

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การประยุกต์ใช้งาน Ultrasonic ในการปลูกพืชแบบ Aeroponics
Applying of Ultrasonic for Plantation in the Aeroponics Style



โดย

นายวิศักดิ์ แสงณรงค์

นายรัฐวัช วงษ์สกุลทอง

นายสานนท์ สมเกื้อ

๒๕๕๐
๗๑/๑๑๖
๘๕/๒๖

เลขหมู่..... 71998
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี..... - 7 ส.ย. 2550

b. 117 616Δ7
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

เอกสารนี้เก็บ (ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้งาน Ultrasonic ในการปลูกพืชแบบ Aeroponics
Applying of Ultrasonic for Plantation in the Aeroponics Style



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประยุกต์ใช้งาน Ultrasonic ในการปลูกพืชแบบ Aeroponics

Applying of ultrasonic for plantation in the Aeroponics Style

ผู้จัดทำ

1. นายทวิศักดิ์ แสงณรงค์ 47015009
2. นายรัฐวิชัย วงษ์สกุลทอง 47015022
3. นายसानนท์ สมถื้อ 47015068

.....
(รศ.สมยศ จุณณะปิยะ)

อาจารย์ปรึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้งาน Ultrasonic ในการปลูกพืชแบบ Aeroponics
Applying of Ultrasonic for Plantation in the Aeroponics Style

โดย นายทวีศักดิ์ แสงฉรรงศ์ 47015009
นายรัฐวิรัช วงษ์สกุลทอง 47015022
นายसानนท์ สมเกื้อ 47015068

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.สมยศ จุณณะปิยะ

บทคัดย่อ

การปลูกพืชแบบแอโร โพนิกส์เป็นการปลูกพืชสมัยใหม่ที่ต้องการสภาวะแวดล้อม อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม ดังนั้นในปฏิญานีพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเรื่องเกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยใช้คลื่นความถี่อัลตราโซนิคเป็นอุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศและเพลทีเยร์เป็นอุปกรณ์เพิ่มหรือลดอุณหภูมิ ซึ่งนำอุปกรณ์เหล่านี้มาประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการทำงานและสามารถส่งข้อมูลมายังคอมพิวเตอร์ที่ใช้แสดงผลค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยที่ผู้ใช้สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านคอมพิวเตอร์ได้

Abstract

Aeroponics is one of a new method to plant at present time which needs some suitable environments of the temperature and the relative humidity. Thus, this thesis shall be presented about controlling of the temperature and the relative humidity in the air by using the Ultrasonic frequency wave and the Peltier. The Ultrasonic frequency wave shall produce the relative humidity and the Peltier shall serve the function of increasing and decreasing the temperature so, we can apply both of these devices to use with the Microcontroller for controlling the system. Furthermore, we can send all data to the computer which show the amount of the temperature and the relative humidity which users can control the temperature and relative humidity by their own.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (Abstract)

สารบัญรูปภาพ

สารบัญตาราง

บทที่ 1 บทนำ

1.1	ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2	วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.4	ขอบเขตของโครงการ	1
1.5	ส่วนประกอบของโครงการ	1

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1	การปลูกพืชในระบบแอโร โพนิกส์ (Aeroponics)	2
2.1.1	ข้อดีของการปลูกพืชในระบบแอโร โพนิกส์	2
2.1.2	ข้อเสียของการปลูกพืชในระบบแอโร โพนิกส์	3
2.2	อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducer)	3
2.2.1	คุณสมบัติทั่วไปของทรานสดิวเซอร์	4
2.2.2	ชนิดของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์	4
2.2.3	โครงสร้างและหลักการทำงาน	5
2.2.4	ปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริก	6
2.3	เทอร์โมอิเล็กทริกและการถ่ายเทความร้อน	7
2.4	ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	11
2.4.1	คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	12
2.4.2	การสื่อสารอนุกรมแบบซิงเกิลโปรเซสเซอร์ (Single Processor)	13
2.4.3	รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการอินเตอร์รัปต์ (Interrupt Enable Register)	17
2.5	การสื่อสารข้อมูลด้วยระบบ I ² C	18
2.5.1	บิตทรานสเฟอร์ (Bit Transfer)	19
2.5.2	บิตเริ่มต้นและบิตหยุด (Start and Stop Conditions)	19
2.5.3	ซิสเต็มคอนฟิกูเรชัน (System configuration)	20
2.5.4	แอกโนว์เลดจ์ (Acknowledge)	20
2.6	วงจรถิจรหัสพื้นฐาน	20
2.6.1	ลอจิกเกตพื้นฐาน	21
2.6.2	ฟลิปฟล็อป (Flip-Flop)	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 บีมน้ำและการควบคุม	24
2.8 ความชื้นและเสถียรภาพของอากาศ	25
2.8.1 ไอ้ในอากาศ	25
2.8.2 ความชื้น	27
บทที่ 3 การออกแบบและหลักการทํางาน	28
3.1 แบบกล่องทดลองปลูกโดยรวม	28
3.1.1 ส่วนประกอบแบบกล่องทดลองปลูกแยกส่วน	30
3.2 วงจรประมวลผลกลาง	38
3.3 อุปกรณ์ฟั่นละอองสารละลาย (Ultrasonic Aerosolization)	40
3.4 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (SHT15)	42
3.4.1 คุณสมบัติของโมดูลเอส เอช ที 15 (SHT15)	42
3.4.2 ขาตั้งญาณสำหรับการสื่อสารข้อมูลของโมดูลเอส เอช ที 15 (SHT15)	43
3.4.3 การสื่อสารข้อมูลของโมดูลเอส เอช ที 15 (SHT15)	43
3.5 วงจรตรวจจับระดับน้ำและควบคุมระดับน้ำ	44
3.5.1 วงจรตรวจจับแสงสะท้อนอินฟราเรดและวงจรเปรียบเทียบแรงดัน	44
3.5.2 การออกแบบวงจรควบคุมระดับน้ำ	45
3.5.3 วงจรสวิทช์โดยใช้ไครเอค	48
3.6 หลักการออกแบบและการควบคุมอุณหภูมิ	51
3.6.1 โครงสร้างและระบบแลกเปลี่ยนความร้อน	51
3.7 คำอธิบายในส่วนของฟลิวชาร์ทการทํางานของหน่วยประมวลผลกลาง	54
3.8 หน้าจอแสดงผลและใช้งาน	56
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	59
4.1 การทดลองที่ 1 ระดับความสูงของสารละลายที่มีผลต่อการผลิตความชื้นสัมพัทธ์	59
4.1.1 วัตถุประสงค์	59
4.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	59
4.1.3 ลำดับขั้นตอนการทดลอง	59
4.1.4 ผลการทดลอง	61
4.2 การทดลองที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก	63
4.2.1 วัตถุประสงค์	63
4.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	63
4.2.3 ขั้นตอนการทดลอง	63
4.2.4 ผลการทดลอง	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การทดลองที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์	67
4.3.1 วัตถุประสงค์	67
4.3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	67
4.3.3 ขั้นตอนการทดลอง	67
4.3.4 ผลการทดลอง	71
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป	74
5.1 สรุปผลการทดลองที่ 1	74
5.2 สรุปผลการทดลองที่ 2	74
5.3 สรุปผลการทดลองที่ 3	75
ภาคผนวก	
หนังสืออ้างอิง	



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ชุดคว่ำโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริก	5
รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาการบีบโซอิเล็กทริก (Piezoelectric effect)	7
รูปที่ 2.3 หลักการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก	9
รูปที่ 2.4 โครงสร้างภายในและภายนอกของเทอร์โมอิเล็กทริก	10
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	11
รูปที่ 2.6 การวางขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	13
รูปที่ 2.7 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการรับส่งข้อมูลอนุกรม (SCON)	14
รูปที่ 2.8 ลักษณะการส่งข้อมูลโหมด 0	15
รูปที่ 2.9 ลักษณะการส่งข้อมูลโหมด 1	15
รูปที่ 2.10 ลักษณะการส่งข้อมูลโหมด 2	15
รูปที่ 2.11 ลักษณะการส่งข้อมูลโหมด 3	16
รูปที่ 2.12 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการประหยัคพลังงาน (PCON)	16
รูปที่ 2.13 Interrupt Enable Register (IE)	17
รูปที่ 2.14 ไทม์มิ่งไดอะแกรม (Timing Diagram) ของบิตทรานสเฟอร์ (Bit transfer)	19
รูปที่ 2.15 ไทม์มิ่งไดอะแกรม (Timing Diagram) ของ Start and Stop Conditions	19
รูปที่ 2.16 ไทม์มิ่งไดอะแกรม (Timing Diagram) ของแอกโนว์เลดจ์ (Acknowledge)	20
รูปที่ 2.17 ระดับแรงดันของสถานะในวงจรดิจิทัล	21
รูปที่ 2.18 เจเค ฟลิปฟลอป (JK Flip-Flop)	23
รูปที่ 2.19 บล็อก ไดอะแกรม (Block Diagram) การควบคุมปั้มน้ำ	25
รูปที่ 2.20 โมเลกุลของน้ำและไอน้ำในอากาศ	25
รูปที่ 2.21 กราฟปริมาณไอน้ำที่ทำให้อากาศอิ่มตัว	26
รูปที่ 3.1 ก่อตั้งทดลองปลุกโคขรวม	28
รูปที่ 3.2 แบบก่อกตั้งทดลองปลุกแยกส่วน	29
รูปที่ 3.3 ฐานจับยึด โคนต้นพีช	30
รูปที่ 3.4 ก่อตั้งชั้นใน	31
รูปที่ 3.5 ก่อตั้งโฟม	32
รูปที่ 3.6 ก่อตั้งชั้นนอก	33
รูปที่ 3.7 ท่อลม	34
รูปที่ 3.8 พัดลมดูดและเป่าอากาศ	34
รูปที่ 3.9 ท่ออ่อน	35
รูปที่ 3.10 แผ่นยางอ่อน	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.11 อุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก	36
รูปที่ 3.12 อุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์	37
รูปที่ 3.13 กระเปาะรองรับอุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์	37
รูปที่ 3.14 ไดอะแกรมการควบคุมการทำงานของระบบ	38
รูปที่ 3.15 วงจรประมวลผลกลาง	39
รูปที่ 3.16 ไดอะแกรมระบบควบคุมอุปกรณ์ฟั่นละของสารละลาย	40
รูปที่ 3.17 วงจรสวิทช์อุปกรณ์ฟั่นละของสารละลาย	41
รูปที่ 3.18 วงจรควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ฟั่นละของสารละลาย	41
รูปที่ 3.19 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับอุปกรณ์ฟั่นละของสารละลาย	42
รูปที่ 3.20 โมดูล เอส เอช ที 15 (SHT15)	43
รูปที่ 3.21 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับโมดูล เอส เอช ที 15 (SHT15)	44
รูปที่ 3.22 วงจรตรวจจับแสงสะท้อนอินฟราเรด	45
รูปที่ 3.23 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	45
รูปที่ 3.24 ไดอะแกรมสถานะ (State Diagram)	46
รูปที่ 3.25 วงจรควบคุมโดยใช้ลอจิกเกตและฟลิปฟล็อป	48
รูปที่ 3.26 วงจรสวิทช์ปั๊มน้ำ	49
รูปที่ 3.27 วงจรตรวจจับระดับน้ำและควบคุมระดับน้ำ	50
รูปที่ 3.28 โฟลว์ชาร์ทการทำงานของปั๊มน้ำ	51
รูปที่ 3.29 โครงสร้างระบบแลกเปลี่ยนความร้อนของแปลงปลูกสร้าง	52
รูปที่ 3.30 ไดอะแกรมระบบควบคุมอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก	52
รูปที่ 3.31 วงจรสวิทช์ของอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก	53
รูปที่ 3.32 วงจรควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก	53
รูปที่ 3.33 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก	54
รูปที่ 3.34 โฟลว์ชาร์ทการทำงานของหน่วยประมวลผลกลาง	55
รูปที่ 3.35 หน้าจอแสดงผลและใช้งาน	56
รูปที่ 3.36 หน้าจอแสดงผลและใช้งาน (ขณะใช้งาน)	58
รูปที่ 4.1 การชั่งน้ำหนักสารละลายอาหารพืช	59
รูปที่ 4.2 การติดตั้งอุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์	60
รูปที่ 4.3 การทำงานของอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์และพัดลมเป่าอากาศ	60
รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบปริมาตรต่อความสูงของสารละลายอาหารพืช	62
รูปที่ 4.5 การติดตั้งอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก	63
รูปที่ 4.6 การติดตั้งอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกและเทอร์โมมิเตอร์	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.7 สารละลายอาหารพืชที่ผสมแล้ว	64
รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบระหว่างเวลาที่ใช้ไปกับอุณหภูมิที่ลดลง	67
รูปที่ 4.9 เตรียมสารละลายอาหารพืช	68
รูปที่ 4.10 เชื่อมต่ออุปกรณ์ทำความเย็นและอุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์ภายใน กล่องทดลองปลูกเข้ากับวงจรควบคุม	69
รูปที่ 4.11 การทำงานของอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก และอุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์ชุดร้ำโซนิคทรานสดิวเซอร์	70
รูปที่ 4.12 การแสดงผลของค่าที่ได้จากการทดลอง	70
รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบระหว่างเวลากับอุณหภูมิ	72
รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบระหว่างเวลากับความชื้นสัมพัทธ์	73



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 SMO, SM1 บิตเลือกโหมดการทำงาน	14
ตารางที่ 2.2 รายละเอียดและการทำงานของรีจิสเตอร์ Interrupt Enable Register	18
ตารางที่ 2.3 ตารางความจริงของแอนด์เกต	21
ตารางที่ 2.4 ตารางความจริงของออร์เกต	22
ตารางที่ 2.5 ตารางความจริงของนอร์เกต	22
ตารางที่ 2.6 ตารางความจริงของแนนด์เกต	22
ตารางที่ 2.7 ตารางความจริงของนอตกเกต	22
ตารางที่ 2.8 ตารางความจริงของเอกซ์คลูซีฟออร์เกต	23
ตารางที่ 2.9 ตารางความจริงของเจเค ฟลิปฟล็อป (JK Flip-Flop)	24
ตารางที่ 3.1 ตารางสถานะ (State Table)	46
ตารางที่ 3.2 กำหนดสถานะ (State Assignments)	47
ตารางที่ 3.3 สถานะต่อไปเทียบกับ Excitation table ของที ฟลิปฟล็อป (T Flip-Flop)	47
ตารางที่ 3.4 ทำการลดทอนนิพจน์ลอจิกโดยใช้แผนผังคาร์นอจ (Karnaugh Map)	48
ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบระดับความสูงที่ลดลงของสารละลายอาหารพืช	61
ตารางที่ 4.2 เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของสารละลายอาหารพืช	65
ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่องทดลองปลูก	71

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

เนื่องจากการปลูกพืชไร้ดินแบบแอโรโพนิกส์ (Aeroponics) ในปัจจุบันไม่ได้ควบคุมค่าของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้อย่างอัตโนมัติ ซึ่งยังเป็นปัญหาในพื้นที่ที่มีอากาศร้อนเกินไป ซึ่งส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชบางชนิด นอกจากนี้ยังใช้พลังงานค่อนข้างสูงและยังต้องคอยดูแลระบบและปัญหาที่สำคัญคือปัญหาการอุดตันของหัวฉีดแรงดันน้ำที่มีความยุ่งยากเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงได้มีแนวความคิดที่จะทำเครื่องนี้ขึ้นมา

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 สามารถที่จะควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่พืชต้องการ
- 1.2.2 สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้
- 1.2.3 ผู้ใช้สามารถสั่งการผ่านคอมพิวเตอร์และแสดงผลออกหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้อย่างอัตโนมัติ
- 1.3.2 ผู้ใช้สามารถรู้สถานะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ณ เวลาปัจจุบันได้

1.4 ขอบเขตของโครงการ

สามารถที่จะควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในกล่องที่จำลองมาเป็นภาชนะที่จะปลูกพืชมีขนาดความกว้างเท่ากับ 10 เซนติเมตร ความยาวเท่ากับ 60 เซนติเมตรและความสูงเท่ากับ 25 เซนติเมตร และผู้ใช้งานสามารถสั่งการผ่านคอมพิวเตอร์

1.5 ส่วนประกอบของโครงการ

- รายงานฉบับนี้ประกอบไปด้วยเนื้อหาจำนวน 5 บท ดังนี้
- เนื้อหาในบทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของปัญหา วัตถุประสงค์ของโครงการ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ขอบเขตของโครงการและส่วนประกอบของรายงานฉบับนี้
- เนื้อหาในบทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง
- เนื้อหาในบทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบและหลักการทำงาน
- เนื้อหาในบทที่ 4 กล่าวถึงการทดลองและผลการทดลอง การผลิตความชื้นสัมพัทธ์และการควบคุมอุณหภูมิ
- เนื้อหาในบทที่ 5 กล่าวถึงบทวิจารณ์และบทสรุป

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 การปลูกพืชในระบบแอโรโพนิกส์ (Aeroponics)

การปลูกพืชในระบบแอโรโพนิกส์ หมายถึง การปลูกพืชโดยให้รากพืชแขวนอยู่ในอากาศในระบบปิดที่กันแสงอาจจะเป็นกล่องหรือตู้แล้วให้สารอาหาร ซึ่งเป็นสารละลายของธาตุอาหารกับพืชโดยการพ่นสารละลายเป็นฝอย (Mist) หรือหมอก (Aerosol) ไปยังรากพืชอย่างต่อเนื่องหรือเป็นระยะๆ เพื่อให้รากพืชคงความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในระดับร้อยละ 95 - 100 โดยวิธีการนี้พืชจะได้สารอาหารครบถ้วนและเพียงพอ แต่การปลูกพืชในระบบนี้จะต้องใช้ระบบการควบคุมการฉีดพ่นสารอาหารแบบอัตโนมัติ เช่น ฉีดพ่นทุกๆ 1 นาที การปลูกพืชในระบบแอโรโพนิกส์จะใช้น้ำน้อยมาก โดยความชื้นจากการฉีดพ่นสารละลายธาตุอาหารจะไปกระตุ้นให้รากพืชเจริญเติบโต การปลูกพืชในระบบแอโรโพนิกส์ ถูกคิดค้นขึ้นในปีค.ศ. 1960 โดย Dr.Massantini แห่งมหาวิทยาลัยปิอา (Pia) ของประเทศอิตาลี ปัจจุบันไม่นิยมปลูกในเชิงพาณิชย์เนื่องจากต้นทุนในการปลูกนั้นมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงใช้ในการปลูกเพื่อวิจัยเพื่อศึกษาสรีระวิทยาของพืชและการปลูกเพื่อขยายค้นพันธุ์ในห้องปฏิบัติการเท่านั้น

2.1.1 ข้อดีของการปลูกพืชในระบบแอโรโพนิกส์ (Aeroponics)

- 2.1.1.1 รากพืชสามารถเจริญเติบโตและแตกแขนงได้อย่างรวดเร็วทำให้ได้ผลผลิตสูง
- 2.1.1.2 สามารถควบคุมโรคและแมลงศัตรูพืชได้ง่ายกว่าการปลูกด้วยดิน เนื่องจากพื้นที่ที่ใช้ในการเพาะปลูกมีขนาดเล็กกว่า
- 2.1.1.3 ลดปัญหาของโรคและแมลงศัตรูพืช จึงไม่ต้องใช้สารเคมีในการป้องกันและกำจัดโรคและศัตรูพืช
- 2.1.1.4 ผลผลิตและคุณภาพของพืชดีกว่าการปลูกพืชในดินมาก เนื่องจากสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมในการปลูกพืชได้
- 2.1.1.5 ลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้เช่น สารเคมีตกค้างในดิน การถางป่าเพื่อการเพาะปลูก เป็นต้น
- 2.1.1.6 มีประโยชน์ในด้านงานวิจัย เนื่องจากสามารถหาผลกระทบในการขาดธาตุอาหารแต่ละชนิดของพืชได้โดยการงดให้ธาตุอาหารชนิดนั้นๆแก่พืช
- 2.1.1.7 ประหยัดน้ำและสารละลายธาตุอาหารพืช เนื่องจากน้ำและสารละลายธาตุอาหารพืชอยู่ในระบบที่หมุนเวียนได้
- 2.1.1.8 ประหยัดพื้นที่ที่ใช้ในการเพาะปลูก เนื่องจากการปลูกพืชในระบบแอโรโพนิกส์สามารถปลูกพืชได้หนาแน่นกว่าการปลูกด้วยดิน
- 2.1.1.9 ใช้ทดแทนการปลูกพืชในดินที่มีปัญหาเช่น ดินเค็ม ดินด่าง เป็นต้น

2.1.2 ข้อเสียของการปลูกพืชในระบบแอโรโพนิคส์ (Aeroponics)

2.1.2.1 เป็นระบบที่มีต้นทุนพลังงานค่อนข้างสูง และต้องการพลังงานอย่างต่อเนื่อง หากเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องจะทำให้พืชขาดน้ำและธาตุอาหารซึ่งจะทำให้พืชเหี่ยวภายใน 2-3 ชั่วโมง (ระยะเวลาขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่องปลูก อุณหภูมิภายนอกกล่องปลูกและอายุของพืช)

2.1.2.2 จะต้องสร้างกล่องหรือตู้ที่ใช้ในการปลูก ให้มีขนาดเหมาะสมกับขนาดของพืช เพื่อรองรับปริมาณรากของพืชซึ่งจะแตกแขนงอย่างรวดเร็ว ต้นทุนในการสร้างจึงสูงหากต้องการปลูกพืชขนาดใหญ่

2.1.2.3 กรณีที่ปลูกพืชแบบหมุนเวียนสารละลาย หากเกิดโรคระบาดจะทำให้โรคสามารถแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็ว

2.2 อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducer)

คลื่นอุลตราโซนิค (Ultrasonic wave) หมายถึง คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์จะได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงประมาณ 15 กิโลเฮิร์ตซ์เท่านั้น ดังนั้นอุลตราโซนิคจึงมักจะหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 กิโลเฮิร์ตซ์

เหตุผลที่มีการนำคลื่นอุลตราโซนิคมาใช้งาน เนื่องจากอุลตราโซนิคเป็นคลื่นที่มีทิศทางที่แน่นอน ทั้งนี้เนื่องมาจากคุณสมบัติของคลื่น โดยทั่วไปคือคลื่นที่มีความถี่สูงการเลี้ยวเบนจะต่ำ จึงทำให้เราสามารถเล็งคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายได้อย่างถูกต้อง ถ้าคลื่นมีความถี่สูงขึ้นความยาวคลื่นจะสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิดที่ให้คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดความถี่เสียงเช่น คลื่นความถี่ 300 เมกะเฮิร์ตซ์ ในอากาศจะมีความยาวคลื่นประมาณ 1 เมตร ซึ่งจะยาวกว่าช่องที่ให้คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียง คลื่นจะหักเหที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียงทำให้คลื่นเกิดการกระจายทิศทาง แต่ถ้าคลื่นมีความถี่อยู่ในย่านอุลตราโซนิคเช่น ความถี่ 40 กิกะเฮิร์ตซ์ จะมีความยาวคลื่นในอากาศประมาณ 7.5 มิลลิเมตรเท่านั้น ซึ่งเล็กกว่ารูเปิดของตัวกำเนิดความถี่เสียงมาก จึงทำให้คลื่นเสียงไม่เกิดการหักเหที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียง คลื่นเสียงจึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบๆที่มีทิศทาง

การมีทิศทางของคลื่นเสียงย่านอุลตราโซนิค ทำให้เราสามารถนำคลื่นอุลตราโซนิคไปใช้งานได้หลายด้านอาทิเช่น นำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonic Remote Control) เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic Cleaner) โดยให้น้ำสั่นที่ความถี่สูง เครื่องวัดความหนาของวัตถุโดยสังเกตจากระยะเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมา เครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้ท้องทะเล เครื่องหาตำแหน่งของอวัยวะในร่างกาย เครื่องทดสอบการรั่วไหลของท่อ เป็นต้น โดยความถี่ที่ใช้ขึ้นอยู่กับการใช้งานเช่น คลื่นเสียงที่ต้องเดินทางผ่านอากาศความถี่ที่ใช้จะไม่เกิน 50 กิโลเฮิร์ตซ์ เพราะถ้าความถี่สูงกว่านี้คลื่นเสียงจะถูกอากาศดูดกลืนมากขึ้นทำให้ระดับความแรงของคลื่นเสียงจะลดลงอย่างรวดเร็วที่ระยะทางไกลขึ้น ส่วนการใช้งานด้านการแพทย์ซึ่งต้องการรัศมีทำการสั้นๆอาจใช้ความถี่ในช่วง 1 เมกะเฮิร์ตซ์ถึง 10 เมกะเฮิร์ตซ์ ขณะที่การใช้งานในหลายๆด้านที่ตัวกลางไม่ใช่อากาศที่คลื่นเสียงเดินทางผ่านจะมีความถี่เป็นกิกะเฮิร์ตซ์

การเกิดคลื่นอัลตราโซนิก เป็นคลื่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานรูปอื่นให้มาเป็นพลังงานกลโดยการสั่นไปมา ซึ่งทำให้เกิดคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิกกระจายไปในอากาศ โดยอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานรูปอื่นให้มาเป็นพลังงานกล หรือแปลงพลังงานทางกลให้กลายเป็นพลังงานรูปอื่นได้นั้นเรียกว่า “อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducer)” ในปัจจุบันอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ใช้งานมีอยู่หลายแบบขึ้นอยู่กับหลักการที่ใช้ โดยอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่นิยมใช้กันมากได้แก่

แบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Transducer) แบบนี้จะมีการแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานทางกล โดยมีความถี่โซแนนซ์คงที่อยู่ที่ค่าหนึ่ง

แบบแมกนีโตสตริกทีฟ (Magnetostrictive Transducer) แบบนี้จะมีการแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่

แบบอิเล็กโตรสตริกทีฟ (Electrostrictive Transducer) แบบนี้จะมีการแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานทางกล

ในที่นี้จะกล่าวถึงแต่เฉพาะอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก เนื่องจากเป็นแบบที่นำมาใช้ในการทดลองและใช้งานในโครงการนี้

2.2.1 คุณสมบัติทั่วไปของทรานสดิวเซอร์

ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ทางอัลตราโซนิกมีคุณสมบัติพิเศษคือ มีสมบัติเพียโซอิเล็กทริก เอฟเฟกต์และที่ใช้กันมากคือ ผลึกแร่ควอทซ์ (Quartz) แบเรียมไททานาต (Barium Titanate) และลีดเซอโคเนต (Lead Cerconate) สารเหล่านี้เมื่อนำมาทำเป็นทรานสดิวเซอร์จะแสดงคุณสมบัติเป็นคาปาซิเตอร์ทางไฟฟ้าอีกด้วย ค่าคาปาซิแตนซ์เป็นไมโครฟารัดจะ ได้สัดส่วนคงที่กับค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric , K) ของวัสดุคูณด้วยพื้นที่และหารด้วยความหนา โครงสร้างของทรานสดิวเซอร์มีความคล้ายคาปาซิเตอร์ที่วอลเลย์โวลต์ที่อยู่ 2 ข้างถูกแยกโดยช่องที่มีเซรามิก สารเซรามิกเมื่อได้รับความร้อนจะทำให้ไดโพล (Dipole) เคลื่อนไหวได้โดยเสรีและที่จุดนี้เมื่อได้รับศักย์ไฟฟ้าเข้าไปก็จะมีการจัดเรียงตัวและมีคุณสมบัติเพียโซอิเล็กทริก ถ้าภายหลังเซรามิกที่มีคุณสมบัตินี้ถูกเผาให้ร้อนถึงอุณหภูมิคงที่กล่าวอีก คุณสมบัติเพียโซอิเล็กทริกจะหมดไป ดังนั้นความร้อนจะสามารถทำลายทรานสดิวเซอร์ได้โดยเฉพาะถ้าอุณหภูมิสูงเกินอุณหภูมิคูรี

2.2.2 ชนิดของเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

เพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ

2.2.2.1 ชนิดที่แสดงสมบัติแบบ Direct piezoelectric effect หรือ Generator effect แรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่มากกระทำต่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริกจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น ทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้ใช้เป็นตัวรับ และ นำไปใช้งานเป็นตัวจุดเตาแก๊ส (Gasignitor) , ไมโครโฟน (Microphone) , เซนเซอร์ (Sensor) เป็นต้น

2.2.2.2 ชนิดที่แสดงสมบัติแบบ **Converse piezoelectric effect** หรือ **Motor effect** การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกจะทำให้เกิดคลื่นอุลตราโซนิก โดยการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความถี่และแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมัน ทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้ใช้เป็นตัวส่งและนำไปใช้งานเป็นลำโพง (Loudspeaker) และ อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducer) เป็นต้น

2.2.2.3 ชนิดที่แสดงสมบัติทั้ง **Direct และ Converse piezoelectric transducer** ใช้ทำตัวกรองสัญญาณ (Filter), ตัวจับสัญญาณโซนาร์ (Sonar) และเพียโซทรานส์ฟอร์มเมอร์ (Piezo Transformer) เป็นต้น

2.2.3 โครงสร้างและหลักการทำงาน

อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก ภายในจะประกอบไปด้วยชั้นสารเซรามิกสี่เหลี่ยม ซึ่งมีผิวโลหะเงินฉาบอยู่ทั้ง 2 หน้าเพื่อให้ต่อสายไฟออกมาเป็นขา 2 ขา โดยชั้นสารเซรามิกประกอบขึ้นจากสารเซรามิก 2 ชั้นประกบกัน โดยขั้วโคโพลทางไฟฟ้าภายในอะตอมของสารเซรามิกทั้ง 2 ชั้นจะวางในทิศทางตรงข้ามกันดังรูปที่ 2.1



- (1) อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้สารเซรามิก
- (2) เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก จะทำให้ชั้นสารเซรามิกเกิดการโก่งงอไปมา ทำให้เกิดคลื่นเสียงอุลตราโซนิกกระจายไปในอากาศ

รูปที่ 2.1 อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก

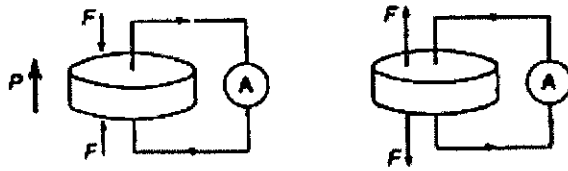
ชิ้นสารเซรามิกถูกยึดติดภายในตัวถังอย่างดี เพื่อไม่ให้เกิดการสั่นขณะทำงาน โครงสร้างของตัวถังจะมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงประมาณ 1 ถึง 2.5 เซนติเมตร ด้านหน้าทำเป็นช่องเปิดที่มีตะแกรงติดอยู่เพื่อให้คลื่นอุลตราโซนิกเข้ามาหรือออกจากช่องเปิดได้โดยสะดวก ถ้าตัวถังทำด้วยวัสดุที่เป็นโลหะต้องต่อตัวถังลงกราวด์เพื่อทำหน้าที่เป็นชิลด์

จากรูป 2.1 (2) เมื่อมีสัญญาณแรงดันมาตกคร่อมขั้วทั้งสองของชิ้นสารเซรามิก จะทำให้ชิ้นสารเซรามิกเกิดการโก่งงอ โดยที่ชิ้นสารเซรามิกจะโก่งงอมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณนั้นๆ ซึ่งทำให้เกิดการกดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่เดียวกันกับสัญญาณนั้นออกไป โดยทั่วไปแล้วกำลังเอาต์พุตที่ออกจะมีประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป กำลังเอาต์พุตจะมีค่าสูงสุดเมื่อความถี่ของสัญญาณตรงกับความถี่รีโซแนนท์ซึ่งเป็นความถี่ทางกลทางธรรมชาติของชิ้นสารเซรามิกนั้นๆ ส่วนที่ความถี่อื่นๆ กำลังเอาต์พุตจะลดลงกว่านี้มาก ในทางกลับกันเมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่รีโซแนนท์ของชิ้นสารเซรามิกจะทำให้ชิ้นสาร เกิดการโก่งงอไปมาและเกิดสัญญาณแรงดันขึ้นมาคร่อมขั้วทั้งสองของอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริก คุณสมบัติโดยทั่วไปของอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริกคือ มีค่าความต้านทานไฟตรงที่สูงมาก

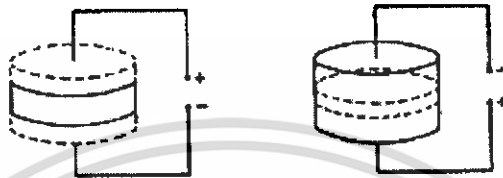
2.2.4 ปฏิกิริยาของผลเพียโซอิเล็กทริก

เพียโซอิเล็กทริก เป็นแร่จำพวกคริสตัลหรือเซรามิกชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติพิเศษคือ เมื่อได้รับแรงกล (Mechanical force) จะให้แรงดัน ไฟฟ้า ซึ่งเราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric effect)”

ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกคือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในวัสดุที่มีโครงสร้างผลึกแบบเพอร์รอฟสไกต์ (Perovskite) ซึ่งสามารถเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล เมื่อให้แรงเชิงกล (Stress) กระทำแก่วัสดุดังกล่าว แรงเชิงกลนี้จะไปลดระยะห่างระหว่างไดโพลที่มีการจัดเรียงตัวอยู่ในวัสดุ ซึ่งจะมีผลทำให้ ไดโพล โมเมนต์ (Dipole moment) ของวัสดุทั้งหมดลดลง การเปลี่ยนแปลงไดโพล โมเมนต์ของวัสดุนี้จะมีผลทำให้ความหนาแน่นของประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบที่อยู่แต่ละด้านของวัสดุ และความแตกต่างของความต่างศักย์ที่ปลายทั้งสองด้านเกิดการเปลี่ยนแปลงในทางตรงกันข้าม ผลที่ตามมาคือจะก่อให้เกิดอิเล็กทริกอล โพลาริเซชัน (Electrical polarization) และขนาดของโพลาริเซชัน (Polarization) จะแปรผันแบบเชิงเส้นกับขนาดของแรงเชิงกล (Stress) ที่กระทำกับวัสดุในทางกลับกัน (Inverse piezoelectric effect) ถ้าให้สนามไฟฟ้าแก่วัสดุดังกล่าว ก็จะทำให้ความหนาแน่นของประจุไฟฟ้าที่ปลายทั้งสองด้านเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปทรงและขนาดของวัสดุดังรูปที่ 2.2



(1)



(2)

รูปที่ 2.2 ปรัชการณ็เป็ยโซ็อิเล็กทริก

ผลของเป็ยโซ็อิเล็กทริก (Piezoelectric) เป็ยผลทางอิเล็กโตรแมคคานิคอล (Electromechanical) ของวัสดุที่สามรถเปล็ยนแรงทางกลไปเป็ยกระแสไฟฟ้าหรือในทางตรงกันข้ามสามรถเปล็ยนกระแสไฟฟ้าไปเป็ยแรงทางกลได้

2.3 เทอร์โมอิเล็กทริกและการถ่ายเทความร้อน

ปี ค. ศ. 1834 ฅอง ซ็เอ เพลเท็ยร์ (Jean C. A. Peltier) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั้งเศส พบว่าเม็ยผ่านไฟฟ้ากระแสตรงให้กับรอยต่อสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำสองด้านจะกลายเป็ยผิวร้อน (Hot surface) และผิวเย็น (Cold surface) ขึ้นกับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ปรัชการณ็นี้เรียกว้า ปรัชการณ็เพลเท็ยร์ (Peltier Effect) ในทางกลับกันถ้าถ่ายเทความร้อนให้กับผิวด้านหนึ่งจะเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นเรียกว้า ซ็เบ็คโวลต์เตจ (Seebeck voltage) สารกึ่งตัวนำดังกล่าวเรียกว้า p - n junctions โดยที่การผลิตกระแสไฟฟ้าจะต่อแบบอนุกรม การทำความเย็นจะต่อแบบขนานเป็ยแบบแซนด็วีชระหว่างแผ่นฉนวนเซรามิก อุปกรณ์อิเล็กทริกที่อาศัยหลักการของปรัชการณ็เพลเท็ยร์ซึ่งจัดเป็ยปั๊มความร้อน (Heat pump) เรียกว้า เทอร์โมอิเล็กทริก Antonio Arenasetal ได้เสนอสมการอนุพันธ์แสดงการกระจายอุณหภูมิหนึ่งมิติสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกตามแนวแกน x สามรถพิสูจน์ได้ว้า

$$e_{T_{max}} = \frac{E}{2} + \frac{\Delta T}{E} + \frac{\lambda}{\rho l^2} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวร้อน คือ

$$T_{MAX} = T_c + \left(\frac{E}{2} + \frac{\Delta T}{2} + \frac{\lambda}{\rho l^2} \right) \cdot \left(\frac{\Delta T}{2E} + \frac{\rho l^2}{2\lambda} \cdot E \right) \quad (2.2)$$

เมื่อ I เป็นกระแสไฟฟ้า T_c เป็นอุณหภูมิที่ผิวเย็น ΔT เป็นผลต่างของอุณหภูมิ ρ, λ และ E เป็นค่าคงที่ขึ้นกับชนิดของวัสดุ

Gao Min and D. M. Rowe (1999) ได้เสนอสมการสำหรับการคำนวณสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ (Coefficient of Performance; COP) ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ซึ่งพิจารณาถึงความต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำความร้อนเนื่องจากจุดสัมผัสคือ

$$\eta = \frac{l}{1 + 2rl_c} \cdot \left(\frac{T_c}{T_h - T_c} \cdot \frac{\beta - T_h/T_c}{1 + \beta} - \frac{2l_c}{l} \right) \quad (2.3)$$

เมื่อ

$$\beta = \left(1 + \frac{lzT_M}{n+1} \right)^{1/2} \quad (2.4)$$

โดยที่ $r = \lambda / \lambda_c$ เป็นอัตราส่วนของสภาพนำความร้อนที่ผิวสัมผัส l เป็นความยาวของเทอร์โมอิเล็กทริเมนต์ $n = 2\rho_c / \rho$ เมื่อ ρ_c เป็นสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ผิวสัมผัสระหว่างเทอร์โมอิเล็กทริเมนต์และคอปเปอร์สตริป (Copper strips) โดยที่

$$z = \frac{\alpha^2}{\rho\lambda} \quad (2.5)$$

เมื่อ ρ เป็นสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค (Seebeck coefficient) สำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกเมทาเทอร์เรียล (Thermoelectric material) ρ และ λ เป็นสภาพความต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำความร้อนของสารเทอร์โมอิเล็กทริเมนต์ $T_M = (T_h + T_c) / 2$ เป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของเทอร์โมอิเล็กทริเมนต์และ l_c เป็นความหนาของคอนแทกเลเยอร์ (Contact Layers)

ความร้อนที่ถูกป้อนออกจากผิวเย็นไปยังผิวร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก จะถูกระบายออกไปยังสิ่งแวดล้อมด้วยฮีทซิงค์ นิยมเรียกว่าการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก ฟังก์ชันการทำงานของฮีทซิงค์เป็นไปตามกฎพื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิก โดยที่ฮีทซิงค์ทางอุณหพลศาสตร์จะสามารถดูดกลืนความร้อนได้อย่างไม่จำกัดและมีอุณหภูมิก่อนที่ โดยทั่วไปแล้วการเลือกใช้ฮีทซิงค์ให้เหมาะสมเพื่อการระบายความร้อนมีหลายปัจจัยสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงและส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพหรือสมรรถนะการทำ ความเย็น โดยเฉพาะความต้านทานเชิงความร้อน (Heat thermal resistance or Heat sink resistance; HSR) นิยามว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$HSR = \frac{T_s - T_a}{Q} - R_{jc} - R_{cs} \quad (2.6)$$

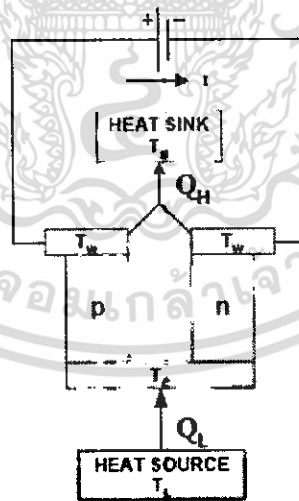
เมื่อ R_{cs} เป็นความต้านทานเชิงความร้อนที่รอยต่อหรือเรียกว่า ความต้านทานอินเตอร์เฟซ (Interface Resistance) R_{jc} ได้จาก Device manufacturer T_s เป็นอุณหภูมิของฮีทซิงค์ที่อยู่ใกล้แหล่งความร้อน T_a เป็นอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม ประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร นิยามว่า

$$\eta = \frac{Q}{mc(T_s - T_a)} \quad (2.7)$$

เมื่อ m เป็นอัตราการไหลเชิงมวลผ่านฮีทซิงค์ และ c เป็นความจุความร้อนของของไหล Ferrotec Corporation, (1998) เสนอสมการสำหรับการทดลองวัดอัตราการถ่ายเทความร้อนเทียบกับกำลังป้อนออก (Power output) หรือพลังงานความร้อนต่อหน่วยเวลา (Heat energy per time) จากเทอร์โมอิเล็กทริกไปยังฮีทซิงค์ คือ

$$q_h = \alpha I T_h + 0.5 I^2 R - k(T_h - T_c) \quad (2.8)$$

เมื่อ α คือ สัมประสิทธิ์ซีเบ็ค (Seebeck coefficient) I คือ ไฟฟ้ากระแสตรง R คือ ความต้านทาน T_h คือ อุณหภูมิเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อน T_c คือ อุณหภูมิเทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็น



รูปที่ 2.3 หลักการทำความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก

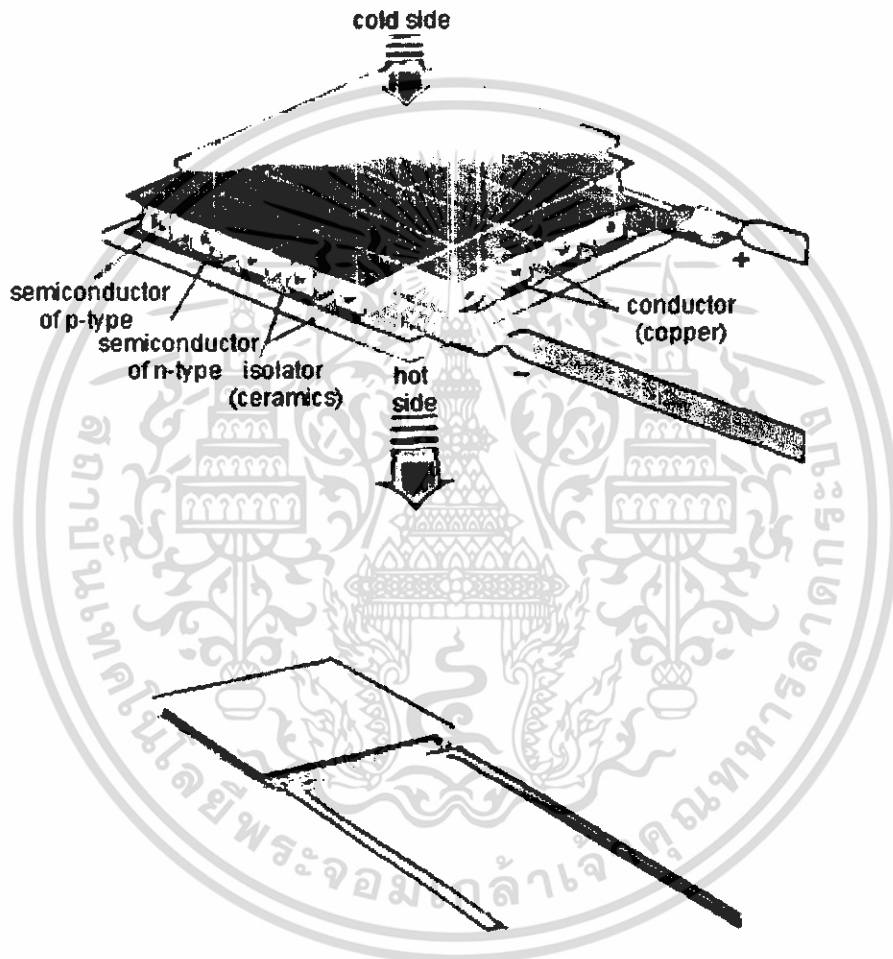
จากกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิก พลังงานไฟฟ้าป้อนเข้า คือ

$$W = Q_H - Q_L = I^2 R + \alpha I (T_w - T_c) \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมประสิทธิ์ของการทำงาน (Coefficient of Performance, COP)

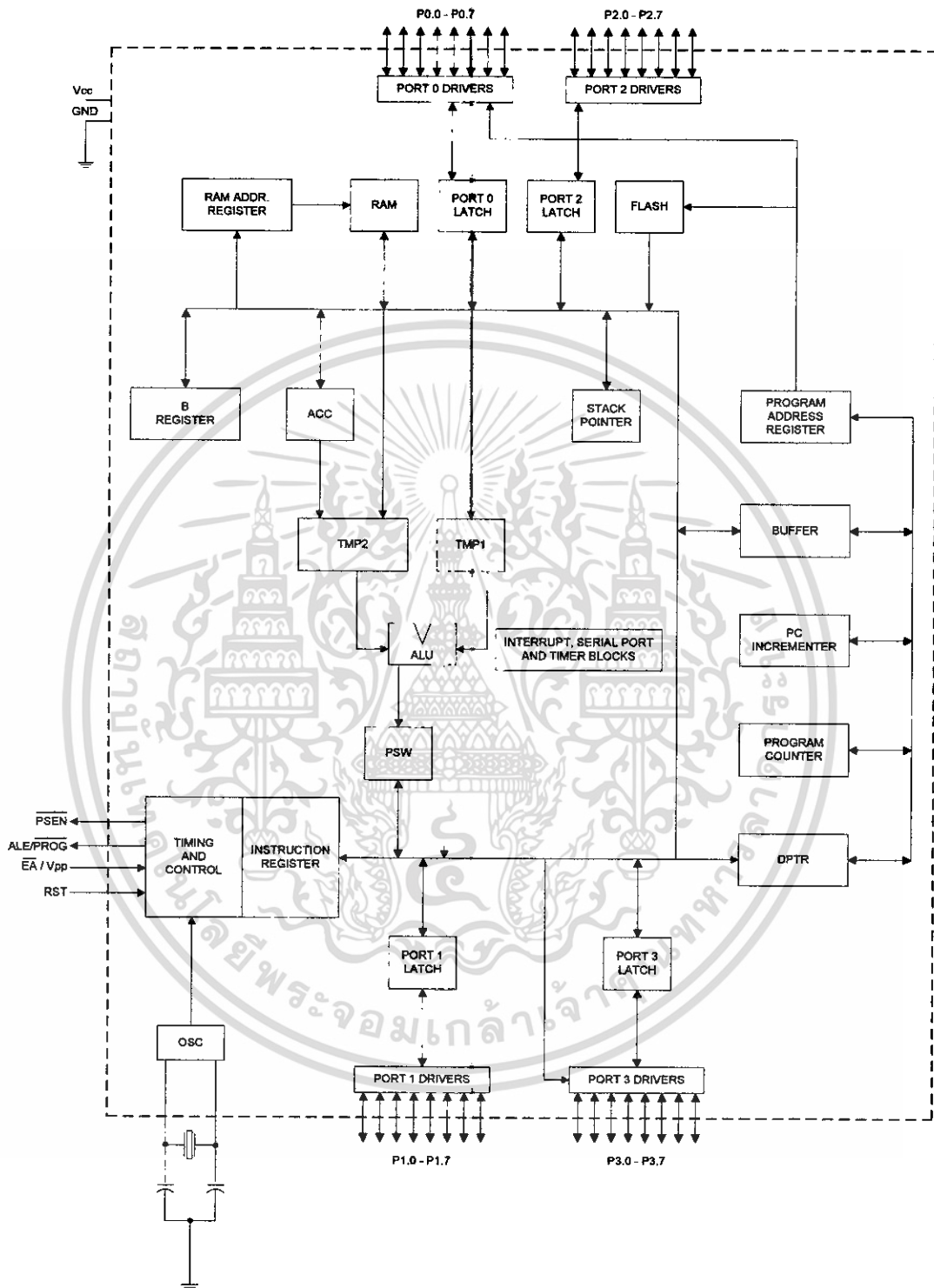
$$COP = \frac{Q_L}{W} = \frac{\alpha T_c I - 0.5 I^2 R - K(T_w - T_c)}{I^2 R + \alpha I(T_w - T_c)} \quad (2.10)$$



รูปที่ 2.4 โครงสร้างภายในและภายนอกของเทอร์โมอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

2.4.1.1 ซีพียูขนาด 8 บิต

2.4.1.2 รีจิสเตอร์ A (Accumulator) หรือ ACC และรีจิสเตอร์ B

2.4.1.3 โปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter; PC) และค่าตัวพอยน์เตอร์ (Data Pointer; DPTR) ขนาด 16 บิต

2.4.1.4 โปรแกรมสเตตัสเวิร์ด (Program Status Word; PSW) ขนาด 8 บิต

2.4.1.5 สแตกพอยน์เตอร์ (Stack Pointer) ขนาด 8 บิต

2.4.1.6 หน่วยความจำรอม (ROM) หรือ อีพรอม (EPROM เฉพาะ 57851) ขนาด 4 กิโลไบต์ (8051) ส่วน 8031 ไม่มีหน่วยความจำภายใน จึงต้องต่อชิพหน่วยความจำภายนอกเพื่อใช้งาน

2.4.1.7 หน่วยความจำแรมภายใน (Internal Ram) ขนาด 128 ไบต์ ประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

2.4.1.7.1 รีจิสเตอร์แบงก์ 4 แบงก์ แต่ละแบงก์ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต จำนวน 8 รีจิสเตอร์ แต่ละรีจิสเตอร์มีชื่อกำกับเรียงกันเป็น RO-R7

2.4.1.7.2 หน่วยความจำจำนวน 16 ไบต์ที่สามารถอ้างตำแหน่งในระดับบิตได้

2.4.1.7.3 มีหน่วยความจำสำหรับใช้งานทั่วไป 80 ไบต์

2.4.1.8 ขารับสัญญาณอินพุต/เอาต์พุต 32 ขา แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม เรียกชื่อเรียงกันไปคือ P0, P1, P2 และ P3

2.4.1.9 ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ (Timer/Counter) ขนาด 16 บิตสองชุดคือ T0, T1

2.4.1.10 พอร์ทอนุกรมที่ใช้สำหรับส่งสัญญาณแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) โดยรับส่งข้อมูลผ่านรีจิสเตอร์ชื่อ SBUF

2.4.1.11 รีจิสเตอร์ควบคุมอุปกรณ์ภายใน ได้แก่ TCON, TMOD, SCON, PCON, IP และ IE

2.4.1.12 สามารถทำการอินเตอร์รัปต์ได้ทั้งภายในและภายนอก การอินเตอร์รัปต์ภายใน 4 แหล่ง การอินเตอร์รัปต์ภายนอก 2 แหล่ง

2.4.1.13 ส่วนของออสซิลเลเตอร์และวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาอยู่ภายในชิพ

T2	P1.0	1	40	Vcc
T2EX	P1.1	2	39	P0.0 AD0
	P1.2	3	38	P0.1 AD1
	P1.3	4	37	P0.2 AD2
	P1.4	5	36	P0.3 AD3
	P1.5	6	35	P0.4 AD4
	P1.6	7	34	P0.5 AD5
	P1.7	8	33	P0.6 AD6
	RST	9	32	P0.7 AD7
RXD	P3.0	10	31	EA' Vpp
TXD	P3.1	11	30	ALE PROG'
INT0'	P3.2	12	29	PSEN'
INT1'	P3.3	13	28	P2.7 A15
T0	P3.4	14	27	P2.6 A14
T1	P3.5	15	26	P2.5 A13
WR'	P3.6	16	25	P2.4 A12
RD'	P3.7	17	24	P2.3 A11
XTAL2	18		23	P2.2 A10
XTAL1	19		22	P2.1 A9
Vss	20		21	P2.0 A8

รูปที่ 2.6 การวางขาของไมโครคอนโทรลเลอร์

2.4.2 การสื่อสารอนุกรมแบบซิงเกิลโพรเซสเซอร์ (Single Processor)

พอร์ตสื่อสารอนุกรมมีโครงสร้างการทำงานในแบบที่เรียกว่าฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) สามารถรับและส่งข้อมูลอนุกรมได้ในเวลาเดียวกัน

ทางด้านส่งใช้ขา TxD (พอร์ต 3.1)

ทางด้านรับใช้ขา RxD (พอร์ต 3.0)

ซีเรียลพอร์ทบัฟเฟอร์ (Serial Port Buffer; SBUF) ใช้เป็นบัฟเฟอร์สำหรับรับและส่งข้อมูลอนุกรมโดยมีอยู่ 2 ตัว

การส่งข้อมูล ข้อมูลที่จะส่งให้ใส่ใน SBUF โดยใช้คำสั่ง

```
SBUF = dat ;
```

```
While ( TI ) ;
```

```
TI = 0 ;
```

โดยเตรียมข้อมูลที่จะส่งไว้ในตัวแปร dat ก่อน

การรับข้อมูล ข้อมูลที่รับได้จะอยู่ใน SBUF การถ่ายข้อมูลออกมายังตัวแปร โดยใช้

คำสั่ง

```
While ( RI ) ;
```

```
RI = 0 ;
```

```
dat = SBUF ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.1 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการรับส่งข้อมูลอนุกรม (SCON) Serial Control Port Register (SCON) อยู่ในตำแหน่ง (98H)

SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI
-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

รูปที่ 2.7 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการรับส่งข้อมูลอนุกรม (SCON)

ตารางที่ 2.1 SM0, SM1 บิตเลือกโหมดการทำงาน

SM0, SM1 บิตเลือกโหมดการทำงาน

M0	SM1	โหมด	การทำงาน
0	0	0	Shift Register ความเร็วในการรับหรือส่งข้อมูลเท่ากับ (1/12) ของ CPU OSC
0	1	1	8 bit UART ความเร็วในการรับหรือส่งข้อมูลกำหนดได้จากไทม์เมอร์ 1,2
1	0	2	9 bit UART ความเร็วในการรับหรือส่งข้อมูล = (1/32) หรือ (1/64) เท่าของ CPU OSC โดยขึ้นกับ SMOD ใน PCON
1	1	3	9 bit UART ความเร็วในการรับหรือส่งข้อมูลกำหนดที่ไทม์เมอร์ 1,2

SM2 บิตเลือกการทำงานแบบซิงเกิล โปรเซสเซอร์เอนไวรอนเมนต์ (Single Processor Environment) หรือมัลติโปรเซสเซอร์เอนไวรอนเมนต์ (Multiprocessor Environment)

1 : เลือก Multiprocessor Environment ใช้ได้กับโหมด 2, 3

0 : เลือก Single Processors Environment ใช้ได้กับทุกโหมด

เมื่อเลือกการทำงานรับข้อมูลแบบ Multiprocessor Mode แล้ว

ถ้าข้อมูลบิตที่ 9 ที่รับได้มีค่าเป็น 1 RI จะเซ็ท

ถ้าข้อมูลบิตที่ 9 ที่รับได้มีค่าเป็น 0 RI จะไม่เซ็ท

REN (Receive Enable) บิตควบคุมให้รับหรือไม่รับข้อมูล

1 : ให้รับข้อมูลได้

0 : ห้ามรับข้อมูล

TB8 (Transmit bit D8) ข้อมูลบิตที่ 9 ที่จะส่งออกไปในโหมด 2, 3 ให้ใส่ในบิตนี้

RB8 (Receive bit D8) ข้อมูลบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาจะมาเก็บในบิตนี้ (ข้อมูลบิตที่ 9 ก็คือ

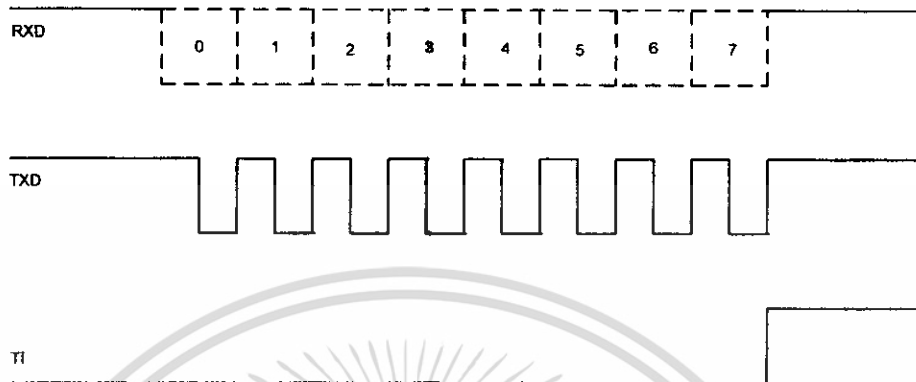
ค่าใน TB8 ทางด้านส่งนั่นเอง)

TI แฟล็กซ์ TI จะเป็น 1 เมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูล 1 ไบต์

RI แฟล็กซ์ RI จะเป็น 1 เมื่อรับข้อมูล 1 ไบต์ (บิต RI, TI ผู้เขียนโปรแกรมจะต้องเคลียร์

เอง)

โหมด 0 : พอร์ตสื่อสารอนุกรม 8 บิต โดยการส่งข้อมูลจะเลื่อนออกทีละบิตโดยส่งบิต D0 ออกไปก่อนทางขา RXD เนื่องจากไม่มีการส่ง Start bit แต่จะส่ง Shift bit ทางขา TXD [ความเร็ว (1/12) เท่าของ CPU Clock]



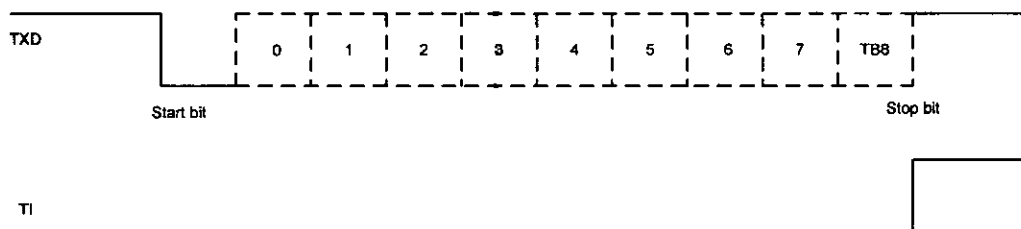
รูปที่ 2.8 ลักษณะการส่งข้อมูลโหมด 0

โหมด 1 : พอร์ตสื่อสารอนุกรม 10 บิต ข้อมูล 8 บิต 1 start bit และ 1 stop bit และสามารถเปลี่ยนแปลงความเร็วในการส่งข้อมูลได้ โดยขึ้นกับบิต SMOD ใน PCON และอัตราโอเวอร์โพล์ของ Timer 1, 2



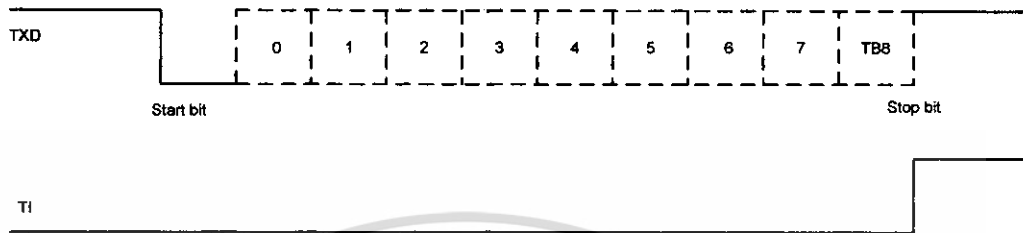
รูปที่ 2.9 ลักษณะการส่งข้อมูลโหมด 1

โหมด 2 : พอร์ตสื่อสารอนุกรม 11 บิต ข้อมูล 9 บิต 1 start bit และ 1 stop บิต (TB8 นิยมนำมาใช้ส่ง Parity bit) ความเร็วในการรับส่งข้อมูลเท่ากับ (1/32) หรือ (1/64) เท่าของ CPU OSC โดยขึ้นกับบิต SMOD ใน PCON



รูปที่ 2.10 ลักษณะการส่งข้อมูลโหมด 2

โหมด 3 : พอร์ตสื่อสารอนุกรม 11 บิต UART โดย DATA 8 bit, 1 start bit และ 1 stop bit เหมือนโหมด 2 ยกเว้นอัตราความเร็วจะขึ้นกับบิต SMOD ใน PCON และอัตราโอเวอร์โพล์ของไทม์เมอร์ 1 สำหรับ 8051 หรืออัตราโอเวอร์โพล์ของไทม์เมอร์ (สำหรับ 80C154D)



รูปที่ 2.11 ลักษณะการส่งข้อมูลโหมด 3

สูตรคำนวณ Baud Rate Mode 1, 3

$$\text{Baud Rate Mode 1, 3} = \frac{2^{SMOD} \times CPUOSC}{32 \times 12 \times [256 - (TH1)]} \quad \text{โดยใช้ไทม์เมอร์ 1}$$

$$\text{Baud Rate Mode 1, 3} = \frac{CPUOSC}{32 \times [65536 - (RCAP2H, RCAP2L)]} \quad \text{โดยใช้ไทม์เมอร์ 2}$$

2.4.2.2 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการประหยัดพลังงาน Power Control Register (PCON) อยู่ใน SFR ตำแหน่งที่ (87H)

SMOD	HPD	RPD	-	GF1	GF0	PD	IDL
------	-----	-----	---	-----	-----	----	-----

รูปที่ 2.12 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการประหยัดพลังงาน (PCON)

SMOD บิตกำหนดอัตราความเร็วการรับส่งข้อมูลอนุกรม UART

0 = อัตราความเร็ว 1 เท่า

1 = อัตราความเร็ว 2 เท่า

HPD Hard Power Down bit (มีใน 83C154, 83C154D เท่านั้น) หมายถึงการใช้สัญญาณจากภายนอกมากระตุ้นให้หยุดหรือเริ่ม Power down mode เมื่อถูกรีเซ็ตจะหยุดการทำงานในโหมดนี้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

RPD Recover Power Down bit (มีใน 83C154, 83C154D เท่านั้น) มันได้ถูกนำไปใช้สำหรับยกเลิก Power-Down / Idel mode

1 = ถ้าการร้องขออินเทอร์รัปต์ถูกใช้งาน (Enable) ไว้ จะกระโดดไปทำโปรแกรมบริการอินเทอร์รัปต์

0 = ถ้าการร้องขออินเทอร์รัปต์ไม่ถูกใช้งาน (Disable) ไว้ โปรแกรมจะทำงานต่อหลังจาก Power-Down / Idel Instruction

GF0 แฟลทซ์ใช้งานทั่วไป

GF1 แฟลทซ์ใช้งานทั่วไป

PD Power Down bit

1 = หยุดออกสวิตลเเตอร์ของซีพียู สัญญาณรีเซ็ตหรืออินเทอร์รัปต์ (มีใน 83C154, 83C154D เท่านั้น) ที่จะยกเลิกโหมดนี้

IDL Idle Mode bit

1 = หยุดออกสวิตลเเตอร์ของซีพียู สัญญาณรีเซ็ตหรืออินเทอร์รัปต์เท่านั้นที่จะยกเลิกโหมดนี้

2.4.3 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการอินเทอร์รัปต์ (Interrupt Enable Register (IE))

EA	X	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0
----	---	-----	----	-----	-----	-----	-----

รูปที่ 2.13 Interrupt Enable Register (IE)

ใช้ควบคุมอินเทอร์รัปต์ได้ 8 แห่ง เราสามารถสั่งห้ามหรือไม่ห้ามการอินเทอร์รัปต์ได้จาก รีจิสเตอร์ชุดนี้ เราสามารถสั่งห้ามไม่ให้เกิดการขัดจังหวะทั้งหมดก็ได้เพียงแต่ไปรีเซ็ตบิต EA ใน Interrupt Enable Register (IE) ถ้าต้องการ Enable อินเทอร์รัปต์จากอุปกรณ์ตัวไหนก็เพียงไปเซ็ตบิตของอุปกรณ์ตัวนั้นไว้ แต่อย่าลืมเซ็ตบิต EA รายละเอียดของ EA รายละเอียดของ IE แสดงในตารางที่ 2.2

71998

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดและการทำงานของรีจิสเตอร์ Interrupt Enable Register

บิต	ชื่อบิต	การทำงาน
IE7	EA	= 1 หมายถึง ขอมให้เลือกการทำอินเตอร์รัปต์จากอินเตอร์รัปต์จากแหล่งต่างๆ = 0 หมายถึง ไม่ขอมให้ทำอินเตอร์รัปต์จากแหล่งใดๆทั้งสิ้น
IE6	-	ไม่ได้ใช้
IE5	ET2	= 1 หมายถึง ขอมให้ทำอินเตอร์รัปต์เมื่อ TF2 เกิดโอเวอร์โฟลว์ = 0 หมายถึง ไม่ขอมให้ทำอินเตอร์รัปต์เมื่อ TF2 เกิดโอเวอร์โฟลว์
IE4	ES	= 1 หมายถึง ขอมให้ทำอินเตอร์รัปต์จากพอร์ทสื่อสารอนุกรมได้ = 0 หมายถึง ไม่ขอมให้ทำอินเตอร์รัปต์จากพอร์ทสื่อสารอนุกรม
IE3	ET1	= 1 หมายถึง ขอมให้ทำอินเตอร์รัปต์เมื่อ TF1 เกิดโอเวอร์โฟลว์ = 0 หมายถึง ไม่ขอมให้ทำอินเตอร์รัปต์เมื่อ TF1 เกิดโอเวอร์โฟลว์
IE2	EX1	= 1 หมายถึง ขอมให้ทำอินเตอร์รัปต์จากสัญญาณภายนอกได้ที่ขา $\overline{INT1}$ = 0 หมายถึง ไม่ขอมให้ทำอินเตอร์รัปต์จากสัญญาณภายนอกได้ที่ขา $\overline{INT1}$
IE1	ET0	= 1 หมายถึง ขอมให้ทำอินเตอร์รัปต์เมื่อ TF0 เกิดโอเวอร์โฟลว์ = 0 หมายถึง ไม่ขอมให้ทำอินเตอร์รัปต์เมื่อ TF0 เกิดโอเวอร์โฟลว์
IE0	EX0	= 1 หมายถึง ขอมให้ทำอินเตอร์รัปต์จากสัญญาณภายนอกได้ที่ขา $\overline{INT0}$ = 0 หมายถึง ไม่ขอมให้ทำอินเตอร์รัปต์จากสัญญาณภายนอกได้ที่ขา $\overline{INT0}$

2.5 การสื่อสารข้อมูลด้วยระบบ I²C

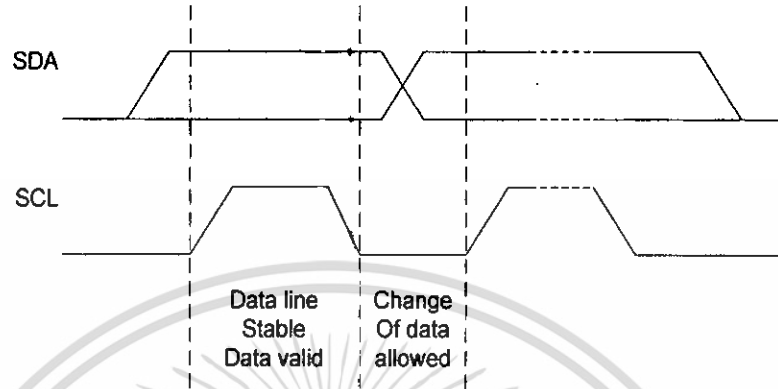
การสื่อสารข้อมูลด้วยระบบ I²C บั๊ตเป็นอีกมิติหนึ่งของการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ประกอบรวม ระบบ I²C เป็นระบบที่ถูกพัฒนาจากบริษัทฟิลลิปส์ (PHILLIPS) ดังนั้นอุปกรณ์หลายๆตัวที่มีการสื่อสารแบบ I²C จึงถูกผลิตออกมาจากบริษัทฟิลลิปส์

ระบบ I²C บั๊ตเป็นการสื่อสารแบบ 2 ทาง โดยใช้สายสัญญาณในการสื่อสารเพียง 2 เส้น โดยสารที่ใช้สื่อสารนี้คือ SDA ซึ่งเป็นสายสัญญาณข้อมูลและ SCL ซึ่งเป็นสายสัญญาณนาฬิกา

ทางบริษัทผู้พัฒนาระบบ I²C ได้ให้คำจำกัดความของการสื่อสารแบบ I²C ไว้เพื่อให้การศึกษาเกิดความเข้าใจเดียวกัน โดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

2.5.1 บิตทรานสเฟอร์ (Bit Transfer)

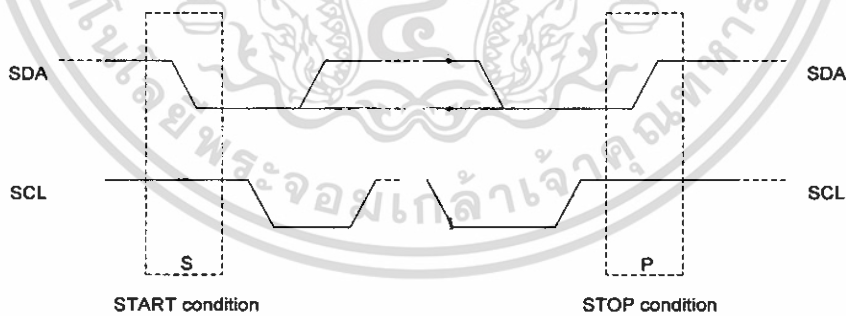
ข้อมูล 1 บิตจะถูกส่งออกไปด้วยช่วงเวลา 1 สัญญาณนาฬิกา โดยข้อมูลที่สาย SDA จะต้องคงที่ในขณะที่สัญญาณนาฬิกาเป็นลอจิก 1



รูปที่ 2.14 ไทม์มิ่งไดอะแกรม (Timing Diagram) ของบิตทรานสเฟอร์ (Bit transfer)

2.5.2 บิตเริ่มต้นและบิตหยุด (Start and Stop Conditions)

ทั้งสายสัญญาณ SDA และสายสัญญาณ SCL ถ้าอยู่ในสถานะไม่ BUSY จะเป็นลอจิก 1 การเปลี่ยนแปลงจากลอจิก 1 เป็นลอจิก 0 ของสายสัญญาณ SDA ขณะที่สายสัญญาณ SCL เป็น 1 เรียกว่า การกำหนดเงื่อนไข START แต่การเปลี่ยนแปลงจาก 0 เป็น 1 ของสายสัญญาณ SDA ในขณะที่สายสัญญาณ SCL เป็น 1 เรียกว่าการกำหนดเงื่อนไข STOP



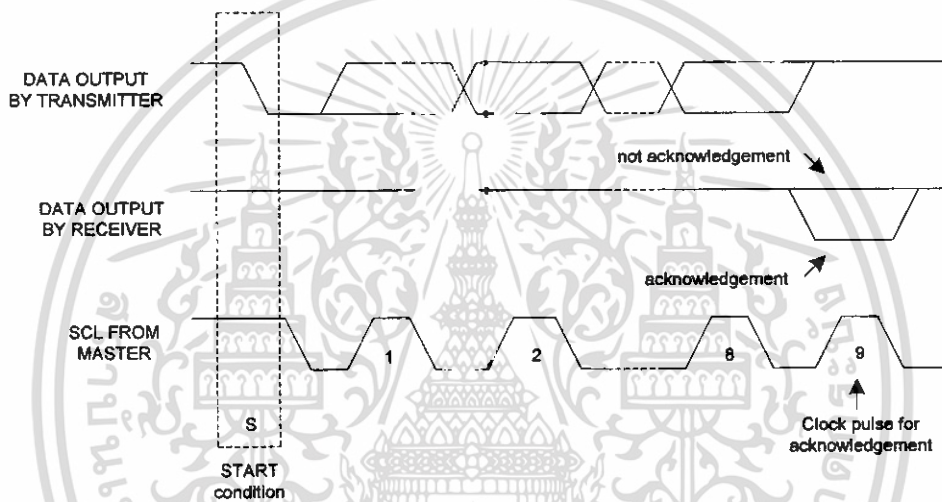
รูปที่ 2.15 ไทม์มิ่งไดอะแกรม (Timing Diagram) ของ Start and Stop Conditions

2.5.3 ซิสเต็มคอนฟิกูเรชัน (System configuration)

อุปกรณ์ที่ส่งข้อมูลเรียกว่าทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) ส่วนอุปกรณ์ที่รับข้อมูลเรียกว่ารีซีฟเวอร์ (Receiver) และอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการสื่อสารข้อมูลเรียกว่ามาสเตอร์ (Master) และอุปกรณ์ที่ถูกควบคุมจากมาสเตอร์เรียกว่าสเลฟ (Slave)

2.5.4 แอกโนว์เลดจ์ (Acknowledge)

จำนวน ไบต์ข้อมูลที่ถูกส่งระหว่างตัวรับและตัวส่งมีได้ไม่จำกัด ซึ่งเมื่อส่งข้อมูลครบ 1 ไบต์ จะต้องส่งบิต ACK ตามออกไป 1 บิต



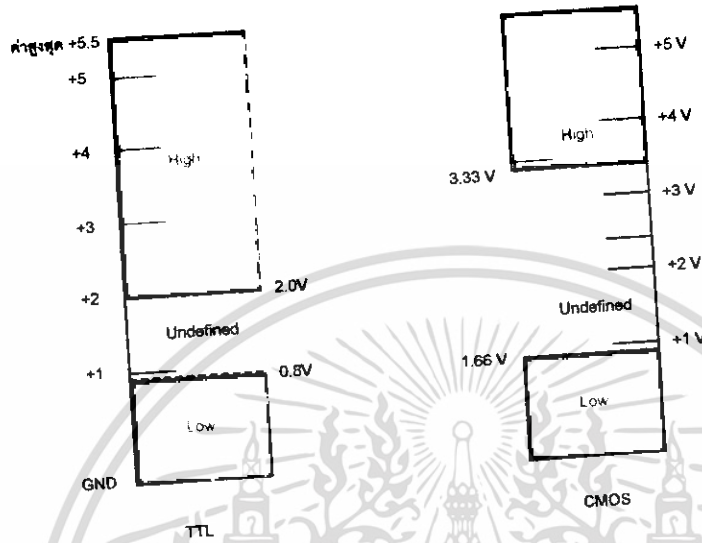
รูปที่ 2.16 ไทม์มิงไดอะแกรม (Timing Diagram) ของแอกโนว์เลดจ์ (Acknowledge)

2.6 วงจรดิจิตอลพื้นฐาน

การทำงานของวงจรดิจิตอลเป็นการทำงานแบบตรรกศาสตร์กล่าวคือ เป็นการทำงานที่อาศัยการเปรียบเทียบค่า “จริง” หรือ “เท็จ” ซึ่งเป็นรูปแบบการคิดในลักษณะแสดงสถานะ 2 สถานะ สำหรับการ ทำงานของวงจรดิจิตอลจะใช้สัญญาณการควบคุมที่แบ่งด้วยระดับแรงดันไฟฟ้า 2 ระดับเรียกว่าลอจิกต่ำ หรือ “0” และลอจิกสูงหรือ “1”

ระดับแรงดันที่ใช้แบ่งสถานะทางลอจิกสำหรับ วงจรดิจิตอลจะแบ่งตามกลุ่มชนิดของอุปกรณ์ ได้ 2 กลุ่มคือ ทีทีแอล (TTL) และซีเอ็มอส (CMOS) ดังนี้ กลุ่มทีทีแอลมีระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 5 โวลต์ (เท่ากับระดับไฟเลี้ยงที่ป้อนให้วงจรดิจิตอล) โดยกำหนดให้ระดับแรงดันที่มีค่ามากกว่า 2 โวลต์ ขึ้นไปเป็น “1” (ลอจิกสูง) และระดับแรงดันที่น้อยกว่า 0.8 โวลต์เป็น “0” (ลอจิกต่ำ)

กลุ่มซิมอสเป็นกลุ่มอุปกรณ์ที่มีลักษณะพิเศษคือ ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้เลี้ยงวงจรจะมีค่าเป็นตั้งแต่ 3 โวลต์ถึง 18 โวลต์ ดังนั้นการกำหนดค่าสถานะลอจิกจึงขึ้นกับแรงดันไฟเลี้ยง โดยกำหนดให้ระดับแรงดันที่มีค่าน้อยกว่า 1/3 ของแรงดันไฟเลี้ยงมีสถานะเป็น "0" และระดับแรงดันที่มีค่ามากกว่า 2/3 ของแรงดันไฟเลี้ยงมีสถานะเป็น "1"



รูปที่ 2.17 ระดับแรงดันของสถานะในวงจรดิจิทัล

โดยทั่วไปอุปกรณ์ดิจิทัลที่เรียกว่าไอซี (IC : Integrated Circuit) ซึ่งมีใช้งานหลักๆอยู่ 2 กลุ่มใหญ่คือ

1. กลุ่มไอซีตระกูลทีทีแอล เป็นไอซีที่ใช้ระดับสัญญาณแบบทีทีแอล โดยทั่วไปเบอร์ของไอซีมักขึ้นต้นด้วย 74xx หรือ 74LSxx (LS : Low speed)
2. กลุ่มไอซีตระกูลซิมอส เป็นไอซีที่ใช้ระดับสัญญาณแบบซิมอส โดยทั่วไปเบอร์ของไอซีมักขึ้นต้นด้วย 40xx หรือ 54xx หรือ 74HCxx (HC : High speed CMOS)

2.6.1 ลอจิกเกตพื้นฐาน

2.6.1.1 แอนด์เกต มีสัญลักษณ์และการทำงานดังตารางความจริงต่อไปนี้

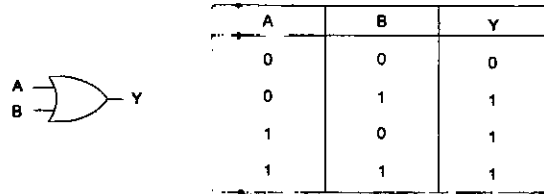
ตารางที่ 2.3 ตารางความจริงของแอนด์เกต



A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

2.6.1.2 ออร์เกต มีสัญลักษณ์และการทำงานดังตารางความจริงต่อไปนี้

ตารางที่ 2.4 ตารางความจริงของออร์เกต



2.6.1.3 นอร์เกต มีสัญลักษณ์และการทำงานดังตารางความจริงต่อไปนี้

ตารางที่ 2.5 ตารางความจริงของนอร์เกต



2.6.1.4 แอนด์เกต มีสัญลักษณ์และการทำงานดังตารางความจริงต่อไปนี้

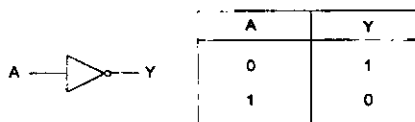
ตารางที่ 2.6 ตารางความจริงของแอนด์เกต



2.6.1.5 นอตเกตหรืออินเวอร์เตอร์เกต มีสัญลักษณ์และการทำงานดังตารางความจริง

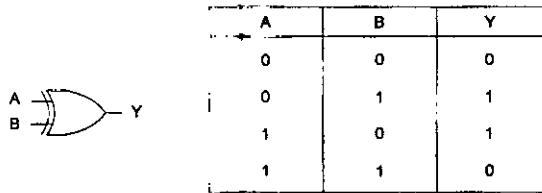
ต่อไปนี้

ตารางที่ 2.7 ตารางความจริงของนอตเกต



2.6.1.6 เอกซ์คลูซีฟออร์เกต มีสัญลักษณ์และการทำงานดังตารางความจริงต่อไปนี้

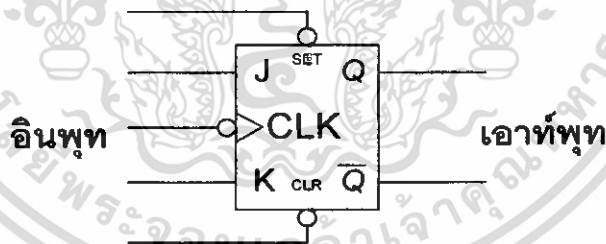
ตารางที่ 2.8 ตารางความจริงของเอกซ์คลูซีฟออร์เกต



2.6.2 ฟลิปฟล็อป (Flip-Flop)

เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในระบบดิจิทัล หรือคอมพิวเตอร์มากที่สุดนอกเหนือจาก วงจรเกตพื้นฐานแล้ว ยังมีวงจรฟลิปฟล็อป โดยคุณสมบัติของฟลิปฟล็อปหนึ่งตัวสามารถเก็บตัวเลขฐานสองได้ 1 บิต ลักษณะวงจรฟลิปฟล็อปจะประกอบด้วยสายสัญญาณออก (Output) 2 สาย ซึ่งสายหนึ่งจะเป็นค่าปกติ และอีกด้านหนึ่งจะเป็นค่าส่วนเติมเต็ม (Complement) ซึ่งกันและกันอยู่ ทางด้านสายสัญญาณเข้าของวงจรจะมีจำนวนสายต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของฟลิปฟล็อป ค่าที่ป้อนทางสายสัญญาณเข้าจะทำให้สถานะของฟลิปฟล็อปเปลี่ยนไปเป็นสถานะใหม่ เราเรียกสถานะก่อนให้สัญญาณเข้า (Input) ว่าเป็นสถานะปัจจุบัน (Present State) และเรียกสถานะหลังจากให้สัญญาณเข้าว่าเป็นสถานะถัดไป (Next State)





2.6.2.1 เจเค ฟลิปฟล็อป (JK Flip-Flop)



รูปที่ 2.18 เจเค ฟลิปฟล็อป (JK Flip-Flop)

ในสถานะที่สัญญาณนาฬิกา (CLK) เป็นลอจิก 0 เอาต์พุตของเจเค ฟลิปฟล็อปจะไม่มี การเปลี่ยนสถานะ แต่ถ้าสัญญาณนาฬิกา (CLK) เปลี่ยนจากลอจิก 0 เป็นลอจิก 1 เอาต์พุตของเจเค ฟลิปฟล็อป จะเปลี่ยนสถานะตามตารางความจริงของเจเค ฟลิปฟล็อปคือ

ตารางที่ 2.9 ตารางความจริงของजेค ฟลิปฟล็อป

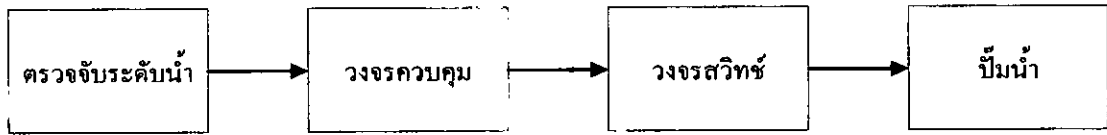
โหมดการทำงาน	อินพุต					เอาต์พุต	
	อะซิงโครนัส		ซิงโครนัส				
	PS	CLR	CLK	J	K	Q	Q̄
Asynchronous	0	1	x	x	x	1	0
Asynchronous reset	1	0	x	x	x	0	1
Prohibited	0	0	x	x	x	1	1
Hold	1	1		0	0	ไม่เปลี่ยนแปลง	
Reset	1	1		0	1	0	1
Set	1	1		1	0	1	0
Toggle	1	1		1	1	สภาวะตรงข้าม	

เมื่ออินพุต J เป็น ลอจิก 0 และ อินพุต K เป็นลอจิก 0 เอาต์พุตไม่เปลี่ยนแปลง ถ้าอินพุต J เป็นลอจิก 0 และอินพุต K เป็นลอจิก 1 เอาต์พุตจะมีค่าเป็นลอจิก 1 ถ้าอินพุต J เป็นลอจิก 1 และ อินพุต K เป็นลอจิก 0 เอาต์พุตจะมีค่าเป็นลอจิก 0 แต่ถ้าอินพุต J เป็น 1 และ อินพุต K เป็น 1 เอาต์พุตจะเปลี่ยนสถานะเป็นสภาวะตรงกันข้ามของสภาวะเดิม

เป็นที่เข้าใจว่าเอาต์พุตจะมีการเปลี่ยนสถานะตามเงื่อนไขजेค ฟลิปฟล็อปเมื่อมีสัญญาณนาฬิกา (CLK) เป็นลอจิก 1 แต่เมื่อสัญญาณนาฬิกา (CLK) เป็นลอจิก 0 เราไม่สามารถเปลี่ยนแปลงสถานะของเอาต์พุตได้เลย แต่ในบางครั้ง เราจำเป็นต้องให้เอาต์พุต Q เป็นลอจิก 0 หรือลอจิก 1 โดยไม่ต้องรอ สัญญาณนาฬิกา (CLK) มากระตุ้น ดังนั้นเราจึงเพิ่มขาเคลียร์ (CLR) และพรีเซ็ท (PR) เข้าไปเพื่อที่สามารถกำหนดค่าของเอาต์พุต Q ได้ โดยการกำหนดดังนี้ ถ้าต้องการให้เอาต์พุต Q เป็นลอจิก 1 โดยไม่สนใจว่าสภาวะเดิมเป็นอะไร เราจะให้ขาพรีเซ็ท (PR) เป็นลอจิก 1 ในทำนองกลับกันถ้าต้องการให้เอาต์พุต Q เป็น ลอจิก 0 โดยไม่สนใจว่าสภาวะเดิมเป็นอะไร เราจะให้ขาเคลียร์ (CLR) เป็นลอจิก 1

2.7 ป้อนน้ำและการควบคุม

การปลูกพืชแบบแอโรโพนิคส์ (Aeroponics) เป็นการปลูกที่จำเป็นต้องใช้สารละลาย แต่แปลงปลูกไม่สามารถเก็บสารละลายได้มาก ทำให้ต้องมีที่เก็บสารละลายไว้อีกที่หนึ่งคือถังเก็บสารละลาย แล้วจึงใช้ปั๊มน้ำดูดสารละลายจากถังเก็บสารละลายมาขังแปลงปลูกให้ได้ระดับที่อุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์ทำงานได้ดีที่สุด



รูปที่ 2.19 บล็อกไดอะแกรม (Block Diagram) การควบคุมป้อนน้ำ

วงจรตรวจสอบระดับน้ำประกอบด้วยวงจรตรวจสอบแสงสะท้อนอินฟราเรด นำมาประยุกต์ใช้กับการตรวจสอบระดับน้ำแล้วจะส่งข้อมูล 2 บิต ไปให้วงจรควบคุม

วงจรควบคุมทำหน้าที่ตัดสินใจควบคุมการทำงานของป้อนน้ำและเป็นตัวกำเนิดสัญญาณลจิกให้แก่วงจรสวิตช์

วงจรสวิตช์จะนำสัญญาณจากวงจรควบคุมมาทำการปิดเปิดป้อนน้ำ โดยรับลจิกจากวงจรควบคุม

2.8 ความชื้นและเสถียรภาพของอากาศ

แม้ว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของบรรยากาศจะเป็นก๊าซไนโตรเจนและก๊าซออกซิเจน แต่ก๊าซทั้งสองก็มิได้มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซทั้งสองมีจุดควบแน่นและจุดเยือกแข็งต่ำมาก อุณหภูมิของอากาศมิได้ต่ำพอที่จะทำให้ก๊าซทั้งสองเปลี่ยนสถานะได้

2.8.1 ไอน้ำในอากาศ

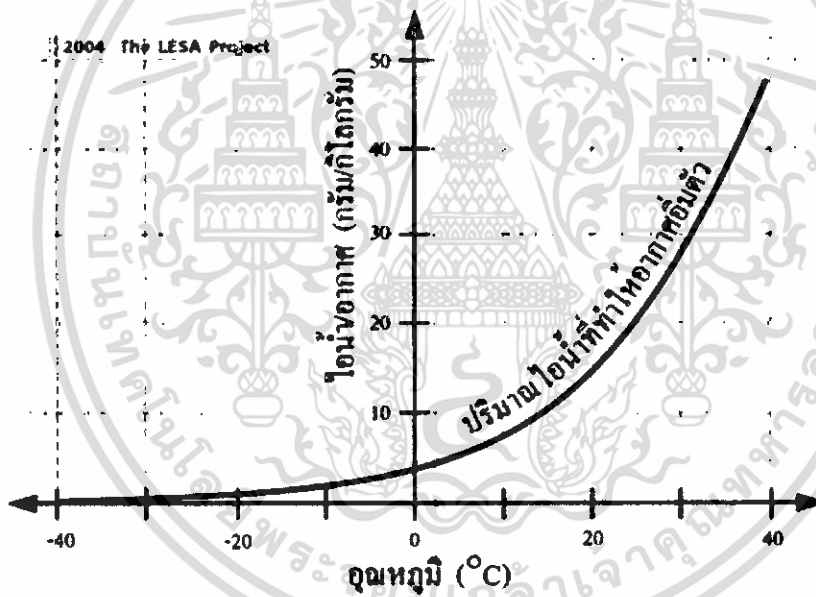
รูปที่ 2.20 โมเลกุลของน้ำและไอน้ำในอากาศ

จากรูปที่ 2.20 แสดงโมเลกุลของน้ำอยู่เบียดเสียดวิ่งไปวิ่งมา โดยที่โมเลกุลแต่ละโมเลกุลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วแตกต่างกัน ช้าบ้าง เร็วบ้าง ซึ่งค่าเฉลี่ยของความเร็วในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลก็คือ “อุณหภูมิ” ของน้ำ (พลังงานจลน์) ถ้าโมเลกุลที่อยู่บริเวณผิวน้ำมีความเร็วมากพอที่จะทำให้

โมเลกุลเคลื่อนที่หลุดออกไปสู่อากาศ โมเลกุลเหล่านี้จะเปลี่ยนสถานะจากน้ำเป็นไอน้ำ ซึ่งก็คือ “การระเหย” นั่นเอง

เมื่อเราปิดฝาดังและดันเข้าไปดังในรูปที่ 2.20 น้ำที่เคຍระเหยเป็นไอน้ำจะถูกควมแน่นกลับเป็นของเหลวอีกครั้งหนึ่ง หาก “จำนวนโมเลกุลของน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอน้ำเท่ากับจำนวนโมเลกุลของไอน้ำที่ควมแน่นกลับเป็นน้ำพอดิ” เราจะเรียกว่า “อากาศอึมตัวด้วยไอน้ำ” ในทางกลับกันหากเราคิงฝาเปิดออก ไอน้ำในอากาศซึ่งเคยอยู่ในถึงจะหนีออกมา ทำให้จำนวนโมเลกุลของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศน้อยกว่าจำนวนโมเลกุลของไอน้ำที่ทำให้อากาศอึมตัว อากาศจึงไม่เกิดการอึมตัว (ปัจจัยในธรรมชาติที่ช่วยให้อากาศไม่เกิดการอึมตัวคือกระแสลม)

นอกจากควมดันแล้ว ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการระเหยของน้ำคือ อุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิของน้ำร้อนจะระเหยได้ง่ายกว่าน้ำเย็น เนื่องจากควมร้อนทำให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่เร็วขึ้นและหลุดหนีจากสถานะของเหลวไปเป็นก๊าซ ในทำนองกลับกันอากาศเย็นทำให้เกิดการควมแน่นได้ดีกว่าอากาศร้อน เนื่องจากโมเลกุลของไอน้ำเย็นมีพลังงานน้อยกว่าจึงสูญเสียควมเร็วและเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวได้ง่าย



รูปที่ 2.21 กราฟปริมาณไอน้ำที่ทำให้อากาศอึมตัว

จากรูปที่ 2.21 แสดงให้เห็นถึงปริมาณไอน้ำที่จะทำให้เกิดอากาศอึมตัวภายใต้อุณหภูมิต่างๆ เราจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิสูงขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส อากาศจะต้องการปริมาณไอน้ำเพิ่มขึ้น 2 เท่าเพื่อทำให้เกิดการอึมตัว

ณ อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส อากาศ 1 กิโลกรัม ต้องการไอน้ำ 7 กรัม

ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส อากาศ 1 กิโลกรัม ต้องการไอน้ำ 14 กรัม

ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อากาศ 1 กิโลกรัม ต้องการไอน้ำ 28 กรัม

เราจึงสรุปได้ว่า “อากาศร้อนมีความสามารถในการเก็บจำนวนโมเลกุลของไอน้ำได้มากกว่าอากาศเย็น”

2.8.2 ความชื้น

ความชื้น (Humidity) หมายถึง จำนวนไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ ความชื้นของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความดันและอุณหภูมิ

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relativity humidity) หมายถึง “อัตราส่วนของปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศต่อปริมาณไอน้ำที่จะทำให้อากาศอิ่มตัว ณ อุณหภูมิเดียวกัน” หรือ “อัตราส่วนของความดันไอน้ำที่มีอยู่จริงต่อความดันไอน้ำอิ่มตัว” ค่าความชื้นสัมพัทธ์แสดงในรูปของร้อยละ

สูตรคำนวณหาความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์ = (ปริมาณไอน้ำที่อยู่ในอากาศ / ปริมาณไอน้ำที่ทำให้อากาศอิ่มตัว) X 100%

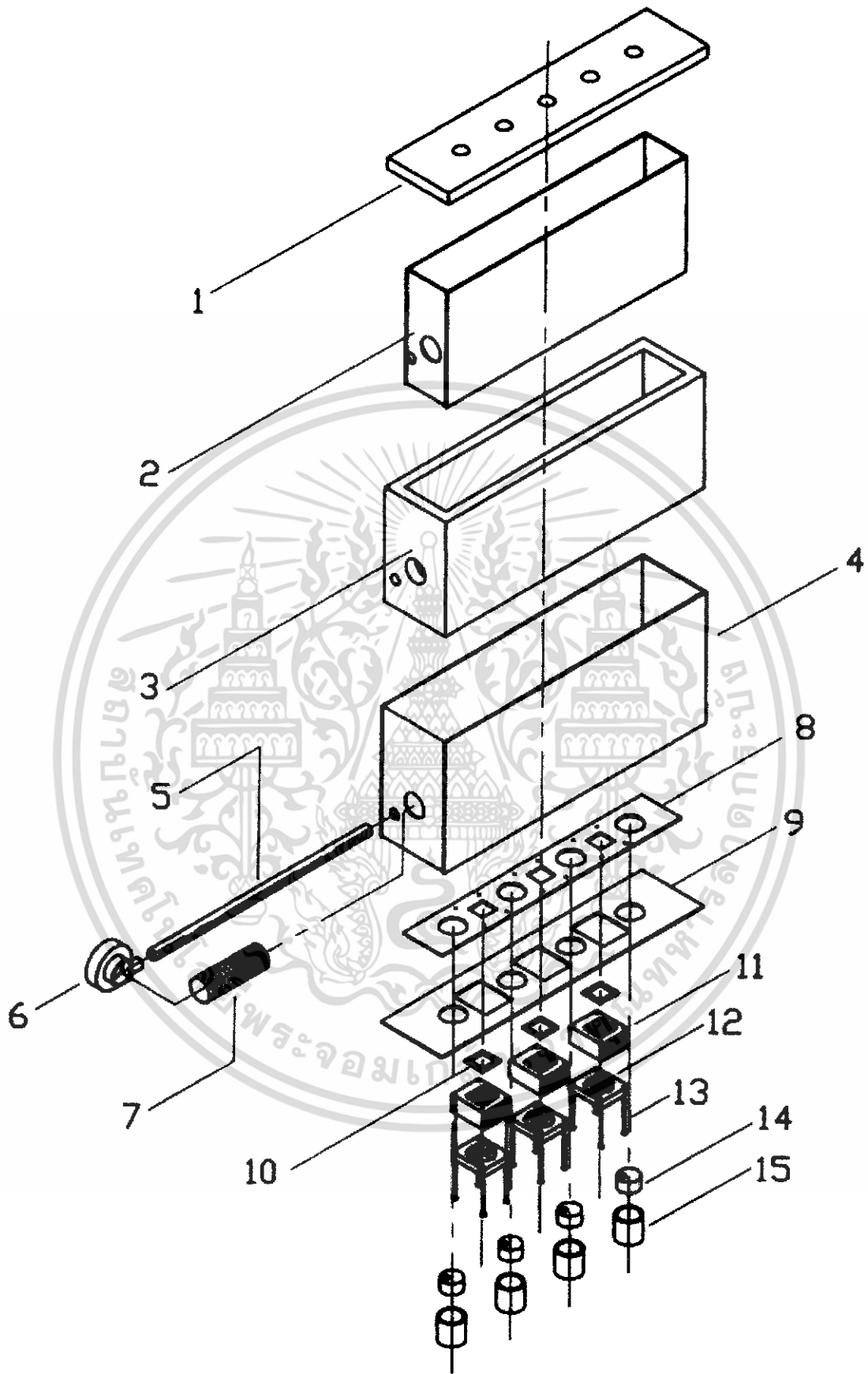
บทที่ 3

การออกแบบและหลักการทํางาน

3.1 กถองทตลองปลุกโดยรวม



รูปที่ 3.1 กถองทตลองปลุกโดยรวม



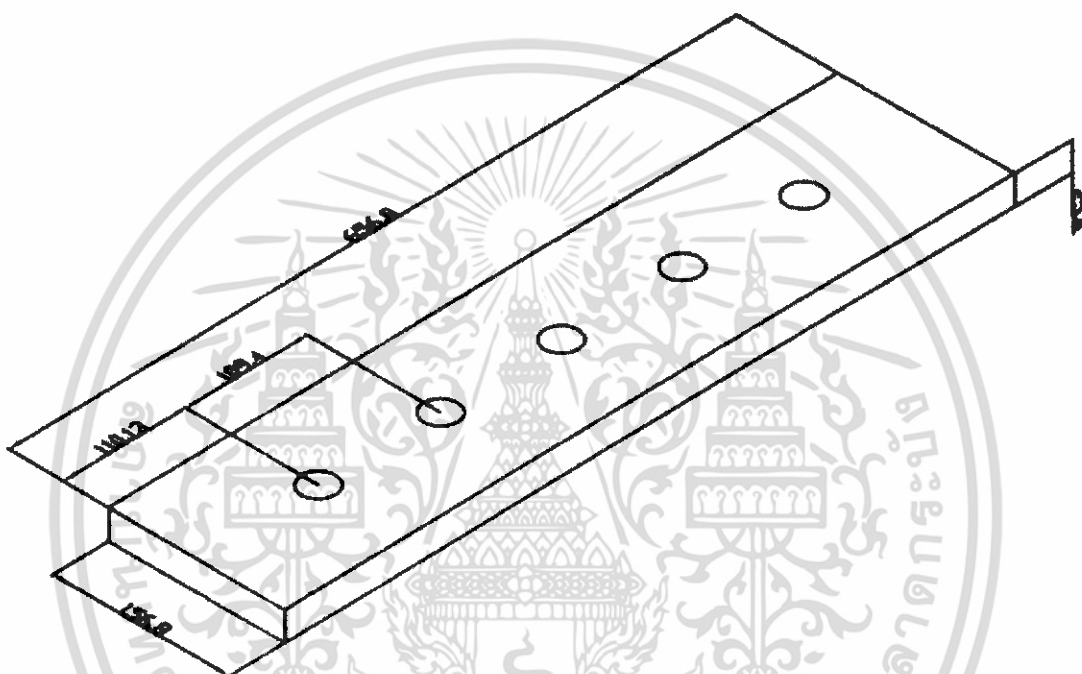
รูปที่ 3.2 แบบกล่องทดลองปลุกแยกส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 ส่วนประกอบแบบกล่องทดลองปลูกแยกส่วนจากรูปที่ 3.2

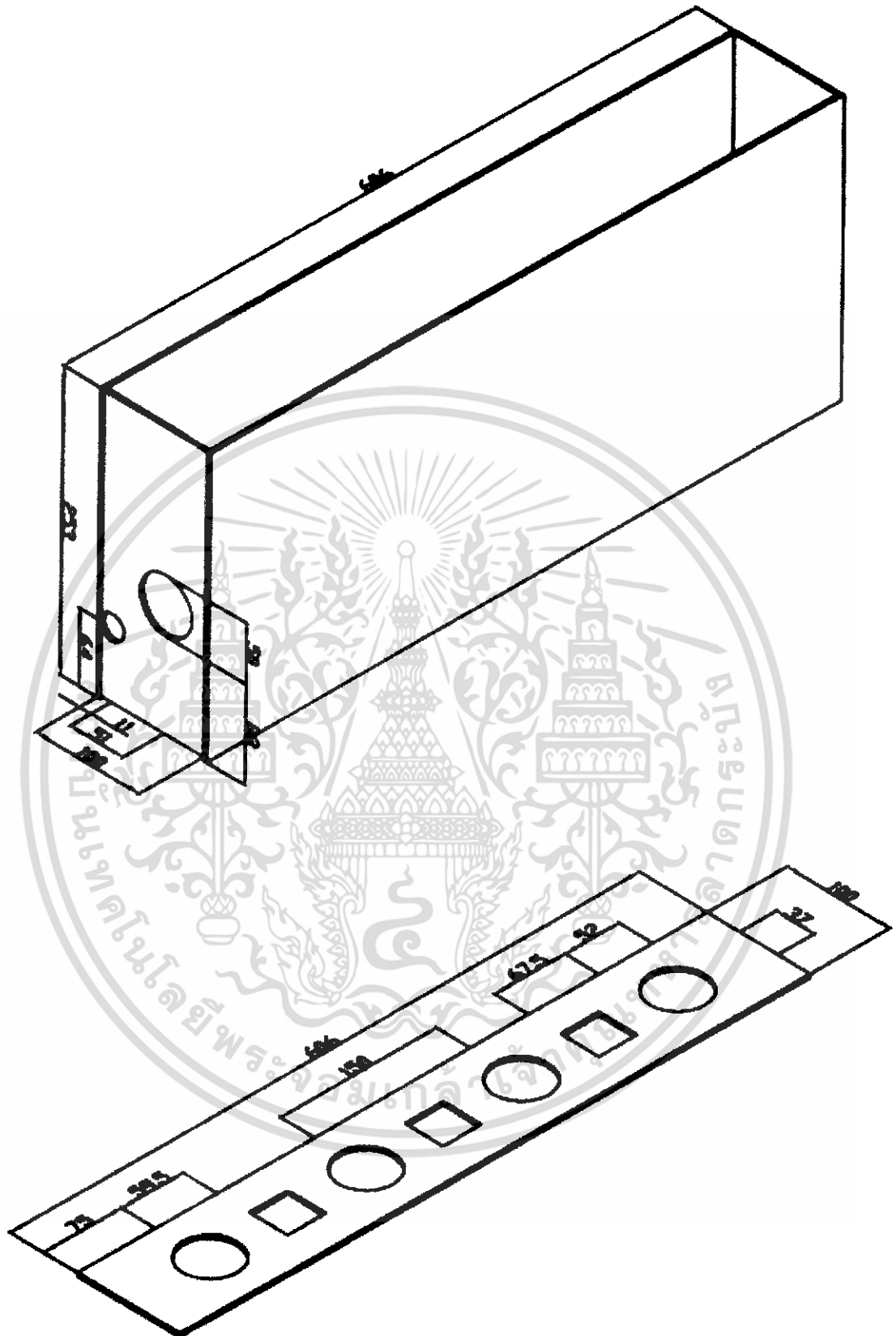
สามารถอธิบายตามลำดับหมายเลขได้ดังนี้

3.1.1.1 หมายเลข 1 ฐานจับยึดโคนต้นพืช เป็นตัวจับยึดโคนต้นพืชให้สามารถทรงตัวอยู่ได้โดยให้รากลอยอยู่ในกล่องทดลองปลูก โครงสร้างเป็นแผ่นโฟมขนาดความกว้าง 15.08 เซนติเมตร ความยาว 65.68 เซนติเมตร ความหนา 2.54 เซนติเมตร โดยเจาะรูตรงกลางซึ่งระยะห่างของรูและขนาดของรูขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่จะนำมาปลูก ขนาดดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ฐานจับยึดโคนต้นพืช

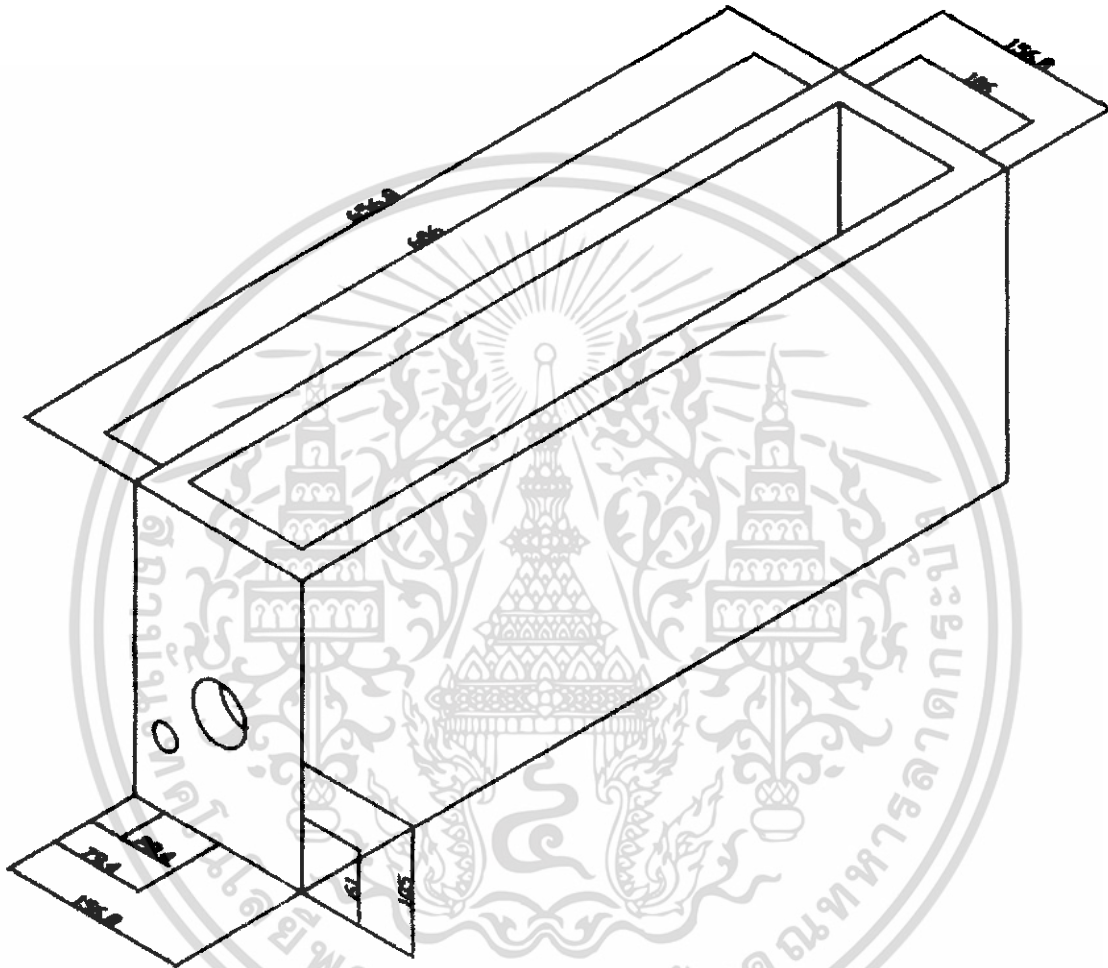
3.1.1.2 หมายเลข 2 กล่องชั้นใน เป็นกล่องชั้นในสุดเพื่อใช้เก็บสารละลายของธาตุอาหารพืช ที่ใช้พ่นเป็นละอองหมอกให้กับรากพืชที่ลอยอยู่ในกล่องทดลองปลูกและเป็นตัวเก็บความชื้นไม่ให้กระจายออกภายนอกกล่อง โครงสร้างทำมาจากแผ่นอะครีลิคความหนา 0.3 เซนติเมตร จำนวนทั้งหมด 5 แผ่นนำมาประกอบเป็นกล่องทดลองปลูก ขนาดดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 กล่องชั้นใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

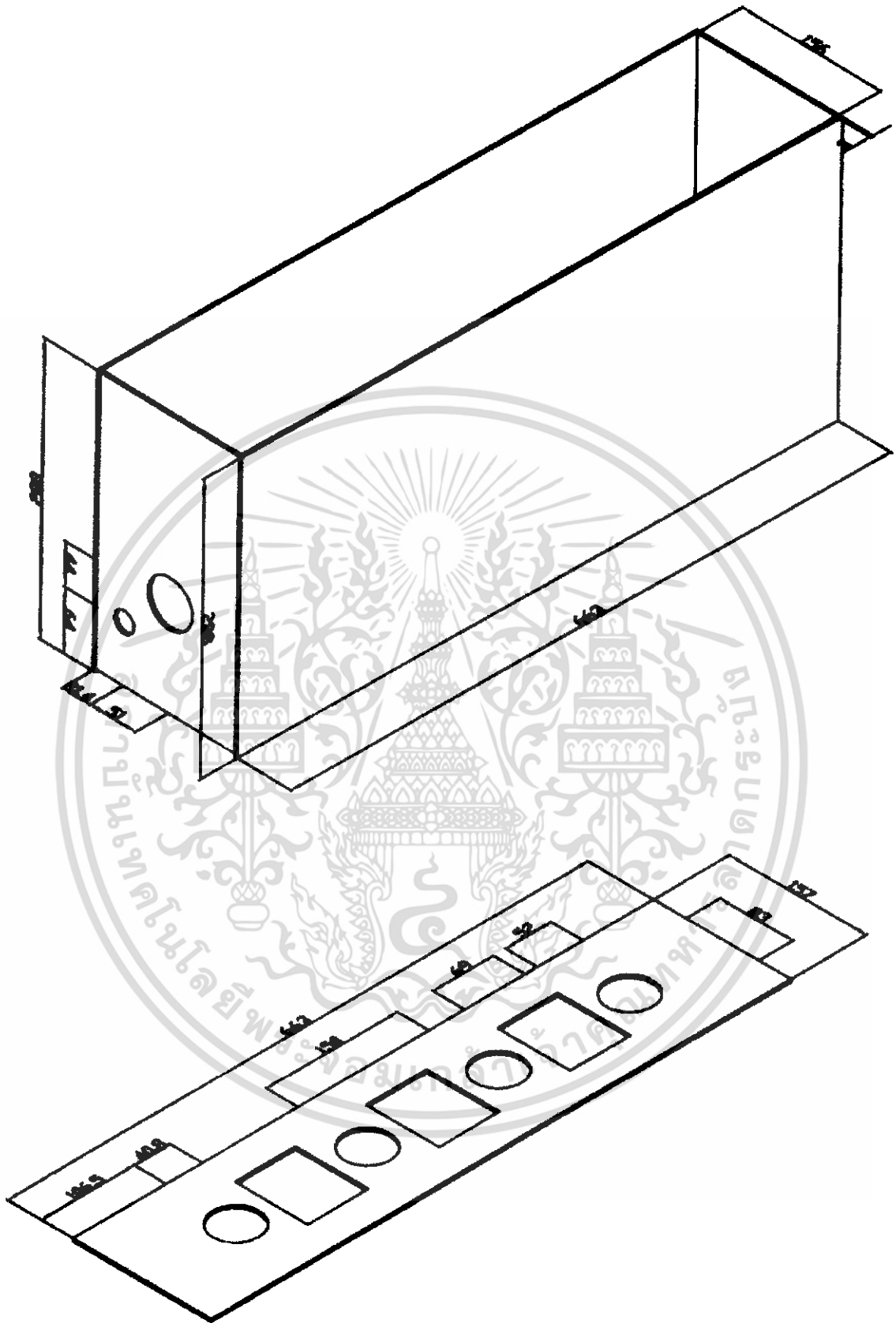
3.1.1.3 หมายเลข 3 กล่องโฟม เป็นกล่องที่อยู่ตรงกลางระหว่างกล่องชั้นในกับกล่องชั้นนอก เพื่อใช้เก็บรักษาอุณหภูมิภายในกล่องไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โครงสร้างทำจากแผ่นโฟมขนาดความหนา 2.54 เซนติเมตร จำนวนทั้งหมด 3 แผ่นนำมาประกอบเป็นกล่องโดยปล่อยด้านล่างให้โล่งเพื่อติดตั้งอุปกรณ์ทำความเย็นและอุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์ ขนาดดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 กล่องโฟม

3.1.1.4 หมายเลข 4 กล่องชั้นนอก กล่องชั้นนอกสุดเป็นโครงสร้างหลักใช้รองรับกล่องชั้นในและกล่องโฟมเพื่อให้มีความแข็งแรงและติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ โครงสร้างทำมาจากแผ่นอะครีลิกขนาดความหนา 0.3 เซนติเมตร จำนวนทั้งหมด 5 แผ่นนำมาประกอบเป็นกล่องทดลองปลูก ขนาดดังแสดงในรูปที่ 3.6

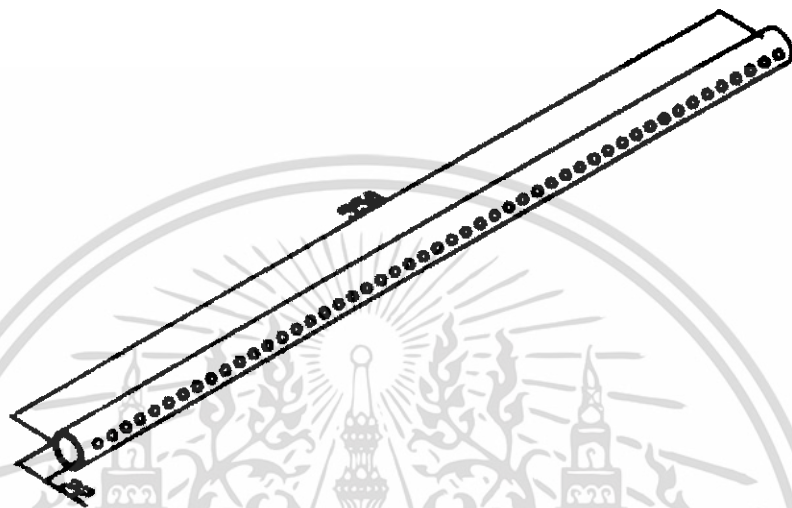
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 กล่องชั้นนอก

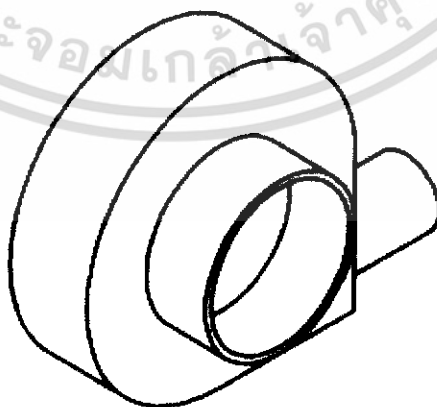
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.5 หมายเลข 5 ท่อลม ใช้เพื่อส่งแรงดันอากาศจากพัดลมที่ติดตั้งอยู่ภายนอกกล่อง เข้าสู่ในกล่องเพื่อเป่าละอองหมอกให้กระจายทั่วกล่องทดลองปลูก ซึ่งจะช่วยให้รากพืชได้รับสารอาหารอย่างทั่วถึง โครงสร้างทำมาจากท่อพลาสติกชนิดพีวีซี (PVC) มีขนาดความยาว 55 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อขนาด 2.2 เซนติเมตร นำมาเจาะรูตรงกลางตลอดแนวระยะห่างระหว่างรูเท่ากับ 0.3 เซนติเมตร ขนาดดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ท่อลม

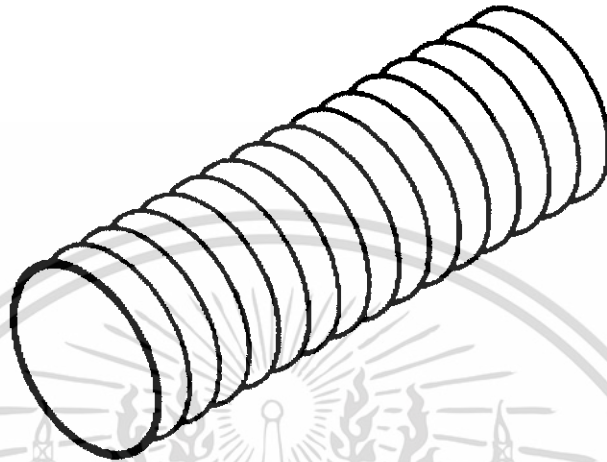
3.1.1.6 หมายเลข 6 พัดลมดูดและเป่าอากาศ พัดลมดูดและเป่าอากาศภายในกล่องทดลองปลูกเป็นชนิดติดตั้งมอเตอร์ด้านนอก แล้วต่อแกนเข้ากับใบพัดด้านในกระเปาะเพื่อหลีกเลี่ยงความชื้นจากละอองน้ำที่จะก่อให้เกิดความเสียหายให้กับมอเตอร์ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 พัดลมดูดและเป่าอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.7 หมายเลข 7 ท่ออ่อน เป็นท่ออ่อนใช้ดูดอากาศจากภายในกล่องทดลองปลุกให้กลับไปหมุนเวียนภายในกล่องใหม่อีกครั้งเพื่อที่จะได้อากาศที่มีอุณหภูมิเท่าเดิมหรือใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในกล่อง ดังรูปที่ 3.9

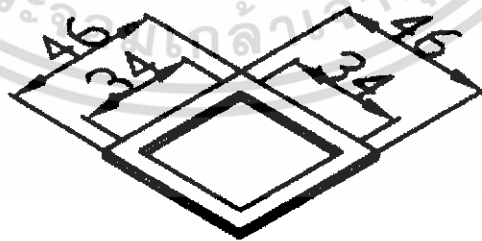


รูปที่ 3.9 ท่ออ่อน

3.1.1.8 หมายเลข 8 ฐานกล่องชั้นใน ขนาดดังแสดงในรูปที่ 3.4

3.1.1.9 หมายเลข 9 ฐานกล่องชั้นนอก ขนาดดังแสดงในรูปที่ 3.6

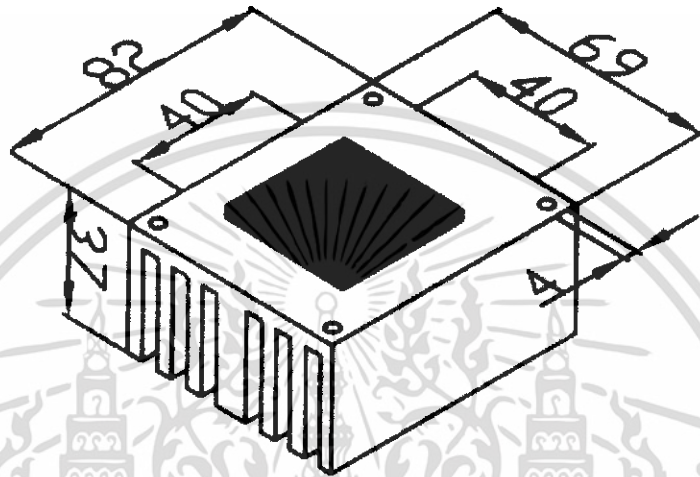
3.1.1.10 หมายเลข 10 แผ่นยางอ่อน แผ่นยางอ่อนเป็นตัวรับแรงกระแทกระหว่างอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกกับกล่องทดลองปลุก เพื่อป้องกันการรั่วของสารละลายจากภายในกล่องไม่ให้รั่วออกสู่ภายนอก ขนาดดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แผ่นยางอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.11 หมายเลข 11 อุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก ประกอบด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นอุปกรณ์ทำความเย็นโดยมีสองด้านคือด้านร้อนและด้านเย็น โดยเอาด้านเย็นเข้าด้านในกล่องเพื่อดึงเอาความเย็นมาใช้งานและเอาด้านร้อนติดกับฮีทซิงค์ระบายความร้อนออกด้านนอกกล่องเพื่อถ่ายเทความร้อนออกจากเทอร์โมอิเล็กทริก โดยที่ติดตั้งพัดลมระบายอากาศเข้ากับฮีทซิงค์เพื่อระบายความร้อนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังรูปที่ 3.11



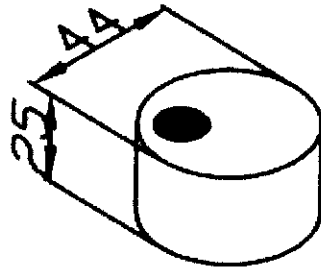
รูปที่ 3.11 อุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

3.1.1.12 หมายเลข 12 พัดลมระบายอากาศ พัดลมระบายอากาศติดตั้งเข้าฮีทซิงค์เพื่อระบายความร้อนออกจากฮีทซิงค์ เพื่อให้การระบายความร้อนมีประสิทธิภาพมากขึ้น

3.1.1.13 หมายเลข 13 น็อต ใช้ยึดอุปกรณ์ให้ติดกับ โครงสร้างกล่องทดลองปลูก

3.1.1.14 หมายเลข 14 อุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ เป็นอุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์ให้กับระบบ เพื่อให้รากพืชได้รับสารอาหารจากละอองสารละลายอย่างเพียงพอและเหมาะสมกับการเจริญโตของพืชแต่ละชนิดที่ต้องการจะปลูก ในโครงการนี้จึงใช้อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์เพื่อกำเนิดละอองน้ำ เนื่องจากละอองสารละลายมีผลต่อความชื้นสัมพัทธ์ โดยหลักการทำงานของอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์คือ จะแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลในรูปของคลื่นอุลตราโซนิคที่มีความถี่ 2 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นคลื่นเหนือเสียงส่งผ่านสารละลายที่เป็นของเหลวความถี่ดังกล่าวทำให้โมเลกุลของสารละลายเกิดการสั่นสะเทือนและเคลื่อนที่ด้วยความเร่งสูงกว่าแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้อนุภาคของสารละลายหลุดออกจากผิวสารละลายเกิดเป็นละอองสารละลายขนาดดังรูปที่ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 อุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

3.1.1.15 หมายเลข 15 กระจาปะรอรบรับอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ โครงสร้างทำมาจากท่อพลาสติกชนิดพีวีซีเพื่อใช้รอรบรับอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ ขนาดดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 กระจาปะรอรบรับอุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วงจรประมวลผลกลาง

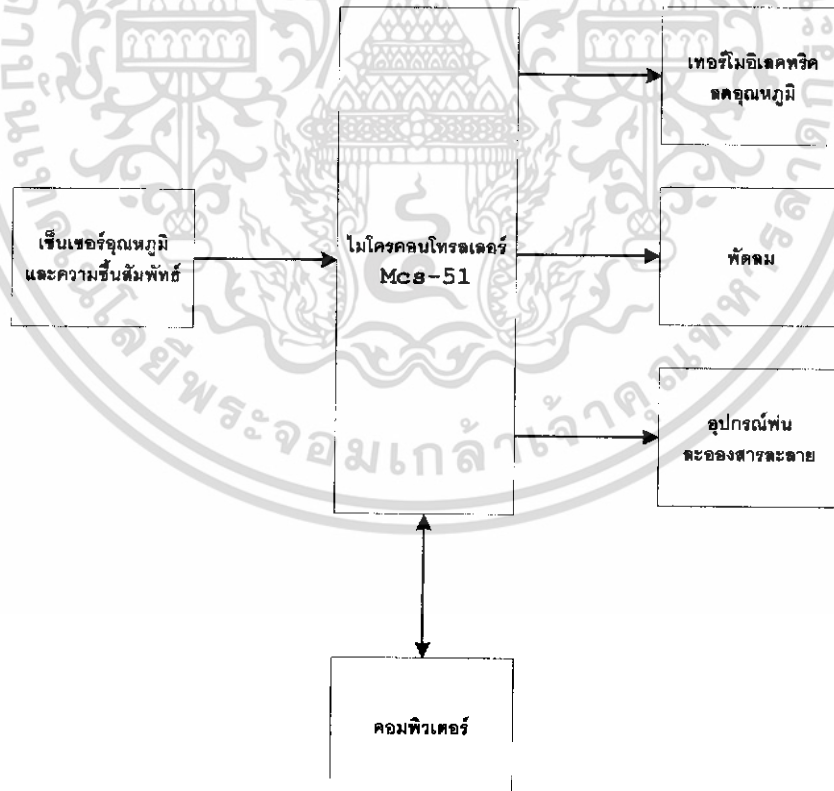
การทำงานของวงจรประมวลผลกลางใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ P89V51RD2 เป็นตัวควบคุมการทำงานให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงาน โดยมีการควบคุมพื้นฐานส่วนต่างๆดังนี้

แหล่งจ่ายที่ป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์มีขนาดแรงดัน 5 โวลต์ การป้อนแหล่งจ่ายไฟจะทำผ่านขา 40 (V_{cc}) และขา 20 (G_{nd})

สัญญาณนาฬิกาเป็นตัวกำหนดจังหวะการทำงานของระบบ เนื่องจากภายใน MCS-51 มีวงจรออสซิลเลเตอร์อยู่ในตัวจึงง่ายต่อการใช้งานเพียงต่อคริสตัลความถี่ 18.432 เมกะเฮิรตซ์ ที่ขา 18 และขา 19 และทำการต่อตัวเก็บประจุที่ขาทั้ง 2 ลงกราวด์

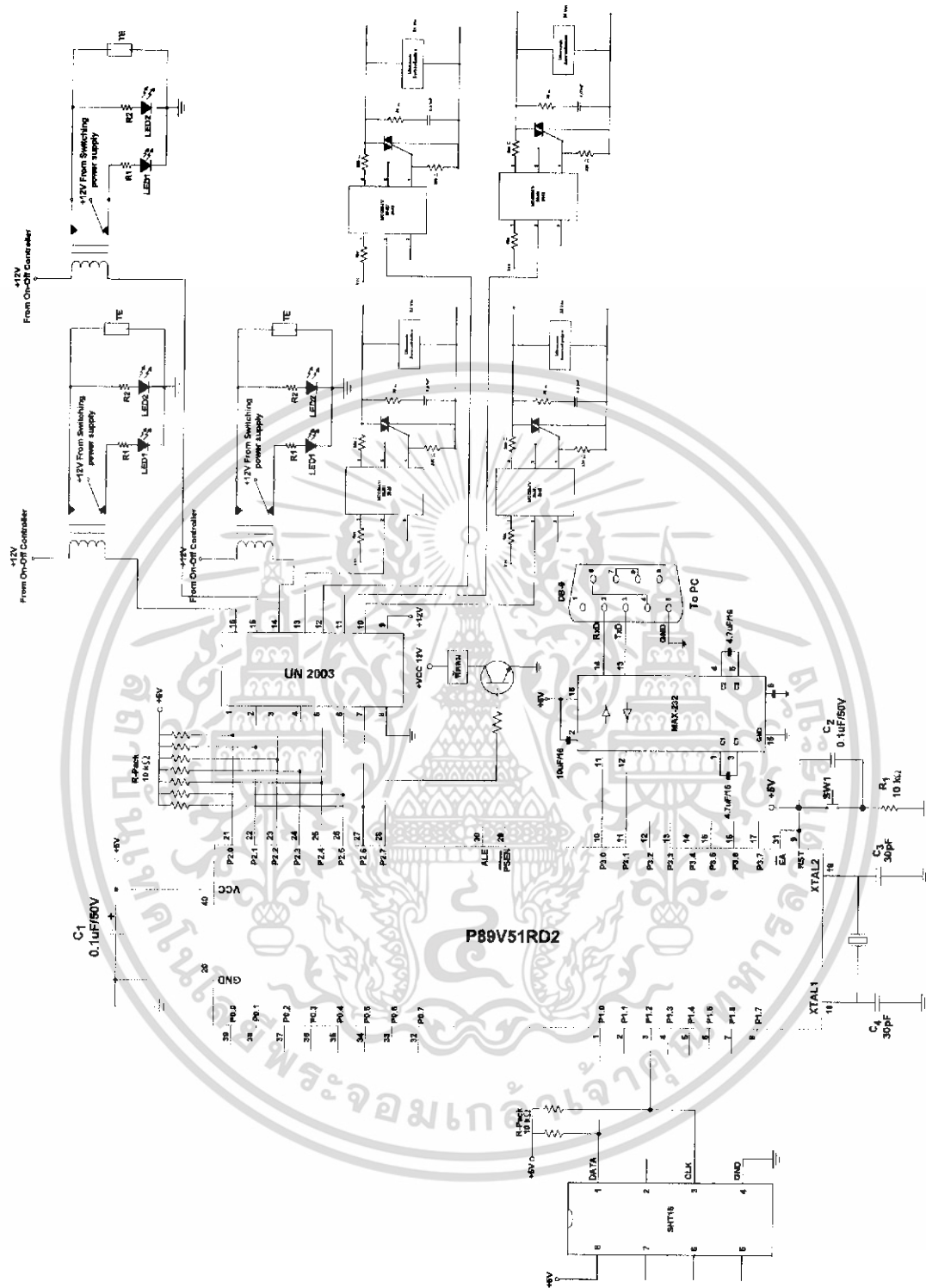
ส่วนการรีเซ็ตเพื่อเริ่มต้นการทำงาน โดยทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ไปที่จุดเริ่มต้นเงื่อนไขการรีเซ็ตคือรับสัญญาณลอจิก 1 ที่ขา 9 (RESET) อย่างน้อยเป็นเวลา 2 วงรอบการทำงานของคำสั่ง

การเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายใน จะมีการต่อขา \overline{EA} เข้ากับ V_{cc} เพื่อเป็นการใช้งานหน่วยความจำโปรแกรมภายในและส่วนสุดท้ายคือ ส่วนของพอร์ตเอาต์พุตจะใช้ด้วยกันทั้งหมด 3 พอร์ตคือ พอร์ต 1 เป็นพอร์ตที่ใช้ต่ออุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ พอร์ต 2 ต่อกับส่วนการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ พอร์ต 3 เป็นพอร์ตสื่อสารอนุกรม



รูปที่ 3.14 ไคอะแกรมการควบคุมการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 วงจรประมวลผลกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 อุปกรณ์พ่นละอองสารละลาย (Ultrasonic Aerosolization)

เป็นอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการทำให้น้ำหรือสารละลายเกิดเป็นละอองไอน้ำเล็กๆฟุ้งกระจายไปในอากาศได้เช่นเดียวกับการให้ความร้อนแก่น้ำเดือดกลายเป็นไอน้ำ แต่ลักษณะการเกิดเป็นละอองไอน้ำจากอุปกรณ์พ่นละอองสารละลายแตกต่างจากการต้มน้ำคือไม่ต้องทำให้น้ำเดือดก่อน โดยใช้คลื่นอัลตราโซนิคที่มีความถี่สูงมากตั้งแต่ 1,000 ถึง 2,000 กิโลเฮิร์ตซ์แทน ความถี่ดังกล่าวทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดการสั่นสะเทือนมีการหดและขยายตัวเกิดแรงดันสูงทำให้ความหนาแน่นของอณูมิของน้ำเปลี่ยนแปลง เกิดการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำด้วยความเร็วสูงมากกว่าแรงโน้มถ่วงของโลกนับแสนเท่าทำให้อนุภาคน้ำหลุดออกจากผิวน้ำมีลักษณะเป็นน้ำพู่เส็กและละอองไอน้ำขนาดประมาณ 0.4 ถึง 1.5 ไมครอนลอยไปในอากาศได้

หลักการทำงานของอุปกรณ์ประกอบด้วยเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์เป็นสารทรานสดิวเซอร์บรรจุอยู่ในภาชนะที่สามารถแช่อยู่ในน้ำหรือสารละลายได้และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นจะกระตุ้นให้เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์เกิดการสั่นด้วยความถี่ประมาณ 2,000 กิโลเฮิร์ตซ์ไปยังน้ำหรือสารละลายเร่งให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่เร็วจนมีความเร็วมมากกว่าแรงโน้มถ่วงของโลกทำให้เกิดเป็นไอน้ำฟุ้งกระจายไปในอากาศได้ ระบบควบคุมอุปกรณ์พ่นละอองสารละลายสามารถเขียนได้ตั้งโต๊ะแกรมรูปที่ 3.16

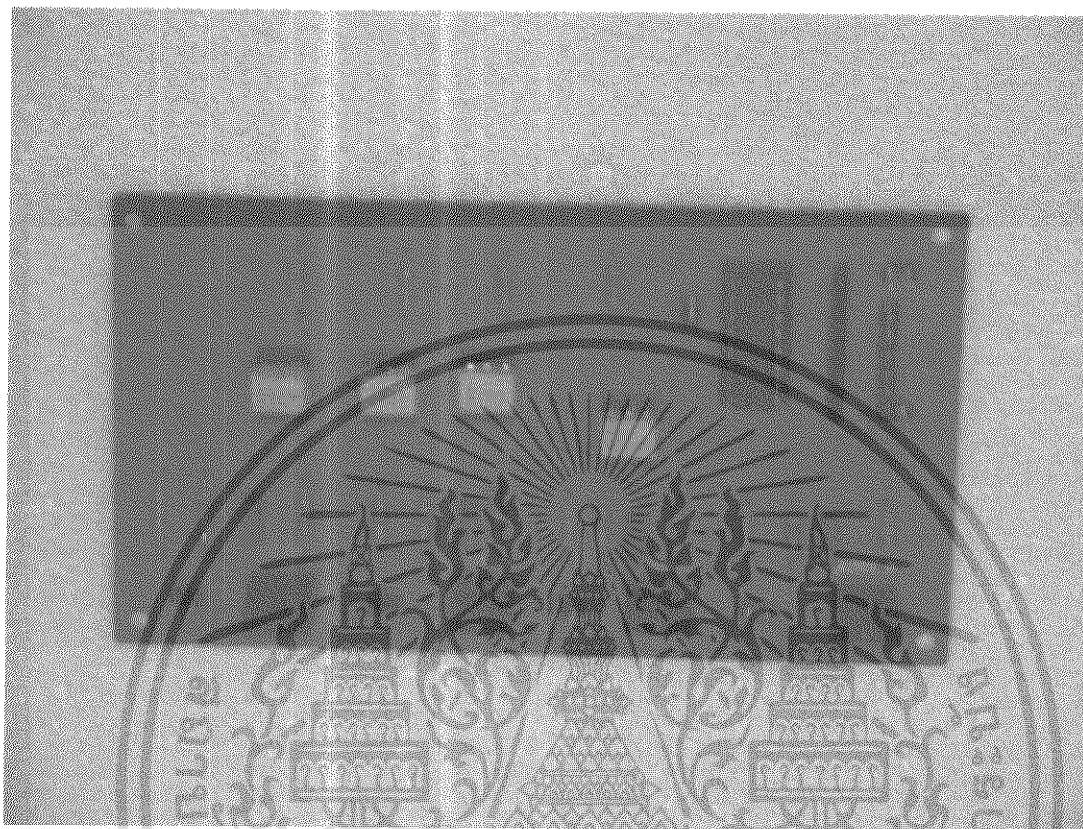


รูปที่ 3.16 ไลอะแกรมระบบควบคุมอุปกรณ์พ่นละอองสารละลาย

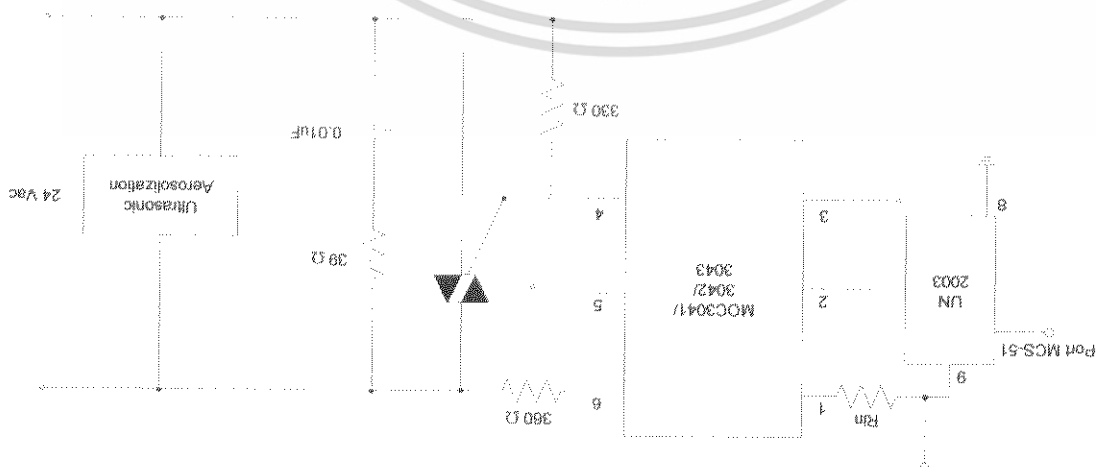
ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทำหน้าที่ประมวลผลตัดสินใจว่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในระดับที่พืชต้องการหรือไม่ แล้วจะส่งลอจิกไปยังวงจรสวิตช์

วงจรสวิตช์ เมื่อได้รับลอจิก “1” (แรงดัน 5 โวลต์) ผ่าน UN2003 จะจ่ายแรงดันไฟฟ้า +12 โวลต์ โดยเมื่อขาเกตของไครแอกได้รับแรงดันไฟฟ้าจากไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ไครแอกจะนำกระแสเหมือนเป็นสวิตช์ปิด ถ้าหยุดจ่ายแรงดันแกเกต ไครแอกจะหยุดนำกระแสเหมือนเป็นสวิตช์เปิด

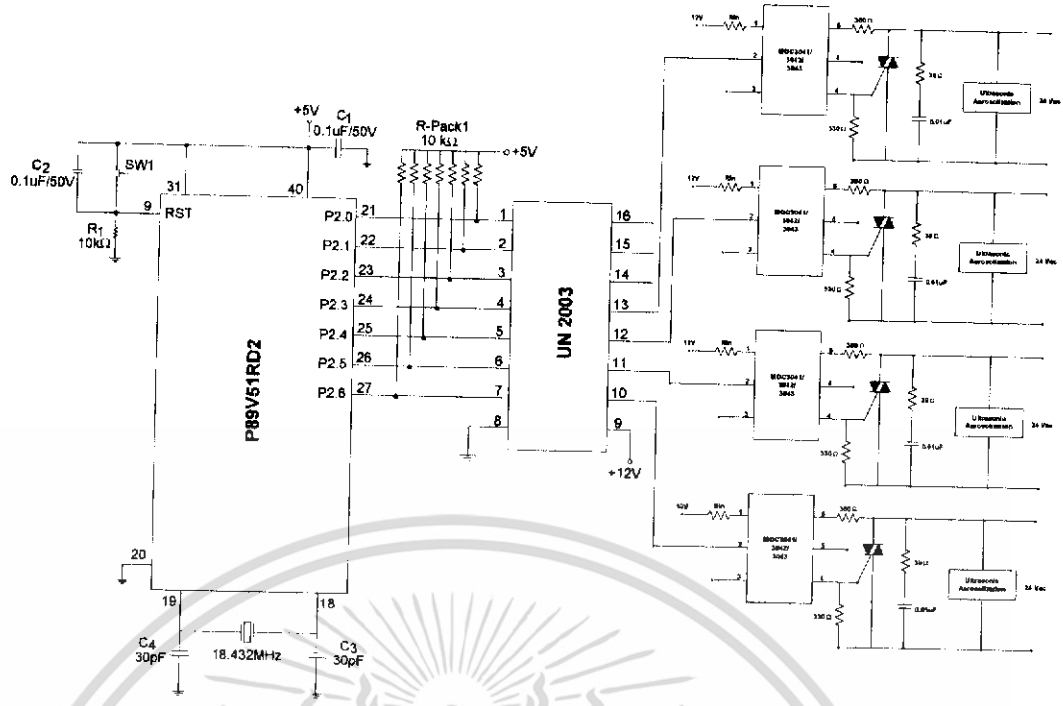
รูปที่ 3.18 วงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์แบบสองขั้ว



รูปที่ 3.17 วงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ผู้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

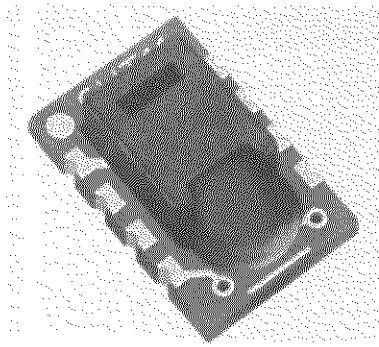


รูปที่ 3.19 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับอุปกรณ์ฟ้นละอองสารละลาย

3.4 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (SHT15)

3.4.1 คุณสมบัติของโมดูล เอส เอช ที 15 (SHT15)

- ทำหน้าที่เป็นทั้งตัววัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายใต้ตัวเดียวกัน
- สามารถกำหนดความละเอียดของย่านการวัดได้ 3 แบบ
 1. ความละเอียดข้อมูลที่มีประมวลผล 14 บิต เวลาที่ใช้ประมวลผล 210 มิลลิวินาที
 2. ความละเอียดข้อมูลที่มีประมวลผล 12 บิต เวลาที่ใช้ประมวลผล 55 มิลลิวินาที
 3. ความละเอียดข้อมูลที่มีประมวลผล 8 บิต เวลาที่ใช้ประมวลผล 11 มิลลิวินาที
- มีขนาดเล็กและใช้พลังงานต่ำ
- ทำงานในย่านแรงดันไฟเลี้ยง +2.4 โวลต์ถึง +5.5 โวลต์
- เสถียรภาพในการทำงานสูง



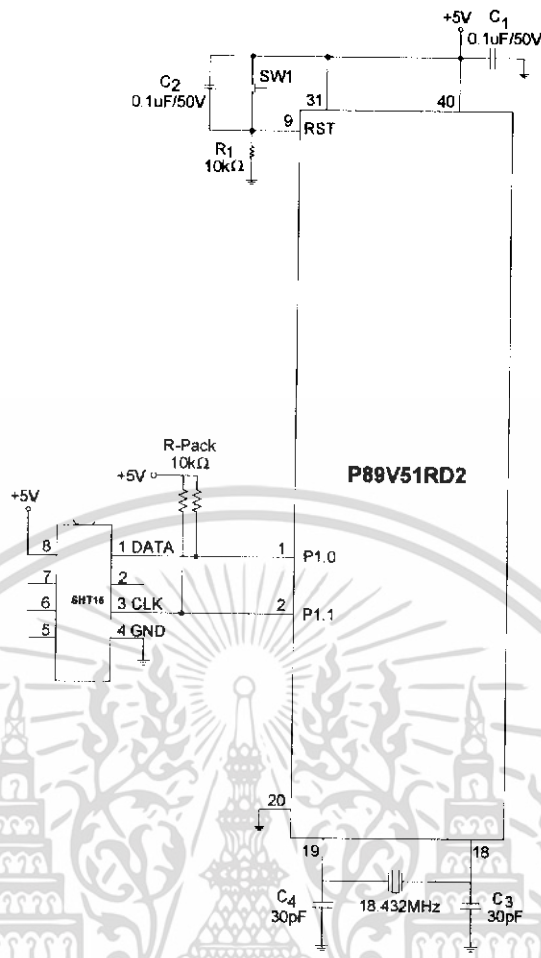
รูปที่ 3.20 โมดูล เอส เอช ที 15 (SHT15)

3.4.2 ขาสัญญาณสำหรับการสื่อสารข้อมูลของโมดูล เอส เอช ที 15 (SHT15)

- ขาสัญญาณนาฬิกา (SCK) ทำหน้าที่รับสัญญาณนาฬิกาเพื่อกำหนดจังหวะในการสื่อสารข้อมูล
- ขาสัญญาณรับและส่งข้อมูล (DATA) เป็นขาสัญญาณสำหรับรับและส่งข้อมูล

3.4.3 การสื่อสารข้อมูลของโมดูล เอส เอช ที 15 (SHT15)

- การสื่อสารข้อมูลจะเป็นแบบมาตรฐาน I²C
- เมื่อต้องการอ่านค่าอุณหภูมิ (Measure Temperature) จะส่งข้อมูลคำสั่ง “0000011” โดยโมดูล เอส เอช ที 15 (SHT15) จะเป็นตัวรับคำสั่ง
- เมื่อต้องการอ่านความชื้นสัมพัทธ์ (Measure Humidity) จะส่งข้อมูลคำสั่ง “00000101” โดยโมดูล เอส เอช ที 15 (SHT15) จะเป็นตัวรับคำสั่ง
- เมื่อทำการวัดอุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์เรียบร้อยแล้ว จะส่งข้อมูลกลับมาให้เป็นข้อมูล 16 บิต “00XXXXXXXXXXXXXX”



รูปที่ 3.21 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับโมดูล เอส เอช ที 15 (SHT15)

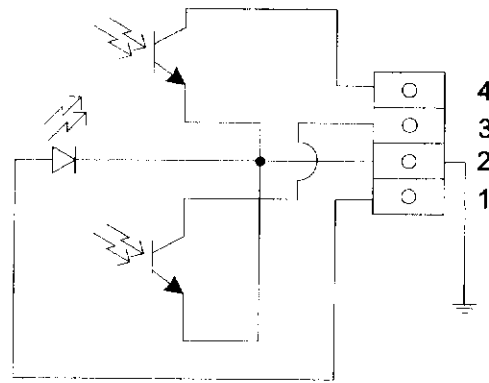
3.5 วงจรตรวจจับระดับน้ำและควบคุมระดับน้ำ

3.5.1 วงจรตรวจจับแสงสะท้อนอินฟราเรดและวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

3.5.1.1 วงจรตรวจจับแสงสะท้อนอินฟราเรด

ประกอบด้วย แอล อี ดี (LED) อินฟราเรดทำหน้าที่ส่งแสงอินฟราเรดไปกระทบพื้น และ โฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) จะทำหน้าที่รับแสงอินฟราเรดที่สะท้อนกลับมา ถ้าไม่มีแสงอินฟราเรดมากระทบโฟโตทรานซิสเตอร์ เอาท์พุทจะมีค่าแรงดันต่ำ

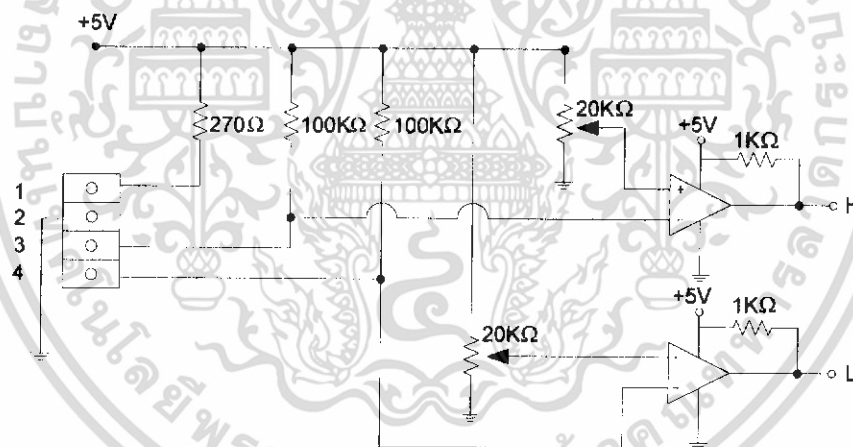
ในกรณีที่ได้รับแสงอินฟราเรด โฟโตทรานซิสเตอร์จะยอมให้กระแสไหลผ่านมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงที่ได้รับ โดยแรงดันเอาท์พุทจะอยู่ที่ 0.5 - 5 โวลต์และมีคอนเนคเตอร์ (Connector) เชื่อมต่อไปยังวงจรเปรียบเทียบแรงดัน วงจรแสดงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 วงจรตรวจจับแสงสะท้อนอินฟราเรด

3.5.1.2 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

เนื่องจากระดับแรงดันที่ได้จากวงจรตรวจจับแสงสะท้อนอินฟราเรดไม่เพียงพอที่จะกำหนดเป็นลอจิก 0 หรือลอจิก 1 ตามไอซีชนิดที่ทีแอลหรือซีมอสได้ จึงต้องมีการปรับระดับแรงดันโดยนำเอาที่พุดที่ได้จากวงจรตรวจจับแสงสะท้อนอินฟราเรดมาเข้าออปแอมป์เบอร์ LM324 เพื่อทำการเปรียบเทียบแรงดัน โดยแรงดันที่นำมาเปรียบเทียบจะมีค่า 0 โวลต์และ 5 โวลต์



รูปที่ 3.23 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

วงจรตรวจจับระดับน้ำมีเอาต์พุตเป็นข้อมูล 2 บิต แล้วส่งข้อมูลไปยังวงจรควบคุมระดับน้ำเพื่อทำการวิเคราะห์สั่งให้ปั้มน้ำทำงานหรือไม่

3.5.2 การออกแบบวงจรควบคุมระดับน้ำ

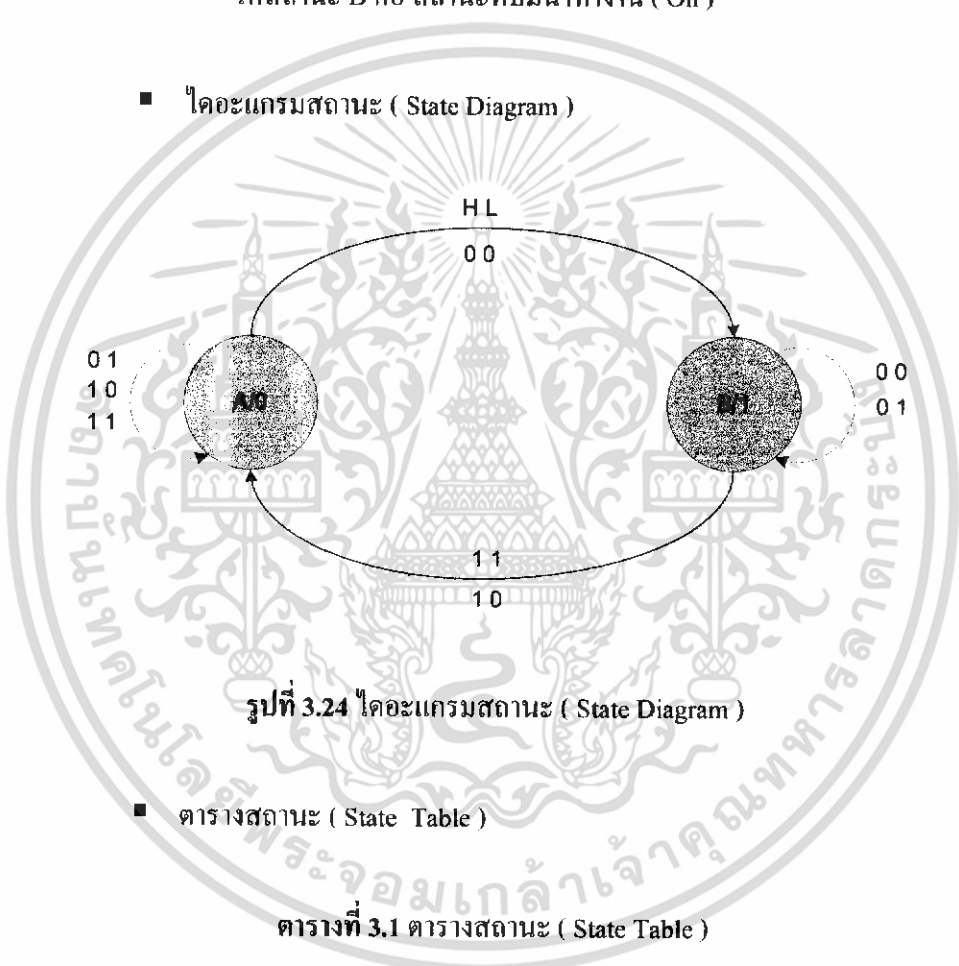
เมื่อระดับน้ำถึงระดับ “สูง” สถานะที่ขาสัญญาณของวงจรตรวจจับระดับน้ำด้วยแสง (วงจรเปรียบเทียบแรงดัน) จะอยู่ในสถานะลอจิก “11” เพื่อแสดงถึงระดับน้ำซึ่งอยู่ในระดับสูงสุดในกล่องทดลองปลูก เมื่อระดับน้ำถึงระดับ “ต่ำ” จะให้สถานะที่ขาสัญญาณของวงจรตรวจจับระดับน้ำด้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงจะอยู่ในสถานะลอจิก “00” ทำให้ปั๊มน้ำทำงานโดยเติมน้ำเข้าไปยังกล่องทดลองปลูก ปั๊มน้ำจะทำงานจนถึงระดับ “สูง” แล้วจึงหยุดทำงาน จากนั้นเมื่อระดับน้ำลงมาถึงระดับ “ต่ำ” อีกครั้ง ปั๊มน้ำจึงจะทำงานอีกโดยจะทำงานวนรูปแบบนี้ไปตลอด

3.5.2.1 การออกแบบวงจรควบคุมระดับน้ำโดยใช้ลอจิกเกตและฟลิปฟล็อป

การออกแบบวงจรควบคุมโดยใช้ลอจิกเกตและฟลิปฟล็อป มีขั้นตอนการออกแบบดังนี้

- กำหนดสถานะ (Design State)
 ให้สถานะ A คือ สถานะที่ปั๊มน้ำยังไม่ทำงาน (Off)
 ให้สถานะ B คือ สถานะที่ปั๊มน้ำทำงาน (On)
- ไลอะแกรมสถานะ (State Diagram)



รูปที่ 3.24 ไลอะแกรมสถานะ (State Diagram)

- ตารางสถานะ (State Table)

ตารางที่ 3.1 ตารางสถานะ (State Table)

Present State	Next State				Output
	0 0	0 1	1 1	1 0	
A	B	A	A	A	0
B	B	B	A	A	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ กำหนดสถานะ (State Assignments)

กำหนดให้สถานะ A เป็นลอจิก “0” และมีเอาต์พุตเป็นลอจิก “0”

กำหนดให้สถานะ B เป็นลอจิก “1” และมีเอาต์พุตเป็นลอจิก “1”

ตารางที่ 3.2 กำหนดสถานะ (State Assignments)

Present State	Next State				Output
	00	01	11	10	
0	1	0	0	0	0
1	1	1	0	0	1

■ สถานะต่อไปเทียบกับ Excitation table ของที ฟลิปฟล็อป

ตารางที่ 3.3 สถานะต่อไปเทียบกับ Excitation table ของที ฟลิปฟล็อป (T Flip-Flop)

Present State	Next State				Output
	00	01	11	10	
0	1	0	0	0	0
1	0	0	1	1	1

■ ทำการลดทอนนิพจน์ลอจิกโดยใช้แผนผังคาร์นอร์จ (Karnaugh Map)

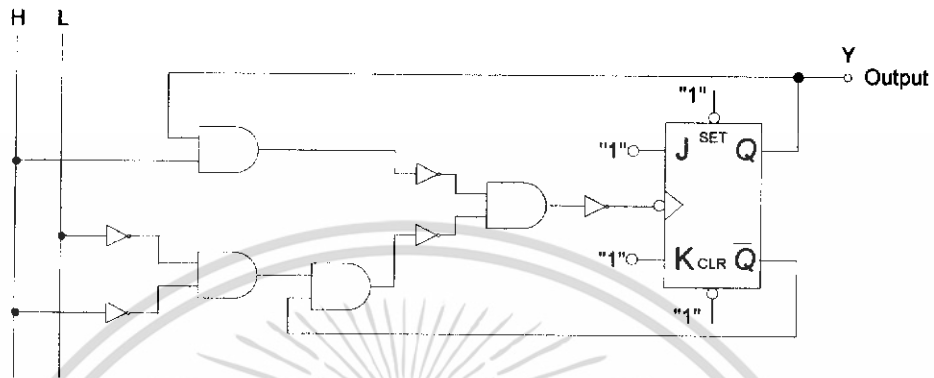
ตารางที่ 3.4 ทำการลดทอนนิพจน์ลอจิกโดยใช้แผนผังคาร์นอร์จ (Karnaugh Map)

HL Y	00	01	11	10
0	1	0	0	0
1	0	0	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{เอาต์พุต} = \overline{H} \overline{L} \overline{Y} + H Y$$

- ผลลัพธ์จากการลดรูปโดยใช้แผนผังคาร์น็อจมาเขียนเป็นวงจร



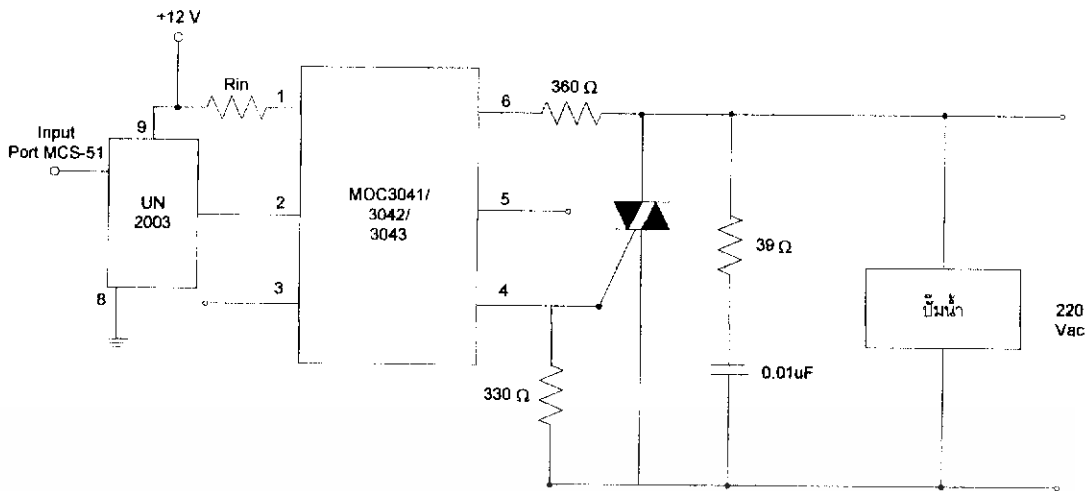
รูปที่ 3.25 วงจรควบคุมระดับน้ำโดยใช้ลอจิกเกตและฟลิปฟล็อป

3.5.3 วงจรสวิตช์โดยใช้ไครเอค

3.5.3.1 คุณสมบัติพื้นฐานของไครเอคมีดังนี้

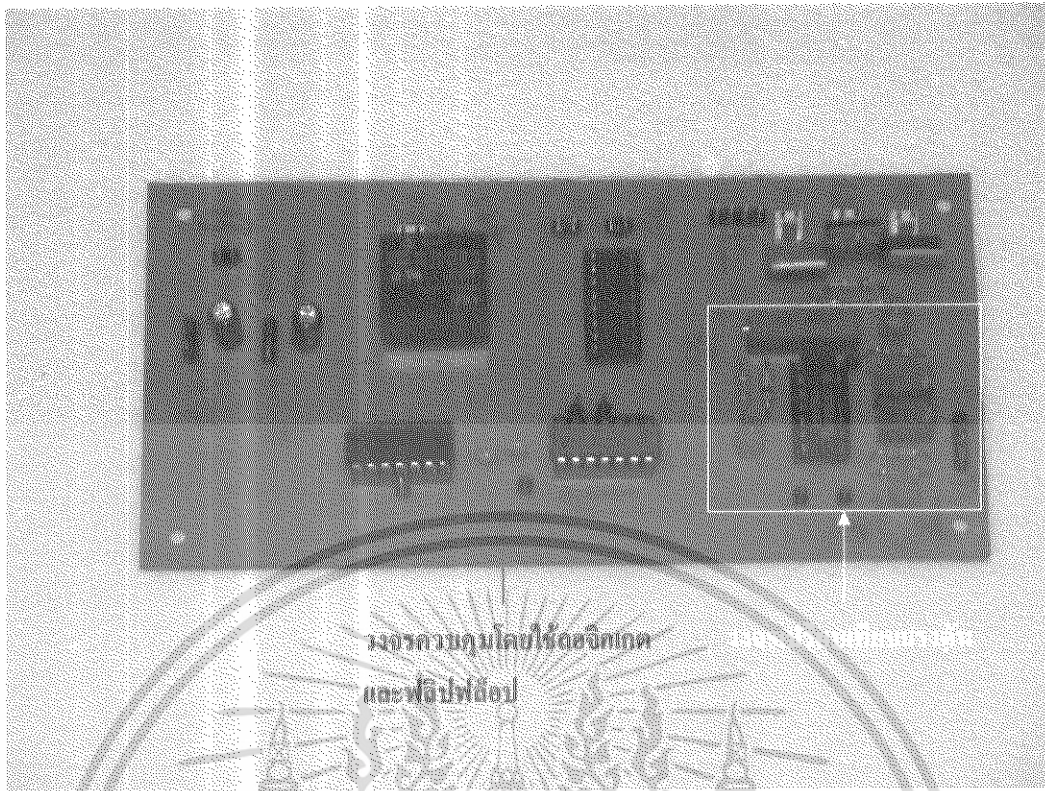
- ปกติไม่มีสัญญาณทริกที่ขาเกต ไครเอคจะไม่ทำงาน โดยจะมีลักษณะเหมือนกับสวิตช์ที่ถูกเปิดวงจร
- ถ้าในกรณีที่ขา MT1 และ MT2 ถูกป้อนด้วยแรงดันบวกและลบตามลำดับ ไครเอคจะถูกกระตุ้นให้ทำงานได้โดยการป้อนสัญญาณพัลส์เพียงสั้นๆที่ขาเกตของมัน โดยจะมีแรงดันตกคร่อมตัวมันมีค่าประมาณ 1 หรือ 2 โวลต์เท่านั้นและก็เช่นกันคือเมื่อ ไครเอคเริ่มทำการทำงานอยู่เช่นนั้นต่อไปเรื่อยๆราบเท่าที่ยังมีกระแสไหลผ่านตัวมันอย่างต่อเนื่อง
- หลังจากไครเอคคงสภาพการทำงานอยู่นั้น ทางเดียวที่จะหยุดการทำงานลงได้โดยการลดปริมาณกระแสที่ไหลผ่านตัวมันลงให้มีค่าต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้งของมัน ในกรณีที่ไครเอคในการจ่ายกระแสไฟสลับ การหยุดทำงานจะเกิดขึ้นอย่างอัตโนมัติเมื่อแรงดันของไฟสลับเข้าใกล้จุดตัดศูนย์ที่เกิดขึ้นทุกๆครึ่งคลื่นนั่นคือกระแสจะลดลงเป็นศูนย์
- ไครเอคถูกกระตุ้นให้ทำงานได้ทั้งสัญญาณแบบบวกและลบที่ป้อนให้แก่ขาเกต โดยไม่คำนึงถึงขั้วที่ต่ออยู่ที่ขา MT1 และ MT2
- ไครเอคสามารถทนการกระชากของกระแสได้สูง เช่นโดยปกติสำหรับไครเอคที่ทนกระแสปกติได้ 10 แอมแปร์ สามารถทนการกระชากของกระแสในช่วงหนึ่ง คาบเวลาของไฟ 60 เฮิรตซ์ได้สูงถึง 100 แอมแปร์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 วงจรสวิทช์ปั๊มน้ำ

ขาอินพุทของวงจรสวิทช์ปั๊มน้ำจะถูกต่อกับขาเอาต์พุทของวงจรควบคุมระดับน้ำเพื่อควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำ โดยการควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ไตรแอกจะนำกระแสเหมือนเป็นสวิทช์ปิด ถ้าหยุดจ่ายแรงดันให้แก่ขาเกต ไตรแอกจะหยุดนำกระแสเหมือนเป็นสวิทช์เปิด

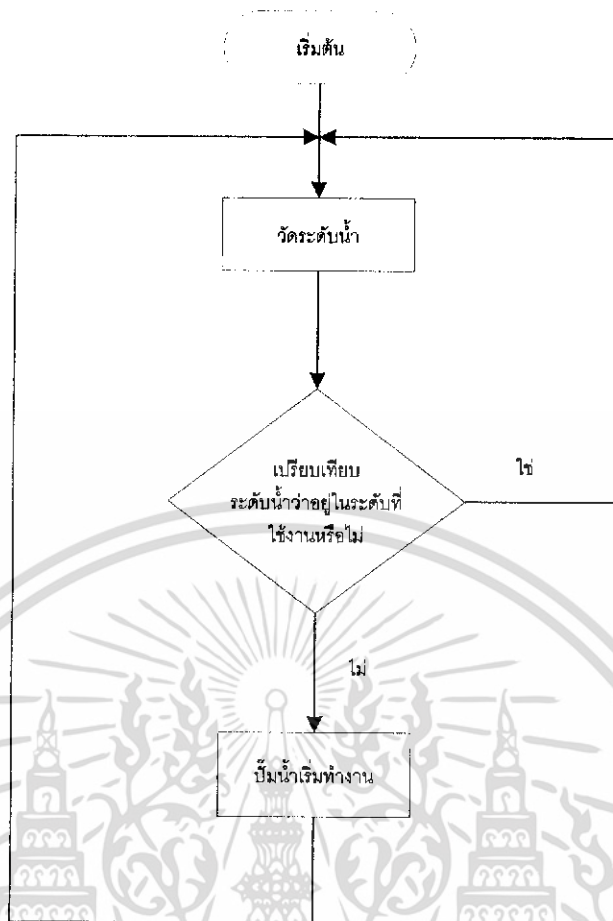


วงจรถามคุณโดยใช้อัตโนมัติ
และพีอีพีดีเอช

เมื่อเป็นขั้วที่เชื่อมสาย



ภาพรูปที่ 3.27 วงจรตรวจระดับน้ำและควบคุมระดับน้ำ



รูปที่ 3.28 โฟลว์ชาร์ทการทำงานของปั้มน้ำ

3.6 หลักการออกแบบและการควบคุมอุณหภูมิ

ในสภาวะอากาศของประเทศไทยที่มีสภาพอากาศร้อนชื้นอุณหภูมิอยู่ที่ 28 - 35 องศาเซลเซียส แต่การปลูกพืชแบบแอโร โพนิกส์ ต้องการอุณหภูมิที่ราว 18 - 25 องศาเซลเซียส ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิ โดยไม่ต้องคำนึงถึงการเพิ่มอุณหภูมิจึงทำการลดอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว

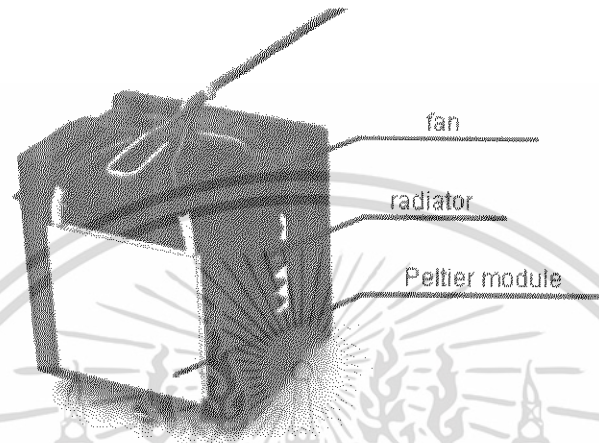
3.6.1 โครงสร้างและระบบแลกเปลี่ยนความร้อน

ใช้ลดอุณหภูมิของสารละลาย ซึ่งเป็นของเหลวก่อนที่จะถูกทำให้เป็นหมอกส่งขึ้นไปยังรากพืชซึ่งจะทำให้อากาศที่รากพืชมีอุณหภูมิลดลง สามารถติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริก โมดูลเพื่อใช้ดึงความร้อนออกจากน้ำ โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก (รุ่น TEC1-12710) จำนวนทั้งหมด 3 โมดูล ติดตั้งอยู่ระหว่างกล่องทดลองปลูกกับฮีทซิงค์ที่ใช้ระบายความร้อน โดยคุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริก โมดูลที่ใช้มีดังนี้

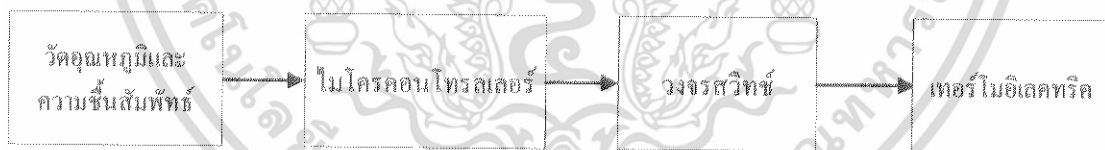
- แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (Vmax) เท่ากับ 15.2 โวลต์
- กระแสไฟฟ้าสูงสุด (Imax) เท่ากับ 10.5 แอมแปร์
- อุณหภูมิสูงสุด (Tmax) เท่ากับ 66 องศาเซลเซียส
- พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทได้สูงสุด (Qmax) เท่ากับ 85 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบแลกเปลี่ยนความร้อนจะใช้เทอร์โมอิเล็กทริกดึงความร้อนออกจากสารละลายภายในกล่องทดลองปลูกโดยติดตั้งด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกเข้ากับด้านในของกล่องทดลองปลูก เพื่อดึงความร้อนออกจากสารละลาย แล้วระบายความร้อนผ่านฮีทซิงค์ที่ติดตั้งพัดลมความเร็วรอบสูงทำให้ถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น



รูปที่ 3.29 โครงสร้างระบบแลกเปลี่ยนความร้อนของกล่องทดลองปลูก



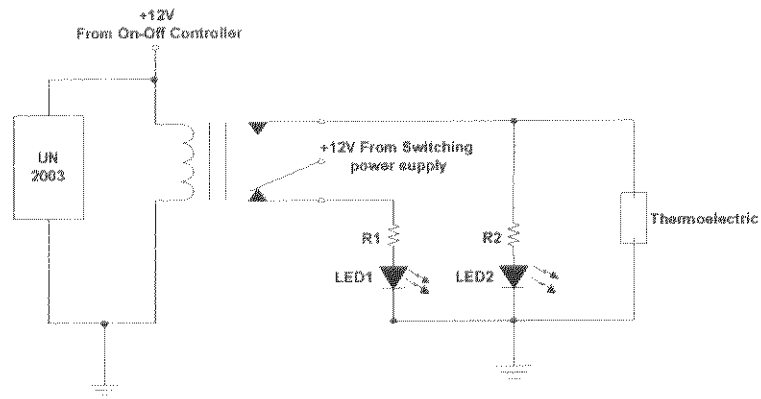
รูปที่ 3.30 ไคอะแกรมระบบควบคุมอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

โมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แล้วส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์

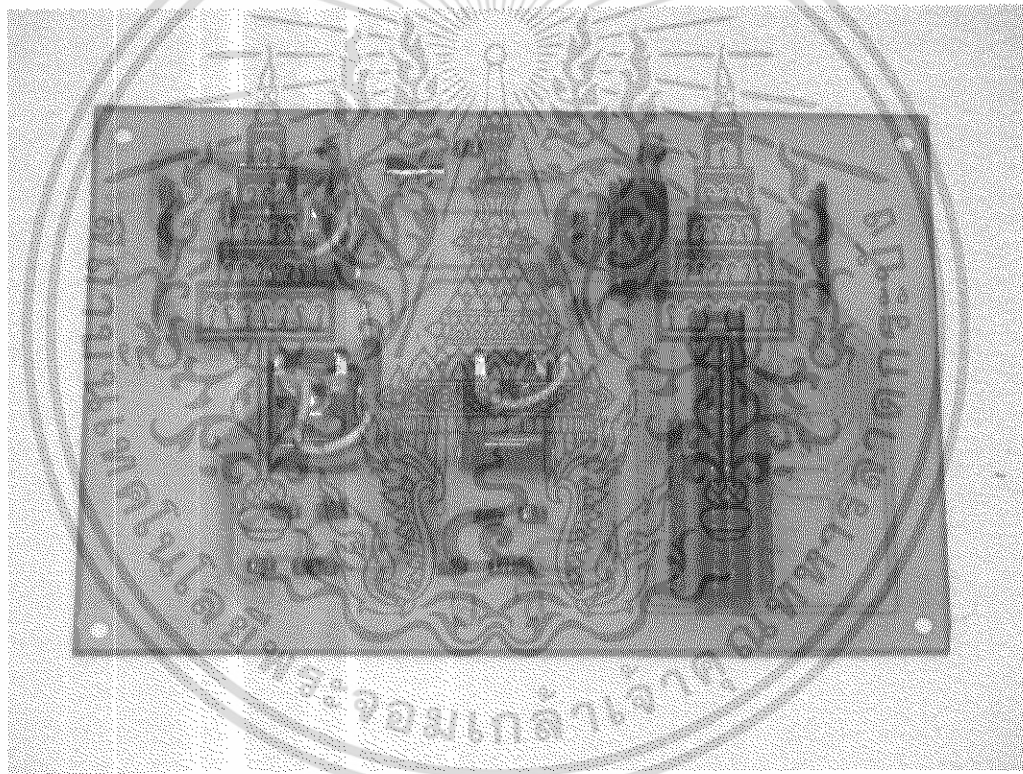
ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่ประมวลผลตัดสินใจว่าอุณหภูมิอยู่ในระดับที่พืชต้องการหรือไม่ แล้วจะส่งลอจิกไปยังวงจรถิวซ์

วงจรถิวซ์ เมื่อได้รับลอจิก “1” (แรงดัน 5 โวลต์) ผ่าน UN2003 จะจ่ายแรงดันไฟฟ้า +12 โวลต์ให้รีเลย์โดยจะส่งให้รีเลย์จ่ายแรงดันไฟฟ้า +12 โวลต์ให้แก่วงจรเทอร์โมอิเล็กทริก

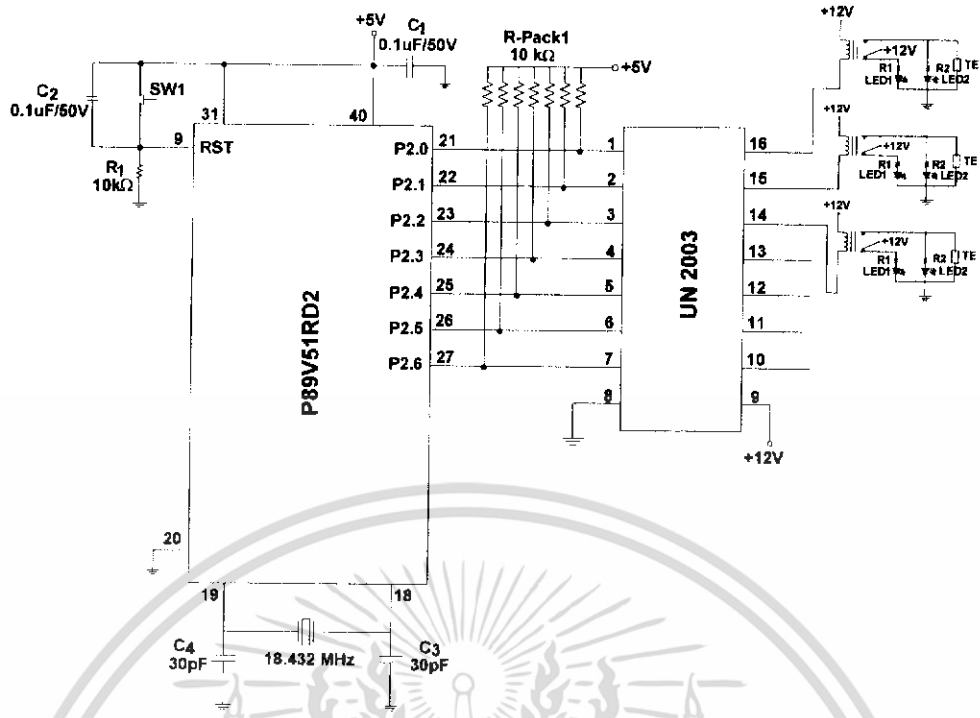
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.31 วงจรสวิทช์ของอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก



รูปที่ 3.32 วงจรควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก



รูปที่ 3.33 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

3.7 คำอธิบายในส่วนของไฟล์การทำงานของหน่วยประมวลผลกลาง

3.7.1 รับค่าข้อมูลอุณหภูมิของพีชที่นำมาปลุกจากคอมพิวเตอร์มายังไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยส่งผ่านคอมพิวเตอร์

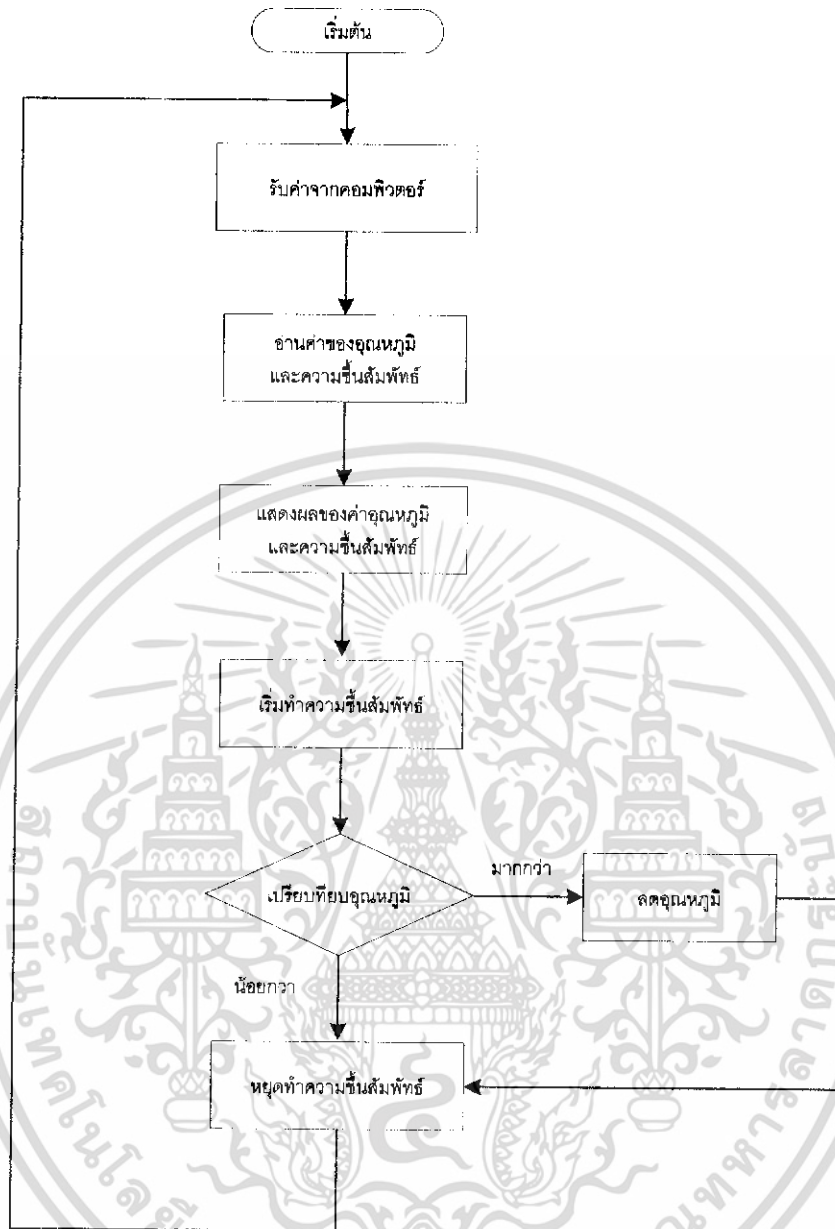
3.7.2 อ่านค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แสดงผลจอคอมพิวเตอร์

3.7.3 ทำความชื้นสัมพัทธ์โดยอุตุตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ ทำหน้าที่เพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่องทดลองปลุก

3.7.4 ตรวจสอบค่าอุณหภูมิปัจจุบันกับอุณหภูมิที่พีชต้องการ

3.7.4.1 อุณหภูมิปัจจุบันมากกว่าจะทำการลดอุณหภูมิ โดยสั่งให้อุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกทำงาน

3.7.4.2 อุณหภูมิปัจจุบันน้อยกว่าจะหยุดลดอุณหภูมิ โดยสั่งให้อุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกหยุดทำงาน

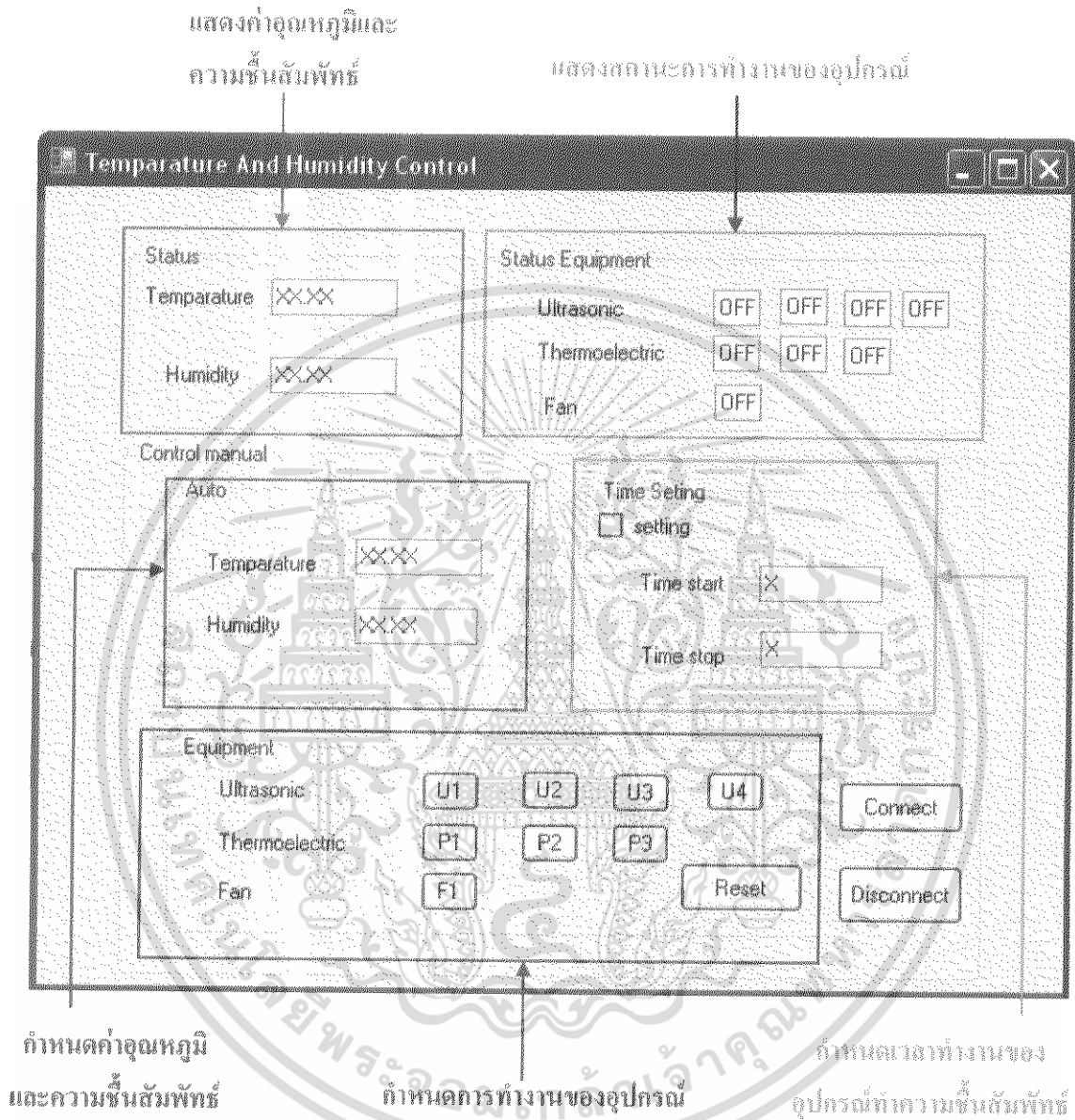


รูปที่ 3.34 โฟลว์ชาร์ทการทำงานของหน่วยประมวลผลกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 หน้าจอแสดงผลและใช้งาน

โปรแกรม Temperature and Humidity Control



รูปที่ 3.35 หน้าจอแสดงผลและใช้งาน

3.8.1 ส่วนแสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เป็นส่วนที่แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่องทดลองปลูก โดยจะรับค่ามาจากอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (SHT 15) ที่ติดตั้งอยู่ภายในกล่องทดลองปลูก

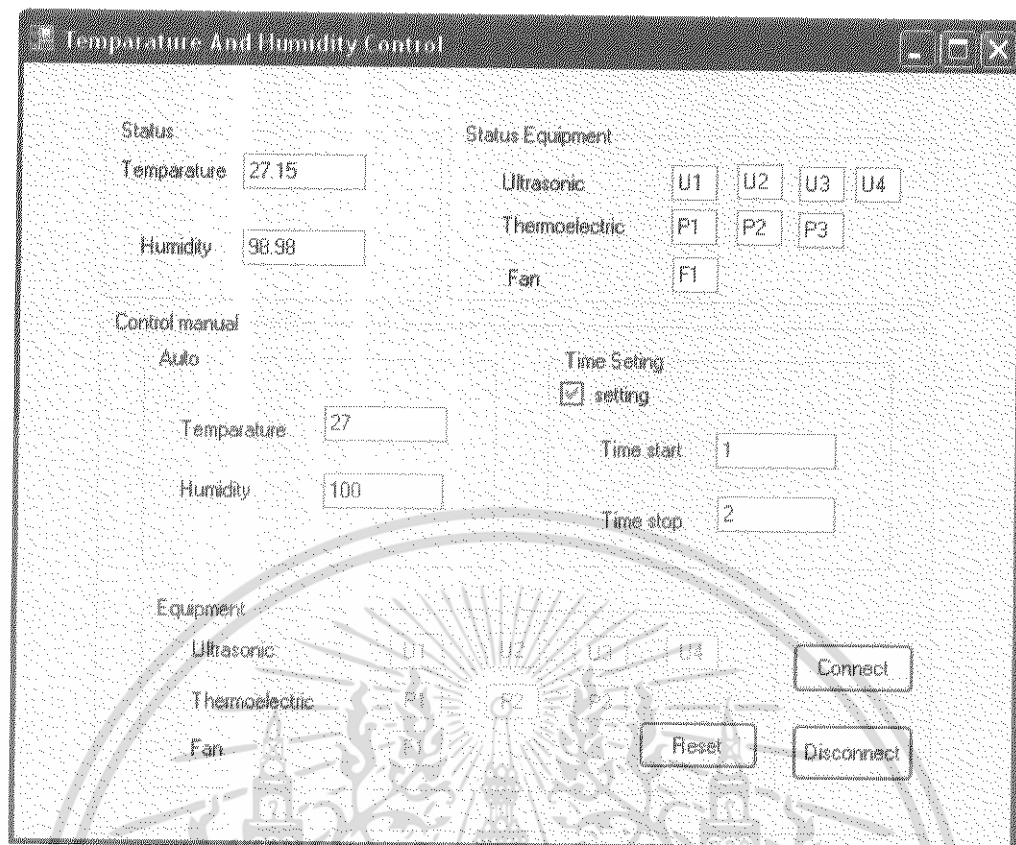
3.8.2 ส่วนแสดงสถานการณ์ทำงานของอุปกรณ์ เป็นส่วนที่แสดงการทำงานของอุปกรณ์ที่อยู่ภายในกล่องทดลองปลูก ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์อัลตราโซนิค ทรานสดิวเซอร์, อุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกและพัดลมเป่าอากาศ

3.8.3 ส่วนกำหนดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เป็นส่วนของการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่องทดลองปลูก เพื่อให้พืชได้รับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม

3.8.4 ส่วนกำหนดเวลาทำงานของอุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์ เป็นส่วนของการควบคุมเวลาในการเริ่มต้นและหยุดการทำงานของอุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์อัลตราโซนิค ทรานสดิวเซอร์

3.8.5 ส่วนกำหนดการทำงานของอุปกรณ์ เป็นส่วนของการกำหนดสถานะการทำงานของอุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์อัลตราโซนิค ทรานสดิวเซอร์, อุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก และพัดลมเป่าอากาศ

เมื่อเริ่มต้นการทำงานของอุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์อัลตราโซนิค ทรานสดิวเซอร์, อุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกและพัดลมเป่าอากาศ หน้าจอแสดงผลและการใช้งานจะแสดงดังรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 หน้าจอแสดงผลและใช้งาน (ขณะใช้งาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 ระดับความสูงของสารละลายที่มีผลต่อการผลิตความชื้นสัมพัทธ์

4.1.1 วัตถุประสงค์

ทดสอบระดับความสูงของสารละลายอาหารพืช ที่มีผลต่อการผลิตความชื้นสัมพัทธ์ด้วยอุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ เพื่อหาระดับความสูงของสารละลายอาหารพืชที่อุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์ด้วยอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์สามารถผลิตความชื้นสัมพัทธ์ได้ดีที่สุด

4.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

4.1.2.1 อุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

4.1.2.2 สารละลายอาหารพืช

4.1.2.3 ภาชนะบรรจุสารละลายอาหารพืชขนาด 5 ลิตร

4.1.2.4 ภาชนะผสมสารละลายอาหารพืช

4.1.2.5 พัดลมเป่าอากาศ

4.1.2.6 ไม้นรรัต

4.1.2.7 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล

4.1.2.8 นาฬิกาจับเวลา

4.1.3 ลำดับขั้นตอนการทดลอง

4.1.3.1 เตรียมสารละลายอาหารพืชปริมาตร 4 ลิตร ซึ่งน้ำหนักและวัดความสูงของสารละลายอาหารพืช บันทึกค่า



รูปที่ 4.1 การชั่งน้ำหนักสารละลายอาหารพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.2 ติดตั้งอุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์เข้ากับภาชนะบรรจุสารละลายอาหารพืชขนาด 5 ลิตร



รูปที่ 4.2 การติดตั้งอุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

4.1.3.3 ติดตั้งพัดลมเป่าอากาศเข้ากับภาชนะบรรจุสารละลายอาหารพืชขนาด 5 ลิตร

4.1.3.4 เปิดการทำงานของอุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์และพัดลมเป่าอากาศ



รูปที่ 4.3 การทำงานของอุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์และพัดลมเป่าอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.5 จับเวลา 3 นาทีแล้วหยุดการทำงานอุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์
อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์และพัดลมเป่าอากาศ

4.1.3.6 วัดความสูงและชั่งน้ำหนักของสารละลายอาหารพืช บันทึกค่า

4.1.3.7 ทำซ้ำจากข้อ 4 - 6 จนครบ 1 ชั่วโมง 54 นาที

4.1.3.8 ทำการพล็อตกราฟเปรียบเทียบปริมาณต่อความสูงของสารละลายอาหารพืช

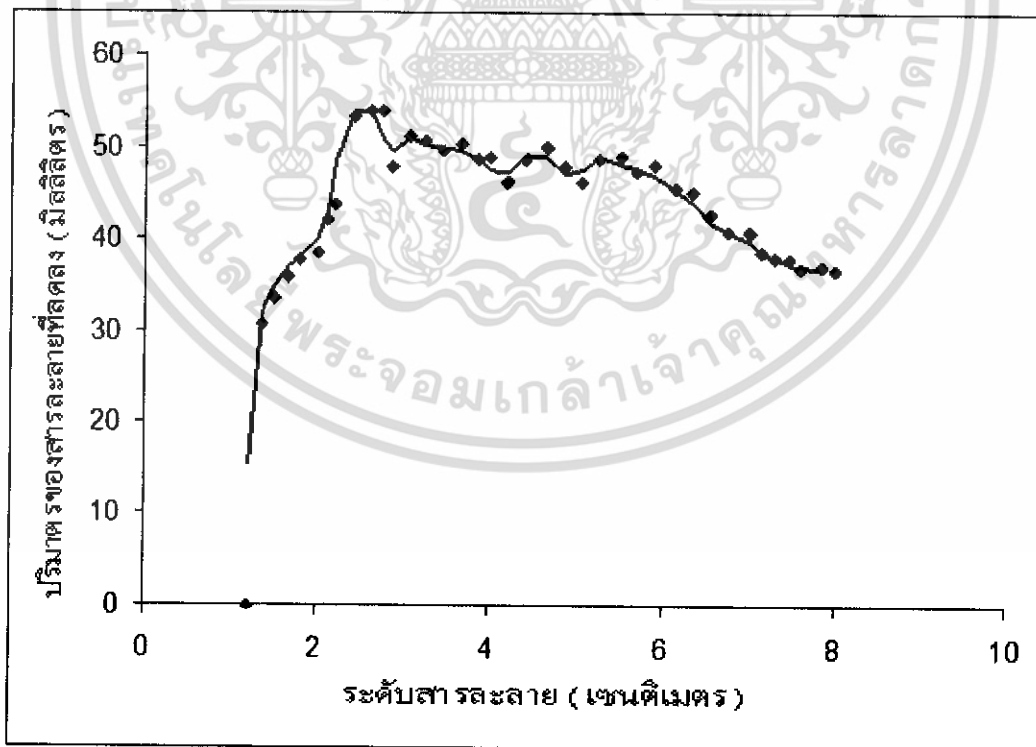
4.1.4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบระดับความสูงที่ลดลงของสารละลายอาหารพืช

ระดับสารละลาย (เซนติเมตร)	สารละลายตกลงที่ความสูง (มิลลิเมตร)
8.00	36.42
7.85	37.02
7.60	36.66
7.45	37.78
7.30	38.04
7.15	38.67
7.00	40.70
6.75	40.614
6.55	42.69
6.35	45.04
6.15	45.60
5.90	48.09
5.70	47.20
5.50	48.89
5.25	48.70
5.05	46.25
4.85	47.83
4.65	49.86
4.40	48.50
4.20	46.06
4.00	48.93
3.85	48.59
3.65	50.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับสารละลาย (เซนติเมตร)	สารละลายลดลงที่ความสูง (มิลลิเมตร)
3.45	49.60
3.25	50.58
3.05	51.25
2.85	47.85
2.75	53.93
2.60	53.91
2.40	53.39
2.20	43.59
2.10	41.91
2.00	38.39
1.80	37.76
1.65	35.96
1.50	33.67
1.35	30.62
1.20	0.00



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบปริมาณต่อความสูงของสารละลายอาหารพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

4.2.1 วัตถุประสงค์

ทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกในการทำความเย็น โดยลดอุณหภูมิของสารละลายต่อเวลา เพื่อหาจำนวนของอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่เหมาะสมในการติดตั้งในกล่องทดลองปลูกตามที่ต้องการ

4.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

4.2.2.1 อุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

4.2.2.2 สารละลายอาหารพืช

4.2.2.3 ภาชนะบรรจุสารละลาย

4.2.2.4 ภาชนะผสมสารละลายอาหารพืช

4.2.2.5 เทอร์โมมิเตอร์

4.2.2.6 นาฬิกาจับเวลา

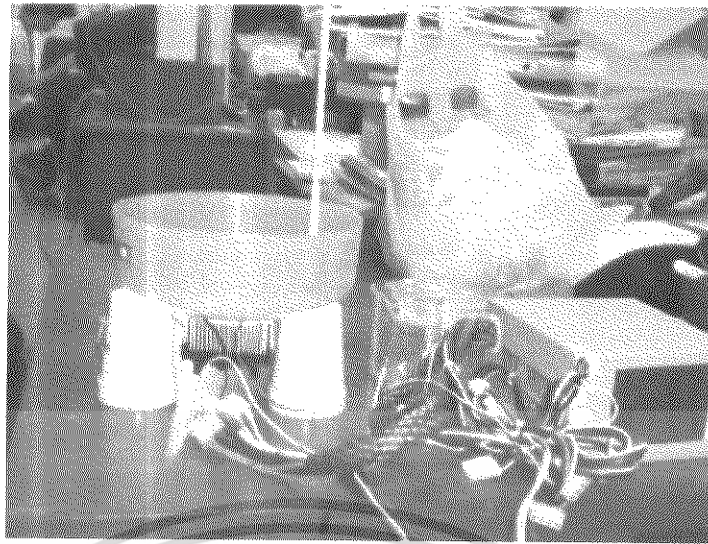
4.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

4.2.3.1 ติดตั้งอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกและเทอร์โมมิเตอร์เข้ากับภาชนะบรรจุสารละลาย



รูปที่ 4.5 การติดตั้งอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 การติดตั้งอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกและเทอร์โมมิเตอร์

4.2.3.2 ผสมสารละลายอาหารฟิชปริมาณ 0.8 ลิตร



รูปที่ 4.7 สารละลายอาหารฟิชที่ผสมแล้ว

- 4.2.3.3 ใส่น้ำสารละลายในภาชนะบรรจุสารละลายและอ่านค่าอุณหภูมิ บันทึกค่า
- 4.2.3.4 เปิดการทำงานของอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก
- 4.2.3.5 จับเวลาทุก 30 วินาทีแล้วอ่านค่าอุณหภูมิ บันทึกค่า
- 4.2.3.6 ทำซ้ำไปจนครบเวลา 30 นาที
- 4.2.3.7 ทำการพล็อตกราฟเปรียบเทียบระหว่างเวลาที่ใช้ไปกับอุณหภูมิที่ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ผลการทดลอง

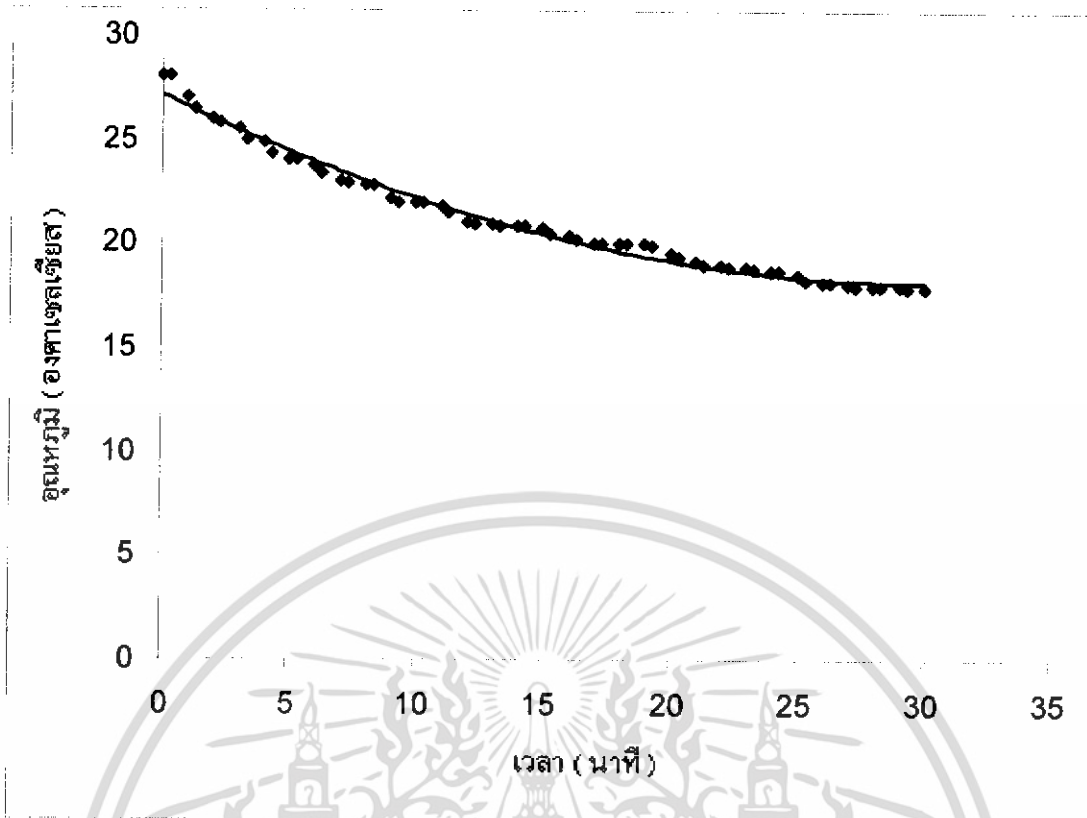
ตารางที่ 4.2 เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของสารละลายอาหารพืช

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
0.0	28.0
0.3	28.0
1.0	27.0
1.3	26.5
2.0	26.0
2.3	25.8
3.0	25.5
3.3	25.0
4.0	24.9
4.3	24.3
5.0	24.0
5.3	24.0
6.0	23.8
6.3	23.4
7.0	23.0
7.3	22.9
8.0	22.8
8.3	22.8
9.0	22.2
9.3	22.0
10.0	22.0
10.3	22.0
11.0	21.8
11.3	21.5
12.0	21.1
12.3	21.0
13.0	21.0
13.3	20.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
14.0	20.9
15.3	20.5
16.0	20.4
16.3	20.2
17.0	20.0
17.3	20.0
18.0	20.0
18.3	20.0
19.0	20.0
19.3	19.9
20.0	19.6
20.3	19.4
21.0	19.2
21.3	19.0
22.0	19.0
22.3	18.9
23.0	18.9
23.3	18.8
24.0	18.7
24.3	18.7
25.0	18.5
25.3	18.3
26.0	18.2
26.3	18.2
27.0	18.1
27.3	18.0
28.0	18.0
28.3	18.0
29.0	18.0
29.3	17.9
30.0	17.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบระหว่างเวลาที่ใช้ไปกับอุณหภูมิที่ลดลง

4.3 การทดลองที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

4.3.1 วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ว่าสามารถทำงานได้ตามคำสั่งของผู้ใช้งานหรือไม่

4.3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

4.3.2.1 กล่องทดลองปลูก

4.3.2.2 สารละลายอาหารพืช

4.3.2.3 อุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก

4.3.2.4 อุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์อัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์

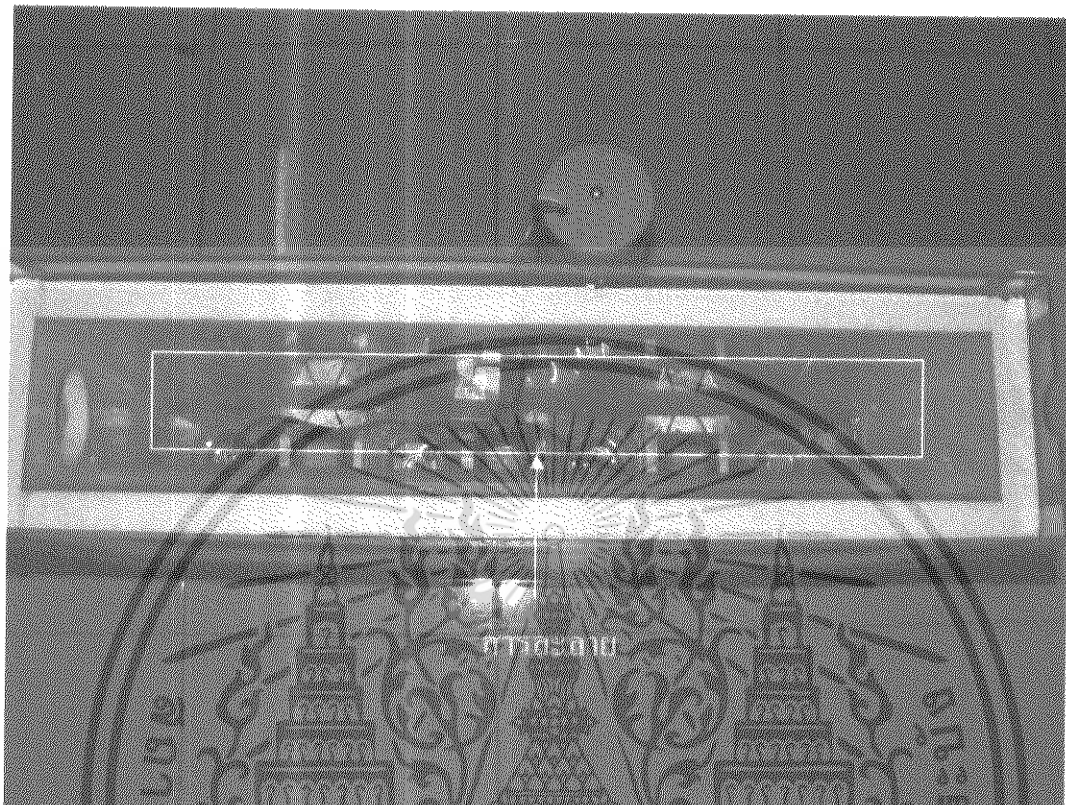
4.3.2.5 วงจรควบคุม

4.3.2.6 คอมพิวเตอร์

4.3.3 ขั้นตอนการทดลอง

4.3.3.1 เตรียมสารละลายอาหารพืชปริมาณ 3 ลิตร

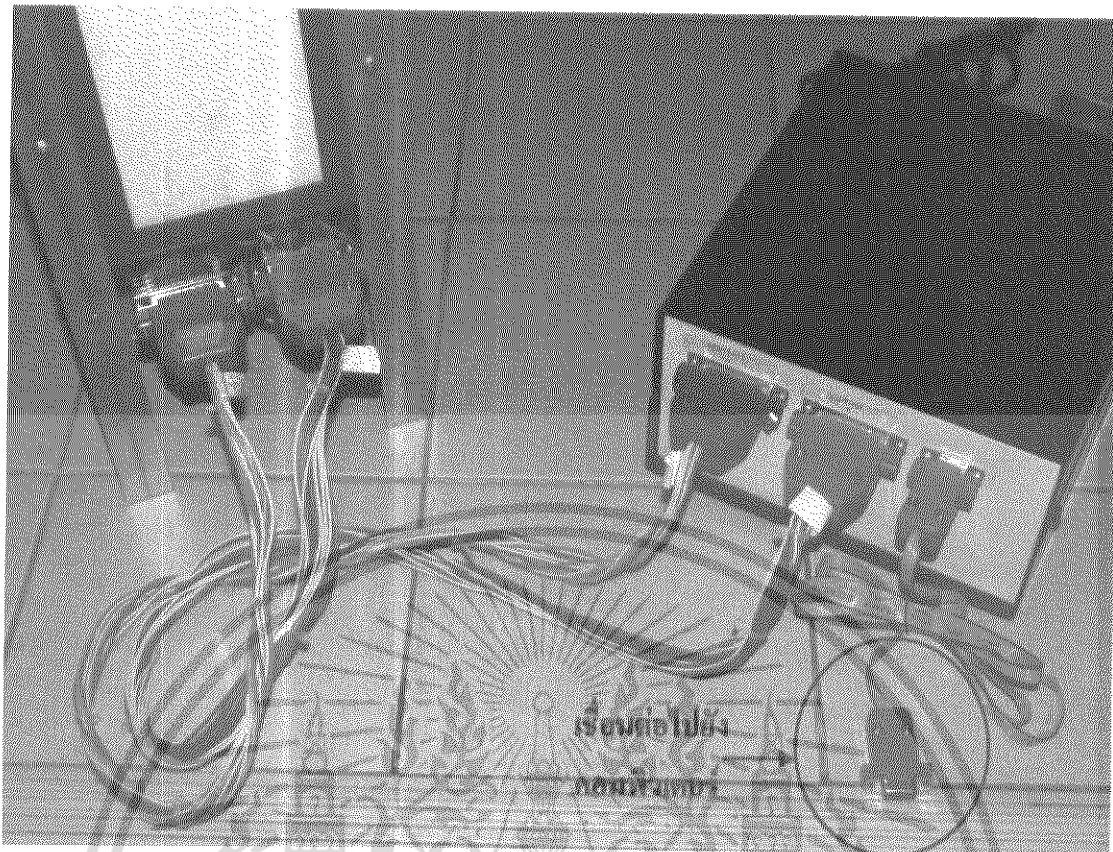
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 เตรียมสารละลายอาหารพืช

4.3.3.2 เชื่อมต่ออุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกและอุปกรณ์ผลิตความชื้น
สัมพัทธ์อุลตราโซนิกทรานส์ดีวเซอร์ภายในกล่องหอดสองปลุกเข้ากับวงจรควบคุม

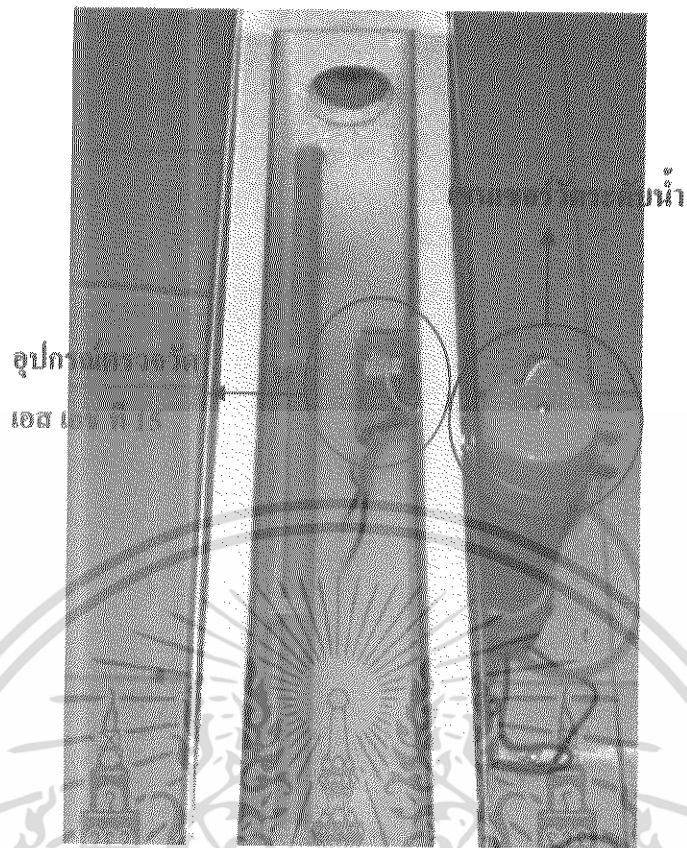
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



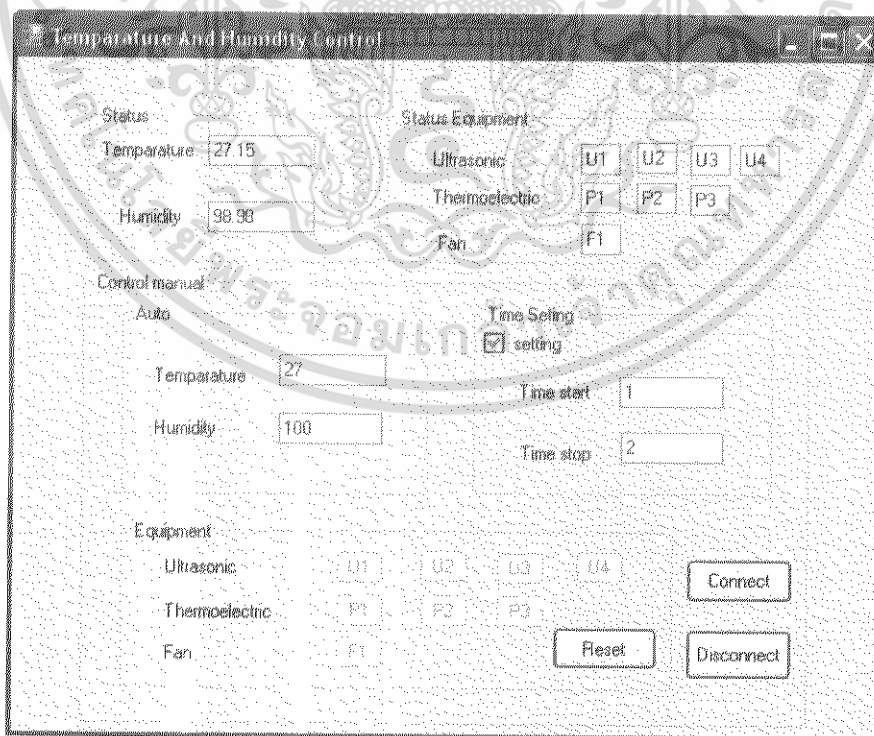
รูปที่ 4.10 เชื่อมต่ออุปกรณ์ทำความเย็นและอุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์
ภายในกล่องทดลองปลุกเข้ากับวงจรควบคุม

4.3.3.3 เชื่อมต่อวงจรควบคุมดังกล่าว ไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการควบคุมอุณหภูมิและ
ความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่องทดลองปลุก

4.3.3.4 เปิดการทำงานของอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกและอุปกรณ์ผลิต
ความชื้นสัมพัทธ์อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์



รูปที่ 4.11 การทำงานของอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก และอุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์



รูปที่ 4.12 การแสดงผลของค่าที่ได้จากการทดลอง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.5 บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

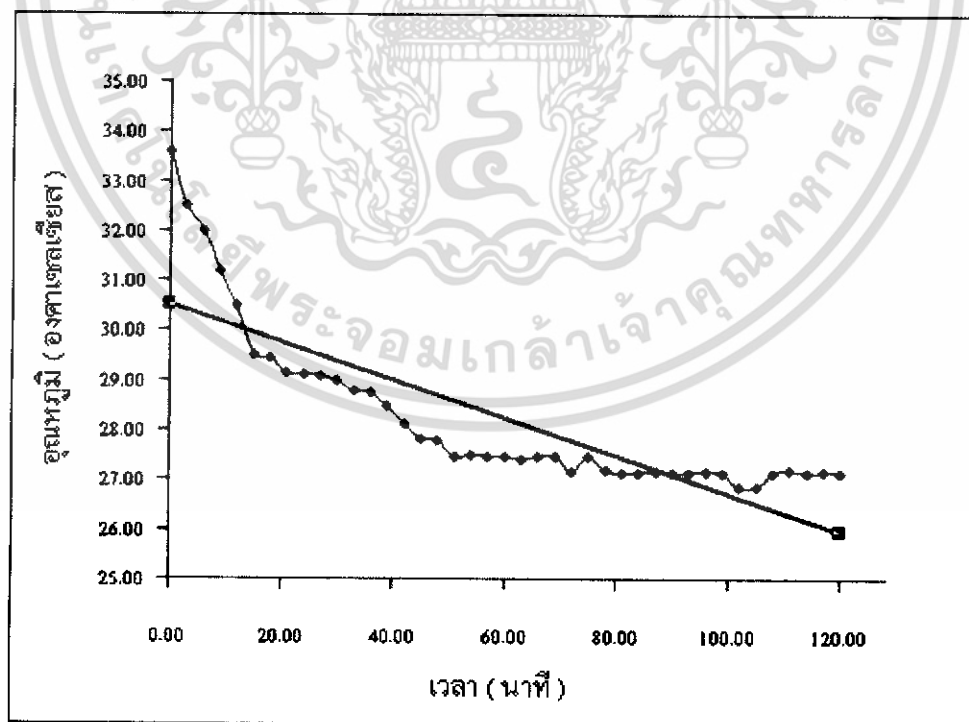
4.3.3.6 ทำการพล็อตกราฟ

4.3.4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่องทดลองปลูก

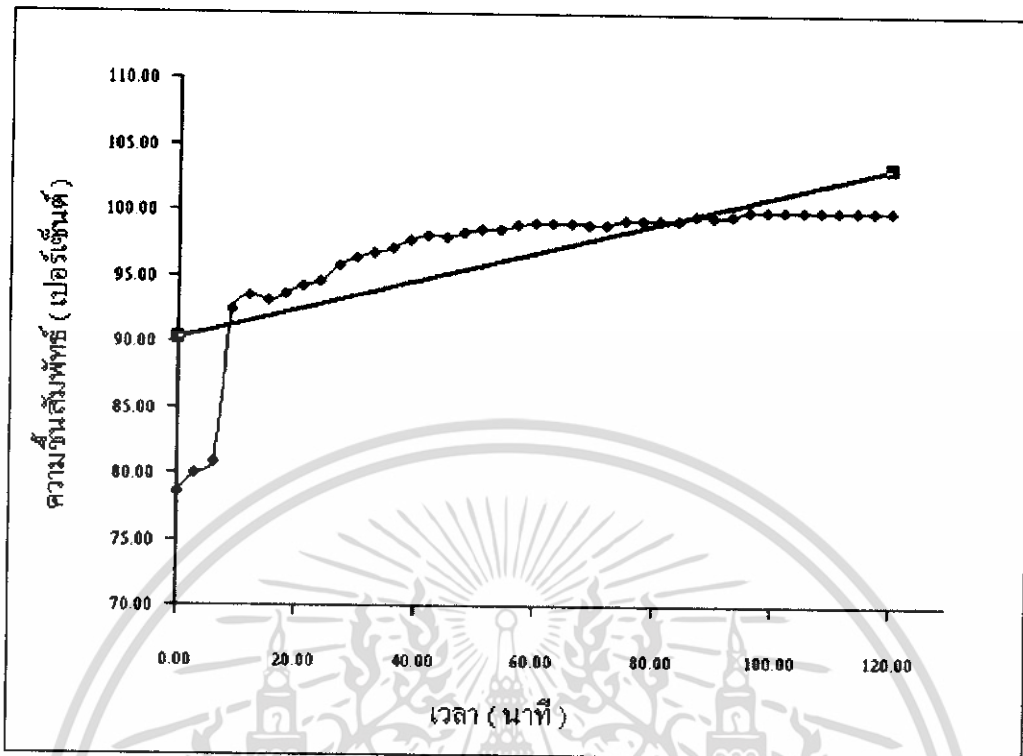
เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)
0.00	33.60	78.60
3.00	32.52	80.00
6.00	32.00	80.90
9.00	31.20	92.41
12.00	30.50	93.45
15.00	29.49	93.09
18.00	29.43	93.57
21.00	29.15	94.24
24.00	29.11	94.63
27.00	29.07	95.76
30.00	29.00	96.39
33.00	28.79	96.77
36.00	28.75	97.12
39.00	28.47	97.67
42.00	28.11	98.02
45.00	27.82	97.96
48.00	27.78	98.37
51.00	27.46	98.60
54.00	27.50	98.61
57.00	27.47	98.96
60.00	27.46	99.00
63.00	27.40	98.98
66.00	27.46	99.01
69.00	27.46	98.96
72.00	27.15	98.97
75.00	27.46	99.33

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)
78.00	27.18	99.28
81.00	27.14	99.27
84.00	27.14	99.27
87.00	27.15	99.64
90.00	27.14	99.57
93.00	27.14	99.63
96.00	27.15	99.95
99.00	27.14	100.00
102.00	26.86	99.96
105.00	26.86	99.94
108.00	27.14	99.99
111.00	27.18	100.00
114.00	27.14	99.95
117.00	27.15	99.98
120.00	27.14	100.00



รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบระหว่างเวลากับอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบระหว่างเวลากับความชื้นสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป

5.1 สรุปผลการทดลองที่ 1

จากการทดลองเมื่อปล่อยคลื่นอุลตราโซนิคในระดับความลึกของสารละลายที่ความลึกแตกต่างกันนั้นเราสามารถนำมาวิเคราะห์ได้ดังนี้คือ เมื่อปล่อยคลื่นอุลตราโซนิคในความลึกของสารละลายตั้งแต่ 0 - 1.2 เซนติเมตรนั้น ปรากฏว่าไม่สามารถผลิตความขึ้นสัมพัทธ์ได้เลย เนื่องจากอุปกรณ์ผลิตความขึ้นสัมพัทธ์อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์นั้นปล่อยคลื่นในย่านความถี่ 1.7 เมกะเฮิรตซ์เป็นลำเส้นตรงทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่ของคลื่นที่ผ่านสารละลายมีระยะทางสั้นเกินไป ทำให้โมเลกุลของสารละลายนั้นเกิดการสั่นสะเทือนและเคลื่อนที่ด้วยความเร่งน้อยกว่าแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้อนุภาคของสารละลายไม่สามารถหลุดออกจากผิวของสารละลายเกิดเป็นละอองสารละลายได้

เมื่อเพิ่มระดับของสารละลายให้สูงกว่า 1.2 เซนติเมตรขึ้นไป ปรากฏว่าสามารถผลิตความขึ้นสัมพัทธ์ได้ เนื่องจากคลื่นอุลตราโซนิคความถี่ 1.7 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นคลื่นเหนือเสียงส่งผ่านสารละลายที่เป็นของเหลว ความถี่ดังกล่าวทำให้โมเลกุลของสารละลายเกิดการสั่นสะเทือนและเคลื่อนที่ด้วยความเร่งสูงมากกว่าแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้อนุภาคของสารละลายหลุดออกจากผิวของสารละลายเกิดเป็นละอองสารละลายมีขนาด 2 - 4 ไมครอน

จากกราฟเราสามารถสังเกตได้ว่าความลึกในแต่ละระดับของสารละลายนั้น อุปกรณ์ผลิตความขึ้นสัมพัทธ์อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ผลิตความขึ้นได้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความลึกของสารละลาย ถ้ายิ่งลึกมากจะผลิตความขึ้นสัมพัทธ์ได้น้อยลงเรื่อยๆ เนื่องจากกำลังงานของคลื่นที่ลดน้อยลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นของสารละลาย ทำให้อนุภาคของสารละลายหลุดออกจากผิวของสารละลายน้อยลงจนถึงระดับหนึ่งที่มีโมเลกุลของสารละลายนั้นเกิดการสั่นสะเทือน แต่โมเลกุลของสารละลายเคลื่อนที่ด้วยความเร่งน้อยกว่าแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้อนุภาคของสารละลายไม่สามารถหลุดออกจากผิวของสารละลายเกิดเป็นละอองสารละลาย จากการทดลองนั้นพบว่าอุปกรณ์ผลิตความขึ้นสัมพัทธ์อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์สามารถผลิตความขึ้นสัมพัทธ์ได้ดีที่สุดในช่วงความลึกของสารละลายที่ระดับ 2.2 - 6.0 เซนติเมตร

5.2 สรุปผลการทดลองที่ 2

จากการทดลองทดสอบประสิทธิภาพอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นพบว่า ในการลดอุณหภูมิของสารละลายปริมาตร 600 มิลลิลิตรต่ออุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก 1 ตัว ปรากฏว่าอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถลดอุณหภูมิของสารละลายลงได้ จากอุณหภูมิปกติของสารละลายคือ 28 องศาเซลเซียส ณ อุณหภูมิห้องถึง 18 องศาเซลเซียสจะใช้เวลาทั้งหมด 27.30 นาที โดยการลดอุณหภูมิในช่วง 28 - 22.2 องศาเซลเซียสสามารถลดอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็วโดยใช้เวลาน้อยมากเพียง 9 นาทีและในการลดอุณหภูมิช่วง 22.2 - 19 องศาเซลเซียสนั้นจะใช้เวลาเพิ่มขึ้นและในช่วงการลดอุณหภูมิ 19 - 17.9 องศาเซลเซียสนั้นจะต้องใช้เวลามากกว่าในช่วงอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 74 ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการทดลองจึงสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพการทำความเย็นของอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของสารละลาย ถ้าอุณหภูมิของสารละลายเข้าใกล้อุณหภูมิของอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกจะลดอุณหภูมิลงได้ช้ากว่าในช่วงที่อุณหภูมิของสารละลายแตกต่างกับอุณหภูมิของอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกมาก นอกจากนี้ประสิทธิภาพการทำความเย็นของอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกจะมากหรือน้อยนั้น ยังขึ้นอยู่กับความสามารถในการระบายความร้อนของอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่สามารถระบายความร้อนได้มากน้อยเพียงใด ถ้ายังมีระบบระบายความร้อนที่ดีก็จะทำให้สามารถทำความเย็นได้มากขึ้น

จากการทดลองนั้นเราสามารถออกแบบจำนวนอุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกในจำนวนที่เหมาะสมที่จะนำมาติดตั้งในกล่องทดลองปลูก ซึ่งมีปริมาตรสารละลายสูงสุด 1.838 ลิตร โดยจะติดตั้งทั้งหมด 3 ตัว ซึ่งจะทำให้สามารถปรับอุณหภูมิได้ตามต้องการและไม่สามารถติดตั้งได้มากกว่านี้ เนื่องจากจะทำให้อุณหภูมิของสารละลายเปลี่ยนแปลงเร็วเกินไปจนส่งผลเสียกับพืชที่นำมาปลูกเพราะพืชจะปรับตัวไม่ทันนั่นเอง

5.3 สรุปผลการทดลองที่ 3

จากการทดลองเราจะพบว่าต้องใช้เวลา 30 นาทีจึงจะสามารถผลิตความชื้นสัมพัทธ์ได้ 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นความชื้นสัมพัทธ์ที่พืชต้องการและจะใช้เวลาทั้งหมด 69 นาทีจึงจะสามารถผลิตความชื้นสัมพัทธ์ได้ตามที่ตั้งค่าเอาไว้คือ 99 เปอร์เซ็นต์ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเกิน 99 เปอร์เซ็นต์จะหยุดการทำงานของอุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ลดลงจนมีค่าต่ำกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ วงจรควบคุมจะเริ่มดำเนินการทำงานของอุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ โดยจะควบคุมให้อุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ทำงาน 1 นาทีและหยุดทำงาน 2 นาทีและจะส่งค่าความชื้นสัมพัทธ์มาแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์

ในส่วนของอุณหภูมินั้นได้มีการตั้งค่าอุณหภูมิภายในกล่องทดลองปลูกไว้ที่ 27 องศาเซลเซียส ซึ่งในการทดลองจะใช้เวลาทั้งหมด 72 นาทีจึงจะสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามที่ตั้งค่าเอาไว้ เมื่อควบคุมอุณหภูมิภายในกล่องทดลองปลูกได้ตามต้องการแล้ว วงจรควบคุมจะควบคุมให้อุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกรักษาอุณหภูมินี้ไว้ตลอด

ในกาทดลองเราสามารถทราบค่าอุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์และสถานะการทำงานของอุปกรณ์ผลิตความชื้นสัมพัทธ์อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์, อุปกรณ์ทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกและพัดลมเป่าอากาศได้จากหน้าจอแสดงผลและใช้งานที่คอมพิวเตอร์

หนังสืออ้างอิง

ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์, “ปลุกพืชโดยไม่ใช้ดิน”, กรุงเทพมหานคร, พรานนกการพิมพ์, พ.ศ. 2534
นพดล เรียบเลิศหิรัญ, “การปลุกพืชไร้ดิน”, กรุงเทพมหานคร, รั้วเขียว, พ.ศ. 2538
อานนท์ อากาภิรม, “ไฮโดรโปนิกส์ เทคนิคการปลุกพืชไร้ดิน”
นคร ภักดีชาติและชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, “ทดลองและใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51
ด้วยโปรแกรมภาษา C ฉบับ P89V51RD2”, กรุงเทพมหานคร, บริษัท อินโนเดฟ เอ็กเพอริเมนต์
จำกัด, พ.ศ. 2546
รศ.สมยศ จุณณปิยะ, “การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51”, สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พิมพ์ครั้งที่ 5, พ.ศ. 2546



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <REG51F.h>
#include <intrins.h>
#define MEASURE_TEMP 0x03
#define MEASURE_HUMI 0x05
#define TEMP 0
#define HUMI 1
#define C1-4.0
#define C2 0.0405
#define C3-020000028
#define T1 0.01
#define T2 0.00008
sbit bit 103=P1^3;
sbit DATA = P1^0;
sbit SCK = P1^1;
code unsigned char dat[]="0123456789ABCDEF./-";
unsigned int counter = 0;
unsigned int A ; /
unsigned int L ;
unsigned int C ;
unsigned int D ;
unsigned int E ;
unsigned int F ;
unsigned int G ;
unsigned int t ;
unsigned int h ;
unsigned int Y = 33;
unsigned int K = 75;
unsigned char U = 0X30;
unsigned char OUTP2=0;
unsigned char OUTP3=0;
unsigned char OUTT=0;
char th ;

/*****Function for delay a few time *****/
void wait()
{
    char x;
    for(x=8;x<8;x++)
        _nop_();
}
void delay(unsigned int tick)
{
    unsigned int i,j;
    for(i=0;i<tick;i++)
        for(j=0;j<200;j++);
}
/*****SHT11 initial transmission start function *****/
void transmission_start(void)
{
    DATA = 1;
    SCK = 0;
    wait();
    SCK = 1;
    wait();
    DATA = 0;
    wait();
    SCK = 0;
    wait();
    SCK = 1;
    wait();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    DATA = 1;
    wait();
    SCK = 0;
}

/***** SHT11 connection reset sequence function *****/
void connection_reset()
{
    unsigned char i;
    DATA = 1;
    SCK = 0;
    for(i=0;I<9;i++)
    {
        SCK = 1;
        wait();
        SCK = 0;
    }
    transmission_start();
}
/*****SHT11 writing command function *****/
void sht11_write(unsigned char value)
{
    unsigned char i;
    connection_reset();
    DATA = 0 ;
    wait();
    for(i=0x80;i>0;i/=2)
    {
        if(i & value)
            DATA = 1;
        else
            DATA = 0;
        SCK = 1;
        wait();
        SCK = 0;
    }
    DATA = 0;
    SCK = 1;
    wait();
    SCK = 0;
    DATA = 1;
}
/*****SHT11 reading command function *****/
char sht11_read()
{
    unsigned char i,value;
    DATA = 1;
    for(i=0x80;i>0;i/=2)
    {
        SCK = 1;

        if(DATA)
            value = value | i;
        SCK = 0;
    }
    DATA = 0;
    SCK = 1;
    wait();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    SCK = 0;
    DATA = 1;
    return(value);
}
/*****SHT11 readout data function (2 byte)*****/
int sht11_read_measure(unsigned char measure_sel)
{
    int value3;
    unsigned char value,value2;
    if(measure_sel==TEMP)
    {
        sht11_write(MEASURE_TEMP);
        delay(300);
    }

    else if(measure_sel==HUMI)
    {
        Sht11_write(MEASURE_HUMI);
        Delay(300);
    }
    value = sht11_read();
    value3= value;
    value3<<=8;
    value2=sht11_read();
    value3=value3+value2;
    connection_reset();
    return(value3);
}
/**Function for convert data from sht11 to float value **/
float read_HT_float(unsigned char measure_sel)
{
    float so_rh,
           so_t,
           TEMP,
           Rh_true,
           rh_linear,
           rh_true,
           temp;

    so_rh = sht11_read_measure(HUMI);
    so_t = sht11_read_measure(TEMP);
    temp = so_t*0.01-40;
    rh_linear = C1+C2*so_rh + C3*so_rh*so_rh ;
    rh_true = (temp-25)*(T1+T2*so_rh)+rh_linear;
    TEMP = temp*100;
    Rh_true = rh_true*100;
    if(measure_sel==TEMP)
    {
        return(TEMP);
    }

    else if(measure_sel==HUMI)
    {
        return(Rh_true);
    }
}
void TXSERIER(unsigned char TX)
{
    TI = 0;
    SBUF = TX;
    while(~TI);
    TI = 0;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/***** TXSERLIER *****/
void TXSERIER(unsigned char TX)
{
    TI = 0;
    SBUF = dat[TX];
    while(~TI);
    TI = 0;
}
/***** RXSERLIER *****/
unsigned char RXSERIER()
{ unsigned char value;
  while(~RI);
  RI = 0;
  value = SBUF;
  return(value);
}
/***** Main Program *****/
void main()
{
    TMOD = 0X21;
    SCON = 0X50;
    PCON = 0X00;
    TH1= 0XFB;
    TL1= 0XFB;
    RI = 0;
    TI = 0;
    TR1=1;
    TH0=0XC3;
    TL0=0Xff;
    TF0=0;
    TR0=1;
    While(1)
    {
        P2=U ;
        t = (int)read_HT_float(TEMP);
        h = (int)read_HT_float(HUMI);
        th = t/100;
        TXSERIER2(th) ;
        th = t%100;
        TXSERIER2(th) ;
        th = h/100;
        TXSERIER2(th) ;
        th = h%100;
        TXSERIER2(th) ;
        TXSERIER2(U) ;
        U = RXSERIER() ;
    }
}
/*****/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.IO.Ports;
using System.Drawing.Imaging;
namespace RS232
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        SerialPort port;
        float s_statusU = 0;
        float s_statusP = 0;
        float s_statusF = 0;
        float s_statusT = 0;

        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
            port = new SerialPort("COM2", 9600, Parity.None, 8,
StopBits.One);
            port.Open();
        }
        private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
        {
            timer1.Interval = 1400;
        }
        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
        }

        private void exitToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
        {
            this.Close();
        }

        private void saveToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
        {
        }

        private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            timer1.Enabled = true;
        }
        private void Timer_program(object sender, EventArgs e)
        {
            float temp,temp2,temp_t,status_time;
            float hum, hum2,hum_t,status=0;
            byte[] send_data;
            send_data = new byte[1];
            send_data[0] = (byte)(52);
            byte[] re_data;
            re_data = new byte[6];
            port.Read(re_data,0, 5);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

temp = (float)(re_data[0]);
temp2 = (float)(re_data[1]) / 100;
temp = temp + temp2;
textBox1.Text = temp.ToString();
hum = (int)(re_data[2]);
hum2 = (float)(re_data[3]) / 100;
hum = hum + hum2;
textBox2.Text = hum.ToString();
float s_show;
s_show = (float)(re_data[4]);
if (s_show >= 128)
{
    textBox14.Text = "F1";
    s_show = s_show - 128;
}
else
{
    textBox14.Text = "OFF";
}
if (s_show >= 64)
{
    textBox7.Text = "U4";
    s_show = s_show - 64;
}
else
{
    textBox7.Text = "OFF";
}
if (s_show >= 32)
{
    textBox8.Text = "U3";
    s_show = s_show - 32;
}
else
{
    textBox8.Text = "OFF";
}
if (s_show >= 16)
{
    textBox9.Text = "U2";
    s_show = s_show - 16;
}

else
{
    textBox9.Text = "OFF";
}
if (s_show >= 8)
{
    textBox10.Text = "U1";
    s_show = s_show - 8;
}
else
{
    textBox10.Text = "OFF";
}
if (s_show >= 4)
{
    textBox11.Text = "P3";
    s_show = s_show - 4;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
else
{
    textBox11.Text = "OFF";
}
if (s_show >= 2)
{
    textBox12.Text = "P2";
    s_show = s_show - 2;
}
else
{
    textBox12.Text = "OFF";
}

if (s_show >= 1)
{
    textBox13.Text = "P1";
    s_show = s_show - 1;
}
else
{
    textBox13.Text = "OFF";
}
if (textBox3.Text != "" && textBox4.Text != "" &&
s_statusT == 0)
{
    hum_t = int.Parse(textBox4.Text);
    temp_t = int.Parse(textBox3.Text);
    if (hum_t > hum)
    {
        status = status + s_statusU ;
    }
    else
    {
    }
    if (temp_t < temp)
    {
        status = status + s_statusP ;
    }
    else
    {
    }
    status = status + s_statusF;
}
}

```

```

if (s_statusT == 1)
{
    if (textBox5.Text == "" && textBox6.Text == "")
    {
        MessageBox.Show("กรุณารอกเวลาให้ครบ");
    }
    else
    {
        int time2;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        time2 = int.Parse(textBox5.Text);
        time2 = time2 * 60*1000;
        timer2.Interval = time2;
        timer2.Enabled = true ;
        s_statusT = 2;
    }
}
if (s_statusT == 2)
{
    temp_t = int.Parse(textBox3.Text);
    if (temp_t < temp)
    {
        status = status + s_statusP ;
    }
    status = status + s_statusU + s_statusF;
}
if (s_statusT == 3)
{
    temp_t = int.Parse(textBox3.Text);
    if (temp_t < temp)
    {
        status = status + s_statusP + s_statusF;
    }
}
else
{
    status = 0;
}
}
send_data[0] = (byte) (status);
port.Write(send_data, 0, 1);
}
private void Timer2_program(object sender, EventArgs e)
{
    int time3;
    time3 = int.Parse(textBox6.Text);
    time3 = time3 * 60*1000;
    timer3.Interval = time3;
    timer3.Enabled = true;
    timer2.Enabled = false;
    if (s_statusT == 0)
        s_statusT = 0;
    else
        s_statusT = 3;
}
private void Timer3_program(object sender, EventArgs e)
{
    timer2.Enabled = false;
    timer3.Enabled = false;
    if (s_statusT == 0)
        s_statusT = 0;
    else
        s_statusT = 1;
}
private void checkBox1_CheckedChanged(object sender,
EventArgs e)
{
    button1.Enabled = true;
    button3.Enabled = true;
    button4.Enabled = true;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        button5.Enabled = true;
        button7.Enabled = true;
        button8.Enabled = true;
        button9.Enabled = true;
        button10.Enabled = true;
    }
    private void button11_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        button1.Enabled = true;
        button3.Enabled = true;
        button4.Enabled = true;
        button5.Enabled = true;
        button7.Enabled = true;
        button8.Enabled = true;
        button9.Enabled = true;
        button10.Enabled = true;
        s_statusU = 0;
        s_statusP = 0;
        s_statusF = 0;
    }

    private void button1_Click_1(object sender, EventArgs e)
    {
        button1.Enabled = false;
        s_statusU = s_statusU + 8;
    }
    private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        button3.Enabled = false;
        s_statusU = s_statusU + 16;
    }

    private void button4_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        button4.Enabled = false;
        s_statusU = s_statusU + 32;
    }
    private void button5_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        button5.Enabled = false;
        s_statusU = s_statusU + 64;
    }
    private void button7_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        button7.Enabled = false;
        s_statusP = s_statusP + 1;
    }
    private void button8_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        button8.Enabled = false;
        s_statusP = s_statusP + 2;
    }
    private void button9_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        button9.Enabled = false;
        s_statusP = s_statusP + 4;
    }
    private void button10_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        button10.Enabled = false;

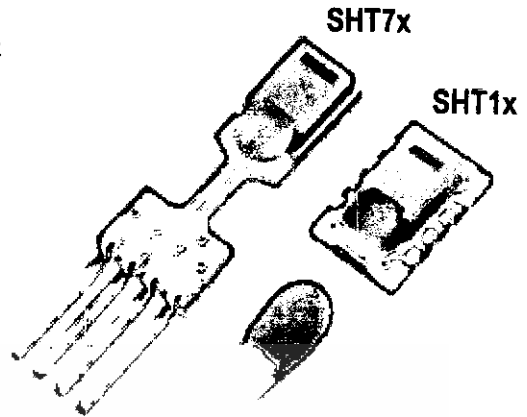
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHT1x / SHT7x

Humidity & Temperature Sensor

Evaluation Kit
Available



- _ Relative humidity and temperature sensors
- _ Dew point
- _ Fully calibrated, digital output
- _ Excellent long-term stability
- _ No external components required
- _ Ultra low power consumption
- _ Surface mountable or 4-pin fully interchangeable
- _ Small size
- _ Automatic power down

SHT1x / SHT7x Product Summary

The SHTxx is a single chip relative humidity and temperature multi sensor module comprising a calibrated digital output. Application of industrial CMOS processes with patented micro-machining (CMOSens® technology) ensures highest reliability and excellent long term stability. The device includes a capacitive polymer sensing element for relative humidity and a bandgap temperature sensor. Both are seamlessly coupled to a 14bit analog to digital converter and a serial interface circuit on the same chip. This results in superior signal quality, a fast response time and insensitivity to external disturbances (EMC) at a very competitive price. Each SHTxx is individually calibrated in a precision humidity chamber with a chilled mirror hygrometer as reference. The

calibration coefficients are programmed into the OTP memory. These coefficients are used internally during measurements to calibrate the signals from the sensors.

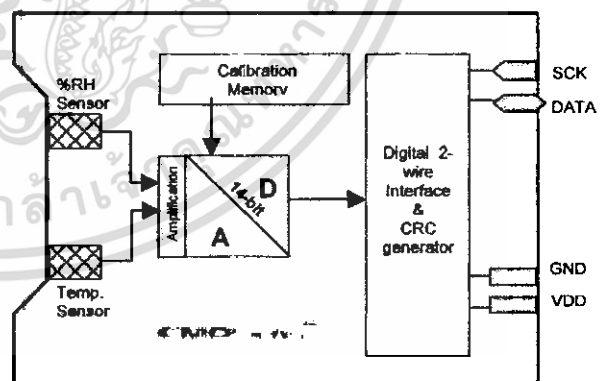
The 2-wire serial interface and internal voltage regulation allows easy and fast system integration. Its tiny size and low power consumption makes it the ultimate choice for even the most demanding applications.

The device is supplied in either a surface-mountable LCC (Leadless Chip Carrier) or as a pluggable 4-pin single-in-line type package. Customer specific packaging options may be available on request.

Applications

- _ HVAC
- _ Automotive
- _ Consumer Goods
- _ Weather Stations
- _ Humidifiers
- _ Dehumidifiers
- _ Test & Measurement
- _ Data Logging
- _ Automation
- _ White Goods
- _ Medical

Block Diagram



Ordering Information

Part Number	Humidity accuracy [%RH]	Temperature accuracy [°C]	Package
SHT11	±3.5	±0.5 @ 25 °C	SMD (LCC)
SHT15	±2.0	±0.4 @ 5-40 °C	SMD (LCC)
SHT71	±3.5	±0.5 @ 25 °C	4-pin single-in-line
SHT75	±2.0	±0.4 @ 5-40 °C	4-pin single-in-line

1 Sensor Performance Specifications

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Humidity					
Resolution ⁽²⁾		0.5	0.03	0.03	%RH
		8	12	12	bit
Repeatability		±0.1			%RH
Accuracy ⁽¹⁾ Uncertainty	linearized	see figure 1			
Interchangeability		Fully interchangeable			
Nonlinearity	raw data		±3		%RH
	linearized		<<1		%RH
Range		0		100	%RH
Response time	1/e (63%) slowly moving air		4		s
Hysteresis			±1		%RH
Long term stability	typical		< 1		%RH/yr
Temperature					
Resolution ⁽²⁾		0.04	0.01	0.01	°C
		0.07	0.02	0.02	°F
		12	14	14	bit
Repeatability		±0.1			°C
		±0.2			°F
Accuracy		see figure 1			
Range		-40		123.8	°C
		-40		254.9	°F
Response Time	1/e (63%)	5		30	s

Table 1 Sensor Performance Specifications

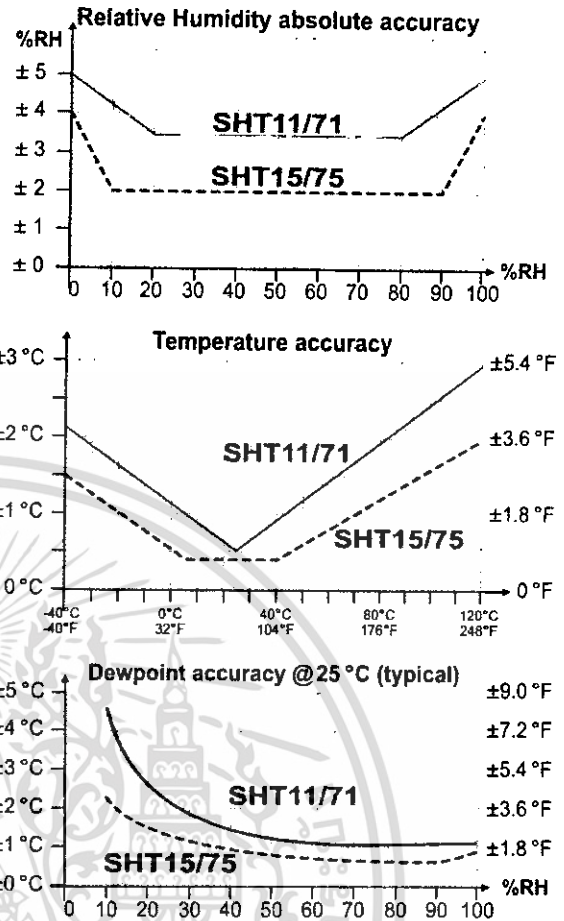


Figure 1 Rel. Humidity, Temperature and Dewpoint accuracies

2 Interface Specifications

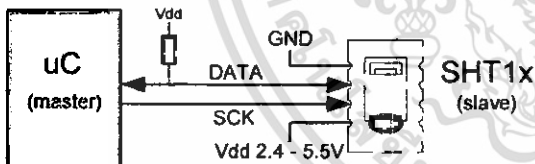


Figure 2 Typical application circuit

2.1 Power Pins

The SHTxx requires a voltage supply between 2.4 and 5.5 V. After powerup the device needs 11ms to reach its "sleep" state. No commands should be sent before that time. Power supply pins (VDD, GND) may be decoupled with a 100 nF capacitor.

2.2 Serial Interface (Bidirectional 2-wire)

The serial interface of the SHTxx is optimized for sensor readout and power consumption and is not compatible with I²C interfaces, see FAQ for details.

2.2.1 Serial clock input (SCK)

The SCK is used to synchronize the communication between a microcontroller and the SHTxx. Since the interface consists of fully static logic there is no minimum SCK frequency.

2.2.2 Serial data (DATA)

The DATA tristate pin is used to transfer data in and out of the device. DATA changes after the falling edge and is valid on the rising edge of the serial clock SCK. During transmission the DATA line must remain stable while SCK is high. To avoid signal contention the microcontroller should only drive DATA low. An external pull-up resistor (e.g. 10 kΩ) is required to pull the signal high. (See Figure 2) Pull-up resistors are often included in I/O circuits of microcontrollers. See Table 5 for detailed IO characteristics.

⁽¹⁾ Each SHTxx is tested to be fully within RH accuracy specifications at 25 °C (77 °F) and 48 °C (118.4 °F)

⁽²⁾ The default measurement resolution of 14bit (temperature) and 12bit (humidity) can be reduced to 12 and 8 bit through the status register.

2.2.3 Sending a command

To initiate a transmission, a "Transmission Start" sequence has to be issued. It consists of a lowering of the DATA line while SCK is high, followed by a low pulse on SCK and raising DATA again while SCK is still high.

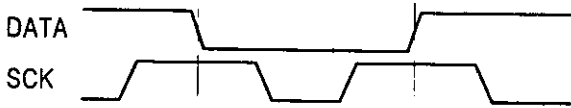


Figure 3 "Transmission Start" sequence

The subsequent command consists of three address bits (only "000" is currently supported) and five command bits. The SHTxx indicates the proper reception of a command by pulling the DATA pin low (ACK bit) after the falling edge of the 8th SCK clock. The DATA line is released (and goes high) after the falling edge of the 9th SCK clock.

Command	Code
Reserved	0000x
Measure Temperature	00011
Measure Humidity	00101
Read Status Register	00111
Write Status Register	00110
Reserved	0101x-1110x
Soft reset, resets the interface, clears the status register to default values wait minimum 11 ms before next command	11110

Table 2 SHTxx list of commands

2.2.4 Measurement sequence (RH and T)

After issuing a measurement command ('00000101' for RH, '00000011' for Temperature) the controller has to wait for the measurement to complete. This takes approximately 11/55/210 ms for a 8/12/14bit measurement. The exact time varies by up to ±15% with the speed of the internal oscillator. To signal the completion of a measurement, the SHTxx pulls down the data line. The controller must wait for this "data ready" signal before starting to toggle SCK again.

Two bytes of measurement data and one byte of CRC checksum will then be transmitted. The uC must acknowledge each byte by pulling the DATA line low. All values are MSB first, right justified. (e.g. the 5th SCK is MSB for a 12bit value, for a 8bit result the first byte is not used).

Communication terminates after the acknowledge bit of the CRC data. If CRC-8 checksum is not used the controller may terminate the communication after the measurement data LSB by keeping ack high.

The device automatically returns to sleep mode after the measurement and communication have ended.

Warning: To keep self heating below 0.1 °C the SHTxx should not be active for more than 15% of the time (e.g. max. 3 measurements / second for 12bit accuracy).

2.2.5 Connection reset sequence

If communication with the device is lost the following signal sequence will reset its serial interface:

While leaving DATA high, toggle SCK 9 or more times. This must be followed by a "Transmission Start" sequence preceding the next command. This sequence resets the interface only. The status register preserves its content.

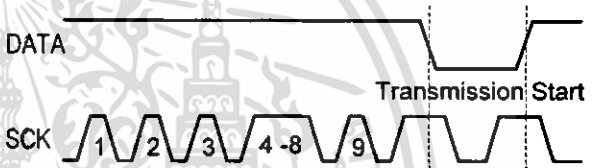


Figure 4 Connection reset sequence

2.2.6 CRC-8 Checksum calculation

The whole digital transmission is secured by a 8 bit checksum. It ensures that any wrong data can be detected and eliminated.

Please consult application note "CRC-8 Checksum Calculation" for information on how to calculate the CRC.

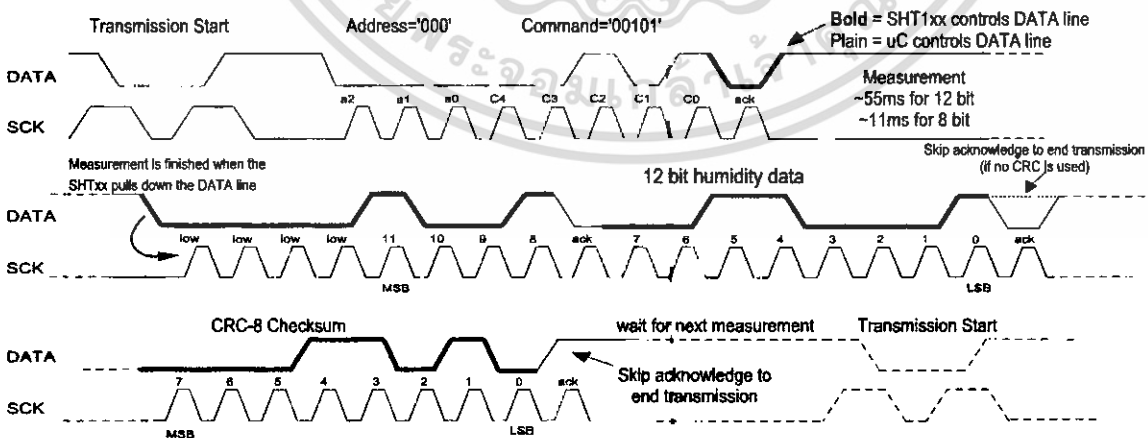


Figure 5 Example RH measurement sequence for value "0000'1001' 0011'0001" = 2353 = 75.79 %RH (without temperature compensation)

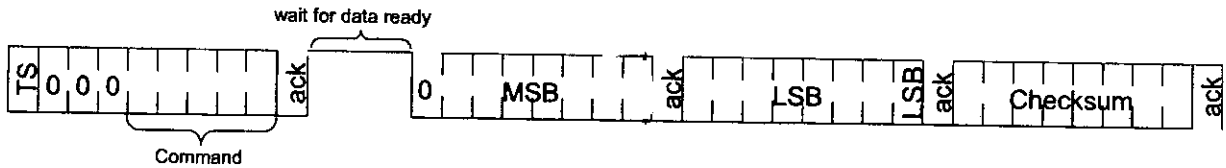


Figure 6 Overview of Measurement Sequence (TS = Transmission Start)

2.3 Status Register

Some of the advanced functions of the SHTxx are available through the status register. The following section gives a brief overview of these features. A more detailed description is available in the application note "Status Register"



Figure 7 Status Register Write

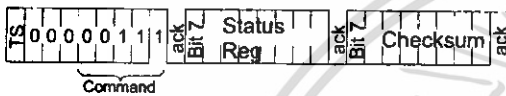


Figure 8 Status Register Read

Bit	Type	Description	Default
7		reserved	0
6	R	End of Battery (low voltage detection) '0' for Vdd > 2.47 '1' for Vdd < 2.47	X No default value, bit is only updated after a measurement.
5		reserved	0
4		reserved	0
3		For Testing only, do not use	0
2	R/W	Heater	0 off
1	R/W	no reload from OTP	0 reload
0	R/W	'1' = 8bit RH / 12bit Temperature resolution '0' = 12bit RH / 14bit Temperature resolution	0 12bit RH 14bit Temp.

Table 3 Status Register Bits

2.3.1 Measurement resolution

The default measurement resolution of 14bit (temperature) and 12bit (humidity) can be reduced to 12 and 8bit. This is especially useful in high speed or extreme low power applications.

2.3.2 End of Battery

The "End of Battery" function detects VDD voltages below 2.47 V. Accuracy is ± 0.05 V

2.3.3 Heater

An on chip heating element can be switched on. It will increase the temperature of the sensor by approximately 5°C (9 °F). Power consumption will increase by ~8 mA @ 5 V.

Applications:

By comparing temperature and humidity values before and

after switching on the heater, proper functionality of both sensors can be verified.

- In high (>95 %RH) RH environments heating the sensor element will prevent condensation, improve response time and accuracy

Warning: While heated the SHTxx will show higher temperatures and a lower relative humidity than with no heating.

2.4 Electrical Characteristics⁽¹⁾

VDD=5V, Temperature = 25 °C unless otherwise noted

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Power supply DC		2.4	5	5.5	V
Supply current	measuring		550		μ A
	average	2 ⁽²⁾	28 ⁽³⁾		μ A
	sleep		0.3	1	μ A
Low level output voltage		0		20%	Vdd
High level output voltage		75%		100%	Vdd
Low level input voltage	Negative going	0		20%	Vdd
High level input voltage	Positive going	80%		100%	Vdd
Input current on pads				1	μ A
Output peak current	on			4	mA
	Tristated (off)		10		μ A

Table 4 SHTxx DC Characteristics

Parameter	Conditions	Min	Typ.	Max.	Unit	
F _{sck}	SCK frequency	VDD > 4.5 V		10	MHz	
		VDD < 4.5 V		1	MHz	
T _{FO}	DATA fall time	Output load 5 pF	3.5	10	ns	
T _{FL}	SCK hi/low time	Output load 100 pF	30	40	200	ns
			100			ns
T _V	DATA valid time		250		ns	
T _{SU}	DATA set up time		100		ns	
T _{HO}	DATA hold time		0	10	ns	
T _{RI/TF}	SCK rise/fall time			200	ns	

Table 5 SHTxx I/O Signals Characteristics

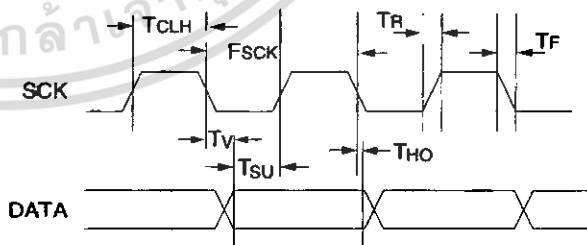
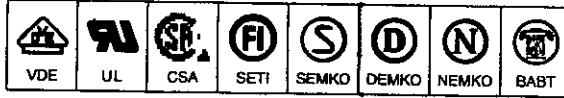


Figure 9 Timing Diagram

¹⁾ Parameters are periodically sampled and not 100% tested
²⁾ With one measurement of 8 bit accuracy without OTP reload per second
³⁾ With one measurement of 12bit accuracy per second



6-Pin DIP Zero-Cross Optoisolators Triac Driver Output (400 Volts Peak)

The MOC3041, MOC3042 and MOC3043 devices consist of gallium arsenide infrared emitting diodes optically coupled to a monolithic silicon detector performing the function of a Zero Voltage Crossing bilateral triac driver.

They are designed for use with a triac in the interface of logic systems to equipment powered from 115 Vac lines, such as solid-state relays, industrial controls, motors, solenoids and consumer appliances, etc.

- Simplifies Logic Control of 115 Vac Power
- Zero Voltage Crossing
- dv/dt of 2000 V/ μ s Typical, 1000 V/ μ s Guaranteed
- *To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.*

Recommended for 115/240 Vac(rms) Applications:

- Solenoid/Valve Controls
- Lighting Controls
- Static Power Switches
- AC Motor Drives
- Temperature Controls
- E.M. Contactors
- AC Motor Starters
- Solid State Relays

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
--------	--------	-------	------

INFRARED EMITTING DIODE

Reverse Voltage	V_R	6	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Negligible Power in Output Driver Derate above 25°C	P_D	120	mW
		1.41	mW/ $^\circ\text{C}$

OUTPUT DRIVER

Off-State Output Terminal Voltage	V_{DRM}	400	Volts
Peak Repetitive Surge Current (PW = 100 μ s, 120 pps)	I_{TSM}	1	A
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	150	mW
		1.76	mW/ $^\circ\text{C}$

TOTAL DEVICE

Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration)	V_{ISO}	7500	Vac(pk)
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	250	mW
		2.94	mW/ $^\circ\text{C}$
Junction Temperature Range	T_J	-40 to +100	$^\circ\text{C}$
Ambient Operating Temperature Range ⁽²⁾	T_A	-40 to +85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range ⁽²⁾	T_{stg}	-40 to +150	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature (10 s)	T_L	260	$^\circ\text{C}$

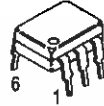
1. Isolation surge voltage, V_{ISO} , is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
 2. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions.
- Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.
GlobalOptoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

(Replaces MOC3040/D)

MOC3041
[IFT = 15 mA Max]
MOC3042
[IFT = 10 mA Max]
MOC3043*
[IFT = 5 mA Max]

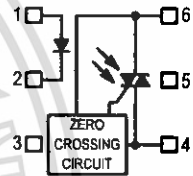
*Motorola Preferred Device

STYLE 6 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE
CASE 730A-04

COUPLER SCHEMATIC



1. ANODE
2. CATHODE
3. NC
4. MAIN TERMINAL
5. SUBSTRATE
DO NOT CONNECT
6. MAIN TERMINAL



MOTOROLA

324
276-1711

QUAD OP AMP

GENERAL DESCRIPTION

The 324 series consists of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented on single power supply systems. For example, the 324 series can be directly operated off of the standard +5 V_{DC} power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional ±15 V_{DC} power supplies.

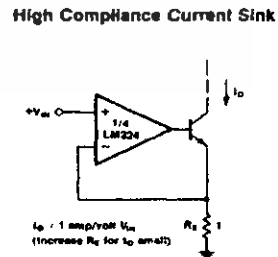
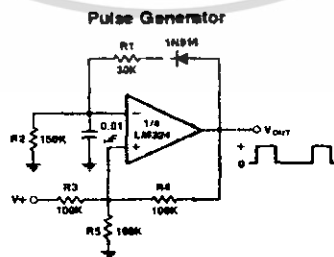
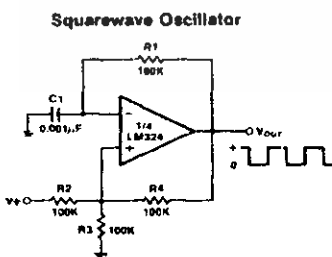
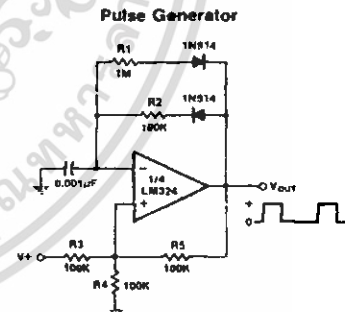
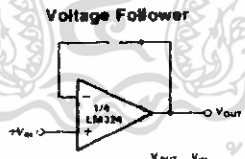
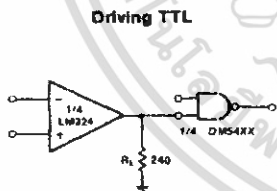
FEATURES

- Internally frequency compensated for unity gain
- Large dc voltage gain 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain) 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range:
Single supply 3 V_{DC} to 30 V_{DC}
or dual supplies ±1.5 V_{DC} to ±15 V_{DC}
- Very low supply current drain (800µA)—essentially independent of supply voltage (1 mW/op amp at +5 V_{DC})
- Low input biasing current 45 nA_{DC} (temperature compensated)
- Low input offset voltage 2 mV_{DC}; and offset current 5 nA_{DC}
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing 0 V_{DC} to V⁺ - 1.5 V_{DC}

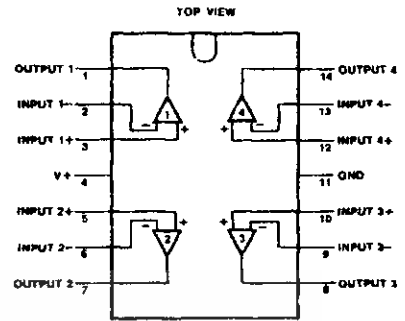
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage, V ⁺	32 V _{DC} or ±16 V _{DC}
Differential Input Voltage.....	32 V _{DC}
Input Voltage.....	-0.3 V _{DC} to +32 V _{DC}
Power Dissipation	
Molded DIP.....	570 mW
Cavity DIP.....	900 mW
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier).....	Continuous
V ⁺ ≤ 15 V _{DC} and T _A = 25°C	
Input Current (V _{IN} < 0.3 V _{DC}).....	50 mA
Operating Temperature Range.....	0°C to -70°C
Storage Temperature Range.....	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds).....	300°C

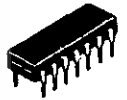
TYPICAL APPLICATIONS



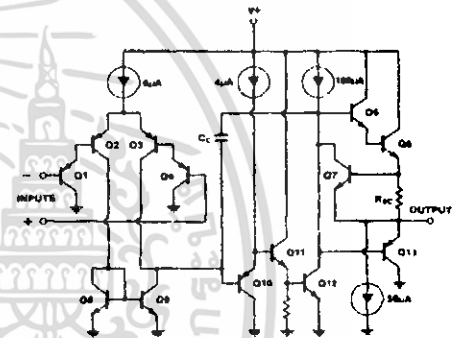
PIN CONNECTION



Dual-In-Line and Flat Package



SCHEMATIC DIAGRAM (Each Amplifier)



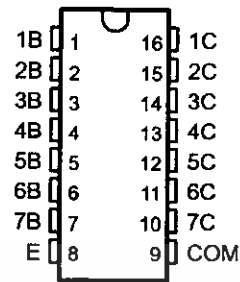
ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A, HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY

The ULN2001A is obsolete and is no longer supplied.

SLRS027C – DECEMBER 1976 – REVISED MAY 2002

- 500-mA Rated Collector Current (Single Output)
- High-Voltage Outputs . . . 50 V
- Output Clamp Diodes
- Inputs Compatible With Various Types of Logic
- Relay Driver Applications
- Designed to Be Interchangeable With Sprague ULN2001A Series
- Package Options Include Plastic Small Outline (D, NS) Packages, and Plastic DIP (N)

ULN2001A . . . D OR N PACKAGE
ULN2002A . . . N PACKAGE
ULN2003A, ULN2004A . . . D, N, OR NS PACKAGE
ULQ2003A, ULQ2004A . . . D PACKAGE
(TOP VIEW)



description

The ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, and ULQ2004A are high-voltage, high-current Darlington transistor arrays. Each consists of seven npn Darlington pairs that feature high-voltage outputs with common-cathode clamp diodes for switching inductive loads. The collector-current rating of a single Darlington pair is 500 mA. The Darlington pairs may be paralleled for higher current capability. Applications include relay drivers, hammer drivers, lamp drivers, display drivers (LED and gas discharge), line drivers, and logic buffers. For 100-V (otherwise interchangeable) versions of the ULN2003A and ULN2004A, see the SN75468 and SN75469, respectively.

The ULN2001A is a general-purpose array and can be used with TTL and CMOS technologies. The ULN2002A is specifically designed for use with 14-V to 25-V PMOS devices. Each input of this device has a zener diode and resistor in series to control the input current to a safe limit. The ULN2003A and ULQ2003A have a 2.7-k Ω series base resistor for each Darlington pair for operation directly with TTL or 5-V CMOS devices. The ULN2004A and ULQ2004A have a 10.5-k Ω series base resistor to allow operation directly from CMOS devices that use supply voltages of 6 V to 15 V. The required input current of the ULN/ULQ2004A is below that of the ULN/ULQ2003A, and the required voltage is less than that required by the ULN2002A.

AVAILABLE OPTIONS

T _A	PACKAGES	
	SMALL OUTLINE (D, NS)	PLASTIC DIP (N)
-20°C to 70°C	-	ULN2002AN
	ULN2003AD ULN2003ANS	ULN2003AN
	ULN2004AD ULN2004ANS	ULN2004AN
-40°C to 85°C	ULQ2003AD	-
	ULQ2004AD	-

The D package is available taped and reeled. Add the suffix R to device type (e.g., ULN2003ADR). The NS package is only available taped and reeled.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated

**TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

1

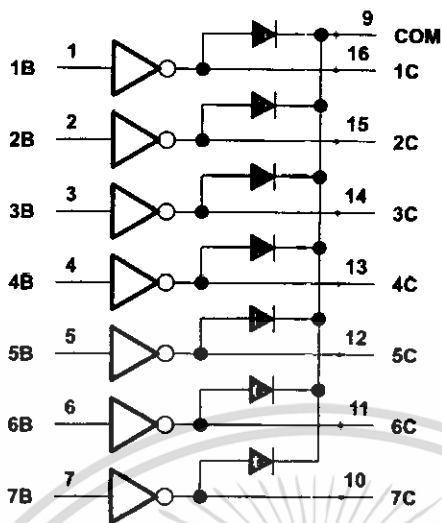
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A, HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY

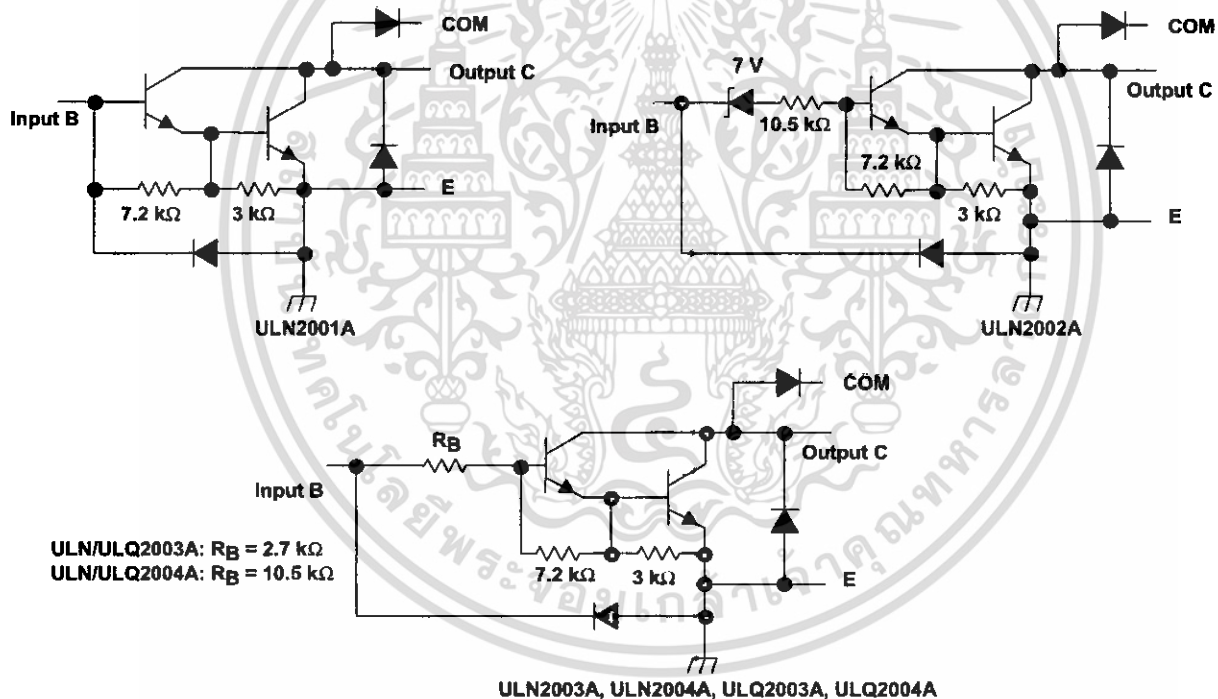
SLRS027C - DECEMBER 1976 - REVISED MAY 2002

The ULN2001A is obsolete
and is no longer supplied.

logic diagram



schematics (each Darlington pair)



All resistor values shown are nominal.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265