



เครื่องเป่าแห้งแบบลมร้อนควบคุมโดยอัตโนมัติ

Automatically Controlled Hot-air Dryer

นายจิระศักดิ์ รัตนไพบูลย์เจริญ

นายสหวัดน์ แก้วทอง

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ มิ่ง โสกิจแสงทอง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 36832
วัน, เดือน, ปี 29 ส.ค. 2543

AUTOMATICALLY CONTROLLED HOT-AIR DRYER

Mr.JIRASAK RATTANAPAIBOONCHAROEN
Mr.SAHAWAT KAEWKONG

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2542

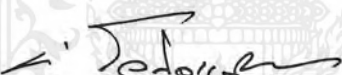
เรื่องเป่าแห้งแบบลมร้อนควบคุมโดยอัตโนมัติ

โดย

นายจิระศักดิ์ รัตน์ไพบุลย์เจริญ

นายสหวัดน์ แก้วทอง

อาจารย์ที่ปรึกษา



(อาจารย์ มิ่ง โสกิจแสงทอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องเป่าแห้งแบบลมร้อนควบคุมโดยอัตโนมัติ
นักศึกษา	จิระศักดิ์ รัตนไพบูลย์เจริญ สหวัฒน์ แก้วทอง
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.	2542
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	มิ่ง โดกิจแสงทอง

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องเป่าแห้งแบบลมร้อนควบคุมโดยอัตโนมัติ (Automatically Controlled Hot-air Dryer) โดยมีจุดประสงค์เพื่อที่ความต้องการศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนและอุณหภูมิของทางออกของเครื่องเป่าแห้งแบบลมร้อนควบคุมโดยอัตโนมัติ ความเร็วลม, กำลังของฮีตเตอร์, ลักษณะของเรื่ออุโมงค์, Guide Vane ฯลฯ ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาผลกระทบต่อ การถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิทางออกของเครื่องเป่าแห้งแบบลมร้อนควบคุม โดยอัตโนมัติ

เครื่องเป่าแห้งแบบลมร้อนควบคุมโดยอัตโนมัติ เป็นเครื่องที่เหมาะสมใช้กับจุดที่ต้องการการถ่ายความร้อนแบบการพาความร้อน โดยที่เครื่องอบแห้งแบบธรรมดาไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอ เช่น ตามจุดต่าง, ตามซอกมุมต่างๆ โดยอาศัยการพาความร้อนของอากาศเป็นตัวกลาง

เครื่องเป่าแห้งแบบลมร้อนควบคุมอัตโนมัตินี้มีหลักการทำงานคือดูดอากาศจากภายนอกเข้ามาโดยพัดลม อากาศที่ถูกดูดเข้ามาจะไหลผ่านฮีตเตอร์ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนแบบการพาขึ้น อากาศร้อนที่ได้จะไหลผ่านทางออกของอุโมงค์ และไหลผ่านชิ้นงานต่อไป โดยความเร็วของอากาศและกำลังของฮีตเตอร์จะมีผลต่ออุณหภูมิทางออกของอากาศ ถูกควบคุมโดยหน่วยควบคุมย่อยโดยรับสัญญาณเข้าจากตัวตรวจจับสัญญาณต่างๆ ซึ่งจะรับและแปลงสัญญาณต่างๆ แล้วส่งสัญญาณไปที่หน่วยควบคุมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Automatically Controlled Hot-air Dryer	
Student	Jirasak	Rattanapaibooncharoen
	Sahawat	Kaewkong
Level of Study	Bachelor of Engineering in Mechanical Engineering	
	King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang	
Year	1999	
Thesis Advisor	Ming	Lokitsangtong

ABSTRACT

This thesis presents the design and construction of automatically controlled hot-air dryer. The objective of this project is to study the any variables which have effects on the forced convection heat transfer, exit temperature of automatically controlled hot-air dryer such as air velocity, heater power, dimension of tunnel and guide vane.

Automatically controlled hot-air dryer is suitable for use on any location where heat transfer by forced convection method from normal dryer is not has effective enough, for example, at any corner point.

The operation principle of automatically controlled hot-air dryer is to drawn outside air by fan, passing through guide vane. Outside air which is drawn in passes heater element and this causes a forced convection heat transfer until air becomes hot and hot air will pass through nozzle. Hot air from nozzle will flow to a point where desired. Heat transfer rate will be controlled and modulated by control unit that will control air temperature, heater power, and flow rate by receiving input signal from sensor, which receives and converts any signal from sensor any signal and sends to control unit.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความกรุณาจากอาจารย์มิ่ง โลกกิจแสงทอง อาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางตลอดจนวิธีการแก้ปัญหาขอขอบคุณ พี่มณฑา เทียมเมือง ที่ให้คำแนะนำ ในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือรวมทั้งข้อมูลของแหล่งวัสดุ

ขอขอบคุณนายสุริยันต์ เลหาประภานนท์ สำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์และโปรแกรมควบคุมทั้งหมด และพี่ๆ เพื่อนๆ ทุกท่านที่มีส่วนในการทำให้งานทั้งหมดสำเร็จ

จิระศักดิ์ รัตน์ไพบุลย์เจริญ
ศหวิวัฒน์ แก้วทอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญสัญลักษณ์	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์	1
1.2 ขอบเขตของการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีการอบแห้ง	
2.1 การทำแห้งของของแข็ง (Drying of Solids)	3
2.1.1 หลักการ, การจำแนกและการเลือกเครื่องเป่าแห้ง	3
2.1.2 สภาวะภายนอก	3
2.1.3 ความสมดุลของของเหลวไอและเอ็นทรัลพี สำหรับเส้นกราฟ ความดัน ไอของสารบริสุทธิ์	4
2.1.4 เอ็นทรัลพี	5
2.1.5 สารผสมแก๊สไอ	5
2.1.6 สารผสมแก๊สไอไม่อิ่มตัว	7
2.1.7 สภาวะภายใน	8
2.1.8 ปริมาณความชื้นของแข็ง	9
2.1.9 กลไกการทำแห้ง	10
2.1.10 การแบ่งประเภทเครื่องมือการอบแห้งประเภทต่างๆ	12
2.2 การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)	14
2.3 ทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics)	15
2.4 ชุดควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Controllers)	21
บทที่ 3 การคำนวณและออกแบบ	23
3.1 การคำนวณ	23
3.2 วงจรควบคุม	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1	วงจรจับรีเลย์สำหรับควบคุม Heater	26
3.2.2	การปรับระดับความร้อนของ Heater 2 ระดับ	27
3.2.3	วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบ PULSE WIDTH	27
3.3	โปรแกรมและการควบคุม	28
3.3.1	การควบคุมการทำงานของตัวทำความร้อน (Heater)	28
3.3.2	การใช้งาน Single Board	28
3.3.3	โปรแกรมควบคุม	30
บทที่ 4	การสร้าง	31
4.1	ใบพัด (Fan)	31
4.2	มอเตอร์ (Motor)	31
4.3	โครงยึด (Frame)	31
4.4	สายรัด (Strap)	31
4.5	เรือนอุโมงค์ (Tunnel)	32
4.6	ฉนวน (Insulator)	33
4.7	ครีบกั้นลมทางเข้า (Inlet Guide Vane)	33
4.8	ตัวทำความร้อน (Heater)	34
4.9	ที่ยึดมอเตอร์ (Motor Holder)	35
บทที่ 5	วิธีการทดลอง	36
5.1	เครื่องมือวัดผลการทดลอง	36
5.2	อุปกรณ์และวัสดุในการทดสอบ	37
5.3	วิธีการใช้เครื่องเป่าแห้งแบบควบคุมโดยอัตโนมัติ	38
5.4	การทดสอบสมรรถนะ	39
5.5	ผลการทดลอง	40
บทที่ 6	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	52
6.1	สรุปผลการทดลอง	52
6.2	ข้อเสนอแนะ	52
เอกสารอ้างอิง		53
ภาคผนวก		54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญสัญลักษณ์

การทำแห้ง

H	enthalpy, $J \cdot kg^{-1}$
m_g	mass of dry air, kg
m_w	mass of moisture vapor, kg
M_g	molar mass of dry gas, $kg \cdot mol^{-1}$
M_w	molar mass of moisture, $kg \cdot mol^{-1}$
P_g	partial pressure of dry gas, Pa
P_w	partial pressure of moisture vapor, Pa
P_w^0	vapor pressure, Pa
P	total pressure, Pa
R	gas constant, $J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$
T	temperature, K
u	internal energy, $J \cdot kg^{-1}$
V	volume, m^3
V_w	specific molar volume, $m^3 \cdot mol^{-1}$
W	moisture content (wet basis), I
x	moisture content (dry basis), I
Y	humidity (mass ratio vapor/dry gas), I
Y_s	Saturation humidity, I
ψ	relative humidity, I

การถ่ายเทความร้อน

q''	convection heat flux, W / m^2
h	convection heat transfer coefficient, $W / m^2 \cdot K$
T_s	surface temperature, K
T_∞	fluid temperature, K
A	surface area, m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

\dot{m}	mass flow rate, kg / s
c_p	specific heat at constant pressure, $J / kg \cdot K$

กิตติสารของไหล

A	pipe section area, m^2
c	sound velocity, m / s
D	pipe diameter, m
K	loss coefficient
L	pipe length, m
L_e	entrance length, m
L_{eq}	equivalent length, m
M	Mach number
\dot{m}	mass flow rate, kg / s
p	pressure, Pa
\dot{Q}	heat power, W
r	radius, m
R	pipe radius, m
Re	Reynolds number
u	internal energy, $J \cdot kg^{-1}$
U_o	average velocity, m / s
\bar{V}	average velocity, m / s
$\frac{\partial p}{\partial x}$	pressure gradient
α	kinetic energy coefficient
ρ	density, kg / m^3
τ_w	shear stress, N / m^2
μ	viscosity, $N \cdot s / m^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

การอบแห้งเป็นกระบวนการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม อย่างเช่นในอุตสาหกรรมอาหาร, อุตสาหกรรมการอบสีรถยนต์ อุตสาหกรรมด้านการแพทย์ และเนื่องจากลักษณะจุดที่ต้องการการถ่ายเทความร้อนมีลักษณะแตกต่างกัน การเลือกใช้วิธีการถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมจึงต้องเข้าใจหลักการทำงาน ลักษณะพิเศษและ โครงสร้างของเครื่องมืออบแห้งในประเภทต่างๆ รวมทั้งเงื่อนไขการทำงานในสภาวะต่างๆด้วย

สิ่งที่สำคัญที่สุดในการอบแห้งคือ การที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งยังวัสดุที่มีความชื้นเพื่อไล่ความชื้นนี้ออกโดยการระเหย โดยอาศัยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย ความร้อนดังกล่าวต้องถูกถ่ายเทไปยังวัสดุอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

ในการศึกษาการอบแห้งมักมีการย่อส่วนเครื่องมือการอบแห้งซึ่งมีขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง แต่มีการกำหนดสภาวะการทำงานให้ได้สภาวะเดียวกับการทำงานจริง ผลที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องอบแห้งขนาดใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรมได้

เครื่องถ่ายเทความร้อนชนิดเป่าแห้งแบบลมร้อนควบคุมโดยอัตโนมัติ เป็นเครื่องอบแห้งที่เหมาะสมกับวัสดุที่ต้องการการอบแห้งด้วยวิธีการเป่าแห้งไปตามจุดมุมอับต่างๆหรืออาศัยการไหลของอากาศร้อนแจกจ่ายไปยังจุดต่างๆที่เครื่องอบแห้งชนิดธรรมดาไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเท่าเครื่องเป่าแห้ง หรือในกรณีที่ต้องการความรวดเร็วของอบแห้งเพิ่มขึ้นจากการอบแห้งธรรมดา

1. วัตถุประสงค์

- 1.1 เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องเป่าแห้งแบบลมร้อนชนิดควบคุม โดยอัตโนมัติ
- 1.2 เพื่อสร้างอุปกรณ์เป่าแห้งแบบลมร้อนควบคุม โดยอัตโนมัติ
- 1.3 เพื่อทดสอบและเก็บข้อมูล
- 1.4 เพื่อปรับปรุงเครื่องเป่าแห้งแบบลมร้อนควบคุม โดยอัตโนมัติ
- 1.5 เพื่อประยุกต์ใช้ในวงการอุตสาหกรรม

2. ขอบเขตของการดำเนินงาน

- 2.1 ศึกษารวบรวมข้อมูลและออกแบบเครื่องเป่าแห้งชนิดควบคุมโดยอัตโนมัติ
- 2.2 จัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ
- 2.3 ทำการสร้างชิ้นงาน
- 2.4 ทดสอบการทำงานเปรียบเทียบกับเป้าหมายในการออกแบบ
- 2.5 สรุปผลงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีของการอบแห้ง

2.1 การทำแห้งของของแข็ง (Drying of Solids)

2.1.1 หลักการ, การจำแนก, และการเลือกเครื่องเป่าแห้ง

การทำแห้งโดยทั่วไปจะอธิบายถึงกระบวนการทางความร้อนที่ใช้ในการกำจัดสารต่างๆที่สามารถระเหยออกจากวัสดุ(ของแข็ง)ได้ ความชื้น (Moisture) ที่อยู่ในชิ้นงานมีลักษณะเป็นสารละลายแทรกตัวอยู่ในของแข็ง โดยถ้าความดันไอของความชื้นในชิ้นงานนี้มีค่าน้อยกว่าของเหลวบริสุทธิ์จะถูกเรียกว่า “bound moisture” ความชื้นที่เกิน bound moisture ถูกเรียกว่า unbound moisture

เมื่อของแข็งเปียก (Wet solid) ถูกทำแห้ง สองกระบวนการเกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน

1. การถ่ายเทพลังงาน(ส่วนใหญ่เป็นพลังงานความร้อน)จากสิ่งแวดล้อมเพื่อระเหยความชื้นที่ผิวของวัสดุ
2. การถ่ายเทความชื้นภายในไปสู่ผิวหน้าของของแข็ง จากนั้นก็เป็นการระเหยตามกระบวนการแรก

อัตราของการทำแห้งนั้นขึ้นอยู่กับอัตราของสองกระบวนการข้างต้น พลังงานความร้อนถ่ายเทจากสิ่งแวดล้อมไปสู่ของแข็งเปียกซึ่งสามารถเกิดได้เนื่องมาจากการพาความร้อน (Convection), การนำความร้อน (conduction) และการแผ่รังสีความร้อน (radiation) และในบางกรณีที่มีการถ่ายเทความร้อนในทั้งสามรูปแบบ เครื่องทำแห้งในวงการอุตสาหกรรมจึงมีความหลากหลายในรูปแบบและการออกแบบขึ้นอยู่กับหลักการของการถ่ายเทความร้อนที่ใช้ ในกรณีส่วนใหญ่ ความร้อนถ่ายเทสู่พื้นผิวของของแข็งเปียกและจากนั้นถ่ายเทสู่ภายใน

กระบวนการแรก กำจัดน้ำในรูปไอน้ำออกจากพื้นผิวของวัสดุ ขึ้นอยู่กับสภาพภายนอก เช่น อุณหภูมิ, ความชื้นของอากาศและอัตราการไหล, พื้นผิวและความดัน

กระบวนการที่สอง เคลื่อนย้ายความชื้นภายในของในตัวของแข็ง คือหน้าที่ของคุณสมบัติทางกายภาพของของแข็ง อุณหภูมิและปริมาณความชื้น ในการทำแห้ง

2.1.2 สภาพภายนอก

ตัวแปรภายนอกที่จำเป็นได้แก่ อุณหภูมิ, ความชื้น, ทิศทางและอัตราการไหลของอากาศ, รูปแบบทางกายภาพของของแข็ง, ความต้องการความปั่นป่วนและวิธีการจับของแข็งระหว่างช่วงของการทำแห้ง สภาพภายนอกสำคัญมากระหว่างช่วงแรกของการทำแห้งเมื่อความชื้นที่พื้นผิวถูกกำจัดออกไป ยกตัวอย่างเช่น วัสดุประเภทเซรามิก ถ้ามีการระเหยที่พื้นผิวมากเกินไปจะทำให้เกิด

การหดตัว เนื่องมาจากความตึง (Tension) ภายในวัสดุ ผลสุดท้ายก็คือ เกิดการร้าว (cracking) และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้มาไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเสียรูป (Warping) ในกรณีนี้การระเหยที่พื้นผิวควรมีการทำให้ช้าลงร่วมกับใช้อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงๆในการทำแห้ง

การระเหยที่พื้นผิวถูกควบคุมโดยการแพร่ของไอจากพื้นผิวของของแข็งไปยังบรรยากาศรอบๆผ่านแผ่นฟิล์มบางๆของอากาศ ที่สัมผัสกับพื้นผิว เพราะว่าการทำงานแห้งเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทมวล เมื่อแก๊สสัมผัสกับของเหลว ซึ่งการถ่ายเทมวลมักเกิดขึ้นพร้อมกันกับการถ่ายเทความร้อนด้วย ซึ่งต้องพิจารณาถึง เอ็นแธลปีด้วย

2.1.3 ความสมดุลของของเหลวไอและเอ็นแธลปี สำหรับเส้นกราฟความดันไอของสารบริสุทธิ์

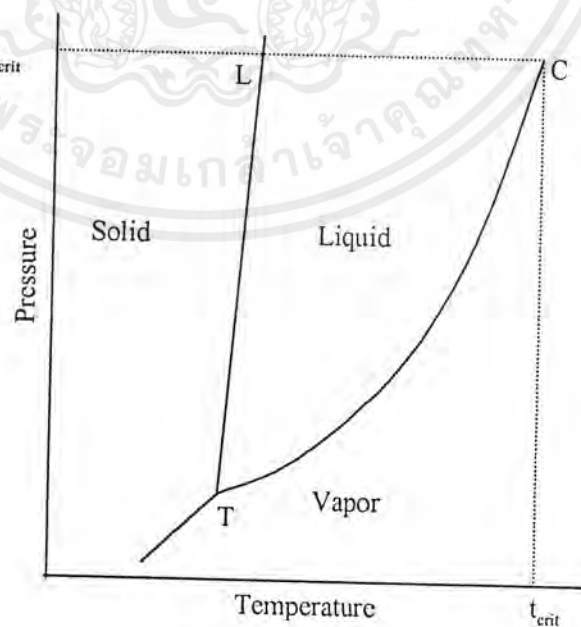
เมื่อของเหลวสัมผัสกับแก๊สแห้ง ของเหลวระเหย ซึ่งก่อให้เกิดไอและผ่านไปสู่อณูสถานะแก๊ส ถ้า m_w คือมวลของไอในสถานะแก๊ส และนี่คือไอที่ก่อให้เกิดความดันเหนือของเหลว ความดันย่อย (partial pressure) P_w ซึ่งสมมติให้พฤติกรรมของไอมีลักษณะเป็นแก๊สสมบูรณ์

$$P_w V = \frac{m_w}{M_w} RT \quad (2.1)$$

หรือ

$$P_w V_w = RT \quad (2.2)$$

ค่าความดันสูงสุดของ P_w สามารถมีค่าได้ถึงจุดที่อุณหภูมิใดๆที่ความดันไออิ่มตัว P_w^0 ถ้าทำการพล็อตกราฟความดันกับอุณหภูมิได้กราฟ



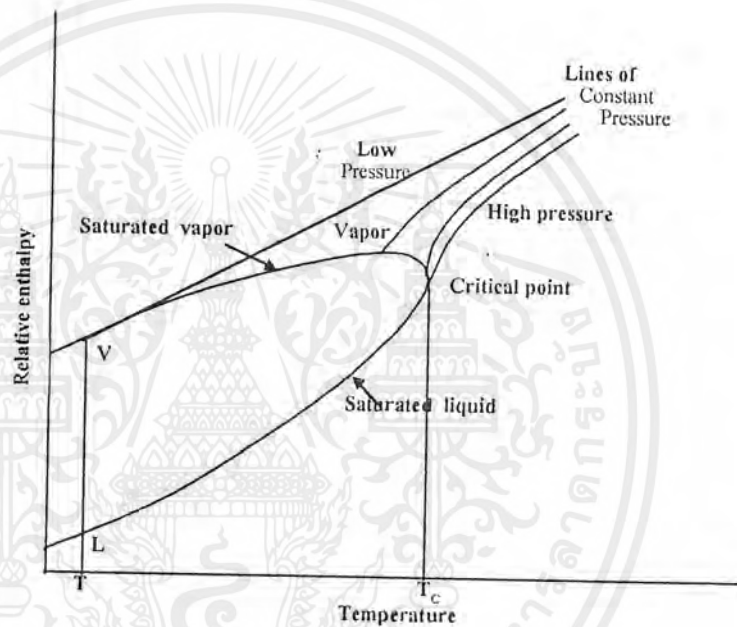
รูปที่ 2.1 Vapor pressure of a pure liquid.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 เอนทัลปี

วัสดุทุกชนิดมีพลังงานภายในเนื่องจากการเคลื่อนและตำแหน่งสัมพัทธ์ของอะตอมและโมเลกุล ค่าสัมบูรณ์ของพลังงานภายใน (Absolute value of the internal energy) u ไม่ทราบค่า แต่โดยวิธีเชิงตัวเลขสามารถหาค่าได้ และการไหลคงตัวมีพลังงานเพิ่มเติมอีกเนื่องมาจากแรงและแรงดันของไอที่กระทำต่อระบบ งานของการไหลต่อหน่วยมวลคือ PV โดยที่ P คือความดันและ V คือปริมาตรจำเพาะ (specific volume) เมื่อทำการรวมค่าพลังงานภายในและงานจากการไหลจะได้ค่าเอนทัลปี (enthalpy) คือ

$$H = u + PV \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.2 Typical enthalpy-temperature diagram for a pure substance.

2.1.5 สารผสมแก๊สไอ

เมื่อแก๊สหรือส่วนผสมแก๊ส ยังสัมผัสกับพื้นผิวของของเหลว จะเกิดไอ (vapor) จากของเหลวจนกระทั่งความดันย่อยของไอในส่วนผสมแก๊สเท่ากับความดันไอของของเหลวที่ส่วนอุณหภูมิค่าหนึ่ง ในการประยุกต์การทำแห้ง แก๊สคืออากาศและของเหลวคือน้ำ ถึงแม้ว่าหน่วยต่างๆ (partial pressure, mole fraction และค่าอื่นๆ) อยู่บนพื้นฐานบนปริมาณโดยรวมของแก๊สและไอจะมีประโยชน์ แต่การดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงในปริมาณไอของส่วนผสมของไอ-แก๊ส (vapor-gas mixture) ปรากฏจากการเปลี่ยนแปลงในปริมาณของอากาศ ซึ่งสะดวกกว่าถ้าใช้หน่วยที่ขึ้นกับปริมาณของแก๊สที่ปริมาณของแก๊สที่ไม่เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศชื้น คือส่วนผสมของไอน้ำและแก๊ส, ปริมาณความชื้น(moisture content) หรือ ความชื้นสมบูรณ์(absolute humidity) สามารถแสดงได้เป็น

$$Y = \frac{m_w}{m_G} \quad (2.4)$$

มวลโดยรวมสามารถเขียนในเทอมของ Y และ m_G ได้

$$m_G = \frac{P_G V}{RT} M_G \quad (2.5)$$

และ

$$m_w = \frac{P_w V}{RT} M_w \quad (2.6)$$

ดังนั้น

$$Y = \frac{P_w M_w}{P_G M_G} \quad (2.7)$$

ใช้กฎความดันย่อยของดาลตัน (Dalton's law partial pressures)

$$P = P_w + P_G \quad (2.8)$$

และ

$$Y = \frac{P_w M_w}{P - P_w M_G} \quad (2.9)$$

เมื่อความดันย่อยของไอน้ำเท่ากับความดันไอของของเหลว จะเกิดสถานะสมดุลชื้น และแก๊สถูกเรียกว่า อิ่มตัว (Saturated) คิวไอน้ำ ความชื้นสมบูรณ์อิ่มตัวอุดมคติ (ideal saturated absolute humidity) คือ

$$Y_s = \frac{P_w^0 M_w}{P - P_w^0 M_G} \quad (2.10)$$

ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ψ ของส่วนผสมของไอ-แก๊ส ถูกจำกัดความโดย อัตราส่วนของความดันย่อยของไอและความดันอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\psi = \frac{P_w}{P_w^0} \quad (2.11)$$

สามารถจัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$Y = \frac{M_w}{M_G} \frac{\psi P_w^0}{P - \psi P_w^0} \quad (2.12)$$

2.1.6 สารผสมแก๊สไอไม่อิ่มตัว

ไซโครมิติสัมพันธ์กับการทำแห้งและแผนภูมิเอนทัลปี-ความชื้น

ถ้าความดันรวมของไอในส่วนผสมของไอ-แก๊สมีค่าน้อยกว่าความดันไอของของเหลวที่อุณหภูมิเดียวกัน ส่วนผสมของไอ-แก๊สจะถูกเรียกว่าไม่อิ่มตัว (Unsaturated) ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น สองกระบวนการเกิดขึ้นพร้อมกันระหว่างกระบวนการทำความร้อนของการทำแห้งของแข็งเปียก การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นเพื่อเปลี่ยนอุณหภูมิของของแข็งเปียกและระเหยความชื้นที่พื้นผิวและการถ่ายเทมวลของความชื้นไปยังพื้นผิวของของแข็งและต่อจากนั้นเกิดการระเหยจากพื้นผิวไปสู่สิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปแล้วตัวกลางในการทำแห้งได้แก่อากาศที่ถูกทำให้ร้อน (heated air) พิจารณาถึงคุณสมบัติต่างๆของอากาศที่ต้องการที่จะกำจัดความชื้น โดยการระเหยบนพื้นฐานของ psychrometry และการใช้ humidity chart ต่อไปนี้จะเป็นการอธิบายถึง psychrometry

Dry Bulb Temperature

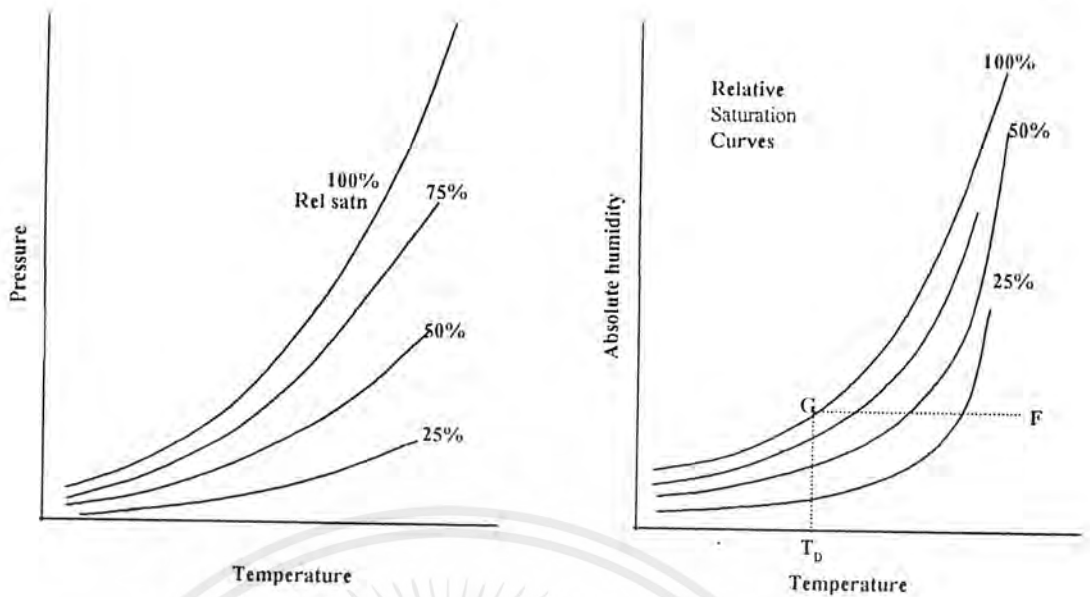
หมายถึงอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง ในการวัดจะต้องให้กระเปาะอยู่ในที่อากาศถ่ายเทได้สะดวก เพื่อให้ค่าที่อ่านได้ถูกต้องและป้องกันค่าที่ผิดพลาดจากการแผ่รังสี

Wet Bulb Temperature

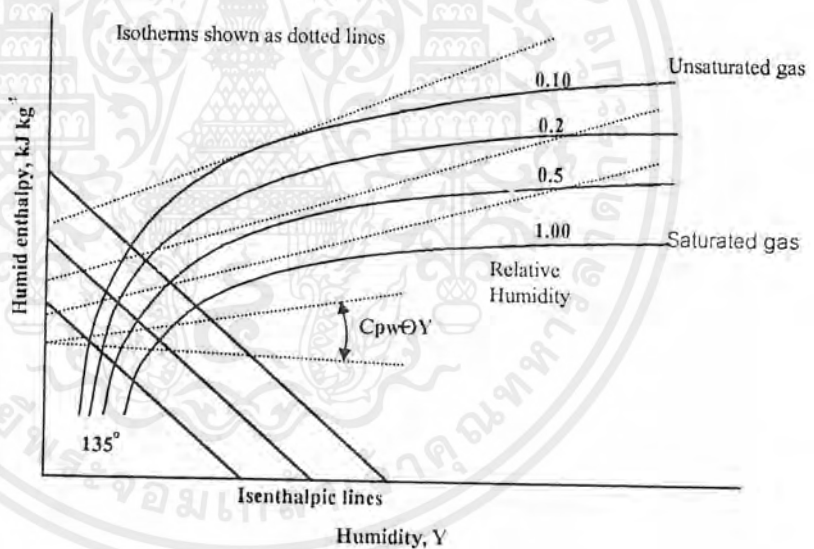
หมายถึงอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ที่กระเปาะหุ้มด้วยผ้าที่ชื้น โดยมีกระแสลมที่มีความเร็วระหว่าง 5-10 เมตรต่อวินาทีพัดผ่านกระเปาะ

Dew Point Temperature

ไอน้ำในอากาศที่แท้จริงก็คือ ไอน้ำที่ความดันต่ำและไอน้ำที่ความดันต่ำนี้ก็เหมือนกับไอน้ำที่ความดันสูง จะอยู่ในสถานะอิ่มตัวเมื่ออุณหภูมิที่สภาวะนั้นเป็นอุณหภูมิอิ่มตัวตรงกับความดันที่สภาวะนั้น ดังนั้นเมื่ออากาศที่อุณหภูมิใดๆ เหนืออุณหภูมิอิ่มตัวกระทำต่อความดันของไอน้ำ เป็นผลทำให้ไอน้ำในอากาศเป็นไอร้อนยิ่งยวด ในอีกทางหนึ่งเมื่ออากาศมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิอิ่มตัวกระทำกับความดันของไอน้ำ ไอน้ำในอากาศจะเป็นไอน้ำอิ่มตัว อุณหภูมิซึ่งไอน้ำในอากาศเป็นไอน้ำอิ่มตัวเรียกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศ



รูปที่ 2.3 Two forms of psychrometric.



รูปที่ 2.4 An enthalpy-humidity diagram for a moist gas.

2.1.7 สภาวะภายใน

หลังจากได้มีการตัดสินตัวประกอบต่างๆ และนิยามต่างๆ ในสถานะภายนอกของอุณหภูมิและความชื้นของอากาศไปแล้ว ต่อไปนี้จะสนใจในคุณสมบัติของของแข็ง

เนื่องมาจากผลของการถ่ายเทความร้อนให้แก่ของแข็งเปียก การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเกิดขึ้นภายในของแข็งขณะที่เกิดการระเหยความชื้นที่พื้นผิว ซึ่งอาจเกิดได้เพียงกลไกเดียวหรือหลายกลไก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

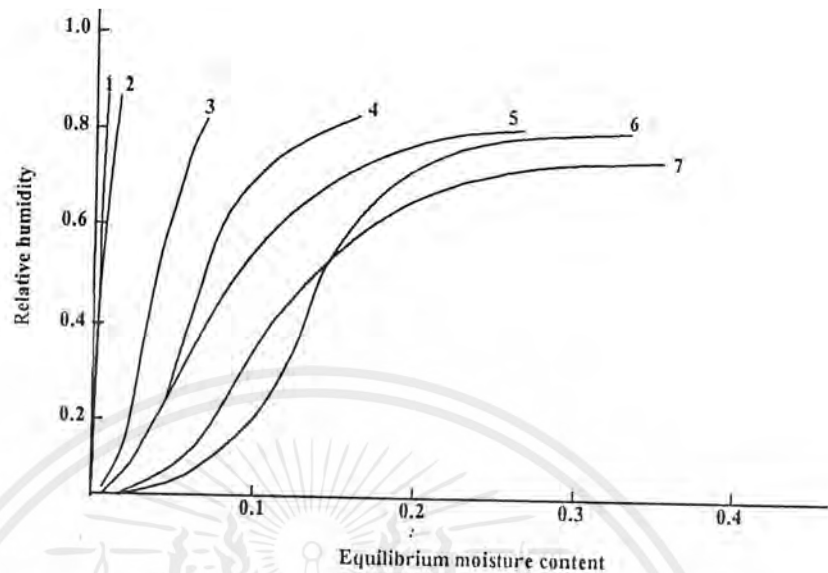
ไก กล่าวคือ การแพร่ (Diffusion), การไหลผ่านรูขนาดเล็ก (capillary flow), ความดันภายใน (internal pressure) ที่เกิดจากการหดตัวระหว่างการทำแห้ง ซึ่งก่อให้เกิดการเกิดไอ (vaporization) และการกลั้บมาควบแน่น (recondensation) ของความชื้นไปยังพื้นผิวภายนอกที่สัมผัสอากาศ จาก การเคลื่อนตัวภายในของความชื้นนี้มีความสำคัญเมื่อมีตัวแปรควบคุม, ในฐานะที่เกิดภายหลังจาก ปริมาณความชื้นวิกฤต (critical moisture content) ตัวแปรต่างๆ เช่น คุณภาพของอากาศ (air quality) ซึ่งช่วยส่งเสริมอัตราของการระเหยที่พื้นผิวจะลดความสำคัญลง เว้นแต่เพิ่มอัตราการถ่ายเท ความร้อน แต่การเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนนี้ต้องไม่มากเกินไป อาจก่อให้เกิดการระเหยที่พื้นผิว และทำให้การลดของความชื้น (moisture gradient) จากภายในไปสู่พื้นผิวมีค่ามากไป ซึ่งเป็นผลให้ เกิดการทำแห้งมากเกินไป (overdrying), การหดตัวมากเกินไป (excessive shrinkage) เนื่องมาจาก ความเครียดสูงซึ่งจะก่อให้เกิดการแตกร้าวและการเสีรูปได้ การลาดของอุณหภูมิ (temperature gradient) ที่เกิดขึ้นในของแข็งจะก่อให้เกิดการลาดของความดันไอ (vapor pressure gradient) ทำให้ เกิดการฟุ้งกระจายของไอความชื้น ไปสู่พื้นผิวซึ่งเกิดพร้อมกันกับการเคลื่อนตัวของความชื้นในรูปแบบ ของของเหลว

2.1.8 ปริมาณความชื้นของแข็ง

ความชื้นที่อยู่ในของเหลวเปียกมีความดันไอขึ้นอยู่กับลักษณะของความชื้น, ลักษณะของ ของแข็งและอุณหภูมิ ของแข็งเปียกถูกทำให้สัมผัสกับอากาศอย่างต่อเนื่องเพื่อลดความชื้นจน กระทั่งความดันไอของความชื้นในของแข็งเท่ากับความดันร่วมของไอในแก๊ส ของแข็งและแก๊สถูก กล่าวว่ายู่ในสภาวะสมดุล (Equilibrium) และปริมาณความชื้นของของแข็ง ถูกเรียกว่า ปริมาณ ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content) ถึงแม้ว่าจะตากของแข็งกับอากาศไปอีกนานเท่าไร รัก็ตามจะ ไม่มีการลดความชื้นลงไปอีก ปริมาณความชื้นในของแข็งสามารถลดลงได้ก็ต่อเมื่อตาก กับอากาศที่มีการลดความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ตกลงไปอีก

เนื่องจากของแข็งเปียกโดยทั่วไปเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะขณะปราศจากความชื้นและ ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการทำแห้ง คงไม่สะดวกที่จะบ่งบอกปริมาณความชื้นในรูปแบบของ ปริมาตร ปริมาณความชื้นของของแข็งโดยทั่วไปจะบอกในรูปแบบของปริมาณความชื้นโดยน้ำหนัก ของวัสดุที่แห้งในของ แข็ง, X บางครั้งปริมาณความชื้น W ซึ่งอัตราส่วนความชื้น-ของแข็งขึ้นอยู่กับมวลรวมของวัสดุเปียก

$$X = \frac{W}{1 - W} \quad (2.13)$$



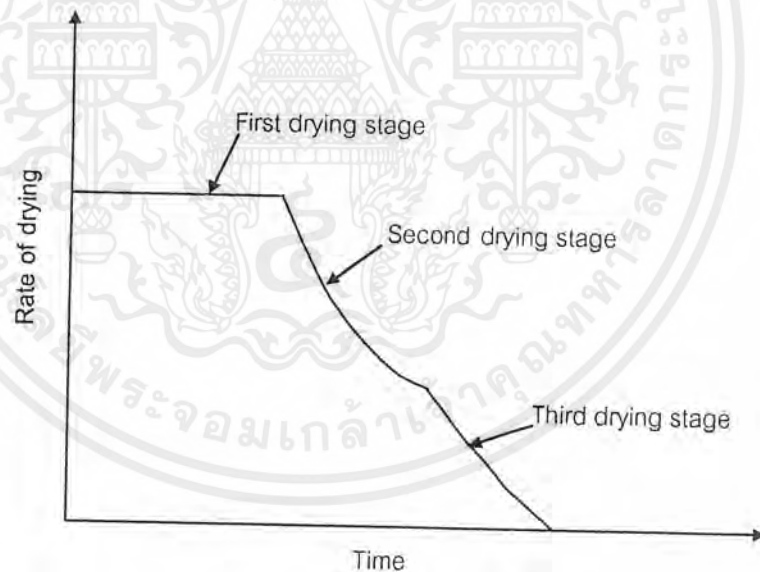
รูปที่ 2.5 Typical equilibrium moisture isotherms at room temperature for selected substances: (1) asbestos fiber, (2) PVC (50°), (3) wood charcoal, (4) Kraft paper, (5) jute, (6) wheat, (7) potatoes.

2.1.9 กลไกของการทำแห้ง

พฤติกรรมการทำแห้งของของแข็งสามารถถูกกำหนดลักษณะได้โดยวัดปริมาณความชื้นกับเวลา จากกราฟดังรูปได้จากการหาอนุพันธ์ ของปริมาณความชื้น โดยเทียบกับเวลา ระหว่างช่วงแรกของการทำแห้ง อัตราการทำแห้งมีค่าคงที่ พื้นผิวปราศจากความชื้น การระเหยเกิดขึ้นจากที่นี้ และการหดตัวจำนวนหนึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากพื้นผิวชื้น (Moisture surface) ถูกดึงกลับไปยังพื้นผิวของแข็ง (Solid surface) ช่วงสภาวะนี้ขั้นตอนการควบคุมอัตราการทำแห้งคือการแพร่ของไอน้ำข้ามไปยังผิวสัมผัสอากาศ-ความชื้น (air-moisture) และอัตราที่ผิวของการแพร่ได้ถูกกำจัดออกไป ช่วงท้ายของอัตราการทำแห้งที่คงที่ ความชื้นถูกย้ายจากภายในของของแข็งไปสู่พื้นผิวโดย capillary forces และอัตราการทำแห้งยังคงที่ เมื่อปริมาณความชื้นเฉลี่ย (average moisture content) ถึง ปริมาณความชื้นวิกฤติ (critical moisture content) X_c ฟิล์มพื้นผิวของความชื้น (surface film of moisture) ถูกลดลงโดยการระเหยที่การทำแห้งต่อไปอีกก่อให้เกิดจุดแห้ง (dry spot) ปรากฏบนพื้นผิว อย่างไรก็ตามอัตราถูกคำนวณโดยยึดพื้นผิวของแข็งทั้งหมด อัตราการทำแห้งลดลงถึงแม้ว่าอัตราต่อหน่วยพื้นที่ผิวของแข็งเป็ยกยังคงคงที่ ซึ่งเป็นการเข้าสู่สภาวะที่สองของการทำแห้งหรือช่วงแรกของการทำแห้งที่ลดลง ช่วงของการทำแห้งพื้นผิวที่ไม่อิมตัว ที่สภาวะนี้ดำเนินต่อไปจนกระทั่งฟิล์มพื้นผิวของของเหลว (surface film of liquid) ระเหยออกไปหมด ช่วงนี้เส้นกราฟอาจจะมียุทธการการทำแห้งที่ลดลงไปตลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงต่อมาคือช่วงที่สามของการทำแห้ง อัตราการทำแห้งซึ่งความชื้นอาจเคลื่อนผ่านของแห้ง อันเป็นผลมาจากการลาดกระจุกรวมกัน (Concentration gradient) ระหว่างบริเวณที่ถูกลงไปในพื้นผิวกับพื้นผิว การถ่ายเทความร้อนช่วงนี้ประกอบไปด้วยการถ่ายเทความร้อนไปยังพื้นผิวและการนำความร้อนในผลิตภัณฑ์ เนื่องจากความลึกเฉลี่ยของระดับความชื้นเพิ่มขึ้นและการนำความร้อน (heat conductivity) ของบริเวณภายนอกที่แห้งมีค่าน้อยมาก อัตราการทำแห้งเพิ่มขึ้นโดยอิทธิพลของการนำความร้อน อย่างไรก็ตามถ้าผลิตภัณฑ์ที่แห้งมีความหนาแน่นที่มากและปริมาตรโพรงอากาศ (cavity volume) ที่น้อย การทำแห้งไม่มีผลกระทบจากการนำความร้อนมากนักแต่ค่อนข้างมีผลจากความต้านทานการแพร่ที่สูงภายในผลิตภัณฑ์มากกว่า อัตราการทำแห้งถูกควบคุมโดยการแพร่ของความชื้นจากภายในสู่พื้นผิวและการถ่ายเทมวลจากพื้นผิว ระหว่างสภาวะนี้ความชื้นที่ยึดโดยการดูดซึม (absorption) กำลังถูกกำจัด เนื่องจากความชื้นลดลงโดยการทำแห้ง อัตราของการเคลื่อนที่ภายในของความชื้นลดลง อัตราของการทำแห้งลดลงถึงแม้ว่ารวดเร็วกว่าแต่ก่อนและต่อเนื่องจนกระทั่งปริมาณความชื้นลดลงสู่ค่าสมดุล (Equilibrium value) X^* สำหรับความชื้นของอากาศมีมากจนถึงจุดอิ่มตัวการทำแห้งก็จะสิ้นสุด



รูปที่ 2.6 Typical rate-of-drying curve, constant drying conditions.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.10 การแบ่งประเภทเครื่องมือการอบแห้งประเภทต่าง ๆ

ปัจจุบันมีเครื่องมืออบแห้งหลายชนิด จึงจำเป็นต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับวัสดุที่จะอบแห้ง วิธีการแบ่งเครื่องอบแห้งโดยการถ่ายเทความร้อนสามารถแบ่งออกเป็น

1. เครื่องมืออบแห้งที่อาศัยการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน เช่น เครื่องอบแห้งแบบถาด เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม เป็นต้น
2. เครื่องอบแห้งที่อาศัยการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน เช่น เตอบ เครื่องอบแห้งแบบครัม เป็นต้น
3. เครื่องอบแห้งที่อาศัยการถ่ายเทความร้อนแบบการแผ่รังสีความร้อน เช่น เครื่องอบแห้งโดยแสงอาทิตย์ เป็นต้น

การแบ่งเครื่องอบแห้งตามลักษณะกายภาพของวัสดุ จะทำได้โดยดูลักษณะที่เหมาะสม เช่น วัสดุที่มีลักษณะเป็นผงควรใช้เครื่องอบแห้งที่มีการกระจายวัสดุดี หรือวัสดุที่มีลักษณะเป็นชิ้น จะต้องใช้ในการวางวัสดุกับภาชนะแล้วใช้ความร้อนเป่าผ่าน เป็นต้น

ชนิดเครื่องอบแห้งที่สำคัญ

เครื่องอบแห้งแบบถาด

เครื่องอบแห้งแบบนี้เป็นแบบที่ง่ายที่สุด วัสดุจะถูกวางบนถาดมีจำนวน 10 ถึงมากกว่า 20 ชั้น มักใช้ความร้อนไหลผ่านขนาดถาด การทำงานมีลักษณะเป็นกะ และใช้อบแห้งวัสดุที่มีปริมาณไม่มากนัก ข้อเสียของเครื่องอบแห้งชนิดนี้ จะพบว่าบริเวณใกล้ทางเข้าของอากาศร้อน การแห้งของวัสดุจะเร็วกว่าทางออกของอากาศร้อน ดังนั้น จึงต้องมีการสลับถาดเสมอ เครื่องอบแห้งวัสดุแบบถาดเหมาะสมจะใช้อบวัสดุที่เป็นชิ้น เช่น ผลไม้ เป็นต้น

เครื่องมืออบแห้งแบบอุโมงค์

ลักษณะของเครื่องอบแห้งชนิดนี้ จะคล้ายกับเครื่องอบแห้งแบบถาดที่ทำงานต่อเนื่อง โดยการใช้การเคลื่อนที่ของวัสดุที่ถูกอบแห้งผ่านอุโมงค์ มักใช้รถเข็นเป็นตัวพาให้วัสดุเคลื่อนที่ อากาศร้อนไหลผ่านตั้งฉาก สวนทาง หรือไหลตามวัสดุก็ได้ ปัญหาที่อาจเกิดกับเครื่องอบแห้งชนิดนี้ คือ การกระจายของอากาศร้อนไม่สม่ำเสมอ ทำให้วัสดุแห้งไม่เท่ากัน

เครื่องอบแห้งแบบโรตารี

เป็นเครื่องอบแห้งวัสดุ โดยการหมุนอยู่ภายในทรงกระบอกที่มีลมร้อนไหลผ่าน อัตราการอบแห้งจะสูง และต้องใช้ปริมาณอากาศร้อนมาก ความเร็วรอบของอากาศจะต้องพอเหมาะเพื่อให้การตกของวัสดุดีที่สุด มักใช้อบแห้งวัสดุที่เป็นผลึก เช่น น้ำตาล

เครื่องอบแห้งแบบดรัม

เป็นเครื่องอบแห้งลักษณะทรงกระบอกปิด ภายในทรงกระบอกมีการให้ความร้อน วัสดุที่ถูกอบแห้งจะมีลักษณะเป็น Slurry หรือ Paste วัสดุแห้งจะติดที่ผิวของทรงกระบอก ซึ่งจะต้องมีการขูดออก

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

เป็นเครื่องอบแห้งที่เป็นผลิตภัณฑ์แบบของเหลว เมื่ออบแห้งแล้วจะได้วัสดุที่เป็นผงนำไปละลายได้ง่าย การอบแห้งจะใช้การพ่นสารละลายเป็นฝอย สวนทางหรือไหลตามกับอากาศมักใช้อบแห้งกับวัสดุที่ต้องการเป็นผงละเอียด เช่น กาแฟ นม เป็นต้น

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

เครื่องอบแห้งชนิดนี้ใช้กับวัสดุที่มีขนาดเล็ก ลมร้อนจะเป็นตัวทำให้วัสดุลอยตัวและเคลื่อนไหวในอากาศได้ วัสดุที่อบแห้งจะมีน้ำหนักลดลงเรื่อยๆ และจะถูกพาออกไปแยกจากอากาศร้อนที่ไซโคลน ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการอบแห้งแบบนี้ เช่น ผงชูรส เป็นต้น

เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม

เป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้กับวัสดุที่เป็นผงหรือฝุ่น สามารถถูกพาไปกับลมร้อนได้ง่าย การอบแห้งจะเกิดขณะที่วัสดุพากันไปกับลมร้อน และออกจากลมร้อนที่ไซโคลน วัสดุที่ใช้ในการอบแห้งแบบนี้ เช่น แป้ง เม็ดพลาสติก เป็นต้น

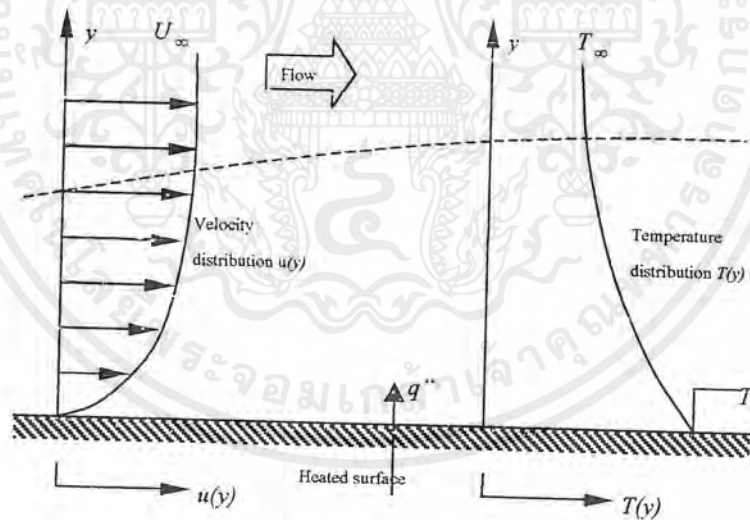
เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบสั่น

เป็นเครื่องอบแห้งที่เหมาะสมกับวัสดุที่มีการกระจายขนาดแตกต่างกันมากๆ หรือวัสดุที่มีความเหนียว ซึ่งวิธีการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบปกติไม่สามารถใช้ได้ เครื่องอบแห้งชนิดนี้อาศัยการสั่นโดย Vibration motor เพื่อให้วัสดุเกิดการฟลูอิดไดซ์ และมีลมร้อนผ่านขึ้นมากับวัสดุ เพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลสาร

2.2 การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

การไหลของอากาศผ่านขดลวดฮีตเตอร์ได้ก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนในลักษณะการพาความร้อนแบบบังคับขึ้น สำหรับการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนแบบบังคับนั้นประกอบไปด้วย 2 กลไก ในการเพิ่มเติมการถ่ายเทพลังงานเนื่องจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลแบบสุ่ม นอกจากนี้มีพลังงานที่กำลังถูกถ่ายเทโดยจำนวนมากหรือการเคลื่อนที่แบบมหภาคของของไหล, การเคลื่อนที่ของของไหลถูกสนับสนุนโดยข้อเท็จจริงที่ว่า ที่ทุกๆขณะ โมเลกุลจำนวนมากกำลังเคลื่อนที่เข้าหากันหรือไหลไปรวมกัน เช่น การเคลื่อนที่ในปัจจุบันในสภาวะของความชันของอุณหภูมิ (temperature gradient) ก็จะทำให้เกิดการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเพราะว่าโมเลกุลในการรักษาการรวมตัว การเคลื่อนที่แบบสุ่มของกลุ่มมัน, การถ่ายเทความร้อนโดยรวม ดังนั้นจึงขึ้นกับการซ้อนตำแหน่งกัน ของการถ่ายเทพลังงานโดยการเคลื่อนที่แบบสุ่มของโมเลกุลและ โดยการเคลื่อนที่เป็นจำนวนมากของของไหล และเป็นที่ยอมรับกันที่จะใช้เทอมของ “การพาความร้อน” (convection) เมื่ออ้างถึงการขนถ่ายแบบทวีคูณนี้และเทอมของแอดเวคชัน (advection) เมื่ออ้างถึงการขนถ่ายเนื่องจากการเคลื่อนที่ของของไหลขนาดใหญ่จำนวนมาก

เราสนใจในการถ่ายเทความร้อนแบบการพาซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการเคลื่อนที่ของของไหลและพื้นผิวเมื่อทั้งสองนี้มีอุณหภูมิที่ต่างกัน พิจารณาการไหลของของไหลเหนือพื้นผิวร้อนในรูป



รูปที่ 2.7 Boundary layer development in convection heat transfer.

เนื่องมาจากว่าของไหลกับพื้นผิวซึ่งมีปฏิริยาซึ่งกันและกัน คือการพัฒนาของอาณาบริเวณในของไหลซึ่งความเร็วเปลี่ยนแปลงจากศูนย์ที่พื้นผิวไปจนถึงค่า u_{∞} ซึ่งเรียกว่า velocity boundary layer นอกจากนี้ถ้าพื้นผิวอุณหภูมิของการไหลต่างกันจะมีพื้นที่ของของไหลซึ่งอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจาก T_s ที่ $y=0$ ไปสู่ T_{∞} ในการไหลบริเวณนอกพื้นที่นี้ถูกเรียกว่าเทอร์มอลบาวด์ารี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลเยอร์ (thermal boundary layer) ซึ่งอาจจะเล็กกว่า, ใหญ่กว่า หรือมีขนาดเดียวกับ velocity boundary layer ในทุกๆกรณีถ้า $T_s > T_\infty$ การถ่ายเทความร้อนแบบการพาจะเกิดจากพื้นผิวไปสู่ของไหล

การถ่ายเทความร้อนแบบการพาถูกทำให้ต่อเนื่องโดยทั่ว การเคลื่อนที่ของโมเลกุลแบบสุ่มและการเคลื่อนที่จำนวนมากของของไหลภายในบาวคาร์เลเยอร์ การกระจายเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลแบบสุ่ม (การฟุ้งกระจาย) ในพื้นที่ใกล้พื้นผิวที่ซึ่งความเร็วของของไหลต่ำ ในข้อเท็จจริงที่บริเวณผิวร่วม ระหว่างพื้นผิวและของเหลว ($y = 0$) ความเร็วของไหลเป็นศูนย์และความร้อนถูกถ่ายเทโดยกลไกนี้เท่านั้น การกระจายเนื่องจากการไหลแบบมหภาคมีจุดกำเนิดมาจากข้อเท็จจริงที่ว่าบาวคาร์เลเยอร์เติบโตขึ้นขณะในการไหลเกิดขึ้นในทิศทางแกน x ในด้านผลกระทบความร้อนที่ถูกเหนี่ยวนำมาสู่เลเยอร์นี้ถูกกวาดไปตามกระแส (downstream) และในที่สุดจะถูกถ่ายเทไปยังของไหลทางด้านนอกบาวคาร์เลเยอร์ การศึกษาถึงปรากฏการณ์บาวคาร์เลเยอร์นี้จำเป็นที่จะต้องเข้าใจในเรื่องการพาความร้อน

การพาความร้อนอาจแบ่งได้ตามลักษณะของการไหล เรากล่าวว่าการพาความร้อนแบบบังคับ (forced convection) เมื่อการไหลถูกก่อให้เกิดโดยสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น ใบพัด, ปั๊ม หรือลม และในทางตรงกันข้าม การพาความร้อนแบบอิสระ (free convection) การไหลถูกเหนี่ยวนำมาจากแรงลอยตัวที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของความหนาแน่นซึ่งมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไหล โดยไม่คำนึงถึงปรากฏการณ์อื่นๆ โดยเฉพาะของกระบวนการถ่ายเทความร้อนแบบการพา สมการอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมคือ

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad (2.14)$$

โดยที่ q convection heat flux (W) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและอุณหภูมิของไหล T_s และ T_∞ สมการนี้รู้ในฐานะ Newton's law of cooling และขึ้นกับค่าคงที่ $h(W/m^2)$ ซึ่งเรียกว่า convection heat transfer coefficient, the film conductance หรือ film coefficient

สำหรับการไหลภายใน สมการการพาความร้อนคือ

$$q = \dot{m}c_p(T_{m,o} - T_{m,i}) \quad (2.15)$$

2.3 ทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics)

การไหลของอากาศผ่านเครื่องเป่าแห้งแบบลมร้อนควบคุมโดยอัตโนมัติ จัดเป็นการไหลภายในซึ่งมีทั้งการไหลผ่านปล่อง, หัวฉีด ของเครื่องเป่าแห้งแบบลมร้อนควบคุมโดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลภายในอาจเป็นการไหลลามินาร์หรือเทอร์บิวเลนท์ก็ได้ ถ้าเป็นการไหลแบบลามินาร์สามารถแก้โจทย์แบบการวิเคราะห์ได้ แต่ถ้าเป็นการไหลแบบเทอร์บิวเลนท์การแก้ปัญหามันวิเคราะห์นั้นเป็นไปได้ ดังนั้นเราจึงต้องพึ่งวิธีเซมิเอมไพริคัล (semi-empirical theories) และอาศัยข้อมูลจากการทดลองประกอบกัน สำหรับการไหลแบบภายในทั้งแบบลามินาร์และแบบเทอร์บิวเลนท์นั้นมีพื้นฐานมาจากฟังก์ชันของเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์

เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์, การไหลแบบลามินาร์และเทอร์บิวเลนท์

(Reynolds number, Laminar and Turbulent flow)

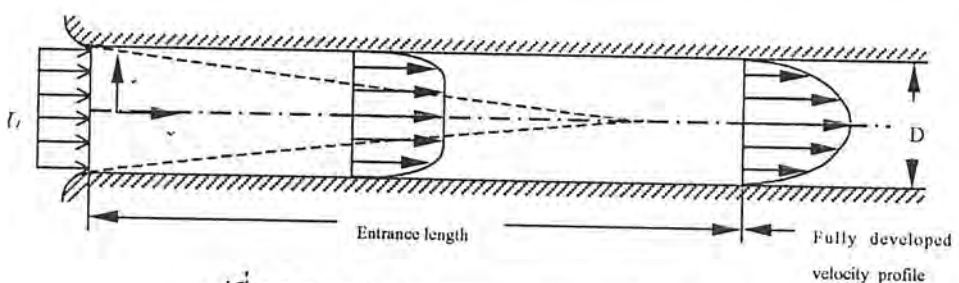
สำหรับค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ของลามินาร์และเทอร์บิวเลนท์คือ

$$Re = \frac{\rho \bar{V} D}{\mu} \quad (2.16)$$

สำหรับการไหลในทางวิศวกรรมโดยทั่วไปจะพิจารณาช่วงการเกิดการเปลี่ยนแปลง (transition) จากลามินาร์ไปเป็นเทอร์บิวเลนท์ ที่ประมาณ $Re \approx 2300$ สำหรับการไหลภายในท่อ การไหลที่อัดตัวไม่ได้ (incompressible flow) ความเร็วที่ศูนย์กลางของท่อจะเพิ่มขึ้นกับระยะทางจากทางเข้าเป็นไปตามลำดับเพื่อสนองสมการการต่อเนื่อง (continuity equation) อย่างไรก็ตามความเร็วเฉลี่ยที่หน้าตัดใดๆคือ

$$\bar{V} = \frac{1}{A} \int_{Area} u dA = U_0 = const \quad (2.17)$$

เมื่อมีระยะไกลจากทางเข้าของท่อมีระยะเพียงพอและรูปร่างของการกระจายความเร็วไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเทียบกับระยะ x (ตามรูป) การไหลจะเป็นแบบ fully developed ระยะทางจากทางเข้าจนถึงจุดที่เริ่มมีการไหลเป็นแบบ fully developed flow เริ่มต้นเรียกว่า entrance length รูปร่างการกระจายความเร็วสำหรับการไหลแบบ fully developed flow ที่แท้จริงขึ้นอยู่กับว่าเป็นการไหลว่าเป็นแบบ ลามินาร์ หรือ เทอร์บิวเลนท์



รูปที่ 2.8 Flow in the entrance region of a pipe.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

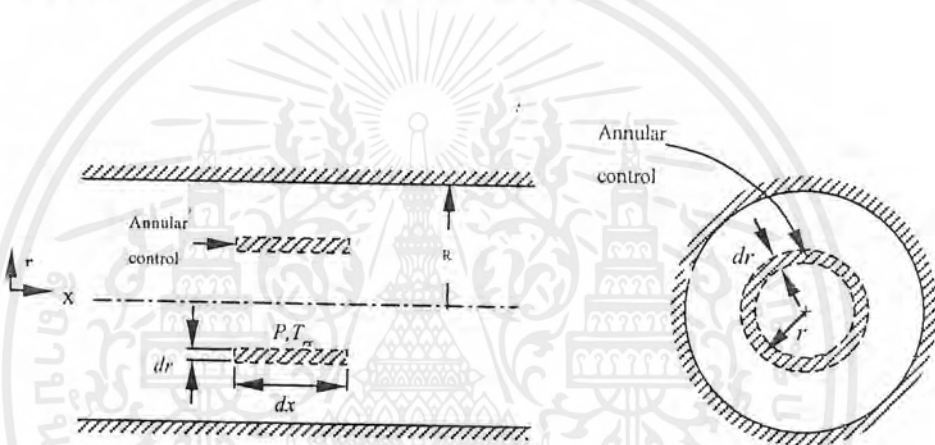
สำหรับการไหลแบบลามินาร์ในท่อ อาจคาดว่าเป็นฟังก์ชันของเรย์โนลด์ส์นับเบอร์ที่น้อยกว่า 2,300 ดังนั้น entrance length สำหรับการไหลแบบลามินาร์ในท่อคือ

$$L \approx 0.06 \text{ Re } D \leq (0.06)(2300)D = 138D \quad (2.18)$$

สำหรับการไหลแบบเทอร์บิวเลนที่นั้นต้องอาศัยข้อมูลจากการทดลองเป็นส่วนใหญ่

การไหลแบบลามินาร์ที่พัฒนาเต็มที่แล้ว

(FULLY DEVELOPED LAMINAR FLOW)



รูปที่ 2.9 Control volume for analysis of fully developed laminar flow in a pipe

สำหรับการไหลแบบ fully developed laminar flow ภายในท่อนี้การไหลเป็นแบบสมมาตรตามแนวแกน (Axisymmetric) ซึ่งสะดวกที่จะคิดในพิกัดทรงกระบอก(cylindrical coordinates) จากการใช้ differential control volume จะได้

รูปร่างของความเร็ว(Velocity Profile)

$$u = \frac{R^2}{4\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \quad (2.19)$$

การกระจายของความเค้นเฉือน(Shear Stress Distribution)

$$\tau_{rx} = \frac{\mu du}{dr} = \frac{r}{2} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) \quad (2.20)$$

อัตราการไหลเชิงปริมาตร(Volume Flow Rate)

$$Q = -\frac{\pi R^4}{8\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) \quad (2.21)$$

อัตราการไหลเป็นฟังก์ชันของความดันตก

(Flow Rate as a function of Pressure Drop)

ในการไหลแบบ fully developed flow pressure gradient $\partial p / \partial x$ คงที่ ดังนั้น

$$\partial p / \partial x = (p_2 - p_1) / L = -\Delta p / L \quad (2.22)$$

$$Q = -\frac{\pi R^4}{8\mu} \left[-\frac{\Delta p}{L} \right] = \frac{\pi \Delta p R^4}{8\mu L} = \frac{\pi \Delta p D^4}{128\mu L} \quad (2.23)$$

ความเร็วเฉลี่ย(Average Velocity)

$$\bar{V} = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi R^2} = -\frac{R^2}{8\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) \quad (2.24)$$

จุดของความเร็วสูงสุด(Point of Maximum Velocity)

ที่ $r = 0$

$$u = u_{\max} = U = -\frac{R^2}{4\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) = 2\bar{V} \quad (2.25)$$

Velocity profile สามารถเขียนในเทอมของความเร็วสูงสุดได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{u}{U} = 1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2 \quad (2.26)$$

สำหรับการไหลแบบเทอร์บิวเลนที่นั้นข้อมูลต่างๆจะต้องได้จากการทดลองเป็นส่วนใหญ่

การไหลในท่อ(Flow in Pipes and Ducts)

ENERGY CONSIDERATION IN PIPES FLOW

การไหลภายในท่อนั้นต้องมีการสูญเสียเกิดขึ้น (loss) ซึ่งแบ่งออกเป็น major loss (เนื่องมาจากการเสียดทานของท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่) และ minor loss (เนื่องมาจากการไหลผ่านวาล์ว, ท่อที่มีการแยก, การงอ, การไหลผ่านท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่คงที่)

Total head loss h_{lr}

$$\left(\frac{p_1 + \alpha_1 \bar{V}_1^2}{\rho} + gZ_1\right) - \left(\frac{p_2 + \alpha_2 \bar{V}_2^2}{\rho} + gZ_2\right) = h_{lr} \quad (2.27)$$

Calculation of head loss

Total head loss, h_{lr} คือผลรวมของ major losses, h_l เนื่องจากผลของความเสียดทาน และ minor losses, h_{lm} เนื่องจากบริเวณทางเข้า, ข้อต่อ, พื้นที่หน้าตัดที่เปลี่ยนแปลง เราจะพิจารณาแยกระหว่าง major losses และ minor losses

Major losses

จากสมการของ h_{lr} ของท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่พิจารณา

$$h_{lm} = 0; \alpha_1 (\bar{V}_1^2 / 2) = \alpha_2 (\bar{V}_2^2 / 2) \quad (2.28)$$

ได้

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho} = g(Z_2 - Z_1) + h_l \quad (2.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Minor losses

การไหลในระบบท่ออาจมีการไหลผ่านข้อต่อในหลายๆแบบ ท่องอและไหลผ่านบริเวณที่มีหน้าตัดเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน ก่อให้เกิดการเพิ่มเติม head losses เนื่องมาจากผลของการแยกตัวของการไหล (flow separation) พลังงานในที่สุดจะถูกใช้อย่างมาก (dissipated) โดยการผสมกันอย่างรุนแรงบริเวณพื้นที่ที่มีการแยกตัว (separated zones) การสูญเสียเหล่านี้คือ minor losses

$$h_{lm} = k \frac{\bar{V}^2}{2} \quad (2.30)$$

Minor head loss สามารถแสดงได้

$$h_{lm} = f \frac{Le}{D} \frac{\bar{V}^2}{2} \quad (2.31)$$

Energy Equation

$$\dot{Q} + \dot{W}_s = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} e \rho dV + \int_{cs} \left(u + pv + \frac{\bar{V}^2}{2} + gZ \right) \rho \bar{V} \cdot d\bar{A} \quad (2.32)$$

incompressible fluid

$$u_2 - u_1 = c(T_2 - T_1) \quad (2.33)$$

Bernoulli Equation

$$\frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gZ = const \quad (2.34)$$

Conservation of mass

$$\dot{m} = \rho VA = const \quad (2.35)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mach Number

$$M = \frac{V}{c} \quad (2.36)$$

ถ้าการไหลของของไหลมีค่า $M < 0.3$ จะเป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ (incompressible flow)

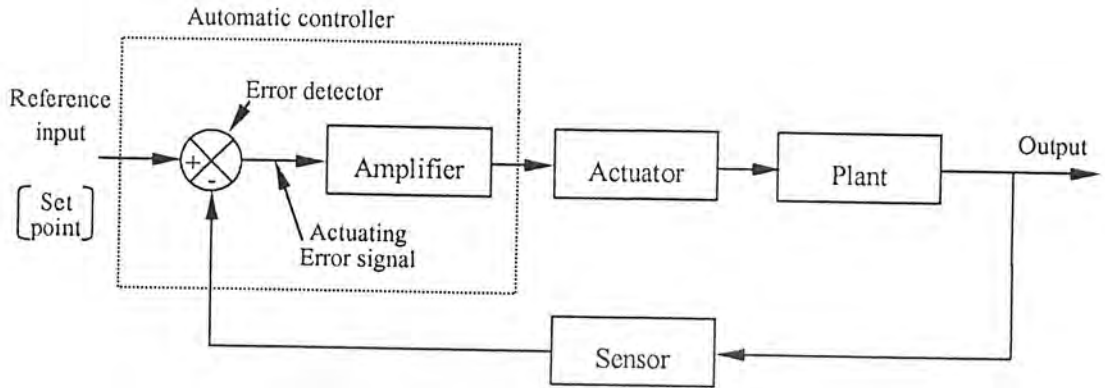
2.4 ชุดควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Controllers)

การควบคุมอัตโนมัตินี้มีการเปรียบเทียบค่าที่แท้จริงของผลลัพธ์กับค่าป้อนเข้าอ้างอิง ทำการหาค่าเบี่ยงเบนและผลิตสัญญาณควบคุมที่จะลดค่าเบี่ยงเบนให้เป็นศูนย์หรือให้มีค่าน้อยที่สุด วิธีซึ่งชุดควบคุมอัตโนมัติผลิตสัญญาณควบคุมถูกเรียกว่า การกระทำควบคุม (control action)

การควบคุมแบบพื้นฐาน (Basic Control Actions)

ชุดควบคุมอัตโนมัติ (Automatic controller), ตัวกระตุ้น (actuator), และตัวตรวจจับ (sensor), ตามรูปคือบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมซึ่งประกอบไปด้วยชุดควบคุมอัตโนมัติ, ตัวกระตุ้น, โรงงาน และตัวตรวจจับ ตัวควบคุมตรวจจับสัญญาณที่มีการผิดพลาดของตัวกระตุ้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมีระดับกำลังที่ต่ำมากและจะถูกขยายไปสู่ระดับสูงที่เพียงพอ (ดังนั้นชุดควบคุมอัตโนมัติประกอบไปด้วยตัวตรวจจับค่าผิดพลาด (error detector) และตัวขยาย (amplifier) และควบคู่ไปกับวงจรฟีดแบ็ก (feedback circuit) ที่เหมาะสมจะมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่ผิดพลาดโดยการขยายและบางครั้งดิฟเฟอเรนเชียล (differentiation) หรืออินทิเกรต (integrating) สัญญาณเพื่อผลิตสัญญาณควบคุมที่ดีกว่า) ตัวกระตุ้นคือเครื่องมือกำลังที่ผลิตค่าป้อนให้กับโรงงานตามสัญญาณที่เข้ามา ดังนั้นสัญญาณป้อนกลับ (feedback signal) จะขึ้นอยู่กับสัญญาณป้อนเข้าอ้างอิง (reference input signal) ค่าผลลัพธ์ของชุดควบคุมถูกจ่ายไปให้ตัวกระตุ้นเช่น มอเตอร์ หรือ วาล์ว

ตัวตรวจจับหรือชุดวัดคือเครื่องมือที่เปลี่ยนค่าผลลัพธ์ไปสู่ตัวแปรอื่นๆที่เหมาะสมที่สามารถถูกนำไปเปรียบเทียบค่าผลลัพธ์กับค่าสัญญาณป้อนเข้าอ้างอิง ชุดอุปกรณ์นี้คือเส้นทางป้อนกลับของระบบลูปปิด (closed loop system) จุดที่ตั้งค่าของชุดควบคุมจะต้องถูกเปลี่ยนไปสู่ค่าป้อนเข้าอ้างอิงกับหน่วยเดียวกับสัญญาณป้อนกลับจากตัวตรวจจับหรือชุดวัด



รูปที่ 2.10 Block diagram of an industrial control system



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและออกแบบ

3.1 การคำนวณ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการคำนวณหาขนาดและกำลังของอุปกรณ์ต่างๆที่นำมาใช้ในเครื่องเป่าแห้งแบบลมร้อนควบคุมโดยอัตโนมัติ โดยจะมาการอ้างอิงถึงทฤษฎีต่างๆที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 มาประกอบการคำนวณ

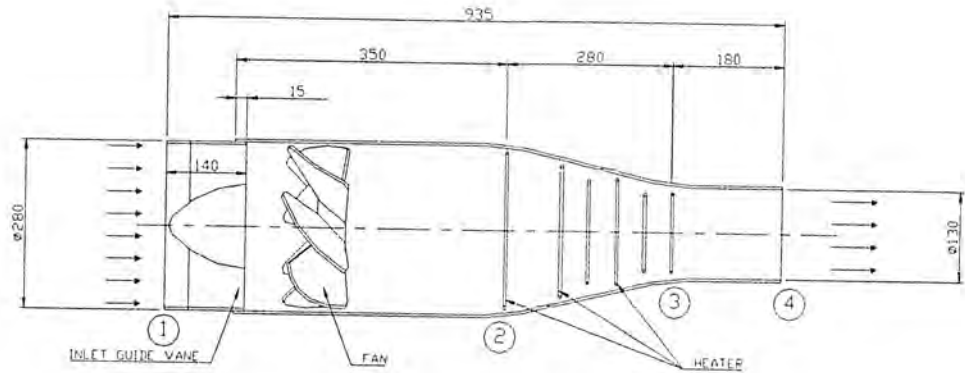
การคำนวณ

อากาศไหลจากภายนอกสู่ทางเข้าของเครื่องเป่าแห้งแบบลมร้อนควบคุมโดยอัตโนมัติผ่านชุดขดลวดฮีทเตอร์จนกลายเป็นอากาศร้อน โดยกำหนดค่าต่างๆดังต่อไปนี้

ความเร็วลมทางออก	6 m/s
อุณหภูมิทางออก	80°C
อุณหภูมิทางเข้า	27°C

สมมติฐาน (Assumption)

1. Steady Flow
2. Frictionless Flow
3. Flow along a streamline
4. Uniform heat flux
5. Negligible potential energy, kinetic, energy and flow work changes
6. Constant properties
7. Adiabatic outer surface
8. $p_4 = p_1 = p_{am}$



รูปที่ 3.1 รูปการไหลของอากาศในอุโมงค์

จากกฎอนุรักษ์มวล (สมการที่ 2.35) คิดที่หน้าตัดที่ 4
คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่ $T_{m,4} = 353K$ และโดยการ interpolate ได้

$$\rho = 0.987566 \text{ kg/m}^3$$

แทนค่าลงในกฎอนุรักษ์มวล (สมการที่ 2.35)

$$\dot{m} = (0.98765)(6)\left(\frac{\pi \cdot 0.13^2}{4}\right) = 0.0787 \text{ kg/s}$$

จากสมการการพาความร้อนแบบบังคับ (สมการที่ 2.15) คิดระหว่างหน้าตัดที่ 1 และ 4
คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างหน้าตัดที่ 1 และ 4

$$T_m = \left(\frac{T_{m,4} + T_{m,1}}{2}\right) = \left(\frac{353 + 300}{2}\right) = 326.5K$$

$$c_p = 1.00815 \text{ kJ/kg} \cdot K$$

แทนค่าลงในสมการการพาความร้อน

$$\begin{aligned} q &= (0.0787)(1.00815 \cdot 10^3)(353 - 300) \\ &= 4205.0945W \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติเลือกควรรกำลังของฮีทเตอร์เป็น 5000 W
 (ที่ใช้ในเครื่องเป่าแห้งเลือกฮีทเตอร์ขนาด 7000 W เนื่องจากการเผื่อค่าไว้)
 จากกฎอนุรักษ์มวล (สมการที่ 2.35) คิดที่หน้าตัดที่ 1
 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่ $T_{m,1} = 300 \text{ K}$ ได้

$$\rho = 1.1614 \text{ kg/m}^3$$

แทนค่าลงในกฎอนุรักษ์มวล

$$V_1 = \frac{(0.0787)}{(1.1614) \left(\frac{\pi \cdot 0.28^2}{4} \right)} = 1.1 \text{ m/s}$$

จากสมการของมัคนัมเบอร์ (สมการที่ 2.36) คิดเทียบที่ความเร็วเสียงในอากาศที่ระดับน้ำทะเล $c = 340 \text{ m/s}$ และใช้ค่าความเร็วเฉลี่ยในการไหลของอากาศ $V = 6 \text{ m/s}$ ซึ่งเป็นค่าความเร็วเฉลี่ยสูงสุดของอากาศที่ไหลผ่านเครื่องเป่าแห้งแทนค่าลงในสมการของมัคนัมเบอร์

$$M = \frac{6}{340} = 0.0176$$

ซึ่ง $M < 0.3$ แสดงว่าเป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ ดังนั้นจากคุณสมบัติในการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ (สมการที่ 2.33) และคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างหน้าตัดที่ 1 และ 4 ได้

$$c_p = 1.00815 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

แทนค่าลงในสมการ

$$u_4 - u_1 = (1.00815)(353 - 350) = 53.432 \text{ kJ/kg}$$

จากสมการพลังงาน (สมการที่ 2.32) คิดระหว่างหน้าตัดที่ 1 และ 4 และจากสมมติฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{Q} + \dot{W}_s = \dot{m} \left[c_p (T_{m,4} - T_{m,1}) + \left(\frac{V_4^2 - V_1^2}{2} \right) \right]$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการพลังงานได้

$$4204.0945 + \dot{W}_s = (0.0787) \left[(1.00815)(353 - 300) + \left(\frac{6^2 - 1.1^2}{2} \right) \right]$$

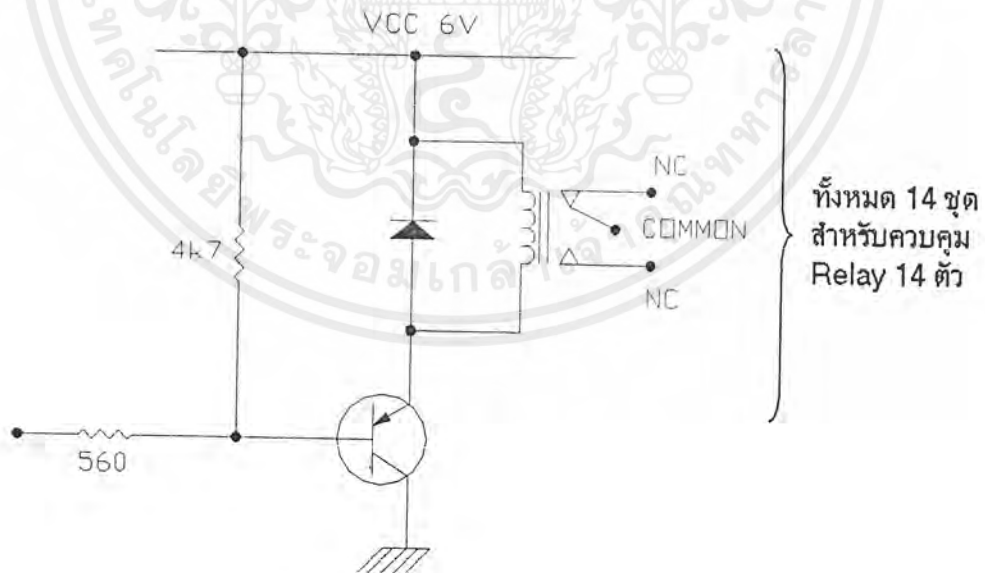
ได้

$$\dot{W}_s \approx 20W$$

ดังนั้นควรเลือกใช้พัดลมที่มีกำลัง 20W

3.2 วงจรควบคุม

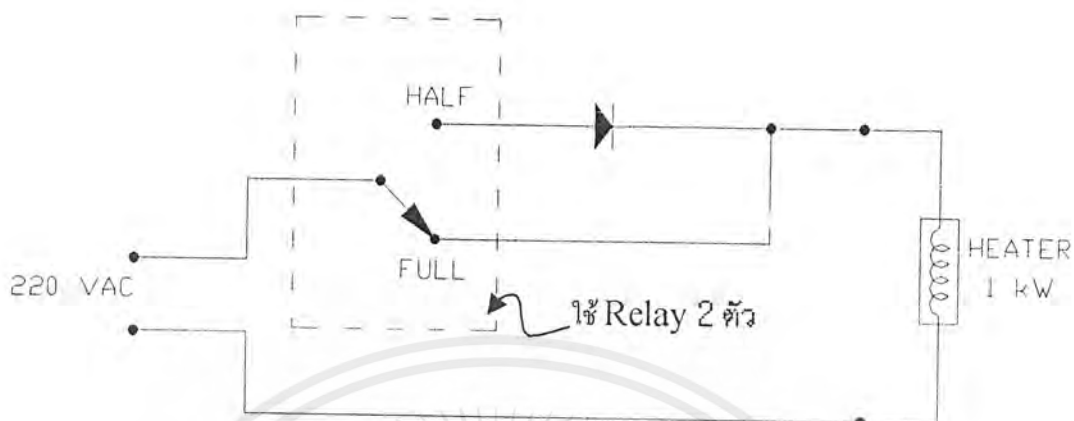
3.2.1 วงจรขับรีเลย์สำหรับควบคุม Heater



รูปที่ 3.2 วงจรควบคุมตัวทำความร้อน

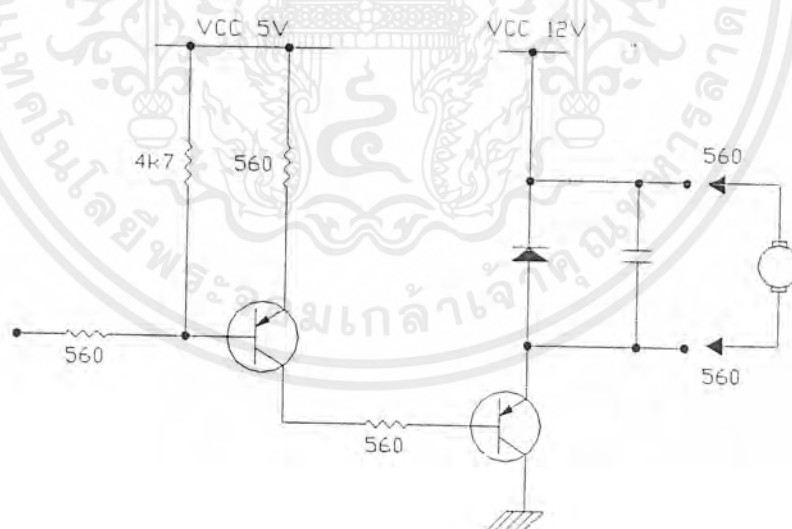
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การปรับระดับความร้อนของ Heater 2 ระดับ



รูปที่ 3.3 วงจรปรับระดับ 2 ระดับ ต่อขดลวดความร้อน 1 ขด

3.2.3 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบ PULSE WIDTH



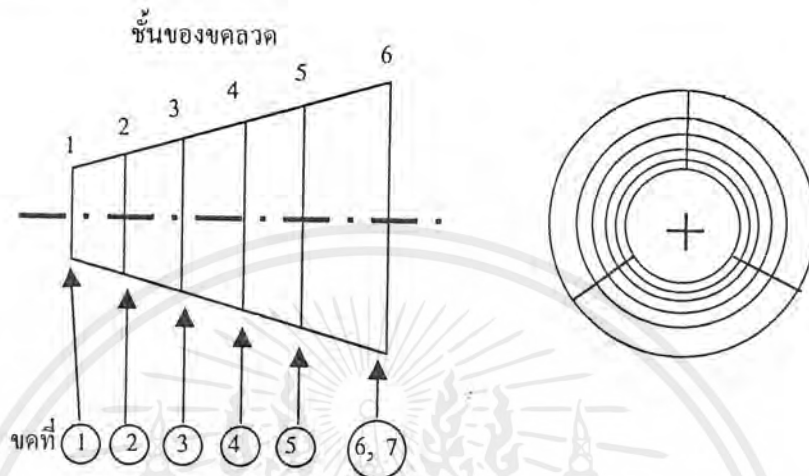
รูปที่ 3.4 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 โปรแกรมและการควบคุม

3.3.1 การควบคุมการทำงานของตัวทำความร้อน (Heater)

จากการออกแบบ ซึ่งมีขดลวดความร้อนทั้งหมด 7 ขด จัดให้มีการติดตั้งของขดลวดความร้อนเป็นชั้นๆ มีลักษณะดังรูป



รูปที่ 3.5 แสดงตำแหน่งการติดตั้งขดลวดความร้อน

การควบคุมการทำงานของขดลวดความร้อน เพื่อที่จะสามารถปรับอุณหภูมิของลมที่ผ่านขดลวดได้หลากหลาย จึงออกแบบให้แต่ละขดของลวดความร้อน สามารถที่จะปรับการทำงานได้ 2 ระดับ ควบคุมการทำงาน โดยใช้ Relay เริ่มทำงานระดับแรกตั้งแต่ ขดที่ 1 ถึงขดที่ 7 แล้วจึงปรับเป็นระดับสอง จากขดที่ 1 ถึง 7 เช่นกัน ซึ่งการปรับตามลำดับดังกล่าว จะถูกควบคุมโดยโปรแกรมอย่างอัตโนมัติ หรือ ปรับด้วยมือก็ได้

3.3.2 การใช้งาน Single Board

โปรแกรมจะเขียนให้มีฟังก์ชันการทำงาน 3 ฟังก์ชัน ซึ่งโปรแกรมจะประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่อยู่บน Single Board โดยจะแสดงฟังก์ชันบน Seven Segment ขึ้นตัวเลข 1, 2 และ 3 ให้เลือก

ฟังก์ชันที่ 1

มีไว้สำหรับตั้งค่าของอุณหภูมิของลมที่ต้องการ

ฟังก์ชันที่ 2

ใช้ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วยมือ โดยการกดปุ่ม INC และ DEC ดังรูปที่ 3.5 เพื่อเพิ่มและลดความเร็วรอบ ตามลำดับ โดยจะมีปุ่มที่ 3 กับปุ่มที่ 7 ไว้เพื่อสั่งให้มอเตอร์ทำงานที่ความเร็วรอบต่ำสุด (หยุดหมุน) กับสูงสุด ตามลำดับ

ส่วนการควบคุมการทำงานของขดลวดความร้อนด้วยมือ จะควบคุมการปิดเปิดตามลำดับ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.3.1 ด้วยปุ่มที่ 2 กับ ปุ่มที่ 6 ในการปิดและเปิดตามลำดับ

ฟังก์ชันที่ 3

ใช้ในกรณีที่ต้องการให้มีการควบคุมการปิดเปิดขดลวดความร้อนอย่างอัตโนมัติ ซึ่งเป็นผลมาจากการตั้งค่าอุณหภูมิของลม ในฟังก์ชันที่ 1 แต่ความเร็วรอบของพัดลม ซึ่งมีผลโดยตรงต่ออัตราการไหล ยังคงปรับด้วยมือเช่น ฟังก์ชันที่ 2



รูปที่ 3.5 Single Board

MON	PMEM	C	D	E	F	BACK
SFR	DMEM	8	9	A	B	ENT
INTR	DEBUG	4	5	6	7	INC
FUNC	REM	0	1	2	3	DEC

รูปที่ 3.6 รูป Keyboard ของ Single Board

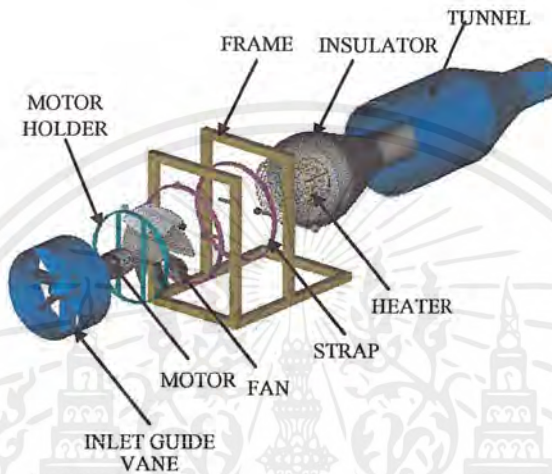
3.3.3 โปรแกรมควบคุม

โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องเป่าอากาศร้อน เขียนขึ้นโดยภาษาแอสเซมบลี (Assembly) แล้วจะถูกประมวลผลโดย Single Board ข้างต้น รายละเอียดของโปรแกรม ดูที่ภาคผนวก

บทที่ 4

การสร้าง

ส่วนประกอบหลักของเครื่องมีทั้งหมด 9 ส่วน ได้แก่ เรือนอุโมงค์ (Tunnel), ฉนวน (Insulator), โครงยึด (Frame), สายรัด (Strap), ครีบกั้นลมทางเข้า (Inlet Guide Vane), ตัวทำความร้อน (Heater), มอเตอร์ (Motor), ที่ยึดมอเตอร์ (Motor Holder) และ ใบพัด (Fan) ดังรูป

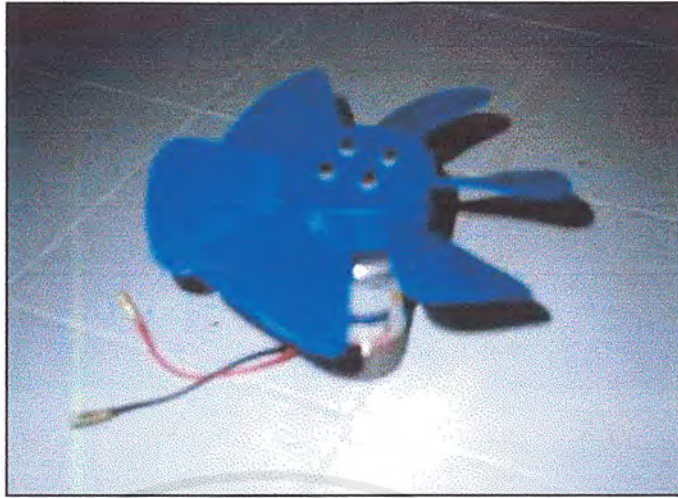


รูปที่ 4.1 รูปแสดงแบบจำลอง 3 มิติของส่วนประกอบของเครื่อง

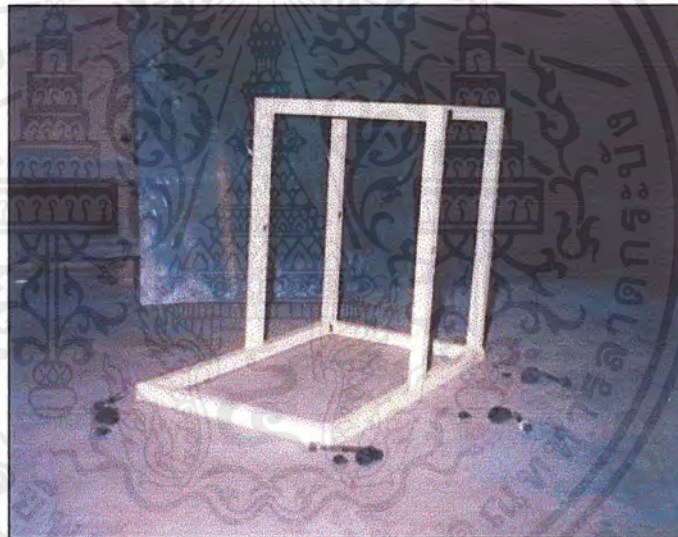
เริ่มจากการหาซื้อชิ้นส่วนต่างๆ ที่พอจะสามารถสรรหาได้ โดยพยายามสรรหาชิ้นส่วนที่เป็นชิ้นส่วนมาตรฐาน เพราะสามารถหาซื้อได้ง่าย และราคาถูก ลดขั้นตอนและระยะเวลาในการสร้าง

- 4.1 **ใบพัด (Fan)** เลือกซื้อใบพัดได้ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง $\varnothing 250$ มม. ทำจากพลาสติกซึ่งมี ราคาถูก, น้ำหนักเบา, เหนียว และ หาซื้อได้ง่าย เป็นใบพัดชนิดลมถูกเป่าให้ไหลตามแกน Axial Flow Fan ดูรูปที่ 4.1
- 4.2 **มอเตอร์ (Motor)** ใช้มอเตอร์ DC 12 V. 5.6 A. ดูรูปที่ 4.1
- 4.3 **โครงยึด (Frame)** ทำจากเหล็กกล่องขนาด $1" \times 1"$ อย่างบาง เชื่อมให้ได้ลักษณะที่ต้องการแล้วทาสีกันสนิมและพ่นสีเคลือบเงาอีกชั้น ดูรูปที่ 4.2
- 4.4 **สายรัด (Strap)** มีหน้าที่เพิ่มความแข็งแรง ในการยึดเรือนอุโมงค์ติดกับโครงยึด ทำจากเหล็กเส้นชนิดแบนม้วนให้เป็นวง แล้วทาสีกันสนิมและพ่นสีเคลือบเงาเพื่อความสวยงาม ดูรูป 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 มอเตอร์ (Motor) และ ใบพัด (Fan)



รูปที่ 4.2 โครงยึด (Frame)

4.5 **เรื่อนอุโมงค์ (Tunnel)** ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเรื่อนอุโมงค์ต้องมีขนาดใหญ่กว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดเล็กน้อย โดยให้มีค่าเท่ากับ $\varnothing 280$ มม.

เรื่อนอุโมงค์ เลือกรทำจากอลูมิเนียมแผ่นหนา 1.25 มม. เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ทำการตัด, งอ และ ตัดแต่งได้ง่าย อีกทั้งสวยงามกว่าเหล็กและไม่เป็นสนิม นำแผ่นอลูมิเนียมมาตัดแล้วม้วน แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของตัวเรื่อน, ส่วนของ Nozzle และส่วนปลายทางออก ดูรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 รูปประกอบของเรีอนอุโมงค์ (Tunnel),
โครงยึด (Frame) และสายรัด (Strap)

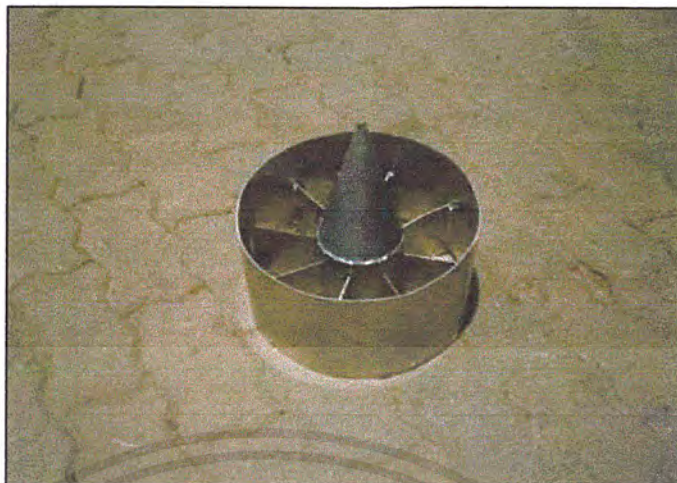
4.6 ฉนวน (Insulator) ใช้ฉนวนแผ่นทนความร้อนได้ $600-700^{\circ}\text{C}$ ตัดและม้วนเป็นรูปทรงกรวยเพื่อที่จะบุผนังภายในของเรีอนอุโมงค์ตรงบริเวณส่วนของ Nozzle ซึ่งเป็นที่อยู่ของชุดตัวทำความร้อน ไปจนถึงปลายทางออก ดังรูป



รูปที่ 4.4 ฉนวนความร้อน

4.7 ครีบกั้นลมทางเข้า (Inlet Guide Vane) ออกแบบให้เป็นชิ้นส่วนที่ถอดออกและประกอบเข้าได้สะดวก ทำด้วยอลูมิเนียมแผ่นหนา 1.25 มม. เช่นเดียวกับเรีอนอุโมงค์ โดยให้มีครีบกั้นทั้งหมด 8 ครีบ ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ครีบก้นลมทางเข้า (Inlet Guide Vane)

4.8 ตัวทำความร้อน (Heater) สร้างโดยการนำขดลวดนิโครมขนาดขดละ 1 kW มายึดเข้ากับโครงลวดทองเหลืองรูปทรงกรวยปลายตัด ซึ่งโครงดังกล่าวจะแบ่งเป็นชั้นๆ ทั้งหมด 6 ชั้น โดยชั้นที่ 1-5 จะมีขดลวดนิโครมชั้นละ 1 ขด แต่ชั้นที่ 6 ซึ่งมีหน้าตัดโตที่สุดจะมีขดลวดนิโครม 2 ขด แล้วทำการหุ้มฉนวนเพื่อไม่ให้ไฟฟ้าลัดวงจร ดังรูป



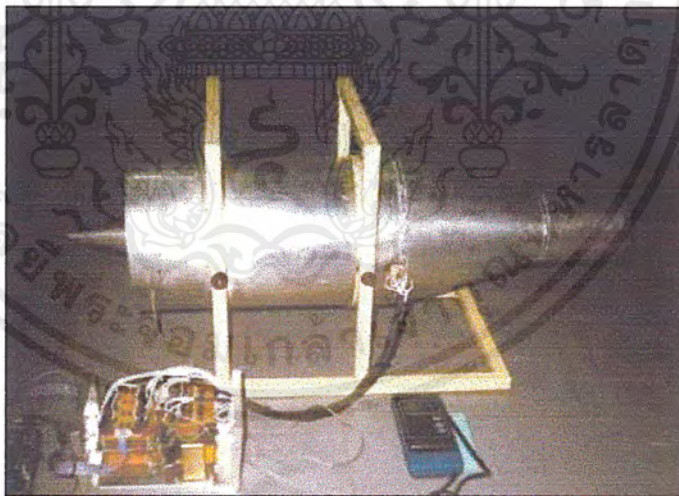
รูปที่ 4.6 ตัวทำความร้อน (Heater)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 ที่ยึดมอเตอร์ (Motor Holder) ทำจากเหล็กเส้นชนิดแบน เช่นเดียวกับสายรัด โดยออกแบบให้ถอดออกและประกอบเข้าได้ง่าย มีลักษณะดังรูป



รูปที่ 4.7 ที่ยึดมอเตอร์ (Motor Holder)



รูปที่ 4.8 รูปเมื่อนำชิ้นส่วนทุกชิ้นมาประกอบเข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

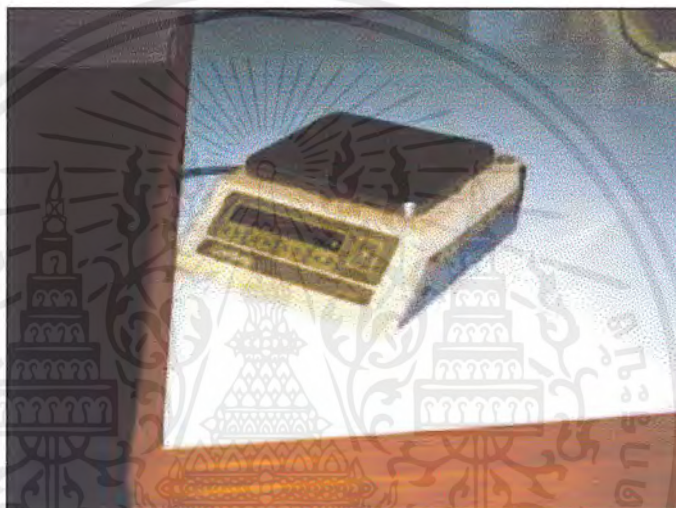
บทที่ 5

วิธีการทดลอง

5.1 เครื่องมือวัดผลการทดลอง

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก

ใช้วัดน้ำหนักชิ้นงานก่อนและหลังเป่าด้วยลมร้อน



รูปที่ 5.1 ตาชั่งดิจิตอล

2. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

ใช้เทอร์โมมิเตอร์ดิจิตอล ดังรูปที่ 5.2 และเทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะ ดังรูปที่ 5.3 การวัดอุณหภูมิของอากาศจะวัดที่อุณหภูมิของอากาศภายนอกก่อนเข้าเครื่องเป่าแห้ง โดยวัดเป็นอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ จากนั้นวัดอุณหภูมิของอากาศบริเวณทางออกของเครื่องเป่าแห้งด้วยวิธีเดียวกัน และวัดอุณหภูมิชิ้นงานก่อนทำการเป่าแห้ง

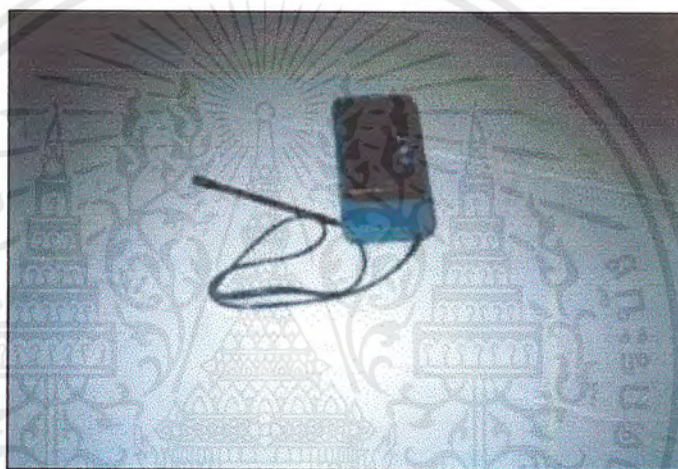
3. เครื่องวัดความเร็วของอากาศ

ใช้ Anemometer ดังรูปที่ 5.2 วัดความเร็วของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง โดยวัดบริเวณทางออกของเครื่องเป่าแห้ง

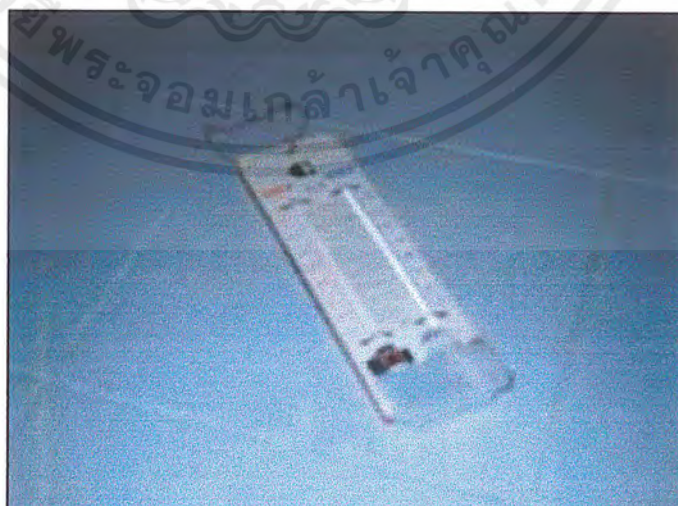
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 อุปกรณ์และวัสดุในการทดสอบ

1. เครื่องเป่าแห้งชนิดควบคุมโดยอัตโนมัติ
2. เครื่องวัดความเร็วลม Anemometer ที่สามารถวัดอุณหภูมิได้
3. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลความละเอียด 0.1 กรัม
4. เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก-กระเปาะแห้ง
5. นาฬิกาจับเวลา
6. ชี้นงาน จากรูปที่ 5.4
7. Barometer
8. สเปรย์ฉีดน้ำ

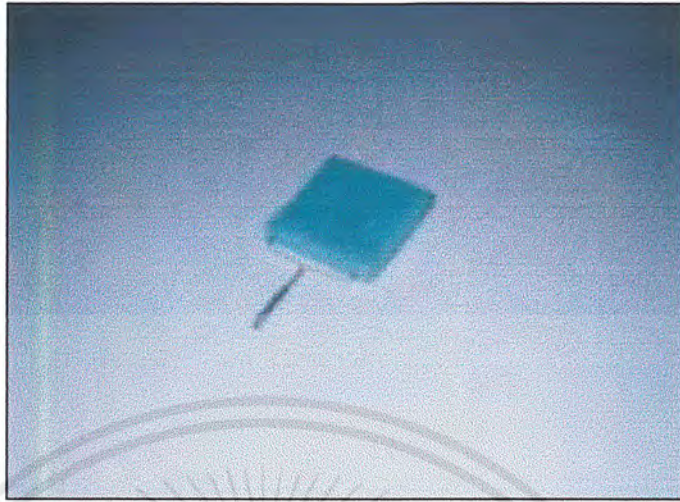


รูปที่ 5.2 Anemometer ที่สามารถวัดอุณหภูมิได้ แสดงผลแบบดิจิทัล



รูปที่ 5.3 เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกกระเปาะแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 ชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 5.5 Barometer

5.3 วิธีการใช้เครื่องเป่าแห้งแบบควบคุมโดยอัตโนมัติ

1. เริ่มจากการเปิด Main Switch
2. ป้อนค่าความเร็วลมและของอุณหภูมิทางออกที่ต้องการที่แผงรับข้อมูล
3. ทำการเปิดเครื่องทำความร้อน (Heater) และเปิดมอเตอร์ให้ทำงาน
4. เมื่อเปิดเครื่องให้ทำงานแล้วเครื่องเป่าแห้งจะเป่าลมในความเร็วและอุณหภูมิอากาศทางออกที่ตั้งค่าไว้ โดยจะสังเกตค่าการทำงานต่างๆได้ที่มอนิเตอร์แสดงสถานะการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การทดสอบสมรรถนะ

วิธีการทดลอง

1. นำชิ้นงานทดสอบไปซึ่งหามวลขณะแห้งสนิท
2. นำชิ้นงานทดสอบไปให้ความชื้นโดยฉีดน้ำด้วยสเปรย์ฉีดน้ำ ให้มีมวลของน้ำที่ชิ้นงานทดสอบ 3 กรัม
3. เปิดเครื่องเป่าแห้งปรับความเร็วการไหลครั้งที่ 2 m/s และอุณหภูมิทางออกค่าหนึ่ง

หมายเหตุ เครื่องเป่าแห้งที่ใช้สามารถปรับค่าของอุณหภูมิได้ช่วงอุณหภูมิที่กว้างมาก และข้อจำกัดของ Anemometer ที่สามารถวัดอุณหภูมิได้สูงสุดที่ 80°C ดังนั้นจึง ทดลอง ได้ที่ อุณหภูมิไม่กี่ค่า ตรงข้ามกับความเร็วการไหลที่ปรับค่าได้ค่อนข้างละเอียด

4. นำชิ้นงานทดสอบไปตั้งไว้หน้าเครื่องเป่าแห้ง ณ จุดที่ได้ทำการวัดความเร็วการไหลและอุณหภูมิไว้ ทำการจับเวลาแล้วชั่งน้ำหนัก ทุกๆ 5 นาทีจนถึง 40 นาที ดังรูป
5. ทำซ้ำข้อ 2-4 โดยใช้ความเร็วการไหลค่าเดิม แต่เปลี่ยนอุณหภูมิทางออก
6. ทำซ้ำข้อ 2-5 โดยเปลี่ยนความเร็วการไหลต่างๆ ดังนี้ 3, 4, 5, 6 m/s

5.5 ผลการทดลอง

เวลา (min)	(2 m/s)RH=62%, DB=26.5, WB=21.5, P _{atm} =1050 hPa											
	26°C				45°C				70°C			
	น้ำหนักชิ้นงาน (g)	ปริมาณความชื้น (%)	น้ำหนักชิ้นงาน (g)	ปริมาณความชื้น (%)	น้ำหนักชิ้นงาน (g)	ปริมาณความชื้น (%)	น้ำหนักชิ้นงาน (g)	ปริมาณความชื้น (%)	น้ำหนักชิ้นงาน (g)	ปริมาณความชื้น (%)	น้ำหนักชิ้นงาน (g)	ปริมาณความชื้น (%)
0	10	150.0	10	150.0	10	150.0	10	150.0	10	150.0	10	150.0
5	9.3	85.2	8.7	51.5	8.2	31.6	8.2	31.6	8.2	31.6	8.2	31.6
10	8.9	61.3	8	25.0	7.3	6.7	7.3	6.7	7.3	6.7	7.3	6.7
15	8.6	47.1	7.7	16.3	7	0	7	0	7	0	7	0
20	8.4	38.9	7.4	8.7	7	0	7	0	7	0	7	0
25	8.2	31.6	7.2	4.2	7	0	7	0	7	0	7	0
30	8.1	28.2	7.1	2.0	7	0	7	0	7	0	7	0
35	8	25.0	7	0	7	0	7	0	7	0	7	0
40	7.9	22.0	7	0	7	0	7	0	7	0	7	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3 m/s)RH=62%, DB=26.5, WB=21.5, P _{atm} =1050 hPa										
		25.8°C			45°C			70°C		
เวลา (min)	น้ำหนักชิ้นงาน (g)	ปริมาณความชื้น		น้ำหนักชิ้นงาน (g)	ปริมาณความชื้น		น้ำหนักชิ้นงาน (g)	ปริมาณความชื้น		
		(%)	(%)		(%)	(%)				
0	10	150.0		10	150.0		10	150.0		
5	9.2	78.6		8.3	35.1		8	25		
10	8.9	61.3		7.5	11.1		7.2	4.2		
15	8.5	42.9		7.2	4.2		7	0		
20	8.2	31.6		7	0		7	0		
25	7.9	22.0		7	0		7	0		
30	7.7	16.3		7	0		7	0		
35	7.5	11.1		7	0		7	0		
40	7.4	8.7		7	0		7	0		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4m/s)RH=58%, DB=25.5, WB=20.0, P_{atm} =1050 hPa

เวลา (min)	25.2°C		40°C		70°C	
	น้ำหนักชิ้นงาน (g)	ปริมาณความชื้น (%)	น้ำหนักชิ้นงาน (g)	ปริมาณความชื้น (%)	น้ำหนักชิ้นงาน (g)	ปริมาณความชื้น (%)
0	10	150.0	10	150.0	10	150.0
5	9.1	72.4	8.4	38.9	7.8	19.0
10	8.6	47.1	7.7	16.3	7.2	4.2
15	8.3	35.1	7.4	8.7	7	0
20	7.9	22.0	7.2	4.2	7	0
25	7.7	16.3	7	0	7	0
30	7.5	11.1	7	0	7	0
35	7.3	6.4	7	0	7	0
40	7.2	4.2	7	0	7	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5m/s)RH=58%, DB=25.5, WB=20.0, P_{atm}=1050 hPa

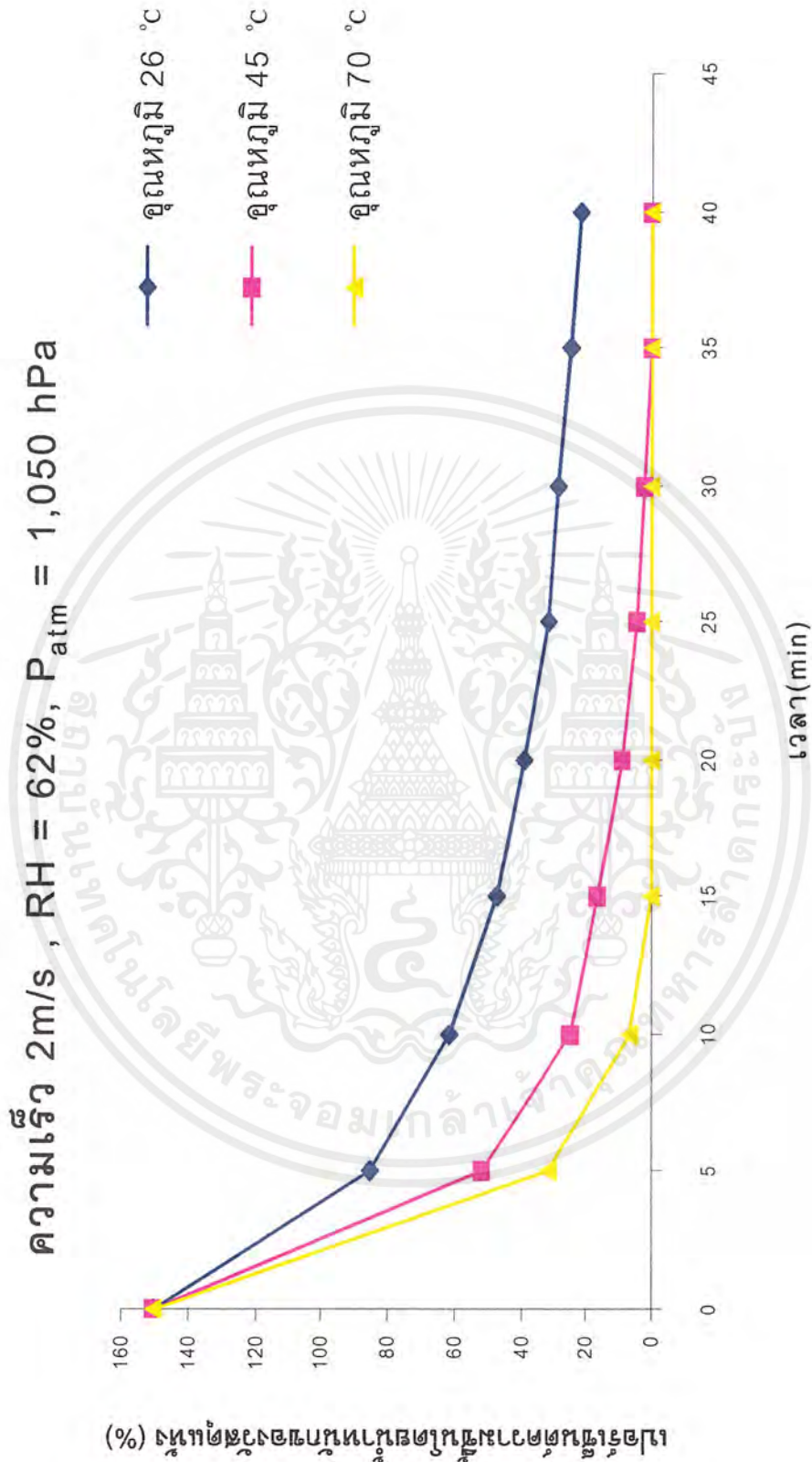
เวลา (min)	24.8°C		45°C		70°C	
	น้ำหนักชิ้นงาน (g)	ปริมาณความชื้น (%)	น้ำหนักชิ้นงาน (g)	ปริมาณความชื้น (%)	น้ำหนักชิ้นงาน (g)	ปริมาณความชื้น (%)
0	10	150.0	10	150.0	10	150.0
5	8.9	61.3	8.2	31.6	7.6	13.6
10	8.4	38.9	7.5	11.1	7.1	2.0
15	8	25.0	7.2	4.2	7	0
20	7.6	13.6	7	0	7	0
25	7.4	8.7	7	0	7	0
30	7.2	4.2	7	0	7	0
35	7.1	2.0	7	0	7	0
40	7	0	7	0	7	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

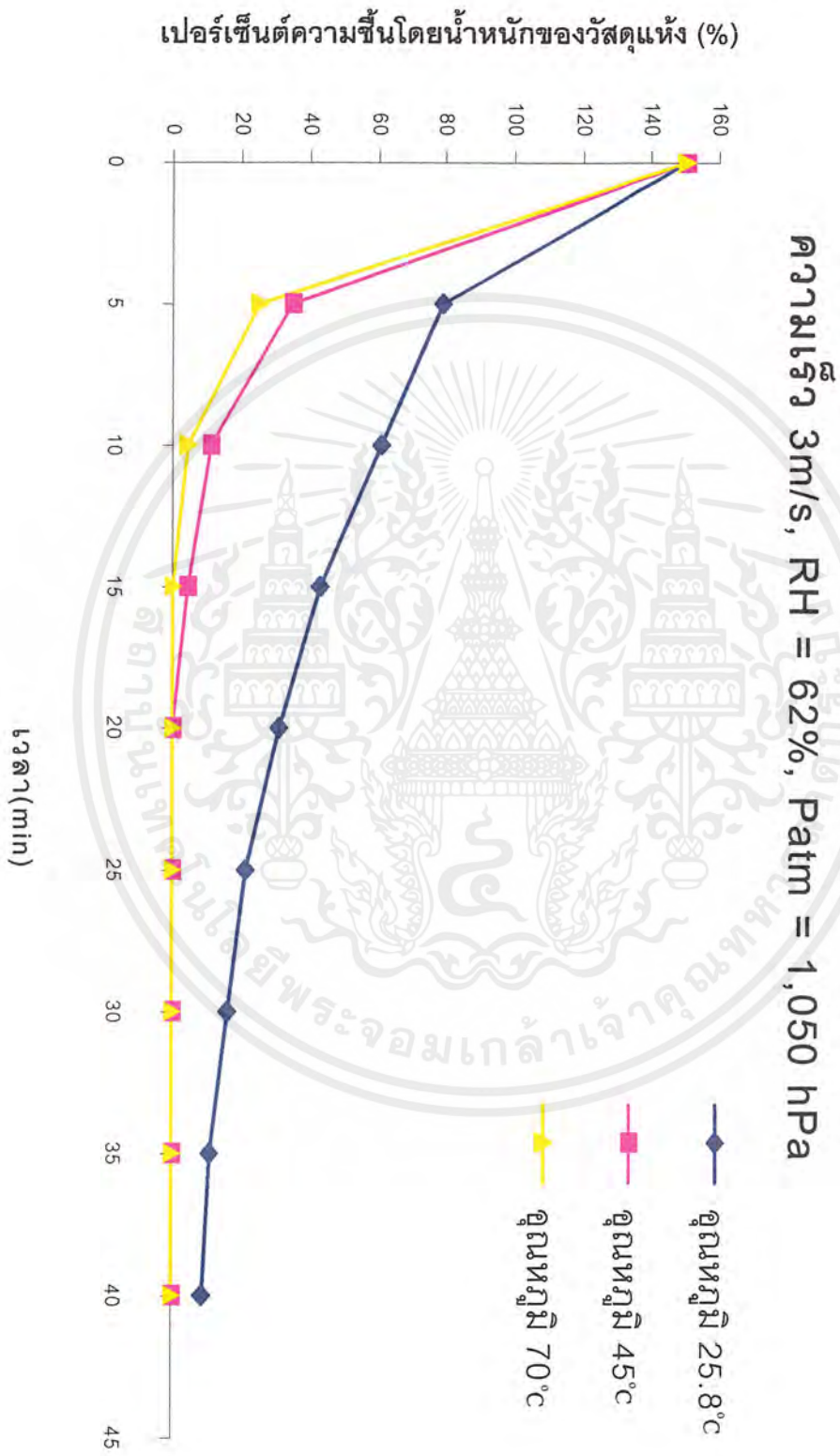
(6m/s)RH=58%, DB=25.5, WB=20.0, P_{atm}=1050 hPa

เวลา (min)	24.6°C		45°C		70°C	
	น้ำหนักชิ้นงาน (g)	ปริมาณความชื้น (%)	น้ำหนักชิ้นงาน (g)	ปริมาณความชื้น (%)	น้ำหนักชิ้นงาน (g)	ปริมาณความชื้น (%)
0	10	150.0	10	150.0	10	150.0
5	8.8	56.3	8.1	28.2	7.5	11.1
10	8.4	38.9	7.5	11.1	7.1	2.0
15	8	25.0	7.2	4.17	7	0
20	7.6	13.6	7	0	7	0
25	7.4	8.7	7	0	7	0
30	7.2	4.2	7	0	7	0
35	7.1	0	7	0	7	0
40	7	0	7	0	7	0

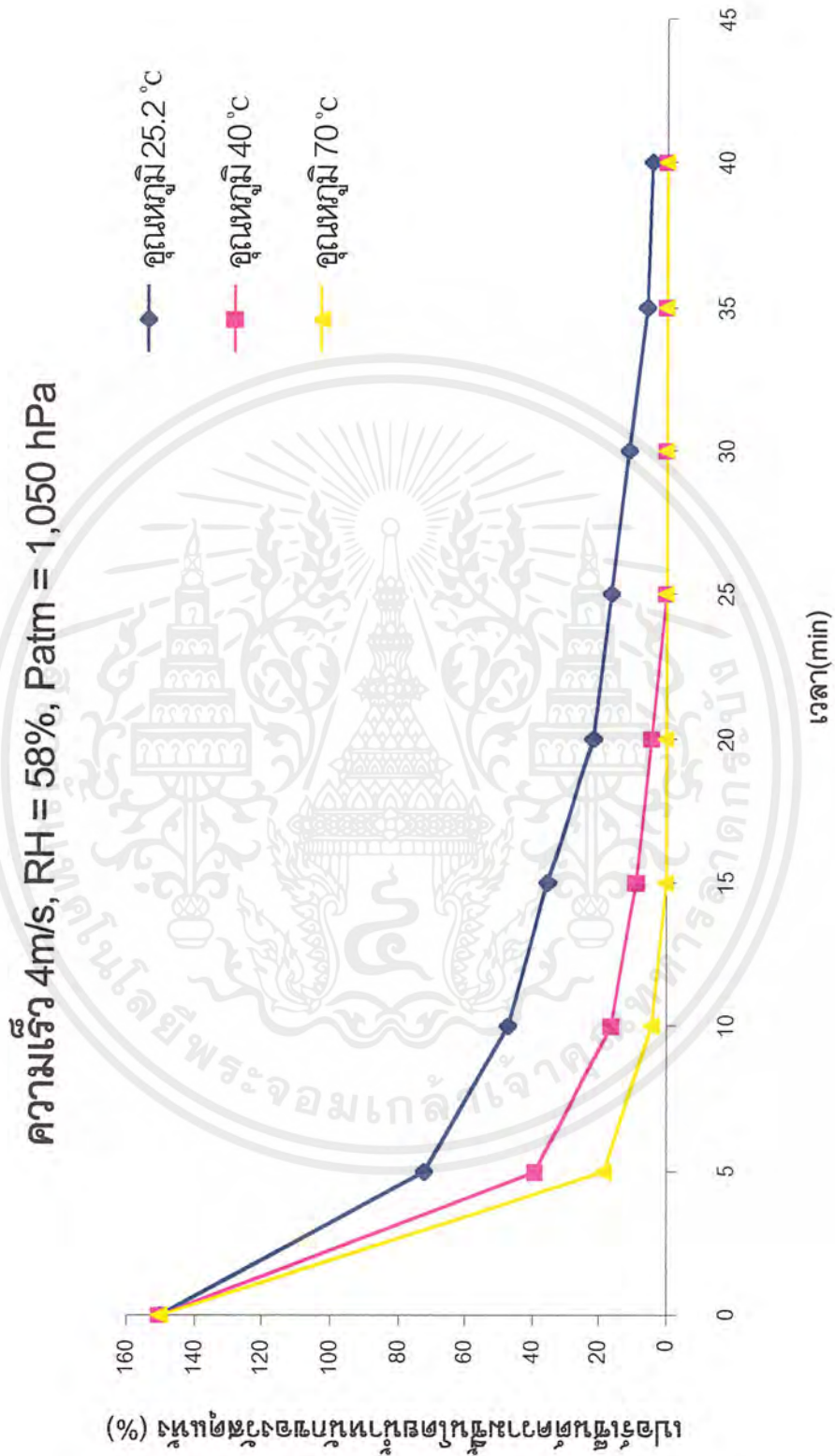
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



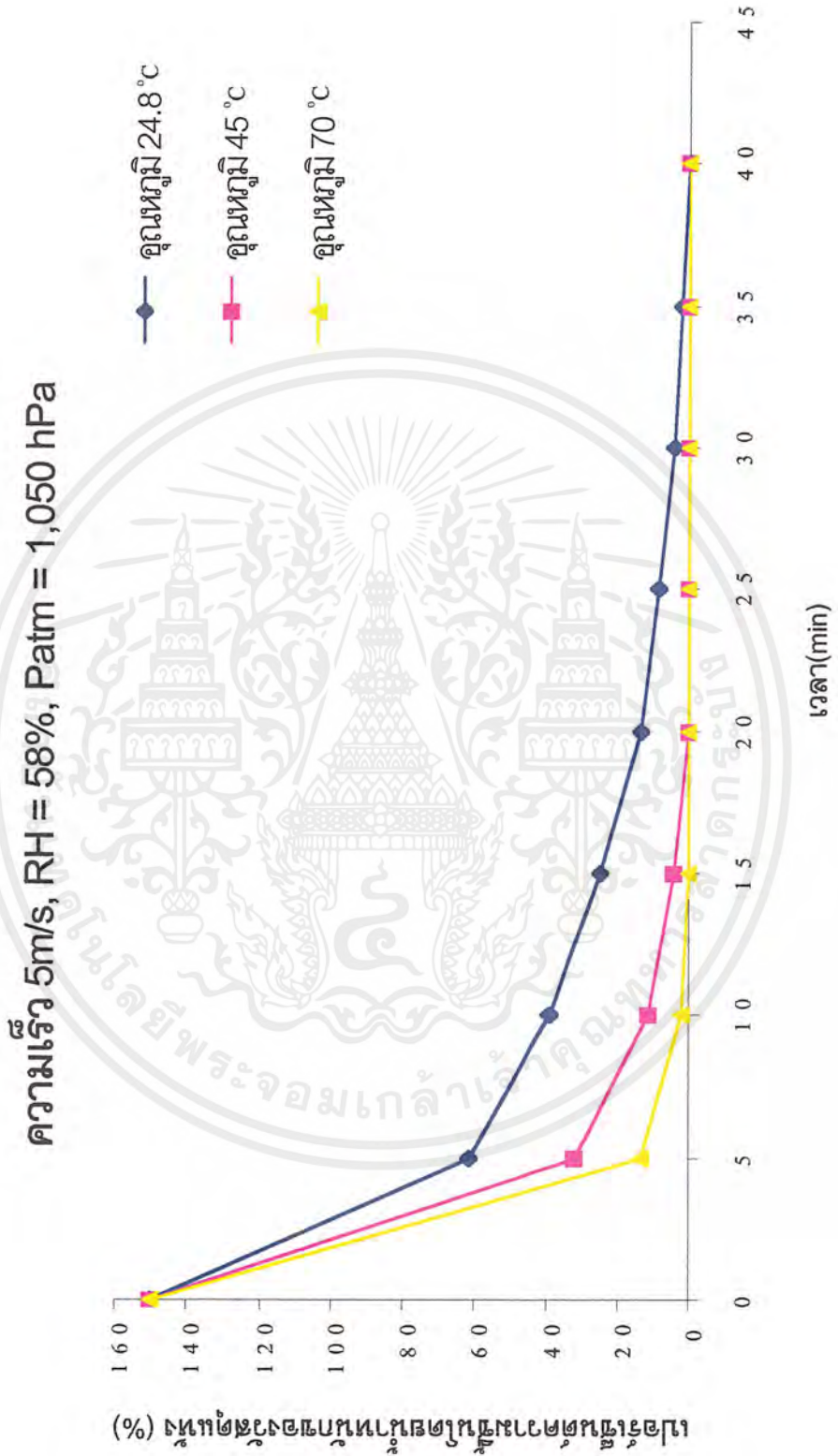
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



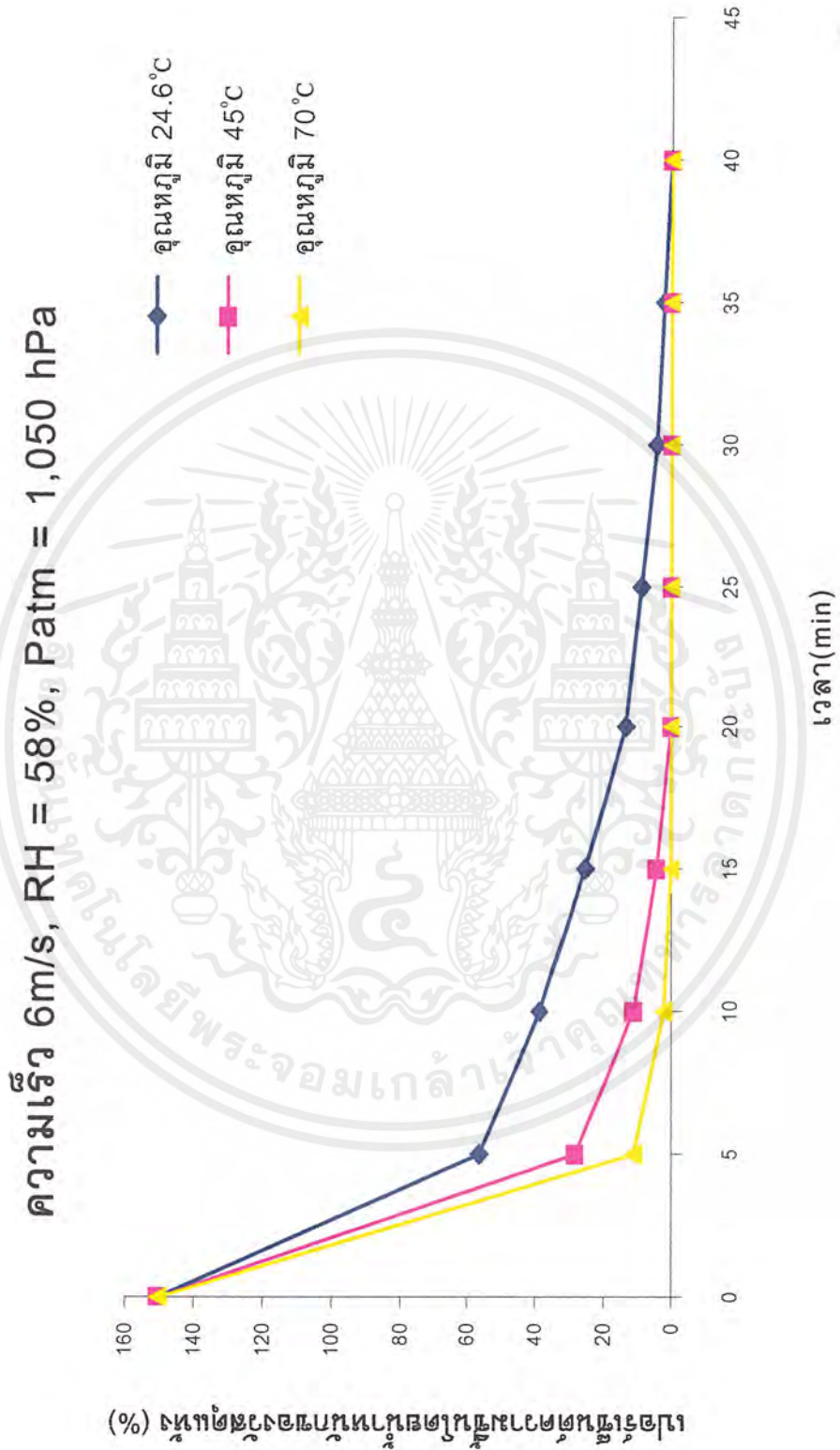
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



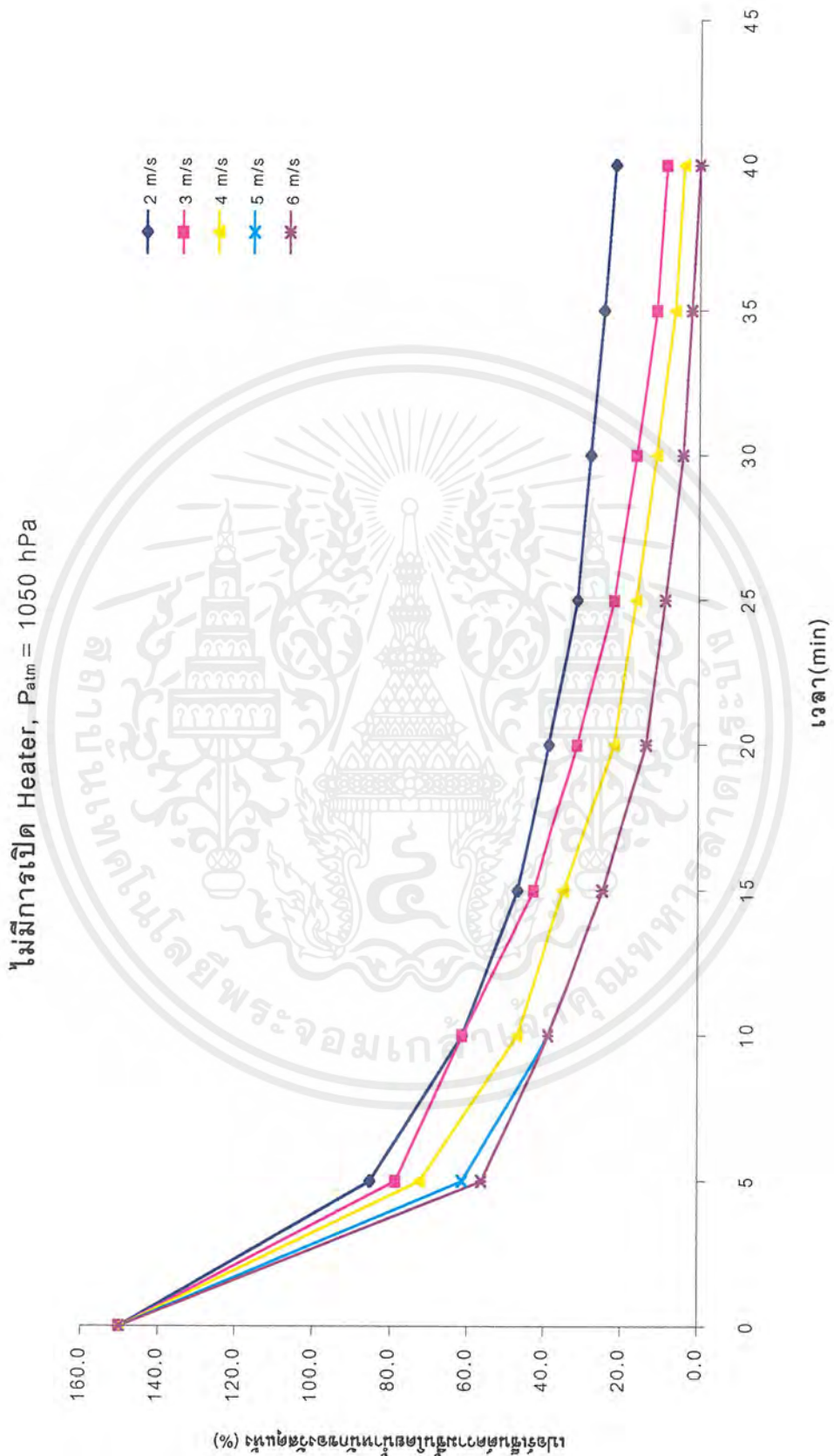
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

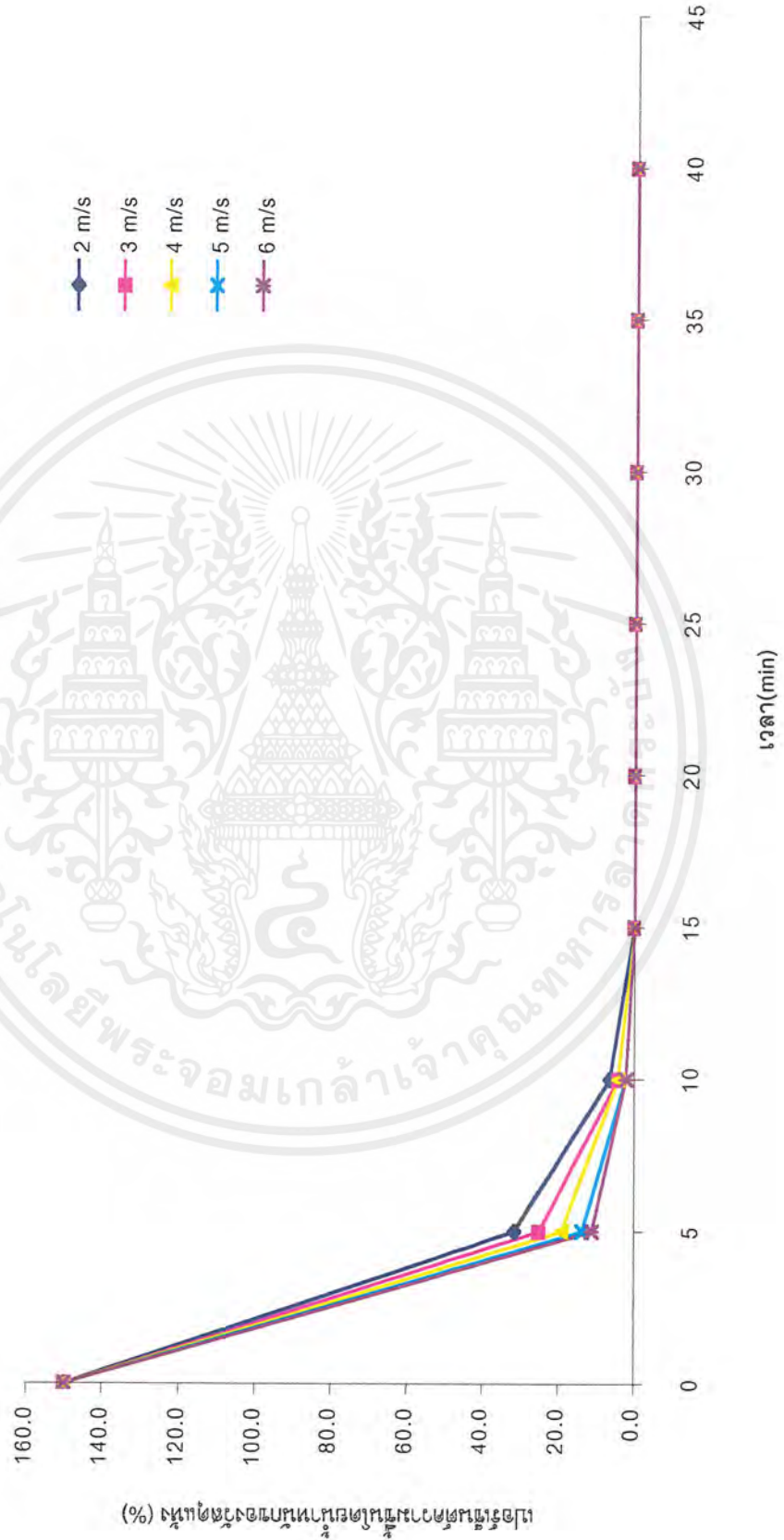


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส, $P_{atm} = 1050 \text{ hPa}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าตัวแปรที่มีผลต่อการลดปริมาณความชื้นของชิ้นงานคืออุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านชิ้นงาน ยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้น, ปริมาณความชื้นก็ลดลงมากขึ้น นอกจากนี้ตัวแปรที่มีผลต่อการลดปริมาณความชื้นของชิ้นงานอีกตัวคือความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านชิ้นงาน ยิ่งความเร็วของอากาศสูงขึ้น, ปริมาณความชื้นก็ลดลงมากขึ้นด้วย

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรออกแบบอุโมงค์รวมทั้งออกแบบการติดตั้งฮีตเตอร์ภายในอุโมงค์ให้มี loss เกิดขึ้นน้อยที่สุด
2. ควรหุ้มฉนวนให้มากที่สุด เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน
3. ในส่วนของชุดควบคุม ควรออกแบบวงจรควบคุมให้มีประสิทธิภาพ โดยมีความสามารถในการควบคุมที่ละเอียด รวมทั้งสามารถมีการตอบสนองได้รวดเร็ว
4. เครื่องมือที่ใช้วัดผลการทดลองต้องเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ เพื่อความถูกต้องและละเอียดของผลการทดลองให้มากที่สุด เช่น ตาชั่ง ต้องมีหน่วยในการวัดที่มีความละเอียดสูง
5. การวัดความเร็วลมบริเวณทางออกที่หน้าตัดใดๆ ควรวัดในหลายๆตำแหน่ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย เพราะที่หน้าตัดใดๆ ณ จุดที่ต่างกันจะมีค่าความเร็วลมไม่เท่ากัน
6. ชิ้นงานที่นำมาใช้ทดลองควรมีขนาดเล็ก เพื่อความสะดวกในการทดลอง เช่น ช่วยย่นระยะเวลาในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Introduction to Fluid Mechanics, Robert W.Fox, Alan T.Mcdonald, John Wiley&Sons, Inc., Fourth Edition, SI VERSION
2. Introduction to Heat Transfer, Frank P. Incropera, David P. De Witt, John Wiley&Sons, Inc., Second Edition
3. Handbook of Industrial Drying [edited by] Arun S.Mujumdar, 2nd ed., rev. and expanded, Newyork: Marcel Dekker, c1995
4. Modern Control Engineering, Katsuhiko Ogata, 2nd ed., Englewood Cliffs, NJ: Prantice Hall, c1990



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

; FILENAME      HEATER.ASM
; DESCRIPTION    CONTROL PROGRAM FOR AUTOMATICALLY CONTROLLED ;
                HOT-AIR DRYER.
; HARDWARE      JAZZ31 VERSION 2.0 WITH TEMPERATURE SENSOR
;                (DS-1620) AND 14 RELAYS CONTROLLER BOARD.
; ASSEMBLER     SXA51
; START-DATE    16/02/2000
; ORGANIZATION  MECHANICAL ENGINEERING OF KMIT'L

```

```
$INCLUDE "J31H2.ASM"
```

```

; Heater adjust timer
ADJ_TIME_HI    EQU    001H
ADJ_TIME_LO    EQU    0FFH

; 8255 Port Adress
PA_8255        EQU    0FC00H
PB_8255        EQU    0FC01H
PC_8255        EQU    0FC02H
CTL_8255       EQU    0FC03H

; DS-1620 Control Port
TMDATA         EQU    P1.0
TMCLCK         EQU    P1.1
TMRSTT         EQU    P1.2
PULSE_PORT     EQU    P1.3

; HEATER CONTROL VALUE ADDRESS
LO_VALUE       EQU    20H ; Note: Heater work on active low
state.
HI_VALUE       EQU    21H

; Target Temperature
TARGET_TEMP    EQU    22H
CURRENT_TEMP   EQU    23H
ADJ_COUNT_LO   EQU    24H
ADJ_COUNT_HI   EQU    25H

; Motor
ON_HIGH        EQU    26H
ON_LOW         EQU    27H
OFF_HIGH       EQU    28H
OFF_LOW        EQU    29H
STATE          EQU    2AH
CONVERT_DONE   EQU    2BH

```

```
-----
; Interrupt Vector & Service Routine-----
```

```

ORG    811BH
jmp    8200H

ORG    8200H
push  0
clr   TR1
cpl   PULSE_PORT
mov   R0, STATE

cjne  R0, #1, OffState

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        mov     TH1, ON_HIGH
        mov     TL1, ON_LOW
        dec     STATE
        jmp     QuitService
OffState:
        mov     TH1, OFF_HIGH
        mov     TL1, OFF_LOW
        inc     STATE
QuitService:
        pop     0
        setb   TR1
        reti

```

```

; Main Program -----

```

```

ORG     8400H

MOV     R2, #5
LCALL  DTSEC
LCALL  CLEAR
call   InitHeater
call   InitMotor
call   MotorOff

MAIN:
MOV     DISBUF+2, #06H ; 123
MOV     DISBUF+3, #5BH
MOV     DISBUF+4, #0CFH
MOV     DISBUF+5, #0H
MOV     DISBUF+6, #0H
MOV     DISBUF+7, #0H
MOV     DISBUF, #0
MOV     DISBUF+1, #0
LCALL  SCAN
CJNE   A, #1, $+6
LJMP   SetTargetTemp
CJNE   A, #2, $+6
LJMP   ManualRunMode
CJNE   A, #3, $+6
LJMP   AutoRunMode
JMP    MAIN

```

```

; Menu 1 Set target temperature -----

```

```

SetTargetTemp:
mov     A, TARGET_TEMP
rr      A
mov     DPL, A
mov     DPH, #0
call   HTOD
mov     A, R3 ; Current Value
MOV     R2, #0H ; Display Character
LCALL  INH
MOV     R1, #0
MOV     R2, #0
MOV     R3, A
LCALL  DTOH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        jb     INPBBFG, CancelSetTarget
        rl     A
        mov    TARGET_TEMP, A
        LCALL UBEEP
CancelSetTarget:
        jmp    MAIN

; Menu 2 Run in Manual Mode -----
-----
ManualRunMode:
        call   SetDefaultSpeed
        MOV    R2, #0CH                ;WRITE CONFIG
        MOV    R3, #00000011B
        LCALL DTWR8
        mov    CONVERT_DONE, #0

ManualRunLoop:
        mov    A, CONVERT_DONE
        cjne   A, #0, ManualDoneLoop

Convert1:
        MOV    R2, #0EEH                ;START CONVERT
        LCALL DTWR

ManualDoneLoop:
        MOV    R2, #0ACH                ;READ CONFIG (DONE BIT)
        LCALL DTRD8
        MOV    A, R3
        JB     ACC.7, ReadTemp1
        mov    CONVERT_DONE, #1
        jmp    NoReadTemp1

ReadTemp1:
        mov    CONVERT_DONE, #0
        MOV    R2, #0AAH                ;READ TEMP
        LCALL DTRD16
        LCALL DTCON
        PUSH  ACC
        MOV    HEXBUF, R2
        MOV    HEXBUF+1, R3
        LCALL HTOS
        POP   ACC
        MOV    DISBUF+6, #3FH           ;0.0
        JNB   ACC.0, NotHalf1
        MOV    DISBUF+6, #6DH           ;0.5

NotHalf1:
        CLR   A
        MOV   DISBUF, A
        MOV   DISBUF+1, A
        MOV   DISBUF+2, A
        MOV   DISBUF+7, A
        ORL  DISBUF+5, #80H
        MOV   R2, #1H
        LCALL SCAND

NoReadTemp1:
        LCALL SCANK
        cjne  A, #10H, DecSpeed1
        call  MotorIncSpeed
        jmp   ManualRunLoop

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DecSpeed1:
    cjne    A, #11H, MaxSpeed1
    call    MotorDecSpeed
    jmp     ManualRunLoop
MaxSpeed1:
    cjne    A, #7H, OffMotor1
    call    MotorMaxSpeed
    jmp     ManualRunLoop
OffMotor1:
    cjne    A, #03H, IncHeater1
    call    MotorOff
    jmp     ManualRunLoop
IncHeater1:
    cjne    A, #06H, DecHeater1
    call    HeaterInc
    jmp     ManualRunLoop
DecHeater1:
    cjne    A, #02H, MotorAdjust1
    call    HeaterDec
    jmp     ManualRunLoop
MotorAdjust1:
    cjne    A, #12H, CheckBack1
    call    MotorAdjustOn
    jmp     ManualRunLoop
CheckBack1:
    cjne    A, #13h, BackToManualRun
    call    HeaterOff
    call    MotorOff
    jmp     MAIN
BackToManualRun:
    jmp     ManualRunLoop

; Menu 3 Run in Auto Mode
-----
AutoRunMode:
    call    SetDefaultSpeed
    call    ResetAdjustCount
    MOV     R2, #0CH                ;WRITE CONFIG
    MOV     R3, #00000011B
    LCALL   DTWR8
    mov     CONVERT_DONE, #0

AutoRunLoop:
    mov     a, CONVERT_DONE
    cjne    A, #0, AutoDoneLoop

Convert2:
    MOV     R2, #0EEH                ;START CONVERT
    LCALL   DTWR

AutoDoneLoop:
    MOV     R2, #0ACH                ;READ CONFIG (DONE BIT)
    LCALL   DTRD8
    MOV     A, R3
    JB     ACC.7, ReadTemp2
    mov     CONVERT_DONE, #1
    jmp     NoReadTemp2

ReadTemp2:

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov    CONVERT_DONE, #0
MOV    R2, #0AAH          ;READ TEMP
LCALL  DTRD16
mov    CURRENT_TEMP, R4
LCALL  DTCON
PUSH   ACC
MOV    HEXBUF, R2
MOV    HEXBUF+1, R3
LCALL  HTOS
POP    ACC
MOV    DISBUF+6, #3FH     ;0.0
JNB   ACC.0, NotHalf2
MOV    DISBUF+6, #6DH     ;0.5
NotHalf2:
CLR    A
MOV    DISBUF, A
MOV    DISBUF+1, A
MOV    DISBUF+2, A
MOV    DISBUF+7, A
ORL   DISBUF+5, #80H
MOV    R2, #1H
LCALL  SCAND
NoReadTemp2:
call   AdjustHeater
LCALL  SCANK
cjne  A, #10H, DecSpeed2
call   MotorIncSpeed
jmp    AutoRunLoop
DecSpeed2:
cjne  A, #11H, MaxSpeed2
call   MotorDecSpeed
jmp    AutoRunLoop
MaxSpeed2:
cjne  A, #7H, OffMotor2
call   MotorMaxSpeed
jmp    AutoRunLoop
OffMotor2:
cjne  A, #3H, MotorAdjust2
call   MotorOff
jmp    AutoRunLoop
MotorAdjust2:
cjne  A, #12H, CheckBack2
call   MotorAdjustOn
jmp    AutoRunLoop
CheckBack2:
cjne  A, #13h, AutoRunLoop
call   HeaterOff
call   MotorOff
jmp    MAIN

```

; Sub-routines -----

; Motor Control Part -----

InitMotor:

call SetDefaultSpeed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

setb    EA
setb    ET1
mov     TMOD, #10H
mov     TH1, ON_HIGH
mov     TL1, ON_LOW
ret

```

SetDefaultSpeed:

```

mov     ON_HIGH, #0FDH ;#0FCH ; Initial Speed
mov     ON_LOW, #7BH
mov     OFF_HIGH, #0FDH ;#0FCH
mov     OFF_LOW, #7BH
mov     R0, #0
mov     STATE, R0
ret

```

MotorDecSpeed:

```

mov     R1, #20
mov     R2, ON_LOW
mov     R3, ON_HIGH
call    AddWord
jc     QuitMotorDec
mov     ON_LOW, R2
mov     ON_HIGH, R3

```

```

mov     R1, #20
mov     R2, OFF_LOW
mov     R3, OFF_HIGH
call    SubWord
mov     OFF_LOW, R2
mov     OFF_HIGH, R3

```

QuitMotorDec:

```
ret
```

MotorIncSpeed:

```

mov     R1, #20
mov     R2, OFF_LOW
mov     R3, OFF_HIGH
call    AddWord
jc     QuitMotorInc
mov     OFF_LOW, R2
mov     OFF_HIGH, R3

```

```

mov     R1, #20
mov     R2, ON_LOW
mov     R3, ON_HIGH
call    SubWord
mov     ON_LOW, R2
mov     ON_HIGH, R3

```

QuitMotorInc:

```
ret
```

MotorMaxSpeed:

```

clr     TR1
clr     PULSE_PORT
ret

```

MotorOff:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        clr    TR1
        setb  PULSE_PORT
        ret

MotorAdjustOn:
        call  SetDefaultSpeed
        setb  TR1
        ret

; Input:
; R1: Byte to Add to Word
; R2: Low Byte of Word
; R3: High Byte of Word
AddWord:
        mov   A, R1
        add  A, R2
        mov  R2, A
        clr  A
        addc A, R3
        mov  R3, A
        ret

SubWord:
        clr  c
        mov  A, R2
        subb A, R1
        mov  R2, A
        mov  A, R3
        subb A, #0
        mov  R3, A
        ret

; Heater Control Part -----
AdjustHeater:
        mov  A, ADJ_COUNT_HI
        cjne A, #ADJ_TIME_HI, QuitAdjustHeater
        mov  A, ADJ_COUNT_LO
        cjne A, #ADJ_TIME_LO, QuitAdjustHeater
        mov  ADJ_COUNT_LO, #0
        mov  ADJ_COUNT_HI, #0
        mov  A, TARGET_TEMP
        clr  c
        subb A, CURRENT_TEMP
        jc   DecTemp
        jz   QuitAdjustHeater
        call HeaterInc
        jmp  QuitAdjustHeater

DecTemp:
        call HeaterDec

QuitAdjustHeater:
        mov  A, ADJ_COUNT_LO
        add  A, #1
        mov  ADJ_COUNT_LO, A
        clr  A
        addc A, ADJ_COUNT_HI
        mov  ADJ_COUNT_HI, A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ret

InitHeater:
    call    INIT_8255;
    mov     TARGET_TEMP, #80
    mov     CURRENT_TEMP, #60
    call    ResetAdjustCount
    mov     LO_VALUE, #OFFH
    mov     HI_VALUE, #OFFH
    call    SetHeater
    ret

ResetAdjustCount:
    mov     ADJ_COUNT_LO, #0
    mov     ADJ_COUNT_HI, #0
    ret

HeaterOff:
    mov     LO_VALUE, #OFFH
    mov     HI_VALUE, #OFFH
    call    SetHeater
    ret

;
; Initial 8255 mode of operation
;
INIT_8255:
    MOV     DPTR, #CTL_8255 ;Init 8255 mode
    MOV     A, #80H ;PA = PB = PC = out
    MOVX    @DPTR, A
    RET

; Input:
SetHeater:
    mov     DPTR, #PA_8255
    mov     A, LO_VALUE
    movx    @DPTR, A
    mov     DPTR, #PB_8255
    mov     A, HI_VALUE
    movx    @DPTR, A
    ret

HeaterDec:
    mov     A, HI_VALUE
    jb     ACC.0, DecLowPart
    orl     A, #80h
    rrc     A
    mov     HI_VALUE, A
    mov     A, LO_VALUE
    anl     A, #7Fh
    rrc     A
    mov     LO_VALUE, A
    jmp     SetHeaterDec

DecLowPart:
    mov     A, LO_VALUE
    jb     ACC.0, QuitHeaterDec
    orl     A, #80h

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        rrc      A
        mov      LO_VALUE, A
SetHeaterDec:
        call     SetHeater
QuitHeaterDec:
        ret

HeaterInc:
        mov      A, LO_VALUE
        jnb     ACC.6, IncHighPart
        mov      B, A
        mov      A, HI_VALUE
        jnb     ACC.6, QuitHeaterInc
        mov      A, B
        clr     c
        rlc     A
        mov      LO_VALUE, A
        jmp     SetHeaterInc

IncHighPart:
        mov      B, A
        mov      A, HI_VALUE
        jnb     ACC.6, QuitHeaterInc
        clr     c
        rlc     A
        mov      HI_VALUE, A
        mov      A, B
        setb    c
        rlc     A
        mov      LO_VALUE, A
SetHeaterInc:
        call     SetHeater
QuitHeaterInc:
        ret

; DS-1620 Sub-routines -----

; ***** DTCON SUB *****
; CONVERT TO TEMPERATURE DATA
; IN  = R3,R4 (9 BIT DATA)
; OUT = R2,R3,A (R2,R3 DECIMAL DATA) (A 0=0.0 1=0.5)
; REG = ALL

DTCON:  MOV      A, R3
        JNB     ACC.0, DTCON2
        RET

;??? (-)

DTCON2: MOV      R7, #0
        CLR     C
        MOV     A, R4
        RRC     A
        JNC     DTCON3
        MOV     R7, #1
        ;0.5

DTCON3: MOV      DPL, A
        MOV     DPH, #0
        LCALL  HTOD
        MOV     A, R7

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

RET

; ***** DTWR, DTWR8, DTWR16 SUB *****
; WRITE COMMAND, DATA TO DS1620
; IN = R2 COMMAND
; R3, R4 DATA
; REG = A, R2, R3, R4, R5, R6

DTWR: CLR TMCLCK ;CLK=0
      LCALL DTDEL
      SETB TMRSTT ;RST=1
      LCALL DTDEL
      MOV A, R2 ;COMMAND
      LCALL DTWRS
      CLR TMRSTT ;RST=0
      LCALL DTDEL
      RET

DTWR8: CLR TMCLCK ;CLK=0
       LCALL DTDEL
       SETB TMRSTT ;RST=1
       LCALL DTDEL
       MOV A, R2 ;COMMAND
       LCALL DTWRS
       MOV A, R3 ;DATA
       LCALL DTWRS
       CLR TMRSTT ;RST=0
       LCALL DTDEL
       LCALL DTDELE
       RET

DTWR16: CLR TMCLCK ;CLK=0
        LCALL DTDEL
        SETB TMRSTT ;RST=1
        LCALL DTDEL
        MOV A, R2 ;COMMAND
        LCALL DTWRS
        MOV A, R4 ;DATA
        LCALL DTWRS
        MOV A, R3
        LCALL DTWRS
        CLR TMRSTT ;RST=0
        LCALL DTDEL
        LCALL DTDELE
        RET

DTWRS: MOV R5, #8 ;WRITE COMMAND/DATA
DTWRS1: RRC A
        MOV TMDATA, C
        NOP
        SETB TMCLCK ;RISING EDGE CLOCK
        LCALL DTDEL
        CLR TMCLCK
        LCALL DTDEL
        DJNZ R5, DTWRS1
        RET

DTDEL: MOV R6, #4 ;DELAY

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        DJNZ    R6,$
        RET

DTDELE:  MOV    R5,#40H                ;END DELAY (FOR EEPROM)
DTDELE1:  MOV    R6,#0
        DJNZ    R6,$
        DJNZ    R5,DTDELE1
        RET

; ***** DTRD8, DTRD16 SUB *****
; WRITE COMMAND , READ DATA TO/FROM DS1620
; IN  = R2    COMMAND
; OUT = R3,R4 DATA (9 BIT)
; REG = A,R2,R3,R4,R5,R6

DTRD8:   CLR    TMCLCK                ;CLK=0
        LCALL  DTDEL
        SETB   TMRSTT                ;RST=1
        LCALL  DTDEL
        MOV    A,R2                  ;COMMAND
        LCALL  DTWRS
        LCALL  DTRDS
        MOV    R3,A
        CLR    TMRSTT                ;RST=0
        LCALL  DTDEL
        RET

DTRD16:  CLR    TMCLCK                ;CLK=0
        LCALL  DTDEL
        SETB   TMRSTT                ;RST=1
        LCALL  DTDEL
        MOV    A,R2                  ;COMMAND
        LCALL  DTWRS
        LCALL  DTRDS
        MOV    R4,A
        LCALL  DTRDS
        ANL   A,#00000001B
        MOV    R3,A
        CLR    TMRSTT                ;RST=0
        LCALL  DTDEL
        RET

DTRDS:   MOV    R5,#8                ;READ DATA SUB
        CLR    A
DTRDS1:  CLR    TMCLCK
        LCALL  DTDEL
        MOV    C,TMDATA
        RRC    A
        SETB   TMCLCK
        LCALL  DTDEL
        DJNZ   R5,DTRDS1
        RET

END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

; FILENAME      J31H2.ASM
; DESCRIPTION   SYSTEM CALL & INTERNAL RAM (MONITOR)
;              LABEL HEADING
;              FOR INCLUDE FROM ANY USER-PROGRAM
; HARDWARE     JAZZ31 VERSION 2.0
; ASSEMBLER    SXA51
; START-DATE   16/05/95
; COMPANY      SILA RESEARCH CO.,LTD.

; ***** VARIABLE SET *****

;***** PORT *****
CONA    EQU    0F800H    ;OUT SEGMENT, PRINTER
CONB    EQU    0F801H    ;OUT 0-3=DIGIT 4=LED 5=/STB 6=WATCH-DOG
7=SPEAKER
CONC    EQU    0F802H    ;IN 0-3=KEY-IN 4=JP8000H 5=BUSY 7=LOW-
BATT
CONP    EQU    0F803H    ;CONTROL PORT

DATABI   EQU    P1.4    ;DS1202 RTC
CLKBIT   EQU    P1.5
RSTBIT   EQU    P1.6
TOOLBT   EQU    P1.7

;***** PARAMETER *****
AUTOR1   EQU    40H    ;AUTO REPEAT FIRST DELAY
AUTOR2   EQU    10H    ;AUTO REPEAT SECOND DELAY (DEFAULT)
AUTORH   EQU    AUTOR2+8 ;AUTO REPEAT SLOW (8 LEVEL ADJUST)
AUTORL   EQU    AUTOR2-8 ;AUTO REPEAT FAST
REFDEL   EQU    12H    ;REFRESH DELAY
PROMPT   EQU    40H    ;PROMPT CHARECTOR
FLASHC   EQU    06H    ;FLASH SPEED DELAY
BRAT12   EQU    0E8H    ;1200 BAUD RATE VAR.
BRAT24   EQU    0F4H    ;2400
BRAT48   EQU    0FAH    ;4800
BRAT96   EQU    0FDH    ;9600
SMOD     EQU    B.7    ;FOR BAUD FUNCTION

; ***** INTERNAL RAM *****

ORG      0000H

;**** USER AREA ****
DS       8    ;USER AREA (REGISTER BANK-0 VIRTUAL)
DS       24   ;USER AREA (INTERNAL RAM & USER STACK)
DS       12   ;USER AREA (BIT ADDRESSABLE)
DS       4    ;**** SYSTEM FLAG AREA ****
DS       2

;**** BUFFER AREA ****
ASMBUF:  ;(FOR REMOTE 8 BYTE)
DISBUF:  DS   8    ;DISPLAY BUFFER (SEGMENT CODE)
HEXBUF:  DS   3    ;HEX BUFFER
SCANM:   DS   1    ;SCAN - KEY MEMORY
SCANAM:  DS   1    ;SCAN - AUTO REPEAT MEMORY
SCANAR:  DS   1    ;SCAN - AUTO REPEAT COUNT DOWN
SCANRC:  DS   1    ;SCAN - REFRESH COUNT DOWN
SCANFC:  DS   1    ;SCAN - FLASH COUNT DOWN

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;**** GENERAL AREA ****
INPBKH: DS      1      ;INPUT - DATA HIGH BACKUP
INPBKL: DS      1      ;INPUT - DATA LOW BACKUP
INPBKC: DS      1      ;INPUT - CHAR BACKUP
IZDATA:          ;(FOR REMOTE 2 BYTE)
MEMADD: DS      2      ;ADDR - DMEM, PMEM, INTR, SFR, DEBUG
IXDATA: DS      2      ;IX DATA MEMORY
IYDATA: DS      2      ;IZ DATA MEMORY (FOR REMOTE)

;**** MEMORY AREA ****
DMMADD: DS      2      ;DATA & PROGRAM ADDRESS
INRADD: DS      1      ;INTERNAL RAM ADDRESS
RUNADD: DS      2      ;RUN ADDRESS (PC)
STTADD: DS      2      ;START ADDRESS
ENDADD: DS      2      ;END ADDRESS
DESADD: DS      2      ;DESTINATION ADDRESS
HEXDAT: DS      1      ;HEX DATA
POWMEM: DS      1      ;POWER UP CODE

;**** VIRTUAL AREA ****
;FOR SFR
VTSP:   DS      1
VTDPL:  DS      1
VTDPH:  DS      1
VTTCON: DS      1
VTTMOD: DS      1
VTTL0:  DS      1
VTTL1:  DS      1
VTTH0:  DS      1
VTTH1:  DS      1
VTP1:   DS      1
VTSCON: DS      1
VTIE:   DS      1
VTIP:   DS      1
VTPSW:  DS      1
VTACC:  DS      1
VTB:    DS      1
STACK:  DS      24
INTEND:

;**** SYSTEM FLAG (EQU) ****
SCANPF EQU      60H ;SCAN - PRESS FLAG
SCANRF EQU      61H ;SCAN - REFRESH ON FLAG
SCANR1 EQU      62H ;SCAN - REFRESH INTR FLAG
SCANR2 EQU      63H ;SCAN - REFRESH DMEM FLAG
SCANF5 EQU      64H ;SCAN - D5 DOT FLASH FLAG
SCANF7 EQU      65H ;SCAN - D7 DOT FLASH FLAG
SCANFF EQU      66H ;SCAN - D6 PROMPT FLASH FLAG
SCANFD EQU      67H ;SCAN - FLASH DATA 0=DARK 1=BRIGHTH

SCANBF EQU      68H ;SCAN - BY PASS DIRECT KEYS FLAG
SCANOL EQU      69H ;SCAN - ONE LOOP SCAN FLAG
AUTOIF EQU      6AH ;MAIN - AUTOI FLAG
FUNC2F EQU      6BH ;FUNC - FUNC2 FLAG
SIMINT EQU      6CH ;DEBUG - INT-SIMULATE (IE1VEC)
SKIPFG EQU      6DH ;DEBUG - SKIP FLAG
MULFG  EQU      6EH ;DPMUL - DPMUL FLAG
INPFIR EQU      6FH ;INPUT, HDGET - FIRST FLAG

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SEFLAG EQU 70H ;DUMP,LIST - SERIAL FLAG (1=SERIAL
0=PRINTER)
INPBFGEQU 71H ;INPUT - BACK-FIELD FLAG
DECFAGEQU 72H ;HDGET - DECIMAL FLAG
GETOKFEQU 73H ;GET2 - 2 DIGIT OK FLAG
SENDENEQU 74H ;SEND - LAST LINE FLAG
POWFAGEQU 75H ;RESET - POWER UP FLAG
STMFAGEQU 76H ;RECV - STREAM FLAG
RELTMM EQU 77H ;RELT - BIT MEMORY

REMFAGEQU 78H ;REM - REMOTE FUNCTION FLAG

; ***** EXTERNAL RAM *****

ORG 8000H
BACKTS: DS 8 ;BACKUP RAM TEST
DATBF: DS 8 ;DATA BUFFER
VTREG: DS 8 ;VIRTUAL REGISTOR

CPUMEM: DS 1 ;8031/32 MEMORY (FOR REMOTE)
TABMEM: DS 4 ;OPCODE MEMORY (ASMX)
INPBUF: DS 41 ;INPUT BUFFER (40 CHR.MAX)
INPEND:
ENDEXT:

; ***** SYSTEM CALL LABEL *****

ENDVEC1 EQU 0033H ;END-PROGRAM TO REMOTE
ENDVEC2 EQU 0036H ;END-PROGRAM TO MONITOR

SUBDA EQU 0039H ;01
CLEAR EQU 003CH ;02
DMSEC EQU 003FH ;03
DTSEC EQU 0042H ;04
DSEC EQU 0045H ;05
TABLE EQU 0048H ;06
CHKSUM EQU 004BH ;07
MOVES EQU 004EH ;08

DPDEC EQU 0051H ;09
DPADD EQU 0054H ;10
DPSUB EQU 0057H ;11
DPMUL EQU 005AH ;12
DPDIV EQU 005DH ;13
DPCOM EQU 0060H ;14
DPAX EQU 0063H ;15
DPXA EQU 0066H ;16

IXRD EQU 0069H ;17
IXWR EQU 006CH ;18
IXINC EQU 006FH ;19
IXDEC EQU 0072H ;20
IXADD EQU 0075H ;21
IXSUB EQU 0078H ;22
IXCOM EQU 007BH ;23
IXAC EQU 007EH ;24

IXAX EQU 0081H ;25

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IXXA	EQU	0084H	;26
DBADD	EQU	0087H	;27
DBSUB	EQU	008AH	;28
DTADD	EQU	008DH	;29
DTSUB	EQU	0090H	;30
SCAN	EQU	0093H	;31
SCAND	EQU	0096H	;32
SCANK	EQU	0099H	;33
INH	EQU	009CH	;34
INW	EQU	009FH	;35
SOUND	EQU	00A2H	;36
UBEEP	EQU	00A5H	;37
SONG	EQU	00A8H	;38
PBYTE	EQU	00ABH	;39
PBYTEH	EQU	00AEH	;40
PBYTEW	EQU	00B1H	;41
PBLOCK	EQU	00B4H	;42
PBLANK	EQU	00B7H	;43
PLF	EQU	00BAH	;44
SBYTE	EQU	00BDH	;45
SBYTEH	EQU	00C0H	;46
SBYTEW	EQU	00C3H	;47
SBLOCK	EQU	00C6H	;48
SBLANK	EQU	00C9H	;49
SLF	EQU	00CCH	;50
RBYTE	EQU	00CFH	;51
RBYTEH	EQU	00D2H	;52
RBYTEW	EQU	00D5H	;53
BAUDS	EQU	00D8H	;54
RTCWR	EQU	00DBH	;55
RTC RD	EQU	00DEH	;56
WDS	EQU	00E1H	;57
HTOS	EQU	00E4H	;58
STOH	EQU	00E7H	;59
HTOA	EQU	00EAH	;60
ATOH	EQU	00EDH	;61
HTOD	EQU	00F0H	;62
DTOH	EQU	00F3H	;63
UPPER	EQU	00F6H	;64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้