สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเครื่องควบคุมอัตโนมัติในเตาอบไม้

A STUDYING OF AUTOMATION CONTROL SYSTEM WOOD KILN

นาย จตุรงค์ กลิ่นหวล
นาย นิวัฒน์ จุ้มคำมูล
นางสาวพุทธินันต์ ปานสอาดโชค

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....62448
วัน,เดือน,ปี.....18 ส.ค. 2549

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDYING OF AUTOMATION CONTROL SYSTEM WOOD KILN

JATURONG KLINHAUN

NIWAT CHUMCOMMOON

PUTTINUN PANSAARDCHOK

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING

DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาเครื่องควบคุมอัตโนมัติในเตาอบไม้		
	A STUDYING OF AUTOMATION CONTROL SYSTEM WOOD KILN		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นาย จตุรงค์	กลิ่นหวล	**รหัสประจำตัว** 46015434
	นาย นิวัฒน์	จุ้มดำมูล	**รหัสประจำตัว** 46015444
	น.ส.พุทธินันต์	ปานสอาดโชค	**รหัสประจำตัว** 46015450
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม		
ปีการศึกษา	2548		

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	**ลายมือชื่อ**
อ.ประภาส เริงรื่น	

ภาควิชารับรองแล้ว

(รศ.ประสิทธิ์ จุฉเสรีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาเครื่องควบคุมอัตโนมัติในเตาอบไม้		
	A STUDYING OF AUTOMATION CONTROL SYSTEM		
	WOOD KILN		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นาย จตุรงค์	กลิ่นหวล	รหัสประจำตัว 46015434
	นาย นิวัฒน์	จุ้มคำมูล	รหัสประจำตัว 46015444
	น.ส.พุทธินันต์	ปานสอาดโชค	รหัสประจำตัว 46015450
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.ประภาส	เริงรื่น	
ปีการศึกษา	2548		

บทคัดย่อ

การผึ่งหรือการอบไม้ (Seasoning) หมายถึง ขบวนการที่จำเป็นในการควบคุมอัตราการแห้งของไม้ ให้มีความชื้นสมดุลกับสภาพของบรรยากาศที่ๆจะนำไม้นั้นไปใช้ในการอบไม้ด้วยเตาอบนั้น เตาอบไม้มีลักษณะเป็นห้องและภายในห้องนั้น สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ เตาอบที่มีระบบควบคุมที่ดีจะอบไม้ให้แห้งโดยใช้เวลาน้อย ไม้แห้งสม่ำเสมอกัน ไม่มีแรงความเค้น ไม่มีตำหนิ และไม่ทำให้ความแข็งของไม้ลดลง การที่เตาอบทำให้ไม้แห้งได้เร็วกว่าการผึ่งไม้ในกระแสร์อากาศนั้น ก็เนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านผิวไม้ ซึ่งเคลื่อนที่เร็วกว่าและอุณหภูมิภายในเตาสูงกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศภายนอก เป็นการเร่งความชื้นที่อยู่ภายในไม้ออกมาสู่ผิวไม้ได้เร็วขึ้น แต่ในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถจะได้ไม้ที่มีคุณสมบัติครบถ้วนตามที่ต้องการได้ เนื่องจากจะมีปัญหาต่างๆเกิดขึ้นในการควบคุมเตาอบ ดังนั้นในการอบไม้ผู้ควบคุมเตาอบจะต้องพยายามแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น และพยายามอบไม้ให้มีคุณภาพที่ดีเท่าที่จะทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A Studying of Automation Control System Wood Kiln	
Authors	Mr. Jaturong	Klinhuan
	Mr. Niwat	Chumcommoon
	Miss. Puttinun	Pansaardchok
Thesis Advisor	Mr. Prapart	Roegruen
Year	2005	

ABSTRACT

Wood seasoning is a process necessity to control dry rate of wood for equilibrium moisture with atmosphere condition for bring the wood to apply. In the seasoning with the kiln. The kiln to have a characteristic is compartment kiln and in the kiln to control temperature and humidity. The perfect system control of the kiln to short time for seasoning , to be level with dry , no stress , no fault , and not for reduce strength of wood. The kiln to seasoning is faster than seasoning in atmosphere. because movement of the air pass to skin of wood is faster and temperature in the kiln higher than temperature at atmosphere to press humidity of wood to go out to skin is fasten but in practice wood seasoning is not perfect because of the kiln have a problem to control. So manager of the kiln will be try to solve a problem to happened and will be try to seasoning have a perfect.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับความเมตตาและความกรุณาจาก อาจารย์ประภาส เริงรื่นที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดมา อีกทั้งยังช่วยเหลือและเอื้อเฟื้อ อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำปริญญานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบ ขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำอันเป็น ประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ที่ลืมเสียมิได้คือ ขอกราบขอบพระคุณคุณแม่และคุณพ่ออันเป็นที่รักยิ่งที่สนับสนุนและ ยังเป็นกำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

และอีกหนึ่งบุคคลที่มีพระคุณต่อการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ก็คือรุ่นพี่ที่เคารพมาร่วม 3 ปี ที่ได้ร่ำเรียนมาจนจะจบการศึกษา ซึ่งคอยให้คำปรึกษาในเรื่องการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ด้วย

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณ ทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญภาพ.....IX

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....1

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....1

1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....1

1.5 ประโยชน์ของไม้.....2

1.6 ประโยชน์ของการผึ่งหรืออบ.....2

1.7 ลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติของไม้ที่มีส่วนสัมพันธ์กับการแห้ง.....3

บทที่ 2 ความชื้นที่มีอยู่ในเนื้อไม้และการหดตัว.....7

2.1 กล่าวนำ.....7

2.2 รูปแบบของความชื้น ที่มีอยู่ในไม้.....7

2.2.1 น้ำนอกผนังเซลล์.....7

2.2.2 น้ำในผนังเซลล์.....7

2.3 การหาปริมาณความชื้นในไม้.....8

2.3.1 วิธีการอบแห้ง.....8

2.3.2 วิธีการกลั่น.....9

2.3.3 ใช้เครื่องวัดความชื้น.....9

2.4 การกระจายความชื้น (Moisture Distribution).....10

2.5 การลดหลั่นของความชื้น(Moisture Gradient).....12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ความเค้นและตำหนิต่างๆ ที่มีอยู่ในไม้.....13

3.1 การเกิดของความเค้น.....13

3.2 การตรวจสอบ.....14

3.3 การป้องกัน.....15

3.4 การขจัดแรงความเค้น.....15

3.5 ตำหนิต่างๆ ที่มีอยู่ในไม้.....17

3.6 ตำหนิที่เกิดจากการแห้งของไม้.....18

3.6.1 ตำหนิที่เกิดขึ้นเนื่องจากความลดหลั่นของความชื้นและความเค้น.....18

3.6.2 ตำหนิที่เกิดขึ้นเนื่องจากการหดตัวของไม้ไม่เท่ากัน.....19

3.6.3 ตำหนิที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดึงดูดของน้ำที่มีอยู่ในไม้.....19

3.7 สรุปการป้องกันการเกิดตำหนิเนื่องจากการผึ่งหรืออบ.....20

บทที่ 4 เตาอบไม้.....23

4.1 เตาอบแบบต่อเนื่อง (Progressive Kiln).....23

4.2 เตาอบแห้งแบบห้อง (Compartment).....23

4.2.1 Natural-Draught or Natural Circulation Kiln.....24

4.2.2 Forced Circulation Kiln or Fan-Type Kiln.....24

4.3 การก่อสร้างเตาอบ.....24

4.3.1 เตาอบแบบห้อง.....25

4.3.2 เตาอบแบบต่อเนื่อง.....25

4.4 การทำงานของเตาอบ.....26

4.4.1 ระบบความร้อน.....26

4.4.2 ระบบความชื้น.....28

4.4.3 ระบบการหมุนเวียนของอากาศ.....29

4.5 ตารางอบไม้.....30

4.5.1 การจำแนกชั้นของตารางอบ.....30

4.5.2 การใช้ตารางอบ.....31

4.5.3 ตัวอย่างของตารางอบ.....32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 การเชื่อมต่อ PC กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม.....35

5.1 ทำความรู้จักกับพอร์ตอนุกรม.....35

5.1.1 การสื่อสารแบบอนุกรม.....35

5.1.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส.....36

5.1.3 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS – 232.....38

5.1.4 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ.....38

5.1.5 ลักษณะสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของพอร์ต RS-232.....41

5.1.6 แอดเดรสของพอร์ตอนุกรม.....42

5.2 คุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51.....42

5.2.1 การจัดหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2.....49

5.2.2 หน่วยความจำข้อมูลภายใน (Internal Data Memory).....51

5.2.3 หน่วยความจำข้อมูลภายนอก (External Data Memory).....52

5.2.4 ความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2.....53

5.3 ข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญของบัส I^2C.....54

5.4 การเขียนโปรแกรม Visual Basic เพื่อติดต่อพอร์ตอนุกรมและ MSComm.....56

5.5 การเชื่อมต่อสัญญาณผ่านพอร์ตอนุกรม.....60

5.6 ADC&DAC (PCF8591).....61

5.7 วงจร V-to-I Converter และ I-to-V Converter.....63

5.7.1 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า.....63
(Voltage to Current Converter Circuit)

5.7.2 วงจรแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า.....69
(Current to Voltage Converter Circuit)

5.8 โครงสร้างชุด Controller.....73

5.9 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์.....74

5.10 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์.....78

บทที่ 6 ผลการทดลองและสรุปผล.....82

6.1 ผลการทดลอง.....83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.2 สรุปผล.....86

บรรณานุกรม.....**88**

ภาคผนวก.....**89**

ผนวก ก.....90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ชนิดตัวทำละลายที่ใช้ในวิธีการกลั่น (Solvents for the distillation Method).....9

4.1 จำนวนเกรนของความชื้นที่อุณหภูมิต่างๆ.....26

4.2 สำหรับไม้มะม่วง (Mangifera indica) ปอเลียง (Kydia calycina.)..... 32

4.3 สำหรับไม้ยาง (Dipterocarpus spp.) พลวง (Dipterocarpus tuberculatus).....33

สัก (Tectona grandis) ยมหอม (Cedrela toona)

4.4 สำหรับไม้คูณ ,ตะเคียน, ชันตาแมว, ตีนนก.....34

4.5 สำหรับ: งิ้ว, ปอ, สมพอ.....34

5.1 แสดงบิตพาริตี้ของข้อมูล.....37

5.2 แสดงข้อมูลในแอดเดรส 0000 : 0411 H ที่ใช้แจ้งจำนวนพอร์ตอนุกรม.....42

5.3 รายละเอียดเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ในอนุกรม P89C51Rx+ และ Rx2.....45

5.4 รายละเอียดเบื้องต้นของขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2.....46

5.5 ตำแหน่งของรีจิสเตอร์ R0-R7 ในแบงค์ต่างๆ.....51

5.6 แสดงการจัดขาสัญญาณของพอร์ตอนุกรมและหน้าที่การทำงาน.....56

6.1 แสดงผลการทดลองอบไม้ยาง.....83

6.2 แสดงผลการทดลองอบไม้มะม่วง.....84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1.1 ชั้นต่างๆ ของผนังเซลล์....6

2.1 การตัดและการแบ่งชิ้นทดสอบการกระจายความชื้น....11

3.1 แบบแสดงการเกิดความเค้น....16

3.2 การตัดชิ้นทดสอบแบบซี่ส้อม....16

3.3 สภาพต่างๆของซี่ส้อม (Prongs)....17

3.4 รอยปริแตก, ฉีก และแตกภายใน (Surface check ,end split and internal check)....21

3.5 ห่อ, โค้ง, โก่ง, บิดและการยุบตัว (cup, bow, spring, twist and collapse)....22

5.1 รูปแบบอย่างง่ายที่สุดของข้อมูลอนุกรม....35

5.2 รูปแบบอย่างง่ายที่สุดของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส....36

5.3 การจัดขาของคอนเน็กเตอร์แบบDB-9 และ DB-25....39

5.4 การต่ออุปกรณ์ภายนอกกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ในลักษณะต่าง ๆ....40

5.5 โครงสร้างการทำงานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์....44

5.6 แสดงการจัดขาของ P89C51RD2....45

5.7 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2....49

5.8 การจัดพื้นที่หน่วยความจำโปรแกรมของ MCS-51....50

5.9 การจัดแบ่งหน่วยความจำข้อมูลภายใน....51

5.10 ไดอะแกรมเวลาของการอ่านและบันทึกข้อมูลกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก....52

5.11 การต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับ RAM 6264....53

5.12 แสดง Timing Diagram ของ Bit Transfer....55

5.13 แสดง Timing Diagram ของ Start and Stop Conditions....55

5.14 แสดง Timing Diagram ของ Acknowledge....56

5.15 แสดงความจำเป็นของการแปลงสัญญาณกระแสเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า....63

5.16 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าแบบง่ายๆ....64

5.17 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่สามารถปรับแต่งย่านการแปลงได้....65

5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณแรงดันอินพุทและกระแสไฟฟ้าเอาท์พุท....66

5.19 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า แบบต่อโหลดลงกราวด์....67

5.20 แสดงวงจรสำหรับการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีการวางซ้อน....67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

5.21 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่สามารถปรับแต่งย่านการแปลงได้แบบต่อโหลดลงกราวด์ 68

5.22 แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้วงจรแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า 69

5.23 วงจรแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้า4 – 20 mAdcเป็นแรงดันไฟฟ้า 1 - 5 Vdc แบบง่ายๆ.....69

5.24 แสดงตัวอย่างวงจรแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้าแบบปรับย่านการแปลได้ 70

5.25 แสดงวงจรสำหรับวิเคราะห์หาแรงดันเอาท์พุท V_{out1} ของวงจรภาพที่ 5.24.....70

5.26 แสดงวงจรสำหรับวิเคราะห์หาแรงดันเอาท์พุท V_{out2} ของวงจรภาพที่ 5.24.....71

5.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกระแสไฟฟ้าอินพุทและแรงดันเอาท์พุท.....72

5.28 โครงสร้างชุด Controller.....73

5.29 คอมพิวเตอร์ที่ใช้ติดต่อกับคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุม.....74

5.30 ช่องระบายอากาศใน.....74

5.31 Boiler กำเนิดไอน้ำสำหรับเพิ่มความชื้นภายใน.....75

5.32 ตู้แสดงสภาวะการทำงานของเตาอบ และการเชื่อมต่อท่อส่งไอน้ำ.....75

5.33 พัดลมระบายอากาศภายในเตาอบ.....76

5.34 ห้องสำหรับอบไม้.....76

5.35 ตัวเซนเซอร์ วัดความชื้นในเนื้อไม้.....76

5.36 การกองไม้เพื่อทำการอบ.....77

5.37 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์.....81

6.1 การแสดงผลการอบไม้ยาง การตั้งStep Set point และ Parameter ต่างๆด้วย Visual Basic.....82

6.2 การแสดงผลการอบไม้ยาง และ Parameter ต่างๆด้วย Visual Basic.....83

6.3 กราฟมาตรฐานการอบของไม้ยาง.....85

6.4 กราฟการทดลองการอบของไม้ยาง.....85

6.5 กราฟมาตรฐานของการอบไม้มะม่วง.....86

6.6 กราฟการทดลองการอบของไม้มะม่วง.....86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

ในปัจจุบันนี้ประเทศไทยเรานั้น ได้มีการนำไม้มาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมายหลายชนิดเช่นใช้สร้างบ้าน ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ ใช้ผลิตกระดาษ เป็นต้น และไม้ที่จะนำมาแปรสภาพเพื่อนำไปใช้งานต่อจะต้องเป็นไม้ที่มีคุณภาพ หมายถึงว่าจะต้องแห้งสนิทคือไม่มีความเค้นอยู่ในเนื้อไม้และไม่เกิดการโค้งงอเมื่อนำไปใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์นี้จะเป็นการศึกษาและพัฒนาการออกแบบเครื่องควบคุมอัตโนมัติในเตาอบไม้ เพื่อนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการควบคุมกระบวนการอบไม้ให้ได้คุณภาพที่ดี เพื่อลดระยะเวลาและความยุ่งยากในการทำให้ไม้แห้ง นอกจากนี้ยังช่วยให้ไม้ที่ได้นั้นมีความคงทนแข็งแรงมากขึ้นอีกด้วย

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ขอบเขตของปริญญานิพนธ์เล่มนี้จะกล่าวถึงการศึกษาและพัฒนาการออกแบบเครื่องควบคุมอัตโนมัติในเตาอบไม้ ซึ่งขั้นตอนการทำงานที่สำคัญของเครื่องอบไม้นี้คือ การหาค่าความชื้นที่เหมาะสมกับไม้แต่ละชนิดที่นำมาอบพร้อมกัน ซึ่งเป็นการยากที่เราจะหาค่าที่เหมาะสมกับไม้ทุกประเภทได้ เพราะค่าความชื้นที่ได้นั้นจะต้องสัมพันธ์กับความร้อนที่ใช้ในการอบและการหมุนเวียนในอากาศอีกด้วย

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

การทำโครงงานวิจัยในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการศึกษาไม้แต่ละชนิดที่จะนำมาอบ เพราะความต้องการใช้ไม้มีมากในปัจจุบัน พวกเราจึงศึกษาข้อมูลของไม้แต่ละชนิดว่ามีไม้ชนิดใดบ้างที่เป็นที่นิยมเช่นไม้สัก ไม้ตะเคียน และไม้รังเป็นต้น ไม้ชนิดใดที่มีมากเช่นไม้ยางพารา ไม้ยูคาลิปตัส เป็นต้น ไม้ชนิดไหนที่หาได้ง่ายเช่นไม้ยางพารา ไม้สน ไม้มะม่วง เป็นต้น ต่อมาพวกเราศึกษาเครื่องอบไม้ที่จะใช้อบจะเป็นประเภทใดเช่นแบบห้องหรือแบบต่อเนื่อง ขนาดของเตาอบ ปริมาตรของเตาอบที่สัมพันธ์กับความร้อน ความชื้น และระบบหมุนเวียนอากาศภายในเตา ต่อมาพวกเราได้ศึกษาการออกแบบการควบคุมเครื่องอบไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ของไม้

ไม้เป็นวัตถุที่สำคัญ และจำเป็นสำหรับมนุษย์ทุกๆ คนและทุกสมัย ไม้มีความสำคัญและมีคุณสมบัติหลายอย่างที่ไม่มีวัตถุอื่นใดจะมีคุณสมบัติเหมือน ประโยชน์ที่มนุษย์จะได้จากไม้นั้นมีอยู่มากมายหลายอย่าง แต่ถ้าจะกล่าวอย่างกว้างๆ แล้วประโยชน์ที่ได้จากไม้คือ

- ประโยชน์ที่ได้จากไม้โดยตรง เช่น ใช้ในการก่อสร้างต่างๆ ทำเฟอร์นิเจอร์ ถังไม้ เสาไม้ และเสาโทรเลข ฯลฯ
- ใช้เป็นเชื้อเพลิง ,สกัดเอาสารเคมีต่างๆมาใช้
- ใช้ผลิตเยื่อและกระดาษ ตลอดจนผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ได้จากไม้ เช่น เซลลูโลสและสารต่างๆ ที่ได้มาจากเซลลูโลส (Cellulose derivatives) ซึ่งนำมาใช้ในการอุตสาหกรรมทำพลาสติก ฟิล์ม สี ฯลฯ

การผึ่งและอบไม้เป็นวิธีการสำคัญ ที่จะทำให้ไม้มีคุณภาพและคงความทนทานดีขึ้น นอกเหนือไปจากการอาบน้ำยาไม้ ไม้ยืนต้น หรือไม้ที่โค่นจะมีปริมาณของเหลวอยู่มาก ซึ่งเรียกว่าน้ำเลี้ยง (Sap) น้ำเลี้ยงนี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยน้ำ ปริมาณของน้ำและความชื้นที่มีอยู่นี้จะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของไม้ แม้แต่ชนิดเดียวกันก็แตกต่างกันออกไปตามตำแหน่งของเนื้อไม้ท้องถิ่นที่ขึ้นอยู่ เป็นต้นว่าไม้ที่ขึ้นในที่ที่มีความชื้นมากๆ จะมีปริมาณน้ำมากกว่าไม้ที่ขึ้นในที่แล้ง เนื้อไม้ของส่วนที่เป็นรากจะมีความชื้นมากกว่าเนื้อไม้ในส่วนที่เป็นกิ่งและเนื้อไม้ส่วนของลำต้น เนื้อไม้ที่อยู่ส่วนโคนของลำต้นจะมีปริมาณความชื้นมากกว่าเนื้อไม้ส่วนที่อยู่สูงขึ้นไป อย่างไม้จำพวกตระกูลสน (Softwood) ปริมาณความชื้นจะมีมากที่กระพี้ โดยทั่วไปอาจมีตั้งแต่ 100-200% ของน้ำหนักอบแห้งปริมาณความชื้นของแก่นจะมีค่าอยู่ระหว่าง 38-40% แต่ในบางครั้งแก่นของไม้ที่ขึ้นในที่ชื้นอาจมีความชื้นสูงถึง 90% ส่วนไม้ใบกว้าง (Hardwood) นั้นปริมาณความชื้นมีไม่มากเท่ากับของไม้ตระกูลสน และการกระจายของความชื้นในแก่นและกระพี้ก็ไม่ค่อยจะสม่ำเสมอเหมือนไม้จำพวกตระกูลสน

เมื่อทำการตัดไม้ใหม่ๆ อากาศที่อยู่รอบๆ จะสัมผัสกับผิวหน้าไม้ การระเหยของน้ำจากไม้ก็จะเริ่มจาก สิ่งแรกที่เกิดขึ้นก็คือ น้ำที่มีอยู่นอกผนังเซลล์จะระเหยออกมาก่อน ซึ่งทำให้น้ำหนักของไม้ลดลง การหดตัวอาจจะเกิดขึ้นบ้างแต่น้อยมาก ส่วนคุณสมบัติอื่นๆ ของไม้ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง จนกระทั่งน้ำที่มีอยู่ในผนังเซลล์ระเหยออกมาจึงจะทำให้คุณสมบัติต่างๆ ของไม้เปลี่ยนแปลง เช่นเกี่ยวกับการหดตัวของไม้ ความต้านทานต่อการทำลายของแมลง เห็ด รา และคุณสมบัติเกี่ยวกับความแข็งแรงของไม้ เป็นต้น

1.6 ประโยชน์ของการผึ่งหรืออบ มีดังนี้คือ

- ทาสีและทาน้ำมันชักเงาได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• ทำให้ไม้อยู่ตัว มีการยืดและหดตัวน้อย เมื่อนำไม้นั้นไปใช้จะไม่ทำให้เกิดเป็นช่องว่างระหว่างรอยต่อ อันเนื่องมาจากการหดตัวของไม้ หรือโค้ง โก่ง เนื่องจากการขยายตัว

• ทำให้ลดการถูกทำลายของแมลง เห็ดรา เนื่องมาจากในไม้สด มีพวกน้ำเลี้ยงและอาหารพวกแป้ง น้ำตาลอยู่มาก ทำให้เหมาะต่อการทำลายของแมลงและเห็ดรา

• ทำให้ไม้มีน้ำหนักเบา เป็นการลดค่าขนส่ง และสะดวกต่อการนำไปใช้

• ทำให้ไม้มีความแข็งเพิ่มขึ้น

• ทำให้ไม้มีการดูดซึมน้ำยารักษาเนื้อไม้ได้ดีขึ้น โดยเฉพาะน้ำยาที่เป็นน้ำมันหรือใช้น้ำมันเป็นตัวทำละลาย

• ทำให้ไม้เป็นฉนวนความร้อนไฟฟ้าได้ดีขึ้น

1.7 ลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติของไม้ที่มีส่วนสัมพันธ์กับการแห้ง

ลักษณะโครงสร้าง คุณสมบัติทางฟิสิกส์และสมบัติทางเมแคนิกส์ บางอย่างของไม้จะมีผลเกี่ยวกับการแห้ง เช่น ความถ่วงจำเพาะ โครงสร้าง สารแทรก (Extractives) ลักษณะการเจริญเติบโต การหดตัว และความยากง่ายในการเคลื่อนที่ผ่านของความชื้น เหล่านี้จะมีความสัมพันธ์เกี่ยวกับการแห้ง และการเกิดตำหนิต่างๆในไม้ ดังนั้นผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการผึ่งหรืออบไม้จะต้องมีความรู้พื้นฐานต่างๆ เกี่ยวกับคุณสมบัติเหล่านี้เป็นอย่างนี้ ตลอดจนความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างไม้กับความชื้น การหาปริมาณความชื้น การใช้ตารางความชื้นสัมพันธ์ การคำนวณหาการหดตัวของไม้ และอื่นๆ ดังนี้คือ

• **ลักษณะโครงสร้างของเซลล์เนื้อไม้** เพื่อเป็นการศึกษาถึงการแยกชนิดไม้ การอุ้มน้ำของไม้ การแห้ง การหดตัว ตลอดจนการเกิดตำหนิต่างๆ ซึ่งจำเป็นจะต้องรู้ถึงลักษณะโครงสร้างอย่างละเอียดของไม้ ตลอดจนการเรียงตัวของไฟบริล ภายในผนังเซลล์เนื้อไม้ประกอบด้วยเซลล์จำนวนมากมาย แต่ละเซลล์จะมีผนังเซลล์และช่องว่างภายในเซลล์ มีเซลล์บางชนิดที่มีความยาวมากเมื่อเทียบกับความกว้างของเซลล์ คือไฟเบอร์ (Fibers) เซลล์ชนิดนี้มีความสำคัญเกี่ยวกับความแข็งของไม้ ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีขนาดยาวเรียงตัวกันในแนวขนานกับแกนของลำต้น ปลายทั้งสองข้างของเซลล์ปิด ปกติแล้วจะมีความยาวประมาณ 1/25 ถึง 1/4 นิ้ว ลักษณะและชนิดของเซลล์ต่างๆ เหล่านี้จะมีส่วนสำคัญเกี่ยวกับการแห้งและการเกิดตำหนิในไม้

• **รัศมีหรือเรย์ของเนื้อไม้** (Wood rays) ในไม้ยืนต้นทุกชนิด ยกเว้นพวกปาล์มและไม้ใผ่จะมีเซลล์ที่เรียงตัวตั้งฉากกับแนวเสี้ยนไม้จากเปลือกเข้ามาหาใจไม้ มีชื่อเรียกว่า เรย์หรือเส้นรัศมีจะเป็นทางผ่านของน้ำเลี้ยงจากกระพี้เข้าไปหาแก่น ส่วนของเรย์นี้จะมีความสำคัญเกี่ยวกับการแห้ง การยืด การหด และการเกิดรอยปริแตกของไม้ ไม้ที่มีเรย์ขนาดใหญ่หรือกว้าง จะเกิดรอยแตกตามแนวเรย์ได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• **พอร์หรือเวสเซลในไม้ใบกว้าง** (Pore or Vessel) ในพวกไม้ใบกว้างจะพบว่ามีลักษณะประจำอยู่อย่างหนึ่งคือ จะมีพอร์กระจายอยู่ทั่วไประหว่างไฟเบอร์ เป็นเซลล์ที่มีขนาดโต ลักษณะคล้ายทรงกระบอก หัวท้ายเปิดต่อกันเป็นท่อยาวในแนวความยาวของลำต้น ในไม้บางชนิดพอร์จะมีขนาดโตมองเห็นได้ชัดด้วยตาเปล่า ตามผนังของพอร์หรือเวสเซลล์จะมีหลุมผนังเซลล์ (Pit)ในไม้บางชนิดภายในพอร์จะมีสารบางอย่าง เช่น ทายโลส (Tyloses) แต่จะไม่มีผลเกี่ยวกับการแห้งของไม้

• **ไม้ที่มีพอร์หรือไม้พวกตระกูลสน** ไม้พวกนี้จะไม่มีเซลล์ที่เรียกว่าพอร์ ส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยเซลล์ที่เรียกว่า ทราคีด(Tracheid)ซึ่งจะมีหัวท้ายของเซลล์ปิด เมื่อมองดูเผินๆจะรู้สึกว่าไม้สนทำให้แห้งได้ยากกว่าพวกไม้ใบกว้าง แต่ความเป็นจริงแล้ว พวกไม้สนทำให้แห้งได้ง่ายกว่ามาก ทั้งนี้เป็นเพราะว่า การเคลื่อนที่ของน้ำจากด้านในออกมาหาผิว ในพวกไม้สนนั้นเป็นไปอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอกว่าในพวกไม้ใบกว้าง เนื่องจากภายในชิ้นไม้ในตระกูลสนนั้นประกอบด้วยเซลล์ จำนวนน้อยชนิดกว่าในไม้ใบกว้าง ทำให้มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) มากกว่าในไม้ใบกว้าง

• **เนื้อไม้ตอนต้นและปลายฤดูการเจริญเติบโต**(Spring Wood and Summer Wood) ในไม้จะพบว่าเซลล์ที่เจริญเติบโตในฤดูการเจริญเติบโตนั้นจะมีขนาดโต ผนังบาง ส่วนเนื้อไม้ที่เจริญเติบโตในปลายฤดูการเจริญเติบโตนั้นจะมีขนาดเล็ก ผนังหนา ช่องว่างภายในเซลล์แคบ เนื้อไม้ทั้งสองส่วนนี้มีอัตราการยืดหดตัวไม่เท่ากัน เนื้อไม้ต้นฤดูการเจริญเติบโตจะแห้งได้เร็วกว่า

• **กระพี้และแก่น** ส่วนของเนื้อไม้ที่มีอายุมาก และเป็นส่วนที่ตายแล้ว มีสีเข้มอยู่ตอนกลางๆของลำต้น ไม่ทำหน้าที่ในการลำเลียงแล้ว เรียกว่าแก่น ส่วนที่อยู่ถัดออกมาทางด้านเปลือกจะมีสีจางกว่าหรือสีขาว เรียกว่ากระพี้ ส่วนนี้เป็นเซลล์ที่ยังมีชีวิตอยู่ และทำหน้าที่ในการลำเลียงน้ำเลี้ยง ทั้งกระพี้และแก่นนี้มีความสำคัญเกี่ยวกับการแห้ง และการเกิดตำหนิของไม้ เนื่องจากอัตราการแห้งของส่วนที่เป็นกระพี้นั้นจะเร็วกว่าส่วนที่เป็นแก่น

• **ไม้เลื่อยตามเส้นรัศมีและไม้เลื่อยตัดเส้นรัศมี** เนื่องจากในไม้มีเรย์และวงปีอยู่ ดังนั้นในการเลื่อยไม้จึงอาจมีได้สองทางคือ ในแนวที่ขนานกับเรย์ตั้งฉากกับวงปี หรือในแนวที่ขนานกับวงปีตั้งฉากกับแนวเรย์ การแห้งของไม้เลื่อยตัดเส้นรัศมี จะแห้งได้เร็วกว่าไม้เลื่อยตามเส้นรัศมีภายใต้สภาวะเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากไม้เลื่อยตัดเส้นรัศมีนั้นมีเรย์ ซึ่งเป็นทางนำความชื้น น้ำเลี้ยงผ่านแนวเสี้ยนไม้ออกมาที่ผิวไม้เป็นจำนวนมาก แต่ไม้ที่เลื่อยแบบนี้มักจะมีตำหนิต่างๆ เกิดขึ้นได้ง่าย เมื่อทำให้แห้ง ส่วนไมที่เลื่อยตามเส้นรัศมีนั้นแห้งได้ช้ากว่า แต่จะมีการหดตัว การบิดและการเกิดตำหนิอื่นๆ น้อยกว่า นอกจากนี้ในไม้บางชนิดยังมีลวดลายสวยงามอีกด้วย

แต่อย่างไรก็ดี ในการเลื่อยไม้นั้นก็จะมีทั้งสองแบบ ทั้งนี้ย่อมแล้วแต่วัตถุประสงค์ของการที่จะนำไม้นั้นไปใช้ เพราะไม้ที่เลื่อยทั้งสองแบบนี้ ต่างก็มีลักษณะและคุณสมบัติที่ดีไปคนละอย่างคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะและคุณสมบัติที่ดีของไม้ที่เลื่อยตามเส้นรัศมี

ก. มีการหดตัวทางด้านกว้างน้อย

ข. การบิดงอเกิดขึ้นได้น้อย

ค. ในไม้บางชนิด ถ้าเลื่อยตามแนวเรย์ได้ไม้ที่มีลวดลายสวยงาม เช่นไม้โอ๊ค มะฮอกกานี

ง. มีผิวหน้าที่เรียบสม่ำเสมอกัน

จ. สามารถทำให้แห้งได้ง่าย โดยที่มีตำหนิเกิดขึ้นน้อยกว่า

ลักษณะและคุณสมบัติที่ดีของไม้ที่เลื่อยตัดเส้นรัศมี

ก. วิธีการเลื่อยทำได้ง่าย และเสียค่าใช้จ่ายน้อย

ข. ไม้บางชนิดให้ลวดลายที่สวยงามเหมือนกัน เช่น สัก ยมหอม ยมหิน กระพี้เขาควาย

ค. ถ้าเป็นไม้ที่มีปุ่มหรือตา ไม้ที่เลื่อยออกมา จะมีปุ่มหรือตาเป็นรูปกลมแทนที่จะเป็นรูปยาวๆ เหมือนอย่างที่เลื่อยตามเส้นรัศมี

ง. ไม่ค่อยเกิดการยุบตัว(Collapse) เมื่อทำการอบ

- **โครงสร้างส่วนประกอบของผนังเซลล์**

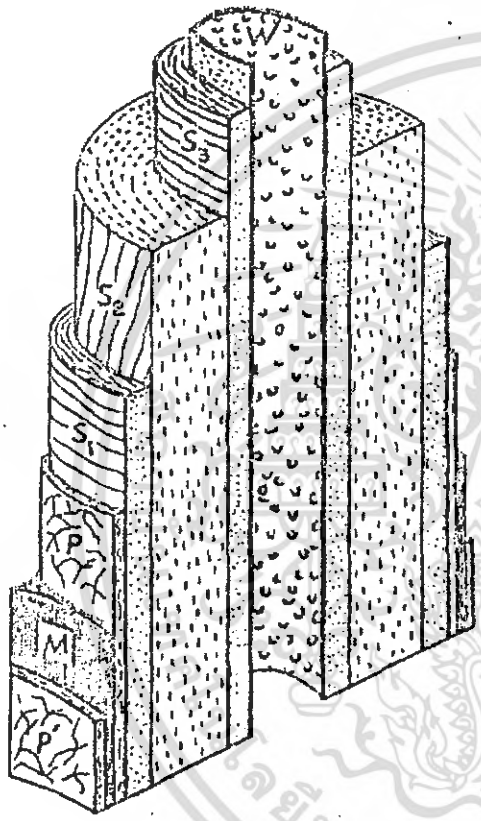
ไมโครไฟบริล (Microfibril) ผนังเซลล์ของเนื้อไม่เมื่อทำให้ลิกนิน สลายตัวออกไปโดยกรรมวิธีทางเคมี แล้วจะพบว่าโมเลกุลของเซลลูโลสจะรวมกันอยู่เป็นมัดๆ เรียกว่าไมโครไฟบริล มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 35 Angstrom (A°) (1A° = 10^{-8} เซนติเมตร) และประมาณ 40 เส้น ของเซลลูโลส (Cellulose chain) ซึ่งจะมีส่วนที่มีความสำคัญเกี่ยวกับการที่ทำให้ไม้แห้ง การเรียงตัวของเส้นเซลลูโลสที่อยู่ในไมโครไฟบริลนี้ จะมีบางช่วงที่มีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบและขนานกัน ช่วงที่เรียงตัวเป็นระเบียบและขนานกันนี้เรียกว่า Crystallites region ส่วนที่อยู่ระหว่าง Crystallites region ซึ่งมีการเรียงตัวไม่ค่อยเป็นระเบียบและมีช่วงสั้นกว่า (ประมาณ 1/3 เท่า) เรียกว่า Amorphous region ส่วนนี้มีความสำคัญเกี่ยวกับการดูด, คาย และยืดหดตัวของไม้มาก

โดยปรกติแล้วไมโครไฟบริลแต่ละอันจะเรียงตัวแยกจากกันเป็นมัดๆ แต่จะมีบางตอนที่มาเชื่อมติดกันด้วย Hydrogen bonds ที่อยู่ในช่วงของ Crystallite ปรากฏการณ์อันนี้เรียกว่า Co-crystallizaton

ชั้นต่างๆ ของผนังเซลล์ ผนังเซลล์ของเนื้อไม้มี 2 ชั้น คือ ผนังชั้นแรก (Primary wall) และผนังชั้นสอง (Secondary wall) ในผนังชั้นแรก ซึ่งหนาประมาณ 0.1 micron (μ) (Latewood) จะประกอบด้วยเซลลูโลสประมาณ 9 % นอกนั้นเป็นน้ำ ,ลิกนิน , Hemicellulose และ Pectic materials ในผนังชั้นที่สองมี 3 ชั้น ด้วยกัน คือ S_1 ,S_2 และ S_3 องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส , S_1 ชั้นนอกสุดหนาประมาณ 1 micron , (Latewood) มีการเรียงตัวของไมโครไฟบริล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำมุมกับแกนของเซลล์ประมาณ 50° -70 ° ในแนวตามเข็มนาฬิกา (S-helix), S_2 ชั้นกลาง ซึ่งเป็นชั้นที่มีความหนามากที่สุดประมาณ 1-10 ไมครอน ไมโครไฟบริล ทำมุมกับแกนของเซลล์ประมาณ 10° – 30° และมักจะเรียงตัวในแนวทวนเข็มนาฬิกา (Z-helix) ส่วน S_3 ซึ่งเป็นชั้นในสุดจะมีความหนาประมาณ 1 ไมครอน เท่ากับ S_1 ไมโครไฟบริล ทำมุมกับแกนของเซลล์ประมาณ 60° – 90° (S-helix) ดังนั้นการดูดซึมน้ำของผนังชั้น S_2 นี้ จะทำให้ไม้มีการขยายตัวทางด้านข้าง ส่วนการขยายตัวของไม้ตามยาวนั้น เกิดจากการดูดซึมน้ำของ S_1 และ S_3



P ' = ผนังชั้นแรกของเซลล์ข้างเคียง

M = ชั้นสารเชื่อมเซลล์(Middlelamella)

P = ผนังเซลล์ชั้นแรก

S_1 = ชั้นนอกของผนังเซลล์ชั้นที่สอง

S_2 = ชั้นกลางของผนังเซลล์ชั้นที่สอง

S_3 = ชั้นในของ ผนังเซลล์ชั้นที่สอง

W = Warty layer

ภาพที่ 1.1 ชั้นต่างๆ ของผนังเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ความชื้นที่มีอยู่ในเนื้อไม้และการหดตัว

2.1 กล่าวนำ

น้ำเลี้ยง (Sap) ที่มีอยู่ในไม้ยืนต้นนั้นส่วนใหญ่เป็นน้ำ นอกนั้นเป็นสารอินทรีย์และแร่ธาตุต่างๆ ในส่วนของกระพี้สารที่มีอยู่ส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลชนิดต่างๆ ส่วนในแก่นมีแทนนิน สี และสารเคมีอื่นๆ สำหรับในเรื่องเกี่ยวกับการผึ่งหรืออบไม้นี้ คำนึงถึงเฉพาะส่วนของน้ำที่มีอยู่ในกระพี้ และแก่นเท่านั้น

เนื่องจากไม้เป็นสารที่สามารถดูดและคายความชื้นได้ (Hygroscopic substance) ดังนั้น เมื่อปล่อยทิ้งไว้ให้สัมผัสกับสภาพของบรรยากาศที่มีความชื้นสูงกว่า ไม้ก็จะดูดความชื้นและในทางตรงกันข้าม ถ้าปล่อยให้สัมผัสสภาพของบรรยากาศที่มีความชื้นน้อยกว่าไม้ก็จะคายความชื้น จนกระทั่งปริมาณความชื้นภายในสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศที่อยู่โดยรอบ เนื่องจากปรากฏการณ์อันนี้จึงทำให้เกิดอุปสรรคในการใช้ไม้ในท้องที่ต่างๆ กัน จึงจำเป็นต้องทำให้ไม้แห้งพอเหมาะ กับสภาพของบรรยากาศที่ๆ จะนำไม้นั้นไปใช้เสียก่อน

2.2 รูปของความชื้น ที่มีอยู่ในไม้

น้ำหรือความชื้นที่มีอยู่ในไม้นั้นจะมีอยู่ 2 อย่าง คือ

2.2.1 น้ำนอกผนังเซลล์ (Free water) หมายถึงความชื้นหรือน้ำที่มีอยู่ในช่องเซลล์ (Cell cavities) และช่องว่างระหว่างเซลล์ของเนื้อไม้อื่นๆ ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของของเหลวไอน้ำ หรือในรูปของก๊าซ ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความดัน , น้ำ หรือความชื้นที่มีอยู่ในรูปนี้ ไม่มีส่วนเกี่ยวกับการยืดและหดตัวของไม้แต่อย่างใด เพียงแต่ทำให้ไม้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเท่านั้น

2.2.2 น้ำในผนังเซลล์ (Adsorbed, or Bound or Imbibed or Hygroscopic water) หมายถึงน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในผนังเซลล์ของเนื้อไม้ ในปริมาณต่างๆ กัน หลังจากที่น้ำในช่องเซลล์ระเหยออกไปแล้ว ความชื้นอันนี้มีส่วนสำคัญเกี่ยวกับการยืดและหดตัวของไม้ ตลอดจนคุณสมบัติต่างๆ ของไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การหาปริมาณความชื้นในไม้

ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในไม้นั้น หมายถึงน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในไม้คิดเป็นร้อยละ หรือเปอร์เซ็นต์ (%) ของน้ำหนักอบแห้งของไม้ เช่น ไม้ชนิดหนึ่งมีปริมาณความชื้น 10% หมายความว่ามีน้ำอยู่หนัก 10 หน่วย ต่อน้ำหนักอบแห้งของไม้ชนิดนั้น 100 หน่วย

วิธีการหาปริมาณความชื้นในไม้นั้นมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ดังนี้ คือ

2.3.1 วิธีการอบแห้ง (Oven dry or Gravimetric Method) วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด เพราะทำได้ง่าย สะดวก และผลที่ได้ก็ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี วิธีการมีดังนี้คือ

- เลือกไม้ที่ต้องการทดสอบหาความชื้นมา แล้วตัดปลายทิ้งไม่น้อยกว่า 1 ฟุต เพื่อให้แน่ใจว่าส่วนที่แห้งที่ปลาย จะไม่ทำให้การคำนวณค่าความชื้นผิดไป
- จากปลายที่ตัดใหม่ๆ นี้ ตัดไม้เพื่อนำไปทดสอบ หนาประมาณ 15-22 มม. ตามแนวเสี้ยนไม้ต้องเป็นส่วนที่ไม่มีปุ่ม ตา ตำหนิต่างๆ ตกแต่งผิวให้เรียบ
- ทำการชั่งน้ำหนักทันที บันทึกไว้ น้ำหนักตอนนี้เรียกว่า "น้ำหนักครั้งแรก"
- นำไปอบไว้ในตู้อบ ที่อุณหภูมิประมาณ 100 ± 5 °C จนกระทั่งไม้แห้งสนิท น้ำหนักไม่ลดลงต่อไปอีกแล้ว
- ทำหารชั่งน้ำหนักอีกครั้ง แล้วบันทึกไว้เป็น "น้ำหนักอบแห้ง"

จากนั้นนำตัวเลขที่ได้มาคำนวณหาปริมาณความชื้นของไม้จากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักครั้งแรก} - \text{น้ำหนักอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักอบแห้ง}} \times 100$$

- วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในห้องปฏิบัติการ ถือว่าเป็นวิธีมาตรฐาน แต่ก็มีข้อเสียดังนี้คือ

ก. น้ำหนักอบแห้ง จะเปลี่ยนแปลงไปตามความชื้นของบรรยากาศที่อยู่โดยรอบนอกจากจะใช้ขวดชั่ง

ข. ความผิดพลาดอาจจะเกิดขึ้นได้ เนื่องจากการชั่งเช่นการชั่งขณะที่ยังร้อนอยู่

ค. เป็นวิธีที่ใช้เวลานาน 20-60ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของไม้

ง. ในการตัดทำไม้ตัวอย่างทำให้เสียไม้ไป

จ. ไม่ได้ค่าที่แน่นอน ถ้าไม้นั้นมีพวกน้ำมันที่ระเหยได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 วิธีการกลั่น (Distillation Method) วิธีนี้เป็นวิธีที่ได้ค่าที่แน่นอนและถูกต้องที่สุด แม้ว่าไม้นั้นจะมีพวกน้ำมันที่ระเหยได้ (Volatile oil) อยู่ก็ตาม แต่ต้องอาศัยอุปกรณ์ต่างๆ วิธีการโดยการต้มชิ้นไม้ประมาณ 20-50 กรัม ในของเหลวเช่น Xylene ,Toluene หรือ Trichloroethylene น้ำกับน้ำมันจะแยกชั้นกันที่ภาชนะที่รองรับ วิธีนี้ใช้เวลาประมาณ 4-24 ชั่วโมง และนิยมใช้หาความชื้นของไม้ที่มีน้ำมันระเหยได้รวมอยู่ด้วย

ตารางที่ 2.1 ชนิดตัวทำละลายที่ใช้ในวิธีการกลั่น (Solvents for the distillation Method)

Name	Formula	Density (G/CC.)	Boiling point (°C)
Tetrachloroethane	$C_2H_2Cl_4$	1.600	146.3
Tetrachloroethylne	C_2Cl_4	1.631	121.2
Trichloroethylene	C_2HCl_3	1.456	87
Chloroform	$CHCl_3$	1.499	61.3
Xylene	C_8H_{10}	0.869	139.4

2.3.3 ใช้เครื่องวัดความชื้น (Electrical moisture meters) ซึ่งมีหลายแบบหลายชนิด แล้วแต่ทางบริษัทผู้ผลิตจะทำขึ้นมา แต่แบ่งได้เป็นประเภทหรือแบบใหญ่ๆ ได้ 2 แบบ คือ

2.3.3.1 แบบ Resistance ซึ่งเป็นเครื่องมือใช้กระแสไฟตรง โดยอาศัยหลักที่ว่าการเป็นฉนวนไฟฟ้าของไม้จะเปลี่ยนแปลง เมื่อปริมาณความชื้นของไม้เปลี่ยนไป ซึ่งค่านี้อาจะเปลี่ยนไปประมาณ 10 เท่า เมื่อความชื้นลดลงจาก 25% เป็น 7% เครื่องวัดแบบนี้จะให้ค่าที่ถูกต้อง หรือใกล้เคียงได้ เมื่อไม้มีความชื้นตั้งแต่ 6% ขึ้นไป จนถึงจุดอิ่มตัวของผนังเซลล์ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อไม้มีความชื้นสูงกว่าจุดนี้แล้ว ค่าของการเป็นฉนวนจะเปลี่ยนแปลงไปน้อยมากเมื่อความชื้นเปลี่ยน อีเลคโทรด สำหรับเครื่องวัดแบบนี้มักจะเป็นเข็มสั้นๆ หรือเข็มยาว ถ้าเป็นเข็มยาวจะต้องฉาบฉนวนไว้ส่วนอื่นๆ นอกจากตอนปลายของเข็มเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อป้องกันเข็มยาวจะต้องฉาบฉนวนไว้ส่วนอื่นๆ นอกจากตอนปลายของเข็มเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนจากความชื้นที่ผิวของไม้

ข้อเสียของเครื่องวัดความชื้นแบบ Resistance มีดังนี้ คือ

ก. เครื่องมือแต่ละเครื่อง จำเป็นต้องมีตัวแก้ไขการอ่านค่ากับไม้ต่างชนิดกัน

ข. ช่วงที่วัดได้มีจำกัดประมาณ 5-30 % เหมาะสำหรับใช้วัดไม้ที่มีความชื้นต่ำกว่าจุดอิ่มตัวของผนังเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. ค่าที่วัดได้เป็นค่าโดยประมาณเมื่อเทียบกับวิธีดังกล่าวมาแล้ว

ง. ในที่ๆมีอากาศชื้น ความผิดพลาดอาจเกิดขึ้นได้ เนื่องจากกระแสไฟลัดวงจรในไม้ ส่วนที่มีความต้านทานน้อยที่สุด ซึ่งปริมาณความชื้นสู.สุด

จ. ค่าที่อ่านได้ของไม้ที่อัดน้ำยาชนิดสารเคมีละลายในน้ำ จะสูงกว่าค่าที่แท้จริง 1-5%ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมี ทั้งนี้เนื่องจากสารเคมีจะทำให้การเป็นฉนวนไฟฟ้าของไม้ลดลง

ฉ. ค่าที่อ่านได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของไม้ในขณะที่ทำการวัดด้วย คือต้องหักออก 1 % ทุกๆ 8 °C ที่เพิ่มขึ้นจาก 20 °C และเพิ่ม 1 % ทุกๆ 8 °C ที่ลดลงจาก 20 °C

2.3.3.2 **แบบ Capacitance** หรือ Dielectric moisture meter ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้กระแสร์ไฟสลับ อาศัยหลักที่ว่า Dielectric constant[1] ของไม้จะเพิ่มขึ้นตามความชื้น และความถ่วงจำเพาะของไม้

เครื่องวัดความชื้นทั้งสองแบบนี้ แบบ Resistance เป็นที่นิยมใช้แพร่หลายที่สุด เพราะสะดวกต่อการการใช้งานและไม้โดยทั่วไป ปริมาณความชื้นจะอยู่ในช่วง 5-25% ดังนั้นแบบ Resistance จึงให้ค่าที่ถูกต้องกว่า

ดังนั้นวิธีนี้จึงเหมาะสำหรับวัดความชื้นของไม้บางหรือชิ้นไม้สับ (chips) ในขณะที่มีการผลิตหรือการอบ

2.4 การกระจายความชื้น (Moisture Distribution)

หมายถึงปริมาณความชื้นของไม้ในชั้นต่างๆ ตลอดจนความหนาของแผ่นไม้หรือตลอดความกว้างของแผ่นไม้

วิธีการทดสอบหาการกระจายของความชื้น

การทดสอบหาความชื้นของไม้ในชั้นต่างๆนั้น อาจทำได้โดยการใช้เครื่องวัดความชื้นหรือโดยวิอบแห้ง ซึ่งวิธีหลังนิยมใช้กันทั่วๆไป วิธีการมีดังนี้คือ

- ตัดชิ้นไม้ทดสอบจากแผ่นไม้ที่ต้องการจะหาการกระจายของความชื้น ขนาดประมาณ ½ - 1 นิ้ว ตามขวาง
- แบ่งชิ้นทดสอบ ทางด้านตัดออกเป็นชั้นต่างๆคือ

---

[1] Dielectric constant หมายถึงจำนวนของ electric polarizability ของวัตถุ;ถ้าหากปล่อยกระแสร์ไฟฟ้าผ่านวัตถุ ประจุไฟฟ้าบวก (positive charge) และประจุไฟฟ้าลบ (negative charge) ที่มีอยู่ในวัตถุนั้นๆ จะพยายามแยกตัวออกจากกัน แล้วไปเกาะที่ขั้วอีเลคโทรดที่ต่างกัน ซึ่งเรียกว่า polarization จำนวนทั้งหมดของ electrical polarization ที่เกิดขึ้นในแต่ละวงจร (cycle) นี้เรียกว่า dielectric constant ของวัตถุนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. ถ้าไม้มีความหนาน้อยกว่า 1 ½ นิ้ว แบ่งทางด้านหน้าตัดไม้ออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆ กัน

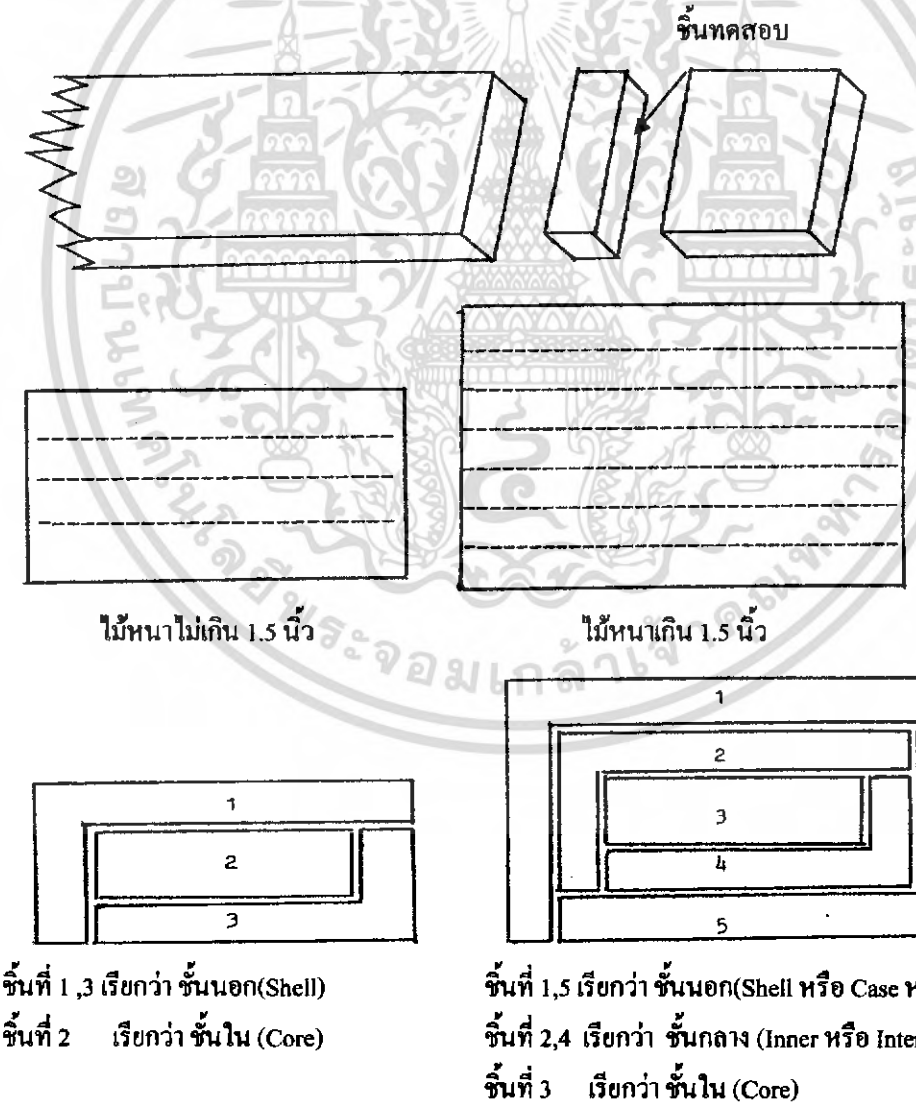
ข. ถ้าไม้มีความหนาตั้งแต่ 1 ½ นิ้ว ขึ้นไปแบ่งทางหน้าตัดไม้ออกเป็น 6 ส่วนเท่าๆ กัน

ค. เลื่อยแต่ละส่วนเป็นรูปตัว L ไม้ที่หนาไม่เกิน 1 ½ นิ้ว จะได้ 3 ชิ้น ส่วนไม้ที่มีความหนาตั้งแต่ 1 ½ นิ้วขึ้นไปจะได้ 5 ชิ้น

ง. ทำการชั่งน้ำหนักของชั้นต่างๆเช่นชั้นนอก ชั้นกลาง ชั้นใน เพื่อหาน้ำหนักสดหรือน้ำหนักครั้งแรกของชั้นต่างๆ

จ. ทำการอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 ± 5 °C จนไม้แห้งสนิท

ฉ. ชั่งน้ำหนักอบแห้งอีกครั้ง และคำนวณหาปริมาณความชื้นของชั้นไม้ต่างๆ จากสูตรการหาปริมาณความชื้น



ชิ้นที่ 1 ,3 เรียกว่า ชั้นนอก(Shell)
ชิ้นที่ 2 เรียกว่า ชั้นใน (Core)

ชิ้นที่ 1,5 เรียกว่า ชั้นนอก(Shell หรือ Case หรือ Outer)
ชิ้นที่ 2,4 เรียกว่า ชั้นกลาง (Inner หรือ Intermediate)
ชิ้นที่ 3 เรียกว่า ชั้นใน (Core)

ภาพที่ 2.1 การตัดและการแบ่งชิ้นทดสอบการกระจายความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การลดหลั่นของความชื้น(Moisture Gradient)

หมายถึงความแตกต่างระหว่างชั้น 2 ชั้นของไม้ที่อยู่ชิดกัน (ชั้นนอกและชั้นใน) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการระเหยของน้ำ หรือการดูดซับความชื้นของไม้ ในการผึ่งหรืออบ ความชื้นหรือน้ำที่ผิวนอก จะระเหยออกมาก่อน จึงทำให้ที่ผิวมีความชื้นน้อยกว่าชั้นใน ความแตกต่างระหว่างความชื้นชั้นนอก และความชื้นชั้นในนี้เรียกว่า การลดหลั่นของความชื้น ซึ่งมีผลต่อการเกิดตำหนิต่างๆ ในการอบหรือผึ่งไม้ ถ้าหากมีความแตกต่างกันมาก ดังนั้นในการอบหรือผึ่งไม้ต้องพยายามให้มีความแตกต่างของความชื้นระหว่างชั้นนอกและชั้นในไม่เกิน 2%

ในการที่น้ำหรือความชื้นชั้นใน จะระเหยออกมาได้ก็โดยการแพร่กระจายผ่านออกมาทดแทนความชื้นของชั้นนอกที่ระเหยออกไป ความยากง่ายของการแพร่กระจายในไม้ชนิดต่างๆ นั้นมีไม่เท่ากัน จึงทำให้ความยากง่ายในการผึ่งหรืออบไม้นั้นแตกต่างกันไปด้วย เช่นในกรณีของไม้ตระกูลสน หรือไม้ใบกว้างที่มีน้ำหนักเบา อัตราของการแพร่กระจายของน้ำ หรือความชื้น จะเร็วและสม่ำเสมอกว่าไม้ใบกว้างทั่วๆ ไป และในไม้ใบกว้างนั้น ระยะแรกๆ ความชื้นที่ผิวจะระเหยไปอย่างรวดเร็ว จนความชื้นด้านในไม่สามารถจะซึมผ่านมาทดแทนได้ทัน จึงทำให้มีปริมาณความชื้นที่ผิว และชั้นในถัดเข้าไปนั้นแตกต่างกันมาก แต่ในระยะต่อมาอัตราการระเหยที่ผิวและการซึมทดแทนจะค่อยๆ สม่ำเสมอกัน

จากความรู้ที่ได้เกี่ยวกับอัตราการแพร่กระจายของน้ำในไม้จำพวกไม้สน และไม้ใบกว้างนี้สามารถนำมาใช้ในการพิจารณาหาความยากง่ายในการอบ ผึ่ง ไม้ชนิดต่างๆ ได้ เช่น จำพวกไม้สน สามารถทำการผึ่งหรืออบให้แห้งได้ง่าย โดยที่ไม่เกิดตำหนิ ส่วนพวกไม้ใบกว้างที่มีน้ำหนักมาก การผึ่งหรืออบให้แห้งทำได้ยากกว่า และต้องใช้ความระมัดระวังในการผึ่งหรืออบเพื่อทำไม่ให้เกิดตำหนิ หรือให้มีตำหนิน้อยที่สุด ถ้าผู้ที่มีหน้าที่ในการอบทำหารอบไม้ให้แห้งเร็วจนเกินไปโดยไม่คำนึงถึงอัตราการเคลื่อนที่ของความชื้น ในไม้แล้วก็อาจทำให้ไม้ที่อบนั้นเกิดตำหนิต่างๆ ขึ้นได้มาก ดังนั้นในการอบไม้ใบกว้างในเตาอบ จะต้องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ไม่ให้ผิวของไม้มีความชื้นต่ำจนเกินไป และในขณะเดียวกันก็เพิ่มอุณหภูมิของบรรยากาศปกติ เพื่อช่วยเร่งอัตราการเคลื่อนที่ของความชื้นจากชั้นในออกมายังผิวไม่ให้เร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ความเค้นและตำหนิต่างๆ ที่มีอยู่ในไม้

ถึงแม้ว่าไม้จะผ่านการทำให้แห้ง โดยวิธีการผึ่งหรืออบจนมีความชื้นสม่ำเสมอกันทั่วทั้งแผ่นแล้วก็ตาม แต่เมื่อนำมาเลื่อย ไสกบ หรือตกแต่ง ไม้นั้นอาจจะมีการโค้งงอหรือบิดได้ ทั้งนี้เนื่องจากไม้ที่ผ่านการทำให้แห้งนั้นมีการคงรูปอยู่ภายใต้สมดุลของแรงความเค้น (stress) เมื่อนำมาเลื่อยหรือไสกบ ก็จะทำให้ความสมดุลของแรงหมดไปไม้ก็จะเปลี่ยนรูป จนกระทั่งอยู่ในสภาพที่สมดุลอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งไม้อาจอยู่ในสภาพโค้ง งอ หรือบิดได้ ดังนั้นเกี่ยวกับการทำให้ไม้แห้งจะต้องคำนึงถึงความเค้นนี้ด้วย ไม้ที่ผ่านขบวนการทำให้แห้งที่ดีจะต้องไม่มีความเค้นเหลืออยู่หรือให้มีน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ผู้ที่จะทำหน้าที่เกี่ยวกับการผึ่งหรืออบไม้จะต้องศึกษาถึงความเค้นที่มีอยู่ในไม้ การเกิด การทดสอบ ตลอดจนการป้องกันและขจัดให้หมดไป

3.1 การเกิดของความเค้น

ในการทำให้ไม้ที่มีขนาดบางแห้งนั้น ปัญหาเกี่ยวกับการเกิดความเค้นก็จะไม่มี ไม้จะหดตัวตามปกติ ถ้าเป็นไม้ที่หนาตั้งแต่ 0.5 " ขึ้นไป จะเกิดปัญหากับการหดตัวของไม้ในชั้นต่างๆ ไม่เท่ากันทำให้เกิดความเค้นขึ้น

ในระยะแรกของการแห้ง ไม้จะเริ่มแห้งจากผิวนอกเข้าไปหาชั้นในๆ เมื่อไม้ชั้นนอกมีความชื้นต่ำกว่าจุดหมาดก็จะเริ่มหดตัว ส่วนชั้นในถัดเข้าไปยังมีความชื้นสูงกว่าจุดหมาดของไม้ เมื่อเป็นเช่นนี้ชั้นนอกซึ่งมีการหดตัวจะถูกขืนเอาไว้โดยชั้นในๆทำให้มีการหดตัวได้ไม่เต็มที่ ก็จะทำให้เกิดรอยแตกตามแนวเสี้ยนไม้ โดยเฉพาะตามแนวเรย์ซึ่งเป็นส่วนที่อ่อนทำให้เกิดตำหนิที่เรียกว่า รอยแตก (Check) ส่วนชั้นในๆจะถูกบีบหรือกดหรืออยู่ในแรงอัดจึงทำให้ไม้คงรูปอยู่ได้ ดังนั้นแรงดึงทั้งหมดจะเท่ากับแรงอัดทั้งหมดเมื่อทำให้ไม้แห้งต่อไปเรื่อยๆ ไม้ชั้นนอกเมื่ออยู่ภายใต้แรงดึงนานๆเข้าก็จะมีการคงรูปหรืออยู่ตัวเนื่องจากแรงดึง ส่วนชั้นในๆ เมื่อมีความชื้นต่ำกว่าจุดหมาดก็จะมีการหดตัวเกิดขึ้นและเปอร์เซ็นต์การหดตัวก็ควรจะมีมากกว่าปกติและมากกว่าชั้นนอก เพราะในตอนแรกอยู่ภายใต้แรงอัดแต่เนื่องจากมีการคงรูปเนื่องจากแรงดึงที่ชั้นนอกแล้วการหดตัวจึงไม่มากเท่าที่ควร ดังนั้นที่ชั้นนอกแรงดึงจะค่อยๆ ลดลงและเปลี่ยนไปเป็นแรงอัด และที่ชั้นในแรงอัดจะค่อยๆ ลดลงและเปลี่ยนไปเป็นแรงดึง ทำให้ไม้ชั้นในหดตัวได้ไม่เต็มที่ (ภาพที่ 3.1) การคงรูปทั้งภายใต้แรงดึงหรือแรงอัดนี้มีผลต่อการหดตัวของไม้ คือเมื่อไม้เกิดการคงรูปภายใต้แรงดึง แสดงว่าไม้มีการหดตัวน้อยกว่าปกติ ส่วนการคงรูปภายใต้แรงอัดนั้นไม้มีการหดตัวมากกว่าปกติ เพราะนอกจากจะมีการหดตัวเนื่องจากการสูญเสียความชื้นแล้วยังหดตัวเนื่องจากแรงอัดอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การตรวจสอบ

การตรวจสอบหาความเค้น ทำการตรวจสอบได้โดยวิธีการทำการทดสอบแบบซี่ส้อม (Prong test.) ซึ่งมีวิธีการและการแปลความหมายดังนี้คือ

• **การตัดชิ้นไม้ทดสอบ :** จากไม้ตัวอย่างให้ตัดชิ้นทดสอบมีความยาวประมาณ ½ -1 นิ้วในแนวขวางกับเสี้ยนไม้ แล้วทำการแบ่งตามหน้าตัดออกเป็นซี่ๆ ตามหลักเกณฑ์ดังนี้คือ (ภาพที่ 3.2)

ก. ถ้าไม้มีความหนาไม่เกิน 1.5 นิ้ว (40 มิลลิเมตร) แบ่งออกเป็น 3 ซี่ (Prongs) เท่าๆ กันแล้วเคาะซี่กลางออก

ข. ถ้าไม้มีความหนาตั้งแต่ 1.5 นิ้วขึ้นไป แบ่งเป็น 6 ซี่เท่าๆ กัน เคาะซี่ที่2 , 5 ออก

• **การสังเกตและการแปลความหมาย :** สภาพต่างๆ ของซี่ส้อม มีอยู่ 3 สภาพด้วยกันคือ สภาพหลังจากการตัดใหม่ๆ จะแสดงให้เห็นถึงธรรมชาติของ "ความเค้น" ที่มีอยู่ในไม้ขณะที่ทำการตัด คือ

ก. ถ้าซี่ส้อม โค้งออก แสดงว่ามีแรงเค้นดึง (Tensile stress) อยู่ในเนื้อไม้ทางด้านนอกและแรงเค้นอัด (Compressive stress) อยู่ในเนื้อไม้ทางด้านใน

ข. ถ้าซี่ส้อมโค้งเข้าหากัน แสดงว่ามีแรงเค้นดึงอยู่ในเนื้อไม้ทางด้านในและแรงเค้นอัดอยู่ในเนื้อไม้ทางด้านนอก

ค. ถ้าซี่ส้อมอยู่ในสภาพตรง แสดงว่าไม่มีความเค้นอยู่ในเนื้อไม้

สภาพที่เกิดขึ้นหลังจากทิ้งไว้ให้แห้งเอง ในอุณหภูมิของห้องไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง จะเห็นถึงธรรมชาติของ "การอยู่ตัวหรือการคงรูป (set) หรือการแข็งนอก (Casehardening) " ของเนื้อไม้ (ภาพที่ 3.3)

ง. ถ้าซี่ส้อมโค้งเข้าหากัน แสดงว่าเกิดการอยู่ตัวเนื่องจากแรงอัดอยู่ในเนื้อไม้ทางด้านใน และการอยู่ตัวเนื่องจากแรงดึงอยู่ทางด้านนอก ซึ่งเป็นลักษณะของการแข็งนอก (Casehardening)

จ. ถ้าซี่ส้อมโค้งออก แสดงว่าเกิดการอยู่ตัวเนื่องจากแรงดึงอยู่ทางด้านในและการอยู่ตัวเนื่องจากแรงกดที่อยู่ทางด้านนอกของเนื้อไม้ เรียกว่า มีการแข็งนอกกลับทาง (Reverse casehardening)

ฉ. ถ้าซี่ส้อมอยู่ในสภาพตรง แสดงว่าไม่มีการแข็งนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การป้องกัน

การป้องกันการเกิดความเค้น ในการอบไม้ให้แห้งเร็วๆ นั้น เป็นการยากมากในการที่จะไม่ให้เกิดความเค้น ดังนั้นในการอบไม้จะต้องควบคุมสภาพภายในเตาอบให้มีความเค้นเกิดขึ้นน้อยที่สุด โดยการให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในเตาสูง และอุณหภูมิต่ำในระยะแรกของการอบจนกระทั่งด้านในมีความชื้นต่ำกว่าจุดหมาด แล้วจึงค่อยๆ ลดความชื้นสัมพัทธ์และค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นทีหลัง

3.4 การขจัดแรงความเค้น

การที่ภายในไม้มีความเค้น เป็นสาเหตุที่สำคัญอันหนึ่งที่จะทำให้เกิดตำหนิต่างๆขึ้น ไม้ที่จะต้องนำมาเลื่อยอีกครั้งหนึ่ง เช่น ไม้ที่จะนำมาใช้ทำเครื่องเรือนต่างๆ จะต้องไม่มีความเค้นอยู่เลยหรือมีอยู่เพียงเล็กน้อยไม่ถึงกับทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหายขึ้นในภายหลังได้

ในการทำให้ความเค้นหมดไปนั้น จะต้องคำนึงถึงหลักต่อไปนี้คือ

- จะต้องรู้ความชื้นเฉลี่ยของไม้ในเตาอบทั้งหมด
- ไม้ในเตาอบทั้งหมด จะต้องมีความชื้นสม่ำเสมอกันมากที่สุด

ถ้าหากไม้ทั้งเตาอบทั้งหมด มีความชื้นแตกต่างกันตั้งแต่ 3% ขึ้นไป จะต้องทำการปรับความชื้นให้เท่ากัน ระยะเวลาที่ใช้จะแตกต่างกันไปตามความรุนแรงของความเค้น ชนิดไม้ ความหนาและสภาพการทำงานของเตาอบ โดยทั่วๆ ไปแล้ว ไม้เนื้อแข็งขนาดความหนา 1 นิ้ว จะใช้เวลา 12-24 ชั่วโมง ไม้หนา 2 นิ้ว ใช้เวลาประมาณ 48 ชั่วโมง ส่วนไม้จำพวกสน และไม้เนื้อแข็งที่มีความแน่นน้อยจะใช้เวลาประมาณ ¼ ของเวลาดังกล่าว

- วิธีการในการขจัดความเค้นนั้นมีอยู่ 2 วิธีด้วยกันคือ

ก. ทำ Equalizing และ Conditioning

ข. ทำเฉพาะ conditioning เพียงอย่างเดียว

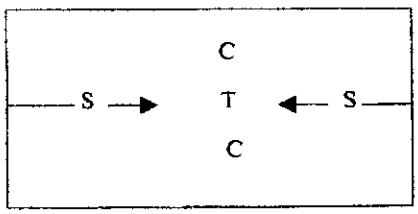
S = การหดตัว

T = แรงดึง

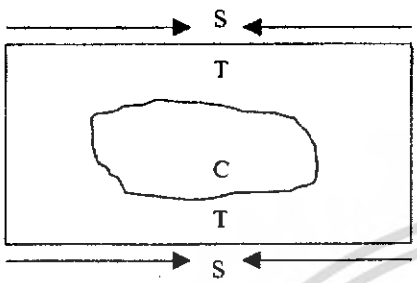
C = แรงอัดหรือกด

T.S. = การคงรูปภายใต้แรงดึง

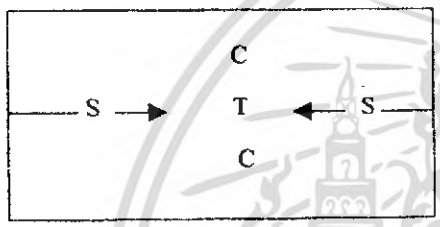
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ระยะที่1 ด้านนอกมีความชื้นต่ำกว่าจุดหมาด พยายามจะหดตัวจึงทำให้เกิดแรงดึง ส่วนชั้นในมีความชื้นสูงกว่าจุดหมาด ไม่มีการหดตัวจึงทำให้อยู่ภายใต้แรงกดหรืออัด

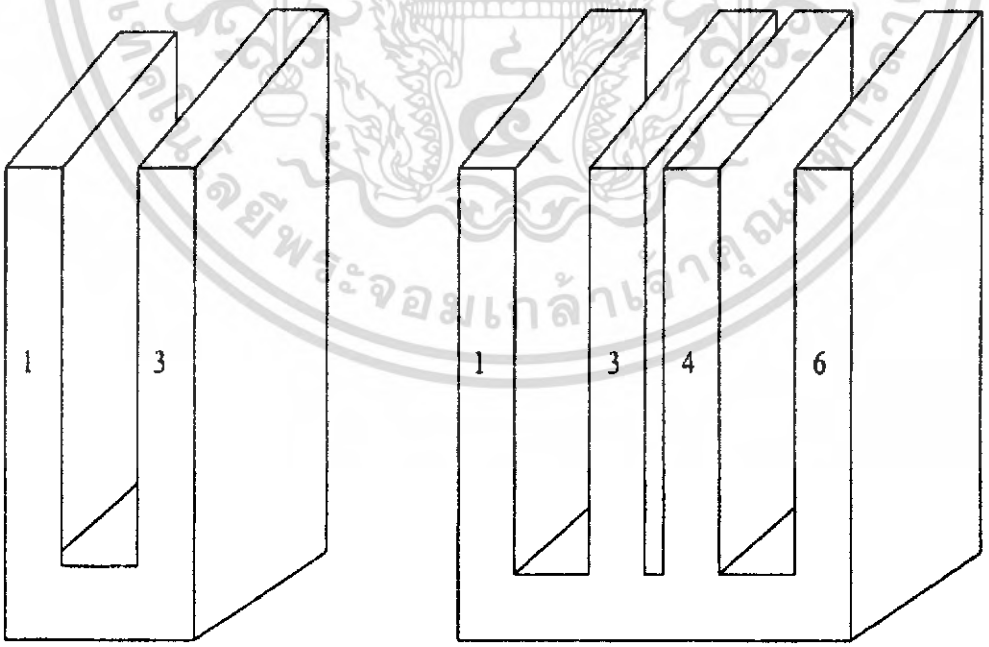


ระยะที่2 เมื่อการแห้งดำเนินต่อไป ด้านนอกซึ่งอยู่ภายใต้แรงดึงนานๆ จะเกิดการคงรูปภายใต้แรงดึง (Tension set) ส่วนชั้นถัดเข้าไปจะเริ่มหดตัว เมื่อมีความชื้นต่ำกว่าจุดหมาด ทำให้เกิดแรงดึง ส่วนชั้นในสุดยังคงมีแรงอัดหรือกดอยู่



ระยะที่3 การแห้งเกือบจะสิ้นสุด แรงจะสลับกัน (Stressreversal) เนื่องจากชั้นในสุดเริ่มแห้ง จะมีแรงดึงส่วนด้านนอกจะเปลี่ยนเป็นแรงอัด

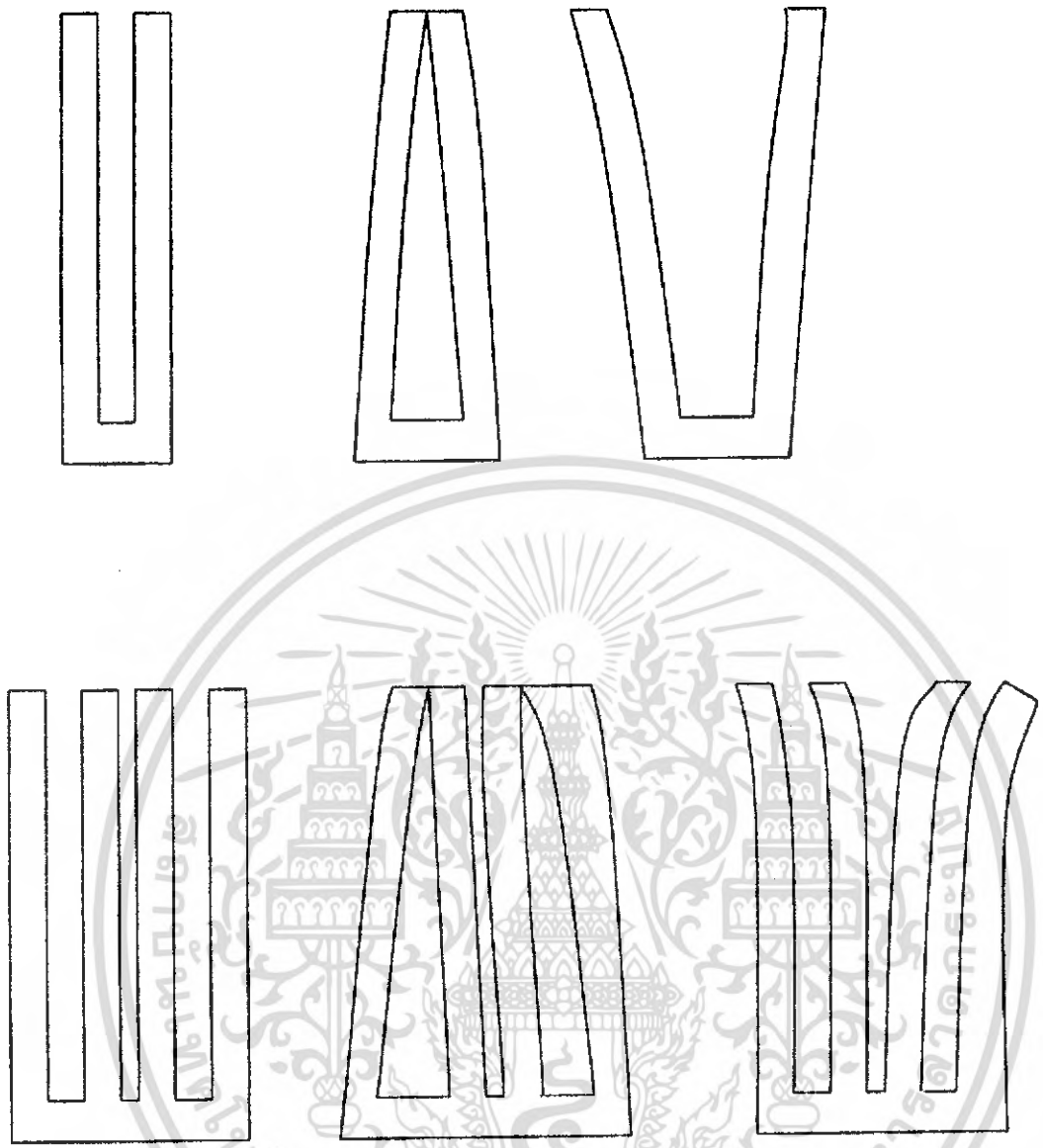
ภาพที่ 3.1 แบบแสดงการเกิดความเค้น



ไม่เกิน 40 เกิน 40

ภาพที่ 3.2 การตัดชิ้นทดสอบแบบซี่ล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 สภาพต่างๆ ของซี่ส้อม (Prongs)

3.5 ตำหนิต่างๆ ที่มีอยู่ในไม้

ตำหนิต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับไม้ แยกออกเป็นประเภทใหญ่ 3 ประเภท คือ ตำหนิที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Natural defects) ตำหนิที่เกิดจากการแห้งของไม้ (Seasoning defects) และตำแหน่งที่เกิดจากการใช้เครื่องมือตกแต่ง (Machining defects) ดังนี้ คือ เป็นตำหนิที่เกิดขึ้นกับต้นไม้ในขณะที่ยังอยู่ในรูปของไม้ซุง หรือไม้ยืนต้น ซึ่งเป็นสาเหตุเกิดขึ้นเนื่องจากการเจริญเติบโตสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ เช่น แดด ลม ฝน และอื่นๆ เป็นต้น ตำหนิต่างๆ เหล่านี้ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

62448

• **ปุ่ม หรือ ตา (Knots)** ซึ่งเป็นส่วนของกิ่งที่ตาย ฝังเข้าไปในเนื้อไม้ ปกติจะอยู่ในแนวตั้งฉากกับแกนของลำต้น เมื่อทำการแปรรูปไม้ออกมา จะเห็นได้ชัด เป็นส่วนที่มีเนื้อแน่นแห้งเร็ว เนื่องจากเป็นส่วนปลายของเนื้อไม้ และหดตัวได้มากกว่าส่วนที่อยู่รอบๆ ทำให้หลุดออกไปได้ง่าย การที่จะป้องกันไม่ให้ปุ่มตาหลุดหรือแตกนี้ไม่สามารถป้องกันได้ นอกจากจะลดความเสียหายลงไปบ้าง โดยการอบไม้ที่ใช้ความชื้นสูงๆ ในระยะแรก

• **เสี้ยนขวาง (Cross grain)** หมายถึงไม้ที่มีการเรียงตัวของเซลล์ในเนื้อไม้ไม่เป็นแนวขนานกับแกนของลำต้น หรือความยาวของแผ่นไม้ เกิดขึ้นเนื่องจากไม้นั้นมีการเรียงตัวของเสี้ยนไม้เวียนรอบลำต้น (Sprial grain) หรืออาจเกิดจากวิธีการเลื่อยไม้ ขวางกับแนวของเสี้ยนไม้ ไม้ที่มีตำหนิแบบนี้ เมื่อนำมาผึ่งหรืออบให้แห้งจะเกิดการบิด งอ วิธีการแก้ไขก็โดยการเลื่อยไม่ให้ได้เสี้ยนตรง หรือถ้าเป็นไม้ที่มีเสี้ยนเวียนรอบลำต้น ต้องค่อยๆ ทำให้ไม้แห้งช้าๆ โดยใช้ความชื้นสูง

• **ไม้ฝืนแรง (Reaction wood)** คำว่า "ไม้ฝืนแรง" หมายถึงเนื้อเยื่อของไม้ที่เกิดขึ้นในลำต้นหรือกิ่งที่เอนเอียง ทั้งในพวกตระกูลไม้สนและไม้ใบกว้าง (Gymnosperm and Angiosperm) โดยปกติจะมีส่วนของใจไม้ (Pith) อยู่ค่อนไปทางด้านใดด้านหนึ่งของหน้าตัดไม้

การเกิดของไม้ฝืนแรง เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระตุ้นภายนอกที่มีต่อต้นไม้ เช่น แรงดึงดูดของโลก แสงอาทิตย์ อาหาร อิทธิพลของหิมะและกระแสร์ลม

3.6 ตำหนิที่เกิดจากการแห้งของไม้

ตำหนิที่เกิดจากการแห้งของไม้หรือจากการผึ่งหรืออบไม้นี้ ยังแบ่งได้ตามลักษณะของการเกิดเป็น 4 พวกด้วยกันคือ

3.6.1 ตำหนิที่เกิดขึ้นเนื่องจากความฉดหลั่นของความชื้นและความเค้น ซึ่งได้แก่

• รอยปริ, แตก (Checks) ในลักษณะต่างๆกันคือ (ภาพที่ 3.3)

ก. แตกผิว หมายถึงรอยแตกตามผิวหน้าไม้

ข. แตกปลาย หมายถึงรอยแตกตามแนวปลายไม้ ปกติจะแตกตามแนวเรย์ถ้ารอยแตกนี้ยาวเข้าไปตามแนวยาวของแผ่นเรียกว่า ปลายฉีก

สาเหตุเกิดขึ้นเนื่องจากตอนปลายของไม้ หรือที่ผิวของไม้แห้งเร็วเกินไป การหดตัวได้ไม่เต็มที่เนื่องจากชั้นในๆถัดเข้ายังชื้นและขืนไว้อยู่ เมื่อมีแรงที่ผิวนอกมากพอก็จะทำให้เกิดรอยปริ แตกได้

ค. แตกภายใน หมายถึงรอยแตกหรือรอยแยกของไฟเบอร์ ตามแนวเยนไม้ ซึ่งเกิดขึ้นภายในชิ้นไม้ มักจะแตกตามแนวเรย์จะสังเกตเห็นได้ก็ต่อเมื่อเลื่อยตัดขวางชิ้นไม้นั้นออกมา ถ้ามีรอยแตกหลายๆอันเรียกว่า รอยแตกแบบรวงผึ้ง (Honeycombing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาเหตุเกิดขึ้นเนื่องจากในระยะของการอบไม้นั้นมีแรงดึงที่ผิวนอก และแรงบีบที่ชั้นในมาก เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงความเค้น (Stress reversal) ก็จะทำให้เกิดรอยแตกได้อีกประการหนึ่งก็คือ ใบไม้บางชนิดถ้าใช้อุณหภูมิสูง (เกิน 70 °C) ในการอบไม้จากสภาพที่สดจะทำให้ความแข็งของไม้ในชั้นในๆ ลดลง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค้นมีแรงเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้เกิดรอยแตกได้ ดังนั้นจะต้องหลีกเลี่ยงโดยการเลือกใช้ตารางอบที่เหมาะสมไม้ที่เกิดรอยแตกแบบรวงผึ้งอย่างรุนแรงนั้นจะใช้ไม่ได้เลย

- การเปิดกว้างออกและการขยายตัวของรอยร้าว ตำหนิอันนี้ยากมากในการที่จะไม่ให้เกิดขึ้น ที่พอจะทำได้ก็โดยการทำให้ไม้แห้งช้าๆ ก็จะเป็นการลดการเกิดได้บ้าง
- การแข็งนอก (Casehardening) หมายถึงการแห้งและการคงรูปของไม้ที่ผิวนอกก่อนที่ชั้นในจะแห้งมีการหดตัวไม่เท่ากันทำให้เกิดแรงความเค้นขึ้น มักจะเกิดกับไม้ที่ผึ่งให้แห้งยากและการแข็งนอกนี้มักจะเกิดขึ้นเมื่อความชื้นชั้นนอกและชั้นในแตกต่างกันตั้งแต่ 5 % ขึ้นไป เมื่อนำไม้นั้นมาเลื่อยหรือไสกบก็จะทำให้ไม้นั้นบิดและงอได้ แก้ไขได้โดยการทำให้ไม้แห้งช้าๆ ในระยะแรกของการอบใช้อุณหภูมิต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์สูง

3.6.2 ตำหนิที่เกิดขึ้นเนื่องจากการหดตัวของไม้ไม่เท่ากัน ได้แก่ การบิดงอ (Warping) ซึ่งมีอยู่หลายลักษณะด้วยกันคือ (ภาพที่ 3.4)

ห่อ (Cup) เป็นการโค้งของไม้ตามด้านกว้าง

โค้ง (Bow) เป็นการโค้งของไม้ตามความยาว

โก่ง (Spring or Crook) เป็นการโค้งของไม้ตามความหนาหรือสัน

บิด (Twist) ไม้จะบิดตามความยาวของแผ่น

ตำหนิต่างๆเหล่านี้เกิดขึ้นเนื่องจากไม้มีเสี้ยนลาดเอียง การหดตัวของไม้ทางด้านสัมผัสและด้านรัศมีไม่เท่ากัน และการหดตัวที่ไม่เท่ากันของไม้ส่วนที่เป็นแก่นและกระพี้

3.6.3 ตำหนิที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดึงดูดของน้ำที่มีอยู่ในไม้ ได้แก่การยุบตัว (Collapse หรือ Washboarding หรือ Crimps) (ภาพที่ 3.5) ซึ่งหมายถึงการหดตัวของที่ไม่สม่ำเสมอกัน ซึ่งมักจะเกิดในการอบไม้ที่มีความชื้นสูงๆ และใช้อุณหภูมิสูงๆในระยะแรกของการอบ นอกจากนี้ยังเป็นคุณสมบัติประจำของไม้บางชนิด เช่นไม้ยูคาลิปตัส , Red Cedar, Oak

สาเหตุเนื่องจากในไม้ที่มีความชื้นสูงๆ นั้น เซลล์ส่วนใหญ่จะมีน้ำอยู่เต็ม เมื่อน้ำระเหยออกมาจากช่องเซลล์อากาศก็จะเข้าไปแทนที่ แต่เนื่องจากอากาศผ่าผนังเซลล์ที่ขึ้นได้ยากจึงไม่สามารถแทนที่น้ำได้เต็มช่องว่าง ดังนั้นเมื่อน้ำระเหยออกมาเซลล์ก็จะแฟบลง ทั้งนี้ไม่ใช่เกิดจากความกดดันของอากาศภายนอก ส่วนใหญ่เป็นแรงที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำกับโมเลกุลของสารที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ ซึ่งมีกำลังแรงกว่าความกดดันของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเตาอบที่มีอุณหภูมิสูงก็จะทำให้ไม้อ่อนตัว ทำให้เกิดการยุบตัวได้ง่าย และมักจะตามด้วยรอยแตกแบบรวงผึ้ง

การที่จะป้องกันไม่ให้เกิดการยุบตัว

ก. ผึ่งไม้สดให้แห้งในกระแสร์อากาศเสียก่อน จนมีความชื้นประมาณ 30 %จึงนำเข้าอบในเตาอบ ในระยะแรกของการอบควรใช้อุณหภูมิต่ำๆ ก่อนแล้วจึงค่อยๆ เพิ่มขึ้น

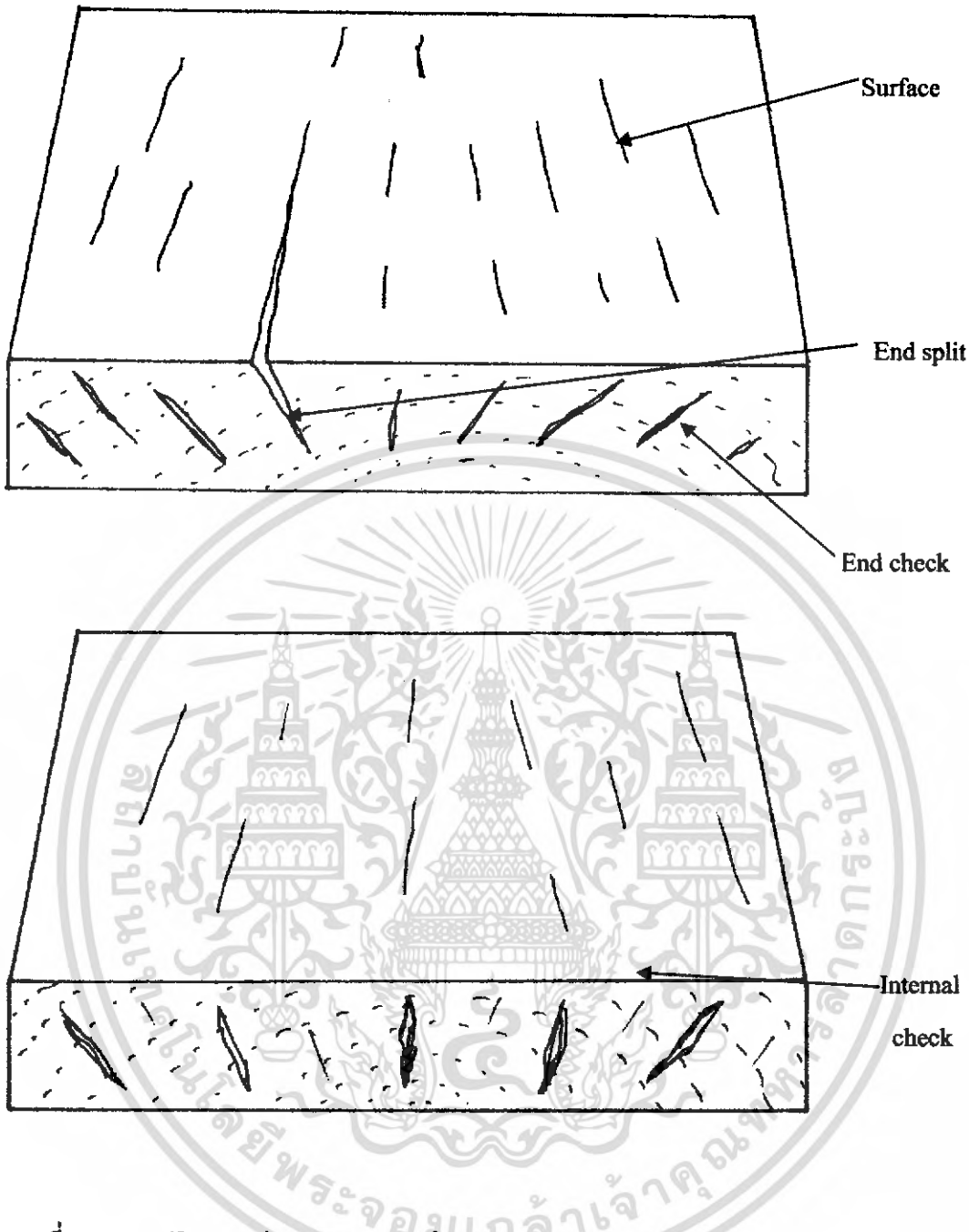
ข. ลดความตึงผิว (Liquid tension)ของน้ำ โดยใช้สารเคมี เช่นพวกเกลือแร่ต่างๆ Urea, polyethylene glycols และสารอื่นๆ วิธีการอาจใช้พ่น ทา หรือแช่ ตามความเหมาะสม

เมื่อปรากฏว่าเกิดมีการยุบตัวขึ้นในไม้ที่อบก็มีวิธีแก้ไข โดยทำการปรับสภาพความชื้นซ้ำ (Reconditioning) โดยเพิ่มอุณหภูมิให้สูงประมาณ100°C และความชื้นสัมพัทธ์ 100% แล้วควบคุมสภาพนี้อยู่ในเวลา 4-8 ซม. ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของไม้ ความหนา และความรุนแรงของตำหนิ แล้วจึงทำการอบให้แห้งตามความชื้นที่ต้องการต่อไป

3.7 สรุปการป้องกันการเกิดตำหนิเนื่องจากการผึ่งหรืออบ

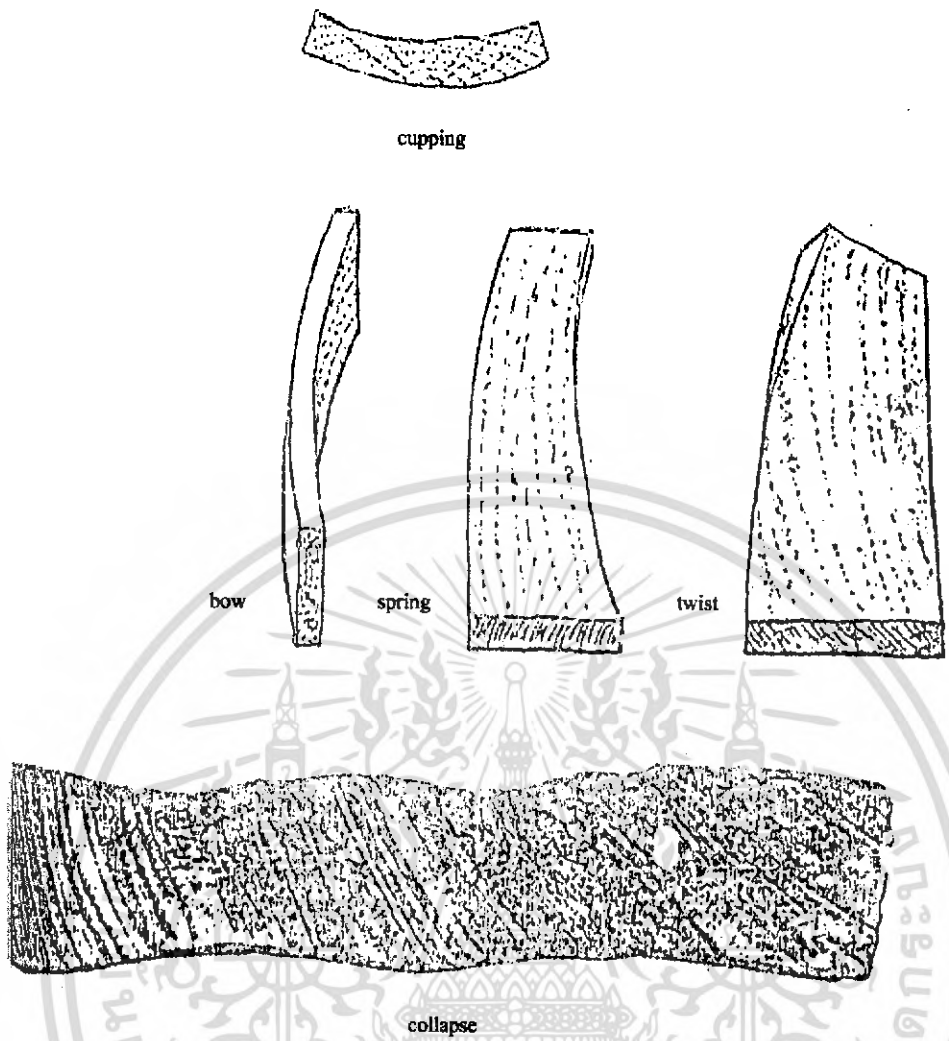
- ถ้าเป็นไม้ที่อบได้ยาก (refractory wood) มักจะเกิดรอยแตก การอบควรใช้ความชื้นสัมพัทธ์สูง
- ถ้าเป็นไม้ที่มีเสี้ยนบิดและไม่สม่ำเสมอและมักจะเป็นไม้ที่โค้งงอง่าย ในระยะแรกของการอบควรใช้อุณหภูมิต่ำๆ
- ถ้าเป็นไม้ที่ไม่มีแนวโน้มว่าจะโค้งหรือปริแตกในการอบ แต่มักจะแห้งช้าและมักมีความชื้นอยู่ข้างในเสมอ การอบควรใช้อุณหภูมิสูงโดยเฉพาะในระยะหลังๆ
- ถ้าเป็นไม้ที่ไม่ปริ แตก แต่มักจะโค้ง งอ ควรใช้อุณหภูมิต่างๆและการลดความชื้นสัมพัทธ์ภายในเตาแต่ละชั้น สามารถลดได้ทีมากๆ เมื่อเทียบกับตารางการอบปกติ
- ถ้าเป็นไม้ที่มียางมาก ควรใช้อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ ถ้าหากจะไม่ให้มีน้ำยางไหลออกมาหรือทำให้ตาไม้หลุดหลวม
- ไม้ที่มียางและเปลี่ยนสี เมื่อถูกละอองไอน้ำ เมื่อเริ่มทำการอบไม่ควรพ่นไอน้ำ(spray)นาน เพราะจะทำให้ผิวไม้เสีย ขาดความสวยงาม เช่น มะค่า ประดู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 รอยปริแตก, ฉีก และแตกภายใน (Surface check ,end split and internal check)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.5 ห่อ, โค้ง, โก่ง, บิดและการยุบตัว (cup, bow, spring, twist and collapse)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
เตาอบไม้

เตาอบไม้มีลักษณะได้หลายอย่างเช่นเป็นห้อง ซึ่งอาจมีห้องเดียวหรือหลายห้อง และภายในห้องนั้นสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ เตาอบที่มีระบบควบคุมที่ดี จะอบไม้แห้งเร็วและมีตำหนิน้อย การที่เตาอบทำให้ไม้แห้งได้เร็วกว่าการผึ่งไม้ในกระแสร์อากาศนั้น ก็เนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านผิวไม้ ซึ่งเคลื่อนที่เร็วกว่า และเกี่ยวกับอุณหภูมิภายในเตาซึ่งใช้อุณหภูมิสูงกว่าของบรรยากาศภายนอก เป็นการเร่งความชื้นที่อยู่ภายในของชิ้นไม้เคลื่อนที่ออกมาสู่ผิวไม้ได้เร็วขึ้นชนิดและการออกแบบเตาก็มีหลายอย่างด้วยกัน ดังนั้นในการจำแนกประเภทของเตาอบ จึงมีวิธีการจำแนกได้หลายวิธี แต่โดยทั่วๆ ไปแล้ว การจำแนกชนิดของเตาอบอาศัยลักษณะของการใส่ไม้เข้าไปในเตา ซึ่งแบ่งได้เป็นประเภทใหญ่ๆ 2 ประเภทคือ แบบต่อเนื่อง (Progressive Kiln) และแบบห้อง (Compartment Kiln)

4.1 เตาอบแบบต่อเนื่อง (Progressive Kiln)

เป็นเตาอบที่มีความยาว ตั้งแต่ 60 ฟุต ถึง 300 ฟุต (ส่วนมากยาว 100-150 ฟุต) กองไม้จะเคลื่อนที่ผ่านตอนต่างๆ ของเตาจากปลายด้านหนึ่ง ไปยังปลายอีกด้านหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องมีประตูทั้งสองด้าน และรางของรถกองไม้ก็ต้องทำให้มีความลาดชันเล็กน้อย จากด้านหัวเตาไปยังด้านที่นำไม้ออก ทั้งนี้เพื่อให้กองไม้เคลื่อนที่ไปได้สะดวกขึ้น ในสมัยก่อนๆ เตาอบแบบนี้นิยมใช้กันมากในการอบไม้ต่างๆ แต่ในปัจจุบันนี้ นิยมใช้อบเฉพาะอบไม้บาง และการเคลื่อนที่ของไม้บางก็อาศัยลูกกลิ้งกลมหรือสายพาน

ลักษณะของเตาอบแบบนี้ เตาจะแบ่งเป็นตอนๆ ในตอนแรกสภาพภายในเตาจะมีความชื้นสัมพัทธ์สูง ความร้อนต่ำ ในตอนต่อๆไป ความชื้นก็จะค่อยๆ ลดน้อยลง ส่วนอุณหภูมิจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นในตอนสุดท้ายของเตาก็จะเป็นตอนที่มีความชื้นน้อย และความร้อนมากเมื่อเทียบกับตอนอื่นๆ ในแต่ละตอนของเตาอาจมีระบบความร้อน ระบบความชื้นและการหมุนเวียนของอากาศเฉพาะของแต่ละตอน

4.2 เตาอบแห้งแบบห้อง (Compartment)

เป็นเตาที่มีขนาดสั้น เมื่อบรรจุไม้เข้าไปในเตาแล้ว กองไม้จะอยู่กับที่จนกระทั่งไม้แห้ง จะมีการเปลี่ยนแปลงก็แต่สภาพของบรรยากาศภายในเตา ตามการแห้งของไม้หรือตามตารางอบ (Drying Schedules) เตาอบแบบนี้อาจมีเพียงประตูเดียวหรือสองประตู กองไม้อาจจะอยู่ในลักษณะตามความยาวของเตาหรือขวางกับความยาวของเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตาอบแบบนี้ยังแบ่งได้เป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภท ตามลักษณะของการหมุนเวียนของอากาศภายในเตา คือ

4.2.1 Natural-Draught or Natural Circulation Kiln เตาอบแบบนี้อาศัยการหมุนของอากาศตามธรรมชาติ อากาศจะถูกทำให้ร้อนที่ฐานของเตา (ส่วนมากนิยมใช้ท่อไอน้ำ) อากาศที่ร้อนจะลอยตัวสูงขึ้นผ่านกองไม้ ในขณะที่อากาศผ่านกองไม้ก็จะดูดเอาความชื้นจากไม้ ซึ่งจะทำให้อากาศค่อยๆ เย็นลง มีน้ำหนักมากขึ้น จะลอยตัวต่ำลงมาที่ฐาน แล้วก็จะถูกทำให้ร้อน ลอยตัวขึ้นไปใหม่ เป็นดังนี้หมุนเวียนอยู่เรื่อยๆ จนกระทั่งไม้แห้ง ในการก่อสร้างเตาแบบนี้ควรจะมีท่ออากาศแห้งเข้า และปล่องอากาศ เพื่อที่จะระบายความชื้นที่เกินความต้องการภายในเตาออก นอกจากนี้อาจจะติดตั้งท่อพ่นไอน้ำ เพื่อช่วยเพิ่มความชื้นภายในเตา

4.2.2 Forced Circulation Kiln or Fan-Type Kiln เป็นเตาอบที่มีระบบการหมุนเวียนของอากาศโดยใช้พัดลมช่วย ซึ่งยังแบ่งออกได้อีกเป็น 2 ประเภท ตามตำแหน่งการติดตั้งของพัดลม คือ

4.2.2.1 External-Fan Kiln เป็นเตาที่มีพัดลมติดตั้งภายนอกห้องอบ เตาอบแบบนี้มีท่ออากาศอยู่ที่ใต้พื้นฐาน ตลอดความยาวของเตา มีท่อระบายอากาศขึ้นออก 2 ท่อ อยู่สองข้างของท่ออากาศเข้า อากาศจะถูกพัดให้เข้าไปในท่ออากาศเข้าโดยผ่านขดท่อให้ความร้อน (Heating Coils) แล้วอากาศจะผ่านช่องเล็กๆ (Entering-air slots) ขึ้นไป ผ่านกองไม้ อากาศ ที่ดูดความชื้นจากไม้แล้วนั้นจะลอยตัวต่ำลงมาผ่านเข้าท่อระบายอากาศขึ้นออก กลับไปยังเครื่องเป่าหรือพัดลมซึ่งจะเป่าให้อากาศนี้ผ่านท่อให้ความร้อนอีก เป็นดังนี้เรื่อยไป เตาอบแบบนี้พัดลมหรือเครื่องเป่าอาจติดไว้ด้านบน หรือดอนท้ายของเตา ในปัจจุบันเตาอบแบบนี้ไม่ค่อยนิยมใช้กัน

4.2.2.2 Internal-fan Kiln เป็นเตาอบที่มีพัดลมติดตั้งอยู่ภายในตัวเตาอบ การติดตั้งพัดลมอาจจะติดตั้งด้านบน ด้านล่าง หรือด้านข้างของห้องอบ แต่ส่วนใหญ่แล้วนิยมการติดตั้งพัดลมทางด้านบน เนื่องจากว่าสะดวกในการทำแผงกั้นลม (baffle) ไม่เป็นอันตรายต่อการทำงานในเตา ทำความสะอาดพื้นเตาได้สะดวก

4.3 การก่อสร้างเตาอบ

การก่อสร้างเตาอบทำด้วยวัตถุต่างๆ เช่นไม้ คอนกรีต อิฐ และอลูมิเนียม วัตถุต่างๆที่จะใช้นี้จะต้องทนต่อความร้อน ความชื้น และสารต่างๆที่ระเหยออกมาจากไม้ภายในเตาอบได้ นอกจากนี้ยังต้องเป็นฉนวนความร้อนและกันความชื้นระเหยออกมาภายนอก ขนาดของเตาอบแตกต่างกันออกไป อาจจะบรรจุกองไม้เพียงกองเดียว สองกอง หรือสี่กอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีและข้อเสียของเตาอบแบบห้องและเตาอบแบบต่อเนื่อง

4.3.1 เตาอบแบบห้อง

ข้อดี 1. สามารถสร้างให้มีขนาดต่างๆ ได้

2. สภาพภายในเตาสามารถปรับให้เหมาะสมกับไม้ที่จะอบได้

3. สามารถทำการอบเฉพาะเวลากลางวันได้ ถ้าหากกลางคืนไม่มีไอน้ำ

4. สามารถอบไม้ต่างชนิด, ความหนา และต่างความชื้นกันได้

5. สามารถจะใช้ไอน้ำพ่นบนกองไม้ได้ทุกเวลา เมื่อต้องการจะลดความเค้น

6. ไม่ค่อยมีปัญหาเกี่ยวกับสภาพของอากาศภายนอกเตาอบ

7. การก่อสร้างและออกแบบสามารถทำให้มีความสะดวกและมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบต่อเนื่อง

8. อบไม้แห้งเร็ว สม่ำเสมอดีกว่า

9. ต้องการประตูเพียงประตูเดียว

ข้อเสีย มีเพียงบางอย่างคือขนาดของเตาเล็กกว่า เสียค่าก่อสร้างแพง อุปกรณ์ต่างๆ มีราคาแพง และต้องเอาใจใส่ดูแลอย่างใกล้ชิดขณะที่ทำการอบไม้

4.3.2 เตาอบแบบต่อเนื่อง

ข้อดี 1. เสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถูกกว่า

2. อุปกรณ์ต่างๆ มีราคาถูกกว่า

3. การควบคุมใด้องการความชำนาญและการเอาใจใส่ดูแลมากนัก

4. ให้ผลผลิตที่แน่นอน

5. ลานเก็บไม้มีขนาดเล็กกว่า

ข้อเสีย 1. ไม่เหมาะสำหรับไม้ที่มีปริมาณน้อยๆ

2. เตาอบจะมีขนาดยาว

3. อบไม้ได้เฉพาะไม้ชนิดเดียว ความหนาเท่ากัน และความชื้นใกล้เคียงกัน

4. เตาและสภาพของเตาจะออกแบบและสร้างมาเฉพาะชนิดไม้ และความหนาเท่านั้น

5. จะต้องทำการอบไม้ตลอด 24 ชั่วโมง

6. เป็นการไม่สะดวกในการที่จะปรับสภาพของอากาศภายในเตาอบ ซึ่งมีหลายตอน (Zones)

7. เมื่อไม้มีแรงความเค้น ไม่สามารถจะแก้ไขได้ดีเท่ากับแบบห้อง

8. สภาพบรรยากาศภายนอกมีผลต่อสภาพภายในเตาอบมาก

9. จะต้องมีประตูสองประตู คือประตูที่จะนำไม้เข้าเตา และไม้ออกจากเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. การปรับสภาพในตอนต่างๆ ของเตานั้น ทำให้สม่ำเสมอได้ยาก นอกจากจะมีการติดตั้งเครื่องควบคุมตลอดความยาวของเตา

4.4 การทำงานของเตาอบ

มีปัจจัยที่สำคัญในการอบไม้ในการอบอยู่ 3 อย่างด้วยกันคือ

4.4.1 ระบบความร้อน

4.4.1.1 ความสำคัญของความร้อน

ในการออกแบบเตาอบนั้น มีหลายแบบ แต่ยังอาศัยหลักที่จำเป็นอย่างเดียวกัน คือ ต้องการให้มีความร้อนสูง เพื่อทำให้ไม้แห้งเร็วขึ้น ประโยชน์ของความร้อนมีดังต่อไปนี้คือ

ก. เพื่อทำให้ความชื้น หรือ น้ำระเหยออกมาจากไม้

ข. ความร้อนมีส่วนทำให้อัตราการซึมผ่านของความชื้นจากชั้นในออกมายังผิวนอกได้ดีขึ้นเนื่องจากน้ำที่ร้อนจะซึมผ่านเนื้อไม้ได้ดีกว่าน้ำที่เย็น

ค. ความร้อนทำให้น้ำแยกตัวออกจากเนื้อไม้ เมื่อไม้นั้นมีความชื้นต่ำกว่าจุดหมาดปริมาณความร้อนที่ต้องการจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามการแห้งของไม้

ตารางที่ 4.1 จำนวนเกรนของความชื้นที่อุณหภูมิต่างๆ

°F	°C	Number of grains of moisture per cu.ft. Of air when saturated.
20	-6.6	1.24
40	4.44	2.86
60	15.6	5.8
80	26.7	11.1
100	38	20
120	49	34
140	60	57
160	71	91
180	82	140
200	93	208
220	100	302 (17.2 pound Absolute-pressure)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. ในการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น ทำให้อากาศสามารถอุ้มน้ำไว้ได้มากขึ้น ดังตารางแสดงความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้นของอากาศ เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะมีปริมาณ 2 เท่าของทุกๆ 20 °F ที่เพิ่มขึ้น

จ. ความร้อนทำให้เกิดระบบการหมุนเวียนของอากาศ จะได้เห็นจาก Natural Draught Kiln ซึ่งระบบการหมุนเวียนของอากาศในเตา ไม่ได้ใช้พัดลม หรือ เครื่องเป่า

จ. การใช้อุณหภูมิสูงภายในเตาอบ เป็นการป้องกันไม่ให้ไม้ผุ เกิดสี หรือ เกิดรา ในระหว่างการอบ นอกจากนี้ยังสามารถฆ่าเชื้อรา หรือ แมลงบางชนิดทำลายไม้ได้

ฉ. ความร้อนทำให้ไม้เกิดการอ่อนตัว ทำให้เกิดแรงความเค้นภายในได้ยาก

แต่อย่างไรก็ดี ความร้อนก็อาจทำให้เกิดความเสียหายแก่ไม้ได้ เป็นต้นว่าความร้อนอาจจะทำให้คุณสมบัติของไม้เปลี่ยนไป เช่น เมื่ออบไม้ในอุณหภูมิสูงๆ จะทำให้สีของไม้เข้มขึ้น ความแข็งของไม้ที่ลดลง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และ ระยะเวลาที่ใช้

4.4.1.2 การให้ความร้อนแก่ไม้

การให้ความร้อนแก่วัตถุมีอยู่ 3 ทาง คือ

ก. การนำ (Conduction) วิธีนี้เป็นการให้ไม้สัมผัสโดยตรงกับตัวนำความร้อน ใช้สำหรับการอบไม้บาง โดยการสอดไม้บางเข้าไประหว่างแผ่นเหล็กร้อน สำหรับไม้แผ่นไม่สามารถทำให้แห้งโดยวิธีนี้ได้ เนื่องจากจะทำให้เกิดแรงความเค้นมาก

ข. การแผ่รังสี (Radiation) วิธีนี้ให้ไม้ถูกกับรังสีความร้อนโดยตรง ไม้จะต้องอยู่ใกล้กับแหล่งที่ให้กำเนิดความร้อน ทำให้ไม้ทั้งกองได้รับความร้อนไม่สม่ำเสมอกัน ไม่เหมาะสำหรับการอบไม้ที่มีจำนวนมากๆ

ค. การพา (Convection) ซึ่งเป็นวิธีเดียวเท่านั้นที่นิยมใช้ในเตาอบ โดยอาศัยกระแสอากาศร้อน หรือ ไอร้อน ซึ่งสามารถผ่านไปได้ทุกส่วนของกองไม้ และ เตาอบ ทำให้ไม้ได้รับความร้อนและแห้งสม่ำเสมอกัน

4.4.1.3 วิธีการทำให้มีอากาศร้อนในเตาอบมีหลายวิธีด้วยกันคือ

ก. โดยการแผ่รังสีโดยตรง (Direct radiation) ใช้ไฟเป็นตัวให้ความร้อนโดยตรงซึ่งไม่เป็นที่นิยมกัน

ข. โดยการแผ่รังสีทางอ้อม (Indirect radiation) ซึ่งมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน คือ

- ใช้เตาไฟ เป็นการใช้ความร้อนจากเตาไฟ เตาไฟอาจจะทำไว้ที่ด้านข้าง หรือ ด้านล่างของตัวเตาอบ แล้วมีท่อนำความร้อนจากเตาไฟเข้าไปในห้องอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้แก๊ส อาจใช้แก๊สที่มีอยู่ในธรรมชาติ หรือ แก๊สเทียม ที่ผลิตขึ้นมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน สำหรับเตาที่มีขนาดเล็ก
- ใช้ไฟฟ้า ซึ่งเหมาะสำหรับเตาที่มีขนาดเล็ก ไม่ค่อยนิยมใช้เนื่องจากค่าใช้จ่ายสูงมากเมื่อเทียบกับการใช้ไอน้ำ
- ใช้น้ำร้อน ใช้ได้สำหรับเตาที่ไม่ต้องการอุณหภูมิสูงมากนัก วิธีนี้ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูงกว่า เมื่อเทียบกับการใช้ไอน้ำ
- ใช้ไอน้ำ ปัจจุบันมีการใช้กันมากที่สุด สำหรับเตาอบแบบต่างๆ เพราะนอกจากจะให้ความร้อนแล้ว ยังสามารถทำความชื้นภายในเตาอบได้อีกด้วย ไอน้ำที่ใช้ในเตาอบจะถูกทำ ให้ผ่านไปตามท่อจากหม้อทำไอน้ำ (Steam boiler) ส่วนกำลังของไอน้ำที่จะใช้นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ขนาดของเตา สภาพของเตา ลักษณะวัสดุที่ใช้ และอื่นๆ อีก โดยหลักทั่วๆ ไป แล้วพอจะกำหนดได้อย่างคร่าวๆ คือ ถ้าหากเป็นเตาขนาดเล็กใช้กำลังปานกลางคือ 20 – 25 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว สำหรับเตาขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ใช้กำลัง 35 – 50 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

4.4.2 ระบบความชื้น

ความสำคัญของความชื้นภายในเตาอบ

- เพื่อป้องกัน หรือ เป็นการลดการเกิดตำหนิต่างๆในไม้
- เพื่อป้องกันไม่ให้ไม้ที่อบเกิดการแข็งนอก
- แก้ตำหนิต่างๆ ที่เกิดขึ้น เช่น ความเค้น การแข็งนอก และ การยุบตัว ฯลฯ
- ใช้ในการฆ่าเชื้อรา แมลง ที่มีอยู่ในเนื้อไม้
- ทำให้อัตราการซึมของความชื้นในไม้ เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ไม่ทำให้ผิวของไม้แห้งเร็วจนเกินไป เป็นการควบคุมให้การแห้งของไม้เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ตลอดระยะเวลาการอบ

ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น กับการระเหยของน้ำ การที่ความชื้นในไม้ระเหยออกมาส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อยู่รอบๆ ถ้ามีความชื้นสัมพัทธ์สูง การระเหยของน้ำจะมีน้อย ช้า แต่ถึงอย่างไรก็ตาม อัตราการระเหยของน้ำออกจากไม้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์แต่เพียงอย่างเดียว ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและการหมุนเวียนของอากาศอีกด้วย

การให้ความชื้นภายในเตาอบนั้น โดยทั่วๆ ไปอาศัยไอน้ำ จากท่อไอน้ำ ตามปกติท่อไอน้ำที่ใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในประมาณ 1 1/4 – 2 นิ้ว แล้วเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ1/4 นิ้ว เป็นระยะๆ การติดตั้งอาจวางท่อตามยาว หรือ ตามขวางของเตาและให้อยู่ใกล้กับพัดลมเพื่อที่จะได้กระจายความชื้นได้เร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาความชื้นสัมพัทธ์ การหาความชื้นสัมพัทธ์ที่นิยมใช้สำหรับเตาอบ โดยการใช้ Wet & Dry bulb hygrometer เมื่อรู้ค่าของ Dry bulb และ ความแตกต่างระหว่าง Wet และ Dry bulb (Wet bulb depression) แล้วก็สามารถจะหาค่าของความชื้นสัมพัทธ์ และ ปริมาณความชื้นสมดุลย์ได้

4.4.3 ระบบการหมุนเวียนของอากาศ

4.4.3.1 ความสำคัญของระบบการหมุนเวียนของอากาศ

ก. เพื่อนำความร้อนจากท่อให้ความร้อนผ่านไปยังกองไม้ ทำให้ความชื้นระเหยออกมาจากไม้

ข. ทำให้ความร้อน และ ความชื้น แผ่กระจายไปทั่วกองไม้ และ เตา

ค. นำเอาความชื้นที่ระเหยออกมาจากไม้ ออกมาภายนอกกองไม้ ทำให้การระเหยของน้ำจากไม้ดำเนินไปได้เรื่อยๆ

ถ้าหากระบบการหมุนเวียนของอากาศภายในเตาไม่ดี คือ ไม่เพียงพอ หรือ ไม่สม่ำเสมอกัน ก็จะทำให้ไม้แห้งไม่สม่ำเสมอกัน นอกจากนี้การระบายอากาศชื้นออกจากไม้นั้นไม่มีทางระบายออกมาจากเตา จะทำให้สภาพภายในเตามีความชื้นสูง และ จะไม่มีการระเหยของความชื้นจากไม้ และ ในทำนองเดียวกันควรจะมีท่อที่ให้อากาศที่เย็นและแห้ง เข้าไปในเตาด้วย

ประสิทธิภาพของท่อให้ความร้อน จะขึ้นอยู่กับระบบการหมุนเวียนของอากาศ ถ้าการหมุนเวียนของอากาศไม่ดี ประสิทธิภาพให้ความร้อนของท่อก็จะลดลงทันที

4.4.3.2 การทำให้เกิดระบบการหมุนเวียนของอากาศ มี 2 วิธี คือ

ก. Thermal circulation หรือ Natural circulation ทำได้โดยอาศัยการติดตั้งท่อให้ความร้อนไว้ที่ฐานใต้กองไม้ อากาศที่อยู่ใกล้กับท่อจะร้อนมีน้ำหนักเบา จะลอยตัวสูงขึ้นผ่านกองไม้ แล้วอากาศเย็นที่มีน้ำหนักมากกว่าก็จะเข้ามาแทนที่ ทำให้เกิดระบบการหมุนเวียนของอากาศขึ้น อัตราความเร็วจะมีประมาณ 1/2 ฟุตต่อนาที ดังนั้นในการอบไม้ที่ใช้ระบบการหมุนเวียนของอากาศแบบนี้จึงใช้เวลานาน การกองไม้ และ การออกแบบเตาก็ต้องให้เหมาะสม Wet bulb depression ที่ใช้จะต้องให้มากกว่าที่กำหนดไว้ในตารางอบ (Drying Schedules) อีกประมาณ 4 °F เมื่อเทียบกับเตาที่ใช้พัดลม

ข. Forced circulation เป็นระบบที่นิยมใช้กันมาก การติดตั้งพัดลมอาจติดตั้งด้านบน ด้านล่าง ด้านข้าง หรือ ด้านนอกของเตาอบ อัตราความเร็วของพัดลมที่จะใช้ขึ้นอยู่กับความกว้างของเตา ความหนาของไม้ดิบ และความหนาของไม้ที่จะอบ ตัวอย่างเช่น กองไม้กว้าง 6 ฟุต เป็นไม้ที่ผ่านการผึ่งในกระแสร์อากาศ แล้วใช้อัตราความเร็วของกระแสร์อากาศ 3 ฟุตต่อวินาที ถ้าเป็นไม้สดใช้ 6 ฟุตต่อวินาที ดังนั้นอัตราความเร็วเฉลี่ยของการอบไม้โดยทั่วๆ ไป ประมาณ 4 – 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟุตต่อวินาที แต่ปัจจัยที่สำคัญที่สุด คือให้มีระบบการหมุนเวียนของอากาศสม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งเตา

สรุปแล้วปัจจัยทั้ง 3 อย่างนี้คือ ระบบความร้อน ระบบความชื้น และ ระบบการหมุนเวียนของกระแสร์อากาศภายในเตา จะมีความสำคัญพอๆ กัน และ การทำงานของระบบทั้งสามนี้ จะต้องมีความสัมพันธ์กัน เฉพาะระบบความร้อนอย่างเดียว ไม่สามารถทำให้ไม้แห้งได้ โดยที่ไม่เกิดตำหนิ

4.5 ตารางอบไม้

เราสามารถแบ่งตารางการอบไม้ได้หลายประเภทด้วยกันคือ

4.5.1 การจำแนกชั้นของตารางอบ

เนื่องจากอุณหภูมิและอัตราการแห้งมีความสำคัญ และมีความเกี่ยวข้องกันอย่างยิ่ง ดังนั้นตารางอบ จึงสามารถแบ่งตามระดับอุณหภูมิที่ใช้ได้อย่างกว้างๆ ดังนี้คือ

4.5.1.1 Low – temperature Schedules เป็นตารางอบที่ใช้อุณหภูมิไม่เกิน 140 °F. (60 °C.) ใช้เวลาอบเป็นสัปดาห์ เหมาะสำหรับไม้ใบกว้าง (Hardwood) ความแตกต่างของปริมาณความชื้นหลังอบแล้วมีน้อย การออกแบบเตาเป็นแบบง่ายๆ ตัวเตาอบอาจใช้ไม้หรือคอนกรีตบล็อก การหมุนเวียนของอากาศช้า แผงกันลมอาจจะไม่ต้องใช้ก็ได้

4.5.1.2 Conventional Schedules ใช้อุณหภูมิ 140 ° - 180 °F. (60 ° - 80 °C.) ใช้เวลาอบหลายวัน เตาอบที่ใช้ตารางอบนี้จะต้องมีฉนวนกันการถ่ายเทความร้อนที่ดี วัตถุที่จะสร้างเตาอาจใช้คอนกรีตบล็อก หรือ แผ่นอลูมิเนียม ความเร็วของอากาศ 200 – 250 ฟุตต่อนาที (64 – 80 เมตรต่อนาที) อบได้ง่ายแต่ควรจะทำการปรับสภาพความชื้นหลังการอบ ปกติแล้วใช้อบพวกไม้ตระกูลสน (Softwood)

4.5.1.3 Elevated – temperature Schedules ใช้อุณหภูมิ 180 ° F - 212 °F. (80 ° C - 100 °C.) ใช้เวลา 2 – 4 วัน ขึ้นอยู่กับชนิด ความหนา ความชื้น วัตถุที่นำมาสร้างเตาใช้แผ่นอลูมิเนียมหรืออาจใช้คอนกรีตบล็อก ความเร็วของอากาศ 250 – 400 ฟุตต่อนาที (80 – 130 เมตรต่อนาที) จะต้องควบคุมอย่างใกล้ชิดเพื่อไม่ให้ไม้แห้งมากเกินไป หรือ เกิดตำหนิ ปกติใช้อบพวกตระกูลสน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1.4 High – temperature Schedules ใช้อุณหภูมิ Dry bulb ตั้งแต่ 212 °F. (100 °C.) ขึ้นไป แต่อุณหภูมิ Wet bulb ต้องต่ำกว่า 212 °F. ในบางกรณีไม้ขนาดความหนา 2 นิ้ว สามารถอบให้แห้งได้ภายใน 24 ชั่วโมง ตารางอบนี้เหมาะสำหรับไม้ที่มีการซึมผ่านของน้ำได้ดี เช่น พวกไม้ตระกูลสน ซึ่งเกิดตำหนิได้ยาก เนื่องจากตารางอบแบบนี้เสี่ยงต่อการเกิดตำหนิ และ ไม้แห้งเกินต้องการ ดังนั้นในการอบจะต้องควบคุมอย่างใกล้ชิด ความเร็วของอากาศจะต้องไม่น้อยกว่า 400 ฟุตต่อนาที (130 เมตรต่อนาที)

4.5.1.5 Superheated – steam Schedules ต้องทำให้ภายในเตาเป็นไอน้ำที่ความดันบรรยากาศ และ อุณหภูมิตั้งแต่ 212 °F. (100 °C.) ขึ้นไป โดยมี Wet bulb อยู่ที่ 100 °C. ค่าของปริมาณความชื้นสมดุลย์ (EMC) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดตำหนิจึงมีมาก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความเร็วของอากาศต้องไม่น้อยกว่า 400 ฟุตต่อนาที

4.5.1.6 Constantly Rising Temperature (CRT) ตารางอบนี้ทำให้ไม้แห้งเร็ว เกิดตำหนิน้อยเริ่มใช้อุณหภูมิที่ต่ำๆ ก่อน คือ D.B.T. 100 °F. W.B.T. 90 °F. (40 °, 90 °C.) แล้วค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิ Dry bulb ขึ้น 4 °F. (2 °C.) และ อุณหภูมิ Wet bulb 3 °F. (1.5 °C.) ทุกๆ ชั่วโมง จนกระทั่ง อุณหภูมิ Dry bulb ถึง 230 °F. (110 °C.) ต่อจากนั้นจึงลดอุณหภูมิ Wet bulb ลง 1 °F. (0.6 °C.) ทุกๆ 1 ชั่วโมง จนกระทั่งไม้แห้ง ตารางอบนี้ทำให้อัตราการแห้งค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดเวลา เนื่องจากค่าของปริมาณความชื้นสมดุลเปลี่ยนไปทีละน้อยๆ ซึ่งเป็นการลดการเกิดตำหนิ

4.5.1.7 Low – High Schedules เริ่มอบด้วยอุณหภูมิ Dry bulb ต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำจนกระทั่งปริมาณความชื้นเฉลี่ยของไม้ต่ำกว่าจุดหมาด แล้วจึงใช้อุณหภูมิสูง

4.5.2 การใช้ตารางอบ

เกี่ยวกับการใช้ตารางอบ มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้ คือ

- หาปริมาณความชื้นของไม้ที่จะอบ จากชิ้นทดสอบ
- ทำไม้ตัวอย่าง คำนวณหาน้ำหนักอบแห้งของไม้ตัวอย่าง จากปริมาณความชื้นที่หาได้จากชิ้นทดสอบ
- เลือกตารางอบไม้ให้เหมาะกับชนิดไม้ที่จะทำการอบ
- ตั้งอุณหภูมิ Dry bulb และ Wet bulb ตามตารางอบ และ ตามปริมาณความชื้นที่หาได้
- ชั่งน้ำหนักของไม้ตัวอย่างทุกวัน แล้วคำนวณหาปริมาณความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• จากปริมาณความชื้นของไม้ตัวอย่าง นำไปปรับสภาพภายในเตาอบตามตารางอบที่ใช้ ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งไม้ที่อบมีปริมาณความชื้นตามที่ต้องการ

4.5.3 ตัวอย่างของตารางอบ

4.5.3.1 ตารางอบของ Forest Research Institute, FRI, India

เป็นตารางอบที่ใช้สภาพในเตาอบที่อ่อน และใช้อุณหภูมิต่ำกว่าของอังกฤษใช้เวลานานกว่า แต่ไม้ไม่ค่อยเกิดตำหนิ เริ่มต้นด้วยอุณหภูมิที่ค่อนข้างต่ำ และความชื้นสัมพัทธ์สูง แล้วค่อยๆ เปลี่ยนสภาพไปทีละน้อยเมื่อไม้แห้ง การพ่นด้วยไอน้ำที่ระบุไว้ในตอนท้ายของการอบ เพื่อเร่งการแห้งและลดตำหนิที่จะเกิดขึ้น โดยเฉพาะรอยปริแตก โดยควบคุมสภาพภายในเตาอบที่ 55 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 100 %

ตารางอบทั้งหมดนี้ ใช้สำหรับไม้ที่มีความหนาประมาณ 1 นิ้ว ถ้าหากจะใช้สำหรับไม้ที่มีความหนา 1-2 นิ้ว จะต้องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ขึ้นอีก 5% ของทุกระดับในตาราง สำหรับไม้ที่หนา 2-4 นิ้ว ถ้าหากจะอบในเตาอบควรผึ่งในกระแสร์อากาศให้มีความชื้นประมาณ 25% เสียก่อนแล้ว จึงค่อยทำการอบในเตาอบต่อโดยใช้ตารางอบไม้หนา 2 นิ้ว

ตารางอบที่ 4.2 สำหรับไม้มะม่วง (Mangifera indica) ปอเลียง (Kydia calycina.)

Moisture content of the wettest timber on the air-inlet side (%)	Temperature				Relative humidity % (Approx)
	Dry bulb		Wet bulb		
	°F	°C	°F	°C	
Green	113.0	43	104	40	75
60	116.6	48	104	40	62
40	120.2	52	104	40	53
30	127.4	56	104	40	40
20	136.4	61	104	40	30

เป็นไม้ที่มีสีขาวทำไม้แผ่นที่มีราคาถูกหรือใช้ทำลัง ใช้เวลาอบประมาณ 5 - 7 วัน ไม่ค่อยเกิดการแข็งนอก การให้ความชื้นสูงๆ ก็ไม่มีความจำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางอบที่ 4.3 สำหรับไม้คูณ (Cassia fistula) สัก (Tectona grandis) ยมหอม (Cedrela toona) พลวง (Dipterocarpus tuberculatus)

Moisture content of the wettest timber on the air-inlet side (%)	Temperature				Relative humidity % (Approx)
	Dry bulb		Wet bulb		
	°F	°C	°F	°C	
Green	107.6	42	101.3	38.5	80
60	107.6	42	100.4	38.0	76
40	113.0	45	104.0	40.0	72
35	116.6	47	104.0	40.0	64
30	120.2	49	104.0	40.0	56
25	125.6	52	104.0	40.0	47
20	131.0	55	104.0	40.0	39

เป็นไม้ที่ใช้ทำเครื่องเรือน , และงานก่อสร้างทั่วๆ ไป หรือ สำหรับงานเฉพาะอย่าง เช่น กลึง, แกะสลักต่างๆ ใช้เวลาอบ 13-16 วัน อบได้ค่อนข้างยากต้องความระมัดระวัง โดยเฉพาะไม้ยมหอมมักจะเกิดการยุบตัว ไม้ยางมักจะมีความชื้นอยู่ภายในเป็นหย่อมๆ ไม้กว้าวมักจะมีรอยปริแตก ดังนั้นในการอบจะต้องพ่นด้วยไอน้ำหลายครั้ง คือระยะแรกๆ 1 ครั้ง ระหว่างการอบ 2 ครั้ง และระยะสุดท้ายของการอบอีก 1 ครั้ง แต่ละครั้งใช้เวลาประมาณ 2-4 ชั่วโมง

4.5.3.2 ตารางอบของกองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ตารางนี้ใช้สำหรับไม้ที่มีความหนาไม่เกิน 1.5 นิ้ว ถ้าหากไม้มีความหนา 1.5 – 3 นิ้ว การเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ขึ้นช่วงละ 5% และ 10% สำหรับไม้ที่มีความหนาเกิน 3 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางอบที่ 4.4 สำหรับไม้ยาง ,ตะเคียน ,ชันตาแมว ,ตีนนก

Moisture content of the wettest timber on the air-inlet side (%)	Temperature				Relative humidity % (Approx)
	Dry bulb		Wet bulb		
	°F	°C	°F	°C	
Green	104	40	100.4	38	87
60	105.8	41	100.4	38	76
40	107.6	43	104	38	65
35	113	46	104	40	55
30	114.8	49	104	40	45
25	116.6	53	104	40	38
20	122	58	104	40	35
15	125.6	63	104	40	33

เป็นไม้ที่อบได้ยากมาก มักจะเกิดตำหนิ โดยเฉพาะ เริ่มอบจากสภาพสด ใช้เวลาประมาณ 24 -30 วัน ต้องใช้ความชื้นช่วยอย่างน้อย 3 ครั้ง นอกเหนือจากในระยะแรก และระยะสุดท้ายของการอบ

ตารางอบที่ 4.5 สำหรับ: จิ้ว, ปอ, สมพอ

Moisture content of the wettest timber on the air-inlet side (%)	Temperature				Relative humidity % (Approx)
	Dry bulb		Wet bulb		
	°F	°C	°F	°C	
ไม้สด	125	51.7	111	43.9	63
60-40	130	54.4	113	45.0	58
40-30	140	60.0	115	46.1	46
30-20	150	65.5	118	47.7	39
20-10	155	68.3	118	47.7	34

หมายเหตุ: ถ้าเกิดเห็ดราขึ้นในระยะแรก ให้ทำการพ่นไอน้ำในระยะแรกของการอบแล้วกองไว้ที่อุณหภูมิ 160 °F ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นเวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

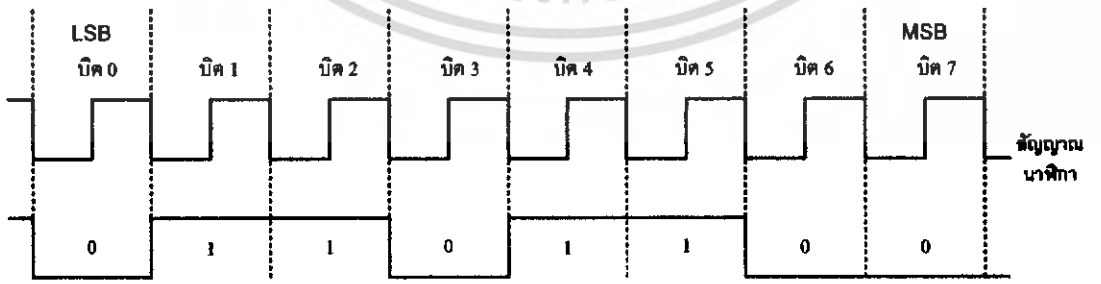
บทที่ 5
การเชื่อมต่อ PC กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม

5.1 ทำความรู้จักกับพอร์ตอนุกรม

การเคลื่อนย้ายข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์ต่อพวงอื่น ๆ หรือคอมพิวเตอร์ด้วยกันแบบอนุกรม เป็นการรับส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต แต่ก็สามารถรับส่งข้อมูลได้คราวละหลาย ๆ บิตได้ หากแต่จะต้องมีการตกลงกันระหว่างตัวส่งและตัวรับว่าจะรับส่งข้อมูลคราวละกี่บิต ตัวรับจะต้องรอข้อมูลมาให้ครบทุกบิตเสียก่อนจึงทำการประมวลผล ส่งผลให้การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมอาจมีความเร็วต่ำกว่าแบบขนาน ในจำนวนสายสัญญาณการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมจะใช้จำนวนสายที่น้อยกว่ามาก แต่อย่างไรก็ตามการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมสามารถใช้สายสัญญาณที่มีความยาวมากกว่าแบบขนาน ทำให้ได้ระยะในการสื่อสารมากกว่าแบบขนาน

5.1.1 การสื่อสารแบบอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรมนั้นจะแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือการสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัสและการสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส การสื่อสารแบบซิงโครนัสจะมีสัญญาณนาฬิการ่วมอยู่กับการรับและส่งสัญญาณด้วย ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสก็คือคีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ ซึ่งสายเส้นหนึ่งจะเป็นสายสัญญาณนาฬิกา ส่วนสายอีกเส้นจะเป็นสายข้อมูล ดังนั้นการติดต่อกันแบบซิงโครนัสนี้จะต้องใช้สายในการเชื่อมต่ออย่างน้อยที่สุด 3 เส้น คือสัญญาณนาฬิกา ข้อมูลและกราวด์ภาพที่ 5.1 แสดงให้เห็นถึงไทมิ่งไดอะแกรมของการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส



ภาพที่ 5.1 รูปแบบอย่างง่ายที่สุดของข้อมูลอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

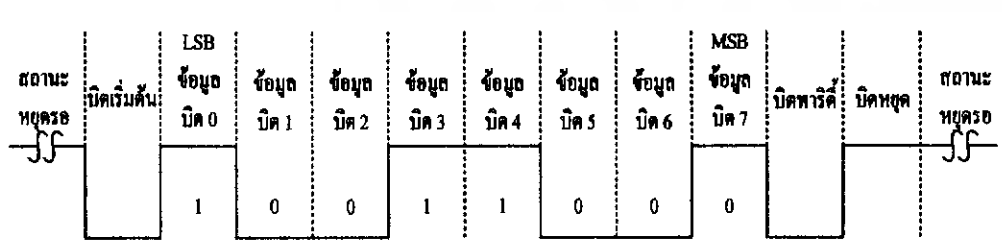
5.1.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส คือการรับและส่งข้อมูลไปในสายโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิการ่วมด้วยเหมือนกับการรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส แต่จะใช้การกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาทั้งภาครับและภาคส่งให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดค่าให้ภาครับและภาคส่งนี้ว่า อัตราการถ่ายทอดข้อมูล หรือ บอดเรต (baudrate) มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (bit per secone : bps)

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัสประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ

- บิตเริ่มต้น (Start Bit) ซึ่งจะมีขนาด 1 บิต
- บิตข้อมูลแบบอนุกรมจะมีขนาด 5, 6, 7 หรือ 8 บิต
- บิตตรวจสอบพาริตี้ (Parity Bit) จะมีขนาด 1 บิตหรือไม่มี
- บิตปิดท้าย (Stop Bit) จะมีขนาด 1, 1.5 หรือ 2 บิต

ซึ่งภาพที่ 5.2 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส เมื่อไม่มีข้อมูลที่จะส่งขา DATA จะมีสถานะลอจิก "1" ซึ่งจะเรียกสถานะนี้ว่าสถานะหยุดรอ (waiting stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการให้ขา DATA มีลอจิก " 0 " ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต เรียกบิตนี้ว่า บิตเริ่มต้น จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไป โดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด (LSB) ก่อน ซึ่งข้อมูลในไบต์ที่จะส่งอาจจะมีจำนวนบิต 5, 6, 7 หรือ 8 บิตก็ได้ จากนั้นก็ตามด้วย บิตพาริตี้ ซึ่งใช้เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่ส่งคือ บิตปิดท้าย ซึ่งจะให้ขา DATA มีสถานะลอจิก "1" อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1, 1.5 หรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว อุปกรณ์พิเศษที่ได้รับการออกแบบมาสำหรับการรับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสเรียกว่า Universal Asynchronous Receiver / Transmitter หรือ UART อัตราความเร็วในการรับและส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสคือ ค่าบอดเรต ซึ่งก็คือค่าจำนวนบิตต่อวินาทีที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูล บอดเรตมาตรฐานที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 ได้แก่ 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 และ 19200 บิตต่อวินาที และมีค่าเพิ่มขึ้นตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ ซึ่งการรับส่งแบบอนุกรมโดยไม่ผ่านโมเด็มอาจจะสามารถกำหนดค่าบอดเรตได้สูงถึง 115200 บิตต่อวินาที



ภาพที่ 5.2 รูปแบบอย่างง่ายที่สุดของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากบอดเรตคือจำนวนบิตของข้อมูลที่สามารถถ่ายทอดได้ภายใน 1 วินาที ยกตัวอย่างข้อมูลอนุกรมถูกส่งในลักษณะ 8 บิต ไม่มีการตรวจสอบพาริตี้ มีบิตเริ่มต้น 1 บิต และบิตปิดท้าย 1 บิต ความยาวของข้อมูลที่รับส่งนี้เท่ากับ 10 บิต ถ้าใช้บอดเรตในการส่งข้อมูลเท่ากับ 9600 บิตต่อวินาที ก็จะสามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 960 ไบต์ต่อวินาที และถ้ามีการใช้พาริตี้ความเร็วในการรับส่งข้อมูลจะเหลือเป็น 872 ไบต์ต่อวินาที

การตรวจสอบพาริตี้สามารถกำหนดให้เป็นแบบคี่ (odd) , แบบคู่ (even) หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตี้ก็ได้ การตรวจสอบพาริตี้เป็นการตรวจสอบจำนวนรวมของบิตที่เป็นลอจิก “1” ภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบต์ว่ามีจำนวนรวมเป็นเลขคู่หรือเลขคี่โดยต้องรวมบิตพาริตี้เข้าไปด้วย ยกตัวอย่างข้อมูลที่จะทำการส่งมีขนาด 8 บิตและมีความยาวเท่ากับ 99 ฐานสิบหก หรือ 1001 1001ฐานสอง จะเห็นว่าข้อมูลในไบต์นี้มีจำนวนลอจิก “1” จำนวน 4 ตัวซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้น ถ้ากำหนดค่าพาริตี้เป็นคู่ ค่าในบิตพาริตี้จะต้องมีลอจิกเป็น “ 0 ” แต่ถ้าพาริตี้เป็นคี่ ค่าในบิตพาริตี้จะต้องเป็น “1” เพื่อให้ข้อมูล 1 ไบต์รวมทั้งบิตพาริตี้มีจำนวนบิตที่มีลอจิกเป็น “1” รวมกันเป็นเลขคี่ ในตารางที่ 5.1 แสดงตัวอย่างของบิตพาริตี้ในการรับส่งข้อมูลอนุกรม

บิตพาริตี้ถูกสร้างขึ้นจากภาคส่งข้อมูลของ UART โดยภาครับจะต้องกำหนดคุณสมบัติการตรวจสอบพาริตี้ให้ตรงกันว่า จะตรวจสอบพาริตี้คี่หรือคู่ จากนั้นภาครับของ UART จะตรวจสอบค่าพาริตี้ที่เกิดขึ้นว่าเป็นคู่หรือเป็นคี่ โดยการนับจำนวนลอจิก “ 1 ” ทั้งหมดรวมทั้งบิตพาริตี้ด้วย ถ้ากำหนดพาริตี้ไว้เป็นคู่แต่อ่านค่าตัวเลขในการนับออกมาได้ตัวเลขเป็นคี่ ทางภาครับจะแจ้งข้อผิดพลาดให้ผู้ใช้ทราบ นับเป็นการตรวจสอบความผิดพลาดของการถ่ายทอดข้อมูลที่ง่ายที่สุด แต่จะเชื่อถือได้เมื่อบิตข้อมูลที่ทำการส่งผิดพลาดเพียงบิตเดียวเท่านั้น ถ้าข้อมูลที่ส่งมีบิตที่ผิดพลาดมากกว่า 1 บิต การตรวจสอบด้วยวิธีนี้จะไม่ได้ผล สำหรับการตั้งพาริตี้บิตเป็น NONE นั้นทั้งภาครับและภาคส่ง จะไม่มีการตรวจสอบพาริตี้

ตารางที่ 5.1 แสดงบิตพาริตี้ของข้อมูล

ข้อมูล	บิตพาริตี้คู่	บิตพาริตี้คี่
0000 0000	0	1
0000 0001	1	0
0000 0010	1	0
0000 0011	0	1
0000 0100	1	0
1111 1110	1	0
1111 1111	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์ในรุ่น AT เกือบทั้งหมดจะใช้ UART เบอร์ 16450 และ 16550 ส่วนคอมพิวเตอร์ในรุ่น XT ใช้ UART เบอร์ 3250 UART ชิพเหล่านี้มีระดับแรงดันเป็นแบบทีทีแอล (0 และ +5 V) แต่เพื่อให้มีแรงดันเป็นไปตามมาตรฐาน RS-232 และเพื่อให้การรับส่งข้อมูลสามารถทำได้ที่ระยะทางไกลมากขึ้น ระดับแรงดันทีทีแอลจะถูกแปลงเป็นระดับแรงดันที่สูงขึ้น โดยลอจิก " 0 " มีระดับแรงดัน +3 V ถึง +12 V ในขณะที่ลอจิก "1" มีระดับแรงดัน -3 V ถึง -12 V

5.1.3 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS - 232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS - 232 ในอดีตนั้นถูกออกแบบมาเพื่อการส่งผ่านข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพียงอย่างเดียว เพื่อที่จะนำข้อมูลจากโมเด็มนี้สื่อสารผ่านสายโทรศัพท์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกชุดซึ่งอยู่ห่างไกลกัน โดยคณะกรรมการที่เรียกว่า สมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association : EIA) ได้ว่างมาตรฐานที่มีชื่อเรียกกันว่า EIA RS-232 มาตรฐานนี้ในช่วงแรกจะใช้คอนเน็กเตอร์เป็นแบบ DB-25 โดยกำหนดความยาวสูงสุดของสายสัญญาณไว้ที่ 50 ฟุต มีระดับสัญญาณตั้งแต่ -3 V ถึง -12 V แสดงว่ามีข้อมูล (Mark) และ +3 V ถึง +12 V แสดงว่าเป็นช่องว่าง (Space)

มาตรฐาน RS-232 ได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment : DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating : DCE) ไว้ว่าอุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัว เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น โดยการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองจะกระทำผ่านมาตรฐาน RS-232

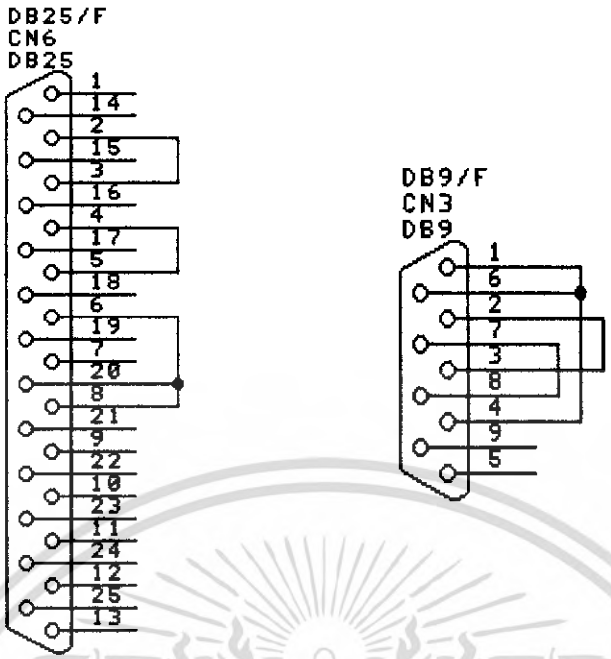
ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งที่เห็นได้ชัดคือ คอนเน็กเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็กเตอร์ที่อยู่ที่โมเด็มจะเป็นแบบ DCE

สำหรับการใช้งานคอมพิวเตอร์ พอร์ตอนุกรม RS-232 มักถูกใช้เชื่อมต่อกับโมเด็มหรือเมาส์ โดยสามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ความยาวของสายส่งสัญญาณสูงสุดถึง 20 เมตร

5.1.4 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 จะใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 ตัวผู้หรือ DB-9 ตัวผู้ ซึ่งคอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 จะมีขาต่อใช้งานเพียง 9 เส้นเช่นเดียวกับคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 เนื่องจากขาอื่น ๆ ที่เคยใช้ในอดีต ปัจจุบันมีการใช้งานไม่มากนัก จึงถูกยกเลิกไป โดยแสดงรูปร่างและตำแหน่งขาใน ภาพที่ 5.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

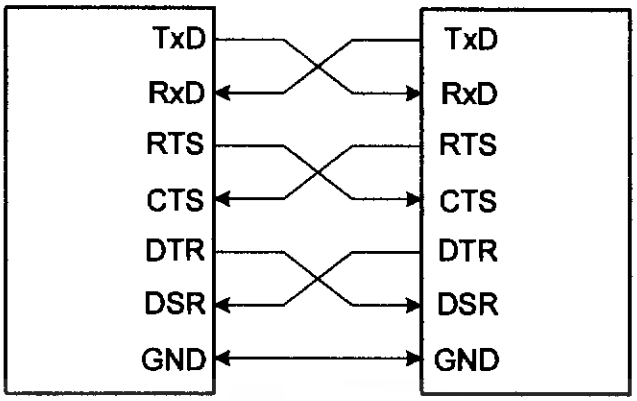


DB-9 pins	DB-25 pins	Function
1	8	Carrier Detect
2	3	Received Data
3	2	Transmitted Data
4	20	Data Terminal Ready
5	7	Signal Ground
6	6	Data Set Ready
7	4	Request to Send
8	5	Clear to Send
9	22	Ring Indictor

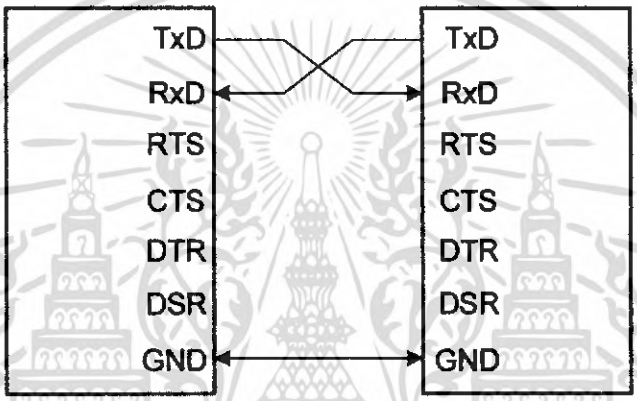
ภาพที่ 5.3 การจัดขาของคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 และDB-25

สำหรับการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกดังแสดงในภาพที่ 5.4 ลูกศรในรูปแสดงถึงทิศทางของข้อมูล ในภาพที่ 5.4 เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null modem หรือการเชื่อมต่อโดยตรงโดยไม่ต้องผ่านโมเด็ม โดยมีการตรวจสอบหรือแฮนด์เช็กเต็มรูปแบบ ส่วนภาพที่ 5.4 เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null modem ในลักษณะที่ใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น โดยเส้นหนึ่งสำหรับส่งข้อมูล อีกเส้นสำหรับรับข้อมูล และเส้นสุดท้ายเป็นกราวด์ สำหับรายละเอียดหน้าที่การทำงานในแต่ละขาของพอร์ตอนุกรม RS-232 มีดังนี้

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ แบบ Null Modem



การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ แบบ RS-232 โดยใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น

ภาพที่ 5.4 การต่ออุปกรณ์ภายนอกกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ในลักษณะต่าง ๆ

- **Receive Data :** RD หรือ RxD ขานี้ใช้เพื่อรับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่อ่านได้เก็บไว้ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์
- **Data Carrier Detect : DCD** หรืออาจเรียกว่า Carrier Detect : CD ขานี้จะแอกตีฟเมื่อมีการส่งสัญญาณพาห์จากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลเช่น โมเด็ม สำหรับการใช้งานปกติ ขานี้จะไม่ได้ถูกใช้งานมากนัก
- **Data Terminal Ready :** DTR เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่าต้องการติดต่อด้วย โดยขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของคอมพิวเตอร์ ถ้าใช้การเชื่อมต่อแบบ Null Modem ซึ่งใช้สายในการเชื่อมต่อเพียง 3 เส้น จะต้องต่อขา DTR และ DSR ของตัวมันเองเข้าด้วยกันและต้องต่อกับขา DCD ด้วยในกรณีที่โปรแกรมสื่อสารที่ใช้มีการตรวจสอบสัญญาณพาห์
- **Signal Ground :** GND กราวด์ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• **Data Set Ready :** DSR ขานี้จะใช้คู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำหรับรับข้อมูลจากภายนอกซึ่งถูกส่งมาจากขา DTR

• **Request To Send :** RTS เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้ทางอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมายังคอมพิวเตอร์ โดยขาที่รับสัญญาณ RTS ก็คือขา CTS ในกรณีที่ใช้การเชื่อมต่อแบบ Null Modem จะต้องเชื่อมต่อขา RTS และ CTS ของตัวมันเองเข้าด้วยกัน เพื่อจะให้การรับและส่งข้อมูลสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา

• **Clear To Send :** CTS ขานี้จะคอยรับสัญญาณจากขา RTS เมื่อรับสัญญาณได้ ข้อมูลที่ ขา TxD จะถูกส่งออกไป ดังนั้นขานี้จึงถูกใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่

• **Ring Indication :** RI ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติในการสื่อสาร โดยทั่วไปสายนี้จะไม่ถูกใช้งาน จะใช้สายนี้ก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อกับโมเด็มและโปรแกรมมีการตรวจสอบสัญญาณนี้เท่านั้น

UART มาจากคำว่า Universal Asynchonous Receiver Transmitter ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสนั่นเอง สำหรับการสื่อสารอนุกรมบนคอมพิวเตอร์แล้ว UART ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการสื่อสารอนุกรม

หน้าที่หลักของ UART คือทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบขนานจากคอมพิวเตอร์ให้อยู่ในรูปแบบอนุกรมแบบอะซิงโครนัสแล้วส่งออกไป และทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนุกรมแบบอะซิงโครนัสที่ป้อนเข้ามายัง UART ให้เป็นแบบขนานก่อนที่จะส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์ ซึ่งนอกจาก UART จะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์แล้ว ยังแจ้งข้อมูลอื่นๆ ให้คอมพิวเตอร์ทราบด้วย เช่น อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล (บอดเรต), รูปแบบการส่งข้อมูล, ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล (ผิดพลาดจากพาริตี้, เฟรมข้อมูล, โอเวอร์รัน) เป็นต้น

5.1.5 ลักษณะสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของพอร์ต RS-232

สัญญาณเอาต์พุตที่ใช้ควบคุม (RTS และ DTS) และสัญญาณแสดงสถานะอินพุต (CTS, DSR และ DCD) ของพอร์ตอนุกรม RS-232 จะถูกกลับสถานะภายในตัว UART ส่วนสัญญาณข้อมูลทั้งภาคส่งและรับจะไม่ถูกกลับสถานะ UART จะให้ระดับสัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นแบบทีทีแอลเท่านั้น ดังนั้นเมื่อสัญญาณถูกส่งออกมาจาก UART จึงต้องส่งเข้าสู่วงจรขับเพื่อปรับระดับแรงดันให้ได้ระดับสัญญาณเป็นไปตามมาตรฐาน RS-232 ก่อนส่งออกไปยังคอมพิวเตอร์สำหรับอุปกรณ์ต่อเชื่อมปลายทางก็จะต้องมีวงจรขับในลักษณะนี้เช่นเดียวกัน เพื่อให้ได้ระดับสัญญาณในระดับเดียวกัน แต่วงจรขับที่ใช้ทั้งภายในคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่อเชื่อมปลายทางนั้นจะถูกกลับสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 แสดงข้อมูลในแอดเดรส 0000 : 0411 H ที่ใช้แจ้งจำนวนพอร์ตอนุกรม

บิต 3	บิต 2	บิต 1	จำนวนพอร์ต
0	0	0	ไม่มีพอร์ตอนุกรม
0	0	1	มีพอร์ตอนุกรม 1 พอร์ต
0	1	0	มีพอร์ตอนุกรม 2 พอร์ต
0	1	1	มีพอร์ตอนุกรม 3 พอร์ต
1	0	0	มีพอร์ตอนุกรม 4 พอร์ต

5.1.6 แอดเดรสของพอร์ตอนุกรม

แอดเดรสพื้นฐานของพอร์ตอนุกรมมี 4 ตำแหน่งดังนี้คือ

COM1 : 3F8H

COM2 : 2F8H

COM3 : 3E8H

COM4 : 2E8H

เมื่อเริ่มเปิดเครื่องเพื่อใช้งานคอมพิวเตอร์ ไบออสภายในคอมพิวเตอร์จะทำการตรวจสอบแอดเดรสของพอร์ตอนุกรมทั้งหมด ถ้าไบออสตรวจพบแอดเดรสของพอร์ตอนุกรม ไบออสจะนำแอดเดรสที่ตรวจพบไปเก็บไว้ในหน่วยความจำขนาด 2 ไบต์ สำหรับพอร์ตอนุกรม COM1 จะเก็บไว้ที่แอดเดรส 0000 : 0400 H และ 0000 : 0401 H ส่วนตำแหน่งอื่น ๆ มีรายละเอียดดังนี้

COM2 = 0000 : 0402H – 0000 : 0403H

COM3 = 0000 : 0404H – 0000 : 0405H

COM4 = 0000 : 0406H – 0000 : 0407H

นอกจากนี้ที่หน่วยความจำแอดเดรส 0000 : 0411H ยังใช้สำหรับแสดงความจำของพอร์ตอนุกรมที่มีใช้อยู่ในคอมพิวเตอร์อีกด้วย โดยมีรายละเอียดดังแสดงใน ตารางที่ 5.2

5.2 คุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้อ้างอิง เพื่อการเรียนรู้และใช้งานในที่นี้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 ซึ่งมีหน่วยความจำภายในแบบ แฟลช (flash memory) ของPhilips Semiconductor ในอนุกรม P89C51Rx2 โดยจะเน้นไปที่เบอร์ P89C51RD2 สำหรับคุณสมบัติทางเทคนิคที่โดดเด่นของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 อนุกรมนี้ มีดังต่อไปนี้

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 บิต ที่เข้ากันได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 พื้นฐานของอินเทล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• หน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบแฟลช ทำให้สามารถลบและเขียนใหม่ได้ถึงหนึ่งหมื่นครั้ง จึงสามารถใช้งานในรูปแบบไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดี่ยวไม่ต้องใช้หน่วยความจำภายนอก ส่งผลให้สามารถใช้งานพอร์ตอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมสูงถึง 64 กิโลไบต์

• หน่วยความจำข้อมูลแรมภายในมีขนาด 1 กิโลไบต์

• สามารถเขียนหรือโปรแกรมข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมโดยไม่ต้องถอดไมโครคอนโทรลเลอร์ออกมาทำการโปรแกรมใหม่ หรือที่เรียกว่า **การโปรแกรมในวงจร** หรือ **ในระบบ** (ISP : In-system programming) โดยภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีหน่วยความจำที่บรรจุโปรแกรม สำหรับเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมหรือที่เรียกว่า **บูตรอม** (Boot ROM) ทำหน้าที่ส่วนนี้แรงดันที่ใช้ในโปรแกรมแบบ ISP ขึ้นอยู่กับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2ใช้แรงดันในการโปรแกรมได้ทั้ง +5v และ +12v โดยใช้แรงดัน +12v จะสามารถโปรแกรมได้ 1,000 ครั้ง และถ้าใช้แรงดัน +5v สามารถโปรแกรมได้ 10,000 ครั้ง

• ความถี่สัญญาณนาฬิกาสูงสุด 33 MHz ในกรณีทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกา 12 ลูกต่อ แมชีนไซเกิล และ 20 MHz ในกรณีทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกาภายใน 6 ลูกต่อแมชีนไซเกิล

• P89C51RD2 ได้รับการกำหนดให้ทำงานในโหมดเบื้องต้นในโหมดสัญญาณนาฬิกา 6 ลูกต่อแมชีนไซเกิลสามารถเลือกเปลี่ยนเป็น 12 สัญญาณนาฬิกาต่อแมชีนไซเกิลได้

• ชุดคำสั่งและสถาปัตยกรรมพื้นฐานเหมือนกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ของผู้ผลิตอื่น ไม่ว่าจะเป็น Intel, Siemens หรือ Dallas Semiconductor

• ขาพอร์ต 8 บิต จำนวน 4 พอร์ต เป็นแบบกึ่งสองทิศทาง (quasi-bidirectional) สามารถใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตภาพที่ 5.6 โครงสร้างการทำงานพื้นฐานของ P89C51RD2

• มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์

• ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต 3 ตัว (ไทเมอร์ 0 , 1 และ 2)

• มีรีจิสเตอร์ตัวชี้ตำแหน่งข้อมูลหรือ DPTR 2 ตัว

• สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ได้ 7 ประเภท

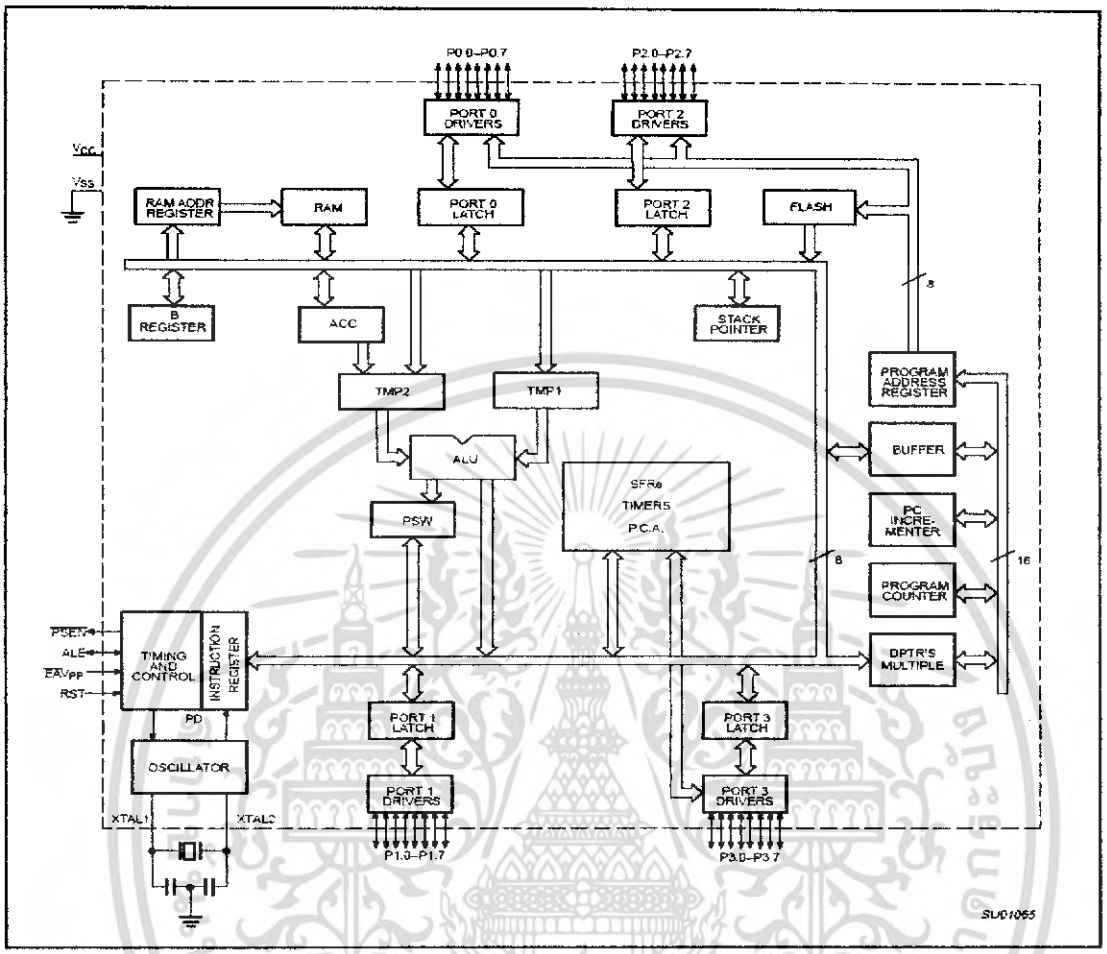
• กำเนิดนัยสำคัญของการตอบสนองอินเตอร์รัปต์ได้ 4 ระดับ

• มีโมดูลวงจรนับโปรแกรมได้ (PCA : Programmable Counter Array) ซึ่งบรรจุวงจรตรวจจับสัญญาณ(capture),เปรียบเทียบสัญญาณ(compare),วงจรมอดูเลชั่นทางความกว้างพัลส์(PWM) 5 โมดูลและวอตช์ด็อกไทเมอร์ (watchdogtimer)

• มีวงจรวอตช์ด็อกไทเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถติดต่อหน่วยความจำภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์



ภาพที่ 5.5 โครงสร้างการทำงานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์

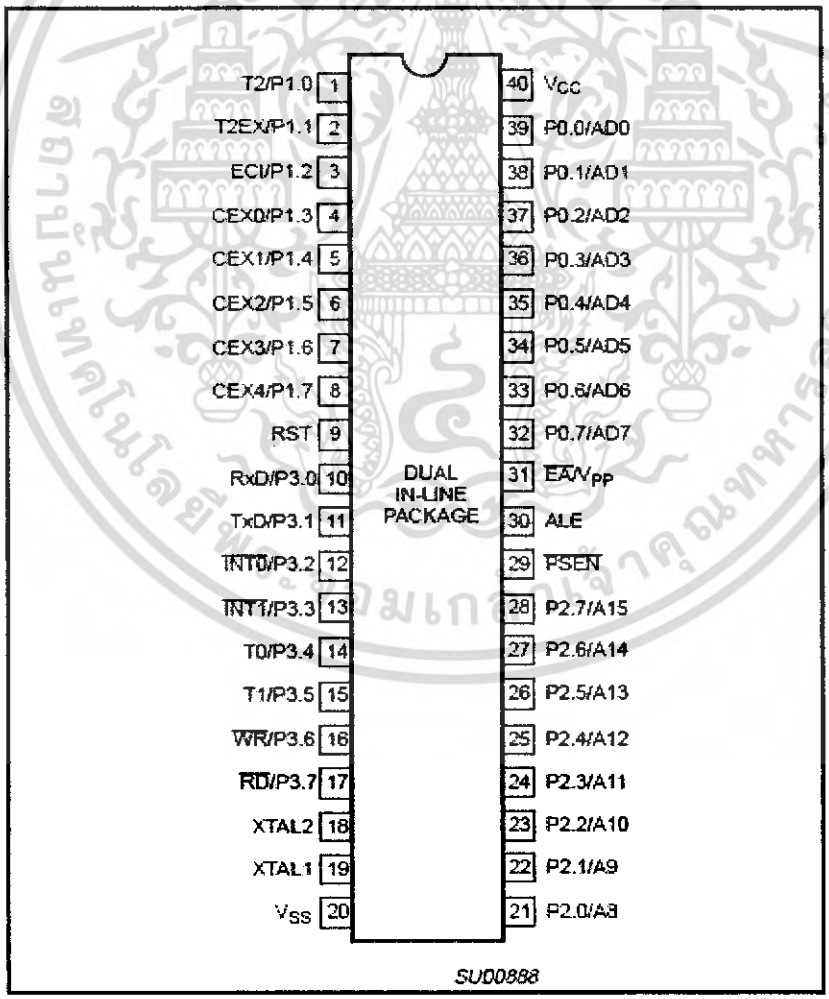
ในภาพที่ 5.5 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของ P89C51D+ และ P89C51RD2 จะเห็นได้ว่าคล้ายคลึงกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ในแบบที่เป็นพื้นฐาน แต่มีส่วนประกอบที่เพิ่มขึ้น อาทิ หน่วยความจำเก็บโปรแกรมบูตรอม สำหรับทำการอ่านและเขียนข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมแบบ ISP โมดูลวงจรนับแบบโปรแกรมได้ หรือ PCA (Programmable Counter Array)

อย่างไรก็ตาม P89C51RD2 ต่างก็มีเบอร์อื่นๆ ที่อยู่ร่วมอนุกรมกัน ดังแสดงรายละเอียดเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ในอนุกรมนี้ของ philips ในตารางที่ 5.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทุกเบอร์จะมีสถาปัตยกรรมและขาใช้งานพื้นฐานเหมือนกัน แต่ P89C51RD2 ที่ขาพอร์ต 1 คือ P1.0 - P1.7 จะมีความสามารถพิเศษเพิ่มเติม ดังในภาพที่ 5.6 และมีรายละเอียดขั้นต้น สรุปในตารางที่ 5.4 ภายใน PCA นี้บรรจุ วอตช์ด็อกไทเมอร์ , วงจรตรวจจับสัญญาณหรือแคปเจอร์,วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ และวงจร PWM รวมถึงไทเมอร์ 2 (Timer2)

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 รายละเอียดเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ในอนุกรม P89C51Rx+ และ Rx2

เบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์	หน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช	หน่วยความจำข้อมูลแรม	ความถี่สัญญาณนาฬิกาหลักที่ใช้งาน	
			โหมด 6 หลักสัญญาณนาฬิกา	โหมด 12 หลักสัญญาณนาฬิกา
P89C51RC+	32 กิโลไบต์	512 ไบต์	-	0-33MHz
P89C51RD+	64 กิโลไบต์	1 กิโลไบต์	-	0-33MHz
P89C51RB2	16 กิโลไบต์	512 ไบต์	0-20MHz	0-33MHz
P89C51RC2	32 กิโลไบต์	512 ไบต์	0-20MHz	0-33MHz
P89C51RD2	64 กิโลไบต์	1 กิโลไบต์	0-20MHz	0-33MHz



ภาพที่ 5.6 แสดงการจัดขาของ P89C51RD2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 รายละเอียดเบื้องต้นของขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2

ชื่อขา	ขาที่	ชนิด	หน้าที่และการทำงาน
Vcc	40	อินพุต	ต่อไฟเลี้ยง +5v
GND	20	อินพุต	ต่อกราวด์
P0.0 - P0.7	39-32	อินพุต/ เอาต์พุต	-ใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต ถ้าต้องการกำหนดให้ขา พอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของขาพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ทำให้มีสถานะลอย (float) อินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ - ใช้ในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7)และขาข้อมูล (D0-D7) โดยใช้การมัลติเพล็กซ์เข้าช่วยเพื่อสลับการทำงานให้เป็นทั้งขาติดต่อแอดเดรสและขาข้อมูล ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก
P1.0 - P1.7	1- 8	อินพุต/ เอาต์พุต	-ใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป - เป็นขาสัญญาณของไทเมอร์ 2 และสัญญาณของโมดูล PCAดังรายละเอียดต่อไปนี้ T2 (P1.0 : ขา 1) เป็นขาอินพุตสำหรับนับค่าของไทเมอร์ 2 และขาเอาต์พุตสัญญาณนาฬิกาโปรแกรมได้ T2EX (P1.1 : ขา 2) เป็นขาสำหรับควบคุมการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ECI (P1.2 : ขา 3) เป็นขาอินพุตสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกสำหรับโมดูล PCA CEX0 (P1.3 : ขา 4) เป็นขาอินพุตเอาต์พุตภายนอกวงจรตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณสำหรับ PCA โมดูล 0 CEX1 (P1.4 : ขา 5) เป็นขาอินพุตเอาต์พุตภายนอกวงจรตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณสำหรับ PCA โมดูล 1 CEX2 (P1.5 : ขา 6) เป็นขาอินพุตเอาต์พุตภายนอกวงจรตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณสำหรับ PCA โมดูล 2 CEX3 (P1.6 : ขา 7) เป็นขาอินพุตเอาต์พุตภายนอกวงจรตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณสำหรับ PCA โมดูล 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 รายละเอียดเบื้องต้นของขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD (ต่อ)

ชื่อขา	ขาที่	ชนิด	หน้าที่และการทำงาน
			CEX4 (P1.7 : ขา 8) เป็นขาอินพุตเอาต์พุตภายนอกวงจรตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณสำหรับ PCA โมดูล 4
P2.0 - P2.7	21-28	อินพุต/ เอาต์พุต	- ใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป - ใช้ติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8-A15) เมื่อติดต่อด้วย
P3.0 - P3.7	10 - 17	อินพุต/ เอาต์พุต	- ใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป - ใช้เป็นขาพอร์ตหน้าที่พิเศษ ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้ RxD (P3.0 : ขา 10) ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม TxD (P3.1 : ขา 11) ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับส่งมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม INT0 (P3.2: ขา 12) ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 0 INT1 (P3.3: ขา 13) ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 T0 (P3.4: ขา 14) ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทเมอร์จากภายนอกช่อง 0 T1 (P3.5: ขา 15) ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 WR (P3.6 : ขา 16)ใช้เป็นขาสัญญาณ WR ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก RD (P3.6 : ขา 16)ใช้เป็นขาสัญญาณ RD ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก
RESET	9	อินพุต	ใช้ในการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการป้อนสัญญาณลอจิก " 1 " อย่างน้อยเป็นเวลา 2 แมชีนไซเกิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างปกติ
ALE	30	เอาต์พุต	Address Latch Enableออกมาทุกๆ แมชชีนไซเกิล อย่างไรก็ตาม สามารถดิสเอเบิลสัญญาณพัลส์นี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 รายละเอียดเบื้องต้นของขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD (ต่อ)

ชื่อขา	ขาที่	ชนิด	หน้าที่และการทำงาน
PSEN	29	เอาต์พุต	Program Store Enable : ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณออกมาที่ขานี้ 2 ครั้ง นอกจากนี้ยังใช้ประกอบในการอ่าน-เขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมด้วยกระบวนการ ISP -สำหรับเบอร์ P89C51RD+ ให้ต่อขานี้ลงกราวด์ แล้วป้อนไฟ +12V (+0.5Vและ-0.5V) เข้าที่ขา EA/Vpp -สำหรับเบอร์ P89C51RD+ ให้ต่อขานี้ลงกราวด์, ป้อนลอจิก " 1 " เข้าที่ขา P2.7 และป้อนแรงดัน +5V เข้าที่ขา EA/Vpp
$\overline{\text{EA}}$/Vpp	31	อินพุต	External Access enable/Programming voltage input : ใช้สำหรับเลือกการติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอกหรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ " 0 " เลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก "1" เลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำภายในนอกจากนี้ ที่ขานี้ยังใช้ขาอินพุตสำหรับขาอินพุตสำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ - สำหรับเบอร์ P89C51RD+ ต้องการแรงดัน +12V (+5V,-5V) - สำหรับเบอร์ P89C51RD2 ต้องการแรงดัน +5V
XTAL1	19	อินพุต	ขาอินพุตรับสัญญาณจากวงจรขยายออสซิลเลเตอร์ (ขา XTAL2) และจากภายนอกในการใช้งานปกติ ขานี้และขา XTAL2 คริสตอลและตัวเก็บประจุชดเชยค่าน้อยๆ
XTAL2	18	เอาต์พุต	ขาอินพุตรับสัญญาณจากวงจรขยายออสซิลเลเตอร์ (ขา XTAL2) และจากภายนอกในการใช้งานปกติ ขานี้และขา XTAL1 คริสตอลและตัวเก็บประจุชดเชยค่าน้อยๆ

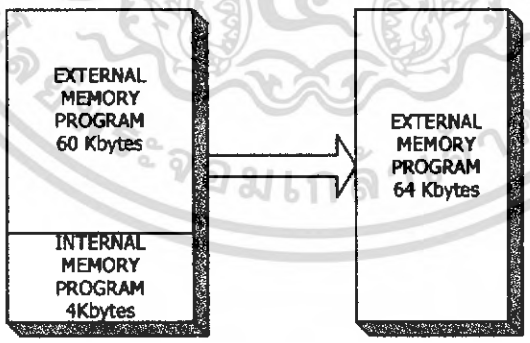
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1 การจัดหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชของ Philips เบอร์ P89C51RD2 มีหน่วยความจำในหลักๆอยู่ 3 ส่วน คือหน่วยความจำโปรแกรม (program memory) ขนาด 64 กิโลไบต์, หน่วยความจำข้อมูล (data memory) 1 กิโลไบต์ และหน่วยความจำบูตรอม (boot ROM) ขนาด 1 กิโลไบต์มีแอดเดรสอยู่ที่ FC00H - FFFFH ซึ่งเก็บโปรแกรมการอ่าน - เขียนข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ในแบบ ISP อย่างไรก็ตาม หากมีการใช้งานบูตรอม หน่วยความจำโปรแกรมจะสามารถเข้าถึงและทำงานได้ 63 กิโลไบต์ ก็สามารถทำได้ โดยการปิดและไม่ติดต่อกับบูตรอมนี้ อันจะส่งผลให้ไม่สามารถโปรแกรมหน่วยความจำแบบ ISP ในทางซอฟต์แวร์ได้ (ดูรายละเอียดได้ในดาต้าชีตของ P89C51RD2 ในหัวข้อ IAP: In-System Application Programming)

5.2.1.1 หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (Program Memory)

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม่จะเป็นที่เก็บชุดคำสั่งต่างๆ และข้อมูลที่โปรแกรม ใช้งาน หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (Internal Program Memory) และหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (External Program Memory) ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ MCS-51 มีหน่วยความจำที่เก็บโปรแกรมได้ 4 Kbytes ซึ่งหน่วยความจำจะเป็นลักษณะของ ROM ในการใช้งานเราสามารถเก็บโปรแกรมเข้าในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ ทำให้ประหยัดการใช้หน่วยความจำภายนอก



ภาพที่ 5.7 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2

การติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมที่อยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือโปรแกรมที่เก็บอยู่ภายนอกก็ได้ โดยมีจำนวนข้อมูลทั้งหมด 64 Kbytes การเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

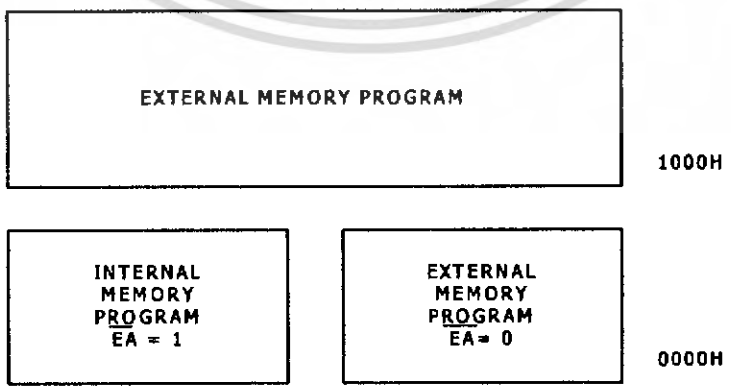
สามารถเลือกใช้งานได้ 2 ลักษณะ คือ เลือกใช้หน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีอยู่ 4 Kbytes รวมกับหน่วยความจำภายนอกอีก 60 Kbytes หรือเลือกใช้หน่วยความจำภายนอกทั้งหมด 64 Kbytes ก็ได้ดังแสดงในภาพที่ 5.7

5.2.1.2 สำหรับหน่วยความจำข้อมูล 1 กิโลไบต์นั้นแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

หน่วยความจำข้อมูลแรมส่วนล่าง 128 ไบต์ มีแอดเดรสอยู่ที่ 00H - 7FH สามารถเข้าถึงได้ทั้งแบบโดยตรงและแบบโดยอ้อม หน่วยความจำส่วนนี้เป็นพื้นทีของรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

หน่วยความจำข้อมูลแรมส่วนบน 128 ไบต์ มีแอดเดรสอยู่ที่ 80H - FFH เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษหรือ SFR (Special Function Register) สามารถเข้าถึงได้ ในขณะเดียวกันยังเป็นพื้นที่เก็บข้อมูลโดยสามรถเข้าถึงได้ทางอ้อมเท่านั้น ซึ่งหน่วยความจำในส่วนนี้มีลักษณะเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MSC-51 พื้นฐานทุกประการ

การจัดหน่วยความจำโปรแกรมได้จำนวนตำแหน่งของหน่วยความจำโปรแกรมทั้งหมด คือ 64 Kbytes (ตำแหน่ง 0000H ถึง FFFFH) หน่วยความจำโปรแกรมที่อยู่ในตัว MCS-51 มี 1 Kbytes (ตำแหน่ง 0000H ถึง 0FFFH) ในการใช้งานเรากำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายในหรือภายนอก ก็ได้โดยการควบคุมสัญญาณที่ขา EA (ExternalAccess) หากทำให้ EA เป็น "0" เป็นการใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอก การเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมจะทำได้เฉพาะหน่วยความจำโปรแกรมจะทำได้เฉพาะหน่วยความจำในตำแหน่ง 0000H – 0FFFH ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ซ้อนกันระหว่างความจำภายในกับหน่วยความจำภายนอกเท่านั้น หากโปรแกรมอยู่ในตำแหน่งที่เกินกว่า 0FFFH ขึ้นไปไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกอัตโนมัติไม่ว่าสัญญาณที่ขา EA จะมีค่าเป็น "0" หรือ "1" ก็ตาม การจัดหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ MCS-51 จะเป็นดังภาพที่ 5.8



ภาพที่ 5.8 การจัดพื้นที่หน่วยความจำโปรแกรมของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 หน่วยความจำข้อมูลภายใน (Internal Data Memory)

พื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายใน 128 ไบต์ ภายในที่ตำแหน่ง 00H - 7FH ยังสามารถแบ่งออกเป็นส่วนย่อยได้ ดังแสดงในภาพที่ 5.9

5.2.2.1 พื้นที่ในตำแหน่ง 00H - 1FH

จำนวน 32 ไบต์จะแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม เรียกว่า แบงค์ (Bank) ในแต่ละแบงค์มี 8 ตำแหน่ง ดังแสดงในภาพที่ 5.9 พื้นที่ในแต่ละแบงค์ถูกใช้เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้งานทั่วไป

5.2.2.2 พื้นที่ในตำแหน่ง 20H - 2FH

เป็นส่วนที่สามารถใช้งานในลักษณะไบต์หรือบิตได้ คือ เราสามารถอ้างตำแหน่งแบบบิตได้โดยตรง ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 128 บิต ตำแหน่งของบิต คือ 7FH การใช้การอ้างตำแหน่งแบบบิตจะทำให้การทำงานได้รวดเร็วขึ้น ซึ่งเป็นคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ที่ถูกออกแบบมาเพื่องานควบคุมโดยเฉพาะ ตำแหน่งต่างๆ ของแสดงใน ตารางที่ 5.5

ภาพที่ 5.9 การจัดแบ่งหน่วยความจำข้อมูลภายใน

ตารางที่ 5.5 ตำแหน่งของรีจิสเตอร์ R0-R7 ในแบงค์ต่างๆ

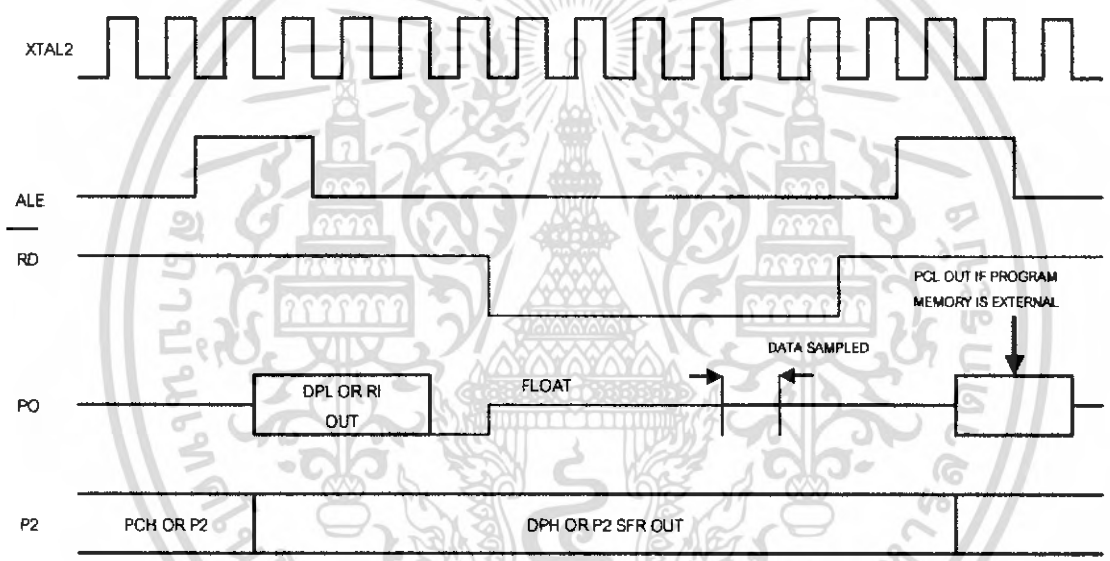
รีจิสเตอร์แบงค์	รีจิสเตอร์	ตำแหน่ง
0	R0 - R7	00 - 07
1	R0 - R7	08 - 0F
2	R0 - R7	10 - 17
3	R0 - R7	18 - 1F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกตำแหน่งที่ใช้งานของรีจิสเตอร์ R0 - R7 จะกำหนดจากบิต RS0 และ RS1 ที่อยู่ในตัวรีจิสเตอร์ PSW ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

5.2.3 หน่วยความจำข้อมูลภายนอก (External Data Memory)

ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ 64 Kbytes เพิ่มเติมจากหน่วยความจำข้อมูลที่อยู่ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเราจะต่อหน่วยความจำภายนอกเพิ่ม เมื่อเราต้องการใช้พื้นที่ในการเก็บข้อมูลในขณะที่โปรแกรมที่งานจำนวนมาก ตำแหน่งของหน่วยความจำข้อมูลภายนอกจะอยู่ที่ 0000H - FFFFH ในการใช้งานเราสามารถแบ่งส่วนหนึ่งของพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายนอก มาใช้เป็นพอร์ตอินพุตหรือพอร์ตเอาต์พุตก็ได้



ภาพที่ 5.10 ไดอะแกรมเวลาของการอ่านและบันทึกข้อมูลกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก

การต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก

การติดต่อรับส่งข้อมูลกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกสัญญาณต่างๆ ที่ใช้ติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกจะมี P0, P2, RD, WR โดยพอร์ต P0 จะเป็นสัญญาณตำแหน่งไบต์ต่ำหรือข้อมูล ส่วนพอร์ต P2 เป็นสัญญาณตำแหน่งไบต์สูงสัญญาณ RD เป็นสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วย ความจำข้อมูลภายนอกจะแอคทีฟเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วย ความจำภายนอก ซึ่งเป็นการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำข้อมูลในตำแหน่งที่กำหนดโดยรีจิสเตอร์ DPTR มาเก็บไว้ที่รีจิสเตอร์ A สัญญาณ WR เป็นสัญญาณควบคุมการบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำข้อมูลภายนอกจะแอคทีฟ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการบันทึก

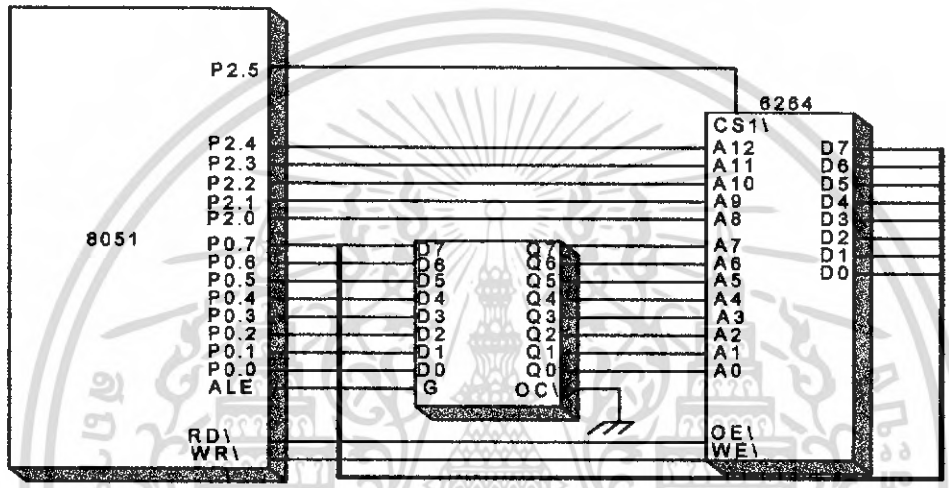
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลลงในหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ไดอะแกรมเวลาของการอ่านข้อมูลและบันทึกข้อมูลลงหน่วยความจำข้อมูลภายนอก แสดงดังภาพที่ 5.10

a) External Data Memory Read Cycle

b) External Data Memory Write Cycle

หน่วยความจำข้อมูลภายนอกที่เรานำมาใช้ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 นั้นส่วนใหญ่จะใช้ RAM แบบสแตติกเช่นเบอร์ 6264 ตัวอย่างการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก RAM 6264 แสดงดังภาพที่ 5.11



ภาพที่ 5.11 การต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับ RAM 6264

จากภาพที่ 5.11 สัญญาณ RD ของไมโครคอนโทรลเลอร์จะต่อกับขา OE ของ RAM และ WR จะต่อกับ WE ของ RAM สัญญาณกำหนดตำแหน่งของหน่วยความจำจะนำมาจากพอร์ต P0 และพอร์ต P2 สัญญาณข้อมูลจะนำมาจากพอร์ต P0 การต่อกับ RAM จะมีลักษณะคล้ายกับการต่อกับ EPROM หากต้องการต่อ RAM มากกว่า 1 ตัวใช้ไอซี 74LS138 เป็นตัวถอดรหัสตำแหน่งของ RAM แต่ละตัวเช่นเดียวกับการต่อกับ EPROM

5.2.4 ความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2

นอกจาก Philips จะทำการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช ในอนุกรมนี้ขึ้นเพื่อรองรับการโปรแกรมแบบ ISPและขนาดของหน่วยความจำแบบแฟลชที่สูงถึง 64 กิโลไบต์ แล้วยังได้พัฒนาเรื่องของความเร็วในการทำงานด้วย โดย P89C51RD2 ถูกกำหนดให้ทำงานได้เร็ว 6 ไซเกิลสัญญาณนาฬิกาภายในต่อ 1 แมชีนไซเกิล ซึ่งเรียกว่าเร็วกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มาตรฐาน 2 เท่า แต่ก็สามารถลดความเร็วให้เท่ากับแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานได้ด้วยการโปรแกรมแบบขนาน (Parallel programming) ซึ่งต้องใช้เครื่องโปรแกรมภายนอก อาทิ ALL- 11 ของ Hi-Lo Systems เป็นต้น แต่เมื่อลดความเร็วลงแล้วจะไม่สามารถเปลี่ยนกลับมาได้อีก นั่นคือ สามารถเปลี่ยนความเร็วได้เพียงครั้งเดียว

ในการทำงาน 1 รอบหรือ 1 แมชีนไซเกิล ซีพียูในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มาตราฐานใช้เวลา 12 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา นั่นคือที่สัญญาณนาฬิกา 12 MHz เวลาในการทำงาน 1 ไซเกิลมีค่าเท่ากับ 1 us หรือมีความเร็วในการทำงานภายใน 1 MHz ดังนั้นถ้าต้องการทราบความเร็วของการทำงานภายใน สามารถหาได้จากค่าความถี่สัญญาณนาฬิกาหารด้วย 12 และถ้าต้องการหาค่าเวลาของ 1 รอบการทำงานหรือ 1 แมชีนไซเกิล ทำได้โดการหาส่วนกลับของความเร็วในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่เนื่องจาก P89C51RD2 มีความเร็วกว่าปกติเป็น 2 เท่า จึงสามารถสรุปเป็นสูตรหาความเร็วในการทำงานใหม่ได้ดังนี้ ความเร็วในการทำงานภายใน = ความถี่สัญญาณนาฬิกา (ค่าคริสตอลที่ขา XTAL1 และ XTAL2) /6เวลาใน 1 แมชีนไซเกิล = 1 / ความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

5.3 ข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญของบัส I^2C

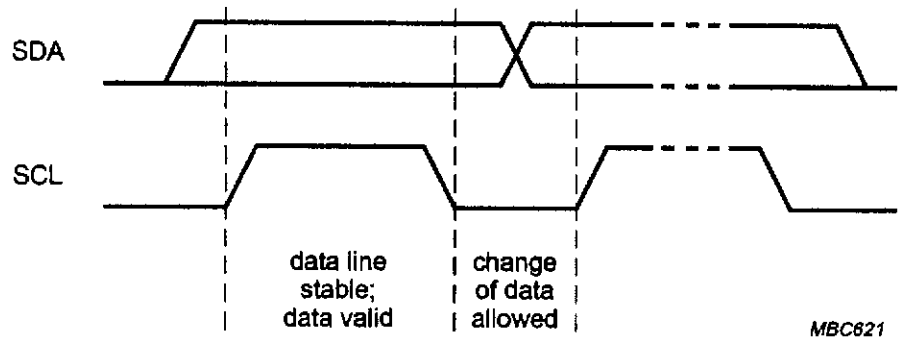
I^2C ย่อมาจาก Inter - IC Communication หมายถึงการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี การสื่อสารข้อมูลด้วยระบบ I^2C บัสเป็นอีกมิติหนึ่งของการสื่อสารด้วยจุมุ่งหมายหลักคือ ต้องการให้ไอซีหรือโมดูลสามารถติดต่อ สั่งงาน และควบคุมภายใต้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น โดยสายที่ใช้สื่อสารนี้ คือ SDA ซึ่งเป็นสายสัญญาณข้อมูล และ SCL ซึ่งเป็นสายสัญญาณนาฬิกาที่ใช้กำหนดจังหวะการทำงาน โดยสัญญาณทั้ง 2 เส้นนี้สามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์ได้มากกว่า 1 ตัว ซึ่งทำได้ง่ายเพียงต่อสายข้อมูลและสายสัญญาณนาฬิกาของอุปกรณ์แต่ละตัว ขนานหรือพ่วงกันไปซึ่งทำให้การใช้งานมีประสิทธิภาพ ส่วนการกำหนดแอดเดรสหรือตำแหน่งสำหรับติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัวจะใช้รหัสข้อมูล และการกำหนดสภาวะลอจิกที่ขาแอดเดรสของอุปกรณ์แต่ละตัว

คุณสมบัติทั่วไปคือสาย SDA หรือสายข้อมูลอนุกรม และสาย SCL ต้องมีการต่อตัวต้านทานฟูลอัปกับแรงดัน +5 v ไว้ตลอดเวลา เพื่อให้สายมีสถานะลอจิกสูงในขณะที่ไม่เกิดการติดต่อใช้งานทั้งยังช่วยในการป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจมีเข้ามาในสายสัญญาณทั้งสอง บัส I^2C มีอัตราการถ่ายทอดข้อมูลสูงถึง 100 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดปกติ และสูงถึง 400 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดความเร็วสูง อุปกรณ์ที่ต่อร่วมอยู่บนบัส I^2C จะต้องมีค่าความจุไฟฟ้ารวมที่เกิดขึ้นระหว่างสาย SDA และ SCL ไม่เกิน 400 pF การเข้าถึงอุปกรณ์บนบัส I^2C ใช้ข้อมูลสำหรับการเข้าถึง 2 ค่า คือ 7 บิต (7 - bit addressing) หรือ 10 บิต (10 - bit addressing)

- **Bit Transfer**

ข้อมูล 1 บิตจะถูกส่งออกไปด้วยช่วงเวลา 1 CLOCK โดยข้อมูลที่สาย SDA จะต้องคงที่ในขณะที่ CLOCK เป็นลอจิก 1

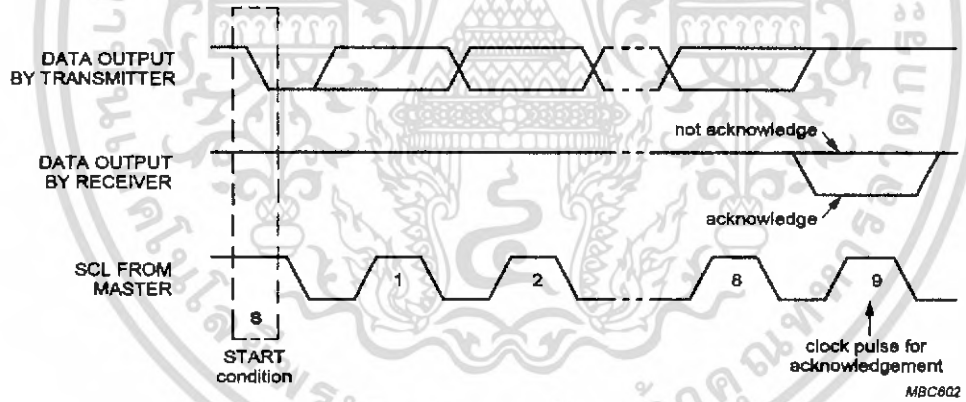
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.12 แสดง Timing Diagram ของ Bit Transfer

- **Start and Stop Conditions**

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



ภาพที่ 5.13 แสดง Timing Diagram ของ Start and Stop

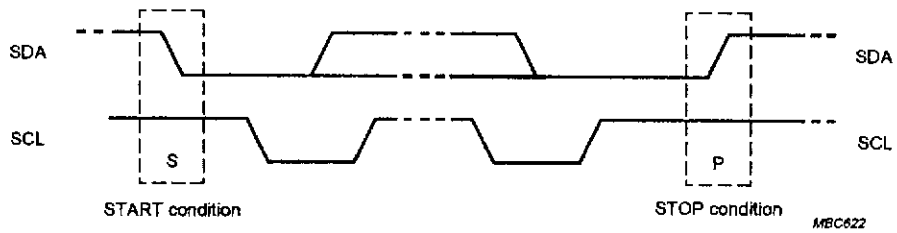
- **System configuration**

อุปกรณ์ที่ส่งข้อมูลเรียกว่า TRANSMITTER ส่วนอุปกรณ์ที่รับข้อมูลเรียกว่า RECEIVER และ อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมทิศทางการสื่อสารข้อมูลเรียกว่า MASTER และอุปกรณ์ที่ถูกควบคุมจาก MASTER เรียกว่า SLAVE

- **Acknowledge**

จำนวนไบต์ของข้อมูลที่ถูกส่งระหว่างตัวรับและตัวส่งมีได้ไม่จำกัด ซึ่งเมื่อส่งข้อมูลครบ 1 ไบต์จะต้องส่งบิท ACK ตามออกไป 1 บิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.14 แสดง Timing Diagram ของ Acknowledge

5.4 การเขียนโปรแกรม Visual Basic เพื่อติดต่อพอร์ตอนุกรมและ MSComm.

คอมพิวเตอร์ในรุ่น AT เกือบทั้งหมดใช้ไอซี UART เบอร์ 16450 และ 16550 ส่วนคอมพิวเตอร์ในรุ่น XT1 ใช้ไอซี UART เบอร์ 8250 ไอซี UART เหล่านี้มีแรงดันของลอจิกเป็นแบบทีทีแอล (+5V) แต่เพื่อให้แรงดันเป็นไปตามมาตรฐาน RS-232 และเพื่อให้การรับส่งข้อมูลเป็นไประยะไกลมากขึ้น ระดับแรงดันทีทีแอลจะถูกเปลี่ยนเป็นระดับแรงดันที่สูงขึ้น

ตารางที่ 5.6 แสดงการจัดขาสัญญาณของพอร์ตอนุกรม และหน้าที่การทำงานโดยลอจิก "0" จะมีระดับแรงดัน -3 V ถึง -12 V และ ลอจิก "1" จะมีระดับแรงดัน 3 V ถึง 12 V

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

การเขียนโปรแกรมด้วย Visual Basic เพื่อติดต่อพอร์ตอนุกรมและ MSComm คอนโทรล MSComm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการใช้งาน Visual Basic 1 ตั้งแต่เวอร์ชั่น 2 เป็นต้นมาใน Visual Basic จะมีคัสตอมคอนโทรลสำหรับการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์มาให้ โดยใน Visual Basic เวอร์ชั่น 2 และเวอร์ชั่น 3 จะใช้ชื่อว่า MSCOMM.VBX ส่วนเวอร์ชั่น 4 จะใช้ชื่อว่า MSCOMM16.OCX สำหรับการทำงานกับระบบปฏิบัติการ 32 บิต สำหรับใน Visual Basic เวอร์ชั่น 5 จะมีเพียง MSCOMM32.OCX เท่านั้น เพราะถูกออกแบบมาให้ใช้งานกับระบบ 32 บิต MSComm จัดเตรียมทางเลือกเอาไว้ 2 ทาง เพื่อความสะดวกในการสื่อสารข้อมูล ทางแรก คือ

การสื่อสารข้อมูลที่กระตุ้นด้วยเหตุการณ์ (Even-Driven Communications) เป็นรูปแบบการใช้งานที่มีประสิทธิภาพมากสำหรับการตอบสนองแบบทันทีทันใด เช่นเมื่อตัวอักษรถูกส่งมาที่พอร์ตอนุกรม หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ขา Data Carrier Detect: DCD หรือขา Request To Send : RTS เหตุการณ์ ONCOMMของ MSCOMM จะสามารถตรวจจับสัญญาณนั้นได้ทันที ซึ่งจะกล่าวถึงในรายละเอียดหัวข้อคุณสมบัติ CommEvent ต่อไป ส่วนทางเลือกที่สองเป็นการคอยตรวจสอบหาค่าเหตุการณ์ และความผิดพลาดที่เกิดขึ้นด้วยการดูค่าที่เปลี่ยนแปลงภายในคุณสมบัติ CommEvent หลังจากให้โปรแกรมทำงานตามฟังก์ชันต่างๆ ไปเรียบร้อยแล้ว ซึ่งวิธีนี้ใช้งานได้ดีในโปรแกรมที่มีขนาดเล็ก

คอนโทรล MSComm 1 ตัวสามารถควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมได้ 1 พอร์ต ถ้าในโปรแกรมที่ใช้งานต้องการติดต่อกับพอร์ตอนุกรมมากกว่า 1 พอร์ตจะต้องใช้คอนโทรล MSComm มากกว่า 1 ตัว เพื่อควบคุมพอร์ตอนุกรมในแต่ละพอร์ตแอดเดรสของพอร์ตอนุกรมและแอดเดรสของการอินเตอร์รัปต์สามารถเปลี่ยนแปลงได้จากการแก้ไขค่าที่ Control Panel

ถึงแม้ว่าคอนโทรล MSComm จะมีคุณสมบัติ (Property) มากมายหลายตัว แต่สามารถทำความเข้าใจได้ไม่ยาก ดังนี้

- **CommPort**

ใช้ในการกำหนดและอ่านค่าพอร์ตอนุกรมที่ติดอยู่ (COM1, COM2, COM3, COM4) รูปแบบการใช้งาน

object.CommPort = [value]

โดย Value เป็นค่าของพอร์ตอนุกรม ชนิดของข้อมูลเป็น Integer ค่า Value สามารถกำหนดได้ในช่าง 1 - 16 (ค่าเริ่มต้นไว้ที่ 1) เมื่อมีการกำหนดค่าแล้วทำการเปิดพอร์ตโดยใช้คุณสมบัติ PortOpen แต่ว่าพอร์ตนั้นไม่มีอยู่ในระบบ MSCOMM จะสร้างสัญญาณแสดงข้อผิดพลาด Error 68 ขึ้นมา ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ตัวนั้นไม่มีอยู่ในระบบ ดังนั้นการเขียนโปรแกรมจึงจำเป็นจะต้องกำหนดตำแหน่งของพอร์ตอนุกรมก่อนที่ใช้ คุณสมบัติ PortOpen

- **Setting**

ใช้ในการกำหนด และอ่านค่าอัตราบอด , พาริตี้ , จำนวนของบิตข้อมูล , จำนวนบิตปิดท้าย รูปแบบการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

object.Settings = [value]

ค่า Value มีชนิดข้อมูลเป็นแบบ String มีรูปแบบเป็น "BBBB,P,D,S" โดย BBBB เป็นอัตราบอด , P เป็น พาริตี้ , D เป็นจำนวนบิตข้อมูล และ S เป็นจำนวนบิตปิดท้าย โดยปกติแล้วค่านี้จะถูกกำหนดไว้เป็น "9600,N,8.1"

- **PortOpen**

ใช้ในการกำหนด และอ่านค่าสถานะของพอร์ตอนุกรม เพื่อเปิดและปิดพอร์ตอนุกรม

รูปแบบการใช้งาน

object.PortOpen = [value]

ค่า Value มีชนิดข้อมูลเป็นแบบบูลีน คือ True กับ False โดย True จะหมายถึง การเปิดพอร์ตอนุกรม และ False จะหมายถึง การปิดพอร์ตอนุกรม สำหรับการปิดพอร์ตนั้นจะมีการเคลียร์บัฟเฟอร์รับข้อมูลและบัฟเฟอร์ส่งข้อมูลด้วย คอนโทรล MSComm จะปิดพอร์ตอนุกรมโดยอัตโนมัติเมื่อออกจากโปรแกรม ก่อนที่จะใช้คุณสมบัติ PortOpen ต้องตรวจสอบให้แน่ใจก่อนว่าคุณสมบัติ PortOpen นั้นได้ทำการกำหนดตำแหน่งของพอร์ตอนุกรมไว้ถูกต้องหรือไม่ มิเช่นนั้น MSComm จะแสดงข้อผิดพลาด Error 68 แจ้งแก่ผู้ใช้

ถ้าคุณสมบัติ DRTTEnable หรือ RTSEnable จะถูกเซตเป็น False หลังจากปิดพอร์ต แต่ถ้าเซตเป็น False หลังจากปิดโปรแกรมแล้วค่าที่กำหนดไว้จะเป็นค่าเดิม

- **Input**

อ่านค่า และลบค่าขบวนข้อมูลจากบัฟเฟอร์ภาครับ

รูปแบบการใช้งาน

object.Input

คุณสมบัติ InputLen เป็นตัวกำหนดจำนวนตัวอักษรที่จะอ่านโดยคุณสมบัติ Input การกำหนดค่าให้ InputLen เท่ากับ 0 เป็นการกำหนดให้คุณสมบัติ Input ทำการอ่านข้อมูลในบัฟเฟอร์รับข้อมูลทั้งหมดและคุณสมบัติ InputMode เป็นตัวกำหนดชนิดของข้อมูลที่ คุณสมบัติ Input รับเข้ามา ถ้า InputMode ถูกกำหนดเป็น comInputModeText คุณสมบัติ Input จะส่งค่าข้อมูลกลับมาในรูปแบบของข้อความชนิดข้อมูลแบบเป็น Variant ถ้า InputMode กำหนดเป็น comInputModeBinary คุณสมบัติ Input จะส่งค่าข้อมูลกลับมาในรูปของไบนารี่ และข้อมูลเป็นแบบ Variant

- **Output**

ใช้ในการส่งขบวนของข้อมูลไปยังพัฟเฟอร์ส่งข้อมูล

รูปแบบการใช้งาน

object.Output = [value]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Value เป็นค่าของตัวอักษรที่เขียนไปยังบัฟเฟอร์ส่งข้อมูล คุณสมบัติ Output สามารถใช้ในการส่งข้อมูลตัวอักษรหรือข้อมูลไบนารี่ก็ได้ โดยการส่งข้อมูลเป็นรูปแบบตัวอักษรจะต้องกำหนดข้อมูลเป็นแบบ Variant และมีข้อมูลภายในเป็นแบบ String สำหรับการส่งข้อมูลไบนารี่ Variant จะมีข้อมูลภายในเป็นแบบ Byte

- **DTREnable**

ใช้ในการอีเนเบิลขา Data Terminal Read (DTR) โดยสัญญาณของขา DTR จะส่งจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพื่อแสดงว่าคอมพิวเตอร์พร้อมที่จะรับข้อมูลแล้ว ชนิดของข้อมูลเป็นแบบ Boolean รูปแบบการใช้งาน

object.DTREnable = [value]

เมื่อขา DTR ถูกกำหนดสถานะให้เป็น True ที่ขา DTR จะมีสถานะลอจิก "1" เมื่อทำการเปิดพอร์ตและจะมีสถานะเป็น "0" เมื่อมีการปิดพอร์ต เมื่อขา DTR ถูกกำหนดสถานะเป็น False ที่ขา DTR จะมีสถานะลอจิก "0" ตลอดเวลาไม่ว่าจะใช้คำสั่งเปิดหรือปิดพอร์ต

- **RTSEnable**

ใช้สำหรับอันนาเบิลขา Request To Send (RTS) โดยขา RTS จะเป็นสัญญาณที่ส่งจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพื่อขอร้องส่งข้อมูล ชนิดของข้อมูลเป็นแบบ Boolean
รูปแบบการใช้งาน

object.RTSEnable = [value]

ค่า Value เป็นค่าสถานะ True หรือ False เพื่ออินาเบิล หรือดิสเอเบิลขา RTS โดย

True หมายถึง อีนาเบิลขา RTS

False หมายถึง ดิสเอเบิลขา RTS (เป็นปกติ)

เมื่อขา RTSEnable ถูกกำหนดให้เป็น True ขา RTS จะมีสถานะลอจิก "1" เมื่อเปิดพอร์ตและมีสถานะลอจิก "0" เมื่อปิดพอร์ต

- **EOFEnable**

เป็นการกำหนดให้ MSComm รอสัญลักษณ์แสดงส่วนท้ายสุดของของไฟล์ (End of File: EOF) ระหว่างการรับอินพุตเข้ามา ถ้าพบสัญลักษณ์ EOF ภาคอินพุตจะหยุดรอรับข้อมูลและเหตุการณ์ OnComm จะถูกกระตุ้นให้ทำงาน คุณสมบัติ CommEvent จะมีค่าเท่ากับ 7 หรือ ComEvEOF รูปแบบการใช้งาน

object.EOFEnable = [value]

โดย Value เป็นค่าสถานะ True หรือ False เพื่ออีนาเบิล หรือดิสเอเบิลการทำงานของเหตุการณ์ Oncomm เมื่อตรวจพบสัญลักษณ์ EOF โดย

True หมายถึง เหตุการณ์ Oncomm จะถูกกระตุ้นให้ทำงานด้วย EOF

False หมายถึง เหตุการณ์ Oncomm จะไม่ถูกกระตุ้นให้ทำงานด้วย EOF (เป็นค่าปกติ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ EOFEnable กำหนดให้เป็น False ส่วนควบคุมจะไม่มีการตรวจสอบสัญลักษณ์

- **CTSHolding**

ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบการทำงานของขา Clear To Sent (CTS) ได้ว่ามีสัญลักษณ์ลอจิก "0" หรือ "1" โดยค่าที่อ่านจะเป็นบูลีน True และ False ถ้าค่า CTSHolding เป็น True ขา CTS จะมีสถานะลอจิกเป็น "1" ถ้าค่า CTSHolding เป็น False ขา CTS จะมีสถานะลอจิกเป็น "0" รูปแบบการใช้งาน

Object.CTSHolding

เมื่อขา CTS เป็นลอจิก "0" (CTSHolding = False) และเกิดไทม์เอาท์ คอนโทรล MSComm จะกำหนดให้คุณสมบัติ CommEvent มีค่าเป็น comEventCTSO (Clear To Send Timeout) และการกระตุ้นให้เกิดเหตุการณ์ Oncomm

- **เหตุการณ์ Oncomm**

เหตุการณ์ Oncomm จะถูกสร้างขึ้นเมื่อค่าของคุณสมบัติ CommEvent มีการเปลี่ยนแปลง เพื่อแสดงผลการเปลี่ยนแปลงเหล่านั้นแบบทันทีทันใด หรือแสดงข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น

- **การใช้ MSComm เพื่อการติดต่ออาร์ดแวร์**

จากรายละเอียดของ MSComm ที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น จะเห็นได้ว่าวิธีการอ่านค่าหรือ เขียนค่าไปยังขาสถานะและขาควบคุมของพอร์ตอนุกรมสามารถทำได้ง่าย โดยใช้คำสั่งดังนี้

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

5.5 การเชื่อมต่อสัญญาณผ่านพอร์ตอนุกรม

วงจรขยายแบบอินสตรูเมนท์แบบพื้นฐาน (Basic instrumentation Amplifier) ค่าแรงดันเอาท์พุท V_0 จะขึ้นอยู่กับผลต่างของแรงดันอินพุท V_1 และ V_2 ถ้าแรงดันอินพุท V_1 และ V_2มีค่าเท่ากัน จะได้ค่าแรงดันเอาท์พุท V_0 จะเท่ากับศูนย์ จะเรียกสัญญาณแรงดันอินพุท V_1และ V_2นี้ว่าสัญญาณร่วม(Common Mode Voltage) ความต้านทาน R_2 และ R_1 แต่ละคู่ในวงจรจะต้องมีค่าสมนัยกันมาก เพื่อที่จะให้อัตราขยายของวงจรต่อสัญญาณร่วมเท่ากับศูนย์จากวงจร ความต้านทานอินพุทของวงจนมีค่าที่ไม่สูง ซึ่งจะเป็นผลให้สัญญาณที่ส่งมาจากตัวตรวจวัด (Sensor) ผิดพลาดได้ เนื่องจากตัวตรวจวัดจะมีความต้านทานเอาท์พุทที่สูง เป็นวงจรขยายความแตกต่างที่เพิ่มวงจรตามศักดาหรือวงจรบัฟเฟอร์ (buffer) เข้ามายังส่วนหน้า วงจรนี้จะเรียกว่าวงจรขยายแบบอินสตรูเมนท์แบบพื้นฐาน (Basic Instrumentation Amplifier) วงจรจะกระทำได้โดยการแปรค่าความต้านทาน R_2 ทั้ง 2 ตัวในวงจร ซึ่งการแปรค่าความต้านทาน R_2 อาจจะมีผลทำให้อัตราการขยายร่วมของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าไม่เป็นศูนย์ จึงได้มีการปรับปรุงวงจรขึ้นใหม่แสดง การแปรค่าอัตราขยายของวงจรจะแปรค่าความต้านทาน R_2 เพียงค่าเดียวโดยค่าอัตราการขยายของวงจรจะมีค่าเท่ากับ

$$V_0=(1+ 2R_1/R_2)(V_2-V_1)$$

5.6 ADC &DAC (PCF8591)

ในที่นี้เราจะมาศึกษาADC (Analog to Digital) & DAC (Digital to Analog) ซึ่งเราใช้เบอร์ PCF8591 ซึ่งเป็นเบอร์ที่มีทั้งADC 4 ช่องและ DAC 1 ช่อง ขนาด 8 บิท ในตัวเดียวกัน ซึ่งราคาเมื่อเทียบกับเบอร์อื่นก็ถือว่าอยู่ในราคาที่ถูก อีกทั้งเบอร์นี้จะใช้การติดต่อสื่อสารแบบ I^2C เราก็จะได้เรียนรู้เกี่ยวกับเรื่องนี้ด้วย เพราะฉะนั้นในชั้นนี้เราจงได้ใช้เบอร์นี้ในการสอน ซึ่งเราสามารถนำความรู้จากบทนี้ไปประยุกต์งานต่างๆ มากมาย ส่วนใหญ่เราจะเอาไปใช้กับพวกเซนเซอร์ต่างๆ เช่น การวัดอุณหภูมิ หรือสามารถไปควบคุมอุปกรณ์ Analog

- **ลักษณะการจัดขาใช้งานของ PCF8591**

ก. คุณสมบัติทั่วไปของ PCF8591

- ใช้แหล่งจ่ายไฟแบบเดี่ยวตั้งแต่ 2.5 - 6 V
- กินกระแสเพียง 15 uA ขณะ Standby
- อินพุท/เอาท์พุท อินเตอร์เฟสแบบอนุกรม I^2C บัส
- สามารถกำหนด Address ของอุปกรณ์ได้ 8 ตำแหน่ง
- มีอินพุท Analog to Digital จำนวน 4 ตัว
- ย่านแรงดันอินพุทอนาลอกอินพุทจาก Vss - Vdd

ข. หน้าที่ของขาต่างๆของ PCF8591

- AINO-3 เป็นขาที่ทำหน้าที่ เป็นอินพุทรับสัญญาณ Analog
- AO-A2 เป็นขาAdddress ของ PCF8591
- SDA เป็นอินพุท/เอาท์พุท แบบ I^2C
- SCL เป็นขาที่รับสัญญาณ Clock แบบ I^2C
- OSC เป็นขาที่เป็นเอาท์พุทและอินพุทของ สัญญาณนาฬิกา
- EXT สวิทเลือกให้ OSC ให้เป็นอินพุท / เอาท์พุท
- AGND เป็นGround ของสัญญาณAnalog
- Vref เป็นแรงดันอ้างอิงของสัญญาณ Analog
- AOUT เป็นเอาท์พุทของสัญญาณ Digital to Analog
- VDD-GND ไฟเลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. การสื่อสารข้อมูลแบบ I^2C

เนื่องจาก PCF8591 ใช้รูปแบบการสื่อสารแบบ I^2C ผ่านขาSDA และ SCL เราจึงต้องมาศึกษาลักษณะของสัญญาณของ I^2C ให้เข้าใจก่อน ก่อนที่จะส่งข้อมูลไปให้ PCF8591

ง. สัญญาณมาตรฐานของ I^2C ส่วนประกอบต่างๆของสัญญาณ

- Start : เป็นส่วนเริ่มต้นของการส่งสัญญาณ ใช้สัญลักษณ์เป็นตัว S
- การส่งข้อมูล : ส่วนนี้เราจะส่งข้อมูลหรืออ่านข้อมูล โดยขาSCL จะเป็นสัญญาณนาฬิกาและขา SDA จะเป็น Data
- Acknowladge : ส่วนนี้จะเป็นส่วนของการตอบรับสัญญาณ เพื่อให้ตัวที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่ง รับรู้ว่าตัวรับสามารถรับข้อมูลได้ให้ส่งข้อมูลตัวถัดไปได้ จากตัวที่รับข้อมูล หมายความว่า ถ้า MCU เป็นตัวส่งข้อมูลไปให้ PCF8591 ก็จะส่งสัญญาณ Acknowladge "0" ไปให้MCU แต่ถ้าMCU ทำหน้าที่อ่านข้อมูลจากPCF8591 ทุกๆ 1 ไบท์MCU จะส่งสัญญาณ Acknowladge "0" ไปให้ PCF8591 เช่นกัน

***** ในกรณีที่เราหยุดการอ่านข้อมูลจาก A to D ให้เราส่งสัญญาณ Acknowladge "1" ใช้สัญลักษณ์ A

- Stop : เป็นส่วนของการสิ้นสุดของการส่งสัญญาณ ใช้สัญลักษณ์เป็นตัว P

- **รูปแบบสัญญาณการส่งข้อมูลของ PCF8591**

จากรูปข้างบนเป็นรูปแบบการส่งสัญญาณของ PCF8591 ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

ก. Address Byte

Address Byte จะเป็นไบท์แรกที่จะส่งไปให้ PCF8591 โดย 4 บิทบนจะเป็นหมายเลขประจำของ PCF8591 นั้นคือ "1001" ส่วน A2 - A0 เป็น Address ของ PCF8591 ซึ่งค่าที่เราจะส่งไปให้จะต้องให้ตรงกับลอจิกที่ขา A2 - A0 ของ PCF8591 ด้วยเหตุนี้เราจึงสมารถต่อ PCF8591 พ่วงกันได้ถึง 8 ตัว ส่วนบิต R / W เป็นตัวบอกว่าต้องการเขียนหรืออ่านข้อมูลจาก PCF8591 โดยถ้าเราต้องการเขียนข้อมูลไปยังวงจร Digital to Analog บิตนี้จะต้องเป็น "0" และถ้าเราต้องการอ่านข้อมูลจากวงจรAnalog to Digitalบิตนี้จะต้องเป็น "1"

ข. Data Byte

ไบท์ที่ 3 นี้จะเป็นการอ่าน หรือ เขียนขึ้นอยู่กับบิต R / W ของ Address Byte ถ้าเป็นการแปลง A to D ก็คือการอ่านค่าจากการแปลงของ A to D แต่ถ้าเป็นการแปลง D to A ก็คือการเขียนค่าเข้าไปนั้นเอง เพราะฉะนั้น Data byte จะอ่านหรือจะเขียนก็ขึ้นอยู่ว่าเราต้องการติดต่อกับ A to D หรือ D to A

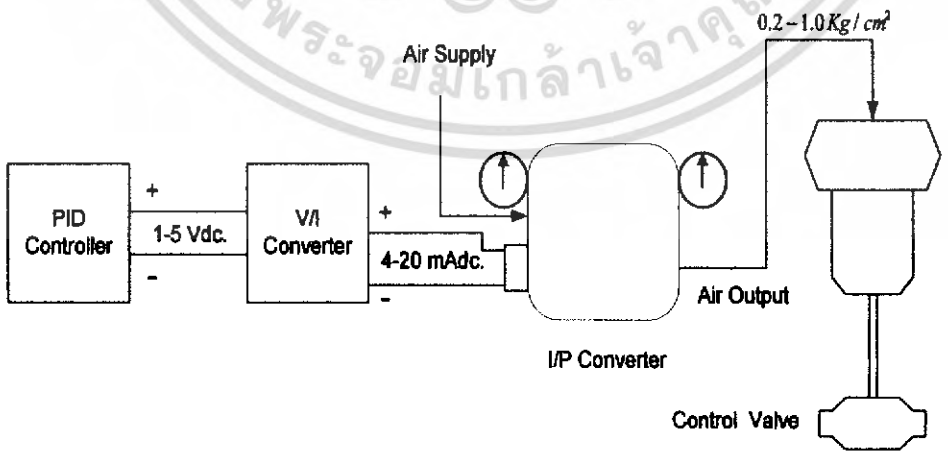
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 วงจร V-to-I Converter และ I-to-V Converter

สัญญาณมาตรฐานที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการต่างๆ ในอุตสาหกรรมอาจแบ่งได้ 3 ประเภท คือสัญญาณลม (Pneumatic) อิเล็กทรอนิกส์ (Electronics) และสัญญาณดิจิตอล (Digital) โดยขนาดของสัญญาณลมมาตรฐานที่ใช้กับอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบควบคุมปัจจุบัน คือ สัญญาณลมมาตรฐาน 0.2 - 1.0 Kg/cm^2 หรือ 3 - 15 psig และที่พบน้อยมาก คือ 6 - 30 psig และ 3-27 psig ขณะที่สัญญาณมาตรฐานอิเล็กทรอนิกส์มี 2 แบบ คือ สัญญาณแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน 1 - 5 Vdc และที่พบน้อยมากคือ 0 - 10 Vdc และสัญญาณกระแสไฟฟ้ามาตรฐาน 4 - 20 mAdc และที่พบน้อยมาก คือ 10 - 50 mAdc สำหรับสัญญาณมาตรฐานดิจิตอล ปัจจุบันยังอยู่ในขั้นตอนการตกลง ดังนั้นการนำอุปกรณ์ดังกล่าวต่างๆ ไปทำงานร่วมกัน จำเป็นต้องมีการแปลงสัญญาณเสียก่อน ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวเพียงการแปลงสัญญาณมาตรฐานอิเล็กทรอนิกส์เสียก่อนเท่านั้น

5.7.1 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า (Voltage to Current Converter Circuit)

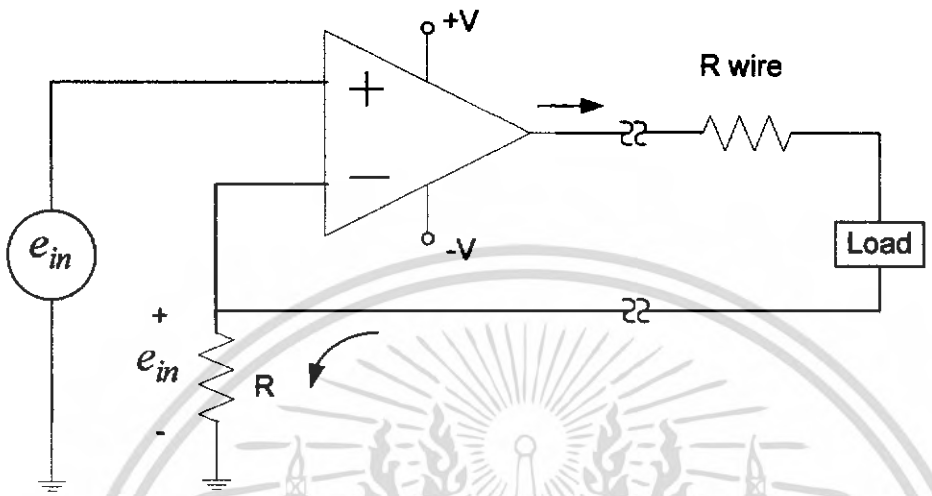
เป็นวงจรที่สำคัญวงจรหนึ่งที่ใช้ในระบบควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม ทั้งนี้เนื่องจากบางครั้งตัวส่งสัญญาณในระบบ ให้สัญญาณเอาท์พุทเป็นแรงดันไฟฟ้าแต่จำเป็นต้องส่งไปเป็นระยะทางไกลจึงต้องส่งเป็นกระแสไฟฟ้า หรืออุปกรณ์ตัวรับต้องการอินพุทเป็นกระแสไฟฟ้า ตัวอย่างเช่นการต่อตัวควบคุม PID (PID Controller) ที่มีสัญญาณเอาท์พุทเป็นแรงดันไฟฟ้า มาตรฐาน 1-5 Vdc กับตัวแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้า (Current-to-Pneumatic Converter, I/P Converter) 4-20 mAdc เป็นสัญญาณลม 0.2-2.0 Kg/cm^2 เพื่อนำสัญญาณลมไปควบคุมวาล์วควบคุม (Control Valve) ดังภาพที่ 5.15



ภาพที่ 5.15 แสดงความจำเป็นของการแปลงสัญญาณกระแสเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้ามีหลายรูปแบบ และปัจจุบันมีไอซีสำเร็จรูปสำหรับวงจรนี้ วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าแบบง่ายๆ แสดงดังรูป



ภาพที่ 5.16 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าแบบง่ายๆ

ภาพที่ 5.16 เป็นการประยุกต์ใช้วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplier) ซึ่งจากหลักการของวงจรนี้ แรงดัน $V_A = V_R = e_{in}$ ดังนั้น

$$i_o = \frac{V_R}{R} = \frac{V_A}{R} = \frac{e_{in}}{R}$$

ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการแปลงแรงดันไฟฟ้าอินพุทย่าน e_{in} = 1 - 5 Vdc เป็นกระแสไฟฟ้า i_o = 4-20 mAdc สามารถทำได้ดังนี้

ที่ e_{in} = 1 V กระแสเอาท์พุทเป็น i_o = 4 mA จะได้

$$4 \times 10^{-3} A = \frac{1V}{R}$$

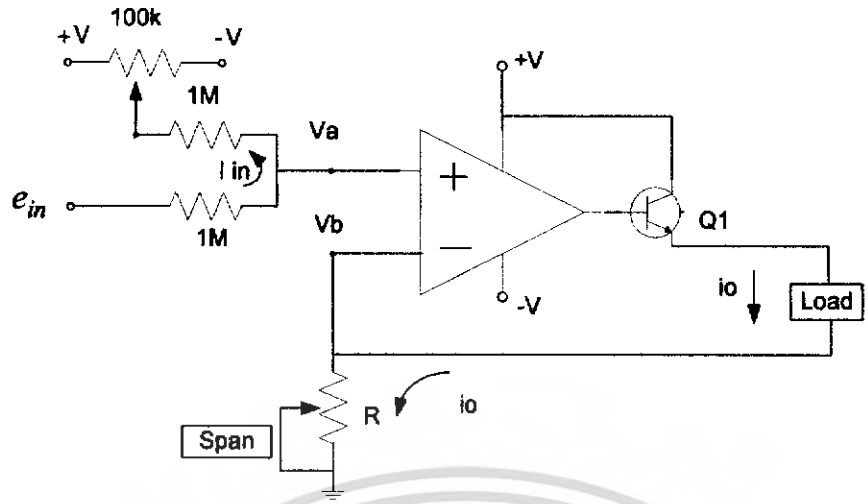
$$\therefore \qquad R = 250\Omega$$

และที่ e_{in} = 5V จะได้กระแสเอาท์พุทเป็น

$$i_o = \frac{5V}{250\Omega} = 20mA$$

อย่างไรก็ตามเนื่องจากการขับกระแสด้วยออปแอมป์มีขีดจำกัด อีกทั้งวงจรตัวอย่าง การกำหนดย่านการแปลงขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน จึงได้นำทรานซิสเตอร์มาช่วยขับกระแสดังภาพที่ 5.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.17 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่สามารถปรับแต่งย่านการแปลงได้

จากรูป ตามหลักการของวงจรนี้ แรงดัน $V_A = V_B = V_R$ ดังนั้น

$$i_o = \frac{V_A}{R} = \frac{V_B}{R} = \frac{V_R}{R}$$

และแรงดันในลูปบน คือ

$$e_{in} - i_{in}(1M\Omega) - i_{in}(M\Omega) - e_{ref} = 0$$

ดังนั้น

$$i_{in} = \frac{e_{in} - e_{ref}}{2M\Omega}$$

และแรงดันลูปล่าง

$$e_{in} - i_{in}(1M\Omega) - V_A = 0$$

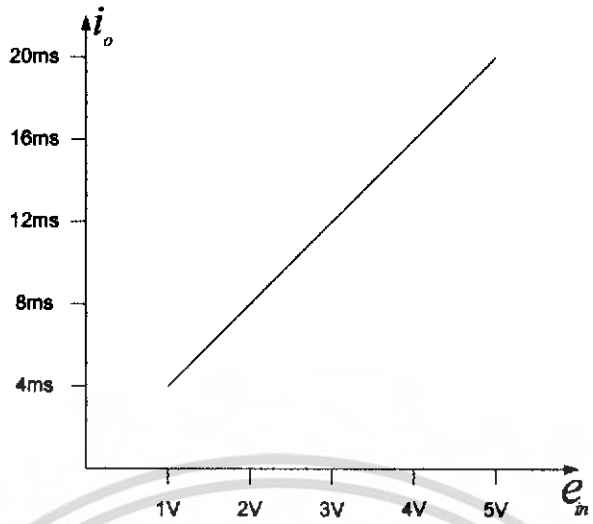
$$V_A = e_{in} - \frac{e_{in} - e_{ref}}{2M\Omega}(1M\Omega) = \frac{e_{in} + e_{ref}}{2}$$

นั่นคือ

$$i_o = \frac{e_{in} + e_{ref}}{2R}$$

จากสมการกระแสเอาท์พุทขึ้นอยู่กับค่าแรงดันอินพุท แรงดันอ้างอิงและค่าความต้านทาน ตัวอย่าง เช่น ถ้าต้องการแปลงแรงดันแรงดันไฟฟ้าอินพุทย่าน e_{in} =1 - 5 Vdc เป็นกระแสไฟฟ้า i_o = 4 - 20 mAdc ตามกราฟภาพที่ 5.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณแรงดันอินพุทและกระแสไฟฟ้าเอาท์พุท

การคำนวณสามารถทำได้ดังนี้

ที่ $e_{in} = 1\text{V}$ กระแสเอาท์พุทเป็น $i_o = 4\text{ mA}$

$$4\times10^{-3}A = \frac{1+e_{ref}}{2R}$$

$$\therefore \quad e_{ref} = 8\times10^{-3}R - 1 \qquad (1)$$

และที่ $e_{in} = 5\text{V}$ กระแสเอาท์พุทเป็น $i_o = 20\text{ mA}$ จะได้

$$20\times10^{-3}A = \frac{5+e_{ref}}{2R}$$

$$\therefore \quad e_{ref} = 40\times10^{-3}R - 5 \qquad (2)$$

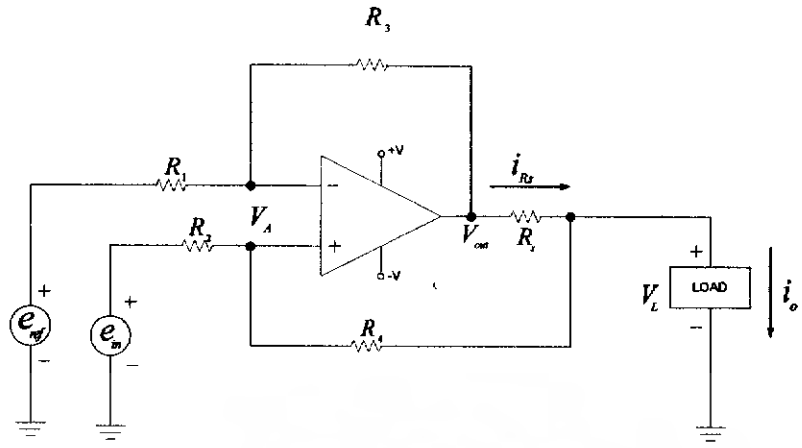
จาก (1) และ (2) จะได้

และ

$$e_{ref} = 8\times10^{-3}\times125 - 1 = 0$$

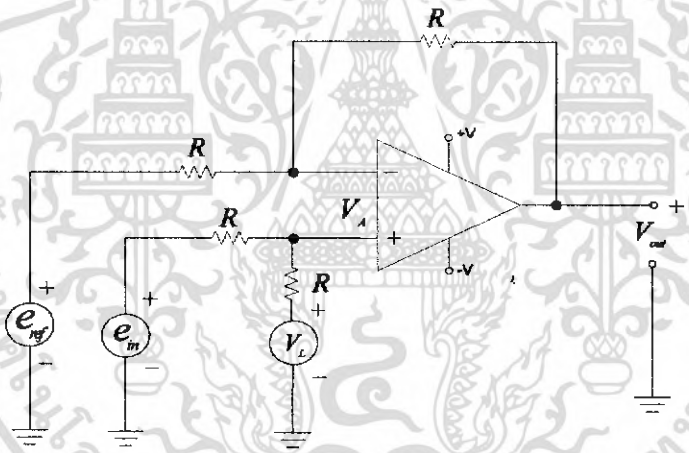
อย่างไรก็ตามวงจรในภาพที่ 5.18 จะเห็นว่ากระแสเอาท์พุท i_o จะไหลผ่านโหลดและตัวต้านทาน R ลงกราวด์ ซึ่งเรียกการต่อโหลดลักษณะนี้ว่า "โหลดลอย" ถ้าต้องการให้กระแสเอาท์พุทไหลผ่านโหลดแล้วลงกราวด์โดยไม่ผ่านตัวต้านทานก็สามารถทำได้โดยใช้วงจรดังภาพที่ 5.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.19 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า แบบต่อโหลดลงกราวด์

จากรูปถ้า $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ เราสามารถคำนวณแรงดันเอาท์พุทของวงจรได้โดยใช้ทฤษฎีการวางซ้อน (Superposition) ดังภาพที่ 5.20



ภาพที่ 5.20 แสดงวงจรสำหรับการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีการวางซ้อน

จากภาพที่ 5.20 เมื่อใช้การวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีการวางซ้อนจะได้

$$V_{out1} = -e_{ref}$$

$$V_{out2} = (1 + \frac{R}{R})V_A$$

ซึ่ง

$$V_A = (\frac{e_{in} - V_L}{2R})R + V_L$$

ดังนั้น

$$V_{out2} = 2V_A = 2\left[(\frac{e_{in} - V_L}{2R})R + V_L\right] = e_{in} + V_L$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ $$V_{out} = V_{out1} + V_{out2} = V_L + e_{in} - e_{ref}$$

และจากรูป $$V_{RS} = V_{out} - V_L = V_L + e_{in} - e_{ref} - V_L = e_{in} - e_{ref}$$

ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่าน R_s ซึ่งก็มีค่าเท่ากับกระแสเอาท์พุท คือ

$$i_{rs} = i_o = \frac{V_{RS}}{R_S} = \frac{e_{in} - e_{ref}}{R_S}$$

จากสมการจะเห็นว่ากระแสเอาท์พุทขึ้นอยู่กับค่าแรงดันอินพุท แรงดันอ้างอิงและค่าความต้านทาน R_s ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการแปลงแรงดันไฟฟ้าอินพุทย่าน e_{in} =1-5 Vdc เป็นกระแสไฟฟ้า i_o = 4 - 20 mA จะได้

$$4\times10^{-3} A = \frac{1 - e_{ref}}{R_s}$$

$$\therefore \quad e_{ref} = 1 - 4\times10^{-3} R_S \qquad (3)$$

และที่ e_{in} = 5 V กระแสเอาท์พุทเป็น i_o = 20 mA จะได้

$$20\times10^{-3} A = \frac{5 - e_{ref}}{R_s}$$

$$\therefore \quad e_{ref} = 5 - 20\times10^{-3} R_s \qquad (4)$$

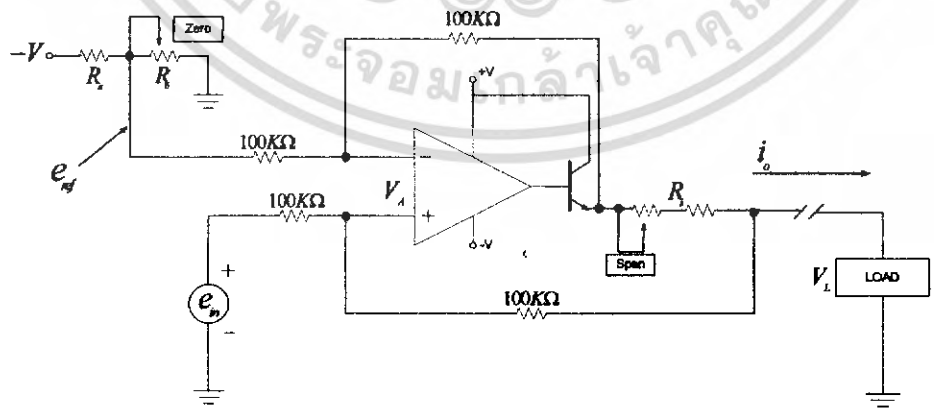
จาก (3) และ (4) จะได้

$$R_s = \frac{4}{16\times10^{-3}} = 250\Omega$$

และ

$$e_{ref} = 1 - 4\times10^{-3} \times 150 = 0$$

ถ้าต้องการปรับย่านการแปลงและให้วงจรสามารถขับกระแสได้มากขึ้นสามารถทำได้โดยต่อทรานซิสเตอร์เข้าไปดังตัวอย่างในภาพที่ 5.21

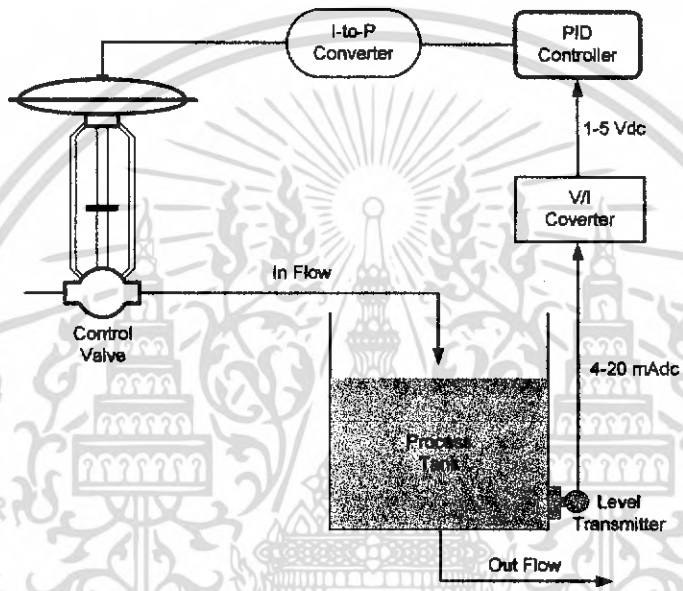


ภาพที่ 5.21 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่สามารถปรับแต่งย่านการแปลงได้แบบต่อโหลดลงกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

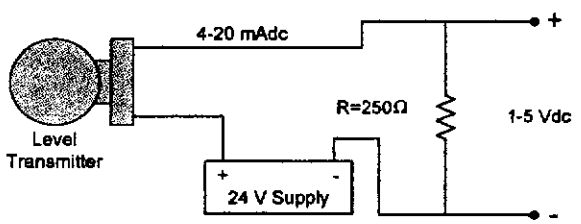
5.7.2 วงจรแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (Current to Voltage Converter Circuit)

มีอุปกรณ์หลายชนิดในระบบควบคุมที่รับสัญญาณอินพุทเป็นแรงดันไฟฟ้า แต่บางครั้งสัญญาณที่ส่งมาเป็นกระแสไฟฟ้าดังนั้นจึงต้องทำการแปลงสัญญาณให้เป็นแรงดันก่อนด้วยวงจรแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า ตัวอย่างเช่นการต่อเครื่องวัดระดับน้ำ (Level Transmitter) จากถังน้ำที่มีสัญญาณเอาท์พุทเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า 4 - 20 mAdc กับตัวควบคุม PID ที่รับสัญญาณอินพุทเป็นแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน 1 - 5 Vdc ดังภาพที่ 5.22



ภาพที่ 5.22 แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้วงจรแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า

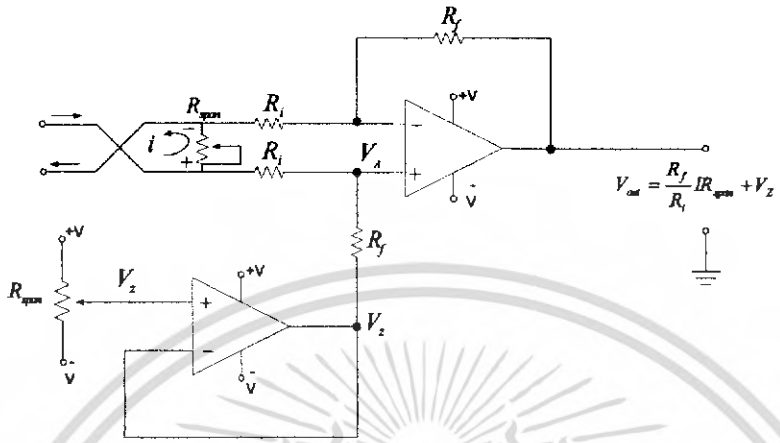
วงจรแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้ามีหลายรูปแบบเช่นเดียวกัน ซึ่งอาจจะใช้การแปลงง่ายๆ โดยใช้ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้าผ่านค่าความต้านทาน (V = iR) เช่นดังภาพที่ 5.23 เป็นการแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้า 4 – 20 mAdc เป็นแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน 1 - 5 Vdc โดยใช้ตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทาน 250 Ω



ภาพที่ 5.23 วงจรแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้า 4 – 20 mAdc เป็นแรงดันไฟฟ้า 1 - 5 Vdc แบบง่ายๆ

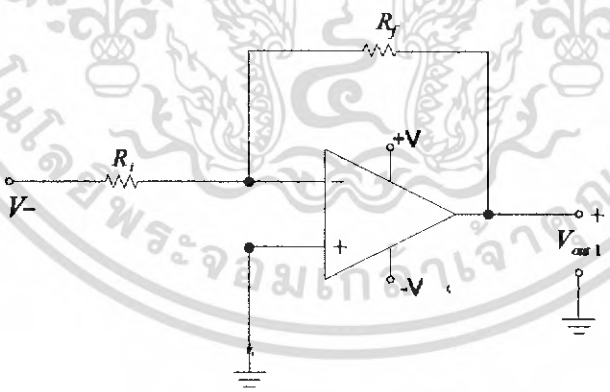
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามแบบนี้ไม่นิยมใช้ เนื่องจากเป็นการลือกย่านวัดและมีความยุ่งยากถ้าต้องการเปลี่ยนย่านการแปลงเพราะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน จึงต้องใช้วงจรอื่นที่ให้ความยืดหยุ่นดีกว่าเช่น วงจรดังภาพที่ 5.24



ภาพที่ 5.24 แสดงตัวอย่างวงจรแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้าแบบปรับย่านการ แปลได้

จากรูปกระแสอินพุทจะถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันอินพุทของวงจร โดย R_{span} และ R_{span} / R_i เพื่อป้องกันกระแสไหลเข้าวงจรลงกราวด์ การคำนวณหาแรงดันเอาท์พุทของวงจรนี้ทำได้โดยใช้ทฤษฎีการวางซ้อน ซึ่งสามารถแยกวงจรออกได้ 2 วงจรดัง ภาพที่ 5.25 และภาพที่ 5.26



ภาพที่ 5.25 แสดงวงจรสำหรับวิเคราะห์หาแรงดันเอาท์พุท V_{out1} ของวงจรภาพที่ 5.24

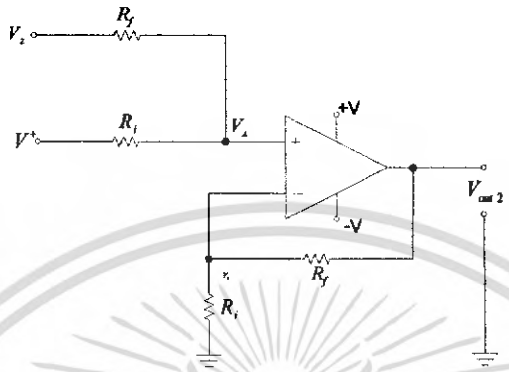
จากภาพที่ 5.25 เป็นวงจรขยายวงจรแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier) ดังนั้นแรงดันเอาท์พุทของวงจรนี้ คือ

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R_i} V^-$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 5.26 เป็นวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier) ดังนั้นเอาท์พุทของวงจรนี้ คือ

$$V_{out2} = (1 + \frac{R_f}{R_i})V_A$$



ภาพที่ 5.26 แสดงวงจรสำหรับวิเคราะห์หาแรงดันเอาท์พุท V_{out2} ของวงจรภาพที่ 5.24

ซึ่งจากรูป

$$V_A = (V^+ - V_z)\frac{R_f}{R_i + R_f} + V_z = \frac{V^+R_f + V_zR_i}{R_i + R_f}$$

ดังนั้น

$$V_{out2} = (1 + \frac{R_f}{R_i})\frac{(V^+R_f + V_zR_i)}{R_i + R_f} = \frac{R_f}{R_i}V^+ + V_z$$

และ $V_{out} = V_{out1} + V_{out2}$

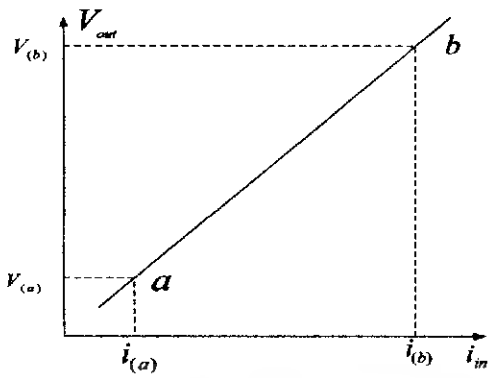
$$V_{out} = \frac{R_f}{R_i}V^+ + V_z - \frac{R_f}{R_i}(V^+ - V^-) + V_z$$

แต่เนื่องจาก $(V^+ - V^-) = R_{span}i$ นั่นคือ

$$V_{out} = \frac{R_f}{R_i}R_{span}i + V_z$$

จากสมการข้างบนจะเห็นว่าแรงดันเอาท์พุทของวงจรขึ้นอยู่กับแรงดันอินพุท ($e = R_{span}i$) อัตราส่วน $\frac{R_f}{R_i}$ และแรงดันออฟเซ็ต V_z จากสมการถ้าต้องการแปลงกระแสให้เป็นแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทให้มีความสัมพันธ์ ตามกราฟภาพที่ 5.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกระแสไฟฟ้าอินพุทและแรงดันเอาท์พุท

ที่จุด a จะได้

$$V(a) = \frac{R_f}{R_i} R_{span} i(a) + V_z \tag{5}$$

และที่จุด b จะได้

$$V(b) = \frac{R_f}{R_i} R_{span} i(b) + V_z \tag{6}$$

จาก (5) และ (6)

$$V(b) - V(a) = \frac{R_f}{R_i} R_{span} i(b) - \frac{R_f}{R_i} R_{span} i(a)$$

$$= \frac{R_f}{R_i} R_{span} [i(b) - i(a)]$$

ดังนั้น

$$R_{span} = \frac{V(b) - V(a)}{\frac{R_f}{R_i}[i(b) - i(a)]}$$

และ $$V_z = V(a) - \frac{R_f}{R_i} R_{span} i(a)$$

หรือ $$V_z = V(b) - \frac{R_f}{R_i} R_{span} i(b)$$

ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการแปลงอินพุทย่าน i_{in} = 4 – 20 mAdc เป็นแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุท V_{out} = 1 – 5 Vdc สามารถทำได้ดังนี้

$$i(a) = 4mA \qquad V(a) = 1V$$

$$i(b) = 4mA \qquad V(b) = 5V$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเลือก $R_f / R_i = 10$

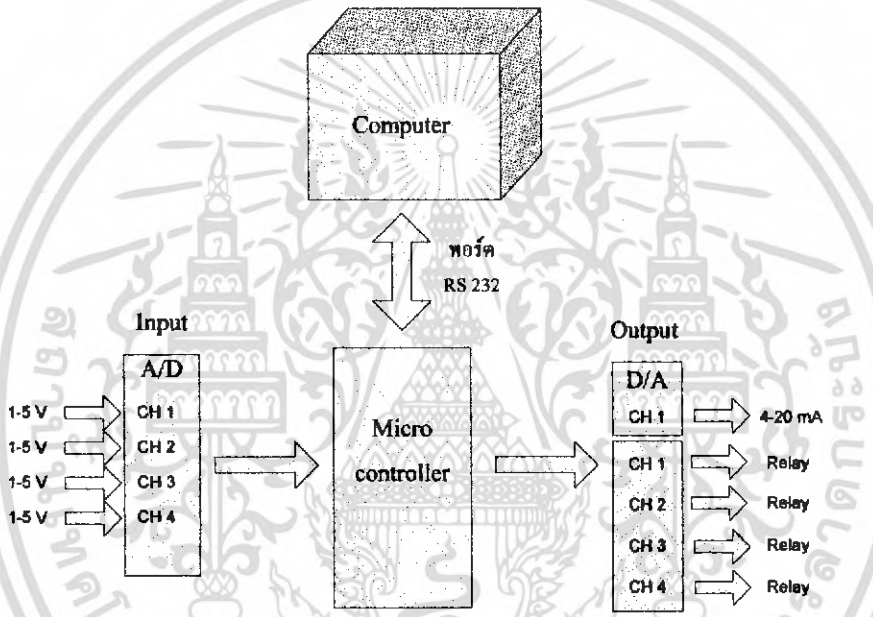
$$R_{span} = \frac{5V - 1V}{10[20mA - 4mA]} = 25\Omega$$

จาก R_{span} □ R_i ดังนั้นเลือก $R_i = 10k\Omega$ จะได้

$$R_f = 10R_i = 10 \times 10 \times 10^3 = 100k\Omega$$

และ $$V_z = 1V - \frac{100k\Omega}{10k\Omega} \times 25\Omega \times 4 \times 10^{-3} A = 0V$$

5.8 โครงสร้างชุด Controller



ภาพที่ 5.28 โครงสร้างชุด Controller

หลักการทำงานโดยรวม

ในส่วนของ Controller มีการทำงานหลักๆ แบ่งเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ

- ส่วนอินพุต

โดยในส่วนของอินพุต จะมีการรับสัญญาณอนาลอกเข้ามา โดยสัญญาณที่เข้ามาจะเป็นแรงดันมาตรฐานมีแรงดัน 1-5 v แล้วจะทำการแปลงสัญญาณเป็นดิจิตอล เพื่อนำไปประมวลผลที่ตัว Controller ต่อไป

- ส่วนเอาท์พุต

ในส่วนที่เป็นเอาท์พุต ก็จะมีแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ส่งสัญญาณมาตรฐานออกมาเป็น 4-20 mA ซึ่งสัญญาณที่ออกมาจาก Controller จะเป็นสัญญาณที่เป็นดิจิตลก่อนที่จะแปลงออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสัญญาณ 4-20 mA และส่วนที่เป็น Relay โดยจะส่งสัญญาณเป็น On-Off หรือ 0-1 เพื่อนำไปควบคุม Process

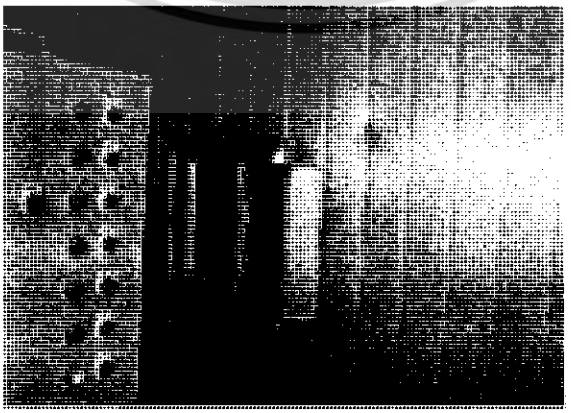
- ส่วนที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูล

ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างชุด Controller กับ Computer โดยจะรับสัญญาณที่เป็นดิจิตอลจาก อินพุต และเอาท์พุต ไปประมวลผลที่ Computer ซึ่งจะเป็นการรับ-ส่งข้อมูล แบบอนุกรม โดยใช้พอร์ต RS 232 ในการส่งผ่านข้อมูล โดยที่จะสามารถสั่งงานผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์เพื่อไปสั่งงาน ชุด Controller ได้

5.9 ส่วนประกอบของเตาอบ

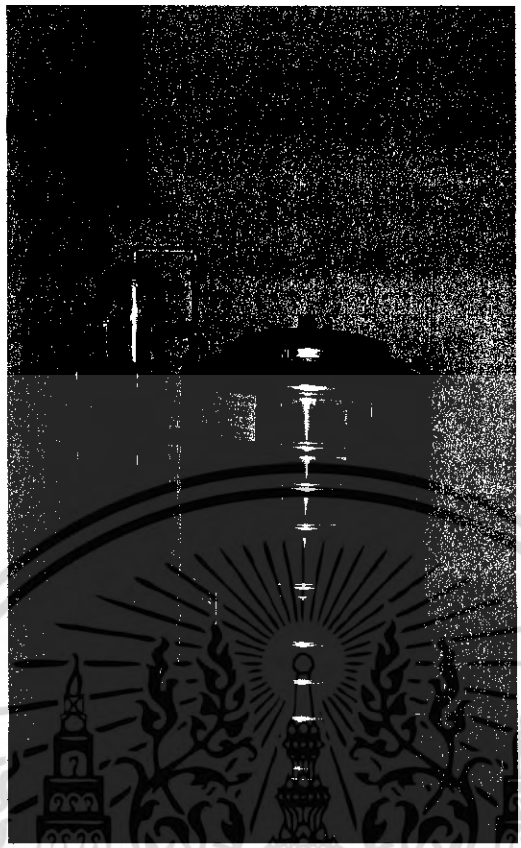
ภาพด้านล่างแสดงส่วนประกอบต่างๆของเตาอบ ซึ่งมีคอมพิวเตอร์ที่ใช้ติดต่อกับตัวควบคุมเพื่อที่จะตั้งค่าSET POINT ช่องระบายอากาศร้อนช่องนี้จะระบายอากาศร้อนและระบายความชื้นในส่วนที่เกินความต้องการออก ตัวถังกำเนิดไอน้ำเพื่อที่จะนำไอน้ำไปเข้าเตาอบซึ่งมีท่อสำหรับส่งไอน้ำเข้าตู้อบเพื่อเพิ่มความชื้นให้กับเนื้อไม้จะทำให้ไม้ที่อบลดอาการแตกได้

ภาพที่ 5.29 คอมพิวเตอร์ที่ใช้ติดต่อกับคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมเตาอบ

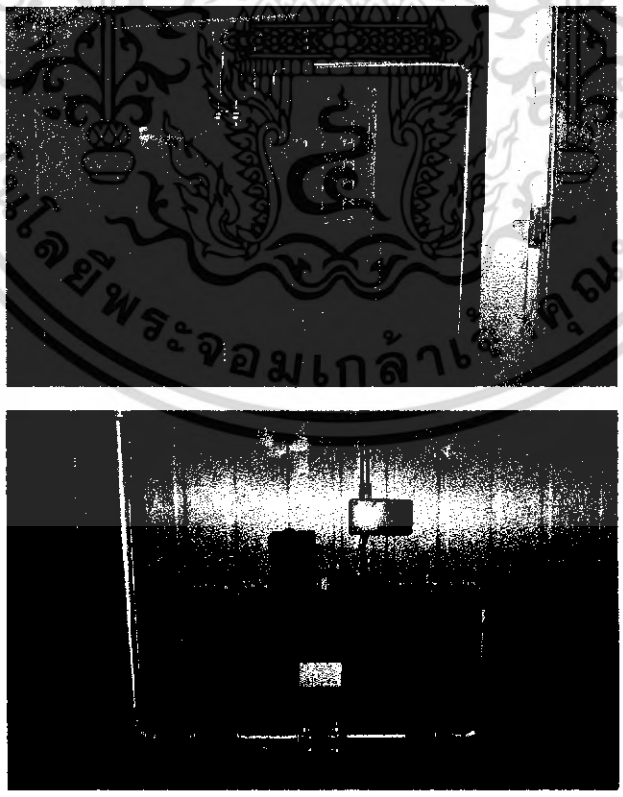


ภาพที่ 5.30 ช่องระบายอากาศในเตาอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

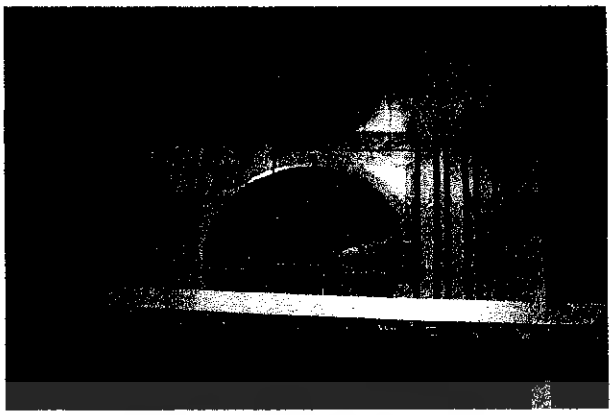


ภาพที่ 5.31 Boiler กำเนิดไอน้ำสำหรับเพิ่มความชื้นภายในเตาอบ



ภาพที่ 5.32 ตู้แสดงสภาวะการทำงานของเตาอบ และการเชื่อมต่อท่อส่งไอน้ำ

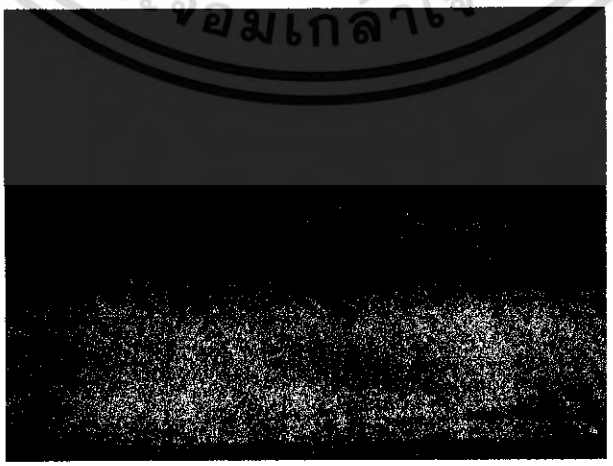
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.33 พัดลมระบายอากาศภายในเตาอบ

ตู้แสดงสภาวะการทำงานของเตาอบ ต่อมาจะเป็นพัดลมระบายอากาศภายในเตาใช้เพื่อกวนอากาศภายในเตาให้เท่ากันทุกจุดเพื่อไม้ที่อบจะได้แห้งได้พร้อมกัน ต่อมาคือห้องสำหรับอบไม้

ภาพที่ 5.34 ห้องสำหรับอบไม้



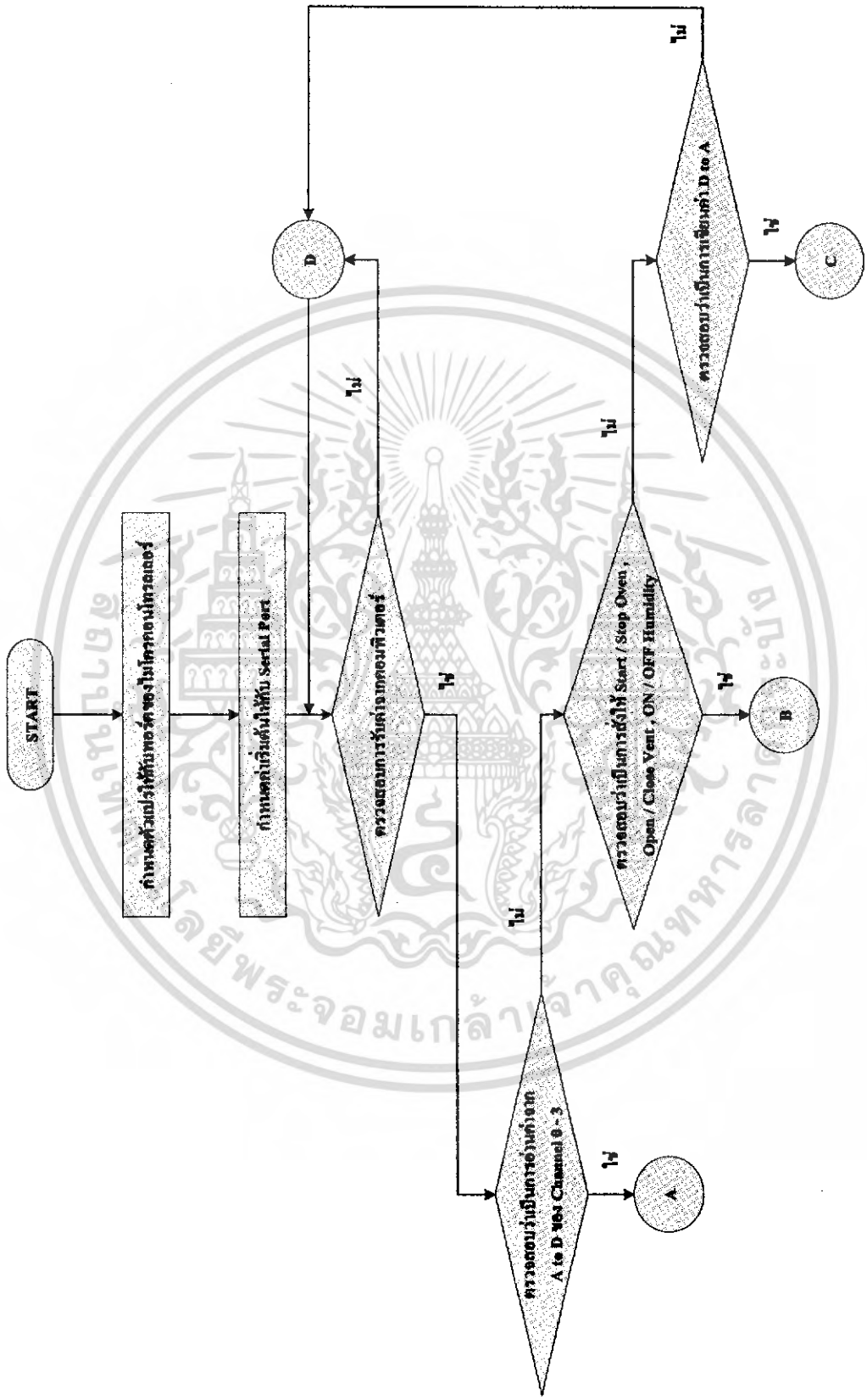
ภาพที่ 5.35 ตัวเซนเซอร์ วัดความชื้นในเนื้อไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

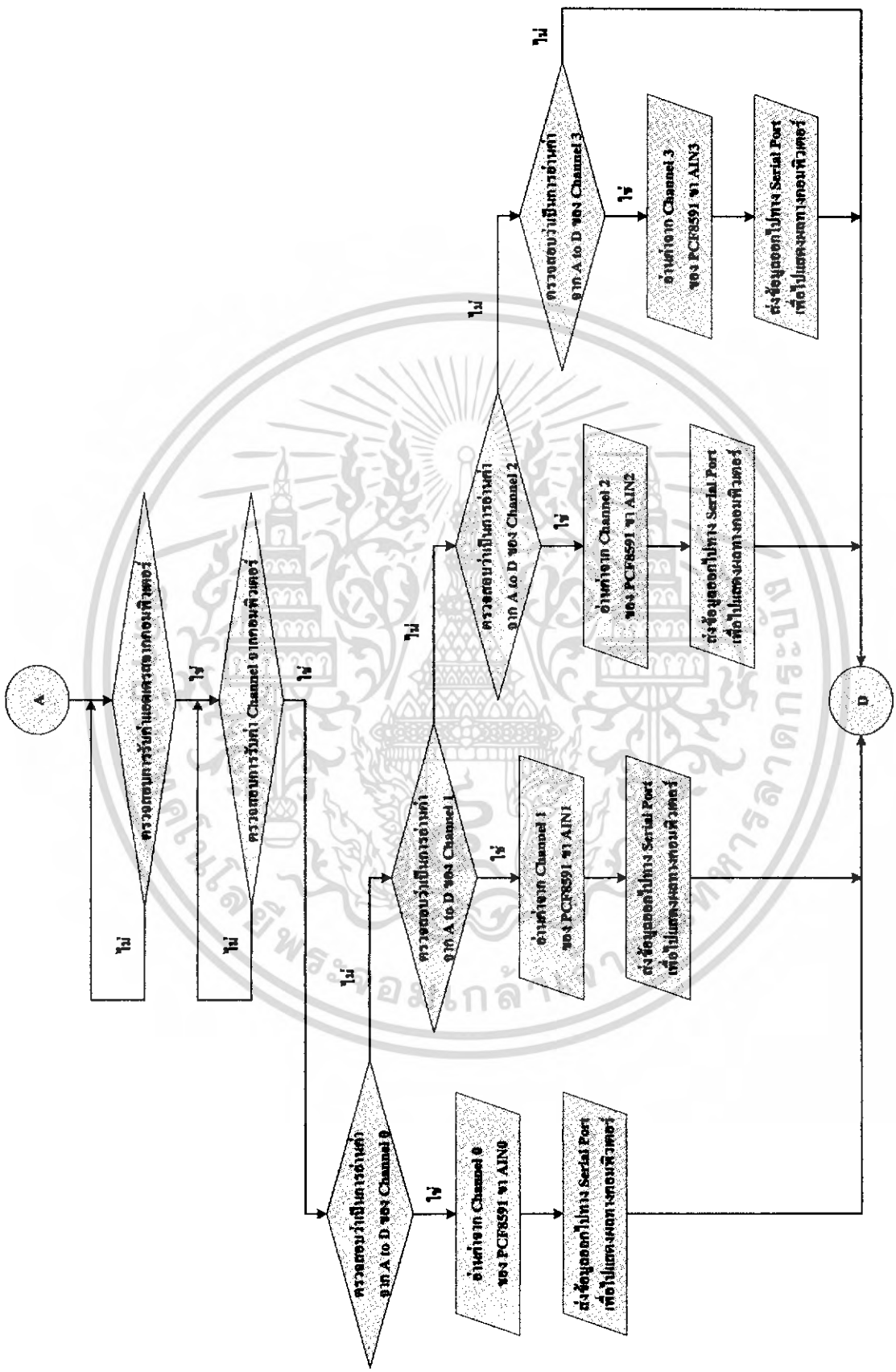
ภาพที่ 5.36 การกองไม้เพื่อทำการอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

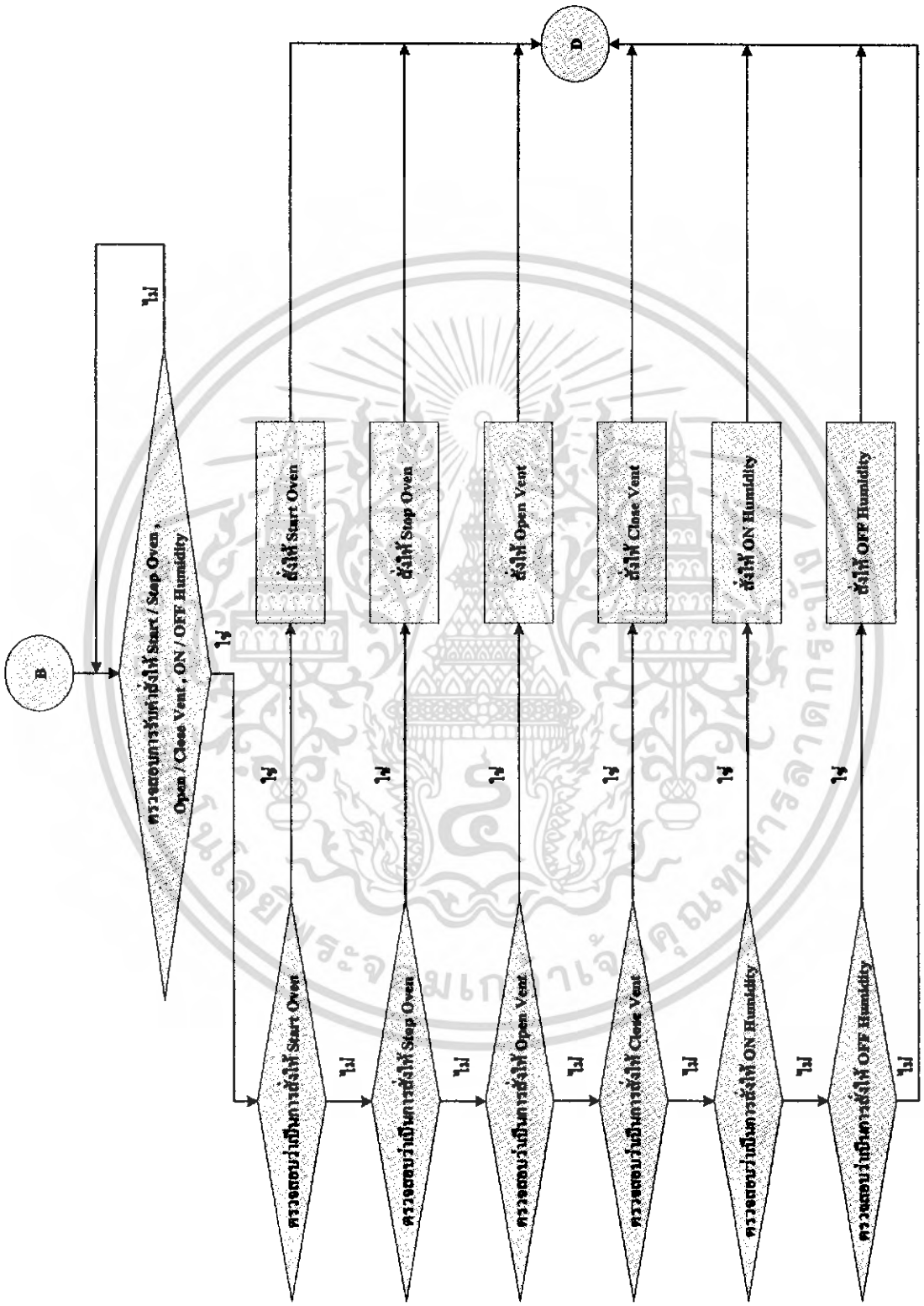
5.10 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์



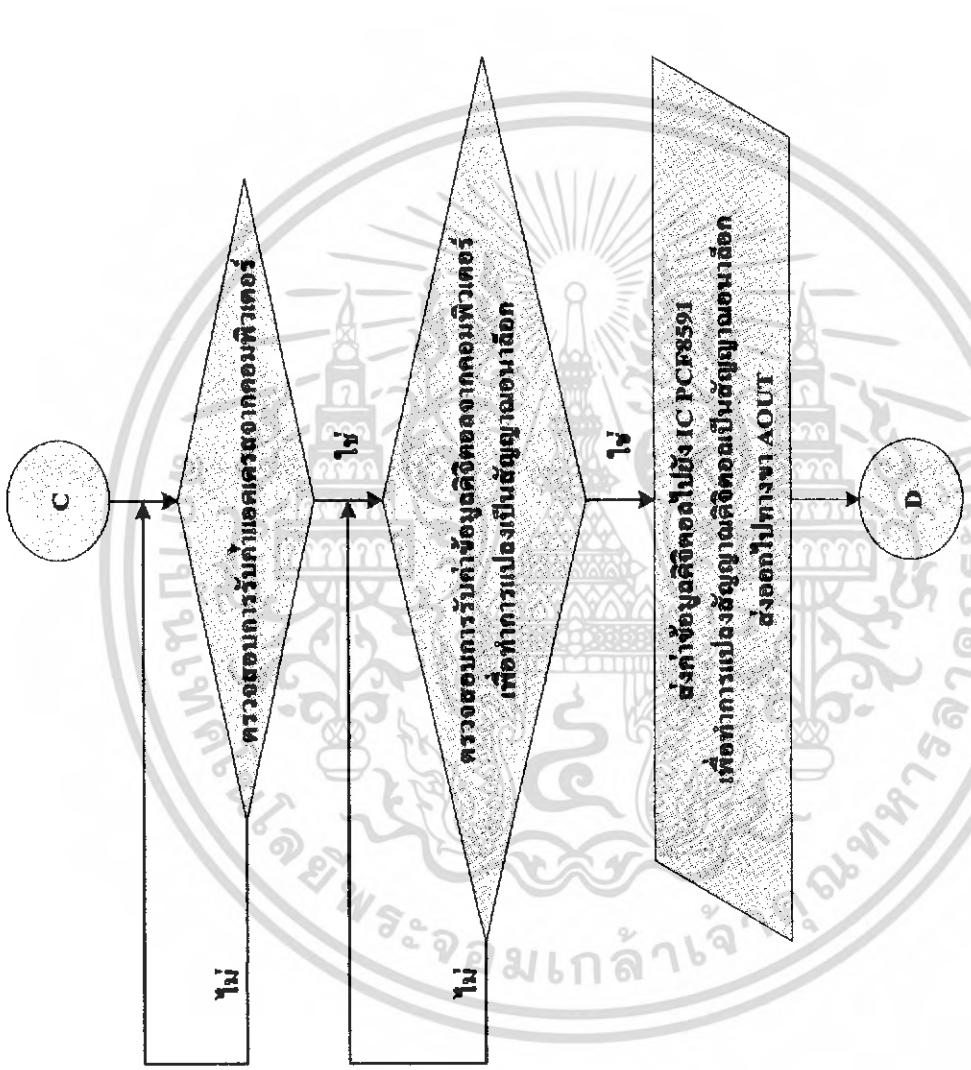
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.37 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

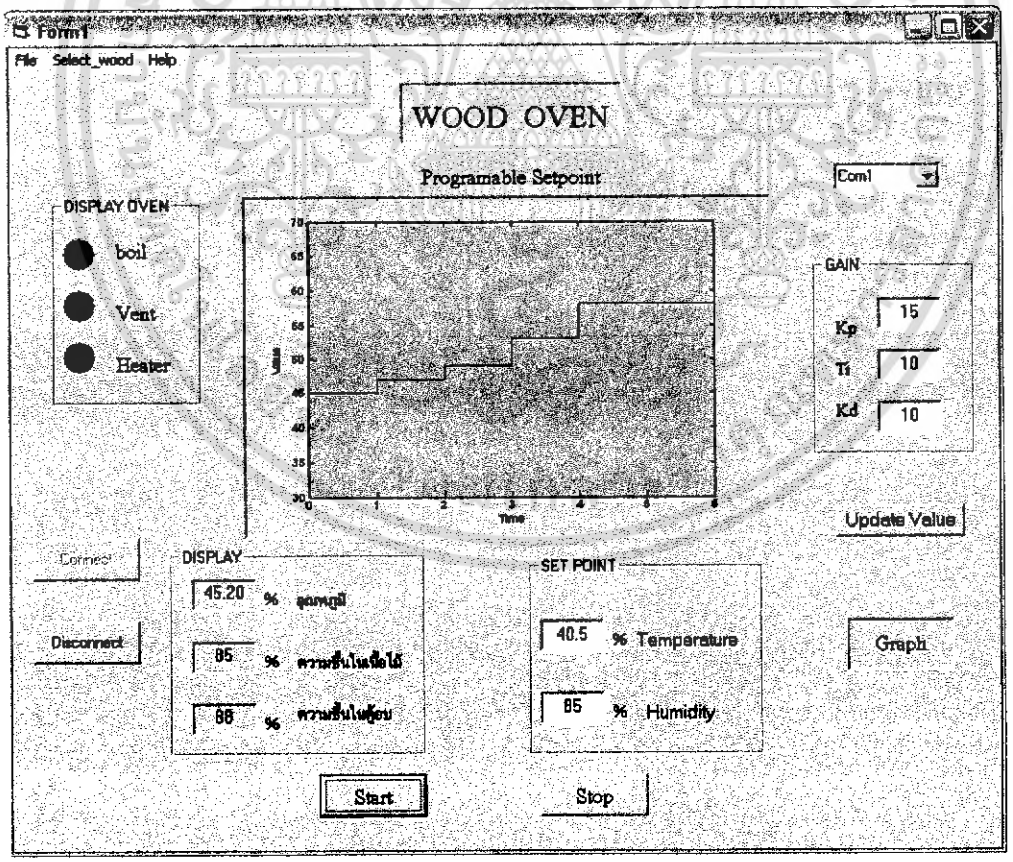
ผลการทดลองและสรุปผล

6.1 ผลการทดลอง

หลักการการควบคุมเตาอบที่ได้ทำได้การทดลอง

หลักการทำงานคือ เมื่อทำการเปิดเครื่อง และป้อนค่า Parameter ที่เหมาะสมให้กับโปรแกรม boiler ก็จะทำการฉีดไอน้ำเข้าสู่ตู้อบ เพื่อเป็นการเพิ่มอุณหภูมิให้กับตู้ และรักษาอุณหภูมิในตู้ให้คงที่ จนกว่าความชื้นที่วัดได้จากเนื้อไม้ถึงค่าที่กำหนดในแต่ Step ของการควบคุม เมื่อถึงค่าที่กำหนดแล้ว Set Point ของอุณหภูมิก็จะเปลี่ยน Set Point ตามที่เรา Set ค่าไว้ เรียกกระบวนการนี้ว่า Programmable Setpoint ส่วนความชื้นที่อยู่ภายในตู้จะเป็นตัวกำหนดในการในการระบายความชื้นออกสู่บรรยากาศเมื่อความชื้นในตู้อบเกินความต้องการ

การทดลองที่ 1 การอบไม้ยาง



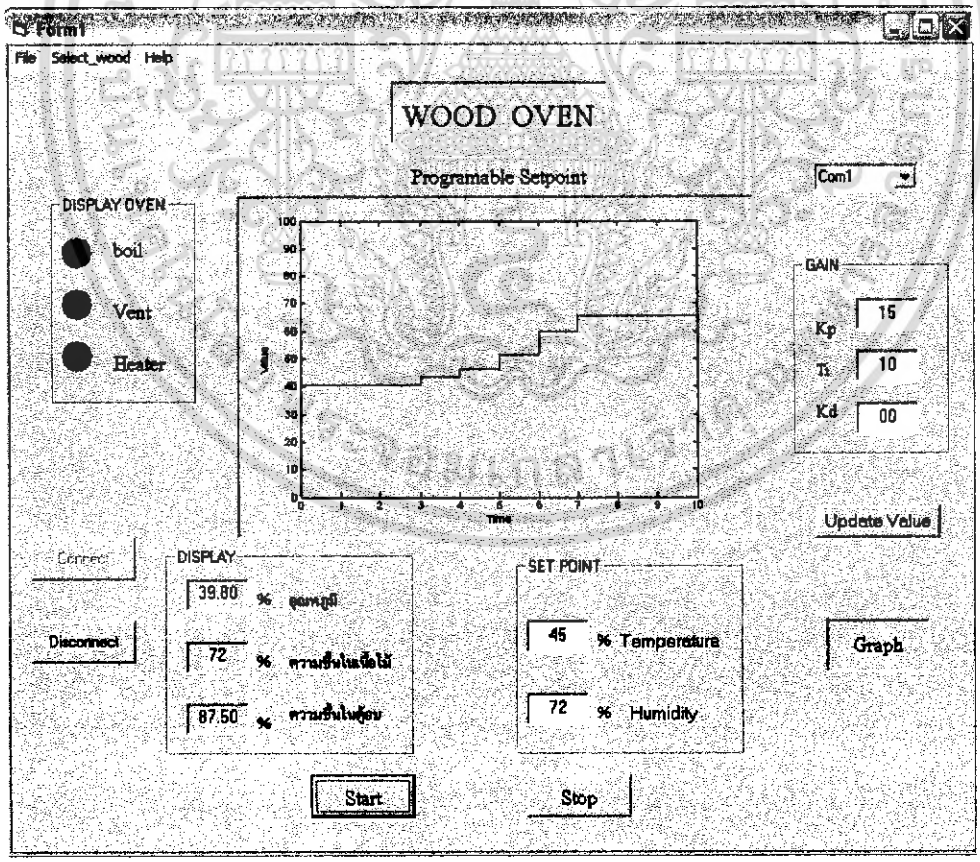
ภาพที่ 6.1 การแสดงผลการอบไม้ยาง การตั้งStep Set point และ Parameter ต่างๆ ด้วย Visual Basic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 แสดงผลการทดลองอบไม้ยาง

ปริมาณความชื้นเฉลี่ยของไม้	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์โดยประมาณ
ไม้สด	40.5	85
60	40.5	80
40	40.5	70
35	43.5	60
30	46	50
25	51.5	40
20	60	30
15	65.5	30

การทดลองที่ 2 การอบไม้มะม่วง



ภาพที่ 6.2 การแสดงผลการอบไม้ยาง และ Parameter ต่างๆด้วย Visual Basic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 แสดงผลการทดลองอบไม้มะม่วง

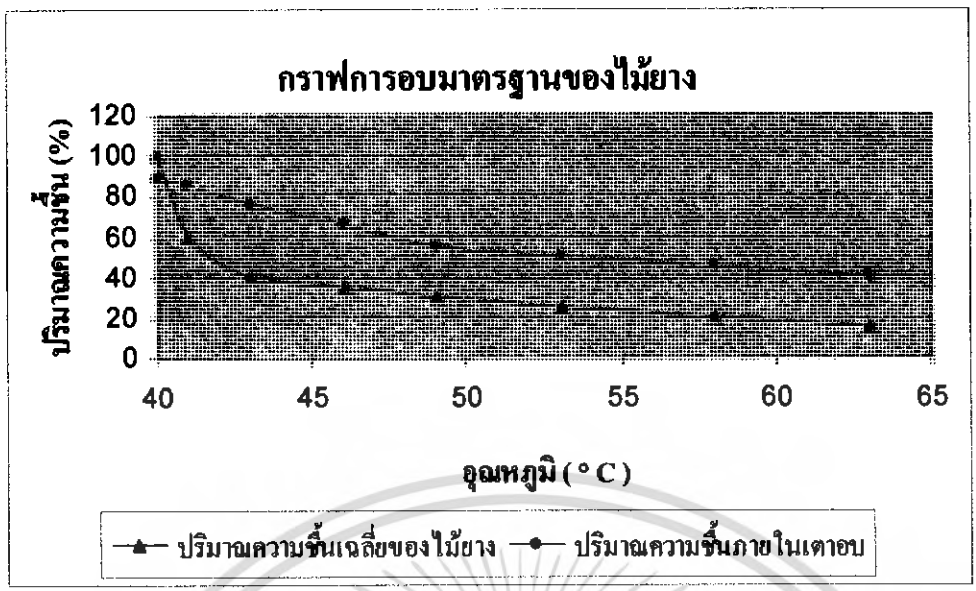
ปริมาณความชื้นเฉลี่ยของไม้	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์โดยประมาณ
ไม้สด	45	72
60	47	64
40	49	56
30	53	44
20	58	32.5

จากการทดลองเราทำการอบไม้ยางและไม้มะม่วงได้ค่าตามตารางที่ 6.1 และ 6.2 ในการทดลองครั้งนี้เราใช้ไม้ยางและไม้มะม่วงในการอบ สาเหตุที่นำไม้ยางและไม้มะม่วงมาอบนั้นก็ได้อธิบายไว้ในตอนต้นแล้วว่าไม้ยางและไม้มะม่วงหาได้ง่ายมีขายตามท้องตลาดทั่วไป ไม้ยางและไม้มะม่วงที่นำมาอบนั้นมีขนาดหนาไม่เกิน 1.5 นิ้ว ที่เราใช้ความหนาขนาดนี้ก็เพื่อจะนำผลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่าของตารางอบตามมาตรฐาน ในขั้นตอนที่อบเราใช้เวลาในการอบนานมากหลายสัปดาห์ เพราะในการลดความชื้นในแต่ละขั้นตอนต้องใช้เวลาเป็นวันและต้องทำการอบต่อเนื่องกัน ไม่เช่นนั้นแล้วความชื้นในเนื้อไม้จะกลับเพิ่มขึ้น เนื่องจากอากาศภายนอกเป็นตัวเพิ่มความชื้นในเนื้อไม้นั่นเอง ในช่วงที่ทำการทดลองอยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม ซึ่ง ณ ตอนนั้นอากาศอยู่ในช่วงฤดูหนาวทำให้อุณหภูมิภายนอกนั้นมีค่าต่ำและมีความชื้นอยู่มาก

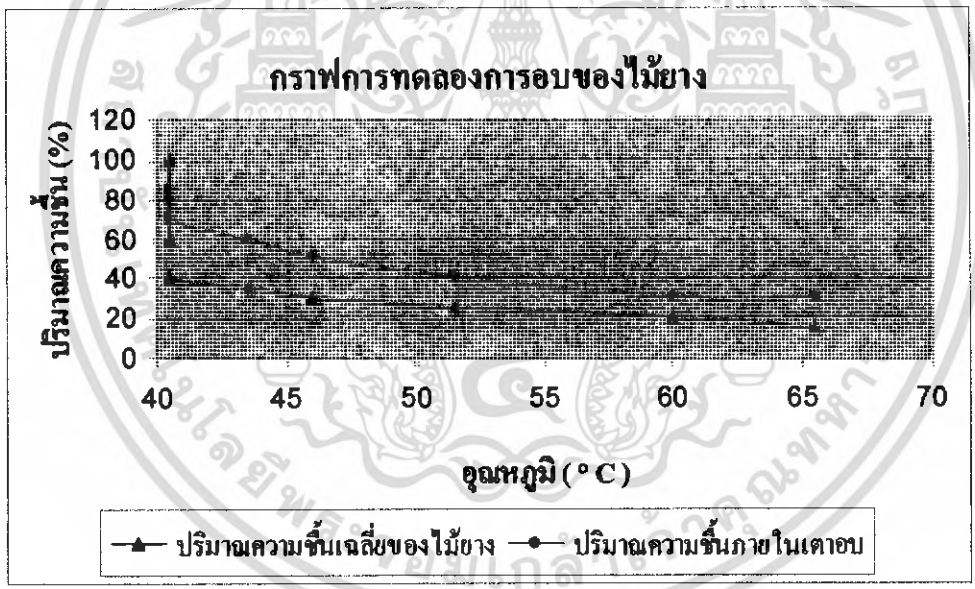
จากค่าที่เราได้จากการทดลอง ได้นำไปเปรียบเทียบกับตารางการอบไม้ตามมาตรฐานตามตารางอบของ Forest Research Institute, FRI, India ซึ่งผลปรากฏว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อบ เหตุผลที่ไม่ได้ตรงตามค่ามาตรฐานก็อาจจะเนื่องมาจากอากาศในหน้าหนาวที่เวลาทำการทดลองก็เป็นได้

จากภาพที่ 6.3 เป็นกราฟมาตรฐานของการอบไม้ยาง เมื่อเปรียบเทียบกับภาพที่ 6.4 แล้วจะเห็นว่าค่าการทดลองในภาพที่ 6.4 มีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานมาก ซึ่งก็มีค่าผิดพลาดไม่มากเราสามารถยอมรับค่านั้นได้ จากตารางเราสังเกตเห็นว่าเมื่อความชื้นเพิ่มมากขึ้นอุณหภูมิที่ใช้อบจะใช้ค่าต่ำลง ทั้งนี้ทั้งนั้นเพราะว่าถ้าเราใช้ความชื้นสูงก็จะทำให้ไม้ที่กำลังอบอยู่เกิดการแข็งด้านนอกแต่ภายในยังมีน้ำเลี้ยงขังอยู่ ซึ่งเราควรหลีกเลี่ยงการใช้อุณหภูมิสูงในช่วงท้ายของการทดลอง เพื่อป้องกันตำหนิต่างๆ ที่จะเกิดในเนื้อไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



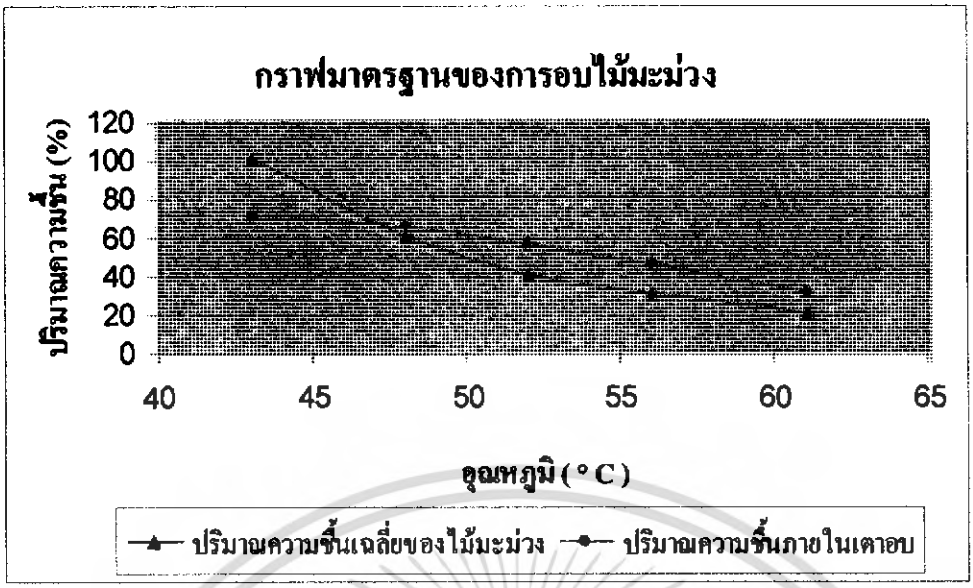
ภาพที่ 6.3 กราฟมาตรฐานการอบของไม้ยาง



ภาพที่ 6.4 กราฟการทดลองการอบของไม้ยาง

จากภาพที่ 6.5 แสดงกราฟของการอบมาตรฐานของไม้มะม่วง เมื่อเปรียบเทียบกับภาพที่ 6.6 แล้วในช่วงแรกๆของการทดลองต้องใช้อุณหภูมิสูง เพื่อขับไล่ความชื้นในเนื้อไม้ให้ออกไปได้โดยเร็วและต้องใช้อุณหภูมิต่ำในช่วงท้ายการทดลอง คล้ายกับกรณีของการทดลองกับไม้ยาง แต่ไม้มะม่วงจะใช้อุณหภูมิต่ำกว่าในช่วงท้าย เพราะในเนื้อของไม้มะม่วงมีน้ำเลี้ยงมากกว่าไม้ยาง ทำให้ต้องระวังในขั้นตอนการทดลองเพราะอาจเกิดตำหนิได้โดยง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.5 กราฟมาตรฐานของการอบไม้มะม่วง

ภาพที่ 6.6 กราฟการทดลองการอบของไม้มะม่วง

6.2 สรุปผล

จากผลการทดลองที่ได้ เราได้ทำการอบไม้ยางและไม้มะม่วงที่ความหนา 1 – 1.5 นิ้ว ระยะเวลาที่ใช้ในการอบไม้ขึ้นอยู่กับปริมาณของไม้ที่ใช้ในการอบ ถ้าไม้ที่ใช้ในการอบมีปริมาณมาก จะต้องใช้ระยะเวลาในการอบนาน เพื่อที่จะทำให้ความชื้นในเนื้อไม้ลดลง แต่ในการอบไม้ที่มีความหนาเกิน 1.5 นิ้ว จะต้องเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ขึ้นอีก 5% ของทุกระดับในตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอบมาตรฐาน และจะต้องใช้เวลานานมากขึ้น โดยจากการทดลองผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับตารางการอบมาตรฐาน โดยสาเหตุของผลที่ได้มีค่าผิดพลาดเราต้องดูก่อนว่าค่าที่ได้นั้นเกินค่าที่เราสามารถยอมรับได้หรือไม่ ในกรณีการอบนี้เราได้ทำการทดลองแล้วว่าค่าของอุณหภูมิจะต้องมีค่าไม่เกิน 3 °C ของในแต่ละย่านการทดลอง แต่สามารถน้อยกว่านั้นได้แต่ถ้าน้อยเกินไปไม้ก็จะแห้งได้ช้า เพราะอุณหภูมิไม่ถึงค่า Set point ส่วนในความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบถ้ามีค่าน้อยไปจะเกิดความเสียหายกับไม้ได้ ความชื้นสัมพัทธ์จะต้องมีค่าไม่น้อยเกิน 5 % ของย่านการวัดนั้นๆ แต่ถ้ามีความชื้นสัมพัทธ์มากไปก็จะทำให้ไม้ไม่แห้งคือมีปริมาณน้ำในเนื้อไม้มากเกินไปนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

รศ.ปฤญจ์ ศรีอรัญ. **การผึ่งและอบไม้**. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2542, หน้า 56-64.

บวร กิตติปกรณ์. **เตาอบไม้สุญญากาศ**. วารสารสักทอง. องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2521, หน้า 42-52.

บุญเลิศ อังศิริจินดา. **ตารางอบไม้แปรรูป**. รายงานการประชุมป่าไม้ ปี 2520. สาขาวนผลิตภัณฑ์. 2520 ,หน้า 1-20.

Henderson, H.L. **The Air Sesioning and Kiln Drying of Wood**. 5th Ed. New York. 1951, No.113-118.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนวก ก

ก-1. การคำนวณหาการหดและการขยายตัวของไม้ เมื่อความชื้นเปลี่ยนไป

ในการที่จะคำนวณหาการหดหรือขยายตัวของไม้ เมื่อปริมาณความชื้นเปลี่ยนไปนี้ ขั้นแรกจะต้องรู้ค่าการหดตัวของไม้จากสภาพสดถึงสภาพอบแห้งเสียก่อน โดยอาศัยข้อมูลที่มีอยู่ หรือทำการหาตามวิธีการหดตัวของไม้คำนวณโดยใช้สูตร

$$S = \frac{(M_I - M_F)D}{\frac{30}{S_T \text{ or } S_R} - 30 + M_I} \qquad \text{----------(1)}$$

S = การหดตัวหรือขยายตัวของไม้

M_I = ปริมาณความชื้นของไม้ครั้งแรกคิดเป็นร้อยละ (แต่ต้องไม่เกินร้อยละ 30)

M_F = ปริมาณความชื้นของไม้ครั้งหลังคิดเป็นร้อยละ (แต่ต้องไม่เกินร้อยละ 30)

D = ขนาดของไม้เมื่อมีปริมาณความชื้น M_I

S_T = การหดตัวของไม้ทั้งหมดทางด้านตัดเส้นรัศมี จากสภาพสดถึงอบแห้ง (%) หารด้วย 100

S_R = การหดตัวของไม้ทั้งหมดทางด้านรัศมี จากสภาพสดถึงอบแห้ง (%) หารด้วย 100

ในการที่กำหนดให้หรือ ไม่เกิน 30% นั้น เนื่องจากถือว่าเป็นค่าเฉลี่ยของจุดหมาดของไม้ ซึ่งจุดนี้เป็นจุดที่ไม้เริ่มมีการหดตัวและเป็นจุดที่ไม้ขยายตัวเต็มที่แล้ว

ตัวอย่างที่ 1

ให้คำนวณหาการหดตัวทางด้านกว้างของไม้ชนิดหนึ่งที่เลื่อยตักเส้นรัศมี ขนาด 6.5 นิ้ว เมื่อมีปริมาณความชื้นลดลงจาก 20% เป็น6% การหดตัวจากสภาพสดถึงอบแห้ง =7.8%

<u>วิธีทำ</u> โดยการแทนค่าในสูตร (1)

$$S = \frac{(20-6)\,6.5}{\left(\frac{30}{0.078} - 30\right) + 20}$$

$$= \frac{91}{374.6}$$

$$= 0.243 \text{ นิ้ว}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 2

ให้คำนวณหาการขยายตัวของไม้ทางด้านกว้างที่เลื่อยในแนวตัดเส้นรัศมี ขนาด 2.25 นิ้ว เมื่อมีปริมาณความชื้นเปลี่ยนไปจาก 5% เป็น 10% (การหดตัวจากสภาพสดถึงอบแห้ง = 9.5%)

<u>วิธีทำ</u> โดยการแทนค่าในสูตร (1)

$$S = \frac{(5-18)\,2.25}{\left(\frac{30}{0.095} - 30\right) + 5}$$

$$= \frac{18}{290.8}$$

$$= -0.062 \text{ นิ้ว}$$

ค่าที่ได้ออกมามีเครื่องหมายเป็นลบ (-) แสดงว่ามีการขยายตัว

ก-2. การคำนวณหาปริมาณความชื้นชั้นในของไม้

เนื่องจากการกระจายของความชื้นในไม้ ปกติแล้วจะอยู่ในลักษณะที่ลดหลั่นกันไปจากข้างนอกไปหาข้างใน ดังนั้นเมื่อรู้ปริมาณความชื้นที่ผิวและความชื้นเฉลี่ยของไม้แล้ว ก็สามารถจะคำนวณหาปริมาณความชื้นชั้นในได้ดังนี้คือ

$$B = \frac{3\,(A-C)}{2} + C$$

เมื่อ B = ปริมาณความชื้นชั้นใน

C = ปริมาณความชื้นที่ผิว

A = ปริมาณความชื้นเฉลี่ย

ก-3. การคำนวณหาระยะเวลาในการอบไม้ที่มีความหนาต่างๆ

ระยะเวลาในการอบไม้ชนิดเดียวกันใช้ตารางอบอย่างเดียวกัน แต่มีขนาดความหนาต่างกัน นี้ขึ้นอยู่กับกำลังสองของความหนาของไม้ที่จะอบ ซึ่งหาได้จากสูตร

$$C^2 = \frac{2\,(A*B)^2}{A^2+B^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C^2 = Square of the thickness of the equivalent drying square ซึ่งใช้เป็นค่าเปรียบเทียบ

A = ความหนาของแผ่นไม้

B = ความกว้างของแผ่นไม้

ตัวอย่าง

สมมติว่าไม้ขนาด 1 * 8 นิ้ว สามารถทำให้แห้ง มีความชื้นตามที่ต้องการได้ภายในเวลา 6 วัน ต้องการทราบว่า ถ้าไม้ชนิดเดียวกันนี้ ขนาด 2 * 8 นิ้ว โดยใช้ตารางอบแบบเดียวกัน จะใช้เวลาอบกี่วัน

วิธีทำ ก่อนอื่นจะต้องคำนวณหา Square of the thickness of the equivalent drying square ของไม้ทั้งสองขนาดเสียก่อน

1 * 8 นิ้ว

$$C^2 = \frac{2(1*8)^2}{1^2+8^2} = \frac{128}{65} = 1.97 \quad \text{----------(1)}$$

2 * 8 นิ้ว

$$C^2 = \frac{2(2*8)^2}{2^2+8^2} = \frac{212}{68} = 7.53 \quad \text{----------(2)}$$

แล้วนำค่า ที่ได้มาเทียบจากตัวที่รู้แล้วคือ ไม้ขนาด 1 * 8 นิ้ว ใช้เวลาอบ 6 วันดังนี้คือ

จากสมการ (1) และ (2)

$$\frac{7.53}{1.97} * 6 = 23 \text{ วัน} \quad \text{(เวลาประมาณ)}$$

ก-4. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผึ่งหรืออบไม้

1. การที่ความชื้นออกจากไม้ การเคลื่อนที่ของความชื้นจากไม้นั้น น้ำจะเคลื่อนที่จากด้านในๆออกมายังผิวของแผ่นไม้ โดยผ่านตามผนังเซลล์และทางอื่นๆอีก ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นเมื่อมีการระเหยของน้ำที่ผิว น้ำที่อยู่ชั้นในๆ ก็จะซึมออกมาแทนที่ ถ้าต้องการระเหยของน้ำที่ผิวเป็นไปอย่างรวดเร็วอัตราการซึมของน้ำภายในไม้ก็จะเร็วตามไปด้วย และจะทำให้ไม้แห้งเร็วขึ้น

2. อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการอุ้มน้ำของอากาศก็จะมีมากขึ้นและความสามารถในการยึดโมเลกุลของน้ำในไม้น้อยลง ทำให้น้ำระเหยออกจากไม้ได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความชื้นสัมพัทธ์ อากาศเป็นสิ่งหนึ่งที่สามารถดูดและคายน้ำได้ ประสิทธิภาพของการอุ้มน้ำของอากาศขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ ถ้าอากาศมีไอน้ำอยู่น้อยก็สามารถจะอุ้มน้ำไว้ได้อีกมาก จนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัว ตัวอย่างเช่นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส อากาศสามารถอุ้มไอน้ำไว้ได้อีก 9 เกรน หรือ 75% ซึ่งเรียกว่าเป็น drying power ของอากาศ ดังนั้นถ้าในที่ๆอากาศมี drying power สูง ก็สามารถจะทำให้ไม้แห้งได้เร็วกว่าที่ๆมี drying power ต่ำ

4. การหมุนเวียนของอากาศ การหมุนเวียนของอากาศก็มีอิทธิพลต่อการแห้งของไม้ เพราะถ้าหากว่าไม่มีการหมุนเวียนของอากาศแล้ว เมื่อน้ำระเหยออกมาจนทำให้อากาศอยู่ในสภาพอิ่มตัวแล้ว การระเหยของน้ำก็จะหยุดลง ไม้ก็จะไม่แห้งจึงจำเป็นต้องทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศขึ้น เพื่อระบายอากาศที่ชื้นออกไปนำอากาศที่แห้งเข้ามาแทนที่

5. สภาพดินฟ้าอากาศที่มีอิทธิพลต่อฤดูกาลผึ่งไม้ ฤดูร้อนเป็นฤดูที่ทำให้ไม้แห้งเร็วที่สุด เนื่องจากมีอุณหภูมิสูง มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ สำหรับในฤดูหนาวนั้นเป็นฤดูที่ทำให้ไม้แห้งช้าที่สุด เนื่องจากการระเหยของน้ำจากไม้ช้ามากเหมาะสำหรับไม้ที่ทำการผึ่งให้แห้งได้ยาก

6. ชนิดของไม้ ไม้แต่ละชนิดมีความยาก ง่าย ในการอบแตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างและสารแทรกต่างๆ

7. ความแน่น ไม้ต่างชนิดกันมีความแน่น แตกต่างกันหรือแม้แต่ไม้ชนิดเดียวกันหรือจากต้นเดียวกันก็ยังมีความแตกต่างกัน โดยปกติแล้วไม้ที่มีความแน่นมากจะแห้งได้ช้ากว่าและมักจะเกิดตำหนิต่างๆได้ง่าย ดังนั้นจะต้องทำให้แห้งอย่างช้าๆ และต้องใช้ความระมัดระวังเป็นอย่างมาก

8. ปริมาณความชื้น ไม้แต่ละชนิดต้นแหล่งกำเนิดและอื่นๆจะมีปริมาณความชื้นแตกต่างกันออกไป แม้แต่ในไม้ต้นเดียวกัน

9. ปัจจัยอย่างอื่นๆ เช่น กะพี้และแก่น ความหนาและความกว้างของไม้ แนวทางเสี้ยนไม้ และอื่นๆ

ก-5. ผลของการอบที่มีความแข็งของไม้

มีความเชื่อกันว่า ไม้ที่อบด้วยเตาอบนั้นมีความแข็งลดน้อยลงกว่าที่ผึ่งให้แห้งในกระแสร์อากาศ แต่ทั้งนี้มิได้หมายความถึงไม้ทุกชนิดในทุกสภาพจะต้องเป็นอย่างนั้น เนื่องจากมีสาเหตุอย่างอื่นมาเกี่ยวข้องด้วยเช่น

ก. การอบไม้ในสภาพที่อุณหภูมิและความชื้นที่ไม่เหมาะสม จะทำให้ความแข็งของไม้ลดลงได้มาก

ข. ไม้ที่แห้งมากๆจะเปราะกว่าไม้ที่มีความชื้นสูง เช่นเมื่อเทียบไม้ที่มีปริมาณความชื้น 5% และ15% ไม้ที่มีปริมาณความชื้น 5%จะเปราะกว่า และถ้าปล่อยให้ไม้ที่มีปริมาณความชื้น 5%นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูดน้ำหรือความชื้นเข้าไปจนมีปริมาณความชื้น 15% เท่ากันแล้วไม้ชิ้นนี้ก็ยังมีความแข็งน้อยกว่าไม้ที่ไม่เคยแห้งต่ำกว่า 15%

ดังนั้นในการอบไม้ด้วยเตาอบ ถ้าหากใช้ความระมัดระวังเกี่ยวกับอุณหภูมิและความชื้นแล้วความแข็งของไม้จะไม่ลดลงแต่อย่างใด และในกรณีที่ใช้สภาพที่ไม่เหมาะสม แล้วทำให้ความแข็งของไม้ลดลงนั้น เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางฟิสิกส์และทางเคมีคือ

(1) การเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ อาจจะเกิดรอยแตกมีความเค้นเนื่องจากการหดตัวไม่เท่ากัน ซึ่งทำให้ไม้มีกำลังอ่อนลง

(2) การเปลี่ยนแปลงทางเคมี ยังไม่เป็นที่แน่นอนว่าในการทำให้น้ำออกจากไม้นั้นจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อไม้ได้อย่างไร และที่พอจะทราบได้คือเกี่ยวกับความร้อน ถ้าหากมีความร้อนมากพอจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้นในเนื้อไม้ทำให้ความแข็งของไม้ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้