควบคุมอีกครั้งหนึ่ง ถ้าคุณสมบัติของสารละลายเป็นไปตามค่าที่ต้องการสถานะของวาล์วต่างๆก็จะถูกปิดไว้

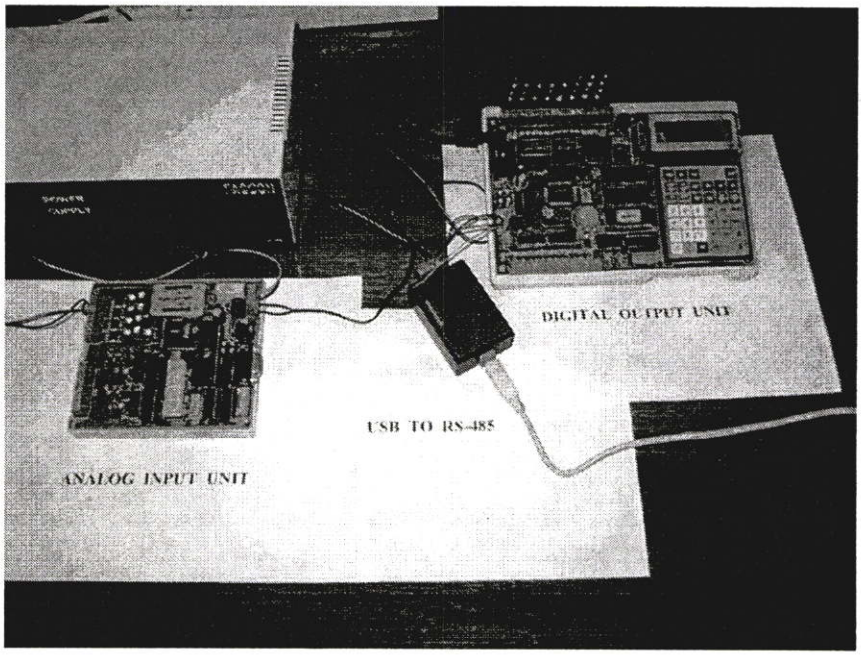
ทั้งหมด แต่ถ้าคุณสมบัติของสารละลายไม่เป็นไปตามค่าที่ต้องการ โปรแกรมก็จะทำการตัดสินใจสั่งการควบคุมสถานะของวาล์วต่างๆตามความเหมาะสม

4.2 ลักษณะของกระบวนการควบคุม

ลักษณะของกระบวนการควบคุมจะประกอบด้วยสองส่วนคือ ส่วนเชื่อมต่อท้องถิ่น กับส่วนเชื่อมต่อระยะไกล ในส่วนที่เป็นการเชื่อมต่อท้องถิ่นนั้นจะประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์หลักหนึ่งเครื่อง อุปกรณ์แปลงสัญญาณโปรโตคอลจากแบบ USB เป็นแบบ RS-485 และหน่วยอินพุทเอาท์พุทจำนวนสูงสุดถึง 16 หน่วย [9] ในการเชื่อมต่อกันนั้นสัญญาณคำสั่งควบคุมจากคอมพิวเตอร์หลักจะถูกส่งออกมาทางพอร์ท USB ของเครื่องคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์แปลงสัญญาณโปรโตคอลจากแบบ USB เป็นแบบ RS-485 โดยสัญญาณที่ได้ออกมานั้นจะถูกส่งผ่านสายนำสัญญาณ 2 เส้น ซึ่งสายสัญญาณดังกล่าวนี้จะถูกต่อแบบเป็นวงจรขนานเข้ากับหน่วยอินพุทเอาท์พุททั้งหมดที่เชื่อมต่ออยู่ในลักษณะการเชื่อมต่อแบบ RS-485 [10] ในส่วนที่เป็นการเชื่อมต่อระยะไกลจะทำการเชื่อมต่อกันด้วยโปรโตคอลแบบ TCP/IP ซึ่งสามารถใช้เชื่อมต่อแบบเครือข่ายอินทราเน็ทหรือแบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ท กระบวนการควบคุมนี้แสดงผังการเชื่อมต่อและอุปกรณ์ควบคุมที่เชื่อมต่อในการทดลองดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ



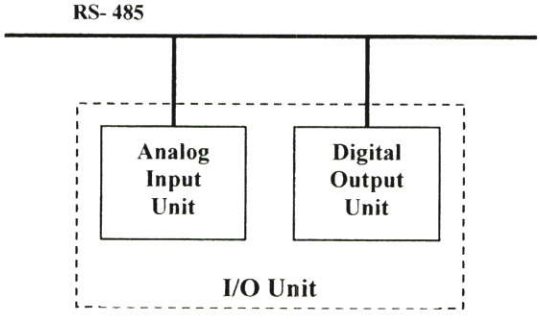
รูปที่ 4.2 ผังการเชื่อมต่อของกระบวนการควบคุม



รูปที่ 4.3 อุปกรณ์ควบคุมที่เชื่อมต่อในการทดลอง

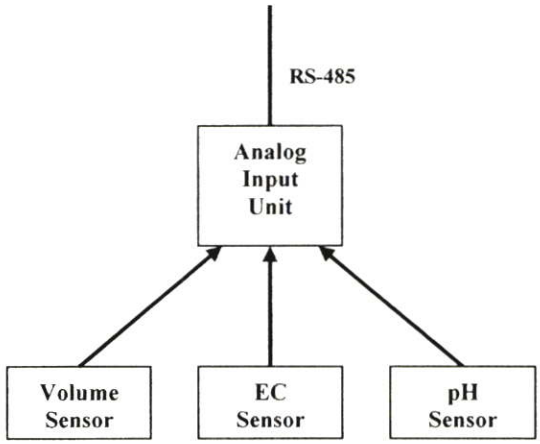
4.3 ลักษณะของหน่วยอินพุทเอาท์พุท

หน่วยอินพุทเอาท์พุทจะเป็นส่วนที่รับค่าสัญญาณที่บอกสภาพของสารละลายธาตุอาหาร และส่วนที่ส่งสัญญาณออกไปควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วต่างๆเพื่อควบคุมสภาพสารละลายธาตุอาหาร ในการออกแบบนั้นภายในหน่วยอินพุทเอาท์พุทจะประกอบด้วยหน่วยที่เป็นอนาล็อกอินพุทและหน่วยที่เป็นดิจิตอลเอาท์พุทโดยมีการเชื่อมต่อแบบ RS-485 ตามรูปที่ 4.4

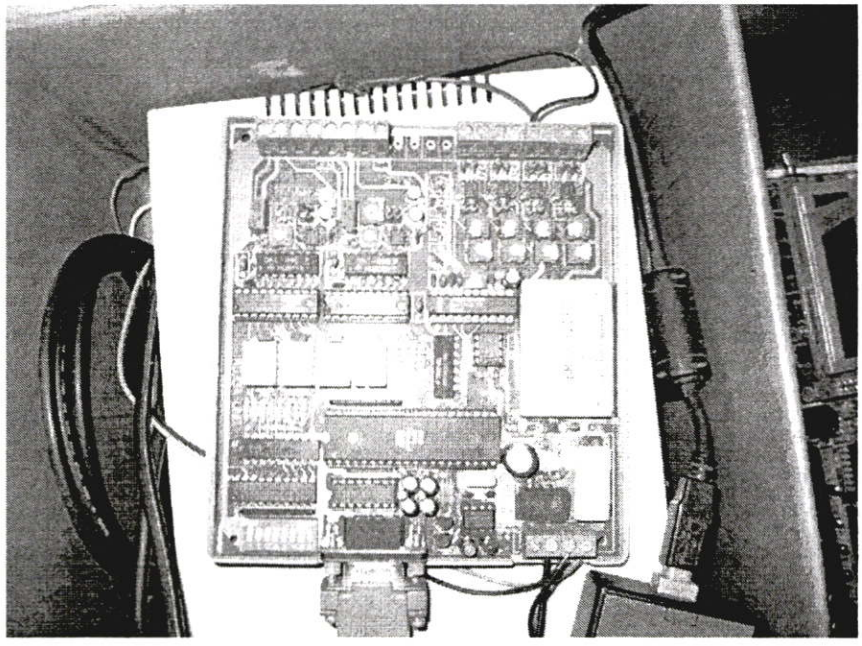


รูปที่ 4.4 ผังส่วนประกอบของหน่วยอินพุทเอาท์พุท

ในส่วนของหน่วยอนาล็อกอินพุทนั้นจะมีช่องที่รับค่าแรงดันทางไฟฟ้าในช่วง 0 ถึง 9.99 โวลต์ จากอุปกรณ์ตรวจวัดระดับปริมาณสารละลาย, หัววัดค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายและหัววัดค่าความเป็นกรดด่างของสารละลาย แล้วทำการเปลี่ยนค่าแรงดันที่ได้รับเป็นชุดข้อมูลเพื่อส่งผ่านไปในการเชื่อมต่อแบบ RS-485 ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6

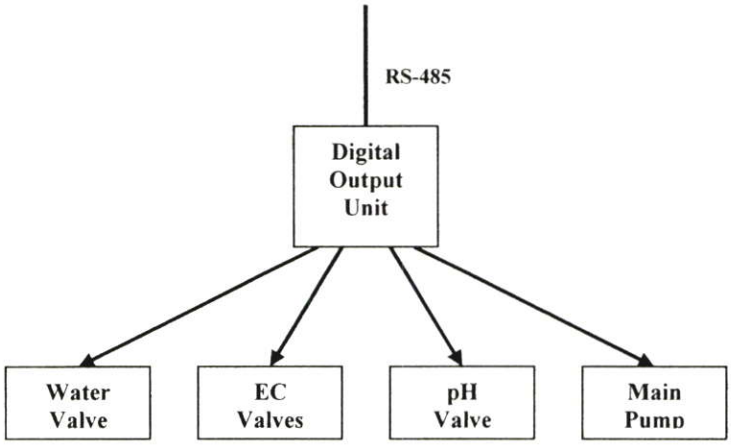


รูปที่ 4.5 ผังการเชื่อมต่อของหน่วยอนาล็อกอินพุท

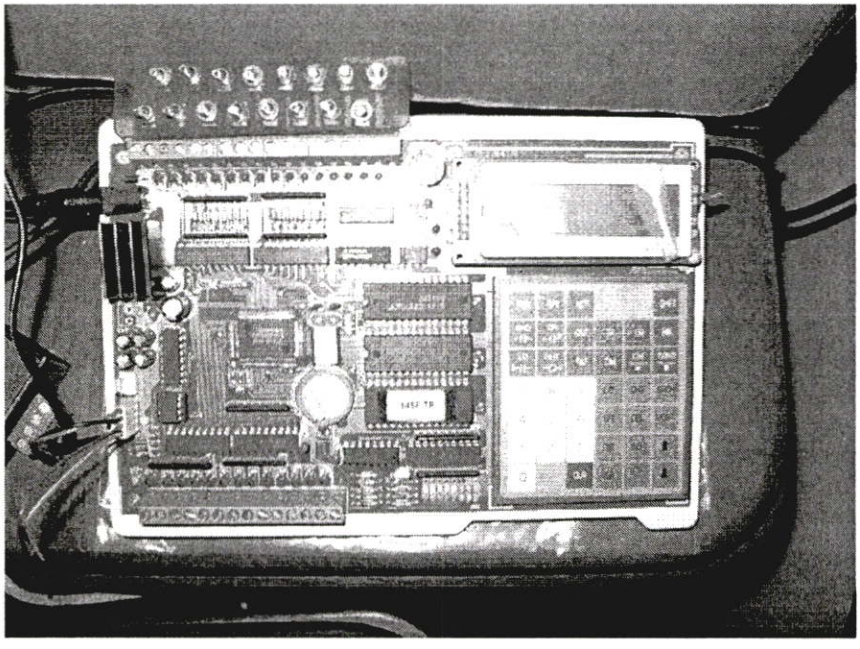


รูปที่ 4.6 หน่วยอนาล็อกอินพุทที่ใช้ในการทดลอง

ในส่วนของดิจิตอลเอาท์พุทนั้นจะเป็นส่วนที่รับชุดข้อมูลจากการเชื่อมแบบ RS-485 แล้วนำข้อมูลที่ได้เปลี่ยนเป็นสถานะของพอร์ทเอาท์พุทต่าง เพื่อส่งเป็นสัญญาณสถานะแบบเปิด-ปิดไปควบคุมการเปิด-ปิดของปั๊มสารละลาย, โซลินอยด์วาล์วของน้ำดิบ, โซลินอยด์วาล์วของสารละลายเข้มข้นและโซลินอยด์วาล์วของกรด ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8



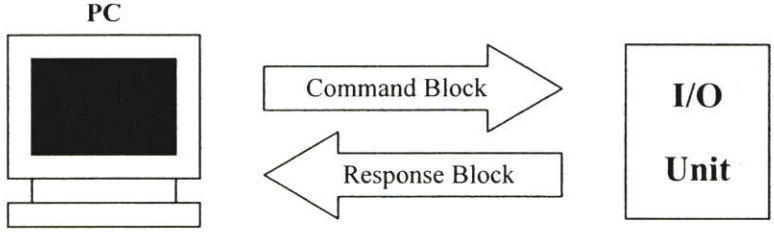
รูปที่ 4.7 ลักษณะของหน่วยดิจิตอลเอาท์พุท



รูปที่ 4.8 หน่วยดิจิตอลเอาท์พุทที่ใช้ในการทดลอง

4.4 ข้อกำหนดในการสื่อสาร

ในการสื่อสารภายในส่วนเชื่อมต่อท้องถิ่นนั้นจะทำการส่งสัญญาณไปบนสายสัญญาณสองเส้นภายใต้มาตรฐานการสื่อสารแบบ RS-485 โดยสัญญาณที่ใช้สื่อสารนั้นจะแบ่งออกเป็นชุดของข้อมูล ซึ่งชุดของข้อมูลในการสื่อสารจะถูกเรียกว่าบล็อก บล็อกของข้อมูลที่ถูกส่งจากเครื่องคอมพิวเตอร์หลักผ่านส่วนเชื่อมต่อไปยังหน่วยอินพุทเอาท์พุทจะเรียกว่าบล็อกคำสั่ง (Command Block) และบล็อกของข้อมูลที่ถูกส่งจากหน่วยอินพุทเอาท์พุทผ่านส่วนเชื่อมต่อไปยังคอมพิวเตอร์หลักจะเรียกว่าบล็อกตอบสนอง (Response Block) แสดงดังรูปที่ 4.9 ในการเชื่อมต่อสื่อสารแบบหลายจุดแต่ละบล็อกไม่ว่าจะเป็นบล็อกคำสั่งหรือบล็อกตอบสนองก็ตามจะเริ่มต้นด้วยอักขระ '@' ตามด้วยตำแหน่งเฉพาะ (Unit Number) ตามด้วยคำสั่ง (Header) ข้อมูล (Data) และอักขระ '*' สิ้นสุดด้วยรหัสกำกับบล็อก (Frame Check Sequence Code : FCS) และรหัสปิดบล็อกที่เป็นอักขระ [CR]



รูปที่ 4.9 การสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์หลักกับหน่วยอินพุทเอาท์พุท

4.4.1 การกำหนดตำแหน่งเฉพาะ

ในส่วนเชื่อมต่อที่ได้ถูกออกแบบไว้นั้นจะประกอบด้วยหน่วยอินพุทเอาท์พุทสูงสุดจำนวน 16 หน่วย ซึ่งในแต่ละหน่วยนั้นจะประกอบด้วยหน่วยอนาล็อกอินพุทและหน่วยดิจิตอลเอาท์พุทจำนวนอย่างละหนึ่งหน่วย จึงทำให้ทั้งส่วนเชื่อมต่อมีจำนวนหน่วยที่เชื่อมต่อทั้งหมดเป็นจำนวน 32 หน่วย ในการกำหนดตำแหน่งเฉพาะจะทำการกำหนดดังนี้

- หน่วยอินพุทเอาท์พุทหมายเลข 1
    - หน่วยอนาล็อกอินพุทหมายเลข 1 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 01
    - หน่วยดิจิตอลเอาท์พุทหมายเลข 1 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 02
- หน่วยอินพุทเอาท์พุทหมายเลข 2
    - หน่วยอนาล็อกอินพุทหมายเลข 2 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 03
    - หน่วยดิจิตอลเอาท์พุทหมายเลข 2 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 04

- หน่วยอินพุทเอาท์พุทหมายเลข 3
    - หน่วยอนาล็อกอินพุทหมายเลข 3 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 05
    - หน่วยดิจิตอลเอาท์พุทหมายเลข 3 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 06
- หน่วยอินพุทเอาท์พุทหมายเลข 4
    - หน่วยอนาล็อกอินพุทหมายเลข 4 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 07
    - หน่วยดิจิตอลเอาท์พุทหมายเลข 4 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 08
- หน่วยอินพุทเอาท์พุทหมายเลข 5
    - หน่วยอนาล็อกอินพุทหมายเลข 5 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 09
    - หน่วยดิจิตอลเอาท์พุทหมายเลข 5 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 10
- หน่วยอินพุทเอาท์พุทหมายเลข 6
    - หน่วยอนาล็อกอินพุทหมายเลข 6 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 11
    - หน่วยดิจิตอลเอาท์พุทหมายเลข 6 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 12
- หน่วยอินพุทเอาท์พุทหมายเลข 7
    - หน่วยอนาล็อกอินพุทหมายเลข 7 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 13
    - หน่วยดิจิตอลเอาท์พุทหมายเลข 7 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 14
- หน่วยอินพุทเอาท์พุทหมายเลข 8
    - หน่วยอนาล็อกอินพุทหมายเลข 8 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 15
    - หน่วยดิจิตอลเอาท์พุทหมายเลข 8 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 16
- หน่วยอินพุทเอาท์พุทหมายเลข 9
    - หน่วยอนาล็อกอินพุทหมายเลข 9 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 17
    - หน่วยดิจิตอลเอาท์พุทหมายเลข 9 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 18
- หน่วยอินพุทเอาท์พุทหมายเลข 10
    - หน่วยอนาล็อกอินพุทหมายเลข 10 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 19
    - หน่วยดิจิตอลเอาท์พุทหมายเลข 10 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 20
- หน่วยอินพุทเอาท์พุทหมายเลข 11
    - หน่วยอนาล็อกอินพุทหมายเลข 11 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 21
    - หน่วยดิจิตอลเอาท์พุทหมายเลข 11 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 22
- หน่วยอินพุทเอาท์พุทหมายเลข 12
    - หน่วยอนาล็อกอินพุทหมายเลข 12 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 23
    - หน่วยดิจิตอลเอาท์พุทหมายเลข 12 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 24

- หน่วยอินพุทเอาท์พุทหมายเลข 13
    - หน่วยอนาล็อกอินพุทหมายเลข 13 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 25
    - หน่วยดิจิตอลเอาท์พุทหมายเลข 13 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 26
- หน่วยอินพุทเอาท์พุทหมายเลข 14
    - หน่วยอนาล็อกอินพุทหมายเลข 14 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 27
    - หน่วยดิจิตอลเอาท์พุทหมายเลข 14 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 28
- หน่วยอินพุทเอาท์พุทหมายเลข 15
    - หน่วยอนาล็อกอินพุทหมายเลข 15 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 29
    - หน่วยดิจิตอลเอาท์พุทหมายเลข 15 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 30
- หน่วยอินพุทเอาท์พุทหมายเลข 16
    - หน่วยอนาล็อกอินพุทหมายเลข 16 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 31
    - หน่วยดิจิตอลเอาท์พุทหมายเลข 16 มีตำแหน่งเฉพาะหมายเลข 32

4.4.2 ชุดคำสั่งในการติดต่อสื่อสารกับหน่วยอนาล็อกอินพุท

ในการติดต่อสื่อสารกับหน่วยอนาล็อกอินพุทในแต่ละครั้งจะประกอบไปด้วยบล็อกคำสั่งและบล็อกตอบสนอง ดังต่อไปนี้

1 บล็อกคำสั่งในการอ่านข้อมูลจากหน่วยอนาล็อกอินพุท

บล็อกคำสั่งที่ใช้ส่งผ่านส่วนเชื่อมต่อเพื่อทำการอ่านข้อมูลที่หน่วยอนาล็อกอินพุทได้รับจากอุปกรณ์วัดต่างๆนั้นจะมีรูปแบบตามรูปที่ 4.10

@	Unit Number	Command	Channel	*	X X	CR

@	01	RC	00	*	X X	CR

รูปที่ 4.10 รูปแบบบล็อกคำสั่งในการอ่านข้อมูลจากหน่วยอนาล็อกอินพุทและตัวอย่างบล็อกคำสั่ง

ตัวอย่างบล็อกคำสั่งในรูปที่ 4.10 เป็นการติดต่อกับหน่วยที่มีตำแหน่งเฉพาะที่ 01 โดยใช้คำสั่ง RC (Read Channel) ไปยัง Channel ที่ 00 เพื่ออ่านค่าแรงดันสัญญาณแบบอนาล็อกที่ Channel 00 ได้รับจากอุปกรณ์ตรวจวัด

2 บล็อกตอบสนองในการอ่านข้อมูลจากหน่วยอนาล็อกอินพุท

บล็อกตอบสนองจากหน่วยอนาล็อกอินพุทที่ส่งกลับมาผ่านส่วนเชื่อมต่อมายังเครื่องคอมพิวเตอร์หลักจะมีรูปแบบตามรูปที่ 4.11

@	Unit Number	Command	Data	0D0A

@	01	RC	0xxx	0D0A

รูปที่ 4.11 รูปแบบบล็อกตอบสนองจากหน่วยอนาล็อกอินพุทและตัวอย่างบล็อกตอบสนอง

ตัวอย่างบล็อกตอบสนองในรูปที่ 4.11 เป็นการตอบสนองจากหน่วยที่มีตำแหน่งเฉพาะที่ 01 โดยเป็นการตอบสนองจากคำสั่ง RC (Read Channel) ซึ่งมีข้อมูลตอบกลับมาเป็นตัวเลขสี่หลัก โดยข้อมูลที่ได้รับจาก Channel ที่อ่านนั้นจะอยู่ในช่วง 0000 ถึง 0999 ซึ่งจะมีค่าเป็นแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0 โวลต์ ถึง 9.99 โวลต์

4.4.3 ชุดคำสั่งในการติดต่อสื่อสารกับหน่วยดิจิตอลเอาท์พุท

ในการติดต่อสื่อสารกับหน่วยดิจิตอลเอาท์พุทในแต่ละครั้งจะประกอบไปด้วยบล็อกคำสั่งและบล็อกตอบสนอง ดังต่อไปนี้

1 บล็อกคำสั่งในการส่งข้อมูลไปยังหน่วยดิจิตอลเอาท์พุท

บล็อกคำสั่งที่ใช้ส่งผ่านส่วนเชื่อมต่อเพื่อทำควบคุมเอาท์พุทที่หน่วยดิจิตอลเอาท์พุทนั้นจะมีรูปแบบตามรูปที่ 4.12

@	Unit Number	Command	Address	Data	*	X X	CR

@	02	WI	0007	0001	*	X X	CR

รูปที่ 4.12 รูปแบบบล็อกคำสั่งในการส่งข้อมูลไปยังหน่วยดิจิตอลเอาท์พุทและตัวอย่างบล็อกคำสั่ง

ตัวอย่างบล็อกคำสั่งในรูปที่ 4.12 เป็นการติดต่อกับหน่วยที่มีตำแหน่งเฉพาะที่ 02 โดยใช้คำสั่ง WI (Write Internal Relay) ไปยัง Address ที่ 0007 ด้วยข้อมูล 0001 แบบเลขฐานสิบหก ซึ่งจะมีข้อมูลเท่ากับ 00000001 แบบเลขฐานสอง ทำให้ดิจิตอลเอาท์พุท Address 0007 บิทที่ 0 ค่าเป็น 1 หรือมีสถานะเปิด ส่วนบิทที่ 1 ถึง 7 มีค่าเป็น 0 หรือมีสถานะปิด

2 บล็อกตอบสนองในการส่งข้อมูลไปยังหน่วยดิจิตอลเอาท์พุท

บล็อกตอบสนองจากหน่วยดิจิตอลเอาท์พุทที่ส่งกลับมาผ่านส่วนเชื่อมต่อมายังเครื่องคอมพิวเตอร์หลักจะมีรูปแบบตามรูปที่ 4.13

@	Unit Number	Command	Code	*	74

@	02	WI	00	*	74

รูปที่ 4.13 รูปแบบบล็อกตอบสนองจากหน่วยดิจิตอลเอาท์พุทและตัวอย่างบล็อกตอบสนอง

ตัวอย่างบล็อกตอบสนองในรูปที่ 4.13 เป็นการตอบสนองจากหน่วยที่มีตำแหน่งเฉพาะที่ 02 โดยเป็นการตอบสนองจากคำสั่ง WI (Write Internal Relay) โดยมีค่าตอบกลับมาเป็น 00 ซึ่งหมายความว่าข้อมูลที่ส่งไปนั้นทำงานได้ถูกต้องสมบูรณ์

4.5 การควบคุมคุณสมบัติของสารละลายธาตุอาหาร

ในการควบคุมคุณสมบัติของสารละลายธาตุอาหารนั้นจะประกอบไปด้วยสองส่วนคือ การควบคุมค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารและการควบคุมค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.5.1 การควบคุมค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร

ค่าความนำไฟฟ้าในสารละลายเป็นค่าที่บอกถึงความเข้มข้นของสารละลาย โดยค่าความนำไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของธาตุหรืออนุมูลที่ละลายอยู่ในสารละลาย โดยการควบคุมค่าความนำไฟฟ้าในทางปฏิบัติจะอาศัยการเติมสารละลายเข้มข้นลงไปในสารละลายที่ต้องการทีละน้อยจนกระทั่งได้ค่าตามที่ต้องการ ส่วนในการคำนวณนั้นมีวิธีในการคิดดังต่อไปนี้

ในการหาค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายสามารถหาได้จากสมการที่ (4.1)

$$EC = \frac{Q}{k} \tag{4.1}$$

เมื่อ EC คือ ค่าความนำไฟฟ้า (mS/cm)

Q คือ ความเข้มข้นของธาตุหรืออนุมูล (g/l)

k คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับชนิดของเกลืออยู่ในช่วงระหว่าง 0.8-0.9

เนื่องจากความเข้มข้นของธาตุหรืออนุมูลนั้นเป็นปริมาณของธาตุหรืออนุมูลในหนึ่งหน่วยของปริมาตรของสารละลาย โดยสามารถคำนวณหาค่าได้ตามสมการที่ (4.2)

$$Q = \frac{q}{V} \tag{4.2}$$

เมื่อ q คือ ปริมาณธาตุหรืออนุมูล (g)
V คือ ปริมาตรสารละลาย (l)

จากสมการ (4.1) และ (4.2) จะได้

$$EC = \frac{q}{kV} \tag{4.3}$$

โดยในการผสมธาตุหรืออนุมูลนั้นจะเป็นการนำเอาธาตุหรืออนุมูลทั้งหมดมาคิดรวมกัน ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการ (4.4)

$$q_3 = q_1 + q_2 \tag{4.4}$$

เมื่อ q_1 คือ ปริมาณธาตุหรืออนุมูลชนิดที่หนึ่ง (g)
q_2 คือ ปริมาณธาตุหรืออนุมูลชนิดที่สอง (g)
q_3 คือ ปริมาณธาตุหรืออนุมูลรวม (g)

จากสมการ (4.2) และ (4.4) จะได้

$$Q_3V_3 = Q_1V_1 + Q_2V_2 \tag{4.5}$$

จากสมการ (4.1) และ (4.5) จะได้

$$EC_3kV_3 = EC_1kV_1 + EC_2kV_2 \tag{4.6}$$

หรือ

$$EC_3V_3 = EC_1V_1 + EC_2V_2 \tag{4.7}$$

เมื่อจัดรูปใหม่จะได้เป็น

$$EC_3 = \frac{EC_1V_1 + EC_2V_2}{V_3} \tag{4.8}$$

โดย EC_1 คือ ค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายชนิดที่หนึ่ง (mS/cm)

EC_2 คือ ค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายชนิดที่สอง (mS/cm)

EC_3 คือ ค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายที่ผสมได้ (mS/cm)

V_1 คือ ปริมาตรสารละลายชนิดที่หนึ่ง (l)

V_2 คือ ปริมาตรสารละลายชนิดที่สอง (l)

V_3 คือ ปริมาตรสารละลายชนิดที่ผสมได้ (l)

ดังนั้นในการคำนวณหาค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายที่ผสมจากสารละลายสองชนิดที่ทราบค่าความนำไฟฟ้ามาก่อนจะเป็นไปตามสมการที่ (4.8)

4.5.2 การควบคุมค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายธาตุอาหาร

ค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายนั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออนของไฮโดรเจนและไอออนของไฮดรอกไซด์ในสารละลาย โดยการควบคุมค่าความเป็นกรดด่างในทางปฏิบัติจะอาศัยการเติมสารละลายกรดลงไปในสารละลายที่ต้องการทีละน้อยจนกระทั่งได้ค่าตามที่ต้องการ ส่วนในการหาคำนวณหาค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายธาตุอาหารจะอาศัยความสัมพันธ์ของค่าความเป็นกรดด่างกับความเข้มข้นของกรดในสารละลายนั้นๆที่ได้จากการทดลอง แล้วนำมาเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นดังสมการที่ (4.9)

$$pH = (a \times C) + b \tag{4.9}$$

โดย pH คือ ค่าความเป็นกรดด่างของสารละลาย

C คือ ค่าความเข้มข้นของกรดในสารละลาย (me/l)

a , b คือ ค่าคงที่ของความสัมพันธ์แบบเส้นตรง

โดยค่าความเข้มข้นของกรดนั้นมีที่มาจากปริมาณของกรดต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (4.10)

$$C = \frac{I}{V} \tag{4.10}$$

โดย C คือ ค่าความเข้มข้นของกรดในสารละลาย (me/l)

I คือ ปริมาณของกรด (me)

V คือ ปริมาตรของสารละลาย (l)

ในการหาผลรวมของกรดที่ผสมอยู่ในสารละลายนั้นจะนำเอาปริมาณของกรดทั้งหมดมารวมกัน ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการ (4.11)

$$I_3 = I_1 + I_2 \tag{4.11}$$

โดย I_1 คือ ปริมาณของกรดจากสารละลายชนิดที่ 1 (me)

I_2 คือ ปริมาณของกรดจากสารละลายชนิดที่ 2 (me)

I_3 คือ ปริมาณของกรดรวม (me)

จากสมการที่ (4.10) และ (4.11) จะได้

$$C_3V_3 = C_1V_1 + C_2V_2 \tag{4.12}$$

เมื่อจัดรูปใหม่จะได้เป็น

$$C_3 = \frac{C_1V_1 + C_2V_2}{V_3} \tag{4.13}$$

โดย C_1 คือ ค่าความเข้มข้นของกรดในสารละลายชนิดที่ 1 (me/l)

C_2 คือ ค่าความเข้มข้นของกรดในสารละลายชนิดที่ 2 (me/l)

C_3 คือ ค่าความเข้มข้นของกรดในสารละลายที่ผสมได้ (me/l)

V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายชนิดที่ 1 (l)

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายชนิดที่ 2 (l)

V_3 คือ ปริมาตรของสารละลายที่ผสมได้ (l)

จากสมการที่ (4.13) จะทำให้ได้ค่าความเข้มข้นของกรดในสารละลายที่ผสมได้ หลังจากนั้นจะต้องนำค่าความเข้มข้นของกรดที่ได้คิดกลับเป็นค่าความเป็นกรดเป็นด่าง โดยนำค่าที่ได้ไปแทนค่าตามสมการที่ (4.9) จึงจะได้ค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายที่ผสมได้

4.6 การทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมที่ได้ทำการสร้างขึ้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พัฒนาบน Microsoft Visual Basic 6.0 ซึ่งสามารถนำมาติดตั้งใช้งานได้กับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทั่วไปที่ใช้ระบบปฏิบัติการในตระกูล Microsoft Windows ได้เป็นอย่างดี ในการใช้งานจึงมีความง่ายและสะดวกต่อผู้ใช้งานโดยทั่วไป และยังง่ายต่อการที่นำไปพัฒนาเพิ่มเติมในภายหลัง โดยซอฟท์แวร์ที่ได้ทำการสร้างขึ้นนี้จะมีรายละเอียดที่ตามในหัวข้อดังต่อไปนี้

4.6.1 รูปแบบการทำงานของโปรแกรม

ในการทำงานของโปรแกรมได้ออกแบบให้ให้สามารถทำงานได้ 2 ลักษณะ คือ

1 แบบปฏิบัติการ (Monitor Mode)

ในโหมดการทำงานแบบปฏิบัติการจะเป็นการทำงานตามปกติ โดยตัวจะรับข้อมูลของสารละลายธาตุอาหาร แล้วดำเนินการตัดสินใจบังคับควบคุมการเปิด-ปิดปั๊มและวาล์วต่างๆของระบบ เพื่อควบคุมให้สารละลายธาตุอาหารมีคุณสมบัติเป็นไปตามค่าที่ผู้ควบคุมได้กำหนดเอาไว้ พร้อมทั้งแสดงผลการทำงานและบันทึกผลการทำงานตามลำดับการทำงานและรอบการทำงานของโปรแกรม

2 แบบจำลองเหตุการณ์ (Simulation Mode)

ในโหมดการทำงานแบบจำลองเหตุการณ์จะเป็นการทำลองการทำงานของระบบควบคุมสารละลายธาตุอาหาร โดยโปรแกรมจะทำงานเหมือนกับการทำงานตามปกติ เพียงแต่ค่าคุณสมบัติต่างๆของสารละลายนั้นจะได้จากการคำนวณตามวิธีคำนวณในหัวข้อที่ 4.5 และค่าที่ได้จากการคำนวณจะเป็นไปตามตัวแปรในการจำลองค่าที่ได้กำหนดเอาไว้ ประโยชน์ของโหมดการทำงานในแบบนี้ก็เพื่อใช้ทำนายการทำงานของระบบจากเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ก่อนที่จะมีการใช้งานจริง จึงช่วยให้การออกแบบระบบจัดการสารละลายทำได้ดีขึ้น ในโหมดการทำงานแบบนี้โปรแกรมยังคงแสดงผลและบันทึกข้อมูลตามเงื่อนไขการทำงานเหมือนกับแบบปฏิบัติการ

4.6.2 ลำดับการทำงานของโปรแกรม

การทำงานของโปรแกรมจะมีลำดับการทำงานอยู่ 6 ขั้นตอนหลักดังนี้

1 ตั้งค่าเริ่มต้น (Initial Setting)

เมื่อเริ่มการทำงานของโปรแกรมลำดับการทำงานแรกจะเป็นการตั้งค่าเริ่มต้น โดยที่สถานะนี้จะเป็นการตั้งค่าต่างเพื่อเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม โดยหลังจากตั้งค่าเสร็จสิ้นแล้วตัวโปรแกรมจะหยุดรอรับคำสั่งและตั้งค่าเบื้องต้นต่างๆเพื่อที่จะทำงานในลำดับต่อไป

2 อ่านค่าอินพุทจากหน่วยอนาล็อกอินพุท (Read Input)

ในลำดับการทำงานส่วนนี้จะเป็นการติดต่อกับหน่วยอนาล็อกอินพุทเพื่อที่จะรับค่าอินพุทจากหน่วยต่างๆ โดยในการทำงานติดต่อกับหน่วยอินพุทโปรแกรมจะทำการส่งชุดคำสั่งไปยังหน่วยอินพุทที่ต้องการทำการติดต่อ แล้วหยุดรอข้อมูลที่ตอบกลับจากหน่วยอินพุทนั้นๆ

3 ตัดสินใจ (Decision)

เมื่อได้รับข้อมูลของค่าคุณสมบัติต่างๆของสารละลายแล้ว โปรแกรมจะทำการเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้กับค่าเป้าหมายที่ต้องการ แล้วพิจารณาเป็นสถานะของเอาท์พุทที่ต้องการควบคุม

4 ส่งค่าสถานะไปยังหน่วยดิจิตอลเอาท์พุท (Write Output)

เมื่อได้สถานะของเอาท์พุทที่ต้องการควบคุมแล้ว โปรแกรมจะทำการส่งชุดคำสั่งที่บรรจุสถานะของเอาท์พุทไปยังหน่วยเอาท์พุทที่ต้องการ เมื่อหน่วยเอาท์พุทได้รับชุดคำสั่งแล้วก็จะส่งชุดคำสั่งตอบสนองกลับไปยังโปรแกรมอีกครั้งเพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องในการติดต่อส่งชุดคำสั่ง

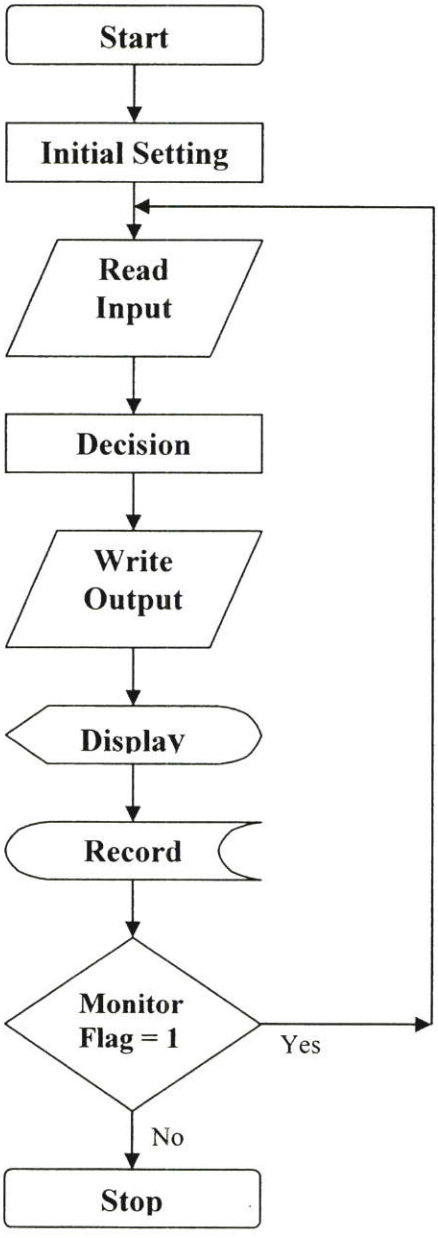
5 แสดงผลที่หน้าจอเครื่องคอมพิวเตอร์ (Display)

ในลำดับการทำงานส่วนนี้จะเป็นการนำข้อมูลต่างๆมาแสดงผลบนหน้าควบคุมและหน้าแสดงผลต่างๆของโปรแกรม โดยข้อมูลที่ถูกนำมาแสดงจะประกอบด้วยค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ ข้อมูลที่ได้จากหน่วยอินพุทและเอาท์พุทต่างๆ ซึ่งจะแสดงในรูปแบบของตัวอักษร ภาพเคลื่อนไหวที่แสดงการทำงานของระบบ และชาร์ตแสดงค่าที่แสดงสถานะต่างๆ

6 บันทึกผลเก็บไว้ในไฟล์ฐานข้อมูล (Record)

ในลำดับการทำงานส่วนนี้จะเป็นการติดต่อกับไฟล์ฐานข้อมูลแบบ Microsoft Access Database เพื่อบันทึกเวลา สถานะของหน่วย ข้อมูลอินพุท และข้อมูลเอาท์พุทต่างๆ

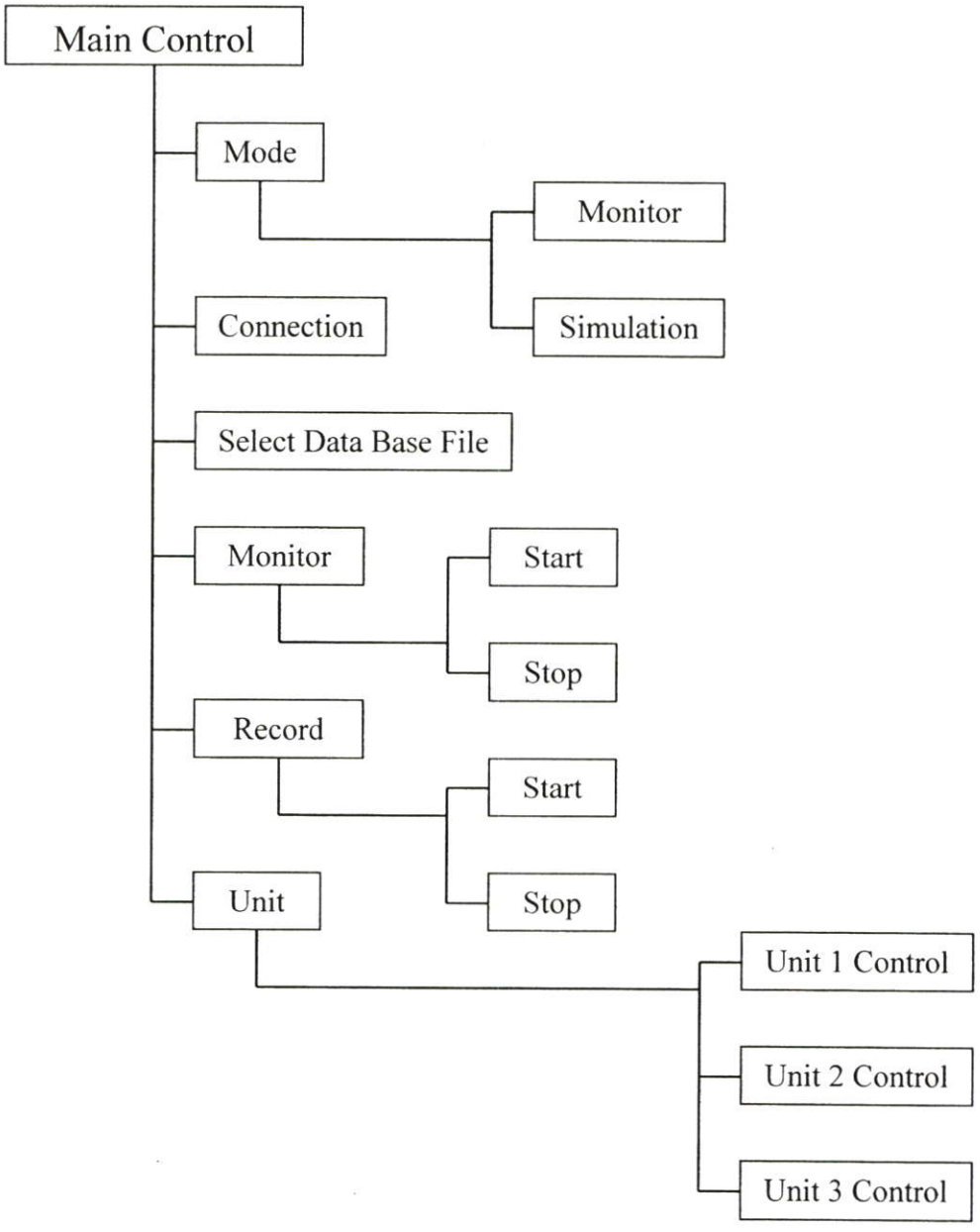
ในการทำงานเมื่อโปรแกรมได้ถูกสั่งให้เริ่มต้นการทำงานแล้วก็จะทำงานเรียงลำดับตามขั้นตอนไปจนถึงขั้นตอนที่ 6 แล้วจะวนกลับมาทำขั้นตอนที่ 2 ใหม่ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งมีคำสั่งหยุดโปรแกรมจึงจะหยุดการทำงาน โดยลำดับการทำงานของโปรแกรมได้แสดงดังรูปที่ 4.14



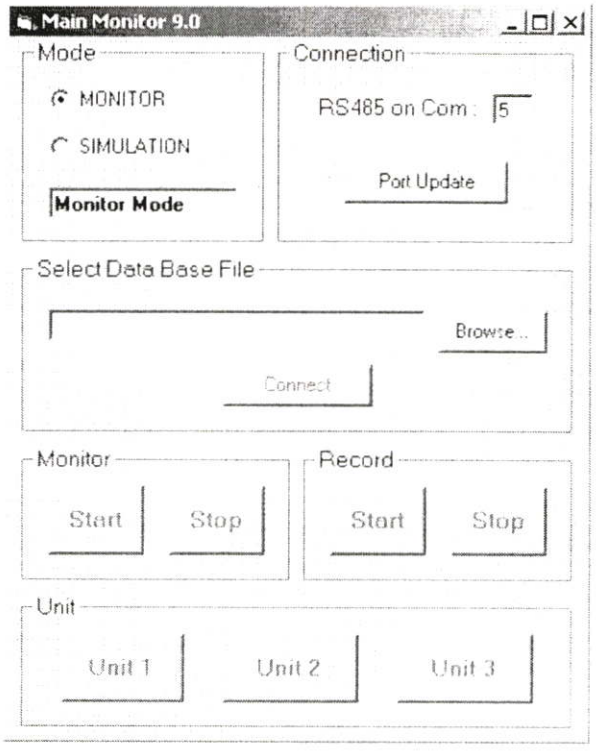
รูปที่ 4.14 ลำดับการทำงานของโปรแกรม

4.6.3 ลักษณะของโปรแกรม

โปรแกรมที่ได้ทำการสร้างขึ้นมาใช้งานนั้นจะประกอบด้วยหน้าโปรแกรมที่ใช้ควบคุมและแสดงผลจำนวนหลายส่วน โดยในส่วนของหน้าโปรแกรมหลัก (Main Control) จะประกอบไปด้วยส่วนควบคุมต่างๆ ซึ่งมีผังการทำงานของหน้าโปรแกรมหลักแสดงดังรูปที่ 4.15 โดยลักษณะของหน้าโปรแกรมหลักที่แสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์จะเป็นดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.15 ผังการทำงานของหน้าโปรแกรมหลัก



รูปที่ 4.16 หน้าโปรแกรมหลัก

ในหน้าโปรแกรมหลักจะประกอบด้วยส่วนควบคุมต่างๆดังนี้

1. ส่วนที่ใช้เลือกโหมดการทำงาน (Mode)

ในส่วนนี้เป็นส่วนที่ใช้เลือกรูปแบบการทำงานให้เป็นในรูปแบบปฏิบัติการ (Monitor Mode) หรือทำงานในรูปแบบจำลองเหตุการณ์ (Simulation Mode) ในการเลือกใช้งานสามารถทำได้โดยกดที่ปุ่มตัวเลือกของ “MONITOR” หรือ “SIMULATION”

2. ส่วนที่ใช้ในการควบคุมการติดต่อ (Connection)

ในส่วนนี้จะมีช่องให้กำหนดพอร์ทของเครื่องคอมพิวเตอร์หลักที่ใช้ติดต่อกับส่วนเชื่อมต่อที่ใช้งาน ในการกำหนดพอร์ทใช้งานสามารถทำได้โดยการพิมพ์ตัวเลขของพอร์ทที่ใช้ทำการติดต่อ แล้วกดที่ปุ่ม “Port Update” เพื่อเป็นการกำหนดค่าลงในโปรแกรม

3. ส่วนที่ใช้เลือกไฟล์ฐานข้อมูล (Select Data Base File)

ในส่วนนี้จะมีปุ่มให้กดเพื่อเลือกหาไฟล์ฐานข้อมูลที่จะทำการบันทึกข้อมูลลงไป ในการเลือกไฟล์สามารถทำได้โดยการกดที่ปุ่ม “Browse...” เพื่อเลือกไฟที่ต้องการ แล้วกดที่ปุ่ม “Connect” เพื่อทำการติดต่อกับไฟล์ที่เลือก

4. ส่วนที่ควบคุมการเฝ้าติดตาม (Monitor)

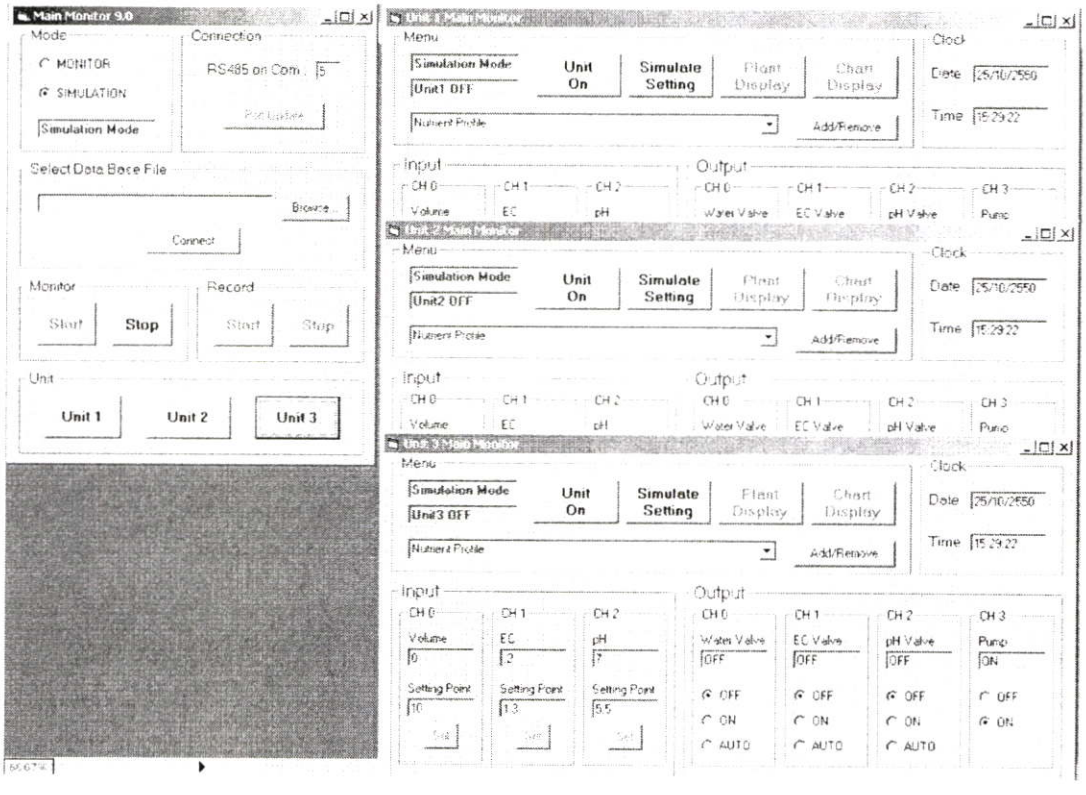
ในส่วนนี้จะมีปุ่มเพื่อใช้ควบคุมการทำงาน โดยกดที่ปุ่ม “Star” เพื่อเป็นการเริ่มทำงาน และกดที่ปุ่ม “Stop” เพื่อเป็นการหยุดทำงาน

5. ส่วนที่ควบคุมการบันทึก (Record)

ในส่วนนี้จะมีปุ่มเพื่อใช้ควบคุมการบันทึก โดยกดที่ปุ่ม "Star" เพื่อเป็นการเริ่มบันทึก และกดที่ปุ่ม "Stop" เพื่อเป็นการหยุดบันทึก

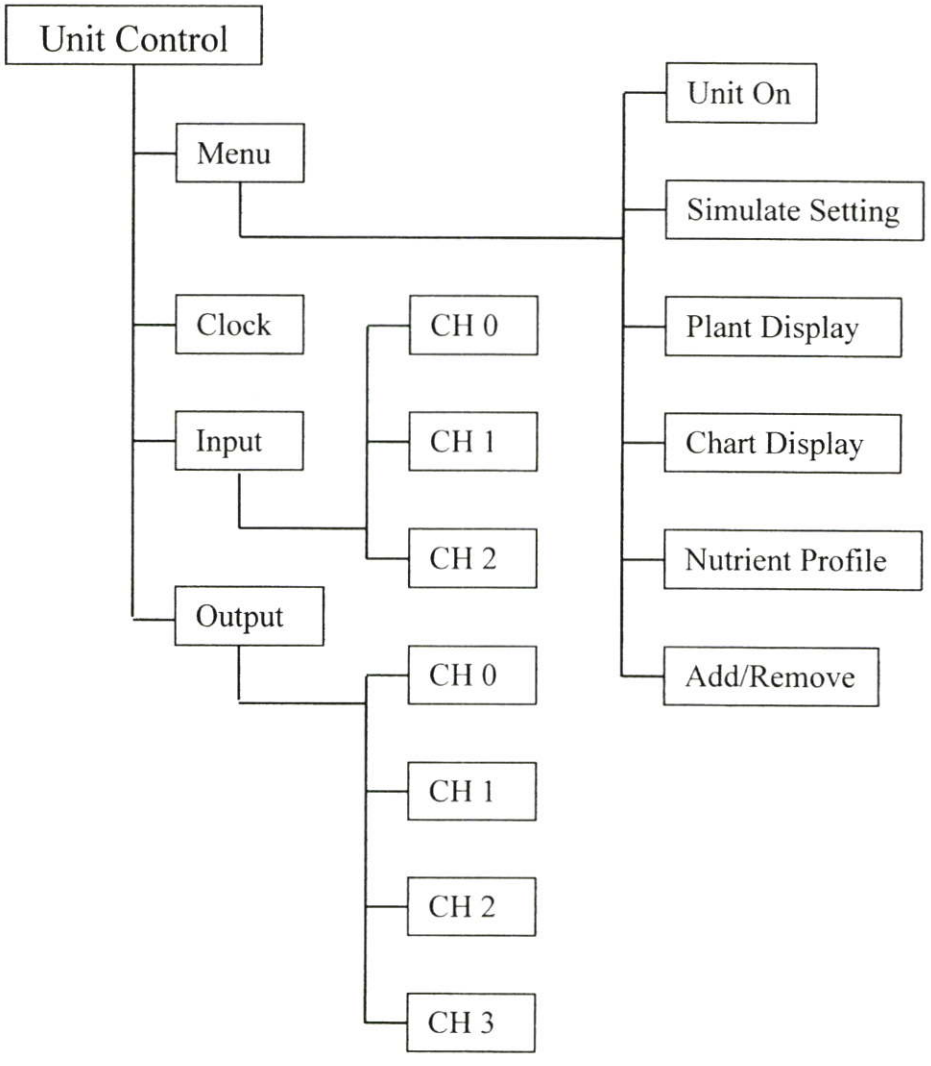
6. ส่วนควบคุมการทำงานของหน่วย (Unit)

ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ใช้เลือกเปิดการทำงานของหน้าโปรแกรมที่ใช้ควบคุมหน่วยทั้ง 3 ในการใช้งานสามารถทำได้โดยกดที่ปุ่ม "Unit 1" "Unit2" และ "Unit 3" เพื่อเป็นการเลือกเปิดหน้าโปรแกรมที่ใช้ควบคุมหน่วยที่ 1 หน่วยที่ 2 และหน่วยที่ 3 ตามลำดับ เมื่อทำการเปิดหน้าโปรแกรมที่ใช้ควบคุมหน่วยอินพุทเอาท์พุททั้ง 3 หน่วย จะมีหน้าโปรแกรมแสดงการทำงานขึ้นมาดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 หน้าโปรแกรมหลักและหน้าโปรแกรมที่ใช้ควบคุมหน่วยทั้ง 3 หน่วย

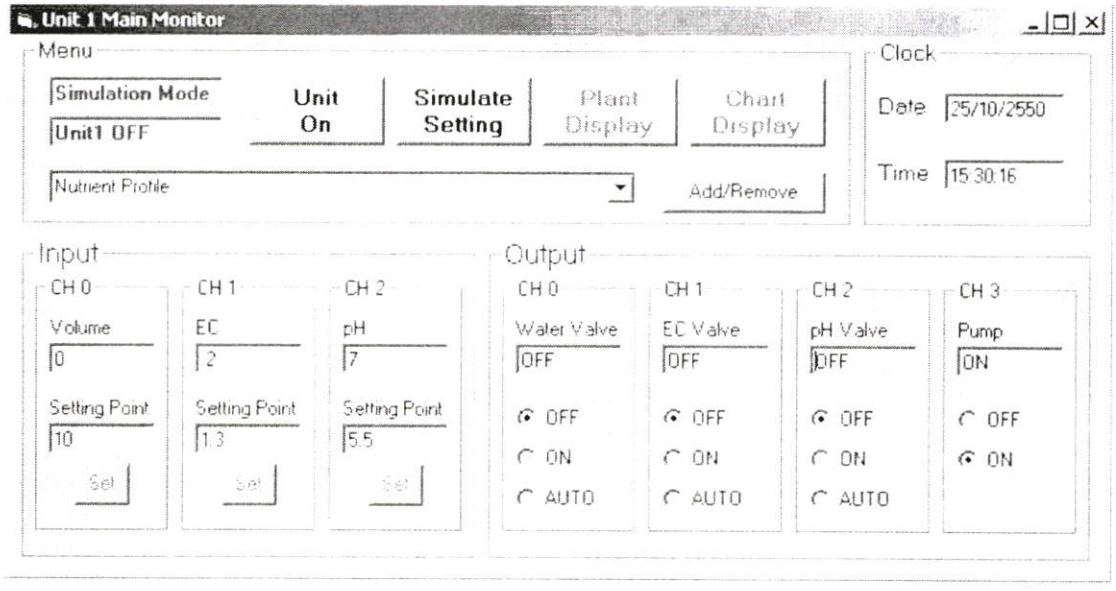
ในส่วนของหน้าโปรแกรมที่ใช้ควบคุมหน่วยของแต่ละหน่วยจะประกอบไปส่วนของโปรแกรมที่เกี่ยวข้องต่างๆ ซึ่งมีผังการทำงานของหน้าโปรแกรมที่ใช้ควบคุมหน่วยแสดงดังรูปที่ 4.18



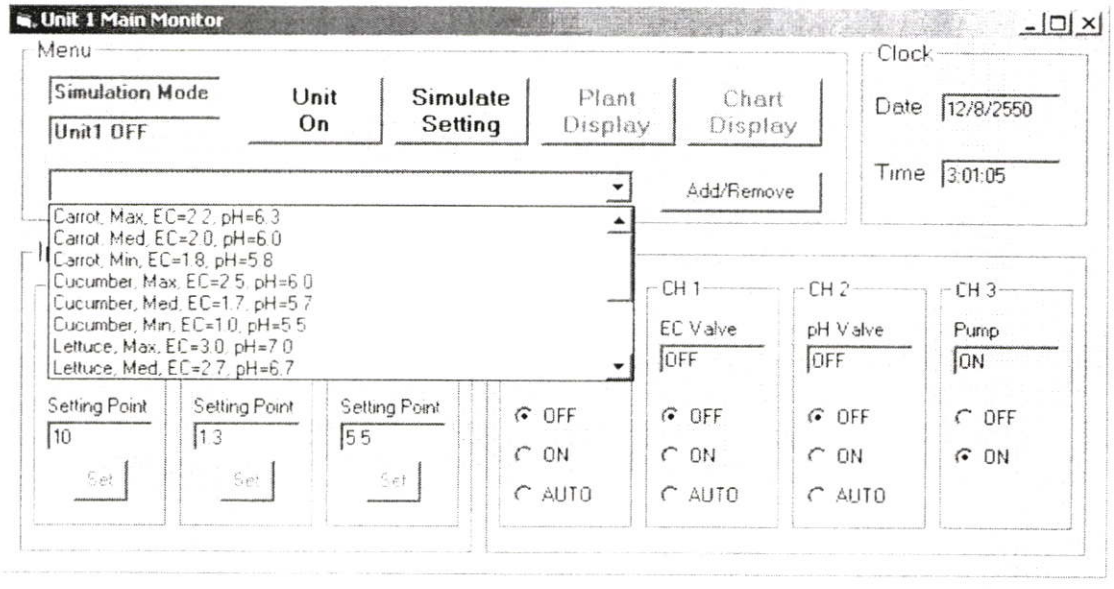
รูปที่ 4.18 ผังการทำงานของหน้าโปรแกรมที่ใช้ควบคุมหน่วย

ในหน้าโปรแกรมที่ใช้ควบคุมหน่วยอินพุทเอาท์พุทดังรูปที่ 4.19 ในกรอบของเมนู (Menu) จะมีส่วนที่ช่องที่แสดงสถานะของโหมดการทำงานและสถานะของหน่วยที่ควบคุมอยู่นั้น ถัดมาทางด้านขวาจะเป็นปุ่มที่ใช้เปิดการทำงานของหน่วย (Unit On) ปุ่มที่ใช้เปิดหน้าโปรแกรมของส่วนที่ควบคุมค่าที่ใช้ในการจำลองการทำงาน (Simulate Setting) ปุ่มที่ใช้เปิดหน้าโปรแกรมแสดงผลการทำงานของระบบ (Plant Display) ปุ่มที่ใช้เปิดหน้าโปรแกรมแสดงชาร์ตของค่าต่างๆ ในระบบ (Chart Display) ทางด้านล่างจะเป็นแถบตัวเลือกค่าสารละลายธาตุอาหาร (Nutrient Profile) โดยค่าสารละลายธาตุอาหารในแถบดังกล่าวสามารถกำหนดเพิ่มเติมได้โดยกดที่ปุ่มทางด้านขวาเพื่อเปิดหน้าโปรแกรมที่ใช้เพิ่มหรือลบค่าค่าสารละลายธาตุอาหาร (Add/Remove) ส่วนทางด้านล่างของโปรแกรมในกรอบของอินพุท (Input) จะประกอบด้วยช่องอินพุทที่ควบคุม 3 ช่อง โดยในกรอบช่องที่ควบคุมช่องแถวบนจะเป็นค่าสถานะของอินพุทต่างๆ ช่องแถวล่างเป็น

ส่วนที่ใส่ค่าเป้าหมายที่ต้องการกำหนด (Setting Point) ทางด้านล่างของช่อง Setting Point จะมีปุ่มเพื่อยืนยันการตั้งค่า (Set) เพื่อใช้กดยืนยันหลังจากที่ใส่ค่าที่ต้องการกำหนด ส่วนของกรอบเอาท์พุท (Output) ในช่องแถวบนจะเป็นค่าสถานะของเอาท์พุทต่างๆ ทางด้านล่างจะเป็นปุ่มที่ใช้เลือกการทำงานของเอาท์พุท



รูปที่ 4.19 หน้าโปรแกรมของส่วนที่ควบคุมหน่วยอินพุทเอาท์พุท

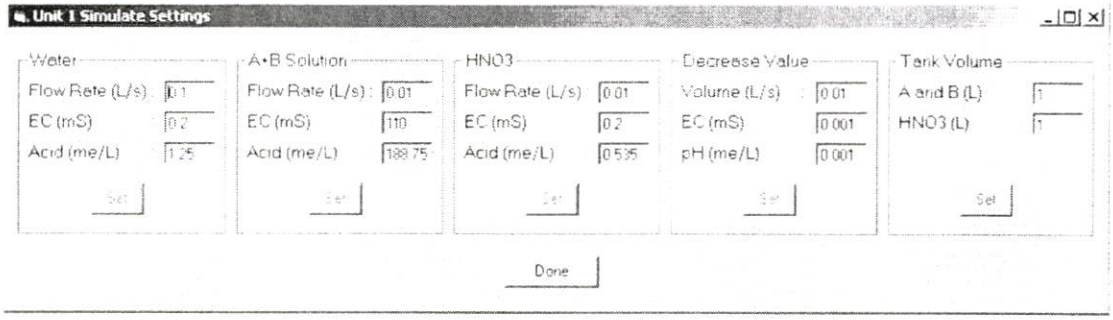


รูปที่ 4.20 แถบตัวเลือกค่าสารละลายธาตุอาหาร

ในการใส่ค่าเป้าหมายที่ต้องการกำหนด (Setting Point) ของอินพุท สามารถเลือกใช้ค่าที่มีอยู่ในแถบตัวเลือกค่าสารละลายธาตุอาหาร (Nutrient Profile) ดังรูปที่ 4.20 โดยในแถบตัวเลือกจะประกอบไปด้วยชนิดของพืช ค่าความเข้มข้นของสารละลาย (EC) และค่าความเป็นกรดด่างของสารละลาย (pH) เมื่อทำการเลือกแล้ว ค่า EC และ pH ของแถบที่เลือกก็จะไปปรากฏอยู่ในช่อง Setting Point ของแต่ละช่องของอินพุท ในการยืนยันการตั้งค่าให้กดปุ่ม Set ภายใต้ค่า Setting Point ที่เปลี่ยนแปลง

ค่าสารละลายธาตุอาหารที่อยู่ในแถบตัวเลือกที่มีอยู่ในโปรแกรมนั้น ส่วนหนึ่งได้กำหนดไว้อยู่แล้วในโปรแกรม อีกส่วนก็สามารถกำหนดเพิ่มเติมหรือลบได้โดยภายหลัง โดยการกดที่ปุ่มเพิ่มหรือลบ (Add/Remove) เมื่อได้ทำการกดปุ่มดังกล่าวแล้วจะปรากฏหน้าโปรแกรมที่ใช้กำหนดเพิ่มหรือลบแถบตัวเลือกค่าสารละลายธาตุอาหารให้ผู้ใช้งานสามารถเพิ่มหรือลบได้ตามความต้องการ ดังรูปที่ 4.21

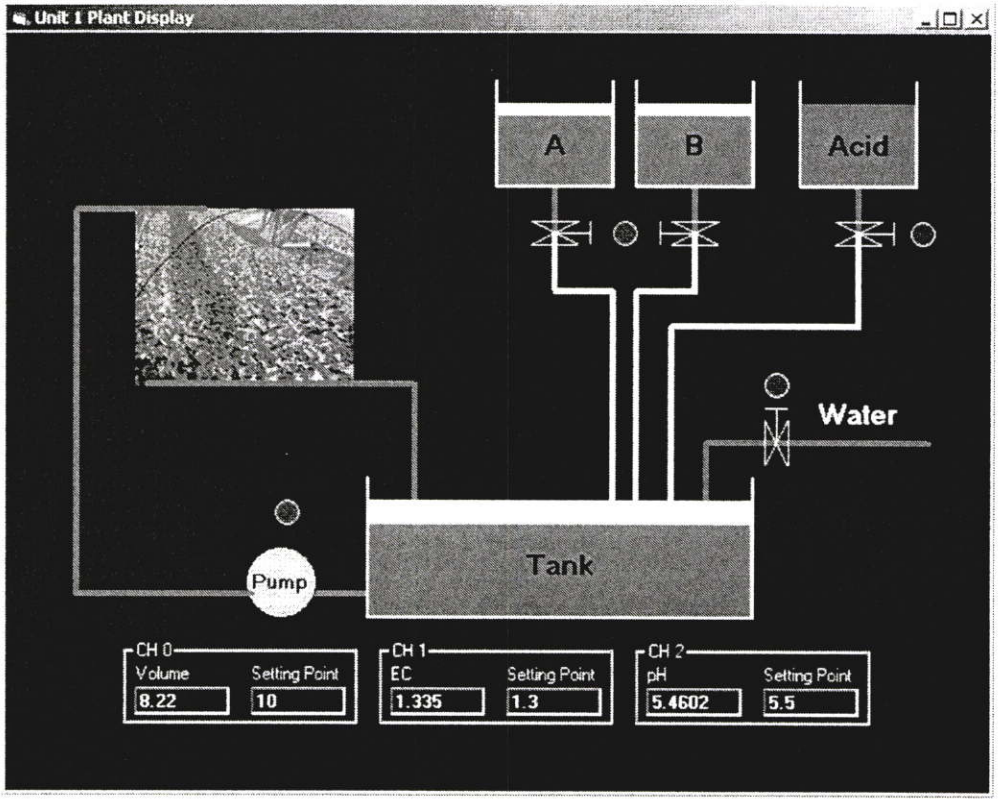
รูปที่ 4.21 หน้าโปรแกรมที่ใช้กำหนดเพิ่มหรือลบแถบตัวเลือกค่าสารละลายธาตุอาหาร



รูปที่ 4.22 หน้าโปรแกรมของส่วนที่ควบคุมค่าการจำลองเหตุการณ์

ในหน้าโปรแกรมของส่วนที่ควบคุมค่าการจำลองเหตุการณ์ดังรูปที่ 4.22 จะประกอบไปด้วยช่องที่ให้กำหนดข้อมูลต่างๆที่ใช้ในการจำลองเหตุการณ์ ในกรอบของ Water จะเป็นส่วนของน้ำดิบที่ไหลเข้าในระบบ โดยค่าที่ต้องการกำหนดนั้นคือ อัตราการไหล ค่า EC และความเข้มข้น

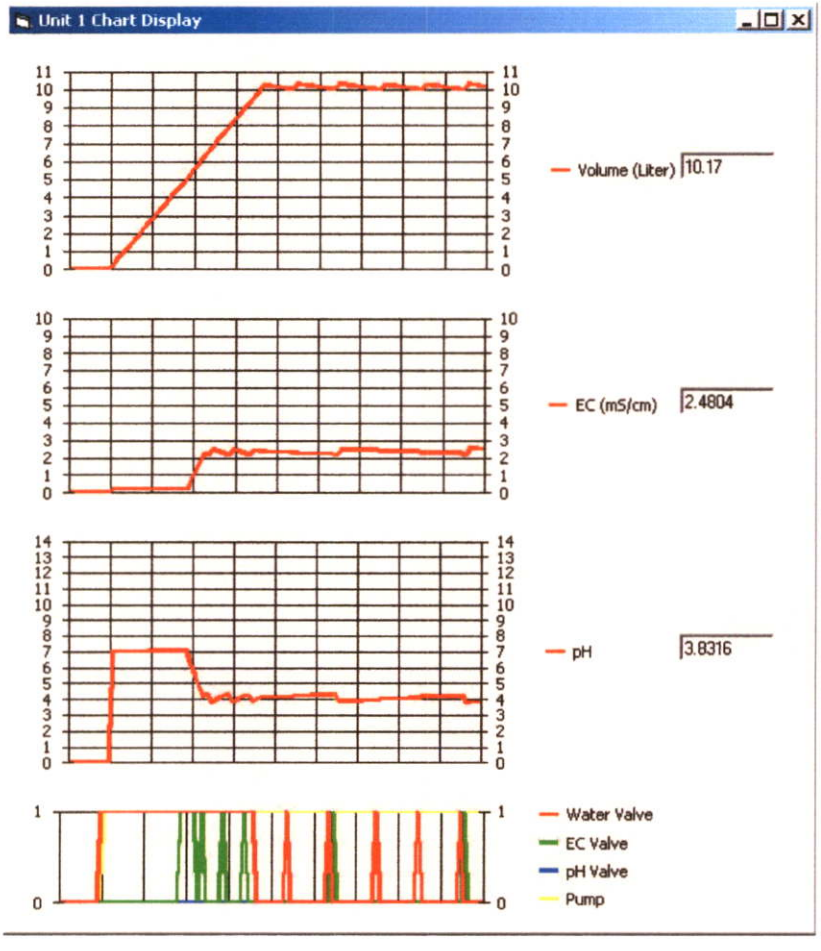
ประจุของกรด ในกรอบของ A+B Solution จะเป็นส่วนของสารละลายเข้มข้น A และ B โดยค่าที่ต้องการกำหนดนั้นคือ อัตราการไหล ค่า EC และความเข้มข้นประจุของกรด ในกรอบของ HNO3 จะเป็นส่วนของสารละลายกรดที่ใช้เติม โดยค่าที่ต้องการกำหนดนั้นคือ อัตราการไหล ค่า EC และความเข้มข้นประจุของกรด ในกรอบของ Decrease Value จะเป็นส่วนที่ใช้กำหนดการจำลองการสูญเสียปริมาณ ค่า EC และความเป็นกรดของสารละลายในระบบ ในกรอบของ Tank Volume จะเป็นส่วนที่ใช้กำหนดค่าความจุของถังเก็บสารละลายเข้มข้น A และ B และถังเก็บสารละลายกรด



รูปที่ 4.23 หน้าโปรแกรมแสดงผลการทำงานของระบบ

จากรูปที่ 4.23 เป็นหน้าโปรแกรมแสดงผลการทำงานของระบบโดยภายในหน้านี้จะประกอบด้วยภาพกราฟฟิคที่แสดงถึงการทำงานของส่วนต่างๆได้แก่ ภาพกราฟฟิคของถังเก็บสารละลายหลัก ถังเก็บสารละลายเข้มข้น และถังเก็บสารละลายกรด พร้อมทั้งบอกสถานะของวาล์วที่ควบคุมการปิด-เปิดต่างๆและสถานะของสารละลายที่ไหลอยู่ภายในท่อต่างๆ โดยทางด้านล่างของหน้าแสดงผลนี้จะแสดงค่าคุณสมบัติของสารละลายพร้อมกับค่าที่ได้กำหนดเอาไว้

ในหน้าโปรแกรมแสดงชาร์ตของค่าต่างๆในระบบดังรูปที่ 4.24 จะประกอบด้วยชาร์ตทั้งหมด 3 ชาร์ต โดยชาร์ตที่อยู่บนสุดจะเป็นชาร์ตที่แสดงปริมาณสารละลายในถังเทียบกับเวลา ชาร์ตที่อยู่ตรงกลางจะเป็นชาร์ตที่แสดงค่าความนำไฟฟ้าและค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายเทียบกับเวลา ชาร์ตที่อยู่ด้านล่างจะแสดงถึงสถานะของเอาท์พุทต่างๆเทียบกับเวลาซึ่งประกอบด้วยสถานะของวาล์วน้ำดิบ สถานะวาล์วสารละลายเข้มข้น สถานะวาล์วสารละลายกรด และสถานะของปั๊มที่ปั๊มสารละลายเข้าระบบปลูกพืช แกนเวลาของชาร์ตจะแสดงค่าสูงสุดที่ 300 วินาที โดยจะแบ่งเป็นขีดย่อยจำนวน 10 ขีด ขีดละ 30 วินาที เมื่อขณะชาร์ตทำงานเส้นกราฟของข้อมูลต่างๆจะขยับไปทางซ้ายด้วยอัตราเร็วหนึ่งครั้งต่อ 3 วินาที



รูปที่ 4.24 หน้าโปรแกรมแสดงชาร์ตของค่าต่างๆในระบบ

ในการบันทึกข้อมูลลงไฟล์ฐานข้อมูลนั้นจะเริ่มจากการเลือกไฟล์ฐานข้อมูลที่ต้องการทำการบันทึก โดยจะต้องทำการเลือกลงในช่องที่ให้เลือกไฟล์ฐานข้อมูลในหน้าหลักของโปรแกรม ซึ่งตัวไฟล์ฐานข้อมูลที่เลือกนั้นจะต้องทำการสร้างขึ้นจากโปรแกรมไมโครซอฟท์แอคเซสส์ (Microsoft Access) เพื่อกำหนดลักษณะโครงสร้างของไฟล์ให้มีลักษณะเป็นไปตามที่โปรแกรม

ต้องการ หลักจากที่ทำการติดต่อกับไฟล์ฐานข้อมูลเรียบร้อยแล้วปุ่มที่เลือกบังคับการบันทึกจึงจะสามารถใช้งานได้ การเลือกบันทึกข้อมูลสามารถเลือกได้จากชุดควบคุมดังกล่าว เมื่อเลือกให้โปรแกรมบันทึกค่าตัวโปรแกรมก็จะทำการบันทึกค่าในทุกๆรอบการทำงานของโปรแกรม ซึ่งในโปรแกรมตัวอย่างนี้โปรแกรมจะมีรอบการทำงานและการบันทึกอยู่ที่ 3 วินาที ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ถูกบันทึกลงในไฟล์มีช่วงเวลาห่างกันทุกๆ 3 วินาที และในระบบที่ควบคุมนั้นมีหน่วยที่ควบคุมทั้งหมด 3 หน่วย ซึ่งในไฟล์ฐานข้อมูลก็จะแยกข้อมูลของแต่ละหน่วยออกจากกันเป็น 3 ตาราง ดังนี้คือ

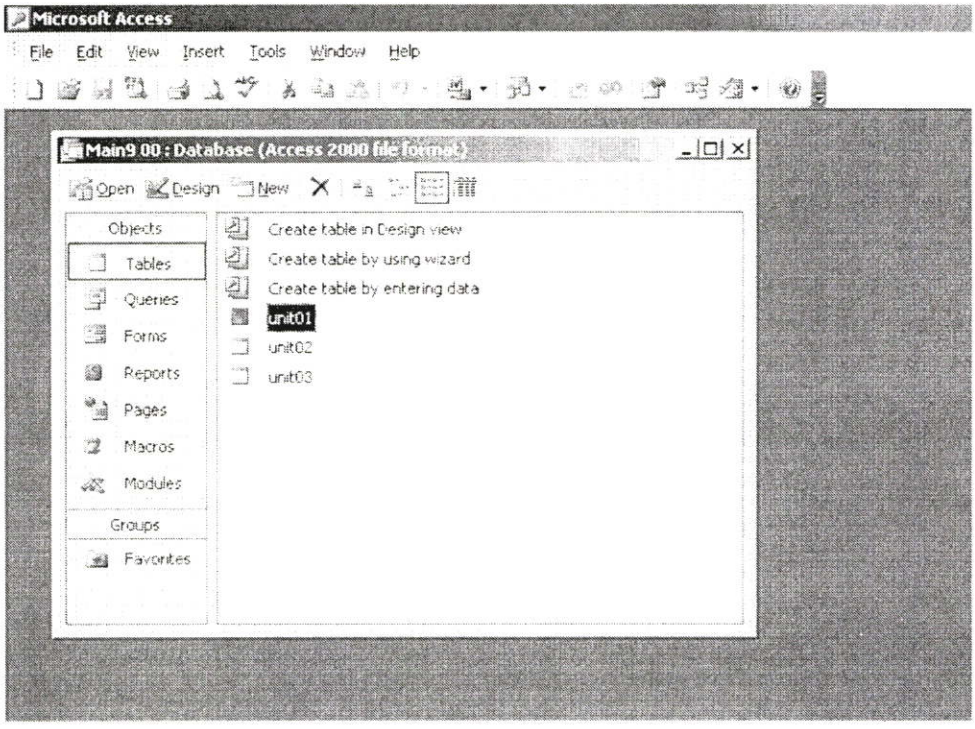
1. ตาราง unit01 ทำหน้าที่เก็บของมูลที่บันทึกได้จากหน่วยคุมที่ 1
2. ตาราง unit02 ทำหน้าที่เก็บของมูลที่บันทึกได้จากหน่วยคุมที่ 2
3. ตาราง unit03 ทำหน้าที่เก็บของมูลที่บันทึกได้จากหน่วยคุมที่ 3

โดยข้อมูลที่ถูกบันทึกในแต่ละตารางนั้นจะประกอบไปด้วย ลำดับในการบันทึก วัน เวลา สถานะของหน่วย ข้อมูลจากหน่วยอินพุท และสถานะของหน่วยเอาท์พุทต่างๆดังตารางที่ 4.1

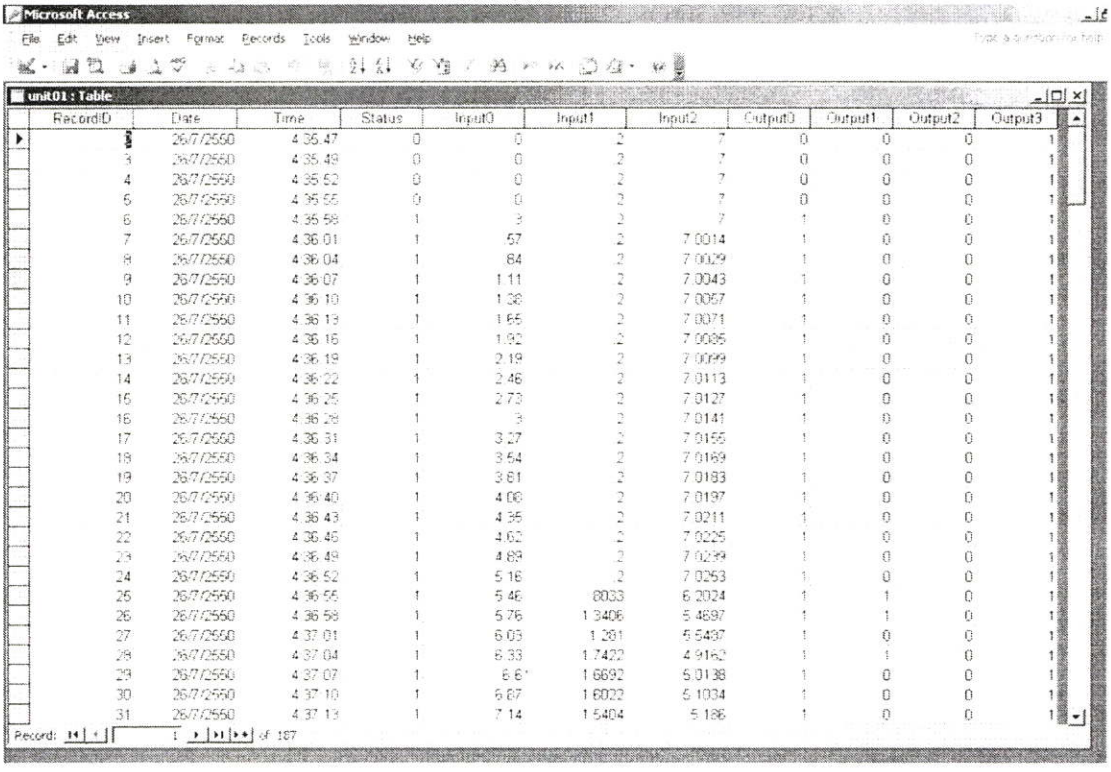
ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของข้อมูลที่บันทึกในแต่ละตาราง

ชื่อฟิลด์	ชนิดของข้อมูล	ขอบเขตของข้อมูล	คำอธิบาย
RecordID	AutoNumber	Long Integer	ลำดับที่บันทึก
Data	Date/Time	Long Time	วัน/เดือน/ปี
Time	Date/Time	Long Time	เวลา
Status	Number	Integer	สถานะของหน่วย
Input0	Number	Single	สถานะของอินพุทที่ 0 (Volume)
Input1	Number	Single	สถานะของอินพุทที่ 1 (EC)
Input2	Number	Single	สถานะของอินพุทที่ 2 (pH)
Output0	Number	Integer	สถานะของเอาท์พุทที่ 0 (Water Valve)
Output1	Number	Integer	สถานะของเอาท์พุทที่ 1 (EC Valve)
Output2	Number	Integer	สถานะของเอาท์พุทที่ 2 (pH Valve)
Output3	Number	Integer	สถานะของเอาท์พุทที่ 3 (Pump)

ไฟล์ฐานข้อมูลและข้อมูลที่เก็บอยู่ในไฟล์ฐานข้อมูลจะแสดงดังรูปที่ 4.25 และ 4.26 ตามลำดับ



รูปที่ 4.25 ไฟล์ฐานข้อมูลแบบ Access



รูปที่ 4.26 ข้อมูลที่เก็บในไฟล์ฐานข้อมูลแบบ Access

ในการเก็บข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบฐานข้อมูลนั้นมีข้อดีในด้านในการบริหารข้อมูลเพื่อนำไปใช้งาน ข้อมูลที่ถูกเก็บเอาไว้นั้นสามารถทำไปประยุกต์ใช้งานได้ต่อไม่ว่าจะเป็นการใช้โปรแกรมอื่นๆมาจัดเรียบเรียงแล้วนำเสนอข้อมูลต่อไป หรือจะส่งต่อไปยังรูปแบบข้อมูลอื่นๆเพื่อนำไปใช้งาน โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการส่งต่อข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่ใช้งานภายใต้โปรแกรมของไมโครซอฟท์เอกซ์เซล (Microsoft Excel) ซึ่งวิธีนี้มีข้อดีคือความสะดวกและความง่ายต่อการใช้งานของผู้ใช้งานโดยทั่วไป ข้อมูลจากแบบตารางของเอกซ์เซลสามารถจัดรูปให้แสดงเป็นกราฟได้โดยง่ายซึ่งจะช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลภายหลังนั้นสามารถทำได้ด้วยดี ข้อมูลในรูปและกราฟในรูปแบบของไฟล์แบบเอกซ์เซลแสดงดังรูปที่ 4.27 และ 4.28 ตามลำดับ

Microsoft Excel - Main9 03

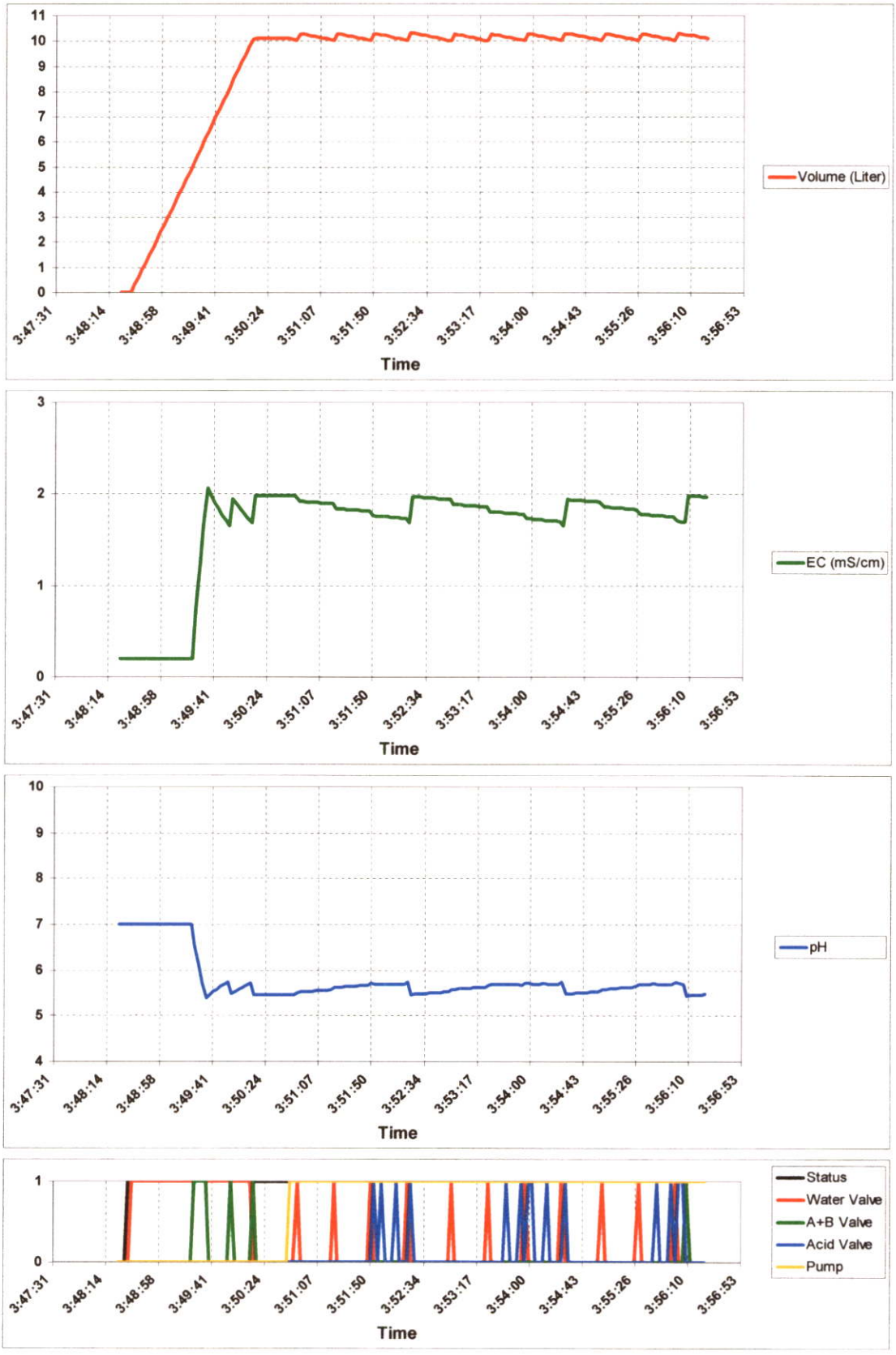
File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

MS Sans Serif 10 B I U

U41

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	RecordID	Date	Time	Status	Volume	EC	pH	Water	EC	pH	Pump	
2	2	26/7/2007	4:35:47	0	0	0.2	7	0	0	0	1	
3	3	26/7/2007	4:35:49	0	0	0.2	7	0	0	0	1	
4	4	26/7/2007	4:35:52	0	0	0.2	7	0	0	0	1	
5	5	26/7/2007	4:35:55	0	0	0.2	7	0	0	0	1	
6	6	26/7/2007	4:35:58	1	0.3	0.2	7	1	0	0	1	
7	7	26/7/2007	4:36:01	1	0.57	0.2	7.0014	1	0	0	1	
8	8	26/7/2007	4:36:04	1	0.84	0.2	7.0029	1	0	0	1	
9	9	26/7/2007	4:36:07	1	1.11	0.2	7.0043	1	0	0	1	
10	10	26/7/2007	4:36:10	1	1.38	0.2	7.0057	1	0	0	1	
11	11	26/7/2007	4:36:13	1	1.65	0.2	7.0071	1	0	0	1	
12	12	26/7/2007	4:36:16	1	1.92	0.2	7.0085	1	0	0	1	
13	13	26/7/2007	4:36:19	1	2.19	0.2	7.0099	1	0	0	1	
14	14	26/7/2007	4:36:22	1	2.46	0.2	7.0113	1	0	0	1	
15	15	26/7/2007	4:36:25	1	2.73	0.2	7.0127	1	0	0	1	
16	16	26/7/2007	4:36:28	1	3	0.2	7.0141	1	0	0	1	
17	17	26/7/2007	4:36:31	1	3.27	0.2	7.0155	1	0	0	1	
18	18	26/7/2007	4:36:34	1	3.54	0.2	7.0169	1	0	0	1	
19	19	26/7/2007	4:36:37	1	3.81	0.2	7.0183	1	0	0	1	
20	20	26/7/2007	4:36:40	1	4.08	0.2	7.0197	1	0	0	1	
21	21	26/7/2007	4:36:43	1	4.35	0.2	7.0211	1	0	0	1	
22	22	26/7/2007	4:36:46	1	4.62	0.2	7.0225	1	0	0	1	

รูปที่ 4.27 ข้อมูลในไฟล์แบบ Excel



รูปที่ 4.28 ชาร์ตแสดงค่าที่สร้างจากไฟล์แบบเอกซ์เซล (Excel)

4.6.4 การจำลองค่าของโปรแกรม

ในการทำงานแบบจำลองเหตุการณ์ของโปรแกรม ได้อาศัยการคำนวณค่าจากสมการในหัวข้อ 4.5 โดยในแต่ละหน่วยมีส่วนที่ใช้ในการคำนวณค่าดังนี้

1. กำหนดค่าเริ่มต้น

ในส่วนนี้เป็นการกำหนดค่าที่ใช้จำลองเหตุการณ์ดังรูปที่ 4.22 ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนของน้ำดิบที่ประกอบด้วย อัตราการไหล ค่าความนำไฟฟ้า และค่าความเข้มข้นของอนุภาคกรด ส่วนของสารละลายเข้มข้นที่ประกอบด้วย อัตราการไหล ค่าความนำไฟฟ้า และค่าความเข้มข้นของอนุภาคกรด ส่วนของสารละลายกรดที่ประกอบด้วย อัตราการไหล ค่าความนำไฟฟ้า และค่าความเข้มข้นของอนุภาคกรด ส่วนของการจำลองการลดค่าที่ประกอบด้วย การลดลงของปริมาตรสารละลาย การลดลงของค่าความนำไฟฟ้า และการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรดด่าง

2. คำนวณค่าที่ได้จากการเติมน้ำดิบ

ในส่วนนี้เป็นการคำนวณหาปริมาตรสารละลาย ค่าความนำไฟฟ้า และค่าความเป็นกรดด่างที่ได้จากการเติมน้ำดิบเข้าไปผสม โดยในส่วนของการหาปริมาตรของสารละลายที่ผสมได้ จะนำปริมาตรตั้งต้นของสารละลายรวมเข้ากับปริมาตรของน้ำดิบที่เติมในรอบการทำงาน ในส่วนของการคำนวณหาค่าความนำไฟฟ้า จะใช้วิธีคำนวณตามสมการที่ 4.8 ในส่วนของการคำนวณหาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง จะใช้วิธีคำนวณตามสมการที่ 4.8 และ 4.13

3. คำนวณค่าที่ได้จากการเติมสารละลายเข้มข้น

ในส่วนนี้เป็นการคำนวณหาปริมาตรสารละลาย ค่าความนำไฟฟ้า และค่าความเป็นกรดด่างที่ได้จากการเติมสารละลายเข้มข้นเข้าไปผสม โดยในส่วนของการหาปริมาตรของสารละลายที่ผสมได้ จะนำปริมาตรตั้งต้นของสารละลายรวมเข้ากับปริมาตรของสารละลายเข้มข้นที่เติมในรอบการทำงาน ในส่วนของการคำนวณหาค่าความนำไฟฟ้า จะใช้วิธีคำนวณตามสมการที่ 4.8 ในส่วนของการคำนวณหาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง จะใช้วิธีคำนวณตามสมการที่ 4.8 และ 4.13

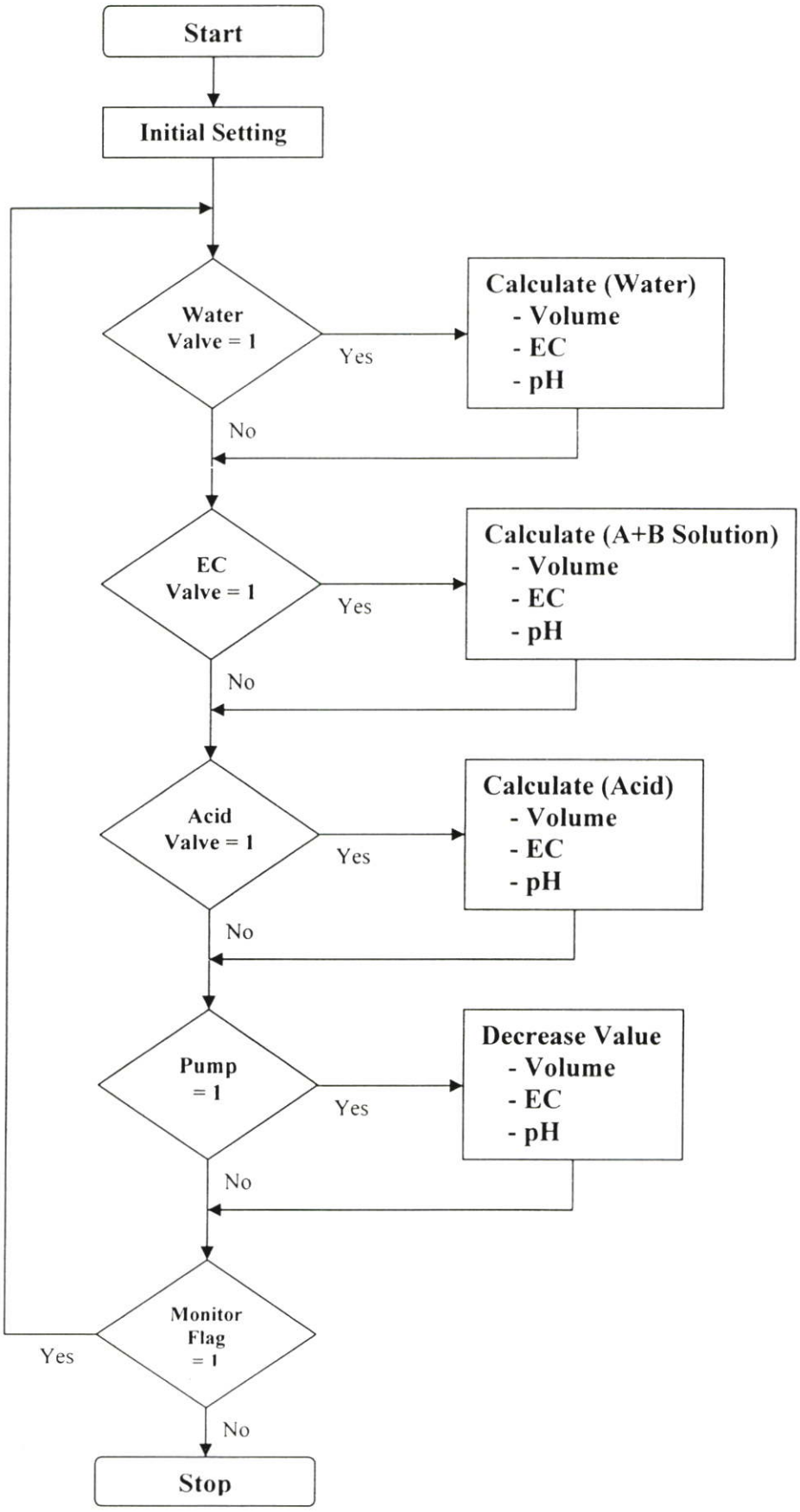
4. คำนวณค่าที่ได้จากการเติมสารละลายกรด

ในส่วนนี้เป็นการคำนวณหาปริมาตรสารละลาย ค่าความนำไฟฟ้า และค่าความเป็นกรดด่างที่ได้จากการเติมสารละลายกรดเข้าไปผสม โดยในส่วนของการหาปริมาตรของสารละลายที่ผสมได้ จะนำปริมาตรตั้งต้นของสารละลายรวมเข้ากับปริมาตรของสารละลายกรดที่เติมในรอบการทำงาน ในส่วนของการคำนวณหาค่าความนำไฟฟ้า จะใช้วิธีคำนวณตามสมการที่ 4.8 ในส่วนของการคำนวณหาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง จะใช้วิธีคำนวณตามสมการที่ 4.8 และ 4.13

5. คำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงของสารละลายตามค่าที่กำหนด

ในส่วนนี้เป็นการคำนวณหาปริมาตรสารละลาย ค่าความนำไฟฟ้า และค่าความเป็นกรดด่างที่เกิดขึ้นหลังจากการจำลองการเปลี่ยนแปลงค่า โดยในส่วนของการหาปริมาตรของสารละลาย จะนำค่าปริมาตรสารละลายที่เป็นอยู่นำมาลดค่าตามที่กำหนดไว้ ในส่วนของการคำนวณหาค่าความนำไฟฟ้า จะนำค่าความนำไฟฟ้าที่เป็นอยู่นำมาลดค่าตามที่กำหนดไว้ ในส่วนของการคำนวณหาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง จะนำค่าความเป็นกรดด่างที่เป็นอยู่นำมาเพิ่มค่าตามที่กำหนดไว้

ในการทำงานของโปรแกรมจะเริ่มต้นการคำนวณจากการกำหนดค่าเริ่มต้น หลังจากนั้นจะทำการคำนวณตามสถานะการทำงานของวาล์วน้ำดิบ วาล์วสารละลายเข้มข้น วาล์วสารละลายกรด และปั๊ม โดยมีลำดับขั้นตอนการทำงานแสดงดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 ลำดับขั้นตอนของการคำนวณการจำลองค่า

บทที่ 5
การหาค่าสมรรถนะของกระบวนการควบคุมสารอาหาร

ในบทนี้จะกล่าวถึงการหาค่าสมรรถนะของกระบวนการควบคุมสารอาหารโดยใช้การจำลองการทำงานจากโปรแกรมซอฟท์แวร์ที่ได้ทำการสร้างขึ้น และการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของกระบวนการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการแบบพื้นฐาน ในการจำลองการทำงานนั้นจะเป็นการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของการทำงานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราไหลของสารละลายเข้มข้นภายใต้รูปแบบและเงื่อนไขที่ใช้ในการจำลองการทำงานที่กำหนด

5.1 รูปแบบที่ใช้ในการจำลองการทำงาน

ในการศึกษาการจำลองการทำงานเพื่อหาค่าสมรรถนะของกระบวนการควบคุมสารอาหาร ได้กำหนดรูปแบบที่ใช้ในการจำลองการทำงานไว้ 2 ช่วง ดังนี้

1. จำลองการเตรียมสารละลายธาตุอาหาร

การจำลองการทำงานในช่วงนี้จะเป็นการจำลองเตรียมสารละลายธาตุอาหารจากถังเปล่าเพื่อให้ได้ปริมาณ ค่าความเข้มข้น และค่าความเป็นกรดของสารละลายธาตุอาหารตามค่าเป้าหมายที่ต้องการ โดยการควบคุมวาล์วจ่ายน้ำดิบและวาล์วจ่ายสารละลายเข้มข้น

2. จำลองการควบคุมสารละลายธาตุอาหาร

การจำลองการทำงานในลักษณะนี้จะเป็นการจำลองการทำงานในช่วงที่ต่อจากการเตรียมสารละลายธาตุอาหาร เมื่อระบบทำการเตรียมสารละลายเสร็จแล้วจึงจำลองการควบคุมสารละลายภายใต้เงื่อนไขการสูบจ่ายสารละลายไปใช้งาน ซึ่งทำให้สารละลายมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ ค่าความเข้มข้น และค่าความเป็นกรดของสารละลายธาตุอาหาร ในการควบคุมส่วนนี้จะทำการควบคุมวาล์วจ่ายน้ำดิบ วาล์วจ่ายสารละลายเข้มข้น และวาล์วจ่ายสารละลายกรด

5.2 ตัวแปรที่ควบคุมในการจำลองการทำงาน

ตัวแปรที่ควบคุมในการทดลองจำลองการทำงานของระบบจะแบ่งออกเป็นสองกลุ่มดังนี้

5.2.1 ตัวแปรในกลุ่มค่าเป้าหมายที่ต้องการกำหนด (Setting Point)

ตัวแปรที่ใช้ควบคุมในส่วนนี้จะประกอบด้วย

1. ปริมาณสารละลายธาตุอาหารที่ควบคุม

ในการทดลองจำลองการทำงานได้กำหนดระดับปริมาณสารละลายที่ควบคุมเอาไว้ที่ 10 ลิตร

2. ค่าความเข้มข้น (EC) และค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลายธาตุอาหาร

ในการทดลองจำลองการทำงานได้เลือก "แตงกวา" เป็นพืชที่ใช้เป็นตัวอย่างในการควบคุมสารละลายธาตุอาหารเพื่อใช้ปลูก โดยจากตารางที่ 3.1 จะพบว่าแตงกว่ามีความต้องการสารละลายที่มีความเข้มข้น (EC) อยู่ในช่วง 1.0-2.5 mS/cm และมีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) อยู่ในช่วง 1.0-2.5 โดยในการทดลองได้กำหนดค่าความเข้มข้น (EC) ของสารละลายไว้ที่ 1.7 mS/cm และค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลายไว้ที่ 5.7

โดยตัวแปรในส่วนนี้จะกำหนดค่าในกรอบอินพุทของหน้าโปรแกรมของส่วนที่ควบคุมหน่วยอินพุทเอาท์พุท ค่าที่กำหนดในการทดลองเป็นไปดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ตัวแปรในกลุ่มค่าเป้าหมายที่ต้องการกำหนดที่ควบคุมและค่าที่กำหนด

ตัวแปรที่ควบคุม	ค่าที่กำหนด
ระดับปริมาณสารละลาย	10 Liter
ค่าความเข้มข้นของสาระลาย (EC)	1.7 mS/cm
ค่าความเป็นกรดด่างของสารละลาย (pH)	5.7

5.2.2 ตัวแปรในกลุ่มค่าการจำลองเหตุการณ์ (Simulate Setting)

ตัวแปรที่ใช้ควบคุมในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่อยู่ในหน้าโปรแกรมของส่วนที่ควบคุมค่าการจำลองเหตุการณ์ ซึ่งจะประกอบด้วย

1. ค่าพารามิเตอร์ของน้ำดิบ (Water)

ในการทดลองจำลองการทำงานได้กำหนดค่าอัตราการไหล (Flow Rate) ค่าความเข้มข้นหรือค่าความนำไฟฟ้า (EC) และค่าความเข้มข้นอนุมูลกรด ไว้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ค่าพารามิเตอร์ของน้ำดิบและค่าที่กำหนด

ค่าพารามิเตอร์ของน้ำดิบ	ค่าที่กำหนด
อัตราของการไหล	0.1 Liter/Sec
ค่าความนำไฟฟ้า (EC)	0.2 mS/cm
ค่าความเข้มข้นอนุมูลกรด	1.25 me/Liter

2. ค่าพารามิเตอร์ของสารละลายเข้มข้น (A+B Solution)

ในการทดลองจำลองการทำงานได้ทำการเลือกกำหนดค่าอัตราการไหล (Flow Rate) เอาไว้ 3 ค่า เพื่อให้ได้ชุดข้อมูลเปรียบเทียบกัน 3 ชุด ใช้สำหรับในการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบที่ทำการจำลอง ส่วนค่าความเข้มข้นหรือค่าความนำไฟฟ้า (EC) และค่าความเข้มข้นอนุมูลกรด ได้กำหนดไว้ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ค่าพารามิเตอร์ของสารละลายเข้มข้นและค่าที่กำหนด

ค่าพารามิเตอร์ของสารละลายเข้มข้น	ค่าที่กำหนด		
	ชุดข้อมูลที่ 1	ชุดข้อมูลที่ 2	ชุดข้อมูลที่ 3
อัตราของการไหล	0.001 Liter/Sec	0.005 Liter/Sec	0.01 Liter/Sec
ค่าความเข้มข้น (EC)	100 mS/cm	100 mS/cm	100 mS/cm
ค่าความเข้มข้นอนุมูลกรด	110 me/Liter	110 me/Liter	110 me/Liter

3. ค่าพารามิเตอร์ของสารละลายกรด (HNO_3)

ในการทดลองจำลองการทำงานได้กำหนดค่าอัตราการไหล (Flow Rate) ค่าความเข้มข้นหรือค่าความนำไฟฟ้า (EC) และค่าความเข้มข้นอนุมูลกรด ไว้ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ค่าพารามิเตอร์ของสารละลายกรดและค่าที่กำหนด

ค่าพารามิเตอร์ของสารละลายกรด	ค่าที่กำหนด
อัตราของการไหล	0.001 Liter/Sec
ค่าความนำไฟฟ้า (EC)	0.2 mS/cm
ค่าความเข้มข้นอนุมูลกรด	110 me/Liter

4. ค่าพารามิเตอร์จำลองการเปลี่ยนแปลงของสารละลาย

ในการทดลองจำลองการทำงานได้กำหนดอัตราการลดลงของปริมาณของสารละลาย อัตราการลดลงของความเข้มข้นของสารละลาย และอัตราการลดลงของค่าความเข้มข้นอนุมูลกรดของสารละลาย ไว้ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ค่าพารามิเตอร์จำลองการเปลี่ยนแปลงของสารละลายและค่าที่กำหนด

ค่าพารามิเตอร์จำลองการเปลี่ยนแปลงของสารละลาย	ค่าที่กำหนด
อัตราการลดลงของปริมาณของสารละลาย	0.01 Liter/Sec
อัตราการลดลงของความเข้มข้นของสารละลาย	0.001 mS/cm
อัตราการลดลงของค่าความเข้มข้นอนุมูลกรดของสารละลาย	0.002 me/Liter

5.3 สมรรถนะของกระบวนการควบคุมสารอาหาร

ในการหาสมรรถนะของกระบวนการควบคุมสารอาหารที่นำเสนอ จะประกอบด้วยการการจำลองการทำงานเพื่อหาค่าสมรรถนะของกระบวนการควบคุมสารอาหารตามรูปแบบที่ได้กำหนดไว้ 2 ช่วง และการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของกระบวนการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการแบบพื้นฐาน ดังนั้นผลการทดลองที่ได้จึงแบ่งออกเป็น 3 ตอนดังนี้

5.3.1 ผลการทดลองในการจำลองการเตรียมสารละลายธาตุอาหาร

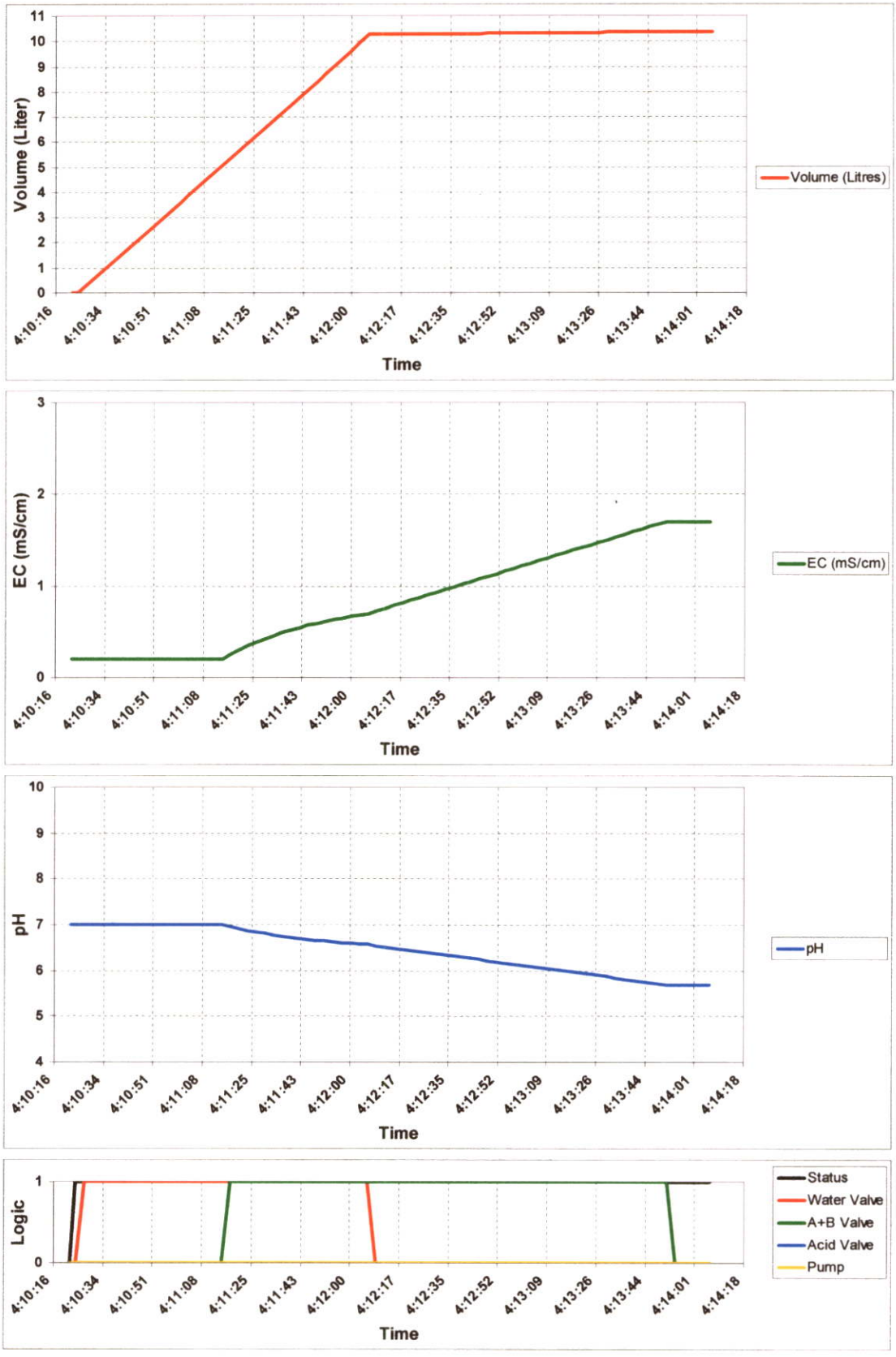
ในการทดลองจำลองการทำงานได้ทำการเลือกกำหนดค่าอัตราการไหลของสารละลายเข้มข้นเอาไว้ 3 ค่า ตามตารางที่ 5.3 ซึ่งทำให้ได้ผลจากการจำลองการควบคุม 3 ชุด ดังนี้

ชุดข้อมูลที่ 1

ควบคุมอัตราไหลของสารละลายเข้มข้นไว้ที่ 0.001 Liter/Sec ผลการทำงานของการจำลองการเตรียมสารละลายธาตุอาหารแสดงดังรูปที่ 5.1 ค่าสมรรถนะของการจำลองการเตรียมสารละลายธาตุอาหารแสดงดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ค่าสมรรถนะของการจำลองการเตรียมสารละลายธาตุอาหารของชุดข้อมูลที่ 1

พารามิเตอร์	ค่าที่ควบคุมได้	ความคาดเคลื่อน
ระยะเวลาที่ใช้	3.30 min	-
ปริมาณสารละลาย	10.356 Liter	+3.56%
ค่าความเข้มข้น	1.735 mS/cm	+0.21%
ค่าความเป็นกรดด่าง	5.6906	-0.16%



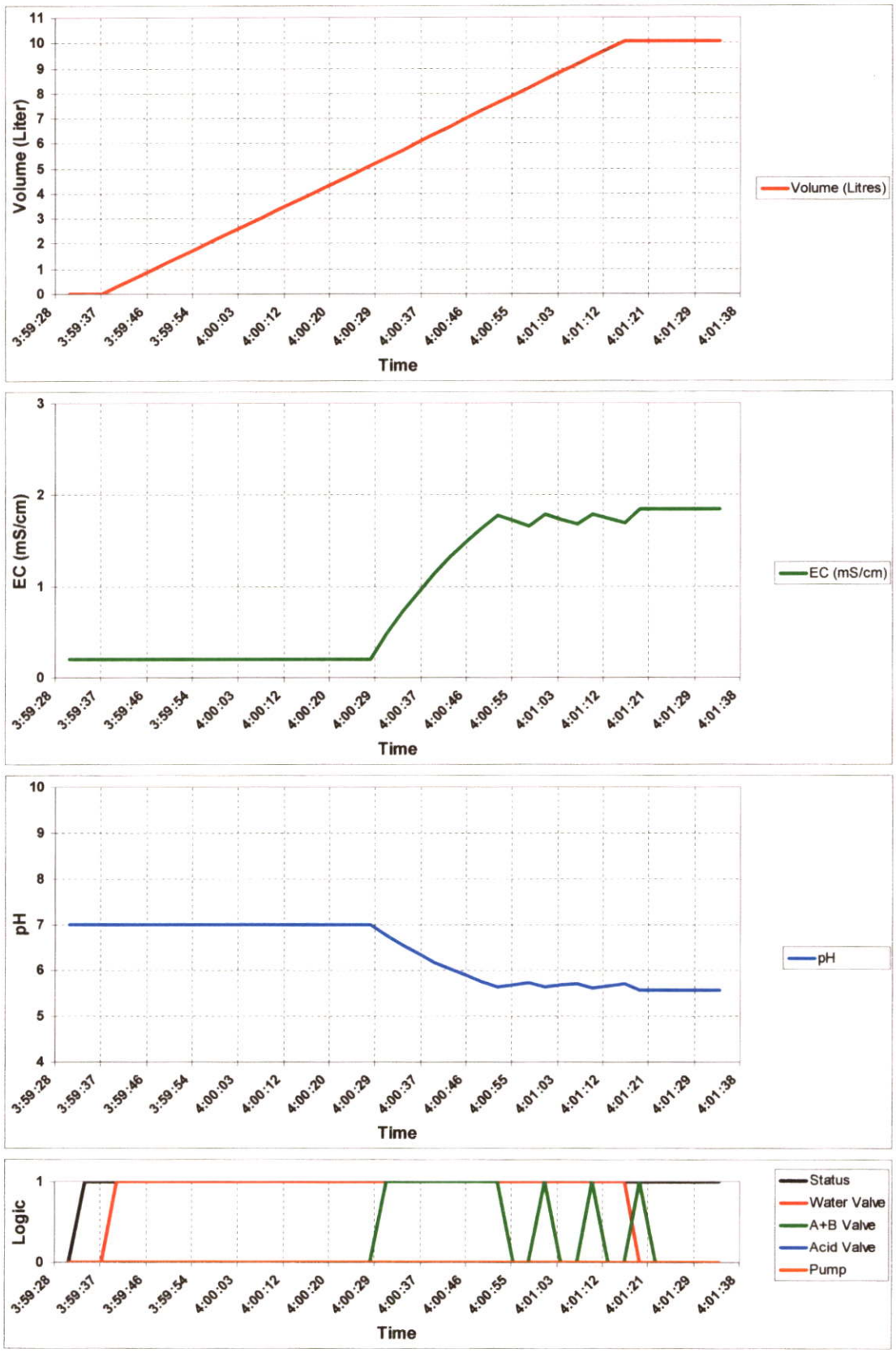
รูปที่ 5.1 ผลการทำงานของการจำลองการเตรียมสารละลายธาตุอาหารของชุดข้อมูลที่ 1

ชุดข้อมูลที่ 2

ควบคุมอัตราไหลของสารละลายเข้มข้นไว้ที่ 0.005 Liter/Sec ผลการทำงานของการจำลองการเตรียมสารละลายธาตุอาหารแสดงดังรูปที่ 5.2 ค่าสมรรถนะของการจำลองการเตรียมสารละลายธาตุอาหารแสดงดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ค่าสมรรถนะของการจำลองการเตรียมสารละลายธาตุอาหารของชุดข้อมูลที่ 2

พารามิเตอร์	ค่าที่ควบคุมได้	ความคาดเคลื่อน
ระยะเวลาที่ใช้	1.45 min	-
ปริมาณสารละลาย	10.065 Liter	+0.65%
ค่าความเข้มข้น	1.8362 mS/cm	+8.01%
ค่าความเป็นกรดด่าง	5.5742	-2.21%



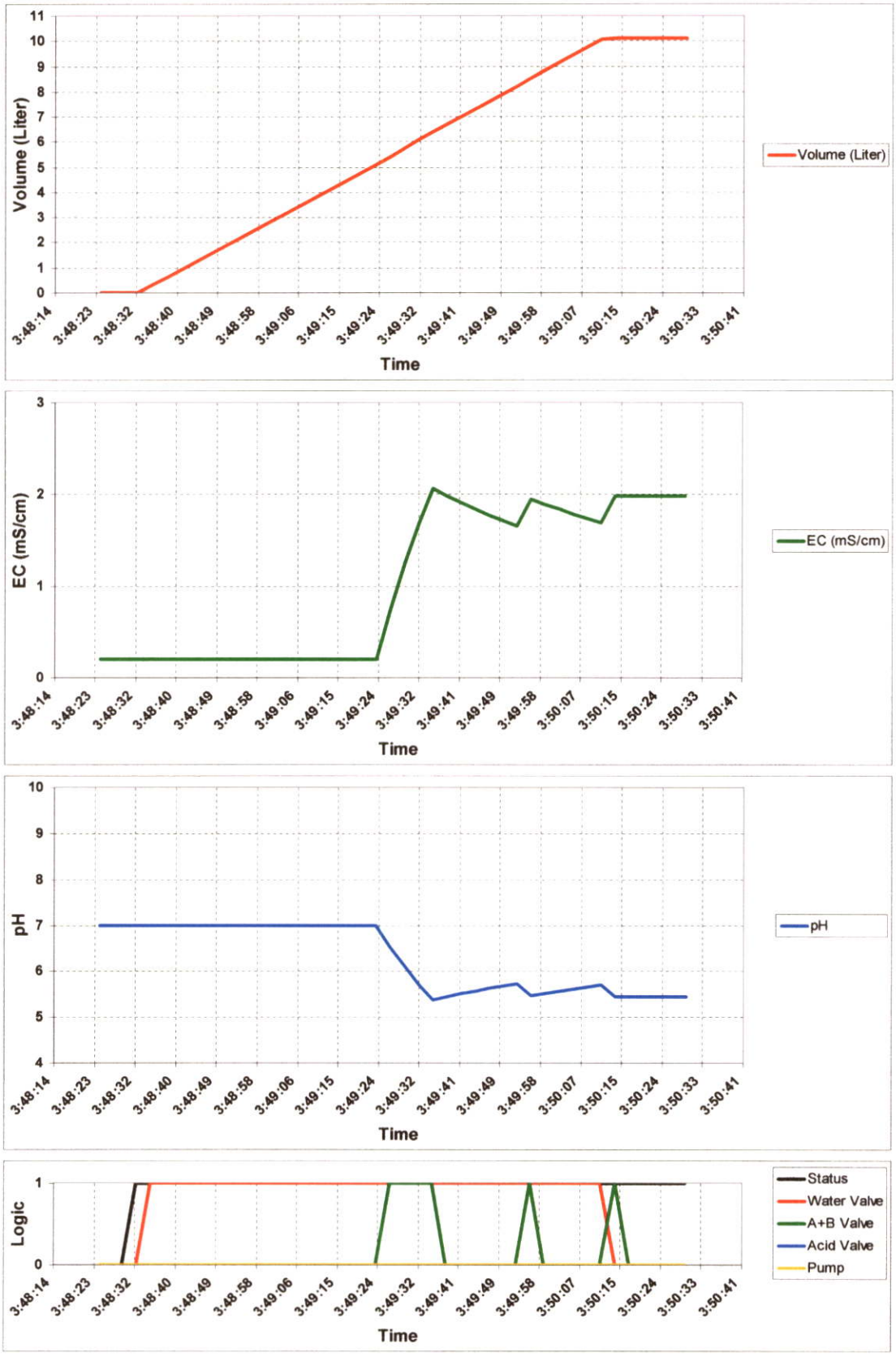
รูปที่ 5.2 ผลการทำงานของการจำลองการเตรียมสารละลายธาตุอาหารของชุดข้อมูลที่ 2

ชุดข้อมูลที่ 3

ควบคุมอัตราไหลของสารละลายเข้มข้นไว้ที่ 0.01 Liter/Sec ผลการทำงานของการจำลองการเตรียมสารละลายธาตุอาหารแสดงดังรูปที่ 5.3 ค่าสมรรถนะของการจำลองการเตรียมสารละลายธาตุอาหารแสดงดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 ค่าสมรรถนะของการจำลองการเตรียมสารละลายธาตุอาหารของชุดข้อมูลที่ 3

พารามิเตอร์	ค่าที่ควบคุมได้	ความคาดเคลื่อน
ระยะเวลาที่ใช้	1.45 min	-
ปริมาณสารละลาย	10.08 Liter	+0.8%
ค่าความเข้มข้น	1.9821 mS/cm	+16.59%
ค่าความเป็นกรดด่าง	5.4469	-4.44%



รูปที่ 5.3 ผลการทำงานของการจำลองการเตรียมสารละลายธาตุอาหารของชุดข้อมูลที่ 3

5.3.2 ผลการทดลองในการจำลองการควบคุมสารละลายธาตุอาหาร

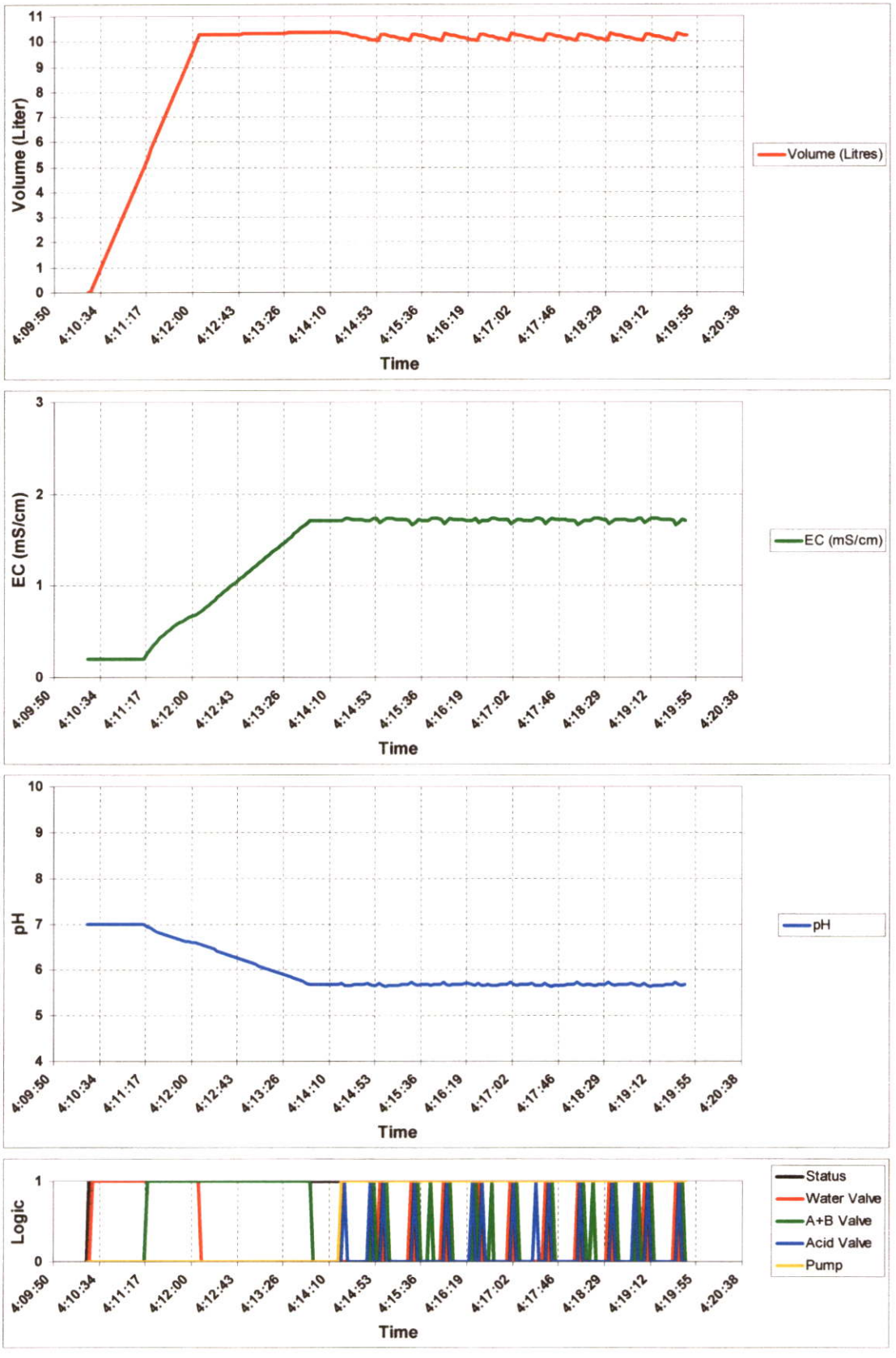
ในการทดลองจำลองการทำงานได้ทำการเลือกกำหนดค่าอัตราการไหลของสารละลายเข้มข้นเอาไว้ 3 ค่า ตามตารางที่ 5.3 ซึ่งทำให้ได้ผลจากการจำลองการควบคุมสารละลายธาตุอาหาร 3 ชุดข้อมูล ดังนี้

ชุดข้อมูลที่ 1

ควบคุมอัตราไหลของสารละลายเข้มข้นไว้ที่ 0.001 Liter/Sec ผลการทำงานของการจำลองการควบคุมสารละลายธาตุอาหารแสดงดังรูปที่ 5.4 ค่าสมรรถนะของการจำลองการควบคุมสารละลายธาตุอาหารแสดงดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 ค่าสมรรถนะของการจำลองการควบคุมสารละลายธาตุอาหารของชุดข้อมูลที่ 1

พารามิเตอร์	ค่าที่ควบคุมได้			ความคาดเคลื่อน
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	
ปริมาณสารละลาย	10.356 Liter	10.005 Liter	10.158 Liter	+1.58%
ค่าความเข้มข้น	1.7290 mS/cm	1.6567 mS/cm	1.7088 mS/cm	+0.52%
ค่าความเป็นกรดด่าง	5.7333	5.6431	5.6771	-0.40%



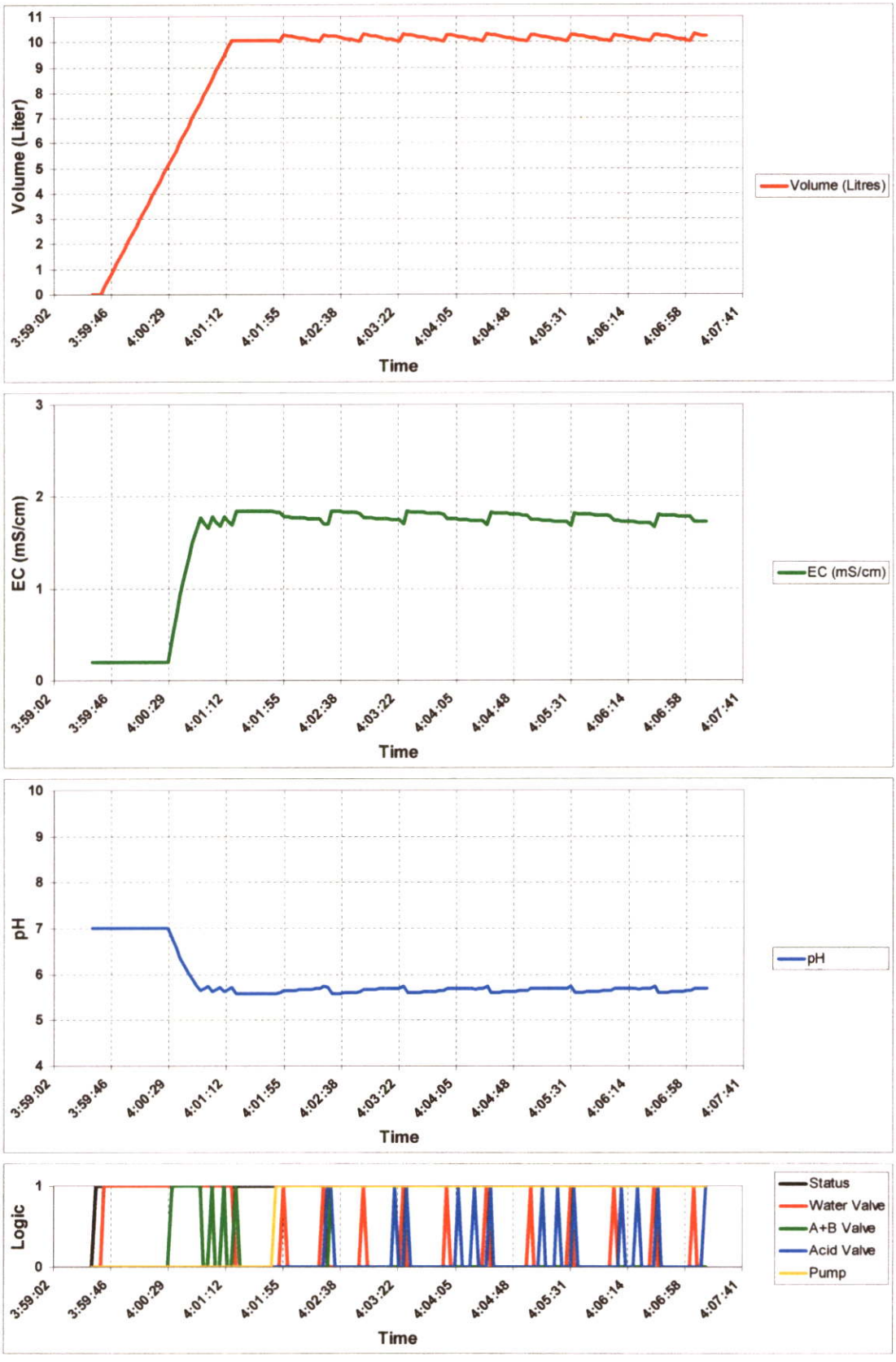
รูปที่ 5.4 ผลการทำงานของการจำลองการควบคุมสารละลายธาตุอาหารของชุดข้อมูลที่ 1

ชุดข้อมูลที่ 2

ควบคุมอัตราไหลของสารละลายเข้มข้นไว้ที่ 0.005 Liter/Sec ผลการทำงานของการจำลองการควบคุมสารละลายธาตุอาหารแสดงดังรูปที่ 5.5 ค่าสมรรถนะของการจำลองการควบคุมสารละลายธาตุอาหารแสดงดังตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 ค่าสมรรถนะของการจำลองการควบคุมสารละลายธาตุอาหารของชุดข้อมูลที่ 2

พารามิเตอร์	ค่าที่ควบคุมได้			ความคาดเคลื่อน
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	
ปริมาณสารละลาย	10.299 Liter	10.005 Liter	10.156 Liter	+1.56%
ค่าความเข้มข้น	1.8417 mS/cm	1.6601 mS/cm	1.7698 mS/cm	+4.05%
ค่าความเป็นกรดด่าง	5.7369	5.5677	5.6512	-0.86%



รูปที่ 5.5 ผลการทำงานของการจำลองการควบคุมสารละลายธาตุอาหารของชุดข้อมูลที่ 2

ชุดข้อมูลที่ 3

ควบคุมอัตราไหลของสารละลายเข้มข้นไว้ที่ 0.01 Liter/Sec ผลการทำงานของการจำลองการควบคุมสารละลายธาตุอาหารแสดงดังรูปที่ 5.6 ค่าสมรรถนะของการจำลองการควบคุมสารละลายธาตุอาหารแสดงดังตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 ค่าสมรรถนะของการจำลองการควบคุมสารละลายธาตุอาหารของชุดข้อมูลที่ 3

พารามิเตอร์	ค่าที่ควบคุมได้			ความคาดเคลื่อน
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	
ปริมาณสารละลาย	10.302 Liter	10.002 Liter	10.156 Liter	+1.56%
ค่าความเข้มข้น	1.9852 mS/cm	1.6574 mS/cm	1.8421 mS/cm	+8.36%
ค่าความเป็นกรดด่าง	5.7422	5.4400	5.6052	-1.66%

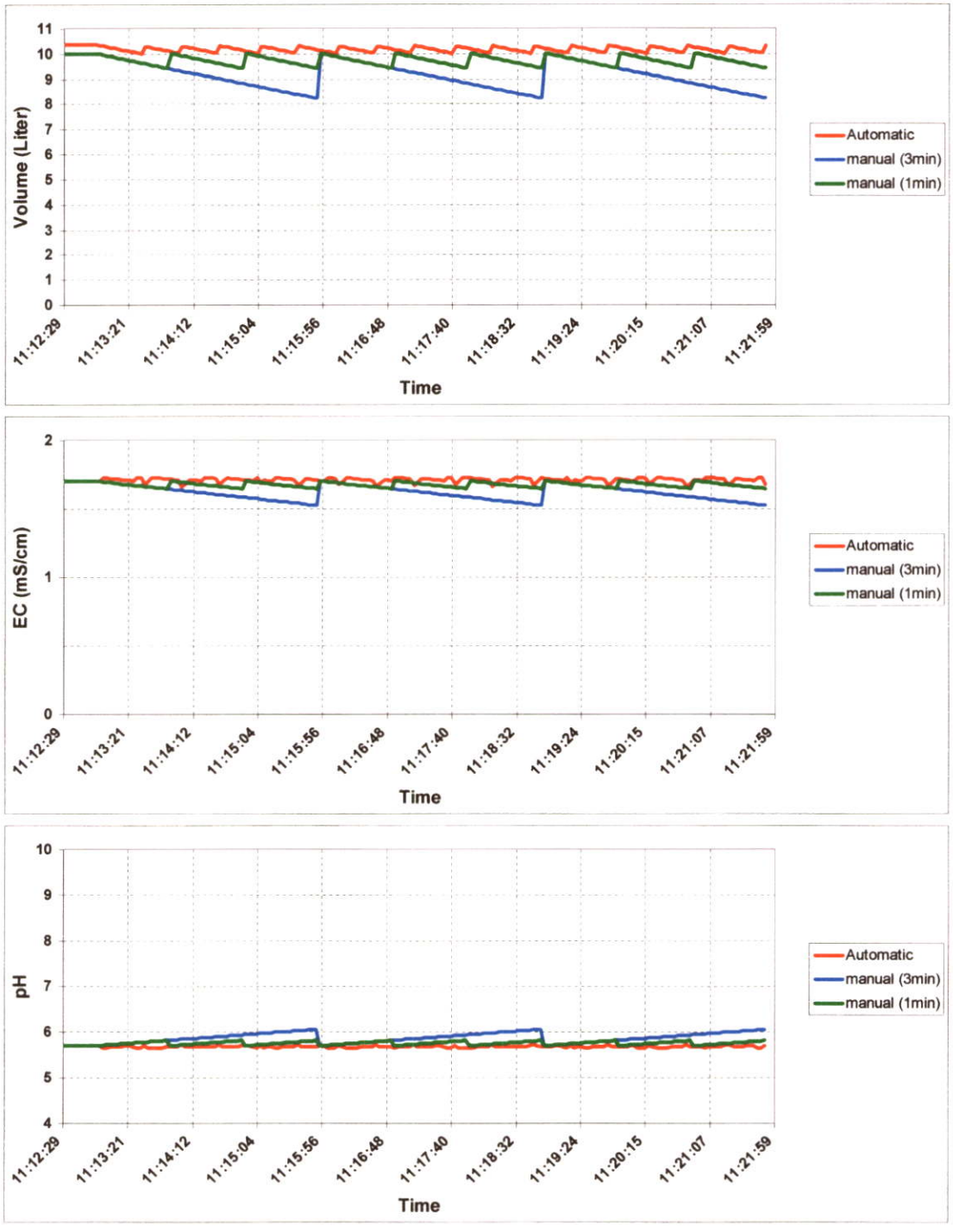
รูปที่ 5.6 ผลการทำงานของการจำลองการควบคุมสารละลายธาตุอาหารของชุดข้อมูลที่ 3

5.3.3 ผลการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของกระบวนการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการแบบพื้นฐาน

ในการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของกระบวนการที่นำเสนอนั้นได้ใช้ค่าสมรรถนะของการควบคุมสารละลายธาตุอาหารตามชุดข้อมูลที่ 1 นำมาเปรียบเทียบกับค่าสมรรถนะที่ได้จากวิธีแบบพื้นฐาน โดยค่าสมรรถนะจากวิธีแบบพื้นฐานนั้นได้กำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงของค่าคุณสมบัติของสารละลายตามตารางที่ 5.5 ค่าสมรรถนะของการควบคุมสารละลายธาตุอาหารของวิธีแบบพื้นฐานที่นำมาเปรียบเทียบจะประกอบด้วยชุดข้อมูล 2 ชุด โดยชุดแรกจะกำหนดให้มีการเติมสารละลายเพื่อปรับปริมาตร ความเข้มข้น และค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายทุกๆ 3 นาที ส่วนข้อมูลชุดที่สองจะกำหนดให้มีการเติมสารละลายเพื่อปรับปริมาตร ความเข้มข้น และค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายทุกๆ 1 นาที ผลเปรียบเทียบของการการควบคุมสารละลายธาตุอาหารแสดงดังรูปที่ 5.7 และค่าเปรียบเทียบสมรรถนะของการควบคุมสารละลายธาตุอาหารแสดงดังตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 เปรียบเทียบค่าสมรรถนะของการควบคุมสารละลายธาตุอาหาร

พารามิเตอร์		แบบที่นำเสนอ (Automatic)	แบบพื้นฐาน (Manual)	
			ปรับค่าทุก 1 นาที	ปรับค่าทุก 3 นาที
ปริมาณสารละลาย	ค่าสูงสุด	10.356 Liter	10.000 Liter	10.000 Liter
	ค่าต่ำสุด	10.005 Liter	9.430 Liter	8.230 Liter
	ค่าเฉลี่ย	10.158 Liter	9.715 Liter	9.115 Liter
	ความคาดเคลื่อน	1.58%	-2.85%	-8.85%
ค่าความเข้มข้น	ค่าสูงสุด	1.7290 mS/cm	1.7000 mS/cm	1.7000 mS/cm
	ค่าต่ำสุด	1.6567 mS/cm	1.6430 mS/cm	1.5230 mS/cm
	ค่าเฉลี่ย	1.7088 mS/cm	1.6715 mS/cm	1.6115 mS/cm
	ความคาดเคลื่อน	0.52%	-1.68%	-5.21%
ค่าความเป็นกรดด่าง	ค่าสูงสุด	5.7333	5.8140	6.0540
	ค่าต่ำสุด	5.6431	5.7000	5.7000
	ค่าเฉลี่ย	5.6771	5.7570	5.8770
	ความคาดเคลื่อน	-0.40%	1.00%	3.11%



รูปที่ 5.7 เปรียบเทียบผลการควบคุมสารละลายธาตุอาหารของแบบที่นำเสนอกับแบบพื้นฐาน

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในอนาคตความต้องการพืชที่ปลูกแบบไฮโดรโพนิกส์ (Hydroponics) จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากผู้บริโภคมีความต้องการพืชและผักที่มีคุณภาพมากขึ้นและทางด้านผู้ผลิตเองก็ได้หันมาผลิตพืชด้วยวิธีนี้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้จะเนื่องด้วยการผลิตพืชโดยวิธีนี้สามารถให้ผลตอบแทนที่สูงและเป็นระบบที่สามารถควบคุมให้ผลผลิตมีปริมาณและมาตรฐานเป็นไปตามที่ต้องการได้ แต่ในการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์นั้นจำเป็นต้องใช้ผู้มีความเชี่ยวชาญในการควบคุมการปลูกและในการสร้างระบบที่ใช้ปลูกพืชโดยวิธีนี้นั้นก็ยังมีต้นทุนที่สูงกว่าการปลูกพืชโดยทั่วไปมาก จึงทำให้การปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์นั้นยังถูกจำกัดอยู่ในขอบเขตหนึ่งเท่านั้น

การปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์นั้นจะเป็นการปลูกพืชบนสารละลายธาตุอาหาร โดยจะให้พืชนั้นได้รับสารอาหารต่างๆผ่านทางสารละลายธาตุอาหาร (Nutrient Solution) โดยสารละลายเหล่านี้จะประกอบไปด้วยธาตุอาหารของพืชที่ถูกละลายอยู่ในสถานะของสารละลาย โดยสิ่งที่สำคัญในการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์คือการควบคุมสารละลายธาตุอาหารให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ ถ้าหากสารละลายไม่มีคุณสมบัติเป็นไปตามที่ต้องการแล้วก็ทำให้การเจริญเติบโตของพืชไม่เป็นไปตามที่ต้องการหรือถ้าเข้าขั้นรุนแรงก็อาจจะทำให้พืชเสียหายหรือตายได้ โดยในสารละลายธาตุอาหารจะมีคุณสมบัติหลักอยู่สองชนิดที่ใช้เป็นค่าที่ต้องพิจารณาอยู่ 2 ชนิดคือ ค่าความนำไฟฟ้าของสารละลาย (EC) และค่าความเป็นกรดด่างของสารละลาย (pH)

วิธีการควบคุมสารละลายธาตุอาหารตามที่มีมาก็จะใช้การวัดและปรับค่าโดยผู้ควบคุมหรือใช้เครื่องควบคุมสารละลายอัตโนมัติแบบเฉพาะจุด โดยวิธีที่ใช้ผู้ควบคุมมาตรวจวัดและปรับค่านั้นเป็นวิธีที่ไม่ค่อยสะดวกนัก ส่วนวิธีที่ใช้เครื่องควบคุมอัตโนมัติแบบเฉพาะจุดนั้นก็ยังขาดการทำงานและติดตามดูแลแบบเป็นระบบ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอระบบควบคุมสารอาหารสำหรับการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์ ซึ่งประกอบด้วยระบบที่ควบคุมสารละลายธาตุอาหาร หน่วยอินพุทเอาท์พุท เครือข่ายที่ทำหน้าทีเชื่อมต่อระบบ และโปรแกรมซอฟท์แวร์ที่ใช้ทำการควบคุม โดยในส่วนของโปรแกรมซอฟท์แวร์ที่ใช้ควบคุมนั้นได้มีความสามารถในจำลองการทำงานของระบบ ซึ่งหน้าที่ในส่วนนี้จะช่วยทำให้ผู้ออกแบบสร้างระบบการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์สามารถรู้ผลการทำงานของระบบการควบคุมสารละลายที่ได้ออกแบบไว้ได้ก่อนที่จะมีการสร้างจริง

ในการหาค่าสมรรถนะของระบบนั้นได้ใช้ความสามารถในการจำลองการทำงานของโปรแกรมซอฟท์แวร์ โดยทำการจำลองการทำงานของระบบให้ทำงานปรับปริมาณสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ภายในระบบ ค่าคุณสมบัติความนำไฟฟ้าของสารละลาย (EC) และค่าความเป็นกรด-

ด่างของสารละลาย (pH) เพื่อให้ได้ค่าคุณสมบัติต่างๆตามที่กำหนดไว้ โดยค่าที่ได้ในการจำลองนั้นจะได้จากการคำนวณตามสมการที่กำหนดไว้ในโปรแกรม และตัวแปรที่ใช้คำนวณจะไปตามค่าที่กำหนดเอาไว้ในหน้าโปรแกรมของส่วนที่ควบคุมค่าการจำลองเหตุการณ์ จากผลทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถควบคุมค่าคุณสมบัติต่างๆของสารละลายธาตุอาหารได้ใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดไว้ ความแม่นยำและความรวดเร็วในการควบคุมค่านั้นจะขึ้นกับอัตราของการไหลของสารละลายธาตุอาหารเข้มข้นและอัตราการไหลของสารละลายกรด เมื่อกำหนดให้สารละลายที่ปล่อยเข้าระบบมีอัตราการไหลต่ำจะทำให้ระบบมีความแม่นยำในการควบคุมมากขึ้นแต่ความเร็วในการควบคุมนั้นจะด้อยลง ดังนั้นในการเลือกใช้งานกับระบบและพืชแต่ละชนิดจะต้องพิจารณาหาจุดสมดุลของความแม่นยำและความรวดเร็วให้เหมาะสม จากการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของระบบควบคุมสารอาหารที่นำเสนอกับวิธีปรับค่าสารอาหารแบบวิธีพื้นฐาน พบว่าระบบที่นำเสนอสามารถควบคุมสารอาหารได้อย่างต่อเนื่องทำให้ค่าคุณสมบัติของสารละลายที่ต้องการควบคุมมีค่าความคาดเคลื่อนไปจากค่าที่ต้องการน้อยกว่า

วิธีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นวิธีการปรับปรุงและพัฒนาวิธีการควบคุมดูแลและติดตามข้อมูลของระบบการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์อีกขั้นหนึ่ง จากงานวิจัยนี้ได้พบข้อจำกัดในการควบคุมเพื่อให้ได้ความแม่นยำและความรวดเร็ว ซึ่งในส่วนนี้ควรต้องมีการปรับปรุงและพัฒนาเพิ่มเติมอีกต่อไปเพื่อทำให้การควบคุมนั้นทำได้รวดเร็วและแม่นยำมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] มนูญ ศิรินุพงศ์. **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสู่การปฏิบัติในประเทศไทย**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์เจริญรัฐการพิมพ์. ม.ป.ป.

[2] ดิเรก ทองอร่าม. **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน**. พิมพ์ครั้งที่ 2. ราชบุรี : โรงพิมพ์ธรรมรักษ์การพิมพ์. 2547.

[3] อิทธิสุนทร นันทกิจ. **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2538.

[4] Le Saint C. and Coic Y. **"How to make a Nutrient Solution : Coic Lesaint Soution."** [Online]. Available : www.debon.com/bibio/doc-html/fichec5-us.html.

[5] อิทธิสุนทร นันทกิจ. **"สารละลายธาตุอาหารพืช."** [Online]. Available : http://www.kmitl.ac.th/hydro/NutrientSol.pdf

[6] อิทธิสุนทร นันทกิจ. **"การจัดการสารละลายธาตุอาหารพืชในระบบมีการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่."** [Online]. Available : http://www.kmitl.ac.th/soilkmitl/hyframe/Nut_Mang.html

[7] Carruththers S. **Hydroponics Gardening**. Port Melbourne : Hyde Park Press. 1998.

[8] Jones J. B. Jr. **A Guide for the Hydroponics & Soilless Culture Grower**. Delray Beach : St. Lucie Press. 1997.

[9] Colceedas T. "Acidility Alkalinity & pH." **Practical Hydroponics & Greenhouse**. Vol31. Nov/Dec 1996. pp. 59-61.

[10] Maxim. **"MAX3080-MAX3089"**. [Online]. Available : http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX3080-MAX3089.pdf

[11] Weildmuller. **"RS-485 : A Primer"**. [Online]. Available : http://www.weidmuller.com/downloads/pdfs/ca_applNotes/SIP02_991635_RS-485_Primer.pdf

[12] Sonneveld C. and Straver N. **Nutrient solutions for vegetables and flowers grown in water or substrates.** 9th ed. Naaldwijk : Research Center for Glasshouse Horticulture. 1992.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ช่วงเวลาในการทำงานของโปรแกรมซอฟท์แวร์

ช่วงเวลาในการทำงานของโปรแกรมซอฟท์แวร์

ในการทำงานของโปรแกรมซอฟท์แวร์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะประกอบไปด้วยช่วงเวลาในการทำงานของแต่ละส่วน โดยช่วงเวลาในการทำงานของแต่ละส่วนนั้นจะถูกกำหนดโดย Timer ต่างๆของโปรแกรม ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นช่วงได้ดังนี้

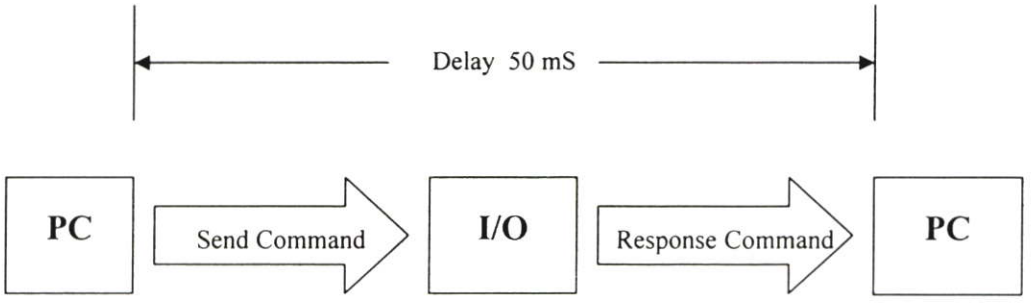
1 ช่วงเริ่มต้นการทำงาน

เมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมา โปรแกรมจะรอคำสั่งเพื่อเริ่มต้นการทำงาน ในช่วงดังกล่าวนี้จะเป็นขั้นตอนในการกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆ เมื่อกำหนดค่าต่างๆเรียบร้อยแล้วจึงทำการกดปุ่มเพื่อเริ่มการทำงาน โดยในการเรียกการทำงานโปรแกรมส่วนถัดไปจะใช้ Timer เป็นตัวดำเนินการ

2 ช่วงเวลาในการติดต่อกับหน่วยอินพุทเอาท์พุท

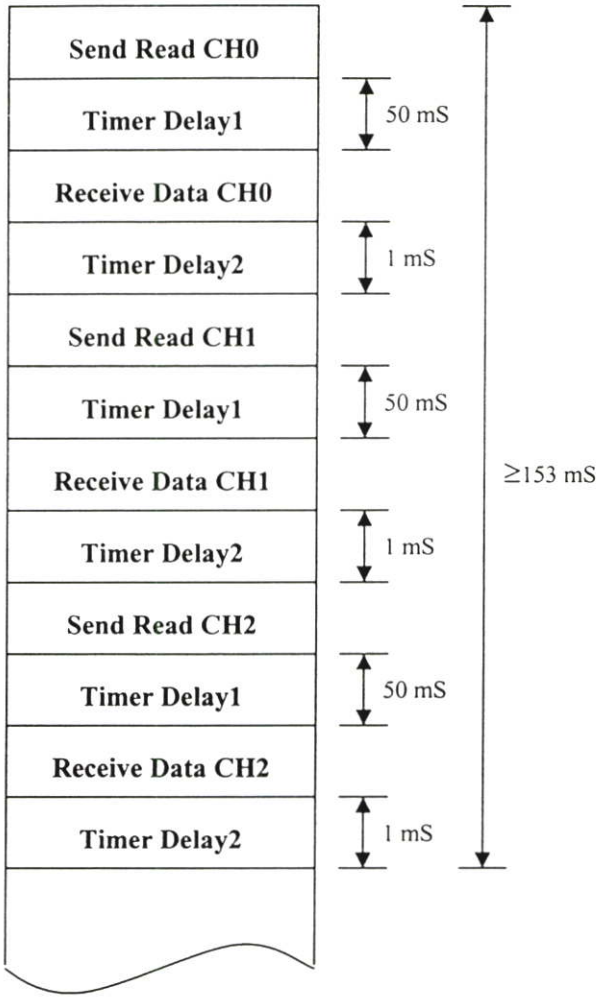
หลังจากที่โปรแกรมได้เริ่มการทำงานแล้วลำดับต่อมาในการทำงานจะเป็นการอ่านค่าจากอนาล็อกอินพุท แล้วนำค่าที่ได้รับมาตัดสินใจตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้เพื่อสั่งเขียนค่าออกไปยังดิจิตอลเอาท์พุท

ในส่วนของการอ่านค่าจากอนาล็อกอินพุทนั้นจะเริ่มจากการส่งคำสั่งเรียกอ่านค่าที่ได้จากช่องสัญญาณที่ 0 แล้วใช้ Timer หน่วงเวลาเอาไว้ 50 mS เพื่อรอรับข้อมูลที่ถูกส่งกลับมายังพอร์ทแล้วจึงทำการอ่านค่าที่ได้รับ ดังแสดงในรูปที่ 1



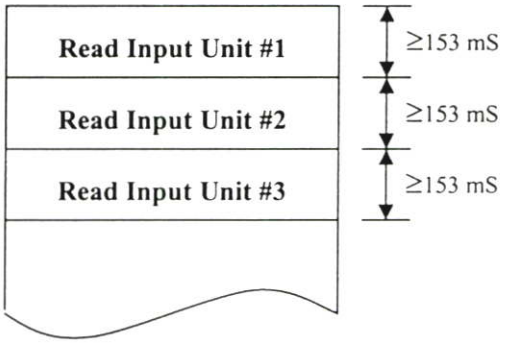
รูปที่ 1 ช่วงเวลาในการส่งคำสั่งและตอบกลับคำสั่ง

หลังจากนั้น Timer ที่ถูกตั้งให้หน่วงเวลา 1 mS จะทำหน้าที่เรียกโปรแกรมส่วนถัดไปที่ทำการอ่านค่าจากช่องสัญญาณที่ 1 หลังจากในส่วนที่อ่านค่าจากช่องสัญญาณที่ 1 ทำงานเสร็จในส่วนของช่องสัญญาณที่ 2 ก็จะทำหน้าที่ตามลำดับต่อไป ดังที่แสดงรูปที่ 2



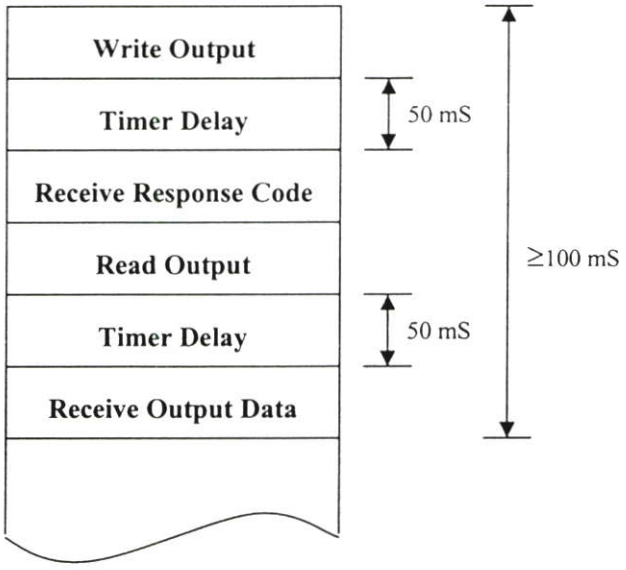
รูปที่ 2 ช่วงเวลาในส่วนของการอ่านค่าจากอนาล็อกอินพุท

ในการอ่านค่าจากหน่วยอนาล็อกอินพุทจำนวน 1 หน่วยนั้นจะใช้เวลาในการทำงานทั้งหมดอย่างน้อย 153 mS ซึ่งถ้ามีการเรียกอ่านค่าจากหน่วยอินพุทเอาท์พุทมากกว่า 1 หน่วย ก็จะใช้ช่วงเวลาในการทำงานเพิ่มขึ้นอีกหน่วยละอย่างน้อย 153 mS ดังที่แสดงดังรูปที่ 3

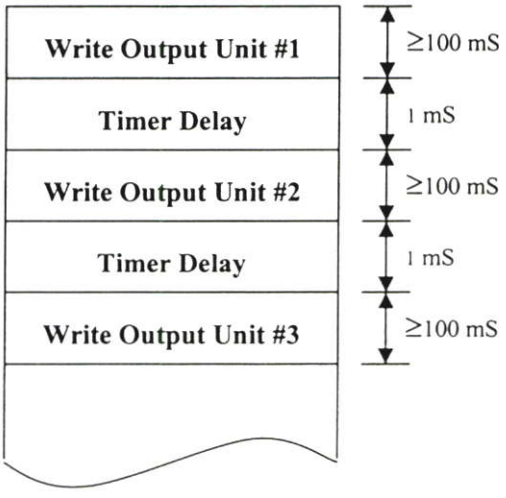


รูปที่ 3 ช่วงเวลาในส่วนของการอ่านค่าจากหน่วยอินพุทต่างๆ

ในส่วนของการส่งค่าไปยังดิจิตอลเอาท์พุทนั้นจะเริ่มจากการส่งคำสั่งเขียนค่าลงไปยังเอาท์พุท แล้วใช้ Timer หน่วงเวลาไว้ 50 mS เพื่อรอรับข้อมูลตอบสนองและทำการส่งคำสั่งเพื่ออ่านค่าจากดิจิตอลเอาท์พุทเพื่อเป็นการตรวจสอบสถานะของเอาท์พุท แล้วใช้ Timer หน่วงเวลาไว้ 50 mS เพื่อรอรับข้อมูลสถานะที่หน่วยเอาท์พุทส่งกลับมายังพอร์ท ดังที่แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ช่วงเวลาในส่วนของการส่งค่าไปยังดิจิตอลเอาท์พุท

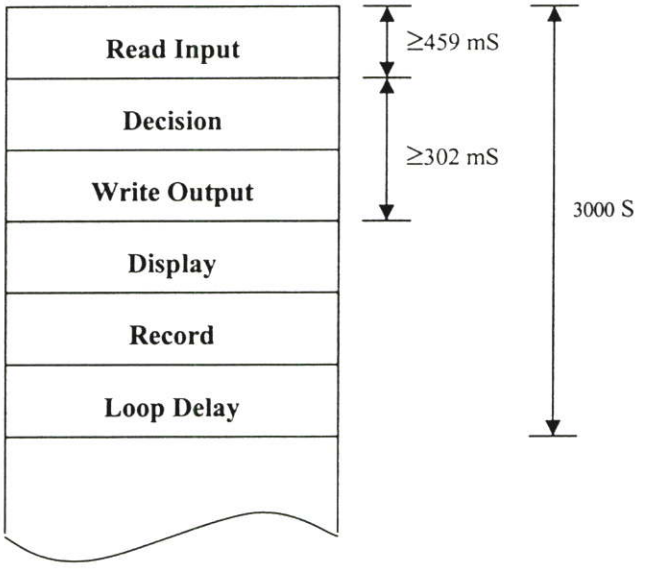


รูปที่ 5 ช่วงเวลาในการส่งค่าไปยังหน่วยเอาท์พุทต่างๆ

ในการส่งค่าไปยังหน่วยดิจิตอลเอาท์พุทจำนวน 1 หน่วยนั้นจะใช้เวลาในการทำงานทั้งหมดอย่างน้อย 100 mS ถ้ามีการส่งค่าไปยังหน่วยเอาท์พุทมากกว่า 1 หน่วย ก็จะต้องใช้เวลาไปกับ Timer ที่ใช้เรียกส่วนการทำงานของการส่งค่าหน่วยถัดไปอีก 1 mS และเวลาที่ใช้ในการทำงานของหน่วยถัดไปอีก 100 mS หลังจากที่ส่วนสุดท้ายของการส่งค่าไปยังหน่วยเอาท์พุททำงานเสร็จโปรแกรมก็จะทำงานในส่วนแสดงผลและบันทึกผลต่อไป ดังที่แสดงดังรูปที่ 5

3 ช่วงเวลาในการรอการทำงานรอบใหม่

หลังจากที่โปรแกรมทำงานในส่วนที่ติดต่อกับหน่วยอินพุทเอาท์พุทเสร็จ ก็จะทำการแสดงผลและบันทึกค่าสถานนะอินพุทเอาท์พุททั้งหมดจัดเก็บลงฐานข้อมูล หลังจากนั้นถ้าไม่มีคำสั่งหยุดตัวโปรแกรมจะทำการวนลูปเพื่อรอเวลาในการทำงานรอบใหม่ โดยในตัวอย่างนี้ได้กำหนดให้โปรแกรมทำงานติดต่อกับหน่วยอินพุทเอาท์พุทจำนวน 3 หน่วย และกำหนดให้รอบการทำงานของโปรแกรมอยู่ที่รอบละ 3 วินาที โดยช่วงเวลาการทำงาน 1 รอบโปรแกรมตามตัวอย่างได้แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ช่วงเวลาการทำงาน 1 รอบของโปรแกรม

ภาคผนวก ข.

สูตรธาตุอาหารและค่าความเข้มข้นของสารละลาย ของพืชชนิดต่างๆ

สูตรธาตุอาหารและค่าความเข้มข้นของสารละลาย ของพืชชนิดต่างๆ

ตัวอย่างสูตรธาตุอาหารที่ใช้กับพืชที่ปลูกในวัสดุปลูกและในสารละลายเป็นสูตรที่รวมไว้โดย C. Sonneveld และ N. Straver ซึ่งได้อธิบายไว้ในหนังสือ "Nutrient solutions for vegetables and flowers grown in water or substrates" [12] โดยจำแนกกลุ่มความเหมาะสมกับพืชเป็น 3 กลุ่มชั้น ตามปริมาณการทดสอบยืนยันความเหมาะสมซึ่งแบ่งได้ดังนี้

Class A. เป็นสูตรสารละลายที่มีความเหมาะสมกับพืชนั้นมากที่สุด โดยมีการทดสอบยืนยันอย่างกว้างขวางมีโอกาสผิดพลาดน้อยมากเมื่อนำไปใช้ปลูกพืชชนิดนั้นๆ

Class B. เป็นสูตรที่มีการทดสอบยืนยันไม่มากนัก เมื่อนำไปใช้จะต้องมีการตรวจสอบการเจริญเติบโตของพืช และอาจจะต้องมีการปรับสูตรสารละลายตามความเหมาะสม

Class C. เป็นสูตรที่มีการทดสอบยืนยันน้อยมาก เมื่อนำไปใช้จะต้องมีการตรวจสอบดูแลพืชอย่างใกล้ชิด และอาจจะต้องมีการเปลี่ยนสูตรธาตุอาหารพืชระหว่างปลูก

โดยความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารจะแสดงเป็นสองส่วนดังนี้

1. Nutrient solution คือ ความเข้มข้นสารละลายที่เตรียมขึ้นและให้แก่พืช
2. Root environment คือ สารละลายที่อยู่รอบบริเวณรากพืชหรือที่อยู่ในวัสดุปลูก

เนื่องจากว่าเมื่อสารละลายที่เตรียมขึ้นสัมผัสกับรากพืช ราชพืชจะมีการดูดใช้ธาตุอาหารในสารละลายทำให้องค์ประกอบของสารละลายเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเป็นผลจากการเลือกดูดใช้ธาตุอาหารของพืช กล่าวคือธาตุที่พืชสามารถดูดใช้ได้ง่าย เช่น NO_3 และ K จะคงเหลืออยู่ในสารละลายรอบรากพืชค่อนข้างน้อย ส่วนสารละลายที่พืชดูดใช้ได้ค่อนข้างยาก เช่น Ca, Mg และ Fe จะคงเหลือสะสมอยู่ในสารละลายบริเวณรากค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงต้องมีค่าวิเคราะห์สารละลายบริเวณรอบรากพืชหรือที่อยู่ในวัสดุปลูกด้วย

Strawberry in peaty substrate

Parameter	Nutrient solution	1:1.5 extract *
EC (mS/cm) (25°C)	1.7	0.8
NO_3 (mmol/l)	11.5	4.0
H_2PO_4 (mmol/l)	1.0	0.3
SO_4 (mmol/l)	1.5	1.1
NH_4 (mmol/l)	1.0	< 0.5
K (mmol/l)	5.5	1.9
Ca (mmol/l)	3.25	1.7
Mg (mmol/l)	1.25	0.7
Fe (µmol/l)	20.0	8.0
Mn (µmol/l)	10.0	2.0
Zn (µmol/l)	7.0	3.0
B (µmol/l)	25.0	10.0
Cu (µmol/l)	0.75	0.7
Mo (µmol/l)	0.5	-

* วิเคราะห์โดยสกัดวัสดุปลูกด้วยน้ำ

Classification A

Strawberry in recirculating water

Parameter	Nutrient solution	Root environment
EC (mS/cm) (25°C)	1.5	2.0
NO_3 (mmol/l)	10.0	12.0
H_2PO_4 (mmol/l)	1.25	0.7
SO_4 (mmol/l)	1.125	2.5
NH_4 (mmol/l)	0.5	< 0.5
K (mmol/l)	5.25	4.5
Ca (mmol/l)	2.75	4.5
Mg (mmol/l)	1.125	2.0
Fe (µmol/l)	20.0	35.5
Mn (µmol/l)	10.0	7.0
Zn (µmol/l)	4.0	7.0
B (µmol/l)	20.0	20.0
Cu (µmol/l)	0.75	0.7
Mo (µmol/l)	0.5	-

Classification B

Cucumber in rockwool (re-use drainage water) (แตงกวาผลยาว)

Parameter	Nutrient solution	Root environment
EC (mS/cm) (25°C)	1.7	3.0
NO_3 (mmol/l)	12.0	18.0
H_2PO_4 (mmol/l)	1.0	0.9
SO_4 (mmol/l)	1.0	3.5
NH_4 (mmol/l)	1.0	< 0.5
K (mmol/l)	6.5	8.0
Ca (mmol/l)	2.75	6.5
Mg (mmol/l)	1.0	3.0
Si (mmol/l)	0.75	0.6
Fe (µmol/l)	15.0	25.0
Mn (µmol/l)	10.0	7.0
Zn (µmol/l)	5.0	7.0
B (µmol/l)	25.0	50.0
Cu (µmol/l)	0.75	1.0
Mo (µmol/l)	0.5	-

Classification B

Melons in rockwool (แคนตาลูป)

Parameter	Nutrient solution	Root environment
EC (mS/cm) (25°C)	2.2	3.0
NO_3 (mmol/l)	16.25	20.0
H_2PO_4 (mmol/l)	1.25	0.8
SO_4 (mmol/l)	1.5	3.5
NH_4 (mmol/l)	1.0	< 0.5
K (mmol/l)	7.5	7.0
Ca (mmol/l)	4.75	7.0
Mg (mmol/l)	1.25	2.5
Si (mmol/l)	0.75	0.6
Fe (µmol/l)	10.0	-
Mn (µmol/l)	10.0	-
Zn (µmol/l)	4.0	-
B (µmol/l)	20.0	-
Cu (µmol/l)	0.5	-
Mo (µmol/l)	0.5	-

Classification B

Sweet pepper in rockwool (re-use drainage water)

Parameter	Nutrient solution	Root environment
EC (mS/cm) (25°C)	1.7	3.0
NO_3 (mmol/l)	12.5	19.0
H_2PO_4 (mmol/l)	1.0	0.9
SO_4 (mmol/l)	1.0	3.5
NH_4 (mmol/l)	1.0	< 0.25
K (mmol/l)	6.3	7.0
Ca (mmol/l)	3.0	7.0
Mg (mmol/l)	1.125	3.25
Fe (µmol/l)	15.0	25.0
Mn (µmol/l)	10.0	5.0
Zn (µmol/l)	4.0	7.0
B (µmol/l)	25.0	60.0
Cu (µmol/l)	0.75	0.7
Mo (µmol/l)	0.5	-

Classification A

Lettuce in recirculating water

Parameter	Nutrient solution	Root environment
EC (mS/cm) (25°C)	2.6	2.5
NO_3 (mmol/l)	19.0	19.0
H_2PO_4 (mmol/l)	2.0	1.0
SO_4 (mmol/l)	1.125	2.0
NH_4 (mmol/l)	1.25	< 0.5
K (mmol/l)	11.0	6.0
Ca (mmol/l)	4.5	7.0
Mg (mmol/l)	1.0	1.5
Si (mmol/l)	0.5	0.5
Fe (µmol/l)	40.0	40.0
Mn (µmol/l)	0*	1.0
Zn (µmol/l)	4.0	5.0
B (µmol/l)	30.0	50.0
Cu (µmol/l)	0.75	1.0
Mo (µmol/l)	0.5	-

Classification A

* If peat cubes are used no manganese will be added, otherwise 5 µmol/l is advisable.

Tomato in rockwool

Parameter	Nutrient solution	Root environment
EC (mS/cm) (25°C)	2.3	3.0
NO_3 (mmol/l)	13.75	17.0
H_2PO_4 (mmol/l)	1.25	0.7
SO_4 (mmol/l)	3.75	5.0
NH_4 (mmol/l)	1.25	< 0.5
K (mmol/l)	8.75	7.0
Ca (mmol/l)	4.25	7.0
Mg (mmol/l)	2.0	3.5
Fe (µmol/l)	15.0	15.0
Mn (µmol/l)	10.0	7.0
Zn (µmol/l)	5.0	7.0
B (µmol/l)	30.0	50.0
Cu (µmol/l)	0.75	0.7
Mo (µmol/l)	0.5	-

Classification A

Tomato in rockwool (re-use drainage water)

Parameter	Nutrient solution	Root environment
EC (mS/cm) (25°C)	1.6	3.0
NO_3 (mmol/l)	10.75	17.0
H_2PO_4 (mmol/l)	1.25	1.7
SO_4 (mmol/l)	1.5	5.0
NH_4 (mmol/l)	1.0	< 0.5
K (mmol/l)	6.5	7.0
Ca (mmol/l)	2.75	7.0
Mg (mmol/l)	1.0	3.5
Fe (µmol/l)	15.0	25.0
Mn (µmol/l)	10.0	5.0
Zn (µmol/l)	4.0	7.0
B (µmol/l)	20.0	50.0
Cu (µmol/l)	0.75	0.7
Mo (µmol/l)	0.5	-

Classification A

ภาคผนวก ค.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีชื่อเรื่องบทความว่า Nutrient Solution Control Network for Hydroponics System ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในประชุม Adcon'05 (The 2nd International Symposium on Advance Control of Industrial Processes) หน้า 377-379 โดยการประชุมจัดขึ้นเมื่อวันที่ 22-23 สิงหาคม พ.ศ. 2548 ณ กรุงโซล สาธารณรัฐเกาหลี

ในบทความนี้มีผู้แต่งร่วมทั้งหมด 5 คน ดังนี้

1. นายพุทธิพงศ์ เหมะวณิช
2. รศ. สุพรรณ กุลพาณิชย์
3. รศ. วิทยา ทิพย์สุวรรณพร
4. รศ. วิริยะ กองรัตน์
5. รศ. อิทธิสุนทร นันทกิจ

AdCONIP'05

The 2nd International Symposium on

Advanced Control of Industrial Processes

PROCEEDINGS

August 22~23 2005 Seoul

Organized by

The Institute of Control, Automation and System Engineers (ICASE)

Institute of Chemical Processes, Seoul National University

NUTRIENT SOLUTION CONTROL NETWORK FOR HYDROPONICS SYSTEM

Puttipong Hemawanit, Suphan Gulpanich,
Vittaya Tipsuwanporn, Viriya Kongratana
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Bangkok, Thailand 10520, s6061712@kmitl.ac.th

Itthisuntorn Nuntagij
Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Bangkok, Thailand 10520, knitthis@kmitl.ac.th

Abstract: This paper presents a design of network used for control nutrient solution in hydroponics. This network consist of a computer and control units which are connected together in form of multidrop network through serial communication via RS-485. The computer is a supervisor working as a central monitor and control. The control unit consist of microcontroller which is built-in with a data logger, sensors and on/off valves. The microcontroller process the data from sensors and manage on/off valves in order to adjust the pH and electrical conductivity (EC) of nutrient solution at there set points. The control unit can monitor three inputs (pH, EC and temperture) and can control two ouputs (pH and EC). The control units can work stand-alone and work on network. When it works in stand-alone mode, users can control and monitor nutrient solution at the control unit. And when it works on network, users can control and monitor nutrient solution at each of the control units and the computer. The data of pH, EC, temperature and all outputs are saved in the computer and the data logger for analysis. This network can control and monitor the nutrient solution. When the nutrient solution is always suitable for vegetables, so that the efficient of vegetable production will increase. *Copyright © 2002 IFAC*

Keywords: Network control, Computer control, Control applications, Hydroponics control

1. INTRODUCTION

Currently, hydroponics play an important role in the production of vegetables, because hydroponics has many advantages such as can reduce size of farm, get higher efficient of production and get healthier vegetables. Vegetables in a hydroponics system are grown in nutrient solution, which consist two varibles are pH and EC (electric conductivity). While the vegetable use nutrient from the solution, the value of pH and EC will be change.

Nomaly, when the plant use nutrient from nutrient solution, the EC value will decrease and the value of pH will increse. To maintain the setting-point of EC, the concentrated nutrient solution must be filled in the nutrient solution for increase the EC value. The volume of concentrated nutrient solution which is used for increase the EC, are calculate from equation (1):

$$Q_c = \frac{Q_I(EC_F - EC_I)}{EC_C - EC_F} \qquad (1)$$

where, Q_c is volume of the concentrated nutrient solution which is used for increase the EC. Q_I is volume of the nutrient solution in system before increase the EC. EC_C is EC value of the concentrated nutrient solution. EC_I is EC value of the nutrient solution in system before increase the EC. EC_F is EC value of the nutrient solution in system after increase the EC.

In the part of pH value of nutrient solution. To maintain the setting-point of pH, the nitric acid must be filled in the nutrient solution for decrease the pH value (Direk Tongaram 2003), (Itthisuntorn Nuntagij 1995).

2. SYSTEM CONFIGURATION

This system consist of three components, show in Fig. 1. The supervisor is the main monitor and controler. It is connected to the control units via RS-

485 through USB port and USB to RS-458 conveter. Moreover, the supervisor can be linked to the remote pc via Transfer Control Protocal / Internet Protocal (TCP-IP) for monitoring and controling from remote places (Jose C. Metrolho 1999).

In the practical, the control units are placed in the each greenhouses and the supervisor is placed in the farm office. The communications between the USB to RS-485 converter and each control units are on the twistedpair. With RS-485, the twistedpair can be up to 1200 meters (4000 feet) long, and commonly available circuits work at 2.5 MB/s transfer rate. The user can set the value of EC and pH at the control unit and monitor the value of EC, pH and Temperature at the control unit in the same time. The user can set and monitor all of value like at the control unit by the supervisor pc or remote pc. The maximun number of control unit in this system are limited in 32 unit..

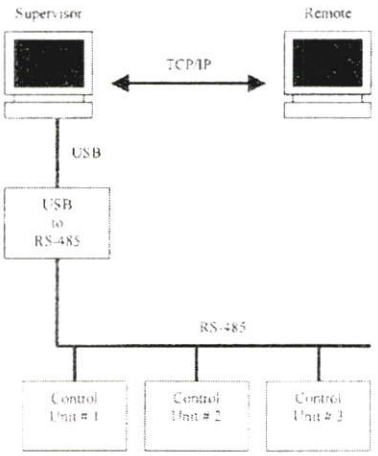


Fig. 1. System configuration

3. HARDWARE DESIGN

The control unit use the T89C51AC2 microcontroller as the CPU (Atmel Corporation 2002)., the PCF8583 I²C real time clock (Philips Semiconductor 1997), the 24LC512 512k I²C CMOS serial EEPROM as the memory (Microchip Technology Inc 2005) and the SN75176 differential bus transceiver as the RS-485 line driver. The T89C51AC2 based on 80C51 core Architecture has five port (32+2 digital I/O lines), built-in 10-bit resolution anolog to digital converter (ADC) with 8 mutiplexed inputs.

The analog sinal input from EC probe, pH probe and temperature sensor are connected to ADC at P1.0, P1.1, P1.2, respectively. The digital output P0.0 and P0.1 are used for ON/OFF valves of nutrient soulution and acid, respectively. The keyboard is connectd to the left of port0 and LCD display is connectd to port2. P3.0 and P3.1 are used be the RXD and TXD of RS-485. P4.0 and P4.1 are used be the SCL and SDA of I²C bus, show in Fig. 2 , Fig. 3, and Fig. 4.

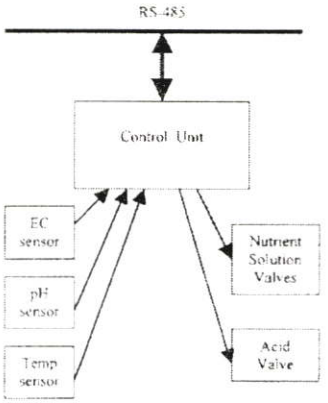


Fig. 2. External connection of control unit

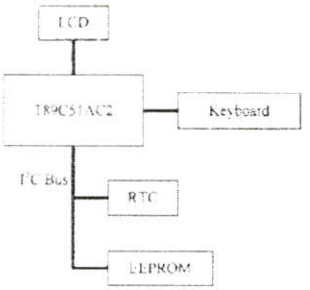


Fig. 3. Internal connection of control unit

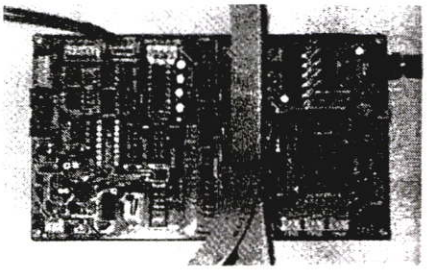


Fig. 4. The control unit

4. OPERATION OF THE CONTROL UNIT

The routines of control unit are divided in the three step. The first step is the measurement. In this process, the microcontroller receive the analog signal from EC sensor, pH sensor and temperature sensor through the A/D converter at port1. Then, the analog data are changed in form the digital data. The

second step is the record data. In this process, all data from sensor will be saved on memory. The time of record will be saved on memory only once time before the first data will be saved. The last step is the control. In this process, the microcontroller will determine to on/off the nutrient solution valves and acid valve in order to adjust there valve into the setting point. After the control unit finish the last step, it will return to the first step again. The all of step show in fig. 5.

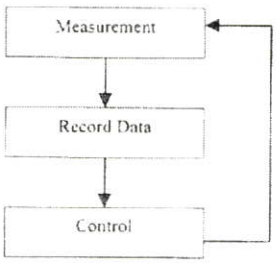


Fig. 5. The routines of control unit

With the 512Kbit memory, the maximum of the data which can be saved in thecontrol unit can be up to 65536 bytes. The data set in one record consist of the value of EC, pH and temperture that use 6 bytes space in memory. The datalogger in the control unit is designed for record data about one month and all data are recorded every 5 minute, so that in each day, there will be 1728 btyes of data are saved in memory.

5. EXPERIMENT AND RESULT

The control unit is tested with the hydroponics greenhouse which has the 100 liters of all nutrient solution. In this experiment, the set-point used are EC = 1.8 mS and pH = 5.8.

Fig.6. and Fig.7. show the EC records and pH records from datalogger in the control unit which measure and record every 5 minute.

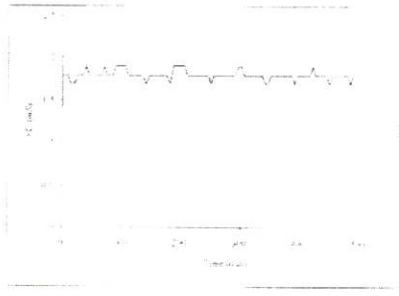


Fig. 6. The EC record.

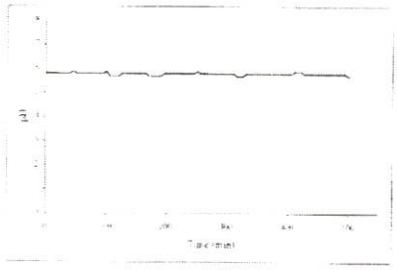


Fig. 7. The pH record.

6. CONCLUSION

This paper presents a system for control the nutrien solution of hydroponics farm. The main point of this paper intend to help farmer and specialist for control nutrient solution and analyse problem which occur in the hydroponics farm.

REFERENCES

Atmel Corporation (2002). *T89C51AC2 datasheet*, www.atmel.com

Direk Tongaram (2003). *Soilless Culture*. Se-education.

Itthisuntorn Nuntagij (1995). *Hydroponics*. Faculty of Agricultural Technology, KMITL, Thailand.

Jose C. Metrolho (1999). CAN based actuations system for greenhouse control. *The 1999 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, Volume 2, pp. 945-950.

Microchip Technology Inc (2005). *24AA512 24LC512 24FC512 datasheet*, www.microchip.com

Philips Semiconductor (1997). *PCF8583 Clock calendar with 240x8-bit RAM datasheet*.

Philips Semiconductor (2000). *The I²C-bus specification*, Version 2.1.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ–นามสกุล	นายพุทธิพงศ์ เหมะวณิช
วัน เดือน ปีเกิด	7 พฤษภาคม 2523
ที่อยู่	109/128 หมู่ที่2 ถนนปลายบาง ต.มหาสวัสดิ์ อ.บางกรวย จังหวัดนนทบุรี 11130
ประวัติการศึกษา	2545 วิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความสนใจเฉพาะด้าน	1.) วิเคราะห์วงจรขยายสัญญาณ 2.) คุณสมบัติของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ 3.) ระบบสื่อสารเส้นใยนำแสง 4.) ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์