

เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชโดยใช้เทคนิคของพัลส์ความร้อน
SAPFLOW SENSOR BY USING THE HEAT PULSE TECHNIQUE



โดย
นายสมบูรณ์ โสคบัง
นายอภิเชษฐ์ พลศักดิ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 45675
วัน, เดือน, ปี 13 ก.พ. 2546

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

ปีการศึกษา 2544

เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชโดยใช้เทคนิคของพัลส์ความร้อน

SAPFLOW SENSOR BY USING THE HEAT PULSE TECHNIQUE



โดย

นายสมบูรณ์

โตดบัง

นายอภิเชษฐ์

พลศักดิ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สุदारัตน์

แคว้นเขาเม็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางธุรกิจ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2544

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชโดยใช้เทคนิคของพัลส์ความร้อน

ผู้จัดทำ

1.นายสมบูรณ์ โสดบัง

2.นายอภิเชษฐ์ พลศักดิ์



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์สุदारัตน์ แคว้นเขาเม็ง)

เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชโดยใช้เทคนิคของพัลส์ความร้อน

สมบูรณ์ โสคบัง

อภิเชษฐ์ พลศักดิ์

สุदारัตน์ แคว้นเขาเม็ง อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ออกแบบและสร้างเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำภายในต้นพืช(AE1-KMITL) โดยใช้เทคนิคพัลส์ความร้อน คอมพิวเตอร์จะแสดงผล ประมวลผลและควบคุมการทำงานของเครื่อง AE1-KMITL ซึ่งประกอบด้วยชุดของหัววัดและชุดส่งสัญญาณ

ผลการทดลองพบว่า อัตราการไหลของน้ำในต้นขุ่นและมะม่วงด้วยเครื่อง AE1-KMITL มีความสอดคล้องกับพฤติกรรมความต้องการน้ำของต้นพืช

SAPFLOW SENSOR BY USING THE HEAT PULSE TECHNIQUE

Somboon Soadbong

Aphichet Pholsak

Sudarat Kwankaomeng Adviser

2001

Abstract

This project aimed to design and build a cheaper device used to measure the water flow rate in trees by applying the heat pulse technique. The personal computer was used to process data, show and control the device which consisted of two probesets and a transfer signal unit.

The experimental results on the average water flow rate of jackfruit and mango trees were consistent with the water requirement behavior of the trees.

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	1
สารบัญรูปภาพ	3
สารบัญตาราง	4
บทที่ 1 บทนำ	5
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร ทฤษฎีและหลักการ	6
2.1 สรีระวิทยาและการดำเลือดน้ำของไม้ยืนต้น	8
2.2 วิธีการสำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นไม้	9
2.3 หลักการของวิธีพัลส์ความร้อน	12
2.4 การหาความชื้นของเนื้อไม้สดและความหนาแน่นเนื้อไม้ส่วนกระพี้	15
2.5 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ เทอร์โมคัปเปิล	16
บทที่ 3 การเชื่อมต่อ PC กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม	18
3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตอนุกรม	18
3.2 บอร์ดทดลอง ST-29	22
3.3 การควบคุมรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์	27
3.4 การเขียนโปรแกรม Visual Basic เพื่อติดต่อพอร์ตอนุกรมและ MSComm	29
3.5 การเขียนโปรแกรมติดต่อบัตร I ² C ด้วย Visual Basic	33
3.6 การเชื่อมต่อสัญญาณอะนาลอกผ่านพอร์ตอนุกรม	35
บทที่ 4 การทดสอบและวิเคราะห์เครื่องทางด้านฮาร์ดแวร์	37
4.1 วิธีการวัดและผลการวัดอุณหภูมิภายในต้นไม้	37
4.2 วิธีการทดสอบและผลการทดสอบหัวให้ความร้อน	41
บทที่ 5 การออกแบบและสร้างเครื่องทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์	45
5.1 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์	45
5.1.1 หัววัดอุณหภูมิด้านบนและด้านล่าง	46
5.1.2 หัวให้ความร้อน	47
5.1.3 วงจรขยายแรงดัน	48
5.1.4 วงจร A/D Converter	49
5.1.5 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล	49
5.1.6 Heater Driver	49
5.1.7 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า	49
5.2 การออกแบบทางด้านซอฟต์แวร์	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 การทดลอง	51
6.1 การทดสอบหาค่าเวลาหน่วงที่มากที่สุด	51
6.2 การวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช	52
บทที่ 7 ผลการทดลองและวิจารณ์	53
7.1 การทดสอบหาค่าเวลาหน่วงที่มากที่สุด	53
7.2 การวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช	54
บทที่ 8 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	57
8.1 สรุปผล	57
8.2 ข้อเสนอแนะ	57
ภาคผนวก	58
ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม Sapflow Sensor 1.0	59
โปรแกรมคำนวณอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช Sapflow Sensor 1.0	60
Program Control	61
กิตติกรรมประกาศ	74
เอกสารอ้างอิง	75

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทั่วไปของไม้อินตัน	8
2.2 การแบ่งตอนของท่อลำเลียงน้ำในลำต้นและกิ่งสาขา	8
2.3 การติดตั้งหัวให้ความร้อน และหัววัดอุณหภูมิ	14
2.4 กราฟอุณหภูมิและความแตกต่างของอุณหภูมิของหัววัดอุณหภูมิ และการหา t_0	15
2.5 ลักษณะการต่อใช้งานเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับวงจร Differential amplifier	17
3.1 แสดงไดอะแกรมเวลาของการสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส	18
3.2 รูปแบบข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	19
3.3 การจัดขาสัญญาณของพอร์ตอนุกรมในแบบต่าง ๆ และหน้าที่การทำงาน	22
3.4 ลักษณะทางกายภาพของบอร์ด ST-29	23
3.5 วงจรภาคจ่ายไฟ , ภาคแปลงสัญญาณ RS-232 , ภาคขับรีเลย์ และระบบบัส I ² C	25
3.6 วงจรขยายพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตผ่านระบบบัส I ² C	26
3.7 วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลและสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอก	27
3.8 วงจรของ Data Switch และ LED Monitor	27
3.9 วงจรขับรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์	28
4.1 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิของต้นไม้อินตันต่าง ๆ	40
4.2 การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบอุณหภูมิหัวให้ความร้อน	42
4.3 กราฟแสดงอุณหภูมิของหัวให้ความร้อน	44
5.1 โครงสร้างของเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช	45
5.2 การติดตั้งและการใช้งานเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชที่ออกแบบ	46
5.3 ส่วนประกอบของหัววัดอุณหภูมิ	46
5.4 ส่วนประกอบของหัวให้ความร้อนที่สร้างขึ้น	47
5.5 แสดงวงขยายแรงดันที่สร้างขึ้น	48
5.6 แสดงผังงานของโปรแกรม	50
6.1 เครื่อง AE1-KMITL	51
7.1 กราฟแสดงอัตราการไหลของน้ำในต้นขนุนและมะม่วง และกราฟแสดงอัตราการเพิ่มขึ้นและลดลงของอัตราการไหลของน้ำในต้นขนุนและมะม่วง	54
8.1 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชโดยใช้เทคนิคของพัลส์ความร้อน	
ก. โปรแกรมคำนวณอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมมติฐาน ข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบ ของวิธีการวัดอัตราการไหลของน้ำ ในต้นพีชวิธีต่างๆ	10
2.2 แสดงคุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานชนิดต่าง ๆ	16
4.1 แสดงผลการวัดอุณหภูมิของต้นไม้ชนิดต่าง ๆ	37
4.2 ผลการวัดอุณหภูมิหัวให้ความร้อนที่มีความต้านทาน 16 โอห์ม เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงเป็นเวลาต่าง ๆ กัน	43
4.3 ผลการวัดอุณหภูมิหัวให้ความร้อนที่มีความต้านทาน 11 โอห์ม เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงเป็นเวลาต่าง ๆ กัน	43
4.4 ผลการวัดอุณหภูมิหัวให้ความร้อนที่มีความต้านทาน 9 โอห์ม เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงเป็นเวลาต่าง ๆ กัน	44
6.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของพีชที่ทำการทดสอบ	52
7.1 ค่า t_0 ที่วัดได้จากเครื่อง AE1-KMITL ในเนื้อไม้ตัวอย่างที่ไม่มีการไหลของน้ำ	53

บทที่ 1

บทนำ

การศึกษาความต้องการใช้น้ำของพืช จะช่วยให้สามารถใช้น้ำที่มีอยู่อย่างจำกัดมีประสิทธิภาพและให้ผลตอบแทนที่สูง ถ้าหากมีเครื่องที่ใช้วัดการใช้น้ำของพืชอย่างเหมาะสมก็จะช่วยพัฒนาระบบการให้น้ำมีประสิทธิภาพ และยังเป็นการช่วยประหยัดการใช้น้ำ ด้วยเหตุผลนี้ หลายประเทศได้มีการพัฒนาเครื่องมือ ที่เรียกว่า Sapflow sensor เพื่อใช้วัดการใช้น้ำในต้นพืชโดยตรงแทนการใช้เครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบเก่า ซึ่งเป็นการวัดโดยทางอ้อมและให้ความถูกต้องน้อยกว่า อย่างไรก็ตาม เครื่องมือวัดชนิดนี้มีราคาสูง เมื่อสั่งซื้อจากต่างประเทศ ในปัจจุบันประเทศไทย ใช้วิธีการคำนวณปริมาณน้ำที่ให้แก่พืช โดยใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา คือ นำค่าการระเหยของน้ำที่ได้จากการวัดด้วยตากระเหย มาคำนวณเป็นการใช้น้ำของพืช โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (crop coefficient, K_c) นับว่าเป็นวิธีที่สะดวกแต่มักประสบปัญหาว่าค่าที่ได้จากการคำนวณมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ทั้งนี้เพราะค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการคำนวณเป็นค่ามาตรฐานที่มีความแตกต่างจากการนำไปใช้คำนวณในพื้นที่ปลูกจริง ซึ่งขึ้นอยู่กับ อายุ ระยะปลูก ระบบปลูก และสภาพแวดล้อม นอกจากนี้ ยังพบว่าข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจวัดอากาศอยู่ห่างไกลจากพื้นที่ปลูกพืช ทำให้มีความแตกต่างของค่าการระเหยของน้ำ มีผลให้เกิดความผิดพลาดในการคำนวณ จากเหตุผลดังกล่าว โครงการนี้จึงได้สร้างเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชที่เป็นการนำเอาเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์และวิธีการวัดการใช้น้ำของพืชโดยตรง มาประยุกต์ใช้ในการประเมินการใช้น้ำของพืช ซึ่งช่วยให้มีความถูกต้องมากขึ้น ไว้ใช้งานในราคาที่ถูกลงและเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชโดยใช้เทคนิคอื่นต่อไป

วัตถุประสงค์โครงการ

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช โดยใช้เทคนิคของพัลส์ความร้อน
2. นำเทคโนโลยีด้าน Computer และวิธีการวัดการใช้น้ำของพืชโดยตรง มาประยุกต์ใช้ในการประเมินการใช้น้ำของพืช

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช โดยใช้เทคนิคของพัลส์ความร้อน ไว้ใช้งานในราคาที่ถูกลง
2. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนา เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช โดยใช้เทคนิคอื่นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร ทฤษฎีและหลักการ

ตรวจเอกสาร

Smith และ Allen (1996) ได้แนะนำวิธีการวัดการใช้น้ำของพืช (water use) ด้วยวิธีการวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชโดยตรง ซึ่งสามารถวัดได้ 4 วิธี คือ

1. วิธีวัดสมดุลความร้อนในต้น (stem heat balance method)
2. วิธีสมดุลความร้อนในส่วนของลำต้น (trunk sector heat balance method)
3. วิธีพัลส์ความร้อน (heat pulse method)
4. วิธีการกระจายความร้อน (thermal dissipation method)

แต่ละวิธีมีข้อเสียที่แตกต่างกัน สำหรับวิธีพัลส์ความร้อนมีข้อดีสำหรับการติดตั้งกับไม้ยืนต้นที่มีผิวขรุขระได้ แต่ขนาดที่เหมาะสมต้องมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 30 มิลลิเมตรขึ้นไป วิธีพัลส์ความร้อนจึงเป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมในการวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นไม้ป่าและไม้ผลหลายชนิด

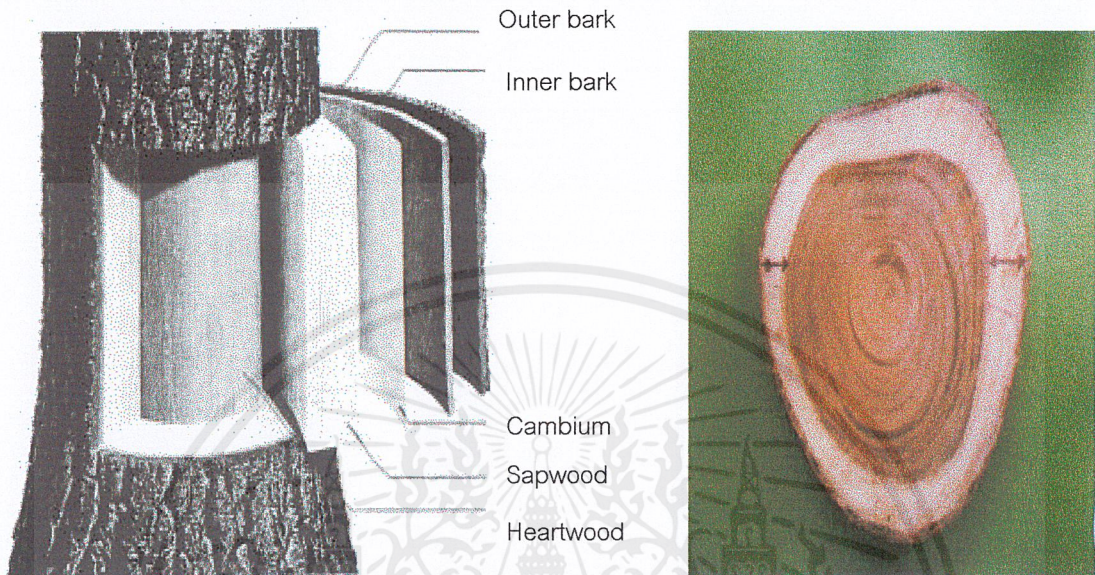
ซุคักดี ลิมสกูล และคณะ (1996) ได้พัฒนาเครื่องต้นแบบเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชโดยใช้เทคนิคของพัลส์ความร้อน โดยการทำงานของตัวเครื่องจะถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ หัววัดจะประกอบด้วยหัววัดอุณหภูมิ 2 อัน และหัวให้ความร้อน ที่มีขนาด 3 มิลลิเมตร หัววัดอุณหภูมิจะถูกติดตั้งให้อยู่ด้านบนและด้านล่างของหัวให้ความร้อนเป็นระยะ 10 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร ตามลำดับ ตัวเครื่องจะมีชุดของหัววัดเพียงชุดเดียว หัววัดจะถูกปักบนต้นพืชให้อยู่ในส่วนกระพี้ของลำต้น หลังจากนั้นเครื่องจะจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับหัวให้ความร้อนเป็นเวลาดัง ๆ พร้อมกับทำการวัดช่วงเวลา (t_0) ที่เริ่มให้กระแสไฟฟ้า จนกระทั่งหัววัดอุณหภูมิทั้งสองหัว วัดอุณหภูมิได้เท่ากัน ค่าช่วงเวลาที่วัดได้นี้ จะถูกนำไปคำนวณหาค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช จากการทดสอบเครื่องต้นแบบในห้องปฏิบัติการ พบว่าเครื่องสามารถวัดค่า t_0 ได้ถูกต้อง จากนั้นได้นำเครื่องไปประยุกต์ใช้งาน โดยการวัดการใช้น้ำของต้นลองกองอายุ 8 ปี จำนวน 2 ต้น และต้นมังคุด อายุ 12 ปี จำนวน 2 ต้น เปรียบเทียบกับเครื่องของบริษัทกรีนสแปน พบว่าปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยของต้นลองกองที่วัดด้วยเครื่องที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับเครื่องของบริษัทกรีนสแปน มีค่า 16.85 และ 16.53 ลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยของต้นมังคุดมีค่า 25.78 และ 29.32 ลิตร ตามลำดับ

Green และ Clothier (1988) ได้ทำการศึกษาการใช้ น้ำของต้น kiwifruit vines และต้น apple โดยนำเทคนิคของการพัลส์ความร้อนไปใช้ในการวัดค่าความเร็วการไหลของน้ำภายในลำต้น kiwifruit vines และต้น apple แต่เนื่องจากน้ำภายในลำต้นของ kiwifruit vines มีอัตราการไหลที่สูง ทำให้ไม่สามารถวัดความเร็วของพัลส์ความร้อนได้ ด้วยชุดของหัววัดที่มีระยะห่างมาตรฐาน จึงได้มีการเพิ่มระยะห่างระหว่างหัววัดอุณหภูมิด้านบนเป็น 20 มิลลิเมตร จากเดิม 10 มิลลิเมตร แต่ระยะห่างของหัววัดอุณหภูมิด้านล่าง 5 มิลลิเมตรยังคงระยะห่างไว้เท่าเดิมจากหัวให้ความร้อน โดยขนาดของหัวให้ความร้อนและหัววัดอุณหภูมิมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตรเท่ากัน ส่วนวิธีในการวัดและการคำนวณความเร็วการไหลของน้ำจะใช้วิธีเดียวกันกับวิธีของ Swanson และ Whitfield (1981)

จากผลการวัดค่าความเร็วการไหลของน้ำภายในลำต้น Green และ Clothier (1988) ได้คำนวณค่าของ Volume flux (Q) ที่ไหลผ่านลำต้น จากความเร็วของพัลส์ความร้อน (V) ที่เกิดจากการใช้เทคนิคการพัลส์ความร้อน หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบกันระหว่างอัตราการไหลของน้ำภายในลำต้นของต้น apple และ kiwifruit vines กับค่าทางทฤษฎีที่คำนวณได้จากห้องทดลอง พบว่าในต้น apple ค่าที่วัดได้จากวิธีพัลส์ความร้อนให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณจากห้องทดลอง ส่วนต้น kiwifruit vines นั้น ค่าที่วัดได้ให้ค่าของ Volume flux (Q) น้อยกว่าค่าที่คำนวณได้จากห้องทดลองถึง 1.6 เท่า เหตุผลที่เป็นเช่นนี้เพราะ ภายในเนื้อไม้ของต้น kiwifruit vines มีปริมาณของช่องว่างอากาศแทรกอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้เนื้อไม้ของต้น kiwifruit vines จริง ๆ แล้วไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด (Homogenous) ซึ่งไม่เป็นตามค่าทางทฤษฎีที่สมมติให้เนื้อไม้ที่ใช้ในการคำนวณ Volume flux (Q) มีความเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสม่ำเสมอ จึงส่งผลให้ค่าที่วัดได้กับค่าที่คำนวณจากห้องทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมาก และอีกเหตุผลหนึ่งคือ เกิดจากบาดแผลของเนื้อไม้ที่เกิดจากการใช้ดอกสว่านที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่เกินไป ในการเจาะเนื้อไม้เพื่อติดตั้งชุดของหัววัด

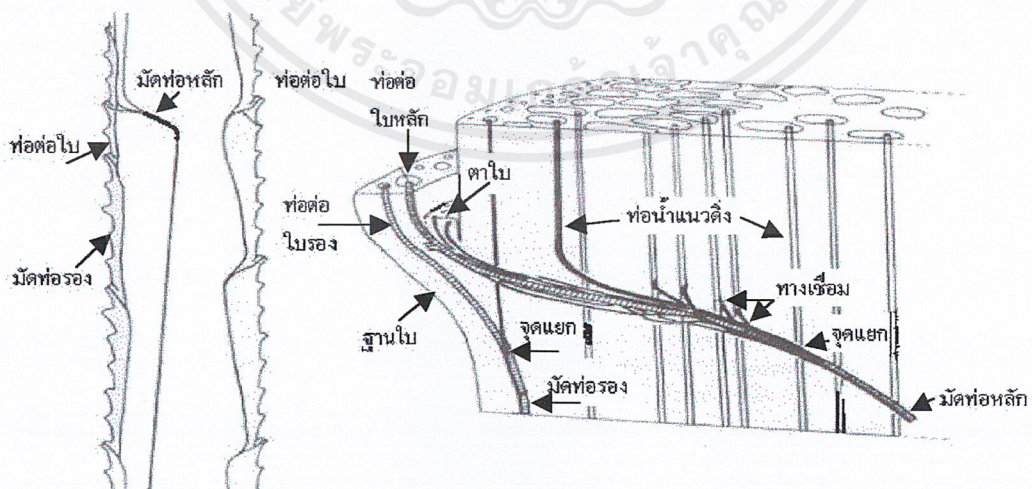
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 สรีระวิทยาและการลำเลียงน้ำของไม้ยืนต้น



รูปที่ 2.1 (ก) โครงสร้างทั่วไปของไม้ยืนต้น (ข) Sapwood (สีจาง) และ Heartwood (สีเข้ม)

Xylem หรือท่อลำเลียงน้ำ จัดเป็นเนื้อเยื่อถาวรเชิงซ้อน ที่พบมากในเนื้อไม้ส่วนกระพี้ (sapwood) ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและแร่ธาตุที่รากดูดขึ้นมาจากใต้ดินส่งไปยังลำต้นและใบ เพื่อสังเคราะห์แสง



รูปที่ 2.2 การแบ่งตอนของท่อลำเลียงน้ำในลำต้นและกิ่งสาขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 วิธีการสำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช (Method for measuring sapflow)

ทุกวิธีการจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการพาความร้อนของน้ำว่ามีความสามารถมากขนาดไหนและจริง ๆ แล้วขณะที่น้ำเคลื่อนที่ไปก็จะพาเอาความร้อนที่ได้รับเข้ามาเคลื่อนที่ไปพร้อมกัน

2.2.1 วิธีวัดสมดุลความร้อนในต้น (Stem heat balance method)

เป็นวิธีการที่ใช้วัดปริมาณของพลังงานความร้อนที่ถูกทำให้เคลื่อนที่ไปโดยน้ำในขบวนการคายน้ำของพืช ซึ่งปริมาณพลังงานความร้อนที่เคลื่อนที่จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการไหลของน้ำหลังจากที่ได้มีการปรับค่าให้ถูกต้อง สำหรับการสูญเสียความร้อนเนื่องจากธรรมชาติแล้ว ซึ่งโดยทั่วไปการสูญเสียความร้อนเนื่องจากธรรมชาติจะเกิดขึ้นในช่วงเวลากลางคืน หรือในวันที่มีฝนตกในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน

2.2.2 วิธีสมดุลความร้อนในส่วนของลำต้น (Trunk sector heat balance method)

วิธีการนี้จะเหมือนกับวิธีวัดสมดุลความร้อนในต้น ยกเว้น ปริมาณความร้อนที่ได้รับเข้ามาเป็นความร้อนที่เกิดจาก กระแสไฟฟ้าสลับ (AC) ที่จ่ายให้กับแผ่นความร้อนที่ปักเข้าไปในเนื้อไม้ส่วนที่เป็นกระพี้ (sapwood)

2.2.3 วิธีพัลส์ความร้อน (Heat pulse method)

เป็นวิธีการวัดความเร็วการไหลของน้ำในขบวนการคายน้ำของพืช โดยทำการจับเวลาการกระจายของความร้อนที่เคลื่อนที่จากหัวให้ความร้อนถึงหัววัดอุณหภูมิที่เป็นเทอร์มิสเตอร์ (thermistor) หรือเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) ที่อยู่ด้าน ว่าง (upstream) และด้าน บน (downstream) ของหัวให้ความร้อน โดยจะมีการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดความร้อน ที่อยู่ภายในหัวให้ความร้อนเป็นเวลาดัง ๆ เพื่อให้เกิดพัลส์ความร้อนขึ้น

2.2.4 วิธีการกระจายความร้อนหรือวิธีการกรานีเยร์ (Thermal dissipation method or Granier method)

หลักการของวิธีนี้จะคล้ายกับ การวัดอัตราการไหลเชิงมวล โดยประมาณว่าอัตราการไหลวัดได้จากการวัดอุณหภูมิที่มีความแตกต่างกัน ระหว่างหัวให้ความร้อนที่ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิที่เป็นเทอร์โมคัปเปิล (downstream) กับหัววัดอุณหภูมิธรรมดาที่เป็นเทอร์โมคัปเปิล (upstream) ที่ไม่มีการติดตั้งหัวให้ความร้อน

ตารางที่ 2.1 สมมุติฐาน ข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบ ของวิธีการวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช
วิธีต่างๆ

วิธีการวัด	สมมุติฐาน	ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ
วัดสมดุลย์ความร้อนในต้น (Stem heat balance method)	<p>1)การสูญเสียความร้อนในแนวรัศมีของต้น มีค่าเท่ากันตลอดทั้งวัน ในวันที่มีแสงแดดการสูญเสียนี้ก็จะให้ประมาณค่าใกล้เคียงกับค่าการสูญเสียที่เป็นมาตรฐาน</p> <p>2)ปริมาณความร้อนที่ได้รับเข้ามาไม่มีการเปลี่ยนแปลง</p> <p>3)อุณหภูมิของความร้อนที่ให้กับเนื้อไม้ส่วนกระพี้มีค่าเท่ากันอย่างสม่ำเสมอ</p>	<p>1)ทางทฤษฎี ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องปรับเทียบค่า</p> <p>2)ทำงานได้ดีกับต้นไม้ที่มีขนาดเล็ก</p> <p>3)สามารถแยกชุดของหัววัด (sensor) ออกจากชุดของ data logger ได้</p>	<p>1)ใช้พลังงานสูง 1-1.5 W/sensor</p> <p>2)ยากต่อการติดตั้งชุดของหัววัดที่เป็นเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับต้นไม้ซึ่งต้องเสียบค่าให้จ่ายสูง</p> <p>3)ไม่สามารถใช้งานได้ด้วยส่วนของต้นไม้ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $> 3-5$ cm</p> <p>4)การติดตั้งเพื่อทำการวัดสามารถทำความเสียหายกับต้นไม้ได้ ถ้าทำการติดตั้งเป็นช่วงเวลานาน</p> <p>5)ใช้เวลาในการติดตั้งประมาณ 2 hr/gage</p> <p>6)ต้องมีแผ่นฉนวนป้องกันความร้อนจากภายนอก (เช่น ความร้อนจากแสงอาทิตย์) ให้กับจุดที่จะทำการวัด</p> <p>7)ค่าใช้จ่ายของระบบค่อนข้างสูง ประมาณการได้ยาก</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

<p>สมดุลย์ความร้อนในส่วน ของลำต้น (Trunk sector heat balance method)</p>	<p>เหมือนกับ วิธีสมดุลย์ความ ร้อนในต้น</p>	<p>1)ทางทฤษฎี ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องปรับเทียบค่า 2)ทำงานได้ดี กับต้นไม้ที่มี ขนาดใหญ่ 3)เนื้อของต้นไม้ที่จะทำการ วัดส่วนที่เป็นกระพี้มีพื้นที่ มาก</p>	<p>1)ใช้พลังงานสูง 1-1.5 W/sensor 2)มีขั้นตอนในการเตรียม เพื่อที่จะทำการวัดหลายชั้น ตอน กรณีที่ต้นไม้มีผิว ขรุขระ 3)มีความยุ่งยากในการติดตั้ง การเคลื่อนย้ายและต้องมี สัณยภาพสูงพอ ที่จะไม่ทำให้เกิดความเสียหายหรือ เกิดความเสียหายน้อยที่สุด กับต้นไม้ 4)ใช้เวลาในการติดตั้งนาน ประมาณ 2-8 hr/gage 5)ตัวแผ่นความร้อน มีความ ยาวไม่พอสำหรับต้นไม้ที่มี เนื้อไม้ส่วนกระพี้ยู่ลึก 5)ราคาของชุดหัววัดและ อุปกรณ์ต่างๆ ต่อ 1 ชุดมี ราคาแพง 6)ต้องมีแผ่นฉนวนป้องกัน ความร้อนจากภายนอกให้ กับจุดที่จะทำการวัด</p>
--	--	--	---

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

<p>พัลส์ความร้อน (Heat pulse method)</p>	<p>1)ผลกระทบจากจำนวนของบาดแผลบนผิวหรือเปลือกของต้นไม้ ไม่ทำให้เวลาที่ไต่จากการวัดเปลี่ยนไป</p> <p>2)Profile ของความเร็วที่ความลึกต่างๆ ของเนื้อไม้ส่วนที่เป็นกระพี้ไม้ได้เปลี่ยนค่าไปตามความกลมของต้นไม้</p>	<p>1)ติดตั้งกับไม้ยืนต้นที่มีผิวขรุขระได้ โดยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เหมาะสมต้องมากกว่า 30 มิลลิเมตร ขึ้นไป</p> <p>2)ใช้พลังงานต่ำ 0.1 W/sensor</p> <p>3)สามารถใช้หาค่า Profile ความเร็วในแนวรัศมี ได้ดีเยี่ยม</p> <p>4)ไม่จำเป็นต้องมีแผ่นฉนวนป้องกันความร้อนจากภายนอกให้กับจุดที่จะทำการวัด</p> <p>5)ทำการติดตั้งได้ง่าย ใช้เวลาน้อยกว่า 1 hr/gage</p>	<p>1)ต้องการชุดของหัววัดหลายชุด สำหรับวิธีการที่จะวัดต้นไม้ต้นอื่นด้วย เพราะว่ามีพื้นที่น้อย</p> <p>2)ผลจากบาดแผลบนผิวของต้นไม้ ยากที่จะรู้ว่ามีจำนวนมากน้อยแค่ไหน จึงจำเป็นต้องทำการปรับเทียบค่า</p> <p>3)มีราคาแพงมาก โดยเฉพาะชุดของหัววัดรวมถึงตัว data logger</p>
<p>การกระจายความร้อน หรือวิธีการกราเนียร์ (Thermal dissipation method or Granier method)</p>	<p>1)ใช้การปรับเทียบตามมาตรฐาน</p> <p>2)Gradient ของอุณหภูมิจากธรรมชาติมีค่าน้อยมาก และสามารถชดเชยอุณหภูมิได้ถ้าหากว่า gradient ของอุณหภูมินี้เกิดขึ้น</p>	<p>1)ติดตั้งได้ง่ายใช้เวลาประมาณ 2 hr/gage ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งถูก</p> <p>2)สามารถติดตั้งได้กับต้นไม้ในสภาพทั่ว ๆ ไป</p> <p>3)สามารถใช้ชุดของหัววัดกับ data logger ที่เป็นมาตรฐานทั่ว ๆ ไป</p>	<p>1)ใช้พลังงานสูง 1-1.5 W/sensor</p> <p>2)ชุดของหัววัดมีราคาแพง</p> <p>3)ต้องมีแผ่นฉนวนป้องกันความร้อนจากภายนอกให้กับจุดที่จะทำการวัด</p>

2.3 หลักการของวิธีพัลส์ความร้อน

หลักการของวิธีพัลส์ความร้อน คือ การจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดความร้อนที่อยู่ภายในหัวให้ความร้อนเป็นเวลาสั้น ๆ หลักการวัดทำได้โดยติดตั้งชุดของหัววัดเข้ากับต้นไม้ ซึ่งประกอบด้วยหัววัดอุณหภูมิ 2 อัน อยู่ด้านบนและด้านล่างของหัวให้ความร้อนเป็นระยะ 10 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อป้อนข้อมูลเกี่ยวกับพีชให้กับคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำงานตามโปรแกรมที่เขียนขึ้นด้วย Visual Basic ทำการส่งให้วงจรกำเนิดความร้อนจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวใจให้ความร้อนเป็นเวลาสั้น ๆ เพื่อให้เกิดพัลส์ความร้อน พร้อมทั้งเริ่มจับเวลาจนกระทั่งสัญญาณที่ได้รับจากหัววัดอุณหภูมิถูกส่งค่ามาให้กับคอมพิวเตอร์มีอุณหภูมิเท่ากัน ช่วงเวลานี้เรียกว่า เวลาหน่วง (t_0) ซึ่งจะถูกนำไปคำนวณเพื่อหาอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช โดยใช้สูตรตามวิธีของ Green และ Clothier (1988) เพื่อหาค่าต่าง ๆ คือ ค่าความเร็วของพัลส์ความร้อน (heat pulse velocity, V) โดยใช้สูตร

$$V = (X_u + X_d) / 2 t_0 \quad (2.3.1)$$

เมื่อ X_u = ระยะระหว่างหัวใจให้ความร้อนกับหัววัดอุณหภูมิด้านล่าง
 X_d = ระยะระหว่างหัวใจให้ความร้อนกับหัววัดอุณหภูมิด้านบน

จากนั้นคำนวณค่า sap flux density (J) โดยใช้สูตร

$$J = P(0.33 + M) V \quad (2.3.2)$$

เมื่อ P = ความหนาแน่นเนื้อไม้ส่วนกระพี้
 M = ความชื้นของเนื้อไม้สดส่วนกระพี้ (มาตรฐานแห้ง)

แล้วทำการคำนวณค่า volume flux (Q) เพื่อหาอัตราการไหลของน้ำในต้น โดยใช้สูตร

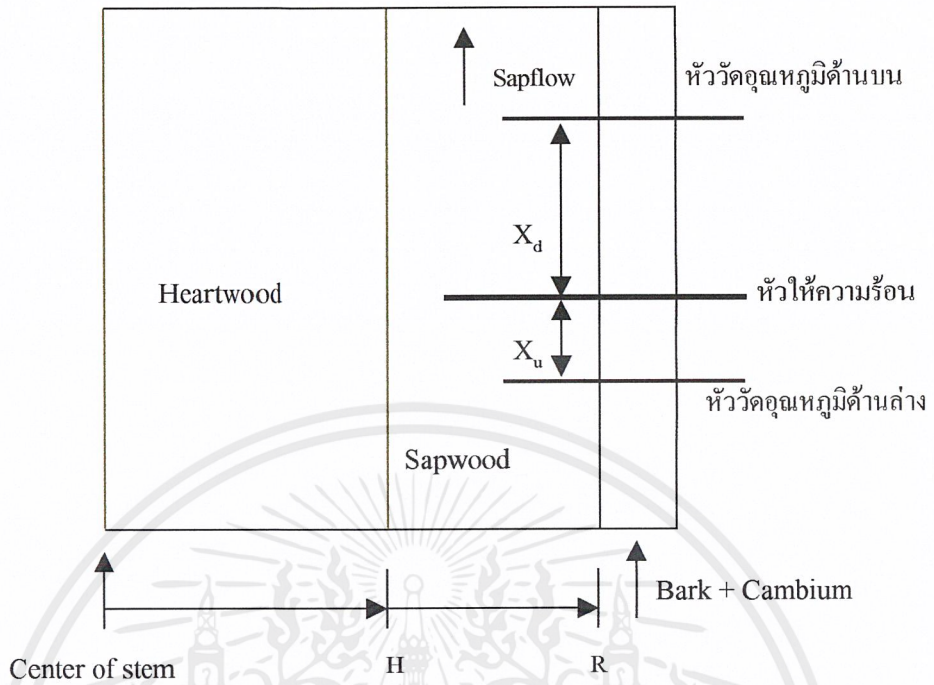
$$Q = \int_H^R 2\pi r J(r) dr \quad (2.3.3)$$

เมื่อ r = รัศมีส่วนกระพี้ หรือส่วนเนื้อไม้ระหว่างแก่นไม้
และเปลือก

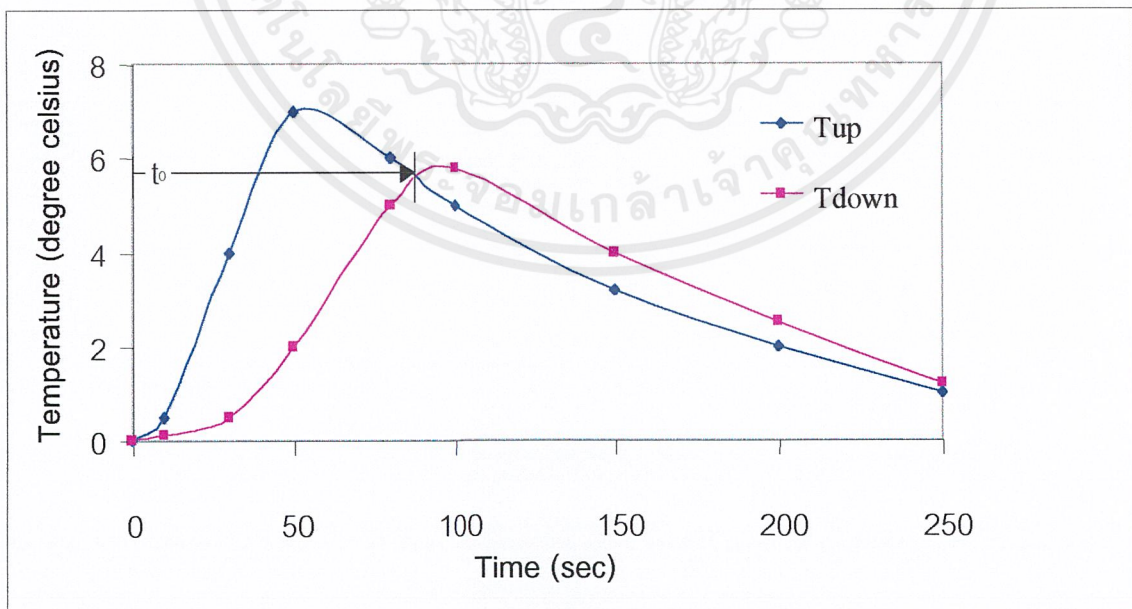
$J(r)$ = ค่าของ sap flux ที่ระยะ r ให้มีค่าประมาณ sap flux density

H = รัศมีของแก่นไม้ (heartwood radius)

R = รัศมีของเปลือกไม้ด้านใน (cambium radius)

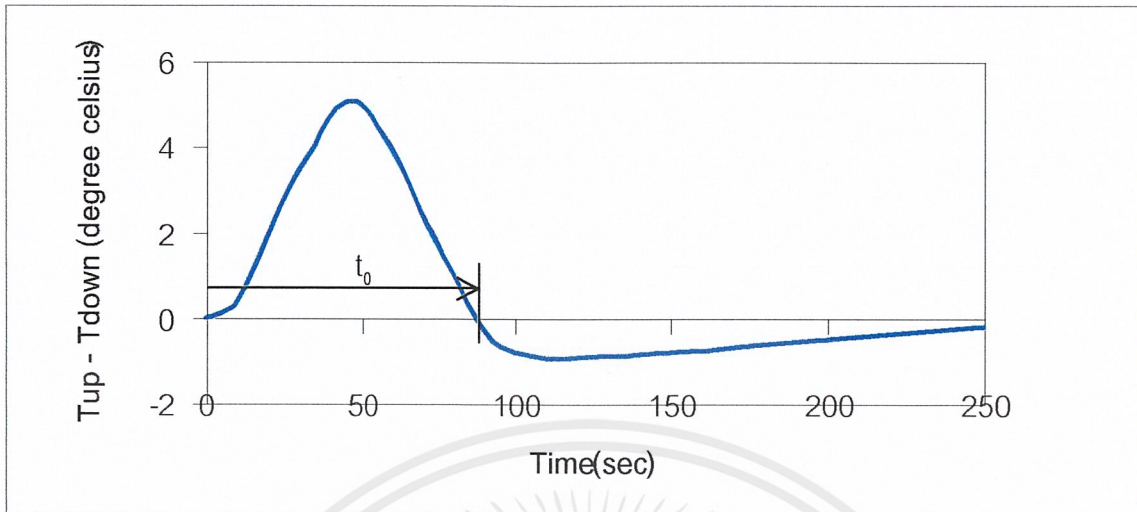


รูปที่ 2.3 การติดตั้งหัวให้ความร้อน และหัววัดอุณหภูมิ เมื่อ $X_u = 5$ มิลลิเมตร และ $X_d = 10$ มิลลิเมตร



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ)

รูปที่ 2.4 ก: อุณหภูมิของหัววัดอุณหภูมิทั้งสอง

 T_{up} = อุณหภูมิของหัววัดอุณหภูมิด้านล่าง T_{down} = อุณหภูมิของหัววัดอุณหภูมิด้านบนข: กราฟแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ และการหา t_0

2.4 การหาความชื้นของเนื้อไม้สดและความหนาแน่นเนื้อไม้ส่วนกระ皮

ความชื้นของเนื้อไม้สด (Moisture Content of the Sapwood), M คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในเนื้อไม้สด ต่อ น้ำหนักของเนื้อไม้ $\times 100\%$

การหาค่าความชื้น, M ทดสอบได้โดยนำตัวอย่างเนื้อไม้ปริมาณพอเหมาะตามขนาดเนื้อไม้ที่ทดสอบ ใส่ภาชนะเข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาประมาณ 48 ชั่วโมง ซึ่งเนื้อไม้จะแห้ง ผลต่างของน้ำหนักเนื้อไม้ก่อนและหลังอบ คือ น้ำหนักของน้ำที่ระเหยไป (W_w) และ น้ำหนักเนื้อไม้แห้งที่ชั่งได้ เท่ากับ W_s

$$M = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อไม้ก่อนอบแห้ง} - \text{น้ำหนักเนื้อไม้ที่อบแห้งแล้ว}}{\text{น้ำหนักเนื้อไม้ที่อบแห้งแล้ว}} \times 100\%$$

หรือ

$$M = (W_w / W_s) \times 100\% \quad (2.4.1)$$

เมื่อ W_w = น้ำหนักของน้ำ W_s = น้ำหนักของเนื้อไม้ที่อบแห้งแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หน่วยของความชื้น, M — ทำรายงานแสดงค่าเป็น %
 — ในสูตรการคำนวณใช้ทศนิยม

ความหนาแน่นเนื้อไม้ (Wood density of the Sapwood), P คือ อัตราส่วนของน้ำหนักแห้งของเนื้อไม้ (W_s) ต่อปริมาตรทั้งหมด (V)

$$P = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อไม้ที่อบแห้งแล้ว}}{\text{ปริมาตรเนื้อไม้สดก่อนอบ}}$$

หรือ

$$P = W_s / V \quad (2.4.2)$$

ปริมาตรเนื้อไม้สดก่อนอบ หรือปริมาตรทั้งหมด (V) ของเนื้อไม้สดที่ทดสอบ สามารถหาค่าปริมาตรได้โดยการแทนที่น้ำและใช้วิธีการวัดโดยตรง

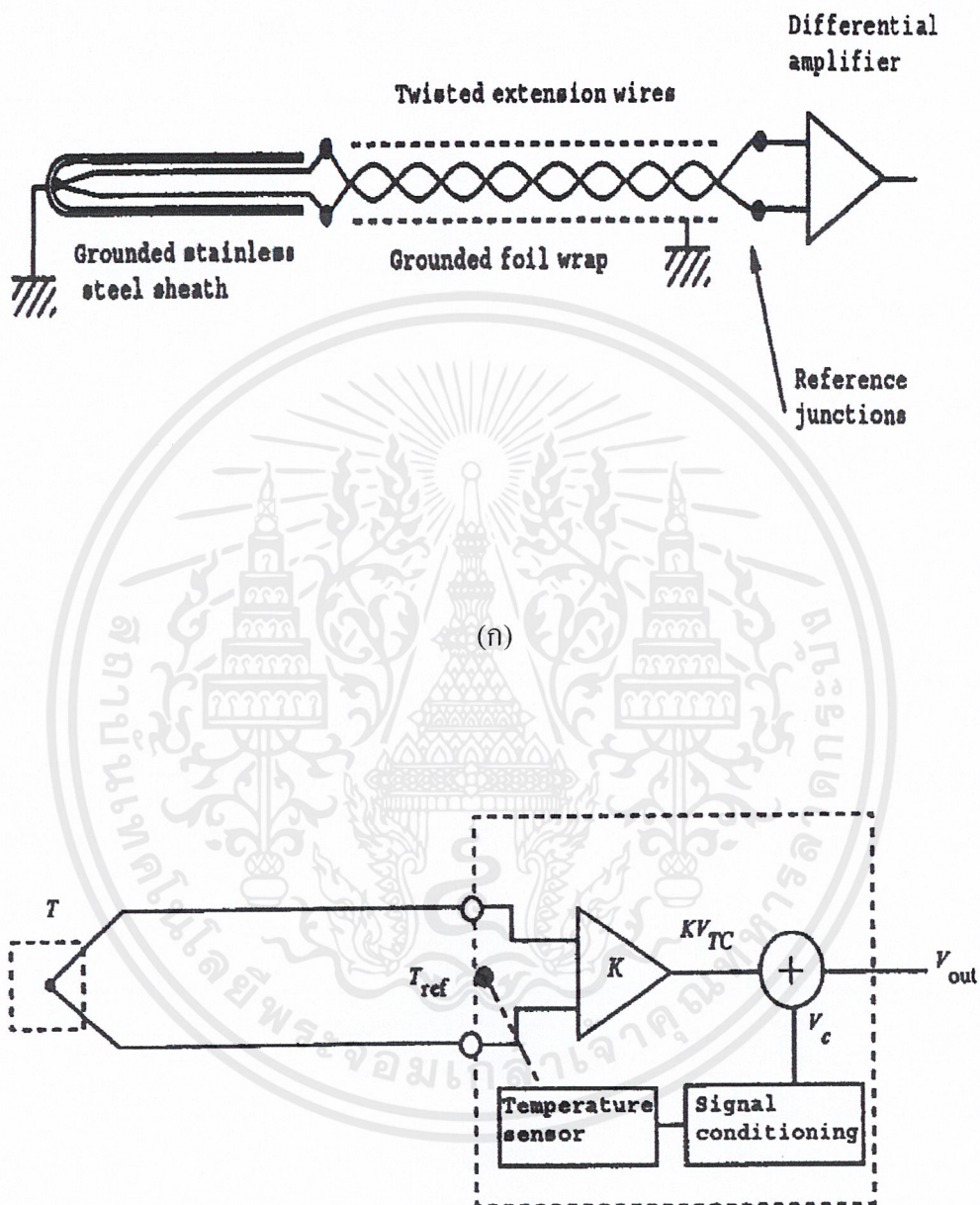
2.5 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานชนิดต่าง ๆ

แบบ	ส่วนผสม	ย่านอุณหภูมิใช้งาน		แรงดันไฟฟ้าที่ได้ mV.
		°C	°F	
B	พลาดินัม - 30% โรเดียม			0 to 13.814
	พลาดินัม - 6% โรเดียม	0 to 1820	32 to 3310	0 to 13.814
R	พลาดินัม-13% โรเดียม			
	พลาดินัม	- 50 to 1768	- 60 to 3210	- 02.26 to 21.108
S	พลาดินัม - 10%โรเดียม			
	พลาดินัม	- 50 to 1768	- 60 to 3210	- 0.236 to 18.698
J	เหล็ก/คอนสแตนแตน	- 210 to 760	- 350 to 1400	- 8.096 to 42.922
K	โครเมิล/อลูเมิล	- 210 to 1372	- 450 to 2500	- 6.458 to 54.875
T	ทองแดง/คอนสแตนแตน	- 270 to 400	- 450 to 750	- 6.258 to 20.869
E	โครเมิล/คอนสแตนแตน	- 270 to 1000	- 450 to 1830	- 9.835 to 76.358

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดกับจุดเยือกแข็งของน้ำใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานเทอร์โมคัปเปิล



(ข)

รูปที่ 2.5 (ก), (ข) ลักษณะการต่อใช้งานเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับวงจร Differential amplifier

บทที่ 3

การเชื่อมต่อ PC กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม

3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตอนุกรม

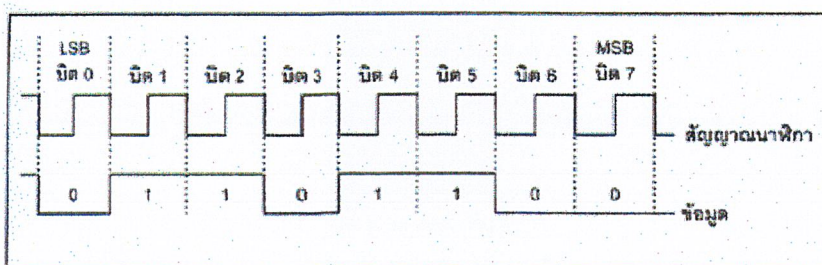
การเคลื่อนย้ายข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์ต่อพ่วงภายนอกหรือคอมพิวเตอร์ด้วยกัน มีด้วยกัน 2 รูปแบบ คือ

การรับส่งข้อมูลแบบขนาน เป็นการรับหรือส่งข้อมูลคราวละ 4 หรือ 8 บิต ในเวลาเดียวกัน ทำให้การรับส่งข้อมูลมีความเร็วสูง ทว่าจำนวนของสายที่ใช้ในการถ่ายทอดข้อมูลต้องมีจำนวนมากเท่ากับจำนวนบิตของข้อมูลที่ทำกรถ่ายทอดด้วย นอกจากนี้ยังมีสายที่ใช้สำหรับควบคุมและตรวจสอบการถ่ายทอดด้วย ซึ่งอาจต้องใช้สายมากเป็น 2 เท่าของจำนวนบิตข้อมูลก็ได้ ส่งผลให้ราคาของสายที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบขนานมักจะมีราคาแพง อีกข้อจำกัดหนึ่งของการถ่ายทอดข้อมูลแบบขนานคือ ระยะทางในการถ่ายทอดข้อมูล โดยปกติจะอยู่ที่ประมาณ 10 – 15 ฟุต

การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม จะเป็นการรับส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต โดยมีรูปแบบการส่งที่เป็นมาตรฐาน ต้องมีการตรวจสอบความพร้อมในการรับและส่งข้อมูลของตัวส่งและตัวรับ การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมมีข้อดีในเรื่องของจำนวนสายสัญญาณที่น้อยมากและไม่แปรผันกับจำนวนบิตของข้อมูล ระยะทางในการรับส่งข้อมูลสูงกว่าแบบขนานมาก โดยปกติถ้าเป็นพอร์ตอนุกรม RS-232 สามารถต่อสายได้ยาวประมาณ 50 ฟุต

3.1.1 การสื่อสารแบบอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรมแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ การสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัสและการสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส การสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัสจะมีสัญญาณนาฬิกาาร่วมอยู่กับการรับและส่งด้วย ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสคือ คีย์บอร์ดคอมพิวเตอร์ ซึ่งสายเส้นหนึ่งเป็นสายสัญญาณนาฬิกา ส่วนอีกสายหนึ่งเป็นสายสัญญาณข้อมูล ดังนั้นการติดต่อแบบซิงโครนัสจะต้องใช้สายในการเชื่อมต่ออย่างน้อย 3 สาย คือ สัญญาณนาฬิกา ข้อมูล และกราวด์ รูปที่ 3.1 แสดงไคอะแกรมเวลาของการสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส



รูปที่ 3.1 แสดงไคอะแกรมเวลาของการสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

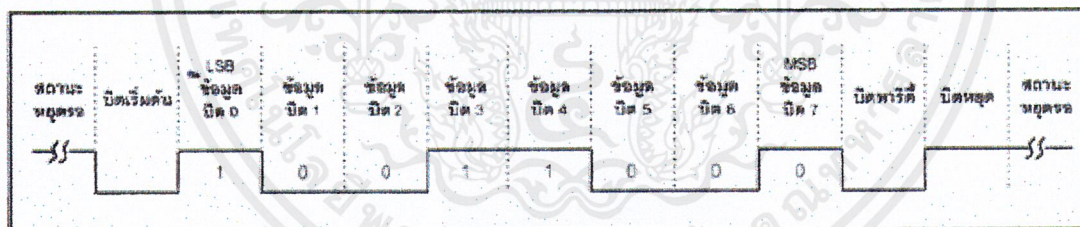
3.1.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส คือการรับและส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกา ร่วมด้วย แต่ใช้การกำหนดอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกอัตราเร็วนี้ว่า อัตราบอด หรือ บอดเรต (baud rate) มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที (bit per second : bps)

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้รับส่งแบบอะซิงโครนัส ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

1. บิตเริ่มต้น (Start bit) มีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรม มีขนาด 5,6,7 หรือ 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี (Parity bit) มีขนาด 1 บิต หรือ ไม่มี
4. บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (Stop bit) มีขนาด 1,1.5 หรือ 2 บิต

รูปที่ 3.2 แสดงรูปแบบข้อมูลแบบอะซิงโครนัส เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล ขา DATA จะมีสถานะลอจิก “1” เรียกสถานะนี้ว่า สถานะหยุดรอ (Waiting stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการให้ขา DATA มีลอจิก “0” ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต เรียกบิตนี้ว่า บิตเริ่มต้น (Start bit) จากนั้น บิตข้อมูลจะถูกส่งออกไปโดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำที่สุดหรือบิต LSB ก่อน ซึ่งข้อมูลที่ต้องการส่งอาจมีจำนวน 5,6,7 หรือ 8 บิต จากนั้นตามด้วยบิตพาริตี (Parity bit) ซึ่งใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่งคือ บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (Stop bit) โดยการทำให้ขา DATA มีสถานะลอจิก “1” อีกครั้ง ด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1,1.5 หรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าเป็นการสิ้นสุดการส่งข้อมูลเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 3.2 รูปแบบข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

อัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 มีด้วยกันหลายค่า ได้แก่ 110 , 150 , 300 , 600 , 1200 , 2400 , 4800 , 9600 และ 19200 บิตต่อวินาที โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ เนื่องจากบอดเรตคือค่าของจำนวนบิตที่สามารถส่งได้ใน 1 วินาที สมมติว่า ข้อมูลอนุกรมมีขนาด 8 บิต ไม่มีการตรวจสอบพาริตี มีบิตเริ่มต้น 1 บิต และบิตปิดท้าย 1 บิต ความยาวของข้อมูล 1 ไบต์ จะมีความยาวเท่ากับ 10 บิต ถ้าใช้บอดเรตในการส่งข้อมูลเท่ากับ 9600 บิตต่อวินาที จะสามารถรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 960 ไบต์ต่อวินาที

การตรวจสอบพาริตีสามารถกำหนดให้เป็นแบบคี่ (odd) , แบบคู่ (even) หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตีก็ได้ พาริตีคี่หรือพาริตีคู่แสดงจำนวนลอจิก “1” ทั้งหมดภายในข้อมูลที่ส่งไป 1

ไบต์รวมพาริตี จะมีจำนวนเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ ยกตัวอย่าง ข้อมูลที่จะทำการส่งมีขนาด 8 บิต มีค่าเท่ากับ 99H หรือ 10011001B จะเห็นว่าข้อมูลในไบต์นี้มีจำนวนลอจิก “1” เท่ากับ 4 ตัว ซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้นถ้ากำหนดค่าพาริตีเป็นคู่ ค่าของบิตพาริตีจะต้องมีค่าลอจิกเป็น “0” แต่ถ้ากำหนดค่าพาริตีเป็นคี่ ค่าของบิตพาริตีจะต้องมีลอจิกเป็น “1” เพื่อให้ข้อมูล 1 ไบต์รวมทั้งบิตพาริตีเป็นคี่

บิตพาริตีถูกสร้างขึ้นมาจากภาคส่งข้อมูลของ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) ซึ่งทางภาครับจะต้องมีการกำหนดคุณสมบัติการตรวจสอบพาริตีที่ตรงกันเอาไว้ว่าจะตรวจสอบพาริตีคี่หรือคู่ จากนั้นภาครับของ UART จะทำการตรวจสอบพาริตีที่เกิดขึ้นว่าเป็นคู่หรือเป็นคี่ โดยการนับจำนวนลอจิก “1” ทั้งหมดรวมทั้งบิตพาริตี ถ้ากำหนดพาริตีไว้เป็นคู่ แต่ค่าตัวเลขที่นับออกมาได้เป็นคี่ ทางภาครับจะแสดงข้อผิดพลาดออกมาให้ผู้ใช้งานทราบ กระบวนการดังกล่าวเป็นวิธีการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการรับส่งข้อมูลที่ง่ายที่สุด แต่สามารถตรวจสอบได้เมื่อมีบิตข้อมูลที่ทำให้การรับส่งผิดพลาดเพียงบิตเดียวเท่านั้น ถ้าข้อมูลที่ทำให้การรับส่งมีบิตที่ผิดพลาดมากกว่า 1 บิต การตรวจสอบพาริตีด้วยวิธีนี้จะไม่ได้ผล สำหรับการตั้งพาริตีบิตเป็น NONE นั้น ทั้งภาครับและภาคส่งจะไม่มีตรวจสอบพาริตี

คอมพิวเตอร์ในรุ่น AT เกือบทั้งหมดจะใช้ไอซี UART เบอร์ 16450 และ 16550 ส่วนคอมพิวเตอร์ในรุ่น XT ใช้ไอซี UART เบอร์ 8250 ไอซี UART เหล่านี้มีระดับแรงดันของลอจิกเป็นแบบทีทีแอล (+5V) แต่เพื่อให้แรงดันเป็นไปตามมาตรฐาน RS-232 และเพื่อให้การรับส่งข้อมูลสามารถทำได้ที่ระยะไกลมากขึ้น ระดับแรงดันทีทีแอลจะถูกแปลงเป็นระดับแรงดันที่สูงขึ้น โดยลอจิก “0” จะมีระดับแรงดัน $-3V$ ถึง $-12V$ และลอจิก “1” มีระดับแรงดัน $+3V$ ถึง $+12V$

3.1.3 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS-232 ในอดีตถูกออกแบบมาเพื่อการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพียงอย่างเดียว เพื่อที่จะนำข้อมูลนี้ส่งผ่านโทรศัพท์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกชุดหนึ่งที่อยู่ห่างไกลกัน โดยสมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association : EIA) ได้วางมาตรฐานที่เรียกกันว่า EIA RS-232 มาตรฐานนี้ในช่วงแรกใช้คอนเน็คเตอร์เป็นแบบ DB-25 โดยกำหนดความยาวสูงสุดของสายสัญญาณไว้ที่ 50 ฟุต มีระดับสัญญาณตั้งแต่ $-3V$ ถึง $-12V$ แสดงว่ามีข้อมูล (mark) และ $+3V$ ถึง $+12V$ แสดงว่าเป็นช่องว่าง (space)

มาตรฐาน RS-232 ถูกใช้ในการกำหนดรูปแบบการสื่อสารข้อมูลกันระหว่างอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment : DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminal Equipment : DCE) อุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัว เช่น โมเด็ม ไครคอนโทรลเลอร์

หรือไม่โครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE ทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น

ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE ที่เห็นได้ชัด คือ คอนเน็กเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็กเตอร์ที่อยู่โมเด็มจะเป็น DCE

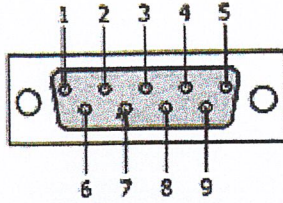
สำหรับการใช้งานในคอมพิวเตอร์ พอร์ตอนุกรม RS-232 ถูกใช้เพื่อเชื่อมต่อโมเด็ม เมาส์ และเครื่องพิมพ์ที่สามารถติดต่อทางพอร์ตอนุกรมได้

3.1.4 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ

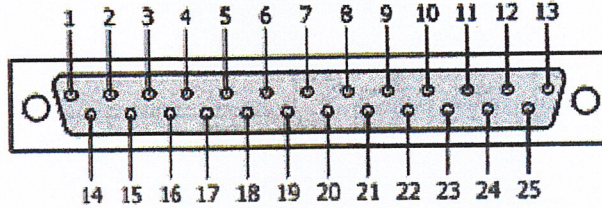
มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 จะใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 ตัวผู้ หรือ DB-9 ตัวเมีย ซึ่งคอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 จะมีขาต่อใช้งานเพียง 9 เส้นเช่นเดียวกับคอนเน็กเตอร์ DB-9 เนื่องจากขาที่มีการใช้งานมาในอดีตไม่ค่อยมีความสำคัญมากนักจึงถูกยกเลิกไป

- ขา Data Carrier Detect : DCD หรืออาจเรียกว่า Carrier Detect : CD ขานี้จะทำงานเมื่อมีการส่งสัญญาณจากอุปกรณ์สื่อสาร เช่น โมเด็ม
- ขา Receive Data : RD หรือขา RxD ขานี้ใช้เพื่อรับสัญญาณจากพอร์ตอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์
- ขา Transmitted Data : TD หรือ TxD ขานี้ใช้เพื่อส่งข้อมูลอนุกรมออกจากคอมพิวเตอร์
- ขา Data Terminal Ready : DTR เป็นขาเอาต์พุตที่ใช้ส่งสัญญาณจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่าการติดต่อกับอุปกรณ์ปลายทาง โดยขา DTR นี้ จะต้องเชื่อมต่อเข้ากับขา DSR ของอุปกรณ์ปลายทาง และขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางจะต้องเชื่อมต่อเข้ากับขา DSR ของคอมพิวเตอร์
- ขา Signal Ground : GND เป็นขากราวด์ของสัญญาณ
- ขา Data Set Ready : DSR ขานี้จะใช้ควบคู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR จะเป็นขารับข้อมูลจากภายนอก
- ขา Request To Send : RTS เป็นขาเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้อุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลมาให้คอมพิวเตอร์ โดยที่ขารับสัญญาณ RTS คือ ขา CTS
- ขา Clear To Send : CTS เป็นขาอินพุตที่รองรับสัญญาณที่ส่งเข้ามา เมื่อมีการส่งสัญญาณเข้ามาที่ขานี้ ข้อมูลที่ขา TxD จะถูกส่งออกไป
- ขา Ring Indicator : RI ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติในการสื่อสารโดยทั่วไปสายนี้จะไม่ถูกใช้งาน จะถูกใช้งานก็ต่อเมื่อเชื่อมต่อเข้ากับโมเด็มแล้วยังมีความต้องการตรวจสอบสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) คอนเน็กเตอร์อนุกรม 9 ขาหรือแบบ DB-9 (มองจากด้านบนหลังคอมพิวเตอร์)



(ข) คอนเน็กเตอร์อนุกรม 25 ขาหรือแบบ DB-25 (มองจากด้านบนหลังคอมพิวเตอร์)

คอนเน็กเตอร์ DB-9	คอนเน็กเตอร์ DB-25	ชื่อของสายสัญญาณ	ชนิดของสายสัญญาณ
1	9	Data Carrier Detect : DCD	อินพุต
2	3	Received Data : RxD	อินพุต
3	2	Transmitted Data : TxD	เอาต์พุต
4	20	Data Terminal Ready : DTR	เอาต์พุต
5	7	Signal Ground : GND	-
6	6	Data Set Ready : DSR	อินพุต
7	4	Request To Send : RTS	เอาต์พุต
8	5	Clear To Send : CTS	อินพุต
9	22	Ring Indicator : RI	อินพุต

รูปที่ 3.3 การจัดขาสัญญาณของพอร์ตอนุกรมในแบบต่าง ๆ และหน้าที่การทำงาน

3.2 บอร์ดทดลอง ST-29

3.2.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของบอร์ด ST-29

ภาคจ่ายไฟ

- ใช้แหล่งจ่ายไฟจากภายนอกเพื่อเสถียรวงจร รับแรงดันได้ในช่วง 9 – 12 โวลต์
- แรงดันเอาต์พุต 5 โวลต์คงที่ ผ่านวงจรเรกูเลเตอร์

ภาคอินพุต/เอาต์พุต

- รับสัญญาณควบคุมจากพอร์ตอนุกรม RS-232 ของคอมพิวเตอร์
- มีวงจรแปลงระดับแรงดันจากมาตรฐาน RS-232 ให้เป็นรูปแบบที่ทีแอล
- มีวงจรบัฟเฟอร์เพื่อขยายกระแสให้กับพอร์ตอนุกรมและป้องกันความเสียหายเนื่อง

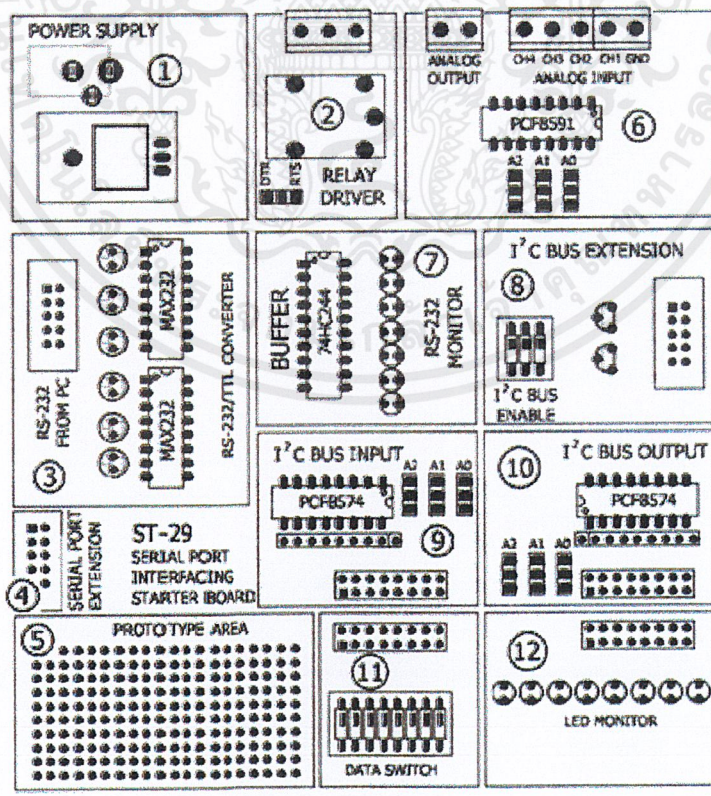
จากการต่อวงจรผิดพลาด

- มี LED Monitor เพื่อแสดงสถานะปัจจุบันของบิตอินพุตและเอาต์พุตของพอร์ต

อนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีวงจรแปลงสัญญาณเพื่อใช้ติดต่อบัสแบบ I²C
 - สามารถเลือกที่จะใช้งานหรือยกเลิกการใช้งานบัส I²C โดยใช้คิปลิวต์ซ์
 - มีรีเลย์ขนาด 12 โวลต์ หน้าสัมผัสเดี่ยว พร้อมวงจรขับที่สามารถเลือกได้ว่าจะขับจากขา DTR หรือขา RTS ของพอร์ตอนุกรม
 - มีไอซีขยายพอร์ตเบอร์ PCF8574A จำนวน 2 ตัว ทำให้ขยายพอร์ตได้ถึง 16 บิต โดยใช้การติดต่อสื่อสารแบบบัส I²C
 - มีวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต จำนวน 4 ช่อง จากไอซี PCF8591
 - มีวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอกขนาด 8 บิต จำนวน 1 ช่อง จากไอซี PCF8591
 - มี LED Monitor จำนวน 8 ตัว สำหรับแสดงผลการทำงานของพอร์ตเอาต์พุต
 - มีคิปลิวต์ซ์ 8 ช่อง สำหรับการส่งค่าข้อมูลให้กับพอร์ตอินพุต
- อื่นๆ
- มีส่วน Phototype Area ที่สามารถเพิ่มวงจรตามความต้องการของผู้ใช้ลงบนบอร์ด ST-29 ได้
 - ขนาดของบอร์ด 5 x 5.75 นิ้ว



รูปที่ 3.4 ลักษณะทางกายภาพของบอร์ด ST-29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การทำงานของบอร์ด ST-29

ภาคแปลงสัญญาณมาตรฐาน RS-232 เป็นมาตรฐาน TTL

สัญญาณจากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ตามมาตรฐาน RS-232 ซึ่งมีระดับแรงดันอยู่ที่ -12 โวลต์ สำหรับลอจิก “1” และ $+12$ โวลต์ สำหรับลอจิก “0” เมื่อถูกส่งมายังบอร์ด ST-29 จะได้รับการแปลงให้มีระดับแรงดัน $+5$ โวลต์ สำหรับลอจิก “1” และ 0 โวลต์ สำหรับลอจิก “0” ตามมาตรฐานสัญญาณทีทีแอล โดยใช้ไอซี MAX232

ภายในไอซี MAX232 มีวงจรแปลงอยู่ทั้งหมด 4 ชุด แบ่งออกเป็นวงจรแปลงระดับสัญญาณทีทีแอลเป็น RS-232 สองชุด และวงจรแปลงจาก RS-232 เป็นทีทีแอลอีกสองชุด ดังนั้นเมื่อต้องการใช้งานพอร์ตอนุกรมซึ่งมีขาอินพุตและขาเอาต์พุตมากกว่า 4 ขา ต้องใช้ไอซี MAX232 สองตัวจึงจะเพียงพอ

ภาคบัฟเฟอร์

สัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากพอร์ตอนุกรมผ่าน ไอซี MAX232 ได้แก่ DTR, RTS และ TxD ถูกส่งไปยังไอซีบัฟเฟอร์เบอร์ 74HC244 เพื่อขยายกระแสและป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับพอร์ตอนุกรม ที่เอาต์พุตของ 74HC244 มี LED ต่อเอาไว้เพื่อแสดงสถานะของบิตเอาต์พุตต่างๆของพอร์ตอนุกรม

สัญญาณอินพุตของพอร์ตอนุกรม ได้แก่ CTS, DCD, DSR และ RxD จากบอร์ด ST-29 ก่อนจะป้อนเข้าสู่ MAX232 จะต้องผ่าน ไอซีบัฟเฟอร์ 74HC244 ก่อนเพื่อขยายกระแส ที่เอาต์พุตของ 74HC244 มี LED ต่อเอาไว้เพื่อแสดงสถานะในขณะนั้นของขา CTS, DCD, DSR และ RxD

ทั้งสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุตของพอร์ตอนุกรมหลังจากผ่าน ไอซี 74HC244 แล้ว จะถูกต่อเข้ากับคอนเน็คเตอร์ K3 เพื่อนำไปใช้งานต่อพ่วงกับอุปกรณ์ภายนอกต่อไป

วงจรแปลงระบบบัส I²C

สัญญาณจากพอร์ตอนุกรมก่อนที่จะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์บัส I²C จะต้องมีการกำหนดค่าระดับแรงดันที่เหมาะสมก่อน โดยในสถานะปกติระบบบัส I²C จะต้องมีลอจิกเป็น “1” ดังนั้นในวงจรจะเห็นว่าทรานซิสเตอร์ Q_2 และ Q_3 จะมีตัวต้านทาน R_{15} และ R_{18} ต่อลงกราวด์เอาไว้ เพื่อว่าในสถานะปกติทรานซิสเตอร์จะไม่ทำงาน เอาต์พุตของ I²C จะมีลอจิก “1” จากตัวต้านทานพูลอัพ R_{14} และ R_{17} เมื่อต้องการให้บัสมีลอจิกเป็น “0” จะต้องป้อนลอจิก “1” (แรงดัน 5 โวลต์) ให้กับขาเบสของทรานซิสเตอร์เพื่อให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน ต่อขาเอาต์พุตลงกราวด์ สำหรับการอ่านค่าข้อมูลจากบัส I²C จะต้องกำหนดให้ขา SDA มีลอจิกเป็น “1” ก่อน โดยการป้อนลอจิก “0” ให้กับทรานซิสเตอร์ Q_2

เพื่อเป็นการป้องกันการอ่านหรือการเขียนข้อมูลที่ผิดพลาดไปยังอุปกรณ์บัส I²C จึงจำเป็นต้องมีคิปรวิตซ์เพื่อ Enable หรือ Disable ขาสัญญาณที่ป้อนให้กับวงจรแปลงบัส I²C ถ้ากำหนดให้

คิปสวิทช์ I²C Enable ทุกตัว ON จะเป็นการ Enable บัส I²C ถ้ากำหนดให้คิปสวิทช์ I²C ทุกตัว OFF จะเป็นการ Disable บัส I²C

ขาพอร์ตอนุกรมที่ต่อใช้งานกับระบบบัส I²C

- ขา DTR ใช้เป็นขา SCL เพื่อป้อนสัญญาณนาฬิกา
- ขา RTS ใช้เป็นขา SDA ในขณะส่งข้อมูล
- ขา CTS ใช้เป็นขา SDA ในขณะรับข้อมูล

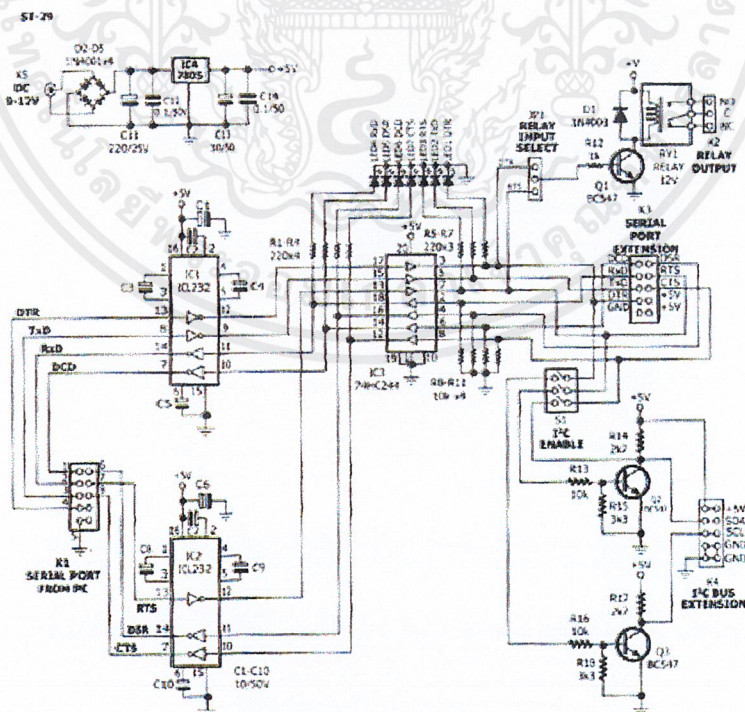
วงจรขั้วรีเลย์

ขาเอาต์พุตของพอร์ตอนุกรมเมื่อผ่านบัฟเฟอร์ 74HC244 มาแล้ว สามารถนำไปขับให้รีเลย์ทำงานได้ โดยผ่านวงจรขับ ซึ่งประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ Q₁ และตัวต้านทาน R₁₂ สำหรับไดโอด D₁ ใช้เพื่อป้องกันแรงดันย้อนกลับจากการยุบตัวของขดลวดรีเลย์มาทำให้ทรานซิสเตอร์ Q₁ เสียหาย

อินพุตสำหรับการควบคุมรีเลย์สามารถเลือกได้ว่าจะให้รับอินพุตจากขา DTR หรือขา RTS โดยเลือกจากจัมเปอร์ JP₁ หากไม่ต้องการให้รีเลย์ทำงานก็ให้เอาจัมเปอร์ออก

วงจรภาคจ่ายไฟ

ภาคจ่ายไฟของบอร์ด ST-29 สามารถรับแรงดันจากไฟเลี้ยงภายนอกได้ตั้งแต่ 9 – 12 โวลต์ โดยขั้วของแหล่งจ่ายไฟสามารถเป็นขั้วใดก็ได้ เนื่องจากมีวงจรป้องกันการตอกลับขั้ว จากนั้นแรงดันอินพุตที่ได้จะถูกส่งไปยังไอซีเรกูเลเตอร์เบอร์ 7805 เพื่อควบคุมระดับแรงดันให้คงที่ที่ +5 โวลต์ สำหรับใช้เลี้ยงวงจร

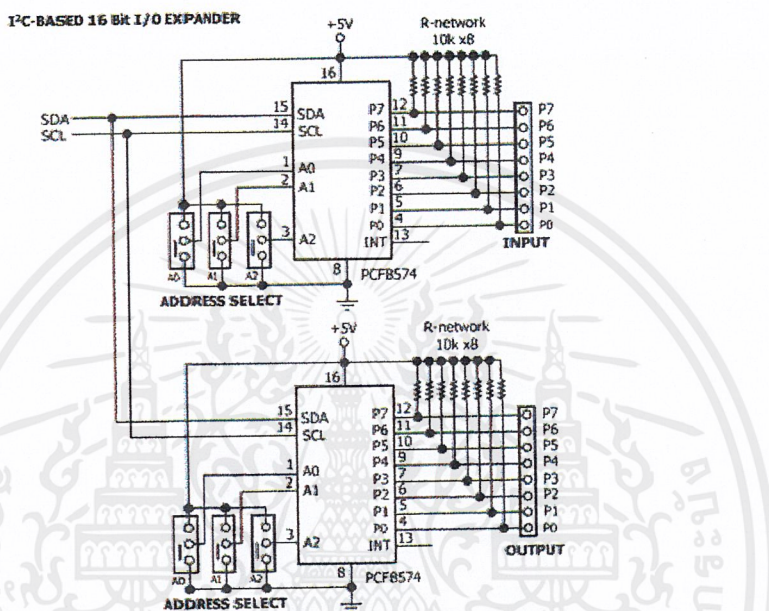


รูปที่ 3.5 วงจรภาคจ่ายไฟ, ภาคแปลงสัญญาณ RS-232, ภาคขั้วรีเลย์ และระบบบัส I²C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรรขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุต 16 บิต

จากส่วนของวงจรรสร้างสัญญาณบัส I²C บอร์ด ST-29 ได้ทำการต่อพ่วงระบบบัสเข้ากับไอซี PCF8574 จำนวน 2 ตัว โดย PCF8574 ตัวหนึ่งใช้เป็นพอร์ตอินพุต 8 ช่อง และอีกตัวหนึ่งสำหรับใช้งานเป็นเอาต์พุต การสั่งงานให้ PCF8574 ตัวใดตัวหนึ่งทำงานนั้นทำได้โดยการกำหนดแอดเดรส A0 – A2 ซึ่งอยู่บนบอร์ด ST-29 จะมีจัมเปอร์สำหรับกำหนดค่าแอดเดรสไว้ให้แล้ว ถ้าต่อขาแอดเดรสลงกราวด์ ขาแอดเดรสนั้นจะมีลอจิกเป็น “0” ถ้าต่อเข้ากับแรงดัน +5 โวลต์ จะมีลอจิกเป็น “1”



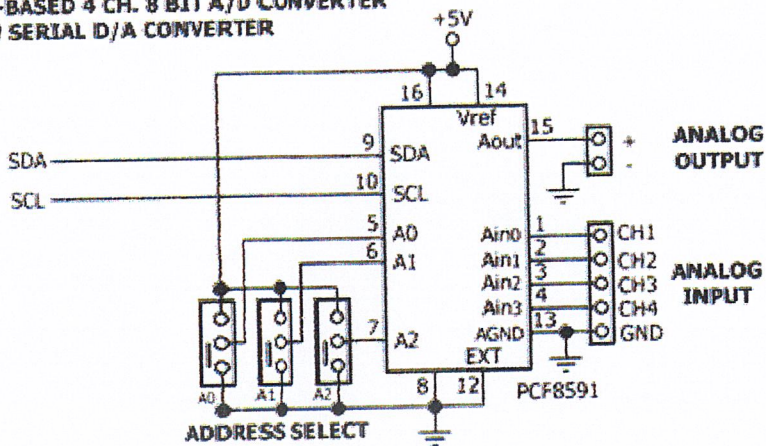
รูปที่ 3.6 วงจรรขยายพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตผ่านระบบบัส I²C

วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอก

อุปกรณ์บัส I²C นอกจาก PCF8574A แล้วยังมีไอซี PCF8591 ซึ่งภายในประกอบด้วยวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต จำนวน 4 ช่อง และวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอกขนาด 8 บิต อีก 1 ช่อง ซึ่งต้องมีการกำหนดแอดเดรสเช่นเดียวกับ PCF8574A โดยที่แอดเดรสที่กำหนดนี้จะมีค่าตรงกับ PCF8574A ตัวหนึ่งตัวใดก็ได้ เนื่องจากแอดเดรสหลักของไอซี PCF8574A และ PCF8591 มีค่าไม่ตรงกัน

ขาอินพุตของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล สามารถรับแรงดันได้ในช่วง 0 – 5 โวลต์ เนื่องจากขา Vref ของ PCF8591 บนบอร์ด ST-29 ต่อเข้ากับไฟ +5 โวลต์ สำหรับสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอกจะมีระดับแรงดันอยู่ในช่วง 0 – 5 โวลต์ เช่นกัน ขึ้นอยู่กับค่าข้อมูลดิจิตอลที่ป้อนให้กับ PCF8591

I²C-BASED 4 CH. 8 BIT A/D CONVERTER and SERIAL I/D/A CONVERTER

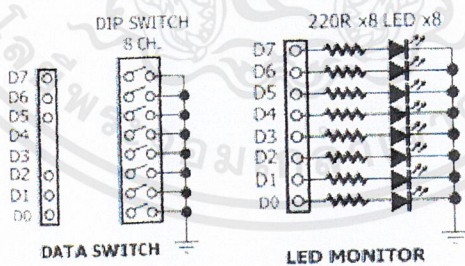


รูปที่ 3.7 วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอก

Data Switch และ LED Monitor

การป้อนอินพุตให้กับไอซี PCF8574A นั้นจะมีคิปลสวิทช์ 8 ช่อง ทำหน้าที่ป้อนข้อมูลให้ โดยถ้าคิปลสวิทช์ OFF การอ่านค่าจากไอซี PCF8574A จะมีลอจิกเป็น “1” เนื่องจากตัวต้านทานพูลอัปที่ขาพอร์ตของไอซี PCF8574A ถ้าคิปลสวิทช์ ON การอ่านค่าจากไอซี PCF8574A จะมีลอจิกเป็น “0” เนื่องจากคิปลสวิทช์ต่อลงกราวด์

LED Monitor จะมีการแสดงผลเมื่อมีการป้อนลอจิก “1” เข้าที่ขา D0 – D7 และจะมีแสดงผลเมื่อมีการป้อนลอจิก “0” หรือขาอินพุตลอยอยู่



รูปที่ 3.8 วงจรของ Data Switch และ LED Monitor

3.3 การควบคุมรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์

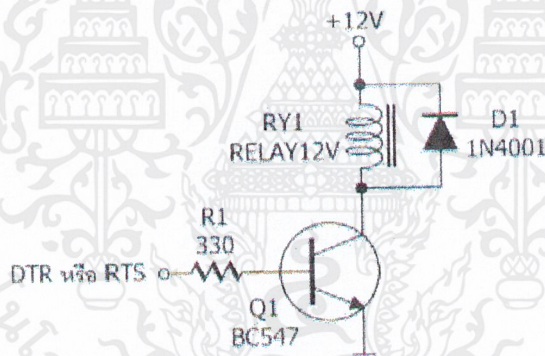
รีเลย์เป็นอุปกรณ์แม่เหล็ก ไฟฟ้าแบบหนึ่งที่ใช้ในการตัดต่อวงจร เมื่อขดลวดรีเลย์มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นทำให้หน้าสัมผัสโลหะที่ปกติเปิดวงจรแยกกันอยู่ ถูกดูดติดกัน เกิดการต่อวงจรขึ้น ส่วนหน้าสัมผัสที่ปกติต่อวงจรกันอยู่ก็จะแยกออกจากกัน เกิดการเปิดวงจรขึ้นแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีเลย์โดยทั่วไปจะมีหน้าสัมผัสทางเอาต์พุต 2 แบบที่มีความเกี่ยวข้องกันคือ หน้าสัมผัสปกติต่อวงจรหรือ NC (Normally Closed) และหน้าสัมผัสปกติเปิดวงจรหรือ NO (Normally Opened) ในกรณีของหน้าสัมผัสปกติต่อวงจร เมื่อรีเลย์ทำงาน หน้าสัมผัสชุดนี้จะแยกออกจากกันกลายเป็นเปิดวงจร หน้าสัมผัสชุดนี้จะใช้ก็ต่อเมื่อมีจุดประสงค์ให้รีเลย์ตัดวงจรเมื่อทำงาน ส่วนหน้าสัมผัสปกติเปิดวงจร เมื่อรีเลย์ทำงาน หน้าสัมผัสชุดนี้จะสัมผัสกันกลายเป็นปิดวงจร ดังนั้นจึงใช้หน้าสัมผัสชุดนี้ก็ต่อเมื่อต้องการให้รีเลย์ต่อวงจรเมื่อทำงาน ดังนั้นหน้าสัมผัสรีเลย์ 1 ชุดจึงเสมือนกับสวิตช์ 2 ทางหรือ DPST (Double Pole Single Throw)

รีเลย์ที่จำหน่ายทั่วไปมีขดลวด 1 ชุด ในขณะที่หน้าสัมผัสมีตั้งแต่ 1 ชุด (หน้าสัมผัส 1 ชุดประกอบด้วย NO และ NC) จำนวน 5 ขา ไปจนถึง 4 ชุด 14 ขา ส่วนอัตราการทนกำลังไฟฟ้าของหน้าสัมผัสมีให้เลือกมากมาย ถ้าเป็นของขนาดแรงดันมีตั้งแต่ 30 โวลต์ จนถึง 1,000 โวลต์

วงจรขั้วรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์แสดงตามรูปที่ 3.9 ขาเอาต์พุตของพอร์ตอนุกรมต่อเข้ากับขาเบสของทรานซิสเตอร์ที่ใช้ขั้วรีเลย์ผ่านตัวต้านทาน R_1 ซึ่งทำหน้าที่จำกัดกระแสเบสให้แก่ทรานซิสเตอร์ Q_1 ขดลวดจะต่อเข้ากับคอลลเล็กเตอร์ โดยมีไดโอด D_1 ต่อคร่อมขดลวดรีเลย์ RY_1 เพื่อกันกระแสไหลย้อนกลับมาเข้าทรานซิสเตอร์ เมื่อรีเลย์หยุดทำงาน



รูปที่ 3.9 วงจรขั้วรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์

เมื่อต้องการสั่งให้รีเลย์ทำงาน ต้องเขียนคำสั่งเพื่อกำหนดให้ขา RTS หรือ DTR มีลอจิกเป็น “1” ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะนำกระแส ทำให้เกิดกระแสไหลผ่านขดลวดรีเลย์ RY_1 รีเลย์จึงทำงาน โหลดในวงจรนี้คือ LED_1 จะสว่าง เมื่อต้องการควบคุมให้รีเลย์หยุดทำงาน ทำได้โดยการเขียนข้อมูลลอจิก “0” ออกไปที่ขา RTS หรือขา DTR อีกครั้ง ทรานซิสเตอร์ Q_1 จะหยุดนำกระแส ทำให้รีเลย์หยุดทำงาน LED_1 จึงดับลง

3.4 การเขียนโปรแกรมด้วย Visual Basic เพื่อติดต่อพอร์ตอนุกรมและ MSComm

3.4.1 MSComm

สำหรับการใช้งาน Visual Basic ตั้งแต่เวอร์ชัน 2.0 เป็นต้นมา ใน Visual Basic จะมีคัสตอมคอนโทรลสำหรับการสื่อสารอนุกรมผ่านทางพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์มาให้ โดยใน Visual Basic เวอร์ชัน 2 และ 3 จะใช้ชื่อว่า MSCOMM.VBX ส่วนเวอร์ชัน 4 ใช้ชื่อว่า MSCOMM16.OCX สำหรับการทำงานกับระบบปฏิบัติการ 16 บิต และ MSCOMM32.OCX สำหรับการทำงานกับระบบปฏิบัติการ 32 บิต สำหรับ Visual Basic เวอร์ชัน 5 จะมีเพียง MSCOMM32.OCX เท่านั้น เพราะถูกออกแบบมาเพื่อให้ใช้งานกับระบบปฏิบัติการ 32 บิต

MSComm จัดเตรียมทางเลือกเอาไว้ 2 ทาง เพื่อความสะดวกในการสื่อสารข้อมูล ทางแรกคือ การสื่อสารข้อมูลที่กระตุ้นด้วยเหตุการณ์ (event-driven communication) เป็นรูปแบบการใช้งานที่มีประสิทธิภาพมากสำหรับการตอบสนองแบบทันทีทันใด เช่น เมื่อตัวอักษรถูกส่งมาที่พอร์ตอนุกรมหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ขา Data Carrier Detect (DCD) หรือขา Request To Send (RTS) เหตุการณ์ ONCOMM ของ MSComm จะสามารถตรวจจับสัญญาณนั้นได้ในทันที ส่วนทางเลือกที่สองเป็นการคอยตรวจสอบค่าเหตุการณ์และความผิดพลาดที่เกิดขึ้นด้วยการดูค่าที่เปลี่ยนแปลงภายในคุณสมบัติ CommEvent หลังจากโปรแกรมทำงานในฟังก์ชันต่าง ๆ ไปเรียบร้อยแล้ว ซึ่งวิธีนี้สามารถใช้งานได้ดีเมื่อโปรแกรมมีขนาดเล็ก

คอนโทรล MSComm 1 ตัว สามารถควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมได้ 1 พอร์ต ถ้าโปรแกรมที่ใช้งานต้องการติดต่อกับพอร์ตอนุกรมมากกว่า 1 พอร์ต จะต้องใช้ MSComm มากกว่า 1 ตัวเพื่อควบคุมพอร์ตอนุกรมแต่ละพอร์ต แอแดปเตอร์ของพอร์ตอนุกรมและแอแดปเตอร์ของการเกิดอินเทอร์รัปต์สามารถเปลี่ยนแปลงได้จากการแก้ไขค่าที่ Control Panel

3.4.2 คุณสมบัติ (Property) ของคอนโทรล MSComm

CommPort

ใช้ในการกำหนดและอ่านค่าพอร์ตอนุกรมที่ติดต่อ (COM1, COM2, COM3, COM4)

รูปแบบการใช้งาน

Object.CommPort [= Value]

โดย Value เป็นค่าของพอร์ตอนุกรม ชนิดของข้อมูลเป็น Integer ค่า Value สามารถกำหนดได้ในช่วง 0 – 16 เมื่อทำการกำหนดค่าแล้วทำการเปิดพอร์ต โดยใช้คุณสมบัติ PortOpen แต่ว่าพอร์ตนั้นไม่มีอยู่ในระบบ MSComm จะสร้างสัญญาณแสดงข้อผิดพลาด Error 68 ขึ้นมา ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์นี้ไม่มีในระบบ ดังนั้นการเขียนโปรแกรมจะต้องกำหนดตำแหน่งของพอร์ตอนุกรมก่อนที่จะใช้คุณสมบัติ PortOpen

Setting

ใช้ในการกำหนดและอ่านค่าอัตราบอด, พาริตี, จำนวนบิตของข้อมูล, จำนวนบิตปิดท้าย
รูปแบบการใช้งาน

```
Object.Setting [= Value ]
```

ค่า Value มีชนิดของข้อมูลเป็น String มีรูปแบบเป็น “BBBB,P,D,S” โดย BBBB เป็นค่าอัตราบอด, P เป็นค่าพาริตี, D เป็นจำนวนของบิตข้อมูล, S เป็นจำนวนของบิตปิดท้าย ปกติแล้วค่าเหล่านี้ถูกกำหนดไว้เป็น “9600, N, 8, 1”

PortOpen

ใช้ในการกำหนดและอ่านค่าสถานะของพอร์ตอนุกรม เพื่อเปิดและปิดพอร์ตอนุกรม
รูปแบบการใช้งาน

```
Object.PortOpen [= Value ]
```

ค่า Value มีค่าเป็นบูลีน คือ True และ False โดย True หมายถึง การเปิดพอร์ตอนุกรม และ False หมายถึง การปิดพอร์ตอนุกรม สำหรับการปิดพอร์ตอนุกรมนั้นจะมีการเคลียร์บัฟเฟอร์รับข้อมูลและบัฟเฟอร์ส่งข้อมูลด้วย คอนโทรล MSComm จะปิดพอร์ตอนุกรมโดยอัตโนมัติ เมื่อออกจากโปรแกรม ก่อนที่จะใช้คุณสมบัติ PortOpen ต้องตรวจสอบให้แน่ใจก่อนว่าคุณสมบัติ CommPort นั้นได้ทำการกำหนดตำแหน่งของพอร์ตอนุกรมไว้ถูกต้องหรือยัง มิฉะนั้น MSComm จะแสดงข้อผิดพลาด Error 68 แจ้งแก่ผู้ใช้งาน

ถ้าคุณสมบัติ DTREnable หรือ RTSEnable ถูกกำหนดให้เป็น True ก่อนที่จะทำการเปิดพอร์ต ค่าของคุณสมบัติของ DTREnable หรือ RTSEnable จะถูกกำหนดให้เป็น False หลังจากปิดพอร์ต แต่ถ้าเป็น False หลังจากปิดโปรแกรมแล้ว ค่าที่กำหนดไว้จะเหมือนเดิม

Input

อ่านค่าและลบค่าขบวนข้อมูลจากบัฟเฟอร์ภาครับ

รูปแบบการใช้งาน

```
Object.Input
```

คุณสมบัตินี้ InputLen เป็นตัวกำหนดจำนวนของตัวอักษรที่จะอ่าน โดยคุณสมบัตินี้ Input การกำหนดค่าให้กับ InputLen ให้เท่ากับ 0 เป็นการกำหนดให้คุณสมบัติของ Input ทำการอ่านค่าข้อมูลในบัฟเฟอร์รับข้อมูลทั้งหมด

คุณสมบัตินี้ InputMode เป็นตัวกำหนดชนิดของข้อมูลที่คุณสมบัติ Input รับเข้ามา ถ้า InputMode ถูกกำหนดเป็น comInputModeText คุณสมบัตินี้ Input จะส่งค่ากลับมาในรูปแบบของข้อความ ชนิดของข้อมูลเป็นแบบ Variant ถ้า InputMode ถูกกำหนดเป็น comInputModeBinary คุณสมบัตินี้ Input จะส่งข้อมูลกลับมาในรูปแบบของไบนารีและชนิดข้อมูลเป็นแบบ Variant

Output

ใช้ในการส่งขบวนของข้อมูลไปยังบัฟเฟอร์ส่งข้อมูล

รูปแบบการใช้งาน

Object.Output [= Value]

ค่า Value เป็นค่าของตัวอักษรที่เขียนไปยังบัฟเฟอร์ส่งข้อมูล คุณสมบัติ Output สามารถใช้ในการส่งข้อมูลตัวอักษรหรือไบนารีก็ได้ โดยการส่งข้อมูลแบบตัวอักษรจะต้องกำหนดชนิดของข้อมูลเป็น Variant และมีข้อมูลภายในเป็นแบบ String สำหรับการส่งข้อมูลไบนารีจะต้องกำหนดชนิดข้อมูลเป็น Variant และข้อมูลภายในเป็นแบบ Byte

DTREnable

ใช้ในการอีนาเบิลขา Data Terminal Ready (DTR) โดยสัญญาณของขา DTR จะส่งจากคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงว่าคอมพิวเตอร์พร้อมที่จะรับข้อมูลแล้ว

รูปแบบการใช้งาน

Object.DTREnable [= Value]

ค่า Value เป็นค่าสถานะ True หรือ False เพื่ออีนาเบิลหรือดิสอีนาเบิลขา DTR โดย

True หมายถึงอีนาเบิลขา DTR

False หมายถึงดิสอีนาเบิลขา DTR

เมื่อขา DTR ถูกกำหนดสถานะเป็น True ที่ขา DTR จะมีสถานะลอจิก “1” เมื่อทำการเปิดพอร์ต และจะสถานะเป็น “0” เมื่อทำการปิดพอร์ต เมื่อขา DTR ถูกกำหนดสถานะเป็น False ที่ขา DTR จะมีสถานะลอจิกเป็น “0” ตลอดเวลาไม่ว่าจะทำการเปิดหรือปิดพอร์ต

RTSEnable

ใช้เพื่ออีนาเบิลขา Request To Send (RTS) โดยขา RTS จะเป็นสัญญาณที่ส่งจากคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์เพื่อร้องขอส่งข้อมูล ชนิดของข้อมูลเป็น Boolean

รูปแบบการใช้งาน

Object.RTSEnable [= Value]

ค่า Value เป็นค่าสถานะ True หรือ False เพื่ออีนาเบิลหรือดิสอีนาเบิลขา RTS โดย

True หมายถึงอีนาเบิลขา RTS

False หมายถึงดิสอีนาเบิลขา RTS

เมื่อ RTSEnable ถูกกำหนดให้เป็น True ขา RTS จะมีสถานะลอจิกเป็น “1” เมื่อเปิดพอร์ต และมีสถานะลอจิกเป็น “0” เมื่อทำการปิดพอร์ต

EOFEnable

เป็นการกำหนดให้ MSComm รอสัญญาณ ส่วนท้ายสุดของไฟล์ (End of File :EOF) ระหว่างการรับอินพุตเข้ามา ถ้าพบสัญญาณ EOF ภาคอินพุตจะหยุดรับข้อมูล และเหตุการณ์ OnComm จะถูกกระตุ้นให้ทำงาน คุณสมบัติ CommEvent จะมีค่าเท่ากับ 7 หรือ ComEvEOF

โดยค่า Value เป็นสถานะ True หรือ False เพื่ออีนาเบิลหรือดิสเอเบิลการทำงานของเหตุการณ์ OnComm เมื่อตรวจพบสัญญาณ EOF โดย

True หมายถึง เหตุการณ์ OnComm จะถูกกระตุ้นให้ทำงานด้วย EOF

False หมายถึง เหตุการณ์ OnComm จะไม่ถูกกระตุ้นให้ทำงานด้วย EOF

เมื่อ EOFEnable กำหนดให้เป็น False ส่วนควบคุมจะไม่มี การตรวจสอบสัญลักษณ์ EOF

CTSHolding

ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบการทำงานของขา Clear To Send (CTS) ได้ว่ามีสถานะลอจิก “0” หรือ “1” โดยค่าที่อ่านได้เป็นบูลีน True หรือ False ถ้าค่า CTSHolding เป็น True ขา CTS จะมีสถานะลอจิก “1” ถ้าค่า CTSHolding เป็น False ขา CTS จะมีสถานะลอจิกเป็น “1”

รูปแบบการใช้งาน

Object. CTSHolding

เมื่อขา CTS เป็นลอจิก “0” (CTSHolding = False) และเกิดไทม์เอาต์ MSComm จะกำหนดให้คุณสมบัติ CommEvent มีค่าเป็น comEventCTSTO (Clear To Send Timeout) และกระตุ้นให้เกิดเหตุการณ์ OnComm

CDHolding

ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบการทำงานของขา Data Carrier Detect (DCD) ได้ว่ามีสถานะลอจิก “1” หรือ “0” โดยค่าที่อ่านได้เป็นบูลีน True หรือ False ถ้าค่า CDHolding เป็น True ขา DCD จะมีสถานะลอจิก “1” ถ้าค่า CDHolding เป็น False ขา DCD จะมีสถานะลอจิกเป็น “0”

รูปแบบการใช้งาน

Object. CDHolding

เมื่อขา DCD เป็นลอจิก “1” (CDHolding = True) และเกิดไทม์เอาต์ MSComm จะกำหนดให้คุณสมบัติ CommEvent มีค่าเป็น comEventCDTO (Carrier Detect Timeout Error) และกระตุ้นให้เกิดเหตุการณ์ OnComm

DSR Holding

ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบการทำงานของขา Data Set Ready (DSR) ได้ว่ามีสถานะลอจิก “1” หรือ “0” โดยค่าที่อ่านได้เป็นบูลีน True หรือ False ถ้าค่า DSRHolding เป็น True ขา DSR จะมีสถานะลอจิก “1” ถ้าค่า DSRHolding เป็น False ขา DSR จะมีสถานะลอจิกเป็น “0”

รูปแบบการใช้งาน

Object. DSRHolding

เมื่อขา DSR เป็นลอจิก “1” (DSRHolding = True) และเกิดไทม์เอาต์ MSCComm จะกำหนดให้คุณสมบัติ CommEvent มีค่าเป็น comEventDSRTO (Data Set Ready Timeout) และกระตุ้นให้เกิดเหตุการณ์ OnComm

Break

ใช้ในการเซตและเคลียร์ค่าสัญญาณ Break ชนิดของข้อมูลเป็นแบบ Boolean

รูปแบบการใช้งาน

Object.Break [= Value]

โดยค่า Value เป็นค่า Boolean ถ้า Value = True หมายถึง การส่งสัญญาณ Break ออกไป ถ้า Value = False หมายถึง การเคลียร์สัญญาณ Break

เมื่อกำหนดให้สัญญาณ Break เป็น True แล้ว จะเป็นการหยุดการส่งข้อมูลชั่วคราว จนกว่าจะมีการตั้งให้สัญญาณ Break เป็น False

เหตุการณ์ OnComm

เหตุการณ์ OnComm จะถูกสร้างขึ้นเมื่อค่าคุณสมบัติ CommEvent มีการเปลี่ยนแปลง เพื่อแสดงผลการเปลี่ยนแปลงเหล่านั้นทันทีที่ทันใดหรือแสดงข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น

การใช้ MSCComm เพื่อติดต่อฮาร์ดแวร์

วิธีการที่จะอ่านค่าหรือเขียนค่าไปยังสถานะและควบคุมของพอร์ตอนุกรม สามารถทำได้โดยใช้คำสั่งเหล่านี้

DTREnable	สำหรับสั่งให้ขา DTR มีลอจิก “0” หรือ “1”
RTSEnable	สำหรับสั่งให้ขา RTS มีลอจิก “0” หรือ “1”
CTSHolding	สำหรับอ่านค่าสถานะจากขา CTS ว่ามีลอจิก “0” หรือ “1”
CDHolding	สำหรับอ่านค่าสถานะจากขา CD ว่ามีลอจิก “0” หรือ “1”
DSRHolding	สำหรับอ่านค่าสถานะจากขา DSR ว่ามีลอจิก “0” หรือ “1”
Break	สำหรับการสั่งให้ขา TxD มีลอจิก “0” หรือ “1”

3.5 การเขียนโปรแกรมติดต่อบัส I²C ด้วย Visual Basic

โปรแกรมย่อยการสร้างสัญญาณ Start ให้กับ I²C

สำหรับระบบบัส I²C สถานะเริ่มต้นหรือ Start ของบัส I²C จะเริ่มจาก

1. ขา SCL และขา SDA ต้องมีลอจิก “1” ก่อน เพื่อกำหนดให้อยู่ในสถานะบัสว่าง
2. กำหนดให้ขา SDA มีลอจิก “0” ก่อน
3. กำหนดให้ขา SCL มีลอจิก “0”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเขียนเป็นโปรแกรมย่อยด้วย Visual Basic ได้ดังนี้

```
Private Sub I2CStart()
    MSComm1.RTSEnable = True 'SDA=1
    MSComm1.DTREnable = True 'SCL=1
    MSComm1.RTSEnable = False 'SDA=0
    MSComm1.DTREnable = False 'SCL=0
End Sub
```

โปรแกรมย่อยการสร้างสัญญาณ Stop ให้กับ I²C

การทำให้เกิดสถานะหยุดหรือสิ้นสุดการถ่ายทอดข้อมูลบนบัส I²C หรือสถานะ Stop คือ การทำให้บัส I²C เข้าสู่สถานะว่าง มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดให้ขา SDA มีลอจิก “0” ก่อน
2. กำหนดให้ขา SCL มีลอจิก “1”
3. สั่งให้ขา SDA มีลอจิก “1”

สามารถเขียนเป็นโปรแกรมย่อยด้วย Visual Basic ได้ดังนี้

```
Private Sub I2CStop()
    MSComm1.RTSEnable = False 'SDA=0
    MSComm1.DTREnable = True 'SCL=1
    MSComm1.RTSEnable = True 'SDA=1
End Sub
```

โปรแกรมย่อยสถานะ Ack

```
Private Sub Ack()
    MSComm1.RTSEnable = True 'SDA=1
    MSComm1.DTREnable = True 'SCL=1
    MSComm1.DTREnable = False 'SCL=0
End Sub
```

โปรแกรมย่อยส่งข้อมูลลอจิก “0”

```
Private Sub send0()
    MSComm1.RTSEnable = False 'SDA=0
    MSComm1.DTREnable = True 'SCL=1
    MSComm1.DTREnable = False 'SCL=0
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมย่อยส่งข้อมูลลอจิก “1”

Private Sub Send1()

MSComm1.RTSEnable = True 'SDA=1

MSComm1.DTREnable = True 'SCL=1

MSComm1.DTREnable = False 'SCL=0

End Sub

3.6 การเชื่อมต่อสัญญาณอะนาลอกผ่านพอร์ตอนุกรม

ปกติแล้วข้อมูลในการติดต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์นั้นจะเป็นสัญญาณดิจิทัลทั้งสิ้น แต่เมื่อนำมาเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกแล้ว ย่อมต้องเชื่อมต่อและประมวลผลสัญญาณอะนาลอกด้วย ในการเชื่อมต่อสัญญาณอะนาลอกต้องใช้ไอซีพิเศษที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลหรือที่เรียกว่าไอซี ADC ซึ่งในบอร์ด ST-29 ใช้ไอซีเบอร์ PCF8591 ซึ่งมีรูปแบบการเชื่อมต่อแบบบัส I²C

ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF8591

เป็น ไอซีแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลและแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอะนาลอกในตัวเดียว ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียว
- ทำงานที่ระดับแรงดัน 2.5 โวลต์ ถึง 6 โวลต์
- กินกระแสในสภาวะปกติต่ำ
- ติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านระบบบัส I²C
- สามารถเลือกตำแหน่งแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์จากขา A0, A1, A2 ทำให้ต่อพ่วงกันได้

ได้สูงสุดถึง 8 ตัว

- อัตราการสุ่มข้อมูล (Sampling) ขึ้นอยู่กับสัญญาณนาฬิกาบนบัส I²C
- วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (ADC) สามารถรับสัญญาณอะนาลอกได้ 4 ช่อง ทั้งยังเลือกได้ว่าจะทำงานแบบแยกช่องหรือทำงานเป็นวงจร Differential
- การอ่านค่าสามารถกำหนดให้เลื่อนช่องอินพุตโดยอัตโนมัติได้
- สัญญาณอะนาลอกมีระดับแรงดันตั้งแต่ V_{SS} ถึง V_{DD}
- วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลเป็นแบบซิกเชสซีฟ แอปพริเอท

ซีเมชัน ขนาด 8 บิต

- มีวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอะนาลอกขนาด 8 บิต จำนวน 1 ช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PCF8591 สามารถทำหน้าที่เป็น ไอซีแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต 4 ช่อง และทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอกได้ในคราวเดียวกัน ด้วยการควบคุมผ่านระบบบัส I²C ทำให้สามารถต่อพ่วงไอซี PCF8591 ได้สูงสุดถึง 8 ตัว รองรับการอ่านสัญญาณอะนาลอกอินพุตได้สูงสุดถึง 32 ช่อง และสามารถส่งสัญญาณอะนาลอกเอาต์พุตได้สูงสุดถึง 8 ช่อง ด้วยการกำหนดแอดเดรสจากขา A0, A1, A2

การอ่านข้อมูลอินพุตอะนาลอกแบบต่อเนื่องจาก PCF8591 มีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. ส่งสัญญาณ Start
2. ส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรส โดยกำหนดแอดเดรสของ PCF8591 ไว้ที่ 000 ขา A0, A1 และ A2 ต่อลงกราวด์ทั้งหมด และให้ทำงานในโหมดเขียนข้อมูล
3. รอรับสัญญาณ Ack หรือรอรับการตอบกลับจาก PCF8591
4. ส่งข้อมูลควบคุมไปยัง PCF8591 โดยใช้ค่า 45H ซึ่งเป็นการอินิเชียลอะนาลอกเอาต์พุต กำหนดให้อินพุตอะนาลอกทำงานในโหมดซิงเกิล กำหนดให้ใช้การเลื่อนอ่านข้อมูลแบบต่อเนื่อง และเริ่มอ่านข้อมูลจากช่องที่ 1
5. รอรับสัญญาณ Ack จาก PCF8591
6. ส่งสัญญาณ Stop
7. ส่งสัญญาณ Start
8. ส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสอีกครั้ง โดยครั้งนี้กำหนดให้เป็นโหมดอ่านข้อมูล เพื่อเริ่มต้นอ่านข้อมูลจากช่องสัญญาณอะนาลอกอินพุต
9. รอรับสัญญาณ Ack จาก PCF8591
10. อ่านค่าจากขาอินพุตของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลช่องที่ 1
11. ส่งสัญญาณ MAck (Master Ack) ไปยัง PCF8591
12. อ่านค่าจากขาอินพุตของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลช่องที่ 2
13. ส่งสัญญาณ MAck (Master Ack) ไปยัง PCF8591
14. อ่านค่าจากขาอินพุตของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลช่องที่ 3
15. ส่งสัญญาณ MAck (Master Ack) ไปยัง PCF8591
16. อ่านค่าจากขาอินพุตของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลช่องที่ 4
17. รอรับสัญญาณ Ack
18. ส่งสัญญาณ Stop

บทที่ 4

การทดสอบและวิเคราะห์เครื่องทางด้านฮาร์ดแวร์

4.1 วิธีการวัดและผลการวัดอุณหภูมิภายในต้นไม้

การวัดอุณหภูมิภายในต้นไม้

จุดประสงค์

1. เพื่อทำการวัดอุณหภูมิของต้นไม้ชนิดต่าง ๆ และเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิภายในของต้นไม้แต่ละชนิด
2. เพื่อนำค่าอุณหภูมิภายในของต้นไม้ที่ได้จากการวัดไปพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิของหัวใจให้ความร้อน เพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสมของการพัลส์ความร้อนให้กับต้นไม้

อุปกรณ์การวัด

1. เครื่องวัดอุณหภูมิดิจิทัลจิลแบบเทอร์โมคัปเปิล type K รุ่น Digicon DP-50 (-50 °C ~ 750 °C)
2. มีดขนาดเล็ก

วิธีการวัด

1. เลือกต้นไม้ที่จะทำการวัดอุณหภูมิ
2. ใช้มีดกรีดเปลือกต้นไม้ให้ลึกเข้าไปจนถึงเนื้อไม้ส่วนกระพี้ นำเทอร์โมคัปเปิลเสียบเข้าไปที่รอยกรีด อ่านค่าอุณหภูมิจากเครื่องวัด บันทึกค่าอุณหภูมิที่วัดได้

ผลการวัด

สถานที่ ด้านหลังอาคาร CCA ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บ้านพักพนักงาน
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

วันที่ทำการวัด 19/9/2544

เวลาที่ทำการวัด 12:30 PM สภาพอากาศ ท้องฟ้ามีเมฆเล็กน้อย

ชนิดต้นไม้	อุณหภูมิอากาศรอบต้นไม้	อุณหภูมิภายในในต้นไม้(°C)				เฉลี่ย
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
มะม่วง	32	34	35	35	34.67	
ประดู่	32	35	35	35	35.00	
สักทอง	31	33	33	33	33.00	
กระถินณรงค์	31	33	32	33	32.67	
มะเดื่อ	31	34	34	33	33.67	
เฉลี่ย	31.4				33.80	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ทำการวัด 20/9/2544

เวลาที่ทำการวัด 12:30 PM สภาพอากาศ ท้องฟ้าโปร่ง แดดจ้า

ชนิดต้นไม้	อุณหภูมิ อากาศรอบต้นไม้	อุณหภูมิภายในต้นไม้(°C)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
มะม่วง	34	36	35	35	35.33
ประดู่	34	33	33	33	33.00
สักทอง	34	33	33	33	33.00
กระถินณรงค์	34	33	33	33	33.00
มะเดื่อ	34	33	33	33	33.00
เฉลี่ย	34				33.47

วันที่ทำการวัด 3/10/2544

เวลาที่ทำการวัด 1:00 PM สภาพอากาศ ท้องฟ้ามีเมฆเล็กน้อย

ชนิดต้นไม้	อุณหภูมิ อากาศรอบต้นไม้	อุณหภูมิภายในต้นไม้(°C)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
มะม่วง	33	35	35	35	35.00
ประดู่	31	33	34	33	33.33
สักทอง	32	31	31	31	31.00
กระถินณรงค์	31	32	33	33	32.67
มะเดื่อ	31	32	33	33	32.67
เฉลี่ย	31.6				32.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ทำการวัด

6/10/2544

เวลาที่ทำการวัด

12:00 PM สภาพอากาศ

ท้องฟ้ามีเมฆเล็กน้อย

ชนิดต้นไม้	อุณหภูมิ อากาศรอบต้นไม้	อุณหภูมิภายในต้นไม้(°C)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
มะม่วง	31	33	33	33	33.00
ประดู่	32	33	33	34	33.33
สักทอง	32	31	31	31	31.00
กระถินณรงค์	31	32	32	33	32.33
มะเดื่อ	33	33	33	33	33.00
เฉลี่ย	31.8				32.53

วันที่ทำการวัด

7/10/2544

เวลาที่ทำการวัด

13:00 PM สภาพอากาศ

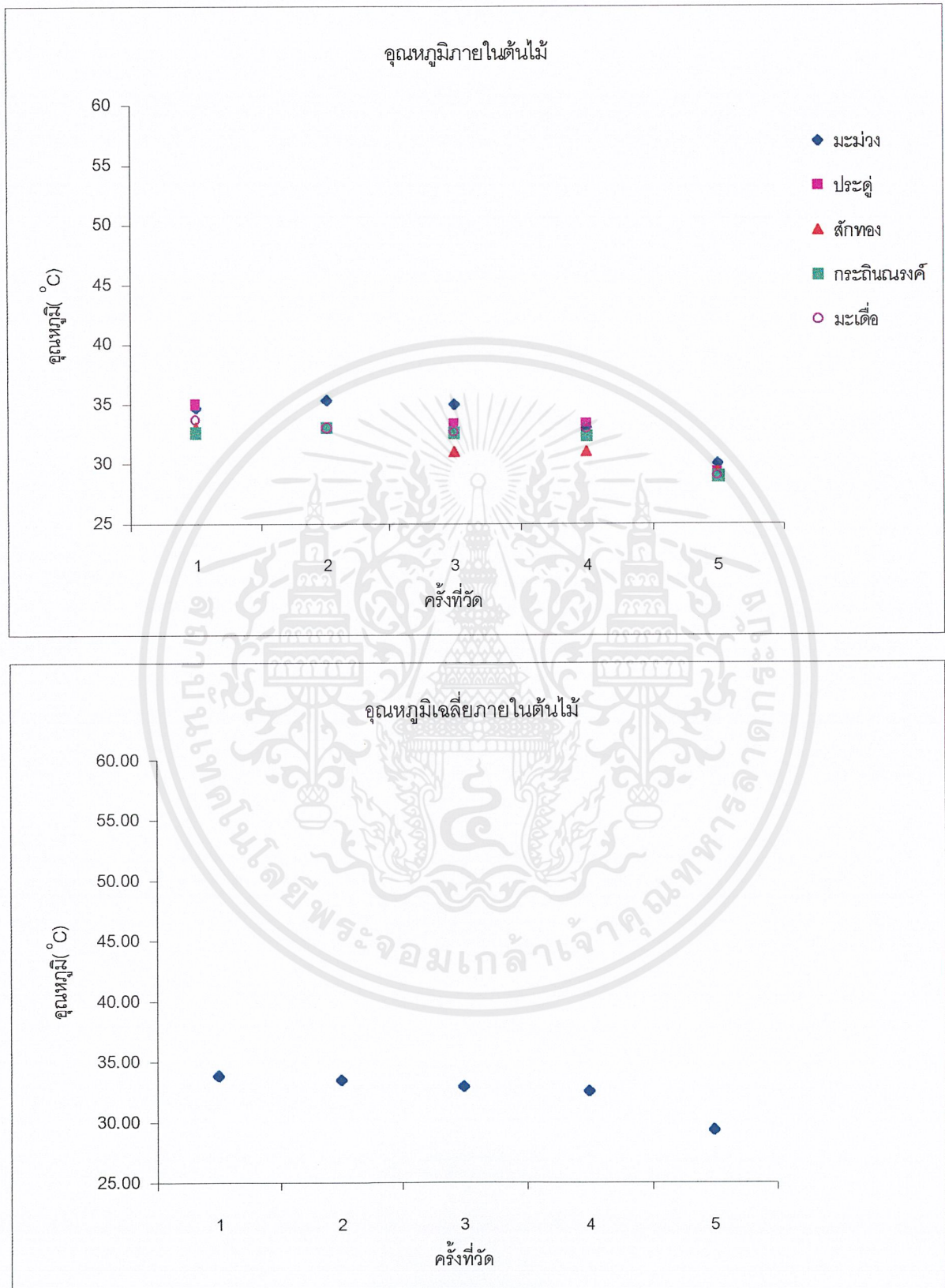
ท้องฟ้ามีเมฆมาก

ชนิดต้นไม้	อุณหภูมิ อากาศรอบต้นไม้	อุณหภูมิภายในต้นไม้(°C)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
มะม่วง	29	30	30	30	30.00
ประดู่	29	29	30	29	29.33
สักทอง	30	29	29	30	29.33
กระถินณรงค์	30	29	29	29	29.00
มะเดื่อ	29	29	29	29	29.00
เฉลี่ย	29.4				29.33

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวัดอุณหภูมิของต้นไม้ชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผลการวัด



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิของต้นไม้ชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวัด

1. จากผลการวัดอุณหภูมิภายในต้นไม้ ข้อมูลของอุณหภูมิต้นไม้ทุกชนิดที่ทำการวัด ณ ช่วงเวลาใกล้เคียงกันของแต่ละวัน จะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยจะมีค่าประมาณ 31 – 33 °C ในสภาพแวดล้อมปกติ

2. อุณหภูมิของพืชในแต่ละวันที่ทำการวัดค่อนข้างที่จะสม่ำเสมอ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมาก เพราะต้นไม้พยายามรักษาอุณหภูมิภายในลำต้นให้คงที่ แม้ว่าสภาพรอบต้นจะเปลี่ยนแปลงไปถึงอย่างไรก็ตาม ในช่วงเวลาที่สภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรง เช่น ฝนตกหนักเป็นระยะเวลานาน อาจจะทำให้อุณหภูมิของต้นไม้มีค่าลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมได้ในช่วงเวลานั้น

3. ในสภาพแวดล้อมปกติ จากค่าของอุณหภูมิเฉลี่ยภายในต้นไม้สามารถนำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกอุณหภูมิของหัวให้ความร้อนที่เหมาะสมกับต้นไม้พืชได้

4.2 วิธีการทดสอบและผลการทดสอบหัวให้ความร้อน

การทดสอบอุณหภูมิของหัวให้ความร้อน (Temperature of Heater Probe Testing)

จุดประสงค์

1. เพื่อทำการทดสอบวัดค่าอุณหภูมิที่เกิดจากความร้อนของหัวให้ความร้อนที่มีความต้านทาน 16 โอห์ม, 11 โอห์ม และ 9 โอห์ม เมื่อทำการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้แก่หัวให้ความร้อนเป็นเวลาต่าง ๆ กัน
2. เพื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่หัวให้ความร้อนที่ทำให้ได้อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิต้นไม้เล็กน้อย
3. เพื่อนำช่วงเวลาในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่หัวให้ความร้อนที่ได้จากการวิเคราะห์ไปใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบชุด Heater Driver ของตัวเครื่อง

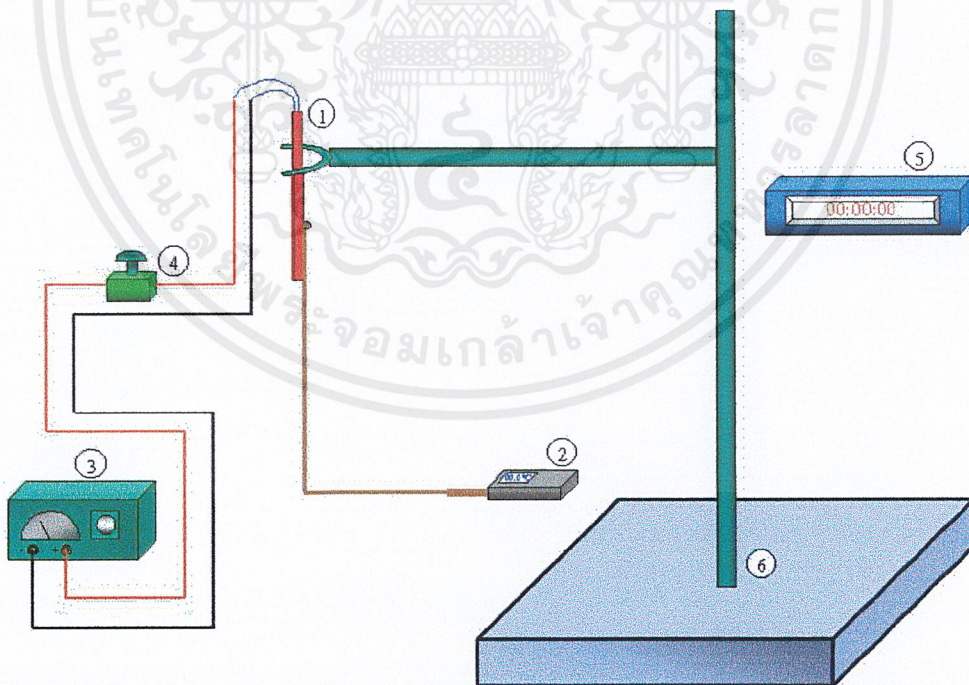
อุปกรณ์การทดสอบ

1. หัวให้ความร้อน (Heater probe) ที่มีความต้านทาน 16 โอห์ม, 11 โอห์ม และ 9 โอห์ม
2. เครื่องวัดอุณหภูมิดิจิทัลแบบเทอร์โมคัปเปิล type K รุ่น Digicon DP-50 (-50 °C ~ 750 °C)
3. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power supply) ขนาด 9 โวลต์
4. สายไฟเชื่อมต่อและสวิตช์มือแบบกด
5. นาฬิกาจับเวลาแบบดิจิทัล
6. ขาตั้งพร้อมอุปกรณ์จับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดสอบ

1. ทำการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบตามรูปที่ 4.2
2. ทำการทดสอบ ณ อุณหภูมิห้อง โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้
 - 2.1 ติดตั้งหัวให้ความร้อนความต้านทาน 16 โอห์ม
 - 2.2 ทำการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 9 โวลต์ โดยกดสวิตช์ให้อยู่ตำแหน่ง ON เป็นระยะเวลา 5 วินาที แล้วหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าโดยกดสวิตช์ให้อยู่ที่ OFF
 - 2.3 ทำการอ่านค่าอุณหภูมิหัวให้ความร้อนทันทีที่เวลาครบ 5 วินาที
 - 2.4 ทำการทดสอบซ้ำจำนวน 3 ครั้ง จากขั้นตอน 2.2 – 2.3 โดยทำการทดลองแต่ละครั้งระยะเวลาห่างกัน 2 นาที
 - 2.5 ทำการทดลองเหมือนขั้นตอนที่ 2.2 – 2.4 แต่เปลี่ยนเวลาการทดสอบเป็น 6, 7, 8, 9 และ 10 วินาที ตามลำดับ
 - 2.6 ทำการทดลองเหมือนขั้นตอนที่ 2.1 – 2.5 โดยเปลี่ยนหัวให้ความร้อนที่มีความต้านทาน 11 โอห์ม และ 9 โอห์ม ตามลำดับ
3. วิเคราะห์ผลการทดสอบ



รูปที่ 4.2 การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบอุณหภูมิหัวให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบ

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดอุณหภูมิหัวให้ความร้อนที่มีความต้านทาน 16 โอห์ม เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงเป็นเวลาต่าง ๆ กัน

ช่วงเวลา (วินาที)	อุณหภูมิหัวให้ความร้อน (°C)			
	ทดสอบครั้งที่ 1	ทดสอบครั้งที่ 2	ทดสอบครั้งที่ 3	เฉลี่ย
5	32	33	35	33.33
6	40	40	40	40
7	41	43	41	41.67
8	44	42	44	43.33
9	44	45	43	44
10	48	48	45	47

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดอุณหภูมิหัวให้ความร้อนที่มีความต้านทาน 11 โอห์ม เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงเป็นเวลาต่าง ๆ กัน

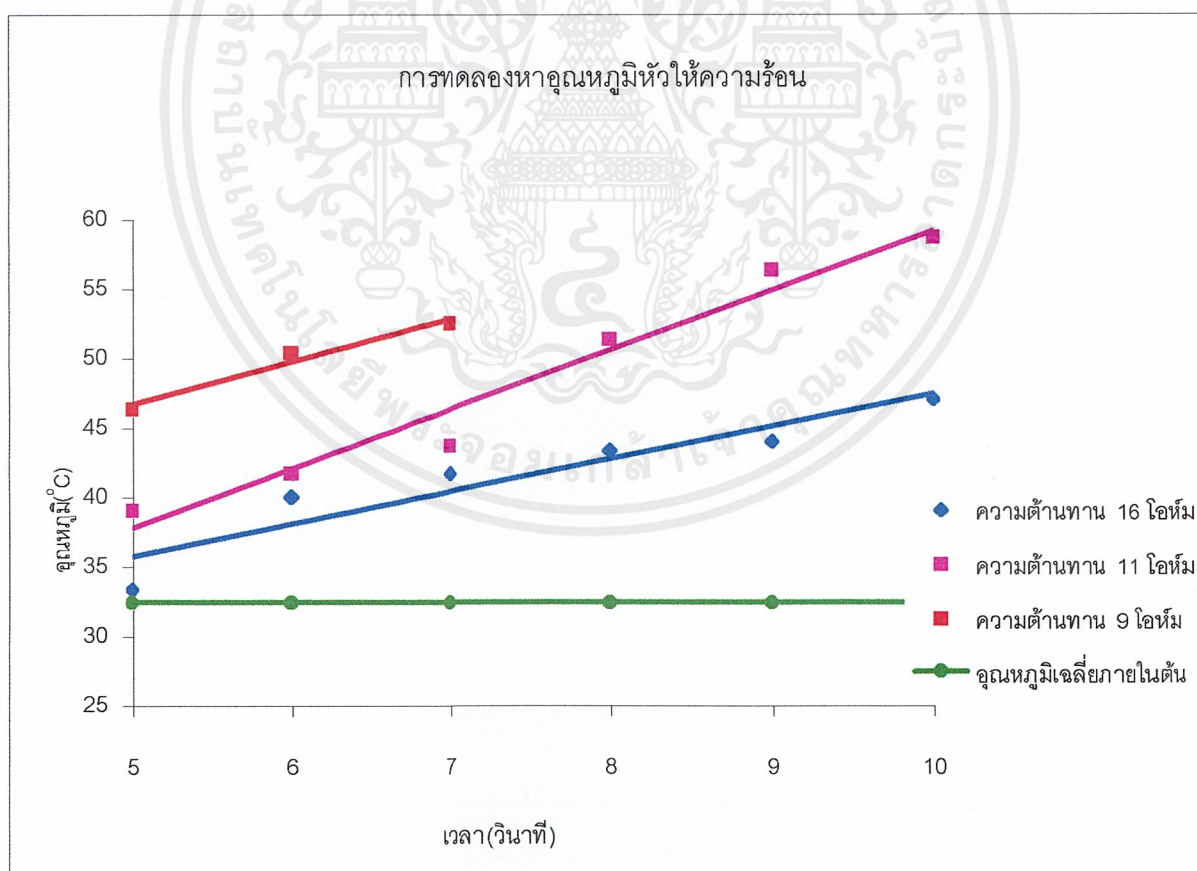
ช่วงเวลา (วินาที)	อุณหภูมิหัวให้ความร้อน (°C)			
	ทดสอบครั้งที่ 1	ทดสอบครั้งที่ 2	ทดสอบครั้งที่ 3	เฉลี่ย
5	39	39	39	39
6	41	41	43	41.67
7	44	44	43	43.67
8	53	50	51	51.33
9	59	54	56	56.33
10	58	61	57	58.67

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดอุณหภูมิหัวให้ความร้อนที่มีความต้านทาน 9 โอห์ม เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงเป็นเวลาต่าง ๆ กัน

ช่วงเวลา (วินาที)	อุณหภูมิหัวให้ความร้อน (°C)			
	ทดสอบครั้งที่ 1	ทดสอบครั้งที่ 2	ทดสอบครั้งที่ 3	เฉลี่ย
5	47	46	46	46.33
6	53	49	49	50.33
7	54	51	*	52.5
8	*	*	*	*
9	*	*	*	*
10	*	*	*	*

หมายเหตุ * คือ ขดลวดความร้อนของหัวให้ความร้อนขาด ไม่สามารถวัดค่าได้

วิเคราะห์ผลการทดสอบ



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงอุณหภูมิของหัวให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

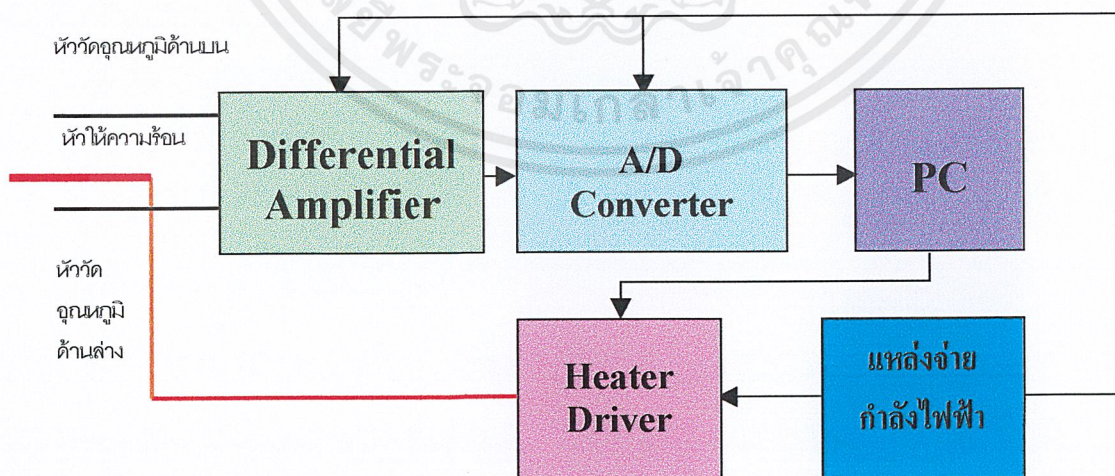
สรุปผลการทดสอบ

1. เมื่อพิจารณากราฟอุณหภูมิของหัวให้ความร้อน จะพบว่าอุณหภูมิของหัวให้ความร้อนขึ้นอยู่กับเวลาที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับขดลวดนิโครมและค่าความต้านทานของขดลวดนิโครม
 2. ขดลวดนิโครมที่มีความต้านทานต่ำจะให้อุณหภูมิสูงในเวลาอันสั้น แต่ขาดได้ง่าย ดังนั้นจึงควรเลือกขนาดขดลวดนิโครมที่มีความต้านทานสูง คือ 16 โอห์ม
 3. ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการพัลส์ความร้อนของขดลวดนิโครม 16 โอห์ม คือ 10 วินาที ซึ่งทำให้หัวให้ความร้อนมีอุณหภูมิประมาณ 47°C เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในต้นไม้แล้วมีค่าสูงกว่าประมาณ 14°C ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่เหมาะสมในการออกแบบเบื้องต้น
- ดังนั้น ในการออกแบบชุดของหัวให้ความร้อนจึงเลือกใช้เวลาในการพัลส์ความร้อนเป็นเวลา 10 วินาที และหัวให้ความร้อนขนาด 16 โอห์ม มาตรฐานชุดของหัววัด (Probeset) ของเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นไม้พืชโดยใช้เทคนิคของพัลส์ความร้อน

บทที่ 5

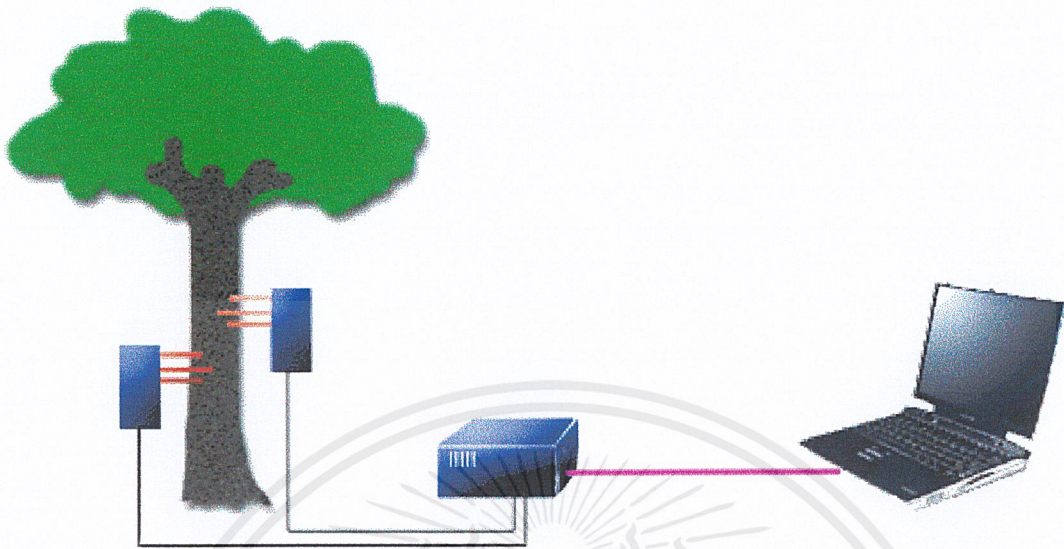
การออกแบบและสร้างเครื่องทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

5.1 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์



รูปที่ 5.1 โครงสร้างของเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นไม้พืช

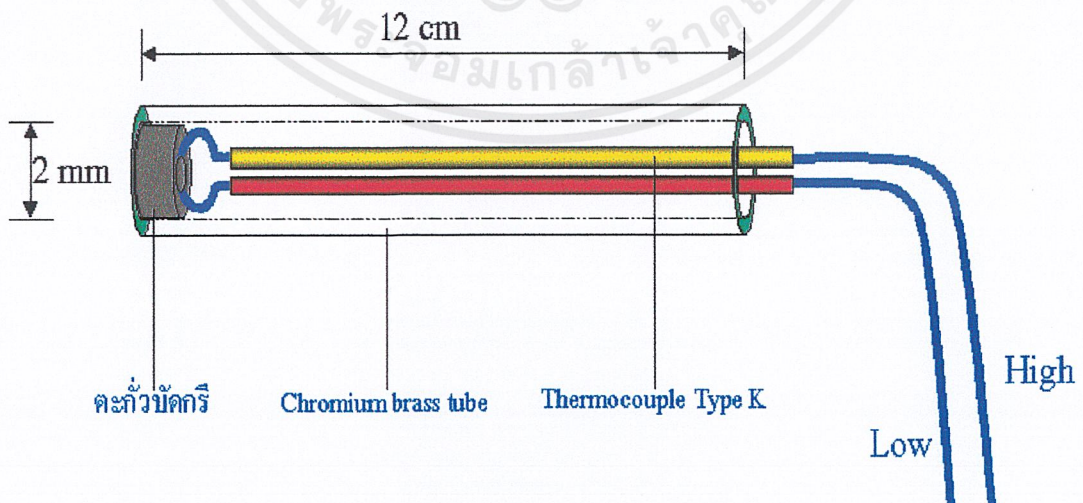
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 การติดตั้งและการใช้งานเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นไม้ที่ออกแบบ

5.1.1 หัววัดอุณหภูมิด้านบนและด้านล่าง (Upper and Lower temperature sensor probe)

เป็นเทอร์โมคัปเปิล type K มีเส้นผ่าศูนย์กลางกลาง 1.53 มิลลิเมตร ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิภายในเนื้อไม้ อยู่ด้านบนและด้านล่างของหัวให้ความร้อน เทอร์โมคัปเปิลแต่ละตัวถูกบรรจุอยู่ในท่อทองเหลืองชุบผิวโครเมียม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกลาง 2 มิลลิเมตร ยาว 12 เซนติเมตร

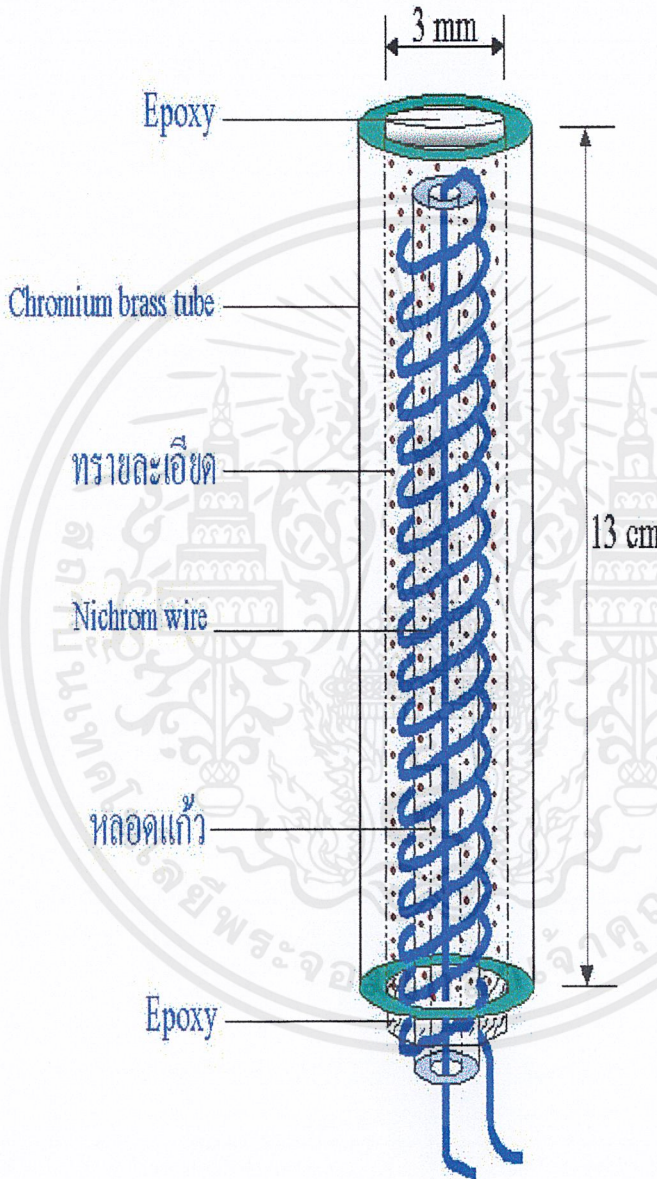


รูปที่ 5.3 ส่วนประกอบของหัววัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 หัวให้ความร้อน (Heater probe)

เป็นขดลวดความร้อน ทำจากลวดนิโครม เบอร์ 30 ยาว 1 เมตร ที่มีความต้านทาน 16 โอห์ม พันรอบแกนหลอดแก้วใส ทนไฟ แล้วบรรจุในท่อทองเหลืองชุบผิวโครเมียมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ยาว 13 เซนติเมตร ทำหน้าที่จ่ายพัลส์ความร้อนให้กับต้นพืช

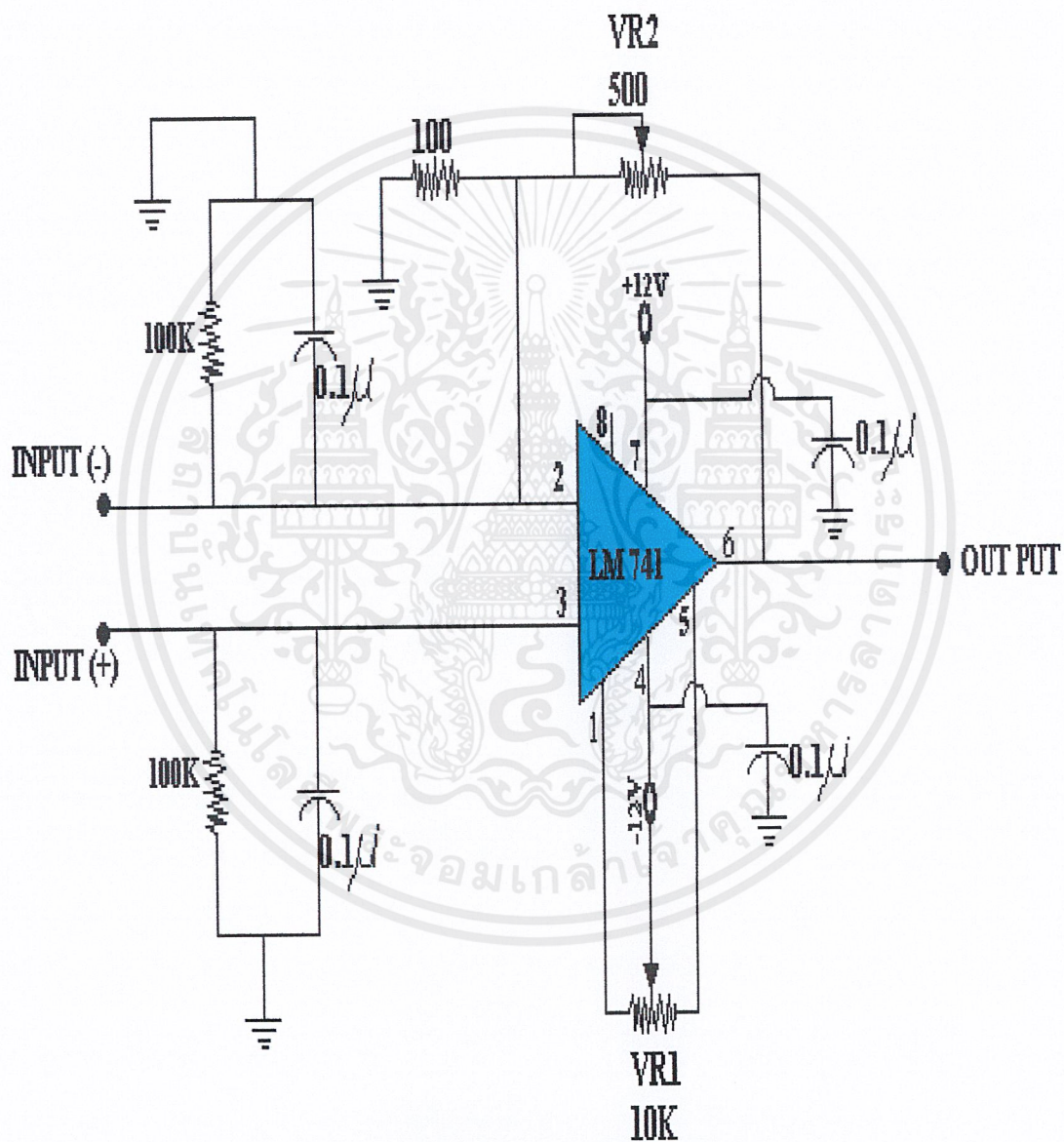


รูปที่ 5.4 ส่วนประกอบของหัวให้ความร้อนที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 วงจรขยายแรงดัน (Differential amplifier)

เป็นวงจขยายชนิด Non-inverting ที่มีอัตราขยาย 6 เท่า ออกแบบให้มีภาคเดียวโดยใช้ ไอซีเบอร์ LM 741 ทำหน้าที่ขยายแรงดันที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองของหัววัดอุณหภูมิด้านบน และด้านล่างของชุดหัววัด



รูปที่ 5.5 แสดงวงขยายแรงดันที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 วงจร A/D Converter

ทำหน้าที่แปลงแรงดันอะนาล็อกที่ได้จากวงจร Differential amplifier ให้เป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 8 บิต จำนวน 4 ช่อง เพื่อป้อนให้กับคอมพิวเตอร์ โดยใช้ไอซีเบอร์ PCF8591 ที่เป็นอุปกรณ์บัส I²C บนบอร์ด ST-29 ถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ให้ทำการแปลงข้อมูลทุก ๆ 0.25 วินาที สามารถรับแรงดันได้ในช่วง 0-5 V

5.1.5 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

เป็นคอมพิวเตอร์ PC ที่มีพอร์ตอนุกรมอย่างน้อย 1 พอร์ต ติดตั้งระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 95/98 ขึ้นไป ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลกลาง ควบคุมให้เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชทำงานตามต้องการ อาทิ ควบคุมช่วงเวลาจ่ายกระแสให้กับขดลวดความร้อน จับเวลาเพื่อหาค่า₀ รับข้อมูลผ่านทางคีย์บอร์ดและแสดงผลไปยังจอภาพ

5.1.6 Heater driver

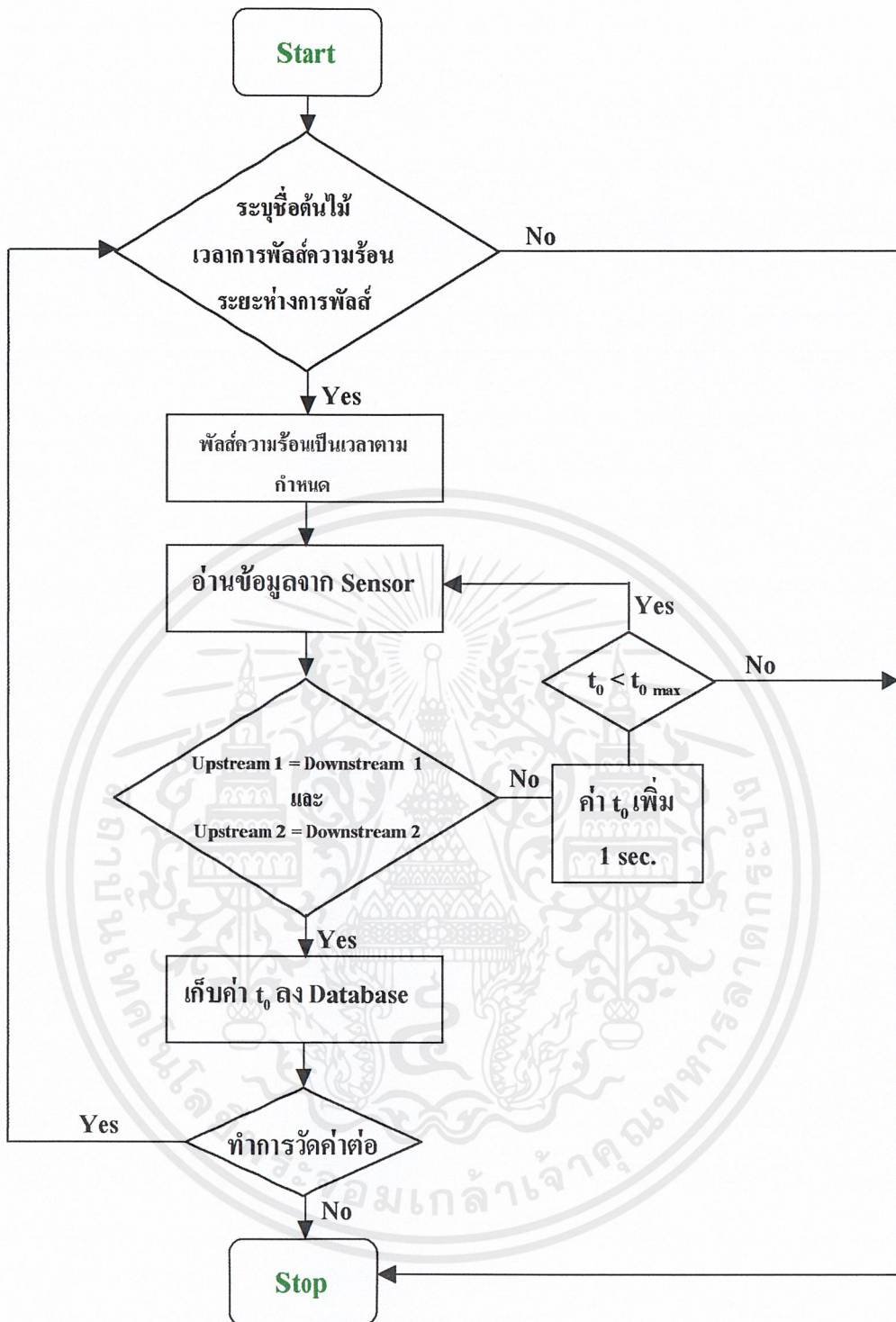
ใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC547 เป็นตัวขับให้รีเลย์บนบอร์ด ST-29 ให้ทำงานเพื่อจ่ายกระแสให้กับขดลวดความร้อนเป็นเวลา 17 วินาที โดยถูกสั่งงานมาจากคอมพิวเตอร์

5.1.7 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

ใช้แบตเตอรี่ 12 โวลต์ 2.3 Ah จำนวน 4 ก้อนและ 5 โวลต์ 0.8 Ah จำนวน 1 ก้อน สามารถประจุไฟใหม่ได้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับ วงจรขยายแรงดัน ขดลวดความร้อนของหัวให้ความร้อน บอร์ด ST-29 และ Heater driver

5.2 การออกแบบทางด้านซอฟต์แวร์

ซอฟต์แวร์ของระบบเขียนด้วยภาษา Visual Basic โดยมีผังงานของโปรแกรม ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 แสดงผังงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดลอง

เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพีช โดยใช้เทคนิคของพัลส์ความร้อนที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น (AE1-KMITL) มีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 6.1 เมื่อได้ทดสอบให้เครื่องทำงาน ปรากฏว่าเครื่อง สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้



รูปที่ 6.1 เครื่อง AE1-KMITL

จึงทำการทดสอบเครื่องในการหาค่าเวลาหน่วงที่มากที่สุด ($t_{0\max}$) ในเนื้อไม้ที่ไม่มีการไหลของน้ำของพีชตัวอย่างที่จะนำเครื่อง AE1-KMITL ไปทำการวัดอัตราการไหล และการนำไปใช้วัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพีชซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้

6.1 การทดสอบหาค่าเวลาหน่วงที่มากที่สุด ($t_{0\max}$)

ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเลือกใช้พีชตัวอย่างสองชนิด คือ ขนุนและมะม่วง โดยนำกิ่งสดของลำต้นขนุนและมะม่วงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 เซนติเมตร ความยาว 50 เซนติเมตร มาทำการทดสอบหาค่า $t_{0\max}$ โดยติดตั้งชุดของหัววัดของเครื่อง AE1-KMITL ทั้งสองชุด ปักเข้าไปในเนื้อไม้ส่วนกระพี้ที่ระดับความลึก 15 มิลลิเมตร จากเปลือกของกิ่งสด จากนั้นกำหนดให้เครื่อง AE1-KMITL ทำการพัลส์ความร้อนเป็นเวลา 17 วินาที ระยะห่างการพัลส์ 420 วินาที ขึ้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนนี้ยังไม่กำหนดค่า $t_{0\max}$ ของตัวโปรแกรม ซึ่งเครื่องจะทำการวัดหาค่า t_0 ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะวัดค่าได้จึงจะหยุดการทำงาน เมื่อกำหนดค่าเวลาการพัลส์และระยะห่างการพัลส์แล้วสั่งให้เครื่องเริ่มทำงานวัดค่า t_0 และบันทึกค่า ทำการวัดซ้ำจำนวน 10 ครั้ง แล้วทำการหาค่า $t_{0\max}$ ของต้นขนุนและมะม่วงจากค่าเฉลี่ย

6.2 การวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช

ทำการวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชในสภาพแปลงปลูกของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้ต้นขนุนและต้นมะม่วงอย่างละ 2 ต้น เป็นพืชตัวอย่างในการทดลองโดยที่ลักษณะทางกายภาพของพืชทั้งสองชนิด แสดงในตารางที่ 6.1

ลักษณะทางกายภาพ	พืชตัวอย่าง			
	ขนุน		มะม่วง	
	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2
อายุ (ปี)	8	8	7	7
เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น (เซนติเมตร)	7.96	10.18	7.00	11.46
ความสูง (เมตร)	5.60	4.70	3.82	6.00
ความกว้างทรงพุ่ม (เมตร)	2.30	3.00	2.00	2.10

ตารางที่ 6.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของพืชที่ทำการทดสอบ

ทำการติดตั้งชุดหัววัดของเครื่อง AE1-KMITL บริเวณลำต้นตำแหน่งประมาณกึ่งกลางระหว่างพีดินกับชายพุ่มด้านล่าง ที่ระดับความลึก 15 มิลลิเมตร จากเปลือกไม้ กำหนดให้เครื่องทำการพัลส์ความร้อนเป็นเวลา 17 วินาที ระยะห่างการพัลส์ 420 วินาที และค่า $t_{0\max}$ ที่เหมาะสมของพืชทั้งสองชนิด หลังจากนั้นให้เครื่องทำการวัดและบันทึกค่า t_0 ทุกชั่วโมงในช่วงเวลา 9:00-17:00 น.ของแต่ละวัน แล้วทำการหาความหนาแน่นเนื้อไม้ส่วนกระพี้ ความชื้นของเนื้อไม้สดส่วนกระพี้ รัศมีของแก่นไม้ และรัศมีของเปลือกไม้ด้านใน เป็นส่วนประกอบกับค่า t_0 สำหรับให้เครื่อง AE1-KMITL คำนวณค่าอัตราการไหลของน้ำ

บทที่ 7

ผลการทดลองและวิจารณ์

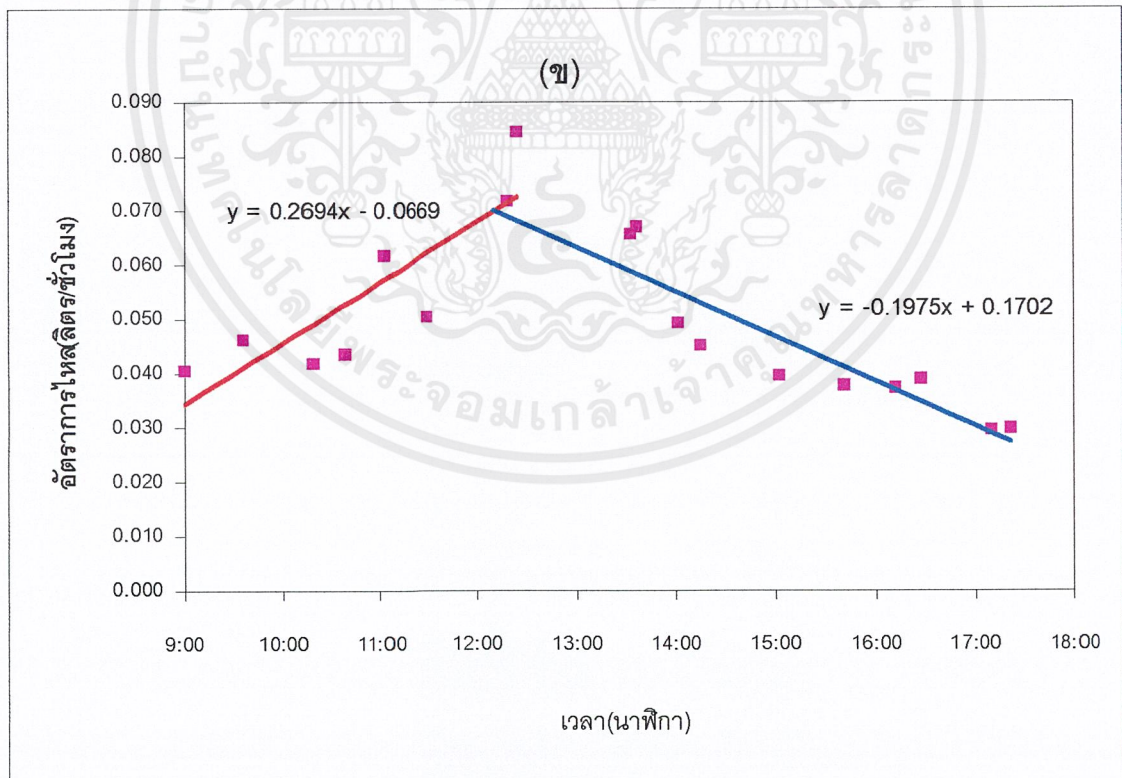
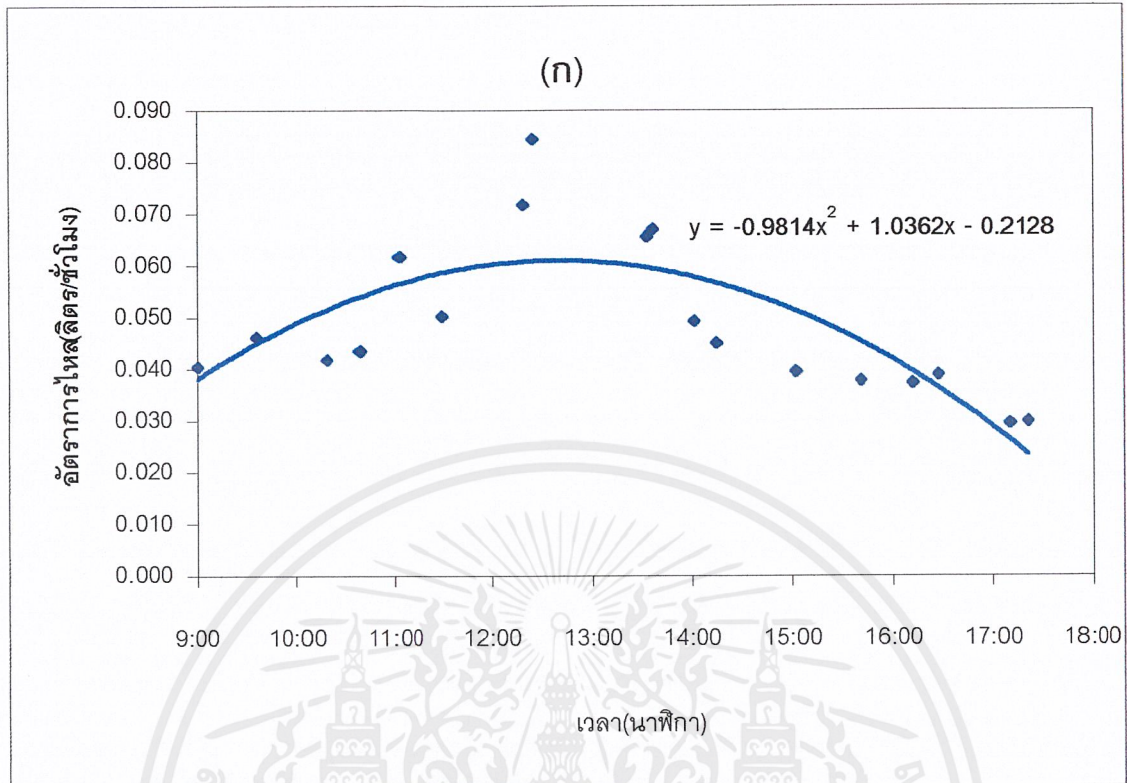
7.1 การทดสอบหาค่าเวลาหน่วงที่มากที่สุด ($t_{0\max}$)

ตารางที่ 7.1 แสดงค่า t_0 ที่วัดได้จากเครื่อง AE1-KMITL พบว่าค่า $t_{0\max}$ ที่เป็นค่าเวลาหน่วงที่มากที่สุดของเนื้อไม้ขนุนและเนื้อไม้มะม่วงที่ไม่มีกรไหลของน้ำภายในลำต้น มีค่าเท่ากับ 141.0 และ 157.3 วินาที ตามลำดับ จะเห็นว่าพืชต่างชนิดกันมีค่า $t_{0\max}$ ต่างกัน ค่า $t_{0\max}$ ที่หาได้นี้จะนำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดค่า $t_{0\max}$ ของตัวโปรแกรมเพื่อใช้ตรวจสอบการเกิดความผิดปกติในการวัดค่า t_0 ของการนำเครื่อง AE1-KMITL ไปวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นขนุนและต้นมะม่วง ตามลำดับ

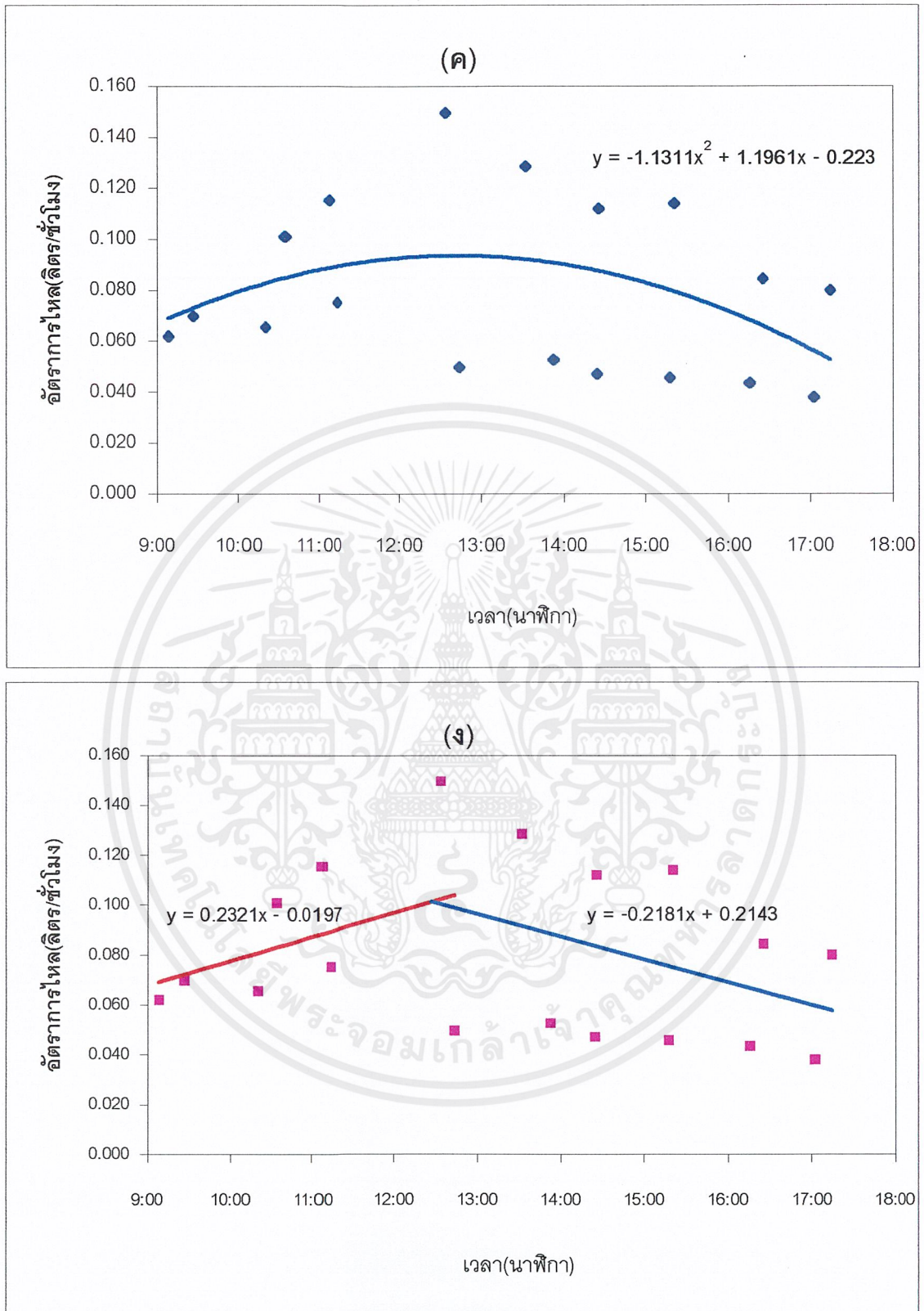
ครั้งที่วัด	ค่า t_0 ของเนื้อไม้ตัวอย่าง (วินาที)	
	ขนุน	มะม่วง
1	147.0	172.5
2	158.0	165.0
3	160.0	148.5
4	155.0	137.5
5	173.0	139.5
6	127.0	141.0
7	123.0	172.0
8	119.0	205.0
9	115.0	138.0
10	133.0	154.0
เฉลี่ย ($t_{0\max}$)	141.0	157.3

ตารางที่ 7.1 ค่า t_0 ที่วัดได้จากเครื่อง AE1-KMITL ในเนื้อไม้ตัวอย่างที่ไม่มีกรไหลของน้ำ

7.2 การวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพีช



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.1 (ก), (ค) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำในต้นขนุนและมะม่วง กับเวลา ช่วง 9:00 – 17:00 น.

ตามลำดับ

(ข),(ง) แสดงอัตราการเพิ่มขึ้นและลดลงของอัตราการไหลของน้ำในต้นขนุนและมะม่วง ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 7.1 พบว่าอัตราการไหลของน้ำในต้นขนุนมีแนวโน้มเป็นเส้นโค้งพาราโบลาบอกว่า ดังสมการ $y = -0.9814x^2 + 1.0362x - 0.2128$ เมื่อเริ่มต้นการทดลอง มีอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 0.0377 ลิตร/ชั่วโมง และมีค่าเพิ่มขึ้น เท่ากับ 0.2694 ลิตร/ชั่วโมง ทุก ๆ เวลา 1 ชั่วโมง จนมีอัตราการไหลของน้ำสูงสุด เท่ากับ 0.0607 ลิตร/ชั่วโมงที่เวลา 12:40 น. หลังจากนั้นอัตราการไหลของน้ำลดลง เท่ากับ 0.1975 ลิตร/ชั่วโมง ทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนมีอัตราการไหลของน้ำ เท่ากับ 0.02878 ลิตร/ชั่วโมง ที่เวลาสิ้นสุดการทดลอง

และอัตราการไหลของน้ำในต้นมะม่วงมีแนวโน้มเป็นเส้นโค้งพาราโบลาบอกว่า ดังสมการ $y = -1.1311x^2 + 1.1961x - 0.223$ เมื่อเริ่มต้นการทดลอง มีอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 0.066 ลิตร/ชั่วโมง และมีค่าเพิ่มขึ้น เท่ากับ 0.2321 ลิตร/ชั่วโมง ทุก ๆ เวลา 1 ชั่วโมง จนมีอัตราการไหลของน้ำสูงสุด เท่ากับ 0.0923 ลิตร/ชั่วโมงที่เวลา 12:41 น. หลังจากนั้นอัตราการไหลของน้ำลดลง เท่ากับ 0.2181 ลิตร/ชั่วโมง ทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนมีอัตราการไหลของน้ำ เท่ากับ 0.0567 ลิตร/ชั่วโมง ที่เวลาสิ้นสุดการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลการวัดที่ได้จากเครื่อง AEI-KMITL จะพบว่ามีความสอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้น้ำของต้นพืช คือ ช่วงเวลาเที่ยงวันพืชจะมีอัตราการใช้น้ำที่สูง ส่วนช่วงเช้าและช่วงเย็นพืชจะมีอัตราการใช้น้ำที่ต่ำ

ในช่วงเวลา 9:00 – 17:00 น. หาปริมาณการใช้น้ำของต้นขนุนและมะม่วง ด้วยวิธีหาพื้นที่ใต้กราฟ พบว่า มีปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ย เท่ากับ 0.389 และ 0.667 ลิตร ตามลำดับ ดังนั้น การให้น้ำแก่ต้นขนุนและมะม่วงที่น้อยกว่านี้อาจส่งผลให้พืชขาดน้ำ ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้

บทที่ 8

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

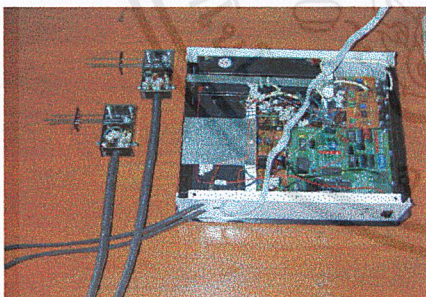
8.1 สรุปผล

จากโครงสร้างของตัวเครื่องที่ทำการออกแบบ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ซอฟต์แวร์ และ ฮาร์ดแวร์ ซึ่งซอฟต์แวร์เขียนด้วยภาษา Visual Basic ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่อง AE1-KMITL และประมวลผลเป็นอัตราการไหลของน้ำในต้นพีช สำหรับในส่วนฮาร์ดแวร์ ประกอบด้วย ชุดของหัววัดอุณหภูมิและส่วนที่เป็นวงจรถวลีกรรณิกส์ ที่ทำหน้าที่ ขยายแรงดัน แปลงสัญญาณ อนุบาลอกเป็นดิจิตอล และพัลส์ความร้อน

จากการทดสอบเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพีชโดยใช้เทคนิคของพัลส์ความร้อน กับพีชตัวอย่างสองชนิด พบว่า ค่าที่ได้จากการวัดมีความสอดคล้องกับพฤติกรรมความต้องการน้ำของต้นพีช ซึ่งแสดงว่าเครื่องสามารถนำไปใช้วัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพีชได้ตามที่ออกแบบไว้

8.2 ข้อเสนอแนะ

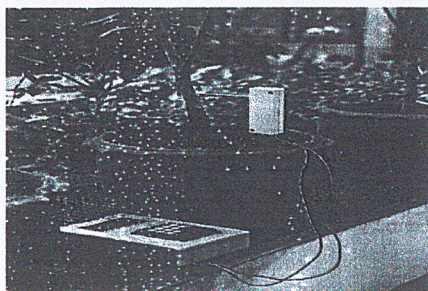
ในการทดสอบเปรียบเทียบเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพีช โดยใช้เทคนิคของพัลส์ความร้อน ควรทำการเปรียบเทียบกับเครื่องที่มีลักษณะการทำงานที่อาศัยหลักการเดียวกัน อาทิ เช่น เครื่องของบริษัทกรีนสเปน (เครื่องจากต่างประเทศ) และ เครื่อง PSU-NECTEC1 (เครื่องของ NECTEC) เป็นต้น



เครื่อง AE1-KMITL



เครื่อง Green Span



เครื่อง PSU-NECTEC1

รูปที่ 8.1 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพีชโดยใช้เทคนิคของพัลส์ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม Sapflow Sensor 1.0

การหาค่า t_0

1. คลิกที่ปุ่ม Start Menu
2. เลือก Program > Sapflow Sensor 1.0
3. เมื่อปรากฏหน้าต่างของโปรแกรม Sapflow Sensor 1.0 แล้ว ให้ทำการใส่ข้อมูลเพื่อหาค่าเวลา t_0 คือ ชื่อพีช ระยะเวลาพัลส์ และช่วงห่างเวลาพัลส์
4. คลิกที่ปุ่ม Start เพื่อทำการพัลส์ความร้อนและหาค่า t_0
5. เมื่อโปรแกรมตรวจสอบพบว่าค่าข้อมูลของ Upstream และ Downstream ของชุดหัววัดเท่ากัน โปรแกรมจะทำการเก็บค่าเวลา t_0 ไว้ในฐานข้อมูล
6. คลิกที่ปุ่ม Stop เมื่อต้องการหยุดการทำงานของโปรแกรม

การคำนวณหาค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพีช

1. คลิกที่ปุ่ม Start Menu
2. เลือก Program > Sapflow Sensor 1.0
3. เมื่อปรากฏหน้าต่างของโปรแกรม Sapflow Sensor 1.0 แล้ว ใส่ข้อมูลผลการทดลองต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพีช คือ ค่ารัศมีแก่นไม้ รัศมีของเปลือกด้านใน ค่าความชื้นเนื้อไม้ และความหนาแน่นเนื้อไม้ พร้อมทั้งระบุชื่อพีชและวันที่ทำการทดลอง
4. คลิกที่ปุ่ม OK โปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพีช
5. เมื่อต้องการจัดการเกี่ยวกับฐานข้อมูลของค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพีช สามารถทำได้ โดยการเรียกใช้แฟ้มชื่อ SapflowData.mdb ภายในไดเรกทอรี C:\Program Files\Sapflow ซึ่งเป็นแฟ้มข้อมูล Microsoft Access

โปรแกรมคำนวณค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช Sapflow Sensor 1.0

โปรแกรมคำนวณค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช

File Help

พืช ระยะเวลาพัลส์ sec. ช่วงห่างเวลาพัลส์ sec.

Probeset 1 Probeset 2

Downstream

Upstream

Delay Time

Average Delay Time

วันที่

พืช

รัศมีแกนไม้ mm.

รัศมีเปลือกด้านใน mm.

ความชื้น decimal

ความหนาแน่น g/cm³

Date	Time	Plant	Delay time	Heart Rad	Sap Rad	Moisture	Density	Sapflow (L/hr)
14/1/2545	18:12:00	ขหนูง3	52.0	1	12.9	.87	.23	.074
14/1/2545	18:16:44	ขหนูง3	84.0	1	12.9	.87	.23	.046
15/1/2545	7:32:05	มะม่วง2	172.5	1.5	15.1	1.52	.27	.055
15/1/2545	7:44:01	มะม่วง2	165.0	1.5	15.1	1.52	.27	.058
15/1/2545	7:58:06	มะม่วง2	109.0	1.5	15.1	1.52	.27	.088
15/1/2545	8:16:33	มะม่วง2	148.5	1.5	15.1	1.52	.27	.064
15/1/2545	8:28:10	มะม่วง2	80.5	1.5	15.1	1.52	.27	.119
15/1/2545	8:39:08	มะม่วง2	127.5	1.5	15.1	1.52	.27	.075
15/1/2545	9:13:23	มะม่วง2	95.0	1.5	15.1	1.52	.27	.101

Agricultural Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)

รูปที่ ก. โปรแกรมคำนวณค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Program Control

Dim StartTime, TimePls, StartPse, TimePse, t0MAX, DHeat, Dstart As Integer

Dim DTime1, DTime2 As Integer

Dim V, t0, M, P, J, R, H, Q As Double

Const Xd = 10, Xu = 5

Private Sub Toolbar1_ButtonClick(ByVal Button As MSComctlLib.Button)

End Sub

Private Sub MenuClose_Click(Index As Integer)

End Sub

Private Sub MenuFlie_Click()

End Sub

Private Sub ClearFrame1_Click()

Plant.Text = ""

TimePulse.Text = ""

IntervalTime.Text = ""

End Sub

Private Sub Sendout(B As Integer)

Call I2CStart 'Start

Call Send8BIT(&H70) 'Send Control Word

Call Ack 'Acknowledge

Call Send8BIT(B) 'Send Data

Call Ack 'Acknowledge

Call I2CStop 'Stop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

End Sub

Private Sub Send8BIT(Add As Integer)

```

For I = 7 To 0 Step -1      ' Loop 7 Cycle
    If (Add And 2 ^ I) = 2 ^ I Then 'Test Bit 0 OR 1
        Call Send1
    Else
        Call send0
    End If
Next I
End Sub

```

Private Function DAT()

```

For I = 7 To 0 Step -1
    MSComm1.RTSEnable = True    'SDA=1
    MSComm1.DTREnable = True    'SCL=1
    If Not MSComm1.CTSHolding Then 'Read SDA
        DAT1 = 2 ^ I Or DAT1
    End If
    MSComm1.DTREnable = False    'SCL=0
Next I
DAT = DAT1      'Data 8 Bit
End Function

```

Private Sub I2CStart()

```

MSComm1.RTSEnable = True 'SDA=1
MSComm1.DTREnable = True 'SCL=1
MSComm1.RTSEnable = False 'SDA=0
MSComm1.DTREnable = False 'SCL=0
End Sub

```

Private Sub I2CStop()

```

MSComm1.RTSEnable = False 'SDA=0
MSComm1.DTREnable = True 'SCL=1
MSComm1.RTSEnable = True 'SDA=1
End Sub

```

Private Sub send0()

MSComm1.RTSEnable = False 'SDA=0

MSComm1.DTREnable = True 'SCL=1

MSComm1.DTREnable = False 'SCL=0

End Sub

Private Sub Send1()

MSComm1.RTSEnable = True 'SDA=1

MSComm1.DTREnable = True 'SCL=1

MSComm1.DTREnable = False 'SCL=0

End Sub

Private Sub Ack()

MSComm1.RTSEnable = True 'SDA=1

MSComm1.DTREnable = True 'SCL=1

MSComm1.DTREnable = False 'SCL=0

End Sub

Private Sub MAck()

MSComm1.RTSEnable = False 'SDA=0

MSComm1.DTREnable = True 'SCL=1

MSComm1.DTREnable = False 'SCL=0

MSComm1.RTSEnable = True 'SDA=1

End Sub

Private Sub Command1_Click()

End Sub

Private Sub Form_Load()

If Adodc1.Recordset.RecordCount = 0 Then

ClearData.Enabled = False

Else

ClearData.Enabled = True

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

End If

    MSComm1.PortOpen = True
If Adodc2.Recordset.EOF = False Then
With Adodc2.Recordset
    .MoveFirst
    Tmax.Text = .Fields("DelayMax")
    DelayHeat.Text = .Fields("Delay")
    TimePulse.Text = .Fields("PulseRange")
    IntervalTime.Text = .Fields("PulseInterval")
End With
End If
Call Sendout(0)
End Sub

Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
If TimePulse.Text <> "" And IntervalTime.Text <> "" Then
    If Adodc2.Recordset.EOF = False Then
        With Adodc2.Recordset
            .MoveFirst
            .Fields("PulseRange") = TimePulse.Text
            .Fields("PulseInterval") = IntervalTime.Text
        End With
    End If
End If
End If

    If MSComm1.PortOpen Then MSComm1.PortOpen = False
End Sub

Private Sub MenuExit_Click()
    Unload Me
End Sub

```

```

Private Sub MenuAbout_Click()
    MsgBox "Agricultural Engineering Project 2001 KMITL", vbOKOnly, ""
End Sub

Private Sub MenuOption_Click()
    Frame9.Visible = True
End Sub

Private Sub MenuRefresh_Click()
    Call Sendout(0)
End Sub

Private Sub OkHeat_Click()
    If Adodc2.Recordset.EOF = False Then
        With Adodc2.Recordset
            .MoveFirst
            .Fields("DelayMax") = Tmax.Text
            .Fields("Delay") = DelayHeat.Text
        End With
    End If
    Frame9.Visible = False
End Sub

Private Sub CancelHeat_Click()
    If Adodc2.Recordset.EOF = False Then
        With Adodc2.Recordset
            .MoveFirst
            Tmax.Text = .Fields("DelayMax")
            DelayHeat.Text = .Fields("Delay")
        End With
    End If
    Frame9.Visible = False
End Sub

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Timer1_Timer()
```

```
    Call I2CStart
```

```
    Call Send8BIT(&H90)
```

```
    Call Ack
```

```
    Call Send8BIT(&H45)
```

```
    Call Ack
```

```
    Call I2CStop
```

```
    Call I2CStart
```

```
    Call Send8BIT(&H91)
```

```
    Call Ack
```

```
    DownSteam1.Text = Round((DAT * 5) / 255, 3)
```

```
    Call MAck
```

```
    UpSteam1.Text = Round((DAT * 5) / 255, 3)
```

```
    Call MAck
```

```
    DownSteam2.Text = Round((DAT * 5) / 255, 3)
```

```
    Call MAck
```

```
    UpSteam2.Text = Round((DAT * 5) / 255, 3)
```

```
    Call Ack
```

```
    Call I2CStop
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Start_Click()
```

```
    If Plant.Text = "" Or TimePulse.Text = "" Or IntervalTime.Text = "" Then
```

```
        MsgBox "Please enter the value of Plant, Pulse time and Interval time before start process",
```

```
        vbOKOnly + vbExclamation, "Warning"
```

```
    Else
```

```
        StartTime = 1
```

```
        StartPse = 0
```

```
        TimePls = Val(TimePulse.Text)
```

```
        TimePse = Val(IntervalTime.Text)
```

```
        DTime1 = TimePls
```

```
        DTime2 = TimePls
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DHeat = Val(DelayHeat.Text)
Dstart = 0
t0MAX = Val(Tmax.Text)
HeatStatus.BackColor = &HFF
Call Sendout(1)
Stopp.Enabled = True
TimerPulse.Enabled = True
Start.Enabled = False
End If
End Sub

```

```

Private Sub Stopp_Click()
TimerPulse.Enabled = False
TimerDelay1.Enabled = False
TimerDelay2.Enabled = False
TimerPause.Enabled = False
TimerDelayHeat = False
Start.Enabled = True
DelayTime1.Text = ""
DelayTime2.Text = ""
AverageTime.Text = ""
StartTime = 1
StartPse = 1
DTime1 = TimePls
DTime2 = TimePls
HeatStatus.BackColor = &H80FF80
Stopp.Enabled = False
Call Sendout(0)
End Sub

```

```
Private Sub TimerPulse_Timer()
```

```
  If StartTime < TimePls Then
```

```
    HeatStatus.BackColor = &HFF
```

```
    DelayTime1.Text = StartTime
```

```
    DelayTime2.Text = StartTime
```

```
    StartTime = StartTime + 1
```

```
  Else
```

```
    TimerDelayHeat = True
```

```
    DelayTime1.Text = StartTime
```

```
    DelayTime2.Text = StartTime
```

```
    HeatStatus.BackColor = &H80FF80
```

```
    TimerPulse.Enabled = False
```

```
    Call Sendout(0)
```

```
  End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub TimerDelayHeat_Timer()
```

```
  If Dstart < DHeat Then
```

```
    Dstart = Dstart + 1
```

```
    DTime1 = DTime1 + 1
```

```
    DTime2 = DTime2 + 1
```

```
    DelayTime1.Text = DTime1
```

```
    DelayTime2.Text = DTime2
```

```
    AverageTime.Text = Str((DTime1 + DTime2) / 2)
```

```
  Else
```

```
    If UpSteam1.Text = DownSteam1.Text Then
```

```
      DelayTime1.Text = DTime1
```

```
    Else
```

```
      DTime1 = DTime1 + 1
```

```
      DelayTime1.Text = DTime1
```

```
      TimerDelay1.Enabled = True
```

```
    End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

If UpSteam2.Text = DownSteam2.Text Then
    DelayTime2.Text = DTime2
Else
    DTime2 = DTime2 + 1
    DelayTime2.Text = DTime2
    TimerDelay2.Enabled = True
End If
If UpSteam1.Text = DownSteam1.Text And UpSteam2.Text = DownSteam2.Text Then
    TimerPause.Enabled = True
    AverageTime.Text = Str((DTime1 + DTime2) / 2)
    With Adodc1.Recordset
        .AddNew
        .Fields("Date") = Date
        .Fields("Time") = Time
        .Fields("Plant") = Plant.Text
        .Fields("Delay time") = AverageTime.Text
    End With
    ClearData.Enabled = True
End If
AverageTime.Text = Str((DTime1 + DTime2) / 2)
TimerDelayHeat.Enabled = False
End If
End Sub

```

```

Private Sub TimerDelay1_Timer()
If DTime1 < t0MAX Then
    If UpSteam1.Text <> DownSteam1.Text Then
        DTime1 = DTime1 + 1
        DelayTime1.Text = DTime1
        AverageTime.Text = Str((DTime1 + DTime2) / 2)
    Else
        TimerDelay1.Enabled = False
    End If
End Sub

```

```

AverageTime.Text = Str((DTime1 + DTime2) / 2)
If TimerDelay2.Enabled = False Then
    With Adodc1.Recordset
        .AddNew
        .Fields("Date") = Date
        .Fields("Time") = Time
        .Fields("Plant") = Plant.Text
        .Fields("Delay time") = AverageTime.Text
    End With
    TimerPause.Enabled = True
    ClearData.Enabled = True
End If
End If
Else
    TimerPause.Enabled = True
    TimerDelay1.Enabled = False
End If
End Sub

Private Sub TimerDelay2_Timer()
If DTime2 < t0MAX Then
    If UpSteam2.Text <> DownSteam2.Text Then
        DTime2 = DTime2 + 1
        DelayTime2.Text = DTime2
        AverageTime.Text = Str((DTime1 + DTime2) / 2)
    Else
        TimerDelay2.Enabled = False
        AverageTime.Text = Str((DTime1 + DTime2) / 2)
        If TimerDelay1.Enabled = False Then
            With Adodc1.Recordset
                .AddNew
                .Fields("Date") = Date

```

```

.Fields("Time") = Time
.Fields("Plant") = Plant.Text
.Fields("Delay time") = AverageTime.Text

End With

TimerPause.Enabled = True

ClearData.Enabled = True

End If

End If

Else

TimerPause.Enabled = True

TimerDelay2.Enabled = False

End If

End Sub

Private Sub TimerPause_Timer()
If StartPse < TimePse - 1 Then
StartPse = StartPse + 1
AverageTime.Text = ""
DelayTime1.Text = ""
DelayTime2.Text = ""
Else
TimePulse.Enabled = True

StartTime = 1

StartPse = 0

Dstart = 0

DTime1 = TimePls

DTime2 = TimePls

TimerPulse.Enabled = True

HeatStatus.BackColor = &HFF

Call Sendout(1)

TimerPause.Enabled = False

End If

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

End Sub

Private Sub Ok_Click()

If DataOfDate.Text = "dd/mm/25.." Then

MsgBox "Please enter the value of date", vbOKOnly + vbExclamation, "Warning"

Else

Adodc1.Recordset.MoveFirst

Do While Not Adodc1.Recordset.EOF

With Adodc1.Recordset

If (.Fields("Date") = DataOfDate.Text) And (.Fields("Plant") = PlantName.Text) Then

.Fields("Moisture") = Moisture.Text

.Fields("Density") = Density.Text

.Fields("Sap Rad") = SapRad.Text

.Fields("Heart Rad") = HeartRad.Text

calculate Q

t0 = .Fields("Delay time")

M = Moisture.Text

P = Density.Text

R = SapRad.Text

H = HeartRad.Text

$V = (X_d / 10 + X_u / 10) / (2 * t_0)$

$J = P * (0.33 + M) * V$

$Q = \text{Round}(3.14 * 3.6 * J * (R * R / 100 - H * H / 100), 3)$

.Fields("Sapflow") = Q

End If

.MoveNext

End With

Loop

If Adodc1.Recordset.EOF Then Adodc1.Recordset.MoveLast

Adodc1.Recordset.Update

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

End If
End Sub

Private Sub Cancel_Click()
    Moisture.Text = ""
    Density.Text = ""
    SapRad.Text = ""
    HeartRad.Text = ""
    PlantName.Text = ""
    DataOfDate.Text = "dd/mm/25.."
End Sub

Private Sub ClearData_Click()
    If MsgBox("This process will delete all data in table. Are you sure?", 52, "Warning") =
vbYes Then
        With Adodc1.Recordset
            .MoveFirst
            Do While Not .EOF
                .Delete
                .MoveFirst
            Loop
        End With
        ClearData.Enabled = False
    End If
End Sub

```

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ ส่วนหนึ่งด้วยคำแนะนำจาก อาจารย์สุตารัตน์ แคว้นเขม็ง นักศึกษาผู้ทำโครงการ ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรทุก ๆ ท่านที่ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในการทำโครงการนี้ และภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้กรุณาอนุเคราะห์เครื่องมือ และสถานที่ทำโครงการ



31 มีนาคม 2545

คณะผู้จัดทำ

นายสมบุญ โสคบั้ง

นายอภิเชษฐ์ พลศักดิ์

เอกสารอ้างอิง

- ชูศักดิ์ ลิ่มสกุล มณฑเทพ เกียรติวีระสกุล และสายัณห์ สดุดี. 2539. วิจัยและพัฒนาเซนเซอร์เพื่อวัดการใช้ น้ำของไม้ผล. รายงานวิจัยเสนอต่อศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. 38 หน้า.
- ชูศักดิ์ ลิ่มสกุล สายัณห์ สดุดี วิษณีย์ ออมทรัพย์สิน และมณฑเทพ เกียรติวีระสกุล. 2543. การพัฒนาเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชและการประยุกต์ใช้งาน. การประชุมวิชาการประจำปี 2543 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 10 หน้า.
- พรจิต ประทุมสุวรรณ. เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม: เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์. กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์, 2536.
- ภูวดล บุตรรัตน์. โครงสร้างภายในของพืช. ไทยวัฒนาพานิช. พิมพ์ครั้งที่ 5. 2541., หน้า 1-46.
- วิทยา ตั้งต่อสกุล. 2542. การเลือกใช้ระบบให้น้ำที่เหมาะสมและการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ. คู่มือซื้อขายเครื่องจักรกลและอุปกรณ์การเกษตร กองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร. 9 หน้า.
- สุนทรียังษ์ชวัลย์. ชดสาดในระบดิน-พืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน. 2535., หน้า 88-108.
- Anonymous. 1992. Sapflow Sensors(version 2), User Manual. Greenspan Technology Pty Ltd., Australia.
- Green, S.R. and Clothier, B.E. 1988. Water use of kiwifruit vines and apple trees by the heat pulse technique. J. Exp. Botany. 39: 115-123.
- Smith, D.M. and Allen, S.J. 1996. Measurement of sap flow in plant stems. J. Exp. Botany 47(305):1833-1844.
- Susan Steinberg, Corndius H.M. van Bevel and Marshall J.McFarland. 1989.” A Gauge to Measure Mass Flow Rate Sap in Stem and Trunks of Woody Plants.” J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114(3),pp. 466-472.
- Swanson, R.H. and Whitfield, D.W.A.1981 “A Numerical Analysis of Heat Pulse Velocity Theory and Practice. J. Exp. Botany.32(126): 221-239.
- Tad. W. Patzek and Dmitriy Silin. 2000,”Numerical simulation of a line heat pulse used as a tracer in the sapflow of oak trees.” University of California Homepage, location <http://www.lamar.colostate.edu/~mryan/sapflow.htm>, California, U.S.A.