

ระบบควบคุมหัวฉีดละอองน้ำจากอุณหภูมิผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

Temperature Control for Nozzle via the Internet



โดย

นาย งามพันธุ์ กงประเสริฐ เลขประจำตัว 42015466

นาย พงศ์ภัทร อวุธโสภา เลขประจำตัว 42015481

เลขหมึก.....
เลขทะเบียน... 42681
วัน, เดือน, ปี - 6 ส.ย. 2545

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาบัตร ระบบควบคุมหัวใจละอองน้ำจากอุณหภูมิ
ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

นักศึกษา นาย งามพันธุ์ คงประเสริฐ เลขประจำตัว 42015466
นาย พงศ์ภัทร อวุธ โสภา เลขประจำตัว 42015481

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ผศ.ดร. ปิติเชต สุรักษา
อาจารย์ บุญยชนะ ภูระหงษ์

ภาควิชา เทคนิคอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2543

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
นับปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

ลงชื่อ _____ อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ผศ.ดร. ปิติเชต สุรักษา)

ลงชื่อ _____ อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์บุญยชนะ ภูระหงษ์)

คณะกรรมการสอบปริญญาบัตร

_____ กรรมการ
()

_____ กรรมการ
()

_____ กรรมการ
()

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ระบบควบคุมหัวฉีดละอองน้ำจากอุณหภูมิผ่าน เครือข่ายอินเทอร์เน็ต	
นักศึกษา	นาย งามพันธุ์ คงประเสริฐ	เลขประจำตัว 42015466
	นาย พงศ์ภัทร อาวุธโสภา	เลขประจำตัว 42015481
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ผศ.ดร. ปิติเชต สุริรักษา อาจารย์ บุญยัชนะ ภูระหงษ์	
ภาควิชา	เทคนิคอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2543	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้นำเสนอระบบควบคุมหัวฉีดละอองน้ำสำหรับการปลูกพืชไร้ดินที่นำมาอำนวยความสะดวกในการดูแลพืช โดยมีหลักการพื้นฐานโดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมอัตโนมัติและจะมีการควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์หรืออินเทอร์เน็ตซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนค่าของตัวรับส่งได้

ระบบควบคุมการปลูกพืชไร้ดินจะประกอบด้วย ส่วนที่สำคัญ 3 ส่วนคือ ส่วนโครงแปลงผัก ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่วนควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์หรืออินเทอร์เน็ต ซึ่งเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีทางการเกษตร ที่สามารถนำผลงานที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในงานเกษตรกรรมอื่นๆ ได้อีกด้วย

Thesis Title	Temperature Control for Nozzle via the Internet	
Student	Mr.Nkampan Kongpasert	ID 42015466
	Mr.Pongphut Awootsopa	ID 42015481
Advisor	Asst. Prof. Dr. Pitikhate Sooraksa Boonchana Purahong	
Academic Year	2000	

ABSTRACT

This paper proposes the temperature control system for soilless culture using a microcontroller usage. The control parameters can be changed remotely from the designed software with the Internet access.

The temperature control system for soilless culture includes three main parts : the plant compartment, the control unit and the computer or internet access. The work can be applied in other areas in agriculture

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาที่เกี่ยวข้องกับไมโครคอนโทรลเลอร์ จากอาจารย์ ผศ. ดร. ปิติเขต สุริรักษา และอาจารย์บุญยชนะ ภูระหงษ์ ที่เป็นผู้ควบคุม และรวมไปถึง พี่ๆ นักศึกษาปริญญาโททุกคนภายในห้องแลปที่ได้ช่วยแนะนำ และรศ. ดร. อธิวิสุนทร นันทกิจ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตรและคณะพลังงานของสถาบันพระจอมเกล้าธนบุรี และภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้โอกาสคณะผู้จัดทำดำเนินโครงการ

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบคุณบิดา มารดา ผู้มีพระคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่ให้การสนับสนุนด้านต่างๆ และเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ได้ให้กำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้

ลงชื่อ _____

(นายงามพันธุ์ คงประเสริฐ)

ลงชื่อ _____

(นายพงศ์ภัทร อาวุธโสภา)

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	V
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	4
1.3 ขอบเขตของโครงการ	5
1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ	5
บทที่ 2 Nutrient Film Technique(NFT)	
2.1 แนวทางพัฒนาการปลูกพืชในระบบไร้ดิน	6
2.2 การแก้ไขปัญหาโดยวิธี Nutrient Film Technique (NFT)	7
2.3 การเลือกสถานที่ปลูกพืชแบบ NFT ในประเทศไทย	8
2.4 การเลือกชนิดของวัสดุที่ทำอุปกรณ์ NFT	9
2.5 ปี้มและการปรับอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหาร	10
บทที่ 3 ทฤษฎี	
3.1 สมดุลความร้อนภายในท่อ PVC	13
3.2 สมมติฐานที่ใช้ในการศึกษาอุณหภูมิน้ำภายในท่อ	13
3.3 ประเภทของรังสีที่ผิวโลก	13
3.4 ค่าการแผ่รังสี (Emissivity, E)	14
3.5 การประมาณค่ารังสีแสงอาทิตย์	15
3.6 ค่าการดูดกลืน ค่าการสะท้อนกลับและค่าการส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์	19
3.7 การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนอย่างอิสระ โดยลม	20
3.8 การถ่ายเทความร้อน โดยการนำในระบบแกนของวัสดุรูปทรงกระบอก	21
3.9 สมการการถ่ายเทความร้อน โดยรวมในสภาวะที่น้ำยาไม่เคลื่อนที่	23
3.10 รูปแบบการไหลของน้ำยาในท่อแนวราบ	24
3.11 การไหลแบบแยกชั้นของสมการสองสถานะ โดยใช้สมการ โมเมนตัม	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การดำเนินการวิจัย	
4.1 ลักษณะและสมบัติของท่อ PVC	29
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	29
4.3 การติดตั้งท่อและการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง	30
บทที่ 5 การเชื่อมต่อ MCS กับไอซีตรวจจับอุณหภูมิ DS1820	
5.1 ระบบการสื่อสารข้อมูลอนุกรมหนึ่งสาย(1-Wire™ Serial Bus)	34
5.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของระบบบัสหนึ่งสาย	34
5.3 คุณสมบัติของไทม์สล็อต	35
5.4 ไทม์สล็อตของการรีเซตและตอบสนอง	36
5.5 ไทม์สล็อตการอ่านข้อมูลของอุปกรณ์มาสเตอร์และการเขียนข้อมูลของ	
อุปกรณ์สเลฟ	36
5.6 ไทม์สล็อตการเขียนข้อมูลของอุปกรณ์มาสเตอร์	37
5.7 รูปแบบของการสื่อสารข้อมูลแบบหนึ่งสาย(1-Wire™ Communication	
Protocol)	38
5.8 ไอซีตรวจจับอุณหภูมิ DS1820	39
5.9 คำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานของ DS1820	40
บทที่ 6 การทดลอง	
6.1 การทดลองเสถียรภาพของชุด sensor อุณหภูมิ	41
6.2 สรุปผลการทดลอง	50
ภาคผนวก ก. โครงสร้างแปลงผักไร้ดิน	
ภาคผนวก ข. การทำงานของระบบควบคุมการปลูกพืชไร้ดิน	
ภาคผนวก ค. Flow Chart ของไมโครคอนโทรลเลอร์	
ภาคผนวก ง. Flow Chart ของโปรแกรม Visual Basic	
ภาคผนวก จ. ข้อมูลอ้างอิงของ DS1820	
บรรณานุกรม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การปรับระดับความสูงระหว่างผิวของสารละลายธาตุอาหาร ในถังพักกับปลายท่อ	10
รูปที่ 2.2 การหาอัตราเร็วของการไหลของสารละลายธาตุอาหารจาก ปลายท่อสู่ภาชนะปลูกโดยใช้กราฟ	12
รูปที่ 3.2 การถ่ายเทความร้อน โดยการนำในแนวรัศมีของวัตถุรูปทรงกระบอก	22
รูปที่ 3.3 วัตถุรูปทรงกระบอกกลวง	22
รูปที่ 4.1 ตำแหน่งการวางท่อและตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล	31
รูปที่ 5.1 การเชื่อมต่อระบบบัสหนึ่งสาย	35
รูปที่ 5.2 ไทม์สลีตของการรีเซตและตอบรับของอุปกรณ์ระบบบัสหนึ่งสาย	36
รูปที่ 5.3 ไทม์สลีตการอ่านข้อมูลของอุปกรณ์มาสเตอร์ซึ่งตรงกับ ไทม์สลีต การเขียนข้อมูลของอุปกรณ์สเลฟ	37
รูปที่ 5.4 ไทม์สลีตการเขียนข้อมูล "1" ของอุปกรณ์มาสเตอร์ซึ่งตรงกับ ไทม์สลีตการอ่านข้อมูลของอุปกรณ์สเลฟ	37
รูปที่ 5.5 ไทม์สลีตการเขียนข้อมูล "0" ของอุปกรณ์มาสเตอร์	38
รูปที่ 5.6 การจัดขาของ DS1820	39
รูปที่ 5.7 โครงสร้างการทำงานภายในของไอซีตรวจจับอุณหภูมิ DS1820	39
รูปที่ 5.8 การจัดสรรพื้นที่ของสแควร์แพด DS1820	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงาน

การปลูกพืชโดยทั่ว ๆ ไปเป็นการปลูกพืชลงบนแปลงดิน ซึ่งใช้พื้นที่ในการเพาะปลูกเป็นจำนวนมาก พื้นที่ที่ใช้ต้องทำการปรับปรุงคุณสมบัติของดินให้เหมาะสม ปัญหาในเรื่องแมลงซึ่งเป็นศัตรูของพืชที่ทำให้พืชเกิดเป็นโรคและเน่าตายได้ง่าย ซึ่งแก้ไขได้ด้วยการฉีดยาฆ่าแมลงเพื่อป้องกันศัตรูพืชต่าง ๆ ทำให้เกิดการตกค้างของสารเคมีที่มีผลทั้งเกษตรกรและผู้บริโภคพืชนั้นโดยตรง ซึ่งไม่ปลอดภัยและเป็นอันตราย ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาวิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ซึ่งจะลดปัญหาดังกล่าวข้างต้นได้ และในเรื่องของผลผลิตที่ได้ก็จะสูงกว่าการปลูกพืชแบบธรรมดาที่ใช้ดิน แต่การลงทุนจะสูงกว่าในช่วงเริ่มต้นแต่จะมีความคุ้มค่าในระยะยาว

เทคโนโลยีการปลูกพืชแบบไร้ดิน (Soiless Culture Plants) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน หรืออาจเรียกว่าการปลูกพืชด้วยสารละลาย (Hydroponics) การปลูกพืชวิธีนี้ได้มีการศึกษา วิจัยและพัฒนาจนเป็นที่รู้จักและแพร่หลายทั่วโลก พืชที่ปลูกด้วยวิธีนี้ส่วนใหญ่จะเป็นพืชผักไม่ดอกและไม่ประดับ วิธีปลูกอาจใช้วัสดุตุ้กลางในการพยุงลำต้นให้ตรงและปลูกในภาชนะที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก โดยรากจมอยู่ในสารละลายที่มีธาตุอาหารแต่มีการลอยตัวได้อย่างอิสระในภาชนะที่ใช้ปลูกหรือจะปลูกโดยการยึดให้คงที่แต่ธาตุอาหารและสารละลายไหลผ่านซึ่งอาจจะมีการเพิ่มออกซิเจนหรือไม่มีการเพิ่มออกซิเจนด้วยการเพิ่มออกซิเจนเพื่อช่วยป้องกันการขาดออกซิเจนที่บริเวณรากของพืช ซึ่งช่วยให้รากพืชไม่เกิดการเน่า การปลูกพืชแบบไร้ดินนี้เหมาะกับการปลูกพืชในกรณีที่มีที่ดินน้อย ๆ และจำกัด เช่น ในที่พักอาศัย บนดาดฟ้าของตึก เป็นต้น

การปลูกพืชแบบไร้ดินเป็นการช่วยเพิ่มผลผลิตให้มากขึ้นและมีคุณภาพ ลดปัญหาการใช้ยาฆ่าแมลงที่อาจเกิดการตกค้างจนเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ การเก็บเกี่ยวผลผลิตก็ทำได้ง่ายและมีความสะอาดกว่าการปลูกพืชแบบไร้ดิน แรงงานที่ใช้ก็น้อยกว่าแต่ก็จะประสบกับปัญหาในเรื่องของเงินลงทุนในช่วงเริ่มต้น แต่ในระยะยาวจะมีความคุ้มค่าสูง จึงเหมาะในการนำมาใช้ในด้านอุตสาหกรรมเกษตร และในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้พยายามที่จะลดต้นทุนให้น้อยที่สุดเพื่อให้เกษตรกรและผู้ที่สนใจสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ได้จริง

การปลูกพืชแบบไร้ดินแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ

1.1.1 การปลูกพืชในวัสดุปลูกที่เป็น inert substance เพื่อเป็นที่ยึดเกาะของรากพืชสำหรับพยุงลำต้นให้ตั้งตรง แล้วเติมสารละลายลงในวัสดุปลูก (media) วัสดุปลูกมีด้วยกันหลายชนิด เช่น แกลบ ขี้เถ้าแกลบ ขุยมะพร้าว กรวด ทราย อิฐเผา ขี้เถ้า rock wool vermiculite perlite เป็นต้น โดยมีหลักการสำคัญในการเลือกวัสดุปลูกให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช ช่วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบายอากาศได้ดี อุ่นน้ำได้ดีตามความต้องการของพืช สามารถกำจัดจุลินทรีย์หรือพืชรากได้ดี วัสดุปลูกไม่จำเป็นต้องมีสารอาหารที่พืชต้องการ เพราะพืชได้รับธาตุอาหารในรูปของสารละลายอยู่แล้ว การปลูกพืชโดยวิธีนี้พบแพร่หลายในประเทศต่าง ๆ เช่น สหรัฐอเมริกา อังกฤษ เยอรมัน เดนมาร์ก เนเธอร์แลนด์ ญี่ปุ่น เกาหลี ไต้หวัน และออสเตรเลีย เป็นต้น

1.1.2 การปลูกในสารละลายธาตุอาหาร เป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้ในประเทศไทย ซึ่งวิธีนี้จะปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารที่มีการไหลวนเพื่อเพิ่มอากาศให้แก่รากพืช และในขณะเดียวกันต้องควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมกับพืชที่จะปลูกด้วย จึงต้องมีการใช้เทคโนโลยีหลายอย่างเข้ามาช่วยเพื่อควบคุมปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ ได้แก่ ความชื้น แสงสว่าง อุณหภูมิ ปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ ความเป็นกรด - ด่างของสารละลาย ตลอดจนค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย เป็นต้น

ธานี จุฑามณีโรจน์ เกษตรกรผู้ซึ่งได้ทำการศึกษาและทดลองปลูกพืชแบบไร้ดิน โดยการปลูกในสารละลายที่มีธาตุอาหารไหลวนและมีการเพิ่มอากาศให้กับรากของพืช ซึ่งสถานที่ปลูกตั้งอยู่ที่ไรด์ลธร์ตัน อำเภอปากท่อ จังหวัดราชบุรี โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปีประมาณ 32 องศาเซลเซียส พืชที่ใช้ปลูกส่วนใหญ่จะเป็นผักชี ขึ้นฉ่าย และพืชเมืองหนาว จากการทดลองปลูกและศึกษามาเป็นระยะเวลาประมาณ 1 ปี พบว่าพืชมีความต้องการแสงอาทิตย์ต่างกัน ทำให้ได้ผลผลิตไม่ดีเท่าที่ควร พืชบางชนิดเช่นขึ้นฉ่ายเจริญเติบโตได้ดี แต่บางชนิดไม่ค่อยเจริญเติบโต จึงได้ทำการทดลองและสังเกตพฤติกรรมของพืชในช่วงต่าง ๆ พบว่าสาเหตุหลักสำคัญที่ทำให้พืชตายเนื่องจากอุณหภูมิของสารละลายสูงเกินไป โดยเฉพาะในช่วงหน้าร้อน ช่วงเวลาประมาณ 10.30 น. ไปจนถึงเวลาประมาณ 14.30 น. ซึ่งอุณหภูมิของสารละลายจะสูงมาก และการเกิดตะไคร่น้ำซึ่งแย่งธาตุอาหารจากพืช การศึกษาและวิจัยในเรื่องของการปลูกพืชแบบไร้ดินทั้งในแบบที่ใช้วัสดุปลูกหรือในสารละลายพบว่า ได้มีการศึกษาค้นคว้ามาตั้งแต่หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 และได้แพร่หลายในต่างประเทศซึ่งได้ทำการศึกษาวิจัยในด้านต่าง ๆ พอสังเขปได้ดังนี้

ในประเทศสหรัฐอเมริกา เริ่มต้นหลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 ใน พ.ศ. 2489 โดยทหารอากาศชาวอเมริกันที่อยู่ในกรุงโตเกียวทำการทดลองปลูกผักหลายชนิด เช่น ผักกาด เซอร์รี่ ซึ่งปลูกอยู่ในเรือนกระจกขนาดใหญ่ประมาณ 2 แอคร เพื่อให้เป็นอาหารให้กับทหารอเมริกันที่อยู่ในญี่ปุ่นและเกาหลี ใช้วัสดุปลูกที่เป็นกรวด เรียกว่า Gravel Culture เมื่อทหารนั้นปลดประจำการได้ออกไปตั้งฟาร์มและทำเป็นการค้า ซึ่งเป็นฟาร์มแรกที่ปลูกโดยวิธีนี้

ในประเทศเดนมาร์ก เริ่มต้นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2500 เป็นการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารเป็นครั้งแรก

ในประเทศญี่ปุ่น ได้ปลูกผักโดยทำตามวิธีของอเมริกา แต่ประสบปัญหาเกี่ยวกับการเก็บเสารากพืชที่เหลือออกจากวัสดุปลูกให้หมด จึงใช้วิธีที่เรียกว่า Forces Circulating Water Culture

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

System และได้ทำการปรับปรุงเรื่อยมาจนในที่สุดก็ได้วิธีการที่เรียกว่า Hydroponics และได้รับความนิยมและปลูกพืชโดยวิธีนี้มากกว่า 900 แห่ง โดยผู้ที่ประสบความสำเร็จตามรายงานพบว่าเกษตรกรชื่อ โนะซาวะ ชิเงโอะ ได้ทดลองปลูกแตงกวาในสารละลายธาตุอาหาร แล้วอัดอากาศลงไป พร้อมทั้งควบคุมปริมาณแสงและอุณหภูมิภายในเรือนกระจก และได้พบว่าทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีเก็บผลผลิตได้ 300-400 ผลต่อต้น และได้นำอ้อยมาปลูก พบว่าอ้อยมีความสูงถึง 8 เมตร

ในประเทศออสเตรเลีย Joe Romer (1986) กล่าวว่าวิธีการปลูกพืชแบบ Hydroponics ไม่ได้หมายความถึงการปลูกพืชในน้ำอย่างเดียวนั้น แต่หมายถึงการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารที่มีวัสดุปลูกที่เป็น inert substance เพื่อให้พืชยึดเกาะ โดยแบ่งวิธีการปลูกออกเป็น 2 ระบบ คือ

1. Float system เป็นการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร โดยใช้เทคนิคการ Spray (Spray Technique) , Nutrient Film Technique และ Nutrient Flow Technique

2. Media system เป็นการปลูกพืชในวัสดุปลูกและเติมสารละลายธาตุอาหารลงไป เรียกว่า Flood Bed Technique พืชที่ปลูกนั้นได้แก่ พืชผักต่าง ๆ ไม้ประดับพวกไม้ล้มลุก ไม้ดอก ไม้พุ่ม ไม้ยืนต้น พืชไม้เลื้อย และพืชบางชนิดได้ทำเป็นฟาร์มขนาดใหญ่ เช่น หัวหอม ว่านหางจระเข้ กุหลาบ การ์เนชั่น สตรอเบอร์รี่

ในประเทศไต้หวันซึ่งมีพื้นที่น้อยและประชากรหนาแน่นความต้องการพืชเพื่อใช้เป็นอาหารมีสูง Hydroponics เป็นที่นิยมทั่วไปผักที่นำมาปลูก เช่น ผักบั้ง คื่นช่าย ผักกาดสลัดโดยมีรัฐบาลให้การสนับสนุนในการวิจัยค้นคว้าและนำเทคโนโลยีออกมาเผยแพร่ให้แก่ประชาชน มีการอบรมวิธีการปลูกพืชแบบ Hydroponics ให้เกษตรกรนำไปปลูกเองได้และมีบริษัทจัดจำหน่ายให้แก่เกษตรกรในราคาไม่สูงมากและคุณภาพผักที่ได้ดีกว่าการปลูกแบบปกติและเก็บเกี่ยวได้ในเวลาอันรวดเร็ว

สำหรับในประเทศไทยนั้นได้เริ่มต้นทำการวิจัยและค้นคว้าในเรื่องของการปลูกพืชแบบไร้น้ำดินตั้งแต่ พ.ศ. 2526 โดยมีคณะวิจัยเป็นคณะอาจารย์และนักศึกษาภาควิชาปฐพีวิทยามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทั้งในแบบที่ใช้วัสดุปลูกหรือไม่ใช้วัสดุปลูกและใช้สารละลายเพียงอย่างเดียวแต่ไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร เนื่องจากต้นทุนในการดำเนินการสูง โครงการดังกล่าวจึงยุติการวิจัยลงกว่า 10 ปีแล้ว

ดร.นพดล เรียบเลิศหิรัญ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ดำเนินการวิจัยการปลูกพืชแบบ Hydroponics แบบที่ใช้วัสดุปลูกและใช้เทคนิคของ Nutrient Flow Technique และ Nutrient Film Technique โดยดำเนินการวิจัยมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2529 ซึ่งในช่วงแรกที่ดำเนินการวิจัยนั้นเป็นการปลูกพืชโดยมิได้มีการควบคุมความเข้มแสงและอุณหภูมิแต่อย่างใด พบว่าพืชมีอาการใบเหลืองและแห้ง จึงใช้พลาสติก UV เป็นการลดความเข้มของแสงลง โดยลดความเข้มของแสงลงประมาณ 25% และควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 30-34°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พืชที่ใช้ปลูกเป็นมะเขือเทศ ซึ่งจากการสร้างโรงเรือนเพื่อควบคุมคุณภาพของแสงและอุณหภูมิ ซึ่งประสบความสำเร็จพอสมควร แต่ยังคงทำการวิจัยค้นคว้าต่อมาจนปัจจุบันและได้มีการจัดการฝึกอบรมให้แก่เกษตรกรและผู้สนใจ ซึ่งมีทั้งแบบที่ปลูกในกระบะและปลูกในท่อ PVC

ดร.กระบวน วัฒนปรีชานนท์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีพ.ศ. 2330 ได้ทำการค้นคว้าวิจัยโครงการตามพระราชดำริของสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี โดยได้รับความร่วมมือและเงินทุนสนับสนุนจากกองอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) สำนักงานคณะกรรมการเกษตรแห่งชาติ และโครงการความร่วมมือทางวิชาการระหว่างไทย-ญี่ปุ่น (NRCT-JSPS) การวิจัยมุ่งเน้นการปลูกพืชแบบไร้ดินที่ปลอดภัยจากสารพิษ วิธีการปลูกจะใช้ปลูกในกระบะที่มีสารอาหารธาตุหลักๆ ละลายอยู่ในน้ำ พืชที่ใช้ปลูกส่วนใหญ่เป็นขึ้นช้ำ ผลการทดลองที่ได้ประสบความสำเร็จเป็นที่น่าพอใจและได้ทำการเผยแพร่ให้กับเกษตรกรที่สนใจนำไปประกอบอาชีพ และทำการศึกษาค้นคว้าจนถึงปัจจุบันซึ่งปัจจุบันได้ทำการวิจัยในวงสวนจิตรคาร่วมกับทีมงานเพื่อทำการวิจัยต่อไป

ในปัจจุบัน ประเทศไทยได้มีเกษตรกรนำวิธีการปลูกพืชแบบไร้ดินไปทดลองปลูกและเพื่อเป็นอุตสาหกรรมและการค้า ซึ่งพอที่จะนำเสนอได้พอสังเขปดังนี้

รุ่งโรจน์ กิตติทัศนาศรัย เกษตรกรผู้ทำการศึกษาการปลูกพืชแบบ Hydroponics โดยเริ่มแรกใช้เทคโนโลยีจากไต้หวัน ได้ดำเนินการมาเป็นเวลา 4 ปี หลังจากนั้นได้พัฒนาระบบต่าง ๆ ขึ้นด้วยตนเองจนถึงปัจจุบัน พื้นที่ที่ใช้ในการปลูกพืชตั้งอยู่ที่ อำเภอบ้านแพ้ว จ.สมุทรสาคร ในปัจจุบันมีโรงเรือนที่มีการปรับอุณหภูมิในช่วง 20-32°C จำนวนทั้งหมด 76 โรงเรือน พืชที่ใช้ปลูกส่วนใหญ่เป็นพืชเมืองหนาว ซึ่งต้องควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 20°C เช่น สตรอเบอร์รี่ ส่วนพืชกินใบ ได้แก่ ปวยเล้ง ผักคอสและดั่งโอ ส่วนโรงเรือนที่ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 30-32°C เช่น มะเขือเทศเชอร์รี่ การจำหน่ายจะมีบริษัทมารับซื้อและจัดจำหน่ายเองที่เซ็นทรัลลาดพร้าวและปากคลองตลาดซึ่งจำหน่ายได้ในราคาสูง นอกจากนั้นยังจำหน่ายอุปกรณ์ โรงเรือนและระบบต่าง ๆ ให้ผู้สนใจ และเกษตรกร ปัจจุบันผลผลิตที่ได้ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดและคาดว่าจะขยายโรงเรือนในการเพาะปลูกพืชแบบไร้ดิน (Hydroponics) อีกในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

ในปัจจุบันนี้ คอมพิวเตอร์และอินเทอร์เน็ต มีความสำคัญมากในชีวิตประจำวันซึ่งโครงการนี้ได้ต้องการนำไปประยุกต์เข้ากับทางด้านการเกษตร แต่ในที่นี้ได้นำไปประยุกต์ใช้กับการปลูกพืชไร้ดินซึ่งได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาควบคุมวิธีการปลูกพืชไร้ดิน

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาควบคุมวิธีการปลูกพืชไร้ดิน เช่น ค่าอุณหภูมิ ค่า PH ของสารละลาย ค่า EC และการควบคุมการทำงานของปั้มน้ำให้ทำงานสลับกันได้ และสามารถควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์โดยผ่านคอมพิวเตอร์หรืออินเทอร์เน็ตได้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

- 1.4.1 ศึกษาวิธีควบคุมการไหลของน้ำและออกแบบแปลงผักไร้ดิน
- 1.4.2 สร้างแปลงผัก ไร้ดินตามแบบแปลนที่กำหนดไว้
- 1.4.3 ศึกษาการใช้ sensor และออกแบบชุด sensor ที่ใช้ในการควบคุม
- 1.4.4 ออกแบบชุดไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.4.5 นำชุดไมโครคอนโทรลเลอร์มาทดสอบกับชุด sensor
- 1.4.6 เขียน โปรแกรม Visual Basic
- 1.4.7 นำโปรแกรม Visual Basic มาต่อกับชุดไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.4.8 นำอุปกรณ์ทั้งหมดมาประกอบกันแล้วนำไปทำการปลูกจริงได้

บทที่ 2

Nutrient Film Technique(NFT)

2.1 แนวทางพัฒนาการปลูกพืชในระบบไร้ดิน

นักสรีรวิทยาพบว่าในการปลูกพืชในระบบไร้ดินนั้น ปัจจัยที่มีผลต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช คือ น้ำและธาตุอาหาร น้ำและธาตุอาหารเป็นปัจจัยที่จัดหาให้กับพืชได้สะดวกกว่าปัจจัยอื่นที่เกี่ยวกับการปลูกพืช ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ แสงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นในบรรยากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจนเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ไม่สะดวกหรือถ้าจะควบคุมก็ต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายสำหรับการปลูกพืชในระบบไร้ดินมากขึ้นอีก ตัวอย่างเช่น จะควบคุมแสงก็ต้องมีหลังคาที่สามารถปรับช่วงแสงต่อวันหรือความเข้มของแสงได้จึงจะมีผลต่อการควบคุมการเจริญเติบโตของพืชหรือถ้าจะควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในบรรยากาศให้เหมาะสมกับพืชมากที่สุดทุกวัน สำหรับในเมืองร้อนอย่างประเทศไทยนั้นก็ต้องสร้างห้องปลูกพืชเพื่อควบคุมอุณหภูมิโดยมีเครื่องปรับอากาศและเครื่องปรับความชื้นให้ระดับอุณหภูมิและความชื้นได้ตามความต้องการ การควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน ก็เหมือนกับการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น คือ จะต้องปลูกพืชในห้องหรือในระบบปิดจึงจะควบคุมได้ การควบคุมปัจจัยดังกล่าวมาแล้วเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายสำหรับการปลูกพืชในระบบไร้ดินโดยไม่จำเป็น ไม่สะดวกเท่ากับการควบคุมเรื่องน้ำและธาตุอาหารพืช

ในการผลิตพืชจำนวนมากในระบบการปลูกพืชไร้ดินผู้ปลูกสามารถพัฒนาการผลิตให้มีประสิทธิภาพได้โดยลดต้นทุนการผลิตในขณะที่เดียวกันเพิ่มผลผลิตให้มากกว่าเดิมที่เคยทำได้

การลดต้นทุนการผลิตในส่วนของปัจจัยของน้ำและธาตุอาหารพืชนั้น กล่าวได้ว่าจะต้องลดปริมาณน้ำและปริมาณธาตุอาหารพืชที่จะต้องให้น้อยลงแต่ให้อยู่ในระดับที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชมากที่สุด สิ่งที่ผู้ปลูกต้องพัฒนาก็คือเทคนิคของการให้น้ำและธาตุอาหาร นักสรีรวิทยาพบว่า พืชดูดซึมน้ำและธาตุอาหารพืชในรูปของไอออนทางรากและพบด้วยว่าถ้ารากพืชมีอัตราการดูดน้ำและธาตุอาหารเพิ่มมากขึ้น จะส่งเสริมให้พืชนั้นมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น

พืชจะมีประสิทธิภาพในการดูดซึมน้ำและธาตุอาหารมากขึ้นได้ก็ต่อเมื่อ

1. พืชที่ปลูกมีรากจำนวนมาก
2. รากพืชสัมผัสกับน้ำและธาตุอาหารอยู่ตลอดเวลา
3. รากพืชได้รับปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เพียงพอต่อการหายใจของราก
4. สารละลายธาตุอาหารที่รากพืชสัมผัสมีความเข้มข้นสม่ำเสมอและเหมาะสมกับอายุที่กำลัง

เจริญเติบโตหรือกล่าวอีกทางหนึ่งก็คือ ปริมาณอาหารและน้ำต้องเพียงพอพืชตลอดอายุการปลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตพืชนั้น ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของธาตุอาหารจำเป็นที่พืชควรจะได้รับและนำไปใช้เช่น นักสรีรวิทยาพบว่าจะมีปริมาณโปรตีนมากและอุ้มน้ำได้ดีในกรณีที่ได้รับธาตุไนโตรเจน ธาตุแคลเซียม ธาตุโปตัสเซียม และธาตุคลอรีน ในอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยมีปริมาณธาตุไนโตรเจนสูงกว่าปรกติ ในทางตรงกันข้าม ถ้าลดปริมาณธาตุไนโตรเจนลงแต่ไม่ให้ออกซิเจนเกิดการขาดธาตุไนโตรเจน พืชจะสร้างสารคาร์โบไฮเดรตและสะสมในรูปของน้ำตาล แป้งหรือในรูปของเซลลูโลส (cellulose) สะสมที่ผนังเซลล์ ผู้รักการเพาะปลูกพืชควรจะทราบกันดีว่าในกรณีที่มีปริมาณธาตุไนโตรเจนสูงในสารละลายธาตุอาหารที่ให้กับพืช พืชที่ปลูกจะมีใบเขียวจัด ผู้ปลูกพืชผักจึงควรให้ ธาตุไนโตรเจนในอัตราที่สูงเกินพอจะทำให้ผักเขียวสดน่ารับประทาน

ในทางตรงกันข้าม ผู้ปลูกพืชที่ต้องการผลผลิตน้ำตาลหรือแป้งในพืชมากจะต้องลดปริมาณธาตุไนโตรเจนลง แต่เพิ่มปริมาณธาตุโปตัสเซียมและธาตุฟอสฟอรัสให้มากขึ้น ปัญหาของการปลูกพืชแบบไร้ดิน

1. พบว่าการลงทุนจะสูงในระยะเริ่มต้น
2. มีปัญหายุ่งยากเรื่องการให้น้ำและธาตุอาหารพืช
3. มีปัญหาเรื่องรากพืชขาดก๊าซออกซิเจนสำหรับใช้หายใจ เช่น การปลูกในสารละลายธาตุอาหารในบางครั้งน้ำท่วมรากนานเกินไป รากพืชตกอยู่ในภาวะขาดก๊าซออกซิเจนได้ หรือถ้าปลูกในวัสดุปลูกในช่วงเวลานาน วัสดุปลูกเกิดการอัดแน่นราก พืชก็ขาดก๊าซออกซิเจนได้เช่นเดียวกัน
4. ผู้ปลูกต้องใช้เวลาสำหรับการดูแลพืชมาก
5. การใช้วัสดุปลูกมีปัญหาเรื่องเชื้อโรคพืชที่ปนมากับวัสดุปลูก เช่น ใช้ทรายก็ติดมากับทราย ใช้อิฐก็ติดมากับอิฐ เป็นต้น
6. ในกรณีที่ใช้วัสดุปลูก จะต้องจัดหาวัสดุปลูก จะต้องจัดหาวัสดุปลูกเพื่อการใช้ที่ต่อเนื่องตลอดไป ต้องมีพื้นที่เก็บและพื้นที่เตรียมวัสดุปลูกทำให้มีความจำเป็นในการใช้พื้นที่สำหรับเตรียมการปลูกพืชมากขึ้น

2.2 การแก้ไขปัญหาโดยวิธี Nutrient Film Technique (NFT)

ปัญหาของการปลูกพืชแบบไร้ดินดังกล่าวแล้ว พบว่าสามารถแก้ไขได้ด้วยวิธี Nutrient Film Technique ซึ่งในการกล่าวถึงต่อไปและจะเรียกย่อ ๆ ว่าวิธี “NFT”

ปัจจุบันมีสถาบันวิจัยที่ทำการศึกษถึงความเหมาะสมของพันธุ์พืชชนิดต่าง ๆ ที่จะปลูกโดยวิธี NFT ตัวอย่างเช่นในประเทศอังกฤษ มีสถาบันวิจัยกลาสเฮาส์ครอป (Glasshouse Crops

Research Institute) ที่ตำบลลิดเคิลแฮมพ์ตัน เมืองซัสเซกส์รับผิดชอบอยู่ สำหรับประเทศไทยนั้น ยังไม่มีสถาบันวิจัยหรือศูนย์วิจัยใดที่ทำการศึกษาดังกล่าวถึงความเหมาะสมของการปลูกพืชแบบ NFT

โดยเหตุผลที่ว่าวิธี NFT ได้รับการพัฒนามาใช้ปลูกพืชในระบบไร้ดิน เพื่อแก้ปัญหาที่เคยประสบกันมาเมื่อปลูกพืชไร้ดินโดยวิธีอื่น จึงอยู่ที่ว่าทำอย่างไรจึงจะช่วยให้พืชที่ปลูกมีอัตราการเจริญเติบโตรวดเร็วกว่าการปลูกโดยวิธีอื่น และต้องให้ต้นทุนในการผลิตต่ำด้วย ดังนั้นวิธี จะต้องรองรับวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. วิธี มีการลงทุนสูงในระยะเริ่มต้น แต่สามารถใช้อุปกรณ์ปลูกได้ระยะยาว ต้นทุนการผลิตจึงค่าเฉลี่ยต่ำ
2. เมื่อใช้เทคนิคนี้ปลูกพืชแล้ว รากพืชต้องได้รับน้ำ ธาตุอาหารและก๊าซออกซิเจนสม่ำเสมอ
3. สามารถปรับเปลี่ยนสภาพของสารละลายธาตุอาหารพืชได้สะดวก สิ่งจำเป็นที่ต้องปรับเปลี่ยนอย่างสม่ำเสมอก็คือ
 - ปรับปริมาณธาตุอาหารพืชที่จำเป็นแต่ละชนิดให้มีอยู่ในสารละลายธาตุอาหารและพอเพียงต่อการเจริญเติบโตของพืชในทุกช่วงอายุ
 - ปรับสภาพความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของสารละลายธาตุอาหาร โดยทิ้งไปให้อยู่ที่ pH 5-6 หรือที่ pH ซึ่งพืชต้องการ
 - หมั่นตรวจสอบสภาพความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่พืชใช้อยู่ โดยไม่ปล่อยให้เข้มข้นเกินไปจนทำให้พืชช็อก คือ เกิดอาการเหี่ยวเฉาและไม่เจริญเติบโต

2.3 การเลือกสถานที่ปลูกพืชแบบ NFT ในประเทศไทย

การปลูกพืชแบบ NFT จะต้องมีหลังคาถ้ำกันฝน โดยเฉพาะในฤดูฝนที่มีฝนตกชุกเกือบทุกวัน ยกเว้นในฤดูแล้งที่ฝนไม่ตก สามารถปลูกพืชแบบ NFT ในแปลงกลางแจ้งโดยไม่มีหลังคาได้ สถานที่ที่จะใช้ปลูกพืชแบบ NFT ก็มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูก ดังนั้นจึงควรเลือกสถานที่ที่ปราศจากปัญหาต่อไปนี้

1. เป็นสถานที่ชื้นแฉะมีน้ำท่วมขังตลอดปี
2. มีลมพัดแรงจัดผ่านพื้นที่ไม่อาจจะแก้ไขได้
3. อยู่ในพื้นที่แห้งแล้งซ้ำซาก ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศต่ำกว่า 35% ติดต่อกันระยะเวลายาวนานเป็นแรมเดือน
4. อุณหภูมิของอากาศในเวลากลางวันในพื้นที่สูงกว่า 45 องศาเซลเซียส ต่อเนื่องกันยาวนาน โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่จะปลูกพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. อยู่ในพื้นที่อับชื้นมาก โรคและแมลงศัตรูพืชระบาดได้ง่าย
6. มีหนูชุกชุมไม่อาจจะกำจัดได้

2.4 การเลือกชนิดของวัสดุที่ทำอุปกรณ์ NFT

อุปกรณ์ที่ใช้ในการปลูกพืชแบบ NFT มีหลายชนิดได้แก่ภาชนะปลูกที่น้ำถึงพักสารละลายธาตุอาหาร เครื่องปั๊ม ถิ่นปิดหรือเปิด ทางเดินน้ำและฝาปิดภาชนะปลูก อุปกรณ์ที่ใช้สัมผัสกับสารละลายธาตุอาหารซึ่งเป็นเกลือจะต้องไม่ผุกร่อนง่ายไม่มีสารพิษที่เป็นอันตรายต่อพืชและมนุษย์ ดังนั้นจะต้องเลือกใช้อุปกรณ์ ส่วนประกอบของการปลูกพืชแบบ NFT ที่ทำจากวัสดุต่อไปนี้

1. โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride-PVC)

โพลีไวนิลคลอไรด์ แบ่งออกเป็น 2 พวก พวกหนึ่งผสมสารพลาสติกทำให้หยุ่นตัวสามารถยืดได้เรียกว่า plasticised PVC อีกพวกหนึ่งเรียกว่า unplasticised PVC หรือเรียกย่อว่า uPVC พวก uPVC จะไม่หยุ่นตัว เพราะเป็น PVC ที่ไม่ได้ผสมสารพลาสติก uPVC จึงมีลักษณะแข็งกระด้างยืดตัวไม่ได้ แต่ uPVC มีข้อดีที่ไม่มีสารพิษเพราะไม่มีส่วนผสมของสารหยุ่นตัวพวกพลาสติก ซึ่งมีสารพิษปนอยู่จำนวนมาก uPVC มีราคาถูกกว่าวัสดุชนิดอื่น จึงนิยมใช้ทำท่อน้ำ ข้อต่อชนิดต่าง ๆ ทำรางน้ำและถังน้ำ ข้อเสียของวัสดุ uPVC อยู่ที่อายุการใช้งานสั้นเพียง 1 ปีก็จะเปราะและแตกได้ง่าย

2. โพลีโพรพิลีน (Polypropylene)

โพลีโพรพิลีน เป็นวัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์ NFT ได้เพราะไม่มีสารพิษทั้งต่อมนุษย์ สัตว์และพืช มีราคาถูก เป็นวัสดุกลุ่มเดียวกับโพลีทีน (polythene) โพลีโพรพิลีนเป็นสารวัสดุหยุ่นตัวกว่าพวกโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) สามารถใช้ท่อน้ำและข้อต่อที่คดให้เป็นรูปร่างที่ต้องการได้ หรืออาจจะใช้ทำภาชนะปลูกลักษณะรางยาวได้นิยมใช้ทำถังน้ำขนาดใหญ่เพราะไม่เปราะง่ายเหมือนพวก PVC ใช้งานได้นานกว่ามาก ข้อเสียก็คือ เวลาเกิดรอยร้าว ซ่อมได้ยากกว่าพวกวัสดุ PVC เนื่องจากพวกโพลีโพรพิลีนไม่สามารถเชื่อมต่อกันด้วยสารเชื่อมพวกพลาสติกทั้งหลาย

การทดสอบว่าอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนของภาชนะปลูก เช่น ท่อน้ำที่ใช้ต่อเพื่อการกรองน้ำว่าเป็นวัสดุพวก PVC หรือโพลีโพรพิลีนนั้นทำได้ง่าย ๆ โดยการทดลองสังเกตควันไฟจากการเผาเศษของวัสดุทั้งสองชนิด เศษวัสดุใดที่ติดไฟยาก ให้ควันน้อย หรือควันสีขาว วัสดุนั้นจะเป็นพวก PVC เศษวัสดุที่ติดไฟง่ายและลุกลามอย่างรวดเร็ว ให้ควันไฟสีดำเข้ม เศษวัสดุ ที่มีสมบัติอย่างนี้จะเป็นพวกโพลีโพรพิลีน

3. โพลีเอสเตอร์ (Polyester)

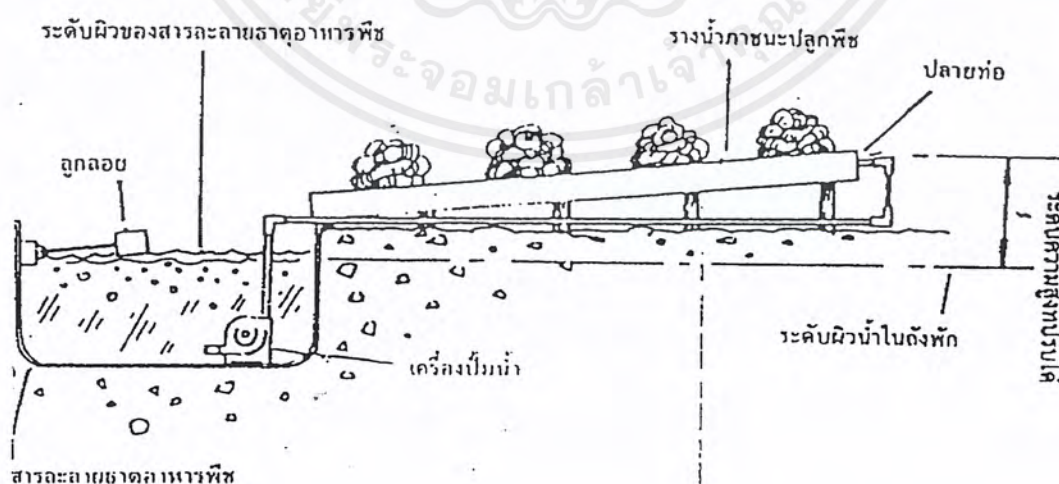
โพลีเอสเตอร์ เป็นวัสดุอีกชนิดหนึ่งที่ใช้มากในการปลูกพืชแบบ NFT สามารถใช้ทำวัสดุที่เป็นอุปกรณ์ของ NFT ได้ ที่ใช้มากคือทำถังน้ำขนาดใหญ่และรางน้ำหรือใช้มุงหลังคา ทำให้โปร่งแสง แสงลอดผ่านได้ คนไทยรู้จักกันในชื่อทั่วไปว่าไฟเบอร์กลาส (fiberglass)

4. สารพลาสติกวิศวกรรม (Engineering plastics)

ชื่อการค้าคือ พวกไนลอน (nylon) และพวกไรตอน (ryton) ใช้ในการทำส่วนประกอบของเครื่องปั้มน้ำ ที่กรองน้ำและลิ้นปิดเปิด เป็นสารที่มีราคาแพงกว่าพวก PVC และโพลีโพรพิลีน ใช้ในการปลูกพืชแบบ NFT ได้

2.5 ปั้มน้ำและการปรับอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหาร

ปั้มน้ำมีไว้เพื่อการหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหารพืชจากถังพักน้ำไปยังภาชนะปลูกจากภาชนะปลูกไหลกลับโดยแรงโน้มถ่วง โดยไหลมาตามท่อน้ำมายังถังพัก จากนั้นก็ปั้มน้ำสารละลายธาตุอาหารพืชกลับไปยังภาชนะปลูกและไหลกลับลงมายังท่อพักอีก ดินไม้ที่ปลูกจะได้รับธาตุอาหารและน้ำในระบบหมุนเวียน ความเหมาะสมของการหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหารอยู่ที่อัตราการไหลออกของสารละลายธาตุอาหาร จากปลายท่อสู่ภาชนะปลูกและอัตราการไหลกลับสู่ถังพัก อัตราการไหลที่พอเหมาะจะทำให้รางน้ำที่ใช้เป็นภาชนะปลูก มีสารละลายธาตุอาหารไหลไหลผ่านตลอดเวลาและด้วยอัตราการไหลกลับสู่ถังพักที่ใกล้เคียงกับอัตราการไหลออกจากถังพักจะทำให้ถังพักมีปริมาณสารละลายธาตุอาหารค่อนข้างคงที่ถึงพักไม่เกิดน้ำแห้งถึงหรือน้ำท่วมถึง



รูปที่ 2.1 การปรับระดับความสูงระหว่างผิวของสารละลายธาตุอาหารในถังพักกับปลายท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารไหลเข้าสู่ภาชนะปลูก ถ้าระดับความสูงของปลายท่ออยู่ในระดับเดียวกับผิวของสารละลายธาตุอาหารในถังพักจะทำให้ได้อัตราการไหลเร็วที่สุด เรียกว่า nominal output การยกท่อให้สูงขึ้นจะทำให้อัตราการไหลช้าลงจนกระทั่งไม่ไหล(รูปที่ 2.1) การหา nominal output ทำได้โดยการวัดปริมาณสารละลายธาตุอาหารที่ไหลออกจากปลายท่อ เป็นลิตรต่อนาทีโดยปกติปั๊มที่เลือกใช้จะต้องมี nominal output อยู่ในอัตราไหลที่เร็วกว่าอัตราไหลของสารละลายไหลเข้าสู่ภาชนะปลูก ปั๊มดังกล่าวจึงจะใช้ในระบบ NFT ได้ ถ้าต้องการให้การไหลเข้าของสารละลายธาตุอาหารเร็วขึ้น ก็ต้องเพิ่มประสิทธิภาพของปั๊มน้ำให้สูงขึ้น โดยเลือกใช้ปั๊มน้ำที่มี nominal output สูงขึ้น

การปรับให้อัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารสู่ภาชนะปลูกที่ระดับความสูงหนึ่งๆ จะต้องทราบ nominal output และทราบความสูงในระดับที่น้ำไม่ไหลออกจากท่อหรือระดับน้ำในท่ออยู่ที่ปลายสุดของท่อพอดี ความสูงที่ระดับนี้วัดจากผิวของสารละลายธาตุอาหารในถังพักถึงปลายสุดของท่อความสูงที่จุดนี้ เรียกว่า shut off point ดังในรูปที่ 2.2 แกน x คือ อัตราการไหลเข้าภาชนะปลูกและแกน y คือ ระดับความสูงของปลายท่อวัดสารละลายในถังพัก

กำหนดให้จุด a บนแกน x คือ nominal output มีอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารเท่ากับ 16 ลิตรต่อนาที ซึ่งเป็นความสามารถสูงสุดของปั๊มที่ใช้ จุด b บนแกน y คือ ระดับความสูง shut off point ในที่นี้ คือ 5 เมตร แล้วลากเส้นกราฟ ab เพื่อใช้ประโยชน์ในการประมาณอัตราการไหลที่ระดับความสูงต่างๆ

ตัวอย่างเช่น ถ้าปลายท่ออยู่ที่ความสูง 1.5 เมตร(จุด c) อัตราการไหลเข้าจะหาได้โดยการลากเส้นตั้งฉากกับแกน y ที่จุด c ไปตัดกับเส้นกราฟ ab ที่จุด d จากจุด d ลากเส้นตรงให้ตั้งฉากกับแกน x ที่จุด c อ่านค่าอัตราเร็วของการไหลเข้าบนสเกลของแกน x ที่จุด c อ่านได้เท่ากับ 12 ลิตรต่อนาที ก็จะทราบว่าอัตราเร็วของการไหลออกจากปลายท่อที่ความสูง 1.5 เมตรนั้นเท่ากับ 12 ลิตรต่อนาที ถ้าต้องการทราบที่ระดับความสูงอื่น ก็ให้ทำวิธีเดียวกัน(รูปที่ 2.2)

ในทางปฏิบัติสำหรับการปลูกพืชแบบ NFT สามารถปรับอัตราการไหลเข้าสู่ภาชนะปลูกที่เหมาะสมโดยการยกปลายท่อขึ้นจนกระทั่งได้อัตราการไหลที่ทำให้สารละลายธาตุอาหารไหลต่อเนื่องในลักษณะที่ต่อเนื่องเป็นฟิล์มบางๆ ซึ่งสูงท่วมรากพอดีแล้ววัดความสูงของปลายท่อที่ระดับนั้นแล้วนำไปอ่านค่าอัตราการไหลได้จากกราฟ

เมื่อทราบอัตราการไหลเข้าแล้วนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปริมาณสารละลายธาตุอาหารในภาชนะปลูกไม่ให้เกิดภาวะท่วมขังได้ ซึ่งมีหลักการ คือ อัตราการไหลเข้าภาชนะปลูกต้องเท่ากับอัตราการไหลออกจากภาชนะปลูก การวัดอัตราการไหลออกจากภาชนะปลูกทำได้โดยการวัดปริมาณสารละลายธาตุอาหารที่ไหลออกจากภาชนะปลูกเป็นลิตรต่อนาที ถ้าวัดได้น้อยกว่าอัตรา

บทที่ 3

ทฤษฎี

3.1 สมดุลความร้อนภายในท่อ PVC

ความร้อนที่มีผลทำให้อุณหภูมิของน้ำภายในท่อ PVC สูงขึ้นโดยความร้อนต่าง ๆ ประกอบไปด้วย

1. ความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ที่เกิดการดูดกลืนความร้อนที่ผิวท่อด้านนอก
2. การถ่ายเทความร้อน โดยการพาความร้อนจากด้านนอกของท่อเข้าสู่ภายในท่อ และการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนจากอากาศภายในท่อไปสู่สู่น้ำยา
3. การถ่ายเทความร้อน โดยการพาความร้อนจากอากาศที่สภาวะแวดล้อมไปสู่ผิวท่อในทุกๆ ด้านและการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนที่ผิวท่อด้านในไปสู่สู่น้ำยาและอากาศภายในท่อ
4. การถ่ายเทความร้อน โดยการแผ่รังสีจากพื้นไปสู่ผิวท่อด้านล่าง
5. การถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการสะท้อนแสงจากพื้นไปสู่ผิวท่อด้านล่าง
6. การแผ่รังสีความร้อนจากท่อสู่ท้องฟ้า

3.2 สมมติฐานที่ใช้ในการศึกษาอุณหภูมิของน้ำภายในท่อ

1. อุณหภูมิของน้ำภายในท่อโดยเฉลี่ยเท่ากับอุณหภูมิของน้ำยาที่กึ่งกลางท่อ
2. อุณหภูมิที่ผิวท่อด้านนอกสม่ำเสมอเท่ากันทุกจุด
3. การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ผิวท่อมียค่าเท่ากันทุกจุด
4. ค่าการส่งผ่านของรังสีแสงอาทิตย์ผ่านผนังท่อมียค่าเป็นศูนย์ (เป็นวัตถุทึบแสง)
5. ไม่มีความร้อนเกิดขึ้นในผนังท่อ

3.3 ประเภทของรังสีที่ผิวโลก

รังสีที่ผิวโลกประกอบด้วย

3.3.1 รังสีตรง (beam or direct radiation) เป็นรังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงและตกลงบนผิวรับแสงมีทิศทางที่แน่นอนที่เวลาหนึ่งเวลาใดทิศของรังสีตรงอยู่ในแนวตั้งฉากแสงอาทิตย์

3.3.2 รังสีกระจาย (diffuse radiation) เป็นรังสีแสงอาทิตย์ที่สะท้อนและกระจายโดยก๊าซ ฝุ่นละอองและวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อน ตกกระทบผิวรับแสงรังสีกระจายมาจากทุกทิศทุกทางในท้องฟ้า

3.3.3 รังสีรวม (total หรือ global radiation) เป็นผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ค่าการแผ่รังสี (Emissivity, E)

ค่าการแผ่รังสีความร้อน คือ อัตราส่วนของพลังงานจากการแผ่รังสีที่ปล่อยออกจากวัตถุต่อพลังงานจากการแผ่รังสีที่ถูกปล่อยออกจากวัตถุดำที่อุณหภูมิเดียวกัน การแผ่รังสีขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของผิวของวัตถุ ค่าการแผ่รังสีมีค่าเท่ากับการดูดกลืนรังสีและมีความสำคัญมากในการถ่ายเทความร้อนแบบการแผ่รังสี เพราะเป็นสัมประสิทธิ์ที่ใช้คำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี

3.4.1 การแผ่รังสีความร้อนจากวัตถุดำ โดยอาศัยข้อมูลจากการทดลองของสตีเฟน (Stefan) พบว่า ความร้อนที่แผ่ออกมาจากวัตถุดำ ดังสมการ

$$E_b = \sigma T^4 \quad (3.1)$$

ต่อมาโบลซ์แมน (Boltzman) ได้พิสูจน์สมการข้างต้น โดยได้อาศัยทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิกส์ และเป็นที่รู้จักกันว่าสมการของสตีเฟน-โบลซ์แมน (Stefan-Boltzman equation)

$$\int_0^{\infty} E_{b\lambda} d\lambda = \sigma T^4 \quad (3.2)$$

โดยที่ λ คือความยาวคลื่น

σ คือค่า Stefan-Boltzman ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$)

ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีจากวัตถุที่เป็นวัตถุดำ ที่มีอุณหภูมิ T และพื้นที่ผิว A ดังสมการ

$$Q_b = \sigma AT^4 \quad (3.3)$$

3.4.2 การแผ่รังสีความร้อนจากวัตถุเทา

อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีจากวัตถุเทา คือ

$$Q = \epsilon Q_b = \epsilon \sigma AT^4 \quad (3.4)$$

เมื่อ ϵ คือค่าการแผ่รังสีของวัตถุเทา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การประมาณค่ารังสีแสงอาทิตย์

ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์รายเดือนเฉลี่ยรายชั่วโมง โดยอ้างอิงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับประเมินรังสีแสงอาทิตย์ Hirunlabh et.AI. ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ทางสถิติของรังสีรวม (Global Solar Radiation) และชั่วโมงที่มีแดด (Sunshine hour) ความสัมพันธ์ระหว่างรังสีรวมกับรังสีกระจาย (Diffuse Radiation) และความสัมพันธ์ระหว่างรังสีรายชั่วโมง (Hourly Radiation) และรังสีรายวัน (Daily Radiation)

3.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยรังสีรวมรายเดือนและชั่วโมงที่มีแดด

Page (1964) ได้ทำการเสนอการหาค่ารังสีรวมรายเดือนเฉลี่ยรายวันบนพื้นราบซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่ารังสีความร้อนนอกบรรยากาศของโลก ดังสมการ

$$\bar{H} = \bar{H}_0 \left[a + b \left(\frac{\bar{S}}{\bar{N}} \right) \right] \quad (3.5)$$

เมื่อ \bar{H} คือ ค่าเฉลี่ยรายเดือนของค่ารายวันของพลังงานรังสีรวมบนพื้นราบ ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$)

\bar{H}_0 คือ ค่ารังสีแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$)

\bar{S} คือ ชั่วโมงที่มีแดดเฉลี่ยรายเดือน โดยใช้ข้อมูลทางสถิติของกรุงเทพฯ (1981-1988) ดังแสดงในสมการที่ 3.1

\bar{N} คือ ความยาวของวันเฉลี่ยรายเดือน

a, b คือ สัมประสิทธิ์การถดถอย ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 Monthly mean sunshine hours

Month	\bar{S} (hr)	Month	\bar{S} (hr)
January	8.16	July	5.17
February	8.29	August	4.65
March	8.60	September	4.65
April	7.44	October	5.05
May	6.54	November	5.53
June	4.98	December	7.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 Coefficient of the correlation of monthly mean daily data between global radiation and sunshine hours, Hiranlabh et.,al improved by Santisirisomboon

Station	Mean of $\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0}$	Coefficient		R	RSME
		a	b		
KMITT	0.5354	0.3097	0.3914	0.3776	0.0612
Chiangmai	0.5694	0.3579	0.3531	0.9049	0.0624
Ubon Raja Thani	0.5534	0.2626	0.4526	0.9369	0.0695
Hat Yai	0.5271	0.2733	0.4344	0.8584	0.0416

$$\bar{H}_0 = \frac{24 \times 360}{\pi} G_{sc} \left\{ \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360 \times n}{365} \right) \right] \times \left[\cos \phi \cos \delta \cos W_s + \frac{2\pi W_s}{360} \right] \right\} \quad (3.6)$$

เมื่อ G_{sc} คือ ค่าคงที่พลังงานแสงอาทิตย์ (W/m^2)

ϕ คือ เส้นรุ้งของตำแหน่งที่ต้องการทราบค่ารังสี

n คือ วันที่ของปี

δ คือ declination = $23.45 \sin \left(\frac{360 \times (284 + n)}{365} \right)$

W_s คือ มุมดวงอาทิตย์ขึ้น = $\cos^{-1} (-\tan \phi \tan \delta)$

3.5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยรายเดือนของรังสีกระจายและรังสีรวม

Collares-Perira ได้เสนอสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรังสีกระจายกับรังสีรวม ดังนี้

$$\frac{\bar{H}_D}{\bar{H}_0} = -4.6408 + 26.5495 \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} - 28.3422 \left[\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \right]^2 - 31.4546 \left[\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \right]^3 + 46.4421 \left[\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \right]^4 \quad (3.7)$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (The Correlation Coefficient) มีค่าเท่ากับ 0.9443 และ The Root Mean Square Error (RMSE) มีค่าเท่ากับ 0.0999 สมการนี้ใช้ในการประมาณค่ารังสีกระจายได้ทั่วประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรายชั่วโมงกับรายวัน

โดยใช้สมการของ Collares-Perira ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมรายชั่วโมงกับ รังสีรวมรายวัน ดังสมการ

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos W) \left[\frac{\cos W - \cos W_s}{\sin W_s - W_s \cos W_s} \right] \quad (3.8)$$

$$a = a_1 + a_2 \sin(W_s - 1.047)$$

$$b = b_1 + b_2 \sin(W_s - 1.047)$$

เมื่อ W คือมุมชั่วโมง

a_1, a_2, b_1, b_2 คือ สัมประสิทธิ์ความถดถอย ดังแสดงในตารางที่ 3.4

$$r_t = \frac{\bar{I}}{H} \quad (3.9)$$

เมื่อ \bar{I} คือ รังสีรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยรายเดือน

ตารางที่ 3.3 Coefficients of the correlation between mothly mean hourly global radiation and monthly mean daily global radiation : Hirunlabh et., al

Station	Coefficient				R	RSME
	a_1	a_2	b_1	b_2		
KMITT	0.792	-0.25	0.189	0.417	0.9754	0.0105
Chiangmai	0.514	0.228	0.512	0.83	0.9753	0.0108
Ubon Raja Thani	0.76	-0.031	0.207	0.238	0.9718	0.0110
Hat Yai	0.607	-0.124	0.417	0.007	0.9747	0.0104

3.5.4 รังสีรวมรายชั่วโมงบนผิวเอียง

รังสีรวมรายชั่วโมงบนผิวเอียงคำนวณจาก

$$I_t = r_t \cdot \bar{H}_t \quad (3.10)$$

เมื่อ I_t คือรังสีรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยรายเดือนบนผิวเอียงและ \bar{H}_t คือรังสีรวมรายวันเฉลี่ยรายเดือนบนผิวเอียง ซึ่งคำนวณจาก

$$\bar{H}_t = \bar{H} \left[1 - \frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} \right] \bar{R}_b + \bar{H}_D \left[\frac{1 + \cos \theta}{2} \right] + 0.2 \bar{H} \left[\frac{1 - \cos \theta}{2} \right] \quad (3.11)$$

สำหรับซีกโลกเหนือ $r = 0$ องศา (พื้นเอียงหันไปทางทิศใต้)

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \delta \sin W_s + \left(\frac{\pi}{180} \right) W'_s \sin(\phi - \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \sin W_s + \left(\frac{\pi}{180} \right) W_s \sin \phi \sin \delta} \quad (3.12)$$

$$W'_s = \min[\cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta), \cos^{-1}(-\tan(\phi - \beta) \tan \delta)] \quad (3.13)$$

สำหรับซีกใต้ $\gamma = 180$ องศา (พื้นเอียงหันไปทางทิศเหนือ)

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\phi + \beta) \cos \delta \sin W_s + \left(\frac{\pi}{180} \right) W'_s \sin(\phi + \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \sin W_s + \left(\frac{\pi}{180} \right) W_s \sin \phi \sin \delta} \quad (3.14)$$

$$W'_s = \min[\cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta), \cos^{-1}(-\tan(\phi + \beta) \tan \delta)] \quad (3.15)$$

นอกจากนี้ กรณี $\gamma = 0$ องศา และ $\gamma \neq 180$ องศา สามารถหาจากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\bar{R}_b = \left[\begin{aligned} &(\cos \beta \sin \delta \sin \phi)(W_{SS} - W_{SR}) \left(\frac{\pi}{180} \right) - (\sin \delta \cos \beta \cos \gamma)(W_{SS} - W_{SR}) \left(\frac{\pi}{180} \right) \\ &+ (\cos \phi \cos \delta \cos \beta)(\sin W_{SS} - \sin W_{SR}) - (\cos \delta \sin \beta \sin \gamma)(\cos W_{SS} - \cos W_{SR}) \end{aligned} \right] \\ / 2 \left(\cos \phi \cos \delta \sin W_S + \left(\frac{\pi}{180} \right) W_S \sin \phi \sin \delta \right) \quad (3.16)$$

$$\gamma > 0 \quad W_{SR} = -\min \left(W_S, \ar \cos \left[\left(AB + \sqrt{A^2 - B^2 + 1} \right) / (A^2 + 1) \right] \right) \\ W_{SS} = \min \left(W_S, \ar \cos \left[\left(AB - \sqrt{A^2 - B^2 + 1} \right) / (A^2 + 1) \right] \right)$$

$$\gamma > 0 \quad W_{SR} = -\min \left(W_S, \ar \cos \left[\left(AB - \sqrt{A^2 - B^2 + 1} \right) / (A^2 + 1) \right] \right) \\ W_{SS} = \min \left(W_S, \ar \cos \left[\left(AB + \sqrt{A^2 - B^2 + 1} \right) / (A^2 + 1) \right] \right)$$

$$A = \frac{\cos \phi}{[\sin \gamma \tan \beta]} + \frac{\sin \phi}{\tan \gamma}$$

$$B = \tan \delta \left\{ \frac{\cos \phi}{\tan \gamma} - \frac{\sin \phi}{[\sin \gamma \tan \beta]} \right\}$$

$$W'_S = \text{มุมชั่วโมงพระอาทิตย์ตก (Sunset hour angle) (ชั่วโมง)}$$

3.6 ค่าการดูดกลืน ค่าการสะท้อนกลับและค่าการส่งผ่านรังสีแสงอาทิตย์

เมื่อพลังงานจากการแผ่รังสีความร้อนตกกระทบลงบนผิววัตถุใด ๆ พลังงานบางส่วนจะถูกดูดกลืนไว้ในวัตถุ (absorbivity, α) บางส่วนจะถูกสะท้อนกลับออกมา (reflectivity, ρ) และบางส่วนเคลื่อนที่ผ่านวัตถุนั้นไป ซึ่งเมื่อรวมกันจะต้องเท่ากับพลังงานเดิม

$$\text{ค่าการดูดกลืน } (\alpha) = \text{พลังงานที่ถูกดูดกลืนไว้} / \text{พลังงานที่ตกกระทบ}$$

$$\text{ค่าการสะท้อนกลับ } (\rho) = \text{พลังงานที่สะท้อนออกมา} / \text{พลังงานที่ตกกระทบ}$$

$$\text{ค่าการส่งผ่าน } (\gamma) = \text{พลังงานที่ส่งผ่านวัตถุ} / \text{พลังงานที่ตกกระทบ}$$

จากกฎการไม่สูญหายของพลังงานจะได้

$$\alpha + \rho + \gamma = 1 \quad (3.17)$$

ในกรณีที่ท่อมีความหนาและทึบแสง พลังงานจะส่งผ่านไปได้้น้อยมาก ซึ่งก็คือ $\gamma = 0$ ดังนั้นกรณีนี้

$$\alpha + \rho = 1 \quad (3.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากกฎของ Kirchoff ได้ให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนและค่าการแผ่รังสีดังนี้ คือ
ที่อุณหภูมิเดียวกัน ค่าการดูดกลืนจะเท่ากับค่าการแผ่รังสี หรือ $\alpha = \epsilon$
ดังนั้น

$$\epsilon + \rho = 1 \quad (3.19)$$

สำหรับอากาศ ค่าการดูดกลืนและค่าการสะท้อนกลับมีค่าน้อยมาก คือ $\alpha = \rho = 0$
ดังนั้น

$$\gamma = 1 \quad (3.20)$$

3.7 การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนอย่างอิสระโดยลม

3.7.1 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยลม

จากสมการของ Watmuff และคณะในปี 1977 มีสมการดังต่อไปนี้

$$h = 2.8 + 3.0 V \quad (3.21)$$

เมื่อ h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนอย่างอิสระ โดยลม (W/m^2C)

V คือ ความเร็วลมที่ได้จากการวัด (m/s)

ดังนั้นอัตราการพาความร้อน โดยการพาความร้อนอย่างอิสระ โดยลมจากสิ่งแวดล้อม (T_{amb})

ไปยังผิวท่อ

$$q_c = \bar{h}_{c,w} A (T_{tube,out}) \quad (3.22)$$

หรือ

$$q_c = \dot{m} C_p \Delta T \quad (3.23)$$

เมื่อ $\bar{h}_{c,w}$ คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย โดยลม ($W/m^2.K$)

A คือ พื้นที่ผิวของวัตถุที่สัมผัสกับของไหล (m^2)

T_{amb} คือ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (K)

$T_{tube,out}$ คือ อุณหภูมิที่ผิวด้านนอกของท่อ (K)

ค่า $\bar{h}_{c,w}$ นอกจากจะได้ออกมาจากการวิเคราะห์และโดยการทดลองแล้ว (การวัด) ยังสามารถที่จะประมาณค่าได้จากตาราง 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่าโดยประมาณของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย

ประเภทการพาความร้อนและชนิดของของไหล	\bar{h}_c (W/m ² .K)
การพาความร้อนแบบอิสระ, อากาศ	5-25
การพาความร้อนแบบอิสระ, น้ำ	20-100
การพาความร้อนแบบบังคับ, อากาศ	10-200
การพาความร้อนแบบบังคับ, น้ำ	50-10,000
น้ำกำลังเดือด	3,000-100,000
ไอของน้ำที่กำลังกลั่นตัว	5,000-100,000

3.8 การถ่ายเทความร้อนโดยการนำในระบบแกนของวัตถุรูปทรงกระบอก

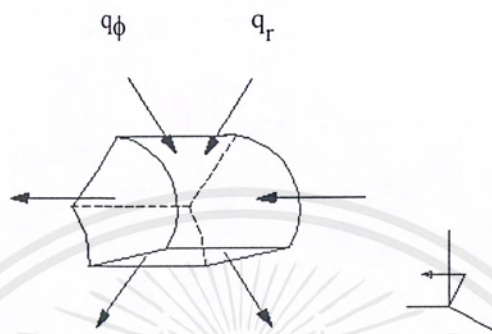
เนื่องจากค่าการนำความร้อนนั้นขึ้นอยู่กับรูปร่างของวัตถุ ดังนั้นจึงถือว่าสมการการนำความร้อนนั้นขึ้นอยู่กับระบบของแกน สำหรับปัญหาการนำความร้อนแบบ 3 มิติที่สภาวะต่างๆ ยังไม่คงที่ในระบบแกนของวัตถุรูปทรงกระบอกที่อุณหภูมิ $T = T(r, \phi, Z, t)$ ดังนั้นจะได้สมการการนำความร้อนในระบบแกนของวัตถุรูปทรงกระบอกจะได้

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} + \frac{q'''G}{k} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.24)$$

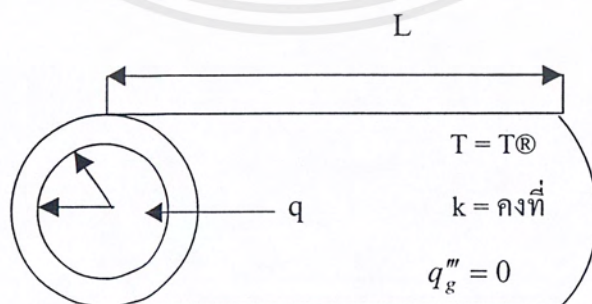
ในกรณีที่ไม่มีความร้อนเกิดขึ้นในผนังท่อ และอุณหภูมิเป็นฟังก์ชันของรัศมีแต่เพียงอย่างเดียว สมการการนำความร้อนของปัญหาที่สภาวะต่างๆ คงที่ตามระบบแกนของวัตถุรูปทรงกระบอกจะเป็น

$$\frac{d}{dr} \left(r \cdot \frac{dT}{dr} \right) = 0 \quad (3.25)$$

สำหรับการนำความร้อนตามแนวรัศมีของวัตถุรูปทรงกระบอกกลวง มีความยาว λ ดังรูป



รูปที่ 3.2 การถ่ายเทความร้อนโดยการนำในแนวรัศมีของวัตถุรูปทรงกระบอก



รูปที่ 3.3 วัตถุรูปทรงกระบอกกลวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการถ่ายเทความร้อนจากกฎของฟูเรียร์ที่ใช้ในระบบแกนของวัตถุรูปทรงกระบอกจะได้

$$q_k = -kA \frac{dT}{dr} = -k(2\pi r \lambda) \frac{dT}{dr} \quad (3.26)$$

โดยมีเงื่อนไขขอบเขตดังนี้

(1) ที่ $r = r_i$ จะให้ $T = T_i$

(2) ที่ $r = r_o$ จะให้ $T = T_o$

เมื่อแก้สมการและใช้เงื่อนไขทั้งสองก็จะได้อุณหภูมิที่รัศมีต่าง ๆ เป็นดังนี้

$$T = T_i - (T_o - T_i) \frac{\ln(r/r_i)}{\ln(r_o/r_i)} \quad (3.27)$$

แทนค่าการกระจายของอุณหภูมิ $\frac{dT}{dr}$ และดิฟเฟอเรนเชียลสมการ T ลงในสมการ q ก็จะได้อัตราการนำความร้อนผ่านผนังท่อเป็น :

$$\therefore q_k = \frac{T_o - T_i}{\ln(r_o/r_i) / 2\pi k \lambda} \quad (3.28)$$

3.9 สมการการถ่ายเทความร้อนโดยรวมในสถานะที่น้ำยาไม่เคลื่อนที่

อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมในขณะน้ำยาไม่เคลื่อนที่ก็จะเป็นผลรวมของการถ่ายเทความร้อน โดยการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนโดยลม และการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน ดังนั้น

$$q = q_r + q_{c, wind} + q_{k, \text{ผนังท่อ}} + q_{c, \text{ผนัง-อากาศ}} + q_{c, \text{อากาศ-น้ำยา}} + q_{c, \text{ผนัง-น้ำยา}} + q_{r, gr} + q_{ref, gr} \quad (3.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ q	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม (W/m^2)
q_r	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (W/m^2)
$q_{c, wind}$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการพาความร้อน โดยลม (W/m^2)
$q_{k, ผนังท่อ}$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการนำที่ผนังท่อ (ด้านนอกไปสู่ด้านใน) (W/m^2)
$q_{c, ผนัง\rightarrow\text{อากาศ}}$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการพาความร้อนของอากาศ ภายในท่อ (จากผนังท่อด้านในไปสู่อากาศภายในท่อ) (W/m^2)
$q_{c, \text{อากาศ}\rightarrow\text{น้ำยา}}$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการพาความร้อนจากอากาศ ไปสู่น้ำยา (W/m^2)
$q_{c, ผนัง\rightarrow\text{น้ำยา}}$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการพาความร้อนจากผนังท่อด้านใน ไปสู่น้ำยา (W/m^2)
$q_{r, gr}$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการแผ่รังสีจากพื้นไปสู่ผิวท่อ ด้านล่าง (W/m^2)
$q_{ref, gr}$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการสะท้อนจากพื้นดิน (W/m^2)

3.10 รูปแบบการไหลของน้ำยาในท่อแนวราบ

การไหลของน้ำยาในท่อตามแนวราบ สามารถที่จะแบ่งรูปแบบการไหลได้เป็น 9 แบบหลัก ๆ ได้ดังนี้

3.10.1 การไหลที่เกิดขึ้น ณ ความเร็วก๊าซต่ำ ที่ผิวหน้าของของเหลวจะเรียบมีก๊าซอยู่ด้านบนของท่อ ไม่มีฟองอากาศเล็ก ๆ เกิดขึ้นในของเหลว เรียกว่า Plug Flow

3.10.2 การไหลที่เกิดเมื่อดอกอากาศอยู่ในน้ำ ส่วนใหญ่จะเกิดบริเวณใกล้ขอบท่อด้านบนและมีน้ำไหลอยู่เต็มท่อ เรียกว่า Bubble Flow

3.10.3 การไหลแบบแยกชั้นโดยสมบูรณ์ และของเหลวจะมีผิวเรียบ เรียกว่า Stratified Flow

3.10.4 การไหลที่ผิวหน้าของของเหลวจะเป็นคลื่นไหลตามกันเป็นลูก ๆ คลื่นจะมีความสูง แต่จะไม่มีการกระจายในแนวรัศมี ไม่มี bubble เกิดขึ้น มีลักษณะการไหลเป็น 2 มิติ ที่มีระยะลูกคลื่นค่อนข้างคงที่ เรียกว่า Two-Dimensional Wavy Flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10.5 การไหลที่เกิดคลื่นใน 3 มิติ ซึ่งคล้ายกับระบบ 2 มิติ แต่จะมีการกระจายตัวในแนวรัศมีหรือการกระเพื่อมออกทางด้านข้าง มีระยะลูกคลื่นไม่คงที่เหมือนใน 2 มิติ เกิดที่ความเร็วของอากาศสูงกว่าการเกิดคลื่นใน 2 มิติ เรียกว่า Three-Dimensional Wavy Flow

3.10.6 การไหลที่มีลักษณะของผิวหน้าของของเหลวเป็นคลื่นที่มีความถี่มาก เนื่องจากความเร็วของก๊าซที่สูงมากเมื่อเทียบกับความเร็วของของเหลว เรียกว่า Violent Flow

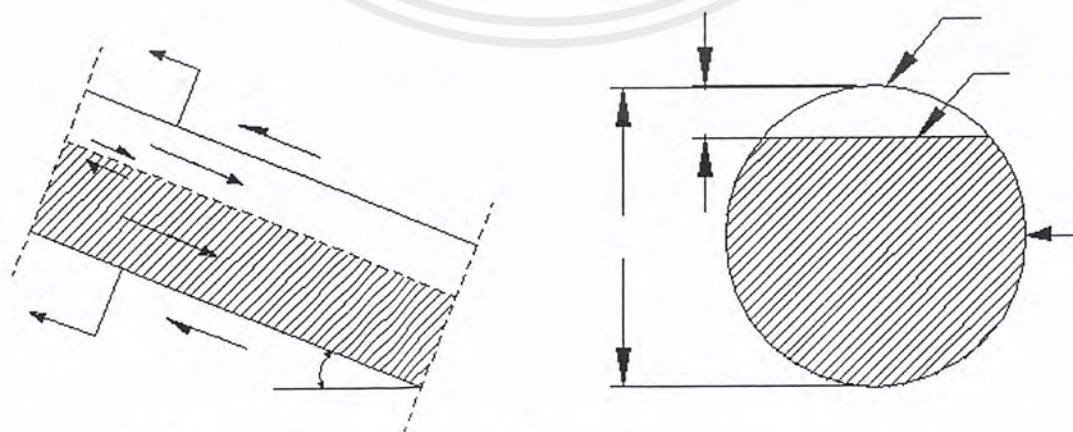
3.10.7 การไหลที่ของเหลวไหลเป็นก้อนที่ไม่ต่อเนื่อง บริเวณก่อนของเหลวจะมีของเหลวสัมผัสผิวด้านบนของท่อ เกิดขึ้นเมื่อของเหลวมีความเร็วค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับลักษณะการไหลแบบอื่น ๆ และจะมีฟองหรือเม็ดเล็ก ๆ อยู่ภายในก้อนของเหลว บริเวณด้านหน้าของเหลวมีลักษณะเป็น wavy flow และบริเวณด้านหลังก้อนของเหลวมีลักษณะเป็น stratified flow หรือ wavy flow ซึ่งเรียกว่า Slug Flow

3.10.8 การไหลเป็นก้อน ๆ แบบ Slug Flow แต่ยอดของคลื่นจะไม่สัมผัสผิวด้านบนของท่อ จะเกิดฟองของของเหลวกระจายอยู่ทั้งด้านหน้าและด้านหลังของยอดคลื่น บริเวณด้านหน้าและด้านหลังจะมีลักษณะเป็น wavy flow และพยายามก่อตัวเองให้เป็น slug flow แต่ไม่สามารถเป็นได้เนื่องจากของเหลวมีปริมาณน้อยเกินไป ถ้าหากของเหลวมีความเร็วมากพอ ก็จะเป็น slug flow ในที่สุด เรียกว่า Semi-Slug Flow

3.10.9 การไหลที่มีของเหลวไหลบริเวณขอบท่อ มีก๊าซและฟองของของเหลวไหลอยู่ตรงกลางท่อซึ่งมีของเหลวล้อมรอบอยู่คล้ายรูปทรงกระบอก เรียกว่า Annular Flow

3.11 การไหลแบบแยกชั้นของสมการสองสถานะโดยใช้สมการโมเมนตัม

ในการหาค่าการถ่ายเทความร้อนภายในท่อ โดยการพาความร้อน



รูปที่ 3.5 การไหลตามกันแบบแยกชั้นของสารสองสถานะแบบราบเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการโมเมนตัมของของเหลว

$$\dot{m}_L = A_L d_p + \tau_{wL} S_L dx - \tau_i S_i dx - \rho_L A_L dx \cdot g \sin \alpha = 0 \quad (3.30)$$

สมการโมเมนตัมของก๊าซ

$$\dot{m}_g = A_g dp + \tau_{wg} S_g dx + \tau_i S_i dx - \rho_g A_g dx \cdot g \sin \alpha = 0 \quad (3.31)$$

เมื่อพิจารณาสมการ (3.18) และ (3.19) ที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กันจะได้

$$\dot{m} = \left[\tau_{wg} \left(\frac{S_g}{A_g} \right) \right] \left[\tau_{wL} \left(\frac{S_L}{A_L} \right) \right] + \left[\tau_i S_i \left(\frac{1}{A_L} + \frac{1}{A_g} \right) \right] + (\rho_L - \rho_g) g \sin \alpha = 0 \quad (3.32)$$

ความเค้นเฉือนที่ผนังสำหรับของเหลว

$$\tau_{wL} = \left(\frac{f_L \rho_L V_L^2}{2} \right) \quad (3.33)$$

ความเค้นเฉือนที่ผนังสำหรับก๊าซ

$$\tau_{wg} = \left(\frac{f_g \rho_g V_g^2}{2} \right) \quad (3.34)$$

ค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานของของเหลว

$$f_L = C_L \left(\frac{d_L V_L}{\nu_L} \right)^{-n} \quad (3.35)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานของก๊าซ

$$f_g = C_g \left(\frac{d_g V_g}{\nu_g} \right)^{-m} \quad (3.36)$$

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถหาพารามิเตอร์เส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิก (Hydraulic diameter parameter) d_L และ d_g โดยความคิดของ Agrawal et al (1973)

$$d_L = \frac{4A_L}{S_L} \quad (3.37)$$

และ

$$d_g = \frac{4A_g}{S_g + S_L} \quad (3.38)$$

สำหรับค่า Coefficient C_L , N , และ m ซึ่งได้จากการศึกษาการทดลองแบบไหลตามกัน โดย Taitel และ Dukler ซึ่งมีค่าดังนี้

การไหลแบบ Laminar $C_g = C_L = 16$ และ $n = m = 1$

การไหลแบบ Turbulent $C_g = C_L = 0.046$ และ $n = m = 0.2$

การพิจารณาว่าเป็นการไหลแบบ Turbulent หรือ Laminar โดยดูจากค่า Reynolds number

สำหรับของเหลว $R_e = \frac{V_L d_L}{\nu_L} \quad (3.39)$

สำหรับก๊าซ $R_e = \frac{V_g d_g}{\nu_g} \quad (3.40)$

ในกรณีของการไหลภายในท่อจะพิจารณาว่าเป็นการไหลแบบLaminar เมื่อมีค่า $R_e \leq 2,300$ แต่ถ้าค่า $R_e > 2,300$ ก็จะเป็นการไหลแบบ Turbulent โดยปกติจะเป็นการไหลแบบ Turbulent โดยสมบูรณ์นั้นจะมีค่า $R_e = 6,000$

ค่า Interfacial shear stress โดยทั่ว ๆ ไปหาได้จากสมการ

$$\tau = \frac{f_i \rho_g (V_g - V_L)^2}{2} \quad (3.41)$$

Gazley (1949) ให้ค่า $f_L = f_g$ สำหรับการไหลตามกันแบบ Laminar และ $V_g \gg V_L$ ความเร็วระหว่างผิวหน้าสัมผัสของก๊าซและของเหลวมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง V_L และถ้าสมมติให้ $V_g = V_L$ สมการ Interfacial shear stress จะเป็นไปตามสมการ

$$\tau_i = \frac{f_i \rho_g (V_g + V_L)^2}{2} \quad (3.42)$$

เมื่อแทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการที่ (3.33) ถึงสมการที่ (3.42) แล้วก็นำค่าต่าง ๆ ที่ได้ไปแทนค่าลงในสมการที่ (3.30) และสมการที่ (3.31) ก็จะได้อัตราการไหลในแต่ละสถานะ คือ \dot{m}_L และ \dot{m}_g จากนั้นก็นำไปแทนค่าลงในสมการการถ่ายเทความร้อนโดยการพา ดังนั้นสมการการถ่ายเทความร้อนที่คำนวณจากค่าอัตราการไหลโดยมวลของสารสองสถานะคือ

$$q_e = \dot{m}_L C_p \Delta T + \dot{m}_g C_p \Delta T \quad (3.43)$$

บทที่ 4

การดำเนินการวิจัย

4.1 ลักษณะและสมบัติของท่อ PVC

ในงานวิจัยนี้จะแบ่งการวิจัยออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่รับแสงโดยตรง และอีกส่วนคือ ส่วนที่อยู่ภายในโรงเรือน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

สมบัติของท่อ PVC

- หน้า 5.2 mm. ยาว 2 เมตร จำนวน 10 ท่อ โดยแยกออกเป็น 2 ชุด ๆ ละ 5 ท่อ ซึ่งมีสีทั้งหมด 5 สีเหมือนกันทั้ง 2 ชุด คือ สีแดง สีขาว สีเทา สีฟ้า และสีเหลือง
- ความสูงจากพื้นดิน 1 เมตร
- ท่อด้านหนึ่งทำมุมเอียง 5 องศา กับแนวระนาบ เจาะรูท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm. ทุกท่อ ๆ ละ 10 รู แต่แต่ละรูห่างกัน 20 cm.
- อุณหภูมิใช้งาน 30°C
- ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity, k) 0.09 W/m.°C
- ความหนาแน่น 1,700 kg/m³ (Density, ρ)
- ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat, C_p) 1.1 kJ/kg.°C
- ค่าการกระจายความร้อน (Thermal Diffusivity, α) $0.48 \times 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$
- ระดับน้ำภายในท่อมีความสูง 6 cm.

สมบัติของสแลน

- ความหนาแน่นของสแลน (ρ_s) 910 kg/m³ [10]
- ความจุความร้อนของสแลน ($C_{p,slan}$) 1926 J/kg.K [10]
- สแลน 50% แสงผ่านได้ 67.2% [ได้จากการวัด]
- สแลน 60% แสงผ่านได้ 60.6% [ได้จากการวัด]
- สแลน 70% แสงผ่านได้ 54% [ได้จากการวัด]
- สแลน 80% แสงผ่านได้ 44.7% [ได้จากการวัด]

4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. Digital Thermometer Serial No. 5219005 Model : 2175A
2. Selector Switch Type SP6
3. Thermocouple Type K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Solar Integrator Serial No. 14109716 Model : SPD-003
5. Pyranometer Serial No. 01069714 Model : S001 Correction Factor 26.59 MV/m²
6. Thermo-Anemometer Serial No. 16089125 Model : KM 4003
7. Thermal Emissometer Serial No. 516 Model : AE
8. Pyranometer (Gipp & Zonen) Serial No. 955691 Model : CM11

Sensitivity 5.26×10^{-6} V/W/M²

9. Spectrophotometer Serial No. 27K00280 Model : UV-3100
10. Winspeedmeter (Davis) Model : RJ1412HPL Type 4X

4.3 การติดตั้งท่อและการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

1. ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิ้ล 34 จุด ดังนี้

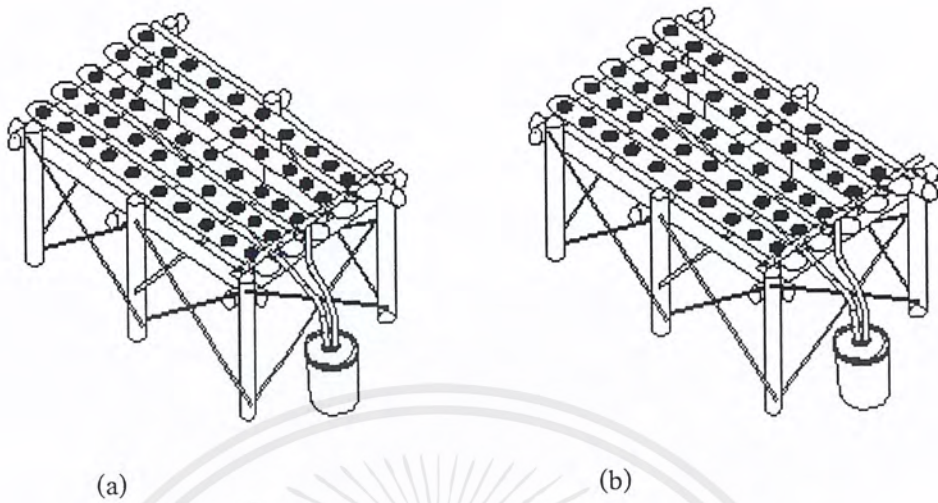
- 1.1 อุณหภูมิน้ำทั้ง 10 ท่อ ท่อละ 1 จุด
- 1.2 อุณหภูมิผิวด้านบนท่อทั้ง 10 ท่อ ท่อละ 1 จุด
- 1.3 อุณหภูมิผิวด้านล่างท่อทั้ง 10 ท่อ ท่อละ 1 จุด
- 1.4 อุณหภูมิอากาศภายในสแลน 1 จุด
- 1.5 อุณหภูมิสแลน 1 จุด
- 1.6 อุณหภูมิพื้น 1 จุด

2. ติดตั้ง Data logger นำสายเทอร์โมคัปเปิ้ลที่วัดอุณหภูมิแต่ละจุดมาต่อเข้ากับ 10 จุด
เข้ากับ Data logger เพื่ออ่านค่าอุณหภูมิ

3. นำสายเทอร์โมคัปเปิ้ลทั้ง 10 จุดต่อเข้ากับ Selector Switch และต่อ Selector
Switch เข้ากับ Digital Thermometer เพื่ออ่านค่าอุณหภูมิ

4. วัดความลึกของน้ำในท่อที่ใช้ทดลองให้มีระดับน้ำเท่ากัน โดยใช้ระดับน้ำ 6 cm.

5. ดำรงสักรวมใช้ข้อมูลจากสายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน และความเร็วลมใช้ข้อมูล
จากสายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม โดยบันทึกข้อมูลทุก 30 นาที



รูปที่ 4.1 ตำแหน่งการวางท่อและตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล

(a) แสดงการวางท่อทั้ง 2 จุด

(b) แสดงการวางท่อโดยสัมพันธ์กับแสงอาทิตย์โดยตรง

4.4 วิธีการทดลอง

4.4.1 การทดลองหาสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านสแลน

ใช้เครื่องมือวัดค่ารังสีรวม Solar Integrator Model SPD-003

1. วัดค่ารังสีภายนอกสแลน 50%, 60%, 70% และ 80%
2. วัดค่ารังสีรวมภายในสแลน 50%, 60%, 70% และ 80%
3. การวัดค่ารังสีรวมต้องวัดที่เวลาเดียวกัน หรือในเวลาใกล้เคียงกันมากที่สุด เพื่อให้ได้ค่ารังสี ณ เวลาเดียวกัน โดยทำการวัดสลับกัน ทั้งด้านนอกและด้านในสแลนของแต่ละเปอร์เซ็นต์ แล้วบันทึกข้อมูล ทำการวัดไปเรื่อย ๆ ให้ได้ข้อมูลของสแลนเปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ 10 ชุด
4. นำข้อมูลที่ได้ทั้ง 10 ชุด มาหาค่าเฉลี่ย จะได้ข้อมูลรังสีรวมภายนอกสแลน และรังสีรวมภายในสแลน ที่สแลน 50% , 60%, 70% และ 80%
5. หาค่าแฟกเตอร์ของค่ารังสีรวมที่ส่องผ่านสแลนชนิดต่าง ๆ โดยนำค่ารังสีรวมภายในสแลนตั้ง แล้วหารด้วยค่ารังสีรวมภายนอกสแลนจะได้ค่าแฟกเตอร์ออกมาซึ่งถ้าทราบค่ารังสีรวมภายนอกสแลนแล้วจะสามารถหาค่ารังสีรวมที่ส่องผ่านสแลนได้ โดยการนำค่าแฟกเตอร์คูณเข้าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ค่าแฟกเตอร์ที่ได้นั้น ถ้าคูณด้วย 100 ก็คือ เปอร์เซ็นต์ที่ค่ารังสีรวมสามารถส่องผ่านสแลน

- 4.4.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิในท่อ PVC สีต่างๆ การทดลองนี้จะศึกษาผลกระทบของรังสีรวมที่มีผลต่ออุณหภูมิในท่อ PVC ในสถานะที่น้ำหยุดนิ่ง เพราะเป็นค่าอุณหภูมิสูงสุดที่มีผลต่อน้ำภายในท่อ
1. เริ่มทำการทดลองโดยใช้สแลน 50 %
 2. ระดับน้ำในท่อที่ใช้ในการทดลองมีความลึก 6 cm.
 3. เก็บค่าอุณหภูมิต่าง ๆ ทุก 30 นาที โดยเริ่มตั้งแต่ 8.00 น. – 16.00 น.
 4. เก็บค่ารังสีรวม ทุก 30 นาที โดยเริ่มตั้งแต่ 8.00 น. – 16.00 น.
 5. เก็บข้อมูลความเร็วลม ทุก 30 นาที โดยเริ่มตั้งแต่ 8.00 น. – 16.00 น.
 7. เมื่อเก็บข้อมูลประมาณ 2-3 วัน แล้วเปลี่ยนสแลน โดยใช้สแลน 60%, 70% และ 80% ตามลำดับ แล้วเก็บข้อมูลอุณหภูมิ ค่ารังสีรวม และ ความเร็วลม ทุกๆ 30 นาที

4.2.3 ผลการทดลองหาสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านสแลน

จากตาราง 4.1 แสดงผลการทดสอบสแลน โดยใช้เครื่องมือวัดค่ารังสีรวม Solar Integrator Model SPD-003 ทำการวัดค่ารังสีทั้งภายนอกและภายในของสแลนชนิดต่าง ๆ ที่นำมาทำการทดสอบ โดยให้เวลาใกล้เคียงกันมากที่สุด เก็บข้อมูลรังสีรวมของแต่ละชนิดให้ได้ข้อมูลชนิดละ 10 ค่า เมื่อได้ข้อมูลครบแล้วนำค่าแต่ละช่องมารวมกันแล้วหาค่าเฉลี่ย จะได้ค่ารังสีรวมภายในสแลนและภายนอกสแลน ชนิดละ 1 ค่า ทำการหาค่าแฟกเตอร์โดยใช้สูตร

$$\text{ค่าแฟกเตอร์}(F) = \text{ค่ารังสีรวมเฉลี่ยภายในสแลน} / \text{ค่ารังสีรวมเฉลี่ยภายนอกสแลน}$$

ตัวอย่างการหาค่าแฟกเตอร์ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสแลน

$$\text{ค่ารังสีรวมเฉลี่ยภายนอกสแลนของสแลน 50\%} = 569.0 \text{ W/m}^2$$

$$\text{ค่ารังสีรวมเฉลี่ยภายในสแลนของสแลน 50\%} = 382.4 \text{ W/m}^2$$

$$\therefore \text{ค่าแฟกเตอร์}(F) \text{ ของสแลน 50\%} = 382.4 / 569 = 0.672$$

ซึ่งก็คือ สแลน 50% ให้ค่ารังสีรวมผ่านได้ = 67.2 %

เมื่อทราบค่ารังสีรวมจากการทดลองจริง ก็สามารถนำค่าแฟกเตอร์ที่ได้ไปคูณ จะได้ค่ารังสีรวมภายในสแลน เช่น ค่ารังสีรวม เมื่อเวลา 13.00 น.ของวันที่ 8 สิงหาคม 2542 มี 985.0 W/m²

$$\therefore \text{จะได้ค่ารังสีภายในสแลน 50\%} = 985.0 \times 0.672 = 661.92 \text{ W/m}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลค่ารังสีรวม (W/m^2) จากการทดสอบค่ารังสีรวมภายนอกสแลน และภายในสแลน

สแลน ครั้งที่	50%		60%		70%		80%	
	นอก	ใน	นอก	ใน	นอก	ใน	นอก	ใน
1	912	688	868	483	846	466	838	377
2	538	339	579	339	528	299	559	228
3	528	346	596	326	630	340	748	304
4	472	332	514	388	611	339	708	332
5	457	380	584	337	619	330	700	268
6	483	280	540	382	668	362	660	286
7	535	338	551	335	680	338	611	284
8	538	344	562	326	649	342	514	298
9	586	385	599	384	660	351	778	298
10	596	392	590	324	708	399	735	384
เฉลี่ย	569.0	382.4	598.3	362.4	659.9	356.6	685.1	305.9
แฟกเตอร์	0.672		0.606		0.540		0.447	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การเชื่อมต่อ MCS กับไอซีตรวจจับอุณหภูมิ DS1820

5.1 ระบบการสื่อสารข้อมูลอนุกรมหนึ่งสาย(1-Wire™ Serial Bus)

ระบบการสื่อสารข้อมูลแบบนี้ผู้คิดค้นคือ คัลลัสเซมิคอนดักเตอร์ ดังนั้นในบางครั้งจึงเรียกระบบสื่อสารข้อมูลแบบนี้ว่าระบบสื่อสารข้อมูลคัลลัสหนึ่งสาย(The Dallas 1-Wire Bus)ระบบสื่อสารข้อมูลแบบนี้เป็นระบบที่มีความชาญฉลาดและใช้จำนวนสายสัญญาณเพียง 1 เส้นเท่านั้น โดยไม่ต้องมีสายสัญญาณนาฬิกามาควบคุมจังหวะการถ่ายทอดข้อมูลเหมือนกับระบบสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบอื่นๆ เนื่องจากสายข้อมูลนั้นจะทำหน้าที่เสมือนหนึ่งเป็นสายสัญญาณในแต่ละช่องของเวลาหรือต่อไปนี้จะขอเรียกว่า ไทม์สล็อต(time-slot)โดยคาบเวลาดำสุดและสูงสุดของสถานะต่างๆ ในการสื่อสารข้อมูลในแต่ละไทม์สล็อตมีการกำหนดขอบเขตไว้อย่างชัดเจนการถ่ายทอดข้อมูลจะเกิดขึ้นในแต่ละไทม์สล็อตนั้น รูปแบบการถ่ายทอดข้อมูลจะเป็นแบบอะซิงโครนัสในระดับบิต ไม่มีการกำหนดความยาวของข้อมูลเป็นระดับไบต์ระบบสื่อสารแบบนี้เหมาะที่จะใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างไอซีบนแผงวงจรเดียวกันหรือสร้างเป็นโครงข่ายสื่อสารแบบทวิสต์แพร์ก็ได้

5.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของระบบบัสหนึ่งสาย

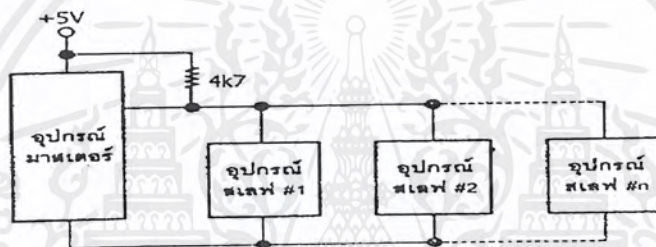
สายสัญญาณบนระบบบัสแบบหนึ่งสายนี้จะป็นสายสัญญาณแบบสองทิศทางแต่ข้อมูลจะสามารถเดินทางได้ในทิศทางเดียวภายในช่วงเวลาหนึ่งๆ นั่นคือ มีลักษณะคล้ายระบบสื่อสารแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์(half-duplex)ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือ การใช้งานวิทยุสื่อสารหรือวิทยุสมัครเล่น อุปกรณ์บนระดับบัสต้องมีการระบุอย่างชัดเจนว่าตัวใดเป็นอุปกรณ์มาสเตอร์ ตัวใดเป็นอุปกรณ์สเลฟ โดยส่วนใหญ่อุปกรณ์มาสเตอร์ คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนอุปกรณ์สเลฟได้แก่ ไอซีตรวจจับอุณหภูมิ , ไอซีหน่วยความจำแรม เป็นต้น อุปกรณ์มาสเตอร์จะเป็นตัวจัดเตรียมความพร้อมของสายสัญญาณและควบคุมการถ่ายทอดข้อมูลบนสายสัญญาณนั้น ข้อมูลทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นข้อมูลควบคุมหรือข้อมูลใช้งานจะถูกส่งลงบนสายสัญญาณที่มีอยู่เพียงเส้นเดียวนี้ทั้งหมดในระหว่างการทำงานอุปกรณ์มาสเตอร์และสเลฟสามารถเป็นได้ทั้งตัวส่งและตัวรับ ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของการทำงานในขณะนั้น ยกตัวอย่าง ถ้าหากมีการเขียนข้อมูลจากอุปกรณ์มาสเตอร์ไปยังอุปกรณ์สเลฟ ตัวส่งคืออุปกรณ์มาสเตอร์ ตัวรับคืออุปกรณ์สเลฟ ในทางตรงกันข้าม หากเป็นการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์สเลฟตัวส่งจะกลายเป็นอุปกรณ์สเลฟและตัวรับคืออุปกรณ์มาสเตอร์ ในระบบบัสหนึ่งระบบจะต้องมีอุปกรณ์มาสเตอร์ เพียงตัวเดียวเท่านั้น

สายสัญญาณของระบบบัสนี้ต้องกำหนดสภาวะปกติไว้ที่ลอจิกสูงสามารถทำได้โดยการต่อตัวต้านทานประมาณ 4.7 กิโลโอห์ม พูลอ์กับไฟเลี้ยง +5V ดังนั้นอุปกรณ์ที่นำเข้ามาต่อบนระบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัสนี้จึงต้องออกแบบให้ภาคเอาต์พุตที่ติดต่อกับสายสัญญาณมีลักษณะเป็นคอลเล็กเตอร์เปิดหรือ
ทรานซิสเตอร์เปิด ในรูปที่ 5.1 แสดงไดอะแกรมการสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบหนึ่งสายเบื้องต้น

5.3 คุณสมบัติของไทม์สลีต

อุปกรณ์มาสเตอร์จะเป็นอุปกรณ์เพียงตัวเดียวบนระบบบัสหนึ่งสายที่สามารถทำการอินนิ
เชียลสายสัญญาณได้ โดยอุปกรณ์มาสเตอร์จะกำเนิดจุดเริ่มต้นของไทม์สลีตด้วยการทำให้สาย
สัญญาณเป็นลอจิกต่ำในช่วงเวลาหนึ่ง จากนั้นก็ทำให้กลับมาเป็นลอจิกสูง ถ้าหากเป็นอุปกรณ์สเลฟ
ต้องการส่งข้อมูลมายังอุปกรณ์มาสเตอร์ อุปกรณ์สเลฟจะเป็นตัวควบคุมสถานะของสายสัญญาณต่อ
ไปจนเสร็จสิ้นกระบวนการแต่ถ้าหากอุปกรณ์มาสเตอร์ต้องการส่งข้อมูลก็จะสามารถดำเนินการต่อ
ไปได้เลย



รูปที่ 5.1 การเชื่อมต่อระบบบัสหนึ่งสาย

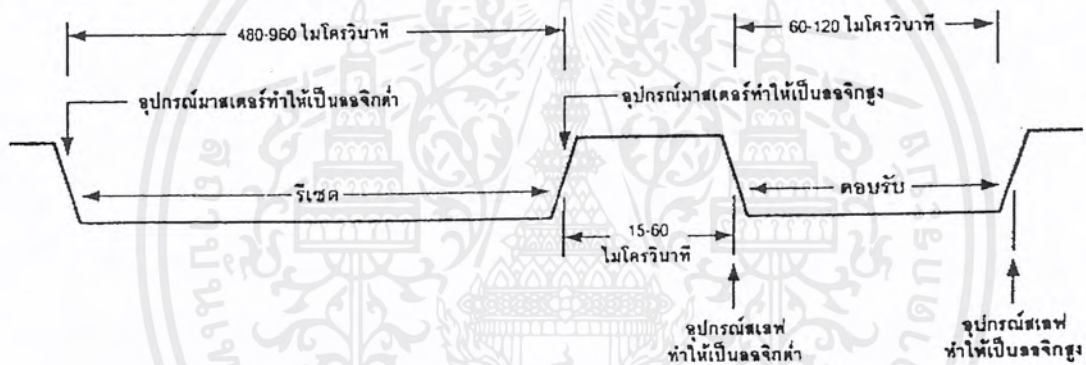
ฟังก์ชันของไทม์สลีตที่กำหนดโดยอุปกรณ์มาสเตอร์มีด้วยกัน 4 ฟังก์ชัน คือ ไทม์สลีต
ของการรีเซต (RESET) , การอ่านข้อมูล (READ DATA) , การเขียนข้อมูล “1” (WRITE ONE) และ
การเขียนข้อมูล “0” (WRITE ZERO) ไทม์สลีตตรีเซตใช้ในการเริ่มต้นติดต่อกับอุปกรณ์สเลฟใน
ขณะที่ไทม์สลีตการอ่านจะสำหรับอ่านข้อมูลที่ส่งมาจากอุปกรณ์สเลฟ ส่วนไทม์สลีตการเขียน
ข้อมูล “1” และ “0” ใช้สำหรับการส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์มาสเตอร์ผ่านสายสัญญาณของระบบซึ่ง
จะสัมพันธ์กับไทม์สลีตการอ่านข้อมูลของอุปกรณ์มาสเตอร์

ทางด้านอุปกรณ์สเลฟมีฟังก์ชันของไทม์สลีตอยู่ทั้งสิ้น 3 ฟังก์ชัน คือ ไทม์สลีตของการ
ตอบสนอง (PRESENCE) , การเขียนข้อมูล “1” (WRITE ONE) และการเขียนข้อมูล “0” (WRITE
ZERO) ไทม์สลีตของการตอบสนองใช้สำหรับตอบสนองการติดต่อจากอุปกรณ์มาสเตอร์โดย
อุปกรณ์สเลฟตัวที่ถูกเลือกจะต้องส่งสัญญาณตอบสนองลงบนสายสัญญาณ เพื่อแจ้งให้อุปกรณ์
มาสเตอร์ทราบว่า ขณะนี้สามารถติดต่อกันได้แล้วส่วนไทม์สลีตการเขียนข้อมูล “1” และ “0” ใช้
สำหรับการส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์มาสเตอร์ผ่านสายสัญญาณของระบบซึ่งจะสัมพันธ์กับไทม์สลีต
การอ่านข้อมูลของอุปกรณ์ของมาสเตอร์

การแยกแยะฟังก์ชันของแต่ละไทม์สล็อตจะใช้ความยาวของคาบเวลาและลักษณะของรูปสัญญาณเป็นตัวกำหนดและทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงต้องทำให้สายสัญญาณอยู่ในสภาวะว่างเสมอ ซึ่งก็คือการทำให้สายสัญญาณเป็นลอจิกสูงอย่างน้อยเป็นเวลา 1 ไมโครวินาที

5.4 ไทม์สล็อตของการรีเซตและตอบสนอง

อุปกรณ์มาสเตอร์จะทำให้เกิดการรีเซตบนสายสัญญาณเพื่อแจ้งแก่อุปกรณ์สเลฟโดยการทำให้สายสัญญาณเป็นลอจิกต่ำต่อเนื่องอย่างน้อย 480 ไมโครวินาที และจะต้องทำให้สายสัญญาณกลับมาเป็นลอจิกสูงภายใน 480 ไมโครวินาที หลังจากนั้นถ้าหากอุปกรณ์สเลฟต่ออยู่บนสายสัญญาณจะมีการตอบสนองสัญญาณรีเซตนั้นด้วยสัญญาณตอบสนอง (PRESENCE) โดยการทำให้สายสัญญาณเป็นลอจิกต่ำต่อเนื่องนานประมาณ 60-240 ไมโครวินาที หลังจากสัญญาณรีเซตปรากฏประมาณ 15-60 ไมโครวินาที ในรูปที่ 5.2 แสดงไทม์สล็อตของการรีเซตและการตอบสนอง

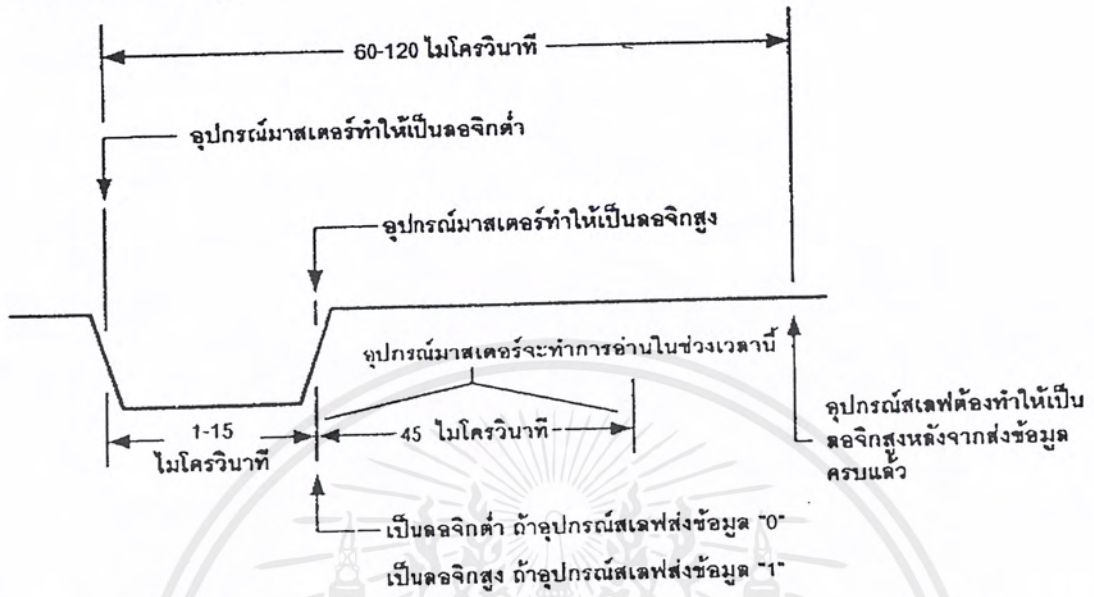


รูปที่ 5.2 ไทม์สล็อตของการรีเซตและตอบรับของอุปกรณ์ระบบบัสหนึ่งสาย

5.5 ไทม์สล็อตการอ่านข้อมูลของอุปกรณ์มาสเตอร์และการเขียนข้อมูลของอุปกรณ์สเลฟ

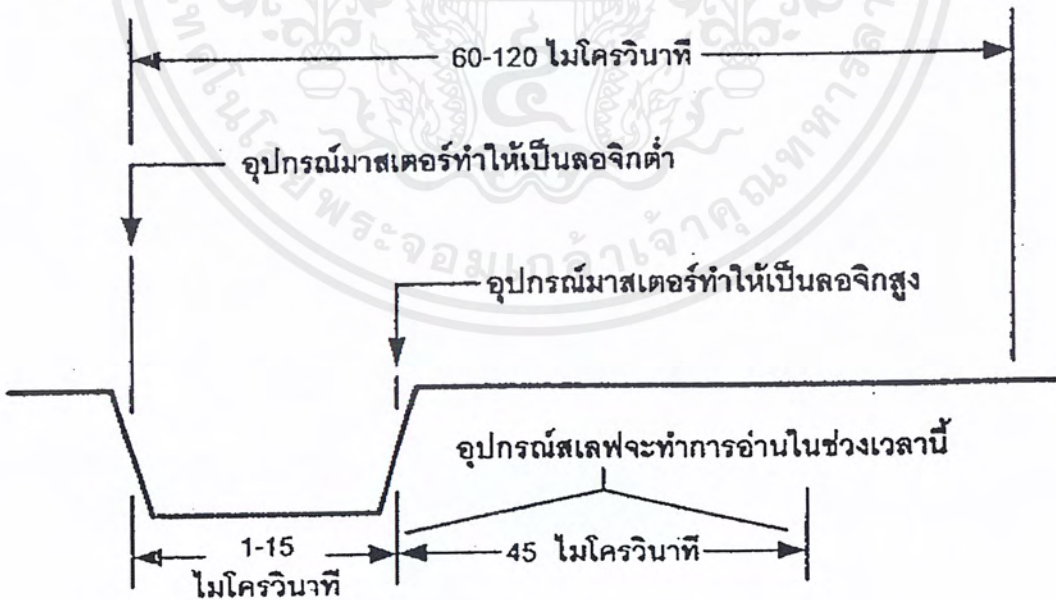
เมื่อต้องการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์สเลฟ อุปกรณ์มาสเตอร์จะทำให้สายสัญญาณเป็นลอจิกต่ำประมาณ 1-15 ไมโครวินาที จากนั้นต้องทำให้สถานะของสายกลับมาเป็นลอจิกสูง อุปกรณ์สเลฟจะส่งข้อมูลมาให้อุปกรณ์มาสเตอร์โดยถ้าข้อมูลเป็น “0” อุปกรณ์สเลฟจะทำให้สายสัญญาณเป็นลอจิกต่ำประมาณ 45 ไมโครวินาที แล้วทำให้สายสัญญาณกลับมาสู่สภาวะลอจิกสูงอีกครั้ง แต่ถ้าเป็นข้อมูล “1” อุปกรณ์สเลฟจะทำให้สายสัญญาณเป็นลอจิกสูงต่อเนื่องไปอีก 45 ไมโครวินาที รวมเวลาทั้งหมดในไทม์สล็อตนี้ประมาณ 60-120 ไมโครวินาที นั่นคือในไทม์สล็อตนี้จะต้องใช้เวลารวมไม่เกิน 120 ไมโครวินาที ในขณะที่อุปกรณ์มาสเตอร์จะใช้เวลาในการอ่านข้อมูลอยู่ระหว่าง 15 และ 60 ไมโครวินาที หลังจากเริ่มต้น ไทม์สล็อตนี้ ในรูปที่ 5.3 แสดงรูปสัญญาณของไทม์สล็อตการอ่านข้อมูลของอุปกรณ์มาสเตอร์ ซึ่งก็จะมีลักษณะเหมือนกับการเขียนข้อมูลของอุปกรณ์สเลฟและ

ไทม์สล๊อตทั้งสองจะเกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน กล่าวคือ เมื่ออุปกรณ์มาสเตอร์อ่าน อุปกรณ์สเลฟก็
ต้องทำการเขียนข้อมูล



รูปที่ 5.3 ไทม์สล๊อตการอ่านข้อมูลของอุปกรณ์มาสเตอร์ซึ่งตรงกับไทม์สล๊อตการเขียนข้อมูลของ
อุปกรณ์สเลฟ

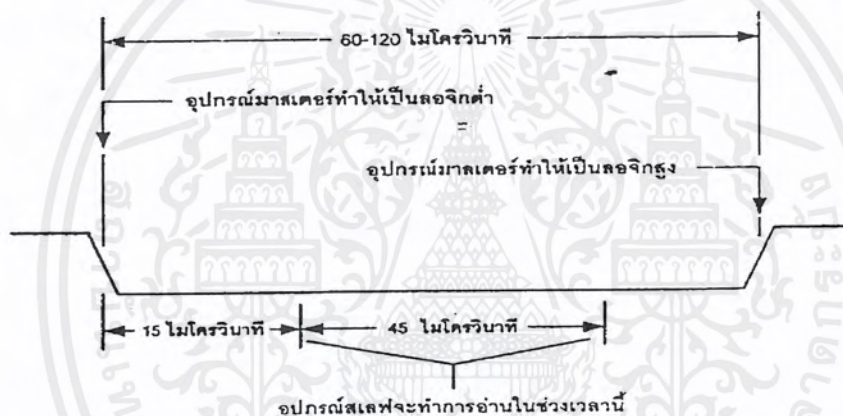
5.6 ไทม์สล๊อตการเขียนข้อมูลของอุปกรณ์มาสเตอร์



รูปที่ 5.4 ไทม์สล๊อตการเขียนข้อมูล "1" ของอุปกรณ์มาสเตอร์ซึ่งตรงกับไทม์สล๊อตการอ่าน
ข้อมูลของอุปกรณ์สเลฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่ออุปกรณ์มาสเตอร์ต้องการเขียนข้อมูล อุปกรณ์มาสเตอร์จะทำให้สายสัญญาณเป็นลอจิกต่ำประมาณ 1-15 ไมโครวินาที จากนั้นต้องทำให้สถานะของสายกลับมาเป็นลอจิกสูงแล้วดำเนินการเขียนข้อมูลได้ในทันที ถ้าข้อมูลที่ต้องการเขียนไปยังอุปกรณ์สเลฟเป็น “0” อุปกรณ์มาสเตอร์จะทำให้สายสัญญาณเป็นลอจิกต่ำประมาณ 45 ไมโครวินาที แล้วทำให้สายสัญญาณกลับมาสู่สถานะลอจิกสูงอีกครั้ง แต่ถ้าต้องการเขียนข้อมูล “1” อุปกรณ์มาสเตอร์จะทำให้สายสัญญาณเป็นลอจิกสูงต่อเนื่องไปอีก 45 ไมโครวินาที เวลารวมทั้งหมดในไทม์สล็อตนี้ประมาณ 60 - 120 ไมโครวินาทีในรูปที่ 5.4 แสดงรูปสัญญาณของไทม์สล็อตของการเขียนข้อมูลของอุปกรณ์มาสเตอร์ก็จะมีลักษณะเหมือนกับการอ่านข้อมูลของอุปกรณ์สเลฟและไทม์สล็อตทั้งสองจะเกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน กล่าวคือ เมื่ออุปกรณ์มาสเตอร์เขียน อุปกรณ์สเลฟก็ต้องทำการอ่านข้อมูล



รูปที่ 5.5 ไทม์สล็อตการเขียนข้อมูล “0” ของอุปกรณ์มาสเตอร์

5.7 รูปแบบของการสื่อสารข้อมูลแบบหนึ่งสาย(1-Wire™ Communication Protocol)

ในการติดต่อสื่อสารข้อมูลในระบบบัสหนึ่งสายอุปกรณ์มาสเตอร์จะสามารถติดต่อกับอุปกรณ์สเลฟได้ครั้งละ 1 ตัวเท่านั้นดังนั้นอุปกรณ์สเลฟแต่ละตัวต้องมีข้อมูลกำหนดแอดเดรสเฉพาะตัวโดยจะเก็บไว้ในหน่วยความจำรวมภายในอุปกรณ์สเลฟตัวนั้นๆ โดยปกติอุปกรณ์สเลฟในระบบบัสหนึ่งสายของคัลลิสนี้จะมีหน่วยความจำขนาด 64 บิตหรือ 8 ไบต์ สำหรับเก็บข้อมูลต่างๆ ที่สำคัญของอุปกรณ์แต่ละตัวซึ่งประกอบด้วย

1. รหัสของตระกูล จำนวน 8 บิต
2. เลขหมายประจำตัว(serial number) จำนวน 48 บิต
3. รหัสตรวจสอบความผิดพลาด (CRC : Cyclical Redundancy Check) จำนวน 8 บิต

ผู้ใช้งานสามารถอ่านข้อมูลประจำตัวของอุปกรณ์สเลฟได้ด้วยการใช้คำสั่งอ่านหน่วยความ

จํารอมใน กรณีที่บนสายสัญญาณมีอุปกรณ์สเลฟเพียงตัวเดียว ไม่จำเป็นต้องอ้างแอดเดรสในการติดต่อ

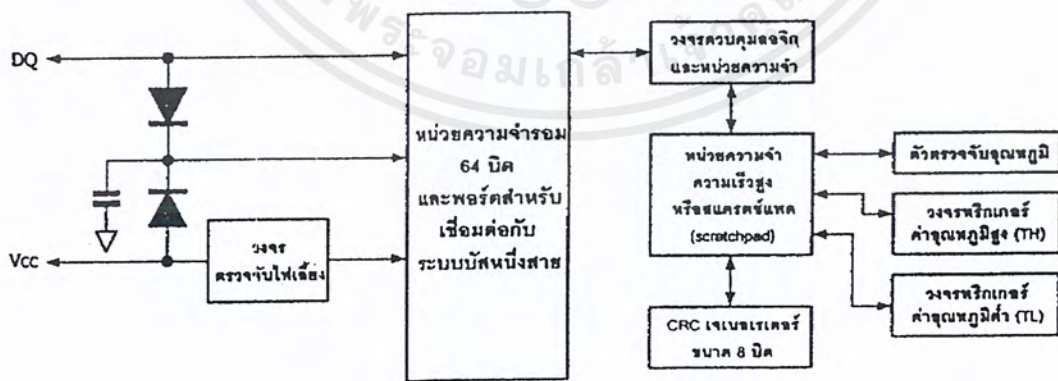
รูปแบบการติดต่อบนระบบบัสหนึ่งสายจะเริ่มต้นขึ้นเมื่ออุปกรณ์มาสเตอร์ทำการรีเซตและกำหนดแอดเดรสของอุปกรณ์ที่ทำการติดต่อถ้าหากมีอุปกรณ์สเลฟเพียงตัวเดียวสามารถข้ามขั้นตอนการติดต่อกับหน่วยความจํารอมในอุปกรณ์สเลฟได้ จะเรียกรวีกวิธีการดังกล่าวการไม่ติดต่อหน่วยความจํารอมหรือสคิปรอม(Skip ROM) จากนั้นรอการตอบรับจากอุปกรณ์สเลฟ เมื่อการตอบรับสมบูรณ์ก็จะสามารถเริ่มต้นขั้นตอนการอ่านหรือการเขียนข้อมูลได้ต่อไป

5.8 ไอซีตรวจจับอุณหภูมิ DS1820

เป็นไอซีตรวจจับอุณหภูมิที่ใช้การติดต่อแบบระบบบัสหนึ่งสาย มีขาต่อใช้งานเพียง 3 ขาคือ DQ ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อกับระบบบัส, ขาต่อไฟเลี้ยงภายนอกและขากราวด์ ดังแสดงการจัดขาของไอซี DS1820 ในรูปที่ 5.6 และมีโครงสร้างการทำงานภายในแสดงในรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.6 การจัดขาของ DS1820



รูปที่ 5.7 โครงสร้างการทำงานภายในของไอซีตรวจจับอุณหภูมิ DS1820

หัวใจสำคัญของ DS1820 อยู่ที่ตัวตรวจจับอุณหภูมิและหน่วยความจํารอมเร็วสูงที่เรียกว่า

สแครตช์แพด (scratchpad) ซึ่งมีขนาด 9 ไบต์ มีการจัดสรรหน่วยความจํารอมนี้แสดงในรูปที่ 5.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อวัดอุณหภูมิได้ก็จะนำค่าที่วัดได้นี้มาเก็บไว้ในสแครตช์แพดที่ไบต์ 0 และ 1 ทั้งนี้เนื่องจากไอซี DS1820 สามารถให้ข้อมูลของอุณหภูมิได้ละเอียดถึง 16 บิต เมื่อนำมาแปลงเป็นข้อมูลเลขฐาน 10 จึงสามารถแสดงความละเอียดของ ค่าอุณหภูมิได้ถึง 0.5 องศาเซลเซียส และ 0.9 องศาฟาเรนไฮต์ โดยมีย่านวัดอุณหภูมิ -55 ถึง $+125$ องศาเซลเซียส หรือ -67 ถึง $+257$ องศาฟาเรนไฮต์ โดยค่าขององศาฟาเรนไฮต์ต้องการแปลงหน่วยเข้ามาช่วย ใช้เวลาในการแปลงค่าอุณหภูมิเป็นข้อมูลดิจิทัลประมาณ 200 มิลลิวินาที สามารถกำหนดขอบเขตของอุณหภูมิที่ทำการวัดได้ และให้แจ้งเตือนเมื่อค่าของอุณหภูมิสูงขึ้น หรือ ลดต่ำลงถึงค่าที่กำหนดโดยค่าอุณหภูมิที่กำหนดนี้จะเก็บไว้ในสแครตช์แพดในไบต์ 2 และ 3

5.9 คำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานของ DS1820

ในการติดต่อกับไอซี DS1820 จะมีคำสั่งที่ต้องการส่งให้แก่ DS1820 เพื่อกำหนดรูปแบบการทำงาน คำสั่งที่ใช้มากที่สุดมีด้วยกัน 3 คำสั่งดังนี้

1. คำสั่งไม่ติดต่อกับหน่วยความจำรอม หรือสคิปรอม (Skip ROM) เนื่องจากการใช้งาน DS1820 โดยปกติแล้วจะมี DS1820 อยู่บนสายสัญญาณเพียงตัวเดียวจึงไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลกำหนดแอดเดรส ดังนั้น จึงไม่ต้องติดต่อกับหน่วยความจำรอมเพื่ออ่านข้อมูล ข้อมูลของคำสั่งสคิปรอมที่ต้องส่งให้ DS1820 คือ 0CCH
2. คำสั่งแปลงอุณหภูมิ (Convert T) มีค่าเท่ากับ 44H เมื่อส่งคำสั่งนี้ให้ DS1820 จำต้องทำการวนลูปรอบอย่างน้อย 200 มิลลิวินาที เพื่อให้ DS1820 ได้ใช้เวลานี้ในการแปลงค่าอุณหภูมิเป็นข้อมูลดิจิทัล มาเก็บไว้ในสแครตช์แพด
3. คำสั่งอ่านข้อมูลจากสแครตช์แพด (Read Scratchpad) มีค่าเท่ากับ 0BEH เมื่อส่งคำสั่งนี้ DS1820 จะทยอยส่งข้อมูลค่าอุณหภูมิออกมาทั้งหมด 9 ไบต์ ดังมีรายละเอียดในรูปที่ 5.8

	ไบต์
ข้อมูลอุณหภูมิไบต์ต่ำ (TL)	0
ข้อมูลอุณหภูมิไบต์สูง	1
ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสูง	2
ข้อมูลอุณหภูมิต่ำต่ำ (TL)	3
รจิสเตอร์เก็บค่าการนับ	4
รจิสเตอร์เก็บค่าการนับต่อ °C	5
รจิสเตอร์เก็บค่าการนับต่อ °C	6
รจิสเตอร์เก็บค่าการนับต่อ °C	7
CRC	8

รูปที่ 5.8 การจัดสรรพื้นที่ของสแครตช์แพด DS1820

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดลอง

6.1 การทดลองเสถียรภาพของชุด sensor ของอุณหภูมิ

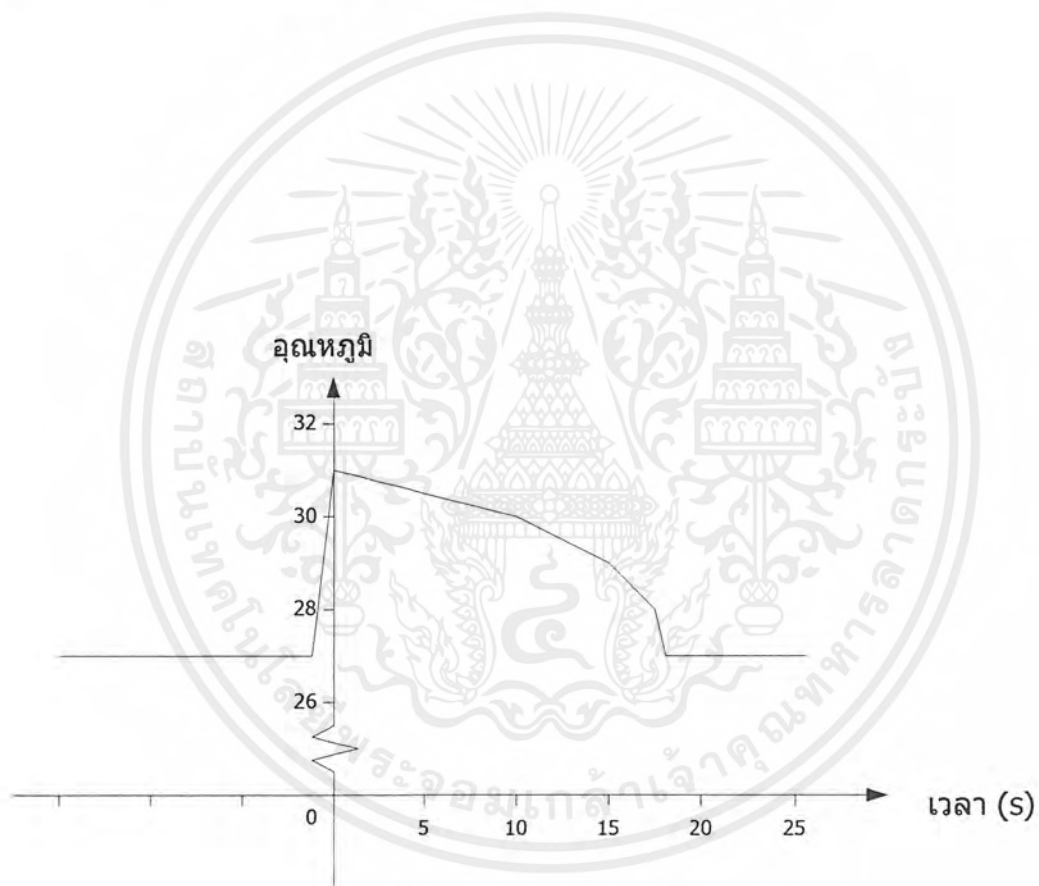
ในการทดลองนี้เราไม่สามารถนำสโคปมาจับรูปสัญญาณในรูปของอุณหภูมิกับเวลาได้จึงได้ทำเก็บค่าอุณหภูมิกับเวลาแบบอ้อม คือ ทำการเก็บของอุณหภูมินำมา plot เป็นกราฟ ในการทดลองนี้จะทำการปลูกพืชแต่ละชนิด ได้แก่ GREEN OAK, RED OAK , REX , RAISA , ASTRAL ซึ่งผักแต่ละชนิดมีการใช้ธาตุอาหาร อุณหภูมิที่เท่าๆ กันจึงได้ทำการทดลองเป็น 2 แบบ คือ การปลูกแบบธรรมชาติและการปลูกแบบที่มีปัจจัยภายนอกมารบกวน ซึ่งแต่ละแบบจะทำการเก็บข้อมูล 3 ช่วง คือ ช่วง เช้า กลางวันและเย็น



6.1.1 การปลูกแบบธรรมชาติ

- ช่วงเช้า

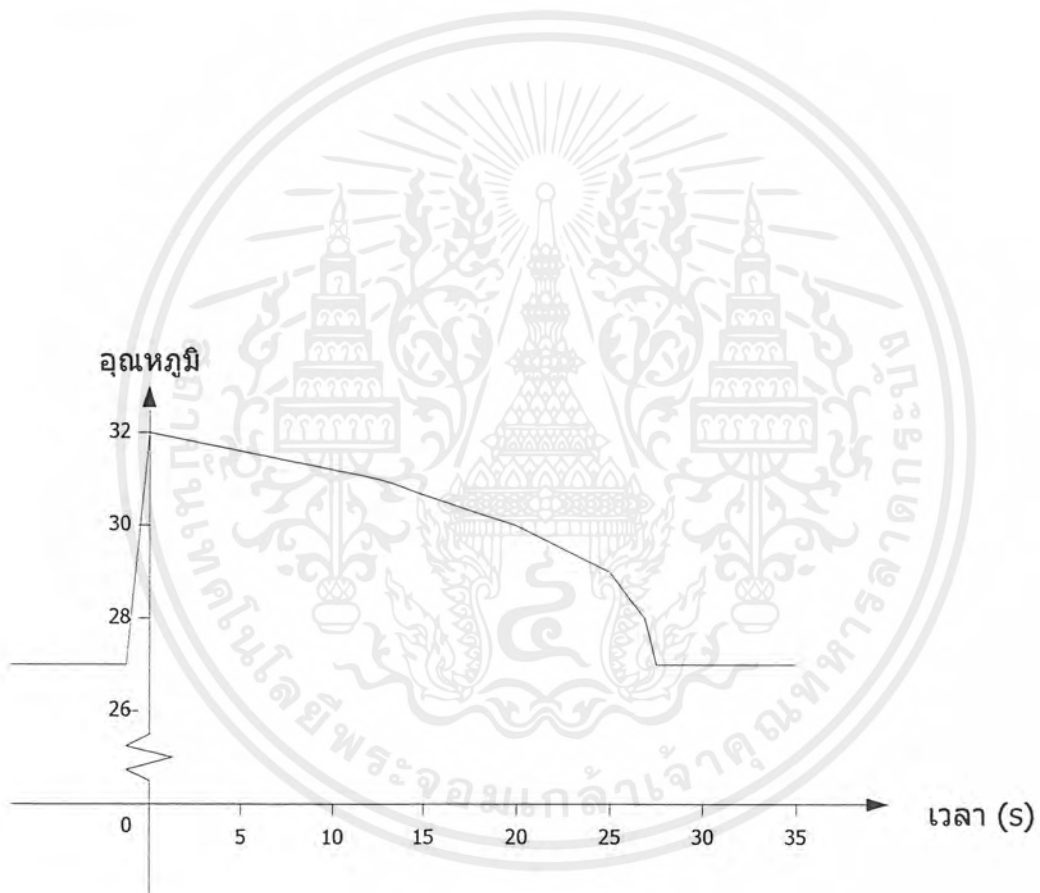
อุณหภูมิ	31	30	29	28	27
เวลา(s)	10.4	4.7	2.3	1.8	0.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ช่วงกลางวัน

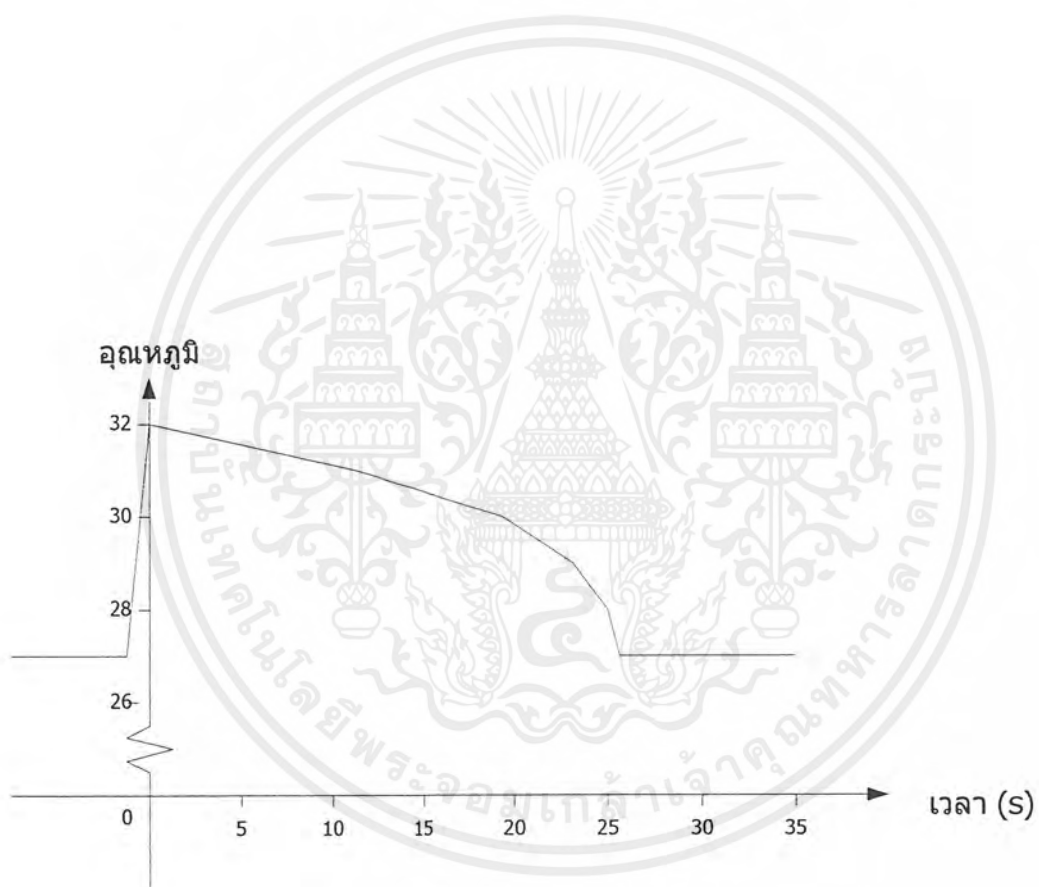
อุณหภูมิ	32	31	30	29	28	27
เวลา(s)	12.4	8.2	4.9	3.3	2.3	1.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ช่วงเย็น

อุณหภูมิ	30	29	28	27
เวลา(s)	11.8	7.2	4.1	2.1

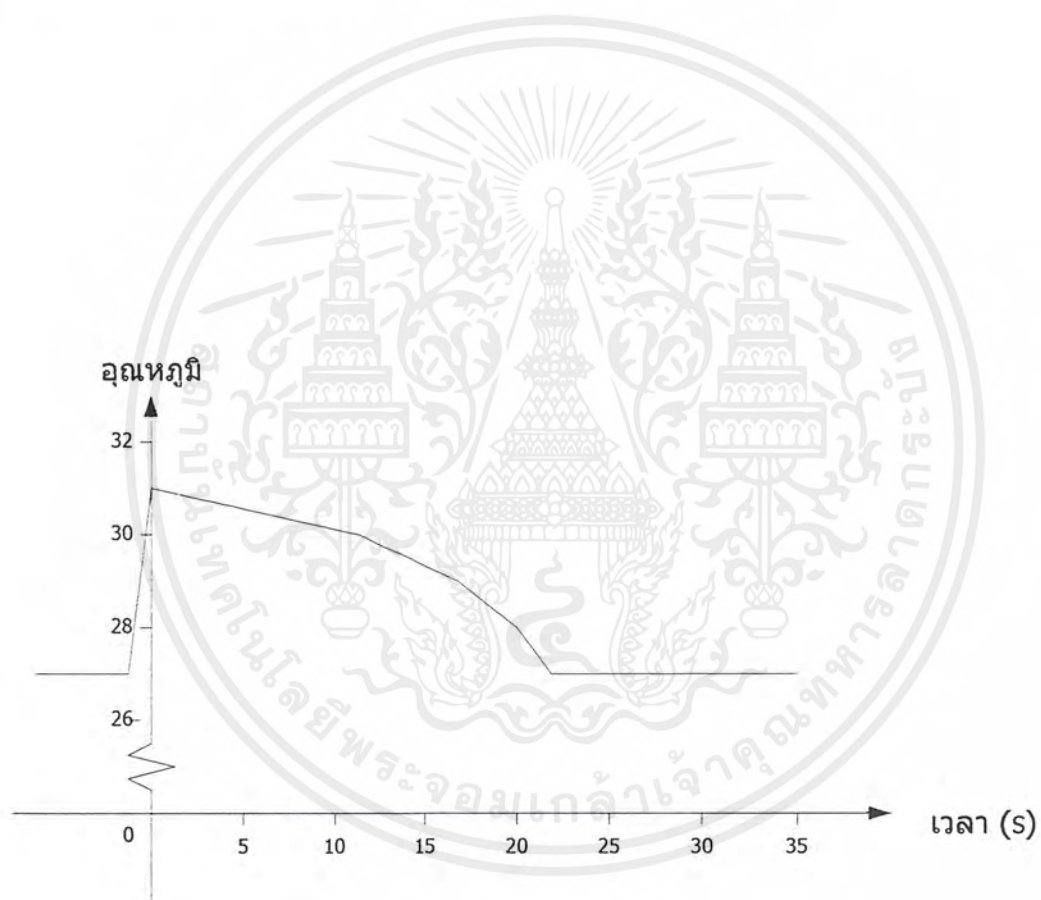


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.2 การปลูกแบบที่มีปัจจัยภายนอกมารบกวน

- ช่วงเช้า

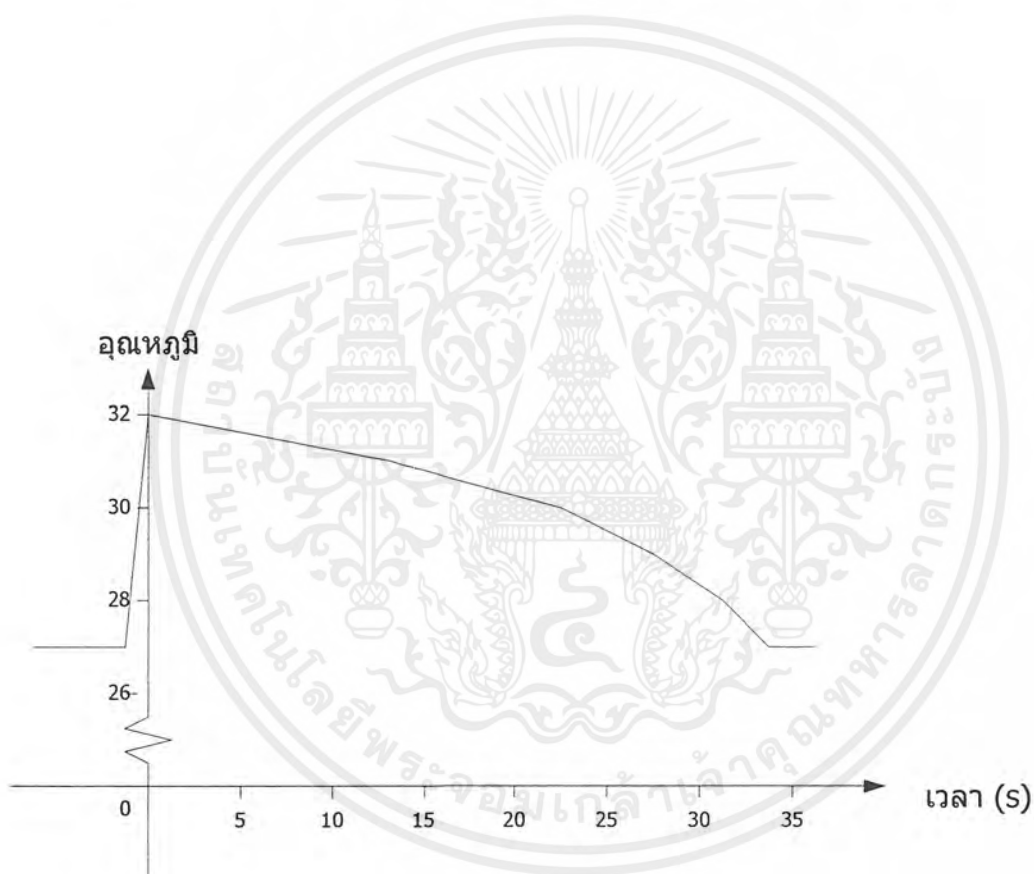
อุณหภูมิ	31	30	29	28	27
เวลา(s)	11.2	5.7	3.3	1.7	0.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ช่วงกลางวัน

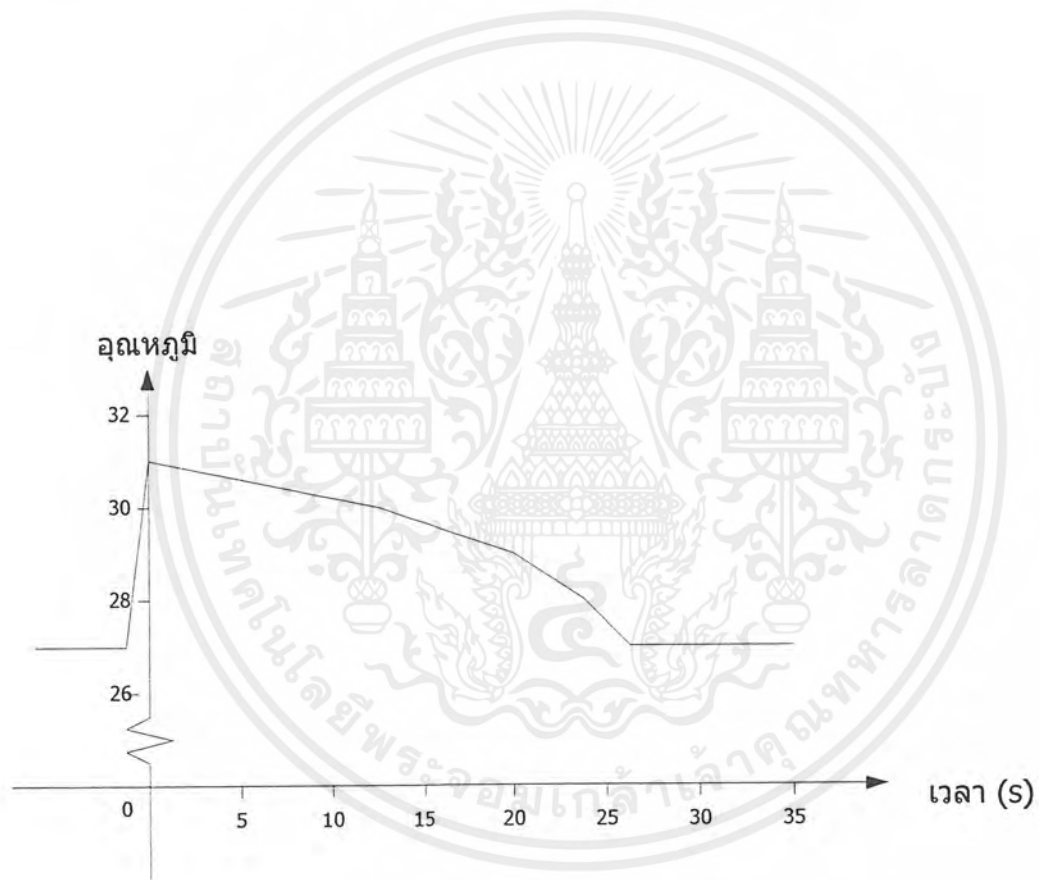
อุณหภูมิ	32	31	30	29	28	27
เวลา(s)	13.5	9.3	4.9	3.7	2.5	1.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ช่วงเย็น

อุณหภูมิ	31	30	29	28	27
เวลา(s)	12.3	7.4	4.2	2.5	1.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของผักที่นำมาทำการทดลอง ได้แก่

1. GREEN OAK



2. RED OAK

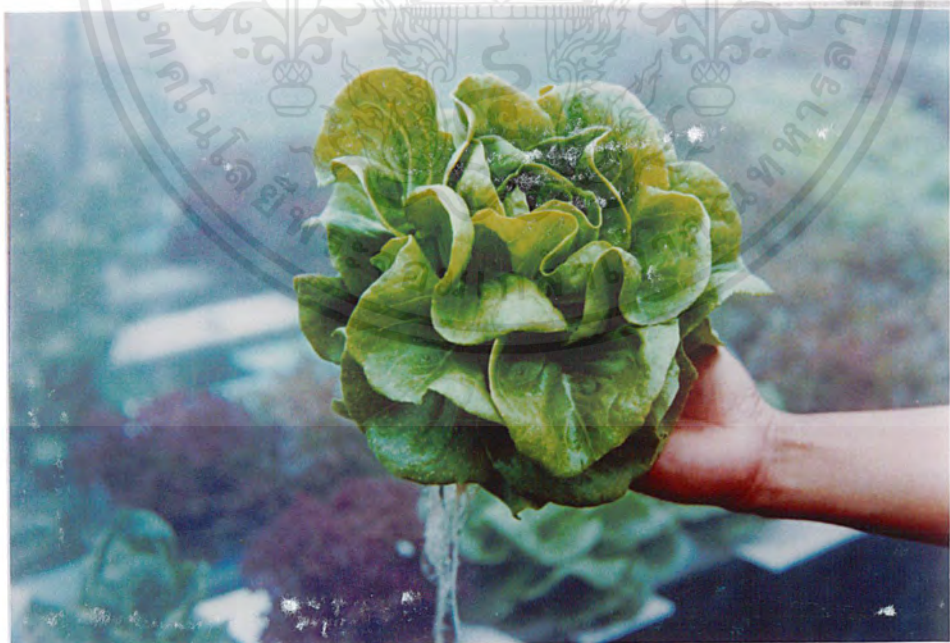


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. RAISA



4. REX



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้ จะเห็นว่า การปลูกแบบธรรมชาติจะกลับสู่สภาวะปกติเร็วกว่าแบบที่มีตัวรบกวน ซึ่งการปลูกแบบธรรมชาติจะทำให้การปลูกพืชไร่นาจะเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบบการปลูกพืชที่มีตัวรบกวนซึ่งจะทำให้อุณหภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลงมากบางครั้งอาจจะทำให้พืชที่ปลูกเกิดการช็อคหรือตายได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

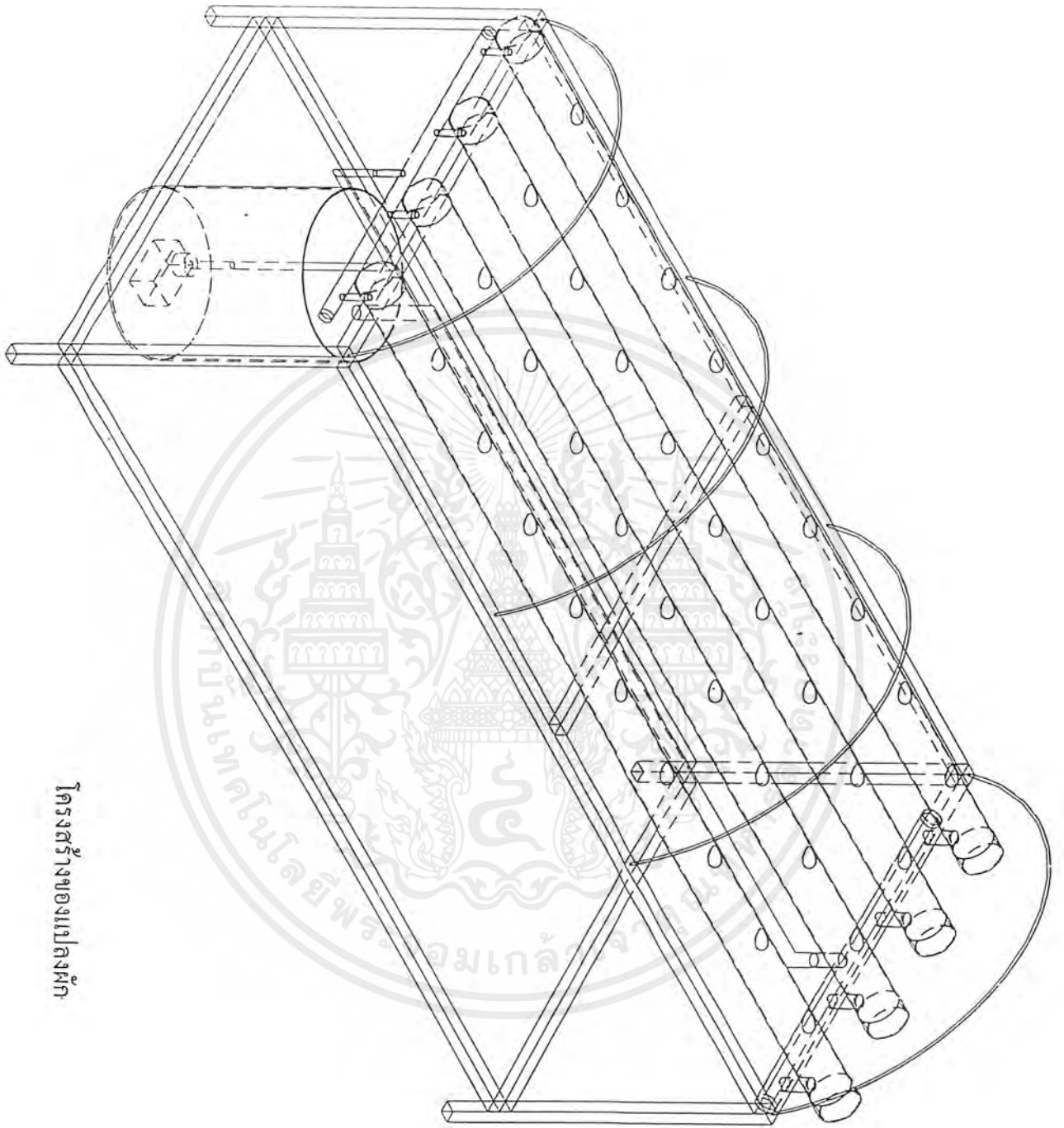


ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



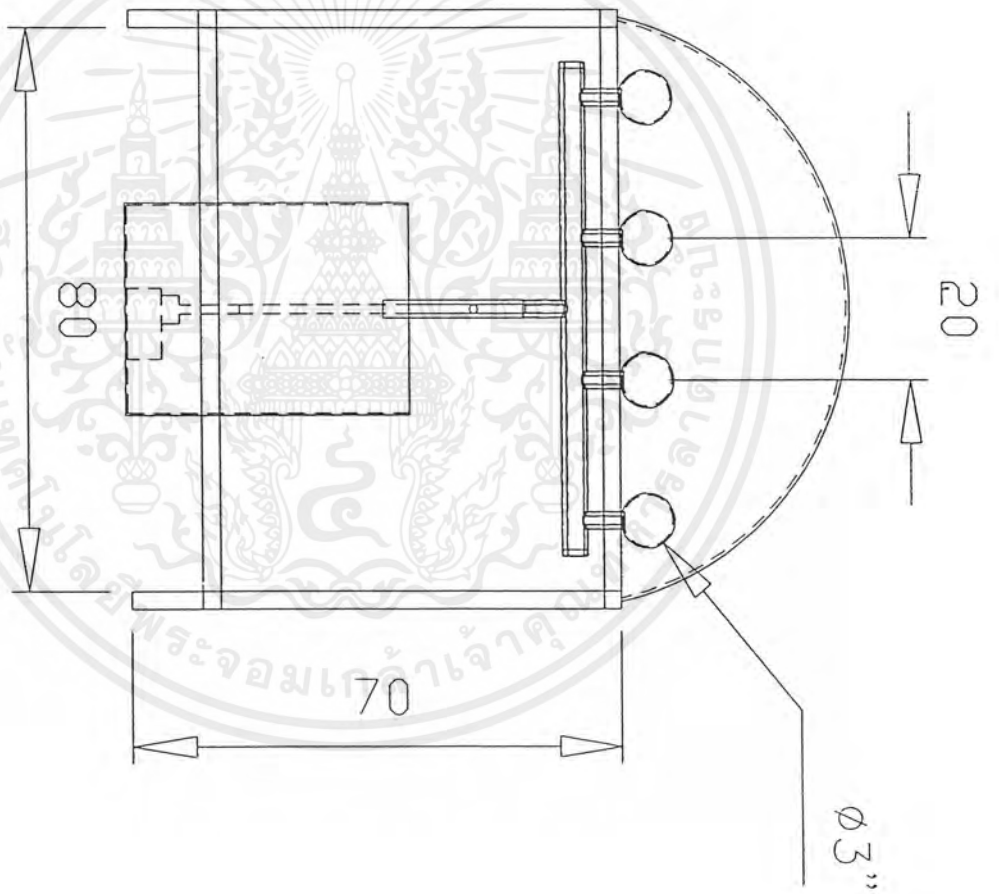
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โครงสร้างของแผงผก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

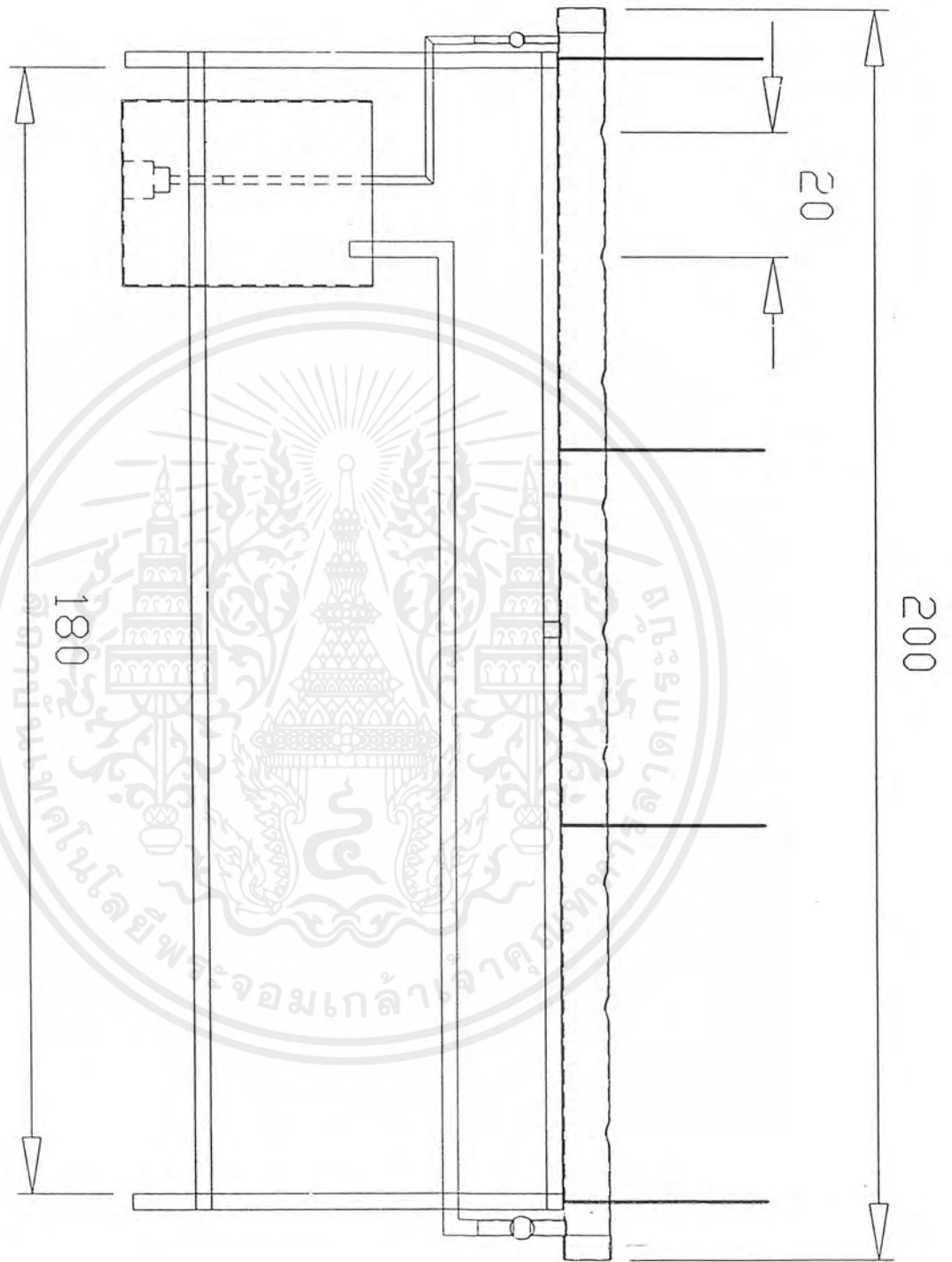
FRONT VIEW



โครงสร้างของแปดงัก ด้านหน้า

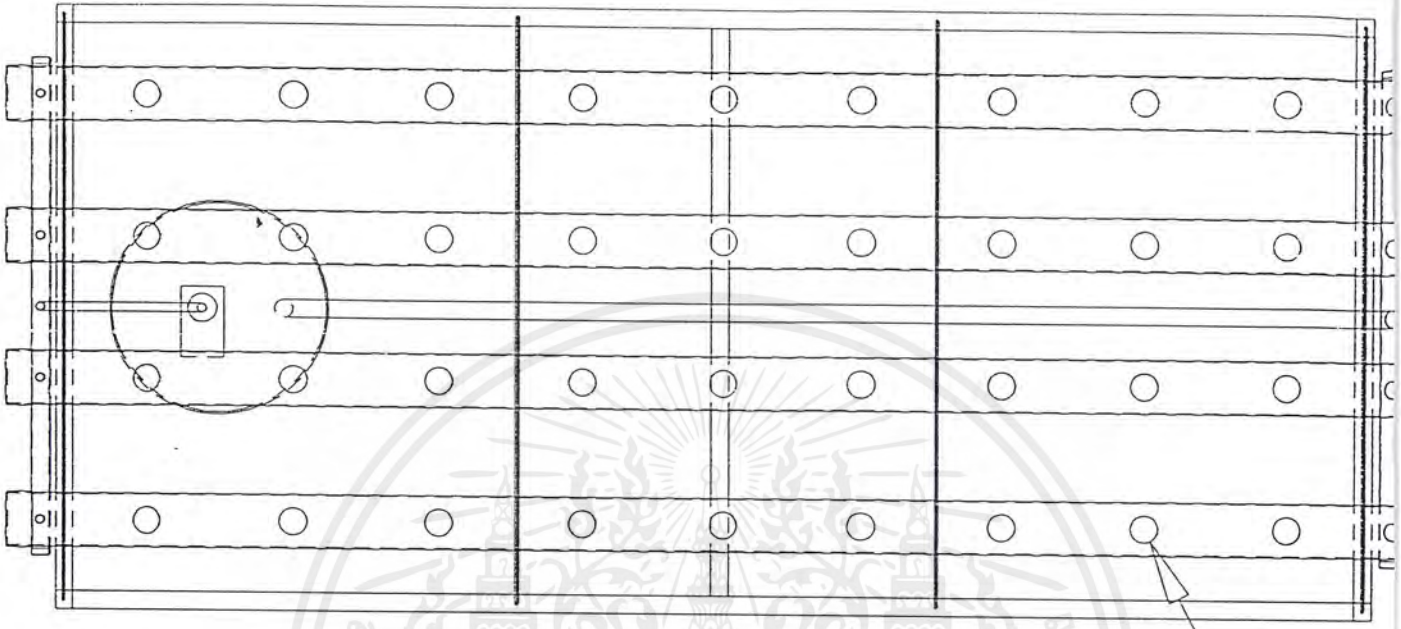
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIDE VIEW



โครงสร้างของแปรงฝัก ด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



∅2"

TOP VIEW

โครงสร้างของแปลงฝัก ต้ามนบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

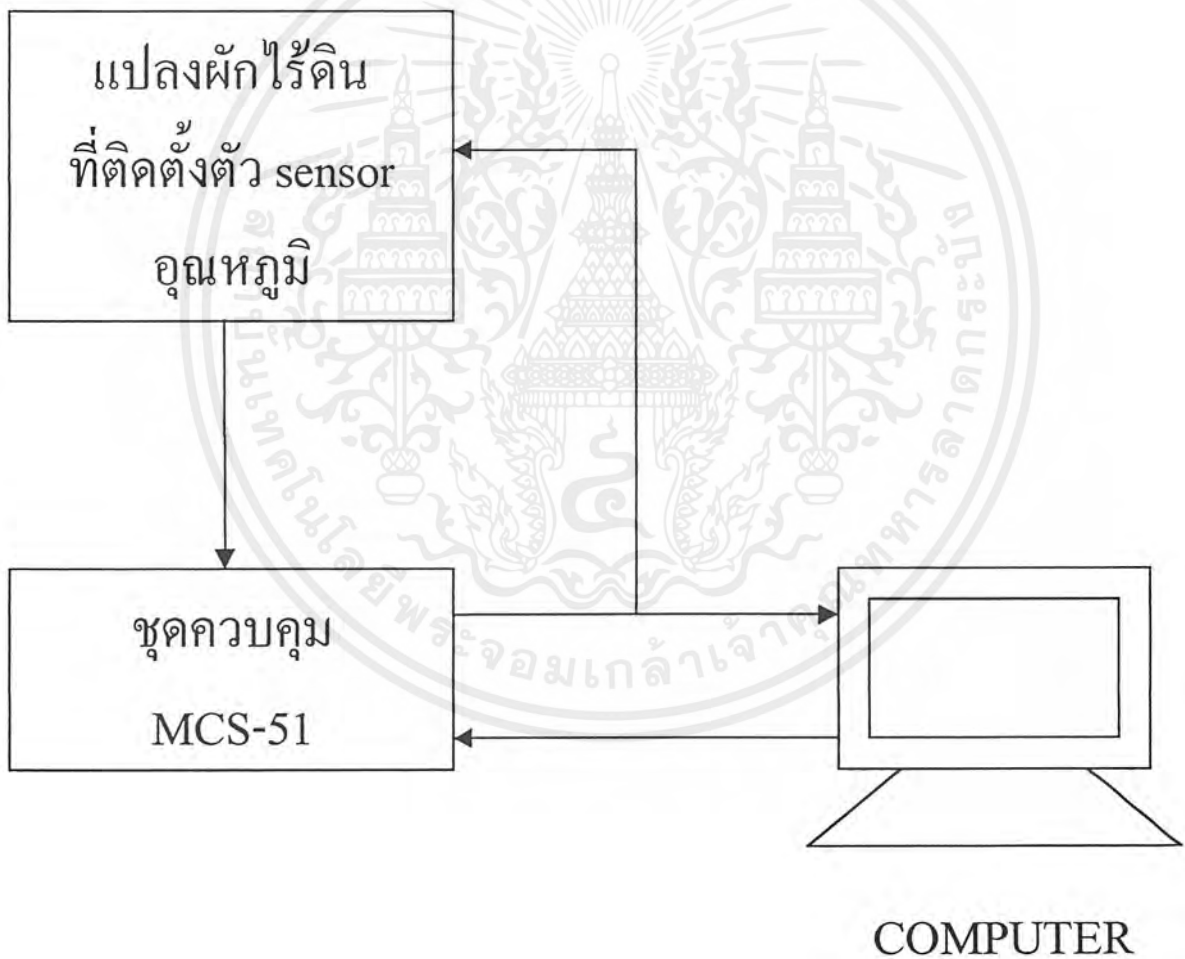


ภาคผนวก ข.

การทำงานของระบบควบคุมการปลูกพืชไร่ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างระบบควบคุมหัวฉีดละอองน้ำจากอุณหภูมิ
ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต



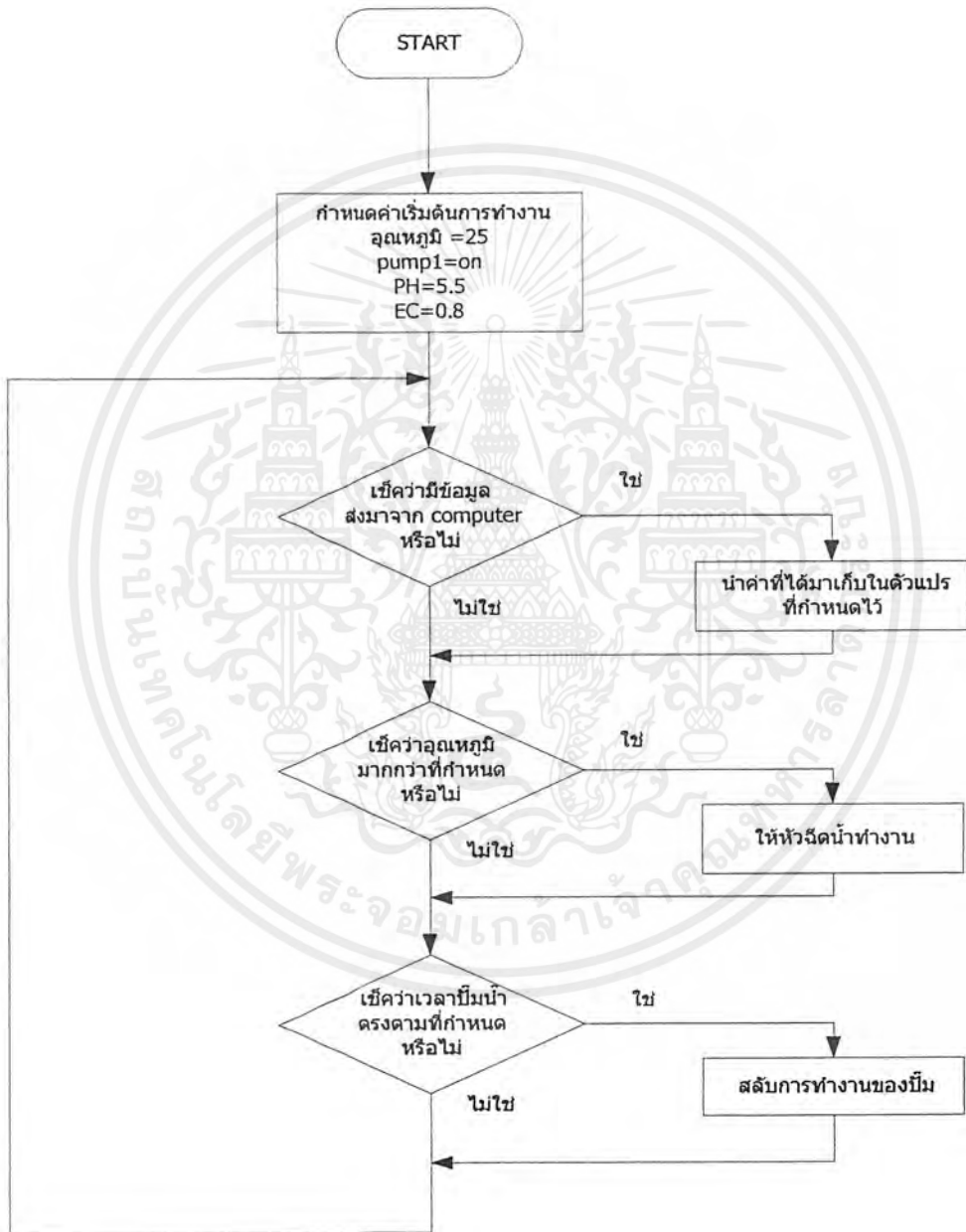
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flow Chart

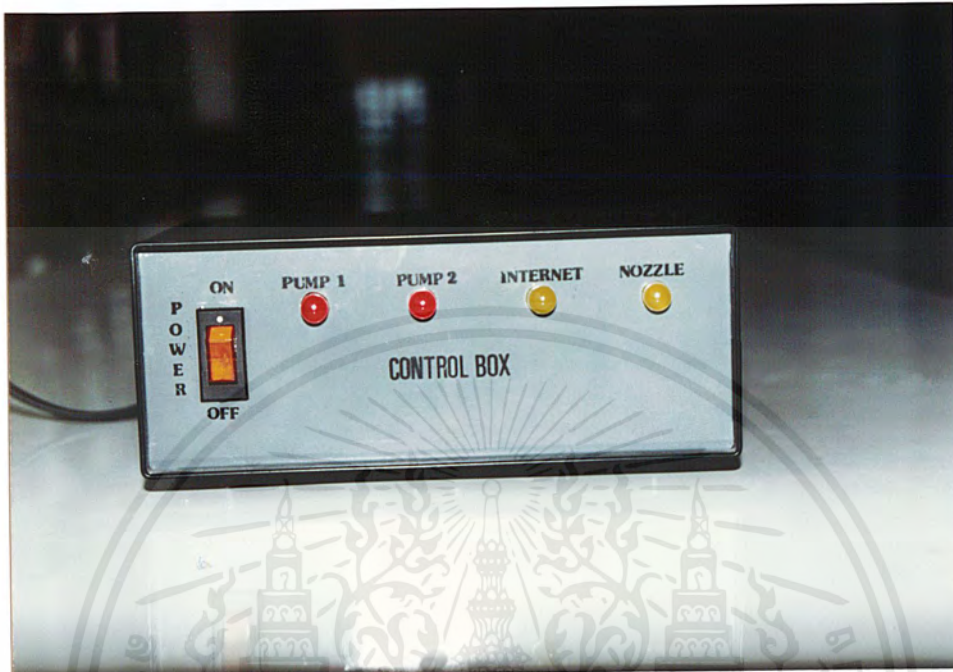
ระบบควบคุมหัวฉีดละอองน้ำผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพประกอบของส่วน Hard Ware

- ด้านหน้าของ Hard Ware

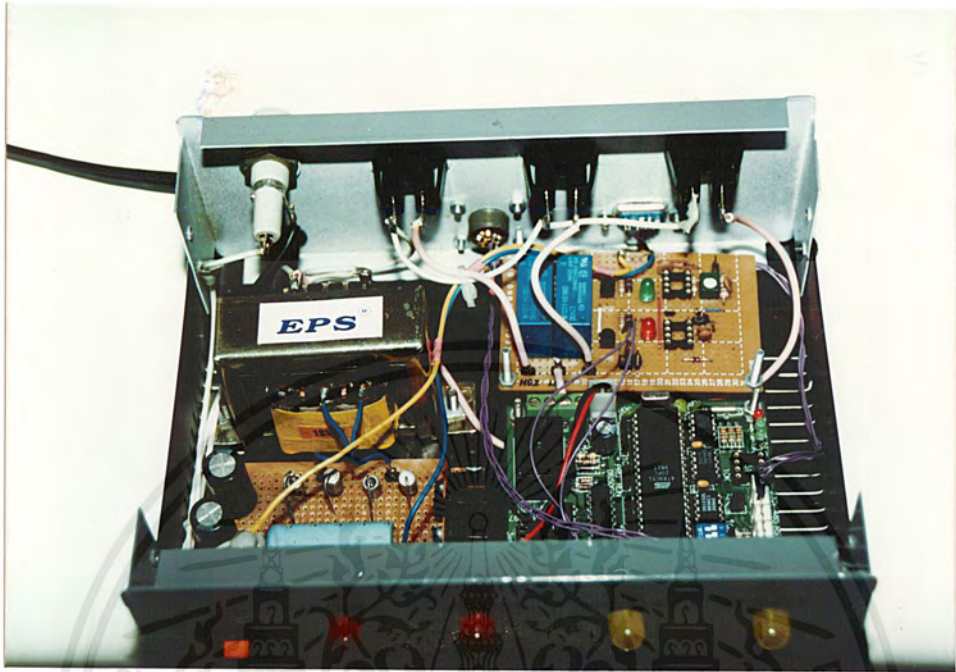


- ด้านหลังของ Hard Ware



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรภายในของ Hard Ware



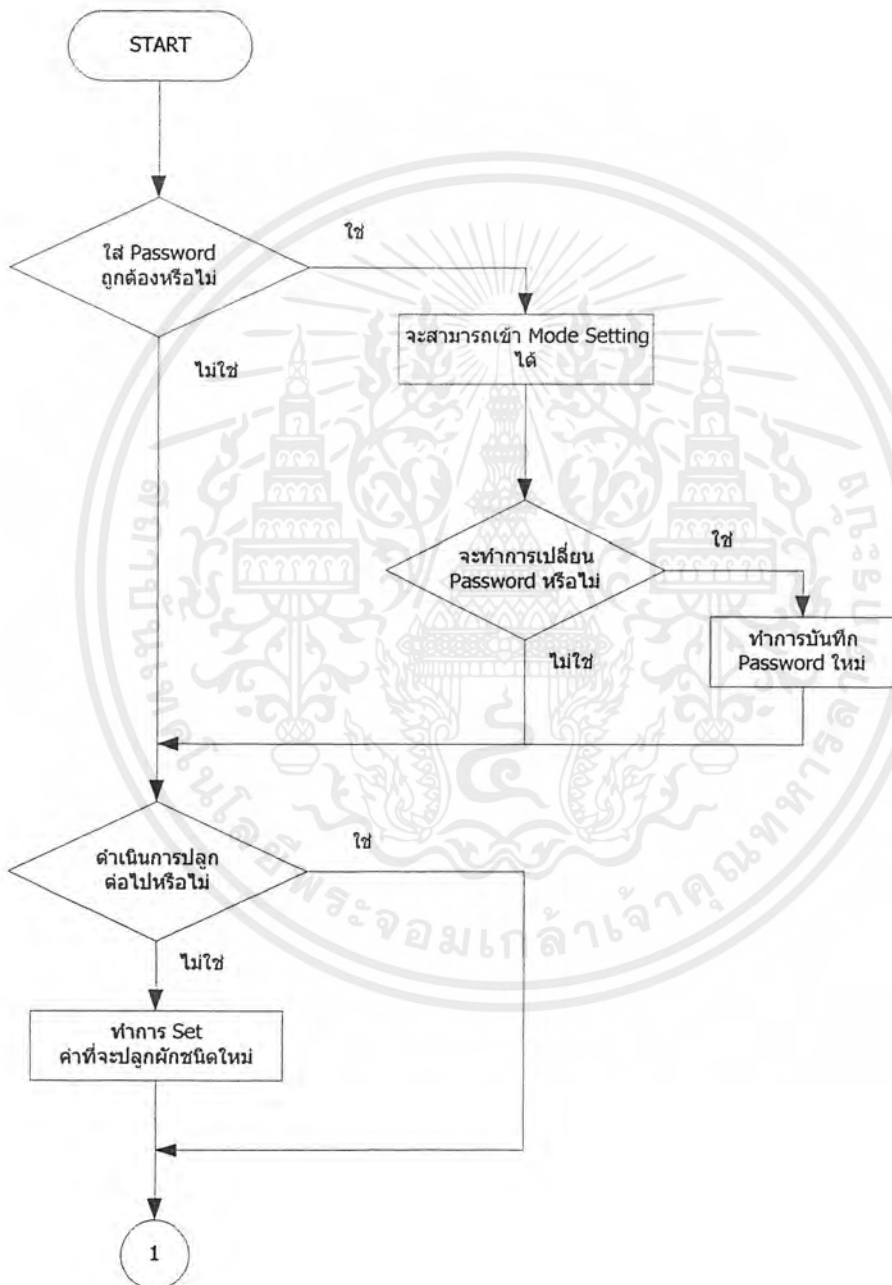
- ตัว sensor อุณหภูมิ



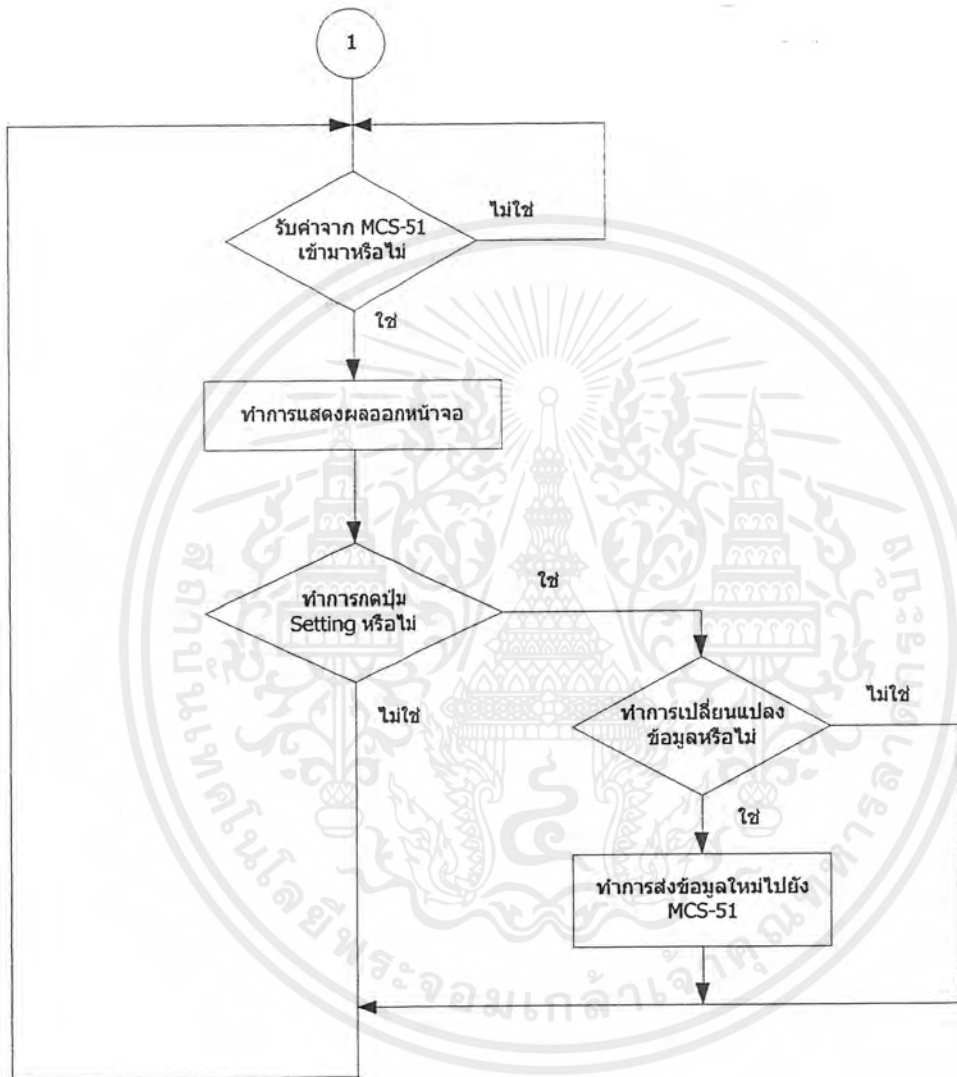
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Form1

Time		22:38:04
Date		11 เมษายน 2544
General	Counter	Pump
ระดับค่า pH	สารละลาย	<input checked="" type="checkbox"/> Pump 1
ระดับค่า EC	จำนวนวันที่ปลูก	<input type="checkbox"/> Pump 2
ระดับค่า TEMP		
		Setting Back

ย้อนกลับ

ตั้งค่า

Form2

General	Pump	Date
ระดับค่า pH :	5.5	
ระดับค่า EC :	0.8	
ระดับค่าอุณหภูมิ :	25	
OK		Cancel

กลับสู่หน้าจอหลัก

ทำการตั้งค่าและ
กลับสู่หน้าจอหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Form3

LADKRABANG ENGINEERING (I2R)

User Name KMITL

Password

OK Cancel Exit

ออกจากโปรแกรม

Clear password

ไปหน้าถัดไป

Form4

LADKRABANG ENGINEERING (I2R)

User Name KMITL

New Password

Cofirm Password

OK

Cancel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Form5

Astral	Bambi	Green Oak
Reisa	Red Oak	Rex

Other...

OK

ทำการตั้งค่าผักที่ไม่มีในตัวเลือกข้างบน

ทำการปลูกเหมือนเดิม

Form6

ชื่อผักที่ปลูก

ระดับค่า PH

ระดับค่า EC

ระดับค่า TEMP

เริ่มตั้งปลูก วันที่ เดือน ปี ค.ศ.

OK Cancel

ไม่ทำการตั้งค่าในการปลูกใหม่

ทำการตั้งค่าและพร้อมที่จะทำการปลูกผัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

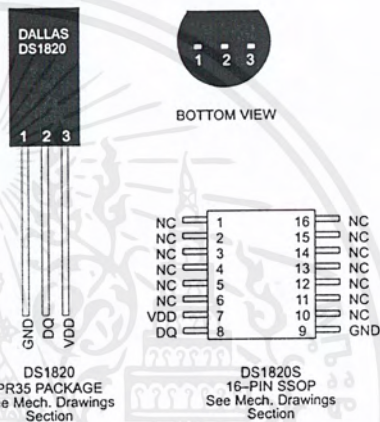
DALLAS
SEMICONDUCTOR

DS1820 1-Wire™ Digital Thermometer

FEATURES

- Unique 1-Wire™ interface requires only one port pin for communication
- Multidrop capability simplifies distributed temperature sensing applications
- Requires no external components
- Can be powered from data line
- Zero standby power required
- Measures temperatures from -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ in 0.5°C increments. Fahrenheit equivalent is -67°F to $+257^{\circ}\text{F}$ in 0.9°F increments
- Temperature is read as a 9-bit digital value.
- Converts temperature to digital word in 200 ms (typ.)
- User-definable, nonvolatile temperature alarm settings
- Alarm search command identifies and addresses devices whose temperature is outside of programmed limits (temperature alarm condition)
- Applications include thermostatic controls, industrial systems, consumer products, thermometers, or any thermally sensitive system

PIN ASSIGNMENT



PIN DESCRIPTION

GND	—	Ground
DQ	—	Data In/Out
V _{DD}	—	Optional V _{DD}
NC	—	No Connect

DESCRIPTION

The DS1820 Digital Thermometer provides 9-bit temperature readings which indicate the temperature of the device.

Information is sent to/from the DS1820 over a 1-Wire interface, so that only one wire (and ground) needs to be connected from a central microprocessor to a DS1820. Power for reading, writing, and performing temperature conversions can be derived from the data line itself with no need for an external power source.

Because each DS1820 contains a unique silicon serial number, multiple DS1820s can exist on the same 1-Wire bus. This allows for placing temperature sensors in many different places. Applications where this feature is useful include HVAC environmental controls, sensing temperatures inside buildings, equipment or machinery, and in process monitoring and control.

DETAILED PIN DESCRIPTION

PIN 16-PIN SSOP	PIN PR35	SYMBOL	DESCRIPTION
9	1	GND	Ground.
8	2	DQ	Data Input/Output pin. For 1-Wire operation: Open drain. (See "Parasite Power" section.)
7	3	V _{DD}	Optional V _{DD} pin. See "Parasite Power" section for details of connection.

DS1820S (16-pin SSOP): All pins not specified in this table are not to be connected.

OVERVIEW

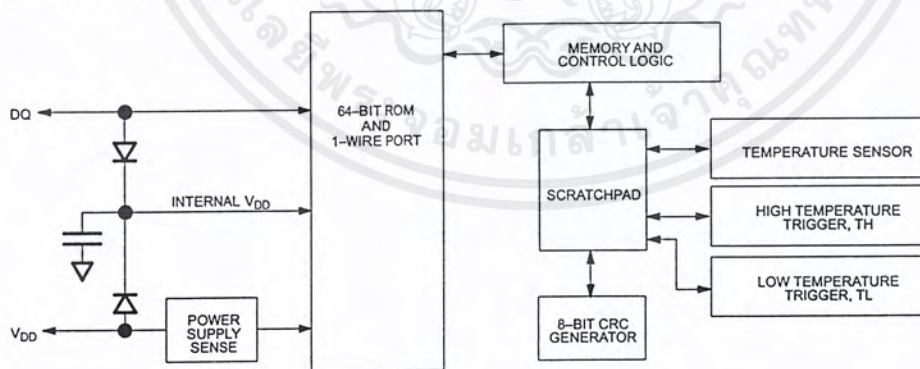
The block diagram of Figure 1 shows the major components of the DS1820. The DS1820 has three main data components: 1) 64-bit lasered ROM, 2) temperature sensor, and 3) nonvolatile temperature alarm triggers TH and TL. The device derives its power from the 1-Wire communication line by storing energy on an internal capacitor during periods of time when the signal line is high and continues to operate off this power source during the low times of the 1-Wire line until it returns high to replenish the parasite (capacitor) supply. As an alternative, the DS1820 may also be powered from an external 5 volts supply.

Communication to the DS1820 is via a 1-Wire port. With the 1-Wire port, the memory and control functions will not be available before the ROM function protocol has been established. The master must first provide one of five ROM function commands: 1) Read ROM, 2) Match ROM, 3) Search ROM, 4) Skip ROM, or 5) Alarm Search. These commands operate on the 64-bit lasered ROM portion of each device and can single out

a specific device if many are present on the 1-Wire line as well as indicate to the Bus Master how many and what types of devices are present. After a ROM function sequence has been successfully executed, the memory and control functions are accessible and the master may then provide any one of the six memory and control function commands.

One control function command instructs the DS1820 to perform a temperature measurement. The result of this measurement will be placed in the DS1820's scratchpad memory, and may be read by issuing a memory function command which reads the contents of the scratchpad memory. The temperature alarm triggers TH and TL consist of one byte EEPROM each. If the alarm search command is not applied to the DS1820, these registers may be used as general purpose user memory. Writing TH and TL is done using a memory function command. Read access to these registers is through the scratchpad. All data is read and written least significant bit first.

DS1820 BLOCK DIAGRAM Figure 1



PARASITE POWER

The block diagram (Figure 1) shows the parasite powered circuitry. This circuitry "steals" power whenever the I/O or V_{DD} pins are high. I/O will provide sufficient power as long as the specified timing and voltage requirements are met (see the section titled "1-Wire Bus System"). The advantages of parasite power are two-fold: 1) by parasiting off this pin, no local power source is needed for remote sensing of temperature, and 2) the ROM may be read in absence of normal power.

In order for the DS1820 to be able to perform accurate temperature conversions, sufficient power must be provided over the I/O line when a temperature conversion is taking place. Since the operating current of the DS1820 is up to 1 mA, the I/O line will not have sufficient drive due to the 5K pull-up resistor. This problem is particularly acute if several DS1820's are on the same I/O and attempting to convert simultaneously.

There are two ways to assure that the DS1820 has sufficient supply current during its active conversion cycle. The first is to provide a strong pull-up on the I/O line whenever temperature conversions or copies to the E² memory are taking place. This may be accomplished by using a MOSFET to pull the I/O line directly to the power supply as shown in Figure 2. The I/O line must be switched over to the strong pull-up within 10 μ s maximum after issuing any protocol that involves copying to the E² memory or initiates temperature conversions. When using the parasite power mode, the V_{DD} pin must be tied to ground.

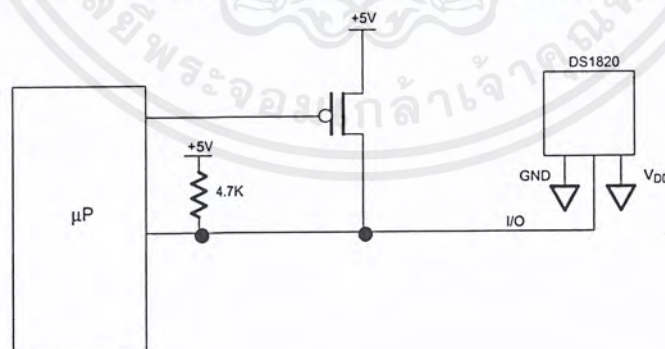
Another method of supplying current to the DS1820 is through the use of an external power supply tied to the

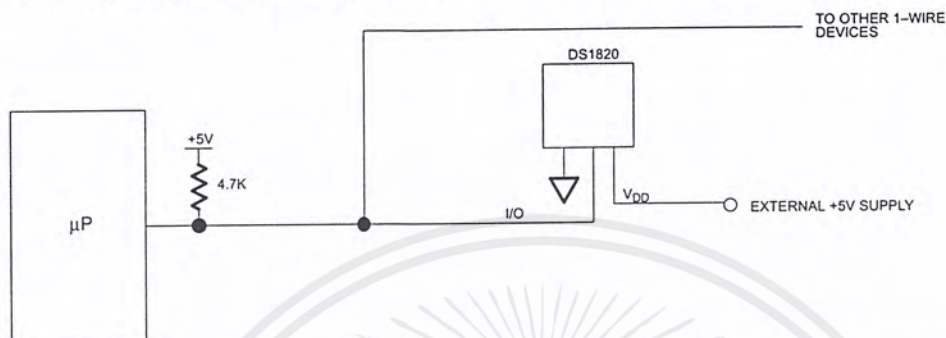
V_{DD} pin, as shown in Figure 3. The advantage to this is that the strong pull-up is not required on the I/O line, and the bus master need not be tied up holding that line high during temperature conversions. This allows other data traffic on the 1-Wire bus during the conversion time. In addition, any number of DS1820's may be placed on the 1-Wire bus, and if they all use external power, they may all simultaneously perform temperature conversions by issuing the Skip ROM command and then issuing the Convert T command. Note that as long as the external power supply is active, the GND pin may not be floating.

The use of parasite power is not recommended above 100°C, since it may not be able to sustain communications given the higher leakage currents the DS1820 exhibits at these temperatures. For applications in which such temperatures are likely, it is strongly recommended that V_{DD} be applied to the DS1820.

For situations where the bus master does not know whether the DS1820's on the bus are parasite powered or supplied with external V_{DD} , a provision is made in the DS1820 to signal the power supply scheme used. The bus master can determine if any DS1820's are on the bus which require the strong pull-up by sending a Skip ROM protocol, then issuing the read power supply command. After this command is issued, the master then issues read time slots. The DS1820 will send back "0" on the 1-Wire bus if it is parasite powered; it will send back a "1" if it is powered from the V_{DD} pin. If the master receives a "0", it knows that it must supply the strong pull-up on the I/O line during temperature conversions. See "Memory Command Functions" section for more detail on this command protocol.

STRONG PULL-UP FOR SUPPLYING DS1820 DURING TEMPERATURE CONVERSION Figure 2



USING V_{DD} TO SUPPLY TEMPERATURE CONVERSION CURRENT Figure 3**OPERATION – MEASURING TEMPERATURE**

The DS1820 measures temperature through the use of an on-board proprietary temperature measurement technique. A block diagram of the temperature measurement circuitry is shown in Figure 4.

The DS1820 measures temperature by counting the number of clock cycles that an oscillator with a low temperature coefficient goes through during a gate period determined by a high temperature coefficient oscillator. The counter is preset with a base count that corresponds to -55°C . If the counter reaches zero before the gate period is over, the temperature register, which is also preset to the -55°C value, is incremented, indicating that the temperature is higher than -55°C .

At the same time, the counter is then preset with a value determined by the slope accumulator circuitry. This circuitry is needed to compensate for the parabolic behavior of the oscillators over temperature. The counter is then clocked again until it reaches zero. If the gate period is still not finished, then this process repeats.

The slope accumulator is used to compensate for the non-linear behavior of the oscillators over temperature, yielding a high resolution temperature measurement. This is done by changing the number of counts necessary for the counter to go through for each incremental degree in temperature. To obtain the desired resolution, therefore, both the value of the counter and the number of counts per degree C (the value of the slope accumulator) at a given temperature must be known.

Internally, this calculation is done inside the DS1820 to provide 0.5°C resolution. The temperature reading is

provided in a 16-bit, sign-extended two's complement reading. Table 1 describes the exact relationship of output data to measured temperature. The data is transmitted serially over the 1-Wire interface. The DS1820 can measure temperature over the range of -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ in 0.5°C increments. For Fahrenheit usage, a lookup table or conversion factor must be used.

Note that temperature is represented in the DS1820 in terms of a $1/2^{\circ}\text{C}$ LSB, yielding the following 9-bit format:

MSB								LSB
1	1	1	0	0	1	1	1	0

= -25°C

The most significant (sign) bit is duplicated into all of the bits in the upper MSB of the two-byte temperature register in memory. This "sign-extension" yields the 16-bit temperature readings as shown in Table 1.

Higher resolutions may be obtained by the following procedure. First, read the temperature, and truncate the 0.5°C bit (the LSB) from the read value. This value is TEMP_READ. The value left in the counter may then be read. This value is the count remaining (COUNT_REMAIN) after the gate period has ceased. The last value needed is the number of counts per degree C (COUNT_PER_C) at that temperature. The actual temperature may be then be calculated by the user using the following:

$$\text{TEMPERATURE} = \text{TEMP_READ} - 0.25 + \frac{(\text{COUNT_PER_C} - \text{COUNT_REMAIN})}{\text{COUNT_PER_C}}$$

64-BIT LASERED ROM

Each DS1820 contains a unique ROM code that is 64-bits long. The first eight bits are a 1-Wire family code (DS1820 code is 10h). The next 48 bits are a unique serial number. The last eight bits are a CRC of the first 56 bits. (See Figure 5.) The 64-bit ROM and ROM Function Control section allow the DS1820 to operate as a 1-Wire device and follow the 1-Wire protocol detailed in the section "1-Wire Bus System". The functions required to control sections of the DS1820 are not accessible until the ROM function protocol has been satisfied. This protocol is described in the ROM function protocol flowchart (Figure 6). The 1-Wire bus master must first provide one of five ROM function commands: 1) Read ROM, 2) Match ROM, 3) Search ROM, 4) Skip ROM, or 5) Alarm Search. After a ROM function sequence has been successfully executed, the functions specific to the DS1820 are accessible and the bus master may then provide one of the six memory and control function commands.

CRC GENERATION

The DS1820 has an 8-bit CRC stored in the most significant byte of the 64-bit ROM. The bus master can compute a CRC value from the first 56-bits of the 64-bit ROM and compare it to the value stored within the DS1820 to determine if the ROM data has been received error-free by the bus master. The equivalent polynomial function of this CRC is:

$$\text{CRC} = X^8 + X^5 + X^4 + 1$$

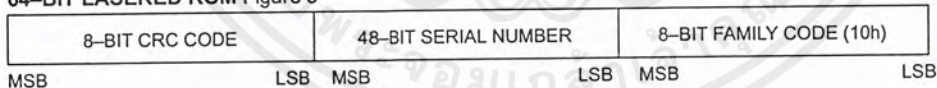
The DS1820 also generates an 8-bit CRC value using the same polynomial function shown above and pro-

vides this value to the bus master to validate the transfer of data bytes. In each case where a CRC is used for data transfer validation, the bus master must calculate a CRC value using the polynomial function given above and compare the calculated value to either the 8-bit CRC value stored in the 64-bit ROM portion of the DS1820 (for ROM reads) or the 8-bit CRC value computed within the DS1820 (which is read as a ninth byte when the scratchpad is read). The comparison of CRC values and decision to continue with an operation are determined entirely by the bus master. There is no circuitry inside the DS1820 that prevents a command sequence from proceeding if the CRC stored in or calculated by the DS1820 does not match the value generated by the bus master.

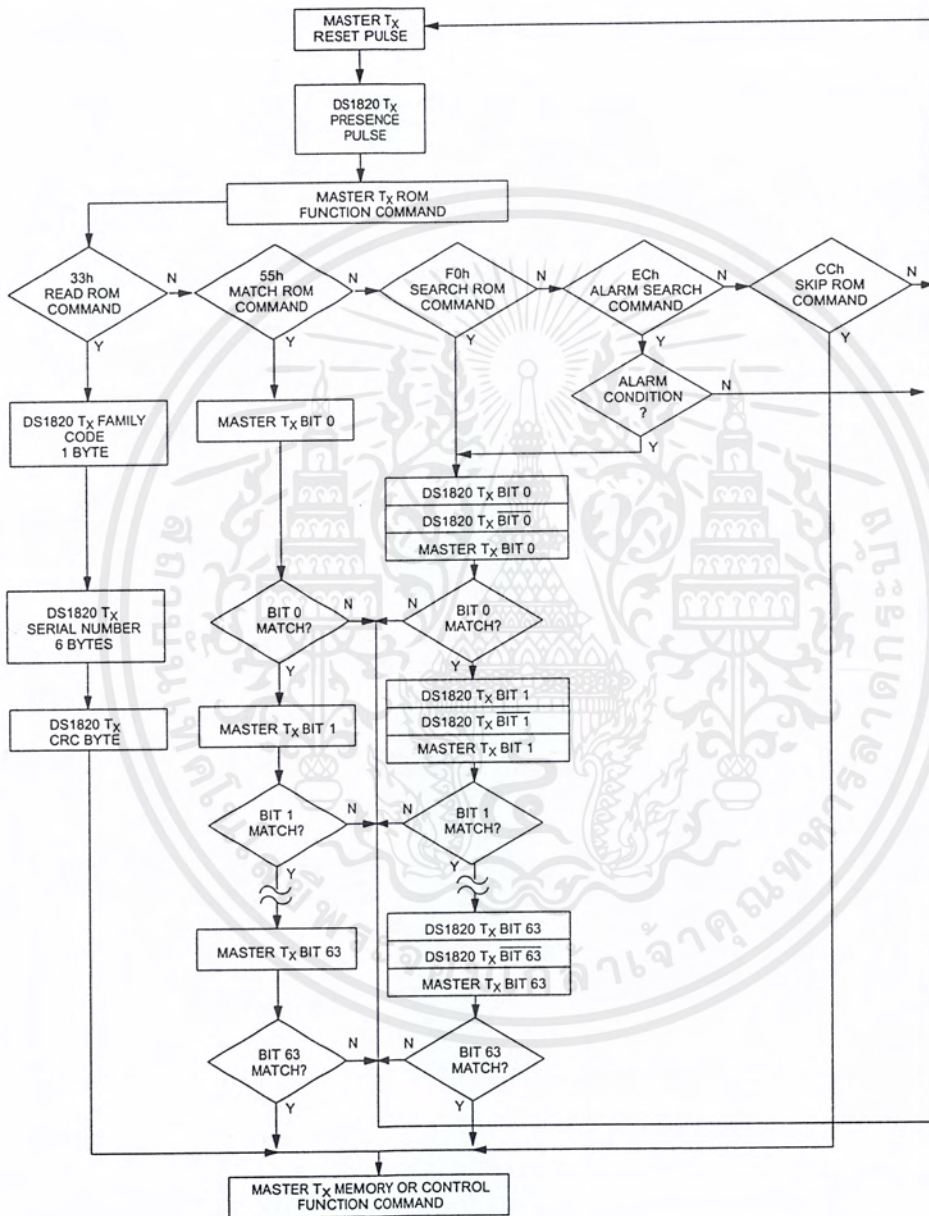
The 1-Wire CRC can be generated using a polynomial generator consisting of a shift register and XOR gates as shown in Figure 7. Additional information about the Dallas 1-Wire Cyclic Redundancy Check is available in Application Note 27 entitled "Understanding and Using Cyclic Redundancy Checks with Dallas Semiconductor Touch Memory Products".

The shift register bits are initialized to zero. Then starting with the least significant bit of the family code, one bit at a time is shifted in. After the 8th bit of the family code has been entered, then the serial number is entered. After the 48th bit of the serial number has been entered, the shift register contains the CRC value. Shifting in the eight bits of CRC should return the shift register to all zeros.

64-BIT LASERED ROM Figure 5

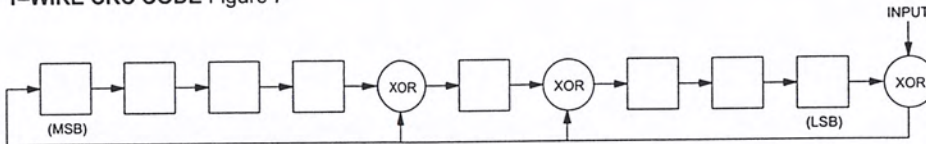


ROM FUNCTIONS FLOW CHART Figure 6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1-WIRE CRC CODE Figure 7

**MEMORY**

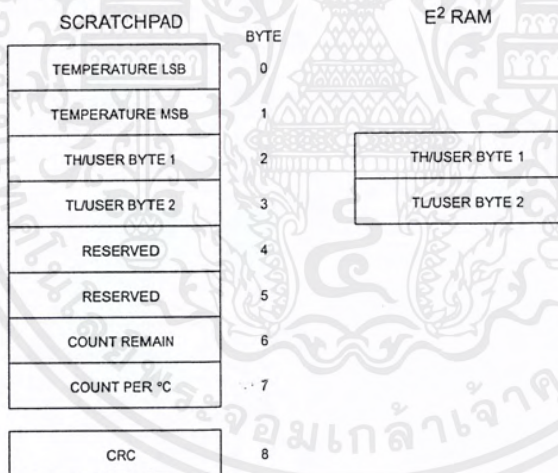
The DS1820's memory is organized as shown in Figure 8. The memory consists of a scratchpad RAM and a nonvolatile, electrically erasable (E²) RAM, which stores the high and low temperature triggers TH and TL. The scratchpad helps insure data integrity when communicating over the 1-Wire bus. Data is first written to the scratchpad where it can be read back. After the data has been verified, a copy scratchpad command will transfer the data to the nonvolatile (E²) RAM. This process insures data integrity when modifying the memory.

The scratchpad is organized as eight bytes of memory. The first two bytes contain the measured temperature

information. The third and fourth bytes are volatile copies of TH and TL and are refreshed with every power-on reset. The next two bytes are not used; upon reading back, however, they will appear as all logic 1's. The seventh and eighth bytes are count registers, which may be used in obtaining higher temperature resolution (see "Operation—measuring Temperature" section).

There is a ninth byte which may be read with a Read Scratchpad command. This byte contains a cyclic redundancy check (CRC) byte which is the CRC over all of the eight previous bytes. This CRC is implemented in the fashion described in the section titled "CRC Generation".

DS1820 MEMORY MAP Figure 8



1-WIRE BUS SYSTEM

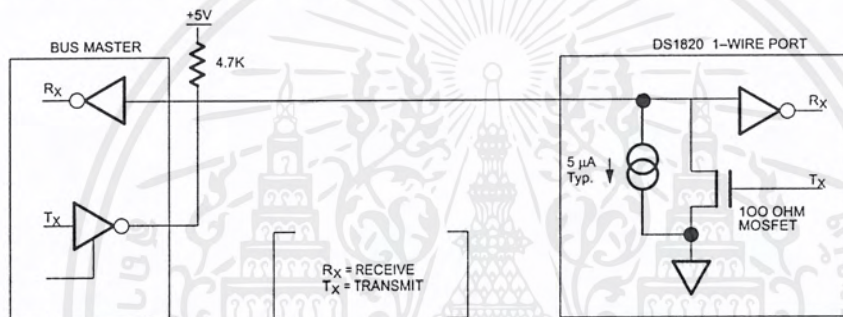
The 1-Wire bus is a system which has a single bus master and one or more slaves. The DS1820 behaves as a slave. The discussion of this bus system is broken down into three topics: hardware configuration, transaction sequence, and 1-Wire signaling (signal types and timing).

at the appropriate time. To facilitate this, each device attached to the 1-Wire bus must have open drain or 3-state outputs. The 1-Wire port of the DS1820 (I/O pin) is open drain with an internal circuit equivalent to that shown in Figure 9. A multidrop bus consists of a 1-Wire bus with multiple slaves attached. The 1-Wire bus requires a pullup resistor of approximately 5K Ω .

HARDWARE CONFIGURATION

The 1-Wire bus has only a single line by definition; it is important that each device on the bus be able to drive it

HARDWARE CONFIGURATION Figure 9



The idle state for the 1-Wire bus is high. If for any reason a transaction needs to be suspended, the bus MUST be left in the idle state if the transaction is to resume. Infinite recovery time can occur between bits so long as the 1-Wire bus is in the inactive (high) state during the recovery period. If this does not occur and the bus is left low for more than 480 μ s, all components on the bus will be reset.

INITIALIZATION

All transactions on the 1-Wire bus begin with an initialization sequence. The initialization sequence consists of a reset pulse transmitted by the bus master followed by presence pulse(s) transmitted by the slave(s).

The presence pulse lets the bus master know that the DS1820 is on the bus and is ready to operate. For more details, see the "1-Wire Signaling" section.

TRANSACTION SEQUENCE

The protocol for accessing the DS1820 via the 1-Wire port is as follows:

- Initialization
- ROM Function Command
- Memory Function Command
- Transaction/Data

ROM FUNCTION COMMANDS

Once the bus master has detected a presence, it can issue one of the five ROM function commands. All ROM function commands are 8-bits long. A list of these commands follows (refer to flowchart in Figure 6):

Read ROM [33h]

This command allows the bus master to read the DS1820's 8-bit family code, unique 48-bit serial number, and 8-bit CRC. This command can only be used if there is a single DS1820 on the bus. If more than one slave is present on the bus, a data collision will occur when all slaves try to transmit at the same time (open drain will produce a wired AND result).

Match ROM [55h]

The match ROM command, followed by a 64-bit ROM sequence, allows the bus master to address a specific DS1820 on a multidrop bus. Only the DS1820 that exactly matches the 64-bit ROM sequence will respond to the following memory function command. All slaves that do not match the 64-bit ROM sequence will wait for a reset pulse. This command can be used with a single or multiple devices on the bus.

Skip ROM [CCh]

This command can save time in a single drop bus system by allowing the bus master to access the memory functions without providing the 64-bit ROM code. If more than one slave is present on the bus and a read command is issued following the Skip ROM command, data collision will occur on the bus as multiple slaves transmit simultaneously (open drain pulldowns will produce a wired AND result).

Search ROM [F0h]

When a system is initially brought up, the bus master might not know the number of devices on the 1-Wire bus or their 64-bit ROM codes. The search ROM command allows the bus master to use a process of elimination to identify the 64-bit ROM codes of all slave devices on the bus.

Alarm Search [ECh]

The flowchart of this command is identical to the Search ROM command. However, the DS1820 will respond to this command only if an alarm condition has been encountered at the last temperature measurement. An alarm condition is defined as a temperature higher than TH or lower than TL. The alarm condition remains set as long as the DS1820 is powered up, or until another temperature measurement reveals a non-alarming value. For alarming, the trigger values stored in EEPROM are taken into account. If an alarm condition exists and the TH or TL settings are changed, another temperature

conversion should be done to validate any alarm conditions.

Example of a ROM Search

The ROM search process is the repetition of a simple 3-step routine: read a bit, read the complement of the bit, then write the desired value of that bit. The bus master performs this simple, 3-step routine on each bit of the ROM. After one complete pass, the bus master knows the contents of the ROM in one device. The remaining number of devices and their ROM codes may be identified by additional passes.

The following example of the ROM search process assumes four different devices are connected to the same 1-Wire bus. The ROM data of the four devices is as shown:

ROM1	00110101...
ROM2	10101010...
ROM3	11110101...
ROM4	00010001...

The search process is as follows:

1. The bus master begins the initialization sequence by issuing a reset pulse. The slave devices respond by issuing simultaneous presence pulses.
2. The bus master will then issue the Search ROM command on the 1-Wire bus.
3. The bus master reads a bit from the 1-Wire bus. Each device will respond by placing the value of the first bit of their respective ROM data onto the 1-Wire bus. ROM1 and ROM4 will place a 0 onto the 1-Wire bus, i.e., pull it low. ROM2 and ROM3 will place a 1 onto the 1-Wire bus by allowing the line to stay high. The result is the logical AND of all devices on the line, therefore the bus master sees a 0. The bus master reads another bit. Since the Search ROM data command is being executed, all of the devices on the 1-Wire bus respond to this second read by placing the complement of the first bit of their respective ROM data onto the 1-Wire bus. ROM1 and ROM4 will place a 1 onto the 1-Wire, allowing the line to stay high. ROM2 and ROM3 will place a 0 onto the 1-Wire, thus it will be pulled low. The bus master again observes a 0 for the complement of the first ROM data bit. The bus master has determined that there are some devices on the 1-Wire bus that have a 0 in the first position and others that have a 1.

The data obtained from the two reads of the 3-step routine have the following interpretations:

- 00 There are still devices attached which have conflicting bits in this position.
 - 01 All devices still coupled have a 0-bit in this bit position.
 - 10 All devices still coupled have a 1-bit in this bit position.
 - 11 There are no devices attached to the 1-Wire bus.
4. The bus master writes a 0. This deselects ROM2 and ROM3 for the remainder of this search pass, leaving only ROM1 and ROM4 connected to the 1-Wire bus.
 5. The bus master performs two more reads and receives a 0-bit followed by a 1-bit. This indicates that all devices still coupled to the bus have 0's as their second ROM data bit.
 6. The bus master then writes a 0 to keep both ROM1 and ROM4 coupled.
 7. The bus master executes two reads and receives two 0-bits. This indicates that both 1-bits and 0-bits exist as the third bit of the ROM data of the attached devices.
 8. The bus master writes a 0-bit. This deselects ROM1 leaving ROM4 as the only device still connected.
 9. The bus master reads the remainder of the ROM bits for ROM4 and continues to access the part if desired. This completes the first pass and uniquely identifies one part on the 1-Wire bus.
 10. The bus master starts a new ROM search sequence by repeating steps 1 through 7.
 11. The bus master writes a 1-bit. This decouples ROM4, leaving only ROM1 still coupled.
 12. The bus master reads the remainder of the ROM bits for ROM1 and communicates to the underlying logic if desired. This completes the second ROM search pass, in which another of the ROMs was found.
 13. The bus master starts a new ROM search by repeating steps 1 through 3.
 14. The bus master writes a 1-bit. This deselects ROM1 and ROM4 for the remainder of this search pass, leaving only ROM2 and ROM3 coupled to the system.

15. The bus master executes two read time slots and receives two zeros.
16. The bus master writes a 0-bit. This decouples ROM3, and leaving only ROM2.
17. The bus master reads the remainder of the ROM bits for ROM2 and communicates to the underlying logic if desired. This completes the third ROM search pass, in which another of the ROMs was found.
18. The bus master starts a new ROM search by repeating steps 13 through 15.
19. The bus master writes a 1-bit. This decouples ROM2, leaving only ROM3.
20. The bus master reads the remainder of the ROM bits for ROM3 and communicates to the underlying logic if desired. This completes the fourth ROM search pass, in which another of the ROMs was found.

Note the following:

The bus master learns the unique ID number (ROM data pattern) of one 1-Wire device on each ROM Search operation. The time required to derive the part's unique ROM code is:

$$960 \mu\text{s} + (8 + 3 \times 64) 61 \mu\text{s} = 13.16 \text{ ms}$$

The bus master is therefore capable of identifying 75 different 1-Wire devices per second.

I/O SIGNALING

The DS1820 requires strict protocols to insure data integrity. The protocol consists of several types of signaling on one line: reset pulse, presence pulse, write 0, write 1, read 0, and read 1. All of these signals, with the exception of the presence pulse, are initiated by the bus master.

The initialization sequence required to begin any communication with the DS1820 is shown in Figure 11. A reset pulse followed by a presence pulse indicates the DS1820 is ready to send or receive data given the correct ROM command and memory function command.

The bus master transmits (TX) a reset pulse (a low signal for a minimum of 480 μs). The bus master then releases the line and goes into a receive mode (RX). The 1-Wire bus is pulled to a high state via the 5K pull-up resistor. After detecting the rising edge on the

I/O pin, the DS1820 waits 15–60 μs and then transmits the presence pulse (a low signal for 60–240 μs).

MEMORY COMMAND FUNCTIONS

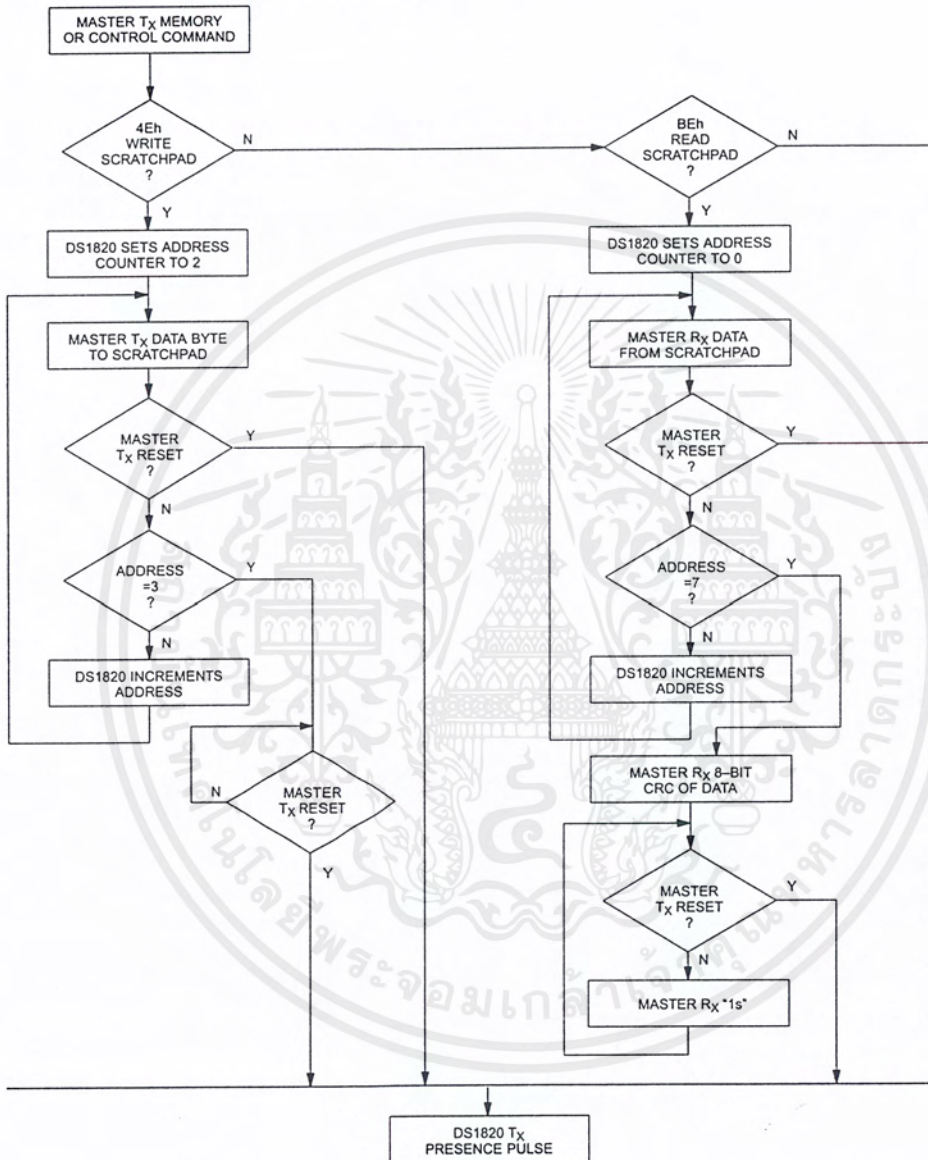
The following command protocols are summarized in Table 2, and by the flowchart of Figure 10.

Write Scratchpad [4Eh]

This command writes to the scratchpad of the DS1820, starting at address 2. The next two bytes written will be saved in scratchpad memory, at address locations 2 and 3. Writing may be terminated at any point by issuing a reset.

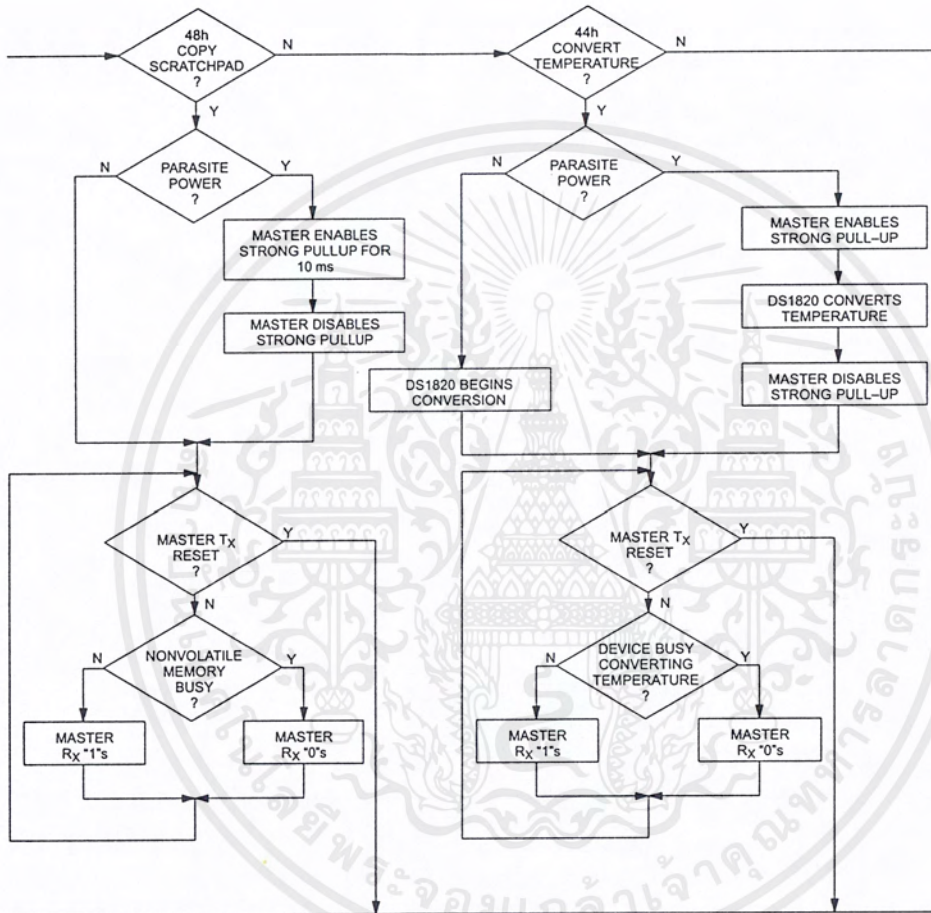


MEMORY FUNCTIONS FLOW CHART Figure 10



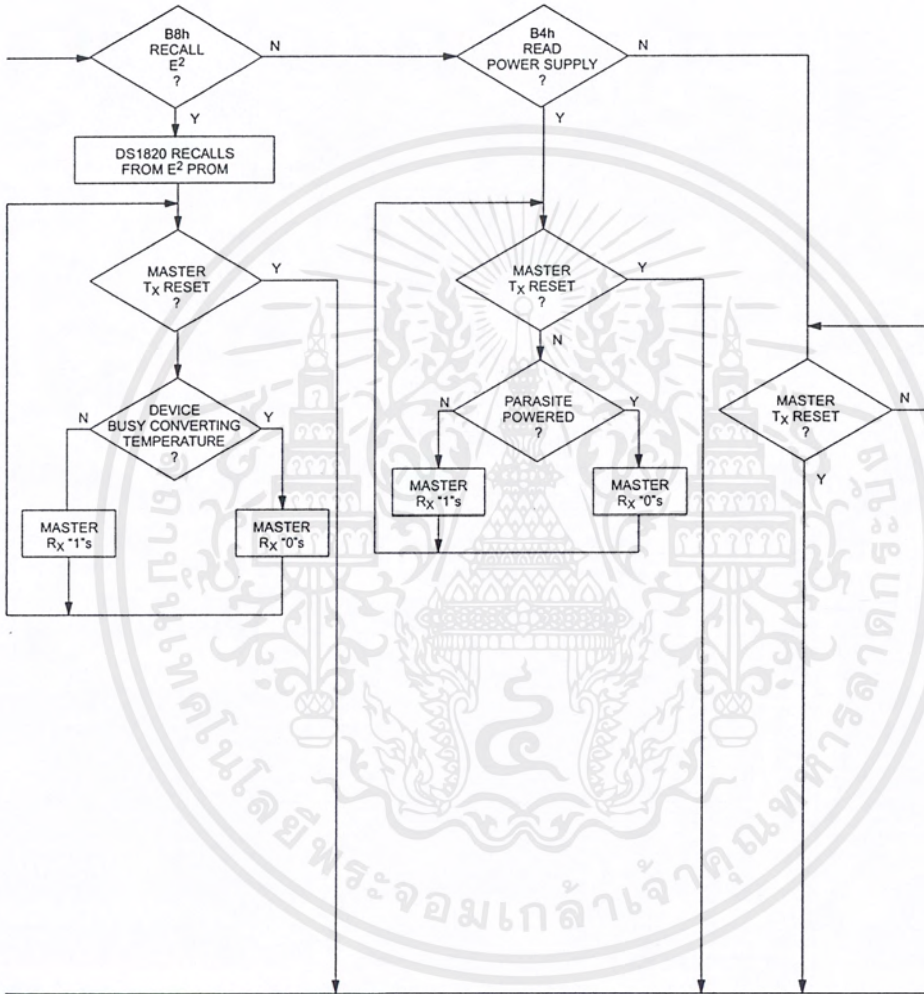
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MEMORY FUNCTIONS FLOW CHART Figure 10 (cont'd)



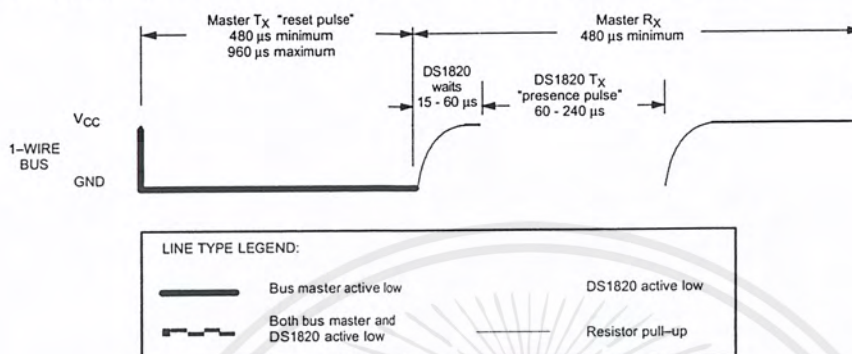
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MEMORY FUNCTIONS FLOW CHART Figure 10 (cont'd)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INITIALIZATION PROCEDURE "RESET AND PRESENCE PULSES" Figure 11



DS1820 COMMAND SET Table 2

INSTRUCTION	DESCRIPTION	PROTOCOL	1-WIRE BUS AFTER ISSUING PROTOCOL	NOTES
TEMPERATURE CONVERSION COMMANDS				
Convert T	Initiates temperature conversion.	44h	<read temperature busy status>	1
MEMORY COMMANDS				
Read Scratchpad	Reads bytes from scratchpad and reads CRC byte.	BEh	<read data up to 9 bytes>	
Write Scratchpad	Writes bytes into scratchpad at addresses 2 and 3 (TH and TL temperature triggers).	4Eh	<write data into 2 bytes at addr. 2 and addr. 3>	
Copy Scratchpad	Copies scratchpad into nonvolatile memory (addresses 2 and 3 only).	48h	<read copy status>	2
Recall E ²	Recalls values stored in nonvolatile memory into scratchpad (temperature triggers).	B8h	<read temperature busy status>	
Read Power Supply	Signals the mode of DS1820 power supply to the master.	B4h	<read supply status>	

NOTES:

- Temperature conversion takes up to 500 ms. After receiving the Convert T protocol, if the part does not receive power from the V_{DD} pin, the I/O line for the DS1820 must be held high for at least 500 ms to provide power during the conversion process. As such, no other activity may take place on the 1-Wire bus for at least this period after a Convert T command has been issued.
- After receiving the Copy Scratchpad protocol, if the part does not receive power from the V_{DD} pin, the I/O line for the DS1820 must be held high for at least 10 ms to provide power during the copy process. As such, no other activity may take place on the 1-Wire bus for at least this period after a Copy Scratchpad command has been issued.

Read Scratchpad [BEh]

This command reads the contents of the scratchpad. Reading will commence at byte 0, and will continue through the scratchpad until the 9th (byte-8, CRC) byte is read. If not all locations are to be read, the master may issue a reset to terminate reading at any time.

Copy Scratchpad [48h]

This command copies the scratchpad into the E² memory of the DS1820, storing the temperature trigger bytes in nonvolatile memory. If the bus master issues read time slots following this command, the DS1820 will output "0" on the bus as long as it is busy copying the scratchpad to E²; it will return a "1" when the copy process is complete. If parasite powered, the bus master has to enable a strong pull-up for at least 10 ms immediately after issuing this command.

Convert T [44h]

This command begins a temperature conversion. No further data is required. The temperature conversion will be performed and then the DS1820 will remain idle. If the bus master issues read time slots following this command, the DS1820 will output "0" on the bus as long as it is busy making a temperature conversion; it will return a "1" when the temperature conversion is complete. If parasite powered, the bus master has to enable a strong pullup for 500 ms immediately after issuing this command.

Recall E2 [B8h]

This command recalls the temperature trigger values stored in E² to the scratchpad. This recall operation happens automatically upon power-up to the DS1820 as well, so valid data is available in the scratchpad as soon as the device has power applied. With every read data time slot issued after this command has been sent, the device will output its temperature converter busy flag "0"=busy, "1"=ready.

Read Power Supply [B4h]

With every read data time slot issued after this command has been sent to the DS1820, the device will signal its power mode: "0"=parasite power, "1"=external power supply provided.

READ/WRITE TIME SLOTS

DS1820 data is read and written through the use of time slots to manipulate bits and a command word to specify the transaction.

Write Time Slots

A write time slot is initiated when the host pulls the data line from a high logic level to a low logic level. There are two types of write time slots: Write One time slots and Write Zero time slots. All write time slots must be a minimum of 60 μ s in duration with a minimum of a one μ s recovery time between individual write cycles.

The DS1820 samples the I/O line in a window of 15 μ s to 60 μ s after the I/O line falls. If the line is high, a Write One occurs. If the line is low, a Write Zero occurs (see Figure 12).

For the host to generate a Write One time slot, the data line must be pulled to a logic low level and then released, allowing the data line to pull up to a high level within 15 μ s after the start of the write time slot.

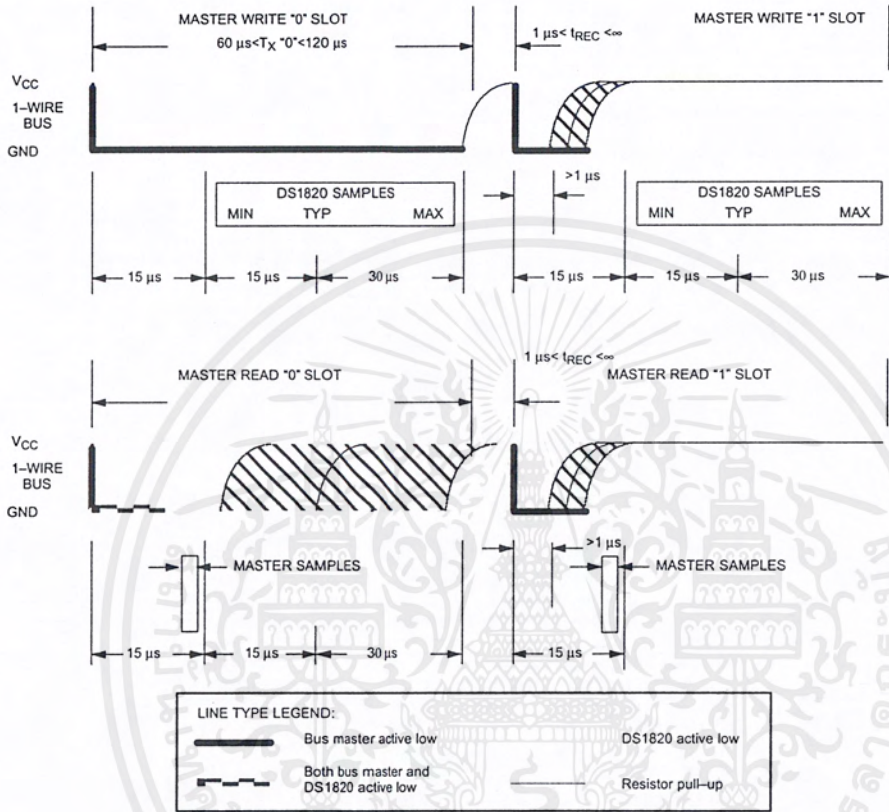
For the host to generate a Write Zero time slot, the data line must be pulled to a logic low level and remain low for 60 μ s.

Read Time Slots

The host generates read time slots when data is to be read from the DS1820. A read time slot is initiated when the host pulls the data line from a logic high level to logic low level. The data line must remain at a low logic level for a minimum of one μ s; output data from the DS1820 is valid for 15 μ s after the falling edge of the read time slot. The host therefore must stop driving the I/O pin low in order to read its state 15 μ s from the start of the read slot (see Figure 12). By the end of the read time slot, the I/O pin will pull back high via the external pull-up resistor. All read time slots must be a minimum of 60 μ s in duration with a minimum of a one μ s recovery time between individual read slots.

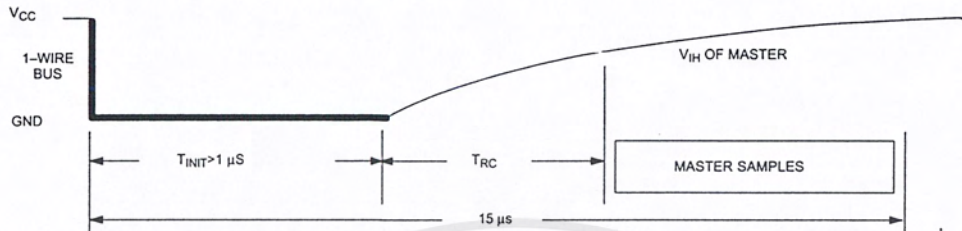
Figure 13 shows that the sum of T_{INIT}, T_{RC}, and T_{SAMPLE} must be less than 15 μ s. Figure 14 shows that system timing margin is maximized by keeping T_{INIT} and T_{RC} as small as possible and by locating the master sample time towards the end of the 15 μ s period.

READ/WRITE TIMING DIAGRAM Figure 12

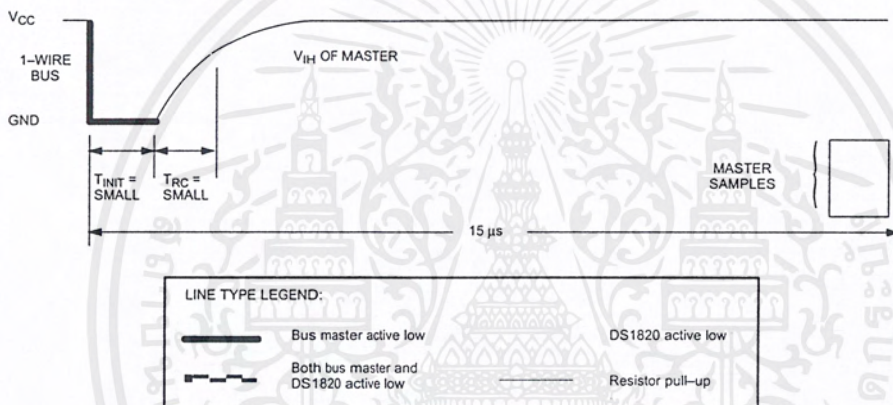


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DETAILED MASTER READ "1" TIMING Figure 13



RECOMMENDED MASTER READ "1" TIMING Figure 14



Related Application Notes

The following Application Notes can be applied to the DS1820. These notes can be obtained from the Dallas

Semiconductor "Application Note Book", via our website at <http://www.dalsemi.com/>, or through our faxback service at (214) 450-0441.

Application Note 27: "Understanding and Using Cyclic Redundancy Checks with Dallas Semiconductor Touch Memory Product"

Application Note 55: "Extending the Contact Range of Touch Memories"

Application Note 74: "Reading and Writing Touch Memories via Serial Interfaces"

Application Note 104: "Minimalist Temperature Control Demo"

Application Note 105: "High Resolution Temperature Measurement with Dallas Direct-to-Direct Temperature Sensors"

Application Note 106: "Complex MicroLANs"

Application Note 108: "MicroLAN – In the Long Run"

Sample 1-Wire subroutines that can be used in conjunction with AN74 can be downloaded from the website or our Anonymous FTP Site.

MEMORY FUNCTION EXAMPLE Table 3

Example: Bus Master initiates temperature conversion, then reads temperature (parasite power assumed).

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
TX	Reset	Reset pulse (480–960 μ s).
RX	Presence	Presence pulse.
TX	55h	Issue "Match ROM" command.
TX	<64-bit ROM code>	Issue address for DS1820.
TX	44h	Issue "Convert T" command.
TX	<I/O LINE HIGH>	I/O line is held high for at least 500 ms by bus master to allow conversion to complete.
TX	Reset	Reset pulse.
RX	Presence	Presence pulse.
TX	55h	Issue "Match ROM" command.
TX	<64-bit ROM code>	Issue address for DS1820.
TX	BEh	Issue "Read Scratchpad" command.
RX	<9 data bytes>	Read entire scratchpad plus CRC; the master now recalculates the CRC of the eight data bytes received from the scratchpad, compares the CRC calculated and the CRC read. If they match, the master continues; if not, this read operation is repeated.
TX	Reset	Reset Pulse.
RX	Presence	Presence pulse, done.

MEMORY FUNCTION EXAMPLE Table 4

Example: Bus Master writes memory (parasite power and only one DS1820 assumed).

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
TX	Reset	Reset pulse.
RX	Presence	Presence pulse.
TX	CCh	Skip ROM command.
TX	4Eh	Write Scratchpad command.
TX	<2 data bytes>	Writes two bytes to scratchpad (TH and TL).
TX	Reset	Reset pulse.
RX	Presence	Presence pulse.
TX	CCh	Skip ROM command.
TX	BEh	Read Scratchpad command.
RX	<9 data bytes>	Read entire scratchpad plus CRC. The master now recalculates the CRC of the eight data bytes received from the scratchpad, compares the CRC and the two other bytes read back from the scratchpad. If data match, the master continues; if not, repeat the sequence.
TX	Reset	Reset pulse.
RX	Presence	Presence pulse.
TX	CCh	Skip ROM command.
TX	48h	Copy Scratchpad command; after issuing this command, the master must wait 6 ms for copy operation to complete.
TX	Reset	Reset pulse.
RX	Presence	Presence pulse, done.

MEMORY FUNCTION EXAMPLE Table 5

Example: Temperature conversion and interpolation (external power supply and only one DS1820 assumed).

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
TX	Reset	Reset pulse.
TR	Presence	Presence pulse.
TX	CCh	Skip ROM command.
TX	44h	Convert T command.
RX	<1 data byte>	Read busy flag eight times. The master continues reading one byte (or bit) after another until the data is FFh (all bits 1).
TX	Reset	Reset pulse.
RX	Presence	Presence pulse.
TX	CCh	Skip ROM command.
TX	BEh	Read Scratchpad command.
RX	<9 data bytes>	Read entire scratchpad plus CRC. The master now recalculates the CRC of the eight data bytes received from the scratchpad and compares both CRCs. If the CRCs match, the data is valid. The master saves the temperature value and stores the contents of the count register and count per °C register as COUNT_REMAIN and COUNT_PER_C, respectively.
TX	Reset	Reset pulse.
RX	Presence	Presence pulse, done.
-	-	CPU calculates temperature as described in the data sheet for higher resolution.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Voltage on Any Pin Relative to Ground	-0.5V to +7.0V
Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-55°C to +125°C
Soldering Temperature	260°C for 10 seconds

* This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

RECOMMENDED DC OPERATING CONDITIONS

PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Supply Voltage	V_{DD}	I/O Functions	2.8	5.0	5.5	V	1, 2
		$\pm 1/2^\circ\text{C}$ Accurate Temperature Conversions	4.3		5.5		
Data Pin	I/O		-0.5		+5.5	V	2
Logic 1	V_{IH}		2.0		$V_{CC}+0.3$	V	2, 3
Logic 0	V_{IL}		-0.3		+0.8	V	2, 4

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS(-55°C to +125°C; $V_{DD}=3.6\text{V}$ to 5.5V)

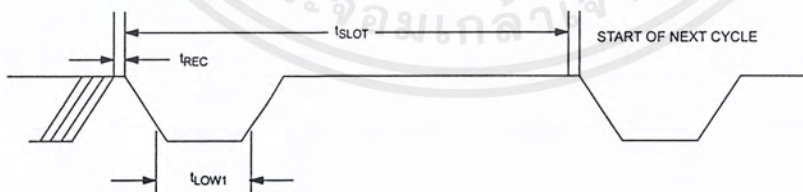
PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Thermometer Error	t_{ERR}	-0°C to +70°C			$\pm 1/2$	°C	1, 9, 10
		-55°C to 0°C and +70°C to +125°C			See Typical Curve		
Input Logic High	V_{IH}		2.2		5.5	V	2, 3
Input Logic Low	V_{IL}		-0.3		+0.8	V	2, 4
Sink Current	I_L	$V_{I/O}=0.4\text{V}$	-4.0			mA	2
Standby Current	I_Q			200	350	nA	8
Active Current	I_{DD}			1	1.5	mA	5, 6
Input Load Current	I_L			5		μA	7

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS: (-55°C to $+125^{\circ}\text{C}$; $V_{\text{DD}}=3.6\text{V}$ to 5.5V)

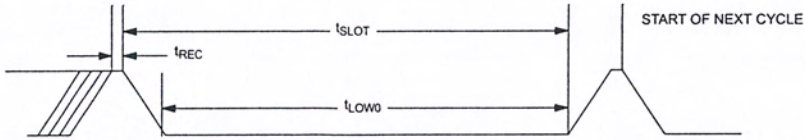
PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Temperature Conversion Time	t_{CONV}		200	500	ms	
Time Slot	t_{SLOT}	60		120	μs	
Recovery Time	t_{REC}	1			μs	
Write 0 Low Time	t_{LOW0}	60		120	μs	
Write 1 Low Time	t_{LOW1}	1		15	μs	
Read Data Valid	t_{RDV}			15	μs	
Reset Time High	t_{RSTH}	480			μs	
Reset Time Low	t_{RSTL}	480		4800	μs	
Presence Detect High	t_{PDHIGH}	15		60	μs	
Presence Detect Low	t_{PDLOW}	60		240	μs	
Capacitance	$C_{\text{IN/OUT}}$			25	pF	

NOTES:

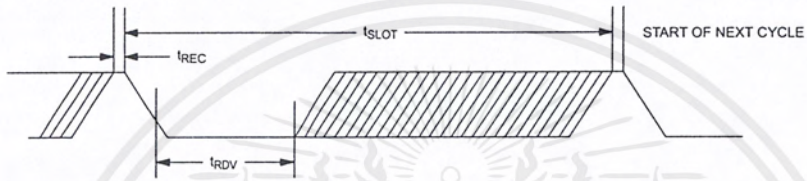
- Temperature conversion will work with $\pm 2^{\circ}\text{C}$ accuracy down to $V_{\text{DD}} = 3.4$ volts.
- All voltages are referenced to ground.
- Logic one voltages are specified at a source current of 1 mA.
- Logic zero voltages are specified at a sink current of 4 mA.
- I_{DD} specified with V_{CC} at 5.0 volts.
- Active current refers to either temperature conversion or writing to the E^2 memory. Writing to E^2 memory consumes approximately $200 \mu\text{A}$ for up to 10 ms.
- Input load is to ground.
- Standby current specified up to 70°C . Standby current typically is $5 \mu\text{A}$ at 125°C .
- See Typical Curve for specification limits outside the 0°C to 70°C range. Thermometer error reflects sensor accuracy as tested during calibration.
- Typical accuracy curve valid for $4.3\text{V} \leq V_{\text{DD}} \leq 5.5\text{V}$.

1-WIRE WRITE ONE TIME SLOT

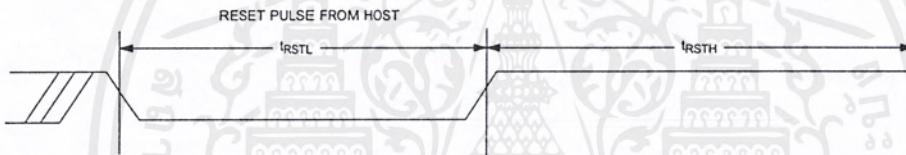
1-WIRE WRITE ZERO TIME SLOT



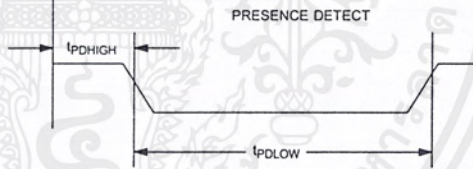
1-WIRE READ ZERO TIME SLOT



1-WIRE RESET PULSE

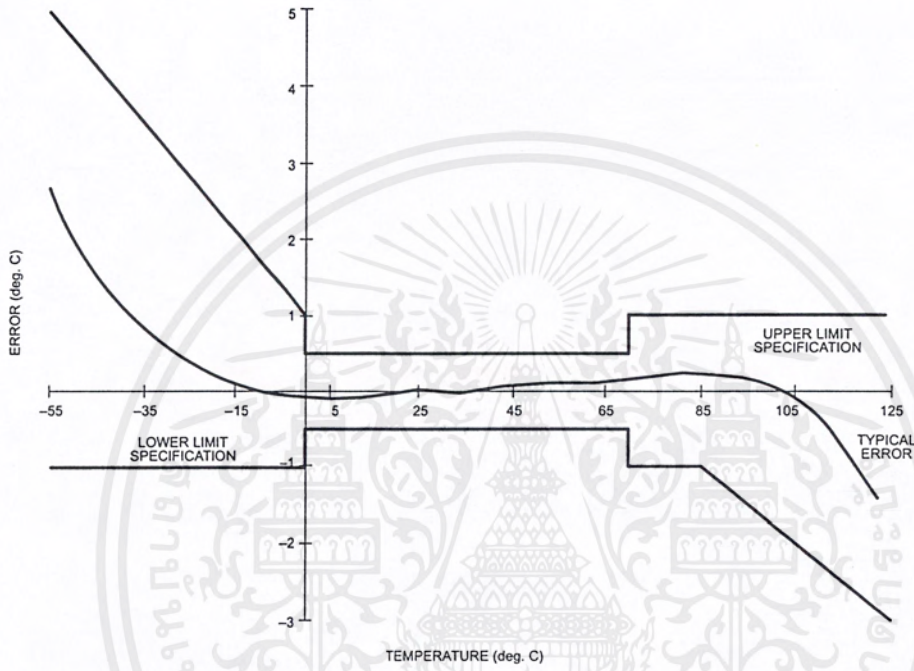


1-WIRE PRESENCE DETECT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CURVE

DS1820 DIGITAL THERMOMETER AND THERMOSTAT
TEMPERATURE READING ERROR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. นพดล เรียบเลิศหิรัญ , 2538, การปลูกพืชแบบไร้ดิน, สำนักพิมพ์รั้วเขียว, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 100 หน้า
2. ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงษ์, 2534, การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน, พรวนนการพิมพ์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 81-109
3. Businger, J.A., 1963, The greenhouse climate, pp. 277-318, In W.R. van Wijk (ed.). Physics of plant environment, North Holland Pub. Co., Amsterdam, 382 pp.
4. Brackett, F.S., 1963, Measurement and application of visible and near - visible radiation, pp. 123-209, In B.M. Duggar (ed.). Biological effect of radiation , Vol.1, McGraw-Hill Book CO., New York.
5. Carpenter, W.J. and L.D. Bark, 1967, Temperature patterns in greenhouse heating. Flor. Rev. 139(3609):17-19; 139(3610):43-45; 139(3611):21-22; 139(3612):28, 92-95; 139(3613):98-101
6. John W. Mastalerz, 1977, The greenhouse environment, Pennsylvania State University, 89 p.
7. สุพันธ์ ศรีฉนิตย์, 2535, การถ่ายเทความร้อน, พิมพ์ครั้งที่ 4, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า (1-17)-(3-26)
8. นักสิทธิ์ ภูวัฒนาชัย, 2533, การถ่ายเทความร้อน, พิมพ์ครั้งที่ 3, ฟิสิกส์เซนเตอร์, 503 หน้า
9. พงษ์เจต พรหมวงษ์, 2534, การถ่ายเทความร้อน, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 372 หน้า
10. Holman, J.P., 1992, Heat transfer, 7th ed., London, McGraw-Hill, 713 p.
11. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, 2531, อนุกรมพลังงานนอกแบบและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า (1-48)-(1-59)
12. กิตติภักดิ์ จุฬวรรณโณ และ สุรเชษฐ์ วิชาคหัตถกิจ, 2538, การศึกษาการไหลของของไหลสองสถานะแบบแยกชั้นในท่อกลม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 6-8
13. Hirunlabh, J., Santisirisomboon, J. and Namprakai, P., 1994, "Assessment Solar Radiation for Thailand , " International Workshop : Calculation methods for Solar Energy System , 29-30 September 1994, Universite, Perpignan, France, 14 p.
14. Santisirisomboon, J., 1994, "Assessment Solar Radiation for Thailand , Master of Science Thesis, Energy Technology Program, King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, 136 p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. Namprakai,P.,Thepa, S. and Hirunlabh, J.,1989, Statistical Estimate of Solar Radiation for Bangkok Thailand, King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, 56 p.
16. Brandrup,J. and Immergut,E.H., 1989, Polymer Handbook, 3rd ed., New York, John Wiley & Son, pp.(v/15)-(v/23)
17. จุมพล ประสมทรัพย์, 2541, การศึกษาความเป็นไปได้ในการทำความเย็นในโรงเรือนไม้คอก โดยใช้เทคนิคการทำความเย็นแบบระเหย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 27-32
18. Duffie, J.A. and Backman, W.A., 1980, Solar Engineering of Thermal Process, New York, John Wiley & Son, pp. 1-138.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้