สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาและทดสอบเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช โดยเทคนิคพัลส์ความร้อน

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF THE SAPFLOW SENSOR USING THE HEAT PULSE TECHNIQUE

T055713

โดย

นายทรงศักดิ์ ผาจันดา

นายศุภวัฒน์ คำภาบุตร

นายสุริยันต์ โพธิ์ศรี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขหมู่ 55713

เลขทะเบียน

วัน,เดือน,ปี 24 มิ.ย. 2548

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2546

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาและทดสอบเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชโดยเทคนิคพัลส์ความร้อน

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF THE SAPFLOW SENSOR USING THE HEAT PULSE TECHNIQUE

ผู้จัดทำ

1. ทรงศักดิ์ ผาจันดา
2. ศุภวัฒน์ คำภาบุตร
3. สุริยันต์ โพธิ์ศรี

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ สุตาภัทร แคว้นเขาเม็ง)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. สุวณี บุญมั่ง)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. วินัย กล้าจริง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาและทดสอบเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชโดยเทคนิคพัลส์ความร้อน

ทรงศักดิ์ ผาจันดา
ศุภวัฒน์ คำภาบุตร
สุริยันต์ โพธิ์ศรี
สุตาภัทร แคว้นเขาเม็ง อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร.สุวณี บุญมั่ง อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร.วินัย กล้าจริง อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาและทดสอบเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช โดยใช้เทคนิคพัลส์ความร้อน โดยใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมการทำงานของเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช และประมวลผล ค่าที่ได้จากการวัดโปรแกรมจะนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง หากค่าที่วัดได้มีค่าน้อยกว่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง โปรแกรมจะส่งสัญญาณเตือน

ผลการทดลองพบว่า อัตราการไหลของน้ำในต้นพืชที่ใช้ทดลอง คือ มะม่วง ขนุน ชมพู่ ไม่มีการขาดน้ำเพราะว่าค่าที่วัดได้นั้นสูงกว่าปริมาณการใช้น้ำพืชอ้างอิง และปริมาณการใช้น้ำของพืชที่วัดได้มีความสอดคล้องกับความต้องการน้ำของต้นพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF THE SAPFLOW SENSOR USING THE HEAT PULSE TECHNIQUE

Mr. Songsak Phajanda

Mr. Supawat Khamphabut

Mr.Suriyan Posee

Sutapat Kwankaomeng Advisor

Dr. Suwanee Boonmung Advisor

Asist.Prof.Vinai Klajring Advisor

Year 2003

Abstract

This project aimed to develop and evaluate a device used to measure the water flow rate in plants by applying the heat pulse technique. The computer was used to process data and control the device . Results obtained from the computer program will be compared to the potential evaporatranspiration of each plant. If the water flow rate is less than the potential evaporatranspiration, the program will send the alarm signal.

The experimental results on the water flow rate of mangoes , jackfruits and roseapples showed that the measured values were more than thier potential evaporatranspiration . The measured volume of water in plants related to the amount of water used by plants.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	**ก**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**ข**
สารบัญ	**ค**
สารบัญรูปภาพ	**จ**
สารบัญตาราง	**ช**
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	**3**
2.1 สรีระวิทยาและการลำเลียงน้ำของไม้ยืนต้น	3
2.2 วิธีการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง	6
2.3 หลักการของวิธีพัลส์ความร้อน	11
2.4 การหาความชื้นของเนื้อไม้สดและความหนาแน่นเนื้อไม้ส่วนกระพี้	12
2.5 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตอนุกรม	13
2.6 UART	18
2.7 วงจรภายในและรีจิสเตอร์ของพอร์ตอนุกรม RS – 232	19
2.8 บอร์ดทดลองที่ใช้ในการทำงาน	26
2.9 การเขียนโปรแกรมด้วย Visual Basic เพื่อต่อพอร์ตอนุกรมและ MSComm	41
2.10 การเขียนโปรแกรมติดต่อบัส I^2C ด้วย Visual Basic	49
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่อง	**51**
3.1 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

3.1.1 หัวอุณหภูมิด้านบนและด้านล่าง 51

3.1.2 หัวให้ความร้อน 52

3.1.3 วงจรขยายแรงดัน 52

3.1.4 วงจร A/D Converter 53

3.1.5 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล 53

3.1.6 Heater Driver 53

3.1.7 แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า 54

3.2 การออกแบบทางด้านซอฟท์แวร์ 54

บทที่ 4 การทดสอบและเก็บข้อมูล **56**

4.1 การทดสอบวัดค่าอุณหภูมิภายในต้นพืชและอุณหภูมิรอบต้นพืช 56

4.2 การทดสอบหาอุณหภูมิที่เหมาะสมของหัวพัลส์ความร้อน 61

4.3 การทดสอบหาค่าความชื้นในเนื้อไม้สดและความหนาแน่นเนื้อไม้ส่วนกระพี้ 63

4.4 การทดสอบหาค่าเวลาหน่วงที่มากที่สุด($t_{0\,max}$) 64

4.5 การทดสอบหาค่าพื้นที่ท่อลำเลียงของต้นพืชทดสอบ 65

4.6 การทดสอบวัดค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช โดยเทคนิคพัลส์ความร้อน 66

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ **72**

5.1 สรุปผลการศึกษา 72

5.2 ข้อเสนอแนะ 72

ภาคผนวก 74

ก. โปรแกรมหาค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช โดยเทคนิคพัลส์ความร้อน 74

ข. ข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับการทดลองโปรแกรม 76

กิตติกรรมประกาศ 85

เอกสารอ้างอิง 86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างทั่วไปของไม้ยืนต้น Sapwood (สีจาง) และHeartwood (สีเข้ม)	3
2.2	การแบ่งตอนของท่อลำเลียงน้ำในลำต้นและกิ่ง	5
2.3	ท่อลำเลียงน้ำ Xylem	6
2.4	tracheary element	6
2.5	perforation plate	6
2.6	ท่อน้ำยาง (resin duct)	6
2.7	แสดงไดอะแกรมเวลาของการสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส	14
2.8	แสดงรูปแบบข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	14
2.9	การจัดขาสัญญาณของพอร์ตอนุกรมในแบบต่าง ๆและหน้าที่การทำงาน	17
2.10	การต่ออุปกรณ์ภายนอกกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ในลักษณะต่างๆ	18
2.11	ไดอะแกรมการทำงานภายในของพอร์ตอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์	20
2.12	ไดอะแกรมแสดงโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของพอร์ตอนุกรม	25
2.13	วงจรของบอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม (S – Board V2.0)ที่ใช้ทดลอง	28
2.14	การจัดขาของ CDP6402	32
2.15	วงจรบอร์ดขับรีเลย์ 7 ช่อง (EX-06)	36
2.16	วงจรบอร์ด ADC/DAC (EX-08)	37
2.17	การจัดขาและตารางแสดงชื่อขาสัญญาณของ PCF8591	38
2.18	แสดงรายละเอียดข้อมูลควบคุมการทำงานของ PCF8591	40
3.1	โครงสร้างของเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช	51
3.2	การติดตั้งเมื่อใช้งานเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชที่ออกแบบ	51
3.3	ส่วนประกอบของหัววัดอุณหภูมิ	52
3.4	ส่วนประกอบของหัวให้ความร้อนที่สร้างขึ้น	52
3.5	แสดงวงจรขยายแรงดันที่สร้างขึ้น	53
3.6	แสดงผังงานของโปรแกรม	55
4.1	เครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิภายในต้นพืช	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.2	การวัดอุณหภูมิภายในต้นพืช	57
4.3	แสดงค่าที่ทำการขณะวัด	57
4.4	ต้นมะยมที่ทดลอง	57
4.5	แสดงอุณหภูมิภายในต้นพืช	60
4.6	เปรียบเทียบอุณหภูมิภายนอกกับภายในต้นพืช	60
4.7	(ก),(ข),(ค) แสดงการทดสอบหาค่าพื้นที่ท่อลำเลียงของต้นพืช	65
4.8	แสดงอัตราการไหลของน้ำในต้นมะม่วง (ต้นที่1)	68
4.9	แสดงอัตราการไหลของน้ำในต้นมะม่วง (ต้นที่2)	68
4.10	แสดงอัตราการไหลของน้ำในต้นขนุน (ต้นที่1)	69
4.11	แสดงอัตราการไหลของน้ำในต้นขนุน (ต้นที่2)	69
4.12	แสดงอัตราการไหลของน้ำในต้นชมพู่ (ต้นที่1)	70
4.13	แสดงอัตราการไหลของน้ำในต้นชมพู่ (ต้นที่2)	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (K_c)	9
2.2	แสดงค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential Evaporatranspiration: ET_p) สำหรับจังหวัดต่างๆ	10
2.3	รายละเอียดฟังก์ชั่นต่างๆของ PCF8591	39
4.1	ผลการวัดอุณหภูมิภายในต้นพืช	57
4.2	ผลการวัดอุณหภูมิภายในต้นพืช	58
4.3	ผลการวัดอุณหภูมิภายในต้นพืช	58
4.4	ผลการวัดอุณหภูมิภายในต้นพืช	59
4.5	ผลการวัดอุณหภูมิภายในต้นพืช	59
4.6	ผลการทดสอบหัวพัลส์ความร้อน	62
4.7	ผลการหาค่าความชื้นในเนื้อไม้สดและความหนาแน่นเนื้อไม้ส่วนกระพี้	63
4.8	แสดงค่า $t_{0\,max}$ ที่วัดจากเครื่อง AE2-KMITL ในเนื้อไม้ตัวอย่าง	64
4.9	แสดงค่าพื้นที่ท่อลำเลียงของต้นไม้	66
4.10	แสดงค่าอัตราการไหลที่วัดได้จากเครื่อง AE2-KMITL	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาของโครงการ

การศึกษาความต้องการใช้น้ำของพืชจำพวกไม้ผล จะช่วยให้เราสามารถใช้น้ำที่มีอยู่อย่างจำกัดได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงต่อหน่วยการใช้ เพราะผลผลิตและคุณภาพของผลไม้ มีผลต่อเนื่องมาจากการให้น้ำแก่พืชอย่างไม่เหมาะสม ตัวอย่างเช่น การให้น้ำแก่ต้นทุเรียนและต้นมังคุดมากเกินไป จะทำให้ผลทุเรียนมีลักษณะไส้ซึมและในมังคุดจะทำให้ผลมียางไหล จะเห็นว่าถ้าสามารถควบคุมการให้น้ำแก่พืชได้ตามความต้องการของพืชแล้ว จะช่วยให้สามารถควบคุมผลผลิตและคุณภาพของผลไม้ได้ ดังนั้นหากมีเครื่องมือที่วัดการใช้น้ำของพืชที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพก็จะช่วยให้สามารถพัฒนาระบบการให้น้ำนั้นเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพตามไปด้วย และยังเป็นการควบคุมผลผลิตและคุณภาพของผลไม้ ด้วยเหตุดังกล่าว โครงงานนี้จึงได้พัฒนาและทดสอบเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชโดยเทคนิคพัลส์ความร้อน ซึ่งได้นำเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์ และวิธีการวัดการใช้น้ำของพืชโดยตรงมาประยุกต์ใช้ในการประเมินผลการใช้น้ำของพืช เพื่อให้เครื่องสามารถส่งสัญญาณเตือนเมื่อพืชต้องการน้ำ โดยแนวทางการพัฒนาจะใช้การคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงของ Penmann มาเป็นค่ามาตรฐานการใช้น้ำของพืช และนำค่าจากการคำนวณเป็นค่ามาตรฐานอ้างอิงในการเขียนโปรแกรม เพื่อใช้ตรวจสอบอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช ดังนั้นโครงงานนี้จึงสามารถนำสัญญาณเตือนนี้ไปประยุกต์ใช้กับงานที่เกี่ยวข้องต่อไปได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความต้องการใช้น้ำของพืช เพื่อที่จะได้ใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด โดยเพียงพอต่อความต้องการของพืช
2. เพื่อทดสอบและพัฒนาเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชโดยใช้เทคนิคพัลส์ความร้อน (AE2-KMITL)
3. เพื่อให้เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชโดยใช้เทคนิคพัลส์ความร้อน (AE2-KMITL) ทำงานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- ศึกษาด้านกายภาพของต้นพืชและการใช้น้ำของต้นพืช ซึ่งเป็นจำพวกไม้ผล เช่น มะม่วง ชมพู่ ขนุน ฯลฯ เพื่อที่จะได้ใช้ทรัพยากรน้ำให้มีประสิทธิภาพสูง โดยใช้ในปริมาณที่เหมาะสมกับที่พืชต้องการ

- สร้างเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชโดยเทคนิคพัลส์ความร้อน

- เขียนโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชและใช้ในการประเมินผลการใช้น้ำของต้นพืชนั้นๆ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.ได้เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช โดยใช้เทคนิคพัลส์ความร้อน ที่ให้ค่าการวัดใกล้เคียงกับเครื่องที่มีลักษณะการทำงานที่อาศัยหลักการทำงานเดียวกัน

2. เพื่อจะได้มีเครื่องมือที่เป็นแนวทางในการศึกษาและนำมาซึ่งประโยชน์ของทางภาควิชาวิศวกรรมเกษตรต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

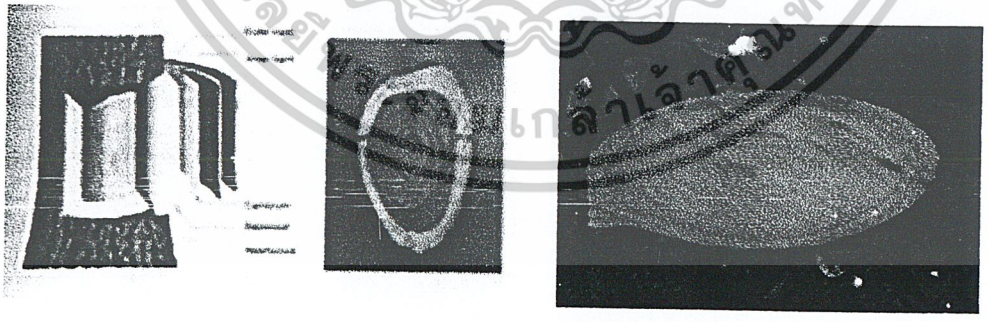
Smith และ Allen (1996) ได้แนะนำวิธีการวัดการใช้น้ำของพืช ด้วยวิธีการวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชโดยตรง ซึ่งสามารถวัดได้ 4 วิธี คือ

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

แต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน สำหรับวิธีพัลส์ความร้อนมีข้อดีคือการที่ติดตั้งกับต้นไม้ยืนต้นที่มีผิวขรุขระได้ แต่ขนาดที่เหมาะสมมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 30 มิลลิเมตรขึ้นไป วิธีพัลส์ความร้อนจึงเป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสม ในการวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นไม้ป่า และ ไม้ผลหลายชนิด

ชูศักดิ์ ลิ่มสกุล และคณะ (1996) ได้พัฒนาเครื่องต้นแบบเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำที่ใช้เทคนิคพัลส์ความร้อน ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ประกอบด้วยหัววัดอุณหภูมิ 2 อัน มีขนาด 3 มิลลิเมตร ติดตั้งอยู่ด้านบนและด้านล่างของหัวให้ความร้อน เป็นระยะ 10 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร ตามลำดับ หัวจะถูกปักเข้าไปอยู่ส่วนของกระพี้ของลำต้น เครื่องจะจ่ายกระแสไฟให้หัวความร้อนเป็นเวลาสั้นๆ พร้อมกับวัดช่วงเวลาที่เริ่มให้กระแส จนกระทั่งหัววัดอุณหภูมิ 2 หัววัดอุณหภูมิได้เท่ากัน ค่าช่วงเวลาที่วัดได้นี้จะนำไปคำนวณค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช

2.1 สรีระวิทยาและการลำเลียงน้ำของไม้ยืนต้น



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทั่วไปของไม้ยืนต้น Sapwood (สีจาง) และHeartwood (สีเข้ม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

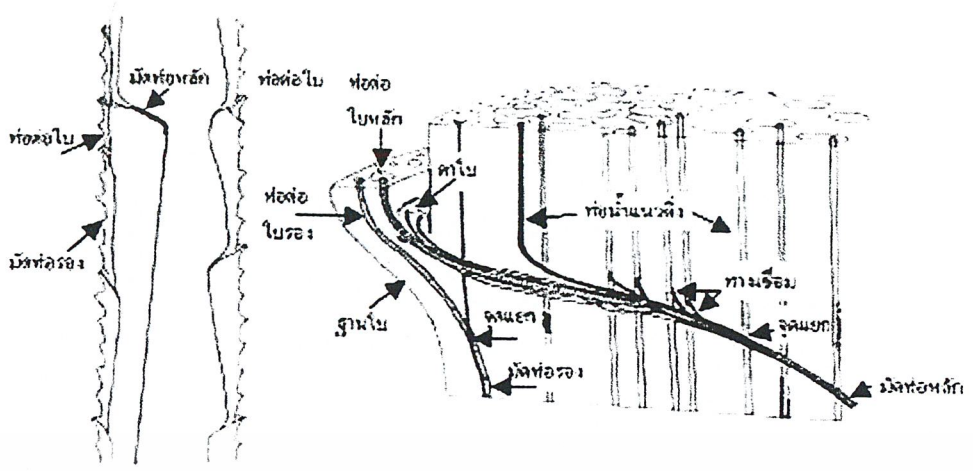
Xylem หรือท่อลำเลียงน้ำ เป็นเนื้อเยื่อถาวรเชิงซ้อน ที่พบมากในเนื้อไม้ส่วนกระพี้ ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและแร่ธาตุที่รากดูดขึ้นมาจากดินส่งไปยังลำต้นและใบ เพื่อสังเคราะห์แสง Xylem ที่เกิดระยะแรกเรียกว่า Primary Xylem กำเนิดมาจาก procambium Xylem เมื่อเกิดการเจริญขั้นที่สอง เกิดมาจาก vascular cambium เรียกว่า secondary Xylem สำหรับเนื้อเยื่อพวก fiber และ parachyma ใน Xylem จะมีลักษณะรูปร่างคล้ายกับที่พบในส่วนต่างๆ ของต้นพืช และมี parachyma บางตัวที่ลำเลียงน้ำออกทางด้านข้างซึ่งเซลล์จะเรียงตัวออกมาในแนวรัศมี เรียกว่า ray parachyma หรือ Xylem ray

เนื้อเยื่อที่พบมากใน Xylem ได้แก่ tracheary elements ซึ่งประกอบด้วย vessel members และ tracheid ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำเป็นส่วนใหญ่เนื้อเยื่อทั้งสองมีลักษณะที่แตกต่างกัน คือ **Vessel members** มีลักษณะเซลลล์สั้นและอ้วนกว่า(tracheid)ส่วนปลายเซลล์จะเฉียงออกมีแผ่นรอยปุยที่เรียกว่า perforation plate กั้นอยู่ มี secondary wall หนา ส่วนมากเป็นพวกเซลลูโลสและลิกนิน ซึ่งการฉาบของผนังเซลล์ไม่สม่ำเสมอ จึงเกิดมีลักษณะของ secondary wall หลายแบบ เช่น แบบวงแหวน , แบบขดลวดสปริง, แบบตาข่าย , แบบขั้นบันได, แบบรู , หลายเซลล์มาต่อกันจะเกิดเป็นท่อขึ้นเรียกว่า ท่อ Vessel

Tracheid รูปร่างเรียวยาวกว่า Vessel members ปลายเซลล์เสี้ยมแหลม ไม่มีแผ่นรอยปรุแต่ขนาดใหญ่และสั้นกว่า Vessel members fiber secondary wall หนาและมีการฉาบของสารไม่สม่ำเสมอ จึงมีลักษณะคล้ายกับ Vessel ซึ่งจะอยู่รวมกันเป็นมัด พบได้ในพืชมีดอก

ในพืชใบเลี้ยงคู่ เมื่อมีอายุมากขึ้นเกิดการเจริญเติบโตขั้นที่สอง vascular cambium ที่อยู่ระหว่าง Primary Xylem เกิดการแบ่งตัวเข้าด้านในให้ secondary Xylem จำนวนมากและดันกลุ่มของ Primary Xylem เข้าไปในส่วนของลำต้น secondary Xylem ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า เนื้อไม้ ถ้าในปีหนึ่งมีปริมาณน้ำไม่เท่ากัน เช่น ช่วงต้นปี ฝนตกชุก น้ำมาก เซลล์มีขนาดใหญ่ ผนังบาง ไม่ค่อยแข็งแรง สารสะสมในเซลล์มีน้อย สีค่อนข้างจาง เนื้อไม้ส่วนนี้เรียกว่า เนื้อไม้ต้นฤดู ต่อมาปลายปี ฤดูแล้ง น้ำน้อย vascular cambium แบ่งตัวได้น้อย เซลล์มีขนาดเล็ก ผนังเซลล์หนา มีสารสะสมภายในเซลล์มาก เนื้อไม้ส่วนนี้จะมีสีเข้ม เรียกว่า ไม้ปลายฤดู เมื่อเกิดครบทั้งสองฤดูแล้ว ในปีถัดไปจะเกิดลักษณะเดียวกันอีก ทำให้เนื้อไม้เป็นวงๆ วงของไม้เรียกว่า วงปี หรือวงจะเจริญเติบโต แต่บางปีมีวงเกิดขึ้นไม่ครบวงเรียกว่า วงชะงัก เนื่องจากอีกด้านหนึ่งไม่มีการแบ่งตัว สาเหตุเกิดจากโรคระบาด ไฟป่า บางกรณีมีน้ำมาก น้อยสลับกัน 2 ครั้ง ต่อปี จึงเกิดเป็นวง 2 วงซ้อนกันอยู่ วงที่เกิดขึ้นใหม่เรียกว่า วงปลอมส่วนไม้ที่ได้รับน้ำสม่ำเสมอตลอดปี จะเห็นการแบ่งสีที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน เนื้อไม้ที่ตรงกลางที่มีสีเข้มแดงเรียกว่า แก่นไม้ เป็นเนื้อไม้ที่เกิดขึ้นนาน เลิกลำเลียงน้ำและแร่ธาตุ เซลล์ไม่มีชีวิต มีสารอื่นสะสมอยู่มาก ส่วนเนื้อที่รอบนอกมีสีจาง เป็นเนื้อไม้ที่เกิดขึ้นใหม่ ยังทำหน้าที่ลำเลียงน้ำอยู่สารสะสมน้อย เรียกส่วนนี้ว่า กระพี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 การแบ่งตอนของท่อลำเลียงน้ำในลำต้นและกิ่ง

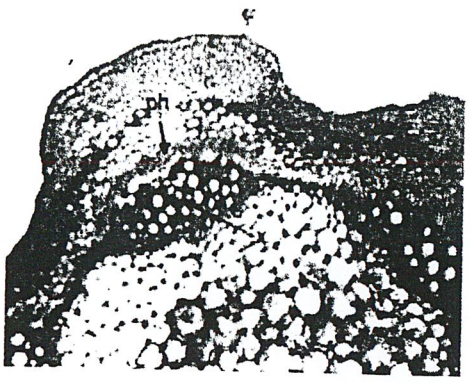
การศึกษาลักษณะโครงสร้างภายในของเนื้อไม้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ ต้องทำการตัดเนื้อไม้เป็นชิ้นบางๆ ด้วยเครื่องตัดเลื่อนไถล ลักษณะการตัดมี 3 ระนาบ คือ

1. Cross section หรือ Transverse section เป็นการตัดตามขวาง จะเห็นว่า latewood และ early wood มีลักษณะเซลล์แตกต่างกันอย่างชัดเจน เป็นเนื้อไม้ของใบเลี้ยงคู่จะเห็นเป็นรูกลมใหญ่ ๆ ที่เรียกว่า pores จำนวนมาก รูเหล่านี้คือ vessel ที่ดงเหลืออยู่ บางทีอาจพบโครงสร้างที่เรียกว่า tylose ซึ่งเป็น middle lamella ของ parenchyma ที่อยู่ด้างเคียงยื่นผ่านช่อง pit เข้าไปใน vessel ถ้าเป็นเนื้อไม้ของจิมโนสเปิร์ม เช่น พวกสน ไม่มีรูกลมของ vessel เนื้อไม้ส่วนใหญ่เซลล์จะเหมือนกัน แต่มีช่องว่างใหญ่ ๆ ที่มีผนังเซลล์บาง ช่องนี้คือท่อน้ำยางชัน ซึ่งเป็นลักษณะประจำของพืชจิมโนสเปิร์ม

2. Radial longitudinal section (RL-S) ตัดตามยาวในแนวขนานกับเส้นรัศมีของลำต้นหรือราก สังเกตจากลักษณะการเรียงตัวของ ray cell ซึ่งเห็นทางด้านข้าง vessel และ tracheid เห็นในแนวยาว

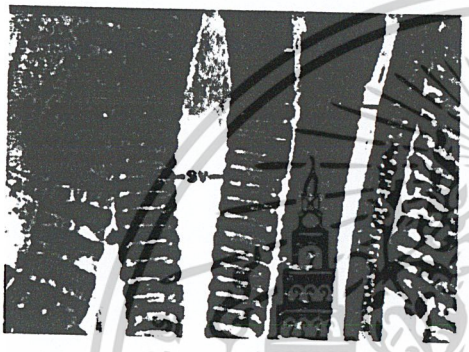
3. Tangential longitudinal section (TL-S) ตัดตามยาวในแนวขนานกับเส้นสัมผัสของลำต้นหรือราก สังเกตกลุ่ม ray cell จะเห็นทางด้านหน้าตัดเป็นมัดรูปรี ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

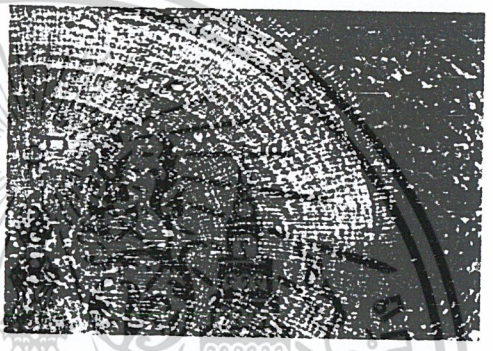


ภาพที่ 2.3 ท่อลำเลียงน้ำ Xylem

ภาพที่ 2.4 tracheary element



ภาพที่ 2.5 perforation plate



ภาพที่ 2.6 ท่อน้ำยาง (resin duct)

2.2 วิธีการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง

การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง โดยอาศัยข้อมูลภูมิอากาศนั้นทำได้หลายวิธี สำหรับการเลือกใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะงาน ความละเอียดของงานที่ต้องการ ส่วนวิธีการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชที่จะกล่าวถึงมีดังนี้

2.2.1 วิธีของ Thornthwaite

เป็นวิธีการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยประจำเดือนกับการใช้น้ำของพืชเมื่อดินมีความชื้นสูงพอกับความต้องการของพืชอยู่ตลอดเวลา และพื้นที่เพาะปลูกนั้นกว้างใหญ่พอที่จะไม่ทำให้การระเหยและการคายน้ำนั้นมีผลกระทบจากแรงภายนอก เช่น การพัดผ่านของลมที่แห้งและร้อน หรือสาเหตุอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 วิธีของ Bleney – Criddle

วิธีนี้ใช้การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืช โดยใช้อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความยาวของชั่วโมงกลางวันเป็นข้อมูลที่ต้องการ

2.2.3 วิธีของ Makkink

วิธีของ Makkink นั้นจะต่างจากวิธีอื่นคือได้นำเอาเอารังสีของดวงอาทิตย์เข้ามาใช้ในการคำนวณ

2.2.4 วิธีของ Jensen – Haise

วิธีการนี้ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้น้ำของพืชกับรังสีอาทิตย์ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการวัด

2.2.5 วิธีของ Penman

สำหรับวิธีการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงของ Penman นั้นได้รวมเอาพลังงานที่ก่อให้เกิดการระเหยของน้ำทุกอย่างเข้าไว้ด้วยกัน พลังงานดังกล่าวนี้ ได้แก่ พลังงานที่ได้รับจากรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ พลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของลมและความชื้นของอากาศ

ดังนั้นปริมาณการใช้น้ำของพืชจึงขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 4 อย่าง คือ สภาพภูมิอากาศรอบๆต้นพืช ชนิดและอายุของพืชเอง จำนวนความชื้นและคุณสมบัติของดิน และองค์ประกอบอื่นๆ สำหรับการวัดการใช้น้ำของพืชแต่ละชนิดในทุกสภาพภูมิอากาศ ดิน ฯลฯ เป็นสิ่งที่ทำได้ยาก จึงได้เลือกวิธีที่ง่ายกว่าการวัดโดยตรง โดยเลือกเอาวิธีการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงของ Penman เนื่องจากว่าได้รวมเอาพลังงานที่ก่อให้เกิดการระเหยทุกอย่างไว้ด้วยกัน คือ พลังงานความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ พลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของลมและความชื้นของอากาศ
ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$ET_P = \frac{\Delta Q_n + \gamma E_a}{\Delta + \gamma}$$

ET_P = การใช้น้ำของพืชอ้างอิง เป็น มม./วัน

Δ = ความลาดเทของกราฟความดันไอน้ำอิ่มตัวกับอุณหภูมิที่จุดซึ่งมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิเฉลี่ย

γ = Psychrometric constant

Q_n = รังสีสุทธิจากดวงอาทิตย์ เทียบให้เป็นอัตราการระเหยของน้ำเป็น มม./วัน

ในกรณีที่ไม่มีการวัดรังสีสุทธิจากดวงอาทิตย์ไว้ ค่านี้อาจหาได้จากสูตร

$$Q_n = Q_A(1 - r)(0.26 + 0.5n/N) - \sigma T^4(0.56 - 0.0797\sqrt{e_d})(0.10 + 0.90n/N)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Q_A = รังสีจากดวงอาทิตย์ที่จะได้รับบนโลกเมื่อไม่มีบรรยากาศปกคลุมเทียบเป็นการระเหยเป็น มม./วัน

r =สัมประสิทธิ์ของการสะท้อนมีค่า เท่ากับ 2 สำหรับพืชที่เขียวและสด

n = ระยะเวลาที่ได้รับแสงแดด

N = ระยะเวลาที่มีแสงแดดนานที่สุดที่เกิดในช่วงเวลานั้น

อัตราส่วน n/N คำนวณได้โดยใช้ค่าขีดความครึ้มของเมฆจากหนังสือสถิติภูมิอากาศของประเทศไทย

σT^4 = รังสีที่สะท้อนจากวัตถุผิวดำเทียบเป็นอัตราการระเหยของน้ำ มม/วัน

e_a = ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเฉลี่ยของบรรยากาศ เป็น มิลลิบาร์

e_d = ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเฉลี่ยของจุดน้ำค้าง เป็น มิลลิบาร์ ถ้าไม่มีการวัดอุณหภูมิคำนวณจากสูตรได้

e_d = (ความชื้นสัมพัทธ์) * e_a

E_a = ปริมาณการระเหยของน้ำเนื่องจากการเคลื่อนไหวของลมและความชื้นของอากาศ

U_2 = ความเร็วเฉลี่ยของลม เป็น กม/วัน

$E_a = 0.262 (e_a - e_d)(1 + 0.0062U_2)$

ดังนั้นจึงสามารถหาปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET) ได้ โดยการคูณสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชที่ปลูก (K_C) กับการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_P) ของพื้นที่เพาะปลูกในช่วงนั้นๆ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$ET = K_C \times ET_P$$

และข้อมูลข้างล่างดังที่ได้แสดงในตารางนี้ ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_P) จากการคำนวณโดยวิธีของ Penman โดยใช้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาในคาบ 25 ปี รวม 49 แห่ง และรวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (K_C) เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางทั่วประเทศ ดังนั้นเมื่อจะทำการหาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชก็จะใช้ค่า (ET_P) และค่า (K_C) จากตารางข้างล่างนี้ เมื่อได้ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชแล้ว นำค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชมาคูณกับขนาดพื้นที่(A)ของท่อลำเลียงน้ำ (Sap wood) ซึ่งได้จากการตัดกิ่งไม้มาตรวจสอบ

ดังนั้นจึงได้สมการสำหรับอัตราการใช้น้ำ (Q)ในหน่วยของ (มม^3/วัน) คือ

$$Q = ET \times A$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (K_c)

เดือนที่ทำการเพาะปลูก	อ้อย	พืชผัก	พืชล้มลุก	พืชไร่	ไม้ผล	บ่อปลา
1	0.63	0.67	0.50	0.40	0.75	1.0
2	0.83	0.67	0.80	0.70	0.75	1.0
3	1.0	0.67	0.70	1.00	0.75	1.0
4	1.13	0.67		0.80	0.75	1.0
5	1.18	0.67			0.75	1.0
6	1.18	0.67			0.75	1.0
7	1.13	0.67			0.75	1.0
8	1.03	0.67			0.75	1.0
9	0.85	0.67			0.75	1.0
10	0.65	0.67			0.75	1.0
11	0.53	0.67			0.75	1.0
12	0.50	0.67			0.75	1.0
เฉลี่ย	0.89	0.67	0.67	0.73	0.75	1.0

ช่วงพัฒนาการของพืช	ชนิดของไม้ผล				ไม้ผลอื่น ๆ
	ทุเรียน	มังคุด	เงาะ	ส้ม	
1 การพัฒนาการทางด้านกิ่งก้านสาขา	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
2 การชักนำการออกดอก	0	0	0.00/0.70*	0.00/0.75*	0.00/0.75*
3 การพัฒนาการของดอก	0.85	0.8	0.8	0.8	0.8
4 การติดผล	0.8	0.85	0.9	0.9	0.9
5 การพัฒนาการของผลอ่อน	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
6 การเจริญเติบโตของผล	1	1	1	1	1
7 การเริ่มสุกแก่	0.9	0.9	0.85	0.85	0.85
เฉลี่ย	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75

หมายเหตุ * ในการให้น้ำต้องทราบว่าไม้ผลบางชนิด เช่น เงาะ และส้ม ในช่วงของการชักนำให้ออกดอก ต้องผ่านช่วงแล้งระยะหนึ่ง จากนั้นจึงเริ่มให้น้ำอย่างสม่ำเสมอเพื่อการกระตุ้นการออกดอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential Evaporatranspiration: ET_p) สำหรับจังหวัดต่างๆ

(หน่วย: มม./วัน)

ที่	สถานี	เดือน											
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1	เชียงราย	2.99	4.46	4.88	5.63	5.08	4.75	4.35	4.01	4.27	3.92	3.49	2.92
2	แม่ฮ่องสอน	3.30	4.79	5.35	6.16	5.20	4.62	4.23	3.95	4.15	3.95	3.73	3.12
3	เชียงใหม่	3.34	4.47	5.29	5.98	5.16	4.79	4.34	3.93	4.13	3.95	3.65	3.11
4	แม่สะเรียง	3.46	4.96	5.75	6.36	5.34	4.49	4.08	3.85	4.17	4.11	3.90	3.32
5	ลำปาง	3.50	4.96	5.37	6.14	5.39	5.04	4.63	4.26	4.33	4.03	3.76	3.22
6	น่าน	3.28	4.75	5.22	5.88	5.10	4.78	4.37	4.00	4.20	4.05	3.71	3.12
7	แพร่	3.48	4.89	5.48	6.26	5.42	4.82	4.58	4.18	4.26	4.03	3.84	3.31
8	อุตรดิตถ์	3.67	5.00	5.31	6.01	5.17	4.66	4.30	3.99	4.26	4.26	4.09	3.52
9	ตาก	3.71	5.25	5.87	6.58	5.37	5.00	4.64	4.33	4.26	3.90	3.73	3.33
10	พิษณุโลก	3.63	4.93	5.31	5.83	5.13	4.77	4.38	4.05	4.27	4.16	4.02	3.48
11	แม่สอด	3.76	5.21	5.70	6.31	5.26	4.51	4.12	3.80	4.22	4.20	4.10	3.56
12	เพชรบูรณ์	3.81	5.11	5.67	6.00	5.15	4.67	4.25	3.93	4.09	4.22	4.13	3.60
13	เขื่อนภูมิพล	3.75	5.46	5.99	6.57	5.36	4.93	4.60	4.53	4.33	4.04	3.86	3.40
14	เลย	3.82	5.21	5.53	6.09	5.38	5.16	4.93	4.59	4.64	4.49	4.13	3.53
15	อุดรธานี	3.61	4.89	5.32	5.79	5.08	4.81	4.50	4.13	4.37	4.31	4.04	3.43
16	นครพนม	3.66	4.75	5.05	5.53	4.98	4.47	4.24	3.92	4.24	4.25	4.02	3.46
17	สกลนคร	3.68	4.93	5.26	5.75	4.97	4.76	4.55	4.16	4.40	4.35	4.08	3.48
18	มุกดาหาร	3.82	5.00	5.37	5.74	5.02	4.71	4.37	4.13	4.50	4.36	4.24	3.67
19	ขอนแก่น	3.78	5.11	5.41	5.90	5.22	4.93	4.72	4.29	4.39	4.22	4.19	3.63
20	ร้อยเอ็ด	3.83	5.00	5.32	5.69	5.11	4.90	4.62	4.18	4.30	4.26	4.19	3.69
21	อุบลราชธานี	4.02	5.18	5.35	5.59	5.01	4.66	4.52	4.15	4.30	4.32	4.40	3.87
22	สุรินทร์	3.85	4.96	5.22	5.39	4.83	4.56	4.36	4.04	4.13	4.06	3.97	3.56
23	นครราชสีมา	3.86	5.11	5.25	5.61	5.10	5.03	4.71	4.32	4.40	4.10	4.05	3.62
24	ชัยภูมิ	3.64	4.68	4.74	5.09	4.68	4.72	4.41	4.03	4.17	3.84	3.72	3.37
25	ชัยภูมิ	4.04	5.36	5.55	5.97	5.54	4.99	4.63	4.30	4.33	4.34	4.32	3.84
26	นครสวรรค์	3.95	5.32	5.76	6.22	5.37	5.07	4.63	4.31	4.23	4.06	4.04	3.65
27	ลพบุรี	4.23	5.43	5.70	5.95	5.20	4.94	4.56	4.25	4.38	4.29	4.35	4.12
28	สุพรรณบุรี	4.14	5.25	5.60	6.08	5.41	5.16	4.81	4.57	4.47	4.26	4.25	3.91
29	ปราจีนบุรี	4.27	5.25	5.19	5.39	4.90	4.52	4.25	5.08	4.23	4.23	4.47	4.11
30	กาญจนบุรี	4.20	5.39	5.69	6.07	5.27	4.92	4.64	4.36	4.43	4.09	4.04	3.75
31	ดอนเมือง	4.20	5.29	5.43	5.65	5.10	4.99	4.67	4.29	4.41	4.22	4.21	3.82
32	กรุงเทพฯ	3.85	4.86	4.92	5.19	4.65	4.57	4.27	4.06	4.09	3.86	3.95	3.63
33	อรัญประเทศ	4.07	5.29	5.37	5.53	5.08	4.80	4.43	4.16	4.38	4.19	4.18	3.77
34	ชลบุรี	4.23	5.00	5.40	5.69	4.94	4.97	4.62	4.38	4.37	4.23	4.35	4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(หน่วย: มม./วัน)

ที่	สถานี	เดือน											
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
35	สัตหีบ	4.52	5.57	5.52	5.68	4.88	5.25	4.88	4.69	4.61	4.29	4.57	4.47
36	จันทบุรี	4.13	4.79	4.49	4.85	4.27	4.09	3.90	3.72	3.90	3.98	4.26	4.08
37	คลองใหญ่ (ตราด)	3.99	4.64	4.42	4.56	4.16	4.00	3.84	3.59	3.88	3.90	4.07	3.97
38	เกาะสีชัง	4.30	5.36	5.36	5.69	5.01	5.06	4.70	4.47	4.46	4.42	4.49	4.24
39	หัวหิน	4.09	5.18	5.31	5.58	4.90	4.85	4.47	4.27	4.39	4.09	4.16	3.97
40	ประจวบคีรีขันธ์	4.03	5.04	5.13	5.47	4.96	4.83	4.58	4.41	4.65	4.17	4.27	4.10
41	ชุมพร	3.77	4.75	4.89	5.13	4.47	4.33	4.10	4.83	4.25	3.91	3.77	3.57
42	สุราษฎร์ธานี	3.88	5.11	5.11	5.16	4.57	4.53	4.34	4.32	3.79	3.95	3.67	3.45
43	นครศรีธรรมราช	3.74	4.89	5.06	5.08	4.60	4.67	4.56	4.36	3.35	3.99	3.65	3.45
44	สงขลา	4.18	5.14	4.94	4.90	4.35	4.42	4.36	4.30	2.64	4.00	3.77	3.73
45	นราธิวาส	3.89	4.86	4.88	5.14	4.46	4.49	4.36	4.24	3.89	4.08	3.82	3.56
46	ระนอง	4.18	5.18	5.10	5.09	4.17	3.92	3.78	3.65	3.63	3.70	3.59	3.86
47	ภูเก็ต	4.61	5.68	5.38	5.17	4.26	4.40	4.27	4.27	2.72	4.06	4.13	4.26
48	สนามบินภูเก็ต	4.32	5.36	5.07	4.93	4.40	4.24	4.12	4.03	2.92	3.88	4.00	3.95
49	ตรัง	4.50	5.64	5.35	5.16	4.23	4.03	4.12	3.97	2.41	3.92	3.89	3.96

2.3 หลักการของวิธีพัลส์ความร้อน

หลักการของวิธีพัลส์ความร้อน คือ การจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดความร้อนที่อยู่ภายในหัวให้ความร้อนเป็นเวลาสั้นๆ เป็นช่วงๆตามเวลาที่กำหนดทางโปรแกรมและหัววัดจะทำการวัดค่าจนสองหัวมีค่าเท่ากันโปรแกรมก็จะทำการเก็บข้อมูลมาทำการคำนวณต่อไป หลักการวัดทำได้โดยติดตั้งชุดหัววัดเข้ากับต้นไม้ ซึ่งประกอบด้วยหัววัดอุณหภูมิ 2 อัน อยู่ด้านบนและด้านล่างของหัวให้ความร้อนเป็นระยะ 10 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อป้อนข้อมูลเกี่ยวกับพืชให้กับคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำงานตามโปรแกรมที่เขียนด้วย Visual Basic 6ทำการสั่งให้วงจรกำหนดความร้อนจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับหัวให้ความร้อนเป็นเวลาสั้นๆ เพื่อให้เกิดพัลส์ความร้อน พร้อมทั้งเริ่มจับเวลาจนกระทั่งสัญญาณที่ได้รับจากหัววัดอุณหภูมิส่งค่ามาให้กับคอมพิวเตอร์มีอุณหภูมิเท่ากัน ช่วงเวลานี้เรียกว่าเวลาหน่วง (t_0) ซึ่งจะถูกนำไปคำนวณเพื่อหาอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช โดยใช้สูตรตามวิธีของ Green และ Clothier (1998) เพื่อหาค่าต่างๆ คือ ค่าความเร็วของพัลส์ความร้อน (heat pulse velocity ; V) โดยใช้สูตร

$$V = (X_U + X_d) / 2t_0$$

เมื่อ X_U = ระยะระหว่างหัวให้ความร้อนกับหัววัดอุณหภูมิด้านล่าง (mm)

X_d = ระยะระหว่างหัวให้ความร้อนกับหัววัดอุณหภูมิด้านบน (mm)

t_0 = เวลาหน่วง (second)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นการคำนวณค่า sap flux density (J) โดยใช้สูตร

$$J = P\,(0.33 + M)\,V$$

เมื่อ P = ความหนาแน่นไม้ส่วนกระพี้

M = ความชื้นของเนื้อไม้สดส่วนกระพี้ (มาตรฐานแห้ง)

แล้วทำการคำนวณค่า volume flux (Q) เพื่อหาอัตราการไหล

$$Q = \int_{H}^{R} 2\pi r J(r)\,dr$$

เมื่อ r = ระยะรัศมีส่วนกระพี้หรือส่วนเนื้อไม้ระหว่างรากแก่นไม้และเปลือก

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

H = รัศมีของแก่นไม้ (heartwood radius)

R = รัศมีของเปลือกไม้ด้านใน (cambium radius)

2.4 การหาความชื้นของเนื้อไม้สดและความหนาแน่นเนื้อไม้ส่วนกระพี้

ความชื้นของเนื้อไม้สด (Moisture content of the Sapwood) M คือ อัตราส่วนของน้ำหนักน้ำในเนื้อไม้สด ต่อน้ำหนักของเนื้อไม้สด × 100%

การหาความชื้น , M สามารถทำการทดสอบได้โดยการนำเนื้อไม้สดตัวอย่างที่จะทำการทดสอบในปริมาณที่พอเหมาะ มาทำการชั่งหา น้ำหนักเนื้อไม้สดก่อน แล้วใส่ในภาชนะเอาเข้าตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 80 - 90°C เป็นระยะเวลาประมาณ 48 ชั่วโมง ซึ่งเนื้อไม้จะแห้งจากนั้นเอาออกมาชั่งน้ำหนักเนื้อไม้อีกครั้ง ผลต่างของน้ำหนักเนื้อไม้ก่อนอบและหลังอบ คือ น้ำหนักของน้ำที่ระเหยไป (Ww) และน้ำหนักเนื้อไม้แห้งที่ชั่งได้ (Ws)

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

หรือ M = (น้ำหนักน้ำที่ระเหยออกไป (Ww) / น้ำหนักเนื้อไม้สดก่อนอบแห้ง) × 100

เมื่อ W w = น้ำหนักของน้ำ

Ws = น้ำหนักของเนื้อไม้ที่อบแห้งแล้ว

ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (Wood density of the Sapwood ; P) คือ อัตราส่วนของน้ำหนักแห้งของเนื้อไม้ ต่อปริมาตรทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ปริมาตรเนื้อไม้สดก่อนอบ หรือปริมาตรทั้งหมดของเนื้อไม้ที่ทดสอบ สามารถหาค่าปริมาตรได้โดยการแทนที่น้ำและใช้วิธีการวัดโดยตรง

2.5 การเชื่อมต่อ PC กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม

2.5.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตอนุกรม

การเคลื่อนย้ายข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์ต่อพ่วงภายนอกหรือคอมพิวเตอร์ด้วยกัน มีด้วยกัน 2 แบบ

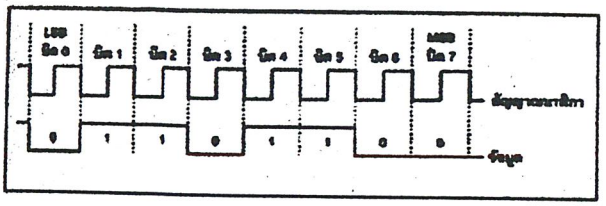
การรับส่งข้อมูลแบบขนาน เป็นการรับส่งข้อมูลคราวละ 4 บิต หรือ 8 บิต ในเวลาเดียวกันทำให้การรับส่งข้อมูลมีความเร็วสูง ที่ว่าจำนวนของสายที่ใช้ในการถ่ายทอดข้อมูลต้องมีจำนวนมากเท่ากับจำนวนบิตของข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดด้วย นอกจากนี้ยังมีสายที่ใช้สำหรับควบคุมและตรวจสอบการถ่ายทอดด้วย ซึ่งอาจต้องใช้สายมากเป็น 2 เท่าของจำนวนบิตข้อมูลก็ได้ ส่งผลให้ราคาสายที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบขนานมักจะมีราคาแพง อีกข้อจำกัดหนึ่งของการถ่ายทอดข้อมูลแบบขนานคือ ระยะทางในการถ่ายทอดข้อมูล โดยปกติจะอยู่ที่ประมาณ 10 – 15 ฟุต

การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม จะเป็นการส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต โดยมีหลักการส่งที่เป็นมาตรฐานต้องมีการตรวจสอบความพร้อมในการรับและส่งข้อมูลของตัวส่งและตัวรับ การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมมีข้อดีในเรื่องของจำนวนสายสัญญาณที่น้อยมากและไม่แปรผันกับจำนวนบิตของข้อมูล ระยะทางในการส่งข้อมูลสูงกว่าแบบขนานมาก โดยปกติถ้าเป็นพอร์ตอนุกรม RS – 232 สามารถต่อสายได้ยาวประมาณ 50 ฟุต

2.5.2 การสื่อสารแบบอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรมแบ่งออกได้ 2 แบบ คือ การสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัสและการสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส การสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัสจะมีสัญญาณนาฬิการ่วมอยู่กับการรับและส่งด้วย ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสคือ คีย์บอร์ดคอมพิวเตอร์ ซึ่งสายเส้นหนึ่งเป็นสายสัญญาณนาฬิกา ส่วนอีกสายหนึ่งเป็นสายสัญญาณข้อมูล ดังนั้นการติดต่อแบบซิงโครนัสจะต้องใช้สายในการเชื่อมต่ออย่างน้อย 3 สาย คือ สัญญาณนาฬิกา ข้อมูล และกราวด์ ภาพที่ 2.7 แสดงไดอะแกรมเวลาของการสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 แสดงไดอะแกรมเวลาของการสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส

2.5.3 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส คือ การรับและส่งข้อมูลโดยไม่ต้องมีสัญญาณนาฬิการ่วมด้วย แต่ใช้การกำหนดอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกอัตราเร็วนี้ว่า อัตราบอด หรือ บอดเรต (board rate) มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (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. บิตตรวจสอบพาริตี้ (Parity bit) มีขนาด 1 บิต หรือไม่มี
4. บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (Stop bit) มีขนาด 1,1.5 หรือ 2 บิต

ภาพที่ 2.8 แสดงรูปแบบข้อมูลแบบอะซิงโครนัส เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล ขา DATA จะมีสถานะลอจิก 1 เรียกสถานะนี้ว่า สถานะหยุดรอ (Waiting state) การเริ่มส่งข้อมูลจะเริ่มจากการให้ ขา DATA มีลอจิก 0 ด้วยระยะเวลา 1 บิต เรียกบิตนี้ว่า บิตเริ่มต้น จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไปโดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำที่สุดหรือบิต LSB ก่อน ซึ่งข้อมูลที่ต้องการส่งอาจมีจำนวน 5,6,7 หรือ 8 บิต หลังจากนั้นตามด้วยพาริตี้ ซึ่งใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่งคือ บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด โดยการทำให้ขา DATA มีสถานะลอจิก 1 อีกครั้ง ด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1,1.5 หรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าเป็นการสิ้นสุดการส่งข้อมูลเรียบร้อยแล้ว

ภาพที่ 2.8 แสดงรูปแบบข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

การตรวจสอบพาริตี้สามารถกำหนดให้เป็นแบบคี่ (odd) แบบคู่ (even) หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตี้ก็ได้ พาริตี้คู่หรือพาริตี้คี่แสดงจำนวนลอจิก 1 ทั้งหมดภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบต์รวมพาริตี้ว่ามีจำนวนเป็นเลขคู่หรือเป็นเลขคี่ ยกตัวอย่าง ข้อมูลที่จะทำการส่งมีขนาด 8 บิต มีค่าเท่ากับ 99H หรือ 10011001B จะเห็นว่าข้อมูลในไบต์นี้มีจำนวนลอจิก 1 เท่ากับ 4 ตัว ซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้นถ้ากำหนดพาริตี้เป็นคู่ ค่าของพาริตี้จะต้องมีค่าลอจิกเป็น 0 แต่กำหนดค่าพาริตี้เป็นคี่ ค่าของบิตพาริตี้จะต้องมีลอจิกเป็น 1 เพื่อให้ข้อมูล 1 ไบต์รวมทั้งพาริตี้เป็นคี่

บิตพาริตี้ถูกสร้างขึ้นมาจากภาคส่งข้อมูลของ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) ซึ่งทางภาครับจะต้องมีการกำหนดคุณสมบัติการตรวจสอบพาริตี้ที่ตรงกันเอาไว้ว่าจะตรวจสอบพาริตี้คี่หรือคู่ จากนั้นภาครับ UART จะทำการตรวจสอบพาริตี้ที่เกิดขึ้นว่าเป็นคู่หรือเป็นคี่ โดยการนับลอจิก 1 ทั้งหมดรวมทั้งบิตพาริตี้ ถ้ากำหนดพาริตี้ไว้เป็นคู่ แต่ค่าตัวเลขที่นับออกมาเป็นคี่ ทางภาครับจะแสดงข้อผิดพลาดออกมาให้ผู้ใช้ทราบ กระบวนการดังกล่าวเป็นวิธีการตรวจสอบข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในภาครับส่งที่ง่ายที่สุด แต่สามารถตรวจสอบได้เมื่อมีบิตข้อมูลที่ทำการรับส่งข้อมูลผิดพลาดเพียงบิตเดียวเท่านั้น ถ้าข้อมูลที่ทำการรับส่งมีบิตที่ผิดพลาดมากกว่า 1 บิต การตรวจสอบพาริตี้ด้วยวิธีนี้จะไม่ได้ผล สำหรับการตั้งพาริตี้บิตเป็น NONE นั้น ทั้งภาครับและภาคส่งจะไม่มีการตรวจสอบพาริตี้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS – 232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS – 232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS – 232 ในอดีตถูกออกแบบมาเพื่อการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพียงอย่างเดียว เพื่อที่จะนำข้อมูลนี้ส่งผ่านโทรศัพท์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกชุดหนึ่งที่อยู่ห่างไกลกัน โดยสมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association : EIA) ได้วางมาตรฐานที่เรียกกันว่า EAI RS – 232 มาตรฐานนี้ในช่วงแรกใช้คอนเน็กเตอร์เป็นแบบ 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 ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE ทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น

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

สำหรับการใช้งานในคอมพิวเตอร์ พอร์ตอนุกรม RS – 232 ถูกใช้เพื่อเชื่อมต่อโมเด็ม เมาส์ และเครื่องพิมพ์ที่สามารถติดต่อทางพอร์ตอนุกรมได้

2.5.5 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS – 232 และการเชื่อมต่อ

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

- ขา Data Carrier Detect : DCD หรืออาจเรียกว่า Carier Detect : CD ขานี้จะทำงานเมื่อมีการส่งสัญญาณจากอุปกรณ์สื่อสาร เช่น โมเด็ม

- ขา Receive Data : RD หรือขา R x D ขานี้ใช้เพื่อรับสัญญาณจากพอร์ตอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์

- ขา Transmitted Data : TD หรือขา T x D ใช้ส่งข้อมูลออกจากคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลออกไป

- ขา Data Transmitted Ready : DTR เป็นขาเอาท์พุตที่ใช้ส่งสัญญาณจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่าต้องการติดต่อกับอุปกรณ์ปลายทาง โดยขา DTR นี้ จะต้องเชื่อมเข้าต่อกับขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

DSR ของอุปกรณ์ปลายทาง และขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางจะต้องเชื่อมต่อเข้ากับขา DSR ของคอมพิวเตอร์

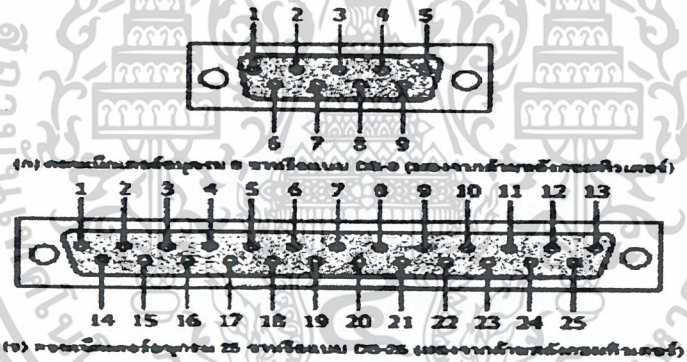
- ขา Signal Ground : GND เป็นขากราวด์ของสัญญาณ

- ขา Data Set Ready : DSR ขานี้จะใช้ควบคู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR จะเป็นขารับข้อมูลจากภายนอก

- ขา Request To Send : RTS เป็นขาเอาท์พุตสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้อุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลมาให้คอมพิวเตอร์ โดยขารับสัญญาณ RTS คือ ขา CTS

- ขา Clear To Send : CTS เป็นขาอินพุตที่รอรับสัญญาณที่ส่งเข้ามา เมื่อมีการส่งสัญญาณเข้ามาที่ขานี้ ข้อมูลที่ขา T x D จะถูกส่งออก

- ขา Ring Indicator : RI ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติในการสื่อสารโดยทั่วไปสายนี้จะไม่ถูกใช้งาน จะถูกใช้งานก็ต่อเมื่อเชื่อต่อเข้ากับโมเด็มแล้วยังมีความต้องการตรวจสอบสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์

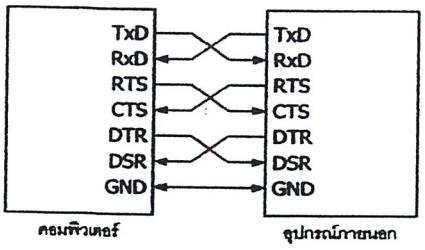


คอนเน็กเตอร์ DB-9	คอนเน็กเตอร์ DB-25	ชื่อของสายสัญญาณ	หน้าที่ของสายสัญญาณ
1	8	Data Carrier Detect : DCD	รับอย่าง
2	3	Received Data : RxD	รับอย่าง
3	2	Transmitted Data : TxD	ส่งข้อมูล
4	20	Data Terminal Ready : DTR	ส่งข้อมูล
5	7	Signal Ground : GND	-
6	6	Data Set Ready : DSR	รับอย่าง
7	4	Request To Send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

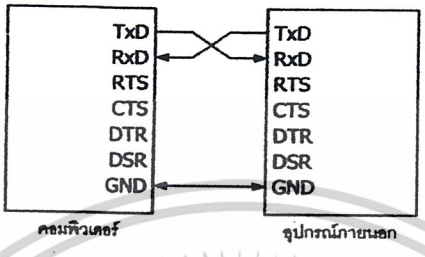
ภาพที่ 2.9 การจัดขาสัญญาณของพอร์ตอนุกรมในแบบต่าง ๆ และหน้าที่การทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

55713



(ก) การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ แบบ Null modem



(ข) การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ แบบ RS-232 โดยใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น

ภาพที่ 2.10 การต่ออุปกรณ์ภายนอกกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ในลักษณะต่างๆ

2.6 UART

UART มาจากคำว่า Universal Asynchronous Reciever Trasmitter ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัสนั่นเอง สำหรับการสื่อสารอนุกรมบนคอมพิวเตอร์แล้ว UART ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการสื่อสารอนุกรม

หน้าที่หลักของ UART คือ ทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบขนานจากคอมพิวเตอร์ให้อยู่ในรูปแบบอนุกรมแบบอซิงโครนัส แล้วส่งออกไป และทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนุกรมแบบอะซิงโครนัสที่ป้อนเข้ามายัง UART ให้เป็นแบบขนานก่อนที่จะส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์ ซึ่งนอกจาก UART จะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์แล้ว ยังแจ้งข้อมูลอื่นๆ ให้คอมพิวเตอร์รับทราบด้วย เช่น อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล (บอดเรต), รูปแบบการส่งข้อมูล, ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล เป็นต้น

ภายใน UART จะมีส่วนของวงจรสร้างบอดเรตแบบโปรแกรมได้ โดยกำหนดค่าตัวหารให้กับสัญญาณนาฬิกาของ UART โดยตัวหารมีขนาด 16 บิต ดังนั้น จึงสามารถกำหนดตัวหารอยู่ในช่วง 1 - 65,535 UART สามารถรับส่งข้อมูลได้ทั้งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (half duplex) และ ฟูลดูเพล็กซ์ (full duplex) โดยการส่งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์เป็นการส่งแบบทิศทางเดียว ส่วนการส่งแบบฟูลดูเพล็กซ์นั้นสามารถรับและส่งข้อมูลได้ในคราวเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของ UART

ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปมี UART ที่ใช้งานกันอยู่ 2 เบอร์คือ 8250 ซึ่งเป็น UART มาตรฐานที่มีใช้กันมายาวนาน UART เบอร์นี้จะมีบัฟเฟอร์สำหรับรับและส่งข้อมูลตำแหน่งเดียวกัน ทำให้การรับและส่งข้อมูลถูกจำกัดความเร็วอยู่ที่ 57.6 kbps เท่านั้น แต่ UART เบอร์นี้ก็ถือว่าเป็นต้นแบบของ UART ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ โดยคอมพิวเตอร์ทุกรุ่นจะต้องสนับสนุนการทำงานตามรูปแบบของ UART เบอร์นี้

UART อีกเบอร์คือ 16450 มีความสามารถรับส่งข้อมูลที่ความเร็ว 115,200 บิตต่อนาที และเพิ่มรีจิสเตอร์สำหรับพักข้อมูลสำหรับ UART นอกจากนั้นยังเพิ่มส่วนของชิฟต์รีจิสเตอร์แบบ FIFO (First In First Out) ขนาด 16 ไบต์เข้าไปทำให้สามารถสนับสนุนความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ 256 kbps ได้ โดยคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันใช้ UART เบอร์นี้หรือใหม่กว่า เช่น TL16C750 ซึ่งมีรีจิสเตอร์แบบ FIFO ขนาด 64 ไบต์ ทำงานได้ที่ระดับแรงดัน +5V และ +3V มีโหมดประหยัดพลังงาน สามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ความเร็ว 1 Mbps เมื่อใช้สัญญาณนาฬิกา 16 MHz

อย่างไรก็ตาม ความเร็วในการส่งข้อมูลที่มากมายของ UART เบอร์ใหม่ๆ ก็ไม่ได้ช่วยให้การรับส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์เร็วขึ้น เนื่องจากว่าคอมพิวเตอร์ยังใช้ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาในการแปลงข้อมูลเพียง 1.8432 MHz เท่านั้น

2.7 วงจรภายในและรีจิสเตอร์ของพอร์ตอนุกรม RS – 232

เครื่องคอมพิวเตอร์โดยทั่วไปสามารถต่อพอร์ตอนุกรมสูงสุดได้ 4 พอร์ต มีชื่อเรียกเป็น COM1, COM2, COM3, COM4 ซึ่งพอร์ตอนุกรมแต่ละตัวต่างก็ใช้งาน UART ภายในคอมพิวเตอร์ในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกเช่นเดียวกัน ดังในรูป จะแสดงผังการทำงานภายในของพอร์ตอนุกรมประกอบด้วยรีจิสเตอร์ 8 บิต 8 ตัวที่ใช้งานร่วมกับ UART แอดเดรสของรีจอสเตอร์ภายในพอร์ตอนุกรมสามารถคำนวณได้จากค่ารีจิสเตอร์พื้นฐานของพอร์ตอนุกรม ยกตัวอย่าง พอร์ตอนุกรม COM1 มีแอดเดรสอยู่ที่ 3F8H ตำแหน่งของรีจิสเตอร์ต่างๆ จะเป็นตำแหน่งที่บวกเข้าไปกับค่า 3F8H โดยรีจิสเตอร์ที่ใช้งานกับพอร์ตอนุกรมมีดังนี้

00H เป็นรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับเก็บข้อมูลที่รับเข้ามาหรือเตรียมข้อมูลก่อนที่จะส่งออกไป

01H เป็นรีจิสเตอร์เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ ใช้เซตโหมดการอินเตอร์รัปต์ของพอร์ตอนุกรม

02H เป็นรีจิสเตอร์แสดงโหมดการอินเตอร์รัปต์ ใช้เพื่อตรวจสอบโหมดของการอินเตอร์รัปต์

03H เป็นรีจิสเตอร์กำหนดรูปแบบของข้อมูล

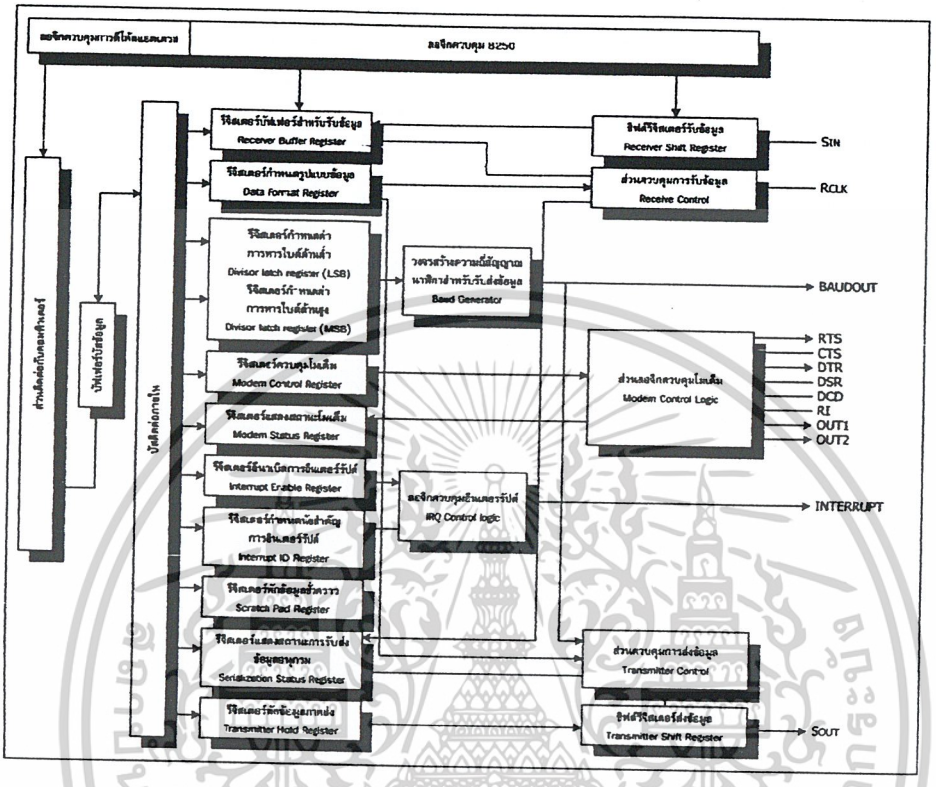
04H เป็นรีจิสเตอร์ควบคุมโมเด็ม ใช้ตรวจสอบบิตสำหรับติดต่อกับโมเด็ม เช่น RTS หรือ DTR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

05H เป็นรีจิสเตอร์แสดงสถานะการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

06H เป็นรีจิสเตอร์แสดงสถานะของโมเด็ม ซึ่งแสดงสถานะของขา DCD, RI, DSR, CTS

07H เป็นรีจิสเตอร์สำหรับการเก็บข้อมูลชั่วคราว



ภาพที่ 2.11 ไดอะแกรมการทำงานภายในของพอร์ตอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์

2.7.1 รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 00H : รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์

เป็นรีจิสเตอร์เก็บข้อมูลที่รับเข้ามาและส่งออก โดยการติดต่อกับรีจิสเตอร์นี้เพื่อเก็บข้อมูลจะต้องกำหนดให้บิต DLAB ในรีจิสเตอร์กำหนดรูปแบบข้อมูล (03H) มีสถานะเป็น "0" ซึ่งการเขียนข้อมูลมายังแอดเดรสนี้ เป็นการส่งข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์ส่งข้อมูลและข้อมูลจะถูกส่งออกไปแบบอนุกรม สำหรับการรับข้อมูล เมื่อรับเข้ามาแล้ว จะส่งต่อไปยังรีจิสเตอร์เก็บข้อมูล หลังจากอ่านค่าจากรีจิสเตอร์นี้ออกไป รีจิสเตอร์นี้จะถูกเคลียร์ และเตรียมพร้อมสำหรับรับข้อมูลในไบต์ต่อไป

2.7.2 รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 01H : รีจิสเตอร์เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์

เป็นรีจิสเตอร์สำหรับการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ซึ่งเป็นการกำหนดให้ UART สร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์ขึ้นมา ฟังก์ชั่นการทำงานแต่ละบิตของรีจิสเตอร์นี้มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	0	SINP	ERBK	TBE	R×RD

บิต 4 - 7 บิตเหล่านี้ไม่ถูกใช้งาน กำหนดให้เท่ากับ 0

SINP เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนสถานะที่ขาอินพุต CTS , DSR , DCD หรือขา RI

"1" เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์

"0" ดิสเอเบิล

ERBK เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากเกิดความผิดพลาดขึ้นด้วยสาเหตุจากพาริตี้ โอเวอร์รัน, เฟรมข้อมูลหรือการเบรกข้อมูล

"1" เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์

"0" ดิสเอเบิล

TBE เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์เมื่อรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลว่าง

"1" เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์

"0" ดิสเอเบิล

R×RD เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ได้รับข้อมูลแล้ว

"1" เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์

"0" ดิสเอเบิล

2.7.3 รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 02H : รีจิสเตอร์แสดงโหมดและสถานะการอินเตอร์รัปต์

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	0	0	ID1	ID0	PND

บิต 3 – 7 บิตเหล่านี้ไม่ถูกใช้งาน กำหนดให้เท่ากับ "0"

ID1, ID0 ใช้งานร่วมกันเพื่อแจ้งสาเหตุของการเกิดอินเตอร์รัปต์

"00" เกิดการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของขาอินพุตขึ้น การอินเตอร์รัปต์แบบนี้มีนัยสำคัญเป็นอันดับ 4

"01" เกิดการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ส่งข้อมูลว่างขึ้น การอินเตอร์รัปต์แบบนี้มีนัยสำคัญเป็นอันดับ 3

"10" เกิดการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากข้อมูลถูกเก็บลงในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว การอินเตอร์รัปต์แบบนี้มีนัยสำคัญเป็นอันดับ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"11" เกิดการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากความผิดพลาดในการถ่ายทอดข้อมูลหรือ เกิดการเบรก การอินเตอร์รัปต์แบบนี้มีนัยสำคัญเป็นอันดับ 1

PND ใช้ แสดงสถานะของการเกิดอินเตอร์รัปต์

"1" แสดงว่าไม่มีการอินเตอร์รัปต์

"0" แสดงว่ามีการอินเตอร์รัปต์

2.7.4 รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 03H : รีจิสเตอร์กำหนดรูปแบบของข้อมูล

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
DLAB	**BRK**	**PAR2**	**PAR1**	**PAR0**	**STOP**	**DAB1**	**DAB0**

DLAB ใช้ในการกำหนดหน้าที่การทำงานของรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ (00H)

"1" เป็นการเข้าสู่โหมดการหารค่าบอดเรต

"0" เป็นการเข้าถึงรีจิเตอร์บัฟเฟอร์ (รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 00H)และรีจิสเตอร์สำหรับเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ (รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 01H) เมื่อบิต DLAB เป็น "1" รีจิเตอร์บัฟเฟอร์ (00H) และรีจิสเตอร์เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ 01H จะใช้โหลดค่าการหารความถี่สำหรับกำหนดค่าบอดเรต โดยรีจิสเตอร์ 00H เก็บค่าตัวหารไบต์ต่ำ ส่วนรีจิสเตอร์ 01H ใช้เก็บค่าตัวหารไบต์สูง

BRK ใช้ควบคุมการหยุดถ่ายทอดข้อมูล

"1" สามารถหยุดได้

"0" ไม่มีการหยุด

PAR2,PAR1,PAR0 ใช้กำหนดบิตพาริตี้

"000" ไม่ใช้บิตพาริตี้

"001" กำหนดพาริตี้คี่

"011" กำหนดพาริตี้คู่

"101" มาร์ก (MARK)

"111" ช่องว่าง (space)

STOP ใช้กำหนดจำนวนบิตปิดท้าย

"1" มีบิตปิดท้าย 2 บิต

"0" มีบิตปิดท้าย 1 บิต

DAB1,DAB0 ใช้ร่วมกันในการกำหนดจำนวนบิตของข้อมูลที่ต้องการถ่ายทอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"00" จำนวนบิตข้อมูลเท่ากับ 5 บิต

"01" จำนวนบิตข้อมูลเท่ากับ 6 บิต

"10" จำนวนบิตข้อมูลเท่ากับ 7 บิต

"11" จำนวนบิตข้อมูลเท่ากับ 8 บิต

2.7.5 รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 04H : รีจิสเตอร์ควบคุมโมเด็ม

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	LOOP	OUT2	OUT1	RTS	DTR

บิต 5 – 7 ไม่มีการใช้งาน อ่านค่าได้เท่ากับ "0"

LOOP "1" เอ็นเอเบิลการส่งค่ากลับ

"0" ดิสเอเบิล

OUT1,OUT2 "1" เอ็นเอเบิลการใช้งานภายใน

"0" ดิสเอเบิล

RTS ใช้ควบคุมการทำงานของขา RTS

"1" เอ็นเอเบิล

"0" ดิสเอเบิล

DTR ใช้ควบคุมการทำงานของขา DTR

"1" เอ็นเอเบิล

"0" ดิสเอเบิล

2.7.6 รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 05H : รีจิสเตอร์แสดงสถานะการรับและส่งข้อมูลอนุกรมของ UART

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	TXE	TBE	BREK	FRME	PARE	OVRE	R×RD

TXE **(Transmitter Empty)**

"1" แสดงว่ารีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลว่าง

"0" แสดงว่ายังคงมีข้อมูล 1 ไบต์เก็บอยู่ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล

TBE **(Transmitter Buffer Empty)**

"1" แสดงว่ารีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลว่าง

"0" แสดงว่ายังคงมีข้อมูล 1 ไบต์เก็บอยู่ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BREK **(Break)**

"1" UART ตรวจพบการเบรค

"0" ไม่มีการเบรค

FRME **(Frame error)**

"1" UART ตรวจพบความผิดพลาดด้านเฟรมข้อมูล

"0" ไม่พบความผิดพลาดด้านเฟรมข้อมูล

PARE **(Parity Error)**

"1" UART ตรวจพบความผิดพลาดทางพาริตี้

"0" ไม่พบความผิดพลาดด้านทางพาริตี้

OVRE **(Overrun Error)**

"1" UART ตรวจพบความผิดพลาดแบบโอเวอรัน

"0" ไม่พบความผิดพลาดแบบโอเวอรัน

R×RD **(Received Data Ready)**

"1" มีการรับข้อมูลมาเก็บไว้ในบัฟเฟอร์

"0" ไม่มีข้อมูล

2.7.7 รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 06H : รีจิสเตอร์แสดงสถานะของโมเด็ม

ใช้เพื่อกำหนดสถานะสัญญาณอินพุต ของพอร์ตอนุกรม RS – 232 ซึ่งได้แก่ สัญญาณ DCD ,DSR ,CTS ,RI สำหรับการเชื่อมต่อใช้งานแบบอเนกประสงค์ ดังรายละเอียดหน้าที่ของแต่ละบิตดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
DCD	**RI**	**DSR**	**CTS**	**DDCD**	**DRI**	**DDSR**	**DCTS**

DCD ใช้แสดงสภาวะของขา DCD

"1" แสดงว่าที่ขา DCD เป็นลอจิก "1"

"0" แสดงว่าที่ขา DCD เป็นลอจิก "0"

RI ใช้แสดงสภาวะของขา RI

"1" แสดงว่าที่ขา RI เป็นลอจิก "1"

"0" แสดงว่าที่ขา RI เป็นลอจิก "0"

DSR ใช้แสดงสภาวะของขา DSR

"1" แสดงว่าที่ขา DSR เป็นลอจิก "1"

"0" แสดงว่าที่ขา DSR เป็นลอจิก "0"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DCTS ใช้ แจ้งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของบิต CTS

"1" แสดงว่าบิต CTS เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบจากการอ่านค่าครั้งที่แล้ว

"0" แสดงว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับการอ่านค่าครั้งที่แล้ว

DDSR ใช้ แจ้งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของบิต DSR

"1" แสดงว่าบิต DSR เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบจากการอ่านค่าครั้งที่แล้ว

"0" แสดงว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับการอ่านค่าครั้งที่แล้ว

DRI ใช้ แจ้งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของบิต RI

"1" แสดงว่าบิต RI เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบจากการอ่านค่าครั้งที่แล้ว

"0" แสดงว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับการอ่านค่าครั้งที่แล้ว

DDCD ใช้ แจ้งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของบิต DDCD

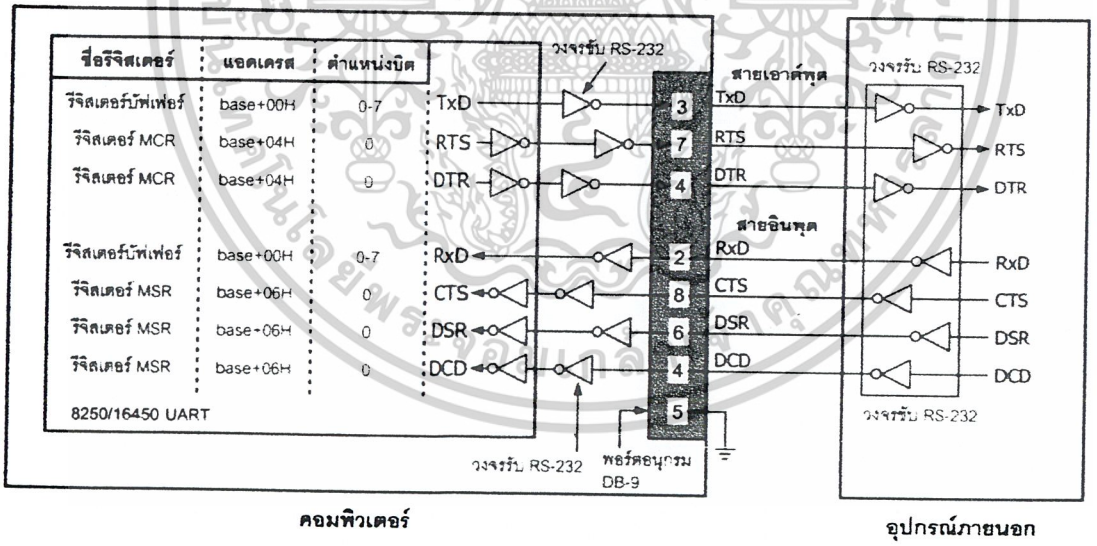
"1" แสดงว่าบิต CTS เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบจากการอ่านค่าครั้งที่แล้ว

"0" แสดงว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับการอ่านค่าครั้งที่แล้ว

DCTS ใช้ แสดงสภาวะของขา CTS

"1" แสดงว่าที่ขา CTS เป็นลอจิก 1

"0" แสดงว่าที่ขา CTS เป็นลอจิก 0



ภาพที่ 2.12 ไดอะแกรมแสดงโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของพอร์ตอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.8 รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 07H : รีจิสเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลชั่วคราว

ทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำแรมขนาด 1 ไบต์ การอ่านและเขียนข้อมูลที่รีจิสเตอร์ตัวนี้ไม่ส่งผลใดๆ ต่อการใช้งาน UART

2.8 บอร์ดทดลองที่ใช้ในการทำงาน

บอร์ดทดลองที่ใช้ในการทำงานมีทั้งหมด 3 ตัวคือ

2.8.1 บอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม (S – Board V2.0)

2.8.2 บอร์ดขับรีเลย์ 7 ช่อง (EX – 06)

2.8.3 บอร์ด ADC/DAC ผ่านระบบบัส I^2C (EX – 08)

- **คุณสมบัติทางเทคนิคของบอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม (S – Board V2.0)**
- เชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตอนุกรม
- วงจรขับ RS – 232 และบัฟเฟอร์ใช้ไอซี MAX232/ICL232
- วงจร UART ใช้ไอซีพิเศษ UTX8100
- สามารถเลือกอัตราเร็วและรูปแบบของข้อมูลในการสื่อสารได้ด้วยจั๊มเปอร์
- LED แสดงสภาวะการรับส่งข้อมูลและแจ้งความผิดพลาด
- มีวงจรแปลงสัญญาณเป็นระบบบัส I^2C
- คอนเน็กเตอร์ขยายระบบ แบ่งเป็นอินพุต เอาท์พุตอนุกรม, DATA BUS ,UART IN-OUT ,SHIFT OUT และ S – BUS สำหรับเชื่อมต่อกับบอร์ด EX-SERIES

เริ่มต้นจากคอมพิวเตอร์เชื่อมต่อกับ S – Board V2.0 ผ่านทางคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 สัญญาณจากคอมพิวเตอร์นี้จะมีระดับแรงดันตามมาตรฐาน RS-232 คือ มีระดับแรงดัน ± 3 V ถึง ± 12 V เพื่อให้สามารถทำงานเข้ากันได้กับวงจรหลัก ซึ่งระดับแรงดันเป็นแบบ TTL จึงต้องต่อผ่านไอซี ICL232 เพื่อแปลงระดับแรงดันให้อยู่ในระดับ TTL เสียก่อน เนื่องจากขาสัญญาณที่ใช้มีมากถึง 7 สัญญาณจึงต้องใช้ไอซี ICL232 จำนวน 2 ตัวสำหรับทั้งแปลงแรงดันด้านอินพุตและเอาท์พุต

คอนเน็กเตอร์ S-BUS

สัญญาณที่ผ่านไอซี MAX232 มาแล้วจะถูกส่งไปยังไอซีบัฟเฟอร์เบอร์ 74HC541 ทำหน้าที่ขยายกระแสให้กับขาสัญญาณทั้งหมดพร้อมทั้งยังช่วยป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับคอมพิวเตอร์กรณีมีความผิดพลาดจากการต่อวงจร ขาสัญญาณทั้งหมดของพอร์ตอนุกรมจะถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกส่งตรงไปยังคอนเนกเตอร์ S-BUS ซึ่งผู้ใช้งานสามารถนำสัญญาณส่วนนี้ไปประยุกต์ใช้งานต่างๆ ได้ทันที โดยมีทั้งไฟเลี้ยง +5 V และกราวด์ควบคู่ไปด้วย

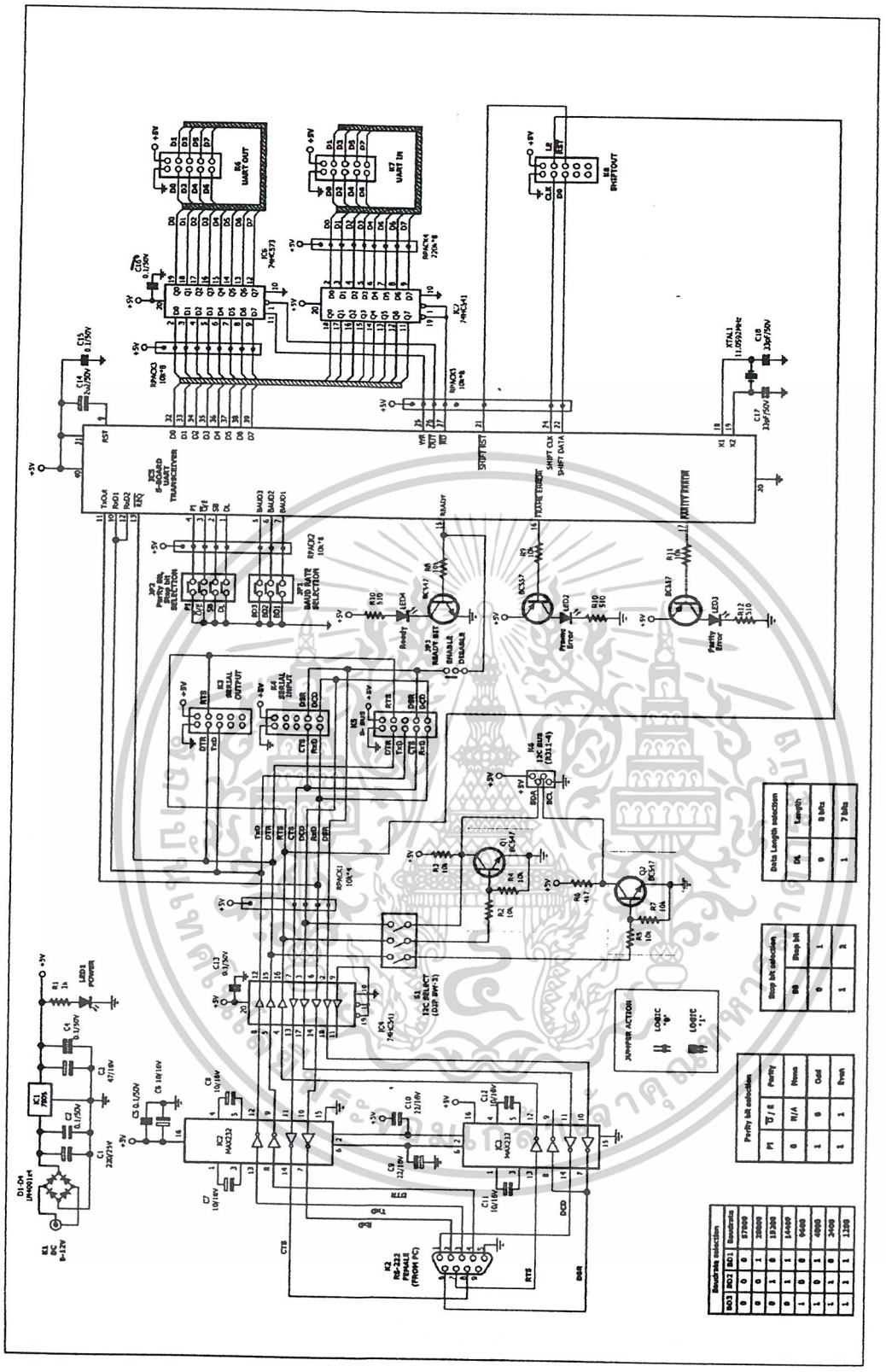
คอนเน็กเตอร์ SERIAL OUTPUT

ขาสัญญาณเอาท์พุตของพอร์ตอนุกรมซึ่งประกอบด้วยขา TXD, DTR , RTS จะถูกส่งไปยังคอนเนกเตอร์ SERIAL OUTPUT เพื่อใช้สำหรับขับอุปกรณ์เอาท์พุต ที่คอนเนกเตอร์ SERIAL OUTPUT นี้มีไฟเลี้ยงควบคู่ไปด้วยเช่นเดียวกับคอนเนกเตอร์ S-BUS

คอนเน็กเตอร์ SERIAL INPUT

ขาอินพุตของพอร์ตอนุกรมประกอบด้วยขา DCD, CTS, RXD, และ DSR จะต่อกับคอนเนกเตอร์ SERIAL INPUT เพื่อรับสัญญาณอินพุตจากภายนอกเข้าไปประมวลผลในคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.13 วงจรของบอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม (S – Board V2.0)ที่ใช้ทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบบัส I^2C

บน S-Board ยังมีการจัดระบบบัสเพื่อขยายขีดความสามารถอีก 1 ระบบคือ ระบบบัส I^2C โดยใช้สัญญาณขา DTR, RTS, DCD ร่วมกับอุปกรณ์อีกเล็กน้อยเพื่อจัดสัญญาณให้ตรงตามมาตรฐานของระบบบัส I^2C โดยมีดิปสวิตช์ S_1 ทำหน้าที่ตัดต่อขาพอร์ตอนุกรมทั้งสามเส้นให้เชื่อมต่อกับระบบบัส I^2C

ขา SDA ของระบบบัส I^2C ทำหน้าที่เป็นขาข้อมูล ซึ่งต้องมีทั้งการส่งและรับสัญญาณจะใช้ขา RTS ในการส่งสัญญาณ และรับสัญญาณผ่านขา DCD โดยทำงานผ่านทรานซิสเตอร์ Q_1 ในสภาวะปกติที่ขา SDA จะมีลอจิก 1 จากตัวต้านทานพูลอัพ R_3 ในขณะที่ขา SCL ซึ่งเป็นขาสัญญาณนาฬิกาของระบบบัส I^2C จะใช้ขา DTR ส่งสัญญาณผ่านทรานซิสเตอร์ Q_2

สัญญาณทั้งหมดของระบบบัส I^2C รวมทั้งไฟเลี้ยง +5 V และกราวด์จะต่อเข้ากับแจ็คโมดูล่าร์ขนาด 4 ขา กำหนดเป็นจุดเชื่อมต่อระบบบัส I^2C ทำให้สามารถต่อพ่วงบอร์ดที่จัดการติดต่อแบบระบบบัส I^2C ได้โดยตรง โดยไม่ต้องต่อไฟเลี้ยงวงจรเพิ่มเติม

การทำงานบนบัส I^2C

ก่อนที่จะเริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต่ออยู่บนบัส ต้องมีการอ้างถึงอุปกรณ์เสียก่อน โดยการอ้างถึงอุปกรณ์บนบัส I^2C นั้นจะใช้การอ้างถึงแบบ 7 บิตหรือ 10 บิต ในกรณีที่มีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัสไม่มาก ใช้การอ้างถึงแบบ 7 บิตก็พอ แต่ถ้ามีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัส มากกว่า 127 แอดเดรส จำเป็นต้องใช้การอ้างถึงแบบ 10 บิต หลังจากที่ติดต่อกับอุปกรณ์แต่ละตัวได้เรียบร้อยแล้ว ก็จะเริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูลกันต่อไป

สภาวะที่เกิดขึ้นบนบัส I^2C

มีอยู่ด้วยกัน 5 สภาวะดังนี้

1) บัสว่าง (Bus not easy) สภาวะนี้เกิดขึ้นเมื่อสถานะลอจิกบนสาย SDA และ SCL เป็นลอจิกสูงทั้งคู่ นั่นหมายความว่า การถ่ายทอดข้อมูลสามารถเริ่มต้นขึ้นได้

2) เริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูล (start data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA เปลี่ยนระดับจากสูงไปต่ำ ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะที่เกิดขึ้นนี้ว่า สภาวะเริ่มต้น (START)

3) ข้อมูลดำรงอยู่บนบัส (data valid) สภาวะนี้เกิดขึ้นถัดจากสภาวะเริ่มต้น โดยสถานะลอจิกที่เกิดขึ้นบนสาย SDA ก็คือข้อมูลที่ทำการถ่ายทอด เมื่อสาย SCL เป็นลอจิกสูง สถานะที่สาย SDA ต้องคงที่เพื่อให้อุปกรณ์รับรู้ข้อมูลในจังหวะนั้นว่า เป็น “0” หรือ “1” ข้อมูลอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ในขณะที่สาย SCL เป็นลอจิกต่ำ แต่เมื่อใดก็ตามที่ต้องการให้เกิดการถ่ายทอดข้อมูลอย่างสมบูรณ์ สถานะลอจิกที่ขา SDA ต้องคงที่ตลอดช่วงเวลาที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง หากเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะลอจิกใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่สาย SCL มีลอจิกสูงนั้น อุปกรณ์มาสเตอร์ที่ทำการควบคุมการถ่ายทอดข้อมูลจะแปลความหมายเป็นสภาวะหยุดหรือสภาวะเริ่มต้นก็ได้ ทำให้ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดนั้นเกิดความผิดพลาดขึ้น

4) รับรู้ข้อมูล (acknowledge) เกิดขึ้นหลังจากที่การถ่ายทอดข้อมูลจากตัวส่งมายังตัวรับเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยตัวส่งจะทำการส่งข้อมูลมา 1 บิตเรียกว่า บิตรับรู้ (acknowledge bit) มีสถานะเป็นลอจิกสูง หลังจากส่งข้อมูลมาครบถ้วน ส่วนอุปกรณ์มาสเตอร์จะทำการส่งสัญญาณรับรู้พิเศษซึ่งสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา อุปกรณ์สเลฟที่อ้างถึงในการติดต่อหรือกำลังติดต่ออยู่ในขณะนั้นก็จะกำเนิดบิตรับรู้ที่มีสถานะลอจิกต่ำเพื่อตอบสนองให้ทราบว่าได้รับข้อมูลให้เรียบร้อยแล้ว

5) หยุดการถ่ายทอดข้อมูล (stop data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากต่ำไปสูง ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะที่เกิดขึ้นนี้ว่า สภาวะหยุด (STOP)

ส่วนของ UART

เพื่อเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม S-Board ได้จัดวงจรสื่อสารอนุกรมแบบอซิงโครนัสหรือ UART เตรียมไว้สำหรับการทดลองด้านสื่อสารข้อมูลอนุกรมโดยเฉพาะ หัวใจหลักของส่วน UART นี้คือ IC_5 ไอซีเบอร์ UTX8100 ซึ่งทำหน้าที่รับส่งข้อมูลแบบอนุกรมแบบอซิงโครนัส เช่นเดียวกับการสื่อสารข้อมูลอนุกรมที่ใช้บนคอมพิวเตอร์โดยใช้ขา T×D และ R×D ในการเชื่อมต่อ

ขา T×D ใช้เพื่อส่งข้อมูลไปยังไอซี UTX8100 ผ่านทางขา R×D1 และ R×D2 เมื่อ UTX8100 ได้รับสัญญาณจากขา T×D แล้วจะทำการแปลงข้อมูลให้กลายเป็นแบบขนานและส่งออกไปทางขา D0-D7 โดยที่ขาเอาท์พุตเหล่านี้จะต่อเข้ากับ IC_6 เบอร์ 74HC573 เพื่อส่งไปยังคอนเน็กเตอร์ UART OUT เพื่อให้ผู้ใช้สามารถนำสัญญาณไปใช้ได้ทันที

ขา R×D ใช้เพื่อรับข้อมูลจาก UTX8100 ผ่านทางขา T×Out เมื่อมีกรกระตุ้นด้วยลอจิก “0” จากขา DTR ของพอร์ตอนุกรมเข้าที่ขา REQ ของ UTX8100 ข้อมูลที่ขา D0-D7 จะถูกแปลงให้เป็นแบบอนุกรมและส่งไปยังขา R×D เพื่อติดต่อกับคอมพิวเตอร์ต่อไป โดยสัญญาณอินพุตที่คอนเน็กเตอร์ UART IN ก่อนส่งมาให้กับขา D0-D7 จะต้องผ่านไอซีบัฟเฟอร์เบอร์ 74HC541 (IC_7) เสียก่อน

การกำหนดอัตราการรับส่งข้อมูลหรือบอดเรตให้แก่ UTX8100 สามารถกำหนดได้ 8 ค่าคือ 1200,2400, 4800 , 9600, 14400, 19200, 28800, และ 57600 บิตต่อวินาที โดยเลือกจากจั้มเปอร์ JP1 ซึ่งต่อกับขา BAUD1 – BAUD3 ของ UTX8100

นอกจากการกำหนดค่าบอดเรตมาตรฐานแล้ว UTX8100 ยังสามารถกำหนดบิตในการสื่อสารข้อมูล, การตรวจสอบพาริตี้ และจำนวนบิตปิดท้ายได้ด้วย โดยการกำหนดที่จั้มเปอร์บน S-Board นอกจากนี้ในกรณีที่มีข้อผิดพลาดในการรับส่งข้อมูล UTX8100 มีขาเอาท์พุตสำหรับแสดงข้อผิดพลาด อันได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อผิดพลาดทางพาริตี้ (Parity Error : PE) และข้อผิดพลาดทางเฟรมข้อมูล (Frame Error : FE) โดยแสดงข้อผิดพลาดออกมาเป็นลอจิก "0" เมื่อนำวงจรขับ LED อันประกอบด้วยทรานซิสเตอร์และตัวต้านทานเล็กน้อยต่อกับขาเหล่านี้ ก็จะทำให้ผู้ทดลองสามารถมองเห็นข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน

ถ้าเกิดความผิดพลาดทางพาริตี้ขึ้น LED สีแดงที่ตำแหน่ง PARITY ERROR จะสว่าง

ถ้าเกิดความผิดพลาดทางเฟรมข้อมูล LED สีเหลืองที่ตำแหน่ง FRAME ERROR จะสว่าง

ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลอยู่ภายในรีจิสเตอร์ตัวส่งของ UTX8100 ขา READY จะมีลอจิก "1" เกิดขึ้น จะเป็นการแจ้งให้ทราบว่า ขณะนี้ UTX8100 ไม่มีข้อมูลค้างอยู่ภายใน สามารถทำการส่งข้อมูลได้ สังเกตได้จาก LED สีเขียวที่ตำแหน่ง READY ติดสว่าง

คอนเน็กเตอร์ SHIFTOUT

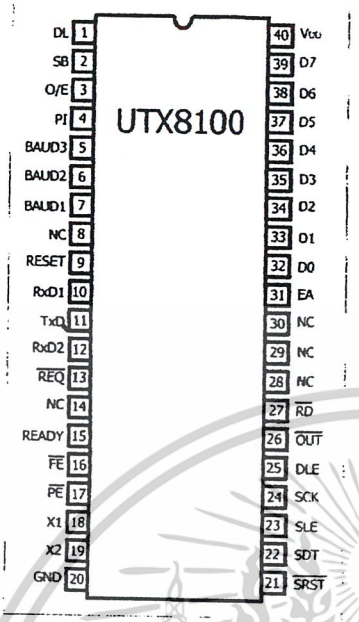
บน S-Board V 2.0 สามารถที่จะขยายจำนวนพอร์ตเอาท์พุตเพิ่มขึ้นได้ด้วยการใช้รูปแบบการสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบซิงโครนัสผ่านทางขาสัญญาณ SHIFT CLK และ SHIFT DATA ของไอซี UTX8100 โดยสัญญาณจากขาทั้งสองจะส่งมาที่คอนเน็กเตอร์ SHIFTOUT ในชื่อ CLK และ D0 ซึ่งก็คือ สัญญาณนาฬิกา (CLK) และสัญญาณข้อมูลอนุกรม (D0) นั่นเอง ส่วนสัญญาณ LE หรือสัญญาณสำหรับแลตช์ข้อมูลนั้นได้จากสัญญาณ RTS ซึ่งควบคุมมาจากคอมพิวเตอร์ สุดท้ายคือ สัญญาณ RESET (RST) ได้มาจากขา SHIFT RST ของ UTX8100 สำหรับรายละเอียดของการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมขาสัญญาณเหล่านี้จะถูกกล่าวถึงเมื่อถูกใช้ร่วมกับ EX – 09 เพื่อเพิ่มจำนวนพอร์ตเอาท์พุต

การใช้งาน UART เพื่อเปลี่ยนข้อมูลอนุกรมเป็นขนานและเปลี่ยนข้อมูลขนานเป็นอนุกรม

การเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมกับอุปกรณ์ภายนอกจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนุกรมจากพอร์ต RS-232 ให้เป็นแบบขนานและในทางกลับกันก็แปลงสัญญาณแบบขนานจากอุปกรณ์ภายนอกให้เป็นแบบอนุกรมก่อนส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต RS-232 ซึ่งอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่นี้จะเรียกว่า UART

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไอซี UART เบอร์ UTX8100



การเลือกอัตราบอด (บิตต่อวินาที)			
BD3	BD2	BD1	อัตราบอด
0	0	0	57600
0	0	1	28800
0	1	0	19200
0	1	1	14400
1	0	0	9600
1	0	1	4800
1	1	0	2400
1	1	1	1200

ตารางที่ 5-1 แสดงการเลือกอัตราบอดของไอซี UTX8100 ด้วยการกำหนดลอจิกที่ขา BAUD3-BAUD1

ภาพที่ 2.14 การจัดขาของ CDP6402

รูปร่างและตำแหน่งขาของไอซี UTX8100 มีรายละเอียดการทำงานของขาดังนี้

ขา 1 : DL (Data length select) เป็นขาอินพุตกำหนดความยาวของข้อมูล

ถ้าเป็นลอจิก “0” เลือกความยาวข้อมูลเป็น 8 บิต

ถ้าเป็นลอจิก “1” เลือกความยาวข้อมูลเป็น 7 บิต

ขา 2 : SB (Stop bit select) เป็นขาอินพุตเลือกจำนวนบิตปิดท้าย

ถ้าเป็นลอจิก “0” เลือกจำนวนบิตปิดท้ายเท่ากับ 1 บิต

ถ้าเป็นลอจิก “1” เลือกจำนวนบิตปิดท้ายเท่ากับ 2 บิต

ขา 3 : O/E (Odd/Even parity select) เป็นขาอินพุตเลือกชนิดของการตรวจสอบพาริตี้

ถ้าเป็นลอจิก “0” เลือกตรวจสอบพาริตี้คี่ (Odd parity)

ถ้าเป็นลอจิก “1” เลือกตรวจสอบพาริตี้คู่ (Even parity)

ขา 4 : PI (Parity inhibit) เป็นขาอินพุตสำหรับเอ็นเอเบิลการตรวจสอบ ทำงานที่ลอจิก”1”

ขา 5–7 : BAUD3-BAUD1 (Baudrate select) เป็นขาอินพุตสำหรับเลือกอัตราบอดหรืออัตราเร็วในการถ่ายทอดข้อมูล โดยขาอินพุตทั้งสามต้องทำงานร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา 8 : NC ไม่มีการใช้งานขานี้

ขา 9 : RESET ต่อกับตัวเก็บประจุค่า 2.2μF เพื่อรีเซตการทำงานภายในเมื่อเริ่มต้นจ่ายไฟให้แก่ไอซี

ขา 10 : RXD1 (Receive data line 1) เป็นขาอินพุตรับข้อมูลอนุกรมในระดับทีทีแอลโดยต่อผ่านวงจรแปลงระดับสัญญาณเข้าที่ขา TXD ของพอร์ตอนุกรมเพื่อรับข้อมูล

ขา 11 : TXD (Transmmit data line) เป็นขาเอาท์พุตส่งข้อมูลอนุกรมไปยังพอร์ตอนุกรมโดยต่อผ่านวงจรแปลงระดับสัญญาณเข้าที่ขา RXD ของพอร์ตอนุกรมเพื่อส่งข้อมูล

ขา 12 : RXD2 (Receive data line 2) เป็นขาอินพุตรับข้อมูลอนุกรมในระดับทีทีแอลช่องที่ 2 ในการใช้งานปกติจะต่อเข้ากับขา RXD1

ขา 13 : REQ (Request) เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณร้องขอให้ส่งข้อมูลจากขาข้อมูล D0-D7 ออกไปทางขา TXD แบบอนุกรมทำงานที่ลอจิก "0"

ขา 14 : NC ไม่มีการใช้งานขานี้

ขา 15 : READY (Chip ready) เป็นขาเอาท์พุตแจ้งความพร้อมในการทำงานของไอซี UTX8100 หากไอซีอยู่ระหว่างการส่งข้อมูลจะทำให้ขานี้มีลอจิก "0" และเมื่อไอซีพร้อมสำหรับการส่งข้อมูลขานี้จะเป็นลอจิก "1"

ขา 16 : FE (Frame error) เป็นขาเอาท์พุตแจ้งความผิดพลาดทางเฟรมข้อมูล ทำงานที่ลอจิก "0"

ขา 17 : PE (Parity error) เป็นขาเอาท์พุตแจ้งความผิดพลาดจากการตรวจสอบพาริตี้ทำงานที่ลอจิก "0"

ขา 18-19 : XTAL (Clock source) เป็นขาเอาท์พุตสำหรับต่อกับคริสตัลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกากำหนดจังหวะการทำงาน ค่าคริสตัลที่ใช้คือ 11.0592 MHz

ขา 20 : GND (Ground) ขาต่อลงกราวด์

ขา 21 : SRST (Shift Reset) เป็นขาเอาท์พุตส่งสัญญาณรีเซตสำหรับการเลื่อนข้อมูลแบบซิงโครนัส

ขา 22 : SDT (Shift data) เป็นขาเอาท์พุตสำหรับการส่งข้อมูลอนุกรมออกแบบซิงโครนัส

ขา 23 : SLE (Shift Latch Enable) เป็นขาเอาท์พุตส่งสัญญาณแลตช์ของการเลื่อนข้อมูลอนุกรมแบบซิงโครนัส โดยจะมีสัญญาณลอจิก "1" ออกในทุกๆการเลื่อนข้อมูลครบ 8 บิต หรือ 1 ไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา 24 : SCK (Shift Clock) เป็นขาเอาท์พุตส่งสัญญาณนาฬิกาสำหรับกำหนดจังหวะการเลื่อนข้อมูลแบบซิงโครนัส

ขา 25 : WR (Write data output) เป็นขาเอาท์พุตส่งสัญญาณลอจิก "1" เมื่อต้องการแลตช์ข้อมูลเอาท์พุตที่ขา D0-D7 (ใช้งานร่วมกับไอซีแลตช์ เช่นเบอร์ 74HC573)

ขา 26 : OUT (Data output enable) เป็นขาเอาท์พุตสำหรับส่งสัญญาณลอจิก "0" เพื่อนำข้อมูลออกไปใช้งาน (ใช้งานร่วมกับไอซีแลตช์ เช่นเบอร์ 74HC573)

ขา 27 : RD (Read data input) เป็นขาเอาท์พุตสำหรับส่งสัญญาณลอจิก "0" เป็นเอ็นเอเบิลการรับข้อมูลขนานที่ขา D0-D7 เข้าสู่ตัวไอซี UTX8100 (ใช้งานร่วมกับไอซีบัฟเฟอร์ เช่นเบอร์ 74HC541)

ขา 28-30 : NC ไม่มีการใช้งานที่ขานี้

ขา 31 : EA (Enable chip) เป็นขาอินพุตสำหรับควบคุมการทำงานหลักของ UTX8100 ต้องต่อเข้ากับลอจิก "1" โดยการใช้ตัวต้านทานพูลอัพหรือต่อกับไฟเลี้ยง +5V โดยตรงก็ได้

ขา 32-39 : D0-D7 (Data bus) เป็นขาอินพุตเอาท์พุตของข้อมูลขนาด 8 บิต เป็นอินพุตเมื่อต้องการอ่านข้อมูลเข้าแบบขนาน และเป็นขาเอาท์พุตเมื่อต้องการส่งข้อมูลออกแบบขนาน เทียบได้กับขา UART IN และ UART OUT รวมกันของไอซี CDP6402

ขา 40 : V_{DD} (Supply voltage) เป็นขาอินพุตสำหรับรับไฟเลี้ยง +5V.

การรับส่งข้อมูลของ UTX8100

UTX8100 ต้องทำงานร่วมกับไอซีแลตช์และซีบัฟเฟอร์เพื่อส่งและรับข้อมูลขนานขนาด 8 บิต เริ่มจากเมื่อต้องการส่งข้อมูลจากขา D0-D7 ออกไปยังพอร์ตอนุกรม ข้อมูลขนาด 8 บิต จะต้องต่อผ่านไอซีบัฟเฟอร์ซึ่งได้รับการควบคุมจากขา RD ของ UTX8100 นั่นคือเมื่อต้องการอ่านข้อมูลขนาน UTX8100 จะรอสัญญาณ REQ จากคอมพิวเตอร์ เมื่อได้รับสัญญาณ REQ แล้วUTX8100 จะส่งสัญญาณ RD ออกไปยังขาเอ็นเอเบิลการทำงานของไอซี 74HC541 ข้อมูลทั้ง 8 บิต จากจุด UART IN จะถูกส่งเข้ามายังตัวไอซี UTX8100 แล้วทยอยส่งออกไปทางขา TXD เพื่อส่งต่อไปยังพอร์ตอนุกรมต่อไป ในระหว่างที่ UTX8100 ส่งข้อมูลออกนั้น ตัว UTX8100 จะทำให้ขา READY เป็นลอจิก "0" เพื่อแจ้งให้ทราบว่าขณะนี้ "ไม่ว่าง ไม่พร้อมจะทำงาน" จนกระทั่งส่งข้อมูลเรียบร้อย ขา READY ก็จะกลับมาเป็นลอจิก "0" เพื่อแจ้งว่า พร้อมทำงานในลำดับต่อไปแล้ว

ในกรณีของการรับข้อมูลเข้ามา คอมพิวเตอร์ต้องตรวจสอบก่อนว่า ขณะนี้ UTX8100 พร้อมรับข้อมูลหรือไม่ โดยการตรวจสอบสถานะลอจิกี่ขา READY หากเป็น "1" แสดงว่า ไม่ว่าง ต้องรอจนกระทั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา READY เป็น "0" คอมพิวเตอร์จึงจะสามารถส่งข้อมูลมาได้ UTX8100 สามารถนำข้อมูลออกได้ 2 ทางคือ ทางขา D0-D7 และทางขา SDT โดยข้อมูลที่ออกไปทางขา D0-D7 จะผ่านไอซีบัฟเฟอร์เบอร์ 74HC573 และข้อมูลจะถูกส่งออกไปยัง UART OUT ก็ต่อเมื่อ UTX8100 ส่งสัญญาณลอจิกเป็น "0" ออกไปที่ขา OUT และหากต้องการรักษาค่านั้นไว้ ต้องส่งสัญญาณ WR ไปยังขาอินพุตสำหรับแลตช์ข้อมูลของ 74HC573 (ลอจิก "0")

ทางด้านขา SDT ข้อมูลจะออกมาในลักษณะอนุกรมตามจังหวะของสัญญาณนาฬิกาที่ขา SCK และเมื่อสัญญาณถูกเลื่อนออกมาครบ 8 บิต UTX8100 จะส่งสัญญาณ SLE ออกมา (ไม่ใช้ใน S- Board V2.0)

การนำข้อมูลจาก UTX8100 ออกมาใช้งานสามารถกระทำทั้ง 2 ทางได้พร้อมกัน โดยไม่ต้องเลือกทำให้นำข้อมูลไปใช้ได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น

สำหรับการกำหนดค่าบอดเรตทั้งทางภาครับและภาคส่งต้องกำหนดให้มีค่าเท่ากัน ที่ไอซี UTX8100 กำหนดที่ขา BAUD1-BAUD3 ส่วนการกำหนดตัวแปรในการสื่อสารข้อมูลอนุกรมอื่นๆ สามารถกำหนดได้อย่างครบถ้วน ไม่ว่าจะเป็นการตรวจสอบพาริตี้ เลือกจำนวนของบิตปิดท้าย และการกำหนดความยาวของข้อมูลในการรับส่งได้ระหว่าง 7 หรือ 8 บิต

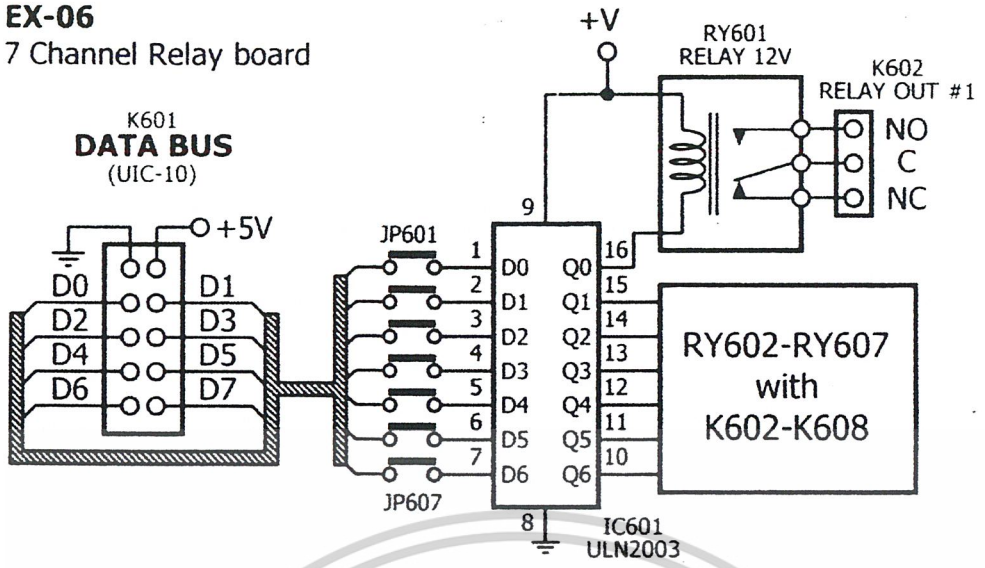
หากรูปแบบของการสื่อสารข้อมูลทั้งของภาครับและภาคส่งไม่ถูกต้องตรงกัน ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูล ความผิดพลาดเหล่านี้ UTX8100 ก็สามารถตรวจสอบและแจ้งผลได้ด้วยโดยแจ้งผ่านทางขา PE และ FE

2.8.2 บอร์ดขับรีเลย์ 7 ช่อง (EX-06)

- คุณสมบัติทางเทคนิค

- ขับรีเลย์ขนาด 12 V พิกัดหน้าสัมผัส 220 Vac 5A
- ใช้แหล่งจ่ายไฟ +12 V 1A สำหรับรีเลย์แยกต่างหาก
- เลือกขับรีเลย์ได้ 7 ตัวด้วยการใช้จั้มเปอร์
- คอนเน็กเตอร์ DATA BUS สำหรับเชื่อมต่อกับ P-Board และ S-Board

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.15 วงจรบอร์ดขับรีเลย์ 7 ช่อง (EX-06)

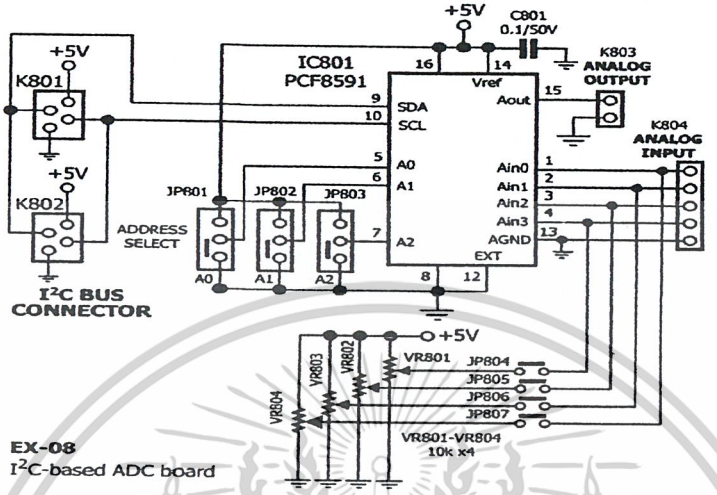
2.8.3 บอร์ด ADC/DAC ผ่านระบบบัส I^2C (EX – 08)

- คุณสมบัติทางเทคนิค
- ใช้การเชื่อมต่อแบบบัส I^2C
- อินพุตสัญญาณอนาลอก 4 ช่องรับแรงดันไฟตรงได้ตั้งแต่ 0 – 5V
- เอาท์พุตของวงจร DAC 8 บิต 1 ช่อง ย่านแรงดัน 0 – 5 V
- ต่อพ่วงกันเพื่อขยายได้สูงสุดอีก 7 บอร์ด รวมมีอินพุตอนาลอก 32 ช่องเอาท์พุตอนาลอก 4 ช่อง
- เลือกแอดเดรสในการติดต่อได้
- คอนเน็กเตอร์ DATA BUS เชื่อมต่อกับบอร์ด S – Board

บอร์ด EX-08 มีวงจรภายในดังแสดงในรูป บนบอร์ดจะมีไอซี PCF8591 ซึ่งสามารถกำหนดแอดเดรสได้ตามค่าที่ต้องการผ่านจั้มเปอร์ JP_{801} – JP_{803} โดยปกติถ้ามีการใช้ PCF8591 เพียงตัวเดียวมักจะกำหนดค่าแอดเดรสเอาไว้เท่ากับ 000 การเชื่อมต่อบอร์ด EX – 08 กับ S-Board จะใช้การเชื่อมต่อผ่านแจ๊คโมดูล่าร์ที่ตำแหน่งแจ๊ค I^2C และสามารถต่อพ่วงบอร์ดร่วมกันได้มากถึง 8 บอร์ด จากการกำหนดแอดเดรสแต่ละบอร์ดต่างกัน อินพุตสัญญาณอนาลอกของ PCF8591 มีทั้งหมด 4 ช่อง ผู้ใช้งานสามารถเลือกการป้อนอินพุตอนาลอก 0-5 V จากภายนอกหรือจากตัวต้านทานปรับค่าได้บนบอร์ด ซึ่งใช้ปรับค่าแรงดันระหว่าง 0 – 5 V จากไฟเลี้ยงบนบอร์ด EX – 08 โดยใช้จั้มเปอร์ JP_{804} – JP_{807} บนตัวบอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ PCF8591 ยังมีเอาท์พุตแบบอนาลอกอีก 1 ช่อง เพื่อส่งแรงดันออกไป โดยแรงดันนี้มีค่าเปลี่ยนแปลงระหว่าง 0-5 V ขึ้นอยู่กับการส่งข้อมูลมาควบคุมบอร์ด EX – 08 ไฟเลี้ยงบอร์ด EX – 08 จะมาจากแจ๊ก I^2C



ภาพที่ 2.16 วงจรบอร์ด ADC/DAC (EX-08)

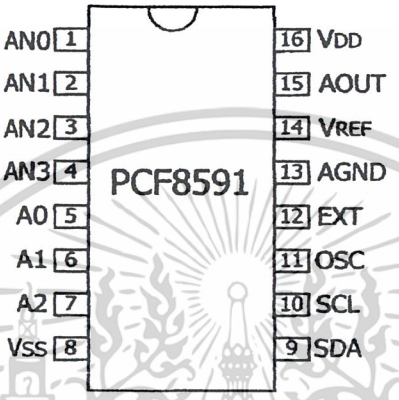
ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF8591

PCF8591 เป็นไอซีแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต 4 ช่อง และยังสามารถแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกได้ในคราวเดียวกัน ด้วยการควบคุมผ่านระบบบัส I^2C ทำให้สามารถต่อพ่วงไอซี PCF8591 ได้สูงสุดถึง 8 ตัว รองรับการอ่านค่าสัญญาณอนาลอกอินพุตได้สูงสุดถึง 32 ช่อง และสามารถส่งสัญญาณอนาลอกเอาท์พุตสูงสุดได้ถึง 8 ช่อง ด้วยการกำหนดแอดเดรสได้จากขา A0, A1 และ A2 ดังเช่นในรูป 3.11 ได้แสดงรายละเอียดการจัดขาของ ไอซี PCF8591 ส่วนคุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญมีดังนี้

- ทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียว
- ย่านไฟเลี้ยง 2.5 – 6 V
- กินกระแสขณะอยู่ในสภาวะสแตนบายต์ต่ำ
- ติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านระบบบัส I^2C
- สามารถเลือกตำแหน่งแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์จากขา A0, A1 และ A2 ทำให้สามารถต่อพ่วงกันได้สูงสุดถึง 8 ตัว
- อัตราการสุ่มข้อมูล ขึ้นอยู่กับความเร็วของสัญญาณนาฬิกาบนบัส I^2C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (ADC) สามารถรับสัญญาณอนาลอกได้ 4 ช่อง ทั้งยังเลือกได้ว่าให้ทำงานแบบแยกช่องหรือทำงานแบบวงจรดิฟเฟอเรนเชียล
- การอ่านค่าสามารถกำหนดให้เลื่อนช่องอินพุตโดยอัตโนมัติได้
- สัญญาณอนาลอกมีระดับแรงดันตั้งแต่ V_{ss} ไปจนถึง V_{DD}
- วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลเป็นแบบซักเซสซิฟแอพพร็อกซิเมชั่น 8 บิต
- มีวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกขนาด 8 บิต 1 ช่อง



ภาพที่ 2.17 การจัดขาและตารางแสดงชื่อขาสัญญาณของ PCF8591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 รายละเอียดฟังก์ชั่นต่างๆของ PCF8591

ชื่อ	ตำแหน่ง	หน้าที่
AN0	1	อะนาลอกอินพุตช่องที่ 1
AN1	2	อะนาลอกอินพุตช่องที่ 2
AN2	3	อะนาลอกอินพุตช่องที่ 3
AN3	4	อะนาลอกอินพุตช่องที่ 4
A0	5	ขากำหนดแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์บิต 0
A1	6	ขากำหนดแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์บิต 1
A2	7	ขากำหนดแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์บิต 2
VSS	8	กราวด์
SDA	9	ขาข้อมูลสำหรับบัส I^2C
SCL	10	ขาสัญญาณนาฬิกาสำหรับบัส I^2C
OSC	11	ขาอินพุตเอาท์พุตออสซิลเลเตอร์
EXT	12	ขาเลือกออสซิลเลเตอร์ภายในหรือภายนอก
AGND	13	กราวด์อะนาลอก
V_{REF}	14	ขาอินพุตสำหรับแรงดันอ้างอิง
AOUT	15	ขาอะนาลอกเอาท์พุต (วงจร D/A)
VDD	16	ไฟเลี้ยง

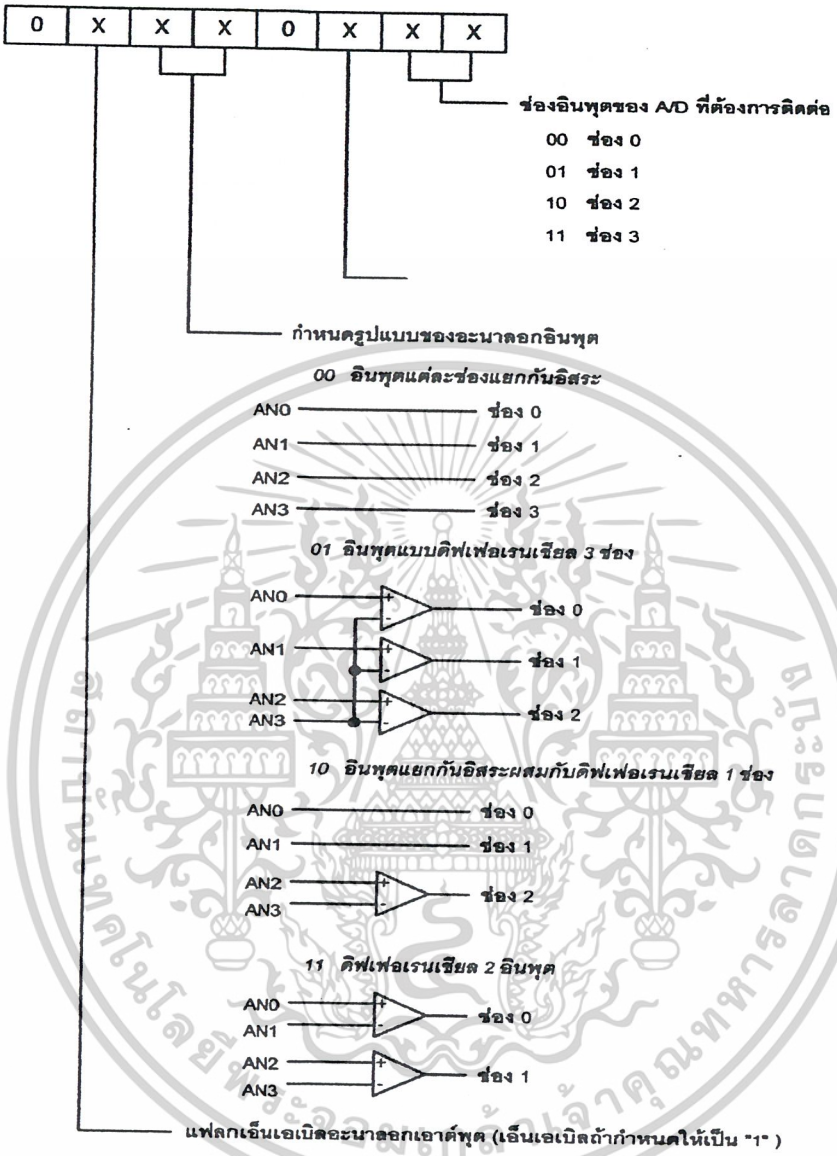
ตำแหน่งแอดเดรส

ในระบบบัส I^2C การติดต่อกับอุปกรณ์แต่ละตัวต้องระบุแอดเดรสของอุปกรณ์เหล่านั้นอย่างชัดเจน ถ้าเป็นการอ้างถึงแบบ 7 บิต ข้อมูลกำหนดแอดเดรส 4 บิตบนจะเป็นค่าแอดเดรสเฉพาะของอุปกรณ์ตัวนั้นๆ ที่กำหนดมาจากผู้ผลิต ผู้ใช้งานไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ สำหรับไอซี PCF8591 จะมีค่าเท่ากับ 1001 (ฐานสอง) ข้อมูล 3 บิตถัดมาจะเป็นค่าของแอดเดรสที่ผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้ทางฮาร์ดแวร์เพื่อเลือกไอซี PCF8591 ที่ต้องการติดต่อด้วยในกรณีที่มีการต่อใช้งาน PCF8591 มากกว่า 1 ตัว ส่วนบิต LSB ใช้ในการกำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับไอซีตัวนั้นๆ โดยมีการกำหนดค่าดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
1	**0**	**0**	**1**	**A2**	**A1**	**A0**	**R/W**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยกตัวอย่าง ถ้าต้องการอ่านข้อมูลจากชิปที่กำหนดแอดเดรสไว้เป็น 000 จะต้องป้อนข้อมูลแอดเดรสเท่ากับ &H91 เป็นต้น



ภาพที่ 2.18 แสดงรายละเอียดข้อมูลควบคุมการทำงานของ PCF8591

ข้อมูลควบคุม

หลังจากส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสให้แก่ PCF8591 แล้ว ต้องส่งข้อมูลควบคุมตามไปด้วยเพื่อกำหนดคุณสมบัติของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกภายใน PCF8591 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละบิตดังรูปที่แสดงข้างบนนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต 6 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับเอ็นเอเบิลขาอนาลอกเอาท์พุต เมื่อต้องการเอ็นเอเบิลต้องกำหนดให้ขานี้เป็น "1"

บิต 4 และบิต 5 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการกำหนดรูปแบบของสัญญาณอนาลอกอินพุตที่ป้อนให้แก่ PCF8591

บิต 2 ใช้สำหรับเลือกรูปแบบการอ่านข้อมูลจากขาอินพุตอนาลอกว่าจะเป็นการอ่านจากเพียงอินพุตเดียวหรืออ่านแบบเรียงลำดับทุกอินพุต ถ้าต้องการเลือกให้อ่านแบบเรียงลำดับต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น "1"

บิต 0 และบิต 1 ใช้สำหรับกำหนดช่องของอินพุตอนาลอกที่ต้องการอ่าน ถ้ากำหนดให้บิต 2 เป็น "1" หลังจากอ่านค่าของบิต "0" และบิต "1" แล้ว ในการอ่านค่าครั้งต่อไปจะเป็นการอ่านค่าอินพุตจากช่องที่ 1

ข้อมูลควบคุมทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ควบคุมภายใน PCF8591

เมื่อจ่ายไฟให้แก่ PCF8591 ครั้งแรก บิตต่างๆ ข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ควบคุมจะถูกกำหนดให้เป็น "0"

ออสซิลเลเตอร์

วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน PCF8591 จะสร้างสัญญาณนาฬิกาสำหรับการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล เมื่อต้องการใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ภายในขา EXT ต้องต่อลงกราวด์ ถ้าต้องการใช้ออสซิลเลเตอร์จากภายนอกขา EXT ต้องต่อเข้ากับไฟบวก และป้อนสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา OSC ของ PCF8591 โดยความถี่ของสัญญาณนาฬิกาสูงสุดที่ป้อนให้กับออสซิลเลเตอร์เท่ากับ 1.25 MHz

2.9 การเขียนโปรแกรมด้วย Visual Basic เพื่อต่อพอร์ตอนุกรมและ MSComm

MSComm

สำหรับการใช้งาน Visual Basic ตั้งแต่เวอร์ชั่น 2.0 เป็นต้นมาใน Visual Basicจะมีคัสตอมคอนโทรลสำหรับการสื่อสารอนุกรมผ่านทางพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์มาให้ โดยใน Visual Basic เวอร์ชั่น 2 และ 3 จะให้ชื่อว่า MSCOOMM.VBX ส่วนเวอร์ชั่น 4ให้ชื่อว่า MSCOMM16.OCX สำหรับการทำงานกับระบบปฏิบัติการ 16 บิต และ MSCOMM32.OCX เท่านั้นเพราะถูกออกแบบมาให้ใช้งานกับระบบปฏิบัติการ 32 บิต

MSComm จัดเตรียมทางเลือกเอาไว้ 2 ทางเพื่อความสะดวกในการสื่อสารข้อมูล ทางแรกคือ การสื่อสารข้อมูลที่กระตุ้นด้วยเหตุการณ์ (even – driven communication) เป็นรูปแบบการทำงานที่มีประสิทธิภาพมากสำหรับการตอบสนองทันทีทันใด เช่น เมื่อตัวอักษรส่งมาที่พอร์ตอนุกรมหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ขา Data carreir Detect (DCD) หรือ Request To Send (RTS) เหตุการณ์ ON COMM ของ MSComm จะสามารถตรวจจับสัญญาณนั้นได้ทันที ส่วนทางเลือกที่สองเป็นการคอยตรวจสอบค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหตุการณ์และความผิดพลาดที่เกิดขึ้น โดยการดูที่ค่าที่เปลี่ยนแปลงในคุณสมบัติ Comm Event หลังจากโปรแกรมทำงานในฟังก์ชั่นต่างๆ ไปเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมนี้สามารถใช้งานได้ดีเมื่อโปรแกรมมีขนาดเล็ก

คอนโทรล MSComm 1 ตัว สามารถควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมได้ 1 พอร์ตถ้าโปรแกรมที่ทำงานต้องการติดต่อกับพอร์ตอนุกรมมากกว่า 1 พอร์ตจะต้องใช้ MSComm มากกว่า 1 ตัว เพื่อควบคุมพอร์ตอนุกรมแต่ละพอร์ต แอดเดรสของพอร์ตอนุกรมและแอดเดรสของการเกิดอินเตอร์รัปต์สามารถเปลี่ยนแปลงได้จากการแก้ไขค่าที่ Control Panel

คุณสมบัติของคอนโทรล MSComm CommPort

ใช้ในการกำหนดและอ่านค่าพอร์ตอนุกรมที่ (COM1, COM2, COM3, COM4)

รูปแบบการใช้งาน

Object. Comm Port [=Value]

โดย Value เป็นค่าของพอร์ตอนุกรม ชนิดของข้อมูลเป็น Integer ค่า Value สามารถได้ในช่วง 0-16 เมื่อทำการกำหนดค่าแล้วทำการเปิดพอร์ตโดยใช้คุณสมบัติ Port open แต่ว่าพอร์ตนั้นไม่มีอยู่ในระบบ MSCmm จะสร้างสัญญาณแสดงข้อผิดพลาด Error 68 ขึ้นหมายถึงอุปกรณ์นี้ไม่มีในระบบ ดังนั้นการเขียนโปรแกรมจะต้องกำหนดตำแหน่งของพอร์ตอนุกรมก่อนที่จะใช้คุณสมบัติ Port Open

Setting

ใช้ในการกำหนดและอ่านค่าอัตราบอร์ด, พาริตี้, จำนวนบิตของข้อมูล, จำนวนบิตปิดท้าย

รูปแบบการใช้งาน

Object. Comm Port [=Value]

ค่า Value มีชนิดของข้อมูลเป็น String มีรูปแบบเป็น BBBB,P,D,S โดย BBBB เป็นค่าอัตราบอร์ด, P เป็นค่าพาริตี้, Dจำนวนบิตของข้อมูล, Sจำนวนบิตปิดท้าย ปกติแล้วค่าถูกกำหนดไว้เป็น 9600,N, 8,1

PortOpen

ใช้ในการกำหนดและอ่านค่าสถานะของพอร์ตอนุกรม เพื่อเปิดปิดพอร์ตอนุกรม

รูปแบบการใช้งาน

Object. Comm Port [=Value]

ค่าValue เป็นค่าบูลีนคือ True และFalse โดย True หมายถึงการเปิดพอร์ตอนุกรมและ False หมายถึง การปิดพอร์ตอนุกรม สำหรับการปิดพอร์ตอนุกรมโดยอัตโนมัติ เมื่อออกจากโปรแกรมก่อนที่ใช้คุณสมบัติ PortOpen ต้องตรวจสอบให้แน่ใจเสียก่อนว่าคุณสมบัติ MSComm จะแสดงข้อผิดพลาด Error 68 แจ้งแก่ผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Input

อ่านค่าและลบค่าขบวนข้อมูลจากบัฟเฟอร์ภาครับ

รูปแบบการใช้งาน

Object.Input

คุณสมบัติ InputLen เป็นตัวกำหนดจำนวนของตัวอักษรที่จะอ่านโดยคุณสมบัติ Input การกำหนดค่าให้กับ InputLen ให้เท่ากับ 0 เป็นการกำหนดให้คุณสมบัติของ Input ทำการอ่านข้อมูลในบัฟเฟอร์รับข้อมูลทั้งหมด

คุณสมบัติของ InputMode เป็นตัวกำหนดชนิดข้อมูลที่คุณสมบัติ Input รับเข้ามา ถ้า InputMode ถูกกำหนดเป็น comInputModeText คุณสมบัติ Input จะส่งค่ากลับมาเป็นรูปแบบข้อความ ชนิดของข้อมูลเป็นแบบ Variant ถ้า InputMode ถูกกำหนดเป็น comInputModeBinary คุณสมบัติ Input จะส่งข้อมูลกลับมาในรูปของ Binary และชนิดข้อมูลเป็นแบบ Variant

InBufferCount

ส่งค่าจำนวนของตัวอักษรที่อยู่ในบัฟเฟอร์ภาครับ

รูปแบบการใช้งาน

Object. InBufferCount [= Value]

คำสั่ง InBufferCount จะแสดงค่าจำนวนของตัวอักษร ซึ่งรับมาจากภายนอกและยังเก็บอยู่ในบัฟเฟอร์ภาครับ เพื่อให้ผู้ใช้งานอ่านค่าออกไป สำหรับการเคลียร์ค่าบัฟเฟอร์ภาครับทำได้โดยกำหนดให้ INBufferCount มีค่าเป็น 0

InBufferSize

กำหนดค่าคืนค่าขนาดของบัฟเฟอร์ภาครับในหน่วยเป็นไบต์

รูปแบบการใช้งาน

Object. InBufferSize [= Value]

คำสั่ง InBufferSize ใช้เพื่อกำหนดขนาดของบัฟเฟอร์ภาครับ ค่าเริ่มต้นกำหนดไว้ที่ 1,024 ไบต์

InputLen

กำหนดค่าและคืนค่าจำนวนของตัวอักษรที่อ่านจากบัฟเฟอร์ภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการใช้งาน

Object. InputLen [= Value]

ค่าเริ่มต้นของคุณสมบัติ InputLen มีค่าเท่ากับ "0" การกำหนดค่าเท่ากับ "0" จะทำให้คำสั่ง Input ของ MSComm อ่านค่าข้อมูลที่อยู่ภายในบัฟเฟอร์ภาครับทั้งหมด

ถ้าไม่มีข้อมูลอยู่ในบัฟเฟอร์ภาครับมากเท่ากับจำนวน InputLen คำสั่ง Input จะส่งค่าว่าง (" ")กลับออกมาผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบข้อมูลในบัฟเฟอร์ภาครับได้โดยใช้คุณสมบัติ InBufferCount โดยกำหนดให้มีข้อมูลอยู่ในบัฟเฟอร์ภาครับก่อนแล้วจึงค่อยอ่านข้อมูลจากบัฟเฟอร์ภาครับ

InputMode

กำหนดค่าและคืนค่าชนิดของข้อมูลที่รับโดยคำสั่ง Input

รูปแบบการใช้งาน

Object. InputMode [= Value]

คุณสมบัติ InputMode ใช้กำหนดว่าข้อมูลชนิดไหนที่รับเข้ามาผ่านคำสั่ง Input โดยข้อมูลจะเลือกได้ 2 ประเภทคือ

ComInputModeText สำหรับข้อมูลที่อยู่ในรูปข้อความตัวอักษรตามมาตรฐาน ANSI โดยจะต้องกำหนดค่าเป็น "0" และค่าเริ่มต้นของการรับข้อมูลก็จะเป็นค่านี้

ComInputModeBinary สำหรับข้อมูลอื่นๆ ซึ่งจะเก็บในรูปไบนารี่รวมกันอยู่เป็นไบต์ข้อมูล

Output

ใช้ในการส่งขบวนของข้อมูลไปยังบัฟเฟอร์ส่งข้อมูล

รูปแบบการใช้งาน

Object.Output [=Value]

ค่า Value เป็นค่าของตัวอักษรที่เขียนไปยังบัฟเฟอร์ส่งข้อมูล คุณสมบัติ Output สามารถใช้ในการส่งข้อมูลตัวอักษรหรือไบนารี่ก็ได้ โดยการส่งข้อมูลแบบตัวอักษรจะต้องกำหนดชนิดของข้อมูลเป็น Variant และมีข้อมูลภายในเป็นแบบ String สำหรับการส่งข้อมูลแบบไบนารี่จะต้องกำหนดชนิดของข้อมูลเป็น Variant และข้อมูลภายในเป็นแบบ Byte

OutBufferCount

คืนค่าจำนวนของข้อมูลตัวอักษรที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์ภาคส่ง และสามารถใช้คำสั่งนี้เพื่อเคลียร์บัฟเฟอร์ภาคส่งได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการใช้งาน

Object . OutBufferCount [= Value]

ผู้ใช้งานสามารถเคลียร์บัฟเฟอร์ภาคส่งได้โดยการกำหนดค่า OutBufferCount เท่ากับ "0"

OutBufferSize

กำหนดค่าและคืนค่าขนาดของบัฟเฟอร์ภาคส่ง ชนิดตัวแปรเป็นแบบไบต์

รูปแบบการใช้งาน

Object . OutBufferSize [= object]

คุณสมบัติ OutBufferSize ใช้สำหรับกำหนดขนาดของบัฟเฟอร์ภาคส่ง โดยค่าปกติที่ใช้งานจะมีค่าเท่ากับ 512 ไบต์

ParityReplace

กำหนดค่าและคืนค่าตัวอักษรที่ไปวางแทนในตำแหน่งที่เกิดข้อผิดพลาดจากพาริตี้

รูปแบบการใช้งาน

object . ParityReplace [= Value]

บิตพาริตี้ เป็นบิตที่ทางภาคส่งข้อมูลทำการส่งมาพร้อมกับข้อมูล เพื่อตรวจสอบข้อผิดพลาดของข้อมูล โดยเมื่อมีการใช้บิตพาริตี้ คอนโทรล MSCOMM จะทำการบวกบิตทุกบิตที่มีค่าลอจิก "1" ในแต่ละไบต์ และทำการตรวจสอบผลลัพธ์ว่าบิตที่อ่านได้นั้นมีจำนวนลอจิก "1" เป็นเลขคู่หรือคี่ และตรงกับค่าที่กำหนดไว้แต่ต้นหรือไม่ ถ้าค่าที่นำมาบวกแล้วมีพาริตี้ที่ไม่ตรงแสดงว่าการรับส่งข้อมูลผิดพลาด

การกำหนดค่า เริ่มต้นให้กับ ParityReplace นั้นกำหนดให้ใช้เครื่องหมาย (?) ไปวางไว้ที่ตำแหน่งที่เกิดพาริตี้ผิดพลาด ถ้ากำหนดค่า ParityReplace ให้เป็นค่าว่าง(" ") จะเป็นการยกเลิกการใช้งาน ParityReplace และไม่มีการป้อนข้อมูลแทนเมื่อตรวจพบข้อผิดพลาด

ParityReplace ใช้ชนิดข้อมูลแบบสตริง แต่จะทำการกำหนดได้เพียงไบต์เดียวเท่านั้น ซึ่งจะสามารถใช้ค่าใดๆ ก็ได้ที่เป็นโค้ด ANSI มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 255

DTREnable

ใช้ในการอินาเบิลขา Data Terminal Ready (DTR) โดยสัญญาณของขา DTR จะส่งจากคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงว่าคอมพิวเตอร์พร้อมที่จะรับข้อมูลแล้ว

รูปแบบการใช้งาน

Object.DTREnable[=Value]

เมื่อขา DTR ถูกกำหนดสถานะเป็น True หรือ False เพื่ออีนาเบิลหรือดิสเอเบิลขา DTR โดย

True หมายถึง อีนาเบิลขา DTR

False หมายถึง ดิสเอเบิลขา DTR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

RTSEnable

ใช้เพื่ออีนาเอเบิลขา Request To Send (RTS) โดยขา RTS จะเป็นสัญญาณส่งจากคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์เพื่อร้องขอส่งข้อมูล ชนิดของข้อมูลเป็น Boolean

รูปแบบการใช้งาน

Object. RTSEnable[=Value]

ค่า Value เป็นค่าสถานะ True หรือ False เพื่ออีนาเบิลหรือดิสเอเบิลขาRTS โดย

True หมายถึงอีนาเบิลขา RTS

False หมายถึงดิสเอเบิลขา RTS

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

EOFEnable

เป็นการกำหนดให้ MSComm รอสัญญาณส่วนท้ายสุดของไฟล์ (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 หมายถึงเหตุการณ์ OnComm จะถูกกระตุ้นให้ทำงานด้วย EOF

False หมายถึงเหตุการณ์ OnComm จะไม่ถูกกระตุ้นให้ทำงานด้วย EOF

เมื่อ EOFEnable กำหนดให้เป็น False ส่วนควบคุมจะไม่มีการตรวจสอบสัญญาณ 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

CDHolding

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

รูปแบบการใช้งาน

Object.CDHolding

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

DSRHolding

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

รูปแบบการใช้งาน

Object.DSRHolding

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

Break

ใช้ในการเซ็ตและเคลียร์ค่าสัญญาณ Break ชนิดของข้อมูลเป็นแบบบูลีน

รูปแบบการใช้งาน

object.Break[=Value]

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

เมื่อกำหนดให้สัญญาณ Braeak เป็น True แล้ว จะเป็นการหยุดส่งข้อมูลชั่วคราวจนกว่าจะมีการสั่งให้สัญญาณ Break เป็น False

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Handshaking

กำหนดคุณสมบัติและคืนค่ารูปแบบแฮนด์เช็กทางฮาร์ดแวร์

รูปแบบการใช้งาน

Object . Handshaking [= Value]

ค่าตัวแปร Value ที่ใช้กำหนดค่า กำหนดได้ 4 รูปแบบด้วยกันคือ

1. comNone ค่าที่กำหนดคือ 0 เป็นการกำหนดให้ไม่มีการแฮนด์เช็ก (เป็นค่าเริ่มต้น)
2. com×On×Off ค่าที่กำหนดคือ 1 เป็นการกำหนดให้ใช้แฮนด์เช็กแบบ ×ON×OFF
3. comRTS ค่าที่กำหนดคือ 2 เป็นการกำหนดให้ใช้ขา RTS/CTS (Request To Send/Clear To Send)
4. comRTS×On×Off ค่าที่กำหนดคือ 3 เป็นการกำหนดให้ใช้ทั้งแบบ Request To Send และ ×ON×OFF

คุณสมบัติ Handshaking ใช้เพื่อกำหนดรูปแบบการสื่อสารภายใน ระหว่างที่ข้อมูลถูกส่งไปยังบัฟเฟอร์ภาครับ เมื่อข้อมูลตัวอักษรถูกส่งมาถึงพอร์ตอนุกรม อุปกรณ์สื่อสารข้อมูลจะทำการย้ายข้อมูลไปยังบัฟเฟอร์ภาครับ เพื่อที่จะให้โปรแกรมสามารถอ่านค่าไปใช้งานได้ ถ้าไม่มีบัฟเฟอร์

เฟอร์ภาครับโปรแกรมที่ใช้งานจะต้องทำการอ่านค่าข้อมูลโดยตรงจากฮาร์ดแวร์ของพอร์ตอนุกรม ซึ่งผู้ใช้งานจะเกิดปัญหาข้อมูลสูญหายได้ เนื่องจากว่าการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่ส่งเข้ามามีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

คุณสมบัติ Handshaking ช่วยให้ผู้ใช้งานแน่ใจว่าข้อมูลที่ได้รับเข้ามานั้นไม่มีการสูญหายเมื่อบัฟเฟอร์ภาครับที่รับข้อมูลนั้นเกิดข้อมูลล้นหรือโอเวอร์โฟลว โดยใช้วิธีการตรวจสอบความพร้อมของบัฟเฟอร์ว่าพร้อมรับข้อมูลหรือไม่ก่อนที่จะส่งข้อมูลมาให้

เหตุการณ์ OnComm

เหตุการณ์ OnComm จะถูกสร้างขึ้นเมื่อค่าคุณสมบัติ CommEvent มีการเปลี่ยนแปลง เพื่อแสดงผลการเปลี่ยนแปลงเหล่านั้นทันทีทันใดหรือแสดงข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น

การใช้ MSComm เพื่อติดต่อฮาร์ดแวร์

วิธีการที่จะอ่านค่าหรือเขียนค่าไปยังขาสถานะหรือขาควบคุมของพอร์ตอนุกรม สามารถทำได้โดยใช้คำสั่งเหล่านี้

DTREnable	สำหรับสั่งให้ขา DTR มีลอจิก “0” หรือ “1”
RTSEnable	สำหรับสั่งให้ขา RTS มีลอจิก “0” หรือ “1”
CTSHolding	สำหรับอ่านค่าสถานะจากขา CTS ว่ามีลอจิก “0” หรือ “1”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CDHolding สำหรับอ่านค่าสถานะจากขา CD ว่ามีลอจิก “0” หรือ “1”

DSRHolding สำหรับอ่านค่าสถานะจากขา DSR ว่ามีลอจิก “0” หรือ “1”

Break สำหรับสั่งให้ขา T*D มีลอจิก “0” หรือ “1”

2.10 การเขียนโปรแกรมติดต่อบัส I^2C ด้วย Visual Basic

โปรแกรมย่อยการสร้างสัญญาณ Start ให้กับ I^2C

สำหรับระบบบัส I^2C สถานะเริ่มต้นหรือ Start ของบัส I^2C จะเริ่มจาก

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

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 I^2C

การทำให้เกิดสถานะหยุดหรือสิ้นสุดการถ่ายทอดข้อมูลบนบัส I^2C หรือสถานะ Stop คือการทำให้บัส I^2C เข้าสู่สถานะว่าง มีขั้นตอนดังนี้

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

สามารถเขียนเป็นโปแกรมย่อยด้วย Visual Basic ได้ดังนี้

```
Private Sub I2Cstart()
        MSComm1.RTSEnable = False   'SDA=0
        MSComm1.DTREnable = True    'SCL=1
        MSComm1.RTSEnable = True    'SDA=1
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
```

โปรแกรมย่อยส่งข้อมูลลอจิก "1"

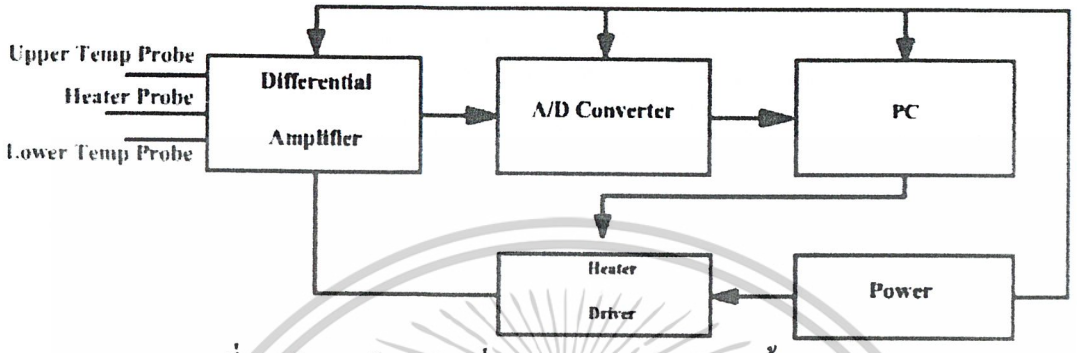
```
Private Sub send1()
        MSComm1.RTSEnable =  True   'SDA=1
        MSComm1.DTREnable = True    'SCL=1
        MSComm1.DTREnable = False   'SCL=0
End Sub
```

ซึ่งตัวโปรแกรมทั้งหมดที่เขียนขึ้นสำหรับการทดสอบโปรเจคต์นี้จะแสดงไว้ทั้งหมดที่ท้ายเล่ม

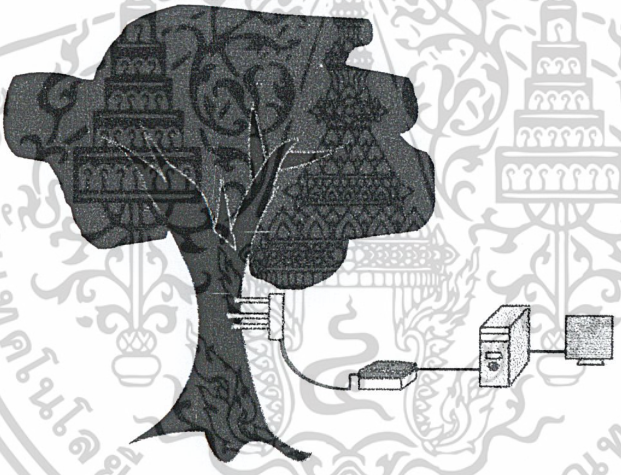
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและสร้างเครื่องทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟท์แวร์

3.1 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์



ภาพที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช

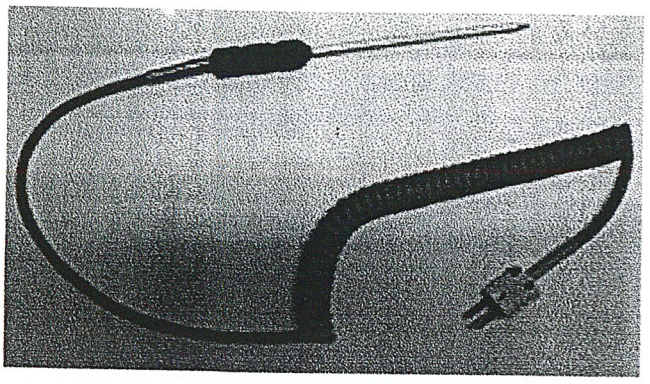


ภาพที่ 3.2 การติดตั้งเมื่อใช้งานเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชที่ออกแบบ

3.1.1 หัวอุณหภูมิด้านบนและด้านล่าง (Upper and lower temperature sensor probe)

เป็นเทอร์โมคัปเปิล type K ขนาดของปอกป้องกันมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 mm. ยาว 10 cm. สายยาว 2 m สามารถวัดอุณหภูมิสูงสุด 400 $^{\circ}$C ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิภายในเนื้อไม้ ซึ่งจะอยู่ด้านบนและด้านล่างของหัวให้ความร้อน

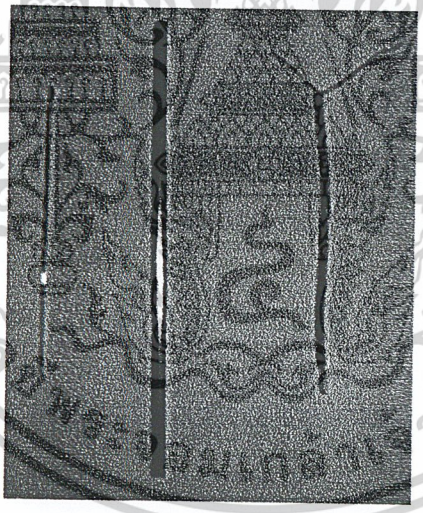
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 หัววัดอุณหภูมิ Thermocouple Type K รุ่น HP-12M

3.1.2 หัวให้ความร้อน (Heater probe)

เป็นขดลวดความร้อน ทำจากลวดนิโครม เบอร์ 30 ยาว 1 เมตร ที่มีความต้านทาน 15โอห์ม พันรอบแกนหลอดแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm. แล้วบรรจุอยู่ในท่อทองเหลืองชุบโครเมี่ยมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ยาว 13 เซนติเมตร ทำหน้าที่จ่ายพัลส์ความร้อนให้กับต้นพืช

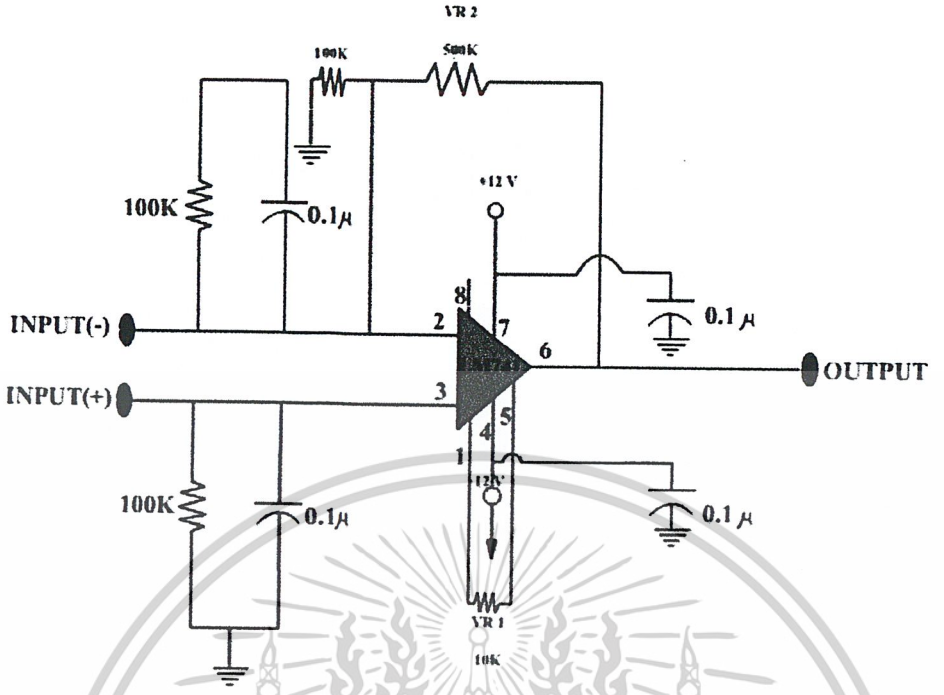


ภาพที่ 3.4 ส่วนประกอบของหัวให้ความร้อนที่สร้างขึ้น

3.1.3 วงจรขยายแรงดัน (Differential amplifier)

เป็นวงจรขยายชนิด Non – inverting ที่มีอัตราการขยาย 6 เท่า ออกแบบให้มีภาคเดียวโดยใช้ไอซีเบอร์ LM 741 ทำหน้าที่ขยายแรงดันที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองของหัววัดอุณหภูมิด้านบนและด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.5 แสดงวงจรขยายแรงดันที่สร้างขึ้น

3.1.4 วงจร A/D Converter

ทำหน้าที่แปลงแรงดันอะนาลอกที่ได้จากวงจร Differential amplifier ให้เป็นสัญญาณดิจิตอล ขนาด 8 บิต จำนวน 4 ช่อง เพื่อป้อนให้กับคอมพิวเตอร์ โดยใช้ไอซี PCF 8591 ที่เป็นอุปกรณ์บัส I^2C บนบอร์ด EX-08 ถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ให้ทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลทุก ๆ 0.25 วินาที สามารถรับแรงดันได้ในช่วง 0-5 V

3.1.5 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคล

เป็นคอมพิวเตอร์ PC ที่มีพอร์ตอนุกรมอย่างน้อย 1 พอร์ต ติดตั้งระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 95/98 ขึ้นไป ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลกลาง ควบคุมให้เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชทำงานตามต้องการ อาทิ ควบคุมช่วงเวลาจ่ายกระแสให้กับขวดลวดความร้อน จับเวลาเพื่อหาค่า t_0 รับข้อมูลผ่านทางดีย์บอร์ดและแสดงผลไปยังจอภาพ

3.1.6 Heater Driver

ใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC 547 เป็นตัวขับรีเลย์บนบอร์ด EX-06 ให้ทำงานเพื่อจ่ายกระแสให้กับขดลวดความร้อนเป็นเวลา 20 วินาที โดยถูกสั่งงานมาจากคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

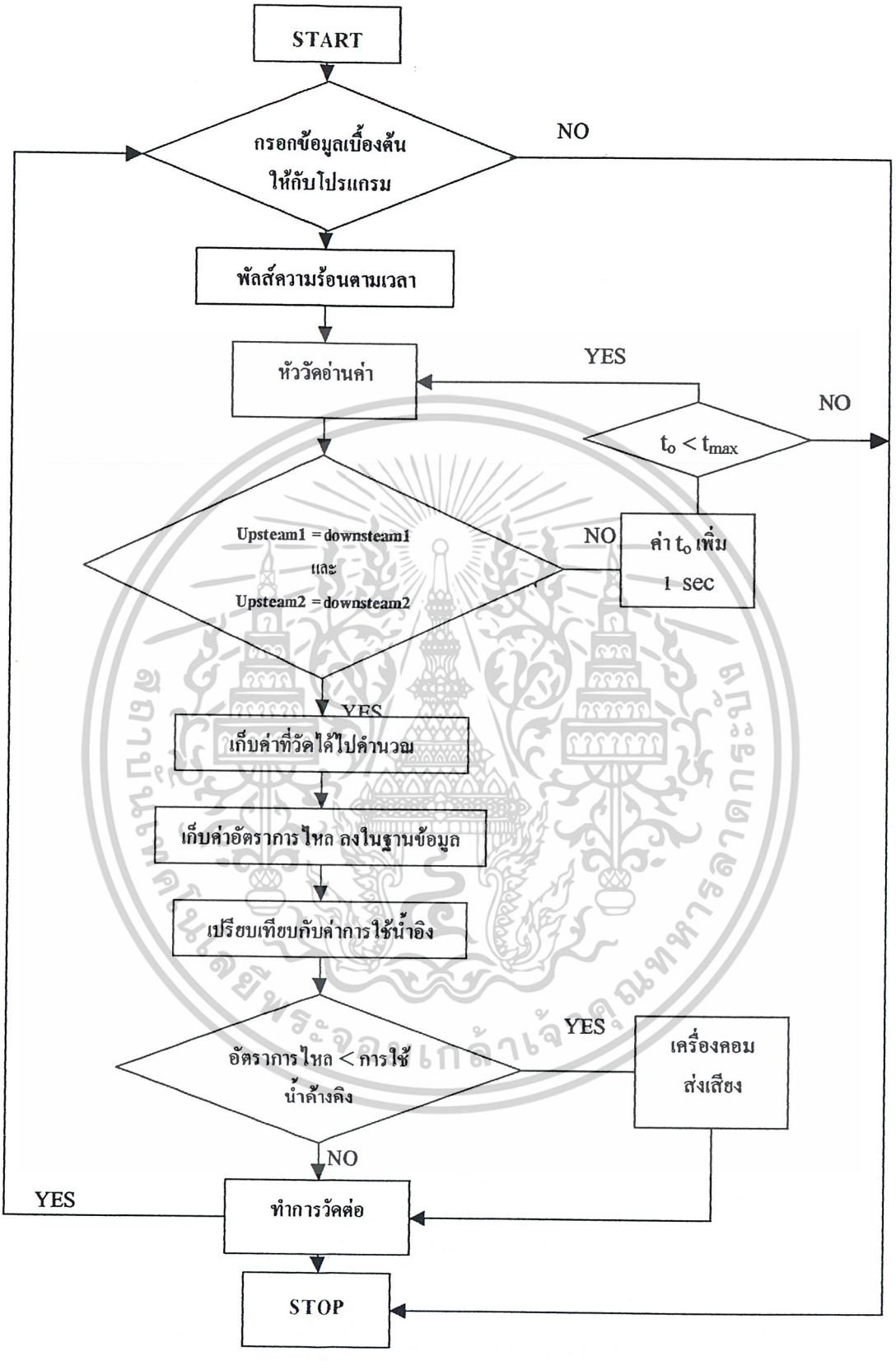
3.1.7 แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า

ใช้แบตเตอรี่ 12 โวลต์ 2.3 Ah จำนวน 4 ก้อน สามารถประจุไฟใหม่ได้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับ วงจรขยายแรงดัน ขดลวดความร้อนของหัวให้ความร้อน บอร์ด S-Board V 2.0 และ Heater Driver

3.2 การออกแบบทางด้านซอฟท์แวร์

ซอฟท์แวร์ของระบบเขียนด้วยภาษา Visual Basic 6 โดยมีแผนผังของโปรแกรมดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.6 แสดงผังการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดสอบและเก็บข้อมูลเบื้องต้น

4.1 การทดสอบวัดค่าอุณหภูมิภายในต้นพืชและอุณหภูมิรอบต้นพืช

จุดประสงค์

1. เพื่อทำการวัดอุณหภูมิของไม้ผลชนิดต่างๆ และเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายในของต้นไม้แต่ละชนิด

2. เพื่อนำค่าอุณหภูมิภายในไม้ผลที่ได้จากการวัดไปพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิของหัวให้ความร้อน เพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสมของการพัลส์ความร้อนให้กับต้นไม้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด

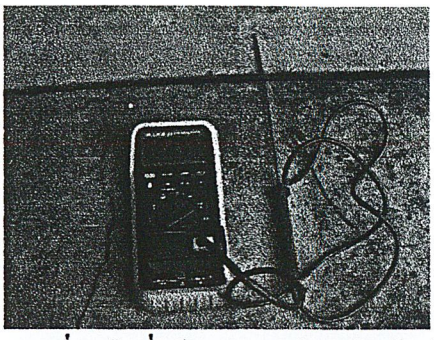
1. เครื่อง Multimeter (FLUKE 87)
2. เครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อKanomax
3. เทอร์โมคัปเปิล Module
4. เทอร์โมคัปเปิล Type K
5. เทอร์โมมิเตอร์
6. มีดกรีดต้นพืช

ต้นพืชที่ทดสอบ ฝรั่ง มะยม มะม่วง ขนุน ชมพู่

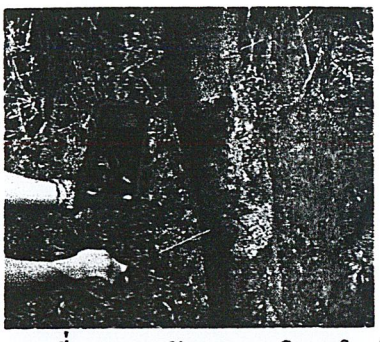
วิธีการวัด

1. เลือกต้นพืชที่ทดสอบ (ฝรั่ง , มะยม , มะม่วง , ขนุน , ชมพู่)
2. ใช้มีดกรีดเปลือกต้นพืชเข้าไปจนถึงส่วนของกระพี้
3. นำเทอร์โมคัปเปิล Type K เสียบเข้าไปในเปลือกไม้ที่กรีด อ่านค่าอุณหภูมิจากเครื่องวัดและบันทึกข้อมูล
4. นำเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิอากาศบริเวณรอบต้นพืช อ่านค่าและบันทึกข้อมูล
5. ทำซ้ำตามข้อ 1 – 4 อีก 3 ซ้ำ

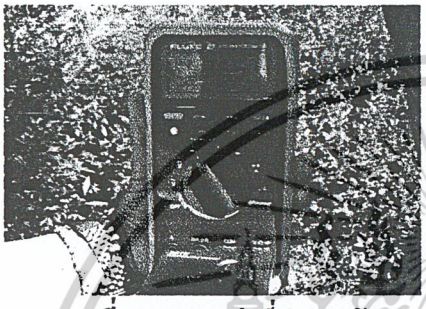
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 เครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิภายในต้นพืช



ภาพที่ 4.2 การวัดอุณหภูมิภายในต้นพืช



ภาพที่ 4.3 แสดงค่าที่ทำการวัด

ภาพที่ 4.4 ต้นมะยมที่ทดลอง

ผลการวัด

สถานที่วัด สวนนายหิรัญ เกกีงาม 164 ม.3 แขวงลำปะทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพ

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดอุณหภูมิภายในต้นพืช

วันที่ทำการวัด 9/10/46 เวลาทำการวัด 12.00 น. สภาพอากาศ ท้องฟ้าโปร่ง

ชนิดต้นพืช	อุณหภูมิรอบต้นพืช (C)	อุณหภูมิภายในต้นพืช (C)	ความเร็วลม (m/s)
ฝรั่ง	33.96	32.83	0.39
มะยม	33.00	34.60	2.02
มะม่วง	34.10	32.73	0.48
ขนุน	33.20	32.56	0.79
ชมพู่	33.46	31.76	0.55
เฉลี่ย	33.54	32.89	0.85

จากการตารางที่ 4.1 พบว่า อุณหภูมิรอบต้นพืช คือ 33.54 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในต้นพืช คือ 32.89 องศาเซลเซียส เห็นได้ว่า อุณหภูมิภายในต้นพืชจะต่ำกว่าอุณหภูมิรอบต้นพืชเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดอุณหภูมิภายในต้นพืช

วันที่ทำการวัด 10/10/46 เวลาทำการวัด 12.00 น. สภาพอากาศ ท้องฟ้าโปร่ง

ชนิดต้นพืช	อุณหภูมิรอบต้นพืช (C)	อุณหภูมิภายในต้นพืช (C)	ความเร็วลม (m/s)
ฝรั่ง	33.73	33.96	0.55
มะยม	33.03	34.43	1.09
มะม่วง	34.30	33.73	0.37
ขนุน	32.90	32.90	1.54
ชมพู่	35.33	32.93	0.27
เฉลี่ย	33.86	33.59	0.76

จากการตารางที่ 4.2 พบว่า อุณหภูมิรอบต้นพืช คือ 33.86 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในต้นพืช คือ 33.59 องศาเซลเซียส เห็นได้ว่า อุณหภูมิภายในต้นพืชจะต่ำกว่าอุณหภูมิรอบต้นพืชเล็กน้อย

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดอุณหภูมิภายในต้นพืช

วันที่ทำการวัด 11/10/46 เวลาทำการวัด 12.00 น. สภาพอากาศ ท้องฟ้าโปร่ง

ชนิดต้นพืช	อุณหภูมิรอบต้นพืช (C)	อุณหภูมิภายในต้นพืช (C)	ความเร็วลม (m/s)
ฝรั่ง	33.64	33.59	0.43
มะยม	33.42	34.20	1.52
มะม่วง	33.91	33.23	0.32
ขนุน	33.00	32.47	1.02
ชมพู่	33.48	32.36	0.75
เฉลี่ย	33.49	33.17	0.81

จากการตารางที่ 4.3 พบว่า อุณหภูมิรอบต้นพืช คือ 33.49 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในต้นพืช คือ 33.17 องศาเซลเซียส เห็นได้ว่า อุณหภูมิภายในต้นพืชจะต่ำกว่าอุณหภูมิรอบต้นพืชเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดอุณหภูมิภายในต้นพืช

วันที่ทำการวัด 12/10/46 เวลาทำการวัด 12.00 น. สภาพอากาศ ท้องฟ้าครึ้ม

ชนิดต้นพืช	อุณหภูมิรอบต้นพืช (C)	อุณหภูมิภายในต้นพืช (C)	ความเร็วลม (m/s)
ฝรั่ง	32.26	33.36	0.49
มะยม	31.13	34.03	0.75
มะม่วง	31.10	32.86	0.36
ขนุน	31.23	33.36	0.67
ชมพู่	30.83	32.43	0.32
เฉลี่ย	31.31	33.21	0.52

จากการตารางที่ 4.4 พบว่า อุณหภูมิรอบต้นพืช คือ 31.31องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในต้นพืช คือ 33.21องศาเซลเซียส เห็นได้ว่า อุณหภูมิภายในต้นพืชจะต่ำกว่าอุณหภูมิรอบต้นพืชเล็กน้อย

ตารางที่ 4.5 ผลการวัดอุณหภูมิภายในต้นพืช

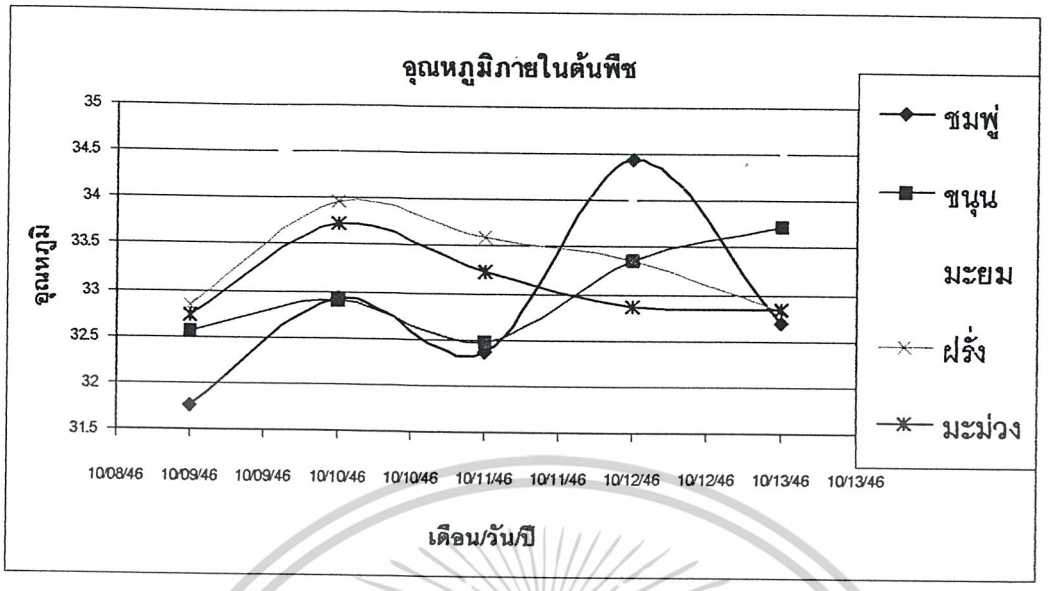
วันที่ทำการวัด 13/10/46 เวลาทำการวัด 12.00 น. สภาพอากาศ ท้องฟ้าโปร่ง

ชนิดต้นพืช	อุณหภูมิรอบต้นพืช (C)	อุณหภูมิภายในต้นพืช (C)	ความเร็วลม (m/s)
ฝรั่ง	33.77	32.82	0.56
มะยม	33.23	34.50	1.76
มะม่วง	33.95	32.84	0.44
ขนุน	33.20	32.73	0.82
ชมพู่	33.61	32.69	0.63
เฉลี่ย	33.55	33.12	0.84

จากการตารางที่ 4.5 พบว่า อุณหภูมิรอบต้นพืช คือ 33.55 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในต้นพืช คือ 33.12 องศาเซลเซียส เห็นได้ว่า อุณหภูมิภายในต้นพืชจะต่ำกว่าอุณหภูมิรอบต้นพืชเล็กน้อย

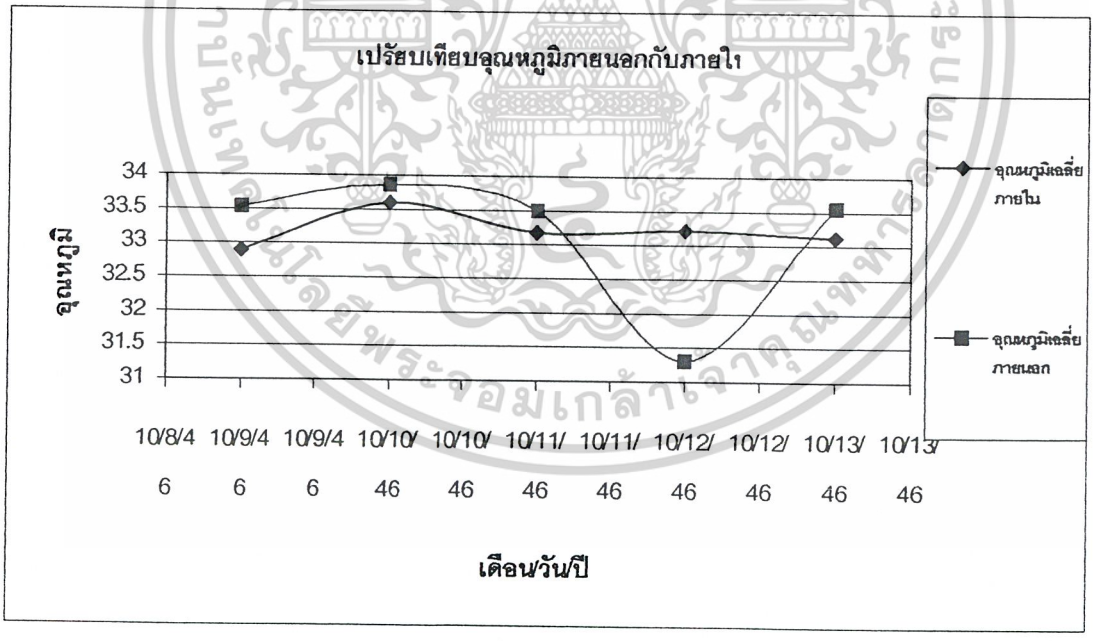
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผลการวัด



ภาพที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิภายในต้นพืช

จากภาพที่ 4.5 พบว่ามะยมมีค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าพืชชนิดอื่นๆและมีค่าที่สูงกว่าค่าอุณหภูมิรอบต้นพืช เนื่องมาจากเป็นต้นพืชที่อยู่กลางแจ้งและกำลังผลัดใบ



ภาพที่ 4.6 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายนอกกับภายในต้นพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.6 พบว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในต้นพืชมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อเทียบกับอุณหภูมิภายนอกต้นพืชที่มีค่าสูงบ้างต่ำบ้าง

สรุปผลการทดลอง

1.จากการอุณหภูมิภายในต้นพืชจำนวน 5 ชนิด ผลปรากฏว่าอุณหภูมิของต้นพืชทั้งหมดที่ทำการวัด ในช่วงเวลาเที่ยงวันของแต่ละวัน มีค่าประมาณ 31 – 34 องศาเซลเซียส

2.อุณหภูมิของต้นพืชแต่ละวันที่ได้ทำการวัดมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก และอุณหภูมิภายในต้นพืชส่วนมากจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิรอบๆต้น

3.จากการวัดค่าของอุณหภูมิเฉลี่ยภายในต้นพืชนั้น จะนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกใช้อุณหภูมิของหัวให้ความร้อนที่เหมาะสมกับต้นพืชได้ในขณะทำการทดลองวัดจริงด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช ซึ่งในที่นี้จะให้อุณหภูมิหัวความร้อนมีความร้อนประมาณ 45 องศาเซลเซียส

4.2 การทดสอบหาอุณหภูมิที่เหมาะสมของหัวพัลส์ความร้อน

จุดประสงค์

1. เพื่อทำการทดสอบวัดค่าอุณหภูมิที่ต้องการ ที่จะเกิดขึ้นจากหัวพัลส์ความร้อนที่มีความต้านทาน 15 โอห์ม เมื่อทำการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ ให้แก่หัวพัลส์ความร้อนที่เวลาต่างๆกัน ซึ่งอุณหภูมิที่ต้องการประมาณ 45 องศาเซลเซียส

2. เพื่อนำข้อมูลที่ได้ทำการทดลองนี้มาทำการวิเคราะห์หาค่าช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับหัวพัลส์ความร้อน ที่สามารถทำให้หัวพัลส์ความร้อนมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิภายในต้นพืชเล็กน้อย

3. เพื่อนำช่วงเวลาที่ได้จากการทดลองไปเขียนโปรแกรมเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่หัวพัลส์ความร้อน ให้ได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ

อุปกรณ์ทดลอง

1. หัวพัลส์ความร้อนที่มีความต้านทาน 15 โอห์ม
2. มัลติมิเตอร์ FLUKE 87
3. เทอร์โมคัปเปิลโมดุล 80TK FLUKE
4. เทอร์โมคัปเปิล Type K
5. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์
6. นาฬิกาจับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. สายไฟเชื่อมต่อ
8. อุปกรณ์จับยึด

วิธีการทดสอบ

1. ทำการเตรียมอุปกรณ์ทดสอบทุกอย่าง
2. ทำการทดสอบ ณ อุณหภูมิห้อง โดยทำการทดลองดังนี้
   2.1 ติดตั้งหัวพัลส์ความร้อนเข้ากับอุปกรณ์จับยึด
   2.2 ต่อสายไฟเข้ากับหัวพัลส์ความร้อนโดยผ่านสวิทต์
   2.3 ทำการกดสวิทต์พร้อมทั้งจับเวลาเป็นเวลา 15 และ 20 วินาที ทำซ้ำ 9 ครั้ง
   2.4 ทำการบันทึกผลการทดลอง

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ครั้งที่	ที่เวลา 15 วินาที	ที่เวลา 20 วินาที
	อุณหภูมิที่ได้ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิที่ได้ (องศาเซลเซียส)
1	36	45.4
2	36	44
3	37	48.3
4	37.3	44.8
5	36.3	45.3
6	37.7	45.8
7	37.9	44.8
8	37.8	43.9
9	36.1	43.3
เฉลี่ย	36.9	45.07

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบหัวพัลส์ความร้อน

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองวัดค่าอุณหภูมิที่ต้องการ ที่จะเกิดขึ้นจากหัวพัลส์ความร้อนที่มีความต้านทาน 15 โอห์ม เมื่อทำการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ ให้แก่หัวพัลส์ความร้อนที่เวลาต่างกัน ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิที่ต้องการคือ 45 องศาเซลเซียส ผลปรากฏว่าที่เวลา 20 วินาที หัวพัลส์จะให้ค่าความร้อนออกมาดังตาราง คือ 45.07 องศาเซลเซียส จึงเลือกใช้เวลาในการพัลส์ความร้อนเป็นเวลา 20 วินาที

4.3 การทดสอบหาค่าความชื้นในเนื้อไม้สดและความหนาแน่นเนื้อไม้ส่วนกระพี้

จุดประสงค์

1. เพื่อหาค่าความชื้นของเนื้อไม้ที่จะทดสอบแล้วนำค่าที่ได้ไปเขียนโปรแกรม
2. เพื่อหาค่าความหนาแน่นของเนื้อไม้ส่วนกระพี้ แล้วนำค่าที่ได้ไปเขียนโปรแกรม

อุปกรณ์การทดลอง

1. ตัวอย่างเนื้อไม้สด เช่น ชมพู่ มะม่วง ขนุน มะยม ฝรั่ง
2. ตราชั่งแบบ DIGITAL
3. บีกเกอร์ตวง , ตู้อบ

วิธีการทดสอบ

1. ทำการตัดเอาชิ้นส่วนของต้นไม้ตัวอย่าง
2. ทำการชั่งน้ำหนักของเนื้อไม้ตัวอย่างก่อนทำการอบด้วยตราชั่งแบบ DIGITAL
3. นำเนื้อไม้ตัวอย่างไปหาค่าปริมาตรของเนื้อไม้โดยใช้หลักการแทนที่น้ำเพื่อนำมาหาค่าความหนาแน่นเนื้อไม้ส่วนกระพี้
4. นำเนื้อไม้ตัวอย่างเข้าตู้อบ อบด้วยอุณหภูมิ 80 - 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
5. ทำการเก็บตัวอย่างนำมาคำนวณค่าที่ต้องการ

ตารางบันทึกผลการทดลอง เมื่อวันที่ 2 ธันวาคม พ.ศ. 2546

ชนิดพืช	นน.ก่อนอบ (g)	นน.หลังอบ (g)	ปริมาตรไม้สดก่อนอบ (ml)	% ความชื้น	ความหนาแน่นเนื้อไม้
ชมพู่	4.97	2.00	4	59.75	0.50
มะม่วง	6.00	2.29	7	61.83	0.33
ขนุน	6.15	2.42	6	60.65	0.40
มะยม	7.08	2.10	8	70.33	0.26
ฝรั่ง	4.69	2.24	4	52.23	0.56
เฉลี่ย	5.778	2.21	5.8	60.958	0.41

ตารางที่ 4.7 ผลการหาค่าความชื้นในเนื้อไม้สดและความหนาแน่นเนื้อไม้ส่วนกระพี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

ในการทดสอบหาค่าความชื้นในเนื้อไม้สดและความหนาแน่นเนื้อไม้ส่วนกระพี้นี้ พบว่ามะยมเป็นพืชที่มีค่าความชื้นสูง และมีความหนาแน่นเนื้อไม้น้อยที่สุด ซึ่งค่าต่างๆเหล่านี้จะนำไปใช้ในการทดสอบการหาค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชได้โดยใส่ค่าเหล่านี้ลงไปในโปรแกรมอีกที

4.4 การทดสอบหาค่าเวลาหน่วงที่มากที่สุด ($t_{0\,max}$)

เป็นการแสดงค่า $t_{0\,max}$ ที่วัดได้จากเครื่อง AE2-KMITL พบว่าค่าเวลาหน่วงที่มากที่สุดของเนื้อไม้ตัวอย่างเป็นไปดังตารางข้างล่าง เพื่อให้ได้ค่าที่เป็นกลางซึ่งจะนำไปใช้กับไม้ทุกชนิดได้กว้างขึ้น ดังนั้นจึงใช้ค่าเฉลี่ยของไม้แต่ละชนิด คือ 150 วินาที และค่าที่ได้นี้จะนำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดค่า $t_{0\,max}$ ของตัวโปรแกรมเพื่อใช้ตรวจสอบการเกิดความผิดพลาดในการวัดค่า t_0 ของการนำเครื่องไปวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นไม้ดังตารางนี้ต่อไป

ครั้งที่	ค่า $t_{0\,max}$ ของเนื้อไม้ตัวอย่าง(วินาที)			
	ขนุน	มะม่วง	ฝรั่ง	ชมพู่
1	145	165	126	148
2	160	178	137	163
3	153	173.5	138	160
4	155	163	155.5	139
5	148	170	137	139
6	133	139	148	158
7	140	145	158	168
8	126	143	159	167
9	131	142	160	153
10	140	141	155	151
เฉลี่ย	143.1	155.95	147.35	154.6

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า $t_{0\,max}$ ที่วัดจากเครื่อง AE2-KMITL ในเนื้อไม้ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.8 พบว่าค่า $t_{0\,max}$ ของเนื้อไม้ตัวอย่างที่ทำการทดสอบนั้นแตกต่างกันไม่มากนัก เช่น มะม่วง มีค่า $t_{0\,max}$ 155.95 วินาที ซึ่งจะนำค่า $t_{0\,max}$ ของพืชแต่ละชนิดไปเฉลี่ยใช้รวมกัน ได้เท่ากับ 150 และนำค่านี้ไปเขียนโปรแกรมต่อไป

4.5 การทดสอบหาค่าพื้นที่ท่อลำเลียงของต้นไม้ทดสอบ

จุดประสงค์

1. เพื่อหาค่าพื้นที่หน้าตัดของขนาดท่อลำเลียงต้นพืชที่ใช้ทดลอง(แก่นไม้)
2. เพื่อหาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงในหน่วยของ(ลูกบาศก์ต่อเวลา)

อุปกรณ์การทดลอง

1. มีด
2. เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ , ตลับเมตร
3. ต้นพืชทดลอง เช่น มะม่วง ขนุน ชมพู่

วิธีการทดสอบ

1. ใช้มีดกรีดเอาส่วนเปลือกของต้นพืชที่ลอกได้ (Cork) ที่ระดับความสูง 1 m. เพื่อทำการวัดขนาดความหนาของเปลือกส่วนนี้
2. แกะเอาเปลือกไม้ส่วนนี้มาวัดความหนาด้วยเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์
3. วัดเส้นรอบวงของต้นพืชแต่ละต้นแล้วคำนวณหาค่าขนาดพื้นที่ของท่อลำเลียง

ก. ต้นมะม่วง ข. ต้นขนุน ค. ต้นชมพู่

ภาพที่ 4.7 (ก),(ข),(ค) แสดงการทดสอบหาค่าพื้นที่ท่อลำเลียงของต้นพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ชนิด	ความหนาเปลือก (mm)	เส้นรอบวง (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	พื้นที่หน้าตัด A (mm^2)	อัตราการใช้น้ำจริง (Q=ET*A) ลิตร/ชม.
มะม่วง	8	352	112	9,859.970	0.004
ขนุน	7	590	188	27,759.113	0.012
ชมพู่	5	300	96	7,238.230	0.003

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าพื้นที่ท่อลำเลียงของต้นพืช

จากตารางที่ 4.9 พบว่าค่าอัตราการใช้น้ำจริงของต้นพืชนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของต้นพืช ถ้าต้นที่ขนาดที่ใหญ่ก็ยิ่งต้องการน้ำในปริมาณที่มากตามไปด้วย

4.6 การทดสอบวัดค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช โดยเทคนิคพัลส์ความร้อน

เวลา	ค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช (ลิตร/ชั่วโมง)					
	มะม่วง 1	มะม่วง 2	ขนุน 1	ขนุน 2	ชมพู่ 1	ชมพู่ 2
9:00	0.048	0.042	0.033	0.040	0.023	0.035
9:30	0.058	0.040	0.036	0.043	0.032	0.035
10:00	0.070	0.045	0.050	0.036	0.062	0.023
10:30	0.054	0.058	0.043	0.054	0.043	0.043
11:00	0.063	0.055	0.042	0.055	0.033	0.053
11:30	0.101	0.061	0.068	0.053	0.053	0.045
12:00	0.087	0.072	0.060	0.065	0.055	0.043
12:30	0.096	0.084	0.073	0.045	0.056	0.065
13:00	0.094	0.078	0.077	0.055	0.048	0.055

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

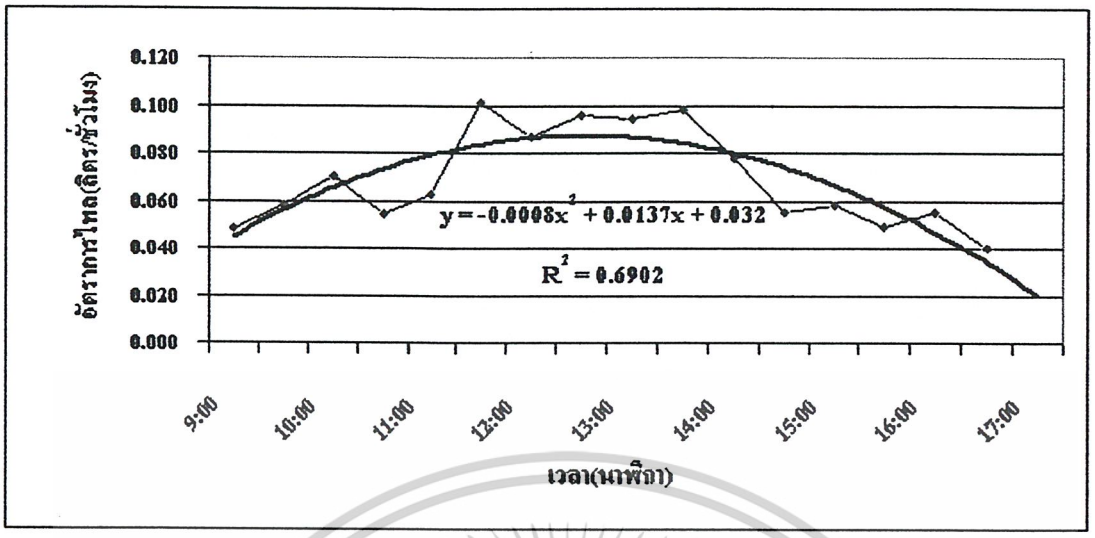
เวลา	ค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช (ลิตร/ชั่วโมง)					
	มะม่วง 1	มะม่วง 2	ขนุน 1	ขนุน 2	ชมพู่ 1	ชมพู่ 2
13:30	0.098	0.075	0.063	0.062	0.068	0.055
14:00	0.078	0.053	0.065	0.065	0.072	0.063
14:30	0.055	0.064	0.052	0.071	0.032	0.042
15:00	0.058	0.063	0.045	0.050	0.054	0.040
15:30	0.049	0.063	0.048	0.045	0.042	0.038
16:00	0.055	0.046	0.042	0.045	0.036	0.053
16:30	0.040	0.044	0.044	0.050	0.055	0.044
17:00	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าอัตราการไหลที่วัดได้จากเครื่อง AE2-KMITL

จากตารางที่ 4.10 พบว่าค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช (ลิตร/ชั่วโมง) จะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงในช่วงเวลาเที่ยงวัน ดังเช่น ค่าที่ได้จากการทดสอบต้นมะม่วง 1 มีค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชสูงสุดที่ 0.101 ลิตร/ชั่วโมง ที่เวลา 11.30 นาฬิกา ต้นขนุน 1 มีค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชสูงสุดที่ 0.077 ลิตร/ชั่วโมง ที่เวลา 13.00 นาฬิกา และพืชชนิดอื่นๆก็มีลักษณะการใช้น้ำที่เหมือนกัน ซึ่งมีลักษณะสอดคล้องกับความต้องการน้ำของพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

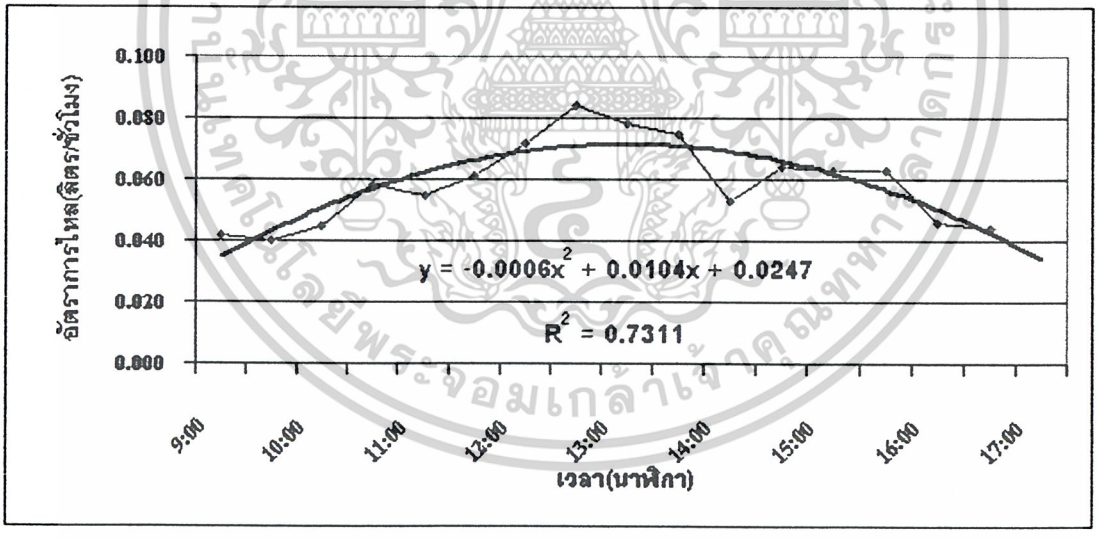
ทดลองวันที่ 3 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 ท้องฟ้าโปร่งตลอดทั้งวัน



ภาพที่ 4.8 แสดงอัตราการไหลของน้ำในต้นมะม่วง (ต้นที่1)

จากภาพที่ 4.8 พบว่าค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นมะม่วง 1 เริ่มมีการใช้น้ำสูงขึ้นตั้งแต่เวลา 11:00 น. มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.101 ลิตร/ชม . และหลังจาก 13:00 ก็มีค่าลดลงเรื่อยๆ

ทดลองวันที่ 4 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 ท้องฟ้าโปร่ง ช่วงบ่ายมีเมฆเล็กน้อย

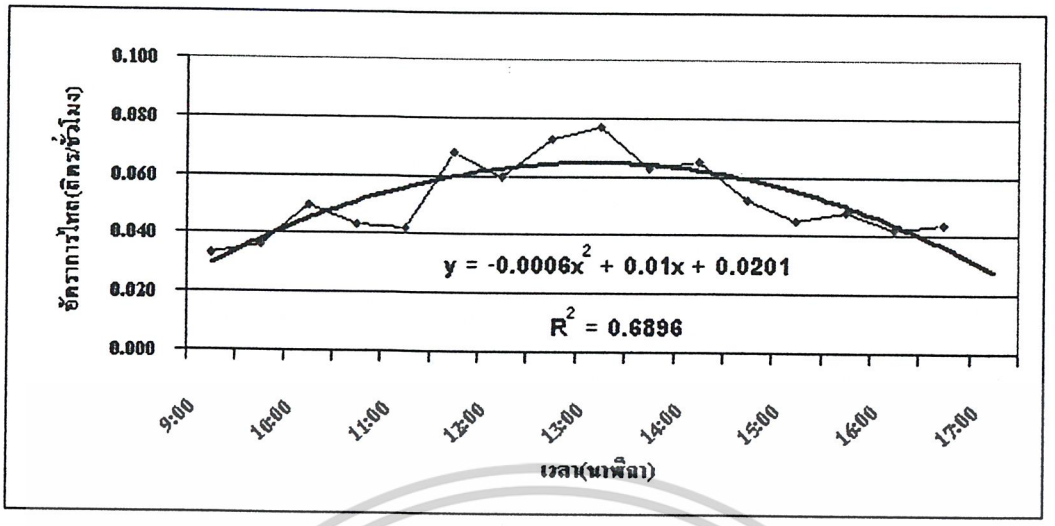


ภาพที่ 4.9 แสดงอัตราการไหลของน้ำในต้นมะม่วง (ต้นที่2)

จากภาพที่ 4.9 พบว่าค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นมะม่วง 2 มีการใช้น้ำสูงสุดที่เวลา 13:00 น. ซึ่งเท่ากับ 0.078 ลิตร/ชม . และหลังจาก 13:00 ก็มีค่าลดลงเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

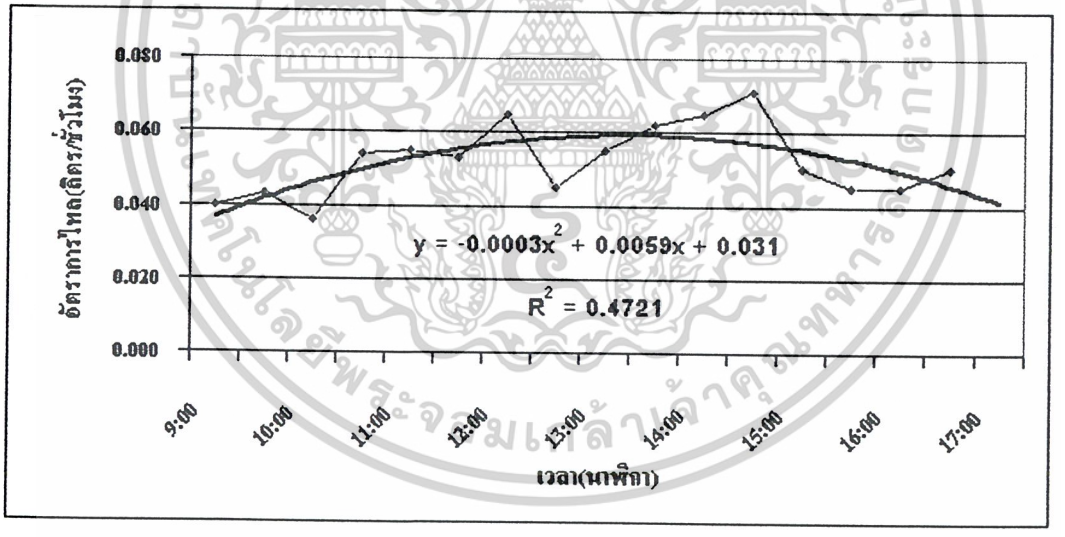
ทดลองวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 ท้องฟ้าเปิดมีเมฆมาก



ภาพที่ 4.10 แสดงอัตราการไหลของน้ำในต้นขนุน (ต้นที่1)

จากภาพที่ 4.10 พบว่าค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นขนุน 1 มีการใช้น้ำสูงสุดที่เวลา 13:00 น. ซึ่งเท่ากับ 0.077 ลิตร/ชม . และหลังจาก 13:00 ก็มีค่าลดลงเรื่อยๆ

ทดลองวันที่ 6 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 อากาศเย็นสบาย ท้องฟ้าเปิดมีเมฆมากช่วงเช้า

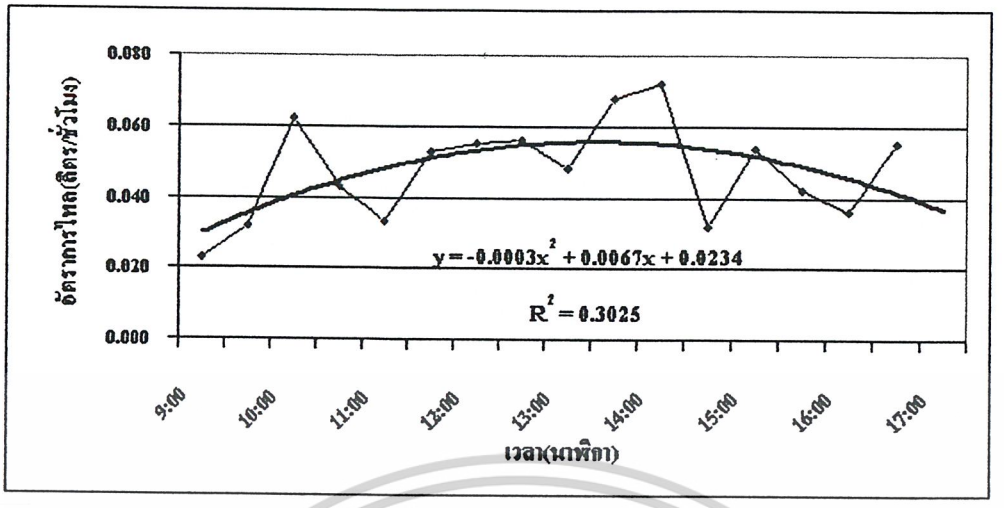


ภาพที่ 4.11 แสดงอัตราการไหลของน้ำในต้นขนุน (ต้นที่ 2)

จากภาพที่ 4.11 พบว่าค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นขนุน 2 มีค่ามีการใช้น้ำสูงสุดที่เวลา 14:30 น. ซึ่งเท่ากับ 0.071 ลิตร/ชม . และหลังจาก 14:30 ก็มีค่าลดลงเรื่อยๆแต่ค่าการใช้น้ำมีความแปรปรวนมากเนื่องจากมีเมฆมาบดบังแสงแดด ซึ่งทำให้อุณหภูมิต่ำลง กระบวนการใช้น้ำจึงต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

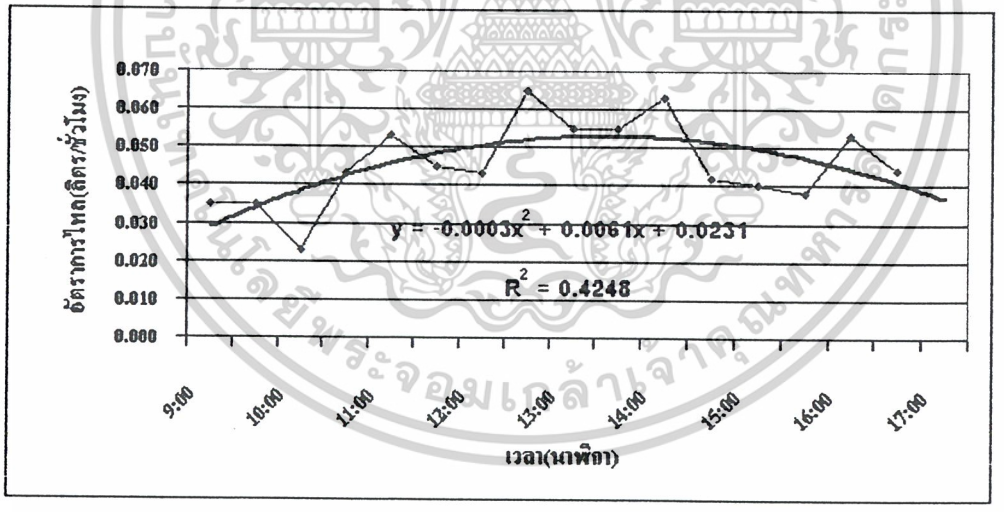
ทดลองวันที่ 7 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 มีเมฆมากทั้งวัน บ่ายอากาศร้อน



ภาพที่ 4.12 แสดงอัตราการไหลของน้ำในต้นชมพู่ (ต้นที่ 1)

จากภาพที่ 4.12 พบว่าค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นชมพู่ 1 มีค่ามีการใช้น้ำสูงสุดที่เวลา 14:00 น. ซึ่งเท่ากับ 0.072 ลิตร/ชม . และหลังจาก 14:30 ก็มีค่าเรื่อยๆ แต่ค่าการใช้น้ำมีความแปรปรวนมากเนื่องจากมีเมฆมาบดบังแสงแดด ซึ่งทำให้อุณหภูมิต่ำลง กระบวนการใช้น้ำจึงต่ำลง

ทดลองวันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 อากาศร้อนและมีเมฆมากทั้งวัน



ภาพที่ 4.13 แสดงอัตราการไหลของน้ำในต้นชมพู่ (ต้นที่ 2)

จากภาพที่ 4.13 พบว่าค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นชมพู่ 2 มีค่ามีการใช้น้ำสูงสุดที่เวลา 12:30 น. ซึ่งเท่ากับ 0.065 ลิตร/ชม . และหลังจาก 14:30 ก็มีค่าลดลงเรื่อยๆ แต่ค่าการใช้น้ำมีความแปรปรวนมากเนื่องจากมีเมฆมาบดบังแสงแดด ซึ่งทำให้อุณหภูมิต่ำลง กระบวนการใช้น้ำจึงต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากภาพที่ 4.8 ถึงภาพที่ 4.13 ได้แสดงอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช 3 ชนิด คือ มะม่วง ขนุน และชมพู่ ชนิดละ 2 ต้น ซึ่งพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันทางกายภาพ คือ มีขนาดทรงพุ่มที่แตกต่างกัน อายุของพืช จึงทำให้แต่ละต้นมีอัตราการใช้น้ำในปริมาณที่ต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น

ต้นมะม่วงต้นที่ 1 มีแนวโน้มของการใช้น้ำเป็นไปตามสมการ $y = -0.0008X^2 + 0.0137X + 0.032$ ซึ่งมีอัตราการใช้น้ำ ต่ำสุด 0.040 และสูงสุด 0.101 ลิตร/ชั่วโมงที่เวลา 11.30 น. ส่วนต้นที่ 2 มีแนวโน้มของการใช้น้ำเป็นไปตามสมการ $y = -0.0006X^2 + 0.0104X + 0.0247$ มีอัตราการใช้น้ำสูงสุดที่ 0.084 ลิตร/ชั่วโมงที่เวลา 12.30 น. หลังจากนั้นการใช้น้ำของต้นมะม่วงจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ

สำหรับต้นขนุน มีแนวโน้มของการใช้น้ำเป็นไปตามสมการ $y = -0.0006X^2 + 0.01X + 0.0201$ และ $y = -0.0003X^2 + 0.0059X + 0.031$ มีอัตราการใช้น้ำตั้งแต่ 0.033 - 0.077 และ 0.040 - 0.071 ลิตร/ชั่วโมง ตามลำดับ

สำหรับต้นชมพู่ มีแนวโน้มของการใช้น้ำเป็นไปตามสมการ $y = -0.0003X^2 + 0.0067X + 0.0234$ และ $y = -0.0003X^2 + 0.0061X + 0.0231$ มีอัตราการใช้น้ำตั้งแต่ 0.023 - 0.072 ลิตร/ชั่วโมง และ 0.023 - 0.065 ลิตร/ชั่วโมง ตามลำดับ

ผลจากการนำเครื่อง AE2-KMITL ทำการทดลองวัดอัตราการใช้น้ำของต้นพืชนั้น พบว่าการใช้น้ำของพืชนั้นมีความสอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้น้ำของพืช คือ ช่วงเวลาเที่ยงถึงบ่าย สองโมง เป็นช่วงเวลาที่อากาศร้อนมากที่สุด ทำให้พืชมีความต้องการใช้น้ำเพื่อกิจกรรมต่างๆ ที่พืชต้องการ ปริมาณการใช้น้ำของพืชจึงมีค่าเพิ่มขึ้น แต่การใช้น้ำของต้นพืชนั้นจะมีความแปรปรวนอย่างมาก ตั้งแต่ วันที่ 6 - 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 เนื่องมาจากในวันดังกล่าวนี้ท้องฟ้ามีเมฆมากทำให้บดบังแสงแดดที่ส่องลงมาในบริเวณที่ทำการทดลอง จึงมีผลต่อค่าอุณหภูมิที่ลดลง และทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงลดลงด้วย จึงทำให้เส้นกราฟขึ้นๆลงๆ ดังที่ได้แสดงไว้ข้างต้น ดังนั้น ค่า R^2 ในช่วง 3 วันนี้จึงมีค่าต่ำมากถึง 0.3025 แต่ค่า R^2 เฉลี่ยของต้นพืชแต่ละชนิดเท่ากับ 0.5517

แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองใช้เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช โดยเทคนิคพัลส์ความร้อนในครั้งนี้ พบว่าพืชที่ทำการทดลองทุกต้นมีการนำน้ำไปใช้ในอัตราที่สูงกว่าปริมาณการใช้น้ำของพืชที่แท้จริง จึงทำให้พืชไม่แสดงอาการว่าจะขาดน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาปริมาณการใช้น้ำของต้นพืช มีวิธีการวัดการใช้น้ำของพืช ด้วยวิธีการวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชโดยตรง ซึ่งสามารถวัดได้ 4 วิธี คือ

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

สำหรับวิธีพัลส์ความร้อนเป็นวิธีที่เลือกใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ เพราะมีข้อดี คือ การที่ติดตั้งกับต้นไม้ยืนต้นที่มีผิวขรุขระได้ แต่ขนาดที่เหมาะสมมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 30 มิลลิเมตรขึ้นไป วิธีพัลส์ความร้อนจึงเป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสม ในการวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นไม้ป่าและ ไม้ผลหลายชนิด สำหรับในการทดลองวัดค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชนั้น มีการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชกับค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่ได้จากสูตรการคำนวณ ของ Penman เพื่อแสดงให้เห็นว่า เมื่อค่าของเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชที่วัดได้มีค่าน้อยกว่าค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง แสดงว่าพืชมีอาการขาดน้ำ แต่ถ้าค่าของเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชที่วัดมีค่ามากกว่าค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง แสดงว่าพืชมีการใช้น้ำที่ปกติ

จากการทดสอบเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชโดยเทคนิคพัลส์ความร้อนกับพืช พบว่าค่าที่ได้มีความสอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้น้ำของพืช คือ ในช่วงที่มีแสงแดดจ้าโดยเฉพาะช่วงกลางวัน พืชจะมีการใช้น้ำมากคือเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชจะแสดงค่าอัตราการไหลออกมามาก และในทางกลับกัน ถ้าในช่วงเช้าหรือช่วงบ่ายที่มีแสงแดดน้อย พืชจะมีการใช้น้ำน้อยคือเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชจะแสดงค่าอัตราการไหลออกมาน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชสามารถนำไปวัดค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชได้ตามที่ออกแบบไว้

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ควรมีการนำต้นพืชที่จะนำมาทดสอบและเก็บข้อมูลการใช้น้ำภายในสภาพที่สามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมรอบต้นไม้ได้ เพื่อการทดสอบหาค่าปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงเป็นไปอย่างเที่ยงตรง และจะรู้ปริมาณการให้น้ำที่แท้จริงในแต่ละวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ควรมีการทดสอบเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชโดยเทคนิคพัลส์ความร้อนเปรียบเทียบกับเครื่องที่มีลักษณะการทำงานที่อาศัยหลักการเดียวกันโดยเฉพาะเครื่องของบริษัทกรีนสแปน (เครื่องจากต่างประเทศ) จะทำให้ทราบค่าที่ทำการวัดมีค่าความแตกต่างกันมากน้อยแค่ไหน เพื่อจะได้นำค่าที่ได้ไปปรับปรุงแก้ไขเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในต้นพืชโดยเทคนิคพัลส์ความร้อนให้มีค่าสอดคล้องกับเครื่องของต่างประเทศต่อไป

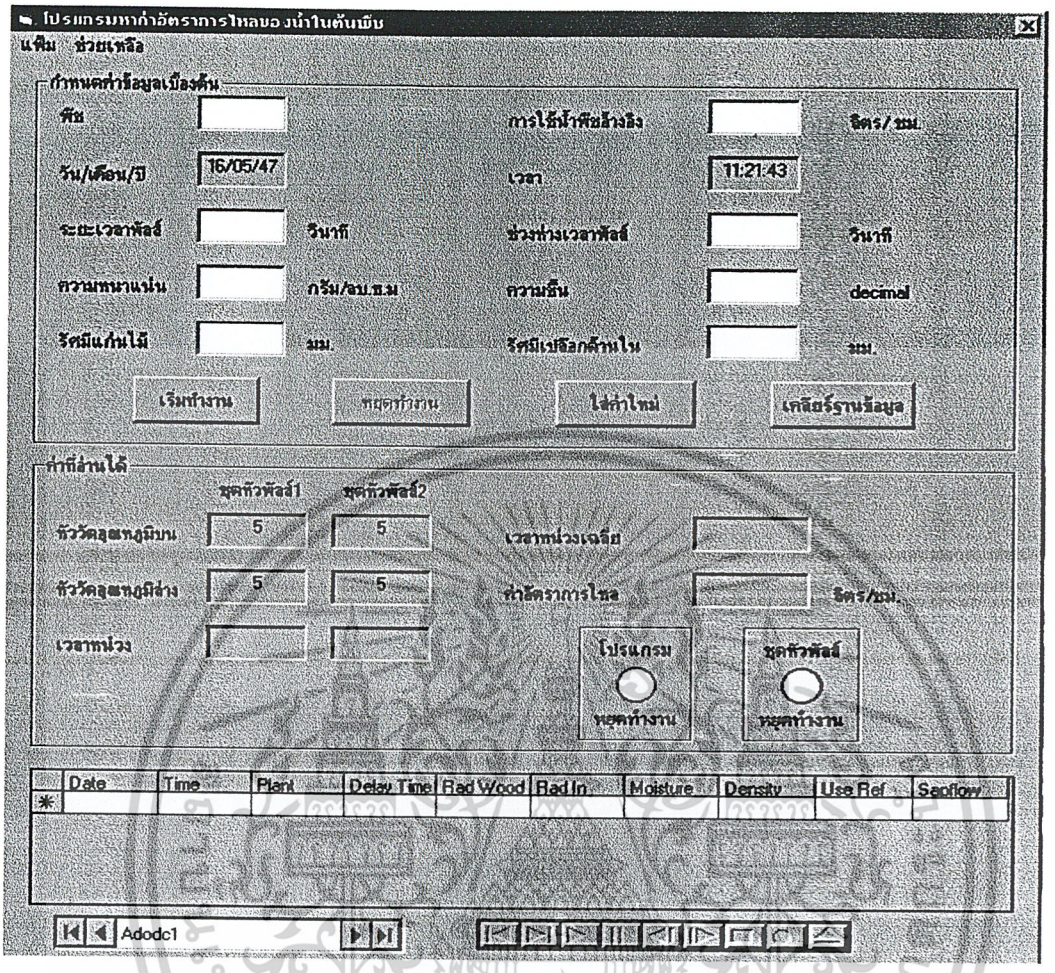
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมคำนวณค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมคำนวณค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช



ภาพที่ ก.1 แสดงโปรแกรมคำนวณค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช

ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมคำนวณค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช

1. เข้าไปที่ปุ่ม start menu
2. คลิกเลือกโปรแกรมคำนวณค่าอัตราการไหลของน้ำในต้นพืช
3. เมื่อปรากฏหน้าต่างโปรแกรมดังภาพด้านบนแล้ว ให้ทำการใส่ค่าข้อมูลต่างๆ เพื่อหาค่า t_0
4. คลิกที่ปุ่ม "เริ่มทำงาน" โปรแกรมจะควบคุมเครื่องให้ทำงานตามระบบที่ตั้งค่าไว้
5. เมื่อโปรแกรมตรวจสอบค่าความถูกต้องแล้วพบว่าค่าอุณหภูมิที่หัววัดทั้งสองหัวเท่ากัน โปรแกรมจะเก็บค่า t_0 และเก็บไว้ในฐานข้อมูล
6. สามารถหยุดการทำงานได้โดยคลิกปุ่ม "หยุดการทำงาน"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับการทดลองโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROGRAM CONTROL

```
Option Explicit
Dim DStart As Integer
Dim DHeat As Integer
Dim t0MAX As Integer
Dim StartTime As Integer
Dim StartPse As Integer
Dim TimePls As Integer
Dim TimePse As Integer
Dim DTime1, DTime2 As Integer
Dim t0, M, P, J, R, H, Q, V As Double
Dim UpSteam1 As Single
Dim UpSteam2 As Single
Dim DownSteam1 As Single
Dim DownSteam2 As Single
Dim AverageTime As Integer
Const Xd = 10, Xu = 5
Dim i As Integer
Dim Uout As Byte
Dim Index As Integer
Dim Q1 As Single
Dim Q2 As Single
Private Sub cmdClear_Click()
  txtPlant.Text = ""
  txtTimePulse.Text = ""
  txtDen.Text = ""
  txtRWood.Text = ""
  txtRef.Text = ""
  txtIntervalTime.Text = ""
  txtHu.Text = ""
  txtRin.Text = ""
End Sub

Private Sub cmdCleardata_Click()
    If MsgBox("คุณต้องการลบข้อมูลในฐานข้อมูลใช่หรือไม่?", 52, "Warning") = vbYes Then
    With Adodc1.Recordset
     .MoveFirst
      Do While Not .EOF
      .Delete
      .MoveFirst
      Loop
    End With
  End If
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub cmdStart_Click()
   If txtPlant.Text = "" Or txtTimePulse.Text = "" Or txtIntervalTime.Text = "" Or
txtRWood.Text = "" Or txtRin.Text = "" Or txtHu.Text = "" Or txtDen.Text = "" Or
txtRef.Text = "" Then
      MsgBox "กรุณาใส่ค่าข้อมูลเบื้องต้นให้ครบ", vbOKOnly + vbExclamation, "Warning"
   Else
   StartTime = 1
   StartPse = 0
   TimePls = Val(txtTimePulse.Text)
   TimePse = Val(txtIntervalTime.Text)
   DTime1 = TimePls
   DTime2 = TimePse
   DHeat = Val(txtTimePulse.Text)
   DStart = 0
   t0MAX = 150
   lblStatus.Caption = "ทำงาน"
   HeatStatus.FillColor = &HFF&
   Call SendOut(1)
   cmdStopp.Enabled = True
   TimerPulse.Enabled = True
   cmdStart.Enabled = False
   cmdClear.Enabled = False
   cmdCleardata.Enabled = False
   End If
End Sub
Private Sub cmdStopp_Click()
   TimerPulse.Enabled = False
   TimerDelay1.Enabled = False
   TimerDelay2.Enabled = False
   TimerPause.Enabled = False
   TimerDelayHeat.Enabled = False
   MSComm1.Output = "0"
   cmdStart.Enabled = True
   lblDelayTime1.Caption = ""
   lblDelayTime2.Caption = ""
   StartTime = 1
   StartPse = 1
   DTime1 = TimePls
   DTime2 = TimePse
   MMControl1.Command = "Stop"
   MMControl1.Command = "Close"
   lblStatus.Caption = "หยุดทำงาน"
   HeatStatus.FillColor = &HFFFF&
   lblHeat.Caption = "หยุดทำงาน"
   Heat.FillColor = &HFFFF&
   cmdStopp.Enabled = False
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    cmdClear.Enabled = True
    cmdCleardata.Enabled = True
    Call SendOut(0)
End Sub

Private Sub Form_Load()
    MSComm1.CommPort = 1
    MSComm1.Settings = "9600,n,8,1"
    MSComm1.PortOpen = True
    Uout = 0
    MSComm1.Output = Chr(Uout)
    cmdStopp.Enabled = False
    HeatStatus.FillColor = &HFFFF&
    TimerPulse.Enabled = False
    TimerDelay1.Enabled = False
    TimerDelay2.Enabled = False
    TimerPause.Enabled = False
    TimerDelayHeat.Enabled = False
     With DataGrid1
       .Columns(0).Width = 900
       .Columns(1).Width = 900
       .Columns(2).Width = 900
       .Columns(3).Width = 900
       .Columns(4).Width = 900
       .Columns(5).Width = 900
       .Columns(6).Width = 900
       .Columns(7).Width = 900
       .Columns(8).Width = 900
       .Columns(9).Width = 900
      End With
End Sub

Private Sub MenuAbout_Click()
   MsgBox " Agricultural Engineering Project 2003 KMITL ", vbOKOnly, ""
End Sub
Private Sub MenuExit_Click()
   Unload Me
End Sub
Private Sub SendOut(B As Integer)
   Call I2CStart
   Call Send8BIT(&H70)
   Call Ack
   Call Send8BIT(B)
   Call Ack
   Call I2CStop
End Sub
Private Sub Send8BIT(Add As Integer)
  For i = 7 To 0 Step -1
     If (Add And 2 ^ i) = 2 ^ i Then
        Call Send1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Else
          Call Send0
        End If
        Next i
End Sub
Private Function DAT()
    Dim DAT1 As Byte
    For i = 7 To 0 Step -1
        MSComm1.RTSEnable = True
        MSComm1.DTREnable = True
        If (MSComm1.CTSHolding And &H80) <> &H80 Then
          DAT1 = 2 ^ i Or DAT1
        End If
        MSComm1.DTREnable = False
    Next i
    DAT = DAT1
End Function
Private Sub I2CStart()
    MSComm1.RTSEnable = True
    MSComm1.DTREnable = True
    MSComm1.RTSEnable = False
    MSComm1.DTREnable = False
End Sub
Private Sub I2CStop()
    MSComm1.RTSEnable = False
    MSComm1.DTREnable = True
    MSComm1.RTSEnable = True
End Sub
Private Sub Send0()
    MSComm1.RTSEnable = False
    MSComm1.DTREnable = True
    MSComm1.DTREnable = False
End Sub
Private Sub Send1()
    MSComm1.RTSEnable = True
    MSComm1.DTREnable = True
    MSComm1.DTREnable = False
End Sub
Private Sub Ack()
    MSComm1.RTSEnable = True
    MSComm1.DTREnable = True
    MSComm1.DTREnable = False
End Sub
Private Sub MAck()
    MSComm1.RTSEnable = False
    MSComm1.DTREnable = True
    MSComm1.DTREnable = False
    MSComm1.RTSEnable = True
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 = Round((DAT * 5) / 255, 3)
   Call MAck
      UpSteam1 = Round((DAT * 5) / 255, 3)
   Call MAck
      DownSteam2 = Round((DAT * 5) / 255, 3)
   Call MAck
      UpSteam2 = Round((DAT * 5) / 255, 3)
   Call MAck
   Call I2CStop
End Sub
Private Sub TimerDelay1_Timer()
   If DTime1 < t0MAX Then
      If UpSteam1 <> DownSteam1 Then
         DTime1 = DTime1 + 1
         lblDelayTime1.Caption = DTime1
         AverageTime = Str((DTime1 + DTime2) / 2)
      Else
      TimerDelay1.Enabled = False
      AverageTime = Str((DTime1 + DTime2) / 2)
      End If
   Else
      TimerPause.Enabled = True
      TimerDelay1.Enabled = False
   End If
End Sub
Private Sub TimerDelay2_Timer()
   If DTime2 < t0MAX Then
      If UpSteam2.Caption <> DownSteam2.Caption Then
         DTime2 = DTime2 + 1
         lblDelayTime2.Caption = DTime2
         AverageTime = Str((DTime1 + DTime2) / 2)
      Else
         TimerDelay2.Enabled = False
         AverageTime = Str((DTime1 + DTime2) / 2)
      End If
   Else
      TimerPause.Enabled = True
      TimerDelay2.Enabled = False
   End If
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub TimerDelayHeat_Timer()
  If DStart < DHeat Then
    DStart = DStart + 1
    DTime1 = DTime1 + 1
    DTime2 = DTime2 + 1
    lblDelayTime1.Caption = DTime1
    lblDelayTime2.Caption = DTime2
    AverageTime = Str((DTime1 + DTime2) / 2)
  Else
    If UpSteam1 = DownSteam1 Then
      lblDelayTime1.Caption = DTime1
    Else
      DTime1 = DTime1 + 1
      lblDelayTime1.Caption = DTime1
      TimerDelay1.Enabled = True
    End If
    If UpSteam2 = DownSteam2 Then
      lblDelayTime2.Caption = DTime2
    Else
      DTime2 = DTime2 + 1
      lblDelayTime2.Caption = DTime2
      TimerDelay2.Enabled = True
    End If
    If UpSteam1 = DownSteam1 And UpSteam2 = DownSteam2 Then
      TimerPause.Enabled = True
      AverageTime = Str((DTime1 + DTime2) / 2)
      With Adodc1.Recordset
        .AddNew
        .Fields("Date") = Date
        .Fields("time") = Time
        .Fields("Plant") = txtPlant.Text
        .Fields("Delay Time") = AverageTime
        .Fields("Rad Wood") = txtRWood.Text
        .Fields("Rad In") = txtRin.Text
        .Fields("Moisture") = txtHu.Text
        .Fields("Density") = txtDen.Text
        .Fields("Use Ref") = txtRef.Text
        .Fields("Sapflow") = lblFlowRate.Caption
      End With
    End If
      AverageTime = Str((DTime1 + DTime2) / 2)
      TimerDelayHeat.Enabled = False
  End If
    t0 = Val(AverageTime)
    M = Val(txtHu.Text)
    P = Val(txtDen.Text)
    R = Val(txtRin.Text)
    H = Val(txtRWood.Text)
  If t0 = 0 Then
    lblFlowRate.Caption = " "
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Else
      V = (Xd / 10 + Xu / 10) / (2 * t0)
      J = P * (0.33 + M) * V
      Q = Round(3.14 * 3.6 * J * (R * R / 100 - H * H / 100), 3)
      lblFlowRate.Caption = Q
      Q1 = Val(txtRef.Text)
      Q2 = Val(lblFlowRate.Caption)
      If Q2 >= Q1 Then
        MMControl1.Command = "Stop"
        MMControl1.Command = "Close"
      Else
        MMControl1.DeviceType = "WaveAudio"
        MMControl1.FileName = "c:\windows\desktop\project.wav"
        MMControl1.Command = "Open"
        MMControl1.Command = "Play"
      End If
    End If
End Sub
Private Sub TimerPause_Timer()
      If StartPse < TimePse - 1 Then
      MSComm1.Output = "0"
      StartPse = StartPse + 1
      lblHeat.Caption = "หยุดทำงาน"
      Heat.FillColor = &HFFFF&
      lblDelayTime1.Caption = ""
      lblDelayTime2.Caption = ""
      Else
      txtTimePulse.Enabled = True
      StartTime = 1
      StartPse = 0
      DStart = 0
      DTime1 = TimePls
      DTime2 = TimePls
      TimerPulse.Enabled = True
      Call SendOut(1)
      TimerPause.Enabled = False
    End If
End Sub
Private Sub TimerPulse_Timer()
      If StartTime < txtTimePulse Then
       MSComm1.Output = "3"
      lblHeat.Caption = "ทำงาน"
      Heat.FillColor = &HFF&
      lblDelayTime1.Caption = StartTime
      lblDelayTime2.Caption = StartTime
      StartTime = StartTime + 1
    Else
      TimerPause.Enabled = True
      TimerDelayHeat.Enabled = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        lblDelayTime1.Caption = StartTime
        lblDelayTime2.Caption = StartTime
        HeatStatus.BackColor = &HFF&
        TimerPulse.Enabled = False
        Call SendOut(0)
    End If
End Sub
Private Sub TimeSet_Timer()
    lblTime.Caption = Format(Time, "hh:mm:ss")
    lblDate.Caption = Format(Date, "dd/mm/yy")
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

จากการที่ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีนั้น ทางคณะผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษารวมไปถึงอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเกษตรทุกท่าน อาจารย์คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และเจ้าหน้าที่ของหน่วยงานต่างๆที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นอย่างดียิ่ง อันเป็นประโยชน์ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นมา

ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ นายอภัย คำทั่ง นายแช่ม สมบูรณ์ เจ้าหน้าที่อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเกษตร ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่จำเป็นในการทำงาน ขอขอบพระคุณ คุณจิตราพร กังสวัสดิ์ คุณพัชรา เอมอำไพวงศ์ และคุณน้อย ประทีป ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านธุรการ อีกทั้งคณะผู้จัดทำ ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคน และผู้ที่เกี่ยวข้องที่ได้ให้ความร่วมมือและคอยช่วยเหลือเป็นอย่างดี รวมถึงกำลังใจที่คณะผู้จัดทำได้รับจนทางคณะผู้จัดทำได้จัดทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จ

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้ให้ทั้งทุนทรัพย์และกำลังใจ ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ซึ่งทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

คณะผู้จัดทำปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ชูศักดิ์ ลิ่มสกุล มณเทพ เกียรติวีระสกุล และ สายัณห์ สดุดี . 2539 . **"วิจัยและพัฒนาเซนเซอร์เพื่อวัดการใช้ น้ำของไม้ผล"** . รายงานวิจัยเสนอต่อศูนย์เทคโนโลยีอิเลคทรอนิคและคอมพิวเตอร์. 38 หน้า

ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล และ อรรถพล บุญยะโภคา. **"เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม"** . บริษัท อินเวตีฟ เอ็กเพอริเมนท์ จำกัด. ครั้งที่ 2 ., 2545

ดิเรก ทองอร่าม และคณะ. **"การออกแบบและเทคโนโลยีการให้น้ำแก่พืช"**. บริษัท ฐานการพิมพ์ จำกัด. พิมพ์ครั้งที่ 2 .2545.,หน้า 55 – 90.

ภูวดล บุตรรัตน์ . **"โครงสร้างภายในของพืช"** . ไทยวัฒนาพานิช . พิมพ์ครั้งที่ 1 . 2535 ., หน้า 19 – 23 .

วิบูลย์ บุญยธโรกุล . **"หลักการชลประทาน"** . โรงพิมพ์เอเชีย . กรุงเทพฯ.2526.,หน้า 80 – 89.

สุทรีย์ ยิ่งชัชวาลย์. **"ชลศาสตร์ในระบบดิน-พืช"**. ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน.2535., หน้า 88-108.

Anonymous. 1992. **"Sapflow Sensor(version 2), User Manual".** Greenspan Technology Pty Ltd., Ausyralia.

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.

Tad. W. Patzek and Dmitriy Silin. 2000, **"Numerical Analysis 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้