

เครื่องวัดความเข้มข้นของน้ำหวาน

Sweet Concentrated Measurement Device

นาย คุณาลัย อยู่อักษร

นาย ศิริชัย ตักดีไทยพัฒนา

นาย อัจจง ขาวเรียร



อาจารย์ที่ปรึกษา

ร.ศ.ดร. มงคล มงคลวงโรจน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหมึก.....
เลขทะเบียน...36826
วัน, เดือน, ปี 29 ส.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SWEET CONCENTRATED MEASUREMENT DEVICE

MR.KUNALAI U-AKSORN

MR.SIRICHAJ SAKTHAIPATTANA

MR.ARG-AUNG KAOTHAIN



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

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2542
เครื่องวัดความเข้มข้นของน้ำหวาน

โดย

นาย คุณาลัย อยู่อักษร
นาย ศิริชัย ศักดิ์ไทยพัฒนา
นาย อัจจง ขาวเขียว

อาจารย์ที่ปรึกษา



(ร.ศ.ดร. มงคล มงคลวงโรจน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องวัดความเข้มข้นของน้ำหวาน
นักศึกษา	คุณาลัย อยู่อักษร ศิริชัย ศักดิ์ไทยพัฒนา
ระดับการศึกษา	อาจอง ขาวเชียร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.	2542
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ร.ศ.ดร. มงคล มงคลวงโรจน์

บทคัดย่อ

โปรเจกต์นี้ได้แสดงการออกแบบและการพัฒนาของเครื่องวัดความเข้มข้นของน้ำหวาน แรงเหวี่ยงระหว่างทรงกระบอกสองอันมีลักษณะเพิ่มขึ้นแบบแปรผันตรงกับความหนืดของของเหลวและความเร็วรอบของการหมุน เครื่องวัดนี้ประกอบด้วย อุปกรณ์วัดแรงและอุปกรณ์ขยายสัญญาณ ทอร์คเนื่องจากแรงเสียดทานของความหนืดจะถูกแปลงสัญญาณโดยใช้สเตรนเกจ สำหรับในโปรเจกต์นี้ การจำลองของระบบนี้ถูกดำเนินการเพื่อที่จะหาการออกแบบที่ดีที่สุด ต่อจากนั้นจัดสร้างชุดอุปกรณ์และทำการทดลองและบันทึกผลพร้อมเปรียบเทียบกับผลทางทฤษฎีและทำการวิเคราะห์

Thesis Title	Sweet Concentrated Measurement Device	
Student	Kunalai	U-aksorn
	Sirichai	Sakthai pattana
	Arg-aung	Kaothain
Level of Study	Bachelor of Engineering in Mechanical Engineering King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang	
Year	1999	
Thesis Advisor	Dr. Mongkol	Mongkolwongroj

Abstract

This project presents the design and development of the Sweet Concentrated Measurement Device. The shear force between the concentric cylinder is linearly increased by the increase of fluid viscosity and rotational speed. The measurement device consists of potentiometer and amplifier. Viscous friction torque is transmitted to potentiometer by using strain gauge. In this project simulation of the system was performed to obtain the best design solution. Then build the sweet concentrated measurement device and compare the actual responsibility to the theory and analysis. Then construction of concentrated measurement device was completed and worked very good. Test and calibration had been performed to obtain the optimum operating condition.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ร.ศ.ดร.มงคล มงคลวงโรจน์ และอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางตลอดจนวิธีการแก้ปัญหาขอขอบคุณ พี่มณฑา เทียมเมือง ที่ให้คำแนะนำ ในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือรวมทั้งข้อมูลของแหล่งวัสดุ

ขอขอบคุณน้องคอน น้องยุ่น สำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์ และพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆทุกท่านที่มีส่วนในการทำให้งานทั้งหมดสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คุณาลัย อยู่อักษร
ศิริชัย ศักดิ์ไทยพัฒนา
อาจอง ขาวเขียว

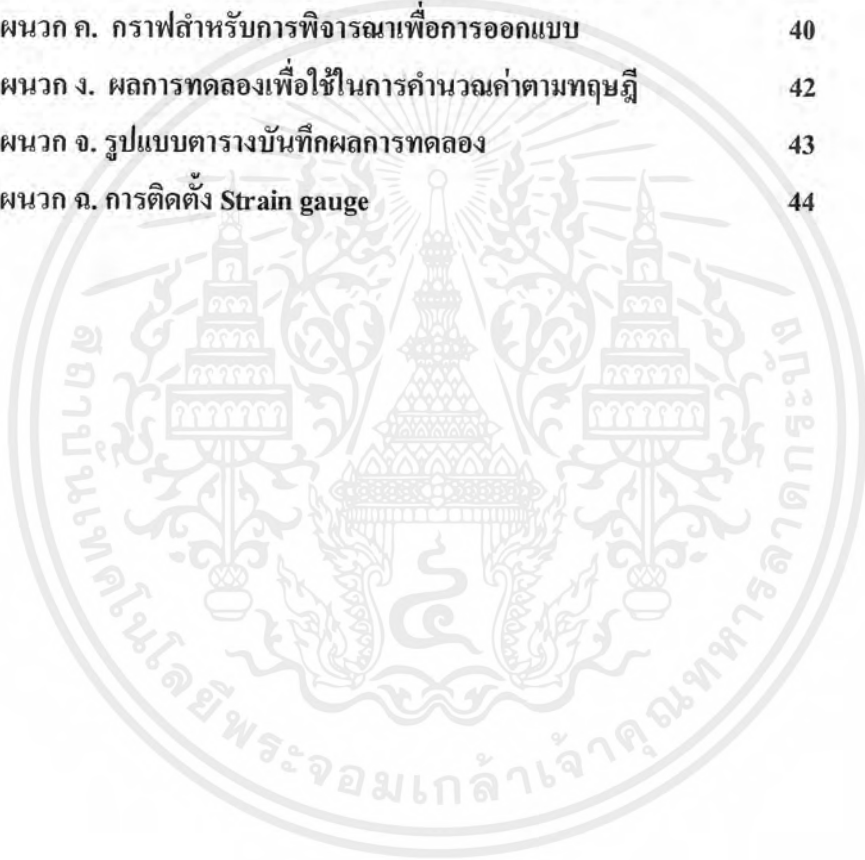


สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
เทคโนโลยีการวัดความหนืด	2
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐาน	7
2.1 การคำนวณหาทอร์กเนื่องจากของเหลว	7
2.2 การติดตั้ง Strain Gauge เพื่อคำนวณการบิดของเพลลา	10
2.3 การคำนวณหา Torque (T) ที่เกิดบนเพลลา	12
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Strain (ϵ) ที่เกิดขึ้น กับ Output ของวงจรวัด	13
2.5 วงจร Amplifier	14
บทที่ 3 การออกแบบชุดอุปกรณ์	15
3.1 การคำนวณเพื่อการออกแบบชุดอุปกรณ์	15
3.2 ผลสำเร็จของชุดอุปกรณ์	18
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	23
4.1 การออกแบบการทดลอง	23
4.2 ผลการทดลอง	24
4.3 การปรับแต่ง (Calibration)	32
บทที่ 5 สรุปผล และ แนวทางการพัฒนาการทดลอง	33
5.1 สรุปผลการทดลอง	33
5.2 สรุปปัญหาที่เกิดขึ้น	33
5.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง	34
เอกสารอ้างอิง	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	37
ภาคผนวก ก. กราฟแสดงค่าความหนืดของสารหลายชนิดที่อุณหภูมิต่างๆ	38
ภาคผนวก ข. ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุทางวิศวกรรม (SI Units)	39
ภาคผนวก ค. กราฟสำหรับการพิจารณาเพื่อการออกแบบ	40
ภาคผนวก ง. ผลการทดลองเพื่อใช้ในการคำนวณค่าตามทฤษฎี	42
ภาคผนวก จ. รูปแบบตารางบันทึกผลการทดลอง	43
ภาคผนวก ฉ. การติดตั้ง Strain gauge	44



สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	เครื่องวัดความหนืดแบบ Gap	2
1.2	เครื่องวัดความหนืดแบบ ปีมหัวเกลียว	3
1.3	เครื่องวัดความหนืดแบบ Disk	3
1.4	เครื่องวัดความหนืดแบบ Sensor	4
1.5	เครื่องวัดความหนืดแบบ Orifice	5
1.6	เครื่องวัดความหนืดแบบ วัดตกกลางในของเหลว	5
1.7	เครื่องวัดความหนืดแบบ Flow through ชนิดทรงกระบอก	6
1.8	เครื่องวัดความหนืดแบบ Piston	6
2.1	ทรงกระบอกสองวงซ้อนกัน โดยทรงกระบอกในหมุนด้วย ความเร็วเชิงมุม Ω คงที่ และทรงกระบอกนอกอยู่กับที่	7
2.2	แสดง Velocity gradient ของ V_θ	10
2.3	ลักษณะการติดตั้ง Strain Gauge บนเพลลา	11
2.4	วงกลมโมร์สำหรับในกรณีของการบิด	11
2.5	วงจร Bridge	13
2.6	ภาพประกอบการคำนวณวงจร Bridge	13
2.7	วงจร Inverter	14
3.1	ภาพรวมของชุดอุปกรณ์เครื่องวัดความเข้มข้นของน้ำหวาน	18
3.2	ภาพจริงโดยรวมของชุดอุปกรณ์เครื่องวัดความเข้มข้นของน้ำหวาน	19
3.3	ภาพถังทรงกระบอกนอกพร้อมแท่นวาง	19
3.4	ภาพจริงของทรงกระบอกนอกและแท่นวาง	20
3.5	ชุดแกนหมุนและทรงกระบอกใน	20
3.6	Slip ring และตำแหน่งติด Strain Gauge	21
3.7	อุปกรณ์สนับสนุนอื่นๆ	22
3.8	ภาพรวมวงจร	22

บทที่ 1

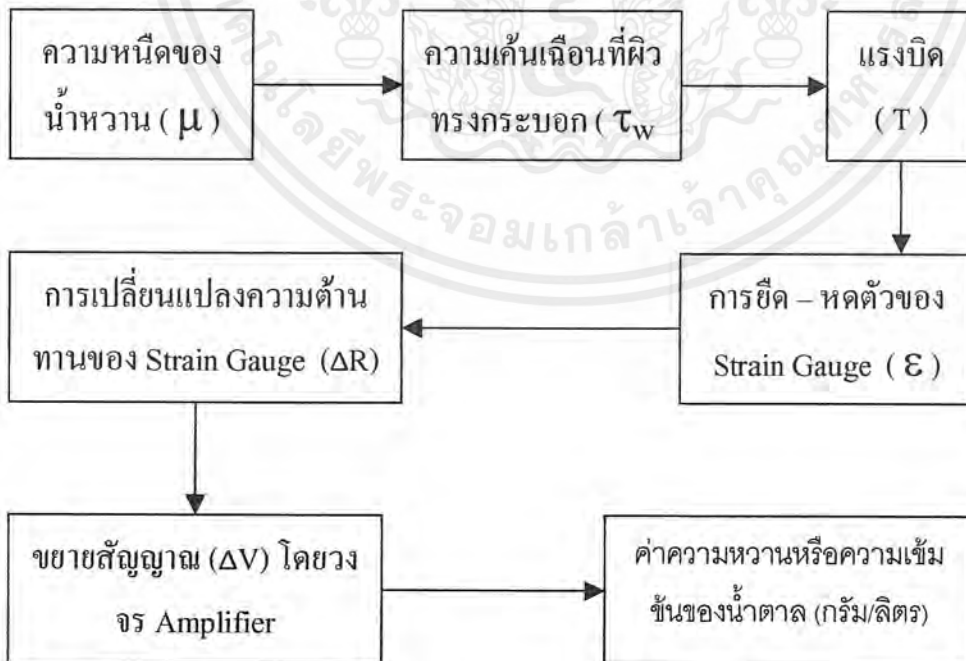
บทนำ

โครงการนี้จัดทำเพื่อพัฒนาเครื่องวัดความเข้มข้นของน้ำตาลในน้ำเชื่อม โดยใช้ชื่อว่า “เครื่องวัดความหวาน” อาศัยหลักการของความหนืดในน้ำเชื่อมที่จะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นของน้ำตาล เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมและด้านการพัฒนาวิจัยต่อไป

ภายในรายงานฉบับนี้ประกอบไปด้วยเนื้อหาในส่วนของทฤษฎีต่างๆ ที่ได้ศึกษาค้นคว้ามาใช้ในการคำนวณเพื่อออกแบบ ทั้งในด้านของรูปแบบ หลักการของชุดอุปกรณ์ หลักวิชาการ ความรู้ในการเลือกใช้และติดตั้ง Strain Gauge และอื่น ๆ ในส่วนของการออกแบบเป็นการแสดงภาพของชุดอุปกรณ์ที่ได้สร้างสำเร็จแล้ว พร้อมทั้งอธิบายการทำงานและหน้าที่ตามจุดประสงค์ในการออกแบบ หลังจากนั้นเป็นส่วนของการทดลองและผลการทดลอง ตลอดจนทำการสอบเทียบค่าที่ได้จากผลการทดลอง เพื่อนำไปประยุกต์ให้อุปกรณ์ชุดนี้สามารถนำไปวัดความเข้มข้นของน้ำตาลได้จริง

ทางกลุ่มผู้จัดทำโครงการหวังว่ารายงานเล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ค้นคว้า ทั้งเพื่อการศึกษาในด้านเทคโนโลยีในการวัดความหนืด การใช้ Strain Gauge หรือ เพื่อการพัฒนาชุดอุปกรณ์นี้ ให้มีประสิทธิภาพและความถูกต้องหรือประโยชน์อื่นใดให้สูงขึ้น

Diagram แสดงกระบวนการคิดคำนวณและการถ่ายทอดข้อมูลของเครื่องวัดความหวาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

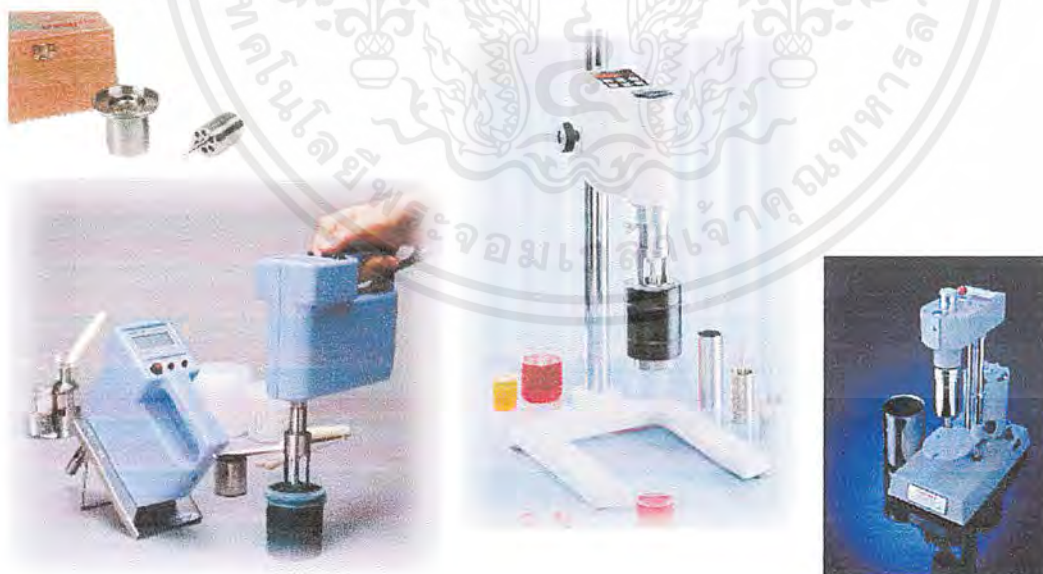
การออกแบบนี้อาศัยการเคลื่อนที่ในลักษณะหมุน ซึ่งออกแบบเป็นลักษณะของทรงกระบอก ซ้อนกันสองชั้น ชั้นในหมุน ชั้นนอกอยู่กับที่ ทรงกระบอกชั้นในต่อเชื่อมอยู่กับเพลาลูกเบี้ยวและเพลาคู่กับมอเตอร์ โดยบนผิวเพลาลูกเบี้ยวได้ติดตั้ง Strain Gauge ไว้ เมื่อมอเตอร์หมุนจะส่งถ่ายกำลังผ่านเพลาลูกเบี้ยวไปยังทรงกระบอกให้เกิดการหมุน เมื่อทรงกระบอกเคลื่อนที่ ของเหลวที่อยู่ระหว่างทรงกระบอกชั้นนอกและชั้นในจะต้านการเคลื่อนที่ของทรงกระบอกที่หมุนด้วยความหนืดของของเหลว แรงบิดจะเกิดขึ้นที่เพลาลูกเบี้ยว ทำให้ Strain Gauge ที่ติดอยู่ที่ผิวของเพลาลูกเบี้ยว เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าของความต้านทาน แล้วแปลงค่าของ Strain (ความเครียด) ที่เกิดขึ้นบน Strain Gauge เป็นค่าของความต่างศักย์ โดยผ่านวงจร Bridge จากนั้นทำการขยายสัญญาณความต่างศักย์ที่ได้โดยวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) แล้วนำสัญญาณที่ขยายไปแสดงผลในรูปของค่าความหวนในหน่วยกรัมของน้ำหนัก

ในขณะเดียวกัน วิศวกรรมการวัดความหนืดก็ยังสามารถวัดด้วยวิธีอื่นอีกหลายอย่าง ดังในหัวข้อต่อไป

เทคโนโลยีการวัดความหนืด

ปัจจุบันมีการวัดความเข้มข้นในหลายรูปแบบดังจะแจกแจงให้เห็นดังต่อไปนี้

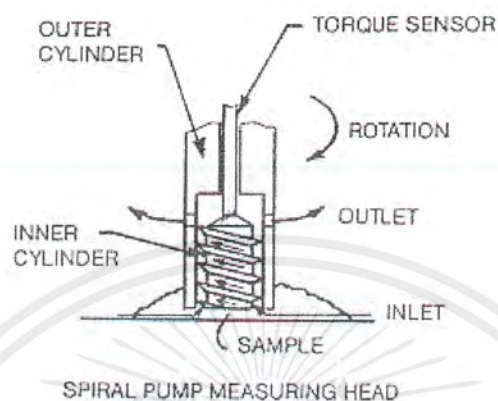
แบบ Gap อาศัยหลักการเดียวกันกับชุดอุปกรณ์ที่ทางกลุ่มได้สร้าง โดยเป็นลักษณะของทรงกระบอกซ้อนกันสองชั้น ความหนืดจะทำให้เกิดแรงดิ่งขณะที่ทรงกระบอกชั้นในหมุน ซึ่งแรงดิ่งนั้นจะสัมพันธ์กับค่าความหนืดของของเหลว



รูปที่ 1.1 เครื่องวัดความหนืดแบบ Gap

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบไหลผ่านเกลียว เครื่องมือชิ้นนี้จะหมุนแกนในซึ่งมีเกลียวอยู่เพื่อคูดน้ำขึ้นมาเมื่อของเหลวไหลผ่านเกลียวจะทำให้เพลากลียวหมุน และหากของเหลวนั้นมีความหนืดมาก ก็จะทำให้ Torque ที่เกิดขึ้นมีค่ามาก ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 เครื่องมือวัดความหนืด แบบปั๊มหัวเกลียว

แบบ Disk เป็นการวัดความหนืดโดยอาศัยหลักการเดียวกัน แต่รูปร่างของพื้นที่ส่วนที่หมุนเพื่อตรวจวัดความหนืดจะเป็นลักษณะรูปจานดังรูปที่ 1.3

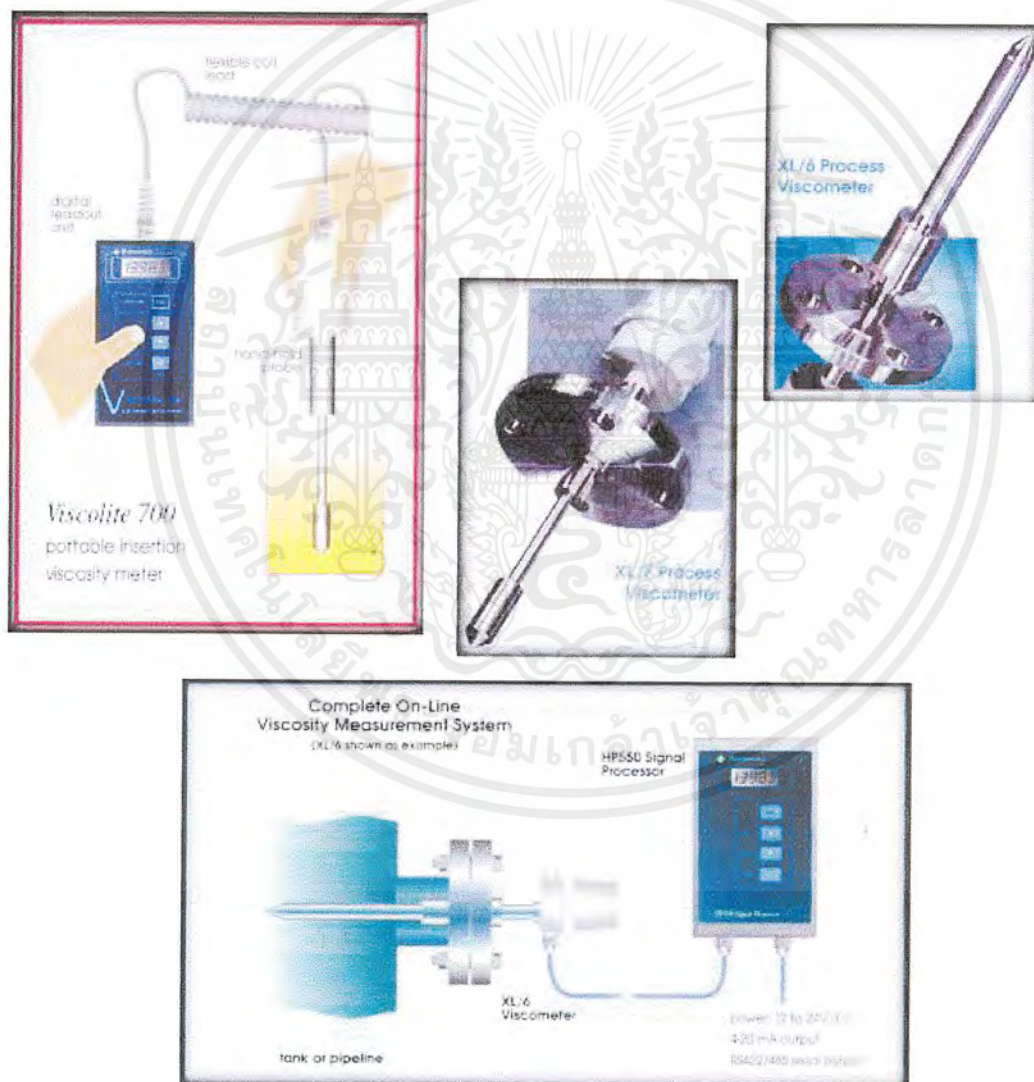


รูปที่ 1.3 เครื่องวัดความหนืดแบบ Disk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปทางซ้ายมือล่างซ้ายสุด เป็นเครื่องวัดความหนืดแบบ Thin film ซึ่งมี Gap น้อยมากทำให้ผลจากความหนืดแสดงออกมามาก

แบบ **Sensor** เป็นเครื่องวัดความหนืดที่มีความสะดวกสบายในการใช้มาก โดยอาศัยความสามารถของ Sensor ที่ปลายหัวอุปกรณ์ สามารถนำไปใช้งานในระบบท่อได้เลย ไม่ต้องนำตัวอย่างของเหลวมาทดสอบ ไม่ต้องมีการควบคุมปริมาตรหรือขนาดของท่อ หรือภาชนะ ในอุปกรณ์นี้ไม่มีส่วนใดที่หมุน ดังนั้นจึงไม่ต้องดูแลเกี่ยวกับ Seal หรือ Bearing มีความแม่นยำและความน่าเชื่อถือสูง มีตัวอย่างดังรูปที่ 1.4



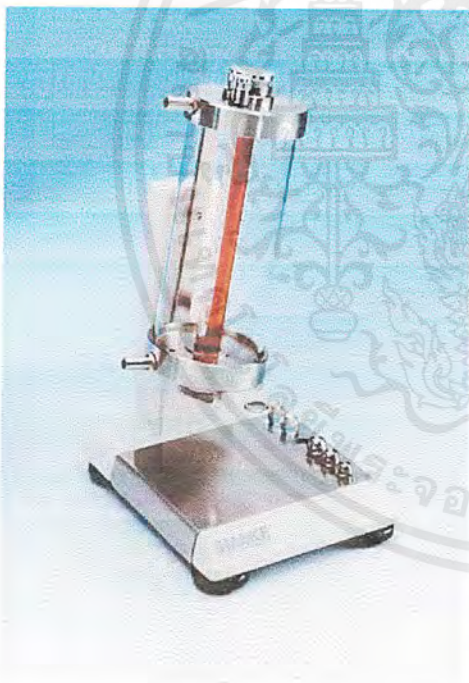
รูปที่ 1.4 เครื่องวัดความหนืดแบบ Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ Orifice อาศัยหลักการที่ว่าเมื่อของเหลวมีความหนืดมาก อัตราการไหลผ่านช่องเล็กๆจะน้อยเนื่องจากความหนืดทำให้ความเสียดทานที่ผนังของทางไหลมีค่ามาก ในการวัดความหนืดจะเป็นการจับเวลาที่ใช้สำหรับปริมาตรของของเหลวค่าหนึ่ง แล้วนำค่าของเวลาไปเปรียบเทียบผลจากการคำนวณทางทฤษฎีซึ่งอาจมีการทำเป็นตารางสำหรับเปรียบเทียบไว้



รูปที่ 1.5 เครื่องมือวัดความหนืดแบบ Orifice



แบบวัดตุกในของเหลว อาศัยหลักการที่ความหนืดในของเหลวจะต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุตามความสัมพันธ์ที่ว่า

$$\text{แรงจุด} = \text{ความหนืด} \times \text{ความเร็ว}$$

โดยในการทดสอบจะนำวัตถุทรงกลมอาจเป็นลูกเหล็ก , ลูกแก้ว , ลูกพลาสติก หรืออื่นๆ หย่อนให้วัตถุตกผ่านของเหลวที่บรรจุไว้เต็มทรงกระบอก แล้วจับเวลาที่วัตถุใช้ตกผ่านของเหลวนั้น ซึ่งหากมีความหนืดมาก ก็จะทำให้เวลาที่ใช้มีค่ามาก

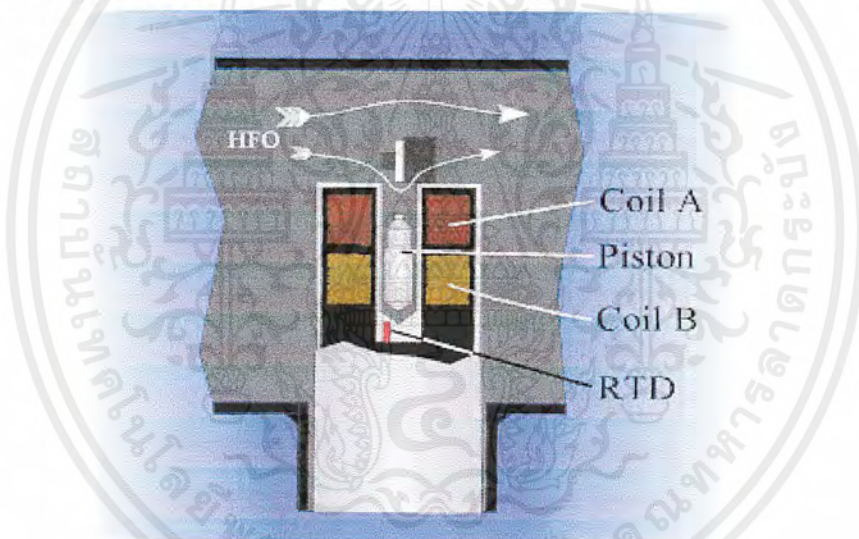
รูปที่ 1.6 เครื่องมือวัดความหนืดแบบวัดตุกในของเหลว



แบบ **Flow through** เมื่อของเหลวไหลผ่านสิ่งกีดขวางก็จะทำให้เกิด Drag ขึ้นที่ผิวของวัตถุ ซึ่งยิ่งความหนืดมากก็ทำให้เกิด Drag มาก

รูปที่ 1.7 เครื่องมือวัดความหนืดแบบ Flow through ชนิดทรงกระบอก

แบบ **Piston** เมื่อของเหลวไหลไปในส่วนของเครื่องมือวัดแบบ Piston Piston ซึ่งเป็นแม่เหล็กจะเคลื่อนที่ผ่าน coil และเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเกิดเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยความหนืดเป็นตัวทำให้การเคลื่อนที่ของ piston เปลี่ยนไป



รูปที่ 1.8 เครื่องวัดความหนืดแบบ piston

นอกจากนี้ยังมีแบบอื่นๆ เช่นอาศัยหลักการของความถ่วงจำเพาะในการเปรียบเทียบค่าความหนืดของสารในชนิดนั้นๆ

สิ่งที่ทางกลุ่มทำก็คือเครื่องวัดความหนืด แล้วนำค่าความหนืดที่วัดได้มาเทียบค่าเป็นความเข้มข้นของน้ำตาลในน้ำบริสุทธิ์

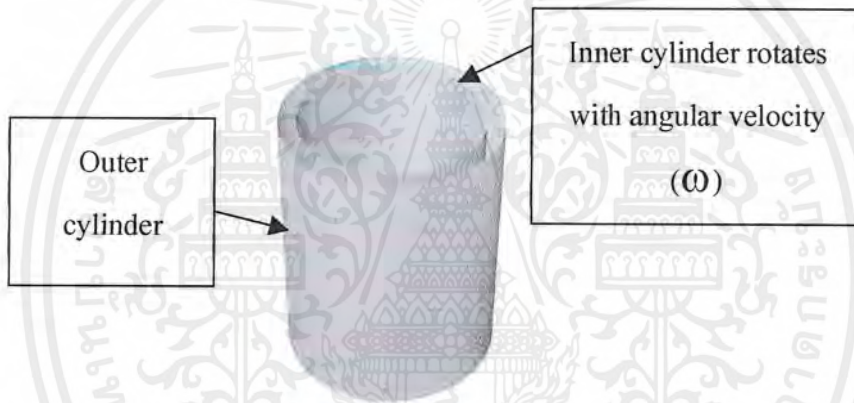
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่ใช้ในการวัดความหวาน

2.1 การคำนวณหาทอร์กเนื่องจากของเหลว

ในหัวข้อนี้จะทำการหาสมการการกระจายของความเร็ว และความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้น สำหรับการไหลแบบ Laminar ของของเหลวอัดตัวไม่ได้ในแนวเส้นสัมผัสระหว่างทรงกระบอกในแนวตั้งสองวงซ้อนกันและมีจุดศูนย์กลางร่วมกัน โดยทรงกระบอกในหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ω ดัง รูปที่ 1.1



รูปที่ 2.1 ทรงกระบอกสองวงซ้อนกัน โดยทรงกระบอกในหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ω และทรงกระบอกนอกอยู่กับที่

ในสภาวะคงตัวของการไหลแบบ Laminar ของของเหลวที่มีการหมุนและความเร็วในทิศทางแนวรัศมีและแนวตั้งเป็นศูนย์ (V_r และ V_z เท่ากับศูนย์) และ ไม่มี pressure gradient ในทิศทางเส้นสัมผัส θ

จากสมการ Navier – Stokes ในระบบพิกัดทรงกระบอกสำหรับความหนาแน่นและความหนืดคงที่เป็นดังนี้

r component:

$$\rho \left\{ \frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} - \frac{v_\theta^2}{r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} \right\} =$$

$$\rho g_r - \frac{\partial p}{\partial r} + \mu \left\{ \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial (rv_r)}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right\}$$
(2.1a)

θ component:

$$\rho \left\{ \frac{\partial v_\theta}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} - \frac{v_r v_\theta}{r} + v_z \frac{\partial v_\theta}{\partial z} \right\} =$$

$$\rho g_\theta - \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \mu \left\{ \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial (rv_\theta)}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial z^2} \right\}$$
(2.1b)

z component

$$\rho \left\{ \frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right\} =$$

$$\rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right\}$$
(2.1c)

ซึ่งสามารถลดรูปได้ดังนี้

r component

$$-\frac{v_r^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r}$$
(2.2a)

θ component

$$0 = \frac{d}{dr} \left(\frac{1}{r} \frac{d(rv_\theta)}{dr} \right)$$
(2.2b)

z component

$$0 = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z$$
(2.2c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาที่ของเหลวระหว่างทรงกระบอกใน(R_i)กับทรงกระบอกนอก (R_o) จากสมการ (2.2b)
สามารถอินทิเกรตแล้วแทนค่า Boundary condition ดังนี้โดย

$$\text{ที่ } r = R_i = KR_o ; v_\theta = \omega KR_o$$

$$\text{ที่ } r = R_o ; v_\theta = 0$$

เมื่อทำการอินทิเกรตสมการ (2.2b) แล้วจะได้ดังสมการนี้

$$c_2 + c_1 \frac{r^2}{2} = rv_\theta \quad (2.3)$$

นำค่า boundary condition ที่ $r = R_o ; v_\theta = 0$ แทนใน (2.3) จะได้

$$c_2 = -c_1 \frac{R_o^2}{2}$$

แล้วนำค่า c_2 แทนกลับในสมการ (2.3)

$$-c_1 \left(\frac{R_o^2}{2} - \frac{r^2}{2} \right) = rv_\theta \quad (2.4)$$

นำค่า boundary condition ที่ $r = KR_o ; v_\theta = \omega KR_o$ แทนใน (2.4) จะได้

$$c_1 = \frac{2\omega k^2}{k^2 - 1}$$

แล้วนำค่า c_1 แทนกลับในสมการ (2.4)

$$-\frac{2\omega k^2}{k^2 - 1} \left(\frac{R_o^2}{2} - \frac{r^2}{2} \right) = rv_\theta \quad (2.5)$$

ทำการจัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$v_\theta = \frac{\omega k^2}{r(1-k^2)} (R_o^2 - r^2) \quad (2.6)$$

นำ v_θ จากสมการ (2.6) มาหาค่า shear ($\tau_{r\theta}$) จากสมการต่อไปนี้

$$\tau_{r\theta} = \mu \left[r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{v_\theta}{r} \right) + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial v_r}{\partial \theta} \right) \right] \quad (2.7)$$

$$\tau_{r\theta} = 2\mu\omega \left(\frac{R_o}{r} \right)^2 \left(\frac{k^2}{k^2 - 1} \right) \quad (2.8)$$

หาค่า torque(T) ที่ $r = R_i = KR_o$ จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$\begin{aligned}
 T &= -\tau_{r\theta}AR \\
 &= -2\mu\omega\left(\frac{R_o}{kR_o}\right)^2\left(\frac{k^2}{k^2-1}\right)2\pi kR_oLkR_o \\
 T &= 4\pi\mu\omega LR_o^2\left(\frac{k^2}{1-k^2}\right) \quad (2.9)
 \end{aligned}$$

พิจารณาของเหลวภายในทรงกระบอกใน (R_i)

แทน boundary condition ต่างๆดังนี้ลงในสมการ (2.3)

$$\text{ที่ } r=0 : v_\theta = 0 \quad \text{ได้ค่า } c_2 = 0$$

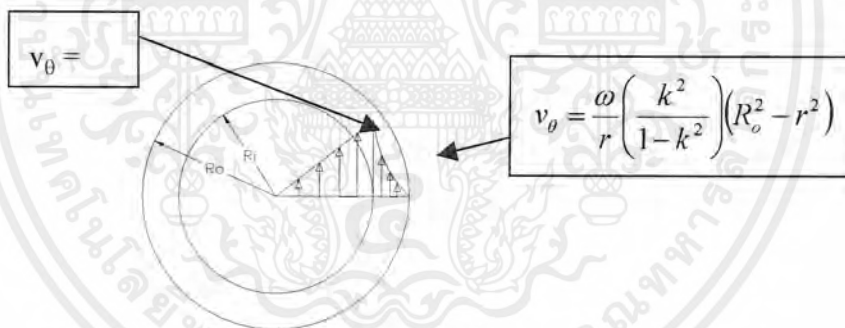
$$\text{ที่ } r=KR_o : v_\theta = \omega KR_o \quad \text{ได้ค่า } c_1 = 2\omega$$

จะได้ $v_\theta = \omega r$ แล้วนำไปใส่ในสมการ (2.7) เพื่อหาค่า $\tau_{r\theta}$

$$\tau = \mu \left[r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\omega r}{r} \right) \right] = 0$$

เพราะฉะนั้น ทอร์ก (T) จึงมีค่าเท่ากับศูนย์

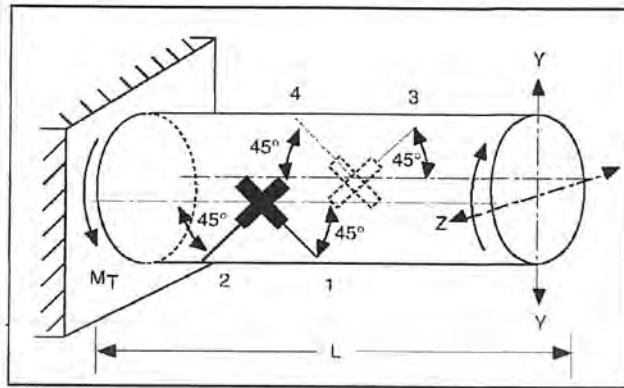
ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วที่ตัดฉากกับรัศมี (v_θ) กับ ระยะที่รัศมีต่างๆแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดง velocity gradient ของ v_θ

2.2 การติดตั้ง Strain Gauge เพื่อคำนวณการบิดของเพล

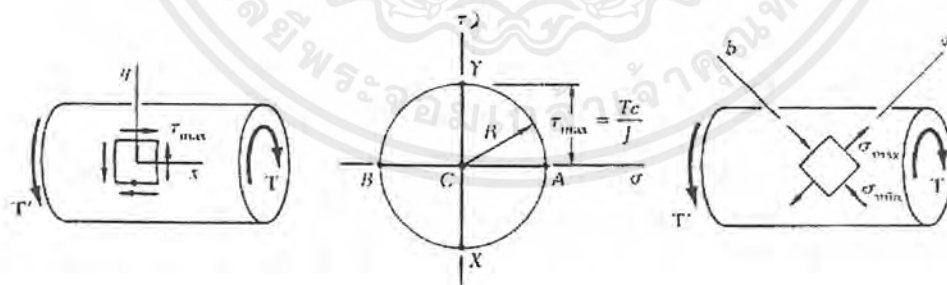
ในการติดตั้ง Strain Gauge เพื่อหาขนาดของ τ_{xy} ที่เกิดขึ้น ลักษณะการติดตั้ง ควรติดตั้งตามทิศทางดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะการติดตั้ง Strain Gauge บนเพลลา

ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้จากวงกลม โมร์ ในรูปที่ 4 จากลักษณะของแรงที่มีแต่การบิด ดังรูปซ้ายมือ เราจะ ได้ $\sigma_x = \sigma_y = 0$ และ $\tau_{xy} = \tau_{max} = Tc/J$ หากนำไป Plot ค่าบนวงกลมโมร์ จะได้ผลดังรูปกลาง คือ ในตำแหน่งของ X และ Y แนว X-Y ทำมุม $2\theta_p = 90$ องศา กับแกนความเค้นหลัก (σ)

นั่นคือ ระนาบที่เกิด σ_{max} , σ_{min} คือระนาบที่ทำมุม $\theta_p = 45$ องศา กับแกน x ซึ่งถ้า พิจารณาดังรูปขวามือความเค้นในแนว a และ b ซึ่งอยู่บนระนาบทำมุม 45 และ -45 องศา กับแกนเพลลา จะเกิด σ_{max} , σ_{min} ตามลำดับ ซึ่งเป็นตำแหน่ง A และ B บนวงกลมโมร์นั่นเอง เห็นได้ว่า ค่าของ $\sigma_{max} = -\sigma_{min}$



รูปที่ 2.4 วงกลมโมร์ สำหรับในกรณีของการบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเครียดที่เกิดขึ้นบนตัว Strain Gauge แต่ละตัว สามารถหาได้โดยแทนค่าลงในสมการ ความสัมพันธ์ของ $\varepsilon(\theta)$, ε_x , ε_y , γ_{xy} โดยจาก

$$\varepsilon(\theta) = \varepsilon_x \cos^2 \theta + \varepsilon_y \sin^2 \theta + \gamma_{xy} \sin \theta \cos \theta$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon(45^\circ) = (\varepsilon_x + \varepsilon_y)/2 + \gamma_{xy}/2 \quad (2.10)$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon(-45^\circ) = (\varepsilon_x + \varepsilon_y)/2 - \gamma_{xy}/2 \quad (2.11)$$

เนื่องจากไม่มีการยืดในแนวแกน x และ y ค่าของ $\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$ และจากความสัมพันธ์ $\varepsilon_1 = -\varepsilon_2$ เราจะแทนค่าของ ε_1 ด้วย ε และ ε_2 ด้วย $-\varepsilon$ เมื่อนำสมการที่ (2.10) ลบด้วย สมการที่ (2.11) จะได้

$$\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = 2\varepsilon = \gamma_{xy} \quad (2.12)$$

2.3 การคำนวณหา Torque (T) ที่เกิดบนเพลลา

Torque (T) มีความสัมพันธ์กับความเค้นเฉือนที่ผิววนอกของเพลลา (τ_{xy}) รัศมี R_o ดังนี้คือ

$$T = \tau_{xy} J / R_o \quad (2.13)$$

โดยมีค่า Polar moment of inertia (J) ของเพลลาทวงคือ

$$J = \frac{\pi}{2} (R_o^4 - R_i^4)$$

จาก Hooke's law สำหรับ ความเค้นและความเครียดเฉือน

$$\tau = G\gamma$$

$$\tau_{xy} = G\gamma_{xy} \quad (2.14)$$

แทนค่าจากสมการที่ (2.12) และ (2.14) ลงในสมการที่ (2.13) ได้

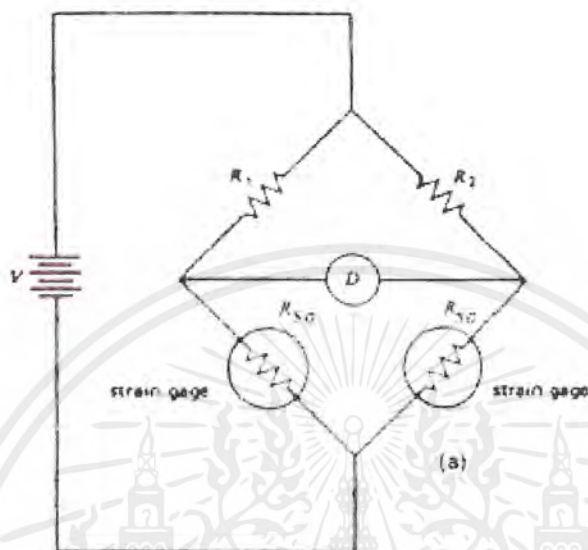
$$T = \frac{G(2\varepsilon)J}{R_o}$$

$$T = \frac{G\varepsilon\pi}{R_o} (R_o^4 - R_i^4) \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Strain (ϵ) ที่เกิดขึ้น กับ Output ของวงจรวัด

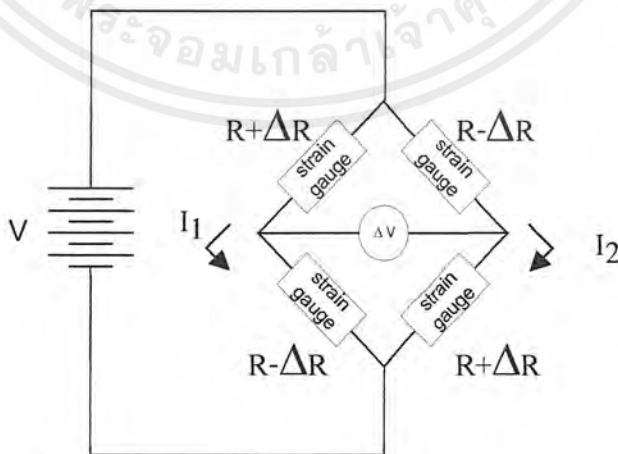
ในการวัดเราใช้ Strain Gauge ติดตั้งอยู่ในวงจร Bridge ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 วงจร Bridge

เราใช้หลักการที่ว่า เมื่อ Strain Gauge ยืดตัวหรือหดตัว จะทำให้ ค่าความต้านทานภายในตัว Strain Gauge เปลี่ยนไป ดังสมการที่ (2.16)

$$GF = \frac{\Delta R / R}{\epsilon} \tag{2.16}$$



รูปที่ 2.6 ภาพประกอบการคำนวณวงจร Bridge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.6 เราสามารถคำนวณหาค่า ΔV เมื่อออกแบบให้ติด Strain Gauge 4 ตัว โดยวิธีทาง Circuit ได้ดังนี้

$$I_1 = I_2 = \frac{V}{(R - \Delta R) + (R + \Delta R)} = I$$

$$\Delta V = I(R + \Delta R) - I(R - \Delta R)$$

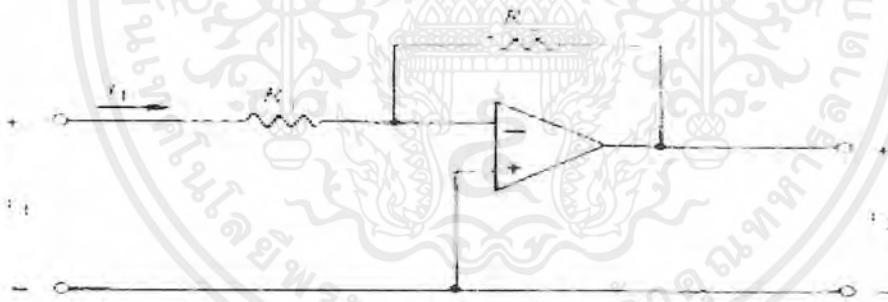
$$\Delta V = \frac{V\Delta R}{R} \quad (2.17)$$

กลายเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง Output (ΔV) กับ Strain (ϵ) ที่เกิดขึ้นดังนี้คือ

$$\Delta V = GF \cdot \epsilon \cdot V \quad (2.18)$$

2.5 วงจร Amplifier

วงจรขยายที่ใช้ เป็นวงจร Inverter โดยมีลักษณะดังรูปที่ 2.7 ซึ่งผลจากการขยายเป็นไปตามสมการที่ (2.18)



รูปที่ 2.7 Inverter

$$\text{Output} = -\frac{R_2}{R_1} \Delta V \quad (2.19)$$

ในส่วนของทฤษฎีนี้ได้ทำการตั้งสมการเพื่อใช้ในการคำนวณหาลักษณะ ขนาด และข้อมูลต่างๆ สำหรับการออกแบบให้ได้ชุดอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดที่สามารถสร้างได้ และนำสมการเหล่านี้ไว้สำหรับคำนวณเพื่อเปรียบเทียบค่ากับผลการทดลองจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ

3.1 การคำนวณเพื่อการออกแบบชุดอุปกรณ์

เมื่อนำสมการ มาทดลองแทนค่าคงที่ต่างๆหลายๆค่า (Simulation) ดังนี้

ชุดถังทรงกระบอก จากสมการที่ (2.9)

$$T = 4\pi\mu\omega LR_o^2 \left(\frac{k^2}{1-k^2} \right)$$

$$= 4\pi\mu\omega L \left(\frac{R_o^2 R_i^2}{R_o^2 - R_i^2} \right)$$

เรากำหนดค่าคงที่ต่าง ๆ สำหรับการออกแบบไว้ดังนี้

$$\mu_{H_2O} = 0.8 \times 10^{-3} \text{ kg/(m.s)}$$

$$L = 2R_o$$

$$\omega = 1450 \text{ RPM} = 151.84 \text{ rad/s}$$

$$\text{Gap} = R_o - R_i = 5 \text{ mm.}$$

ซึ่งจะได้เป็นดังสมการที่ (18)

$$T = 3.053 \left(\frac{R_o^3 R_i^2}{R_o^2 - R_i^2} \right)$$

$$= 3.053 \left(\frac{(0.005 + R_i)^3 R_i^2}{0.005^2 + 0.01R_i} \right) \quad (3.1)$$

จากสมการที่ (3.1) สามารถนำไป Plot graph ได้ดัง กราฟที่ 1

เพลลา จากสมการที่ (2.15)

$$T = \frac{G \varepsilon \pi}{R_o} (R_o^4 - R_i^4)$$

เราเลือกใช้ค่า $G = 77 \text{ GPa}$ (Modulus of Rigidity of carbon steel) ได้สมการเป็น

$$T = \frac{81.6814 \times 10^9 \cdot \varepsilon}{R_o} (R_o^4 - R_i^4) \quad (3.2)$$

จากสมการที่ (3.2) สามารถนำไป Plot graph ได้ดัง กราฟที่ 2 ในภาคผนวก ก.

การเลือกและแสดงผลในส่วนของ **Strain Gauge** จากสมการที่ (2.18) ซึ่งค่าคงที่ต่างๆ ได้
 สมมุติเลือก Strain Gauge model no. SG-4/120-TY33 ดังรูปที่ 7 ซึ่งมีค่าคงที่ของส่วนประกอบต่างๆดัง
 นี้

$$GF \text{ (Approximately)} = 2.0$$

$$R = 120 \Omega$$

$$V = 10 \text{ volt}$$

ได้เป็น
$$\Delta V = 20\varepsilon \quad (3.3)$$

โดยได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Strain (ε) กับ ΔV ได้ดัง กราฟที่ ในภาคผนวก ค.

จากทฤษฎีและการทำการ Simulation ข้างต้นเรา ได้ทำการออกแบบ สร้าง และเลือกใช้ชิ้นส่วน
 อุปกรณ์ต่างๆ แต่เนื่องจากปัญหาต่างๆ ทางด้านการผลิต และความละเอียด แม่นยำของเครื่องในชุด
 อุปกรณ์ทำให้ผลสุดท้ายในการออกแบบได้ผลดังนี้

3.1.1 การออกแบบชุดถังทรงกระบอก

จากสมการในบทที่ 2 และค่าคงที่ต่างๆดังนี้

$$R_i = 70 \text{ mm.}$$

$$R_o = 75 \text{ mm.}$$

$$L = 154 \text{ mm.}$$

$$\omega = 400 \text{ RPM}$$

ซึ่งจะได้เป็นดังสมการที่ (3.1)

$$T = 3.0818 \mu \quad (3.4)$$

3.1.2 การออกแบบเพลลา

จากสมการที่ (2.15) เราเลือกใช้ค่า $G = 77 \text{ GPa}$ (Modulus of Rigidity of steel) ได้สมการเป็น

$$T = 30237.83 \varepsilon \quad (3.5)$$

3.1.3 การออกแบบวงจรมหา Strain Gauge พร้อมขยายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.16) และ (2.17) ซึ่งมีค่าคงที่ของส่วนประกอบต่างๆดังนี้

$$GF \text{ (Approximately)} = 2.09$$

$$R = 120$$

$$V = 10.5 \text{ volt}$$

โดยที่

$$\Delta V = \frac{V\Delta R}{R}$$

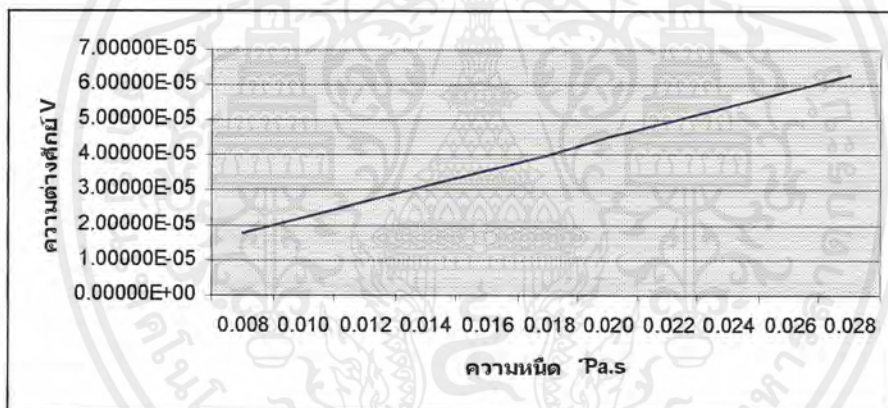
$$GF = \frac{\Delta R / R}{\varepsilon}$$

$$\Delta V = 21.945\varepsilon \tag{3.6}$$

จากการคำนวณเพื่อออกแบบ ชุดถังทรงกระบอก เพลลา และ เราได้ความสัมพันธ์เป็นลักษณะเชิงเส้นดังนี้คือ

$$\Delta V = 2.2366 \times 10^{-3} \mu \tag{3.7}$$

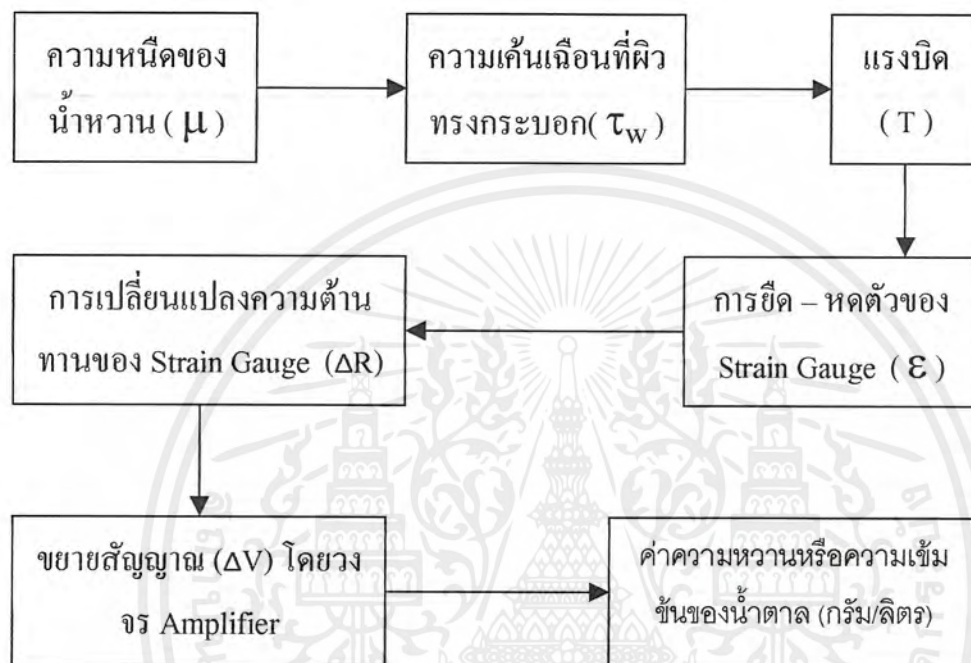
ได้ผลดังกราฟที่ 3.1



กราฟที่ 3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (μ) กับ ความต่างศักย์ (ΔV)

จากกราฟจะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ของค่า ΔV ที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง $10 \mu V$ ถึง $100 \mu V$ จึงต้องการทำการขยายสัญญาณ 1000 เท่า เพื่อให้ Output อยู่ในช่วง $10mV - 100mV$ แล้วนำ Output ที่ได้นำไปเทียบค่าตาม โดยคำนวณตามขั้นตอน ได้ผลดังที่คำนวณไว้แล้วในสมการที่ (3.7)

Diagram แสดงกระบวนการคิดคำนวณและการถ่ายทอดข้อมูลของเครื่องวัดความหวาน



3.2 ผลสำเร็จของชุดอุปกรณ์

หลังจากได้มีการออกแบบตัดแปลงแก้ปัญหาต่างๆแล้ว เราได้ชุดอุปกรณ์ที่มีลักษณะสุดท้ายดังรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 ภาพรวมของชุดอุปกรณ์เครื่องวัดความเข้มข้นของน้ำหวาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ภาพจริงโดยรวมของชุดอุปกรณ์เครื่องวัดความเข้มข้นของน้ำหวาน

3.2.1 ตัวถังทรงกระบอกนอก และแท่น



รูปที่ 3.3 ภาพถังทรงกระบอกนอกพร้อมแท่นวาง

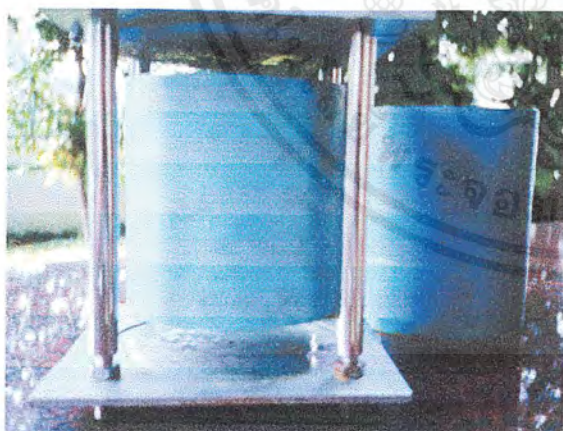
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ภาพจริงของทรงกระบอกนอกและแท่นวาง

แท่นเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีขนาด กว้าง 8 นิ้ว ถังทรงกระบอกทำจาก PVC มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 160 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 150 มม. ความลึก 200 มม. ในการทดสอบแต่ละครั้งใช้ปริมาตรของน้ำหวาน 800 มล. ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4

3.2.2 ชุดแกนหมุนและทรงกระบอกใน

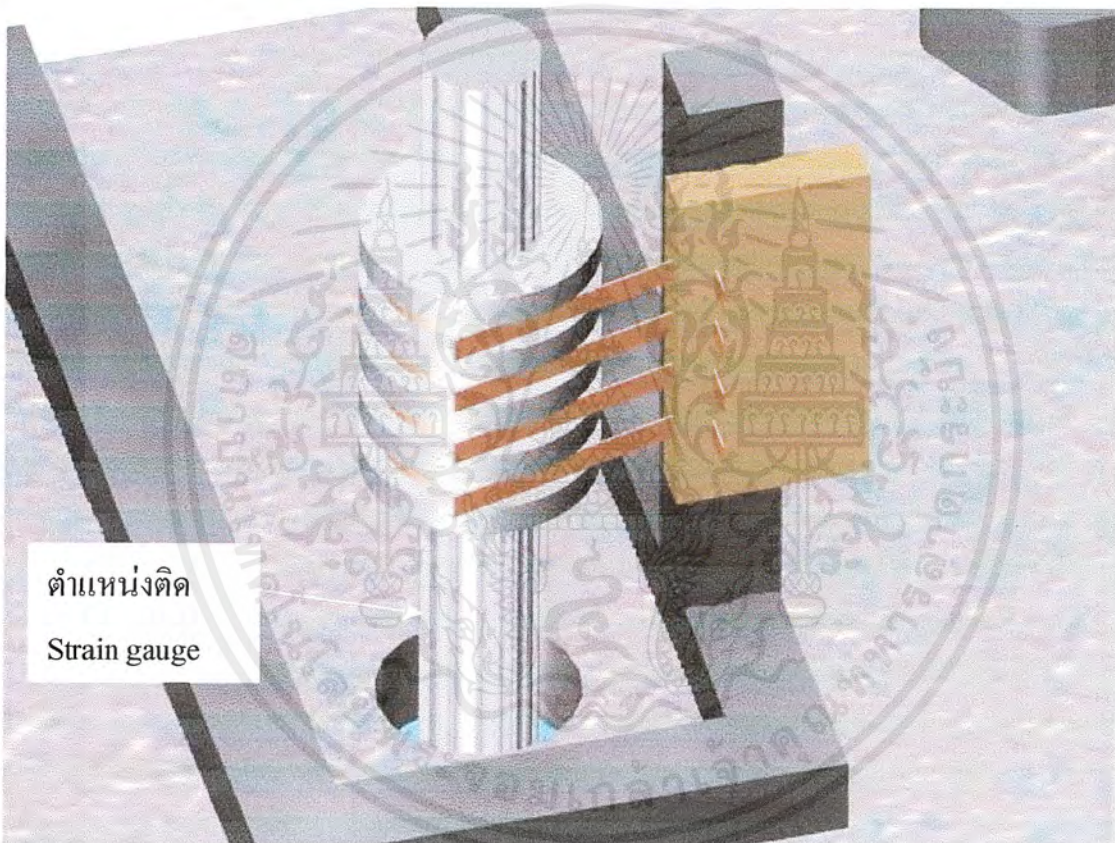


รูปที่ 3.5 ชุดแกนหมุนและทรงกระบอกใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังรูปที่ 3.5 ชุดแกนหมุนและทรงกระบอกในมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนหมุน 10 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอกใน 140 มม. นั่นคือมี Gap ระหว่างทรงกระบอกทั้งสอง 5 มม. มีความสูงของทรงกระบอกใน 154 มม. ภายในทรงกระบอกกลวงและปิดสนิทยึดแน่นกับเพลาด้านหน้าแปลน (ไม่ได้ระบุไว้ในรูปวาด) แผ่นวงกลมด้านบนเป็นฝาปิดทรงกระบอกนอกที่สนิทแน่นพอดี แผ่นเหล็กสี่เหลี่ยมมีขนาดเท่ากับแท่นด้านล่างจะประกอบกับแท่นด้วยเสาแล้วยึดแน่นด้วย nut 4 ตัว

3.2.3 Strain gauge และ Slip ring



รูปที่ 3.6 Slip ring และ ตำแหน่งติด Strain gauge

ตำแหน่งติด Strain gauge สามารถดูวิธีติดได้จากภาคผนวก จ. ในหัวข้อรูปแบบการติด Strain gauge หมายเลข 8 และคุณสมบัติของ Strain gauge ที่เลือกใช้ได้จากรูปในหัวข้อ Strain gauge ที่เลือกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ชุดอุปกรณ์สนับสนุนอื่นๆ



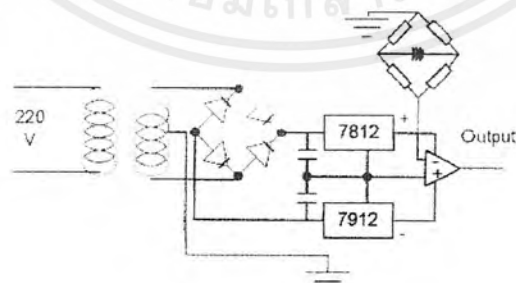
รูปที่ 3.7 อุปกรณ์สนับสนุนอื่นๆ

อุปกรณ์สนับสนุนอื่นๆ ได้แก่

- วงจร Amplifier อัตราการขยาย 540 เท่า (ออกแบบให้มีอัตราขยาย 500 เท่า)
- พร้อม Power supply สำหรับ IC Op-amp เพื่อขยายสัญญาณ(รูปที่ 3.7 ด้านขวามือ)
- หม้อแปลง D.C. ขนาด 9 V เพื่อจ่ายไฟให้วงจร Bridge ของ Strain gauge
- Power supply ปรับค่าแรงดันได้เพื่อจ่ายไฟให้มอเตอร์ให้หมุนที่ความเร็วรอบต่างๆ

กัน

นอกจากนี้ยังมี เทอร์โมมิเตอร์ เพื่อวัดอุณหภูมิของของเหลวก่อนการทดลอง บีกเกอร์ สำหรับวัดตวงน้ำ เรืองวัดความเร็วรอบเพื่อตั้งค่าความเร็วรอบที่ต้องการวัด และที่ขาดไม่ได้คือ โวลต์มิเตอร์ เพื่อวัดสัญญาณ Output และตรวจเช็คค่าต่างๆ ในวงจร



รูปที่ 3.8 ภาพรวมวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในส่วนของบทนี้ประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ ได้แก่ การออกแบบวิธีการทำการทดลอง และ ผลการทดลอง

4.1 การออกแบบการทดลอง

เริ่มด้วยการทดลองหาความสัมพันธ์ของ ความเข้มข้นของน้ำตาลกับความหนืด ซึ่งไม่สามารถคำนวณได้จากทางทฤษฎี ค่าที่ได้นี้มาจากการวัดโดยเครื่องวัดความหนืดของทางภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลซึ่งมีความเที่ยงตรงสูง ผลจากการทดลองนี้จะนำมาใช้เป็นค่าเริ่มต้นสำหรับเปรียบเทียบผลทางทฤษฎีกับผลการทดลองจริงต่อไป

ทำการทดสอบเบื้องต้นของชุดอุปกรณ์ โดยได้ค่าต่างๆดังนี้

- ความเร็วรอบสูงสุดขณะมีของเหลวในทรงกระบอก 550RPM
- ค่า ΔV ขณะหยุดนิ่งมีค่า -3.7 mV และเป็น Output หลังขยายสัญญาณ ประมาณ 2 V (เนื่องจาก Output เริ่มต้นมีค่าเป็นลบ จึงเลือกใช้ Inverter ขยายสัญญาณ จะได้ Output มีค่าเป็นบวก สะดวกแก่การจดบันทึกค่า)
- วงจรขยายมีอัตราการขยาย 540 เท่า

เริ่มการทดลองจริงด้วยการออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง ซึ่งค่าที่ต้องการในการทดลอง ได้แก่ ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ , ค่าแรงดันที่จ่ายให้กับวงจร Bridge ของ Strain gauge ซึ่งเป็นตัวแปรต้น ส่วนตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าของ out put หลังการขยายสัญญาณ โดยปฏิบัติตามวิธีการทดลอง

4.1.1 วิธีทำการทดลอง

- (1) เตรียมน้ำหวานที่มีความเข้มข้น 10 , 20 , 30 , ... , 90 , 100 กรัม ต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้ได้ปริมาตรความเข้มข้นละ 800 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส)
- (2) นำน้ำหวานจากข้อ (1) ตวงใส่ถึงทรงกระบอกนอกวางบนแท่นแล้วครอบด้วยชุดอุปกรณ์ทรงกระบอกใน
- (3) ต่อกระแสไฟฟ้าจ่ายให้กับมอเตอร์เพื่อให้เกิดความเร็วรอบ 100 , 200 , 300 , 400 , 500 RPM และต่อชุดอุปกรณ์วัดเข้ากับ Slip Ring ได้แก่ แรงดันที่จ่ายให้กับวงจร Bridge ของ Strain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

gauge และ Input เข้าสู่วงจร Amplifier (ΔV) พร้อมเชื่อมสัญญาณ Out put เข้ากับ โวลต์มิเตอร์ แล้วบันทึกผลตามตาราง ดังแสดงใน ภาคผนวก

- (4) ขณะวัดควรวัดที่ความเร็วรอบคงที่ที่สุด แล้วบันทึกค่า minimum และ maximum เพื่อนำผลไปพิจารณาต่อไป

4.2 ผลการทดลอง

4.2.1 ผลการทดลองครั้งที่ 1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 1

ความเข้มข้น g/c.c.	แรงคั้นเข้าวงจร Bridge ของ Strain gauge (v)	500 RPM		400 RPM		300 RPM		200 RPM		100 RPM		หุยุดนึ่ง (V)
		Min(V)	Max(V)	Min(V)	Max(V)	Min(V)	Max(V)	Min(V)	Max(V)	Min(V)	Max(V)	
1	12.00	1.974	1.980	1.989	1.994	2.007	2.009	2.011	2.022	1.997	2.041	2.040
0.9	11.70	1.806	1.819	1.824	1.833	1.854	1.856	1.855	1.864	1.871	1.888	1.910
0.8	12.00	1.887	1.889	1.873	1.886	1.917	1.918	1.930	1.952	1.924	1.976	1.979
0.7	12.00	1.922	1.924	1.941	1.954	1.951	1.952	1.934	1.948	1.976	2.002	2.015
0.6	12.15	1.916	1.918	1.929	1.933	1.941	1.942	1.950	1.955	1.953	2.001	1.993
0.5	11.81	1.931	1.933	1.954	1.956	1.964	1.965	1.964	1.977	1.961	1.977	1.945
0.4	11.90	1.919	1.923	1.932	1.934	1.945	1.946	1.954	1.968	1.963	1.981	2.010
0.3	11.96	1.937	1.941	1.929	1.931	1.933	1.935	1.942	1.948	1.981	2.010	2.080
0.2	12.00	1.971	1.973	1.951	1.954	1.975	1.976	1.978	1.955	1.994	2.022	2.100
0.1	12.03	1.981	1.986	1.965	1.971	1.989	1.990	1.977	1.986	1.972	2.014	2.010
0	12.03	1.940	1.955	1.952	1.955	2.005	2.006	2.018	2.024	2.001	2.031	2.040

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการทดลองที่ 2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 2

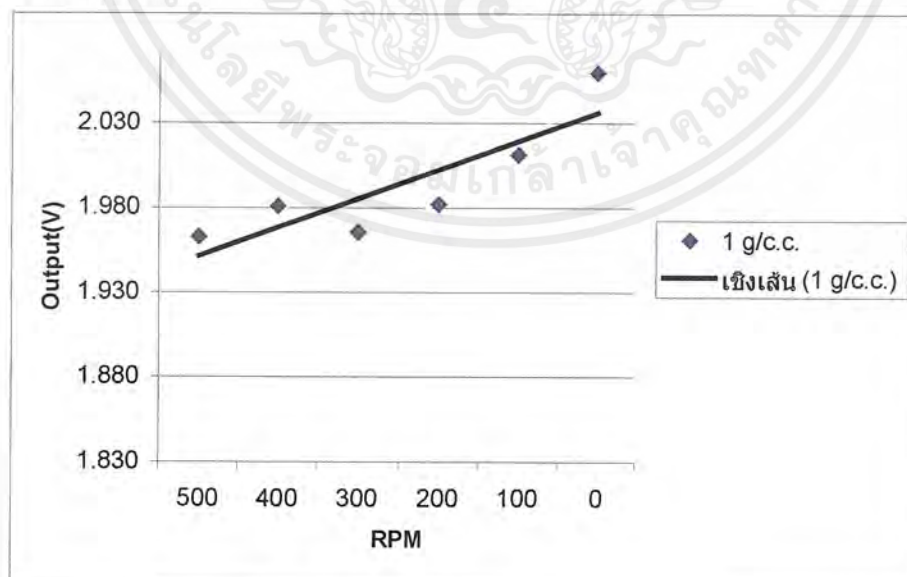
ความเข้มข้น g/c.c.	แรงดันจ่ายวงจร Bridge ของ Strain gauge (v)	500 RPM		400 RPM		300 RPM		200 RPM		100 RPM		หยุดนิ่ง (V)
		Min(V)	Max(V)	Min(V)	Max(V)	Min(V)	Max(V)	Min(V)	Max(V)	Min(V)	Max(V)	
		1	12.00	1.942	1.955	1.954	1.987	1.916	1.930	1.945	1.950	
0.9	11.70	1.865	1.878	1.883	1.886	1.903	1.905	1.903	1.915	1.905	1.930	1.960
0.8	12.00	1.854	1.889	1.906	1.912	1.931	1.933	1.932	1.953	1.938	1.987	2.000
0.7	12.00	1.884	1.894	1.895	1.899	1.939	1.941	1.964	1.977	1.972	1.997	2.050
0.6	12.15	1.929	1.931	1.926	1.936	1.946	1.940	1.947	1.960	1.954	2.003	2.090
0.5	11.81	1.926	1.928	1.922	1.924	1.934	1.935	1.964	1.968	1.977	1.978	1.980
0.4	11.90	1.954	1.958	1.945	1.949	1.936	1.937	1.946	1.953	1.944	1.970	2.010
0.3	11.96	1.949	1.955	1.954	1.958	1.967	1.968	1.961	1.978	1.973	2.003	2.080
0.2	12.00	1.998	2.000	1.985	1.987	2.004	2.005	1.985	2.002	1.987	2.037	2.160
0.1	12.03	1.987	1.992	1.996	2.002	2.028	2.030	2.027	2.036	2.002	2.037	2.090
0	12.03	1.950	1.980	1.976	1.998	1.968	1.978	1.970	1.974	1.986	2.005	2.050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยจากผลการทดลอง

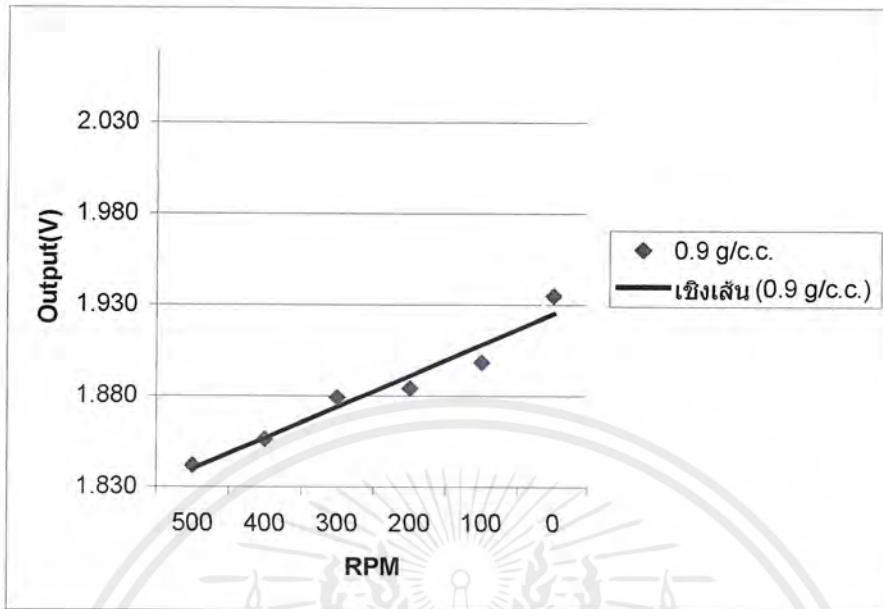
g/c.c.	500	400	300	200	100	0
1	1.963	1.981	1.966	1.982	2.011	2.06
0.9	1.842	1.857	1.880	1.884	1.899	1.935
0.8	1.880	1.894	1.925	1.942	1.956	1.99
0.7	1.906	1.922	1.946	1.956	1.987	2.033
0.6	1.924	1.931	1.942	1.953	1.978	2.042
0.5	1.930	1.939	1.950	1.968	1.973	1.963
0.4	1.939	1.94	1.941	1.955	1.965	2.01
0.3	1.946	1.943	1.951	1.957	1.992	2.08
0.2	1.986	1.969	1.990	1.98	2.01	2.13
0.1	1.987	1.984	2.009	2.007	2.006	2.05
0	1.956	1.97	1.989	1.997	2.006	2.045

จากตารางของค่าเฉลี่ย สามารถนำมาแสดงผลของค่า Output ที่เปลี่ยนไปตามความเร็วรอบสำหรับความเข้มข้นต่างๆกัน ได้ดังนี้

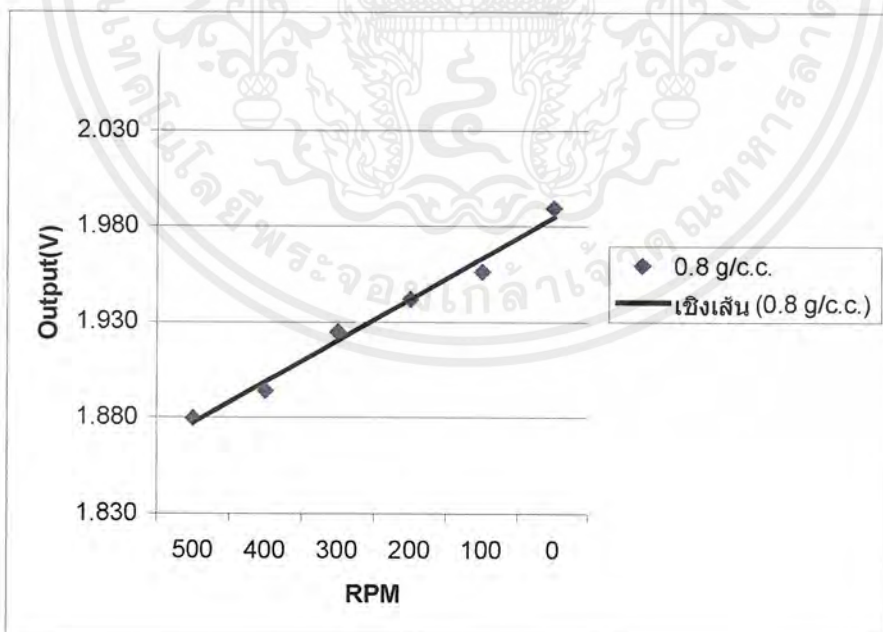


4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

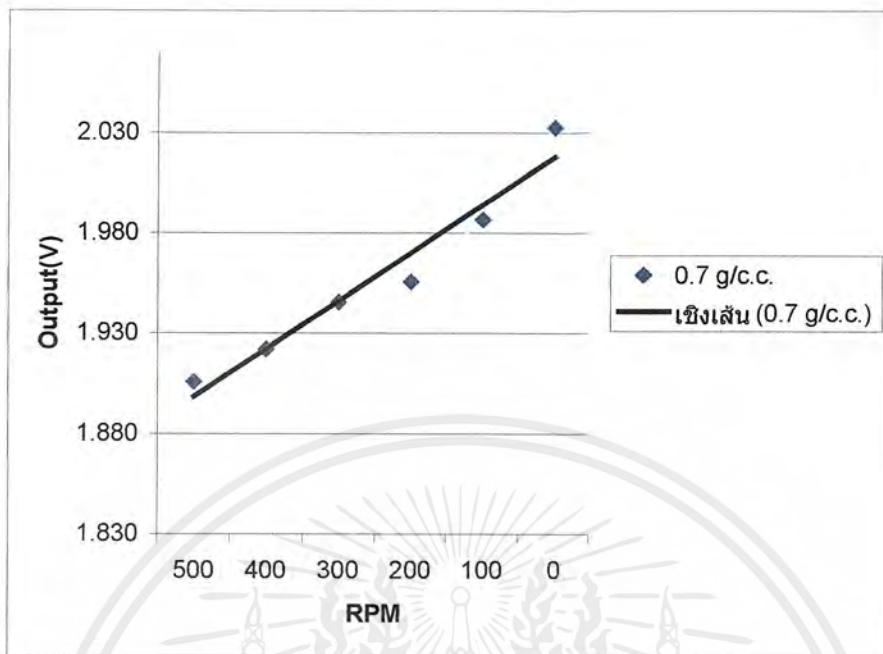


4.1

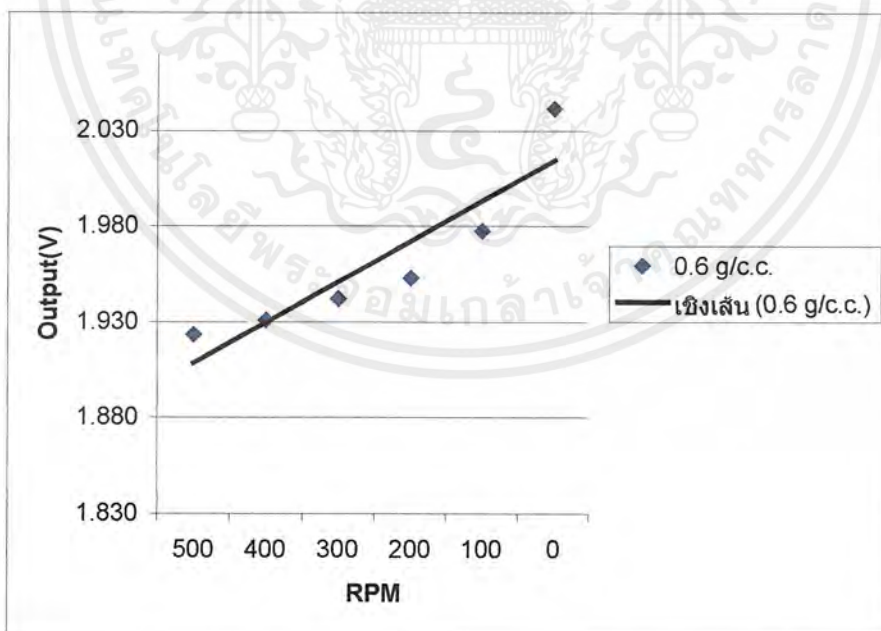


4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

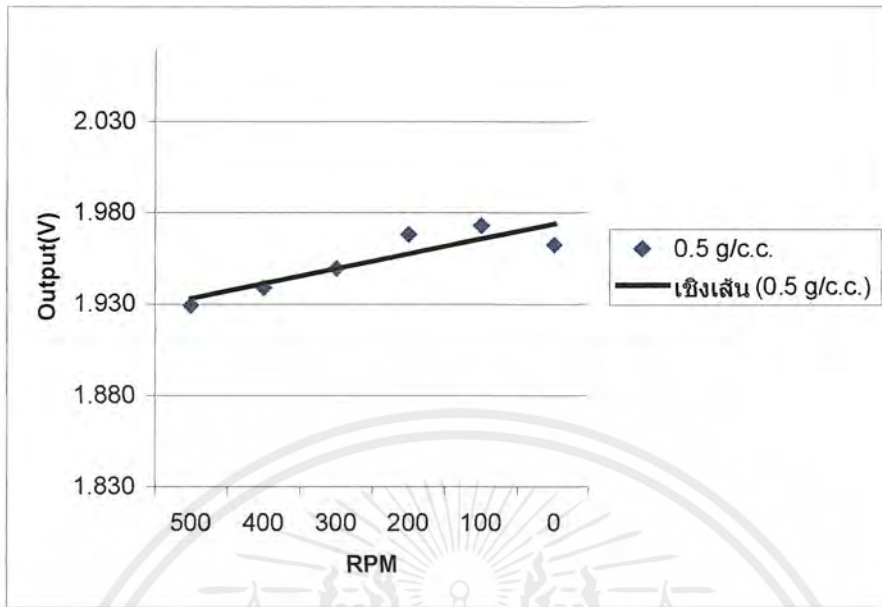


4.1

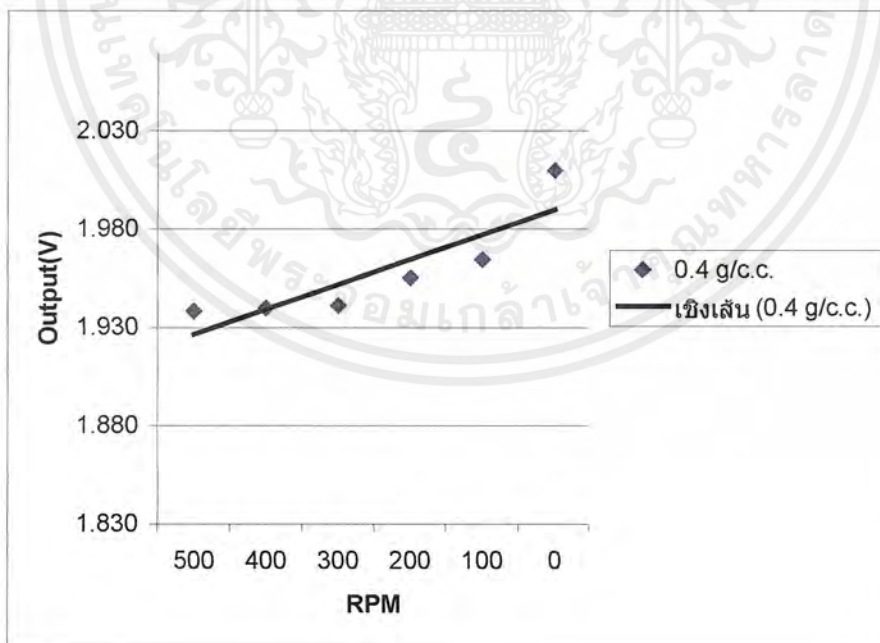


4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

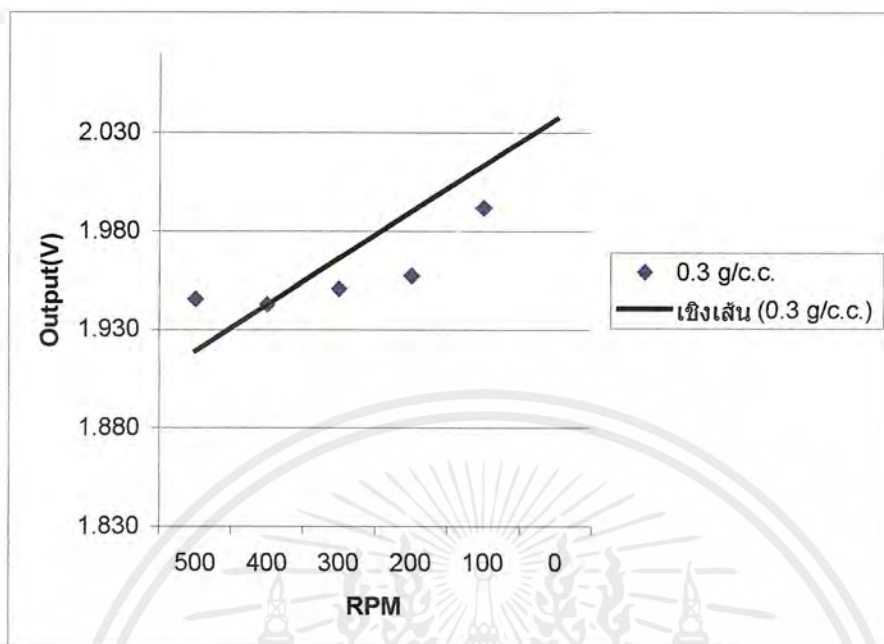


4.1

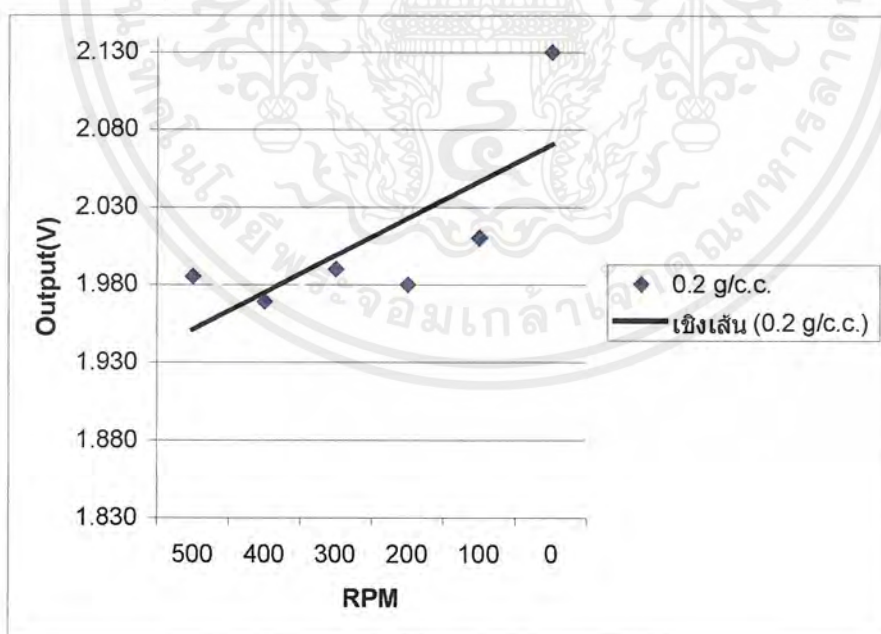


4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

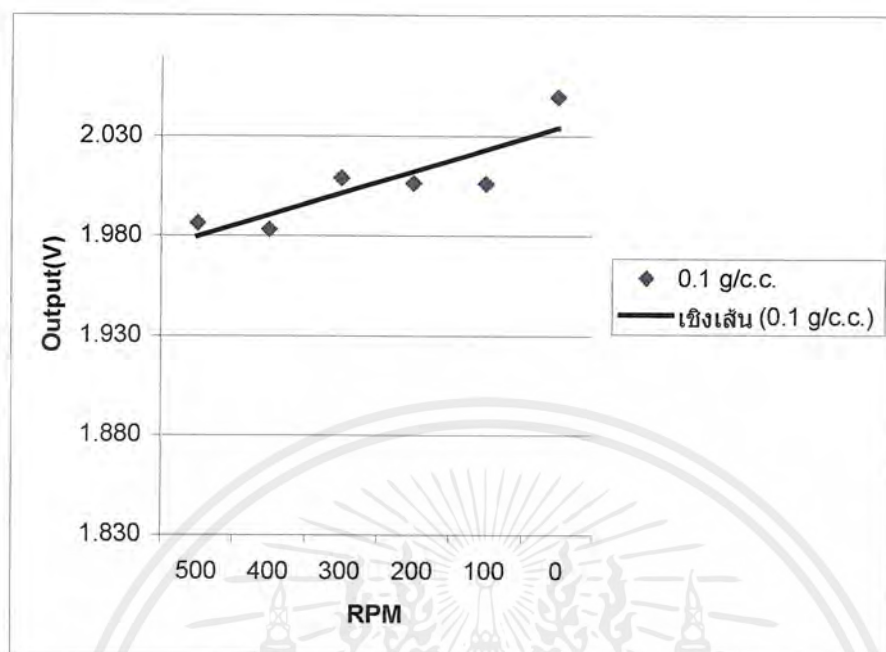


4.1

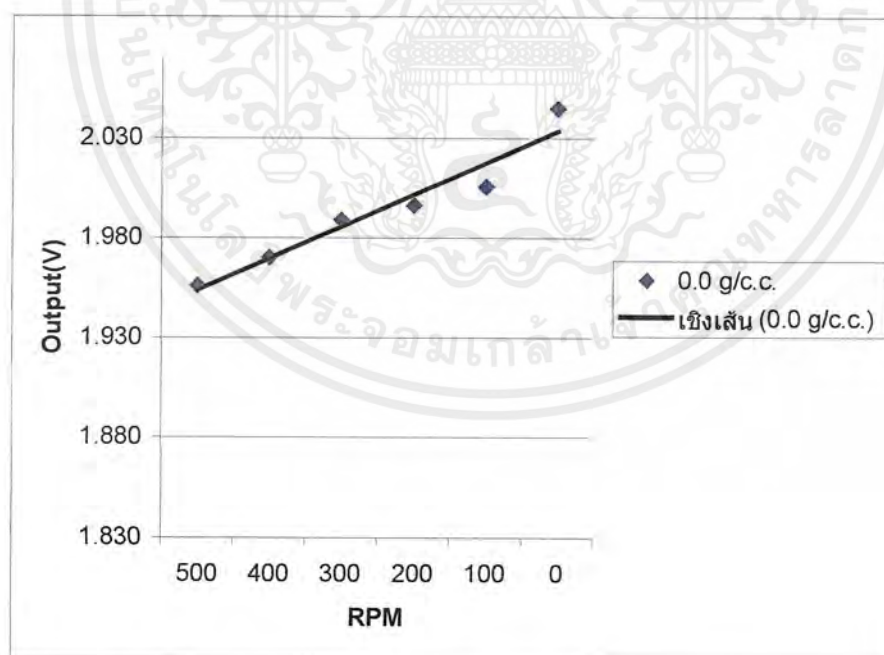


4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4.1

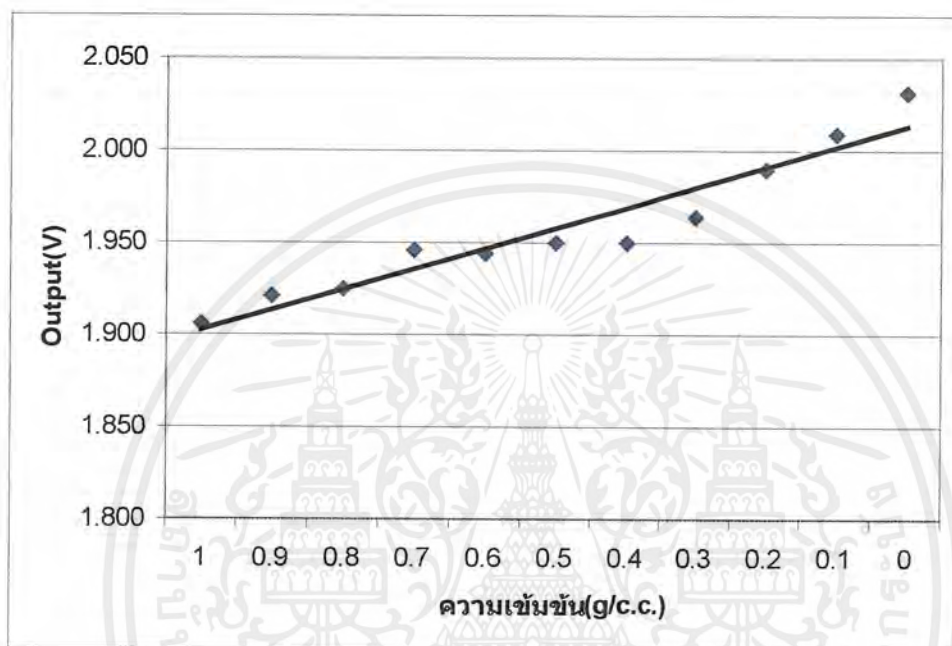


กราฟที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของOutput ที่เปลี่ยนไปตามความเร็วรอบ
สำหรับความเข้มข้นต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการปรับแต่ง (Calibration)

จากการทดลองได้ทำการเลือกให้ชุดอุปกรณ์ทำงานที่ความเร็วรอบที่เหมาะสมที่สุดคือความเร็วรอบ 300 RPM และได้ทำการปรับแต่ง Output ที่ได้จากการทดลองจริงให้มีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรงดังกราฟที่ 4.2



กราฟที่ 4.2 กราฟที่ได้ทำการปรับแต่งจากการทดลองจริง
ให้เป็นเส้นตรงที่ความเร็วรอบ 300 RPM

บทที่ 5

การสรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองเป็นไปตามทฤษฎีที่ว่า

Strain (ϵ)	\propto	Viscosity (μ)
	\propto	ความเร็วรอบ (ω)

โดยค่าความหนืด (Viscosity) มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของน้ำตาลในน้ำ และค่า Strain (ϵ) ถูกนำมาแสดงผลโดย วงจร Bridge ของ Strain gauge 4 ตัวแล้วขยายสัญญาณเป็น output

ผลที่ได้ก็มีความคลาดเคลื่อนจากทางทฤษฎีอยู่มาก แต่ชุดอุปกรณ์นี้ก็สามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยใช้ผลการทดลองในช่วงที่เป็นไปตามทฤษฎีมากที่สุด และมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด ซึ่งจากการทดลองพบว่า ช่วง 300 RPM ของแต่ละความเข้มข้น มีคุณสมบัติดังกล่าว เพราะเป็นช่วงที่ความเร็วรอบค่อนข้างคงที่ จึงสามารถใช้ในการวัดความเข้มข้นของน้ำตาลในน้ำ ได้แต่ค่าที่ได้ยังไม่น่าเชื่อถือเท่าที่ควร

5.2 สรุปปัญหาที่เกิดขึ้น

ผลจากการทดลองที่ได้ มีความใกล้เคียงกับทางทฤษฎีอยู่บ้าง ในบางส่วนของผลการทดลอง เนื่องจากมีตัวแปรที่มีปัญหาอยู่มาก ได้แก่

1. ในขณะหาค่า ΔV มีค่าไม่เท่ากับ 0 คือมีค่าประมาณ -2 V ค่าแรงดันที่จ่ายให้ Stain Gauge มีค่าไม่คงที่ อยู่ระหว่าง 11.5 V – 12 V ซึ่งมีผลต่อ Output
2. วงจรขยายไม่สามารถขยายได้ถึง 1000 เท่าและอัตราการขยายไม่คงที่อยู่ระหว่าง 535 – 542 เท่า
3. แรงกดบนตัวนำบน Slip Ring ไปเพิ่ม load ที่มอเตอร์ทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์คลาดเคลื่อนเล็กน้อย
4. มอเตอร์และ Power Supply ไม่สามารถสร้างความเร็วรอบสูงๆ ได้
5. เมื่อความเร็วรอบไม่คงที่จะเกิด Torque เนื่องจากความเร่งเชิงมุมทำให้ค่า Output ต่ำไปส่วนมาไม่คงที่

5.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

1. ผลการทดลองที่ได้มีส่วนใกล้เคียงกับทางทฤษฎีอยู่บ้างซึ่งจากทฤษฎี ค่า Output มีค่าประมาณ

$$\text{Output} = \text{อัตราขยาย} \times \Delta V$$

แต่จากผลการทดลองจริงมีค่า Output หลังจากการขยายสัญญาณแล้วประมาณ -2 V ซึ่งควรจะเริ่มจาก 0 V ทั้งนี้อาจจะมาจากค่าความต้านทานจากตัว Strain Gauge เปลี่ยนไปจากค่าเดิมซึ่งเดิมควรจะเป็น 120 Ω ทำให้ค่า Output ประกอบกับการใช้วงจร Inverter เป็นวงจรขยายสัญญาณจึงทำให้สมการของ Output เปลี่ยนไปเป็น

$$\text{Output} = 2 - \text{อัตราขยาย} \times \Delta V$$

ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ทางผู้ที่ออกแบบไม่สามารถขยายสัญญาณหลายเท่าได้คือ หากสัญญาณ 5000 เท่าจะทำให้วงจรขยายแสดง Output เป็น 12 V เท่ากับแหล่งจ่ายไฟให้ Op-Amp เพราะสัญญาณที่เป็นผลลัพธ์ไม่สามารถเกินกว่าแหล่งจ่ายได้ จึงออกแบบให้ขยายเพียง 1000 เท่า ซึ่งได้ Output เป็นอัตราขยายจริงๆ 540 เท่า

2. ผลการทดลองนี้ จะมีช่วงที่เหมาะสมที่จะทำการวัด คือช่วง ความเร็วรอบ 300 RPM ซึ่งจากการทดลองจะเห็นว่ามีความคงที่ของ Output สูง เหตุผลเนื่องมาจาก

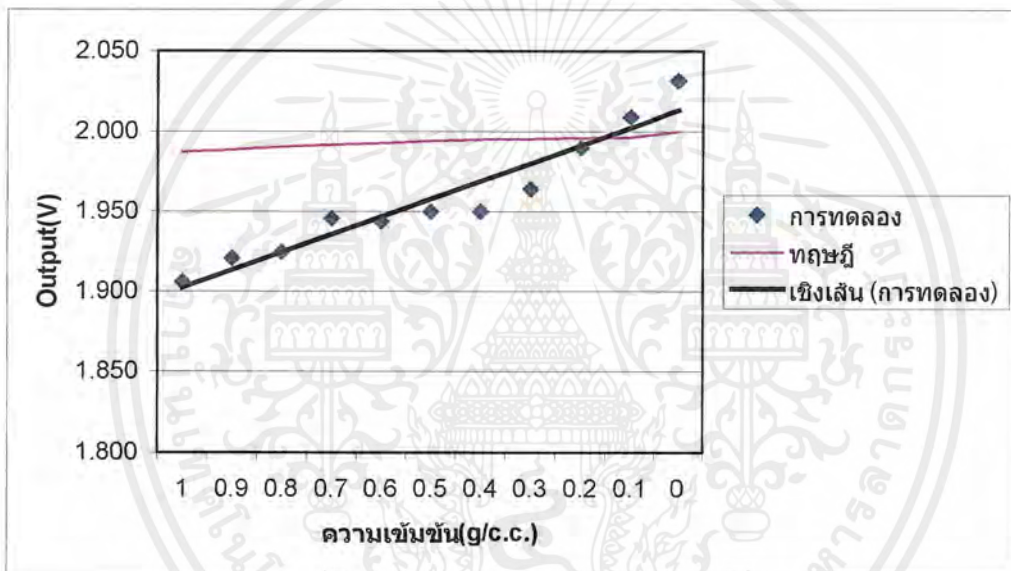
- เป็นช่วงที่ Power Supply สามารถจ่ายไฟได้ค่อนข้างคงที่ เพราะถ้าเป็นช่วงความเร็วรอบต่ำ ผลจากความฝืดของชุดอุปกรณ์มีค่ามาก และ Slip ring เคลื่อนที่ได้ไม่เรียบ
- ที่ความเร็วรอบสูงถึงแม้มีความเร็วรอบจะค่อนข้างคงที่แต่ ก็จะสามารถอ่านค่าได้ไม่ค่อนึงเท่ากับที่ ความเร็ว 300 RPM

เพราะฉะนั้นจึงควรวัดความหวนที่ความเร็ว 300 RPM แล้วนำค่า Output จากผลการทดลอง มาเทียบค่า จากกราฟ หรือตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าเฉลี่ยของ Output ที่ 300 RPM

ความเข้มข้น g/c.c.	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
Output ที่ 300 RPM	1.906	1.921	1.925	1.946	1.944	1.950	1.950	1.964	1.990	2.009	2.032

3. กราฟที่ได้จากผลการทดลองจริงมีลักษณะใกล้เคียงความเป็นเส้นตรง แต่เมื่อเปรียบเทียบผลจากทางทฤษฎีดังกราฟที่ 5.1 กราฟผลการทดลองมีความชันมากกว่าผลจากทางทฤษฎี ทั้งนี้เนื่องจากผลกระทบในเรื่องของความเสียดทานไม่ว่าจะเป็นที่ Bearing หรือบริเวณปลายกรวยแหลมด้านล่าง ประกอบกับค่าของ Output มีค่าน้อยมากอยู่แล้วด้วย นอกจากนี้อาจเป็นเพราะอัตราการขยายที่ไม่เท่ากับที่ใส่ในสมการในการคำนวณผลทางทฤษฎี



กราฟที่ 5.1 กราฟจากผลการทดลองเปรียบเทียบกับกราฟจากผลการคำนวณทางทฤษฎี ที่ 300 RPM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Introduction to Fluid Mechanics (Robert W.Fox , Alan T.McDonald)
2. Mechanics of Material (Ferdinand P.Beer , E. Russell Johnston)
3. ทฤษฎีและการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า (บัณฑิต บัวบุชา)



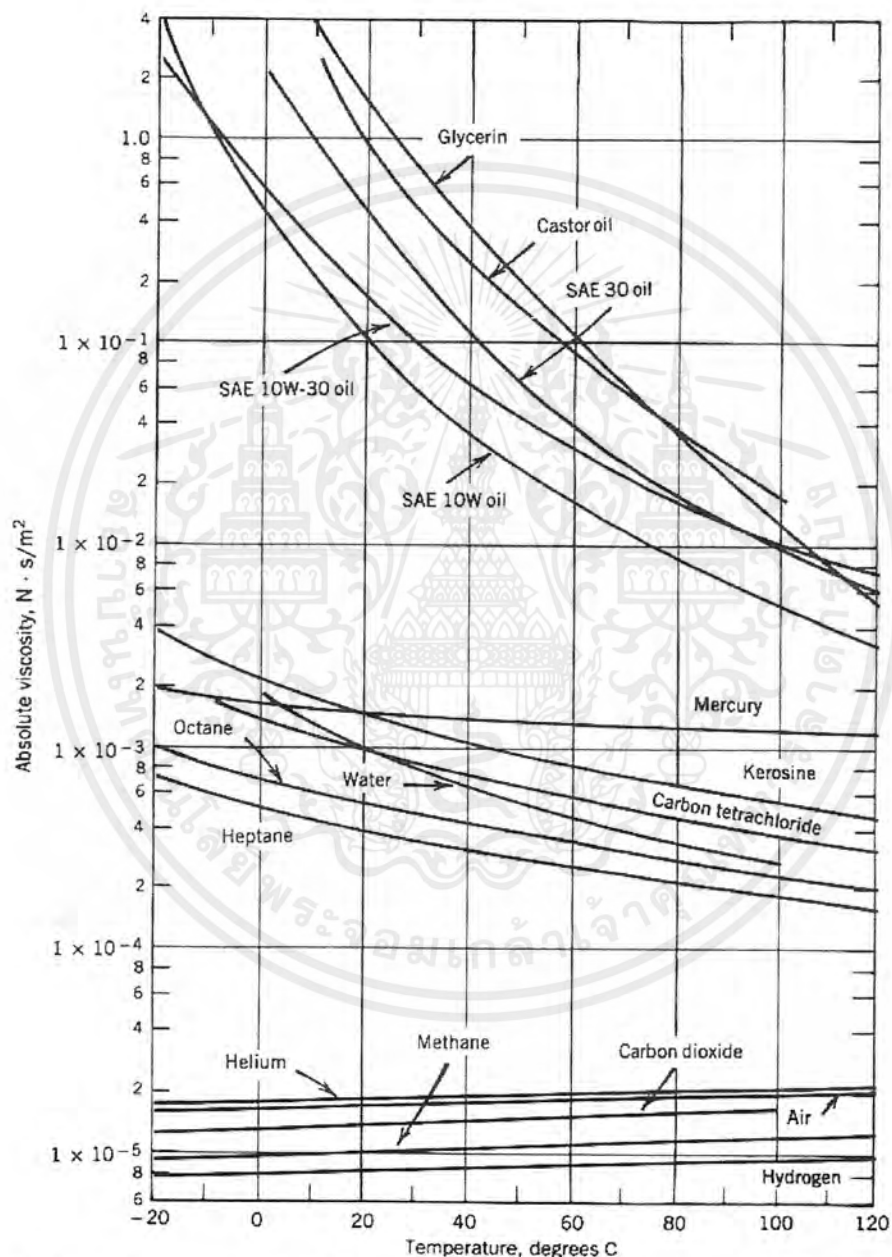
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

กราฟแสดงค่าความหนืดของสารหลายชนิดที่อุณหภูมิต่างๆ



จะเห็นได้ว่าค่าความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสมีค่าประมาณ 0.008 Pa.s ซึ่งจะนำค่าที่ได้นี้ไปแทนค่าเป็นตัวแทนของความหนืดของน้ำหวานในการออกแบบเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุทางวิศวกรรม (SI Units)

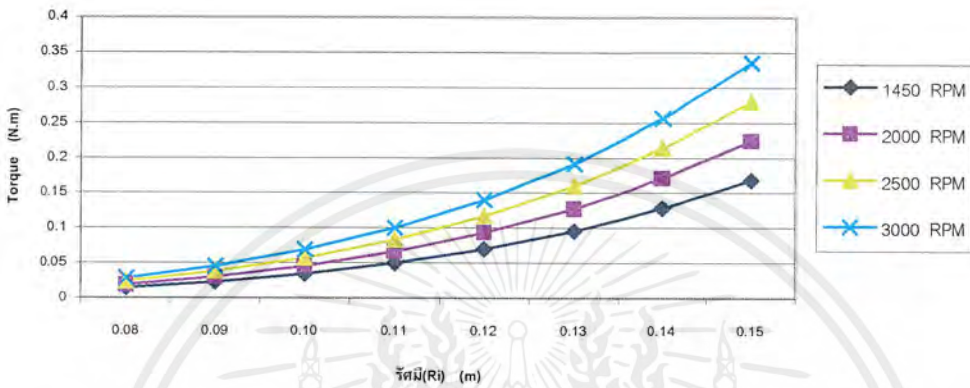
Material	Density, kg/m ³	Ultimate Strength			Yield Strength ²		Modulus of Elasticity, GPa	Modulus of Rigidity, GPa	Coefficient of Thermal Expansion, 10 ⁻⁶ /°C	Ductility, Percent Elongation in 50 mm
		Tension, MPa	Compression, ² MPa	Shear, MPa	Tension, MPa	Shear, MPa				
STEEL:										
Structural (ASTM-A36)	7860	400			250	145	200	77	11.7	23
High-strength-low-alloy										
ASTM-A242	7860	480			345	205	200	77	11.7	22
ASTM-A441	7860	460			320		200	77	11.7	21
ASTM-A572	7860	415			290		200	77	11.7	24
Quenched & tempered										
ASTM A-514	7860	760			690	350	200	77	11.7	18
Stainless, AISI 302										
Cold-rolled	7920	860			520		190	75	17.3	12
Annealed	7920	655			260	150	190	75	17.3	50
Reinforcing Steel										
Medium strength	7860	480			275		200	77	11.7	
High strength	7860	620			415		200	77	11.7	
CAST IRON:										
Gray Cast Iron										
1.5% C, ASTM A-48	7200	170	655	240			69	28	12.1	0.5
Malleable Cast Iron										
2% C, 1% Si, ASTM A-47	7300	345	620	330	230		165	65	12.1	10
ALUMINUM:										
Alloy 1100-H14 (99% Al)	2710	110		70	100	55	70	26	23.6	9
Alloy 2014-T6	2800	455		275	400	230	75	27	23.0	13
Alloy 2024-T4	2800	470		280	325		73		23.2	19
Alloy 5456-H116	2630	320		185	230	130	72		23.9	16
Alloy 6061-T6	2710	260		165	240	140	70	26	23.6	17
Alloy 7075-T6	2800	570		330	500		72	28	23.6	11
COPPER										
Oxygen-free copper										
(99.9% Cu)										
Annealed	8910	220		150	70		120	44	16.9	45
Hard-drawn	8910	390		200	265		120	44	16.9	4
Yellow Brass										
(65% Cu, 35% Zn)										
Cold-rolled	8470	510		300	410	250	105	39	20.9	8
Annealed	8470	320		220	100	60	105	39	20.9	65
Red Brass										
(85% Cu, 15% Zn)										
Cold-rolled	8740	585		320	435		120	44	18.7	3
Annealed	8740	270		210	70		120	44	18.7	45
Tin bronze										
(88 Cu, 8Sn, 4Zn)	8800	310			145		95		18.0	30
Manganese bronze										
(63 Cu, 25 Zn, 6 Al, 3 Mn, 3 Fe)	8360	655			330		105		21.6	20
Aluminum bronze										
(81 Cu, 4 Ni, 4 Fe, 11 Al)	8330	620	900		275		110	42	16.2	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

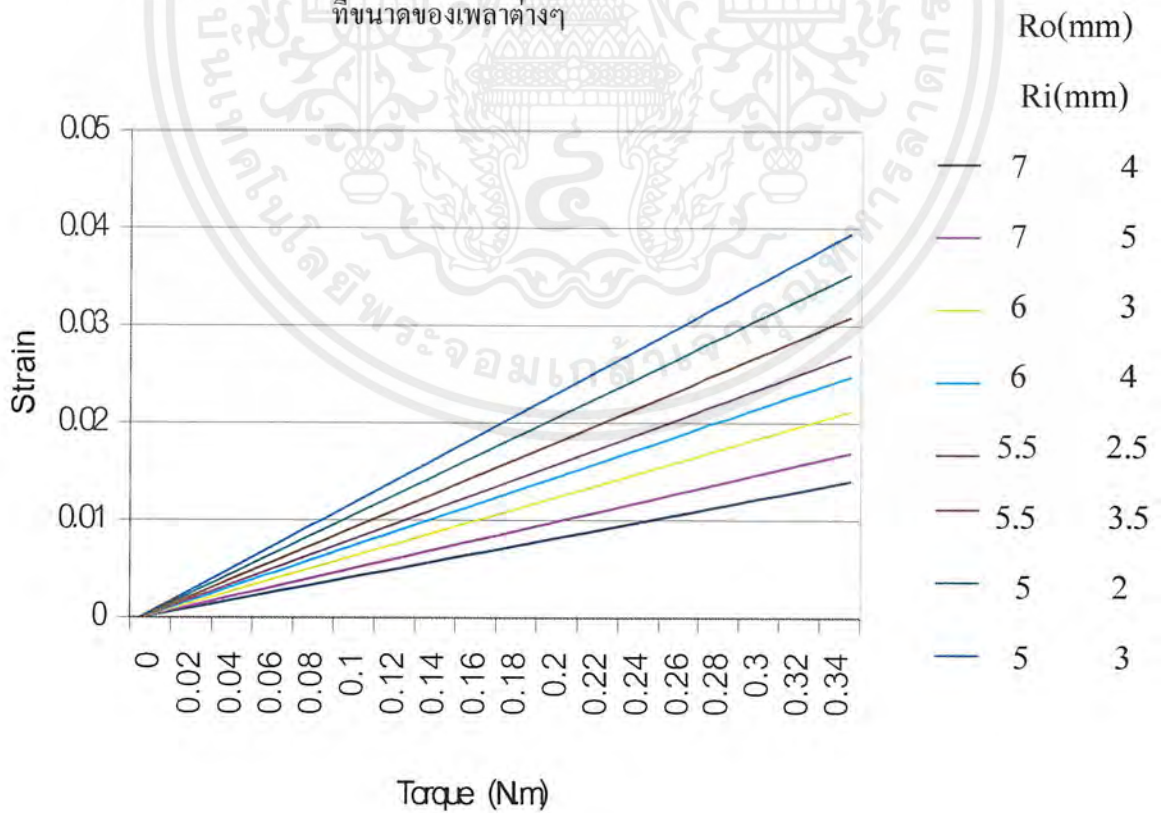
ภาคผนวก ค.

กราฟสำหรับการพิจารณาเพื่อการออกแบบ

กราฟที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Torque กับ รัศมีที่ความเร็วรอบต่างๆ

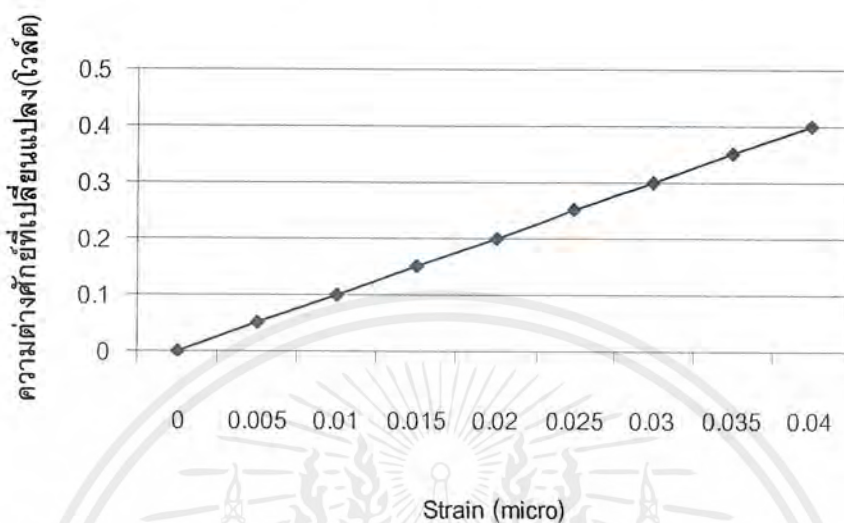


กราฟที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strain กับ Torque ที่ขนาดของเพลาดังต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 3 ค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลง ต่อ ค่าStrain



กราฟที่ 3 กราฟนี้ วัดจากสมการในบทที่ 3 ซึ่งเกิดจากการแทนค่าคงที่และสมมุติค่าต่างๆ โดยในกราฟที่ 1 เพื่อทำการออกแบบขนาดของถังทรงกระบอก นำค่า Torque ที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟที่ 2 เพื่อการออกแบบขนาดของเพลาล้วนนำค่าของ Strain ที่เกิดขึ้น มาตรวจสอบขนาดของ Output ให้มีค่ามากพอสำหรับการวัด

ภาคผนวก ง.

ผลการทดลองเพื่อใช้ในการคำนวณค่าตามทฤษฎี

ตารางบันทึกผลการทดลอง

แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของน้ำตาลในน้ำกับความหนืด

test No.	ความเข้มข้นของน้ำตาล (g/100cc.)	Viscosity (Pa.s)
1	10	0.008
2	20	0.009
3	30	0.01
4	40	0.011
5	50	0.013
6	60	0.016
7	70	0.018
8	80	0.021
9	90	0.025
10	100	0.028

ตารางแสดงผลการทดลองที่คำนวณได้จากทางทฤษฎีที่ความเร็วรอบ 300 RPM

test No.	ความเข้มข้นของน้ำตาล (g/100cc.)	Viscosity (Pa.s)	Theory output (V)	Theory output (V) - 2V
1	10	0.008	0.0036233	-1.9963767
2	20	0.009	0.0040762	-1.9959238
3	30	0.01	0.0045291	-1.9954709
4	40	0.011	0.0049820	-1.9950180
5	50	0.013	0.0058878	-1.9941122
6	60	0.016	0.0072466	-1.9927534
7	70	0.018	0.0081524	-1.9918476
8	80	0.021	0.0095111	-1.9904889
9	90	0.025	0.0113228	-1.9886772
10	100	0.028	0.0126815	-1.9873185

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.


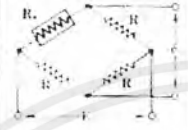

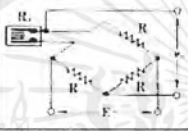
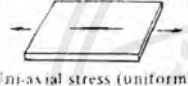
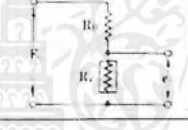
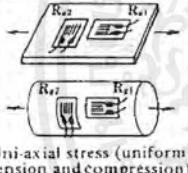
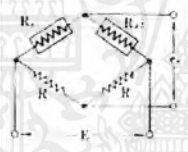
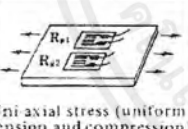


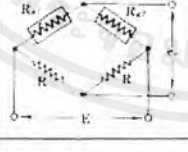
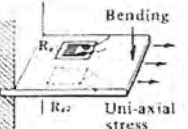
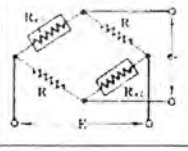
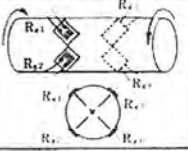
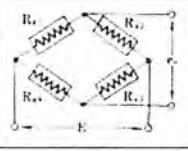
รูปแบบตารางบันทึกผลการทดลอง

ความเข้มข้น g/c.c.	แรงดันจ่ายวงจร Bridge ของ Strain gauge (v)	500 RPM		400 RPM		300 RPM		200 RPM		100 RPM		หุคหนึ่ง (V)
		Min(V)	Max(V)	Min(V)	Max(V)	Min(V)	Max(V)	Min(V)	Max(V)	Min(V)	Max(V)	
1												
0.9												
0.8												
0.7												
0.6												
0.5												
0.4												
0.3												
0.2												
0.1												
0												

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.
การติดตั้ง Strain gauge

1. รูปแบบต่างๆในการติดตั้ง Strain gauge

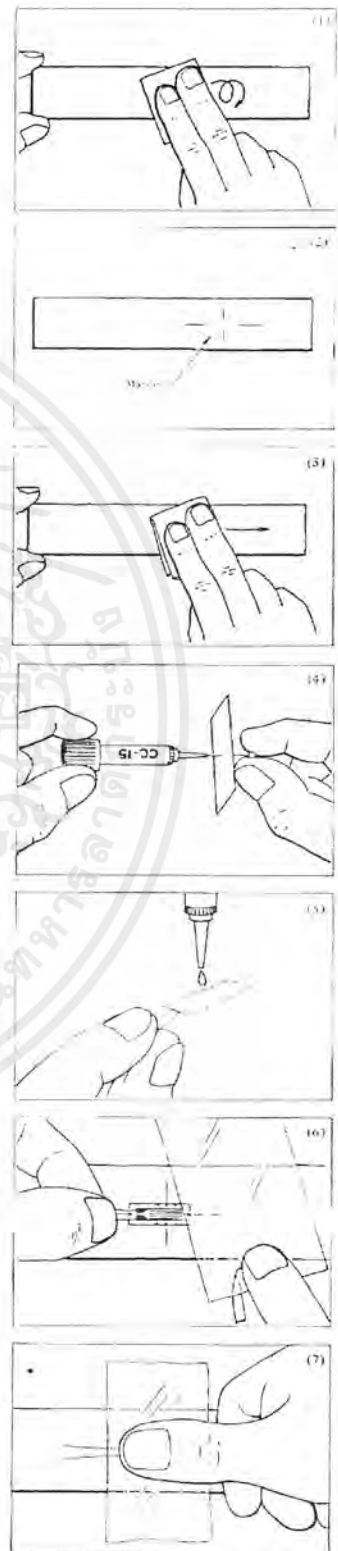
No.	Example	No. of gauges	Circuit	Output	Remarks
1	 Uni-axial stress (uniform tension and compression)	1		$e_o = \frac{E}{4} K_s \cdot \epsilon$ K _s = gage factor E = strain I = input voltage e _o = output voltage R ₁ = gage resistance R = resistor	Suited when there is no change in ambient temperature.
2	 Uni-axial stress (uniform tension and compression)	1		$e_o = \frac{E}{4} K_s \cdot \epsilon$	Temperature compensation using SELCOM gage (3-lead-wire method); temperature effects of lead-wires are eliminated.
3	 Uni-axial stress (uniform tension and compression)	1		$e_o = \frac{R_2 - R_1}{R_1 + R_2} K_s \cdot \epsilon + E$ R = Balast resistance	Mainly applicable to semiconductor gages; suited when the change in ambient temperature is small.
4	 Uni-axial stress (uniform tension and compression)	2		$e_o = \frac{(1 + \nu) E}{4} K_s \cdot \epsilon_u$ ν = poisson's ratio R ₁ , R ₂ = gage resistance R ₃ = strain = $\nu \epsilon_u$ R ₄ = strain = $\nu \epsilon_u$ R = resistor	Output: (1 + ν) times Temperature compensation
5	 Uni-axial stress (uniform tension and compression)	2		$e_o = \frac{E}{2} K_s \cdot \epsilon$ R ₁ = strain = ϵ R ₂ = strain = ϵ R = resistor	Output: 2 times
6	 Bending Uni-axial stress	2		$e_o = \frac{E}{2} K_s \cdot \epsilon$ R ₁ = bending strain = ϵ_b R ₂ = bending strain = ϵ_b R = resistor	Output: 2 times Compressive and tensile strain eliminated
7	 Bending Uni-axial stress	2		$e_o = \frac{E}{2} K_s \cdot \epsilon$ R ₁ = strain = ϵ_u R ₂ = strain = ϵ_u R = resistor	Output: 2 times Bending strain eliminated
8	 R ₁₁ , R ₁₂ , R ₂₁ , R ₂₂			$e_o = K_s \cdot \epsilon_{\theta} = E$ R ₁₁ , R ₁₂ = torsional strain = ϵ_{θ} R ₂₁ , R ₂₂ = torsional strain = ϵ_{θ}	Output: 4 times Temperature compensation Bending strain eliminated

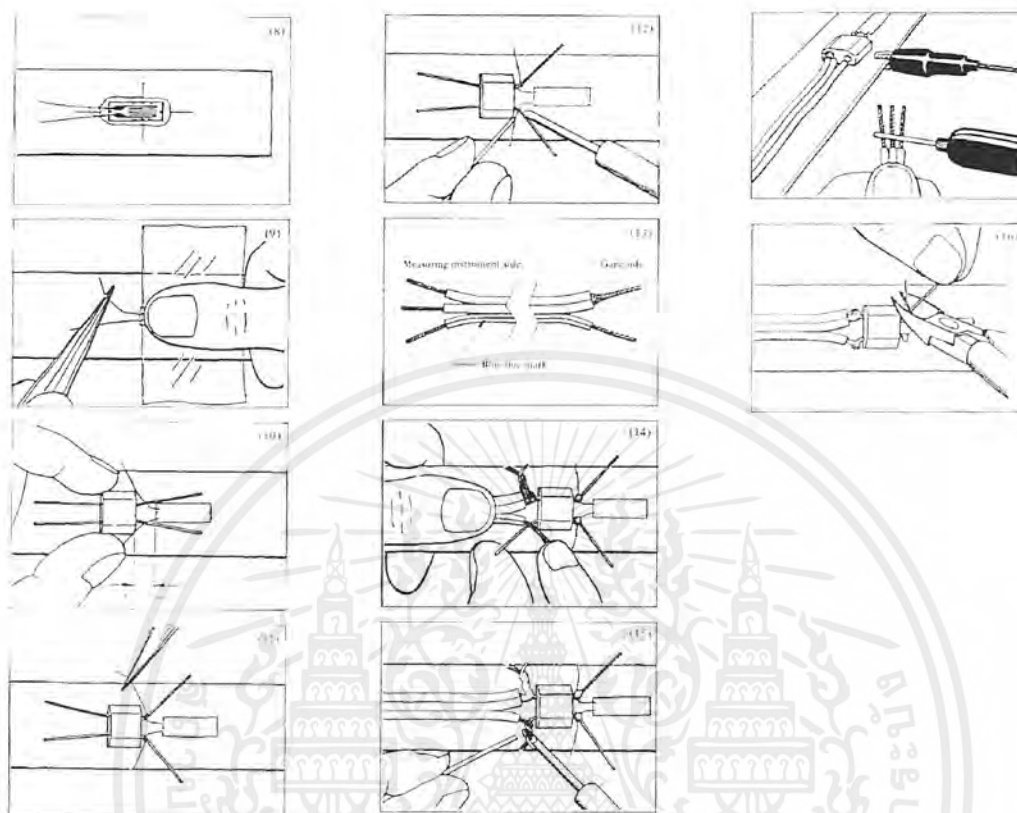
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ขั้นตอน วิธีการติดตั้ง Strain gauge

วิธีการติดตั้ง Strain Gages

1. ขัดผิวงานที่ต้องการติดตั้ง gauge ด้วยกระดาษทราย (100 – 300 grit) ในลักษณะเป็นวงกลมเพื่อกำจัด สี, สนิม และ สิ่งสกปรก ออกจากผิวงาน
2. กำหนดตำแหน่งที่ต้องการติด gauge โดยการทำ reference lines ดังรูป ควรใช้ดินสอด 5H หรือ 6H ในการทำ
3. ทำความสะอาดเอาคราบ น้ำมัน และ จารบี ออกด้วยสำลี กับ Acetone, Chloroethene หรือ Volatile grease-dissolving solvents ห้ามใช้ Alcohol หรือ สารละลายที่มีน้ำผสมอยู่โดยเด็ดขาด โดยให้ทำการเช็ดออกในทิศทางเดียว ห้ามเช็ดไปกลับ
4. เตรียมกาว เปิดฝากาวออกเจาะรูที่ปลายหลอดโดยใช้เข็ม โดยจับที่ ด้านท้ายของหลอด เพื่อป้องกันกาวไหลออกจากหลอด และ เพื่อ ป้องกันกาวกระเด็นออกมาเข้าตาอาจใช้กระดาษกัน ดังรูป
5. ตรวจสอบด้าน หน้า-หลัง ของ gauge ให้ดี แล้วหยดกาวลงบนด้านหลัง
6. หลังจากหยดกาวเรียบร้อยแล้ว ให้รีบทำการติดตั้ง โดยใช้ reference lines บนตัวของ gauge ให้ตรงกับที่ได้ทำการ mark ไว้ แล้ว แล้วนำ แผ่น Polyethylene วางบน gauge ใช้นิ้วรัดกาวออกจาก gauge
7. กอดนิ้วที่ gauge ประมาณ 1 นาที (ห้ามเคลื่อนย้ายนิ้วในช่วงเวลานี้) ขั้นตอนที่ 5-7 ควรทำด้วยความรวดเร็วมิฉะนั้นแล้วกาวจะแข็งตัวแล้วจะไม่สามารถจัดให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องได้





8. เมื่อกาวแข็งตัวแล้วให้นำแผ่น Polyethylene ออก และ ทำการเช็คสภาพขอบของ gauge สภาพที่ดี คือ กาวจะแผ่ออกมาในลักษณะสม่ำเสมอรอบๆ gauge
9. การต่อสายไฟ เพื่อป้องกันสายไฟขาด นำแผ่น Polyethylene วางลงบน gauge แล้วใช้นิ้วกดลงบนหัวของสายไฟ
10. นำ terminal gauge มาติดตั้งห่างจากฐาน gauge ประมาณ 5-10 มิลลิเมตร
11. พันสายไฟโดยอย่าให้ ดึง หรือ หย่อน เกินไป
12. ทำการเชื่อมสายไฟโดยการบัดกรี

การตรวจสอบการติดตั้ง

1. ทำการวัดความต้านทานของ gauge ซึ่งค่าที่ถูกต้องคือ 120 โอห์ม หรือ ใกล้เคียง
2. ทำการวัดฉนวน โดยนำสายกราวด์ต่อกับชิ้นงาน ความต้านทานควรมีค่าน้อยกว่า 500 เมก้าโอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Strain gauge ที่เลือกใช้

KYOWA

MADE IN JAPAN

STRAIN GAGES

TYPE	KFG-2-120-C1-111M2R	GAGE FACTOR(24% 50%RH)	2.09	±1.0 %
TEMPERATURE COMPENSATION FOR	STEEL	ADDPABLE THERMAL EXPANSION	11.7	PPM/°C
GAGE LENGTH	2	TRANSVERSE SENSITIVITY(24% 50%RH)	0.70	%
GAGE RESISTANCE(24% 50%RH)	120.4 ± 0.4	APPLICABLE GAGE CEMENT	CC-33A, EP-34	QUANTITY
LOT No.	Y3262	BATCH	136A D11	10

共和リード線付きメーカの取扱方法 Handling of Kyowa gage with lead wire

1. 取扱前に、必ず取扱説明書(別紙)を必ず読んで下さい。
2. 取扱説明書の内容に従って、必ず電圧計と電流計を接続し、電圧計の電圧は50V以下に設定して下さい。
3. 取扱説明書の内容に従って、必ず電圧計と電流計を接続し、電圧計の電圧は50V以下に設定して下さい。
4. 取扱説明書の内容に従って、必ず電圧計と電流計を接続し、電圧計の電圧は50V以下に設定して下さい。

取扱説明書
KFR

1. 電圧計の電圧は50V以下に設定して下さい。

2. 取扱説明書の内容に従って、必ず電圧計と電流計を接続し、電圧計の電圧は50V以下に設定して下さい。

3. 取扱説明書の内容に従って、必ず電圧計と電流計を接続し、電圧計の電圧は50V以下に設定して下さい。

4. 取扱説明書の内容に従って、必ず電圧計と電流計を接続し、電圧計の電圧は50V以下に設定して下さい。

5. 取扱説明書の内容に従って、必ず電圧計と電流計を接続し、電圧計の電圧は50V以下に設定して下さい。

リード線の種類 Type of lead wire	リード線の長さ Length of lead wire	1m当たりの総抵抗値 Total resistance value per 1m
ネオマリ線(PEW) NEOMAR wire (PEW)	0.01-3m	2.46Ω/m
平行ビニール線 Parallel vinyl wire	0.3-5.0m	0.44Ω/m
平行ビニール線(11mm) Parallel vinyl wire	6-30m	0.32Ω/m

※ 11mmの平行ビニール線は、リード線の長さよりも長い場合、0.11mmの平行ビニール線を使用して下さい。

- a. Zero drift value
- b. Total resistance value of lead wire
- c. Resistance temperature coefficient of lead wire (Copper wire = 3.8 × 10⁻³ / °C)
- d. Resistance value related to that of lead wire (See the description on the package.)
- e. Value of the thermal pre-change
- f. Gage factor
- g. A
- h. Total gage factor including that of lead wire (g. / See the description on the package.)

共和電業

〒82 東京都調布市調布5-3-5-1
TEL: 0424-88-1111 (交代) FAX: 0424-81-3258

KYOWA

KYOWA ELECTRONIC INSTRUMENTS CO., LTD.

3-5-1 Chofugaoka, Chofu, Tokyo, 182, Japan Phone: 0424-88-1111 Fax: 0424-81-3258

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้