



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมการ)

ปริญญา

นวัตกรรมการ

เทคโนโลยีทางอาคาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประยุกต์ใช้การปลูกพืชไร้ดินระบบรากแขวนในแนวตั้งเพื่องานสถาปัตยกรรม

The Application of Vertical Aeroponics Culture System for Architecture

นามผู้วิจัย นายศุภกิจ ปานเกตุ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์พาสินี สุนากร, M.Arch.)

หัวหน้าสาขาวิชา

(อาจารย์โสภา วิศิษฐ์ศักดิ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประยุกต์ใช้การปลูกพืชไร้ดินระบบรากแขวนในแนวตั้งเพื่องานสถาปัตยกรรม

The Application of Vertical Aeroponics Culture System for Architecture

โดย

นายศุภกิจ ปานเกตุ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมการอาคาร)

พ.ศ. 2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศุภกิจ ปานเกตุ 2556: การประยุกต์ใช้การปลูกพืชไร้ดินระบบรากแขวนในแนวตั้งเพื่อ
งานสถาปัตยกรรม ปรินญาสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต (นวัตกรรมอาคาร)
สาขานวัตกรรมอาคาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาคาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์ พาสินี สุนากร, M.Arch. 184 หน้า

การวิจัยเชิงทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำโปรแกรมควบคุมระบบอัตโนมัติ (SCADA) มาประยุกต์ใช้ควบคุมสถานะและทดสอบระบบการปลูกพืชไร้ดินระบบรากแขวนในแนวตั้ง (Vertical Aeroponics) เพื่อใช้เป็นผนังปลูกพืชประกอบอาคารเพื่องานสถาปัตยกรรม ในการศึกษา ผู้วิจัยเพาะพันธุ์พืชและสร้างผนังปลูกพืชระบบรากแขวนในแนวตั้งต้นแบบ ปลูกพืชแตกต่างกัน 3 ชนิด คือ 1) ผักทรงพุ่ม 3 ชนิด ได้แก่ เรดโอ๊ค กรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด 2) ไม้คลุมดิน 3 ชนิด ได้แก่ ก้ามปูหลุด วอเตอร์เครส และผักเป็ดแดง และ 3) ผักทรงอื่น 3 ชนิด ได้แก่ กรีนคอส พิลเลย์ และ เรดปัตตาเวีย วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการชั่งน้ำหนัก ถ่ายภาพ และระบบโปรแกรม SCADA ช่วยควบคุมอุณหภูมิ น้ำ ค่า EC และ pH นอกจากนี้ยังมีการเก็บข้อมูลผักในระบบ NFT (Nutrient Film Technique) ที่ปลูกในช่วงเวลาเดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักและรูปร่าง

ผลการวิจัยพบว่า จากการศึกษาดังกล่าวนำรูปแบบชุดปลูกพืชระบบรากแขวนในแนวตั้ง สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นชุดปลูกพืชในอาคารเพื่อการรับประทานและยังปลูกพืชคลุมดินที่เป็น ไม้ประดับได้ด้วย โดยให้ผลผลิตน้ำหนักรวมของการทดลองน้อยกว่าระบบ NFT การพัฒนาใช้ โปรแกรมระบบอัตโนมัติ (SCADA) เป็นตัวช่วยควบคุมสถานะที่มีผลกับการเจริญเติบโตของพืช ระบบ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยประหยัดเวลาและแรงงานในการดำเนินการ

Suppakit Pankate 2013: The Application of Vertical Aeroponics Culture for Architecture.
Master of Architecture (Building Innovation), Major Field: Building Innovation,
Department of Technology Building . Thesis Advisor: Associate Professor Pasinee Sunakorn,
M.Arch. 184 pages.

The objective of this research is to develop Vertical Aeroponics System to apply as building element and to apply the automatic control systems (SCADA) to assist in controlling environment for growing plants. In the study, there are three types of panels: 1) round shape vegetables: Red Oak, Green Oak and Butter Head, 2) ground cover plants: Wandering jew, Water Cress and Joy weed and 3) other shape of vegetable: Green Costa, Finlay and Red Batavia. Data was collected by weighing, photography. The SCADA system help controlling temperature, EC and pH. In addition, data was collected from vegetables grown in NFT (Nutrient Film Technique) in the same period to compare weight and shape.

The results showed that Vertical Aeroponics System can be used in building as home farming unit. It can produce vegetables and grow ground cover though the total weight of experiment was less than NFT System. However, the automatic control system (SCADA) can control the condition that affects the growth of plants work effectively, moreover it and save time and manhour in operating the system.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____/____/____

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินการทำโครงการวิจัยครั้งนี้ได้บรรลุผลตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ รศ.พาสินี สุนากร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก, อ. ดร.โสภา วิศิษฎ์ศักดิ์ ประธานสาขาวิชานวัตกรรมอาคารและ รศ. ดร.อิทธิสุนทร นันทกิจ ประธานผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จด้วยดี และด้วยความดีงาม ผู้วิจัยขอขอบแต่คุณพ่อ คุณแม่ ที่สนับสนุนด้านทุนวิจัย รวมทั้งให้กำลังใจมาตลอดในทุกเรื่อง

ศุภกิจ ปานเกตุ

มีนาคม 2556

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(7)
คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ	(11)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	21
อุปกรณ์	21
วิธีการ	32
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	54
ผลการทดลอง	54
วิจารณ์ผลการทดลอง	82
สรุปและข้อเสนอแนะ	100
สรุป	100
ข้อเสนอแนะ	104
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	109
ภาคผนวกที่	112
ภาคผนวก ก ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืช	113
ภาคผนวก ข ข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม SCADA System	125
ภาคผนวก ค ปริมาณน้ำหนักผลผลิตของพืช	150
ภาคผนวก ง การเจริญเติบโตของพืช	156
ภาคผนวก จ การเจริญเติบโตของพืชระบบแอร์โรโพนิคส์กับระบบ NFT	175
ภาคผนวก ฉ ปริมาณแสงที่ส่งผลกับการเจริญเติบโตของพืช	179
ภาคผนวก ช งบประมาณการค่าใช้จ่ายงานวิจัย	182
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	184

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ข้อดีและข้อเสียของระบบปลูกพืชไร้ดินในระบบต่าง ๆ	7
2	สรุปการตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
3	ผลสรุปสำหรับการลงพื้นที่ดูงานฟาร์มผักไฮโดรโปนิกส์	19
4	แผนการดำเนินงานและทดลองวิจัย	32
5	เงื่อนไขการทำงานของระบบการควบคุมการสเปรย์น้ำและสารอาหารพืช	42
6	ตัวอย่างการบันทึกค่าปริมาณน้ำที่ได้รับในแต่ละช่องปลูกของแผ่นปลูกพืช	45
7	ตัวอย่างการบันทึกผลการเจริญเติบโตเฉลี่ยของพืช	51
8	ตัวอย่างการบันทึกค่าผลผลิตของพืช	52
9	ตัวอย่างการบันทึกค่าผลผลิตของพืช	52
10	ผลการเจริญเติบโตเฉลี่ยของผักกรีนคอส (เฉลี่ย 52 ต้น)	63
11	ผลการเจริญเติบโตเฉลี่ยของผักเรดปัตตาเวีย (เฉลี่ย 52 ต้น)	66
12	ผลการเจริญเติบโตเฉลี่ยของผักฟิลเลย์ (เฉลี่ย 52 ต้น)	68
13	ผลการเจริญเติบโตเฉลี่ยของผักกาดกรีนโอ๊ค (เฉลี่ย 14 ต้น)	70
14	ผลการเจริญเติบโตเฉลี่ยของผักกาดเรดโอ๊ค (เฉลี่ย 14 ต้น)	72
15	ผลการเจริญเติบโตเฉลี่ยของผักกาดบัตเตอร์เฮด (เฉลี่ย 14 ต้น)	74
16	ผลการเจริญเติบโตเฉลี่ยของผักเป็ดแดง (เฉลี่ย 23 ต้น)	76
17	ผลการเจริญเติบโตเฉลี่ยของวอเตอร์เครส (เฉลี่ย 23 ต้น)	78
18	ผลการเจริญเติบโตเฉลี่ยของก้ามปูหลอด (เฉลี่ย 23 ต้น)	80
19	น้ำหนักผลผลิตกรีนคอส (เฉลี่ย 52 ต้น)	83
20	น้ำหนักผลผลิตเรดปัตตาเวีย (เฉลี่ย 52 ต้น)	85
21	น้ำหนักผลผลิตฟิลเลย์ (เฉลี่ย 52 ต้น)	86
22	น้ำหนักผลผลิตกรีนโอ๊ค (เฉลี่ย 14 ต้น)	87
23	น้ำหนักผลผลิตเรดโอ๊ค (เฉลี่ย 14 ต้น)	88
24	น้ำหนักผลผลิตบัตเตอร์เฮด (เฉลี่ย 14 ต้น)	90

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
25	การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของกรีนคอสในระบบแอร์โรโพนิคส์กับระบบ NFT ที่อายุ 10 วัน - 38 วัน	92
26	การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของกรีนโอ๊กในระบบแอร์โรโพนิคส์กับระบบ NFT ที่อายุ 10 วัน - 38 วัน	93
27	ค่าไฟฟ้าตลอดระยะเวลาการทดลอง	95
28	การคิดค่าไฟฟ้าของไฟฟ้านครหลวง	95
29	ค่าน้ำประปาตลอดระยะเวลาการทดลอง	96
30	เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าและน้ำประปาต่อเดือน	97
31	สรุปผลการทดลองเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยเรื่องระบบแอร์โรโพนิคส์ทรงกระบอกในด้านผลผลิตต่อพื้นที่ปลูกพืชแนวตั้ง	99
32	สรุปผลการทดลองสำหรับผักทรงพุ่มและพืชทรงอื่น ๆ	100
33	สรุปสาเหตุของปัญหาการปลูกพืชไร้ดินระบบรากแขวนในแนวตั้ง	102

ตารางผนวกที่

ก1	ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 1 (ปลูกผักทรงอื่น)	113
ก2	ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 2 (ปลูกผักทรงอื่น)	114
ก3	ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 3 (ปลูกผักทรงอื่น)	115
ก4	ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 1 (ปลูกผักทรงพุ่ม)	115
ก5	ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 2 (ปลูกผักทรงพุ่ม)	116
ก6	ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 3 (ปลูกผักทรงพุ่ม)	116
ก7	ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 1 (ปลูกไม้คลุมดิน)	117
ก8	ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 2 (ปลูกไม้คลุมดิน)	117
ก9	ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 3 (ปลูกไม้คลุมดิน)	118

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก10	ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 1 (ปลูกผักทรงอื่น)	118
ก11	ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 2 (ปลูกผักทรงอื่น)	119
ก12	ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 1 (ปลูกผักทรงอื่น)	120
ก13	ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 1 (ปลูกผักทรงพุ่ม)	120
ก14	ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 2 (ปลูกผักทรงพุ่ม)	121
ก15	ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 3 (ปลูกผักทรงพุ่ม)	121
ก16	ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 1 (ปลูกไม้คลุมดิน)	122
ก17	ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 2 (ปลูกไม้คลุมดิน)	122
ก18	ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 3 (ปลูกไม้คลุมดิน)	123
ข1	ข้อมูลโปรแกรม SCADA ของการปลูกไม้คลุมดิน (28/03/2555)	126
ข2	ข้อมูลโปรแกรม SCADA ของการปลูกไม้คลุมดิน (07/04/2555)	130
ข3	ข้อมูลโปรแกรม SCADA ของการปลูกไม้คลุมดิน (25/04/2555)	134
ข4	ข้อมูลโปรแกรม SCADA ของการปลูกผักทรงพุ่มและทรงอื่นๆ (24/04/2555)	138
ข5	ข้อมูลโปรแกรม SCADA ของการปลูกผักทรงพุ่มและทรงอื่นๆ (04/05/2555)	142
ข6	ข้อมูลโปรแกรม SCADA ของการปลูกผักทรงพุ่มและทรงอื่นๆ (22/05/2555)	146
ค1	ปริมาณน้ำหนักของกรีนคอส (52 ต้น)	151
ค2	ปริมาณน้ำหนักของเรดปัตตาเวีย (52 ต้น)	152
ค3	ปริมาณน้ำหนักของฟิลเลย์ (52 ต้น)	153
ค4	ปริมาณน้ำหนักของกรีนโอ๊ค (14 ต้น)	154
ค5	ปริมาณน้ำหนักของเรดโอ๊ค (14 ต้น)	154
ค6	ปริมาณน้ำหนักของบัตเตอร์เฮด (14 ต้น)	155
ง1	การเจริญเติบโตของกรีนคอสที่อายุ 10 วัน	157

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ง2	การเจริญเติบโตของกรีนคอสที่อายุ 20 วัน	158
ง3	การเจริญเติบโตของกรีนคอสที่อายุ 38 วัน	159
ง4	การเจริญเติบโตของเรดปีตาเวียที่อายุ 10 วัน	160
ง5	การเจริญเติบโตของเรดปีตาเวียที่อายุ 20 วัน	161
ง6	การเจริญเติบโตของเรดปีตาเวียที่อายุ 38 วัน	162
ง7	การเจริญเติบโตของฟิลเลย์ที่อายุ 10 วัน	163
ง8	การเจริญเติบโตของฟิลเลย์ที่อายุ 20 วัน	164
ง9	การเจริญเติบโตของฟิลเลย์ที่อายุ 38 วัน	165
ง10	การเจริญเติบโตของกรีนโอ๊คที่อายุ 10 วัน	166
ง11	การเจริญเติบโตของกรีนโอ๊คที่อายุ 20 วัน	166
ง12	การเจริญเติบโตของกรีนโอ๊คที่อายุ 38 วัน	167
ง13	การเจริญเติบโตของเรดโอ๊คที่อายุ 10 วัน	167
ง14	การเจริญเติบโตของเรดโอ๊คที่อายุ 20 วัน	168
ง15	การเจริญเติบโตของเรดโอ๊คที่อายุ 38 วัน	168
ง16	การเจริญเติบโตของบัตเตอร์เฮดที่อายุ 10 วัน	169
ง17	การเจริญเติบโตของบัตเตอร์เฮดที่อายุ 20 วัน	169
ง18	การเจริญเติบโตของบัตเตอร์เฮดที่อายุ 38 วัน	170
ง19	การเจริญเติบโตของผักเป็ดแดงที่อายุ 10 วัน	170
ง20	การเจริญเติบโตของผักเป็ดแดงที่อายุ 20 วัน	171
ง21	การเจริญเติบโตของผักเป็ดแดงที่อายุ 38 วัน	171
ง22	การเจริญเติบโตของวอเตอร์เครสที่อายุ 10 วัน	172
ง23	การเจริญเติบโตของวอเตอร์เครสที่อายุ 20 วัน	172
ง24	การเจริญเติบโตของวอเตอร์เครสที่อายุ 38 วัน	173

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง25 การเจริญเติบโตของก้ามปูหลอดที่อายุ 10 วัน	173
ง26 การเจริญเติบโตของก้ามปูหลอดที่อายุ 20 วัน	174
ง27 การเจริญเติบโตของก้ามปูหลอดที่อายุ 38 วัน	174
จ1 การเจริญเติบโตของกรีนคอสระบบแอร์โรโพนิคส์กับระบบ NFT ที่อายุ 10 วัน - 38 วัน	176
จ2 การเจริญเติบโตของเรดปีตดาเวียระบบแอร์โรโพนิคส์กับระบบ NFT ที่อายุ 10 วัน - 38 วัน	176
จ3 การเจริญเติบโตของฟิเลียร์ระบบแอร์โรโพนิคส์กับระบบ NFT ที่อายุ 10 วัน - 38 วัน	177
จ4 การเจริญเติบโตของกรีนโอ้กระบบแอร์โรโพนิคส์กับระบบ NFT ที่อายุ 10 วัน - 38 วัน	177
จ5 การเจริญเติบโตของเรดโอ้กระบบแอร์โรโพนิคส์กับระบบ NFT ที่อายุ 10 วัน - 38 วัน	178
จ6 การเจริญเติบโตของบัดเตอร์เฮดระบบแอร์โรโพนิคส์กับระบบ NFT ที่อายุ 10 วัน - 38 วัน	178
ฉ1 ปริมาณแสงที่วัดได้ตามช่วงเวลา 7.00 – 17.00 น.	180

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	รูปแบบและวิธีการปลูกพืชไร้ดิน	4
2	การปลูกพืชในระบบ Hydroponics	5
3	ระบบการปลูกพืชบนผ้าใยสังเคราะห์ตามเทคนิคของเพทริก บลังก์	5
4	ผักชีที่ปลูกในระบบแอร์โรโพนิกส์ทรงกระบอก	9
5	ลักษณะของรูปแบบแผ่นปลูกพืช	11
6	ตัวอย่างรูปแบบระบบ SCADA	15
7	บริษัท ศูนย์เกษตรกรรมบางไทร จำกัด. เลขที่ 106/361 หมู่ที่ 6 ซอยนวนมินทร์ 70 ถ.นวนมินทร์ แขวง.คลองกุ่ม เขต.บึงกุ่ม กรุงเทพฯ 10240	17
8	บริษัท Jone's Salad Farm จำกัด เลขที่ 44/70 ถนนสุขาภิบาล 5 ซอย 5 แขวง 1 รามอินทรา 39 แขวงท่าแร้ง เขตบางเขน กรุงเทพฯ	18
9	Farm Salad Time ซอยหมู่บ้านปัญญารามอินทรา เขตบางชัน กรุงเทพฯ	19
10	เมล็ดพันธุ์พืชชนิดที่เลือกใช้	21
11	ดินพันธุ์พืชชนิดที่เลือกใช้	22
12	แผ่น Acrylic ปลูกผักทรงพุ่ม 3 ชนิดๆ ละ 14 ช่องปลูก)	23
13	แผ่น Acrylic ปลูกพืชไม้คลุมดิน 3 ชนิดๆ ละ 23 ช่องปลูก	24
14	แผ่น Acrylic ปลูกพืชผักทรงอื่น 3 ชนิดๆ ละ 52 ช่องปลูก	25
15	ตำแหน่งการวางชุดปลูกพืชแนวตั้ง และสภาพแวดล้อมโดยรอบ	26
16	ชุดปั๊มพ่นน้ำทั้ง 3 ประเภทที่เลือกใช้	28
17	อุปกรณ์งานระบบน้ำ	29
18	ชุดอุปกรณ์หัววัด และควบคุมชนิดที่เลือกใช้	30
19	ชุดควบคุมระบบไฟฟ้า – เครื่องกล	31
20	ไดอะแกรมวิธีการทดลอง	33
21	การคัดเลือกเมล็ดพันธุ์พืชที่สมบูรณ์	34
22	วิธีการเพาะกล้าพันธุ์พืชลงในฟองน้ำ หรือเพอร์ไลต์	35
23	การคัดเลือกต้นพันธุ์	36
24	การปักชำต้นพันธุ์พืชลงตะกร้าเพาะ	36

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	ไดอะแกรมขั้นตอนการสร้างเครื่องมือ	37
26	ตำแหน่งติดตั้งแผ่นปลูกพืชทั้ง 3 กลุ่มลงบนชุดปลูกพืชระบบบรากแขวนในแนวตั้ง	38
27	รายละเอียดตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ชุดวัดและควบคุมระบบไฟฟ้าและระบบเครื่องกล	39
28	ไดอะแกรมการติดตั้งระบบของชุดปลูกพืชแนวตั้ง	40
29	ไดอะแกรมการทดสอบระบบชุดปลูกพืชแนวตั้งเบื้องต้น	43
30	การชั่งน้ำหนักฟองน้ำก่อน และหลังการทดสอบ	46
31	ตัวอย่าง Real Time Graphic (Vertical Aeroponics System on Monitor)	47
32	ตัวอย่าง Real Time Graphic (Temperature & humidity Record)	47
33	ตัวอย่าง Real Time Graphic (pH & EC Record)	48
34	การบันทึกผลการทำงานของระบบเป็นรายวัน (Total Daily Report)	49
35	การบันทึกผลการทำงานของระบบเป็นกราฟรายวัน (Total Daily Graph Report)	51
36	สถานที่ทำการทดลอง	53
37	ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 1, 2 และ 3 (ปลูกผักทรงอื่น)	55
38	ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 1, 2 และ 3 (ปลูกผักทรงพุ่ม)	56
39	ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 1, 2 และ 3 (ปลูกไม้คลุมดิน)	56
40	กราฟอุณหภูมิและความชื้น	58
41	กราฟความเป็นกรด-ด่างและความเข้มข้นสารละลายอาหารพืช	60
42	กราฟการควบคุมการทำงานของระบบปั๊มพีอีดีฟ่นสารละลาย	61
43	กราฟการเจริญเติบโตของกรีนคอส	64
44	ผลการเจริญเติบโตของกรีนคอส	64
45	กราฟการเจริญเติบโตของเรดปัดดาเวีย	66
46	ผลการเจริญเติบโตของเรดปัดดาเวีย	67
47	กราฟการเจริญเติบโตของฟิลเลย์	68
48	ผลการเจริญเติบโตของฟิลเลย์	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
49	กราฟการเจริญเติบโตของกรีนโอ๊ก	70
50	ผลการเจริญเติบโตของกรีนโอ๊ก	71
51	กราฟการเจริญเติบโตของเรดโอ๊ก	72
52	ผลการเจริญเติบโตของเรดโอ๊ก	73
53	กราฟการเจริญเติบโตของบัตเตอร์เฮด	74
54	ผลการเจริญเติบโตของบัตเตอร์เฮด	75
55	กราฟการเจริญเติบโตของผักเป็ดแดง	76
56	ผลการเจริญเติบโตของผักเป็ดแดง	77
57	กราฟการเจริญเติบโตของวอเตอร์เครส	78
58	การเจริญเติบโตของวอเตอร์เครส	79
59	กราฟการเจริญเติบโตของก้ามปูหลอด	80
60	ผลการเจริญเติบโตของก้ามปูหลอด	81
61	ตำแหน่งการวางชุดปลูกพืชระบบ NFT และสภาพแวดล้อมโดยรอบ	83
62	ผลผลิตของกรีนคอส	84
63	ผลผลิตของเรดปัตตาเวีย	85
64	ผลผลิตของฟิลเลย์	86
65	ผลผลิตของกรีนโอ๊ก	87
66	ผลผลิตของเรดโอ๊ก	88
67	ผลผลิตของบัตเตอร์เฮด	90
68	ผลการเจริญเติบโตของผักเป็ดแดง, วอเตอร์เครส และก้ามปูหลอด	91
69	การเปรียบเทียบระบบปลูกพืชทั้ง 2 แบบ	98
70	แผนปลูกพืชต้นแบบในการทดลอง	106
71	แบบแผ่นปลูกพืชเพื่อให้มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานจริง	106
72	แบบชุดปลูกพืชที่มีการปรับแบบเพื่อให้เหมาะสมในการใช้งานจริง	107
73	ตัวอย่างรูปแบบผนังปลูกพืชประกอบอาคารเพื่องานสถาปัตยกรรม	108

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข1	ข้อมูลโปรแกรม SCADA ของการปลูกไม้คลุมดิน (28/03/2555)	125
ข2	ข้อมูลโปรแกรม SCADA ของการปลูกไม้คลุมดิน (07/04/2555)	128
ข3	ข้อมูลโปรแกรม SCADA ของการปลูกไม้คลุมดิน (25/04/2555)	131
ข4	ข้อมูลโปรแกรม SCADA ของการปลูกผักทรงพุ่มและทรงอื่นๆ (24/04/2555)	134
ข5	ข้อมูลโปรแกรม SCADA ของการปลูกผักทรงพุ่มและทรงอื่นๆ (04/05/2555)	137
ข6	ข้อมูลโปรแกรม SCADA ของการปลูกผักทรงพุ่มและทรงอื่นๆ (22/05/2555)	140
ค1	ปริมาณแสงที่วัดได้ในช่วงเวลาตั้งแต่ 07.00 น. ถึง 17.00 น.	181
ช1	งบประมาณการค่าใช้จ่ายงานวิจัย	183

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ

DCS	=	Distributed Control System
DFT	=	Deep Flow Technique
DRFT	=	Dynamic Root Floating Technique
EC	=	Electric Conductivity
ETC	=	ปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ต้องการทราบ (มิลลิเมตรต่อวัน)
ETP	=	ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตรต่อวัน)
GAP	=	Good Agriculture Practices
K _c	=	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช
NFT	=	Nutrient Film Technique
PE	=	Polyethylene
PLC	=	Programmable Logic Controller
RH	=	Relative Humidity
SCADA	=	S = Supervisor, C = Control, A = and, D = Data, A = Acquisition
VAC	=	Voltage Alternating Current
VDC	=	Voltage Direct Current
VSD	=	Variable Speed Drive
πr^2	=	รัศมีทรงพุ่มของพืช

การประยุกต์ใช้การปลูกพืชไร้ดินระบบรากแขวนในแนวตั้งเพื่องานสถาปัตยกรรม

The Application of Vertical Aeroponics Culture System for Architecture

คำนำ

ปัจจุบันการปลูกพืชในแนวตั้งกำลังได้รับความนิยมแพร่หลาย ในประเทศไทยเองก็มีการนำแนวคิดเรื่องการปลูกพืชแนวตั้งนี้มาใช้กับอาคารที่อยู่อาศัยด้วยเช่นกัน ทำให้ผังบริเวณมีความสวยงาม ช่วยปรับปรุงคุณภาพอากาศ และลดโลกร้อน ผู้ที่ริเริ่ม คือ Patrick Blanc ได้นำเรื่องระบบนิเวศน์มาผสมผสานกับการงานสถาปัตยกรรม เรียกว่า สวนแนวตั้ง (Vertical Garden) เป็นการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน โดยใช้ฝ้ายสังเคราะห์ แนวคิดการปลูกพืชลักษณะนี้สามารถจะประยุกต์ใช้ในเชิงการทำเกษตรในเขตเมืองได้ เพื่อลดต้นทุนการขนส่ง แต่ก็ต้องเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายด้านค่าเช่าพื้นที่ และค่าจัดการ พลังงาน การทำเกษตรกรรมในเมืองเพื่อนำมาเป็นอาหารต้องคำนึงถึงวิธีการที่เหมาะสม และเพื่อให้ประสพกับความสำเร้ง รูปแบบการปลูกพืชในแนวตั้งแบบที่ใช้ฝ้ายสังเคราะห์ อาจไม่มีความเหมาะสมเท่าใดกับการปลูกพืชผักเพื่อรับประทาน ก็เนื่องด้วยน้ำ และสารอาหารที่ตกลงไปบนวัสดุปลูกอาจการเกิดโรคหรือ เกิดเชื้อราสะสมในวัสดุปลูกทั้งหมดนี้อาจก่อให้เกิดปัญหาด้านการบริหารจัดการ ควบคุมการให้น้ำแก่พืชเท่าที่จำเป็น เมื่อพืชตายการปรับเปลี่ยนทำได้ยาก ทำให้ต้องมีระบบการจัดการที่ดีประหยัดพื้นที่และเวลา ปัญหาดังกล่าวจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นการนำรูปแบบการปลูกพืชไร้ดินระบบรากแขวนในแนวตั้ง (Aeroponics System) มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับโปรแกรม SCADA ที่นำมาช่วยควบคุมสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ด้วยเหตุผลที่การปลูกพืชแบบให้น้ำ และสารอาหารแบบฟลอยละเอียด (Vertical Aeroponics System) ทำให้รากพืชรับออกซิเจน และสารอาหารโดยตรงทั่วถึงทุกต้นตามช่วงเวลาที่กำหนด และสามารถปรับให้เหมาะสมกับพืชที่ปลูก การที่เป็นระบบปิดมีการให้น้ำแบบหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่จึงประหยัด การควบคุมสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อพืชได้ เช่น ค่า pH ค่าอุณหภูมิ ค่าความเข้มข้นสารละลายนั้นสามารถทำได้โดยการใช้โปรแกรม SCADA และช่วยประหยัดเวลา และแรงงานในการดำเนินการ จากสถานะที่ปัจจุบันที่ดินมีราคาสูงจึงต้องหาวิธีที่ใช้พื้นที่ให้น้อยแต่ได้ผลผลิตสูง การปลูกพืชระบบรากแขวนในแนวตั้งจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในแก้ปัญหาพื้นที่เพาะปลูกที่ไม่เพียงพอแต่ยังจำเป็นต้องปลูกพืชเพื่อผลิตเป็นอาหารสำหรับประชากรในเมือง

วัตถุประสงค์

นำโปรแกรมควบคุมระบบอัตโนมัติ (SCADA) มาประยุกต์ใช้ควบคุมสถานะและทดสอบระบบการปลูกพืชแบบไร้ดินระบบรากแขวนในแนวตั้ง (Vertical Aeroponics) เพื่อใช้เป็นผนังปลูกพืชประกอบอาคารเพื่องานสถาปัตยกรรม

ขอบเขตของการวิจัย

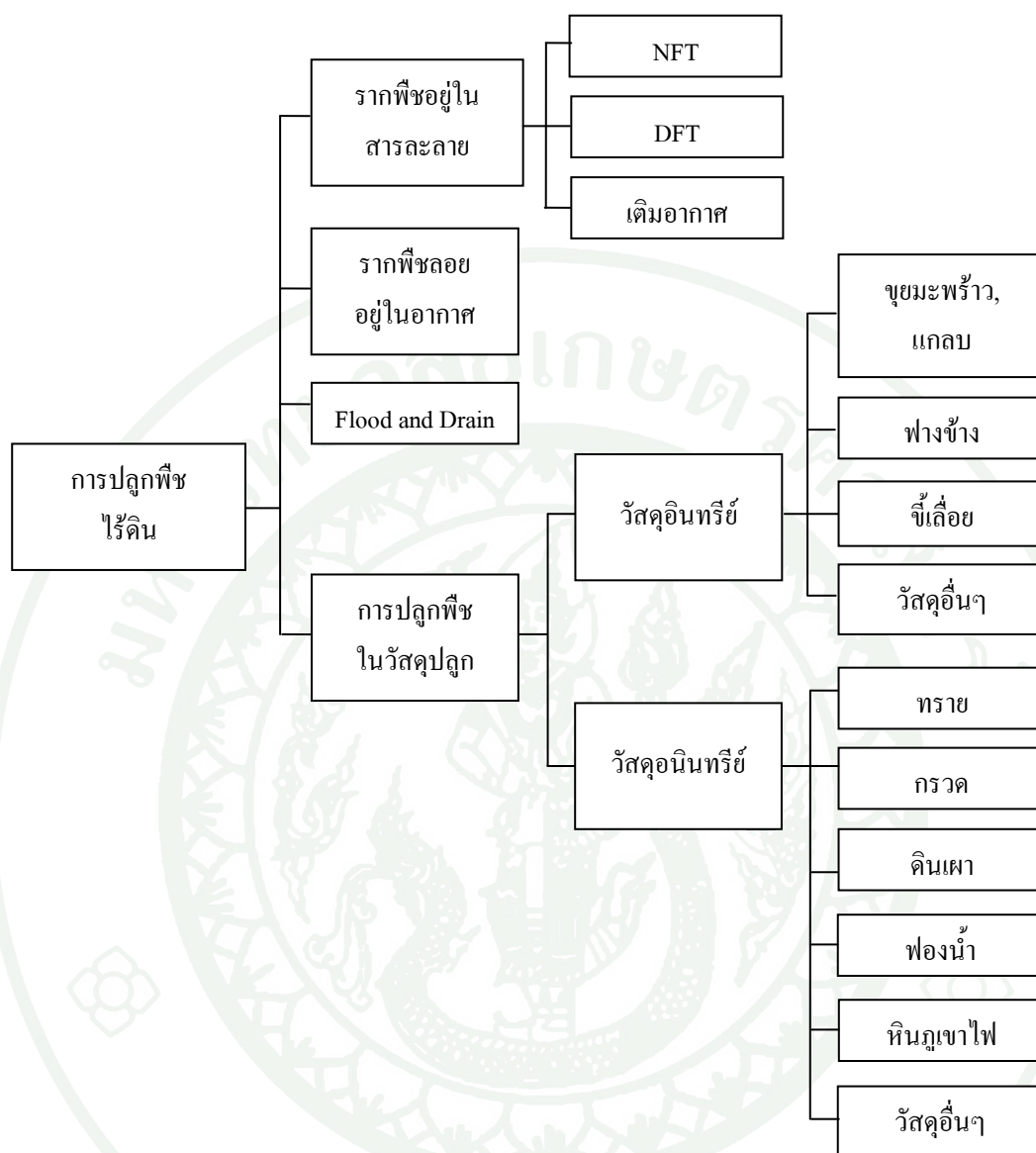
ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นการทดลองนำโปรแกรมควบคุมระบบอัตโนมัติ (SCADA) มาประยุกต์ใช้ควบคุมสถานะในการปลูกพืชแบบไร้ดินระบบรากแขวนในแนวตั้ง (Vertical Aeroponics) ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความชื้น (%RH) ความเข้มข้นของสารละลาย (EC) อุณหภูมิ (T) และการทำงานของปั๊มพ่นน้ำและสารละลายอาหารพืช (CP) ซึ่งพืชที่ปลูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ประกอบด้วย 1) ผักทรงพุ่ม 3 ชนิด ได้แก่ เรดโอ๊ค กรีนโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด 2) ไม้คลุมดิน 3 ชนิด ได้แก่ ก้ามปูหลุด วอเตอร์เครส และผักเป็ดแดง 3) ผักทรงอื่น 3 ชนิด ได้แก่ ผักกรีนคอส ผักฟิลเลย์ ไอซ์เบิร์ก และเรดปัตตาเวีย

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถประยุกต์ใช้ควบคุมสถานะในการปลูกพืชแบบไร้ดินระบบรากแขวนในแนวตั้ง (Vertical Aeroponics) เพื่อใช้เป็นผนังปลูกพืชประกอบอาคารเพื่องานสถาปัตยกรรม
2. เพื่อช่วยลดต้นทุนการขนส่งและค่าใช้จ่ายอื่น ๆ
3. สามารถประยุกต์ใช้ให้เกิดความหลากหลายของการใช้งานพื้นที่ในเขตเมือง
4. สามารถนำไปพัฒนาใช้งานในเชิงเกษตรกรรมในเมือง (Urban Farm)
5. เป็นนวัตกรรมที่พัฒนาต่อออกเชิงพาณิชย์ได้

การตรวจเอกสาร

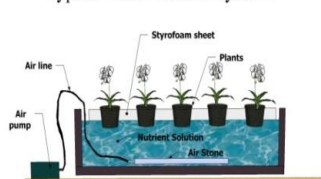
วงการปลูกพืชเริ่มให้ความสนใจวิธีการปลูกพืชไร้ดิน และพัฒนามาเป็นการปลูกเพื่อการค้าในปี ค.ศ. 1930 โดย ศาสตราจารย์ ดร.วิลเลียม เอฟ. เกอริก มหาวิทยาลัยแห่งมลรัฐแคลิฟอร์เนีย เป็นคนแรกที่ใช้เทคนิคการปลูกพืชในสารละลายอาหาร มาปลูกพืชผักในเชิงการค้าได้สำเร็จ วิธีการนี้เรียกว่า “ไฮโดรโปนิกส์” (Hydroponics) หรือเทคนิคการปลูกพืชโดยไร้ดินและได้รับการพัฒนามาโดยตลอด โดยเฉพาะวิธีการให้สารละลายแก่รากพืชมีการพัฒนารูปแบบที่ต่าง ๆ กัน ออกไปจากเดิมที่ปล่อยให้รากแช่อยู่ในสารละลายและเป่าอากาศลงไปในสารละลาย ก็มีการดัดแปลงให้รากพืชแช่อยู่ในรางที่มีสารละลายธาตุอาหารไหลเป็นแผ่นบาง ๆ หมุนเวียนตลอดเวลา โดยไม่ต้องมีการเป่าอากาศลงในสารละลายที่เรียกว่า ระบบ NFT (Nutrient Film Technique) ซึ่งเป็นระบบที่นิยมในประเทศไทย โดยรวมแล้ว การปลูกพืชไร้ดินอาจถูกเรียกว่า “Soilless Culture” ซึ่งหมายถึงการปลูกพืชโดยใช้วัสดุที่ไม่ใช่ดิน และพืชจะได้รับธาตุอาหารต่าง ๆ ที่ต้องการจากสารละลายธาตุอาหารที่ให้กับพืชเท่านั้น ดินในที่นี้หมายถึง ทราย กรวด น้ำ ขุยมะพร้าว แกลบ ใบหิน เพอร์ไลต์ เป็นต้น การปลูกพืชไร้ดินจึงเป็นการปลูกพืชในลักษณะที่ไม่เปิดโอกาสให้พืชได้อาหารจากแหล่งอื่น นอกจากสารละลายธาตุอาหารที่ต้องการให้แก่พืชเท่านั้น ทำให้ควบคุมปริมาณธาตุอาหารให้กับพืชได้อย่างสม่ำเสมอ (นภคณ, 2538) จากสถานะการเกษตรในประเทศที่ต้องอาศัยสภาพดินฟ้าอากาศเป็นส่วนใหญ่ แต่สภาพดินฟ้าอากาศมีความผันแปรมากในแต่ละท้องถิ่นหรือไม่เหมาะสมกับการเพาะปลูกพืชปัญหาดังกล่าว หากไม่มีการนำเทคโนโลยีมาช่วยในการเพาะปลูกพืชหรือไม่มีการจัดการปัจจัยต่าง ๆ เช่น การปรับปรุงดิน การจัดการระบบน้ำ ปุ๋ย และสารเคมีกำจัดวัชพืช หรือศัตรูพืชที่ติดพ้อแล้ว ย่อมทำให้ผลผลิตที่ได้ไม่มีความสม่ำเสมอ ทั้งในด้านปริมาณ และคุณภาพ ทำให้ไม่สามารถแข่งขันทางการตลาดได้ การนำเทคโนโลยีมาช่วยในการปลูกพืชทำได้หลายวิธี เช่น การนำระบบการให้น้ำแบบหยดมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการให้น้ำและปุ๋ยที่สม่ำเสมอ จะทำให้ผลผลิตที่ได้มีความสม่ำเสมอ การออกแบบระบบการปลูกพืชไร้ดินจึงเป็นเทคโนโลยีทางเลือกในการปลูกพืชอีกอย่างหนึ่งที่เหมาะสมกับการปลูกพืชและให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูงจึงเหมาะสำหรับเกษตรกรที่มีพื้นที่ในการปลูกพืชน้อย โดยทั่วไปการปลูกพืชไร้ดิน (Soilless Culture) จำแนกดังภาพที่ 1-2



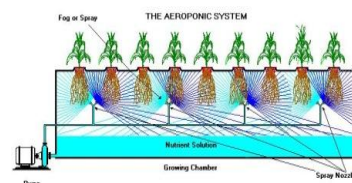
ภาพที่ 1 รูปแบบและวิธีการปลูกพืชไว้ดิน

ที่มา: อภิสิทธิ์ (2547)

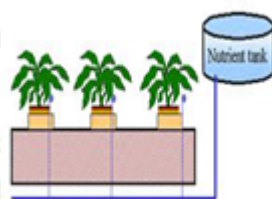
Typical Water Culture System



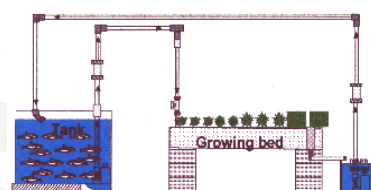
Liquid Culture



Aeroponics Culture



Aggregate Culture



Bioponics

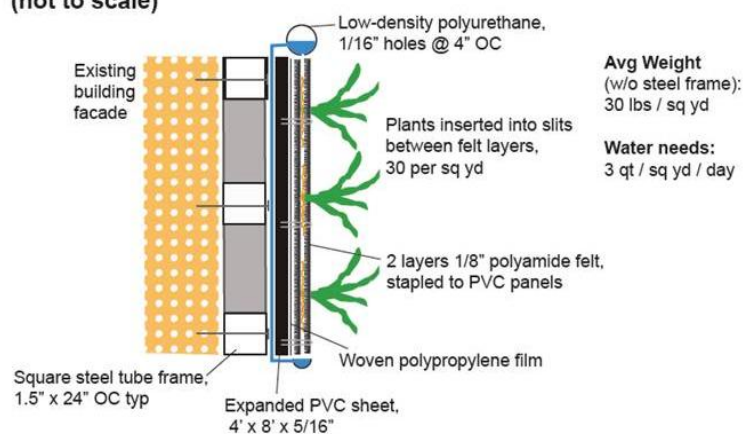
ภาพที่ 2 การปลูกพืชในระบบ Hydroponics

ที่มา: Jones (2005)

ในปัจจุบันยังมีอีกเทคนิคหนึ่ง คือ ระบบการปลูกพืชบนผ้าใยสังเคราะห์ตามเทคนิคของแพทริก บลังก์ ดังภาพที่ 3



Structural Diagram (not to scale)



'Le Mur Vegetal'
(system patented by Patrick Blanc)

ภาพที่ 3 ระบบการปลูกพืชบนผ้าใยสังเคราะห์ตามเทคนิคของแพทริก บลังก์

ที่มา: Paris (2008)

ในการศึกษารายละเอียดของการปลูกพืชไร้ดินในแต่ละประเภทนั้น มีขั้นตอนที่ควรศึกษา (อิทธิสุนทร, 2547) ดังนี้

1. การปลูกพืชไร้ดิน (Hydroponics) ในระบบ NFT เป็นการปลูกพืชโดยรากแช่อยู่ในสารละลายโดยตรง สารละลายธาตุอาหารจะไหลเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ (ประมาณ 2-3 มม.) ในรางปลูกพืชกว้าง 5-35 ซม. สูง 5 - 10 ซม. ความกว้างรางขึ้นอยู่กับชนิดพืชที่ปลูก ความยาวของราง 5 - 20 ม. การไหลของสารละลายอาจเป็นแบบต่อเนื่องหรือแบบสลับก็ได้ โดยทั่วไปสารละลายจะไหลแบบต่อเนื่อง อัตราไหลอยู่ในช่วง 1 - 2 ลิตร/นาที่/ราง รางอาจทำจากแผ่นพลาสติกสองหน้าขาวและดำ หน้า 80 - 200 ไมครอน หรือจาก PVC ขึ้นรูปเป็นรางสำเร็จรูปทำจากโลหะ เช่น สังกะสี หรือ อะลูมิเนียม และบุภายในด้วยพลาสติก เพื่อป้องกันการกัดกร่อนของสารละลาย โดยจะมีปั๊มพุดูดสารละลายให้ไหลผ่านรากพืชและไหลเวียนกลับมายังถังเก็บสารละลาย

2. การปลูกพืชไร้ดิน (Hydroponics) ในระบบ DFT เป็นเทคนิคการปลูกโดยให้รากพืชแช่อยู่ในภาชนะบรรจุสารละลายธาตุอาหาร (ลึก 15 - 20 ซม. กว้าง 50 - 80 ซม. และยาว 1 - 10 ม.) ภาชนะดังกล่าวทำหน้าที่ทั้งภาชนะปลูกและภาชนะใส่สารละลายไปด้วย ทำให้เทคนิคนี้ไม่ต้องมีภาชนะใส่สารละลายแยกต่างหาก ปริมาตรของสารละลายมีมาก ทำให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารเปลี่ยนแปลงช้า

3. การปลูกพืชไร้ดิน (Hydroponics) ในระบบ Aeroponics เป็นระบบที่มีการหมุนเวียนน้ำและสารละลายธาตุอาหาร โดยการใช้ปั๊มพุดผ่านหัวพ่นฉีดน้ำและสารละลายธาตุอาหารให้เป็นฝอยละเอียด เป็นระยะบริเวณรากพืช ตามเวลาที่กำหนด โดยมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า Timer เป็นตัวกำหนดระยะเวลาและจำนวนครั้งที่พ่น ตามความเหมาะสมของพืชแต่ละชนิด

การปลูกพืชไร้ดินที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปรายละเอียด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อดีและข้อเสียของระบบปลูกพืชไร้ดินในระบบต่าง ๆ

ข้อดีและข้อเสียของระบบปลูกพืชไร้ดินในระบบต่าง ๆ		
ข้อดีของระบบ NFT	ข้อดีของระบบ DFT	ข้อดีของระบบแอร์โรโพนิกส์
1. ป้องกันกำจัดโรคแมลงได้ง่าย และเป็นระบบที่มีการให้น้ำแบบหมุนเวียน	ป้องกันกำจัดโรคแมลงได้ง่าย และเป็นระบบที่มีการให้น้ำแบบหมุนเวียน	เป็นระบบที่ไม่ต้องใช้ปุ๋ยเคมีของพืชทำให้ได้น้ำทั่วถึงประหยัด เพราะให้น้ำตามช่วงเวลาพืชต้องการอีกทั้งเป็นระบบปิดเกิดโรคและแมลงได้น้อย
2. ไม่ต้องมีการจัดการวัสดุปลูกก่อนปลูกและหลังปลูกที่ต้องกำจัดทิ้ง	ไม่ต้องมีการจัดการวัสดุปลูกก่อนปลูกและหลังปลูกที่ต้องกำจัดทิ้ง	ไม่ต้องมีการจัดการวัสดุปลูกก่อนปลูกและหลังปลูกที่ต้องกำจัดทิ้ง
3. ระบบการให้น้ำไม่ยุ่งยาก	ระบบการให้น้ำแก่พืชไม่ยุ่งยาก	ระบบการให้น้ำแก่พืชไม่ยุ่งยาก
4. เป็นระบบที่สามารถปลูกพืชได้อย่างต่อเนื่องตลอดปี	สามารถปลูกพืชที่มีรากยาว เช่น มะเขือเทศ และแตงกวา	สามารถปลูกพืชได้ทั้งรากสั้นและรากยาว
ข้อเสียของระบบ NFT	ข้อเสียของระบบ DFT	ข้อเสียของระบบแอร์โรโพนิกส์
5. ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งครั้งแรกมีราคาสูงและเป็นระบบที่ต้องมีการดูแลอย่างใกล้ชิดพอสมควร	ค่าใช้จ่ายในระยะแรกสูง	การลงทุนในระยะแรกสูงและในปัจจุบันยังไม่มีประยุกต์การปลูกพืชในระบบนี้ใช้ปลูกพืชในเชิงการค้า
6. ถ้ามีสิ่งเจือปนอยู่มากจะเกิดการสะสมของสารที่พืชใช้น้อยหรือสะสมอยู่ในสารละลายทำให้ต้องเปลี่ยนสารละลายบ่อยทำให้สิ้นเปลือง	เป็นระบบที่ต้องมีการดูแลอย่างใกล้ชิดเพราะมีโอกาสที่ระบบจะเสียได้ง่าย	ผู้ดูแลต้องมีประสบการณ์ในการควบคุมดูแลระบบเนื่องจากมีความละเอียดอ่อนพอสมควร

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ข้อดีและข้อเสียของระบบปลูกพืชไร้ดินในระบบต่าง ๆ		
ข้อเสียของระบบ NFT	ข้อเสียของระบบ DFT	ข้อเสียของระบบแอร์โรโพนิกส์
7. มีปัญหาเกี่ยวกับการสะสมของอุณหภูมิของสารละลาย โดยเฉพาะช่วงอากาศร้อนจะมีผลต่อการละลายตัวของออกซิเจนในสารละลายลดลง ซึ่งอาจใช้การลดความยาวของรางปลูกพืชลง	ต้องใส่เครื่องพ่นอากาศเนื่องจากรากพืชอาจได้ปริมาณออกซิเจนน้อยอาจทำให้เกิดรากเน่าได้	มีปัญหากรณีไฟฟ้าดับเนื่องจากต้องพึ่งพาพลังงานไฟฟ้าเป็นสำคัญ
8. การให้อากาศในถังผสมสารละลายถ้ามีการติดโรคจะเกิดแพร่กระจายของโรคพืชบางชนิดอย่างรวดเร็ว	ปัญหาเกี่ยวกับอุณหภูมิสูงทำให้ให้ออกซิเจนในสารละลายลดลง ซึ่งอาจแก้ไขได้โดยการลดความยาวของรางปลูกพืชหรือมีการเดิมอากาศเหมือนกับระบบ FT	การออกแบบต้องออกแบบให้หัวฉีดน้ำสม่ำเสมอในทุกพื้นที่ ไม่เช่นนั้นพืชอาจมีความเจริญเติบโตไม่เท่ากัน

ระบบรากแขวน เหมาะแก่การนำมาใช้ในแนวตั้งเนื่องจาก

1. สามารถลดน้ำหนักของภาชนะหรือวัสดุที่ใช้ในการปลูกพืช
2. ลดน้ำหนักของอุปกรณ์ในระบบการให้น้ำและสารละลายอาหารแก่พืช
3. ระบบการให้สารละลายอาหารพืชทำได้ง่าย เตรียมครั้งเดียวแต่สามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ในระบบ
4. การให้น้ำและสารละลายอาหารพืชเป็นแบบฝอยจึงไม่ต้องกังวลเรื่องน้ำหนักของน้ำที่อยู่ในระบบ
5. สามารถควบคุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการเติบโตของพืชได้ง่ายเพราะเป็นระบบปิดจึงลดอัตราการเกิดโรคและแมลง

6. สามารถกำหนดปริมาณการให้น้ำและสารอาหารแก่พืชได้ตามความต้องการของพืชแต่ละชนิด

7. สามารถปลูกพืชได้หลากหลายได้ทั้งชนิดที่รากสั้น และรากยาว ซึ่งระบบอื่น ๆ ใช้การปลูกในรางที่มีพื้นที่จำกัดไม่สามารถปลูกพืชชนิดรากยาวได้เพราะจะเกิดการอุดตันในรางปลูก

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปลูกพืชระบบรากแขวน

1. งานวิจัยเรื่องระบบแอโรโรโพนิกส์ทรงกระบอก (Cylindrical Aeroponics Technique) จากผลงานการวิจัยของณรงค์ศักดิ์ และคณะ (2547) ภาควิชาวิศวกรรมดินและน้ำ คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้ให้ข้อสรุป และข้อคิดเห็นของงานวิจัยทดลองไว้ว่าระบบที่สร้างขึ้นประกอบด้วยถังรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 ซม. สูง 134 ซม. แต่ละถังมีจำนวน 77 ช่องปลูก ภายในถังมีท่อส่งน้ำติดตั้งหัวสปริงเกอร์ต่อกับปั๊มน้ำแรงดันลมความดัน 3-4 บาร์ เพื่อฉีดน้ำเป็นละอองฝอยให้เข้าสู่รากพืชอย่างทั่วถึง และจากผลการทดสอบการทำงานของระบบแอโรโรโพนิกส์ทรงกระบอก พบว่าสามารถให้น้ำเฉลี่ยต่อช่องปลูกเท่ากับ 6.8 มล. ต่อนาที การทำงานของระบบสามารถทำงานได้ตรงตามที่โปรแกรมได้ตั้งไว้ คือ มีช่วงเวลาการให้น้ำ 3 นาที และช่วงเวลาที่หยุดให้น้ำ 5 นาทีต่อเนื่องกันตลอดเวลาในแต่ละวัน ซึ่งทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้



ภาพที่ 4 พืชที่ปลูกในระบบแอโรโรโพนิกส์ทรงกระบอก



ภาพที่ 4 (ต่อ)

ที่มา: ณรงค์ศักดิ์ และคณะ (2547)

2. จากผลงานการวิจัยของโสระยา และคณะ (2548) ได้ให้ข้อสรุปและข้อคิดเห็นของงานวิจัยทดลองไว้ว่า อุปกรณ์การปลูกพืชในระบบแอร์โรโพนิคส์นั้น มีองค์ประกอบสำคัญที่ต้องคำนึงถึง คือ อัตราการพ่น รูปแบบแผ่นปลูกพืช ซึ่งสัมพันธ์ กับตำแหน่งติดตั้งหัวพ่น ในการทดลองจะเห็นว่าการใช้อัตราพ่นสารละลายอาหารให้พืช 1 นาติ หยด 10 นาติ ให้น้ำหนักโดยรวมมากกว่าอัตราการพ่น 1 นาติ หยดพ่น 30 นาติ ต่อมาปรับอัตราการพ่นสารละลายอาหารนาน 30 วินาที หยดพ่น 5 นาติ ซึ่งจากการทดลองจะให้ความสูงของต้นผักสลัดที่มากกว่าแบบอื่นด้วยอัตราการพ่นลักษณะนี้ จึงเหมาะสมสำหรับการปลูกผักสลัดทรงพุ่มทั่วไป และจากการทดลองแผ่นปลูกแบบเรียบมีข้อดีกว่าแบบทรงสูง ด้วยความสม่ำเสมอของสารละลายอาหารที่รากพืชได้รับดีกว่า และความลึกของถังปลูกก็มีความสัมพันธ์ กับแบบ หรือตำแหน่งจัดวางหัวพ่น การเลือกใช้แผ่นปลูกก็มีความสัมพันธ์ กับระบบพ่นสารละลายอาหารเช่นกัน โดยหากต้องการใช้แผ่นปลูกทรงสูงเพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบพัฒนาระบบการพ่นสารละลายอาหาร และจัดวางตำแหน่งหัวพ่นให้เหมาะสม จึงจะได้ผักที่มีคุณภาพดีมีขนาดสม่ำเสมอตลอดทั้งแปลงปลูก นอกจากนั้นการได้อัตราส่วนของระยะเวลาการพ่นที่เหมาะสมยังเป็นการช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้า และน้ำ ที่ไม่จำเป็นต้องพ่นให้แก่รากพืชตลอดเวลา ทั้งยังไม่ส่งผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตของพืชผักที่ทดลอง ดังที่กล่าวมา การปลูกในระบบแอร์โรโพนิคส์ ยังมีข้อได้เปรียบในเรื่องการใช้พื้นที่เพาะปลูก และการใช้สารละลายอาหารที่น้อยกว่า



รูปแบบที่ 1 (a)



รูปแบบที่ 2 (b)



รูปแบบที่ 3 (c)



รูปแบบที่ 4 (d)

ภาพที่ 5 ลักษณะของรูปแบบแผ่นปลูกพืช

ที่มา: โสระยา และคณะ (2548)

ตารางที่ 2 สรุปการตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	สรุปผลการวิจัย
หัวข้องานวิจัย ระบบแอร์โร โพนิกส์ทรงกระบอก (Cylindrical Aeroponics Technique)	ผลของรูปแบบแผ่นปลูกพืชและอัตราพ่นต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดในระบบแอร์โร โพนิกส์ (Effect of Plant Supporting Models and Spraying Rate on Growth of Lettuce in Aeroponics)
คณะผู้จัดทำ ณรงค์ศักดิ์และคณะ (2547) ภาควิชาวิศวกรรมดินและน้ำ คณะเทคโนโลยี การเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	โสระยา และคณะ (2548) ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัย เชียงใหม่

ตารางที่ 2 (ต่อ)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	สรุปผลการวิจัย
ประเด็นในการทำวิจัย อัตราการเจริญเติบโต, อัตราผลผลิตระบบ แอร์โรโพนิคส์เทียบกับระบบ NFT สรุปผลวิจัย 1 ผักชีที่ปลูกในระบบแอร์โรโพนิคส์ทรงกระบอกจำนวน 462 ต้นต่อพื้นที่ 10.8 ตารางเมตร มีแนวโน้มที่จะมีความสูง, จำนวนก้าน และความกว้างของทรงพุ่มคือ 19.20 ซม., 13.8 ก้านและ 19.84 ซม. ตามลำดับ และได้น้ำหนักเฉลี่ย 46.02 กรัม : ต้นและผลผลิตน้ำหนักสดของผักชีที่ปลูกใกล้เคียงกับระบบ NFT สรุปผลวิจัย 2 ผักชีที่ปลูกในระบบแอร์โรโพนิคส์ทรงกระบอกในพื้นที่ 10.8 ตรม. ให้ผลผลิต 462 ต้น ที่น้ำหนัก 21 กก. ซึ่งสูงกว่าผักชีที่อยู่ในระบบ NFT ในพื้นที่เท่ากันโดยระบบ NFT จะปลูกได้เพียง 144 ต้น คิดเป็น 11.5 กิโลกรัม ทั้งนี้เนื่องจากระบบแอร์โรโพนิคส์ทรงกระบอกสามารถปลูกผักชีได้จำนวนต้นที่มากกว่าระบบ NFT คิดเป็น 462 ต่อ 144 ต้น ส่วนที่ไม่มีการเก็บข้อมูลส่วนที่ 1 การเก็บข้อมูลที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้แก่ ค่า pH, ค่าความเข้มข้นสารละลาย (EC), ค่าอุณหภูมิและความชื้น, ค่าปริมาณแสงที่พืชได้รับ รวมถึงลักษณะสภาพแวดล้อมของระบบ NFT ที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัย ส่วนที่ไม่มีการเก็บข้อมูลส่วนที่ 2 การเก็บข้อมูลการจัดการพลังงานได้แก่ ข้อมูลการใช้ไฟฟ้า, ข้อมูลการใช้น้ำ และสารอาหารพืช	อัตราการเจริญเติบโตของพืชในระบบแอร์โรโพนิคส์, รูปแบบของแผ่นปลูกและอัตราการพ่นที่เหมาะสม แผ่นปลูกแบบเรียบ และแบบลอนจะมีข้อดีกว่าแบบทรงสูงคือความสม่ำเสมอของสารละลายอาหารที่รากพืชได้รับดีกว่าและได้รับเท่ากัน โดยความลึกของถังปลูกก็มีความสัมพันธ์ กับตำแหน่งจัดวางหัวพ่นอัตราการพ่นอยู่ที่ พ่น 30 วินาที หยุด 5 นาที จะให้อัตราเจริญเติบโตมากที่สุด แบบที่ 1. และ 2. จะให้การเติบโตที่ดี และมีขนาดใกล้เคียงกับการปลูกในระบบ NFT แบบที่ 3. และ 4. มีการเติบโตที่ไม่เท่าเทียมกันเนื่องจากได้รับสารอาหารไม่ทั่วถึง ระดับต่ำกว่าจะเติบโตดีกว่าเพราะใกล้กับตำแหน่งหัวพ่น การเก็บข้อมูลที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้แก่ ค่า pH, ค่าความเข้มข้นสารละลาย (EC), ค่าอุณหภูมิและความชื้น, ค่าปริมาณแสงที่พืชได้รับ รวมถึงสภาพแวดล้อมของการทดลอง การเก็บข้อมูลการจัดการพลังงานได้แก่ ข้อมูลการใช้ไฟฟ้า, ข้อมูลการใช้น้ำ และสารอาหารพืช

กลุ่มพันธุ์พืช และสรีรวิทยารูปฟอร์มของพืช

ในการทดลองได้คัดเลือกพันธุ์พืช โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม เนื่องด้วยจุดประสงค์ที่ต้องการใช้เป็นผนังปลูกพืชประกอบอาคารเพื่องานสถาปัตยกรรม จึงได้มีการพิจารณาพันธุ์พืชในกลุ่มที่นิยมปลูกหรือบริโภค เช่น กลุ่มผักสลัดที่มีลักษณะเป็นผักทรงพุ่ม และผักทรงอื่น ๆ นอกจากนี้ ยังเป็นพืชผักเศรษฐกิจ ราคาสูง เมื่อนำมาปลูกเป็นผนังปลูกพืชประกอบอาคารเพื่องานสถาปัตยกรรม ทำให้เกิดความคุ้มค่าในด้านการลงทุน ส่วนพันธุ์พืชชนิดคลุมดินเป็นการพิจารณานำมาทดลองปลูกในระบบรากแขวน เพื่อความสวยงามหรือเป็นไม้ประดับ

1. พันธุ์ผักทรงพุ่ม เป็นพืชที่มีลักษณะทรงพุ่มกว้างประมาณ 10-15 ซม. ความสูง 7-10 ซม. เช่น กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค บัตเตอร์เฮด
2. พันธุ์ผักทรงอื่น ๆ เป็นพืชที่มีลักษณะความสูงประมาณ 20 ซม. มีทรงพุ่มกว้าง 8-10 ซม. แตกกิ่งก้าน เช่น กรีนคอส เรดปัตตาเวีย ฟิลเลย์
3. พันธุ์ไม้คลุมดิน เป็นพืชที่มีความสูงจากพื้นดินไม่มากนัก นับตั้งแต่ผิวดินไปจนถึง 20 ซม. เช่น ผักเป็ดแดง วอเตอร์เครส ก้ามปูหลอด

การใช้งานโปรแกรมควบคุมอัตโนมัติ (SCADA)

ในปัจจุบันระบบควบคุมอัตโนมัติมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ ระบบ SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) และ ระบบ DCS (Distributed Control System) ทั้ง 2 ระบบนี้มีข้อแตกต่างอยู่ที่การนำไปใช้งาน โดยระบบ SCADA เป็นระบบควบคุมที่นิยมใช้งานกับระบบควบคุมอัตโนมัติขนาดเล็กถึงขนาดกลาง ส่วนระบบ DCS (Distributed Control System) เป็นระบบควบคุม (Control) และเฝ้าดู (monitor) ซึ่งเป็นระบบที่ค่อนข้างใหญ่และมีความซับซ้อนจึงจำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเท่านั้นในการตรวจสอบเมื่อระบบเกิดปัญหา, อะไหล่ ของ DCS Controller ต้องนำเข้าจากต่างประเทศเท่านั้นจึงอาจใช้เวลาในการสั่งซื้อ แต่ผู้ใช้ส่วนใหญ่จะสั่งซื้อมาเก็บไว้เป็นอะไหล่ไว้ใช้งานล่วงหน้า เพราะอุปกรณ์ระบบระบบ DCS มีราคาค่อนข้างแพง ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงเลือกระบบ SCADA มาใช้งาน เนื่องจากระบบ SCADA มีความยืดหยุ่นในการนำไปใช้งานได้หลายระดับและมีการใช้งานไม่ยุ่งยาก

SCADA คือ Software เพื่อใช้ในการควบคุม/สั่งการ และบันทึกข้อมูลของระบบต่างในโลกอุตสาหกรรม SCADA มาจากตัวอักษร 5 ตัว

S = Supervisor

C = Control

A = and

D = Data

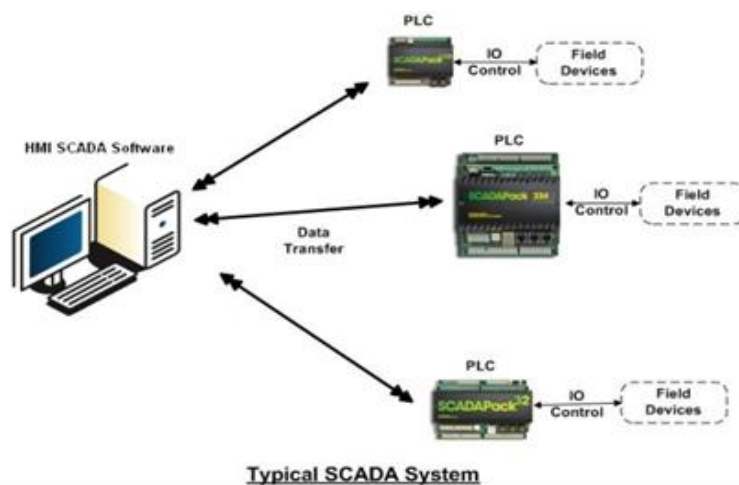
A = Acquisition

ซึ่งมีความหมาย ดังนี้

1. Supervisory Control คือ การควบคุมโดยการสั่งงาน กล่าวคือ SCADA จะทำการตรวจวัดค่าต่าง ๆ ที่เราต้องการควบคุม โดยใช้ Sensor เป็นตัววัดค่าและตัดสินใจ ส่งคำสั่งไปให้อุปกรณ์ทำงานตามที่ต้องการ

2. Data Acquisition คือการเก็บบันทึกข้อมูลของระบบที่เราทำการควบคุม เช่น อุณหภูมิ แรงดัน อัตราการไหลของสารต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต และทำการออกรายงานได้แบบอัตโนมัติเป็นคาบนาที่ รายวัน รายเดือน

ส่วนการวัด และการควบคุม ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ คือ Hardware ได้แก่ อุปกรณ์วัดคุม (Instrument Sensor Transmitter) คือ อุปกรณ์สำหรับวัดค่าต่างๆ เช่น Temperature pH ส่วนอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุม (Final Control Element) เช่น VSD (Variable Speed Drive) และอุปกรณ์อีกชุดที่สำคัญ คือ PLC (Programmable Logic Controller) ทำหน้าที่รับค่าจาก Instrument Sensor หรือ Transmitter มาประมวลผลสั่งการไปที่ Final Control Element เพื่อควบคุมค่าตัวแปรต่างๆ อย่างอัตโนมัติ และ Software ก็คือ โปรแกรม SCADA ที่กล่าวมาข้างต้น



ภาพที่ 6 ตัวอย่างรูปแบบระบบ SCADA

ที่มา: SCADA club.com (2007)

ในส่วนของการทดลอง ผู้วิจัยได้เลือกใช้ระบบ SCADA เป็นเครื่องมือช่วยในการควบคุมสภาพแวดล้อมของการปลูกพืชไร่นาในระบบรากแขวนในแนวตั้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ ดังนี้

ข้อดี

- เพื่อช่วยแบ่งเบาการทำงานแบบซ้ำ ๆ ได้แก่ ค่า EC pH อุณหภูมิ ความชื้น และช่วงเวลาการทำงานของปั๊ม
- ผู้ดูแลสามารถปลีกตัวไปใช้เวลาสำหรับทำงานอื่นให้เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น
- เพื่อให้ช่วยควบคุมการทำงานได้อย่างสะดวกรวดเร็วหรือซับซ้อนให้คงที่และทั่วถึง
- เป็นการลดจำนวนแรงงานในการผลิตที่เป็นต้นทุนการผลิตอย่างหนึ่งให้ลดลง
- เป็นการลดปัญหาด้านประสิทธิภาพของแรงงาน และการขาดแคลนแรงงาน

- มีการเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตได้อย่างมีแบบแผน
 - การทำงานตรงเวลา และคงที่แน่นอน
 - กระบวนการทุกขั้นตอนเป็นมาตรฐานที่แน่นอนเสมอ
 - แม้ว่าจะมีข้อเสียอยู่บ้าง แต่ในระยะยาวเมื่อเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียแล้วถือว่าคุ้มค่า
 - สามารถควบคุมการจัดการพลังงานที่ใช้ในการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ
 - สามารถลดเวลาการทำงานของแรงงานได้อย่างน้อย 50% ของเวลาการทำงานทั้งหมดของแรงงาน
- นอกจากนี้ ระบบ SCADA ยังมีข้อเสีย ได้แก่
- ต้องใช้แรงงานที่มีความรู้ความเข้าใจในระบบคอมพิวเตอร์เบื้องต้นและมีความรับผิดชอบเป็นอย่างสูง
 - พลังงานไฟฟ้ามีส่วนสำคัญกับระบบ
 - เมื่อต้องการความเที่ยงตรงในการทำงานของระบบสูง อุปกรณ์ที่ใช้จึงจำเป็นต้องมีคุณภาพสูง ซึ่งมีค่าความผิดพลาดน้อย จึงทำให้อุปกรณ์มีราคาสูง
 - ต้องมีความเข้าใจและเอาใจใส่ในระบบ SCADA เป็นพิเศษ ได้แก่ อุปกรณ์ตรวจวัดค่าทางไฟฟ้า หรืออุปกรณ์ทางไฟฟ้า-เครื่องกล
 - ต้องผลิตในลักษณะฟาร์มขนาดกลางถึงใหญ่เท่านั้นจึงจะคุ้มทุน

การศึกษาดูงานที่เกี่ยวข้อง

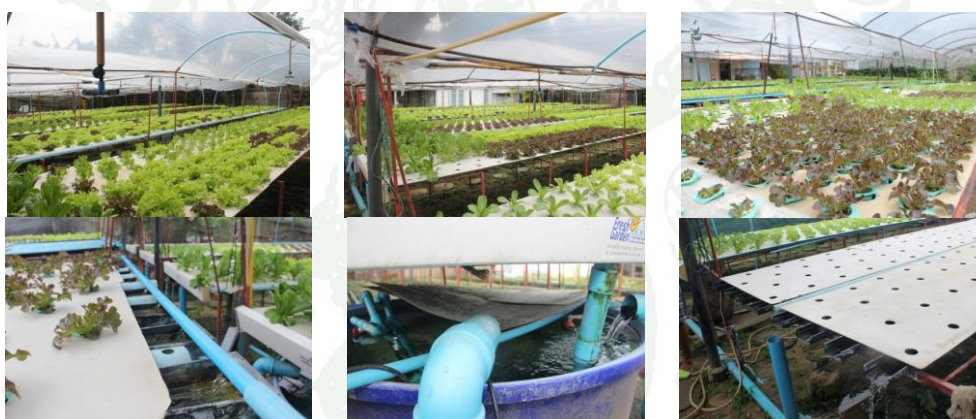
การศึกษาดูงานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยการปลูกพืชไร้ดิน ในประเทศไทย 3 แห่ง ได้แก่

1. บริษัท ศูนย์เกษตรกรรมบางไทร จำกัด. จากการศึกษาพบว่า เป็นบริษัทฯ ที่ดำเนินธุรกิจ เกี่ยวข้องกับการเกษตรกรรม โดยใช้รูปแบบการผลิตพืชไร้ดิน (Soilless Culture) ได้แก่ ระบบ Hydroponics แบบ DFT และระบบ Aeroponics สำหรับการผลิตผักสดรับประทานใบ เช่น ผักสลัด โดยวัตถุประสงค์ของศูนย์เกษตรกรรมบางไทร คือ ต้องเป็นผู้นำด้านการผลิตพืชแผ่นใหม่ ของไทยในมาตรฐานระดับโลก เป็นศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยีการปลูกพืชไร้ดิน รวมทั้งส่งเสริม สนับสนุนเกษตรกรให้ลดปริมาณการใช้สารเคมีกำจัดแมลงและศัตรูพืช และมีสภาพแวดล้อมของ การปลูกในลักษณะปลูกบนโต๊ะปลูก ติดตั้งกลางแจ้งได้รับแสงตลอดวัน มีการคลุมด้วยมุ้งตาข่าย สีขาวเพื่อกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ (35%) อีกทั้งไม่มีการติดตั้งหัวพ่นน้ำแบบเป็นละอองฝอย คลุมด้านบน เพื่อช่วยลดความร้อนแก่พืช



ภาพที่ 7 บริษัท ศูนย์เกษตรกรรมบางไทร จำกัด. เลขที่ 106/361 หมู่ที่ 6 ซอยนวมินทร์ 70
ถ.นวมินทร์ แขวง.คลองกุ่ม เขต.บึงกุ่ม กรุงเทพฯ 10240

2. บริษัท Jones's Salad Farm จำกัด. จากการศึกษพบว่า เป็นบริษัทฯ ผู้ผลิตและจัดจำหน่ายผักสลัดไฮโดรโปนิคส์ทั้งปลีกและส่งผักสลัดปลอดสารพิษมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยไม่ใช้สารเคมีและยาฆ่าแมลง จึงมีปลอดภัยต่อการบริโภค พืชที่ปลูก เช่น กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค บัตเตอร์เฮด คอส ฟิลเด ไอซ์เบิร์ก และเรดคอรด์ เน้นจำหน่ายหน้าฟาร์มแก่ผู้บริโภคโดยตรง และพัฒนาสู่มาตรฐาน GAP มีสัญลักษณ์ตัว Q รับรองคุณภาพ เจ้าของกิจการ คือ คุณชัยยุทธ สุทธิโยธา ใช้เงินลงทุน 800,000 บาท ขนาดพื้นที่ประมาณ 200 ตารางวา เป็นระบบการปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์ แบบ DFT มีสภาพแวดล้อมของการปลูกในลักษณะปลูกบนโต๊ะปลูก ติดตั้งกลางแจ้งได้รับแสงตลอดวัน มีการคลุมด้วยมุ้งตาข่ายสีขาวเพื่อกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ อีกทั้งมีการติดตั้งหัวพ่นน้ำแบบเป็นละอองฝอยคลุมด้านบน เพื่อช่วยลดความร้อนแก่พืชในบางช่วงเวลาที่อากาศร้อนจัดเท่านั้น ปัญหาที่พบของการผลิต คือ มีความยากต่อการควบคุมให้เป็นไปตามมาตรฐาน GAP ทำให้ผลผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด



ภาพที่ 8 บริษัท Jones's Salad Farm จำกัด. เลขที่ 44/70 ถนนสุขาภิบาล 5 ซอย 5 แขวง 1 รามอินทรา 39 แขวงท่าแร้ง เขตบางเขน กรุงเทพฯ E-mail: chaiyuth@jones-salad.com

3. Farm Salad Time ผลการศึกษาพบว่า Farm Salad Time เป็นผู้ผลิตรายใหม่ เริ่มผลิตได้ 6-8 เดือน และจัดจำหน่ายผักสลัดไฮโดรโปนิคส์ บนพื้นที่ 150 ตารางวา เช่น กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค บัตเตอร์เฮด คอส ฟิลเดย์ - ไอซ์เบิร์ก และเรดคอรด์ เน้นจำหน่ายหน้าฟาร์มแก่ผู้บริโภคโดยตรง เจ้าของกิจการ คือ คุณนิธิตา ครอบประัญญา ใช้เงินลงทุน 850,000 บาท เป็นระบบการปลูกระบบ NFT มีสภาพแวดล้อมของการปลูกในลักษณะปลูกในรางปลูก ติดตั้งกลางแจ้งได้รับแสงตลอดวัน ไม่มีการคลุมด้วยมุ้งตาข่ายสีขาวเพื่อกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ แต่มีการติดตั้งหัวพ่นน้ำแบบเป็นละอองฝอยฉีดคลุมด้านบนชุดปลูก เพื่อช่วยลดความร้อนให้พืชทุก ๆ ช่วงเวลา 30 นาที ปัญหาที่พบของการผลิต คือ ผู้ผลิตประสบกับปัญหาด้านพนักงานที่ขาดความรู้ความเข้าใจ และมีการเปลี่ยนพนักงานบ่อย ทำผลผลิตที่ได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด



ภาพที่ 9 Farm Salad time ซอยหมู่บ้านปัญญารามอินทรา เขตบางชั้น กรุงเทพฯ

ตารางที่ 3 ผลสรุปสำหรับการลงพื้นที่ดูงานฟาร์มผักไฮโดรโปนิกส์

ศูนย์เกษตรกรรมบางไทร	Jone's Salad Farm	Farm Salad Time
ลักษณะการประกอบกิจการ		
ให้การฝึกอบรม, จัดจำหน่ายอุปกรณ์การปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์, สารอาหารและเมล็ดพันธุ์พืช	ให้การฝึกอบรม, จัดจำหน่ายผลผลิตในระบบไฮโดรโปนิกส์เป็นหลักและพัฒนาสู่มาตรฐาน GAP	จำหน่ายผลผลิตในระบบไฮโดรโปนิกส์แต่เพียงอย่างเดียว
ระบบการปลูกพืช		
มีการปลูกพืชแบบสาธิตในระบบ DFT ละระบบบรากแขวน	มีการปลูกพืชในระบบ DFT	มีการปลูกพืชในระบบ NFT
สภาพแวดล้อม		
สภาพแวดล้อมของการปลูก เป็นการปลูกในลักษณะปลูกบนปลูกติดตั้งกลางแจ้งมีการคลุมด้วยมุ้งตาข่ายสีขาวเพื่อกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ (35%) ไม่มีการติดตั้งชุดพ่นน้ำเพื่อลดความร้อนให้พืช	สภาพแวดล้อมของการปลูก เป็นการปลูกในลักษณะปลูกบน โต๊ะปลูกติดตั้งกลางแจ้งมีการคลุมด้วยมุ้งตาข่ายสีขาวเพื่อกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ และมีการติดตั้งหัวพ่นน้ำแบบเป็นละอองฝอยฉีดคลุมด้านบนขุปลูกเพื่อช่วยลดความร้อนให้พืชในบางช่วงเวลาเท่านั้น	สภาพแวดล้อมของการปลูก เป็นการปลูกในลักษณะปลูกในรางปลูกติดตั้งกลางแจ้ง ไม่มีการคลุมด้วยมุ้งตาข่ายสีขาวเพื่อกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ แต่มีการติดตั้งหัวพ่นน้ำแบบเป็นละอองฝอยฉีดคลุมด้านบนขุปลูกเพื่อช่วยลดความร้อนให้พืชทุกๆ ช่วงเวลา 30 นาที

ในการวิจัยนี้ ศึกษาแนวคิดทฤษฎีการปลูกพืชไร้ดินในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อให้แน่ใจว่าจะใช้แนวทางหรือวิธีการใด ในการแก้ไขปัญหาการวิจัย รวมทั้งศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้วว่า ได้มีการศึกษาปัญหาวิจัยดังกล่าวอย่างไร เพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อไป จากการตรวจเอกสารเรื่องการปลูกพืชแบบไร้ดิน (Hydroponics) ในรูปแบบต่าง ๆ การศึกษางานวิจัยเรื่องระบบแอร์โรโพนิกส์ทรงกระบอก ของ ณรงค์ศักดิ์ และคณะ (2547) และงานวิจัยเรื่องผลของรูปแบบแผ่นปลูกพืช และอัตราพ่นต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดในระบบแอร์โรโพนิกส์ ของโสระยา และคณะ (2548) รวมทั้งการศึกษาดูงาน จากการศึกษาข้อมูลดังกล่าว จึงเป็นเหตุผลในการพิจารณาระบบการปลูกพืชไร้ดินระบบรากแขวนในแนวตั้ง (Aeroponics) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรมการควบคุมอัตโนมัติ SCADA เพื่อให้การใช้งานมีระบบอัตโนมัติควบคุม ที่ช่วยควบคุมปัจจัยในการปลูกพืชให้มีความคงที่ ในด้านอุณหภูมิ ความชื้น ความเป็นกรด-ด่างของน้ำและสารอาหาร ความเข้มข้นของสารละลายอาหาร ซึ่งจะมีผลต่อการเติบโตของพืช

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์

1. วัสดุพันธุ์พืช

เมล็ดพันธุ์ผักกรีนคอส	
เมล็ดพันธุ์ผักฟิลเลย์ไอซ์เบิร์ก	
เมล็ดพันธุ์ผักเรดปิตตาเวีย	
เมล็ดพันธุ์ผักกรีนโอ๊ค	
เมล็ดพันธุ์ผักเรดโอ๊ค	
เมล็ดพันธุ์ผักบัตเตอร์เฮด	

ภาพที่ 10 เมล็ดพันธุ์พืชชนิดที่เลือกใช้

กิ่งพันธุ์วอเตอร์เครส	
กิ่งพันธุ์ผักเบี๊ยะแดง	
กิ่งพันธุ์ก้ามปูหลอด	

ภาพที่ 11 ต้นพันธุ์พืชชนิดที่เลือกใช้

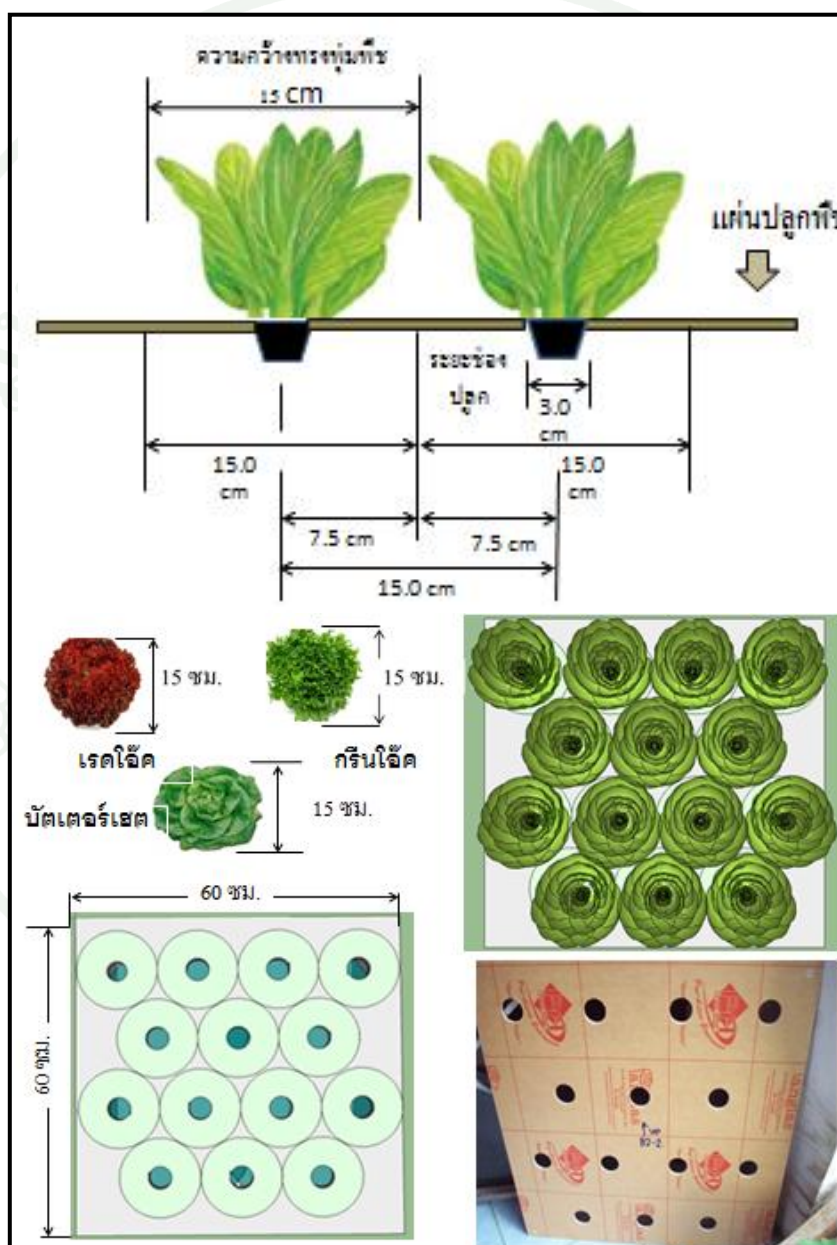
2. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้งานทั่วไป

- 2.1 ผ้าขาวบางคลุมฟองน้ำเพาะกล้าพืช
- 2.2 มีดขนาดเล็ก
- 2.3 หนีบเมล็ดพันธุ์ (แหนบ)
- 2.4 ที่ถาดเพาะพันธุ์ กล้าพืช
- 2.5 ฟองน้ำเพาะเมล็ดพืช
- 2.6 สารละลายอาหารพืชชนิด A และ B
- 2.7 สมุดบันทึกช่วยจำ
- 2.8 ดินสอ ยางลบ หรือปากกา
- 2.9 ไม้บรรทัด หรือสเกลวัดขนาด
- 2.10 กล้องถ่ายรูปดิจิทัล
- 2.11 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

3. ผนังปลูกพืชแนวตั้งให้มีขนาด (กว้าง 1,800 ซม.) x (ยาว 1,800 ซม.) x (ลึก 40 ซม.)

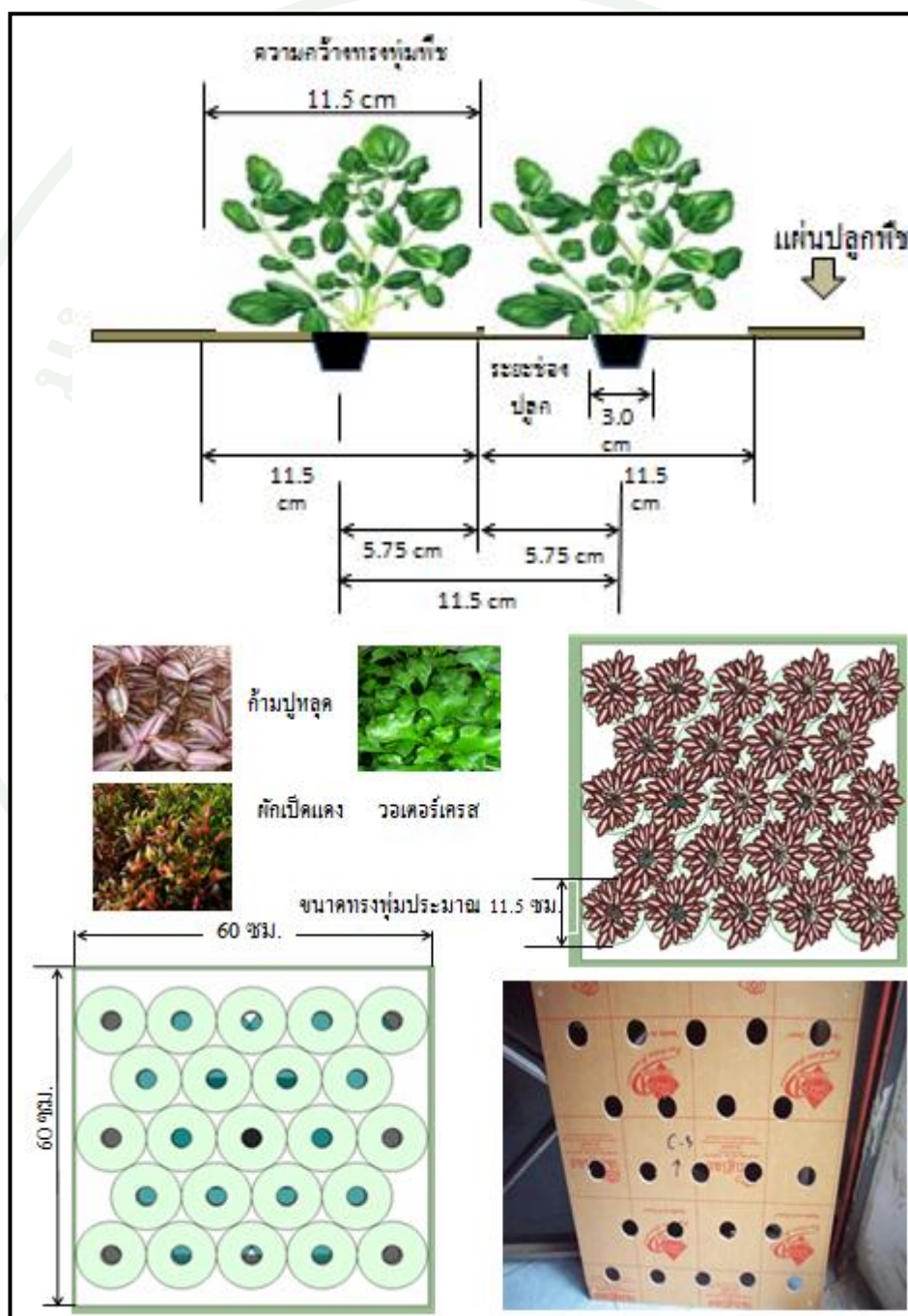
ออกแบบให้มีแผ่นปลูกพืช จำนวน 9 แผ่น ซึ่งจะประกอบไปด้วย 3 ส่วน

3.1 แผ่น Acrylic ปลุกพืชชนิด 14 ช่องปลูกได้ออกแบบให้มีขนาด (กว้าง 60 ซม.) x (ยาว 60 ซม.) x (หนา 0.5 ซม.) จำนวน 3 แผ่น ใช้สำหรับปลูกผักทรงพุ่ม 3 ชนิด แผ่นที่ 1 ปลูกเรดโอ๊ค แผ่นที่ 2 ปลูกกรีนโอ๊ค แผ่นที่ 3 ปลูกบัตเตอร์เฮด (ดังภาพที่ 12) จำนวน 14 ช่องปลูก คิดมาจากขนาดวงรัศมีทรงพุ่มพืชต่อพื้นที่ของแผ่นปลูก



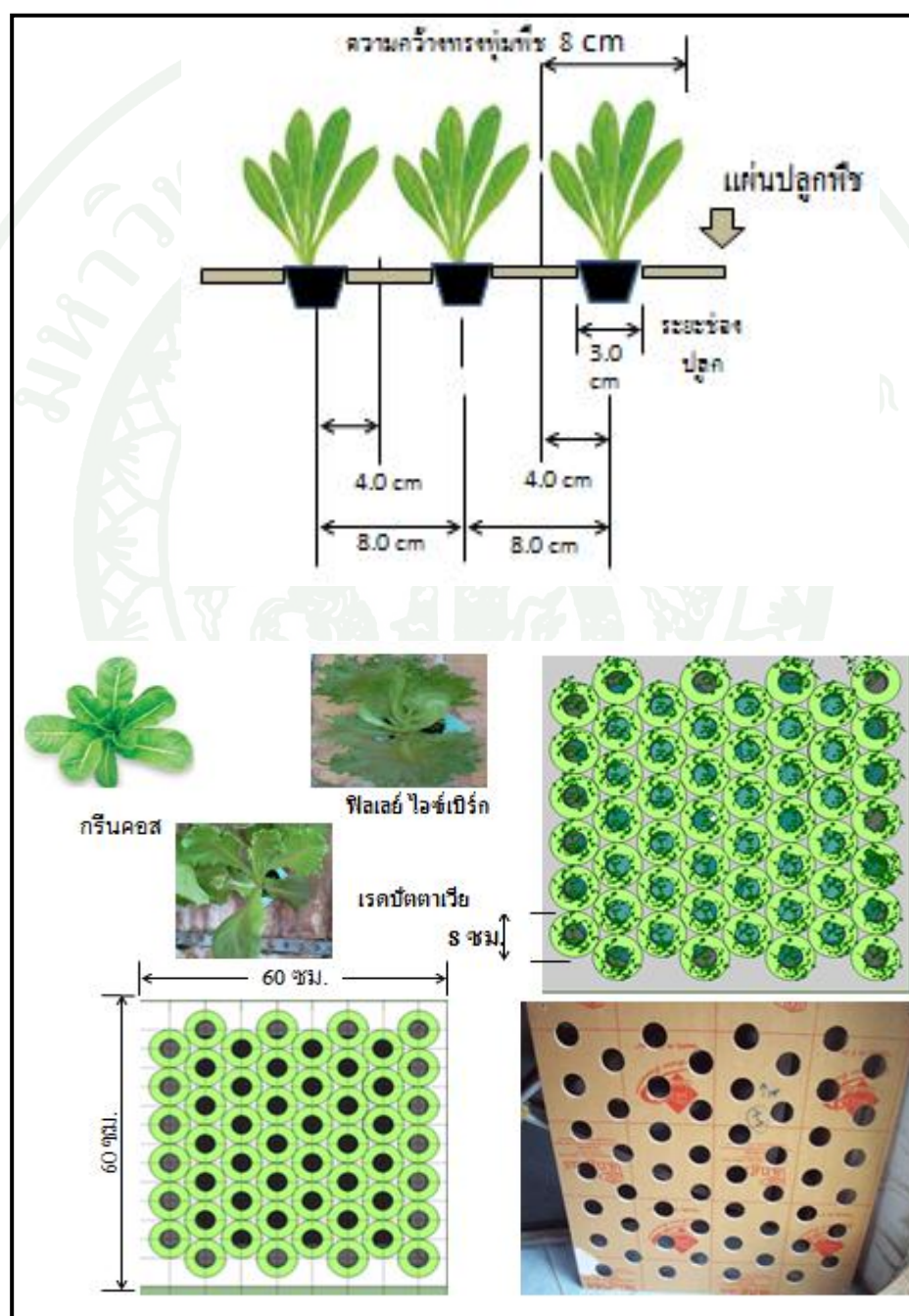
ภาพที่ 12 แผ่น Acrylic ปลูกผักทรงพุ่ม 3 ชนิดๆ ละ 14 ช่องปลูก

3.2 แผ่น Acrylic ปลุกพืชชนิด 23 ช่องปลูกได้ออกแบบให้มีขนาด (กว้าง 60 ซม.) x (ยาว 60 ซม.) x (หนา 0.5 ซม.) จำนวน 3 แผ่น ใช้สำหรับปลูกไม้คลุมดิน 3 ชนิด แผ่นที่ 1 ปลูก ก้ามปูหลุด แผ่นที่ 2 ปลูกวอเตอร์เครส และแผ่นที่ 3 ปลูกผักเป็ดแดง (ดังภาพที่ 13) จำนวน 23 ช่อง ปลูก คัดมาจากขนาดวงรีที่มีทรงพุ่มพืชต่อพื้นที่ของแผ่นปลูก



ภาพที่ 13 แผ่น Acrylic ปลูกไม้คลุมดิน 3 ชนิดๆ ละ 23 ช่องปลูก

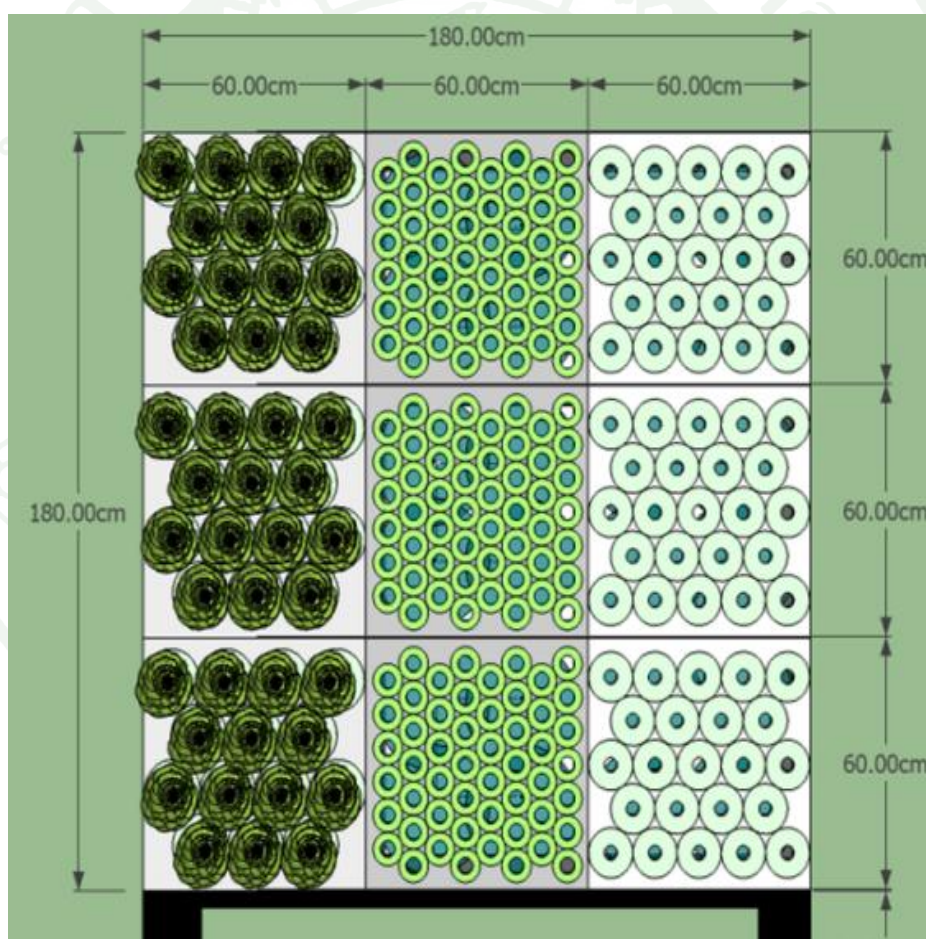
3.3 แผ่น Acrylic ปลุกพืชชนิด 52 ช่องปลูกที่ได้ออกแบบให้มีขนาด (กว้าง 60 ซม.) x (ยาว 60 ซม.) x (หนา 0.5 ซม.) จำนวน 3 แผ่น ใช้สำหรับปลูกผักทรงอื่น 3 ชนิด แผ่นที่ 1 ปลูกผักกรีนคอส แผ่นที่ 2 ปลูกผักฟิลเลย์ ไอซ์เบิร์ก แผ่นที่ 3 ปลูกเรดปัตตาเวีย (ดังภาพที่ 14) จำนวน 52 ช่องปลูก คิดมาจากขนาดวงรัศมีทรงพุ่มพืชต่อพื้นที่ของแผ่นปลูก



ภาพที่ 14 แผ่น Acrylic ปลูกผักทรงอื่น 3 ชนิดๆ ละ 52 ช่องปลูก

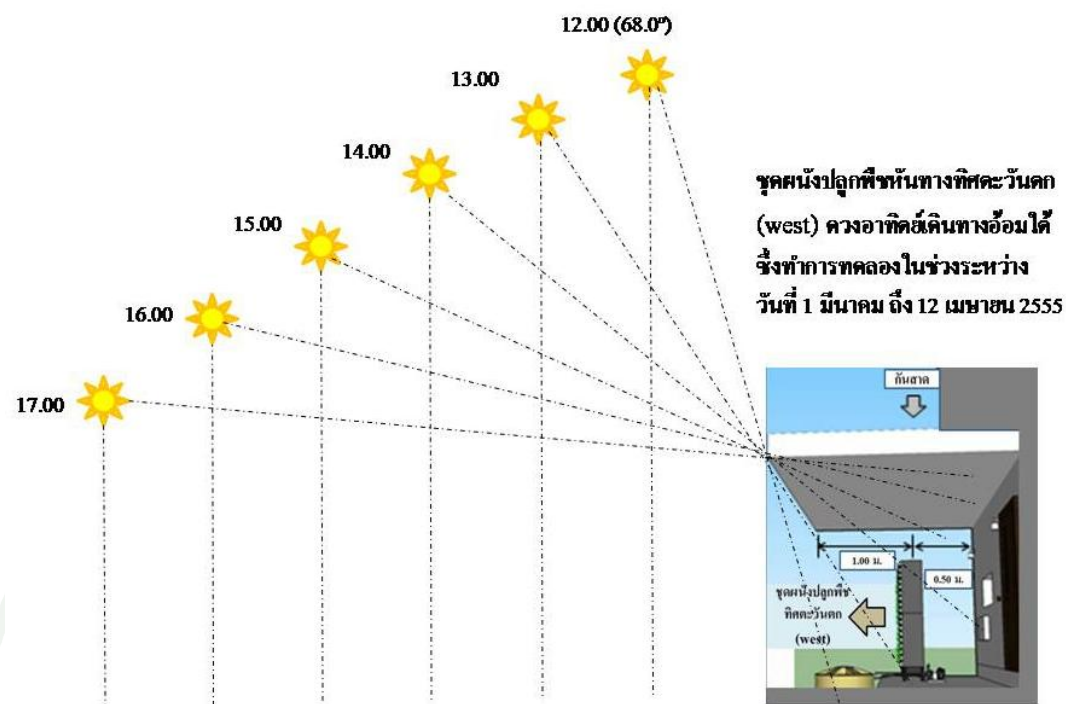
การติดตั้งและวางตำแหน่งผนังปลูกพืช ในงานวิจัยมีสภาพแวดล้อม ดังนี้

- ผนังปลูกพืชติดตั้งหันหน้าไปทางทิศตะวันตก
- ติดตั้งอยู่ภายใต้กันสาดได้รับแสงแดดครึ่งวัน
- ผนังปลูกพืชแนวตั้งมีขนาด (กว้าง) 1.80 ม. x (ยาว) 1.80 ม. x (ลึก) 0.40 ม.
- มีแผ่นปลูก 9 แผ่นสามารถปลูกพืชได้ 534 ต้น



(ก) ชุดผนังปลูกพืชแนวตั้ง

ภาพที่ 15 ชุดผนังปลูกพืชแนวตั้งและตำแหน่งการวางผนังปลูกพืชแนวตั้งและสภาพแวดล้อมโดยรอบ



Bangkok [BKK], Thailand, 03/01/2012 [13 55' N, 100 37' E] Time Zone: UTC +7, DST: No

« Thursday, 1st March 2012 » Time (24 hr)

Azim.Alt.06:3098°2'06:4599°2'07:00100°5'07:15101°9'07:30102°13'07:45103°16'08:00
104°20'08:15105°23'08:30106°27'08:45108°30'09:00110°34'09:15111°37'09:30113°41'
°09:45116°44'10:00118°47'10:15121°50'10:30124°53'10:45128°56'11:00133°59'11:151
38°62'11:30145°64'11:45152°66'12:00161°67'12:15170°68'12:30181°69'12:45191°68°
13:00200°67'13:15209°66'13:30216°64'13:45223°62'14:00228°59'14:15233°56'14:3023
7°53'14:45240°50'15:00243°47'15:15246°44'15:30248°40'15:45250°37'16:00252°30°

แสดงเวลาและองศาดวงอาทิตย์ขึ้นและตก ช่วงเวลาระหว่างเดือนมีนาคม 2012

ที่มา: [www. Time End Date.com](http://www.TimeEndDate.com)

(ข) ตำแหน่งการวางผนังปลูกพืชแนวตั้งและสภาพแวดล้อมโดยรอบ

ภาพที่ 15 (ต่อ)

4. อุปกรณ์ระบบน้ำ และระบบไฟฟ้า แยกดังนี้

4.1 ปั๊มที่ใช้ มี 3 ประเภท ได้แก่

ปั๊มฟลูตสารละลายอาหารพืชขนาด (4 ลิตร / ชม.) 5 W / AC. 24 Volt / 50 Hz / H-max 1 ม.	
ปั๊มฉีดสเปรย์น้ำ และสารละลายอาหารพืช 150 W / 220 Volt / 50 Hz / H-max 12 ม.(32 L/min)	
ปั๊มหมุนเวียนสำหรับป้องกันสารละลายอาหารพืชตกตะกอน 60 W / 220 Volt / 50 Hz / (H-max 2.7 ม.)	

ภาพที่ 16 ชุดปั๊มน้ำทั้ง 3 ประเภทที่เลือกใช้

4.2 อุปกรณ์งานระบบจัดเก็บน้ำ - จ่ายน้ำ และสารละลายอาหารพืช

ถังเก็บน้ำและสารอาหารขนาด 200 ลิตร	
ถังเก็บสารอาหารขนาด 5 ลิตร	
ชุดกรองสิ่งสกปรกที่มากับน้ำ ประปา	
ชุดมาตรวัดน้ำประปา	
ชุดอุปกรณ์ประกอบท่อน้ำประปาชนิด PVC	
ชุดอุปกรณ์ประตุน้ำไฟฟ้า 24 Vac. / 50 Hz	
ชุดพ่นสเปรย์น้ำและสารอาหารแบบฝอยละเอียด	
ชุดสายอ่อน PE สีดำ ขนาด Dia.= 5 mm	

ภาพที่ 17 อุปกรณ์งานระบบน้ำ

4.3 ชุดหัววัด และควบคุม

ชุดวัดค่าความนำไฟฟ้า (EC) Accuracy ($\pm 2\%$) Range 0 - 1999 $\mu\text{s}/\text{cm.}$, 4-20 mA	
ชุดวัดค่าความเป็นกรดและเบส (pH) Accuracy ($\pm 2.2\%$) 4-20 mA	
ชุดวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น TEMP (0 to 60°C) + RH% (0 to 100%) Accuracy ($\pm 2\%$) 4-20 mA	
ชุดวัดค่าอุณหภูมิ TEMP (0 to 80°C) Accuracy ($\pm 2.5\%$) 4-20 mA	

ภาพที่ 18 ชุดอุปกรณ์หัววัด และควบคุมชนิดที่เลือกใช้

4.4 ชุดควบคุมระบบไฟฟ้า – เครื่องกล

ชุดควบคุมระบบจ่ายไฟฟ้า 220 Vac. & 24 Vac.	
ชุดจ่ายสัญญาณไฟฟ้า 4-20 mA.	
ชุดควบคุมและประมวลผล (PLC) Model. Do-05DR, KOYO 220Vac	
ชุดคอมพิวเตอร์ พีซี สำหรับติดตั้งโปรแกรม SCADA Window –XP, Duo-Core 2	
ชุดแสดงผลการทำงาน LCD 17"	
ชุดมาตรวัดไฟฟ้า	

ภาพที่ 19 ชุดควบคุมระบบไฟฟ้า – เครื่องกล

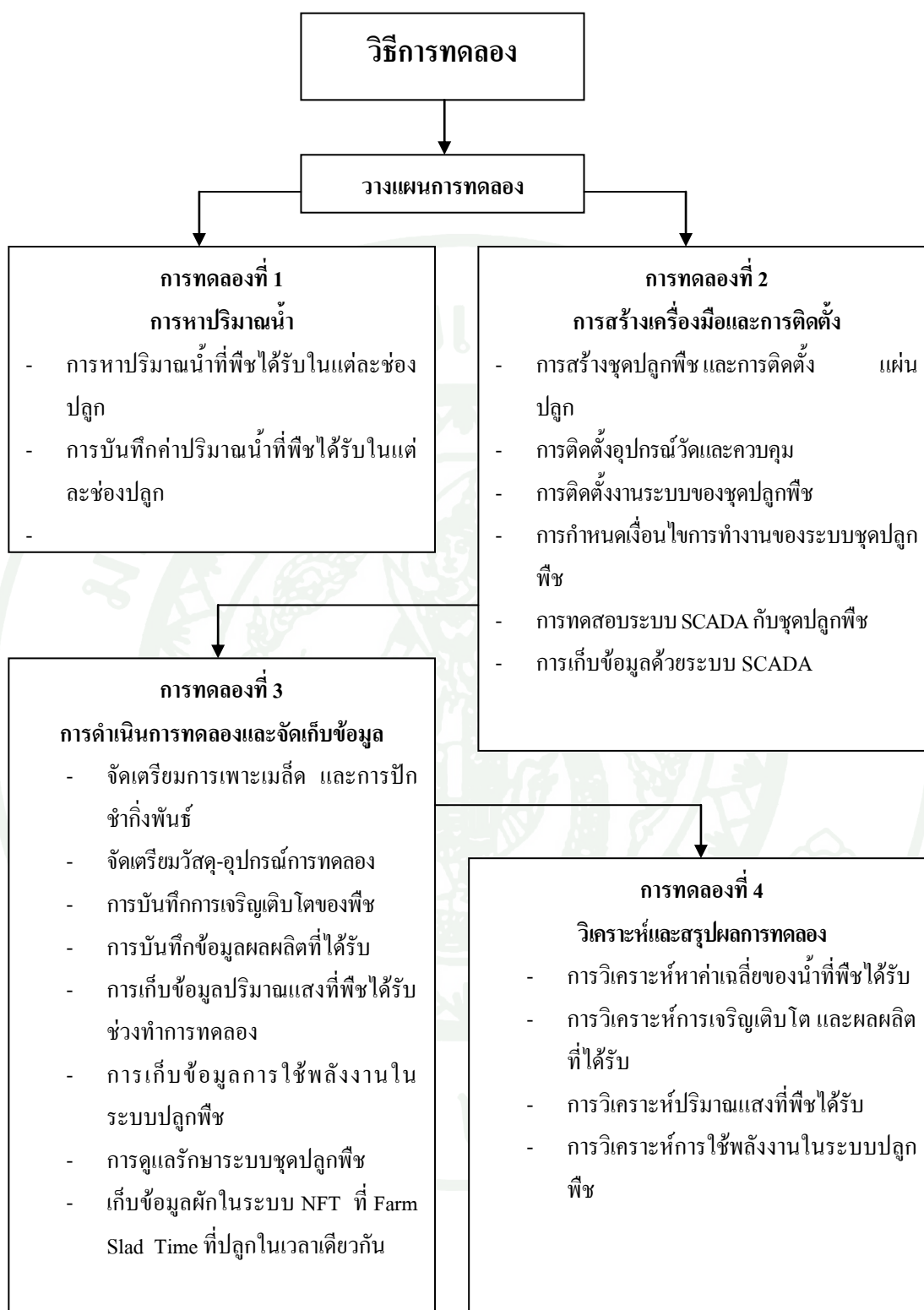
วิธีการทดลอง

วิธีการทดลอง แบ่งออกได้ดังนี้

1. แผนการดำเนินงาน ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษารวบรวมข้อมูล ระบบแอร์โรโพนิกส์ แนวตั้งจนกระทั่งได้ดำเนินการออกแบบ รวมถึงการติดตั้งอุปกรณ์ และเก็บผลผลิตในครั้งนี้นั้น ได้ใช้ระยะเวลาในการดำเนินงานทั้งสิ้น 10 เดือน คือ ตั้งแต่เดือน สิงหาคม 2554 จนกระทั่งถึงสิ้นเดือน พฤษภาคม 2555 ทั้งนี้เป็นการดำเนินการวิจัยแบบต่อเนื่อง ซึ่งขั้นตอนในการดำเนินงานทั้งหมดแสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แผนการดำเนินงานและทดลองวิจัย

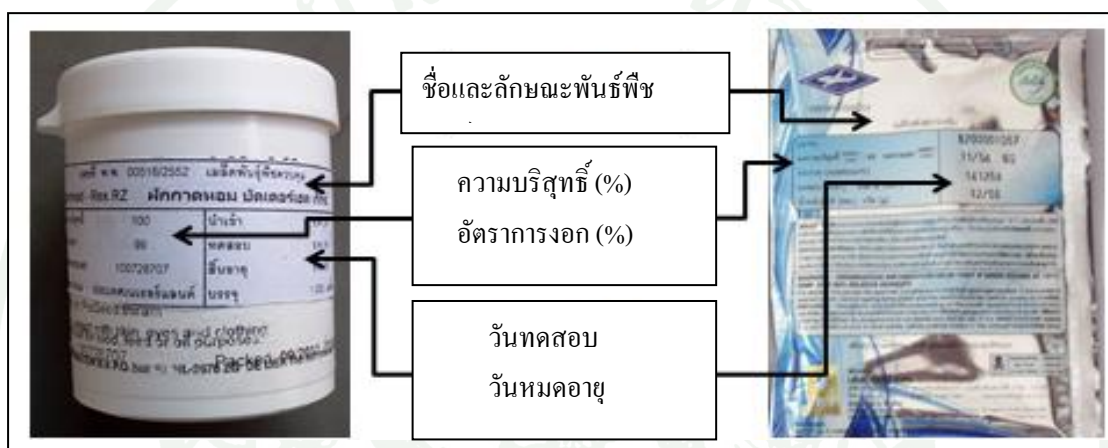
รายการ	ส.ค. 54	ก.ย. 54	ต.ค. 54	พ.ย. 54	ธ.ค. 54	ม.ค. 54	ก.พ. 55	มี.ค. 55	เม.ย. 55	พ.ค. 55
1. เสนอโครงการ	←→									
2. เก็บข้อมูลและเตรียมอุปกรณ์			←→							
3. เตรียมต้นกล้าพันธุ์พืชสำหรับการทดลอง				←→						
4. สร้างเครื่องมือ, การติดตั้งและทดสอบระบบ					←→					
5. ดำเนินการทดลองและจัดเก็บข้อมูล						←→				
6. วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง, จัดทำรายงาน									←→	
7. นำเสนอผลงาน										←→



ภาพที่ 20 ไคอะแกรมวิธีการทดลอง

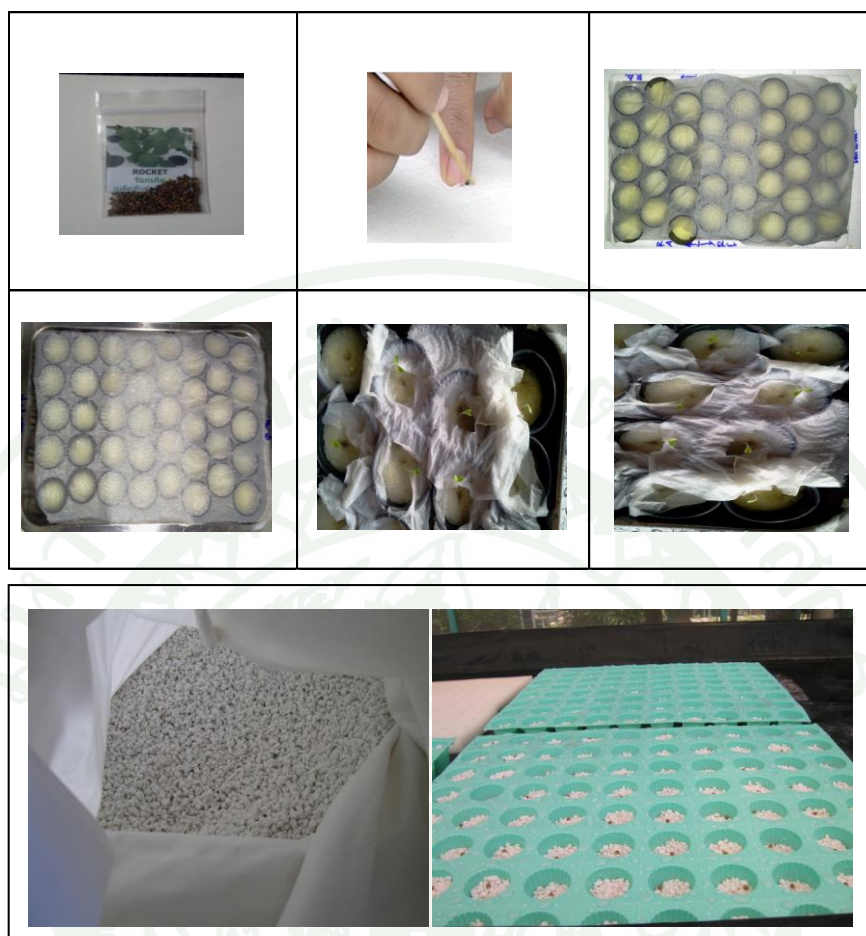
2. การทดลองที่ 1 การจัดเตรียมต้นกล้าพันธุ์พืช มีการจัดเตรียมพันธุ์พืชที่แบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

2.1 โดยการเพาะเมล็ดพันธุ์พืชที่ใช้วิธีการเพาะเมล็ดได้แก่ ผักฟิลเลย์ กรีนคอส บัตเตอร์เฮด เรด-กรีนโอ๊ค และเรดปิตตาเวีย โดยคัดเลือกเมล็ดพันธุ์พืชที่สมบูรณ์ได้รับการรับรองจากผู้ผลิตว่ามีอัตราการงอกเกินกว่า 80 - 95% ดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 การคัดเลือกเมล็ดพันธุ์พืชที่สมบูรณ์

จากนั้นนำฟองน้ำ หรือเพอร์ไลต์ สำหรับเพาะบรรจุใส่ถาดเพาะ แล้วรดน้ำให้ชุ่มก่อนนำไปเพาะ โดยใช้ไม้ปลายแหลมจุ่มน้ำแล้วนำไปแตะกับเมล็ดพันธุ์ใส่ในฟองน้ำ หรือเพอร์ไลต์ประมาณ 1-2 เมล็ด, นำผ้ามาคลุมถาดเพาะไว้ รดน้ำทั้งเช้า และเย็นเป็นระยะเวลา 7 วัน เมล็ดก็จะงอก นำไปอนุบาลต้นกล้าเป็นระยะเวลา 3-4 วัน ก็จะได้นักกล้าที่พร้อมปลูก ดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 วิธีการเพาะกล้าพันธุ์พืชลงในฟองน้ำ หรือเพอร์ไลต์

2.2 โดยการปักชำกิ่งพันธุ์ ได้แก่ ก้ามปูหลุด วอเตอร์เครส และผักเป็ดแดงโดยมีวิธีคัดเลือกกิ่งพันธุ์พืชที่สมบูรณ์ มีอายุเหมาะสมในการเป็นกิ่งพันธุ์ และไม่ได้รับการรบกวนจากแมลงศัตรูพืช, นำฟองน้ำ หรือเพอร์ไลต์ที่ใช้สำหรับเพาะบรรจุใส่ถาดเพาะ แล้วรดน้ำให้ชุ่มก่อนนำกิ่งพันธุ์ใส่ในฟองน้ำหรือเพอร์ไลต์ 1 - 2 กิ่ง ใช้ผ้าขาวบางคลุมถาดเพาะ รดน้ำทิ้งเช้า และเย็นเป็นระยะเวลา 5-10 วัน กิ่งพันธุ์ ก็จะเริ่มงอกแตกยอดอ่อน นำต้นกล้าไปอนุบาลเป็นระยะเวลา 5 วัน ก็จะได้อายุต้นกล้าที่พร้อมย้ายลงบนแผงปลูกพืชสำหรับการทดลอง ดังภาพที่ 22-24



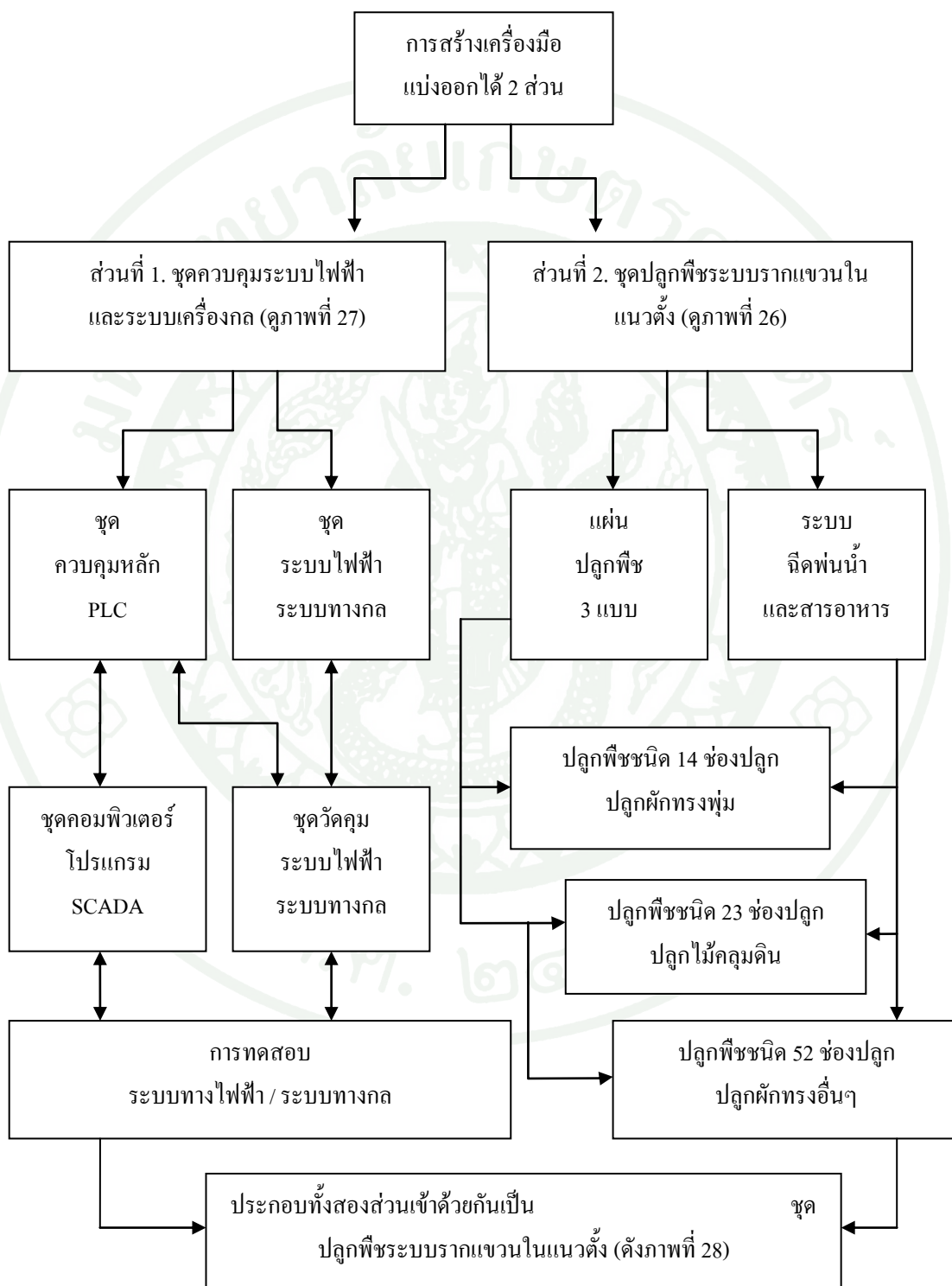
ภาพที่ 23 การคัดเลือกต้นพันธุ์



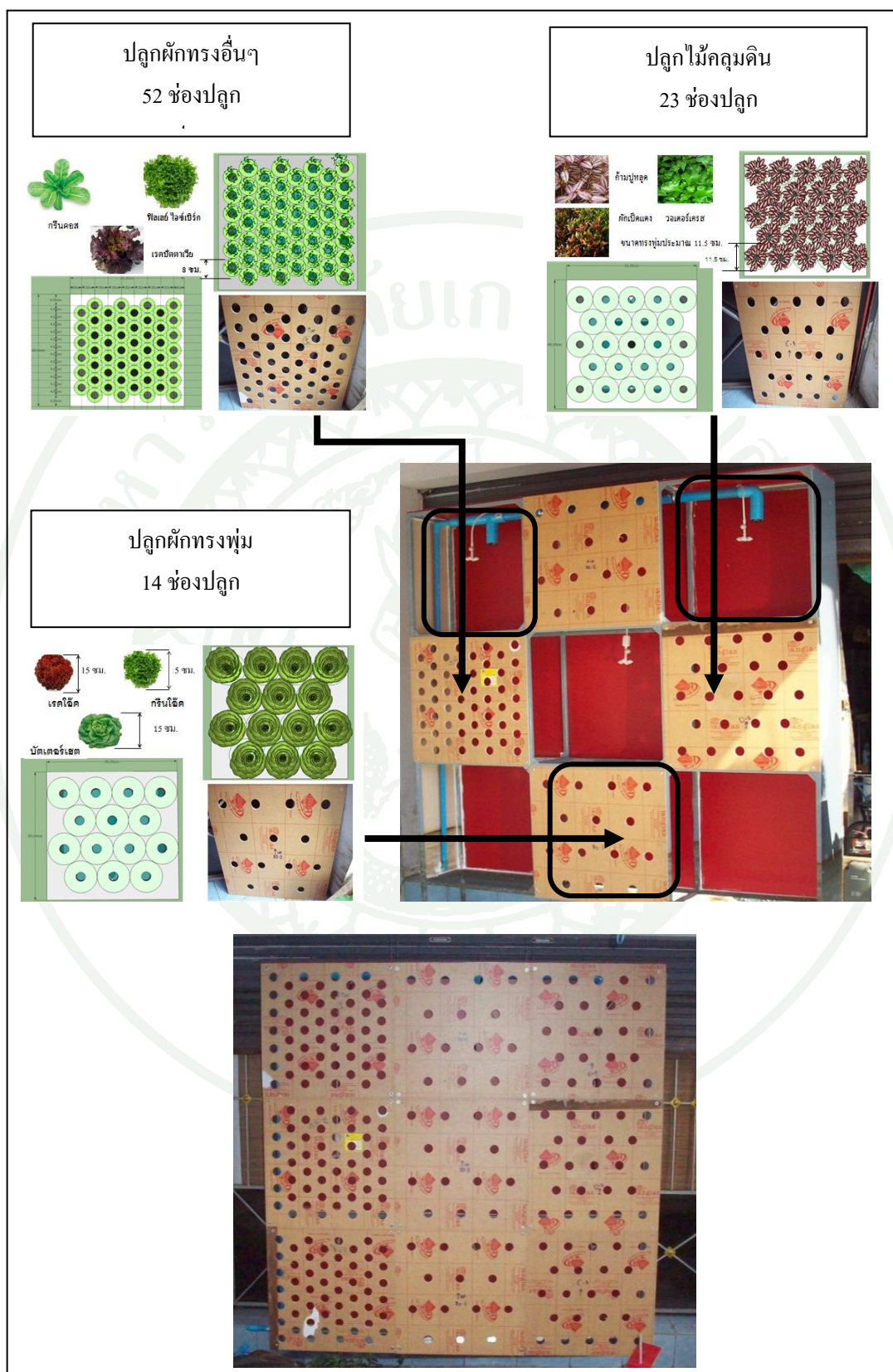
ภาพที่ 24 การปักชำต้นพันธุ์พืชลงตะกร้าเพาะ

3. การทดลองที่ 2

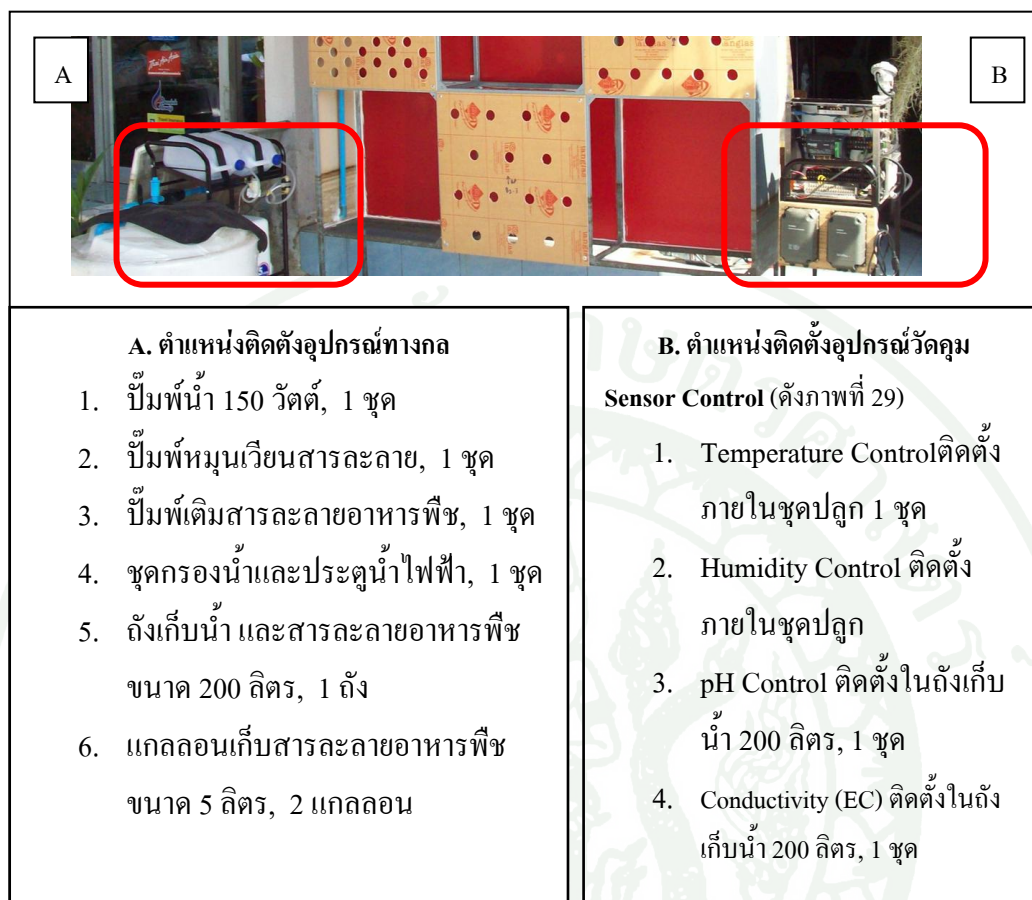
3.1 สร้างเครื่องมือ และการติดตั้งมีขั้นตอนที่แสดงรายละเอียด ดังภาพที่ 25-28



ภาพที่ 25 ไคอะแกรมขั้นตอนการสร้างเครื่องมือ



ภาพที่ 26 ตำแหน่งติดตั้งแผ่นปลูกพืชทั้ง 3 กลุ่มลงบนผนังปลูกพืชระบบรากแขวนในแนวตั้ง

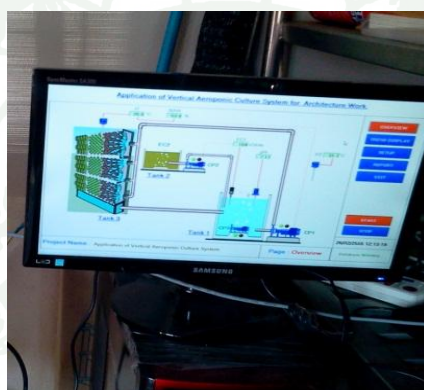
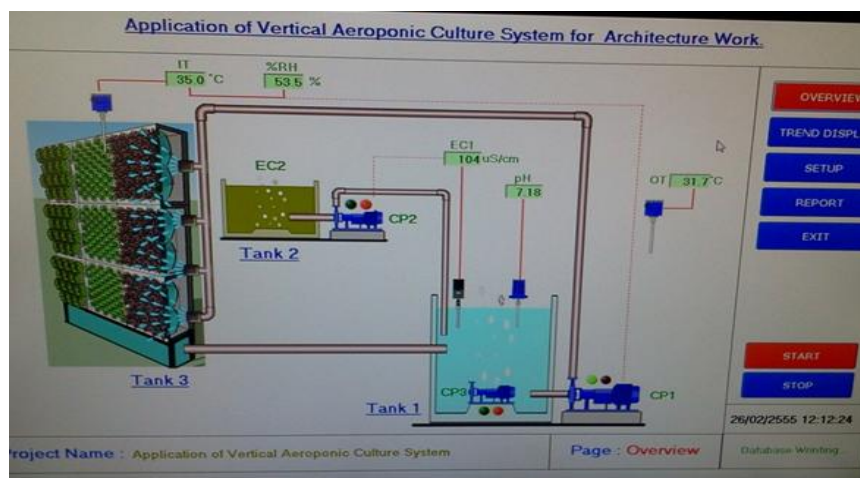


(a.)



(b.)

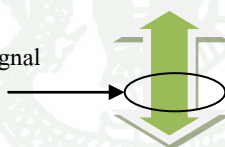
ภาพที่ 27 รายละเอียดตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ชุดวัดและควบคุมระบบไฟฟ้าและระบบเครื่องกล



ขยายภาพ

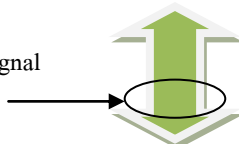
Monitor Control /
Computer
(ติดตั้งภายในอาคาร)

Communication Data Signal



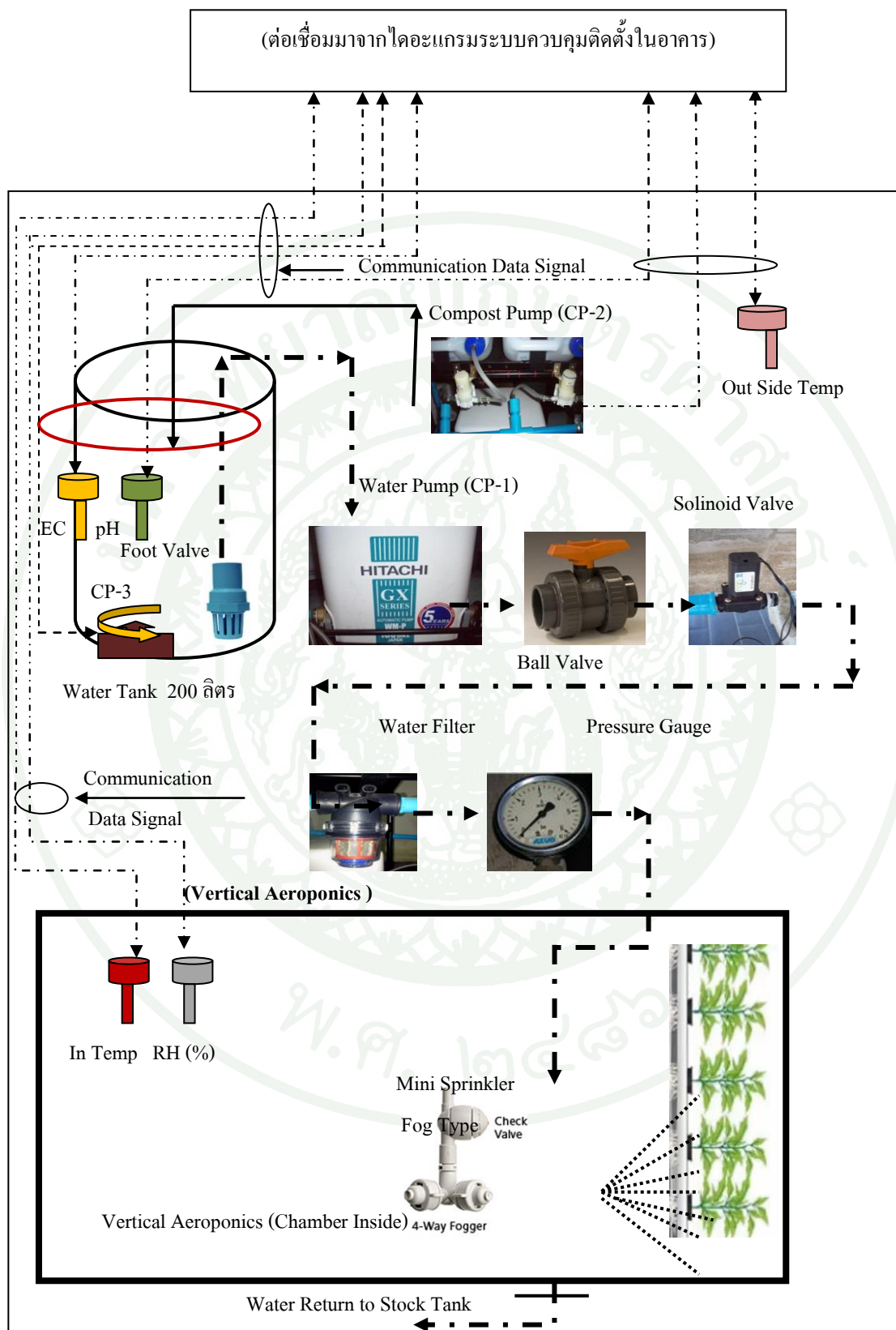
ชุดประมวลผล (PLC)
(ติดตั้งภายในอาคาร)

Communication Data Signal



(ต่อเชื่อมไปที่ไดอะแกรมระบบน้ำและชุดปลูกพืชที่ติดตั้งภายนอกอาคาร (ต่อหน้าถัดไป))

ภาพที่ 28 ไดอะแกรมการติดตั้งระบบของผนังปลูกพืชแนวตั้ง



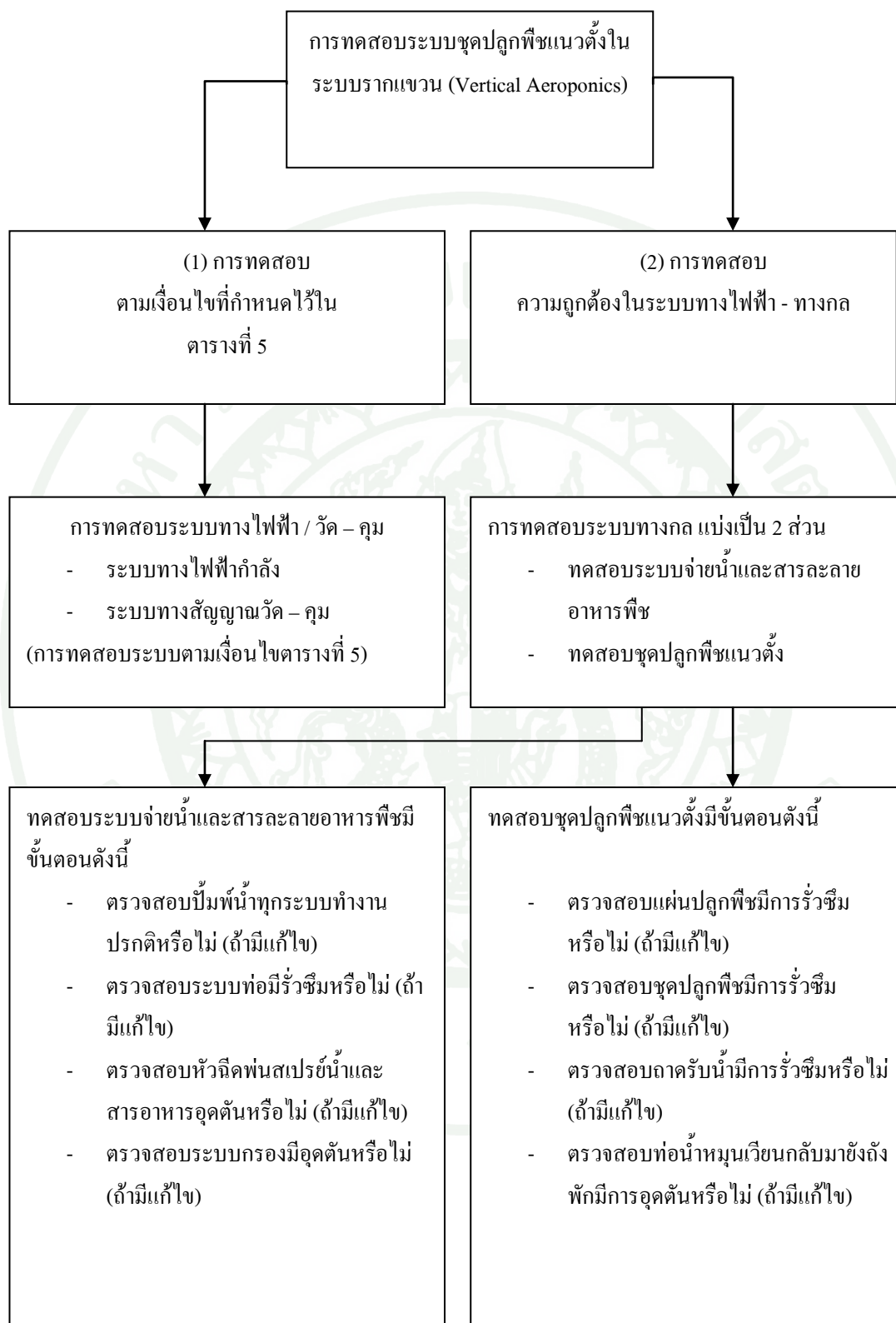
ภาพที่ 28 (ต่อ)

3.2 การทดสอบระบบให้เป็นตามเงื่อนไขตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 5 และดังภาพที่

28

ตารางที่ 5 เงื่อนไขการทำงานของระบบการควบคุมการสเปรย์น้ำ และสารอาหารพืช

เงื่อนไขการทำงาน	อุปกรณ์วัดและควบคุม (IN-PUT)	อุปกรณ์ประมวลผล (PROCESSING)	อุปกรณ์ที่ถูกสั่งการทำงาน (OUT-PUT)
สถานะปกติ	ทำงานตามเวลาที่ตั้งไว้ (30 วินาที หยุด 5 นาที)	PLC / SCADA	Water Pump Running
สถานะควบคุมความชื้น (RH %)	1. ความชื้นลดต่ำกว่าเกณฑ์ (70%) 2. ความชื้นสูงกว่าเกณฑ์ (95%)	PLC / SCADA PLC / SCADA	Water Pump Running Water Pump Stop
สถานะควบคุมอุณหภูมิภายในผนังปลูก (Inside - Temp)	1. อุณหภูมิลดต่ำกว่าเกณฑ์ (23 °C) 2. อุณหภูมิสูงกว่าเกณฑ์ (32 °C)	PLC / SCADA PLC / SCADA	Water Pump Stop Water Pump Running
สถานะควบคุมอุณหภูมิภายนอกผนังปลูก (Outside - Temp)	1. อุณหภูมิลดต่ำกว่าเกณฑ์ (25 °C) 2. อุณหภูมิสูงกว่าเกณฑ์ (34 °C)	PLC / SCADA PLC / SCADA	Memory Data Locker Memory Data Locker (Only Monitor & Reference Value)
สถานะควบคุมกรดและต่างในถังเก็บสารละลาย (Inside - Temp)	1. pH. ลดต่ำกว่าเกณฑ์ สถานะเป็นกรด (5.5) 2. pH. สูงกว่าเกณฑ์ สถานะเป็นด่าง (8.0) 3. pH. ปกติ (6.5-7.2)	PLC / SCADA PLC / SCADA PLC / SCADA	Water Pump Stop Circulate Pump Running Water Pump Stop Circulate Pump Running Water Pump Running
สถานะควบคุมความเข้มข้นสารละลายในถังเก็บสารละลาย (EC)	1. EC ลดต่ำกว่าเกณฑ์ (1.5 ms) 2. EC สูงกว่าเกณฑ์ (3.5 ms) 3. EC ปกติ (2.0-2.8 ms)	PLC / SCADA PLC / SCADA PLC / SCADA	Water Pump Stop Compost Pump Running Water Pump Stop Compost Pump Running Water Pump Running



ภาพที่ 29 ไคอะแกรมการทดสอบระบบผนังปลูกพืชแนวตั้งเบื้องต้น

3.3 วิธีการดูแลรักษาระบบผนังปลูกพืชระบบรากแขวนแนวตั้งตลอดการทดลอง

- หมั่นตรวจสอบระดับน้ำในถังเก็บไม่ให้ต่ำกว่าระดับท่อดูด
- ตรวจสอบชุดกรองน้ำระวังอย่างให้มีการอุดตัน
- ตรวจสอบการรั่วซึมของผนังปลูกพืช เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำและสารอาหารหายไปจากระบบปลูก
- ตรวจสอบทำความสะอาดหัวพ่นน้ำและสารอาหารอย่างสม่ำเสมอหมั่นตรวจสอบระดับสารละลายอาหารพืชโดยเติมอัตราส่วนที่เท่ากัน
- ตรวจสอบค่าความเข้มข้นสารละลาย ความชื้น อุณหภูมิอยู่เสมอ
- ตรวจสอบ ค่าเป็นกรด และด่าง อย่างสม่ำเสมอ บนหน้าจอกอมพิวเตอร์
- หมั่นตรวจสอบระบบไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอ
- ตรวจสอบหัววัดค่าต่าง ๆ โดยล้าง และทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอทุกสัปดาห์
- ตรวจสอบระบบการทำงานอัตโนมัติอย่างสม่ำเสมอว่ามีส่วนใดบกพร่อง หรือทำงานไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ตามตารางที่ 5 บ้างหรือไม่ โดยเฉพาะหัววัดค่าต่าง ๆ ควรตรวจสอบว่าส่งค่าได้ถูกต้องตามที่กำหนดไว้หรือไม่

4. การทดลองที่ 3 การดำเนินการทดลอง และจัดเก็บข้อมูลงานวิจัยเริ่มจาก

4.1 การทดสอบหาปริมาณน้ำที่พืชได้รับต่อนาที่ ในแต่ละช่องปลูก เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมเพียงพอต่อความต้องการของพืชที่ปลูก ดังนี้

- เตรียมฟองน้ำมาตัดให้มีขนาด (ยาว 7 ซม.) x (กว้าง 5 ซม.) x (สูง 2 ซม.) จำนวนเท่ากับช่องปลูกพืชทั้งหมด (267 ช่องปลูก)
- นำฟองน้ำที่ตัดเตรียมไว้ในกรวยปลูก แล้วทำการชั่งเพื่อหาน้ำหนักฟองน้ำตอนแห้ง ดังภาพที่ 31
- จากนั้นนำกรวยปลูกพืชที่บรรจุฟองน้ำใส่ลงบนผืนปลูกพืชจนครบตามจำนวนช่องปลูก ทั้งหมด (267 ช่องปลูก)
- จากงานวิจัยเรื่อง ผลของรูปแบบแผ่นปลูกพืช และอัตราพ่นต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดในระบบแอร์โรโพนิกส์ ผลงานของ โสระยา ร่วมรังสี และคณะ ได้สรุปว่าเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมในการฉีดพ่นคือ ฉีดพ่น 30 วินาที และหยุดฉีดพ่น 5 นาที แต่เพื่อให้แน่ใจว่าจะได้ปริมาณน้ำที่เพียงพอ การทดลองนี้จึงทำการตั้งเวลาในการฉีดพ่นครั้งแรกเริ่มจาก 50 วินาที และหยุดฉีดพ่นที่ 5 นาที จากนั้นทำการเก็บฟองน้ำที่บรรจุลงในกรวยปลูกพืชนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณน้ำที่ได้รับในเวลา 50 วินาที หยุด 5 นาที บันทึกค่าลงตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตัวอย่างการการบันทึกค่าปริมาณน้ำที่ได้รับในแต่ละช่องปลูกของแผ่นปลูกพืช

จำนวน 52 ช่องปลูก / Time Sequence Setting @ ____ minute (water spray) : ____ minute (water stop)							
ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำทั้งหมด ลูกบาศก์ เซนติเมตร	ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำทั้งหมด ลูกบาศก์ เซนติเมตร
1							
3							
5							

ตัวอย่างการตารางบันทึกค่าปริมาณน้ำในช่วงเวลา ฉีดพ่น 30 วินาทีและหยุด 5 นาที

- ดำเนินการทำเหมือนกับตอนแรกอีกครั้งแต่เปิดระบบ ให้สเปรย์น้ำมีระยะเวลาลดลงมาที่เวลาฉีดพ่น 30 วินาที และหยุด 5 นาที (ตามผลงานวิจัยของ โสระยา ร่วมรังสี และคณะ (2547) ที่ได้สรุปว่าช่วงเวลาที่ 30 วินาที และหยุด 5 นาที นั้นเหมาะสม) จากนั้นทำการเก็บฟองน้ำที่บรรจุลงในกรวยปลูกพืชนำมาชั่งน้ำหนักหาปริมาณน้ำที่ได้รับในเวลา 30 วินาที บันทึกค่าปริมาณน้ำที่

ได้รับลงตาราง เพื่อที่จะนำไปเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ได้รับในทั้งสองช่วงเวลา คือ ฉีดพ่น 50 วินาที หยุด 5 นาที และ ช่วงเวลาฉีดพ่น 30 วินาที หยุด 5 นาที นั้นช่วงเวลาใดเหมาะสมในการทดลอง

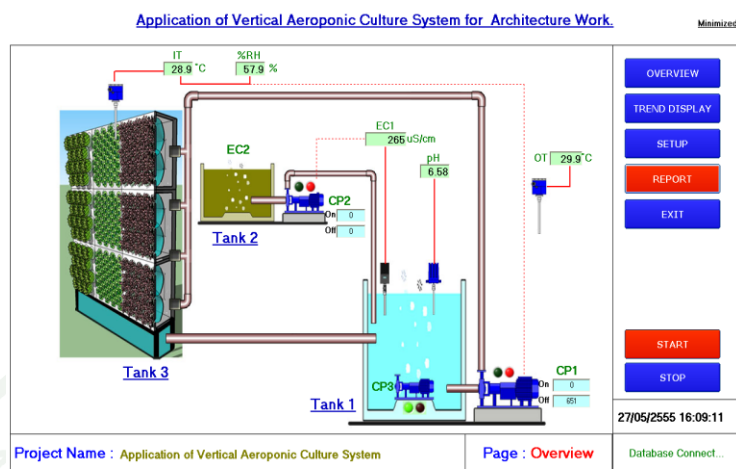
- ทำการสร้างกราฟเพื่อแสดงผลเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ได้รับในแต่ละช่องปลูกของแผ่นปลูกที่ 1 2 และ 3 ของแผ่นปลูกผักทรงพุ่ม ผักทรงอื่น ๆ และไม้คลุมดิน รวมทั้งหมด 9 แผ่น



ภาพที่ 30 การชั่งน้ำหนักฟองน้ำก่อน และหลังการทดสอบ

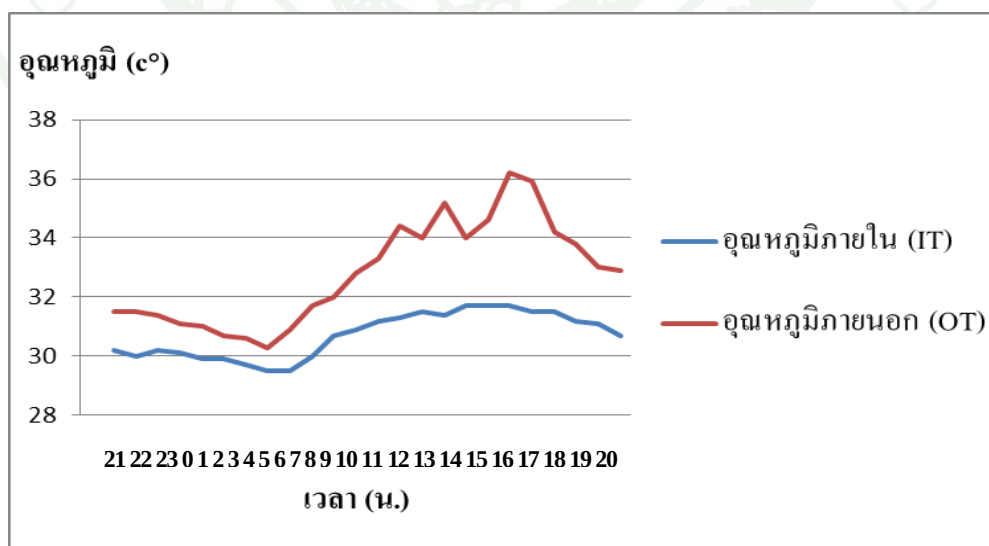
4.2 การบันทึกข้อมูลการเก็บรวบรวมข้อมูลงานวิจัย มีวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลทางกายภาพ (การเจริญเติบโตของพืช) และการเก็บรวบรวมข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม SCADA System โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม SCADA System (ภาพที่ 31-35) มีรายละเอียดดังนี้

- ภาพที่ 31 ตัวอย่างการแสดงผลเพื่อเป็นมุมมองภาพรวมทั้งระบบ โดยจะใช้ช่วยในการตรวจสอบ และการควบคุมสภาพแวดล้อมของชุดทดลองทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ได้แก่ อุณหภูมิ pH ความชื้นในระบบ และระบบการให้น้ำและสารอาหารที่ให้แก่พืชที่ปลูกในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยส่งข้อมูลของระบบการทำงานแสดงผลให้ทราบทางจอภาพแบบอัตโนมัติเป็นคาบวินาที นาที หรือรายวัน-รายเดือน ตลอด 24 ชั่วโมง

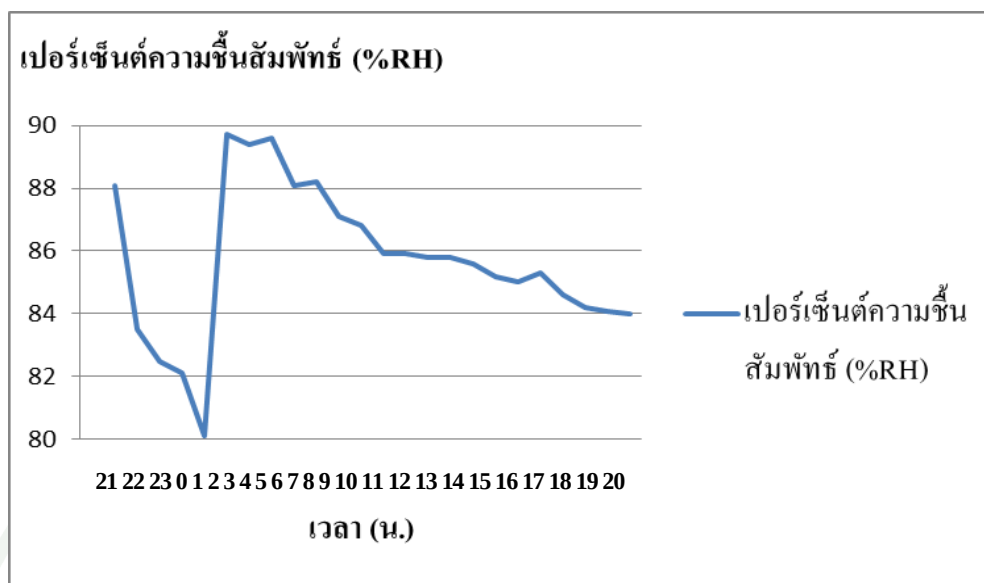


ภาพที่ 31 ตัวอย่าง Real Time Graphic (Vertical Aeroponics System on Monitor)

- ภาพที่ 32 แสดงตัวอย่างการควบคุมสภาพแวดล้อมของชุดปลูก 3 ส่วน คือ 1) ส่วนของอุณหภูมิภายใน (IT) ชุดปลูกที่ทำการควบคุม 2) ส่วนของอุณหภูมิภายนอก (OT) ชุดปลูกที่ใช้เป็นค่าเปรียบเทียบกับค่าของอุณหภูมิภายใน และ 3) ส่วนของค่าความชื้นภายในชุดปลูกที่ทำการควบคุม โดยทั้ง 3 ส่วนจะถูกส่งข้อมูลให้แสดงผลให้ทราบทางจอภาพแบบอัตโนมัติเป็นกราฟเส้นที่เคลื่อนไหวตามเวลาและบันทึกผลทุก ๆ ชั่วโมง ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถควบคุมค่าอุณหภูมิภายใน (IT) ค่าอุณหภูมิภายนอก (OT) และค่าความชื้นได้อย่างคงที่



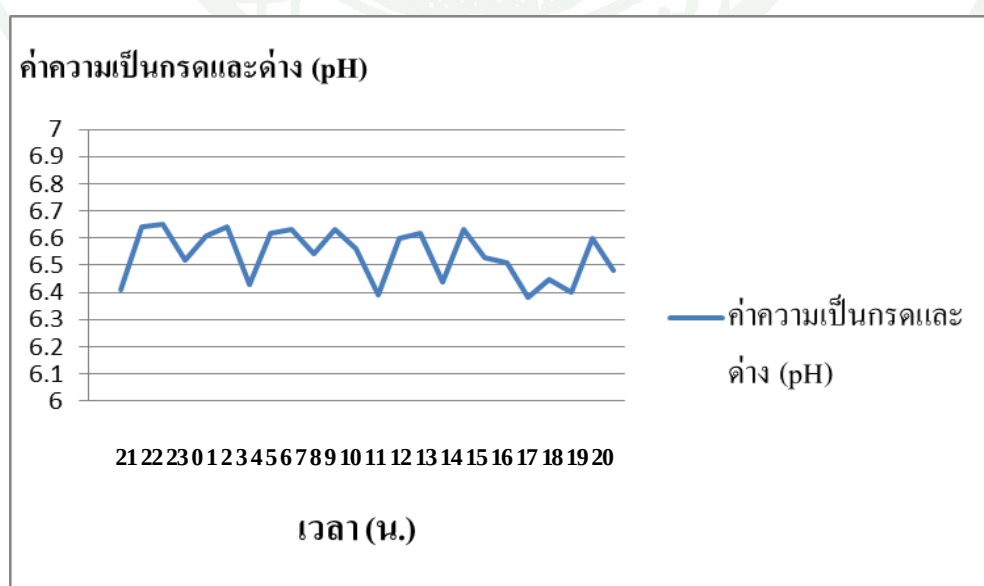
ภาพที่ 32 ตัวอย่าง Real Time Graphic (Temperature & humidity Record)



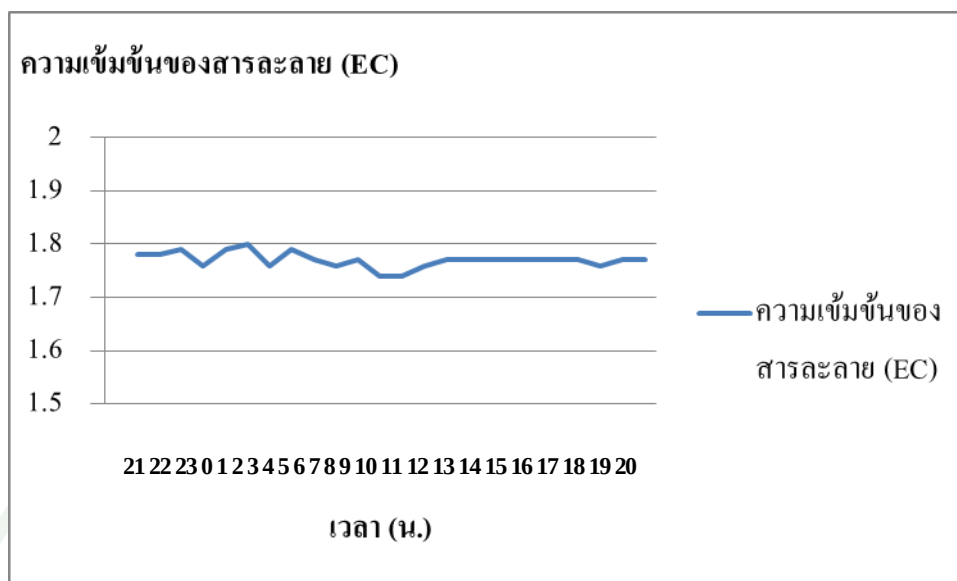
ภาพที่ 32 (ต่อ)

- ภาพที่ 33 แสดงตัวอย่างการควบคุมสภาพแวดล้อมของชุดปลูก 2 ส่วน คือ

- 1) ส่วนของค่าความเป็นกรดและด่างภายในถังเก็บสารละลายอาหารพืชที่ทำการควบคุม และ
- 2) ส่วนของค่าความเข้มข้นสารละลายภายในถังเก็บสารละลายอาหารพืชที่ทำการควบคุม โดยทั้ง 2 ส่วน จะถูกส่งข้อมูลให้แสดงผลให้ทราบทางจอภาพแบบอัตโนมัติเป็นกราฟเส้นที่เคลื่อนไหวตามคาบเวลาและบันทึกผลทุก ๆ ชั่วโมง ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถควบคุมค่าความเป็นกรดและด่าง และค่าความเข้มข้นสารละลายได้อย่างคงที่



ภาพที่ 33 ตัวอย่าง Real Time Graphic (pH & EC Record)



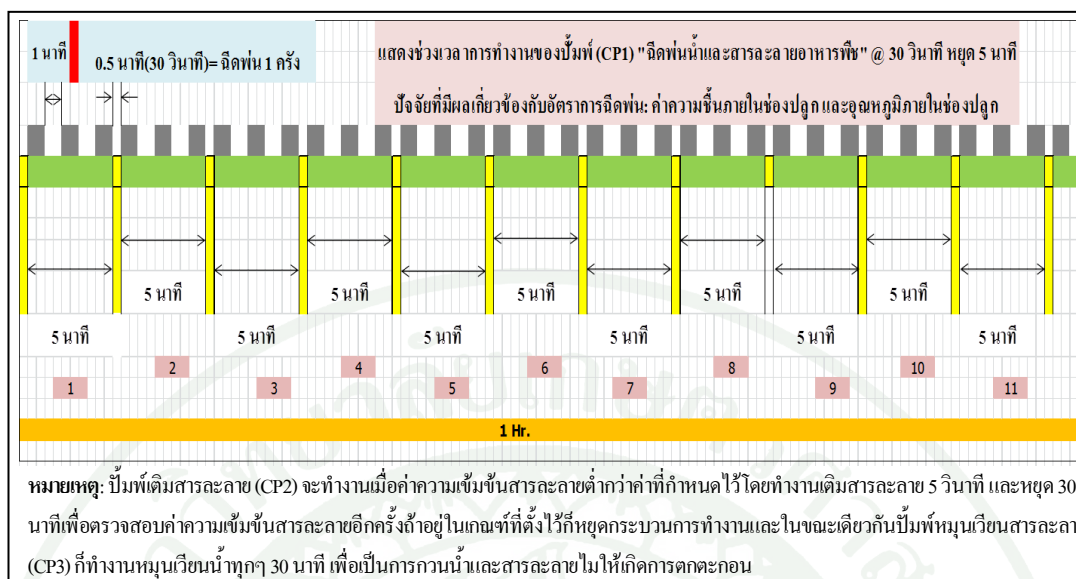
ภาพที่ 33 (ต่อ)

- ภาพที่ 34 แสดงตัวอย่างการบันทึกข้อมูลการทำงานของระบบ SCADA บันทึกผลทุกๆ 1 ชั่วโมง ตลอด 24 ชั่วโมง และแสดงผลรายงานเป็นรายวัน ประกอบไปด้วยข้อมูลค่า pH อุณหภูมิภายใน และภายนอกผนังปลูกพืช ค่าสารละลายอาหารพืชภายในถังผสมน้ำและสารละลายอาหารพืช EC1 และถังเก็บสารละลายอาหารพืช EC2 ความชื้นภายในผนังปลูกพืช การทำงานของปั๊มฟัดฟั่นน้ำและสารละลายอาหารพืช (CP1) การทำงานของปั๊มฟัดฟั่นสารละลายอาหารพืช (CP2) การทำงานของปั๊มฟัดฟั่นหมุนเวียนน้ำและสารละลายอาหารพืช (CP3)

Time (hr.)	pH	RH (%)	EC1 (ms)	EC2 (ms)	IT (C°)	OT (C°)	CP1 (minute)	CP2 (minute)	CP3 (minute)
---------------	----	-----------	-------------	-------------	------------	------------	-----------------	-----------------	-----------------

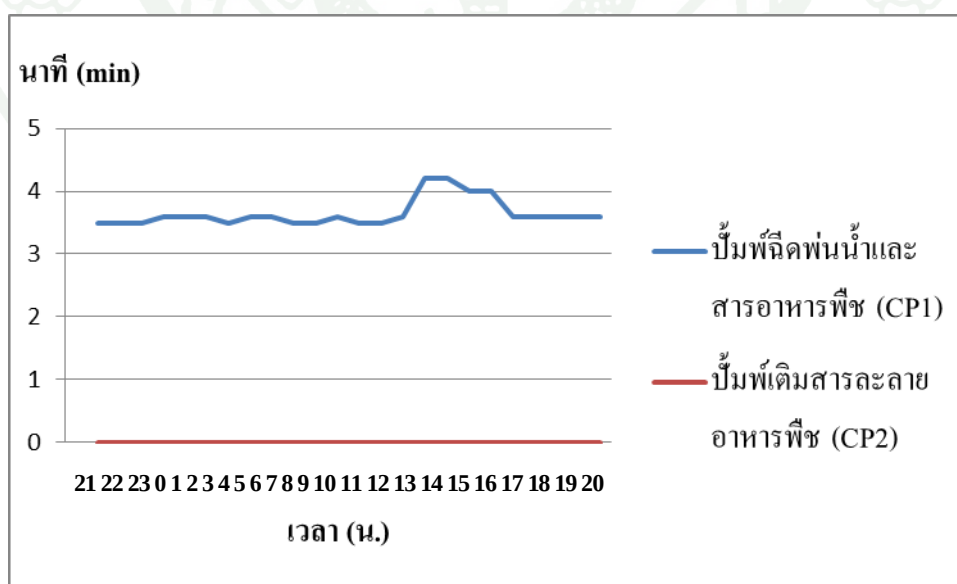
Time	pH	%RH	EC1	EC2	IT	OT	CP1	CP2	CP3
1:00	6.91	53.6	191	0	29.4	29.8	3.5	0.0	30
2:00	6.88	54.2	190	0	29.3	29.7	3.5	0.0	30
3:00	6.77	54.2	190	0	29.2	29.9	3.5	0.0	30
4:00	6.88	53.8	191	0	28.8	29.6	3.5	0.0	30
5:00	6.9	54.2	191	0	28.6	29.6	3.5	0.0	30
6:00	6.86	54.3	191	0	28.4	29.3	3.5	0.0	30
7:00	6.87	53.8	192	0	28.5	29.2	3.5	0.0	30
8:00	6.88	53.8	192	0	28.8	29.1	3.5	0.0	30
9:00	6.88	54.3	191	0	29.9	29.4	3.5	0.0	30
10:00	6.71	54.9	191	0	31.1	30.1	3.5	0.0	30

ภาพที่ 34 การบันทึกผลการการทำงานของระบบเป็นรายวัน (Total Daily Report)



ภาพที่ 34 (ต่อ)

- ภาพที่ 35 แสดงตัวอย่างการบันทึกข้อมูลการทำงานของระบบ SCADA บันทึกผล ทุก ๆ 1 ชั่วโมง ตลอด 24 ชั่วโมง และแสดงผลรายงานเป็นกราฟ ประกอบด้วย การทำงานของปั๊มฉีดพ่นน้ำและสารละลายอาหารพืช (CP1) การทำงานของปั๊มเติมสารละลายอาหารพืช (CP2) การทำงานของปั๊มหมุนเวียนน้ำและสารละลายอาหารพืช (CP3)



ภาพที่ 35 การบันทึกผลการทำงานของระบบเป็นกราฟรายวัน (Total Daily Graph Report)

4.4 การเก็บข้อมูลน้ำหนักผลผลิตที่ได้รับของพืชที่ปลูกบันทึกค่าลงตารางบันทึกค่าผลผลิตของพืช เพื่อเก็บข้อมูลน้ำหนักผลผลิตของพืชที่อายุ 38 วัน บันทึกค่าลงตารางบันทึกค่าผลผลิตเฉลี่ยของพืชที่ปลูก ดังตารางที่ 8 และ 9

ตารางที่ 8 ตัวอย่างการบันทึกค่าผลผลิตของพืช

ชนิดพืช _____ จำนวน _____ ต้น							
ต้นที่	น้ำหนัก Aeroponics (กรัม)	น้ำหนัก NFT (กรัม)	Diff. (กรัม)	ต้นที่	น้ำหนัก Aeroponics (กรัม)	น้ำหนัก NFT (กรัม)	Diff. (กรัม)
1				2			
⋮				⋮			
51				52			
เฉลี่ย				เฉลี่ย			

ตารางที่ 9 ตัวอย่างการบันทึกค่าผลผลิตของพืช

ชนิดพืช _____		
ประเภทของผลผลิต	น้ำหนักของผลผลิต	
น้ำหนักต้นและรากเฉลี่ยระบบ Vertical Aeroponics	_____	กรัม
น้ำหนักต้นและรากเฉลี่ยระบบ NFT	_____	กรัม
น้ำหนักเฉลี่ยที่แตกต่างกัน	_____	กรัม

5. สถานที่ทำการทดลอง

บ้านพักผู้วิจัย เลขที่ 61 หมู่ 2 ถนนสรงประภา เขตดอนเมือง กรุงเทพมหานคร



ภาพที่ 36 สถานที่ทำการทดลอง

2.6 ระยะเวลาที่ทำการทดลอง

ระยะเวลาที่ 1 ทำการทดลองปลูกไม้คลุมดิน (วอเตอร์เครส ผักเป็ดแดง ก้ามปูหลอด) ตั้งแต่วันที่ 18 มี.ค. 2554 ถึง 21 เม.ย. 2555 รวม 38 วัน

ระยะเวลาที่ 2 ทำการทดลองปลูกผักทรงพุ่ม (กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค บัตเตอร์เฮด) และทรงอื่น ๆ (ฟิลเลย์ กรีนคอส เรดปิตตาเวีย) ตั้งแต่วันที่ 3 เม.ย. 2554 ถึง 10 พ.ค. 2555 รวม 38 วัน

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดลอง

การวิจัยทดลองนี้เป็นพัฒนานำรูปแบบผนังปลูกพืชแบบไร้ดินประเภทที่ให้สารอาหารแก่รากพืชโดยตรงหรือระบบรากแขวน (Aeroponics Culture) เพื่อใช้เป็นผนังปลูกพืชประกอบอาคารเพื่องานสถาปัตยกรรม รวมทั้งพัฒนาใช้ระบบควบคุมปริมาณการให้น้ำ และสารอาหารที่ให้แก่พืชที่ปลูกลงบนผนังปลูกพืชระบบรากแขวนในแนวตั้งโดยใช้โปรแกรมควบคุมระบบอัตโนมัติ (SCADA) ควบคุมสถานะที่มีผลกับการเจริญเติบโตของพืชในส่วนของการให้น้ำ และสารอาหารกับผนังปลูกพืชได้ผลการทดลองในทุกกระบวนการดังนี้

การทดลองที่ 1 ผลของการดำเนินการทดลอง และการจัดเก็บข้อมูลในการทดลองวิจัยมีผลดังนี้

1.1 ผลของปริมาณน้ำที่ได้รับทั้งหมดของในแต่ละช่องปลูก ของผนังปลูกพืชที่ได้แสดงกราฟไว้ในภาพที่ 38, 39 และ 40 จากกราฟจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำที่ได้รับในแต่ละช่องปลูกของแต่ละผนังปลูกมีค่าใกล้เคียงกัน และมีปริมาณน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 7.5 มิลลิลิตรที่อัตราการฉีดพ่น 30 วินาที หยด 5 นาที ในแต่ละช่องปลูก หรือ $(7.5 \times 2) = 15$ มิลลิลิตร:วัน และเมื่อใช้ค่าอ้างอิงจากอุปกรณ์วัดปริมาณน้ำฝน (Rain gauge) ที่กำหนดให้ 10 มิลลิลิตร ของน้ำในกระบอกตวงจะมีค่าเท่ากับค่าปริมาณน้ำฝน 1 มิลลิเมตร เพราะฉะนั้นจะได้ปริมาณน้ำเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตรต่อวัน ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการน้ำของพืชที่ปลูก ตามที่ได้คำนวณการหาค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำต่อช่องปลูกของระบบ ปลูกพืชที่แสดงด้านล่าง คือ 7.52 มิลลิลิตรต่อวันหรือและเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยเรื่องระบบแอร์โรโปนิคส์ทรงกระบอก ของณรงค์ศักดิ์ และคณะ (2547) ที่ได้ให้ค่าความต้องการน้ำของระบบไว้ที่ 6.8 มิลลิลิตรต่อวัน และมากกว่าค่าความต้องการน้ำของพืชที่ปลูกบนดินในเขตดอนเมือง (ดิเรก และคณะ, 2543)

การหาค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำต่อช่องปลูกของระบบผนังปลูกพืชในระบบรากแขวนในการวิจัยดังนี้

ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำต่อช่องปลูกของระบบ = (ผลรวมค่าเฉลี่ยผนังปลูกพืชทั้งหมด/จำนวนผนังปลูกทั้งหมด)

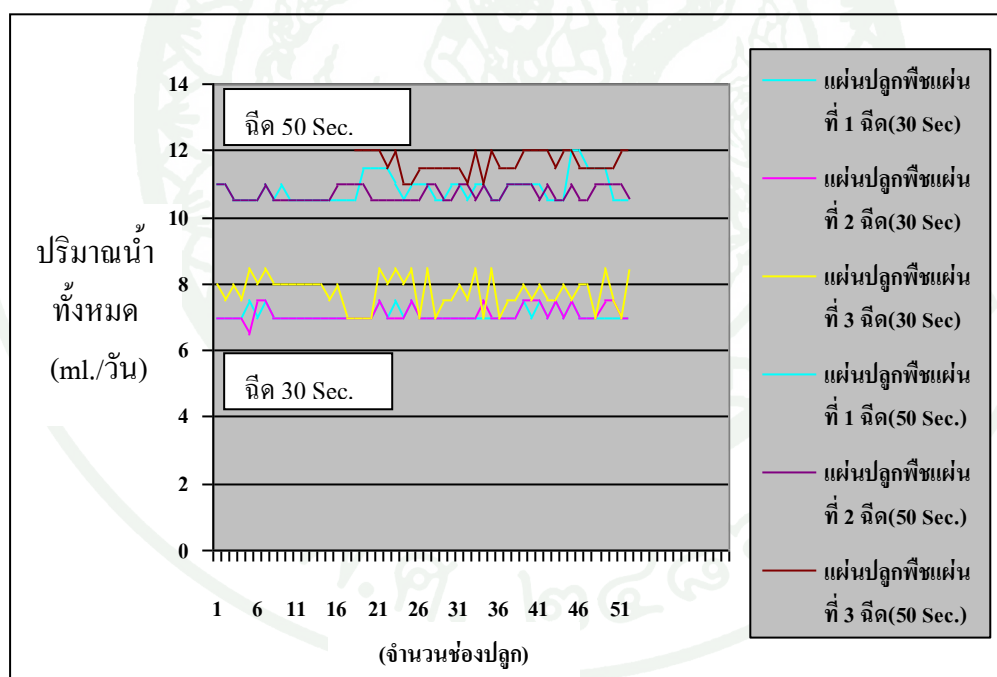
(หมายเหตุ: ผลรวมค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำของผนังปลูกพืชที่นำมาคำนวณดูภาคผนวก ก)

$$\frac{[(\text{ปริมาณน้ำเฉลี่ยของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 1, 2 และ 3 (ปลูกผักทรงอื่น)}) + (\text{ปริมาณน้ำเฉลี่ยของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 1, 2 และ 3 (ปลูกผักทรงพุ่ม)}) + (\text{ปริมาณน้ำเฉลี่ยของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 1, 2 และ 3 (ปลูกไม้คลุมดิน)})]}{(\text{จำนวนผืนปลูกพืชทั้งหมด 9 ผืน})}$$

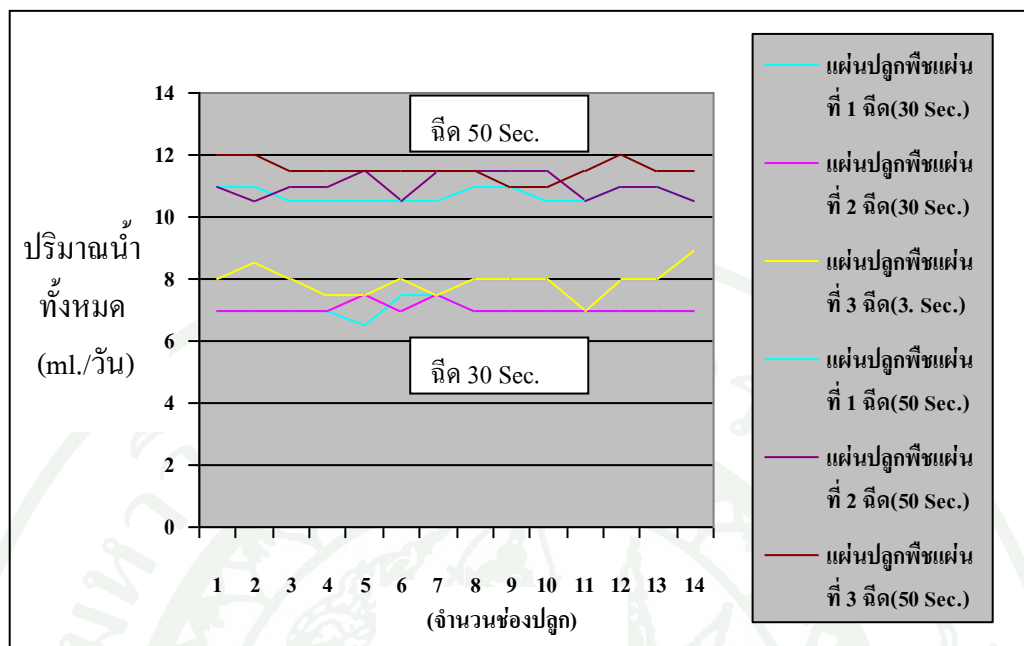
$$= \frac{[(7.75+7.80+7.08) + (7.93+7.43+7.65) + (7.33+7.50+7.02)]}{(9)}$$

$$= 7.52 \text{ มิลลิลิตร หรือ } 0.75 \text{ มิลลิเมตร}$$

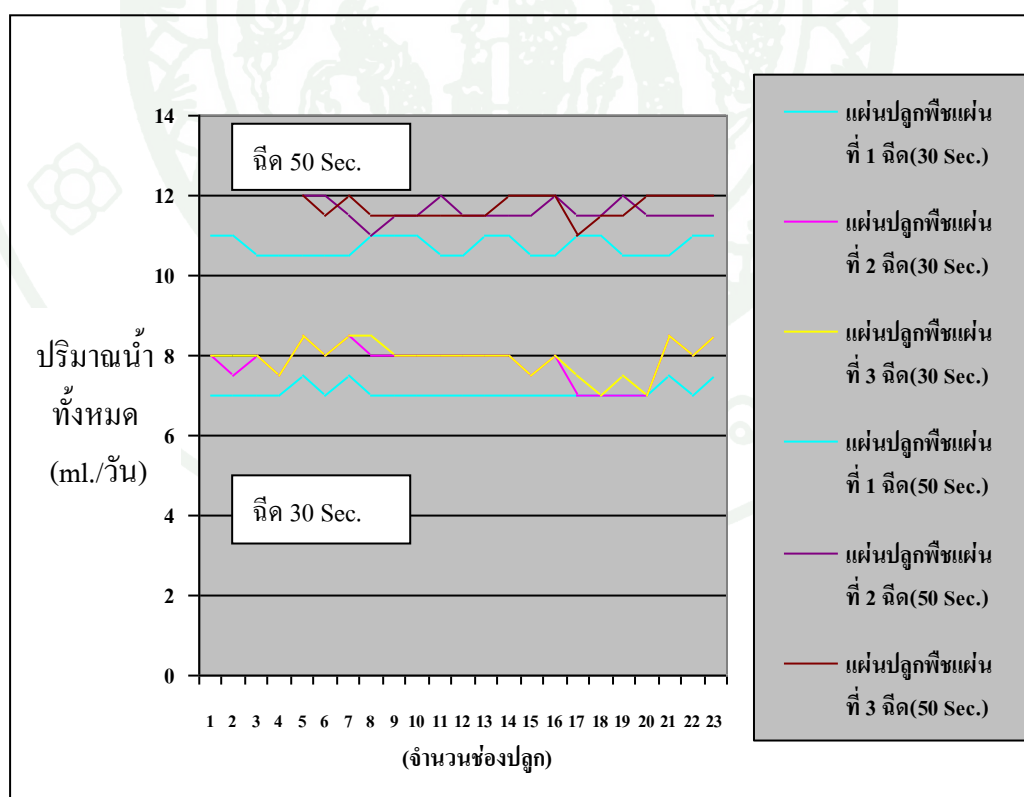
(ที่มา: อ้างอิงจากอุปกรณ์วัดปริมาณน้ำฝน (Rain gauge) ที่กำหนดให้ 10 มิลลิลิตร ของน้ำในกระบอกตวงจะมีค่าเท่ากับค่าปริมาณน้ำฝน 1 มิลลิเมตร)



ภาพที่ 37 ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 1, 2 และ 3 (ปลูกผักทรงอื่น)



ภาพที่ 38 ค่าปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 1, 2 และ 3 (ปลูกผักทรงพุ่ม)



ภาพที่ 39 ค่าปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 1, 2 และ 3 (ปลูกไม้คลุมดิน)

ผลการทดลองที่ 2 ด้านการสร้างเครื่องมือและการติดตั้งการพ่นปลูกพืชต้นแบบมีขั้นตอนที่แสดงรายละเอียด ดังภาพที่ 25-28 ที่ได้แสดงในขั้นตอนอุปกรณ์และวิธีการทดลองไปแล้วนั้น สามารถสรุปได้ผลดังนี้

การสร้างเครื่องมือและการติดตั้งชุดแผ่นปลูกพืชประสบความสำเร็จ และผลของการสร้างเครื่องมือในการทดลอง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 คือ พ่นปลูกพืชระบบบรากแขวนในแนวตั้ง

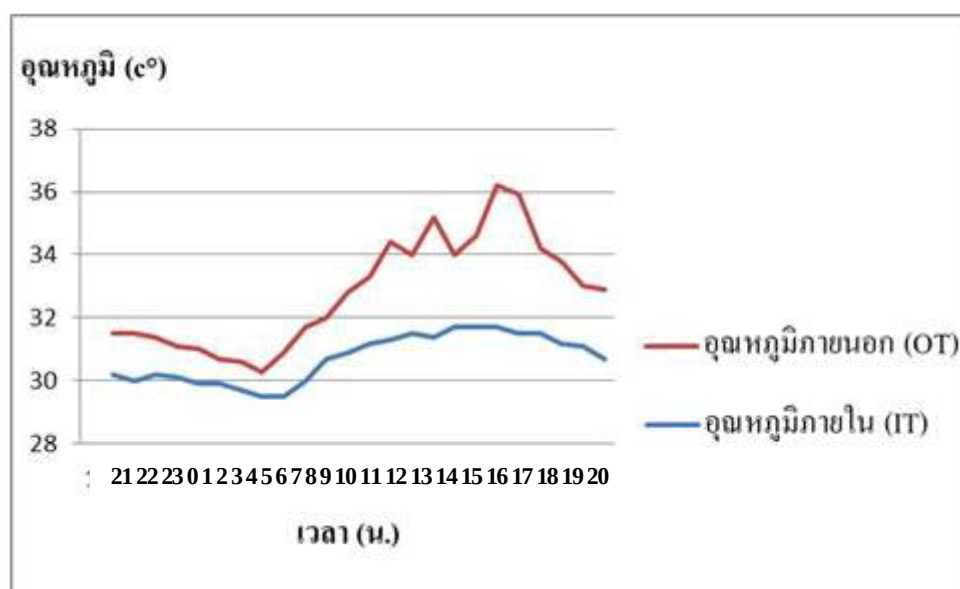
- แผ่นปลูกพืชแนวตั้งมีการแยกส่วนเพื่อให้เกิดความชัดเจนในการเปรียบเทียบในด้านการเจริญเติบโตของพืชและในด้านของผลผลิตที่ได้รับ โดยแยกออกเป็น แผ่นปลูกผักทรงพุ่ม แผ่นปลูกผักทรงอื่น ๆ แผ่นปลูกไม้คลุมดิน ซึ่งแผ่นปลูกพืชทั้ง 3 แบบสามารถใช้ปลูกพืชได้ ขนาดช่องปลูกพืชต่อพื้นที่แผ่นปลูกที่กำหนดในภาพทดลองมีความเหมาะสมกับชนิดพืช และพืชสามารถเจริญเติบโตได้
- ระบบท่อหัวฉีดพ่นน้ำและสารอาหารให้แก่แผ่นปลูกพืชทั้ง 3 แบบ ในการทดลองจำเป็นต้องกำหนดตำแหน่งให้มีความเหมาะสมกับแผ่นปลูกพืชต้นแบบ จากการทดลองระบบหัวฉีดพ่นน้ำและสารอาหารพืชสามารถฉีดพ่นให้ความสม่ำเสมอกระจายทั่วทั้งแผ่นปลูก แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งการจัดวางหัวพ่นเพื่อให้มีความสัมพันธ์ กับแผ่นปลูกพืชทั้ง 3 แบบ มีความเหมาะสมทำให้รากพืชได้รับน้ำและสารอาหารอย่างสม่ำเสมอครอบคลุมทั้งแผ่นปลูกพืช

ส่วนที่ 2 คือ ชุดควบคุมระบบไฟฟ้าและระบบเครื่องกล ประกอบด้วย

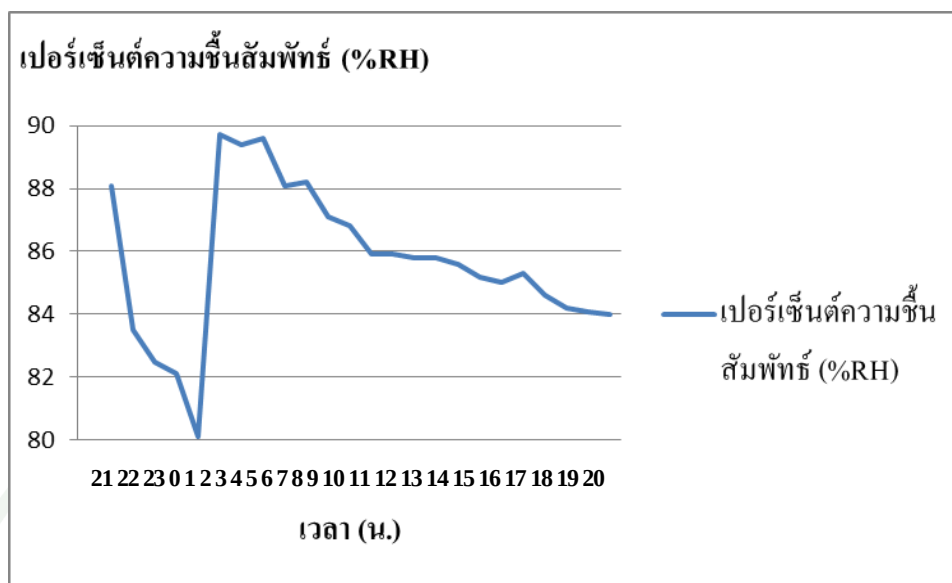
- ชุดระบบไฟฟ้า และระบบทางกล ทำดังภาพเป็นเครื่องมือในการรับพลังงานและจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์ต่างๆ ให้ปฏิบัติตามคำสั่งงานของโปรแกรมควบคุมอัตโนมัติ SCADA ในการทดลองคือปั๊มพ่นน้ำสารละลายอาหารพืช, ปั๊มเติมสารอาหารพืช, ปั๊มหมุนเวียนน้ำเพื่อกันการตกตะกอนของสารละลายจากผลการทดลองที่ได้มีการกำหนดอัตราส่วนการทำงานของปั๊มพ่นน้ำสารละลายอาหารพืชโดยให้มีระยะเวลาในการพ่นคือ อัตราการฉีดพ่นอยู่ที่ ฉีดพ่น 30 วินาที และหยุดฉีดพ่น 5 นาที ทำให้เป็นการช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้า และน้ำ ที่ไม่จำเป็นที่จะต้องให้แก่รากพืชตลอดเวลา ทั้งยังไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของพืชที่ทดลอง ผลการทำงานของระบบปั๊มเป็นไปอย่างถูกต้องตามเวลาที่ได้กำหนด และปั๊มหมุนเวียนน้ำทำงานทุกๆ 30 นาที ก็สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องเที่ยงตรง และในส่วนของปั๊มเติมสารละลายอาหารพืชที่จะทำงานตามค่าความเข้มข้นสารละลาย (EC) ระบบปั๊มก็สามารถทำงานได้ผลตามค่าที่ตั้งไว้

- ชุดโปรแกรมควบคุมอัตโนมัติ (SCADA) ที่ใช้ในการควบคุมสถานะที่มีผลกับการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งในด้านการใช้ SCADA ระบบจะมีการบันทึกข้อมูล และจัดเก็บรวบรวมข้อมูลงานวิจัยในการช่วยควบคุมสถานะที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ และส่งผลเป็นไปตามความต้องการ ดังนี้

ก. การควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงระหว่าง $28-33^{\circ}\text{C}$ นั้นทำได้ตามที่กำหนด โดยควบคุมให้ระดับอุณหภูมิภายใน (IT) ช่องปลูกอยู่ต่ำกว่าระดับของอุณหภูมิภายนอก (OT) ประมาณ $1-2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งจากกราฟอุณหภูมิภายนอก (OT) มีการขึ้นลงของอุณหภูมิแต่ละช่วงเวลามีค่าไม่เท่ากัน โดยจากการทดลอง เริ่มตั้งแต่เวลา 21.00 - 20.00 น. ครบรอบ 24 ชั่วโมง โปรแกรมควบคุมอัตโนมัติ (SCADA) สามารถควบคุมอุณหภูมิภายใน (IT) ช่องปลูกให้รักษาระดับอุณหภูมิให้มีค่าต่ำกว่าค่าอุณหภูมิภายนอก (OT) $1-2^{\circ}\text{C}$ จึงเป็นผลดีต่อพืชทำให้รากพืชไม่เกิดอาการแห้ง มีความชุ่มชื้นอยู่เสมอ และการควบคุมความชื้น โปรแกรมควบคุมอัตโนมัติ (SCADA) จะช่วยควบคุมความชื้นในช่องปลูกตลอดระยะเวลา 24 ชั่วโมง ให้อยู่ในช่วงความชื้นระหว่าง 80-95% จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อค่าความชื้นตกมาที่ 80 % โปรแกรมจะสั่งให้ฉีดน้ำเข้าในช่องปลูกพืช เพื่อเพิ่มระดับความชื้นของช่องปลูกให้กลับขึ้นมาที่ 90% (3.00 น.) เป็นการรักษาระดับความชื้นที่สัมผัสรากพืช

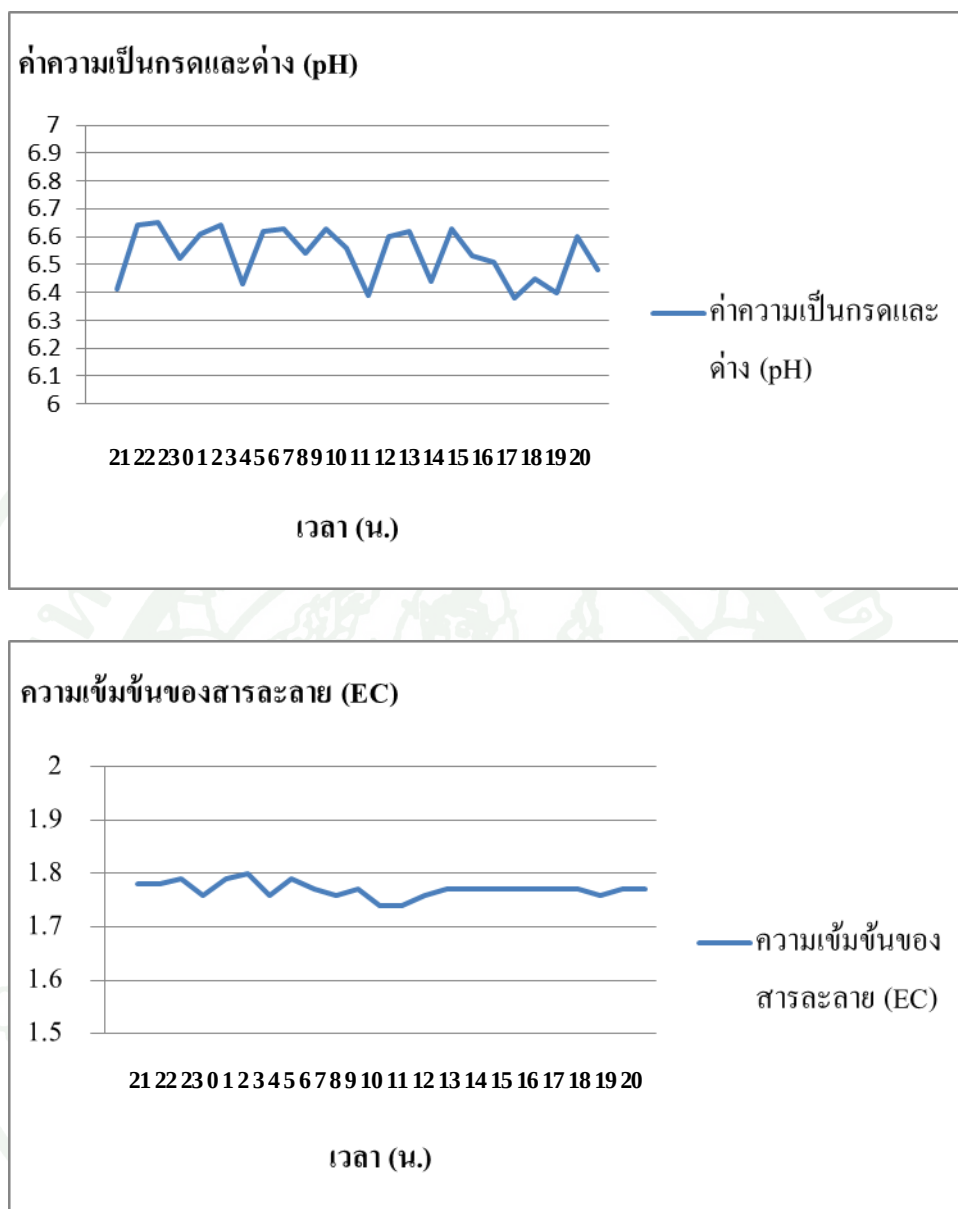


ภาพที่ 40 กราฟอุณหภูมิและความชื้น



ภาพที่ 40 (ต่อ)

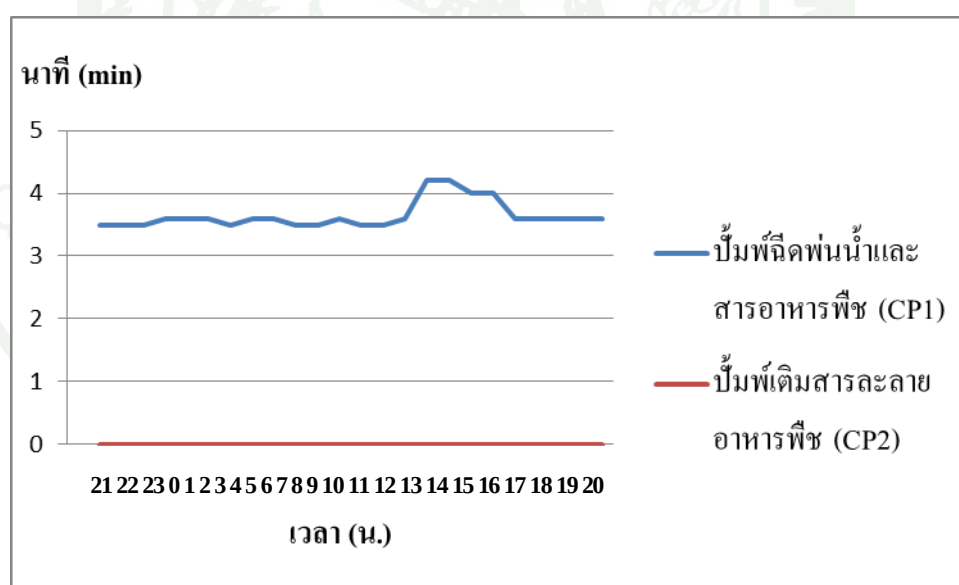
ข. การควบคุมค่าความเป็นกรดและด่าง (pH) ให้อยู่ในช่วงระหว่าง 6.0-7.0 โปรแกรมควบคุมอัตโนมัติ (SCADA) สามารถควบคุมให้อยู่ในระดับมาตรฐาน โดยประมาณ 6.3-6.7 ซึ่งค่า pH ในช่วงนี้จะมีค่าเป็นลักษณะกรดอ่อนๆ ในทางการปลูกพืชส่งผลดีต่อประสิทธิภาพในการดูดสารอาหารบางชนิดของพืช (อิทธิสุนทร, 2547) และค่าความเข้มข้นสารละลายอาหารพืช (EC) โปรแกรมควบคุมอัตโนมัติ (SCADA) สามารถควบคุมให้ค่าความเข้มข้นของสารละลายให้อยู่ในช่วงระหว่าง 1.7-1.8 มิลลิซีเมนต์ (ms) ซึ่งค่าความเข้มข้นในระดับนี้ตรงกับความต้องการของพืชที่ปลูกในการทดลอง ซึ่งส่งผลดีต่อพืชที่ปลูก เพราะควบคุมให้อยู่ในระดับที่พืชต้องการเท่านั้น อีกทั้งเป็นการประหยัดสารอาหารที่ให้แก่พืช



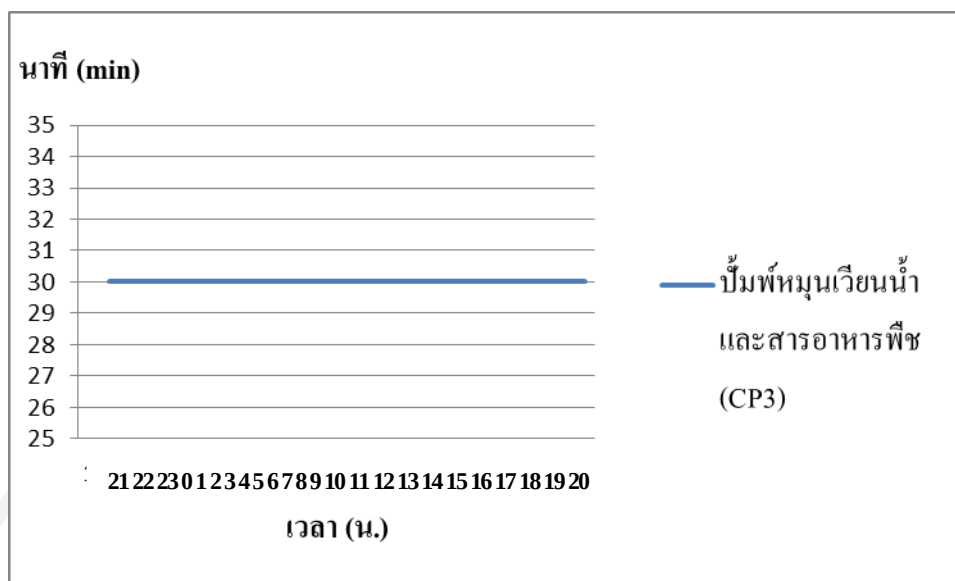
ภาพที่ 41 กราฟความเป็นกรด-ด่างและความเข้มข้นสารละลายอาหารพืช

ค. การควบคุมการทำงานของระบบปั๊มพี้นิรดพ่นสารละลาย (CPI) ส่งผลดีต่อพืชที่ปลูก โดยการควบคุมการฉีดตามเวลาที่เหมาะสมตามงานวิจัยเรื่องผลของรูปแบบแผ่นปลูกพืช และอัตราพ่นต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดในระบบแอร์โรโปนิคส์ของโสรพยา ร่วมรังสี และคณะ (2547) ดังที่ได้สรุปมาแล้วข้างต้น คือ นิรดพ่น 30 วินาที และหยุดนิรดพ่น 5 นาที (ผลรวมการทำงาน 1 ชั่วโมง=3.5 นาที ภาพที่ 34) ส่งผลต่อการให้น้ำแก่พืชไม่มาก หรือน้อยเกินความจำเป็นต่อความต้องการของพืชและจากการทดลองวิจัยนี้ได้ปริมาณน้ำต่อช่องปลูกที่ 7.52 มิลลิลิตรต่อวัน ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยเรื่องระบบ

แอร์โรโปนิคส์ทรงกระบอก ของ ณรงค์ศักดิ์ และคณะ (2548) ที่ได้ให้ ค่าความต้องการน้ำของระบบ ไร่ที่ 6.8 มิลลิเมตรต่อวัน ทำให้สามารถควบคุมปริมาณน้ำที่ให้แก่พืชต่อช่องปลูกได้ ส่งผลให้ประหยัดน้ำ และสารอาหารที่ให้แก่พืชส่วนการควบคุมการทำงานของระบบปั๊มพีดีเอ็มสารละลาย (CP2) ช่วยให้เกิด ผลดีแก่พืชที่ปลูก โดยจะควบคุมการเติมปริมาณของสารละลาย อาหารพืชที่ผสมกับน้ำในถังเก็บน้ำและ สารอาหาร ให้ทำงานเฉพาะในช่วงเวลาที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายอาหารพืชต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เท่านั้น ในการทดลองจากกราฟจะเห็นการทำงานของปั๊ม CP2 จะมีค่าเป็น 0 ก็เนื่องจากการทดลอง ค่าที่กำหนดไว้ในโปรแกรมควบคุมอัตโนมัติ (SCADA) ได้กำหนดรักษาระดับความเข้มข้นสารละลาย เพื่อให้อุปกรณ์ CP2 ทำงานที่ค่าความเข้มข้นสารละลาย (EC) ต่ำกว่า 1.5 มิลลิซีเมนต์ (ms) เท่านั้น ซึ่งในการทดลองระบบ โปรแกรมควบคุมสามารถควบคุมให้ค่าความเข้มข้นสารละลายอยู่ในช่วง 1.7-1.8 มิลลิซีเมนต์ (ms) ได้ตลอดช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ปั๊ม CP2 จึงไม่ทำงานและกราฟจึงมีค่าเท่ากับ ศูนย์ตลอด เป็นการประหยัดสารละลายอาหารที่ให้พืช และการควบคุมการทำงานของระบบ ปั๊มพีเอ็มวนเวียนน้ำและสารอาหารพืช (CP3) ทำให้สารละลาย ไม่ตกตะกอนละลายตัวได้ดี พืชนำไปใช้ได้ ง่ายโดยจะทำงานหมุนเวียนน้ำทุกๆ 30 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง



ภาพที่ 42 กราฟการควบคุมการทำงานของระบบปั๊มพีดีพ่นสารละลาย



ภาพที่ 42 (ต่อ)

จากการทดลองใช้วิธีควบคุมด้วยระบบโปรแกรม SCADA จะสามารถช่วยแบ่งเบาการทำงานแบบซ้ำๆ ผู้ดูแลสามารถปลีกตัวไปใช้เวลาสำหรับทำงานอื่น ๆ ให้เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น ช่วยควบคุมการทำงานได้อย่างสะดวกรวดเร็วหรือซับซ้อนให้คงที่และทั่วถึงเป็นการลดจำนวนแรงงานในการผลิตที่เป็นต้นทุนการผลิตอย่างหนึ่งให้ลดลงเป็นการลดปัญหาด้านประสิทธิภาพของแรงงาน อีกทั้งยังมีการเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตได้อย่างมีแบบแผนสามารถนำกลับมาวิเคราะห์ปัญหาได้อย่างสมบูรณ์ มีรูปแบบการทำงานตรงเวลาคงที่แน่นอนกระบวนการทุกขั้นตอนที่เกิดขึ้นเป็นมาตรฐานที่แน่นอน สามารถควบคุมการจัดการพลังงานที่ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการทดลองที่ 3 ด้านการจัดเตรียมต้นกล้าพันธุ์พื้

3.1 พันธุ์พื้ที่ใช้วิธีการเพาะเมล็ดในการทดลองได้แก่ ผักฟิลเลย์ กรีนคอส บัตเตอร์เฮด เรด-กรีนโอ๊ค และเรดปิตดาเวีย โดยการคัดเลือกเมล็ดพันธุ์พื้ที่สมบูรณ์ได้รับการรับรองจากผู้ผลิตว่ามีอัตราการงอกเกินกว่า 80 - 95% นั้นทำการบรรจุใส่ถาดเพาะ แล้วรดน้ำให้ชุ่มทั้งเช้า และเย็นเป็นระยะเวลา 7 วัน และจากการทดลองเมล็ดพันธุ์พื้ มีอัตราการงอกประมาณ 90% และเมื่อนำไปอนุบาลต้นกล้าเป็นระยะเวลา 3-4 วัน ก็จะได้ต้นกล้าที่แข็งแรงพร้อมย้ายลงบนผนังปลูกพื้

3.2 พันธุ์พืชที่วิธีปักชำกิ่งพันธุ์ ในการทดลองได้แก่ ก้ามปูหลุด วอเตอร์เครส และผักเป็ดแดง โดยมีวิธีคัดเลือกกิ่งพันธุ์พืชที่สมบูรณ์ มีอายุเหมาะสมในการเป็นกิ่งพันธุ์ และไม่ได้รับการรบกวนจากแมลงศัตรูพืช นำมาทำการปักชำบรรจุใส่ถาดเพาะ โดยกิ่งพันธุ์ มีขนาดลำต้นวัดรอบแล้วโตประมาณ 2-2.5 มิลลิเมตร, ยาวประมาณ 8-10 ซม. รดน้ำให้ชุ่มก่อนนำกิ่งพันธุ์ใส่ในฟองน้ำ 1 - 2 กิ่ง ใช้ผ้าขาวบางคลุมถาดเพาะ รดน้ำทั้งเช้า และเย็นเป็นระยะเวลา 5-10 วัน กิ่งพันธุ์ ก็จะเริ่มงอกแตกยอดอ่อน 100 % และเจริญเติบโตได้ดี และเมื่อนำต้นกล้าไปอนุบาลเป็นระยะเวลา 5 วัน ก็ได้กิ่งพันธุ์ต้นกล้าที่แข็งแรงพร้อมย้ายลงบนผนังปลูกพืช

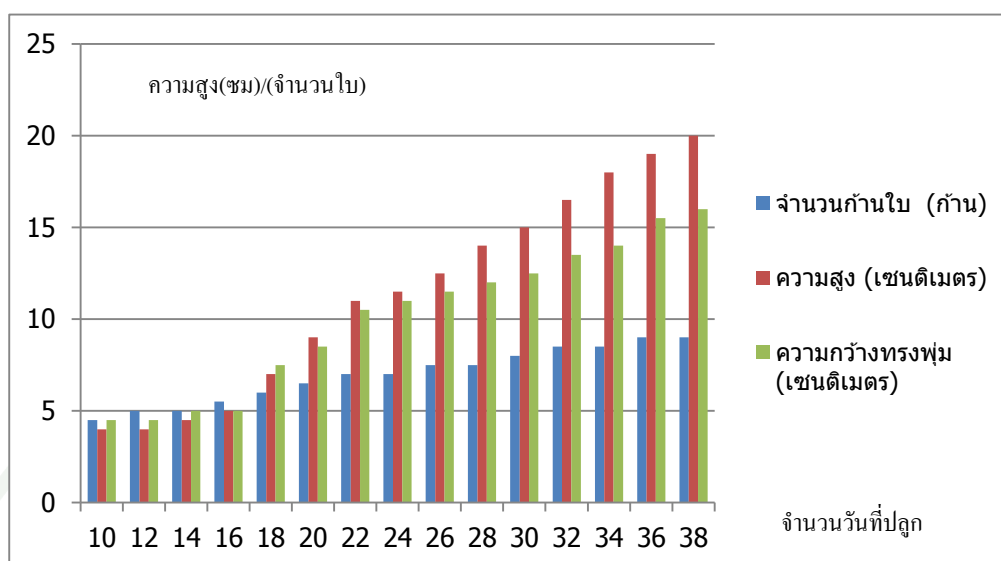
3.3 ผลการเจริญเติบโตของพืช จำแนกตามชนิดพืชที่ปลูก ดังนี้

3.3.1 จากผลการศึกษาการเจริญเติบโตของกรีนคอส ดังตารางที่ 10 และภาพที่ 43-44 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อผักมีอายุมากขึ้นการเจริญเติบโตทางด้านความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และจำนวนก้านใบมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น แสดงว่าผนังปลูกพืชระบบรากแขวนในแนวตั้งที่สร้างขึ้นสามารถใช้ปลูกผักกรีนคอสได้ และเมื่อผักมีอายุ 38 วัน จะมีน้ำหนัก 23.5 กรัม การปลูกลงบนผนังปลูกพืชระบบรากแขวนในแนวตั้งที่สร้างขึ้นในพื้นที่ 0.60 ตารางเมตร นั้นให้ผลผลิตที่ผิดรูปไปเนื่องจากผักกรีนคอสมีอัตราการยืดของก้านใบมากกว่าปกติ เมื่อปลูกลงบนผนังปลูกพืชในแนวตั้งที่ตั้งหันหน้าไปทางทิศตะวันตก มีหลังคา กันสาดบังแดด ยาว 1.00 เมตร ทำให้ผักได้รับแสงครึ่งวัน ตั้งแต่เวลา 14.00 น. ถึง 17.00 น. ของทุกวัน จึงทำให้ได้แสงไม่เพียงพอตลอดทั้งวัน ซึ่งโดยธรรมชาติของผักกลุ่มสลัดจะเป็นพืชที่ชอบแสงแดด จึงเกิดอาการยืดของลำต้นและก้านใบ

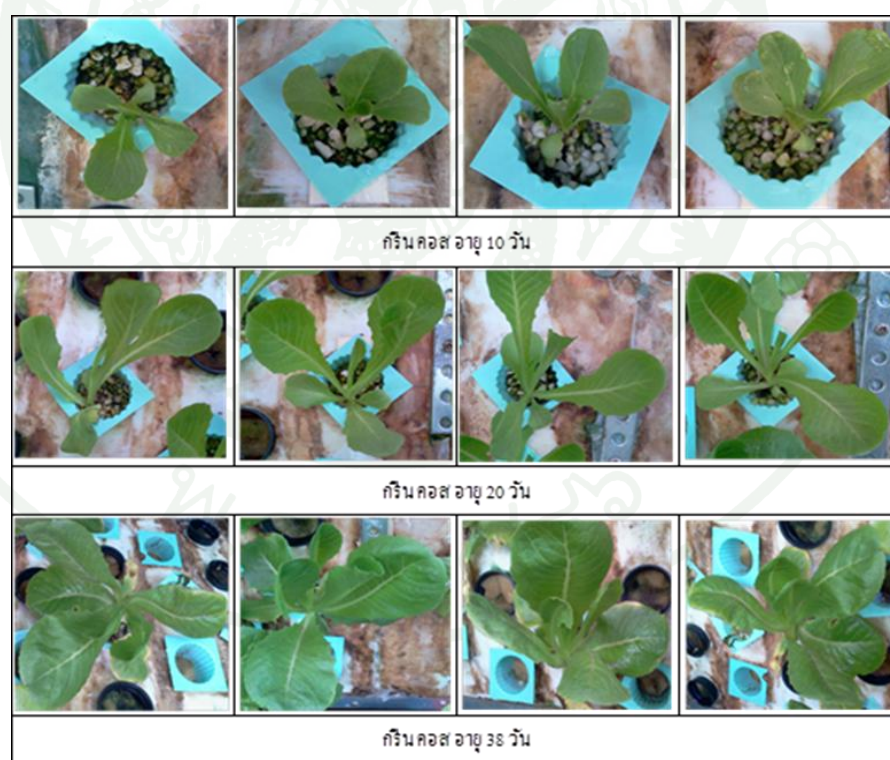
ตารางที่ 10 ผลการเจริญเติบโตเฉลี่ยของผักกรีนคอส (เฉลี่ย 52 ต้น)

อายุ (วัน)	วัน/เดือน/ปี	จำนวนก้านใบ (ก้าน)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)
10	24/4/2555	4.5	4	4.5
20	04/5/2555	6.5	9	8.5
38	22/5/2555	9	20	16

* ดูรายละเอียดการบันทึกผลการเจริญเติบโตของผักกรีนคอสตารางผนวกที่ 1-3



ภาพที่ 43 กราฟการเจริญเติบโตของกรีนคอส



ภาพที่ 44 ผลการเจริญเติบโตของกรีนคอส



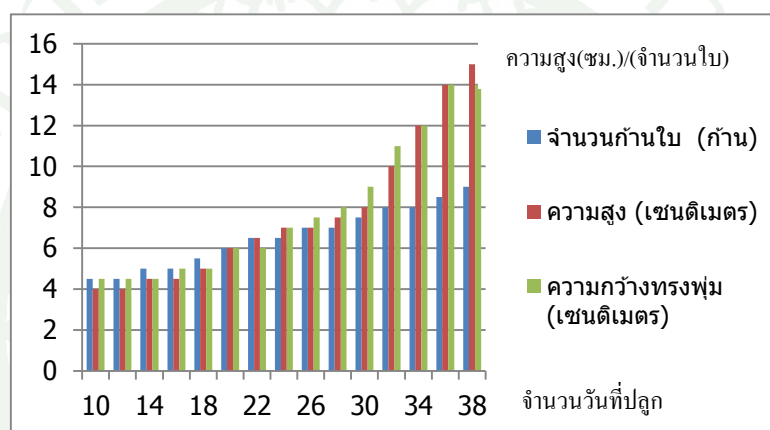
ภาพที่ 44 (ต่อ)

3.2.2 จากผลการศึกษาการเจริญเติบโตของเรปต์ตาเวีย ดังตารางที่ 11 และภาพที่ 45 -46 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อผักมีอายุมากขึ้นการเจริญเติบโตทางด้านความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และจำนวน ก้านใบมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น แสดงว่าพนักปลูกพีธีระบบรากแขวนในแนวตั้ง ที่สร้างขึ้นสามารถใช้ปลูก ผักเรปต์ตาเวียได้ และเก็บเกี่ยวผลผลิตได้เมื่อผักมีอายุ 38 วัน จะให้น้ำหนักสด 24.5 กรัม การปลูกลงบน พนักปลูกพีธีระบบรากแขวนในแนวตั้งที่สร้างขึ้นในพื้นที่ 0.60 ตารางเมตร นั้นให้ผลผลิตที่ผิดรูปร่างไป เนื่องจากเรปต์ตาเวียมีอัตราการยืดของก้านใบมากกว่าปกติเมื่อปลูกลงบนพนักปลูกพีธีในแนวตั้งที่ตั้ง หันหน้าไปทางทิศตะวันตก มีหลังคา กันสาดบังแดด ยาว 1.00 เมตร ทำให้ผักได้รับแสงครึ่งวัน ตั้งแต่ เวลา 14.00 น.ถึง 17.00 น. ของทุกวัน จึงทำให้ได้แสงไม่เพียงพอตลอดทั้งวัน ซึ่งโดยธรรมชาติของ ผักกลุ่มสลัดจะเป็นพืชที่ชอบแสงแดด จึงเกิดอาการยืดของลำต้น, ก้านใบและสีแดงที่จางไป

ตารางที่ 11 ผลการเจริญเติบโตเฉลี่ยของผักเรดปิตตาเวีย (เฉลี่ย 52 ต้น)

อายุ (วัน)	วัน/เดือน/ปี	จำนวนก้านใบ (ก้าน)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)
10	24/4/2555	4.5	4.0	4.5
20	04/5/2555	6	6	6
38	22/5/2555	9	15	14

* ดูรายละเอียดการบันทึกผลการเจริญเติบโตของผักเรดปิตตาเวียที่ตารางผนวกที่ ง4-ง6



ภาพที่ 45 กราฟการเจริญเติบโตของเรดปิตตาเวีย



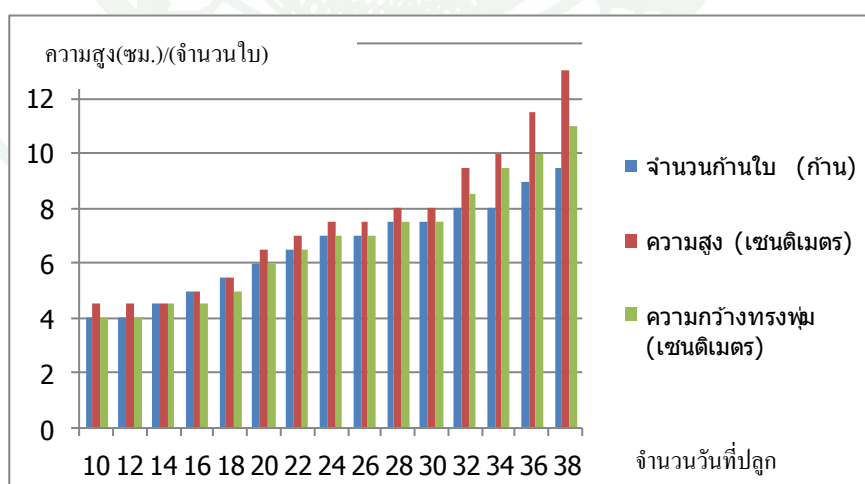
ภาพที่ 46 ผลการเจริญเติบโตของเรคปิตตาเวีย

3.3.3 จากผลการศึกษาการเจริญเติบโตของฟิเลย์ ไอซ์เบิร์ก ดังตารางที่ 12 และภาพที่ 47-48 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อฟิเลย์มี อายุมากขึ้นการเจริญเติบโตทางด้านความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และจำนวนก้านใบมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แสดงว่าระบบผนังปลูกพืชระบบรากแขวนใน แนวตั้ง ที่สร้างขึ้นสามารถใช้ปลูกฟิเลย์ได้และเมื่อผักมีอายุ 38 วัน ให้น้ำหนักต้นเฉลี่ยคิดเป็น 20.5 กรัม และการปลูกลงบนผนังปลูกพืชระบบรากแขวนในแนวตั้งที่สร้างขึ้นในพื้นที่ 0.60 ตาราง เมตร ให้ผลผลิตที่ผิดปกติไป เนื่องจากฟิเลย์ มีอัตราการยืดของก้านใบมาก เมื่อปลูกลงบนผนัง ปลูกพืชในแนวตั้งที่ตั้งหันหน้าไปทางทิศตะวันตก มีหลังคา กันสาดบังแดด ยาว 1.00 เมตร ทำให้ผัก ได้รับแสงครึ่งวัน ตั้งแต่เวลา 14.00 น.ถึง 17.00 น. ของทุกวัน จึงทำให้ได้แสงไม่เพียงพอตลอดทั้งวัน ซึ่งโดยธรรมชาติของผักกลุ่มสลัดจะเป็นพืชที่ชอบแสงแดด จึงเกิดอาการยืดของลำต้นและก้านใบ

ตารางที่ 12 ผลการเจริญเติบโตเฉลี่ยของผักฟิเลย์ (เฉลี่ย 52 ต้น)

อายุ (วัน)	วัน/เดือน/ปี	จำนวนก้านใบ (ก้าน)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)
10	24/4/2555	4	4.5	4
20	04/5/2555	6	6.5	6
38	22/5/2555	9.5	13	11

* ดูรายละเอียดการบันทึกผลการเจริญเติบโตของผักฟิเลย์ที่ตารางผนวกที่ ง7-ง9



ภาพที่ 47 กราฟการเจริญเติบโตของฟิเลย์



ภาพที่ 48 ผลการเจริญเติบโตของฟิเลตส์

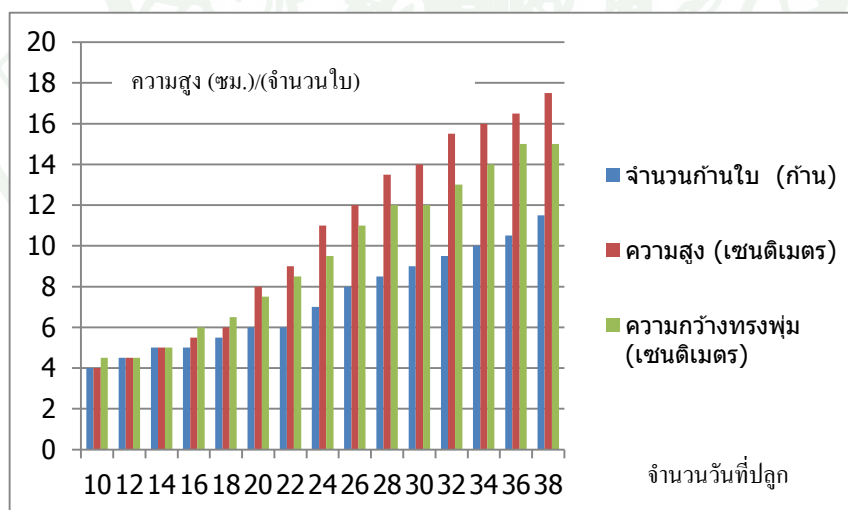
3.3.4 จากผลการศึกษาการเจริญเติบโตของกรีนโอ๊ค ดังตารางที่ 13 และภาพที่ 49-50 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อผักกาดกรีนโอ๊คมีอายุมากขึ้น การเจริญเติบโตทางด้านความสูง ความกว้าง ทรงพุ่ม และจำนวนใบมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แสดงว่าระบบพรางปลูกพืชระบบรากแขวนใน

แนวตั้ง ที่สร้างขึ้นสามารถใช้ปลูกผักกาดกรีนโอ๊คได้ และมีอายุ 38 วัน ให้น้ำหนักต้นเฉลี่ย 23.5 กรัม และการปลูกลงบนผนังปลูกพืชระบบรากแขวนในแนวตั้งที่สร้างขึ้นในพื้นที่ 0.60 ตารางเมตร นั้นอาจให้ผลผลิตที่ผิดรูปร่างไป ทั้งนี้เนื่องจากผักมีอัตราการยืดของก้านใบมากกว่าปกติ เมื่อปลูกลงบนผนังปลูกพืชในแนวตั้งที่ดึงหันหน้าไปทางทิศตะวันตก มีหลังคา กันสาดบังแดด ยาว 1.00 เมตร ทำให้ผักได้รับแสงครึ่งวัน ตั้งแต่เวลา 14.00 น. ถึง 17.00 น. ของทุกวัน จึงทำให้ได้แสงไม่เพียงพอตลอดทั้งวัน ซึ่งโดยธรรมชาติของผักกลุ่มสลัดจะเป็นพืชที่ชอบแสงแดด จึงเกิดอาการยืดของลำต้น และก้านใบ

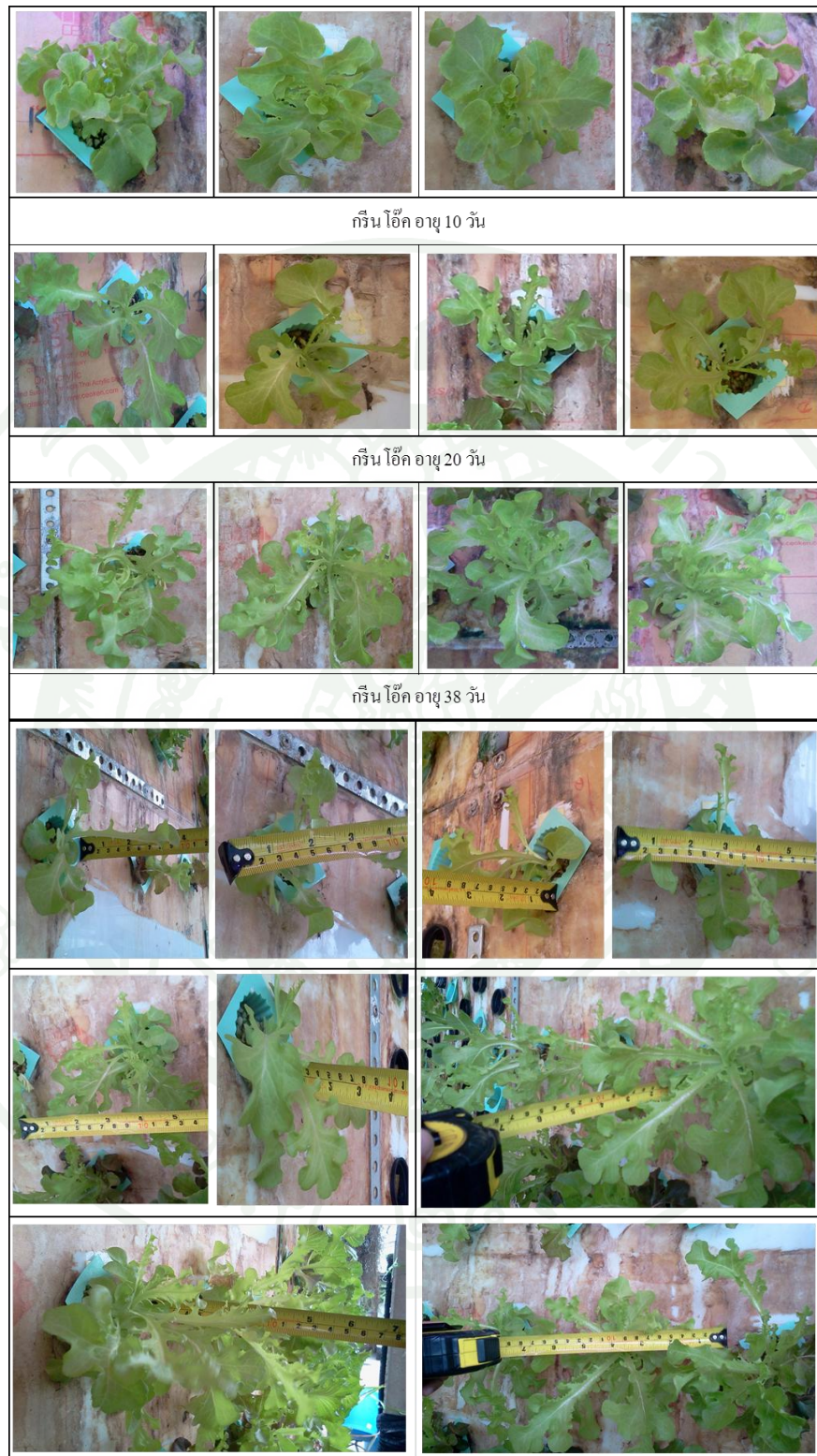
ตารางที่ 13 ผลการเจริญเติบโตเฉลี่ยของผักกาดกรีน โอ๊ค (เฉลี่ย 14 ต้น)

อายุ (วัน)	วัน/เดือน/ปี	จำนวนก้านใบ (ก้าน)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)
10	24/4/2555	4	4	4.5
20	04/5/2555	6	8	7.5
38	23/5/2555	11.50	17.5	15

* ดูรายละเอียดการบันทึกผลการเจริญเติบโตของผักกรีนโอ๊คที่ตารางผนวกที่ 10-12



ภาพที่ 49 กราฟการเจริญเติบโตของกรีน โอ๊ค



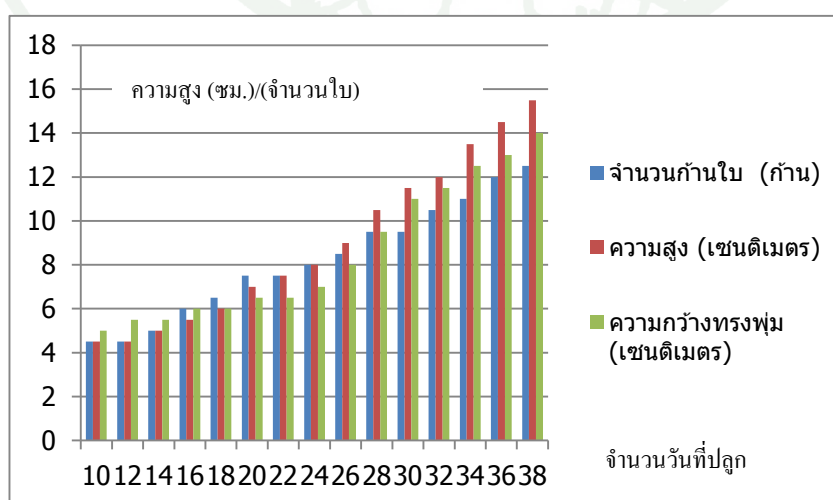
ภาพที่ 50 ผลการเจริญเติบโตของกรีนโอ๊ค

3.3.5 จากผลการศึกษาการเจริญเติบโตของเรดโอ๊ค ดังตารางที่ 14 และภาพที่ 51-52 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อผักกาดเรดโอ๊คมีอายุมากขึ้น การเจริญเติบโตทางด้านความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และจำนวนใบมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แสดงว่าระบบผนังปลูกพืชระบบรากแขวนในแนวตั้ง ที่สร้างขึ้นสามารถใช้ปลูกผักกาดเรดโอ๊คได้ และเมื่อมีอายุ 38 วัน ให้น้ำหนักต้นเฉลี่ย 20.5 กรัม และการปลูกลงบนผนังปลูกพืชระบบรากแขวนในแนวตั้งที่สร้างขึ้นในพื้นที่ 0.60 ตารางเมตร นั้นอาจให้ผลผลิตที่ผิดรูป้างไป ทั้งนี้เนื่องจากผักมีอัตราการยืดของก้านใบค่อนข้างมากกว่าปกติ เมื่อปลูกลงบนผนังปลูกพืชในแนวตั้งที่ตั้งหันหน้าไปทางทิศตะวันตก มีหลังคาบังแดดบังแดด ขาว 1.00 เมตร ทำให้ผักได้รับแสงครึ่งวัน ตั้งแต่เวลา 14.00 น. ถึง 17.00 น. ของทุกวัน จึงทำให้ได้แสงไม่เพียงพอตลอดทั้งวัน ซึ่งโดยธรรมชาติของผักกลุ่มสลัดจะเป็นพืชที่ชอบแสงแดด จึงเกิดอาการยืดของลำต้น ก้านใบ และสีแดงบนก้านใบที่จางไป

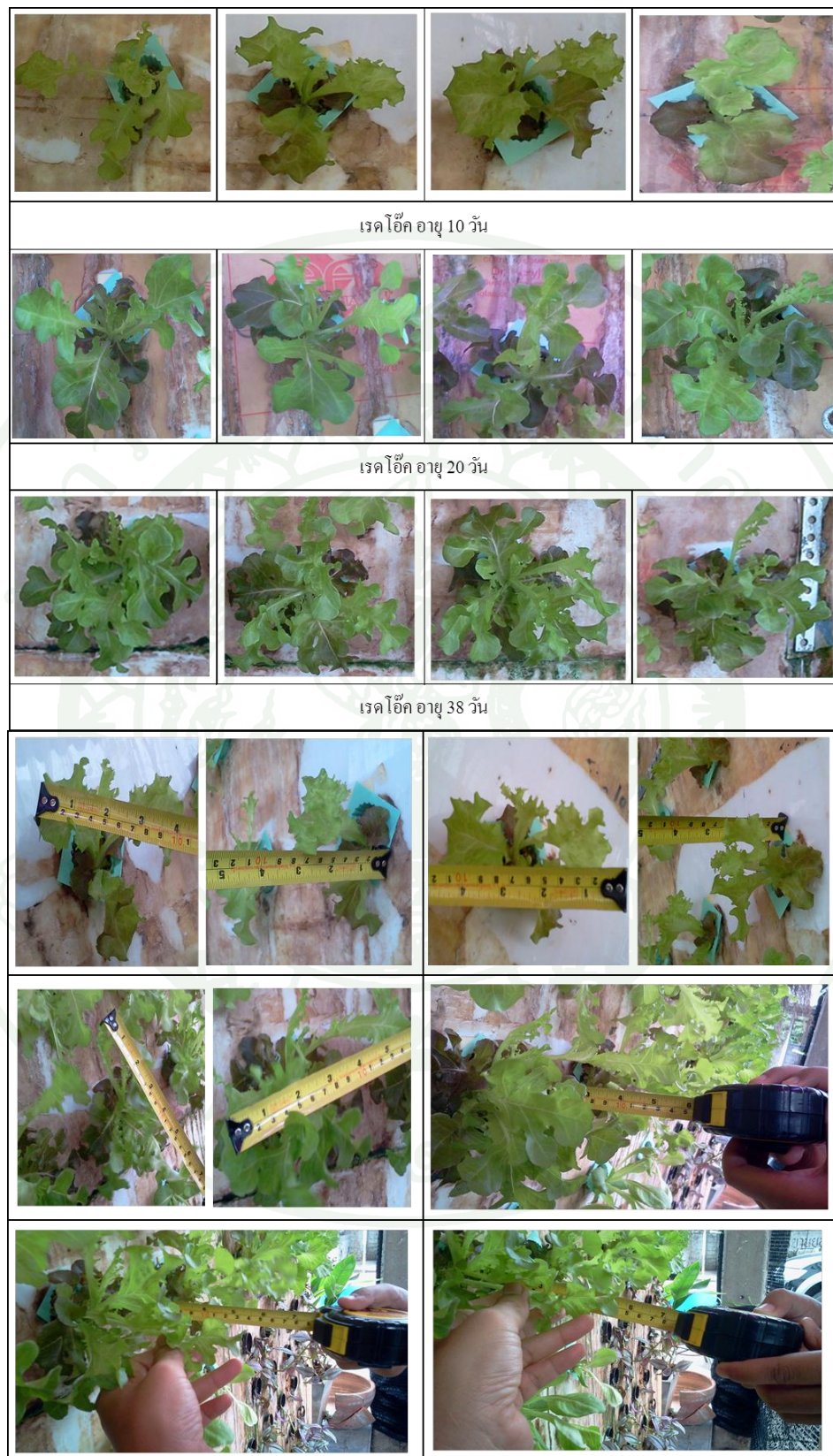
ตารางที่ 14 ผลการเจริญเติบโตเฉลี่ยของผักกาดเรดโอ๊ค (เฉลี่ย 14 ต้น)

อายุ (วัน)	วัน/เดือน/ปี	จำนวนก้านใบ (ก้าน)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)
10	24/4/2555	4.5	4.5	5
20	04/5/2555	7.5	7	6.5
38	22/5/2555	12.5	15.5	14

* ดูรายละเอียดการบันทึกผลการเจริญเติบโตของผักกาดเรดโอ๊คที่ตารางผนวกที่ ง13-ง15



ภาพที่ 51 กราฟการเจริญเติบโตของเรดโอ๊ค



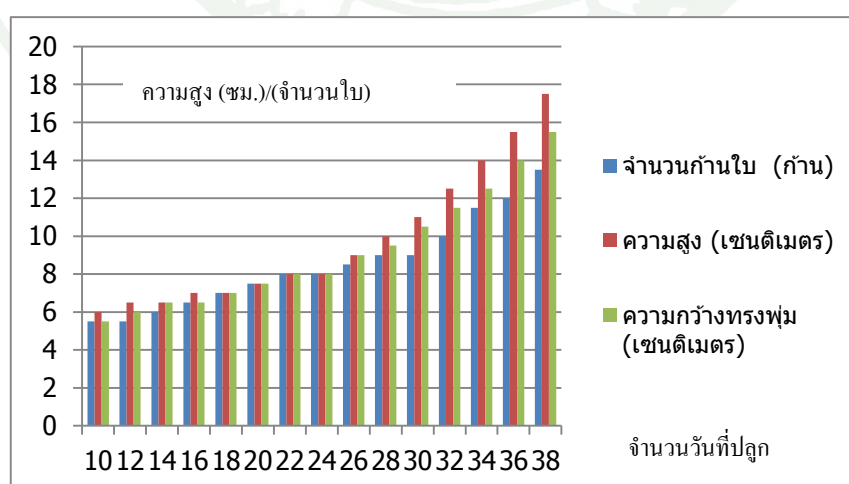
ภาพที่ 52 ผลการเจริญเติบโตของเรดโอ๊ค

3.3.6 จากผลการศึกษาการเจริญเติบโตของแบตเตอรี่สด ดังตารางที่ 15 และภาพที่ 53-54 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อแบตเตอรี่สดมีอายุมากขึ้น การเจริญเติบโตทางด้านความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และจำนวนใบมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แสดงว่าระบบผนังปลูกพืชระบบรากแขวนในแนวตั้งที่สร้างขึ้นสามารถใช้ปลูกผักกาดแบตเตอรี่สดได้ และเมื่อมีอายุ 38 วัน ให้น้ำหนักต้นเฉลี่ย 23.5 กรัม และการปลูกลงบนผนังปลูกพืชระบบรากแขวนในแนวตั้งที่สร้างขึ้นในพื้นที่ 0.60 ตารางเมตร นั้นอาจให้ผลผลิตที่ผิดรูปไป ทั้งนี้เนื่องจากผักมีอัตราการยืดของก้านใบค่อนข้างมากกว่าปกติ เมื่อปลูกลงบนผนังปลูกพืชในแนวตั้งที่ตั้งหันหน้าไปทางทิศตะวันตก มีหลังคาบังแดดบังแสงยาว 1.00 เมตร ทำให้ผักได้รับแสงครึ่งวัน ตั้งแต่เวลา 14.00 น. ถึง 17.00 น. ของทุกวัน จึงทำให้ได้แสงไม่เพียงพอตลอดทั้งวัน ซึ่งโดยธรรมชาติของผักกลุ่มสลัดจะเป็นพืชที่ชอบแสงแดด จึงเกิดอาการยืดของลำต้นและก้านใบ

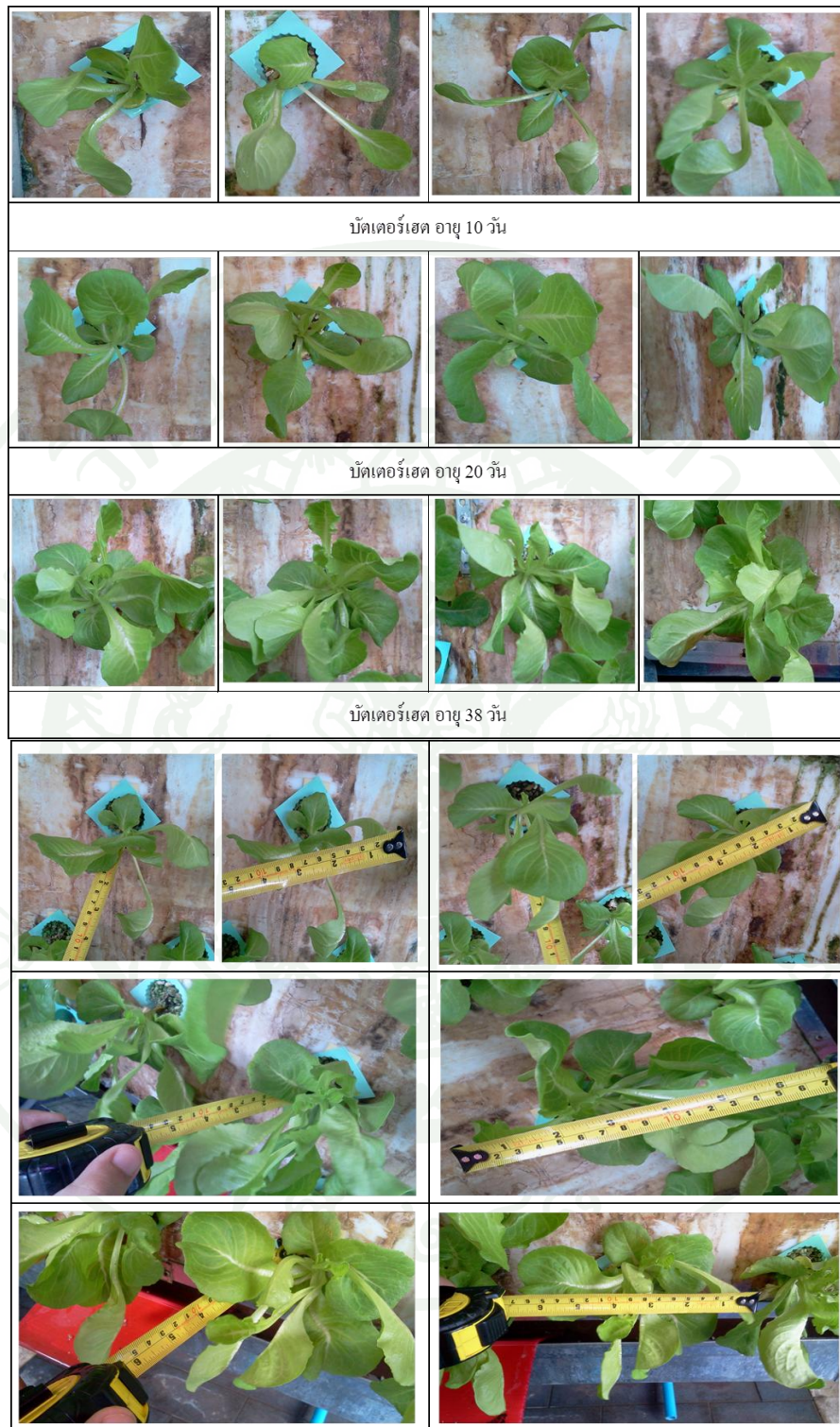
ตารางที่ 15 ผลการเจริญเติบโตเฉลี่ยของผักกาดแบตเตอรี่สด (เฉลี่ย 14 ต้น)

อายุ (วัน)	วัน/เดือน/ปี	จำนวนก้านใบ (ก้าน)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)
10	24/4/2555	5.5	6.0	5.5
20	04/5/2555	7.5	7.5	7.5
38	22/5/2555	13.50	17.5	15.5

* คูรายละเอียดการบันทึกผลการเจริญเติบโตของผักกาดแบตเตอรี่สดที่ตารางผนวกที่ ง16-ง18



ภาพที่ 53 กราฟการเจริญเติบโตของแบตเตอรี่สด



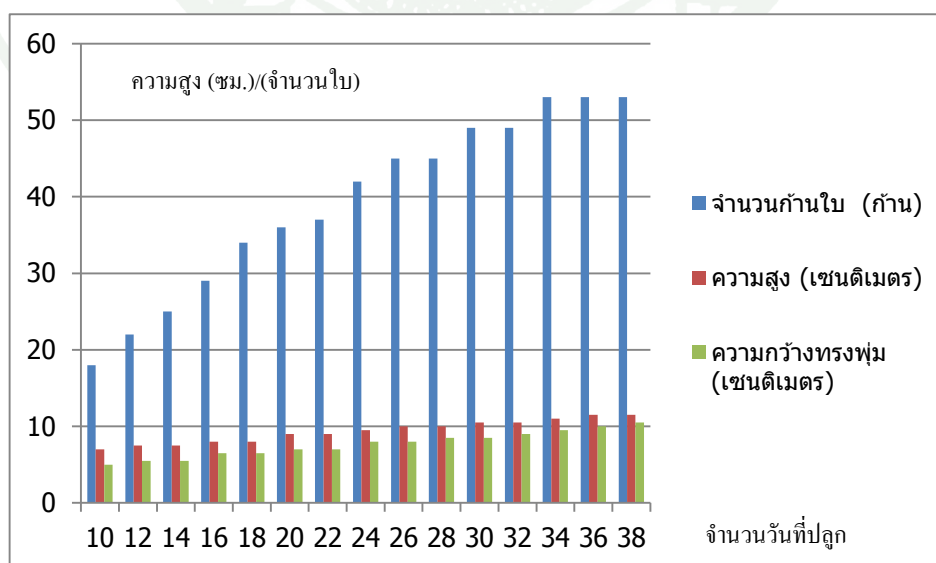
ภาพที่ 54 ผลการเจริญเติบโตของบัตเตอร์เฮด

3.3.7 จากผลการศึกษาการเจริญเติบโตของผักเป็ดแดง ดังตารางที่ 16 และภาพที่ 55-56 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อผักเป็ดแดงมีอายุมากขึ้นการเจริญเติบโตทางด้านความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และจำนวนใบมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แสดงว่าระบบผนังปลูกพืชระบบรากแขวนในแนวตั้งที่สร้างขึ้นสามารถใช้ปลูกผักเป็ดแดงได้ และเมื่อปลูกลงบนผนังปลูกพืชระบบรากแขวนในแนวตั้งที่สร้างขึ้นในพื้นที่ 0.60 ตารางเมตร ใบพืชมีสีแดงที่อ่อนลงน้อย เมื่อปลูกลงบนผนังปลูกพืชในแนวตั้งที่ตั้งหันหน้าไปทางทิศตะวันตก มีหลังคา กันสาดบังแดดยาว 1.00 เมตร ทำให้ผักได้รับแสงครึ่งวัน ตั้งแต่เวลา 14.00 น. ถึง 17.00 น. ของทุกวัน แต่จากการทดลองในส่วนการเจริญเติบโตของผักเป็ดแดง นั้นเป็นไปตามปกติ การที่ได้รับแสงครึ่งวันนั้นอาจไม่ส่งผลเท่าใดนัก เนื่องด้วยธรรมชาติของผักเป็ดแดง เป็นพืชที่ชอบแสงรำไร และการที่ได้แสงน้อยลงอาจทำให้สีส้มที่ค่อยลง แต่หากได้รับแสงตลอดวัน ก็จะทำให้สีส้มที่เข้มข้น

ตารางที่ 16 ผลการเจริญเติบโตเฉลี่ยของผักเป็ดแดง (เฉลี่ย 23 ต้น)

อายุ (วัน)	วัน/เดือน/ปี	จำนวนก้านใบ (ก้าน-ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)
10	28/3/2555	18	7.0	5
20	07/4/2555	36	9	7
38	25/4/2555	53	11.5	10.5

* ดูรายละเอียดการบันทึกผลการเจริญเติบโตของผักเป็ดแดงที่ตารางผนวกที่ ง19-ง21



ภาพที่ 55 กราฟการเจริญเติบโตของผักเป็ดแดง



ภาพที่ 56 ผลการเจริญเติบโตของผักเป็ดแดง

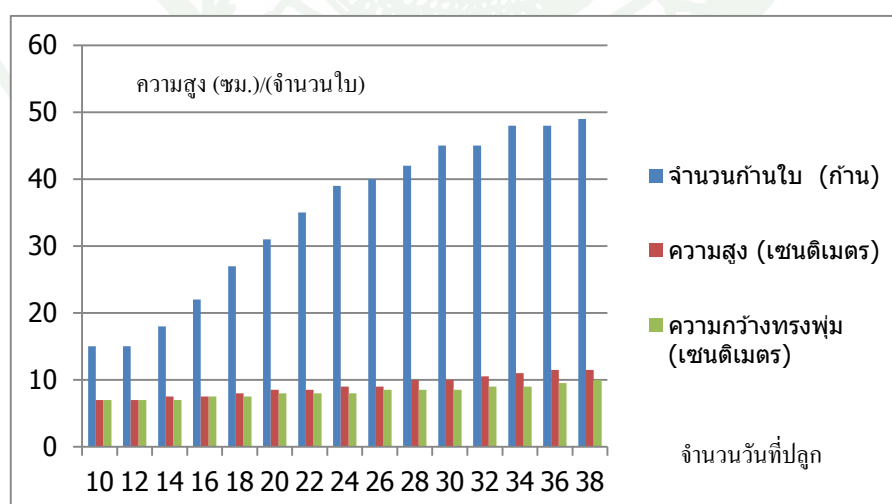
3.3.8 จากผลการศึกษาการเจริญเติบโตของวอเตอร์เครส ดังตารางที่ 17 และภาพที่ 57-58 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อพืชมีอายุมากขึ้นการเจริญเติบโตทางด้านความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และ

จำนวนใบมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แสดงว่าระบบผนังปลูกพืชระบบรากแขวนในแนวตั้ง ที่สร้างขึ้นสามารถใช้ปลูกผักเปิดแดงได้ และมีอายุ 38 วัน ให้น้ำหนักต้นเฉลี่ย 15.5 กรัม และเมื่อปลูกลงบนผนังปลูกพืชระบบรากแขวนในแนวตั้งที่สร้างขึ้นในพื้นที่ 0.60 ตารางเมตร ใบพืชมีสีที่อ่อนลงน้อย เมื่อปลูกลงบนผนังปลูกพืชในแนวตั้งที่ตั้งหันหน้าไปทางทิศตะวันตก มีหลังคา กันสาดบังแดด ยาว 1.00 เมตร ทำให้ผักได้รับแสงครึ่งวัน ตั้งแต่เวลา 14.00 น. ถึง 17.00 น. ของทุกวัน แต่จากการทดลองในส่วนการเจริญเติบโตของวอเตอร์เครสนั้นเป็นไปตามปกติ การที่ได้รับแสงครึ่งวันนั้นอาจไม่ส่งผลเท่าใดนัก เนื่องด้วยธรรมชาติของวอเตอร์เครสเป็นพืชที่ชอบแสงรำไร และการที่ได้แสงน้อยลงอาจทำให้สีของใบและความหนาของใบบางลง แต่หากได้รับแสงตลอดวันก็จะให้สีต้นที่สดใสและใบที่หนาขึ้น

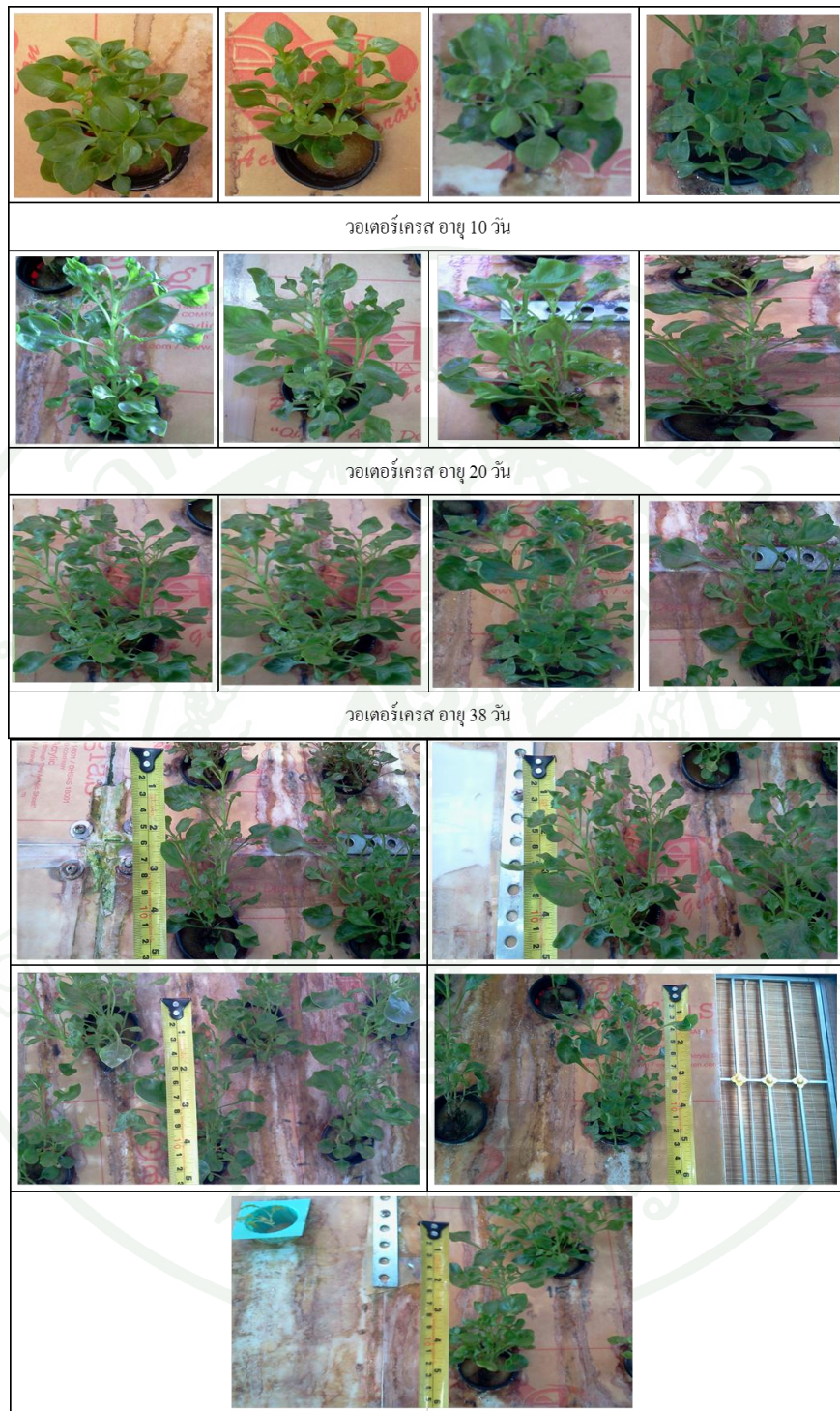
ตารางที่ 17 ผลการเจริญเติบโตเฉลี่ยของวอเตอร์เครส (เฉลี่ย 23 ต้น)

อายุ (วัน)	วัน/เดือน/ปี	จำนวนก้านใบ (ก้าน-ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)
10	28/3/2555	15	7	7
20	07/4/2555	31	8.5	8
38	24/4/2555	49	11.5	10

* คูรายะละเอียดการบันทึกผลการเจริญเติบโตของวอเตอร์เครสที่ตารางผนวกที่ ง22-ง24



ภาพที่ 57 กราฟการเจริญเติบโตของวอเตอร์เครส



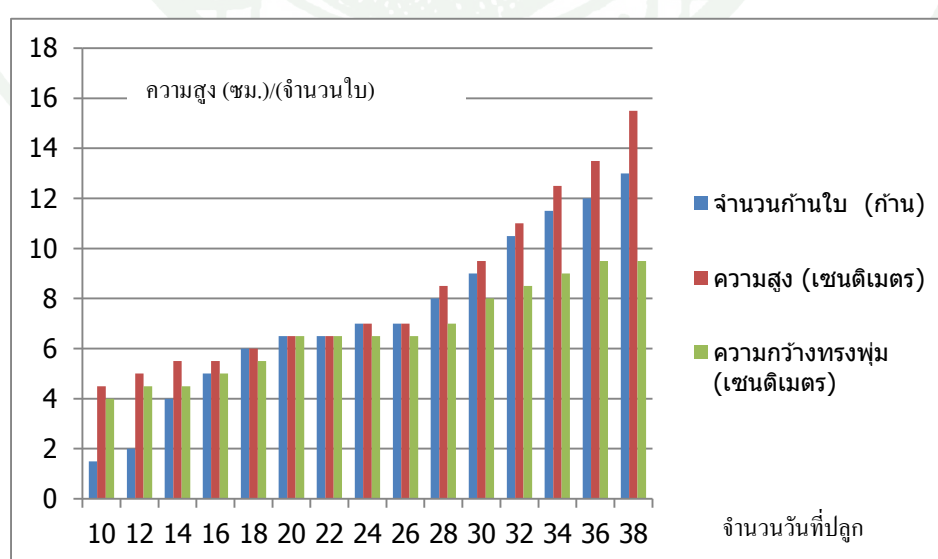
ภาพที่ 58 ผลการเจริญเติบโตของวอเตอร์เครส

3.3.9 จากผลการศึกษาการเจริญเติบโตของก้ามปูหลอด ดังตารางที่ 18 และภาพที่ 59-60 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อก้ามปูหลอดมีอายุมากขึ้นการเจริญเติบโตทางด้านความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และจำนวนใบมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แสดงว่าระบบผนังปลูกพืชระบบบรากแขวนในแนวตั้งที่สร้างขึ้นสามารถใช้ปลูกก้ามปูหลอดได้ และเมื่อปลูกลงบนผนังปลูกพืชระบบบรากแขวนในแนวตั้งที่สร้างขึ้นในพื้นที่ 0.60 ตารางเมตร เมื่อปลูกลงบนผนังปลูกพืชในแนวตั้งที่ตั้งหันหน้าไปทางทิศตะวันตก มีหลังคาบังแดดบังแดดยาว 1.00 เมตร ทำให้ผักได้รับแสงครึ่งวัน ตั้งแต่เวลา 14.00 น. ถึง 17.00 น. ของทุกวัน แต่จากการทดลองในส่วนการเจริญเติบโตของก้ามปูหลอดนั้นเป็นไปตามปกติ การที่ได้รับแสงครึ่งวันนั้นไม่ส่งผลต่อพืช ทั้งนี้เนื่องจากก้ามปูหลอดมีนิสัยชอบแสงแดดรำไรสามารถปลูกในร่มได้ การที่ได้แสงน้อยลงอาจทำให้สีต้นและความหนาของใบบางลง แต่หากได้รับแสงตลอดวันก็จะให้สีต้นที่สดใสและใบที่หนาขึ้นด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 18 ผลการเจริญเติบโตเฉลี่ยของก้ามปูหลอด (เฉลี่ย 23 ต้น)

อายุ (วัน)	วัน/เดือน/ปี	จำนวนก้านใบ (ก้าน-ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)
10	28/3/2555	1.5	4.5	4
20	07/4/2555	6.5	6.5	6.5
38	24/4/2555	13.0	15.5	9.5

* ดูรายละเอียดการบันทึกผลการเจริญเติบโตของก้ามปูหลอดที่ตารางผนวกที่ ง25-ง27



ภาพที่ 59 กราฟการเจริญเติบโตของก้ามปูหลอด



ภาพที่ 60 ผลการเจริญเติบโตของก้ามปูหลอด

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. ด้านผลผลิตที่ได้รับของพืชที่ปลูกลงบนผนังปลูกพืชระบบรากแขวนในแนวตั้งแยกสรุป ดังนี้

1.1 ด้านผลผลิตของผนังปลูกกรีนคอส เมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกในระบบ NFT พบว่า ขนาดและน้ำหนักน้อยกว่าครึ่งหนึ่ง แสดงไว้ในตารางที่ 19 และภาพที่ 62 สาเหตุน่าจะมีสาเหตุมาจาก ตำแหน่งการวางผนังปลูกพืชจัดวางในจุดที่ไม่เหมาะสม และมีกันสาดบังแสง ด้วยข้อจำกัดของ สถานที่ใช้ทำทดลองทำให้ผักกรีนคอสได้รับแสงแดดครึ่งวัน ซึ่งน้อยเกินไปไม่เพียงพอต่อความต้องการของผักกรีนคอส ซึ่งธรรมชาติเป็นพืชที่ชอบแสง จึงต้องใช้แสงสำหรับการสังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญเติบโตเป็นอย่างมาก ส่งผลให้ลำต้นมีรูปร่างเล็กลง แต่เรียวยาวลักษณะของการยืดตัว รวมถึงขนาดของก้านใบมีลักษณะบางไม่หนา และสีต้นค่อนข้างเขียวอ่อน ไม่เขียวเข้มเมื่อเทียบกับการปลูกในระบบ NFT ที่ปลูกลงในแจ่ง และได้รับแสงอย่างเต็มที่ตลอดทั้งวัน มีการติดตั้งและวางตำแหน่งผนังปลูกพืชสภาพแวดล้อม ดังนี้

- โต๊ะปลูกพืชติดตั้งอยู่กลางแจ้ง บนเนื้อที่ 150 ตรว.
- การปลูกไม่ใช่โรงเรือนได้รับแสงธรรมชาติตลอดวัน
- ใช้หัวพ่นน้ำแบบฝอยฉีดพ่นน้ำคลุมด้านบนชุดปลูกเพื่อช่วยลดความร้อนให้แก่พืชทุก 30 นาที
- โต๊ะปลูกพืชมีขนาด (ก) 1.20 ม. x (ย) 16 ม. x (ลึก)
- สามารถวางรางปลูกได้ 9 ราง โดย 1 รางสามารถปลูกพืชได้ 57 ต้น รวม 9 ราง จะปลูกพืชได้ 513 ต้น ดังภาพที่ 61



ภาพที่ 61 ตำแหน่งการวางผังปลูกพืชระบบ NFT และสภาพแวดล้อมโดยรอบ

ตารางที่ 19 น้ำหนักผลผลิตกรีนคอส (เฉลี่ย 52 ต้น)

ประเภทของผลผลิต	น้ำหนัก
น้ำหนักต้นและรากเฉลี่ยระบบ Vertical Aeroponics	20.20 กรัม
น้ำหนักต้นและรากเฉลี่ยระบบ NFT	40.00 กรัม
น้ำหนักเฉลี่ยที่แตกต่างกัน	19.80 กรัม

* ดูรายละเอียดปริมาณน้ำหนักผลผลิตของกรีนคอสที่ตารางผนวกที่ ค1



วัดขนาดผักระบบ Aeroponics



น้ำหนักกรีนคอส (ระบบ Aeroponics)

น้ำหนักกรีนคอส (ระบบ NFT)

ภาพที่ 62 การบันทึกผลผลิตของกรีนคอส

1.2 ด้านผลผลิตของผนังปลูกเรดปิตตาเวีย มีการเปรียบเทียบกับการปลูกในระบบ NFT พบว่าขนาดและน้ำหนักน้อยกว่าครึ่งหนึ่ง แสดงไว้ในตารางที่ 20 และภาพที่ 63 สาเหตุน่าจะมีสาเหตุมาจากตำแหน่งการวางผนังปลูกพืชจัดวางในจุดที่ไม่เหมาะสมเนื่องด้วยข้อจำกัดของสถานที่ๆ ใช้ทำทดลองทำให้ผักเรดปิตตาเวียได้รับแสงแดดครึ่งวัน ซึ่งน้อยเกินไปไม่เพียงพอต่อความต้องการของผักเรดปิตตาเวีย ซึ่งธรรมชาติเป็นพืชที่ชอบแสง จึงต้องใช้แสงสำหรับการสังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญเติบโตเป็นอย่างมาก ส่งผลให้ลำต้นมีรูปร่างเล็กลง แต่เรียวยาวลักษณะของการยืดตัวรวมถึงขนาดของก้านใบมีลักษณะบางไม่หนา และสีต้นค่อนข้างเขียวอ่อน ไม่มีสีแดงผสมสีเขียวเข้มเมื่อเทียบกับการปลูกในระบบ NFT ที่ปลูกกลางแจ้ง และได้รับแสงอย่างเต็มที่ตลอดทั้งวัน

ตารางที่ 20 น้ำหนักผลผลิตเรดปิตาเวีย (เฉลี่ย 52 ต้น)

ประเภทของผลผลิต	น้ำหนัก
น้ำหนักต้นและรากเฉลี่ยระบบ Vertical Aeroponics	22.40 กรัม
น้ำหนักต้นและราก เฉลี่ยระบบ NFT	43.50 กรัม
น้ำหนักเฉลี่ยที่แตกต่างกัน	21.10 กรัม

* ดูรายละเอียดปริมาณน้ำหนักผลผลิตของเรดปิตาเวียที่ตารางผนวกที่ ค2



วัดขนาดผักระบบ Aeroponics



น้ำหนักต้นและราก (ระบบ Aeroponics)

น้ำหนักเรดปิตาเวีย (ระบบ NFT)

ภาพที่ 63 การบันทึกผลผลิตของเรดปิตาเวีย

1.3 ด้านผลผลิตของพืชน้ำปลูกฟิล์มใส มีการเปรียบเทียบกับการปลูกในระบบ NFT พบว่าขนาดและน้ำหนักน้อยกว่าครึ่งหนึ่ง แสดงไว้ในตารางที่ 21 และภาพที่ 64 สาเหตุน่าจะมีสาเหตุมาจากตำแหน่งการวางพืชน้ำปลูกพืชจัดวางในจุดที่ไม่เหมาะสมเนื่องด้วยข้อจำกัดของสถานที่ใช้ทำทดลองทำให้ผักฟิล์มใสได้รับแสงแดดครึ่งวัน ซึ่งน้อยเกินไปไม่เพียงพอต่อความต้องการของผักฟิล์มใส ซึ่งธรรมชาติเป็นพืชที่ชอบแสง จึงต้องใช้แสงสำหรับการสังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญเติบโตเป็นอย่างมาก ส่งผลให้ลำ

ต้นมีรูปร่างเล็กลง แต่เรียวยาวลักษณะของการยืดตัว รวมถึงขนาดของก้านใบ และขอบใบไม่หยัก หนามมีลักษณะบางไม่หนา และสีสันท่อนไปทางสีเขียวอ่อน ไม่มีสีเขียวเข้มเมื่อเทียบกับ การปลูกในระบบ NFT ที่ปลูกกลางแจ้ง และได้รับแสงอย่างเต็มที่ตลอดทั้งวัน

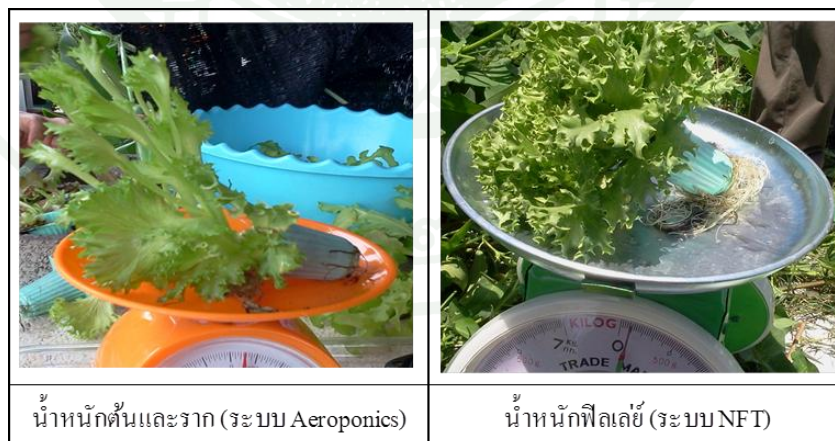
ตารางที่ 21 ตารางน้ำหนักผลผลิตฟิเลย์ (เฉลี่ย 52 ต้น)

ประเภทของผลผลิต	น้ำหนัก
น้ำหนักต้นและราก เฉลี่ยระบบ Aeroponics	21.50 กรัม
น้ำหนักต้นและราก เฉลี่ยระบบ NFT	41.00 กรัม
น้ำหนักเฉลี่ยที่แตกต่างกัน	19.50 กรัม

* ดูรายละเอียดปริมาณน้ำหนักผลผลิตของฟิเลย์ที่ตารางผนวกที่ ค3



วัดขนาดผักระบบ Aeroponics



น้ำหนักต้นและราก (ระบบ Aeroponics)

น้ำหนักฟิเลย์ (ระบบ NFT)

ภาพที่ 64 ผลผลิตของฟิเลย์

1.4 ด้านผลผลิตของพืชน้ำปลูกกรีนโอ๊ค มีการเปรียบเทียบกับการปลูกในระบบ NFT พบว่าขนาดและน้ำหนักน้อยกว่าครึ่งหนึ่ง แสดงไว้ในตารางที่ 22 และภาพที่ 65 สาเหตุน่าจะมีสาเหตุมาจากตำแหน่งการวางพืชน้ำปลูกพืชรูปร่างในจุดที่ไม่เหมาะสมเนื่องด้วยข้อจำกัดของสถานที่ๆใช้ทำทดลอง ทำให้ผักกรีนโอ๊คได้รับแสงแดดครึ่งวัน ซึ่งน้อยเกินไปไม่เพียงพอต่อความต้องการของผักกรีนโอ๊ค ซึ่งธรรมชาติเป็นพืชที่ชอบแสง จึงต้องใช้แสงสำหรับการสังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญเติบโตเป็นอย่างมาก ส่งผลให้ลำต้นมีรูปร่างเล็กลงแต่เรียวยาวลักษณะของการยืดตัว รวมถึงขนาดของก้านใบ และขอบใบเป็นลอนแต่มีลักษณะบางไม่หนา และสีสันท่อนไปทางสีเขียวอ่อน ไม่มีสีเขียวเข้มเมื่อเทียบกับการปลูกในระบบ NFT ที่ปลูกกลางแจ้ง และได้รับแสงอย่างเต็มที่ตลอดทั้งวัน

ตารางที่ 22 น้ำหนักผลผลิตกรีนโอ๊ค (เฉลี่ย 14 ต้น)

ประเภทของผลผลิต	น้ำหนัก
น้ำหนักต้นและราก เฉลี่ยระบบ Aeroponics)	23.00 กรัม
น้ำหนักต้นและราก เฉลี่ยระบบ NFT	43.50 กรัม
น้ำหนักเฉลี่ยที่แตกต่างกัน	20.50 กรัม

* ดูรายละเอียดปริมาณน้ำหนักผลผลิตของกรีนโอ๊คที่ตารางผนวกที่ ค4



วัดขนาดผักระบบ Aeroponics

ภาพที่ 65 ผลผลิตของกรีนโอ๊ค



ภาพที่ 65 (ต่อ)

1.5 ด้านผลผลิตของพืชน้ำปลูกเรดโอ๊ค มีการเปรียบเทียบกับปลูกในระบบ NFT พบว่าขนาดและน้ำหนักน้อยกว่าครึ่งหนึ่ง แสดงไว้ในตารางที่ 23 และภาพที่ 66 สาเหตุน่าจะมีสาเหตุมาจากตำแหน่งการวางพืชน้ำปลูกที่จัดวางในจุดที่ไม่เหมาะสมเนื่องด้วยข้อจำกัดของสถานที่ๆใช้ทำทดลอง ทำให้ผักเรดโอ๊คได้รับแสงแดดครึ่งวัน ซึ่งน้อยเกินไปไม่เพียงพอต่อความต้องการของผักเรดโอ๊ค ซึ่งธรรมชาติเป็นพืชที่ชอบแสง จึงต้องใช้แสงสำหรับการสังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญเติบโตเป็นอย่างมาก ส่งผลให้ลำต้นมีรูปร่างเล็กลงแต่เรียนรู้ว่าลักษณะของการยึดตัว รวมถึงขนาดของก้านใบ และขอบใบเป็นลอนแต่มีลักษณะบางไม่หนา และสีต้นค่อนข้างเขียวอ่อน ไม่ออกสีแดงเข้มเมื่อเทียบกับปลูกในระบบ NFT ที่ปลูกกลางแจ้ง ซึ่งสายพันธุ์ ถ้าได้รับแสงอย่างเต็มที่ตลอดทั้งวันจะให้สีออกแดงแกมม่วงสด

ตารางที่ 23 น้ำหนักผลผลิตเรดโอ๊ค (เฉลี่ย 14 ต้น)

ประเภทของผลผลิต	น้ำหนัก
น้ำหนักรากและราก เฉลี่ยระบบ Aeroponics	25.00 กรัม
น้ำหนักรากและราก เฉลี่ยระบบ NFT	43.00 กรัม
น้ำหนักเฉลี่ยที่แตกต่างกัน	18.00 กรัม

* ดูรายละเอียดปริมาณน้ำหนักรากและผลผลิตของเรดโอ๊คที่ตารางผนวกที่ ค5



วัดขนาดผักระบบ Aeroponics



น้ำหนักต้นและราก (ระบบ Aeroponics)

น้ำหนักเรดโอ๊ค (ระบบ NFT)

ภาพที่ 66 ผลผลิตของเรดโอ๊ค

1.6 ด้านผลผลิตของพนักปลูกผักแบตเตอรี่ไฮโดร มีการเปรียบเทียบกับการปลูกในระบบ NFT พบว่าขนาดและน้ำหนักน้อยกว่าครึ่งหนึ่ง แสดงในตารางที่ 24 และภาพที่ 67 สาเหตุน่าจะมีส่วนมาจากตำแหน่งการวางพนักปลูกพืชจัดวางในจุดที่ไม่เหมาะสมเนื่องด้วยข้อจำกัดของสถานที่ๆใช้ทำทดลองทำให้ผักแบตเตอรี่ไฮโดรได้รับแสงแดดครึ่งวัน ซึ่งน้อยเกินไปไม่เพียงพอต่อความต้องการของผักแบตเตอรี่ไฮโดร ซึ่งธรรมชาติเป็นพืชที่ชอบแสง จึงต้องใช้แสงสำหรับการสังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญเติบโตเป็นอย่างมากส่งผลให้ลำต้นมีรูปร่างเล็กลงแต่เรียวยาวลักษณะของการยืดตัวไม่มีรูปฟอร์มคล้ายดอกกุหลาบตามสายพันธุ์ ขนาดของก้านใบ และขอบใบมีลักษณะบางไม่หนา และสีต้นก่อนออกไปทางสีเขียวอ่อน เมื่อเทียบกับการปลูกในระบบ NFT ที่ปลูกกลางแจ้ง ถ้าได้รับแสงอย่างเต็มที่ตลอดทั้งวันจะให้สีต้นเขียวสด และได้รูปฟอร์มคล้ายดอกกุหลาบ

ตารางที่ 24 น้ำหนักผลผลิตแบตเตอรี่เฮด (เฉลี่ย 14 ต้น)

ประเภทของผลผลิต	น้ำหนัก
น้ำหนักต้นและราก เฉลี่ยระบบ Aeroponics	24.50 กรัม
น้ำหนักต้นและราก เฉลี่ยระบบ NFT	41.00 กรัม
น้ำหนักเฉลี่ยที่แตกต่างกัน	16.50 กรัม

* ดูรายละเอียดปริมาณน้ำหนักผลผลิตของแบตเตอรี่เฮดที่ตารางผนวกที่ 6



วัดขนาดผักระบบ Aeroponics



น้ำหนักต้นและราก (ระบบ Aeroponics)

น้ำหนักแบตเตอรี่เฮด (ระบบ NFT)

ภาพที่ 67 การบันทึกผลผลิตของแบตเตอรี่เฮด

1.7 ด้านผลผลิตของผนังปลูกผักเปิดแดง, วอเตอร์เคส และก้ามปูหลอด ไม่ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบน้ำหนักของผลผลิต แต่ทำการทดลองปลูกเพื่อเป็นการพิสูจน์ว่าพืชชนิดดังกล่าวที่เลือกไว้นั้นสามารถที่จะปลูกในผนังปลูกพืชระบบแอร์โร โปนิกส์ในแนวตั้งได้ และมีการเจริญเติบโตเป็นที่น่าสนใจเช่นกัน ดังภาพที่ 68



ผักเป็ดแดง (ระบบ Aeroponics)



วอเตอร์เครส (ระบบ Aeroponics)



ก้ามปูหลด (ระบบ Aeroponics)

ภาพที่ 68 ผลการเจริญเติบโตของผักเป็ดแดง,วอเตอร์เครส และก้ามปูหลด

2. ด้านผลการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชระบบแอร์โรโปนิคส์กับระบบ NFT

2.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชผักทรงอื่น ๆ อันได้แก่ กรีนคอส เรด ปีตดาเวีย ฟิลเลย์ ที่ปลูกในระบบแอร์โรโปนิคส์แนวตั้งและระบบ NFT แสดงไว้ในตารางผนวกที่ จ1-จ3 ที่อายุ 10 วัน - 38 วัน ดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของกรีนคอสในระบบแอร์โรโปนิคส์กับระบบ NFT ที่อายุ 10 วัน - 38 วัน

อายุ (วัน)	ความสูงเฉลี่ย (เซนติเมตร)		ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ย (เซนติเมตร)		จำนวนก้านใบเฉลี่ย (ใบ)	
	ระบบแอร์โรโปนิคส์	NFT	ระบบแอร์โรโปนิคส์	NFT	ระบบแอร์โรโปนิคส์	NFT
10	4	4	4.5	4.5	4.5	4.5
14	4.5	5	5	8	5	6
18	7	6	7.5	10	6	8
22	11	8	10.5	13	7	10
26	12.5	9.5	11.5	15	8	12
30	15	10	12.5	17	8	13
34	18	12	14	18	8.5	15
38	20	14	16	22	10	15
รวม	92	68.5	81.5	107.5	57	83.5
เฉลี่ย	11.5	8.5625	10.1875	13.4375	7.125	10.4375

จากตารางที่ 25 แสดงให้เห็นว่าในขณะที่พืชมีอายุ 10 วัน การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชด้วยการปลูกทั้ง 2 ระบบนั้น ทั้งความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และจำนวนก้านใบมีอัตราการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อกรีนคอสที่ปลูกในระบบแอร์โรโปนิคส์แนวตั้ง และที่ปลูกในระบบระบบ NFT มีอายุเพิ่มขึ้น (เปรียบเทียบในช่วงอายุเท่ากัน) จะพบว่า กรีนคอสที่ปลูกในระบบแอร์โรโปนิคส์แนวตั้งมีแนวโน้มที่จะมีความสูงมากกว่ากรีนคอสที่ปลูกในระบบ NFT ดังตารางผนวกที่ จ1 สาเหตุที่กรีนคอสที่ปลูกในระบบแอร์โรโปนิคส์แนวตั้งมีความสูงมากกว่ากรีนคอส ที่ปลูกในระบบ NFT อาจเป็นเพราะแสงที่ได้รับเพียงครึ่งวัน ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาทาง ความกว้างทรงพุ่มของกรีนคอส ก็จะพบว่ากรีนคอสที่ปลูกในระบบ NFT จะมีทรงพุ่มกว้างขึ้นมากกว่าเมื่อพืชมีอายุเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบในช่วงอายุเท่ากันจะพบว่าในช่วงอายุ 26 ถึง 38 วัน กรีนคอสที่ปลูกในระบบแอร์โรโปนิคส์แนวตั้ง มีแนวโน้มที่จะมีความกว้างของทรงพุ่มน้อยกว่ากรีนคอสที่ปลูกในระบบ NFT อย่างเห็นได้ชัด สาเหตุที่กรีนคอสในระบบ NFT มีความกว้างทรงพุ่มมากกว่ากรีนคอส ที่ปลูกในระบบแอร์โรโปนิคส์แนวตั้ง อาจเป็นเพราะ กรีนคอสที่ปลูกในระบบ NFT เจริญเติบโตได้อย่างสมบูรณ์กว่า เนื่องด้วยปลูกในสภาพแวดล้อมที่ดี ได้ปริมาณแสงอย่าง

พอเพียง 100% ต่างจากกรีนคอสที่ปลูกในระบบแอร์โรโปนิคส์แนวตั้งที่ได้รับแสงธรรมชาติเพียงแค่ครึ่งวัน เนื่องจากข้อจำกัดในด้านสถานที่ทำการทดลอง และในช่วงการทดลองเกิดอุทกภัย จึงทำให้กรีนคอสที่ปลูกในระบบ NFT สามารถเจริญเติบโตทางลำต้นได้ดีกว่าและมีจำนวนก้านใบเป็นจำนวนมากกว่ากรีนคอสที่ปลูกในระบบแอร์โรโปนิคส์แนวตั้งดังกล่าวเช่นกัน ทั้งนี้ในส่วนของพืชผักอีก 2 ชนิด คือ เรดปัตตาเวีย และฟิเลย์ ก็มีลักษณะการเจริญเติบโตทางด้านความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และจำนวนก้านใบ ที่มีแนวโน้มของการเจริญเติบโตไปในทางเดียวกันกับกรีนคอสด้วยเช่นกัน (ดังตารางผนวกที่ จ2 - จ3)

2.2 สรุปผลการทดลองเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชผักทรงพุ่ม อันได้แก่ กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค บัตเตอร์เฮด ที่ปลูกในระบบแอร์โรโปนิคส์แนวตั้งและระบบ NFT แสดงไว้ในตารางผนวกที่ จ 4-จ6 ที่อายุ 10 ถึง 38 วัน ดังตารางที่ 26

ตารางที่ 26 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของกรีนโอ๊คในระบบแอร์โรโปนิคส์กับระบบ NFT ที่อายุ 10 วัน - 38 วัน

อายุ (วัน)	ความสูงเฉลี่ย (เซนติเมตร)		ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ย (เซนติเมตร)		จำนวนก้านใบเฉลี่ย (ใบ)	
	ระบบแอร์โรโปนิคส์	NFT	ระบบแอร์โรโปนิคส์	NFT	ระบบแอร์โรโปนิคส์	NFT
10	4	4	4.5	4.5	4	4.5
14	5	4.5	5	6	5	6
18	6	4.5	6.5	7.5	5.5	8
22	9	6	8.5	12	6	10
30	14	7.5	12	16.5	9	13.5
34	16	8.5	14	19	10	15
38	17.5	11.5	15	21	11.5	16.5
รวม	83.5	53	76	100.5	59	84.5
เฉลี่ย	10.4375	6.625	9.5	12.5625	7.375	10.5625

จากตารางที่ 26 แสดงให้เห็นว่าในขณะที่พืชมีอายุ 10 วัน การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชด้วยการปลูกทั้ง 2 ระบบนั้นทั้งความสูง, ความกว้างทรงพุ่ม และจำนวนก้านใบมีอัตรา

การเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อกรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบแอร์โรโปนิคส์แนวตั้ง และที่ปลูกในระบบระบบ NFT มีอายุเพิ่มขึ้น (เปรียบเทียบที่ช่วงอายุเท่ากัน) จะพบว่ากรีนโอ๊ค ที่ปลูกในระบบแอร์โรโปนิคส์แนวตั้งมีแนวโน้มที่จะมีความสูงมากกว่ากรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบ NFT ดังตารางผนวกที่ จ1 สาเหตุที่กรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบแอร์โรโปนิคส์แนวตั้งมีความสูงมากกว่ากรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบ NFT อาจเป็นเพราะแสงที่ได้รับแสงครึ่งวัน ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาทางความกว้างทรงพุ่มของกรีนโอ๊ค ก็จะพบว่า กรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบ NFT จะมีทรงพุ่มกว้างขึ้นมากกว่าเมื่อพืชมีอายุเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบที่ช่วงอายุเท่ากันจะพบว่าที่ช่วงอายุ 26 ถึง 38 วัน กรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบแอร์โรโปนิคส์แนวตั้ง มีแนวโน้มที่จะมีความกว้างของทรงพุ่มน้อยกว่ากรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบ NFT อย่างเห็นได้ชัด สาเหตุที่กรีนโอ๊คในระบบ NFT มีความกว้างทรงพุ่มมากกว่ากรีนโอ๊ค ที่ปลูกในระบบแอร์โรโปนิคส์แนวตั้ง อาจเป็นเพราะกรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบ NFT เจริญเติบโตได้อย่างสมบูรณ์กว่า เนื่องด้วยปลูกในสภาพแวดล้อมที่ดี ได้ปริมาณแสงอย่างพอเพียง 100% ต่างจากกรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบแอร์โรโปนิคส์แนวตั้งที่ได้รับแสงธรรมชาติเพียงแค่ครึ่งวัน เนื่องด้วยข้อจำกัดในด้านสถานที่ทำการทดลอง และในช่วงการทดลองเกิดอุทกภัย จึงทำให้กรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบ NFT สามารถเจริญเติบโตทางลำต้นได้ดีกว่าและมีจำนวนก้านใบเป็นจำนวนมากกว่ากรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบแอร์โรโปนิคส์แนวตั้งดังกล่าวเช่นกัน ทั้งนี้ในส่วน of พืชผักอีก 2 ชนิด คือ เรดโอ๊ค และบัตเตอร์เฮด ก็มีลักษณะการเจริญเติบโตทางด้านความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และจำนวนก้านใบที่มีแนวโน้มของการเจริญเติบโตไปในทางเดียวกันกับกรีนโอ๊คด้วยเช่นกัน (ดังตารางผนวกที่ จ5-จ6)

3. ด้านผลการใช้พลังงาน ของผนังปลูกพืชระบบรากแขวนในแนวตั้ง (Vertical Aeroponics) ตลอดช่วงระยะเวลา 38 วัน ได้ผลดังนี้

3.1 ผลการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยการวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของผนังปลูกพืชระบบรากแขวนในแนวตั้ง เริ่มวัดและเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 18 มี.ค. 2555 ถึง 15 พ.ค. 2555 โดยใช้มาตรวัดไฟฟ้า เป็นตัวบันทึกค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและนำค่าที่วัดได้บันทึกลงตารางที่ 27 และ 28 เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับประกอบการประยุกต์ใช้งานผนังปลูกพืช

ตารางที่ 27 การบันทึกค่าไฟฟ้าตลอดระยะเวลาการทดลอง

มาตรวัดปริมาณไฟฟ้า เลขที่ : ต - 151971

วันที่	เลขในมาตรวัด	จำนวนหน่วยที่ใช้ไป	คิดเป็นค่าใช้จ่าย (บาท)
18/03/2555	9201	0	$(0 * 4.96 * 0.7124 * 0.8993) = 0$
07/04/2555	9210	9	$(9 * 4.96 * 0.7124 * 0.8993) = 25$
15/04/2555	9219	9	$(9 * 4.96 * 0.7124 * 0.8993) = 25$
30/04/2555	9232	13	$(13 * 4.96 * 0.7124 * 0.8993) = 57$
25/05/2555	9261	29	$(29 * 4.96 * 0.7124 * 0.8993) = 91$

*ผลรวมค่าไฟฟ้าตลอดช่วงการทดลอง $(25+25+57+91) = 198$ บาท

ตารางที่ 28 การคิดค่าไฟฟ้าของไฟฟ้านครหลวง

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด	คือ	ไม่มีการใช้ไฟฟ้า	4.67	บาท
5 หน่วย (มิเตอร์ตั้งชั่วโมงแรก)	(หน่วยที่ 1-5)	เป็นเงิน	4.96	บาท
10 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 6-15)	หน่วยละ	0.7124	บาท
10 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 16-25)	หน่วยละ	0.8993	บาท
10 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 26-35)	หน่วยละ	1.1516	บาท
65 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 36-100)	หน่วยละ	1.5348	บาท
50 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 101-150)	หน่วยละ	1.6282	บาท

ที่มา: การไฟฟ้านครหลวง (2552)

3.2 การเก็บข้อมูลปริมาณการใช้น้ำประปา โดยการวัดปริมาณการใช้น้ำประปาของผนังปลูกพืชระบบรากแขนในแนวตั้ง เริ่มวัดและเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 18 มี.ค.2555 ถึง 25 พ.ค.2555 โดยใช้ มาตรวัดน้ำ เป็นตัวบันทึกค่าปริมาณการใช้น้ำบันทึกลงในตารางที่ 29 และ 30

ตารางที่ 29 คำนวณค่าประปาตลอดระยะเวลาการทดลอง

วันที่	เลขในมาตรวัด	จำนวนหน่วยน้ำที่ใช้ไป	คิดเป็นค่าใช้จ่าย (บาท)
18/03/2555	0001 - 3	0.3	$32.32 * 7\% = 34.57$
07/04/2555	0002 - 5	1.3	$40.07 * 7\% = 42.87$
15/04/2555	0003 - 9	1.4	$40.85 * 7\% = 43.70$
30/04/2555	0004 - 1	0.2	$31.55 * 7\% = 33.75$
25/05/2555	0004 - 6	0.5	$33.87 * 7\% = 36.24$

* ผลรวมค่าใช้จ่ายน้ำประปาตลอดการวิจัย $(34.57 + 42.87 + 43.70 + 33.75 + 36.24) = 191.13$ บาท

การคิดค่าน้ำประปาสำหรับเขตนครหลวง มีดังนี้

การใช้น้ำประปาจำนวน 0-10 หน่วย $= (A \times 7.75) + 30 \times 7\%$

การใช้น้ำประปาจำนวน 11-20 หน่วย $= \{((A-10) \times 8.50) + 77.50\} + 30 \times 7\%$

การใช้น้ำประปา จำนวน 21-30 หน่วย $= \{((A-20) \times 10.75) + 162.50\} + 30 \times 7\%$

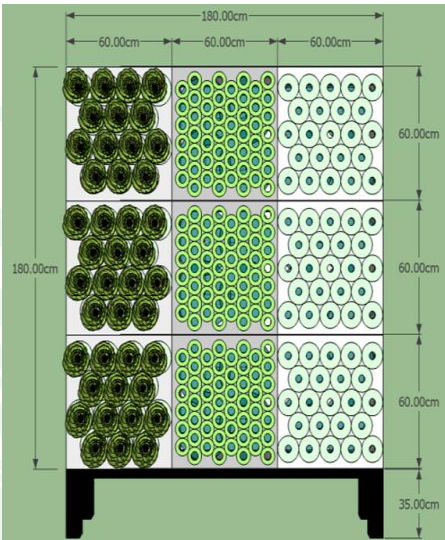
* A คือ จำนวนหน่วยน้ำที่ใช้

ที่มา: การประปานครหลวง

จากภาพรวมของผลการทดลองสามารถสรุปผลเปรียบเทียบอัตราค่าการจัดการพลังงานในส่วน of คำนวณประปา และค่าไฟฟ้าของผนังปลูกพืชระบบรากแขวนในแนวตั้งที่ได้ทดลองกับระบบ NFT ของ Farm Slad time แสดงในตารางที่ 30 ดังนี้

ตารางที่ 30 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าและน้ำประปาต่อเดือน

ระบบปลูกพืช	ขนาดชุดปลูกพืช	อุปกรณ์ไฟฟ้า	อัตราค่าไฟฟ้า (บาท/เดือน)	อัตราค่าน้ำประปา (บาท/เดือน)	หมายเหตุ
Vertical Aeroponics	ผนังปลูกพืชแนวตั้งมี ขนาด (ก) 1.80 ม. x (ข) 1.80 ม. x (ลึก) 0.40 ม. มีแผ่นปลูกพืช 9 แผ่น, สามารถปลูก พืชได้ 534 ต้น ดังภาพ ที่ 64	ปั๊มพ่นน้ำไฟฟ้า 1 ชุดขนาด 150 Watt ทำงาน ตามโปรแกรม อัตโนมัติ ฉีด พ่น 30 วินาที และหยุดฉีด พ่น 5 นาที	198.00	120.00	
NFT	โต๊ะปลูกมีขนาด (ก) 1.20 ม. X (ข) 16 ม. สามารถวางรางปลูก ได้ 9 ราง และ 1 ราง สามารถปลูกพืชได้ 57 ต้น รวม 9 ราง จะ สามารถปลูกพืชได้ 513 ต้น ดังภาพที่ 64	ปั๊มพ่นน้ำไฟฟ้า 1 ชุดขนาด 150 Watt ทำงาน ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง	452.00	355.00	
ผลต่างค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (บาท/เดือน)			254.00	235.00	

ระบบ NFT	ระบบ Vertical Aeroponics
โต๊ะปลูกมีขนาด(ก) 1.20 ม. X (ย) 16 ม.สามารถวางรางปลูกได้ 9 ราง และ 1 รางสามารถปลูกพืชได้ 57 ต้น รวม 9 ราง จะสามารถปลูกพืชได้ 513 ต้น	ชุดปลูกพืชแนวตั้งมีขนาด (ก) 1.80 ม. x (ย) 1.80 ม. x (ลึก) 0.40 ม.มีแผ่นปลูกพืช 9 แผ่น, สามารถปลูกพืชได้ 534 ต้น
	

ภาพที่ 69 การเปรียบเทียบระบบปลูกพืชทั้ง 2 แบบ

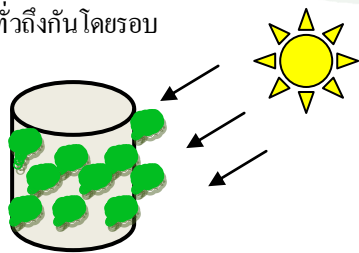
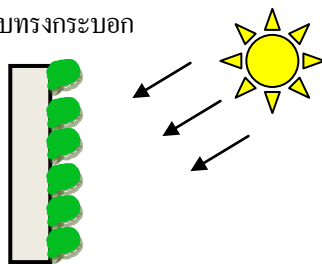
4. ด้านผลการใช้สารละลายอาหารพืช ซึ่งวัดค่าเป็นจำนวนมิลลิลิตร (ml.) ที่ใช้ทั้งหมด โดยในงานทดลองวิจัยนี้ใช้สารละลายไปเป็นจำนวนทั้งสิ้น 1000 ml. ตลอดการทดลองวิจัยที่ 38 วัน ซึ่งอัตราส่วนผสมที่ใช้จะถูกกำหนดโดยบริษัทผู้ผลิตสารละลายอาหารพืช ในการทดลองนี้ใช้สารละลายที่มีอัตราส่วนผสมที่อัตราสารละลายอาหารพืช 1 ส่วน : น้ำ 200 ส่วน และเนื่องจากในการทดลองได้มีการกำหนดค่าเฉลี่ยของการปรับค่าความเข้มข้นสารละลาย (EC) และค่าความเป็นกรดและด่าง (pH) ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ได้ตั้งไว้ คือ EC ที่ 1.82.6 และค่า pH ที่ 6.3 – 7.0 โดยที่กำหนดให้โปรแกรมมีการปรับโดยอัตโนมัติเฉลี่ยทุกๆ 3 วัน คือเนื่องจากน้ำที่ผสมสารละลายอาหารที่ให้แก่พืชโดยประมาณ 2-3 วันค่า pH จะมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ จึงต้องมีการปรับให้ค่าลดต่ำลงในระดับที่เหมาะสมในที่นี้คือ 6.3 – 7.0 การปรับค่า pH ทำได้ 2 วิธีดังนี้

4.1 การปรับโดยใช้สารละลายเติมทุก 3 วัน วิธีนี้จะสิ้นเปลืองสารละลายมากกว่า แต่ส่วนดีก็คือสามารถที่จะรักษาค่าของค่า EC ไว้ได้ในระดับที่เหมาะสมคงที่ คือเมื่อปั๊มเพิ่มสารละลายเข้าระบบแบบอัตโนมัติ เฉลี่ยประมาณ 1 ml. ทุก ๆ 3 วัน ค่าระดับของ EC ในระบบจึงไม่ลดปริมาณลงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ตลอดระยะเวลาการทดลองทั้งสิ้น 38 วัน

4.2 การปรับโดยใช้กรดไนตริก ช่วยในการปรับค่า pH (ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของสารละลายธาตุอาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญ) อย่างหนึ่งสำหรับการปลูกพืชในการทดลองพืชจำเป็นต้องดูดซึมธาตุอาหารเพื่อการเจริญเติบโต และไม่ว่าสารละลายธาตุอาหารจะดีมากเพียงใดพืชอาจเติบโตไม่ดีเท่าที่ควรถ้า pH สูงเกินไปหรือต่ำเกินไป (พืชจะดูดซึมธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองได้เป็นปกติก็ต่อเมื่อ pH ของสารละลายธาตุอาหารอยู่ในช่วงที่เหมาะสม) โดยค่า pH ที่พืชส่วนใหญ่จะชอบ สารละลายที่มีค่าความเป็นกรดเล็กน้อยอยู่ในช่วง 6.0 ถึง 6.8 เนื่องจาก pH ของสารละลายธาตุอาหารที่ปลูกเลี้ยงมักจะเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านไป 2-3 วัน ดังนั้นในการทดลองจึงถือเอา pH 6.0 – 6.8 เป็นเป้าหมายในการปรับค่าแบบอัตโนมัติ โดยโปรแกรม SCADA จะทำการปรับ pH แบบอัตโนมัติเพราะจะไม่มี การพลาดค่าไปบ้าง หรือสูงไปบ้างเหมือนการปรับเติมกรดไนตริกด้วยมือ แต่จะปรับค่าและรักษาระดับให้คงที่เสมอ

4.3 การวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยเรื่องระบบแอร์โรโปนิคส์ทรงกระบอกรของ ณรงค์ศักดิ์ และคณะ (2548) ในด้านผลผลิตต่อพื้นที่ปลูกพืชแนวตั้ง

ตารางที่ 31 สรุปผลการทดลองเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยเรื่องระบบแอร์โรโปนิคส์ทรงกระบอกร ในด้านผลผลิตต่อพื้นที่ปลูกพืชแนวตั้ง

ผลงานวิจัยเรื่องระบบแอร์โรโปนิคส์ทรงกระบอกร	ผลการทดลองการวิจัย
จำนวนต้นต่อพื้นที่ปลูก	จำนวนต้นต่อพื้นที่ปลูก
จำนวน 462 ต้นต่อพื้นที่ 10.8 ตรม.	จำนวน 267 ต้นต่อพื้นที่ 4.0 ตรม.
42 ต้น:พื้นที่ 1 ตรม.	66 ต้น:พื้นที่ 1 ตรม.
ผลผลิตที่ได้มีน้ำหนักน้อยกว่าผักที่ปลูกในระบบ NFT อยู่ประมาณ 55% แม้ว่าได้รับแสงตลอดวันเท่ากัน	ผลผลิตที่ได้มีน้ำหนักน้อยกว่าผักที่ปลูกในระบบ NFT อยู่ประมาณ 55% เนื่องจากได้รับแสงครึ่งวัน
ชุดปลูกในลักษณะทรงกระบอกรอาจทำให้พืชได้รับแสงด้านเดียวไม่ทั่วถึงกันโดยรอบ 	ชุดปลูกในลักษณะแนวตั้งในการทดลอง พืชได้รับแสงทั่วถึงกว่าแบบทรงกระบอกร 

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. จากการศึกษาทดลองนำโปรแกรมควบคุมระบบอัตโนมัติ (SCADA) มาประยุกต์ใช้ควบคุมสถานะและทดสอบระบบการปลูกพืชแบบไร้ดินระบบรากแขวนในแนวตั้ง (Vertical Aeroponics) เพื่อใช้เป็นผนังปลูกพืชประกอบอาคารเพื่องานสถาปัตยกรรมนั้นสามารถทำได้ ซึ่งการเติบโตของพืชที่ปลูกบนผนังปลูกพืชมีการเติบโตที่ไม่ค่อยสมบูรณ์ ได้น้ำหนักผลผลิตไม่เป็นไปตามที่ได้ตั้งใจ สามารถให้ข้อสรุปตามตารางที่ 32 และ 33 ดังนี้

ตารางที่ 32 สรุปผลการทดลองสำหรับพืชผักทรงพุ่มและผักทรงอื่น ๆ

ผักทรงพุ่ม	ผักทรงอื่น ๆ		ลักษณะการเติบโตของพืช
กรีนโอ๊ค	กรีนคอส	ก้าน	มีการยืดตัวมากกว่าในท้องตลาด
		ใบ	ใบมีลักษณะบางและสีของใบอ่อนลง
		ลำต้น	ลำต้นมีการยืดตัวและโค้งงอตั้งฉากกับพื้น
		จำนวนก้าน/ใบ	น้อยกว่าปกติของสายพันธุ์
		น้ำหนักต้น	น้อยกว่าปกติของสายพันธุ์
		ความสูงต้น	ให้ความสูงกว่าสายพันธุ์
		ความกว้างทรงพุ่ม	น้อยกว่าปกติของสายพันธุ์
เรดโอ๊ค	เรดบัดดาเวีย	ก้าน	มีการยืดตัวมากกว่าในท้องตลาด
		ใบ	ใบมีลักษณะบางและสีแดงของใบอ่อนลง
		ลำต้น	ลำต้นมีการยืดตัวโค้งงอตั้งฉากกับพื้น
		จำนวนก้าน/ใบ	น้อยกว่าปกติของสายพันธุ์
		น้ำหนักต้น	น้อยกว่าปกติของสายพันธุ์
		ความสูงต้น	ให้ความสูงกว่าสายพันธุ์
		ความกว้างทรงพุ่ม	น้อยกว่าปกติของสายพันธุ์
บัตเตอร์เฮด	ฟิลเลย์	ก้าน	มีการยืดตัวมากกว่าในท้องตลาด
		ใบ	ใบมีลักษณะบางและสีของใบอ่อนลง
		ลำต้น	ลำต้นมีการยืดตัวโค้งงอตั้งฉากกับพื้น
		จำนวนก้าน/ใบ	น้อยกว่าปกติของสายพันธุ์
		น้ำหนักต้น	น้อยกว่าปกติของสายพันธุ์
		ความสูงต้น	ให้ความสูงกว่าสายพันธุ์
		ความกว้างทรงพุ่ม	น้อยกว่าปกติของสายพันธุ์

ตารางที่ 32 (ต่อ)

ไม้คลุมดิน		ลักษณะการเติบโตของพืช
ผักเป็ดแดง	ก้าน	ใกล้เคียงกับในท้องตลาด
	ใบ	ใบมีลักษณะบางและสีของใบอ่อนลงเล็กน้อย
	ลำต้น	ลำต้นมีการขีดตัวและโค้งงอตั้งฉากกับพื้น
	จำนวนก้าน/ใบ	ใกล้เคียงกับในท้องตลาด
	น้ำหนักต้น	ใกล้เคียงกับในท้องตลาด
	ความสูงต้น	ใกล้เคียงกับในท้องตลาด
	ความกว้างทรงพุ่ม	ใกล้เคียงกับในท้องตลาด
วอเตอร์เครส	ก้าน	ใกล้เคียงกับในท้องตลาด
	ใบ	ใบมีลักษณะบางและสีแดงของใบอ่อนลงเล็กน้อย
	ลำต้น	ลำต้นมีการขีดตัวโค้งงอตั้งฉากกับพื้น
	จำนวนก้าน/ใบ	ใกล้เคียงกับในท้องตลาด
	น้ำหนักต้น	ใกล้เคียงกับในท้องตลาด
	ความสูงต้น	ใกล้เคียงกับในท้องตลาด
	ความกว้างทรงพุ่ม	ใกล้เคียงกับในท้องตลาด
ก้ามปูหลอด	ก้าน	ใกล้เคียงกับในท้องตลาด
	ใบ	ใกล้เคียงกับในท้องตลาด
	ลำต้น	ลำต้นมีการขีดตัวโค้งงอเล็กน้อย
	จำนวนก้าน/ใบ	ใกล้เคียงกับในท้องตลาด
	ความสูงต้น	ใกล้เคียงกับในท้องตลาด
	ความกว้างทรงพุ่ม	ใกล้เคียงกับในท้องตลาด

ตารางที่ 33 สรุปสาเหตุของปัญหาการปลูกพืชไร้ดินระบบรากแขวนในแนวดิ่ง

ประเภทของผัก	สรุปสาเหตุของปัญหาการปลูกพืชไร้ดินระบบรากแขวนในแนวดิ่ง
ผักทรงพุ่ม และผักทรงอื่นๆ	- การที่ใบพืชยืดยาวออก ลำต้นสูง เป็นเพราะพืชได้รับแสงแดดครึ่งวัน ซึ่งไม่เพียงพอ โดยปกติพืชกลุ่มสลัดเป็นพืชที่ชอบแสง เมื่อพืชได้รับแสงน้อยส่วนของใบและต้นพืชจะยืดเข้าหาแสงทันที เพราะแสงแดดเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้พืชสังเคราะห์อาหารได้ กรณีพืชมีสีเขียวสดนั้นจะขึ้นกับปัจจัยบางอย่าง แสงแดดก็เป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งถ้าพืชได้แสงน้อย พืชสังเคราะห์อาหารได้น้อย รากพืชก็จะคุดน้ำและอาหารลดลง จึงเป็นผลให้ผักมีสีเขียวสดนั้นก็คือพืชจะแสดงอาการขาดธาตุอาหาร - จากการที่พืชได้แสดงอาการดังที่กล่าว (ข้อที่ 1.) แสดงให้เห็นว่าการพิจารณาคัดเลือกสถานที่สำหรับการทดลองวิจัยนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมากกับการทดลองที่เกี่ยวกับพืชจึงควรคำนึงถึงปัจจัยที่สำคัญเบื้องต้นได้แก่ สถานที่ทดลองและทิศทางของแสงอาทิตย์ที่ต้องสัมพันธ์กันเพื่อให้พืชได้รับแสงอย่างเพียงพอ
ไม้คลุมดิน	- การที่ไม้คลุมดินกลุ่มนี้ จากการทดลองได้รับแสงแดดครึ่งวัน ซึ่งอาจไม่เพียงพอแก่พืชทั่วไป แต่สำหรับไม้คลุมดินกลุ่มนี้สามารถปลูกในร่มหรือบริเวณที่ได้รับแสงน้อยเป็นพืชที่มีความอดทนสูง นิยมที่จะปลูกประดับอยู่ภายในร่มไม้ใหญ่ แม้ว่าจากการทดลองพืชได้รับแสงแดดครึ่งวัน จึงไม่ส่งผลมากนักต่อการเติบโตของพืชกลุ่มนี้ มีเพียงส่วนของใบและต้นพืชเท่านั้นจะยืดเข้าหาแสงบ้าง เพราะแสงแดดเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้พืชสังเคราะห์อาหารได้

2. การใช้ระบบควบคุมปริมาณการให้น้ำ และสารอาหารแก่พืชที่ปลูกระบบรากแขวนในแนวดิ่งโดยใช้โปรแกรมควบคุมระบบอัตโนมัติ (SCADA) เป็นตัวช่วยในการควบคุมสถานะที่มีผลกับการเจริญเติบโตของพืช สำหรับงานวิจัยนี้ระบบ SCADA สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประสพผลสำเร็จได้เป็นอย่างดี แม้ว่าในบางช่วงเวลาของการทดลองช่วงต้นๆ ของงานวิจัยก็ประสบปัญหาอยู่บ้างเช่น การควบคุมค่าความชื้นภายในผนังปลูกพืชค่าที่ได้มีการสวิงของสัญญาณทางไฟฟ้าเล็กน้อย ทำให้ระบบไม่สามารถจับสัญญาณเพื่อนำมาประมวลผลสั่งการได้ แต่เมื่อได้มีการปรับแก้ไขข้อบกพร่องก็สามารถที่จะควบคุมและสั่งการได้ถูกต้องได้ผลตามที่ต้องการ อนึ่ง การนำระบบนี้มาใช้เป็นผลดีทำให้ข้อมูลหรือค่าที่บันทึกได้มีการจัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบตามช่วงเวลาจริงขณะนั้น (Real Time) สามารถบันทึกข้อมูลทุก ๆ ช่วงเวลา 1 ชั่วโมง, 1 วัน และ 1 สัปดาห์ ทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลอง อีกทั้งการควบคุมค่าความเป็นกรดและด่าง (pH), ค่าความเข้มข้นของสารละลายอาหารพืช (EC) ระบบก็ตอบสนองและทำงานได้อย่างสมบูรณ์ตรงตามเงื่อนไขที่ได้ถูกกำหนดไว้ (ดังตารางที่ 5) ซึ่งค่าต่างๆ มีความสำคัญ ดังนี้

2.1 (IT) = แสดงค่าการควบคุมอุณหภูมิภายในช่องปลูก คือ 28.9 เป็นช่วงเวลาที่หยุดฉีดพ่น และในขณะฉีดพ่นน้ำ และสารอาหารอุณหภูมิภายในจะต่ำลงอีก 2 องศา คือ 28 องศา ซึ่งเพียงพอและไม่เป็นอันตรายและส่งผลต่อรากพืช

2.2 (%RH) = แสดงค่าการควบคุมความชื้นภายในช่องปลูก คือ 80-95% ในช่วงเวลาที่หยุดฉีดพ่น และในขณะฉีดพ่นน้ำและสารอาหารค่าความชื้นจะอยู่ที่ประมาณ 80-95% ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของพืช

2.3 (EC1) = แสดงค่าการควบคุม ความเข้มข้นของสารละลายอาหารพืชภายในถังเก็บ คือ 2.65 มิลลิซีเมนต์ โดยระบบจะควบคุมให้อยู่ในระดับนี้ตลอดเพื่อให้แน่ใจว่าเพียงพอตรงตามความต้องการของพืช และเพื่อที่จะได้เป็นการรักษาระดับของความเข้มข้นได้คงที่ตลอดการทดลอง ทั้งนี้ถ้าค่านี้ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ระบบจะทำการส่งงานให้ปั๊ม CP2 ทำงานดูดสารละลายในถังเก็บ EC2 เข้ามาเติม เพื่อเป็นการรักษาระดับสารละลายให้คงที่ได้อย่างสมบูรณ์

2.4 (pH) = แสดงค่าความเป็นกรดและด่างของน้ำและสารอาหารพืชโดยทำการควบคุมให้ที่ 6.3-7.0 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการปลูกในระบบไร้ดิน ค่าความเป็นกรดเป็นด่างนี้มีผลอย่างมากต่อการดูดสารอาหารของพืชเป็นอย่างมากจึงต้องรักษาระดับให้คงที่ตลอดเวลาจะส่งผลดีต่อพืชที่ปลูกเช่นกัน

2.5 (CP3) = มีความสำคัญมากโดยทำหน้าที่หมุนเวียนน้ำเพื่อป้องกันการตกตะกอนของสารละลายอาหารพืช ซึ่งระบบจะควบคุมให้ทำงานหมุนเวียนน้ำในทุก ๆ 30 นาที ได้อย่างถูกต้องเที่ยงตรง

2.6 (CP1) = แสดงค่าการควบคุมเวลาการทำงานฉีดพ่นน้ำและสารอาหารของปั๊ม CP1 โดยควบคุมให้ทำงานตามเวลาที่กำหนดคือ ฉีดพ่น 30 วินาที และหยุด 5 นาที อย่างคงที่

ข้อเสนอแนะ

1. มด และแมลงมักจะก่อปัญหากับระบบการตรวจวัด และจับค่าของอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมระบบที่จะไม่เที่ยงตรง เช่น หัววัดค่าความชื้นและอุณหภูมิมีแมลงเข้าไปทำรังอยู่อาศัย ส่วนการแก้ไขปัญหและการป้องกันควรตรวจสอบหัววัดของอุปกรณ์อยู่เสมอ ๆ

2. เมล็ดพันธุ์ พืช เป็นปัญหาในด้านอัตราการงอกที่ไม่เท่ากันในระหว่างการเพาะเมล็ดพันธุ์ อาทิเช่น เมล็ดพืชผักบางชนิดจำเป็นต้องทำการบ่มเมล็ดพันธุ์ ให้เปลือกหุ้มแตกเสียก่อนเพื่อช่วยเร่งระยะเวลาการงอกของผัก มีฉะนั้นจะมีอัตราการงอกที่ยาวนานเกินกว่าวันที่กำหนดตามรายละเอียดข้างซอง ก็เนื่องด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดพันธุ์ บางชนิดมีความแข็ง ยากที่จะงอกเติบโตผ่านเมล็ดออกมาได้ผลคือทำให้การทดลองไม่สามารถควบคุมระยะเวลาการทดลองได้ตามกำหนด

3. วัสดุปลูก ในการทดลองระยะแรกใช้ฟองน้ำเป็นวัสดุปลูกประสบปัญหาต้นไม้ตายเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเกิดจากการเน่าที่บริเวณโคนต้นเมื่ออายุได้ประมาณ 10 วัน เป็นจำนวนมากในกลุ่มผักทรงพุ่ม และผักทรงอื่น ๆ ส่วนไม้คลุมดินอันได้แก่ ผักเป็ดแดง วอเตอร์เครส และก้ามปูหลุด ไม่เกิดปัญหาดังกล่าวขึ้น และหลังจากเกิดปัญหาดังกล่าวได้มีการปรับเปลี่ยนวัสดุปลูกเป็นเพอร์ไลต์ มาทำการเพาะเมล็ดขึ้นมาใหม่กลับไม่มีการเน่าบริเวณโคนต้นอีก พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี อาจเป็นได้ที่ฟองน้ำมีอาการอมน้ำมากเกินไปมีการระบายน้ำเก่าออกน้ำใหม่ที่ฉีดพ่นไม่สามารถเข้าไปแทนที่ได้ เมื่อฟองน้ำเน่าก็ส่งผลทำให้พืชเกิดอาการเน่าบริเวณโคนต้น

4. ปุ๋ย หรือสารละลายอาหารพืช จำเป็นต้องกำหนดอัตราส่วนผสมให้ถูกต้อง และควรตรวจสอบอัตราส่วนผสมสม่ำเสมอ โดยตรวจสอบอัตราของความเข้มข้นของสารละลายอาหารพืชที่วัดได้จากชุดวัดค่าความเข้มข้นสารละลาย (EC) บนจอมอนิเตอร์เสมอๆ ค่า EC ในการปลูกพืชจะแตกต่างกันไป โดยทั่วไปพืชผักสลัดจะต้องการอยู่ที่ 1.7 - 2.8 ms/cm วิธีการควบคุมค่า EC ทำได้หลายวิธีแต่ที่ดีที่สุดจะเป็นแบบอัตโนมัติ เพราะจะได้ค่า EC แบบคงที่แน่นอนแต่ก็มีราคาสูงตามมาด้วยเช่นกัน อีกแบบหนึ่งเป็นการรักษาระดับค่า EC โดยผู้ดูแลเองนั้นจะต้องมีการเอาใจใส่ตรวจสอบวัดค่าอยู่เสมอ ๆ

5. ค่า pH (ค่าความเป็นกรดและด่าง) ของน้ำและสารอาหารพืชควรตรวจสอบและควบคุมให้อยู่เกณฑ์ที่กำหนดมีตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอเนื่องจากมีผลต่อการเจริญเติบโต และการดูดสารอาหารของพืชที่ปลูกอีกด้วยจะสามารถใช้ธาตุอาหารได้ดีหรือไม่ ขึ้นอยู่กับระดับ pH ของน้ำ

พืชส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตได้ดีในน้ำที่มีค่าระหว่าง 6.0 – 7.5 การปรับ pH แบบอัตโนมัติ นั้น จะไม่เกิดการปลั่งเหมือนการปรับด้วยมือ การปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 6.3-7.0 น่าจะเหมาะสมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่มีอากาศร้อนจัด

6. ความชื้น RH(%) ภายในผนังปลูก ควรควบคุมให้อยู่ในช่วงประมาณ 80-95% เนื่องด้วยระบบนี้เป็นระบบการปลูกพืชแบบรากลอยในอากาศจึงจำเป็นต้องควบคุมความชื้นในอากาศให้อยู่ระดับที่สูงพอประมาณเพื่อเป็นการป้องกันรากพืช

7. การเคลื่อนที่ของน้ำในถึงเก็บสารละลายอาหารพืชมีผลอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของพืช การไหลของน้ำหรือการเคลื่อนตัวของน้ำมีผลทำให้ปุ๋ยละลายตัวได้ดีกับน้ำ พืชสามารถดูดซึมน้ำไปใช้ได้ง่ายและคงที่ไม่อยู่ในสภาพที่ตกตะกอนไม่ว่าสภาพของอุณหภูมิภายนอก หรืออุณหภูมิ น้ำจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

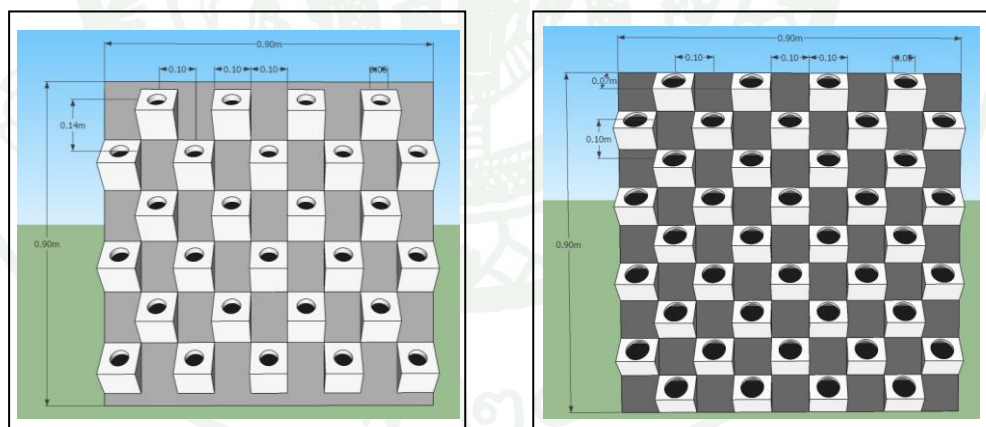
8. แสง (Light) มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างลักษณะของพืชมากที่สุด ทั้งยังเป็นตัวช่วยในการเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงในการเจริญเติบโตของพืช แต่ละชนิดที่ต้องการปริมาณแสงในระดับไม่เท่ากัน ในการทดลองจะใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณแสงที่เท่ากันทั้งหมดเนื่องจากทดลองอยู่ในพื้นที่เดียวกัน และใช้แสงธรรมชาติโดยตรงทั้งสิ้น ผนังปลูกพืช แนวตั้งสำหรับการทดลองหันไปทางทิศตะวันตกโดนแสงประมาณ 40%-50% ปริมาณแสงที่เฉลี่ยวัดได้อยู่ประมาณ 30,000 – 40,000 Lux ช่วงเวลา 7.00น. – 17.00น. (ดังตารางผนวกที่ จ.ที่ 1 และ ภาพผนวกที่ จ.ที่ 1) เนื่องจากมีชายคาอาคารที่อยู่อาศัยบังไม่สัมผัสกับแสงอาทิตย์โดยตรง ส่วนใหญ่พืชสามารถปรับตัวตามสภาพของแสง และสามารถเจริญเติบโตได้ แต่ก็มีอาการยืดตัวของก้านใบมากขึ้นตามไปด้วย และอาจมีความจำเป็นที่ต้องอาศัยโคมไฟแสงประดิษฐ์ช่วยเพื่อให้ได้ปริมาณแสงที่พืชต้องการ ทั้งนี้เพื่อที่จะสามารถประยุกต์ใช้ในอาคารได้อย่างเหมาะสม ปัจจุบันมีผู้ผลิตโคมไฟฟ้หลายรายมีการค้นคว้าพัฒนาโคมไฟประดิษฐ์สำหรับให้แสงแก่พืช โดยเฉพาะหลอดไฟฟ้าประเภท แอลอีดี (LED) ที่ให้ค่าปริมาณแสงตรงตามที่พืชต้องการโดยจะให้คลื่นแสงที่เหมาะสมสำหรับพืชที่กำลังเติบโต สเปกตรัมแสงจะถูกพืชผักใบเขียวส่วนใหญ่นำมาใช้ในสังเคราะห์แสง ไดโอดเปล่งแสง (LED) เป็นองค์ประกอบของสารกึ่งตัวนำที่ผลิตแสงสีในช่วงความยาวคลื่นที่พืชต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ การคัดเลือกโคมไฟฟ้ และหลอดไฟฟ้ที่ให้แสงประดิษฐ์นั้นจำเป็นต้องมีการวิจัยพัฒนาหาอัตราของแสงประดิษฐ์ที่เหมาะสมต่อไปในอนาคตต่อไป

9. แผ่นปลูกพืชควรปรับปรุงออกแบบให้เหมาะสมกับการปลูกพืชเนื่องจากในแบบที่ทำการทดลองพืชสามารถเติบโตได้ แต่ในด้านของรูปทรงพืชที่ปลูกจะมีการโค้งงอไม่เหมือนที่ขายในท้องตลาดทั่วไป ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบพัฒนาให้แผ่นปลูกมีความเหมาะสม ดังนี้

9.1 รูปลักษณะแผ่นต้นแบบช่องปลูกพืชที่ใช้ในการทดลองอาจเกิดความไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานจริงเนื่องจากออกแบบช่องปลูกอยู่ในแนวตั้งเป็นการฝืนธรรมชาติของพืชหากนำไปใช้งานจริงจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบช่องปลูกเล็กน้อยตามภาพที่ 70 และ 71



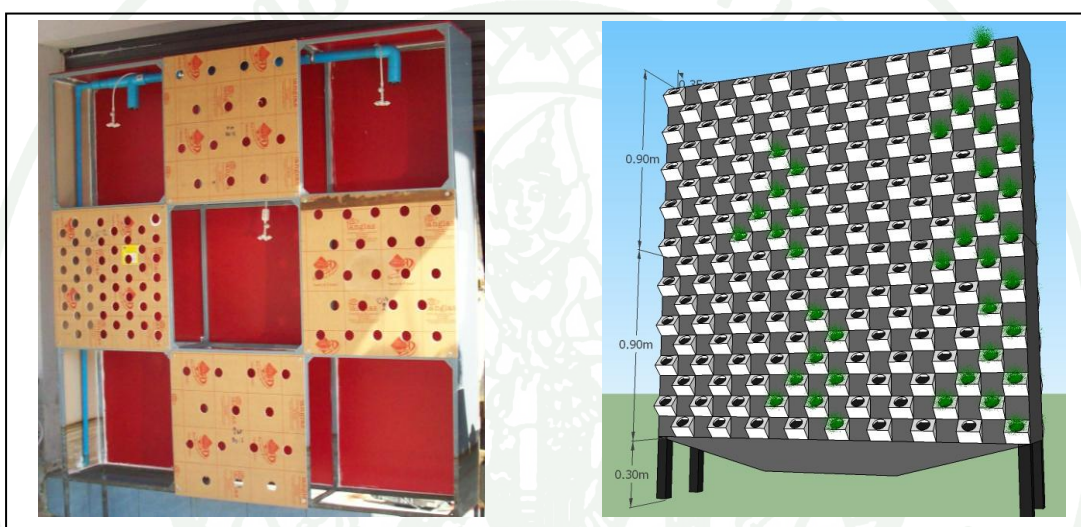
ภาพที่ 70 แผ่นปลูกพืชต้นแบบในการทดลอง



ภาพที่ 71 แบบแผ่นปลูกพืชเพื่อให้มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานจริง

9.2 รูปแบบผนังปลูกพืชที่ใช้ในการทดลองอาจไม่เหมาะสมเท่าใดนักต่อการนำไปใช้งานจริง เนื่องการออกแบบผนังปลูกพืชให้อยู่ในแนวตั้งแผ่นช่องปลูกพืชเมื่อประกอบเข้ากับตัวโครงอาจทำได้ไม่แนบสนิท ทำให้เกิดการรั่วไหลของน้ำที่ผสมสารอาหารพืชในระบบที่มีการเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ในระหว่างการทดลอง หากนำไปใช้งานจริงต้องพัฒนาปรับรูปแบบผนังปลูกพืชใน

รายละเอียดบางประการเพื่อความเหมาะสมตามภาพที่ 71 แสดงผนังปลูกพืชที่มีการสร้างไว้เพื่อการทดลองและมีการปรับในรายละเอียดเพื่อความเหมาะสม การออกแบบผนังปลูกพืชมีการเปลี่ยนมีการปรับรายละเอียดเช่น แผงช่องปลูกควรผลิตจากวัสดุที่เหมาะสมต่อการใช้งานจริง โดยวัสดุที่เหมาะสมในการผลิตผนังปลูกพืชควรทำจากวัสดุ อาทิเช่น Fiber Glass หรือพลาสติกประเภท PE (Polyethylene) เนื่องจากมีคุณสมบัติพิเศษทนการกัดกร่อน อีกทั้งควรเป็นการหล่อขึ้นงานหรือการฉีดขึ้นรูปเพื่อให้ไม่เกิดรอยร้าวจากการรั่วซึมของน้ำที่ผสมสารอาหารพืชขึ้นในระบบของผนังปลูกพืช



ภาพที่ 72 แบบผนังปลูกพืชที่มีการปรับแบบเพื่อให้เหมาะสมในการใช้งานจริง

10. การประยุกต์ใช้งานผนังปลูกพืชในระบบรากแขวนในแนวตั้ง (Vertical Aeroponics) เพื่อใช้เป็นผนังปลูกพืชประกอบอาคารเพื่องานสถาปัตยกรรม สำหรับงานวิจัยนี้จุดมุ่งหมายของผู้วิจัยมีความประสงค์ที่จะนำไปพัฒนาเพื่อให้เกิดประโยชน์ ดังนี้

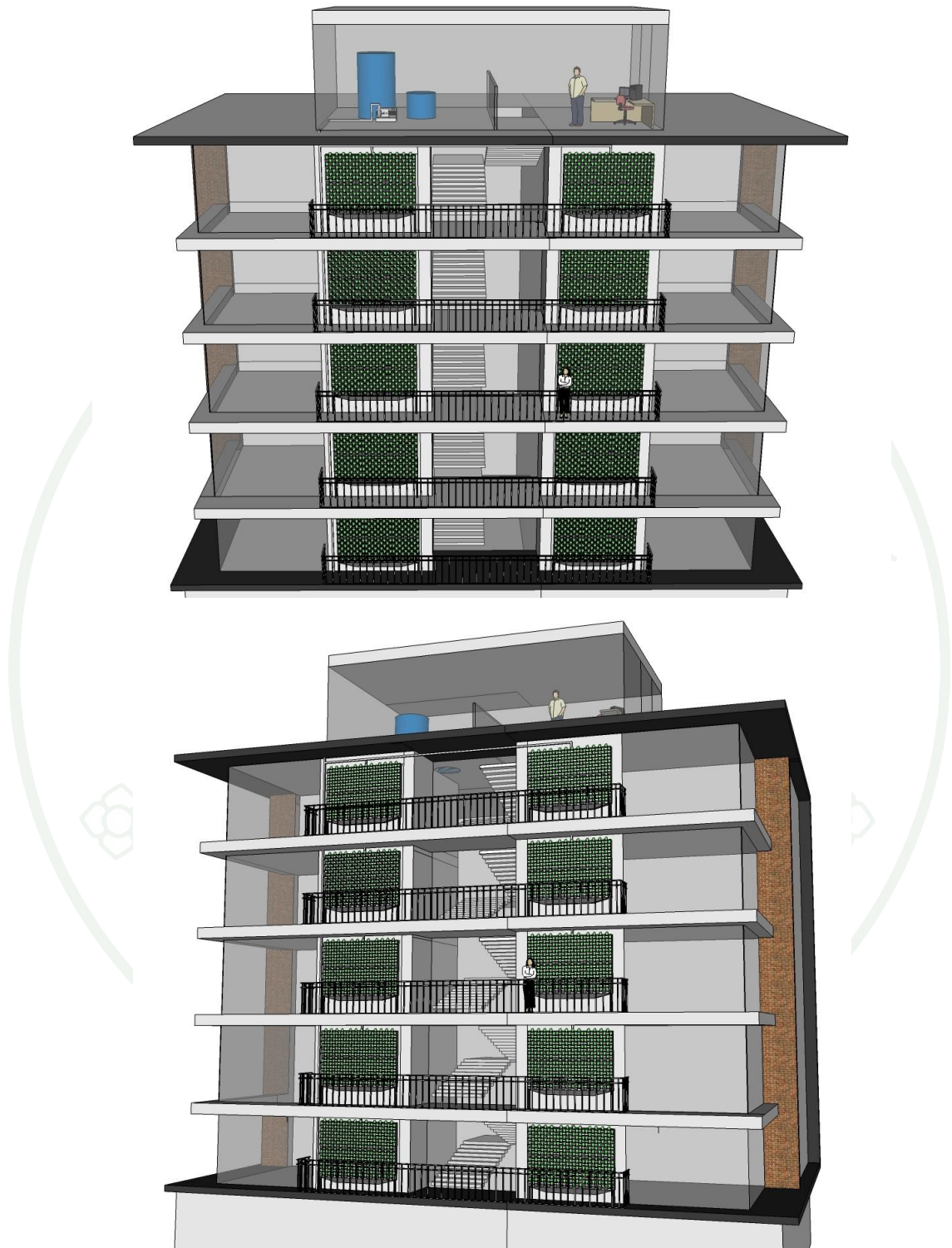
10.1 สามารถประยุกต์ใช้ควบคุมสถานะในการปลูกพืชแบบไร้ดินระบบรากแขวนในแนวตั้ง (Vertical Aeroponics) เพื่อใช้เป็นผนังปลูกพืชประกอบอาคารเพื่องานสถาปัตยกรรม

10.2 เพื่อช่วยลดต้นทุนการขนส่งและค่าใช้จ่ายอื่น ๆ

10.3 สามารถประยุกต์ใช้ให้เกิดความหลากหลายของการใช้งานพื้นที่ในเขตเมือง

10.4 สามารถนำไปพัฒนาใช้งานในเชิงเกษตรกรรมในเมือง (Urban Farm)

10.5 เป็นนวัตกรรมที่พัฒนาต่อขยายเชิงพาณิชย์ได้



ภาพที่ 73 ตัวอย่างรูปแบบผนังปลูกพืชประกอบอาคารเพื่องานสถาปัตยกรรม

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- ฐานิส ชินวิสุทธิ และ พงษ์พิศักดิ์ พันธุสิทธิ์เสรี. 2541. การประยุกต์ใช้ระบบสกาด้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ณรงค์ศักดิ์ ศิริสกุลวัฒน์, พงศกร พิมพะนิตย์ และ สมพร คนยงค์. 2547. “ระบบแอร์โรโพนิคส์ทรงกระบอกร” สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), กรุงเทพฯ.
- ดิเรก ทองอร่าม, วิทยา ตั้งก่อสกุล, นาวิ จิระชีวี และ อธิษุบุตร นันทกิจ. 2543. การออกแบบและเทคโนโลยีการให้น้ำแก่พืช. สำนักพิมพ์เจริญการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์. 2534. ปลูกรูปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. สำนักพิมพ์พรานนกการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- นพดล เรียบเลิศหิรัญ. 2538. การปลูกพืชไร้ดิน. สำนักพิมพ์สหมิตรพรินติ้ง, นนทบุรี.
- ฝ่ายเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.). 2538. เทคโนโลยีการปลูกพืชไร้ดิน. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, กรุงเทพฯ.
- มนณภัทร อุ่อรุณ. 2553. เทคโนโลยีการปลูกพืช (LNG). แหล่งที่มา: <http://www.learners.in.th/blog/eh36/359788>, 17 สิงหาคม 2554.
- วิบูลย์ บุญชูโรกุล. 2529. ปัมพ์ และระบบสูบน้ำ. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- โสระยา ร่วมรังสี. 2543. การผลิตพืชแบบไม่ใช้ดิน. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- โสระยา ร่วมรังสี, ชีรพล พรสวัสดิ์ชัย และ อัมเรศ ใจดี. 2548. ผลของรูปแบบแผ่นปลูกพืชและอัตราพื้นที่การเจริญเติบโตของผักสลัดในระบบแอร์โรโปนิคส์. วารสารเกษตร, 21 (3): 241-249.

อรรถน์ เศรษฐบุตร. 2551. **The Idea of Urban Farming**. แหล่งที่มา: Dickson D. Despommier, 24 สิงหาคม 2554.

อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2547. **การปลูกพืชผักไฮโดรโปนิกส์**. แหล่งที่มา: www.kmitl.ac.th/soilkmitl, 25 กรกฎาคม 2554.

เอี่ยมพร วิสมหมาย และภาคภูมิ สืบบุญการณ. ม.ป.ป. **การจัดทำฐานข้อมูลพรรณไม้ที่ใช้ในงานภูมิสถาปัตยกรรม**. แหล่งที่มา: <http://agkc.lib.ku.ac.th/plantwebsite/webpage/Home/SelectTypeSearch.html>, 17 August 2011.

Allen, R. G., M Asce, L. S. Pereira, M. Smith, D. Raes and J. L. Wright. 1998. FAO-56 Dual Crop Coefficient Method for Estimating Evaporation from Soil and Application Extensions. **JOURNAL OF IRRIGATION AND DRAINAGE ENGINEERING**: 1-13.

Blanc, P. 2007. **Le mur végétal : De la nature à la ville**. Michel Lafon, Français.

Despommier, D. D. 2010. **The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st. Century**. Thomas Dunne Books, New York.

Jones, J. B. 2005. **Hydroponics: a practical guide for the soilless grower**. 2nd ed. CRC Pr., Boca Raton.

Il cree le mur vegetalise le plus grand du monde. 2004. **Le Parisien**. July: 24.

Paris, F. 2008. Musee du Quai Branly. **Precedent Design Study Arch 503 / Larc 504** Autumn.

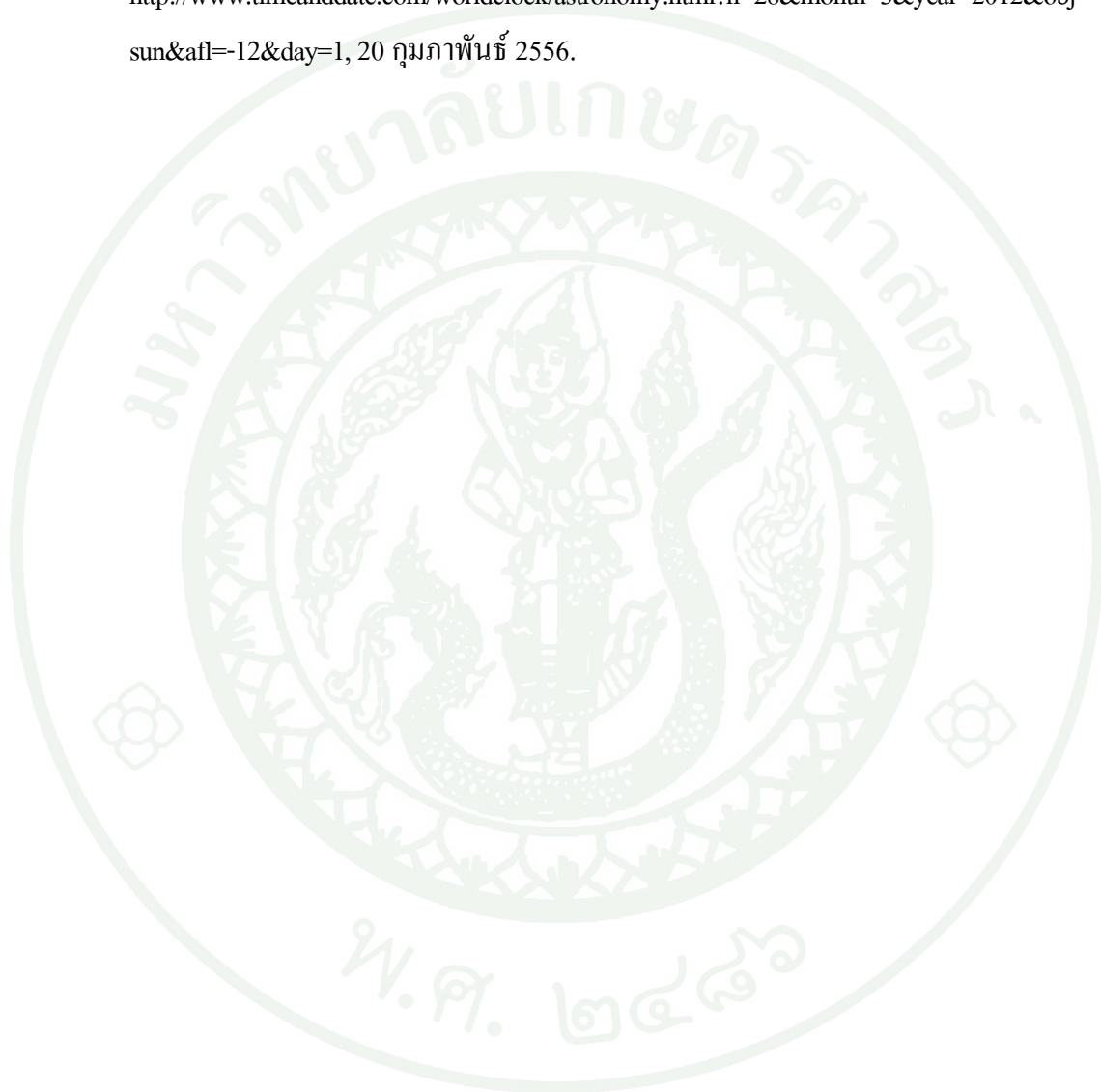
Rujira Group. 2554. **ระบบสปริงเกอร์ การเกษตร Irrigation**. แหล่งที่มา: <http://www.sprinklethai.com>, 17 สิงหาคม 2554.

ThaiHydroHobby. 2009. **Hydro Hobby Product**. Available Sources:

<http://www.thaihydrohobby.com/?cid=321023>, 17 August 2011.

Timeanddate.com. 2013. **All times are in local time for Bangkok**. แหล่งที่มา:

<http://www.timeanddate.com/worldclock/astronomy.html?n=28&month=3&year=2012&obj=sun&afl=-12&day=1,20> กุมภาพันธ์ 2556.







ตารางผนวกที่ ก1 ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่1 (ปลูกผักทรงอื่น)

จำนวน 18 ช่องปลูก/ตั้งเวลาที่ @ 50 วินาที (ฉีดพ่น) : 5 นาที (หยุดฉีดพ่น)							
ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)	ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)
1	4.0	11.0	7.0	28	4.0	11.0	7.0
4	4.0	11.0	7.0	31	3.5	10.5	7.0
7	3.0	10.5	7.5	34	4.0	11.0	7.0
10	4.0	11.0	7.0	37	3.0	10.0	7.0
13	3.5	10.5	7.0	40	3.5	11.5	8.0
16	4.0	11.0	7.0	43	3.5	11.5	8.0
19	4.0	11.0	7.0	46	3.5	11.5	8.0
22	3.0	10.5	7.5	49	4.0	10.5	6.5
25	3.5	10.5	7.0	52	3.0	11.5	7.0
			64.0				65.5
ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำที่ได้รับ = [ผลรวมของปริมาณน้ำที่ได้รับในแต่ละช่องปลูก (64.0+65.5)]/(จำนวนช่องปลูก=18)							
= 7.2 กรัม หรือ 7.2 ml.							

ตารางผนวกที่ ก2 ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่2 (ปลูกผักทรงอื่น)

จำนวน 18 ช่องปลูก/ตั้งเวลาที่ @ 50 วินาที (ฉีดพ่น) : 5 นาที (หยุดฉีดพ่น)

ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)	ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)
1	4.0	11.0	7.0	28	4.0	11.0	7.0
4	4.0	11.0	7.0	31	3.5	10.5	7.0
7	3.0	10.5	7.5	34	4.0	11.0	7.0
10	4.0	11.0	7.0	37	3.0	10.0	7.0
13	3.5	10.5	7.0	40	3.5	11.5	7.0
16	4.0	11.0	7.0	43	3.5	11.5	7.0
19	3.0	10.5	7.5	46	3.5	11.5	7.0
22	4.0	11.0	7.0	49	4.0	10.5	7.5
25	3.5	10.5	7.0	52	3.0	11.5	7.0
			64.0				63.5

ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำที่ได้รับ = [ผลรวมของปริมาณน้ำที่ได้รับในแต่ละช่องปลูก (64.0+63.5)]/(จำนวนช่องปลูก=18)
= 7.1 กรัม หรือ 7.1 ml.

ตารางผนวกที่ ก3 ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่3 (ปลูกผักทรงอื่น)

จำนวน 18 ช่องปลูก/ตั้งเวลาที่ @ 50 วินาที (ฉีดพ่น) : 5 นาที (หยุดฉีดพ่น)

ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)	ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)
1	4.0	12.0	8.0	28	4.0	12.0	8.0
4	4.0	11.5	7.5	31	3.5	11.5	8.0
7	3.0	11.5	8.5	34	4.0	11.5	7.5
10	4.0	12.0	8.0	37	3.0	11.5	8.5
13	3.5	11.5	8.0	40	4.0	12.0	8.0
16	4.0	11.5	7.5	43	3.5	11.5	8.0
19	3.0	11.5	8.5	46	4.0	12.0	8.0
22	4.0	12.0	8.0	49	3.5	11.5	8.0
25	3.0	11.5	8.5	52	4.0	12.0	8.0

72.572.0

ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำที่ได้รับ = [ผลรวมของปริมาณน้ำที่ได้รับในแต่ละช่องปลูก (72.5+72.0)]/(จำนวนช่องปลูก=18)
= 8.0 กรัม หรือ 8.0 ml.

ตารางผนวกที่ ก4 ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่ 1 (ปลูกผักทรงพุ่ม)

จำนวน 5 ช่องปลูก/ตั้งเวลาที่ @ 50 วินาที (ฉีดพ่น) : 5 นาที (หยุดฉีดพ่น)

ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)	ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)
1	4.0	11.0	7.0	10	4.0	11.0	7.0
4	4.0	11.0	7.0	13	3.5	10.5	7.0
7	3.0	10.5	7.5				

21.514.0

ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำที่ได้รับ = [ผลรวมของปริมาณน้ำที่ได้รับในแต่ละช่องปลูก (12.5+14.0)]/(จำนวนช่องปลูก=5)
= 7.1 กรัม หรือ 7.1 ml.

ตารางผนวกที่ ก5 ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่2 (ปลูกผักทรงพุ่ม)

จำนวน 5 ช่องปลูก/ตั้งเวลาที่ @ 50 วินาที (ฉีดพ่น) : 5 นาที (หยุดฉีดพ่น)

ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)	ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)
1	4.0	11.0	7.0	10	4.0	11.0	7.0
4	4.0	11.0	7.0	13	3.5	10.5	7.0
7	3.0	10.5	7.5				

21.514.0

ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำที่ได้รับ = [ผลรวมของปริมาณน้ำที่ได้รับในแต่ละช่องปลูก (12.5+14.0)]/(จำนวนช่องปลูก=5)
= 7.1กรัม หรือ 7.1 ml.

ตารางผนวกที่ ก6 ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่3 (ปลูกผักทรงพุ่ม)

จำนวน 5 ช่องปลูก/ตั้งเวลาที่ @ 50 วินาที (ฉีดพ่น) : 5 นาที (หยุดฉีดพ่น)

ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)	ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)
1	4.0	12.0	8.0	10	4.0	12.0	8.0
4	4.0	11.5	7.5	13	3.5	11.5	8.0
7	4.0	11.5	7.5				

23.016.0

ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำที่ได้รับ = [ผลรวมของปริมาณน้ำที่ได้รับในแต่ละช่องปลูก (12.5+14.0)]/(จำนวนช่องปลูก=5)
= 7.8กรัม หรือ 7.8 ml.

ตารางผนวกที่ ก7 ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่1 (ปลูกไม้คลุมดิน)

จำนวน 8 ช่องปลูก/ตั้งเวลาที่ @ 50 วินาที (ฉีดพ่น) : 5 นาที (หยุดฉีดพ่น)

ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)	ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)
1	4.0	11.0	7.0	13	3.5	10.5	7.0
4	4.0	11.0	7.0	16	3.5	10.5	7.0
7	3.0	10.5	7.5	19	4.0	11.0	7.0
10	4.0	11.0	7.0	22	3.5	10.5	7.0

28.528.0

ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำที่ได้รับ = [ผลรวมของปริมาณน้ำที่ได้รับในแต่ละช่องปลูก (28.5+28.0)]/(จำนวนช่องปลูก=8)
= 7.1กรัม หรือ 7.1 ml.

ตารางผนวกที่ ก8 ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่2 (ปลูกไม้คลุมดิน)

จำนวน 8 ช่องปลูก/ตั้งเวลาที่ @ 50 วินาที (ฉีดพ่น) : 5 นาที (หยุดฉีดพ่น)

ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)	ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)
1	4.0	12.0	8.0	13	3.5	11.5	8.0
4	4.0	11.5	7.5	16	3.5	11.5	8.0
7	3.0	11.5	8.5	19	3.0	11.5	8.5
10	4.0	12.0	8.0	22	3.5	12.0	8.5

32.033.0

ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำที่ได้รับ = [ผลรวมของปริมาณน้ำที่ได้รับในแต่ละช่องปลูก (32.0+33.0)]/(จำนวนช่องปลูก=8)
= 8.1กรัม หรือ 8.1 ml.

ตารางผนวกที่ ก9 ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่3 (ปลูกไม้คลุมดิน)

จำนวน 8 ช่องปลูก/ตั้งเวลาที่ @ 50 วินาที (ฉีดพ่น) : 5 นาที (หยุดฉีดพ่น)

ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)	ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)
1	4.0	12.0	8.0	13	3.5	11.5	8.0
4	4.0	11.5	7.5	16	3.5	11.5	8.0
7	3.0	11.5	8.5	19	4.0	12.0	8.0
10	4.0	12.0	8.0	22	4.0	11.5	7.5

32.031.5

ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำที่ได้รับ = [ผลรวมของปริมาณน้ำที่ได้รับในแต่ละช่องปลูก (32.0+31.5)]/(จำนวนช่องปลูก=8)
= 8.0กรัม หรือ 8.0 ml.

ตารางผนวกที่ ก10 ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่1 (ปลูกผักทรงอื่น)

จำนวน 18 ช่องปลูก/ตั้งเวลาที่ @ 30 วินาที (ฉีดพ่น) : 5 นาที (หยุดฉีดพ่น)

ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)	ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)
1	4.0	7.5	3.5	28	4.0	7.7	3.7
4	4.0	7.6	3.6	31	3.5	7.5	4.0
7	3.0	7.7	4.7	34	4.0	7.8	3.8
10	4.0	7.7	3.7	37	3.0	7.5	4.5
13	3.5	7.3	3.8	40	3.5	7.7	4.2
16	4.0	7.7	3.7	43	3.5	7.8	4.3
19	4.0	7.7	3.7	46	3.5	7.7	4.2
22	3.0	7.5	4.5	49	4.0	7.7	3.7
25	3.5	7.7	4.2	52	3.0	7.7	4.7

35.437.1

ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำที่ได้รับ = [ผลรวมของปริมาณน้ำที่ได้รับในแต่ละช่องปลูก (35.4+37.1)]/(จำนวนช่องปลูก=18)
= 4.0กรัม หรือ 4.0 ml.

ตารางผนวกที่ ก11 ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่2 (ปลูกผักทรงอื่น)

จำนวน 18 ช่องปลูก/ตั้งเวลาที่ @ 30 วินาที (ฉีดพ่น) : 5 นาที (หยุดฉีดพ่น)

ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)	ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)
1	4.0	7.0	3.0	28	4.0	7.3	3.3
4	4.0	7.3	3.3	31	4.0	7.3	3.3
7	3.0	7.3	4.3	34	3.0	7.4	4.4
10	4.0	7.3	3.3	37	3.5	7.3	3.8
13	3.5	7.3	3.8	40	3.0	7.3	4.3
16	4.0	7.4	3.4	43	3.5	7.3	3.8
19	3.0	7.4	3.4	46	4.0	7.3	3.3
22	4.0	7.3	3.3	49	3.5	7.4	3.9
25	3.5	7.3	3.8	52	3.5	7.3	3.8
31.633.9							
ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำที่ได้รับ = [ผลรวมของปริมาณน้ำที่ได้รับในแต่ละช่องปลูก (31.6+33.9)]/(จำนวนช่องปลูก=18) = 3.7กรัม หรือ 3.7 ml.							

ตารางผนวกที่ ก12 ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่3 (ปลูกผักทรงอื่น)

จำนวน 18 ช่องปลูก/ตั้งเวลาที่ @ 30 วินาที (ฉีดพ่น) : 5 นาที (หยุดฉีดพ่น)

ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)	ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)
1	4.0	7.7	3.7	28	4.0	7.7	3.7
4	4.0	7.7	3.7	31	3.5	7.5	4.0
7	3.0	7.7	4.7	34	4.0	7.8	3.8
10	4.0	7.7	3.7	37	3.0	7.7	4.7
13	3.5	7.3	3.8	40	3.5	7.7	4.2
16	4.0	7.7	3.7	43	3.5	7.8	4.3
19	4.0	7.7	3.7	46	3.5	7.7	4.2
22	3.0	7.5	4.5	49	4.0	7.7	3.7
25	3.5	7.7	4.2	52	3.0	7.7	4.7

35.737.3

ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำที่ได้รับ = [ผลรวมของปริมาณน้ำที่ได้รับในแต่ละช่องปลูก (35.7+37.3)]/(จำนวนช่องปลูก=18)
= 4.1กรัม หรือ 4.1 ml.

ตารางผนวกที่ ก13 ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่1 (ปลูกผักทรงพุ่ม)

จำนวน 5 ช่องปลูก/ตั้งเวลาที่ @ 30 วินาที (ฉีดพ่น) : 5 นาที (หยุดฉีดพ่น)

ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)	ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)
1	4.0	7.7	3.7	10	4.0	7.7	3.7
4	4.0	7.8	3.8	13	3.5	7.8	4.2
7	3.0	7.7	4.7				

12.27.9

ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำที่ได้รับ = [ผลรวมของปริมาณน้ำที่ได้รับในแต่ละช่องปลูก (12.2+7.9)]/(จำนวนช่องปลูก=5)
= 4.0กรัม หรือ 4.0 ml.

ตารางผนวกที่ ก14 ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่2 (ปลูกผักทรงพุ่ม)

จำนวน 5 ช่องปลูก/ตั้งเวลาที่ @ 30 วินาที (ฉีดพ่น) : 5 นาที (หยุดฉีดพ่น)

ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)	ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)
1	4.0	7.8	3.8	10	4.0	7.8	3.8
4	4.0	7.9	3.9	13	3.5	7.8	4.3
7	3.0	7.8	4.8				

12.58.1

ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำที่ได้รับ = [ผลรวมของปริมาณน้ำที่ได้รับในแต่ละช่องปลูก (12.5+8.1)]/(จำนวนช่องปลูก=5)
= 4.1กรัม หรือ 4.1 ml.

ตารางผนวกที่ ก15 ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่3 (ปลูกผักทรงพุ่ม)

จำนวน 5 ช่องปลูก/ตั้งเวลาที่ @ 30 วินาที (ฉีดพ่น) : 5 นาที (หยุดฉีดพ่น)

ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)	ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)
1	4.0	7.0	3.0	10	4.0	7.1	3.1
4	4.0	7.0	3.0	13	3.5	7.2	3.7
7	4.0	7.0	3.0				

9.06.8

ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำที่ได้รับ = [ผลรวมของปริมาณน้ำที่ได้รับในแต่ละช่องปลูก (9.0+6.8)]/(จำนวนช่องปลูก=5)
= 3.2กรัม หรือ 3.2 ml.

ตารางผนวกที่ ก16 ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่1 (ปลูกไม้คลุมดิน)

จำนวน 8 ช่องปลูก/ตั้งเวลาที่ @ 30 วินาที (ฉีดพ่น) : 5 นาที (หยุดฉีดพ่น)

ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)	ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)
1	4.0	7.3	3.3	13	3.5	7.3	3.8
4	4.0	7.3	3.3	16	3.5	7.3	3.8
7	3.0	7.3	4.3	19	3.0	7.4	4.4
10	4.0	7.3	3.3	22	3.5	7.3	3.8

14.215.8

ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำที่ได้รับ = [ผลรวมของปริมาณน้ำที่ได้รับในแต่ละช่องปลูก (14.2+15.8)]/(จำนวนช่องปลูก=8)
= 3.8กรัม หรือ 3.8 ml.

ตารางผนวกที่ ก17 ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่2 (ปลูกไม้คลุมดิน)

จำนวน 8 ช่องปลูก/ตั้งเวลาที่ @ 30 วินาที (ฉีดพ่น) : 5 นาที (หยุดฉีดพ่น)

ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)	ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)
1	4.0	7.8	8.0	13	3.5	7.8	8.0
4	4.0	7.7	3.7	16	3.5	7.8	4.3
7	3.0	7.9	8.5	19	3.0	7.9	8.5
10	4.0	7.8	3.8	22	3.5	7.8	4.3

24.025.1

ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำที่ได้รับ = [ผลรวมของปริมาณน้ำที่ได้รับในแต่ละช่องปลูก (24.0+25.1)]/(จำนวนช่องปลูก=8)
= 6.1กรัม หรือ 6.1 ml.

ตารางผนวกที่ ก18 ปริมาณน้ำที่ได้รับของแผ่นปลูกพืชแผ่นที่3 (ปลูกไม้คลุมดิน)

จำนวน 8 ช่องปลูก/ตั้งเวลาที่ @ 30 วินาที (ฉีดพ่น) : 5 นาที (หยุดฉีดพ่น)

ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)	ช่อง ปลูก ที่	น้ำหนัก แห้ง (กรัม)	น้ำหนัก เปียก (กรัม)	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (กรัม)
1	4.0	7.0	3.0	13	3.5	7.0	3.5
4	4.0	7.0	3.0	16	3.5	7.0	3.5
7	3.0	7.1	4.1	19	4.0	7.1	3.1
10	4.0	7.0	3.5	22	4.0	7.1	3.1

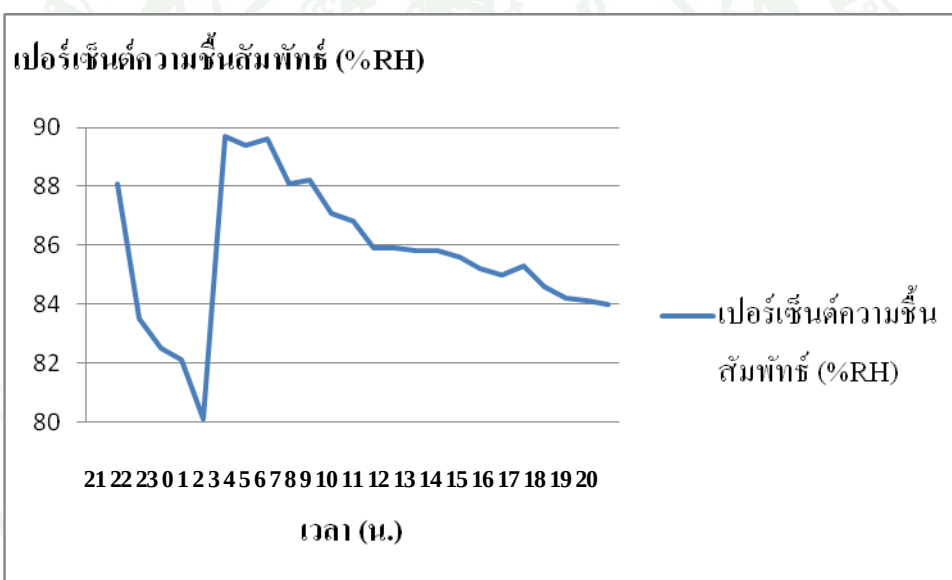
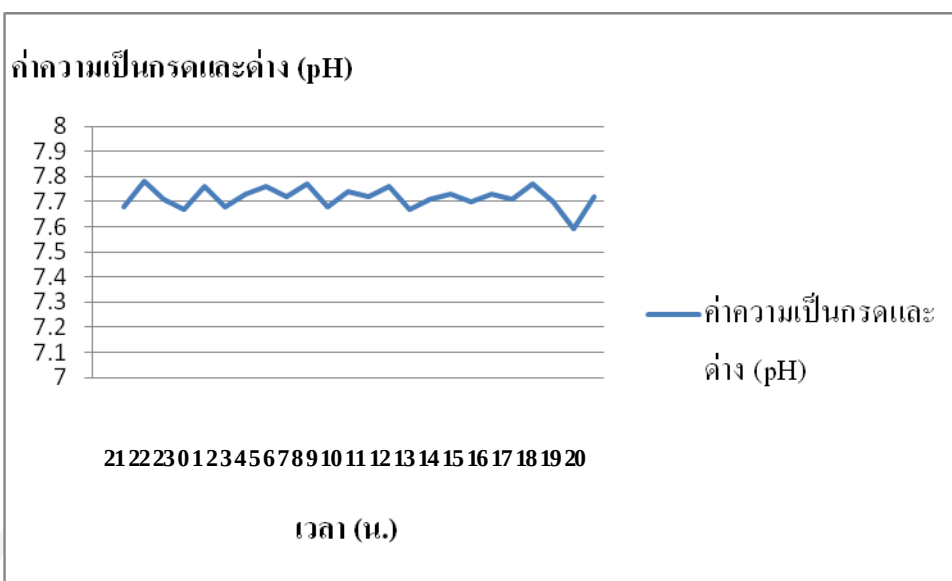
13.613.2

ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำที่ได้รับ = [ผลรวมของปริมาณน้ำที่ได้รับในแต่ละช่องปลูก (13.6+13.2)]/(จำนวนช่องปลูก=8)
= 3.4กรัม หรือ 3.4 ml.

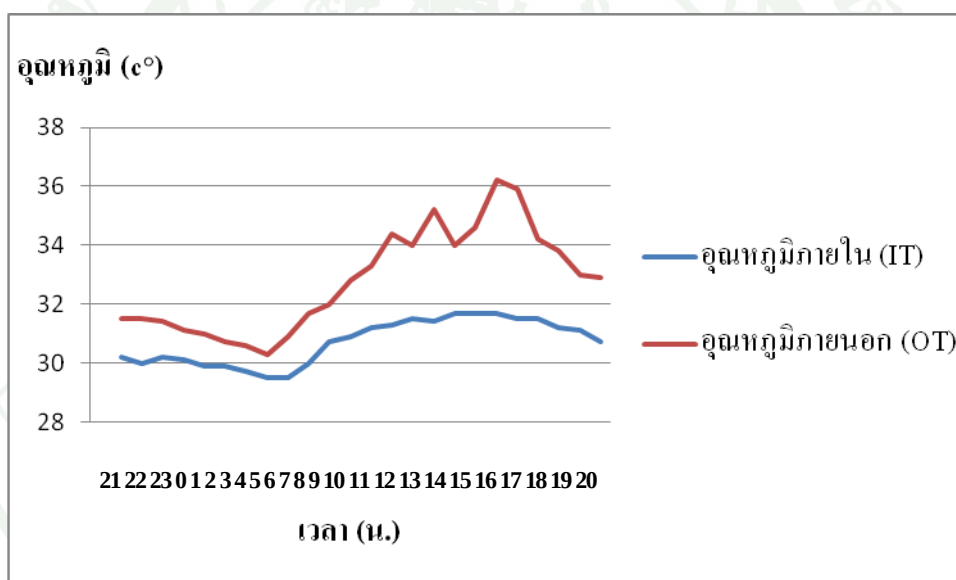
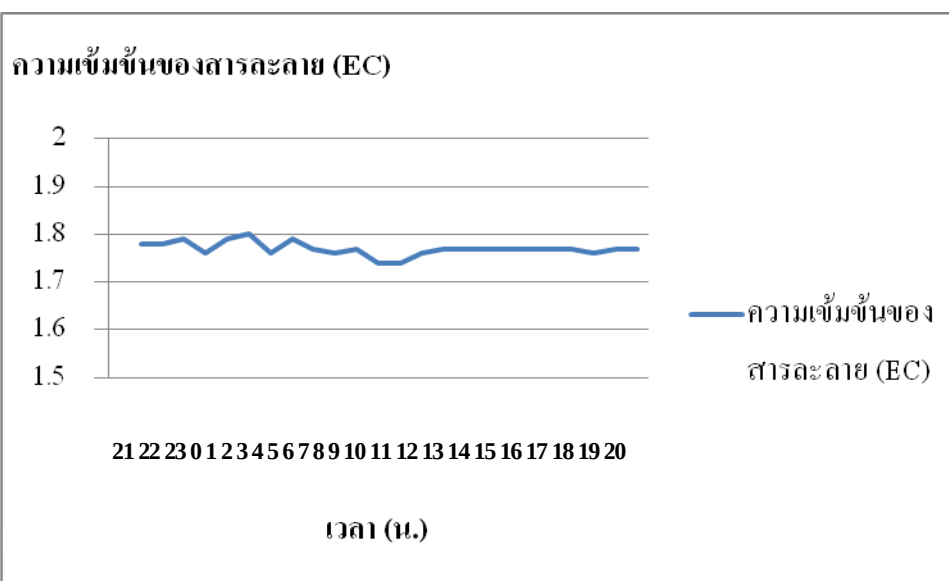


ตารางผนวกที่ ข1 ข้อมูลโปรแกรม SCADA ของการปลูกไม้คลุมดิน (28/03/2555)

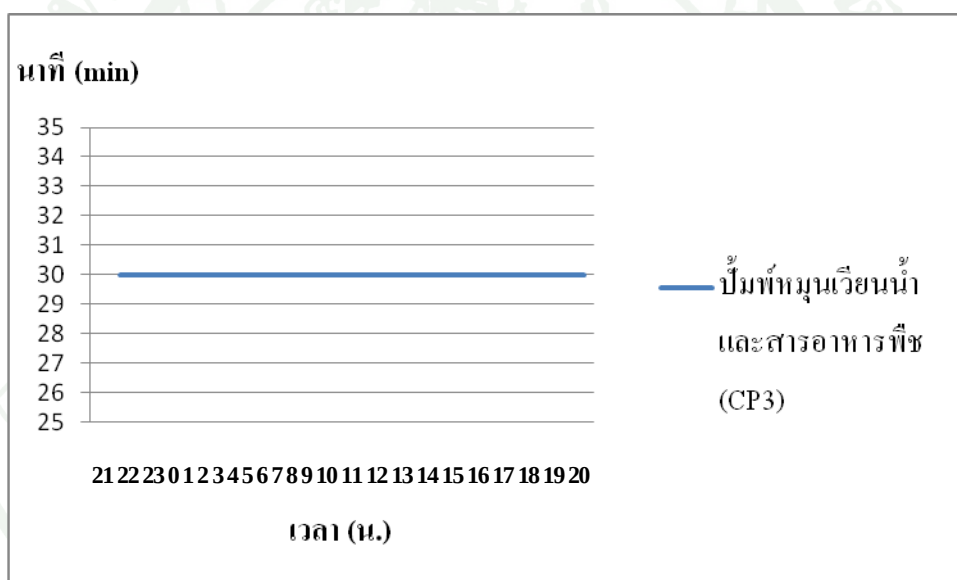
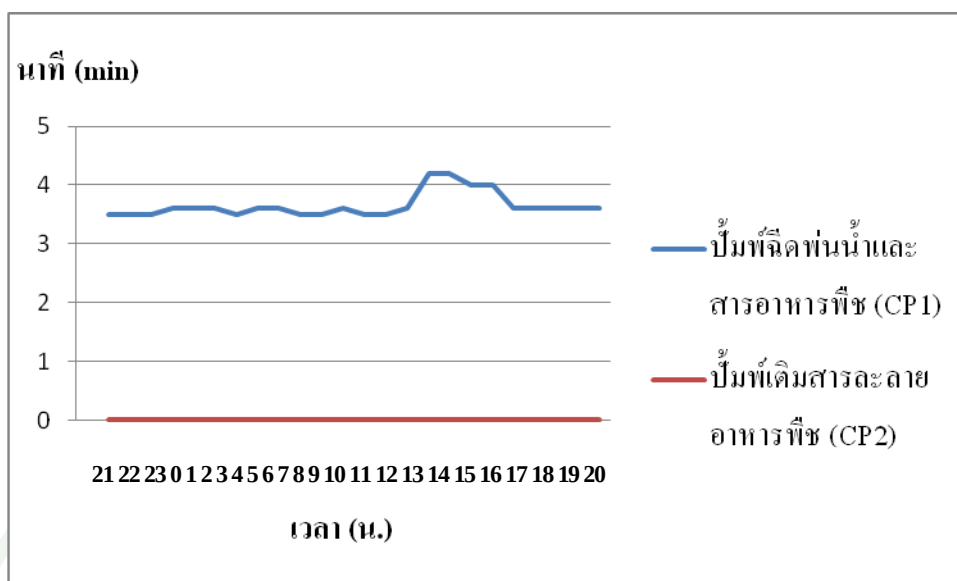
Time	pH	%RH	EC (ms)	IT (c°)	OT (c°)	CP1 (min)	CP2 (min)	CP3 (min)
21.00	7.68	88.1	1.78	30.2	31.5	3.5	0.0	30.0
22.00	7.78	83.5	1.78	30.0	31.5	3.5	0.0	30.0
23.00	7.71	82.5	1.79	30.2	31.4	3.5	0.0	30.0
0.00	7.67	82.1	1.76	30.1	31.1	3.6	0.0	30.0
1.00	7.76	80.1	1.79	29.9	31.0	3.6	0.0	30.0
2.00	7.68	89.7	1.80	29.9	30.7	3.6	0.0	30.0
3.00	7.73	89.4	1.76	29.7	30.6	3.5	0.0	30.0
4.00	7.76	89.6	1.79	29.5	30.3	3.6	0.0	30.0
5.00	7.72	88.1	1.77	29.5	30.9	3.6	0.0	30.0
6.00	7.77	88.2	1.76	30.0	31.7	3.5	0.0	30.0
7.00	7.68	87.1	1.77	30.7	32.0	3.5	0.0	30.0
8.00	7.74	86.8	1.74	30.9	32.8	3.6	0.0	30.0
9.00	7.72	85.9	1.74	31.2	33.3	3.5	0.0	30.0
10.00	7.76	85.9	1.76	31.3	34.4	3.5	0.0	30.0
11.00	7.67	85.8	1.77	31.5	34.0	3.6	0.0	30.0
12.00	7.71	85.8	1.77	31.4	35.2	4.2	0.0	30.0
13.00	7.73	85.6	1.77	31.7	34.0	4.2	0.0	30.0
14.00	7.70	85.2	1.77	31.7	34.6	4.0	0.0	30.0
15.00	7.73	85.0	1.77	31.7	36.2	4.0	0.0	30.0
16.00	7.71	85.3	1.77	31.5	35.9	3.6	0.0	30.0
17.00	7.77	84.6	1.77	31.5	34.2	3.6	0.0	30.0
18.00	7.70	84.2	1.76	31.2	33.8	3.6	0.0	30.0
19.00	7.59	84.1	1.77	31.1	33.0	3.6	0.0	30.0
20.00	7.72	84.0	1.77	30.7	32.9	3.6	0.0	30.0
Total	185.19	2056.6	42.48	737.1	787.1	241.7	0.0	720.0
Aver	7.72	85.7	1.77	30.7	32.8	10.1	0.0	30.0



ภาพผนวกที่ ข1 ข้อมูลโปรแกรม SCADA ของการปลูกไม้คลุมดิน (28/03/2555)



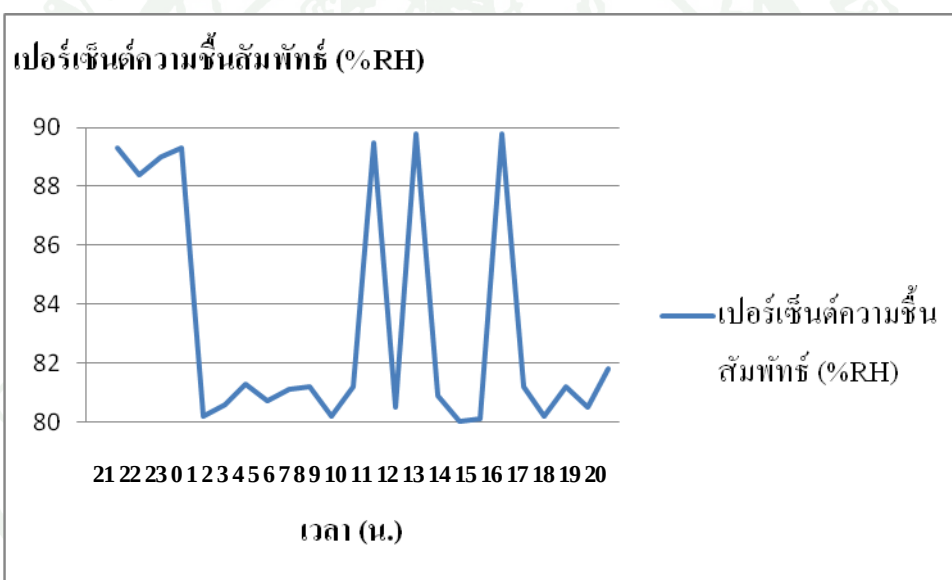
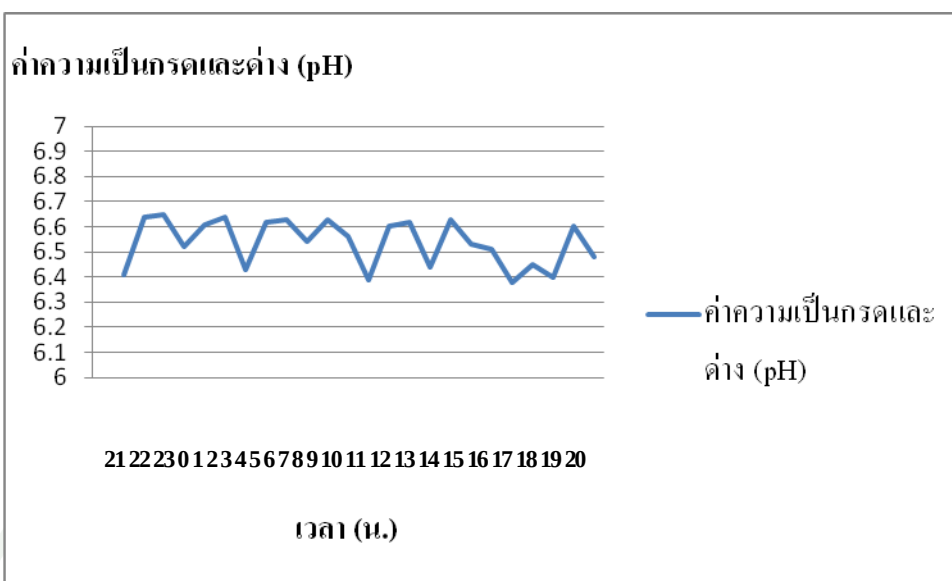
ภาพผนวกที่ ข1 (ต่อ)



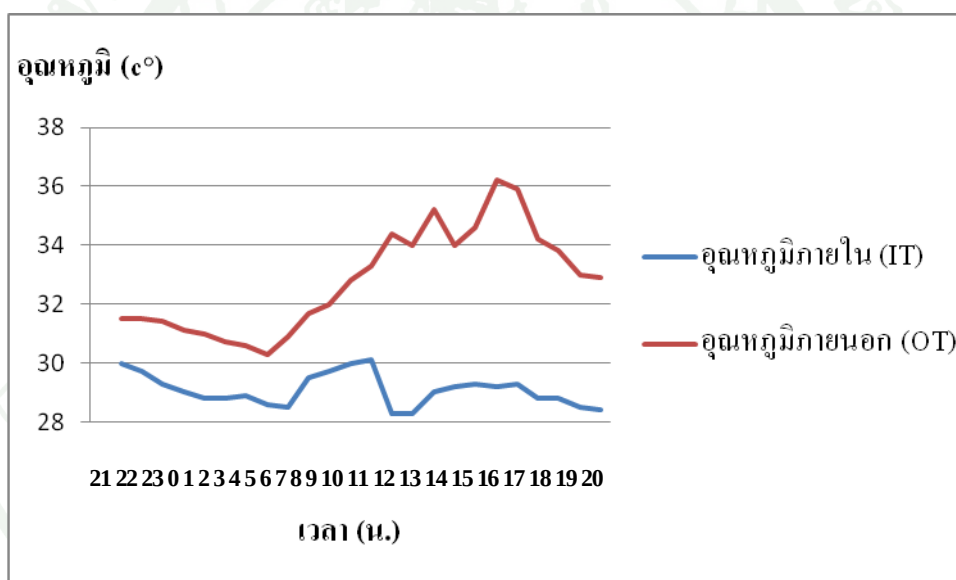
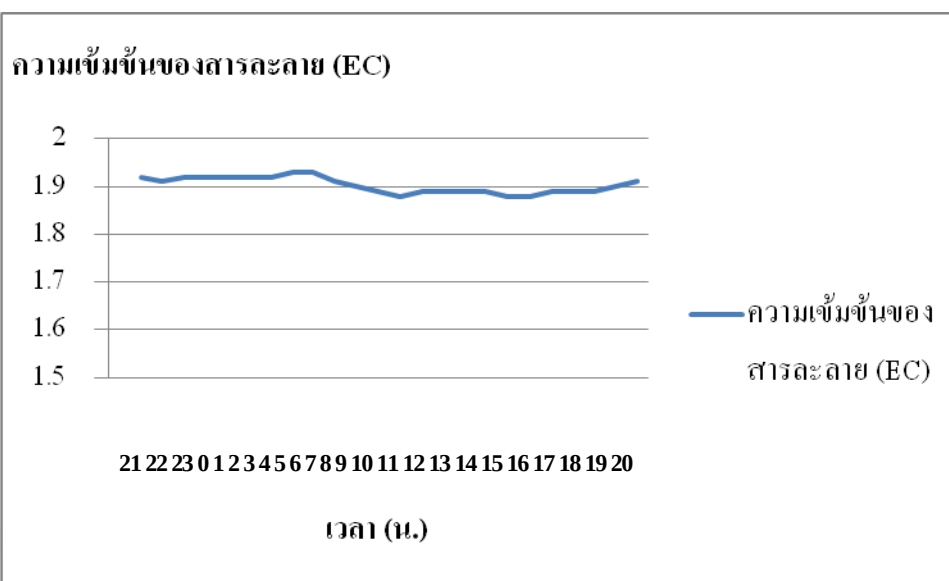
ภาพผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ตารางผนวกที่ ข2 ข้อมูลโปรแกรม SCADA ของการปลูกไม้คลุมดิน (07/04/2555)

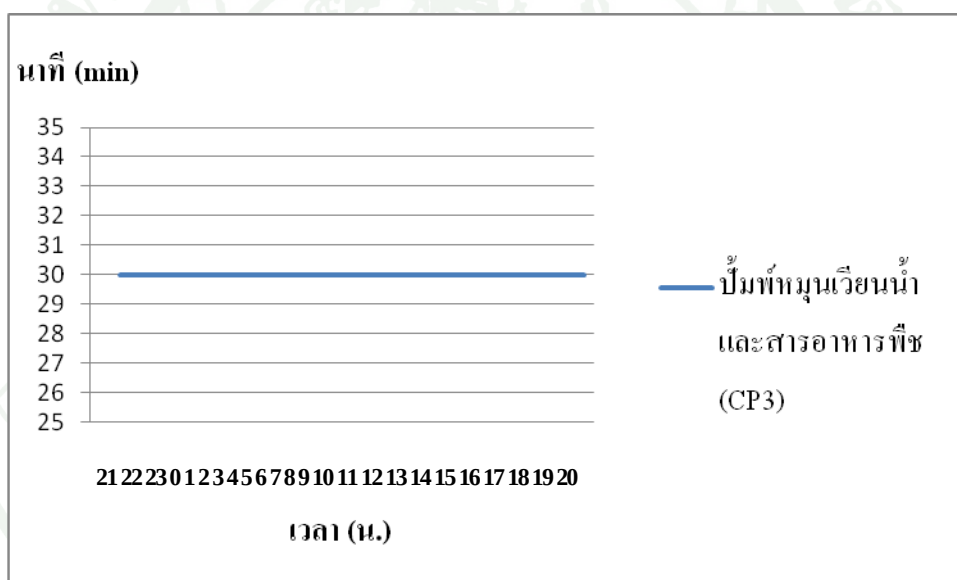
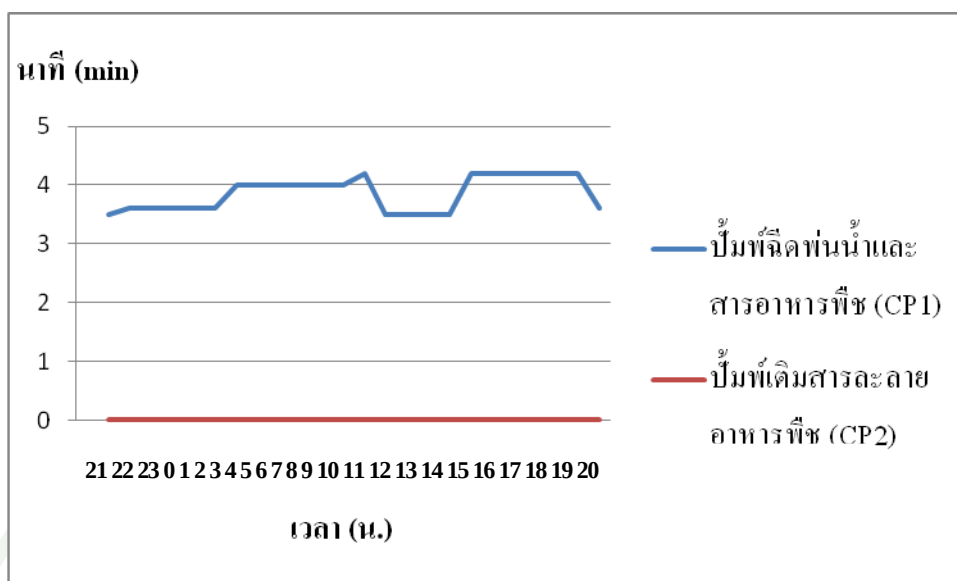
Time	pH	%RH	EC (ms)	IT (c°)	OT (c°)	CP1 (min)	CP2 (min)	CP3 (min)
21.00	6.41	89.3	1.92	30.0	29.3	3.5	0.0	30.0
22.00	6.64	88.4	1.91	29.7	29.1	4.0	0.0	30.0
23.00	6.65	89.0	1.92	29.3	28.8	3.5	0.0	30.0
0.00	6.52	89.3	1.92	29.0	28.4	3.5	0.0	30.0
1.00	6.61	80.2	1.92	28.8	28.5	3.5	0.0	30.0
2.00	6.64	80.6	1.92	28.8	28.6	3.5	0.0	30.0
3.00	6.43	81.3	1.92	28.9	28.6	3.5	0.0	30.0
4.00	6.62	80.7	1.93	28.6	29.0	3.5	0.0	30.0
5.00	6.63	81.1	1.93	28.5	29.4	3.5	0.0	30.0
6.00	6.54	81.2	1.91	29.5	30.7	3.5	0.0	30.0
7.00	6.63	80.2	1.90	29.7	31.2	3.5	0.0	30.0
8.00	6.56	81.2	1.89	30.0	31.7	3.5	0.0	30.0
9.00	6.39	89.5	1.88	30.1	29.5	3.5	0.0	30.0
10.00	6.60	80.5	1.89	28.3	28.2	3.5	0.0	30.0
11.00	6.62	89.8	1.89	28.3	28.5	3.5	0.0	30.0
12.00	6.44	80.9	1.89	29.0	29.8	3.5	0.0	30.0
13.00	6.63	80.0	1.89	29.2	30.2	3.5	0.0	30.0
14.00	6.53	80.1	1.88	29.3	30.5	3.5	0.0	30.0
15.00	6.51	89.8	1.88	29.2	29.8	4.0	0.0	30.0
16.00	6.38	81.2	1.89	29.3	29.5	3.5	0.0	30.0
17.00	6.45	80.2	1.89	28.8	29.2	3.5	0.0	30.0
18.00	6.40	81.2	1.89	28.8	28.5	3.5	0.0	30.0
19.00	6.60	80.5	1.90	28.5	28.2	3.5	0.0	30.0
20.00	6.48	81.8	1.91	28.4	27.7	3.5	0.0	30.0
Total	156.91	1998.0	45.67	698.0	702.9	85.0	0.0	720.0
Aver	6.50	83.3	1.90	29.1	29.3	3.5	0.0	30.0



ภาพผนวกที่ ข2 ข้อมูลโปรแกรม SCADA ของการปลูกไม้คลุมดิน (07/04/2555)



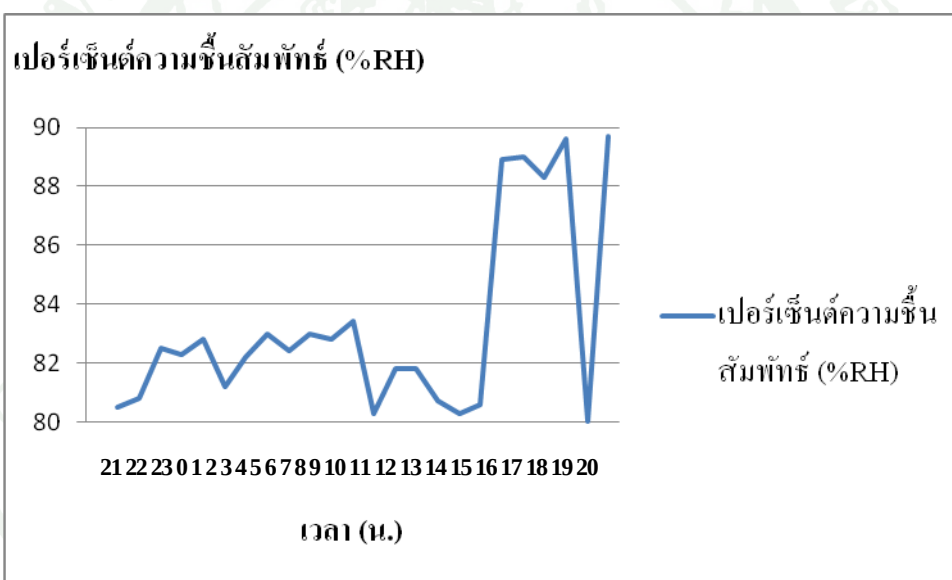
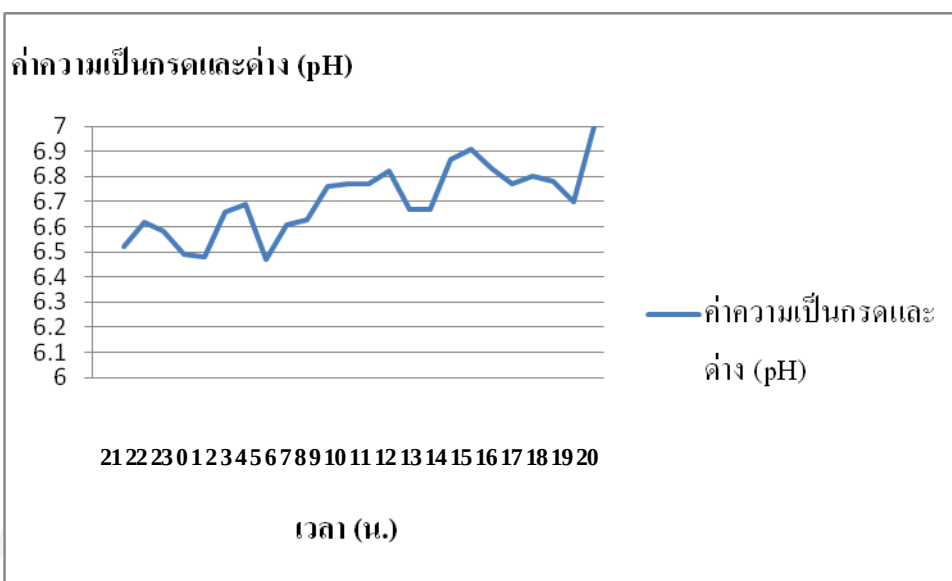
ภาพผนวกที่ ข2 (ต่อ)



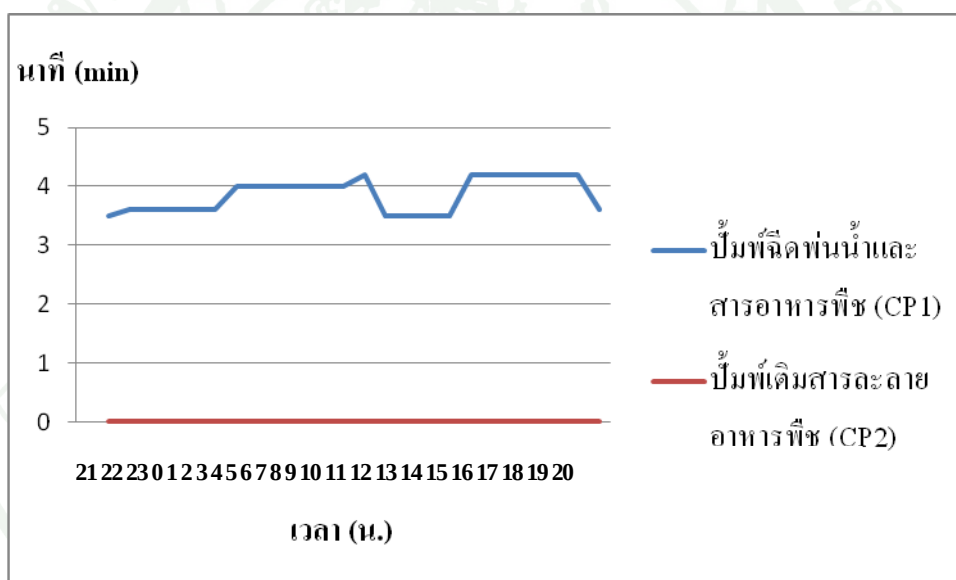
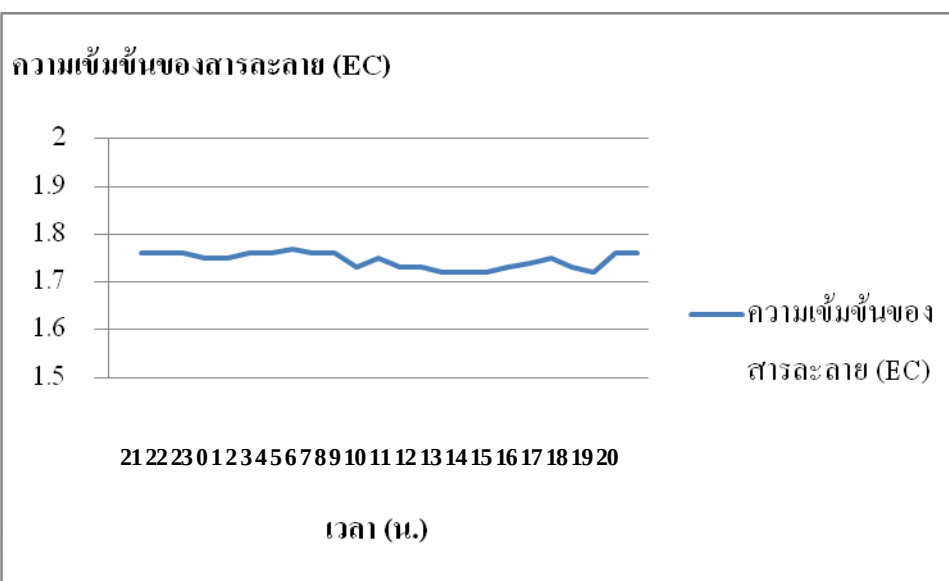
ภาพผนวกที่ ข2 (ต่อ)

ตารางผนวกที่ ข3 ข้อมูลโปรแกรม SCADA ของการปลูกไม้คลุมดิน (25/04/2555)

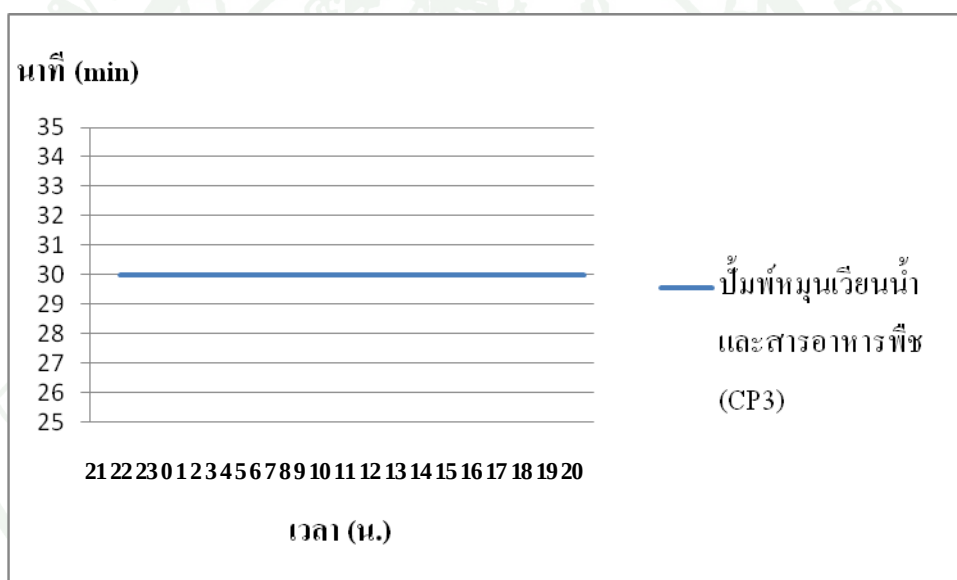
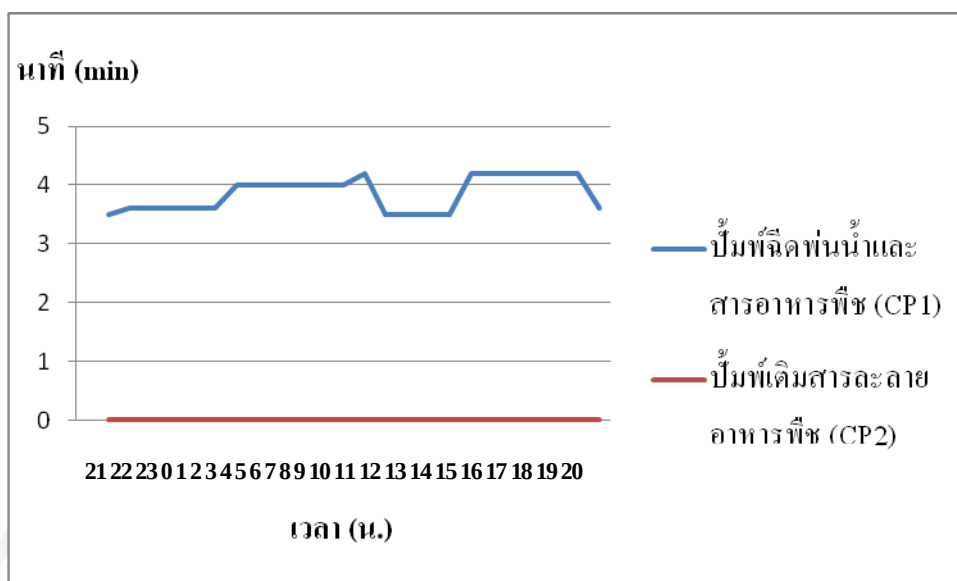
Time	pH	%RH	EC (ms)	IT (c°)	OT (c°)	CP1 (min)	CP2 (min)	CP3 (min)
21.00	6.52	80.5	1.76	30.3	30.7	3.5	0.0	30.0
22.00	6.62	80.8	1.76	30.4	30.7	3.6	0.0	30.0
23.00	6.58	82.5	1.76	30.2	30.9	3.6	0.0	30.0
0.00	6.49	82.3	1.75	30.2	30.7	3.6	0.0	30.0
1.00	6.48	82.8	1.75	30.1	30.7	3.6	0.0	30.0
2.00	6.66	81.2	1.76	30.4	30.3	3.6	0.0	30.0
3.00	6.69	82.2	1.76	30.3	30.3	4.0	0.0	30.0
4.00	6.47	83.0	1.77	30.4	30.7	4.0	0.0	30.0
5.00	6.61	82.4	1.76	30.7	30.7	4.0	0.0	30.0
6.00	6.63	83.0	1.76	31.9	31.3	4.0	0.0	30.0
7.00	6.76	82.8	1.73	32.2	31.6	4.0	0.0	30.0
8.00	6.77	83.4	1.75	32.8	32.0	4.0	0.0	30.0
9.00	6.77	80.3	1.73	32.9	32.6	4.2	0.0	30.0
10.00	6.82	81.8	1.73	33.3	32.7	3.5	0.0	30.0
11.00	6.67	81.8	1.72	33.0	33.1	3.5	0.0	30.0
12.00	6.67	80.7	1.72	33.3	33.0	3.5	0.0	30.0
13.00	6.87	80.3	1.72	33.4	33.1	3.5	0.0	30.0
14.00	6.91	80.6	1.73	33.5	33.3	4.2	0.0	30.0
15.00	6.83	88.9	1.74	31.9	33.0	4.2	0.0	30.0
16.00	6.77	89.0	1.75	31.2	32.6	4.2	0.0	30.0
17.00	6.80	88.3	1.73	30.7	31.9	4.2	0.0	30.0
18.00	6.78	89.6	1.72	30.7	31.8	4.2	0.0	30.0
19.00	6.70	80.0	1.76	30.7	31.6	4.2	0.0	30.0
20.00	7.00	89.7	1.76	30.7	31.2	3.6	0.0	30.0
Total	160.87	1997.9	41.88	755.2	760.5	107.0	0.0	720.0
Aver	6.70	83.3	1.75	31.5	31.7	4.5	0.0	30.0



ภาพผนวกที่ ข3 ข้อมูลโปรแกรม SCADA ของการปลูกไม้คลุมดิน (25/04/2555)



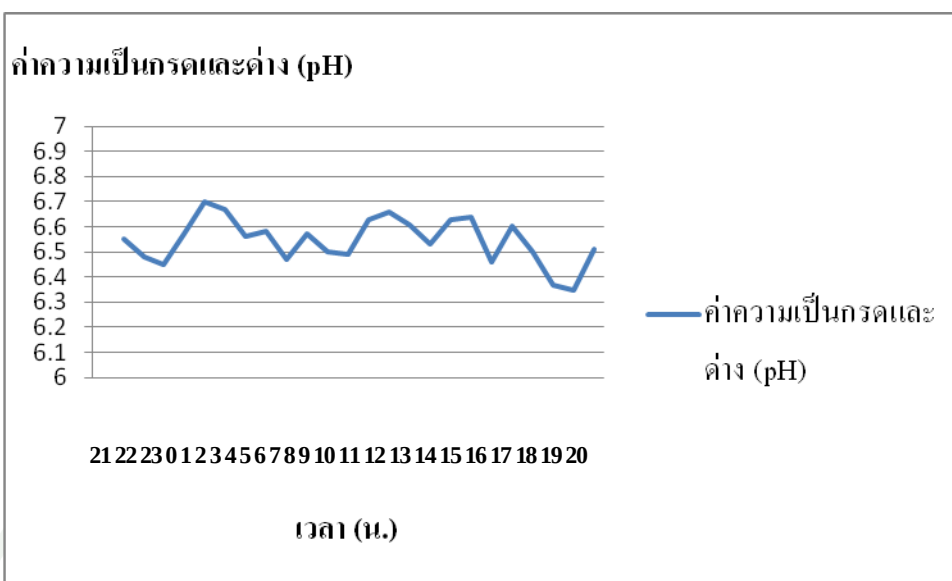
ภาพผนวกที่ ข3 (ต่อ)



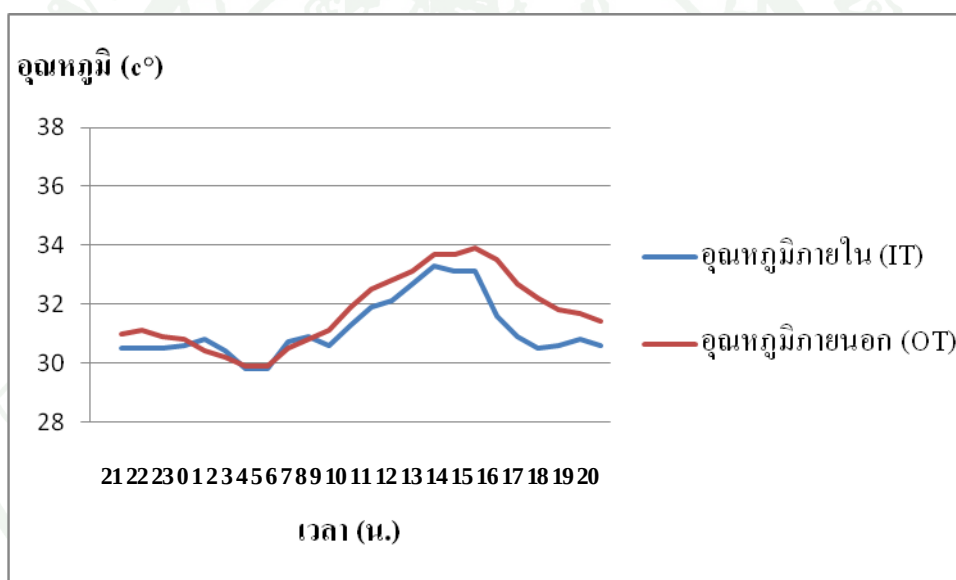
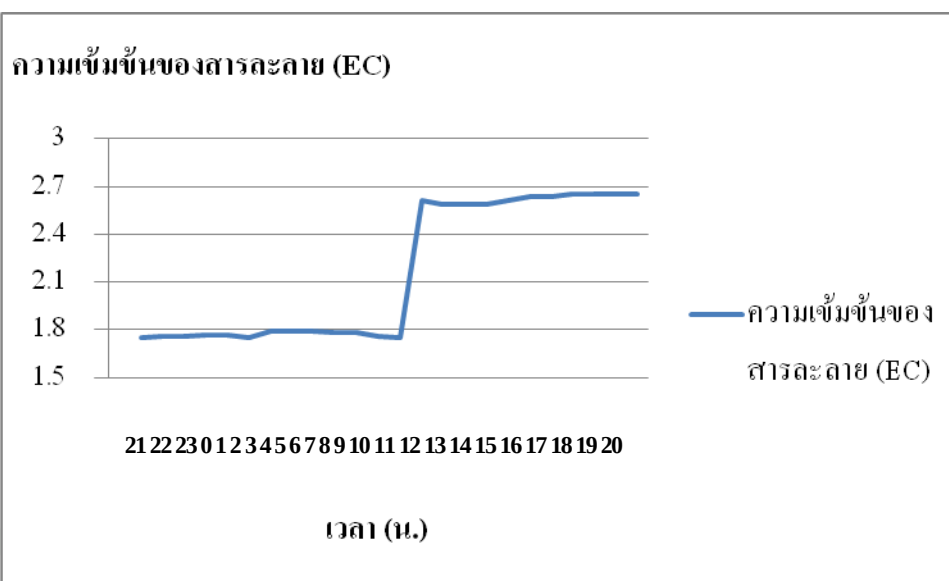
ภาพผนวกที่ ข3 (ต่อ)

ตารางผนวกที่ ข4 ข้อมูล โปรแกรม SCADA ของการปลูกพืชผักทรงพุ่มและทรงอื่นๆ (24/04/2555)

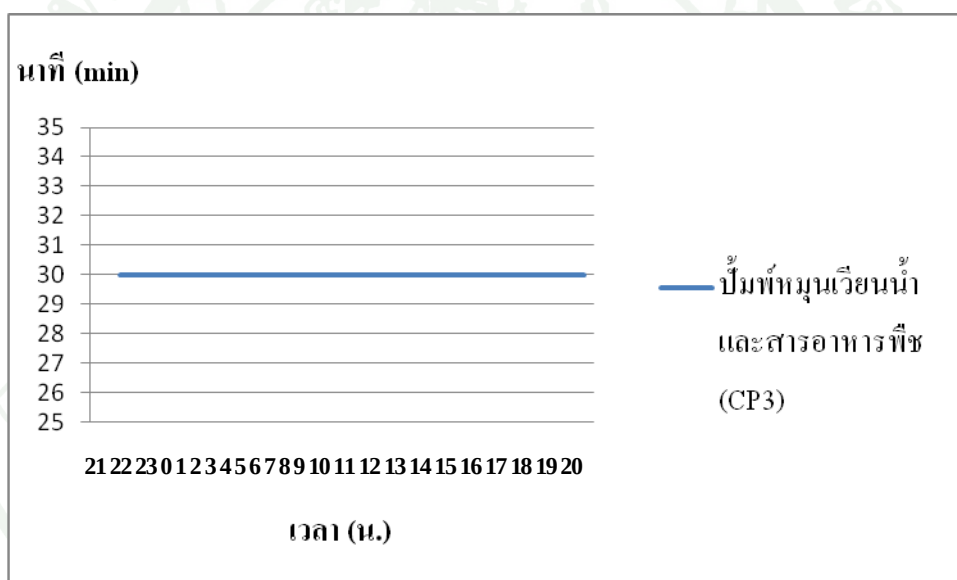
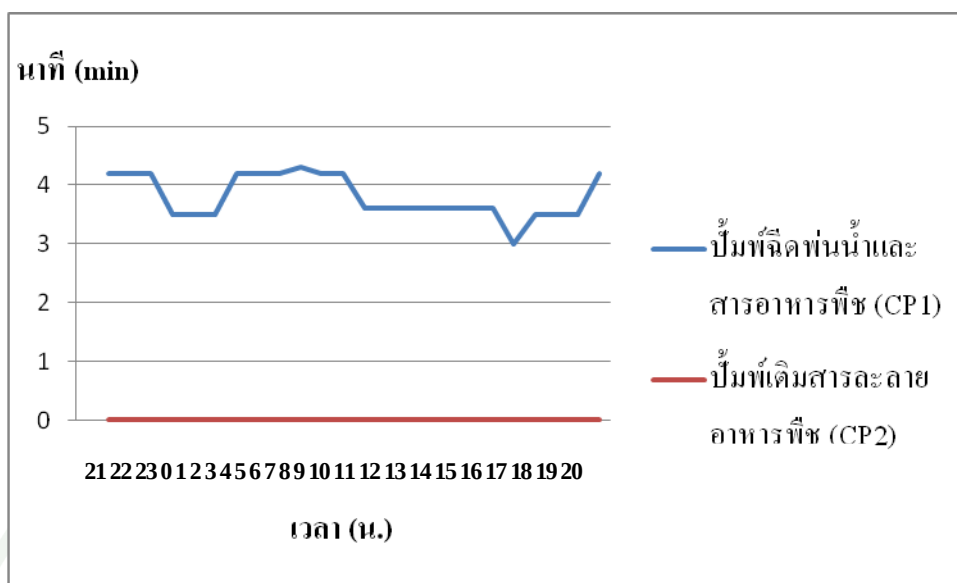
Time (hr)	pH	%RH	EC (ms)	IT (c°)	OT (c°)	CP1 (min)	CP2 (min)	CP3 (min)
21.00	6.55	80.1	1.75	30.5	31.0	4.2	0.0	30.0
22.00	6.48	82.8	1.76	30.5	31.1	4.2	0.0	30.0
23.00	6.45	82.9	1.76	30.5	30.9	4.2	0.0	30.0
0.00	6.57	83.7	1.77	30.6	30.8	3.5	0.0	30.0
1.00	6.70	83.6	1.77	30.8	30.4	3.5	0.0	30.0
2.00	6.67	83.9	1.75	30.4	30.2	3.5	0.0	30.0
3.00	6.56	84.6	1.79	29.8	29.9	4.2	0.0	30.0
4.00	6.58	85.8	1.79	29.8	29.9	4.2	0.0	30.0
5.00	6.47	86.4	1.79	30.7	30.5	4.2	0.0	30.0
6.00	6.57	84.6	1.78	30.9	30.8	4.3	0.0	30.0
7.00	6.50	84.3	1.78	30.6	31.1	4.2	0.0	30.0
8.00	6.49	83.3	1.76	31.3	31.9	4.2	0.0	30.0
9.00	6.63	81.5	1.75	31.9	32.5	3.6	0.0	30.0
10.00	6.66	80.1	2.61	32.1	32.8	3.6	0.0	30.0
11.00	6.61	80.5	2.59	32.7	33.1	3.6	0.0	30.0
12.00	6.53	80.2	2.59	33.3	33.7	3.6	0.0	30.0
13.00	6.63	88.7	2.59	33.1	33.7	3.6	0.0	30.0
14.00	6.64	87.0	2.61	33.1	33.9	3.6	0.0	30.0
15.00	6.46	87.3	2.64	31.6	33.5	3.6	0.0	30.0
16.00	6.60	87.5	2.64	30.9	32.7	3.0	0.0	30.0
17.00	6.50	89.3	2.65	30.5	32.2	3.5	0.0	30.0
18.00	6.37	81.0	2.65	30.6	31.8	3.5	0.0	30.0
19.00	6.35	81.8	2.65	30.8	31.7	3.5	0.0	30.0
20.00	6.51	80.3	2.65	30.6	31.4	4.2	0.0	30.0
Total	157.08	2011.2	51.87	747.7	761.5	100.4	0.0	720.0
Aver	6.50	83.8	2.16	31.2	31.7	4.2	0.0	30.0



ภาพผนวกที่ ข4 ข้อมูลโปรแกรม SCADA ของการปลูกพืชผักทรงพุ่มและทรงอื่นๆ (24/04/2555)



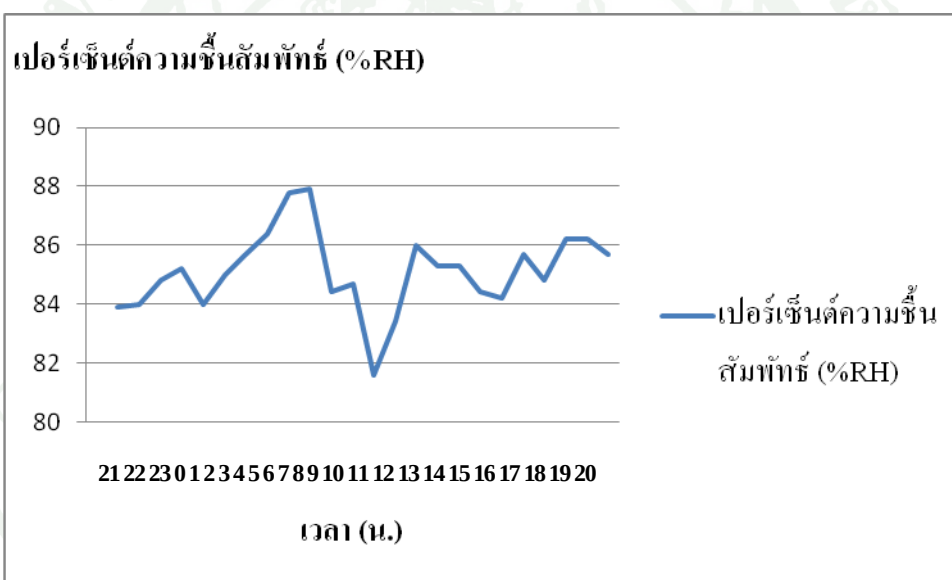
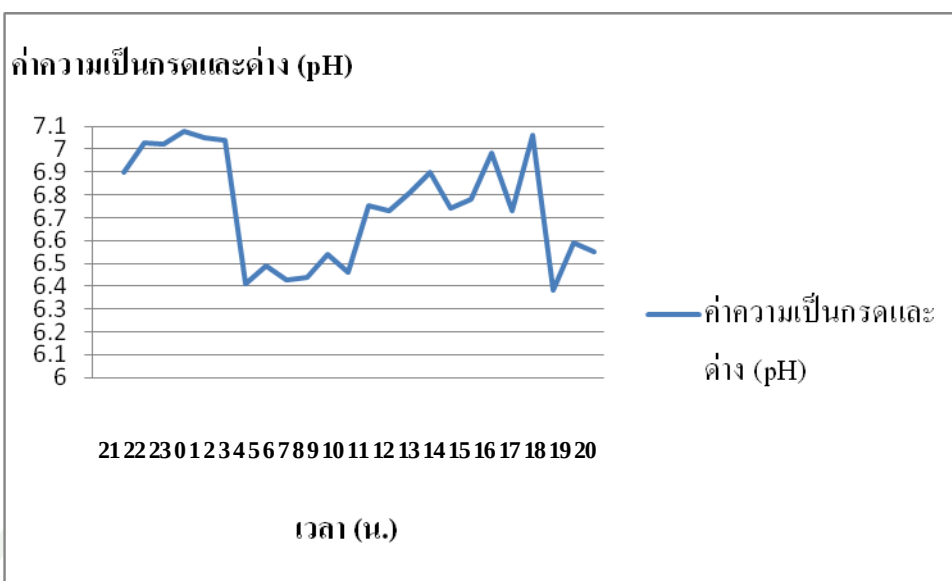
ภาพผนวกที่ ข4 (ต่อ)



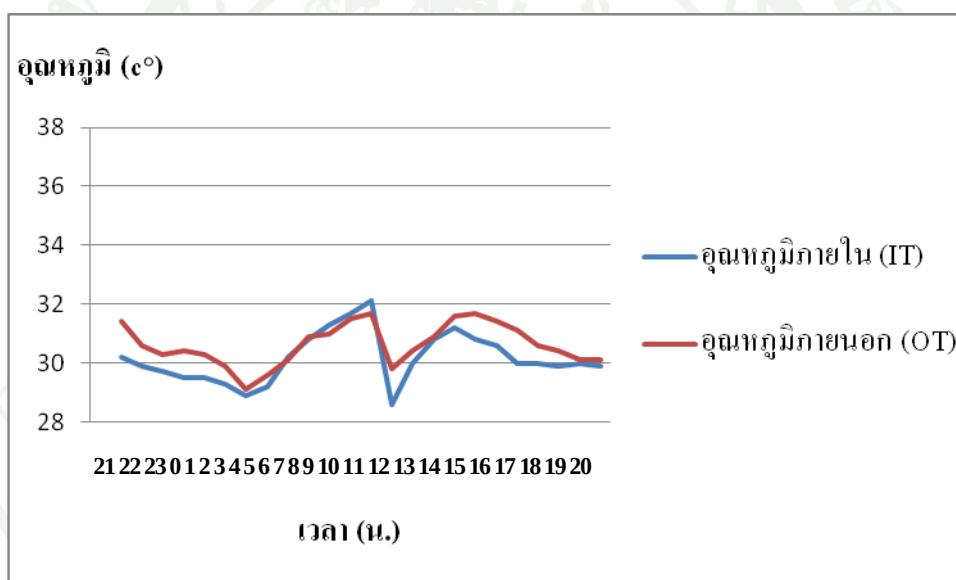
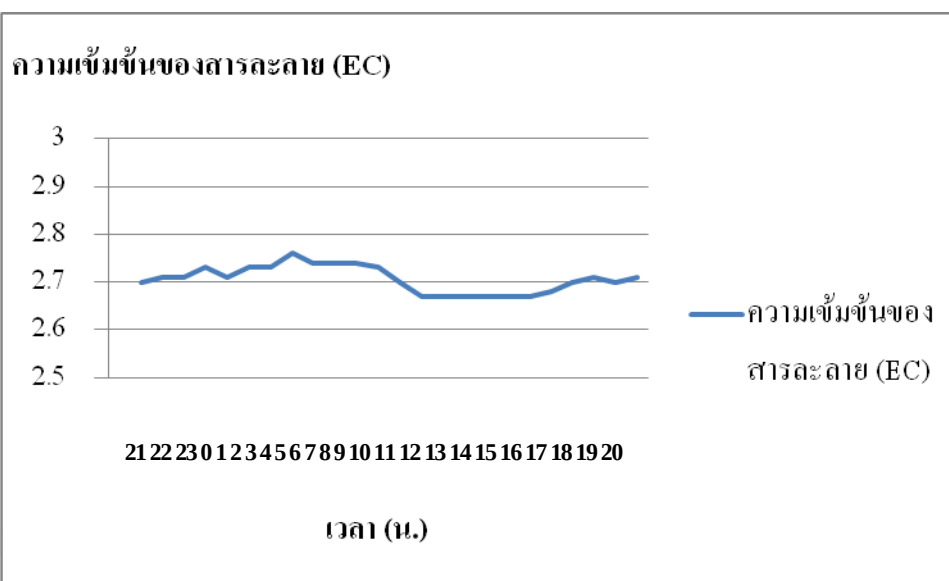
ภาพผนวกที่ ข4 (ต่อ)

ตารางผนวกที่ ข5 ข้อมูลโปรแกรม SCADA ของการปลูกพืชผักทรงฟุ่มและทรงอื่นๆ (04/05/2555)

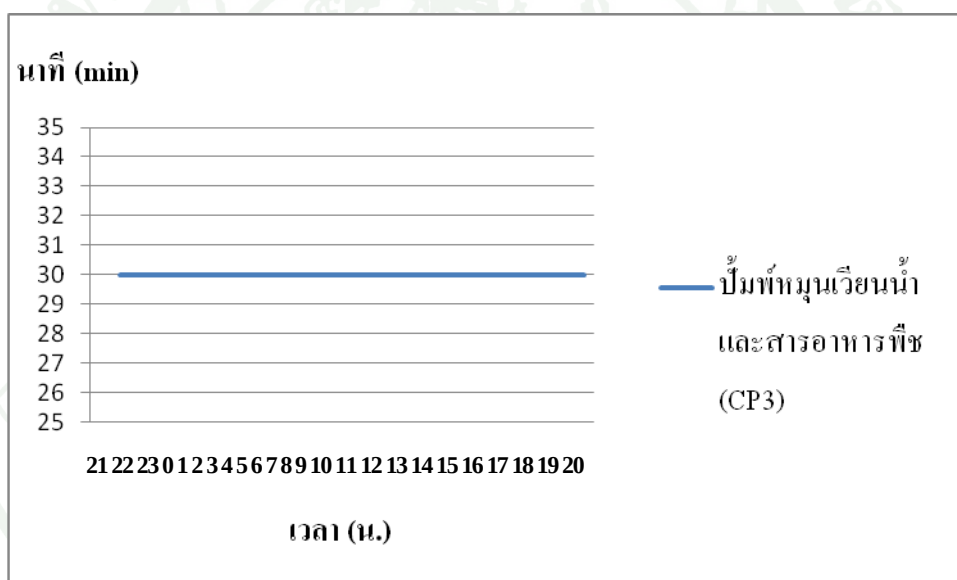
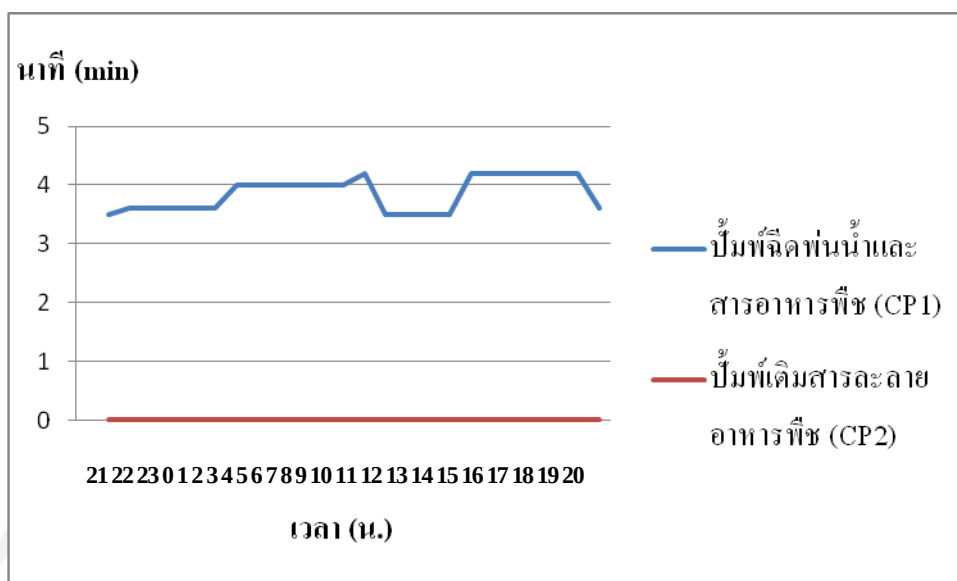
Time	pH	%RH	EC (ms)	IT (c°)	OT (c°)	CP1 (min)	CP2 (min)	CP3 (min)
21.00	6.90	83.9	2.70	30.2	31.4	4.3	0.0	30.0
22.00	7.03	84.0	2.71	29.9	30.6	4.2	0.0	30.0
23.00	7.02	84.8	2.71	29.7	30.3	4.3	0.0	30.0
0.00	7.08	85.2	2.73	29.5	30.4	4.2	0.0	30.0
1.00	7.05	84.0	2.71	29.5	30.3	4.2	0.0	30.0
2.00	7.04	85.0	2.73	29.3	29.9	4.2	0.0	30.0
3.00	6.41	85.7	2.73	28.9	29.1	4.1	0.0	30.0
4.00	6.49	86.4	2.76	29.2	29.6	4.2	0.0	30.0
5.00	6.43	87.8	2.74	30.2	30.1	4.2	0.0	30.0
6.00	6.44	87.9	2.74	30.8	30.9	4.2	0.0	30.0
7.00	6.54	84.4	2.74	31.3	31.0	4.2	0.0	30.0
8.00	6.46	84.7	2.73	31.7	31.5	4.2	0.0	30.0
9.00	6.75	81.6	2.70	32.1	31.7	4.2	0.0	30.0
10.00	6.73	83.4	2.67	28.6	29.8	4.2	0.0	30.0
11.00	6.81	86.0	2.67	30.0	30.4	4.2	0.0	30.0
12.00	6.90	85.3	2.67	30.8	30.9	4.2	0.0	30.0
13.00	6.74	85.3	2.67	31.2	31.6	4.2	0.0	30.0
14.00	6.78	84.4	2.67	30.8	31.7	4.2	0.0	30.0
15.00	6.98	84.2	2.67	30.6	31.4	4.2	0.0	30.0
16.00	6.73	85.7	2.68	30.0	31.1	4.2	0.0	30.0
17.00	7.06	84.8	2.70	30.0	30.6	4.2	0.0	30.0
18.00	6.38	86.2	2.71	29.9	30.4	4.2	0.0	30.0
19.00	6.59	86.2	2.70	30.0	30.1	4.2	0.0	30.0
20.00	6.55	85.7	2.71	29.9	30.1	4.2	0.0	30.0
Total	161.89	2042.6	64.95	724.1	734.9	100.9	0.0	720.0
Aver	6.70	85.1	2.71	30.2	30.6	4.2	0.0	30.0



ภาพผนวกที่ ข5 ข้อมูลโปรแกรม SCADA ของการปลูกพืชผักทรงพุ่มและทรงอื่นๆ (04/05/2555)



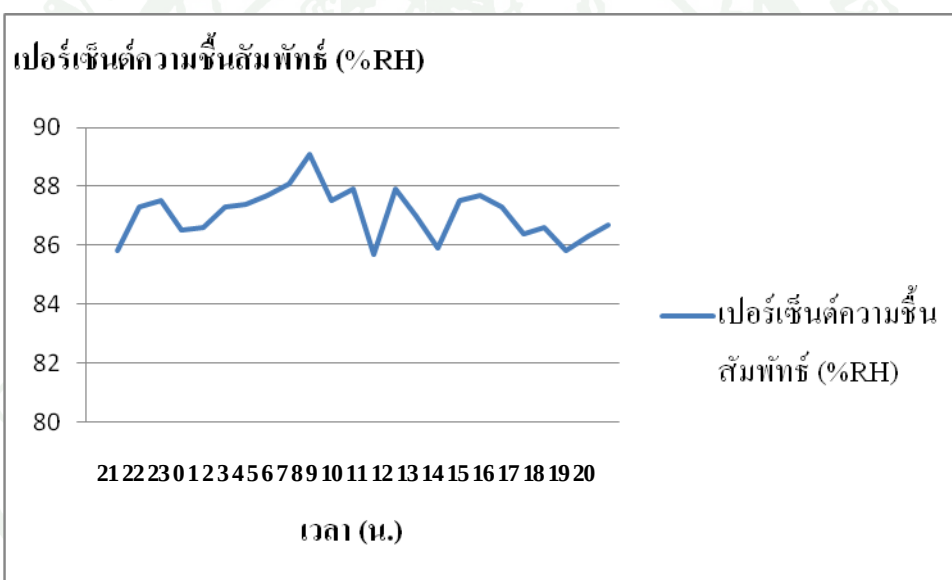
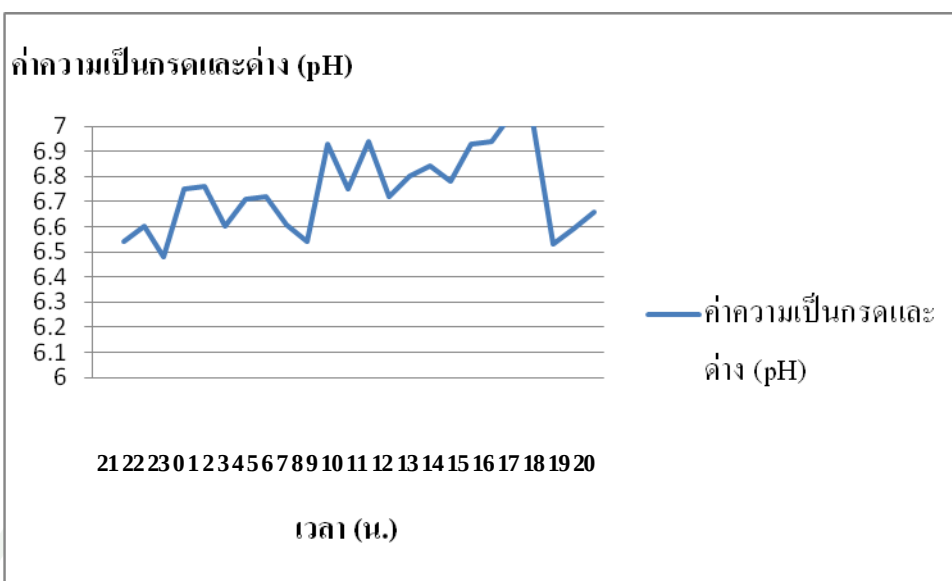
ภาพผนวกที่ ข5 (ต่อ)



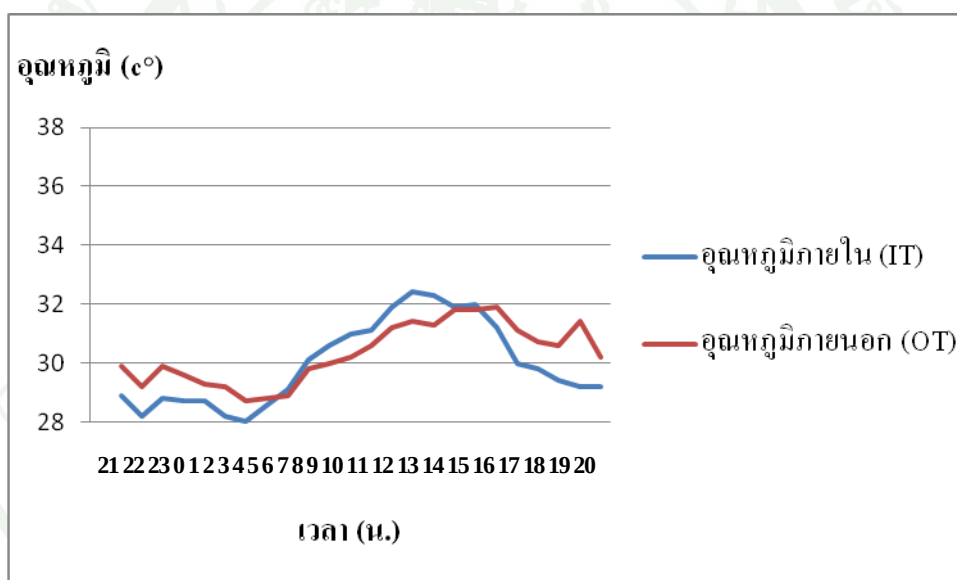
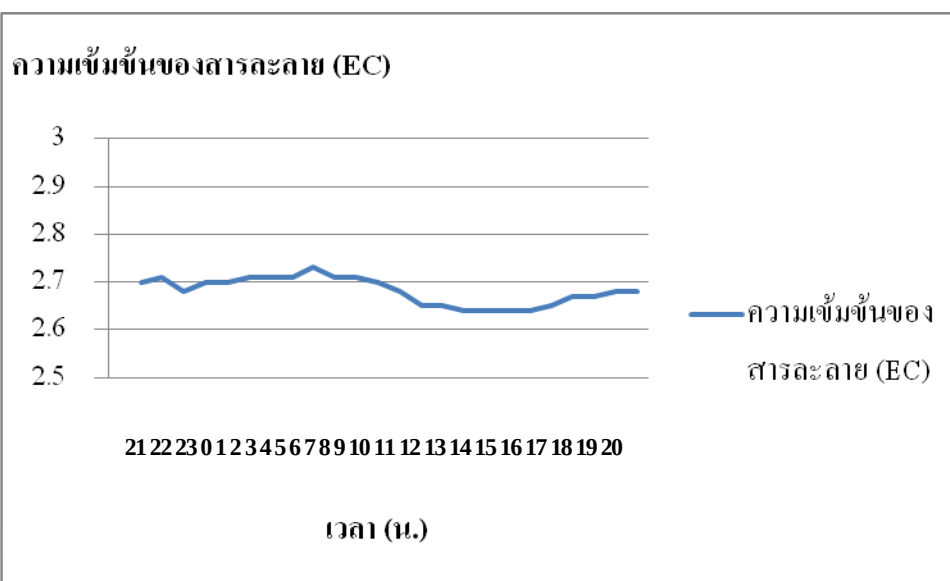
ภาพผนวกที่ ข5 (ต่อ)

ตารางผนวกที่ ข6 ข้อมูล โปรแกรม SCADA ของการปลูกพืชผักทรงฟุ่มและทรงอื่นๆ (22/05/2555)

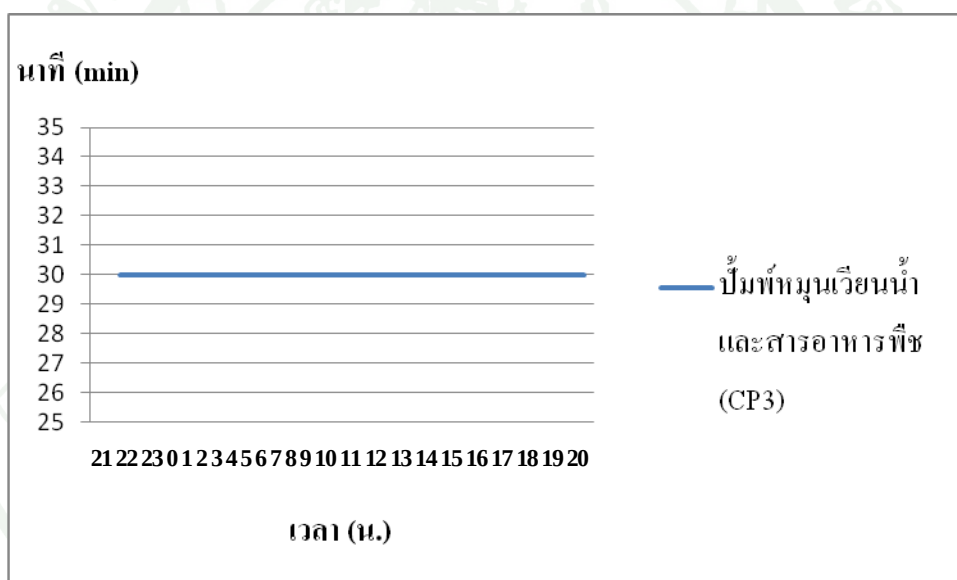
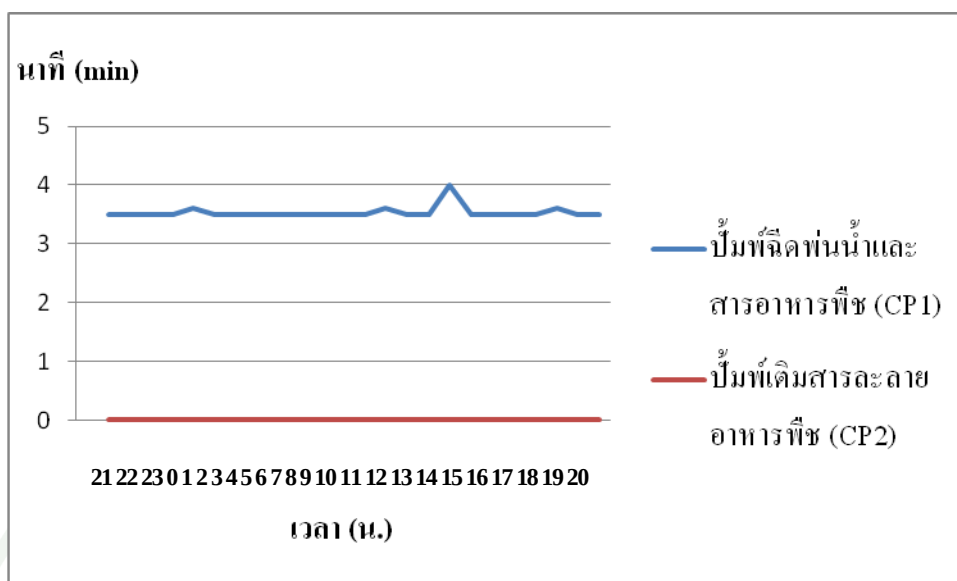
Time	pH	%RH	EC (ms)	IT (c°)	OT (c°)	CP1 (min)	CP2 (min)	CP3 (min)
21.00	6.54	85.8	2.70	28.9	29.9	3.5	0.0	30.0
22.00	6.60	87.3	2.71	28.2	29.2	3.5	0.0	30.0
23.00	6.48	87.5	2.68	28.8	29.9	3.5	0.0	30.0
0.00	6.75	86.5	2.70	28.7	29.6	3.5	0.0	30.0
1.00	6.76	86.6	2.70	28.7	29.3	3.6	0.0	30.0
2.00	6.60	87.3	2.71	28.2	29.2	3.5	0.0	30.0
3.00	6.71	87.4	2.71	28.0	28.7	3.5	0.0	30.0
4.00	6.72	87.7	2.71	28.6	28.8	3.5	0.0	30.0
5.00	6.61	88.1	2.73	29.1	28.9	3.5	0.0	30.0
6.00	6.54	89.1	2.71	30.1	29.8	3.5	0.0	30.0
7.00	6.93	87.5	2.71	30.6	30.0	3.5	0.0	30.0
8.00	6.75	87.9	2.70	31.0	30.2	3.5	0.0	30.0
9.00	6.94	85.7	2.68	31.1	30.6	3.5	0.0	30.0
10.00	6.72	87.9	2.65	31.9	31.2	3.6	0.0	30.0
11.00	6.80	87.0	2.65	32.4	31.4	3.5	0.0	30.0
12.00	6.84	85.9	2.64	32.3	31.3	3.5	0.0	30.0
13.00	6.78	87.5	2.64	31.9	31.8	4.0	0.0	30.0
14.00	6.93	87.7	2.64	32.0	31.8	3.5	0.0	30.0
15.00	6.94	87.3	2.64	31.2	31.9	3.5	0.0	30.0
16.00	7.05	86.4	2.65	30.0	31.1	3.5	0.0	30.0
17.00	7.02	86.6	2.67	29.8	30.7	3.5	0.0	30.0
18.00	6.53	85.8	2.67	29.4	30.6	3.6	0.0	30.0
19.00	6.59	86.3	2.68	29.2	31.4	3.5	0.0	30.0
20.00	6.66	86.7	2.68	29.2	30.2	3.5	0.0	30.0
Total	155.19	2059.5	61.65	690.8	697.2	84.9	0.0	290.0
Aver	6.50	87.1	2.60	28.8	29.1	3.5	0.0	28.8



ภาพผนวกที่ ข6 ข้อมูลโปรแกรม SCADA ของการปลูกพืชผักทรงพุ่มและทรงอื่นๆ (22/05/2555)



ภาพผนวกที่ ข6 (ต่อ)



ภาพผนวกที่ ข6 (ต่อ)



ตารางผนวกที่ ค1 ปริมาณน้ำหนักของกรีนคอส (18 ต้น)

ต้นที่	น้ำหนัก Aeroponics(กรัม)	น้ำหนักNFT (กรัม)	ต้นที่	น้ำหนัก Aeroponics(กรัม)	น้ำหนักNFT (กรัม)
1	0	0	28	27	50
4	0	0	31	26	51
7	22	49	34	27	50
10	26	49	37	26	48
13	26	50	40	0	0
16	28	50	43	26	49
19	0	0	46	27	48
22	27	49	49	28	50
25	26	50	52	25	49
รวม	155	297	รวม	212	395
			จำนวนต้นเฉลี่ย	18	18
				20.4	38.4
			ค่าน้ำหนักเฉลี่ยแตกต่าง		18.0

ตารางผนวกที่ ค2 ปริมาณน้ำหนักรของเรดปัดดาเวีย (18 ต้น)

ต้นที่	น้ำหนัก Aeroponics(กรัม)	น้ำหนักNFT (กรัม)	ต้นที่	น้ำหนัก Aeroponics(กรัม)	น้ำหนักNFT (กรัม)
1	28	53	28	27	50
4	25	53	31	27	53
7	0	0	34	27	51
10	29	53	37	0	0
13	27	53	40	28	53
16	28	54	43	24	55
19	29	53	46	0	0
22	28	54	49	28	52
25	29	55	52	27	53
รวม	223	428	รวม	188	367
			จำนวน ต้น เฉลี่ย	18 22.3	18 44.1
			ค่าน้ำหนักเฉลี่ยแตกต่าง		21.8

ตารางผนวกที่ ค3 ปริมาณน้ำหนักของฟิเลียร์ (18 ต้น)

ต้นที่	น้ำหนัก Aeroponics(กรัม)	น้ำหนักNFT (กรัม)	ต้นที่	น้ำหนัก Aeroponics(กรัม)	น้ำหนักNFT (กรัม)
1	0	53	28	24	50
4	27	53	31	27	53
7	27	0	34	26	51
10	25	53	37	0	0
13	27	53	40	25	52
16	26	54	43	27	55
19	0	0	46	26	49
22	25	50	49	27	52
25	27	55	52	0	0
รวม	184	371	รวม	182	362
			จำนวน ต้น เฉลี่ย	18 20.3	18 40.7
			ค่าน้ำหนักเฉลี่ยแตกต่าง		20.4

ตารางผนวกที่ ค4 ปริมาณน้ำหนักของกรีนโอ๊ค (5 ต้น)

ต้นที่	น้ำหนัก Aeroponics(กรัม)	น้ำหนักNFT (กรัม)	ต้นที่	น้ำหนัก Aeroponics(กรัม)	น้ำหนักNFT (กรัม)
1	27	48	10	25	48
4	25	48	13	24	45
7	24	45			
รวม	76	141	รวม	49	93
			จำนวนต้นเฉลี่ย	5	5
				25.0	46.8
			ค่าน้ำหนักเฉลี่ยแตกต่าง		21.8

ตารางผนวกที่ ค5 ปริมาณน้ำหนักของเรดโอ๊ค (5 ต้น)

ต้นที่	น้ำหนัก Aeroponics(กรัม)	น้ำหนักNFT (กรัม)	ต้นที่	น้ำหนัก Aeroponics(กรัม)	น้ำหนักNFT (กรัม)
1	27	46	10	28	49
4	27	46.5	13	27	43
7	26.5	47.5			
รวม	80.5	140	รวม	55	92
			จำนวนต้นเฉลี่ย	5	5
				27.1	46.4
			ค่าน้ำหนักเฉลี่ยแตกต่าง		19.3

ตารางผนวกที่ ค6 ปริมาณน้ำหนักของแบตเตอรี่ไฮโดร (5 ต้น)

ต้นที่	น้ำหนัก Aeroponics(กรัม)	น้ำหนักNFT (กรัม)	ต้นที่	น้ำหนัก Aeroponics(กรัม)	น้ำหนักNFT (กรัม)
1	24.5	40	10	25.5	40.5
4	22	41.5	13	23	40
7	24.5	40			
รวม	71	121.5	รวม	48.5	80.5
			จำนวนต้นเฉลี่ย	5	5
				23.9	40.4
			ค่าน้ำหนักเฉลี่ยแตกต่าง		16.5



ตารางผนวกที่ ง1 การเจริญเติบโตของกรีนคอสที่อายุ 10 วัน

อายุพืช 10 วัน				กรีนคอส			24/4/2555
ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)
1	4.5	4.5	5.5	28	4.5	4	5
4	4	4.5	5	31	4.5	4	5
7	4.5	4.5	5	34	4.5	4.5	4.5
10	4.5	4	5	37	4.5	4.5	5
13	4	4.5	5	40	4.5	4.5	5
16	5	4.5	4.5	43	4	4.5	5
19	5	5	5	46	4.5	4.5	5
22	5	4.5	5	49	4.5	4.5	5
25	4	4.5	5.5	52	4.5	5	5
รวม	40.5	40.5	45.5	รวม	40.0	40.0	44.5
จำนวนต้น					18	18	18
เฉลี่ย					4.5	4.5	5.0

ตารางผนวกที่ ง2 การเจริญเติบโตของกรีนคอสที่อายุ 20 วัน

อายุพืช 20 วัน				กรีนคอส			4/5/2555
ต้นที่	จำนวน ใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)
1	7	7.5	6	28	7	7.5	6.5
4	7.5	7	7	31	8	7	6
7	7.5	7	6	34	7.5	6.5	6.5
10	7.5	7	6	37	8	7.5	7
13	8	7	6.5	40	7.5	7	6.5
16	7.5	7	6	43	7	7	7.5
19	7.5	7	7	46	8	6	6.5
22	8	6	7.5	49	7.5	7	6.5
25	8	7.5	6.5	52	8	7	7
รวม	68.5	63.0	58.5	รวม	68.5	62.5	60.0
					จำนวน ต้น	18	18
					เฉลี่ย	7.6	7.0
							6.6

ตารางผนวกที่ ง3 การเจริญเติบโตของกรีนคอสที่อายุ 38 วัน

อายุพืช 38 วัน				กรีนคอส				22/5/2555
ต้นที่	จำนวน ใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)	
1	0	0	0	28	13	17	15.5	
4	0	0	0	31	14.5	17	16.5	
7	13	17.5	16	34	14.5	17	15.5	
10	14.5	16.5	15.5	37	13.5	17.5	15	
13	13	17	15.5	40	0	0	0	
16	14	17.5	15.5	43	13.5	17	16	
19	13.5	17.5	16	46	13	17	15.5	
22	14	17.5	16	49	14.5	17.5	16.5	
25	14	17	15.5	52	14	17.5	16	
รวม	96.0	120.5	110.0	รวม	110.5	137.5	126.5	
				จำนวน ต้น	18	18	18	
				เฉลี่ย	11.5	14.3	13.1	

ตารางผนวกที่ ง4 การเจริญเติบโตของเรดปัดตาเวียที่อายุ 10 วัน

อายุพืช 10 วัน				เรดปัดตาเวีย			24/4/2555
ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)
1	4.5	4.5	4.5	28	4.5	4	4.5
4	4	4	4.5	31	4.5	4	5
7	4.5	4	5	34	4.5	4	4.5
10	4.5	4	4.5	37	4.5	4	4.5
13	4	4	4.5	40	4.5	4	4.5
16	5	4	4.5	43	4	4	4.5
19	5	4	4.5	46	4.5	4	4.5
22	5	4	4	49	4.5	4	4
25	4	4	4.5	52	4.5	4	4.5
รวม	40.5	36.5	40.5	รวม	40.0	36.0	40.5
จำนวนต้น					18	18	18
เฉลี่ย					4.5	4.0	4.5

ตารางผนวกที่ ง5 การเจริญเติบโตของเรดปัดตาเวียที่อายุ 20 วัน

อายุพืช 20 วัน				เรดปัดตาเวีย			4/5/2555
ต้นที่	จำนวน ใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)
1	6.5	5.5	6	28	6	6	6.5
4	6.5	6	5.5	31	6	6	6.5
7	6.5	5.5	5.5	34	5.5	6	6.5
10	6.5	6	6	37	6	6	5.5
13	6	6	5.5	40	5.5	5.5	6.5
16	6	5.5	6.5	43	5.5	6.5	6
19	6.5	6.5	5.5	46	5.5	6	5.5
22	6	6.5	6.5	49	6.5	5.5	6.5
25	5.5	5.5	6	52	6	6	6
รวม	56.0	53.0	53.0	รวม	52.5	53.5	55.5
					จำนวน ต้น	18	18
					เฉลี่ย	3.3	5.9
							6.0

ตารางผนวกที่ ง6 การเจริญเติบโตของเรดปัดตาเวียที่อายุ 38 วัน

อายุพืช 38 วัน				เรดปัดตาเวีย			22/5/2555
ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)
1	11	18	16.5	28	10	17.5	16.5
4	11	18	16.5	31	10	18	16.5
7	0	0	0	34	10	18.5	16.5
10	11	18	16.5	37	0	0	0
13	10.5	17.5	16	40	11.5	18	16.5
16	10.5	17	15.5	43	9.5	18.5	16
19	10.5	17	16	46	0	0	0
22	9.5	17.5	16	49	9.5	18	16.5
25	11	17.5	16	52	10	18	16.5
รวม	85.0	140.5	129.0	รวม	70.5	126.5	115.0
					จำนวนต้น	18	18
					เฉลี่ย	4.8	14.8
							13.6

ตารางผนวกที่ ง7 การเจริญเติบโตของฟิลาเรียที่อายุ 10 วัน

อายุฟิซ 10 วัน				ฟิลาเรีย				24/4/2555
ต้นที่	จำนวน ใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)	
1	4.5	4.5	4	28	4	4.5	4	
4	4	4.5	4	31	4	5	4	
7	4	5	4	34	4	4.5	4.5	
10	4	4.5	4	37	4	4.5	4.5	
13	4	4.5	4.5	40	4	4.5	4	
16	4	4.5	4.5	43	4	4.5	4	
19	4	4.5	4	46	4	4.5	4	
22	4	4	4	49	4	4	4	
25	4	4.5	4	52	4	4.5	4	
รวม	36.5	40.5	37.0	รวม	36.0	40.5	37.0	
					จำนวน ต้น	18	18	18
					เฉลี่ย	4.0	4.5	4.1

ตารางผนวกที่ ง8 การเจริญเติบโตของฟิลาเรียที่อายุ 20 วัน

อายุฟิซ 20 วัน				ฟิลาเรีย				4/5/2555
ต้นที่	จำนวน ใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)	
1	6.5	5.5	6	28	5.5	7.5	6.5	
4	6.5	6	5.5	31	5.5	7.5	6.5	
7	6.5	5.5	5.5	34	6	6	6.5	
10	6.5	6	6	37	6	6.5	5.5	
13	6	6	5.5	52	6.5	7.5	6	
16	6.5	5.5	6.5	43	6.5	7.5	6	
19	6.5	7	5.5	46	6	6	5.5	
22	5.5	7	6.5	49	6	7	6.5	
25	6.5	7	6	52	6.5	7.5	6	
รวม	57.0	55.5	53.0	รวม	54.5	63.0	55.0	
				จำนวน ต้น	18	18	18	
				เฉลี่ย	6.2	6.6	6.0	

ตารางผนวกที่ ง9 การเจริญเติบโตของฟิลาเรียที่อายุ 38 วัน

อายุฟิซ 38 วัน				ฟิลาเรีย				22/5/2555
ต้นที่	จำนวน ใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)	
1	0	0	0	28	11.5	15	13.5	
4	11	16	13	31	11	15	13	
7	11.5	15.5	13	34	10.5	15	13	
10	11	15.5	12.5	37	0	0	0	
13	0	0	0	40	11.5	15	13.5	
16	10.5	15	13.5	43	11	16	12.5	
19	0	0	0	46	11	15.5	13	
22	11.5	15	13	49	11.5	15.5	13	
25	11	15	12.5	52	0	0	0	
รวม	66.5	92.0	77.5	รวม	78.0	107.0	91.5	
				จำนวน ต้น	18	18	18	
				เฉลี่ย	8.0	11.0	9.4	

ตารางผนวกที่ ง10 การเจริญเติบโตของกรีนโอ๊คที่อายุ 10 วัน

อายุพืช 10 วัน				กรีนโอ๊ค			4/5/2555
ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)
1	4.5	4	4	10	4	4.5	4.5
4	4	4	4.5	13	4	4	5
7	4	4	4.5				
รวม	12.5	12.0	13.0	รวม	8.0	8.5	9.5
				จำนวนต้น	5	5	5
				เฉลี่ย	4.1	4.2	4.5

ตารางผนวกที่ ง11 การเจริญเติบโตของกรีนโอ๊คที่อายุ 20 วัน

อายุพืช 20 วัน				กรีนโอ๊ค			4/5/2555
ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)
1	6	8.5	8	10	5.5	8.5	7
4	6.5	8	7	13	6	8.5	7.5
7	5.5	8	8				
รวม	18.0	24.5	23.0	รวม	11.5	17.0	14.5
				จำนวนต้น	5	5	5
				เฉลี่ย	5.9	8.3	7.5

ตารางผนวกที่ ง12 การเจริญเติบโตของกรีนโอ๊กที่อายุ 38 วัน

อายุพืช 38 วัน				กรีนโอ๊ก			22/5/2555
ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)
1	12.5	18.5	16	10	11.5	19	16.5
4	12.5	19	17	13	13	19	17.5
7	11.5	19	16				
รวม	36.5	46.5	49.0	รวม	24.5	38.0	34.0
				จำนวนต้นเฉลี่ย	5	5	5
				เฉลี่ย	12.2	16.9	16.6

ตารางผนวกที่ ง13 การเจริญเติบโตของเรดโอ๊กที่อายุ 10 วัน

อายุพืช 10 วัน				เรดโอ๊ก			24/4/2555
ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)
7	4.5	5	4.5	10	4.5	5	5
4	4.5	4	4.5	13	5	4.5	5
1	4	4.5	5.5				
รวม	13.0	13.5	14.5	รวม	9.5	9.5	10.0
				จำนวนต้นเฉลี่ย	5	5	5
				เฉลี่ย	4.5	4.6	4.9

ตารางผนวกที่ ง14 การเจริญเติบโตของเรดโอ๊กที่อายุ 20 วัน

อายุพืช 20 วัน				เรดโอ๊ก			4/5/2555
ต้นที่	จำนวน ใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)
1	8	6.5	6.5	10	7	6.5	6.5
4	7	6.5	6.5	13	7.5	7.5	6
7	8	7.5	6				
รวม	23.0	20.5	19.0	รวม	14.5	14.0	12.5
				จำนวน ต้น	5	5	5
				เฉลี่ย	7.5	4.6	4.9

ตารางผนวกที่ ง15 การเจริญเติบโตของเรดโอ๊กที่อายุ 38 วัน

อายุพืช 38 วัน				เรดโอ๊ก			22/5/2555
ต้นที่	จำนวน ใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)
1	13.5	17	15	10	14	17	15
4	13.5	16.5	15.5	13	13.5	16	15.5
7	13.5	17.5	15				
รวม	40.5	51.0	19.0	รวม	27.5	33.0	30.5
				จำนวน ต้น	5	5	5
				เฉลี่ย	13.6	16.8	9.9

ตารางผนวกที่ ง16 การเจริญเติบโตของแบตเตอรี่สดที่อายุ 10 วัน

อายุพืช 10 วัน				แบตเตอรี่สด			24/4/2555
ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)
1	5	6.5	5.5	10	5	7	5
4	6	6.5	5.5	13	5.5	6	5
7	5.5	6.5	5.5				
รวม	16.5	19.5	16.5	รวม	10.5	13.0	10.0
				จำนวนต้น	5	5	5
				เฉลี่ย	5.4	6.5	5.3

ตารางผนวกที่ ง17 การเจริญเติบโตของแบตเตอรี่สดที่อายุ 20 วัน

อายุพืช 20 วัน				แบตเตอรี่สด			4/5/2555
ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)
1	8	8	7	10	7	7.5	7
4	7	7	7	13	7.5	8	7.5
7	8	7.5	8				
รวม	23.0	22.5	22.0	รวม	14.5	15.5	14.5
				จำนวนต้น	5	5	5
				เฉลี่ย	7.5	7.6	7.3

ตารางผนวกที่ ง18 การเจริญเติบโตของแบตเตอรี่เฮดที่อายุ 38 วัน

อายุพืช 38 วัน				แบตเตอรี่เฮด			22/5/2555
ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)
1	13.5	17.5	15	10	14	17	15
4	13.5	17	15.5	13	13	17.5	17.5
7	13.5	18	15				
รวม	40.5	52.5	45.5	รวม	27.0	34.5	32.5
				จำนวนต้น	5	5	5
				เฉลี่ย	13.5	17.4	15.6

ตารางผนวกที่ ง19 การเจริญเติบโตของผักเป็ดแดงที่อายุ 10 วัน

อายุพืช 10 วัน				ผักเป็ดแดง			28/3/2555
ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)
1	15	7	4.5	13	22	7.5	5
4	18	6.5	5.5	16	17	7	5.5
7	22	7	4.5	19	20	7	5
10	15	6	5.5	22	15	6.5	4.5
รวม	70.0	26.5	20.0	รวม	74.0	28.0	20.0
				จำนวนต้น	8	8	8
				เฉลี่ย	18.0	6.8	5.0

ตารางผนวกที่ ง20 การเจริญเติบโตของผักเป็ดแดงที่อายุ 20 วัน

อายุพืช 20 วัน				ผักเป็ดแดง				7/4/2555
ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)	
1	27	8	5.5	13	31	9.5	6	
4	30	7.5	6.5	16	30	8.5	6.5	
7	32	8	6	19	30	8.5	6	
10	28	7.5	6.5	22	28	8	5.5	
รวม	117.0	31.0	24.5	รวม	119.0	34.5	24.0	
					จำนวนต้น	8	8	8
					เฉลี่ย	29.5	8.2	6.1

ตารางผนวกที่ ง21 การเจริญเติบโตของผักเป็ดแดงที่อายุ 38 วัน

อายุพืช 38 วัน				ผักเป็ดแดง				25/4/2555
ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)	
1	52	11.5	9.5	13	50	11.5	10	
4	52	10.5	10.5	16	51	10.5	10.5	
7	48	11	10	19	52	12.5	10	
10	50	11	10.5	22	50	10	10.5	
รวม	202.0	44.0	40.5	รวม	203.0	44.5	41.0	
					จำนวนต้น	8	8	8
					เฉลี่ย	50.6	11.1	10.2

ตารางผนวกที่ ง22 การเจริญเติบโตของวอเตอร์เครสที่อายุ 10 วัน

อายุพืช 10 วัน				วอเตอร์เครส			28/3/2555
ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)
1	13	7	6.5	13	13	7.5	7.5
4	13	6.5	6	16	13	7	6
7	14	7	6	19	15	7	6
10	14	6	6	22	12	6.5	7
รวม	54.0	26.5	24.5	รวม	53.0	28.0	26.5
				จำนวนต้น	8	8	8
				เฉลี่ย	13.4	6.8	6.4

ตารางผนวกที่ ง23 การเจริญเติบโตของวอเตอร์เครสที่อายุ 20 วัน

อายุพืช 20 วัน				วอเตอร์เครส			7/4/2555
ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)
1	30	8	7	13	29	7	7.5
4	27	8	9	16	30	8.5	8
7	25	9	6.5	19	28	8.5	8
10	32	8.5	7.5	22	32	8.5	7.5
รวม	114.0	33.5	30.0	รวม	119.0	32.5	31.0
				จำนวนต้น	8	8	8
				เฉลี่ย	29.1	8.3	7.6

ตารางผนวกที่ ง24 การเจริญเติบโตของวอเตอร์เกรสที่อายุ 38 วัน

อายุพืช 38 วัน				วอเตอร์เกรส			25/4/2555
ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)
1	47	11.5	9.5	13	45	11.5	10
4	48	10.5	10.5	16	50	10.5	8.5
7	52	11	10	19	45	12.5	10
10	45	11	9	22	45	10	8.5
รวม	192.0	44.0	39.0	รวม	185.0	44.5	37.0
					จำนวนต้น	8	8
					เฉลี่ย	47.1	11.1
							9.5

ตารางผนวกที่ ง25 การเจริญเติบโตของก้ามปูหลอดที่อายุ 10 วัน

อายุพืช 10 วัน				ก้ามปูหลอด			28/3/2555
ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)
1	5	4	4	13	4	4.5	4.5
4	4	4	3.5	16	3	5	4
7	4	4.5	4	19	5	4.5	3.5
10	5	3.5	3.5	22	5	4.5	4
รวม	18.0	16.0	15.0	รวม	17.0	18.5	16.0
					จำนวนต้น	8	8
					เฉลี่ย	4.4	4.3
							3.9

ตารางผนวกที่ ง26 การเจริญเติบโตของก้ามปูหลอดที่อายุ 20 วัน

อายุพืช 20 วัน				ก้ามปูหลอด				7/4/2555
ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)	
1	7	6	6.5	13	7	6	6	
4	6	6	6	22	6	6.5	6	
7	7	6	6.5	19	8	6	6.5	
10	8	6.5	6.5	16	8	6.5	6	
รวม	28.0	24.5	25.5	รวม	29.0	25.0	24.5	
				จำนวนต้น	8	8	8	
				เฉลี่ย	7.1	6.2	6.3	

ตารางผนวกที่ ง27 การเจริญเติบโตของก้ามปูหลอดที่อายุ 38 วัน

อายุพืช 38 วัน				ก้ามปูหลอด				24/4/2555
ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้าง ทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	ต้นที่	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความกว้างทรง พุ่ม (เซนติเมตร)	
1	13	14.5	9.5	13	12	16	8.5	
4	12	13.5	9.5	16	13	14.5	8.5	
7	12	15	9.5	19	12	14	9.5	
10	12	14	9	22	12	12	8	
รวม	49.0	57.0	37.5	รวม	49.0	56.5	34.5	
				จำนวนต้น	8	8	8	
				เฉลี่ย	12.3	14.2	9.0	



ตารางผนวกที่ จ1 การเจริญเติบโตของกรีนคอสระบบแอร์โร โพนิกส์กับระบบ NFT ที่อายุ 10 วัน - 38 วัน

อายุ (วัน)	ความสูงเฉลี่ย (เซนติเมตร)		ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ย (เซนติเมตร)		จำนวนก้านใบเฉลี่ย (ใบ)	
	ระบบแอร์โร โพนิกส์		ระบบแอร์โร โพนิกส์		ระบบแอร์โร โพนิกส์	
		NFT		NFT		NFT
10	4	4	4.5	4.5	4.5	4
20	11	8	10.5	13	7	10
38	20	14	16	22	10	15
รวม	35.0	26.0	31.0	39.5	21.5	29.0
เฉลี่ย	11.7	8.7	10.3	13.2	7.2	9.7

ตารางผนวกที่ จ2 การเจริญเติบโตของเรดปิตตาเวียระบบแอร์โร โพนิกส์กับระบบ NFT ที่อายุ 10 วัน - 38 วัน

อายุ (วัน)	ความสูงเฉลี่ย (เซนติเมตร)		ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ย (เซนติเมตร)		จำนวนก้านใบเฉลี่ย (ใบ)	
	ระบบแอร์โร โพนิกส์		ระบบแอร์โร โพนิกส์		ระบบแอร์โร โพนิกส์	
		NFT		NFT		NFT
10	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4
20	6.5	6	6	6	6.5	6
38	15	10	14	14	15	10
รวม	26.0	20.5	24.5	24.5	26.0	20.0
เฉลี่ย	8.7	6.8	8.2	8.2	8.7	6.7

ตารางผนวกที่ ๓3 การเจริญเติบโตของฟิลาเรียระบบแอร์โรโพนิกส์กับระบบ NFT ที่อายุ 10 วัน - 38 วัน

อายุ (วัน)	ความสูงเฉลี่ย (เซนติเมตร)		ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ย (เซนติเมตร)		จำนวนก้านใบเฉลี่ย (ใบ)	
	ระบบแอร์โรโพนิกส์		ระบบแอร์โรโพนิกส์		ระบบแอร์โรโพนิกส์	
	ระบบแอร์โรโพนิกส์	NFT	ระบบแอร์โรโพนิกส์	NFT	ระบบแอร์โรโพนิกส์	NFT
10	4.5	4	4	4.5	4	4.5
20	7	5.5	6.5	11.5	6.5	10
38	13	10	11	20.5	9.5	16.5
รวม	24.5	19.5	21.5	36.5	20.0	31.0
เฉลี่ย	8.2	6.5	7.2	12.2	6.7	10.3

ตารางผนวกที่ ๓4 การเจริญเติบโตของกรีนโอ๊คระบบแอร์โรโพนิกส์กับระบบ NFT ที่อายุ 10 วัน - 38 วัน

อายุ (วัน)	ความสูงเฉลี่ย (เซนติเมตร)		ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ย (เซนติเมตร)		จำนวนก้านใบเฉลี่ย (ใบ)	
	ระบบแอร์โรโพนิกส์		ระบบแอร์โรโพนิกส์		ระบบแอร์โรโพนิกส์	
	ระบบแอร์โรโพนิกส์	NFT	ระบบแอร์โรโพนิกส์	NFT	ระบบแอร์โรโพนิกส์	NFT
10	4	4	4.5	4.5	4	4.5
20	9	6	8.5	12	6	10
38	17.5	11.5	15	21	11.5	16.5
รวม	30.5	21.5	28.0	37.5	21.5	31.0
เฉลี่ย	10.2	7.2	9.3	12.5	7.2	10.3

ตารางผนวกที่ ๖5 การเจริญเติบโตของเรดโอ๊คระบบแอร์โรโพนิคส์กับระบบ NFT ที่อายุ 10 วัน - 38 วัน

อายุ (วัน)	ความสูงเฉลี่ย (เซนติเมตร)		ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ย (เซนติเมตร)		จำนวนก้านใบเฉลี่ย (ใบ)	
	ระบบแอร์โรโพนิคส์		ระบบแอร์โรโพนิคส์		ระบบแอร์โรโพนิคส์	
	ระบบแอร์โรโพนิคส์	NFT	ระบบแอร์โรโพนิคส์	NFT	ระบบแอร์โรโพนิคส์	NFT
10	4.5	4	5	4.5	4.5	4.5
20	7.5	6	6.5	11.5	7.5	11
38	15.5	11.5	14	20.5	12.5	16.5
รวม	27.5	21.5	25.5	36.5	24.5	32.0
เฉลี่ย	9.2	7.2	8.5	12.2	8.2	10.7

ตารางผนวกที่ ๖6 การเจริญเติบโตของบัตเตอร์เฮดระบบแอร์โรโพนิคส์กับระบบ NFT ที่อายุ 10 วัน - 38 วัน

อายุ (วัน)	ความสูงเฉลี่ย (เซนติเมตร)		ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ย (เซนติเมตร)		จำนวนก้านใบเฉลี่ย (ใบ)	
	ระบบแอร์โรโพนิคส์		ระบบแอร์โรโพนิคส์		ระบบแอร์โรโพนิคส์	
	ระบบแอร์โรโพนิคส์	NFT	ระบบแอร์โรโพนิคส์	NFT	ระบบแอร์โรโพนิคส์	NFT
10	6	4	5.5	5.5	5.5	5.5
20	8	6.5	8	10.5	8	11
38	17.5	12.5	15.5	20.5	13.5	16.5
รวม	31.5	23.0	29.0	36.5	27.0	33.0
เฉลี่ย	10.3	7.7	9.7	12.2	9.0	11.0

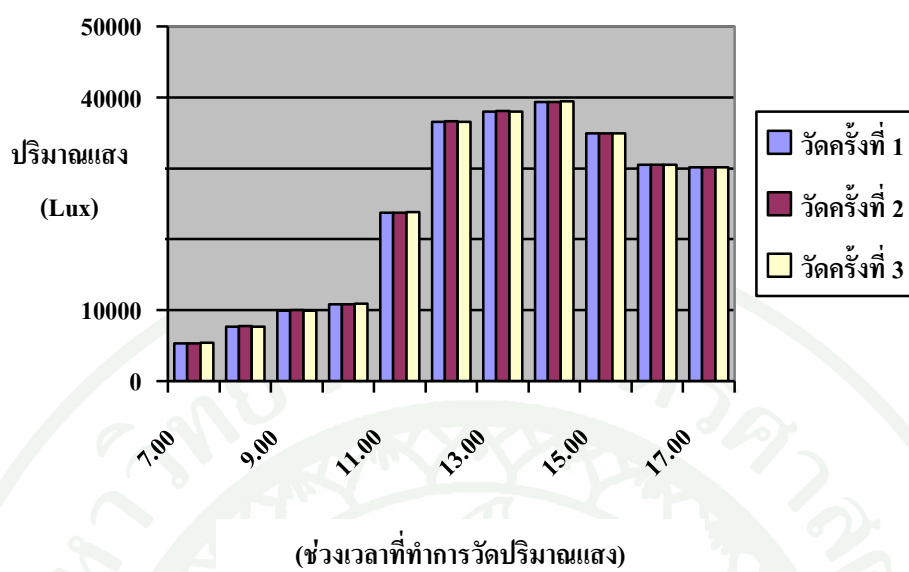


การเก็บข้อมูลปริมาณแสงที่ส่งผลกับการเจริญเติบโตของพืช

การวัดปริมาณแสง ตลอดวันและเก็บข้อมูลทุกๆ 1 ชั่วโมง เริ่มวัดตั้งแต่ช่วงเวลา 07.00 น. ถึงเวลา 17.00 น. บันทึกค่าปริมาณแสงที่ได้ลงตาราง เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับประกอบการประยุกต์ใช้งานผนังปลูกพืชระบบนี้ไปใช้ในอาคาร จึงจำเป็นต้องทราบถึงปริมาณแสงที่พืชต้องการ ในปริมาณที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต อีกทั้งยังต้องใช้เป็นข้อมูลของค่าปริมาณแสงที่ได้นำไป เทียบหาชนิดของหลอด และโคมไฟแสงประดิษฐ์ที่จะนำมาใช้ให้เหมาะสมกับการปลูกพืชในอาคาร

ตารางผนวกที่ ๑1 ปริมาณแสงที่วัดได้ตามช่วงเวลา 7.00 – 17.00 น.

ลำดับที่	เวลาที่วัดค่า	ปริมาณแสง ที่วัดได้ (Lux)	จำนวน 3 ครั้งที่วัดค่า (Lux)	ค่าเฉลี่ยปริมาณแสงที่วัดได้ (Lux)
1	07.00	5320	5350 / 5320 / 5380	5350
2	08.00	7780	7680 / 7700 / 7710	7720
3	09.00	9990	9970 / 9990 / 9950	9970
4	10.00	10900	10870 / 10850 / 10900	10870
5	11.00	23770	23770 / 23710 / 23800	23760
6	12.00	36570	36570 / 36600 / 36550	36570
7	13.00	38000	38000 / 38080 / 38020	38030
8	14.00	39390	39390 / 39370 / 39410	39390
9	15.00	34890	34850 / 34890 / 34910	34880
10	16.00	30510	30510 / 30480 / 30530	30500
11	17.00	30110	30110 / 30150 / 30130	30130



ภาพผนวกที่ ๑1 ปริมาณแสงที่วัดได้ในช่วงเวลาตั้งแต่ 07.00 น. ถึง 17.00 น.



ตารางบันทึกงบประมาณค่าใช้จ่ายงานวิจัย				
เรื่อง.	การประยุกต์ใช้การปลูกพืชไร่นาระบบรากแขวนในแนวตั้งเพื่องานสถาปัตยกรรม			
ลำดับที่	รายการ	จำนวน	ราคา/หน่วย	ราคารวม
1	ชุดปลูกพืชแนวตั้ง	1	2,500.00	2,500.00
2	ชุดงานระบบน้ำ	1	7,500.00	7,500.00
3	ชุดงานระบบไฟฟ้ากำลัง	1	3,500.00	3,500.00
4	ชุดงานระบบไฟฟ้าควบคุม และงาน Software - Scada	1	40,000.00	40,000.00
5	ชุดคอมพิวเตอร์พีซี	1	13,000.00	13,000.00
6	ชุดวัดค่าความชื้นสารละลาย	1	5,000.00	5,000.00
7	ชุดวัดค่าความเป็นกรดและด่าง	1	5,000.00	5,000.00
8	ชุดวัดค่าอุณหภูมิ	1	5,000.00	5,000.00
9	ชุดวัดค่าอุณหภูมิ และความชื้นในดินเดียวกัน	1	5,500.00	5,500.00
10	วัสดุปลูก + เมล็ดพันธุ์พืช + ปุ๋ย A และ B	1	1,500.00	1,500.00
	รวมราคทั้งหมด (บาท)		88,500.00	

ภาพผนวกที่ ข1 งบประมาณการค่าใช้จ่ายงานวิจัย

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายศุภกิจ ปานเกตุ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	21 ตุลาคม 2513
เชื้อชาติ	ไทย
ศาสนา	พุทธ
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า-กำลัง มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ประกาศนียบัตร	1. การป้องกันอัคคีภัย และการต่อสู้อัคคีภัยขั้นสูง จากกรมขนส่งทางเรือ-กรมเจ้าท่า, การทำเรือแห่งประเทศไทย 2. ความปลอดภัย และความรับผิดชอบด้านความปลอดภัย จากกรมขนส่งทางเรือ-กรมเจ้าท่า และการช่วยเหลือผู้ประสบภัย จากกรมขนส่งทางเรือ-กรมเจ้าท่า, การทำเรือแห่งประเทศไทย 3. การดำรงชีพเมื่อเกิดภัยพิบัติ จากกรมขนส่งทางเรือ-กรมเจ้าท่า, การทำเรือแห่งประเทศไทย 4. ISO: 9000-14000/2000 (Internal Auditor Certificate)
ตำแหน่งปัจจุบัน	วิศวกรโครงการอาวุโส (ไฟฟ้า – เครื่องกล)
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท พี.พี.เอส.เอ็น. จำกัด.