ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมอาคาร)

ปริญญา

นวัตกรรมอาคาร | เทคโนโลยีทางอาคาร

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง ระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งเพื่อใช้ผลิตอาหารและเป็นแผงบังแดด

Vertical Aquaponics System as Home Farming Unit and Shading device

นามผู้วิจัย นางสาวสุภางค์กร พนมฤทธิ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์พาสินี สุนากร, M.Arch.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์เกรียงไกร สถาพรวานิชย์, M.Sc, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(อาจารย์โสภา วิศิษฎ์ศักดิ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ **เดือน** **พ.ศ.**

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งเพื่อใช้ผลิตอาหารและเป็นแผงบังแดด

Vertical Aquaponics System as Home Farming Unit and Shading device

โดย

นางสาวสุภางค์กร พนมฤทธิ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมอาคาร)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุภางค์กร พนมฤทธิ์ 2555: ระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งเพื่อใช้ผลิตอาหารและเป็นแผงบังแดด ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมอาคาร) สาขานวัตกรรมอาคาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาคาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ พาสินี สุนากร, M.Arch. 202 หน้า

การวิจัยนี้ เป็นการพัฒนาระบบ Aquaponics หรือการปลูกพืชโดยใช้น้ำเลี้ยงปลาเพื่อใช้ผลิตอาหารประจำบ้านและสามารถเป็นอุปกรณ์แผงบังแดดได้ด้วย โดยศึกษาความเหมาะสมของสารละลายที่ได้จากปลาในการทำให้พืชผักเจริญเติบโต นำระบบมาพัฒนาเป็นการปลูกแนวตั้งเพื่อประหยัดพื้นที่ และสามารถติดตั้งบนระเบียงอาคารชุดพักอาศัย เป็นแผงบังแดด โดยใช้หลักการออกแบบอุปกรณ์บังแดดด้านทิศใต้และการศึกษาทิศทางการโคจรของดวงอาทิตย์ เพื่อใช้ประกอบอาคารในการช่วยลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารบริเวณระเบียงอาคารชุดพักอาศัย

การศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 เพื่อหาวิธีการบรรจุวัสดุปลูกในรางปลูกที่เหมาะสม ชุดการทดลองที่ 2 เพื่อหาพืชผักที่เหมาะสมสำหรับปลูกในระบบอะควาโพนิกส์ ชุดการทดลองที่ 3 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดความร้อนระหว่างแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งกับผนังระแนงกันแดดไม้เทียม

ผลการทดลองพบว่า ระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งที่ออกแบบมีความเหมาะสมต่อการปลูกผักและการเลี้ยงปลา โดยให้ผลผลิตปลานิลจำนวน 5 ตัว ที่เติบโตตามปกติ ผลผลิตผักโขม ผักบุ้ง ซึ่งเติบโตได้ดีโดยน้ำในระบบซึ่งมีค่า EC =1.3-2.0 mg/l, ค่า pH = 6.8-7.1 mg/l, ไนเตรท = 10-50 mg/l, ไนไตรท = 0-0.15 mg/l และ Ammonia = 0-0.25 mg/l แผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งที่ปลูกผักโขมขาว มีประสิทธิภาพการลดความร้อน ดีที่สุดในช่วงที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดในตอนกลางวัน และลดได้มากกว่าแผงบังแดดระแนงไม้เทียม(ไฟเบอร์ซีเมนต์) 0.78-2.5 ^{o}C ในสภาพอากาศปกติซึ่งไม่มีลมและฝน และรูปแบบของรางสามารถปรับระยะรางเพื่อการบังแดดได้ตามฤดูกาล มีระบบการหมุนเวียนน้ำใช้ ระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งนี้ได้ถูกออกแบบและติดตั้งเข้ากับระเบียงอาคารจริงเพื่อทดสอบการผลิตอาหารและคุณสมบัติในการลดการถ่ายเทความร้อน

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่อที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Supangkorn Phanomrit 2011: Vertical Aquaponics System as Home Farming Unit and Shading device. Master of Architecture (Building Innovation), Major Field: Building Technology, Department of Technology Building. Thesis Advisor: Associate Professor Pasinee Sunakorn, M.Arch, 202 pages.

This research aims to study and design the Aquaponics system to plant vertically in order to use as home farming unit as well as shading device. The study investigates appropriate solution from fish as nutrients for growing vegetables. The system as Home Farming unit will occupy minimum space by planting vertically and can also be used as shading device installed at verandahs of condominiums, apartments and dormitories.

The study includes three experiments; first, to find a suitable configuration to put media in plant beds and water filtering system suitable for fish; second, finding suitable plants to grow in vertical DFT (Deep Flow Technique) beds of Aquaponic ; and third, design and install the system as shading device and comparing heat gain reduction of an aquaponic shading with an artificial wooden sunshade .

Results of the study find that this DFT aquaponic system can grow crops and raise fish well, with water property during experiment as follow, EC=1.3-2.0 mg/l, pH =6.8-7.1 mg/l, Nitrate =10-50 mg/l, Nitrite =0-0.15 mg/l and Ammonia=0-0.25 mg/l. The Vertical Aquaponic system as Shading Device which covered by amaranth green is best effective of heat Gain Reduction Transfer on Daytime and better than an artificial wooden (Fiber Cement) 0.78-2.5 °C in normal climate without Rain and strong wind. The plant beds can be adjustable according to the sun path to provide sunshade for a verandah. The aquaculture part has a re-circulating system This Vertical Aquaponics system was designed and installed on the real building to investigate food production as well as thermal performance.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความพยายามของผู้วิจัยประกอบกับความช่วยเหลือของอาจารย์และเจ้าหน้าที่ทั้งในและนอกมหาวิทยาลัย ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งท่านแรก คือ รองศาสตราจารย์พาสินี สุนากร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ให้คำชี้แนะกระบวนการคิด การวิเคราะห์ การแก้ปัญหา และการทำงานอย่างเป็นระบบโดยตลอด อีกท่านคือ ดร.เกรียงไกร สถาพรวานิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการเลี้ยงปลาและการเก็บข้อมูลด้านประมง ขอบพระคุณ ดร.โสภา วิศิษฏ์ศักดิ์ อาจารย์หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีทางอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้คำแนะนำแนวทางการออกแบบแผงกันแดดและการวิเคราะห์ข้อมูลแก่ผู้วิจัยและขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชญา มหันธนทวี อาจารย์ประจำภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิอีกท่านด้วย

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้รับความช่วยเหลือจากคุณกนกอร เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เทคโนโลยีทางอาคาร (Center of Building Inovation and Technology, CBIT) ที่อำนวยความสะดวกในการยืมการใช้เครื่องมือเพื่อการทดลองอย่างครบถ้วน ขอบคุณพี่สาว บิดาและมารดาผู้คอยให้กำลังใจ และญาติมิตรที่ให้ความกรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่ และช่างผู้ช่วยในการวิจัยช่วงแรก

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ซึ่งให้การสนับสนุนจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน แผนเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน สำนักนโยบายและแผนพลังงงาน กระทรวงพลังงาน ปีงบประมาณ 2554 มา ณ โอกาสนี้ด้วย

สุภางค์กร พนมฤทธิ์

เมษายน 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(12)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	6
อุปกรณ์และวิธีการ	59
ผลและวิจารณ์	98
สรุปและข้อเสนอแนะ	150
สรุปผลการทดลอง	150
ข้อเสนอแนะ	155
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	159
ภาคผนวก	165
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลองชุดที่ 1	166
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลองชุดที่ 2	178
ภาคผนวก ค ข้อมูลการทดลองชุดที่ 3	190
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	202

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	เปรียบเทียบคุณประโยชน์ของผนังสีเขียว แบบปลูกพืช กับผนังสีเขียวแบบปลูกผัก	22
2	เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย การปลูกพืชระบบอะควาโพนิกส์ระบบต่างๆ	22
3	ค่า pH ระดับต่างๆ ที่มีผลต่อการดำรงชีพสัตว์น้ำ	25
4	จำแนกประเภทผักในกรรมวิธีปลูกระบบไฮโดรโพนิกส์ในประเทศไทย	29
5	การเจริญเติบโตของปลานิลแต่ละช่วงอายุในประเทศไทย	32
6	ค่ามาตรฐานการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารแต่ละประเภท	45
7	สรุปรายละเอียดงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	54
8	สรุปผลการทดลองงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	55
9	การคำนวณหาขนาดตู้ปลา ปริมาณอาหาร ขนาดปลาเริ่มต้น จำนวนปลา จำนวนหัวทราย ปริมาณการเติมเกลือเพื่อป้องกันโรคและความลาดเอียงของรางปลูก	62
10	การคัดเลือกผักในกรรมวิธีปลูกระบบไฮโดรโพนิกส์ในประเทศไทย	74
11	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสร้างชุดแผงกันแดดระบบอะควาโพนิกส์เบื้องต้น	75
12	สรุปอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง แบ่งออกเป็น 6 ส่วน	97
13	เปรียบเทียบน้ำหนักของรางปลูกทั้ง 2 แบบ	98
14	แสดงการข้อมูลชุดการทดลองที่ 1.1 วันที่ 30 ก.ย. 54 เวลา 8:00 น. ถึงวันที่ 3 ต.ค. 54 เวลา 22:00 น.	99
15	แสดงการข้อมูลชุดการทดลองที่ 1.1 วันที่ 4 ต.ค. 54 เวลา 08:00 น. ถึง 6 ต.ค. 54 เวลา 22:00 น.	100
16	แสดงการข้อมูลชุดการทดลองที่ 1.2 เก็บข้อมูลวันที่ 13 ต.ค. 54 เวลา 0:00 น. ถึง 16 ต.ค. 54 เวลา 0:00 น.	105
17	แสดงการข้อมูลชุดการทดลองที่ 1.2 เก็บข้อมูลวันที่ 17 ต.ค. 54 เวลา 0:00 น. ถึง 20 ต.ค. 54 เวลา 0:00 น.	106
18	สรุปผลการวัดอุณหภูมิ จากการทดลองที่ 1.2	110
19	เปรียบเทียบข้อมูลชุดการทดลองที่ 1.1 เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 4 ต.ค. 54 เวลา 08:00น. ถึง 6 ต.ค. 54 เวลา 22:00 น. และชุดการทดลองที่ 1.2 เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 13 ต.ค. 54 ถึง 19 ต.ค. 54	113
20	เปรียบเทียบการบรรจุวัสดุปลูกในรางปลูกทั้ง 2 แบบ ตามเกณฑ์ในการเลือก	114

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
21	วิเคราะห์ข้อดี ข้อเสียของระบบในชุดการทดลองที่ 1	115
22	บันทึกการเจริญเติบโตของผัก	116
23	ผลการเจริญเติบโตของผัก ชุดการทดลองที่ 2	117
24	ผลการเจริญเติบโตของปลา ชุดการทดลองที่ 2	118
25	ผลการวัดคุณภาพของน้ำ ชุดการทดลองที่ 2	122
26	ผลการวัดอุณหภูมิ ชุดการทดลองที่ 2	122
27	วิเคราะห์ข้อดี ข้อเสียของระบบในชุดการทดลองที่ 1	124
28	ผลการวัดอุณหภูมิทุกจุด ในชุดการทดลองที่ 3	128
29	ผลการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างกลางห้องแผงบังแดดไม้เทียม กลางห้องไม่ติดตั้งแผงบังแดด และกลางห้องติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง	133
30	ผลการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอก กับอุณหภูมิหลังแผงบังแดดไม้เทียม และหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง	136
31	ผลการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง กลางห้อง และน้ำในอ่าง	141
32	ผลการวัดผลต่างระหว่างอุณหภูมิกลางห้องแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับกลางห้องแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง และหลังแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับหลังแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง	143
33	ผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำ ชุดการทดลองที่ 3	146
34	การเก็บข้อมูลการปกคลุมของผักบนระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง	146
35	ผลการเจริญเติบโตของผักชุดการทดลองที่ 3	147

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ก1	ผลการวัดอุณหภูมิ ชุดการทดลองที่ 1	167
ข1	ผลการวัดอุณหภูมิ ชุดการทดลองที่ 2	179
ค1	ผลการวัดอุณหภูมิ ชุดการทดลองที่ 3	191

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การใช้ผนังสีเขียวเพื่อสร้างสุนทรียภาพ และความผ่อนคลายแก่ผู้ใช้อาคาร	7
2	การใช้ผนังสีเขียวเพื่อการลดความร้อน และเพิ่มคุณภาพอากาศในอาคาร	7
3	การแยกแยะความหมายของผนังสีเขียว สวนแนวตั้ง และเกษตรกรรมแนวตั้ง	8
4	ผนังสีเขียวแบบผนังผ้าและรายละเอียดการติดตั้ง	9
5	ผนังสีเขียวแบบแผ่นผนังเขียวบนห้างในกรุงโตเกียว และรายละเอียดการติดตั้ง	9
6	ผนังสีเขียวแบบกระถางแขวน และรายละเอียดการติดตั้ง	10
7	ผนังสีเขียวแบบบล๊อคปลูกต้นไม้ และรายละเอียดการติดตั้ง	10
8	ผนังสีเขียวแบบผนังไม้เลื้อย และรายละเอียดการติดตั้ง	11
9	สวนผักแนวตั้ง "The Living Skyscraper: Farming the Urban Skyline”	12
10	ชุดปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แนวตั้ง ระบบ NFT (Nutrient film technique)	13
11	ชุดปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แนวตั้ง ระบบ DFT (Deep flow technique)	14
12	ชุดปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ ระบบ DRFT	14
13	ชุดปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แนวตั้ง ระบบ Aeroponics	15
14	หลักการปลูกพืชระบบอะควาโพนิกส์	16
15	การปลูกพืชอะควาโพนิกส์ระบบ Media Base	16
16	การปลูกพืชอะควาโพนิกส์ระบบ Deep Water Culture	17
17	การปลูกพืชอะควาโพนิกส์ระบบ NFT	17
18	การปลูกพืชอะควาโพนิกส์ระบบ Aeroponics	18
19	ชุดปลูกผักอะควาโพนิกส์แบบแถวแนวตั้ง ระบบ Media Base	18
20	ชุดปลูกผักอะควาโพนิกส์แบบกระบะซ้อนชั้นระบบ Media Base	19
21	การจำแนกวิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน	19
22	วัฏจักรไนโตรเจน	26
23	ขั้นตอนการปลูกพืชในระบบไฮโดรโพนิกส์	30
24	ความลาดชันจากหัวรางถึงปลายรางของระบบ NFT	31
25	ปลานิล (ชื่อวิทยาศาสตร์: Oreochromis nilotica อังกฤษ : Nile Tilapia)	32

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	การแผ่รังสีลงมาที่วัสดุ ส่วนหนึ่งจะเกิดการสะท้อนกลับ การดูดกลืน การส่งผ่าน และคายความร้อนออกตอนกลางคืน	33
27	ภาพรวมของภาระการทำความเย็น	34
28	แผนภาพไซโครเมตริก	36
29	กระบวนการปรับสภาวะอากาศ	38
30	Sunpath Diagram	39
31	ตำแหน่งของดวงอาทิตย์บริเวณซีกโลกเหนือ/อ้อมใต้	39
32	ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามวันเวลาต่างๆ ของปี	40
33	ส่วนโค้งครึ่งวงกลมของ SKY VAULT กับตำแหน่งทางโคจรของดวงอาทิตย์	40
34	รูปแบบของแผงกันแดดและลักษณะเงาของอุปกรณ์บังแดด	41
35	รูปตัดขวางของอาคารซึ่งออกแบบชายคายื่นยาวเพื่อบังแดด	42
36	ผังพื้นอาคาร ซึ่งมีเส้นประแสดงแนวยื่นของชายคาหรือแผงบังแดด	43
37	พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน	44
38	แผงกันแดดไม้เลื้อยสร้อยอินทนิลที่ปลูก ทางทิศตะวันตกของอาคาร	51
39	ระบบ UVI Aquaponic System	52
40	แนวคิดระบบอะควาโพนิกส์ ของ Wilson Andrew Lennard	53
41	ผังระบบ UVI Aquaponic System	60
42	แนวคิดระบบอะควาโพนิกส์ ในเมืองเดนเวอร์ รัฐโคโรลาโด, สหรัฐอเมริกา	61
43	การคำนวณขนาดของรางปลูกและระยะห่างระหว่างรางเพื่อใช้เป็นแผงบังแดด	63
44	ภาพร่างแนวคิดการออกแบบ Preriminary Vertical Aquaponics	64
45	สถานที่ตั้งกล่องทดลองในชุดทดลองที่ 1 และ 2	66
46	แปลนพื้นและแปลนหลังคา สถานที่ตั้งกล่องทดลองในชุดทดลองที่ 1 และ 2	66
47	ภาพทัศนียภาพแสดง แสงเงาบริเวณที่ตั้งกล่องทดลองในชุดทดลองที่ 1 และ 2	67
48	แสดงการจำลองทิศทางแสงแดดในตำแหน่งการทดลองที่ 1 (4 -19 ต.ค. 54)	68
49	สถานที่ตั้งกล่องทดลองในชุดทดลองที่ 3	69
50	แปลนพื้นแสดงการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทดสอบค่าอุณหภูมิในกล่อง	70
51	รูปตัดแสดงการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทดสอบค่าอุณหภูมิในกล่อง	70

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
52	แสดงการจำลองทิศทางแสงแดดหน้ากล่องทดลองในการทดลองที่ 3 (7 เม.ย.55)	71
53	แสดงการจำลองทิศทางแสงแดดในตำแหน่งการทดลองที่ 3 (7 เม.ย.55)	72
54	แสดงการติดตั้งระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งเมื่อใช้เป็นแผงบังแดด	73
55	เครื่องซักผ้าที่มีจำหน่ายใน Tesco Lotus ยี่ห้อ LG รุ่น และถังซักผ้าขนาดเล็ก	76
56	ภาพร่างแนวคิดการออกแบบ Developed Vertical Aquaponics	77
57	ระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง ตามแนวคิด Developed Vertical Aquaponics	77
58	ระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง ชุดการทดลองที่ 1	79
59	ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิในการทดลองที่ 1	79
60	ตำแหน่งการวัดคุณภาพน้ำในการทดลองที่ 1	80
61	ระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง ชุดการทดลองที่ 2	81
62	ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิในการทดลองที่ 2	82
63	ตำแหน่งการวัดคุณภาพน้ำในการทดลองที่ 2	82
64	ระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง ในชุดการทดลองที่ 3	84
65	ตำแหน่งวัดอุณหภูมิน้ำ ในการทดลองที่ 3	84
66	รูปด้านภายในห้องทดลองทั้ง 3 ห้องแสดงตำแหน่งวัดอุณหภูมิในการทดลองที่ 3	85
67	รูปตัดภายในห้องทดลองทั้ง 3 ห้องแสดงตำแหน่งวัดอุณหภูมิในการทดลองที่ 3	85
68	แปลนพื้นแสดงการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทดสอบค่าอุณหภูมิ ในชุดการทดลองที่ 3	86
69	ตำแหน่งวัดคุณภาพน้ำ ในการทดลองที่ 3	86
70	ปั๊มลม เครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ เครื่องกรองคลอรีนในน้ำ และถ้วยปลูก	87
71	อาหารปลา วิตามินสำหรับปลา และเกลือปรับสภาพน้ำ	88
72	เมล็ดพันธุ์ผัก เม็ดดินเผา ถาดโฟมเพาะเมล็ดและฟองน้ำเพาะเมล็ด	88
73	เครื่องวัดค่า EC ยี่ห้อ INDEX รุ่น ID 1040	89
74	เครื่องวัดค่า pH ยี่ห้อ INDEX รุ่น ID 1000	89
75	ชุดตรวจแอมโมเนีย ยี่ห้อ Tetra รุ่น Tetra test NH_3/ NH_4^+	90
76	ยี่ห้อ WaterWorks รุ่น Nitrate / Nitrite test strips	90
77	ปรอทวัดอุณหภูมิ	90

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
78	เครื่องดาต้าล๊อคเกอร์ (Data logger) ยี่ห้อ HOBO Data Logger รุ่น H08-004-02 พร้อมสายวัดอุณหภูมิเทอร์โมคอปเปิล	91
79	เครื่องคอมพิวเตอร์	91
80	ชุดตรวจปุ๋ย วัดค่า N P K	91
81	ชุดแผงบังแดดไม้เทียม (ไฟเบอร์ซีเมนต์)	92
82	ตำแหน่งที่ตั้งชุดทดลองที่ 1 2 และ 3	93
83	ฐานรองรับแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง ในชุดการทดลองที่ 1 และ 2	93
84	กล่องทดลอง ในชุดการทดลองที่ 3	94
85	ผังพื้น แสดงวัสดุที่ใช้สร้างกล่องทดลอง ในชุดการทดลองที่ 3	95
86	รูปตัดด้านข้าง แสดงวัสดุที่ใช้สร้างกล่องทดลอง ในชุดการทดลองที่ 3	96
87	อุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิของน้ำในอ่าง และในรางปลูก เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 30 ก.ย. 54 เวลา 08:00 น. ถึง 6 ต.ค. 54 เวลา 22:00 น.	101
88	ค่า pH ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในรางปลูก เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 30 ก.ย. 54 เวลา 08:00 น. ถึงวันที่ 6 ต.ค. 54 เวลา 22:00 น.	101
89	ค่า EC ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในราง เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 30 ก.ย. 54 เวลา 08:00 น. ถึง 6 ต.ค. 54 เวลา 22:00 น.	102
90	ค่า NITRATE ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในรางปลูก เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 30 ก.ย. 54 เวลา 08:00 น. ถึง 6 ต.ค. 54 เวลา 22:00 น.	102
91	ค่า NITRITE ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในรางปลูก เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 30 ก.ย. 54 เวลา 08:00 น. ถึง 6 ต.ค. 54 เวลา 22:00 น.	103
92	รางที่ 1และ 3 เป็นรางปลูกแบบบรรจุเม็ดดินเผาเต็มราง	104
93	รางที่ 2และ 4 เป็นรางปลูกแบบบรรจุเม็ดดินเผาใน	104
94	อุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิของน้ำในอ่าง และในรางปลูก เก็บข้อมูลวันที่ 13 ต.ค. 54 เวลา 00:00 น. ถึง 21 ต.ค. 54 เวลา 00:00 น.	107
95	ค่า pH ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในรางปลูก เก็บข้อมูลวันที่ 13 ต.ค. 54 ถึง 19 ต.ค. 54	108

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
96	ค่า EC ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในรางปลูก เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 13 ต.ค. 54 ถึงวันที่ 19 ต.ค. 54	108
97	ค่า NITRATE ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในรางปลูก เก็บข้อมูลวันที่ 13 ต.ค. 54 ถึง 19 ต.ค. 54	109
98	ค่า NITRITE ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในรางปลูก เก็บข้อมูลวันที่ 13 ต.ค. 54 ถึง 19 ต.ค. 54	109
99	การวัดค่าแอมโมเนียในน้ำ ในชุดการทดลองที่ 1.2	110
100	จุดที่เป็นข้อเสียของระบบชุดการทดลองที่ 1	114
101	จุดที่แก้ไขของระบบชุดการทดลองที่ 2	115
102	การเก็บข้อมูลน้ำหนักผักทั้ง 4 ชนิด	116
103	ลักษณะการเจริญเติบโตของผักบุ้ง	116
104	ลักษณะการเจริญเติบโตของผักโขม	117
105	การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของปลาด้วยการชั่งน้ำหนักและวัดขนาด	117
106	อุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิของน้ำในอ่าง และในรางปลูก เก็บข้อมูลวันที่ 26 ม.ค.55 เวลา 00:00 น. ถึง 19 มี.ค. 55 เวลา 00:00 น. (ขยาย วันที่ 5-11 มี.ค. 55)	119
107	ค่า pH ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในรางปลูก เก็บข้อมูลวันที่ 18 ม.ค. 55 เวลา 00:00 น. ถึง 19 มีนาคม พ.ศ.2555 เวลา 00:00 น.	120
108	ค่า EC ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในราง เก็บข้อมูลวันที่ 18 ม.ค. 55 เวลา 00:00 น. ถึง 19 มีนาคม พ.ศ.2555 เวลา 00:00 น.	120
109	ค่า NITRATE ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในรางปลูก เก็บข้อมูลวันที่ 18 ม.ค. 55 เวลา 00:00 น. ถึง 19 มีนาคม พ.ศ.2555 เวลา 00:00 น.	121
110	ค่า NITRITE ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในรางปลูก เก็บข้อมูลวันที่ 18 ม.ค. 55 เวลา 00:00 น. ถึง 19 มีนาคม พ.ศ.2555 เวลา 00:00 น.	121
111	จุดที่เป็นข้อเสียของระบบในชุดการทดลองที่ 2	123
112	จุดที่แก้ไขของระบบในชุดการทดลองที่ 3	124

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
113	อุณหภูมิอากาศภายนอก หลังแผงบังแดดไม้เทียม หลังแผงบังแดดระบบอะควา-โพนิกส์แนวตั้ง กลางห้อง และน้ำในอ่างเลี้ยงปลา เก็บข้อมูลวันที่ 7 เม.ย. 55 เวลา 09:00 น. ถึง 14 เม.ย. 55 เวลา 8:30 น.	126
114	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก หลังแผงบังแดดไม้เทียม หลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง กลางห้อง และน้ำในอ่างเลี้ยงปลา เก็บข้อมูลวันที่ 7 เม.ย. 55 เวลา 09:00 น. ถึง 14 เม.ย. 55 เวลา 08:30 น. แบ่งเป็นช่วงกลางวัน (9.00-20.30 น.) และกลางคืน (21.00-08.30 น.)	127
115	อุณหภูมิอากาศภายนอก กลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม กลางห้องที่ไม่มีแผงบังแดด และกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง เก็บข้อมูลวันที่ 7 เม.ย. 55 เวลา 09:00 น. ถึง 14 เม.ย. 55 เวลา 08:30 น. แบ่งเป็นช่วงกลางวัน (9.00-20.30 น.) และกลางคืน (21.00-08.30 น.)	131
116	เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอก กับอุณหภูมิกลางห้องแผงบังแดดไม้เทียม อุณหภูมิห้องกลาง และอุณหภูมิกลางห้องแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง เก็บข้อมูลวันที่ 7 เม.ย. 55 เวลา 09:00 น. ถึง 14 เม.ย. 55 เวลา 08:30 น.	132
117	อุณหภูมิอากาศภายนอก หลังแผงบังแดดไม้เทียม และหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง เก็บข้อมูลวันที่ 7 เม.ย. 55 เวลา 09:00 น. ถึง 14 เม.ย. 55 เวลา 08:30 น.	135
118	เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิหลังแผงบังแดดไม้เทียม และอุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง เก็บข้อมูลวันที่ 7 เม.ย. 55 เวลา 09:00 น. ถึง 14 เม.ย. 55 เวลา 08:30 น	136
119	อุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง อุณหภูมิกลางห้องและอุณหภูมิน้ำ เก็บข้อมูลวันที่ 7 เม.ย. 55 เวลา 09:00 น. ถึง 14 เม.ย. 55 เวลา 08:30 น.	139

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
120	เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์-แนวตั้ง อุณหภูมิกลางห้องและอุณหภูมิน้ำ เก็บข้อมูลวันที่ 7 เม.ย. 55 เวลา 09:00 น. ถึง 14 เม.ย. 55 เวลา 08:30 น.	140
121	เปรียบเทียบผลต่างระหว่างอุณหภูมิกลางห้องแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับกลางกล่องแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง และหลังแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับหลังแผงบัง-แดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง เก็บข้อมูลวันที่ 7 เม.ย. 55 เวลา 09:00 น. ถึง 14 เม.ย. 55 เวลา 08:30 น.	143
122	การเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำในระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งในชุดการทดลองที่ 3	145
123	การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของผัก ชุดการทดลองที่ 3	147
124	ปลาในระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง ในการทดลองชุดที่ 3	147
125	คำนวณหาทิศทางแสงแดดจากการโคจรของดวงอาทิตย์ด้วย Sunchart Diagram วันที่ 21 ธันวาคม (Winter Solstice)	156
126	คำนวณหาทิศทางแสงแดดจากการโคจรของดวงอาทิตย์ด้วย Sunchart Diagram วันที่ 21 มิถุนายน (Summer Solstice)	157
127	คำนวณหาทิศทางแสงแดดจากการโคจรของดวงอาทิตย์ด้วย Sunchart Diagram วันที่ 21 มีนาคมและ 21 กันยายน (Equinox)	158

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ANSI	=	American National Standards Institute
ASHRAE	=	The American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
CO_2	=	Carbondioxied
^oC	=	Degree celsius
DFT	=	Deep flow technique
DO	=	Dissolved Oxygen
DRFT	=	Dynamic root floating technique
EC	=	Electric Conductivity
K	=	Photassium
L	=	Litr
LEEDS	=	Leadership in Energy and Environmental Design
mg	=	milligrams
mt	=	metric ton
N	=	Nitrogen
^oN	=	Latitude
$Na_2S_2O_3$	=	Sodium Taio Salfate
NFT	=	Nutrient Film Technique
NH_3	=	Ammonia
NH_4^+	=	Ammonium Ion
NO_2	=	Nitrite
NO_3	=	Nitrate
OTTV	=	Overall Thermal Transfer Value
P	=	Photatsium
pH	=	Potential of Hydrogen ion
ppm	=	part per million
ppt	=	part per trillion
TREES	=	Thai's Rating of Energy and Environmental Sustainability for New Construction and Major Renovation
uPVC	=	Unplasticized Polyvinyl Chloride

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งเพื่อใช้ผลิตอาหารและเป็นแผงบังแดด

Vertical Aquaponics System as Home Farming Unit and Shading Device

คำนำ

นับตั้งแต่ปี 2551 เป็นต้นมา ปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาใหญ่ โดยเฉพาะสภาวะโลกร้อน (global warming) ที่ทำให้เกิดความแปรปรวนของสภาพอากาศ ปัญหาพายุรุนแรง ความแห้งแล้ง ในหลายประเทศ สร้างความเสียหายแก่พื้นที่เพาะปลูกมากมาย ประเทศไทยก็เช่นกัน พื้นที่เพาะปลูกที่ลดลงอาจนำไปสู่วิกฤตขาดแคลนอาหารได้ (ไกรสิทธิ์, 2554) กรุงเทพมหานครประสบอุทกภัยครั้งใหญ่ เกิดกระแสคนในเมืองตื่นตัวกักตุนอาหาร อาหารบางส่วนด้อยคุณภาพ เนื่องจากมีอุปสรรคในการขนส่งสินค้าเพื่อการอุปโภคและบริโภค

ปัจจุบันในวงการก่อสร้างของประเทศต่างๆ มีการกำหนดเกณฑ์ประเมินผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมจากการก่อสร้างอาคาร เช่น มาตรฐาน LEEDS ในอเมริกา และ TREES (มาตรฐานอาคารเขียว) ในไทย หัวข้อ การนำพรรณไม้มาใช้ประกอบอาคารเป็นหลังคาเขียวและผนังเขียวอยู่ในเกณฑ์อาคารเขียวของหลาย ๆ ประเทศ

การนำพืชพรรณมาใช้กับอาคารได้รับความนิยมมากขึ้น โดยประยุกต์ใช้ประกอบอาคารจากแนวราบเป็นแนวตั้งด้วยการคิดค้นของ Patrick Blanc ได้สร้างสวนแนวตั้ง (Vertical Garden) หรือผนังสีเขียว (Green Wall) แนวคิดนี้เกิดจากพื้นที่สีเขียวในแนวราบลดลง จากความต้องการอาคารเพื่ออยู่อาศัยและอาคารเพื่อธุรกิจเพิ่มขึ้นอย่างมากในรูปแบบอาคารสูง ในประเทศไทยพบว่าการเปลี่ยนแปลงของที่อยู่อาศัยเป็นอาคารชุดพักอาศัยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (โสภณ, 2551) ที่อยู่อาศัยในรูปแบบนี้แตกต่างจากอดีตซึ่งในทุกภูมิภาคของไทยต่างมีลักษณะเป็นอาคารสูงหนึ่งถึงสองชั้นสร้างขยายตามแนวราบ มีพื้นที่ปลูกพรรณไม้ทั้งไม้ดอกไม้ประดับ ไม้ยืนต้น อีกทั้งปลูกพืชผักสวนครัวเพื่อใช้ประกอบอาหารทำให้อาคารร่มรื่นอยู่สบาย ลักษณะที่อยู่อาศัยที่เปลี่ยนไปดังกล่าวทำให้พื้นที่สำหรับปลูกพืชแบบเดิมที่ปลูกบนพื้นดินหายไป ในขณะที่ลักษณะภูมิอากาศในเขตร้อนชื้นยังคงเหมือนเดิม อีกทั้งความหนาแน่นของเมืองและวัสดุที่ใช้ยังเป็นสาเหตุหลักให้อุณหภูมิเมืองสูงขึ้น นำไปสู่ปัญหาเกาะความร้อนในเมือง (urban heat island) อีกด้วย รองลงมาคือความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงรถยนต์และเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยเฉพาะเครื่องทำความเย็นในเมืองที่มีอากาศร้อน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(Heat Island Group, n.d.) การจราจรที่หนาแน่นทำให้คุณภาพอากาศในเมืองแย่ลง หมอกควันพิษเป็นหนึ่งในสารปนเปื้อนในอาหาร (คิ้ม, 2550) ส่งผลเสียต่อคุณภาพชีวิตอย่างมาก

ในประเทศไทยมีงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้พืชพรรณลดความร้อนซึ่งผลการวิจัยพบว่าร่มเงาของใบและการคายน้ำของพรรณไม้ช่วยลดการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่อาคารซึ่งช่วยลดปัญหาเกาะความร้อนในเมืองได้ ส่วนการสังเคราะห์แสงของพืชช่วยดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ใบพืชช่วยกรองฝุ่นเพิ่มคุณภาพอากาศที่เข้าสู่ภายในอาคารอีกด้วย (พาสินี และชนิกานต์, 2551)

ผู้อาศัยบนอาคารชุดพักอาศัยบางกลุ่มนิยมปลูกไม้ประดับและพืชผักประดับส่วนระเบียงด้วยวิธีปลูกแบบใช้ดินในกระถางซึ่งมักจะต้องหมั่นดูแลรดน้ำ พรวนดิน กำจัดวัชพืชอยู่เสมอ ปัญหาที่ตามมาหลังการรดน้ำคือ มีคราบสกปรกเลอะเทอะบริเวณพื้นและผนังอาคาร เป็นแหล่งสะสมเชื้อโรค เศษดินอาจนำไปสู่ปัญหาท่อตัน (นิศรา, 2549) ส่วนการติดตั้งคอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศบริเวณระเบียงหรือผนังภายนอกอาคารนั้น ยังส่งผลกระทบต่อความสวยงามของอาคาร ทำให้สถาปนิกต้องออกแบบแผงกันแดดเพื่อแก้ปัญหานี้อีกด้วย

ความต้องการแก้ปัญหาจากการปลูกพืชแบบใช้ดินทำให้มีผู้คิดค้นระบบปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน ซึ่งหนึ่งในสามแบบจากการจำแนกตามกรรมวิธีการค้ำจุนราก คือ ระบบ “ไฮโดรโพนิกส์ (Hydroponics)” (สมศักดิ์, ม.ป.ป.) และหนึ่งในระบบนี้เรียกว่า “ อะควาโพนิกส์ (Aquaponics) ” ซึ่งระบบนี้เกิดจากการรวมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบดั้งเดิม (Traditional Aquaculture) เข้ากับการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์ (Hydroponics) (James *et al*., 2006) ทั้งสองระบบต่างกันที่ ระบบไฮโดรโพนิกส์มีในการเติมธาตุอาหารให้แก่พืช ส่วนระบบอะควาโพนิกส์ธาตุอาหารที่ให้แก่พืชส่วนใหญ่ได้จากการขับถ่ายของเสียจากปลาซึ่งให้อาหารปลาตามปกติ ร่วมการเติมธาตุอาหารอื่นๆที่จำเป็นเพิ่ม น้ำถูกใช้หมุนเวียนในระบบโดยการสูบน้ำเลี้ยงปลาผ่านวัสดุปลูกพืชเพื่อกรองของเสียจากปลาทำให้น้ำสะอาดขึ้นก่อนไหลเข้าสู่ตู้ปลา นอกจากนี้ผลผลิตที่ได้ในระบบไฮโดรโพนิกส์ คือ พืชอย่างเดียว ส่วนระบบอะควาโพนิกส์ ได้ทั้งพืชและปลา

อย่างไรก็ดี ในต่างประเทศมีความก้าวหน้าเรื่องการปลูกพืชในระบบนี้มากทั้งในระบบอุตสาหกรรมขนาดเล็กและใหญ่ เช่น The Aquaponic Source Inc. ในสหรัฐอเมริกา ผลิตสินค้าเป็นอุปกรณ์ระบบไฮโดรโพนิกส์สำเร็จรูปขนาดเล็กจำหน่ายอย่างแพร่หลาย และอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ในการทดลองเรื่อง “Update on Tilapia and Vegetable Production in the UVI Aquaponics System” ผลการทดลองพบว่า เป็นระบบที่ให้ผลผลิตมากกว่าการปลูกพืชในดินปกติอย่างยั่งยืน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ (James *et al*., 2006) ระบบอะควาโพนิกส์ มีความน่าสนใจที่จะศึกษาและพัฒนาต่อยอดได้อีกมาก

ในประเทศไทยมีงานวิจัยและการศึกษาเรื่องการสร้างสวนแนวตั้งและผนังเขียว ด้วยวิธีการปลูกต่างๆ ทั้งแบบใช้ดิน แบบปลูกบนวัสดุปลูก (พาสินี และ ทิพาพรรณ, 2554) และปลูกลงบนของเหลวที่มีธาตุอาหารด้วยระบบไฮโดรโพนิกส์แล้ว (ดิเรก, 2550) ส่วนการปลูกด้วยระบบอะควาโพนิกส์ที่พบเป็นการปลูกในแนวราบ (ครรชิต, 2554)

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวคิดการนำระบบอะควาโพนิกส์มาใช้ในแนวตั้งซึ่งรูปแบบยังไม่ปรากฏในไทยและต่างประเทศ โดยออกแบบชุดทดลองระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง ติดตั้งบริเวณระเบียงอาคารชุดพักอาศัยใช้เป็นแผงบังแดด เพื่อทดสอบหารูปแบบชุดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งที่เหมาะสม หาพืชผักที่เหมาะสมกับและเปรียบเทียบความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง กับแผงบังแดดไม้เทียมที่มีพื้นที่บังแดดเท่ากัน ผลการทดลองสามารถนำไปใช้เป็นข้อเสนอแนะแก่ประชาชนเพื่อการปลูกพืชแนวตั้งด้วยระบบอะควาโพนิกส์ประดับอาคาร เพิ่มทางเลือกสำหรับการปลูกพืชบนอาคารชุดพักอาศัยและเสริมสร้างคุณภาพชีวิตที่ดีต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประยุกต์ระบบอะควาโพนิกส์มาใช้ในแนวตั้งเพื่อประกอบระเบียงอาคารในลักษณะแผงบังแดด

2. เพื่อหาพืชผักสวนครัวที่เหมาะสมสำหรับปลูก กับปลานิลที่เลี้ยงในระบบอะควาโพ-นิกส์แนวตั้ง

3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนของแผงบังแดดอะควาโพนิกส์แนวตั้ง โดยเปรียบเทียบกับระแนงบังแดดไม้เทียม

ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาเฉพาะพืชผักกินใบที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโพนิกส์ในประเทศไทยเท่านั้น

2. ศึกษาเฉพาะพันธุ์ปลานิลในประเทศไทยเท่านั้น

3. ออกแบบระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง โดยใช้ระบบหมุนเวียนน้ำด้วยปั๊มน้ำ

4. ระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งทดลองโดยติดตั้งเป็นแผงบังแดดที่สถานที่ลักษณะเป็นระเบียงอาคารชุดที่หันสู่ทิศใต้

สมมุติฐานการวิจัย

ระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง สามารถใช้เป็นแผงบังแดดที่ช่วยลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารและให้ผลผลิตเป็นผักและปลา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รูปแบบระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง เพื่อประกอบระเบียงอาคารในลักษณะแผงบัง-แดด

2. ได้พืชผักสวนครัวที่เหมาะสมสำหรับปลูก กับปลานิลที่เลี้ยงในระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง

3. ได้ทราบประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง โดยเปรียบเทียมกับแผงระแนงบังแดดไม้เทียม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

เอกสารที่เกี่ยวข้องแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

1. ข้อมูลวิชาการที่เกี่ยวข้อง
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
3. กฎหมายที่เกี่ยวข้อง
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ส่วนที่หนึ่ง : ข้อมูลวิชาการที่เกี่ยวข้อง

เป็นข้อมูลทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง มีดังต่อไปนี้

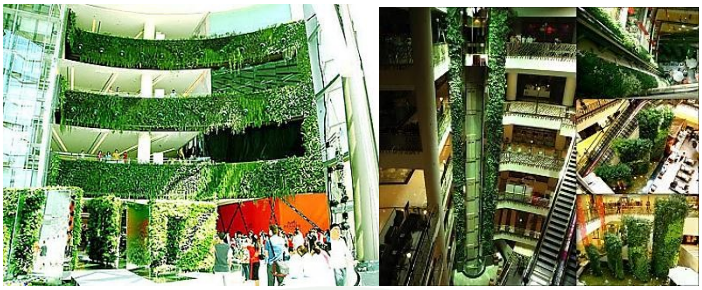
1. ความหมายของ “ผนังสีเขียว” (Green Walls) สวนแนวตั้ง (Vertical Garden) และเกษตรกรรมแนวตั้ง (Vertical Farm)

1.1 ความหมายของคำว่า “ผนังสีเขียว” (Green Wall) แบ่งตามการใช้งานได้ 2 กลุ่มคือ

1.1.1 ผนังสีเขียวทางด้านวัสดุก่อสร้างอาคาร James and Phillip (2008) ความหมายโดยหลักจะเน้นถึงวัสดุก่อสร้างที่มีไม่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมในทุกช่วงของวงจรวัสดุ หรือช่วงใดช่วงหนึ่ง หรือหลีกเลี่ยงการใช้ส่วนประกอบบางอย่างที่มีกระบวนการผลิตที่สร้างมลภาวะต่อโลก เป็นต้น วัสดุนั้นต้องมีส่วนช่วยในการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร ลดภาระการใช้พลังงานในอาคาร และสามารถก่อให้เกิดสภาวะน่าสบายของผู้ใช้งานในอาคารด้วย ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งภายใต้แนวคิดสถาปัตยกรรมสีเขียว (Green Architecture) โดยเป็นการออกแบบอาคารที่ใช้วัสดุและเทคโนโลยีที่คำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.1.2 ผนังสีเขียวทางด้านการใช้พืชพรรณธรรมชาติ Jacklyn and John (2004) เป็นการใช้พืชพรรณประกอบกับผนังอาคาร เพื่อประโยชน์ในการลดการใช้พลังงาน โดยการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร การเพิ่มคุณภาพอากาศในอาคาร โดยช่วยดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อีกทั้งประโยชน์ในการสร้างสุนทรียภาพให้กับอาคาร และความผ่อนคลายแก่ผู้ใช้อาคาร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 การใช้ผนังสีเขียวเพื่อสร้างสุนทรียภาพ และความผ่อนคลายแก่ผู้ใช้อาคาร ห้างสยาม-พารากอน (ซ้าย) และห้างเอ็มโพเรียม (ขวา) ในกรุงเทพฯ

ที่มา: Green Apple Landscaping (2009)



ภาพที่ 2 การใช้ผนังสีเขียวเพื่อการลดความร้อน และเพิ่มคุณภาพอากาศในอาคาร

ที่มา: Kobe.co.uk (2011)

คำว่า “ผนังสีเขียว” (Green Walls) นั้นสามารถใช้คำอื่นๆ แทนได้ เช่น Vegetated Wall (C.Tsoumarakis *et.al.*, 2008), Bio-Facade (พาสินี และ ชนิกานต์, 2551ข) , Bioshader (Martha, Keneth and Andrew, 2005), Vines on Wall (Steven and Baruch, 2000) และ Vertical Garden (Patrick, 2010) เป็นต้น

1.2 ความหมายของคำว่า “สวนแนวตั้ง” (Vertical Garden) หมายถึง การปลูกพืชในแนวตั้ง โดยไม่จำกัดวิธีการ จึงมีความหมายกว้างกว่าคำว่า “ผนังสีเขียว”

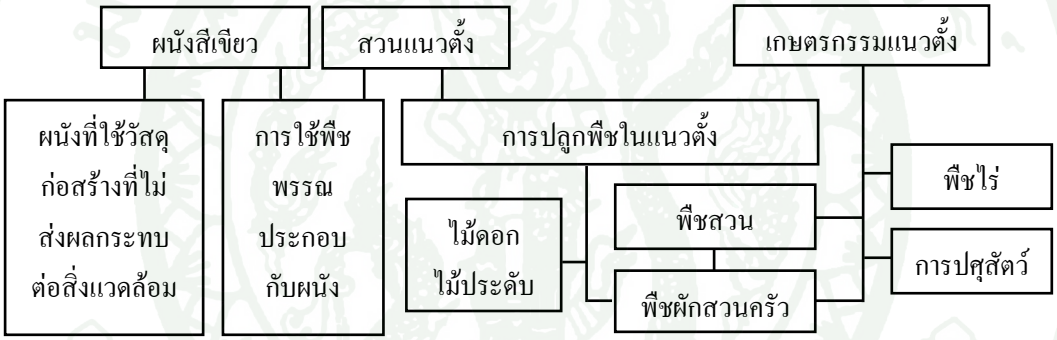
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3 ความหมายของคำว่า “เกษตรกรรมแนวตั้ง” (Vertical Farm) หมายถึง การเพาะปลูกในแนวตั้ง มี 3 ลักษณะ ได้แก่

1.3.1 ตามแนวคิดของ Bailey, Gilbert Ellis. เป็นการเพิ่มชั้นของที่ดินเพาะปลูกเป็น 2 ชั้น เพื่อให้ได้พื้นที่เพาะปลูกเป็น 2 เท่า ในขณะที่ไม่ต้องซื้อที่ดินเพิ่มเป็น 2 เท่า

1.3.2 ตามแนวความคิดของ Ken yeang เชื่อว่า แทนที่จะปลูกพืชในระบบปิด ควรเพาะปลูกในที่เปิดโล่ง ใช้ตึกสูงอย่างผสมผสานภายใต้การควบคุมสภาพอากาศและผลผลิตที่เพียงพอต่อการบริโภคของผู้ใช้อาคาร ซึ่งลงทุนน้อยกว่าแนวคิดของ Dr. Dickson Despommier (Cynthia and Ismail, 1995)

1.3.3 แนวความคิดของ Dr.Dickson Despommier เชื่อว่า การเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ภายในตึกสูงทำให้สิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าการเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์แนวราบปกติ ซึ่งตึกเหล่านี้สามารถสร้างได้ทุกที่โดยปรับเปลี่ยนตามสภาพแวดล้อมที่ตั้งอาคาร (Dickson, 2008)



ภาพที่ 3 การแยกแยะความหมายของผนังสีเขียว สวนแนวตั้ง และเกษตรกรรมแนวตั้ง

ที่มา: สุภางค์กร (2555)

2. ประเภท และวิธีการใช้ สวนแนวตั้ง (พาสินี และทิพาพรรณ, 2554)

2.1 ผนังผ้า (Felt System) แพทริก บลองซ์ เป็นผู้คิดค้นระบบนี้ มีลักษณะเป็นกระเป๋าผ้าที่สามารถบรรจุต้นไม้ขนาดเล็กถึงกลางได้ โดยยึดด้วยวิธีใช้ลวดเย็บยิงยึดติดผนัง ผนังระบบนี้มีน้ำหนักเบา ผ้าที่ใช้ทำกระเป๋าเป็นใยสังเคราะห์ซึ่งสามารถรักษาความชุ่มชื้นได้ดีเพียงพอสำหรับพืชพรรณ อายุการใช้งานมากสุดถึง 25 ปี ใช้ระบบหัวน้ำหยดตั้งเวลาอัตโนมัติในการให้น้ำและสารอาหาร โดยเดินท่อสอดแทรกไปตามโซนต่างๆ สารอาหารใช้สารละลายแบบไฮโดรโปนิกส์ภายในกระเป๋าอาจบรรจุวัสดุปลูกเล็กน้อย

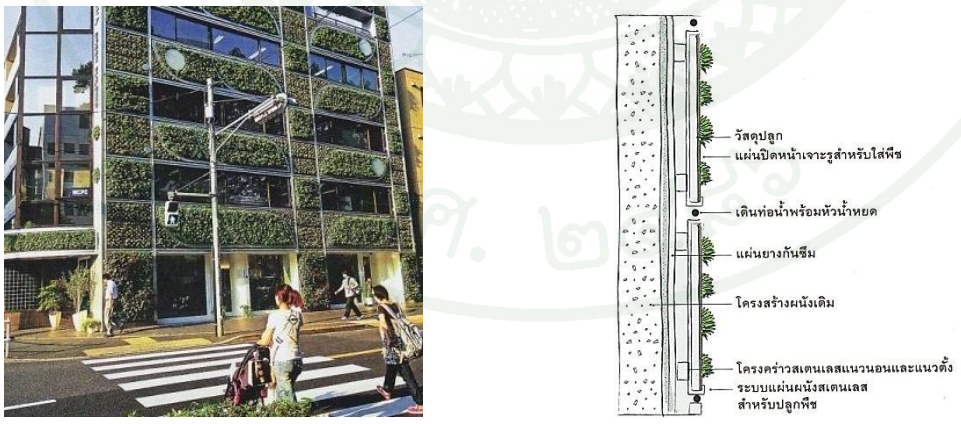
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 ผนังสีเขียวแบบผนังผ้าและรายละเอียดการติดตั้ง

ที่มา: พาสินี และ ทิพาพรรณ (2554)

2.2 แผ่นผนังเขียว (Panel System) แผ่นปลูกมีลักษณะเป็นแผ่นหรือถาดแบ่งเป็นช่องๆ ใช้บรรจุพืช หรือมีรูสำหรับบรรจุต้นไม้ ทำด้วยพลาสติก หรือโลหะที่มีน้ำหนักเบา ยึดด้วยอุปกรณ์คล้ายระบบ Cladding ติดกับโครงเหล็ก หรือยึดแบบผนังแขวนเพื่อตกแต่งอาคาร มีการเดินท่อจ่ายน้ำเป็นชั้น แทรกระหว่างแผ่นต้นไม้ และติดตั้งได้รวดเร็ว

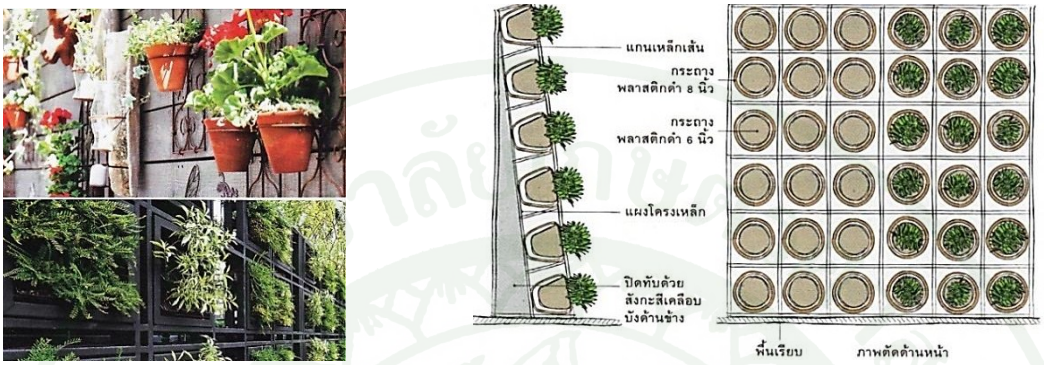


ภาพที่ 5 ผนังสีเขียวแบบแผ่นผนังเขียวบนห้างในกรุงโตเกียว และรายละเอียดการติดตั้ง

ที่มา: พาสินี และ ทิพาพรรณ (2554)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

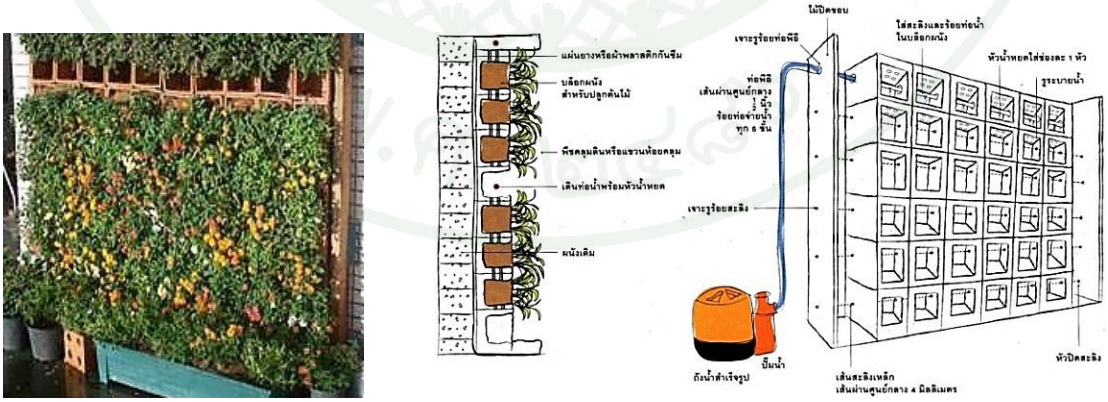
2.3 กระถางแขวน (Hanging Planters) วิธีนี้เป็นวิธีทำผนังเขียวแบบง่าย โดยการทำโครงใส่กระถางรูปทรงต่างๆ ให้เอียงซ้อนกันในแนวตั้ง โดยที่ดินไม่หกเลอะเทอะ และมีรูระบายน้ำได้ดี หรืออาจใช้ถุงโปร่งใส่ยึดต้นไม้ไว้กับโครงสร้าง ติดตั้งได้เร็ว ใช้ระบบหัวน้ำหยดตั้งเวลาอัตโนมัติ



ภาพที่ 6 ผนังสีเขียวแบบกระถางแขวน และรายละเอียดการติดตั้ง

ที่มา: พาสินี และ ทิพาพรรณ (2554)

2.4 บล็อกปลูกต้นไม้ (Planting Block Wall) ลักษณะเป็นบล็อกเจาะรูระบายน้ำ มีช่องใส่ต้นไม้ อาจทำด้วยคอนกรีตหรือดินเผา น้ำและสารอาหารที่ระบายจะหยดส่งต่อระหว่างชั้น มีการเดินท่อและหัวน้ำหยดฝังในบล็อคตามระยะที่เหมาะสมอย่างทั่วถึง โดยสามารถก่อเป็นผนังได้น้ำหนักเทียบเท่ากับหนังก่ออิฐ ในการออกแบบควรเพิ่มรางรองรับน้ำแถวล่างสุดด้วย



ภาพที่ 7 ผนังสีเขียวแบบบล็อคปลูกต้นไม้ และรายละเอียดการติดตั้ง

ที่มา: พาสินี และ ทิพาพรรณ (2554)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.5 ผนังไม้เลื้อย (Climbing Plants on Trellis System) การปลูกไม้เลื้อยในดินหรือกระบะเป็นวิธีพื้นฐานของการทำผนังเขียว วิธีนี้จะปล่อยให้ต้นไม้โตเลื้อยไปบนผนังหรือโครงยึดเกาะจนเต็มแผง สามารถใช้เป็นแผงกันแดดหรือผนังอาคารได้ดี อาจใช้เวลาเติบโตให้เต็มแผง 2 เดือนขึ้นไป ขึ้นอยู่กับชนิดพรรณไม้ ควรใช้โครงยึดเกาะน้ำหนักเบา เว้นระยะจากผนัง 10-15 ซม. เพื่อไม่ให้ไม้เลื้อยสัมผัสกับผนังโดยตรงและป้องกันความชื้นผ่านผนัง ทั้งยังช่วยระบายความร้อนได้อีกด้วย



ภาพที่ 8 ผนังสีเขียวแบบผนังไม้เลื้อย และรายละเอียดการติดตั้ง

ที่มา: พาสินี และ ทิพาพรรณ (2554)

สิ่งที่ควรคำนึงถึงในการดูแลรักษาผนังสีเขียว ได้แก่ การเปลี่ยนต้นไม้, การตัดแต่งต้นไม้, การให้น้ำ, การหมุนเวียนน้ำ, การให้สารอาหาร และ ระบบป้องกันความชื้น

นอกจากสวนแนวตั้ง 5 ประเภทที่กล่าวมาแล้ว ยังพบว่ามีการปลูกผักเป็นสวนแนวตั้ง เพื่อรับประทาน เช่น ไฮโดรโพนิกส์แนวตั้ง อะควาโพนิกส์แนวตั้ง และ สวนผักบนดาดฟ้า โดยมีแนวคิดจากการศึกษาปลูกพืชในพื้นที่จำกัด เช่นเดียวกับแนวคิดการทำเกษตรกรรมแนวตั้ง (Vertical Farm) โดยแตกต่างกันตรงที่การเกษตรกรรมแนวตั้งนั้น มีการเลี้ยงสัตว์ร่วมด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 9 สวนผักแนวตั้ง "The Living Skyscraper: Farming the Urban Skyline”

ที่มา: Blake Kurasek (n.d.)

3. สวนแนวตั้งด้วยวิธีปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน

สวนแนวตั้งของ Patrick Blanc ใช้เทคนิคการปลูกแบบผนังผ้า ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นวิธีที่มีน้ำหนักเบา และสามารถสร้างระบบให้สารละลายธาตุอาหารแก่พืชได้อย่างสะดวกทั่วถึง

การปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน แบ่งออกเป็น 2 แบบ ดิเรก (2550) อาจจำแนก อธิบายได้ตามลักษณะของระบบหรือวิธีการปลูก และ ตามความหมายของคำที่แปลมาจากภาษาอังกฤษสองคำ คือ คำว่า “ซับเสตรทคัลเจอร์ (Substrate Culture) และ คำว่า “ไฮโดรโพนิกส์ (Hydroponics)”

3.1 ปลูกพืชลงบนวัสดุปลูก (Substrate Culture) ดิเรก (2550) แบ่งวัสดุปลูกออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

3.1.1 วัสดุปลูกที่เป็นอนินทรียสาร ดังนี้

ก) วัสดุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ทราย กรวด หินเกล็ด หินภูเขาไฟ และหินซีสท์ เป็นต้น

ข) วัสดุที่ผ่านกระบวนการโดยการใช้ความร้อน เช่น ดินเผา เม็ดดินเผา ใยหินหรือร็อควูล เพอร์ไลท์ และเวอร์มิคูไลท์ เป็นต้น

ค) วัสดุสังเคราะห์ เช่น เม็ดโฟม แผ่นฟองน้ำ และสารดูดความชื้น เป็นต้น

ง) วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น เศษอิฐจากการผลิตอิฐมอญ เศษดินเผาจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผา เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.1.2 วัสดุปลูกที่เป็นอินทรียสาร ดังนี้

ก) วัสดุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ฟางข้าว ขุยและเส้นใยมะพร้าว แกลบ และ ขี้เถ้า เป็นต้น

ข) วัสดุเหลือใช้หรือผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ชานอ้อย กากตะกอนจากโรงงานน้ำตาล และวัสดุที่เหลือใช้จากโรงงานกระดาษ เป็นต้น

3.2 ปลูกพืชลงบนของเหลวที่มีสารละลายธาตุอาหารในน้ำ (Water Culture) มี 2 ระบบ คือ

3.2.1 การปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโพนิกส์ (Hydroponics) อิทธิสุนทร (2552) ให้ความหมาย ของคำว่า ไฮโดรโปนิกส์มาจาก ภาษากรีก 2 คำ คือ ไฮโดร(Hydro) ที่แปลว่า น้ำ และโปนิกส์ (ponic) แปลว่า การทำงาน เมื่อรวมเข้าด้วยกัน จะได้เป็น Water-working เป็นการปลูกพืชโดยการให้สารละลายสัมผัสกับรากพืชโดยตรง แบ่งได้ออกเป็น 4 ระบบ คือ

3.2.1.1 ระบบ NFT (Nutrient film technique) เป็นการปลูกที่ให้รากพืชแช่อยู่ในสารละลายโดยตรง สารละลายธาตุอาหารจะไหลบางคล้ายแผ่นฟิล์มสูงประมาณ 2-3 มม. แต่ถ้าหากรางปลูกมีขนาดกว้างสารละลายก็จะสูงตามไปด้วยและขึ้นอยู่กับชนิดพืชที่ปลูก วัสดุที่ทำรางอาจเป็นแผ่นพลาสติก สังกะสี หรืออะลูมิเนียม



ภาพที่ 10 ชุดปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แนวตั้ง ระบบ NFT (Nutrient film technique)

ที่มา: Hydro Hobby Product (2009)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

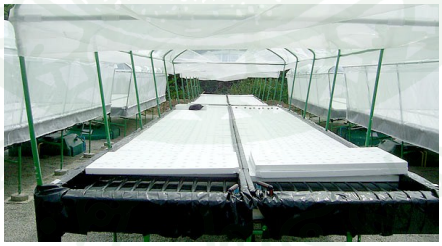
3.2.1.2 ระบบ DFT (Deep flow technique) เป็นการให้สารละลายขังอยู่กับรากพืชโดยที่มีระดับน้ำสูง 3-5 ซม. หากปลูกโดยใช้ถาดจะคล้ายการปลูกพืชลอยน้ำ ซึ่งสามารถปลูกได้ดีในที่แดดจัด ระบบนี้จะมีช่องว่างระหว่างแผ่นปลูกกับสารละลาย เพื่อให้รากได้หายใจ



ภาพที่ 11 ชุดปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แนวตั้ง ระบบ DFT (Deep flow technique)

ที่มา: ทัศนียา (2552)

3.2.1.3 ระบบ DRFT (Dynamic root floating technique) ระบบนี้พัฒนาต่อมาจากระบบ DFT การปลูกพืชแบบระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืช และให้อากาศไหลวนผ่านรากพืชในระดับลึกอย่างต่อเนื่องในถาดปลูก



ภาพที่ 12 ชุดปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ ระบบ DRFT

ที่มา: ศูนย์เกษตรกรรมบางไทร (ม.ป.ป.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2.1.4 ระบบ Aeroponics เป็นการปลูกพืชโดยให้ส่วนของรากลอยอยู่กลางอากาศ และฉีดสารละลายธาตุอาหารฝอยไปที่รากพืชโดยตรงเป็นช่วงเวลา เหมาะกับพืชต้นเตี้ย และต้องใช้การลงทุนสูง แต่ให้ผลผลิตที่ดี มีการเจริญเติบโตไวกว่าในการปลูกระบบอื่นๆ



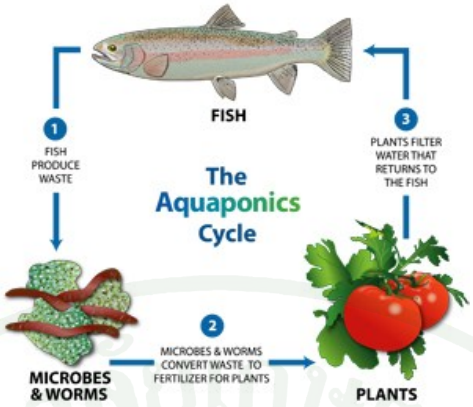
ภาพที่ 13 ชุดปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แนวตั้ง ระบบ Aeroponics

ที่มา: Eco City Hydroponics Pte. Ltd. (2011)

การปลูกพืชแนวตั้งเป็นผนังเขียวด้วยระบบไฮโดรโพนิกส์ที่พบ มี 3 ระบบ คือ NFT (Nutrient film technique) ระบบ DFT (Deep flow technique) และ ระบบ Aeroponics เท่านั้น โดยวัสดุปลูกที่นิยมใช้ได้แก่ ฟองน้ำ และเพอร์ไลท์

3.2.2 การปลูกพืชด้วยระบบอะควาโพนิกส์ (Aquaponics) ระบบนี้เกิดจากการรวมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบดั้งเดิม (Traditional Aquaculture) เข้ากับการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์ (Hydroponics) (Rakocy et.al.,2006) ระบบนี้ต่างจากระบบไฮโดรโพนิกส์ที่ ระบบไฮโดรโพนิกส์มีการเติมธาตุอาหารให้แก่พืช ส่วนระบบอะควาโพนิกส์ธาตุอาหารที่ให้แก่พืชส่วนใหญ่ได้จากการขับถ่ายของเสียจากปลาซึ่งให้อาหารปลาตามปกติ โดยอาจเติมธาตุอาหารอื่นๆที่จำเป็นเพิ่มขึ้นอยู่กับพืชที่ปลูก น้ำถูกใช้หมุนเวียนในระบบ โดยการสูบน้ำเลี้ยงปลาผ่านวัสดุปลูกพืชเพื่อกรองของเสียจากปลาทำให้น้ำสะอาดขึ้นก่อนไหลเข้าสู่ตู้ปลา นอกจากนี้ผลผลิตที่ได้ในระบบไฮโดรโพนิกส์ คือพืชอย่างเดียว ส่วนระบบอะควาโพนิกส์ได้ทั้งพืชและปลา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

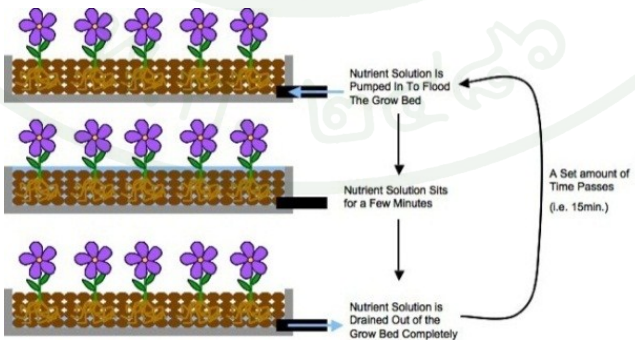


ภาพที่ 14 หลักการปลูกพืชระบบอะควาโพนิกส์

ที่มา: The Aquaponic source (n.d.)

การปลูกพืชระบบอะควาโพนิกส์ แบ่งได้ออกเป็น 4 ระบบ คือ

3.2.2.1 ระบบ Media Base ระบบนี้เกิดจากเลี้ยงปลากับการปลูกพืชระบบไฮโดรโพนิกส์ โดยของเสียของปลาเป็นสารอาหารแก่พืช และพืชเป็นตัวกรองน้ำธรรมชาติซึ่งเป็นที่อยู่ของปลา แบคทีเรียที่อาศัยอยู่บนผิวของมีเดีย (media) ที่เปียกชื้น เปลี่ยนแอมโมเนียซึ่งเป็นของเสียมีพิษต่อปลา และไม่มีประโยชน์ต่อพืชให้เป็น ไนไตรท์ จากนั้นก็เปลี่ยนเป็นไนเตรท ซึ่งไนเตรทไม่เป็นพิษต่อปลา และ มีเป็นสารอาหารจำเป็นของพืช ในขณะเดียวกันหนอนก็เปลี่ยนมูลของปลา และ ทำลายซากอินทรีย์วัตถุ ในระบบให้กลายเป็นปุ๋ยหมัก (The Aquaponic source, n.d.)



ภาพที่ 15 การปลูกพืชอะควาโพนิกส์ระบบ Media Base

ที่มา: เกรียงไกร สถาพรวานิชย์ (2554)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

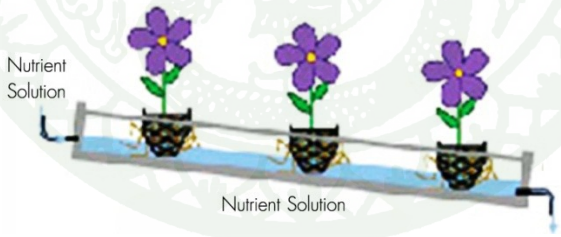
3.2.2.2 ระบบ Deep Water Culture เป็นการปลูกพืชด้วยวิธีอะควาโพนิกส์ โดยปลูกพืชบนแพ ลอยน้ำ ปล่อยให้รากแช่อยู่ในอ่างเลี้ยงปลา โดยระดับน้ำค่อนข้างสูงและมีระบบบำบัดน้ำแยกต่างหาก



ภาพที่ 16 การปลูกพืชอะควาโพนิกส์ระบบ Deep Water Culture

ที่มา: เกรียงไกร สถาพรวานิชย์ (2554)

3.2.2.3 ระบบ NFT (Nutrien Film Technique) เป็นการปลูกพืชในรางปลูกหมุนเวียนน้ำผ่านอ่างเลี้ยงปลาและถังบำบัด โดยปล่อยน้ำให้ค้างในรางปลูกน้อย ระดับเพียงแผ่นฟิลม์บางๆ 2-3 มม. เท่านั้น

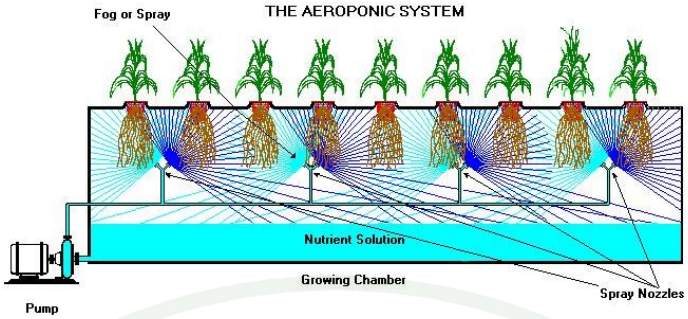


ภาพที่ 17 การปลูกพืชอะควาโพนิกส์ระบบ NFT

ที่มา: เกรียงไกร สถาพรวานิชย์ (2554)

3.2.2.4 ระบบ Aeroponics เป็นการการหมุนเวียนน้ำเหมือนกับระบบอะควาโพนิกส์แบบ Deep Water Culture ต่างกันที่รางปลูกและการให้น้ำแก่พืชเป็นการฉีดพ่นน้ำเป็นละอองโดยตั้งเวลาการให้น้ำอัตโนมัติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 18 การปลูกพืชอะควาโพนิกส์ระบบ Aeroponics

ที่มา: Grow Aeroponics (n.d.)

การปลูกพืชระบบอะควาโพนิกส์ ที่ใช้กันแพร่หลายเป็นแบบ Deep Water Culture และ Media Base ส่วนแบบ NFT และ Aeroponics ก็มีผู้ใช้แต่ไม่นิยมมากนัก เนื่องจากไม่ค่อยประสบผลสำเร็จเพราะมูลปลาอุดตันท่อในระบบ (The Aquaponic Source Inc., n.d.) โดยการปลูกพืชระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งที่พบในต่างประเทศ มักเลือกระบบ Media Base มาใช้ในการออกแบบ (Aquaponics community.com, n.d.)



ภาพที่ 19 ชุดปลูกผักอะควาโพนิกส์แบบแถวแนวตั้ง ระบบ Media Base

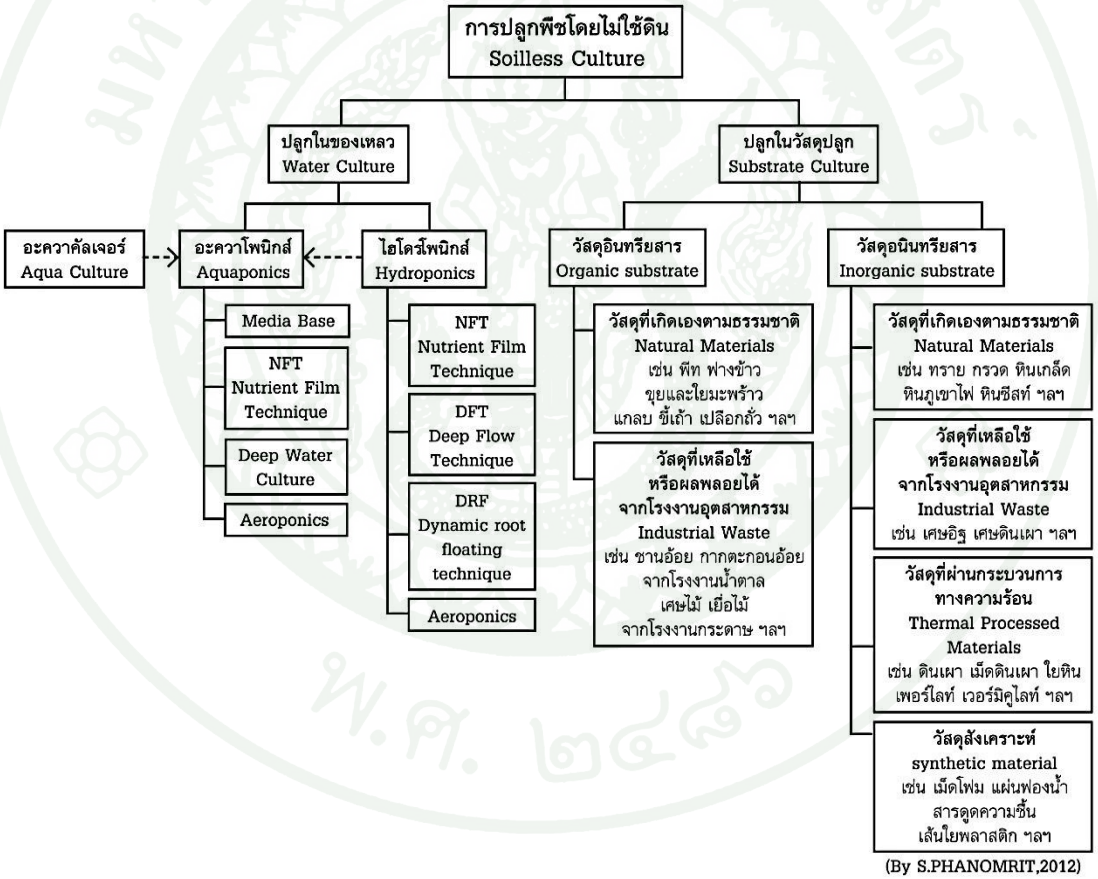
ที่มา: Ecofilms.com (2010)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 20 ชุดปลูกผักอะควาโพนิกส์แบบกระบะซ้อนชั้นระบบ Media Base

ที่มา: Aquaponics community.com (n.d.)



ภาพที่ 21 การจำแนกวิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ที่มา: สุภางค์กร (2555)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. ประโยชน์ของการใช้สวนแนวตั้ง และ เกษตรกรรมแนวตั้ง

4.1 ประโยชน์ของการใช้สวนแนวตั้งโดยทั่วไป พาสินี และ ทิพาพรรณ (2554:125-141) การปลูกพืชจากแนวราบไปสู่การปลูกในแนวตั้งนั้น นอกจากจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ปลูกพืชแล้วยังมีคุณประโยชน์เพิ่มขึ้นอีกด้วย ได้แก่

4.1.1 ลดความร้อน การปลูกต้นไม้บังแดดเป็นผนังสีเขียว ทำให้ได้ร่มเงาจากพุ่มไม้ที่ปกคลุมผนัง หรือเป็นผนัง ที่ช่วยลดการส่งผ่านความร้อนจากแดดก่อนเข้าสู่อาคาร และยังนำความร้อนส่วนหนึ่ง ไปใช้ในการสังเคราะห์แสง สะท้อนความร้อนบางส่วนกลับสู่อากาศ ไม่กักเก็บความร้อนไว้เช่นผนังจากวัสดุก่อสร้างทั่วไป ผนังสีเขียวจึงเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี และช่วยบรรเทาปัญหาเกาะความร้อนในเมือง (Urbban Heat Island)

4.1.2 ลดมลพิษ พืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสง ให้อ๊อกซิเจนและน้ำกลับคืนสู่บรรยากาศ นำไปสู่การบรรเทาปัญหาก๊าซเรือนกระจก ยิ่งมีปริมาณใบที่ถูกแดดมากเท่าใดก็ยิ่งสังเคราะห์แสงและลดก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ลงได้มากเท่านั้น พุ่มใบของต้นไม้ที่มีขนาดเล็กสามารถลดฝุ่นละอองได้ถึง 75% ของพุ่มไม้ทั้งหมด (พาสินี, 2553) และจากการวิจัยของ B.C. Wolverton นักวิทยาศาสตร์ขององค์การนาซ่า เมื่อประมาณปี ค.ศ. 1980 พบว่า จากการทดลองระบบปิด พืชจะดูดซับสารพิษ ได้แก่ ฟอร์มาลดีไฮด์ เบนซิน ไทรคลอโรเอทิลีนได้ถึง 10-19% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่นำมาใช้ ซึ่งได้แก่ หมากเหลือง วาสนา ลิ้นมังกร เดหลี เยอบีนร่า ฯลฯ แต่จากการทดลองของ Alan Darlington และ Hal Levin โดยนำหลักการของ Wolverton มาทดสอบกับอาคารจริง พบว่า ผลการทดลองของ Wolverton ยังนำมาใช้จริงไม่ได้ ส่วน และ Peter Dingler พบว่า ต้องใช้ต้นไม้ 2.4-7 ต้น/ตร.ม. (พาสินี และทิพาพรรณ, 2554: 141)

4.1.3 ช่วยปรับระบบนิเวศ โดยใช้เป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์และพืชในระบบนิเวศ การปลูกพืชเกาะบนผนังหรือปลูกขึ้นมาจากผนัง ช่วยเพิ่มพื้นที่สีเขียวได้อย่างมีประสิทธิภาพและนำมาซึ่งระบบนิเวศทดแทนในพื้นที่เมืองที่มีสิ่งปลูกสร้างหนาแน่น

4.1.4 ช่วยหน่วงน้ำ ต้นไม้ที่ปลูกซ้อนชั้นแนวตั้ง ช่วยกรองน้ำฝนที่ไหลผ่านชั้นของใบและดินปลูก ทำให้ไม่เกิดน้ำท่วมไหลล้น ดินหรือวัสดุปลูกดูดซับน้ำไว้ใช้ในการเจริญเติบโตของพืชทำให้ไม่เปลืองน้ำ เมื่อพืชคายน้ำก็มีการหมุนเวียนกลับสู่บรรยากาศอีกด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.1.5 ช่วยให้เกิดความผ่อนคลาย สุนทรียภาพจากสีสันของพรรณไม้ ให้ความรู้สึกผ่อนคลาย บรรเทาความเครียด พักสายตาและสมองแก่ผู้พบเห็น

4.2 ประโยชน์ของการเกษตรกรรมแนวตั้ง (Vertical Farming) จากการศึกษาค้นหาวิธีในการเพาะปลูกพืชแบบไร้ดิน และนำมาซ้อนชั้นกันบนอาคารสูง ในโครงการ The Vertical Farm ของ Dickson D. Despommier (1990) ได้คาดการณ์ถึงประโยชน์ของการเกษตรกรรมแนวตั้งภายในอาคารที่มีการควบคุมสภาพอากาศ ซึ่งทำให้เพาะปลูกได้ตลอดปี และใช้ระบบการปลูกพืชไร้ดิน (Hydroponics) ซ้อนกันหลายชั้น มีการใช้แสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ช่วย เพื่อให้ได้รับแสงเพื่อการสังเคราะห์แสงอย่างเพียงพอ ดังนี้

4.2.1 เป็นแหล่งผลิตอาหารหมุนเวียนตลอดปี

4.2.2 ขจัดปัญหาการละทิ้งอาชีพเกษตรกร

4.2.3 ช่วยลดการใช้ถ่านหินและเชื้อเพลิง (จากเครื่องจัดการเกษตรและการขนส่ง)

4.2.4 ทำให้อาคารทิ้งร้างถูกใช้งาน

4.2.5 เป็นการเกษตรกรรมที่ไม่ได้รับผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศ

4.2.6 เป็นแหล่งผลิตอาหารที่มีความยั่งยืนแก่เมือง

4.2.7 บำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำดื่มได้

4.2.8 เป็นแหล่งผลิตอาหารที่มีความยั่งยืนแก่เมือง

4.2.9 เพิ่มพลังงานหมุนเวียนด้วยการผลิตก๊าซมีเทน

4.2.10 เพิ่มอัตราการจ้างงานในเมือง

4.2.11 ลดอัตราการปนเปื้อนสารพิษและเชื้อโรคจากการขนส่งและพ่อค้าคนกลาง

4.2.12 คืนพื้นที่เพาะปลูกสู่ธรรมชาติ และช่วยปรับระบบนิเวศ

4.2.13 ควบคุมพยาธิโดยใช้ขยะจากร้านอาหารเพื่อผลิตก๊าซมีเทน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณประโยชน์ของผนังสีเขียว แบบปลูกพืช กับผนังสีเขียวแบบปลูกผัก

คุณประโยชน์	ผนังสีเขียวปลูกพืช	ผนังสีเขียวปลูกผัก
ลดความร้อน	/	/
ปรับปรุงคุณภาพอากาศ	/	/
คืนพื้นที่เพาะปลูกสู่ธรรมชาติและช่วยปรับระบบนิเวศ	/	/
ช่วยหน่วงน้ำ	/	/
ช่วยให้เกิดความผ่อนคลาย	/	/
เป็นแหล่งผลิตอาหารหมุนเวียนตลอดปี		/
ขจัดปัญหาการละทิ้งอาชีพเกษตรกร		/
ช่วยลดการใช้ถ่านหินและเชื้อเพลิง		/
ทำให้อาคารทิ้งร้างถูกใช้งาน		/
เป็นแหล่งผลิตอาหารที่มีความยั่งยืนแก่เมือง		/
เป็นแหล่งผลิตอาหารที่มีความยั่งยืนแก่เมือง		/
เพิ่มอัตราการจ้างงานในเมือง	/	/
ลดอัตราการปนเปื้อนสารพิษและเชื้อโรค		/

จากตารางสรุปได้ว่า ผนังสีเขียวแบบปลูกพืช มีคุณประโยชน์เพิ่มเติมด้านผลผลิตอาหาร สร้างอาชีพ การลดใช้พลังงานเชื้อเพลิง ลดขยะ และลดปัญหามลภาวะในเมืองได้ ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่น่าศึกษาวิจัยอย่างมาก

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย การปลูกพืชระบบอะควาโพนิกส์ ระบบต่างๆ

ระบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
Media Base	ระบบไม่ซับซ้อน ตั้งกลางแจ้งได้ อุณหภูมิน้ำ เปลี่ยนแปลงน้อย	น้ำหนักมาก
Deep Water Culture	ระบบไม่ซับซ้อน ตั้งกลางแจ้งได้ อุณหภูมิน้ำ เปลี่ยนแปลงน้อย	น้ำหนักมาก
NFT	น้ำหนักเบา	ระบบซับซ้อน และ ท่ออุดตันได้ง่าย
Aeroponics	น้ำหนักเบา	ระบบซับซ้อน, ท่ออุดตันได้ง่าย และค่าใช้จ่ายสูง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระบบอะควาโพนิกส์ ระบบ Deep Water Culture เป็นแบบที่ผู้วิจัยส่วนใหญ่ให้ความสนใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ University of Vergin Island โดย Dr. James Rackocy ใช้เวลาร่วม 30 ปี ในการวิจัยจนสำเร็จโดยระบบนี้เหมาะกับการผลิตเพื่อการค้าอย่างมากเนื่องจากให้ผลผลิตจำนวนมาก และง่ายต่อการเก็บผลผลิต Sylvia (n.d.) ส่วนแบบ Media Base เป็นแบบที่ผู้ต้องการปลูกพืชในครัวเรือนเลือกใช้

การออกแบบในวิทยานิพนธ์นี้ใช้แนวคิดระบบน้ำ Media Base ร่วมกับระบบน้ำ Deep Water Culture ของ University of Vregin Island โดย Dr. James Rackocy เพื่อสร้างชุดผนังเขียวระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง โดยตัวรางปลูกใช้หลักการออกแบบรางระบบ DFT ของการปลูกพืชแบบ Hydroponics

5. ปัญหาที่เกิดจากการใช้สวนแนวตั้ง

งานวิจัยของ Mariene Valesan และ Miguel Aloysio Sattier (2008) ศึกษาถึงปัญหาหรือผลกระทบจากการใช้ต้นไม้ประกอบอาคาร โดยสำรวจอาคารที่ใช้ผนังไม้เลื้อยประกอบอาคาร และเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถามผู้อยู่อาศัยที่ Porto Alegre ที่ประเทศบราซิล พบปัญหาดังนี้

5.1 ต้องการการดูแลเป็นประจำ ต้องคอยตัดแต่งกิ่งและก้านใบบ่อยๆ เพื่อรักษาความงาม โดยอาศัยผู้ดูแลที่มีความชำนาญด้านการดูแลต้นไม้

5.2 เป็นที่จูงใจหรือนำพาสัตว์ต่างๆ เช่น นก และ แมลง โดยมาใช้เป็นที่อยู่อาศัยและแหล่งอาหาร เป็นปัญหาที่สร้างความรำคาญ และเป็นอันตรายอย่างยิ่งในกรณีที่เป็นสัตว์มีพิษมาอาศัย

5.3 เป็นแหล่งกักเก็บความชื้นของใบ และการคายน้ำของใบ ก่อให้เกิดเชื้อรา เชื้อโรค แบคทีเรียต่างๆ ผนังอาคารเสื่อมสภาพเร็ว และอาจสร้างภาระให้กับเครื่องปรับอากาศมากขึ้น

5.4 ลดพื้นที่ในการระบายอากาศ เนื่องจากพุ่มใบของผนังต้นไม้ เป็นเสมือนเกาะกั้นลมอีกชั้น ทำให้ลมไม่สามารถเข้าอาคารได้อย่างเต็มที่ อีกทั้งในช่วงเวลากลางคืนผนังอาคารมีการคายความร้อนสู่บรรยากาศ ผนังต้นไม้จะกักความร้อนไว้ ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารสูงขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการศึกษานี้ เป็นปัญหาที่สามารถพบได้ทั่วไป ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่สร้างความรำคาญแก่ผู้ใช้อาคาร และเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้ผนังสีเขียว แม้ว่าตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาจะมีผู้ศึกษาเสนอแนวทางการใช้ผนังสีเขียว แต่ปัญหาหลักมักอยู่ที่การดูแลรักษา (Hoyano, 1988) จึงทำให้การเลือกใช้ผนังสีเขียวไม่แพร่หลายนัก

ตั้งแต่ศตวรรษที่ 20 เป็นต้นมา มนุษย์ประสบกับวิกฤตสภาพแวดล้อมและได้ตระหนักถึงปัญหาโลกร้อน (Global Warming) การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำคุณประโยชน์ของพืชพรรณมาใช้ประกอบอาคารถูกนำมาศึกษากันใหม่ เพื่อหาวิธีลดปัญหาเรื่องการดูแลรักษา ตลอดจนศึกษาคุณประโยชน์ในด้านอื่นๆ อีก เช่น การใช้พืชพรรณในระบบผนังกระจก 2 ชั้น (Double Skin Facade) เปรียบเทียบกับแผงบานเกล็ดบังแดด พบว่าสามารถลดอุณหภูมิได้ดีกว่าการใช้บานเกล็ดบังแดดมาก (Stec, W.J. *et al.*, 2005) และงานวิจัยที่ทำให้กับองค์การนาซ่า ของ Wolverton B.C. เรื่องการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคาร โดยใช้ต้นไม้ลดสารพิษในระบบปิด นอกจากนี้ ยังมีแนวคิดการทำฟาร์มแนวตั้ง (Vertical Farm) ของศาสตราจารย์ Dickson Despommier Ken yeang และ Bailey, Gilbert Ellis. เพื่อการรับมือกับปัญหาประชากรโลกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้มีความต้องการอาหารเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะประชากรหนาแน่นในเมืองที่มีพื้นที่เพาะปลูกจำกัด อีกทั้งปัญหาเกาะความร้อนในเมือง (urban heat island) ที่เกิดจากการดูดกลืน การสะสมความร้อนของวัสดุก่อสร้างอาคาร ถนนและสิ่งปลูกสร้างอื่นๆ ซึ่งมีผลกระทบต่อสภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคาร ดังนั้นการใช้ผนังสีเขียวด้วยแนวคิดสวนผักแนวตั้ง จึงเป็นแนวคิดที่สามารถพัฒนาและประยุกต์ใช้กับอาคารได้อีกมากในอนาคต

6. คุณภาพน้ำสำหรับการเลี้ยงปลา

ประภาศ (ม.ป.ป.) ปลาเป็นสัตว์ที่อยู่ในน้ำ ปลามีน้ำเป็นบ้านและจำเป็นต้องอยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ คุณภาพน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ทั้งจากปลาที่ขับของเสียตลอดเวลา และสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อยู่ในน้ำ ดังนั้นน้ำจึงมีความสำคัญต่อปลาอย่างมาก เช่น เป็นแหล่งออกซิเจนที่ปลาต้องใช้หายใจ สภาพน้ำที่มีการหมักหมมของเศษอาหารและของเสีย ทำให้ปลาแคระแกรน มีผลต่อการกินอาหารของปลา ติดโรคง่าย และมีผลต่อสีสันของปลา ซึ่งหากคุณภาพน้ำที่ไม่เหมาะสมปลาจะสีซีดจางกว่าที่เคยเป็นอยู่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.1 คุณสมบัติของน้ำทางด้านกายภาพ การสังเกตคุณภาพน้ำเบื้องต้นทำได้โดยการสังเกตด้านกายภาพด้วยตาเปล่า การสัมผัสด้วยมือและใช้เครื่องมือวัดเบื้องต้น ได้แก่

6.1.1 สีของน้ำ สีของน้ำที่มองเห็น แบ่งได้ 2 ประเภท คือ สีจริง และสีที่ปรากฏ สีของน้ำที่มองเห็นไม่มีผลต่อปลาโดยตรง แต่จะช่วยบ่งบอกได้ถึงความผิดปกติของปลาได้ เมื่อสีมีการเปลี่ยนแปลง

6.1.2 อุณหภูมิ อุณหภูมิของน้ำมีผลต่อการดำรงชีพของปลาค่อนข้างมาก เพราะปลาเป็นสัตว์เลือดเย็น อุณหภูมิมีผลต่อการเผาผลาญอาหาร ดังนั้นในช่วงฤดูหนาวทำให้ปลามีอัตราการเผาผลาญอาหารน้อย ยับยั้งการเจริญเติบโต และอาจเกิดโรคระบาดได้ ส่วนในฤดูร้อน ปลาเจริญเติบโตได้ดี อุณหภูมิที่พอเหมาะสำหรับปลาโดยทั่วไปอยู่ที่ 27-32 ^{o}C

6.1.3 ความขุ่นของน้ำ หมายถึงปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ ความขุ่นของน้ำมีผลต่อการหายใจของปลา หากระดับความขุ่นมากมักทำให้ปลาขนาดเล็กและไข่ปลาตายได้

6.2 คุณสมบัติของน้ำทางด้านเคมีของน้ำ น้ำที่นำมาใช้เลี้ยงปลา จำเป็นต้องใช้เครื่องมือตรวจสอบทางเคมีด้วย โดยคุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่

6.2.1 ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ หรือค่า “pH” มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา ระบบสืบพันธุ์ และ ทำให้ปลาตายได้

ตารางที่ 3 ค่า pH ระดับต่างๆ ที่มีผลต่อการดำรงชีพสัตว์น้ำ

ระดับค่า pH	ผลต่อการดำรงชีพของสัตว์น้ำ
4 หรือต่ำกว่า	เป็นอันตรายมักทำให้ปลาตายได้
4.1-6.0	ปลาบางชนิดตาย, ปลาที่ไม่ตายจะมีการเจริญเติบโตช้า ระบบสืบพันธุ์ไม่เจริญ
6.1-9.0	เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ
9.1-11.0	การเจริญเติบโตช้า ผลผลิตต่ำ
11.1 ขึ้นไป	เป็นอันตรายต่อปลา

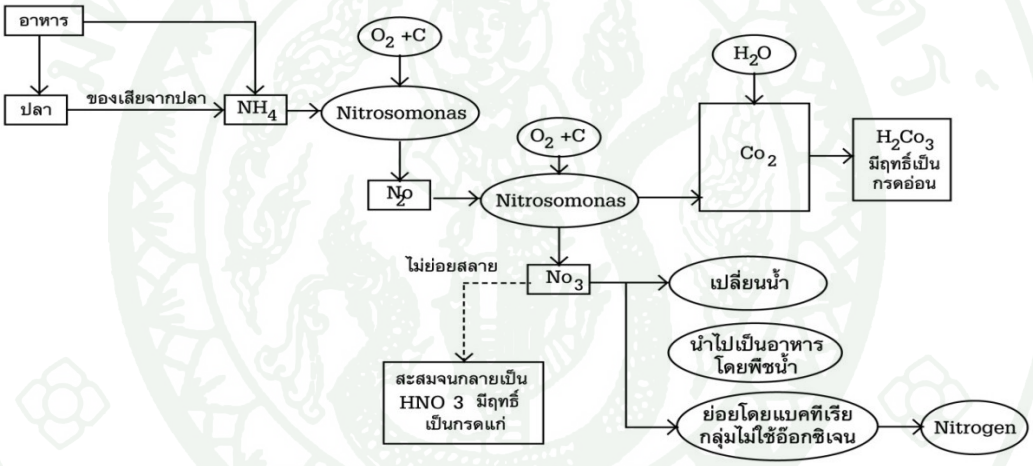
ที่มา: สำนักประมงชายฝั่ง (ม.ป.ป.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.2.2 ปริมาณอ๊อกซิเจนละลายน้ำ หรือ “DO (Dissolved Oxygen)” การหายใจของปลาส่วนใหญ่จะกระทำได้ก็ต่อเมื่อมีออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำ การมีออกซิเจนสูงทำให้ปลาสดชื่นแข็งแรง กินอาหารเก่ง เติบโตเร็ว สีสันสดใส และเจริญพันธุ์ได้ดี

6.2.3 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นก๊าซที่เกิดจากการหายใจ หากเจือปนในน้ำมากจนแทรกซึมในกระแสเลือดจะทำให้ปลาตาย การหมักหมมของเศษอาหาร การใช้แอร์ปั๊มหรือเติมออกซิเจนจะช่วยให้ก๊าซนี้ระเหยได้ และการกำจัดเศษอาหารหมักหมมจะลดการเกิดก๊าซนี้

6.2.4 สารประกอบไนโตรเจน เกิดจากการขับของเสียของปลา มีอยู่หลายรูปแบบ ได้แก่ แอมโมเนีย (NH_3) ไนไตรท (NO_2) และ ไนเตรท (NO_3) โดยมีวัฏจักร ดังนี้



ภาพที่ 22 วัฏจักรไนโตรเจน

ที่มา: สำนักประมงชายฝั่ง (ม.ป.ป.)

วัฏจักรไนโตรเจน (Nitrogen Cycle) เริ่มต้นขึ้นจากการที่มีของเสียจากเศษอาหาร ที่เหลืออยู่ในตู้ปลา และของเสียจากตัวปลาเอง (ขี้ปลา, เมือกปลา เป็นต้น) ของเสียเหล่านี้ จะถูกย่อยสลายจนเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียมไอออน NH_4^+ ซึ่งมีพิษร้ายแรงต่อปลามาก แต่เมื่อมีแอมโมเนียเกิดขึ้นธรรมชาติเอง ก็ได้สร้างจุลินทรีชนิดหนึ่งเกิดขึ้นมาด้วย เพื่อทำหน้าที่ย่อยสลาย แอมโมเนีย โดยจุลินทรีย์ตัวนั้นก็คือ แบคทีเรียชื่อ Nitrosomonas Bacteria เป็นแบคทีเรียในกลุ่ม Aerobic Bacteria (อยู่ได้ในที่ที่มีออกซิเจน) ใช้ออกซิเจน และสารประกอบของอินทรีคาร์บอนที่อยู่ในน้ำ เพื่อย่อยสลายแอมโมเนีย ให้กลายเป็น ไนไตรท์ (NO_2) ซึ่งไนไตรท์เองแม้ว่าจะมีความรุนแรงไม่เท่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แอมโมเนีย แต่ว่าก็ยังเป็นพิษต่อปลา ในธรรมชาติจะสร้างแบคทีเรียที่ชื่อว่า Nitrobacter Bacteria จะใช้ออกซิเจน และ สารประกอบของอินทรีคาร์บอน เพื่อย่อยสลายไนไตรท์ ให้เป็นไนเตรท (NO_3) (สำนักประมงชายฝั่ง, ม.ป.ป.)

การบำบัด หรือ กำจัดไนเตรทนั้น มีด้วยกัน 4 วิธี ได้แก่ การเปลี่ยนน้ำ การปลูกสาหร่ายและพืชน้ำบางชนิด หรือที่เรียกกันว่า ระบบ Plant Filtration การย่อยสลายโดยแบคทีเรียในกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) โดยอาศัยกรวดละเอียด และ ทรายปูพื้นตู้ เป็นที่อยู่ของแบคทีเรียกลุ่มนี้ แต่การหมักหมมอาจเป็นอันตรายต่อปลาบางชนิด และการใช้ Trickle Tower ดึงออกซิเจนออกจากไนโตรเจน แล้วปล่อยให้ไนโตรเจน ระเหยกลับสู่อากาศ

6.2.5 ความเค็มของน้ำ หมายถึงปริมาณของของแข็งหรือเกลือแร่ต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยเฉพาะเกลือแกง ความเค็มมีผลต่อการดำรงชีวิตของปลา ปลาส่วนใหญ่จึงมีความเจาะจงอยู่ในน้ำจืดหรือน้ำเค็มอย่างเด่นชัด แต่ก็มีปลาหลายชนิดที่สามารถปรับตัวได้ดีสามารถอยู่ได้ทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม ปลาส่วนใหญ่จะสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มได้ประมาณ 5 ppt ความเค็มมีประโยชน์ต่อสุขภาพปลา โดยมักนิยมเติมเกลือแกง 1 ช้อนโต๊ะต่อน้ำ 100 ลิตร เป็นประจำทุกเดือนๆ ละครั้ง จะช่วยให้ปลาได้รับเกลือแร่ซึมเข้าร่างกาย ช่วยให้ปลามีการขับเมือก จะทำให้ปลาสดชื่นขึ้น หรืออาจใช้เกลือแกงอัตรา 3 - 5 ppt ช่วยในการป้องกันและรักษาโรคปลา

ตัวอย่างการคำนวณ ตู้เลี้ยงปลามีขนาดกว้าง 40 ซม. ความยาว 90 ซม. ใส่น้ำได้ระดับสูง 40 ซม. ต้องการป้องกันโรคปลาโดยการใส่เกลือแกงอัตรา 3 ppt จะต้องใส่เกลือแกงจำนวนเท่าใด

วิธีทำ คำนวณหาปริมาตรน้ำในตู้

จากสูตร	ปริมาตร	=	กว้าง X ยาว X สูง	
ปริมาตรน้ำในตู้ปลา	40 X 90 X 40	=	144,000	ลบ.ซม.
ทำให้เป็นลิตร	1 ลิตร	=	1,000	ลบ.ซม.
ปริมาตรน้ำในตู้ปลา	144,000 / 1,000	=	144	ลิตร

ต้องการป้องกันโรคปลาโดยการใส่เกลือแกงอัตรา 3 ppt (3 กรัม/ ลิตร)

ปริมาตรน้ำในตู้ปลา 144 ลิตร จะใส่เกลือ 3 X 144 = 432 กรัม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.2.6 สารพิษ ปัจจุบันแหล่งน้ำธรรมชาติมักจะมีการปนเปื้อนของสารเคมีชนิดต่างๆ ซึ่งมักมีอันตรายต่อสัตว์น้ำ สารพิษดังกล่าวมาจากโรงงานอุตสาหกรรม การเกษตรกรรม และของเสียจาก สารพิษเหล่านี้จะมีผลทำให้การเจริญเติบโตของปลาลดลง ปลาขนาดเล็กและไข่ปลามักจะตาย นอกจากนั้นยังทำให้อาหารธรรมชาติที่จำเป็นของปลาลดลง

6.2.7 คลอรีน (Chlorine) การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำบางครั้งมีความจำเป็นต้องมีการใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคหรือพยาธิบางชนิดในบ่อปลา หรือในบางครั้งผู้เพาะปลาใช้น้ำประปาซึ่งมีคลอรีนปะปนอยู่ เนื่องจากคลอรีนปริมาณเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำอันตรายต่อสัตว์น้ำได้ และถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นความเป็นพิษของคลอรีนก็จะสูงขึ้นด้วย ดังนั้นน้ำที่จะนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จึงไม่ควรมีคลอรีนหลงเหลืออยู่เลย ถ้าหากจะมีก็ไม่ควรเกินกว่า 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร การกำจัดคลอรีนทำได้โดยพักน้ำไว้สักระยะหนึ่งและมีการให้อากาศ คลอรีนที่หลงเหลืออยู่จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบอื่นๆ ในน้ำ และจะถูกทำลายโดยแสงสว่าง หรืออาจจะกำจัดโดยการเติมสารโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$)

7. การจำแนกประเภทของผัก

Vegetweb (2551) การจำแนกประเภทของผักนั้น มีเกณฑ์อยู่หลายอย่าง แต่ที่นิยมกันหลักๆ ใช้เกณฑ์จำแนกตามลักษณะทางพฤกษศาสตร์, จำแนกส่วนที่ใช้ในการบริโภค และ จำแนกตามฤดูกาลที่ปลูก โดยในงานวิจัยนี้ยกตัวอย่างการจำแนกตามเกณฑ์สากล และจำแนกตามการปลูกพืชในระบบไฮโดรโพนิกส์ในประเทศไทยดังนี้

7.1 จำแนกตามลักษณะพฤกษศาสตร์ ได้แก่

ตระกูลกะหล่ำ ได้แก่ กะหล่ำดาว กะหล่ำดอก กะหล่ำปลี กวางตุ้ง คะน้า ผักกาดหัว ผักกาดขาวปลี ผักกาดเขียวปลี บรอคคอลี วอเตอร์เครส

ตระกูลแตง ได้แก่ แตงต่างๆ ตำลึง บวบเหลี่ยม บวบหอม น้ำเต้า มะระ ฟักทอง

ตระกูลถั่ว ได้แก่ กระถิน แค ชะอม ถั่วแขก ถั่วฝักยาว ถั่วลันเตา มันแกว โสน

ตระกูลมะเขือ ได้แก่ พริก พริกยักษ์ พริกหวาน มะเขือ มะเขือเทศ มะแว้ง

ตระกูลหอม ได้แก่ กระเทียม หอมแดง หอมแบ่ง หอมหัวใหญ่

ตระกูลอื่นๆ ได้แก่ ข้าวโพดหวาน คื่นฉ่าย เครื่องเทศ ผักกาดหอม ผักชี ผักบุ้งจีน สมุนไพร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7.2 จำแนกประเภทของผักตามระยะเวลาเก็บเกี่ยวและความเข้มข้นของปุ๋ยที่เติมในกรรมวิธีปลูกระบบไฮโดรโพนิกส์ ในประเทศไทย (ศูนย์เกษตรกรรมบางไทร, ม.ป.ป.)

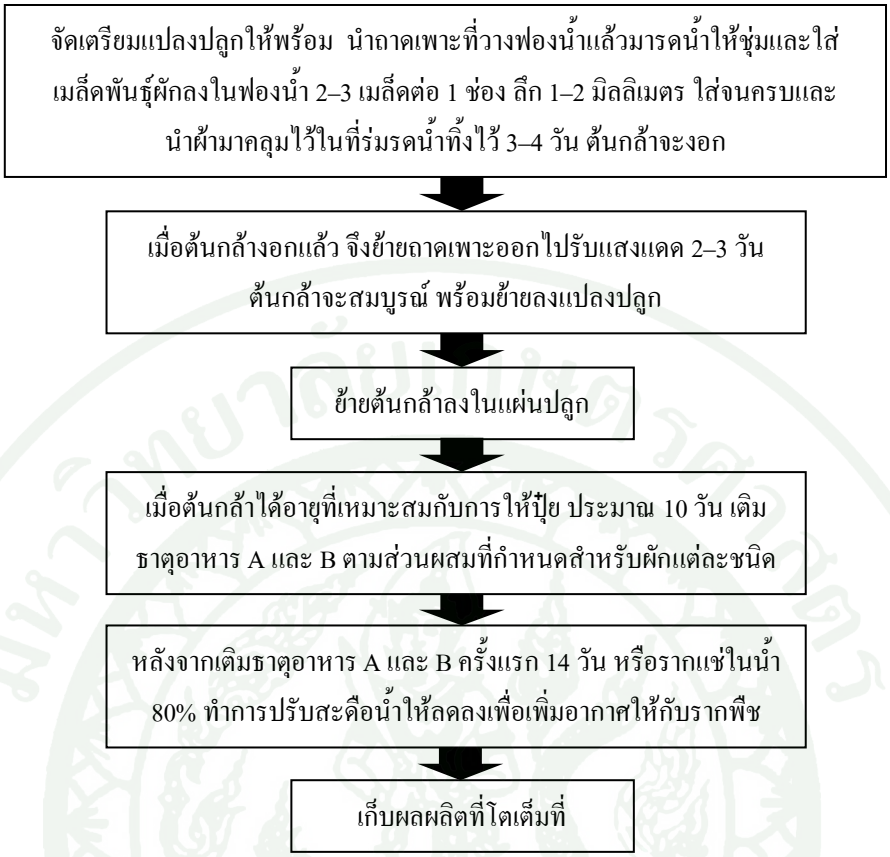
ตารางที่ 4 จำแนกประเภทผักในกรรมวิธีปลูกระบบไฮโดรโพนิกส์ในประเทศไทย

กลุ่มผัก	รายการ	อุณหภูมิที่เหมาะสม (C)	ค่า EC (mg/l)	ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว (วัน)
กลุ่มผักสลัด	กรีนโอ๊ค, เรดโอ๊ค, เรดคอรัล, บัตเตอร์เฮด, กรีนคอส, บัตตาเวีย, ร๊อคเก็ต	10-24	1.4-1.8	38-45
กลุ่มกวางตุ้ง	กวางตุ้งฮ่องเต้, กวางตุ้งทาห์ไช่	20-25	3.0-3.5	32-35
กลุ่มคะน้า	คะน้าไอริส, คะน้าเห็ดหอม, คะน้าฮ่องกง	20-25	3.0-4.0	35-38
กลุ่มผักโขม, ผักบุ้ง	ผักบุ้งจีน, ผักโขมแดง	25-40	1.4-1.8	14-16
กลุ่มผักกาดขาว	ผักกาดขาวไดโตเกียว	10-24	3.0-3.5	30-35

ที่มา: ศูนย์เกษตรกรรมบางไทร (n.d.)

จากตารางทั้งหมดเป็นพืชที่เพาะด้วยเมล็ด พืชที่เหมาะสมในการปลูกเพื่อการบังแดด คือ พืชตระกูลผักบุ้งและผักโขม โดยมีขั้นตอนการปลูกดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 23 ขั้นตอนการปลูกพืชในระบบไฮโดรโพนิกส์

ที่มา: สุภางค์กร (2555)

8. การหาความลาดชันของรางปลูกพืชและอัตราความเร็วของการใช้สารอาหาร

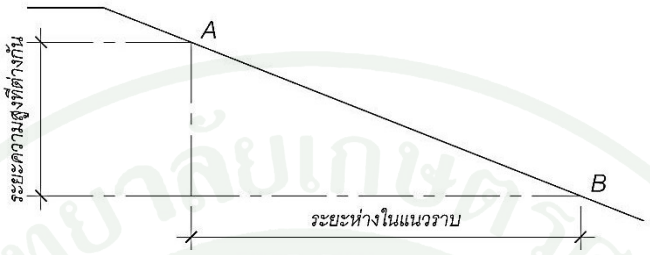
ในการติดตั้งระบบปลูกสำหรับระบบที่ให้สารอาหารแบบหมุนเวียนนั้น ความลาดชันของรางปลูกจะมีความสัมพันธ์กับความเร็วของการให้สารละลายธาตุอาหาร (Flow rate) ดังนั้นจึงควรติดตั้งรางปลูกให้มีความลาดชัน เพื่อให้การไหลของสารละลายธาตุอาหารผ่านรากพืชจากรางปลูกไปสู่ถังสารละลายธาตุอาหารเป็นไปได้ดี โดยระดับความลาดชันของรางปลูกที่เหมาะสมคือ 1-2 % โดยให้มีความลาดชันน้อยสำหรับพืชที่มีต้นขนาดเล็กและมีรากในรางปลูกน้อยและพิจารณาถึงความยาวของรางปลูกและอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารพืชประกอบด้วย

อัตราความเร็วของการให้สารละลายธาตุอาหาร ควรอยู่ที่ 1-2 ลิตรต่อนาที และพิจารณาปรับเพิ่มอัตราความเร็วของการให้สารละลายธาตุอาหารให้เหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การหาเปอร์เซ็นต์ความลาดชันของรางปลูกพืช มีวิธีในการคำนวณ ดังนี้ (ดิเรก, 2550)

$$\text{ความลาดเท (\%)} = \frac{\text{ความสูงที่ต่างกันระหว่างสองจุด (จุด A และB)}}{\text{ระยะในแนวราบระหว่างสองจุด (จุด A และ B)}} \times 100$$



ภาพที่ 24 ความลาดชันจากหัวรางถึงปลายรางของระบบ NFT

ที่มา: ดิเรก, 2550

จากการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุปลูกในระบบอะควาโพนิกส์ ระบบ Media base พบว่า นิยมใช้เม็ดดินเผามวลเบาเป็นวัสดุปลูก โดยมีลักษณะ มีรูพรุนเหมือนฟองน้ำ สามารถดูดซับน้ำ ดูดซับความชื้นและน้ำหนักเบา โดยมีผู้นำไปใช้ในการเกษตรแบบใช้ดินและไม่ใช้ดิน นอกจากนี้ยังใช้ในการก่อสร้างส่วนหนึ่ง โดยใช้เป็นวัสดุฉนวนกันความร้อนและกรองน้ำอีกด้วยขนาด เม็ด 10 มม. มีความหนาแน่นรวม 320 กรัม/ ลิตร การดูดซึมน้ำ 35% ของน้ำหนัก (วิวรรณเทคโนโลยี, ม.ป.ป.)

9. พันธุ์ปลาที่ใช้ในระบบอะควาโพนิกส์

สำหรับปลาที่นิยมเลี้ยงในระบบอะควาโพนิกส์ พบว่า ปลานิล (Tilapia) ปลานิลแดง(Red Tilapia) เป็นปลาที่มีผู้ใช้ในการศึกษาระบบนี้ (James *et. al.*, 2006) โดยเมื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมระหว่างปลานิลกับปลาทับทิมแล้วพบว่า ปลานิลเป็นที่นิยมในกลุ่มฟาร์มระบบอะควา-โพนิกส์มากกว่าปลาทับทิม และ สามารถทนต่ออุณหภูมิได้ถึง 40 ^{o}C

ปลานิล หรือ Tilapias เป็นกลุ่มปลาที่อยู่ในวงศ์ Cichlidae ประกอบด้วยปลาในสกุล *Tilapia*, *Sarotherodon* และ *Oreohcromis* ส่วนใหญ่มีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา ปลาในกลุ่มนี้สามารถอาศัยอยู่ได้ทั้งน้ำจืดและน้ำกร่อย (Nelson, 1994) ปัจจุบัน Oreochromis nilotica จัดว่ามีความสำคัญทางเศรษฐกิจอย่างสูง นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2508 เป็นต้นมา สามารถเลี้ยงได้ในทุกสภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเพาะเลี้ยงในระยะเวลา 8 เดือน–1 ปี สามารถโตได้ถึงขนาด 500 กรัม เนื้อปลามีรสชาติดี มีผู้นิยมบริโภคกันอย่างกว้างขวาง ขนาดที่ตลาดต้องการจะมีน้ำหนักตัวละ 200 - 300 กรัม ลักษณะของปลานิลคล้ายกับปลาหมอเทศ แต่ปลานิลมีริมฝีปากบนและร่างเสมอกัน ที่บริเวณแก้มมีเกล็ด 4 แถว ตามลำตัวมีลายพาดขวางจำนวน 9 – 10 แถบ

ปลานิลมีนิสัยชอบอยู่รวมกันเป็นฝูง (ยกเว้นเวลาสืบพันธุ์) มีความอดทนและปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี จากการศึกษาพบว่า ปลานิลทนต่อความเค็มได้ถึง 20 ppm ทนต่อค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) ได้ดี ในช่วง 6.5–8.3 และสามารถทนต่ออุณหภูมิได้ถึง 40 °C แต่ในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 10 °C พบว่าปลานิลปรับตัวและเจริญเติบโตได้ไม่ดีนักทั้งนี้เป็นเพราะถิ่นกำเนิดเดิมของปลาชนิดนี้อยู่ในเขตร้อน



ภาพที่ 25 ปลานิล (ชื่อวิทยาศาสตร์: Oreochromis nilotica อังกฤษ: Nile Tilapia)

ที่มา: กรมประมง (ม.ป.ป.)

ปลานิลเป็นปลาที่มีการเจริญเติบโตเร็ว เมื่อได้รับการเลี้ยงดูอย่างถูกต้องจะมีขนาดเฉลี่ย 500 กรัม ให้ผลผลิตไม่น้อยกว่า 500 กก./ไร่/ปี ในกรณีเลี้ยงในกระชังที่คุณภาพน้ำดี ให้อาหารสมบูรณ์ จะให้ผลผลิตมากกว่า 5 ก.ก./ลบ.ม. (Foreign Economic Cooperation Center, n.d.)

ตารางที่ 5 การเจริญเติบโตของปลานิลแต่ละช่วงอายุในประเทศไทย

อายุปลา(เดือน)	ความยาว(ซม.)	น้ำหนัก(กรัม)
3	10	30
6	20	200
9	25	350
12	30	500

ที่มา: กรมประมงเกษตรกลาง (ม.ป.ป.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนที่สอง : ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนัง

การเคลื่อนที่ของความร้อน เป็นการเคลื่อนที่ของอากาศเย็นกว่าไปยังอากาศที่ร้อนกว่า ความร้อนส่วนใหญ่บนโลกมาจากดวงอาทิตย์ เมื่อผนังได้รับความร้อนจากแสงแดด จะมีการนำความร้อน (Thermal Conduction) และการพาความร้อน (Thermal Convection) เข้าสู่ภายในอาคารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันตามชนิดมวลสารวัสดุ เช่น คุณสมบัติการสะท้อนความร้อน (Thermal Reflection) การดูดซับความร้อน (Thermal Absorption) การแผ่รังสีความร้อน (Thermal Radiation) คุณสมบัติการเป็นฉนวนความร้อน (Thermal Insulation) เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าว มีผลต่อภาระในการปรับอากาศของอาคารอีกด้วย (Jeffery Cook (ed.), 1989)



ภาพที่ 26 การแผ่รังสีลงมาที่วัสดุ ส่วนหนึ่งจะเกิดการสะท้อนกลับ การดูดกลืน การส่งผ่านและคายความร้อนออกตอนกลางคืน

ที่มา: Lechner, N. (2001:42)

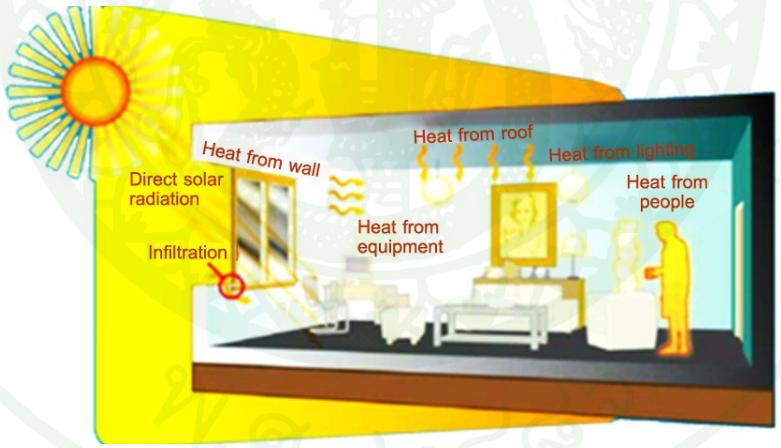
การรับความร้อนของผนังแต่ละด้านแตกต่างกันตามช่วงเวลาและช่วงเดือน โดยในประเทศไทย ผนังด้านทิศเหนือได้รับแสงแดดไม่มากนัก เพราะดวงอาทิตย์ส่วนใหญ่โคจรอ้อมไปทางทิศใต้ ทำให้ทิศใต้ได้รับแสงแดดตรงในตอนกลางวัน ส่วนในเดือนเมษาถึงสิงหาคม แนวรังสีดวงอาทิตย์ส่วนใหญ่มาจากด้านทิศเหนือ ส่วนด้านทิศตะวันออก ตะวันตกจะได้รับแสงแดดตรงสลับกันตามช่วงเวลาพระอาทิตย์ขึ้นและตกในตอนกลางวัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในช่วงเวลากลางวันความร้อนจะถ่ายเทสู่ชั้นบรรยากาศ (Night Sky Radiation) ทำให้อุณหภูมิของวัสดุผนังอาคารเย็นลงกว่าภายในอาคาร ทำให้มีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างภายนอกและภายในอาคาร มีผลทำให้อุณหภูมิภายในอาคารสูญเสียความร้อนให้กับวัสดุผนัง และอุณหภูมิภายในอาคารลดลง

2. คุณสมบัติของวัสดุที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (ม.ป.ป.) ภาระการปรับอากาศ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ภาระจากภายนอกซึ่งส่วนใหญ่มาจากแสงอาทิตย์ที่ผ่านผนังและหลังคา ดังนั้นผนังและหลังคาควรมีคุณสมบัติการเป็นฉนวนที่ดี และควรลดความร้อนจากอากาศรั่วและอากาศระบายให้ได้มากที่สุด อีกส่วนหนึ่งคือ ภาระจากภายในซึ่งมาจากคน แสงสว่าง และ อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ดังนั้นจึงต้องใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง และนำอุปกรณ์ที่ไม่จำเป็นออกนอกห้องปรับอากาศ โดยมีการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2538 ออกตามความในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ด้วยวิธีการดังนี้



ภาพที่ 27 ภาพรวมของภาระการทำความเย็น

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (ม.ป.ป.)

2.1 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity / k) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุต่าง ๆ ที่จะใช้ประกอบ การคำนวณเพื่อหาความนำความร้อนของวัสดุใดๆ ให้เป็นไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมจะได้ประกาศกำหนด สูตรการคำนวณ

$$\dot{q} = -kA\frac{dT}{dx}$$

Q = อัตราการถ่ายเทความร้อน, W

k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อน, W/(m.k)

A = พื้นที่ 1 หน่วยของวัตถุที่มีความหนา 1 หน่วยใน 1 หน่วยเวลา , m^2

$\frac{dT}{dx}$ = ผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (temperature gradient)

2.2 ความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance/ R-Value) คือค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุนั้นๆ ถ้าค่า R มาก แสดงถึงความเป็นฉนวนที่ดี สามารถต้านทานความร้อนที่จะถ่ายเทผ่านวัสดุได้มาก ค่านี้จะเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน กับความหนาของวัสดุ สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

R = $\triangle$x/k

R คือ ค่าความต้านทานความร้อน ($m^2 \cdot$ K/W)

$\triangle$x คือ ความหนาของวัสดุ (m)

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ W/(m.k)

2.3 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Coefficient of Transmission / U-Value) คือ ปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านเข้ามาในส่วนหนึ่งของอาคารคงที่โดยที่อุณหภูมิอากาศของทั้งสองด้านแตกต่างกัน มีหน่วยเป็น W/m^2K สมการต่อไปนี้

U = $1/\sum R$

$\sum R$ คือ ผลรวมของ R-Value, m^2K/W

2.4 ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat Capacity) คือ ความร้อนที่ทำให้สาร(วัตถุ)มวลหนึ่งหน่วยมีอุณหภูมิเปลี่ยนไปหนึ่งองศาเคลวิน หน่วยเป็น (J/kg-K) ได้จากสมการต่อไปนี้

$$c = \frac{\Delta Q}{m\Delta T}$$

C คือ ค่าความจุความร้อนของวัสดุ (J/kg-K)

m คือ มวลสารของวัสดุ (kg)

$\triangle$Q คือ ปริมาณความร้อนที่ให้ (kJ)

$\triangle$T คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่ต้องการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.5 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (Overall Thermal Transfer Value, OTTV) คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังเข้าสู่อาคาร กระทรวงพลังงาน (2554) คำนวณได้จาก

$OTTV_i = (U_W)(1\text{-}WWR)(TD_{eq}) + U_f(WWR)(\triangle T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR)$

$OTTV_i$ = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา (W/m^2)

U_W = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (W/m^2. C)

WWR = อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง/พื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

TD_{eq} = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (C)

U_f = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก/ผนังโปร่งแสง (W/m^2. C)

$\triangle T$ = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (C)

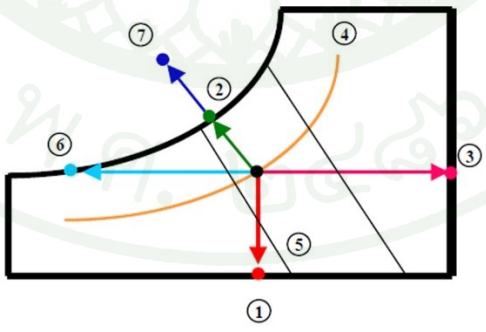
SHGC = ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสง/กระจก

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR = ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง (W/m^2)

3. แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychometric)

อากาศที่อยู่รอบตัวเราประกอบด้วยอากาศแห้งและไอน้ำซึ่งเรียกว่า อากาศชื้น การหาปริมาณไอน้ำหรือปริมาณความร้อนที่อยู่ในอากาศชื้นจะต้องใช้แผนภาพไซโครเมตริก เพื่อแสดงคุณสมบัติให้เข้าใจได้โดยง่าย



ภาพที่ 28 แผนภาพไซโครเมตริก

ที่มา: กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (ม.ป.ป.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แผนภาพไซโครเมตริกจะแสดงคุณสมบัติ ดังนี้

① อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature, db) คือ อุณหภูมิที่อ่านค่าจากเทอร์โมมิเตอร์ที่กระเปาะแห้ง

② อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature, wb) คือ อุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ที่กระเปาะหุ้มด้วยผ้าสำลีที่ชื้นโดยต้องมีกระแสลมพัดผ่านกระเปาะเปียกที่ความเร็วไม่น้อยกว่า 5 m/s

③ ปริมาณความชื้นในอากาศ (Humidity ratio) คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างไอน้ำในอากาศต่ออากาศแห้ง 1 kg

④ ความชื้นในอากาศ (Relative humidity, RH) คือ อัตราส่วนความดันระหว่างความดันของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศชื้น และความดันอิ่มตัวของไอน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน

⑤ ปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น (Specific volume, SV) คือปริมาตรของอากาศชื้นต่อ 1 กิโลกรัมของอากาศแห้ง

⑥ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point, DP) คือ อุณหภูมิที่ไอน้ำในอากาศเริ่มควบแน่นเป็นหยดน้ำเมื่ออากาศชื้นถูกทำให้เย็นลง

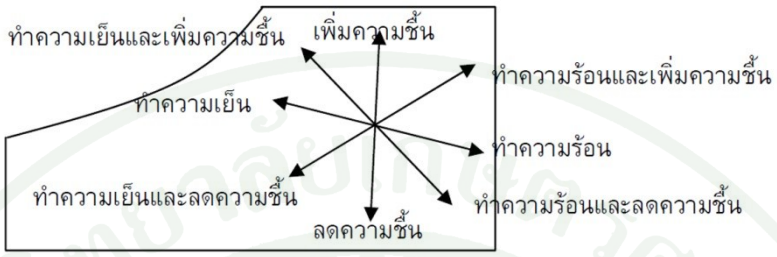
⑦ ความร้อนจำเพาะของอากาศ (Specific enthalpy, h) คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้อากาศแห้ง 1 กิโลกรัมและน้ำ X กิโลกรัม ร้อนขึ้นจาก 0 $^{\circ}$C เป็น t$^{\circ}$C และทำให้น้ำ X กิโลกรัม ระเหยกลายเป็นไอหมด

การปรับสภาวะอากาศมีอยู่ 8 กระบวนการ เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการของคนหรือการผลิตในอุตสาหกรรม

1) ทำให้อากาศร้อนขึ้นโดยความชื้นเท่าเดิม ทำโดยใช้ขดท่อความร้อน
2) ทำไห้อากาศร้อนขึ้นและเพิ่มความชื้น ทำโดยใช้ไอน้ำพ่นเข้าไปในอากาศ
3) ทำให้อากาศร้อนขึ้นและลดความชื้น ทำโดยใช้ขดท่อความเย็นเพื่อลดความชื้นแล้วให้ความร้อนโดยขดท่อความร้อน
4) ทำให้อากาศเย็นโดยความชื้นเท่าเดิม ทำโดยใช้ขดท่อความเย็นที่อุณหภูมิผิวท่อสูงกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (อุณหภูมิกลั่นตัว) ของความชื้นในอากาศ
5) ทำให้อากาศเย็นและเพิ่มความชื้น ทำโดยใช้น้ำเย็นพ่นไปในอากาศ
6) ทำให้อากาศเย็นและลดความชื้น ทำโดยใช้ขดท่อความเย็นที่อุณหภูมิผิวท่อต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (อุณหภูมิกลั่นตัว) ของความชื้นในอากาศ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7) เพิ่มความชื้น ทำโดยใช้น้ำที่มีอุณหภูมิเท่ากับกระเปาะแห้งของอากาศ
8) ลดความชื้น ทำโดยใช้สารดูดความชื้นหรือใช้ขดท่อความเย็น เพื่อทำให้ความชื้นกลั่นตัว แล้วจึงใช้ขดท่อความร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่



ภาพที่ 29 กระบวนการปรับสภาวะอากาศ

ที่มา: กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (ม.ป.ป.)

4. การออกแบบอุปกรณ์บังแดด

การออกแบบอุปกรณ์บังแดด ต้องคำนึงถึงสภาพที่ตั้งของพื้นที่ ซึ่งสัมพันธ์กับทิศทางการรับแดด จากการที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ตลอดปีทำให้การรับแดดรวมไปถึงปริมาณแสงแดดแตกต่างกันไปด้วย

4.1 มุมที่เกิดจากการโคจรของโลก มีดังนี้

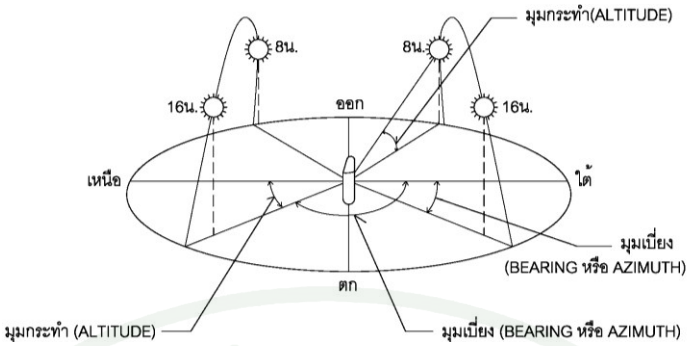
มุมไต่ (Angle of Declination) คือ มุมที่เกิดขึ้นเนื่องจากดวงอาทิตย์ทำมุมกับเส้นศูนย์สูตรหรือระนาบของเส้นศูนย์สูตร

มุมแนวตั้ง (Angle of Incidence) คือ มุมระหว่างดวงอาทิตย์กับแนวตั้งฉากผนัง

มุมกระทำ (Atitude Angle) คือ มุมที่ดวงอาทิตย์ทางแนวตั้งกับระนาบของฟ้า

มุมเบี่ยง (Azimuth or Bearing Angle) คือ มุมตามแนวระดับที่ดวงอาทิตย์เบี่ยงไปทางทิศเหนือและทิศใต้ ในแกนทิศตะวันออกและทิศตะวันตก (Azimuth ซีกโลกเหนือ) (สมสิทธิ์, 2541)

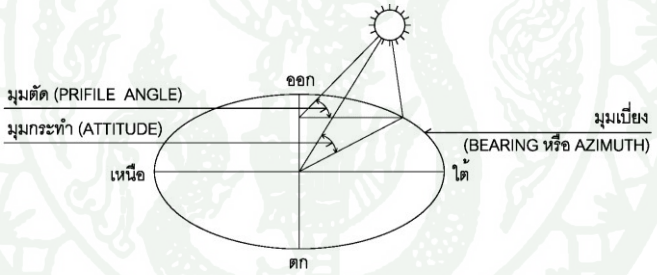
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 30 Sunpath Diagram

ที่มา: สมสิทธิ์ (2541)

มุมตัด (Profile Angle) คือ มุมที่ระดับของดวงอาทิตย์กระทำในระนาบที่ตั้งฉากกับผนังหรืออาคาร



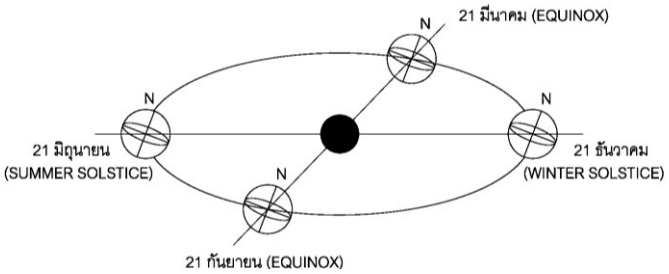
ภาพที่ 31 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์บริเวณซีกโลกเหนือ/อ้อมใต้

ที่มา: สมสิทธิ์ (2541)

4.2 ทิศทางของแสง

ทิศทางของแสงขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของโลกในวันที่ต่างกัน โดยวันที่ 21 ธันวาคม เรียกว่า Winter Solstice, วันที่ 21 กันยายน กับ 21 มีนาคม เรียกว่า Equinox และวันที่ 21 มิถุนายน เรียกว่า Summer Solstice

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 32 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามวันเวลาต่างๆ ของปี

ที่มา: โสภา (2554)

4.3 การโคจรของดวงอาทิตย์

ตำแหน่งการโคจรของดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนไปตามเวลาทุกๆ นาที ซึ่งสามารถจะแสดงให้เห็นได้ง่ายดังภาพ ลักษณะการโคจรเป็นรูปครึ่งวงกลมขนานกันหลายวงต่างกันไปตามวันและเดือน



ภาพที่ 33 ส่วนโค้งครึ่งวงกลมของ SKY VAULT กับตำแหน่งทางโคจรของดวงอาทิตย์

ที่มา : สมสิทธิ์ (2541)

จากการศึกษาลักษณะการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ในวันที่ 21 มีนาคม ดวงอาทิตย์อยู่ตรงเส้นศูนย์สูตร แล้วจึงโคจรอ้อมขึ้นไปทางซีกโลกเหนือ โดยจะอ้อมทางเหนือมากที่สุดในวันที่ 21 มิถุนายน แล้วโคจรกลับลงมาผ่านเส้นศูนย์สูตร ในวันที่ 21 กันยายนอีกครั้ง แล้วจึงโคจรอ้อมไปทางใต้และจะอยู่อ้อมไปทางทิศใต้มากที่สุดในวันที่ 21 ธันวาคม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วันที่ควรจะบังแดดอาคารคือวันที่ดวงอาทิตย์ทำมุมไปทางทิศนั้นๆ มากที่สุด สำหรับทิศเหนือ คือ วันที่ 21 มิถุนายน และ สำหรับทิศใต้ คือ วันที่ 21 ธันวาคม ส่วนทิศตะวันออกและตะวันตก ต้องพิจารณาตลอดทั้งปี สำหรับเวลาที่ต้องนำมาพิจารณาเป็นจุดวิกฤตในการออกแบบ ได้แก่ เวลาที่มีการสะสมความร้อนในอาคาร

4.4 รูปแบบของอุปกรณ์บังแดด

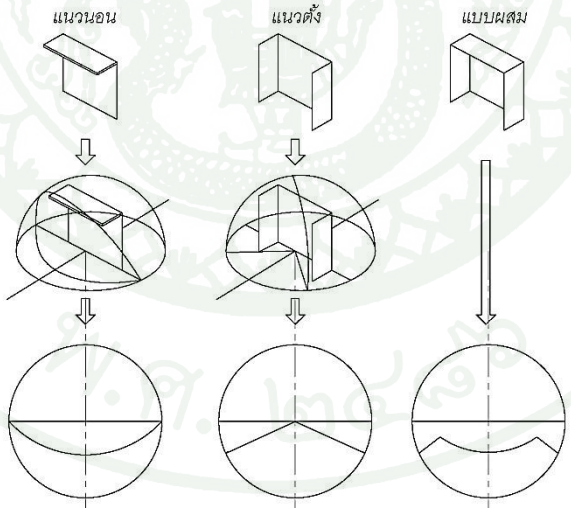
การออกแบบที่บังแดดแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ แบบภายนอกและแบบภายในอาคาร โดยทั่วไปอุปกรณ์ยังแดดภายนอกอาคารสามารถจำแนกออกเป็น 3 ลักษณะได้แก่

อุปกรณ์บังแดดแนวนอน ได้แก่ อุปกรณ์ที่ยื่นออกจากทางขอบด้านบนขอบหน้าต่าง

อุปกรณ์บังแดดแนวตั้ง ได้แก่ อุปกรณ์ที่ยื่นออกจากหน้าต่างทางขอบข้างหน้าต่าง

อุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคารทั้งสองชนิด อาจติดตั้งร่วมกัน เรียกว่า “แบบผสม”

ลักษณะของเงาที่เกิดจากอุปกรณ์บังแดด ลักษณะโดยทั่วไปของอุปกรณ์บังแดดในลักษณะต่างๆจะได้เงาแตกต่างกันตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ โดยทำให้เกิดเงาลักษณะดังนี้



ภาพที่ 34 รูปแบบของแผงกันแดดและลักษณะเงาของอุปกรณ์บังแดด

ที่มา: สมสิทธิ์ (2541)

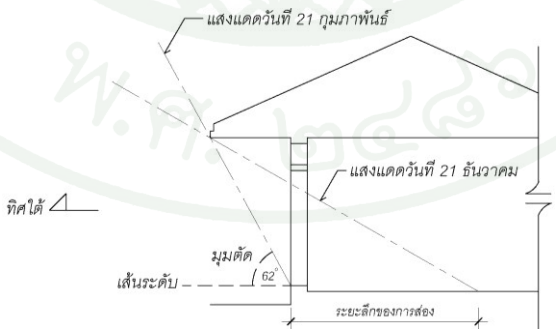
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.5 การออกแบบขนาดและตำแหน่งของที่กันแดด

การออกแบบที่กันแดด แบ่งลักษณะการออกแบบได้เป็น 2 อย่าง คือ การออกแบบที่กันแดดตามแนวนอน เช่น กันสาด ชายคา เป็นต้น และที่กันแดดแนวตั้ง ในกรณีที่ไม่สามารถใช้ที่กันแดดแนวนอนหรือแนวตั้งแต่เพียงอย่างเดียว (ทั้งนี้โดยพิจารณาจากมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำว่าไม่วิกฤตจนเกินไป จนการออกแบบกระทำไม่ได้) ซึ่งในกรณีหลังนี้จะต้องใช้วิธีการออกแบบผสมระหว่าง ที่กันแดดตามแนวตั้งกับตามแนวนอน

4.5.1 การออกแบบที่กันแดดตามแนวนอน หรือแนวระดับ (Overhead Sunchades) คือ การออกแบบกันสาดหรือชายคา ให้สามารถป้องกันแสงแดดส่องเข้ามาผ่านขอบบนของประตูหรือหน้าต่าง ซึ่งประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับขนาดและตำแหน่งของที่กันแดด การหาความยาวของที่บังแดด จะต้องได้ค่ามุมของมุมตัด (Profile Angle) จากการคำนวณ โดยใช้ Sunchart Diagram ของประเทศที่ตั้งอาคารเสียก่อน โดยจะต้องรู้ว่าจุดวิกฤติในการออกแบบอยู่ที่วันและเวลาใด ที่จะใช้อาคารแล้วเอาค่ามุมตัด (Profile Angle) มาหาความยาว

เช่นในตัวอย่าง การอ่านค่ามุมของดวงอาทิตย์ที่ 14° N ที่ตั้งของประเทศไทย อาคารหันหน้าไปทางทิศใต้ เวลา 9.20 น. วันที่ 21 กุมภาพันธ์ ได้ค่ามุมตัด (Profile Angle) เท่ากับ 62° ส่วนในวันที่ 21 ธันวาคม จะต้องใช้ค่ามุมตัด 40° ดังนั้นถ้าหากว่าผู้ออกแบบต้องการให้ห้องสามารถกันแสงแดดได้เกือบตลอดวันและตลอดปี จะต้องใช้ค่ามุมตัด 40° ไปหาความยาวในการยื่นชายคา ดังรูปตัดขวางของอาคารซึ่งออกแบบชายคายื่นยาวออกไปในระยะปกติ เท่ากับ 1.2 เมตร



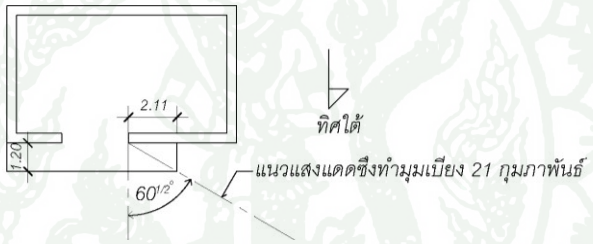
ภาพที่ 35 รูปตัดขวางของอาคารซึ่งออกแบบชายคายื่นยาวเพื่อบังแดด

ที่มา: สมสิทธิ์ (2541)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.5.2 การออกแบบที่กันแดดตามแนวนอน หรือแนวระดับ (Overhead Sunshades) คือ การออกแบบกันสาดหรือชายคา ให้สามารถป้องกันแสงแดดส่องเข้ามาผ่านขอบบนของประตู หรือหน้าต่าง ซึ่งประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับขนาดและตำแหน่งของที่กันแดด การหาความกว้างของที่บังแดด จะต้องได้ค่ามุมของมุมเบี่ยง (Bearing Angle) จากการคำนวณโดยใช้ Sunchart Diagram ของประเทศที่ตั้งอาคารเสียก่อน โดยจะต้องรู้ว่าจุดวิกฤติในการออกแบบอยู่ที่วันและเวลาใด ที่จะใช้อาคารแล้วเอาค่ามุมของมุมเบี่ยง (Bearing Angle) มาหาค่าความกว้าง

ในตัวอย่าง การอ่านค่ามุมของดวงอาทิตย์ ที่เส้นรุ้ง 14 ° N ของประเทศไทย อาคารหันหน้าไปทางทิศใต้ มีชายคายื่นจากผนังอาคาร 1.2 เมตร เวลา 9.20 น. วันที่ 21 กุมภาพันธ์ มีค่าของมุมเบี่ยง (Bearing Angle) ในเวลาดังกล่าวเท่ากับ 60 ½ ° ทางตะวันออกของทิศใต้ จะได้ความยาวของการยื่นชายคาเลยขอบข้างหน้าต่างออกไปทางตะวันออกของทิศใต้ เท่ากับ 2.11 เมตร



ภาพที่ 36 ผังพื้นอาคาร ซึ่งมีเส้นประแสดงแนวยื่นของชายคาหรือแผงบังแดด

ที่มา: สมสิทธิ์ (2541: 84)

5. คุณสมบัติของพืชพรรณที่มีผลต่ออุณหภูมิของสภาพแวดล้อม

สุดสวาสดิ์ (2545) การใช้พืชพรรณประกอบอาคารมีประโยชน์ด้านการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารจากร่มเงาของพุ่มไม้ เนื่องจากคุณสมบัติดังนี้

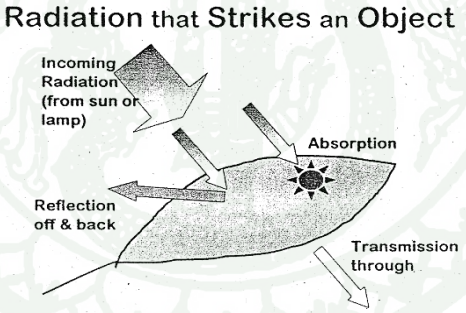
5.1 การดูดซับแสงอาทิตย์ (Solar Absorption) ใบไม้มีค่าการดูดซับแสงแดดจากดวงอาทิตย์ 40-80% ซึ่งแสงอาทิตย์ที่ใบไม้ดูดซับไปนั้น บางส่วนจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) และ การคายระเหยน้ำ (Evapotranspiration) ซึ่งผลจากการที่พืชคายน้ำออกมานั้น จะช่วยลดปริมาณความร้อนให้กับสภาพแวดล้อมได้ ระดับของการดูดซับแสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับขนาดของพืช และความหนาแน่นของพุ่มใบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.2 การสะท้อนแสงอาทิตย์ (Solar Reflection) ใบไม้มีค่าการสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ 10-20% จึงช่วยลดอุณหภูมิบริเวณโดยรอบให้ต่ำลง การสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์โดยพืชพรรณขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความยาวคลื่นแสง ชนิดของใบไม้ อายุของใบไม้ ระดับความสูงต่ำของใบไม้ ตำแหน่งที่ได้รับแสงแดด ตำแหน่งของใบไม้ในกลุ่มใบ ความแห้งแล้งของสถานที่ตั้ง ความสมบูรณ์ของที่ตั้ง ฤดูกาล และระดับผิวดินทั่วไป

5.3 การแผ่รังสีความร้อน (Thermal Radiation) พืชจะดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์ในเวลากลางวัน และแผ่รังสีความร้อนออกจากใบไม้ในเวลากลางคืน จึงทำให้อุณหภูมิของพืชลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิโดยรอบในเวลากลางคืน อุณหภูมิบริเวณที่มีต้นไม้จะต่ำกว่าบริเวณที่ไม่มีต้นไม้ เพราะพืชสามารถลดอุณหภูมิโดยการสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ และดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์ รวมทั้งเพิ่มปริมาณไอน้ำและความชื้นผ่านรูใบ

5.4 การนำความร้อน (Conductance) พืชมีการนำความร้อนที่น้อยกว่าวัสดุอื่นๆ ที่มนุษย์ได้สังเคราะห์ขึ้น เช่น คอนกรีต อิฐ เหล็ก เป็นต้น ซึ่งถือว่าพืชเป็นฉนวนความร้อนที่ดี



ภาพที่ 37 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน

ที่มา: พัชรียา (ม.ป.ป.)

นอกจากพืชสามารถช่วยลดความร้อนเข้าสู่อาคารแล้วยังสามารถช่วยดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้คุณภาพอากาศดีขึ้น โดยระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมแก่การอยู่อาศัยของมนุษย์ภายในอาคารควรมีค่าระหว่าง 800–1,000 ppm ตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 62-1989

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนที่สาม : กฎหมายที่เกี่ยวข้อง

1. ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2522, กฎกระทรวง ฉบับที่ 6 / 2527, ว.ส.ท.

หน่วยน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) สำหรับประเภทและส่วนต่างๆ ของอาคารนอกเหนือจากน้ำหนักของตัวอาคารหรือเครื่องจักรหรืออุปกรณ์อย่างอื่น ต้องมีค่าไม่น้อยกว่าอัตราที่กำหนดอาคารในขอบเขตการวิจัยตรงกับประเภทการใช้อาคาร ข้อที่ 4.ห้องแถว ตึกแถวที่ใช้พักอาศัย อาคารชุด หอพัก โรงแรมและห้องคนไข้พิเศษของโรงพยาบาล กำหนดน้ำหนักบรรทุกจร ไม่น้อยกว่า 200 กก./ ตร.ม.

2. กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552

หมวด 2 มาตรฐานและหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคาร, ส่วนที่ 1 ระบบกรอบอาคาร, ข้อ 3 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร

ข้อ (1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศในแต่ละประเภทของอาคารต้องมีค่าไม่เกินดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6 ค่ามาตรฐานการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารแต่ละประเภท

ประเภทอาคาร	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (w/m^2)
(ก) สถานศึกษา สำนักงาน	50
(ข) โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	40
(ค) โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	30

ที่มา: กฎกระทรวง (2552)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศ ให้คำนวณจากค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารแต่ละด้านรวมกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย

เป็นเกณฑ์ในการประเมินสำหรับก่อสร้างและปรับปรุงโครงการใหม่ พ.ศ. 2553, โดยสถาบันอาคารเขียวไทย TREES-NC Version 1 หัวข้อที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

3.1 หัวข้อ Site and Landscape (SL), SL5 การลดปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมืองจากการพัฒนาโครงการ ได้แก่ SL 5.1 มีการจัดสวนบนหลังคาหรือสวนแนวตั้ง (2 คะแนน)

3.2 หัวข้อ Water Conservation (WC), WC 1 การประหยัดน้ำและการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ได้แก่ WC 1.3 การประหยัดน้ำรวมร้อยละ 35 หรือการบริหารจัดการน้ำและการใช้น้ำฝน (2 คะแนน)

3.3 หัวข้อ Materials and Resources (MR), MR 6 วัสดุที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ ได้แก่ MR 6.2 ใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมตามฉลากเขียวและฉลากคาร์บอนของไทยไม่น้อยกว่าร้อยละ 10-20 ของมูลค่าวัสดุ (2 คะแนน) MR 6.3 ใช้วัสดุที่มีการเผยแพร่ข้อมูลความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของมูลค่าวัสดุก่อสร้างทั้งหมด (1 คะแนน)

3.4 หัวข้อ Indoor Environment Quality (IE), IE 1 การลดผลกระทบมลภาวะ ได้แก่ IE 1.3 ควบคุมแหล่งมลพิษจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร(1 คะแนน), IE 1.5 ประสิทธิภาพการกรองอากาศผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน (1 คะแนน)

การรับรองอาคารมีการให้รางวัลโดยแบ่งตามช่วงคะแนนดังนี้ PLATINUM 61 คะแนนขึ้นไป, GOLD 46-60 คะแนน, SILVER 38-45 คะแนน, CERTIFIED 30-37 คะแนน

ส่วนที่สี่ : งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการใช้พืชพรรณเพื่อการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร และการออกแบบระบบอะควาโพนิกส์ ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. ประสิทธิภาพของผนังไม้เลื้อยในการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร

วิชัย และ อวิรุทธ์ (2550) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการใช้ผนังไม้เลื้อยเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านผนังอาคาร โดยทำการศึกษาพื้นที่ใบปกคลุมของไม้เลื้อยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ระยะห่างระหว่างแผงกันแดดไม้เลื้อยกับผนังอาคารที่มีผลต่อการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร และศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันความร้อนระหว่างแผงกันแดดไม้เลื้อยกับฉนวนป้องกันความร้อน

ทดลองโดยเริ่มจากการคัดเลือกพันธุ์ไม้เลื้อย 9 สายพันธุ์ (ม่านบาหลี สร้อยอินทนิล มะลิวัลย์ สายน้ำผึ้ง สร้อยฟ้า ไก่ฟ้าพญาลอ ขจร พวงทอง และจันทร์กระจ่างฟ้า) โดยอาศัยเกณฑ์อัตราการเจริญเติบโต พื้นที่พุ่มใบ และความคงทนของใบ และเลือกม่านบาหลีมาทดลอง เนื่องจากมีคุณสมบัติครบถ้วนมากที่สุด ในการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ 1) การศึกษาผลของพื้นที่ใบปกคลุมของม่านบาหลีที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร 2) ระยะห่างระหว่างแผงกันแดดม่านบาหลีและผนังอาคารที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร 3) การเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันความร้อนระหว่างแผงกันแดดม่านบาหลีและฉนวนป้องกันความร้อน โดยปลูกม่านบาหลีปกคลุมผนังอาคารชนิดก่ออิฐฉาบปูนหนา 10 ซม. ด้านทิศตะวันตกของกล่องขนาด 0.90 x 0.90 x 0.90 ม. และด้านที่เหลือเป็นโฟมโพลีสไตรีนหนา 2 นิ้ว (ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ ตร.ฟุต) เก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในกล่องโดยใช้เครื่องมือ Data Logger และสายวัดอุณหภูมิเทอร์โมคอปเปิล แบบ K

ผลการทดลองพบว่า สายพันธุ์ม่านบาหลีที่มีพื้นที่ใบปกคลุมมากขึ้นจะลดการถ่ายเทความร้อนสู่ภายในได้มากขึ้นในตอนกลางวัน โดยกล่องที่มีใบผนังไม้เลื้อยม่านบาหลีปกคลุม 87.5% มีอุณหภูมิภายในกล่องต่ำสุด คือ 35.1°C ซึ่งลดอุณหภูมิได้มากกว่า กล่องที่มีพื้นที่ใบปกคลุม 64% และ 37% ถึง 2°C และ 3.4°C ส่วนในเวลากลางคืนถึงรุ่งเช้า กล่องทดลองทั้ง 3 กล่องมีอุณหภูมิภายในกล่องใกล้เคียงกัน และสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก 3-4°C โดยกล่องทดลองที่มีพื้นที่ใบปกคลุม 87.5% มีอุณหภูมิสูงที่สุด ดังนั้นกล่องที่มีพื้นที่ปกคลุมมากมีประสิทธิภาพลดการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุดในช่วงเวลากลางวัน แต่ในเวลากลางคืนพื้นที่ใบปกคลุมที่มากทำให้การถ่ายเทความร้อนกลับสู่ท้องฟ้า เป็นไปได้ยาก ทำให้กล่องทดลองที่มีพื้นที่ใบปกคลุมมาก มีอุณหภูมิภายในกล่องสูงกว่ากล่องทดลองที่มีพื้นที่ใบปกคลุมน้อยกว่า จึงเลือกผนังไม้เลื้อยม่านบาหลีที่มีพื้นที่ปกคลุม 87.5% มาใช้ในการทดลองที่ 2

ผลการทดลองที่ 2 ทดลองระยะห่างของแผงไม้เลื้อยจากผนังที่ระยะ 0 ซ.ม. กับ 15 ซม. พบว่ามีอุณหภูมิภายในกล่องที่ใกล้เคียงกัน คือ 31.3°C และ 31.2°C ตามลำดับ ส่วนระยะ 30 ซม. มีค่าอุณหภูมิภายในกล่องสูงสุดคือ 32.5°C ในเวลากลางคืน กล่องทดลองทั้ง 3 กล่องมีอุณหภูมิภายในกล่องใกล้เคียงกัน คือ 23.1°C และ 23.3°C แต่หากพิจารณาเรื่องความชื้นสัมพัทธ์ ระยะ 0 ซม. มีค่าความชื้นสัมพัทธ์มากที่สุด (60%) อาจมีผลทำให้เกิดเชื้อราบนผนังอาคารได้ ดังนั้นระยะที่ 15 ซม.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จึงเป็นระยะที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งแผงกันแดดไม้เลื้อยกับอาคาร และเลือกแผงไม้เลื้อยม่านบาหลีพื้นที่ใบปกคลุม 87.5% ระยะห่างจากผนัง 15 ซม. มาใช้ในการทดลองที่ 3

ผลการทดลองที่ 3 ทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนระหว่างแผงบังแดดไม้เลื้อยที่เลือกกับฉนวนกันความร้อนและกล่องที่ไม่มีสิ่งใดปกคลุม พบว่าในช่วงเวลากลางวัน ฉนวนป้องกันความร้อนมีค่าอุณหภูมิภายในกล่องต่ำสุด คือ 30.9°C รองลงมาคือกล่องทดลองที่มีแผงบังแดดม่านบาหลี คือ 33.3°C และ กล่องที่ไม่มีสิ่งใดปกคลุม คือ 38.5°C ส่วนในเวลากลางคืน พบว่า ฉนวนป้องกันความร้อนจะเป็นตัวปิดกั้นการถ่ายเทความร้อนกลับคืนสู่ท้องฟ้า จึงทำให้กล่องทดลองที่มีฉนวนกันความร้อนมีอุณหภูมิภายในสูงกว่ากล่องที่มีแผงกันแดดม่านบาหลี และกล่องที่ไม่มีสิ่งปกคลุม เท่ากับ 2.7°C และ 3.2°C

2. การลดการถ่ายเทความร้อนทางหลังคาโดยใช้การปลูกผักแบบไฮโดรโปนิกส์

กนกพร (2553) นำเสนอการทดสอบประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนของสวนหลังคาไฮโดรโปนิกส์ แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 คือการเลือกชนิดพืชผัก ได้แก่ ผักกาดหอม ผักโขม และผักบุ้งจีน พบว่า ผักบุ้งจีน มีอัตราการเติบโตที่รวดเร็ว เติบโตได้ดีในสภาวะที่มีแสงแดดจัด และให้ร่มเงาได้ดี จึงนามาใช้ในการทดลองต่อไป

การทดลองที่ 2-1 คือ การศึกษาประสิทธิภาพการลดความร้อนจากการติดตั้งชั้นต่าง ๆ หลังคาไฮโดรโปนิกส์โดยเปรียบเทียบระหว่าง การติดตั้งระบบถึงชั้นพลาสติกรองพื้นหลังคา การติดตั้งระบบถึงชั้นน้ำ การติดตั้งระบบถึงชั้นแผ่นโฟม และกล่องที่ไม่มีสิ่งใดปกคลุม พบว่า การติดตั้งระบบถึงชั้นพลาสติก ติดตั้งระบบถึงชั้นน้ำ ติดตั้งระบบถึงชั้นแผ่นโฟม และ กล่องที่ไม่มีสิ่งใดปกคลุม มีค่าอุณหภูมิอากาศสูงสุดเฉลี่ยภายในกล่องทดลองที่ 37.92°C 33.37°C 31.10°C และ 38.01°C ตามลาดับ ดังนั้นการติดตั้งระบบถึงชั้นแผ่นโฟมมีประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด

การทดลองที่ 2-2 คือ การศึกษาการติดตั้งสวนหลังคาไฮโดรโปนิกส์โดยเปรียบเทียบระหว่าง การติดตั้งระบบถึงชั้นพืชผัก การติดตั้งระบบถึงชั้นตาข่ายกรองแสง และการยกระดับสวนหลังคาไฮโดรโปนิกส์จากหลังคาคอนกรีตเปล่า 10 เซนติเมตร พบว่า ค่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยในเวลา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กลางวันที่ 33.36°C 32.43°C 33.13°C และ 41.89°C ตามลาดับ ดังนั้นการติดตั้งระบบถึงชั้นตาข่ายกรองแสงมีประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด

การทดลองที่ 3 หากนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารโดยใช้หลังคาระแนง เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นหลังคาตาข่ายกรองแสงและกล่องที่ไม่มีสิ่งใดปกคลุมจะมีค่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยในเวลากลางวันที่ 31.39°C 30.73°C และ 39.63°C ตามลาดับ การติดตั้งระบบแบบใช้หลังคาตาข่ายกรองแสง มีความสามารถลดความร้อนได้มากกว่า การติดตั้งระบบแบบใช้หลังคาระแนง

จากการทดลองสรุปได้ว่า การใช้สวนหลังคาไฮโดรโปนิกส์สามารถลดความร้อนภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดช่วงเวลาการติดตั้งถึงแม้ว่าพืชผักยังไม่ปกคลุมเต็มที่ แต่การลดความร้อนในอากาศจะมีประสิทธิภาพมากตอนที่พืชผักปกคลุมเต็มที่เท่านั้น ดังนั้นสวนหลังคาไฮโดรโปนิกส์สามารถนาไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานได้

3. ประสิทธิผลของไม้เลื้อยที่มีผลต่อการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผนังอาคาร

วรวรรณ (2552) ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผนังอาคาร โดยไม้เลื้อยที่มีขนาดใบต่างกัน 3 ขนาด ใบเล็ก (สายน้ำผึ้ง) ใบกลาง (พวงแสด) และใบขนาดใหญ่ (ใบระบาด) โดยมีพื้นที่ใบ ประมาณ 4 ตร.ซม. 16 ตร.ซ.ม. และ 96 ตร.ซม. และกับชนิดผนังที่มีมวลสารน้อย ปานกลาง และมาก ที่มีความต้านทานความร้อนสูง ทาการทดสอบในอาคารชั้นเดียวที่มีขนาด กว้าง 4.20 ม. ยาว 6.30 ม. สูง 2.50 ม.โดยแบ่งอาคารเป็นห้องทดลองขนาด 1 x 2 ม.จำนวน 4 ห้อง โดยที่ห้องทดลองทั้ง 4 ห้องป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารทางด้านทิศเหนือ ทิศใต้ และทิศตะวันออก ให้เฉพาะทิศตะวันตกเท่านั้นที่สามารถรับความร้อนจากภายนอกได้ซึ่งห้องทดลองทั้ง 4 จะได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมใกล้เคียงและไม่มีการปรับอากาศ กำหนดให้ 3 ห้องทดลองปลูกไม้เลื้อยใบขนาดเล็ก ใบขนาดกลาง และ ใบขนาดใหญ่ ปกคลุมผนังภายนอกด้านทิศตะวันตก ห้องทดลองอีกห้องไม่มีไม้เลื้อยปกคลุม ทำให้เกิดรูปแบบของการทดสอบทั้งหมด 6 ชุดการทดสอบ เก็บข้อมูลทุกๆ 30 นาทีเป็นเวลาติดต่อกัน 72 ชั่วโมงต่อ 1 การทดลอง วิเคราะห์ประสิทธิผลการทดลองในแต่ละชุดการทดลองใช้กระบวนการพิจารณาจากผลต่างขององศาชั่วโมงของอุณหภูมิสะสม (degree hour) โดยทุกจุดที่เก็บข้อมูลเก็บที่ฐาน 18°C เพื่อวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบประสิทธิผลของทุกชุดการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปได้ว่า ไม้เลื้อยทุกขนาดใบมีประสิทธิภาพช่วยในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้ดี แต่ไม้เลื้อยใบขนาดกลางมีประสิทธิผลในการลดความร้อนได้ดีที่สุด ส่วนผนังที่มีแนวโน้มได้รับประโยชน์จากประสิทธิผลของไม้เลื้อยมากที่สุดจนน้อยที่สุดสามารถเรียงได้ดังนี้

1. ผนังมวลเบา (ซีเมนต์บอร์ด)
2. ผนังมวลปานกลาง (ก่ออิฐฉาบปูน)
3. ผนังมวลมาก (ก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้น)
4. ผนังมวลเบา + ฉนวน (ซีเมนต์บอร์ด+ฉนวน)
5. ผนังมวลปานกลาง + ฉนวน (ก่ออิฐฉาบปูน+ฉนวน)
6. ผนังมวลมาก + ฉนวน (ก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้น+ฉนวน)

กล่าวได้ว่าผนังที่จะได้ประโยชน์จากไม้เลื้อยมากที่สุดคือผนังที่มีค่า U-value สูง ค่า R-value ต่ำ หรือผนังที่มีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนสูง มีค่าการต้านทานความร้อนต่ำ

4. สมรรถนะการป้องกันความร้อนของแผงกันแดดไม้เลื้อยในสภาพแวดล้อมเขตร้อนชื้น

พาสินี และ ชนิกานต์ (2551 : 50-64) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการใช้ต้นไม้ประกอบอาคาร โดยมุ่งเน้นที่ไม้เลื้อย เพื่อใช้เป็นแผงกันแดดให้แก่อาคารสำนักงานหรืออาคารพักอาศัยความสูงปานกลาง ที่ใช้การระบายอากาศธรรมชาติ โดยทำการทดสอบคุณสมบัติในการลดการถ่ายเทความร้อน ติดตามผลตลอดการเจริญเติบโตในช่วงเวลา 3 เดือน เปรียบเทียบกับอาคารที่ใช้แผงกันแดดแบบทั่วไป โดยใช้สถานที่อาคารจริง การเลือกต้นไม้ และการออกแบบวิธีการปลูกที่เหมาะสม ได้นำเสนอในงานวิจัยด้วย เพื่อประโยชน์แก่การนำไปใช้งานจริง

ผลการทดลองในขั้นต้น พบว่า ในช่วงที่อุณหภูมิสูงสุดในตอนบ่าย อุณหภูมิภายในห้องที่ใช้แผงกันแดดไม้เลื้อย ต่ำกว่าอากาศภายนอกอยู่ 6.84 °C และต่ำกว่าอุณหภูมิภายในห้องที่ใช้กันสาดเหล็กเคลือบรีดลอนสำเร็จรูปยื่น 1.50 ม. อยู่ 2.92 °C

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 38 แผงกันแดดไม้เลื้อยสร้อยอินทนิลที่ปลูก ทางทิศตะวันตกของอาคาร

ที่มา: พาสินี และ ชนิกานต์ (2551ก)

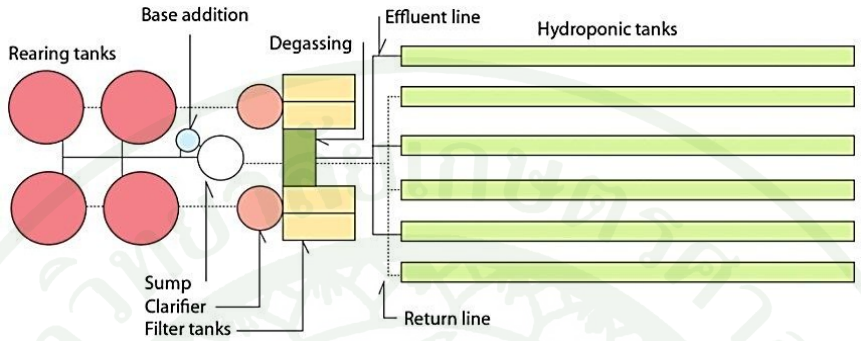
งานวิจัย ข้อที่ 1, 2, 3 และ 4 เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้พืชพรรณเพื่อการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร ส่วนงานวิจัยข้อที่ 5 และ 6 เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบระบบอะควาโพนิกส์ ดังนี้

5. University of the Virgin Islands Agricultural Experiment Station St. Croix, U.S.

James *et.al.* (2006) อะควาโพนิกส์ระบบ UVI ขนาดใหญ่เพื่อการค้า ให้ผลผลิตปลานิลและปลานิลแดงต่อเนื่องนาน 4 ปี ระหว่างนั้น ได้ให้ผลผลิตเป็นกระเพราและกระเจี๊ยบเขียว ได้ผลผลิตปลานิลทุกๆ 6 สัปดาห์ จาก 1 ใน 4 ของแท้งค์น้ำขนาด 7.8 ลบ.ม. อัตราส่วน ปลานิลและปลาทับทิม 77 และ 154 ตัว/ลบ.ม. ระหว่างช่วง 20 รอบการเก็บผลผลิตสุดท้าย ผลผลิตของปลานิลเฉลี่ย 61.5 และ 70.7 กก./ลบ.ม. นั่นหมายความว่า ได้ผลผลิตปลานิลหนัก 813.8 กรัม และ ปลานิลแดง 512.5 กรัม ปลานิลมีอัตราการอยู่รอดสูง (98.3%) และมีอัตราการเจริญเติบโตน้อยกว่าปลานิลแดง (1.7) ปลานิลแดงมีอัตราการอยู่รอด (89.9% และ1.8 โดยประมาณ) ผลผลิตต่อปีอยู่ที่ 4.16 mt ต่อปลานิลและ 4.78 mt ต่อปลานิลแดง ผลผลิตแต่ละรุ่นของกระเพราใน ระบบอะควาโพนิกส์นำไปเปรียบเทียบกับกระเพราที่ปลูกในดิน ผลผลิตต่อปีเป็น 25.0, 23.4 และ 7.7 กก./ลบ.ม. ใน Batch ใน Straggered และ ไร่ (Field) โดยประมาณ ผลผลิตต่อปีของกระเพราในรุ่น เป็น 5.34 mt และ 5.01 mt อย่างไรก็ตามผลผลิตต่อรุ่นคงที่เช่นเดียวกับผลผลิตปลาที่ได้รับเนื่องจากการขาดแคลนธาตุอาหารบางชนิด สำหรับกระเจี๊ยบเขียวเปรียบเทียบผลผลิตกับผลผลิต 3 ที่ (Clemson, Annoe Okeley และ North South) และ พืชที่ความหนาแน่นต่างกัน 2 ระดับ (2.7 และ 4.0 ต้น/ลบ.ม.) ในระบบอะควาโพนิกส์ ที่ Clemson วัดที่ไร่ซึ่งมีความหนาแน่นพืชต่ำ ผลผลิตที่ได้สูงที่สุดอยู่ที่ North South และมีความหนาแน่นสูง ผลผลิตต่อปี ของ North South เป็น 14.37 กก./ลบ.ม. และ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.86 mt ต่อระบบ ไร่กระเจี๊ยบ พืชโตค่อนข้างช้า และให้ผลผลิตเพียง 0.15 กก./ตร.ม. ระบบอะควา-โพนิกส์ให้ผลค่อนข้างยั่งยืนตลอดช่วงเวลา ผลผลิตกระเพราและกระเจี๊ยบเขียวแสดงแนวโน้มว่าให้ผลผลิตดีกว่าผลผลิตในไร่



ภาพที่ 39 ระบบ UVI Aquaponic System

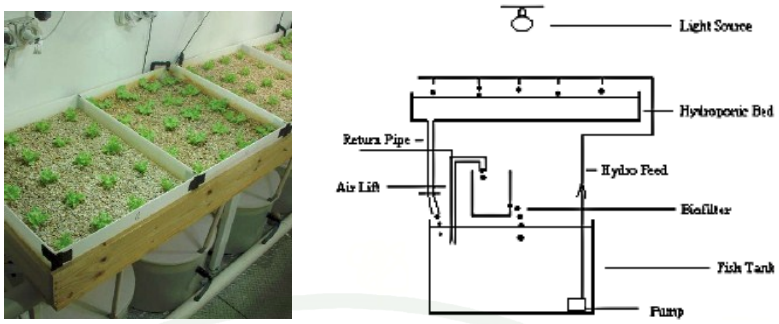
ที่มา: James *et.al.*(n.d.)

6. Aquaponics Reserch RMIT University, Melbourne Australia

Wilson Andrew Lennard (n.d.) ระบบอะควาโพนิกส์ของ Wilson เป็นการสร้างรางปลูกเหนืออ่างเลี้ยงปลา โดยเลือกปลา Murray Cod และปลาพื้นเมืองของออสเตรเลียซึ่งไม่มีปลานิล โดยใช้พืช คือ ผักผักกาดหอม, ผักสลัด (Lettuce)

ในการทดลองที่ 1 พบว่า ปลา Murray Cod โตได้รวดเร็วและให้ผลผลิตหมุนเวียน ยิ่งให้อาหารที่มีโปรตีนมากยิ่งได้ค่าไนเตรทมาก ปลาที่อัตราการแลกเนื้อ (FCR) เป็น 1.0 มีประสิทธิภาพมากกว่า 2.0 เนื่องจากมีการขับถ่ายน้อยลงแต่กลับเพิ่มน้ำหนัก แต่ถ้าให้อาหารปลาเพื่อให้มีอัตราการแลกเนื้อน้อยกว่า 1.0 ก็จะขับถ่ายของเสียน้อยเช่นกัน ดังนั้นจึงต้องศึกษาปัจจัยอื่นเพิ่มด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 40 แนวคิดระบบอะควาโพนิกส์ ของ Wilson Andrew Lennard

ที่มา: Wilson Andrew Lennard (n.d.)

ในการทดลองที่ 2 ทดลองในระบบที่มีกรวดเป็นวัสดุปลูกและแผ่นกรองหมุนเวียนในระบบ 2 แบบ คือแบบตั้งเวลาปั๊มน้ำ กับการไหลเวียนของน้ำตลอดเวลาด้วยอัตรา 250 LPH พบว่าการไหลเวียนของน้ำตลอดเวลาได้ผลผลิตน้ำหนักปลาสูงกว่า เฉลี่ย 36.7 กรัม ได้ผลผลิตพืชมากกว่า 16.53 กรัม/ ต้น เมื่อเทียบกับแบบตั้งเวลาปั๊มน้ำ

ในการทดลองที่ 3 ทดลองเปรียบเทียบการปลูก ในกระบะกรวดเป็นวัสดุปลูกที่น้ำไหลตลอดเวลา กับการปลูกแบบแพลอยน้ำ และการปลูกในระบบ NFT ที่น้ำไหลต่อเนื่อง พบว่ากระบะกรวดเป็นวัสดุปลูกที่ตั้งเวลาเครื่องสูบน้ำ ผลพบว่า กระบะที่ปลูกด้วยกรวด กับ ที่ปลูกในแพลอยน้ำ ให้ผลผลิตพืชใกล้เคียงกันมากคือ 131.97 กรัม/ต้น และ 116.91 กรัม/ต้น ส่วนระบบ NFT ได้น้อยกว่าประมาณ 20% คือ 107.95 กรัม/ต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 สรุปรายละเอียด งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

No.	งานวิจัย	ผู้วิจัย	รายละเอียด
1	ประสิทธิภาพของผนังไม้เลื้อยในการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร	วิชัย เหล่าพานิชสกุล และอวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ	เพื่อศึกษาการใช้ผนังไม้เลื้อยเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร โดยสร้างแผงไม้เลื้อยร่วมกับการใช้กล่องทดลอง ซึ่งหันกล่องทดลองและแผงกันแดดไปทิศตะวันตก
2	การลดการถ่ายเทความร้อนทางหลังคาโดยใช้การปลูกผักแบบไฮโดรโปนิกส์	กนกพร จัดเจน	เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนของสวนหลังคาไฮโดรโปนิกส์ โดยการทดลองปลูกและคัดเลือกพืชที่เติบโตได้ดีที่สุด จากนั้นจึงติดตั้งกระบะปลูกซึ่งมีระดับน้ำแตกต่างกัน มีสิ่งปกคลุม บนหลังคา
3	ประสิทธิผลของไม้เลื้อยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผนังอาคาร	วรวรรณ เนตรพระ	ศึกษาการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผนังอาคาร โดยไม้เลื้อยที่มีขนาดใบต่างกัน 3 ขนาด ใบเล็ก ใบกลาง และใบขนาดใหญ่ และกับชนิดผนังที่มีมวลสารน้อย ปานกลางและมาก ทำการทดสอบในอาคารชั้นเดียว แบ่งเป็น 4 ห้อง ทุกห้องป้องกันความร้อนทุกด้านยกเว้นทิศตะวันตก
4	สมรรถนะการป้องกันความร้อนของแผงบังแดดไม้เลื้อยในสภาพแวดล้อมเขตร้อนชื้น	พาสินี สุนากร และ ชนิกานต์ ยิ้มประยูร	เพื่อศึกษาการใช้แผงกันแดดไม้เลื้อยประกอบอาคารในการป้องกันความร้อนให้กับอาคารจริง โดยเป็นห้องพัก 2 ห้อง
5	University of the Virgin IslandsAgricultural Experiment Station St. Croix, U.S. Virgin Islands	James Rakocy Donald Bailey Charlie Shultz and Eric Thoman	เพื่อเปรียบเทียบผลผลิตปลานิลและปลานิลแดงในระบบอะควาโพนิกส์ UVI และผลผลิตกระเพราและกระเจี๊ยบเขียวที่ปลูกในระบบกับที่ปลูกในไร่ปกติ
6	Aquaponics Reserch RMIT University, Melbourne Australia	Wilson Andrew Lennard	เพื่อทดลองหาการเลี้ยงปลาที่มีในออสเตรเลียที่เหมาะสมกับระบบอะควาโพนิกส์ หาวิธีไหลเวียนน้ำที่เหมาะสมและหาระบบปลูกพืชระบบอะควาโพนิกส์ที่เหมาะสม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

No.	พันธุ์ไม้/ปลาที่ใช้	ผลการทดลอง
1	ม่านบาลี	1. พื้นที่ปกคลุมใบ 85% ลดความร้อนได้ดีที่สุด 2. ระยะ 15 ซม. ลดความร้อนได้ดีที่สุด 3. ฉนวนกันความร้อนได้ดีกว่าในตอนกลางวัน ในตอนกลางคืนฉนวนปิดกั้นการถ่ายเทความร้อนกลับคืนสู่ท้องฟ้าจึงอุณหภูมิสูงกว่า
2	ผักกาดหอม ผักโขม และผักบุ้งจีน	1. ผักบุ้งจีนเนื่องจากมีอัตราการเติบโตที่รวดเร็ว เติบโตได้ดีในสภาวะที่มีแสงแดดจัด และให้ร่มเงาได้ดี 2. การติดตั้งระบบถึงชั้นแผ่นโฟมมีประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด 3. การติดตั้งระบบถึงชั้นตาข่ายกรองแสงมีประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด
3	สายน้ำผึ้ง พวงแสด ใบระบาด	ไม้เลื้อยใบขนาดกลางมีประสิทธิผลในการลดความร้อนได้ดีที่สุด และมีประสิทธิผลในการลดความร้อนร่วมกับผนังกับผนังมากที่สุดจนน้อยที่สุดตามลำดับดังนี้ 1. ผนังมวลสารน้อย 2. ผนังมวลสารปานกลาง 3. ผนังมวลสารมาก 4. ผนังมวลสารน้อย+ฉนวน 5. ผนังมวลสารปานกลาง+ฉนวน 6. ผนังมวลสารมาก+ฉนวน
4	สร้อยอินทนิล	แผงกันแดดไม้เลื้อยสามารถลดอุณหภูมิได้มากที่สุด 2.92 ^{o}C เมื่อเทียบกับห้องที่ไม่มีแผงกันแดด
5	กระเพรา และกระเจี๊ยบเขียว/ปลานิลแดง ปลานิล	อัตราส่วน ปลานิลและปลาทับทิม 77 และ 154 ตัว/ลบ.ม. ได้ผลผลิตปลานิลหนัก 813.8 กรัม และ ปลานิลแดง 512.5 กรัม ปลานิลมีอัตราการอยู่รอดสูง (98.3%) และมีอัตราการเจริญเติบโตน้อยกว่าปลานิลแดง (1.7) ปลานิลแดงมีอัตราการอยู่รอด (89.9% และ1.8 โดยประมาณ) ผลผลิตต่อปีอยู่ที่ 4.16 mt ต่อปลานิลและ 4.78 mt ต่อปลานิลแดงการปลูกกะเพราในระบบอะควาโพนิกส์ ให้ผลผลิต มากกว่าการปลูกในดิน 3 เท่าการปลูกกระเจี๊ยบเขียวในระบบอะควาโพนิกส์ ให้ผลผลิต มากกว่าการปลูกในดิน 18 เท่า (ผลผลิตที่ต่ำจากการปลูกในดินนี้อาจเกิดจากดินที่ปลูกมีธาตุอาหารต่ำ ต้องทดลองนานกว่านี้)
6	ผักสลัด, ผักกาดหอม (LectuceX/ ปลา Murray Cod	1. ปลาที่อัตราการแลกเนื้อ (FCR) เป็น 1.0 มีประสิทธิภาพมากกว่า 2.0 เนื่องจากมีการขับถ่ายน้อยลงแต่กลับเพิ่มน้ำหนัก แต่ถ้าให้อาหารปลาเพื่อให้มีอัตราการแลกเนื้อน้อยกว่า 1.0 ก็จะขับถ่ายของเสียน้องเช่นกัน ดังนั้นจึงต่อศึกษาปัจจัยอื่นเพิ่มด้วย 2. การไหลเวียนของน้ำตลอดเวลาได้ผลผลิตน้ำหนักปลาสูงกว่า เฉลี่ย 36.7 กรัม ได้ผลผลิตพืชมากกว่า 16.53 กรัม/ ต้น เมื่อเทียบกับแบบตั้งเวลาเครื่องสูบ 3. กระบะที่ปลูกด้วยกรวด กับ ที่ปลูกในแพลอยน้ำ ให้ผลผลิตพืชใกล้เคียงกันมากคือ 131.97 กรัม/ต้น และ 116.91 กรัม/ต้น ส่วนระบบ NFT ได้น้อยกว่าประมาณ 20% คือ 107.95 กรัม/ต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการงานวิจัยได้ข้อสรุปการนำไปใช้กับการทดลองระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง ดังนี้

งานวิจัยที่ 1 ถึง 4 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการใช้พืชพรรณเพื่อการลดการถ่ายเทความร้อน โดยใช้วิธีการติดตั้งที่ต่างกัน ส่วนงานวิจัยที่ 5 และ 6 เป็นงานวิจัยระบบอะควาโพนิกส์ โดยมีกำลังการผลิตและรูปแบบที่ต่างกัน

ในงานของ วิชัย และ อวิรุทธ์ (2550) , วรวรรณ (2552) และ พาสินี และ ชนิกานต์ (2551ก) ใช้แผงกันแดดไม้เลื้อยในการศึกษา ส่วนกนกพร (2553) ใช้การปลูกพืชผักด้วยระบบไฮโดรโพ-นิกส์ในรูปแบบสวนหลังคาในการศึกษา จากรูปแบบการปลูกที่ต่างกันนั้น พบว่ามีข้อดี ข้อเสียที่ต่างกัน คือ 1) การปลูกพืชในแนวตั้งประหยัดพื้นที่กว่า ส่วนแสงแดดและความร้อนที่เข้าสู่อาคารเป็นระนาบตั้งซึ่งน้อยกว่าแสงแดดที่ส่องลงบนหลังคาในระนาบนอน การลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารในแนวตั้งต้องใช้พืชพรรณที่เติบโตในแนวตั้งได้ดี มีพุ่มใบแผ่ขยายปกคลุมหนาแน่น ส่วนการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารในแนวนอนต้องใช้พืชผักที่มีลักษณะแผ่ขยายในแนวราบ มีพุ่มใบปกคลุมหนาแน่น และทนแดด 2) การปลูกพืชในดินซึ่งมีค่าการดูดซับความร้อนของดินน้อยกว่าน้ำ และการคายความร้อนของดินมีมากกว่าน้ำ ดังนั้นในการปลูกพืชโดยใช้น้ำจะต้องคำนึงถึงอุณหภูมิในน้ำซึ่งหากอุณหภูมิสูงมากจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ อย่างไรก็ดี การใช้ดินและน้ำในการปลูกพืช จำเป็นต้องคำนึงถึงน้ำหนักที่ถ่ายเทลงสู่อาคารและการระบายน้ำที่ดี

การทดลองของ วิชัย และ อวิรุทธ์ (2550) เป็นการทดลองกับกล่องทดลองที่ปิดสนิททุกด้าน การทดลองของ วรวรรณ (2552) เป็นการทดลองกับห้องทดลองไม่มีช่องแสง ส่วนพาสินี และชนิกานต์ (2551ก) เป็นการทดลองกับอาคารจริงโดยผ่านผนังก่ออิฐที่มีหน้าต่างกระจก ส่วนกนกพร (2553) ทดลองกับกล่องทดลอง พบว่า การทดลองกับสถานที่จริงมีผลใกล้เคียงกับสภาวะแวดล้อมจริง แต่ในการควบคุมตัวแปรนั้นค่อนข้างยาก ในงานวิจัยของกนกพร (2553) ทำการทดลองปลูกพืชระบบไฮโดรโพนิกส์บนหลังคา โดยการทดลองมีการกำหนดตัวแปร คือ ชั้นวัสดุที่ใช้ปลูกพืช ได้ทำการการทดลองในระบบที่มีจำนวนชั้นแตกต่างกัน 4 ระดับชั้น โดยพบว่า การปลูกพืชในระบบที่มีชั้นน้ำและชั้นโฟม มีประสิทธิภาพในการลดความร้อนได้มากกว่าการปกคลุมของพืชอย่างเดียว การติดตั้งระบบถึงชั้นแผ่นโฟมมีประสิทธิภาพในการลดความร้อนได้ดีที่สุด ในกรณีที่ไม่มีหลังคาปกคลุม และการติดตั้งระบบถึงชั้นตาข่ายกรองแสง มีประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุดในกรณีมีหลังคาปกคลุม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

งานของวิชัย และ อวิรุทธ์ (2550) ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนระหว่างแผงกันแดดไม้เลื้อยม่านบาหลี กับฉนวนกันความร้อน และระหว่างแผงกันแดดไม้เลื้อยกับผนังอาคารที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยใช้กล่องทดลอง พบว่าในตอนกลางวัน ภายในกล่องฉนวนป้องกันความร้อนมีค่าอุณหภูมิต่ำสุด คือ 30.9°C โดยต่ำกว่ากล่องทดลองที่มีแผงกันแดดไม้เลื้อย 2.4°C และต่ำกว่ากล่องทดลองที่ไม่มีสิ่งปกคลุม 7.6°C แต่ในเวลากลางคืนกล่องทดลองที่มีฉนวนกันความร้อนมีอุณหภูมิสูงกว่ากล่องที่มีแผงกันแดดไม้เลื้อย และกล่องที่มีฉนวนกันความร้อน เท่ากับ 2.7°C และ 3.2°C เนื่องจากฉนวนกันความร้อนเป็นตัวปิดกั้นการถ่ายเทความร้อนกลับสู่ชั้นบรรยากาศมากกว่าแผงกันแดดไม้เลื้อย ส่วนระยะห่างระหว่างแผงกันแดดไม้เลื้อยกับผนังอาคารที่ระยะ 15 ซม. จะมีประสิทธิภาพการลดความร้อนดีที่สุด และการติดตั้งติดกับผนังส่งผลให้มีความชื้นสะสมมากจนอาจทำให้เกิดเชื้อราได้

งานของ วรวรรณ (2552) ศึกษาการใช้ไม้เลื้อยต่างพันธุ์และมีขนาดใบแตกต่างกัน 3 ขนาด คือ ใบเล็ก (สายน้ำผึ้ง) ใบขนาดกลาง (พวงแสด) และใบขนาดใหญ่ (ใบระบาด)โดยมีพื้นที่ใบประมาณ 4 ตร.ซม. 16 ตร.ซ.ม. และ 96 ตร.ซม. พบว่า ไม้เลื้อยใบขนาดกลางมีประสิทธิผลในการลดความร้อนได้ดีที่สุด

งานวิจัยที่ 5 และ 6 เป็นงานวิจัยระบบอะควาโพนิกส์ ซึ่งงานวิจัยของ James *et.al.* (2006) เป็นระบบอะควาโพนิกส์ขนาดใหญ่กลางแจ้ง ส่วน Wilson Andrew Lennard (n.d.) เป็นระบบอะควาโพนิกส์ขนาดเล็กหรือ Home Farming Unit ภายในอาคาร และใช้แสงประดิษฐ์ ด้วยขนาดการผลิตที่ต่างกัน สถานที่ตั้งต่างกัน ทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้า การดูแลรักษา และ ปริมาณน้ำต่างกัน โดยระบบอะควาโพนิกส์ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ปั๊มน้ำ และ ปั๊มลมเหมือนกัน แต่การติดตั้งระบบภายในอาคารต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อแสงประดิษฐ์เพิ่มเติม การติดตั้งระบบภายนอกอาคารสามารถควบคุมปัจจัยภายนอกได้ยากกว่า เช่น ปริมาณน้ำฝน เป็นต้น

James *et.al.* (2006) เลือกใช้พันธุ์ปลานิล และปลาทับทิม (นิลแดง) ในการทดลอง พบว่าอัตราความหนาแน่นของปลานิลที่ 154 ตัว/ ลบ.ม. มีอัตราการอยู่รอดสูงกว่าปลาทับทิม 8.4% ในขณะที่อัตราความหนาแน่นของปลาทับทิม 77 ตัว/ ลบ.ม. ส่วน Wilson Andrew Lennard (n.d.) เลือกใช้ปลา Murray Cod เนื่องจากที่ออสเตรเลียไม่มีปลานิล ในงานวิจัยของ James *et.al.* (2006) เลือกใช้พืชได้แก่ กระเพราและกระเจี๊ยบ พบว่าผลผลิตกระเพราที่ได้และผลผลิตที่ปลูกบนดิน 2 แห่ง เป็น 25.0, 23.4 และ 7.7 กก./ ลบ.ม. และผลผลิตที่ได้ในระบบอะควาโพนิกส์เปรียบเทียบกันต่อรุ่นค่อนข้างคงที่เนื่องจากมีการขาดธาตุอาหารบางชนิด ส่วนผลผลิตกระเจี๊ยบที่เปรียบเทียบกับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การปลูกบนดิน นั้นไม่มีข้อสรุปเนื่องจากสิ่งเปรียบเทียบไม่พร้อม ดังนั้นสรุปได้ว่า การปลูกพืชด้วยระบบอะควาโพนิกส์แบบ Deep water system ให้ผลผลิตที่มีความคงที่กว่าการปลูกพืชบนดิน ส่วนงานวิจัยของ Wilson Andrew Lennard (n.d.) ศึกษาเปรียบเทียบการปลูกในกระบะกรวดเป็นวัสดุปลูก มีน้ำไหลตลอดเวลา เปรียบเทียบกับการปลูกแบบแพลอยน้ำ และการปลูกด้วยระบบ NFT ที่น้ำไหลต่อเนื่อง พบว่าผลผลิตที่ได้เรียงตามลำดับจากมากไปน้อย คือ กระบะที่ปลูกด้วยกรวด 131.97 กรัม/ต้น แบบแพลอยน้ำ 116.91 กรัม/ต้น และ 107.95 กรัม/ต้น การมีวัสดุปลูกให้ผลดีกว่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาถึงการออกแบบระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งที่เหมาะสมต่อพืชและปลาและการบังแดด จากนั้นจึงคัดเลือกพืชที่เหมาะสมที่สุดเพื่อปลูกบนระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งซึ่งใช้เป็นแผงบังแดดและทดสอบผลการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร โดยเปรียบกับแผงบังแดดไม้เทียม ก่อนเริ่มการทดลองต้องมีการเตรียมการ คือ การเตรียมการทดลอง และ การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการเก็บข้อมูล

การเตรียมการทดลอง

การเตรียมการทดลองเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ แบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

1. ออกแบบประยุกต์ระบบอะควาโพนิกส์มาใช้ในแนวตั้ง เพื่อประกอบระเบียงอาคารในลักษณะแผงบังแดด
2. ออกแบบชุดทดลอง
3. เตรียมสถานที่เพื่อใช้ในการทดลอง
4. เลือกพืชพรรณเพื่อใช้ในการทดลอง
5. ทดลองสร้างระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งตามแนวคิดเริ่มต้น เพื่อปรับแก้ระบบและชุดการทดลอง
6. สรุปวิธีการทดลองและการเก็บข้อมูล

ขั้นตอนที่ 1 สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ 1 เพื่อการออกแบบประยุกต์ระบบอะควาโพนิกส์มาใช้ในแนวตั้ง เพื่อประกอบอาคารในลักษณะแผงบังแดด ขั้นตอนที่ 2 3 4 5 และ 6 สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ 2 เพื่อการหาพืชผักสวนครัวที่เหมาะสมกับปลานิลในระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง และวัตถุประสงค์ที่ 3 เพื่อการศึกษาประสิทธิภาพการลดการถ่ายเทความร้อนของแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง โดยเปรียบเทียบกับแผงบังแดดไม้เทียม

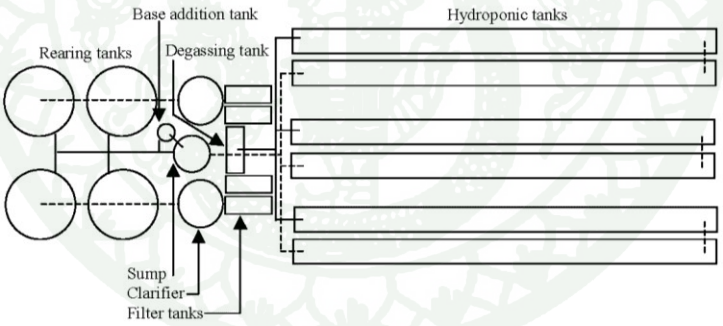
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขั้นตอนที่ 1: ออกแบบประยุกต์ระบบอะควาโพนิกส์มาใช้ในแนวตั้ง เพื่อประกอบระเบียงอาคารในลักษณะแผงบังแดด

ระบบอะควาโพนิกส์ที่นำมาประยุกต์ใช้ มี 2 ระบบ คือ ระบบ UVI Aquaponic System, James *et.al.* (2006) และระบบอะควาโพนิกส์ ในเมือง เดนเวอร์, Colleen O' Cornnor (2009) โดยแบ่งการออกแบบเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การออกแบบระบบน้ำ

ระบบ UVI Aquaponic System โดย James *et.al.* (2006) มีลำดับขั้นระบบการหมุนเวียนน้ำ เริ่มต้นจาก น้ำในบ่อเลี้ยงปลา (Rearing tanks) ผ่านบ่อพักน้ำ (Sump) ซึ่งเชื่อมกับบ่อเติมสารพื้นฐาน (Base addition tank) ส่งน้ำไปที่รางปลูกระบบ Deep Water เมื่อน้ำไหลผ่านรากพืชแล้ว ก็ไหลผ่านท่อที่ท้ายรางสู่แท้งค์กรองน้ำ (filter tanks) ผ่านบ่อตกตะกอน (cylindro-conical clarifier) ซึ่งมีการตักของเสียออก 3 ครั้งต่อวัน จากนั้นน้ำจึงไหลกลับลงสู่บ่อปลาต่อไป



Tank Dimensions
Rearing tanks: Diameter: 3 m, Height: 1.2 m, Water volume: 7,800 L
Clarifiers: Diameter: 1.8, Height of cylinder: 1.2 m, Depth of cone: 1.1 m, Slope: 45°, Water volume: 3,785 L
Filter and degassing tanks: Length: 1.8 m, Width: 0.76 m, Depth: 0.61 m, Water volume: 700 L
Hydroponic tanks: Length: 30.5 m, Width: 1.2 m, Depth: 41 cm, Water volume: 11,356 L
Sump: Diameter: 1.2 m, Height: 0.9 m, Water volume: 606 L
Base addition tank: Diameter: 0.6 m, Height: 0.9 m, Water volume: 189 L
Total system water volume: 111,196 L
Flow rate: 378 Lpm, Pump: ½ hp, Blowers: 1½ hp (fish) and 1 hp (plants)
Total land area: 0.05 ha.

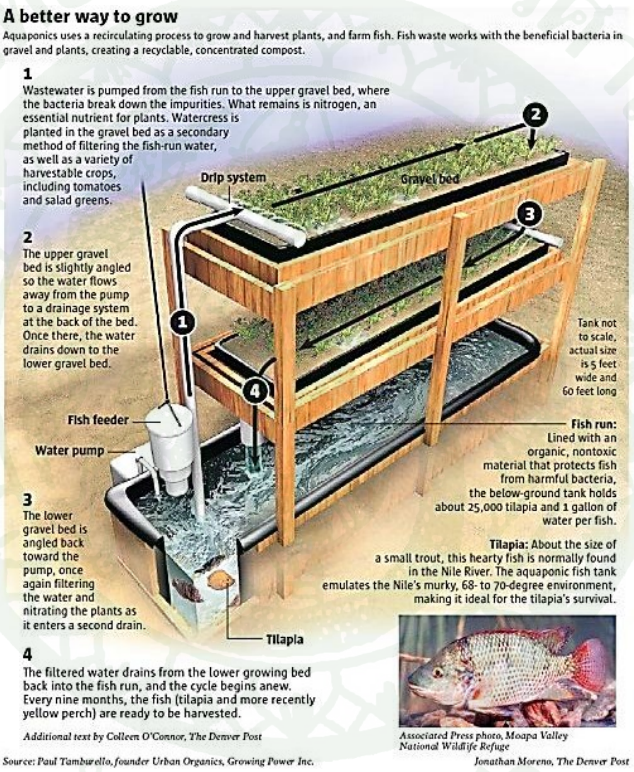
Pipe Sizes
Pump to rearing tanks: 10 cm
Rearing tanks to clarifier: 10 cm
Clarifiers to filter tanks: 10 cm
Between filter tanks: 15 cm
Filter tank to degassing tank: 10 cm
Degassing to hydroponic tanks: 15 cm
Between hydroponic tanks: 15 cm
Hydroponic tanks to sump: 15 cm
Sump to pump: 7.6 cm
Pipe to base addition tank: 1.9 cm
Base addition tank to sump: 3.2 cm

ภาพที่ 41 ผังระบบ UVI Aquaponic System

ที่มา: James *et.al.* (2006)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนระบบน้ำของ ระบบอะควาโพนิกส์ ในเมือง เดนเวอร์ รัฐโคโรลาโด, สหรัฐอเมริกา ในบทความของ Colleen O' Cornnor (2009) ระบบนี้ ทำการออกแบบและทดลองปลูกพืชด้วยระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง โดยระบบน้ำสูบจากอ่างเลี้ยงปลาขึ้นสู่กระบะปลูกพืชผ่านหัวจ่ายกระจายน้ำทั่วกระบะผ่านวัสดุปลูกลงสู่ท่อข้างใต้บริเวณปลายกระบะปลูกฝั่งตรงข้ามด้วยแรงโน้มถ่วงผ่านหัวจ่ายกระจายน้ำเช่นเดียวกับกระบะบนแล้วไหลผ่านท่อปลายกระบะลงสู่อ่างปลาอีกครั้งเป็นวงจรเช่นนี้เรื่อยไป โดยมีเครื่องให้อาหารปลาเหนืออ่างเลี้ยงปลา



ภาพที่ 42 แนวคิดระบบอะควาโพนิกส์ ในเมืองเดนเวอร์ รัฐโคโรลาโด, สหรัฐอเมริกา

ที่มา: Colleen O' Cornnor (2009)

จากแนวคิดดังกล่าวสรุปได้ว่า การปลูกด้วยระบบ Deep water ต้องมีการกรองน้ำก่อน และการกรองอีกครั้งเมื่อน้ำไหลกลับสู่บ่อเลี้ยงปลา ส่วนการปลูกพืชแบบแนวตั้งโดยใช้ Media Base นั้น ชั้น Media เป็นชั้นที่กรองและบำบัดน้ำ ใช้แรงโน้มถ่วงปล่อยน้ำลงสู่ที่ต่ำ ผู้วิจัยได้ประยุกต์แนวคิดจากระบบดังกล่าวเข้าใช้ร่วมกับการปลูกพืชแบบ DFT ได้เป็นแนวความคิด Preriminary

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Vertical Aquaponics concept มีการหมุนเวียนน้ำโดยเริ่มจาก ปั๊มน้ำสูบน้ำในตู้ปลาผ่านทางกระบอกกรอง ขึ้นสู่ส่วนกรองน้ำชั้นบน ไหลสู่ส่วนพักน้ำบน และน้ำกระจายสู่ท่อแยกส่งเข้ารางปลูกแต่ละราง น้ำที่ไหลผ่านวัสดุปลูก ผ่านสู่ปลายราง ไหลตกลงสู่อ่างตกตะกอนเบื้องล่าง จากนั้นจ้ำที่ผิวน้ำไหลลงสู่ตู้ปลาหมุนเวียนในระบบเช่นเดิม ในระบบมีลูกลอยเพื่อเติมน้ำให้ได้ระดับคงที่

2. การคำนวณหาขนาดตู้ปลา ปริมาณอาหาร ขนาดปลาเริ่มต้น จำนวนปลา และจำนวนหัวทราย ปริมาณการเติมเกลือเพื่อป้องกันโรค และความลาดเอียงของรางปลูก

จากเอกสารที่เกี่ยวข้อง นำมาคำนวณหาขนาดตู้ปลา ปริมาณอาหาร ขนาดปลาเริ่มต้น จำนวนปลา และจำนวนหัวทราย จากงานวิจัยของ James *et.al.* (2006) ปริมาณการเติมเกลือเพื่อป้องกันโรค จากเอกสารของ ประภาศ (ม.ป.ป.) และความลาดเอียงของรางปลูก จากข้อมูลการปลูกพืชแบบไม่ดิน ระบบไฮโดรโพนิกส์ แบบ NFT และ DFT ของ ดิเรก (2550)

ตารางที่ 9 การคำนวณหาขนาดตู้ปลา ปริมาณอาหาร ขนาดปลาเริ่มต้น จำนวนปลา และจำนวนหัวทราย ปริมาณการเติมเกลือเพื่อป้องกันโรค และความลาดเอียงของรางปลูก

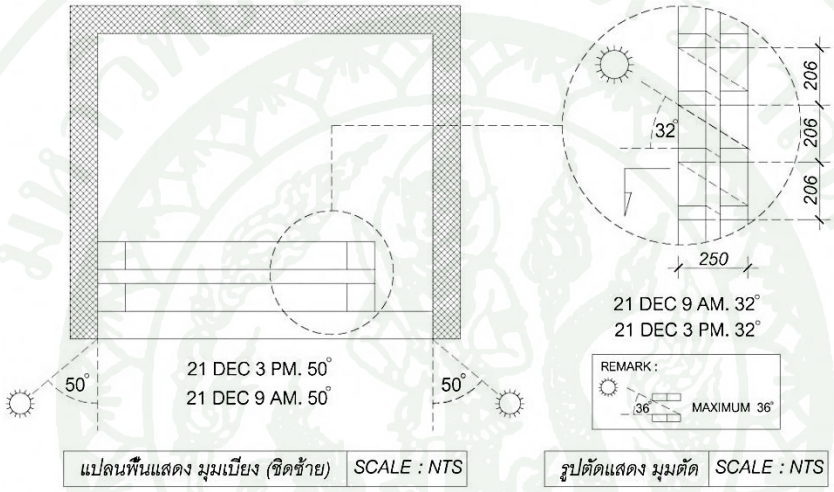
สิ่งอ้างอิง	ผลการคำนวณ	ผลการออกแบบ
1. หินอากาศ 88 ก้อน/ 7.8 ลบ.ม.	1. น้ำ 0.07 ลบ.ม. 7.8 ก้อน	ใช้หัวทราย 6 ก้อน
2. ปลานิล 77 ตัว/ลบ.ม.	2. ปลา 5 ตัว = หัวทราย 5.7 ก้อน	
3. รางลาดเอียง 1-2	รางยาว 1 ม. เอียง 2 ซม.	ยกท้ายราง 2 ซม.
4. อาหาร 60-100 กรัม/ วัน/ ตร.ม./ ปลานิล 77 ตัว	ค่าเฉลี่ยปลาที่น้ำหนัก 70.5 กรัม/ ตัว อาหาร 6 กรัม	ให้อาหาร 30 กรัม
5. ขนาดตัวปลาเริ่มต้น จากอัตราการแลกเนื้อ 6 กรัม/ ลิตร	น้ำ 70 ลิตร = 280 กรัม น้ำหนักปลา / ตัว = 280/5	เริ่มต้น ที่ปลา หนัก 50-60 กรัม (ปกติจำหน่าย 30-50 ตัว/ กก.)
6. อัตราความเร็วของการให้สารละลายธาตุอาหาร 1-2 ลิตร/นาที	เลือกท่อตามความเหมาะสมกับอุปกรณ์อื่นๆ	ควบคุมปริมาณโดยการปรับวาลว์น้ำ
7. ปลานิล 77 ตัว/น้ำ 1 ลบ.ม.	ปริมาตรน้ำ 70 ลิตร (0.07 ลบ.ม.) = 5.39 ตัว	ใช้ปลา 5 ตัว
8. การเติม เกลือแกง 3 ppt (g/l) เพื่อป้องกันโรค	ปริมาตรน้ำ 70 ลิตร ใส่เกลือ 3x70 = 21 กรัม	เติมเกลือ21 กรัม

หมายเหตุ ใช้หัวทราย 4 ก้อน เสริมด้วยระบบน้ำทิ้งแบบปล่อยตกด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การคำนวณขนาดของรางปลูกและระยะห่างระหว่างรางเพื่อใช้เป็นแผงบังแดด

จากหลักการออกแบบอุปกรณ์บังแดดโดยการศึกษาการโคจรของดวงอาทิตย์ สมสิทธิ์ (2541) จุดที่ติดตั้งแผงบังแดดในงานวิจัยเลือกติดตั้งบริเวณระบียงทางทิศใต้ ดังนั้นการอ่านค่ามุมของดวงอาทิตย์ที่ 14 N เวลา 9.00 น. ของวันที่ 21 ธันวาคม ของด้านทิศใต้ ได้ค่ามุมตัด เท่ากับ 32 ˚ จึงนำมาออกแบบความกว้างของราง และระยะห่างระหว่างรางปลูก ดังภาพ

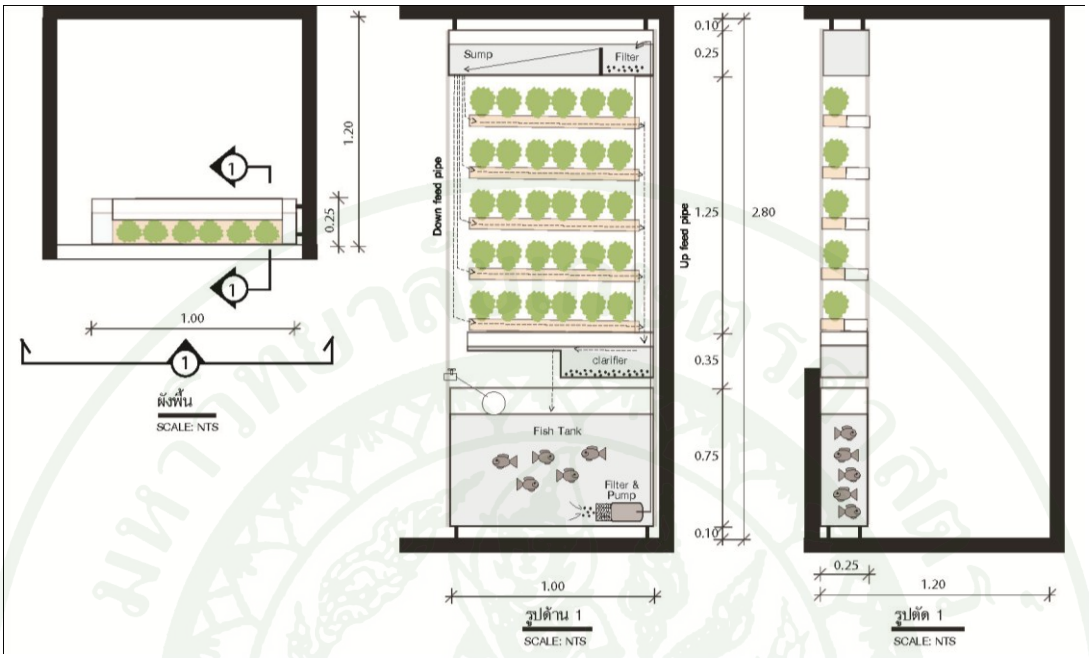


ภาพที่ 43 การคำนวณขนาดของรางปลูกและระยะห่างระหว่างรางเพื่อใช้เป็นแผงบังแดด

ที่มา: สุภางค์กร (2555)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น ได้ภาพร่างแนวคิดการออกแบบ ดังภาพ



ภาพที่ 44 ภาพร่างแนวคิดการออกแบบ Preriminary Vertical Aquaponics

ที่มา: สุภางค์กร (2555)

ขั้นตอนที่ 2: ออกแบบชุดทดลอง

ออกแบบชุดทดลอง แบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง ดังนี้

1. ชุดการทดลองที่ 1

วัตถุประสงค์ เพื่อหาวิธีการบรรจุวัสดุปลูกในรางปลูกที่เหมาะสม

วิธีการ การทดลองนี้ทำการทดลองด้วยชุดผนังเขียวที่มีรางปลูก 4 ราง แต่ละรางบรรจุเม็ดดินเผามวลเบาแตกต่างกัน 2 วิธี สลับกัน โดยวิธีที่ 1 บรรจุเม็ดดินเผาเต็มรางปลูก วิธีที่ 2 บรรจุเม็ดดินเผาในถ้วย เก็บข้อมูล เป็นเวลา 7 วัน

การเก็บข้อมูล ทำการเก็บข้อมูล ได้แก่ อุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิน้ำในอ่าง อุณหภูมิน้ำในรางปลูกทั้ง 4 ราง, ค่า EC, pH, Nitrate และ Nitrite ของน้ำในอ่างและในรางปลูก และเก็บข้อมูลภาพถ่าย ในรางก่อนเริ่มทดลอง และวันสุดท้าย แสดงปริมาณตะกอนในราง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. ชุดการทดลองที่ 2

วัตถุประสงค์ เพื่อหาพืชผักสวนครัวที่เหมาะสมกับปุ๋ยในน้ำที่ได้จากปลาและอาหารปลาที่ควบคุมปริมาณในชุดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง

วิธีการ การทดลองเริ่มจากการสุ่มคัดเลือกพันธุ์ผัก เกณฑ์การทดสอบการเลือกชนิดผักที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ในไทย เป็นพืชทนแดด ความต้องการสารอาหารน้อยที่ ระยะเวลาเก็บเกี่ยวสั้น ลักษณพุ่มใบกันแดด เก็บข้อมูลเป็นเวลา 60 วัน

การเก็บข้อมูล ทำการเก็บข้อมูล ได้แก่ อุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิน้ำในระบบ วัดค่า EC, pH, Nitrate, Nitrite และ Ammonia ของน้ำในอ่าง เก็บข้อมูลภาพถ่ายพืชทุกชนิด ทุก 1 สัปดาห์ และวันสุดท้ายของการทดลอง เก็บข้อมูลน้ำหนักพืช และปลา

3. ชุดการทดลองที่ 3

วัตถุประสงค์ เพื่อทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิอากาศหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง กับ แผงบังแดดไม้เทียม

การเก็บข้อมูล นำพืชที่คัดเลือกจากการทดลองที่ 2 มาทดลอง ติดตั้งเครื่องมือวัดผล และทำการเก็บข้อมูล เป็นระยะเวลาติดต่อกัน 7 วัน หรือ 168 ชั่วโมง เก็บข้อมูลอุณหภูมิ ทุกๆ 30 นาที 7 จุด ได้แก่ อุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิอากาศภายในหลังกล่องทดลองห่างไป 30 ซม. อุณหภูมิในกล่องทดลอง และ อุณหภูมิน้ำในอ่างเลี้ยงปลา

ขั้นตอนที่ 3: เตรียมสถานที่เพื่อใช้ในการทดลอง

จากชุดการทดลองที่ออกแบบ ประกอบกับความเหมาะสมในการดูแลรักษาอุปกรณ์ และงบประมาณที่จำกัดในการวิจัย สถานที่ทดลองที่เหมาะสมจึง มี 2 แห่ง ดังนี้

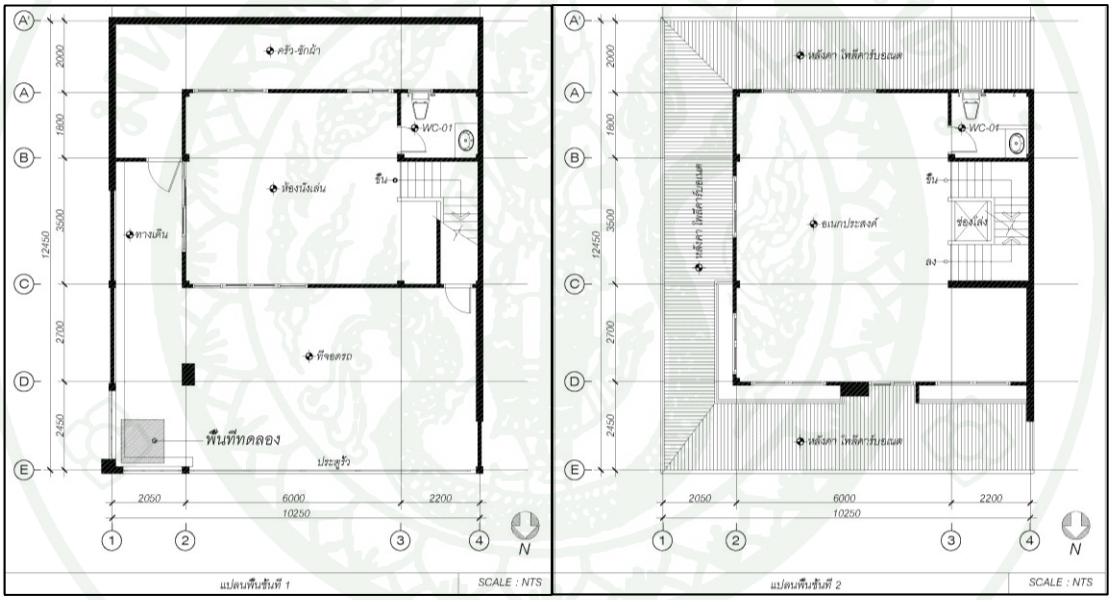
1. สถานที่ตั้งชุดทดลองชุดที่ 1 และ 2

เป็นพื้นที่ลานจอดรถของอาคารพักอาศัย สูง 3 ชั้นครึ่ง ในซอยหมู่บ้านย่านลาดพร้าววังหิน เขตลาดพร้าว กรุงเทพมหานคร เป็นพื้นที่ในเมืองซึ่งมีการจราจร มีอาคารหนาแน่นปานกลาง อาคารหันหน้าไปทางทิศเหนือ ใช้พื้นที่ขนาด 1.2x1.2 ม. มีก๊อกจ่ายน้ำประปาและปลั๊กพ่วง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 45 สถานที่ตั้งกล่องทดลองในชุดทดลองที่ 1 และ 2



ภาพที่ 46 แปลนพื้นและแปลนหลังคา สถานที่ตั้งกล่องทดลองในชุดทดลองที่ 1 และ 2

1.1 การเตรียมพื้นที่ตั้งชุดทดลอง

ในการทดลองนี้ มีความเกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิตซึ่งต้องการการดูแลอย่างใกล้ชิด มีตัวแปรในการทดลองหลายอย่างซึ่งอาจทำให้การทดลองไม่เป็นไปตามกำหนดเวลา และด้วยงบประมาณที่จำกัดไว้สำหรับการทดลองตลอดโครงการ จึงต้องเลือกพื้นที่ที่ไม่ไกลจากผู้วิจัยมากนักในช่วงการทดลองที่ 1และ 2 และในการทดลองที่ 3 ใช้กล่องทดลองที่มี ห้องทดลอง 3 ห้อง ขนาดพื้นที่ 1.20 x1.20 ม. สูง 2.40 ม. กั้นระหว่างห้องด้วยโฟมโพลี่สไตรีนที่ใช้มีความหนาแน่น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

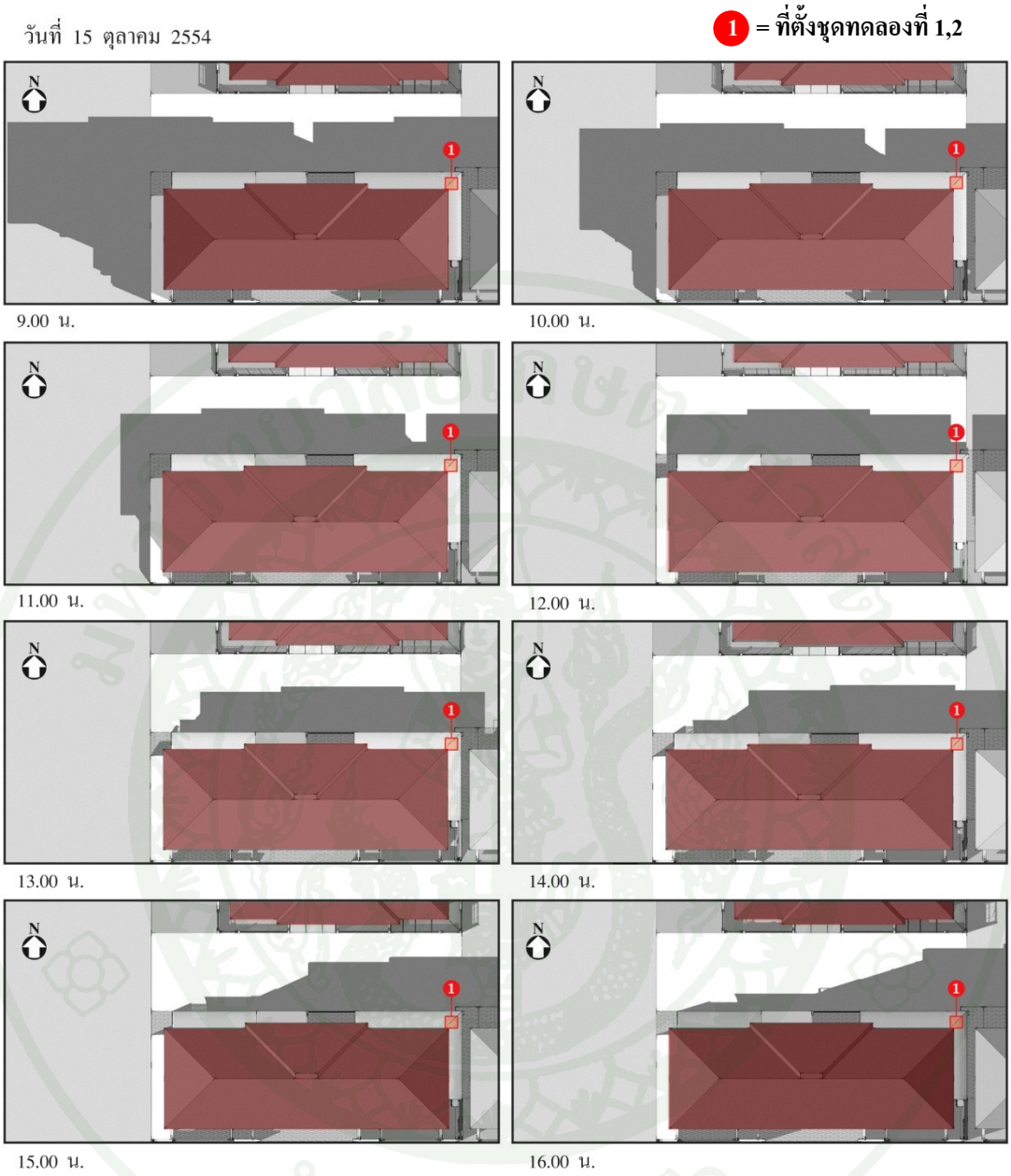
0.65 ปอนด์ต่อลบ.ฟุต หนา 15 ซม. ประกบแผ่นสมาร์ทบอร์ดหนา 4 มม. เพื่อให้เพิ่มความแข็งแรง และพื้นเป็นแผ่นวีว่าบอร์ดหนา 16 มม. ยกพื้นด้วยอิฐบล็อก สูง 0.50 ม.

ในการทดลองที่ 1 และ 2 มีการเก็บอุณหภูมิน้ำในระบบเปรียบเทียบกับอากาศภายนอก และระหว่างจุดเก็บน้ำแต่ละจุด จึงต้องทำการศึกษาทิศทางแดดที่อาจมีผลต่อการทดลอง จากเอกสารที่เกี่ยวข้อง การทดลองที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 4 -19 ต.ค. 54 และ ตั้งแต่วันที่ 19 ม.ค. 55-18 มี.ค. 55 นั้น เป็นช่วงเดือนที่ พระอาทิตย์อ้อมใต้ ดังนั้นทางทิศเหนือจึงไม่มีแสงแดดส่องตรงเข้าอาคาร ดังตัวอย่างการจำลองแสงเงาที่เกิดขึ้นในช่วงการทดลองโดยใช้โปรแกรม Sketch Up 7.0 สร้างโมเดลอาคารและป้อนข้อมูลที่ตั้ง ดังนี้



ภาพที่ 47 ภาพทัศนียภาพแสดง แสงเงาบริเวณที่ตั้งกล่องทดลองในชุดทดลองที่ 1 และ 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 48 แสดงการจำลองทิศทางแสงแดดในตำแหน่งการทดลองที่ 1 (4 -19 ต.ค. 54)

โดยสรุปจากการสร้างโมเดลในโปรแกรม Sketch Up 7.0 หาทิศทางแสงแดด ในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 พบว่า ที่ตั้งการทดลอง ตำแหน่งที่ 1 ในช่วงเวลาที่ทำการทดลองนั้น ไม่มีช่วงที่แสงแดดส่องถึงชุดทดลอง ทำให้พืชที่เลือกได้รับปริมาณแสงในสภาวะสภาพอากาศวิกฤต ในปริมาณที่พืชโตได้ยากขึ้น เพื่อทดสอบการอยู่รอดของพืชและปลาชุดทดลอง ซึ่งหากพืชและปลาอยู่รอดได้ก็ย่อมจะอยู่รอดได้ในทิศใต้เช่นกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. สถานที่ตั้งชุดทดลองชุดที่ 3

เป็นพื้นที่ลานจอดรถของอาคารพักอาศัย สูง 3 ชั้นครึ่ง ในซอยหมู่บ้านเดียวกับที่ตั้งชุดการทดลองที่ 1 และ 2 โดยอาคารหันหน้าไปทางทิศใต้ มีปล๊กพ่วงใช้ในการทดลอง

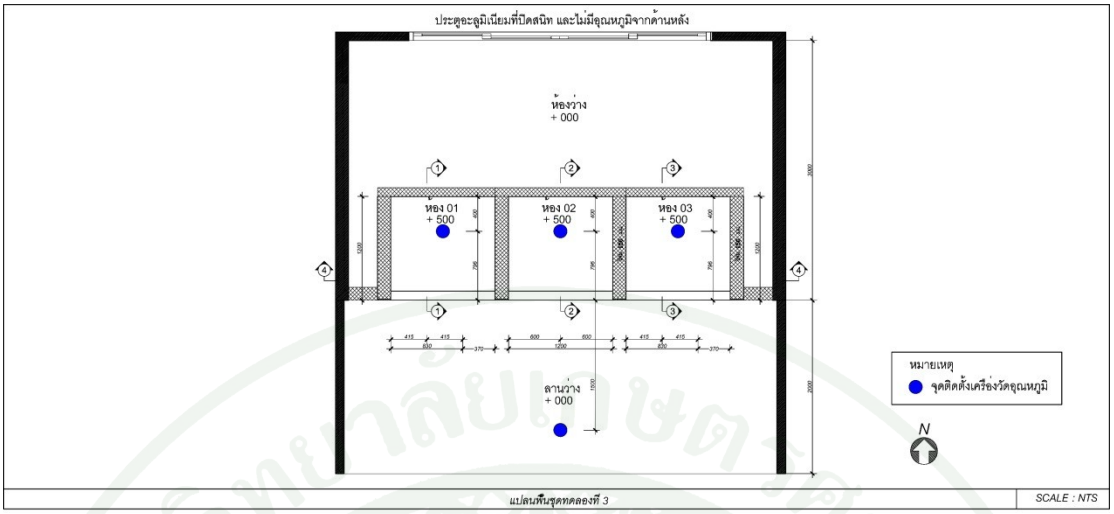


ภาพที่ 49 สถานที่ตั้งกล่องทดลองในชุดทดลองที่ 3 เป็นบ้านพักอาศัย ในซอยลาดพร้าววังหิน 78 หันหน้าไปทางทิศใต้

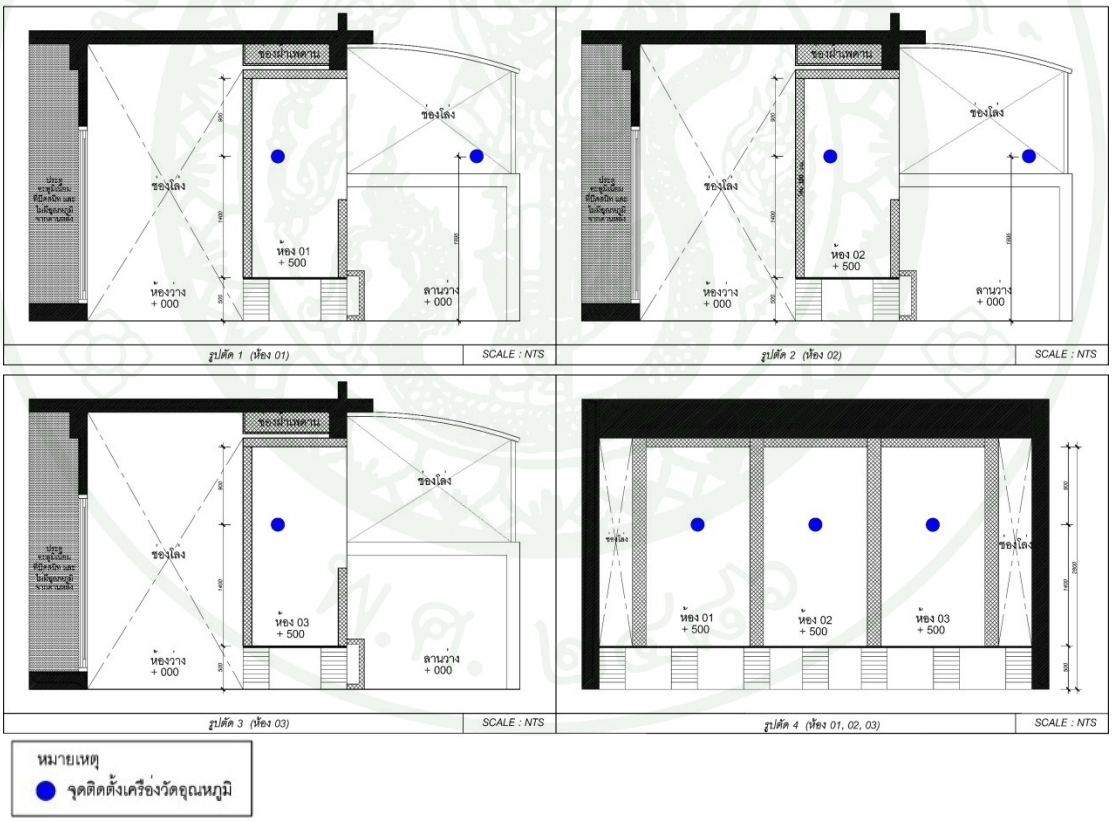
2.1 การเตรียมพื้นที่ตั้งชุดทดลอง

ในการทดลองจริงช่วงชุดการทดลองที่ 3 ต้องทำการทดสอบค่าอุณหภูมิในกล่องทั้ง 3 ก่อนหรือหลังการทดลอง เพื่อดูความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ด้วยการติดตั้งเครื่อง HOBO และสาย DATA Logger ในจุดที่จะใช้ทดลองจริงทุกจุด รวมทั้งสร้างโมเดลจำลองอาคารที่ตั้งเพื่อหาทิศทางแสงแดดที่เกิดขึ้นกับกล่องทดลองด้วยโปรแกรม Sketch up 7.0 ในช่วงวันที่ 7-14 เม.ย. 55

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 50 แปลนพื้นแสดงการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทดสอบค่าอุณหภูมิในกล่อง

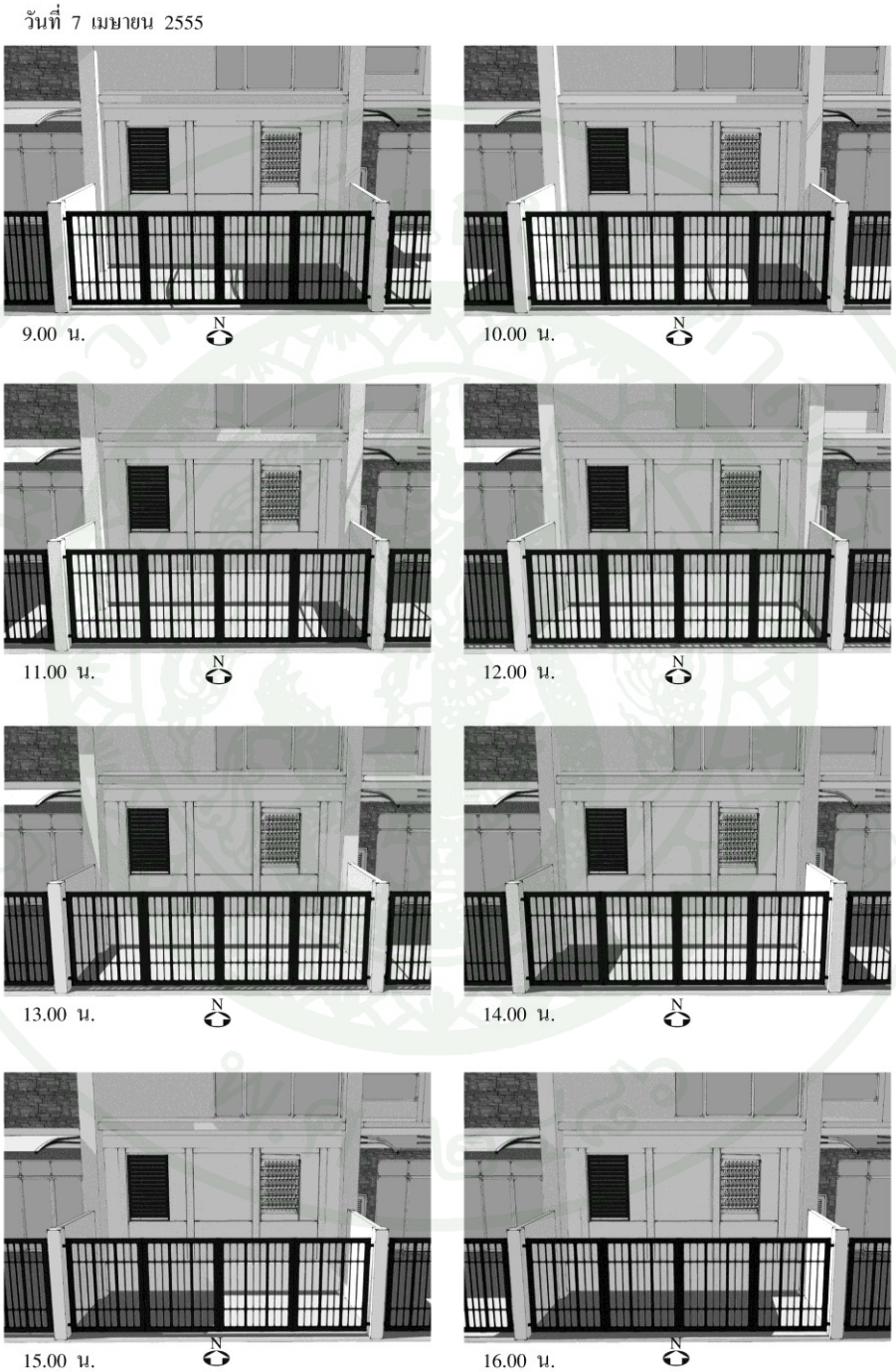


ภาพที่ 51 รูปตัดแสดงการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทดสอบค่าอุณหภูมิในกล่อง

ผลการวัดอุณหภูมิอุณหภูมิพบว่า อุณหภูมิภายในกล่องทั้ง 3 มีค่าเท่ากัน และเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ทดลองเก็บข้อมูลเปรียบเทียบอุณหภูมิในชุดทดลองที่ 3

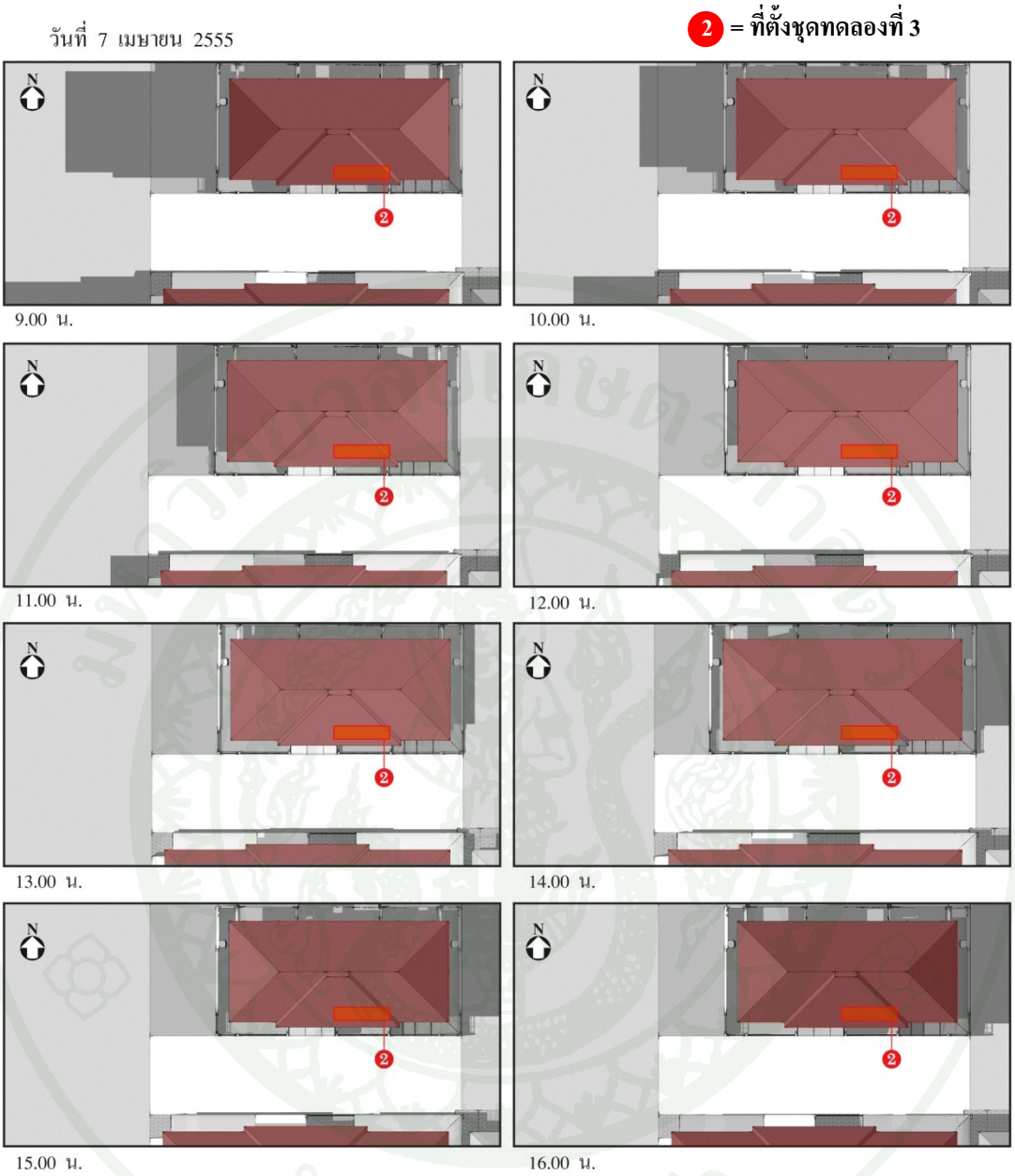
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลการสร้างโมเดลจำลองอาคารที่ตั้งเพื่อหาทิศทางแสงแดดที่เกิดขึ้นกับกล่องทดลอง ด้วยโปรแกรม Sketch up 7.0 ในช่วงวันที่ 7-14 เม.ย. 55 เป็นดังภาพ



ภาพที่ 52 แสดงการจำลองทิศทางแสงแดดหน้ากล่องทดลองในการทดลองที่ 3 (7 เม.ย.55)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



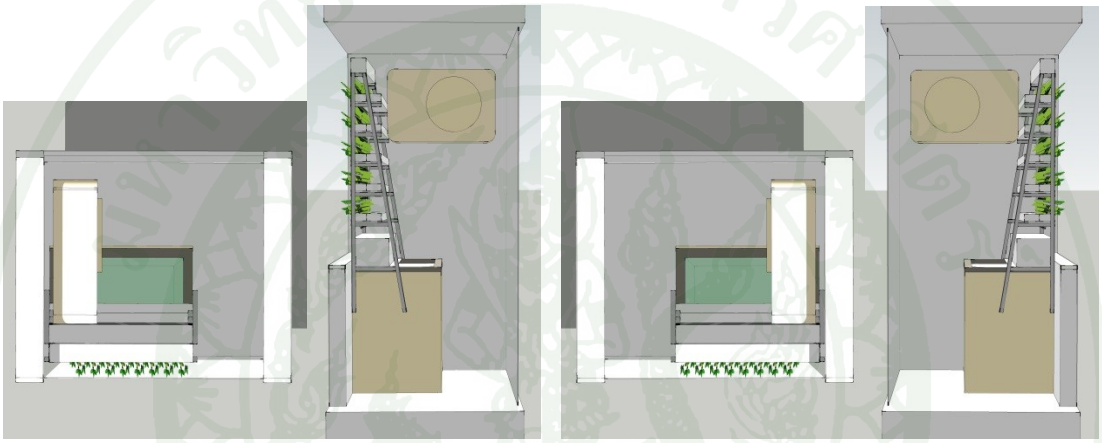
ภาพที่ 53 แสดงการจำลองทิศทางแสงแดดในตำแหน่งการทดลองที่ 3 (7 เม.ย.55)

ในช่วงวันที่ ทดลอง ตั้งแต่วันที่ 7-14 เม.ย.นั้น เป็นการทดลองช่วงสั้นๆ ที่ทิศทางแสงแดดไม่แตกต่างกันมากนัก จากผลการจำลองทิศทางแสงแดด พบว่า แสงแดดในวันที่ 7 เม.ย. เป็นแสงแดด ที่ไม่ส่องเข้าชุดทดลองโดยตรง แต่เป็นช่วงฤดูร้อนซึ่งอุณหภูมิภายนอกสูงสุดในแต่ละปี จึงศึกษาเพื่อหาประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของแผงบังแดดแนวตั้งระบบอะควาโพนิกส์ และแผงบังแดดไม้เทียม โดยการเปรียบเทียบหาอุณหภูมิที่ลดลงเมื่ออยู่ภายในกล่องทดลองแต่ละห้อง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2 ตำแหน่งการวางแผงบังแดด

จากจุดประสงค์การติดตั้งแผงบังแดดแนวตั้งด้วยระบบอะควาโพนิกส์เพื่อลดอุณหภูมิ เลือกตำแหน่งการวางทางทิศใต้ เนื่องจากเป็นทิศที่ได้รับแสงธรรมชาติและเป็นทิศที่นิยมหันช่องเปิดอาคาร แต่เป็นทิศซึ่งมีความร้อนจากแสงแดดอ้อมใต้เป็นส่วนใหญ่ของปี ดังนั้นการติดตั้งแผงบังแดดบริเวณอาคารชุดพักอาศัยนั้น ต้องมีประโยชน์ในการบังแดด แต่ไม่บดบังลม และทัศนียภาพสู่ภายนอกอาคาร โดยสามารถย้ายตำแหน่งไปทางซ้ายหรือขวาเพื่อบังแดดที่เปลี่ยนทิศได้



ภาพที่ 54 แสดงการติดตั้งระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งเมื่อใช้เป็นแผงบังแดดบริเวณระเบียงอาคารชุดพักอาศัย

ขั้นตอนที่ 4: เลือกพืชพรรณเพื่อใช้ในการทดลอง

การเลือกชนิดผักที่ปลูก เลือกจากผักที่นิยมปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ในประเทศไทยซึ่งมีเกณฑ์การพิจารณาดังนี้

1. เป็นพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ในไทย
2. เป็นพืชทนแดด
3. ความต้องการสารอาหารน้อยที่สุด EC (mg/l)
4. ระยะเวลาเก็บเกี่ยวสั้นที่สุด
5. ลักษณพุ่มใบหนาปกคลุมได้ดี
6. สามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำที่มีค่า pH ช่วงเดียวกับปลานิล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 การคัดเลือกผักในกรรมวิธีปลูกระบบไฮโดรโพนิกส์ในประเทศไทย ศูนย์เกษตรกรรมบางไทร (ม.ป.ป.) และ กองทัพเรือ (ม.ป.ป.)

กลุ่มผัก	รายการ	อุณหภูมิเหมาะสม (C)	EC (mS/cm)	PH	ระยะเก็บเกี่ยว (วัน)	ความสูง (ซ.ม.)	ลักษณะพุ่มใบ
กลุ่มผักสลัด	กรีนโอ๊ค	10-24	1.4-1.8	5.8-6.0	38-45	15-20	
	เรดโอ๊ค	10-24	1.4-1.8	5.8-6.0	38-45	15-20	
	เรดคอรัล	10-24	1.4-1.8	5.8-6.0	38-45	15-20	
	บัตเตอร์เฮด	10-24	1.4-1.8	5.8-6.0	38-45	15-20	
	กรีนคอส	10-24	1.4-1.8	5.8-6.0	38-45	15-20	
	บัตตาเวีย	10-24	1.4-1.8	5.8-6.0	38-45	15-20	
	ร๊อคเก็ต	10-24	1.4-1.8	5.8-6.0	38-45	15-20	
กลุ่มกวางตุ้ง	กวางตุ้งฮ่องเต้	20-25	3.0-3.5	5.5-6.5	32-35	15-25	
	กวางตุ้งทาห์ไช่	20-25	3.0-3.5	5.5-6.5	32-35	15-25	
กลุ่มคะน้า	คะน้าไอริส	20-25	3.0-4.0	5.8-6.0	35-38	15-25	
	คะน้าเห็ดหอม	20-25	3.0-4.0	5.8-6.0	35-38	15-25	
	คะน้าฮ่องกง	20-25	3.0-4.0	5.8-6.0	35-38	15-25	
กลุ่มผักโขม	ผักโขมแดง*	25-40	1.4-1.8	6.0-7.0	14-16	15-25	
	ผักโขมขาว*	25-40	1.4-1.8	6.0-7.0	14-16	15-25	
	ผักบุ้งจีนเรียวไผ่*	25-40	1.4-1.8	5.5-6.5	14-16	25-30	
	ผักบุ้งจีนขาวพระราม*	25-40	1.4-1.8	5.5-6.5	14-16	25-30	
กลุ่มผักกาด	ผักกาดขาวไดโตเกียว	10-24	3.0-3.5	5.5-6.5	30-35	15-25	

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากเกณฑ์ดังกล่าว สรุปผลการเลือกพืช 4 ชนิดได้แก่ ผักโขมแดง ผักโขมขาว ผักบุ้งจีนเรียวไผ่ และผักบุ้งจีนไผ่ขาวพระราม

ขั้นตอนที่ 5: ทดลองสร้างแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งตามแนวคิดเบื้องต้นเพื่อปรับแก้ระบบและการทดลอง

จากแนวคิด Preriminary Vertical Aquaponics ผู้วิจัยได้ทดลองสร้างชุดผนังเขียว จากแนวคิดดังกล่าว 1 ชุด โดยปรับลดจำนวนรางปลูกเหลือ 4 รางปลูก เพื่อให้สอดคล้องกับชุดการทดลองที่ออกแบบไว้

ตารางที่ 11 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสร้างชุดแผงกันแดดระบบอะควาโพนิกส์เบื้องต้น

ที่	รายการ	อุปกรณ์
1	ชุดผนังเขียว  ภาพ ระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งตามแนวคิด Preriminary Aquaponics Green Wall	- กระบะปลูกผัก UPVC สีขาวพร้อมฝา เจาะรู Ø 2.5 ซม. - ปล่องซ่อนท่อน้ำขึ้นและลง ทำด้วยวัสดุ UPVC สีขาว - ถ้วยปลูกตาข่ายพลาสติก Ø 5 ซม. - วาล์วปิด-เปิดน้ำ สายยาง พร้อมอุปกรณ์ข้อต่อ - กระบอกกรอง 1 ชุดพร้อมใยกรองน้ำ - ตู้ปลา ขนาด 0.20 x 0.80 x1.00 ม. - ตู้กระจกสำหรับการตกตะกอน 1 ตู้ - ท่อ PVC Ø 8” (ใช้เป็นถังกรองและถังพักน้ำชั้นบน) - ถังบำบัดน้ำ 1 ถัง - โครงชุดผนังเขียว ฉากอะลูมิเนียม 1”x1” - กล่องพักน้ำ ทำด้วยวัสดุ UPVC สีขาว 0.10 x 0.10 x 1.00 ม. - ชุดปั๊มน้ำ 1 ชุด - ปั๊มลม 2 หัวจ่าย 2 ชุด - เครื่องกรองคลอรีนในน้ำ 1 ชุด - เครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ 1 ชุด
หมายเหตุ ทดสอบติดตั้งยึดกับโครงนั่งร้านสำหรับงานก่อสร้าง		

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

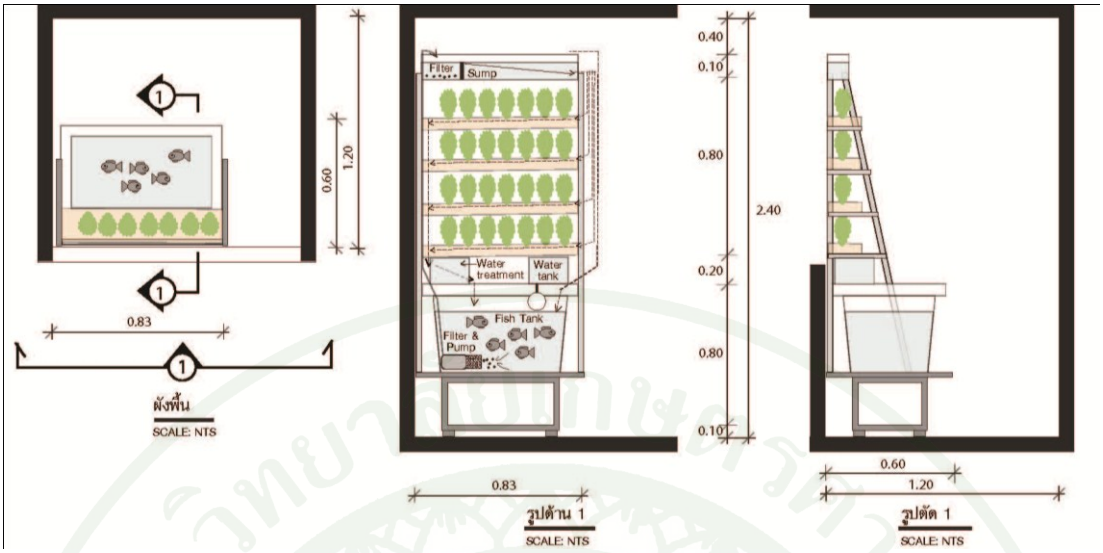
จากการทดสอบเบื้องต้น พบว่า มีปัญหาหลัก คือ ปัญหาในขนย้าย และติดตั้ง เนื่องจากตู้ปลาเป็นกระจกเสี่ยงกับการแตก ทำให้การปรับเปลี่ยนการใช้งานจำกัดให้ตั้งอยู่กับที่ กรณีใช้เป็นผนัง น้ำหนักรวม 150 ก.ก. พื้นที่ในระนาบตั้ง 2.6 ตร.ม. คิดเป็นน้ำหนักเฉลี่ยในระนาบตั้ง 57 กก./ ตร.ม. หนักน้อยกว่าผนังอิฐมวลเบา Q-con ส่วนกรณีเคลื่อนย้ายไปใช้ส่วนอื่นที่ไม่ใช่คานรับน้ำหนัก คิดเป็นน้ำหนักเฉลี่ยในระนาบนอน เช่นเดียวกับวิธีการคิดน้ำหนักบรรทุกจร (Live load) บนพื้นอาคาร เป็นการคำนวณโดยแรงรวมทั้งหมดที่ถ่ายเทลงบนพื้น ซึ่งต้องคาดการณ์กรณีมีการตั้งเครื่องซักผ้า และคนยืน โดยคิดที่น้ำหนักเครื่องซักผ้าขนาดใหญ่สุดที่ติดตั้งได้ คือ เครื่องซักผ้าแบบ 2 ถัง จากที่มีขายใน Tesco Lotus ยี่ห้อ LG รุ่น WP-1350 wst ขนาด 880 x 1025 x 530 มม., ความจุน้ำ 50 ลิตร น้ำหนัก 50 กก., น้ำหนักเครื่อง 30.5 กก., น้ำหนักคนยืน 75 กก. และน้ำหนักราวตากผ้า 1 กก.



ภาพที่ 55 เครื่องซักผ้าที่มีจำหน่ายใน Tesco Lotus ยี่ห้อ LG รุ่น WP-1350 wst และ ถังซักผ้าขนาดเล็กยี่ห้อ HATARI รุ่น HW-1021

ดังนั้น น้ำหนักรวม เป็น 150+10.5+50+30.5+75+1 = 317 กก. คิดเป็น 220. กก./ ตร.ม. ซึ่งเกินกำหนดน้ำหนักบรรทุกจรตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2522, กฎกระทรวง ฉบับที่ 6/ 2527 , ว.ส.ท. คือ 200 กก./ ตร.ม. รวมทั้งการติดตั้งและการใช้งานค่อนข้างยาก โดยปัญหาหลักอยู่ที่ตู้ปลา ที่เสี่ยงแตกและน้ำหนักมากเมื่อจุน้ำแล้วหนักรวม 90 กก. จึงทำการปรับการออกแบบใหม่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 56 ภาพร่างแนวคิดการออกแบบ Developed Vertical Aquaponics โดยผู้วิจัย

จากแนวคิด Developed Aquaponics Green Wall มีการหมุนเวียนน้ำที่ต่างจากเดิมเฉพาะในส่วนถังตกตะกอนชั้นล่าง เปลี่ยนเป็นถังบำบัดน้ำ และเพิ่มถังน้ำสำหรับเติมน้ำ 1 ถัง



ภาพที่ 57 ระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง ตามแนวคิด Developed Vertical Aquaponics

จากการทดสอบเบื้องต้น พบว่า การติดตั้งง่ายขึ้น ไม่มีปัญหาเรื่องตู้ปลาซึ่งเสี่ยงกับการแตก และมีการกระจายน้ำหนัก และเบาขึ้น ทำให้สามารถปรับเปลี่ยนการใช้งานได้หลากหลาย โดยน้ำหนัก รวม 100 ก.ก. ขนาดของอ่างเมื่อตั้งในพื้นที่ จะทำให้ต้องเลือกเครื่องซักผ้าขนาดเล็ก เช่น เครื่องซักผ้า ยี่ห้อ HATARI รุ่น HW-1021 ขนาด 385 x 630 x 395 มม. น้ำหนักรวมประมาณ 19 กก.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หรือตั้งเครื่องซักผ้าภายในห้องพัก หรือปรับรูปแบบการซักเป็นการจ้างซัก ซึ่งกรณีจ้างซักทำให้ภาพรวมของการใช้ไฟฟ้าและการใช้น้ำลดลงได้ ส่วนการคิดน้ำหนักที่ระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งรวมกับน้ำหนักบริเวณระเบียง ประกอบด้วย น้ำหนักรวมของเครื่องซักผ้า 18 กก., น้ำหนักคนยืน 75 กก. และน้ำหนักราวตากผ้า 1 กก.

ดังนั้น น้ำหนักรวม เป็น 100+18+75+1 = 194 กก. คิดเป็นน้ำหนักในระนาบนอนเฉลี่ย 134.7 กก./ ตร.ม. ซึ่งไม่เกินข้อบัญญัติกำหนด โดยน้ำหนักประมาณ 72 กก. เป็นส่วนของอ่างเลี้ยงปลา จากนั้นจึงปรับการทดลองและเพิ่มรายละเอียดการทดลองต่อไป

ขั้นตอนที่ 6: สรุปวิธีการทดลองและการเก็บข้อมูล

จากการเตรียมการทดลองขั้นตอนที่ 1-5 สามารถสรุปวิธีการทดลองได้ดังนี้

1. ชุดการทดลองที่ 1

1.1 วัตถุประสงค์ เพื่อหาวิธีการบรรจุวัสดุปลูกในรางปลูกที่เหมาะสมและตรวจสอบอุณหภูมิน้ำ และคุณภาพน้ำในระบบ ที่ได้เพื่อใช้เป็นแนวทางการใช้งานและปรับปรุงระบบ ในการทดลองที่ 2

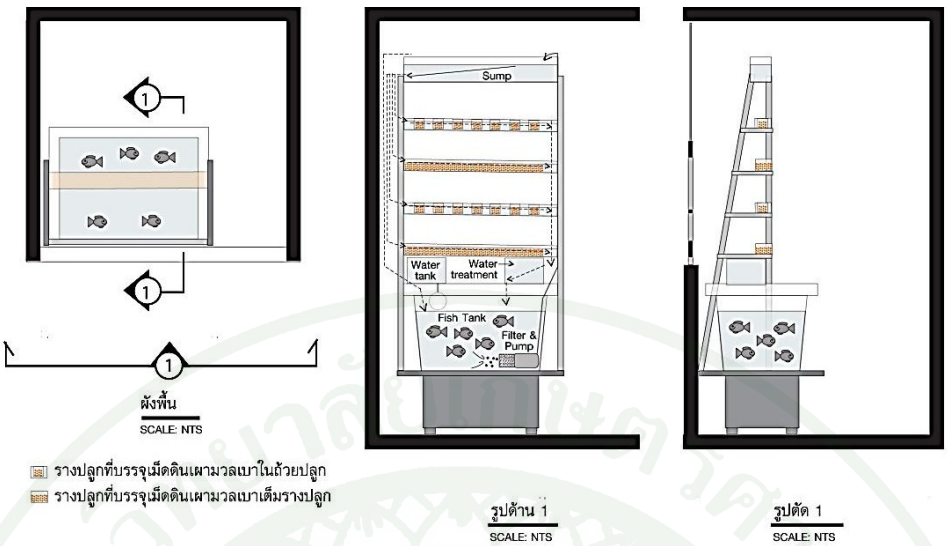
1.2 วัสดุอุปกรณ์ ระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง, อาหารและอุปกรณ์เลี้ยงปลา, ชุดเครื่องมือในการเก็บข้อมูล และตารางเก็บข้อมูล

1.3 ตัวแปรควบคุม ปริมาณปลาและอาหารปลา ปริมาณน้ำในระบบ

1.4 ตัวแปรตาม ปริมาณธาตุอาหารในน้ำ อุณหภูมิน้ำ ขนาดปลา อัตราการเจริญเติบโตของผัก 4 ชนิด เพื่อเปรียบเทียบพิจารณาชนิดพันธุ์ผักที่มีอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุด มีร่มเงาและพุ่มใบแผ่กว้าง ทำการทดลองปลูกและเก็บข้อมูลจริง จนพืชโตเต็มที่

1.5 วิธีการ การทดลองนี้ทำการทดลองด้วยชุดผนังเขียวที่มีรางปลูก 4 ราง แต่ละรางบรรจุเม็ดดินเผามวลเบาแตกต่างกัน 2 วิธี โดยกำหนดให้ รางที่ 1 และ 3 เป็นรางบรรจุเม็ดดินเผาเต็มรางปลูก ส่วนรางที่ 2 และ 4 เป็นรางบรรจุเม็ดดินเผาในถ้วยเรียงในรางปลูก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

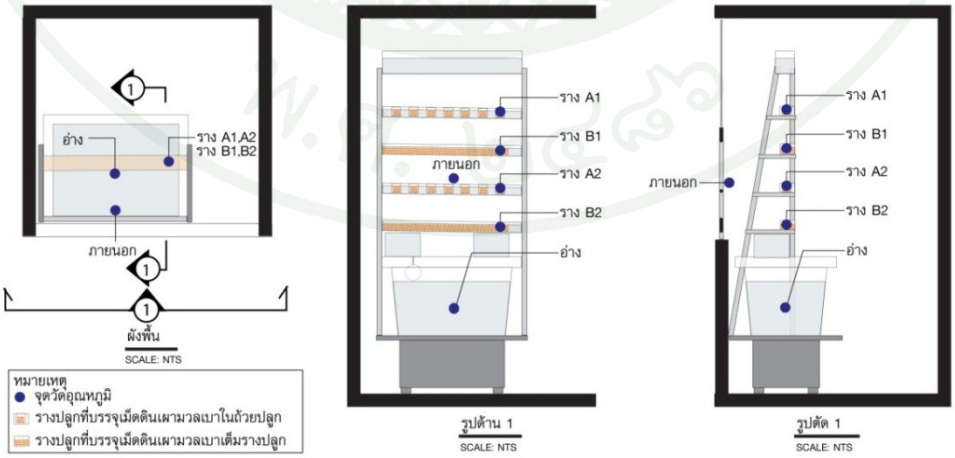


ภาพที่ 58 ระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง ชุดการทดลองที่ 1

1.4 การเก็บข้อมูล ทำการเก็บข้อมูล ได้แก่

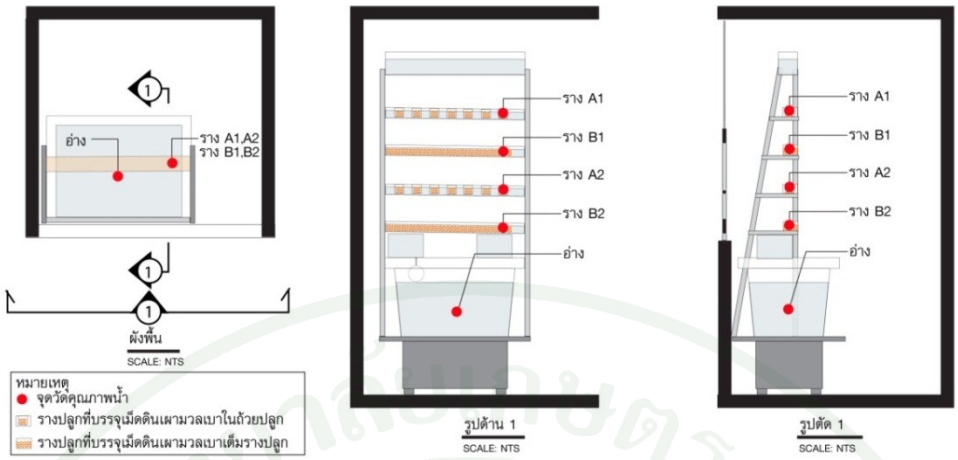
ข้อมูลอุณหภูมิ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิน้ำในอ่าง อุณหภูมิน้ำในรางปลูกทั้ง 4 ราง จุดวัดอุณหภูมิอากาศภายนอกอยู่ห่างจากรางที่ 2 50 ซม.

ข้อมูลคุณภาพน้ำ ได้แก่ ค่า EC, pH, Nitrate, Nitrite และ Ammonia ของน้ำในอ่างและในรางปลูก ทุกๆ 2 ชั่วโมง ข้อมูลค่า ไนตรัสและไนเตรท ในวันที่ 1, 4 และ 7 เป็นเวลา 7 วัน จุดเก็บข้อมูลน้ำในอ่างอยู่กลางอ่าง ส่วนจุดเก็บข้อมูลน้ำที่รางปลูก อยู่ที่ช่องปลูกช่องสุดท้าย



ภาพที่ 59 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิในการทดลองที่ 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 60 ตำแหน่งวัดคุณภาพน้ำในการทดลองที่ 1

เก็บข้อมูลภาพถ่าย ได้แก่ ภาพถ่ายในรางก่อนเริ่มทดลอง และวันสุดท้ายของการเก็บข้อมูล เพื่อแสดงลักษณะการกองของตะกอน ปริมาณตะกอนในราง ภาพแผ่นกรองก่อนและหลังกรอง

1.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลอุณหภูมิ นำข้อมูลที่ได้มาทำเป็นกราฟ และวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิ เพื่อหาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ ระหว่างอุณหภูมิอากาศ น้ำในระบบ ทั้งในอ่างเลี้ยงปลาและในรางแบบ A และแบบ B ช่วงเวลากลางวันกับช่วงกลางคืน

ข้อมูลภาพถ่าย นำภาพที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะการกองของตะกอน และปริมาณที่ตกค้างในรางปลูก

2. ชุดการทดลองที่ 2

2.1 วัตถุประสงค์ เพื่อหาพืชผักสวนครัวที่เหมาะสมกับปุ๋ยในน้ำที่ได้จากปลาและอาหารปลาที่ควบคุมปริมาณในชุดผนังเขียวอะควาโพนิกส์

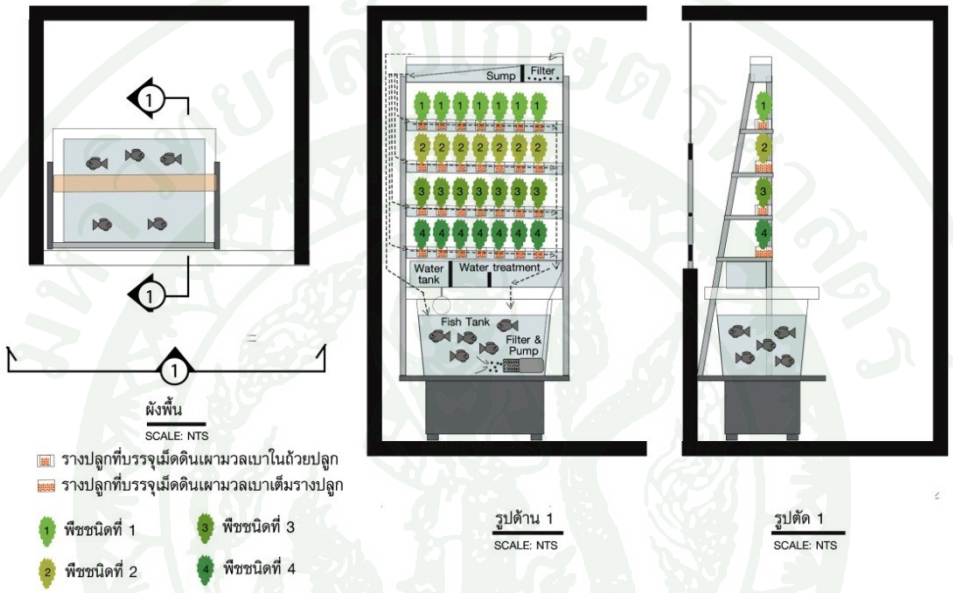
2.2 วัสดุอุปกรณ์ ชุดผนังเขียว, ชุดเลี้ยงปลา, ผักและวัสดุปลูก, ชุดเครื่องมือเก็บข้อมูล และตารางเก็บข้อมูล

2.3 ตัวแปรควบคุม ปริมาณปลาและอาหารปลา ปริมาณน้ำในระบบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.4 ตัวแปรตาม ปริมาณธาตุอาหารในน้ำ อุณหภูมิน้ำ ขนาดปลา อัตราการเจริญเติบโตของผัก 4 ชนิด

2.5 วิธีการ เพาะกล้าพืชทั้ง 4 ชนิดที่เลือกและย้ายปลูกใสรางปลูกพืช และทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เริ่มจนพืชโตเต็มที่ เพื่อเปรียบเทียบพิจารณาชนิดพันธุ์ผักที่มีอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุด มีร่มเงาและพุ่มใบแผ่กว้าง



ภาพที่ 61 ระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง ชุดการทดลองที่ 2

2.6 การเก็บข้อมูล ทำการเก็บข้อมูล ได้แก่

ข้อมูลอุณหภูมิ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิน้ำในอ่าง อุณหภูมิน้ำในรางปลูกทั้ง 4 ราง จุดวัดอุณหภูมิอากาศภายนอกอยู่ห่างจากรางที่ 2 50 ซม.

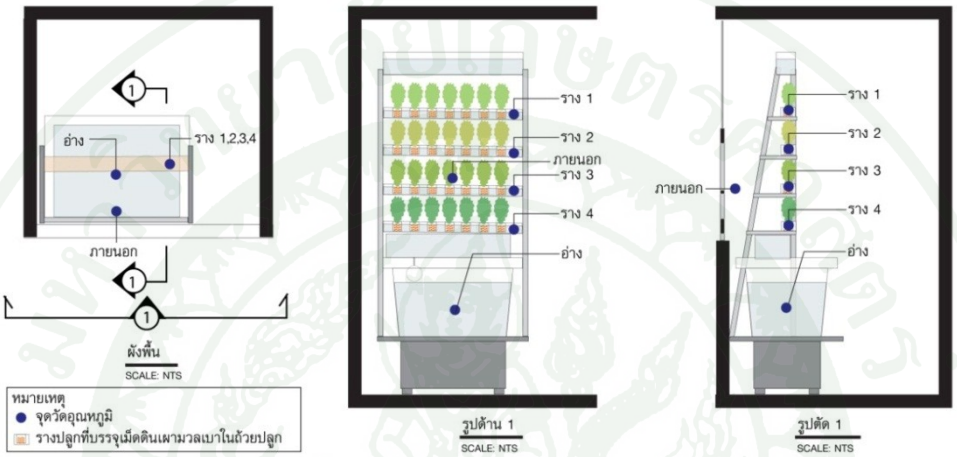
ข้อมูลคุณภาพน้ำ ได้แก่ ค่า EC, pH, Nitrate, Nitrite และ Ammonia ของน้ำในอ่างในวันที่ 1, 4 และ 7 เป็นเวลา 7 วัน จุดเก็บข้อมูลน้ำอยู่กลางอ่าง

การเก็บข้อมูลด้วยการวัดขนาด กำหนดเกณฑ์จากผลการทดสอบการปกคลุมที่ดีที่สุดประกอบกับการวัดอัตราการเจริญเติบโต ด้วยการวัดขนาดต้นพืช อาทิตย์ละ 1 ครั้ง จนพืชโตเต็มที่

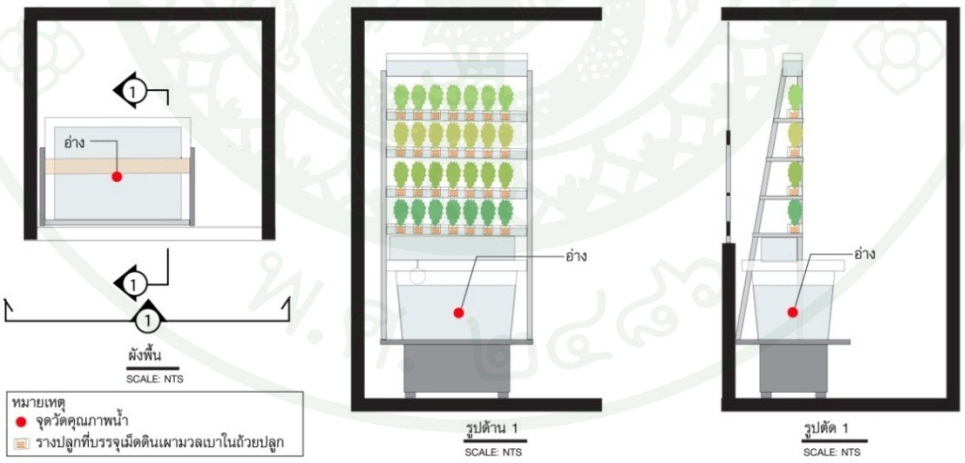
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เป็นเวลา 1 เดือน แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก เพื่อดูอัตราการเจริญเติบโตและเปรียบเทียบหาจำนวนพืชต่อชุดผนังเขียวระบบอะควาโพนิกส์

เก็บข้อมูลภาพถ่าย ถ่ายภาพพืชทุกรางทุกวันที่ 1 ของสัปดาห์ ภาพการปกคลุมของพืชในวันสุดท้ายที่เก็บข้อมูล ภาพขั้นตอนการชั่งน้ำหนัก การวัดความสูงต้นพืช



ภาพที่ 62 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิในการทดลองที่ 2



ภาพที่ 63 ตำแหน่งวัดคุณภาพน้ำในการทดลองที่ 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.7 การวิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลที่วิเคราะห์ ได้แก่

วิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิ นำข้อมูลที่ได้มาทำเป็นกราฟ และวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิ เพื่อหาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ ระหว่างอุณหภูมิอากาศ น้ำในระบบ ทั้งในอ่างเลี้ยงปลาและในราง แบ่งเป็น ช่วงเวลากลางวันกับช่วงกลางคืน

วิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่าย ได้แก่ วิเคราะห์การเจริญเติบโต นำภาพที่ได้มาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืช ด้านข้าง ด้านหน้า สังเกตลักษณะพุ่มใบ และวิเคราะห์การปกคลุม โดยการถ่ายภาพจากด้านในอาคารแล้วนาภาพมาปรับเป็นสีขาว-ดำโดยใช้โปรแกรม Photoshop และหาเปอร์เซ็นต์การปกคลุมของใบจากค่า Pixel สีในโปรแกรม Photoshop เช่นกัน โดยนับพื้นที่พืชปกคลุมในช่องว่างระหว่างรางปลูก คำนวณ %พื้นที่การปกคลุมแต่ละส่วนในโปรแกรม Excel

ในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยมีการตั้งสมมติฐานดังนี้ “พืชที่เติบโตได้ดีที่สุดและมีลักษณะพุ่มใบเหมาะสมในการบังแดดเป็นพืชที่เหมาะสมที่สุดในกลุ่มพืชตัวอย่างที่เลือก”

จากผลการทดลอง เลือกพืชที่เหมาะสมที่สุด เพื่อปลูกในชุดการทดลองที่ 3 รวมทั้งสรุปข้อดี ข้อเสียของระบบ เพื่อแนวทางการออกแบบปรับปรุงระบบและการใช้ระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งที่ออกแบบอย่างเหมาะสม

3. ชุดการทดลองที่ 3

3.1 วัตถุประสงค์ เพื่อทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิระหว่างระบบอะ-ควาโพนิกส์แนวตั้ง กับ แผงบังแดดไม้เทียม

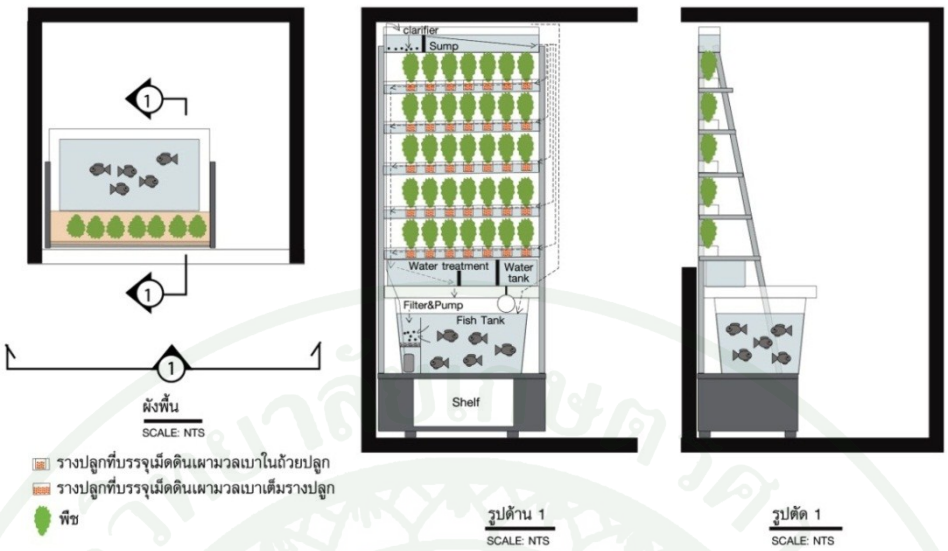
3.2 วัสดุอุปกรณ์ ชุดผนังเขียว, ชุดเลี้ยงปลา, ผักและวัสดุปลูก, ชุดเครื่องมือในการเก็บข้อมูล ตารางเก็บข้อมูล และกล่องทดลอง

3.3 ตัวแปรตาม อุณหภูมิหลังแผงบังแดด และในกล่องทดลอง

3.4 ตัวแปรตาม ตัวแปรควบคุม แผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งที่มีพืชปกคลุม ระยะเก็บเกี่ยว แผงระแนงบังแดดไม้เทียม กล่องทดลอง พืชที่คัดเลือกในการทดลองที่ 1

3.5 วิธีการ เพาะกล้าพืชทั้ง 4 ชนิดที่เลือกและย้ายปลูกใสรางปลูกพืช และทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เริ่มจนพืชโตเต็มที่ เพื่อเปรียบเทียบพิจารณาชนิดพันธุ์ผักที่มีอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุด มีร่มเงาและพุ่มใบแผ่กว้าง

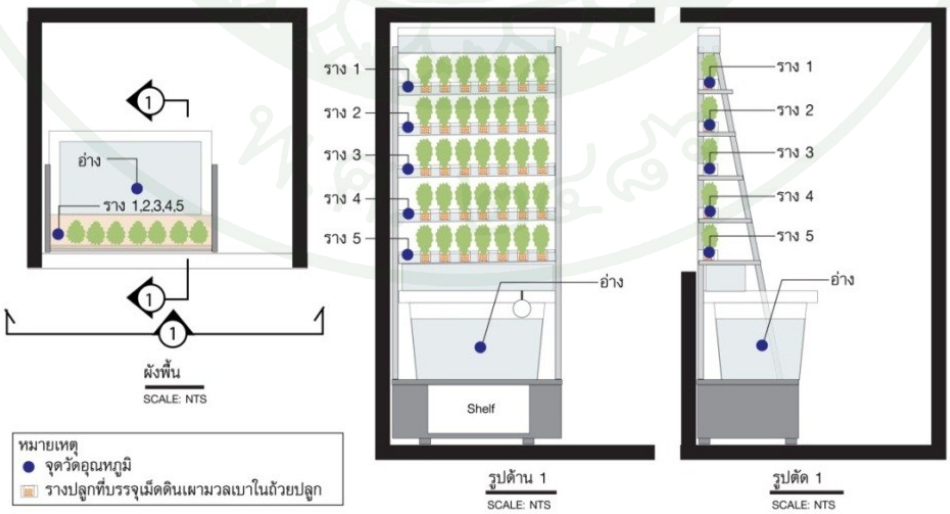
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 64 ระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง ในชุดการทดลองที่ 3

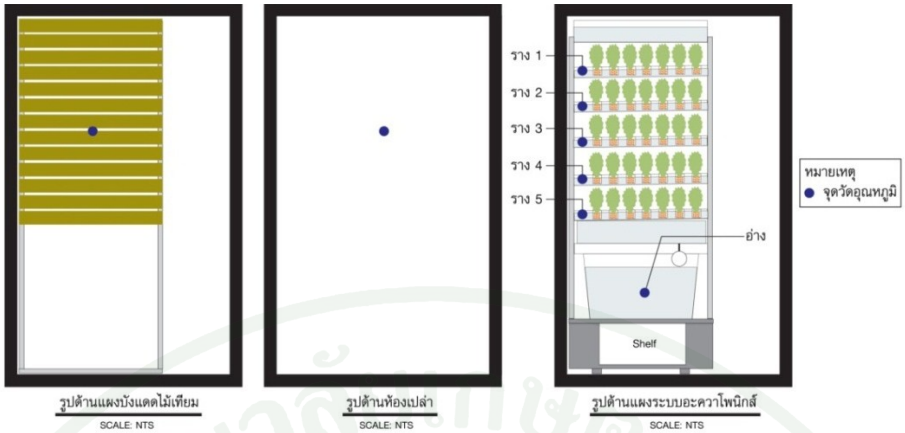
3.6 การเก็บข้อมูล เก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศ น้ำ และภาพถ่าย ได้แก่

ข้อมูลอุณหภูมิ ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 30 นาที เป็นระยะเวลาติดต่อกัน 7 วัน หรือ 168 ชั่วโมง ซึ่งมีการเก็บข้อมูล 7 จุด คือ อุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิอากาศภายนอกหน้ากล่องทดลองห่างไป 30 ซม. อุณหภูมิอากาศภายในหลังกล่องทดลองห่างไป 30 ซม. อุณหภูมิบริเวณผนังในสุดของกล่องทดลอง และอุณหภูมิน้ำในอ่างเลี้ยงปลา

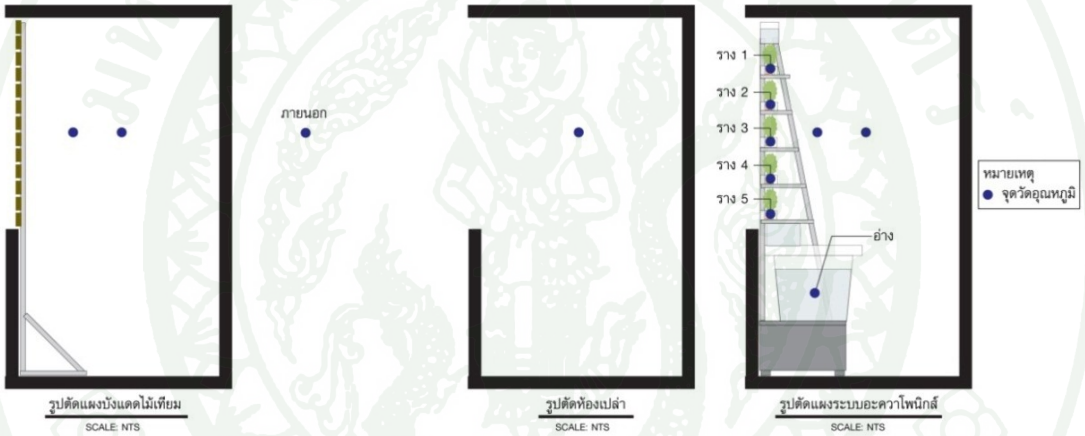


ภาพที่ 65 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิน้ำ ในการทดลองที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

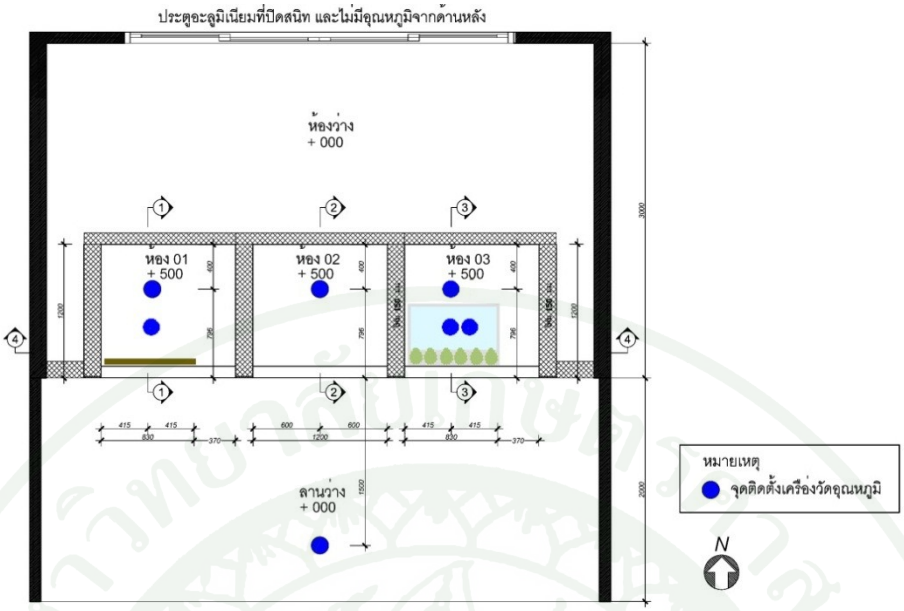


ภาพที่ 66 รูปด้านภายในห้องทดลองทั้ง 3 ห้องแสดงตำแหน่งวัดอุณหภูมิในการทดลองที่ 3



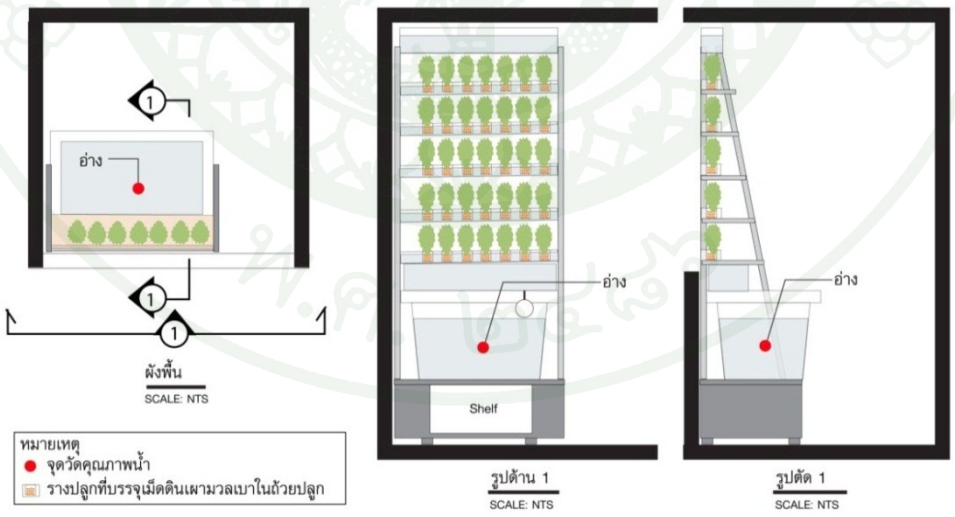
ภาพที่ 67 รูปตัดภายในห้องทดลองทั้ง 3 ห้องแสดงตำแหน่งวัดอุณหภูมิในการทดลองที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 68 แปลนพื้นแสดงการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทดสอบค่าอุณหภูมิ ในชุดการทดลองที่ 3

ข้อมูลคุณภาพน้ำ ได้แก่ ค่า EC, pH, Nitrate, Nitrite และ Ammonia ของน้ำในอ่าง ในวันที่ 1, 4 และ 7 เป็นเวลา 7 วัน จุดวัดค่าในอ่างอยู่กลางอ่าง ส่วนจุดวัดค่าที่รางปลูก อยู่ที่ ช่องปลูกช่องสุดท้าย



ภาพที่ 69 ตำแหน่งวัดคุณภาพน้ำ ในการทดลองที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล โดยการนำข้อมูลที่ได้มาทำเป็นกราฟ และวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิ เพื่อหาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ ระหว่างอุณหภูมิอากาศบริเวณ ทั้งภายในและภายนอกผนังเขียว ในช่วงเวลากลางวันกับช่วงเวลากลางคืน โดยมีการตั้งสมมติฐานดังนี้

“ผนังเขียวระบบอะควาโพนิกส์ที่มีพืชปกคลุมเต็มที่ จะมีประสิทธิภาพในการลดความร้อนได้มากกว่าระแนงไม้เทียมที่มีพื้นที่บังแดดเท่ากัน”

การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการเก็บข้อมูล

การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการเก็บข้อมูล แบ่งออกเป็น 6 ส่วน ดังนี้

1. แผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง
2. อาหารและอุปกรณ์เลี้ยงปลา
3. พืชและวัสดุปลูก
4. เครื่องมือเก็บข้อมูล
5. ชุดแผงบังแดดไม้เทียม
6. กล่องทดลอง

ส่วนที่ 1: แผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง

ประกอบด้วยอุปกรณ์ ได้แก่ กระบะปลูกผัก UPVC สีขาวพร้อมฝาปิด, ถ้วยปลูก, สายยาง, พร้อมอุปกรณ์ข้อต่อ, กระบอกกรองน้ำ, แผ่นใยกรองน้ำ, อ่างเลี้ยงปลา, ถังบำบัดน้ำ, โครงชุดผนังเขียว ฉากอะลูมิเนียม 1”x1”, กล่องพักน้ำ ทำด้วยวัสดุ UPVC สีขาว, ปั๊มน้ำ, ปั๊มลม ชนิด 2 หัวจ่าย, เครื่องกรองคลอรีนในน้ำ และ เครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ

1 

2 

3 
4 

ภาพที่ 70 ปั๊มลม เครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ เครื่องกรองคลอรีนในน้ำ และถ้วยปลูก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนที่ 2: อาหารและอุปกรณ์เลี้ยงปลา

ประกอบด้วย อาหารปลาซีพีไฮเกรด 9951 วิตามินสำหรับปลา และเกลือปรับสภาพน้ำ



1 2 3

ภาพที่ 71 อาหารปลา วิตามินสำหรับปลา และเกลือปรับสภาพน้ำ

ส่วนที่ 3: พืชและวัสดุปลูก

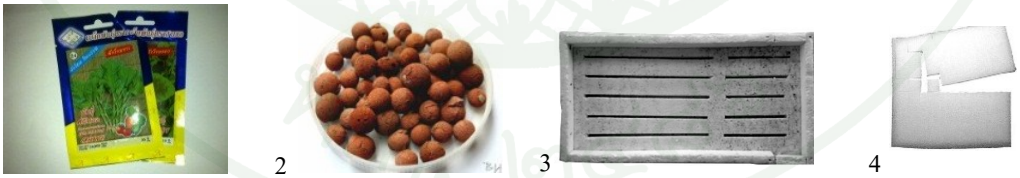
ประกอบด้วย เมล็ดพันธุ์ผักโขมแดง ผักโขมขาว ผักบุ้งจีน เม็ดดินเผา ถาดโฟมเพาะเมล็ด และฟองน้ำเพาะเมล็ด โดยรายละเอียดเมล็ดพันธุ์มีดังนี้

ผักโขมแดง (Amaranthus tricolor L.: red amaranth)

ผักโขมขาว (Amaranthus lividus L.: amaranth green)

ผักบุ้งจีนเรียวไผ่ (Ipomoea aguatica Forsk: chinese convolvulus bamboo leaf kang kong)

ผักบุ้งจีนไผ่ขาวพระราม (Ipomoea aguatica Forsk: chinese convolvulus white bamboo leaf)



1 2 3 4

ภาพที่ 72 เมล็ดพันธุ์ผัก เม็ดดินเผา ถาดโฟมเพาะเมล็ดและฟองน้ำเพาะเมล็ด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนที่ 4: เครื่องมือเก็บข้อมูล

ในการเก็บข้อมูล ประกอบด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดค่าสารอาหารในน้ำ และชุดทดสอบสารละลายในน้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. เครื่องวัดค่า EC ยี่ห้อ INDEX รุ่น ID 1040 เป็นเครื่องวัดแบบปากกา ควบคุมการทำงานด้วยระบบไมโครโปรเซสเซอร์ หน้าจอ LCD มีระบบชดเชยอุณหภูมิอัตโนมัติ ATC อีเลคโทรดยืดได้ยาวถึง 80 มม. ช่วงการวัด : 0-20.0 mS/cm, ค่าความละเอียด : 0.1 mS/cm, ค่าความถูกต้อง : ± 0.2 mS/cm



ภาพที่ 73 เครื่องวัดค่า EC ยี่ห้อ INDEX รุ่น ID 1040

2. เครื่องวัดค่า pH ยี่ห้อ INDEX รุ่น ID 1000 เป็นเครื่องวัดแบบปากกา ควบคุมการทำงานด้วยระบบไมโครโปรเซสเซอร์ หน้าจอ LCD มีระบบชดเชยอุณหภูมิอัตโนมัติ ATC อีเลคโทรดยืดได้ยาวถึง 80 มม. ช่วงการวัด : 0-14.0 pH, ค่าความละเอียด : 0.1 pH, ค่าความถูกต้อง : ± 0.2 pH



ภาพที่ 74 เครื่องวัดค่า pH ยี่ห้อ INDEX รุ่น ID 1000

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. ชุดตรวจแอมโมเนีย ยี่ห้อ Tetra รุ่น Tetra test NH_3/ NH_4^+ เป็นชุดสารละลาย ตรวจสอบแอมโมเนียโดยรวม ช่วงการวัด : 0-5.0 mg/l, ค่าความละเอียดแถบวัด : 0 mg/l, 0.25 mg/l, 1.5 mg/l, 3.0 mg/l และ 5.0 mg/l



ภาพที่ 75 ชุดตรวจแอมโมเนีย ยี่ห้อ Tetra รุ่น Tetra test NH_3/ NH_4^+

4. ชุดตรวจไนเตรทและไนไตรท์ ยี่ห้อ WaterWorks รุ่น Nitrate / Nitrite test strips เป็นแบบเทียบความเข้าสีกับแถบวัด มีช่วงการวัดดังนี้

Nitrates (NO_3): 0 ppm to 50 ppm (Fishkeeping and Drinking Sub 20 ppm is recommended)

Nitrites (NO_2): : 0 ppm to 10 ppm (Nitrites should be under 1ppm).



ภาพที่ 76 ชุดตรวจ ไนเตรทและไนไตรท์ ยี่ห้อ WaterWorks รุ่น Nitrate / Nitrite test strips

5. ปรอทวัดอุณหภูมิ ช่วงการวัด 0° C ถึง 100° C



ภาพที่ 77 ปรอทวัดอุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. เครื่องดาต้าล๊อคเกอร์ (Data logger) ยี่ห้อ HOBO Data Logger รุ่น H08-004-02 และ H08-003-02 ใช้คู่กับสายวัดอุณหภูมิเทอร์โมคอปเปิล มีรายละเอียดดังนี้

ช่วงการวัดอุณหภูมิ : -20° C to 70°C (-4° F to 158°F)

ค่าความถูกต้อง : ±0.7° C at 21°C (±1.27° F at 70°F)

ค่าความละเอียด : 0.4°C at 21°C



ภาพที่ 78 เครื่องดาต้าล๊อคเกอร์ (Data logger) ยี่ห้อ HOBO Data Logger รุ่น H08-004-02 พร้อมสายวัดอุณหภูมิเทอร์โมคอปเปิล

7. เครื่องคอมพิวเตอร์ ใช้คอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP



ภาพที่ 79 เครื่องคอมพิวเตอร์

8. ชุดตรวจปุ๋ย ยี่ห้อ HANNA รุ่น Quick Soiltest เป็นชุดตรวจสอบธาตุ Nitrogen (N), Phosphorus (P), Potassium (K) และ pH ในดิน ซึ่งใช้น้ำละลายดินในการทดสอบ และเทียบค่าสีเพื่อหาปริมาณ ความละเอียดที่แสดง คือ น้อย ปานกลาง มาก และมากที่สุด

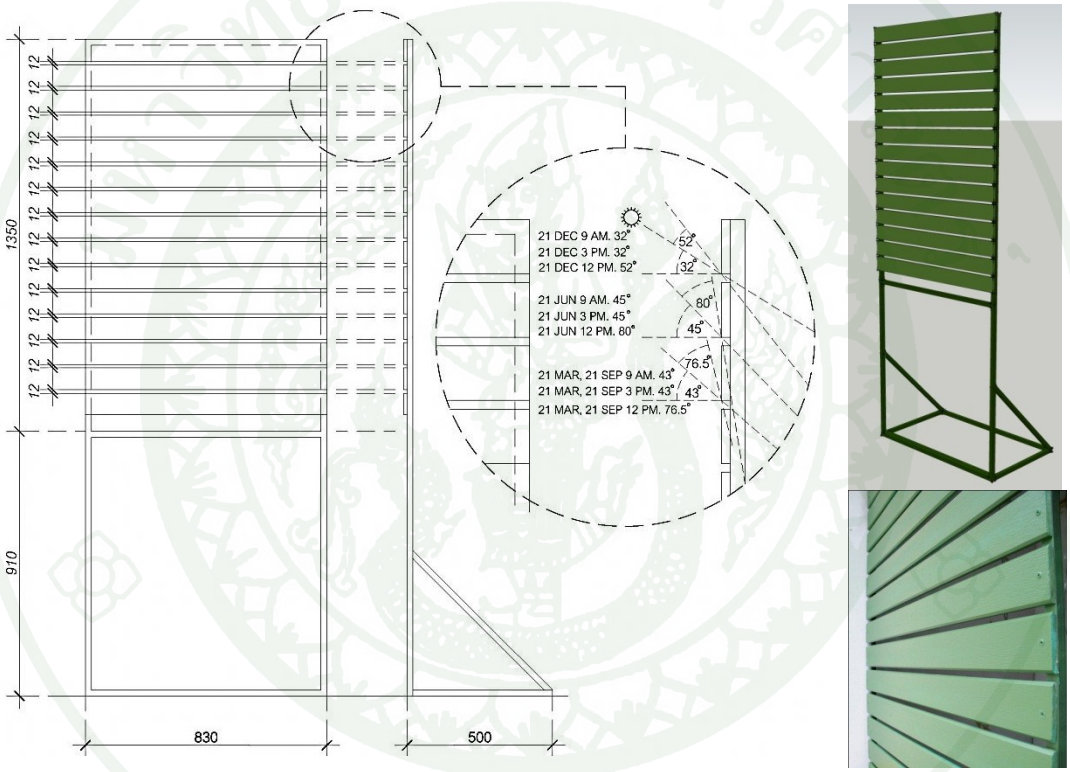


ภาพที่ 80 ชุดตรวจปุ๋ย วัดค่า N P K

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนที่ 5: ชุดแผงบังแดดไม้เทียม

ในการทดลองชุดที่ 3 ชุดแผงบังแดดไม้เทียม เลือกใช้แผ่นระแนงไฟเบอร์ซีเมนต์ ขนาดกว้าง 3 นิ้ว หนา 12 มม. เว้นระยะ 12 มม.(เท่าความหนาแผ่น) เนื่องจากเป็นระยะที่ใช้กันทั่วไป และการคำนวณด้วย Sunchart Diagram พบว่า สามารถกันแสงแดดในมุมต่างๆ ทางทิศใต้ได้เกือบทั้งหมด ช่วงที่ตรงกับการทดลอง ในเดือน เมษายน แสงแดดไม่ส่องผ่านช่องว่างระหว่างแผ่นดังกล่าว และทาสีเขียวที่ระแนงเพื่อให้เหมือนกับสีของใบพืชที่ปลูก

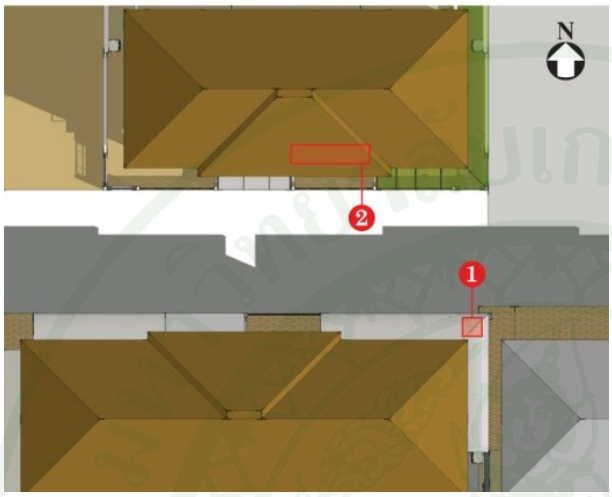


ภาพที่ 81 ชุดแผงบังแดดไม้เทียม (ไฟเบอร์ซีเมนต์)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนที่ 6: กล่องทดลองและพื้นที่ทดลอง

1. ตำแหน่งชุดทดลองในการทดลองที่ 1 2 และ 3



1 = ที่ตั้งชุดทดลองที่ 1,2

2 = ที่ตั้งชุดทดลองที่ 3

ภาพที่ 82 ตำแหน่งที่ตั้งชุดทดลองที่ 1 2 และ 3

1.1 พื้นที่ทดลองชุดทดลองที่ 1 และ 2 เตรียมฐานตั้งชุดทดลอง พื้นรองชุดแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง ใช้วัสดุ แผ่นวีว่าบอร์ดหนา 8 มม. รองรับด้วยอิฐมวลเบา ซ้อน 6 ชั้น



ภาพที่ 83 ฐานรองรับแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง ในชุดการทดลองที่ 1 และ 2

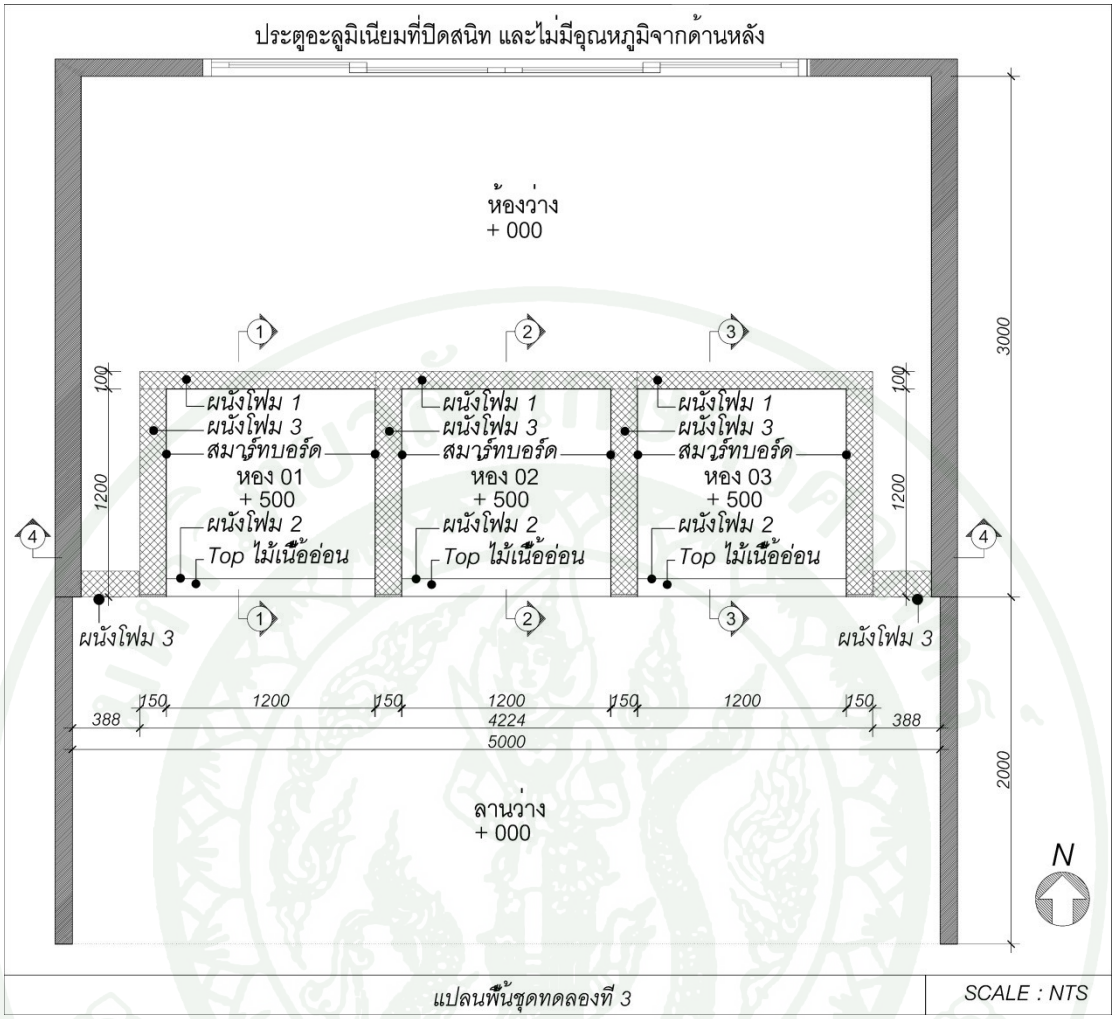
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2 ที่ตั้งชุดทดลองที่ 3 และกล่องทดลองการทดลองที่ 3 มีรายละเอียดการใช้วัสดุดังนี้



ภาพที่ 84 กล่องทดลอง ในชุดการทดลองที่ 3

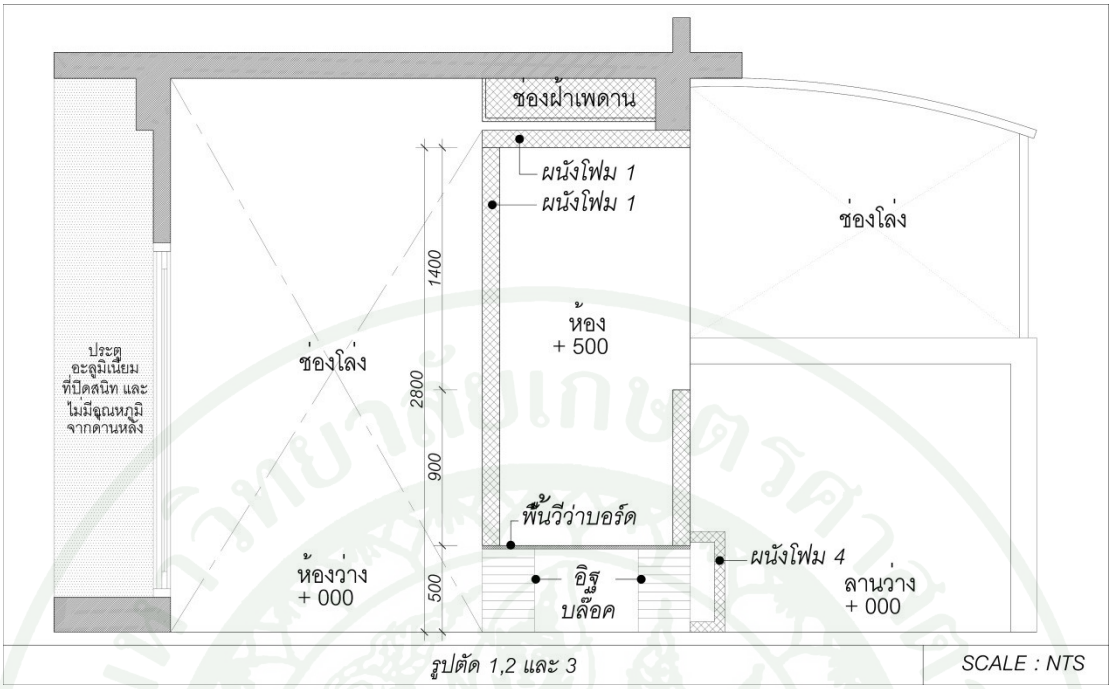
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



หมายเหตุ ผนังโฟม 1 หนา 100 มม. หนาแน่น 1 ปอนด์/ ลบ.ฟุต
ผนังโฟม 2 หนา 150 มม. หนาแน่น 0.65 ปอนด์/ ลบ.ฟุต
ผนังโฟม 3 หนา 100 มม. หนาแน่น 0.65 ปอนด์/ ลบ.ฟุต
ผนังโฟม 4 หนา 60 มม. หนาแน่น 1 ปอนด์/ ลบ.ฟุต
ผนังสมารทบอรด หนา 4 มม.
พื้นวีว่าบอร์ด หนา 16 มม.

ภาพที่ 85 ผังพื้น แสดงวัสดุที่ใช้สร้างกล่องทดลอง ในชุดการทดลองที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



หมายเหตุ ผนังโฟม 1 หนา 100 มม. หนาแน่น 1 ปอนด์/ ลบ.ฟุต
ผนังโฟม 2 หนา 150 มม. หนาแน่น 0.65 ปอนด์/ ลบ.ฟุต
ผนังโฟม 3 หนา 100 มม. หนาแน่น 0.65 ปอนด์/ ลบ.ฟุต
ผนังโฟม 4 หนา 60 มม. หนาแน่น 1 ปอนด์/ ลบ.ฟุต
ผนังสุมารทบอรด หนา 4 มม.
พื้นวีว่าบอร์ด หนา 16 มม.

ภาพที่ 86 รูปตัดด้านข้าง แสดงวัสดุที่ใช้สร้างกล่องทดลอง ในชุดการทดลองที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 สรุปอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง แบ่งออกเป็น 6 ส่วน

ที่	รายการ	อุปกรณ์
1	ระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (Vertical Aquaponics)	- กระบะปลูกผัก UPVC สีขาวพร้อมฝาปิดเจาะรู Ø 2.5 ซม. ระยะห่าง 10 ซม. (ปรับระยะห่างตามชนิดพืชที่ปลูก) - ถ้วยปลูกตาข่ายพลาสติก Ø 5 ซม. - วาล์วปิด-เปิดน้ำ สายยาง พร้อมอุปกรณ์ข้อต่อ - กระบอกกรอง 1 ชุดพร้อมใยกรองน้ำ - อ่างเลี้ยงปลา ความจุ 100 ลิตร - ถังบำบัดน้ำ 2 ถัง - โครงชุดผนังเขียว ฉากอะลูมิเนียม 1"x1" - กล่องพักน้ำ ทำด้วยวัสดุ UPVC สีขาว - ชุดปั๊มน้ำ 1 ชุด - ปั๊มลม 2 หัวจ่าย 2 ชุด - เครื่องกรองคลอรีนในน้ำ 1 ชุด - เครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ 1 ชุด
2	อาหารและอุปกรณ์เลี้ยงปลา	อาหารปลาชนิดเม็ด วิตามินสำหรับปลา เกลือปรับสภาพน้ำ
3	พืชและวัสดุปลูก	เมล็ดพันธุ์ผัก ถาดโฟมเพาะเมล็ด ฟองน้ำเพาะเมล็ด เม็ดดินเผามวลเบา
4	เครื่องมือเก็บข้อมูล	ชุดที่ 1 เครื่องวัดค่า EC เครื่องวัดค่า pH ชุดตรวจแอมโมเนีย ชุดตรวจไนเตรท และไนไตรท์ ปรอทวัดอุณหภูมิน้ำ เครื่องดาต้าล็อคเกอร์ (Data logger) ยี่ห้อ HOBO ware สายวัดอุณหภูมิเทอร์โมคอปเปิล เครื่องคอมพิวเตอร์ และตารางบันทึกข้อมูล ชุดที่ 2 ชุดตรวจปุ๋ย วัดค่า N P K
5	ชุดแผงบังแดดไม้เทียม	โครงสร้างเหล็กกล่อง 1"x1" ระยะโครงและแผ่นไม้เทียม ติดตั้งตามมาตรฐานผู้ผลิต
6	กล่องทดลอง	ชุดที่ 1 แผ่นวีว่าบอร์ด หนา 8 มม.(อิฐมวลเบา 30 ก้อน ใช้เป็นฐาน) โฟมโพลี่สไตรีน หนา 10 ซม. ติดตั้งในบ้านพักอาศัย หันหน้าสู่ทิศเหนือ พื้นที่ 1.20x1.20 ม. ชุดที่ 2 แผ่นวีว่าบอร์ด หนา 16 มม. (อิฐบล็อกใช้เป็นฐาน) และโฟมโพลี่สไตรีน หนา 10 ซม. ประกบด้วยแผ่นสมาร์ทบอร์ด 4 มม. ภายในห้อง (กล่องหันทิศใต้)
หมายเหตุ ผนังโฟม 1 หนา 100 มม. หนาแน่น 1 ปอนด์/ ลบ.ฟุต ผนังโฟม 2 หนา 150 มม. หนาแน่น 0.65 ปอนด์/ ลบ.ฟุต ผนังโฟม 3 หนา 100 มม. หนาแน่น 0.65 ปอนด์/ ลบ.ฟุต ผนังโฟม 4 หนา 60 มม. หนาแน่น 1 ปอนด์/ ลบ.ฟุต ผนังสมาร์ทบอร์ด หนา 4 มม. พื้นวีว่าบอร์ด หนา 8 มม. และ 16 มม.		

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

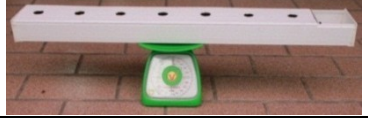
การวิจัยนี้ เป็นการศึกษาออกแบบชุดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง โดยศึกษาออกแบบชุดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนระหว่างแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งกับแผงบังแดดไม้เทียม โดยแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง

การทดลองที่ 1

1. ผลการทดลองชุดการทดลองที่ 1 เพื่อหาวิธีการบรรจุวัสดุปลูกในรางปลูกที่เหมาะสมรวมทั้งตรวจสอบอุณหภูมิน้ำ และคุณภาพน้ำในระบบที่ได้เพื่อใช้เป็นแนวทางการใช้งานและปรับปรุงระบบ ในการทดลองที่ 2

1.1 ผลการทดลองที่ 1.1 เป็นการทดลองเก็บข้อมูลรอบแรก นำข้อมูลไปเป็นแนวทางในการเก็บข้อมูลในการทดลองที่ 1.2 และนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 1.2

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบน้ำหนักของรางปลูกทั้ง 2 แบบ

วิธีการ	การชั่ง	ภาพ	น้ำหนัก (กรัม)
บรรจุในถ้วย	ชั่งแบบเปิดฝา		860 กรัม (50 g/ ถ้วย)
	ชั่งแบบปิดฝา		1160 กรัม.
บรรจุเต็มราง	ชั่งแบบเปิดฝา		1800 กก.
	ชั่งแบบปิดฝา		2000 กก.

ในการทดลองทำการเก็บข้อมูลภาพถ่าย ข้อมูลตะกอนในอ่าง ในรางปลูกและการเจริญเติบโตของปลา อุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิน้ำภายในอ่าง และข้อมูลคุณภาพน้ำ ผลการทดสอบได้ผล ดังตาราง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 14 แสดงการข้อมูลชุดการทดลองที่ 1.1 วันที่ 30 ก.ย. 54 เวลา 8:00 น. ถึงวันที่ 3 ต.ค. 54 เวลา 22:00 น.

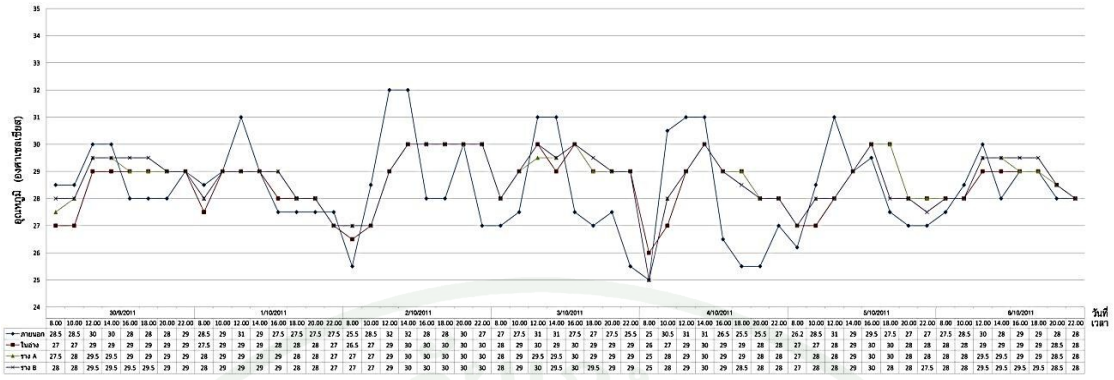
วันที่	บันทึก วัน	บันทึก สัปดาห์	ภาพในรางปลูก	รายการ																				หมายเหตุ
				ถ้วยละ 50 กรัม 7 ถ้วยหนัก รวมรางปลูก 860 กรัม																				
			อัตราการไหลของน้ำ (ลิตร/นาที)	1.55 ลิตร / นาที																				
30/9/2011	1		เวลา	8.00			10.00			12.00			14.00			16.00			18.00			20.00			22.00			อาหาร 3 มื้อ 20 กรัม/มื้อ 8.00 12.00 18.00 ปลานิล 5 ตัว ปลาทับทิม 5 ตัว หนักเฉลี่ย40g/ตัว
			สภาพอากาศ	ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ฝนตก			ฝนตก			ฝนตก			ฝนตก			
			อุณหภูมิภายนอก (องศาเซลเซียส)	28.5			28.5			30			30			28			28			28			29			
			แบบที่	O	A	B	O	A	B	O	A	B	O	A	B	O	A	B	O	A	B	O	A	B	O	A	B	
			อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	27	27.5	28	27	28	28	29	29.5	29.5	29	29.5	29.5	29	29	29.5	29	29	29.5	29	29	29	29	29	29	
			PH	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.5	7.6	7.6	7.5	7.6	7.6	7.4	7.5	7.4	7.4	7.5	7.4	7.4	7.4	7.4	7.5	7.4	7.4	
			EC	1.6	1.9	2	1.6	1.9	2	1.5	1.7	1.9	1.5	1.7	1.9	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	
			NITRATE (mg/L)	0.25	0.5	0.5	-	-	-	-	-	-	0.25	0.5	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	2	
			NITRITE (mg/L)	0.15	0.15	0.2	-	-	-	-	-	-	0.2	0.2	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	0.3	0.3	
			ปริมาณน้ำในถ่าง																ลดลง 1 ลิตร									ล้างห้วกรอง ตักมูลออก
			ล้างห้วกรองทางขึ้น																/									
			ล้างห้วกรองทางลง																/									
1/10/2011	2		สภาพอากาศ	มีแดด			มีแดด			มีแดด			ไม่มีแดด			ฝนตก			ฝนตก			ฝนตก			ฝนตก			
			อุณหภูมิภายนอก (องศาเซลเซียส)	28.5			29			31			29			27.5			27.5			27.5			27.5			
			อุณหภูมิน้ำในราง (องศาเซลเซียส)	27.5	28	28	29	29	29	29	29	29	29	29	29	28	29	29	28	28	28	28	28	28	27	27	27	
			PH	7.6	7.7	7.6	7.7	7.7	7.7	7.7	7.8	7.8	7.7	7.8	7.8	7.7	7.8	7.8	7.7	7.8	7.8	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	
			EC	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	
2/10/2011	3		สภาพอากาศ	ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			
			อุณหภูมิภายนอก (องศาเซลเซียส)	25.5			28.5			32			32			28			28			30			27			
			อุณหภูมิน้ำในราง (องศาเซลเซียส)	26.5	27	27	27	27	27	29	29	29	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
			PH	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.7	7.7	7.6	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.4	7.5	7.5	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	
			EC	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.8	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	
3/10/2011	4		สภาพอากาศ	ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			มีแดด			มีแดด			ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ฝนตกหนัก			8.00 12.00
			อุณหภูมิภายนอก (องศาเซลเซียส)	27			27.5			31			31			27.5			27			27.5			25.5			
			อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	28	28	28	29	29	29	30	29.5	30	29	29.5	29.5	30	30	30	29	29	29.5	29	29	29	29	29	29	
			PH	7.7	7.6	7.6	7.3	7.3	7.3	7.5	7.5	7.5	7.5	7.6	7.6	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.3	7.3	7.4	7.4	7.4	
			EC	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	
			NITRATE (mg/L)	5	5	5	-	-	-	-	-	-	10	10	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	10	10	
			NITRITE (mg/L)	3	3	3	-	-	-	-	-	-	3	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	3	
			ปริมาณน้ำในถ่าง	ลดลง 5 ลิตร																								ล้างห้วกรอง มีรอยน้ำ ตักมูลออก
			ล้างห้วกรองทางขึ้น	/																								
			ล้างห้วกรองทางลง	/																								

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

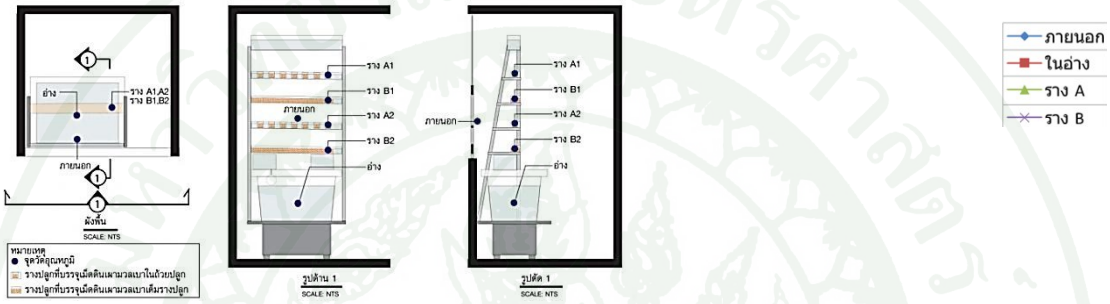
ตารางที่ 15 แสดงการข้อมูลชุดการทดลองที่ 1.1 วันที่ 4 ต.ค. 54 เวลา 08:00 น. ถึง 6 ต.ค. 54 เวลา 22:00 น.

4/10/2011	5	เวลา	8.00			10.00			12.00			14.00			16.00			18.00			20.00			22.00			หมายเหตุ
		สภาพอากาศ	ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ต้กมูลอก
		อุณหภูมิภายนอก (องศาเซลเซียส)	25			30.5			31			31			26.5			25.5			25.5			27			18.00
		แมนที่	O	A	B	O	A	B	O	A	B	O	A	B	O	A	B	O	A	B	O	A	B	O	A	B	ทำสุดต้น
		อุณหภูมิน้ำในราง (องศาเซลเซียส)	26	25	25	27	28	28	29	29	29	30	30	30	29	29	29	29	29	28.5	28	28	28	28	28	28	จากมูล20.00
		PH	7.4	7.3	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.3	7.3	7.3	7.8	7.8	7.8	7.4	7.4	7.4	7.3	7.3	7.3	น้ำร้อ50%
		EC	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	เติมน้ำ 8.00
5/10/2011	6	สภาพอากาศ	ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ฝนตกหนัก			ฝนตกหนัก			ฝนตกหนัก			ลดอาหาร 1 มื้อ
		อุณหภูมิภายนอก (องศาเซลเซียส)	26.2			28.5			31			29			29.5			27.5			27			27			กลางวัน
		อุณหภูมิน้ำในราง (องศาเซลเซียส)	27	27	27	27	28	28	28	28	28	29	29	29	30	30	30	30	30	28	28	28	28	28	28	27.5	เพิ่มน้ำวิตราย 2
		PH	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.4	7.4	7.4	7.5	7.5	7.5	7.4	7.3	7.3	7.4	7.4	7.4	7.5	7.5	7.5	7.3	7.3	7.3	ต้กมูลอก18.00
		EC	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.7	1.75	1.75	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	เติมน้ำ 5 ลิตร
6/10/2011	7																										
		ภาพในรางปลูก				ภาพตะกอนในรางปลูก									ภาพตะกอนในรางปลูก			ภาพในแท้งค์บน			ภาพเมื่อดินแห้ง						
		สภาพอากาศ	ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ไม่มีแดด			ฝนตก			ฝนตก			ฝนตก			ฝนตก			ต้กมูลอก22.00
		อุณหภูมิภายนอก (องศาเซลเซียส)	27.5			28.5			30			28			29			29			28			28			
		แมนที่	O	A	B	O	A	B	O	A	B	O	A	B	O	A	B	O	A	B	O	A	B	O	A	B	
		อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	28	28	28	28	28	28	29	29.5	29.5	29	29.5	29.5	29	29	29.5	29	29	29.5	28.5	28.5	28.5	28	28	28.0	
		PH	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.3	7.3	7.3	7.4	7.4	7.4	
		EC	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	
		NITRATE (mg/L)	15	15	15	-	-	-	-	-	-	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	15	15	
		NITRITE (mg/L)	3	3	3	-	-	-	-	-	-	3	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	3	
		เติมาลน้ำในล้าง																/									
		ล้างหัวกรองทางดิน																/									
		ล้างหัวกรองทางลง																/									

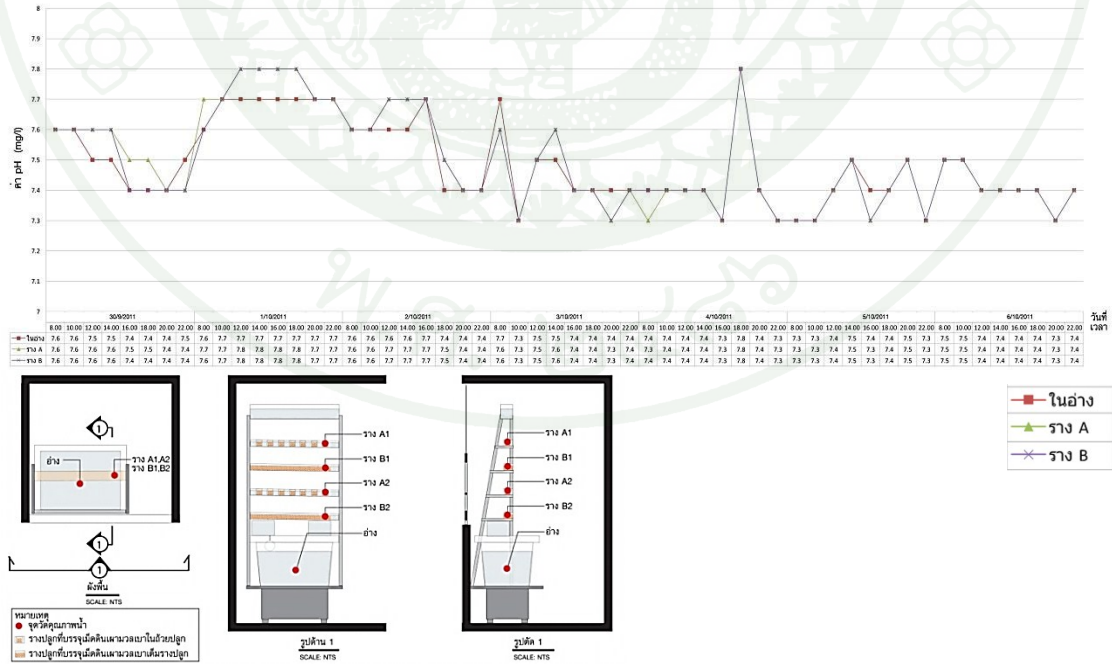
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



หมายเหตุ ค่าอุณหภูมิที่ ราง A = (ราง A1+ ราง A2) /2 และ ราง B = (ราง A1+ ราง A2) /2

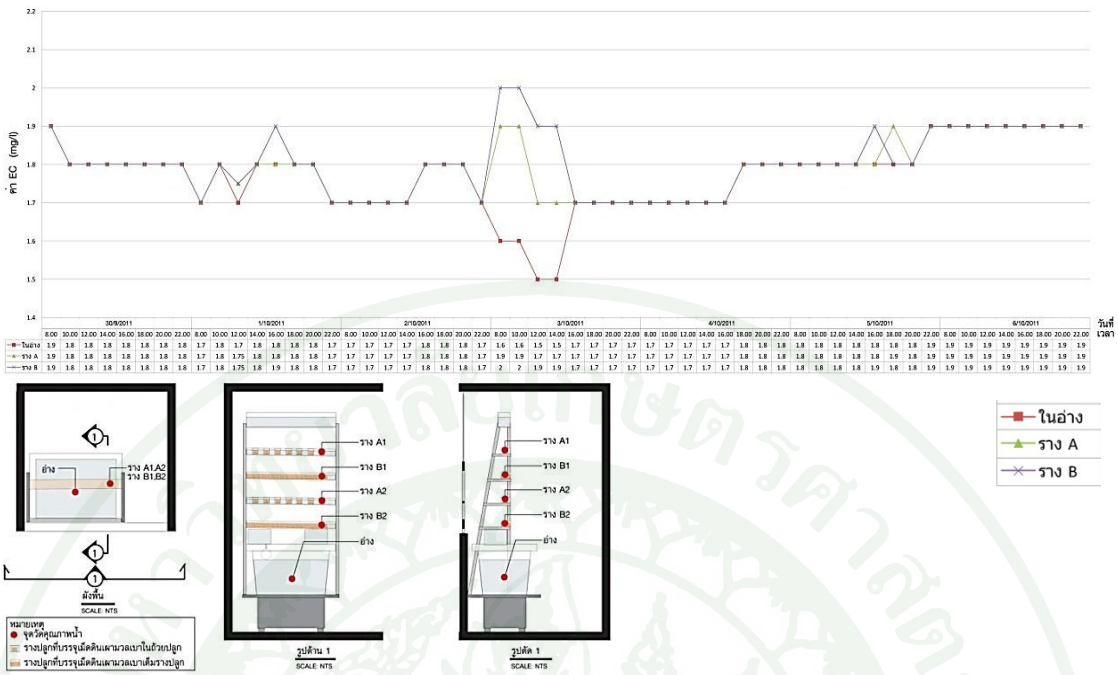


ภาพที่ 87 อุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิของน้ำในอ่าง และในรางปลูก เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 30 ก.ย. 54 เวลา 08:00 น. ถึง 6 ต.ค. 54 เวลา 22:00 น.

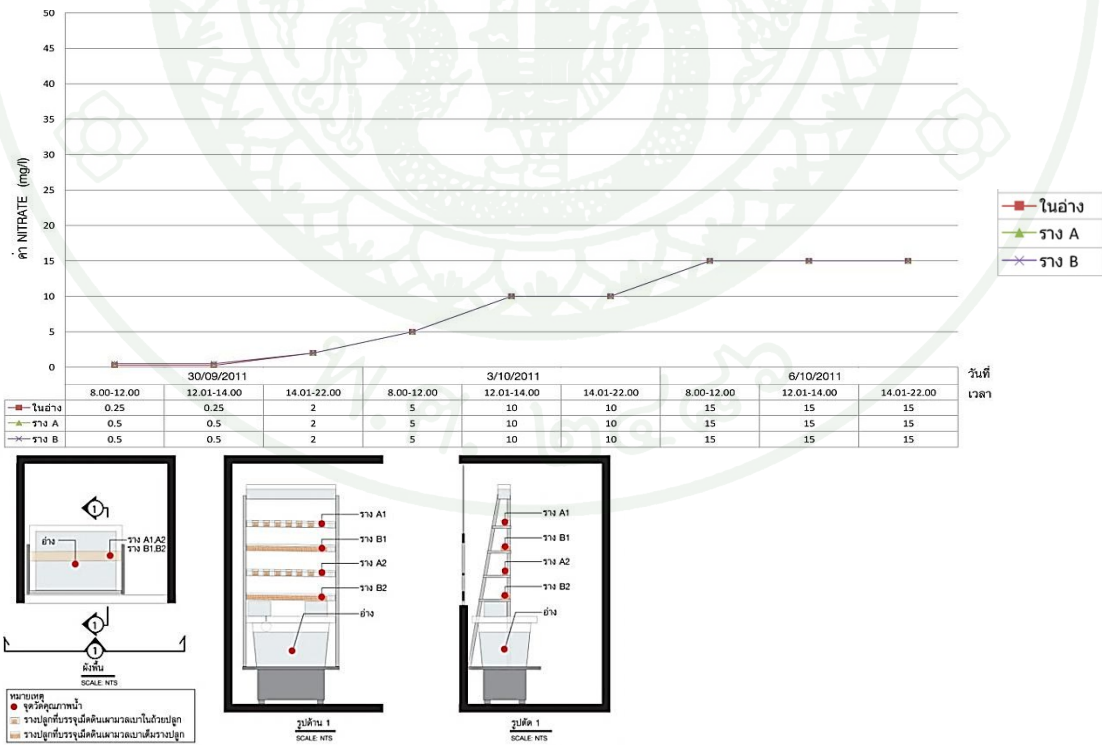


ภาพที่ 88 ค่า pH ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในรางปลูก เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 30 ก.ย. 54 เวลา 08:00 น. ถึงวันที่ 6 ต.ค. 54 เวลา 22:00 น.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

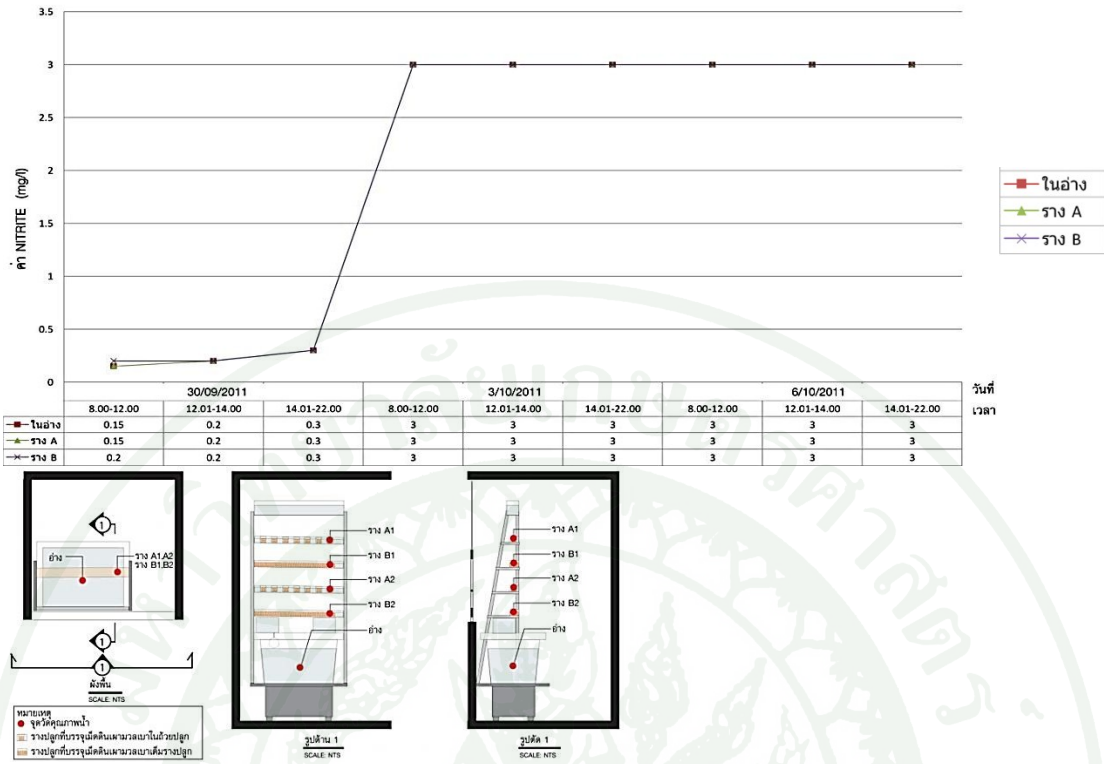


ภาพที่ 89 ค่า EC ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในราง เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 30 ก.ย. 54 เวลา 08:00 น. ถึง 6 ต.ค. 54 เวลา 22:00 น.



ภาพที่ 90 ค่า NITRATE ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในรางปลูก เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 30 ก.ย. 54 เวลา 08:00 น. ถึง 6 ต.ค. 54 เวลา 22:00 น.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 91 ค่า NITRITE ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในรางปลูก เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 30 ก.ย. 54 เวลา 08:00 น. ถึง 6 ต.ค. 54 เวลา 22:00 น.

1.2 วิจารณ์ผลการทดลองที่ 1.1

1.2.1 วิจารณ์ผลอุณหภูมิในน้ำ

จากภาพที่ 87 เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิในน้ำแต่ละจุด พบว่า อุณหภูมิในอ่างปลา ในรางแบบ A และในรางแบบ B ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก และเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกพบว่า เมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอก เปลี่ยนแปลงสูงขึ้น อุณหภูมิน้ำจะค่อยๆ ปรับตัวสูงขึ้นอย่างช้าๆ โดยอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก และเมื่ออุณหภูมิภายนอกลดต่ำลง อุณหภูมิน้ำก็ค่อยๆ ลดต่ำลง โดยอุณหภูมิน้ำสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ

1.2.2 วิจารณ์ผลคุณภาพน้ำ

จากแผนภูมิที่ 2, 3, 4 และ 5 พบว่า การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำ ในแต่ละจุด พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก อาจเนื่องจากธาตุอาหารละลายในน้ำ ส่วนความเปลี่ยนแปลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ของคุณภาพโดยรวม พบว่า ค่า pH อยู่ในช่วง 7.3-7.8, ค่า EC อยู่ในช่วง 1.7-1.9 mS/cm, ค่าไนเตรท อยู่ในช่วง 0.25-15 mg/L, ค่าไนไตรทอยู่ในช่วง 0.15-3 mg/L

จากการสังเกตปริมาณน้ำในระบบ มีความเปลี่ยนแปลงเนื่องจาก การรั่วซึมของรอยต่ออุปกรณ์ในระบบ

1.2.3 วิจารณ์ผลภาพถ่ายในรางปลูก

ปริมาณตะกอนสะสมวัด 3 จุด คือ แท้งค์น้ำบน รางปลูกแบบ A และแบบ B โดย พบว่า ปริมาณตะกอนสะสมที่ แท้งค์น้ำบนมากที่สุด รองลงมาคือ ที่รางแบบ B และรางแบบ A โดย พบว่า ตะกอนสะสมในรางแบบ B มากกว่าแบบ A ถึง 2 เท่า และ เม็ดดินเผาก่อนทดลองและหลังทดลอง พบว่า ไม่มีคราบสกปรกเกาะที่เม็ดดินเผา

1.3 ผลการทดลองที่ 1.2 เป็นการทดลองเก็บข้อมูลซ้ำ ซึ่งข้อมูลที่ได้นำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 1.1 โดยรางปลูกสลับที่กันกับการทดลองที่ 1.1 ดังนี้



ภาพที่ 92 รางที่ 1และ 3 เป็นรางปลูกแบบบรรจุเม็ดดินเผาเต็มราง



ภาพที่ 93 รางที่ 2และ 4 เป็นรางปลูกแบบบรรจุเม็ดดินเผาในถ้วย

ในการทดลองทำการเก็บข้อมูลภาพถ่าย ข้อมูลตะกอนในอ่าง ในรางปลูกและการเจริญเติบโตของปลา และข้อมูลคุณภาพน้ำ ได้ผลดังตารางที่ 15 และ 16

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 16 แสดงการข้อมูลชุดการทดลองที่ 1.2 เก็บข้อมูลวันที่ 13 ต.ค. 54 เวลา 0:00 น. ถึง 16 ต.ค. 54 เวลา 0:00 น.

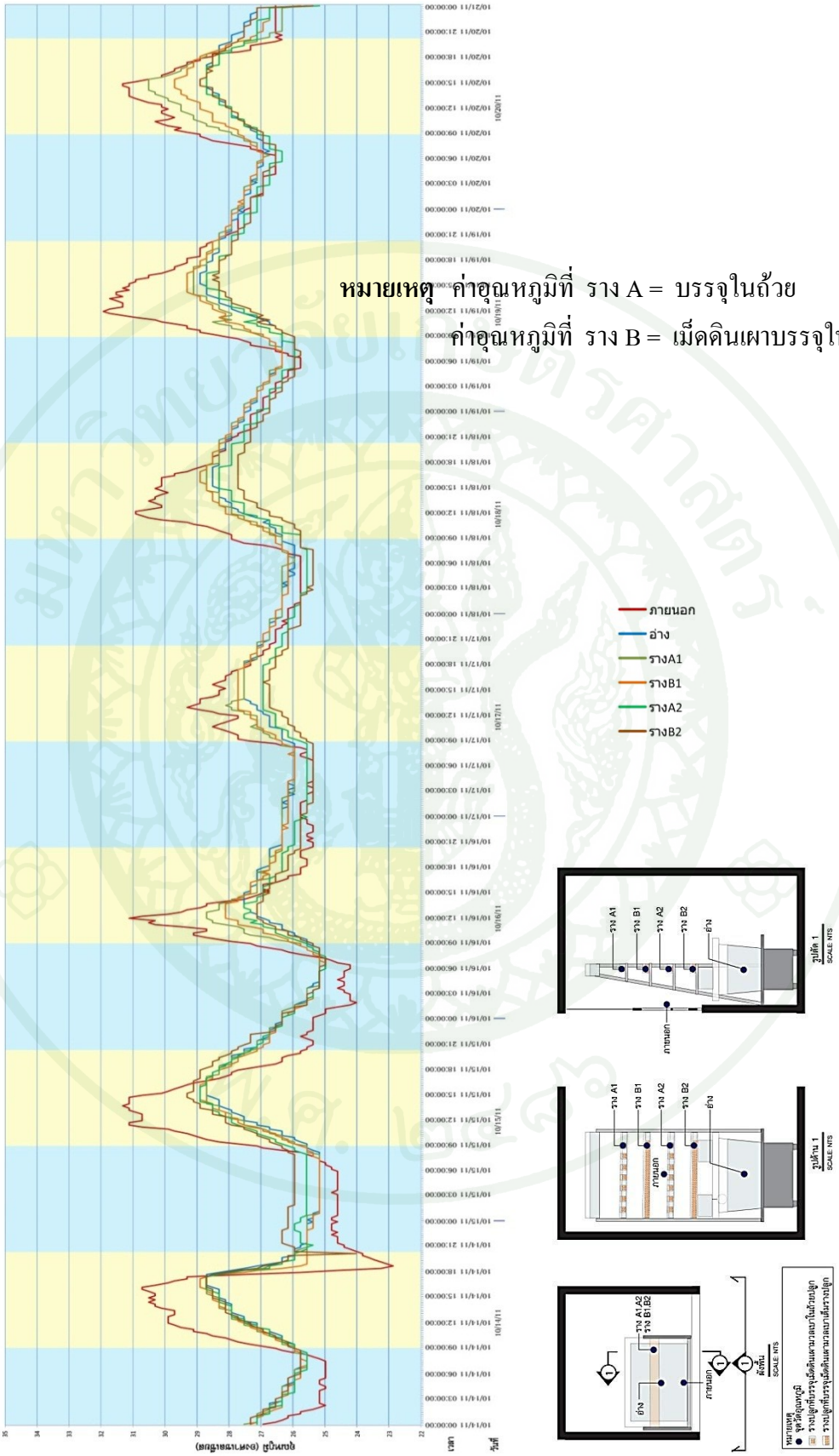
วันที่	วันที่ดำเนินการ	รายการ			หมายเหตุ
13/10/2011	1	ปัจจัยควบคุม	น้ำไหล(L/Min.)1.55 ลิตร / นาที อาหาร 2 มื้อ 15 กรัม/มื้อ เวลา 8.00 และ 18.00 น.	ปลานิล 5 ตัว หนักรวม240 g หนักเฉลี่ย40g/ตัว	
		เวลาที่ตรวจวัดสารเคมีในน้ำ	8.00 น.		
		แบบที่	O A1 B1 A1 B1		
		ลูลหกภูมิน้ำ (C)	0 0 0 0 0		
		PH	7.4 7.4 7.4 7.4 7.4		
		EC	1.7 1.7 1.7 1.7 1.7		
		NITRATE (mg/L)	7.00 7.00 7.00 7.00 7.00		
		NITRITE (mg/L)	0 0 0 0 0		
		AMMONIA (mg/L)	0 0 0 0 0		
		ปริมาณน้ำในถัง (L)	60		
		ล้างหัวกรองทรายชั้น-ลง	/		
14/10/2011	2				ดักมูลลอก
15/10/2011	3				
16/10/2011	4	เวลาที่ตรวจวัดสารเคมีในน้ำ	8.00 น.		8.00 ล้างหัวกรอง ดักมูลลอก
		แบบที่	O A1 B1 A1 B1		
		ลูลหกภูมิน้ำ (C)	0 0 0 0 0		
		PH	7.4 7.4 7.4 7.4 7.3		
		EC	1.7 1.7 1.7 1.7 1.7		
		NITRATE (mg/L)	15 15 15 15 15		
		NITRITE (mg/L)	0.15 0.15 0.15 0.15 0.15		
		AMMONIA (mg/L)	0 0 0 0 0		
		ปริมาณน้ำในถัง (L)	60		
		ล้างหัวกรองทรายชั้น-ลง	/		

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 แสดงการข้อมูลชุดการทดลองที่ 1.2 เก็บข้อมูลวันที่ 17 ต.ค. 54 เวลา 0:00 น. ถึง 20 ต.ค. 54 เวลา 0:00 น.

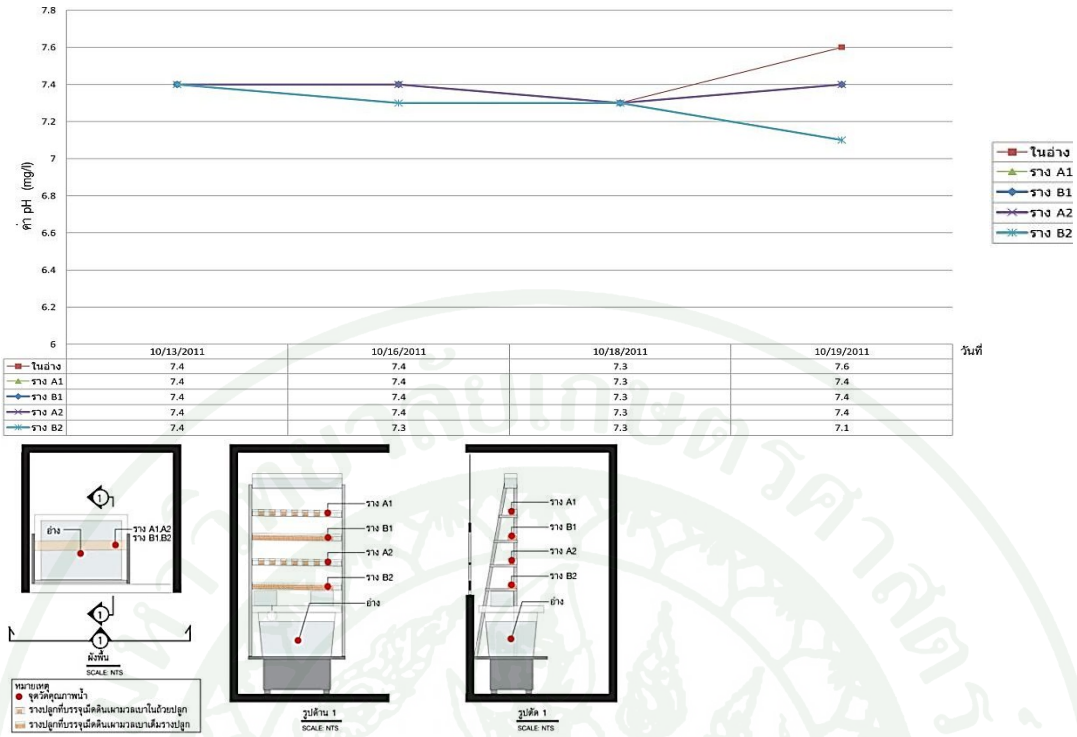
วันที่	วันที่ทำการ	รายการ				หมายเหตุ
17/10/2011	5					
18/10/2011	6	เวลาที่ตรวจวัดสารเคมีในน้ำ	8.00 น.			8.00 เปลี่ยนถ่ายน้ำ50% หลังวัดสารเคมี ปลาตาย 1 ตัว อาการตกเลือด 1 ตัวมีจุดขาว(ร้า) เปลี่ยนแผ่นกรอง ล้างท่อในระบบ ตักมูลออก
		แบบที่	O	A1	B1	
		อุณหภูมิน้ำ (C)	0	0	0	
		PH	7.3	7.3	7.3	
		EC	1.8	1.8	1.8	
		NITRATE (mg/L)	20	20	20	
		NITRITE (mg/L)	0.7	0.7	0.7	
		AMMONIA (mg/L)	0	0	0	
19/10/2011	7	เวลาที่ตรวจวัดสารเคมีในน้ำ	00.00 น. วันที่ 20 ตค. 54			8.00 ล้างหัวกรอง ตักมูลออก
		แบบที่	O	A1	B1	A2
		อุณหภูมิน้ำ (C)		0	0	0
		PH	7.6	7.6	7.4	7.4
		EC	1.7	1.7	1.7	1.7
		NITRATE (mg/L)	20	20	20	20
		NITRITE (mg/L)	1	1	1	1
		AMMONIA (mg/L)	0	0	0	0
		ปริมาณน้ำในถาง (L)			60	/
		ล้างหัวกรองทางขึ้น-ลง				

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

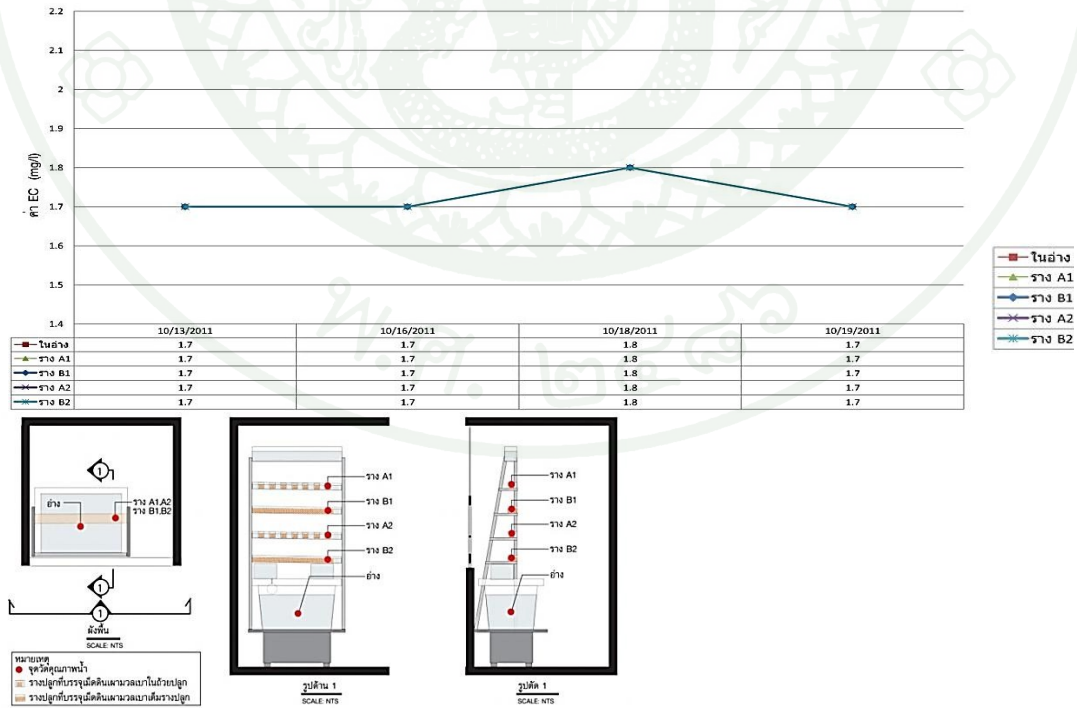


ภาพที่ 94 อุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิของน้ำในอ่าง และในรางปลูก เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 13 ต.ค. 54 เวลา 00:00 น. ถึง 21 ต.ค. 54 เวลา 00:00 น.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

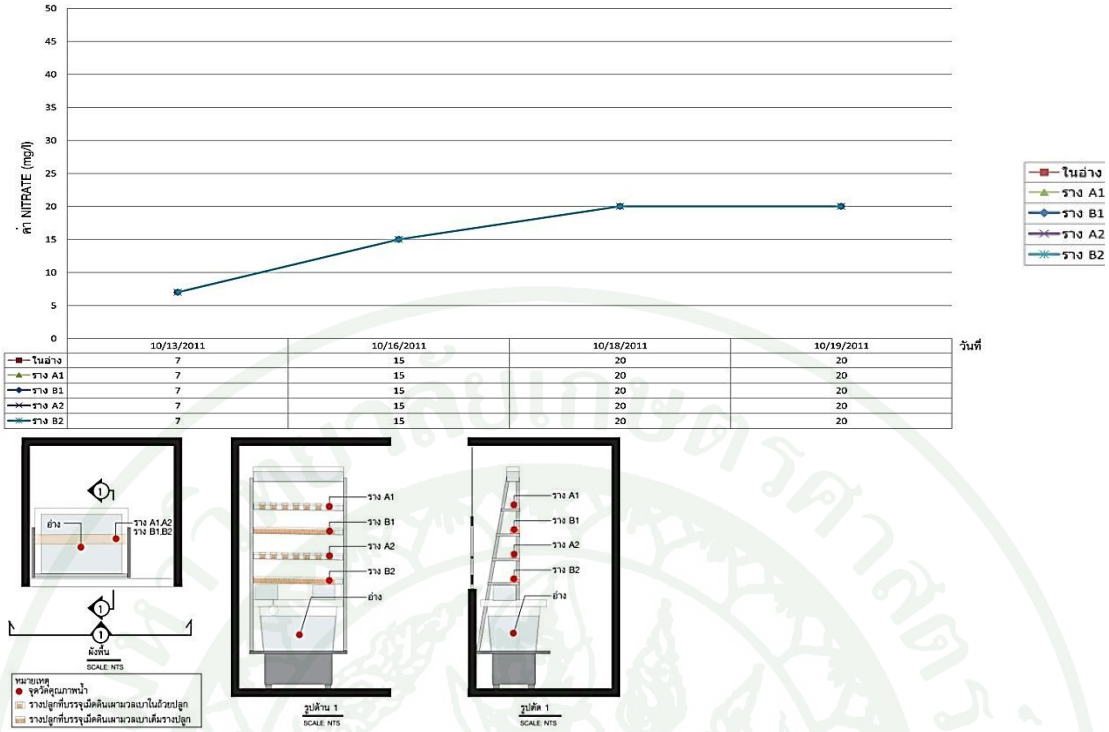


ภาพที่ 95 ค่า pH ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในรางปลูก เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 13 ต.ค. 54 ถึง 19 ต.ค.54

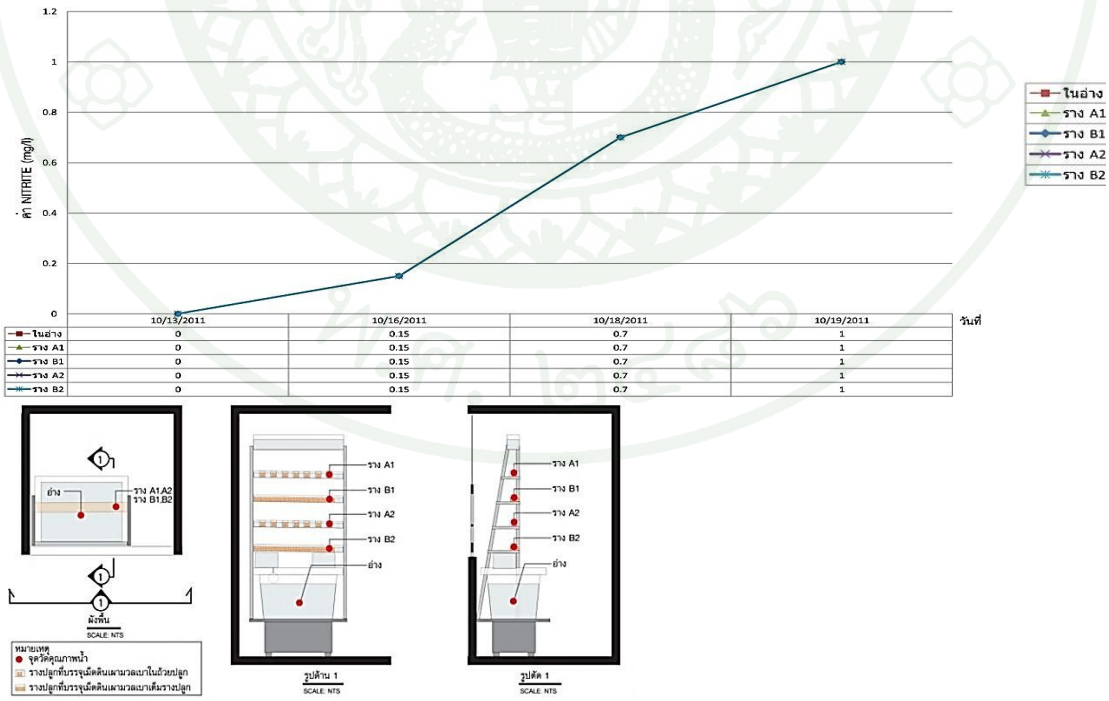


ภาพที่ 96 ค่า EC ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในรางปลูก เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 13 ต.ค. 54 ถึง 19 ต.ค. 54

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

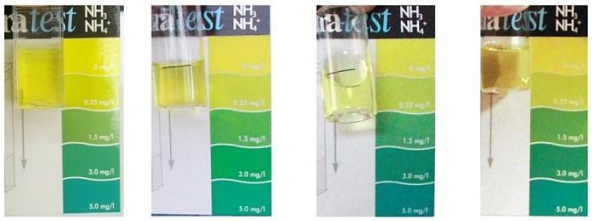


ภาพที่ 97 ค่า NITRATE ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในรางปลูก เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 13 ต.ค. 54 ถึง 19 ต.ค. 54



ภาพที่ 98 ค่า NITRITE ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในรางปลูก เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 13 ต.ค. 54 ถึง 19 ต.ค. 54

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 99 การวัดค่าแอมโมเนียในน้ำ ในชุดการทดลองที่ 1.2

ตารางที่ 18 สรุปผลการวัดอุณหภูมิ จากการทดลองที่ 1.2

ตำแหน่ง	ช่วงอุณหภูมิ	เรียงตามลำดับจากมากไปน้อย			
		กลางวัน (09:00 – 20:30)		**กลางคืน** (21:00 – 08:30น.)	
		ลำดับ	**อุณหภูมิ**	**ลำดับ**	**อุณหภูมิ**
อุณหภูมิภายนอก	23.05-31.73 °C	1	28.74° °C	6	25.88°C
อุณหภูมิในอ่าง	25.17-28.90 °C	4	27.58°C	2	26.35°C
อุณหภูมิในรางที่ 1	24.02-29.30 °C	5	27.36 °C	4	26.15°C
อุณหภูมิในรางที่ 2	24.79-28.70 °C	6	27.32°C	5	25.93°C
อุณหภูมิในรางที่ 3	24.98-29.70 °C	3	27.86 °C	3	26.34°C
อุณหภูมิในรางที่ 4	25.17-30.51 °C	2	27.92°C	1	26.36 °°C

1.4 วิจารณ์ผลการทดลองที่ 1.2

1.4.1 วิจารณ์ผลอุณหภูมิในน้ำ

จากภาพที่ 94 และตารางที่ 17 อุณหภูมิในอ่างปลาและในรางทั้งสองแบบ ไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งเกิดจากการปล่อยให้น้ำไหลหมุนเวียนในระบบตลอดเวลา เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกพบว่า เมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอก เปลี่ยนแปลงสูงขึ้น อุณหภูมิน้ำจะค่อยๆปรับตัวสูงขึ้น โดยอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก และเมื่ออุณหภูมิภายนอกลดต่ำลง อุณหภูมิน้ำก็ค่อยๆ ลดต่ำลง โดยอุณหภูมิน้ำสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ แสดงว่า การบรรจุเม็ดดินเผาไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำในระบบมากนักและทั้ง 2 แบบไม่ต่างกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.4.2 วิจารณ์ผลคุณภาพน้ำ

ค่า AMMONIA ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในรางปลูก 2 แบบ เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 13 ต.ค. 54 ถึง 19 ต.ค. 54 พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 1 สัปดาห์

จากภาพที่ 95, 96, 97 และ 98 พบว่า การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำ ในแต่ละจุด พบว่าไม่มีความแตกต่างกันมากนัก อาจเนื่องจากธาตุอาหารละลายในน้ำ ส่วนความเปลี่ยนแปลงของคุณภาพโดยรวม พบว่า ค่า pH อยู่ในช่วง 7.3-7.6, ค่า EC อยู่ในช่วง 1.7-1.8 mS/cm, ค่าไนเตรทอยู่ในช่วง 5-20 mg/L, ค่าไนไตรทอยู่ในช่วง 0-1 mg/L

จากการเปรียบเทียบกับการทดลองที่ 1.1 พบว่า ปริมาณไนไตรท์ไม่เพิ่มสูง ซึ่งเกิดจากการการทำความสะอาดแผ่นกรอง ร่วมกับการตักมูลในอ่างทุกวันที่ 1, 4 และ 7

1.4.3 วิจารณ์ผลภาพถ่ายในรางปลูก

ปริมาณตะกอนสะสมวัด 3 จุด คือ แท้งค์น้ำบน, รางปลูกแบบ A และแบบ B โดยพบว่า ปริมาณตะกอนสะสมที่ แท้งค์น้ำบนมากที่สุด รองลงมาคือ ที่รางแบบ B และรางแบบ A โดยเปรียบเทียบระหว่างรางปลูกทั้ง 2 แบบ พบว่า ตะกอนสะสมในรางแบบ B มากกว่าแบบ A ถึง 3 เท่า ส่วนลักษณะผิวเม็ดดินเผาก่อนและหลังการทดลอง พบว่า ไม่มีคราบเกาะที่เม็ดดินเผา

1.4.4 วิเคราะห์การเจริญเติบโตของปลา

จากการทดลองที่ 1.2 พบว่าปลามีอาการตกเลือด มีเมือกมาก และปนเลือดเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นได้หลายสาเหตุ ดังนี้

สาเหตุที่ 1 โรคที่เกิดจากการติดเชื้อแบคทีเรีย ลักษณะการติดเชื้อทางแบคทีเรียจะคล้าย ๆ กัน จะมีการตกเลือด มีแผลตามลำตัว ครีบกร่อน กกหูบวม มีน้ำในช่องท้อง ไม่กินอาหาร ที่พบบ่อยมี 2 ชนิด คือ

1. โรคเกิดจากเชื้อแอโรโมแนส (*Aeromonas hydrophila*) เกิดจากความเครียดไม่ว่าจะเป็นการขนส่ง การเคลื่อนย้าย ปริมาณออกซิเจนที่ต่ำ การให้อาหารที่ไม่ดี การมีปรสิตเกาะเยอะๆ ล้วน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แต่เป็นสาเหตุเหนี่ยวนำให้ปลาติดเชื้อ มีอาการ ว่ายน้ำเฉื่อยชา ไม่กินอาหาร ครีบกร่อน มีการตกเลือด เกิดบาดแผลเป็นหลุมลึก ท้องบวม ตับเหลือง มีการตกเลือดบริเวณลำไส้

2. โรคคอลัมนาริส เกิดจากเชื้อแฟลกซิแบคเตอร์ (*Flexibacter columnaris*) เกิดจากความเครียดจากการขนส่ง โดยเฉพาะในช่วงหน้าร้อน และช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงอากาศกะทันหัน ตัวสีด่างซีดเป็น แถบ ๆ มีเมือกมาก ครีบกร่อน เหงือกกร่อน บริเวณบาดแผลอาจมีสีเหลือง

สาเหตุที่ 2 สารตกค้างในน้ำ

มีการตรวจพบ ระหว่างการทดลองชุดที่ 3 ในช่วงก่อนทำการเก็บข้อมูล พบว่ามีการตกค้างของคลอรีนในน้ำที่ผ่านเครื่องกรองไม่ได้คุณภาพด้วย จึงสรุปสาเหตุการตายไม่ได้แต่อย่างไรก็ตาม ต้องระวังเรื่องความสะอาด การขนย้ายปลา และ น้ำที่ต้องไม่มีสารเคมีตกค้าง

น้ำหนักรางปลูกแบบบรรจุเม็ดดินเผาเต็มรางมีมากกว่าแบบบรรจุเม็ดดินเผาในถ้วย 2 เท่า ทำให้ชุดผนังเขียวมีน้ำหนักมาก

ดังนั้น เกณฑ์สำคัญ ในการเลือกวิธีใส่เม็ดดินเผาคือ ความสะอาดซึ่ง ต้องมีปริมาณตะกอนสะสมน้อยที่สุด และน้ำหนัก

2. วิจารณ์ผลการทดลองที่ 1

2.1 วิจารณ์ผลการทดลองที่ 1 นำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกัน ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบข้อมูลชุดการทดลองที่ 1.1 เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 4 ต.ค. 54 เวลา 08:00น. ถึง 6 ต.ค. 54 เวลา 22:00 น. และชุดการทดลองที่ 1.2 เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 13 ต.ค. 54 ถึง 19 ต.ค. 54

การทดลองที่ 1.1	**การทดลองที่ 1.2**
อุณหภูมิน้ำในรางปลูกทั้ง 2 แบบมีค่าใกล้เคียงกันมากและในรางปลูกกับในอ่างเลี้ยงปลา มีค่าใกล้เคียงกัน	อุณหภูมิน้ำในรางปลูกทั้ง 2 แบบมีค่าใกล้เคียงกันมากและในรางปลูกกับในอ่างเลี้ยงปลา มีค่าใกล้เคียงกัน
ค่า NITRATE ในรางปลูก 2 แบบไม่แตกต่างกันมาก อยู่ในช่วง 0.25-15 mg/L	ค่า NITRATE ในรางปลูก 2 แบบไม่แตกต่างกัน อยู่ในช่วง 5-20 mg/L
ค่า NITRITE ในรางปลูก 2 แบบไม่แตกต่างกันมาก อยู่ในช่วง 0.15-3 mg/L	ค่า NITRITE ในรางปลูก 2 แบบไม่แตกต่างกัน อยู่ในช่วง 0– 1 mg/L
ค่า pH ในรางปลูก 2 แบบไม่แตกต่างกันมาก อยู่ในช่วง 7.3-7.8	ค่า pH ในรางปลูก 2 แบบไม่แตกต่างกันมาก อยู่ในช่วง 7.3-7.6
ค่า EC ในรางปลูก 2 แบบไม่แตกต่างกันมาก อยู่ในช่วง 1.7-1.9 mS/cm	ค่า EC ในรางปลูก 2 แบบไม่แตกต่างกัน อยู่ในช่วง 1.7-1.8 mS/cm
 **รางที่ 1,3** รางปลูกแบบบรรจุเม็ดดินเผาในถ้วย **รางที่ 2, 4** รางปลูกแบบบรรจุเม็ดดินเผาเต็มราง ตะกอนในรางปลูกแบบถ้วย > แบบบรรจุเต็มราง 2 เท่า	 **รางที่ 1,3** รางปลูกแบบบรรจุเม็ดดินเผาเต็มราง **รางที่ 2, 4** รางปลูกแบบบรรจุเม็ดดินเผาในถ้วย ตะกอนในรางปลูกแบบถ้วย > แบบบรรจุเต็มราง 3 เท่า
ไม่มีการเก็บข้อมูล	ค่า AMMONIA พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงทดลองมีค่า = 0 mg/l

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากข้อมูลที่ได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์ตามเกณฑ์ในการเลือกบรรจุวัสดุปลูกในรางปลูก ดังนี้

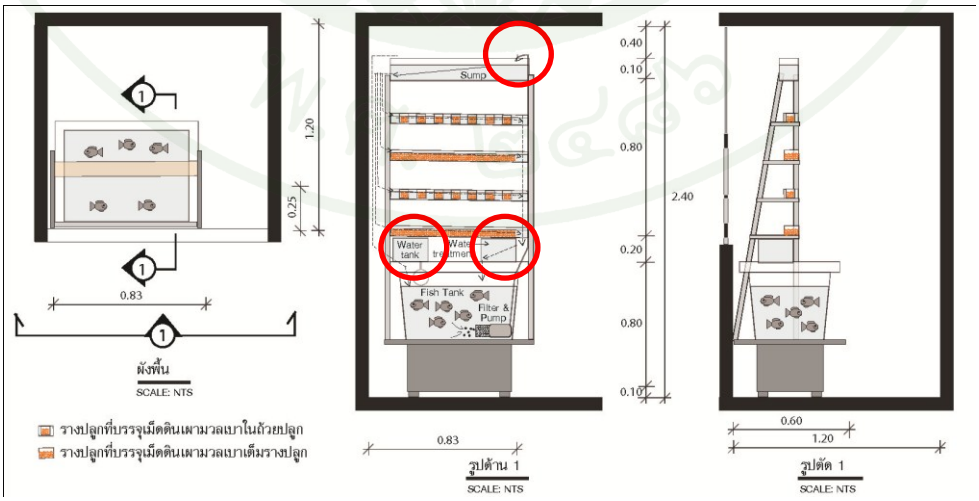
ตารางที่ 20 เปรียบเทียบการบรรจุวัสดุปลูกในรางปลูกทั้ง 2 แบบ ตามเกณฑ์ในการเลือก

เกณฑ์ในการเลือก	รางปลูกแบบบรรจุวัสดุปลูกในถ้วย	รางปลูกแบบบรรจุวัสดุปลูกเต็มราง
อุณหภูมิในรางปลูก	ใกล้เคียงกัน	ใกล้เคียงกันมาก
คุณภาพน้ำในรางปลูก	ใกล้เคียงกัน	ใกล้เคียงกัน
น้ำหนักรวมในรางปลูก	น้อยกว่าแบบบรรจุเต็มราง 2 เท่า	มากกว่าแบบบรรจุในถ้วย 2 เท่า
ตะกอนในรางปลูก	น้อยกว่าแบบบรรจุเต็มราง 2-3 เท่า	มากกว่าแบบบรรจุในถ้วย 2-3 เท่า

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้ พบว่า สิ่งที่แตกต่างกันคือ ปริมาณตะกอนในรางปลูกแบบบรรจุเม็ดดินเผาเต็มรางมีมากกว่าแบบบรรจุเม็ดดินเผาในถ้วย 2-3 เท่า ซึ่งส่งผลต่อสุขภาพของปลาที่เลี้ยง ต้องระวังเรื่องโรคของปลา การขนย้ายปลา และต้องไม่มีสารเคมีตกค้างในน้ำ ประกอบกับน้ำหนักที่เบากว่า ถึง 2 เท่า ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างอาคารน้อยกว่า **ดังนั้นจึงเลือกรางปลูกแบบบรรจุเม็ดดินเผาในถ้วย** เพื่อใช้ในการทดลองที่ 2

2.2 วิจารณ์การออกแบบระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง ในชุดการทดลองที่ 1.1 และ 1.2

เมื่อพิจารณาการออกแบบตามแนวคิดชุดผนังเขียวในการทดลองชุดที่ 1 พบข้อดีข้อเสียของการออกแบบ ดังนี้



ภาพที่ 100 จุดที่เป็นข้อเสียของระบบชุดการทดลองที่ 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

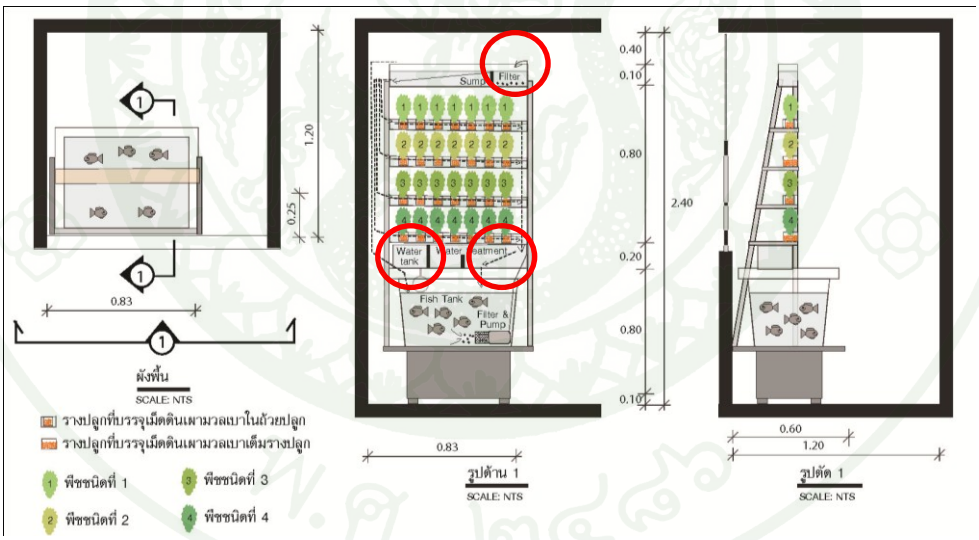
ตารางที่ 21 วิเคราะห์ข้อดี ข้อเสียของระบบในชุดการทดลองที่ 1

ข้อดี	ข้อเสีย
-การติดตั้งถังบำบัดน้ำทำให้น้ำสะอาด -การปล่อยให้น้ำไหลตกลงสู่อ่างเลี้ยงปลาช่วยลดอุณหภูมิในน้ำ	- มีตะกอนสะสมมาก ท่ออุดตันบ่อย - ถังบัดน้ำมีหลายชิ้น ดูไม่สวยงามและเกะกะ - ยังควบคุมระดับค่าไนไตรท์ไม่ได้

จากข้อดีและข้อเสีย ที่พบดังกล่าว จึงออกแบบแก้ปัญหา ในการทดลองชุดที่ 2 ดังนี้

1. เพิ่มแท้งค์กรองน้ำบน เหมือนแนวคิดเริ่มแรก
2. เพิ่มขนาดถังบำบัดน้ำ ให้ใหญ่ขึ้น โดยเชื่อมเป็นชิ้นเดียวกับแท้งค์เติมน้ำ
3. เพิ่มการกรอง บำบัดน้ำ ด้วยกรวดและทรายละเอียด

จากการสังเกต ปริมาณน้ำในระบบ พบว่า มีความเปลี่ยนแปลงเนื่องจาก การรั่วซึมของรอยต่ออุปกรณ์ในระบบ จึงต้องอุดรอยรั่วซึมของอุปกรณ์ให้เรียบร้อย



ภาพที่ 101 จุดที่แก้ไขของระบบชุดการทดลองที่ 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลองที่ 2

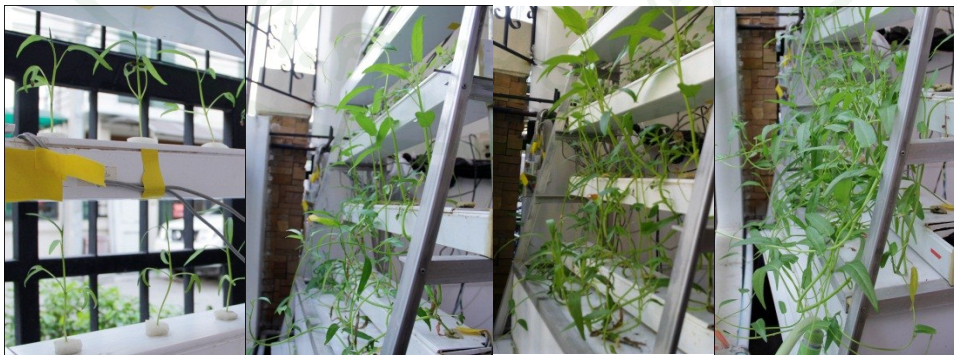
1. ผลการทดลองชุดการทดลองที่ 2 เพื่อหาพืชผักสวนครัวที่เหมาะสมกับปุ๋ยในน้ำที่ได้จากปลาและอาหารปลาที่ควบคุมปริมาณในชุดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง จากผลการทดลอง วิเคราะห์เลือกพืชที่เหมาะสมไปใช้ในการทดลองชุดที่ 3

ตารางที่ 22 บันทึกการเจริญเติบโตของผัก

วันที่	การเจริญเติบโต	วันที่	การเจริญเติบโต
1	วันเพาะเมล็ด	28	ผักโขม สูง 2.5-3.5 ซม., ผักบุ้งสูง 18-21 ซม.
7	ผักบุ้งงอกใบที่ 3 ย้ายลงปลูก	35	ผักโขม สูง 3.5-5 ซม., ผักบุ้งสูง 25-35 ซม.
14	ผักบุ้งงอกบนรางปลูก	42	ผักโขม สูง 5.5-8 ซม., ผักบุ้งสูง 30-50 ซม.
21	ผักโขม งอกใบที่ 3 ย้ายลงปลูก สูง 2.5-3.5 ซม., ผักบุ้งสูง 15-20 ซม.	49	ผักโขม สูง 10-15 ซม., ผักบุ้งสูง 45-60 ซม.
		56	ผักโขม สูง 15-21 ซม., ผักบุ้งสูง 70-90 ซม.



ภาพที่ 102 การเก็บข้อมูลน้ำหนักผักทั้ง 4 ชนิด



ภาพที่ 103 ลักษณะการเจริญเติบโตของผักบุ้ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 104 ลักษณะการเจริญเติบโตของผักโขม

จากการเก็บข้อมูลภาพถ่ายการเจริญเติบโตของพืช และการชั่งน้ำหนัก นำข้อมูลมาจัดเรียงในรูปแบบตารางดังนี้

ตารางที่ 23 ผลการเจริญเติบโตของผัก ชุดการทดลองที่ 2

พืช	เฉลี่ย(กรัม/ต้น)		การปกคลุม (%)	ลักษณะการเจริญเติบโต
	ทั้งต้น	ผลผลิต		
ผักโขมขาว	12.86 (90/7)	7.14 (50/7)	45.21	
ผักโขมแดง	11.43 (80/7)	4.29 30/7)	43.18	
ผักบุ้งจีนเรียวไผ่	27.14 (190/7)	22.86 (160/7)	31.10 (ตกราง 31.67)	
ผักบุ้งจีนใบไผ่ขาวพระราม	11.43 (80/7)	10 70/7)	18.91 (ตกราง 22.51)	



ภาพที่ 105 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของปลาด้วยการชั่งน้ำหนักและวัดขนาด

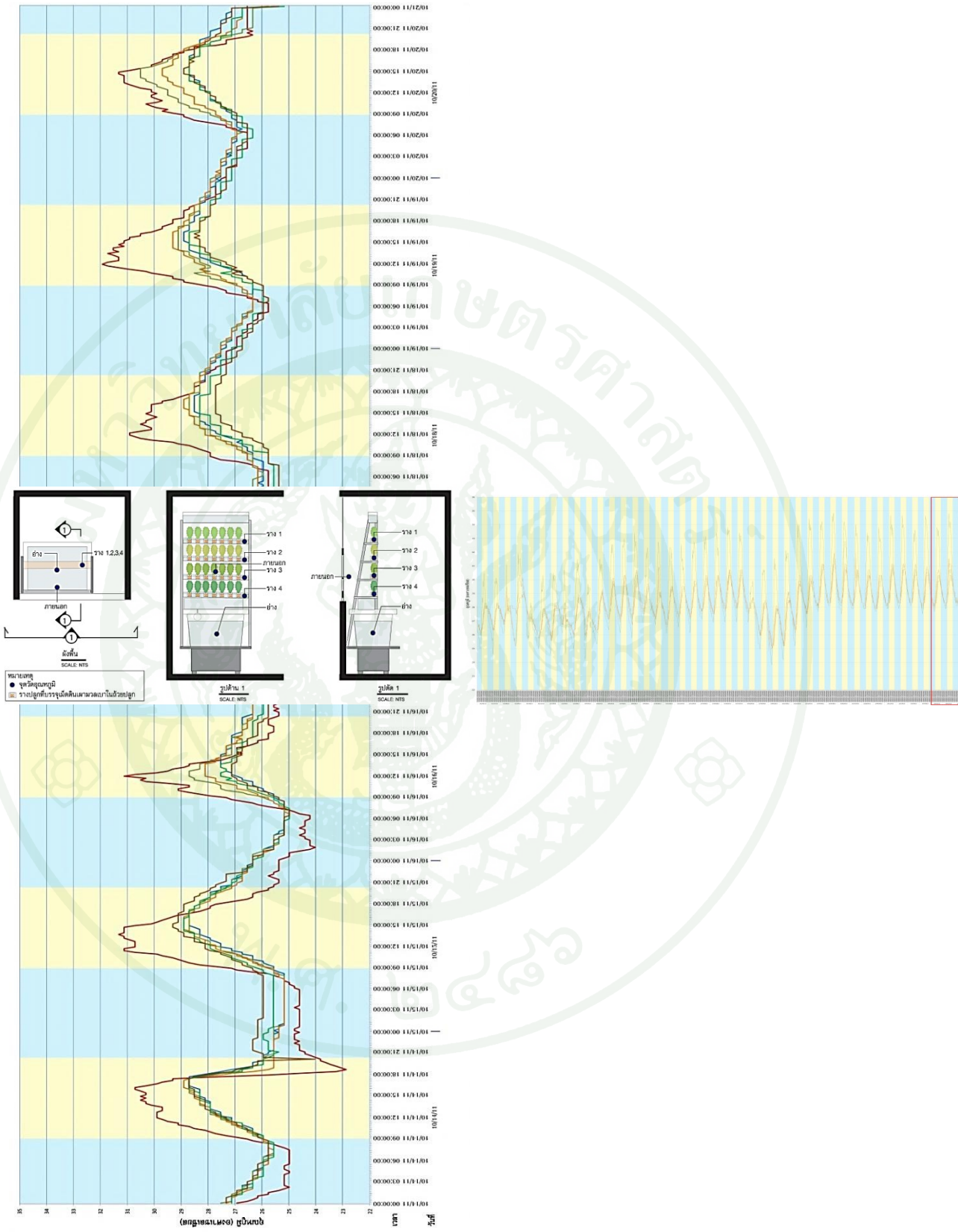
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 24 ผลการเจริญเติบโตของปลาชุดการทดลองที่ 2

ที่	น้ำหนัก (กรัม)			ความยาว (ซม.)			สรุป
	1ตัว	เฉลี่ย	มาตรฐาน	1ตัว	เฉลี่ย	มาตรฐาน	
1	380-580	428	300-350	22-27	23.6	22-25	การเจริญเติบโตปกติ
หมายเหตุ เริ่มเลี้ยงที่น้ำหนักเฉลี่ย 50 กรัม/ตัว อายุ 4 เดือน วัดผลเมื่อจบการทดลองปลาอายุ 8 เดือน							

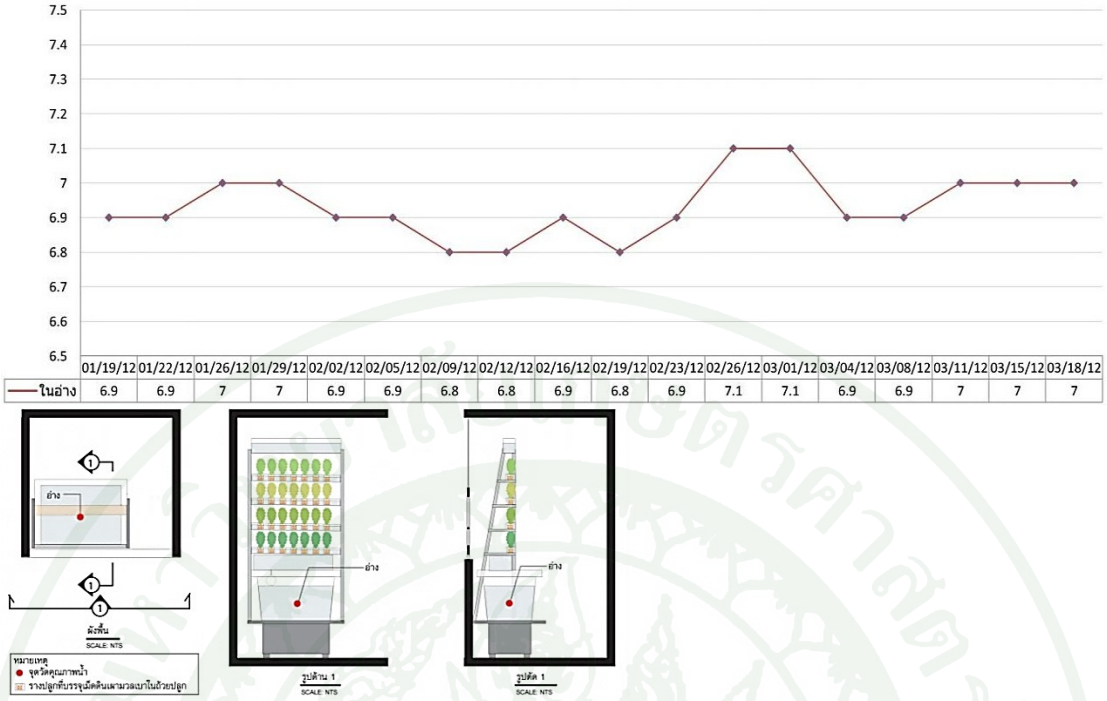
เนื่องจากการเจริญเติบโตของผักและปลา เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิน้ำและคุณภาพของน้ำ รวมทั้งข้อมูลคุณภาพน้ำเป็นแนวทางในการปรับปรุงและการใช้งานระบบ จึงมีการเก็บข้อมูลได้ผลดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

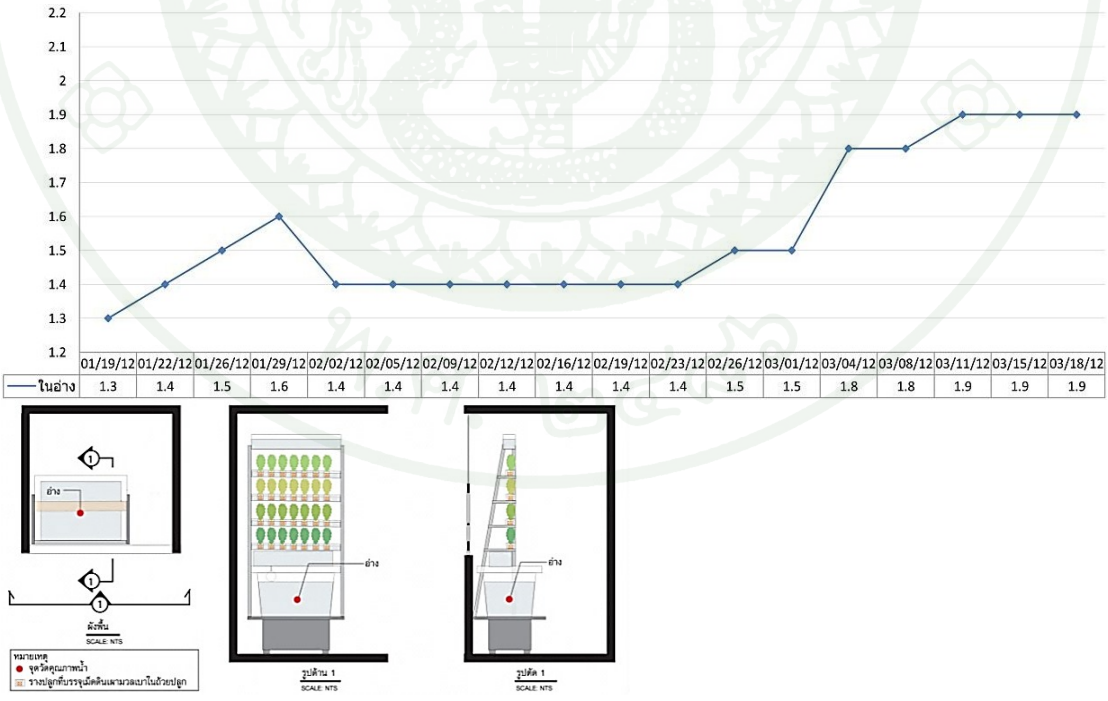


ภาพที่ 106 อุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิของน้ำในอ่าง และในรางปลูก เก็บข้อมูลวันที่ 26 ม.ค.55 เวลา 00:00 น. ถึง 19 มี.ค. 55 เวลา 00:00 น. (ขยาย วันที่ 5-11 มี.ค. 55)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

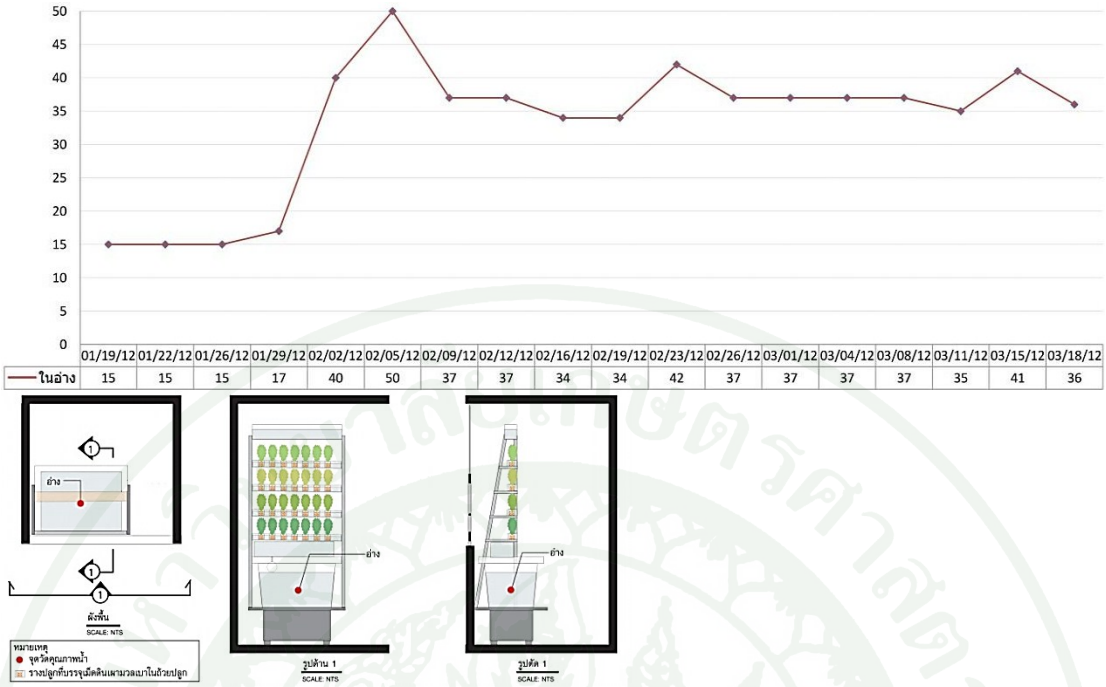


ภาพที่ 107 ค่า pH ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในรางปลูก เก็บข้อมูลวันที่ 18 ม.ค. 55 เวลา 00:00 น. ถึง 19 มีนาคม พ.ศ.2555 เวลา 00:00 น.

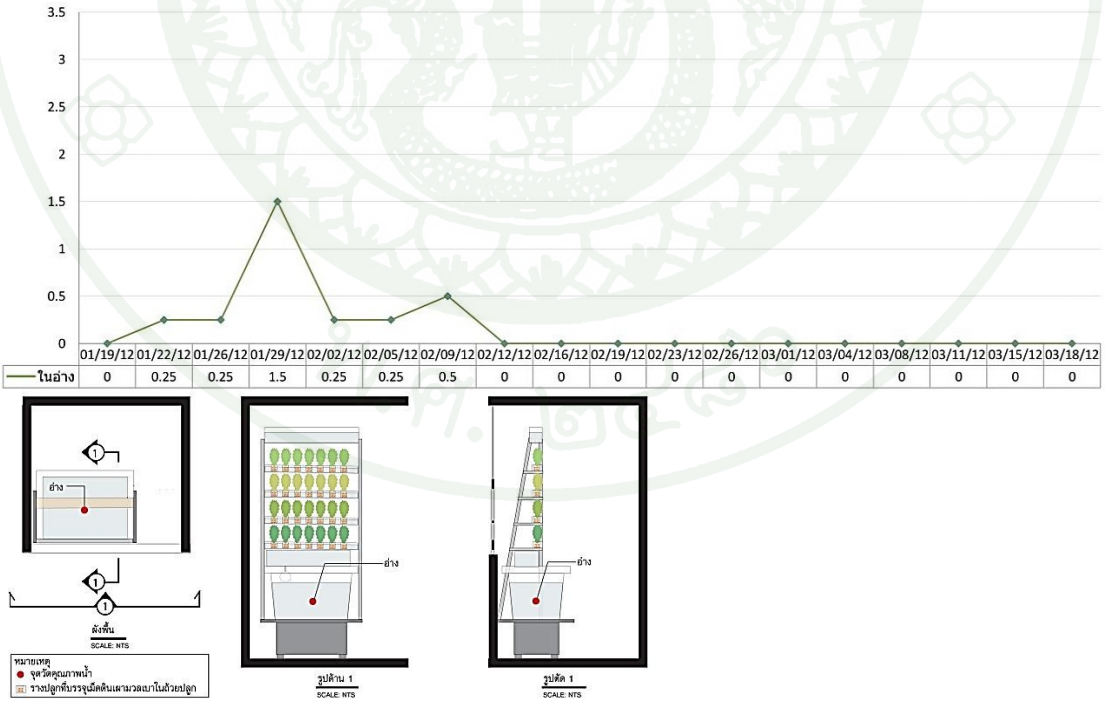


ภาพที่ 108 ค่า EC ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในราง เก็บข้อมูลวันที่ 18 ม.ค. 55 เวลา 00:00 น. ถึง 19 มีนาคม พ.ศ.2555 เวลา 00:00 น.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 109 ค่า NITRATE ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในรางปลูก เก็บข้อมูลวันที่ 18 ม.ค. 55 เวลา 00:00 น. ถึง 19 มีนาคม พ.ศ.2555 เวลา 00:00 น.



ภาพที่ 110 ค่า NITRITE ของน้ำในอ่างเลี้ยงปลา และในรางปลูก เก็บข้อมูลวันที่ 18 ม.ค. 55 เวลา 00:00 น. ถึง 19 มีนาคม พ.ศ.2555 เวลา 00:00 น.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 25 ผลการวัดคุณภาพของน้ำ ชุดการทดลองที่ 2

สาร	ปริมาณที่วัดได้	ปริมาณที่ต้องการ (mg/l)
ค่า EC	1.3-2.0 mS/cm	1.4-1.8 mS/cm
ค่า pH	6.8- 7.1	6.0-7.0
ค่าไนเตรท	10-50 mg/l	20-50 mg/l
ค่าไนไตรท	0-0.15 mg/l	0 mg/l
ค่า Ammonia	0-0.25 mg/l	0 mg/l

ตารางที่ 26 ผลการวัดอุณหภูมิ ชุดการทดลองที่ 2

ตำแหน่ง	**ช่วงอุณหภูมิ**	**เรียงตามลำดับจากมากไปน้อย**			
		กลางวัน (09:00 – 20:30)		**กลางคืน** (21:00 – 08:30น.)	
		ลำดับ	**อุณหภูมิ**	**ลำดับ**	**อุณหภูมิ**
อุณหภูมิภายนอก	24.20-35.48 °C	1	32.24°°C	5	28.95°°C
อุณหภูมิในอ่าง	25.17-31.52 °C	6	30.15°C	1	29.46°C
อุณหภูมิในรางที่ 1	25.17-32.96 °C	3	30.55°C	3	29.25°C
อุณหภูมิในรางที่ 2	24.98-32.76 °C	2	30.62°C	2	29.31°C
อุณหภูมิในรางที่ 3	24.78-32.34 °C	5	30.30°C	4	29.18°C
อุณหภูมิในรางที่ 4	24.79-31.52 °C	4	30.37°C	6	28.32°C

2. วิจารณ์ผลการทดลองชุดที่ 2

2.1 วิจารณ์ผลการเจริญเติบโตของพืช

จากการทดลองพบว่า พืชทั้ง 4 ชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่ไม่ได้รับแสงแดดตรงอย่างเต็มที่ พืชที่ได้ดีที่สุดเทียบจากน้ำหนักผลผลิตเรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ ผักบุ้งจีนเรียวไผ่ ผักบุ้งจีนใบไผ่ขาวพระราม ผักโขมขาว และผักโขมแดง โดยหนักเป็น 22.86, 10, 7.14 และ 4.29 กรัม/ต้น เมื่อเทียบอัตราการปกคลุมช่องว่างระหว่างรางปลูกเรียงจากมากไปน้อย ได้แก่ ผักโขมขาว ผักโขมแดง ผักบุ้งจีนเรียวไผ่ และผักบุ้งจีนใบไผ่ขาวพระราม โดยการปกคลุมเป็น 45.21%, 43.18%, 31.10% และ 18.91% ซึ่งพบว่า กลุ่มผักบุ้ง แม้จะมีน้ำหนักผลผลิตมากกว่า แต่มีพื้นที่การปกคลุมน้อยกว่ากลุ่มผักโขม เนื่องจาก ลักษณะการเจริญเติบโตของผักบุ้งมีลำต้นยื่นยาว ไม่แผ่กิ่งใบ ขยายออกด้านข้าง อีกทั้งโตไวในซึ่งขณะที่ลำต้นยังไม่แข็งแรง ลำต้นจึงย้อยตกลง

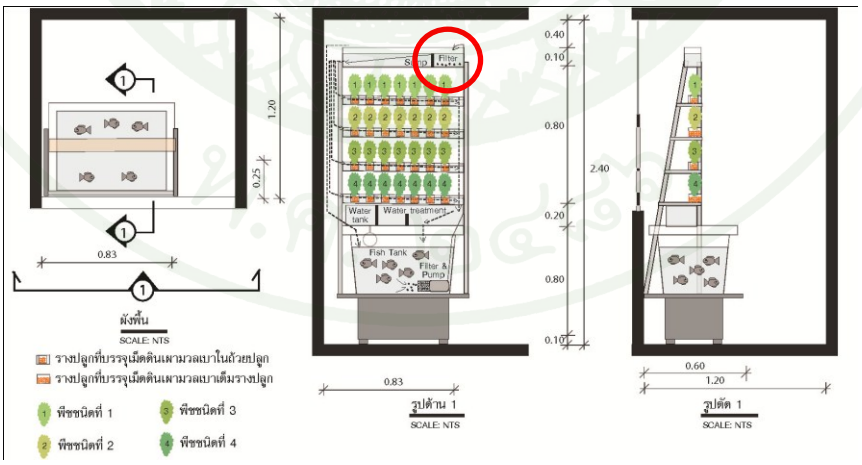
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้างล่างตามแรงโน้มถ่วงของโลก และเมื่อลำต้นเริ่มแก่ กิ่งที่แยกออกใหม่ก็โตในแนวตั้ง โดยลักษณะที่ย้อยตกดังกล่าว มีผลคือ พุ่มใบพืชผักบุ้งรางบน บดบังแสงสว่างของต้นพืชชนิดเดียวกันที่ปลูกในรางด้านล่าง ทำให้พืชโตไม่เต็มที่ จึงให้ผลผลิตที่น้อยกว่า และ มีพื้นที่ใบปกคลุมช่องว่างระหว่างรางน้อยกว่า ส่วนกลุ่มผักโขม มีพื้นที่การปกคลุมช่องว่างระหว่างรางปลูกมากกว่า เนื่องจากลักษณะใบกว้างกว่า พุ่มใบแผ่ขยายออกด้านข้างการเจริญเติบโตช้ากว่า และ การเจริญเติบโตของลำต้นสามารถรับน้ำหนักของใบได้ โดยผักโขมขาวเจริญเติบโตได้ดีกว่าผักโขมแดง ดังนั้น จึงเลือกผักโขมขาว เพื่อปลูกในระบบเพื่อการบังแดดในชุดการทดลองที่ 3

2.2 วิจารณ์การออกแบบระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง

ชุดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งที่ออกแบบมีความเหมาะสมต่อพืชและปลา โดยให้ผลผลิตปลานิลจำนวน 5 ตัว ที่เติบโตตามปกติ ผลผลิตผักเติบโตได้ในน้ำในระบบ ซึ่งมีค่า EC=1.3-2.0 mg/l, ค่า pH =6.8- 7.1 mg/l, ไนเตรท =10-50 mg/l, ไนไตรท =0-0.15 mg/l และ Ammonia=0-0.25 mg/l ผักที่เหมาะสมมากที่สุดในกลุ่มผักที่เลือก ได้แก่ผักโขม เนื่องจากมีการเจริญเติบโตได้ดีและมีพุ่มใบเหมาะสมกับชุดอะควาโพนิกส์ตั้ง และอุณหภูมิในรางปลูกผักโขมอยู่ในช่วง 25.17-32.96 °C

เมื่อพิจารณาข้อดี ข้อเสียของการออกแบบระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 111 จุดที่เป็นข้อเสียของระบบในชุดการทดลองที่ 2

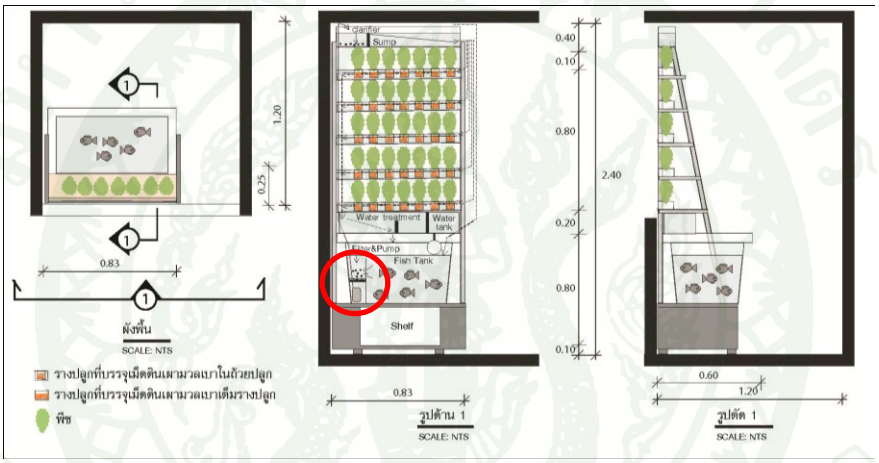
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 27 วิเคราะห์ข้อดี ข้อเสียของระบบในชุดการทดลองที่ 1

ข้อดี	ข้อเสีย
การกรองน้ำที่เพิ่มขึ้นส่วนแท้งค์บนทำให้น้ำสะอาดขึ้น ตะกอนน้อยลง	เมื่อต้องเปลี่ยนแผ่นกรองบน เปลี่ยนได้ยาก

จากข้อดีและข้อเสีย ที่พบดังกล่าว นำไปสู่การออกแบบแก้ปัญหา ในการทดลองชุดที่ 2 1 จุด ดังนี้

1. เพิ่มขนาดชุดกรองในอ่าง



ภาพที่ 112 จุดที่แก้ไขของระบบในชุดการทดลองที่ 3

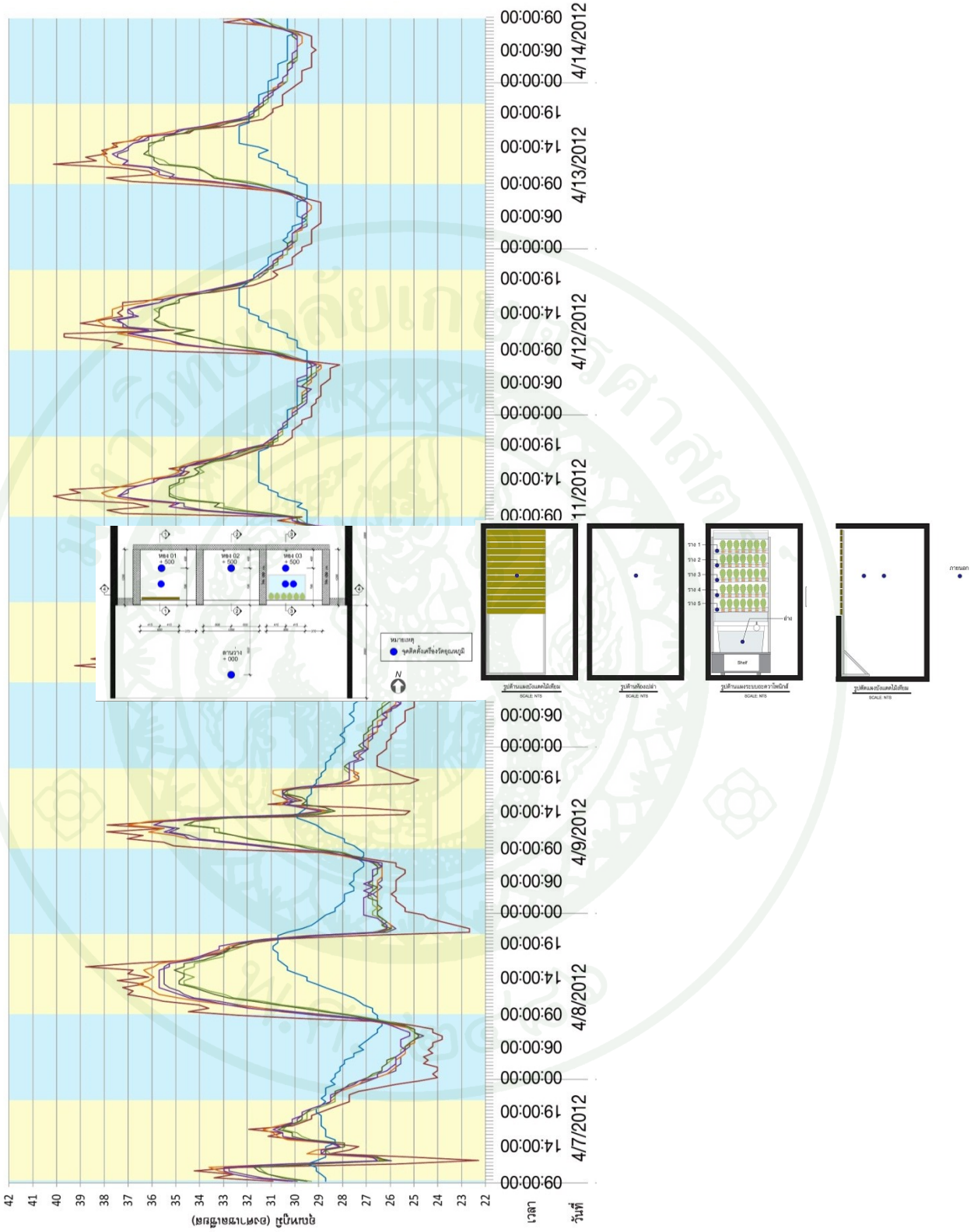
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลองชุดที่ 3

1. ผลการทดลองชุดการทดลองที่ 3 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนระหว่างแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง กับแผงบังแดดแดดไม้เทียม

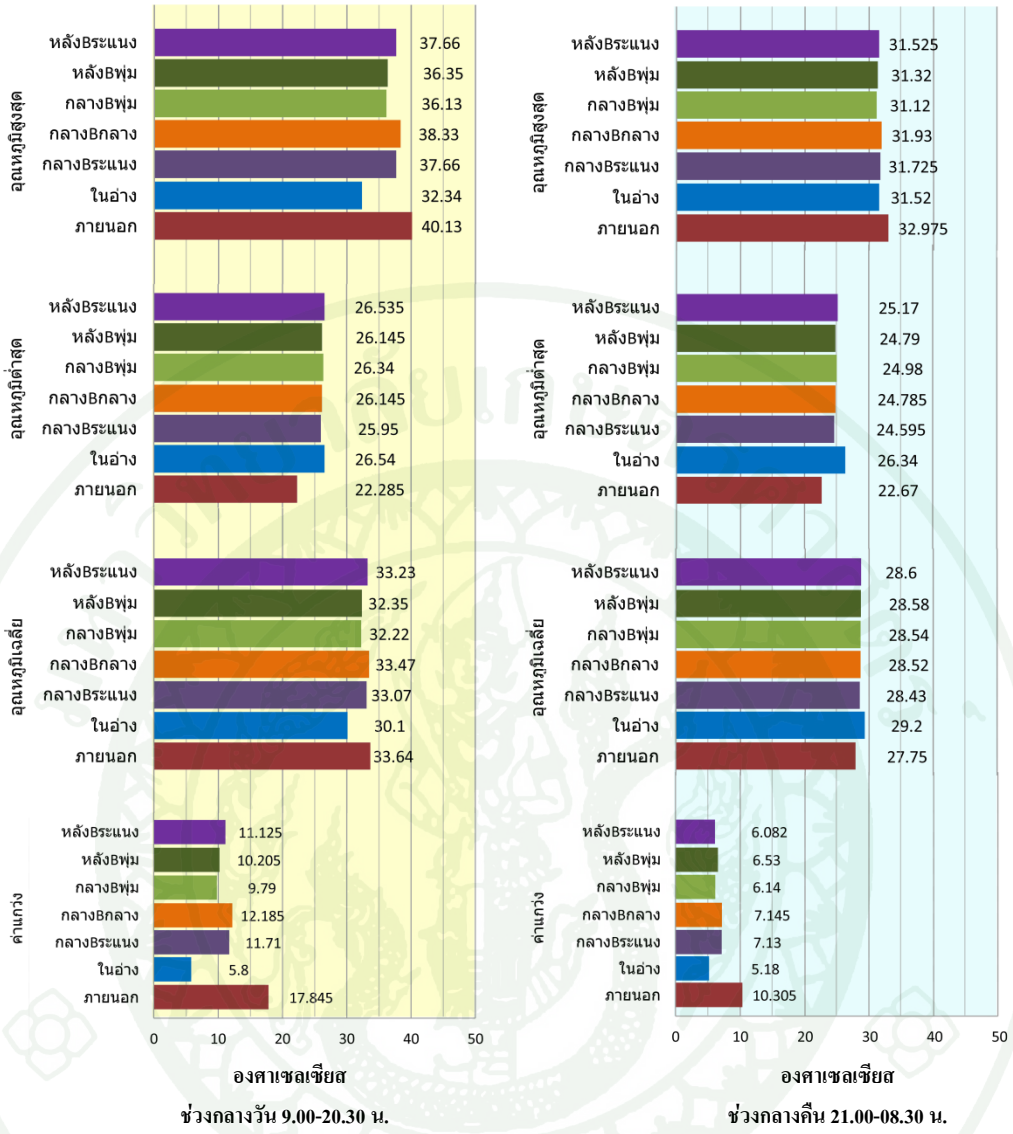
จากผลการทดลองเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนระหว่างบริเวณระเบียงที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง ติดตั้งแผงบังแดดระแนงไม้เทียม และระเบียงที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด โดยการหาประสิทธิภาพการลดความร้อนของแต่ละปัจจัย เพื่อทราบถึงประสิทธิภาพของการบังแดดจากแผงบังแดดทั้งสองว่า แผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งจะมีประสิทธิภาพในการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้มากกว่าแผงบังแดดไม้เทียมหรือไม่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 113 อุณหภูมิอากาศภายนอก หลังแผงบังแดดไม้เทียม หลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง กลางห้อง และน้ำในอ่างเลี้ยงปลา เก็บข้อมูลวันที่ 7 เม.ย. 55 เวลา 09:00 น. ถึง 14 เม.ย. 55 เวลา 8:30 น.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 114 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก หลังแผงบังแดดไม้เทียม หลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง กลางห้อง และน้ำในอ่างเลี้ยงปลา เก็บข้อมูลวันที่ 7 เม.ย. 55 เวลา 09:00 น. ถึง 14 เม.ย. 55 เวลา 08:30 น. แบ่งเป็นช่วงกลางวัน (9.00-20.30 น.) และกลางคืน (21.00-08.30 น.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 28 ผลการวัดอุณหภูมิทุกจุด ในชุดการทดลองที่ 3

กลางวัน 9.00-20.30	ภายนอก	ในอ่าง	กลางBระแนง	กลางBกลาง	กลางBพุ่ม	หลังBพุ่ม	หลังBระแนง
อุณหภูมิสูงสุด	40.13	32.34	37.66	38.33	36.13	36.35	37.66
อุณหภูมิต่ำสุด	22.285	26.54	25.95	26.145	26.34	26.145	26.535
อุณหภูมิเฉลี่ย	33.64	30.1	33.07	33.47	32.22	32.35	33.23
ค่าแกว่ง	17.845	5.8	11.71	12.185	9.79	10.205	11.125

กลางคืน 21.00-08.30	ภายนอก	ในอ่าง	กลางBระแนง	กลางBกลาง	กลางBพุ่ม	หลังBพุ่ม	หลังBระแนง
อุณหภูมิสูงสุด	32.975	31.52	31.725	31.93	31.12	31.32	31.525
อุณหภูมิต่ำสุด	22.67	26.34	24.595	24.785	24.98	24.79	25.17
อุณหภูมิเฉลี่ย	27.75	29.2	28.43	28.52	28.54	28.58	28.6
ค่าแกว่ง	10.305	5.18	7.13	7.145	6.14	6.53	6.082

1.1 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก หลังแผงบังแดดไม้เทียม หลังแผงบังแดดระบบอะควาโพ-นิกส์แนวตั้ง กลางห้อง และน้ำในอ่างเลี้ยงปลา

1.1.1 อุณหภูมิสูงสุด

กลางวัน 9.00-20.30 น. อุณหภูมิสูงสุดเรียงตามลำดับจากสูงสุดไปต่ำสุด คือ อุณหภูมิกลางห้องที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด (38.33°C) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดไม้เทียมและอุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม (37.66°C) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควา-โพนิกส์แนวตั้ง (36.35°C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (36.13°C) > อุณหภูมิน้ำในอ่างเลี้ยงปลา (32.34) โดยช่วงที่อุณหภูมิอากาศสูงสุด คือ ช่วง 9.00 – 13.00 น. ส่วนอุณหภูมิน้ำสูงสุดอยู่ในช่วง 12.00-19.00 น.

กลางคืน 21.00-8.30 น. อุณหภูมิสูงสุดเรียงตามลำดับจากมากไปน้อย คือ อุณหภูมิกลางห้องที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด (31.93°C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม (31.725°C) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดไม้เทียม (31.525°C) > อุณหภูมิน้ำในอ่างเลี้ยงปลา (31.52) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (31.32°C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (31.12°C) โดยช่วงที่อากาศและน้ำอุณหภูมิสูงสุด คือ ช่วง 21.00 น.

1.1.2 อุณหภูมิต่ำสุด

กลางวัน 9.00-20.30 น. อุณหภูมิต่ำสุดเรียงตามลำดับจากต่ำสุดไปสูงสุด คือ อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม (25.95 °C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ไม่ติดตั้งแผงบัง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แดด และหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (26.145 °C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (26.34 °C) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดไม้เทียม (26.34 °C) > อุณหภูมิน้ำในอ่าง (26.54) โดยเวลา 20.30 น. เป็นช่วงที่อุณหภูมิอากาศต่ำสุด และเวลา 9.00 น. เป็นช่วงที่อุณหภูมิน้ำต่ำสุด

กลางคืน 21.00-8.30 น. อุณหภูมิต่ำสุดเรียงตามลำดับจากต่ำสุดไปมากสุด คือ อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม (24.595 °C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด (24.785 °C) > หลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (24.79 °C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (24.98 °C) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดไม้เทียม (25.17 °C) > อุณหภูมิน้ำในอ่าง (26.34) โดยเวลา 5.00-7.00 น. เป็นช่วงที่อุณหภูมิอากาศและน้ำต่ำสุด

1.1.3 อุณหภูมิเฉลี่ย

กลางวัน 9.00-20.30 น. อุณหภูมิเฉลี่ยจากสูงสุดไปต่ำสุด คือ อุณหภูมิกลางห้องที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดดมีค่าสูงสุด (33. 47°C) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดไม้เทียม (33. 23°C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม (33.07°C) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควา-โพนิกส์แนวตั้ง (32.35°C) > อุณหภูมิกลางกล่องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (32.22°C) > อุณหภูมิน้ำในอ่างเลี้ยงปลา (30.10) โดยช่วงที่อุณหภูมิอากาศสูงสุด คือ ช่วง 9.00 – 13.00 น. ส่วนอุณหภูมิน้ำสูงสุดอยู่ในช่วง 12.00-19.00 น.

กลางคืน 21.00-8.30 น. อุณหภูมิเฉลี่ยจากสูงสุดไปต่ำสุด คือ อุณหภูมิน้ำในอ่างเลี้ยงปลา (29.2) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดไม้เทียม (28.6°C) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (28.58°C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (28.54°C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด (28.52°C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม (28.43°C) โดยช่วงที่อากาศและน้ำอุณหภูมิสูงสุด คือ ช่วง 21.00 น.

1.1.4 ค่าแกว่ง

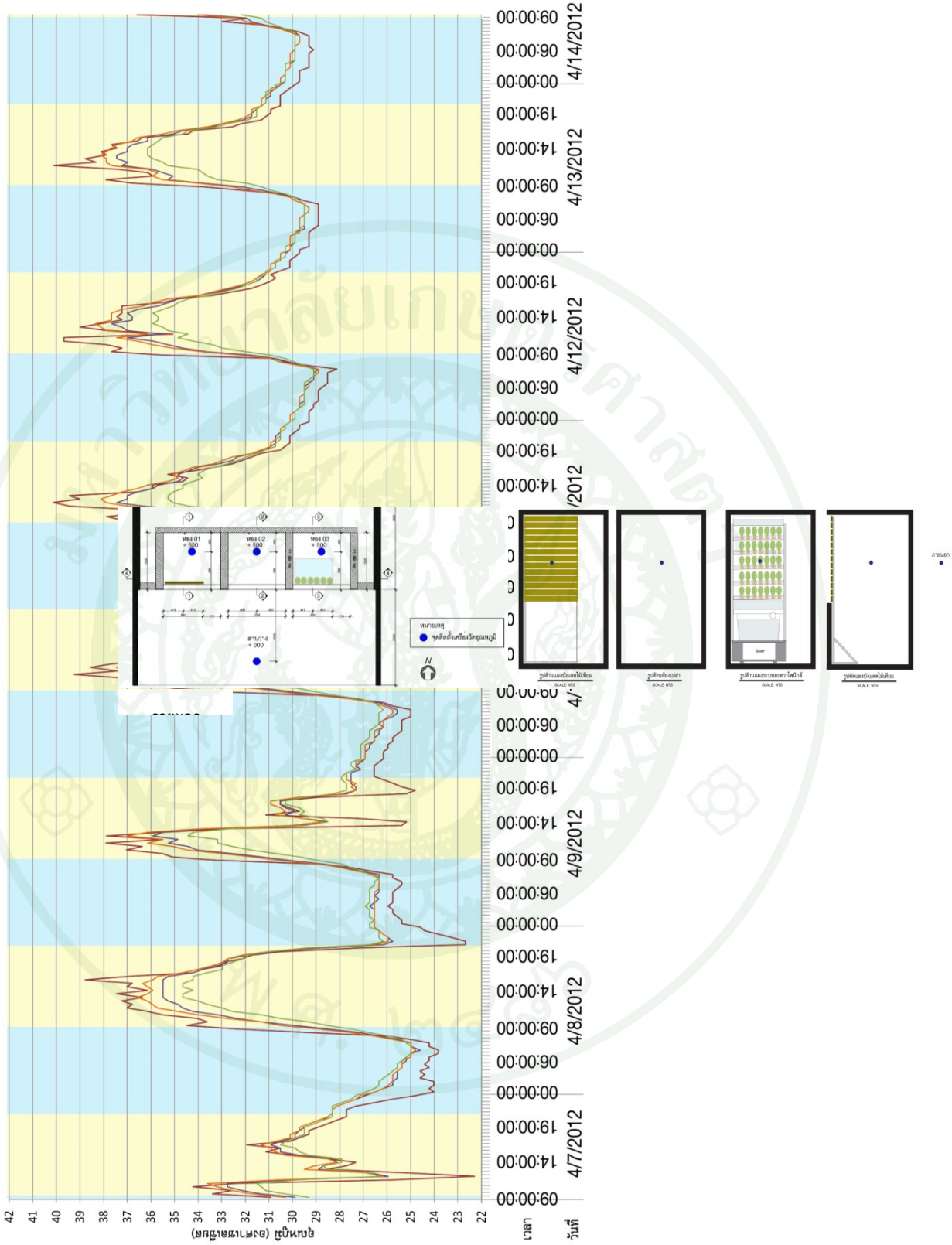
กลางวัน 9.00-20.30 น. ค่าแกว่งของอุณหภูมิ เรียงจากมากไปน้อย คือ อุณหภูมิกลางห้องที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด (12.185°C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(11.71°C) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดไม้เทียม (11.125°C) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควา-โพนิกส์แนวตั้ง (10.205°C) > อุณหภูมิกลางกล่องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (9.79°C) > อุณหภูมิน้ำในอ่าง (5.8°C)

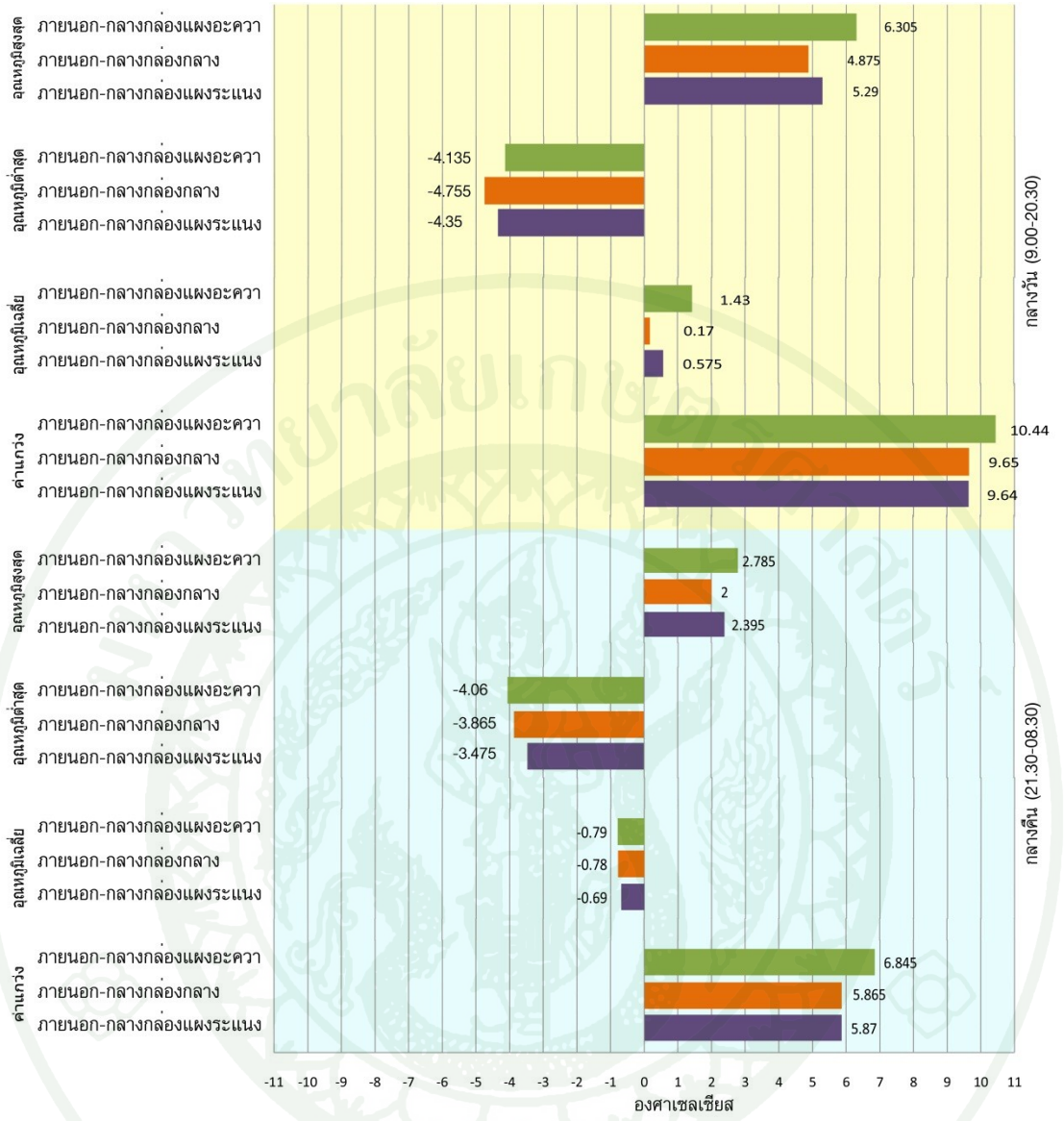
กลางคืน 21.00-8.30 น. ค่าแกว่งของอุณหภูมิ เรียงจากมากไปน้อย คือ อุณหภูมิกลางห้องที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด (7.145°C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม (7.13°C) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (6.53°C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (6.14°C) > อุณหภูมิน้ำในอ่าง (5.18°C)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 115 อุณหภูมิอากาศภายนอก กลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม กลางห้องที่ไม่มีแผงบังแดด และกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง เก็บข้อมูลวันที่ 7 เม.ย. 55 เวลา 09:00 น. ถึง 14 เม.ย. 55 เวลา 08:30 น. แบ่งเป็นช่วงกลางวัน (9.00-20.30 น.) และกลางคืน (21.00-08.30 น.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 116 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอก กับอุณหภูมิกลางห้องแผงบังแดดไม้เทียม อุณหภูมิห้องกลาง และอุณหภูมิกลางห้องแผงบังแดดระบบอะควา-โพนิกส์แนวตั้ง เก็บข้อมูลวันที่ 7 เม.ย. 55 เวลา 09:00 น. ถึง 14 เม.ย. 55 เวลา 08:30 น.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 29 ผลการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างกลางห้องแผงบังแดดไม้เทียม กลางห้องไม่ติดตั้งแผงบังแดด และกลางห้องติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง

กลางวัน 9.00-20.30	ภายนอก-กลางกล่องแผงระแนง	ภายนอก-กลางกล่องกลาง	ภายนอก-กลางกล่องแผงอะควา
อุณหภูมิสูงสุด	5.29	4.875	6.305
อุณหภูมิต่ำสุด	-4.35	-4.755	-4.135
อุณหภูมิเฉลี่ย	0.575	0.17	1.43
ค่าแกว่ง	9.64	9.65	10.44

กลางคืน 21.00-08.30	ภายนอก-กลางกล่องแผงระแนง	ภายนอก-กลางกล่องกลาง	ภายนอก-กลางกล่องแผงอะควา
อุณหภูมิสูงสุด	2.395	2	2.785
อุณหภูมิต่ำสุด	-3.475	-3.865	-4.06
อุณหภูมิเฉลี่ย	-0.69	-0.78	-0.79
ค่าแกว่ง	5.87	5.865	6.845

1.2 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอก กับอุณหภูมิกลางห้องแผงบังแดดไม้เทียม อุณหภูมิห้องกลาง และอุณหภูมิกลางห้องแผงบังแดดระบบอะควาโพ-นิกส์แนวตั้ง

1.2.1 ช่วงอุณหภูมิสูงสุด

กลางวัน 9.00-20.30 น. อุณหภูมิกลางห้องที่ ลดลงจากภายนอก เรียงตามลำดับจากมากไปน้อย คือ อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (6.305°C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม (5.29°C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด (4.875°C) โดยช่วงที่ต่างกันมากที่สุด คือช่วง 9.00 – 13.00 น.

กลางคืน 21.00-8.30 น. อุณหภูมิกลางกล่องที่ ลดลงจากภายนอก เรียงตามลำดับจากมากไปน้อย คือ อุณหภูมิกลางกห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (2.785°C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม (2.395°C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด (2°C)

1.2.2 อุณหภูมิต่ำสุด

กลางวัน 9.00-20.30 น. อุณหภูมิกลางห้องที่ ต่างจากภายนอก เรียงตามลำดับจากน้อยไปมาก คือ อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (-4.135°C) < อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม (-4.35°C) < อุณหภูมิกลางห้องที่ไม่ติดตั้งแผงบัง-แดด (-4.775°C)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กลางคืน 21.00-8.30 น. อุณหภูมิกลางห้องที่ ต่างจากภายนอก เรียงตามลำดับจากน้อยไปมาก คือ อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม (-3.475°C) < อุณหภูมิกลางห้องที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด (-3.865°C) < อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์-แนวตั้ง (-4.06°C)

1.2.3 อุณหภูมิเฉลี่ย

กลางวัน 9.00-20.30 น. อุณหภูมิเฉลี่ยกลางห้องที่ ลดลงจากภายนอก เรียงตามลำดับจากมากไปน้อย คือ อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (1.43°C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม (0.575°C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด (0.17°C) โดยช่วงที่ต่างกันมากที่สุด คือช่วง 9.00 – 13.00 น.

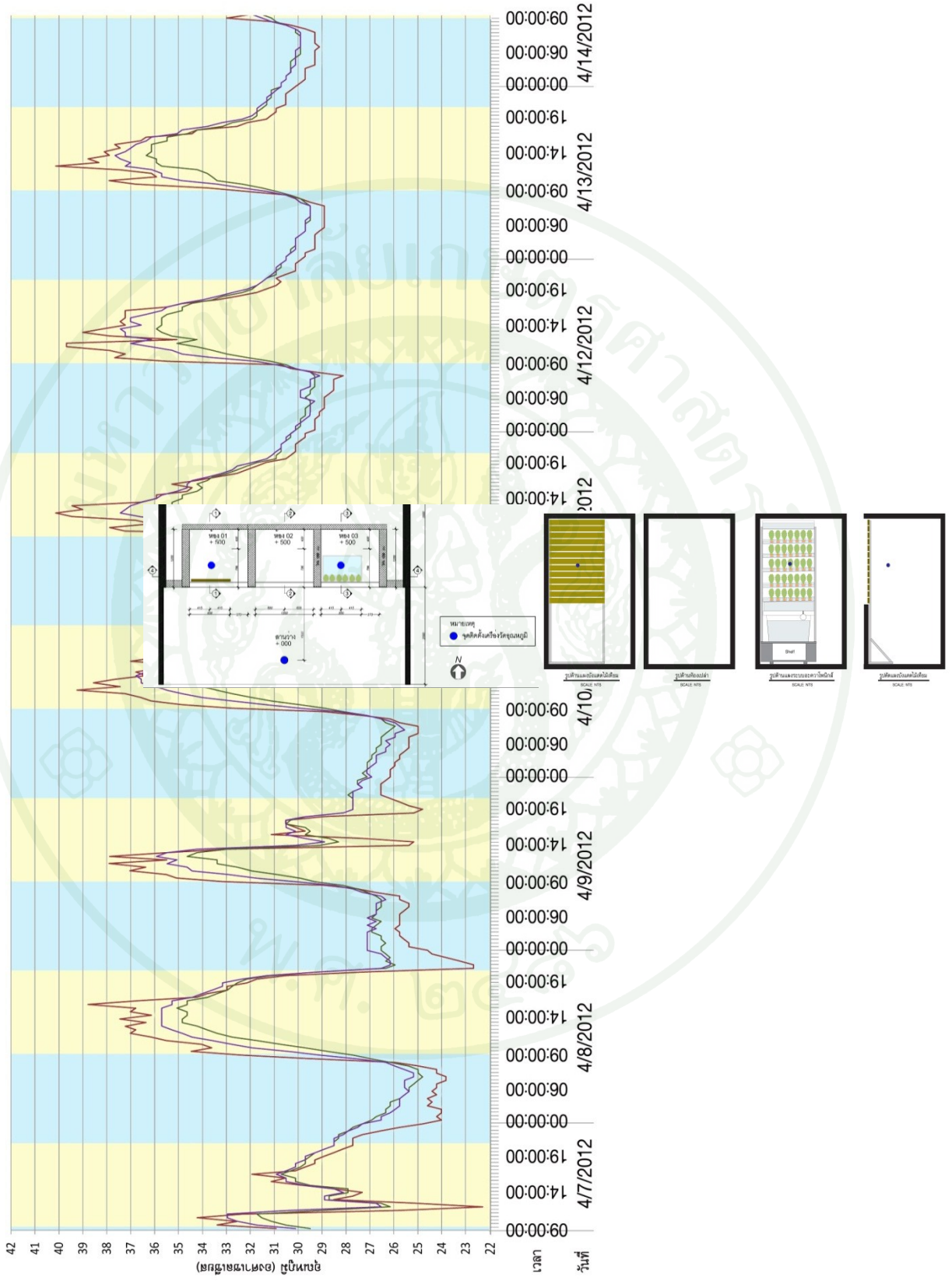
กลางคืน 21.00-8.30 น. อุณหภูมิเฉลี่ยกลางห้องที่ ลดลงจากภายนอก เรียงตามลำดับจากมากไปน้อย คือ อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม (-0.69°C) < อุณหภูมิกลางห้องที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด (-0.78°C) < อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (-0.79°C)

1.2.4 ค่าแกว่ง

กลางวัน 9.00-20.30 น. ค่าแกว่งของอุณหภูมิ ต่างจากค่าแกว่งของอุณหภูมิภายนอก เรียงจากมากไปน้อย คือ อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้ง แผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (10.44°C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด (9.65°C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม (9.64°C)

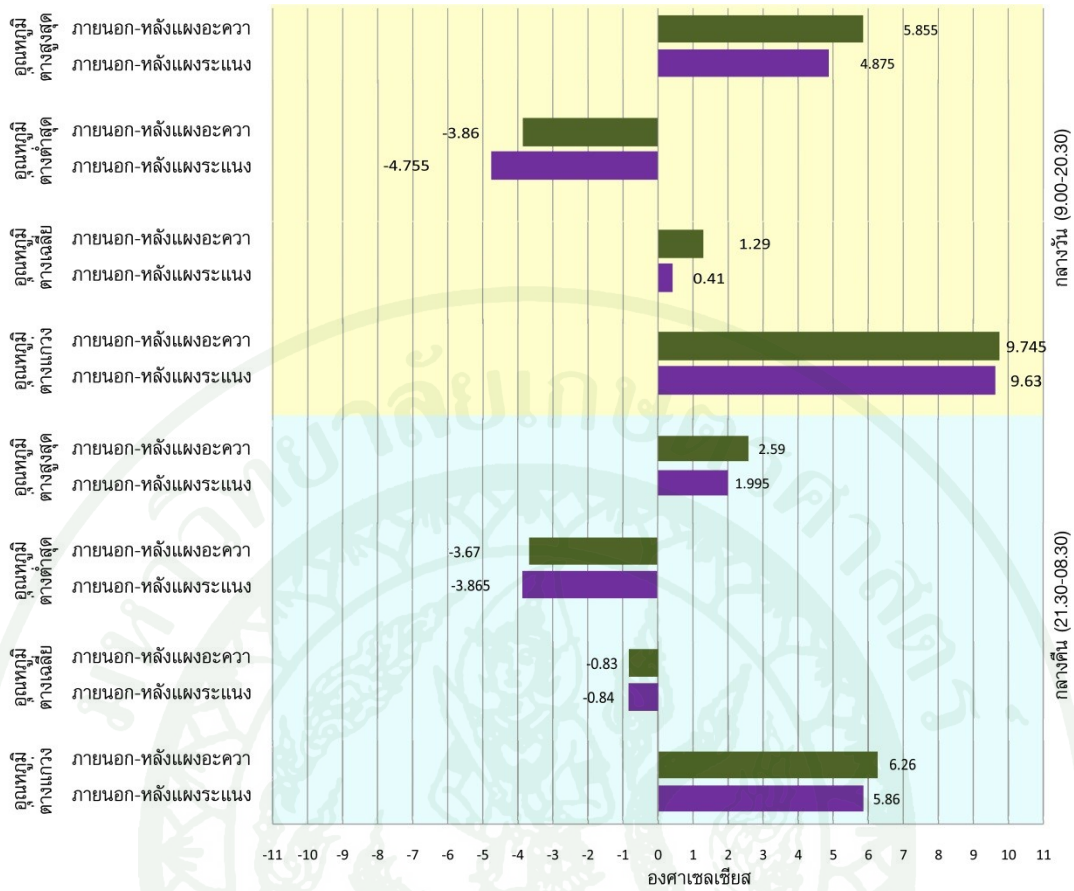
กลางคืน 21.00-8.30 น. ค่าแกว่งของอุณหภูมิ ต่างจากค่าแกว่งของอุณหภูมิภายนอก เรียงจากมากไปน้อย คือ อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้ง แผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (6.845°C)> อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม (5.87°C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด (5.865°C)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 117 อุณหภูมิอากาศภายนอก หลังแผงบังแดดไม้เทียม และหลังแผงบังแดดระบบอะควา-โพนิกส์แนวตั้ง เก็บข้อมูลวันที่ 7 เม.ย. 55 เวลา 09:00 น. ถึง 14 เม.ย. 55 เวลา 08:30 น.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 118 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอก กับอุณหภูมิหลังแผงบังแดดไม้เทียม และอุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง เก็บข้อมูลวันที่ 7 เม.ย. 55 เวลา 09:00 น. ถึง 14 เม.ย. 55 เวลา 08:30 น.

ตารางที่ 30 ผลการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอก กับอุณหภูมิหลังแผงบังแดดไม้เทียม และหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง

กลางวัน 9.00-20.30	ภายนอก-หลังแผงระแนง	ภายนอก-หลังแผงอะควา
อุณหภูมิสูงสุด	4.875	5.855
อุณหภูมิต่ำสุด	-4.755	-3.86
อุณหภูมิเฉลี่ย	0.41	1.29
ค่าแกว่ง	9.63	9.745

กลางคืน 21.00-08.30	ภายนอก-หลังแผงระแนง	ภายนอก-หลังแผงอะควา
อุณหภูมิสูงสุด	1.995	2.59
อุณหภูมิต่ำสุด	-3.865	-3.67
อุณหภูมิเฉลี่ย	-0.84	-0.83
ค่าแกว่ง	5.86	6.26

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.3 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอก กับอุณหภูมิกลางห้องแผงบังแดดไม้เทียม อุณหภูมิห้องกลาง และอุณหภูมิกลางห้องแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง

1.3.1 ช่วงอุณหภูมิสูงสุด

กลางวัน 9.00-20.30 น. อุณหภูมิหลังแผงบังแดดที่ ลดลงจากภายนอก เรียงตามลำดับจากมากไปน้อย คือ อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิส์แนวตั้ง (5.855°C) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดไม้เทียม (4.875°C) โดยช่วงที่ต่างกันมากที่สุด คือช่วง 9.00 – 13.00 น.

กลางคืน 21.00-8.30 น. อุณหภูมิหลังแผงบังแดดที่ ลดลงจากภายนอกมากที่สุด เรียงตามลำดับจากมากไปน้อย คือ อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิส์แนวตั้ง (2.59°C) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดไม้เทียม (1.995°C)

1.3.2 อุณหภูมิต่ำสุด

กลางวัน 9.00-20.30 น. อุณหภูมิหลังแผงบังแดดที่ ต่างจากภายนอก เรียงตามลำดับจากน้อยไปมาก คือ อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิส์แนวตั้ง (-3.86°C) < อุณหภูมิหลังแผงบังแดดไม้เทียม (-4.755°C)

กลางคืน 21.00-8.30 น. อุณหภูมิหลังแผงบังแดดที่ ต่างจากภายนอก เรียงตามลำดับจากน้อยไปมาก คือ อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิส์แนวตั้ง (-3.67°C) < อุณหภูมิหลังแผงบังแดดไม้เทียม (-3.865°C)

1.3.3 อุณหภูมิเฉลี่ย

กลางวัน 9.00-20.30 น. อุณหภูมิเฉลี่ยหลังแผงบังแดดที่ ลดลงจากภายนอก เรียงตามลำดับจากมากไปน้อย คือ อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (1.29°C) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดไม้เทียม (0.41°C) โดยช่วงที่ต่างกันมากที่สุด คือช่วง 9.00 – 13.00 น.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

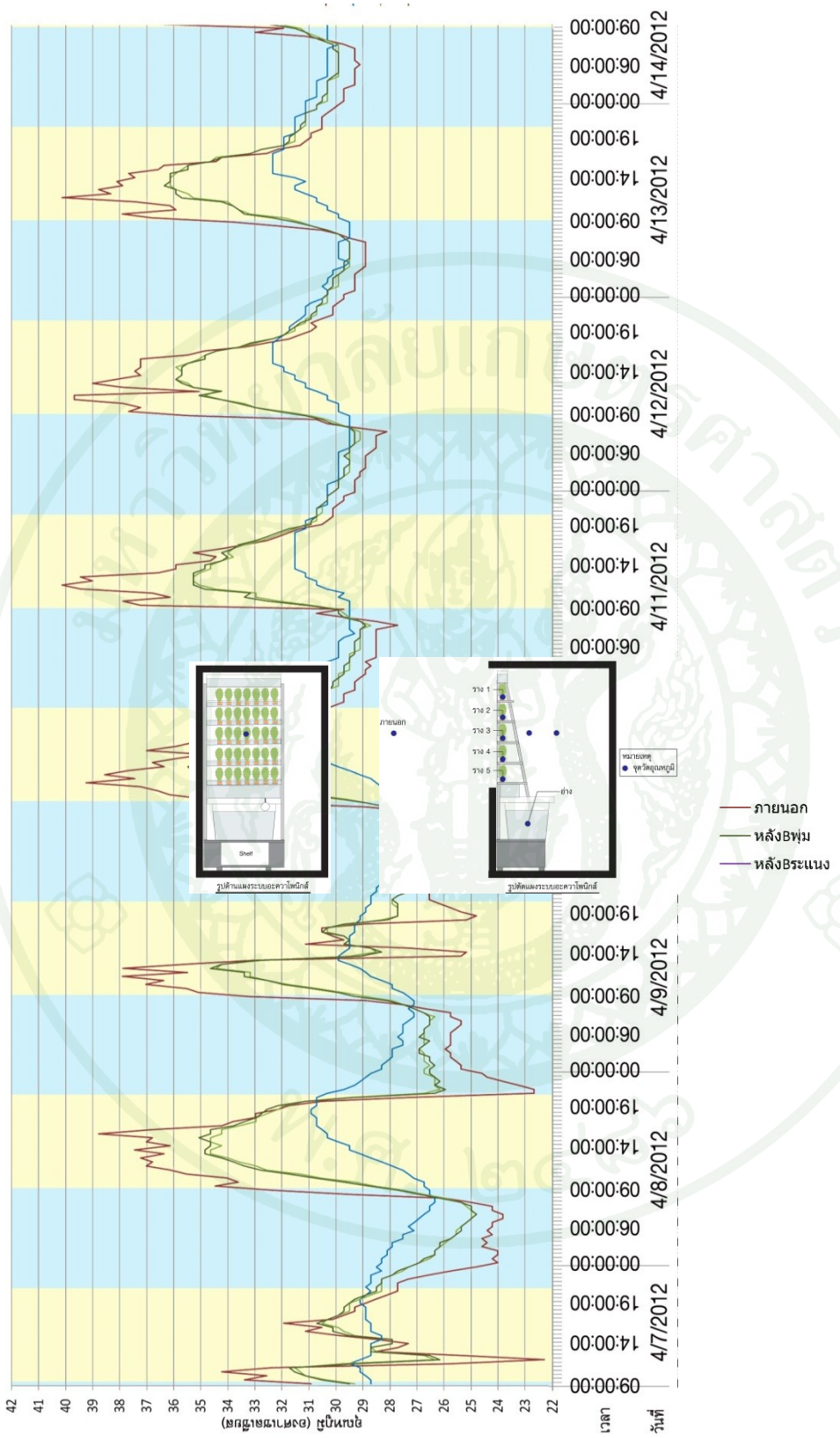
กลางคืน 21.00-8.30 น. อุณหภูมิเฉลี่ยหลังแผงบังแดดที่ ลดลงจากภายนอก เรียงตามลำดับจากน้อยไปมาก คือ อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (-0.83°C) < อุณหภูมิหลังแผงบังแดดไม้เทียม (-0.84°C)

1.3.4 ค่าแกว่ง

กลางวัน 9.00-20.30 น. ค่าแกว่งของอุณหภูมิ ต่างจากค่าแกว่งของอุณหภูมิภายนอก เรียงจากมากไปน้อย คือ อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (1.29°C) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดไม้เทียม (0.41°C)

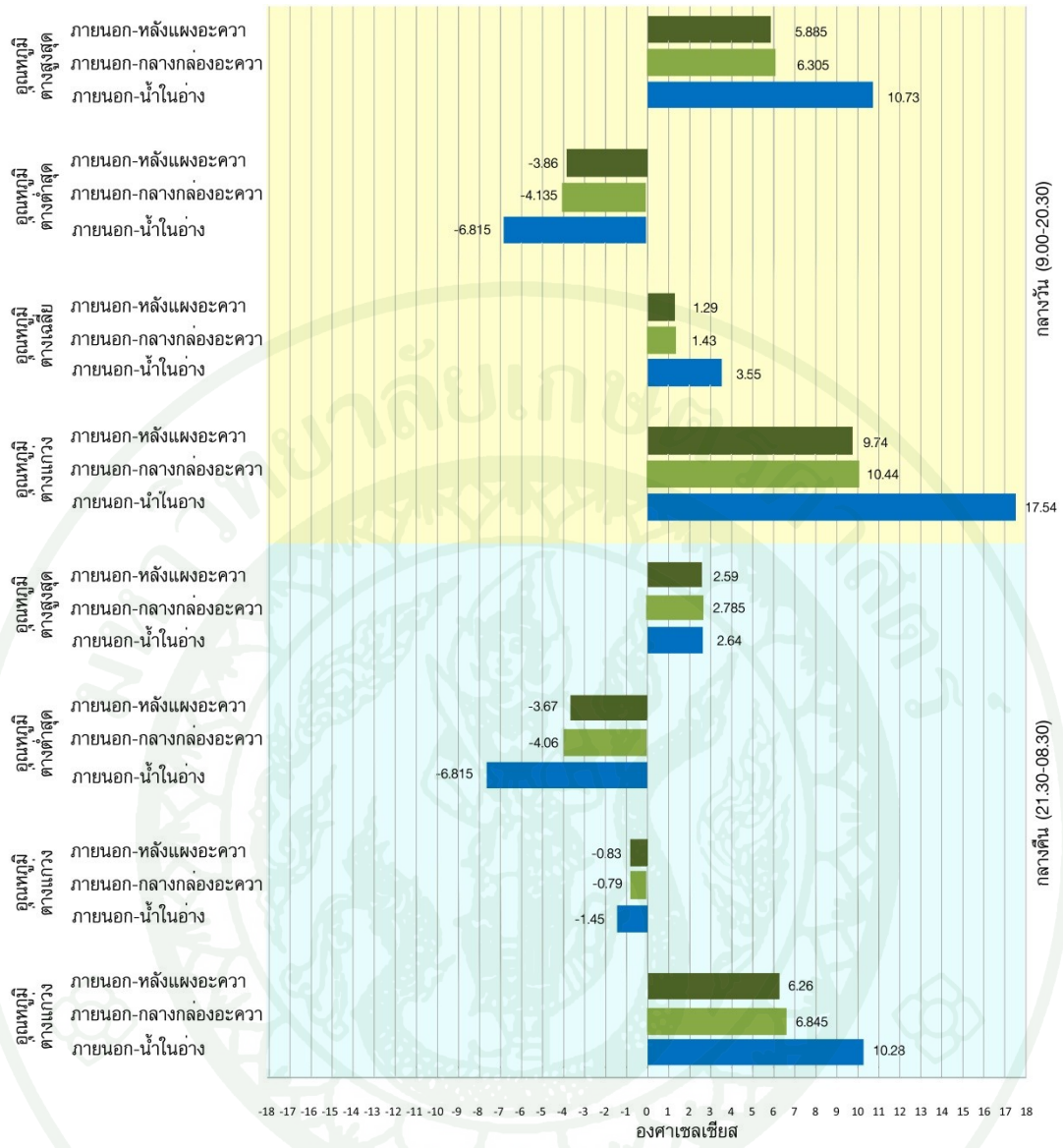
กลางคืน 21.00-8.30 น. ค่าแกว่งของอุณหภูมิ ต่างจากค่าแกว่งของอุณหภูมิภายนอก เรียงจากมากไปน้อย คือ อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้ง แผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์-แนวตั้ง (-0.83°C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม (-0.84°C)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 119 อุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง อุณหภูมิกลางห้องและอุณหภูมิน้ำ เก็บข้อมูลวันที่ 7 เม.ย. 55 เวลา 09:00 น. ถึง 14 เม.ย. 55 เวลา 08:30 น.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 120 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์-แนวตั้ง อุณหภูมิกลางห้องและอุณหภูมิน้ำ เก็บข้อมูลวันที่ 7 เม.ย. 55 เวลา 09:00 น. ถึง 14 เม.ย. 55 เวลา 08:30 น.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 31 ผลการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง กลางห้อง และน้ำในอ่าง

กลางวัน 9.00-20.30	ภายนอก-กลางกล่องแผงระแนง	ภายนอก-หลังแผงระแนง	ภายนอก-น้ำในอ่าง
อุณหภูมิสูงสุด	5.29	6.305	10.73
อุณหภูมิต่ำสุด	-4.35	-4.135	-6.815
อุณหภูมิเฉลี่ย	0.575	1.43	3.55
ค่าแกว่ง	9.64	10.44	17.54

กลางคืน 21.00-08.30	ภายนอก-กลางกล่องแผงระแนง	ภายนอก-หลังแผงระแนง	ภายนอก-น้ำในอ่าง
อุณหภูมิสูงสุด	2.395	2.785	2.64
อุณหภูมิต่ำสุด	-3.475	-4.06	-7.64
อุณหภูมิเฉลี่ย	-0.69	-0.79	-0.79
ค่าแกว่ง	5.87	6.845	10.28

1.4 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพ-นิกส์แนวตั้ง อุณหภูมิกลางห้องและอุณหภูมิน้ำ

1.4.1 ช่วงอุณหภูมิสูงสุด

กลางวัน 9.00-20.30 น. อุณหภูมิหลังแผงบังแดดที่ ลดลงจากภายนอก เรียงตามลำดับจากมากไปน้อย คือ อุณหภูมิน้ำ (10.73) > อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (6.305°C) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (5.855°C) โดยช่วงที่ต่างกันมากที่สุด คือช่วง 9.00 – 13.00 น.

กลางคืน 21.00-8.30 น. อุณหภูมิหลังแผงบังแดดที่ ลดลงจากภายนอก เรียงตามลำดับจากมากไปน้อย คือ อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (2.785°C) > อุณหภูมิน้ำ (2.64°C) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (2.59°C)

1.4.2 อุณหภูมิต่ำสุด

กลางวัน 9.00-20.30 น. อุณหภูมิหลังแผงบังแดดที่ ต่างจากภายนอก เรียงตามลำดับจากน้อยไปมาก คือ อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (-3.86°C) < อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (-4.135°C) < อุณหภูมิน้ำ (-6.815)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กลางคืน 21.00-8.30 น. อุณหภูมิหลังแผงบังแดดที่ ต่างจากภายนอก เรียงตามลำดับจากน้อยไปมาก คือ อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (-3.67°C) < อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (-4.06°C) < อุณหภูมิน้ำ (-6.815)

1.4.3 อุณหภูมิเฉลี่ย

กลางวัน 9.00-20.30 น. อุณหภูมิเฉลี่ยหลังแผงบังแดดที่ ลดลงจากภายนอก เรียงตามลำดับจากมากไปน้อย คือ อุณหภูมิน้ำ (3.55) > อุณหภูมิกลางห้องติดตั้งแผงบังแดดระบบอะ-ควาโพนิกส์แนวตั้ง (1.43°C) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (1.29°C) โดยช่วงที่ต่างกันมากที่สุด คือช่วง 9.00 – 13.00 น.

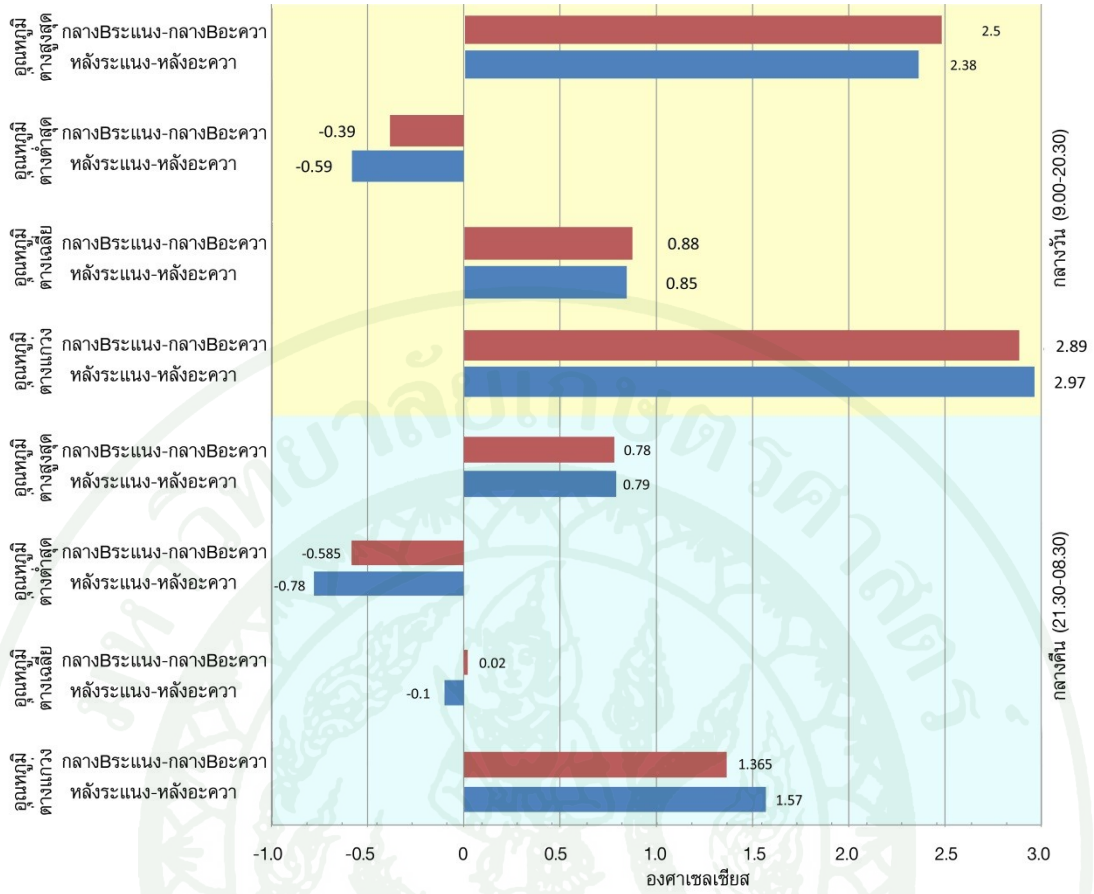
กลางคืน 21.00-8.30 น. อุณหภูมิเฉลี่ยหลังแผงบังแดดที่ ลดลงจากภายนอก เรียงตามลำดับจากน้อยไปมาก คือ อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (-0.79°C) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (-0.83°C) > อุณหภูมิน้ำ (-1.45)

1.4.4 ค่าแกว่ง

กลางวัน 9.00-20.30 น. ค่าแกว่งของอุณหภูมิ ต่างจากค่าแกว่งของอุณหภูมิภายนอก เรียงจากมากไปน้อย คือ อุณหภูมิน้ำ (17.54) > อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (10.44°C) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิส์แนวตั้ง (9.74°C)

กลางคืน 21.00-8.30 น. ค่าแกว่งของอุณหภูมิ ต่างจากค่าแกว่งของอุณหภูมิภายนอก เรียงจากมากไปน้อย คือ อุณหภูมิน้ำ (10.28) > อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพ-นิกส์แนวตั้ง (6.845°C) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิส์แนวตั้ง (6.26°C)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 121 เปรียบเทียบผลต่างระหว่างอุณหภูมิกลางห้องแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับกลางกล่องแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง และหลังแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง เก็บข้อมูลวันที่ 7 เม.ย. 55 เวลา 09:00 น. ถึง 14 เม.ย. 55 เวลา 08:30 น.

ตารางที่ 32 ผลการวัดผลต่างระหว่างอุณหภูมิกลางห้องแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับกลางห้องแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง และหลังแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับหลังแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง

กลางวัน 9.00-20.30	กลางแผงระแนง-กลางแผงอะควา	หลังแผงระแนง-หลังแผงอะควา
อุณหภูมิสูงสุด	2.38	2.5
อุณหภูมิต่ำสุด	-0.59	-0.39
อุณหภูมิเฉลี่ย	0.85	0.88
ค่าแกว่ง	2.97	2.89

กลางคืน 21.00-08.30	กลางแผงระแนง-กลางแผงอะควา	หลังแผงระแนง-หลังแผงอะควา
อุณหภูมิสูงสุด	0.79	2.59
อุณหภูมิต่ำสุด	-0.78	-0.585
อุณหภูมิเฉลี่ย	-0.1	0.02
ค่าแกว่ง	1.57	1.365

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.5 ผลการเปรียบเทียบวัดผลต่างระหว่างอุณหภูมิกลางกล่องแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับกลางกล่องแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง และหลังแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับหลังแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง

1.5.1 ช่วงอุณหภูมิสูงสุด

กลางวัน 9.00-20.30 น. อุณหภูมิกลางห้องแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับกลางห้องแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (2.5°C) > อุณหภูมิหลังแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับหลังแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (2.38°C)

กลางคืน 21.00-8.30 น. อุณหภูมิหลังแผงบังแดดที่ ลดลงจากภายนอก เรียงตามลำดับจากมากไปน้อย คือ อุณหภูมิหลังแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับหลังแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (0.79°C) > อุณหภูมิกลางห้องแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับกลางห้องแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (0.78°C)

1.5.2 อุณหภูมิต่ำสุด

กลางวัน 9.00-20.30 น. อุณหภูมิกลางห้องแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับกลางห้องแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (-0.39°C) < อุณหภูมิหลังแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับหลังแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (-0.59°C)

กลางคืน 21.00-8.30 น. อุณหภูมิกลางห้องแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับกลางห้องแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (-0.585°C) < อุณหภูมิหลังแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับหลังแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (-0.78°C)

1.5.3 อุณหภูมิเฉลี่ย

กลางวัน 9.00-20.30 น. อุณหภูมิกลางห้องแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับกลางห้องแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (0.88°C) > อุณหภูมิหลังแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับหลังแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (0.85°C)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

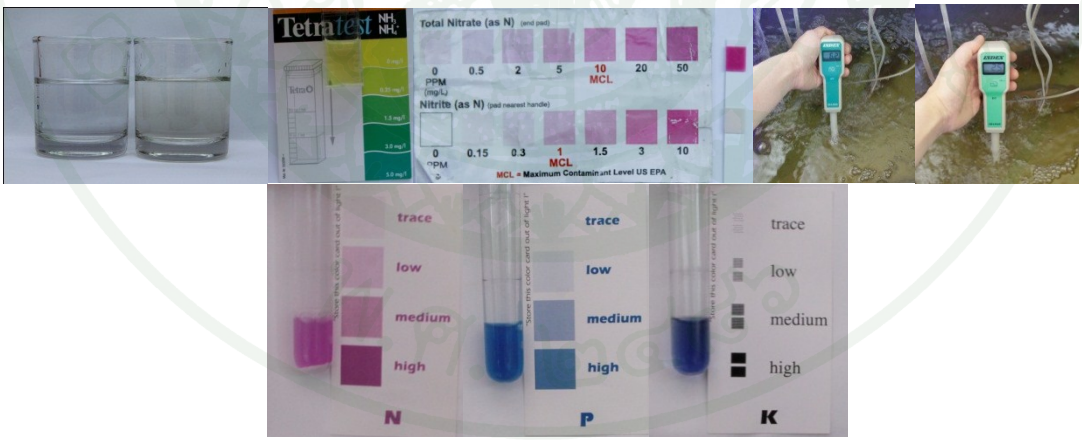
กลางคืน 21.00-8.30 น. อุณหภูมิกลางห้องแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับกลางห้องแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (0.02°C) > อุณหภูมิหลังแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับหลังแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (-0.1°C)

1.5.4 ค่าแกว่ง

กลางวัน 9.00-20.30 น. อุณหภูมิหลังแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับหลังแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (2.97°C) > อุณหภูมิกลางห้องแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับกลางกล่องแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (2.89°C)

กลางคืน 21.00-8.30 น. อุณหภูมิหลังแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับหลังแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (1.57°C) > อุณหภูมิกลางห้องแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับกลางห้องแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (1.365°C)

1.6 ผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำ การตรวจสอบคุณภาพน้ำในการทดลองที่ 3 มีวัตถุประสงค์ เพื่อการวิเคราะห์และการใช้งาน ระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง



ภาพที่ 122 การเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำในระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งในชุดการทดลองที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 33 ผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำ ชุดการทดลองที่ 3

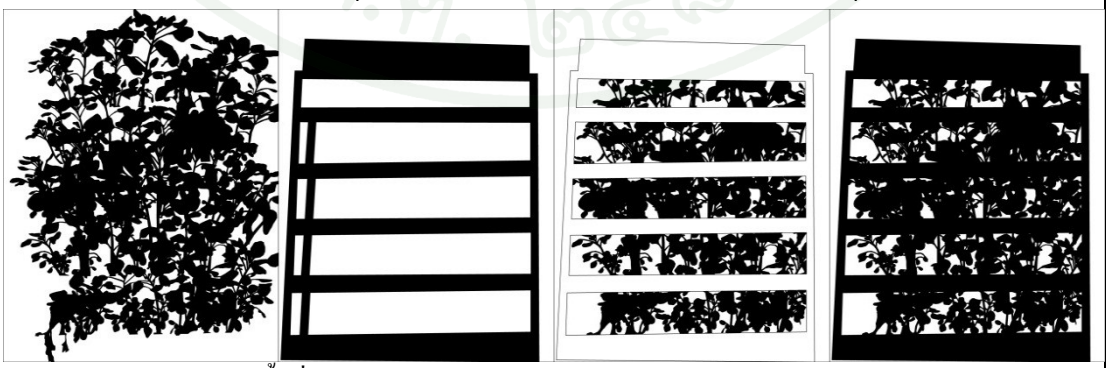
สาร	ปริมาณที่วัดได้	ปริมาณที่ต้องการ
ค่า EC	2.0-2.6 mS/cm	1.4-1.8 mS/cm
ค่า pH	6.2-6.8	6.0-7.0
ค่าไนเตรท	50 mg/l	20-50 mg/l
ค่าไนไตรท	0-0.15 mg/l	0 mg/l
ค่า Ammonia	0-0.25 mg/l	0 mg/l
ค่า N	สูง	สูง
ค่า P	สูง	สูง
ค่า K	สูง	สูง

1.7 ผลการเก็บข้อมูลพืช เพื่อเก็บข้อมูลลักษณะพืชในช่วงที่เหมาะสมกับการบังแดด

ตารางที่ 34 การเก็บข้อมูลการปกคลุมของผักบนระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง

วันที่	รูปภาพ	พื้นที่ปกคลุม	วันที่	รูปภาพ	พื้นที่ปกคลุม
7/4			14/4		

ตัวอย่าง การคำนวณพื้นที่ปกคลุมจากภาพแผงบังแดดวันที่ 7/4/2012 ได้พื้นที่ปกคลุมมากกว่า 66.86 %



พืชหน้าแผง 61.30% พื้นที่อุปกรณ์ 43.40% พืชปกคลุมระหว่างราง 66.86% พืชและรางปกคลุม 81.25%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 123 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของผัก ชุดการทดลองที่ 3

ตารางที่ 35 ผลการเจริญเติบโตของผักชุดการทดลองที่ 3

ที่	ความยาว (ซม.)			น้ำหนัก (กรัม)	
	1ตัว	รวม	เฉลี่ย	ทั้งต้น	ผลผลิต
1	35-45	275	39.29	1360	940
2	35-45	275	39.29		
3	30	210	30		
4	22-55	334	41.75		
5	25-45	280	40		
เฉลี่ยรวม			38.17	เฉลี่ยรวม	26.86
หมายเหตุ ผักอายุประมาณ 3 เดือน					



ภาพที่ 124 ปลาในระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง ในการทดลองชุดที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. วิจารณ์ผลการทดลองชุดที่ 3

จากผลการทดลองที่ 2 ได้เลือกผักโขมมาใช้ปลูกในระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง เพื่อใช้เป็นแผงบังแดด รวมทั้งปรับเพิ่มขนาดส่วนกรองน้ำจากอ่างเลี้ยงปลาก่อนส่งต่อเข้าสู่รางปลูก

จากภาพที่ 115 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอก กับอุณหภูมิกลางห้องแผงบังแดดไม้เทียม อุณหภูมิห้องกลาง และอุณหภูมิกลางห้องแผงบังแดดระบบอะควา-โพนิกส์แนวตั้ง เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 7 เม.ย. เวลา 09:00 น. ถึง 14 เม.ย. พ.ศ.2555 เวลา 8:30 น.

ในช่วงเวลากลางวัน 9.00 - 20.30 น. อุณหภูมิกลางห้องแผงระแนงบังแดดระบบอะควาโพ-นิกส์แนวตั้งมีค่าอุณหภูมิ ต่ำที่สุด โดยต่ำกว่าอุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม และกลางห้องที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดดมีอุณหภูมิสูงที่สุด เนื่องจากในห้องกลางซึ่งไม่ติดตั้งแผงบังแดดได้รับความร้อนจากรังสีของดวงอาทิตย์โดยตรง จึงร้อนที่สุด แต่ไม่ร้อนเท่าอากาศภายนอก เนื่องจากมีร่มเงาของผนังและเพดาน ส่วนห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม อุณหภูมิต่ำกว่าห้องที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด เนื่องจาก แผ่นไม้เทียม (ไฟเบอร์ซีเมนต์) ช่วยในการบังแดดและมีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อน จึงป้องกันความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้ส่วนหนึ่ง และห้องที่อุณหภูมิต่ำที่สุดคือ ห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง เนื่องจาก แผงบังแดดมีรางปลูก ซึ่งมีพืชปกคลุมหนาแน่น ให้ร่มเงาบังแดด การการคายน้ำของใบช่วยลดอุณหภูมิและช่วยเพิ่มความชื้นในอากาศ การหมุนเวียนของน้ำในรางปลูกซึ่งน้ำมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศมากในตอนกลางวัน จึงมีส่วนช่วยพาความร้อนจากรางปลูกให้หมุนเวียนสู่อ่างเลี้ยงปลาทำให้ความร้อนลดลง จากการบังเงาของรางปลูกพืช การคายน้ำของใบพืช และการหมุนเวียนของน้ำในระบบ ทำให้อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งต่ำที่สุด

ในช่วงเวลากลางคืน 21.00 - 8.30 น. อุณหภูมิกลางกล่องห้องที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดดมีค่าอุณหภูมิต่ำที่สุด โดยต่ำกว่า อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม และ กลางห้องที่ติดตั้งระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งมีอุณหภูมิสูงที่สุด เนื่องจากตอนกลางคืนความร้อนจะถ่ายเทจากภายในอาคารสู่บรรยากาศภายนอก (Night Sky Radiation) ซึ่งเย็นกว่า ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารลดลง โดยห้องที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดดมีการถ่ายเทความร้อนได้เร็วที่สุดจึงอุณหภูมิต่ำที่สุด ส่วนห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียมอุณหภูมิต่ำรองลงมา เนื่องจากมีแผงบังแดดไม้เทียม ชะลอการถ่ายเทความร้อนออกสู่บรรยากาศ และห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งมีอุณหภูมิสูงที่สุด เนื่องจากรางปลูก พืชที่ปกคลุม ชะลอการถ่ายเทความร้อนออกสู่บรรยากาศ โดยน้ำในระบบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอกซึ่งเกิดจากการสะสมความร้อนในตอนกลางวัน และความร้อนจากปั๊มน้ำจึงมีผลกับอุณหภูมิในรางปลูกทำให้อุณหภูมิสูงกว่าอากาศมากกว่ารางปลูกเปล่าๆ ดั้งนั้น การบดบังของรางปลูก การปกคลุมของพืช และน้ำในระบบ ส่งผลให้อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งสูงที่สุดในเวลากลางคืน

จากภาพที่ 121 แสดงผลอุณหภูมิเปรียบเทียบผลต่างระหว่างอุณหภูมิกลางห้องแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับกลางห้องแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง และหลังแผงระแนงบังแดดไม้เทียมกับหลังแผงระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 7 เม.ย. เวลา 09:00 น. ถึง 14 เม.ย. พ.ศ.2555 เวลา 8:30 น.

ในช่วงเวลากลางวัน 9.00 - 20.30 น. อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง ต่ำกว่า อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงระแนงบังแดดไม้เทียม 2.5^{o}C และอุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง ต่ำกว่า อุณหภูมิหลังแผงระแนงบังแดดไม้เทียม 2.38 ^{o}C

ในช่วงเวลากลางคืน 21.00 - 8.30 น. อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงระแนงบังแดดไม้เทียม ต่ำกว่า อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง 0.585^{o}C และอุณหภูมิหลังแผงระแนงบังแดดไม้เทียม ต่ำกว่า อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง 0.78 ^{o}C

จากการเก็บข้อมูล พืชผัก ชุดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งที่ออกแบบมีความเหมาะสมต่อพืชและปลา โดยให้ผลผลิตปลานิลจำนวน 5 ตัว ที่เติบโตตามปกติ ผลผลิตผักเติบโตได้ในน้ำในระบบ ซึ่งมีค่า EC=2.0-2.6 mg/l, ค่า pH =6.2- 6.8 mg/l, ไนเตรท = 50 mg/l, ไนไตรท =0-0.3 mg/l Ammonia=0-1.5 mg/l มีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสซียมในระดับสูง

สรุปได้ว่า แผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง มีประสิทธิภาพในการลดความร้อนได้มากกว่าแผงบังแดดไม้เทียมในตอนกลางวัน ส่วนในตอนกลางคืน ห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดแผงบังแดดระบบอะควานิกส์แนวตั้งมีอุณหภูมิสูงกว่าห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม และสูงกว่าห้องที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดดด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งที่เหมาะสมกับพืชและปลา และศึกษาประสิทธิภาพการลดความร้อนระหว่างแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งกับผนังระแนงกันแดดไม้เทียม

วิธีการศึกษา เริ่มจากศึกษาระบบอะควาโพนิกส์ ของ James *et.al.* (2006) ระบบอะควาโพ-นิกส์แบบ MEDIA BASE และการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ ระบบ DFT มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ในชุดการทดลองที่ 1 กำหนดรูปแบบการบรรจุวัสดุปลูกในถ้วยในรางปลูก และ การบรรจุวัสดุปลูกแบบเต็มรางปลูก เพื่อเปรียบเทียบหาวิธีการบรรจุวัสดุปลูกที่เหมาะสมและใช้ในการทดลองที่ 2 เพื่อทดสอบหาพืชที่เติบโตได้ดีและเหมาะสมที่สุด สำหรับปลูกในแผงบังแดด ในชุดการทดลองที่ 3 เพื่อทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารระหว่างแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง กับแผงระแนงบังแดดไม้เทียม

จากผลการทดลอง สรุปได้ดังนี้

1. การทดลองที่ 1 (30 ก. ย.- 6 ต.ค. 54) และ (13 ต.ค.- 20 ต.ค. 54)

ในการทดลองที่ 1 รางปลูกทุกรางมีอัตราการไหลเวียนของน้ำเท่ากัน จากการทดลองเก็บข้อมูลการทดลองที่ 1.1 (30 ก. ย.- 6 ต.ค. 54) และ 1.2 (13 ต.ค.- 20 ต.ค. 54) ใช้เวลาในการทดลอง 7 วัน/ ชุดการทดลอง สิ่งที่เป็นเกณฑ์ในการเลือกวิธีการบรรจุเม็ดดินเผาในรางปลูก ได้แก่ อุณหภูมิในรางปลูก คุณภาพน้ำในรางปลูก น้ำหนักรวมในรางปลูก ซึ่งหากน้ำหนักมากเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อโครงสร้างอาคารได้ และที่สำคัญที่สุดคือตะกอนตกค้างในรางปลูก ซึ่งหากสะสมมากจะส่งผลเสียต่อสุขภาพของปลา

ผลการทดลองทั้ง 2 ครั้ง พบว่า ผลการทดลองอุณหภูมิในรางปลูก และคุณภาพน้ำในรางปลูกทั้ง 2 แบบ ไม่แตกต่างกันมากนัก และพบว่า สิ่งที่แตกต่างกันคือ รางปลูกแบบบรรจุเม็ดดินเผาเต็มรางมีหนักกว่าแบบบรรจุเม็ดดินเผาในถ้วย 2 เท่า ปริมาณตะกอนในรางปลูกแบบบรรจุเม็ดดิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เผาเต็มรางมีมากกว่าแบบบรรจุเม็ดดินเผาในถ้วย 2-3 เท่า อาจเนื่องจากเม็ดดินเผาเป็นวัสดุที่ช่วงกัดของเสียในน้ำซึ่งยิ่งบรรจุในรางปลูกมากก็ยิ่งกักตะกอนไว้มาก

ดังนั้นผลการทดลองนี้ สรุปได้ว่า วิธีการบรรจุวัสดุปลูกในรางปลูกทั้ง 2 แบบ ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนของอุณหภูมิและคุณภาพน้ำมากนัก แต่ตะกอนที่สะสมและน้ำหนักแตกต่างกัน โดยรางปลูกแบบบรรจุวัสดุปลูกในถ้วย มีตะกอนสะสมน้อย และเบากว่า รางปลูกแบบบรรจุวัสดุปลูกเต็มราง ดังนั้นจึงเลือกรางปลูกแบบบรรจุเม็ดดินเผาในถ้วย เพื่อใช้ในการทดลองที่ 2

2. การทดลองชุดที่ 2 (26 ม.ค.- 19 มี.ค. 55)

จากการปลูกพืชในสภาวะที่ไม่ได้รับแสงแดดตรงอย่างเต็มที่ พบว่า พืชทั้ง 4 ชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ พืชที่ได้ดีที่สุดเทียบจากน้ำหนักผลผลิตเรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ ผักบุ้งจีนเรียวไผ่ ผักบุ้งจีนใบไผ่ขาวพระราม ผักโขมขาว และผักโขมแดง โดยหนักเป็น 22.86, 10, 7.14 และ 4.29 กรัม/ต้น

เมื่อเทียบอัตราการปกคลุมช่องว่างระหว่างรางปลูกเรียงจากมากไปน้อย ได้แก่ ผักโขมขาว ผักโขมแดง ผักบุ้งจีนเรียวไผ่ และผักบุ้งจีนใบไผ่ขาวพระราม โดยการปกคลุมเป็น 45.21%, 43.18%, 31.10% และ 18.91% ซึ่งพบว่า กลุ่มผักบุ้ง แม้จะมีน้ำหนักผลผลิตมากกว่า แต่มีพื้นที่การปกคลุมน้อยกว่ากลุ่มผักโขม เนื่องจาก ลักษณะการเจริญเติบโตของผักบุ้งมีลำต้นยื่นยาว ไม่แผ่กิ่งใบ ขยายออกด้านข้าง อีกทั้งโตไวในซึ่งขณะที่ลำต้นยังไม่แข็งแรง ลำต้นจึงย้อยตกลงข้างล่างตามแรงโน้มถ่วงของโลก และเมื่อลำต้นเริ่มแก่ กิ่งที่แยกออกใหม่ก็โตในแนวตั้ง โดยลักษณะที่ย้อยตกดังกล่าว มีผลคือ พุ่มใบพืชผักบุ้งรางบน บดบังแสงสว่างของต้นพืชชนิดเดียวกันที่ปลูกในรางด้านล่าง ทำให้พืชโตไม่เต็มที่ จึงให้ผลผลิตที่น้อยกว่า และ มีพื้นที่ใบปกคลุมช่องว่างระหว่างรางน้อยกว่า ส่วนกลุ่มผักโขม มีพื้นที่การปกคลุมช่องว่างระหว่างรางปลูกมากกว่า เนื่องจากลักษณะใบกว้างกว่า พุ่มใบแผ่ขยายออกด้านข้างการเจริญเติบโตช้ากว่า และ การเจริญเติบโตของลำต้นสามารถรับน้ำหนักของใบได้ โดยผักโขมขาวเจริญเติบโตได้ดีกว่าผักโขมแดง

จากเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของปลาในระบบ พบว่า ปลาสามารเจริญเติบโตได้ปกติ และกินอาหารได้ดี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดังนั้นผลการทดลองนี้สรุปได้ว่า ผักทั้ง 4 ชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่ไม่ได้รับแสงแดดอย่างเต็มที่ พืชกลุ่มผักบุ้งให้ผลผลิตมากที่สุด แต่พุ่มใบบังแดดน้อยกว่าพืชกลุ่มผักโขมที่สุดอันเนื่องมาจากลักษณะการเจริญเติบโตซึ่ง ผักโขมที่เจริญเติบโตได้ดีที่สุดในการทดลอง คือ ผักโขมขาว จึงเลือกผักโขมขาว เพื่อปลูกในระบบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบังแดด กับแผงระแนงบังแดดไม้เทียม ในชุดการทดลองที่ 3

3. การทดลองชุดที่ 3 (7 เม.ย.- 14 เม.ย. 55)

จากผลการทดลองที่ 2 ได้เลือกผักโขมมาใช้ปลูกในระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง เพื่อใช้เป็นแผงบังแดด รวมทั้งปรับเพิ่มขนาดส่วนกรองน้ำจากอ่างเลี้ยงปลาก่อนส่งต่อเข้าสู่รางปลูก

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่าง ของอุณหภูมิ 7 จุดที่วัด พบว่า

กลางวัน 9.00-20.30 น. เมื่ออุณหภูมิภายนอกสูงสุดที่ 40.31°C อุณหภูมิสูงสุดเรียงตามลำดับจากสูงสุดไปต่ำสุด คือ อุณหภูมิกลางห้องที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด (38.33°C) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดไม้เทียมและอุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม (37.66°C) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (36.35°C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (36.13°C) > อุณหภูมิน้ำในอ่างเลี้ยงปลา (32.34) โดยช่วงที่อุณหภูมิอากาศสูงสุด คือ ช่วง 9.00 – 13.00 น. ส่วนอุณหภูมิน้ำสูงสุดอยู่ในช่วง 12.00-19.00 น.

กลางคืน 21.00-8.30 น. เมื่ออุณหภูมิภายนอกสูงสุดที่ 32.97°C อุณหภูมิสูงสุดเรียงตามลำดับจากมากไปน้อย คือ อุณหภูมิกลางห้องที่ไม่ติดตั้งแผงบังแดด (31.93°C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดไม้เทียม (31.725°C) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดไม้เทียม (31.525°C) > อุณหภูมิน้ำในอ่างเลี้ยงปลา (31.52) > อุณหภูมิหลังแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (31.32°C) > อุณหภูมิกลางห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง (31.12°C) โดยช่วงที่อากาศและน้ำอุณหภูมิสูงสุด คือ ช่วง 21.00 น.

เนื่องจากแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์มีน้ำไหลเวียนอยู่ตลอดเวลา ร่วมกับมีใบพืชปกคลุมมีผลต่อการไหลเวียนของอากาศ ซึ่งตอนกลางคืน อากาศภายนอกอาคารจะเย็นกว่าอากาศภายใน ดังนั้นภายนอกจะเคลื่อนที่หาอากาศที่ร้อนกว่า แต่ร่มเงาที่ปกคลุมปิดกั้นอัตราการไหลเวียนไว้บางส่วน และน้ำที่ไหลเวียนในระบบ คายความร้อนช้า และสะสมความร้อนได้ดีกว่าอากาศ จึง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่งผลให้ภายในห้องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งอุณหภูมิสูงที่สุดในเวลากลางคืน

จากผลการทดลองดังกล่าว เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสมมติฐาน พบว่า

แผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งที่มีพืชปกคลุม จะมีประสิทธิภาพการลดความร้อนได้ดีกว่า แผงระแนงบังแดดไม้เทียม พบว่า เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ เมื่อปลูกพืชในแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งให้พืชปกคลุม มากกว่า 80 % เปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดความร้อนกับแผงระแนงบังแดดไม้เทียมในตอนกลางวัน จะเป็นไปตามสมมติฐาน ซึ่งวิเคราะห์ได้ว่า น้ำในระบบ การคายน้ำของพืช และการปกคลุมของพืชและรางปลูก มีส่วนช่วยเสริมประสิทธิภาพการลดความร้อนของแผงบังแดด

นอกจากนี้ระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งยังมีผลต่อแสงสว่าง ความชื้นและคุณภาพอากาศ ดังนี้

1. การบังแดดของพุ่มใบ และผลต่อคุณภาพแสงสว่าง ในกรณีไม่มีพืชปกคลุม รางที่บังแดด ทำให้ได้แสงชนิดทางอ้อม (Indirect Light) ช่วยลดแสงบาดตา และในกรณีมีพืชปกคลุมปริมาณแสงที่เข้าสู่อาคารลดลง แต่มีข้อดีคือช่วยลดความร้อนของแสงแดด

2. ผลต่อความชื้นที่เข้าสู่อาคาร การคายน้ำของใบในตอนกลางวัน ช่วยเพิ่มความชื้นในอากาศ ส่วนการหมุนเวียนของน้ำในระบบ ทำให้เกิดความชื้นในอากาศบริเวณนั้น ซึ่งเกิดจากการระเหยของน้ำและมีในปริมาณไม่มากนัก

3. ผลต่อคุณภาพอากาศ การคายน้ำของใบและการนำแสงแดดส่วนหนึ่งไปใช้ในการสังเคราะห์แสงในตอนกลางวันเป็นช่วยเพิ่ม O_2 ในอากาศ และพุ่มใบช่วยกรองฝุ่นและควันที่เข้าสู่อาคาร ส่วนในตอนกลางคืนพืชดูด O_2 และคาย CO_2 ในตอนกลางคืนซึ่งมีปริมาณน้อย ไม่เป็นอันตราย (พัชริยา,2551)

4. การบังลม สำหรับการทดลองนี้ พืชที่ปลูกเป็นผักโขม ลักษณะใบขนาดปานกลาง ลักษณะทรงพุ่มมีลำต้นและมีพุ่มใบส่วนยอด ทำให้มีช่องว่างส่วนลำต้นซึ่งลมพัดผ่านได้ แต่กรณีที่ปลูกผักสลัดรูปทรงของผักเป็นทรงกลมต้นและใบแข็ง ไม่ไหวตามลม หากปลูกชิดกันมาก จะเป็น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผนังกั้นลม แต่หากเว้นช่องว่างระหว่างต้น ทำให้ลมผ่านได้ จึงมีช่องว่างเหลือระหว่างต้นเยอะ ทำให้ลมผ่านได้

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า แผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งมีประสิทธิภาพในการลดความร้อนได้ดีกว่าแผงระแนงบังแดดไม้เทียมในเวลากลางวัน โดยผักโขมเป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ดี และมีพื้นที่ใบปกคลุมได้ดีที่สุดในระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง โดยมีข้อดีและข้อเสียมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน และสภาพอากาศ

ในการทดลองที่ 3 จากการเก็บข้อมูล พืชผัก ชุดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งที่ออกแบบมีความเหมาะสมต่อพืชและปลา โดยให้ผลผลิตปลานิลจำนวน 5 ตัว ที่เติบโตตามปกติ ผลผลิตผักเติบโตได้ในน้ำในระบบ ซึ่งมีค่า EC=2.0-2.6 mg/l, ค่า pH =6.2- 6.8 mg/l, ไนเตรท = 50 mg/l, ไนไตรท =0-0.3 mg/l Ammonia=0-1.5 mg/l มีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสซียมในระดับสูง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการศึกษาต่อ

การใช้แผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งในทิศใต้ตามผลการทดลอง มีประสิทธิภาพในการลดความร้อนที่สู่อาคารได้ดีกว่าแผงระแนงบังแดดไม้เทียม โดยเฉพาะในตอนกลางวันจากการทดลองในช่วงการทดลองซึ่งเป็นช่วงที่ร้อนที่สุดในแต่ละปี อุณหภูมิสูงกว่า 36 °C ส่วนในเวลากลางคืน แผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง จะคายความร้อนใกล้เคียงกับแผงบังแดดไม้เทียม โดยอุณหภูมิกลางกล่องที่ติดตั้งแผงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์มีอุณหภูมิสูงกว่าเล็กน้อย ดั้งนั้นในการนำไปใช้งานจริงในเวลากลางวัน จึงอาจเพิ่มประสิทธิภาพโดยการคัดเลือกพืชที่มีเกณฑ์ในการเลือกเช่นเดียวกับผักโขมขาว โดยมีลักษณะพุ่มใบหนาแน่นยิ่งขึ้น การเพิ่มจำนวนต้นพืชในรางปลูก การปลูกพืชแบบรางคู่ และการเก็บข้อมูลประสิทธิภาพการลดความร้อนตลอดทั้งปี

2. ข้อเสนอแนะการดูแลรักษาอุปกรณ์

1.1 อุปกรณ์ท่อ ความสะอาดของอุปกรณ์ท่อในระบบส่งผลต่ออัตราการไหลเวียนของน้ำ ซึ่งหากมีสิ่งสกปรกอุดตันมาก จะทำให้ระบบน้ำหมุนเวียนไม่ต่อเนื่อง และรากพืชขาดออกซิเจน ทำให้คุณภาพผลผลิตด้อยลงได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ท่อเพื่อนำมาทำความสะอาดและนำกลับไปใช้หมุนเวียนต่อไป

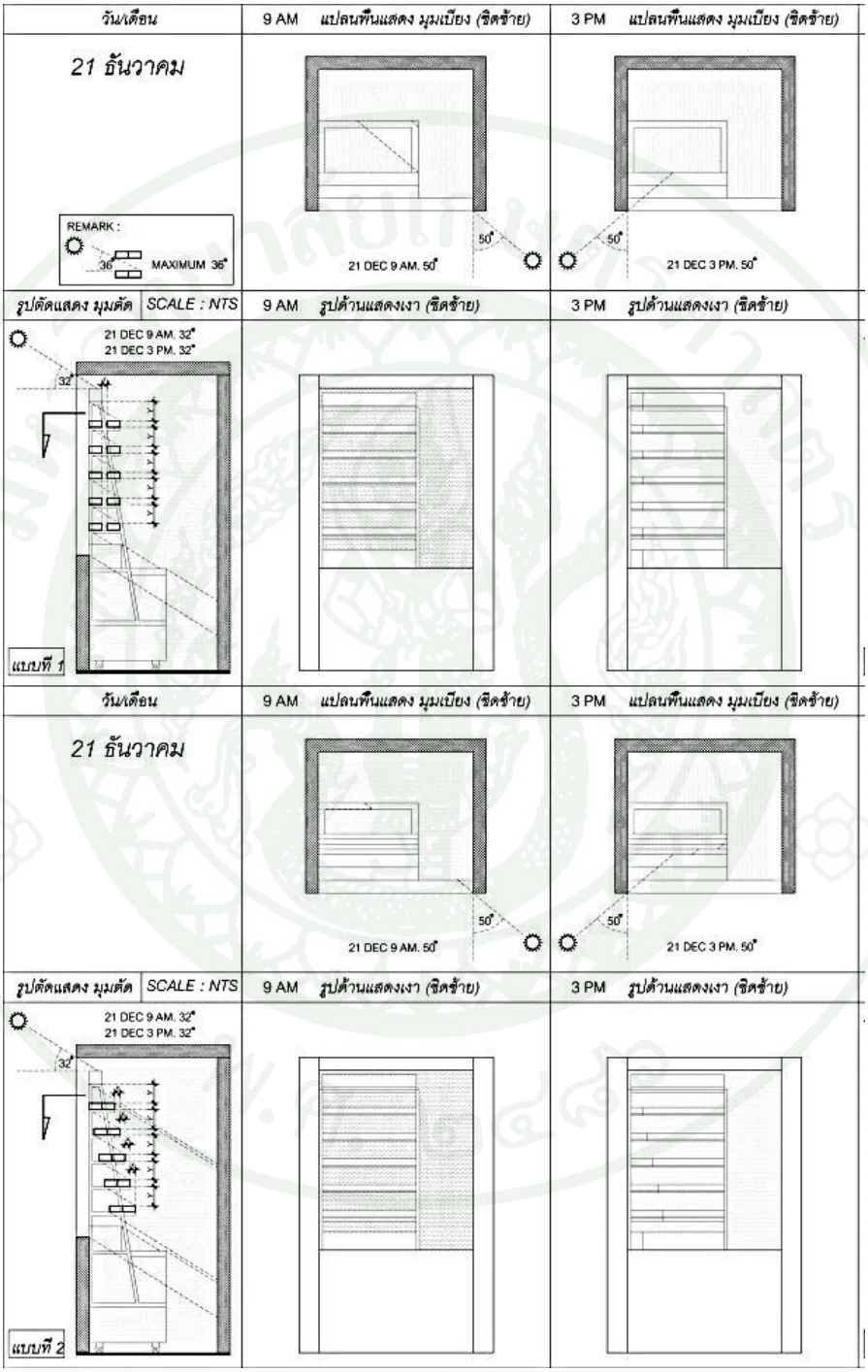
1.2 แผ่นใยกรองน้ำ ความสะอาดของแผ่นใยกรองน้ำ ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพน้ำในระบบ ซึ่งหากมีของเสียจากปลาสะสมมาก มีเศษอาหารตกค้างมาก จะทำให้มีการสะสมของแอมโมเนีย ความเป็นกรดของน้ำ ไนเตรทและไนไตรท์ ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลาทำให้เติบโตไม่เต็มที่ อ่อนแอ เสี่ยงต่อการติดโรค และอาจรุนแรงถึงขั้นตายได้

3. ข้อเสนอแนะการใช้งาน

ระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้งที่คิดขึ้น เหมาะกับการใช้ทั้งพื้นที่กึ่งภายใน เช่น ระเบียงบ้านที่มีชายคาปกคลุม และพื้นที่ภายในอาคารซึ่งมีแสงสว่างส่องถึง หรือ ใช้แสงประดิษฐ์แทนแสงสว่างสว่างจากดวงอาทิตย์

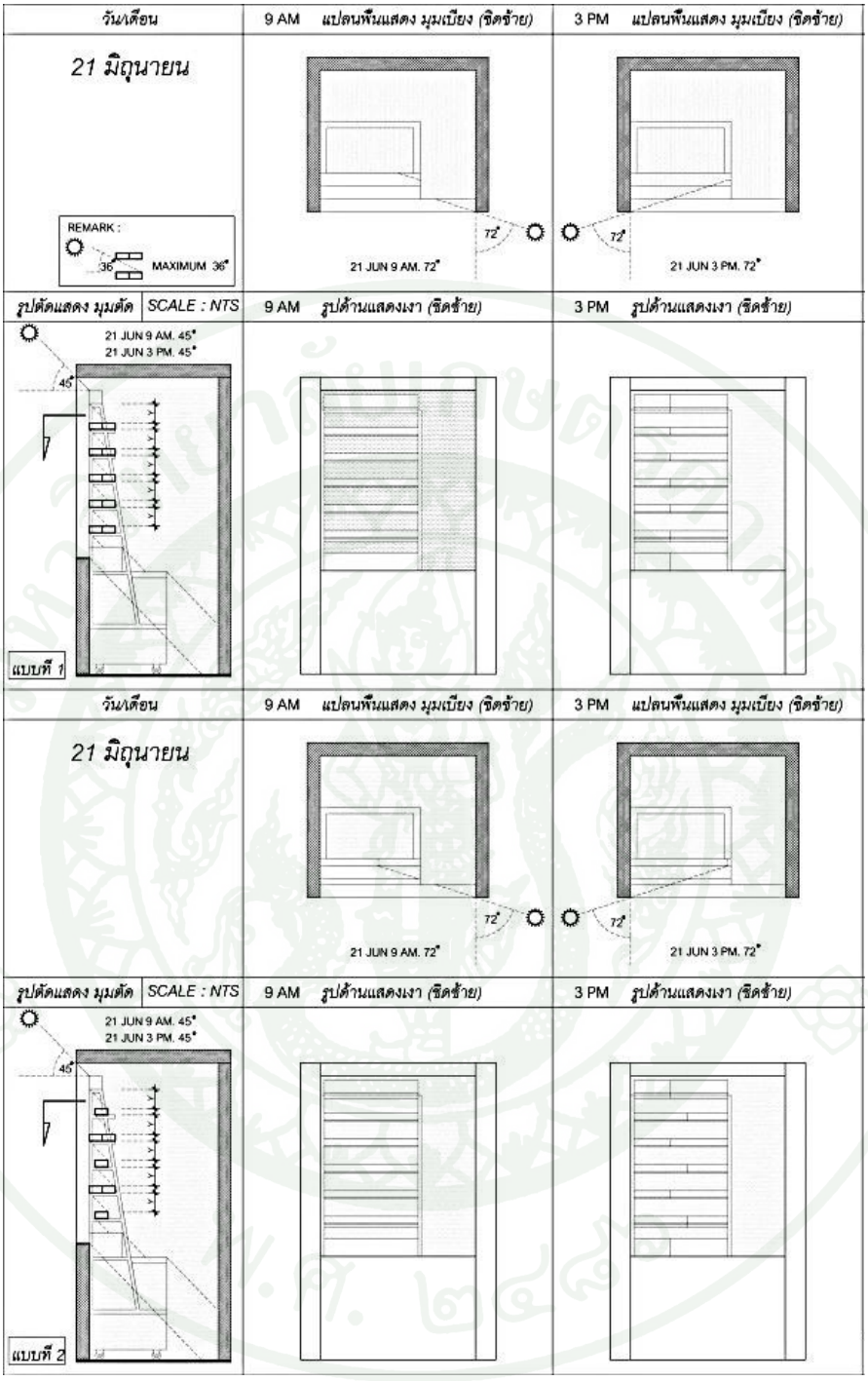
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ซึ่งแสดงวิธีการคำนวณหาทิศทางแสงแดดจากการโคจรของดวงอาทิตย์เพื่อเสนอวิธีการเลื่อนตำแหน่งรางปลูกให้ได้ประโยชน์ในการบังแดด ดังนี้



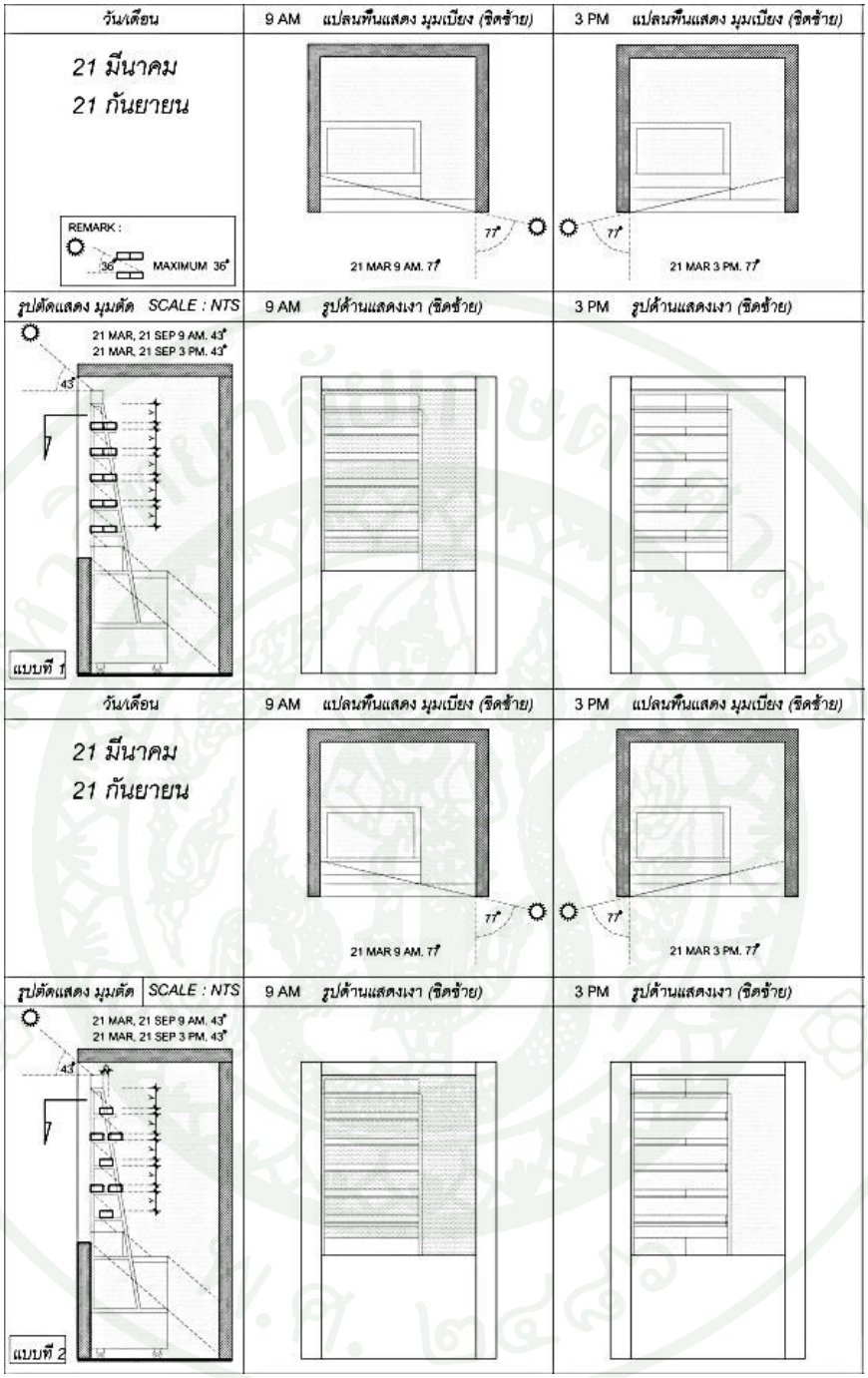
ภาพที่ 125 การคำนวณหาทิศทางแสงแดดจากการโคจรของดวงอาทิตย์ด้วย Sunchart Diagram วันที่ 21 ธันวาคม (Winter Solstice)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 126 การคำนวณหาทิศทางแสงแดดจากการโคจรของดวงอาทิตย์ด้วย Sunchart Diagram วันที่ 21 มิถุนายน (Summer Solstice)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 127 คำนวณหาทิศทางแสงแดดจากการโคจรของดวงอาทิตย์ด้วย Sunchart Diagram วันที่ 21 มีนาคมและ 21 กันยายน (Equinox)

จากการคำนวณพบว่า ในพื้นที่ ระเบียงหน้ากว้าง 1.20 ม. แผงระแนงบังแดดระบบอะควาโพนิกส์แนวตั้ง สามารถติดตั้งเพื่อบังแสงแดดได้ทั้งชิดฝั่งซ้ายหรือฝั่งขวาโดย หากติดตั้งแบบขยับรางห่างกัน 5 ซม. จะเหมาะกับการใช้งานตลอดทั้งปี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กนกพร จัดเจน. 2553. **การลดการถ่ายเทความร้อนทางหลังคาโดยใช้การปลูกผักแบบไฮโดรโปนิกส์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. ม.ป.ป. **ระบบปรับอากาศ.** กระทรวงอุตสาหกรรม. แหล่งที่มา : www.dip.go.th/Portals/0/.../19ระบบปรับอากาศ.pdf, 15 มีนาคม 2555

ไกรสิทธิ์ ตันติศิรินทร์. 2554. **เตือนไทยเจอวิกฤติขาดแคลนอาหาร.** กรุงเทพธุรกิจออนไลน์. แหล่งที่มา: http://www.bangkokbiznews.com/home/detail/politics/life/20110830/407034, 15 มีนาคม 2555

คิ้ม (นามแฝง). 2550. **สารปนเปื้อนในอาหาร**, โอเคเนชั่น. แหล่งที่มา : http://www.oknation.net/blog/print.php?id=64103, 30 เมษายน 2554.

ครรชิต วิเศษสมภาค์. 2554. **อควาโปนิกส์ประเทศไทย(Aquaponics Thailand).** แหล่งที่มา : http://www.facebook.com/note.php?note_id=240332429346838, 30 มีนาคม 2555.

ดิเรก ทองอร่าม. 2550. **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน**. พิมพ์ครั้งที่ 2. บริษัท พิมพ์ดีการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ตรึงใจ บูรณสมภพ. 2521. **การออกแบบสถาปัตยกรรมเมืองร้อนในประเทศไทย**. พิมพ์ครั้งที่ 2. นำอักษรการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

นิศรา. 2549. อยากปลูกต้นไม้ในคอนโดมิเนียม. **นิตยสารบ้านและสวน 31(364)**: 322.

ประภาศ โฉลกพันธรัตน์. ม.ป.ป. **น้ำสำหรับปลาสวยงาม**. แหล่งที่มา : http://home.kku.ac.th/pracha/Water.htm, 1 มิถุนายน 2011.

พาสินี สุนากร. 2553. การใช้พืชพรรณประกอบอาคารเพื่อมนุษย์และสภาพแวดล้อม. **วารสารธนาคารอาคารสงเคราะห์**, 16(60): 58-64

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พาสินี สุนากร และ ชนิกานต์ ยิ้มประยูร. 2551. สมรรถนะในการป้องกันความร้อนของแผงกันแดดไม้เลื้อยในเขตร้อนชื้น. **วารสารวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,** 7(2): 50-64

พาสินี สุนากร และ ชนิกานต์ ยิ้มประยูร. 2554. การเพิ่มสมรรถนะในการลดการถ่ายเทความร้อนของแผงกันแดดไม้เลื้อยด้วยการระบายอากาศ. **วารสารวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**, 8 (2): 38-53.

พาสินี สุนากร และ ชนิกานต์ ยิ้มประยูร. 2551. ผนังสีเขียว (The Biofacade). **วิกฤติและโอกาสจากสภาวะโลกร้อน : การประชุมวิชาการประเพณีกองทัพเรือ ธรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์ มหิดล ครั้งที่ 12**, กรุงเทพฯ

พาสินี สุนากร และ ทิพาพรรณ ศิริเวชฎารักษ์. 2554. VERTICAL GARDEN. **Vertical & Roof Garden จัดสวนสวยบนผนังและหลังคา**. สำนักพิมพ์บ้านและสวน, กรุงเทพฯ :125-141

วรวรรณ เนตรพระ. 2552. **ประสิทธิผลของไม้เลื้อยที่มีผลต่อการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผนังอาคาร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิชัย เหล่าพาณิชสกุล และ อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ. 2550. ประสิทธิภาพของผนังไม้เลื้อยในการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร. **วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง**, 4 (1) : 171-183.

วิวรรณเทคโนโลยี. ม.ป.ป. **เม็ดดินเผามวลเบา**. แหล่งที่มา: http://www.wiwangarden.com, 25 พฤษภาคม 2554

เวเจ็ทเว็บ(Vegetweb). 2551. **การจำแนกประเภทของผัก**. แหล่งที่มา : http://www.vegetweb.com, 1 มิถุนายน 2011

สุดสวาสดิ์ ศรีสถาปัตย์. 2545. **การออกแบบวัสดุพืชพันธุ์และการประหยัดพลังงาน**. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมศักดิ์ มณีพงศ์. ม.ป.ป. **ประวัติการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน**. สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช. แหล่งที่มา : http://agri.wu.ac.th/msomsak/Soilless/Chapter01/Introduction.htm , 30 เมษายน 2554

สำนักประมงชายฝั่ง. ม.ป.ป. **วัฏจักรไนโตรเจน**. แหล่งที่มา : http://www.coastalaqua.com/, 1 มิถุนายน 2011

โสภณ พรโชคชัย. 2551. มูลนิธิประเมินค่าทรัพย์สินแห่งประเทศไทย. 2551 . **อาคารชุดพักอาศัยใจกลางเมือง พ.ศ. 2537-2551**. แหล่งที่มา: http://www.thaiappraisal.org/thai/market/market_view.php?strquery=market190.htm, 30 เมษายน 2554

ศูนย์เกษตรกรรมบางไทร. ม.ป.ป. **ตัวอย่างผักที่ปลูก**. แหล่งที่มา : http://www.bangsaiagro.com, 1 มิถุนายน 2011

Aquaponics community. 2010. **Vertical Aquaponics**. Avalible source : http://theaquaponicsource.com/, 25 May 2011.

Bailey, Gilbert Ellis. 1852. **Vertical farming.** Wilmington, Del.: E. I. duPont de Nemours Powder Co.

C.Tsoumarakis, V.D. Assimakopoulos, I. Tsiros, M. Hoffman and A. Chronopoulou. 2008. Thermal Performance of Vegetated Wall During Hot And Cold Wheather Conditions. **Greece: PLEA 2008-25th Conference on Passive and Low Energy Architecture,** Dublin.

Colleen O' Cornnor , n.d. **Aquaponics in Denver**. The Denver post Avalible source : http://brianandkatesedibledeck.blogspot.com/2009/10/addthis-sharing-httpwwwdenverpostcomci1.html, 25 May 2011.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Cynthia C. Davidson and Ismail Serageldin. 1995. Menara Mesiniaga. **Architecture Beyond Architecture**. London: Academy Editions.

Dickson Despommier. n.d. **The Vertical Farm**. Avalible source : http://www.verticalfarm.com/, 1 June 2011

Foreign Economic Cooperation Center. n.d. **การเพาะเลี้ยงปลานิลในบ่อดิน**. Avalible source : http://gms.oae.go.th/Z_Show.asp?ArticleID=198, 25 May 2011

Heat Island Group. n.d. **Energy Use**. Avalible source : http://eetd.lbl.gov/HeatIsland/EnergyUse, 30 April 2011

Hoyano, Akira. 1988. **Climatological Use of Plants for Solar Control and the Effects on the Thermal Environment of a Building**. Energy and Buildings Vol.11 (1-3): 181-199

James Rakocy, Donald Bailey, Charlie Shultz and Eric Thoman. n.d. **Update on Tilapia and Vegetable Production in the UVI Aquaponics System**. Avalible source : http://www. itczm.ait.ac.th , 30 April 2011

James Wines, Phillip Jodidio. 2008. **Green Architecture**. KÖln; London: Taschen.

Jacklyn Johnson, John Newton. 2004. **Building Green A guide to using plants on roofs, walls and pavements**. London: Publishing Greater London Authority.

Jeffery Cook (ed.). 1989. **Passive Cooling**. MIT press.

Lam, Martha, Ip, Keneth and Miller, Andrew. 2005. Bioshaders for Office Building in the United Kingdom. **England: World Sustainable Conference 2005 Proceeding**, Tokyo.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Mariene Valesan, Miguel Aloysio Sattier. Green Walls and their Contribution to Environmental Comfort: Environmental Perception in a Residential Building. **Brazil :PLEA 2008-25th Conference on Passive and Low Energy Architecture**, Dublin.

Patrick Blanc. 2010. Growing up the wall. **THE GURU Magazine**, 36(2010): 04-07

Rakocy, James E.; Masser, Michael P.; Losordo, Thomas M. 2006. **Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics — integrating fish and plant culture**. Southern Region Aquaculture Center. Avalible source : http://www.aces.edu/dept/fisheries/aquaculture/documents/309884-SRAC454.pdf , 30 April 2011.

Sandifer, Steven and Givoni, Baruch. 2000. **Thermal Effect of Vines on Wall Temperature Comparing Laboratory and Filed Collected Data**. USA: Department of Architecture and Urban Design, UCLA.

Stec, W.J. et al. 2005. **Modelling the double skin façade with plants.** USA: Energy and Buildings 37419-427. Elsevier publishing.

Sylvia Bernstein. n.d. **why-aquaponics-and-what-type-of-system**. Avalible source : http://www.growingedge.com/, 30 April 2011.

The Aquaponic Source Inc. n.d. **What is Aquaponics?** Avalible source : http://theaquaponicsource.com/what-is-aquaponics/, 30 April 2011.

Wilson Andrew Lennard. n.d. **Aquaponics Reserch RMIT University**. Avalible source : http://aquaponicsjournal.com/docs/articles/Aquaponics-Research-at-RMIT.pdf, 30 April 2011

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Wolverton Environmental Services, Inc. n.d. **NASA Indoor Air Pollution**. Avalible source : http://www.wolvertonenvironmental.com/ air.htm, 1 June 2011

Wolverton, B.C., A. Johnson and K. Bounds. 1989. **Interior Landscape Plants for Indoor Air Pollution Abatement**.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

\

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดลองชุดที่ 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 ผลการวัดอุณหภูมิชุดการทดลองที่ 1 (เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 14 ต.ค.54 เวลา 00:00 น. ถึง วันที่ 21 ต.ค.54 เวลา 00:00 น.)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	รางA1	รางB1	รางA2	รางB2
10/14/11 00:00:00.0	26.925	27.32	27.52	27.32	27.125	27.32
10/14/11 00:30:00.0	26.34	27.12	27.12	27.12	27.125	27.32
10/14/11 01:00:00.0	26.145	27.12	27.12	26.925	27.125	27.12
10/14/11 01:30:00.0	25.755	26.925	26.925	26.73	26.73	26.925
10/14/11 02:00:00.0	25.17	26.73	26.73	26.34	26.73	26.535
10/14/11 02:30:00.0	25.17	26.73	26.535	26.34	26.34	26.535
10/14/11 03:00:00.0	25.17	26.34	26.34	26.34	26.34	26.535
10/14/11 03:30:00.0	25.17	26.34	26.34	26.145	26.34	26.34
10/14/11 04:00:00.0	25.17	26.34	26.34	26.145	25.95	26.145
10/14/11 04:30:00.0	24.98	26.34	26.34	26.145	25.95	26.145
10/14/11 05:00:00.0	25.17	25.95	25.95	25.95	25.95	26.145
10/14/11 05:30:00.0	24.98	25.95	25.95	25.755	25.95	26.145
10/14/11 06:00:00.0	24.98	25.95	25.95	25.755	25.95	25.755
10/14/11 06:30:00.0	24.98	25.95	25.95	25.755	25.56	25.755
10/14/11 07:00:00.0	24.98	25.56	25.56	25.56	25.56	25.755
10/14/11 07:30:00.0	24.98	25.56	25.56	25.56	25.56	25.755
10/14/11 08:00:00.0	25.365	25.56	25.56	25.755	25.56	25.755
10/14/11 08:30:00.0	25.95	25.755	25.95	25.755	25.56	25.755
10/14/11 09:00:00.0	26.535	25.95	25.95	25.95	25.95	25.95
10/14/11 09:30:00.0	27.32	25.95	26.34	26.145	25.95	26.145
10/14/11 10:00:00.0	27.91	26.34	26.34	26.535	26.34	26.34
10/14/11 10:30:00.0	28.505	26.34	26.73	26.73	26.73	26.535
10/14/11 11:00:00.0	29.1	26.73	27.12	26.925	26.73	26.925
10/14/11 11:30:00.0	29.5	27.12	27.12	27.32	27.125	27.12
10/14/11 12:00:00.0	29.9	27.12	27.52	27.52	27.515	27.32
10/14/11 12:30:00.0	29.9	27.52	27.91	27.715	27.515	27.715
10/14/11 13:00:00.0	29.7	27.715	27.91	27.91	27.915	27.91
10/14/11 13:30:00.0	29.7	27.91	27.91	28.11	27.915	28.11
10/14/11 14:00:00.0	30.31	27.91	28.31	28.31	27.915	28.11
10/14/11 14:30:00.0	30.51	28.11	28.31	28.31	28.305	28.11

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	รางA1	รางB1	รางA2	รางB2
10/14/11 15:00:00.0	30.51	28.31	28.31	28.505	28.305	28.505
10/14/11 15:30:00.0	30.31	28.31	28.7	28.505	28.305	28.505
10/14/11 16:00:00.0	30.71	28.31	28.7	28.7	28.705	28.505
10/14/11 16:30:00.0	30.31	28.7	28.7	28.9	28.705	28.7
10/14/11 17:00:00.0	29.7	28.7	28.7	28.9	28.705	28.7
10/14/11 17:30:00.0	29.3	28.7	28.7	28.7	28.705	28.7
10/14/11 18:00:00.0	25.755	28.31	27.91	27.52	27.915	28.11
10/14/11 18:30:00.0	23.24	27.52	26.925	26.34	26.73	27.12
10/14/11 19:00:00.0	23.05	26.73	26.34	25.56	26.34	26.535
10/14/11 19:30:00.0	23.435	26.34	25.95	25.56	25.95	26.145
10/14/11 20:00:00.0	23.82	25.95	25.95	25.56	25.95	26.145
10/14/11 20:30:00.0	24.01	25.95	25.95	25.56	25.755	25.95
10/14/11 21:00:00.0	24.4	25.755	25.56	25.56	25.56	25.95
10/14/11 21:30:00.0	24.595	25.56	25.56	25.56	25.755	26.34
10/14/11 22:00:00.0	24.595	25.56	25.56	25.56	25.755	26.34
10/14/11 22:30:00.0	24.79	25.56	25.56	25.56	25.755	26.34
10/14/11 23:00:00.0	24.79	25.56	25.56	25.56	25.95	26.34
10/14/11 23:30:00.0	24.79	25.56	25.56	25.365	25.95	26.145
10/15/11 00:00:00.0	24.595	25.365	25.56	25.365	25.755	26.145
10/15/11 00:30:00.0	24.79	25.365	25.56	25.365	25.755	26.145
10/15/11 01:00:00.0	24.595	25.365	25.17	25.17	25.565	26.145
10/15/11 01:30:00.0	24.595	25.17	25.17	25.17	25.565	26.145
10/15/11 02:00:00.0	24.595	25.17	25.17	25.17	25.565	25.95
10/15/11 02:30:00.0	24.595	25.17	25.17	25.17	25.565	25.95
10/15/11 03:00:00.0	24.595	25.17	25.17	25.17	25.565	25.95
10/15/11 03:30:00.0	24.79	25.17	25.17	25.17	25.565	25.95
10/15/11 04:00:00.0	24.595	25.17	25.17	25.17	25.565	25.95
10/15/11 04:30:00.0	24.595	25.17	25.17	25.17	25.565	25.95
10/15/11 05:00:00.0	24.595	25.17	25.17	25.17	25.565	25.95
10/15/11 05:30:00.0	24.595	25.17	25.17	25.17	25.565	25.95
10/15/11 06:00:00.0	24.595	25.17	25.17	25.17	25.565	25.95
10/15/11 06:30:00.0	24.79	25.17	25.17	25.17	25.565	25.95

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	รางA1	รางB1	รางA2	รางB2
10/15/11 07:00:00.0	24.98	25.17	25.17	25.17	25.565	25.95
10/15/11 07:30:00.0	25.17	25.17	25.17	25.17	25.565	25.95
10/15/11 08:00:00.0	25.56	25.17	25.17	25.365	25.565	25.95
10/15/11 08:30:00.0	26.34	25.365	25.56	25.56	25.95	26.145
10/15/11 09:00:00.0	27.12	25.56	25.56	25.755	26.145	26.34
10/15/11 09:30:00.0	28.31	25.755	25.95	26.145	26.54	26.735
10/15/11 10:00:00.0	28.9	25.95	26.34	26.34	26.735	26.93
10/15/11 10:30:00.0	29.3	26.34	26.73	26.535	27.125	27.125
10/15/11 11:00:00.0	29.9	26.73	26.925	26.925	27.325	27.52
10/15/11 11:30:00.0	31.12	27.12	27.52	27.52	27.715	27.91
10/15/11 12:00:00.0	30.71	27.52	27.52	27.715	27.91	28.11
10/15/11 12:30:00.0	30.71	27.52	27.91	28.11	28.11	28.11
10/15/11 13:00:00.0	30.915	27.91	28.11	28.11	28.31	28.505
10/15/11 13:30:00.0	31.12	28.11	28.31	28.505	28.505	28.905
10/15/11 14:00:00.0	31.12	28.31	28.7	28.505	28.505	28.905
10/15/11 14:30:00.0	31.12	28.31	28.7	28.9	28.905	29.105
10/15/11 15:00:00.0	30.71	28.7	28.7	28.9	28.905	29.3
10/15/11 15:30:00.0	29.9	28.7	28.7	28.9	28.905	29.1
10/15/11 16:00:00.0	29.5	28.7	28.7	28.9	28.905	29.1
10/15/11 16:30:00.0	29.1	28.7	28.7	28.7	28.705	29.1
10/15/11 17:00:00.0	28.31	28.7	28.7	28.505	28.705	28.905
10/15/11 17:30:00.0	27.91	28.31	28.31	28.505	28.505	28.905
10/15/11 18:00:00.0	27.715	28.31	28.31	28.31	28.305	28.905
10/15/11 18:30:00.0	26.925	28.31	28.31	27.91	28.11	28.505
10/15/11 19:00:00.0	26.34	27.91	27.91	27.715	27.915	28.505
10/15/11 19:30:00.0	26.34	27.91	27.91	27.715	27.715	28.305
10/15/11 20:00:00.0	25.755	27.52	27.52	27.32	27.515	27.915
10/15/11 20:30:00.0	25.56	27.52	27.12	27.12	27.32	27.715
10/15/11 21:00:00.0	25.365	27.12	27.12	26.925	27.125	27.515
10/15/11 21:30:00.0	25.365	27.12	27.12	26.73	26.93	27.32
10/15/11 22:00:00.0	25.755	26.73	26.73	26.73	26.93	27.32
10/15/11 22:30:00.0	25.56	26.73	26.73	26.535	26.73	26.73

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	รางA1	รางB1	รางA2	รางB2
10/15/11 23:00:00.0	25.365	26.535	26.73	26.535	26.535	26.535
10/15/11 23:30:00.0	25.365	26.535	26.34	26.34	26.34	26.34
10/16/11 00:00:00.0	25.365	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34
10/16/11 00:30:00.0	25.17	26.34	26.34	26.145	26.145	26.34
10/16/11 01:00:00.0	24.98	26.34	26.34	25.95	25.95	25.95
10/16/11 01:30:00.0	24.595	25.95	25.95	25.755	25.95	25.95
10/16/11 02:00:00.0	24.01	25.755	25.56	25.56	25.56	25.56
10/16/11 02:30:00.0	24.205	25.56	25.56	25.365	25.56	25.56
10/16/11 03:00:00.0	24.205	25.56	25.56	25.365	25.365	25.56
10/16/11 03:30:00.0	24.4	25.56	25.56	25.365	25.365	25.365
10/16/11 04:00:00.0	24.4	25.365	25.17	25.17	25.175	25.17
10/16/11 04:30:00.0	24.4	25.17	25.17	25.17	25.175	25.17
10/16/11 05:00:00.0	24.4	25.17	25.17	25.17	25.175	25.17
10/16/11 05:30:00.0	24.4	25.17	25.17	25.17	25.175	25.17
10/16/11 06:00:00.0	24.205	25.17	25.17	24.98	24.98	25.17
10/16/11 06:30:00.0	24.205	25.17	25.17	24.98	24.98	24.98
10/16/11 07:00:00.0	24.79	25.17	25.17	25.17	24.98	24.98
10/16/11 07:30:00.0	25.365	25.17	25.17	25.17	24.98	25.17
10/16/11 08:00:00.0	26.145	25.17	25.365	25.365	25.175	25.17
10/16/11 08:30:00.0	26.73	25.17	25.56	25.56	25.365	25.17
10/16/11 09:00:00.0	27.32	25.56	25.95	25.755	25.56	25.365
10/16/11 09:30:00.0	28.31	25.56	26.535	26.145	25.95	25.755
10/16/11 10:00:00.0	29.1	25.95	27.32	26.535	26.34	26.145
10/16/11 10:30:00.0	28.7	26.145	27.52	26.925	26.535	26.145
10/16/11 11:00:00.0	29.5	26.34	27.715	27.32	26.925	26.535
10/16/11 11:30:00.0	30.51	26.73	28.505	27.715	27.32	26.925
10/16/11 12:00:00.0	31.12	26.925	28.7	28.11	27.52	27.125
10/16/11 12:30:00.0	29.9	27.12	28.7	28.11	27.52	27.125
10/16/11 13:00:00.0	29.3	27.32	28.31	28.11	27.32	27.125
10/16/11 13:30:00.0	28.7	27.52	28.31	28.11	27.52	27.125
10/16/11 14:00:00.0	28.11	27.52	27.91	27.715	27.12	26.93
10/16/11 14:30:00.0	27.32	27.52	27.52	27.715	27.12	26.93

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	รางA1	รางB1	รางA2	รางB2
10/16/11 15:00:00.0	26.925	27.52	27.12	27.32	26.925	26.73
10/16/11 15:30:00.0	26.925	27.32	27.12	27.32	26.925	26.73
10/16/11 16:00:00.0	26.925	27.12	27.12	27.32	26.73	26.73
10/16/11 16:30:00.0	26.34	27.12	27.12	27.12	26.73	26.535
10/16/11 17:00:00.0	26.145	27.12	26.73	26.925	26.535	26.535
10/16/11 17:30:00.0	25.755	27.12	27.12	26.925	26.34	26.34
10/16/11 18:00:00.0	25.755	26.925	26.73	26.73	26.34	26.145
10/16/11 18:30:00.0	25.56	26.73	26.73	26.73	26.34	26.145
10/16/11 19:00:00.0	25.56	26.73	26.73	26.535	26.34	26.145
10/16/11 19:30:00.0	25.755	26.73	26.535	26.535	26.34	26.145
10/16/11 20:00:00.0	25.755	26.73	26.34	26.535	26.145	25.95
10/16/11 20:30:00.0	25.365	26.535	26.34	26.34	26.145	25.755
10/16/11 21:00:00.0	25.365	26.34	26.34	26.34	25.95	25.755
10/16/11 21:30:00.0	25.365	26.34	26.34	26.34	25.95	25.755
10/16/11 22:00:00.0	25.56	26.34	26.34	26.34	25.95	25.755
10/16/11 22:30:00.0	25.365	26.34	26.34	26.34	25.95	25.755
10/16/11 23:00:00.0	25.365	26.34	26.34	26.34	25.95	25.755
10/16/11 23:30:00.0	25.56	26.34	26.34	26.145	25.95	25.755
10/17/11 00:00:00.0	25.755	26.34	26.34	26.145	25.56	25.755
10/17/11 00:30:00.0	25.755	26.34	26.34	26.145	25.56	25.56
10/17/11 01:00:00.0	25.755	26.34	26.34	26.145	25.56	25.56
10/17/11 01:30:00.0	25.755	26.145	26.34	26.145	25.56	25.56
10/17/11 02:00:00.0	25.56	26.145	26.34	26.145	25.56	25.37
10/17/11 02:30:00.0	25.56	26.145	26.145	26.145	25.56	25.37
10/17/11 03:00:00.0	25.365	26.145	25.95	26.145	25.56	25.37
10/17/11 03:30:00.0	25.365	25.95	25.95	26.145	25.56	25.37
10/17/11 04:00:00.0	25.56	26.145	25.95	26.145	25.56	25.37
10/17/11 04:30:00.0	25.365	25.95	25.95	25.95	25.56	25.37
10/17/11 05:00:00.0	25.365	25.95	25.95	25.95	25.56	25.37
10/17/11 05:30:00.0	25.365	25.95	25.95	25.95	25.56	25.37
10/17/11 06:00:00.0	25.365	25.95	25.95	25.95	25.56	25.37
10/17/11 06:30:00.0	25.365	25.95	25.95	25.95	25.56	25.37

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	รางA1	รางB1	รางA2	รางB2
10/17/11 07:00:00.0	25.56	25.95	25.95	25.95	25.56	25.37
10/17/11 07:30:00.0	25.755	25.95	25.95	26.145	25.56	25.37
10/17/11 08:00:00.0	25.56	25.95	25.95	25.95	25.56	25.37
10/17/11 08:30:00.0	26.34	25.95	26.34	26.145	25.56	25.37
10/17/11 09:00:00.0	27.32	26.145	26.34	26.34	25.755	25.565
10/17/11 09:30:00.0	27.715	26.34	26.73	26.535	26.145	25.755
10/17/11 10:00:00.0	27.91	26.34	26.925	26.73	26.145	25.755
10/17/11 10:30:00.0	28.31	26.34	27.12	26.925	26.34	25.95
10/17/11 11:00:00.0	28.31	26.73	27.12	27.12	26.535	26.145
10/17/11 11:30:00.0	27.91	26.73	27.12	27.12	26.535	26.145
10/17/11 12:00:00.0	27.715	26.73	27.12	27.32	26.535	26.34
10/17/11 12:30:00.0	28.505	26.925	27.52	27.32	26.73	26.34
10/17/11 13:00:00.0	29.3	27.12	27.91	27.715	26.925	26.735
10/17/11 13:30:00.0	28.9	27.32	27.91	27.715	26.925	26.735
10/17/11 14:00:00.0	28.9	27.52	27.52	27.715	26.925	26.735
10/17/11 14:30:00.0	28.31	27.52	27.52	27.715	26.925	26.735
10/17/11 15:00:00.0	28.31	27.52	27.52	27.715	26.925	26.735
10/17/11 15:30:00.0	28.31	27.52	27.52	27.715	26.925	26.735
10/17/11 16:00:00.0	28.31	27.52	27.52	27.715	26.925	26.93
10/17/11 16:30:00.0	28.11	27.52	27.52	27.715	26.925	26.735
10/17/11 17:00:00.0	27.91	27.52	27.52	27.715	26.925	26.735
10/17/11 17:30:00.0	27.715	27.52	27.52	27.715	26.925	26.735
10/17/11 18:00:00.0	27.32	27.52	27.52	27.52	26.925	26.535
10/17/11 18:30:00.0	27.32	27.32	27.52	27.32	26.73	26.535
10/17/11 19:00:00.0	27.12	27.12	27.12	27.32	26.535	26.535
10/17/11 19:30:00.0	26.925	27.12	27.12	27.12	26.535	26.34
10/17/11 20:00:00.0	26.73	27.12	27.12	27.12	26.535	26.145
10/17/11 20:30:00.0	26.73	26.925	27.12	26.925	26.34	26.145
10/17/11 21:00:00.0	26.535	26.73	26.73	26.925	26.34	26.145
10/17/11 21:30:00.0	26.535	26.73	26.73	26.925	26.34	26.145
10/17/11 22:00:00.0	26.535	26.73	26.73	26.73	26.145	26.145
10/17/11 22:30:00.0	26.34	26.73	26.73	26.73	26.145	25.95

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	รางA1	รางB1	รางA2	รางB2
10/17/11 23:00:00.0	26.145	26.73	26.73	26.535	26.145	25.755
10/17/11 23:30:00.0	26.145	26.535	26.73	26.535	26.145	25.755
10/18/11 00:00:00.0	26.145	26.34	26.34	26.535	25.95	25.755
10/18/11 00:30:00.0	26.145	26.34	26.34	26.535	25.95	25.755
10/18/11 01:00:00.0	25.95	26.34	26.34	26.34	25.95	25.755
10/18/11 01:30:00.0	25.755	26.34	26.34	26.34	25.755	25.755
10/18/11 02:00:00.0	25.755	26.34	26.34	26.34	25.755	25.755
10/18/11 02:30:00.0	25.755	26.34	26.34	26.145	25.755	25.56
10/18/11 03:00:00.0	25.755	26.34	26.34	26.145	25.56	25.37
10/18/11 03:30:00.0	25.755	26.145	26.34	26.145	25.56	25.37
10/18/11 04:00:00.0	25.755	26.145	26.34	26.145	25.56	25.37
10/18/11 04:30:00.0	25.755	26.145	26.34	26.145	25.56	25.37
10/18/11 05:00:00.0	25.755	25.95	26.34	26.145	25.56	25.37
10/18/11 05:30:00.0	25.755	25.95	26.34	26.145	25.56	25.37
10/18/11 06:00:00.0	25.755	25.95	26.145	26.145	25.56	25.37
10/18/11 06:30:00.0	25.755	25.95	25.95	26.145	25.56	25.37
10/18/11 07:00:00.0	25.755	25.95	26.145	26.145	25.56	25.37
10/18/11 07:30:00.0	26.34	25.95	26.34	26.145	25.56	25.37
10/18/11 08:00:00.0	26.535	25.95	26.34	26.34	25.755	25.755
10/18/11 08:30:00.0	27.52	26.145	26.34	26.535	25.755	25.755
10/18/11 09:00:00.0	27.91	26.34	26.34	26.535	25.755	25.755
10/18/11 09:30:00.0	27.91	26.34	26.73	26.535	25.755	25.755
10/18/11 10:00:00.0	28.31	26.535	26.73	26.925	26.34	25.755
10/18/11 10:30:00.0	28.7	26.73	27.12	26.925	26.34	25.95
10/18/11 11:00:00.0	29.3	26.925	27.12	27.32	26.73	26.145
10/18/11 11:30:00.0	30.51	27.12	27.52	27.715	27.12	26.34
10/18/11 12:00:00.0	30.915	27.52	27.91	28.11	27.52	26.735
10/18/11 12:30:00.0	30.51	27.715	27.91	28.11	27.52	26.93
10/18/11 13:00:00.0	30.105	27.91	28.31	28.31	27.52	27.125
10/18/11 13:30:00.0	30.51	28.11	28.31	28.505	27.91	27.32
10/18/11 14:00:00.0	30.31	28.31	28.31	28.505	27.91	27.52
10/18/11 14:30:00.0	29.9	28.31	28.31	28.505	27.91	27.52

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	รางA1	รางB1	รางA2	รางB2
10/18/11 15:00:00.0	30.31	28.31	28.7	28.7	28.31	27.715
10/18/11 15:30:00.0	30.105	28.505	28.7	28.7	28.31	27.715
10/18/11 16:00:00.0	30.105	28.505	28.7	28.9	28.31	27.715
10/18/11 16:30:00.0	29.7	28.505	28.7	28.9	28.31	27.715
10/18/11 17:00:00.0	29.3	28.505	28.7	28.9	28.31	27.715
10/18/11 17:30:00.0	28.9	28.505	28.7	28.7	28.31	27.715
10/18/11 18:00:00.0	28.505	28.31	28.31	28.505	27.91	27.715
10/18/11 18:30:00.0	28.505	28.31	28.31	28.505	27.91	27.715
10/18/11 19:00:00.0	28.31	28.31	28.31	28.505	27.91	27.715
10/18/11 19:30:00.0	28.11	28.31	28.31	28.31	27.91	27.515
10/18/11 20:00:00.0	28.11	28.11	28.31	28.31	27.91	27.515
10/18/11 20:30:00.0	28.11	28.11	28.31	28.11	27.52	27.32
10/18/11 21:00:00.0	27.91	27.91	28.11	28.11	27.52	27.32
10/18/11 21:30:00.0	27.715	27.91	27.91	27.91	27.52	27.32
10/18/11 22:00:00.0	27.32	27.91	27.91	27.91	27.52	27.32
10/18/11 22:30:00.0	27.32	27.715	27.91	27.715	27.52	27.125
10/18/11 23:00:00.0	27.32	27.52	27.715	27.715	27.12	26.93
10/18/11 23:30:00.0	27.32	27.52	27.52	27.52	27.12	26.93
10/19/11 00:00:00.0	27.12	27.52	27.52	27.52	27.12	26.73
10/19/11 00:30:00.0	26.925	27.32	27.52	27.52	26.73	26.73
10/19/11 01:00:00.0	26.925	27.32	27.52	27.32	26.73	26.73
10/19/11 01:30:00.0	26.925	27.12	27.12	27.32	26.73	26.73
10/19/11 02:00:00.0	26.73	27.12	27.12	27.12	26.73	26.535
10/19/11 02:30:00.0	26.535	27.12	27.12	27.12	26.73	26.34
10/19/11 03:00:00.0	26.535	26.925	27.12	26.925	26.34	26.34
10/19/11 03:30:00.0	26.535	26.73	26.73	26.925	26.34	26.34
10/19/11 04:00:00.0	26.34	26.73	26.73	26.73	26.34	26.145
10/19/11 04:30:00.0	26.145	26.73	26.73	26.535	26.34	25.95
10/19/11 05:00:00.0	26.145	26.535	26.73	26.535	26.34	25.95
10/19/11 05:30:00.0	25.755	26.34	26.34	26.34	25.95	25.95
10/19/11 06:00:00.0	25.755	26.34	26.34	26.34	25.95	25.95
10/19/11 06:30:00.0	25.755	26.34	26.34	26.34	25.95	25.95

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	รางA1	รางB1	รางA2	รางB2
10/19/11 07:00:00.0	26.145	26.34	26.34	26.34	25.95	25.755
10/19/11 07:30:00.0	26.535	26.34	26.34	26.535	25.95	25.95
10/19/11 08:00:00.0	27.32	26.34	26.73	26.535	25.95	25.95
10/19/11 08:30:00.0	27.52	26.34	26.73	26.73	26.34	25.95
10/19/11 09:00:00.0	28.11	26.34	26.925	26.925	26.34	25.95
10/19/11 09:30:00.0	28.9	26.34	27.32	27.32	26.73	26.34
10/19/11 10:00:00.0	29.3	26.535	27.91	27.52	26.73	26.535
10/19/11 10:30:00.0	29.7	26.73	28.31	27.715	27.12	26.93
10/19/11 11:00:00.0	30.31	26.925	27.91	28.11	27.12	26.73
10/19/11 11:30:00.0	31.32	27.32	27.91	28.11	27.12	26.93
10/19/11 12:00:00.0	31.93	27.715	28.11	28.31	27.52	27.32
10/19/11 12:30:00.0	31.32	27.91	28.31	28.505	27.91	27.515
10/19/11 13:00:00.0	31.32	28.31	28.505	28.7	27.91	27.915
10/19/11 13:30:00.0	31.725	28.31	28.7	28.9	28.31	27.915
10/19/11 14:00:00.0	31.52	28.7	29.1	29.1	28.31	28.11
10/19/11 14:30:00.0	31.12	28.7	29.1	29.3	28.31	28.305
10/19/11 15:00:00.0	31.12	28.7	29.1	29.3	28.7	28.305
10/19/11 15:30:00.0	30.915	28.9	29.1	29.3	28.7	28.305
10/19/11 16:00:00.0	30.51	28.9	29.1	29.3	28.7	28.305
10/19/11 16:30:00.0	30.105	28.9	29.1	29.3	28.7	28.305
10/19/11 17:00:00.0	29.7	28.7	29.1	29.1	28.31	28.305
10/19/11 17:30:00.0	29.5	28.7	28.7	28.9	28.31	28.305
10/19/11 18:00:00.0	29.3	28.505	28.7	28.9	28.31	28.305
10/19/11 18:30:00.0	28.9	28.505	28.7	28.7	28.31	28.11
10/19/11 19:00:00.0	28.9	28.31	28.7	28.505	27.91	27.915
10/19/11 19:30:00.0	28.9	28.31	28.31	28.505	27.91	27.915
10/19/11 20:00:00.0	28.7	28.31	28.31	28.505	27.91	27.915
10/19/11 20:30:00.0	28.31	28.31	28.31	28.31	27.91	27.715
10/19/11 21:00:00.0	28.11	28.11	28.31	28.11	27.91	27.715
10/19/11 21:30:00.0	27.715	27.91	28.11	28.11	27.52	27.715
10/19/11 22:00:00.0	27.715	27.91	27.91	28.11	27.52	27.515
10/19/11 22:30:00.0	27.715	27.91	27.91	27.91	27.52	27.32

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	รางA1	รางB1	รางA2	รางB2
10/19/11 23:00:00.0	27.715	27.715	27.91	27.91	27.52	27.32
10/19/11 23:30:00.0	27.715	27.715	27.91	27.91	27.52	27.32
10/20/11 00:00:00.0	27.52	27.715	27.91	27.715	27.12	27.32
10/20/11 00:30:00.0	27.32	27.52	27.52	27.715	27.12	27.32
10/20/11 01:00:00.0	27.32	27.52	27.52	27.715	27.12	27.32
10/20/11 01:30:00.0	27.32	27.52	27.52	27.52	27.12	27.32
10/20/11 02:00:00.0	26.925	27.32	27.52	27.52	27.12	26.925
10/20/11 02:30:00.0	26.925	27.32	27.52	27.32	27.12	26.925
10/20/11 03:00:00.0	26.925	27.32	27.32	27.32	26.73	26.925
10/20/11 03:30:00.0	26.925	27.32	27.12	27.32	26.73	26.925
10/20/11 04:00:00.0	26.925	27.12	27.12	27.32	26.73	26.925
10/20/11 04:30:00.0	26.535	27.12	27.12	27.12	26.73	26.925
10/20/11 05:00:00.0	26.535	27.12	27.12	27.12	26.73	26.73
10/20/11 05:30:00.0	26.535	26.925	27.12	27.12	26.73	26.535
10/20/11 06:00:00.0	26.535	26.925	26.925	26.925	26.34	26.535
10/20/11 06:30:00.0	26.535	26.73	26.73	26.925	26.34	26.535
10/20/11 07:00:00.0	26.925	26.73	27.12	27.12	26.34	26.535
10/20/11 07:30:00.0	27.32	26.925	27.12	27.12	26.73	26.535
10/20/11 08:00:00.0	28.11	26.925	27.12	27.32	26.73	26.925
10/20/11 08:30:00.0	28.7	27.12	27.52	27.52	26.73	26.925
10/20/11 09:00:00.0	28.9	27.12	27.91	27.715	27.12	26.925
10/20/11 09:30:00.0	29.7	27.32	28.31	27.715	27.12	27.125
10/20/11 10:00:00.0	29.9	27.52	28.7	28.11	27.52	27.32
10/20/11 10:30:00.0	30.31	27.52	28.9	28.505	27.52	27.515
10/20/11 11:00:00.0	29.7	27.715	29.1	28.505	27.91	27.715
10/20/11 11:30:00.0	30.105	27.91	29.3	28.505	27.91	27.715
10/20/11 12:00:00.0	29.9	27.91	29.5	28.9	27.91	27.915
10/20/11 12:30:00.0	30.105	28.11	29.5	28.9	28.31	28.11
10/20/11 13:00:00.0	30.71	28.31	29.9	29.1	28.31	28.11
10/20/11 13:30:00.0	31.12	28.31	30.105	29.3	28.31	28.505
10/20/11 14:00:00.0	31.12	28.505	30.31	29.5	28.7	28.505
10/20/11 14:30:00.0	31.12	28.7	30.51	29.7	28.7	28.505

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

Date/Time	**ภายนอก**	**อ่าง**	**รางA1**	**รางB1**	**รางA2**	**รางB2**
10/20/11 15:00:00.0	31.32	28.7	30.51	29.7	28.7	28.9
10/20/11 15:30:00.0	30.51	28.7	30.51	29.7	28.7	28.9
10/20/11 16:00:00.0	30.105	28.7	29.9	29.3	28.7	28.7
10/20/11 16:30:00.0	29.7	28.7	29.5	29.3	28.7	28.505
10/20/11 17:00:00.0	29.5	28.7	29.3	29.1	28.7	28.505
10/20/11 17:30:00.0	29.3	28.505	29.1	29.1	28.31	28.505
10/20/11 18:00:00.0	28.9	28.505	28.9	28.9	28.31	28.505
10/20/11 18:30:00.0	28.505	28.31	28.7	28.7	28.31	28.31
10/20/11 19:00:00.0	27.32	28.31	27.91	28.31	27.91	28.11
10/20/11 19:30:00.0	27.32	28.31	27.52	28.11	27.52	27.91
10/20/11 20:00:00.0	26.535	27.91	27.12	27.715	27.52	27.715
10/20/11 20:30:00.0	26.535	27.91	26.73	27.32	27.12	27.52
10/20/11 21:00:00.0	26.535	27.715	26.73	27.12	27.12	27.52
10/20/11 21:30:00.0	26.535	27.52	26.34	26.925	27.12	27.52
10/20/11 22:00:00.0	26.535	27.52	26.34	26.925	27.12	27.32
10/20/11 22:30:00.0	26.535	27.32	26.34	26.73	27.12	27.32
10/20/11 23:00:00.0	26.535	27.32	26.34	26.73	26.73	27.12
10/20/11 23:30:00.0	26.535	27.12	26.34	26.73	26.73	27.12
10/20/11 00:00:00.0	26.535	27.12	26.34	26.73	26.73	27.12
10/20/11 00:30:00.0	26.535	25.365	25.56	25.755	25.17	25.365

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดลองชุดที่ 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข1 ผลการวัดอุณหภูมิชุดการทดลองที่ 2 (ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 5 มี.ค. 55 เวลา 00:00 น. ถึง 12 มีนาคม พ.ศ.2555 เวลา 00:00 น.)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	รางA1	รางB1	รางA2	รางB2
03/05/12 00:00:00.0	28.7	29.1	29.1	28.9	28.705	28.9
03/05/12 00:30:00.0	28.7	28.9	28.7	28.9	28.705	28.9
03/05/12 01:00:00.0	28.505	28.7	28.7	28.7	28.705	28.7
03/05/12 01:30:00.0	28.505	28.7	28.7	28.7	28.705	28.505
03/05/12 02:00:00.0	28.505	28.7	28.7	28.505	28.305	28.505
03/05/12 02:30:00.0	28.31	28.7	28.7	28.505	28.305	28.505
03/05/12 03:00:00.0	28.31	28.505	28.31	28.505	28.305	28.505
03/05/12 03:30:00.0	28.11	28.31	28.31	28.31	28.305	28.31
03/05/12 04:00:00.0	28.11	28.31	28.31	28.31	28.305	28.31
03/05/12 04:30:00.0	28.11	28.31	28.31	28.31	28.305	28.31
03/05/12 05:00:00.0	27.91	28.31	28.31	28.11	28.305	28.31
03/05/12 05:30:00.0	27.91	28.31	28.31	28.11	28.305	28.11
03/05/12 06:00:00.0	27.715	28.31	28.31	28.11	27.915	28.11
03/05/12 06:30:00.0	27.715	28.31	28.31	28.11	27.915	28.11
03/05/12 07:00:00.0	27.715	28.11	27.91	28.11	27.915	27.91
03/05/12 07:30:00.0	27.91	28.11	27.91	28.11	27.915	28.11
03/05/12 08:00:00.0	28.31	28.11	28.31	28.11	27.915	28.11
03/05/12 08:30:00.0	28.9	28.11	28.31	28.31	27.915	28.11
03/05/12 09:00:00.0	29.7	28.11	28.31	28.505	28.305	28.11
03/05/12 09:30:00.0	30.105	28.31	28.31	28.7	28.305	28.505
03/05/12 10:00:00.0	30.71	28.31	28.7	28.9	28.305	28.505
03/05/12 10:30:00.0	31.32	28.31	28.7	29.1	28.705	28.505
03/05/12 11:00:00.0	31.93	28.31	29.1	29.3	28.705	28.9
03/05/12 11:30:00.0	32.55	28.7	29.1	29.7	29.1	28.9
03/05/12 12:00:00.0	33.17	28.7	29.5	29.9	29.1	29.3
03/05/12 12:30:00.0	33.8	29.1	29.9	30.31	29.5	29.7
03/05/12 13:00:00.0	33.59	29.3	29.9	30.51	29.705	29.7
03/05/12 13:30:00.0	33.59	29.5	29.9	30.51	29.905	29.905
03/05/12 14:00:00.0	33.59	29.5	30.31	30.51	29.905	30.105
03/05/12 14:30:00.0	33.17	29.9	30.31	30.51	30.105	30.105
03/05/12 15:00:00.0	33.59	29.9	30.31	30.71	30.305	30.105

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	รางA1	รางB1	รางA2	รางB2
03/05/12 15:30:00.0	33.17	29.9	30.31	30.71	30.305	30.105
03/05/12 16:00:00.0	33.17	29.9	30.31	30.71	30.305	30.31
03/05/12 16:30:00.0	32.965	29.9	30.31	30.71	30.305	30.105
03/05/12 17:00:00.0	32.76	29.9	30.31	30.51	30.305	30.105
03/05/12 17:30:00.0	32.135	29.9	30.31	30.51	29.905	30.105
03/05/12 18:00:00.0	31.12	29.9	29.9	30.31	29.905	30.105
03/05/12 18:30:00.0	30.915	29.9	29.9	30.105	29.905	29.9
03/05/12 19:00:00.0	30.51	29.7	29.9	29.9	29.705	29.7
03/05/12 19:30:00.0	30.105	29.5	29.9	29.7	29.5	29.7
03/05/12 20:00:00.0	29.9	29.5	29.5	29.7	29.5	29.5
03/05/12 20:30:00.0	29.7	29.5	29.5	29.5	29.5	29.3
03/05/12 21:00:00.0	29.7	29.5	29.5	29.5	29.1	29.3
03/05/12 21:30:00.0	29.3	29.3	29.3	29.3	29.1	29.3
03/05/12 22:00:00.0	29.3	29.1	29.1	29.3	29.1	29.1
03/05/12 22:30:00.0	28.9	29.1	29.1	29.1	29.1	29.1
03/05/12 23:00:00.0	28.9	29.1	29.1	28.9	28.705	28.9
03/05/12 23:30:00.0	28.9	29.1	28.9	28.9	28.705	28.9
03/06/12 00:00:00.0	28.9	28.7	28.7	28.9	28.705	28.7
03/06/12 00:30:00.0	28.7	28.7	28.7	28.7	28.705	28.7
03/06/12 01:00:00.0	28.505	28.7	28.7	28.7	28.705	28.7
03/06/12 01:30:00.0	28.505	28.7	28.7	28.505	28.505	28.7
03/06/12 02:00:00.0	28.505	28.7	28.7	28.505	28.305	28.505
03/06/12 02:30:00.0	28.31	28.31	28.31	28.505	28.305	28.505
03/06/12 03:00:00.0	28.31	28.31	28.31	28.505	28.305	28.31
03/06/12 03:30:00.0	28.31	28.31	28.31	28.31	28.305	28.31
03/06/12 04:00:00.0	28.11	28.31	28.31	28.31	28.305	28.31
03/06/12 04:30:00.0	28.11	28.31	28.31	28.31	28.305	28.31
03/06/12 05:00:00.0	28.11	28.31	28.31	28.31	28.305	28.31
03/06/12 05:30:00.0	27.91	28.31	28.31	28.11	28.11	28.31
03/06/12 06:00:00.0	27.91	28.31	28.31	28.11	27.915	28.11
03/06/12 06:30:00.0	27.91	28.31	28.31	28.11	27.915	28.11
03/06/12 07:00:00.0	28.11	28.31	28.31	28.11	27.915	28.31

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	รางA1	รางB1	รางA2	รางB2
03/06/12 07:30:00.0	28.31	28.31	28.31	28.11	28.11	28.31
03/06/12 08:00:00.0	28.7	28.31	28.31	28.31	28.305	28.31
03/06/12 08:30:00.0	29.3	28.31	28.31	28.505	28.305	28.505
03/06/12 09:00:00.0	30.105	28.31	28.7	28.7	28.705	28.505
03/06/12 09:30:00.0	30.71	28.31	28.7	28.9	28.705	28.9
03/06/12 10:00:00.0	30.915	28.7	29.1	29.1	28.705	28.9
03/06/12 10:30:00.0	31.725	28.7	29.1	29.5	29.1	29.1
03/06/12 11:00:00.0	32.34	28.7	29.5	29.9	29.5	29.7
03/06/12 11:30:00.0	32.76	29.1	29.9	30.51	29.705	29.7
03/06/12 12:00:00.0	34.01	29.1	30.31	30.71	30.305	30.31
03/06/12 12:30:00.0	34.85	29.5	30.71	31.52	30.715	31.12
03/06/12 13:00:00.0	34.01	29.9	30.31	30.915	30.305	31.52
03/06/12 13:30:00.0	34.01	29.9	30.71	31.12	30.51	30.915
03/06/12 14:00:00.0	33.8	29.9	30.71	31.12	30.715	30.71
03/06/12 14:30:00.0	33.8	30.31	30.71	31.12	30.715	30.715
03/06/12 15:00:00.0	34.01	30.31	30.71	31.12	30.715	30.51
03/06/12 15:30:00.0	34.22	30.31	30.71	31.12	30.715	30.51
03/06/12 16:00:00.0	34.01	30.31	30.71	31.12	30.715	30.51
03/06/12 16:30:00.0	33.8	30.31	30.71	31.12	30.715	30.51
03/06/12 17:00:00.0	33.38	30.31	30.71	31.12	30.51	30.51
03/06/12 17:30:00.0	32.76	30.105	30.71	30.915	30.305	30.51
03/06/12 18:00:00.0	32.55	29.9	30.31	30.71	30.305	30.31
03/06/12 18:30:00.0	31.93	29.9	30.31	30.51	30.305	30.105
03/06/12 19:00:00.0	31.32	29.9	30.31	30.31	29.905	29.905
03/06/12 19:30:00.0	30.915	29.9	29.9	30.105	29.905	29.7
03/06/12 20:00:00.0	30.51	29.9	29.9	30.105	29.905	29.7
03/06/12 20:30:00.0	30.31	29.9	29.9	29.9	29.5	29.3
03/06/12 21:00:00.0	30.105	29.5	29.7	29.7	29.5	29.3
03/06/12 21:30:00.0	29.7	29.5	29.5	29.7	29.5	28.9
03/06/12 22:00:00.0	29.5	29.5	29.5	29.5	29.1	28.9
03/06/12 22:30:00.0	29.3	29.3	29.3	29.3	29.1	29.1
03/06/12 23:00:00.0	29.3	29.1	29.1	29.3	29.1	29.1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	รางA1	รางB1	รางA2	รางB2
03/06/12 23:30:00.0	29.1	29.1	29.1	29.1	29.1	29.1
03/07/12 00:00:00.0	28.9	29.1	29.1	28.9	28.905	28.9
03/07/12 00:30:00.0	28.9	29.1	29.1	28.9	28.705	28.9
03/07/12 01:00:00.0	28.505	29.1	28.7	28.9	28.705	28.9
03/07/12 01:30:00.0	28.505	28.7	28.7	28.7	28.705	28.7
03/07/12 02:00:00.0	28.505	28.7	28.7	28.7	28.705	28.7
03/07/12 02:30:00.0	28.31	28.7	28.7	28.505	28.705	28.7
03/07/12 03:00:00.0	28.505	28.7	28.7	28.505	28.705	28.7
03/07/12 03:30:00.0	28.31	28.7	28.7	28.505	28.305	28.505
03/07/12 04:00:00.0	28.11	28.7	28.505	28.505	28.305	28.505
03/07/12 04:30:00.0	28.11	28.7	28.31	28.505	28.305	28.505
03/07/12 05:00:00.0	28.11	28.7	28.31	28.31	28.305	28.505
03/07/12 05:30:00.0	28.11	28.31	28.31	28.31	28.305	28.505
03/07/12 06:00:00.0	28.11	28.31	28.31	28.505	28.305	28.505
03/07/12 06:30:00.0	28.11	28.31	28.31	28.505	28.305	28.505
03/07/12 07:00:00.0	28.11	28.31	28.31	28.31	28.305	28.505
03/07/12 07:30:00.0	28.31	28.31	28.31	28.31	28.305	28.505
03/07/12 08:00:00.0	28.9	28.31	28.7	28.505	28.305	28.505
03/07/12 08:30:00.0	29.3	28.505	28.7	28.7	28.705	28.505
03/07/12 09:00:00.0	29.7	28.7	28.7	28.9	28.705	28.7
03/07/12 09:30:00.0	30.31	28.7	29.1	29.1	28.705	28.9
03/07/12 10:00:00.0	31.12	28.7	29.1	29.3	29.1	28.9
03/07/12 10:30:00.0	31.52	28.7	29.1	29.5	29.1	29.3
03/07/12 11:00:00.0	31.93	29.1	29.5	29.7	29.1	29.3
03/07/12 11:30:00.0	32.76	29.1	29.9	30.105	29.5	29.7
03/07/12 12:00:00.0	33.17	29.5	29.9	30.31	29.905	29.7
03/07/12 12:30:00.0	34.64	29.5	30.31	30.915	30.105	30.105
03/07/12 13:00:00.0	33.59	29.9	30.31	30.915	30.305	30.305
03/07/12 13:30:00.0	33.59	29.9	30.51	30.915	30.305	30.51
03/07/12 14:00:00.0	33.59	30.105	30.71	31.12	30.305	30.51
03/07/12 14:30:00.0	34.01	30.31	30.71	31.12	30.715	30.51
03/07/12 15:00:00.0	34.01	30.31	30.71	31.32	30.715	30.51

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	รางA1	รางB1	รางA2	รางB2
03/07/12 15:30:00.0	34.01	30.31	30.915	31.32	30.715	30.715
03/07/12 16:00:00.0	33.59	30.31	30.915	31.52	30.715	30.715
03/07/12 16:30:00.0	33.17	30.31	30.71	31.52	30.715	30.51
03/07/12 17:00:00.0	33.17	30.31	30.71	31.52	30.715	30.51
03/07/12 17:30:00.0	32.76	30.31	30.71	31.52	30.715	30.51
03/07/12 18:00:00.0	31.93	30.31	30.71	31.52	30.305	30.51
03/07/12 18:30:00.0	31.52	30.31	30.71	31.32	30.305	30.51
03/07/12 19:00:00.0	31.12	30.31	30.31	30.915	30.305	30.105
03/07/12 19:30:00.0	30.915	29.9	30.31	30.71	29.905	30.105
03/07/12 20:00:00.0	30.71	29.9	30.31	30.51	29.905	30.105
03/07/12 20:30:00.0	30.71	29.9	29.9	30.31	29.905	30.105
03/07/12 21:00:00.0	30.71	29.9	29.9	30.31	29.905	29.9
03/07/12 21:30:00.0	30.51	29.9	29.9	30.105	29.905	29.7
03/07/12 22:00:00.0	30.31	29.5	29.9	29.9	29.5	29.7
03/07/12 22:30:00.0	29.9	29.5	29.5	29.7	29.5	29.7
03/07/12 23:00:00.0	29.9	29.5	29.5	29.7	29.5	29.7
03/07/12 23:30:00.0	29.7	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5
03/08/12 00:00:00.0	29.5	29.5	29.5	29.3	29.1	29.3
03/08/12 00:30:00.0	29.3	29.3	29.5	29.3	29.1	29.3
03/08/12 01:00:00.0	29.1	29.1	29.1	29.1	29.1	29.3
03/08/12 01:30:00.0	29.1	29.1	29.1	28.9	29.1	29.3
03/08/12 02:00:00.0	28.9	29.1	29.1	28.9	29.1	29.1
03/08/12 02:30:00.0	28.9	29.1	29.1	28.7	29.1	28.9
03/08/12 03:00:00.0	28.9	29.1	29.1	28.505	28.705	28.9
03/08/12 03:30:00.0	28.9	29.1	29.1	28.505	28.705	28.9
03/08/12 04:00:00.0	28.7	28.7	28.7	28.505	28.705	28.9
03/08/12 04:30:00.0	28.505	28.7	28.7	28.31	28.705	28.9
03/08/12 05:00:00.0	28.7	28.7	28.7	28.31	28.705	28.9
03/08/12 05:30:00.0	28.7	28.7	28.7	28.31	28.705	28.9
03/08/12 06:00:00.0	28.7	28.7	28.7	28.31	28.705	28.9
03/08/12 06:30:00.0	28.7	28.7	28.7	28.31	28.705	28.9
03/08/12 07:00:00.0	28.7	28.7	28.7	28.31	28.705	28.9

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	รางA1	รางB1	รางA2	รางB2
03/08/12 07:30:00.0	28.9	28.7	28.7	28.505	28.705	28.9
03/08/12 08:00:00.0	29.1	28.7	28.7	28.505	28.705	28.9
03/08/12 08:30:00.0	29.7	28.7	28.9	28.7	28.705	28.9
03/08/12 09:00:00.0	30.105	28.7	29.1	28.9	28.705	28.9
03/08/12 09:30:00.0	30.31	28.7	29.1	29.1	28.905	28.9
03/08/12 10:00:00.0	30.105	28.7	29.1	29.3	28.705	28.9
03/08/12 10:30:00.0	30.31	28.9	29.1	29.3	29.1	28.9
03/08/12 11:00:00.0	30.915	29.1	29.1	29.7	29.1	29.3
03/08/12 11:30:00.0	31.52	29.1	29.5	30.105	29.3	29.3
03/08/12 12:00:00.0	32.135	29.1	29.9	30.31	29.905	29.7
03/08/12 12:30:00.0	33.59	29.1	30.71	31.12	30.51	30.31
03/08/12 13:00:00.0	33.59	29.5	31.12	31.52	30.915	30.51
03/08/12 13:30:00.0	33.59	29.5	31.52	31.725	31.32	30.71
03/08/12 14:00:00.0	32.76	29.5	31.93	31.93	31.32	30.915
03/08/12 14:30:00.0	31.52	29.5	31.52	31.52	30.915	30.51
03/08/12 15:00:00.0	31.32	29.5	31.12	31.32	30.51	30.31
03/08/12 15:30:00.0	31.12	29.5	31.12	30.915	30.305	29.9
03/08/12 16:00:00.0	30.71	29.5	29.9	30.71	29.705	29.7
03/08/12 16:30:00.0	30.51	29.5	29.5	30.51	29.5	29.7
03/08/12 17:00:00.0	30.31	29.5	29.5	30.31	29.5	29.5
03/08/12 17:30:00.0	30.105	29.5	29.5	29.9	29.5	29.5
03/08/12 18:00:00.0	29.9	29.5	29.5	29.7	29.5	29.5
03/08/12 18:30:00.0	29.7	29.5	29.5	29.5	29.1	29.3
03/08/12 19:00:00.0	29.5	29.5	29.5	29.5	29.1	29.3
03/08/12 19:30:00.0	29.3	29.3	29.5	29.3	29.1	29.3
03/08/12 20:00:00.0	29.3	29.1	29.5	29.3	29.1	29.3
03/08/12 20:30:00.0	29.3	29.1	29.1	29.1	29.1	29.3
03/08/12 21:00:00.0	29.3	29.1	29.1	28.9	29.1	29.3
03/08/12 21:30:00.0	29.3	29.1	29.1	28.9	29.1	29.3
03/08/12 22:00:00.0	29.3	29.1	29.1	28.9	29.1	29.1
03/08/12 22:30:00.0	29.1	29.1	29.1	28.9	29.1	29.1
03/08/12 23:00:00.0	29.1	29.1	29.1	28.7	28.905	28.9

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	รางA1	รางB1	รางA2	รางB2
03/08/12 23:30:00.0	28.9	29.1	29.1	28.7	28.705	28.9
03/09/12 00:00:00.0	28.9	28.9	29.1	28.7	28.705	28.9
03/09/12 00:30:00.0	28.9	28.7	28.7	28.505	28.705	28.9
03/09/12 01:00:00.0	28.7	28.7	28.7	28.505	28.705	28.9
03/09/12 01:30:00.0	28.505	28.7	28.7	28.505	28.705	28.9
03/09/12 02:00:00.0	28.505	28.7	28.7	28.31	28.705	28.9
03/09/12 02:30:00.0	28.31	28.7	28.7	28.31	28.705	28.9
03/09/12 03:00:00.0	28.31	28.7	28.7	28.11	28.705	28.7
03/09/12 03:30:00.0	28.11	28.7	28.7	28.11	28.705	28.7
03/09/12 04:00:00.0	28.11	28.7	28.7	28.11	28.705	28.7
03/09/12 04:30:00.0	28.11	28.7	28.7	27.91	28.705	28.7
03/09/12 05:00:00.0	28.11	28.7	28.31	27.91	28.305	28.505
03/09/12 05:30:00.0	27.91	28.7	28.31	27.715	28.305	28.505
03/09/12 06:00:00.0	27.715	28.7	28.31	27.715	28.305	28.505
03/09/12 06:30:00.0	27.715	28.7	28.31	27.715	28.305	28.505
03/09/12 07:00:00.0	27.715	28.505	28.31	27.52	28.305	28.505
03/09/12 07:30:00.0	27.715	28.31	28.31	27.52	28.305	28.31
03/09/12 08:00:00.0	28.31	28.31	28.31	27.715	28.305	28.505
03/09/12 08:30:00.0	28.9	28.505	28.7	27.91	28.305	28.505
03/09/12 09:00:00.0	29.3	28.7	28.7	28.11	28.705	28.7
03/09/12 09:30:00.0	29.9	28.7	28.7	28.505	28.705	28.9
03/09/12 10:00:00.0	30.71	28.7	29.1	28.9	29.1	28.9
03/09/12 10:30:00.0	31.52	29.1	29.5	29.5	29.1	29.3
03/09/12 11:00:00.0	31.93	29.1	29.5	30.105	29.5	29.5
03/09/12 11:30:00.0	32.135	29.1	29.9	30.51	29.5	29.7
03/09/12 12:00:00.0	33.17	29.5	30.31	31.12	29.905	30.105
03/09/12 12:30:00.0	34.01	29.9	30.51	31.725	30.305	30.31
03/09/12 13:00:00.0	33.38	29.9	30.71	31.93	30.305	30.51
03/09/12 13:30:00.0	33.17	30.105	30.71	32.135	30.51	30.51
03/09/12 14:00:00.0	33.8	30.31	31.12	32.34	30.715	30.915
03/09/12 14:30:00.0	34.43	30.31	31.12	32.76	31.115	30.915
03/09/12 15:00:00.0	33.8	30.51	31.32	32.965	31.115	31.12

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	รางA1	รางB1	รางA2	รางB2
03/09/12 15:30:00.0	34.01	30.71	31.32	32.965	31.115	31.12
03/09/12 16:00:00.0	33.38	30.71	31.32	32.76	31.115	31.12
03/09/12 16:30:00.0	32.76	30.71	31.12	32.55	31.115	30.915
03/09/12 17:00:00.0	32.34	30.71	31.12	32.34	30.715	30.915
03/09/12 17:30:00.0	31.725	30.71	31.12	31.93	30.715	30.915
03/09/12 18:00:00.0	31.12	30.71	30.71	31.52	30.715	30.915
03/09/12 18:30:00.0	30.915	30.71	30.71	31.12	30.715	30.71
03/09/12 19:00:00.0	30.71	30.71	30.71	30.915	30.715	30.71
03/09/12 19:30:00.0	30.51	30.71	30.71	30.71	30.305	30.51
03/09/12 20:00:00.0	30.51	30.31	30.31	30.51	30.305	30.51
03/09/12 20:30:00.0	30.31	30.31	30.31	30.31	30.305	30.51
03/09/12 21:00:00.0	30.31	30.31	30.31	30.105	30.305	30.31
03/09/12 21:30:00.0	30.105	30.31	30.31	30.105	30.305	30.31
03/09/12 22:00:00.0	30.105	30.31	30.31	29.9	30.105	30.31
03/09/12 22:30:00.0	30.105	30.31	30.105	29.9	29.905	30.105
03/09/12 23:00:00.0	29.9	30.31	29.9	29.7	29.905	30.105
03/09/12 23:30:00.0	29.9	29.9	29.9	29.7	29.905	30.105
03/10/12 00:00:00.0	29.7	29.9	29.9	29.7	29.905	30.105
03/10/12 00:30:00.0	29.5	29.9	29.9	29.5	29.905	29.9
03/10/12 01:00:00.0	29.7	29.9	29.9	29.3	29.905	29.9
03/10/12 01:30:00.0	29.5	29.9	29.7	29.3	29.705	29.9
03/10/12 02:00:00.0	29.3	29.9	29.5	29.3	29.5	29.9
03/10/12 02:30:00.0	28.9	29.9	29.5	29.1	29.5	29.7
03/10/12 03:00:00.0	28.9	29.9	29.5	28.9	29.5	29.7
03/10/12 03:30:00.0	28.505	29.5	29.3	28.7	29.5	29.5
03/10/12 04:00:00.0	28.505	29.5	29.1	28.7	29.5	29.5
03/10/12 04:30:00.0	28.505	29.5	29.1	28.505	29.1	29.5
03/10/12 05:00:00.0	28.505	29.5	29.1	28.31	29.1	29.3
03/10/12 05:30:00.0	28.31	29.5	29.1	28.31	29.1	29.3
03/10/12 06:00:00.0	28.505	29.5	29.1	28.31	29.1	29.3
03/10/12 06:30:00.0	28.31	29.5	29.1	28.31	29.1	29.3
03/10/12 07:00:00.0	28.11	29.1	28.9	28.7	28.905	29.1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	รางA1	รางB1	รางA2	รางB2
03/10/12 07:30:00.0	27.91	29.1	28.7	28.9	28.705	29.1
03/10/12 08:00:00.0	28.505	29.1	28.7	28.9	28.705	28.9
03/10/12 08:30:00.0	29.3	29.1	29.1	29.1	29.1	29.1
03/10/12 09:00:00.0	29.9	29.1	29.1	29.3	29.1	29.3
03/10/12 09:30:00.0	30.71	29.1	29.5	29.5	29.5	29.3
03/10/12 10:00:00.0	31.12	29.3	29.5	29.7	29.5	29.7
03/10/12 10:30:00.0	31.93	29.5	29.9	29.9	29.905	29.7
03/10/12 11:00:00.0	31.93	29.5	30.105	30.105	29.905	30.105
03/10/12 11:30:00.0	32.34	29.9	30.31	30.31	30.105	30.105
03/10/12 12:00:00.0	34.01	29.9	30.71	30.71	30.715	30.51
03/10/12 12:30:00.0	32.76	30.31	30.71	30.71	30.51	30.51
03/10/12 13:00:00.0	33.38	30.31	30.915	30.915	30.715	30.915
03/10/12 13:30:00.0	33.8	30.31	31.12	31.12	30.715	30.915
03/10/12 14:00:00.0	33.59	30.51	31.12	31.12	31.115	30.915
03/10/12 14:30:00.0	34.01	30.71	31.12	31.32	31.115	31.32
03/10/12 15:00:00.0	33.38	30.71	31.12	31.32	31.115	31.32
03/10/12 15:30:00.0	32.76	30.71	31.12	31.12	31.115	30.915
03/10/12 16:00:00.0	32.34	30.71	31.12	31.12	30.915	31.12
03/10/12 16:30:00.0	31.725	30.71	31.12	30.915	30.715	30.915
03/10/12 17:00:00.0	31.32	30.71	30.71	30.915	30.715	30.915
03/10/12 17:30:00.0	30.71	30.71	30.71	30.71	30.305	30.51
03/10/12 18:00:00.0	30.71	30.71	30.71	30.51	30.305	30.51
03/10/12 18:30:00.0	30.31	30.31	30.31	30.51	30.305	30.51
03/10/12 19:00:00.0	30.31	30.31	30.31	30.31	30.305	30.51
03/10/12 19:30:00.0	30.105	30.31	30.31	30.31	30.305	30.31
03/10/12 20:00:00.0	30.105	30.31	30.31	30.31	30.105	30.31
03/10/12 20:30:00.0	30.105	30.31	30.31	30.105	29.905	30.105
03/10/12 21:00:00.0	30.105	30.105	29.9	30.105	29.905	30.105
03/10/12 21:30:00.0	29.3	29.9	29.9	29.9	29.905	29.9
03/10/12 22:00:00.0	28.7	29.9	29.5	29.7	29.5	29.7
03/10/12 22:30:00.0	28.31	29.9	29.5	29.5	29.5	29.5
03/10/12 23:00:00.0	28.31	29.9	29.3	29.3	29.5	29.5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	รางA1	รางB1	รางA2	รางB2
03/10/12 23:30:00.0	28.31	29.5	29.1	29.3	29.1	29.5
03/11/12 00:00:00.0	28.11	29.5	29.1	29.3	29.1	29.3
03/11/12 00:30:00.0	27.91	29.5	29.1	29.1	29.1	29.1
03/11/12 01:00:00.0	28.11	29.1	28.7	28.9	28.905	29.1
03/11/12 01:30:00.0	28.11	29.1	28.7	28.9	28.705	29.1
03/11/12 02:00:00.0	27.91	29.1	28.7	28.9	28.705	28.9
03/11/12 02:30:00.0	27.91	29.1	28.7	28.9	28.705	28.9
03/11/12 03:00:00.0	27.715	28.9	28.7	28.7	28.705	28.9
03/11/12 03:30:00.0	27.715	28.7	28.7	28.7	28.705	28.7
03/11/12 04:00:00.0	27.52	28.7	28.31	28.505	28.305	28.7
03/11/12 04:30:00.0	27.52	28.7	28.31	28.505	28.305	28.7
03/11/12 05:00:00.0	27.32	28.7	28.31	28.31	28.305	28.505
03/11/12 05:30:00.0	27.32	28.505	28.31	28.31	28.305	28.31
03/11/12 06:00:00.0	26.925	28.31	28.11	28.11	27.915	28.31
03/11/12 06:30:00.0	26.925	28.31	27.91	28.11	27.915	28.31
03/11/12 07:00:00.0	26.925	28.31	27.91	28.11	27.915	28.11
03/11/12 07:30:00.0	26.925	28.31	27.91	27.91	27.915	28.11
03/11/12 08:00:00.0	26.535	28.11	27.91	27.91	27.515	27.91
03/11/12 08:30:00.0	25.95	27.91	27.52	27.715	27.515	27.91
03/11/12 09:00:00.0	26.535	27.91	27.715	27.715	27.515	27.91
03/11/12 09:30:00.0	26.925	27.91	27.91	27.91	27.515	27.91
03/11/12 10:00:00.0	27.715	27.91	27.91	28.11	27.915	28.11
03/11/12 10:30:00.0	28.31	27.91	28.31	28.11	27.915	28.11
03/11/12 11:00:00.0	28.31	28.11	28.31	28.11	27.915	28.11
03/11/12 11:30:00.0	29.9	28.31	28.31	28.505	28.305	28.505
03/11/12 12:00:00.0	30.71	28.31	28.7	28.9	28.705	28.9
03/11/12 12:30:00.0	30.915	28.7	29.1	28.9	28.705	28.9
03/11/12 13:00:00.0	31.12	28.7	29.1	29.3	29.1	29.3
03/11/12 13:30:00.0	31.12	28.9	29.5	29.5	29.3	29.3
03/11/12 14:00:00.0	31.725	29.1	29.5	29.7	29.5	29.5
03/11/12 14:30:00.0	31.52	29.1	29.7	29.7	29.5	29.7
03/11/12 15:00:00.0	31.93	29.5	29.9	29.9	29.905	29.905

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	รางA1	รางB1	รางA2	รางB2
03/11/12 15:30:00.0	32.135	29.5	29.9	30.105	29.905	29.905
03/11/12 16:00:00.0	32.34	29.5	30.31	30.31	30.105	30.105
03/11/12 16:30:00.0	31.93	29.9	30.31	30.105	29.905	30.105
03/11/12 17:00:00.0	31.52	29.9	30.31	30.31	29.905	30.105
03/11/12 17:30:00.0	31.12	29.9	30.31	30.105	29.905	30.105
03/11/12 18:00:00.0	30.915	29.9	30.31	30.105	29.905	30.105
03/11/12 18:30:00.0	30.71	29.9	29.9	30.105	29.905	30.105
03/11/12 19:00:00.0	30.51	29.9	29.9	30.105	29.905	30.105
03/11/12 19:30:00.0	30.51	29.9	29.9	30.105	29.905	30.105
03/11/12 20:00:00.0	30.31	29.9	29.9	30.105	29.905	29.9
03/11/12 20:30:00.0	30.51	29.9	29.9	29.9	29.905	29.9
03/11/12 21:00:00.0	30.51	29.9	29.9	29.9	29.905	29.9
03/11/12 21:30:00.0	30.31	29.9	29.9	29.9	29.5	29.7
03/11/12 22:00:00.0	29.7	29.9	29.7	29.7	29.3	29.3
03/11/12 22:30:00.0	29.5	29.9	29.5	29.5	29.1	29.3
03/11/12 23:00:00.0	29.3	29.9	29.5	29.3	28.705	28.9
03/11/12 23:30:00.0	28.9	29.9	29.1	29.1	28.705	28.7
03/12/12 00:00:00.0	28.7	29.7	29.1	28.9	28.505	28.7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการทดลองชุดที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค1 ผลการวัดอุณหภูมิชุดการทดลองที่ 3 (เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 7 เม.ย. 55 เวลา 00:00 น. ถึง วันที่ 14 เม.ย. 55 เวลา 08:30 น.)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	กลางB ระแนง	กลางB กลาง	กลางB พุ่ม	หลังB พุ่ม	หลังB ระแนง
04/07/12 09:00:00.0	30.915	28.7	29.9	30.305	29.3	29.5	30.105
04/07/12 09:30:00.0	33.385	28.7	31.32	31.73	30.31	30.51	31.725
04/07/12 10:00:00.0	32.55	28.9	32.135	32.55	31.12	31.12	32.55
04/07/12 10:30:00.0	34.22	29.1	32.76	33.175	31.32	31.52	32.965
04/07/12 11:00:00.0	32.345	29.1	32.76	33.595	31.52	31.725	32.965
04/07/12 11:30:00.0	25.755	29.5	30.105	30.51	29.705	29.1	30.51
04/07/12 12:00:00.0	22.285	29.1	25.95	26.145	26.34	26.145	26.535
04/07/12 12:30:00.0	25.17	28.7	26.73	26.925	26.73	26.535	26.73
04/07/12 13:00:00.0	28.51	28.7	28.9	29.5	28.505	28.7	28.9
04/07/12 13:30:00.0	27.715	28.7	28.7	29.1	28.7	28.7	28.9
04/07/12 14:00:00.0	27.32	28.7	28.11	28.11	27.91	27.91	28.11
04/07/12 14:30:00.0	28.505	28.31	28.31	28.505	27.91	27.91	28.505
04/07/12 15:00:00.0	29.9	28.31	29.7	30.305	29.3	29.5	29.7
04/07/12 15:30:00.0	31.12	28.7	30.51	30.715	29.7	30.105	30.51
04/07/12 16:00:00.0	30.51	28.7	30.51	30.915	29.9	30.105	30.51
04/07/12 16:30:00.0	31.93	28.7	30.915	31.32	30.51	30.71	30.915
04/07/12 17:00:00.0	30.105	28.9	30.51	30.715	30.31	30.31	30.51
04/07/12 17:30:00.0	29.7	28.9	29.9	30.105	29.9	29.9	30.105
04/07/12 18:00:00.0	29.3	28.9	29.9	30.105	29.5	29.7	30.105
04/07/12 18:30:00.0	29.3	28.9	29.7	29.7	29.5	29.7	29.7
04/07/12 19:00:00.0	28.9	29.1	29.5	29.7	29.5	29.5	29.7
04/07/12 19:30:00.0	28.505	29.1	29.1	29.3	29.1	29.3	29.3
04/07/12 20:00:00.0	28.11	28.9	28.7	28.9	28.7	28.9	28.9
04/07/12 20:30:00.0	27.715	28.7	28.505	28.505	28.31	28.505	28.505
04/07/12 21:00:00.0	27.715	28.9	28.31	28.31	28.31	28.505	28.505
04/07/12 21:30:00.0	27.715	28.7	28.31	28.31	28.31	28.31	28.505
04/07/12 22:00:00.0	27.32	28.7	28.11	28.11	28.31	28.31	28.11
04/07/12 22:30:00.0	26.535	28.7	27.715	27.715	27.91	27.91	27.915
04/07/12 23:00:00.0	25.755	28.31	27.32	27.32	27.52	27.715	27.515

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	กลางB ระแนง	กลางB กลาง	กลางB พุ่ม	หลังB พุ่ม	หลังB ระแนง
04/07/12 23:30:00.0	24.785	28.505	26.925	27.125	27.32	27.32	27.32
04/08/12 00:00:00.0	24.01	28.31	26.535	26.535	26.925	26.925	26.535
04/08/12 00:30:00.0	24.205	28.31	26.145	26.145	26.535	26.73	26.535
04/08/12 01:00:00.0	24.01	28.11	25.755	25.95	26.34	26.34	26.145
04/08/12 01:30:00.0	24.01	28.11	25.755	25.755	26.34	26.34	25.95
04/08/12 02:00:00.0	24.59	27.91	25.56	25.755	26.145	26.145	25.755
04/08/12 02:30:00.0	24.4	27.91	25.56	25.755	25.95	26.145	25.755
04/08/12 03:00:00.0	24.59	27.52	25.56	25.56	25.755	25.755	25.755
04/08/12 03:30:00.0	24.21	27.52	25.365	25.365	25.56	25.56	25.56
04/08/12 04:00:00.0	24.4	27.12	25.365	25.365	25.56	25.365	25.365
04/08/12 04:30:00.0	24.205	27.32	25.17	25.365	25.365	25.365	25.56
04/08/12 05:00:00.0	24.205	27.12	25.17	24.98	25.17	25.17	25.56
04/08/12 05:30:00.0	23.82	26.925	24.98	24.98	24.98	24.98	25.56
04/08/12 06:00:00.0	23.82	26.73	24.595	24.785	24.98	24.79	25.17
04/08/12 06:30:00.0	24.205	26.535	24.98	24.98	24.98	24.98	25.17
04/08/12 07:00:00.0	24.205	26.535	24.98	24.98	25.17	24.98	25.56
04/08/12 07:30:00.0	24.98	26.34	25.56	25.755	25.365	25.365	25.95
04/08/12 08:00:00.0	25.95	26.34	26.34	26.535	25.95	26.145	26.34
04/08/12 08:30:00.0	29.515	26.535	27.12	27.515	26.73	26.925	27.52
04/08/12 09:00:00.0	32.36	26.535	28.505	28.905	27.52	27.715	29.1
04/08/12 09:30:00.0	34.465	26.73	29.9	30.51	28.505	28.7	30.31
04/08/12 10:00:00.0	33.61	26.73	31.32	31.32	29.3	29.7	31.93
04/08/12 10:30:00.0	34.02	27.12	32.345	32.76	30.51	30.71	32.76
04/08/12 11:00:00.0	35.505	27.32	33.17	34.01	31.32	31.725	33.59
04/08/12 11:30:00.0	36.145	27.52	34.22	34.855	32.55	32.76	34.43
04/08/12 12:00:00.0	37.005	27.91	34.64	35.71	32.965	33.38	34.85
04/08/12 12:30:00.0	36.785	28.31	34.85	35.925	33.59	33.8	35.27
04/08/12 13:00:00.0	37.22	28.7	35.27	36.135	34.01	34.22	35.7
04/08/12 13:30:00.0	36.35	29.1	35.485	36.57	34.64	34.85	35.7
04/08/12 14:00:00.0	37.445	29.5	35.485	36.135	34.64	34.85	35.7
04/08/12 14:30:00.0	36.135	29.5	35.485	35.92	34.22	34.64	35.7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	กลางB ระแนง	กลางB กลาง	กลางB พุ่ม	หลังB พุ่ม	หลังB ระแนง
04/08/12 15:00:00.0	37.005	29.9	35.485	36.135	34.64	34.64	35.7
04/08/12 15:30:00.0	36.785	30.31	35.485	36.35	34.64	35.06	35.7
04/08/12 16:00:00.0	38.775	30.31	35.485	35.92	34.22	34.64	35.27
04/08/12 16:30:00.0	36.785	30.51	35.27	35.7	34.22	34.64	35.27
04/08/12 17:00:00.0	34.22	30.71	34.22	34.64	33.59	33.8	34.43
04/08/12 17:30:00.0	33.8	30.71	33.8	34.01	32.965	33.38	34.01
04/08/12 18:00:00.0	32.965	30.71	33.17	33.38	32.965	32.965	33.59
04/08/12 18:30:00.0	32.965	30.915	32.76	32.965	32.55	32.76	33.17
04/08/12 19:00:00.0	32.135	30.915	32.76	32.76	32.135	32.55	33.17
04/08/12 19:30:00.0	31.725	30.71	31.93	32.135	31.93	32.135	32.34
04/08/12 20:00:00.0	30.51	30.71	30.915	31.115	31.12	31.12	31.32
04/08/12 20:30:00.0	27.32	30.71	28.9	29.3	29.5	29.3	29.3
04/08/12 21:00:00.0	22.67	30.31	26.145	26.535	26.73	26.34	26.535
04/08/12 21:30:00.0	22.67	29.7	25.755	25.95	26.145	25.95	26.145
04/08/12 22:00:00.0	23.245	29.3	25.95	25.95	26.34	26.34	26.145
04/08/12 22:30:00.0	23.82	29.1	26.145	26.145	26.34	26.145	26.34
04/08/12 23:00:00.0	24.4	28.9	26.34	26.34	26.34	26.34	26.535
04/08/12 23:30:00.0	24.595	28.7	26.535	26.535	26.73	26.535	27.12
04/09/12 00:00:00.0	25.37	28.31	26.535	26.535	26.73	26.535	27.12
04/09/12 00:30:00.0	25.37	28.31	26.535	26.535	26.535	26.34	27.12
04/09/12 01:00:00.0	25.56	28.11	26.535	26.535	26.73	26.535	27.12
04/09/12 01:30:00.0	25.755	27.91	26.535	26.535	26.73	26.535	27.12
04/09/12 02:00:00.0	25.755	27.91	26.535	26.535	26.73	26.925	27.12
04/09/12 02:30:00.0	25.95	27.91	26.73	26.535	26.925	26.925	26.73
04/09/12 03:00:00.0	25.755	27.52	26.535	26.535	26.73	26.73	27.12
04/09/12 03:30:00.0	25.755	27.52	26.34	26.535	26.73	26.535	26.73
04/09/12 04:00:00.0	25.755	27.715	26.535	26.535	26.73	26.925	27.12
04/09/12 04:30:00.0	25.755	27.52	26.34	26.535	26.73	26.73	26.73
04/09/12 05:00:00.0	25.56	27.52	26.34	26.34	26.73	26.73	26.73
04/09/12 05:30:00.0	25.365	27.52	26.34	26.34	26.535	26.535	26.73
04/09/12 06:00:00.0	25.365	27.32	26.34	26.34	26.535	26.535	26.73

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	กลางB ระแนง	กลางB กลาง	กลางB พุ่ม	หลังB พุ่ม	หลังB ระแนง
04/09/12 06:30:00.0	25.755	27.12	26.34	26.34	26.34	26.535	26.34
04/09/12 07:00:00.0	25.755	27.12	26.34	26.535	26.73	26.73	26.535
04/09/12 07:30:00.0	26.73	27.32	27.12	27.32	27.12	27.12	27.32
04/09/12 08:00:00.0	27.515	27.12	27.715	27.915	27.52	27.52	27.715
04/09/12 08:30:00.0	28.9	27.12	28.7	28.9	27.91	28.11	28.505
04/09/12 09:00:00.0	33.18	27.32	30.105	30.51	28.9	29.3	30.105
04/09/12 09:30:00.0	35.085	27.52	31.32	31.73	29.7	29.9	31.725
04/09/12 10:00:00.0	35.515	27.91	32.55	32.965	30.71	30.915	32.965
04/09/12 10:30:00.0	37.035	27.91	34.01	34.43	31.725	31.93	34.43
04/09/12 11:00:00.0	36.365	28.31	34.43	35.07	32.55	32.55	34.64
04/09/12 11:30:00.0	37.895	28.7	35.27	36.135	33.175	33.38	35.485
04/09/12 12:00:00.0	35.49	28.9	34.85	35.49	33.17	33.38	35.06
04/09/12 12:30:00.0	37.88	29.1	35.915	37.005	34.43	34.64	35.915
04/09/12 13:00:00.0	35.485	29.5	35.485	36.135	34.22	34.22	35.485
04/09/12 13:30:00.0	32.965	29.9	33.8	34.01	32.76	32.965	34.22
04/09/12 14:00:00.0	25.365	29.9	29.7	30.105	29.5	29.1	30.105
04/09/12 14:30:00.0	25.17	29.7	28.505	28.705	28.505	28.31	28.9
04/09/12 15:00:00.0	27.32	29.5	29.5	29.5	28.7	28.7	29.7
04/09/12 15:30:00.0	31.115	29.5	30.31	30.715	29.7	29.7	30.51
04/09/12 16:00:00.0	29.7	29.5	29.9	30.305	29.5	29.5	30.105
04/09/12 16:30:00.0	30.105	29.5	30.31	30.51	29.7	29.7	30.51
04/09/12 17:00:00.0	30.51	29.3	30.51	30.915	30.31	30.51	30.51
04/09/12 17:30:00.0	30.51	29.3	30.51	30.915	30.31	30.31	30.51
04/09/12 18:00:00.0	28.9	29.3	29.5	29.7	29.5	29.7	29.7
04/09/12 18:30:00.0	25.17	29.1	27.715	27.915	28.305	28.11	28.11
04/09/12 19:00:00.0	24.79	29.1	27.32	27.32	27.715	27.715	27.715
04/09/12 19:30:00.0	25.365	28.9	27.32	27.52	27.715	27.715	27.715
04/09/12 20:00:00.0	25.755	28.9	27.52	27.32	27.715	27.715	27.715
04/09/12 20:30:00.0	26.145	28.7	27.52	27.715	27.91	27.715	27.715
04/09/12 21:00:00.0	26.535	28.7	27.52	27.715	27.91	27.91	27.715
04/09/12 21:30:00.0	26.535	28.7	27.52	27.715	27.715	27.715	27.715

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	กลางB ระแนง	กลางB กลาง	กลางB พุ่ม	หลังB พุ่ม	หลังB ระแนง
04/09/12 22:00:00.0	26.535	28.505	27.12	27.32	27.32	27.32	27.32
04/09/12 22:30:00.0	26.535	28.505	27.32	27.32	27.52	27.52	27.515
04/09/12 23:00:00.0	26.34	28.31	27.12	27.32	27.52	27.52	27.32
04/09/12 23:30:00.0	26.145	28.31	26.925	26.925	27.12	27.12	26.925
04/10/12 00:00:00.0	26.145	28.11	26.925	26.925	27.12	27.32	27.125
04/10/12 00:30:00.0	26.145	27.91	26.925	26.925	27.12	27.12	27.125
04/10/12 01:00:00.0	25.95	27.91	26.73	26.925	27.12	27.12	26.925
04/10/12 01:30:00.0	25.95	28.11	26.73	26.925	27.12	27.12	26.73
04/10/12 02:00:00.0	25.755	27.91	26.535	26.535	26.925	26.925	26.73
04/10/12 02:30:00.0	25.755	27.91	26.535	26.535	26.73	26.925	26.73
04/10/12 03:00:00.0	25.56	27.715	26.34	26.535	26.73	26.73	26.34
04/10/12 03:30:00.0	25.365	27.52	26.34	26.535	26.73	26.73	26.34
04/10/12 04:00:00.0	25.365	27.52	26.145	26.145	26.535	26.535	26.145
04/10/12 04:30:00.0	25.365	27.715	26.34	26.145	26.34	26.535	26.34
04/10/12 05:00:00.0	25.365	27.52	26.145	26.145	26.34	26.535	25.95
04/10/12 05:30:00.0	24.98	27.52	25.755	25.95	26.34	26.34	25.95
04/10/12 06:00:00.0	24.98	27.52	25.56	25.755	26.34	26.145	25.56
04/10/12 06:30:00.0	24.98	27.32	25.56	25.755	26.145	25.95	25.755
04/10/12 07:00:00.0	25.755	27.12	25.95	26.145	26.34	26.34	25.95
04/10/12 07:30:00.0	26.145	27.12	26.34	26.535	26.535	26.535	26.535
04/10/12 08:00:00.0	27.32	27.12	27.32	27.515	27.12	27.12	27.125
04/10/12 08:30:00.0	28.9	27.12	28.505	28.9	28.11	28.11	28.305
04/10/12 09:00:00.0	32.765	27.32	29.9	30.305	28.9	28.9	29.905
04/10/12 09:30:00.0	34.855	27.52	31.12	31.525	29.7	29.9	31.32
04/10/12 10:00:00.0	36.155	27.52	32.76	33.175	30.915	31.12	32.755
04/10/12 10:30:00.0	36.575	27.91	33.59	34.01	31.725	31.93	34.01
04/10/12 11:00:00.0	37.235	28.31	34.64	35.065	32.345	32.76	34.85
04/10/12 11:30:00.0	39.235	28.505	35.06	35.71	33.175	33.38	35.485
04/10/12 12:00:00.0	37.44	28.7	35.7	36.135	33.8	34.01	35.915
04/10/12 12:30:00.0	38.55	29.1	36.785	37.44	34.43	35.06	36.565
04/10/12 13:00:00.0	37.66	29.5	36.785	37.225	35.06	35.27	36.565

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	กลางB ระแนง	กลางB กลาง	กลางB พุ่ม	หลังB พุ่ม	หลังB ระแนง
04/10/12 13:30:00.0	36.35	29.9	36.57	37.225	35.06	35.485	36.785
04/10/12 14:00:00.0	36.785	30.31	36.13	36.785	35.06	35.06	36.35
04/10/12 14:30:00.0	35.915	30.31	35.7	36.35	34.64	34.85	35.7
04/10/12 15:00:00.0	34.85	30.71	35.27	35.7	34.43	34.43	35.485
04/10/12 15:30:00.0	37	30.915	35.915	36.565	35.06	35.06	35.915
04/10/12 16:00:00.0	35.915	31.12	35.485	35.7	34.64	34.85	35.485
04/10/12 16:30:00.0	35.27	31.12	34.85	35.275	33.385	34.01	34.85
04/10/12 17:00:00.0	33.59	31.12	34.01	34.43	32.965	33.59	34.01
04/10/12 17:30:00.0	32.965	31.32	33.38	33.59	32.755	33.175	33.59
04/10/12 18:00:00.0	31.93	31.52	32.55	32.755	32.135	32.55	32.755
04/10/12 18:30:00.0	31.32	31.52	31.93	32.135	31.725	32.14	32.135
04/10/12 19:00:00.0	30.915	31.52	31.52	31.725	31.32	31.725	31.525
04/10/12 19:30:00.0	30.915	31.52	31.12	31.32	31.12	31.525	31.32
04/10/12 20:00:00.0	30.715	31.52	31.12	31.32	31.12	31.12	31.115
04/10/12 20:30:00.0	30.51	31.12	30.71	30.915	30.71	30.915	30.915
04/10/12 21:00:00.0	30.105	31.12	30.71	30.915	30.71	30.915	30.715
04/10/12 21:30:00.0	29.7	31.12	30.51	30.51	30.71	30.51	30.305
04/10/12 22:00:00.0	29.7	30.71	30.31	30.51	30.31	30.51	30.305
04/10/12 22:30:00.0	29.7	30.71	30.31	30.31	30.31	30.31	30.305
04/10/12 23:00:00.0	29.3	30.71	29.9	30.105	30.31	30.31	30.105
04/10/12 23:30:00.0	29.3	30.71	29.9	30.105	29.9	30.105	29.905
04/11/12 00:00:00.0	29.3	30.71	29.9	30.105	29.9	30.105	29.905
04/11/12 00:30:00.0	29.1	30.31	29.7	29.7	29.9	29.9	29.905
04/11/12 01:00:00.0	28.9	30.31	29.7	29.7	29.9	29.7	29.905
04/11/12 01:30:00.0	28.9	30.31	29.5	29.7	29.5	29.7	29.7
04/11/12 02:00:00.0	28.7	30.31	29.5	29.5	29.5	29.7	29.5
04/11/12 02:30:00.0	28.9	30.31	29.3	29.3	29.5	29.5	29.5
04/11/12 03:00:00.0	28.505	29.9	29.3	29.3	29.5	29.5	29.5
04/11/12 03:30:00.0	28.505	29.9	29.1	29.3	29.5	29.3	29.1
04/11/12 04:00:00.0	28.505	29.9	29.1	29.3	29.1	29.3	29.1
04/11/12 04:30:00.0	28.505	29.9	29.1	29.1	29.1	29.3	29.1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	กลางB ระแนง	กลางB กลาง	กลางB พุ่ม	หลังB พุ่ม	หลังB ระแนง
04/11/12 05:00:00.0	28.505	29.9	29.1	28.9	29.1	29.3	29.1
04/11/12 05:30:00.0	28.505	29.7	28.9	28.9	29.1	29.1	29.1
04/11/12 06:00:00.0	28.505	29.3	28.9	28.9	29.1	29.1	29.1
04/11/12 06:30:00.0	28.505	29.5	28.9	28.9	29.1	29.1	29.1
04/11/12 07:00:00.0	27.715	29.5	28.31	28.505	28.7	28.9	28.505
04/11/12 07:30:00.0	28.505	29.5	28.7	29.1	29.1	29.1	28.705
04/11/12 08:00:00.0	29.7	29.5	29.7	29.905	29.5	29.7	29.5
04/11/12 08:30:00.0	30.715	29.5	30.105	30.51	29.7	29.9	30.105
04/11/12 09:00:00.0	29.7	29.5	30.105	30.105	29.9	29.9	30.105
04/11/12 09:30:00.0	37.22	29.5	31.93	32.345	30.915	31.12	32.345
04/11/12 10:00:00.0	37.88	29.5	33.8	34.22	32.135	32.55	34.01
04/11/12 10:30:00.0	36.13	29.9	34.64	35.28	32.965	33.38	35.275
04/11/12 11:00:00.0	36.785	29.7	34.64	35.065	32.965	33.17	34.85
04/11/12 11:30:00.0	39.445	30.31	36.35	37.005	34.43	34.85	36.565
04/11/12 12:00:00.0	40.13	30.71	37.44	37.885	35.06	35.27	37.44
04/11/12 12:30:00.0	39.005	30.71	37	38.11	35.27	35.27	37.22
04/11/12 13:00:00.0	39.45	31.12	37	37.66	35.27	35.27	37.005
04/11/12 13:30:00.0	36.57	31.12	36.57	37.225	35.06	35.27	36.565
04/11/12 14:00:00.0	35.915	31.52	35.915	36.565	34.64	34.85	35.915
04/11/12 14:30:00.0	35.915	31.52	35.7	36.135	34.64	34.85	35.7
04/11/12 15:00:00.0	34.64	31.52	34.85	35.275	34.22	34.22	35.06
04/11/12 15:30:00.0	34.43	31.52	34.64	34.85	33.8	34.01	34.64
04/11/12 16:00:00.0	35.27	31.52	34.85	35.06	34.01	34.22	34.64
04/11/12 16:30:00.0	34.22	31.52	34.43	34.64	33.8	33.8	34.43
04/11/12 17:00:00.0	33.38	31.52	34.01	34.22	33.38	33.59	33.8
04/11/12 17:30:00.0	32.55	31.52	33.17	33.38	32.76	32.965	33.175
04/11/12 18:00:00.0	32.135	31.52	32.55	32.965	32.34	32.55	32.755
04/11/12 18:30:00.0	31.725	31.52	32.34	32.55	31.93	32.135	32.55
04/11/12 19:00:00.0	31.32	31.12	31.725	31.725	31.52	31.725	31.93
04/11/12 19:30:00.0	30.51	31.12	31.12	31.32	31.12	30.915	31.32
04/11/12 20:00:00.0	30.31	31.12	30.915	30.915	30.71	30.915	31.115

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	กลางB ระแนง	กลางB กลาง	กลางB พุ่ม	หลังB พุ่ม	หลังB ระแนง
04/11/12 20:30:00.0	30.105	30.71	30.71	30.915	30.71	30.71	30.915
04/11/12 21:00:00.0	30.105	30.71	30.71	30.71	30.51	30.71	30.715
04/11/12 21:30:00.0	30.105	30.71	30.71	30.51	30.51	30.71	30.715
04/11/12 22:00:00.0	29.905	30.31	30.51	30.51	30.51	30.51	30.51
04/11/12 22:30:00.0	29.7	30.31	30.31	30.51	30.31	30.31	30.51
04/11/12 23:00:00.0	29.7	30.31	30.31	30.31	30.31	30.31	30.305
04/11/12 23:30:00.0	29.3	30.31	30.105	30.105	30.105	30.105	30.105
04/12/12 00:00:00.0	29.3	30.31	29.9	30.105	29.9	29.9	30.105
04/12/12 00:30:00.0	29.3	30.31	29.9	30.105	29.9	29.9	29.905
04/12/12 01:00:00.0	29.3	29.9	29.9	29.9	29.9	29.9	29.705
04/12/12 01:30:00.0	29.1	29.9	29.7	29.7	29.7	29.7	29.505
04/12/12 02:00:00.0	29.1	29.9	29.7	29.7	29.5	29.7	29.5
04/12/12 02:30:00.0	28.9	29.9	29.5	29.7	29.5	29.7	29.5
04/12/12 03:00:00.0	28.9	29.9	29.5	29.7	29.5	29.5	29.5
04/12/12 03:30:00.0	28.9	29.9	29.5	29.5	29.5	29.5	29.3
04/12/12 04:00:00.0	28.9	29.9	29.5	29.5	29.5	29.7	29.9
04/12/12 04:30:00.0	28.705	29.9	29.5	29.3	29.5	29.5	29.9
04/12/12 05:00:00.0	28.505	29.5	29.3	29.3	29.5	29.5	29.9
04/12/12 05:30:00.0	28.505	29.5	29.1	29.3	29.3	29.3	29.5
04/12/12 06:00:00.0	28.505	29.5	29.1	29.1	29.1	29.3	29.5
04/12/12 06:30:00.0	28.505	29.5	29.1	28.9	29.1	29.3	29.5
04/12/12 07:00:00.0	28.11	29.5	28.9	28.9	29.1	29.3	29.1
04/12/12 07:30:00.0	29.3	29.5	29.5	29.7	29.5	29.5	29.5
04/12/12 08:00:00.0	30.305	29.5	30.105	30.51	29.9	30.105	30.105
04/12/12 08:30:00.0	30.715	29.5	30.71	30.915	30.31	30.51	30.915
04/12/12 09:00:00.0	35.485	29.5	31.725	32.135	30.915	31.12	31.725
04/12/12 09:30:00.0	37.66	29.9	33.59	33.8	31.93	32.135	33.59
04/12/12 10:00:00.0	37.22	29.9	34.64	35.065	32.965	32.965	34.85
04/12/12 10:30:00.0	37.88	29.9	35.27	35.92	33.38	33.59	35.275
04/12/12 11:00:00.0	39.675	30.31	35.915	36.57	34.22	34.22	36.135
04/12/12 11:30:00.0	39.675	30.31	37	37.445	34.85	35.06	37.005

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	กลางB ระแนง	กลางB กลาง	กลางB พุ่ม	หลังB พุ่ม	หลังB ระแนง
04/12/12 12:00:00.0	35.06	30.71	35.485	36.135	34.43	34.22	36.135
04/12/12 12:30:00.0	37.885	31.12	37	37.885	35.27	35.27	37.22
04/12/12 13:00:00.0	38.995	31.12	37.22	38.105	35.485	35.7	37.22
04/12/12 13:30:00.0	38.1	31.52	37.66	38.33	35.915	35.915	37.44
04/12/12 14:00:00.0	37.22	31.52	36.785	37.66	35.7	35.7	36.565
04/12/12 14:30:00.0	37.44	31.93	36.785	37.66	35.7	35.7	37.005
04/12/12 15:00:00.0	37.22	31.93	37	37.66	35.915	35.7	37.005
04/12/12 15:30:00.0	37.22	32.34	36.57	37.225	35.485	35.485	36.35
04/12/12 16:00:00.0	37.22	32.34	35.7	36.35	35.06	34.85	35.7
04/12/12 16:30:00.0	35.485	32.34	35.27	35.92	34.85	34.85	35.485
04/12/12 17:00:00.0	34.85	32.34	34.85	35.275	34.43	34.43	34.85
04/12/12 17:30:00.0	33.38	32.34	34.01	34.01	33.59	33.59	34.01
04/12/12 18:00:00.0	32.55	32.34	33.17	33.38	32.965	33.17	33.38
04/12/12 18:30:00.0	31.725	32.135	32.55	32.755	32.34	32.34	32.755
04/12/12 19:00:00.0	31.32	31.93	31.93	32.135	31.93	31.93	32.135
04/12/12 19:30:00.0	30.915	31.725	31.52	31.725	31.52	31.725	31.725
04/12/12 20:00:00.0	30.715	31.725	31.32	31.525	31.52	31.52	31.525
04/12/12 20:30:00.0	30.915	31.52	31.12	31.32	31.12	31.32	31.32
04/12/12 21:00:00.0	30.51	31.32	31.12	30.915	31.12	30.915	31.115
04/12/12 21:30:00.0	30.105	31.12	30.71	30.915	30.71	30.915	30.915
04/12/12 22:00:00.0	30.105	31.12	30.71	30.915	30.71	30.71	30.915
04/12/12 22:30:00.0	30.105	31.12	30.71	30.51	30.71	30.71	30.715
04/12/12 23:00:00.0	29.905	30.915	30.31	30.51	30.31	30.51	30.51
04/12/12 23:30:00.0	29.7	30.51	30.31	30.51	30.31	30.51	30.51
04/13/12 00:00:00.0	29.7	30.305	30.105	30.105	30.31	30.31	30.305
04/13/12 00:30:00.0	29.3	30.305	30.105	30.105	30.31	30.31	30.105
04/13/12 01:00:00.0	29.3	30.51	29.9	30.105	29.9	30.105	30.105
04/13/12 01:30:00.0	29.3	30.31	29.9	30.105	29.9	30.105	30.105
04/13/12 02:00:00.0	29.3	30.305	29.9	30.105	29.9	30.105	30.105
04/13/12 02:30:00.0	29.3	30.105	29.9	29.7	29.9	29.9	29.905
04/13/12 03:00:00.0	29.1	30.105	29.5	29.7	29.7	29.7	29.7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	กลางB ระแนง	กลางB กลาง	กลางB พุ่ม	หลังB พุ่ม	หลังB ระแนง
04/13/12 03:30:00.0	28.9	29.7	29.5	29.7	29.5	29.7	29.7
04/13/12 04:00:00.0	28.9	29.5	29.5	29.7	29.5	29.7	29.7
04/13/12 04:30:00.0	28.9	29.9	29.5	29.7	29.5	29.5	29.7
04/13/12 05:00:00.0	28.9	29.9	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5
04/13/12 05:30:00.0	28.9	29.9	29.3	29.3	29.5	29.5	29.5
04/13/12 06:00:00.0	28.9	29.9	29.3	29.3	29.5	29.5	29.5
04/13/12 06:30:00.0	28.9	29.9	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5
04/13/12 07:00:00.0	29.5	29.5	29.9	29.9	29.7	29.7	29.905
04/13/12 07:30:00.0	29.905	29.5	29.9	30.105	29.9	29.9	30.105
04/13/12 08:00:00.0	30.51	29.5	30.51	30.715	30.31	30.31	30.51
04/13/12 08:30:00.0	32.14	29.5	31.32	31.725	30.915	30.915	31.32
04/13/12 09:00:00.0	33.805	29.5	32.135	32.55	31.32	31.52	32.345
04/13/12 09:30:00.0	36.795	29.9	33.8	34.01	31.93	32.34	33.38
04/13/12 10:00:00.0	37.895	29.9	35.275	35.5	33.175	33.38	34.85
04/13/12 10:30:00.0	35.915	30.31	35.06	35.925	33.59	33.59	35.7
04/13/12 11:00:00.0	36.135	30.31	35.485	35.71	33.8	33.8	35.7
04/13/12 11:30:00.0	37.44	30.71	35.915	36.135	34.01	34.22	36.135
04/13/12 12:00:00.0	40.13	30.71	37.22	37.66	35.275	35.7	37.22
04/13/12 12:30:00.0	38.32	31.12	37	37.885	35.485	35.915	37.005
04/13/12 13:00:00.0	38.77	31.52	37.44	37.885	35.915	35.915	37.44
04/13/12 13:30:00.0	37.885	31.52	37.44	38.105	36.13	36.35	37.66
04/13/12 14:00:00.0	38.1	31.12	37	37.885	36.13	36.13	37.22
04/13/12 14:30:00.0	37.44	31.52	37	37.66	36.13	36.13	37.005
04/13/12 15:00:00.0	37.66	32.34	36.785	37.44	35.915	36.13	36.785
04/13/12 15:30:00.0	36.57	32.34	36.13	36.785	35.7	35.485	36.35
04/13/12 16:00:00.0	36.35	32.34	36.13	36.565	35.485	35.485	36.135
04/13/12 16:30:00.0	34.43	32.34	35.06	35.49	34.64	34.64	35.06
04/13/12 17:00:00.0	34.22	32.34	34.64	34.85	34.43	34.22	34.85
04/13/12 17:30:00.0	32.55	32.34	33.38	33.59	33.17	33.17	33.8
04/13/12 18:00:00.0	32.135	31.93	32.965	32.965	32.76	32.76	33.175
04/13/12 18:30:00.0	31.32	31.93	32.135	32.345	31.93	31.93	32.345

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

Date/Time	ภายนอก	อ่าง	กลางB ระแนง	กลางB กลาง	กลางB พุ่ม	หลังB พุ่ม	หลังB ระแนง
04/13/12 19:00:00.0	31.12	31.93	31.725	31.93	31.52	31.725	31.93
04/13/12 19:30:00.0	30.915	31.93	31.725	31.725	31.52	31.725	31.725
04/13/12 20:00:00.0	30.915	31.52	31.52	31.725	31.52	31.52	31.725
04/13/12 20:30:00.0	30.51	31.52	31.32	31.32	31.32	31.32	31.525
04/13/12 21:00:00.0	30.51	31.52	31.12	31.32	31.12	31.32	31.32
04/13/12 21:30:00.0	30.51	31.52	31.12	31.32	31.12	31.12	31.32
04/13/12 22:00:00.0	30.51	31.52	30.915	31.12	31.12	31.12	31.115
04/13/12 22:30:00.0	30.31	31.12	30.915	30.915	31.12	31.12	30.915
04/13/12 23:00:00.0	30.105	31.12	30.71	30.915	30.71	30.71	30.715
04/13/12 23:30:00.0	29.9	31.12	30.51	30.51	30.71	30.71	30.715
04/14/12 00:00:00.0	29.7	31.12	30.31	30.51	30.31	30.51	30.51
04/14/12 00:30:00.0	29.7	30.71	30.31	30.51	30.31	30.51	30.51
04/14/12 01:00:00.0	29.7	30.71	30.31	30.31	30.31	30.31	30.305
04/14/12 01:30:00.0	29.7	30.71	30.31	30.31	30.31	30.31	30.305
04/14/12 02:00:00.0	29.3	30.71	30.105	30.105	30.31	30.31	30.105
04/14/12 02:30:00.0	29.3	30.71	30.105	30.105	30.31	30.31	30.105
04/14/12 03:00:00.0	29.3	30.31	29.9	30.105	29.9	30.105	30.105
04/14/12 03:30:00.0	29.3	30.31	29.9	30.105	29.9	29.9	30.105
04/14/12 04:00:00.0	29.3	30.31	29.9	30.105	29.9	29.9	30.105
04/14/12 04:30:00.0	29.1	30.31	29.9	29.9	29.9	29.9	29.905
04/14/12 05:00:00.0	29.3	30.31	29.9	29.9	29.9	29.9	29.905
04/14/12 05:30:00.0	29.3	30.31	29.7	29.7	29.9	29.9	29.905
04/14/12 06:00:00.0	29.3	30.31	29.7	29.7	29.9	29.9	29.905
04/14/12 06:30:00.0	29.3	30.31	29.7	29.7	29.9	30.105	29.905
04/14/12 07:00:00.0	29.7	29.9	29.9	30.105	29.9	30.105	30.105
04/14/12 07:30:00.0	30.305	30.31	30.51	30.51	30.31	30.51	30.51
04/14/12 08:00:00.0	31.115	30.31	31.12	31.32	30.71	30.915	31.115
04/14/12 08:30:00.0	32.975	30.31	31.725	31.93	31.12	31.12	31.525

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวสุภางค์กร พนมฤทธิ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 24 มีนาคม 2526
สถานที่เกิด	จังหวัดเชียงราย
ประวัติการศึกษา	สถ.บ. (สาขาสถาปัตยกรรมไทย) มหาวิทยาลัยศิลปากร
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	สถาปนิกอิสระ และนักออกแบบสิ่งพิมพ์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	40 ลาดพร้าววังหิน 78 แขวงลาดพร้าว เขตลาดพร้าว กรุงเทพฯ 10230
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนสมเด็จพระเจ้าบรมวงศ์เธอ เจ้าฟ้ากรมพระยานริศรา-นุวัติวงศ์ ทุนสนับสนุนจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน แผนเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน สำนักนโยบายและแผนพลังงงาน กระทรวงพลังงาน ปีงบประมาณ 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์