



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)
ปริญญา

วิศวกรรมเกษตร

วิศวกรรมเกษตร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การออกแบบหุ่นยนต์ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนกระจก โดยอาศัยเซนเซอร์
ตรวจวัดความชื้นภายในอากาศ

Design of a Robot to Control Relative Humidity in a Greenhouse by using
Humidity Sensor

نامผู้วิจัย นายกฤตธี จินดาวงศ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์สมยศ เชื้ออักษร, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ประเทือง อุษาบริสุทธิ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวลักษณ์ ปฐวิรัตน์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การออกแบบหุ่นยนต์ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนกระจก
โดยอาศัยเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นภายในอากาศ

Design of a Robot to Control Relative Humidity in a Greenhouse
by using Humidity Sensor

โดย

นายกฤตธี จินดาวงศ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)
พ.ศ. 2552

กฤติ จินดาวงศ์ 2552: การออกแบบหุ่นยนต์ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน
กระจกโดยอาศัยเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นภายในอากาศ ปริญญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร) สาขาวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร อาจารย์
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์สมยศ เชื้ออักษร, Ph.D. 164 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบหุ่นยนต์ที่สามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน
กระจกโดยหุ่นยนต์ถูกออกแบบให้เคลื่อนที่อยู่บนรางที่มีลักษณะเป็นท่อที่ติดตั้งอยู่ภายในโรง
เรือนกระจกและทำงานได้เองโดยอัตโนมัติตามเวลาหรือค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ตั้งไว้ หุ่นยนต์จะ
เคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้น โดยในขณะที่เคลื่อนที่ไปนั้น หุ่นยนต์จะคอยตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ใน
บริเวณที่เคลื่อนที่ผ่าน เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ในบริเวณใดมีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ ระบบพ่น
หมอกก็จะทำงาน โดยทำการพ่นเป็นระยะเวลา 5 วินาที และหยุดเป็นเวลา 10 วินาที หลังจากนั้น
จะทำการตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ในบริเวณนั้นอีกครั้ง ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ยังต่ำกว่าค่าที่กำหนด
อีก หุ่นยนต์ก็จะทำการพ่นซ้ำจนค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับค่าที่ตั้งไว้ หุ่นยนต์ถึงจะเคลื่อนที่
ต่อไปจนถึงปลายรางวิ่งและเคลื่อนที่กลับมายังตำแหน่งเริ่มต้นเองเพื่อเตรียมพร้อมทำงานในครั้ง
ต่อไป

การประเมินประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ในโรงเรือน ใช้การวัดค่าความแตกต่างของ
อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกโรงเรือน โดยตั้งค่าความชื้นสัมพัทธ์ไว้ไม่ให้ต่ำ
กว่า 60% พบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในโรงเรือนมีค่าไม่ต่ำกว่า 60% ยกเว้นในเวลา
12.00 – 13.00 น. มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ 57.67% และ 58.33% ตามลำดับ โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์
เฉลี่ยภายนอกโรงเรือนต่ำสุดอยู่ที่ 47.14% ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนในช่วงทดลองมีค่าอยู่
ระหว่าง 24.30 – 37.21 °C และอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกโรงเรือนในช่วงทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง
24.50 – 36.47 °C ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เฉลี่ยอยู่ที่ 5.7 m /min

Krittatee Jindawong 2009: Design of a Robot to Control Relative Humidity in a Greenhouse by using Humidity Sensor. Master of Engineering (Agricultural Engineering), Major Field: Agricultural Engineering, Department of Agricultural Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Somyot Chirnakorn, Ph.D. 164 pages.

This research is to design a robot which can operate in a greenhouse to increase the relative humidity. The robot was designed to move on a pipe rail which was installed in the greenhouse and operated automatically by a setting time or a setting relative humidity. The robot moved from a start point and checked the relative humidity of the air. When the relative humidity at anywhere was lower than a setting value, the spray system operated for 5 s and stop for 10 s, then checked the relative humidity again. If the relative humidity was still lower than a setting value, the robot would operate repeatedly until the relative humidity equaled to setting value and the robot moved again to a finish point at the end of the rail and then moved backward to the start point to prepare for the next operation.

The efficiency of the robot were measure by the differences among an inside and outside temperature and relative humidities. By setting a lower of the inside relative humidity at 60%, it was found that the average inside relative humidity could be controlled to not lower than 60% except at 12.00 and 13.00 pm. the average inside relative humidity was 57.67% and 58.33% respectively while the average outside was at minimum 47.14%. During the experiment, the average inside temperature was between 24.30 – 37.21 °C while the average outside was between 24.50 – 36.47 °C. The traveling speed was 5.7 m/min.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์สมยศ เชื้ออักษร อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลักที่ได้ช่วยให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในวิทยานิพนธ์
ฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ประเทือง อุษาบริสุทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
ร่วมที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
และเจ้าหน้าที่ประจำหน่วยงานที่ให้ความสนับสนุนโครงสร้างโรงเรือนและดินกะเพราสำหรับใช้
ในการทดลองหาประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตร กำแพงแสน ที่ให้ใช้สถานที่ในการทดลอง และ
เครื่องมือในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และบัณฑิต
วิทยาลัยกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไป
ได้ด้วยดี

กฤตธี จินดาวงศ์
พฤษภาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	38
อุปกรณ์	38
วิธีการ	45
ผลและวิจารณ์	55
สรุปและข้อเสนอแนะ	100
สรุป	100
ข้อเสนอแนะ	101
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	102
ภาคผนวก	104
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	164

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 แสดงคุณสมบัติของ SHT15	27
2 แสดง Pin ต่างๆ ของ SHT15	28
3 แสดงคำสั่งที่ใช้ในการควบคุม SHT15	29
4 แสดงค่า d1 และ d2	30
5 ความเร็วในการเคลื่อนที่	83
6 ความต่างศักย์แบตเตอรี่	83
7 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกโรงเรือน เฉลี่ย 7 วัน	95

ตารางผนวกที่

1 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 19 มี.ค. 2552	105
2 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 20 มี.ค. 2552	106
3 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 21 มี.ค. 2552	107
4 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 22 มี.ค. 2552	108
5 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 23 มี.ค. 2552	109
6 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 25 มี.ค. 2552	110
7 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 26 มี.ค. 2552	111
8 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์ระหว่างล้อเหล็กกับราง	112
9 เปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง Sling Psychrometer กับ Thermocouple กระเปาะเปียกกระเปาะแห้ง	112
10 แสดงอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บ วันที่ 20 - 22 มี.ค. 2552	112
11 ค่าใช้จ่ายในการสร้างหุ่นยนต์	113
12 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งหุ่นยนต์ในโรงเรือน	113
13 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบพ่นหมอกแบบปกติ	114

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงลักษณะการทำงานและทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์คาร์ทีเซียน	4
2	แสดงลักษณะการทำงานและทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทรงกระบอ	5
3	แสดงลักษณะการทำงานและทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทรงกลม	5
4	แสดงลักษณะการทำงานและทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ข้อต่อ	6
5	แสดงลักษณะการทำงานและทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สกรู	7
6	โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์	8
7	โครงสร้างของบอร์ด CP-JR51AC2 V1	14
8	ระบบกระบวนการพื้นฐาน	16
9	ระบบการวัด	16
10	องค์ประกอบสำคัญในระบบการวัด	17
11	ผังสัญญาณแสดงหลักการทำงานของระบบควบคุมวงเปิด	18
12	ผังสัญญาณแสดงหลักการทำงานของระบบควบคุมวงปิด	19
13	บริเวณใ้การตอบสนอง	22
14	กราฟแสดงผลกระทบเนื่องจากคุณสมบัติของฮิสเตอร์รีซิส	23
15	คุณสมบัติความเป็นเชิงเส้น	24
16	แสดงโครงสร้างของ SHT15	26
17	แสดงการสื่อสารกับ SHT15	27
18	แสดงลำดับ Transmission Start	28
19	แสดงสัญญาณ Transmission Start เพื่อรับข้อมูล	29
20	แสดงเอาต์พุตที่ไม่เป็น linear ของ ความชื้นสัมพัทธ์จาก SHT15	31
21	ผลการทดลองของซีเบ็ค (Seebeck Effect)	34
22	เปรียบเทียบกราฟของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด	36
23	บอร์ดควบคุม CP-JR51AC2 V1	40
24	เซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ SHT 15	40
25	มอเตอร์เกียร์	40

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	ปั้มน้ำ	41
27	หัวพ่นหมอก 4 ทิศทาง	41
28	โซลินอยด์	41
29	โซลินอยด์ควาล์ว	42
30	ไมโครสวิตช์	42
31	ไมโครสวิตช์	42
32	โรงเรือนทดสอบ	43
33	เทอร์โมคัปเปิ้ล	43
34	พัดลมขนาด 20 นิ้ว	43
35	เครื่องวัดความเร็วลม	44
36	Thermomter	44
37	Sling Psychrometer	44
38	เครื่องบันทึกข้อมูล	45
39	ส่วนประกอบหลักของหุ่นยนต์	46
40	ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์	48
41	แสดงช่องเปิดทางด้านบนและด้านล่างของโรงเรือน	49
42	พัดลมดูดอากาศเข้าสู่โรงเรือน	50
43	รางวิ่งที่ติดตั้งในโรงเรือน	51
44	อุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	52
45	ตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	53
46	การต่อสายสัญญาณกับ Data Logger	53
47	หน้าจอปกติ	55
48	หน้าจอเมนูตั้งวันที่	56
49	หน้าจอเมนูตั้งเวลา	56
50	หน้าจอเมนูตั้งเวลาที่ต้องการให้หุ่นยนต์ทำงาน	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
51	หน้าจอเมนูตั้งความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการ	57
52	ส่วนรับข้อมูล	57
53	ล้อขับเคลื่อน	58
54	วงจรขับเคลื่อน	59
55	สวิตช์ระบุตำแหน่ง	60
56	ตำแหน่งติดตั้งเซนเซอร์ SHT15	61
57	ตำแหน่งติดตั้งปั้มน้ำ	62
58	วงจรขับเคลื่อน	62
59	ตำแหน่งติดตั้งหัวพ่นหมอก	63
60	ขั้วไฟฟ้าและวงจรตรวจสอบระดับน้ำ	64
61	โซลินอยด์	65
62	วงจรขับเคลื่อนโซลินอยด์	66
63	โซลินอยด์ควาล์วและไมโครสวิตช์	67
64	แผ่นกั้นน้ำกระเบื้อง	67
65	โปรแกรม Keil PK51	68
66	โปรแกรม ATMEAL FLIP	69
67	เปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 19 มี.ค. 52	84
68	เปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 20 มี.ค. 52	85
69	เปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 21 มี.ค. 52	86
70	เปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 22 มี.ค. 52	87
71	เปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 23 มี.ค. 52	88
72	เปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 25 มี.ค. 52	89
73	เปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 26 มี.ค. 52	90
74	เปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์แต่ละจุดภายในโรงเรือน วันที่ 19 มี.ค. 52	91
75	เปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์แต่ละจุดภายในโรงเรือน วันที่ 20 มี.ค. 52	91

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
76	เปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์แต่ละจุดภายในโรงเรือน วันที่ 21 มี.ค. 52	92
77	เปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์แต่ละจุดภายในโรงเรือน วันที่ 22 มี.ค. 52	92
78	เปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์แต่ละจุดภายในโรงเรือน วันที่ 23 มี.ค. 52	93
79	เปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์แต่ละจุดภายในโรงเรือน วันที่ 25 มี.ค. 52	93
80	เปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์แต่ละจุดภายในโรงเรือน วันที่ 26 มี.ค. 52	94
81	เปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 7 วันภายในและภายนอกโรงเรือน	94
82	เปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 7 วันภายในและภายนอกโรงเรือน	96

ภาพผนวกที่

1	เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งหัวพ่นหมอกแบบปกติกับการใช้หุ่นยนต์	115
2	ตารางแปลงค่าความชื้นสัมพัทธ์	115
3	แสดงขนาดโครงสร้างของหุ่นยนต์	116
4	แสดงขนาดโครงสร้างของหุ่นยนต์	116
5	แสดงขนาดถังเก็บน้ำ	117
6	แสดงขนาดของล้อขับเคลื่อน	117
7	แสดงขนาดของเพลาล้อขับเคลื่อน	118
8	แสดงวงจรที่ต้องต่อเพิ่มเติม	119
9	แสดงวงจรของบอร์ด CP-JR51AC2 V1	120
10	แสดงผลการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ดันที่1	154
11	แสดงผลการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ดันที่2	154
12	แสดงผลการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ดันที่3	155
13	แสดงผลการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ดันที่4	155
14	แสดงผลการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ดันที่5	156
15	แสดงผลการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ดันที่6	156

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
16	แสดงผลการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ดันที่7	157
17	แสดงผลการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ดันที่8	157
18	แสดงผลการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ดันที่9	158
19	แสดงผลการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ดันที่10	158
20	แสดงผลการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ดันที่11	159
21	แสดงผลการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ดันที่12	159
22	แสดงผลการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ดันที่13	160
23	แสดงผลการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ดันที่14	160
24	แสดงผลการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ดันที่15	161
25	แสดงผลการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ดันที่16	161
26	แสดงผลการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ดันที่17	162
27	แสดงผลการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ดันที่18	162
29	แสดงผลการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ดันที่19	163
30	แสดงผลการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ดันที่20	163

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

%RH	คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์
SO _T	คือ ค่าอุณหภูมิ จากดิจิตอลเอาต์พุตของ SHT15
d ₁	คือ ค่าคงที่ในการคำนวณค่าอุณหภูมิของ SHT15
d ₂	คือ ค่าคงที่ในการคำนวณค่าอุณหภูมิของ SHT15
SO _{RH}	คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ จากดิจิตอลเอาต์พุตของ SHT15
c ₁	คือ ค่าคงที่ในการคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์ของ SHT15
c ₂	คือ ค่าคงที่ในการคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์ของ SHT15
RH _{linear}	คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เป็นเชิงเส้น ที่ 25°C
RH _{ture}	คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์จริง ที่อุณหภูมิต่างๆ
t ₁	คือ ค่าคงที่ในการคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์จริงของ SHT15
t ₂	คือ ค่าคงที่ในการคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์จริงของ SHT15
e	คือ แรงดันไฟฟ้าซีเบ็ค (V)
α	คือ สัมประสิทธิ์ซีเบ็ค (V/°C)
ΔT	คือ ผลต่างของอุณหภูมิที่จุดต่อ (°C)
F	คือ แรงเสียดทาน (N)
μ _s	คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต
N	คือ น้ำหนัก (N)
P	คือ กำลัง (W)
T	คือ แรงบิด (Nm)
N	คือ ความเร็วรอบ (rpm)

การออกแบบหุ่นยนต์ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนกระจก โดยอาศัย
เซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นภายในอากาศ

**Design of a Robot to Control Relative Humidity in a Greenhouse by using
Humidity Sensor**

คำนำ

การเจริญเติบโตของพืชขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น และปัจจัยอื่นๆ ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะมีผลต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผลผลิต หากสามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมให้ได้ตามความต้องการของพืชแล้ว จะทำให้พืชเจริญเติบโตมีคุณภาพที่ดี และส่งผลให้ได้ผลผลิตที่เพิ่มมากขึ้น

ในปัจจุบันได้มีการนำระบบการปลูกพืชในโรงเรือนกระจกมาใช้ เนื่องจากสามารถควบคุมและปรับสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมตามความต้องการของพืชได้ โดยการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในส่วนใหญ่จะใช้ระบบ **Evaporative Cooling** ร่วมกับการใช้พัดลมระบายอากาศและอีกระบบหนึ่งที่ได้รับคามนิยมเช่นเดียวกันก็คือ ระบบพ่นหมอก ซึ่งหัวพ่นหมอกจะติดตั้งกระจายทั่วทั้งโรงเรือนและทำงานตามเวลาที่ตั้งไว้หรือตามระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน โดยพ่นพร้อมกันทั่วทั้งโรงเรือน ซึ่งการติดตั้งหัวพ่นหมอกในลักษณะนี้จะต้องใช้หัวพ่นหมอกจำนวนมากตามขนาดของโรงเรือนและทำให้สิ้นเปลืองน้ำ เนื่องจากว่าในบางจุดภายในโรงเรือนมีความชื้นสัมพัทธ์สูงอยู่แล้ว ทำให้ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องพ่น จึงทำให้เกิดแนวความคิดในการออกแบบหุ่นยนต์อัตโนมัติที่ใช้ระบบพ่นหมอกเพื่อเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนกระจก โดยออกแบบให้หัวหมอกและเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ติดตั้งอยู่กับตัวหุ่นยนต์ และหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปได้ทั่วทั้งโรงเรือน พร้อมทั้งสามารถตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละจุดของโรงเรือนและให้พ่นเฉพาะในบริเวณที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้จริงๆ จนได้ระดับความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม ทำให้ประหยัดน้ำและจำนวนหัวพ่นหมอก นอกจากนี้ยังช่วยลดโอกาสการเกิดโรคในพืชเนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนที่สูงเกินไป

วัตถุประสงค์

ความมุ่งหมายในการศึกษาในครั้งนี้เพื่อออกแบบสร้างและทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์
เพิ่มความขึ้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรียนกระเจก โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. ออกแบบหุ่นยนต์เพิ่มความขึ้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรียนกระเจกที่สามารถเคลื่อนที่ได้
เองภายในโรงเรียน โดยอาศัยการตรวจจับของเซนเซอร์วัดความขึ้น
2. ทดสอบหาประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ที่ได้ออกแบบไว้

การตรวจเอกสาร

หุ่นยนต์ (Robot)

คำจำกัดความ (Definition)

เดซทวิช (2549) กล่าวว่าหุ่นยนต์ถูกสร้างและพัฒนามาเป็นเวลานานแล้ว โดยในปี ค.ศ. 1921 Mr. Karal Capck เป็นนักเขียนบทละครชาวเช็กโกสโลวาเกีย เป็นคนแรกที่ทำให้ความหมายของคำว่า หุ่นยนต์ (Robot) ซึ่งคำว่าหุ่นยนต์มาจากภาษาเช็ก (Czech) the Czech word robota , meaning “force labor” หมายถึง คนงานหรือคนที่มีพลัง หลังจากนั้นสถาบันหุ่นยนต์ของอเมริกา (Robot Institute of America) ได้ให้คำจำกัดความ(Definition) ของหุ่นยนต์คือ “ แขนกลที่ถูกออกแบบให้ทำหน้าที่หลายอย่าง หรือทำงานพร้อมกันในเวลาเดียวกัน โดยมีโปรแกรมการเคลื่อนที่ให้เปลี่ยนแปลงได้ตามลักษณะงานที่ต้องการ” หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาและประดิษฐ์แขนกลตลอดจนหุ่นยนต์อุตสาหกรรมขึ้นมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป

ในปัจจุบันจึงมีหลายสถาบันหลายประเทศ ที่มีการพัฒนาเกี่ยวกับเทคโนโลยีหุ่นยนต์ (Robot Technology) ได้ให้คำจำกัดความดังนี้

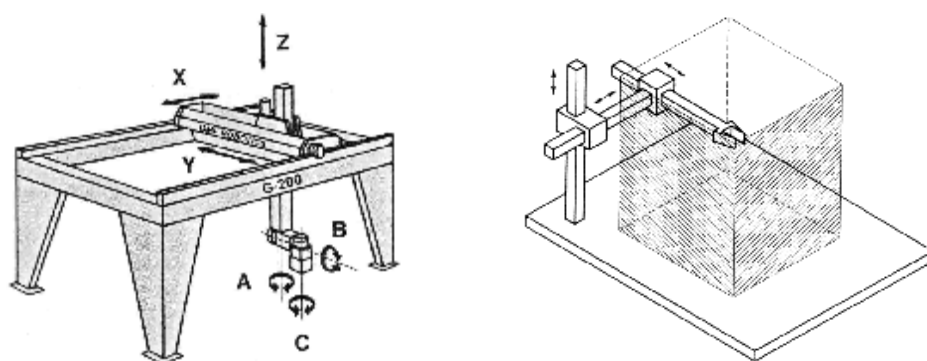
เทคโนโลยีหุ่นยนต์ คือ การประยุกต์งานทางด้านวิทยาศาสตร์ โดยรวมไปถึงการออกแบบเครื่องจักร ทฤษฎีการควบคุม ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ การโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ปัญญาประดิษฐ์ ตลอดจนการทำงานร่วมกับมนุษย์ เพื่อให้หุ่นยนต์ทำงานได้ใกล้เคียงกับมนุษย์มากที่สุด

ชนิดของหุ่นยนต์ (Robot Types)

เดซทวิช (2549) กล่าวว่าหุ่นยนต์ที่ใช้ในปัจจุบันสามารถแบ่งออกตามลักษณะการทำงานได้ 5 ชนิด ดังนี้

1. หุ่นยนต์คาร์ทีเซียน (Catesian Coordinated Robot)

หุ่นยนต์ชนิดนี้ จะมีการเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงทั้ง 3 แกน คือ เคลื่อนที่ตามแนวแกน X,Y,Z ตัวอย่างหุ่นยนต์ชนิดนี้ คือ เครื่องใน โรงงานอุตสาหกรรม , เครื่องจักร CNC หรือ Inspection แสดงดังภาพที่ 1

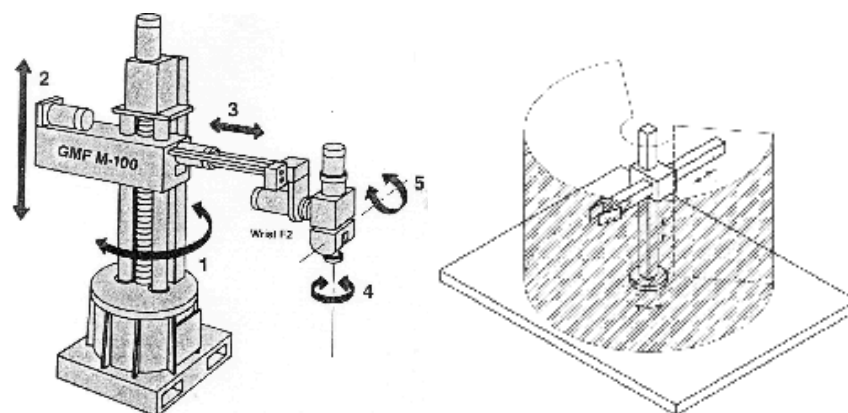


ภาพที่ 1 แสดงลักษณะการทำงานและทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์คาร์ทีเซียน

ที่มา: www.elecnet.chandra.ac.th (2009)

2. หุ่นยนต์ทรงกระบอก (Cylindrical Coordinated Robot)

หุ่นยนต์ชนิดนี้มีการเคลื่อนที่ 2 แกน คือ แกน Y,Z ส่วนฐานจะหมุนรอบเป็นวงกลมตัวอย่างหุ่นยนต์ชนิดนี้ คือ เครื่องสำหรับสร้างตึกสูง หรือ อุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุทั่วไป แสดงดังภาพที่ 2

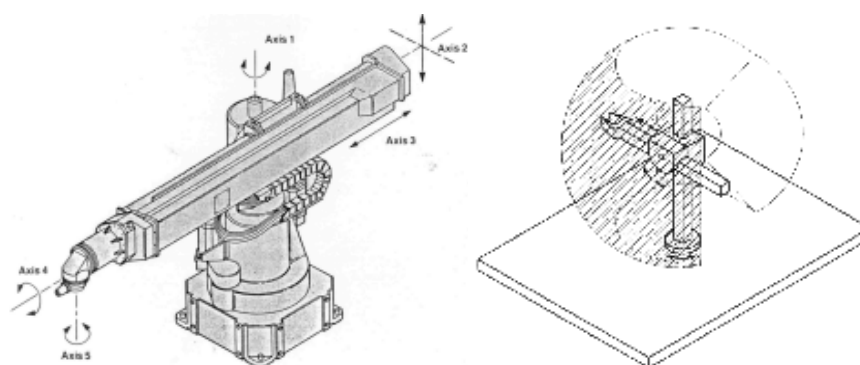


ภาพที่ 2 แสดงลักษณะการทำงานและทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทรงกระบอ

ที่มา: www.elecnet.chandra.ac.th (2009)

3. หุ่นยนต์ทรงกลม (Spherical Coordinated Robot)

หุ่นยนต์ชนิดนี้ จะมีการเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง 1 แกน และเคลื่อนที่แบบหมุน 2 แกน หุ่นยนต์ชนิดนี้ จะมีการเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง 1 แกน และเคลื่อนที่แบบหมุน 2 แกน ตัวอย่าง หุ่นยนต์ชนิดนี้ คือ บันไดของรถดับเพลิง ,Material transfer เป็นต้น แสดงดังภาพที่ 3

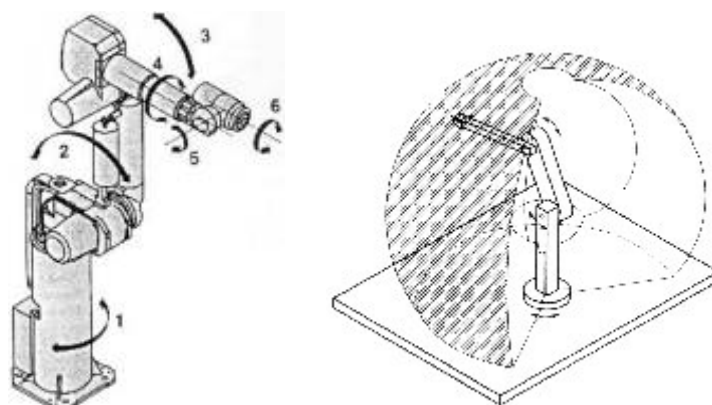


ภาพที่ 3 แสดงลักษณะการทำงานและทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทรงกลม

ที่มา: www.elecnet.chandra.ac.th (2009)

4. หุ่นยนต์ข้อต่อ (Joint-Arm Coordinated Robot)

หุ่นยนต์ชนิดนี้มีการเคลื่อนที่แบบหมุน 3 แกน โดยการเคลื่อนที่มีลักษณะเหมือนกับแกนของมนุษย์ หรือเรียกว่า **Revolute coordinates** ตัวอย่างหุ่นยนต์ชนิดนี้คือ งานประกอบ, งานเชื่อม, งานขนถ่ายวัสดุ เป็นต้น แสดงดังภาพที่ 4

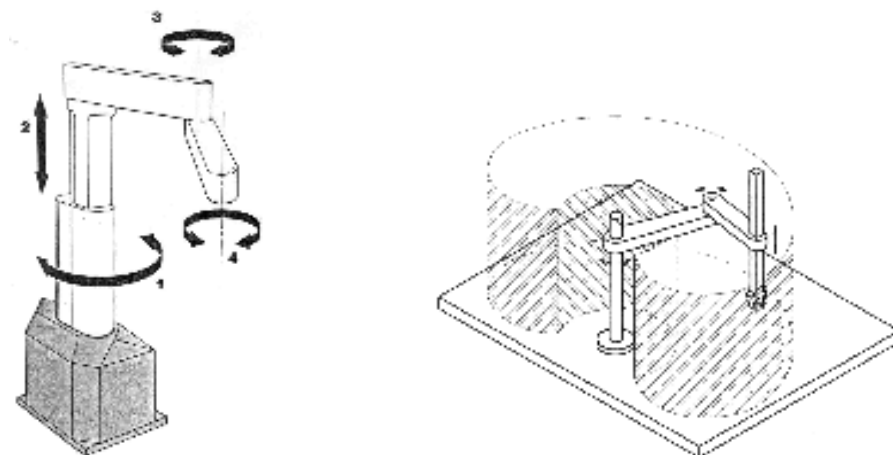


ภาพที่ 4 แสดงลักษณะการทำงานและทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ข้อต่อ

ที่มา: www.elecnet.chandra.ac.th (2009)

5. หุ่นยนต์สกร่า (Scara Robot)

หุ่นยนต์ชนิดนี้มีการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง 1 แกน และเคลื่อนที่แบบหมุน 2 แกน ลักษณะการทำงานจะคล้ายกับหุ่นยนต์ทรงกระบอก ตัวอย่างหุ่นยนต์ชนิดนี้คือ **Automatic assembly, Die casting** หรือ **Welding** เป็นต้น แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงลักษณะการทำงานและทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สกร่า

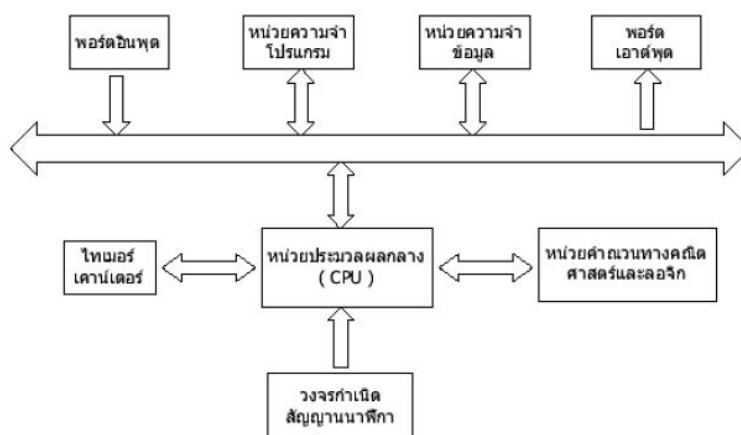
ที่มา: www.elecnet.chandra.ac.th (2009)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เป็นการออกแบบพัฒนาในการสร้างชิป ที่มีการรวมเอาคุณสมบัติต่างๆที่ต้องการในการใช้งาน มารวมไว้ในชิปเดียวซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์พื้นฐานที่เหมือนกับไมโครคอมพิวเตอร์ เช่น หน่วยประมวลผลกลางที่มีขนาด 8 บิต-16 บิต หน่วยความจำพื้นฐานแบบแรมขนาด 128 ไบต์ หน่วยความจำแบบรอม (บางเบอร์) หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์ วงจรรับ สัญญาณอินพุต วงจรรับสัญญาณออกจากเอาต์พุต วงจรสื่อสารแบบอนุกรมแบบ ฟลูตเพล็กซ์ วงจร Time / Counter ที่อยู่ภายในที่สามารถต่ออุปกรณ์สร้างวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา เช่น คริสตัล (Crystal) และ ตัวเก็บประจุก็สามารถใช้งานได้เป็นต้น(อดิศักดิ์, 2543)

วรพงศ์ (2548) กล่าวว่าด้วยความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานแทนวงอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี ทำให้สามารถลดจำนวนอุปกรณ์และขนาดของระบบลง ในขณะที่ขีดความสามารถในการใช้งานยังสูงอยู่

ภาพที่ 6 แสดงโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งประกอบด้วยหน่วยความจำโปรแกรม หน่วยความจำข้อมูล และพอร์ตอินพุตไว้ภายใน ผู้ใช้งานเพียงแค่เขียนโปรแกรมควบคุมลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างวงจรถ่ายทอดสัญญาณนาฬิกา สุดท้ายเชื่อมต่ออุปกรณ์อินพุต เอาต์พุต ที่ต้องการเข้ากับขาพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพียงเท่านี้ก็สามารถใช้งานได้



ภาพที่ 6 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์

ที่มา: วังพงศ์ (2548)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS51

อุดม (2541) กล่าวว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS51 นั้นมีอยู่หลายเบอร์ให้เลือกใช้ ซึ่งแต่ละเบอร์จะมีความสามารถพิเศษมากน้อยแตกต่างกันไป

คุณสมบัติที่สำคัญทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS51

คุณสมบัติที่สำคัญทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS51 มีดังนี้

1. เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต

2. มีวงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกาภายในไอซี
3. มีสัญญาณอินพุตเอาต์พุตจำนวน 32 บิต
4. สามารถเชื่อมต่อข้อมูลหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (External data memory) โดยอ้างตำแหน่งแอดเดรสได้ถึง 64 กิโลไบต์
5. สามารถเชื่อมต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (External program memory) โดยอ้างตำแหน่ง แอดเดรสได้ถึง 64 กิโลไบต์
6. มีหน่วยความจำข้อมูลภายในตัว (On-chip data memory) ขนาด 28 ไบต์ โดยเฉพาะเบอร์ 8032 และ 8052 จะมีหน่วยความจำในส่วนนี้ถึง 256 ไบต์
7. มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในตัว (On-chip program memory) ขนาด 4 กิโลไบต์ โดยเฉพาะเบอร์ 8052 จะมีหน่วยความจำในส่วนนี้ถึง 8 กิโลไบต์ สำหรับเบอร์ 8031 และ 8032 จะไม่มีหน่วยความจำในส่วนนี้
8. หน่วยความจำข้อมูลภายในบางส่วนสามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ ทำให้การควบคุมหรือการตรวจสอบสถานะทำได้ง่าย ส่งผลให้การเขียนโปรแกรมทำได้ง่ายขึ้น
9. มีไทมเมอร์ / เคาน์เตอร์ (Timer / counter) ขนาด 16 บิตจำนวน 2 ตัว โดยเฉพาะเบอร์ 8032 หรือ 8052 จะมีไทมเมอร์ / เคาน์เตอร์จำนวน 3 ตัว
10. การอินเตอร์รัพต์สามารถทำได้จาก 5 แหล่งกำเนิด โดยเฉพาะ 8032 และ 8052 จะทำการอินเตอร์รัพต์ได้จาก 6 แหล่งกำเนิด โดยการอินเตอร์รัพต์สามารถจัดลำดับความสำคัญได้เป็น 2 ระดับ
11. มีคำสั่งในการคำนวณทางคณิตศาสตร์และตรรกศาสตร์
12. มีพอร์ตสื่อสารอนุกรมภายในตัวเอง ซึ่งทำงานเป็นฟูลดูเพล็กซ์ (full duplex)

13. คำสั่งโดยส่วนใหญ่ใช้การทำงานเพียง 1 ไมโครวินาที เมื่อใช้ความถี่ 12 เมกะเฮิร์ตซ์

การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS51

อุดม(2541) กล่าวว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS51 ทุกเบอร์ จะมีสถาปัตยกรรมภายใน และขาใช้งานพื้นฐานเหมือนกันดังแสดงในภาพที่ 2 โดยมีรายละเอียดขั้นต้นดังนี้

1. ขา VCC ใช้สำหรับต่อไฟเลี้ยง +5V

2. ขา GND เป็นขากราวด์ สำหรับต่อกับกราวด์ของระบบ

3. ขาพอร์ต 0 (P0.0-P0.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการ กำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้ โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ ขาพอร์ต นั้นมีสถานะปล่อยลอย (Float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และขาข้อมูล (D0-D7) โดยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) เข้าช่วย เพื่อสลับการทำงาน ให้เป็นได้ทั้งขาติดต่อแอดเดรสและขาข้อมูล

4. ขาพอร์ต 1 (P1.0-P1.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับ ใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 1 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้ โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อ

5. ขาพอร์ต 2 (P2.0-P2.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้ เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับ ใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต ที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (Float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ สูงของหน่วยความจำจากภายนอก (A8-A15)

6. ขาพอร์ต 3 (P3.0-P3.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ ทั้งอินพุตและเอาต์พุต

7. สำหรับ ใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (Float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้นอกจาก นั้นขาพอร์ต 3 ยังเป็นขาที่มีหน้าที่การใช้งานเป็นพิเศษ ดังมีรายละเอียดขั้นต้นดังต่อไปนี้

- P3.0 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา RXD
- P3.1 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา TXD
- P3.2 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเทอร์รัพต์ จากภายนอกช่องที่ 0 หรือขา INT0
- P3.3 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเทอร์รัพต์ จากภายนอกช่องที่ 1 หรือขา INT1
- P3.4 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทเมอร์จากภายนอกช่องที่ 0 หรือขา T0
- P3.5 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทเมอร์จากภายนอกช่องที่ 1 หรือขา T1
- P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ WR ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก
- P3.7 ใช้เป็นขาสัญญาณ RD ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

8. ขารีเซต ใช้ในการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการป้อนสัญญาณเพื่อรีเซต สถานะของขานี้ต้องอยู่ในระดับรีเซตอย่างน้อย 2 แมกซีนไซเคิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างเป็นปกติ

9. ขา ALE/PROG (Address latch enable/program pulse input) เป็นขาที่ใช้ควบคุมการแลตช์ ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก นอกจากนั้นขานี้ยังใช้เป็นขาสำหรับรับพัลส์ของการโปรแกรมสำหรับโปรแกรมข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในรุ่นที่มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็น แบบอีอีพรอม

10. ขา PSEN (Program store enable) ขานี้ใช้ ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณออกมาที่ขานี้ 2 ครั้ง ในแต่ละ

แมชชีนไซเกิล แต่ถ้าหากติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ขานี้จะไม่มีการส่งสัญญาณใดๆ ออกมา

11. ขา EA / Vpp (External access enable/Programming voltage input) ใช้สำหรับเลือกการติดต่อ หน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอกหรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าหากขานี้เป็น “0” เป็นการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก แต่ถ้าหากขานี้เป็น “1” เป็นการติดต่อกับหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ขานี้ยังใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับแรงดันไฟสูงสำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

12. ขา XTAL1 และ XTAL2 เป็นขาสำหรับต่อคริสตัลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

การจัดหน่วยความจำ

อุดม (2541) กล่าวว่าหน่วยความจำที่ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS51 สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบด้วยกันคือ หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) และหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory)

หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory)

หน่วยความจำโปรแกรมใช้เก็บข้อมูลของโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์หรือที่เรียกว่า โปรแกรมมอนิเตอร์ (Monitor Program) หากใช้หน่วยความจำภายนอกมักจะบรรจุอยู่ในหน่วยความจำชนิดอีพียรม ซึ่งสามารถกระทำการเขียนได้เพียงอย่างเดียวหน่วยความจำโปรแกรมมีแอดเดรสเริ่มต้นที่ 0000H เมื่อซีพียูได้รับการรีเซ็ตให้เริ่มต้นการทำงานจะต้องมาเริ่มต้นที่แอดเดรส 0000H นี้เสมอ อย่างไรก็ตามในพื้นที่ของหน่วยความจำโปรแกรมไม่ว่าจะใช้งานจากภายในหรือภายนอกก็ตาม ต้องมีการสงวนพื้นที่บางตำแหน่งเอาไว้สำหรับการบริการอินเตอร์รัพต์ 6 ประเภท ประเภทละ 8 ไบต์ ประกอบด้วย

พื้นที่สำหรับการบริการอินเตอร์รัพต์ 0 จากภายนอกกำหนดไว้ที่แอดเดรส 0003H

พื้นที่สำหรับการบริการอินเตอร์รัพต์จากไทมเมอร์ 0 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 000BH

พื้นที่สำหรับการบริการอินเตอร์รัพต์ 1 จากภายนอกกำหนดไว้ที่แอดเดรส 0013H

พื้นที่สำหรับการบริการอินเตอร์รัพต์จากไทเมอร์ 1 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 001BH
 พื้นที่สำหรับการบริการอินเตอร์รัพต์ของการสื่อสารอนุกรม กำหนดไว้ที่ แอดเดรส 0023H
 พื้นที่สำหรับการบริการอินเตอร์รัพต์จากไทเมอร์ 2 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 002BH การต่อ
 หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกแสดงในรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าขาพอร์ต P0.0-P0.7 ถูกใช้
 เป็นขาข้อมูล D0-D7 และขาแอดเดรสไบต์ต่ำโดยผ่านวงจรแลตช์ ซึ่งปกติใช้ไอซีเบอร์
 74HC573 และใช้สัญญาณ ALE และ PSEN ในการเลือกว่าต้องการใช้งานขา P0.0-P0.7
 เพื่อเป็นขาข้อมูลหรือขาแอดเดรสในขณะที่ขา P2.0-P2.7 ใช้ ในการเชื่อมต่อขาแอดเดรส
 ไบต์สูง A8-A15 ดังนั้นเมื่อมีการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกไมโครคอน
 โทรลเลอร์ จะเหลือขาพอร์ตใช้งานเพียง 16 บิต คือที่ขาพอร์ต P1.0-P1.7 และ P3.0-P3.7

หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory)

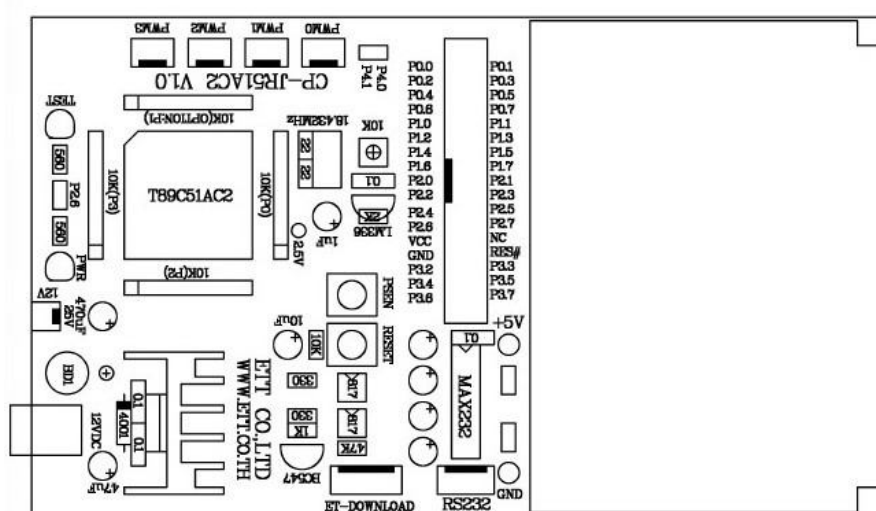
หน่วยความจำข้อมูลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำข้อมูลภายในและ
 หน่วยความจำข้อมูลภายนอกสำหรับหน่วยความจำข้อมูลภายในยังแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนย่อยคือ
 ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไป และส่วนที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษหรือ SFR (Special Function
 Register) โดยส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปจะถูกใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือค่าตัวแปรต่างๆจากการ
 ทำงานของโปรแกรม ส่วนรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษจะถูกใช้งานเป็นรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานและ
 บอกสถานะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS51ทุกเบอร์
 จะมีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 128 ไบต์เป็นอย่างน้อย และบางเบอร์อาจมีถึงขนาด 256 ไบต์

รีจิสเตอร์ หน้าที่พิเศษ SFR มีบทบาทอย่างมากในการควบคุมการทำงานของไมโครคอน
 โทรลเลอร์และทำให้การเขียนโปรแกรมสามารถทำได้สะดวกมากขึ้น รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษทำหน้าที่
 ที่สำคัญคือควบคุมการทำงานในส่วนต่างๆ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์และทำหน้าที่แสดง
 สถานะการทำงานซึ่งรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษบางตัวยังสามารถเข้าถึงได้ในระดับบิตด้วย

บอร์ดควบคุม (Controller Board)

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในกลุ่ม CP-JR51AC2 แสดงดังภาพที่ 7 เป็นบอร์ดไมโคร
 คอนโทรลเลอร์ขนาดกลาง โดยใช้ CPU ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ของ ATMEL ใน
 ตระกูล MCS51 เบอร์ AT89C51AC2 เป็น CPU ประจำบอร์ด ซึ่ง CPU ตัวนี้บรรจุอยู่ในตัวถัง

แบบ PLCC ขนาด 44 ขา โดยใช้ความถี่นาฬิกา 18.432 MHz ซึ่ง CPU เบอร์นี้มีความสามารถสูงกว่า CPU รุ่นมาตรฐานของ MCS51 ทั่วไปหลายประการ เช่น มีวงจร A/D ขนาด 10 บิต จำนวน 8 ช่อง มีวงจร PCA Timer จำนวน 5 ช่อง มีหน่วยความจำแบบ EEPROM ขนาด 2 กิโลไบต์ บรรจุไว้ภายในตัว CPU และสามารถส่งโปรแกรมข้อมูลให้กับหน่วยความจำโปรแกรมของ CPU ได้โดยไม่ต้องถอดชิพ CPU ออกจากแผงวงจร โดยในการส่งโปรแกรมข้อมูลให้กับ CPU นั้นจะใช้การเชื่อมต่อผ่านทางพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS232 ของบอร์ดเป็นหลัก (เอกชัย, 2547)



ภาพที่ 7 โครงสร้างของบอร์ด CP-JR51AC2 V1

ที่มา: เอกชัย (2548)

เซนเซอร์ (Sensor)

วรพงศ์ (2548) กล่าวว่าเซนเซอร์คือ อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณหรือปริมาณทางฟิสิกส์ต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แสง เสียง แรงทางกล (Force) ความดันบรรยากาศ (Pressure) ระยะขจัด (Displacement) ความเร็ว (Speed) อัตราเร่ง (Acceleration) อัตราการไหล (Flow rate) เป็นต้น จากนั้นทำหน้าที่เปลี่ยนให้เป็นสัญญาณออก หรือปริมาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัด (Measurable output) ที่สามารถนำไปประมวลผลต่อได้

ความจำเป็นที่จะต้องใช้เซนเซอร์

เนื่องจากปริมาณที่ใช้เซนเซอร์ในการตรวจจับโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปปริมาณทางฟิสิกส์ ดังนั้นจากความจำเป็นที่เราต้องนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจจับจากเซนเซอร์ไปใช้เพื่อเป็นข้อมูลเพื่อตรวจสอบหรือเพื่อแสดงสถานะของระบบ จึงอาจกล่าวได้ว่าเซนเซอร์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของระบบ ซึ่งโดยทั่วไปพบว่าเซนเซอร์ได้ถูกนำไปใช้เป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญ 2 ประเภทคือ

1. ใช้ตรวจวัดปริมาณทางฟิสิกส์เพื่อนำไปแสดงผลการตรวจวัดหรือจัดเก็บข้อมูลในระบบการวัด (Measurement system)
2. ใช้ตรวจสอบสภาพกระบวนการ (Process variable) ในระบบควบคุม (Control system)

เซนเซอร์สำหรับการตรวจวัดข้อมูลที่เป็นตัวแปรทางฟิสิกส์ โดยมากจะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลเพื่อแสดงสถานะสภาพของระบบในขณะนั้น

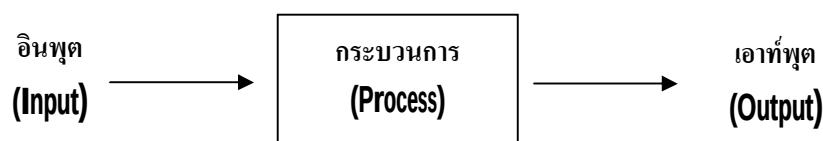
สำหรับกรณีของเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบสภาพกระบวนการในระบบควบคุมนั้น ส่วนใหญ่ และจะมีความหลากหลายน้อยกว่าเซนเซอร์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดและบันทึกข้อมูล ทั้งนี้เนื่องจากเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดและบันทึกข้อมูล จำเป็นต้องมีความหลากหลายแตกต่างกันไปตามปริมาณทางฟิสิกส์ที่ทำการวัดและจัดเก็บเป็นข้อมูลที่จะนำไปใช้งานต่อไป ในส่วนของระบบควบคุมทั่วไบนั้นสัญญาณออกหรือข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์จะถูกป้อนไปเป็นสัญญาณอินพุตให้กับอุปกรณ์ควบคุมกระบวนการ (Controller) จากนั้นอุปกรณ์ควบคุมก็จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณควบคุมไปปรับสภาพกระบวนการของระบบ เพื่อให้การทำงานมีความสอดคล้องเป็นไปตามเงื่อนไขที่ต้องการ (วรพงศ์, 2548)

ระบบเซนเซอร์ (Sensor System)

วรพงศ์ (2548) กล่าวว่าระบบเซนเซอร์โดยทั่วไปสามารถจะจำแนกชนิดและคุณลักษณะของระบบได้มากมายหลายแบบ แต่เมื่อพิจารณาตามลักษณะของระบบเซนเซอร์ที่ให้สัญญาณออกหรือเอาต์พุตของระบบมีค่าเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนไปตามปริมาณต่างๆ ที่ตรวจวัดทางอินพุต

ฟังก์ชันของระบบการวัดสามารถแสดงดังภาพที่ 8 ซึ่งการประยุกต์ใช้เช่นเซอร์ในกระบวนการสามารถจำแนกการนำไปใช้งานในระบบต่างๆ ได้ระบบดังนี้คือ

1. ระบบการวัด (Measurement Systems)
2. ระบบควบคุมวงเปิด (Open-loop control systems)
3. ระบบควบคุมวงปิด (Close-loop control systems)



ภาพที่ 8 ระบบกระบวนการพื้นฐาน

ที่มา: วรพงษ์ (2548)

1. ระบบการวัด (Measurement System)

วรพงษ์ (2548) กล่าวว่าระบบการวัดทำหน้าที่แสดงผลหรือบันทึกข้อมูลของปริมาณเอาต์พุตซึ่งได้จากปริมาณอินพุตที่ได้ทำการวัด ฟังก์ชันของระบบการวัดสามารถแสดงดังภาพที่ 9 หลักการทำงานของระบบการวัด คือ ระบบการวัดจะทำหน้าที่เพียงแค่แสดงผลหรือบันทึกข้อมูลค่าที่ได้จากการวัดปริมาณจากอินพุตเท่านั้น ไม่สามารถปรับหรือควบคุมสภาพการทำงาน of ระบบให้เป็นไปตามที่ต้องการได้



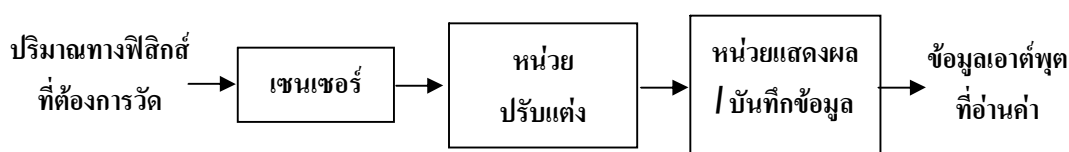
ภาพที่ 9 ระบบการวัด

ที่มา: วรพงษ์ (2548)

องค์ประกอบสำคัญในระบบการวัด ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วน คือ

1. ส่วนตรวจจับสัญญาณ (Sensing unit)
2. ส่วนปรับแต่งสัญญาณ (Sensing conditioning unit)
3. ส่วนแสดงผล หรือส่วนบันทึกข้อมูล (Display or recording unit)

ผังสัญญาณของระบบแสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 องค์ประกอบสำคัญในระบบการวัด

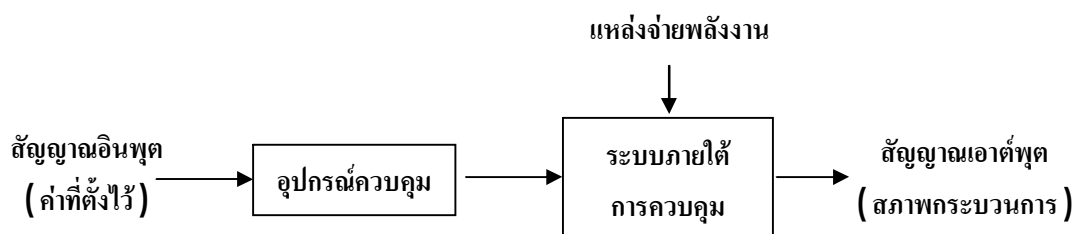
ที่มา: วรพงศ์ (2548)

จากภาพที่ 10 ปริมาณทางฟิสิกส์ที่ทำการวัดจะถูกเซนเซอร์เปลี่ยนให้เป็นสัญญาณออกที่สามารถนำไปปรับสัญญาณหรือแสดงผลต่อได้ จากนั้นหน่วยปรับแต่งสัญญาณจะทำหน้าที่ปรับแต่งสภาพของสัญญาณออกที่ได้จากเซนเซอร์ให้มีรูปแบบที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้กับหน่วยแสดงผลหรือหน่วยบันทึกข้อมูล เช่น สัญญาณออกจากเซนเซอร์เป็นแรงดันไฟฟ้าที่มีขนาดของสัญญาณต่ำมากต้องมีหน่วยปรับแต่งสภาพสัญญาณเป็นวงจรขยายแรงดัน (Amplifier) เพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณดังกล่าวให้มีขนาดใหญ่ขึ้น หรือถ้าสัญญาณออกเป็นการเคลื่อนที่ทางกลที่มีระยะจัดสั้นลง ก็ควรมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเคลื่อนที่ให้มีการจัดเพิ่มขึ้น เป็นต้น หลังจากนั้นสัญญาณที่มีการปรับแต่งแล้วจะถูกนำไปแสดงผลให้กับผู้ใช้งานอ่านค่าหรืออาจมีการเก็บค่าที่วัดได้ลงในเครื่องบันทึกข้อมูล(วรพงศ์, 2548)

1. ระบบควบคุมวงเปิด (Open-Loop Control System)

ระบบควบคุม (Control systems) มีหลักการทำงานพื้นฐานต่างจากระบบการวัด กล่าวคือ ระบบควบคุมพยายามปรับสภาพกระบวนการหรือรักษาสภาพการทำงานของกระบวนการ

ให้มีค่าเป็นไปตามค่าที่ตั้งไว้ทางอินพุต (Set point) หรือให้มีเป้าหมายเป็นไปตามที่ผู้ควบคุมกระบวนการต้องการ ผังสัญญาณแสดงหลักการทำงานของระบบควบคุมวงจรเปิดแสดงดังภาพที่ 11 สัญญาณอินพุตซึ่งเป็นค่าที่ตั้งไว้จะถูกส่งให้กับอุปกรณ์ควบคุม (Controller) เพื่อสร้างสัญญาณควบคุมไปปรับสภาพการทำงานของระบบภายใต้การควบคุมให้มีสัญญาณออกหรือสภาพกระบวนการของระบบเป็นไปตามเป้าหมายที่ต้องการโดยไม่มีการวัดหรือตรวจสอบสภาพกระบวนการที่เอาต์พุตของระบบเลย สังเกตได้จากผังสัญญาณของระบบจะเห็นว่าระบบมีการส่งสัญญาณอินพุตเป็นลำดับไปยังเอาต์พุตโดยไม่มีส่วนหนึ่งส่วนใดของระบบป้อนสัญญาณกลับมายังอินพุตอีกเลย



ภาพที่ 11 ผังสัญญาณแสดงหลักการทำงานของระบบควบคุมวงเปิด

ที่มา: วรพงศ์ (2548)

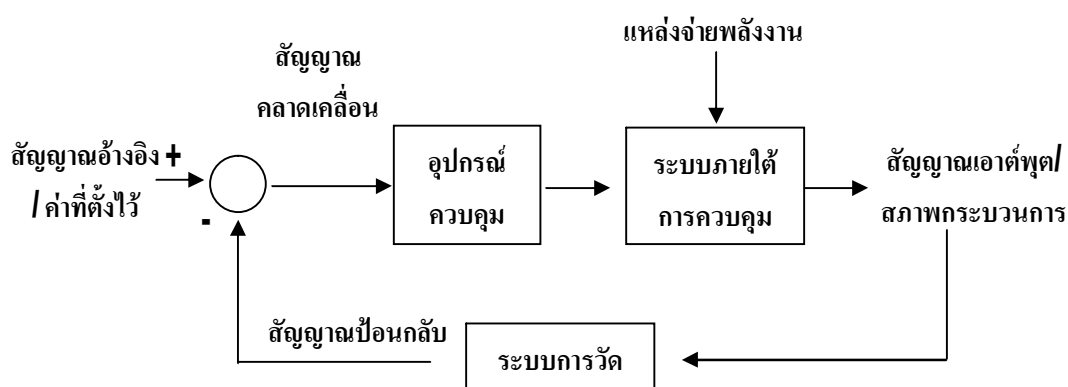
เนื่องจากคุณสมบัติของระบบควบคุมวงเปิดที่ไม่มีส่วนของการตรวจสอบสภาพกระบวนการจริงที่เอาต์พุตของระบบในขณะที่ปฏิบัติการว่ามีสภาพเป็นอย่างไรและยังไม่สามารถตัดสินใจในกรณีเกิดเหตุการณ์ที่ไม่ได้คาดเอาไว้ ทำให้บางครั้งการทำงานของระบบอาจเกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าระบบควบคุมวงเปิดเป็นระบบควบคุมพื้นฐานที่มีรูปแบบง่ายการออกแบบระบบไม่ซับซ้อน แต่ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบค่อนข้างต่ำ ทั้งยังต้องการผู้ควบคุมเข้าไปทำการตรวจสอบหรือปรับแต่งระบบบ่อยครั้ง และเนื่องจากสภาพกระบวนการของระบบมักมีการเปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมภายนอกต่างๆ ที่มากระทำกับระบบ จึงทำให้จำเป็นต้องมีการปรับแต่งค่าอินพุตของระบบที่ตั้งไว้อยู่เสมอ และต้องอาศัยประสบการณ์ความชำนาญในการปรับแต่งค่าเพื่อให้ระบบมีสภาพการทำงานเป็นไปอย่างถูกต้องตามที่ต้องการ นอกจากนี้ระบบควบคุมวงเปิดยังไม่เหมาะสมกับกรณีของกระบวนการที่มีตัวแปรนอกเหนือจากการควบคุมซึ่งหาก

เกิดขึ้นแล้วก่อให้เกิดอันตรายอย่างร้ายแรง เช่น กรณีเกิดการผิดพลาดขึ้นในการควบคุมระดับสารเคมีเป็นพิษในถังบรรจุ จนทำให้สารเคมีนั้นล้นออกมาจากถังแล้วก่อให้เกิดการอันตรายแก่ผู้ควบคุมกระบวนการ เป็นต้น (วรพงศ์, 2548)

2. ระบบควบคุมวงปิด (Close-Loop Control System)

สำหรับระบบควบคุมแบบวงปิด (Close-loop control systems) ซึ่งมีผังสัญญาณของระบบแสดงดังภาพที่ 12 จะมีองค์ประกอบของระบบต่างจากระบบควบคุมวงเปิด โดยมีส่วนของระบบการวัดเพื่อทำหน้าที่วัดและตรวจสอบค่าตัวแปรเอาต์พุตหรือสภาพกระบวนการทางด้านเอาต์พุตของระบบแล้วนำสัญญาณป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้เป็นสัญญาณอ้างอิงทางอินพุตอีก จึงทำให้สภาพกระบวนการของระบบทางด้านเอาต์พุตมีผลโดยตรงกับเงื่อนไขทางด้านอินพุต



ภาพที่ 12 ผังสัญญาณแสดงหลักการทำงานของระบบควบคุมวงปิด

ที่มา: วรพงศ์ (2548)

จากภาพที่ 12 สัญญาณอ้างอิง (Reference signal) หรือค่าที่ตั้งไว้ (Set point) เป็นเป้าหมายในการควบคุมระบบให้มีสภาพกระบวนการเป็นไปตามที่ต้องการ ซึ่งสัญญาณส่วนนี้จะถูกอุปกรณ์เปรียบเทียบ (Comparator) นำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณป้อนกลับ (Feedback signal) จากนั้นอุปกรณ์ควบคุมจะนำสัญญาณคลาดเคลื่อนนี้ไปปรับแต่งให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม แล้วสร้างเป็น

สัญญาณควบคุม (Control signal) เพื่อทำการปรับการทำงานของระบบให้สภาพกระบวนการทางด้านเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงจน กระทั่งสัญญาณป้อนกลับที่ได้จากระบบการวัดมีค่าเข้าใกล้สัญญาณอ้างอิง ทำให้สัญญาณคลาดเคลื่อนมีค่าเป็นศูนย์

จากการที่ระบบควบคุมวงปิดมีการตรวจสอบและปรับสภาพกระบวนการด้วยการทำงานของระบบเอง ทำให้ข้อผิดพลาดในการควบคุมเกิดขึ้นน้อยกว่าระบบควบคุมวงเปิด ระบบควบคุมแบบปิดนี้จึงมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงกว่าระบบควบคุมวงเปิด บางครั้งมักนิยมเรียกระบบควบคุมในลักษณะนี้อีกชื่อหนึ่งว่า “ระบบควบคุมอัตโนมัติ (Automatic control system)” หรือ “ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control system)” (วรพงศ์, 2548)

คุณสมบัติประจำตัวของเซนเซอร์

วรพงศ์ (2548) กล่าวว่า การเลือกนำเอาเซนเซอร์ไปประยุกต์ใช้งานในระบบการวัดหรือระบบควบคุมกระบวนการต่างๆ นั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย อาทิเช่น ราคา ความเหมาะสม รวมไปถึงปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกต่างๆ เป็นต้น แต่ปัจจัยสำคัญที่สุดประการหนึ่งในการพิจารณาเลือก คือ คุณสมบัติของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากเซนเซอร์ควรมีความเหมาะสมและสอดคล้องกับสัญญาณหรือรูปแบบที่ต้องการนำไปใช้งานต่อ ดังนั้นข้อกำหนดและคุณสมบัติต่างๆ ที่สำคัญประจำตัวเซนเซอร์ที่เลือกใช้จึงนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญประการแรกที่ต้องทราบ คุณสมบัติประจำตัวเซนเซอร์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ความแม่นยำ (Accuracy)

ความแม่นยำเป็นค่าบ่งชี้ถึงความสามารถของเซนเซอร์ในการแสดงค่าเอาต์พุตว่าใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงของปริมาณที่ทำการวัดอยู่มากน้อยแค่ไหน ในทางปฏิบัติแล้วอุปกรณ์การวัดทุกชนิดจะเกิดค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดขึ้นเสมอ แต่จะมีค่ามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับความแม่นยำของอุปกรณ์การวัดนั้น ซึ่งทั่วไปค่าความแม่นยำนี้อาจแสดงในเทอมของหน่วยในการวัด

2. ความแน่นอน (Precision)

ความแน่นอน คือ ค่าบ่งชี้ถึงความสามารถของเซนเซอร์ในการแสดงค่าเอาต์พุตเหมือนค่าเดิมทุกครั้งเมื่อทำการวัดสัญญาณอินพุตค่าเดิมซ้ำกันหลายๆ ครั้ง

3. ความสามารถในการแสดงค่าซ้ำ (Repeatability หรือ Reproducibility)

ความสามารถในการแสดงค่าซ้ำเป็นข้อกำหนดของความแน่นอนซึ่งถูกระบุมาประจำตัวเซนเซอร์นั้นๆ โดยหมายถึงค่าความแน่นอนของเซนเซอร์ภายใต้เงื่อนไขการวัดแบบเดิม ซึ่งบ่งชี้ถึงความสามารถในการแสดงค่าเอาต์พุตให้มีค่าเหมือนเดิม

4. ความคลาดเคลื่อน (Error)

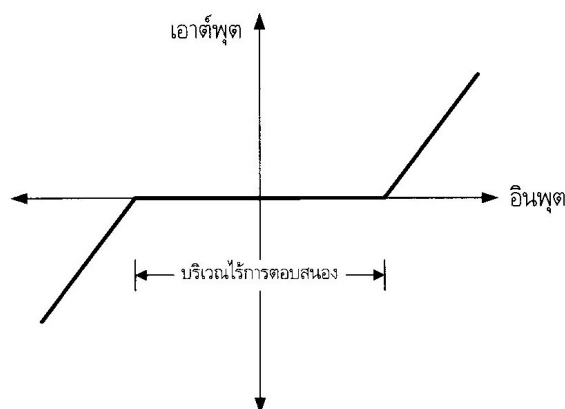
ความคลาดเคลื่อน คือ ผลต่างระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าจริง โดยทั่วไปค่าความคลาดเคลื่อนนิยมบอกเป็นหน่วยของเปอร์เซ็นต์ และยังเป็นค่าบ่งชี้ถึงความแม่นยำของระบบการวัดอีกด้วย

5. ความคลาดเคลื่อนสถิต (Static error)

ความคลาดเคลื่อนสถิต คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่มีค่าคงที่ตลอดย่านการวัดของอุปกรณ์ ดังนั้น หากทราบค่าความคลาดเคลื่อนสถิตของอุปกรณ์นั้นแล้ว สามารถทำการชดเชยให้มีความน้อยลงได้เพื่อลดผลกระทบต่อค่าความแม่นยำของอุปกรณ์

6. บริเวณไร้การตอบสนอง (Dead zone หรือ Dead band)

บริเวณไร้การตอบสนอง เป็นข้อกำหนดที่แสดงถึงขนาดสูงสุดของปริมาณที่ทำการวัดทางอินพุต โดยไม่ทำให้สัญญาณเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลง หรือขนาดอินพุตมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งคุณสมบัติแสดงได้ดังกราฟแสดงความสัมพันธ์แสดงดังภาพที่ 13 สาเหตุที่ทำให้เกิดบริเวณไร้การตอบสนองนี้เนื่องผลของแรงเสียดทานสถิต (Static friction) หรือเนื่องมาจากคุณสมบัติฮิสเทอรีซิส



ภาพที่ 13 บริเวณไร้การตอบสนอง

ที่มา: วงพงศ์ (2548)

7. ขนาด (Dimension)

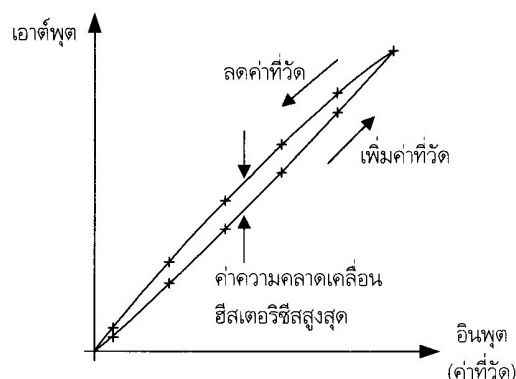
ขนาดของเซนเซอร์ เป็นขนาดทางกายภาพของเซนเซอร์ หรือ (กว้าง X ยาว X สูง)

8. คริปต์ (Drift)

คริปต์ แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเซนเซอร์ วงจร หรือ ระบบ เมื่อเวลาในการใช้งานหรือ สิ่งแวดล้อมภายนอกมีการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือทำให้สัญญาณเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลง ถึงแม้ว่าอินพุตของระบบจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงก็ตาม ซึ่งส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของอุปกรณ์นั้นด้วย อุณหภูมิรอบข้างในการใช้งานก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดผลของคริปต์ขึ้นซึ่งส่ง ผลต่อการทำงานของเซนเซอร์ ทำให้ระบบการวัดมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไป

9. ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis)

ฮิสเทอรีซิส เกิดขึ้นจากผลต่างของสัญญาณอินพุตของเซนเซอร์ซึ่งเป็นค่าที่ทำการวัด หรือต้องการตรวจสอบจะถูกรับค่าให้มีค่ามากขึ้นจนกระทั่งถึงย่านการวัดสูงสุด ในทางกลับกันก็ทำการปรับค่าให้ลดลงจนกระทั่งถึงย่านการวัดต่ำสุดเช่นกัน ซึ่งพบว่าเกิดผลต่างของสัญญาณเอาต์พุต ขึ้น โดยเรียกค่าความคลาดเคลื่อนของสัญญาณเอาต์พุตที่เกิดขึ้นนี้ว่าฮิสเทอรีซิสแสดงดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 กราฟแสดงผลกระทบเนื่องจากคุณสมบัติของฮิสเตอร์ซิส

ที่มา: วรพงศ์ (2548)

10. การหน่วงสัญญาณ (Lag)

การหน่วงสัญญาณ คือ การล่าช้าของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากเซนเซอร์เมื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุตที่ทำการวัดทั่วไปมีหน่วยเป็นวินาที (Seconds) หรือเศษ ส่วนของวินาที ในการประยุกต์ใช้งานบางประเภท เช่น ในระบบควบคุมกระบวนการ การหน่วงสัญญาณเป็นข้อกำหนดสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเนื่องจากมีผลต่อสมรรถนะของระบบเป็นอย่างมาก

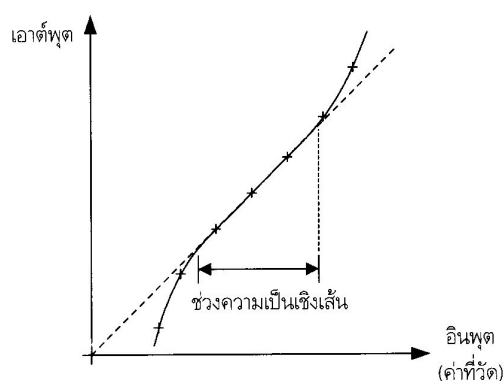
11. อายุการใช้งาน (Operation life หรือ Reliability)

อายุการใช้งานของเซนเซอร์ เป็นค่าแสดงถึงอายุในการใช้งานของเซนเซอร์ที่ยังคงให้คุณสมบัติในการทำงานเป็นไปตามข้อกำหนดประจำตัวต่างๆ ที่ระบุมาให้ โดยทั่วไปอาจจะบอกมาในรูปของ ระยะเวลา หรือจำนวนครั้งในการใช้งานเป็นต้น

12. ความเป็นเชิงเส้น (Linearity)

คุณสมบัติของความเป็นเชิงเส้น คือ ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของเซนเซอร์ที่มีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้นหรือมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง แสดงดังภาพที่ 15 คุณสมบัติ

ความเป็นเชิงเส้นยังแสดงถึงช่วงสูงสุดที่กราฟคุณสมบัติยังคงเป็นเชิงเส้นอยู่ หรือเรียกช่วงดังกล่าวนี้ว่า ช่วงในการปฏิบัติงาน (Operation range) ของเซนเซอร์โดยทั่วไปนิยามบอกในหน่วยของเปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 15 คุณสมบัติความเป็นเชิงเส้น

ที่มา: วรพงศ์ (2548)

13. ย่านปฏิบัติงาน (Range)

ย่านปฏิบัติงานของอุปกรณ์ คือ ขอบเขตในการปฏิบัติงานของอุปกรณ์นั้น ซึ่งทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับย่านทำงานของเซนเซอร์ มักกำหนดในรูปของปริมาณอินพุตต่ำสุดกับปริมาณอินพุตสูงสุดที่เซนเซอร์สามารถวัดและตรวจสอบได้

14. อัตราการทำงาน (Rating)

อัตราการทำงานของอุปกรณ์ใดๆ ก็ตามแสดงถึงอัตราทนต่อสัญญาณต่างๆ ในการทำงาน of อุปกรณ์ โดยยังคงสามารถทำงานได้อย่างปลอดภัยไม่เสียหาย ส่วนใหญ่ข้อกำหนดของอัตราการทำงานต้องระบุรายละเอียดชนิดของสัญญาณมาด้วย เช่น อัตราของอุณหภูมิในการทำงานสูงสุด หรืออัตราโหลดเฉลี่ยในการใช้งาน เป็นต้น

15. ผลการตอบสนอง (Response)

ผลตอบสนองของอุปกรณ์ คือ ช่วงเวลาที่อุปกรณ์นั้นใช้งานในการตอบสนองสัญญาณเอาต์พุตให้มีค่าเท่ากับค่าเอาต์พุตสุดท้าย ทั่วไปมีหน่วยเป็นวินาที หรือบางครั้งอาจบอกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเอาต์พุตสุดท้ายก็ได้

16. ความละเอียด (Resolution)

ความละเอียดของเซนเซอร์หรืออุปกรณ์การวัด คือ ขนาดของปริมาณอินพุตต่ำสุดที่อุปกรณ์สามารถวัดหรือตรวจสอบได้

17. ความไว (Sensitivity)

ความไว คือ ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุตของอุปกรณ์เทียบกับ การเปลี่ยนแปลงของอินพุต สำหรับค่าความไวของเซนเซอร์ จะมีค่าเท่ากับผลต่างของสัญญาณเอาต์พุตในย่านการวัดที่กำหนดมาให้หารด้วยผลต่างของสัญญาณอินพุตซึ่งเป็นปริมาณที่ทำการวัด หรือสามารถเขียนได้เป็น

$$\text{ความไว} = \frac{(\text{ค่าเอาต์พุตสูงสุด} - \text{ค่าเอาต์พุตต่ำสุด})}{(\text{ค่าอินพุตสูงสุด} - \text{ค่าอินพุตต่ำสุด})} \quad (1)$$

โดยเป็นค่าที่แสดงถึงความไวของการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเอาต์พุตของเซนเซอร์เมื่อสัญญาณอินพุตที่ทำการตรวจสอบเปลี่ยนแปลง

18. เสถียรภาพ (Stability)

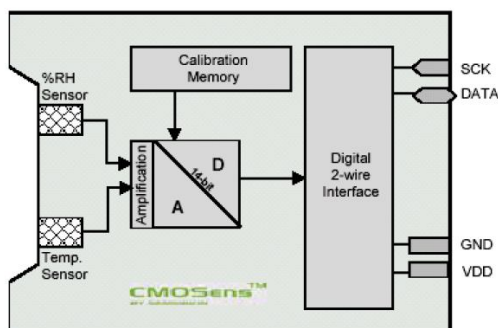
เสถียรภาพ บ่งชี้สัญญาณเอาต์พุตของอุปกรณ์หรือระบบว่ามีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปมากหรือน้อยแค่ไหน เมื่อสัญญาณอินพุตมีค่าคงที่ในช่วงเวลานานๆ ภายใต้เงื่อนไขในการวัดที่ไม่เปลี่ยนแปลง หากอุปกรณ์หรือระบบมีความเสถียรแล้วสัญญาณเอาต์พุตควรมีคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

19. ค่าเบี่ยงเบน (Tolerance)

ค่าเบี่ยงเบน บอกถึงค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการวัด ในบางครั้งค่าเบี่ยงเบนนี้อาจใช้ในการแสดงถึงค่าความแม่นยำของอุปกรณ์ได้อีกด้วย

เซนเซอร์ SHT15 (Humidity & Temperature Sensmitter)

www.sensirion.com (2007) ได้ให้ข้อมูลว่า SHT15 เป็นเซนเซอร์แบบ Single Chip ที่สามารถวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิได้ ในตัวเดียวกัน โดยค่าเอาต์พุตที่ได้จะเป็นค่าดิจิทัล (digital output) ที่มีความละเอียดถึง 14 บิต การสื่อสารกับอุปกรณ์มาสเตอร์เป็นแบบ 2-wire serial ข้อดีของ SHT15 คือ มีขนาดเล็ก มีความแม่นยำ ใช้พลังงานต่ำ และมีการ calibrate ในตัว

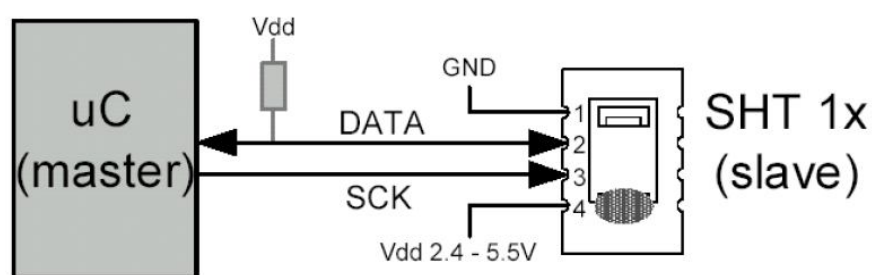


ภาพที่ 16 แสดงโครงสร้างของ SHT15

ที่มา: www.sensirion.com (2007)

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของ SHT15

Parameter	เงื่อนไข	Min	Type	Max	Unit
ความชื้นสัมพัทธ์					
ความละเอียด		0.5	0.03	0.03	% RH
		8	12	12	Bit
ความไม่เป็นเชิงเส้น	10 – 90 %		± 3		% RH
ช่วงที่วัดได้		0		100	% RH
เวลาตอบสนอง	1/e (63%) Slow moving air		4		S
Hysteresis			± 3		% RH
ความเสถียรภาพ	Typical		< 1		% RH / yr
อุณหภูมิ					
ความละเอียด		0.04	0.01	0.01	C°
		12	14	14	Bit
ช่วงที่วัดได้		- 40		123.8	C°
เวลาตอบสนอง	1/e (63%)	5		30	S



ภาพที่ 17 แสดงการสื่อสารกับ SHT15

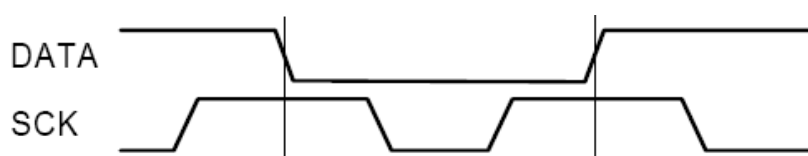
ที่มา: www.sensirion.com (2007)

ตารางที่ 2 แสดง Pin ต่างๆ ของ SHT15

Pin	Name	Comment
1	GND	กราวด์
2	DATA	สายข้อมูลอุณหภูม 2 ทิศทาง
3	SCK	สายอินพุตสัญญาณนาฬิกา
4	VDD	Supply 2.4 – 2.5

การควบคุม SHT15

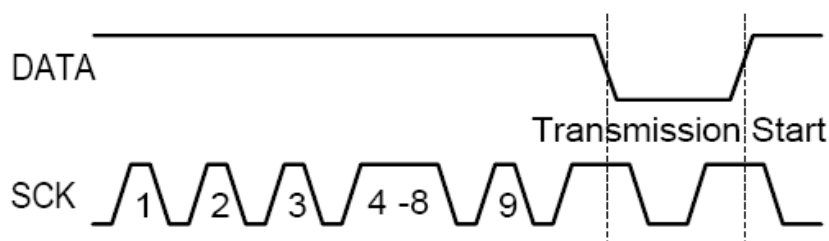
www.sensirion.com (2007) ได้ให้ข้อมูลว่า การกำหนดสถานะพร้อมใช้งาน (Transmission Start) ทำได้โดยส่งสถานะต่ำ (logic low) ที่สายข้อมูล (Pin 2) ขณะที่สายอินพุตสัญญาณนาฬิกา (Pin 3) เป็น สถานะสูง (logic high) ตามด้วยการส่ง low pulse ที่สายอินพุตสัญญาณนาฬิกา (Pin 3) แล้วเปลี่ยนสถานะ ของสายข้อมูล (Pin 2) เป็นสถานะสูง แสดงดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 แสดงลำดับ Transmission Start

ที่มา: www.sensirion.com (2007)

เมื่อขาดการติดต่อกับอุปกรณ์ จะทำการ Reset โดยการส่งสถานะสูงให้สายข้อมูลอินพุต สัญญาณนาฬิกา (Pin 3) ไม่น้อยกว่า 9 ลูกคลื่นของสัญญาณนาฬิกา ในขณะที่สายข้อมูลมีสถานะสูง แล้วตามด้วยการส่งลำดับ Transmission Start เพื่อเริ่มการติดต่อใหม่ แสดงดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 แสดงสัญญาณ Transmission Start เพื่อรับข้อมูล

ที่มา: www.sensirion.com (2007)

ตารางที่ 3 แสดงคำสั่งที่ใช้ในการควบคุม SHT15

คำสั่ง	รหัสคำสั่ง	คำอธิบาย
Reserved	0000X	พร้อมสำหรับรับคำสั่ง
Measure Temperature	00011	วัดค่าอุณหภูมิ
Measure Humidity	00101	วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์
Status Register Read	00111	อ่านค่าข้อมูลใน Status Register
Status Register Read	00110	เขียนค่าข้อมูลใน Status Register
Soft Reset	11110	Reset Chip

การคำนวณค่าอุณหภูมิจากดิจิตอลเอาต์พุตของ SHT15

www.sensirion.com (2007) ได้ให้ข้อมูลว่า เนื่องจากอุณหภูมิมีความเป็นเชิงเส้น (linear) สูงการคำนวณหาอุณหภูมิ จึงทำได้โดยใช้สูตร

$$\text{Temperature} = d_1 + d_2 \cdot \text{SO}_T \quad (2)$$

เมื่อ SO_T คือ ค่าอุณหภูมิเอาต์พุต และ ค่า d_1 กับ d_2 กำหนดจากตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงค่า d_1 และ d_2

SO_T	องศาเซลเซียส		องศาฟาเรน	
	d_1	d_2	d_1	d_2
14 bits 5v	-40	0.01	-40	0.018
12 bits 5v	-40	0.04	-40	0.072
14 bits 5v	-38.4	0.0098	-37.1	0.0176
12 bit 3v	-38.4	0.00392	-37.2	0.0704

การคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์จากดิจิตอลเอาต์พุตของ SHT15

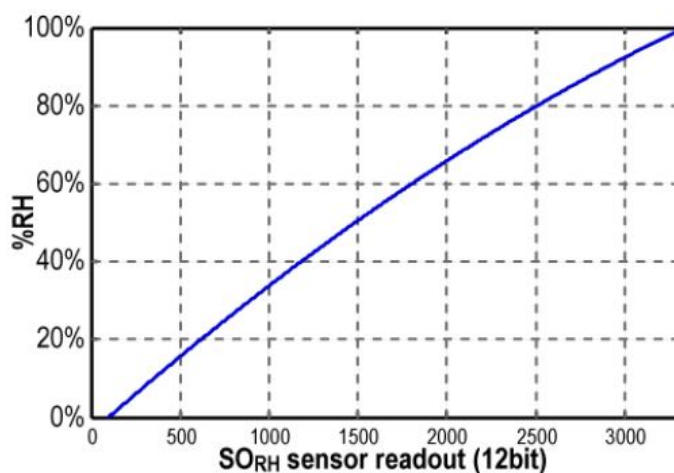
www.sensirion.com (2007) ได้ให้ข้อมูลว่า การคำนวณตามสูตรต่อไปนี้จะเป็นการชดเชยส่วนที่ไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear) ของ SHT15 ในการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อให้ได้ค่าที่มีความถูกต้องที่สุด

$$RH_{linear} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2 \quad (3)$$

เมื่อ SO_{RH} คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ จากดิจิตอลเอาต์พุตของ SHT15 และค่า c_1 กับ c_2 มีเงื่อนไขดังนี้

$$c_1 = -4 \quad c_2 = 0.0408 \quad c_3 = -2.8 \cdot 10^{-6} \text{ เมื่อใช้ความละเอียด 12 บิต}$$

$$c_1 = -4 \quad c_2 = 0.648 \quad c_3 = -7.2 \cdot 10^{-4} \text{ เมื่อใช้ความละเอียด 8 บิต}$$



ภาพที่ 20 แสดงเอาต์พุตที่ไม่เป็น linear ของ ความชื้นสัมพัทธ์จาก SHT15

ที่มา: www.sensirion.com (2007)

และเมื่อนำ SHT15 ไปวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ ในบริเวณที่มีอุณหภูมิ ใดๆ ที่ไม่ใช่ 25°C ต้องพิจารณาผลจากอุณหภูมิด้วยโดยใช้สูตรการคำนวณดังนี้

$$RH_{lure} = (T_{\text{TC}} - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{\text{linear}} \quad (4)$$

เมื่อ $t_1 = 0.01$ และ $t_2 = 0.00008$ เมื่อใช้ ความละเอียด 12 บิต และ $t_2 = 0.00128$ เมื่อใช้ความละเอียด 8 บิต

ระบบพ่นหมอก

ระบบพ่นหมอกนี้เป็นระบบที่มีประโยชน์ในการทำให้เมล็ดพืชงอกและเหมาะแก่การเพาะพันธุ์พืช การระเหยน้ำอย่างรวดเร็วจะทำให้อัตราการความชื้นของอากาศเพิ่มขึ้นอย่างเหมาะสม ขนาดของละอองหมอกที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1,000 ไมครอน และละอองที่มีขนาดใหญ่จะตกผ่านอากาศไปยังพื้นผิวเปียกของพืชและดิน ในขณะที่ละอองหมอกที่มีขนาด 40 ไมครอนหรือเล็กกว่าจะระเหย โดยมีอัตราการระเหยเท่ากับ 10,000 เท่าของน้ำในถ้วยที่มีปริมาณเท่ากัน ละอองหมอกจะคงสภาพเหมือนสารแขวนลอย ในอากาศ ในขณะที่ละอองหมอกระเหยจะทำให้อากาศเย็นไปด้วย และปราศจากการควบแน่นของหยดน้ำ

ระบบทำความเย็นโดยการพ่นหมอก จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งถ้ามีการเปลี่ยนแปลงขนาดของละออง ซึ่งระบบนี้สามารถเปลี่ยนแปลง 95 เปอร์เซ็นต์ของน้ำไปเป็นละอองขนาด 40 ไมครอน หรือเล็กกว่า โดยเฉลี่ยแล้วขนาดของละอองจะเล็กกว่า 10 ไมครอน ผลจากการระเหยของละอองเหล่านี้จะทำให้อากาศเย็น ซึ่งมีประสิทธิภาพเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ สำหรับหัวพ่นหมอกจะอยู่เหนือต้นพืชตลอดโรงเรือนเพาะปลูก หมอกจะพ่นลงมาเป็นละอองบาง ๆ เพื่อให้อากาศภายในโรงเรือนเพาะปลูกเป็นอากาศที่เย็นโดยตลอด เมื่ออากาศเย็นเริ่มที่จะอุ่นขึ้นอากาศจะไหลออกจากโรงเรือนเพาะปลูกโดยผ่านทางเครื่องระบายอากาศ อากาศภายนอกก็จะเข้ามาและถูกทำให้เย็นโดยละอองหมอกต่อไป (Nelson, 1998)

ไกรสร (2546) กล่าวว่าคุณภาพของน้ำเป็นสิ่งสำคัญสำหรับระบบนี้ เนื่องจากอนุภาคเมื่อดินหรือทรายที่ติดมากับน้ำอาจไปอุดตันปลายหัวพ่นหมอกได้ ระบบควบคุมถูกนำมาใช้ในระบบพ่นหมอกโดยจะใช้ Humidistat จะตั้งค่าความชื้นให้อยู่ในระดับคงที่โดยมากจะตั้งในช่วง 80 - 90 เปอร์เซ็นต์ บางครั้งมีการประยุกต์ใช้กับการให้ปุ๋ยด้วย วิธีการนี้เป็นการใช้ประโยชน์จากน้ำ ปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อละอองหมอกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่เกินไป จนทำให้เกิดฟิล์มของน้ำก่อตัวขึ้นบริเวณรากพืช ฟิล์มของน้ำเหล่านี้จะทำให้เมล็ดและรากพืชได้รับปริมาณออกซิเจนลดลง การตั้งค่าความชื้นสัมพัทธ์ให้ต่ำกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ จะใช้สำหรับพืชที่ขยายพันธุ์และเมล็ดที่เริ่มงอก ระบบพ่นหมอกนี้อาจจะนำมาใช้ในการเพาะเมล็ดให้สมบูรณ์และขยายพันธุ์ โดยผสมอาหารลงไปในพื้นที่ให้แก่พืชในระบบ จุดอิมพัลส์ของอากาศจะเป็นตัวควบคุมระบบพ่นหมอก

ไกรสร (2546) ได้ออกแบบระบบควบคุมสภาวะอากาศกึ่งอัตโนมัติภายในโรงเรือนเพาะปลูก โดยสร้างโรงเรือนขนาด กว้างXยาวXสูง 2.0x4.0x2.5 เมตร ภายในติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติและปรับสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนด้วยชุดพ่นหมอกจำนวน 2 หัว และพัดลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบพัด 18 นิ้ว 220 โวลต์ จำนวน 1 ตัว มีอัตราการถ่ายเทอากาศประมาณ 770 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในเป็นแบบระบบปิด ลักษณะการควบคุมเป็นแบบ 2 ตำแหน่ง รับสัญญาณจากหัววัดแบบ IC ส่งสัญญาณควบคุมมายังชุดควบคุม สามารถควบคุมการทำงานของพัดลมที่ใช้ในการระบายอากาศ และหัวพ่นหมอกที่ใช้เพิ่มความชื้นภายในโรงเรือนผ่านรีเลย์

การประเมินประสิทธิภาพของระบบควบคุมในโรงเรือน ใช้การวัดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน โดยตั้งค่าอุณหภูมิภายในไม่

เกิน 32°C พบว่าสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในเฉลี่ยไม่เกิน 32.5°C ในขณะที่อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยสูงสุด 34.8°C และตั้งค่าความชื้นสัมพัทธ์ไว้ไม่ต่ำกว่า 70% พบว่าสามารถควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในได้ไม่ต่ำกว่า 78.9% ในขณะที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายนอกต่ำสุด 67.3% พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบเฉลี่ย 2.08 ยูนิต์ต่อวัน

วัลลภ (2544) ได้ศึกษาวิธีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนพลาสติก ด้วยวิธีพ่นหมอก โดยออกแบบสร้างและทดสอบสมรรถนะในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนทดสอบขนาด กว้าง 3 เมตร ยาว 3 เมตร และสูง 2 เมตร หลังคาเอียงทำมุม 30° องศา คลุมด้วย พลาสติกพีวีซีหนา 1 มิลลิเมตร ผลการทดสอบเมื่อควบคุมอุณหภูมิของน้ำที่พ่นเท่ากับ 20°C และ 27°C ในกรณีที่ไม่มีการระบายอากาศภายในโรงเรือนลดลง $3^{\circ}\text{C} - 6^{\circ}\text{C}$ และ $8^{\circ}\text{C} - 11^{\circ}\text{C}$ สำหรับในกรณีที่มีการระบายอากาศ อุณหภูมิของโรงเรือนลดลงจาก 53.5°C เหลือเพียง 27.5°C โดยที่ความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น 13% เมื่ออัตราการระบายอากาศ 1.125 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)

ประนอม (2546) กล่าวว่า ความชื้นสัมพัทธ์เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นที่มีอยู่จริงในอากาศกับปริมาณความชื้นที่อากาศขณะนั้นจะมีได้ ณ อุณหภูมิเดียวกัน

ค่าความชื้นสัมพัทธ์แสดงในรูปของร้อยละ (เปอร์เซ็นต์) หรือ เป็นอัตราส่วนของจำนวนไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศต่อจำนวนไอน้ำที่อาจมีได้จนอิ่มตัวเต็มที่ในอากาศเดียวกันนั้น ความชื้นสัมพัทธ์จึงกำหนดเป็นเรือนร้อย โดยให้จำนวนความชื้นที่อิ่มตัวเต็มที่ เป็น 100 ส่วน (กรมอุตุนิยวิทยา, 2545)

ดังนั้น 100% RH หมายถึง ไอน้ำอิ่มตัว (saturation gas)

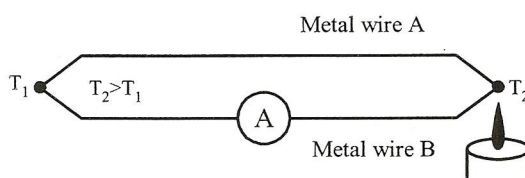
0% RH หมายถึง อากาศแห้ง (vapor-free gas)

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์ (\%)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ}}{\text{ปริมาณน้ำที่อากาศขณะนั้นจะมีได้ ที่อุณหภูมิเดียวกัน}} \times 100 \quad (5)$$

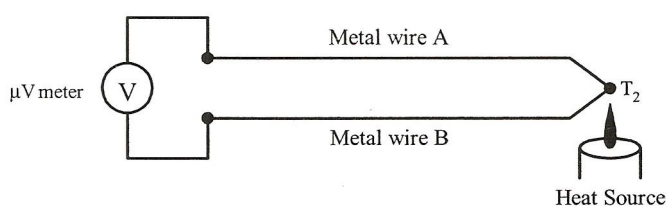
เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

ศักรินทร์ (2545) กล่าวว่าเทอร์โมคัปเปิล เป็นเซนเซอร์อุณหภูมิที่ผลิตแรงดันไฟฟ้ามีค่าน้อยมากเป็น มิลลิโวลต์ จะอยู่ในช่วง 10 – 80 มิลลิโวลต์ เทอร์โมคัปเปิลทำจากโลหะ 2 ชนิดที่แตกต่างกันโดยต่อปลายข้างหนึ่งเป็นจุดต่อ (Junction) เพื่อวัดอุณหภูมิ

ในปี ค.ศ. 1821 Thomas Seebeck นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันได้ค้นพบว่า เมื่อนำโลหะต่างชนิดกัน 2 ชนิดต่อเข้าด้วยกันและที่จุดต่อของโลหะทั้ง 2 ชนิดมีอุณหภูมิต่างกันจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรลวดโลหะนั้นและปริมาณของกระแสไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อ แต่ถ้าเปิดปลายจุดต่อด้านหนึ่งออกจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเรียกว่าแรงดันไฟฟ้าซีเบ็ค (Seebeck Voltage) แสดงดังภาพที่ 21 นำลวดโลหะ A และ B เชื่อมต่อเป็นเทอร์โมคัปเปิล



(ก) กระแสไฟฟ้าจะไหลในเทอร์โมคัปเปิลเมื่ออุณหภูมิต่างกัน



(ข) เมื่อเปิดปลายจุดต่อด้านหนึ่งจะมีแรงดันไฟฟ้าซีเบ็คตกคร่อมที่ปลายจุดต่อนั้น

ภาพที่ 21 ผลการทดลองของซีเบ็ค (Seebeck Effect)

ที่มา: ศักรินทร์ (2545)

แรงดันไฟฟ้าซีเบ็คดังสมการ

$$e = \alpha \Delta T \quad (6)$$

เมื่อ e คือแรงดันไฟฟ้าซีเบ็ค (Seebeck Voltage)..... V
 α คือสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค (Seebeck Coefficient)..... V/°C
 ΔT คือผลต่างของอุณหภูมิที่จุดต่อ..... °C
 $\Delta T = T_2 - T_1$ °C

ชนิดของเทอร์โมคัปเปิล

1. เทอร์โมคัปเปิลชนิด S (Type S) เป็นเทอร์โมคัปเปิลที่ผลิตขึ้นในปี ค.ศ. 1886 สายลวดทำจากแพลตินัมสายลวดทำจากโลหะผสมระหว่างแพลตินัม 90% กับโรเดียม 10% วัดอุณหภูมิ 0°C ถึง 1482 °C

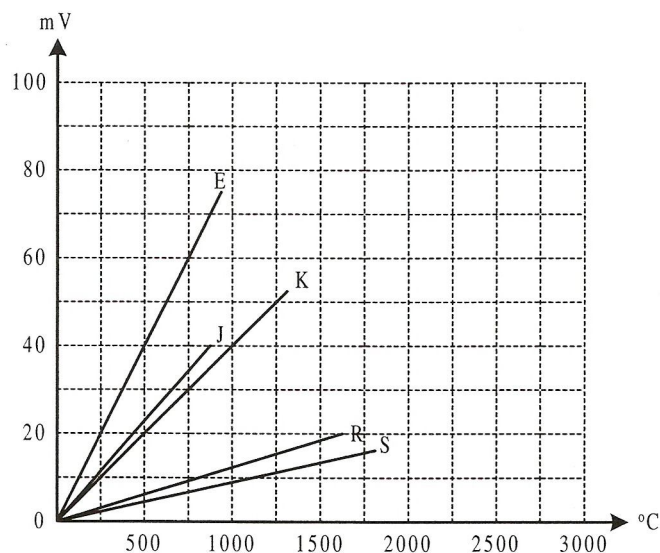
2. เทอร์โมคัปเปิลชนิด R (Type R) เป็นเทอร์โมคัปเปิลที่สายลวดทำจากแพลตินัม สายลวดทำจากโลหะผสมระหว่างแพลตินัม 87% กับโรเดียม 13% จะให้แรงดันไฟฟ้าสูงกว่าแบบ S และวัดอุณหภูมิ 0°C ถึง 1482 °C เหมือนชนิด S

3. เทอร์โมคัปเปิลชนิด B (Type B) เทอร์โมคัปเปิลชนิด B ผลิตเมื่อ ค.ศ. 1954 ที่เยอรมัน สายลวดทำจากโลหะผสมระหว่างแพลตินัม 70% กับโรเดียม 30% และสายลวดทำจากแพลตินัม 94% กับโรเดียม 6% เทอร์โมคัปเปิลชนิด B จะให้แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าชนิด S และ R แต่มีคุณสมบัติแข็งแรงทนทานกว่า สามารถวัดอุณหภูมิได้ถึง 1704 °C

4. เทอร์โมคัปเปิลชนิด J (Type J) สายลวดทำจากเหล็กและสายลวดทำจากโลหะผสมระหว่างทองแดง 60% กับนิกเกิล 40% เรียกว่าคอนสแตนต์ (Constantan) ทั้งนี้เพื่อทดแทนแพลตินัมที่มีราคาแพงจะใช้วัดอุณหภูมิ -190 °C ถึง 760 °C

5. เทอร์โมคัปเปิลชนิด K (Type K) เป็นเทอร์โมคัปเปิลที่วัดอุณหภูมิได้สูงกว่าแบบ J สายลวดทำจากโลหะผสมระหว่างนิกเกิล 10% กับโครเมียม 5% เป็นส่วนผสมระหว่างออลูมิเนียม แมงกานีส

และ ซิลิคอน ชนิด K ใช้กันมากที่สุดซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิได้ระหว่าง -190°C ถึง 1260°C



ภาพที่ 22 เปรียบเทียบกราฟของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด

ที่มา: ศักรินทร์ (2545)

ภาพที่ 22 เป็นกราฟแรงดันไฟฟ้าต่ออุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิล โดยชนิด E, J และ K มีความชันหรือสโลปมากซึ่งมีความไวการวัดอุณหภูมิสูง ส่วนชนิด R และ S มีความชันน้อยจะมีความไวการวัดอุณหภูมิน้อย โดยปกติแล้วเทอร์โมคัปเปิลที่ทำจากธาตุบริสุทธิ์จะให้กราฟเป็นเชิงเส้นดี แต่ผลิตแรงดันไฟฟ้าต่ำออกมา

กะเพรา

สุนทร (2540) กล่าวว่ากะเพราหรือทางเหนือเรียกว่า กอมก้อ เป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Labiatae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ocimum sanctum* Linn. พืชที่อยู่ในตระกูลนี้ที่สำคัญได้แก่ โหระพา แมงลัก เป็นต้น กะเพราเป็นพืชผักจำพวกเครื่องเทศที่ใช้ใบสดใบอ่อนในการประกอบอาหารเพื่อช่วยดับกลิ่นคาวและช่วยให้อาหารมีกลิ่นหอม

กะเพราเป็นไม้พุ่มล้มลุก ซึ่งอาจสูงถึง 1 เมตร ใบรูปไข่ บางและนุ่ม ลำต้นและใบมีขนปกคลุมทั่วไป ใบมีสีเขียว บางสายพันธุ์สีม่วงอมแดง ใบมีรสเผ็ดร้อน ใช้รับประทานสดได้ ช่อออกดอกตั้งตรง โดยมีดอกติดรอบแกนช่อเป็นชั้นๆ

พันธุ์กะเพรา

กะเพราที่ปลูกกันอยู่ทั่วไปมีอยู่ 2 ชนิด คือ กะเพราขาวและกะเพราแดง ซึ่งเรียกชื่อตามสีของก้านใบและก้านดอก

วิธีการปลูก

การปลูกกะเพราโดยทั่วไปมีการปฏิบัติกันอยู่ 3 วิธี ดังนี้

1. ปลูกโดยการหว่านเมล็ด เริ่มจากการรดน้ำให้ชุ่มทั่วแปลง แล้วหว่านเมล็ดพันธุ์ให้กระจายสม่ำเสมอทั่วแปลง ใช้เกลบขาวหรือเกลบดำโรยคลุมให้ทั่วแปลง จากนั้นใช้ฟางแห้งหรือหญ้าแห้งคลุมทับบางๆเสร็จแล้วให้รดน้ำตาม และรดทุกๆวัน หลังออกประมาณ 15-20 วันควรทำการถอนแยกให้ได้ระยะห่าง 20 x 20 เซนติเมตร

2. ปลูกโดยใช้ต้นกล้า เป็นวิธีที่เกษตรกรนิยมกันมาก คดยทำการเพาะต้นกล้าในแปลงเพาะจนกระทั่งกล้ามีอายุ 20-25 วัน จึงทำการย้ายปลูก

3. ปลูกโดยใช้ต้นและกิ่งแก่ วิธีการโดยตัดต้นและกิ่งแก่ที่มีอายุมากกว่า 8 เดือน ให้มีความยาว 5-10 เซนติเมตร เด็ดยอดและใบออก แล้วนำต้นหรือกิ่งแก่ไปปักชำในแปลง

การปฏิบัติและดูแลรักษา

กะเพราเป็นพืชที่ต้องการความชื้นสูงและสม่ำเสมอ ดังนั้นควรมีการรดน้ำเข้า-เย็น แต่ระวังอย่าให้มีการท่วมขังของน้ำในแปลง และระยะแรกควรมีการพรวนดินและกำจัดวัชพืชทุก 1-2 สัปดาห์ โดยปกติแล้วกะเพราเป็นพืชที่ไม่ค่อยมีปัญหาการทำลายของโรคและแมลงมากนัก

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

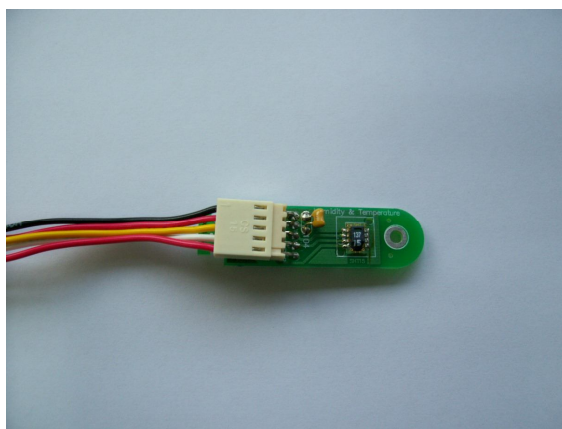
ในการออกแบบสร้างและทดสอบ มีการใช้อุปกรณ์ต่างตามรายการดังนี้

1. บอร์ดควบคุมของบริษัท ETT รุ่น CP-JR51AC2 V1 ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS51 เบอร์ AT 89451AC2 ใช้ในการควบคุมการทำงานทั้งหมดของหุ่นยนต์ (ภาพที่ 23)
2. หัววัดความชื้นสัมพัทธ์ เบอร์ SHT15 ติดตั้งอยู่กับตัวหุ่นยนต์สามารถวัดความชื้นสัมพัทธ์ได้ในช่วง 0 - 100% ความละเอียดในการวัด 0.03 – 0.5% (ภาพที่ 24)
3. มอเตอร์เกียร์กระแสตรง 12 V ขนาด 36 W ความเร็วรอบสูงสุด 50 rpm ใช้เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์ (ภาพที่ 25)
4. แบตเตอรี่ขนาด 12 V 12AH ใช้เป็นแหล่งพลังงานของหุ่นยนต์
5. ปั๊มน้ำชนิด Diaphragm กระแสตรง 12V ของบริษัท Shurflo รุ่น SLV10-AA40 แรงดันน้ำสูงสุด 40 psi (2.8 bar) อัตราการไหลสูงสุด 1.4 l/min มี Pressure Switch ตัดการทำงานที่ 40 psi และต่อการทำงานที่ 25 ± 5 psi (ภาพที่ 26)
6. หัวพ่นหมอกแบบ 4 ทิศทางของบริษัท Super Product แรงดันใช้งานอยู่ที่ 35-45 psi อัตราการไหล 28 l/hr พร้อมทั้งติดตั้งวาล์วกันน้ำหยด สำหรับเพิ่มความชื้นในโรงเรือนจำนวน 2 หัว (ภาพที่ 27)
7. โซลินอยด์ขนาด 12 V สำหรับใช้ในระบบเติมน้ำอัตโนมัติ (ภาพที่ 28)
8. โซลินอยด์วาล์วขนาด 3/8" 220 V สำหรับเปิดน้ำเข้าสู่ถังเก็บน้ำของหุ่นยนต์ (ภาพที่ 29)

9. ไมโครสวิตช์ขนาด 15 Amp 250 V จำนวน 1 ตัวสำหรับ เปิด/ปิด การทำงานของโซลินอยด์วาล์ว (ภาพที่ 30)
10. ไมโครสวิตช์ขนาด 1 Amp 125 V จำนวน 2 ตัวสำหรับใช้ระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ (ภาพที่ 31)
11. ถังน้ำทรงสี่เหลี่ยมขนาด 24 ลิตร ไว้ที่เก็บน้ำสำหรับใช้กับระบบพ่นหมอก
12. ตัวโรงเรือนทดลองเป็นโรงเรือนที่มีลักษณะ โครงสร้างเป็นรูปโค้งเหลี่ยม ทำจากท่อเหล็กอบสังกะสี มีขนาด กว้างXยาวXสูง 5.0x6.0x3.0 m ตามลำดับ โดยโค้งด้านบนมีระยะเหลื่อม 15 cm (ภาพที่ 32)
12. อุปกรณ์สำหรับวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ภาพที่ 33)
13. พัดลม ขนาด 20 นิ้วใบ 4 แฉก ขนาดมอเตอร์ 1/4 แรงม้า สำหรับดูดอากาศเข้าสู่โรงเรือน โดยติดตั้งที่ส่วนท้ายของโรงเรือน (ภาพที่ 34)
14. เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบดิจิตอล ของบริษัท TESTO รุ่น testo 435 สำหรับวัดความเร็วลมของพัดลม (ภาพที่ 35)
15. เทอร์โมมิเตอร์ แบบเทอร์โมคัปเปิล ใช้วัดอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บ (ภาพที่ 36)
16. Sling Psychrometer ใช้วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ (ภาพที่ 37)
17. เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ของบริษัท CAMPBELL SCIENTIFIC รุ่น 21X ใช้สำหรับเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ทั้งภายในและภายนอกโรงเรือน (ภาพที่ 38)



ภาพที่ 23 บอร์ดควบคุม CP-JR51AC2 V1



ภาพที่ 24 เซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ SHT 15



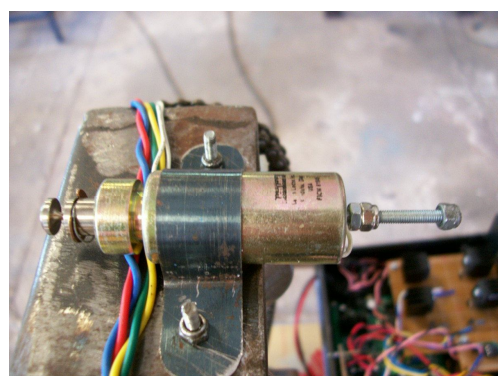
ภาพที่ 25 มอเตอร์เกียร์



ภาพที่ 26 ปั๊มน้ำ



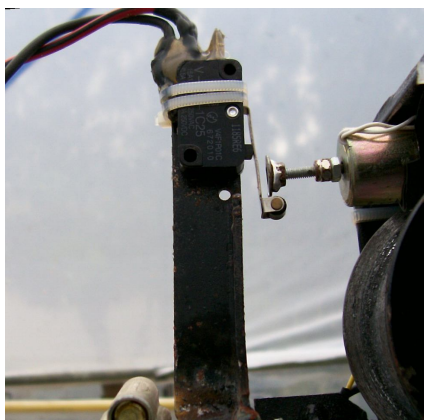
ภาพที่ 27 หัวฟันหมอก 4 ทิศทาง



ภาพที่ 28 โซลินอยด์



ภาพที่ 29 โซลินอยด์วาล์ว



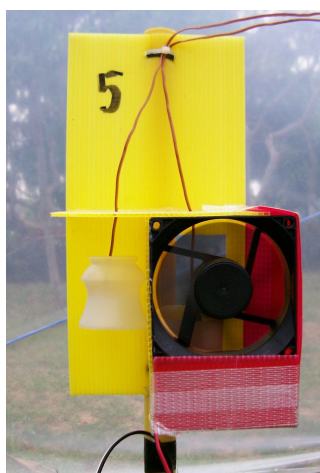
ภาพที่ 30 ไมโครสวิตช์



ภาพที่ 31 ไมโครสวิตช์



ภาพที่ 32 โรงเรือนทดลอง



ภาพที่ 33 อุปกรณ์สำหรับเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์



ภาพที่ 34 พัดลมขนาด 20 นิ้ว



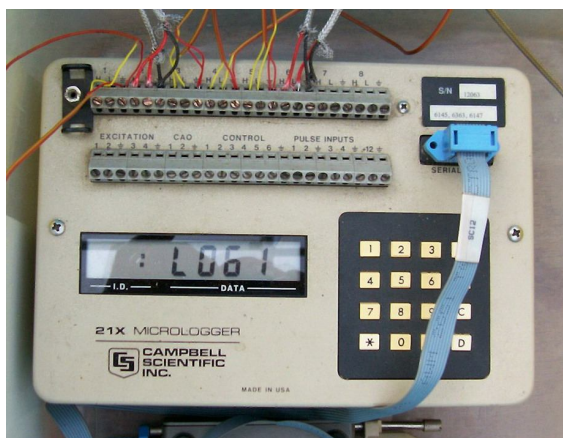
ภาพที่ 35 เครื่องวัดความเร็วลม



ภาพที่ 36 เทอร์โมมิเตอร์



ภาพที่ 37 Sling Psychrometer



ภาพที่ 38 เครื่องบันทึกข้อมูล

วิธีการ

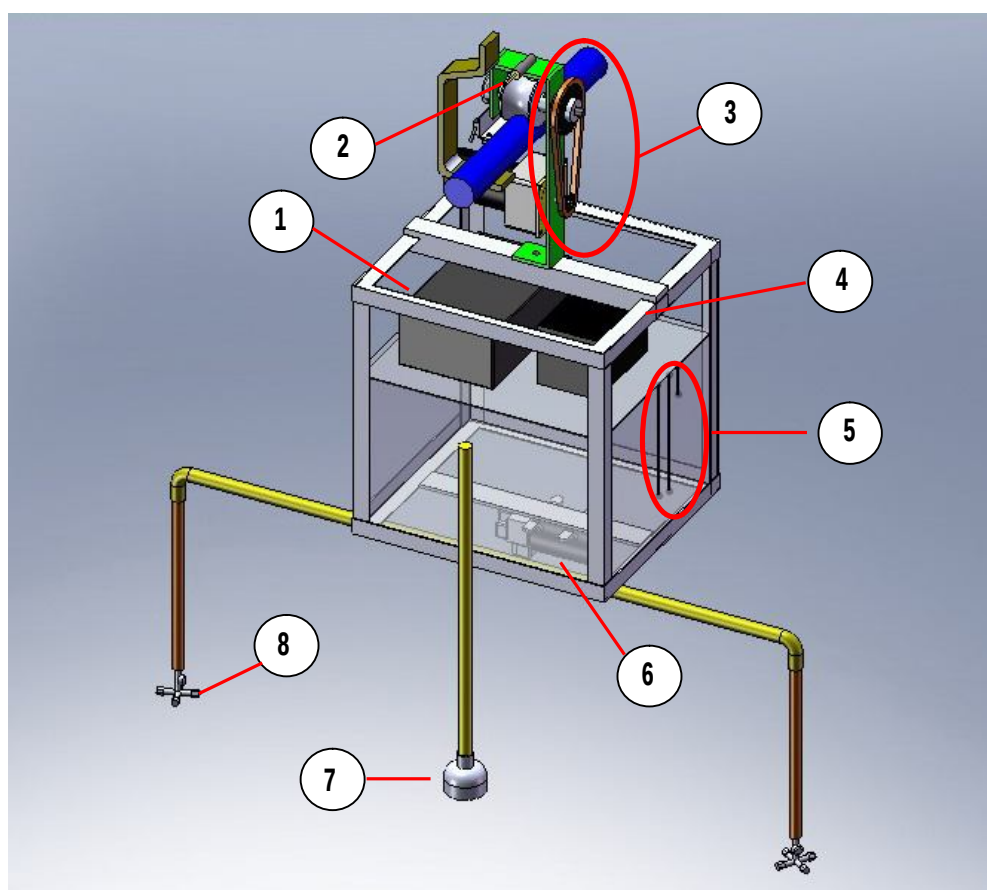
การออกแบบหุ่นยนต์

แนวคิดในการออกแบบหุ่นยนต์

เป็นการออกแบบหุ่นยนต์เพื่อเพิ่มความชื้นอากาศภายในโรงเรือนกระจก โดยใช้เซนเซอร์วัดความชื้นชนิด IC ที่ติดตั้งอยู่กับหุ่นยนต์ ซึ่งถูกออกแบบให้สามารถบรรทุกน้ำและเคลื่อนที่อยู่บนรางกลมที่ติดตั้งอยู่ภายในโรงเรือนกระจก โดยเริ่มต้นทำงานได้เองตามเวลาหรือค่าความชื้นที่ตั้งไว้ หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ออกจากจุดเริ่มต้นและตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ในบริเวณที่เคลื่อนที่ผ่าน เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ในบริเวณใดมีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ หุ่นยนต์จะหยุดเคลื่อนที่ ระบบพ่นหมอกซึ่งประกอบไปด้วยปั้มน้ำและหัวพ่นหมอกจำนวน 2 หัวก็จะทำงาน โดยทำการพ่นเป็นเวลา 5 วินาที และหยุดเป็นเวลา 10 วินาที หลังจากนั้นเซนเซอร์จะทำการตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ในบริเวณนั้นอีกครั้ง ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ยังต่ำกว่าค่าที่กำหนด ระบบก็จะทำการพ่นซ้ำจนค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับค่าที่ตั้งไว้ หุ่นยนต์ถึงจะเคลื่อนที่ต่อไปจนถึงปลายทางและเคลื่อนที่กลับมายังตำแหน่งเริ่มต้น ซึ่งในขณะที่เคลื่อนที่กลับหุ่นยนต์ก็จะทำตามขั้นตอนซ้ำเหมือนกับขั้นตอนแรก จนเมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่มาถึงจุดเริ่มต้นก็จะทำการเติมน้ำเองโดยอัตโนมัติเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการทำงานในครั้งต่อไป

ส่วนประกอบหลักของหุ่นยนต์

การออกแบบหุ่นยนต์โดยรวมมีลักษณะแสดงดังภาพที่ 39 ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ 7 ส่วน คือ (1) กล่องควบคุม (2) โซลินอยด์ (3) ระบบขับเคลื่อน (4) แบตเตอรี่ (5) ระบบตรวจสอบระดับน้ำ (6) ป้อนน้ำแรงดันสูง (7) เซนเซอร์วัดความชื้น และ (8) หัวพ่นหมอก 4 ทิศทาง



ภาพที่ 39 ส่วนประกอบหลักของหุ่นยนต์

หาขนาดของมอเตอร์ขับเคลื่อน

จากสูตรการหาแรงเสียดทานสถิต

$$F = \mu_s N \quad (7)$$

เมื่อ μ_s คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตระหว่าง ล้อเหล็กกับราง มีค่าเท่ากับ 0.0216
 N คือ น้ำหนักรวมของหุ่นยนต์ มีค่าเท่ากับ 461.07 N

ดังนั้น แรงเสียดทานสถิต = $0.0216 \times 461.07 = 9.959 \text{ N}$

เนื่องจากล้อเหล็กมีขนาดรัศมี เท่ากับ 0.0375 m

ดังนั้น ค่าแรงบิด = $9.959 \times 0.0375 = 0.3735 \text{ Nm}$

เนื่องจากอัตราทดของเฟืองโซ่ เท่ากับ 1 : 0.75

ดังนั้น ค่าแรงบิดที่ส่งไปที่มอเตอร์ = $0.3735 \times 0.75 = 0.280 \text{ Nm}$

จากสูตรหากำลังของมอเตอร์

$$P = 2 \pi T N / 60 \quad (8)$$

เมื่อ T คือ ค่าแรงบิดที่ส่งไปที่มอเตอร์ มีค่าเท่ากับ 0.280 Nm

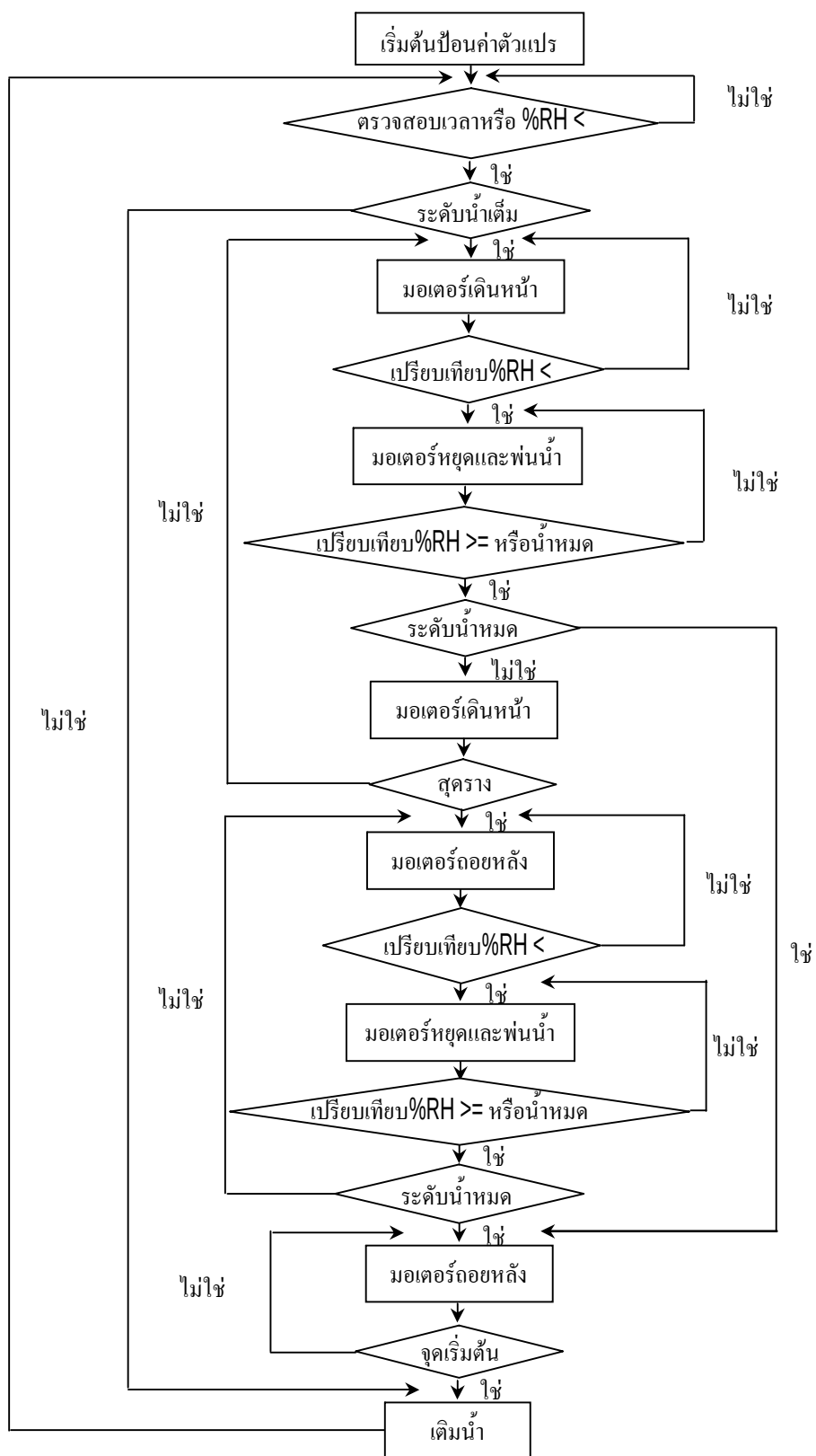
N คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์ มีค่าเท่ากับ 50 rpm

ดังนั้นกำลังของมอเตอร์ = $2 \times 3.14159 \times 0.280 \times 50 / 60 = 1.466 \text{ W}$

แต่เนื่องจากว่ายังมีแรงเสียดในส่วนอื่นอีกที่ไม่ได้นำมาคิดเช่น แรงเสียดทานของลูกปืนล้อ และแรงเสียดทานระหว่างลูกปืนกดรากับราง และมอเตอร์เกียร์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดที่สามารถหาได้มีขนาด 36 W สรุปจึงเลือกใช้มอเตอร์เกียร์ขนาด 36 W

การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงาน

การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานเริ่มต้นด้วยการออกแบบ ขั้นตอนการทำงาน ทั้งหมดของหุ่นยนต์ แสดงดังภาพที่ 40



ภาพที่ 40 ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์

การออกแบบโรงเรือนทดลอง

โครงสร้างของโรงเรือนทดลอง

1. โรงเรือนที่ใช้ในการทดลองและเก็บข้อมูลเป็นโรงเรือนที่มีลักษณะ โครงสร้างเป็นแบบ โครงเหล็ก ทำจากท่อเหล็กอบสังกะสี มีขนาด กว้างXยาวXสูง 5.0x6.0x3.0 เมตร ตามลำดับ โดย โถงด้านบนมีระยะเหล็ก 15 เซนติเมตร

2. นำพลาสติกใสชนิด โพลีเอทิลีนความหนา 0.2 มิลลิเมตร มาคลุมตัวโครงโรงเรือน โดยเว้นระยะช่องเปิดด้านล่างสูงจากพื้น 15 เซนติเมตร เพื่อให้สามารถควบคุมความชื้นภายใน โรงเรือนได้

การระบายอากาศของโรงเรือน

เนื่องจากโรงเรือนที่ใช้มีลักษณะเป็น โครงแบบโถงเหล็ก ซึ่งมีช่องระบายอากาศร้อนอยู่ ทางด้านบนของโรงเรือน และเพื่อเพิ่มการระบายอากาศจึงมีการเว้นช่องว่างให้ทางด้านล่างของ โรงเรือน ดังนั้นอากาศเย็นจากภายนอกสามารถไหลเข้าสู่ภายในโรงเรือนโดยผ่านทางช่องเปิด ด้านล่างของโรงเรือน และอากาศร้อนจะไหลออกจากโรงเรือนทางช่องเปิดทางด้านบนแสดงดัง ภาพที่ 41



ภาพที่ 41 แสดงช่องเปิดทางด้านบนและด้านล่างของโรงเรือน

นอกจากนี้ยังติดตั้งพัฒนาระบายอากาศที่ส่วนท้ายของโรงเรือน โดยพัฒมจะทำงานในลักษณะดูดอากาศเข้าโรงเรือน เพื่อช่วยในการระบายอากาศออกจากโรงเรือนอีกทางหนึ่งแสดงดังภาพที่ 42



ภาพที่ 42 พัฒมดูดอากาศเข้าสู่โรงเรือน

การออกแบบรางวิ่งสำหรับหุ่นยนต์

เนื่องจากหุ่นยนต์ต้องสามารถเคลื่อนที่ได้ภายในโรงเรือน ดังนั้นรางเลื่อนที่เลือกใช้จึงทำจากท่อเหล็กอบสังกะสี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว โดยรางจะประกอบด้วยทางตรงและโค้ง 90 องศา รัศมี 15 เซนติเมตร จำนวน 2 โค้ง ความยาวรางรวม 10 เมตร ความสูงของรางจากพื้น 2 เมตร โดยระยะห่างของรางทั้งสองอยู่ที่ 2 เมตร เพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปได้ทั่วบริเวณของโรงเรือนแสดงดังภาพที่ 43



ภาพที่ 43 รางวิ่งที่ติดตั้งในโรงเรือน

การวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

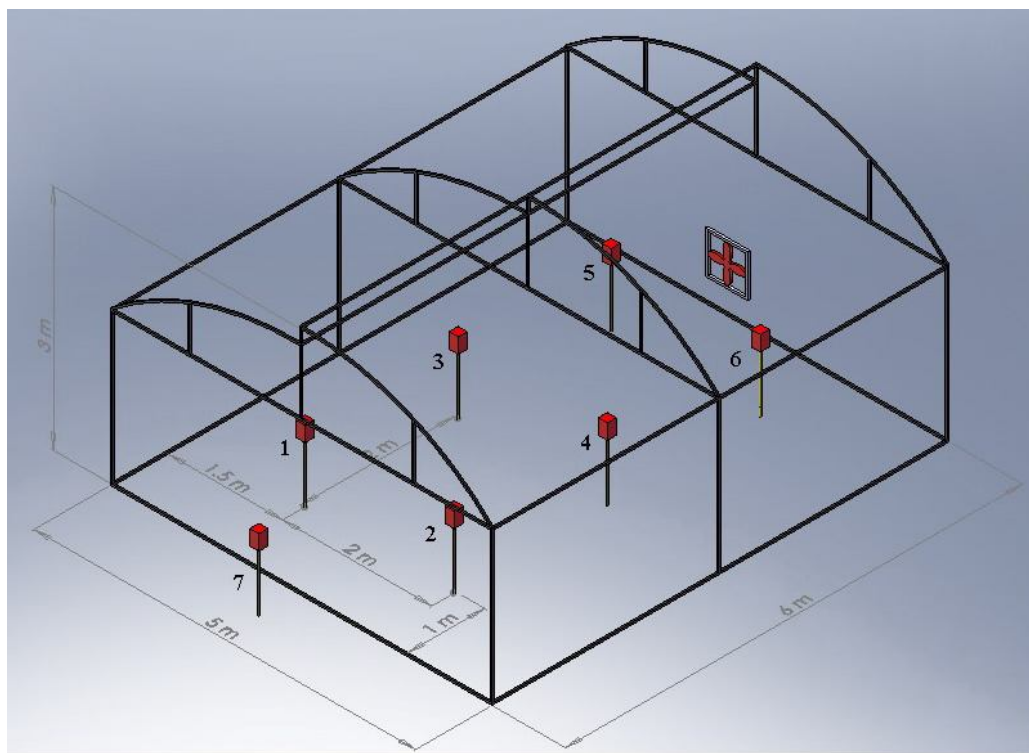
อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ใช้หลักการของอุปกรณ์วัดความชื้นสัมพัทธ์แบบกระเปาะเปียก-กระเปาะแห้ง โดยการใช้เทอร์โมคัปเปิล จำนวน 1 คู่ โดยเส้นหนึ่งจะใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของอากาศแบบกระเปาะแห้ง ส่วนอีกเส้นหนึ่งจะทำการวัดแบบกระเปาะเปียก แสดงดังภาพที่ 44 โดยปลายของเทอร์โมคัปเปิลส่วนที่ใช้วัดจะพันด้วยไส้ตะเกียง โดยจุ่มปลายด้านหนึ่งของไส้ตะเกียงลงไปในน้ำอยู่ตลอดเวลา โดยมีพัดลมขนาด 3 นิ้วเป่าเพื่อช่วยเพิ่มการระเหย เมื่อต้องการทราบความชื้นสัมพัทธ์จะได้อ่านค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จากกระเปาะแห้งลบกับอุณหภูมิที่อ่านได้จากกระเปาะเปียก แล้วนำค่าที่ได้ไปเปิดตารางหาค่าความชื้นสัมพัทธ์



ภาพที่ 44 อุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

ตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

ติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ไว้ในตำแหน่งต่างๆ ภายในโรงเรือน
จำนวน 6 ตำแหน่ง และภายนอกโรงเรือนอีก 1 ตำแหน่ง แสดงดังภาพที่ 45 แล้วต่อสัญญาณไปยัง
Data Logger เพื่อทำการเก็บข้อมูล แสดงดังภาพที่ 46



ภาพที่ 45 ตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์



ภาพที่ 46 การต่อสายสัญญาณกับ Data Logger

การทดสอบประสิทธิภาพของหุ่นยนต์

การทดสอบประสิทธิภาพของหุ่นยนต์แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

การทดสอบหาความเร็วในการเคลื่อนที่และระยะเวลาการเปลี่ยนแบตเตอรี่

1. การหาความเร็วในการเคลื่อนที่ทำโดยจับเวลาในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์บนรางยาว 2 เมตร โดยบรรจุทุกน้ำเต็มถึงจำนวน 24 ลิตร
2. การหาระยะเวลาการเปลี่ยนแบตเตอรี่ทำโดยวัดความต่างศักย์ของแบตเตอรี่ก่อนการใช้งานและหลังจากใช้งานไปแล้ว 24 ชั่วโมง

การทดสอบความสามารถในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์

1. จัดเรียงต้นกะเพราที่ใช้ในการทดลองภายในโรงเรือน โดยจัดเป็นแถวทั้งหมด 5 แถว จำนวนแถวละ 4 ต้น
2. ทำการรดน้ำวันละ 2 ครั้ง คือเวลา 9.00 น. และ 15.00 น.
3. พัดลมระบายอากาศจะเปิดตั้งแต่วันที่เวลา 9.00 น. และปิดในเวลา 17.00 น.
4. ตั้งค่าในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนไว้ไม่ต่ำกว่า 60% โดยที่ถ้าค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 60 %ปั๊มจะทำงาน พ่นหมอกเพื่อให้ความชื้นในโรงเรือนเพิ่มขึ้น
5. เก็บและบันทึกข้อมูลค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ทุก 1 ชั่วโมงต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 7 วัน แล้วนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบ ระหว่างภายในและภายนอกโรงเรือน

ผลและวิจารณ์

การออกแบบระบบควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์

บอร์ดควบคุมการทำงาน

ในการออกแบบหุ่นยนต์ในครั้งนี้เลือกใช้บอร์ดควบคุมของ บริษัท อีทีที รุ่น CP-JR51AC2 V1 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS 51 เบอร์ AT 89C51AC2 ซึ่งบอร์ดควบคุมการทำงานจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังนี้

ส่วนแสดงผลและรับข้อมูล

1. ส่วนแสดงผล

ในส่วนแสดงผลใช้จอ LCD ขนาด 16 อักขร 4 แถว ในการแสดงข้อมูล โดยข้อมูลที่แสดงจะประกอบไปด้วย

1.1 หน้าจอปกติ ข้อมูลที่แสดงประกอบไปด้วย วัน/เดือน/ปี, เวลา, ระยะเวลาที่ต้องการให้หุ่นยนต์ทำงาน , ค่าความชื้นที่ต้องการ และค่าความชื้นที่วัดได้จริง แสดงดังภาพที่ 47



ภาพที่ 47 หน้าจอปกติ

1.2 เมนูตั้งวันที่ ข้อมูลที่แสดงประกอบไปด้วย หน้าจอเข้าสู่เมนูและ หน้าจอสำหรับตั้งวันที่ แสดงดังภาพที่ 48



ภาพที่ 48 หน้าจอเมนูตั้งวันที่

1.3 เมนูตั้งเวลา ข้อมูลที่แสดงประกอบไปด้วย หน้าจอเข้าสู่เมนู และ หน้าจอสำหรับตั้งเวลา แสดงดังภาพที่ 49



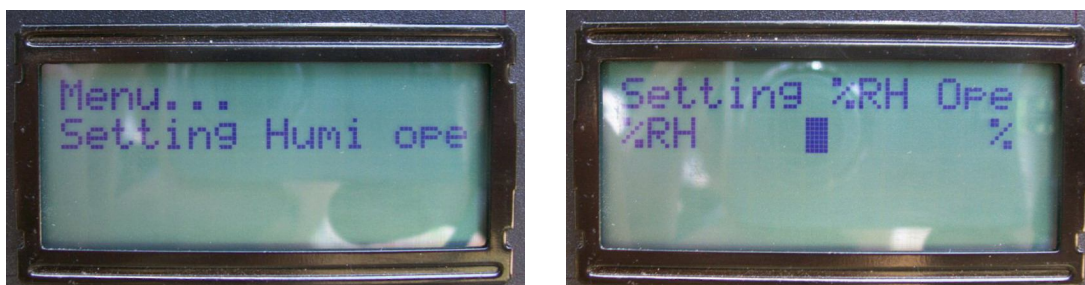
ภาพที่ 49 หน้าจอเมนูตั้งเวลา

1.4 เมนูตั้งเวลาที่ต้องการให้หุ่นยนต์ทำงาน ข้อมูลที่แสดงประกอบไปด้วย หน้าจอเข้าสู่เมนู และหน้าจอสำหรับตั้งเวลาที่ต้องการให้หุ่นยนต์ทำงาน โดยสามารถเลือกได้ว่าต้องการให้ทำงานทุก 1,2,หรือ 3 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 50



ภาพที่ 50 หน้าจอเมนูตั้งเวลาที่ต้องการให้หุ่นยนต์ทำงาน

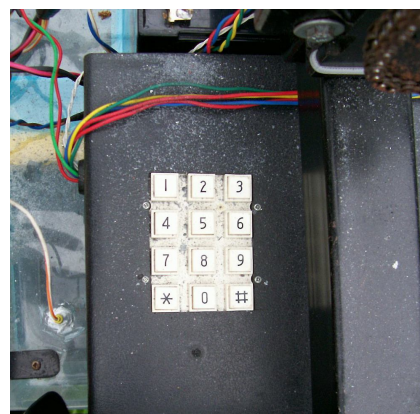
1.5 เมนูตั้งความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการ ข้อมูลที่แสดงประกอบไปด้วย หน้าจอเข้าสู่เมนู และ หน้าจอสำหรับตั้งค่าความชื้น แสดงดังภาพที่ 51



ภาพที่ 51 หน้าจอเมนูตั้งความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการ

2. ส่วนรับข้อมูล

ในส่วนรับข้อมูลจะประกอบไปด้วย ปุ่มเข้าสู่เมนู (MENU) , ปุ่มตกลง (ENTER) , ปุ่มเลื่อนเมนูขึ้น (UP) , ปุ่มเลื่อนเมนูลง (DOWN) และ Key Pad สำหรับการป้อนค่า แสดงดังภาพที่ 52

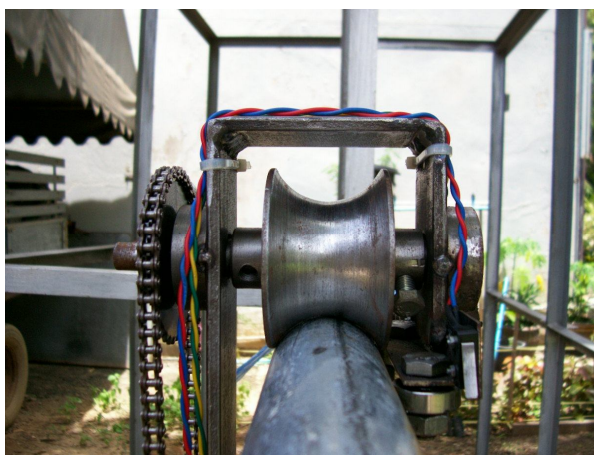


ภาพที่ 52 ส่วนรับข้อมูล

ระบบขับเคลื่อน

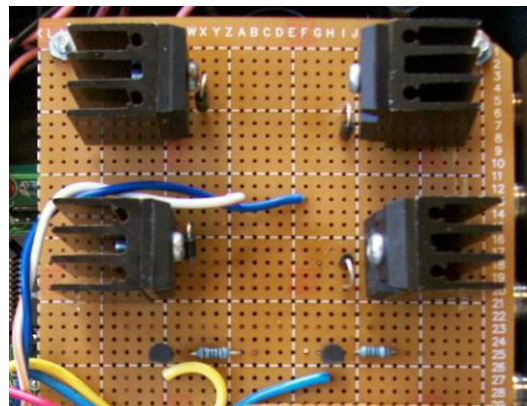
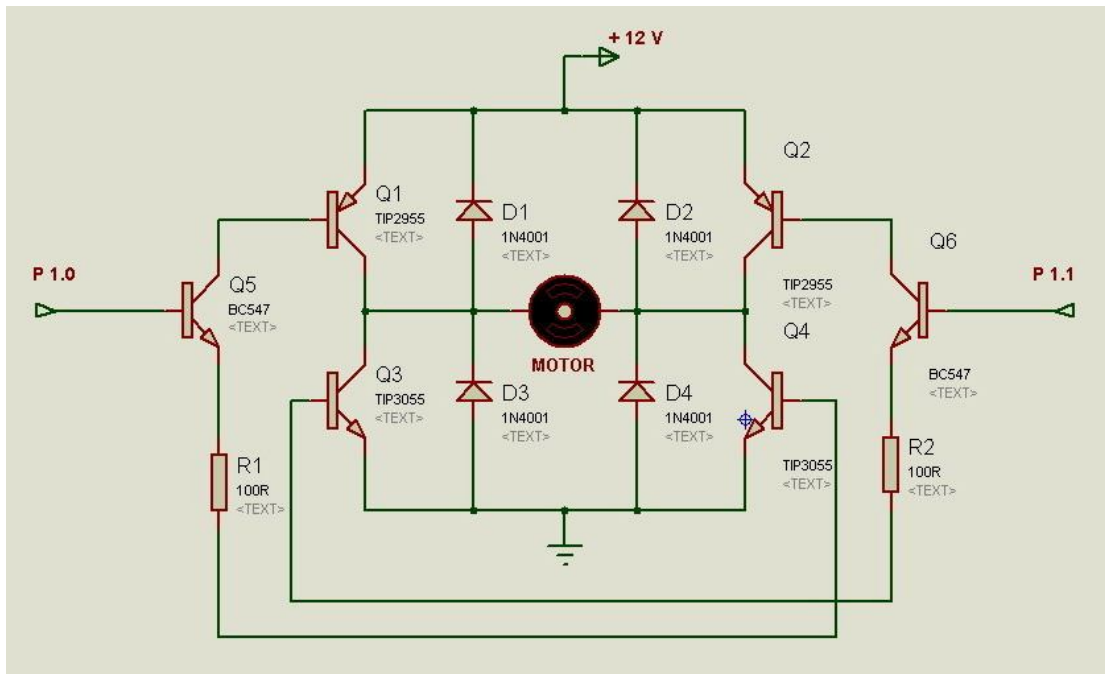
เนื่องจากหุ่นยนต์จะต้องเคลื่อนที่บนรางที่มีลักษณะเป็นท่อเหล็กกลมที่ติดตั้งอยู่ในลักษณะแขวนกับโครงสร้างของโรงเรือน ระบบขับเคลื่อนประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ

1. ล้อขับเคลื่อน เป็นล้อเหล็กกลึงเป็นร่องตรงกลางเพื่อให้สามารถเกาะอยู่บนรางที่มีลักษณะกลม และมีลักษณะเป็นปีกประกองและเพิ่มลูกปืนกดรางด้านข้าง เพื่อป้องกันการตกราง เมื่อวิ่งผ่านทางโค้ง แสดงดังภาพที่ 53



ภาพที่ 53 ล้อขับเคลื่อน

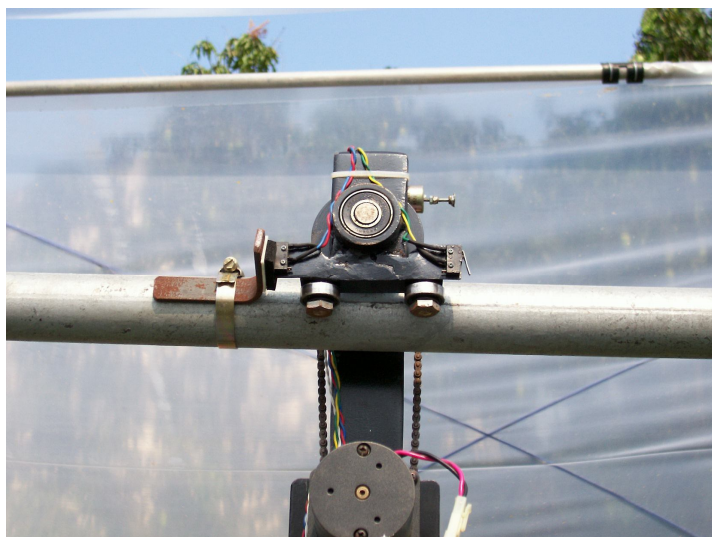
2. ส่วนต้นกำลังขับเคลื่อน ใช้มอเตอร์เกียร์กระแสตรง 12 V ขนาด 36 W ความเร็วรอบสูงสุด 50 rpm ส่งกำลังผ่านโซ่และเฟืองโซ่ขนาด 27 ฟัน และ 36 ฟัน ไปยังล้อขับเคลื่อน โดยอัตราทดอยู่ที่ 1: 0.75 ส่วนวงจรในการขับเคลื่อนใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ TIP 3055 และ TIP 2955 ซึ่งสามารถทนกระแสได้สูงสุด 15 Amp และความต่างศักย์ สูงสุด 60 V แสดงดังภาพที่ 54



ภาพที่ 54 วงจรขับมอเตอร์

โดยออกแบบวงจรให้สามารถขับมอเตอร์ได้ทั้งเดินหน้าและถอยหลัง โดยเมื่อต้องการเดินหน้า สัญญาณจากบอร์ดควบคุมจะส่งมายังทรานซิสเตอร์ Q5 เพื่อเปิดการทำงานของทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q4 ส่วนเมื่อต้องการถอยหลัง สัญญาณจากบอร์ดควบคุมจะส่งมายังทรานซิสเตอร์ Q6 เพื่อเปิดการทำงานของทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3

3. ส่วนของสวิชต์ระบุตำแหน่ง ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ด้านหน้าและด้านหลังของหุ่นยนต์ โดยสวิชต์นี้เป็นตัวช่วยในการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ว่าอยู่ในตำแหน่งหัวรางหรือท้ายราง โดยที่รางจะทำการเชื่อมกันสำหรับกดสวิชต์ทั้งด้านหัวรางและท้ายราง แสดงดังภาพที่ 55



ภาพที่ 55 สวิชต์ระบุตำแหน่ง

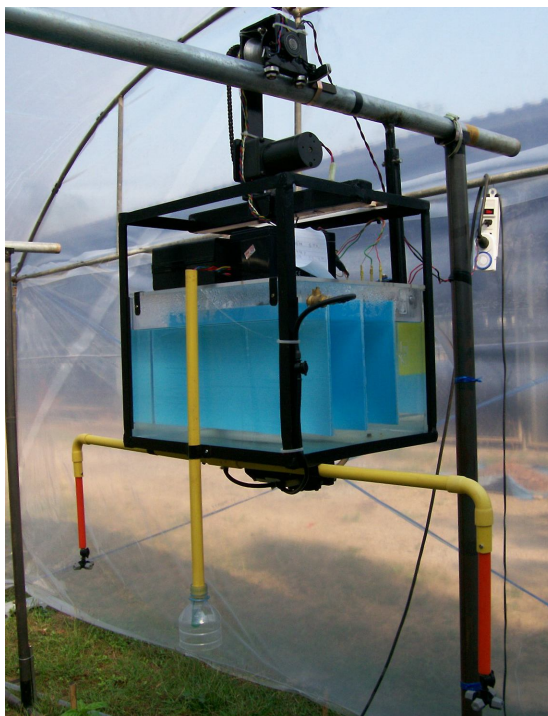
ระบบพ่นหมอก

การทำงานของระบบพ่นหมอกเกี่ยวข้องกับ 2 ส่วนคือ

1. เซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์

เซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ SHT 15 ถูกติดตั้งอยู่บริเวณด้านหน้าของหุ่นยนต์ โดยการสามารถปรับระยะความสูงของหัวเซนเซอร์ได้ แสดงดังภาพที่ 56 เพื่อให้เหมาะสมกับความสูงของต้นไม้พืช โดยที่หัวเซนเซอร์จะถูกครอบด้วยกรวยพลาสติก เพื่อป้องกันละอองน้ำจากหัวพ่นหมอก

เซนเซอร์จะคอยตรวจวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์และส่งสัญญาณไปที่บอร์ดควบคุม เพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการ เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าค่าที่กำหนด บอร์ดควบคุมจะส่งสัญญาณเพื่อเปิดการทำงานของระบบพ่นหมอก



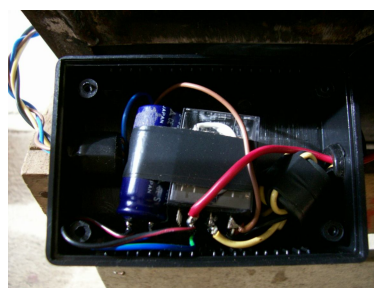
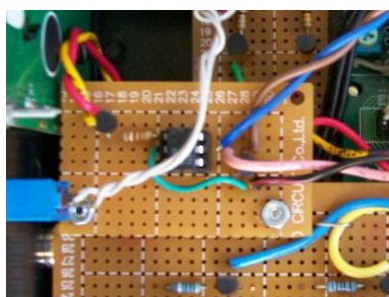
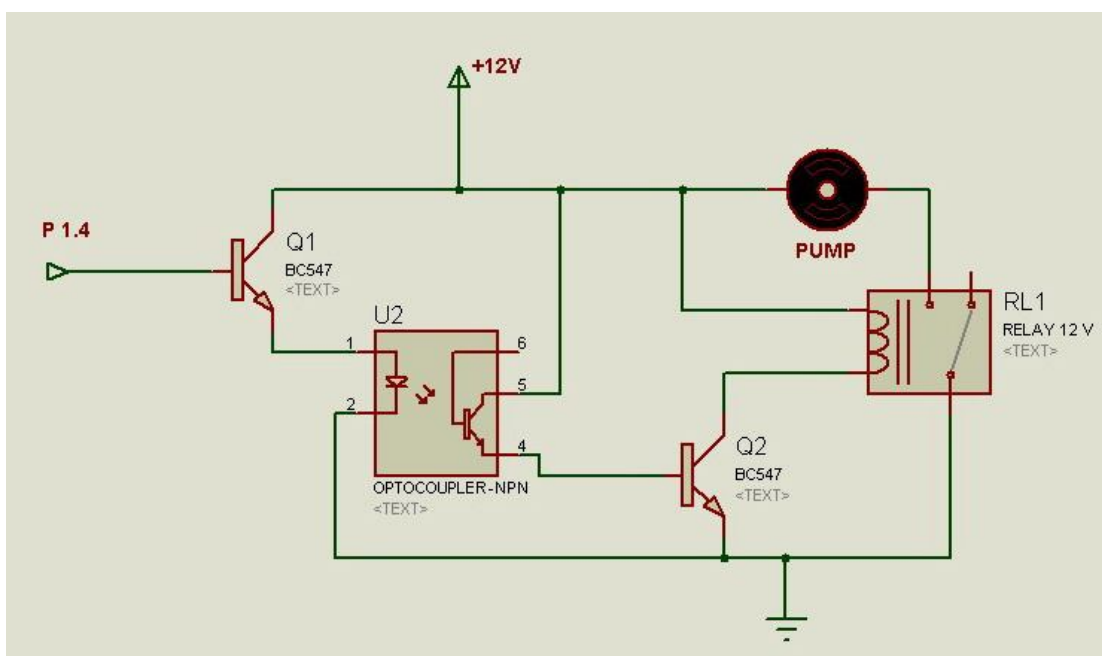
ภาพที่ 56 ตำแหน่งติดตั้งเซนเซอร์ SHT15

2. ป้อนน้ำและหัวพ่นหมอก

ปั้มน้ำถูกติดตั้งอยู่บริเวณด้านล่างของหุ่นยนต์ แสดงดังภาพที่ 57 ปั้มน้ำจะทำงานเมื่อมีสัญญาณจากบอร์ดควบคุมเปิดการทำงานของวงจรขับปั้ม โดยวงจรขับปั้มประกอบไปด้วย Opto Isolated และรีเลย์ แสดงดังภาพที่ 58 สัญญาณที่ส่งมาที่ทรานซิสเตอร์ Q1 เพื่อให้ Opto Isolated เปิดการทำงานของทรานซิสเตอร์ Q2 ให้ไฟจ่ายไปเลี้ยงรีเลย์เพื่อเปิดการทำงานของปั้ม ที่เลือกใช้ Opto Isolated เนื่องจาก ว่าต้องการแยกสัญญาณไฟจากบอร์ดควบคุมออกจากแหล่งจ่ายไฟของปั้ม และใช้ตัวเก็บประจุต่อคร่อมขาของรีเลย์ไว้เพื่อป้องกันการรบกวนในขณะที่ปั้มทำงาน

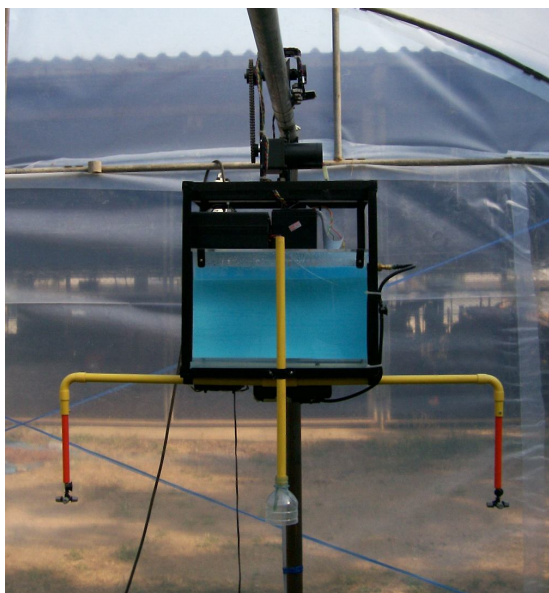


ภาพที่ 57 ตำแหน่งติดตั้งปั้มน้ำ



ภาพที่ 58 วงจรขับปั้มน้ำ

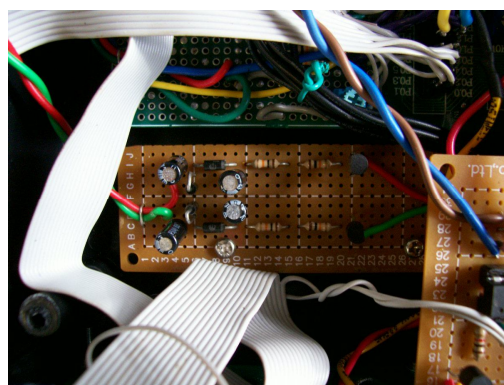
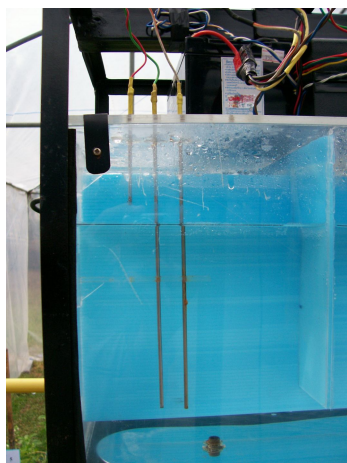
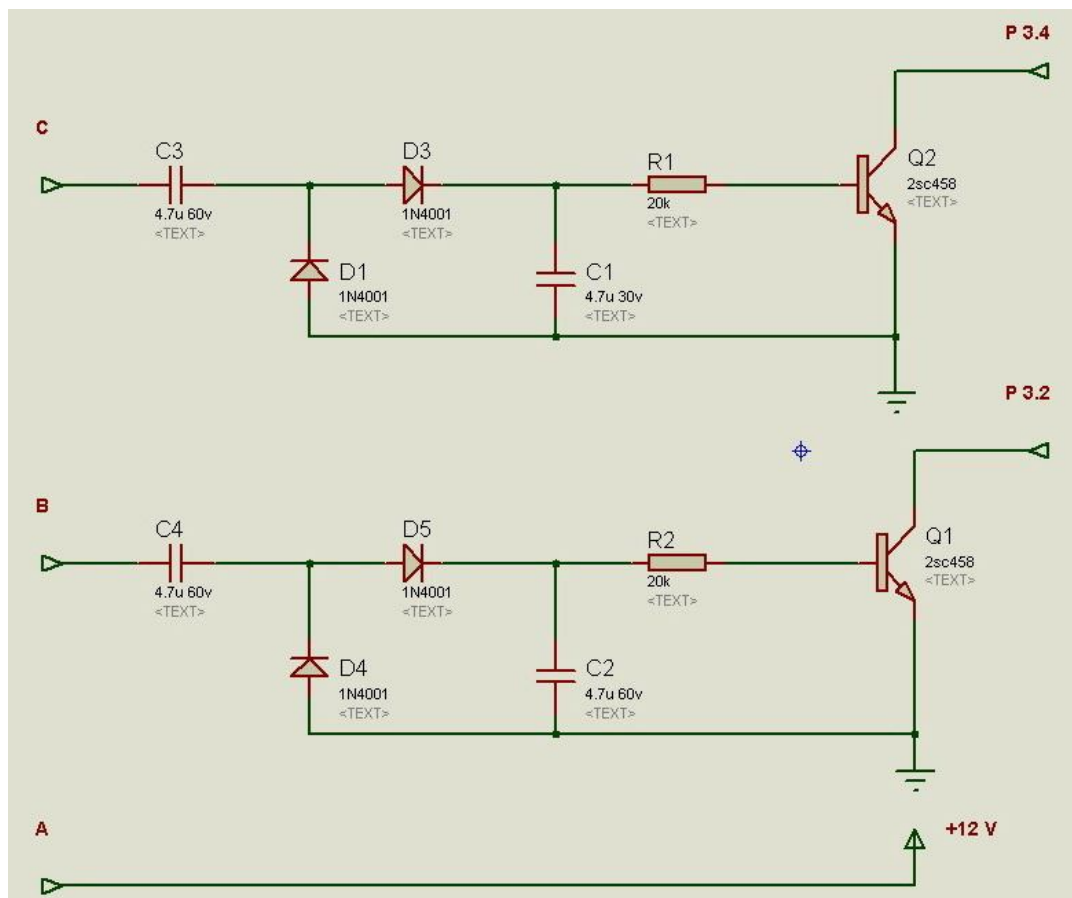
หัวพ่นหมอกจำนวน 2 หัวจะติดตั้งอยู่บนแขนที่ทำจากท่อ PVC โดยจะติดตั้งอยู่บริเวณด้านหน้าของหุ่นยนต์ โดยหัวพ่นหมอกมีระยะห่างระหว่างหัว 3 ฟุต และอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำในถัง 1 ฟุต แสดงดังภาพที่ 59



ภาพที่ 59 ตำแหน่งติดตั้งหัวพ่นหมอก

ระบบตรวจสอบระดับน้ำ

เป็นวงจรที่คอยตรวจสอบระดับน้ำภายในถังเก็บว่าอยู่ในระดับใด โดยการทำงานจะตรวจจับไฟฟ้าภายในถังไว้ 2 ระดับคือระดับน้ำเต็มถังและระดับหมดถัง แสดงดังภาพที่ 60 โดยกระแสไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่ไปจาก ขั้วไฟฟ้า A ไปยังขั้วไฟฟ้า B และ C ได้มาเมื่อน้ำเต็มถัง โดยกระแสไฟฟ้าจะไปเปิดการทำงานของทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 ทำให้กระแสไฟจากพอร์ต 3.4 และ 3.2 ลงกราวด์ แต่เมื่อระดับน้ำต่ำกว่าระดับที่ตั้งไว้กระแสไฟฟ้าไม่สามารถเคลื่อนที่ระหว่างขั้วไฟฟ้าได้ ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 ไม่ทำงานกระแสไฟจากพอร์ต 3.4 และ 3.2 จึงไม่ลงกราวด์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงรับรู้ระดับน้ำในถังได้



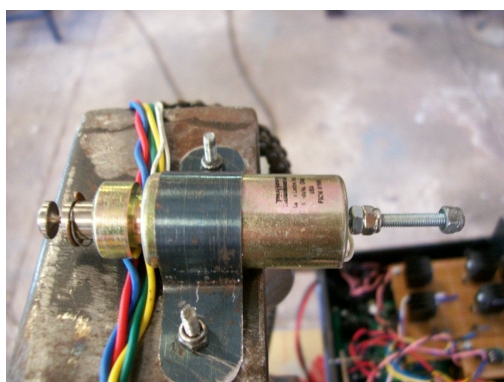
ภาพที่ 60 ขั้วไฟฟ้าและวงจรตรวจสอบระดับน้ำ

ระบบเติมน้ำอัตโนมัติ

เป็นระบบที่คอยเติมน้ำให้เต็มถังหลังจากที่หุ่นยนต์ทำงานเสร็จแล้วโดยการทำงานของระบบจะทำงานร่วมกับระบบตรวจสอบระดับน้ำ โดยจะเติมน้ำให้เท่ากับระดับน้ำเต็มถึงส่วนประกอบสำคัญของระบบนี้มี 2 ส่วน คือ

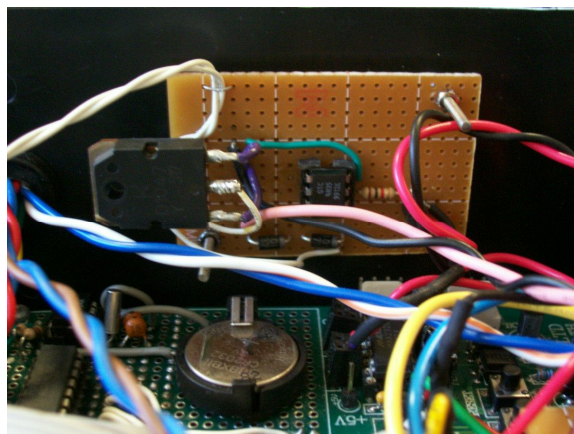
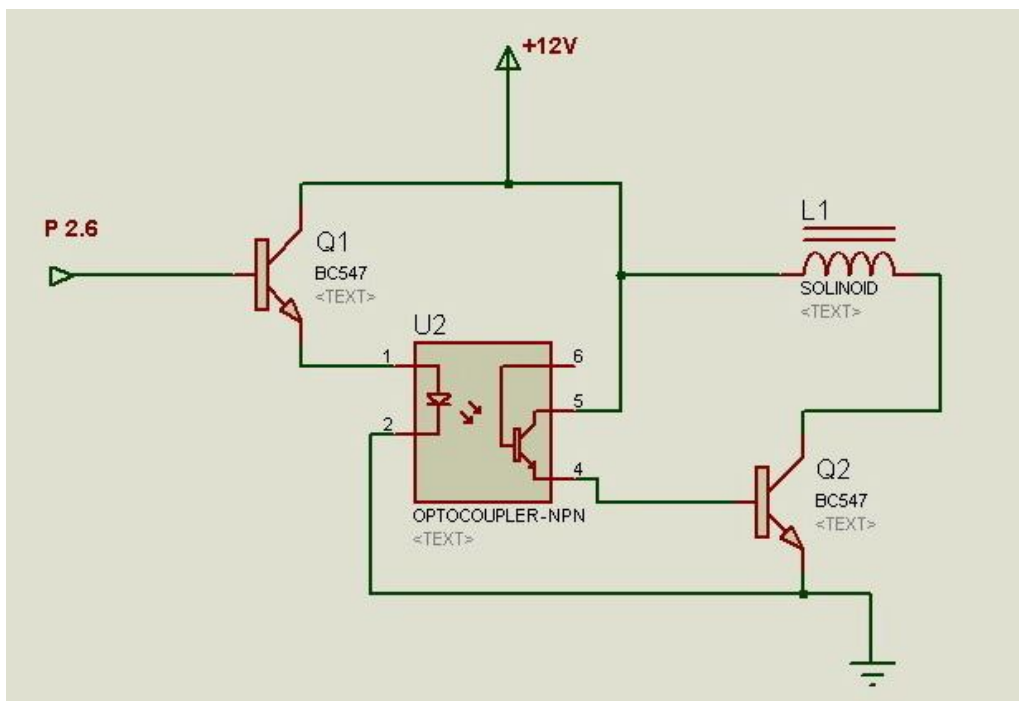
1. โซลินอยด์และวาล์วโซลินอยด์

โซลินอยด์ที่ใช้มีลักษณะเป็นก้านกดสามารถเคลื่อนที่ได้แสดงดังภาพที่ 61 เมื่อทำการป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไปจะเกิดสนามแม่เหล็กดูดให้ก้านโซลินอยด์เคลื่อนที่ และเมื่อทำการตัดกระแสไฟสปริงจะทำหน้าที่ดึงก้าน โซลินอยด์กลับมายังตำแหน่งเดิม



ภาพที่ 61 โซลินอยด์

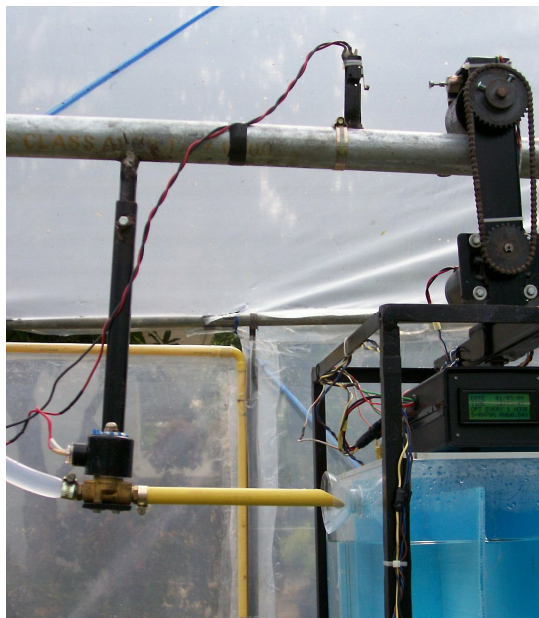
วาล์วโซลินอยด์ใช้วงจรลักษณะเดียวกับวงจรขับปั๊ม แต่เปลี่ยนจากการใช้รีเลย์มาเป็นโซลินอยด์แทนแสดงดังภาพที่ 62 ซึ่งวงจรจะทำงานเมื่อระดับน้ำต่ำกว่าระดับน้ำเต็มถึง สัญญาณจากวงจรตรวจสอบระดับน้ำจะถูกส่งไปที่บอร์ดควบคุม จากนั้นบอร์ดควบคุมจะส่งสัญญาณมาที่ทรานซิสเตอร์ Q1 เพื่อให้ Opto Isolated เปิดการทำงานของทรานซิสเตอร์ Q2 ให้จ่ายไฟไปเลี้ยงโซลินอยด์ โดยไฟเลี้ยงจะถูกตัดเมื่อน้ำอยู่ในระดับเต็มถังแล้ว



ภาพที่ 62 วงจรขับโซลินอยด์

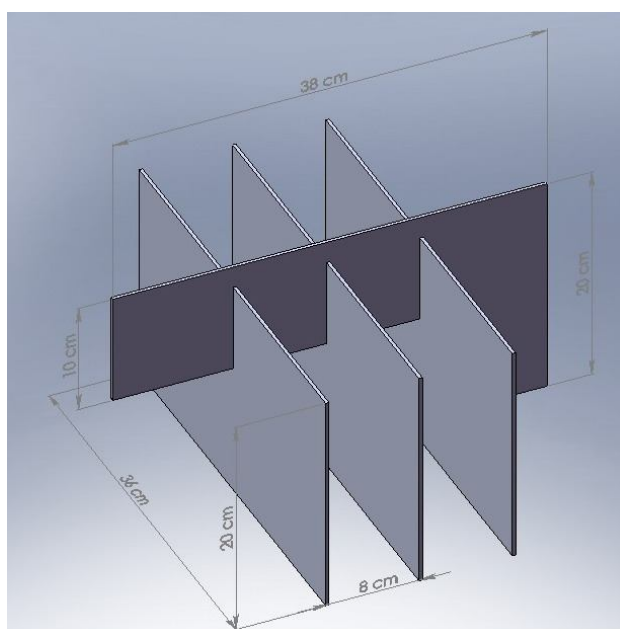
2. อุปกรณ์เติมน้ำอัตโนมัติ

ประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ตัว คือ โซลินอยด์วาล์ว ทำหน้าที่ในการเปิด/ปิดน้ำเข้าสู่ถังเก็บน้ำและ ไมโครสวิตช์ ทำหน้าที่ในการเปิด/ปิดกระแสไฟฟ้าไปเลี้ยงโซลินอยด์วาล์ว แสดงดังภาพที่ 63 โดยเมื่อไมโครสวิตช์ถูกก้านโซลินอยด์กด กระแสไฟฟ้าจะถูกปล่อยไปเลี้ยงโซลินอยด์วาล์วให้วาล์วเปิดน้ำจะไหลเข้าสู่ถัง



ภาพที่ 63 โซลินอยด์วาล์วและไมโครสวิตช์

เนื่องจากว่าในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะเกิดการแกว่งจึงได้ติดตั้งแผ่นกั้นน้ำกระเพื่อม เพื่อลดการแกว่งตัวเข้าไปภายในถังเก็บน้ำ โดยแผ่นกั้นกระเพื่อมทำจากพลาสติก จำนวน 4 แผ่น แสดงดังภาพที่ 64



ภาพที่ 64 แผ่นกั้นน้ำกระเพื่อม

การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์

การเขียนคำสั่งควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเขียนคำสั่งควบคุม

1. เครื่องคอมพิวเตอร์
2. โปรแกรม Keil PK51 ซึ่งใช้ภาษาซีสำหรับเขียนโปรแกรม แสดงดังภาพที่ 65
3. โปรแกรม ATMEAL FLIP ใช้โหลดโปรแกรมที่เขียนแล้วลงสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงดังภาพที่ 66

```

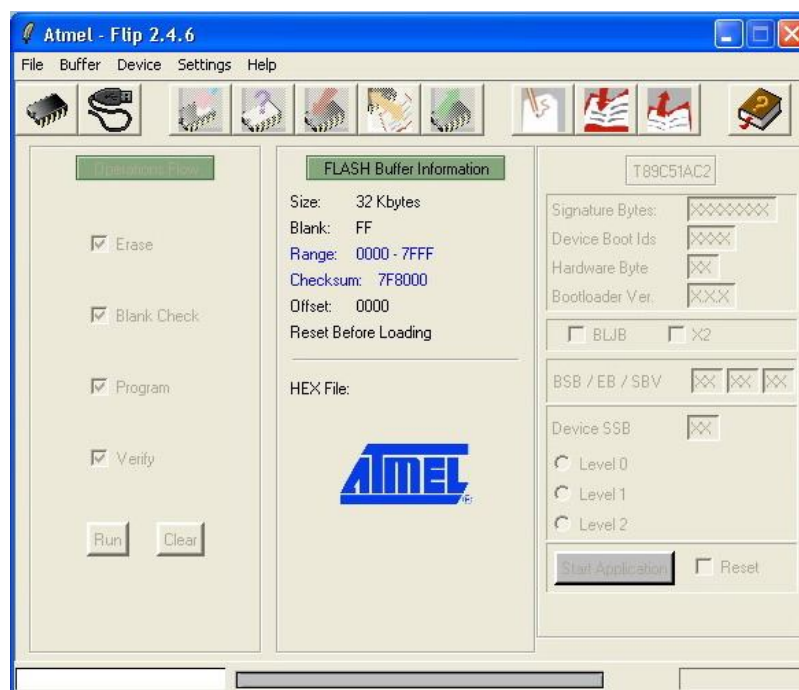
nVision/51 - SHT2306.PRJ - [SHT2306.C]
File Edit Project Run Options Tools Window Help
#include <reg51.h>
#include <i2c.h>
#include <i2c2.h>
#include <intrins.h>
#include <math.h>
#include <stdio.h>
#include <lcd3.h>
#include <scan4x3.h>
#define DS1307_ID 0xD0 // Define constant PCF DS1307_ID
#define PCF8574 0x70 // Define constant PCF 8574_ID
/***** modul-var *****/

#define noACK 0
#define ACK 1

//adr command r/w
#define STATUS_REG_W 0x06 //0000 0011 0
#define STATUS_REG_R 0x07 //0000 0011 1
#define MEASURE_TEMP 0x03 //0000 0001 1
#define MEASURE_HUMI 0x05 //0000 0010 1
#define RESET 0x1e //0000 1111 0
/***** *****/

sbit DATA = P3^6;
sbit SCK = P3^7;
sbit origin = P1^2; // Origin position
sbit finish = P1^3; // Finish position
sbit motor_r = P1^0;
sbit motor_l = P1^1;
sbit servo = P2^6;
sbit pump = P1^4;
sbit water_high = P3^2;
sbit water_low = P3^4;
  
```

ภาพที่ 65 โปรแกรม Keil PK51



ภาพที่ 66 โปรแกรม ATMEL FLIP

ขั้นตอนการเขียนคำสั่งควบคุม

1. ทำการเขียนคำสั่งที่ต้องการให้หุ่นยนต์ทำงานบนโปรแกรม Keil PK51
2. การแปลงคำสั่งควบคุมจากภาษาซีเป็น HEX File ใช้เมนู Build ALL ที่อยู่ในโปรแกรม Keil PK51 เนื่องจากว่า ไฟล์ที่จะทำการโหลดลงสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องเป็น HEX File เท่านั้น
3. ทำการเชื่อมต่อบอร์ดควบคุมเข้ากับคอมพิวเตอร์ และต่อแหล่งจ่ายไฟเข้าสู่บอร์ดเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับโหลดโปรแกรมลงสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์
4. เปิดโปรแกรม ATMEL FLIP และเลือก Hex File ที่ต้องการโหลดลงสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วกดปุ่ม RUN Hex File ที่เลือกจะถูกก็จะโหลดลงสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์

โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม

โปรแกรมรับค่าเริ่มต้นในการทำงาน

1. โปรแกรมตั้ง วัน/เดือน/ปี

```

if(menu==1)
{
    display_setdate();
    while(x_key < 6)
    {
        push_key = scankey();
        if(push_key != 0xFF)
        {
            x_key++;
            date_buf[x_key] = push_key;
            push_key = push_key | 0x30;
            LCD_putc(push_key);
            if(x_key==2)
            {
                LCD_jumporigin();
                LCD_command(0xC6);
            }
            if(x_key==4)
            {
                LCD_jumporigin();
                LCD_command(0xC9);
            }
        }
    }
}

```

```

while(gooout==0)
{
    PCF_8574();
    if (ans==0xFD)
    {
        DS1307_wrdate();
        x_key = 0;
        gooout=1;
        LCD_clear();
    }
}

```

หลักการทำงานของโปรแกรม คือโปรแกรมจะตอบตรวจสอบการป้อนค่าวัน/เดือน/ปี ผ่านทาง Key pad โดยทำการเก็บค่าที่ได้ในในตัวแปรที่ชื่อ date_buf [x_key] เมื่อทำการป้อนค่าจนครบ ข้อมูลที่อยู่ในตัวแปร date_buf [x_key] จะถูกเขียนลงสู่ ไอซี DS 1307 โดยผ่านคำสั่ง DS1307_wrdate ()

2. โปรแกรมตั้งเวลา

```

if(menu==2)
{
    display_settime();
    while(x_key < 6)
    {
        push_key = scankey();
        if(push_key != 0xFF)
        {
            x_key++;
            time_buf[x_key] = push_key;
            push_key = push_key | 0x30;

```



```

        LCD_putc(push_key);
    if(x_key==2)
    {
        LCD_jumporigin();
        LCD_command(0xC6);
    }
    if(x_key==4)
    {
        LCD_jumporigin();
        LCD_command(0xC9);
    }
}
}
while(goout==0)
{
    PCF_8574();
    if (ans==0xFD)
    {
        DS1307_wrtime();
        x_key = 0;
        goout=1;
        LCD_clear();
    }
}
}

```

หลักการทำงานของโปรแกรม คือโปรแกรมจะตอบตรวจสอบการป้อนค่าเวลาผ่านทาง Key pad โดยทำการเก็บค่าที่ได้ในในตัวแปรที่ชื่อ time_buf [x_key] เมื่อทำการป้อนค่าจนครบ ข้อมูลที่อยู่ในตัวแปร time_buf [x_key] จะถูกเขียนลงสู่ ไอซี DS 1307 โดยผ่านคำสั่ง DS1307_wrtime ()

3. โปรแกรมตั้งเวลาในการทำงานของหุ่นยนต์ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนป้อนค่าเวลาในการทำงานของหุ่นยนต์

```

if(menu==3)
{
display_settime_ope();
while(x_key < 1)
{
push_key = scankey();
if(push_key != 0xFF)
{
x_key++;
push_key2 = push_key | 0x30;
LCD_putc(push_key2);

if(push_key==0x01||push_key==0x02||push_key==0x03)
{
t=push_key ;
}
}
}
while(goout==0)
{
PCF_8574();
if (ans==0xFD)
{
x_key = 0;
goout=1;
LCD_clear();

```

```

    }
}
}

```

หลักการทำงานของโปรแกรม คือโปรแกรมจะตอบตรวจสอบการป้อนค่าเวลาในการทำงานของหุ่นยนต์ผ่านทาง Key pad โดยทำการเก็บค่าที่ได้ในตัวแปร t

ส่วนเปรียบเทียบค่าเวลาในการทำงานของหุ่นยนต์กับเวลาจริง

```

if(t==0x01)
{
    min2=0x00;
    for (i=0;i<=24;i++)
    {
        if((hour==timer1[i])&(min==min2)||hum<RH)
        {
            Drive_Motor();
        }
    }
}
if(t==0x02)
{
    min2=0x00;
    for (i=0;i<=12;i++)
    {
        if((hour==timer2[i])&(min==min2)||hum<RH)
        {
            Drive_Motor();
        }
    }
}

```

```

    }
    if(t==0x03)
    {
        min2=0x00;
        for (i=0;i<=8;i++)
        {
            if((hour==timer3[i])&(min==min2)||hum<RH)
            {
                Drive_Motor();
            }
        }
    }
}

```

หลักการทำงานของโปรแกรม คือโปรแกรมจะเปรียบเทียบค่าเวลาในการทำงานของหุ่นยนต์กับเวลาจริง โดยจะทำการเปรียบเทียบว่า ชั่วโมง กับ นาที ตรงกันหรือไม่ เมื่อตรงกันก็จะไปทำในส่วนของโปรแกรมย่อย Drive_Motor () ต่อไป หรือ ใช้การเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้จากเซนเซอร์ โดยถ้าค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการ ก็ให้ไปทำงานในส่วนของโปรแกรมย่อย Drive_Motor () ได้เช่นกัน

4. โปรแกรมตั้งค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการ

```

if(menu==4)
{
    display_RH_ope();
    while(x_key < 2)
    {
        push_key = scankey();
        if(push_key != 0xFF)

```

```

        {
            x_key++;
            Key_num();
            push_key= push_key | 0x30;
            LCD_putc(push_key);
        }
    }
    while(goout==0)
    {
        PCF_8574();
        if (ans==0xFD)
        {
            x_key = 0;
            goout=1;
            LCD_clear();
        }
    }
    RH=RH1+RH2;
}

```

หลักการทำงานของโปรแกรม คือโปรแกรมจะตอบตรวจสอบการป้อนค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการผ่านทาง Key pad โดยทำการเก็บค่าที่ได้ในในตัวแปร RH โดยมีส่วนของโปรแกรมย่อย Key_num ในการแปลงค่าข้อมูลจาก Key pad ให้อยู่ในรูปตัวแปร Integer เพื่อให้สามารถนำไปเปรียบเทียบกับค่าความชื้นสัมพัทธ์จริงที่วัดได้จากเซนเซอร์

5. โปรแกรมควบคุมการทำงานของเซนเซอร์

```

/***** calculate humidity & temperature *****/
// input : humi [Ticks] (12 bit)
// temp [Ticks] (14 bit)

```

```

// output: humi [%RH]
// temp [°C]

void calc_sht15(float *p_humidity ,float *p_temperature)
{ const float C1=-4.0;
  const float C2= 0.0405;
  const float C3=-0.0000028;
  const float T1=0.01;
  const float T2=0.00008;

  float rh=*p_humidity;
  float t=*p_temperature;
  float rh_lin;
  float rh_true;
  float t_C;

  t_C=t*0.01 - 40; //calc. temperature from ticks to [°C]
  rh_lin=C3*rh*rh + C2*rh + C1;
  rh_true=(t_C-25)*(T1+T2*rh)+rh_lin;
  if(rh_true>100)rh_true=100;
  if(rh_true<0.1)rh_true=0.1;

  *p_temperature=t_C;
  *p_humidity=rh_true;

}

void Measure_sht15 (void)
{
  unsigned char checksum;
  s_connectionreset();

```

```

s_measure((int)&humi_val.i,&checksum,HUMI);
s_measure((int)&temp_val.i,&checksum,TEMP);
humi_val.f=(float)humi_val.i;
temp_val.f=(float)temp_val.i;
calc_sht15(&humi_val.f,&temp_val.f);
hum=humi_val.f;
}

```

เนื่องจากเซนเซอร์ SHT 15 สามารถวัดทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้ภายในตัวเดียวกัน ดังนั้นโปรแกรมจึงมีทั้งการคำนวณค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แต่จะเลือกเอาเฉพาะค่าความชื้นสัมพัทธ์มาใช้เพียงค่าเดียว

หลักการทำงานของโปรแกรมคือ ค่าที่เซนเซอร์วัดได้จะถูกนำมาคำนวณในส่วนของโปรแกรมย่อย calc_sht15() ส่วนโปรแกรมย่อย Measure_sht15() จะทำการแปลงค่าที่ได้จากการคำนวณให้อยู่ในรูปของตัวแปร Float แล้วเก็บอยู่ในรูปตัวแปร hum เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการ

6. โปรแกรมควบคุมการทำงานของมอเตอร์ขับเคลื่อน

```

void Drive_Motor (void)
{
  goout=0;
  if(origin==0&&water_high==0)
  {
    while(goout==0)
    {
      while(goout==0)
      {
        motor_r=1;
        normal_display();

```

```

if(hum<RH)
{
while(goout==0)
{
motor_r=0;
pump = 1;
delay(5000);
pump = 0;
delay(10000);
normal_display();
if(hum>=RH||water_low==1||finish==0)
{
goout=1;
}
}
pump=0;
motor_r=1;
goout=0;
}
if(finish==0||water_low==1)
{
goout=1;
}
}
goout=0;
if(finish==0||water_low==1)
{
motor_r=0;
motor_l=0;
delay (10000);

```



```

while(goout==0)
{
    motor_r=0;
    motor_l=1;
    normal_display();
    if(hum<RH&&water_low==0)
    {
        while(goout==0)
        {
            motor_l=0;
            pump = 1;
            delay(5000);
            pump = 0;
            delay(10000);
            normal_display();
        }
        if(hum>=RH||water_low==1)
        {
            goout=1;
        }
        pump=0;
        motor_l=1;
        goout=0;
    }
}
if(origin==0)
{
    motor_r=0;
    motor_l=0;
    goout=1;
}

```

```

    }
}

}
}
}

```

หลักการทำงานของโปรแกรมเริ่มต้นด้วย คำสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า โดยใช้คำสั่ง `if(origin==0&&water_high==0)` เพื่อตรวจสอบว่า สวิตช์ตำแหน่งเริ่มต้นถูกกดหรือไม่และตรวจสอบว่าระดับน้ำในถังเต็มหรือไม่ แล้วจึงสั่งให้มอเตอร์หมุนเดินหน้า (`motor_r=1`) โดยในขณะที่เคลื่อนที่ไปนั้นเซนเซอร์ก็จะคอยตรวจสอบค่าความชื้นสัมพัทธ์ไปด้วยโดยใช้คำสั่ง `if(hum<RH)` ถ้าพบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้มีค่าน้อยกว่าค่าที่ต้องการ ก็จะสั่งให้มอเตอร์หยุด (`motor_r=0`) และสั่งให้ปั๊มทำงาน (`pump=1`) โดยทำงาน 5 วินาที (`delay(5000)`) และหยุด (`pump=0`) เป็นเวลา 10 วินาที (`delay(10000)`) จากนั้นใช้คำสั่ง `if(hum>=RH||water_low==1||finish==0)` ตรวจสอบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ว่ามีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าที่ต้องการหรือไม่ ตรวจสอบระดับน้ำว่าหมดถังหรือไม่หรือตรวจสอบว่าสวิตช์ตำแหน่งปลายทางถูกกดหรือไม่ โดยถ้าไม่ใช่กรณีใดกรณีหนึ่ง ก็จะวนกลับไปทำคำสั่งให้ปั๊มทำงานต่อ แต่ถ้าใช่ก็จะสั่งให้ปั๊มหยุดทำงานและมอเตอร์เดินหน้าต่อโดยมีการตรวจสอบอีกครั้งว่าสวิตช์ตำแหน่งปลายทางถูกกดหรือระดับน้ำหมดถังหรือไม่ โดยใช้คำสั่ง `if(finish==0||water_low==1)` ถ้าใช่กรณีใดกรณีหนึ่ง มอเตอร์ก็จะหยุดเป็นเวลา 10 วินาที (`delay(10000)`) จากนั้นจึงสั่งให้มอเตอร์หมุนกลับหลัง (`motor_l=1`) ซึ่งในขณะที่เคลื่อนที่กลับนั้นเซนเซอร์ก็จะคอยตรวจสอบค่าความชื้นสัมพัทธ์ไปด้วย ถ้าพบว่าพบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้มีค่าน้อยกว่าค่าที่ต้องการและน้ำยังไม่หมดถัง ก็จะสั่งให้มอเตอร์หยุดและสั่งให้ปั๊มทำงานเหมือนขั้นตอนแรก โดยถ้าพบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าที่ต้องการหรือระดับน้ำอยู่ในระดับหมดถัง กรณีใดกรณีหนึ่ง ปั๊มจะหยุดทำงานและมอเตอร์ก็จะหมุนกลับหลังต่อไป และใช้คำสั่ง `if(origin==0)` ตรวจสอบว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่กลับมาที่จุดเริ่มต้นแล้วหรือยัง

7. โปรแกรมเติมน้ำ

```

void main()
{

```

```

unsigned char i,t;
origin = 1;
finish = 1;
    motor_r = 0;
    motor_l = 0;
    solinoid = 0;
    pump = 0;
    water_high = 1;
    water_low = 1;
push_key2 = 0x00|0x30;
RH=0;
x_key=0;
    LCD_init();
    while(1)
    {
normal_display();
        if (water_high ==0)
        {
            solinoid =0;
        }
        if (water_high ==1)
        {
            solinoid =1;
        }
    }

```

โปรแกรมเติมน้ำจะอยู่ในส่วนต้นของ Main โปรแกรม โดยใช้คำสั่ง if (water_high ==0) และ if (water_high ==1) ในการตรวจสอบระดับน้ำในถัง ถ้า water_high = 0 แสดงว่าน้ำยังเต็มถึงอยู่ โซลินอยด์จะไม่ทำงาน (solinoid =0) แต่ถ้า water_high = 1 แสดงว่าน้ำไม่เต็มถึง จึงสั่งให้โซลินอยด์ทำงาน (solinoid =1)

การทดสอบหาความเร็วในการเคลื่อนที่และระยะเวลาการเปลี่ยนแบตเตอรี่

ตารางที่ 5 ความเร็วในการเคลื่อนที่

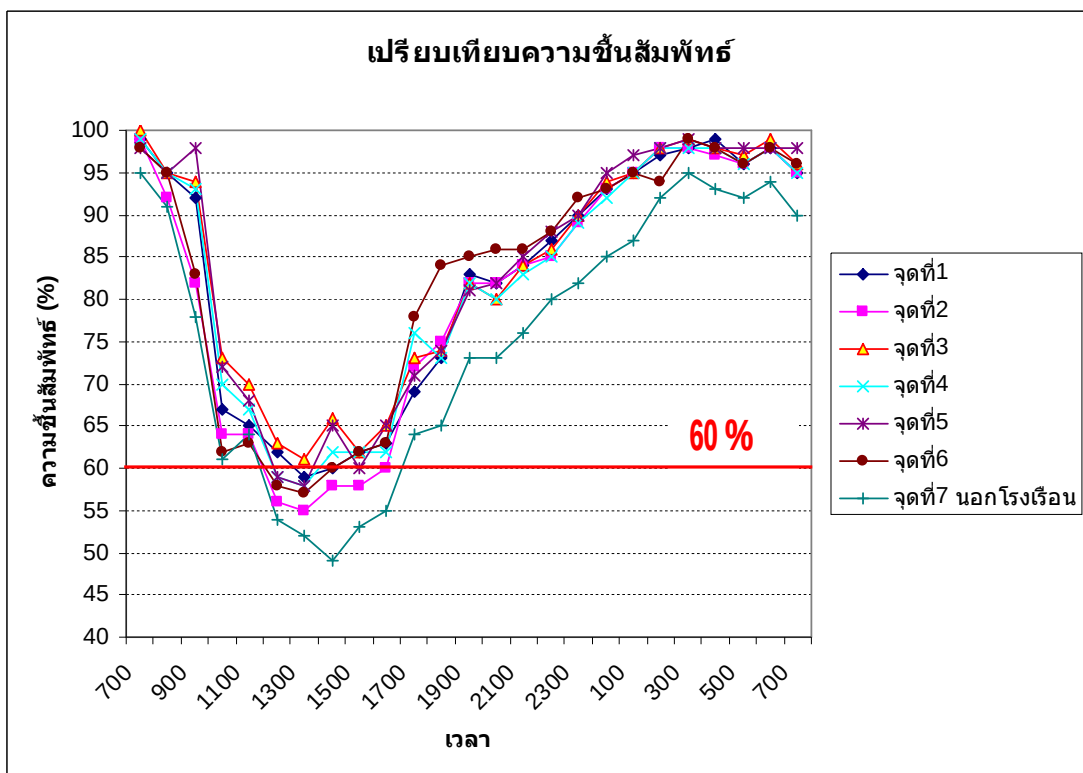
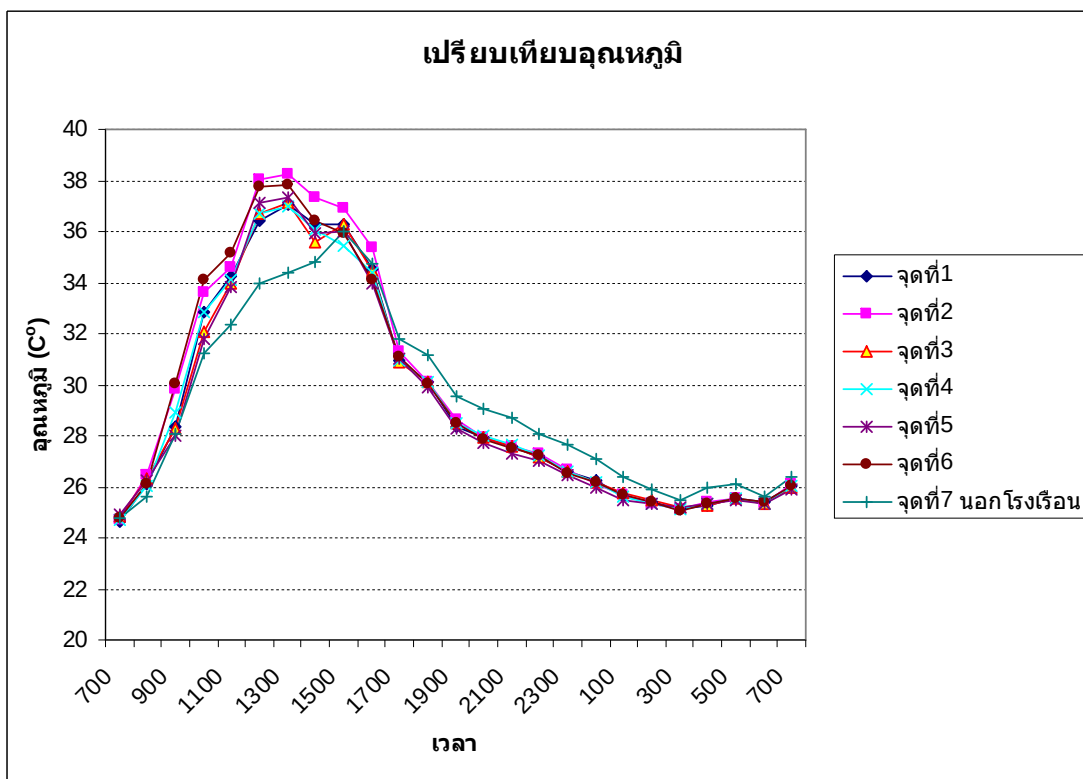
ครั้งที่	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)	ความเร็ว (เมตร / วินาที)
1	2	21	0.0952
2	2	22	0.0909
3	2	21	0.0952
4	2	21	0.0952
5	2	21	0.0952
เฉลี่ย	2	21.2	0.0943

ตารางที่ 6 ความต่างศักย์แบตเตอรี่

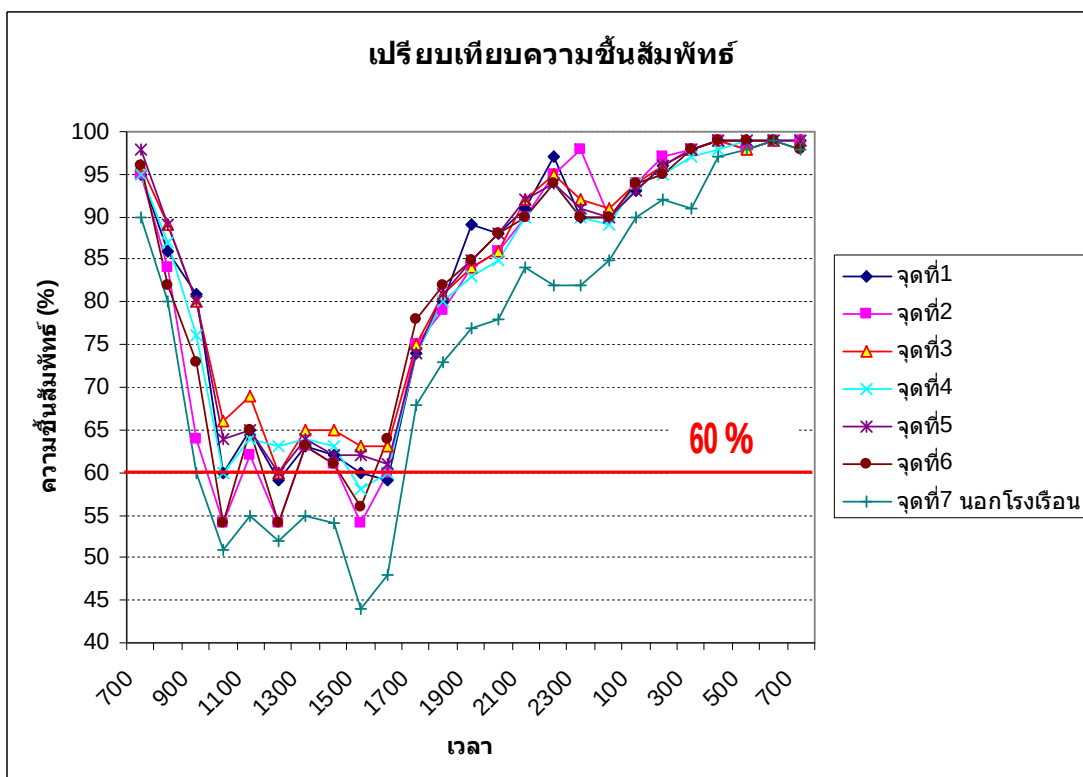
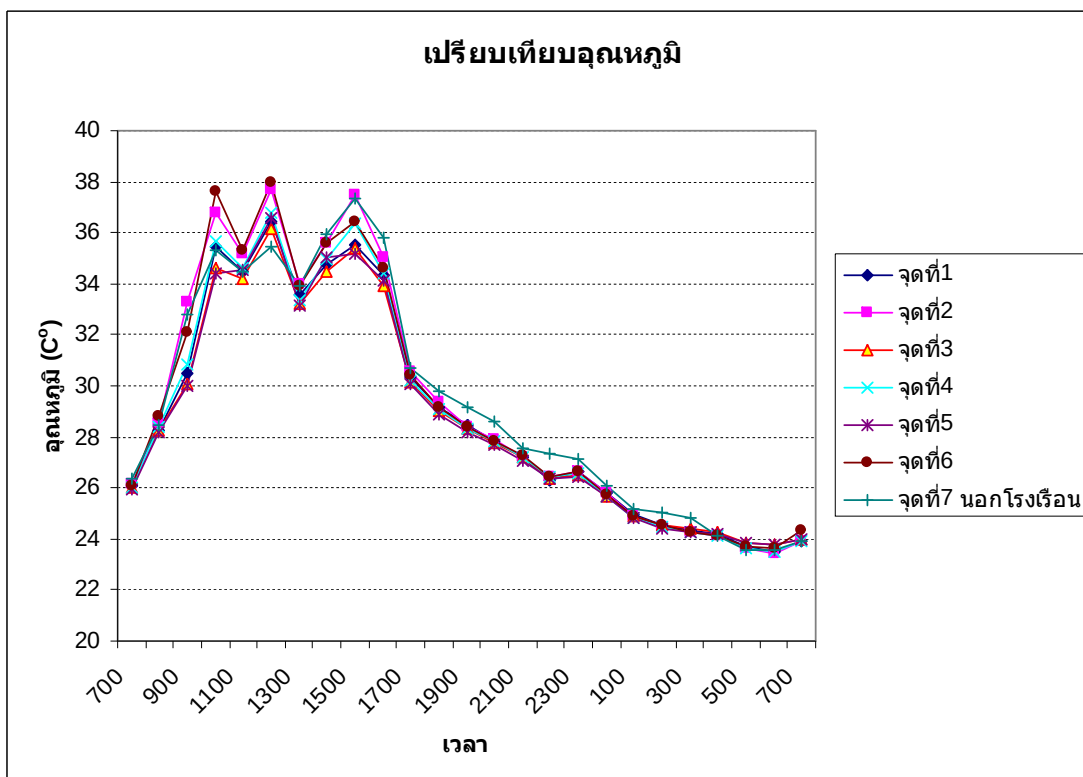
ครั้งที่	เวลา (ชั่วโมง)	ความต่างศักย์ (โวลต์)			ความต่างศักย์ลด (โวลต์ / ชั่วโมง)
		ก่อนใช้	หลังใช้	แตกต่าง	
1	24	13.03	12.34	0.69	0.0288
2	24	13.12	12.14	0.98	0.0408
3	24	12.84	12.07	0.77	0.0321
เฉลี่ย	24	12.997	12.18	0.81	0.0339

การทดสอบความสามารถในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์

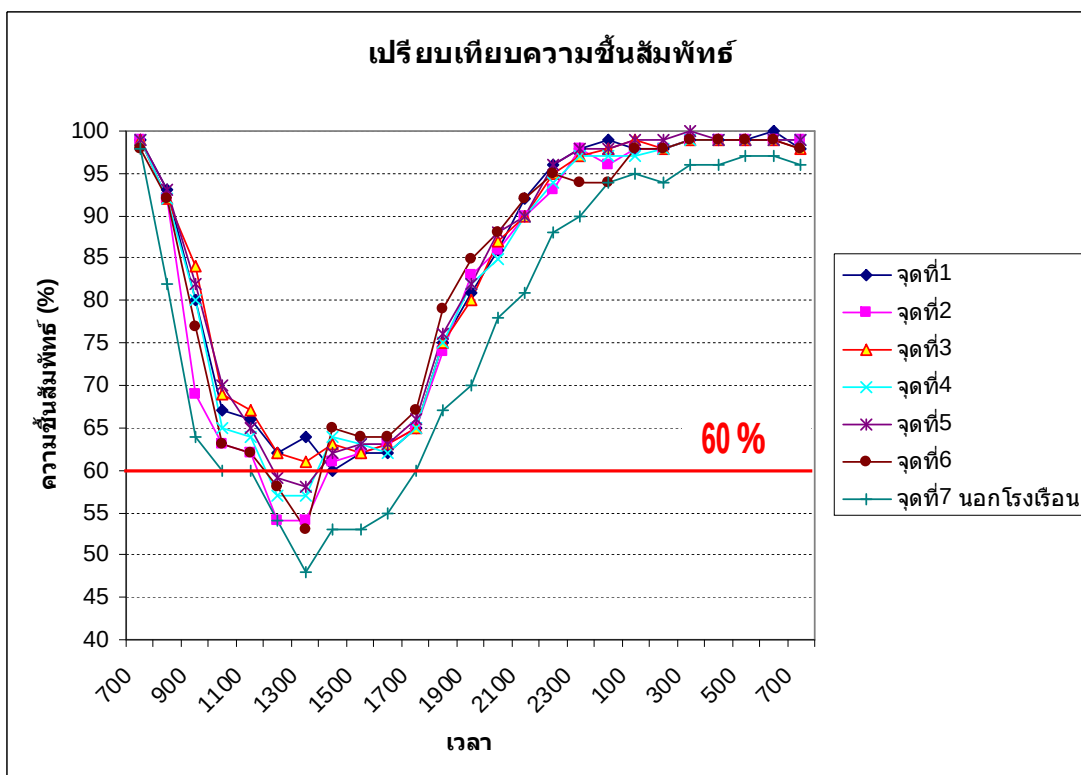
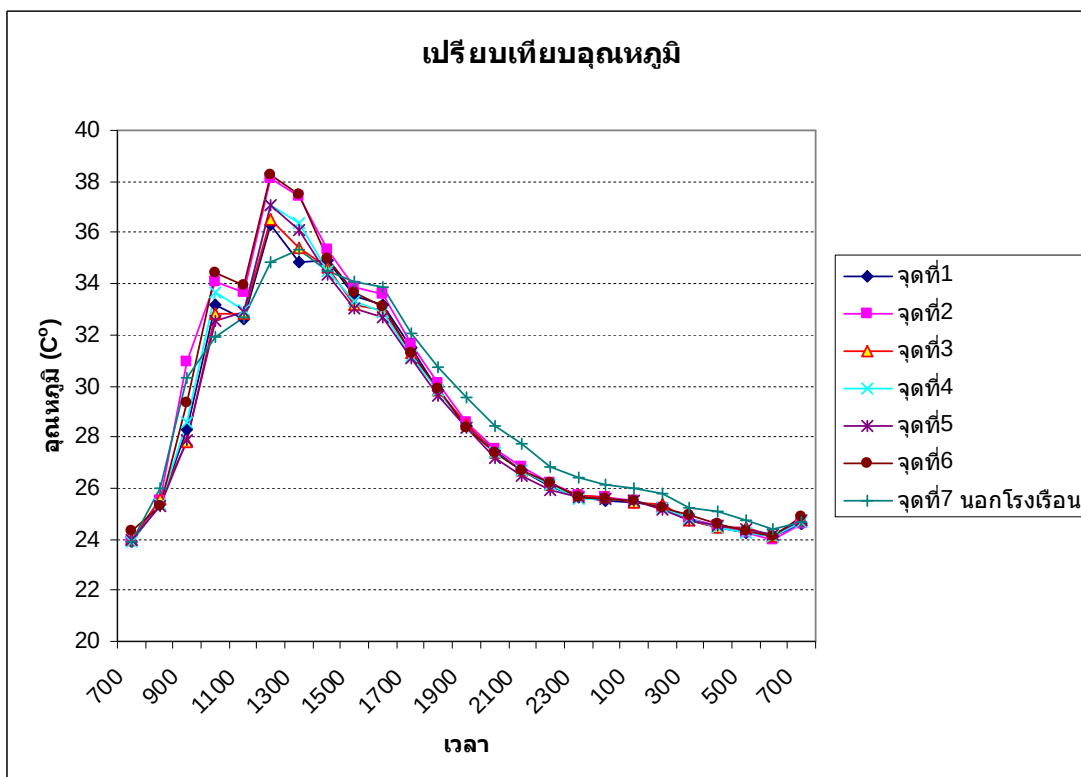
จากการวางแผนการทดลองและทำการทดลองเก็บข้อมูลค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างภายในโรงเรือนและภายนอกโรงเรือน นำมาเขียนกราฟแสดงได้ดังต่อไปนี้



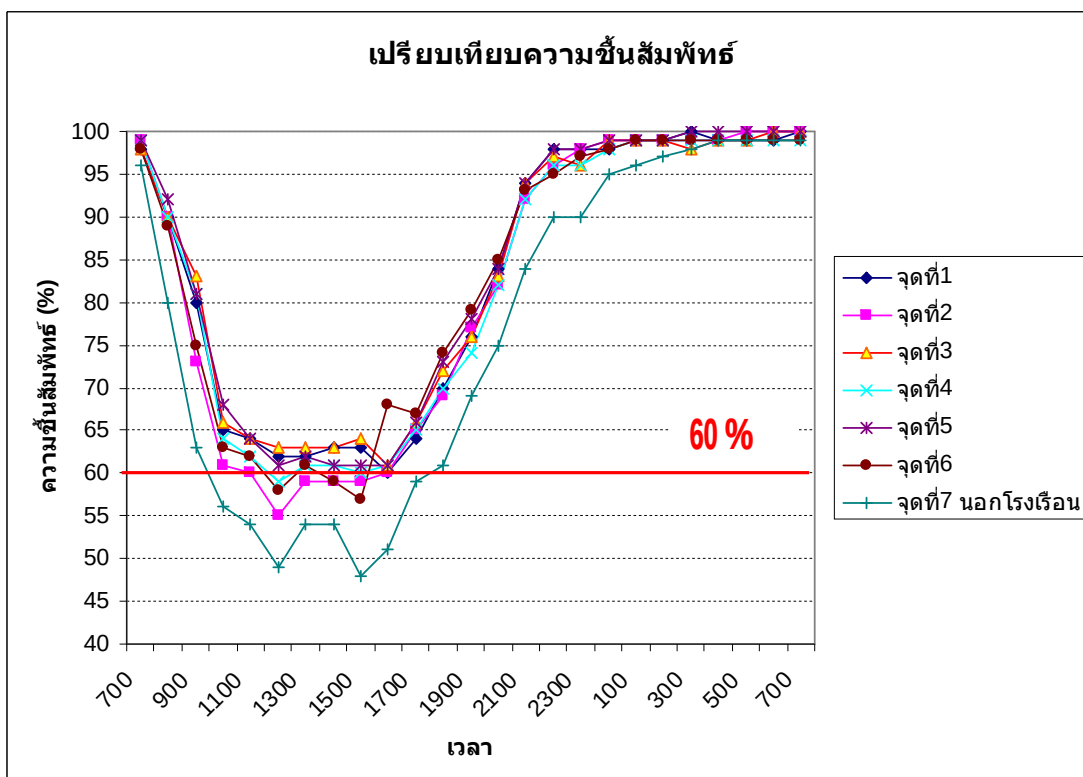
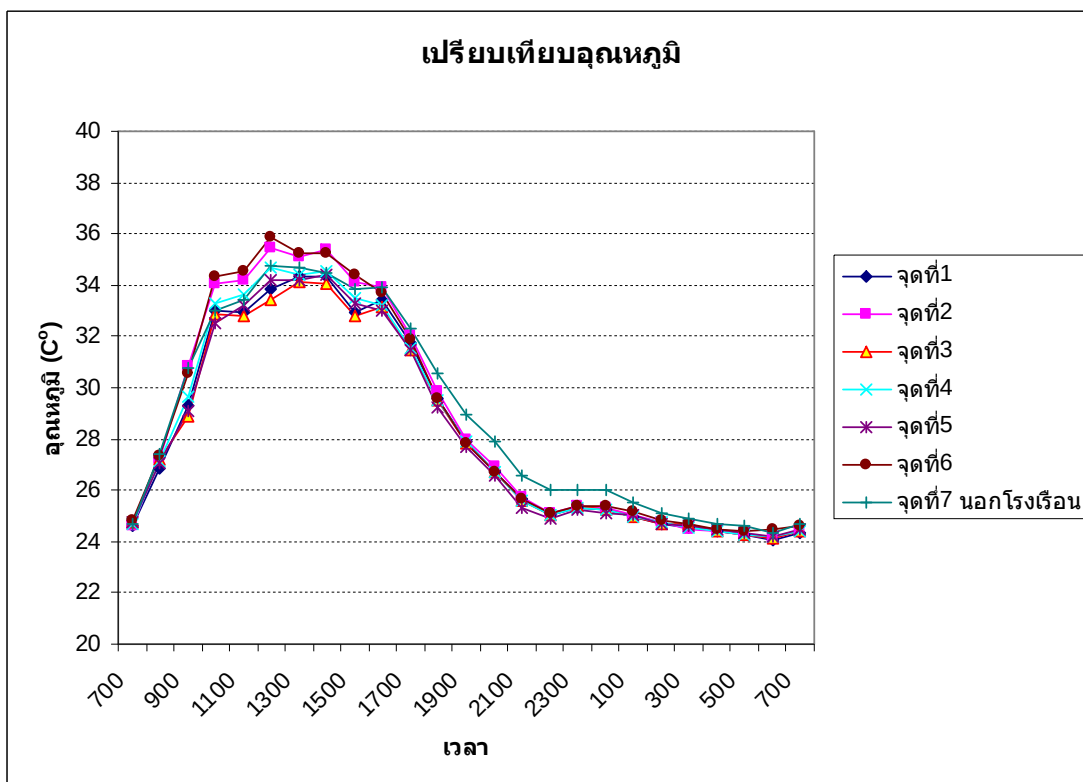
ภาพที่ 67 เปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 19 มี.ค. 52



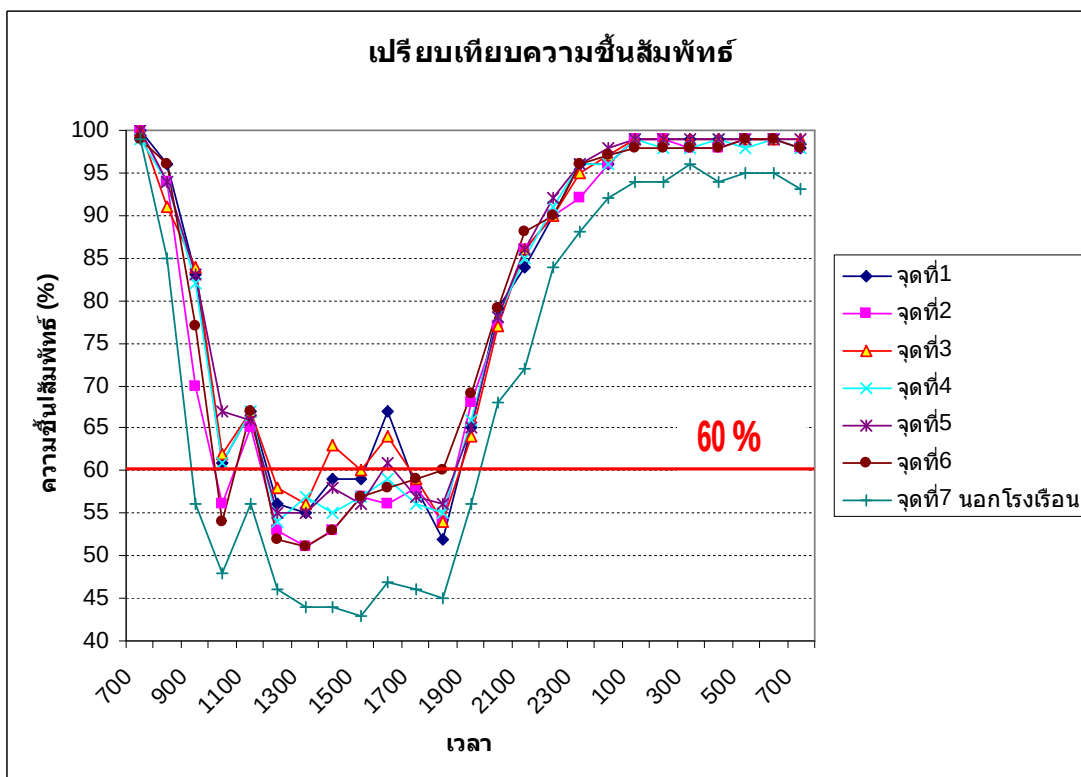
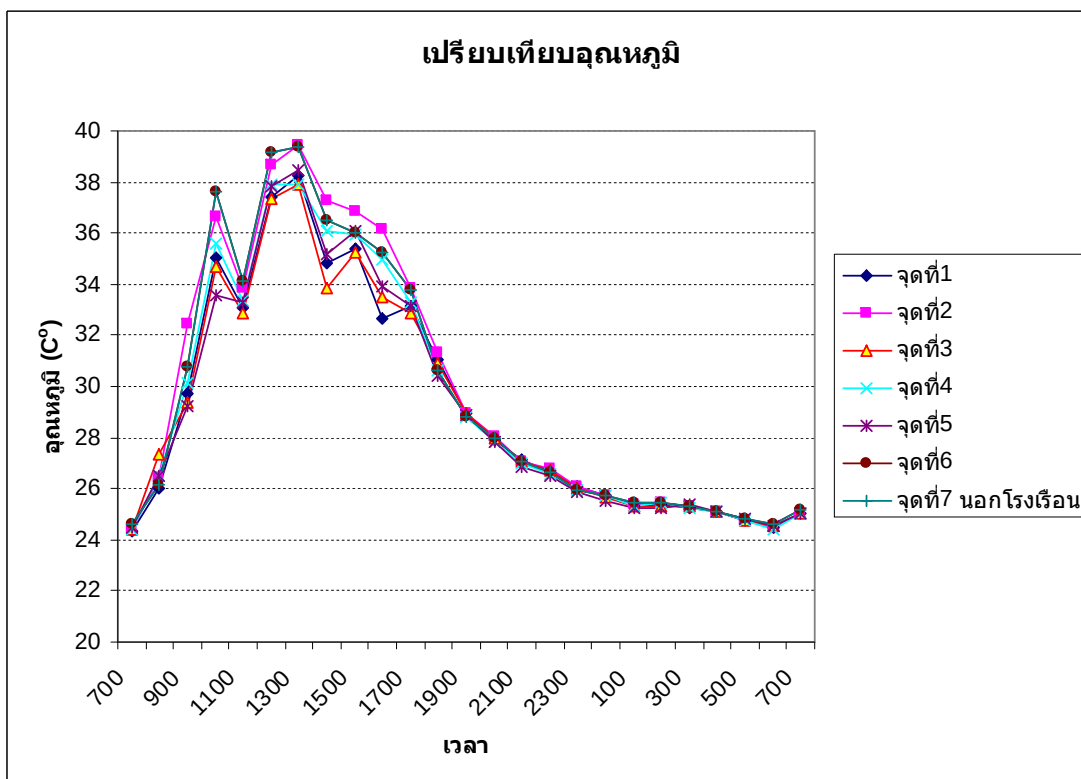
ภาพที่ 68 เปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 20 มี.ค. 52



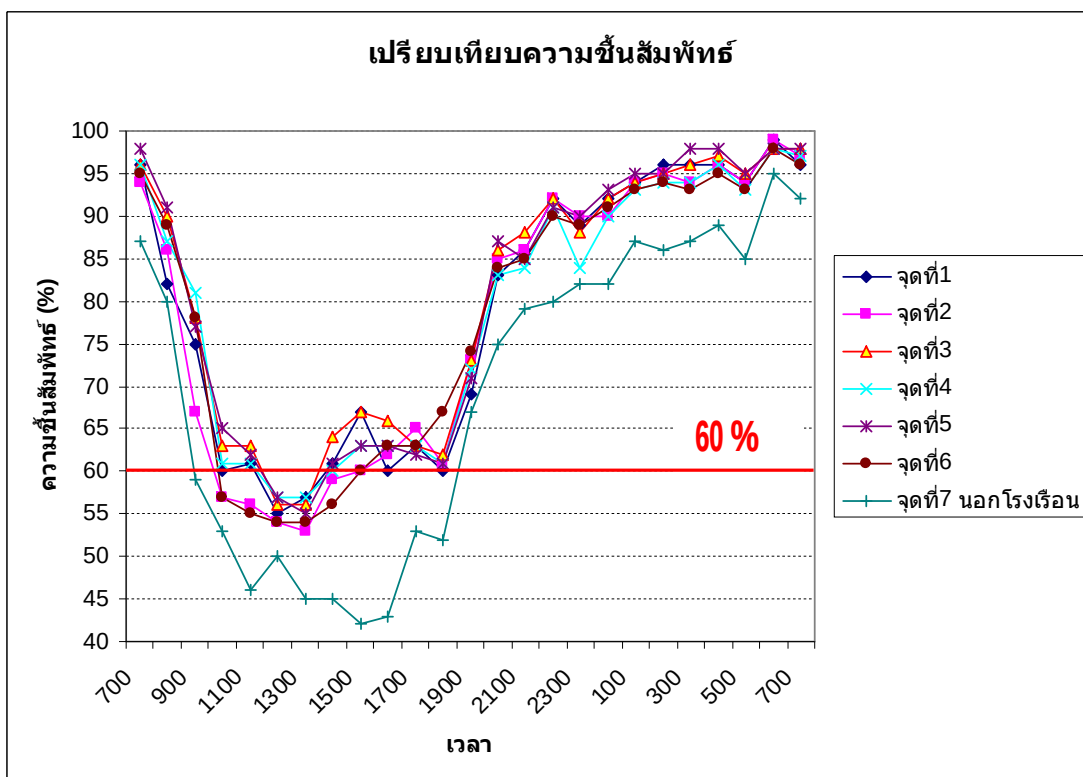
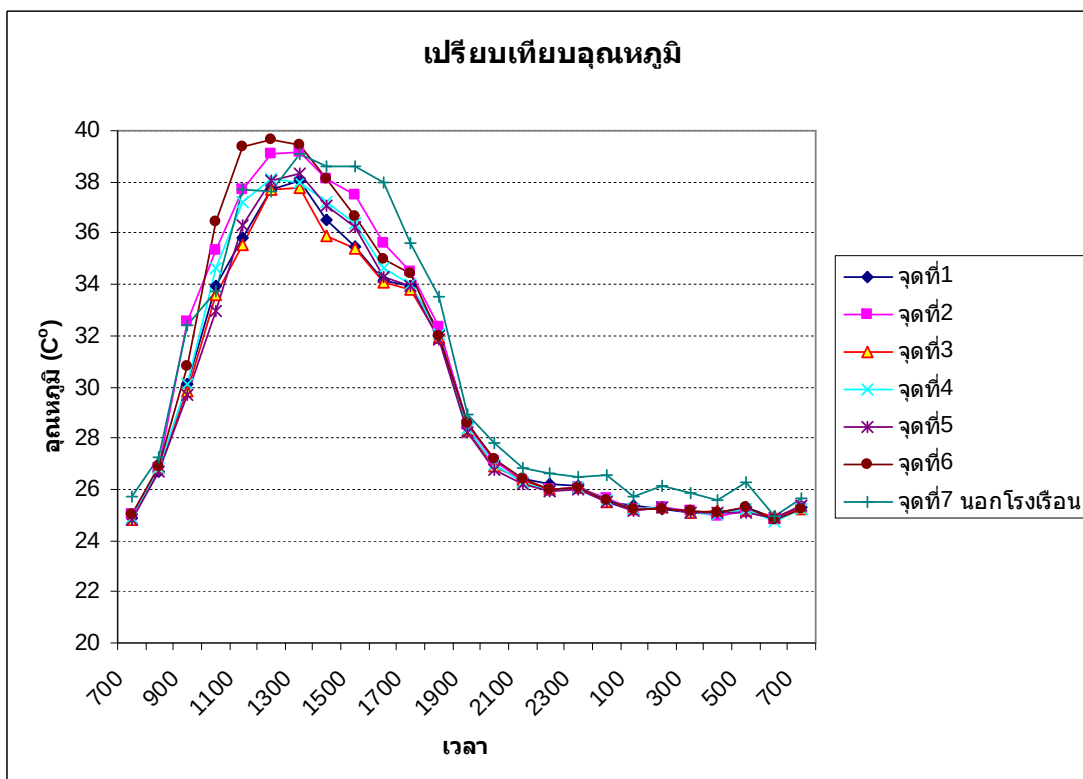
ภาพที่ 69 เปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 21 มี.ค. 52



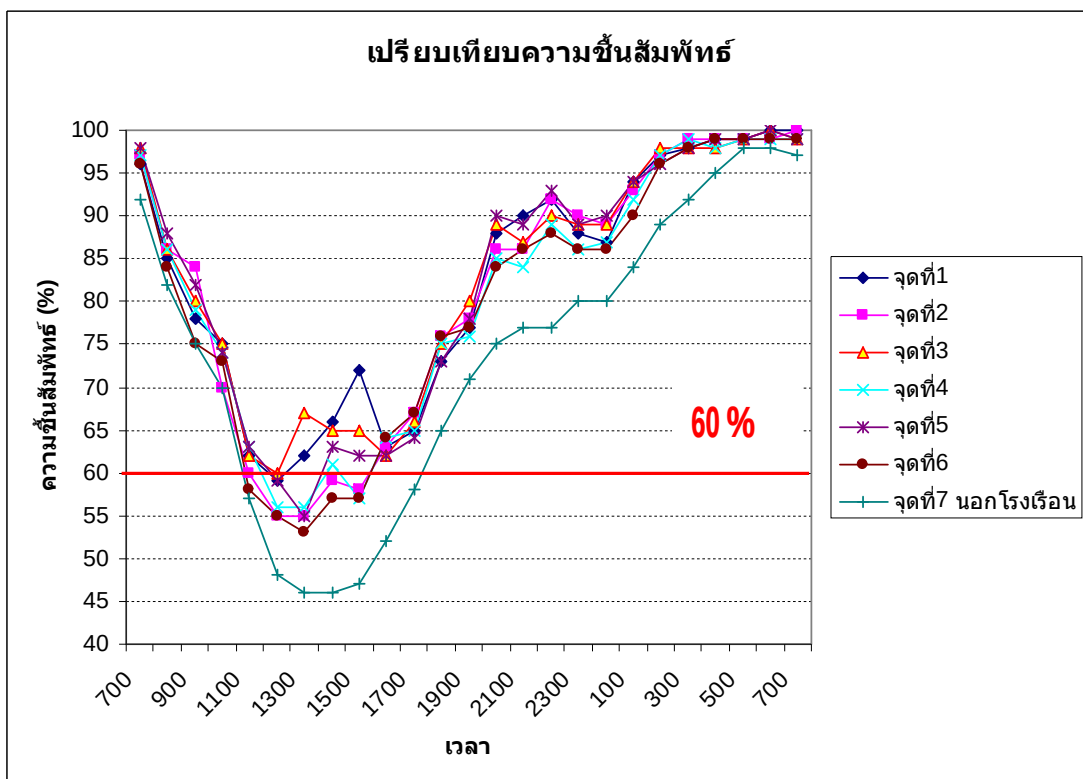
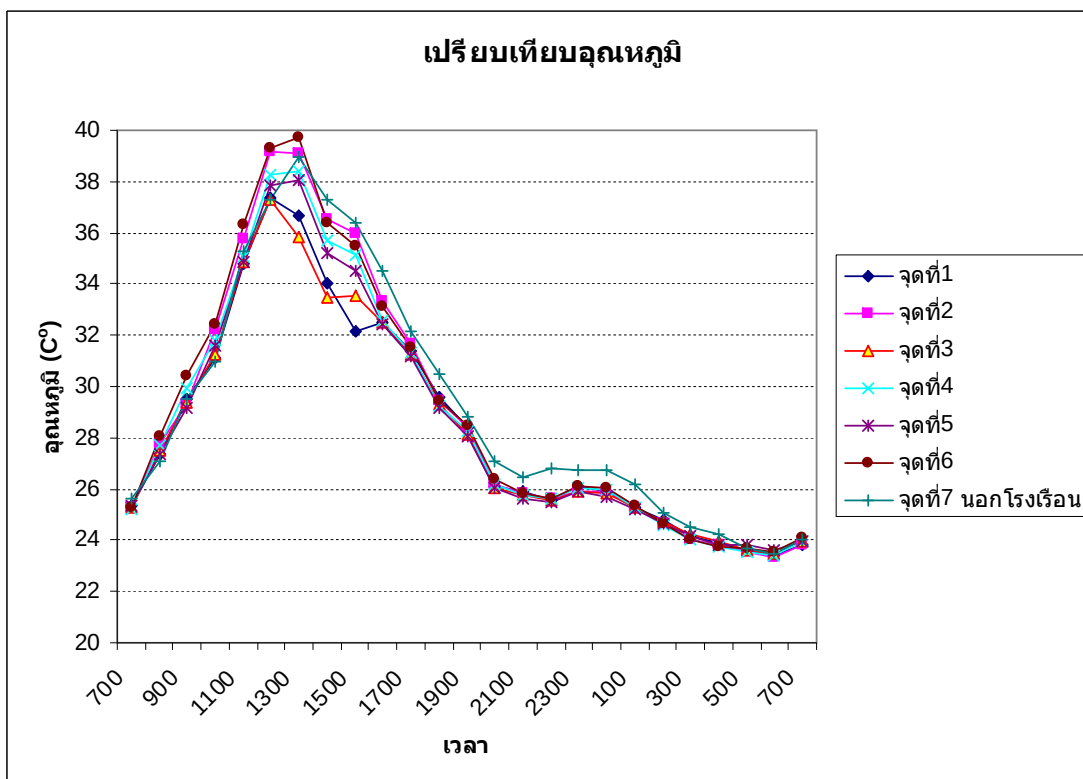
ภาพที่ 70 เปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 22 มี.ค. 52



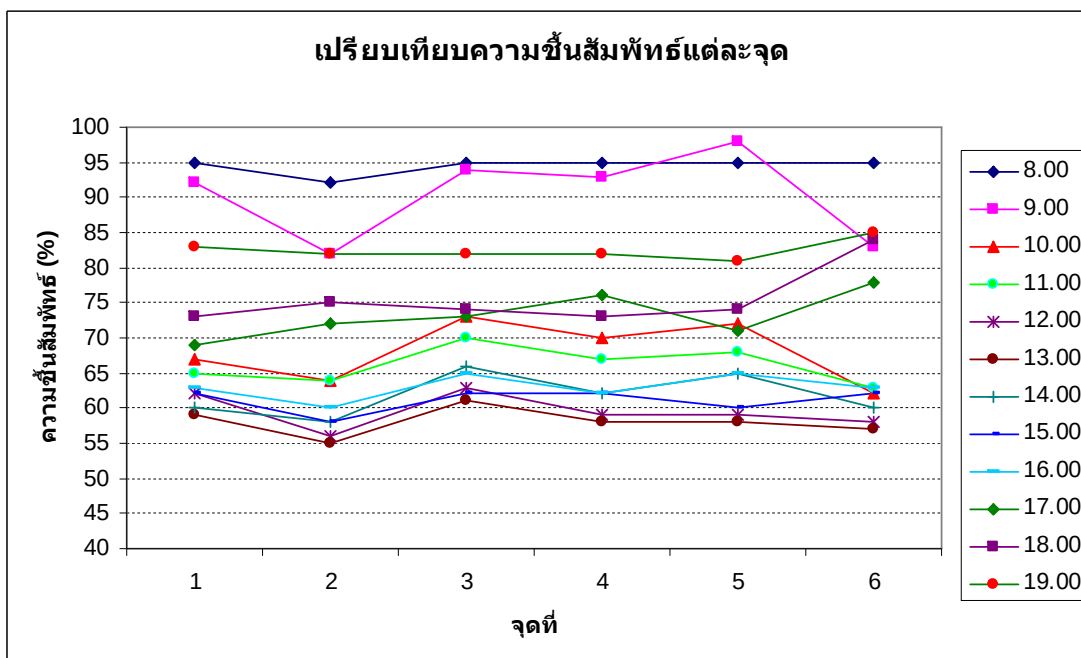
ภาพที่ 71 เปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 23 มี.ค. 52



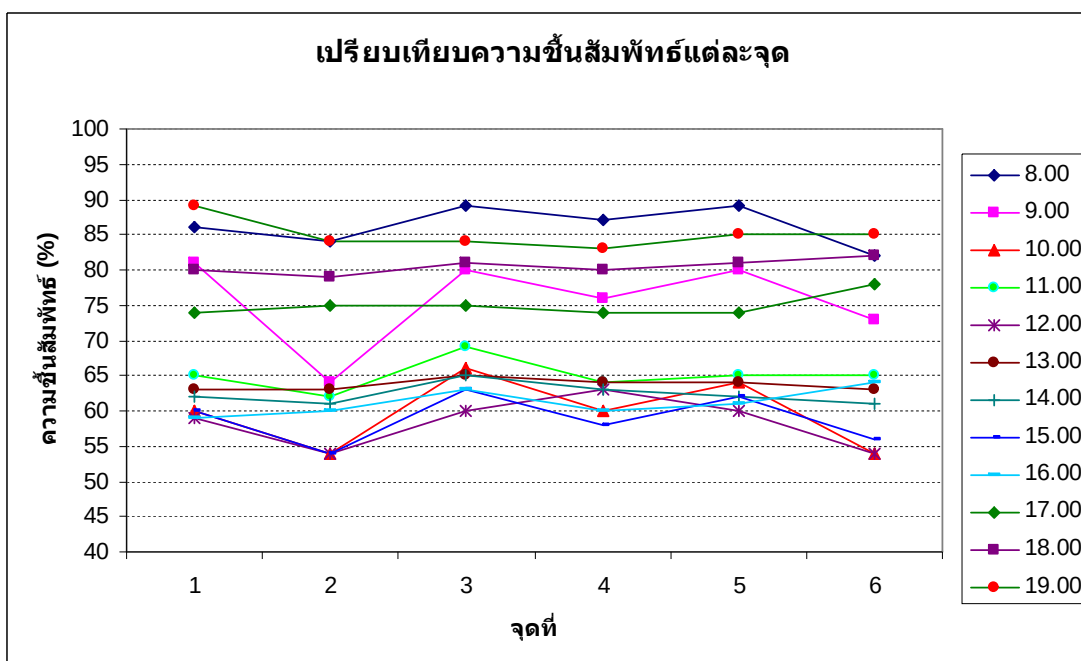
ภาพที่ 72 เปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 25 มี.ค. 52



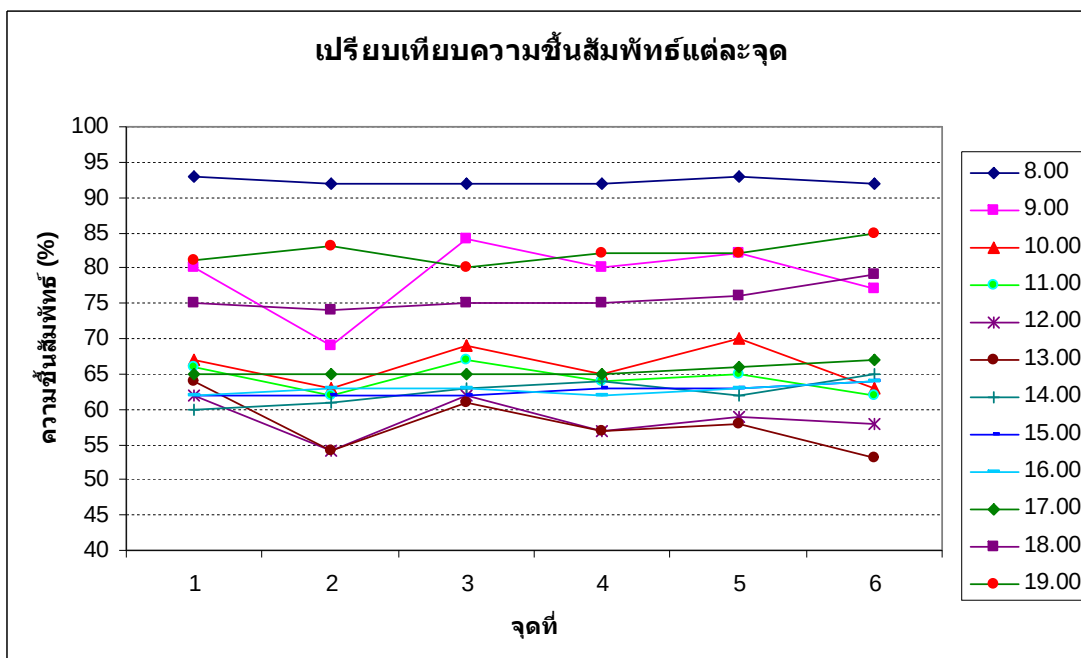
ภาพที่ 73 เปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 26 มี.ค. 52



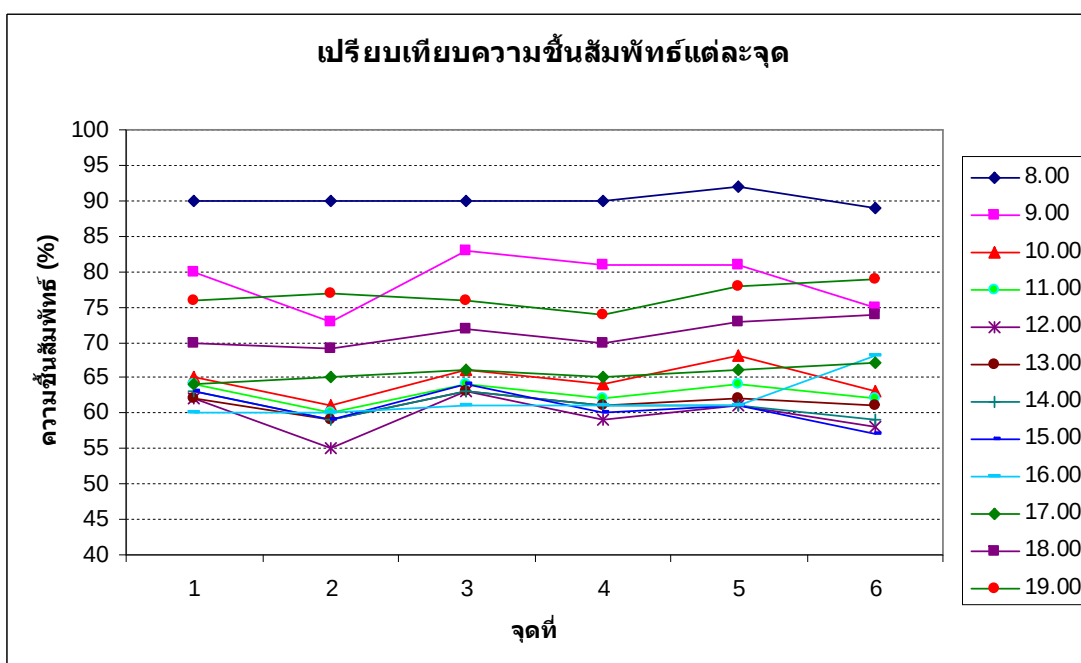
ภาพที่ 74 เปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์แต่ละจุดภายในโรงเรียน วันที่ 19 มิ.ค. 52



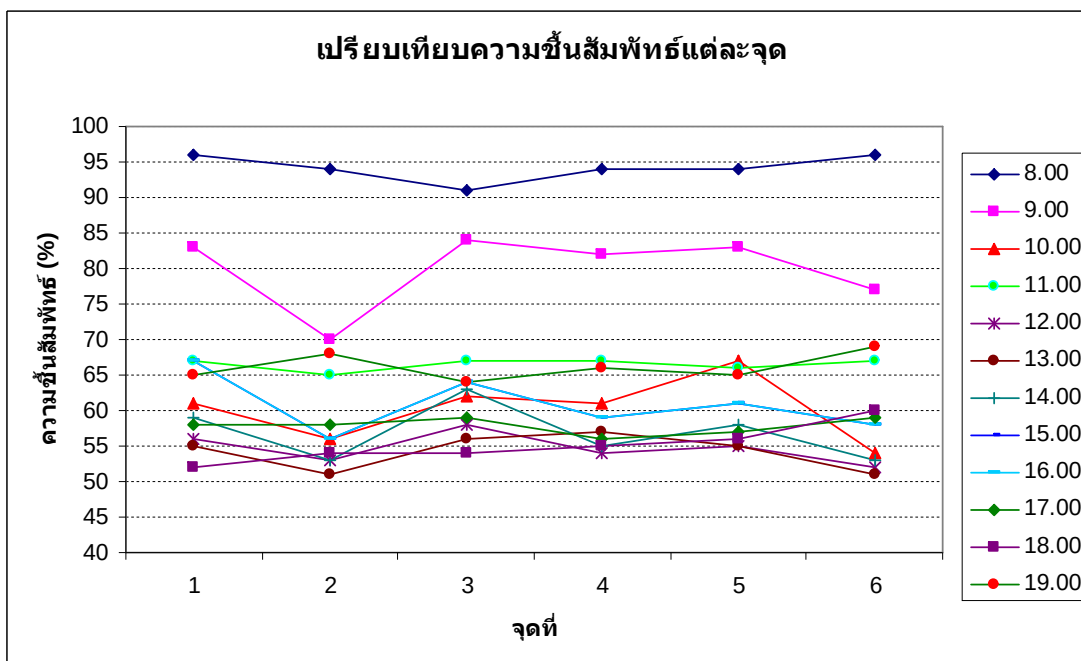
ภาพที่ 75 เปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์แต่ละจุดภายในโรงเรียน วันที่ 20 มิ.ค. 52



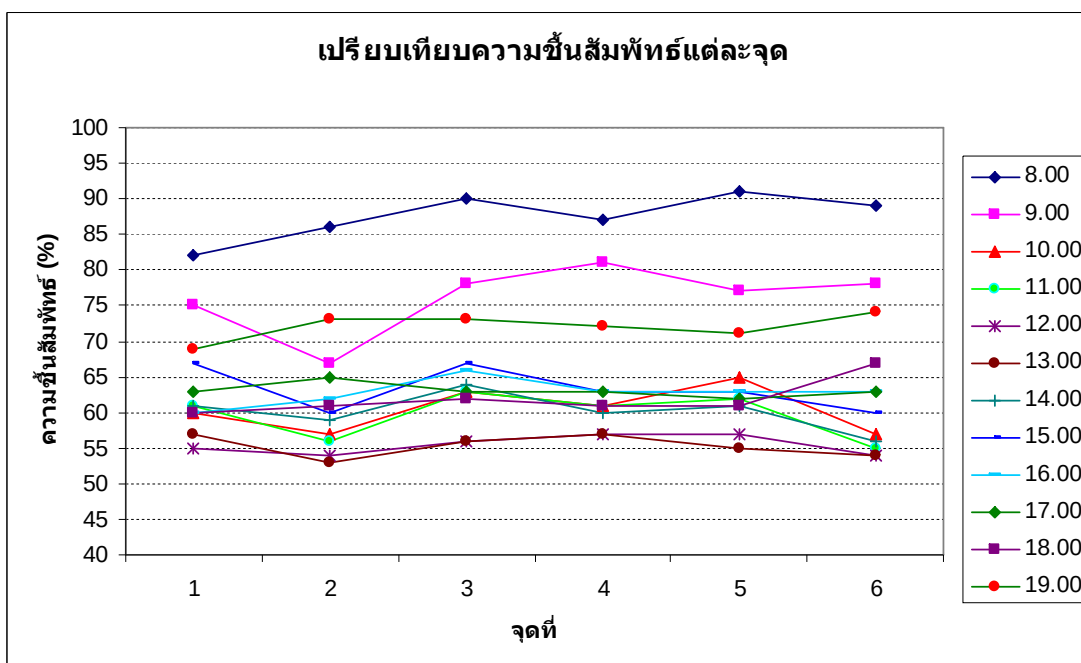
ภาพที่ 76 เปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์แต่ละจุดภายในโรงเรือน วันที่ 21 มี.ค. 52



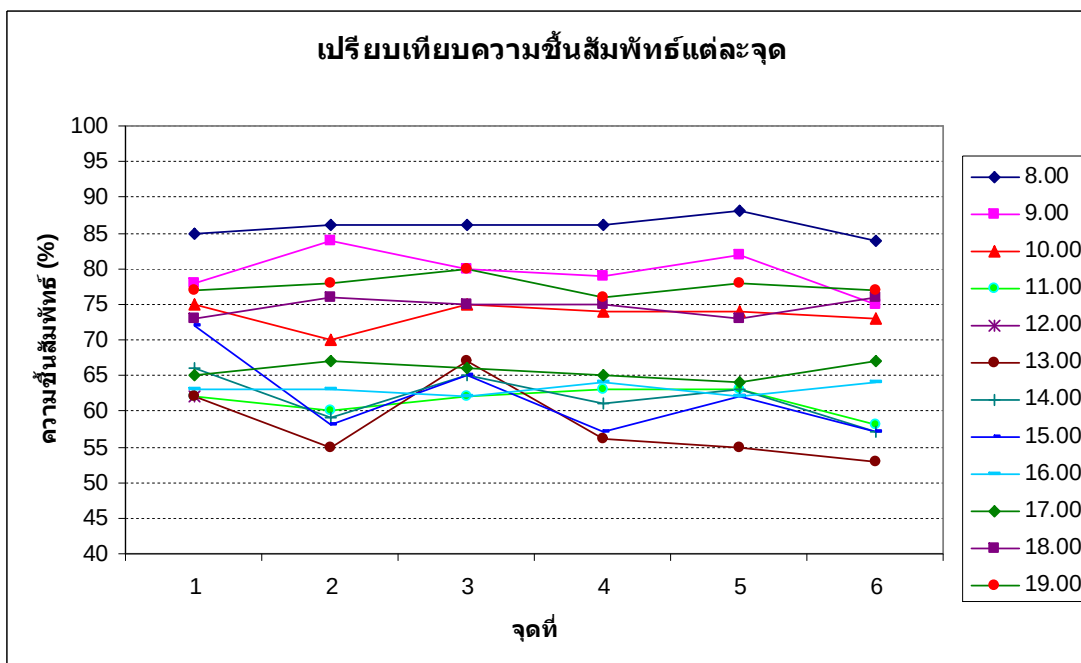
ภาพที่ 77 เปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์แต่ละจุดภายในโรงเรือน วันที่ 22 มี.ค. 52



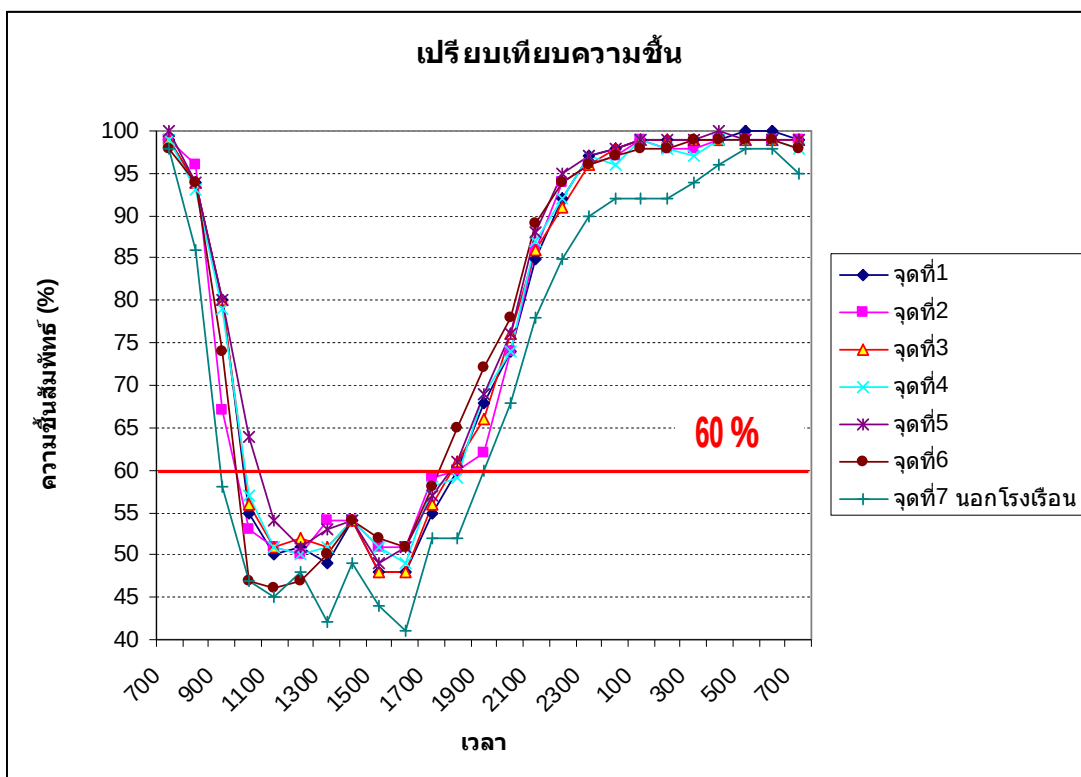
ภาพที่ 78 เปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์แต่ละจุดภายในโรงเรือน วันที่ 23 มี.ค. 52



ภาพที่ 79 เปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์แต่ละจุดภายในโรงเรือน วันที่ 25 มี.ค. 52



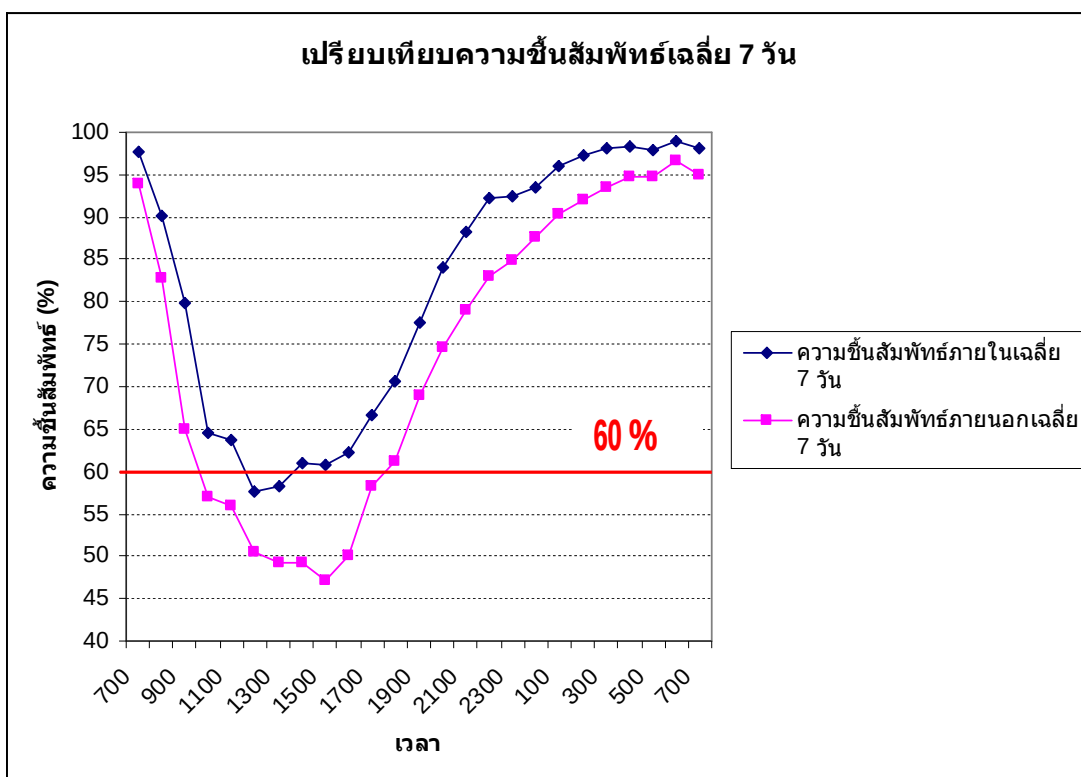
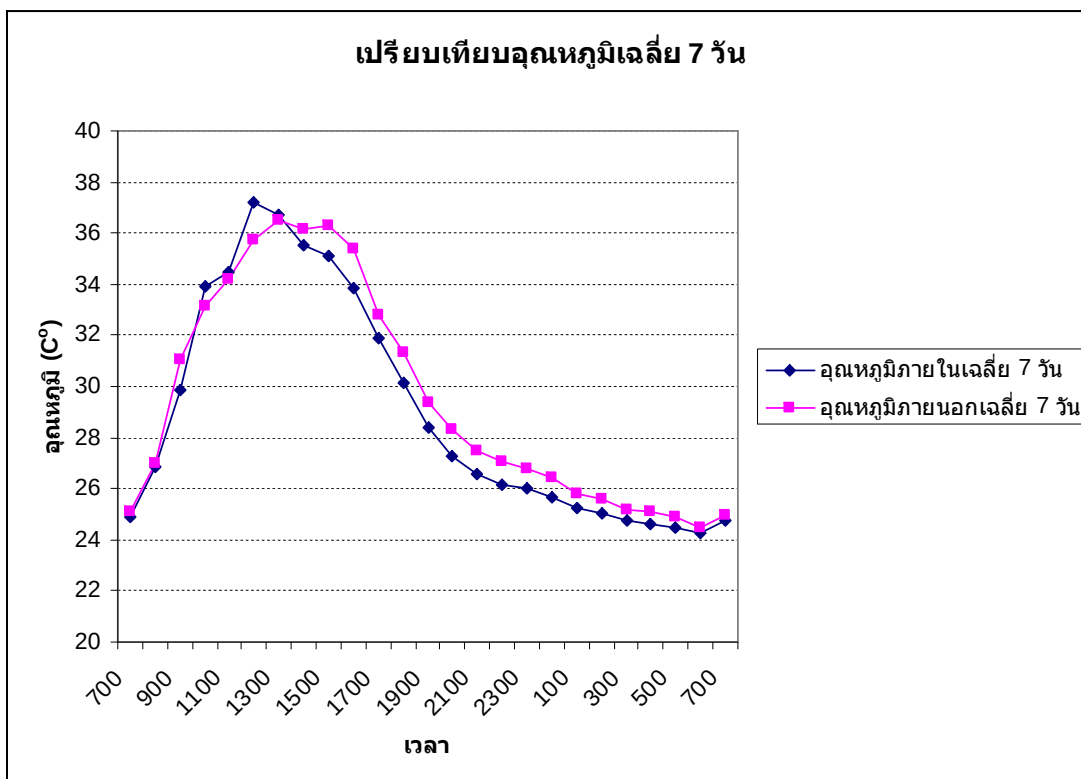
ภาพที่ 80 เปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์แต่ละจุดภายในโรงเรือน วันที่ 26 มี.ค. 52



ภาพที่ 81 เปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์โดยปิดการทำงานของหุ่นยนต์ วันที่ 28 มี.ค. 52

ตารางที่ 7 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกโรงเรือน เฉลี่ย 7 วัน

วันที่	เวลา	ภายใน		ภายนอก	
		อุณหภูมิ (C°)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิ (C°)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
19 – 26 มี.ค. 52	7.00	24.88	97.79	25.11	93.86
	8.00	26.86	90.10	27.00	82.86
	9.00	29.85	79.86	31.04	65.00
	10.00	33.88	64.64	33.13	57.00
	11.00	34.49	63.67	34.16	56.00
	12.00	37.21	57.67	35.71	50.43
	13.00	36.68	58.33	36.47	49.14
	14.00	35.54	60.93	36.15	49.29
	15.00	35.11	60.86	36.32	47.14
	16.00	33.87	62.21	35.38	50.14
	17.00	31.89	66.55	32.83	58.29
	18.00	30.12	70.69	31.31	61.14
	19.00	28.38	77.45	29.38	69.00
	20.00	27.27	84.07	28.32	74.57
	21.00	26.60	88.21	27.46	79.00
	22.00	26.13	92.19	27.04	83.00
	23.00	26.02	92.50	26.75	84.86
	24.00	25.69	93.55	26.44	87.57
	1.00	25.27	95.95	25.84	90.43
	2.00	25.04	97.21	25.58	92.00
	3.00	24.76	98.10	25.20	93.57
	4.00	24.63	98.38	25.08	94.71
	5.00	24.50	97.90	24.89	94.86
	6.00	24.30	98.95	24.50	96.71
	7.00	24.78	98.21	24.99	95.00



ภาพที่ 82 เปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 7 วันภายในและภายนอกโรงเรียน

จากตารางที่ 5 ความเร็วในการเคลื่อนที่เฉลี่ยของหุ่นยนต์เมื่อบรรทุกน้ำเต็มถัง 24 ลิตรอยู่ที่ 0.0943 เมตร/วินาที หรือ 5.7 เมตร / นาที

จากตารางที่ 6 เป็นการหาระยะเวลาในการเปลี่ยนแบตเตอรี่ของหุ่นยนต์ โดยให้ความต่างศักย์หลังใช้ไม่ต่ำกว่า 12 โวลต์ พบว่า ค่าความต่างศักย์ก่อนใช้งานเฉลี่ย 12.99 โวลต์ หลังจากใช้งานไปแล้ว 24 ชั่วโมง ค่าความต่างศักย์หลังใช้งานเฉลี่ย 12.18 โวลต์ โดยความต่างศักย์ลดลงเฉลี่ย 0.00339 โวลต์/ ชั่วโมง

จากภาพที่ 67-73 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกโรงเรือน เมื่อพิจารณาในส่วนของความชื้นสัมพัทธ์ พบว่า

ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือนตั้งแต่เวลา 7.00 – 9.00 น. จะมีค่ามากกว่า 60% และมีค่าต่ำกว่า 60% ตั้งแต่เวลา 9.00 – 17.00 น. จนหลัง 17.00 น. ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่ามากกว่า 60% อีกครั้ง ยกเว้นในวันที่ 23 มี.ค. และ 25 มี.ค. ที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์หลังจากเวลา 17.00 น. มีค่าต่ำกว่า 60% โดยในช่วงทดลอง ค่าความชื้นสัมพัทธ์ตั้งแต่ 9.00 – 17.00 น. มีค่าอยู่ระหว่าง 42 – 68 %

ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน ซึ่งเป็นผลมาจากการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้ไม่ต่ำกว่า 60% พบว่าตั้งแต่เวลา 7.00 – 9.00 น. จะมีค่ามากกว่า 60% และค่อยๆลดลงจนมีค่าต่ำสุดในช่วง 12.00 – 13.00 น. เนื่องจากเป็นช่วงที่อุณหภูมิมีค่าสูงสุดของวัน และหลังจากนั้นความชื้นสัมพัทธ์จะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่า 60% หลังจาก 16.00 น. โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 9.00 – 16.00 น. มีค่าอยู่ระหว่าง 53 – 69% ยกเว้นในวันที่ 23 มี.ค. ที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์หลังจากเวลา 16.00 น. มีค่าต่ำกว่า 60%

เมื่อพิจารณาค่าความชื้นสัมพัทธ์แต่ละจุดภายในโรงเรือน พบว่าเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือนมีค่าไม่ต่ำกว่า 50 % ค่าความชื้นสัมพัทธ์แต่ละจุดภายในโรงเรือนส่วนใหญ่จะมีค่าไม่น้อยกว่า 60% ยกเว้นในตำแหน่งการวัดจุดที่ 2 และ 6 ซึ่งอยู่บริเวณมุมของโรงเรือน จึงอาจจะมีการสะสมของความร้อน ดังแสดงให้เห็นในกราฟแสดงอุณหภูมิภายในโรงเรือน ซึ่งพบว่าตำแหน่งการวัดจุดที่ 2 และ 6 จะมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดอื่น ซึ่งมีผลทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ลดลงตามไปด้วย

และเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงเรือนมีค่าต่ำกว่า 50% พบว่า ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละจุดของโรงเรือนโดยส่วนใหญ่จะมีค่าต่ำกว่า 60%

จากภาพที่ 74-80 แสดงค่าเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์แต่ละจุดภายในโรงเรือน พบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์แต่ละจุดภายในโรงเรือน เริ่มมีความแตกต่างกันในเวลา 9.00 น. โดยจุดที่แสดงแตกต่างจากจุดอื่นอย่างชัดเจนคือ จุดที่ 2 และ จุดที่ 6 โดยน่าจะมีสาเหตุมาจากการที่แดดเริ่มส่องเข้ามาในโรงเรือน ทำให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนเริ่มสูงขึ้นและในช่วง 9.00 – 16.00 น. ความแตกต่างของค่าความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละจุดอยู่ที่ไม่เกิน $\pm 10\%$ และความแตกต่างจะค่อยๆ ลดลงหลังจากเวลา 17.00 น.

จากภาพที่ 81 แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกโรงเรือน โดยปิดการทำงานของหุ่นยนต์ จากกราฟแสดงให้เห็นว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนจะลดลงต่ำกว่า 60% หลังเวลา 9.30 น. และลดลงต่ำสุดในเวลาประมาณ 11.00 น. โดยมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 46% หลังจากนั้นค่าความชื้นสัมพัทธ์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่า 60% หลังจากเวลา 18.00 น. โดยที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกต่ำสุดอยู่ที่ 41% เมื่อเวลา 16.00 น.

จากภาพที่ 82 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกโรงเรือน ตั้งแต่วันที่ 19-26 มี.ค. 2552 รวม 7 วัน ตั้งแต่เวลา 7.00 – 7.00 น. โดยทำการเก็บค่าทุก 1 ชั่วโมง ซึ่งควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในไม่ให้ต่ำกว่า 60% จากกราฟ จะเห็นว่า

ค่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนในช่วงเวลา 7.00 – 9.30 น. มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก แต่หลังจากเวลา 9.30 น. อุณหภูมิภายในจะค่อยๆ สูงขึ้นมากกว่าอุณหภูมิภายนอก จนมีค่าสูงสุดที่ 37.21°C ที่เวลา 12.00 น. และหลังจากนั้นอุณหภูมิภายในจะค่อยๆ ลดลงจนมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกหลังจากเวลา 13.00 น. โดยอุณหภูมิภายในในช่วงเวลาที่ทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง $24.30 - 37.21^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิภายนอกในช่วงเวลาที่ทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง $24.50 - 36.47^{\circ}\text{C}$

ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกที่ต่ำกว่าค่าที่ต้องการควบคุมนั้นจะอยู่ในช่วงเวลา 9.30 – 17.30 น. โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกต่ำสุดอยู่ที่ 47.14% ที่เวลา 15.00 น. ส่วนค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในนั้นพบว่าช่วงเวลา 11.30 – 13.30 น. ที่มีค่าต่ำกว่าค่าควบคุมโดยค่าความชื้นสัมพัทธ์

ภายในต่ำสุดอยู่ที่ 57.67% ที่เวลา 12.00 น. ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกอยู่ที่ 50.43% ณ. เวลาเดียวกัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ได้ทำการออกแบบหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่อยู่บนรางที่มีลักษณะเป็นท่อที่ติดตั้งอยู่ในโรงเรือนกระจกและทำงานได้เองโดยอัตโนมัติ หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่และตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ภายในอากาศในบริเวณที่เคลื่อนที่ผ่าน เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ในบริเวณใดมีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ ระบบพ่นหมอกก็จะทำงานอัตโนมัติ จากการทดสอบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน โดยได้นำต้นกะเพราเข้าไปไว้ในโรงเรือน และตั้งค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดไว้ที่ 60% ทำการทดสอบตั้งแต่วันที่ 19 – 26 มีนาคม 2552 ตั้งแต่เวลา 7.00 – 7.00 น. ของอีกวัน เก็บค่าข้อมูลทุก 1 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบสภาวะอากาศระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างภายในและภายนอกโรงเรือน

การประเมินประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ในโรงเรือน ใช้การวัดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกโรงเรือน โดยตั้งค่าความชื้นสัมพัทธ์ไว้ไม่ให้ต่ำกว่า 60% พบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในโรงเรือนมีค่าไม่ต่ำกว่า 60% ยกเว้นในเวลา 12.00 – 13.00 น. มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ 57.67% และ 58.33% ตามลำดับ โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายนอกโรงเรือนต่ำสุดอยู่ที่ 47.14% ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนในช่วงทดสอบมีค่าอยู่ระหว่าง 24.30 – 37.21 C° และ อุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกโรงเรือนในช่วงทดสอบมีค่าอยู่ระหว่าง 24.50 – 36.47 C° ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เฉลี่ยอยู่ที่ 5.7 m/min

ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดสอบควรจะมีการควบคุมปัจจัยชนิดอื่นๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ความเข้มของแสงและความสว่างของแสงเพื่อที่จะทำให้การทดสอบนั้นได้ค่าที่ถูกต้องที่สุดมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
2. ควรมีการเพิ่มการระบายอากาศและการเคลื่อนที่ของอากาศภายในโรงเรือนเพื่อที่จะทำให้ประสิทธิภาพการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของหุ่นยนต์มากยิ่งขึ้น
3. ควรมีการลดอุณหภูมิของน้ำก่อนทำการพ่น เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำที่ลดลงสามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนได้
4. ควรมีการเพิ่มระบบชาร์จไฟให้กับแบตเตอรี่ของหุ่นยนต์เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องทำการเปลี่ยนแบตเตอรี่ในระหว่างการใช้งาน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2545. อากาศบ้านเรา. แหล่งที่มา:

[http:// www.tmd.go.th/knowledge/book_weather06.html](http://www.tmd.go.th/knowledge/book_weather06.html), 7 August 2005.

ไกรสร รวยป้อม. 2546. การออกแบบระบบควบคุมสถานะอากาศกึ่งอัตโนมัติในโรงเรือน

เพาะปลูก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เดชฤทธิ์ มณีธรรม. 2549. คัมภีร์ หุ่นยนต์ (ROBOT). บริษัท เพชรเกษม พรินติ้ง กรุ๊ป จำกัด, กรุงเทพฯ.

ประนอม ศรีสวัสดิ์. 2546. ข่าวสารเมล็ดพันธุ์พืช. ปีที่ 10 (3)

วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์. 2548. เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.

วัลลภ สำราญบำรุง. 2544. การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนพลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ศักรินทร์ โสนันตะ. 2545. เครื่องมือวัดและการวัดทางไฟฟ้า. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น, กรุงเทพฯ.

สุนทร เรืองเกษม. 2540. ผักกินใบ. กรุงเทพฯ.

อุดม จินประดับ. 2541. ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

เอกชัย มะการ. 2547. ปฏิบัติการทดลองและใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ด้วยภาษาเบสิก. บริษัท อีทีที จำกัด, กรุงเทพฯ.

Nelson. P.V. 1998. **Greenhouse Operation and Management 5th edition**. Prentice Hall, New Jersey.

Sensirion. **SHT 1X / SHT 7X Humidity & Temperature Sensor**. Available Source:
http://www.sensirion.com/en/pdf/product_information/Data_Sheet_humidity_sensor_SHT1x_SHT7x_E.pdf, August 21, 2007.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 19 มี.ค. 2552

TIME	IN												OUT		Average	
	1		2		3		4		5		6		7		Tin	RHin
	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	To (C°)	RHo (%)		
7.00	24.64	99	24.72	99	24.84	100	24.72	99	24.93	98	24.76	98	24.79	95	24.77	98.83
8.00	26.13	95	26.44	92	26.33	95	26.07	95	26.22	95	26.12	95	25.59	91	26.22	94.50
9.00	28.36	92	29.84	82	28.28	94	28.92	93	28.02	98	30.03	83	28.07	78	28.91	90.33
10.00	32.86	67	33.59	64	32.1	73	32.84	70	31.81	72	34.09	62	31.22	61	32.88	68.00
11.00	34.23	65	34.63	64	33.96	70	34.13	67	33.79	68	35.14	63	32.32	64	34.31	66.17
12.00	36.43	62	38.07	56	36.73	63	36.68	59	37.11	59	37.75	58	34.00	54	37.13	59.50
13.00	37.07	59	38.27	55	37.09	61	36.96	58	37.34	58	37.82	57	34.42	52	37.43	58.00
14.00	36.27	60	37.35	58	35.58	66	36.06	62	35.95	65	36.43	60	34.80	49	36.27	61.83
15.00	36.28	62	36.91	58	36.3	62	35.47	62	36.03	60	35.92	62	36.00	53	36.15	61.00
16.00	34.5	63	35.38	60	34.46	65	34.42	62	33.97	65	34.13	63	34.75	55	34.48	63.00
17.00	30.97	69	31.33	72	30.88	73	30.97	76	30.99	71	31.07	78	31.78	64	31.04	73.17
18.00	30.09	73	30.14	75	30.09	74	30.12	73	29.9	74	30.04	84	31.15	65	30.06	75.50
19.00	28.38	83	28.62	82	28.46	82	28.51	82	28.27	81	28.49	85	29.57	73	28.46	82.50
20.00	27.93	82	27.94	82	27.93	80	27.97	80	27.72	82	27.86	86	29.02	73	27.89	82.00
21.00	27.6	84	27.55	84	27.6	84	27.63	83	27.33	85	27.52	86	28.68	76	27.54	84.33
22.00	27.15	87	27.31	85	27.16	86	27.24	85	27.04	88	27.21	88	28.04	80	27.19	86.50
23.00	26.62	90	26.67	89	26.61	90	26.57	89	26.49	90	26.56	92	27.67	82	26.59	90.00
24.00	26.25	93	26.13	93	26.16	94	26.18	92	25.94	95	26.18	93	27.07	85	26.14	93.33
1.00	25.64	95	25.68	95	25.72	95	25.62	95	25.46	97	25.65	95	26.40	87	25.63	95.33
2.00	25.39	97	25.36	98	25.44	98	25.34	98	25.31	98	25.42	94	25.86	92	25.38	97.17
3.00	25.09	98	25.1	98	25.19	99	25.09	98	25.19	99	25.07	99	25.44	95	25.12	98.50
4.00	25.24	99	25.37	97	25.26	98	25.34	98	25.32	98	25.31	98	25.95	93	25.31	98.00
5.00	25.54	96	25.56	96	25.51	97	25.51	96	25.44	98	25.51	96	26.11	92	25.51	96.50
6.00	25.37	98	25.35	98	25.32	99	25.32	98	25.33	98	25.42	98	25.63	94	25.35	98.17
7.00	26.05	95	26.14	95	25.98	96	26.03	95	25.92	98	26.06	96	26.37	90	26.03	95.83

ตารางผนวกที่ 2 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 20 มี.ค. 2552

TIME	IN												OUT		Average	
	1		2		3		4		5		6		7		Tin	RHin
	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	To (C°)	RHo (%)		
7.00	26.05	95	26.14	95	25.98	96	26.03	95	25.92	98	26.06	96	26.37	90	26.03	95.83
8.00	28.27	86	28.50	84	28.26	89	28.37	87	28.15	89	28.81	82	28.47	80	28.39	86.17
9.00	30.47	81	33.26	64	30.06	80	30.83	76	29.98	80	32.08	73	32.77	60	31.11	75.67
10.00	35.44	60	36.77	54	34.59	66	35.65	60	34.38	64	37.65	54	35.34	51	35.75	59.67
11.00	34.47	65	35.14	62	34.23	69	34.61	64	34.55	65	35.30	65	34.45	55	34.72	65.00
12.00	36.41	59	37.72	54	36.12	60	36.79	63	36.57	60	37.96	54	35.45	52	36.93	58.33
13.00	33.54	63	33.98	63	33.22	65	33.39	64	33.17	64	33.92	63	33.95	55	33.54	63.67
14.00	34.75	62	35.56	61	34.46	65	34.94	63	35.02	62	35.60	61	35.95	54	35.06	62.33
15.00	35.53	60	37.48	54	35.36	63	36.36	58	35.20	62	36.46	56	37.35	44	36.07	58.83
16.00	34.34	59	35.03	60	33.95	63	34.39	60	34.13	61	34.64	64	35.78	48	34.41	61.17
17.00	30.37	74	30.53	75	30.13	75	30.21	74	30.09	74	30.40	78	30.69	68	30.29	75.00
18.00	29.17	80	29.36	79	29.02	81	29.09	80	28.88	81	29.14	82	29.78	73	29.11	80.50
19.00	28.45	89	28.36	84	28.33	84	28.34	83	28.16	85	28.36	85	29.16	77	28.33	85.00
20.00	27.85	88	27.88	86	27.78	86	27.86	85	27.67	88	27.85	88	28.59	78	27.82	86.83
21.00	27.23	91	27.23	90	27.20	92	27.23	90	27.09	92	27.30	90	27.57	84	27.21	90.83
22.00	26.30	97	26.41	95	26.33	95	26.40	94	26.37	94	26.45	94	27.33	82	26.38	94.83
23.00	26.62	90	26.61	98	26.49	92	26.54	90	26.46	91	26.62	90	27.14	82	26.56	91.83
24.00	25.80	90	25.79	90	25.69	91	25.66	89	25.63	90	25.72	90	26.06	85	25.72	90.00
1.00	24.96	93	24.91	94	24.89	94	24.84	94	24.83	93	24.91	94	25.20	90	24.89	93.67
2.00	24.58	96	24.51	97	24.58	96	24.48	95	24.43	96	24.53	95	25.03	92	24.52	95.83
3.00	24.32	98	24.30	98	24.40	98	24.27	97	24.26	98	24.24	98	24.81	91	24.30	97.83
4.00	24.17	99	24.12	99	24.28	99	24.11	98	24.17	99	24.12	99	24.11	97	24.16	98.83
5.00	23.71	99	23.65	98	23.87	98	23.66	99	23.83	99	23.73	99	23.60	98	23.74	98.67
6.00	23.48	99	23.46	99	23.78	99	23.49	99	23.75	99	23.65	99	23.54	99	23.60	99.00
7.00	23.90	99	23.92	99	23.97	99	23.90	99	24.00	99	24.32	98	23.89	98	24.00	98.83

ตารางผนวกที่ 3 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 21 มี.ค. 2552

TIME	IN										OUT		Average			
	1		2		3		4		5		6		7			
	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	To (C°)	RHo (%)	Tin (C°)	RHin (%)
7.00	23.90	99	23.92	99	23.97	99	23.90	99	24.00	99	24.32	98	23.89	98	24.00	98.83
8.00	25.35	93	25.54	92	25.56	92	25.40	92	25.33	93	25.28	92	25.96	82	25.41	92.33
9.00	28.29	80	30.94	69	27.81	84	28.60	80	27.88	82	29.36	77	30.29	64	28.81	78.67
10.00	33.17	67	34.10	63	32.80	69	33.65	65	32.51	70	34.43	63	31.95	60	33.44	66.17
11.00	32.59	66	33.65	62	32.82	67	32.98	64	32.88	65	33.93	62	32.71	60	33.14	64.33
12.00	36.31	62	38.11	54	36.55	62	37.04	57	37.07	59	38.29	58	34.83	54	37.23	58.67
13.00	34.82	64	37.39	54	35.43	61	36.37	57	36.12	58	37.52	53	35.30	48	36.28	57.83
14.00	34.89	60	35.34	61	34.60	63	34.52	64	34.35	62	35.00	65	34.48	53	34.78	62.50
15.00	33.53	62	33.89	62	33.17	62	33.28	63	33.04	63	33.65	64	34.06	53	33.43	62.67
16.00	33.20	62	33.58	63	32.96	63	32.88	62	32.70	63	33.07	64	33.87	55	33.07	62.83
17.00	31.52	65	31.63	65	31.29	65	31.18	65	31.10	66	31.31	67	32.05	60	31.34	65.50
18.00	29.84	75	30.12	74	29.84	75	29.83	75	29.59	76	29.89	79	30.76	67	29.85	75.67
19.00	28.46	81	28.54	83	28.49	80	28.39	82	28.34	82	28.39	85	29.55	70	28.44	82.17
20.00	27.44	86	27.54	86	27.39	87	27.41	85	27.17	88	27.41	88	28.44	78	27.39	86.67
21.00	26.72	92	26.82	90	26.66	90	26.72	90	26.51	90	26.72	92	27.75	81	26.69	90.67
22.00	26.06	96	26.20	93	26.10	95	26.15	94	25.89	96	26.17	95	26.83	88	26.10	94.83
23.00	25.66	98	25.68	98	25.74	97	25.56	97	25.63	98	25.66	94	26.40	90	25.66	97.00
24.00	25.52	99	25.64	96	25.62	98	25.56	97	25.59	98	25.59	94	26.15	94	25.59	97.00
1.00	25.47	98	25.54	98	25.47	99	25.49	97	25.50	99	25.52	98	25.99	95	25.50	98.17
2.00	25.31	98	25.26	98	25.37	98	25.24	98	25.18	99	25.26	98	25.76	94	25.27	98.17
3.00	24.74	99	24.79	99	24.76	99	24.81	99	24.74	100	24.93	99	25.21	96	24.80	99.17
4.00	24.45	99	24.50	99	24.48	99	24.48	99	24.53	99	24.63	99	25.06	96	24.51	99.00
5.00	24.27	99	24.22	99	24.43	99	24.27	99	24.42	99	24.33	99	24.72	97	24.32	99.00
6.00	24.08	100	24.00	99	24.11	99	24.08	99	24.21	99	24.10	99	24.40	97	24.10	99.17
7.00	24.62	98	24.62	99	24.73	98	24.67	99	24.75	99	24.86	98	24.69	96	24.71	98.50

ตารางผนวกที่ 4 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 22 มี.ค. 2552

TIME	IN												OUT		Average	
	1		2		3		4		5		6		7		Tin	RHin
	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	To (C°)	RHo (%)		
7.00	24.62	98	24.62	99	24.73	98	24.67	99	24.75	99	24.86	98	24.69	96	24.71	98.50
8.00	26.84	90	27.17	90	27.21	90	27.15	90	27.04	92	27.34	89	27.44	80	27.13	90.17
9.00	29.28	80	30.82	73	28.89	83	29.66	81	29.07	81	30.53	75	30.74	63	29.71	78.83
10.00	33.04	65	34.07	61	32.88	66	33.27	64	32.53	68	34.36	63	33.04	56	33.36	64.50
11.00	32.91	64	34.21	60	32.80	64	33.61	62	33.21	64	34.58	62	33.42	54	33.55	62.67
12.00	33.85	62	35.48	55	33.42	63	34.67	59	34.20	61	35.87	58	34.76	49	34.58	59.67
13.00	34.35	62	35.07	59	34.11	63	34.38	61	34.18	62	35.23	61	34.72	54	34.55	61.33
14.00	34.32	63	35.41	59	34.05	63	34.56	61	34.38	61	35.26	59	34.48	54	34.66	61.00
15.00	32.94	63	34.14	59	32.81	64	33.49	60	33.26	61	34.43	57	33.87	48	33.51	60.67
16.00	33.42	60	33.92	60	33.12	61	33.22	61	32.99	61	33.71	68	33.95	51	33.40	61.83
17.00	31.76	64	32.05	65	31.44	66	31.57	65	31.46	66	31.89	67	32.28	59	31.70	65.50
18.00	29.59	70	29.89	69	29.48	72	29.48	70	29.22	73	29.56	74	30.55	61	29.54	71.33
19.00	27.87	76	27.95	77	27.82	76	27.90	74	27.66	78	27.85	79	28.97	69	27.84	76.67
20.00	26.70	84	26.90	82	26.69	83	26.70	82	26.59	84	26.72	85	27.91	75	26.72	83.33
21.00	25.63	94	25.72	92	25.61	94	25.61	92	25.33	94	25.64	93	26.59	84	25.59	93.17
22.00	25.06	98	25.07	96	25.01	97	25.01	96	24.88	98	25.09	95	26.01	90	25.02	96.67
23.00	25.28	98	25.38	98	25.39	96	25.33	96	25.23	98	25.36	97	26.02	90	25.33	97.17
24.00	25.27	98	25.34	99	25.22	99	25.26	98	25.13	99	25.35	98	25.98	95	25.26	98.50
1.00	24.98	99	25.01	99	25.00	99	25.00	99	25.03	99	25.17	99	25.51	96	25.03	99.00
2.00	24.71	99	24.76	99	24.71	99	24.74	99	24.71	99	24.85	99	25.11	97	24.75	99.00
3.00	24.56	100	24.50	99	24.71	98	24.54	99	24.64	100	24.69	99	24.92	98	24.61	99.17
4.00	24.40	99	24.43	99	24.38	99	24.38	99	24.49	100	24.46	99	24.69	99	24.42	99.17
5.00	24.26	99	24.28	100	24.30	99	24.28	99	24.34	100	24.39	99	24.60	99	24.31	99.33
6.00	24.08	99	24.16	100	24.11	100	24.19	99	24.17	100	24.51	99	24.33	99	24.20	99.50
7.00	24.35	100	24.40	100	24.39	100	24.44	99	24.47	100	24.61	99	24.68	99	24.44	99.67

ตารางผนวกที่ 5 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 23 มี.ค. 2552

TIME	IN												OUT		Average	
	1		2		3		4		5		6		7		Tin	RHin
	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	To (C°)	RHo (%)		
7.00	24.35	100	24.40	100	24.39	100	24.44	99	24.47	100	24.61	99	24.68	99	24.44	99.67
8.00	26.03	96	26.42	94	27.34	91	26.48	94	26.50	94	26.18	96	27.21	85	26.49	94.17
9.00	29.71	83	32.45	70	29.39	84	30.13	82	29.25	83	30.76	77	33.46	56	30.28	79.83
10.00	35.06	61	36.61	56	34.66	62	35.62	61	33.60	67	37.59	54	35.65	48	35.52	60.17
11.00	33.06	67	33.83	65	32.90	67	33.39	67	33.30	66	34.10	67	33.20	56	33.43	66.50
12.00	37.39	56	38.64	53	37.31	58	37.89	54	37.81	55	39.15	52	36.07	46	38.03	54.67
13.00	38.25	55	39.45	51	37.93	56	37.89	57	38.44	55	39.40	51	38.91	44	38.56	54.17
14.00	34.80	59	37.26	53	33.83	63	36.07	55	35.16	58	36.47	53	37.47	44	35.60	56.83
15.00	35.37	59	36.83	57	35.23	60	35.96	57	36.06	56	36.01	57	37.98	43	35.91	57.67
16.00	32.66	67	36.14	56	33.50	64	34.94	59	33.92	61	35.21	58	36.84	47	34.40	60.83
17.00	33.14	58	33.87	58	32.85	59	33.30	56	33.18	57	33.78	59	35.21	46	33.35	57.83
18.00	31.06	52	31.32	54	30.92	54	30.64	55	30.42	56	30.61	60	32.91	45	30.83	55.17
19.00	28.95	65	28.97	68	28.98	64	28.82	66	28.85	65	28.82	69	30.66	56	28.90	66.17
20.00	27.89	79	28.07	77	27.97	77	27.81	78	27.80	78	27.94	79	29.44	68	27.91	78.00
21.00	27.11	84	27.09	86	27.07	86	27.01	85	26.88	86	27.03	88	28.33	72	27.03	85.83
22.00	26.64	90	26.78	90	26.70	90	26.57	91	26.49	92	26.64	90	27.67	84	26.64	90.50
23.00	26.06	96	26.06	92	26.04	95	25.95	96	25.87	96	25.96	96	26.77	88	25.99	95.17
24.00	25.76	96	25.76	96	25.64	97	25.71	96	25.50	98	25.76	97	26.57	92	25.69	96.67
1.00	25.29	99	25.36	99	25.31	99	25.34	99	25.23	99	25.42	98	25.88	94	25.33	98.83
2.00	25.38	99	25.45	99	25.28	99	25.45	98	25.24	99	25.48	98	26.09	94	25.38	98.67
3.00	25.23	99	25.30	98	25.28	99	25.27	98	25.35	99	25.31	98	25.69	96	25.29	98.50
4.00	25.09	99	25.11	98	25.12	99	25.08	99	25.12	99	25.09	98	25.93	94	25.10	98.67
5.00	24.74	99	24.74	99	24.73	99	24.76	98	24.83	99	24.81	99	25.26	95	24.77	98.83
6.00	24.49	99	24.47	99	24.57	99	24.41	99	24.54	99	24.62	99	25.12	95	24.52	99.00
7.00	25.05	98	25.05	98	25.01	99	25.03	98	25.05	99	25.16	98	25.64	93	25.06	98.33

ตารางผนวกที่ 6 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 25 มี.ค. 2552

TIME	IN												OUT		Average	
	1		2		3		4		5		6		7		Tin	RHin
	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	To (C°)	RHo (%)		
7.00	24.85	96	25.01	94	24.82	96	24.90	96	24.80	98	25.03	95	25.72	87	24.90	95.83
8.00	26.66	82	26.85	86	26.85	90	26.82	87	26.66	91	26.90	89	27.26	80	26.79	87.50
9.00	30.09	75	32.53	67	29.80	78	30.07	81	29.68	77	30.81	78	32.40	59	30.50	76.00
10.00	33.97	60	35.35	57	33.60	63	34.63	61	32.98	65	36.44	57	33.76	53	34.50	60.50
11.00	35.82	61	37.70	56	35.55	63	37.20	61	36.29	62	39.40	55	37.73	46	36.99	59.67
12.00	37.70	55	39.08	54	37.68	56	38.11	57	38.08	57	39.64	54	37.62	50	38.38	55.50
13.00	38.06	57	39.19	53	37.79	56	38.00	57	38.32	55	39.45	54	39.08	45	38.47	55.33
14.00	36.55	61	38.10	59	35.87	64	37.24	60	37.06	61	38.11	56	38.61	45	37.16	60.17
15.00	35.50	67	37.49	60	35.38	67	36.37	63	36.21	63	36.63	60	38.59	42	36.26	63.33
16.00	34.15	60	35.62	62	34.05	66	34.60	63	34.26	63	35.01	63	37.98	43	34.62	62.83
17.00	33.93	63	34.52	65	33.81	63	34.01	63	33.94	62	34.42	63	35.62	53	34.11	63.17
18.00	32.21	60	32.33	61	31.93	62	32.03	61	31.82	61	32.00	67	33.52	52	32.05	62.00
19.00	28.55	69	28.50	73	28.28	73	28.39	72	28.25	71	28.60	74	28.95	67	28.43	72.00
20.00	27.08	83	27.08	85	26.93	86	26.98	83	26.79	87	27.17	84	27.80	75	27.01	84.67
21.00	26.38	86	26.34	86	26.34	88	26.29	84	26.21	85	26.40	85	26.80	79	26.33	85.67
22.00	26.19	92	25.98	92	25.96	92	25.91	91	25.91	91	26.01	90	26.61	80	25.99	91.33
23.00	26.14	89	26.04	90	26.03	88	26.06	84	25.98	90	26.04	89	26.51	82	26.05	88.33
24.00	25.50	92	25.65	90	25.52	92	25.58	90	25.50	93	25.60	91	26.54	82	25.56	91.33
1.00	25.39	94	25.23	94	25.21	94	25.21	93	25.13	95	25.23	93	25.73	87	25.23	93.83
2.00	25.26	96	25.28	95	25.30	95	25.28	94	25.33	95	25.26	94	26.10	86	25.29	94.83
3.00	25.11	96	25.13	94	25.11	96	25.11	94	25.06	98	25.14	93	25.86	87	25.11	95.17
4.00	25.07	96	24.94	96	25.13	97	25.01	96	25.07	98	25.10	95	25.57	89	25.05	96.33
5.00	25.29	94	25.18	94	25.16	95	25.21	93	25.10	95	25.29	93	26.26	85	25.21	94.00
6.00	24.88	99	24.82	99	24.96	98	24.77	98	24.90	98	24.82	98	24.96	95	24.86	98.33
7.00	25.33	96	25.29	97	25.26	98	25.23	97	25.38	98	25.25	96	25.62	92	25.29	97.00

ตารางผนวกที่ 7 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ 26 มี.ค. 2552

TIME	IN												OUT		Average	
	1		2		3		4		5		6		7		Tin	RHin
	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	Tin (C°)	RH (%)	To (C°)	RHo (%)		
7.00	25.33	96	25.29	97	25.26	98	25.23	97	25.38	98	25.25	96	25.62	92	25.29	97.00
8.00	27.33	85	27.76	86	27.47	86	27.71	86	27.33	88	28.08	84	27.05	82	27.61	85.83
9.00	29.54	78	29.33	84	29.36	80	29.96	79	29.14	82	30.41	75	29.53	75	29.62	79.67
10.00	31.08	75	32.20	70	31.24	75	31.80	74	31.58	74	32.44	73	30.97	70	31.72	73.50
11.00	34.76	62	35.77	60	34.83	62	35.10	63	34.87	63	36.33	58	35.31	57	35.28	61.33
12.00	37.37	59	39.14	55	37.32	60	38.28	56	37.85	59	39.32	55	37.26	48	38.21	57.33
13.00	36.64	62	39.11	55	35.80	67	38.40	56	38.05	55	39.70	53	38.94	46	37.95	58.00
14.00	34.06	66	36.56	59	33.50	65	35.66	61	35.23	63	36.36	57	37.28	46	35.23	61.83
15.00	32.18	72	35.94	58	33.53	65	35.11	57	34.51	62	35.47	57	36.36	47	34.46	61.83
16.00	32.52	63	33.32	63	32.49	62	32.59	64	32.46	62	33.10	64	34.52	52	32.75	63.00
17.00	31.38	65	31.67	67	31.22	66	31.32	65	31.20	64	31.52	67	32.17	58	31.39	65.67
18.00	29.60	73	29.45	76	29.34	75	29.26	75	29.15	73	29.42	76	30.48	65	29.37	74.67
19.00	28.37	77	28.40	78	28.13	80	28.27	76	28.09	78	28.45	77	28.79	71	28.29	77.67
20.00	26.12	88	26.20	86	26.07	89	26.17	85	26.07	90	26.38	84	27.07	75	26.17	87.00
21.00	25.90	90	25.84	86	25.76	87	25.77	84	25.60	89	25.82	86	26.47	77	25.78	87.00
22.00	25.56	92	25.62	92	25.56	90	25.60	89	25.47	93	25.65	88	26.80	77	25.58	90.67
23.00	26.11	88	25.90	90	25.92	89	26.07	86	25.90	89	26.11	86	26.74	80	26.00	88.00
24.00	25.91	87	25.91	89	25.80	89	25.96	87	25.70	90	26.01	86	26.72	80	25.88	88.00
1.00	25.30	94	25.30	93	25.25	94	25.28	92	25.22	94	25.38	90	26.16	84	25.29	92.83
2.00	24.81	97	24.66	97	24.74	98	24.56	97	24.68	96	24.68	96	25.10	89	24.69	96.83
3.00	24.16	98	24.06	99	24.23	98	24.03	99	24.15	98	24.02	98	24.49	92	24.11	98.33
4.00	23.90	99	23.80	99	23.99	98	23.75	98	23.85	99	23.77	99	24.22	95	23.84	98.67
5.00	23.61	99	23.53	99	23.61	99	23.56	99	23.79	99	23.65	99	23.69	98	23.63	99.00
6.00	23.40	100	23.35	99	23.47	100	23.39	99	23.58	100	23.56	99	23.50	98	23.46	99.50
7.00	23.81	100	23.85	100	23.97	99	23.96	99	23.94	99	24.07	99	24.02	97	23.93	99.33

ตารางผนวกที่ 8 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์ระหว่างล้อเหล็กกับราง

ครั้งที่	มุมพื้นเอียง (องศา)	tan μ
1	1.5	0.026
2	0.75	0.013
3	1.5	0.026
4	1.5	0.026
5	1	0.017
เฉลี่ย		0.0216

ตารางผนวกที่ 9 เปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง Sling Psychrometer กับ Thermocouple กระเปาะเปียกกระเปาะแห้ง

ครั้งที่	Sling Psy (%RH)	Thermocouple (%RH) จุดที่													
		1		2		3		4		5		6		7	
		วัด	ต่าง	วัด	ต่าง	วัด	ต่าง	วัด	ต่าง	วัด	ต่าง	วัด	ต่าง	วัด	ต่าง
1	65	65	0	66	+1	65	0	66	+1	65	0	66	+1	66	+1
2	63	59	-4	62	-1	61	-2	62	-1	61	-2	60	-3	59	-4
3	57	51	-6	55	-2	53	-4	53	-4	53	-4	52	-5	52	-5
4	56	50	-6	51	-5	50	-6	52	-4	50	-6	50	-6	50	-6
5	53	47	-6	50	-3	47	-6	50	-3	48	-5	49	-4	47	-6

ตารางผนวกที่ 10 แสดงอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บ วันที่ 20 - 22 มี.ค. 2552

เวลา	อุณหภูมิน้ำ (C°)			
	20 มี.ค.	21 มี.ค.	22 มี.ค.	เฉลี่ย
9.00 น.	29.10	27.80	28.10	28.33
11.00 น.	33.30	30.90	30.90	31.70
13.00 น.	37.10	35.10	34.40	35.33
15.00 น.	38.40	37.70	35.70	37.27
17.00 น.	37.20	36.60	35.90	36.57

ตารางผนวกที่ 11 ค่าใช้จ่ายในการสร้างหุ่นยนต์

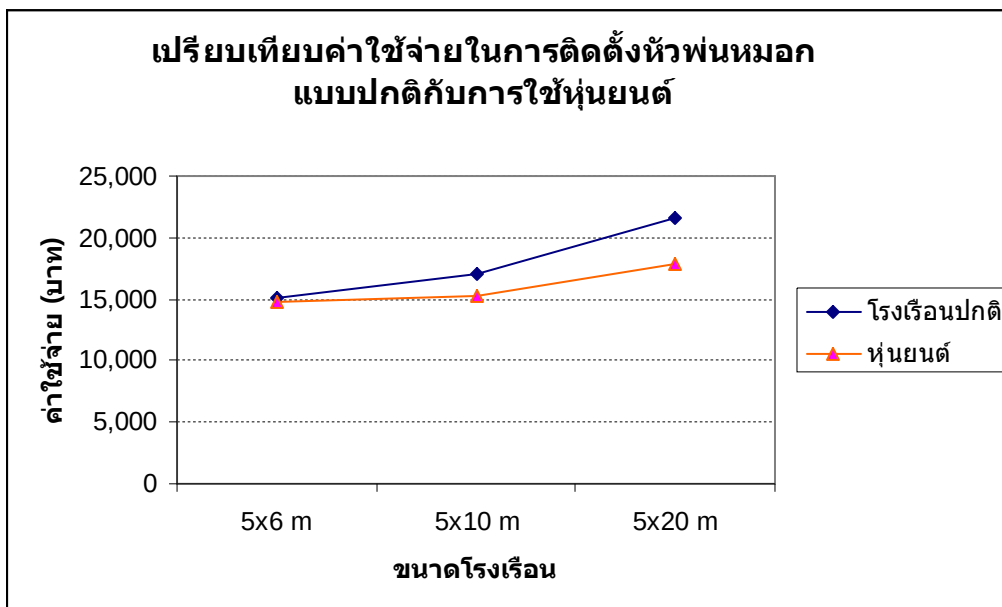
ลำดับที่	รายการ	จำนวน	ราคา/หน่วย	ราคา (บาท)
1	บอร์ด CP-JR51AC2 V1	1	1,030	1,030
2	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	1	850	850
3	เซนเซอร์ SHT 15	1	950	950
4	จอ LCD	1	1,305	1,305
5	แบตเตอรี่	1	915	915
6	มอเตอร์เกียร์	1	1,800	1,800
7	โซ่และเฟือง	1	450	450
8	ปั๊มน้ำ	1	2,500	2,500
9	ถังน้ำ	1	1,800	1,800
10	อุปกรณ์เติมน้ำ	1	830	830
11	หัวพ่นหมอก 4 ทิศทาง	2	135	250
12	โครงหุ่นยนต์	1	600	600
รวม				13,280

ตารางผนวกที่ 12 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งหุ่นยนต์ในโรงเรือน

ขนาดโรงเรือน	ท่อ ขนาด	จำนวน	ราคา/ หน่วย	เหล็กแบน ขนาด	จำนวน	ราคา/ หน่วย	ราคารวมหุ่นยนต์ (บาท)
5x6 m	1 ?"	2	530	1 ?"	1	400	14,740
5x10 m	1 ?"	3	530	1 ?"	1	400	15,270
5x20 m	1 ?"	7	530	1 ?"	2	400	17,790

ตารางผนวกที่ 13 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบพ่นหมอกแบบปกติ

ลำดับ	รายการ	ขนาดโรงเรือน 5X6 m				ขนาดโรงเรือน 5X10 m				ขนาดโรงเรือน 5X20 m			
		ขนาด	จำนวน	ราคา/หน่วย	ราคา (บาท)	ขนาด	จำนวน	ราคา/หน่วย	ราคา (บาท)	ขนาด	จำนวน	ราคา/หน่วย	ราคา (บาท)
1	งอ 90 PVC	1"	4	8.5	34	1"	4	8.5	34	1"	4	8.5	34
2	ต่อตรงเกลียวนอก PVC	1"	4	5.5	22	1"	4	5.5	22	1"	4	5.5	22
3	ต่อตรงเกลียวใน PVC	1"	2	7.4	14.8	1"	2	7.4	14.8	1"	2	7.4	14.8
4	ต่อตรงเกลียวนอก PE	1"x1/2"	2	6	12	1"x1/2"	2	6	12	1"x1/2"	2	6	12
5	3 ทางเกลียวใน PVC	1"	3	20	60	1"	3	20	60	1"	3	20	60
6	3 ทางPVC	1"	2	12.5	25	1"	2	12.5	25	1"	2	12.5	25
7	3 ทางPE	1/2"	6	6	36	1/2"	6	6	36	1/2"	6	6	36
8	Foot Valve	1"	1	350	350	1"	1	350	350	1"	1	350	350
9	Check Valve	1"	1	330	330	1"	1	330	330	1"	1	330	330
10	Pressure Valve		2	150	300		2	150	300		2	150	300
11	Fillter	1"	1	350	350	1"	1	350	350	1"	1	350	350
12	Pressure Switch		1	1,800	1,800		1	1,800	1,800		1	1800	1800
13	ปั๊ม	1HP	1	5,700	5,700	1HP	1	5,700	5,700	1HP	1	5700	5700
14	กล่องควบคุม		1	3,500	3,500		1	3,500	3,500		1	3500	3500
15	หัวพ่นหมอก	28 l/hr	20	108	2,160	28 l/hr	36	108	3,888	28 l/hr	76	108	8208
16	ท่อ PVC	1"	4	70	280	1"	4	70	280	1"	4	70	280
17	ท่อ PE	20mm	42	4	168	20mm	70	4	280	20mm	130	4	520
รวม					15,141.8				16,981.8				21,541.8

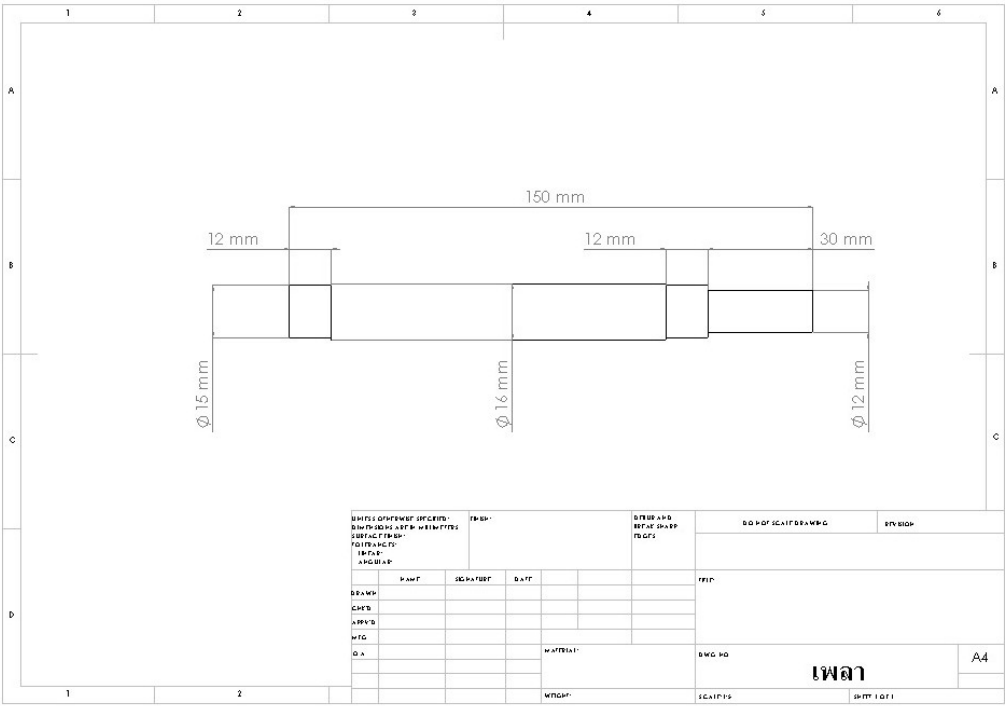


ภาพผนวกที่ 1 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งหัวพ่นหมอกแบบปกติกับการใช้หุ่นยนต์

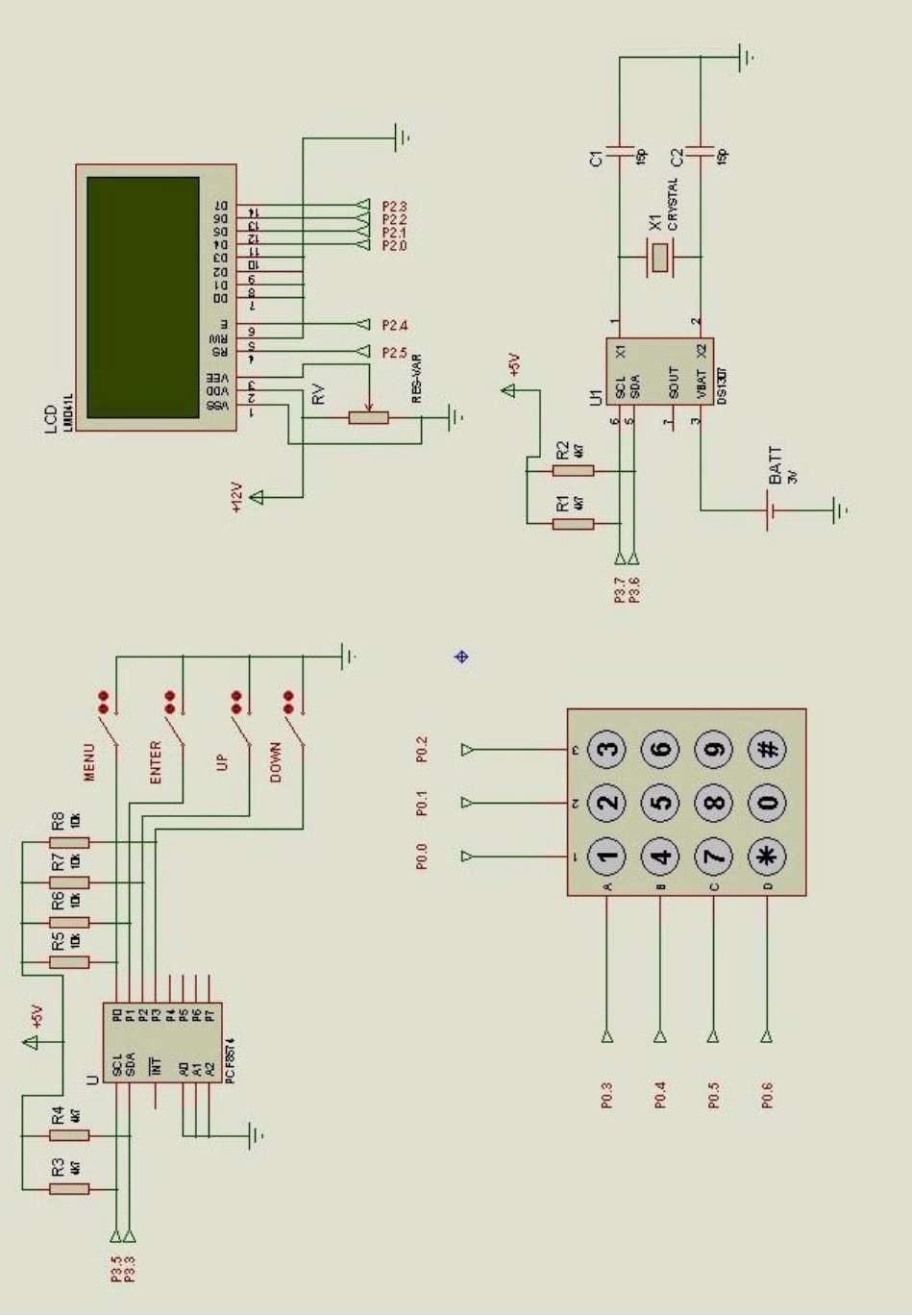
C	DRYBULB TEMPERATURE C (CELCIUS)																							
Db - Wb	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	
0.5	96	96	96	96	95	96	96	96	96	96	96	96	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	
1.0	91	91	92	92	92	92	92	92	93	93	93	93	93	93	93	93	94	94	94	94	94	94	94	
1.5	87	87	87	88	88	88	88	89	89	89	89	90	90	90	90	90	90	91	91	91	91	91	91	
2.0	83	83	83	84	84	84	85	85	85	86	86	86	86	87	87	87	87	87	88	88	88	88	88	
2.5	78	79	79	80	80	81	81	82	82	82	83	83	83	83	84	84	84	85	85	85	85	85	86	
3.0	74	75	76	75	77	77	78	78	79	79	79	80	80	80	81	81	81	82	82	82	82	83	83	
3.5	70	71	72	72	73	74	74	75	75	76	76	77	77	77	78	78	78	79	79	79	80	80	80	
4.0	66	67	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	76	77	77	77	77	
4.5	62	63	64	65	66	67	67	69	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	74	75	75	
5.0	59	60	61	62	62	63	64	65	65	66	67	67	68	69	69	70	70	70	71	71	72	72	72	
5.5	55	56	57	58	59	60	61	62	62	63	64	64	65	66	66	67	67	68	68	69	69	70	70	
6.0	51	52	54	55	56	57	58	59	59	60	61	62	62	63	64	64	65	65	66	66	67	67	68	
6.5	48	49	50	51	52	54	56	55	56	57	58	59	60	60	61	61	62	63	63	64	64	65	65	
7.0	44	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	58	59	60	60	61	61	62	62	63	
7.5	41	42	44	45	46	47	49	50	51	52	52	53	54	55	56	56	57	58	58	59	60	60	61	
8.0	37	39	40	42	43	44	46	47	48	49	50	51	52	52	53	54	55	55	56	57	57	58	58	
8.5			37	39	40	41	43	44	45	46	47	48	48	50	51	51	52	58	54	54	55	56	56	
9.0				37	38	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	51	52	53	53	54		
9.5						37	38	40	41	42	43	44	45	46	47	48	48	49	50	51	51	52		
10.0							37	38	39	41	42	43	44	44	45	46	47	48	48	49	50	51		
10.5										38	39	40	41	42	43	44	45	46	46	47	48	49		
11.0												38	39	40	41	42	43	44	44	45	46	47		
11.5														38	39	40	41	42	42	43	44	45		
12.0																38	39	40	40	41	42	43		
12.5																		38	38	39	40	41		
13.0																							38	
PERCENT (%) RELATIVE HUMIDITY																								

ภาพผนวกที่ 2 ตารางแปลงค่าความชื้นสัมพัทธ์

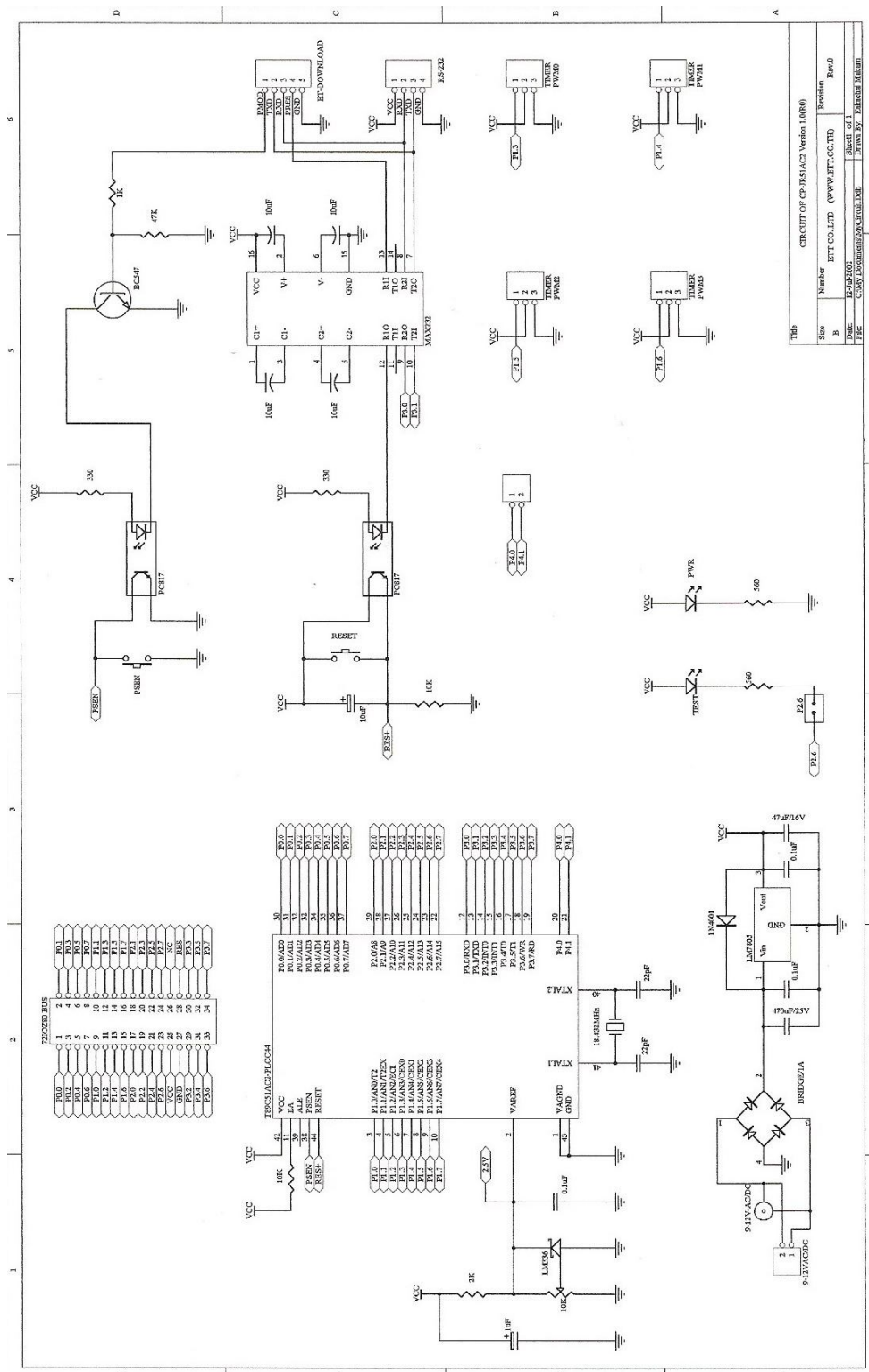
ที่มา: www.dede.go.th (2009)



ภาพผนวกที่ 7 แสดงขนาดของเพลาล้อขับเคลื่อน



ภาพผนวกที่ 8 แสดงวงจรที่ต้องต่อเพิ่มเติม



ภาพหน้าที่ 9 แสดงวงจรของบอร์ด CP-JR51AC2 V1

โปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์

```
#include <at89c51.h>
#include <i2c.h>
#include <i2c2.h>
#include <intrins.h>
#include <math.h>
#include <stdio.h>
#include <lcd3.h>
#include <scan4x3.h>
#define DS1307_ID 0xD0 // Define constant PCF DS1307_ID
#define PCF8574 0x70 // Define constant PCF 8574_ID
/***** modul-var *****/
#define noACK 0
#define ACK 1

//adr command r/w
#define STATUS_REG_W 0x06 //000 0011 0
#define STATUS_REG_R 0x07 //000 0011 1
#define MEASURE_TEMP 0x03 //000 0001 1
#define MEASURE_HUMI 0x05 //000 0010 1
#define RESET 0x1e //000 1111 0
/*****/

sbit DATA = P3^6;
sbit SCK = P3^7;
sbit origin = P1^2;
sbit finish = P1^3;
sbit motor_r = P1^0;
sbit motor_l = P1^1;
sbit solinoid = P2^6;
sbit pump = P1^4;
```

```

sbit  water_high = P3^2;
sbit  water_low  = P3^4;
unsigned char sec,min,hour,min2,hour2,day,date,month,year;
unsigned int RH,RH1,RH2;
unsigned char x_key ;
unsigned char push_key,push_key2;
unsigned char menu,goout;
unsigned char dat;
unsigned char ans;
float hum;

        code unsigned char timer1[24]={0x00,0x01,0x02,0x03,0x04,0x05,0x06,0x07,0x08,0x09,
        0x10,0x11,0x12,0x13,0x14,0x15,0x16,0x17,0x18,0x19,0x20,0x21,0x22,0x23};
        code unsigned char timer2[12]={0x00,0x02,0x04,0x06,0x08,0x10,0x12,0x14,0x16,0x18,
        0x20,0x22};
        code unsigned char timer3[8]={0x00,0x03,0x06,0x09,0x12,0x15,0x18,0x21};
unsigned char date_buf[6];
unsigned char time_buf[6];
unsigned char str_buf[6];
/*****
/***** Start SHT 15 *****/
typedef union
{ unsigned int i;
  float f;
} value;
value humi_val,temp_val;
enum {TEMP,HUMI};
/***** writes a byte on the I2C-bus and checks the acknowledge *****/
char s_write_byte(unsigned char value)
{

```

```

unsigned char i,error=0;
for (i=0x80;i>0;i/=2)      //shift bit for masking
{ if (i & value) DATA=1;    //masking value with i , write to I2C-BUS
  else DATA=0;
  SCK=1;                    //clk for I2C-BUS
  _nop_();                  //pulswith approx. 5 us
  _nop_();
  _nop_();
  _nop_();
  _nop_();
  _nop_();
  SCK=0;
}
DATA=1;                     //release DATA-line
SCK=1;                      //clk #9 for ack
error=DATA;                 //check ack (DATA will be pulled down by SHT15)
SCK=0;
return error;               //error=1 in case of no acknowledge
}
/***** reads a byte form the I2C-bus and gives an acknowledge in case of "ack=1" *****/

```

```

char s_read_byte(unsigned char ack)
{
  unsigned char i,val=0;
  DATA=1;                  //release DATA-line
  for (i=0x80;i>0;i/=2)    //shift bit for masking
  { SCK=1;                  //clk for I2C-BUS
    if (DATA) val=(val | i); //read bit
    SCK=0;
  }
}

```

```
DATA=!ack;           //in case of "ack==1" pull down DATA-Line
SCK=1;               //clk #9 for ack
_nop_();             //pulswidth approx. 5 us
_nop_();
_nop_();
_nop_();
_nop_();
_nop_();
SCK=0;
DATA=1;              //release DATA-line
return val;
}
/***** generates a transmission start *****/
void s_transstart(void)
{
    DATA=1; SCK=0;    //Initial state
    _nop_();
    SCK=1;
    _nop_();
    DATA=0;
    _nop_();
    SCK=0;
    _nop_();
    _nop_();
    _nop_();
    _nop_();
    _nop_();
    SCK=1;
    _nop_();
```

```

    DATA=1;
    _nop_();
    SCK=0;
}
/** communication reset: DATA-line=1 and at least 9 SCK cycles followed by transstart **/
void s_connectionreset(void)
{
    unsigned char i;
    DATA=1; SCK=0;          //Initial state
    for(i=0;i<9;i++)         //9 SCK cycles
    { SCK=1;
      SCK=0;
    }
    s_transstart();          //transmission start
}
**** makes a measurement (humidity/temperature) with checksum ****/
char s_measure(unsigned char *p_value, unsigned char *p_checksum, unsigned char mode)
{
    unsigned error=0;
    unsigned int i;

    s_transstart();          //transmission start
    switch(mode){             //send command to sensor
        case TEMP : error+=s_write_byte(MEASURE_TEMP); break;
        case HUMI  : error+=s_write_byte(MEASURE_HUMI); break;
        default   : break;
    }

    for (i=0;i<65535;i++) if(DATA==0) break; //wait until sensor has finished the measurement
    if(DATA) error+=1;         // or timeout (~2 sec.) is reached
    *(p_value) = s_read_byte(ACK); //read the first byte (MSB)

```

```

*(p_value+1)=s_read_byte(ACK); //read the second byte (LSB)
*p_checksum=s_read_byte(noACK); //read checksum
return error;
}
/***** calculate humidity & temperature *****/
// input : humi [Ticks] (12 bit)
//      temp [Ticks] (14 bit)
// output: humi [%RH]
//      temp [&deg;C]
void calc_sht15(float *p_humidity, float *p_temperature)
{ const float C1=-4.0;      // for 12 Bit
  const float C2= 0.0405;    // for 12 Bit
  const float C3=-0.0000028; // for 12 Bit
  const float T1=0.01;      // for 14 Bit
  const float T2=0.00008;   // for 14 Bit

  float rh=*p_humidity;      // rh: Humidity [Ticks] 12 Bit
  float t=*p_temperature;    // t: Temperature [Ticks] 14 Bit
  float rh_lin;              // rh_lin: Humidity linear
  float rh_true;             // rh_true: Temperature compensated humidity
  float t_C;                 // t_C : Temperature [&acute;C]

  t_C=t*0.01 - 40; //calc. temperature from ticks to [&acute;C]
  rh_lin=C3*rh*rh + C2*rh + C1; //calc. humidity from ticks to [%RH]
  rh_true=(t_C-25)*(T1+T2*rh)+rh_lin; //calc. temperature compensated humidity [%RH]
  if(rh_true>100)rh_true=100; //cut if the value is outside of
  if(rh_true<0.1)rh_true=0.1; //the physical possible range

  *p_temperature=t_C;        //return temperature [&acute;C]
  *p_humidity=rh_true;       //return humidity[%RH]

```

```

    }
    /*****
    /***** Measure SHT 15 *****/
void Measure_sht15 (void)
{
    unsigned char checksum;
    s_connectionreset();
    s_measure((int)&humi_val.i,&checksum,HUMI); //measure humidity
    s_measure((int)&temp_val.i,&checksum,TEMP); //measure temperature
    humi_val.f=(float)humi_val.i;           //converts integer to float
    temp_val.f=(float)temp_val.i;           //converts integer to float
    calc_sht15(&humi_val.f,&temp_val.f);      //calculate humidity, temperature
    hum=humi_val.f;
}
    /*****
    /*****PCF 8574*****/
void PCF_8574 (void)
{
    ans = 0xFF;
    i2c2_stop();
    i2c2_start();
    i2c2_wrddata(PCF8574);
    i2c2_wrddata(ans);
    i2c2_stop();
    i2c2_start();
    i2c2_wrddata(PCF8574+1);
    ans = i2c2_rddata();
    i2c2_stop();
}

```



```

/*****/
/*****DISPLAY SHT15*****/
void display_sht15 (void)
{
    LCD_command(0xD0);
    LCD_puts("S-RH");
    LCD_command(0xD4);
    sprintf(str_buf,"%02u%%",RH);
    LCD_puts(str_buf);
    Measure_sht15();
    LCD_command(0xD8);
    LCD_puts("RH");
    LCD_command(0xDA);
    sprintf(str_buf,"%0.2f%%",humi_val.f);
    LCD_puts(str_buf);
}
/***** End SHT 15 *****/
/***** Function convert to ascii and send to LCD*****/
void send_to_lcd(unsigned char value)
{
    unsigned char buf = 0;          // For keep value convert
    buf = value & 0xF0;            // Filter for high byte
    buf = (buf>>4)|(0x30);         // Shift to 4 time(swap) OR 0x30 for convert to ascii code
    LCD_putc(buf);                  // Send to show LCD
    buf = value & 0x0F;            // Filter for low byte
    buf = buf | 0x30;              // OR 0x30 for convert to ascii code
    LCD_putc(buf);                  // Send to show LCD
}
/*****/

```

```

/***** Function read data from DS1307 *****/

```

```

unsigned char DS1307_rd(unsigned char addr)
{
    unsigned char ret;           // For keep return value
    i2c_start();                 // i2c start condition
    i2c_wrddata(DS1307_ID);      // Write DS1307 ID for connect
    i2c_wrddata(addr);           // Write RAM address on DS1307 for connect
    i2c_start();                 // i2c start condition
    i2c_wrddata(DS1307_ID+1);    // Write DS1307 ID for Read Mode connect
    ret = i2c_rddata();           // Read data and keep to ret
    i2c_stop();                  // i2c stop condition
    return(ret);                 // return value
}

```

```

/*****

```

```

*****/
/*****Function write hour/min/sec on chip DS1307*****/

```

```

void DS1307_wrttime()
{
    hour =(time_buf[1]<<4)|(time_buf[2]); // Convet input hour value from key to Hex
    min  =(time_buf[3]<<4)|(time_buf[4]); // Convet input min value from key to Hex
    sec  =(time_buf[5]<<4)|(time_buf[6]); // Convet input sec value from key to Hex
    if(hour>0x23) // Check hour over range
        hour = 0x23; // IF hour over range reload maximum value
    if(min>0x59) // Check min over range
        min = 0x59; // IF min over range reload maximum value
    if(sec>0x59) // Check sec over range
        sec = 0x59; // IF sec over range reload maximum value
    i2c_start(); // i2c start condition
    i2c_wrddata(DS1307_ID); // Write DS1307 ID for connect
    i2c_wrddata(0x00); // Write control byte to access RAM address 00H
    i2c_wrddata(sec); // Write sec on RAM address 00H
}

```

```

    i2c_wrddata(min);           // Write min on RAM address 01H
    i2c_wrddata(hour);          // Write hour on RAM address 02H
    i2c_stop();                 // i2c stop condition
}

/*****
/***** Function write date/month/year on chip DS1307 *****/
void DS1307_wrdate()
{
    date = (date_buf[1]<<4)|(date_buf[2]);    // Convnet input date value from key to Hex
    month = (date_buf[3]<<4)|(date_buf[4]);    // Convnet input month value from key to Hex
    year = (date_buf[5]<<4)|(date_buf[6]);     // Convnet input year value from key to Hex
    if(year>0x99)                             // Check year over range
        year = 0x99;                         // IF year over range reload maximum value
    if(month>0x12)                             // Check month over range
        month = 0x12;                        // IF month over range reload maximum value
    if(date>0x31)                             // Check date over range
        date = 0x31;                         // IF date over range reload maximum value
    i2c_start();                             // i2c start condition
    i2c_wrddata(DS1307_ID);                  // Write DS1307 ID for connect
    i2c_wrddata(0x04);                       // Write control byte to access RAM address 04H
    i2c_wrddata(date);                       // Write date on RAM address 04H
    i2c_wrddata(month);                      // Write month on RAM address 05H
    i2c_wrddata(year);                       // Write year on RAM address 06H
    i2c_stop();                              // i2c stop condition
}

/*****
/*****Function display screen on LCD *****/
void scr_datetime(void)
{
    LCD_jumporigin();                        // Go to origin address

```

```

        LCD_command(0x0C);          // None curcer and bring
    }
    /*****
    /*****Display Normal *****/
    //-----Date dd/mm/yy -----//
    //-----Time hh/mm/ss -----//
    /*****/
void normal_display(void)
{
    sec = DS1307_rd(0);              // Read sec before show on LCD
    min = DS1307_rd(1);              // Read min before show on LCD
    hour = DS1307_rd(2);             // Read hour before show on LCD
    day = DS1307_rd(3);              // Read day before show on LCD
    date = DS1307_rd(4);             // Read date before show on LCD
    month = DS1307_rd(5);            // Read month before show on LCD
    year = DS1307_rd(6);             // Read year before show on LCD
    /*-----Show Date-----*/
    LCD_jumporigin();                // Go to origin address
    LCD_command(0x80);               // Set LCD address
    LCD_puts("DATE ");
    send_to_lcd(date);               // Write date show on LCD
    LCD_puts("/");                   // Write "/" show on LCD
    send_to_lcd(month);              // Write month show on LCD
    LCD_puts("/");                   // Write "/" show on LCD
    send_to_lcd(year);               // Write year show on LCD
    /*-----*/
    /*-----Show Time-----*/
    LCD_jumporigin();                // Go to origin address
    LCD_command(0xC0);               // Set LCD address
    LCD_puts("TIME ");

```

```

    send_to_lcd(hour);           // Write hour show on LCD
    LCD_puts(":");               // Write ":" show on LCD
    send_to_lcd(min);            // Write min show on LCD
    LCD_puts(":");               // Write ":" show on LCD
    send_to_lcd(sec);            // Write sec show on LCD
    /*-----*/
    /*-----Show Opt Time-----*/
    LCD_jumporigin();             // Go to origin address
    LCD_command(0x90);            // Set LCD address
    LCD_puts("OPT EVERY");
    LCD_command(0x9A);
    LCD_putc(push_key2);
    LCD_puts(" HOUR");
    /*-----*/
    /*-----Show % RH-----*/
    display_sht15 ();
}

/*****
/***** Display Setting Date *****/
//----- Setting Date -----//
//----- dd/mm/yy -----//
/*****/

void display_setdate(void)
{
    /*-----Show text screen on LCD("Setting Date")-----*/
    LCD_clear();                 // Clear LCD display
    LCD_jumporigin();            // Go to origin address
    LCD_command(0x82);           // Set LCD address 02H
    LCD_puts("Setting Date");
    /*-----*/

```

```

/*-----Show text screen on LCD("dd/mm/yy")-----*/
LCD_jumporigin();           // Go to origin address
LCD_command(0x0F);          // Display on and currer bring
LCD_command(0xC3);          // Set LCD address 43H
LCD_puts("dd/mm/yy");
/*-----*/

/*----- Return to set curcer bring for insert value -----*/
LCD_jumporigin();           // Go to origin address
LCD_command(0x0F);          // Set display ON and curcer bring
LCD_command(0xC3);          // Set LCD address 43H
/*-----*/
}

/*****
/*****Display Setting Time *****/
//----- Setting Time -----//
//----- hh/mm/ss -----//
/*****/

void display_settime(void)
{
    /*-----Show text screen on LCD("Setting Time")-----*/
    LCD_clear();             // Clear LCD display
    LCD_jumporigin();        // Go to origin address
    LCD_command(0x82);       // Set LCD address 02H
    LCD_puts("Setting Time");
    /*-----*/

    /*-----Show text screen on LCD("hh/mm/ss")-----*/
    LCD_jumporigin();        // Go to origin address
    LCD_command(0xC3);       // Set LCD address 43H
    LCD_puts("hh:mm:ss");
    /*-----*/
}

```

```

/*----- Return to set curcer bring for insert value -----*/
LCD_jumporigin();           // Go to origin address
LCD_command(0x0F);          // Display ON and OFF curcer bring
LCD_command(0xC3);          // Set LCD address 43H
/*-----*/

}

/*****
*****Display Setting Time Ope *****/
//-----Setting Time Ope -----//
//----- hh/mm/ss -----//
/*****/

void display_settime_ope(void)
{
    /*-----Show text screen on LCD("Setting time ope")-----*/
    LCD_clear();             // Clear LCD display
    LCD_jumporigin();        // Go to origin address
    LCD_command(0x80);       // Set LCD address 02H
    LCD_puts("Setting Time Ope");
    /*-----*/

    /*-----Show text screen on LCD("hh/mm/ss")-----*/
    LCD_jumporigin();        // Go to origin address
    LCD_command(0xC0);       // Set LCD address 43H
    LCD_puts("Every   Hour");
    /*-----*/

    /*----- Return to set curcer bring for insert value -----*/
    LCD_jumporigin();        // Go to origin address
    LCD_command(0x0F);       // Display ON and OFF curcer bring
    LCD_command(0xC7);       // Set LCD address 43H
    /*-----*/

}

```

```

/*****
/*****Display Setting %RH Ope *****/
void display_RH_ope(void)
{
    /*-----Show text screen on LCD("Setting rh ope")-----*/
    LCD_clear();                // Clear LCD display
    LCD_jumporigin();           // Go to origin address
    LCD_command(0x80);          // Set LCD address 02H
    LCD_puts("Setting %RH Ope");
    /*-----*/
    /*-----Show text screen on LCD("hh/mm/ss")-----*/
    LCD_jumporigin();           // Go to origin address
    LCD_command(0xc0);          // Set LCD address 43H
    LCD_puts("%RH    %");
    /*-----*/
    /*----- Return to set curcer bring for insert value -----*/
    LCD_jumporigin();           // Go to origin address
    LCD_command(0x0F);          // Display ON and OFF curcer bring
    LCD_command(0xC7);          // Set LCD address 43H
    /*-----*/
}
/*****
void delay(int tick)
{
    unsigned int i,j;
    for(i=0;i<tick;i++)
        for(j=0;j<250;j++);
}
/*****

```



```

/*****Drive Motor *****/

```

```

void Drive_Motor (void)

```

```

{

```

```

    goout=0;

```

```

        if(origin==0&&water_high==0)

```

```

        {

```

```

            while(goout==0)

```

```

            {

```

```

                while(goout==0)

```

```

                {

```

```

                    motor_r=1;

```

```

                    normal_display();

```

```

                    if(hum<RH)

```

```

                    {

```

```

                        while(goout==0)

```

```

                        {

```

```

                            motor_r=0;

```

```

                            pump = 1;

```

```

                            delay(5000);

```

```

                            pump = 0;

```

```

                            delay(10000);

```

```

                            normal_display();

```

```

                            if(hum>=RH||water_low==1||finish==0)

```

```

                            {

```

```

                                goout=1;

```

```

                            }

```

```

                        }

```

```

                    pump=0;

```

```

                    motor_r=1;

```

```

                    goout=0;

```

```

    }
    if(finish==0||water_low==1)
    {
        goout=1;
    }
}
goout=0;
if(finish==0||water_low==1)
{
    motor_r=0;
    motor_l=0;
    delay (10000);
    while(goout==0)
    {
        motor_r=0;
        motor_l=1;
        normal_display();
        if(hum<RH&&water_low==0)
        {
            while(goout==0)
            {
                motor_l=0;
                pump = 1;
                delay(5000);
                pump = 0;
                delay(10000);
                normal_display();
            }
            if(hum>=RH||water_low==1)
            {
                goout=1;
            }
        }
    }
}

```

```

        }
    }
    pump=0;
    motor_l=1;
    goout=0;
}
if(origin==0)
{
    motor_r=0;
    motor_l=0;
    goout=1;
}
}
}
}
}
}

/*****
/***** Key to num*****/
void Key_num (void)

{
    if (x_key==1)
    {
        switch (push_key)
        {
            case 0x01:
                RH1 = 10;
                break;
            case 0x02:

```

```
        RH1 = 20;
        break;
        case 0x03:
        RH1 = 30;
        break;
        case 0x04:
        RH1 = 40;
        break;
        case 0x05:
        RH1 = 50;
        break;
        case 0x06:
        RH1 = 60;
        break;
        case 0x07:
        RH1 = 70;
        break;
        case 0x08:
        RH1 = 80;
        break;
        case 0x09:
        RH1 = 90;
        break;
        default:
        RH1 = 0;
    }
}
if (x_key==2)
{
    switch (push_key)
```

```
{  
    case 0x01:  
        RH2 = 1;  
        break;  
    case 0x02:  
        RH2 = 2;  
        break;  
    case 0x03:  
        RH2 = 3;  
        break;  
    case 0x04:  
        RH2 = 4;  
        break;  
    case 0x05:  
        RH2 = 5;  
        break;  
    case 0x06:  
        RH2 = 6;  
        break;  
    case 0x07:  
        RH2 = 7;  
        break;  
    case 0x08:  
        RH2 = 8;  
        break;  
    case 0x09:  
        RH2 = 9;  
        break;  
    default:  
        RH2 = 0;
```

```

    }
}

}

/*****
/***** Main *****/
void main()
{
    unsigned char i,t;
    origin = 1;
    finish = 1;
    motor_r = 0;
    motor_l = 0;
    solinoid = 0;
    pump = 0;
    water_high = 1;
    water_low = 1;
    push_key2 = 0x00|0x30;
    RH=0;
    x_key=0;
    LCD_init(); // Initial set LCD display
while(1)
{
    normal_display();
    if (water_high ==0)
    {
        solinoid =0;
    }
    if (water_high ==1)
    {

```

```

    solinoid =1;
}
PCF_8574();
if(ans==0xFE)
{
    LCD_command(0x01);
    LCD_command(0x80);
    LCD_puts("Menu... ");
    LCD_command(0xc0);
    LCD_puts("Selec Up Down En");
    goout=0;
    menu=1;
    while(goout==0)
    {
        PCF_8574();
        if(ans==0xFB)
            menu++;
        if(ans==0xF7)
            menu--;
        if(menu>4)
            menu=1;
        if(menu<=0)
            menu=4;
        if(menu==1)
        {
            LCD_command(0xc0);
            LCD_puts("Setting Date ");
        }
        if(menu==2)
        {

```

```

        LCD_command(0xc0);
        LCD_puts("Setting Time  ");
    }
    if(menu==3)
    {
        LCD_command(0xc0);
        LCD_puts("Setting Time Ope");
    }
    if(menu==4)
    {
        LCD_command(0xc0);
        LCD_puts("Setting Humi ope");
    }

    if(ans==0xFD)
    {

        if(menu==1)
        {
            display_setdate();
            while(x_key < 6)
            {
                push_key = scankey();
                if(push_key != 0xFF)
                {
                    x_key++;
                    date_buf[x_key] = push_key;

                    push_key = push_key | 0x30;
                    LCD_putc(push_key);
                }
            }
        }
    }

```



```

        if(x_key==2)
        {
            LCD_jumporigin();
            LCD_command(0xC6);
        }
        if(x_key==4)
        {
            LCD_jumporigin();
            LCD_command(0xC9);
        }
    }
}
while(goout==0)
{
    PCF_8574();
    if (ans==0xFD)
    {
        DS1307_wrdate();
        x_key = 0;
        goout=1;
        LCD_clear();
    }
}

}
if(menu==2)
{
    display_settime();
    while(x_key < 6)
    {

```

```

push_key = scankey();
if(push_key != 0xFF)
{
    x_key++;
    time_buf[x_key] = push_key;
    push_key = push_key | 0x30;
    LCD_putc(push_key);
    if(x_key==2)
    {
        LCD_jumporigin();
        LCD_command(0xC6);
    }
    if(x_key==4)
    {
        LCD_jumporigin();
        LCD_command(0xC9);
    }
}
}
while(goout==0)
{
    PCF_8574();
    if (ans==0xFD)
    {

        DS1307_wrttime();
        x_key = 0;
        goout=1;
        LCD_clear();
    }
}

```

```

    }
}

if(menu==3)
{
display_settime_ope();
while(x_key < 1)
{
    push_key = scankey();
    if(push_key != 0xFF)
    {
        x_key++;
        push_key2 = push_key | 0x30;
        LCD_putc(push_key2);
        if(push_key==0x01||push_key==0x02||push_key==0x03)
        {
            t=push_key ;
        }
    }
}
}
while(goout==0)
{
    PCF_8574();
    if (ans==0xFD)
    {
        x_key = 0;
        goout=1;
        LCD_clear();
    }
}
}

```

```

}
if(menu==4)
{
display_RH_ope();

while(x_key < 2)
{
push_key = scankey();

    if(push_key != 0xFF)
    {
        x_key++;
        Key_num();
        push_key= push_key | 0x30;
        LCD_putc(push_key);
    }
}
while(goout==0)
{
    PCF_8574();
    if (ans==0xFD)
    {

        x_key = 0;
        goout=1;
        LCD_clear();
    }

}
RH=RH1+RH2;
}

```

```

}
}
}

```

```

if(t==0x01)
{
    min2=0x00;
    for (i=0;i<=24;i++)
    {
        if((hour==timer1[i])&(min==min2)||hum<RH)
        {
            Drive_Motor();
        }
    }
}
if(t==0x02)
{
    min2=0x00;
    for (i=0;i<=12;i++)
    {
        if((hour==timer2[i])&(min==min2)||hum<RH)
        {
            Drive_Motor();
        }
    }
}
if(t==0x03)
{
    min2=0x00;
    for (i=0;i<=8;i++)
    {

```

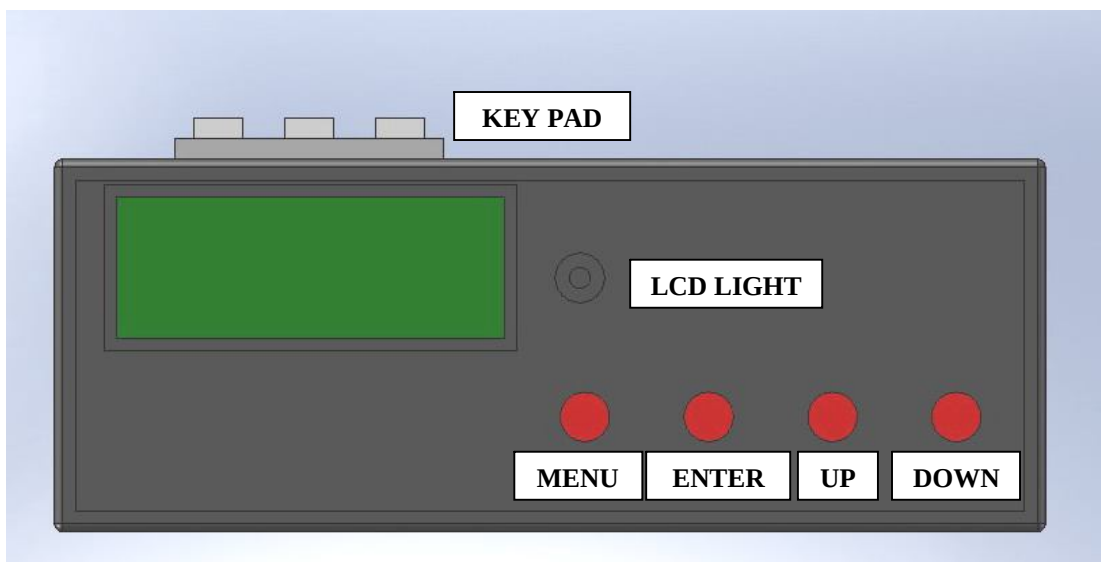
```
        if((hour==timer3[i])&(min==min2)||hum<RH)
        {
            Drive_Motor();
        }
    }

    scr_datetime();

}

}
```

คู่มือการใช้งาน



เมื่อเปิดการทำงานครั้งแรก หน้าจอปกติจะแสดงข้อมูล วัน/เดือน/ปี, เวลา, ระยะเวลาที่ต้องการให้หุ่นยนต์ทำงาน, ค่าความชื้นที่ต้องการ และค่าความชื้นที่วัดได้จริง โดยต่างบนกล่องควบคุมมีหน้าที่ดังนี้

1. KEY PAD สำหรับการป้อนข้อมูล
2. MENU สำหรับเข้าสู่โปรแกรมเมนู
3. ENTER สำหรับการตอบรับ
4. UP สำหรับเลื่อนเมนูขึ้น
5. DOWN สำหรับเลื่อนเมนูลง
6. LDC LIGHT สำหรับ เปิด/ปิด ความสว่างหน้าจอ LCD

1. การเข้าสู่เมนูสำหรับการตั้งวันที่

1.1 กดปุ่ม MENU 1 ครั้ง เพื่อเข้าสู่โปรแกรมเมนู โดยเมนูตั้งวันที่จะอยู่ในลำดับที่ 1 หน้าจอจะแสดงข้อมูลดังภาพ



1.2 กดปุ่ม ENTER 1 ครั้ง เพื่อเข้าสู่โปรแกรมตั้งวันที่ หน้าจอจะแสดงข้อมูลดังภาพ



1.3 ป้อนข้อมูลวันที่ โดยใช้ KEY PAD เมื่อป้อนข้อมูลจนครบแล้วให้กดปุ่ม ENTER 1 ครั้ง หน้าจอจะกลับไปสู่หน้าจอปกติ

2. การเข้าสู่เมนูสำหรับการตั้งเวลา

2.1 กดปุ่ม MENU 1 ครั้ง เพื่อเข้าสู่โปรแกรมเมนู โดยเมนูตั้งเวลาจะอยู่ในลำดับที่ 2 ให้กดปุ่ม DOWN 1 ครั้ง หน้าจอจะแสดงข้อมูลดังภาพ



2.2 กดปุ่ม ENTER 1 ครั้ง เพื่อเข้าสู่โปรแกรมตั้งเวลา หน้าจอจะแสดงข้อมูลดังภาพ



2.3 ป้อนข้อมูลเวลา โดยใช้ KEY PAD เมื่อป้อนข้อมูลจนครบแล้วให้กดปุ่ม ENTER 1 ครั้ง หน้าจอจะกลับไปสู่หน้าจอปกติ

3. การเข้าสู่เมนูสำหรับการตั้งเวลาที่ต้องการให้หุ่นยนต์ทำงาน

3.1 กดปุ่ม MENU 1 ครั้ง เพื่อเข้าสู่โปรแกรมเมนู โดยเมนูตั้งเวลาที่ต้องการให้หุ่นยนต์ทำงานจะอยู่ในลำดับที่ 3 ให้กดปุ่ม DOWN 2 ครั้ง หน้าจอจะแสดงข้อมูลดังภาพ



3.2 กดปุ่ม ENTER 1 ครั้ง เพื่อเข้าสู่โปรแกรมตั้งเวลาที่ต้องการให้หุ่นยนต์ทำงาน หน้าจอจะแสดงข้อมูลดังภาพโดยสามารถป้อนให้หุ่นยนต์ทำงานทุกๆ 1,2 หรือ 3 ชั่วโมง



3.3 ป้อนข้อมูลเวลา โดยใช้ KEY PAD เมื่อป้อนข้อมูลจนครบแล้วให้กดปุ่ม ENTER 1 ครั้ง หน้าจอจะกลับไปสู่หน้าจอปกติ

4. การเข้าสู่เมนูสำหรับตั้งความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการ

4.1 กดปุ่ม MENU 1 ครั้ง เพื่อเข้าสู่โปรแกรมเมนู โดยเมนูตั้งความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการจะอยู่ในลำดับที่ 4 ให้กดปุ่ม DOWN 3 ครั้ง หน้าจอจะแสดงข้อมูลดังภาพ



4.2 กดปุ่ม ENTER 1 ครั้ง เพื่อเข้าสู่โปรแกรมตั้งความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการหน้าจอจะแสดงข้อมูลดังภาพ



4.3 ป้อนข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ โดยการใช้ KEY PAD เมื่อป้อนข้อมูลจนครบแล้วให้กดปุ่ม ENTER 1 ครั้ง หน้าจอจะกลับไปสู่หน้าจอปกติ



ภาพผนวกที่ 10 แสดงความการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ต้นที่ 1



ภาพผนวกที่ 11 แสดงความการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ต้นที่ 2



ภาพผนวกที่ 12 แสดงความเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ต้นที่ 3



ภาพผนวกที่ 13 แสดงความเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ต้นที่ 4



ภาพผนวกที่ 14 แสดงความเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ต้นที่ 5



ภาพผนวกที่ 15 แสดงความเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ต้นที่ 6



ภาพผนวกที่ 16 แสดงความการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ต้นที่ 7



ภาพผนวกที่ 17 แสดงความการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ต้นที่ 8



ภาพผนวกที่ 18 แสดงความเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ต้นที่ 9



ภาพผนวกที่ 19 แสดงความเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ต้นที่ 10



ภาพผนวกที่ 20 แสดงความการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ต้นที่ 11



ภาพผนวกที่ 21 แสดงความการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ต้นที่ 12



ภาพผนวกที่ 22 แสดงความการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ต้นที่ 13



ภาพผนวกที่ 23 แสดงความการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ต้นที่ 14



ภาพผนวกที่ 24 แสดงความการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ต้นที่ 15



ภาพผนวกที่ 25 แสดงความการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ต้นที่ 16



ภาพผนวกที่ 26 แสดงความเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ต้นที่ 17



ภาพผนวกที่ 27 แสดงความเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ต้นที่ 18



ภาพผนวกที่ 28 แสดงความการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ต้นที่ 19



ภาพผนวกที่ 29 แสดงความการเจริญเติบโตของต้นกะเพรา ก่อนและหลังการทดลอง ต้นที่ 20

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ -นามสกุล	นาย กฤตธี จินดาวงศ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	20 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2524
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. วิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนสนับสนุนคุณภาพงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา เพื่อการ ตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติและนานาชาติ