

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาระบบการวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนภายใต้สภาวะทาง
อุณหภูมิและความชื้นที่ควบคุมได้

DEVELOPMENT OF A FLYING HEIGHT MEASUREMENT SYSTEM
WITH THE CONTROLLED TEMPERATURE AND HUMIDITY



T125097



คพ.
05820
2556

เลขหมู่.....**125097**
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี..5..0..2556

b.....12508287
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูล

วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

KMITL-2013-DS-M-001-01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DEVELOPMENT OF A FLYING HEIGHT MEASUREMENT SYSTEM
WITH THE CONTROLLED TEMPERATURE AND HUMIDITY**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING IN DATA STORAGE TECHNOLOGY
COLLEGE OF DATA STORAGE INNOVATION
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2013

KMITL-2013-DS-M-001-01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2013


COLLEGE OF DATA STORAGE INNOVATION

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาระบบการวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนภายใต้สภาวะทางอุณหภูมิและความชื้นที่ควบคุมได้
Thesis Title DEVELOPMENT OF FLYING HEIGHT MEASUREMENT SYSTEM WITH THE CONTROLLED TEMPERATURE AND HUMIDITY
นักศึกษา นายวิทยา นิลทะราช
รหัสประจำตัว 53690204
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา เทคโนโลยีการบันทึกข้อมูล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช บุญแสง
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2013-DS-M-001-01

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมยศ	เกียรติวินชวีไล	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช	บุญแสง	
ดร.อนรรฆพล	แสนทน	
ดร.ราชศักดิ์	ศักดิ์านภาพ	
รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย	ไพจิตโรจนา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 7 มีนาคม 2556 เวลา 13.30 - 15.30 น.

สถานที่สอบ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.อภินันท์ ธนชยานนท์)

คณบดี วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล

วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนากระบวนการวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนภายใต้สภาวะทางอุณหภูมิและความชื้นที่ควบคุมได้

นักศึกษา

นายวิทยา นิลทะราช

รหัสประจำตัว

53690204

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

เทคโนโลยีการบินที่กข้อมูล

พ.ศ.

2556

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.ศิริเดช บุญแสง

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสำหรับการวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนในเครื่องวัดระดับการบิน โดยสร้างและติดตั้งระบบนี้บนเครื่องวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียน รุ่น DFHT 6 ในปัจจุบันฮาร์ดิสก์ไดรฟ์ถูกนำไปใช้หลากหลายผลิตภัณฑ์และสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันไป และเป็นที่ยอมรับว่า ค่าสภาวะอุณหภูมิและความชื้นมีผลกระทบต่อระดับการบินระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นบันทึกข้อมูลซึ่งมีค่าระดับการบินระหว่าง 7-10 นาโนเมตร ดังนั้นอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับการบินของหัวอ่านเขียนและแผ่นบันทึกข้อมูล การเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของสภาพแวดล้อมสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับการบินระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นบันทึกข้อมูลได้ โดยการวัดระดับการบินจะใช้เครื่องวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนที่ใช้ในอุตสาหกรรมฮาร์ดิสก์ไดรฟ์ในปัจจุบันที่ติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยอุณหภูมิสูงสุดของระบบที่ทำงานได้ คือที่ 60 องศาเซลเซียสที่ความชื้นสัมพัทธ์ 10 % โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นระดับการบินของหัวอ่านเขียนในบริเวณสำหรับอ่านและเขียนข้อมูลจะเพิ่มในลักษณะเป็นเส้นตรง และค่าระดับการบินในบริเวณด้านหน้าของหัวอ่านเขียนจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าอุณหภูมิและความชื้นเพิ่มขึ้น

Thesis	Development of A Flying Height Measurement System with The Controlled Temperature and Humidity
Student	Mr. Wittaya Niltarach
Student ID.	53690204
Degree	Master of Engineering
Program	Engineering of Data Storage Technology
Year	2013
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Siridech Boonsang

ABSTRACT

In this paper, we present the temperature and humidity controlled system for the flying height measurement of magnetic recording heads. This system performs to install on the dynamic flying height tester model DFHT6. In today's the hard disk drives were used in many application and many environment. As well know the effects of the temperature and humidity to flying height change are critical in HDD due to the spacing between read/write element of slider have low flying height in range 7-10 nm. The small environmental changes in the low flying height can cause the variation of the head-media spacing. The flying height measurement system is based on the commercial dynamic flying height testing machine that include environment controlled system. The maximum temperature that the flying height measurement can be performed is 60 degree Celsius at the relative humidity of 10%. The flying height on read/write element is linearly increase with increasing temperature and the flying height on read/write element (FHCR) is linearly increase with increasing temperature and the flying height on the leading edge of slider (IRLE ,ORLE) is linearly decrease with the increasing of temperature and humidity.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษา ศศ.ดร.ศิริเดช บุญแสง ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ที่เอื้อเฟื่องบประมาณในการซื้ออุปกรณ์เพื่อการทดลอง ตลอดจนสถานที่ที่ใช้ทำการทดลองและค้นคว้าข้อมูล

ขอขอบคุณ ผู้บริหาร ผู้บังคับบัญชาที่ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้ให้โอกาสข้าพเจ้า มาเพิ่มพูนประสบการณ์ในการศึกษาและการวิจัย โดยเฉพาะหัวหน้า วันชัย อรุณเจริญ นาย ที่ให้การสนับสนุนและคำปรึกษาที่ดีตลอดการศึกษาวิจัย และพี่ศพล รัตนสิริ ช่างผู้ชำนาญเครื่องวัดระดับการบิน และที่ขาดไม่ได้ คือ คุณณฤชิต สร้อยเพชร วิศวกรประจำวิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล ที่เป็นเพื่อนร่วมงานและผู้ช่วยเหลือทุกด้านตลอดมา

ขอขอบคุณ สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่เอื้อเฟื่องบประมาณในการดำเนินการงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้องและเพื่อนๆ ที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือส่งเสริมในทุกๆ ด้านเป็นอย่างดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนร่วมทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่ช่วยเป็นแรงบันดาลใจและให้การสนับสนุน จนกระทั่งวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณอย่างสูง

วิทยา นิลทะราช

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎี และแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย.....	4
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีวรรณกรรมเกี่ยว และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 การถ่ายเทความร้อน(Heat transfer).....	10
2.1.1 การถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน(Conductive heat transfer).....	10
2.1.2 การถ่ายเทความร้อนแบบพา (Convective heat transfer).....	10
2.1.3 การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี (Radiation heat transfer).....	11
2.2 แนวคิดการควบคุมกำลัง ไฟฟ้า.....	12
2.3 การควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยใช้ไทรสเตอร์.....	13
2.3.1 การเลือกสภาวะการทำงาน และการทำให้ ไตรแอกหยุดนำกระแส.....	14
2.4 การควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีควบคุมเฟส.....	15
2.5 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity: RH).....	16
2.6 จุดน้ำค้าง (Dew Point).....	17
2.7 ตัวทำความร้อนแบบพีทีซี(PTC: Positive coefficient of resistance).....	18
2.8 ทฤษฎี และคุณลักษณะพื้นฐานของเซ็นเซอร์ความชื้น.....	20

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.9 ตัวตรวจวัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน	21
2.9.1 การต่อใช้งานอาร์ทีดี แบบต่าง ๆ	23
2.10 ระบบควบคุมพีไอดี	25
2.10.1 ระบบควบคุมแบบสัดส่วน(Proportion control)	27
2.10.2 ระบบควบคุมแบบปริพันธ์(Integral control or Reset).....	29
2.10.3 ระบบควบคุมแบบอนุพันธ์(Derivative control).....	29
2.11 การปรับพารามิเตอร์ของระบบควบคุมพีไอดี.....	30
2.12 การปรับพารามิเตอร์ของระบบควบคุมพีไอดีด้วยวิธีซิกเลอร์ นิโคล (Ziegler-Nichols).....	31
2.13 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
บทที่ 3 อุปกรณ์และการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น.....	42
3.1 ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสำหรับเครื่องวัดระดับการบิน	42
3.2 การออกแบบและ โครงสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น.....	44
3.3 ระบบทำความร้อน.....	46
3.4 ระบบทำความเย็น	53
3.5 ระบบทำความชื้น.....	55
3.6 ระบบดูดความชื้น.....	59
บทที่ 4 วิธีการทดลอง ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง	63
4.1 วิธีการทดลองปรับค่าพีไอดี.....	64
4.1.1 การทดลองศึกษาผลของค่า K_p ที่มีต่อระบบควบคุม.....	65
4.1.2 การทดลองศึกษาผลของค่า K_i ที่มีต่อระบบควบคุม	67
4.1.3 การทดลองศึกษาผลของค่า K_d ที่มีต่อระบบควบคุม.....	70
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	74
4.3 การทดลองและผลการทดลองการปรับค่า พีไอดี ด้วยวิธี ซิกเลอร์ นิโคล.....	75

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	83
4.5 การทดลองและผลการทดลองระบบทำความเย็นเพื่อลดอุณหภูมิของระบบ	84
4.6 วิเคราะห์ผลการทดลองการทำความเย็นของระบบควบคุมอุณหภูมิ	88
4.7 การทดลองและผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้น	89
4.8 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	91
4.9 การทดลองทดสอบวัฏระดับการบินของหัวอ่านเขียน	92
4.9.1 การทดลองผลตอบสนองระดับการบินของหัวอ่านเขียนต่ออุณหภูมิ	94
4.9.2 วิเคราะห์การทดลองผลตอบสนองระดับการบินของหัวอ่านเขียนต่ออุณหภูมิ	96
4.9.3 การทดลองวัฏระดับการบินของหัวอ่านเขียน โดยการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้น	96
4.9.4 วิเคราะห์ผลการทดลองวัฏระดับการบินของหัวอ่านเขียน โดยการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้น	98
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	100
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	100
5.1.1 การศึกษาขอบเขตของระบบและการออกแบบ.....	100
5.1.1.1 ระบบทำความร้อน	101
5.1.1.2 ระบบทำความเย็น	101
5.1.1.3 ระบบทำความชื้น	102
5.1.1.4 ระบบลดความชื้น.....	102
5.1.2 การทดสอบและการปรับค่า พีไอดี	102
5.1.3 การทดลองปรับค่า พีไอดี ด้วยวิธี ซิกเลอร์ นิโคล.....	103
5.2 การทดสอบการวัฏระดับการบินของหัวอ่านเขียน	104
5.3 ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาการวิจัยในอนาคต	105

VI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง.....107

ภาคผนวก.....109

ประวัติผู้เขียน.....123



VII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	แสดงการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของ อาร์ทีดี เทียบกับ เทอร์มอคัปเปิล.....	25
ตารางที่ 2.2	แสดงผลของการเพิ่มค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุม พีไอดี.....	31
ตารางที่ 2.3	สำหรับคำนวณค่าอัตราขยายด้วยวิธีของ Ziegler – Nichols	31
ตารางที่ 4.1	แสดงค่าความชันสัมพัทธ์สูงสุดและค่าความชันสัมพัทธ์ต่ำสุดในช่วงอุณหภูมิ 11 ถึง 60 องศาเซลเซียส ที่ระบบควบคุมความชื้นทำได้	91



VIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1 (a) แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (b) แสดงส่วนต่างๆ บนหน้าหัวอ่านเขียน และ(c) แสดงลักษณะการบินพื้นฐานของหัวอ่านเขียน ขณะแผ่นดิสก์หมุน	2
รูปที่ 2.1 รูปแสดงการวัดค่าความเอียง (Pitch) ของหัวอ่านเขียน.....	7
รูปที่ 2.2 รูปแสดงการวัดค่าความเอียงด้านข้าง (Roll) ของหัวอ่านเขียน	7
รูปที่ 2.3 แสดงลำแสงเลเซอร์ที่ส่งออกไปจากเลเซอร์ไดโอดและลำแสงที่สะท้อนกลับ จากผิวล่างของแผ่นดิสก์แก้วและหัวอ่านเขียน.....	8
รูปที่ 2.4 แสดงระบบการวัดแบบ Differential Phase Interferometry.....	9
รูปที่ 2.5 การถ่ายเทความร้อนแบบการนำ.....	10
รูปที่ 2.6 แสดงวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานที่โหลด (Load) หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ.....	12
รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้าง สัญลักษณ์ และวงจรสมมูล ของ ไตรแอก	13
รูปที่ 2.8 แสดงการทำงานของไตรแอกทั้ง 4 สถานะการทำงาน	14
รูปที่ 2.9 แสดงการควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วย อุปกรณ์ไทรสเตอร์ ที่มุมต่างๆ.....	16
รูปที่ 2.10 แสดงรูปร่างของตัวทำความร้อนแบบ พีทีซี ที่ใช้ในระบบทำความร้อน	18
รูปที่ 2.11 แสดงการต่อขั้วไฟฟ้ากับตัวพีทีซี เซรามิก โดยวิธี Metallization.....	19
รูปที่ 2.12 รูปกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเทียบกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น	20
รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างพื้นฐานเซ็นเซอร์ความชื้น	21
รูปที่ 2.14 แสดงวงจร Wheathstone Bridge ของ อาร์ทีดี แบบ 2 สาย	23
รูปที่ 2.15 แสดงวงจร Wheathstone Bridge ของ อาร์ทีดี แบบ 3 สาย	24
รูปที่ 2.16 แสดงวงจร Wheathstone Bridge ของ อาร์ทีดี แบบ 4 สาย	24
รูปที่ 2.17 แสดงระบบการควบคุมแบบ พีไอดี.....	26
รูปที่ 2.18 การกำหนดช่วงจำกัดของเอาต์พุต.....	27
รูปที่ 2.19 การตอบสนองของการควบคุมแบบสัดส่วน.....	28
รูปที่ 2.20 แสดงการตอบสนองแบบอนุพันธ์.....	30
รูปที่ 2.21 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแอมพลิจูดที่เปลี่ยนแปลงความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น จากค่าความชื้น 6 % -7% ถึง 66 % - 67 % ที่อุณหภูมิ 52-53 องศาเซลเซียส[1]	32

IX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.22	แสดงการเปรียบเทียบการลดลงของระดับการบินของหัวอ่านเขียนระหว่างผลจากการวัดกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่อค่าแรงดันไอน้ำที่มีในอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป	33
รูปที่ 2.23	แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับการบินเทียบกับความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	34
รูปที่ 2.24	แสดงความดันที่กระทำต่อหัวอ่านเขียนที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 0 %	35
รูปที่ 2.25	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าระดับการบินต่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เปลี่ยนแปลงไปที่อุณหภูมิ 25 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส.....	36
รูปที่ 2.26	แสดงการเปรียบเทียบค่าระดับการบินในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยวิธีวัดสัญญาณแอมพลิจูดกับค่าระดับการบินจากการคำนวณด้วยแบบจำลอง ที่อุณหภูมิต่างๆ	36
รูปที่ 2.27	แสดงรูปร่างของหัวอ่านเขียนแบบ Thermal actuated 2 แบบ.....	37
รูปที่ 2.28	แสดงลักษณะของแรงดันอากาศที่กระทำบนหัวอ่านเขียนแบบThermal actuated	38
รูปที่ 2.29	แสดงค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิและความชื้นที่เปลี่ยนแปลง	39
รูปที่ 2.30	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียน 2 ชนิด เทียบกับค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง.....	39
รูปที่ 2.31	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเอียง (Pitch) ของหัวอ่าน 2 ชนิด เทียบกับค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง	40
รูปที่ 3.1	แสดงระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นบนเครื่องวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียน	42
รูปที่ 3.2	เครื่องวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียน รุ่น DFHT6.....	43
รูปที่ 3.3	แสดงโครงสร้างกล่องหลักและกล่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	45
รูปที่ 3.4	กล่องการวัดที่ทำการชุบสีดำ ด้วยวิธี ไอ โน ไคซ์.....	46
รูปที่ 3.5	ตัวทำความร้อนแบบ พีทีซี(PTC) ขนาด 220 V 25 W	47
รูปที่ 3.6	การแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของตัวทำความร้อนแบบพีทีซีขนาด 25 วัตต์ ที่ช่วงอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ถึง 100 องศาเซลเซียส	48
รูปที่ 3.7	กล่องการวัดที่ติดตั้งตัวทำความร้อนแบบ พีทีซี(PTC).....	48
รูปที่ 3.8	พีไอดี คอนโทรลเลอร์ West 6100+ และ โซลิตเสเตรท (SSR).....	49

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่	รูปที่ 3.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมอุณหภูมิ.....	49
รูปที่	รูปที่ 3.10 แสดงตำแหน่งการติดตั้งกล่องการวัดที่เครื่องวัดระดับการบิน.....	50
รูปที่	รูปที่ 3.11 แสดงสัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่มุมจุดชนวนของวงจรควบคุมเฟส ที่ 0 องศา.....	51
รูปที่	รูปที่ 3.12 แสดงสัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่มุมจุดชนวนของวงจรควบคุมเฟส ที่ 90 องศา.....	51
รูปที่	รูปที่ 3.13 แสดงสัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่มุมจุดชนวนของวงจรควบคุมเฟส ที่ 135 องศา.....	52
รูปที่	รูปที่ 3.14 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นที่กล่องการวัด	53
รูปที่	รูปที่ 3.15 แสดงโครงสร้างกล่องถ่ายโอนความร้อนและการติดตั้งชุดทำความเย็น.....	54
รูปที่	รูปที่ 3.16 เครื่องทำความเย็น Merin-100.....	55
รูปที่	รูปที่ 3.17 เครื่องทำความชื้นแบบอัลตราโซนิค ของ Microfog Ultrasonic Humidifier รุ่น H305....	56
รูปที่	รูปที่ 3.18 รีกูเลเตอร์ (Regulator)	57
รูปที่	รูปที่ 3.19 คิวติคอลเกจวัดแรงดันอากาศ.....	57
รูปที่	รูปที่ 3.20 เซ็นเซอร์สำหรับวัดความชื้น รุ่นHIH-4000	58
รูปที่	รูปที่ 3.21 แสดงการติดตั้งท่อดูดความชื้น (Humidity Pipeline).....	59
รูปที่	รูปที่ 3.22 บล็อกไดอะแกรมระบบดูดความชื้น.....	60
รูปที่	รูปที่ 3.23 ชุดดูดความชื้น (Desiccator)	60
รูปที่	รูปที่ 3.24 เครื่องวัดการบินของหัวอ่านเขียนที่ติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น.....	61
รูปที่	รูปที่ 3.25 อุปกรณ์ไหลหัวอ่านเพื่อนำไปทดสอบ (Transfer block).....	61
รูปที่	รูปที่ 3.26 แผ่นดิสก์แก้วชนิดป้องกันการสะท้อนของแสง (Anti-refraction coat glass disk)	62
รูปที่	รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลตอบสนองของระบบควบคุม.....	64
รูปที่	รูปที่ 4.2 กราฟการทดลองปรับค่า $K_p = 2.4$ $K_i = 1.12$ และ $K_d = 0.32$	65
รูปที่	รูปที่ 4.3 กราฟการทดลองปรับค่า $K_p = 5.4$ $K_i = 1.12$ และ $K_d = 0.32$	66
รูปที่	รูปที่ 4.4 กราฟการทดลองปรับค่า $K_p = 8.4$ $K_i = 1.12$ และ $K_d = 0.32$	66
รูปที่	รูปที่ 4.5 กราฟการทดลองปรับค่า $K_p = 12.4$ $K_i = 1.12$ และ $K_d = 0.32$	67
รูปที่	รูปที่ 4.6 กราฟการทดลองปรับค่า $K_i = 2.12$ $K_p = 2.4$ และ $K_d = 0.32$	68
รูปที่	รูปที่ 4.7 กราฟการทดลองปรับค่า $K_i = 4.12$ $K_p = 2.4$ และ $K_d = 0.32$	68
รูปที่	รูปที่ 4.8 กราฟการทดลองปรับค่า $K_i = 8.12$ $K_p = 2.4$ และ $K_d = 0.32$	69

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.9 กราฟการทดลองปรับค่า $K_i = 16.12$ $K_p = 2.4$ และ $K_d = 0.32$	70
รูปที่ 4.10 กราฟการทดลองปรับค่า $K_d = 1.32$ $K_p = 2.4$ และ $K_i = 1.12$	71
รูปที่ 4.11 กราฟการทดลองปรับค่า $K_d = 2.32$ $K_p = 2.4$ และ $K_i = 1.12$	71
รูปที่ 4.12 กราฟการทดลองปรับค่า $K_d = 3.32$ $K_p = 2.4$ และ $K_i = 1.12$	72
รูปที่ 4.13 กราฟการทดลองปรับค่า $K_p = 2.4$ $K_i = 4.2$ และ $K_d = 1.32$	72
รูปที่ 4.14 กราฟการทดลองปรับค่า $K_p = 2.4$ $K_i = 8.12$ และ $K_d = 1.32$	74
รูปที่ 4.15 การวัดคาบเวลาสำหรับ วิธีการปรับ พีไอดี แบบ ซิกเลอร์ นิโคล	76
รูปที่ 4.16 กราฟการปรับค่า พีไอดี ด้วยวิธี ซิกเลอร์ นิโคล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	77
รูปที่ 4.17 กราฟการปรับค่า พีไอดี ด้วยวิธี ซิกเลอร์ นิโคล ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	78
รูปที่ 4.18 กราฟการปรับค่า พีไอดี ด้วยวิธี ซิกเลอร์ นิโคล ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	79
รูปที่ 4.19 กราฟการปรับค่า พีไอดี ด้วยวิธี ซิกเลอร์ นิโคล ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส	80
รูปที่ 4.20 กราฟการปรับค่า พีไอดี ด้วยวิธี ซิกเลอร์ นิโคล ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	81
รูปที่ 4.21 กราฟการปรับค่า พีไอดี ด้วยวิธี ซิกเลอร์ นิโคล ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส	82
รูปที่ 4.22 กราฟการปรับค่า พีไอดี ด้วยวิธี ซิกเลอร์ นิโคล ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	83
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงการควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส	85
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงการควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส	86
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงการควบคุมอุณหภูมิที่ 15 องศาเซลเซียส	87
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงการควบคุมอุณหภูมิที่ 11 องศาเซลเซียส	88
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงการควบคุมความชื้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	90
รูปที่ 4.28 แสดงตำแหน่งการวัดระดับการบิบนบนหัวอ่านเขียน	93
รูปที่ 4.29 แสดงการแบ่งช่วงรัศมีบนแผ่นดิสก์แก้ว	94
รูปที่ 4.30 แสดงการเปลี่ยนแปลงผลตอบสนองค่าระดับการบิบนของหัวอ่านเขียนต่อสภาวะอุณหภูมิ ที่เปลี่ยนแปลง	95
รูปที่ 4.31 แสดงการเปลี่ยนแปลงผลตอบสนองค่าระดับการบิบนของหัวอ่านเขียนต่อสภาวะอุณหภูมิ ที่เปลี่ยนแปลง	95

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.32	แสดงการเปลี่ยนแปลงผลตอบแทนของค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียน ที่ตำแหน่ง FHCR ที่อุณหภูมิและความชื้นต่าง ๆ	97
รูปที่ 4.33	แสดงการเปลี่ยนแปลงผลตอบแทนของค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนที่ตำแหน่ง IRLE ที่อุณหภูมิและความชื้นต่าง ๆ.....	97
รูปที่ 4.34	แสดงการเปลี่ยนแปลงผลตอบแทนของค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนที่ตำแหน่ง ORLE ที่อุณหภูมิและความชื้นต่าง ๆ.....	98



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

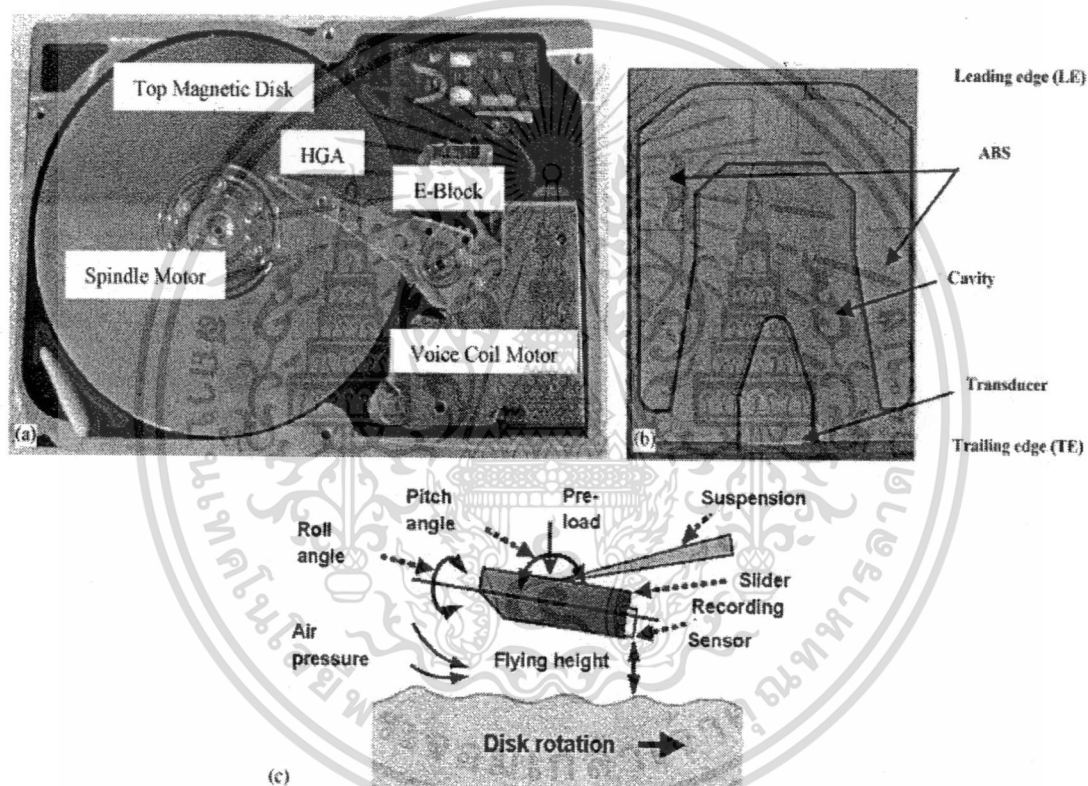
ในปัจจุบันความต้องการพื้นที่ความจุในการบันทึกข้อมูลมีความต้องการสูงมากขึ้น และความต้องการเพิ่มความจุข้อมูลในเชิงความจุต่อพื้นที่ได้ผลักดันให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีต่าง ๆ มากมาย เช่น วิธีการอ่านเขียนข้อมูล การลดขนาดของหัวอ่านเขียน ความเร็วการหมุนของแผ่นบันทึกข้อมูล วิธีการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล รวมทั้งการลดระดับการบินของหัวอ่านเขียน (Flying height) ซึ่งวิธีการทั้งหมดที่กล่าวมาสามารถช่วยเพิ่มพื้นที่ความจุข้อมูลเชิงพื้นที่และเพิ่มประสิทธิภาพการอ่านเขียนข้อมูลได้ และฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายในอุปกรณ์บันทึกข้อมูลต่าง ๆ และนำไปใช้งานในหลากหลายสภาพแวดล้อม โดยภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แต่ละรุ่นเองก็จะประกอบด้วยชิ้นส่วนและการทำงานที่แตกต่างกัน เช่น ปีกนก (Suspension) ความเร็วในการหมุนของแผ่นบันทึกข้อมูล มุมในการอ่านข้อมูลของหัวอ่านเขียน รวมถึงระดับการบินของหัวอ่านเขียน โดยหัวอ่านเขียนบางรุ่นสามารถควบคุมการยืดหดบริเวณหัวอ่านเขียน (Thermal protrusion) เพื่อควบคุมระดับการบินของหัวอ่านเขียน โดยเป็นที่ทราบกันดีว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ มีผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งในห้องคลาปิดปัจจุบันมีค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนอยู่ในช่วงน้อยกว่า 10 นาโนเมตร การเปลี่ยนแปลงของระดับการบินเพียง 1-2 นาโนเมตร อาจทำให้ประสิทธิภาพการอ่านเขียนข้อมูลลดลง และอาจเกิดความเสียหายกับหัวอ่านเขียน และแผ่นบันทึกข้อมูลได้ ดังนั้น การตรวจสอบคุณสมบัติและคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนในสถานะ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ค่าต่าง ๆ มีความสำคัญอย่างมาก

จากรูปที่ 1 (a) แสดงส่วนประกอบหลักต่าง ๆ ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งได้แก่ หัวอ่านเขียน (HGA) ที่ทำหน้าที่อ่านและเขียนข้อมูลลงบนแผ่นบันทึกข้อมูลที่เป็นแม่เหล็ก (Magnetic disk) โดยมีวงจรรขยายสัญญาณที่ทำการอ่านและเขียนโดยหัวอ่านเขียนและทำหน้าที่ควบคุมการอ่านเขียนร่วมกับแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่ทำหน้าที่ควบคุมการอ่านเขียนรวมถึงการหมุนของมอเตอร์สปินเดิล (Spindle motor) และควบคุมการจ่ายไฟให้กับขดลวด (Voice coil motor) ของส่วนกลไกการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเพื่อพาหัวอ่านเขียนไปยังตำแหน่งสำหรับอ่านเขียนข้อมูล

รูปที่ (b) แสดงส่วนประกอบเบื้องต้นบนหัวอ่านเขียน ประกอบด้วยส่วนที่เรียกว่า หัวสำหรับอ่านและเขียนข้อมูล หรือทรานสดิวเซอร์ (Transducer) และส่วนที่เป็นผิวหน้าบนสุดบนหัวอ่านเขียน หรือ Air bearing surface (ABS) และส่วนที่เป็นส่วนลึกลงส่วนเว้าบนหัวอ่านเขียน

(Cavity) ซึ่งทั้งหมดก็จะมีผลต่อทิศทางการเข้าออกของอากาศขณะแผ่นดิสก์หมุน ซึ่งหมายถึงค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนขณะนั้นด้วย

รูปที่ 1 (c) แสดงลักษณะการบินพื้นฐานของหัวอ่านเขียนขณะแผ่นดิสก์หมุน โดยอากาศจะเข้าจากทางด้านท้ายของหัวอ่านเขียน (Leading edge) โดยมีปีกนก (Suspension) ทำหน้าจับยึดกับหัวอ่านเขียนและทำหน้าที่ปรับสมดุลระหว่างแรงดันของอากาศใต้หัวอ่านเขียนที่กระทำต่อกัน โดยอากาศจะไหลออกทางด้านท้ายหรือหาง (Trailing edge) ของหัวอ่านเขียน ซึ่งในขณะที่หัวอ่านเขียนบินอยู่บนเนื้อแผ่นดิสก์ หัวอ่านเขียนจะมีการทำมุมเอียงหน้าหลัง (Pitch angle) และมุมเอียงซ้ายขวา (Roll angle)



รูปที่ 1 (a) แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ (b) แสดงส่วนต่าง ๆ บนหน้าหัวอ่านเขียน และ(c) แสดงลักษณะการบินพื้นฐานของหัวอ่านเขียนขณะแผ่นดิสก์หมุน [22]

จากความหลากหลายในการออกแบบผลิตภัณฑ์และถูกนำไปใช้ในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิและความชื้นที่ต่าง ๆ กันไป ดังนั้น การตรวจสอบระดับการบินของหัวอ่านเขียนในขั้นตอนการออกแบบและการผลิต จึงมีความสำคัญต่อสายการผลิตเพื่อควบคุมคุณภาพและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนการออกแบบหัวอ่านเขียน เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบ ซึ่งในภาคอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จะมีขั้นตอนการตรวจสอบระดับการบินของหัวอ่านเขียนในระบบสายการผลิต เช่น ในระดับขั้นตอนการออกแบบเพื่อนำผลที่ได้ไป

วิเคราะห์ผลการออกแบบหัวอ่านเขียน การตรวจสอบระดับการบินของหัวอ่านเขียนที่สูญเสียคุณลักษณะทางไฟฟ้า รวมถึงการตรวจสอบการบินของหัวอ่านเขียนในระบบสายการผลิต โดยเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบระดับการบินของหัวอ่านเขียนแบบวิธีวัดตรง (Absolute measurement) ใช้เทคนิคทางแสง รุ่น DFHT 6 (Dynamic flying height tester :D6) ซึ่งในปัจจุบันยังไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ที่ค่าต่าง ๆ ในขณะทำการวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนได้

1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาการออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพื่อติดตั้งบนเครื่องวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนรุ่น DFHT 6 โดยระบบที่ออกแบบสามารถทำอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดที่ 11 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดที่ 76 % และต่ำสุดที่ทำได้คือ 10 %

1. เพื่อนำระบบที่ออกแบบมาใช้ศึกษาคุณลักษณะการบินของหัวอ่านเขียนที่สภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ
2. เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบผลกระทบของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่มีผลต่อระดับการบินของหัวอ่านเขียน

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เปลี่ยนไปมีผลต่อระดับการบินของหัวอ่านเขียน ซึ่งจะส่งผลถึงประสิทธิภาพในการอ่านเขียนข้อมูล และอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายกับหัวอ่านเขียน และแผ่นบันทึกข้อมูลได้ ในงานวิจัยฉบับนี้ จะทำการออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์เพื่อติดตั้งบนเครื่องวัดระดับการบินที่ใช้ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไอร์แลนด์ ในการออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ จะต้องศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่จะมีผลต่อระบบอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการควบคุม โดยคำนึงถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ของตัวเครื่องวัดระดับการบิน เช่น การแพร่ของความร้อนและความเย็น การกักตัวของความชื้นสัมพัทธ์ในระบบ ระยะเวลาในการทำให้ระบบอยู่ในสถานะพร้อมใช้งาน ซึ่งจากการใช้เทคนิคการวัดด้วยแสงนี้ จะสามารถวัดค่าระดับการบินได้ทั้งระนาบของหัวอ่านเขียน เพื่อศึกษาคุณลักษณะการบินของหัวอ่านเขียนที่ตำแหน่งต่าง ๆ ได้ เพื่อบอกได้ถึงค่าความเอียง (Pitch ,Roll) ของหัวอ่านเขียนที่อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ค่าต่าง ๆ

1.4 ทฤษฎี และแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสถานะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่มีต่อระดับการบวมของหัวอ่านเขียน ซึ่งโดยส่วนมากเป็นการศึกษาโดยใช้โปรแกรมในการจำลอง หรือ ใช้การวัดสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อคำนวณหาค่าระดับการบวม และสืบเนื่องจากการวัดค่าระดับการบวมของหัวอ่านเขียนที่ใช้อยู่ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในปัจจุบัน ซึ่งเป็นวิธีการวัดระดับการบวมของหัวอ่านเขียนโดยตรง โดยอาศัยหลักการทางแสง (Interferometer) ซึ่งยังไม่สามารถทำการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ได้ขณะทำการวัดระดับการบวมของหัวอ่านเขียน

ซึ่งในงานวิจัยนี้ จะทำการออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในเครื่องวัดระดับการบวม รุ่น DFHT 6 โดยการออกแบบจะทำการศึกษาเพื่อเลือกวัสดุที่จะนำมาใช้ในออกแบบระบบ โดยเป็นการทดลองเพื่อหาวัสดุที่ทำให้ความร้อน และการแพร่ของอุณหภูมิ ซึ่งใช้วิธีอาศัยการพาความร้อนด้วยอากาศเป็นตัวกลาง โดยมีชุดควบคุมระดับความแรงของอากาศที่ไหลผ่านพื้นที่การวัด การทดลองและออกแบบระบบทำความเย็น การปรับปรุงระบบทำความเย็น การเลือกวิธีในการทำความชื้นสัมพัทธ์ และการลดความชื้นสัมพัทธ์ รวมถึงการศึกษาข้อจำกัดในการออกแบบเพื่อติดตั้งบนเครื่องวัดระดับการบวม ด้วยข้อจำกัดในด้านพื้นที่การออกแบบและข้อกำหนดในการนำไปใช้งาน เวลาที่ใช้ในการสร้าง และการรักษาสถานะของระบบให้มีความเสถียร

การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ประกอบด้วย

- 1.4.1 ระบบทำความร้อน
- 1.4.2 ระบบทำความเย็น
- 1.4.3 ระบบกำเนิดความชื้นสัมพัทธ์
- 1.4.4 ระบบลดความชื้นสัมพัทธ์

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ทำการศึกษา และออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อติดตั้งบนเครื่องวัดระดับการบวมของหัวอ่านเขียน รุ่น DFHT 6 ประกอบด้วยส่วนควบคุมอุณหภูมิ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่ 10 องศาเซลเซียส ถึง 60 องศาเซลเซียส และส่วนควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ที่สามารถเพิ่มลดความชื้นสัมพัทธ์ได้ตั้งแต่ 10 % ถึง 76 % และทำการทำสอบคุณลักษณะการบวมของหัวอ่านเขียน ด้วยระบบที่ทำการออกแบบ และติดตั้งบนเครื่องวัดระดับการบวม และทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง

ในเบื้องต้นของการออกแบบผู้วิจัยจะทำการศึกษา และตรวจสอบข้อจำกัดในการออกแบบติดตั้งชุดควบคุมต่าง ๆ รวมถึงวิธีการในการที่จะนำมาใช้ในการสร้างความร้อน และความ

ยื่น รวมทั้งอุปกรณ์ในการผลิตความชื้นสัมพัทธ์ และลดความชื้นสัมพัทธ์ ที่สามารถติดตั้งเข้าไปบนเครื่องระดับการบินได้ รวมถึงข้อจำกัดด้านการนำไปใช้งานกับการวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียน เมื่อเลือกวิธีการที่จะนำมาใช้ได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นขั้นตอนการสร้าง และการทดลองการทำงานของแต่ละระบบ โดยมีขั้นตอน ขอบเขตการออกแบบ และการทดสอบดังต่อไปนี้

1.5.1 การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการวัดในเครื่องวัดระดับการบิน DFHT6 ที่อุณหภูมิสูงสุดที่ 60 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดที่ 11 องศาเซลเซียส

1.5.2 การออกแบบระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ใช้ในเครื่องวัดระดับการบิน DFHT6 ที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดที่ 10 % และความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดที่ 60 %

1.5.3 การทดสอบ และศึกษาคุณลักษณะการบินของหัวอ่านเขียนที่สภาวะอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์สัมพัทธ์ค่าต่าง ๆ

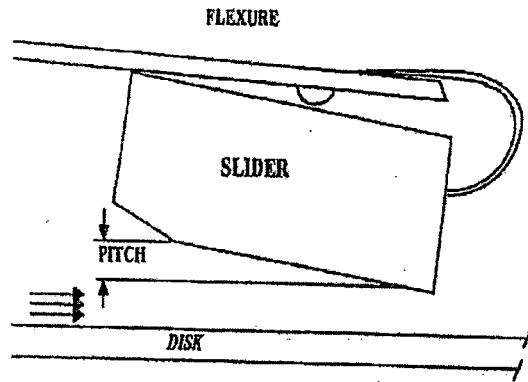


บทที่ 2

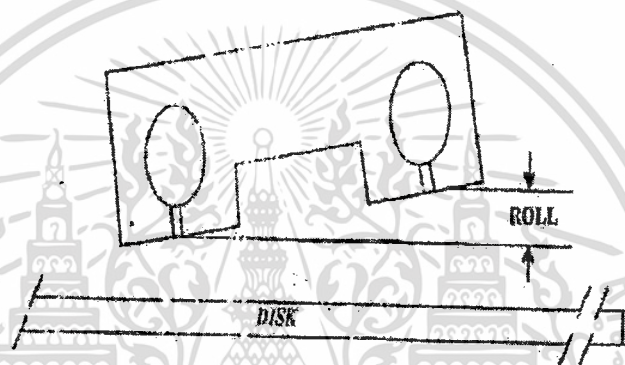
ทบทวนงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันความแพร่หลายของสื่อบันทึกข้อมูลฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้ถูกนำไปใช้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ หลากหลายชนิด รวมถึงความต้องการพื้นที่ในการบันทึกข้อมูลที่มากขึ้น ส่งผลให้มีการพัฒนาเทคนิคต่าง ๆ เพื่อช่วยให้สามารถเพิ่มพื้นที่การบันทึกเชิงข้อมูล ซึ่งมีหลากหลายวิธี เช่น การเปลี่ยนวิธีการบันทึกข้อมูล การออกแบบหัวอ่าน และชิ้นส่วนประกอบเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบันทึก และรวมไปถึงระดับการบินของหัวอ่านเขียน (Flying height) ความเร็วการหมุนของแผ่นบันทึกข้อมูล ซึ่งทั้งหมดก็สามารถช่วยเพิ่มพื้นที่ในเชิงความจุข้อมูลได้ และในปัจจุบันค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนมีค่านี้น้อยกว่า 10 นาโนเมตร ซึ่งค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนจะเกิดจากการสมดุลแรงระหว่าง ปีกนก (Suspension) และแรงดันอากาศที่เกิดจากการหมุนของแผ่นดิสก์ โดยค่าระดับการบินจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อสภาวะแวดล้อมเปลี่ยน เช่น การนำฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไปใช้งานในที่สูงความดันอากาศจะลดลง ซึ่งจะทำให้ค่าระดับการบินลดลงด้วย การเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นจะมีผลต่อการเปลี่ยนของแรงดันอากาศใต้แผ่นดิสก์ ซึ่งมีผลต่อระดับการบินของหัวอ่านเขียน [1]

โดยปัจจุบันในอุตสาหกรรมสายการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ มีวิธีการวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียน ซึ่งในปัจจุบันมีสองวิธีการวัดหลัก ๆ คือ การวัดทางอ้อม (Indirect measurement) เช่น การวัดสัญญาณอ่านกลับจากหัวอ่าน และการวัดทางตรง (Direct measurement) ด้วยเทคนิคการวัดแบบทางตรงนี้จะทำให้สามารถวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนได้ทั้งระนาบบนหัวอ่าน และยังสามารถทราบถึงความเอียงหน้าหลัง (Pitch) ดังรูปที่ 2.1 และค่าความเอียงด้านซ้ายขวาของหัวอ่านเขียน (Roll) ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งการวัดระดับการบินแบบการอ่านสัญญาณแอมพลิจูดจากหัวอ่านจะสามารถบอกค่าระดับการบินในบริเวณหัวอ่านหัวเขียนเท่านั้น โดยจากข้อมูลการตอบสนองการบินของหัวอ่านเขียนที่ได้ จะนำไปใช้ในขั้นตอนการออกแบบหรือปรับปรุงหัวอ่านเขียนในขบวนการผลิตต่อไป และในปัจจุบันด้วยวิธีการวัดทางแสงนี้ในอุตสาหกรรมสามารถทำการวัดค่าระดับการบินได้เฉพาะในสภาวะอุณหภูมิและความชื้นห้องเท่านั้น ไม่สามารถควบคุมสภาวะอุณหภูมิและความชื้นได้



รูปที่ 2.1 รูปแสดงการวัดค่าความเอียง(Pitch) ของหัวอ่านเขียน [13]



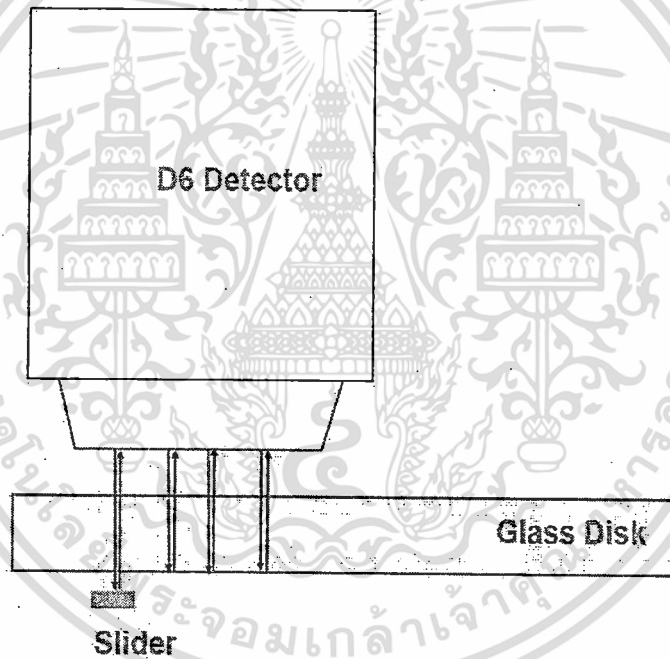
รูปที่ 2.2 รูปแสดงการวัดค่าความเอียงด้านข้าง(Roll) ของหัวอ่านเขียน [13]

ในงานวิจัยนี้ เป็นการพัฒนาเครื่องวัดระดับการบิดแบบการวัดทางตรงโดยใช้การวัดด้วยเทคนิคทางแสง ให้สามารถทำการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในขณะที่ทำการวัดระดับการบิด เพื่อศึกษาการตอบสนองคุณลักษณะการบิดของหัวอ่านเขียนต่ออุณหภูมิและความชื้นที่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นเพื่อให้เข้าใจระบบการทำงานหลักของระบบ ผู้วิจัยจะกล่าวถึงการดำเนินงานเบื้องต้นของเครื่องวัดระดับการบิด และทฤษฎีพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นรวมถึงวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การทำงานเบื้องต้นของเครื่องวัดระดับการบิดของหัวอ่านเขียนด้วยเทคนิคทางแสง โดยใช้หลักการที่เรียกว่า Differential Phase Interferometry โดยวัดความแตกต่างของเฟสที่เปลี่ยนไปเมื่อระยะห่างของหัวอ่านเขียนกับแผ่นดิสก์แก้วเปลี่ยนไป โดยแสดงระบบการวัดระดับการบิดตามรูปที่ 2.3 และ 2.4 ส่วนประกอบหลัก ๆ ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ โดยในตัวเครื่องรุ่น DFHT 6 ใช้ เลเซอร์ไดโอด เป็นตัวกำเนิดแสง ที่ความยาวคลื่น 658 นาโนเมตร โดยเลเซอร์หนึ่งลำแสงจะถูกแยกออกเป็น 2 ลำแสง ซึ่งทั้ง 2 แสงจะส่องผ่านแผ่นดิสก์แก้วที่ด้านบน เคลือบป้องกันการสะท้อนของแสงไว้ โดยหนึ่งลำแสงจะสะท้อนจากผิวหน้าของหัวอ่านเขียนที่บินอยู่ใต้แผ่นดิสก์ และอีกหนึ่งลำแสงจะสะท้อนจากผิวด้านล่างของแผ่นดิสก์แก้ว ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งระยะห่าง (FH) ระหว่าง

ทั้งสองพื้นผิวที่ลำแสงสะท้อนกลับมาได้โดยการวัดความสัมพันธ์ของเฟสของลำแสงที่สะท้อนกลับมาไปยังดีเทคเตอร์ และวัดเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของเฟสที่เปลี่ยนไปที่เกิดจากระยะของหัวอ่านเขียนที่เปลี่ยนไป

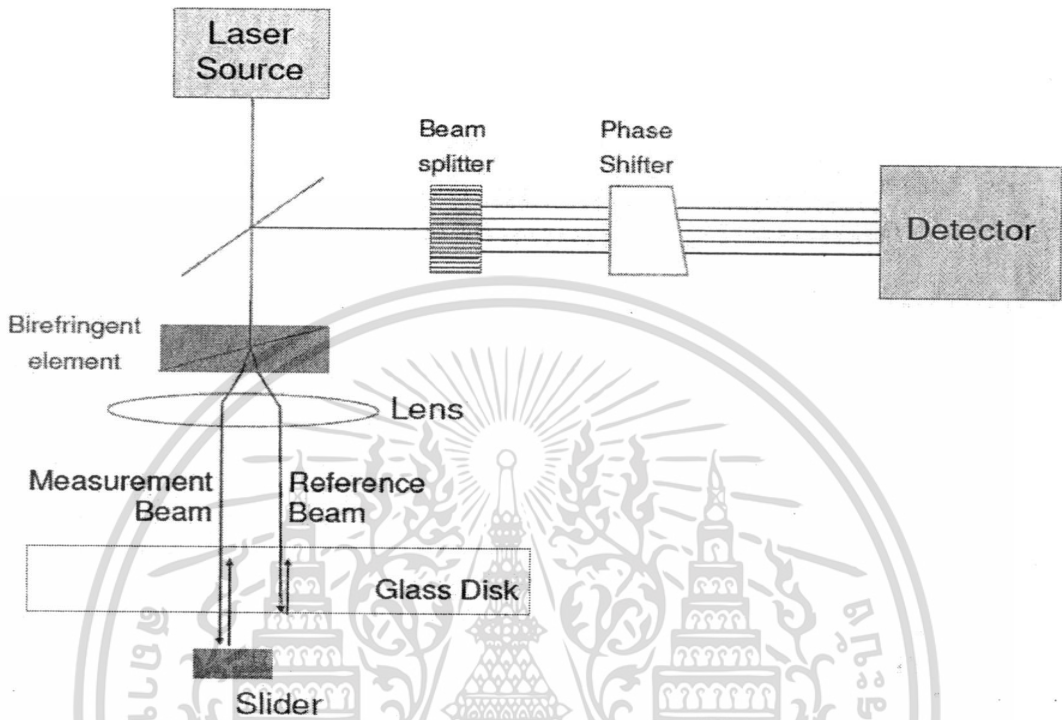
โดยในส่วนของดีเทคเตอร์เป็นโฟโตนิกดีเทคเตอร์แบบอาร์เรย์ ซึ่งทำหน้าที่รับลำแสงที่สะท้อนกลับมาเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งดีเทคเตอร์ชุดที่ 1 เป็นชุดสำหรับการวัด หรือที่เรียกว่า Measurement channel และชุดที่ 2 เป็นชุดดีเทคเตอร์ที่เรียกว่า ชุดชดเชย หรือที่เรียกว่า Compensation channel เพื่อเพิ่มความแม่นยำของการวัดมากขึ้น ซึ่งดีเทคเตอร์อาร์เรย์ที่ใช้เป็นแบบ 6 อาร์เรย์ ซึ่งในเครื่อง DFHT 6 จะใช้เทคนิคที่เรียกว่า Multi-phase quadrature เพื่อหาความสัมพันธ์เฟสระหว่างลำแสงที่ 1 ที่สะท้อนกลับจากหัวอ่านเขียน และลำแสงที่ 2 ที่สะท้อนกลับผิวล่างของแผ่นดิสก์แก้ว



รูปที่ 2.3 แสดงลำแสงเลเซอร์ที่ส่งออกไปจากเลเซอร์ไดโอด และลำแสงที่สะท้อนกลับจากผิวล่างของแผ่นดิสก์แก้วและหัวอ่านเขียน [8]

โครงสร้างส่วนการวัดเบื้องต้น แสดงได้ดังรูปที่ 2.4 ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดลำแสงเลเซอร์ แบบเลเซอร์ไดโอดส่องผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า Beam splitter และ Birefringent element เพื่อแยกลำแสงออกเป็น 2 ลำแสง ผ่านชุดเลนส์ โดยลำหนึ่งจะเป็นลำแสงที่ส่องลงไปหัวอ่านเขียนแล้วสะท้อนกลับมา เรียกว่า Measurement beam และลำแสงที่ 2 ที่แยกออกมาจะสะท้อนกลับจากผิวล่างของแผ่นดิสก์แก้ว เรียกว่า Reference beam ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งทั้ง

สองลำแสงจะสะท้อนกลับผ่านไปยังตัวบีมสปริทเตอร์อีกครั้ง โดยมี Phase Shifter ทำหน้าที่ในการเลื่อนเฟสของสัญญาณในขั้นตอนของการเทียบวัด ซึ่งตัวดีเทคเตอร์จะเป็นแบบอาร์เรย์โฟโต้ไดโอด



รูปที่ 2.4 แสดงระบบการวัดแบบ Differential Phase Interferometry [8]

โดยเทคนิคนี้ จะทำให้สามารถทำการวัดค่าระดับการบิดของหัวอ่านเขียนได้ทุกจุดบนระนาบของหัวอ่านเขียน โดยไม่อาศัยการเทียบวัดความเข้มแสงก่อนการวัดระดับการบิดของแต่ละจุด ด้วยเทคนิคการวัดแบบทางตรงนี้จะทำให้สามารถวัดระดับการบิดของหัวอ่านเขียนได้ทั้งระนาบทำให้สามารถทราบถึงความเอียงของหัวอ่านที่ทำมุมกับแผ่นดิสก์ได้

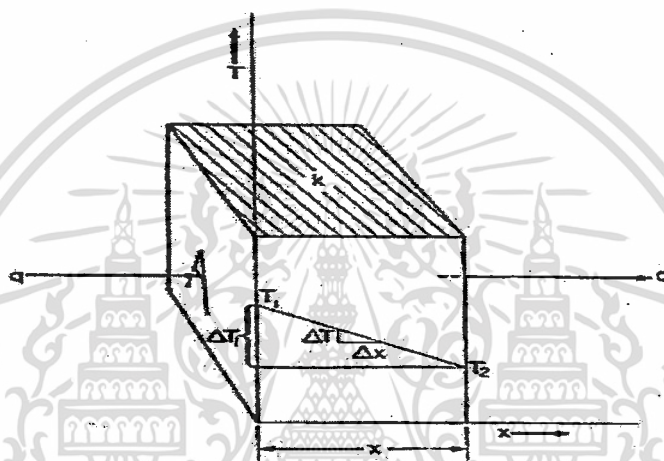
ในการออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเพื่อติดตั้งบนเครื่องวัดระดับการบิดของหัวอ่านเขียน จำเป็นจะต้องมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับความชื้นและความร้อนที่จะทำการควบคุม รวมถึงการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมที่จะนำมาใช้งานในการสร้างระบบควบคุม ดังนั้นผู้วิจัยจะกล่าวถึงทฤษฎีการทำงานของอุปกรณ์หลัก ๆ ที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้

2.1 การถ่ายเทความร้อน (Heat transfe)

การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิ กลไกการถ่ายเทความร้อนจะมีอยู่ 3 ลักษณะ คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี [11]

2.1.1 การถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน (Conductive heat transfer)

เป็นการถ่ายเทความร้อนในตัวกลางที่โมเลกุลของตัวกลางไม่เคลื่อนที่ โดยเป็นการถ่ายเทพลังงานในระดับโมเลกุล โดยเมื่อมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเกิดขึ้นในวัตถุจะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากด้านที่มีอุณหภูมิสูง ไปยังด้านที่มีอุณหภูมิต่ำ



รูปที่ 2.5 การถ่ายเทความร้อนแบบการนำ [11]

อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ในทิศทางหนึ่งจะเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของอุณหภูมิ ดังรูปที่ 2.5 dT/dx คูณกับพื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนส่งผ่าน ซึ่งอธิบายด้วยกฎของ เฟอร์เรียร์ (Fourier's Law)

$$q_x = -kA(dT/Dx) \quad (2.1)$$

เมื่อ q_x คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนในทิศทาง x (W)

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (ตั้งฉากกับทิศทาง x) (m^2)

T คือ อุณหภูมิ ($^\circ C$)

2.1.2 การถ่ายเทความร้อนแบบพา (Convective heat transfer)

เป็นการถ่ายเทพลังงานที่เกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลที่มีระดับพลังงานสูงเคลื่อนที่ไปอยู่ส่วนอื่นในระบบ เช่น เมื่อของไหลไหลผ่านผิววัสดุของแข็งหรือไหลภายในท่อที่มีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

การแลกเปลี่ยนความร้อนจะเกิดขึ้นระหว่างของไหลและวัตถุแข็ง การถ่ายเทความร้อนแบบการพา มีอยู่ 2 แบบ ได้แก่

2.1.2.1 การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural or free convection) การพาความร้อนแบบนี้ เกิดขึ้นจากความแตกต่างของอุณหภูมิในระบบนั้น ๆ เอง เช่น เกิดจากความหนาแน่นของการไหลที่แตกต่างกัน เมื่อสัมผัสกับผิววัตถุที่มีอุณหภูมิที่แตกต่างไป ทำให้เกิดแรงลอยตัว (Buoyancy force) เช่น การถ่ายเทความร้อนระหว่างการต้มน้ำในหม้อเปิด น้ำที่อยู่ด้านบนจะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าน้ำที่อยู่ด้านล่าง ซึ่งก็หมายถึงความหนาแน่นของน้ำด้านบนสูงกว่าด้านล่าง จึงทำให้น้ำด้านล่างพยายามลอยตัวขึ้นด้านบน และน้ำส่วนที่มีความหนาแน่นกว่าจะมาแทนที่

2.1.2.2 การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced convection) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำทำให้ของไหลไหลผ่านผิวหน้าของวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าหรือต่ำกว่าอุณหภูมิของไหล เนื่องจากแรงภายนอกมากระทำจึงทำให้ของไหลเคลื่อนที่เร็วกว่าธรรมชาติ ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนจะมากกว่าด้วย เช่น แรงลมจากการหมุนของมอเตอร์ที่มีแผ่นฉล็กหรือพัดลมดูดอากาศ โดยสามารถอธิบายอัตราการพาความร้อนต่อพื้นที่ผิวได้ ด้วยกฎของนิวตัน (Newton's law of cooling)

$$q = hA(T_p - T_f) \quad (2.2)$$

$$q = \text{อัตราการถ่ายเทความร้อนแบบการพา (J/s, W)}$$

$$h = \text{สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบการพา (W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C)}$$

(convective heat transfer coefficient)

$$hA = \text{พื้นที่ผิวที่ถ่ายเทความร้อน (m}^2\text{)}$$

$$T_p = \text{อุณหภูมิที่ผิวของวัตถุ (}^{\circ}\text{C)}$$

$$T_f = \text{อุณหภูมิของของไหล (}^{\circ}\text{C)}$$

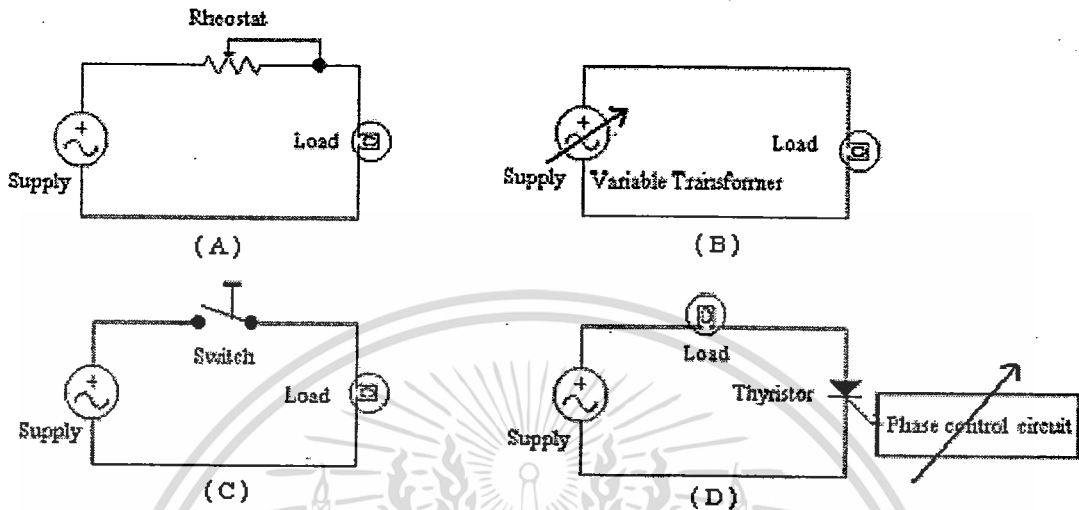
ค่าการถ่ายเทความร้อนจะยังขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและค่าความหนืด และสมบัติอื่นๆ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และความร้อนจำเพาะ (c_p) อีกด้วย

2.1.3 การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี (Radiation heat transfer)

การแผ่รังสีความร้อนเป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการถ่ายเทความร้อนตรงที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลาง เป็นการถ่ายเทพลังงานผ่านไปในที่ว่างโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่นเดียวกับคลื่นแสง รังสีความร้อนจะอยู่ในรูปของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า คล้ายกับรังสีเอกซ์เรย์ คลื่นแสง หรือรังสีแกมมาเป็นต้น แต่ต่างกันตรงความยาวคลื่น รังสีความร้อนเดินทางเป็นเส้นตรง เช่นการส่งผ่านความร้อนจากดวงอาทิตย์มายังผิวโลก

2.2 แนวคิดการควบคุมกำลังไฟฟ้า

แนวคิดในการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานที่โหลด (Load) หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ สามารถทำได้หลายวิธีดังแสดงตามรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานที่โหลด (Load) หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ [16]

จากรูปที่ 2.6 (A) เป็นการใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบ Rheostat ต่ออนุกรมกับโหลด การปรับกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่โหลดทำได้โดยการปรับค่าความต้านทานที่ตัวต้านทาน ซึ่งจะมีผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดเปลี่ยนแปลงไปและมีผลให้กำลังไฟฟ้าที่โหลดเปลี่ยนแปลงไป

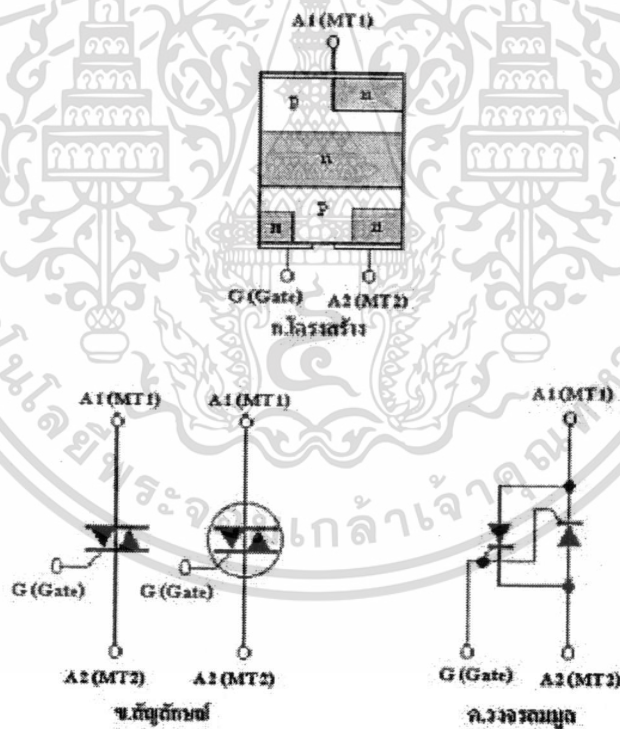
จากรูปที่ 2.6 (B) เป็นการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับค่าแรงดัน (Variable Transformer) เป็นตัวจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับโหลด การปรับกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่โหลดทำได้โดยการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตัวหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งจะมีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่โหลดได้รับเปลี่ยนแปลงไปและมีผลให้กำลังไฟฟ้าที่โหลดเปลี่ยนแปลงไปด้วย

จากรูปที่ 2.6 (C) เป็นการใช้สวิตช์ต่ออนุกรมกับโหลด เช่น การใช้สวิตช์หรือรีเลย์ การปรับกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่โหลดทำได้โดยการเปิดและปิดวงจรเป็นช่วง ๆ ซึ่งจะมีผลให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่โหลดได้รับเปลี่ยนแปลงไป

จากรูปที่ 2.6 (D) เป็นการใช้งานอุปกรณ์ประเภทไทรสเตอร์ (Thyristor) ต่ออนุกรมกับโหลด การปรับกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่โหลดทำได้ โดยการควบคุมเฟสของการทำงานของวงจร (Phase Control Thyristor) ซึ่งจะมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่โหลดได้รับเปลี่ยนแปลงไป

2.3 การควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยใช้ไทรสเตอร์

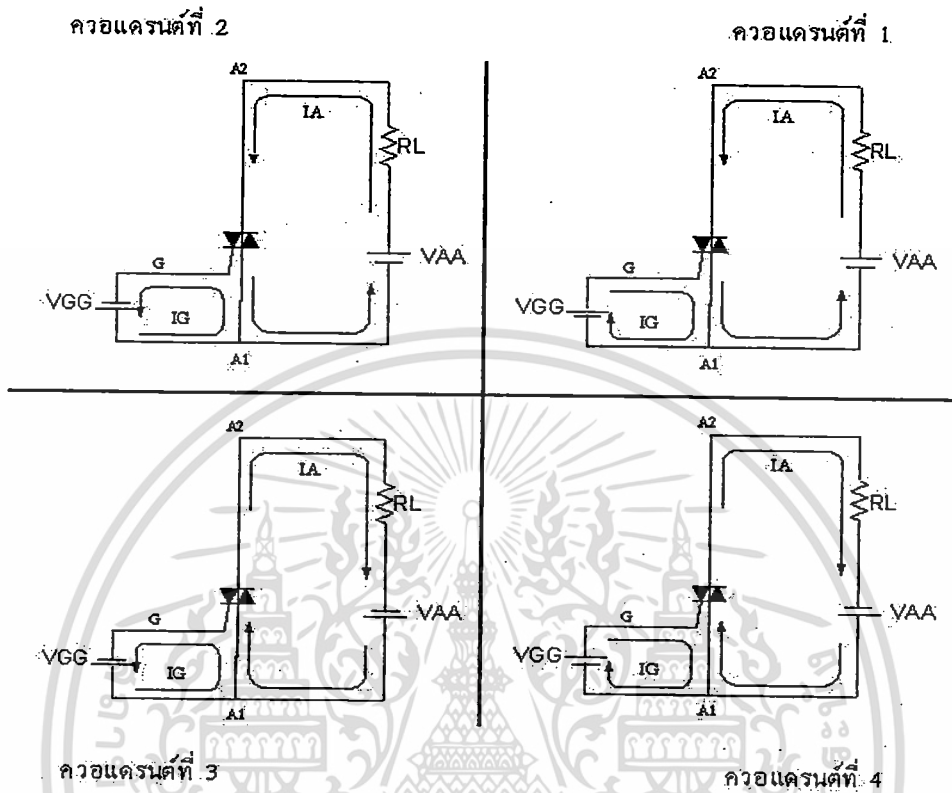
ไทรแอก (Triac) เป็นอุปกรณ์จำพวกสารกึ่งตัวนำในกลุ่มของไทรสเตอร์ โครงสร้างภายในคล้ายกับไดแอก แต่มีขาเกตเพิ่มขึ้นมา โดยไทรแอกสร้างมาเพื่อแก้ปัญหาของ SCR ซึ่งสามารถนำไฟฟ้าได้ซีกเดียวไม่สามารถนำกระแสในซีกกลับของไฟฟ้ากระแสสลับได้จากการที่ไทรแอกสามารถนำกระแสได้ 2 ทิศทาง คือกระแสไหลจาก A1 ไปยัง A2 หรือกระแสไหลจาก A2 ไปยัง A1 และจากข้อดีของไทรแอกที่สามารถเปิดเปิดวงจรได้เร็วกว่าสวิตช์ธรรมดาหลายเท่า ดังนั้นจึงนิยมนำไปใช้ในงานควบคุมกำลังที่ต้องการใช้งานในทั้งซีกบวกและซีกกลับ โดยโครงสร้างและสัญลักษณ์ และวงจรสมมูลของไทรแอกแสดงดังรูป 2.7 ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ 3 ส่วนใหญ่ คือ PNP และสารกึ่งตัวนำย่อยชนิด N อีก 3 ส่วน โดยต่อรวมที่สารกึ่งตัวนำชนิด P ทั้ง 2 ตอน ขาต่อออกมาใช้งาน 3 ขา เหมือน เอสซีอาร์ โดยเรียกขาที่ใช้งาน คือขาแอนโนด 1 (Anode 1, A1) หรือเรียกอีกอย่างว่าขาเมนเทอร์มินอล 1 (Main terminal; 1, MT1) และขาเกต (Gate, G) ต่อจากสาร N และขาแอนโนด 2 (Anode 2, A2) หรือเรียกอีกอย่างว่าขาเมนเทอร์มินอล 2 (Main terminal; 2, MT2)



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้าง สัญลักษณ์ และวงจรสมมูล ของไทรแอก [12]

2.3.1 การเลือกสภาวะการทำงานและการทำให้ไตรแอกหยุดนำกระแส

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการกำหนดการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมกำลังไฟฟ้า โดยไตรแอกทำงานได้ 4 สภาวะหรือ 4 ควอดแรนต์ การจ่ายไบอัสให้ไตรแอกทำงานเรียงลำดับได้ตามรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงการทำงานของไตรแอกทั้ง 4 สภาวะการทำงาน [12]

ไตรแอกมีคุณสมบัติการทำงานทั้งแรงดันช่วงบวกและแรงดันช่วงลบ คือ นำกระแสได้สองทิศทาง การนำกระแสของไตรแอกขึ้นอยู่กับแรงดันที่ป้อนกระตุ้นขา G และแรงดันที่จ่ายให้ขา A1 และ A2 เมื่อจ่ายไบอัสให้ไตรแอกทำงานที่ได้ 4 สภาวะ

สภาวะที่ 1 หรือ ที่ควอดแรนต์ที่ 1 โดยการจ่ายแรงดันบวกที่ขา A2 และจ่ายแรงดันลบที่ขา A1 โดยจ่ายแรงดันบวกกระตุ้นขา G จะเกิดการนำกระแส โดยกระแสจะไหลจากบวกของแหล่งจ่าย VAA ไปที่ A2 ผ่านไปออกขา A1 ครบวงจรลบที่แหล่งจ่าย VAA การจ่ายแรงดันกระตุ้นที่ขา G เป็นบวกทำให้มีกระแสบวกไหลผ่านจากแหล่งจ่าย VGG ไปขา G และไหลออกที่ขา A1 ครบวงจรที่ลบของแหล่งจ่าย VGG ทิศทางของกระแสทั้งสองที่ไหลเสริมกันจะทำให้ IA ไหลมากขึ้น

สภาวะที่ 2 หรือ ควอดแรนต์ที่ 2 จะเป็นการจ่ายแรงดันบวกให้ขา A2 จ่ายแรงดันลบให้ขา A1 แต่จ่ายแรงดันกระตุ้นขา G เป็นแรงดันลบ กระแสจะไหลจากบวกของแหล่งจ่าย VAA ไปที่ A2 ผ่านไปออก ทางขา A1 ครบวงจรที่ลบของแหล่งจ่าย VAA การจ่ายแรงดันกระตุ้นที่ขา G ทำให้มีกระแสบวกไหลผ่านจากแหล่งจ่าย VGG ไปขา A1 ไหลออกที่ขา G ครบวงจรที่ลบของแหล่งจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VGG ทิศทางการไหลของกระแสทั้งสองจะไหลในทิศทางสวนกันหรือไหลแบบหักล้างกัน ทำให้ IA ไหลน้อยลง

สภาวะที่ 3 หรือ ควอแดรนต์ที่ 3 จะทำการกลับขั้วแรงดันที่จ่ายให้ที่ A2 เป็นลบและจ่ายแรงดันที่ A1 เป็นบวก ส่วนแรงดันกระตุ้นที่ขา G เป็นแรงดันลบเหมือนเดิม เกิดการนำกระแสใน ไตรแอก ดังรูปที่ 2.8 ควอแดรนต์ที่ 3 เมื่อไตรแอกจะนำกระแส มีกระแสไหลจากขั้วของแหล่งจ่าย VAA ไปที่ขา A1 ผ่านไปออกที่ขา A2 ครบวงจรที่ลบของแหล่งจ่าย VAA การจ่ายแรงดันกระตุ้นที่ขา G ทำให้มีกระแสบวกไหลจากแหล่งจ่าย VGG ไปที่ขา A1 ไหลออกที่ขา G ครบวงจรที่ลบของแหล่งจ่าย VGG ทิศทางของกระแสที่ไหลของกระแสทั้งสองจะไหลในทิศทางเดียวกันหรือกระแสไหลเสริมกัน ทำให้ IA ไหลมากขึ้น

ที่สภาวะที่ 4 หรือควอแดรนต์ที่ 4 จะจ่ายแรงดันลบให้ขา A2 และจ่ายแรงดันบวกให้ขา A1 ส่วนแรงดันกระตุ้นขา G จะเป็นแรงดันบวก แรงดันกระตุ้นเทียบกับขา A1 เกิดการนำกระแส ดังรูปที่ 2.8 ที่สภาวะควอแดรนต์ที่ 4 เมื่อไตรแอกนำกระแส จะมีกระแสไหลจากขั้วของแหล่งจ่าย VAA ไปขา A1 ผ่านไปออกขา A2 ครบวงจรที่ลบของแหล่งจ่าย VAA การจ่ายแรงดันกระตุ้นที่ขา G ทำให้มีกระแสไหลจากแหล่งจ่าย VGG ไปขา G ไหลผ่านออกที่ขา A1 ครบวงจรที่ลบของแหล่งจ่าย VGG ทิศทางการไหลของกระแสทั้งสองไหลสวนทางกันหรือหักล้างกัน ทำให้ IA ไหลน้อยลง

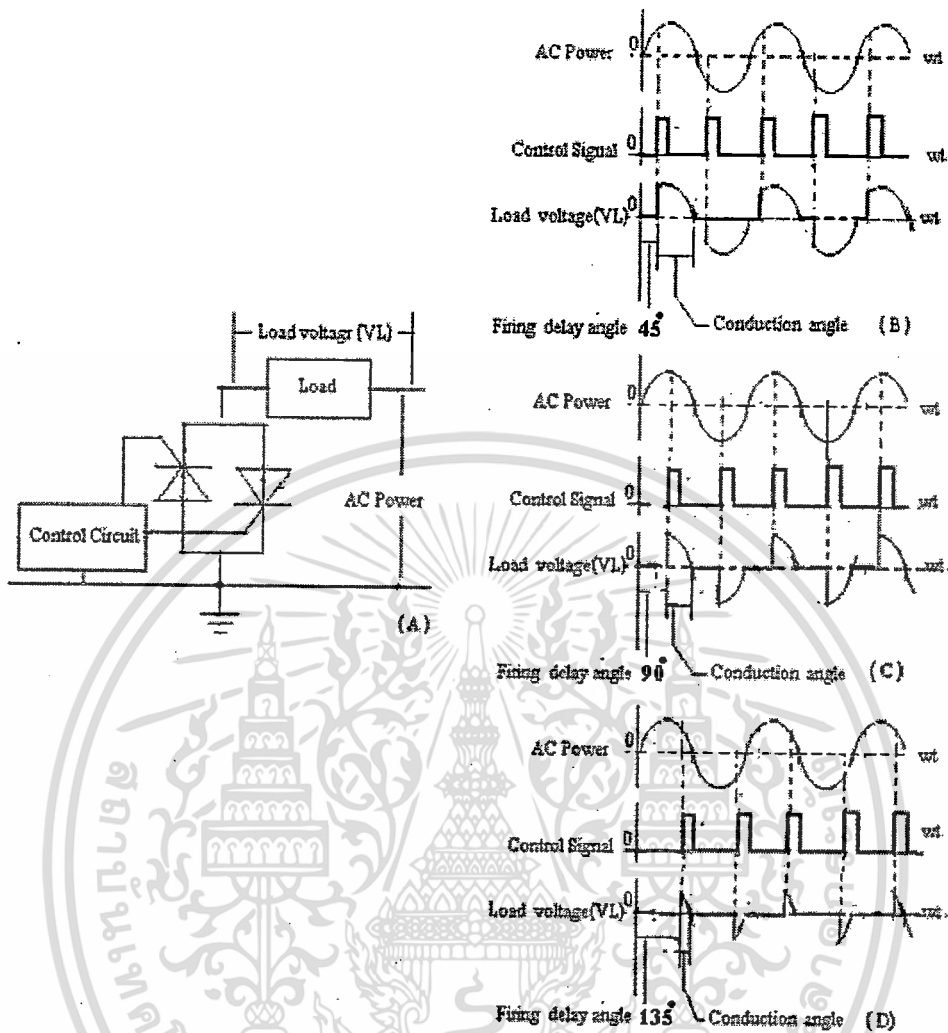
การทำงานของไตรแอกเมื่อนำกระแสแล้ว ไม่จำเป็นต้องค้างแรงดันที่จ่ายกระตุ้นที่ขา G ที่เรียกว่าแรงดันกระตุ้นหรือแรงดันทริกเกอร์ (Trigger voltage) โดยเมื่อไตรแอกนำกระแสแล้วสามารถทำให้หยุดนำกระแสได้ 2 วิธี

1. ตัดแหล่งจ่ายแรงดัน VAA ที่ป้อนให้ขา A2 และขา A1 ของ ไตรแอกชั่วคราว
2. ลดแรงดัน ไบอัสที่จ่ายให้ขา A2 และ A1 ลงจนทำให้มีกระแสไหลผ่านไตรแอกต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง (Holding current) ของไตรแอก

2.4 การควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีควบคุมเฟส

การควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยไทรสเตอร์ โดยการควบคุมเฟส (Phase control thyristor) ซึ่งเป็นการควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยให้ไทรสเตอร์ทำงานที่มุม (Phase) ต่าง ๆ กัน ตามรูปที่ 2.9

จากรูปที่ 2.9 (B,C,D) เป็นรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าในวงจรเมื่อควบคุมเฟส ให้วงจรทำงานที่มุมจุดชนวน (Firing delay angle) 45 องศา 90 องศา และ 135 องศา ตามลำดับ ผลของการทำงานของวงจรจะแสดงให้เห็นว่ารูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลด จะมีค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปโดยขึ้นอยู่กับวิธีการควบคุมการทำงานหรือการปรับค่ามุมจุดชนวน ซึ่งเมื่อปรับให้ค่ามุมจุดชนวนมากขึ้นจะทำให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยลดต่ำลง



รูปที่ 2.9 แสดงการควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วย อุปกรณ์ไทรสเตอร์ ที่มุมเฟสต่าง ๆ [14]

2.5 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity : RH)

ความชื้น (Humidity) คือ ปริมาณไอน้ำในอากาศที่มีอยู่ในอากาศ ความชื้นของอากาศจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความดันและอุณหภูมิขณะนั้น

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) คือ อัตราส่วนของปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศต่อปริมาณไอน้ำที่จะทำให้อากาศอิ่มตัว ณ อุณหภูมิเดียวกัน หรืออัตราส่วนของความดันไอน้ำที่มีอยู่จริงต่อความดันไอน้ำอิ่มตัว ซึ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์แสดงในรูปของร้อยละ (%) โดยเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเป็น 100 % หมายถึง อากาศนั้น ถึงจุดอิ่มตัว (Saturation) ซึ่งจะไม่สามารถรับไอน้ำเพิ่มได้อีก ไอน้ำส่วนที่เพิ่มจะเกิดการกลั่นตัว (Condensation)

ความชื้นสัมพัทธ์ = (ปริมาณไอน้ำที่อยู่ในอากาศ/ปริมาณไอน้ำที่ทำให้อากาศอิ่มตัว) x 100%

หรือ

$$RH = \frac{P}{P_o} * 100\% \quad (2.3)$$

เมื่อ

RH คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์

P คือ ความดันไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ

P_o คือ ความดันไอน้ำของอากาศอิ่มตัว

2.6 จุดน้ำค้าง (Dew Point)

จากหัวข้อข้างต้น เราทราบว่าที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่มากกว่า 100 % ไอน้ำในอากาศจะเกิดการกลั่นตัว แต่การกลั่นตัวยังสามารถเกิดได้จากความสัมพันธ์ของค่าความชื้นในอากาศและอุณหภูมิของอากาศและปริมาณของไอน้ำในอากาศ จะมีได้มากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเช่นกัน ซึ่งอากาศร้อนจะสามารถเก็บไอน้ำได้มากกว่าอากาศเย็น โดยอุณหภูมิที่ทำให้ไอน้ำในอากาศเริ่มเกิดการควบแน่นเรียกว่า จุดน้ำค้าง (Dew point) [7] ซึ่งกล่าวได้ว่าอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์เป็น 100 % แล้ว หากอุณหภูมียังลดต่ำลงอีกไอน้ำจะควบแน่นเป็นของเหลว

การศึกษาในงานวิจัยจำเป็นต้องคำนึงถึงการกลั่นตัวของไอน้ำในระบบด้วย เนื่องจากการทำความเข้าใจและความชื้นในระบบ จึงจำเป็นต้องทราบถึงวิธีการคำนวณหาอุณหภูมิจุดน้ำค้างในที่นี่จะกล่าวถึงวิธีการของ แมกนัส (Magnus formula) โดยมีความสัมพันธ์กับแรงดันไอน้ำอิ่มตัวและจุดน้ำค้าง โดยจะได้แรงดันไอน้ำอิ่มตัว EW (hPa) ตามสมการ 2.4

$$EW = \alpha * e^{\left(\frac{\beta \cdot T}{\lambda \cdot T}\right)} \quad (2.4)$$

ในช่วงอุณหภูมিরะหว่าง -45 องศาเซลเซียส ถึง 60 องศาเซลเซียส กำหนดให้ $\alpha = 6.112$ hPa $\beta = 17.62$ และ $\lambda = 243.12$ องศาเซลเซียส จากแรงดันไอน้ำ E ในสมการ 2.4 จะได้ อุณหภูมิหยดน้ำค้าง ($^{\circ}C$) ดังสมการ 2.5

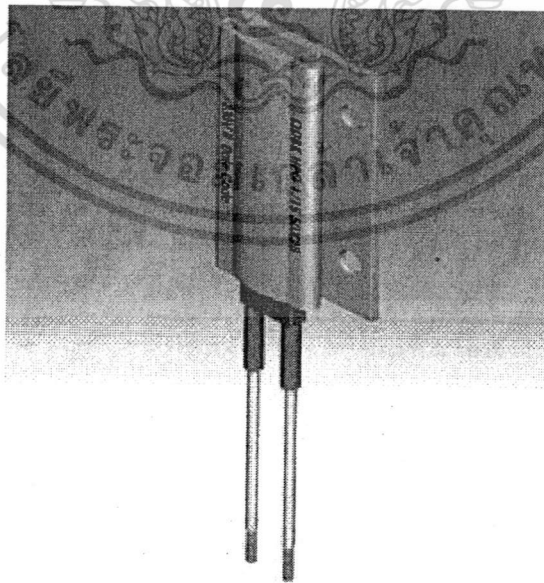
$$D_p = \frac{\lambda * \ln\left(\frac{E}{\alpha}\right)}{\beta - \ln\left(\frac{E}{\alpha}\right)} \quad (2.5)$$

ให้ $E = RH * EW / 100$ จากสมการ 2.4 และ 2.5 สามารถหาอุณหภูมิหยดน้ำค้างจากค่าความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของอากาศ โดยให้ค่าความดันบรรยากาศคงที่จะได้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ตามสมการที่ 2.6

$$D_p(T, RH) = \frac{\lambda * \left(\ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{\beta * T}{\lambda + T} \right)}{\beta - \left(\ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{\beta * T}{\lambda + T} \right)} \quad (2.6)$$

2.7 ตัวทำความร้อนแบบพีทีซี (PTC : Positive coefficient of resistance)

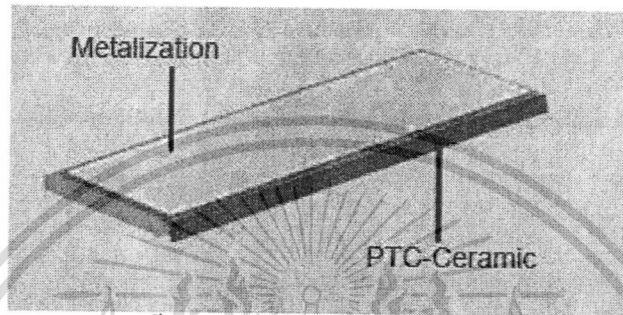
ตัวทำความร้อนชนิด พีทีซี (Positive thermal coefficient of resistance) [8] หรือ เรียกอีกอย่างว่า PTC thermistors ดังรูปที่ 2.10 เป็นตัวทำความร้อนแบบที่มีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของค่าความต้านทานมีค่าเป็นบวก กล่าวคือ เมื่อความร้อนเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น ซึ่งมีส่วนประกอบพื้นฐานจากโพลีคริสตอลไลน์ เซรามิก เช่น แบเรียม ไททานेट (Barium titanate) ผสมกับ ลีด ไททานेट (lead titanate) ด้วยกรรมวิธีการผลิตสามารถที่จะกำหนดคุณสมบัติของพีทีซี ให้มีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงในขณะอุณหภูมิต่ำ ซึ่งในช่วงอุณหภูมิต่ำนี้ ตัวทำความร้อนพีทีซี มีคุณลักษณะเหมือนสารกึ่งตัวนำทั่วไป คือ มีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของค่าความต้านทานมีค่าเป็นลบ หรือ NTC (Negative temperature coefficient) ซึ่งช่วงอุณหภูมิที่สูงขึ้นตามช่วงการออกแบบจะ ให้ค่าความต้านทานที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นผลให้ค่าการนำไฟฟ้าของ พีทีซี ลดลง



รูปที่ 2.10 แสดงรูปร่างของตัวทำความร้อนแบบ พีทีซี ที่ใช้ในระบบทำความร้อน [19]

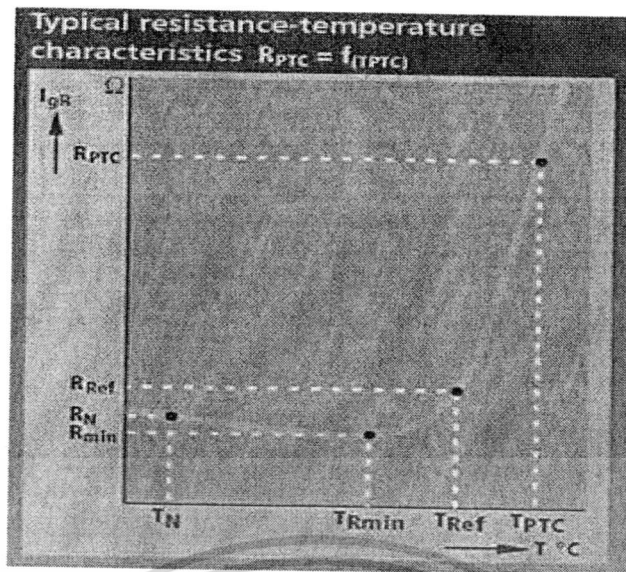
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานของตัว พีทีซี ในด้านกายภาพ คือผลของขอบเกรนของ โพลีคริสตอลไลน์ เซรามิก โดยกำแพงศักย์ที่ขอบเกรนซึ่งช่วยป้องกันการกระจายตัวของ อิเล็กตรอนอิสระที่เกิดจากการได้รับความร้อนที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการนำอิเล็กตรอน ลดลง ซึ่งจะทำให้ตัว พีทีซี มีความนำไฟฟ้าได้ลดลง โดยหลังจากเสร็จขั้นตอนต่าง ๆ ของการผลิต พีทีซีเซรามิก แล้วจะต้องทำการต่อขั้วไฟฟ้าออกมาใช้งาน โดยการใช้วิธีที่เรียกว่า Metallization ที่ ผิวของ พีทีซี เซรามิก ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงการต่อขั้วไฟฟ้ากับตัว พีทีซีเซรามิก โดยวิธี Metallization [19]

ตัวทำความร้อนแบบ พีทีซี จะให้การตอบสนองการทำความร้อนที่รวดเร็วในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำซึ่งจากคุณสมบัติในการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเป็นตัวช่วยควบคุม กำลังไฟฟ้าที่จ่ายผ่านตัวพีทีซี ซึ่งจะช่วยให้ได้ค่าความร้อนที่จ่ายออกมาที่ความเสถียรมากกว่าตัวทำความร้อนแบบธรรมดา ซึ่งจะทำให้มีความเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสถานะแวดล้อม และการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานนี้ยังขึ้นอยู่กับ การปล่อยพลังงานความร้อนออกสู่สถานะแวดล้อมด้วย ที่อุณหภูมิสูงสามารถที่จะทำให้มีช่วงการใช้งานที่กว้างขึ้นด้วยการเพิ่มส่วนผสมของ สตรอนเชียม หรือ ตะกั่ว เข้าไปเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของพีทีซี ที่จะใช้ในงานด้านความร้อน ซึ่งในการ ออกแบบก็ต้องคำนึงถึงการแพร่กระจายความร้อนจากผิวของเซรามิกสู่สถานะแวดล้อมด้วย



รูปที่ 2.12 รูปกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเทียบกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น [19]

R_N คือ ค่าความต้านทานของ พิทีซี ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

R_{Min} คือ ค่าความต้านทานของ พิทีซี ที่ค่าอุณหภูมิเท่ากับ T_{Rmin}

T_{Rmin} คือ ค่าอุณหภูมิที่ พิทีซี เริ่มมีค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น

R_{Ref} คือ ค่าความต้านทานอ้างอิง ที่ค่าอุณหภูมิเท่ากับ T_{Ref}

T_{Ref} คือ ค่าอุณหภูมิอ้างอิง (ค่าความต้านทานของ พิทีซี เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว)

R_{PTC} คือ ค่าความต้านทานของ พิทีซี ที่อุณหภูมิเท่ากับ T_{PTC} (ค่าอุณหภูมิ ตั้งแต่ T_{Ref})

T_{PTC} คือ ค่าอุณหภูมิในช่วงการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของ พิทีซี ตั้งแต่ T_{Ref}

จากรูปที่ 2.12 แสดงเส้นคุณลักษณะของค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิของพิทีซี โดยเมื่อจ่ายแรงดันให้กับพิทีซี จะทำให้พิทีซีเกิดความร้อนเนื่องจากกระแสที่จ่ายให้กับพิทีซี การเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานกับค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจะเพิ่มขึ้นไม่เป็นสัดส่วนกันเนื่องจากคุณลักษณะของการเปลี่ยนแปลงตามรูปที่ 2.12 และข้อจำกัดของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านและยังรวมถึงการถ่ายเทความร้อนของ พิทีซี สู่สถานะแวดล้อม

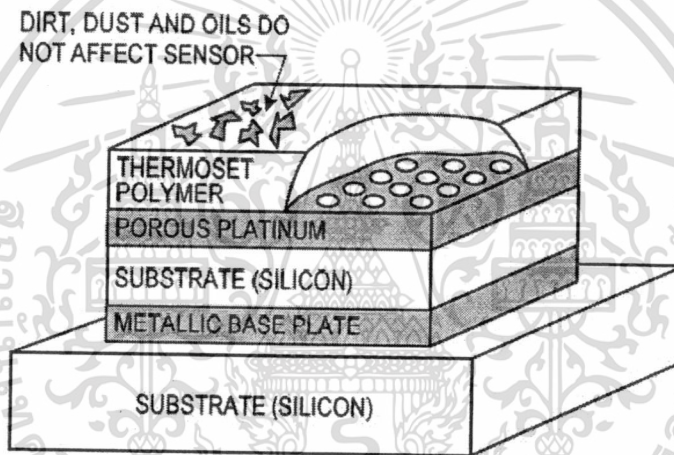
2.8 ทฤษฎีและคุณลักษณะพื้นฐานของ เซ็นเซอร์ความชื้น

เซ็นเซอร์สำหรับวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมจะมีโครงสร้างพื้นฐานของเซ็นเซอร์ความชื้นตามรูปที่ 2.13 ประกอบด้วย เทอโมเซตโพลีเมอร์ (Thermoset Polymer) และชั้นที่มีโครงสร้างที่มีคุณสมบัติเก็บประจุอีก 3 ชั้น โดยมีวงจรรวมแบบชิปซิลิกอนรวมอยู่ด้วย (On-chip silicon) ที่เป็นตัวให้สัญญาณแรงดันเอาต์พุตออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานตัวเซ็นเซอร์วัดความชื้นในสถานะที่เป็นไอน้ำ ชั้นแพลทินัมที่มีรูพรุน (Porous platinum) จะเป็นชั้นที่ตอบสนองต่อความชื้นจากภายนอก โดยที่มีชั้นโพลีเมอร์ทำหน้าที่ป้องกันฝุ่นละอองหรือน้ำมันให้กับชั้น แพลทินัมอีกที ซึ่งถ้าขนาดของฝุ่นละอองที่ติดบนชั้นนี้มีขนาดใหญ่ก็จะมีผลต่อเวลาในการตอบสนองในการวัดความชื้น เนื่องจากไอน้ำจะใช้เวลานานขึ้นกว่าเข้าสู่สมดุลบนตัวเซ็นเซอร์

แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากตัวเซ็นเซอร์เป็นฟังก์ชันของแรงดันไฟฟ้าที่เลี้ยงวงจรของตัวเซ็นเซอร์ (V_{supply}) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ที่ได้จากแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเป็นอัตราส่วนแบบ Ratiometric คือ เมื่อแรงดันไฟเลี้ยงมีค่ามากขึ้นก็จะทำให้ได้แรงดันเอาต์พุตเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกันด้วย ดังนั้นในการใช้งานค่าแรงดันไฟเลี้ยงของวงจรที่ใช้งานจะต้องมีค่าคงที่ เพื่อให้ได้ค่าความชื้นที่ถูกต้อง



รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างพื้นฐานเซ็นเซอร์ความชื้น [20]

2.9 ตัวตรวจวัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน

ในหัวข้อนี้ ผู้วิจัยจะกล่าวถึงโครงสร้างและการทำงานของเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิที่ใช้ในงานวิจัย ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ ชนิดอาร์ทีดี แบบ PT100

อาร์ทีดี คือ ตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิที่ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของโลหะ ซึ่งค่าความต้านทานของตัวโลหะจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานของโลหะที่เพิ่มขึ้นนี้เรียกว่า สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบบวก (Positive temperature coefficient :PTC) นอกจากนี้ อาร์ทีดียังมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า เทอร์โมมิเตอร์แบบค่าความต้านทาน (Resistance thermometer) อาร์ทีดีถูกค้นพบในปีเดียวกันกับที่ซีเบ็คค้นพบปรากฏการณ์เทอร์โทอิเล็กทริก โดย Sir HumPhry Davy ซึ่งพบว่าความต้านทานในโลหะจะมีผลตามค่าความร้อนอีก 50 ปี ต่อมา Sir William Siemens ได้นำเอาแพลทินัมมาทำเป็นเทอร์โมมิเตอร์ และจัดให้เป็นเทอร์โมมิเตอร์แบบปฐมภูมิที่มีความแม่นยำสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของอาร์ทีดี ที่แบ่งตามชนิด โลหะที่นำมาทำอาร์ทีดี ซึ่ง โดยปกติโลหะที่มีความทานจำเพาะต่ำมักถูกนำมาใช้ทำเป็นอาร์ทีดี ชนิดของอาร์ทีดี ที่แบ่งตามชนิด โลหะที่นำมาทำอาร์ทีดี แบ่ง ได้ดังนี้ แพลทินัม เป็นแบบที่นิยมใช้มากที่สุด ทำจากลวด โลหะที่มีความยาวค่าหนึ่ง ซึ่งที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส จะมีค่าความต้านทานค่าหนึ่งตามที่กำหนด เช่น PT10, PT100, PT1000 ซึ่งมีความสามารถในการทำซ้ำสูง แต่ความไวจะต่ำเมื่อเทียบกับนิกเกิล ซึ่งมีความสามารถในการทำซ้ำต่ำ แต่มีความไวมากกว่า แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสร้างทำให้สามารถทำการปลุกหรือสกรีนบนพื้นผิวเล็กๆ ได้เช่น เซรามิก ทำให้สามารถทำได้ขนาดเล็กลง ราคาถูกลงและยังผลถึงผลการตอบสนองต่ออุณหภูมิเร็วขึ้นด้วย และ โดยคุณสมบัติของ โลหะทั่วไปจะมีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเป็นบวกต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ซึ่งอาร์ทีดี ที่นิยมใช้กันมาก คือ แบบค่า 100 โอห์ม หรือ PT100

1. ทองคำและเงิน ธาตุทั้งสองมีค่าความต้านทานจำเพาะต่ำ
2. ทังสแตนมีค่าความต้านทานจำเพาะสัมพัทธ์สูง มักใช้กับการวัดอุณหภูมิที่มีค่าสูง เพราะการใช้ที่อุณหภูมิปกติจะมีความเปราะและยากต่อการใช้งาน
3. นิกเกิล ใช้ในย่านการวัดอุณหภูมิที่สูงๆ แต่มีความเป็นเชิงเส้นต่ำ

คุณลักษณะของอาร์ทีดี (Characteristic of RTD)

1. ความไว (Sensitivity) ของอาร์ทีดี หาได้จากค่าของ α_0 พบว่าแพลทินัมจะมีค่า $\alpha = 0.00384 \Omega / \Omega / ^\circ C$ ดังนั้นสำหรับแพลทินัมอาร์ทีดี แบบ 100 โอห์ม จึงเปลี่ยนค่าความต้านทานไปเพียงประมาณ 0.4 โอห์ม เท่านั้นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป 100 องศาเซลเซียส
2. ผลตอบสนองต่อเวลา (Response Time) คือเวลาในการตอบสนองของอาร์ทีดี โดยทั่วไปเวลาตามที่กำหนดโดยสภาวะอากาศอิสระ หรือสภาวะใดๆที่สมมูลกัน การตอบสนองยังขึ้นอยู่กับความสามารถในการสัมผัสอากาศหรือการนำความร้อนของวัสดุห่อหุ้มอาร์ทีดี ซึ่งมีผลต่อเวลาในการตอบสนอง
3. โครงสร้าง (Construction) อาร์ทีดีที่มีความยาวสายมากๆ จะทำให้ความต้านทานเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิมากขึ้น โดยทั่วไปโครงสร้างของอาร์ทีดีจะเป็นลวดพันอยู่บนฟอร์มในรูปของคอยล์จะถูกป้องกันจากสิ่งแวดล้อมโดยซองหรือกระเปาะ

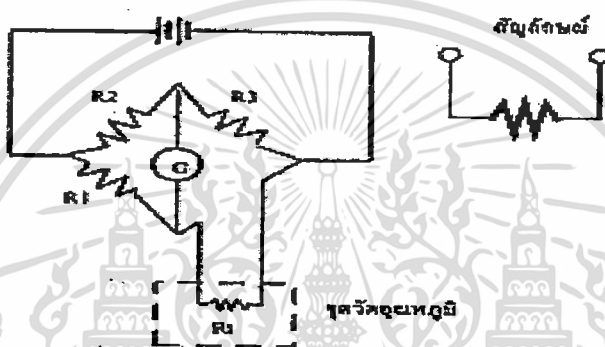
โดยลวดโลหะนี้จะพันอยู่บนแกนที่เป็นฉนวนไฟฟ้า มีคุณสมบัติทนต่อความร้อนและต้องมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวสัมพันธ์กับการขยายตัวของขดลวด อาร์ทีดีจะถูกบรรจุอยู่ในกระบอกโลหะ (Metal sheath) ฉนวนที่ใช้เป็นพวกแมกนีเซียมออกไซด์ หรือ อะลูมิเนียมออกไซด์ และอีกแบบในปัจจุบันเทคโนโลยีการสร้างทำให้สามารถทำการปลุกหรือสกรีนบนพื้นผิวเล็กๆ ได้ เช่น เซรามิก ทำให้สามารถทำได้ขนาดเล็กลง ราคาถูกลง และยังผลถึงผลการตอบสนองต่ออุณหภูมิ

เร็วขึ้นด้วย และโดยคุณสมบัติของโลหะทั่วไปจะมีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเป็นบวกต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

2.9.1 การต่อใช้งาน อาร์ทีดี แบบต่าง ๆ

- อาร์ทีดี แบบ 2 สาย

วงจรใช้งานพื้นฐานของอาร์ทีดี แบบ 2 สาย คือ วงจรวีตสโตนบริดจ์(Wheatstone bridge) โดย อาร์ทีดี R_t ซึ่งติดตั้งอยู่ในจุดที่ต้องการวัดอุณหภูมิ ดังรูปที่ 2.14 มีค่าความต้านทานอีก 3 ค่า คือ R_1 R_2 และ R_3 ซึ่งอยู่ในอุณหภูมิห้อง และเป็นความต้านทานชนิดที่มีความถูกต้องสูง



รูปที่ 2.14 แสดงวงจร Wheatstone Bridge ของอาร์ทีดี แบบ 2 สาย [15]

โดยวงจรจะอยู่ในสภาวะสมดุล เมื่อ อาร์ทีดี (R_t) อยู่ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้ได้สมการ 2.7

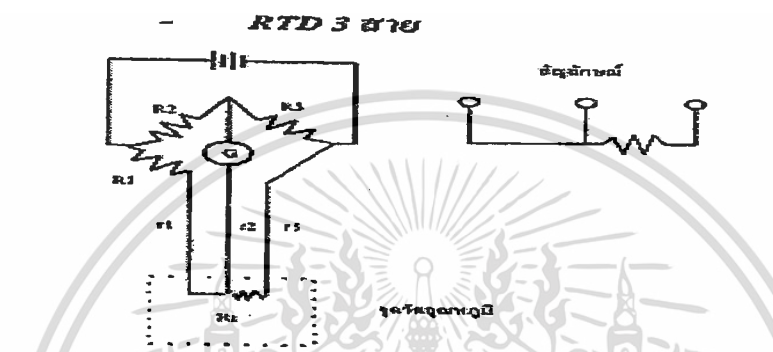
$$\frac{R_t}{R_3} = \frac{R_1}{R_2} \quad (2.7)$$

ซึ่งจะทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่านตัวกัลวานอมิเตอร์ เมื่ออุณหภูมิที่ R_t สูงขึ้น จะทำให้ค่าความต้านทานของ R_t เพิ่มขึ้นทำให้วงจรไม่มีความสมดุลทำให้เกิดมีกระแสไหลผ่านตัวกัลวานอมิเตอร์ ด้วยเหตุผลที่ อาร์ทีดี แบบ 2 สายเหมาะกับงานที่ตัวอาร์ทีดีอยู่ใกล้กับวงจรเท่านั้น ไม่เหมาะกับงานที่ต้องมีการลากสายยาวๆเนื่องจากจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นจากค่าความต้านทานสะสมของสายตัวนำ ทำให้ค่าที่อ่านได้ผิดเพี้ยนไป ดังนั้น อาร์ทีดี แบบ 2 สายจึงเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความถูกต้องสูงมากนัก

- อาร์ทีดี แบบ 3 สาย

อาร์ทีดีแบบ 3 สาย เป็นที่นิยมใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรม โดยสายทั้ง 3 เส้นจะอยู่ระหว่างจุดวัดกับวงจร โดยมีขนาด และความยาวเท่ากัน และอยู่ในอุณหภูมิเดียวกันตลอด เพื่อให้ค่าความต้านทาน R1 R2 และ R3 เปลี่ยนไปในทิศทางเดียวกันด้วยขนาดที่เท่ากัน ดังสมการ 2.8

$$\frac{R_1 + r_3}{R_3} = \frac{R_1 + r_1}{R_2} \tag{2.8}$$

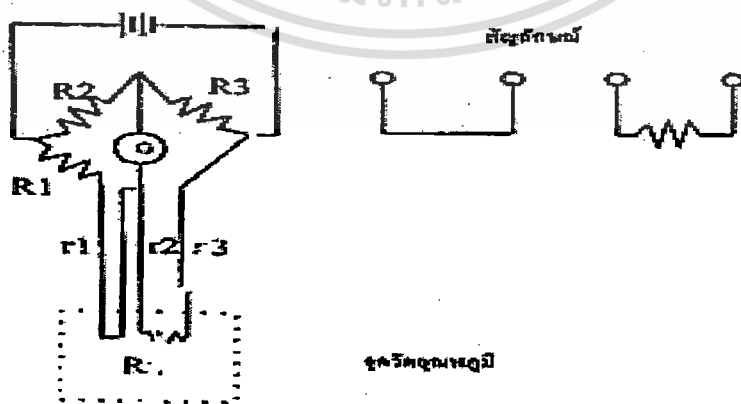


รูปที่ 2.15 แสดงวงจร Wheathstone Bridge ของ อาร์ทีดี แบบ 3 สาย [15]

เนื่องจาก r1 เท่ากับ r3 เพราะฉะนั้นอุณหภูมิที่วัดได้จึงขึ้นอยู่กับ Rt เพียงตัวเดียว ทำให้ อาร์ทีดี แบบ 3 สายมีความถูกต้องสูงกว่าแบบ อาร์ทีดี แบบ 2 สาย

- อาร์ทีดี แบบ 4 สาย

อาร์ทีดี แบบ 4 สายเป็นอาร์ทีดีที่มีความถูกต้องสูงสุด เนื่องจากเลื่อนจุดต่อของวงจร วัดสโตนบริดจ์นอกรั้ง 4 จุด สามารถชดเชยความต้านทานของสายตัวนำได้ทั้งหมด โดยสายทั้ง 4 เส้นต้องมีความยาว ขนาดที่เท่ากัน และอยู่ในอุณหภูมิเดียวกันตลอดเหมือนกับ อาร์ทีดี แบบ 3 สาย



รูปที่ 2.16 แสดงวงจร Wheathstone Bridge ของ อาร์ทีดี แบบ 4 สาย [15]

ข้อควรจำในการใช้งานอาร์ทีดี

ต้องมีการชิลด์สายและเดินสายบิเดเกลียวเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของ อาร์ทีดี เทียบกับ เทอร์มอคัปเปิล

หัวข้อ	เทอร์มอคัปเปิล	อาร์ทีดี (Pt100)
ลักษณะกราฟเอาต์พุต	เอ็กซ์โพเนนเชียล	เชิงเส้น
ข้อดี	ไม่ต้องใช้ไฟเลี้ยง ง่าย ไม่แพง ใช้งานได้หลากหลาย ช่วงการวัดอุณหภูมิกว้าง	เสถียรภาพสูง เที่ยงตรงสูง มีความเป็นเชิงเส้นมากกว่า เทอร์มอคัปเปิล
ข้อเสีย	ไม่มีลักษณะเส้นตรง แรงดันต่ำ ไม่ค่อยเสถียร ความไวต่ำสุด	แพง ต้องการไฟเลี้ยง มีความร้อนเกิดขึ้นที่ตัวมันเอง
ช่วงการวัดมากที่สุด	-270 ถึง 1820 องศาเซลเซียส	-250 ถึง 600 องศาเซลเซียส
Repeatability	1.1 ถึง 8.25	0.0275 ถึง 0.055

2.10 ระบบควบคุมพีไอดี

การควบคุมระบบต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม มีวิธีการที่หลากหลาย หนึ่งในวิธีการที่นิยมเป็นที่แพร่หลาย คือ ระบบควบคุมแบบ พีไอดี ซึ่งเป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับดังรูปที่ 2.17 โดยนำค่าความผิดพลาดที่ได้จากความแตกต่างของค่าที่ระบบทำได้กับค่าที่ต้องการหรือค่าเป้าหมายมาใช้ในการกำหนดการทำงานของระบบควบคุม เพื่อลดค่าความผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุด โดยจะมีตัวแปรหลักๆอยู่ 3 ตัวแปร โดยค่าตัวแปรของระบบ พีไอดี ที่ใช้ในระบบจะปรับเปลี่ยนตามลักษณะธรรมชาติของระบบ ตัวแปรหลักของระบบพีไอดี ได้แก่

1. ตัวแปรค่าสัดส่วน (Proportional or Gain)
2. ตัวแปรค่าปริพันธ์ (Integral or Reset)
3. ตัวแปรอนุพันธ์ (Derivative)

ระบบควบคุมแบบ พีไอดี มีการทำงานของระบบควบคุมซึ่งเกิดความสัมพันธ์ระหว่าง การเปลี่ยนแปลงของอินพุตกับการเปลี่ยนแปลงผลของเอาต์พุต โดยองค์ประกอบสำคัญอีกอย่างของวิธีการ ควบคุมแบบ พีไอดี คือ ลักษณะการทำงานของระบบ (Action) ซึ่งมีอยู่ 2 แบบ โดยแบบที่

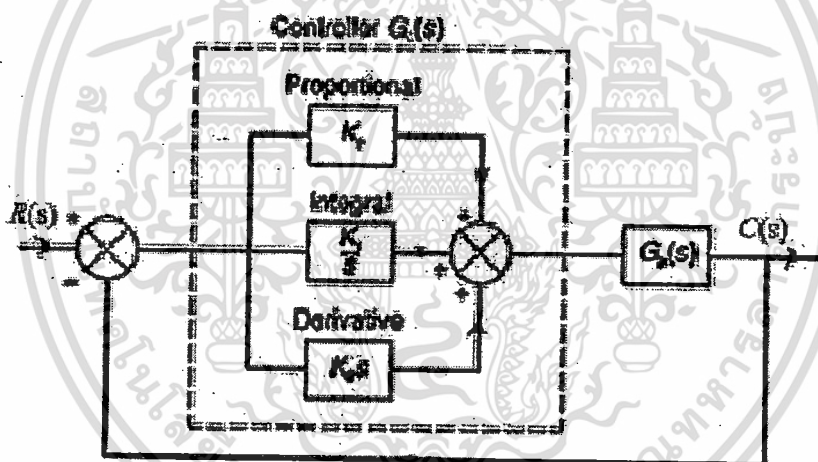
หนึ่งมีลักษณะการทำงานแบบผกผัน (Reverse acting) เมื่ออินพุตมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นแล้ว ให้ผลของเอาต์พุตลดลง เป็นการทำงาน แบบที่สองมีการทำงานแบบ แปรผันตรง (Direct acting) เมื่ออินพุตมีค่าเพิ่มขึ้นจะให้ผลของเอาต์พุตที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย จากตัวแปรหลักของระบบควบคุม ที่ได้กล่าวถึง คือ ตัวแปรค่าสัดส่วน (P) ตัวแปรค่าปริพันธ์ (I) และตัวแปรอนุพันธ์ (D) ซึ่งเมื่อรวม เทอมของทั้ง 3 ตัวแปร ซึ่งเป็นชื่อของการควบคุมแบบ พีไอดี ตามสมการต่อไปนี้

$$MV(t) = P_{out} + I_{out} + D_{out} \quad (2.9)$$

ค่าความผิดพลาด (Error) คือ ค่าความแตกต่างของค่าที่วัดได้จากระบบกับค่าเป้าหมาย (Set point)

$$\text{Error} = \text{Measurement} - \text{Setpoint (Direct Acting)}$$

$$\text{Error} = \text{Setpoint} - \text{Measurement (Reverse Acting)}$$



รูปที่ 2.17 แสดงระบบการควบคุมแบบ พีไอดี [14]

2.10.1 ระบบควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional control)

ในระบบควบคุมแบบสัดส่วน จะได้เอาต์พุตของระบบควบคุมที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนของค่าความผิดพลาด หรือเป็นสัดส่วนกับอินพุตของระบบนั่นเอง การตอบสนองการทำงานระบบควบคุมแบบสัดส่วนสามารถทำได้โดยการคูณค่าความผิดพลาดด้วยค่าคงที่หรือ อัตราการขยายสัดส่วน โดยแสดงสมการในโดเมนเวลาได้ดังนี้

$$P_{out} = K_p e(t) \quad (2.10)$$

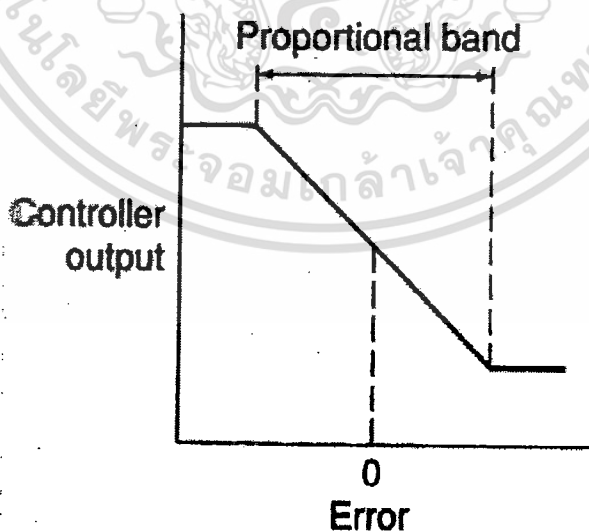
เมื่อ

P_{out} คือ เอาต์พุตของเทอมค่าสัดส่วน

K_p คือ อัตราขยายสัดส่วน

$e(t)$ คือ ค่าความผิดพลาดที่เวลานั้นๆ

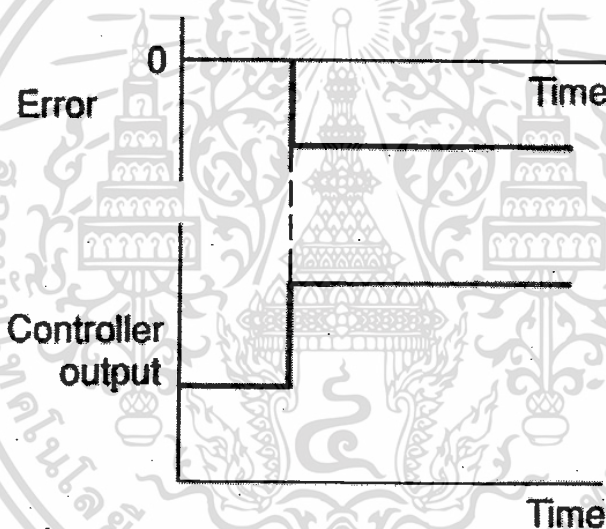
โดยค่าอัตราการขยายสัดส่วน K_p เป็นค่าคงที่ ดังนั้นเอาต์พุตของระบบควบคุมแบบสัดส่วน จะขึ้นอยู่กับค่าของความผิดพลาดในขณะที่เรากำลังพิจารณา ดังนั้นการควบคุมด้วยระบบควบคุมแบบนี้จะเป็นการขยายขนาดของความผิดพลาดเท่านั้น ซึ่งจากการได้ค่าความผิดพลาดที่มีค่ามากขึ้นที่เวลาหนึ่ง จะทำให้เกิดเอาต์พุตที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น ในเวลานั้นเมื่อคูณกับค่าอัตราการขยายแล้ว ในการกำหนดค่าของอัตราการขยายแบบสัดส่วนนั้นในทางปฏิบัติจะกำหนดให้มีการขยายในช่วงของค่าความผิดพลาดเท่านั้น



รูปที่ 2.18 การกำหนดช่วงจำกัดของเอาต์พุต [14]

โดยเราจะกำหนดให้ค่าเอาต์พุตมีค่าอยู่ในช่วงขอบเขตจำกัด ด้วยค่าขอบเขตด้านต่ำสุด และขอบเขตด้านสูงสุด ดังเช่นรูป ที่ 2.18 การกำหนดเอาต์พุตของการควบคุมแบบสัดส่วนในช่วงที่มีการกำหนดสัดส่วนนี้เราเรียกว่า ช่วงอัตราขยาย (Proportional band) ซึ่งการกำหนดช่วงอัตราขยายนี้จะช่วยให้สัญญาณเอาต์พุตมีค่าจำกัดไม่ไปสู่ออนันต์ ทั้งทางด้านบวกและด้านลบ และเมื่อระบบควบคุมมีเอาต์พุตสูงที่สุดที่เป็นไปได้ค่าหนึ่งแล้ว จะนิยมที่จะกำหนดเอาต์พุตค่าใดๆเป็นร้อยละของค่าสูงที่สุดที่เป็นไปได้ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงเอาต์พุตของระบบควบคุมที่ 100 % จะหมายถึงค่าเอาต์พุตที่เปลี่ยนจากค่าต่ำสุดที่เป็นไปได้ไปเป็นค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ ซึ่งจะได้ค่า K_p ดังสมการ 2.11

$$K_p = \frac{100}{\text{Proportional Band}} \quad (2.11)$$



รูปที่ 2.19 การตอบสนองของการควบคุมแบบสัดส่วน [14]

การตอบสนองของระบบควบคุมแบบสัดส่วนจะมีลักษณะเหมือนกับเครื่องขยายสัญญาณรูปแบบหนึ่งเท่านั้น โดยหากอินพุตมีลักษณะเป็นแบบไหนก็จะได้อเอาต์พุตในลักษณะนั้น เช่น อินพุตแบบขั้นบันได ก็จะได้เอาต์พุตที่เป็นแบบขั้นบันไดด้วย ตามรูปที่ 2.19 เมื่ออินพุตอยู่ในช่วงของช่วงอัตราขยาย โดยกราฟจะแสดงอินพุต และเอาต์พุตจะมีสัดส่วนที่แน่นอนค่าหนึ่งตามค่าอัตราขยาย K_p

2.10.2 ระบบควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral control or Reset)

ในการควบคุมแบบปริพันธ์ หรือเรียกอีกอย่างว่า รีเซ็ต เป็นการควบคุมที่มีเอาต์พุตที่เป็นสัดส่วนกับปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดเทียบกับเวลาของความผิดพลาดตามสมการ 2.12

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2.12)$$

เมื่อ

I_{out} คือ เอาต์พุตของเทอมค่าปริพันธ์

K_i คือ อัตราขยายปริพันธ์

$e(t)$ คือ ค่าความผิดพลาดที่เวลานั้นๆ

โดยผลรวมของค่าความผิดพลาดในทุกช่วงเวลา จะให้ค่าชดเชย(Offset) สะสมที่ควรจะเป็นก่อนหน้า ลักษณะการตอบสนองของการควบคุมแบบปริพันธ์ เมื่อได้รับสัญญาณความผิดพลาดแบบขั้นบันได ค่าปริพันธ์ระหว่าง t ถึง 0 จะหมายถึงพื้นที่ใต้กราฟของสัญญาณของความผิดพลาด จากเวลา 0 ถึง t ดังนั้น เมื่อเริ่มมีสัญญาณค่าความผิดพลาดแบบขั้นบันไดเข้ามา เอาต์พุตที่ออกจากจากระบบควบคุมก็จะมีค่ามากขึ้นเรื่อยๆ ด้วยอัตราคงที่ ทำให้เอาต์พุตที่เวลาใดๆ จะเป็นสัดส่วนกับความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

2.10.3 การควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative control)

การควบคุมแบบอนุพันธ์ จะเป็นการควบคุมที่ให้เอาต์พุตที่เป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดต่อเวลา ตามสมการ 2.13 โดยมีอัตราขยายอนุพันธ์ ซึ่งเป็นตัวควบคุมอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด

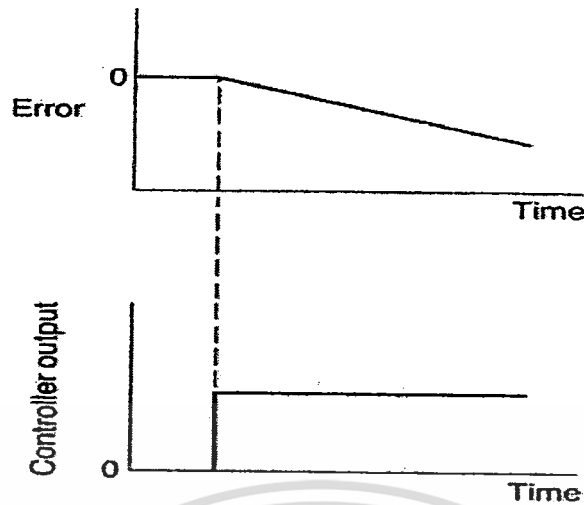
$$D_{out} = K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.13)$$

เมื่อ

D_{out} คือ เอาต์พุตของเทอมอนุพันธ์

K_d คือ อัตราขยายอนุพันธ์

$e(t)$ คือ ค่าความผิดพลาดที่เวลานั้นๆ



รูปที่ 2.20 แสดงการตอบสนองแบบอนุพันธ์ [14]

การตอบสนองของการควบคุมแบบ อนุพันธ์ ต่อแรมอินพุต (Ramp input) แสดงได้ดังรูปที่ 2.20 โดยเอาต์พุตของระบบควบคุมแบบนี้จะเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาด หากค่าความผิดพลาดมีค่าคงที่ก็จะไม่มีการสะสมค่าความผิดพลาดแม้ว่าค่าความผิดพลาดจะมากขึ้นก็ตาม ซึ่งส่งผลให้การควบคุมแบบนี้ไม่นิยมที่จะแบบเดี่ยว จะใช้ร่วมกับการควบคุมแบบอื่น

จากคุณสมบัติของตัวแปรควบคุมทั้ง 3 แบบ ต่างมีข้อดีที่แตกต่างกันไป โดยการตอบสนองของอนุพันธ์จะให้ผลตอบสนองที่ดีต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และช่วยในกรณีที่มีการรบกวนระบบจากปัจจัยภายนอก เพราะทำให้สามารถเพิ่มค่า K_p ขึ้นได้ และยังช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้กับระบบได้ ส่วนการตอบสนองของค่าปริพันธ์อาจจะทำให้ระบบเกิดการแกว่งตัวมากขึ้นหรือมีเสถียรภาพที่ลดลง แต่ก็ให้ผลตอบสนองในด้านระยะเวลาที่ดีขึ้น คือจะช่วยลดค่าความผิดพลาดลงเรื่อยๆ โดยค่าความผิดพลาดสะสมจะถูกคูณด้วยอัตราขยายปริพันธ์ ขนาดของผลของเทอมปริพันธ์จะเป็นตามสมการ 2.12

2.11 การปรับพารามิเตอร์ของระบบควบคุมพีไอดี

การปรับพารามิเตอร์ระบบควบคุมพีไอดีด้วยมือ เริ่มแรกของการปรับจูน จะปรับค่า K_p และ K_d ให้มีค่าเป็นศูนย์ก่อน แล้วทำการเพิ่มค่า K_p จนค่าสัญญาณเอาต์พุตขาออกเกิดการแกว่ง (Oscillate) แล้วทำการปรับค่า K_p ให้เหลือครึ่งหนึ่งของค่าที่ทำให้เกิดการแกว่ง สำหรับการตอบสนองการแกว่งแบบ Quarter wave decay แล้วทำการเพิ่มค่า K_p จนค่าความแตกต่างระหว่างอินพุตอ้างอิงกับค่าเอาต์พุตหรือที่เรียกว่า ออฟเซต ที่ได้ถูกต้องในเวลาที่ยังพอของกระบวนการ ซึ่งการเพิ่มค่า K_p ที่มากเกินไปจะทำให้ระบบเกิดความไม่เสถียร แต่การเพิ่มค่า K_d ในระดับที่

เหมาะสมจะทำให้การตอบสนองของระบบดีขึ้น แต่ถ้าค่า K_d มากเกินไปจะทำให้เกิดโอเวอร์ชูต มากเกินไป ซึ่งการเกิด โอเวอร์ชูตในบางระบบไม่สามารถยอมรับได้

ตารางที่ 2.2 แสดงผลของการเพิ่มค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมพีไอดี

ตัวแปร	ช่วงเวลายา ขึ้น (Rise time)	โอเวอร์ชูต (Overshoot)	เวลาสู่สมดุล (Setting time)	ความผิดพลาด สถานะคงตัว (Steady-state error)	เสถียรภาพ
K_p	ลด	เพิ่ม	เปลี่ยนแปลง เล็กน้อย	ลด	ลด
K_i	ลด	เพิ่ม	เพิ่ม	ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ	ลด
K_d	ลดลง เล็กน้อย	ลดลง เล็กน้อย	ลดลงเล็กน้อย	ลดลง	ดีขึ้นในกรณี K_d มีค่าน้อย

2.12 การปรับพารามิเตอร์ระบบควบคุมพีไอดี ด้วยวิธี ซิกเลอร์ นิโคล (Ziegler-Nichols)

การปรับพารามิเตอร์ของระบบควบคุมพีไอดีด้วยวิธีนี้ได้ถูกนำเสนอ โดย Ziegler-Nichols โดยในขั้นตอนแรกให้ทำการตั้งค่า K_i และ K_d ให้มีค่าน้อยสุดหรือเป็นศูนย์ก่อนแล้วทำการปรับค่าอัตรา K_p ไปจะถึงค่า Critical gain คือช่วงที่ระบบเริ่มแกว่ง แล้วทำการวัดค่า K_u เพื่อทำการคำนวณตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สำหรับคำนวณค่าอัตราขยายด้วยวิธีของ Ziegler – Nichols

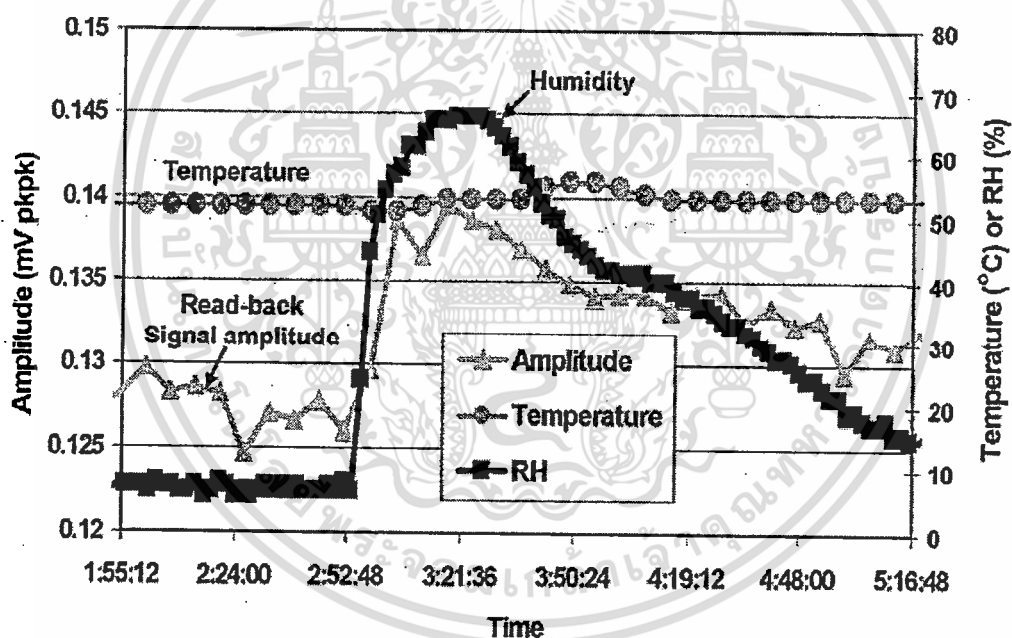
Controller Form	K_p	K_i	K_d
P	0.5 K_u	-	-
PI	0.4 K_u	0.8 T_u	-
PID	0.6 K_u	0.5 T_u	0.125 T_u

2.13 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ถูกนำไปใช้ในหลากหลายสถานที่และสถานะสิ่งแวดล้อมที่หลากหลาย รวมถึงเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่ใช้ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ก็มีความหลากหลาย ดังนั้นการศึกษาคุณลักษณะของการบินของหัวอ่านเขียนแต่ละแบบหรือแต่ละลักษณะการออกแบบ ที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแล้ว ความชื้นของระบบจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งงานวิจัยมากมาย

จะมีการวิจัยแบบทดลองใช้งานจริงในการทดลอง และการทดลองโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งผู้วิจัยจะได้กล่าวถึงดังต่อไปนี้

การศึกษาด้วยแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าค่าระดับการบินอาจจะลดมากกว่า 2 นาโนเมตร ในสภาวะแวดล้อม อุณหภูมิและความชื้น [2] การลดลงของค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนในช่วงระดับการบินระดับไม่กี่นาโนเมตรของหัวอ่านเขียนในฮาร์ดดิสก์ไทร์ุ่นปัจจุบัน มีความเสี่ยงต่อการทำให้เกิดความเสียหายต่อหัวอ่านเขียนได้ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงปัญหาที่มีความสำคัญขึ้นเรื่อย ๆ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาก่อนนี้ จะเป็นการศึกษาด้วยวิธีแบบจำลอง (Simulation model) เพื่อศึกษาผลกระทบของความชื้นต่อคุณลักษณะการบินของหัวอ่านเขียน [1-3] จากรูปที่ 2.21 แสดงผลการทดลองจากการจำลองในงานวิจัย [3] จากผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงของความชื้น มีนัยสำคัญต่อคุณลักษณะการบินของหัวอ่านเขียน โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับการบิน และรวมถึงค่าความเอียง (Pitch , Roll) ของหัวอ่านเขียน

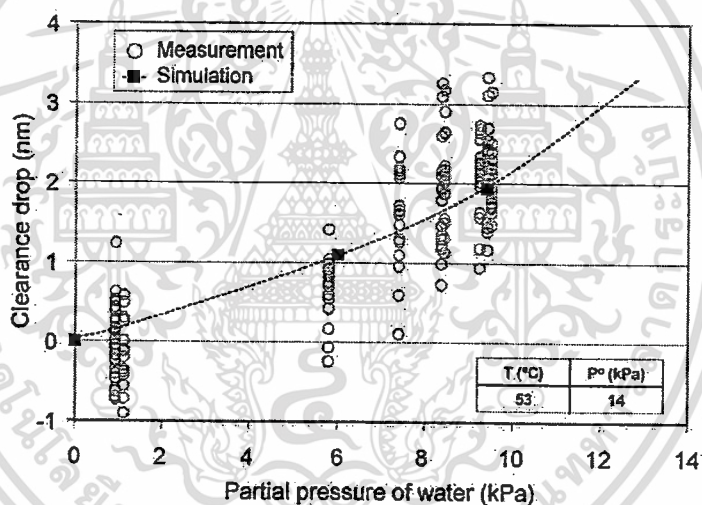


รูปที่ 2.21 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแอมพลิจูดที่เปลี่ยนแปลงความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น จากค่าความชื้น 6% - 7% ถึง 66% - 67% ที่อุณหภูมิ 52-53 องศาเซลเซียส [1]

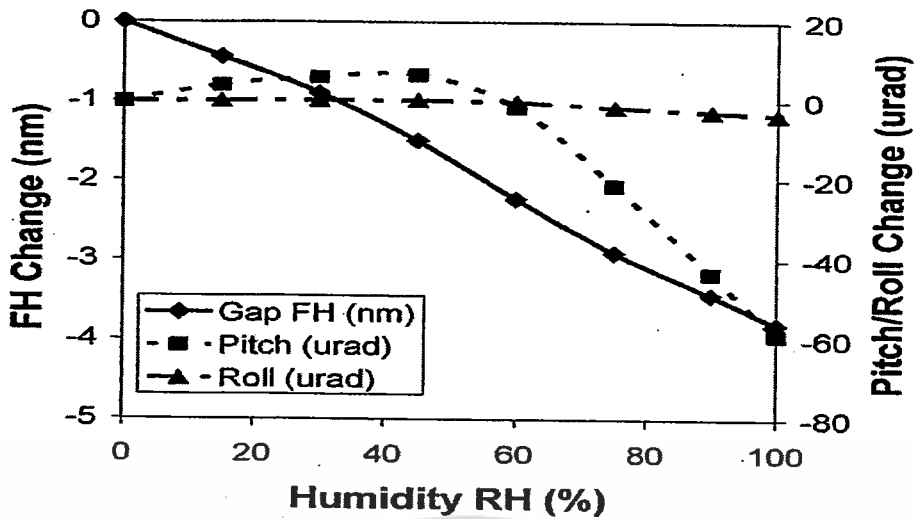
จากงานวิจัยของ Brian D. Strom และคณะ ที่ทำการวิจัยผลกระทบของความชื้นในอากาศต่อค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียน ซึ่งเป็นการทดลองวัดระดับการบินของหัวอ่านที่อยู่ในฮาร์ดดิสก์ไทร์ุ่น โดยการวัดความแรงของสัญญาณแอมพลิจูดจากการอ่านของหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์ไทร์ุ่นด้วยออสซิลอสโคป แล้วทำการคำนวณหาค่าระดับการบิน โดยใช้ทฤษฎี Wallace [3] จากรูปที่ 2.21 แสดงให้เห็นสัญญาณแอมพลิจูดที่วัดในฟังก์ชันของความชื้นและอุณหภูมิ โดยมีลำดับขั้นการ

ทดลอง ด้วยการคงค่าอุณหภูมิไว้ค่าหนึ่ง ที่ 52 องศาเซลเซียส แล้วแปลเปลี่ยนค่าความชื้น โดยสัญญาณที่วัดได้จะนำมาคำนวณหาค่าระดับการบิน ซึ่งแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแอมพลิจูดอย่างรวดเร็ว เมื่อค่าความชื้นเปลี่ยนจาก 6 %-7 % ไปเป็น 66 %-67 % จะทำให้ค่าสัญญาณแอมพลิจูดเปลี่ยนจาก 128 มิลลิโวลต์ ไปเป็น 138 มิลลิโวลต์ ซึ่งเท่ากับการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับการบินลดลง 2 นาโนเมตร โดยการเปลี่ยนแปลงระดับการบินนี้จะไม่เป็นในลักษณะเชิงเส้นและจากการทดลองด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ศึกษาการลดลงของระดับการบินต่อค่าความดันไอน้ำที่มีในอากาศพบว่า ที่ความดันไอน้ำที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าระดับการบินลดลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น

จากรูปที่ 2.22 แสดงการเปรียบเทียบระดับการบินในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่อุณหภูมิค่าต่าง ๆ กับผลจากแบบจำลอง ซึ่งมีความสอดคล้องกันของค่าที่ได้จากการทดลองวัดสัญญาณแอมพลิจูด และค่าที่ได้จากแบบจำลอง



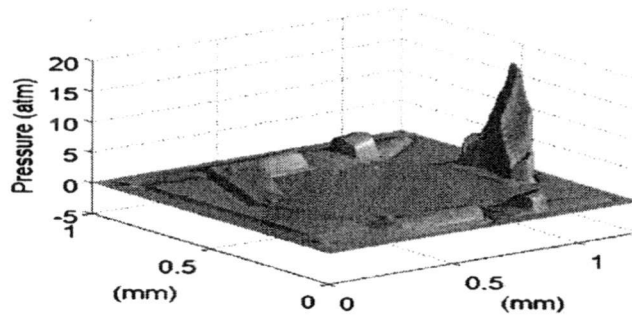
รูปที่ 2.22 แสดงการเปรียบเทียบการลดลงของระดับการบินของหัวอ่านเขียนระหว่างผลจากการวัดกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่อค่าแรงดันไอน้ำที่มีในอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป [1]



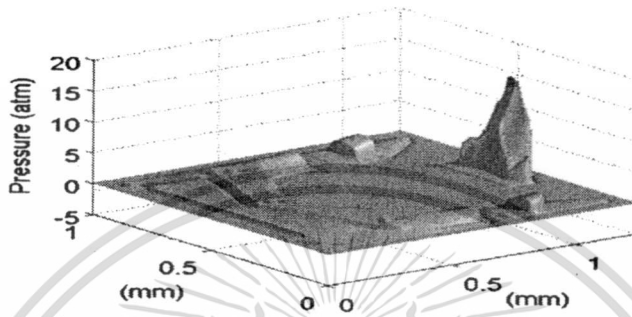
รูปที่ 2.23 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับการบิดเทียบกับความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส [1]

จากการทดลองหาค่าการเปลี่ยนแปลงระดับการบิดของหัวอ่าน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ช่วงค่าความชื้นสัมพัทธ์ 0-100 % ตามรูปที่ 2.23 แสดงให้เห็นว่า ค่าความเอียง (Pitch) ของหัวอ่านเขียนหัวอ่านจะมีค่าเพิ่มขึ้น ในช่วงแรกของการเพิ่มขึ้นของความชื้น และมีค่าสูงสุดที่ค่าความชื้น 45 % แล้วเริ่มลดลง โดยค่าระดับการบิดจะมีการลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อมีการเพิ่มความชื้น ส่วนผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของค่าความเอียงด้านข้าง (Roll) จะมีการเปลี่ยนแปลงต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้นน้อยมาก

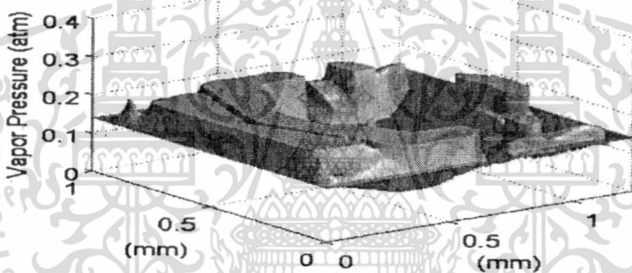
จากงานวิจัยของ Shuyu Zhang และคณะ ศึกษาเกี่ยวกับแรงดันอากาศของหัวอ่านเขียนและระดับการบิดของหัวอ่านเขียนที่สภาวะความชื้นต่าง ๆ โดยเป็นการศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยแสดงให้เห็นค่าความดันที่เกิดขึ้นบนหัวอ่านเขียน (Pressure in air bearing) โดยกำหนดค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ 70 % และอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 2.24 (a) แสดงลักษณะการเกิดแรงดันบนผิวหน้าของหัวอ่านเขียนที่สภาวะอากาศความชื้นสัมพัทธ์ 0 % ซึ่งจุดความดันสูงสุดจะเกิดบริเวณด้านท้ายของหัวอ่านเขียน โดยทั่วไปจะเป็นบริเวณของทรานสดิวเซอร์สำหรับอ่านเขียนข้อมูล ส่วนรูป 2.24 (b) แสดงแรงดันอากาศที่กระทำต่อผิวหน้าของหัวอ่านเขียนหลังจากเกิดการควบแน่นของไอน้ำ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70 % และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่าความดันสูงสุดเมื่อเทียบกับสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ที่ 0 % มีค่าลดลงประมาณ 2 atm ซึ่งเมื่อความดันที่กระทำต่อหัวอ่านเขียนลดลงจะส่งผลให้แรงกระทำระหว่างหัวอ่านเขียนและปีกนก (Suspension) ไม่สามารถรักษาระดับการบิดตำแหน่งเดิมได้ ทำให้เกิดการลดระดับการบิดลงเพื่อรักษาสมดุลของแรงที่กระทำต่อกัน ส่วนรูปที่ 2.24(c) แสดงลักษณะของความดันไอน้ำที่หัวอ่านหลังจากเกิดการควบแน่นไปแล้ว ซึ่งจะมีลักษณะที่ราบเรียบเมื่อค่าความดันถึงระดับคงที่แล้ว



(a)



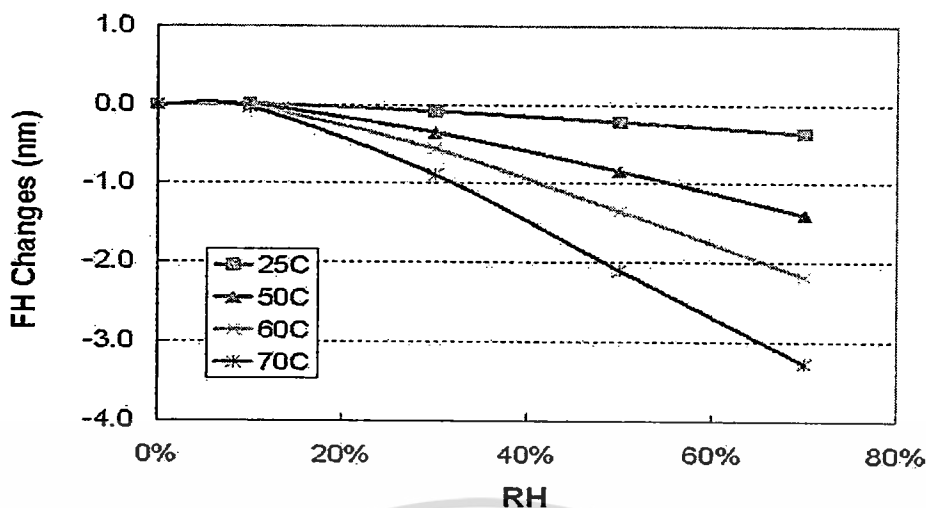
(b)



(c)

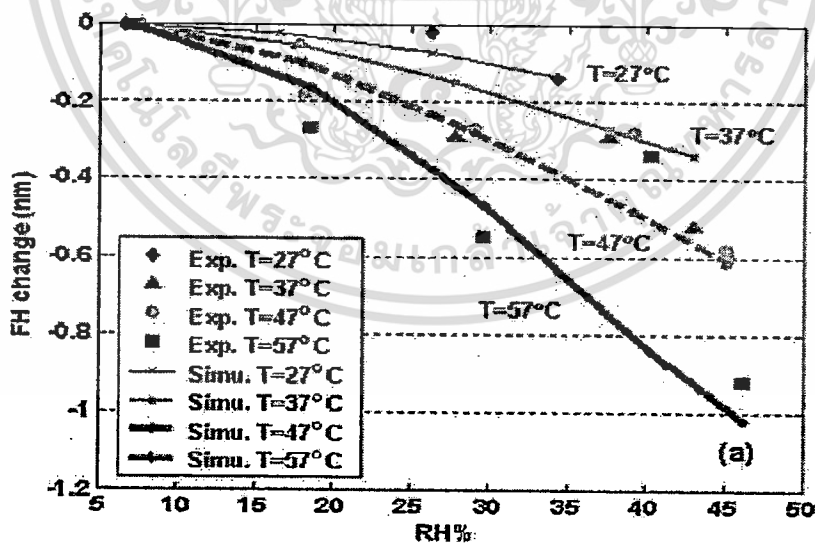
รูปที่ 2.24 แสดงความดันที่กระทำต่อหัวอ่านเขียนที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 0% [2]

การเปลี่ยนแปลงของระดับการบินของหัวอ่านเขียนที่ตอบสนองต่ออุณหภูมิ จากความรู้ที่ว่าอากาศจะสามารถรองรับน้ำได้มากขึ้นที่อุณหภูมิที่ค่าสูง ๆ ซึ่งอุณหภูมิเป็นตัวแปรสำคัญตัวหนึ่งต่อความไวในการตอบสนองการเปลี่ยนแปลงระดับการบินของหัวอ่านเขียนต่อค่าความชื้น ดังรูปที่ 2.25 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าระดับการบินที่มากขึ้นด้วย โดยที่อุณหภูมิที่ 70 องศาเซลเซียสจะมีการลดลงของระดับการบินถึง 3 นาโนเมตร



รูปที่ 2.25 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าระดับการบินต่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เปลี่ยนแปลงไป ที่อุณหภูมิ 25 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส [2]

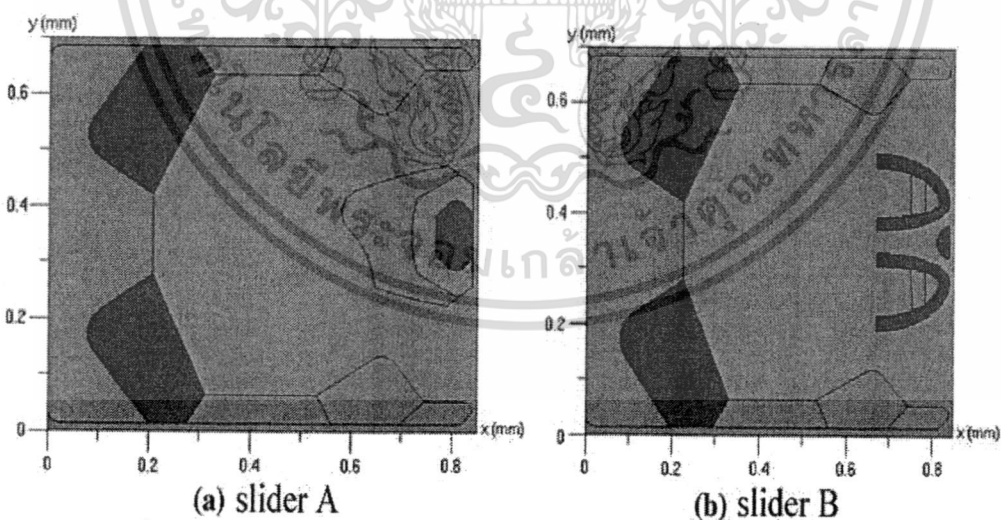
รูปที่ 2.26 เป็นอีกหนึ่งผลการทดลองที่ใช้หัวอ่านเขียนที่ต่างจากหัวอ่านเขียนในรูปที่ 2.27 ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการวัดค่าสัญญาณแอมพลิจูด ที่อ่านกลับจากฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟ เทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ 6 % จะเริ่มมีการลดลงของค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนและในค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับการบินที่มากขึ้น ซึ่งผลที่ได้จากการวัดกับผลที่ได้จากแบบจำลองให้ผลการเปลี่ยนแปลงระดับการบินในทางเดียวกัน



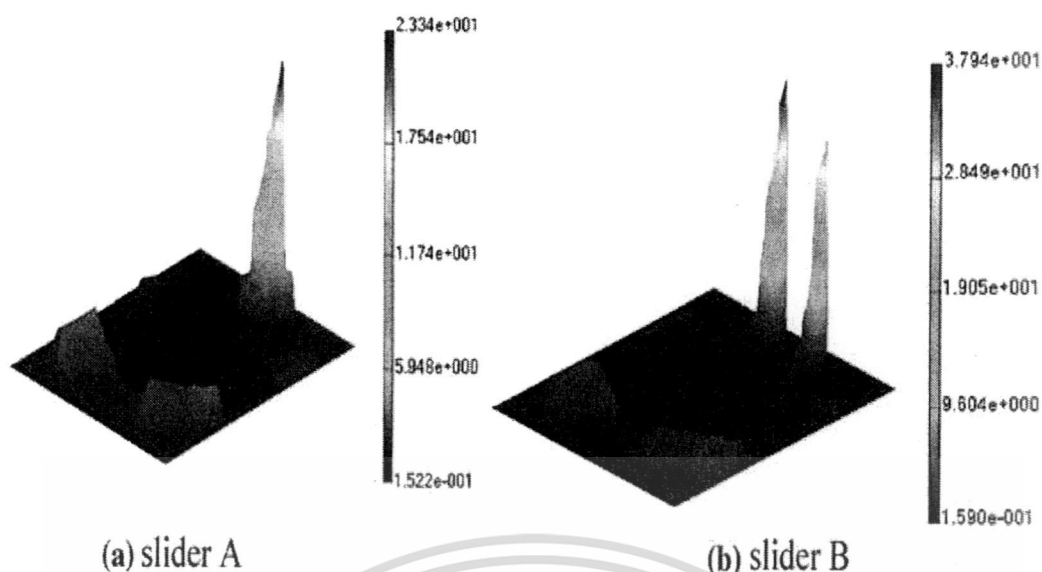
รูปที่ 2.26 แสดงการเปรียบเทียบค่าระดับการบินในฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟด้วยวิธีวัดสัญญาณแอมพลิจูด กับค่าระดับการบินจากการคำนวณด้วยแบบจำลอง ที่อุณหภูมิต่าง ๆ [3]

จากงานวิจัย [3] ผลที่ได้จากแบบจำลอง และจากงานวิจัยที่ทดลองวัดค่าระดับการบิดที่หัวอ่านเขียนที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 2.27 โดยแบบจำลองจะแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับการบิดของหัวอ่านเขียนแบบมีตัวทำความร้อนบนหัวอ่านเขียน (Heater) จากหัวอ่านเขียน 2 แบบ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง โดยเมื่ออุณหภูมิมากขึ้นจะมีผลต่อระดับการบิดของหัวอ่านเขียนที่ต่ำลง รวมถึงแสดงให้เห็นถึงความไวในการเปลี่ยนแปลงระดับการบิดที่สูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิและความชื้นสูงขึ้น ซึ่งหัวอ่านเขียนที่มีการออกแบบที่ต่างกันก็จะมีผลต่อความไวในการเปลี่ยนแปลงระดับการบิดที่ต่างกัน และตำแหน่งของหัวอ่านเขียนที่มีตำแหน่งรัศมีบนแผ่นดิสก์ที่ต่างกัน จะให้ผลการเปลี่ยนแปลงของระดับการบิดลดลงในลักษณะเชิงเส้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่มีค่าความไวของการเปลี่ยนแปลงระดับการบิดที่ต่างกัน

อีกงานวิจัยของ Weidong Zhou และคณะ ทำการศึกษาเกี่ยวผลกระทบของอุณหภูมิและความชื้นต่อหัวอ่านเขียนที่มีความร้อนในการควบคุมระดับการบิด (Thermal actuate slider) ด้วยแบบจำลองที่เรียกว่า Coupled-field simulation โดยใช้หัวอ่านเขียน 2 รูปแบบ คือ ชนิด A และชนิด B ดังรูปที่ 2.27 โดยจำลองลักษณะการเกิดแรงดันที่กระทำต่อหัวอ่านเขียนในตำแหน่งต่าง ๆ ด้วยโปรแกรม DSI ตามรูปที่ 2.28 จากการทดลองพบว่า หัวอ่านเขียนชนิด A มีค่าแรงดันอากาศที่กระทำกับหัวอ่านสูงสุดบริเวณหัวสำหรับอ่านเขียนสัญญาณ ตามรูป 2.28 (a) แต่ที่หัวอ่านเขียนชนิด B จะเกิดถัดออกมาจากบริเวณหัวสำหรับอ่านเขียนข้อมูลและแรงดันอากาศบริเวณหัวอ่านเขียนนี้จะลดลง ดังรูป 2.28(b)



รูปที่ 2.27 แสดงรูปร่างของหัวอ่านเขียนแบบ Thermal actuated 2 แบบ [3]



(a) slider A

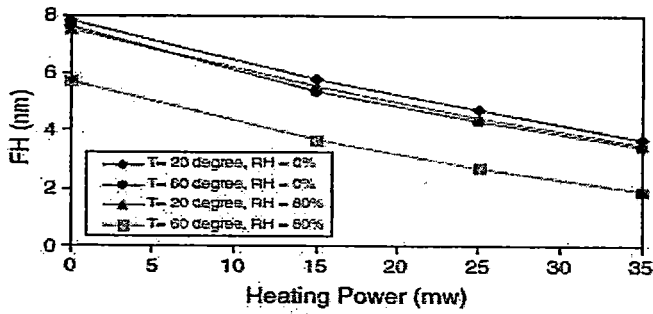
(b) slider B

รูปที่ 2.28 แสดงลักษณะของแรงดันอากาศที่กระทำบนหัวอ่านเขียนแบบ Thermal actuated [3]

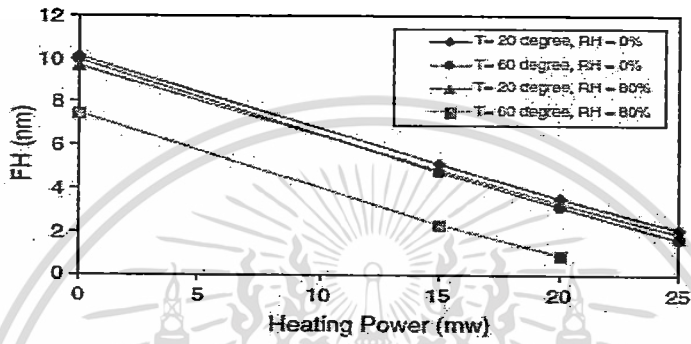
โดยในการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและความชื้นต่อระดับแรงดันที่กระทำต่อหัวอ่านเขียน พบว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ 0 % และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์เป็น 80 % และอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส จะไม่มีความแตกต่างของแรงดันอากาศที่กระทำต่อหัวอ่านเขียนในบริเวณที่แรงดันอากาศมีค่าเป็นบวก (ค่าแรงดันอากาศมีค่ามากกว่าแรงดันบรรยากาศ) แต่ในบริเวณที่มีค่าแรงดันอากาศมีค่าเป็นลบจะเกิดความแตกต่างโดยเมื่อความชื้นมากขึ้นจะทำให้เกิดบริเวณที่มีแรงดันอากาศเป็นลบมีค่าลดลง

ในการทดลองอีกรูปแบบหนึ่งของ Weidong Zhou และคณะเพื่อศึกษาระดับของหัวอ่านเขียนในขณะที่จ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อให้เกิดการยึดหดของหัวอ่านเพื่อควบคุมระดับการบิน เมื่อค่าอุณหภูมิและความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าการเปลี่ยนแปลงระดับการบินของหัวอ่านเขียนมีความสัมพันธ์กับกำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการยึดหดของหัวอ่านเขียน มีความสัมพันธ์แบบเป็นเชิงเส้นดังรูปที่ 2.29 และการลดลงของค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนชนิด B จะมากกว่า หัวอ่านเขียนชนิด A ที่ค่ากำลังไฟฟ้าที่เท่ากันในสภาวะแวดล้อมเดียวกัน

จากรูปที่ 2.30 เป็นอีกรูปการทดลองในวิจัยของ Weidong Zhou และคณะ โดยการจำลองการวัดค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียน 2 ชนิด ที่ช่วงอุณหภูมิ 20-80 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการทดลองที่ 3 ค่าความชื้น คือ 0 %, 20 % และ 80 % พบว่าที่ค่าความชื้น 0 % แม้อุณหภูมิจะมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าระดับการบินจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่ที่ค่าความชื้น 40 % และ 80 % เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับการบินอย่างเห็นได้ชัด

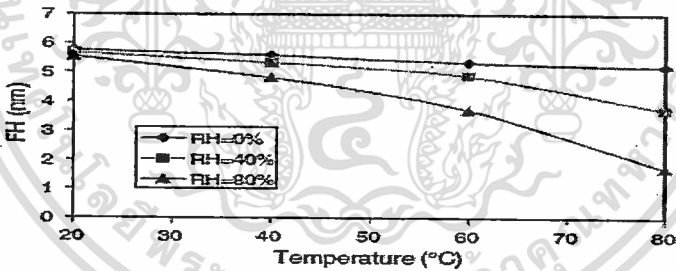


(a) slider A

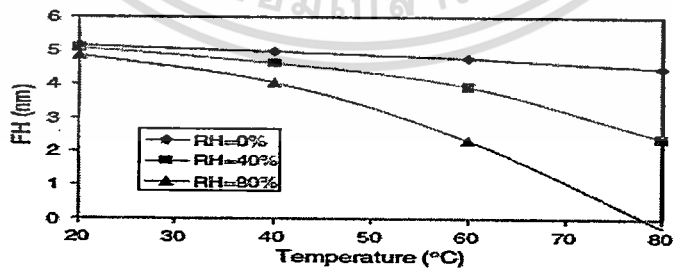


(b) slider B

รูปที่ 2.29 แสดงค่าระดับการบิ่นของหัวอ่านเขียนเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิและความชื้นที่เปลี่ยนแปลง [3]

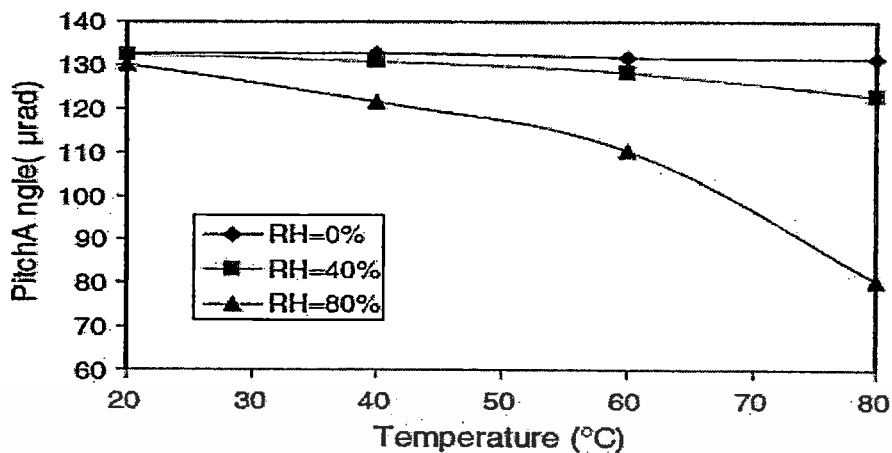


(a) slider A

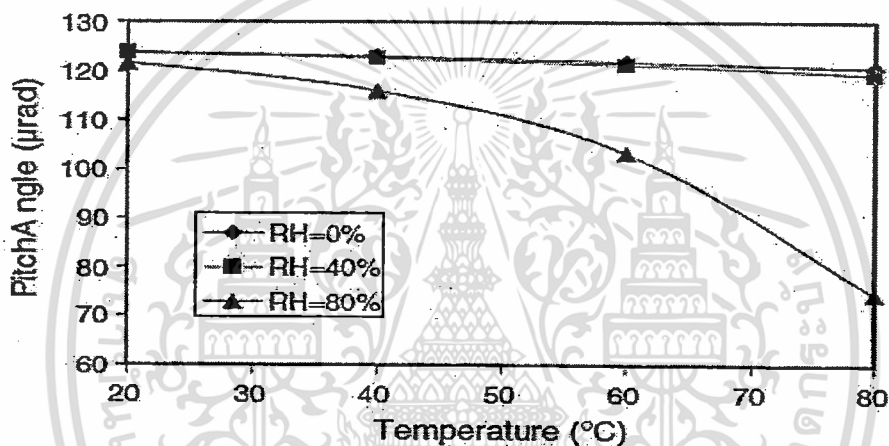


(b) slider B

รูปที่ 2.30 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าระดับการบิ่นของหัวอ่านเขียน 2 ชนิด เทียบกับค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง [3]



(a) slider A



(b) slider B

รูปที่ 2.31 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเอียง (Pitch) ของหัวอ่าน 2 ชนิด เทียบกับค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง [3]

การทดลองเพื่อหาผลกระทบจากอุณหภูมิของหัวอ่านเขียนทั้ง 2 ชนิด โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าคงที่ 15 มิลลิวัตต์ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงระดับการบินที่สภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ตามรูปที่ 2.30 จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนจาก 20 องศาเซลเซียส ไปเป็น 80 องศาเซลเซียส ที่ค่าความชื้น 0 % จะมีการเปลี่ยนแปลงระดับการบินเพียงเล็กน้อย และจากรูปที่ 2.31 จะเห็นว่ามุมค่าความเอียงของหัวอ่านจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเช่นกัน หากค่าความชื้นอยู่ในระดับน้อยกว่า 40 % แต่เมื่อความชื้นมีค่าเพิ่มมากขึ้นเป็น 80 % จะเห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งผลการทดลองแสดงถึงผลกระทบของค่าความชื้นที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงค่าระดับการบิน จะมีผลตอบสนองแตกต่างกันตามลักษณะการออกแบบของหัวอ่านเขียนแต่ละแบบ และจากการทดลองจ่ายกำลังไฟฟ้าให้หัวอ่านเขียนชนิด A ที่ 35 มิลลิวัตต์ และหัวอ่านเขียนชนิด B ที่ 20 มิลลิวัตต์ พบว่าเมื่อการยึดของหัวอ่านเขียนมีผลต่อความไวในการเปลี่ยนแปลงระดับการบินของหัวอ่านเขียนต่อค่าความชื้น

ซึ่งนอกเหนือจากระยะที่ยึดแล้วยังมีส่วนประกอบอื่น เช่น รูปร่างของการยึด การออกแบบหัวอ่าน
เขียนที่ต่างกัน



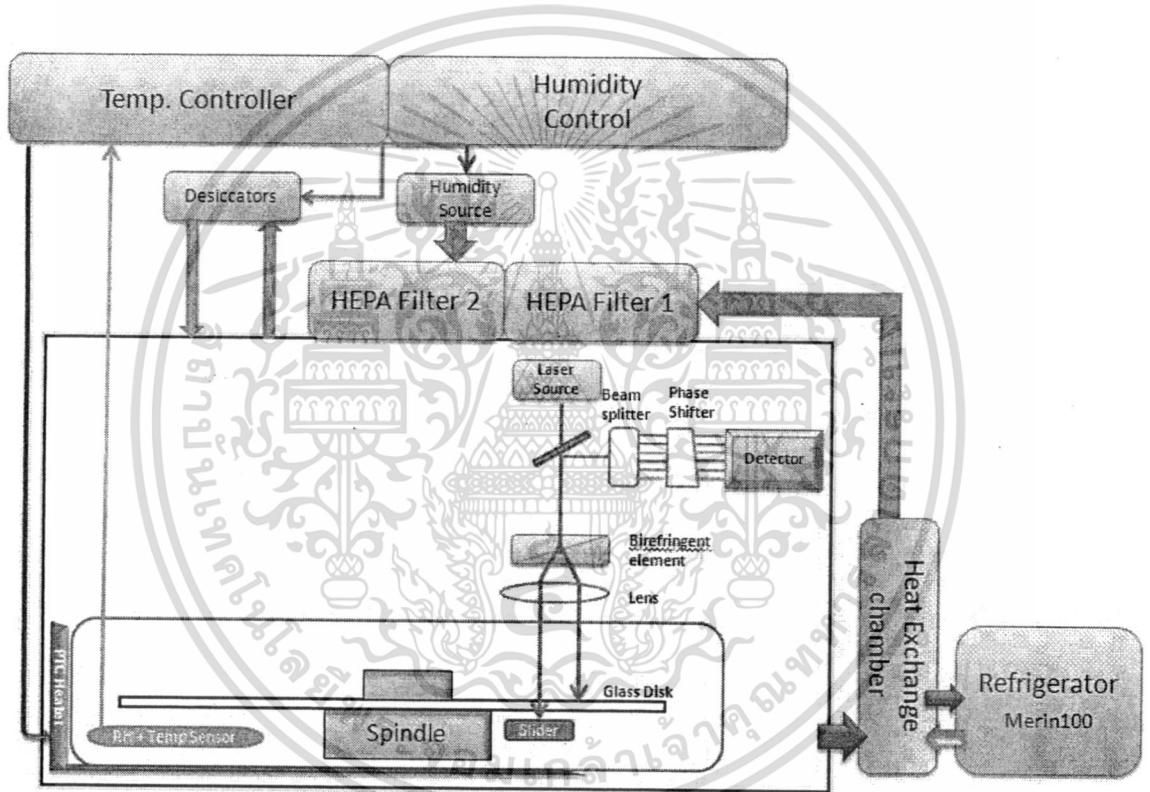
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

3.1 ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสำหรับเครื่องวัดระดับการบิน

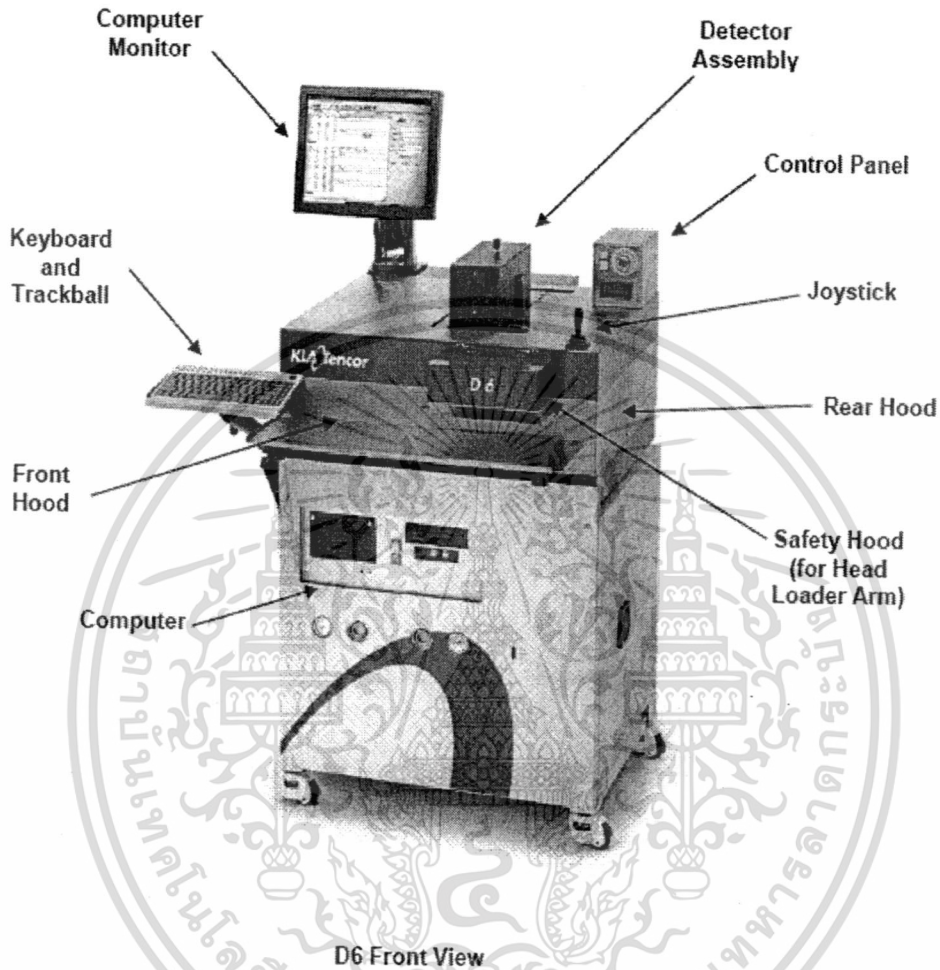
ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย 4 ระบบหลัก สำหรับการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในเครื่องวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียน โดยมีบล็อกไดอะแกรมของ 4 ระบบหลัก แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นบนเครื่องวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียน

ระบบควบคุมทั้ง 4 ระบบ ออกแบบเพื่อติดตั้งบนเครื่องวัดระดับการบินรุ่น DFHT 6 ดังรูปที่ 3.2 โดยในส่วนของตัวเครื่องวัดระดับการบินจะต้องทำการปรับปรุงในส่วนของโครงสร้างบางส่วนเพื่อทำการติดตั้งตัวกล่องโครงสร้างหลักเพื่อครอบในส่วนของตัวเครื่อง โดยเรียกส่วนที่ครอบนี้ว่า กล่องหลัก (Main chamber) จุดประสงค์หลักของตัวกล่องหลัก คือ เพื่อช่วยป้องกันฝุ่น

ละออกจากสภาพแวดล้อมภายนอกและเพื่อทำให้ระบบควบคุมเป็นระบบปิด ช่วยรักษาอุณหภูมิและความชื้นในระบบ และป้องกันการรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกต่อระบบ



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดระดับการบิ่นของหัวอ่านเขียนรุ่น DFHT6 [8]

รายละเอียดเครื่องวัดระดับการบิ่นของหัวอ่านเขียนรุ่น DFHT6

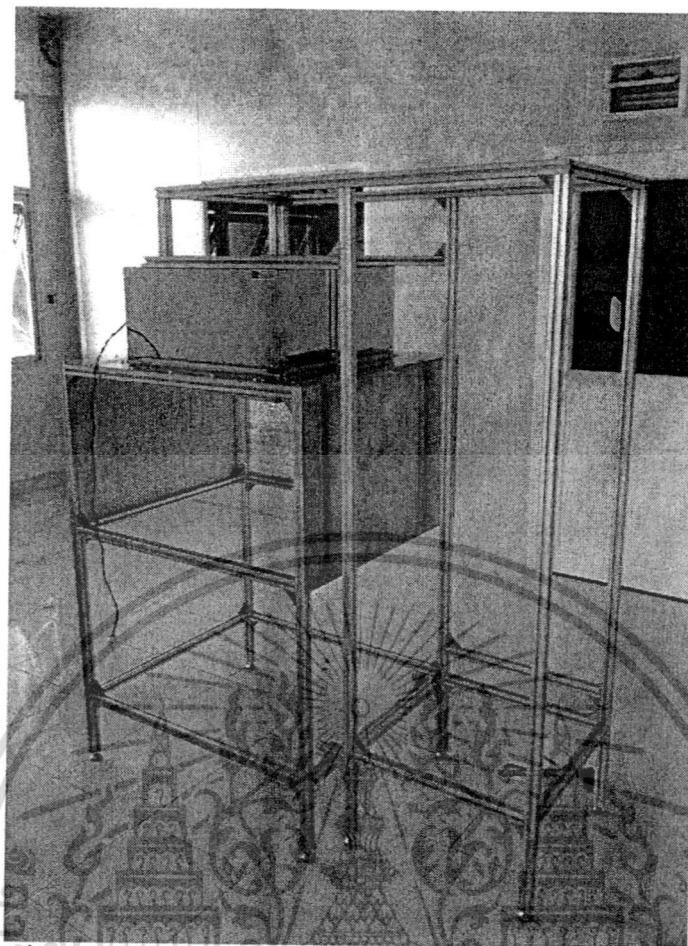
- Measurement technique : Differential Phase Interferometry
- Measurement range : 40 micro inch to contact
- Spot size measurement : 1 mil diameter
- Bandwidth : 20 KHZ
- Detector and data acquisition
- Wavelength : 658 nm
- Light source : Laser diode
- Data sampling : 12 channel 67 Ksamples/s , 16 bit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-Spindle speed	:15000
Spindle Type	: Air Bearing
Glass Disk	: AR coated on top surface

3.2 การออกแบบ และโครงสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

ตัวโครงสร้างของกล่องหลักทำจากท่อนอลูมิเนียมขนาด 30 มิลลิเมตร จำนวน 16 ท่อน ประกอบเป็นโครงสร้างที่ครอบส่วนของตัวเครื่องทั้งหมด ดังรูปที่ 3.3 และตัวผนังด้านข้างทั้ง 4 ด้าน ทำจากแผ่นสแตนเลส ขนาดความหนา 1 มิลลิเมตร ทำการบุด้วยฉนวนกันความร้อนด้านใน ทุกด้าน เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนของระบบ และป้องกันการรบกวนจากสภาวะสิ่งแวดล้อมภายนอก อีกทั้งยังช่วยในเรื่องป้องกันการกักตัวของไอน้ำที่ผนังของตัวโครงสร้างหลัก ในขณะที่ความเย็นซึ่งผนังด้านหน้าจะมีประตูเปิดปิดสำหรับการไหลของอากาศเข้าไปทดสอบซึ่งแบบให้มีขนาดช่องที่เล็กที่สุดเพื่อลดการสูญเสียของอุณหภูมิและความชื้น และมีช่องสำหรับตรวจสอบการทำงานของตัวเครื่องวัดระดับการบินเองซึ่งจะเป็นพลาสติกชนิดที่ไม่ก่อให้เกิดไฟฟ้าสถิต (Anti-static polycarbonate) และด้านบนของตัวโครงสร้างหลักจะติดตั้งฟิลเตอร์ (HEPA Filter1) โดยตัวฟิลเตอร์มีความสามารถในการกรองฝุ่นละอองขนาด 0.3 ไมโครเมตรได้ และตัวโครงสร้างกล่องหลักที่ครอบตัวเครื่องวัดระดับการบินจะออกแบบไม่ให้มีส่วนยึดติดกับตัวเครื่องเพื่อป้องกันการสั่นของตัวเครื่องจากการหมุนของพัดลมในตัวฟิลเตอร์เอง ซึ่งอาจจะทำให้มีผลต่อการวัดระดับการบิน โดยจะบุรอยต่อระหว่าง โครงสร้างกับตัวเครื่องวัดระดับการบินด้วยฟองน้ำแบบที่สามารถยืดหยุ่นได้



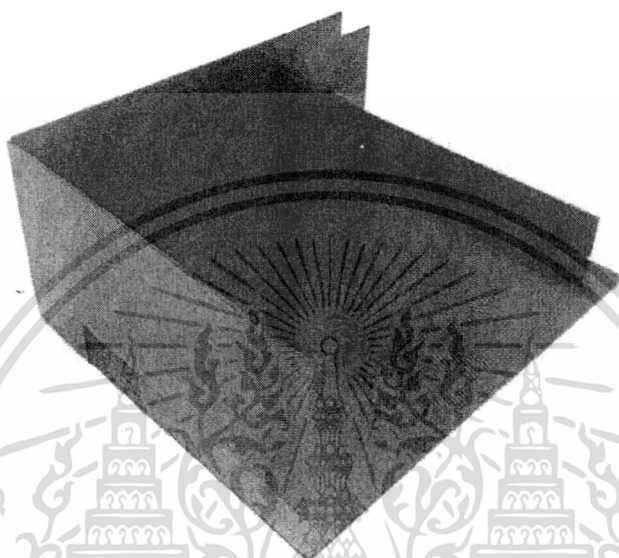
รูปที่ 3.3 แสดงโครงสร้างกล่องหลักและกล่องถ่ายไอออนความร้อน

โดยที่ด้านข้างกล่องหลักจะมีโครงสร้างของกล่องถ่ายไอออนความร้อน ทำหน้าที่รองรับชุดคอยล์เย็น 2 ชุด ซึ่งตัวโครงสร้างส่วนล่างจะมีฐานรองรับน้ำจากการกลั่นตัวของความชื้นในตัวกล่องแลกเปลี่ยนความร้อนเอง ด้านบนจะเป็นโครงสร้างท่อทางเดินอากาศไปยังฟิลเตอร์ตัวที่ 1 (HEPA filter 1) ซึ่งตัวโครงสร้างออกแบบแยกจากตัวโครงสร้างของกล่องหลักเพื่อให้ง่ายต่อการเคลื่อนย้ายและการซ่อมบำรุง ลดผลของการสั่นสะเทือนขณะชุดพัฒนาของชุดทำความเย็นทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ระบบทำความร้อน

ระบบแรกที่จะกล่าวถึงคือ ระบบทำความร้อน โดยจะเพิ่มชุดทำความร้อนเข้าไปในส่วนที่ทำการวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียน ซึ่งจะทำการเพิ่มส่วนทำความร้อนเรียกว่า กล่องการวัด ดังรูปที่ 3.4

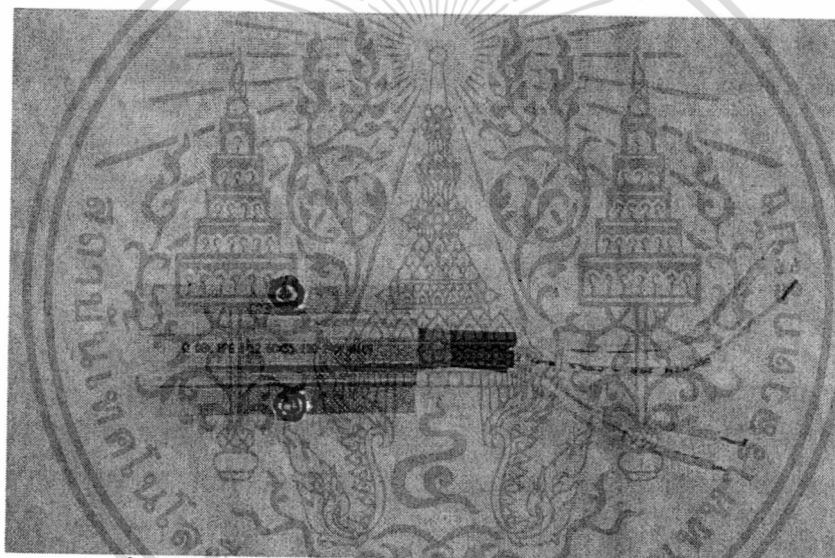


รูปที่ 3.4 กล่องการวัดที่ทำกรชุบสีดำ ด้วยวิธีอโนไดซ์

การออกแบบกล่องเพื่อควบคุมและรักษาอุณหภูมิและความชื้นขณะทำการวัดระดับการบิน ตัวกล่องการวัดจะทำจากแผ่นอลูมิเนียมความหนา 2 มิลลิเมตร พับขึ้นรูป การใช้อลูมิเนียมจะทำให้นำความร้อนจากตัวทำความร้อนได้ดี เนื่องจากผิวของตัวทำความร้อนเป็นอลูมิเนียมเหมือนกันซึ่งจะมีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ใกล้เคียงกัน และตัวกล่องการวัดจะทำการชุบผิวหน้าสีดำด้วยวิธีการอโนไดซ์ (Anodize) เพื่อป้องกันการสะท้อนของแสงเลเซอร์ที่ใช้ในการวัดค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียน หากมีการสะท้อนของแสงจะทำให้ขั้นตอนการเทียบวัดของเครื่องไม่สามารถทำได้เหมือนขั้นตอนปกติ และยังช่วยป้องกันไม่ให้เกิดออกไซด์ที่ผิวของกล่องการวัดเมื่อมีความชื้นเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นตัวทำให้เกิดปัญหาฝุ่นละอองในระบบ โดยตัวทำความร้อนที่ใช้จะเป็นแบบพีทีซี ขนาด 25 วัตต์ โครงสร้างเป็นอลูมิเนียม ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งจะติดตั้งบนกล่องการวัดทั้งหมด 16 ตัว คิดเป็นกำลังไฟฟ้า 400 วัตต์ โดยคุณลักษณะของตัวทำความร้อนแบบ พีทีซี จากผลการทดลองที่ผู้วิจัยได้ทำการวัดค่าความต้านทานของตัวทำความร้อนแบบ พีทีซี จำนวน 3 ตัว โดยการประกบยึดตัวทำความร้อน 2 ตัวเข้าด้วยกัน หลังจากนั้นป้อนแรงดันไฟฟ้าให้ตัวทำความร้อนอีกตัวและทำการวัดค่าความต้านทานและอุณหภูมิของอีกตัวที่เหลือ ดังกราฟรูปที่ 3.6 โดยแกน X เป็นแกนของอุณหภูมิ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส และแกน Y เป็นแกนของค่าความต้านทานมีหน่วยเป็นโอห์ม

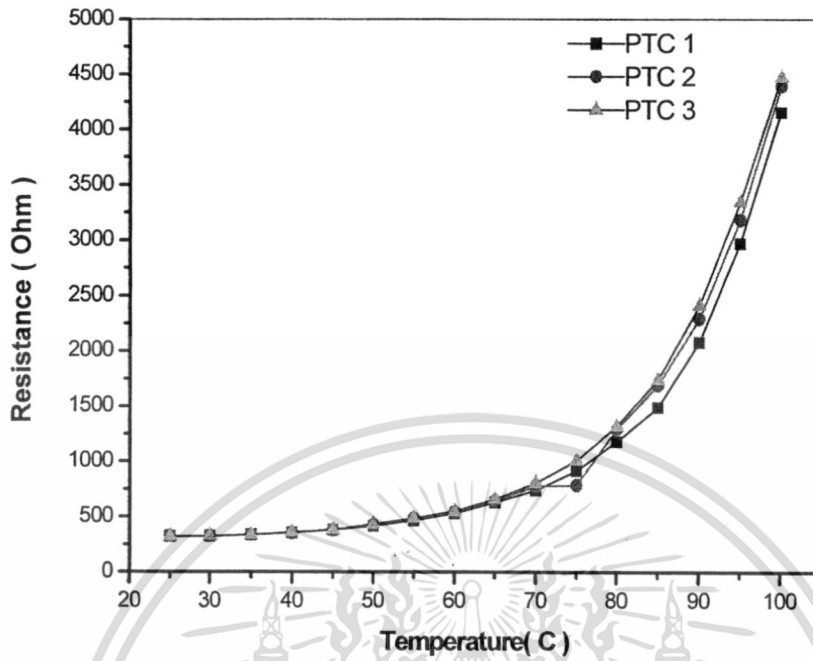
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิเริ่มต้นในการทดลองคือ 25 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่า ตัวทำความร้อนจะมีค่าความต้านทานเฉลี่ยประมาณ 320 โอห์ม ซึ่งเมื่อกำหนดค่าความต้านทาน ที่ต่อขนานกัน 16 ตัว จะได้ค่าความต้านทานเฉลี่ยที่ 20 โอห์ม เมื่ออุณหภูมิที่ตัวทำความร้อนเป็น 100 องศาเซลเซียสจะมีค่าความต้านทานเฉลี่ยประมาณ 4436 โอห์ม และเมื่อกำหนดค่าความต้านทานที่ต่อขนานกัน 16 ตัว จะได้ค่าความต้านทานเฉลี่ยที่ 271 โอห์ม การติดตั้งจะเป็นดังรูปที่ 3.7 และเนื่องจากข้อจำกัดในด้านของพื้นที่ การติดตั้งตัวกล่องจะเป็นลักษณะกล่องกึ่งปิด คือ มีช่องสำหรับส่วนเคลื่อนที่ของเครื่องวัดการบิน ที่มีการเคลื่อนที่นำตัวหัวอ่านเขียนเข้าไปทดสอบ โดยทำการออกแบบให้มีการสูญเสียความร้อนน้อยที่สุด จากข้อจำกัดของพื้นที่และลักษณะทิศทางเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนเครื่องวัดระดับการบินเอง ซึ่งด้านบนของกล่องการวัดจะมีฝาปิดที่เป็นพลาสติกที่ไม่ก่อให้เกิดไฟฟ้าสถิตย์ ที่สามารถเคลื่อนที่ไปพร้อมกับชุดเลเซอร์หรือที่เรียกว่า หัวออปติคัล (Optical head)

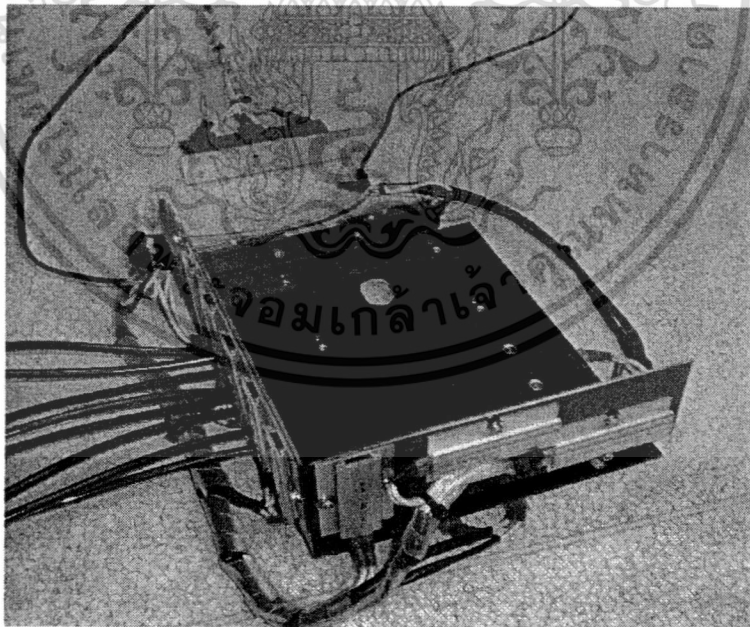


รูปที่ 3.5 ตัวทำความร้อนแบบ พีทีซี(PTC) ขนาด 220 V 25 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



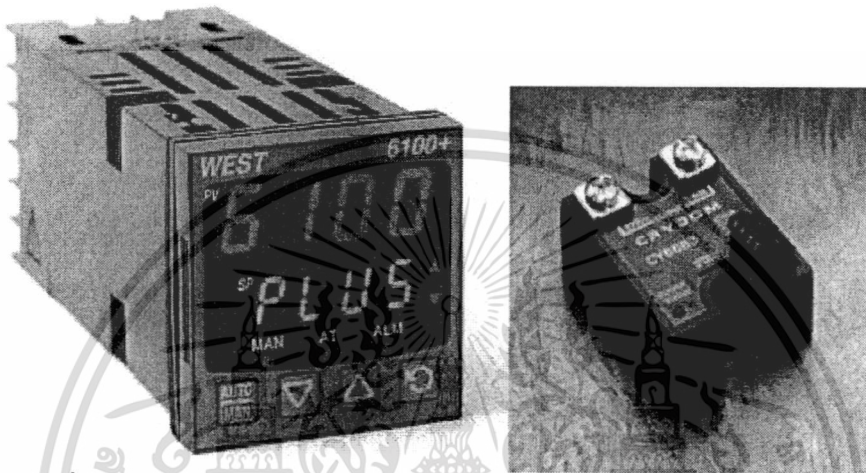
รูปที่ 3.6 การแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของตัวทำความร้อนแบบ พีทีซี ขนาด 25 วัตต์ ที่ช่วงอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ถึง 100 องศาเซลเซียส



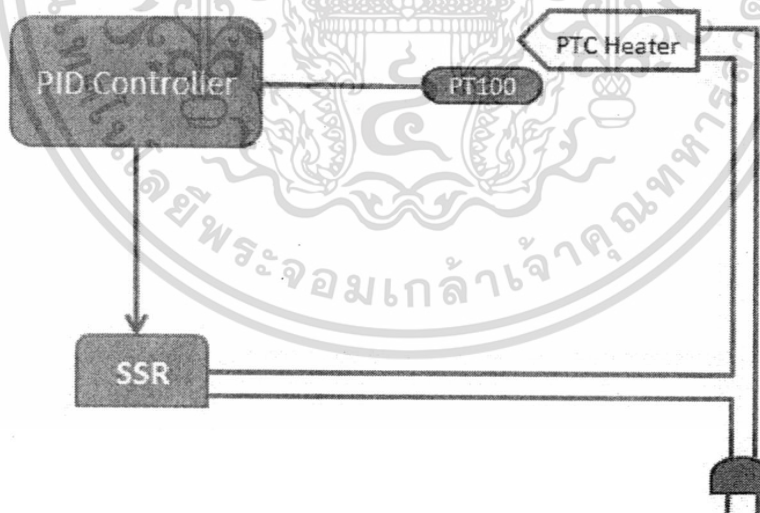
รูปที่ 3.7 กล่องการวัดที่ติดตั้งตัวทำความร้อนแบบ พีทีซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ง่ายให้ระบบทำความร้อนจะใช้ตัวควบคุมระบบ พีไอดี ของ West รุ่น 6100 + ตามรูปที่ 3.8 ซึ่งสามารถกำหนดเอาต์พุตให้เป็นแบบกระแสดีซี 4- 20 มิลลิแอมป์ เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมกำลังไฟฟ้า โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมกำลังไฟฟ้าจะเป็นแบบควบคุมเฟสได้ (Phase angle controller /SSR) ของ Crydom รุ่น MCPC1250 ดังรูปที่ 3.8 ซึ่งสามารถจ่ายกระแสสูงสุดที่ 50 แอมแปร์ ที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลท์



รูปที่ 3.8 พีไอดี คอนโทรลเลอร์ West 6100+ และ โซลิดสเตตเรท (SSR) [17]

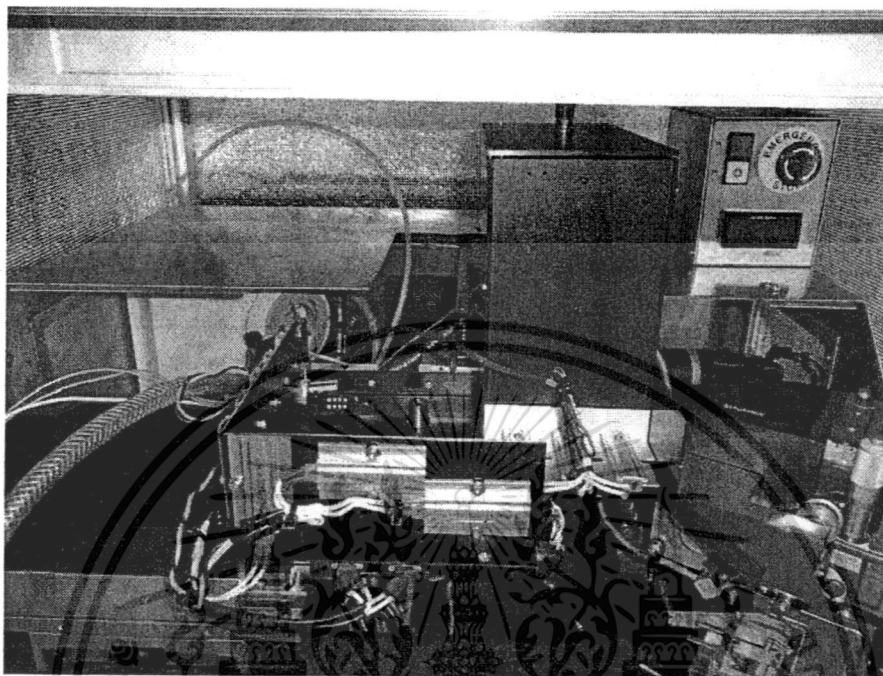


รูปที่ 3.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมอุณหภูมิ

จากรูปที่ 3.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมการต่อใช้งานตัวควบคุมแบบ พีไอดี กับส่วนควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ทำการควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยตัวควบคุมเฟส และเซ็นเซอร์อุณหภูมิที่ใช้ในระบบควบคุมจะใช้ ทีอาร์ดี รุ่น PT100 แบบ 3 สาย โดยในส่วนของเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ พีไอดี จะกำหนด

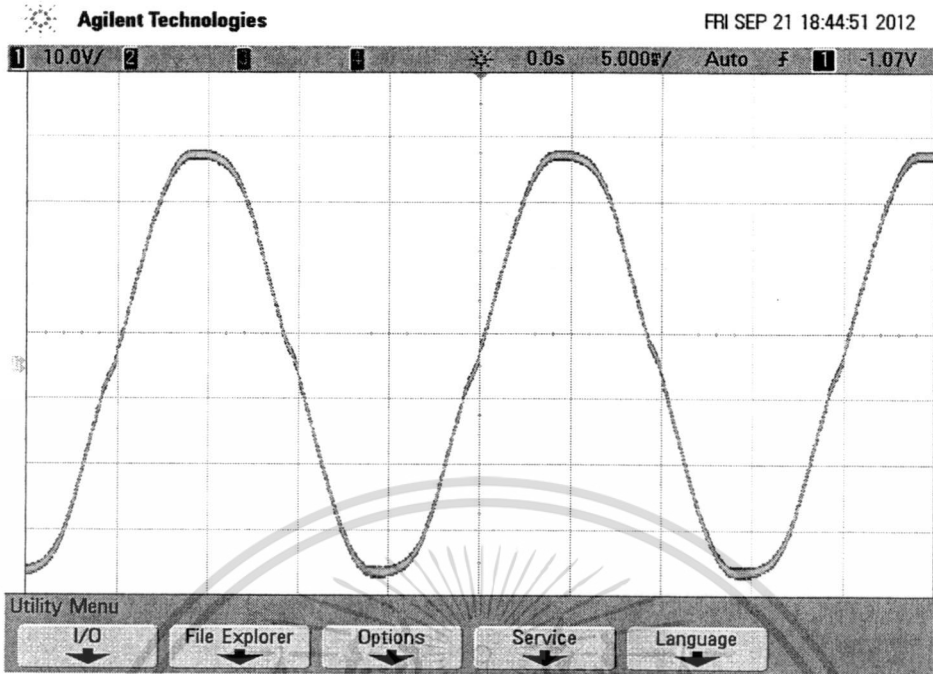
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาต์พุตออกเป็นตัวควบคุมกระแส ตั้งแต่ 4-20 มิลลิแอมป์ เพื่อไปควบคุมการทำงานของ โซลิตสเตรท ซึ่งมีการควบคุมกำลังไฟฟ้าแบบควบคุมเฟส

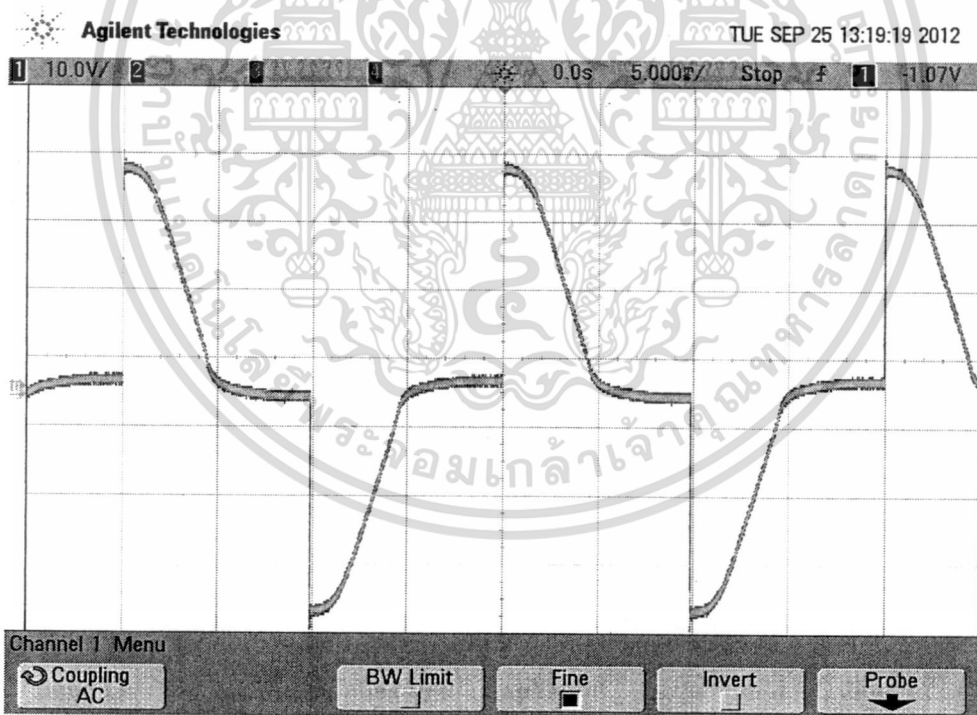


รูปที่ 3.10 แสดงตำแหน่งการติดตั้งกล่องการวัดที่เครื่องวัดระดับการบิน

จากผลการวัดสัญญาณเอาต์พุตของโซลิตสเตรทสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.11 โดยทำการลดแรงดันด้วยวิธีการแบ่งแรงดันให้สามารถวัดสัญญาณเอาต์พุตได้ จากรูปแสดงสัญญาณเอาต์พุตที่เฟส 0 องศา และรูปที่ 3.12 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่มุมเฟส 90 องศา และรูปที่ 3.13 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่มุมเฟส 135 องศา ซึ่งในการควบคุมกำลังไฟฟ้าขณะใช้งานจะสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้า ด้วยมุมเฟสตั้งแต่ 0 – 360 องศา

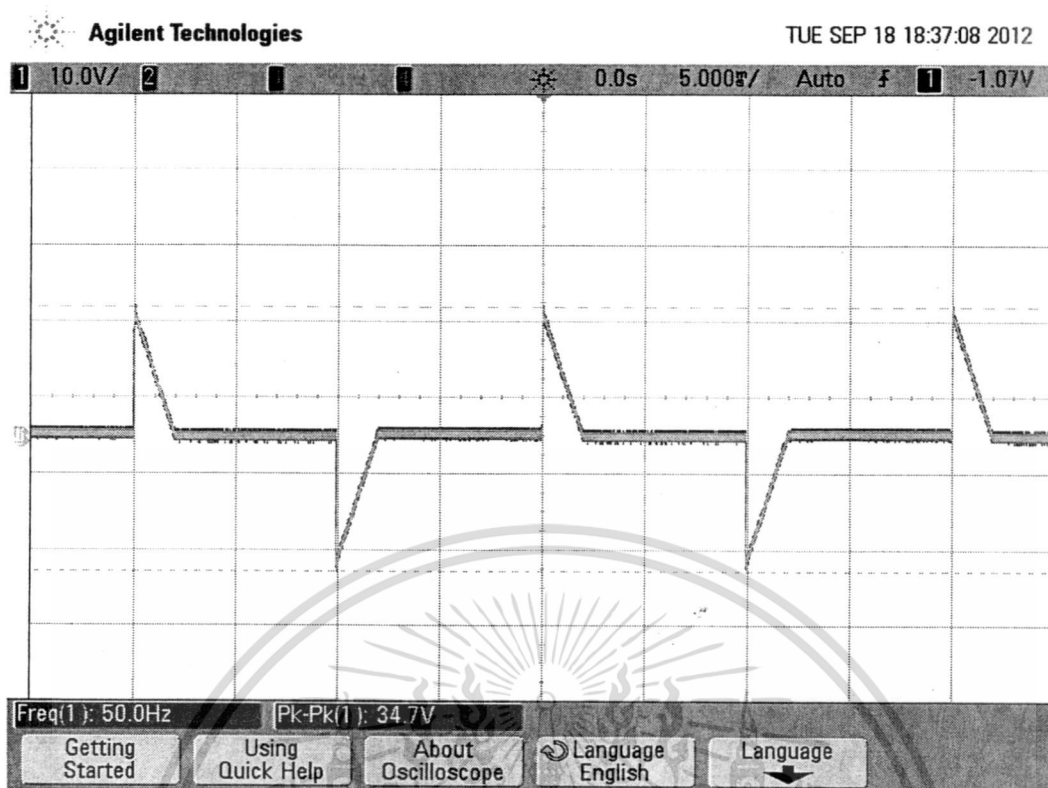


รูปที่ 3.11 แสดงสัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่มีมอดุขนวนของวงจรควบคุมเฟส ที่ 0 องศา



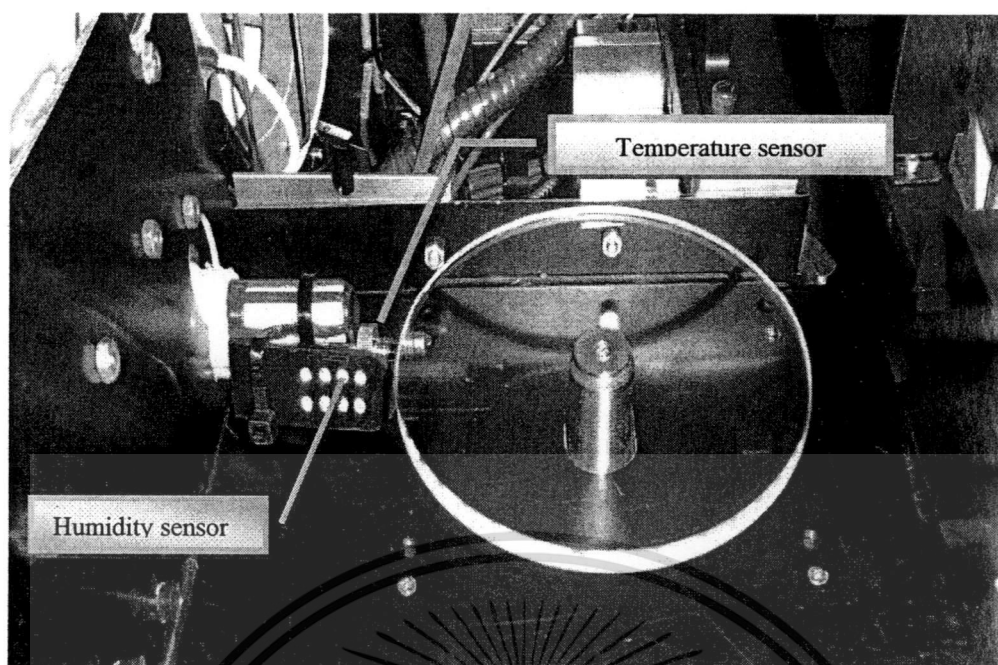
รูปที่ 3.12 แสดงสัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่มีมอดุขนวนของวงจรควบคุมเฟส ที่ 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงสัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่มุมจูดขนวนของวงจรควบคุมเฟส ที่ 135 องศา

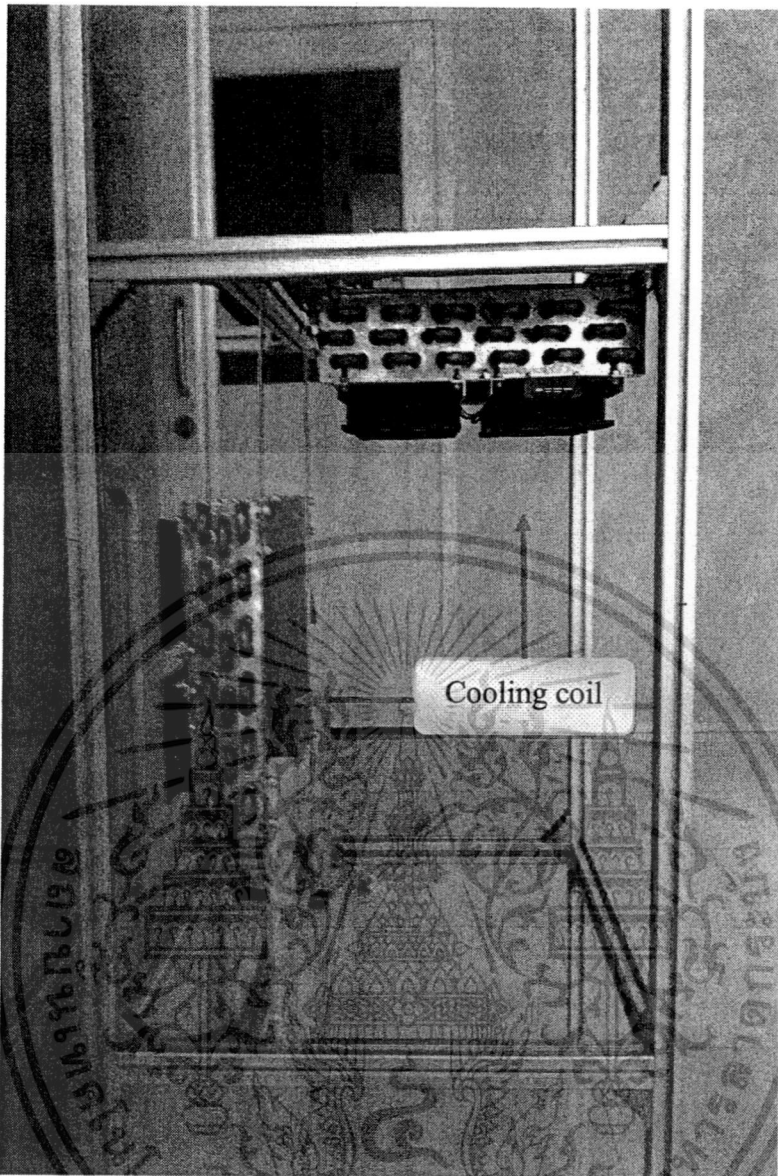
ในส่วนของการวัดอุณหภูมิและความชื้นในระบบจะทำการติดตั้งเซ็นเซอร์บนตัวกล่องการวัดในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งของการวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนมากที่สุด เพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ใกล้เคียงอุณหภูมิและความชื้นที่เกิดขึ้นบริเวณหัวอ่านเขียนมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3.14 โดยตัวเซ็นเซอร์จะติดตั้งไม่ให้สัมผัสกับพื้นผิวของกล่องการวัด ซึ่งจะเป็นการวัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่ไหลวนในกล่องการวัด



รูปที่ 3.14 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นที่กล่องการวัด

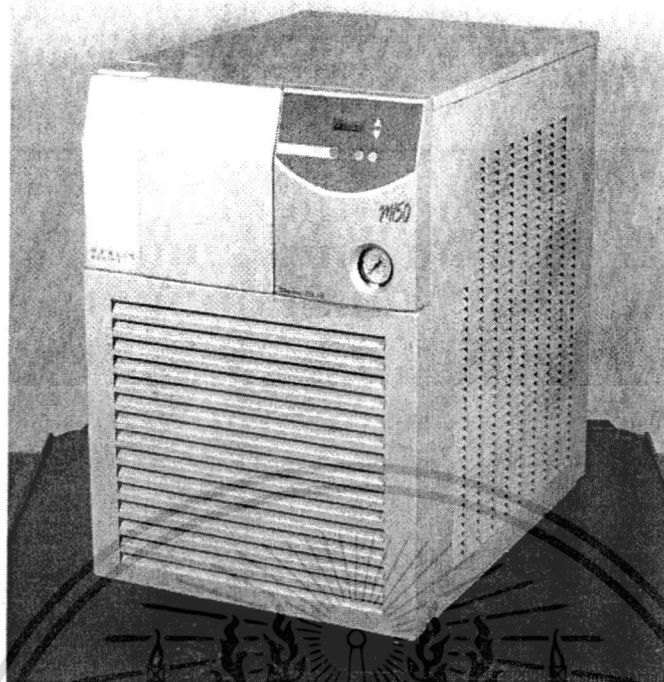
3.4 ระบบทำความเย็น

การออกแบบและทำงานของระบบทำความเย็น จะมีชุดโครงสร้างของชุดแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับการทำความเย็น เรียกว่า กล้องถ่ายโอนความร้อน (Heat exchange chamber) โดยในส่วนของโครงสร้างในการทำความเย็นทำการออกแบบโดยใช้โครงสร้างอลูมิเนียมติดตั้งไว้ด้านข้างของตัวโครงสร้างหลัก ดังรูปที่ 3.3 โครงสร้างแบบอลูมิเนียมจะมีน้ำหนักง่ายต่อการประกอบ และเคลื่อนย้าย โดยผนังตัวกล้องทำจากสแตนเลส ความหนา 1 มิลลิเมตร ทำการบุด้วยฉนวนกันความร้อน และเพื่อป้องกันการกั่นตัวของไอน้ำที่ผนังของตัวโครงสร้างรวมถึงลดการรบกวนจากสภาวะแวดล้อมภายนอก โดยภายในตัวโครงสร้างจะติดตั้งชุดคอยล์เย็นจำนวน 2 ชุด ดังรูปที่ 3.15 พร้อมติดตั้งพัดลม 2 ชุดในการหมุนวนอากาศและพาความเย็นผ่านไปยัง ฟิลเตอร์ตัวที่ 1 (HEPA filter1) ผนังด้านล่างจะเชื่อมเป็นลักษณะมุมลาดเอียงเพื่อรองรับและรวมน้ำที่เกิดการกั่นตัวในระบบเพื่อระบายทิ้ง โดยส่วนของชุดทำความเย็นจะใช้เครื่องทำความเย็นของ Merin-100 ดังรูปที่ 3.16 โดยป้อนผ่านชุดคอยล์เย็นจำนวน 2 ชุด ที่ติดตั้งในโครงสร้างในส่วนที่เรียกว่า กล้องแลกเปลี่ยนความร้อนและเป่าผ่านอากาศเย็นไปยังฟิลเตอร์ตัวที่ 1 โดยมีชุดพัดลม 2 ชุดในการเป่าผ่านความเย็นไปยังฟิลเตอร์ เพื่อกรองฝุ่นละอองในระบบให้สามารถทำการทดสอบการบินของตัวอ่านเขียน โดยตัวสารทำความเย็นจะมีอัตราส่วนผสมกับน้ำอยู่ที่ น้ำ 1 ส่วนต่อสารป้องกันกาแข็งตัวของน้ำ 1 ส่วน ป้อนผ่านชุดคอยล์ทั้ง 2 ชุด ซึ่งที่อัตราส่วนดังกล่าวจะสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิ -5 องศาเซลเซียส ซึ่งตัวเครื่องทำความเย็นจะสามารถทำความเย็นได้ต่ำสุดที่ -5 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.15 แสดงโครงสร้างกล่องถ่ายโอนความร้อนและการติดตั้งชุดคอยล์เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



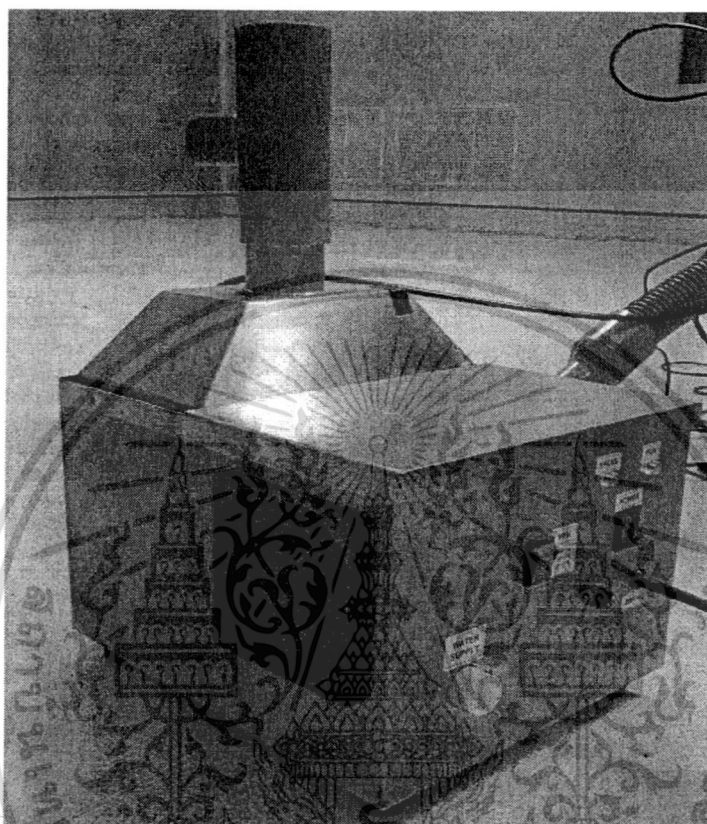
รูปที่ 3.16 เครื่องทำความชื้น Merin-100

3.5 ระบบทำความชื้น

ระบบทำความชื้นจะใช้เครื่องทำความชื้นด้วยระบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic) ของ Microfog Ultrasonic Humidifier รุ่น H305 ดังแสดงตามรูปที่ 3.17 ควบคุมการทำงานแบบปิดเปิด (On/Off Control) ตัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ จะจุ่มอยู่ในอ่างของตัวเครื่องทำความชื้น น้ำที่ใช้ในการทำความชื้นจะใช้น้ำไม่มีประจุ (Deionizes water) ซึ่งใช้ในการล้างหัวอ่านเขียนในอุตสาหกรรม ลดการเกิดปัญหาฝุ่นละอองในระบบ ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานของตัวฟิลเตอร์มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น การพาความชื้นที่สร้างขึ้นจะใช้ลมในการพา โดยใช้ลมสะอาด (CDA) เป่าความชื้นในตัวเครื่องทำความชื้น การต่อท่อจะต่อในลักษณะที่ดังตรงสูงเพื่อให้ไอน้ำที่กลั่นตัวในส่วนนี้ไหลกลับลงในถังทำความชื้นและในส่วนของท่อที่ต่อเข้าก่อนฟิลเตอร์ตัวที่ 2 (HEPA filter 2) จะต่อในลักษณะตั้งเอียง เพื่อให้ไอน้ำที่เกิดการกลั่นตัวในท่อไหลกลับมาที่ตัวเครื่อง ซึ่งในส่วน of แรงดันลมที่พาความชื้นไปยังฟิลเตอร์นั้นจะใช้ รีจูลเตอร์ ตามรูปที่ 3.18 ปรับลดแรงดันให้เหมาะสมตามค่าความชื้นที่จะทำการควบคุม โดยค่าแรงดันลมจะใช้ดิจิตอลเกท ดังรูปที่ 3.19 ซึ่งมีความละเอียดมากกว่า เกจในตัวรีจูลเตอร์จะทำให้ทราบค่าแรงดันที่ปรับละเอียดขึ้น โดยค่าแรงดันที่ใช้จะมีอยู่ 3 ค่าได้แก่ 2 Kpa 4 Kpa และ 6 Kpa โดยค่าแรงดันที่มากกว่าเกินไปจะทำให้ไอน้ำที่ถูกเป่าไปในท่อเกิดการกลั่นตัวในท่อมากขึ้นจะทำให้ความชื้นที่ไปถึงตัวฟิลเตอร์น้อยลง การติดตั้งฟิลเตอร์เพื่อช่วยในการกรองอากาศที่มีไอน้ำจากเครื่องทำความชื้นผสมอยู่ ซึ่งในขั้นตอนของการสร้างไอน้ำด้วยการสั่นของอัลตราโซนิกนั้น อาจจะทำให้เกิดฝุ่นละอองในไอหมอกที่สร้าง อาจเกิด

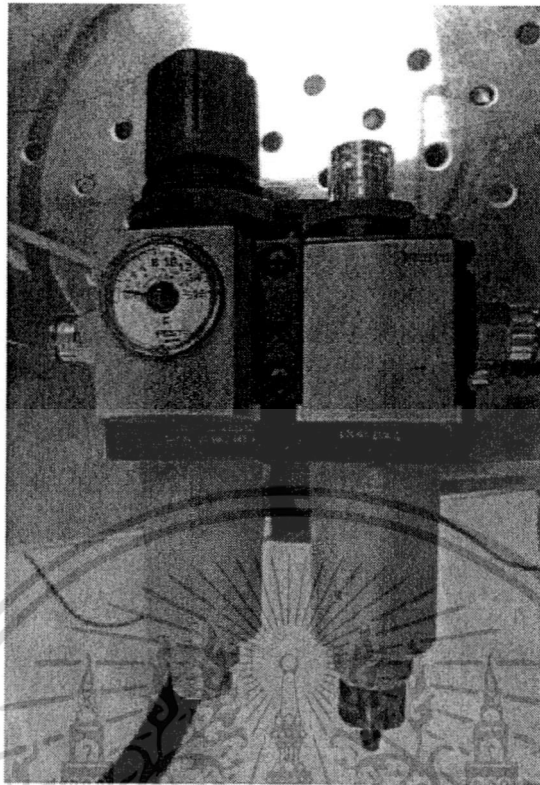
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากชั้นส่วนตัวกล่องหรือเกิดตะกอนเมื่อใช้งานไประยะหนึ่ง และยังทำให้ความชื้นที่ผสมในอากาศที่ผ่านตัวฟิลเตอร์ไปแล้วนั้นมีความละเอียดซึ่งจะไม่ใช่อยู่ในรูปของไอหมอกเหมือนตอนก่อนเข้าฟิลเตอร์



รูปที่ 3.17 เครื่องทำความชื้นแบบอัลตราโซนิก ของ Microfog Ultrasonic Humidifier รุ่น H305

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 รีกูเลเตอร์ (Regulator)

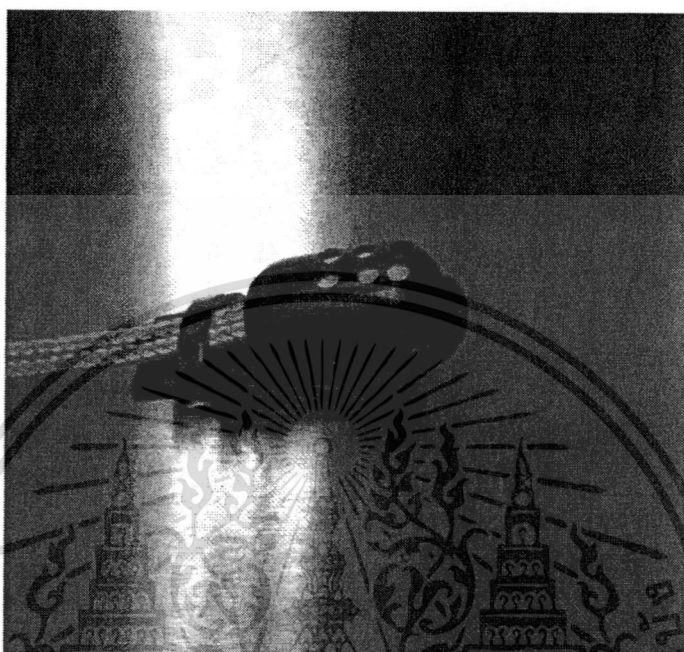


รูปที่ 3.19 ดิจิตอลเกจวัดแรงดันอากาศ

จากรูปที่ 3.20 เป็นเซ็นเซอร์วัดความชื้น รุ่น HIH-4000 เป็นเซ็นเซอร์แบบคาปาซิทีฟ (Capacitive sensor) ซึ่งมีโมดูล (Module) สำหรับวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าในตัว โดยในรูปจะแสดงการใส่ที่ครอบเพื่อลดผลกระทบจากแสงที่มีผลต่อความชื้นที่อ่านได้ เนื่องจากตัวเซ็นเซอร์มีความไวต่อแสงและลดความแปรปรวนจากการไหลวนของอากาศจากการหมุนของ

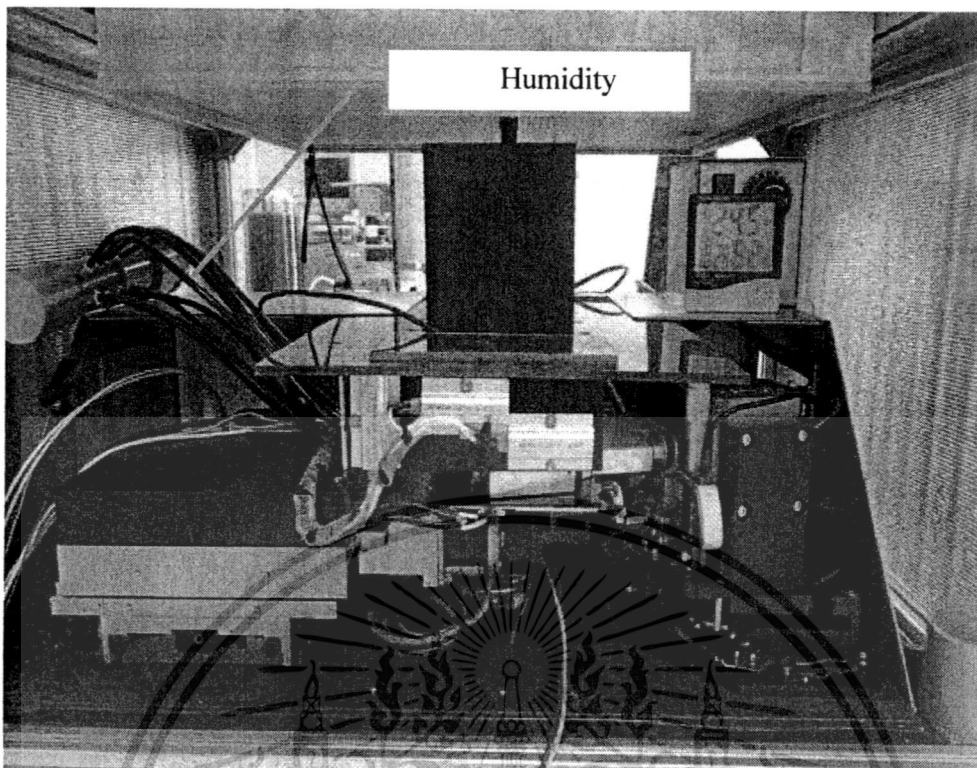
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์สปีนเดิล ในขณะที่ใช้งานค่าแรงดันไฟฟ้าที่เลี้ยววงจรรภายในของตัวเซ็นเซอร์เองก็มีผลต่อค่าแรงดันเอาต์พุตที่อ่านได้ เพราะเอาต์พุตที่ได้แปรเปลี่ยนตามแรงดันไฟเลี้ยงด้วย จึงต้องมีแหล่งจ่ายแรงดันแยกอิสระเพื่อจ่ายให้กับตัวเซ็นเซอร์



รูปที่ 3.20 เซ็นเซอร์สำหรับวัดความชื้น รุ่นHHH-4000

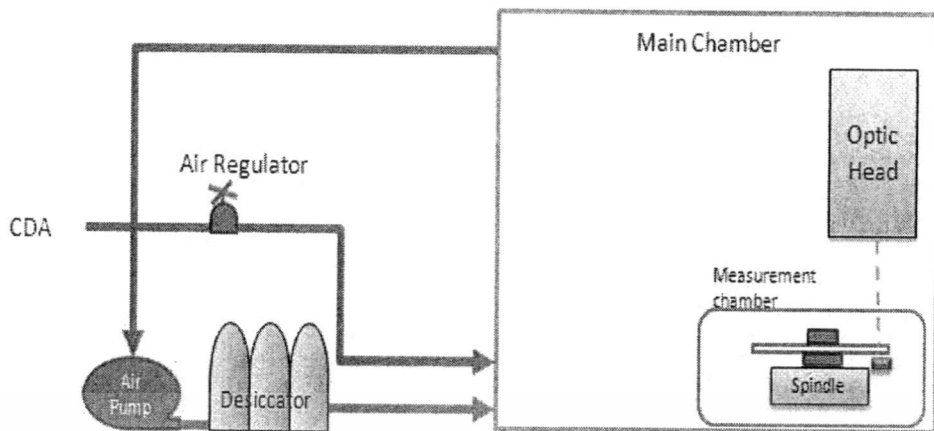
โดยส่วนของพื้นที่ด้านข้างของกล่องการวัดจะติดตั้งท่อสำหรับนำความชื้นจากพื้นที่บริเวณนอกกล่องการวัดเข้ามา เนื่องจากในขณะที่มีการรักษาอุณหภูมิบนกล่องการวัดนั้น ตัวกล่องและตัวทำความร้อนที่ติดตั้งบนกล่องจะเป็นเสมือนกำแพงความร้อนทำให้ความชื้นที่ออกจากตัวฟิลเตอร์มายังกล่องหลัก มีค่าแตกต่างกับค่าความชื้นที่อยู่ในบริเวณกล่องการวัด ซึ่งตัวพัดลมจะช่วยดูดความชื้นเข้ามาในกล่องการวัด ผ่านท่อขนาด 6 มิลลิเมตร จำนวน 8 ท่อ ดังแสดงตามรูปที่ 3.21 โดยจะปรับแรงดันไฟฟ้าสำหรับพัดลมที่ 5 โวลต์ เพื่อให้แรงดันลมที่เป่าเข้ามาในกล่องการวัดมีผลกระทบกับค่าอุณหภูมิภายในกล่องการวัดขณะนั้นรวมถึงผลต่อการบินของหัวอ่านเขียนขณะทำการทดสอบ



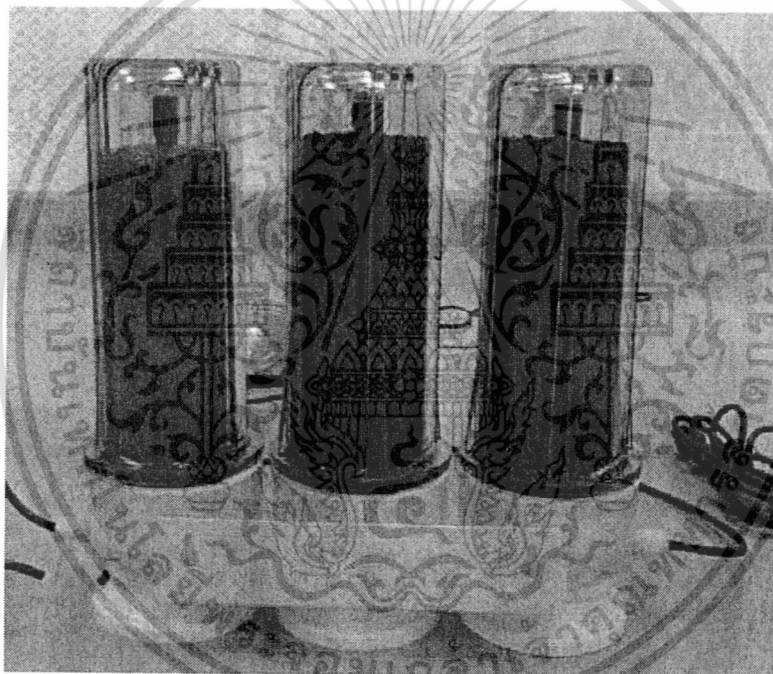
รูปที่ 3.21 แสดงการติดตั้งท่อควบคุมความชื้น (Humidity Pipeline)

3.6 ระบบควบคุมความชื้น

ระบบควบคุมความชื้นจะเป็นระบบปิดโดยการควบคุมความชื้นภายในกล่องหลักผ่านชุดควบคุมความชื้น ตามบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.22 โดยส่วนสำคัญของระบบควบคุมความชื้นคือ สารควบคุมความชื้น ซึ่งบรรจุอยู่ในชุดกรอง 3 ชุด ดังแสดงตามรูปที่ 3.23 และต่อเข้ากับตัวบีบลมซึ่งจะดูดอากาศภายในกล่องหลักผ่านชุดควบคุมความชื้นแล้วส่งกลับเข้าไปยังกล่องหลักอีกครั้งและอีกหนึ่งส่วนที่ช่วยให้การลดความชื้นทำได้เร็วขึ้น คือการใช้ลมสะอาด (CDA) ปลดอยเข้ายังกล่องหลัก โดยใช้รีกูเลเตอร์ปรับลดแรงดันลมให้ลงเหลือ 30 KPa เพื่อไม่ให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองในระบบ การวัดค่าความชื้นจะทำขณะที่สปีดโมเตอร์กำลังหมุนเพื่อให้ได้ค่าความชื้นที่ใกล้เคียงกับค่าความชื้นในขณะทำการวัดมากที่สุด



รูปที่ 3.22 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมความชื้น

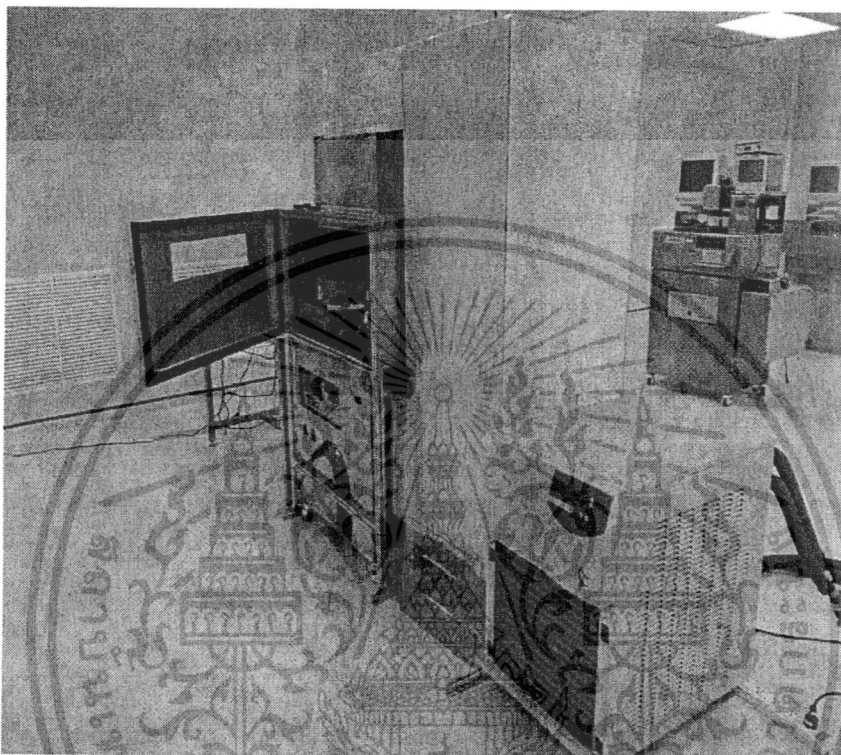


รูปที่ 3.23 ชุดควบคุมความชื้น (Desiccator)

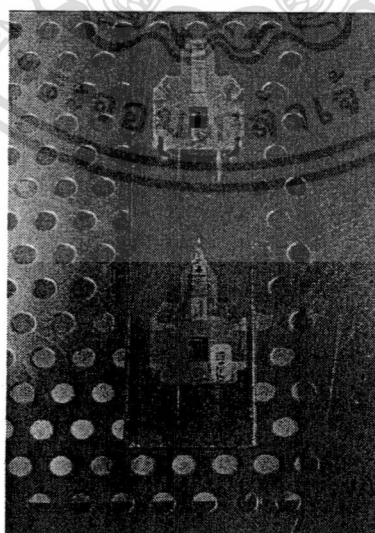
จากรูปที่ 3.24 แสดงรูปเครื่องวัดระดับการบินที่ทำการติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเสร็จเรียบร้อยแล้ว ซึ่งในบทต่อไปผู้วิจัยจะกล่าวถึงการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบควบคุม และทดสอบระบบควบคุม รวมถึงการทดสอบวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนด้วยระบบที่สร้างขึ้น ซึ่งในการทดลองวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนจริงในสายการผลิต ก็จะมีเครื่องและอุปกรณ์หลัก ๆ ที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ ตัวโหลดหัวอ่านเขียน เพื่อนำงานเข้าไปทดสอบในเครื่องเรียกว่า Transfer block ดังรูปที่ 3.25 และตัวแผ่นดิสก์แก้วเป็นแผ่นดิสก์แก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.9 นิ้ว ดังแสดงตามรูปที่ 3.26 ซึ่งตัวแผ่นดิสก์แก้วนี้ ด้านหนึ่งของแผ่นดิสก์แก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเคลือบสารป้องกันการสะท้อนของแสงไว้ หรือที่เรียกว่า Anti-refraction coat โดยในขั้นตอนการไหลลงงานเข้าไปในตัวเครื่อง จะเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ คือเมื่องานเข้าไปได้แผ่นดิสก์แก้วแล้ว ตัวโปรแกรมจะตรวจหาคำแหน่งที่จะทำการวัดอัตโนมัติ (Auto Detection) ซึ่งใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 40-50 วินาที ต่อ 1 หัวอ่านเขียน

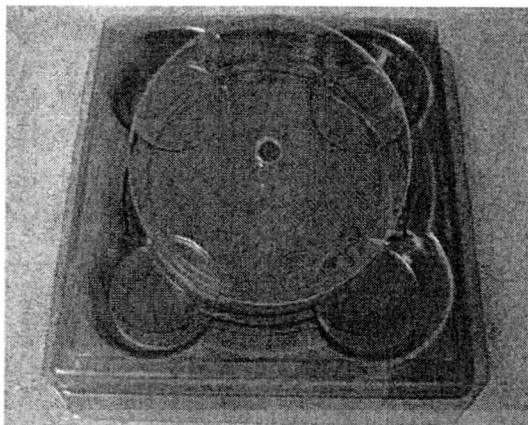


รูปที่ 3.24 เครื่องวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนที่ติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น



รูปที่ 3.25 อุปกรณ์ไหลหัวอ่านเขียน (Transfer block)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 แผ่นดิสก์แก้วชนิดป้องกันการสะท้อนของแสง (Anti-refraction coat glass disk)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

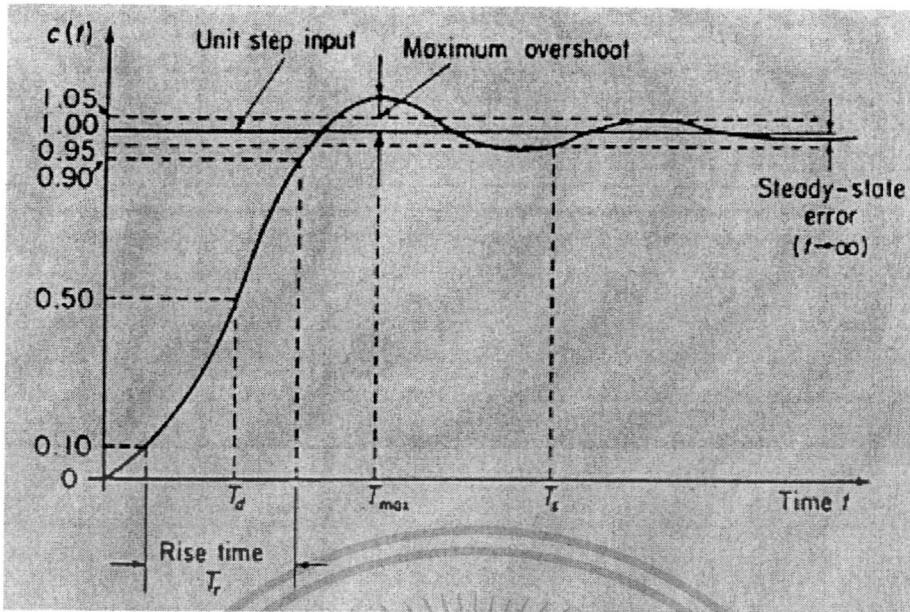
บทที่ 4

วิธีการทดลอง ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากที่ได้นำเสนอ การออกแบบและการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยไปแล้ว ในบทที่ 3 ในบทนี้ ผู้วิจัยจะนำเสนอการปรับค่าตัวแปรของระบบควบคุมและการทดลองการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่ติดตั้งเข้าไปในเครื่องวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียน โดยจะนำเสนอขั้นตอนการปรับระบบควบคุม พีไอดี และทำการทดสอบพร้อมทั้งนำเสนอผลของแต่ละพารามิเตอร์ที่มีต่อระบบควบคุมอุณหภูมิ แสดงการปรับค่าพีไอดีด้วยวิธีการของ ซิกเลอร์ นิโคล เพื่อให้ได้ระบบควบคุมที่มีความแม่นยำเหมาะสมต่อการใช้ รวมถึงการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยการทดสอบวัดระดับการบินของหัวอ่านจริง

การปรับค่า พีไอดี เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมกับระบบนั้น จะต้องคำนึงถึงตัวแปรและกำหนดค่าความสามารถของระบบที่ควบคุมด้วย จากรูปที่ 4.1 เป็นกราฟแสดงผลตอบสนองของระบบควบคุม ซึ่งสามารถใช้ค่าต่าง ๆ ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ในการกำหนดหรือวัดความสามารถของระบบควบคุม

1. เวลาคง (Time delay , T_d) คือ ระยะเวลาที่ระบบใช้ในการตอบสนอง จนค่าเอาต์พุตมีค่าเป็น 50 % ของค่าสุดท้ายหรือค่าอินพุตอ้างอิงครั้งแรก
2. ช่วงเวลาขาขึ้น (Rise time , T_r) คือ ช่วงเวลาที่ผลตอบสนองหรือเอาต์พุตมีค่าในช่วง 10 % ถึง 90 % หรือในช่วง 5 % ถึง 95 %
3. เวลาสูงสุด (Max time หรือ Peak time , T_{max}) คือ ช่วงเวลาที่ระบบมีการตอบสนองสูงสุด
4. เวลาสู่สมดุล (Setting time , T_s) คือ เวลาที่ผลตอบสนอง หรือเอาต์พุตที่มีค่าลดลงอยู่ในขอบเขตของค่าคลาดเคลื่อนที่กำหนด (Error band) โดยทั่วไปจะมีค่า +/- 2 % หรือ +/- 5
5. ผลตอบสนองสูงสุด (Maximum overshoot , M_p) เป็นค่าคลาดเคลื่อนสูงสุดระหว่างอินพุตอ้างอิงกับค่าเอาต์พุตหรือค่าสุดท้าย ซึ่งเกิดขึ้นที่เวลาสูงสุด โดยมักจะวัดในรูปเปอร์เซ็นต์ที่เทียบจากค่าสุดท้าย และอีกนัยหนึ่งก็เป็นตัววัดเสถียรภาพของระบบด้วย
6. ความคลาดเคลื่อนเชิงสถิต (Steady state error) คือ ค่าความแตกต่างของอินพุตอ้างอิงและค่าเอาต์พุต ที่เวลาเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล
7. สภาวะสมดุลหรือสภาวะคงตัว (Steady state) คือ สภาวะที่เอาต์พุตมีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนดหรือเท่ากับอินพุตอ้างอิง



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลตอบสนองของระบบควบคุม [20]

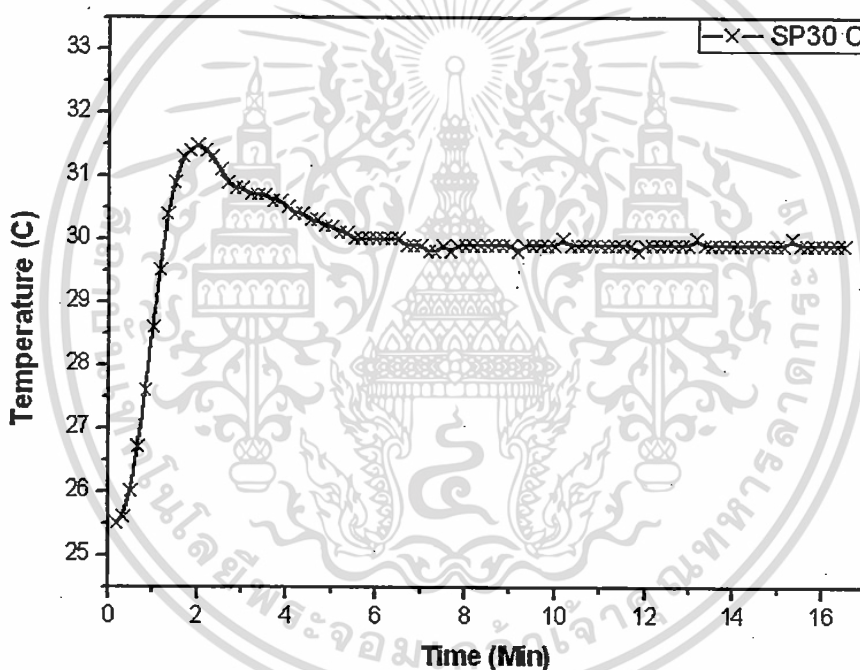
4.1 วิธีการทดลองปรับค่าพีไอดี

ในการควบคุมอุณหภูมิบนเครื่องวัดระดับการบินจะควบคุมด้วยระบบพีไอดี โดยตัวเครื่องวัดระดับการบินต้องการควบคุมอุณหภูมิในหลายช่วงอุณหภูมิ เพื่อใช้ในการทดสอบการตอบสนองของหัวอ่านเขียนที่ค่าอุณหภูมิต่าง ๆ ความสำคัญของระบบควบคุมเพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิที่ต้องการ และมีความแม่นยำรวมถึงมีสถานะสมดุลของอุณหภูมิขณะทำการวัดระดับการบิน ดังนั้น การทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวของระบบพีไอดี คือ K_p , K_i และ K_d เพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิที่เข้าสู่ค่าอันพึงประสงค์โดยเกิดการโอเวอร์ชูดน้อยที่สุดและใช้เวลาในการเข้าสู่ค่าอันพึงอยู่ในเวลาที่ยอมรับได้ ซึ่งในการทดลองจะทำการควบคุมอุณหภูมิต่าง ๆ หลังจากประกอบชุดควบคุมรวมทั้งติดตั้งเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นเสร็จเรียบร้อยแล้ว ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 จะทำการทดลองควบคุมอุณหภูมิที่สถานะจำลองการทำงานจริงขณะเครื่องทำการวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียน ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้ความเร็วการหมุนของมอเตอร์สปินเดิล (Spindle motor) โดยอ้างอิงกับความเร็วการหมุนของแผ่นดิสก์ในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่มีขายในท้องตลาดปัจจุบัน คือ 5400 รอบต่อนาที และทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของค่า K_p , K_i และ K_d ที่มีต่อระบบควบคุมอุณหภูมิ โดยทำการทดลองที่ค่าอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

4.1.1 การทดลองศึกษาผลของค่า K_p ที่มีต่อระบบควบคุม

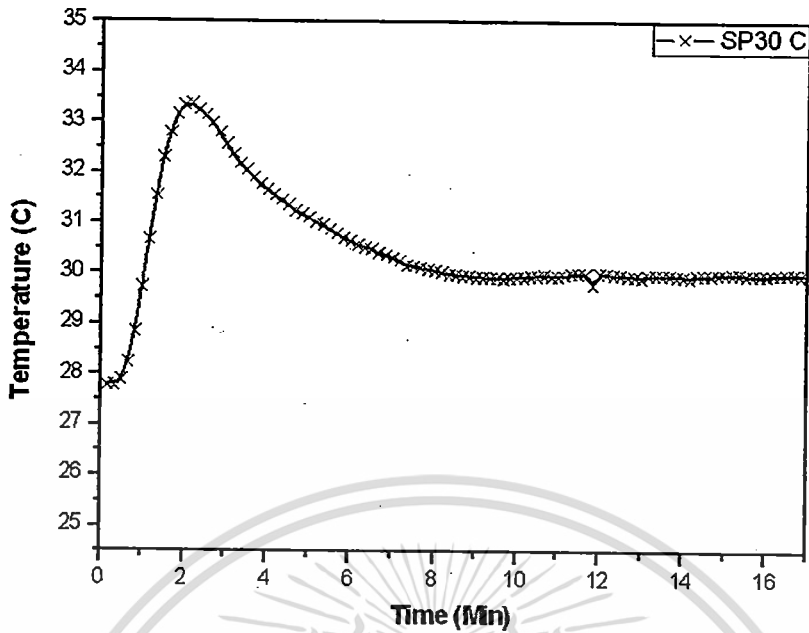
ในการทดลองปรับค่า K_p นี้ เพื่อศึกษาผลที่มีต่อระบบควบคุมอุณหภูมิที่ติดตั้งบนเครื่องวัดระดับการบิณของหัวอ่านเขียน โดยค่า K_p จะเป็นตัวควบคุมในการเพิ่มความร้อนหรือการจ่ายกระแสไปให้กับตัวทำความร้อน เพื่อให้ระบบควบคุมทำงานถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด และทราบถึงผลที่มีต่อระบบ เพื่อนำไปปรับปรุงระบบต่อไป

ขั้นแรกในการทดลอง เริ่มจากกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับระบบ พีไอดี ซึ่งค่าเริ่มต้นนี้ได้จากการทดลองการปรับค่าเบื้องต้นมาแล้ว เพื่อให้สามารถเห็นผลของแต่ละพารามิเตอร์ที่มีต่อระบบได้ โดยกำหนดให้ค่า $K_p = 2.4$ ค่า $K_i = 1.12$ และ $K_d = 0.32$ โดยทดลองที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.2



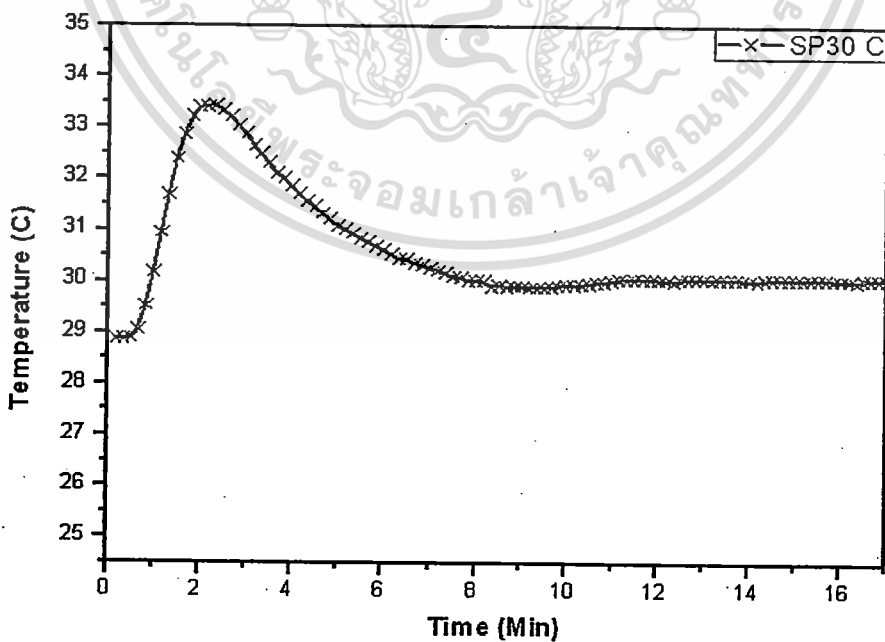
รูปที่ 4.2 กราฟการทดลองปรับค่า $K_p = 2.4$ $K_i = 1.12$ และ $K_d = 0.32$

จากรูปที่ 4.2 แสดงกราฟการปรับค่า $K_p = 2.4$ $K_i = 1.12$ และ $K_d = 0.32$ โดยแกน X คือ แกนของเวลา มีหน่วยเป็นนาที แกน Y คือ แกนของอุณหภูมิ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส จากกราฟการทดลองของค่าพีไอดีที่ใส่เข้าไปในระบบควบคุมจะทำให้เกิดโอเวอร์ชูต 1.5 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาระหว่างขาขึ้น (Rise time) 1.10 นาที และใช้เวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล (Setting time) 4 นาที และทำการทดลองเปลี่ยนค่า $K_p = 5.4$ จะได้กราฟผลการทดลองดังรูปที่ 4.3 จากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าเกิดค่าโอเวอร์ชูตไป 3.35 องศาเซลเซียส มีค่าอุณหภูมิขาขึ้น 1.1 นาที เท่าเดิมแต่ใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะสมดุล 6 นาที

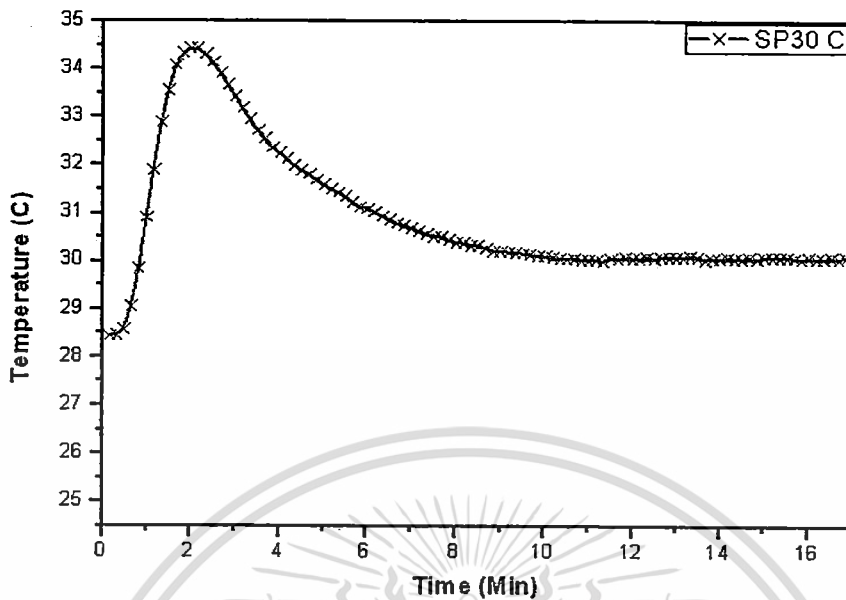


รูปที่ 4.3 กราฟการทดลองปรับค่า $K_p = 5.4$ $K_i = 1.12$ และ $K_d = 0.32$

ทดลองเปลี่ยนค่า $K_p = 8.4$ จะได้กราฟผลการทดลองดังรูปที่ 4.4 จากกราฟจะเห็นว่าเกิดค่าโอเวอร์ชูต 3.4 องศาเซลเซียส มีค่าอนุกรมในช่วงเวลาขาขึ้น 1.10 นาที เท่าเดิมแต่ใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะสมดุล 8 นาที ซึ่งมากกว่าเดิมเนื่องระบบมีการโอเวอร์ชูตมากขึ้น



รูปที่ 4.4 กราฟการทดลองปรับค่า $K_p = 8.4$ $K_i = 1.12$ และ $K_d = 0.32$



รูปที่ 4.5 กราฟการทดลองปรับค่า $K_p = 12.4$ $K_i = 1.12$ และ $K_d = 0.32$

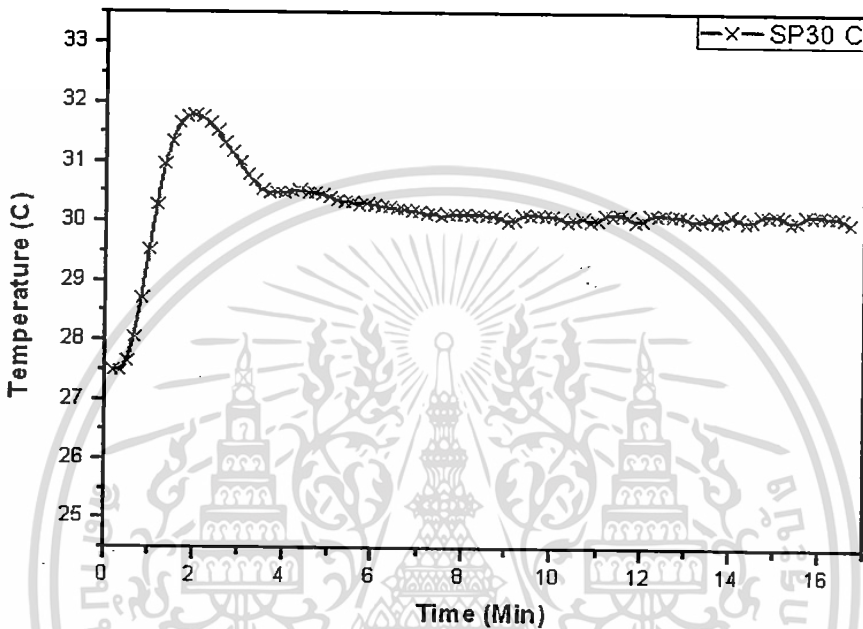
ในการทดลองเมื่อปรับค่า $K_p = 12$ และทำการทดลองอีกครั้งที่จะได้ผลดังกราฟรูปที่ 4.5 จะเห็นว่ามิโอเวอร์ชูตขึ้นไป 4.5 องศาเซลเซียส และช่วงเวลาที่ขึ้นที่ลดลงที่ 50 วินาที แต่เวลาที่เข้าสู่สภาวะสมดุลจะนานขึ้นเนื่องจากการมีโอเวอร์ชูตที่สูงขึ้นทำให้เวลาในการลดลงของความร้อนใช้เวลานานมากขึ้นไปด้วย แต่ก็จะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสถิต (Steady state error) ลดลงด้วย

จากการทดลองปรับค่า K_p ทั้ง 4 ค่าคือ 2.4 5.4 8.4 และ 12.4 แสดงให้เห็นผลต่อระบบ โดยเมื่อค่า K_p มากขึ้นจะทำให้ระบบเกิดค่าโอเวอร์ชูตมากขึ้น และทำให้เวลาในการเข้าสู่สภาวะสมดุลมากขึ้นด้วย และที่ค่า K_p ที่มากขึ้นมาก ๆ ก็จะทำให้ระบบเกิดการแกว่งของเอาต์พุตได้ แต่จากผลจากการทดลองในทุกค่า K_p ทุกค่าดังที่กล่าวมาข้างต้น ค่าการแกว่งของเอาต์พุตของระบบไม่เกิน 0.5 องศาเซลเซียส ซึ่งยังอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้

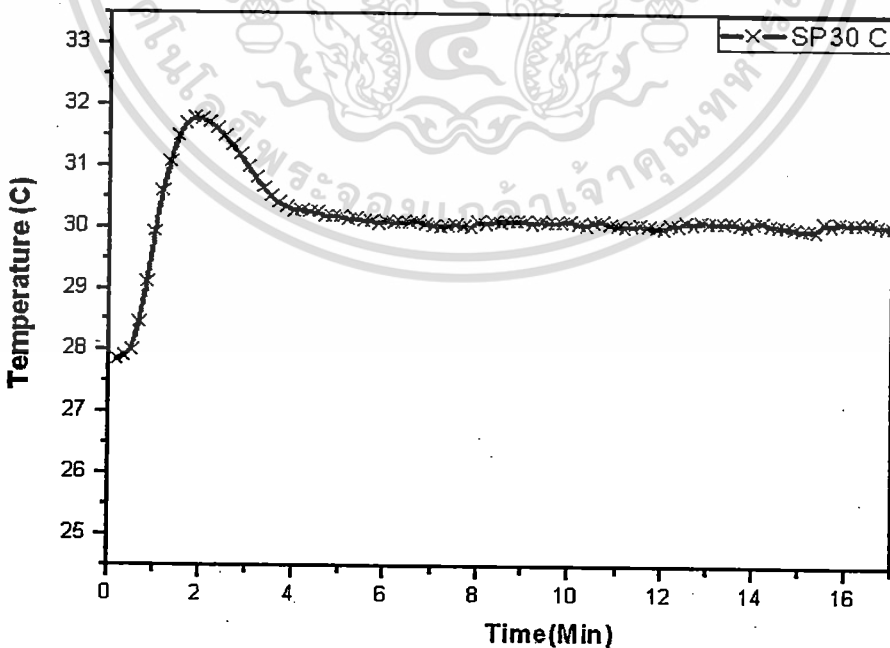
4.1.2 การทดลองศึกษาผลของค่า K_i ที่มีต่อระบบควบคุม

โดยค่า K_i จะให้สัญญาณควบคุมที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับเทอมของ ปริพันธ์ของค่าความผิดพลาดซึ่งคือการควบคุมผลรวมของค่าความผิดพลาด ซึ่งมีพารามิเตอร์พื้นฐานในรูปที่ 4.1 เป็นตัวอธิบายผลต่อระบบว่าเป็นอย่างไร โดยจะทำการเพิ่มค่า K_i จาก 1.12 เป็น 2.12 โดยให้ค่า K_p คงเดิมคือ 2.4 และ $K_d = 0.32$ ทำการทดลองด้วยเงื่อนไขเดิม เปลี่ยนแปลงเฉพาะค่า K_i จะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.6 จากกราฟ จะเกิดโอเวอร์ชูต ประมาณ 1.8 องศา และเวลาในการทำอุณหภูมิขขึ้น 1.10 นาที โดยใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะสมดุล 6 นาที

ในการทดลองครั้งที่ 2 จะเพิ่มค่า K , โดยจะทำการเพิ่มค่า K , จาก 2.12 เป็น 4.12 โดยให้ค่าพารามิเตอร์อื่นคงค่าเดิมคือ $K_p = 2.4$ และ $K_d = 0.32$ ทำการทดลองด้วยเงื่อนไขเดิม เปลี่ยนแปลงเฉพาะค่า K , จะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.7 จากกราฟ จะเกิดโอเวอร์ชูด ประมาณ 1.8 องศา และเวลาในการทำอุณหภูมิขาขึ้น 1 นาที โดยใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะสมดุล 6 นาที แต่ที่สภาวะสมดุลของค่าอุณหภูมิจะมีค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติมากขึ้นไปด้วย

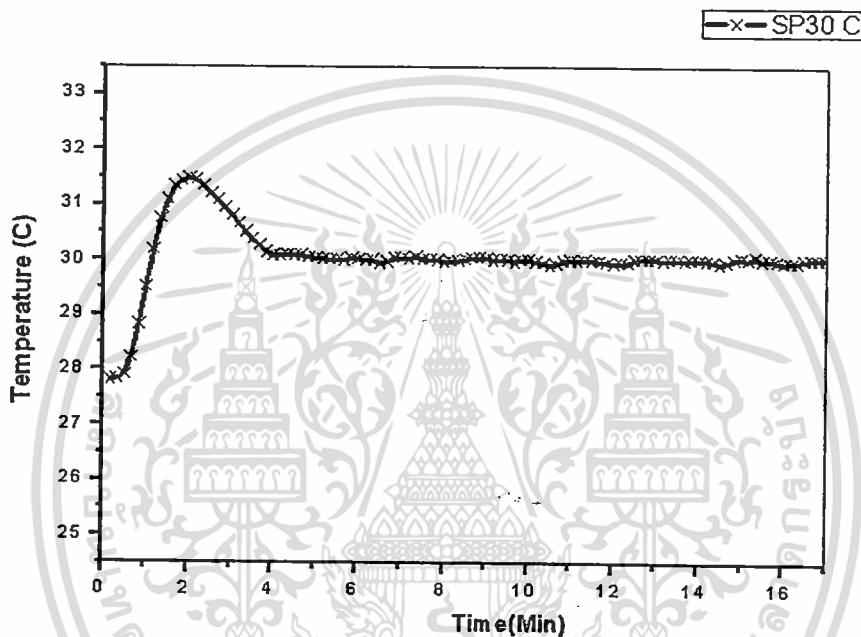


รูปที่ 4.6 กราฟการทดลองปรับค่า $K_i = 2.12$ $K_p = 2.4$ และ $K_d = 0.32$

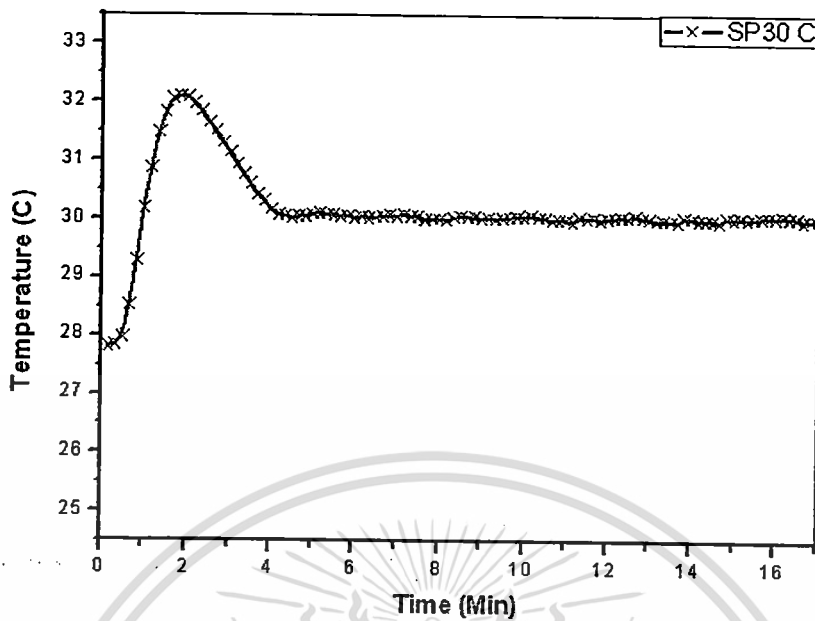


รูปที่ 4.7 กราฟการทดลองปรับค่า $K_i = 4.12$ $K_p = 2.4$ และ $K_d = 0.32$

ในการทดลองที่ 3 จะเพิ่มค่า K , โดยจะทำการเพิ่มค่า K , จาก 4.12 เป็น 8.12 โดยให้ค่า $K_p = 2.4$ และ $K_d = 0.32$ ทำการทดลองด้วยเงื่อนไขเดิม เปลี่ยนแปลงเฉพาะค่า K , จะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.8 จากกราฟแสดงให้เห็นถึงการเกิดค่าโอเวอร์ชูต ประมาณ 1.5 องศา และเวลาในการทำอุณหภูมิช่วงเวลาที่ขาขึ้นใช้เวลา 1 นาที โดยใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะสมดุล 4 นาที แต่ที่สภาวะสมดุลของค่าอุณหภูมิจะมีการแกว่งของเอาต์พุตน้อยลง จากผลจะเห็นว่าค่าโอเวอร์ชูตที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างน้อยมากจากผลของการเพิ่มค่า K , จาก 4.12 ไปเป็นค่า 8.12 แต่จะช่วยในเรื่องการลดค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสถิตยค์ของระบบด้วย



รูปที่ 4.8 กราฟการทดลองปรับค่า K , = 8.12 K_p = 2.4 และ K_d = 0.32



รูปที่ 4.9 กราฟการทดลองปรับค่า $K_i = 16.12$ $K_p = 2.4$ และ $K_d = 0.32$

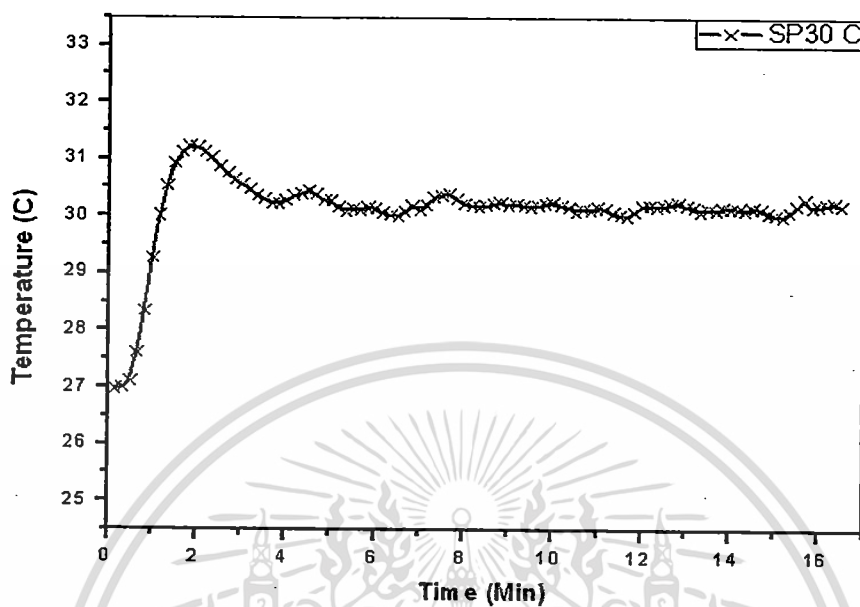
ในการทดลองครั้งที่ 3 ของการทดลองปรับค่า K_i โดยจะทำการเพิ่มค่า K_i จาก 8.12 เป็น 16.12 โดยให้ค่า $K_p = 2.4$ และ $K_d = 0.32$ เปลี่ยนแปลงเฉพาะค่า K_i จะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.9 จากกราฟ จะเกิดโอเวอร์ชูต ประมาณ 1.5 องศา และเวลาในการทำอุณหภูมิช่วงเวลาที่ขาขึ้นใช้เวลาไป 1 นาที โดยใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะสมดุล 4 นาที แต่ยังคงมีการแกว่งของสัญญาณเอาต์พุตอยู่ จากผลการทดลองเปลี่ยนค่า K_i เพื่อหาผลตอบสนองของระบบควบคุมอุณหภูมิแสดงให้เห็นว่าเมื่อค่า K_i เพิ่มขึ้นจะให้ผลตอบสนองต่อค่าโอเวอร์ชูตของระบบให้สูงขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่สามารถทำให้ระบบสภาวะสมดุลและค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสถิตย์ลดลง

จากผลการทดลองปรับค่า K_i เพื่อศึกษาผลตอบสนองที่มีต่อระบบควบคุมอุณหภูมิ ได้แก่ $K_i = 2.12$ $K_i = 4.12$ $K_i = 8.12$ และ $K_i = 16.12$ โดยทดลองควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าค่า K_i ที่เพิ่มขึ้นจะช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสถิตย์ของระบบลงได้ แต่ก็มีผลต่อการเกิด โอเวอร์ชูตของระบบควบคุมเพียงเล็กน้อย

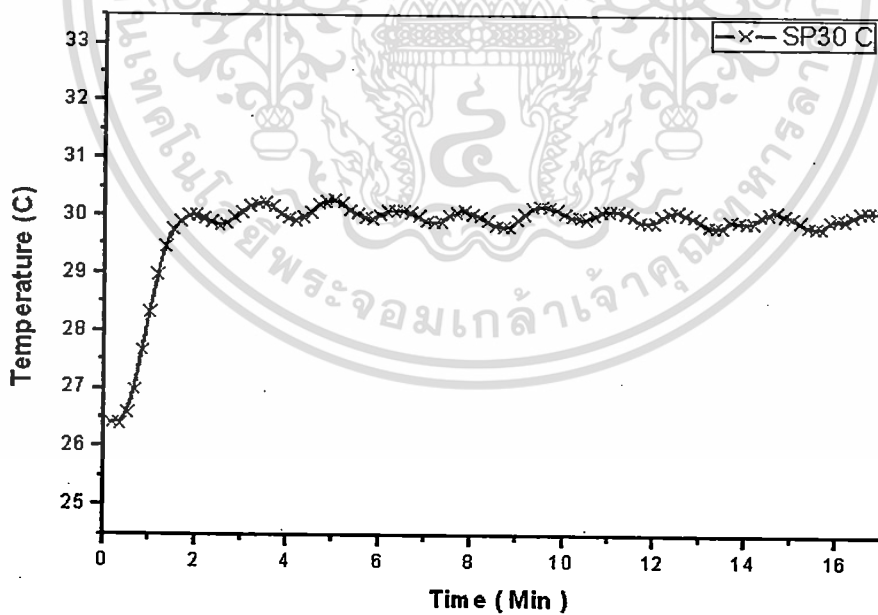
4.1.3 การทดลองศึกษาผลของค่า K_d ที่มีต่อระบบควบคุม

การทดลองปรับค่า K_d เพื่อหาผลตอบสนองของระบบควบคุม โดยเปิดการทำงานของเครื่องวัดระดับการบิหน้าที่ 5400 รอบต่อนาที และทดสอบที่อุณหภูมิคงที่ 30 องศาเซลเซียส เหมือนการทดลองที่ผ่านมา โดยคงค่า $K_p = 2.4$ และ $K_i = 1.12$ เท่าเดิม การทดลองแรกจะเริ่มที่ค่า $K_d = 1.32$ ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.10 โดยผลตอบสนองของระบบยังมีการเกิด โอเวอร์ชูต อยู่ที่ 1.1

องศาเซลเซียส ช่วงเวลาขาขึ้นของอุณหภูมิอยู่ที่ 1.1 นาที และใช้เวลาในการเข้าสู่สมดุล 5 นาที เมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วยังมีการเกิดค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติประมาณ 0.3 องศาเซลเซียส



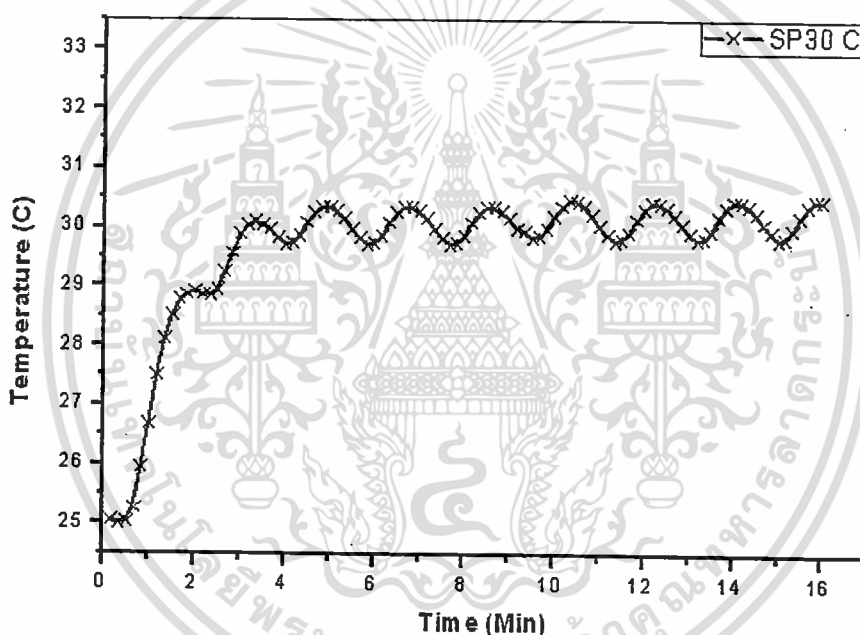
รูปที่ 4.10 กราฟการทดลองปรับค่า $K_d = 1.32$ $K_p = 2.4$ และ $K_i = 1.12$



รูปที่ 4.11 กราฟการทดลองปรับค่า $K_d = 2.32$ $K_p = 2.4$ และ $K_i = 1.12$

การทดลองที่ 2 ในการหาผลตอบสนองของค่า K_d ที่มีต่อระบบควบคุม จะกำหนดจะให้ $K_p = 2.4$ และ $K_i = 1.12$ และทำการเพิ่มค่า $K_d = 2.32$ ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.11 โดยผลตอบสนองของระบบไม่มีการเกิดโอเวอร์ชูต แต่จะมีการแกว่งของสัญญาณเอาต์พุตเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม แต่จะช่วยลดเวลาสู่สมดุลงเหลือ 2 นาที

การทดลองที่ 3 ในการหาผลของค่า K_d ที่มีต่อระบบ จะกำหนดให้ค่า $K_d = 3.32$ ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.12 โดยผลตอบสนองของระบบไม่มีการเกิดโอเวอร์ชูต แต่หลังจากเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วยังมีการแกว่งของสัญญาณเอาต์พุต แสดงให้เห็นถึงค่า K_d ที่มีต่อระบบ ซึ่งจะช่วยลดค่าโอเวอร์ชูตของระบบลงได้ แต่ก็จะทำให้เกิดค่าเอาต์พุตมีการแกว่งของสัญญาณเอาต์พุตเพิ่มขึ้นได้ เพราะค่า K_d จะเป็นการหน่วงหรือเป็นตัวลดความเร็วในการเข้าสู่ค่าอ้างอิงของระบบ แต่เมื่อมีค่าระดับหนึ่งก็จะมีควมไวต่อสัญญาณรบกวนต่อระบบได้

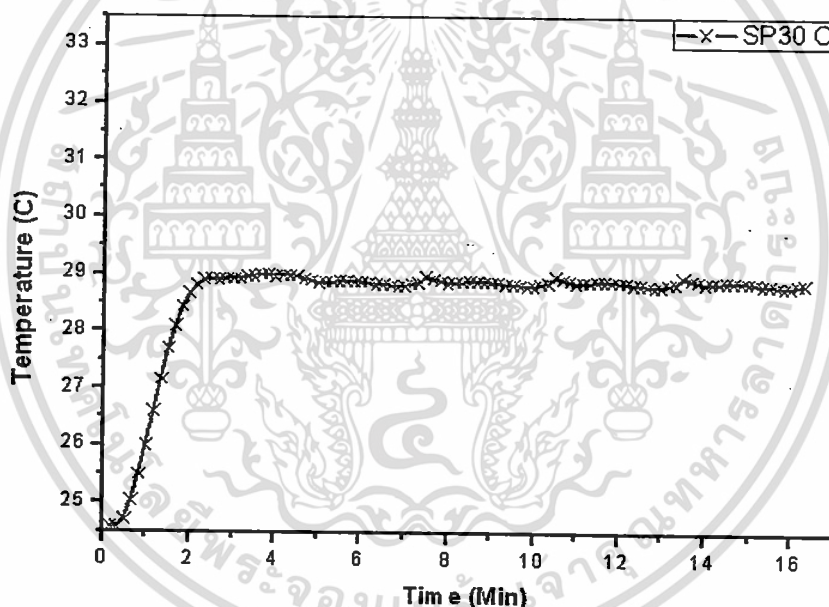


รูปที่ 4.12 กราฟการทดลองปรับค่า $K_d = 3.32$ $K_p = 2.4$ และ $K_i = 1.12$

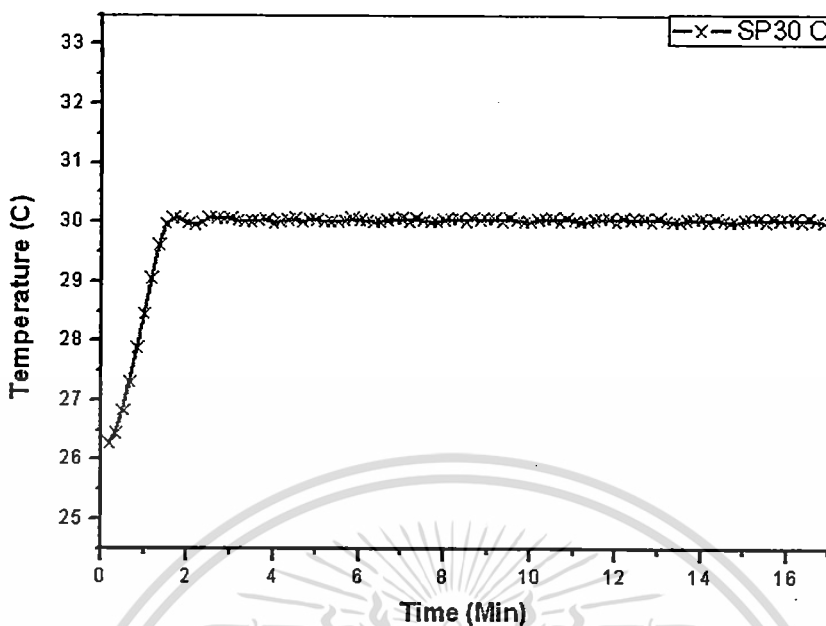
หลังจากที่ได้ทำการทดลองผลตอบสนองของทั้ง 3 พารามิเตอร์ที่มีต่อระบบควบคุม อุณหภูมิที่ติดตั้งในเครื่องเครื่องวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนแล้วนั้น แต่จากที่ได้ทำการทดลองเปลี่ยนแปลงค่าเฉพาะพารามิเตอร์ใดพารามิเตอร์หนึ่งนั้นยังไม่สามารถให้ผลตอบสนองของระบบควบคุมที่ดีหรือเหมาะสมเพียงพอ จำเป็นจะต้องมีการปรับละเอียดทั้ง 3 พารามิเตอร์ให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าการควบคุมอยู่ในช่วงค่าที่กำหนด โดยในการทดลองต่อไปนี้จะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 แบบละเอียดขึ้นโดยอ้างอิงจากผลการทดลองที่ผ่านมาเป็นข้อมูลในการปรับ โดยในการทดลองจะทำการปรับแต่ละพารามิเตอร์แล้วดูผลตอบสนอง เมื่อได้ค่าที่เหมาะสมแล้วจะ

ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง ซึ่งในผลการทดลองที่นำมาเสนอนี้จะได้จากการปรับค่าต่างในการทดลองมาแล้วระดับหนึ่ง

การทดลองปรับละเอียดด้วยมือ ของทั้ง 3 พารามิเตอร์หลักของระบบ พีไอดี ในการทดลอง ซึ่งจากการทดลองโดยอ้างอิงผลตอบสนองเริ่มต้นจากการทดลองปรับค่า พีไอดี รูปที่ 4.2 ดังกล่าวมาข้างต้น จากการปรับ ค่า $K_i = 4.2$ จุดประสงค์เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ และปรับ ค่า $K_d = 1.32$ จุดประสงค์เพื่อช่วยลดค่าโอเวอร์ชูตของระบบ โดยคงค่า $K_p = 2.4$ เท่าเดิม จากรูปที่ 4.13 แสดงค่าเอาต์พุตที่ได้แสดงให้เห็นค่าโอเวอร์ชูตที่ลดลงจากการปรับเพิ่มค่า K_d เพิ่มขึ้น และค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติก็มีการลดลง แต่ยังมีแกว่งของเอาต์พุตอยู่ ในรูปที่ 4.14 ผู้วิจัยทดลองเปลี่ยนค่า $K_i = 8.12$ เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ ซึ่งผลของค่าเอาต์พุตมีการแกว่งตัวน้อยลง



รูปที่ 4.13 กราฟการทดลองปรับค่า $K_p = 2.4$ $K_i = 4.2$ และ $K_d = 1.32$



รูปที่ 4.14 กราฟการทดลองปรับค่า $K_p = 2.4$ $K_i = 8.12$ และ $K_d = 1.32$

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

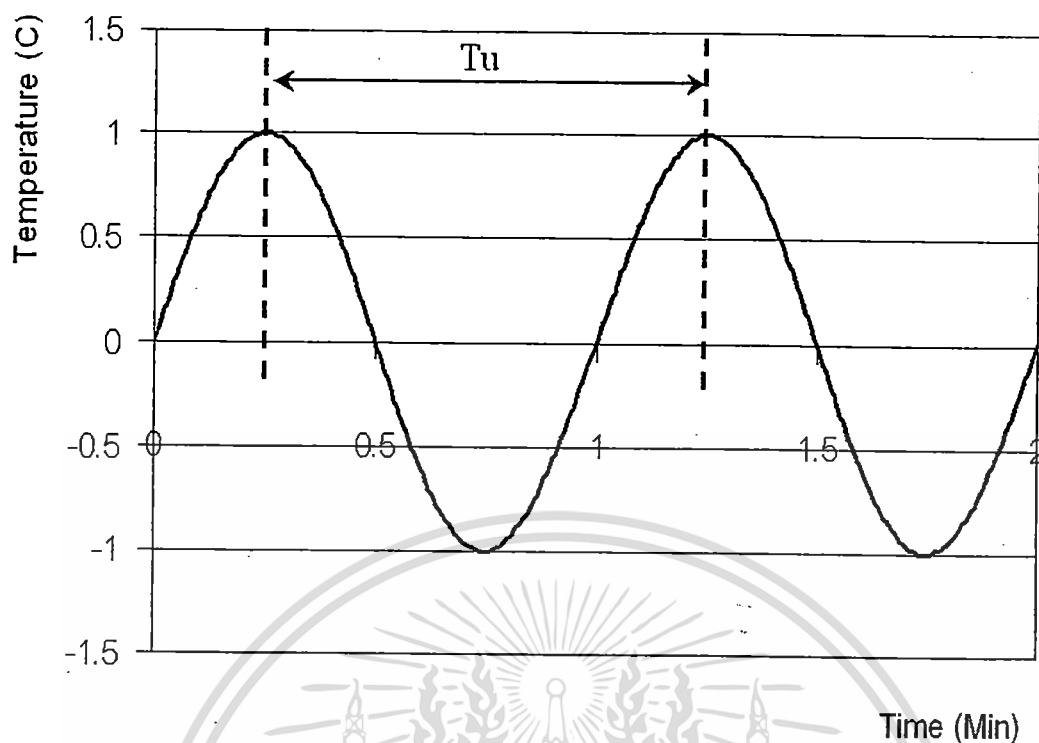
จากการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ K_p , K_i และ K_d เพื่อศึกษาผลของแต่ละพารามิเตอร์ที่มีต่อระบบควบคุมอุณหภูมิ และนำไปปรับใช้เพื่อให้ได้ผลตอบสนองของระบบที่เหมาะสมที่สุด จากการทดลองที่ผ่านมาทำให้เราทราบถึงผลของแต่ละพารามิเตอร์ โดยค่า K_p จะให้ผลตอบสนองต่อระบบโดยเมื่อเพิ่มค่า K_p มากขึ้นจะทำให้ระบบเข้าสู่ค่าอินพุตอ้างอิงได้เร็วขึ้น แต่ก็มีผลให้เกิดโอเวอร์ชูตกับระบบได้ และค่าที่เพิ่มขึ้นก็จะช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสถิตยได้ แต่การเพิ่มค่า K_p มากขึ้นระดับหนึ่งค่าช่วงเวลาขาขึ้นของอุณหภูมิที่เราควบคุมก็ไม่สามารถเพิ่มได้มากกว่านี้เนื่องจากขีดจำกัดของระบบทำความร้อนที่สามารถทำได้ซึ่งผลการเพิ่มค่า $K_p = 8.4$ และ $K_p = 12.4$ จะมีช่วงเวลาขาขึ้นที่ไม่ต่างกัน และในการทำความร้อนครั้งแรกของระบบจะมีค่าเวลาหน่วงอยู่ประมาณ 20-30 วินาที หลังจากทีค่าตั้งเอาต์พุตออกไป เนื่องจากเวลาในการทำความร้อนของตัวทำความร้อนจะไม่สามารถนำหรือพาความร้อนมาสู่อากาศทันที เพราะจะต้องถ่ายเทความร้อนไปยังตัวกล่องการวัดและไปยังชิ้นส่วนต่าง ๆ ด้วยในเวลาเดียวกัน ค่าความร้อนของอากาศที่วัดได้จึงมีค่าหน่วงเกิดขึ้น และจากผลการทดลองปรับค่า K_i ของระบบควบคุมอุณหภูมิที่ทำการทดลอง K_i ที่เพิ่มจะให้ผลตอบสนองในการลดค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสถิตยของระบบควบคุมและยังลดช่วงเวลาสู่สมดุลของระบบด้วย ซึ่งในการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มค่า K_i จาก 2.12 ไปเป็น 8.12 และ 12.12 จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนของเอาต์พุตลดลงอย่างชัดเจน รวมทั้งยังช่วยลดช่วงเวลาขาขึ้นของระบบด้วย แต่ที่ค่า K_i ที่มากขึ้นก็จะส่งผลให้เกิดโอเวอร์ชูตที่มากขึ้นด้วย ซึ่งใน

การทดลองที่ค่า K_p จะให้ค่าโอเวอร์ชูตที่สูงสุดในการทดลอง ส่วนผลของการทดลองปรับค่า K_d เพื่อหาผลตอบสนองต่อระบบควบคุมอุณหภูมิ โดยเมื่อค่า K_d เพิ่มขึ้นจากค่า 0.32 เป็นค่า 1.32 จะส่งผลต่อระบบโดยจะช่วยลดค่าโอเวอร์ชูตของระบบลง แต่ยังมีการโอเวอร์ชูตอยู่ และเมื่อเพิ่มค่า $K_d = 2.32$ ก็จะทำให้ค่าโอเวอร์ชูตลดลงแต่ยังมีการแกว่งของสัญญาณเอาต์พุตและเมื่อเพิ่มค่า K_d ขึ้นจะเกิดการแกว่งของสัญญาณมากกว่าเดิมอย่างชัดเจน ดังนั้นผลการทดลองในระบบที่ใช้งานจริง ค่า K_d จะช่วยลดค่าโอเวอร์ชูต แต่เมื่อค่า K_d มีค่ามากเกินไปก็จะทำให้เกิดการแกว่งของสัญญาณเอาต์พุตได้

ในส่วนสุดท้ายของการปรับละเอียดค่า K_p , K_i และ K_d โดยใช้ผลของแต่ละพารามิเตอร์ ที่มีแต่ละระบบเพื่อให้ได้ค่าการตอบสนองของระบบที่เหมาะสม โดยในการทดลองแสดงให้เห็นว่าทั้ง 3 พารามิเตอร์มีผลสัมพันธ์ซึ่งกันและกันต่อระบบควบคุม ดังนั้นการปรับแบบละเอียดจะต้องให้ค่าที่เหมาะสม โดยใช้ผลต่อแต่ละพารามิเตอร์ที่มีต่อระบบควบคุม ในการพิจารณาการลดหรือเพิ่มค่าของแต่ละพารามิเตอร์ และยังคงคำนึงถึงขีดจำกัดของระบบที่สามารถทำได้ โดยผลในการทดลองจะเห็นว่าผู้วิจัยไม่ได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่า K_p แต่ปรับค่าของ K_i และ K_d ในการปรับลดโอเวอร์ชูตและลดค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสถิตย์ ของระบบควบคุม

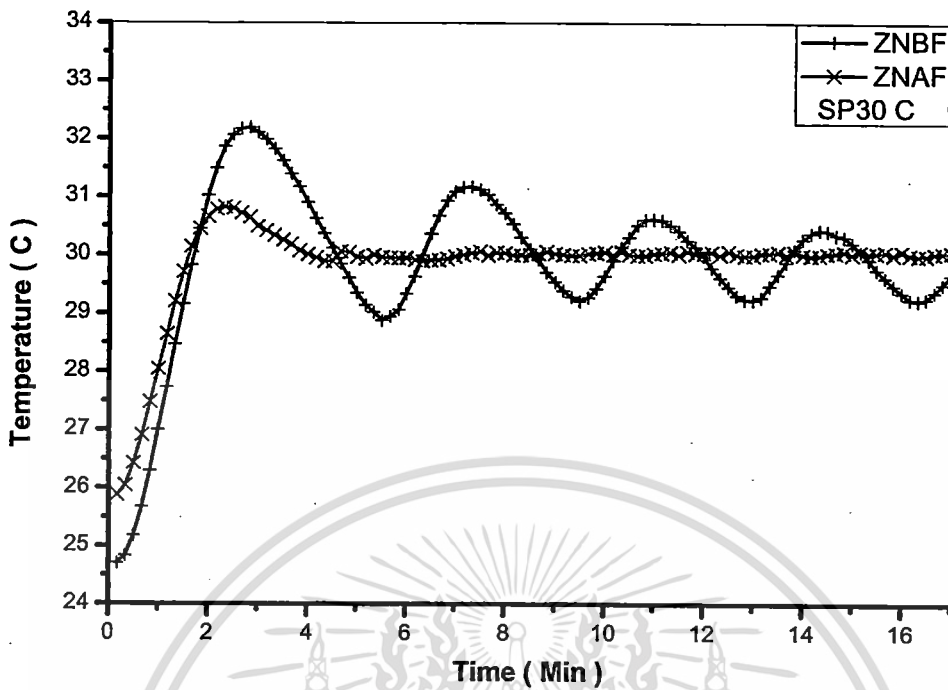
4.3 การทดลองและผลการทดลองการปรับค่า พีไอดี ด้วยวิธี ซิกเลอร์ นิโคล

จากการทดลองในหัวข้อที่แล้วทำให้ทราบถึงผลการตอบสนองของแต่ละพารามิเตอร์ต่อระบบควบคุมอุณหภูมิ แต่ในการทดลองปรับเพื่อหาค่าเริ่มต้นหรือให้ได้ค่าที่เหมาะสมหรือได้ค่าผลตอบสนองตามต้องการนั้นจะใช้เวลาในการทดลองปรับที่ใช้เวลานาน ดังนั้นในการทดลองนี้จะนำเสนอการทดลองปรับค่า พีไอดี เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมหรือได้ค่าเริ่มต้นที่ง่ายต่อการปรับละเอียด ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการปรับค่าทั้ง 3 พารามิเตอร์ลง ด้วยวิธีการของ ซิกเลอร์ นิโคล เป็นวิธีที่จะช่วยในการปรับค่าพีไอดีของระบบควบคุมให้ได้ค่าที่เหมาะสมหรือเพื่อให้ได้ค่าเริ่มต้นที่เหมาะสมในการปรับละเอียดเพื่อให้ผลตอบสนองที่ดีเพียงพอกับการใช้งานของระบบต่อไป โดยในการทดลองด้วยวิธีนี้จะเปิดการทำงานของเครื่องวัดระดับการบินให้เหมือนการทำงานขณะวัดระดับการบินจริง โดยตั้งความเร็วของมอเตอร์สปินเดิลที่ 5400 รอบต่อนาที



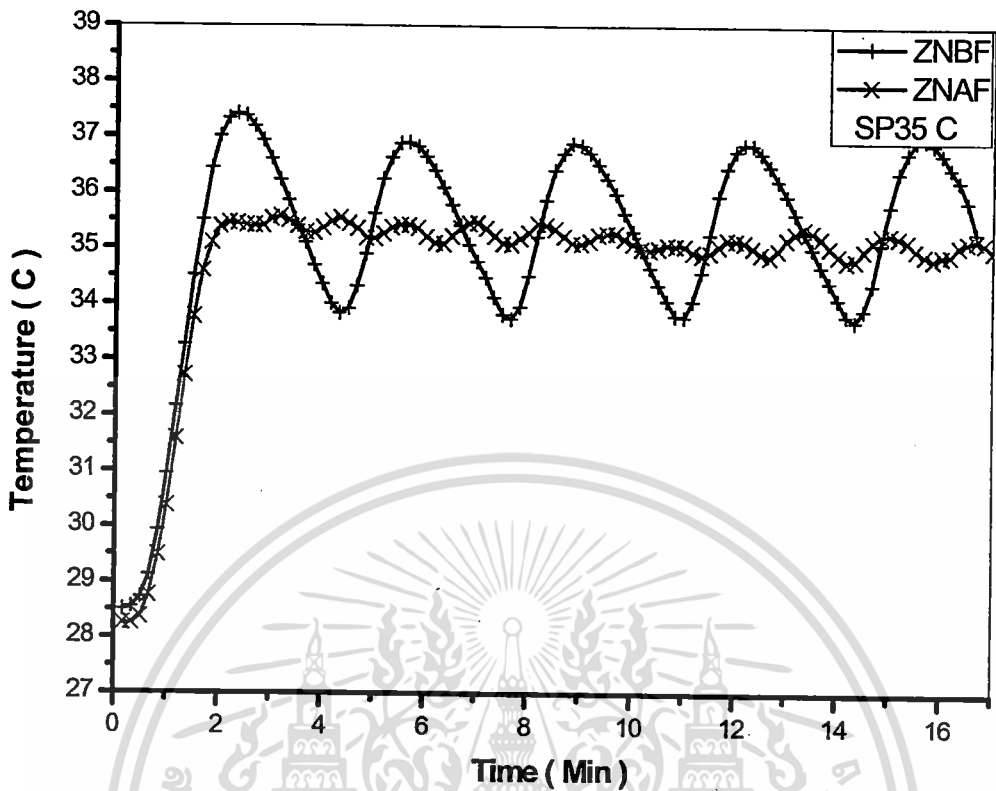
รูปที่ 4.15 แสดงการวัดคาบเวลาสำหรับ วิธีการปรับ พีไอดี แบบ ซิกเลอร์ นิโคล

การทดลองที่ 1 การปรับด้วยวิธีการซิกเลอร์ นิโคลที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยตั้งค่าเริ่มต้นดังนี้ ปรับค่า $K_i = 0$ และ ค่า $K_d = 0$ แล้วทำการปรับเพิ่มค่า K_p จนกว่าระบบจะเกิดการแกว่งของสัญญาณ ซึ่งในการทดลองจะเริ่ม $K_p = 2$ ซึ่งจากรูปที่ 4.16 แสดงผลการทดลอง แกน X เป็นแกนของเวลาในหน่วยนาที และแกน Y เป็นแกนของอุณหภูมิ เส้นกราฟ ZNBF คือ การปรับอุณหภูมิอ้างอิงที่ 30 องศาเซลเซียส และที่การปรับค่า $K_p = 4$ $K_i = 0$ และ $K_d = 0$ หลังจากนั้นทำการวัดคาบเวลาของสัญญาณเอาต์พุต นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าพีไอดีตามตารางที่ 2.2 ซึ่งจากการทดลองค่าในที่นี้คือค่าอัตราขยาย K_p ซึ่งก็จะค่า $K_u = 5$ และ T_u คือค่าคาบเวลาของเอาต์พุตแสดงการวัดคาบเวลาดังรูปที่ 4.15 จากการวัดคาบเวลาจากรูปที่ 4.16 จะได้ค่า $T_u = 4.16$ นาที และเมื่อนำไปคำนวณตามตาราง 2.2 จะได้ค่า $K_p = 2.4$ $K_i = 0.48$ และ $K_d = 0.52$ ทำการตั้งค่าพีไอดีใหม่ ทำการทดลองซ้ำซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.16 เส้นกราฟ ZNAF จากผลในการทดลองจะพบมีการเกิด โอเวอร์ชูตของค่าอุณหภูมิประมาณ 0.8 องศาเซลเซียสและเวลาผลตอบสนองสูงสุดที่เวลา 2.3 นาที มีช่วงเวลาขาขึ้นของอุณหภูมิ 1.40 นาที และใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะสมดุล 4.30 นาที ซึ่งแม้ค่าโอเวอร์จะน้อยแต่เวลาในการลดลงของอุณหภูมิจะช้าเนื่องจากการถ่วงอินความร้อนหรือความแตกต่างของอุณหภูมิภายในกล่องการวัดที่ทำการวัดอุณหภูมิและอุณหภูมิในกล่องหลักมีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.16 กราฟการปรับค่าพีไอดีด้วยวิธี ซิกเลอร์ นิโกล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

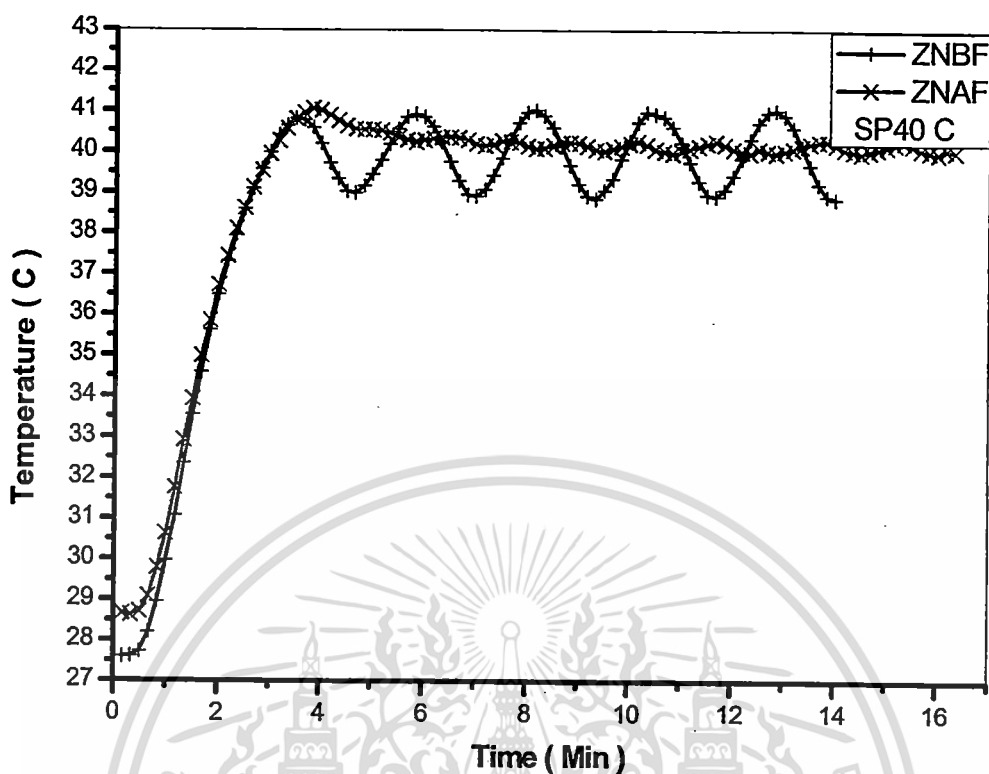
การทดลองที่ 2 เป็นการปรับค่าพีไอดีของระบบควบคุมที่อุณหภูมิอ้างอิง 35 องศาเซลเซียส การปรับค่าเริ่มต้นด้วย ค่า $K_i = 0$ และค่า $K_d = 0$ แล้วทำการปรับเพิ่มค่า K_p จนกว่าระบบจะเกิดการแกว่งของสัญญาณ โดยการทดลองจะได้ค่า $K_p = 3$ ทำการตั้งค่าอุณหภูมิอ้างอิงที่ 35 เมื่อได้กราฟดังรูปที่ 4.17 แล้วทำการวัดค่าคาบเวลาของสัญญาณเอาต์พุตของเส้นกราฟ ZNBF จะได้ค่าคาบเวลา $T_u = 3.33$ นาที โดยมีค่า K_p หรือค่า $K_u = 3$ เมื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณ จะได้ค่าพีไอดีใหม่ ดังนี้ $K_p = 1.8$ $K_i = 1$ และ $K_d = 0.42$



รูปที่ 4.17 กราฟการปรับค่าพีไอดีด้วยวิธี ซิกเลอร์-นิโคล ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

ทำการปรับตั้งค่าพีไอดีใหม่แล้วทำการทดลองซ้ำซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.17 เส้นกราฟ ZNAF จากรูปจะมีการเกิดโอเวอร์ชูดประมาณ 0.5 องศาเซลเซียส และยังคงมีการแกว่งของอุณหภูมิในระบบ

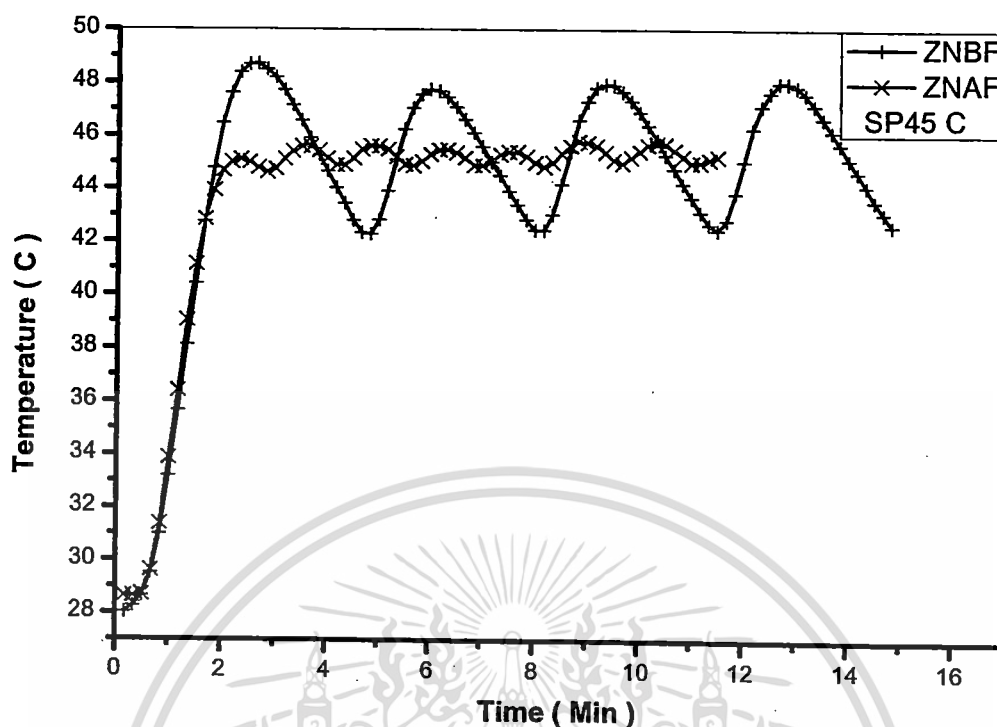
การทดลองที่ 3 เป็นการปรับค่าพีไอดีของระบบควบคุมที่อุณหภูมิอ้างอิง 40 องศาเซลเซียส การปรับค่าเริ่มต้นด้วย ค่า $K_i = 0$ และค่า $K_d = 0$ แล้วทำการปรับเพิ่มค่า K_p จนกว่าระบบจะเกิดการแกว่งของสัญญาณ โดยการทดลองจะเกิดการแกว่งของสัญญาณเอาต์พุตที่ $K_p = 3$ ดังผลที่แสดงตามรูปที่ 4.18 แล้วทำการวัดค่าคาบเวลาของสัญญาณเอาต์พุตของเส้นกราฟ ZNBF ซึ่งจะได้ค่าคาบเวลา $T_u = 2.33$ นาที โดยมีค่า K_p หรือ $K_u = 3$ เมื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณจะได้ค่าพีไอดีใหม่ดังนี้ $K_p = 1.8$ $K_i = 1.26$ และ $K_d = 0.29$



รูปที่ 4.18 กราฟการปรับค่า พีไอดี ด้วยวิธี ซิกเลอร์ นิโคล ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองเส้นกราฟ ZNAF ของรูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่ายังมีโอเวอร์ชูตอยู่ที่ 1 องศาเซลเซียส โดยช่วงเวลาขาขึ้นของอุณหภูมิอยู่ที่ 3 นาที และใช้เวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล 6 นาที และยังคงเกิดการแกว่งของสัญญาณเอาต์พุตอยู่

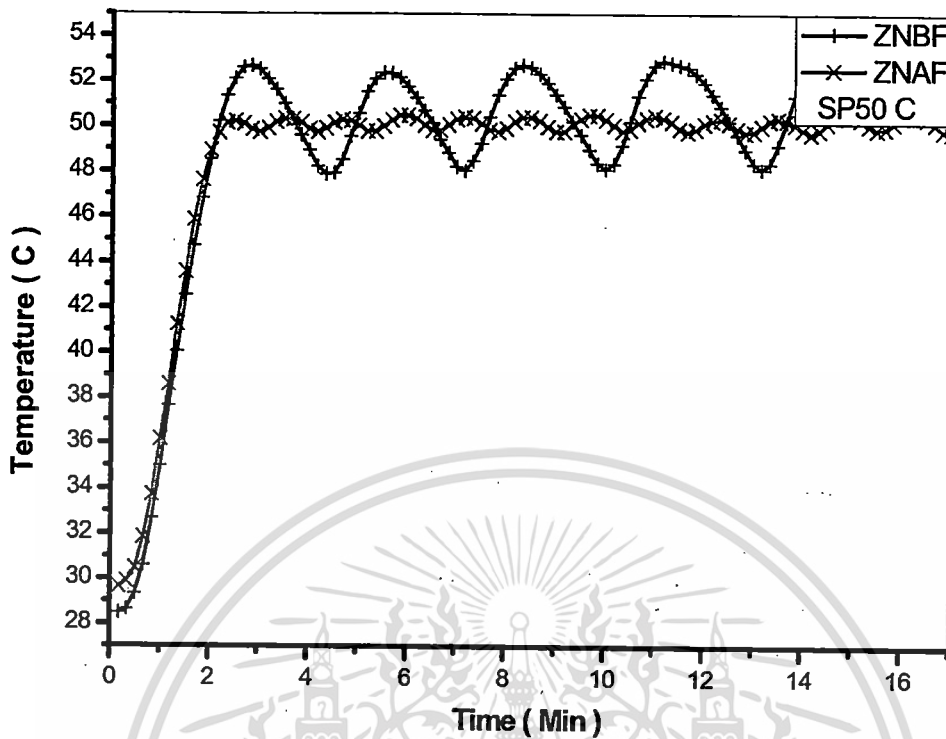
การทดลองที่ 4 เป็นการปรับค่าพีไอดีของระบบควบคุมที่อุณหภูมิอ้างอิง 45 องศาเซลเซียส การปรับค่าเริ่มต้นด้วย ค่า $K_i = 0$ และ ค่า $K_d = 0$ แล้วทำการปรับเพิ่มค่า K_p จนกว่าระบบจะเกิดการแกว่งของสัญญาณ โดยการทดลองจะเกิดการแกว่งของสัญญาณเอาต์พุต ที่ $K_p = 3$ ดังผลที่แสดงตามรูปที่ 4.19 แล้วทำการวัดค่าคาบเวลาของสัญญาณเอาต์พุตของเส้นกราฟ ZNBF ซึ่งจะได้ค่าคาบเวลา $T_u = 3.50$ นาที โดยมีค่า K_p หรือ ค่า $K_u = 3$ เมื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณ จะได้ค่าพีไอดีใหม่ดังนี้ $K_p = 1.8$ $K_i = 0.57$ และ $K_d = 0.44$



รูปที่ 4.19 กราฟการปรับค่า พีไอดี ด้วยวิธี ซิกเลอร์ นิโคล ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองซ้ำด้วยค่าพีไอดีใหม่ที่ได้จากการคำนวณจะได้ผลของเอาต์พุตตามรูปที่ 4.19 ดังเส้นกราฟ ZNAF จะเห็นว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิไม่เกิดโอเวอร์ชูต โดยมีช่วงเวลาขาขึ้นของอุณหภูมิอยู่ที่ 2 นาที และใช้เวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล 3 นาที และยังเกิดการแกว่งของสัญญาณเอาต์พุตอยู่

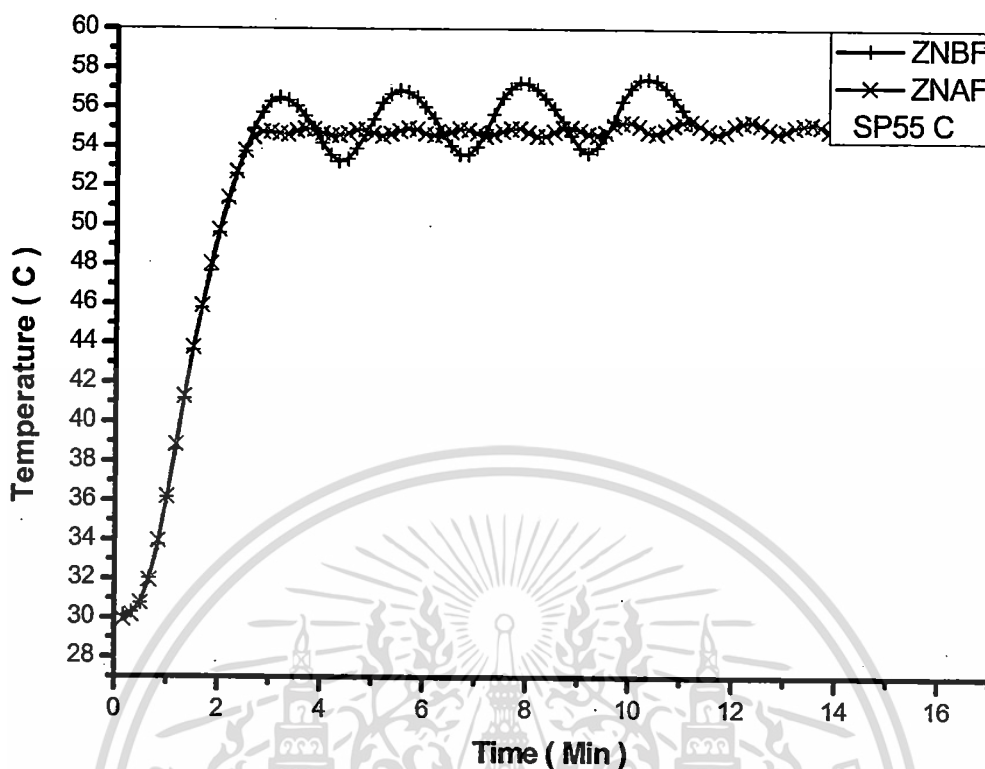
การทดลองที่ 5 เป็นการปรับค่าพีไอดีของระบบควบคุมที่อุณหภูมิอ้างอิง 50 องศาเซลเซียส การปรับค่าเริ่มต้นด้วย ค่า $K_i = 0$ และค่า $K_d = 0$ แล้วทำการปรับเพิ่มค่า K_p จนกว่าระบบจะเกิดการแกว่งของสัญญาณ โดยการทดลองจะเกิดการแกว่งของสัญญาณเอาต์พุตที่ $K_p = 3$ ดังผลที่แสดงตามรูปที่ 4.20 แล้วทำการวัดค่าคาบเวลาของสัญญาณเอาต์พุตของเส้นกราฟ ZNBF จากผลการทดลองซึ่งจะได้ค่าคาบเวลา $T_u = 2.4$ นาที โดยมีค่า K_p หรือ ค่า $K_u = 3$ เมื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณจะได้ค่าพีไอดีใหม่ดังนี้ $K_p = 1.8$ $K_i = 1.23$ และ $K_d = 0.3$



รูปที่ 4.20 กราฟการปรับค่า พีไอดี ด้วยวิธี ซิกเลอร์ นิโคล ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองซ้ำจะได้ผลของเอาต์พุตตั้งเส้นกราฟ ZNAF จะเห็นว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิไม่เกิดโอเวอร์ชูต โดยมีช่วงเวลาที่ขาขึ้นของอุณหภูมิอยู่ที่ 2.10 นาที และใช้เวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล 2.40 นาที และยังคงเกิดการแกว่งของสัญญาณเอาต์พุตอยู่

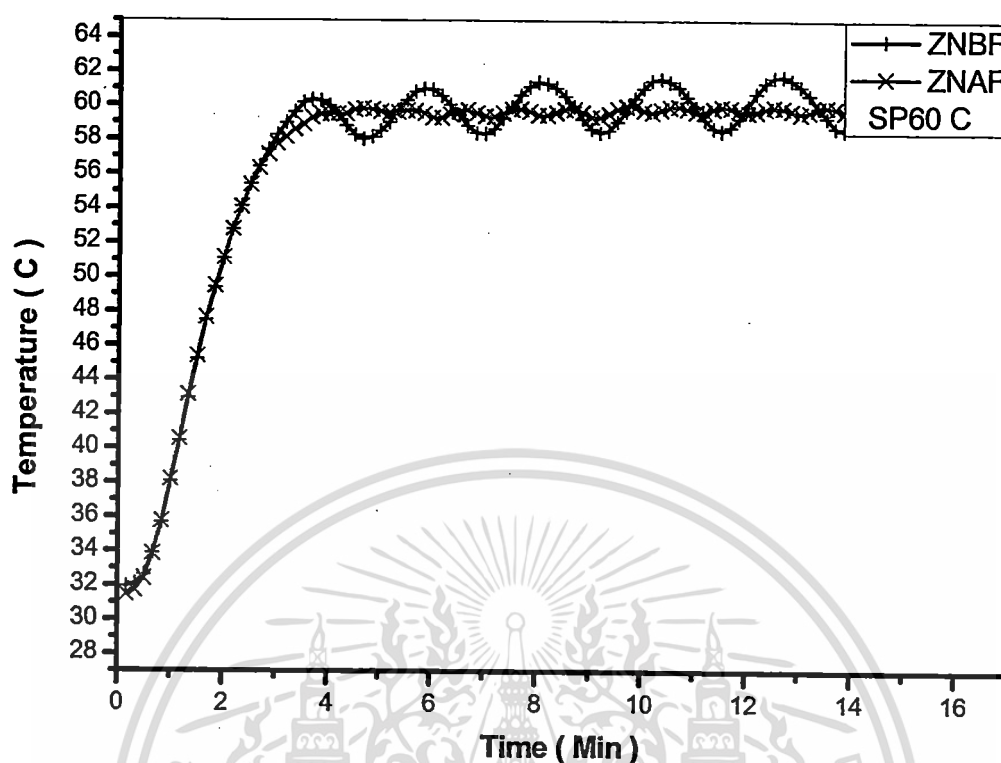
การทดลองที่ 6 เป็นการปรับค่าพีไอดีของระบบควบคุมที่อุณหภูมิอ้างอิง 55 องศาเซลเซียส การปรับค่าเริ่มต้นด้วยค่า $K_i = 0$ และค่า $K_d = 0$ แล้วทำการปรับเพิ่มค่า K_p จนกว่าระบบจะเกิดการแกว่งของสัญญาณ โดยการทดลองจะเกิดการแกว่งของสัญญาณเอาต์พุตที่ $K_p = 3$ ดังผลที่แสดงตามรูปที่ 4.21 แล้วทำการวัดค่าคาบเวลาของสัญญาณเอาต์พุตของเส้นกราฟ ZNBF ซึ่งจะได้ค่าคาบเวลา $T_u = 2.35$ นาที โดยมีค่า K_p หรือค่า $K_u = 3$ เมื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณจะได้ค่าพีไอดีใหม่ดังนี้ $K_p = 1.8$ $K_i = 1.23$ และ $K_d = 0.29$



รูปที่ 4.21 กราฟการปรับค่า พีไอดี ด้วยวิธี ซิกเลอร์ นิโคล ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองที่ค่าพีไอดีใหม่ที่คำนวณได้แสดงให้เห็นว่า ระบบไม่มีโอเวอร์ชูตเกิดขึ้น และเข้าสู่สภาวะสมดุล ได้เร็วขึ้นและมีการแกว่งตัวของเอาต์พุตน้อยลง และใช้เวลาขาขึ้นของอุณหภูมิ 2.50 นาที

การทดลองที่ 7 เป็นการปรับค่าพีไอดีของระบบควบคุมที่อุณหภูมิอ้างอิง 60 องศาเซลเซียส การปรับค่าเริ่มต้นด้วยค่า $K_i = 0$ และ ค่า $K_d = 0$ แล้วทำการปรับเพิ่มค่า K_p จนกว่าระบบจะเกิดการแกว่งของสัญญาณ โดยการทดลองจะเกิดการแกว่งของสัญญาณเอาต์พุต ที่ $K_p = 3$ ดังผลที่แสดงตามรูปที่ 4.22 แล้วทำการวัดค่าคาบเวลาของสัญญาณเอาต์พุตของเส้นกราฟ ZNBF ซึ่งจะได้ค่าคาบเวลา $T_u = 2.4$ นาที โดยมีค่า K_p หรือค่า $K_u = 4$ เมื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณจะได้ค่าพีไอดีใหม่ดังนี้ $K_p = 2.4$, $K_i = 1.42$ และ $K_d = 0.27$



รูปที่ 4.22 กราฟการปรับค่า พีไอดี ด้วยวิธี ชิกเลอร์ นิโคล ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองปรับค่าพีไอดีที่ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงสุดที่ทำการทดลอง ผลในการทดลองปรับค่า $K_p = 3$ เท่ากับการทดลองที่ผ่านมา และผลจากกราฟ ZNBF แสดงให้เห็นว่า กราฟคลื่นลูกแรกของระบบ ไม่เกิดโอเวอร์ชูตและแอมพลิจูดของการแกว่งของสัญญาณเอาต์พุตก็น้อยกว่า 2 องศาเซลเซียส เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในกล่องการวัดและกล่องหลัก รวมถึงสภาวะแวดล้อมภายนอก มีความแตกต่างกันมาก ทำให้การสูญเสียหรือการถ่ายโอนความร้อนเร็วขึ้น และส่วนหนึ่งมาจากขีดจำกัดความสามารถของระบบที่ทำได้ ซึ่งเมื่อทำการทดลองซ้ำด้วยค่าพีไอดีที่คำนวณใหม่ จะให้ผลตอบสนองที่ไม่มีโอเวอร์ชูตเกิดขึ้น และใช้เวลาช่วงขาขึ้นของอุณหภูมิเป็นเวลา 4 นาที และค่าการแกว่งของเอาต์พุตก็ลดลง

4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองการปรับค่าพีไอดีของระบบควบคุมอุณหภูมิด้วย วิธีของชิกเลอร์ นิโคล เพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการควบคุมให้ระบบควบคุมซึ่งจากการทดลองจะเห็นว่าระบบเกิดการแกว่งของเอาต์พุตที่ค่า K_p เท่ากันคือ 3 แต่จะได้คาบเวลา T_u ในการแกว่งไม่เท่ากัน และพบว่า การปรับค่าพีไอดีด้วยวิธีนี้ กับระบบควบคุมอุณหภูมิที่ติดตั้งบนเครื่องวัดระดับการป็นของหัวอ่านเขียนไม่ทำให้ได้ค่าที่ดีที่สุดในการควบคุมแต่จะช่วยให้สามารถหาค่าพีไอดีให้ระบบควบคุมได้ใกล้เคียง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

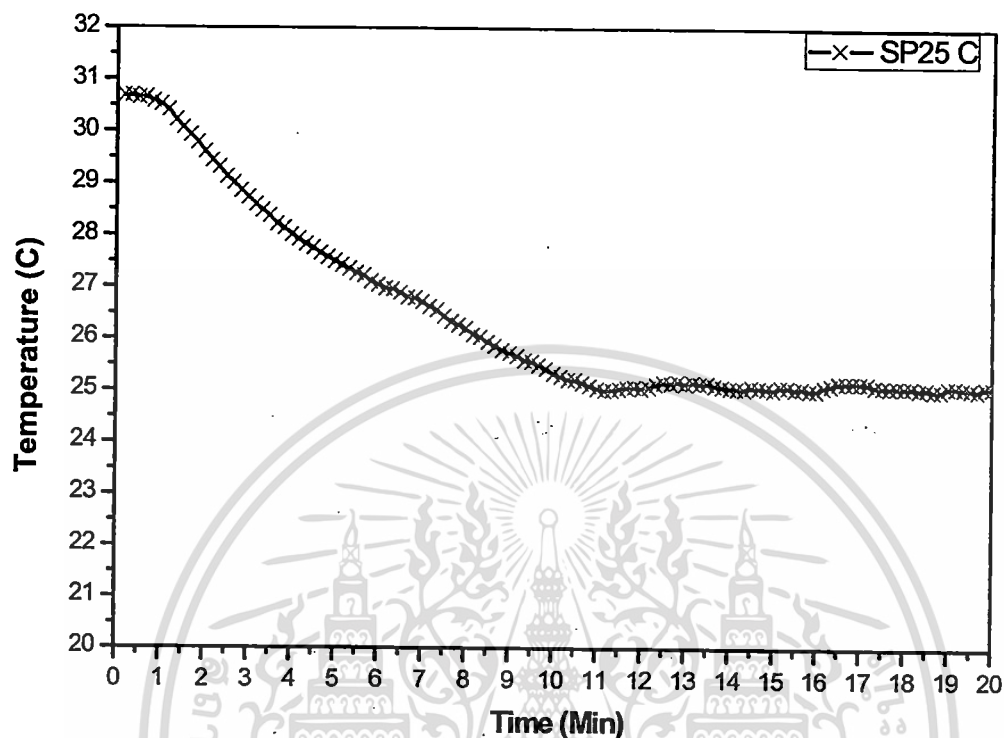
หรือเหมาะในระดับหนึ่งเท่านั้น ซึ่งก็จะลดเวลาในการปรับด้วยวิธีปรับละเอียดลดลง โดยเฉพาะในการปรับค่าพีไอดีสำหรับการควบคุมอุณหภูมิที่มีการสูญเสียความร้อนต่ำ จะต้องใช้เวลานานในการเย็นตัวหรือเวลาในการลดลงของอุณหภูมินานขึ้น ทำให้เสียเวลาในการทดลองนานและได้คาบเวลาของการแกว่งตัวที่กว้างกว่าที่ค่าอุณหภูมิสูงด้วย โดยในช่วงอุณหภูมิ 30-45 องศาเซลเซียส จะยังมีการเกิดโอเวอร์ชูตและเกิดการแกว่งของสัญญาณเอาต์พุตอยู่มาก จำเป็นจะต้องทำการปรับละเอียดให้ได้ค่าพีไอดีที่เหมาะสมกับระบบมากที่สุด และในช่วงอุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส จากการปรับด้วยวิธี ซิกเลอร์ นิโคลจะทำให้ผลการตอบสนองของระบบที่ไม่มีการเกิดโอเวอร์ชูตหรือเกิดน้อยมาก และการแกว่งตัวของสัญญาณเอาต์พุตก็เกิดน้อยกว่าช่วงอุณหภูมิ 30-45 องศาเซลเซียส ซึ่งได้ค่าที่ถือว่าเหมาะสมกับระบบหรือง่ายต่อการปรับละเอียดมากขึ้น

4.5 การทดลองและผลการทดลองระบบทำความเย็นเพื่อลดอุณหภูมิของระบบ

การทดลองระบบควบคุมความเย็นของระบบความเย็นที่กล่าวมาก่อนแล้วในบทที่ 3 โดยตัวเครื่องทำความเย็นที่ใช้ คือ Thermo electron รุ่น Merlin-100 โดยจะทำการทดลองควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิห้อง โดยในการทดลองควบคุมที่ 25 องศาเซลเซียส เริ่มแรกของการทำงานจะเปิดการทำงานของฟิลเตอร์ตัวที่ 1 และเปิดชุดพัดลมของชุดคอยล์ความเย็นทั้ง 2 ชุด ซึ่งจะทำการลดอุณหภูมิตั้งแต่ 25 องศาเซลเซียส โดยลดระดับลงครั้งละ 5 องศาเซลเซียส คือ 25, 20, 15 และ 10 องศาเซลเซียส โดยมีการเปิดการทำงานของเครื่องวัดระดับการบินเหมือนการทำงานจริง คือ เปิดการทำงานของ มอเตอร์สปินเดิลที่ 4500 รอบต่ออนาที และมีการไหลลดส่วนเคลื่อนที่ของตัวเครื่องไปในตำแหน่งการวัดระดับการบินจริง เพื่อให้ได้สภาวะแวดล้อมเหมือนขณะเครื่องทำการวัดระดับการบินอยู่

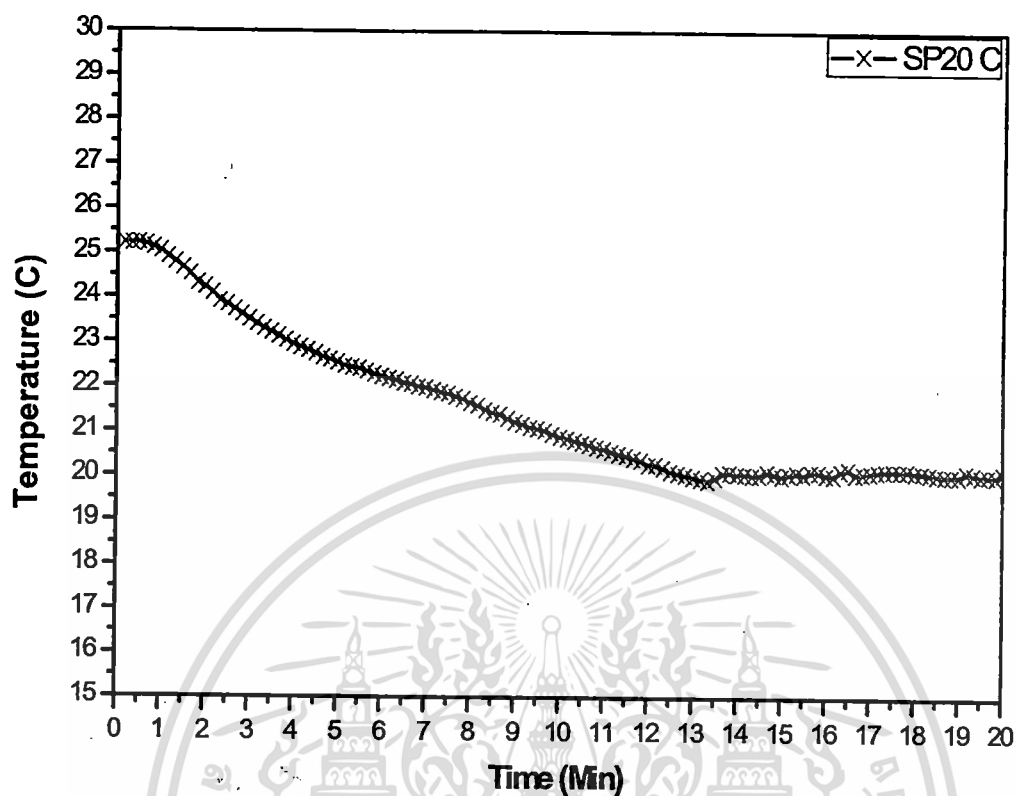
การทดลองที่ 1 การควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งในขั้นแรกของการลดอุณหภูมิจะตั้งค่าอุณหภูมิที่ตัวเครื่องทำความเย็นที่ 18 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าค่าอุณหภูมิอ้างอิงที่ต้องการควบคุม 7 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.23 โดยใช้เวลาในการลดอุณหภูมิจาก 30 องศาเซลเซียส เป็น 25 องศาเซลเซียส ที่สภาวะสมดุลใช้เวลา 10 นาที โดยเมื่อระบบลดอุณหภูมิในกล่องการวัดภายในตัวเครื่องถึงค่าอุณหภูมิอ้างอิงคือ 25 องศาเซลเซียส จะทำการปรับอุณหภูมิที่ตัวเครื่องทำความเย็นขึ้นเป็น 19 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่อค่าที่อ่านได้ที่ตัวเครื่องทำความเย็นเป็น 19 องศาเซลเซียสแล้วเว้นระยะ 30 วินาทีจึงจะทำการปรับเป็น 20 องศาเซลเซียส เหตุผลการปรับระดับอุณหภูมิที่ตัวเครื่องขึ้นครั้งละ 1 องศาเซลเซียสเพื่อลดผลกระทบต่อการแกว่งหรือกระเพื่อมของอุณหภูมิที่วัดได้ในกล่องการวัด โดยที่อุณหภูมิของเครื่องทำความเย็นเป็น 20 องศาเซลเซียส จะสามารถรักษาอุณหภูมิที่ตัวเครื่องวัดระดับการบินให้คงที่ 25 องศาเซลเซียส ได้ช่วงระยะเวลาหนึ่งประมาณ 5-8 นาที โดยจะมีความเย็นในกล่องหลักและความเย็นที่หล่อเลี้ยง

โดยเครื่องทำความเย็นเป็นตัวรักษาอุณหภูมิให้คงที่ ซึ่งจากการทดลองตามรูปที่ 4.23 ในระบบการควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส จะมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้อยกว่า 0.5 องศาเซลเซียส



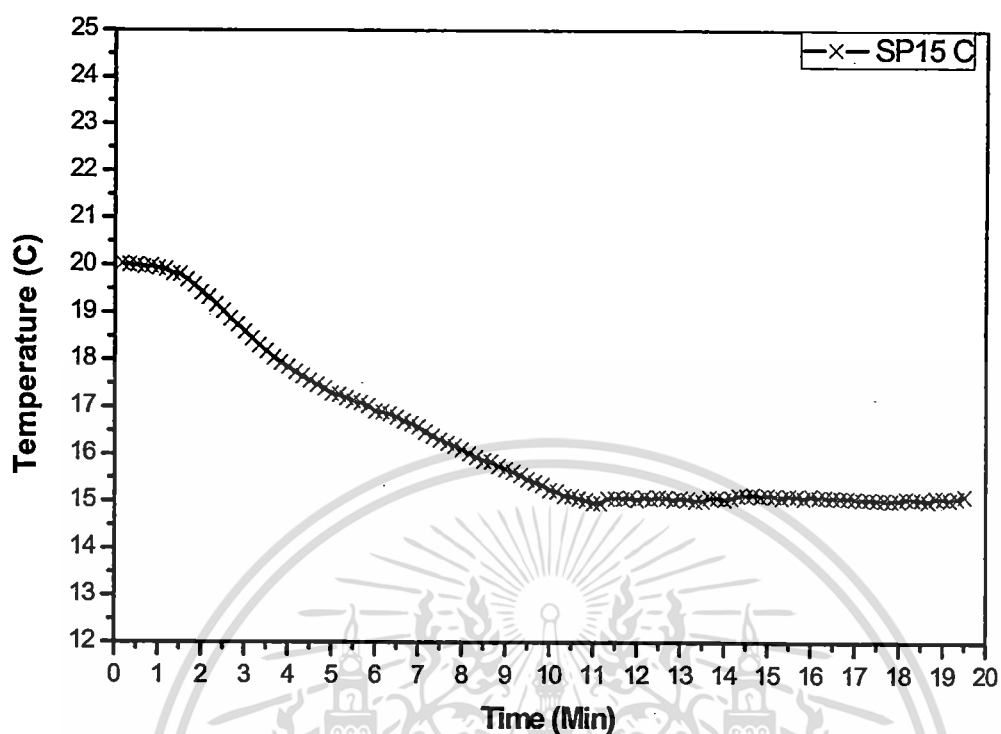
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงการควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส

การทดลองที่ 2 จะเป็นการควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส โดยเริ่มแรกในการควบคุมจะตั้งค่าอุณหภูมิที่ตัวเครื่องทำความเย็นเป็น 12 องศาเซลเซียสซึ่งน้อยกว่าค่าอุณหภูมิอ้างอิง 8 องศาเซลเซียส เหตุผลของการตั้งอุณหภูมิให้ต่ำกว่าค่าที่ต้องการควบคุมที่ตัวเครื่องเพื่อชดเชยการสูญเสียในตัวระบบเองและให้การลดลงของอุณหภูมิลดลงได้เร็วขึ้น ซึ่งหากทำการตั้งค่าอุณหภูมิที่เครื่องทำความเย็นเท่ากับค่าอุณหภูมิที่ใช้เลี้ยงระบบจะใช้เวลาในการลดของอุณหภูมินานมากขึ้น ซึ่งในการทดลองเมื่ออุณหภูมิในตัวเครื่องวัดการบิณลดลงได้เท่ากับค่าอุณหภูมิอ้างอิงแล้วก็จะทำการเพิ่มอุณหภูมิที่ตัวเครื่องทำความเย็นขึ้นครั้งละ 1 องศา โดยทำการเพิ่มขึ้นไปจนค่าที่ได้ที่ตัวเครื่องทำความเย็นมีค่าเป็น 15 องศาเซลเซียส ซึ่งที่ค่าอุณหภูมินี้จะสามารถชดเชยการสูญเสียความเย็นที่ตัวระบบได้ ซึ่งจะช่วยรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ยาวนานประมาณ 6 นาทีเพียงพอต่อการทำการวัดค่าระดับการบิณของหัวอ่าน โดยเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นอุณหภูมิของระบบก็จะเพื่อขึ้นอย่างช้า ๆ ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.24 โดยใช้เวลาในการลดอุณหภูมิจาก 25 องศาเซลเซียส ลดลงมาเป็น 20 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 13 นาที มีช่วงเวลาหน่วงประมาณ 40 วินาที



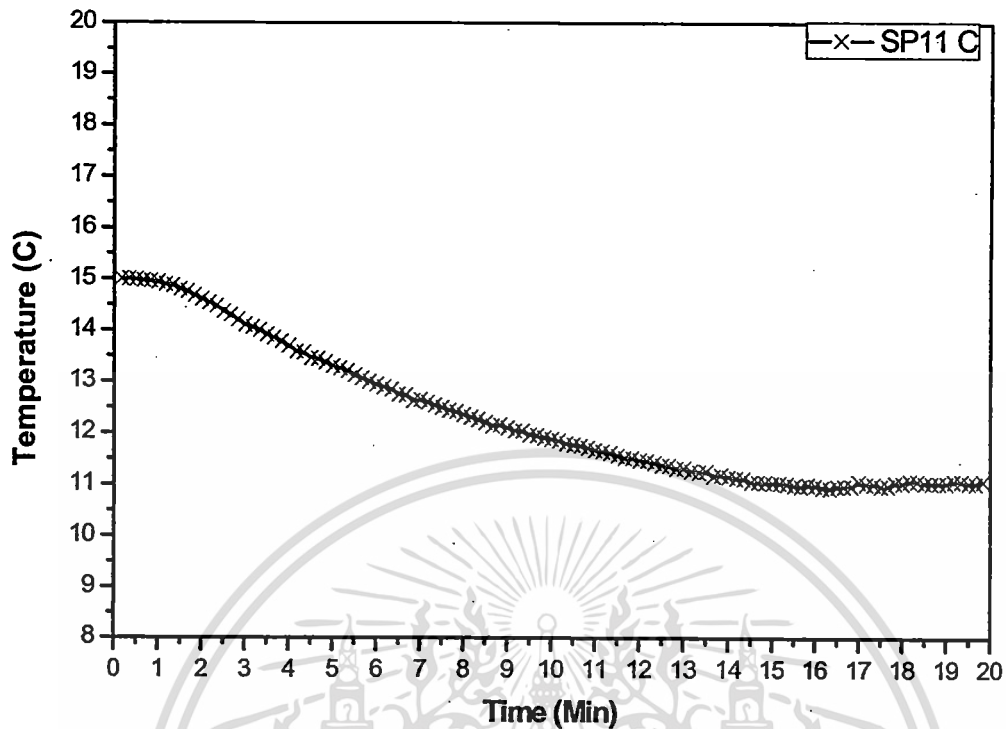
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงการควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส

การทดลองที่ 3 จะเป็นการควบคุมอุณหภูมิของระบบที่ 15 องศาเซลเซียส เริ่มแรกในการควบคุมจะตั้งค่าอุณหภูมิที่ตัวเครื่องทำความเย็นเป็น 5 องศาเซลเซียสซึ่งน้อยกว่าค่าอุณหภูมิอ้างอิง 10 องศาเซลเซียส โดยในการทดลองเมื่ออุณหภูมิในตัวเครื่องวัดการบิณฑลลงได้เท่ากับค่าอ้างอิงคือ 15 องศาเซลเซียส ก็จะทำการเพิ่มอุณหภูมิที่ตัวเครื่องทำความเย็นขึ้นครั้งละ 1 องศา โดยทำการเพิ่มขึ้นไปจนค่าที่ได้ที่ตัวเครื่องทำความเย็นมีค่า 8 องศาเซลเซียส ซึ่งที่ค่าอุณหภูมินี้จะสามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ไม่นานเพียงพอต่อการทำการวัดค่าระดับการบิณฑลของหัวอ่านเขียน เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นอุณหภูมิก็จะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ โดยมีระยะเวลาในการลดอุณหภูมิจาก 20 องศาเซลเซียส ถึงค่าอุณหภูมิอ้างอิง 11 นาที ดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงการควบคุมอุณหภูมิที่ 15 องศาเซลเซียส

การทดลองที่ 4 จะเป็นการควบคุมอุณหภูมิของระบบที่ 11 องศาเซลเซียส โดยความสามารถสูงสุดที่ระบบสามารถลดอุณหภูมิลงได้ คือ 11 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิต่ำสุดที่อ่านได้ที่ตัวเครื่องทำความเย็นสามารถทำความเย็น คือ 0 องศาเซลเซียส ซึ่งจะใช้เวลาในการลดอุณหภูมิจาก 15 องศาเซลเซียส ไปที่ 11 องศาเซลเซียสประมาณ 15 นาที แต่ด้วยขีดจำกัดของระบบค่าอุณหภูมิที่เครื่องทำความเย็นสามารถทำได้ คือ 0.5 องศา ซึ่งหากปล่อยให้ระบบทำความเย็นทำความเย็นที่ 0 องศาเซลเซียส ไปเรื่อยๆ อุณหภูมิภายในเครื่องวัดระดับการบินอยู่ที่ประมาณ 10.5 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้เวลานานในการลดลงถึง 10 องศาเซลเซียส ดังนั้นในการทดลองที่นำเสนอนี้ผู้วิจัยจะทำการควบคุมอุณหภูมิที่ค่า 11 องศาเซลเซียส โดยเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่านี้ได้ก็เครื่องวัดระดับการบินได้เท่ากับ 11 องศาเซลเซียส จะทำการปรับอุณหภูมิที่เครื่องทำความเย็นขึ้นครั้งละ 1 องศาเซลเซียส โดยรักษาอุณหภูมิที่เครื่องทำความเย็นไว้ที่ 2 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นอุณหภูมิในการเลี้ยงระบบ ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.26 ซึ่งที่ค่าอุณหภูมินี้จะสามารถรักษาอุณหภูมิภายในเครื่องวัดระดับการบินให้คงที่ได้ไม่นานเพียงพอต่อการทำการวัดค่าระดับการบินของหัวอ่าน



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงการควบคุมอุณหภูมิที่ 11 องศาเซลเซียส

4.6 วิเคราะห์ผลการทดลองการทำความเย็นของระบบควบคุมอุณหภูมิ

ในการศึกษาทดลองควบคุมอุณหภูมิที่ค่าอุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องทำความเย็นป้อนผ่านความเย็นไปยังคอยล์เย็นที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งอยู่ในส่วนที่เรียกว่า กล้องถ่ายโอนความร้อน(Heat exchange chamber) โดยที่การควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส แม้เป็นอุณหภูมิที่เท่ากับอุณหภูมิห้อง แต่ด้วยการใช้งานของเครื่องเมื่อเปิดใช้งานไประยะหนึ่ง ตัวเครื่องวัดที่ถูกครอบด้วยกล่องหลักจะมีอุณหภูมิมากขึ้นประมาณ 27- 29 องศาเซลเซียส โดยแหล่งกำเนิดความร้อนมาจาก มอเตอร์ของระบบต่าง ๆ เช่น มอเตอร์สปินเดิล มอเตอร์แกน X และแกน Y ในการควบคุมหรือลดอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส จะตั้งค่าอุณหภูมิที่ตัวเครื่องทำความเย็นต่ำกว่าอุณหภูมิอ้างอิงหรืออุณหภูมิที่ต้องการควบคุม คือ 7 องศาเซลเซียส ในการทดลองนี้ จะปรับค่าอุณหภูมิที่เครื่องทำความเย็นไว้ที่ 18 องศาเซลเซียส เพื่อให้การลดลงของอุณหภูมิไม่ใช้เวลานานมากเกินไป ซึ่งในการทดลองหากปรับอุณหภูมิที่ตัวเครื่องทำความเย็นต่ำมากๆ เช่น ตั้งที่ 5 องศาเซลเซียส จะทำให้การลดลงของอุณหภูมิเร็วขึ้นแต่เมื่อถึงค่าอุณหภูมิอ้างอิงแล้วระบบจะเกิดค่าอันเดอร์ชู้ต (Undershoot) อุณหภูมิลดต่ำกว่าค่าอ้างอิง เนื่องจากความเย็นที่สะสมในตัวกล่องถ่ายโอนความร้อนที่มีอยู่และค่าความเย็นที่จ่ายให้ระบบมีค่าต่ำกว่าการสูญเสียของระบบ โดยขั้นตอนการปรับเพิ่มอุณหภูมิที่ตัวเครื่องทำความเย็น เมื่อค่าอุณหภูมิในตัวกล่องการวัดเท่ากับค่าอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

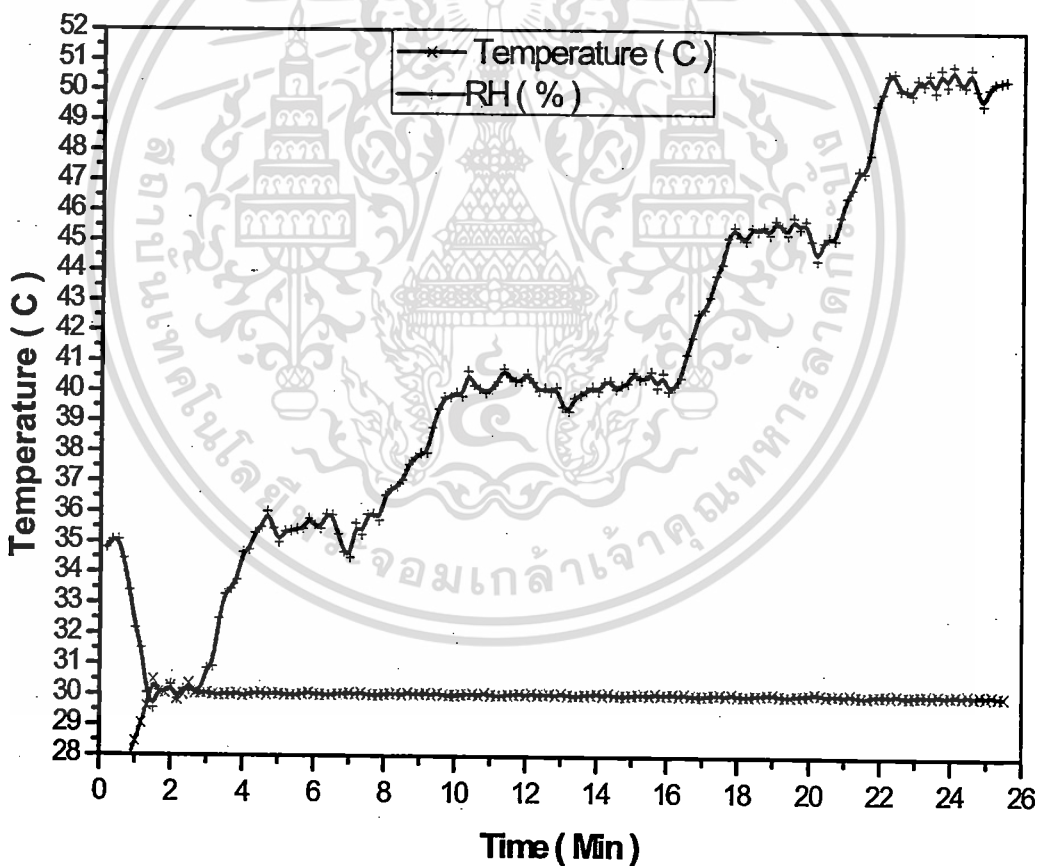
อ้างอิงจะทำปรับอุณหภูมิที่ตัวเครื่องทำความเย็นเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 องศาเซลเซียส จากการทดลองจะปรับค่าอุณหภูมิที่เครื่องทำความเย็นไว้เท่ากับ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเป็นช่วงอุณหภูมิที่จะทำให้ระบบมีอุณหภูมิคงที่มากที่สุดที่จะทำการทดสอบวัฏจักรการบินของหัวอ่านเขียนได้ ซึ่งในการทดลองค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วจะน้อยกว่า 1 องศาเซลเซียส โดยในการทดลองที่ค่าอุณหภูมิที่ค่าลงมาได้แก่ 20 ,15 และ 11 องศาเซลเซียส จะทำการปรับค่าอุณหภูมิที่ตัวเครื่องทำความเย็นในขณะที่อุณหภูมิยังไม่ถึงอุณหภูมิอ้างอิง โดยให้มีค่าต่ำกว่าค่าอุณหภูมิอ้างอิงที่ 12 , 5 และ 0.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่ออุณหภูมิที่ตัวเครื่องวัฏจักรการบินเท่ากับค่าอ้างอิงแล้ว จะทำการปรับเพิ่มค่าอุณหภูมิที่ตัวเครื่องทำความเย็นเพื่อเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยระบบให้อยู่ในสภาวะสมดุล ขณะทำการวัฏจักรการบิน ซึ่งจะปรับขึ้นครั้งละ 1 องศาเซลเซียส โดยเว้นระยะเวลาต่อครั้ง 30 วินาที ต่อรอบการปรับที่ทุกค่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม ซึ่งการปรับเพิ่มของค่าอุณหภูมิที่เครื่องทำความเย็นหากปรับไปที่ค่าอุณหภูมิสำหรับการเฉลี่ยระบบเมื่อสภาวะสมดุลต่อครั้งละมากกว่า 1 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดการแกว่งหรือกระเพื่อมของอุณหภูมิที่วัดได้ในกล่องการวัด ซึ่งในระบบที่ทดลองจะมีค่าอุณหภูมิสำหรับเฉลี่ยระบบเมื่อระบบอยู่ในสภาวะสมดุลดังนี้ คือ 15 , 8 และ 3 องศาเซลเซียส สำหรับอุณหภูมิควบคุมที่ 20 , 15 และ 11 องศาเซลเซียส ตามลำดับซึ่งจากการผลการทดลองทุกช่วงอุณหภูมิแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิที่เครื่องทำความเย็นกับค่าอุณหภูมิอ้างอิงที่ต้องการควบคุม ในกล่องการวัดนั้นจะต้องมีค่าอุณหภูมิที่ตัวเครื่องทำความเย็นวัดได้น้อยกว่าค่าอุณหภูมิอ้างอิงในช่วง 7-11 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับค่าความต่างของอุณหภูมิอ้างอิงกับอุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมภายนอก ซึ่งถ้ามีค่าอุณหภูมิแตกต่างกันมากก็ย่อหมายถึงการถ่ายโอนความร้อนในระบบกับสภาวะแวดล้อมภายนอกก็จะเร็วขึ้นด้วย จึงจำเป็นต้องตั้งค่าอุณหภูมิที่ตัวเครื่องทำความเย็นน้อยลงชดเชยค่าการสูญเสียเนื่องจากการถ่ายโอนความร้อนที่เร็วขึ้น โดยระบบที่ทำการติดตั้งสามารถลดอุณหภูมิของระบบได้ ตั้งแต่อุณหภูมิห้อง คือ 25 องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมิต่ำสุดที่ 11 องศาเซลเซียส จากการทดลองจะพบว่าระบบจะมีความสามารถลดอุณหภูมิได้ช้าลง เมื่อมีการเปิดระบบความเย็นนานกว่า 50 นาที ซึ่งเป็นผลมาจากความชื้นที่สะสมในตัวฟิลเตอร์ ทำให้ความสามารถในการไหลวนอากาศลดลง

4.7 การทดลองและผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

ในการทดลองนี้จะเป็นการทำงานของระบบควบคุมความชื้นของระบบ เพื่อทดสอบความสามารถของระบบในการสร้างและควบคุมความชื้น โดยประกอบด้วยชุดสร้างความชื้นและชุดลดความชื้น โดยจะทำการทดลองที่ความเร็วรอบของมอเตอร์สปินเดิล ที่ 5400 รอบต่อนาที โดยในการทดลองจะทำการปรับอุณหภูมิไปยังอุณหภูมิที่ต้องการก่อน เมื่ออุณหภูมิเริ่มเข้าสู่ค่าอ้างอิงแล้วทำการเปิดระบบทำความชื้น โดยทำการปรับลมที่จะทำการเป่าความชื้นจากเครื่องทำความชื้นเข้ามาในระบบไว้ที่แรงดันลมที่ 4 KPa ซึ่งจะมีพัดลมในตัวฟิลเตอร์ 2 (HEPA Filter 2) เป่าผ่านฟิลเตอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อกรองฝุ่นละอองที่อาจจะมีกับไอหมอกและเพื่อให้ความชื้นที่อยู่ในรูปของไอหมอกหลังจากผ่านฟิลเตอร์แล้วไอน้ำที่ผ่านมาจะอยู่ในรูปแบบของความชื้นในอากาศ ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับหัวอ่านเขียนในขณะที่ทำการทดสอบระดับการบิน

ในการทดลองนี้ ผู้วิจัยจะนำเสนอการควบคุมความชื้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยขั้นแรกจะทำควบคุมอุณหภูมิในกล่องการวัดอยู่สภาวะสมดุลก่อน ซึ่งขณะที่อุณหภูมิยังไม่คงที่จะยังไม่เปิดการทำงานของเครื่องทำความชื้น เมื่ออุณหภูมิอยู่ในสภาวะสมดุลแล้ว จะทำการตั้งค่าความชื้นอ้างอิงไปที่ 35 %, 40 %, 45 % และ 50 % โดยปรับแรงดันลมที่เป่าเข้าไปในเครื่องทำความชื้นที่ 4 KPa โดยพัดลมที่ทำหน้าที่ดูดอากาศภายในกล่องไปยังกล่องการวัดจะเปิดการทำงานตลอดเวลา โดยในส่วนของการทำงานของเครื่องวัดระยะการบินจะเปิดการทำงานมอเตอร์สปินเดิลที่ 5400 รอบต่อนาที ตัวเซนโซลด์หัวอ่านเขียนอยู่ในตำแหน่งการทดสอบ โดยผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.27 และขีดความสามารถของระบบที่สามารถควบคุมความชื้น แสดงได้ดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงการควบคุมความชื้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดและค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดในช่วงอุณหภูมิ 11 ถึง 60 องศาเซลเซียส ที่ระบบควบคุมความชื้นทำได้

Temperature (C)	RH_Main chamber (%)	RH_min (%)	RH_max (%)
11	76	63	76
15	65	55	65
20	63	52	63
25	42.5	30	60
30	70	22	50
35	67	18	46
40	65	16	45
45	60	15	45
50	53	12	38
55	50	10	35
60	50	10	33

4.8 วิเคราะห์ผลการทดลอง

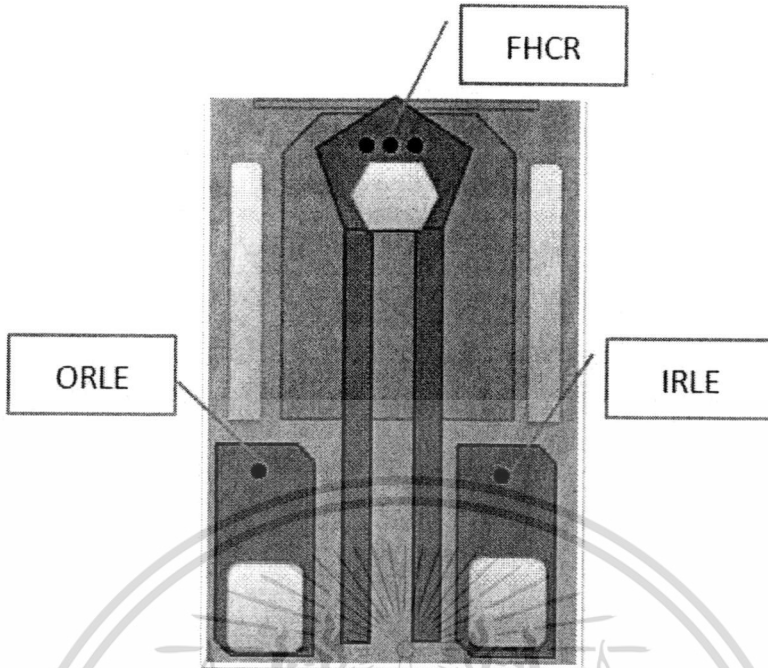
จากผลการทดลองในรูปแบบที่ 4.27 หลังจากเปิดการทำงานของระบบทำความชื้นจะมีช่วงเวลาหนึ่งอยู่ที่ประมาณ 1.30 นาที และมีช่วงเวลาขาขึ้นของความชื้นที่ 1.20 นาที ระบบจะทำความชื้นถึงค่าอ้างอิง โดยระบบจะมีค่าการเกิดโอเวอร์ชูตของความชื้น ที่ 1.3 % และมีค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ อยู่ที่ +/- 1.2 % ผลการทดลองที่ค่าความชื้น 40 % โดยเพิ่มความชื้นจาก 35 % ไปที่ความชื้น 40 % ระบบจะมีโอเวอร์ชูต ประมาณ 0.8 % โดยมีความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ และจะมีค่าความชื้นภายในกล่องการวัดน้อยกว่าค่าความชื้นในกล่องหลัก ค่าความชื้นที่มีในกล่องการวัดจะลดลง เนื่องจากความร้อนในตัวกล่องการวัดในขณะที่ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในสภาวะสมดุล ซึ่งจะ ทำให้ที่ตัวกล่องการวัดเองจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศในกล่องหลัก จึงทำให้ตัวกล่องทำตัวเสมือนกำแพงความร้อนกั้นความชื้นจากภายนอกไว้ ประกอบกับแรงลมจากการหมุนของแผ่นดิสก์แก้วทำให้ค่าความชื้นมีค่าความเสถียรน้อยกว่าค่าความชื้นในกล่องหลัก ดังนั้นชุดพัดลมที่ทำหน้าที่ดูดอากาศจากกล่องหลักเข้าไปในกล่องการวัดจะช่วยชดเชยการสูญเสียเนื่องจากความร้อนในตัวกล่องการวัดได้ จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 แสดงความสามารถของระบบที่ควบคุมความชื้นที่ค่าอุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งค่าความชื้นต่ำสุดที่ทำได้คือ 10 % ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยค่าความชื้นสูงสุดที่ทำได้คือที่อุณหภูมิ 11 องศาเซลเซียส คือ 76 % โดยในค่าอุณหภูมินี้มีความชื้นเกิดขึ้นในระบบสูงมาก ค่าความชื้นในกล่องหลักและกล่องการวัดจะเท่ากันเนื่องจากเป็นความชื้นที่

ตัวเครื่องวัดเองไม่มีความร้อนที่ตัวเครื่องทำให้ได้ค่าความชื้นที่มีการแกว่งตัวน้อยกว่า ในช่วงอุณหภูมิที่ต้องมีการทำความร้อน เนื่องจากค่าความชื้นจะเป็นตัวแปรตามของค่าอุณหภูมิ ซึ่งจากการทดลองหลายครั้งพบว่า หากระบบสามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติของอุณหภูมิได้ ก็จะสามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติของความชื้นให้ดีขึ้นได้ระดับหนึ่ง แต่ในขั้นตอนของการลดค่าความชื้นของช่วงอุณหภูมิที่ต้องทำความเย็นป้อนให้ระบบนั้น จะสามารถลดความชื้นได้น้อย คือประมาณ 10 -14 % จากค่าความชื้นสูงสุดที่ช่วงอุณหภูมินั้นทำได้ เนื่องจากปริมาณความชื้นที่มีกับขีดความสามารถในการลดความชื้นของระบบมีน้อย แต่ปริมาณของตัวกล่องหลักและกล่องถ่ายโอนความร้อนมีขนาดใหญ่ เมื่อเทียบกับความสามารถของชุดลดความชื้น จึงทำให้ระบบสามารถลดความชื้นขณะทำความเย็นได้น้อย และมีข้อจำกัดด้านการเปิดใช้งานระบบ คือ เมื่อใช้งานระบบทำความชื้นนานกว่า 30-40 นาที จะทำให้ระบบสามารถทำความชื้นเข้ามาในกล่องหลักได้น้อยลง เนื่องจากความชื้นในตัวฟิลเตอร์ที่สะสมจะทำให้อากาศที่ไหลผ่านได้น้อยลง

4.9 การทดลองทดสอบวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียน

ในการทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อทดสอบการทำงานของระบบควบคุมที่ติดตั้งเข้าไปในตัวเครื่องวัดระดับการบินของหัวอ่านและศึกษาผลตอบสนองของหัวอ่านเขียนที่สภาวะอุณหภูมิแล้วความชื้นที่เปลี่ยนไป โดยการทดลองจะทำการทดลองด้วย หัวอ่านเขียนที่มีการผลิตจำหน่ายในปัจจุบัน โดยมีชื่อรุ่นในสายการผลิต เรียกว่า dPemto ซึ่งจะมีขนาดของหัวอ่านเขียนที่ความกว้าง 1240 μm ยาว 800 μm และหนา 250 μm โดยหัวอ่านที่นำมาทดลองจะทำการทดสอบที่ความเร็วรอบของมอเตอร์สปินเดิล 5400 รอบต่อนาที โดยในหนึ่งรอบการวัดในแต่ละช่วงอุณหภูมิและความชื้น จะทำการวัดระดับการบินทั้ง 3 ตำแหน่งบนตัวหัวอ่านเขียนได้แก่ FHCR, IRLE, ORLE โดยหัวอ่านแต่ละตัวจะทำการวัดซ้ำ 3 ครั้งต่อตัว แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยของการวัดทั้ง 3 ครั้ง โดยมีการวัดตำแหน่งต่างๆบนหัวอ่านตามรูปที่ 4.28 ดังนี้

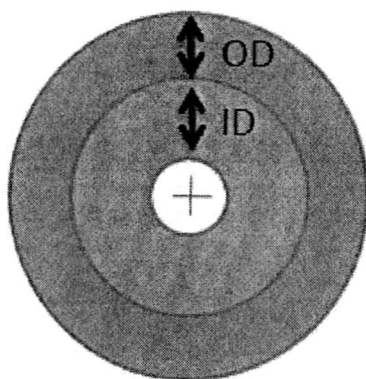
- 1 . FHCR (Flying Height center rail)
2. IRLE (Inner Rail leading edge)
3. ORLE (Outer Rail leading edge)



รูปที่ 4.28 แสดงตำแหน่งการวัดระดับการบิบนบนหัวอ่านเขียน

จากรูปที่ 4.28 แสดงตำแหน่งการวัดบนหัวอ่านเขียนในการทดลองได้แก่ FHCR จะเป็นค่าที่ได้จากเฉลี่ยค่าจากวัด 3 ตำแหน่งในบริเวณใกล้เคียงกับหัวอ่านเขียน และค่า IRLE จะเป็นค่าตำแหน่งการวัดในบริเวณที่เรียกว่า Inner rail leading edge ของหัวอ่านเขียน เป็นด้านที่ ติดกับแกนของมอเตอร์สปีนเคิล และค่า OREL หรือที่เรียกว่า Outer rail leading edge

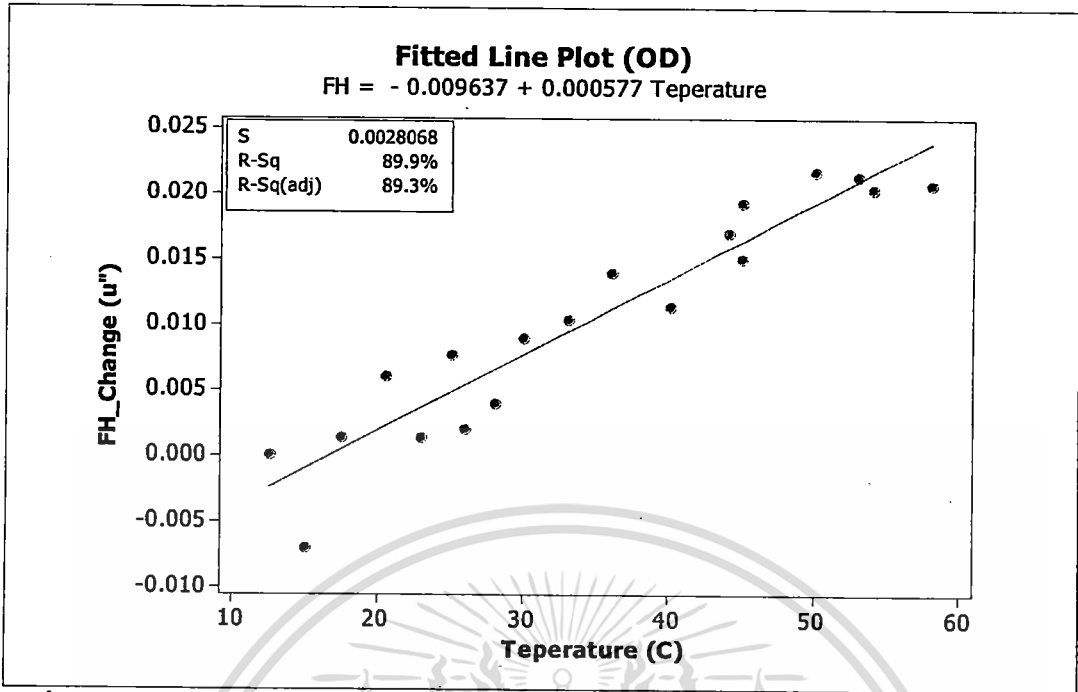
การทดลองที่ 1 จะเป็นการทดลองวัดการบิบนของหัวอ่านเขียนเพื่อหาผลตอบสนองต่อการบิบนของหัวอ่านเขียน โดยการควบคุมอุณหภูมิ ขณะทำการวัดและทำการทดสอบระดับการบิบนของหัวอ่านเขียนที่ความเร็วมอเตอร์ 5400 รอบต่อนาที โดยควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่ 12- 58 องศาเซลเซียส จากทดลองเรื่องการควบคุมความชื้นทำให้ทราบว่าค่าความชื้นจะเป็นตัวแปรตามค่าความร้อน ซึ่งในการทดลองจะจำลองการใช้งานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในห้องทำงานทั่วไปที่ค่าอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในขณะที่ใช้งานจะเพิ่มขึ้นและเป็นตัวกำหนดค่าความชื้นของอากาศข้างในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ดังนั้นในการทดลองนี้จะควบคุมเฉพาะอุณหภูมิ โดยการควบคุมอุณหภูมิที่ค่าต่าง ๆ เพื่อหาผลตอบสนองระดับการบิบนของหัวอ่านเขียน โดยการทดสอบแบ่งเป็น 2 ช่วงรัศมีของดิสก์แก้ว คือ ID (Inner radius) และ OD (Outer radius) ดังแสดงดังรูปที่ 4.29



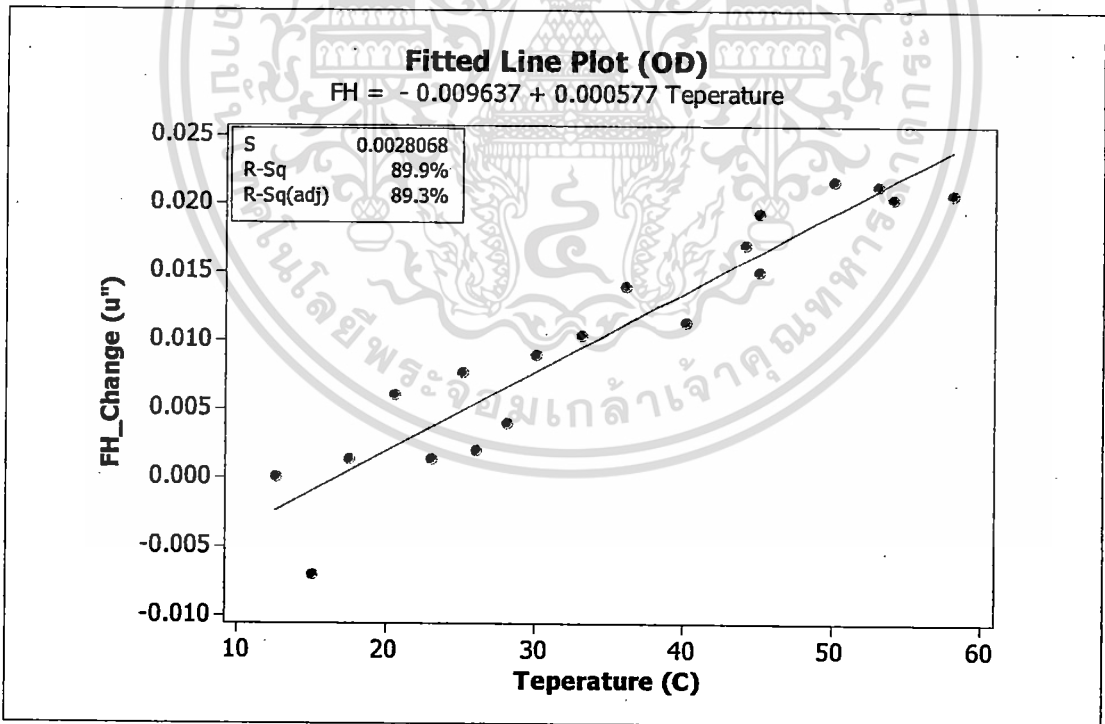
รูปที่ 4.29 แสดงการแบ่งช่วงรัศมีบนแผ่นดิสก์แก้ว

4.9.1 การทดลองผลตอบสนองระดับการบินของหัวอ่านเขียนต่ออุณหภูมิ

ขั้นตอนการทดลองเริ่มจากการตั้งค่าอุณหภูมิควบคุมที่ต้องการทดสอบการบินครั้งนี้ เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยในขั้นตอนนี้จะทำการตั้งค่าที่ตัวเครื่องวัดการบินอยู่ในตำแหน่งการวัดจริง แต่ยังไม่มีการหัวอ่านเขียนเข้าไปทดสอบ เมื่อค่าอุณหภูมิอยู่ในสภาวะสมดุลแล้วจึงนำหัวอ่านเขียนเข้าไปทดสอบ ในช่วงก่อนทำการวัดระดับการบินจะรอให้อุณหภูมิของหัวอ่านได้อยู่ในสภาวะสมดุลก่อน เนื่องจากในช่วงระหว่างการนำหัวอ่านเข้าไปยังตำแหน่งทดสอบ มอเตอร์สปินเดิลจะหยุดหมุน ทำให้อุณหภูมิที่อ่านได้ในตอนแรกของการเริ่มหมุนของมอเตอร์สปินเดิลไม่คงที่ โดยเมื่อค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ในสภาวะสมดุลแล้วจึงจะเริ่มทำการวัดระดับการบิน โดยระบบควบคุมของเครื่องวัดจะทำการนำหัวอ่านเขียนไปยังตำแหน่งรัศมีช่วง ID โดยใช้เวลาการวัดทั้ง 3 ตำแหน่งบนหัวอ่านเขียนเป็นเวลา 25 วินาที หลังจากนั้นระบบจะนำหัวอ่านเขียนไปยังช่วงรัศมี OD ใช้เวลาในการวัดประมาณ 20 วินาที โดยค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนของการทดลอง ที่ช่วงรัศมี ID และ OD แสดงดังรูปที่ 4.30 และรูปที่ 4.31 ตามลำดับ



รูปที่ 4.30 แสดงการเปลี่ยนแปลงผลตอบสนองค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนต่อสภาวะอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.31 แสดงการเปลี่ยนแปลงผลตอบสนองค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนต่อสภาวะอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

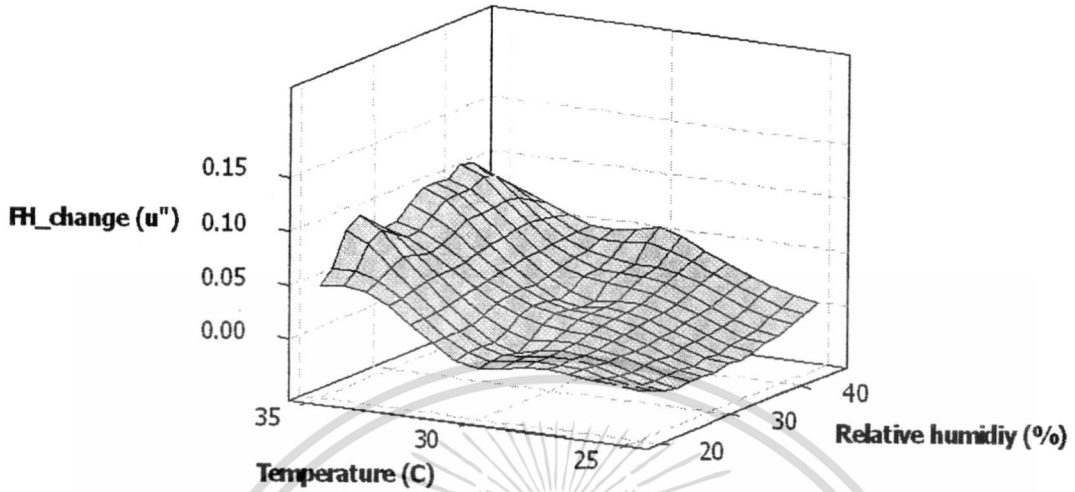
4.9.2 วิเคราะห์การทดลองผลตอบสนองระดับการบินของหัวอ่านเขียนต่ออุณหภูมิ

จากผลการทดลองผลตอบสนองระดับการบินของหัวอ่านเขียนต่อค่าอุณหภูมิช่วง 12 -58 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 4.30 และรูปที่ 4.31 แสดงกราฟผลตอบสนองระดับการบินของหัวอ่านเขียนต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนไป โดยแกน X เป็นแกนแสดงอุณหภูมิ ในหน่วยองศาเซลเซียส และแกน Y เป็นแกนแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงระดับการบินของหัวอ่านเขียน ในหน่วย ไมโครนิ้ว ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนจะมีแนวโน้มในการเพิ่มขึ้นของค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนแบบเชิงเส้น ที่ทั้ง 2 ช่วงรัศมีการทดสอบ โดยในช่วง ID จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าระดับการบินเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.029 ไมโครนิ้ว และในช่วง OD จะมีค่าระดับการบินที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 0.034 ไมโครนิ้ว

4.9.3 การทดลองวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียน โดยการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

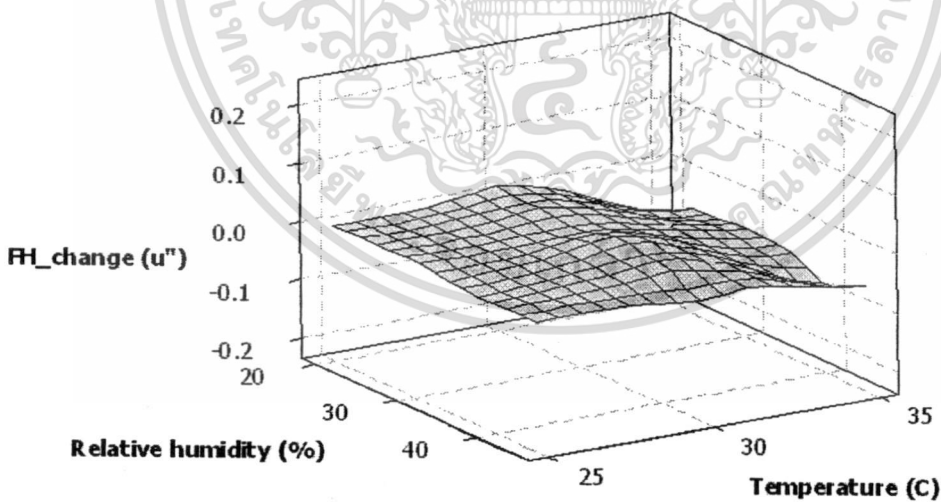
การทดลองที่ 2 จะเป็นการทดลองวัดการบินของหัวอ่านเขียนเพื่อหาผลตอบสนองการการบินของหัวอ่านเขียนต่ออุณหภูมิและความชื้น เนื่องจากข้อจำกัดของจำนวนหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์แก้วที่นำมาใช้ในการทดลอง ผู้วิจัยจะทำการทดลองที่ช่วงอุณหภูมิ 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส และช่วงค่าความชื้น 20 %, 25 %, 30 %, 35 %, 40 %, 45 % และ 50 % โดยทำการทดลองวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนที่ความเร็วรอบของสปีนเดิลมอเตอร์ที่ 5400 รอบต่อนาที ขั้นตอนการทดลองเริ่มจากการตั้งค่าอุณหภูมิควบคุมที่ต้องการทดสอบการบิน ดังนี้ คือเริ่ม 30 องศาเซลเซียส เมื่อค่าอุณหภูมิอยู่ในสถานะสมดุลแล้วทำการตั้งค่าความชื้นเริ่มจาก 20 % และทำการเพิ่มค่าความชื้นขึ้นครั้งละ 5 % จนถึงค่าความชื้นที่ 50 % ดังกล่าวมาข้างต้น โดยจะนำตัวหัวอ่านเข้าไปทดสอบที่ค่าความชื้นที่กล่าวมาข้างต้น โดยการวัดระดับการบินจะทำการวัดทั้งหมดทั้งหมด 3 ตำแหน่ง บนหัวอ่านเขียนดังนี้ คือ ตำแหน่ง FHCR ,IRLE และORLE และหัวอ่านเขียนแต่ละตัวจะทำการวัดซ้ำ 3 ครั้งเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งเมื่อครบทุกค่าความชื้นดังที่กล่าวมาแล้ว จะทำการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 30 และ 35 องศาเซลเซียสตามลำดับ ผลการทดลองวัดค่าระดับการบินในตำแหน่ง FHCR แสดงได้ดังรูปที่ 4.32 ผลการทดลองวัดค่าระดับการบินในตำแหน่ง IRLE แสดงได้ดังรูปที่ 4.33 และผลการทดลองวัดค่าระดับการบินในตำแหน่ง ORLE แสดงได้ดังรูปที่ 4.34

Delta FH of FHCR vs Temperature, Relative humidity



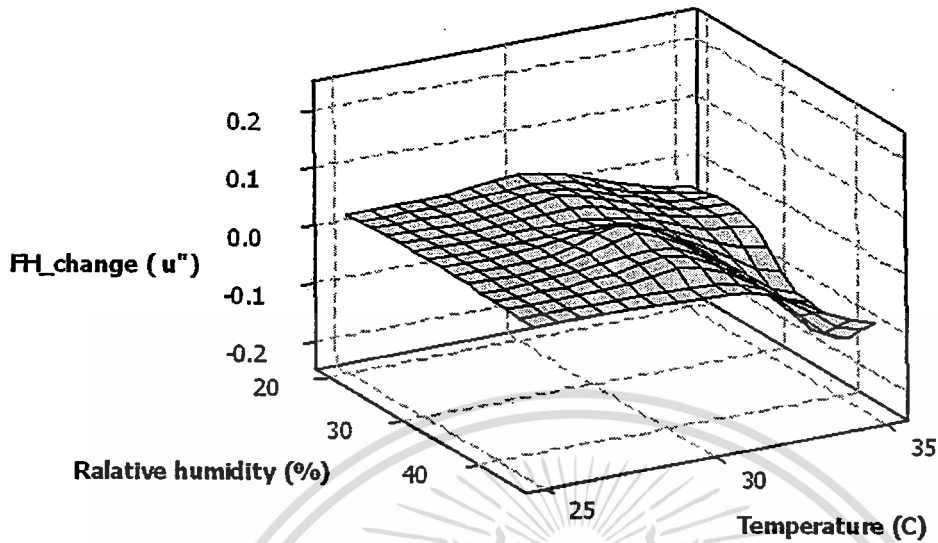
รูปที่ 4.32 แสดงการเปลี่ยนแปลงผลตอบสนองของค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนที่ตำแหน่ง FHCR ที่อุณหภูมิและความชื้นต่างๆ

Delta FH of IRLE vs Temperature, Relative humidity



รูปที่ 4.33 แสดงการเปลี่ยนแปลงผลตอบสนองของค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนที่ตำแหน่ง IRLE ที่อุณหภูมิและความชื้นต่างๆ

Delta FH of ORLE vs Temperature, Relative humidity



รูปที่ 4.34 แสดงการเปลี่ยนแปลงผลตอบสนองของค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนที่ตำแหน่ง ORLE ที่อุณหภูมิและความชื้นต่างๆ

4.9.4 วิเคราะห์ผลการทดลองระดับการบินของหัวอ่านเขียน โดยการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

จากการทดลองวัดการบินของหัวอ่านเขียนที่ค่าอุณหภูมิและความชื้น ในช่วง 25-35 องศาเซลเซียสและ ความชื้นที่ 20 % - 50 % จากผลการทดลองรูปที่ 4.32 เป็นค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนในตำแหน่ง FHCR จากกราฟการทดลอง แกน X เป็นแกนของอุณหภูมิมิมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส แกน Y เป็นแกนแสดงความชื้นสัมพัทธ์ ในรูปเปอร์เซ็นต์(%) และแกน Z แสดงค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนในหน่วยไมโครนิ้ว จากกราฟแสดงกำหนดให้ช่วงอุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่าเป็นค่าระดับการบินที่การใช้งานปกติ ค่าระดับการบินที่อุณหภูมิห้องนี้ เมื่อค่าความชื้นเพิ่มมากขึ้นการเปลี่ยนแปลงของระดับการบินของหัวอ่านเขียนจะเกิดเพียงเล็กน้อยประมาณ 0.012 ไมโครนิ้ว แต่เมื่อค่าอุณหภูมิมิมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 30 องศาเซลเซียส ค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนในตำแหน่ง FHCR จะเริ่มมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นโดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น 0.084 ไมโครนิ้ว เมื่อพิจารณาผลการทดลองจากรูปที่ 4.33 ซึ่งเป็นผลการวัดระดับการบินในตำแหน่ง IRLE ซึ่งค่าระดับการบินในช่วงอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่ค่าความชื้น 20 %-50 % จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนในตำแหน่ง IRLE แต่เมื่อค่าอุณหภูมิมิเพิ่มขึ้นมากกว่า 30 องศาเซลเซียส ค่าระดับการบินจะมีแนวโน้มลดลง โดยจะมีค่าระดับการบินลดลงไปประมาณ 0.076 ไมโครนิ้ว จากค่าระดับการบินที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาผลทดลองรูปที่ 4.34 ซึ่งเป็นผลการวัดในตำแหน่ง ORLE ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะมีผลของระดับการบิที่เปลี่ยนแปลงต่อค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นมากกว่า 30 องศาเซลเซียส ค่าระดับการบิของหัวอ่านเขียนจะมีแนวโน้มลดลง และเมื่อที่ค่าความชื้นสูงขึ้นในช่วง 40 %-50 % ค่าระดับการบิเฉลี่ยจะลดลงไป 0.101 ไมโครนิว เมื่อกับค่าระดับการบิที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ดังนั้นจากผลการทดลองสามารถนำไปวิเคราะห์หาผลตอบสนองการบิร่วมกับส่วนการวัดส่วนอื่น เช่น ค่าคุณสมบัติของปีกนก ค่าการกำหนดขนาดความหนาของแต่ละส่วนบนหัวอ่านเขียน มุมของหัวอ่านที่ติดตั้งบนปีกนก (Suspension) เป็นต้น และค่าส่วนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อศึกษา วิเคราะห์และปรับปรุงผลตอบสนองการบิของหัวอ่านเขียนต่อไป



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยหัวข้อ การพัฒนาระบบการวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนภายใต้สภาวะทาง อุณหภูมิและความชื้นที่ควบคุมได้ เป็นการศึกษา และวิจัยระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น เพื่อ ติดตั้งบนเครื่องวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนและศึกษาผลการตอบสนองของระดับการบินของ หัวอ่านเขียนในสายการผลิตในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ที่สภาวะอุณหภูมิและความชื้นที่ เปลี่ยนแปลง โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาวิจัยและทบทวนวรรณกรรมและบทความที่เกี่ยวข้อง รวมถึงขอบเขต ข้อจำกัดของระบบที่นำไปติดตั้งบนเครื่องวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียน โดยใน งานวิจัยนี้ จะทำการออกแบบ สร้างและติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นบนเครื่องวัดระดับการ บินรุ่น DFHT 6 ซึ่งเป็นระบบการวัดด้วยเทคนิคทางแสง ที่เรียกว่า อินเตอร์เฟียร์โรมิเตอร์ และเพื่อ นำระบบควบคุมดังกล่าวที่ติดตั้งไปทดสอบวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนในสายการผลิต ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

โดยในงานวิจัยที่นำเสนอมาก่อนหน้ายังไม่มียระบบการวัดระดับการบินด้วยเทคนิคทาง แสงที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ จะเป็นเพียงการวัดระดับการบินที่สภาวะแวดล้อม อุณหภูมิห้อง คือ 25 องศาเซลเซียสเท่านั้น ในงานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการวัดระดับการบินของ หัวอ่านเขียนแบบใหม่ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ โดยผู้วิจัยแบ่งขั้นตอนการวิจัย ได้ดังนี้

เริ่มจากขั้นตอนการศึกษาวิจัยออกแบบและสร้างระบบที่ออกแบบบนขอบเขต และ ข้อจำกัดในการติดตั้งบนตัวเครื่องระดับการบินและข้อกำหนดในการนำไปใช้งานในห้องสะอาด (Clean room) และข้อกำหนดในอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เช่น การเกิดฝุ่นละออง การ เกิดไฟฟ้าสถิต รวมถึงการใช้งานและการซ่อมบำรุง ขั้นตอนที่ 2 คือ ขั้นตอนการทดสอบและ ปรับปรุงระบบ ขั้นตอนที่ 3 คือ ขั้นตอนการทดสอบวัดระดับการบินของหัวอ่านด้วยระบบควบคุม ที่ออกแบบและติดตั้งบนเครื่องวัดระดับการบิน

5.1.1 การศึกษาขอบเขตของระบบและการออกแบบ

ในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาข้อจำกัดในการออกแบบระบบควบคุมที่จะทำการออกแบบ และสร้าง โดยแบ่งข้อจำกัดในส่วนของพื้นที่การติดตั้งบนตัวเครื่องวัดระดับการบินและส่วนการ เคลื่อนที่ขณะทำงานของตัวเครื่อง และส่วนของข้อจำกัดในด้านการนำไปใช้งาน การซ่อมบำรุง ซึ่ง ในการออกแบบจะแบ่งระบบออกเป็น 4 ระบบหลัก ได้แก่ 1.ระบบทำความร้อน 2.ระบบทำความ

เย็น 3. ระบบทำความชื้น และ 4. ระบบลดความชื้น ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงระบบโครงสร้างหลักหรือกล่องหลัก ทำหน้าที่ครอบส่วนของตัวเครื่องทั้งหมดเพื่อทำให้ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเป็นระบบปิด โดยตัวโครงสร้างทำจากท่อนอลูมิเนียมประกอบเป็นโครงของตัวกล่องหลัก และตัวผนังกล่องทำจากสแตนเลสบุด้วยฉนวนกันความร้อนเพื่อลดการถ่ายโอนความร้อนภายในระบบกับสภาวะแวดล้อมภายนอกและป้องกันการกลั่นตัวของความชื้นในระบบ

5.1.1.1 ระบบทำความร้อน

ระบบทำความร้อน ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้ตัวทำความร้อนแบบ พีทีซี (Positive thermal coefficient) ด้วยเหตุผลหลักเรื่องฝุ่นละออง ซึ่งตัวทำความร้อนแบบพีทีซีจะไม่เกิดฝุ่นละอองที่ตัวทำความร้อน และขนาดและรูปร่างที่สามารถติดตั้งบนตัวกล่องการวัดที่วัดที่ทำการออกแบบ โดยคุณสมบัติของตัวทำความร้อนแบบ พีทีซี จะมีค่าความต้านทานเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะช่วยให้อายุการใช้งานให้นานขึ้นด้วย โดยตัวกล่องการวัดที่ออกเพื่อติดตั้งตัวทำความร้อน จะทำจากอลูมิเนียมซึ่งเป็นวัสดุชนิดเดียวกับตัวทำความร้อน ซึ่งสามารถนำความร้อนได้ดีโดยมีสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนที่เท่ากัน โดยตัวกล่องการวัดจะทำการชุปอโนไดซ์สีดำ ด้วยเหตุผลหลัก คือการลดการสะท้อนของแสงเลเซอร์ที่ใช้ในการวัดระดับการบิน ซึ่งหากมีการสะท้อนของแสงเลเซอร์ที่ตัวผิวกล่องการวัดก็จะให้ชั้นคอนการเทียบวัดหรือขณะวัดระดับการบินเกิดความผิดพลาดของค่าระดับการบินที่วัดได้ และการชุปอโนไดซ์ยังช่วยป้องกันการกัดกร่อนเมื่ออุณหภูมิขึ้นในอากาศ ช่วยป้องกันการเกิดฝุ่นละอองจากออกไซด์ที่จะเกิดในผิวกล่อง ตัวกล่องการวัดจะพับขึ้นเป็นกล่องลักษณะกึ่งปิดเนื่องยังมีส่วนเคลื่อนที่ของเครื่องวัดในการนำตัวหัวอ่านเขียนเข้าไปทดสอบจึงไม่สามารถทำเป็นกล่องปิดได้ ในส่วนของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิจะใช้ แบบ PT100 แบบ 3 สาย ต่อเข้ากับชุดควบคุมแบบ พีไอดี ซึ่งให้เอาต์พุตเพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าผ่านโซลิตสเตรท ซึ่งควบคุมกำลังไฟฟ้าแบบควบคุมเฟส ซึ่งจะทำให้สามารถกำหนดกำลังไฟฟ้าของเอาต์พุตได้ โดยอุณหภูมิที่ระบบสามารถทำได้คือ ตั้งแต่ค่าอุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส และสูงสุดที่ 60 องศาเซลเซียส ในส่วนของการปรับตัวควบคุมแบบพีไอดี ผู้วิจัยจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

5.1.1.2 ระบบทำความเย็น

ระบบทำความเย็นในงานวิจัยนี้ ใช้เครื่องทำความเย็นเป็นตัวลดอุณหภูมิของระบบ โดยมีโครงสร้าง ในการแลกเปลี่ยนความร้อนในระบบ ซึ่งตัวเครื่องทำความเย็นจะต่อผ่านท่อความเย็นผ่านชุดคอยล์เย็น 2 ชุดที่ติดตั้งในกล่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchange chamber) ซึ่งทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนในกล่องหลัก โดยมีพัดลม 2 ชุด ในการพาความเย็นกลับเข้าไปในกล่องหลัก โดยผ่านชุดฟิวเตอร์ (HEPA Filter) เพื่อกรองฝุ่นละอองในระบบที่อาจมีการฟุ้งกระจายในขณะที่ชุดพัดลมทำงาน โดยในการลดอุณหภูมิระบบสามารถลดอุณหภูมิต่ำสุดที่ 11 องศาเซลเซียส โดยในขั้นตอนการลดอุณหภูมิของระบบ จะต้องปรับค่าความเย็นที่ตัวเครื่องทำความเย็นต่ำกว่าค่าอุณหภูมิอ้างอิง ในช่วง 7-10 องศาเซลเซียส เนื่องการลดอุณหภูมิจะการเป็นลดอุณหภูมิทั้งหมดของ

พื้นที่โครงสร้างบนตัวเครื่องจึงทำให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขณะทำการลดอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงที่ช้าและระบบมีความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ้น้อยกว่าระบบทำความร้อน

5.1.1.3 ระบบทำความชื้น

ระบบทำความชื้นมีตัวอุปกรณ์ในการกำเนิดความชื้นด้วยระบบอัลตราโซนิก โดยในการออกแบบได้ทำการปรับปรุงในส่วนของการนำความชื้นไปยังกล่องหลัก ซึ่งเดิมตัวเครื่องจะใช้พัดลมดูดอากาศจากสถานะแวดล้อมภายนอก ในงานวิจัยจะใช้ลมสะอาด(CDA) ในการพาความชื้น ไปยังกล่องการวัด ซึ่งความชื้นที่ออกจากเครื่องทำความชื้นจะยังอยู่ในรูปของไอหมอก หากเข้าไปในระบบจะทำให้เกิดความเสียหายกับหัวอ่านเขียน และแผ่นดิสก์ได้ จึงจำเป็นต้องทำให้ไออยู่ในรูปของความชื้นในอากาศ ซึ่งในที่นี้จะเป่าผ่านตัวฟิลเตอร์(HEPA Filter) ซึ่งตัวฟิลเตอร์ จะทำหน้าที่กรองฝุ่นละอองที่อาจจะเกิดขึ้นในตัวเครื่องทำความชื้นและอากาศที่ผ่านตัวฟิลเตอร์จะให้ความชื้นในอากาศที่มีขนาดเล็กมากพอที่จะไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับหัวอ่านเขียนและแผ่นดิสก์ ขณะทำการทดสอบระดับการบิน การใช้งานระบบควบคุมความชื้น สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งคือ อุณหภูมิของระบบจะต้องอยู่ในสถานะสมดุล เพราะค่าอุณหภูมิที่มีการแกว่งตัวจะมีผลต่อค่าความชื้นที่ต้องการควบคุม เพราะความชื้นจะเป็นเสมือนตัวแปรตามของค่าความร้อน ดังนั้นการควบคุมความชื้นจะต้องรักษาค่าความร้อนให้คงที่ก่อนเสมอ และจากการทดลองที่ผ่านมามีค่าความชื้นสูงสุดในแต่ละค่าอุณหภูมิจะมีค่าความชื้นสูงสุดลดลงเมื่อค่าอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น ซึ่งถือเป็นขีดจำกัดของระบบ

5.1.1.4 ระบบลดความชื้น

ระบบลดความชื้นมีอุปกรณ์หลักในการดูดความชื้นคือ สารดูดความชื้น (Desiccator) โดยบรรจุอยู่ในชุดกรอง โดยมีปัมมทำหน้าที่ดูดอากาศภายในกล่องหลักผ่านชุดกรองเพื่อลดความชื้นในระบบ แล้วส่งกลับเข้าไปยังกล่องการวัดอีกครั้ง โดยการลดค่าความชื้นที่มีค่า ความชื้นมากกว่า 45 % จะทำการเปิดลมสะอาด (CDA) เข้าไปในกล่องการวัดเพื่อช่วยลดระดับความชื้นที่สูงให้ลดลงได้เร็วขึ้น โดยจะปรับแรงดันลมไว้ที่ 30 KPa โดยในช่วงทำความเย็นซึ่งจะมีค่าความชื้นที่สูงเกินกว่า 65 % ระบบลดความชื้นจะสามารถลดความจากค่าความชื้นขณะนั้นลงมาประมาณ 10 %-15 % ของค่าความชื้นที่มีอยู่ในระบบ

5.1.2 การทดสอบและการปรับค่า พีไอดี

หลังจากที่ทำการออกแบบและสร้างระบบเสร็จแล้วเรียบร้อยแล้ว ในขั้นตอนต่อไปคือขั้นตอนการทดสอบระบบควบคุมและปรับค่าควบคุมต่างๆ ให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ระบบควบคุมที่มีความถูกต้องและมีความเสถียรมากที่สุด โดยในการทดสอบระบบจะแบ่งการทดสอบระบบ พีไอดี ที่ทำหน้าที่ควบคุมระบบทำความร้อน ดังนี้คือ การหาผลตอบสนองของพารามิเตอร์ หลัก คือ K_p , K_i และ K_d ที่มีต่อระบบควบคุมความชื้นในเครื่องวัดระดับการบิน โดยมีการทำงานเหมือนขั้นตอน

การวัดระดับการบิดของหัวอ่านเขียน โดยตั้งค่าความเร็วของ สปีนเดิลมอเตอร์ที่ความเร็วรอบ 5400 รอบต่อนาที และทำการทดลองที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ว่าผลของค่า K_p ต่อระบบควบคุมเมื่อค่า K_p เพิ่มขึ้นจะทำให้ระบบเกิดการโอเวอร์ชูต (Overshoot) เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล (Steady state) ช้าลงด้วย แต่ที่ค่า K_p มากขึ้นก็ให้ผลของค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสถิต (Steady state error) ลดลงด้วย แต่หากเพิ่มมากขึ้นเกินไปก็ทำให้ระบบเกิดการแกว่งได้ ในส่วนของช่วงเวลาขาขึ้น (Rise time) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของตัวทำความร้อนแบบ พีซีที เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้อุณหภูมิขาขึ้นของระบบมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย พารามิเตอร์ต่อมาที่ทำการศึกษาทดลองผลที่มีต่อระบบควบคุม คือ K_i จากการทดลองเพิ่มค่า K_i จะทำให้ระบบมีค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสถิตของระบบลดลง แต่ก็มีผลให้ระบบเกิด โอเวอร์ชูต ได้ ส่วนค่าผลต่อค่าเวลาขาขึ้นและเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน และสุดท้ายเป็นการทดลองหาผลตอบสนองของค่า K_d ที่มีต่อระบบควบคุมอุณหภูมิที่ติดตั้งบนเครื่องวัดระดับการบิด โดยผลในการทดลองเพิ่มค่า K_d พบว่าเมื่อค่า K_d เพิ่มขึ้นจะทำให้ระบบมีค่าโอเวอร์ชูตลดลง แต่ก็ส่งผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสถิตของระบบเพิ่มขึ้น เกิดการแกว่งของสัญญาณเอาต์พุตได้ หากมีค่ามากเกินไป

อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองหาผลตอบสนองของพารามิเตอร์ K_p , K_i และ K_d ต่อระบบควบคุมอุณหภูมิที่ติดตั้งบนเครื่องวัดระดับการบิดของหัวอ่านเขียน แสดงให้เห็นว่าทั้ง 3 พารามิเตอร์มีผลซึ่งกันและกัน ซึ่งผลจากการทดลองอาจจะมีผลของการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมที่ไม่คงที่ด้วย ดังนั้นในการปรับค่าทั้ง 3 พารามิเตอร์จะต้องดูที่ผลตอบสนองขณะใช้งานจริง เช่นความเร็วรอบของมอเตอร์สปีนเดิลขณะทำงาน และการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการวัดความสามารถของระบบไว้อย่างไร เช่น การกำหนดค่าโอเวอร์ชูตสูงสุดที่ยอมรับได้ เพื่อให้ระบบมีค่าคลาดเคลื่อนเชิงสถิตที่ดีขึ้น

5.1.3 การทดลองปรับค่า พีไอดี ด้วยวิธี ซิกเลอร์ นิโคล

การทดลองปรับค่า พีไอดี ด้วยวิธีการของ ซิกเลอร์นิโคล เป็นอีกหนึ่งวิธีที่สามารถหาค่าพารามิเตอร์ K_p , K_i และ K_d ที่เหมาะสมหรือให้ค่าที่เริ่มต้นที่ง่ายต่อการปรับละเอียดให้กับระบบควบคุม โดยการทดลองจะทำการปรับค่า K_p และ K_d ให้มีค่าเท่ากับ 0 และตั้งการทำงานของเครื่องวัดระดับการบิดให้เหมือนขณะทำงานจริง โดยกำหนดความเร็วของมอเตอร์สปีนเดิลที่ 5400 รอบต่อนาที หลังจากนั้นทำการเพิ่มค่า K_p (K_u) จนกว่าระบบเกิดการแกว่งของสัญญาณเอาต์พุตแล้วทำการวัดคาบเวลา (T_u) ของสัญญาณเอาต์พุตที่เกิดการแกว่ง นำผลที่ได้ไปคำนวณหาค่า K_p , K_i และ K_d ใหม่ของระบบ และจากผลการทดลองที่ช่วงอุณหภูมิ 30 –60 องศาเซลเซียส พบว่าที่ช่วงอุณหภูมิ 30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส จากค่า K_p , K_i และ K_d ใหม่ที่ได้จากการปรับ

แบบซิกเลอร์นิโคล จะยังมีการเกิดโอเวอร์ชูตในระบบอยู่ และการทดลองที่ช่วงอุณหภูมิ 45, 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส จะพบว่าผลจากการทดลองระบบที่ค่า K_p , K_i และ K_d ใหม่ที่ได้จากการปรับแบบซิกเลอร์นิโคล จะให้ผลต่อนอนองไม่เกิดค่าโอเวอร์ชูต แต่ในช่วงอุณหภูมิ 45 และ 50 องศาเซลเซียส จะยังมีการแกว่งของสัญญาณเอาต์พุตอยู่ จะต้องทำการปรับละเอียดเพื่อลดผลค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ จากการเปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 2 ช่วง จะแสดงให้เห็นว่าคาบเวลาของสัญญาณเอาต์พุตในช่วงอุณหภูมิ 30, 35 และ 40 จะมีค่าคาบเวลามากกว่าช่วงอุณหภูมิ 45 50 55 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นผลมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิในกล่องหลักและกล่องการวัด ซึ่งส่งผลกระทบต่อเวลาในการลดอุณหภูมิทำให้คาบเวลาที่ได้มีความแตกต่างกันด้วยนอกเหนือจากผลจากค่า K_p , K_i และ K_d ที่มีต่อระบบ ดังนั้นโดยสรุปแล้วการปรับค่า K_p , K_i และ K_d ของระบบด้วยวิธี ซิกเลอร์นิโคล จะหาค่า K_p , K_i และ K_d สำหรับตอบผลตอบสนองที่เหมาะสมได้ ในช่วงอุณหภูมิ 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส ส่วนที่ช่วงอุณหภูมิ 30, 35, 40 และ 45 จะต้องมีการปรับละเอียดด้วยมืออีกครั้งเพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตามด้วยวิธีการปรับค่าควบคุมด้วยวิธีนี้ จะช่วยลดเวลาในการปรับค่า K_p , K_i และ K_d ที่เหมาะสมของระบบได้เร็วกว่าการทดลองปรับแบบหาผลแต่ละพารามิเตอร์หรือการปรับมือ

5.2 การทดสอบการวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียน

ในการทดลองวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนบนระบบความอุณหภูมิและความชื้นที่ติดตั้งบนเครื่องวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียน รุ่น DFHT 6 ดังที่ได้นำเสนอไปแล้วนั้น ผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

1. การทดลองวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่ควบคุมได้ โดยทำการทดลองที่ช่วงอุณหภูมิ 12–58 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองที่ความเร็วของมอเตอร์สปินเดิลที่ 5400 รอบต่อนาที ที่ตำแหน่งรัศมีช่วง ID (Inner radius) และช่วงรัศมี OD (Outer radius) โดยในการทดลองจะทำการควบคุมเฉพาะอุณหภูมิ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระดับการบินของหัวอ่านมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้น เมื่อค่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยค่าการเปลี่ยนแปลงค่าระดับการบินของทั้ง 2 ช่วงรัศมี มีการเปลี่ยนที่เพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้น เหมือนกัน

2. การทดลองวัดค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนที่สภาวะอุณหภูมิและความชื้นที่ควบคุมได้ ในการทดลองผู้วิจัยได้ทำการทดลอง ที่ช่วงอุณหภูมิ 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส แต่ละช่วงอุณหภูมิ จะทำการทดสอบที่ค่าความชื้น 30 %, 35 %, 40 %, 45 % และ 50 % ตามลำดับ จากผลการทดลองจะพบว่าค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนในตำแหน่ง FHCR จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าระดับการบินเฉลี่ยที่ 0.101 ไมโครนิว โดยในสภาวะอุณหภูมิห้องค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียนน้อยมาก แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นมากกว่า 30 องศาเซลเซียส ค่าระดับการบินจะมีค่าเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ช่วงค่าความชื้น และผลของค่าระดับการบิน

ของหัวอ่านในบริเวณด้านหน้าของหัวอ่านเขียนหรือที่เรียกว่า IRLE และ ORLE จะมีค่าระดับการบิที่ลดลงเมื่อค่าอุณหภูมิมีค่ามากกว่า 30 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระดับการบิของหัวอ่านเขียนเกิดค่าความเอียงแบบทั้งระนาบ คือ ที่ตำแหน่ง FHCR จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าระดับการบิที่เพิ่มขึ้นเมื่อ อุณหภูมิแล้วความชื้นเพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกันค่าระดับการบิใน ตำแหน่ง IRLE และ ORLE จะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเป็นผลของการปรับสมดุลของแรงดันอากาศและแรงจากปีกนกที่กระทำต่อหัวอ่านเขียน

ดังนั้น จากผลการทดลองทั้ง 2 การทดลอง ด้วยหัวอ่านเขียนในสายการผลิตที่นำมาทดลองแล้วจะให้ผลตอบสนองระดับการบิที่ตำแหน่ง FHCR ที่สูงขึ้นเมื่อค่าอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น ซึ่งให้ผลแตกต่างจากงานวิจัยที่ศึกษาและแตกต่างจากผลงานวิจัยของผู้วิจัย [23] [24] ที่ได้ทำการทดลองด้วยหัวอ่านเขียนที่มีการออกแบบที่แตกต่างกัน ซึ่งให้ผลตอบสนองของระดับการบิที่ลดลงเมื่อค่าอุณหภูมิและความชื้นเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองแสดงถึงผลการตอบสนองระดับการบิของหัวอ่านเขียนต่ออุณหภูมิและความชื้น จะแตกต่างกัน ไปขึ้นอยู่กับารออกแบบรูปร่างและขนาดของหัวอ่านเขียน ค่าคุณสมบัติของปีกนกที่แตกต่างกัน รวมถึงความเร็วรอบของมอเตอร์ในการทดสอบระดับการบิ และรวมถึงค่าคุณสมบัติอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึง ต่างมีผลต่อคุณลักษณะการตอบสนองการบิของหัวอ่านเขียนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้น

5.3 ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาการวิจัยในอนาคต

จากการศึกษาทดลองที่ผ่านมาในงานวิจัย ที่ผู้วิจัยได้ทำการทดลองและทำการทดสอบระบบควบคุมด้วยการวัดระดับการบิของหัวอ่านเขียนบนเครื่องวัดระดับการบิของหัวอ่านเขียน ผู้วิจัยมีข้อเสนอต่อการปรับปรุงพัฒนางานวิจัยระบบควบคุมบนเครื่องวัดระดับการบิที่จะมีการปรับปรุงในอนาคตต่อไปนี้

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอานวิจัยใหม่ ที่ทำการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นบนตัวเครื่องวัดระดับการบิของหัวอ่านเขียนแบบการวัดตรงโดยเทคนิคทางแสง จากการทดลองที่ผ่านมาในการควบคุมอุณหภูมิเมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่า 50 องศาเซลเซียส จะมีผลกระทบต่อขั้นตอนการวัดของระบบการวัดของเครื่องวัดระดับการบิ จึงควรจะมีการลดผลกระทบนี้เพื่อให้สามารถทำการวัดที่อุณหภูมิที่สูงอย่างมีประสิทธิภาพ ในด้านการทำความเย็นยังใช้เวลานานในการลดอุณหภูมิของระบบ จึงควรลดขนาดของกล่องหลักและกล่องถ่ายโอนความร้อน โดยคำนึงถึงความง่ายในการใช้งาน และซ่อมบำรุงตัวเครื่องวัดระดับการบิ การควบคุมความชื้นในส่วนของ การเพิ่มความชื้นระบบยังมีความคลาดเคลื่อนเชิงสถิต (Steady state error) ที่สูง ในขณะที่ระบบการลดความชื้นยังมีขีดความสามารถในการลดความชื้นได้น้อย จึงควรปรับปรุงให้สามารถลดความชื้นได้มากขึ้นและเร็วขึ้น เพื่อลดเวลาและเพิ่มความแม่นยำในควบคุม และในส่วนของการทำงานของเครื่องวัดระดับการบิขณะทำการควบคุมการทดสอบวัดระดับการบิ เมื่อนำหัวอ่านเขียนออกมาจากตัวเครื่อง

ควรกำหนดให้มอเตอร์สปินเคิลมีการหมุนตลอดเวลา เพื่อลดผลของการเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมที่มีต่อระบบควบคุม และในส่วนของโปรแกรมของตัวเครื่องวัดระดับการบินควรจะมีปรับปรุงในส่วนของระบบควบคุมการทำงานของมอเตอร์สปินเคิลแบบทำงานต่อเนื่องเพื่อลดผลจากการหยุดหมุนของตัวมอเตอร์ต่อค่าอุณหภูมิและความชื้นในส่วนการวัด จากข้อเสนอที่กล่าวมาข้างต้นจะสามารถปรับระบบควบคุมและระบบวัดระดับการบินที่ดีขึ้นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Brain D.Strom., Shuyu Zhang., Sung Chang Lee., Andrei Khurshudov., and George W. Tyndall. "Effects of Humid Air on Air Bearing Flying Height.", **IEEE Transaction on magnetic**, vol. 43, No. 7, 2007.
- [2] Shuyu Zhang., Brain Strom., Sung-change Lee., GeogeTyndll. "Simulating the Air Bearing Pressure and Flying Height in a Humid Environment.", **Journal of Tribology**, 2008.
- [3] weidong Zhou., Bo Liu., Shengkai Yu., Wei Hua., Chee How Wong. "Effect of Environment Temperature and Humidity on Thermal Flying Height Adjustment.", **Microsyst Technol**, 2010.
- [4] Nan Luui., David B. Bogy. "Temperature Effect on HDD Slider's Flying Performance at Steady Stage.", **Tribol Lett**, 2009 .
- [5] Ellis Cha., Chissin Chiang., Jorge Enguero., Jerry J.K. Lee. "Effect of Temperature and Altitude on Flying Height.", **IEEE Transsection on magnetics**, 1996.
- [6] W.D. Zhou., C.H Wong., B. Lui., S.K. Yu., W. Hua. "Effect of Temperature Dependent Air Properties on the Performance of a Thermal Actuated Slider.", **Tribology international**, 2009, pp.902-910.
- [7] Shuyu Zhang., Brian Strom., Sungchang Lee., George Tyndall. "Calculating Air Bearing Pressure and Flying Height in a Humid Environment.", **Samsung information systems**.
- [8] KLA Tencorr. **Dynamic Flying Height Tester**.
- [9] รศ.สุรพล รักวัลย์. อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับอุตสาหกรรม.
- [10] John A Shaw. **PID Control Algorithm**.
- [11] ปัทมา รัตนอาพร, การถ่ายเทความร้อนในขบวนการแปรรูป, เครื่องมือแปรรูปผลิตภัณฑ์ ประมง 2549
- [12] อนันท์ คัมภีรานนท์. ทฤษฎีอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม 1.
- [13] Seagate Thailand. **Fly tester manual**.
- [14] ผศ.ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล. **Design of system control**.
- [15] <http://www.thermometricscorp.com/rtdsensors.html>
- [16] <http://elec.ltc.ac.th/nikom/Present/2104-2224/Know2/PDF/Power control.pdf>
- [17] http://instrumentation-central.com/pages/west_6100_control_support.htm
- [18] <http://encycl.opentopia.com/term/Psychrometrics>

- [19] <http://www.dbk-usa.com/ptc-heaters/about-ptcs>
- [20] http://sensing.honeywell.com/index.php/ci_id/49925/la_id/1/document/1/re_id/0
- [21] <http://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/control/pd/>
- [22] Ki Myung Lee, Andears A. Polycarpou, "Dynamic Microwavenees Measurements of Super Smooth Disk Media use in Magnetic Hard Disk Drives.", **ELSEVIER Mechanical systems and signal processing**, 2006.
- [23] ศิริเดช บุญแสง, วิทยา นิลทะราช, วันชัย อรุณเจริญฉาย. "การพัฒนาระบบการวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนภายใต้สภาวะที่ควบคุมได้" **วิศวกรรมลาดกระบัง**, มิถุนายน 2555.
- [24] Siridech B., Wittaya N., Wanchai A. "An Controlled System for the Flying Height Measurement." **1st International Symposium on Technology for Sustainability.**, 2012.





ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วิศวกรรมลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ปีที่ 29 ฉบับที่ 2

พฤษภาคม 2555

บทความวิชาการ

1. เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทาง
วรชาติ แซ่ก๊ก 1
2. วงจรกรองความถี่แบบไมโครสตริปที่สามารถปรับตัวได้
ศุภกิต แก้วดวงตา 7

บทความวิจัย

3. การวิเคราะห์ระบบสื่อสารไร้สายแบบรวมมือโดยใช้การส่งผ่านสัญญาณแบบตอครอสและ
ส่งต่อด้วยการเฟดแบบริเลย์
จินทิวรา กรณ์ยวีทยาการ สุวิพล สิริวิชฌาต 13
4. การวิเคราะห์ค่าความจุของสัญญาณในการส่งแบบ MIMO ผ่านวิธีการจัดสรรกำลัง
จินทิวรา กรณ์ยวีทยาการ สุวิพล สิริวิชฌาต 19
5. ปัจจัยที่ส่งผลต่อการรวมตัวของไม้มะพร้าวพลาสติก
ญาณวิทย์ วิทย์พันธุ์ วิภู ศรีสืบสาย 24
6. การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตกระบอกลูกโดยการออกแบบการทดลอง
อาทิตย์ นุ่มหันต์ ทศพล เกียรติเจริญผล 30
7. การศึกษาผลกระทบของคาร์บอนที่มีผลต่อการทดสอบกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต
แบบไม่ทำลายจาก กรณีศึกษาสะพานข้ามคลองในกรุงเทพฯ
อานนท์พร สุวรรณหลาย แหคมทอง เหล่าคงถาวร สุพจน์ ศรีนิต 36
8. การหาภาวะที่เหมาะสมในการสลายลีส้อยขนาดมหึมาด้วยปฏิกิริยาโฟโตเฟนิตันบนตัวเร่ง
ปฏิกิริยา Fe/Al₂O₃
ณัฐภรณ์ ธนประคินจุฑกุล วิมลพร เอี่ยมอมรพันธ์ กิติโรจน์ หวั่นดาวลา 42
9. Influence of Turbulence Promoter Geometry on Flow Pattern in Cross-Flow
Membrane Ultrafiltration
Supawadee Waritiamanee Eukrachi Burirunglhaichaichan
Santi Wattananusorn 48
10. การพัฒนาระบบการวัดระดับการนับของหัวอ่านเขียนภายใต้สภาวะทางอุณหภูมิและความชื้น
ที่ควบคุมได้
ศิริเดช บุญแสง วิทยา นิลทะราช วันชัย อรุณเจริญฉาย 54
11. โปรแกรมควบคุมการเคลื่อนไหวหุ่นยนต์โดยใช้การรู้จำเสียงพูด
ระพีศักดิ์ พันธุ์ประสิทธิ์ 60
12. การศึกษาการระบายอากาศในห้องใต้หลังคาโดยใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ของบ้านจำลองภายใต้
สภาวะอากาศของกรุงเทพมหานคร
ปรีดา จันทร์วงษ์ โจเซฟ เคดารี จงจิตร ธีรวิบูลลาภ 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาระบบการวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนภายใต้ สภาวะทางอุณหภูมิและความชื้นที่ควบคุมได้

A Flying height measurement system with the controlled temperature and humidity.

ศิริเดช บุญแสง วิทยานิพนธ์ราช วันชัย อรุณเจริญฉายา

ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอระบบควบคุมสภาพแวดล้อมสำหรับการวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียน ในเครื่องวัดระดับการบิน เนื่องจากปัจจุบันระดับการบินระหว่างหัวอ่านเขียนกับแผ่นบันทึกข้อมูลมีค่าระหว่าง 7 - 10 นาโนเมตร ดังนั้นอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับการบินของหัวอ่านเขียนและแผ่นบันทึก การเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของสภาพแวดล้อมสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับการบินระหว่างหัวอ่านเขียนและแผ่นบันทึกข้อมูลได้ โดยการวัดระดับการบินจะใช้เครื่องวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนที่ใช้ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไคร์ในปัจจุบัน โดยอุณหภูมิสูงสุดของระบบที่ทำงานได้ คือที่ 58 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 3% โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ระดับการบินของหัวอ่านเขียนจะลดลงในลักษณะเป็นเส้นตรง โดยสามารถเทียบเคียงระหว่างค่าที่ได้จากการวัดและค่าที่ได้จากแบบจำลองในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คำสำคัญ : การวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียน ฮาร์ดดิสก์ไคร์ อุณหภูมิ ความชื้น

Abstract

In this paper, we present the environment controlled system for the flying height measurement of magnetic recording heads. The effect of the temperature and humidity to flying height change is critical in HDD due to the relatively small head-media spacing (7-10 nm). The small environmental changes can cause the variation of the head-media spacing. The flying height measurement system is based on the commercial dynamic flying height testing machine. The maximum temperature that the flying height measurement can be performed is 58 degree Celsius at the relative humidity of 3%. The slider flying height is linearly reduced with increasing temperature comparable with the measurement and simulation result shown in the literature.

Keywords : The flying height measurement of magnetic recording head , HDD, Temperature ,Humidity

1. บทนำ

ปัจจุบันความต้องการพื้นที่บันทึกข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไคร์ที่เพิ่มขึ้นและกระนำไปใช้งานที่หลากหลายมากขึ้น

ผลักดันให้เกิดการพัฒนาเทคนิคต่างๆมากมาย เพื่อเพิ่มความจุข้อมูลเชิงพื้นที่และประสิทธิภาพในการอ่านเขียนข้อมูล เช่น การออกแบบหัวอ่านเขียน วิธีการประมวลผล

สัญญาณดิจิทัล รวมถึงการลดระดับการบินของหัวอ่านเขียน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและพื้นที่การบันทึกข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ใคร่ก็ได้ถูกนำไปใช้ในหลากหลายอุปกรณ์และหลากหลายสภาพแวดล้อม ซึ่งสภาวะอุณหภูมิและความชื้นที่เปลี่ยนแปลงมีผลกระทบต่อระดับการบินของหัวอ่านเขียน ซึ่งในการออกแบบหัวอ่านเขียนที่ให้อยู่ในฮาร์ดดิสก์ใคร่ที่มีหลากหลายรูปแบบ แต่ละรูปแบบถูกออกแบบมาโดยใช้วัสดุที่แตกต่างกันและทำงานที่ความเร็วรอบในการหมุนของแผ่นดิสก์บันทึกข้อมูล มุมในการอ่านข้อมูลที่แตกต่างกัน รวมถึงระดับการบินที่แตกต่างกัน จากผลกระทบของค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงค่าระดับการบินของหัวอ่าน อันส่งผลต่อประสิทธิภาพในการอ่านเขียนข้อมูล ประกอบกับระดับการบินของหัวอ่านเขียนในฮาร์ดดิสก์ใคร่ที่มีอยู่ในปัจจุบันอยู่ช่วงน้อยกว่า 10 นาโนเมตร การเปลี่ยนแปลงค่าระดับการบินเพียง 1-2 นาโนเมตร อาจทำให้ประสิทธิภาพในการอ่านเขียนข้อมูลลดลงหรือก่อให้เกิดความเสียหายกับหัวอ่านเขียนในฮาร์ดดิสก์ใคร่ก็ได้

จากงานวิจัยที่ผ่านมาเป็นการศึกษาในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [1]-[6] เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงระดับการบินของหัวอ่านเขียน โดยเมื่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เปลี่ยนแปลงจะส่งผลกระทบต่อแรงดันอากาศในฮาร์ดดิสก์ใคร่ ผลจากแบบจำลองที่ค่าอุณหภูมิคงที่ 60 องศาเซลเซียส ที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 0% ถึง 100% แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าความชื้นมากกว่า 6% จะมีผลให้ระดับการบินของหัวอ่านเขียนเริ่มลดลงและยังส่งผลให้ค่าความเอียงของหัวอ่านเขียนเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์และเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ค่ามากกว่า 40% ค่าความเอียงจะลดลงเนื่องจากการปรับสมดุลระหว่างแรงดันอากาศกับแรงกระทำของปีกนก (Suspension) ที่กระทำต่อกัน ผลจากแบบจำลองในงานวิจัย [2] พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าระดับการบินจะสูงขึ้นที่ค่าอุณหภูมิและความชื้นที่มากขึ้น ในงานวิจัย [3] เป็นการจำลองวัดค่าระดับการบินของหัวอ่านเขียน พบว่าที่อุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส ที่ค่า

ความชื้น 20% มีผลต่อค่าระดับการบินที่ลดลงที่ใกล้เคียงกันและมีผลต่อระดับการบินน้อยกว่าที่ค่าความชื้นสูงที่ 80% ที่อุณหภูมิเดียวกัน ผลจากงานวิจัย [2]-[5] โดยการจำลองที่ค่าอุณหภูมิต่างๆพบว่าที่ค่าอุณหภูมิและความชื้นที่สูงขึ้นจะมีอัตราการลดของระดับการบินของหัวอ่านเขียนที่สูงขึ้นด้วยและจากผลที่ได้จากแบบจำลองของหัวอ่านเขียน 2 ชนิด พบว่าหัวอ่านเขียน 2 ชนิดมีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าระดับการบินที่ต่างกันต่อค่าอุณหภูมิและความชื้นเดียวกัน

การวัดค่าระดับการบิน โดยวิธีการวัดสัญญาณแอมพลิจูดที่อ่านกลับจากหัวอ่านเขียนในฮาร์ดดิสก์ใคร่ [1][2][6] ที่ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ค่าต่างๆ แล้วทำการคำนวณหาค่าระดับการบิน โดยทฤษฎีของ Wallace ซึ่งค่าความแรงของสัญญาณแอมพลิจูดที่อ่านได้จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อหัวอ่านเขียนเข้าใกล้แผ่นบันทึกข้อมูลมากขึ้น จากการศึกษาวิจัย [2] ที่อุณหภูมิคงที่ 53 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่า เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น มีผลให้ความระดับการบินของหัวอ่านเขียนลดลงประมาณ 2 นาโนเมตร โดยการลดลงจะเป็นลักษณะเส้นตรงและการลดลงของค่าระดับการบินจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่สูงขึ้นที่ค่าความชื้นสูงขึ้น

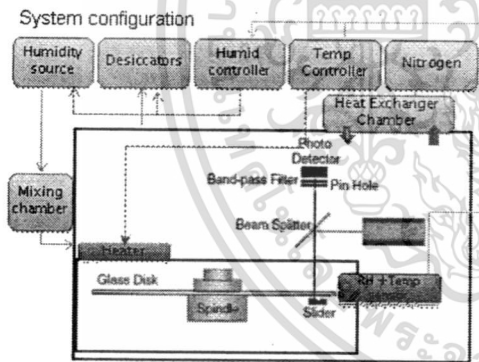
จากงานวิจัยการทดลองวัดค่าระดับการบินเมื่อค่าอุณหภูมิและความชื้นเปลี่ยนแปลง ทั้งโดยวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และแบบวัดสัญญาณแอมพลิจูดที่อ่านกลับจากหัวอ่านเขียน แสดงให้เห็นว่าทั้ง 2 วิธี มีค่าระดับการบินที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากอุณหภูมิและความชื้นมีผลที่สอดคล้องกัน

รายงานฉบับนี้นำเสนอวิธีการใหม่ในการวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนแบบการวัดทางตรง (Direct measurement) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ โดยติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นบนเครื่องวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนรุ่น DFHT4 ซึ่งใช้เทคนิคการวัดค่าระดับการบินด้วยเทคนิคทางแสง เรียกว่า อินเตอร์เฟียร์โรมิเตอร์ (Optical interferometer) จากงานวิจัยที่ผ่านที่เป็นการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้คำนวณในแบบจำลองจะเป็นค่าจากการออกแบบไม่ใช่ตัวหัวอ่านเขียนจริงในสายการผลิตและงาน

วิธีที่ใช้วิธีการวัดสัญญาณแอมพลิฟายจากหัวอ่านเขียน ซึ่งเป็นวิธีการวัดทางอ้อม (Indirect measurement) โดยในงานวิจัยที่ผ่านมาเป็นการวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียนในระดับฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ด้วยระบบการวัดระดับการบินที่นำเสนอจะช่วยให้สามารถศึกษาพฤติกรรมและการเปลี่ยนแปลงระดับการบินของหัวอ่านเขียนจริงในสายการผลิตที่มีต่อสภาวะอุณหภูมิและความชื้นต่างๆ ได้ ซึ่งจะช่วยให้สามารถทำการวิเคราะห์ปัญหาและเข้าใจลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับการบินต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของหัวอ่านเขียนจริงในสายการผลิต ซึ่งสามารถนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ปัญหาหรือความสัมพันธ์กับการผลิตส่วนต่างเพื่อนำไปปรับปรุงผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนการออกแบบได้

2. การทดลอง

ระบบควบคุมในการงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย 4 ระบบหลัก สำหรับการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ค่าต่างๆ บล็อกไดอะแกรมของระบบหลักแสดงดังรูปที่ 1

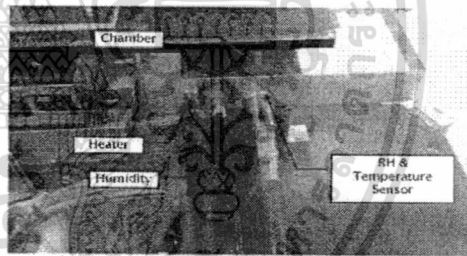


รูปที่ 1 : บล็อก ไดอะแกรมของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ของเครื่องวัดระดับการบินของหัวอ่านเขียน

ระบบควบคุมทั้งหมดออกแบบเพื่อติดตั้งบนเครื่องวัดระดับการบินหัวอ่านเขียน รุ่น DFHT4 ดังนั้นตัวเครื่องวัดระดับการบินจะมีการปรับปรุงเพื่อติดตั้งตัว โครงสร้างกล่องพลาสติกด้านนอก เรียกว่า กล่องพลาสติกหลัก เพื่อครอบระบบของส่วนการวัดหลัก จุดประสงค์หลักของกล่องพลาสติกหลักคือเพื่อป้องกันฝุ่นละอองจากสภาพแวดล้อมภายนอกและเพื่อให้ระบบควบคุมความชื้นที่ใช้

เป็นระบบปิด โดยข้างในกล่องพลาสติกหลัก จะมีกล่องสแตนเลส ที่ถูกออกแบบเพื่อติดตั้งในพื้นที่การวัดระดับการบินเรียกว่า กล่องการวัด ใช้เพื่อรักษาอุณหภูมิและความชื้นในขณะที่ทำการวัดระดับการบินไว้ช่วงเวลาหนึ่ง

ชุดเซ็นเซอร์ประกอบด้วย เซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นจะประกอบอยู่บนตัวเดียวกัน โดยจะติดตั้งใกล้ตำแหน่งที่ทำการวัดระดับการบินมากที่สุด เพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้กับค่าที่ตำแหน่งวัดระดับการบินระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์แก้วมากที่สุดตามรูปที่ 2 การออกแบบกล่องการวัด มีจุดประสงค์เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิและความชื้นในขณะที่ทำการวัดระดับการบินไว้ช่วงขณะหนึ่งและเพื่อป้องกันความร้อนขณะทำอุณหภูมิสูงไม่ให้ไปทำความเสียหายชิ้นส่วนต่างๆ ในบริเวณรอบๆกล่องการวัด โดยตรง เช่น ชุดมอเตอร์ขับเคลื่อน แกน X และ แกน Y และส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ การออกแบบกล่องการวัดนี้ จะไม่สามารถปิดได้ทุกส่วนเนื่องจากข้อจำกัดของลักษณะทิศทางการเคลื่อนที่ การนำงานเข้าไปในตำแหน่งวัด



รูปที่ 2 : รูปแสดงกล่องการวัดและการติดตั้งชุดเซ็นเซอร์และชุดทำความร้อน

การทำงานของ 4 ระบบหลัก

1. ระบบทำความร้อนจะใช้ชุดแหล่งจ่ายคอยล์ร้อนนำพาความร้อนโดยเป่าลมผ่านชุดคอยล์ร้อนซึ่งจะทำให้สภาพแวดล้อมรอบๆมีอุณหภูมิสูงสุดถึง 80 องศาเซลเซียส ซึ่งที่อุณหภูมิสูงๆ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และบางชิ้นส่วนของเครื่องวัดอาจได้รับความเสียหาย โดยที่กล่องการวัดไม่สามารถป้องกันได้
2. ระบบทำความเย็นจะใช้ระบบทำความเย็นที่ใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นแหล่งจ่าย โดยมีชุดคอยล์เย็นที่ต่อกับไนโตรเจนเหลว โดยชุดคอยล์เย็นจะบรรจุอยู่ในกล่อง

สำหรับทำให้น้ำที่โอนถ่ายความร้อน (Heat exchange chamber) โดยติดตั้งระบบพัดลมที่จะทำให้น้ำที่หมุนวน อากาศจากกล่องพลาสติกหลักผ่านชุดคอยล์เย็น แล้วดูดกลับเข้ากล่องพลาสติกหลักอีกครั้ง ด้วยระบบนี้เราสามารถลดจากอุณหภูมิห้องไปที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในเวลา 15 นาที โดยอุณหภูมิภายในกล่องพลาสติกจะคงที่อยู่ที่ช่วงประมาณ 1-2 นาที ซึ่งเพียงพอต่อการวัดค่าระดับการบิน

3. ระบบกำเนิดความชื้น จะใช้ชุดควบคุมและกำเนิดความชื้นจาก ETS โดยใช้น้ำไม่มีประจุ (Deionizes water) ในการสร้างความชื้น ซึ่งระบบนี้สามารถที่จะกำเนิดความชื้นสัมพัทธ์ ในระบบปิดถึง 20 ลูกบาศก์ฟุต โดยใช้ อัลตราโซนิคทรานสคิวเซอร์ ในการสร้างไอน้ำจากการสั่น ไอน้ำจะถูกส่งผ่านท่อขนาด 1 นิ้ว ไปยังชุดที่เรียกว่า มิกซ์ซึ่งเพื่อให้ไอน้ำบางส่วนกลั่นตัวและระบายทิ้ง ส่วนที่เหลือจากการกลั่นตัวจะไหลเข้าสู่กล่องพลาสติกหลักต่อไป

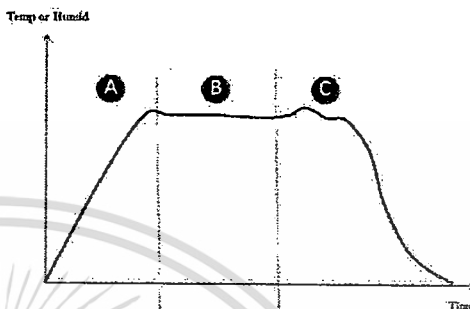
4. ระบบลดความชื้นจะเป็นระบบปิด เพื่อลดความชื้นสัมพัทธ์ในกล่องพลาสติกหลักของเครื่องให้น้อยกว่า 10% ส่วนสำคัญในระบบนี้ คือ สารลดความชื้น โดยบรรจุในชุดกรองและต่อกับปั๊มลม โดยตัวปั๊มลมจะทำหน้าที่ดูดอากาศที่อยู่ในกล่องพลาสติกหลัก ผ่านชุดลดความชื้น ในกล่องพลาสติกหลักเพื่อทำการลดความชื้นก่อนส่งกลับเข้าสู่กล่องพลาสติกหลักอีกครั้ง

3 ผลการทดลองและสรุปผล

จาก 4 ระบบหลัก สามารถสรุปขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุมตามรูปที่ 3 อธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความชื้นของระบบควบคุมตามคาบเวลาได้ดังนี้

เริ่มแรกของการทำงาน ระบบจะทำการงานเต็มร้อยเปอร์เซ็นต์ของการทำงานของระบบ ซึ่งจะอยู่ในช่วงคาบเวลา (A) โดยอุณหภูมิและความชื้นจะเพิ่มหรือลดตามระดับที่ตั้งไว้ เมื่อได้ค่าอุณหภูมิหรือความชื้นถึงระดับที่ต้องการ กล่องควบคุมจะทำการปิดระบบจ่ายไฟ ซึ่งอยู่ในช่วงคาบเวลา (B) โดยค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นจะมีสถานะคงที่อยู่ที่ช่วงระยะเวลาหนึ่งประมาณ 1-2 นาที ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนและความชื้นของระบบ

อย่างไรก็ตามตัวกล่องพลาสติกหลัก มีการออกแบบให้มีการสูญเสียให้น้อยที่สุด การเพิ่มลดของอุณหภูมิหรือความชื้นจะขึ้นอยู่กับค่าการถ่ายโอนความร้อนภายในกล่องกับภายนอกกล่อง ดังแสดงในคาบเวลา (C)



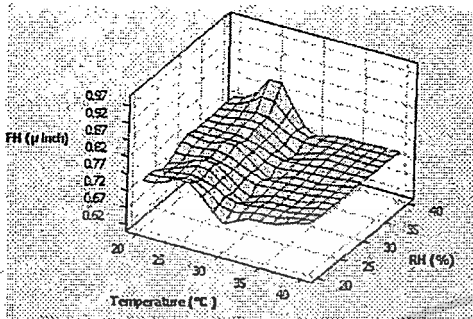
รูปที่ 3: กราฟแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความชื้นของระบบควบคุมตามคาบเวลา

เพื่อให้การวัดค่าคุณลักษณะระดับการบิน ประสบผลสำเร็จในขั้นตอนการวัด จึงหลีกเลี่ยงการทำให้เกิดฝุ่นละอองจากการกลั่นตัวของไอน้ำกับอนุภาคในระบบ ดังนี้

1) สำหรับการวัดระดับการบินในช่วงอุณหภูมิสูง ที่ความชื้นค่าต่างๆ ระบบควบคุมจะเปิดระบบทำความร้อนจนถึงค่าสูงสุดที่ 40 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาเดียวกันระบบทำความชื้นจะทำงานจนได้ค่าตามที่ต้องการ คือ 20% 25% 30% 35% และ 40% ตามลำดับ เมื่อถึงระดับที่กำหนดระบบทำความร้อนและทำความชื้นจะปิดการทำงาน เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงความชื้นจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นระบบควบคุมความชื้นจะเปิดการทำงาน เพื่อรักษาระดับความชื้นที่ตั้งไว้ โดยการวัดระดับการบินจะทำในขณะที่อุณหภูมิและความชื้นอยู่ในสภาวะคงที่ตามรูปที่ 3 โดยการวัดระดับการบินจะเกิดขึ้นในช่วงคาบเวลา (B)

2) สำหรับการวัดระดับการบินในช่วงอุณหภูมิต่ำที่ความชื้นค่าต่างๆ ในการทดลองระบบทำความเย็นจะเปิดการทำงานจนกระทั่งถึงจุดต่ำสุดที่ 20 องศาเซลเซียส ในขณะเดียวกันระบบควบคุมความชื้นก็จะเปิดการทำงานจนได้ค่าความชื้นที่ตั้งไว้ คือ 20% 25% 30% 35% และ 40% ตามลำดับ โดยระบบควบคุมความชื้นจะเปิดการทำงาน เพื่อรักษาระดับความชื้นที่ต้องการ การวัดระดับการบินจะทำ

ในขณะที่อุณหภูมิและความชื้นที่ตามรูปที่ 3 ซึ่งอยู่ในช่วงค่าเวลา (B)



รูปที่ 4 :แสดงกราฟค่าการเปลี่ยนแปลงระดับการปนของหัวอ่านเขียนที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ค่าต่างๆ

จากรูปที่ 4 แสดงข้อมูลการวัดระดับการปนของหัวอ่านเขียนชนิดเดียวกันด้วยระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ออกแบบและติดตั้งบนเครื่องวัดระดับการปนรุ่น DFHT4 แกน X คือ ค่าอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส แกน Y คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ และแกน Z คือ ค่าระดับการปนของหัวอ่านเขียนในหน่วยไมโครนิว

สำหรับการวัดระดับการปนในสถานะอุณหภูมิและสถานะความชื้นค่าต่างๆ โดยอุณหภูมิสูงสุดของระบบที่ทำได้ คือ 58 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 3% การวัดระดับการปนที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงขึ้น ค่าอุณหภูมิจะลดลงไปที่ 57 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 8% และที่ 50 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 20% โดยค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดที่ระบบสามารถทำการวัดระดับการปน ได้ คือ 40 องศาเซลเซียส และ 40% ตามลำดับ เพราะที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์มากกว่านี้จะถูกจำกัดด้วยเงื่อนไขการเกิดฝุ่นละอองขณะทำการวัดระดับการปน เนื่องจากเกิดการจับตัวระหว่างความชื้นกับอนุภาคในระบบ เกิดการกลั่นตัวไปเกาะบนผิวหน้าหัวอ่านเขียน จากการทดลองวัดระดับการปนของหัวอ่านเขียนประเภทเดียวกัน โดยให้อุณหภูมิคงที่แล้วทำการวัดค่าระดับการปนของหัวอ่านที่ค่าความชื้น 20% 25% 30% 35% และ 40% ตาม

ลำดับ โดยจะเห็นแนวโน้มการลดลงไปในทางเดียว ซึ่งหัวอ่านเขียนจะมีค่าระดับการปนที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นมากกว่า 25 องศาเซลเซียส โดยที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่มากขึ้นจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าระดับการปนน้อยกว่าจากผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากการวัดค่าระดับการปนที่ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่กล่าวมา มีการเปลี่ยนแปลงค่าระดับการปนของหัวอ่านเขียนที่สอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับการวัดในช่วงอุณหภูมิค่าและสถานะความชื้นสัมพัทธ์ตามค่าที่กล่าวมาข้างต้น ค่าระดับการปนของหัวอ่านเขียนไม่แสดงการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ อุณหภูมิค่าสุดท้ายที่ระบบทำได้คือ 13 องศาเซลเซียส ซึ่งในการทดลองวัดการปนที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสที่ค่าความชื้นดังที่กล่าวมา การเปลี่ยนแปลงของระดับการปนจะไม่เกิน 0.015 ไมโครนิว โดยความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดที่ระบบทำการวัดระดับการปนทำได้คือ 40%

4. สรุปผล

การออกแบบและสร้างเครื่องวัดระดับการปนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสามารถทำงานได้เป็นผลสำเร็จ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับการปนของหัวอ่านเขียนที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ค่าต่างๆ

โดยระบบที่ติดตั้งบนเครื่องวัดระดับการปนของหัวอ่านเขียนสามารถทำอุณหภูมิค่าสุดท้ายที่ 8 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดที่ทำได้ คือ 58 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์ค่าสุดท้ายที่วัดได้คือ 3% และค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดที่ทำได้คือ 40% โดยในการทดลองวัดค่าระดับการปนของหัวอ่านเขียนที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 20% 25% 30% 35% และ 40% ตามลำดับ ค่าระดับการปนจะลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งมีสอดคล้องกับงานวิจัย [1]-[6] โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับการปนของหัวอ่านเขียนจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับการปนที่สูงขึ้นที่ค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นตามลำดับและค่าระดับการปนของหัวอ่านเขียนที่วัดได้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ที่ค่าความชื้น 20% 25% 30% 35% และ 40% ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิห้อง ไม่แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าระดับการปนของหัวอ่าน

เขียนอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้เบื้องต้น จากกลุ่มงานที่นำมาทดลอง แสดงให้เห็นถึงสภาวะ อุณหภูมิที่มีผลต่อระดับการบินของหัวอ่านเขียน โดยค่า ความชื้นที่เพิ่มจะมีผลน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า อุณหภูมิ ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์ปัญหาเพื่อปรับปรุง ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนการออกแบบ ให้สามารถทนทานต่อ สภาวะอุณหภูมิและความชื้นมากขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนอุปกรณ์จาก บริษัท ซีเคทเทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ร่วมกับ วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและสำนักงานพัฒนา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

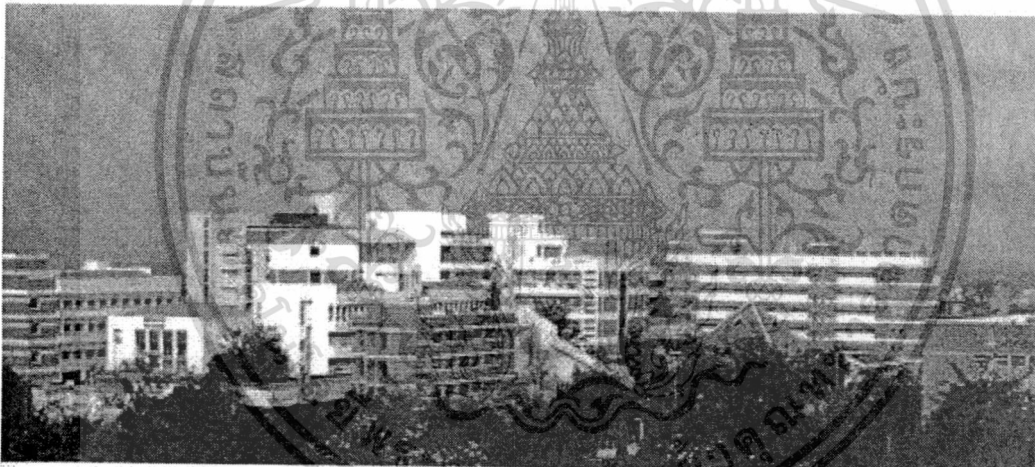
6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Brain D.Strom, Shuyu Zhang, Sung Chang Lee, Andrei Khurshudov, and George W. Tyndall , "Effects of Humid air on air bearing flying height," IEEE Transection on magnetics, vol.43, pp. 3301-3304 , 2007.
- [2] Shuyu Zhang, Brain Strom, Sung-change Lee, GeogeTyndll, "Simulating the air bearing pressure and flying height in a humid Environment," Journal of Tribology, 2008.
- [3] Weidong Zhou, Bo Liu, Shengkai Yu, Wei Hua, Chee How Wong, " Effect of environment temperature and humidity on thermal flying height adjustment," Microsyst Technol , 2010.
- [4] Nan Luui, David B. Bogy, " Temperature effect on HDD slider's flying performance at steady stage," Tribol Lett , 2009 .
- [5] Shuyu Zhang,Brain Strom,Sungchang Lee,George Tyndall " Calculating air bearing pressure and flying height in a humid environment," Samsung information systems Amarica, Asia pacific magnetic recording conference, 2006.
- [6] Ellis Cha, Chisin Chiang, Jorge Enguero, Jerry J.K. Lee "Effect of temperature and altitude on flying height," IEEE Transection on magnetics.vol. 32, No. 5 , 1996.



**1st International Symposium on Technology for Sustainability
(ISTS2011)**

26-29 January 2012, KMUTL, Bangkok Thailand



**Co-organized by:
Institute of National Colleges of Technology, Japan
and
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Control and Automation Engineering (CAE)

- CAE001 *"Cutting Force Estimation From Current Measurement for CNC Milling Machine"*
Adisak Khaengsarigid, Fusak Cheevasuvit
- CAE002 *"Temperature Control System for Nerve Stimulation Experiments"*
Korakot Leejoeiwara, Noppadol Maneerat, Ruttikorn Varakulsiripunth, Suradej Tretriluxana, Kittipol Chitsakul, Narawut Pakaprot
- CAE003 *"Adaptive Observer based on RLS System Identification"*
Ngantawee Rujirakamthornchai, Thanit Trisuwannawat
- CAE004 *"Head Positioning Controls for Disk Drive Read System: A State Space Approach"*
Prapat Ukakimaparn, Pittaya Pannil, Kitti Tirasesth, Pruk Ninsook, Thanit Trisuwannawat
- CAE005 *"Solution Control System Using PLC for Determination of Albumin to Creatinine Ratio in Urine"*
Tewan Jittjaranai, Kajitpong Pongkun, Somboon Karomsilp, Ruttikorn Varakulsiripunth
- CAE006 *"Automotive Parts Transportation Management System using IVAGs-GVCs based on Xbee"*
Thitipun Khotwongthong, Satienpong Borirakphusit, Noppadol Maneerat, Ruttikorn Varakulsiripunth
- CAE007 *"The Design of Load/Unload Algorithm for 2.5" Hard Disk Drive in SSTW Process"*
Chairath Puthison, Maitree Thumma, Vichitpon Boonprachoo, Vittaya Tipsuwanporn, Arjin Numsomran
- CAE008 *"Remote I/O Control System Based on ARM7TDMI-S for Fan and Plate Process Using TCP/IP Interface"*
Maitree Thumma, Vittaya Tipsuwanporn, Arjin Numsomran
- CAE009 *"A Environmental Controlled System for the Flying Height measurement"*
Siridech Boonsang, Wittaya Niltarach, Wanchai Aroonjarernchay
- CAE010 *"Energy consumption reduction in polymer molding process using flow control of polymeric electrolyte"*
Hiroyuki Akiyama, Shinji Toga
- CAE011 *"Extraction of graceful motion features from pick-up task"*
Takumi Tsuzuki, Etsuko Ueda
- CAE012 *"Development of Windmill Simulator for Windmill Speed and Output Control"*
Hiroaki Kureha, Tatsumi Tomiya
- CAE013 *"Robust Control for Inverted Pendulum Transport Robots with Sensor Drifts"*
Wataru Hori, Takashi Takimoto

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

An Environmental Controlled System for the Flying Height measurement

Siridech Boonsang*, Wittaya Niltarach, Wanchai Aroonjarernchay

College of data storage innovation, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
BANGKOK 10520, THAILAND.

EMAIL: kksiride@KMUTL.AC.TH

*Corresponding author

Abstract— This paper presents the environmental controlled system for the flying height measurement. The effect of temperature and humidity to flying height change is seriously needed due to the critically small head-media spacing. The small environmental changes can cause the variation of the head-media spacing. The flying height measurement system is based on the commercial dynamic flying height testing machine. The maximum temperature that the flying height measurement system can be performed is 58 degree Celsius at the relative humidity of 3 %. The slider flying height is linearly reduced with increasing temperature comparable with the measurement and simulation results shown in the literature.

Index Terms—Flying Height Measurement, DFHT4, Environmental control.

I. INTRODUCTION

The requirement of the higher storage density in hard disk drive is pushing the head-to-media spacing (HMS) to become ever smaller. Particularly, the most hard disk drives were applied to various environments. At the difference environment has a significant influence on the flying height of the air bearing slider. Currently, the air bearing design of hard disk drives have many designs and each air bearing have been designed to assembly with difference material (e.g. suspension). The difference air bearing design may be performed difference disk rotational speed, skew and flying height. Therefore, the effect of temperature and humidity to flying height change is critically needed. However, the previous research is mainly focused on the simulation model to investigate the flying height change at various environments. A change in ambient humidity causes the change the air bearing pressure and thus the slider's Flying height [1]. Simulation studies showed the flying height may decrease for more than 2 nm in hot and humid environment [2]. This decrement is critical as the flying height is only a few nanometers in current hard disk products. As result this issue is becoming more and more important recently.

This paper presents an environmental flying height tester on Dynamic Flying Height Tester IV (DFHT 4) machine. The system used to investigate the flying height changes of the actual sliders at various environmental conditions. At the difference environment and air bearing design the behavior of flying height change may difference. Therefore, the envi-

ronment flying height test can help to studies the flying height performance of slider.

II. EXPERIMENT SETUP

In this research we have four systems for control environment at various condition. The four main systems are shown in figure 1. The system approach for investigation the FH behavior of thermal actual sliders at various environmental condition. The flying height measurement system is based on the dynamic flying height testing machine (DFHT 4) as show in figure 2. All system design for install on DFHT 4 tester type, therefore that machine was modified with add plastic chamber that cover the main measurement function. The objectives of the plastic chamber are to ensure the minimum contamination from outside environment and also to provide the closed environment for de-humidity system. Inside the plastic chamber we have special design stainless steel chamber covered the measurement area (we call the measurement chamber) is used to keep temperature and humidity constant for a period of time. The probe combined humidity and temperature sensor was set as close as possible to measurement point, in order to assure that the reading humidity and temperature are close to values to actual ones of slider-disk interaction area.

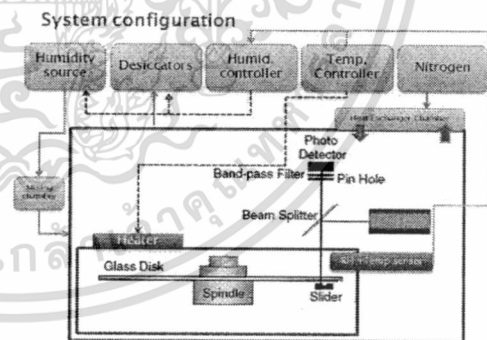


Figure 1. The system configuration of an environment flying height tester.

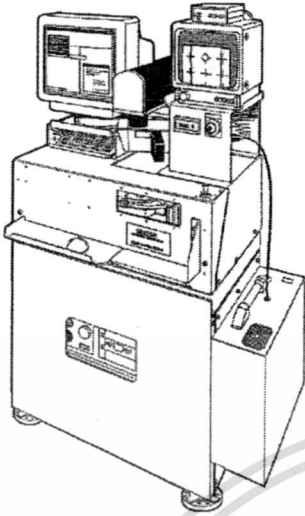


Figure 2. Dynamic flying height tester (DFHT 4)

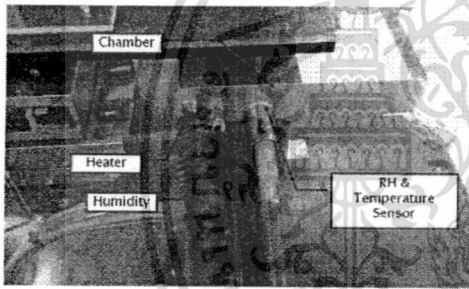


Figure 3. The image of the measurement chamber

The special design stainless steel chamber covered the measurement area (the measurement chamber) is used to keep temperature and humidity constant for a period of time. The image of the measurement chamber is shown in figure 3. The design of this chamber is to provide the protection of measurement area from the nearby supporting parts such as x-y stages and interface electronics. The chamber cannot be an enclosed environment since it has some difficulty to design the chamber incorporated with the mechanism of the sample (HGA) loading system. However, we try to minimize the opening part of the measurement chamber as much as possible. The probe combined humidity and temperature sensor is also attached to the measurement chamber. The sensitive area of the sensor was set as closed as possible to the measurement point, in order to assure that the reading humidity and temperature are the closed values to the actual

ones of slider-disk interaction area. One more thing attached to the measurement chamber is a heater. The heater has the output power so that the nearby environment can have the peak temperature of 80 degree. At this high temperature, the nearby electronic and mechanical parts might have destructive effects without the protection from the measuring chamber.

For the humidify system, we use the experimental set from ETS (US). The system is capable to produce full saturation (at room temperature) in enclosures up to 20 cubic feet. With applying power to the humidity generation unit, the submerged ultrasonic transducer inside the basin oscillates and produces a fine mist. An air-moving device forces the mist out of the humidifier, through a 1" plastic tube and into the enclosure. A 4", 110 cfm fan is provided, it runs continuously to circulate the moist air throughout the chamber.

Desiccant dehumidification system is a closed loop system, designed to reduce the relative humidity within the plastic chamber to less than 10%. The key part of dehumidification system is the desiccators. The desiccators are connected with the vacuum pump in which it is used to convey the humid air from inside the main chamber to be dehumidified and then the dry air after the desiccators is sent back to the main chamber.

For the cooling system, our choice is to use the cooling liquid such as liquid nitrogen. The heat-transferred chamber is specially designed to connect with the liquid nitrogen tank. The fan system is designed to circulate the warm air inside the plastic chamber into the cooling chamber. The cooling coil with the liquid nitrogen flowed inside serves as the heat-transferred elements. The warm air transferred its heat to the cooling coil and circulates the cooled air back to the plastic chamber. With this system, we can reduce the temperature inside the plastic chamber from the ambient temperature down to 5 degree Celsius within 15 minutes. The temperature inside the plastic chamber can be held at constant for several minutes if we turn the circulation air fan off. This allows us to perform the flying height measurement at desired temperature.

III. RESULTS AND DISCUSSION

With the four systems described above, we can categorize the systems in terms of the operation and problem associated with flow-induced contamination and vibration as follows:

- 1) The system that produces the negative pressure inside the plastic chamber. The system that falls into this category is the de-humidification system. There will be no problem of flow induced contamination and vibration. The system can be operated in the same time as the flying height measurement.
- 2) The system that produces the positive pressure inside the plastic/measurement chamber. The systems that fall into this category are the humidifying, heating and cooling systems. There will be a problem of flow induced contamination and vibration. The heating and cooling are the most severe. The humidifying sometimes causes the problem.

For all systems, we can summarize the operating procedure as shown figure 4. In the start-up period A, the systems are in fully on stage producing the 100% output. During this period the temperature/humidity is raised or fallen to the setting level. Once the temperature/humidity is in the desired range, the controller is in the off stage. In this state (B), the temperature/humidity may be held at constant values for some period of time depending on the dissipation characteristic of the systems. Although the chamber is designed so that the heat and humidity loss is minimum, the temperature and humidity will be raised or fallen depending on the heat transferred in/out the chamber in period C.

In order to successfully measure the flying height characteristic of the slider, the measurement procedures has to be set out to avoid the flow induced contamination and vibration as follow:

1) For the measurement in the range of high temperature and high-low humidity, the heating system is turned on until the temperature reaches the maximum of 60 degree Celsius. In the same time, the humidifying system is also turned on until the relative humidity reaches the desired value. The heating system and the humidifying are then turned off. The de-humidifying system is turned on, in order to keep the relative humidity at desired level. The flying high measurement is then performed while the temperature is slowly fallen down. According the Figure 4, the measurement is performed in the period C.

2) For the measurement in the range of low temperature and high-low humidity, the cooling system is turned on until the temperature reaches the minimum of 3 degree Celsius. In the same time, the humidifying system is also turned on until the relative humidity reaches the desired value. The cooling system and the humidifying systems are then turned off. The de-humidifying system is turned on, in order to keep the relative humidity at desired level. The flying high measurement is then performed while the temperature is slowly risen up. According the Figure 4, the measurement is performed in the period C.

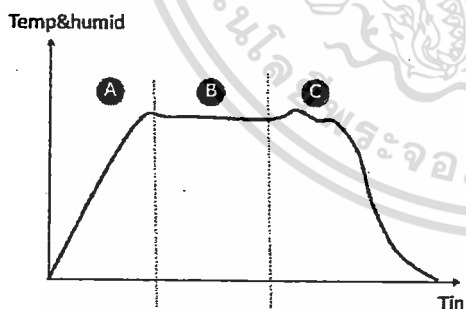


Figure 4 the operation of the temperature and humidity controller

Figure 5 shows the recorded flying height measurement value of slider with the same ABS designed. The x-axis is the temperature in Celsius and y- axis is in the flying height changed in micro-inches. The results can be categorized in two parts as follows.

1) For the measurement in the range of high temperature and high-low humidity, the maximum temperature that the flying height measurement system can be performed is 58 degree Celsius at the relative humidity of 3 %. With the higher relative humidity, the maximum temperature that the flying height measurement can be performed is reduced to 57 and 50 degree Celsius, for the relative humidity of 8 % and 20 % respectively. The maximum relative humidity the flying height measurement system can be performed is 20%. For the relative humidity more than this, the contamination is the limiting factor. All of three measurements groups show the same trend, which is the slider flying height is linearly reduced with increasing temperatures. The higher relative humidity is higher rate of flying height changed. Three results are comparable with the measurement and simulation results shown in the literature [2-4]. However, the results show the first direct flying height measurement with various environmental conditions.

2) For the measurement in the range of low temperature and high-low humidity, the flying height value does not show significant variation. The lowest temperature that the flying height measurement system can be performed is 8 degree Celsius. The flying height changed is no more than -0.015 micro-inch. The maximum relative humidity that the flying height measurement can be performed is 20%. Above this, the frost and contamination is limited factor.

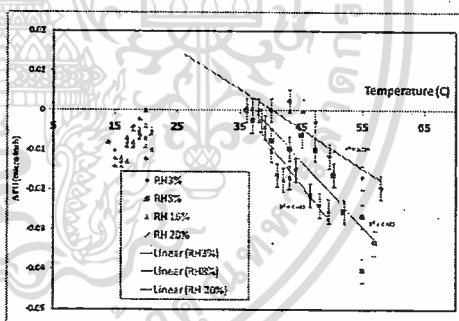


Figure 5. The measurement results at various temperature and relative humidity values.

IV. CONCLUSION


We have successfully designed and constructed the environment flying height tester system to investigate the flying height value changes the thermal actual sliders at various environmental conditions. Although we had the problems of the flow induced contamination and vibration for many environmental conditions. We were able to make the flying

height measurement at some ranges of temperature and humidity. The maximum temperature that the flying height measurement system can be performed is 58 degree Celsius at the relative humidity of 3 %. The slider flying height is linearly reduced with increasing temperature comparable with the measurement and simulation results shown in the literature [2-4]. The lowest temperature that the flying height measurement system can be performed is 8 degree Celsius. The flying height changed is no more than -0.015 micro inches in the low temperature range.

V. ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank the financial support from College of Data Storage Innovation, KMITL and National Science and Technology Development Agency (NSTDA) and Seagate Technology.

VI. REFERENCES

- 
- [1] Brain D. Strom, Shuyu Zhang, Sung Chang Lee, Andrei Khurshudov, and George W. Tyndall, "Effects of humid air on air-bearing flying height" *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 43, No. 7, July 2007 pp. 3301-3304.
 - [2] Shuyu Zhang, Brain Strom, Sung-chang Lee, George Tyndall "Simulating the air bearing pressure and flying height in a humid Environment," *Journal of Tribology*, January 2008, vol. 130, pp. 011008-1-3.
 - [3] Weidong Zhou, Bo Liu, Shengkai Yu, Wei Hua, Chee How Wong, "Effect of environment temperature and humidity on thermal flying height adjustment," *Microsyst Technol* (2010) 16, pp. 49-55.
 - [4] Nan Liu, David B. Bogy, "Temperature effect on a HDD slider's flying performance at steady stage," *Tribol Lett* (2009) 35:105-112.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายวิทยา นิลทะราช
วัน เดือน ปีเกิด	13 เมษายน พ.ศ. 2519
ที่อยู่	87/180 ซอย มิตรภาพ 19 ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 E-mail : Wittaya_nil@hotmail Tell : 085-434-26660
ประวัติการศึกษา	2552 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาแมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปัจจุบัน (2555) กำลังศึกษาหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการบินที่ข้อมูล วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประวัติการทำงานและผลงานวิจัย	
2553-ปัจจุบัน	วิศวกรฝ่ายการทดสอบระดับการบินของหัวอ่านเขียน บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด
2555	งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต “การพัฒนาระบบ การวัดระดับการบิน ของหัวอ่านเขียนภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้น ที่ควบคุมได้”
2554	งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในงานประชุมวิชาการ 1 st International Symposium on Technology for Sustainability (ISTS2011) “An Environmental Controlled System for the Flying Height Measurement”