

การออกแบบเครื่องบันทึกค่าอัตราการไหลปัสสาวะแบบจานหมุน  
DESIGN OF ROTATING DISC UROFLOWMETRY RECORDER



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

KMITL-2018-EN-M-010-057

การออกแบบเครื่องบันทึกค่าอัตราการไหลปัสสาวะแบบจานหมุน  
DESIGN OF ROTATING DISC UROFLOWMETRY RECORDER



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
พ.ศ. 2561  
KMUTL-2018-EN-M-010-057

# DESIGN OF ROTATING DISC UROFLOWMETRY RECORDER



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีผิดลิขสิทธิ์และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2018

KMITL-2018-EN-M-010-057



เอกสาร COPYRIGHT 2018 ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าการ FACULTY OF ENGINEERING เปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบเครื่องบันทึกค่าอัตราการไหลปัสสาวะแบบจานหมุน
นักศึกษา	นายสมพงษ์ อารีย์
รหัสประจำตัว	58601351
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.สิรภพ ตู้ประกาย

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันผู้ป่วยที่มีปัญหาด้านทางเดินปัสสาวะจำเป็นต้องใช้เครื่องมือตรวจวัดร่วมกับการสังเกตของแพทย์ผู้ชำนาญในการวินิจฉัยโรคทางเดินปัสสาวะ ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แสดงการออกแบบและสร้างเครื่องบันทึกค่าอัตราการไหลปัสสาวะแบบจานหมุนด้วยหลักการให้เหลวพุ่งลงตกระทบบโดยปล่อยตรงบนจานหมุน แล้วใช้วงจรถวจจับผลต่างแรงดันจับค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้นจากการของไหลตกระทบบแล้วเกิดแรงดันเปลี่ยนแปลงมาใช้ประเมินผลเปรียบเทียบแสดงผลในรูปกราฟ เครื่องวัดจะประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่าผลการวัดที่วัดได้แบบต่อเนื่องด้วยโปรแกรม Parallax excel พร้อมจัดเก็บข้อมูลใน Micro sdcard นำค่าแรงดันผลต่างที่ได้ไปเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์กับค่าอัตราการไหลของ จากการทดลองด้วยปริมาณน้ำ 400 ml ที่ระดับความสูง 60 cm. ,40 cm. และ 20 cm. พบว่าค่าอัตราการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันจากการวัดที่ปริมาณน้ำ 400 ml. ค่าเฉลี่ย 15.415 ml/sec. เปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดเทียบกับค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง -3.96% ถึง +3.76%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	DESIGN OF ROTATING DISC UROFLOWMETRY RECORDER
Student	Mr.Sompong Aree
Student ID.	58601351
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Assist. Prof. Dr.Siraphop Tooprakai

## ABSTRACT

This research is presented the design of uroflowmetry rotating-disc machine which reduces the energy that collides with the disc, displays results on a PLX-DAQ, and is able to record data in micro memory. Currently, the patients lying next to the bed have assembly process with several steps is not convenient and the uroflowmetry rotating disc imported from abroad is very expensive. It is recording the flow rate can be easy to move and use local materials are inexpensive. The results showed that the uroflowmetry machine tested with water directed onto the rotating disc causing voltage change received to be compared with the flow of normal urine. The volume water tested were 400 ml ,and the water tank height of 60 cm, 40 cm and 20 cm respectively. Compared of water volume to the measured voltage different at 400 ml. The average was 15.415 ml/sec. The mean value of the measurement deviation ranged from -3.96% to + 3.76%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ ด้วยความกรุณาจากท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.สิริภพ ตู้ประกาย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ตัวข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ ท่านคณะกรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อชี้แนะจนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณท่าน รองศาสตราจารย์.ดร.กอบชัย เตชหาญ อดีตคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความเมตตาและสั่งสอนประสบการณ์ตั้งแต่สมัยเริ่มต้นเรียนระดับปริญญาตรีจนถึงการจบระดับบัณฑิตศึกษาครั้งนี้

ขอขอบคุณท่าน รองศาสตราจารย์.ดร.สุรพันธ์ ยิ้มมั่น และอาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ อุตสาหกรรมและอุปกรณ์การแพทย์ ท่านอาจารย์สุกัญญา แพรสมบูรณ์ และนายณกรณ์ ขำชัยสีเมฆ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในการวิจัยและสำเร็จจุล่งเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณครอบครัวของข้าพเจ้า นางสาววาริ อารีย์ และเด็กชายอารีย์เทพ อารีย์ ซึ่งเป็นกำลังใจที่ดีให้กับตัวข้าพเจ้าด้วยดีเสมอมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับนายสมบูรณ์ อารีย์ บิดาและนางฉลวย อารีย์ มารดาของข้าพเจ้า ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้และถ่านทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

สมพงษ์ อารีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	X

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ของการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนของการทำวิจัย.....	3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	4
2.1 วิธีที่ใช้วัดอัตราการไหลผู้ป่วย.....	4
2.2 วิธี Cystoscopy.....	5
2.3 ทฤษฎีของไหลในอุดมคติ.....	7
2.4 ทฤษฎีของทอร์ริเชลลี.....	8
2.5 ทฤษฎีของแบร์นูลลี.....	9
2.6 ตัวขยายสัญญาณเชิงดำเนินการ.....	10
2.7 ทฤษฎีการกรองความถี่.....	12
2.8 ทฤษฎีไมโครคอนโทรลเลอร์.....	17
2.9 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	20

บทที่ 3 การออกแบบงานวิจัย.....	26
--------------------------------	----

3.1 วงจรตรวจจับค่าผลต่างแรงดันไฟฟ้า.....	27
--	----

3.2 วิธีออกแบบวงจร Different voltage .....	28
--	----

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 วงจรกรองความถี่ผ่านแบบลำดับสองแบบ Sallen and Key.....	29
3.4 ชุดจานหมุน Rotating disc.....	32
3.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Microcontroller .....	33
3.6 หน่วยความจำขนาดเล็ก Micro sdcard.....	34
3.7 โปรแกรมอ่านค่าข้อมูลที่วัดได้รูปแบบ Parallax excel .....	34
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	36
4.1 การทดลองที่ 1.....	37
4.2 การทดลองที่ 2.....	41
4.3 การทดลองที่ 3.....	45
4.4 การทดลองที่ 4.....	49
4.5 การทดลองที่ 5.....	53
4.6 การทดลองที่ 6.....	57
4.7 การทดลองที่ 7.....	61
4.8 การทดลองที่ 8.....	65
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	69
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	69
บรรณานุกรม.....	70
ภาคผนวก.....	74
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	75
ประวัติผู้เขียน.....	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กราฟอัตราการไหลของต่อมลูกหมาก.....	5
2.2 กราฟอัตราการไหลในสภาวะของต่อมลูกหมากโต.....	6
2.3 กราฟตัวอย่างผลตรวจจากเครื่องวัดต้นแบบ Normal of urine .....	7
2.4. ทฤษฎีของทอริเชลลี.....	8
2.5 วงจรสมมูลย์และสัญลักษณ์ของออปแอมป์.....	11
2.6 การต่อแหล่งจ่ายกับไอซีออปแอมป์ระดับแรงดันของแหล่งจ่ายของไอซีออป.....	11
2.7 ผลตอบสนองกรณีกรองความถี่ต่ำ.....	13
2.8 ผลตอบสนองในหน่วย dB.....	14
2.9 วงจรกรองความถี่ต่ำอันดับที่สอง.....	15
2.10 วงจรกรองความถี่ บัตเตอร์เวิร์ทหรือเซปีเซฟ.....	16
2.11 ผลตอบสนองกรณีกรองความถี่สูงอันดับสอง.....	17
2.12 รูปแบบโครงสร้างบอร์ด ARDUINO Uno r3.....	19
2.13 ส่วนประกอบขาต่างๆของบอร์ด ARDUINO Uno r3 .....	19
2.14 วงจรภายในของมอเตอร์กระแสตรง.....	21
2.15 กราฟแสดงคุณสมบัติมอเตอร์กระแสตรง.....	23
2.16 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ความต้านทานต่ออนุกรม.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.1	บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องวัดแบบจานหมุน.....	27
3.2	วงจรวัดค่าผลต่างแรงดัน Different voltage.....	27
3.3	การออกแบบวงจร Different voltage ด้วยโปรแกรม PSPICE.....	27
3.4	วงจร Active low-pass filter 2 <sup>nd</sup> order .....	30
3.5	วงจร Different voltage และ Active low-pass filter 2 <sup>nd</sup> order.....	31
3.6	แผงวงจร Different voltage และ Active low-pass filter 2 <sup>nd</sup> order ที่สร้างขึ้น.....	32
3.7	เครื่องต้นแบบ Rotating disc.....	33
3.8	บอร์ด Arduino uno r3.....	34
3.9	การต่อ SD card กับบอร์ด Arduino uno r3.....	34
3.10	บอร์ด Arduino กับ Computer ด้วยโปรแกรม Parallax excel .....	35
4.1	วงจร Different Amplifier.....	36
4.2	เครื่อง Rotating disc.....	36
4.3	ความเร็วการไหลเฉลี่ย 0.089 m/sec ปริมาตรน้ำ 200 ml ความสูงของแท่ง 20 cm.....	38
4.4	ปริมาตรน้ำสะสม 200 ml ความสูงของแท่ง 20 cm.....	38
4.5	อัตราการไหล /เฉลี่ย 9.542 mlsec.....	39
4.6	ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัด ค่าสูงสุด 0.227 volt และค่าเฉลี่ย 0.241 volt.....	39
4.7	ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 10.125 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 9.078 ml/sec.....	40
4.8	เปรียบเทียบผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 10.125 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 9.078 ml/sec ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดเทียบกับค่าเฉลี่ย +6.40%.....	40
4.9	ความเร็วการไหลเฉลี่ย 0.092 m/sec.....	42
4.10	ปริมาตรน้ำสะสม 200 ml.....	42
4.11	อัตราการไหลเฉลี่ย 10.000 ml/sec.....	43
4.12	ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัด ค่าสูงสุด 0.242 volt และค่าเฉลี่ย 0.229 volt.....	43
4.13	ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 11.116 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 10.733 ml/sec.....	44
4.14	เปรียบเทียบผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 11.000 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 10.454 ml/sec ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดเทียบกับค่าเฉลี่ย -2.61%.....	44
4.15	ความเร็วการไหลเฉลี่ย 0.093 m/sec .....	46

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 ปริมาตรน้ำสะสม 200 ml.....	46
4.17 อัตราการไหลเฉลี่ย 10.526 ml/sec.....	47
4.18 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัด ค่าสูงสุด 0.248 volt และค่าเฉลี่ย 0.230 volt.....	47
4.19 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 11.363 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 10.573 ml/sec.....	48
4.20 เปรียบเทียบผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 11.363 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 10.573 ml/sec ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดเทียบกับค่าเฉลี่ย -3.78%.....	48
4.21 ความเร็วการไหลเฉลี่ย 0.111 m/sec .....	50
4.22 ปริมาตรน้ำสะสม 300 ml .....	50
4.23 อัตราการไหลเฉลี่ย 12.500 ml/sec.....	51
4.24 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัด ค่าสูงสุด 0.256 volt และค่าเฉลี่ย 0.232 volt.....	51
4.25 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 11.811 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 12.700 ml/sec.....	52
4.26 เปรียบเทียบผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 13.811 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 12.500 ml/sec ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดเทียบกับค่าเฉลี่ย +5.26%.....	52
4.27 ความเร็วการไหลเฉลี่ย 0.116 m/sec.....	54
4.28 ปริมาตรน้ำสะสม 300 ml.....	54
4.29 อัตราการไหลเฉลี่ย 13.043 ml/sec.....	55
4.30 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัด ค่าสูงสุด 0.259 volt และค่าเฉลี่ย 0.234 volt.....	55
4.31 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 14.459 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 13.144 ml/sec.....	56
4.32 เปรียบเทียบผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 14.459 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 13.144 ml/sec ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดเทียบกับค่าเฉลี่ย +1.94%.....	56
4.33 ความเร็วการไหลเฉลี่ย 0.127 m/sec.....	58
4.34 ปริมาตรน้ำสะสม 300 ml.....	58
4.35 อัตราการไหลเฉลี่ย 14.286 ml/sec.....	59
4.36 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัด ค่าสูงสุด 0.261 volt และค่าเฉลี่ย 0.241 volt.....	59
4.37 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 15.456 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 14.370 ml/sec.....	60

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.38 เปรียบเทียบผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 15.456 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 14.286 ml/sec ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดเทียบกับค่าเฉลี่ย -7.20%.....	60
4.39 ความเร็วการไหลเฉลี่ย 0.136 m/sec.....	62
4.40 ปริมาตรน้ำสะสม 400 ml .....	62
4.42 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัด ค่าสูงสุด 0.260 volt และค่าเฉลี่ย 0.234 volt.....	63
4.43 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 16.464 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 15.385 ml/sec.....	63
4.44 เปรียบเทียบผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 15.876 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 14.835 ml/sec ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดเทียบกับค่าเฉลี่ย +3.76%.....	64
4.45 ความเร็วการไหลเฉลี่ย 0.147 m/sec.....	66
4.46 ปริมาตรน้ำสะสม 400 ml.....	66
4.47 อัตราการไหลเฉลี่ย 16.667 ml/sec.....	67
4.48 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัด ค่าสูงสุด 0.278 volt และค่าเฉลี่ย 0.248 volt.....	67
4.49 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 18.650 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 16.026 ml/sec.....	68
4.50 เปรียบเทียบผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 18.650 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 16.026 ml/sec ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดเทียบกับค่าเฉลี่ย -3.96%.....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่ามาตรฐานปกติอัตราการไหลปัสสาวะขึ้นอยู่กับเพศและอายุ.....	6
2.2 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของออปแอมป์ในอุดมคติกับออปแอมป์ในทางปฏิบัติ.....	12
4.1 ค่าอัตราการไหลจากการจับเวลาการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันที่วัดได้จากเครื่องที่สร้าง ปริมาตรน้ำ 200 ml ที่ระดับความสูง 20 cm.....	37
4.2 ค่าอัตราการไหลจากการจับเวลาการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันที่วัดได้จากเครื่องที่สร้าง ปริมาตรน้ำ 200 ml ที่ระดับความสูง 40 cm.....	41
4.3 ค่าอัตราการไหลจากการจับเวลาการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันที่วัดได้จากเครื่องที่สร้าง ปริมาตรน้ำ 200 ml ที่ระดับความสูง 60 cm.....	45
4.5 ค่าอัตราการไหลจากการจับเวลาการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันที่วัดได้จากเครื่องที่สร้าง ปริมาตรน้ำ 300 ml ที่ระดับความสูง 20 cm.....	49
4.6 ค่าอัตราการไหลจากการจับเวลาการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันที่วัดได้จากเครื่องที่สร้าง ปริมาตรน้ำ 300 ml ที่ระดับความสูง 40 cm.....	53
4.7 ค่าอัตราการไหลจากการจับเวลาการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันที่วัดได้จากเครื่องที่สร้าง ปริมาตรน้ำ 300 ml ที่ระดับความสูง 40 cm.....	57
4.8 ค่าอัตราการไหลจากการจับเวลาการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันที่วัดได้จากเครื่องที่สร้าง ปริมาตรน้ำ 400 ml ที่ระดับความสูง 20 cm.....	58
4.10 ค่าอัตราการไหลจากการจับเวลาการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันที่วัดได้จากเครื่องที่สร้าง ปริมาตรน้ำ 400 ml ที่ระดับความสูง 60 cm.....	65
4.11 ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดเทียบกับค่าเฉลี่ยอัตราการไหล.....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องบันทึกอัตราการไหลของปัสสาวะแบบจานหมุน โดยใช้หลักการเปรียบเทียบผลต่างแรงดันไฟฟ้าจากตัวต้านทานแบบขนาน ซึ่งทำหน้าที่ตรวจจับค่าการเปลี่ยนแปลงตามภาระไหลที่จานหมุนได้รับ โดยทดสอบด้วยการเทของเหลวทดสอบลงบนแผ่นจานหมุนและวัดค่าพลังงานจากวงจรตรวจจับผลต่างแรงดัน จากนั้นนำมาผ่านวงจรขยายระดับค่าแรงดันไฟฟ้าและบันทึกค่าไว้ในหน่วยความจำ และแสดงผลการอ่านค่าต่อเนื่องด้วยรูปแบบการเก็บข้อมูลผู้ป่วยในรูปแบบไฟล์ excel โดยใช้การประมวลผลการทำงานได้ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเครื่องที่สร้างขึ้นราคาไม่แพงเนื่องจากใช้อุปกรณ์หาได้ในประเทศและสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกสำหรับใช้งานกับโรงพยาบาลห่างไกลได้และสามารถจัดเก็บประวัติการตรวจในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ย้อนหลังได้

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีประยุกต์วงจรขยายผลต่าง (Different voltage circuit)

1.2.2 เพื่อศึกษาทดลองสร้างเครื่องวัดอัตราการไหลปัสสาวะต้นแบบ สำหรับใช้วัดหาผลต่างแรงดันเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ลักษณะเปรียบเทียบกราฟแรงดันจากการวัดกับอัตราการไหลปัสสาวะ

1.2.3 เพื่อลดต้นทุนการนำเข้าจากต่างประเทศโดยพัฒนาเครื่องวัดอัตราการไหลปัสสาวะต้นแบบโดยใช้วัสดุภายในประเทศ

1.2.4 เพื่อประโยชน์การใช้งานสามารถเคลื่อนย้ายสะดวก และไม่สะดวกในการเดินทางมาตรวจที่โรงพยาบาล

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ออกแบบสร้างวงจรขยายผลต่าง (Different voltage circuit) จำลองด้วยโปรแกรม SPICE

1.3.2 สร้างเครื่องวัดอัตราการไหลปัสสาวะต้นแบบ สำหรับใช้วัดหาผลต่างแรงดันเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ลักษณะเปรียบเทียบกราฟแรงดันจากการวัดกับผลอัตราการไหลปัสสาวะ

1.3.3 นำเครื่องที่สร้างมาทดลองหาค่าความสัมพันธ์ที่วัดจากวงจรผลต่างแรงดันแบบ Low side different voltage กับกราฟอัตราการไหลของปัสสาวะ

## 1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

จากลักษณะโรคเกี่ยวกับทางเดินปัสสาวะของผู้ชายสามารถสังเกตจากอัตราการไหลของปัสสาวะได้ การยื่นปัสสาวะสามารถจำลองและเทียบกับแท่งแก้วเพื่อหาค่าอัตราการไหลตามหลักทฤษฎีของ Torricelli และ Bernoulli โดยงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการออกแบบและสร้างเครื่อง

บันทึกค่าอัตราการไหลแบบจวนหมุน ใช้วิธีปล่อยให้น้ำไหลพุ่งลงแผ่นจวนหมุนให้เกิดพลังงานเปลี่ยนแปลงที่ตัวมอเตอร์ แล้วใช้วงจรตรวจจับแรงดันผลต่าง นำค่ามาเปรียบเทียบกับเวลาการไหล เพื่อหาค่าอัตราการไหลของปีสสวะต่อไป

## 1.5 ประโยชน์ของการวิจัย

1.5.1 นำเสนอตัวอย่างการออกแบบวงจรขยายผลต่าง (Different voltage circuit)

1.5.2 นำเสนอเครื่องวัดอัตราการไหลปีสสวะต้นแบบ สำหรับใช้วัดหาผลต่างแรงดันเปรียบเทียบ

หาความสัมพันธ์ลักษณะเปรียบเทียบกราฟแรงดันจากการวัดกับผลอัตราการไหลปีสสวะ

1.5.3 เป็นแนวทางการประยุกต์ในการออกแบบสร้างเครื่องวัดบันทึกอัตราการไหลปีสสวะแบบจวนหมุนประกอบด้วย วงจรตรวจจับผลต่างแรงดัน วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบลำดับสอง บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ Micro sdcard และบันทึกด้วยโปรแกรม Parallax excel

1.5.4 เป็นแนวทางการประยุกต์ในการออกแบบสร้างเครื่องวัดใช้อุปกรณ์ภายในประเทศเพื่อลดต้นทุนการนำเข้า

1.5.5 นำเสนอเครื่องวัดที่สามารถเคลื่อนย้ายออกนอกสถานที่ สำหรับใช้กับผู้ป่วยที่มารักษาพยาบาลไม่สะดวก

## 1.6 ขั้นตอนของการทำวิจัย

1.6.1 ศึกษาวงจรขยายผลต่างแรงดันแบบ Low side different voltage circuit

1.6.2 ศึกษาวงจรกรองความถี่แบบต่ำผ่านอันดับสอง Active lowpass filter 2<sup>nd</sup> order

1.6.3 ศึกษาการจำลองวงจรขยายผลต่างแรงดันด้วยโปรแกรม PSPICE

1.6.4 ศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino uno r3

1.6.5 ศึกษาการทำงานของ Micro sdcard และการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรเลอร์

1.6.6 ศึกษาการใช้งานโปรแกรม Parallax excel และการเชื่อมต่อกับบอร์ด

ไมโครคอนโทรเลอร์

1.6.7 สร้างเครื่องวัดบันทึกอัตราการไหลปีสสวะแบบจวนหมุน เคลื่อนย้ายสะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

การวินิจฉัยโรคและการรักษาต่อมลูกหมาก[1] เมื่อทราบว่าโรคเกิดขึ้นแล้ว อาการของต่อมลูกหมากโต (BPH) จะยังระบุแน่ชัดไม่ได้จึงจำเป็นต้องทำการตรวจเพิ่มเติมหาอาการผู้ป่วยเกี่ยวข้องกับโรคทางเดินปัสสาวะชนิดไหน การตรวจมีหลายวิธี เช่น การฉายรังสี การใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลปัสสาวะ เป็นต้น ผลจากการตรวจการตรวจจะเป็นข้อมูลต่อแพทย์ผู้ชำนาญในการวางแผนว่าผู้ป่วย ควรได้รับการรักษาอย่างไร วิธีอะไรต่อไป

ดังนั้น การใช้วิธีวัดอัตราการไหล สำหรับเป็นข้อมูลในการประกอบการพิจารณาความผิดปกติของโรคเกี่ยวกับทางเดินปัสสาวะ โดยสังเกตจากลักษณะโรคเกี่ยวกับทางเดินปัสสาวะของผู้ชายสามารถสังเกตจากอัตราการไหลของปัสสาวะได้ การยืนปัสสาวะสามารถจำลองเทียบกับแทงค์เจาะรูยึดแขวนระดับ 60 cm. เพื่อหาค่าอัตราการไหลของผู้ป่วย โดยอ้างอิงตามหลักทฤษฎีของ Torricelli และ Bernolli โดยงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะทำการออกแบบและสร้างเครื่องบันทึกค่าอัตราการไหลแบบจานหมุน ใช้วิธีปล่อยให้น้ำไหลพุ่งลงแผ่นจานหมุนให้เกิดพลังงานเปลี่ยนแปลงที่ตัวมอเตอร์ แล้วใช้วงจรตรวจจับแรงดันผลต่าง นำค่ามาเปรียบเทียบกับเวลาการไหลเพื่อหาค่าอัตราการไหลของปัสสาวะ สามารถเลือกวิธีการตรวจ ดังนี้

#### 2.1 วิธีที่ใช้วัดอัตราการไหลผู้ป่วย

2.1.1 วิธีอัตราการไหล Uroflowmetry เป็นการตรวจโดยให้คนไข้ปัสสาวะเข้าใส่เครื่องตรวจวัด ซึ่งสามารถวัดอัตราการไหลของปัสสาวะที่ถูกปล่อยออกมา ถ้าอัตราการไหลปัสสาวะที่ไหลออกมาช้า ทำให้วินิจฉัยได้ว่าการอุดตันที่ท่อปัสสาวะในบริเวณท่อปัสสาวะ ถ้าอัตราการไหลของปัสสาวะที่ปล่อยออกมาด้วยความเร็วสูง ก็สามารถวินิจฉัยได้ว่าไม่มีการอุดตันในบริเวณท่อปัสสาวะ (Urethra) และในผู้ป่วยที่โรคเป็น BPH ที่ตรวจพบอัตราการไหลของปัสสาวะมีอัตราสูงส่วนใหญ่จะไม่ตอบสนองต่อการรักษา

2.1.2 วิธี Pressure flow urodynamic studies เป็นการตรวจด้วยการวัดความดันภายในกระเพาะปัสสาวะ โดยวัดในขณะที่มีการขับถ่ายปัสสาวะ ซึ่งกระทำได้โดยสอดใส่เครื่องมือตรวจเข้าไปในกระเพาะปัสสาวะ และมักจะสอดใส่เข้าทางลำไส้ใหญ่ส่วนล่าง (Rectum) ความแตกต่างระหว่างความดันที่วัดจากกระเพาะปัสสาวะที่กำลังหดเกร็ง ขณะทำการปัสสาวะกับความดันที่วัดได้จากลำไส้ใหญ่ส่วนล่างสุด สามารถนำมาพิจารณาว่าอะไรคือปัญหาของผู้ป่วยถ้าความดันที่วัดได้ความแตกต่างกันร่วมกับอัตราการไหลปัสสาวะออกช้า วินิจฉัยได้ว่าการอุดตันในท่อทางเดินท่อปัสสาวะ แต่ถ้าผลจากการตรวจวัดความดันปรากฏว่า มีอัตราการไหลค่าต่ำมากพร้อมกับความเร็วการ

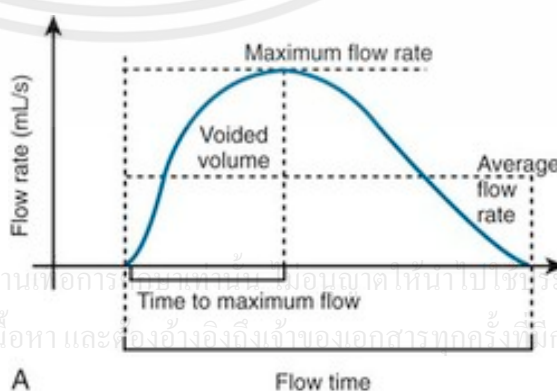
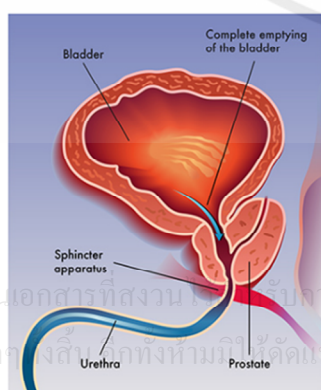
ไหลปัสสาวะออกช้า จะวินิจฉัยได้ว่ามีความผิดปกติในตัวกระเพาะปัสสาวะ ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบประสาทที่ผิดปกติไป

2.1.3 วิธี Imaging studies การตรวจด้วยภาพ ในผู้ป่วยที่ปัสสาวะเป็นเลือดทางเดินปัสสาวะอักเสบ ไตทำงานผิดปกติ หลังการผ่าตัดทางเดินปัสสาวะหรือมีประวัติเป็นนิ่วในทางเดินปัสสาวะ การตรวจภาพทางเดินปัสสาวะด้วยวิธี Ultrasonography เป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้กันใผู้ป่วยเพศชาย ซึ่งมีอาการในทางเดินปัสสาวะได้บ่อยที่สุด การตรวจดังกล่าวกระทำได้โดยกตอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจบนบริเวณที่ต้องการตรวจคลื่นเสียงที่ส่งผ่านอวัยวะภายในจะทำให้เราเห็นภาพของอวัยวะนั้นๆ การตรวจวิธีข้างต้นสามารถนำมาใช้ตรวจความผิดปกติของไตทั้งสองหรือของกระเพาะปัสสาวะ สามารถตรวจหาค่าปริมาณของปริมาณปัสสาวะที่เหลืตกค้างในกระเพาะปัสสาวะ ความผิดปกติในกระเพาะปัสสาวะ เช่น ก้อนนิ่ว และประเมินขนาดของต่อมลูกหมาก

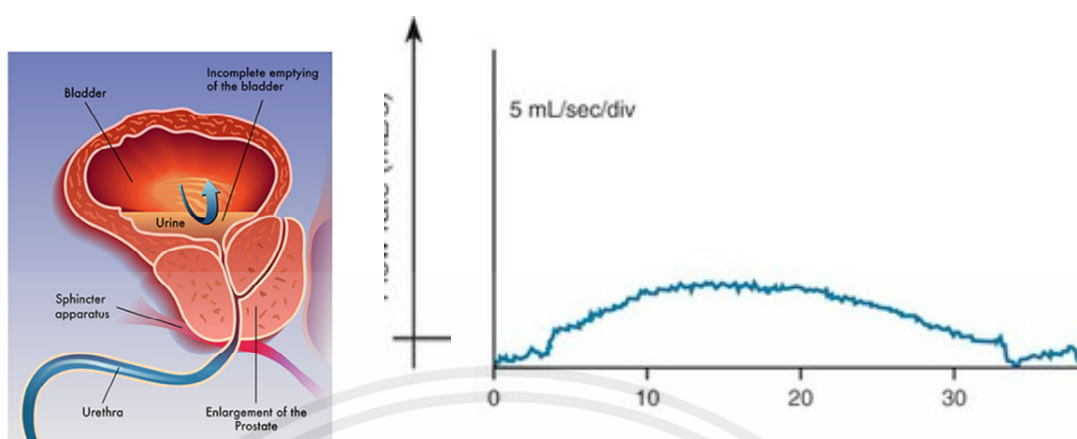
2.1.4 วิธี Filling cystometry การตรวจวิธีนี้จะทำได้โดยต้องบรรจุน้ำเข้าไปในกระเพาะปัสสาวะ แล้ววัดความดันที่เกิดขึ้นเรื่อยๆ รวมไปถึงความรู้สึกที่ผู้ป่วยอยากจะขับถ่ายปัสสาวะ สังเกตุกระเพาะปัสสาวะจะต้องมีน้ำเพิ่มขึ้นมากเท่าใด เป็นการตรวจที่นำมาใช้ประเมินการทำงานของกระเพาะปัสสาวะในผู้ชาย ผู้ซึ่งมีปัญหาในระบบทางเดินปัสสาวะมาก่อน หรือในผู้ป่วยที่มีปัญหาการทำงานของกระเพาะปัสสาวะ อาจมีต้นเหตุจากระบบประสาท

## 2.2 วิธี Cystoscopy

เป็นวิธีการตรวจโดยใช้เครื่องมือชิ้นเล็กๆที่มีแสงไฟส่องให้เห็นอวัยวะภายในที่ทำการตรวจท่อปัสสาวะและกระเพาะปัสสาวะอุปกรณ์ชิ้นเล็กๆ จะถูกสอดเข้าทางท่อปัสสาวะ เข้าสู่กระเพาะปัสสาวะการตรวจด้วยวิธีการดังกล่าว จะกระทำใผู้ป่วยรายที่ต้องการทำการผ่าตัดต่อมลูกหมากหรือตรวจดูความผิดปกติของท่อปัสสาวะ[1] และ กระเพาะปัสสาวะ (Bladder)



รูปที่ 2.1 อัตราการไหลของต่อมลูกหมากในสภาวะปกติ



รูปที่ 2.2 กราฟอัตราการไหลในสถานะของต่อมลูกหมากโต

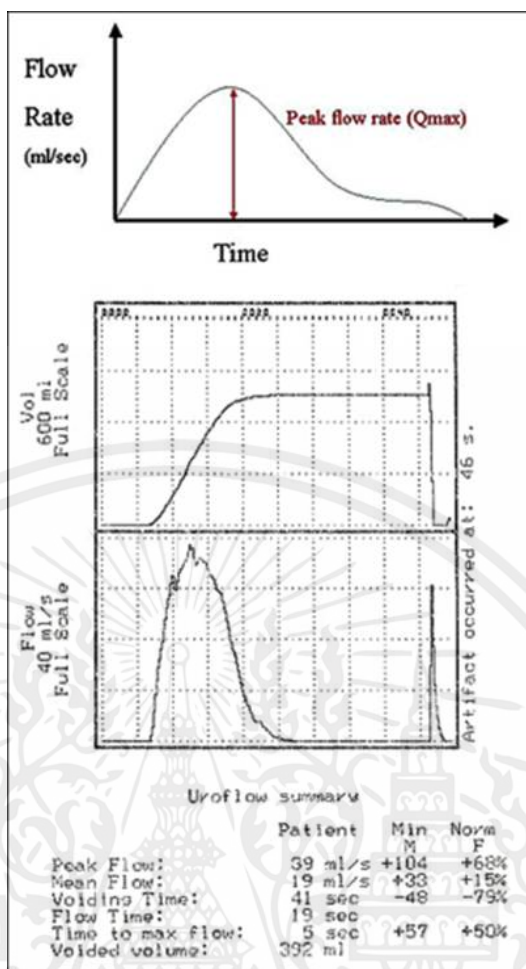
ตารางที่ 2.1 ค่ามาตรฐานปกติอัตราการไหลปัสสาวะขึ้นอยู่กับเพศและอายุ

ช่วงอายุ	อัตราการไหล (Flow rate) : mL/sec	
	ผู้ชาย	ผู้หญิง
4 - 7	10	15
8 - 13	12	18
14 - 45	21	18
46 - 65	12	18
66 - 80	9	18

จากรูปที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบการทำงานของต่อมลูกหมากปกติกับต่อมลูกหมากโต ซึ่งจะสัมพันธ์กับตารางที่ 2.1 แสดงค่ามาตรฐานปกติอัตราการไหลปัสสาวะขึ้นอยู่กับเพศและอายุ ซึ่งการตรวจวัดอัตราการไหลของปัสสาวะเป็นการตรวจขั้นต้นสำหรับผู้ป่วยที่มีอาการถ่ายปัสสาวะผิดปกติ เมื่อแพทย์ผู้ตรวจสังเกตว่าผู้ป่วยมีอาการเกี่ยวกับต่อมลูกหมากโตเช่น อาการปัสสาวะเล็ดราดหรือปัสสาวะเร็วหรืออื่นๆที่เกี่ยวกับการถ่ายปัสสาวะ โดยมีค่าปกติเพศชายประมาณ 16 mL/sec เพศหญิงประมาณ 18 mL/sec

2.2.1 การวัดอัตราการไหลปัสสาวะ ผลที่ได้จะอยู่ในรูปแบบกราฟสำหรับใช้สังเกตความ

ผิดปกติของระบบทางเดินปัสสาวะ จะแสดงข้อมูล flowrate และค่าปริมาณปัสสาวะทั้งหมดในรูปแบบกราฟ ตามแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กราฟตัวอย่างผลตรวจจากเครื่องวัดต้นแบบ Normal of urine

ในการทำการตรวจร่างกายตามปกติแล้วแพทย์จะใช้เครื่องวัดการไหลของปัสสาวะ เพื่อทำการทดสอบสมรรถภาพของกระเพาะปัสสาวะร่วมด้วย ผู้ป่วยอาจมีอาการ เช่น กระเพาะปัสสาวะไม่สามารถบีบตัวให้ปัสสาวะไหลได้แรงหรือต่อเนื่องหรือจะต้องเบ่งปัสสาวะแรงๆ เป็นไปได้ว่าอาจเกิดจากสาเหตุบางอย่างมาอุดกั้น เช่น ต่อมลูกหมากโต ท่อปัสสาวะตีบตัน หรือกระบังลมหย่อน ในการตรวจอัตราการไหลของปัสสาวะทำได้ไม่ยากและใช้เวลาไม่มาก โดยแพทย์จะให้ผู้ป่วยถ่ายปัสสาวะลงเครื่องมือวัด อัตราไหลความแรงของปัสสาวะเป็น ml/sec ดังนั้นแพทย์จะวินิจฉัยจากกราฟที่วัดได้ว่าสภาวะที่เกิดขึ้นจะเกี่ยวกับต่อมลูกหมากโตหรือกระเพาะปัสสาวะของผู้ป่วยทำงานปกติหรือผิดปกติ เครื่องมือวัดควรมีความเที่ยงตรงสามารถใช้งานได้จริงในทางการรักษา โดยใช้เครื่องวัดสังเกตอัตราการไหลของปัสสาวะ ตามรูปที่ 2.3 เพื่อประกอบการวินิจฉัยด้วย

## 2.3 ทฤษฎีของไหลในอุดมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2.3.1 มีการไหลอย่างสม่ำเสมอ (Steady flow) หมายถึง ความเร็วของทุกอนุภาค ณ ตำแหน่ง หนึ่งตำแหน่งหนึ่งหน้าตัดหนึ่งขณะหนึ่งค่าคงที่ของอนุภาคตั้งแต่ต้นจนถึงเข้าของเอกสารทุกครั้งหากใครไปใช้ตำแหน่ง พื้นที่หน้าตัดเดียวกันในของไหลมีค่าคงตัว

2.3.2 เป็นการไหลโดยไม่หมุน (Irrotational flow) คือ ในบริเวณโดยรอบจุดหนึ่งๆ ในของ

ไหลจะไม่มีอนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเชิงมุมรอบจุดนั้นๆเลย

2.3.3 เป็นการไหลที่ไม่มีแรงต้านเนื่องจากความหนืด (Nonviscous flow) ไม่มีแรงต้านใดๆภายในเนื้อของไหลมากกว่าต่ออนุภาคของไหล

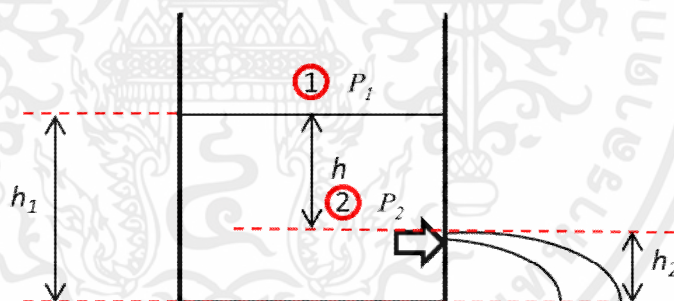
2.3.4 การไหลแบบไม่สามารถอัดได้ (Incompressible flow) ในทุกๆส่วนของของไหล มีความหนาแน่นคงตัว

## 2.4 ทฤษฎีของทอริเชลลี (Torrielli's law)

ทฤษฎีของทอริเชลลีและความสัมพันธ์ของสมการแบร์นูลลี[2] กล่าวไว้ว่าในทางอุดมคติ ความเร็วของไหลเท่ากับค่ารากที่สองของผลคูณระหว่างสองเท่าของความเร่ง เนื่องจากความโน้มถ่วงกับความสูงที่เกิดลำของของไหล ด้วยความเร็วของของเหลวที่พุ่งออกจากรูด้านข้างขวดเท่ากับความเร็วของวัตถุที่ตกแบบเสรีจากระดับสูงเท่ากัน และไม่ขึ้นกับชนิดของของเหลว ความสัมพันธ์นี้ ทอริเชลลีเป็นผู้ค้นพบ จึงเรียกว่า กฎของทอริเชลลี กฎของทอริเชลลี ถือว่าความเร็ว ณ ผิวของของเหลวมีค่าเป็นศูนย์ และสอดคล้องกับ สมการของแบร์นูลลี จะได้สมการความเร็วการไหล (Velocity :  $v$ ) ของของเหลวที่รู

$$v = \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

(2.1)



รูปที่ 2.4 ระบบสำหรับอธิบายทฤษฎีของทอริเชลลี

จากรูปที่ 2.4 เมื่อความดันที่จุดที่ 1 คือความดันบรรยากาศ  $p_1 = p_a$  และความดันที่จุดที่ 2 คือ  $p_2 = p_a$  กรณีถึงเปิดบรรจุของเหลวไว้ในระดับความสูงจากรูแนวเส้นศูนย์กลางของรูเปิดด้านล่าง จะปรากฏว่ามีลำพุ่งของของเหลวออกจากรูเปิดนั้น กำหนดให้จุดที่ 1 คือหน้าตัดของของเหลวในถังเปิด และจุดที่ 2 คือหน้าตัดที่ลำของเหลวพุ่งอิสระตรงบริเวณพื้นทางออกของรูเปิดเล็กน้อย และอาศัยสมการของแบร์นูลลี ในสมการพิจารณาการไหลระหว่างหน้าตัดจุดที่ 1 ถึงหน้าตัดจุดที่ 2 ดังนั้นของเหลวอยู่นิ่งในภาชนะหนึ่ง จะได้ว่าความเร็วเท่ากับศูนย์ และของเหลวพุ่งออกจากภาชนะ เมื่อพิจารณาการรั่วของของเหลวออกจากรูที่ผนังด้านข้างของภาชนะความดันที่ผิว ( $p_1$ )

ของของเหลวและความดัน ณ ตำแหน่งที่ของเหลวพุ่งออกจากรู ( $\rho_2$ ) ต่างเท่ากับความดันบรรยากาศ ( $\rho_a$ ) ถือว่าภาชนะมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับช่องที่น้ำไหลออก ทำให้ความเร็วที่ผิวของเหลวมีค่าเป็นศูนย์ และความดันที่ผิวกับที่ปากช่องน้ำออกเท่ากัน คือ ความดันบรรยากาศ ( $\rho_a$ )

## 2.5 ทฤษฎีของแบร์นูลลี (Bernoulli's equation)

หลักการของทอริเชลลี ซึ่งเป็นผู้ค้นพบคนแรกเพิ่มเติมได้ว่า ผลรวมของความดันพลังงานจลน์ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร และพลังงานศักย์โน้มถ่วงต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ณ ตำแหน่งใดๆ ภายในท่อที่มีของไหลผ่าน มีค่าคงตัวเสมอ

จากสมการของแบร์นูลลี ถ้าระดับคงตัวเมื่อของไหลมีความเร็วเพิ่ม ความดันของของไหลจะลด และเมื่อของไหลมีความเร็วลดลง ความดันของของไหลจะเพิ่มขึ้น ข้อสรุปนี้เรียกว่า หลักของแบร์นูลลี จากรูปที่ 2.4

$$\rho_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = \rho_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (2.2)$$

เมื่อความดันที่จุดที่ 1 คือความดันบรรยากาศ และความดันที่จุดที่ 2 คือ  $\rho_2 = \rho_0$

$$\rho_a + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = \rho_0 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (2.3)$$

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 = \rho_0 - \rho_2 + \rho g h + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (2.4)$$

$$v_1^2 = v_2^2 + \frac{2(\rho_0 + \rho_a)}{\rho} + 2gh \quad (2.5)$$

จากสมการของความต่อเนื่อง ถ้าพื้นที่หน้าตัดของท่อน้ำออก มีขนาดน้อยกว่าพื้นที่หน้าตัดของแท่งค้ำน้ำ จุดที่ 2 มาก  $v_1^2$  จะมีค่ามากกว่า  $v_2^2$  มาก ดังนั้นสามารถตัด  $v_2^2$  ในสมการข้างต้นทิ้งได้ จะได้

$$v_1^2 = \frac{2(\rho_0 + \rho_a)}{\rho} + 2g(h_1 - h_2) \quad (2.6)$$

เราเรียกความเร็วของน้ำจุดที่ 2 ที่ไหลออกจากท่อมีค่าขึ้นกับผลต่างความดัน  $\rho_0 - \rho_a$  และความสูง ถ้าด้านบนของถังเปิด  $\rho_0$  จะเท่ากับ  $\rho_a$  ทำให้ได้  $\rho_0 - \rho_a = 0$  ในกรณีนี้จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใดๆ ทั้งสิ้น  

$$v = \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (2.7)$$
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น สามารถเขียนสมการอัตราการไหล (Quantity of fluid)

$$Q = Av \quad (2.8)$$

$$Q = (\pi r^2) * (\sqrt{2g(h_1 - h_2)}) \quad (2.9)$$

### คำตัวแปร

$Q$  ; (Quantity of Flowrate) อัตราการไหล (ml/sec)

$h$  ; (Height of Tank) ความสูงของระดับแท่งค้ำน้ำ (mm.)

$v$  ; (Velocity) ความเร็วของน้ำ (ml/sec)

$g$  ; (Gravity) ค่าแรงโน้มถ่วง (9.81 m./sec)

$V$  ; (Volume of Fluid) ปริมาตรของน้ำ (ml)

$rh$  ; (Radial of Bottom Hole) รัศมีของรูท่อน้ำทางออก (mm.)

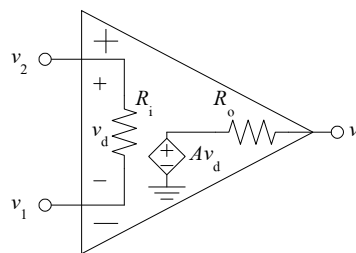
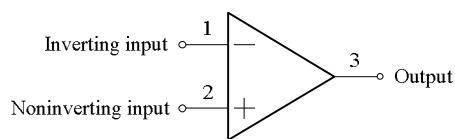
$dwater$  ; (Deep of water) ความลึกของน้ำในแท่งค้ำ (mm.)

$A$  ; (Area) ขนาดพื้นที่หน้าตัดท่อส่งน้ำ (mm<sup>2</sup>)

## 2.6 ตัวขยายสัญญาณเชิงดำเนินการ (Operational amplifier) หรือ Opamp

ออปแอมป์[11] เป็นวงจรรวมชนิดหนึ่งซึ่งอยู่ในกลุ่มของวงจรถึงเส้นซึ่งสำคัญมากในการประยุกต์ใช้กับวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ เช่น ในระบบเสียง ระบบสื่อสารข้อมูล ระบบอิเล็กทรอนิกส์ทางการแพทย์ ระบบเครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์ นั้นเป็นเพราะว่าออปแอมป์สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ และออกแบบสร้างวงจรทางคำนวณไฟฟ้าได้ นอกนั้นยังดัดแปลงให้ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณทางไฟฟ้าได้อย่างดีอีกด้วย แสดงไว้ในรูปที่ 1 โดยแรงดันที่ขาอินพุท เทียบกับกราวด์ ในวงจรจะขึ้นอยู่กับผลต่างของแรงดันที่ขา Inverting ininput และขา nonInverting ininput ซึ่งรูปที่ 2.5 แสดงวงจรเทียบเท่าของออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลของออปแอมป์และสัญลักษณ์ของออปแอมป์

จากรูปที่ 2.5 วงจรสมมูลของออปแอมป์

- ความต้านทานด้านอินพุต :  $R_i$
- ความต้านทานด้านเอาต์พุต :  $R_o$
- แรงดันระหว่างขาอินพุต :  $V_d$

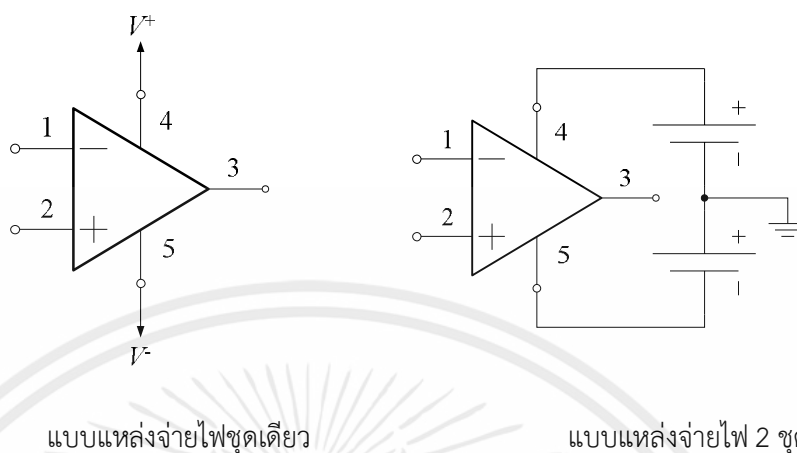
ดังนั้น แรงดันระหว่างขาอินพุต  $V_d = V_2 - V_1$  (2.8)

วงจรภายในของออปแอมป์ เป็นวงจรขยายแบบต่อตรง ที่มีอัตราขยายสูงมากใช้การป้อนกลับแบบลบไปควบคุมลักษณะการทำงาน ทำให้ผลการทำงานของวงจรไม่ขึ้นกับพารามิเตอร์ภายในของออปแอมป์ วงจรภายในประกอบด้วยวงจรขยายที่ต่ออนุกรมกัน คือวงจรขยายดิฟเฟอเรนเชียลด้านทางเข้า วงจรขยายดิฟเฟอเรนเชียลภาคที่สอง วงจรเลื่อนระดับและวงจรขยายกำลังด้านทางออก สัญลักษณ์ที่ใช้แทนออปแอมป์จะเป็นรูปสามเหลี่ยม

### 2.6.1 การจัดแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงตัวไอซีออปแอมป์

ตามปกติออปแอมป์ จะถูกออกแบบมาให้แรงดันเอาต์พุต เป็นได้ทั้งค่าบวกและค่าลบเมื่อเทียบกับกราวด์แรงดันเอาต์พุต จะเป็นค่าบวกหรือค่าลบ จะมีค่ามากหรือน้อยอย่างไรขึ้นอยู่กับการจัดวงจร และขึ้นกับทิศทางและขนาดของสัญญาณอินพุต ด้วยเหตุนี้ออปแอมป์จึงมักต้องการแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง 2 ชุด โดยชุดหนึ่งจะมีแรงดันเป็นค่าบวกเทียบกับกราวด์ เรียกชื่อแหล่งจ่ายชุดนี้ว่า +V อีกชุดหนึ่งมีแรงดันเป็นค่าลบเทียบกับกราวด์ เรียกชื่อแหล่งจ่ายชุดนี้ว่า -V การที่ใช้แหล่งจ่ายถึง 2 ชุด ก็เพื่อให้แรงดันเอาต์พุตเป็นค่าบวกหรือค่าลบได้

ออปแอมป์บางเบอร์อาจจะถูกออกแบบมาให้ใช้กับแหล่งจ่ายเพียงชุดเดียว และบางที่เราที่ต่อวงจรของออปแอมป์ที่ใช้แหล่งจ่าย 2 ชุด ให้ใช้กับแหล่งจ่ายเพียงชุดเดียวได้ แต่จะได้แรงดันเอาต์พุตเฉพาะค่าบวก หรือค่าลบอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น แล้วแต่ว่าแหล่งจ่ายเป็นบวกหรือลบ เทียบกับกราวด์



รูปที่ 2.6 การต่อแหล่งจ่ายกับไอซีออปแอมป์ระดับแรงดันของแหล่งจ่ายของไอซีออป

การต่อแหล่งจ่ายให้กับไอซีออปแอมป์และระดับแรงดันของแหล่งจ่ายของไอซีออปแอมป์ +3V ถึง +18V แต่บางเบอร์อาจจะใช้ต่ำถึง +1 V และบางเบอร์ใช้ได้สูงถึง +45 V คุณสมบัติของออปแอมป์ในอุดมคติ ตามแสดงในรูป 2.6

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของออปแอมป์ในอุดมคติกับออปแอมป์ในทางปฏิบัติ

คุณลักษณะของออปแอมป์		อุดมคติ	ออปแอมป์ 741
1. อัตราขยายแรงดัน	$A_{OL}$	$\infty$	200,000 V/V
2. ความต้านทานขาออก	$R_o$	0	75 $\Omega$
3. ความต้านทานขาเข้า	$R_i$	$\infty$	2 M $\Omega$
4. แบนด์วิธ	$BW$	$\infty$	1 MHz

## 2.7 ทฤษฎีการกรองความถี่ ( Filter )

วงจรกรองความถี่ผ่านเป็นวงจรเลือกให้เฉพาะแถบความถี่ที่ต้องการผ่านออกไปยังวงจรอื่นได้ โดยทั่วไปวงจรกรองความถี่ผ่าน จะมี 2 ประเภท ได้แก่ วงจรกรองความถี่พาสซีฟ (Passive filter) เป็นวงจรกรองที่ใช้อุปกรณ์ตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ ในการออกแบบ แต่อาจจะมีปัญหาบ้างในการหาค่าอุปกรณ์บางตัวที่ต้องการใช้งาน และวงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟ (Active filter) เป็นวงจรกรองความถี่ที่ใช้อุปกรณ์แอคทีฟมาแทนพวกตัวเหนี่ยวนำ เช่น ออปแอมป์ วงจรกรองความถี่เลือกให้เฉพาะแถบความถี่ที่ต้องการผ่านออกไปแบ่งได้ดังนี้

- 1) วงจรกรองความถี่ต่ำ (Lowpass filter)
- 2) วงจรกรองความถี่สูง (Highpass filter)
- 3) วงจรเฉพาะแถบความถี่ (Bandpass filter)
- 4) วงจรขจัดเฉพาะแถบความถี่หรือน็อตช์ฟิลเตอร์ (Notch filter)

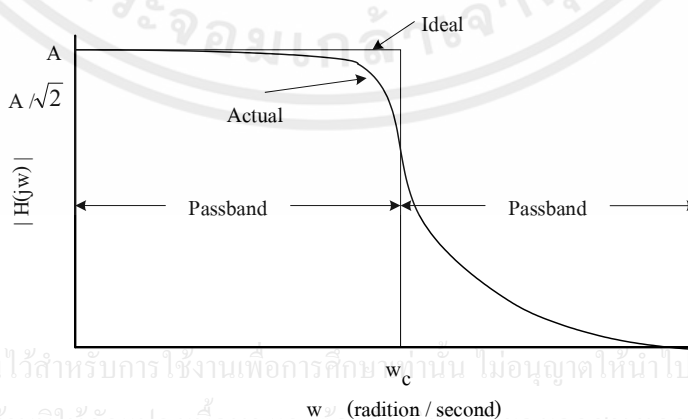
### 2.7.1 วงจรกรองความถี่ต่ำ (Lowpass filter)

2.6.1.1 สมการและวงจรใช้งาน **Lowpass filter** เป็นวงจรกรองความถี่แบบหนึ่งซึ่งจะส่งผ่านสัญญาณความถี่ต่ำกว่าค่าที่เลือกไว้ผ่านไปได้ทั้งหมด ในขณะที่จะกำจัดหรือลดทอนความถี่ที่สูงกว่าค่าที่เลือกไว้คุณสมบัติเช่นนี้ของวงจร Lowpass filter แสดงให้เห็นดังกราฟการตอบสนองเชิงขนาดของสัญญาณด้านผลตอบสนองทางความถี่ ซึ่งเป็นการพล็อตระหว่างขนาด  $|H(j\omega)|$  ของสมการทรานเฟอร์ ฟังก์ชัน  $H(S)$  กับความถี่  $\omega$  (เรเดียน/วินาที) หรือความถี่  $f(Hz)$  โดยที่  $\omega = 2\pi f$  และที่ทุกความถี่จะได้ว่า

$$H(S) = \frac{V_2(S)}{V_1(S)} \quad (2.8)$$

โดยที่  $V_2$  เป็นแรงดันเอาต์พุต และ  $V_1$  เป็นแรงดันอินพุต

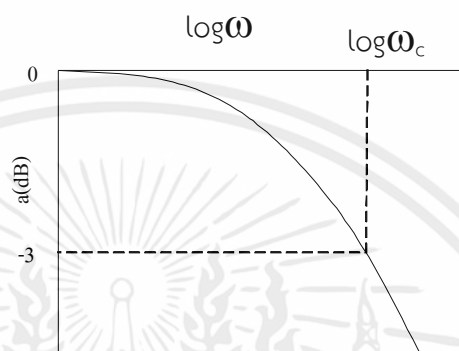
สำหรับเส้นกราฟที่แสดงดังรูปที่ 2.7 นั้น เส้นประแสดงถึงการตอบสนองเชิงขนาดของสัญญาณในทางอุดมคติ ส่วนเส้นทึบที่ที่เหลื่อแสดงถึงการตอบสนองเชิงขนาดของสัญญาณในการใช้งานจริง ซึ่งสามารถแสดงคุณลักษณะเฉพาะได้ใกล้เคียงผลตอบสนองทางอุดมคติมากที่สุด ค่า  $\omega_c$  (แปลงเป็น  $f_c$  ในหน่วย  $Hz$  ได้โดยใช้  $f_c = \omega_c / 2\pi$  เป็นความถี่คัทออฟ กำหนดที่จุด  $|H(j\omega)|$  มีค่า  $1/\sqrt{2}$  หรือ  $0.707$  เท่าของค่าแอมพลิจูดสูงสุด ในที่นี้แสดงด้วยค่า  $A$  ความถี่ในช่วงย่านที่สามารถผ่านได้อยู่ในช่วง  $0 \leq \omega \leq \omega_c$  และความถี่ที่เกินจาก  $\omega_c$  ( $\omega > \omega_c$ ) จะไม่สามารถผ่านไปได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา  $w_c$  เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7 ผลตอบสนองกรณีกรองความถี่ต่ำ

ทำการพล็อตกราฟแสดงการตอบสนองเชิงขนาดของสัญญาณอีกรูปแบบหนึ่ง คือ ระหว่างแอมพลิจูดในหน่วยเดซิเบล (dB) ในที่นี้แทนด้วย  $\alpha$  กับค่าความถี่  $\omega$  หรือ  $f$  ซึ่งอาจจะใช้เป็น  $\log$  หรือ  $\text{Log } f$  และจากรูปกราฟที่พล็อตไว้ในรูปที่ 2.8 จะเห็นจุดคัทออฟ สัมพันธ์กับ  $\alpha$  คิดจากจุดที่ค่า  $\alpha$  ลดลงจากเดิมไป 3 dB



รูปที่ 2.8 ผลตอบสนองในหน่วย dB

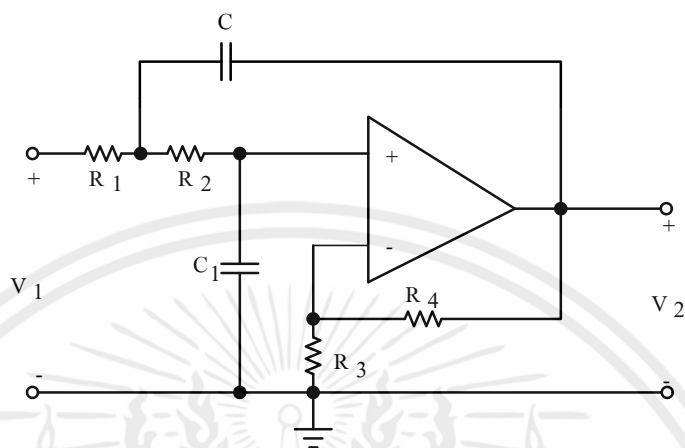
สมการโพลีโนเมียลอันดับที่สอง สามารถเทียบเคียงคุณลักษณะเฉพาะของวงจรกรองความถี่ต่ำทางอุดมคติ โดยการหาออกมาในรูปสมการทรานเฟอร์ ฟังก์ชัน ดังนี้

$$\frac{V_2(S)}{V_1(S)} = \frac{K}{S^2 + as + b} \quad (2.9)$$

โดยที่  $A$  และ  $B$  เป็นค่าคงที่ที่กำหนดขึ้น และ  $K$  เป็นค่าคงที่ ส่วนอันดับที่สอง ได้มาจากกำลังสูงสุดของสมการโพลีโนเมียลของตัวส่วนหรือตัวหารนั่นเอง ในกรณีของสมการทรานเฟอร์ ฟังก์ชันที่อันดับสูงกว่านี้หาได้โดยสมการที่ (2.9) เช่นเดียวกัน เพียงแต่ตัวหารเป็นนิพจน์ที่มีกำลังสูงสุดตามอันดับนั้น ๆ และสามารถหาอัตราขยายของวงจรกรองความถี่ต่ำ โดยกำหนดให้  $S$  ในสมการทรานเฟอร์ ฟังก์ชันเป็นศูนย์ จะได้อัตราขยายมีค่าเป็น  $K/B$

การใช้อุปกรณ์แอกติฟแทนขดลวดเหนี่ยวนำในวงจรกรองความถี่ต่ำนั้นมีด้วยกันหลายวิธี เช่น ใช้วิธีของ Sellen และ Key ซึ่งจะใช้อุปกรณ์แอกติฟประเภทออปแอมป์ที่ได้อธิบายคุณสมบัติไว้พอสังเขปแล้วในช่วงแรก วงจรกรองความถี่ต่ำอันดับที่สอง แสดงไว้ดังรูปที่ 2.9 โดยเลือกค่าตัวต้านทานและตัวเก็บประจุที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่า  $A$  และ  $B$  ที่กำหนดขึ้นในสมการที่ (2.9) ส่วน  $R_3$  และ

$R_4$  ที่ต่อไว้ ร่วมกับออปแอมป์ประกอบกันขึ้นเป็นวงจรควบคุมแหล่งจ่ายแรงดันด้วยค่าแรงดัน (Voltage control : VCVS) ดังนั้นจะเรียกวจร Sellen และ Key เป็นวงจร VCVS แบบหนึ่งก็ได้



รูปที่ 2.9 วงจรกรองความถี่ต่ำอันดับที่สอง

วงจรกรองความถี่อันดับที่สูงกว่านี้สามารถประกอบขึ้นได้โดยการนำวงจรกรองความถี่อันดับที่สองมาต่อกันหลาย ๆ ชุด ตัวอย่างเช่น วงจรกรองความถี่ต่ำอันดับที่สี่ ประกอบขึ้นโดยนำวงจรกรองความถี่ต่ำอันดับที่สอง ดังรูปที่ 2.9 มาประกอบเข้าด้วยกันทำการวิเคราะห์วงจร จะได้ค่าต่าง ๆ ที่ทำให้สมการที่ (2.10) เป็นจริง ดังนี้

$$K = \frac{\mu}{R_1 R_2 C C_1} \quad (2.10)$$

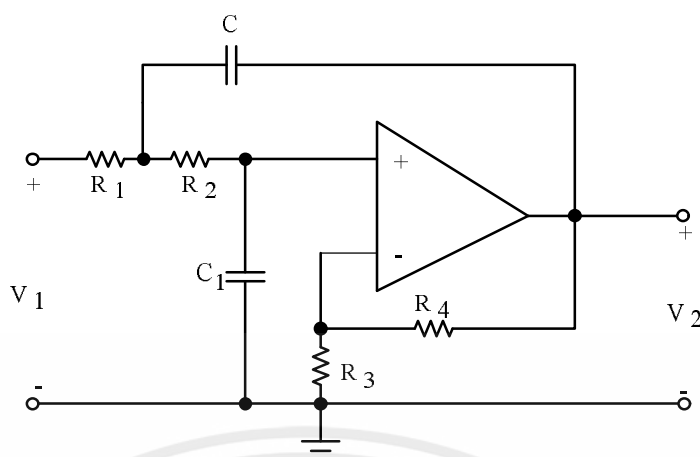
$$a = \frac{1}{R_2 C_1} (1 - \varpi) + \frac{1}{R_1 C} + \frac{1}{R_2 C} \quad (2.11)$$

$$b = \frac{1}{R_1 R_2 C C_1} \quad (2.12)$$

โดยที่

$$\mu = 1 + \frac{R_4}{R_3} \quad (2.13)$$

ค่า  $\mu$  เป็นค่าอัตราขยายของวงจร VCVS ซึ่งจะเป็นอัตราขยายของวงจรกรองความถี่ด้วยเอกสารนี้เป็ เพราะว่่า  $K/B = \mu$  รับการ วงจรกรองความถี่ต่ำที่ใช้ในงานวิทยานพน์นี้ คือ แบบบัตเตอร์เวิร์ธ (Butterworth) และแบบเชบีเชฟ (Chebyshev) อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 วงจรกรองความถี่ บัตเตอร์เวิร์ธหรือเซบีเชฟ

### 2.7.1.1 ขั้นตอนการออกแบบ

เริ่มจากกำหนด  $f_c$  (HZ), Gain ของวงจรกรองความถี่ (บัตเตอร์เวิร์ธ หรือเซบีเชฟ)

1) เลือกค่าตัวเก็บประจุ  $C$  ทำการหาค่า  $K$  จากกราฟรูปที่ 2.8 กรณีที่  $f_c$  อยู่ระหว่าง 1 และ 100 Hz กรณีที่  $f_c$  อยู่ระหว่าง 100 Hz และ 100 KHz และ กรณีที่  $f_c$  อยู่ระหว่าง 10 kHz และ 1 MHz

2) ใช้ค่า  $K$  ที่ได้จากข้อที่ 1 หาค่าตัวอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ที่ใช้ในวงจร เช่น ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุ โดยเลือกใช้จากกราฟรูปที่ 2.10 สำหรับวงจรกรองความถี่แบบบัตเตอร์เวิร์ธ สำหรับวงจรกรองความถี่แบบเซบีเชฟ ส่วนการจะใช้กราฟรูปใดนั้นขึ้นอยู่กับค่าอัตราขยายในกรณีเซบีเชฟนั้นยังต้องพิจารณาช่วงดีบีริปเปิ้ล (dB Ripple) ที่ต้องการ

3) จากข้อที่ 2 เลือกค่าตัวต้านทานที่ใช้งานจริง ให้ใกล้เคียงค่าที่อ่านได้จากกราฟมากที่สุด โดยใช้ค่า ที่เป็นมาตรฐานและลงมือประกอบวงจรตามรูปที่แสดงไว้ข้างต้น ส่วนการเลือกใช้ออปแอมป์นั้น กราฟที่ใช้งานนี้ออกแบบมาให้ใช้ค่าตัวเก็บประจุที่เป็นมาตรฐาน ส่วนค่าตัวเก็บประจุค่าอื่นที่เป็นค่ากลางไม่อยู่บนเส้นกราฟที่แสดงค่าตัวเก็บประจุเส้นใดเส้นหนึ่ง สามารถหาได้โดยการ Interpolation บนกราฟ

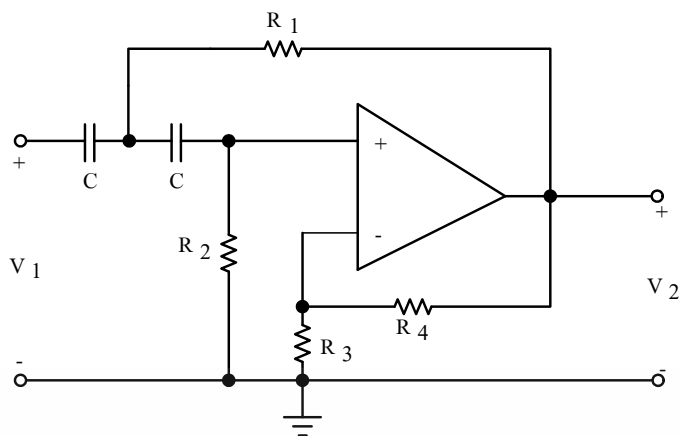
ค่า  $R_3$  และ  $R_4$  ที่อ่านได้จากกราฟ ใช้ปรับค่าดีซี ออฟเซ็ท ของออปแอมป์ให้มีค่าน้อยที่สุด ถ้าต้องการใช้ค่า  $R_3$  และ  $R_4$  อื่นใดนอกเหนือจากเส้นกราฟที่มีอยู่ ก็สามารถเลือกใช้ได้แต่ต้องเลือกใช้ อัตราส่วน  $R_4/R_3$  เท่ากันกับค่าเดิมที่อ่านได้จากกราฟ ค่าตัวต้านทานมาตรฐานที่มีค่าผิดพลาด 5% นี้ ให้ผลของวงจรที่ดี

### 2.7.2 ขั้นตอนการออกแบบวงจรกรองความถี่สูงอันดับที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลบางอย่างที่ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำมาใช้

เริ่มจากการกำหนด  $f_c$  (HZ), Gain และแบบของวงจรกรองความถี่ (บัตเตอร์เวิร์ธหรือเซบีเชฟ)

ตามที่ออกแบบไว้ แล้วปฏิบัติต่อไปนี้



รูปที่ 2.11 รูปวงจรใช้งานวงจรกรองความถี่สูงอันดับที่สอง

- 1) ตรวจสอบ  $f_c$  ว่าตกอยู่ในกราฟรูปใด ถ้า  $f_c$  อยู่ระหว่าง 1 และ 100 Hz จะเลือกใช้กราฟรูป

ที่ 2.11 ถ้า  $f_c$  อยู่ระหว่าง 100 และ 10 kHz ให้เลือกใช้กราฟรูปที่ 2.8 และถ้า  $f_c$  อยู่ระหว่าง 10 kHz และ 1 MHz ให้เลือกใช้กราฟรูปที่ 2.8 หลังจากนั้นเลือกค่าตัวเก็บประจุ  $C$  ที่ต้องการ (ถ้าค่า  $C$  ที่ต้องการไม่มีในเส้นกราฟที่มีอยู่ แต่ตกอยู่ในช่วงใดช่วงหนึ่งระหว่างเส้นกราฟสามารถหาได้โดยวิธี (Interpolation) ลากไปตัดแกนตั้งจะได้ค่า  $K$

- 2) ใช้ค่า  $K$  ที่ได้จากข้อที่ 1 นี้ไปหาค่าอุปกรณ์ประกอบวงจรอื่นๆ โดยทำการเลือกใช้จากกราฟ

รูปที่ 2.8 สำหรับวงจรกรองความถี่แบบบัตเตอร์เวิร์ธ และจากกราฟรูปที่ 2.11 สำหรับวงจรกรองความถี่แบบเชบีเชฟ ส่วนจะใช้กราฟรูปใดนั้นขึ้นอยู่กับค่า Gain และกรณีของเชบีเชฟนั้นยังต้องพิจารณาช่วง dB ที่ยอมให้เกิดขึ้นด้วย

- 3) เมื่อได้ค่าตัวอุปกรณ์จากข้อที่ 2 เลือกค่าที่ใช้งานจริงให้ใกล้เคียงค่าที่อ่านได้จากกราฟให้มากที่สุด

สุดท้ายการประกอบวงจรตามรูปที่แสดงไว้ข้างต้น โดยตัวอุปกรณ์ออปแอมป์และอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ และมีอัตราขยายกลับขั้วสัญญาณ (Inverting gain) เท่ากับ  $R_6/R_3$

## 2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

เป็นอุปกรณ์ไอซี (IC: Integrate circuit) ที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ซับซ้อน สามารถรับข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัลเข้าไปทำการประมวลผลแล้วส่งผลลัพธ์ข้อมูลดิจิทัลออกมาเพื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ภายในชิปจะมีหน่วยความจำอยู่ในชิปเพียงตัวเดียวซึ่งอาจจะเรียกได้ว่าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีชุดคำสั่งและที่อยู่ของคำสั่งของแอสเซมบลีที่ฝังมาในตัวชิป

เป็นคอมพิวเตอร์ชิปเดี่ยว ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไมโครโพรเซสเซอร์ชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ แต่ได้รับการพัฒนาแยกออกมาภายหลังเพื่อนำไปใช้ใน

วงจรทางด้านงานควบคุม คือ แทนที่ในการใช้งานจะต้องต่อวงจรภายนอกต่าง ๆ เพิ่มเติมเช่นเดียวกับ ไมโครโปรเซสเซอร์ ก็จะทำให้การรวมวงจรที่จำเป็น เช่น หน่วยความจำ, ส่วนอินพุท/เอาต์พุท บางส่วน เข้าไปในตัว ไอซีเดียวกัน และเพิ่มวงจรบางอย่างเข้าไปด้วยเพื่อให้มีความสามารถเหมาะสมกับการใช้งานควบคุม เช่น การควบคุมมอเตอร์ขนาดเล็ก, วงจรการสื่อสารอนุกรม, วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล เป็นต้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยมักจะเป็นการนำไปใช้ฝังในระบบของอุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ มีข้อดีเหมาะสมต่อการใช้ในงานควบคุมหลายประการ เช่น

- 1) ชิพไอซีและระบบที่ได้มีขนาดเล็ก
- 2) ระบบที่ได้มีราคาถูกกว่าการใช้ชิพไมโครโปรเซสเซอร์
- 3) วงจรที่ได้จะมีความซับซ้อนน้อย ช่วยลดข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในการต่อวงจร
- 4) มีคุณสมบัติเพิ่มเติมสำหรับงานควบคุมโดยเฉพาะซึ่งใช้งานได้ง่าย
- 5) ช่วยลดระยะเวลาในการพัฒนาระบบได้

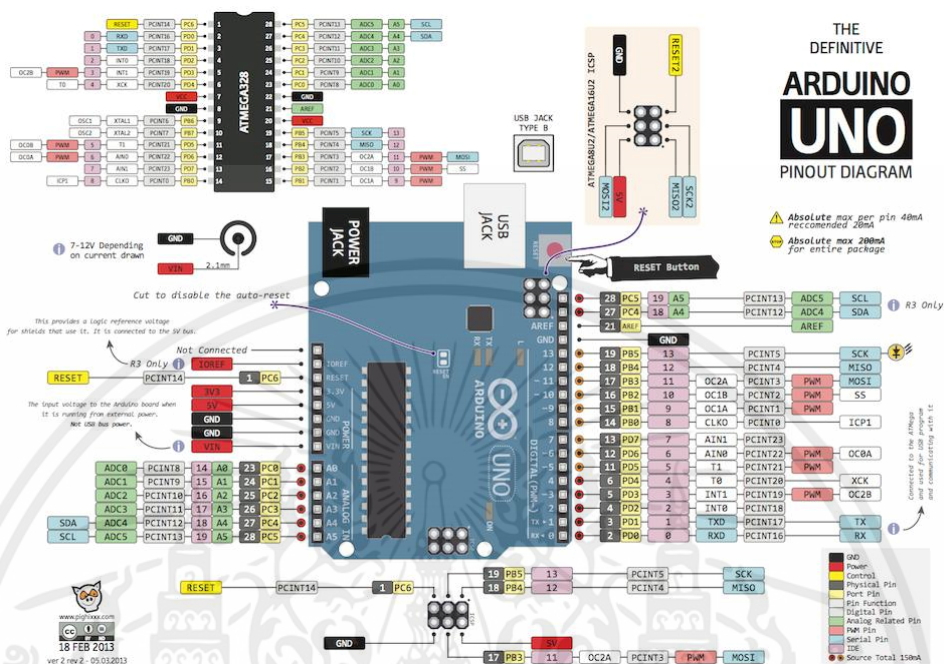
ไมโครคอนโทรลเลอร์มีหลายยี่ห้อ หลายตระกูล และหลายเบอร์ด้วยกัน ซึ่งแต่ละเบอร์ก็จะมีโครงสร้างภายในและความสามารถในการทำงานที่แตกต่างกันทำให้เลือกใช้กับงานได้อย่างเหมาะสม บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ในตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย

ในการพัฒนาทั้งตัวบอร์ดหรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วยความง่ายของบอร์ด Arduino การต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino shield) ประเภทต่างๆได้

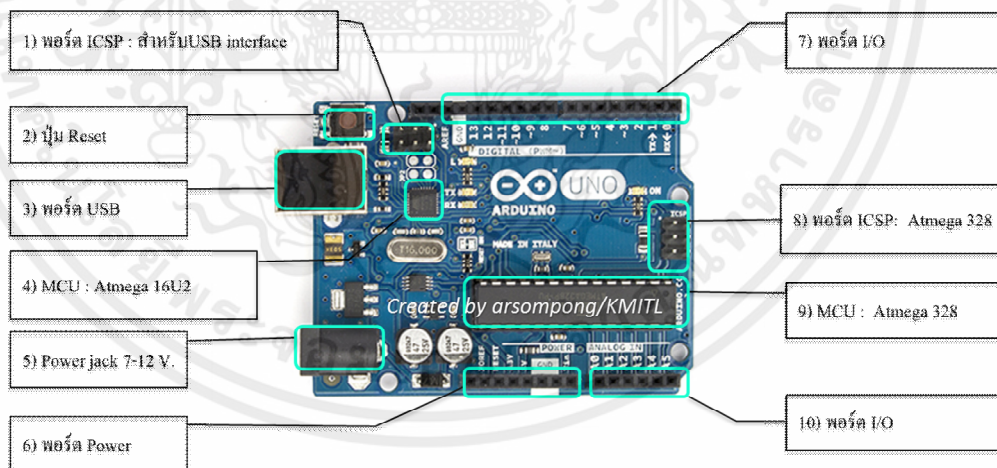
### 2.8.1 โครงสร้างบน Arduino

โครงสร้าง Arduino uno เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ ATmega328 มีอินพุตและเอาต์พุต 14 อินพุต, 6 อินพุตแบบอนาล็อก, ตัวเรโซเนเตอร์เซรามิก 16 MHz, การเชื่อมต่อ USB, แจ็คไฟ, ส่วนหัว ICSP และปุ่มรีเซ็ตที่จำเป็นในการสนับสนุนไมโครคอนโทรลเลอร์ เพียงเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยสายเคเบิล USB หรือใช้อะแดปเตอร์หรือแบตเตอรี่ AC-to-DC เพื่อเริ่มต้นใช้งาน Uno แตกต่างจากบอร์ดก่อนหน้านี้ทั้งหมด เนื่องจากไม่ได้ใช้ชิพควบคุม USB แบบอนุกรมของ FTDI แต่มีคุณลักษณะของ Atmega16U2 ซึ่งได้รับการตั้งโปรแกรมเป็นตัวแปลงสัญญาณแบบ USB-to-serial Revision 2 ของบอร์ด Uno มีตัวต้านทานดึงสาย HWB 8U2 ไปยังพื้นทำให้ง่ายต่อการใส่ลงในโหมด DFU Revision 3 ของบอร์ดมีคุณสมบัติใหม่ดังต่อไปนี้: 1.0

pinout: เพิ่มหมุด SDA และ SCL ที่อยู่ใกล้กับหมุด AREF และอีก 2 หมุดใหม่ที่วางอยู่ใกล้กับขา RESET IOREF ที่อนุญาตให้โวลต์ปรับให้เข้ากับแรงดันไฟฟ้าที่จัดหาจากบอร์ด



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของบอร์ด Arduino uno r3



รูปที่ 2.13 ส่วนประกอบ ขาต่างๆของ Arduino uno r3

บอร์ดที่ใช้ AVR ซึ่งทำงานร่วมกับ 5V และด้วย Arduino Due ที่ทำงานกับ 3.3V คือขาที่ไม่ได้เชื่อมต่อซึ่งสงวนไว้สำหรับวัตถุประสงค์ในอนาคตวงจร RESET ที่ติดตั้ง Atmega 16U2 เปลี่ยน 8U2 "Uno" หมายถึง ภาษาอิตาลีและมีชื่อว่า Arduino 1.0 Uno และเวอร์ชัน 1.0 จะเป็นเวอร์ชันอ้างอิงของ Arduino ก้าวไปข้างหน้า Uno เป็นชุดบอร์ด USB Arduino รุ่นล่าสุด

และเป็นโมเดลอ้างอิงสำหรับแพลตฟอร์ม Arduino; สำหรับการเปรียบเทียบกับรุ่นก่อนหน้าดูดัชนีของบอร์ด Arduino

### 2.8.2 ส่วนประกอบ ชาติต่างๆของ Arduino uno r3

1) USB Port : ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปเดตโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับ

บอร์ด

2) Reset : เป็นปุ่มใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่

3) ICSP Port ของ ATMEGA16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน ATMEGA16U2

4) I/O Port digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง PIN จะทำหน้าที่อื่นๆเพิ่มเติมด้วย เช่น PIN0,1 เป็นขา TX,RX Serial , PIN3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM

5) ICSP Port : ATMEGA328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Boot loader

6) MCU: ATMEGA328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino

7) I/O Port: นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อกตั้งแต่ขา A0-A5

8) Power Port : ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, VIN

9) Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V

10) MCU ของ ATMEGA16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น usb to serial port โดย ATMEGA328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน ATMEGA16U2

### 2.8.3 โปรแกรมควบคุมใช้งาน Arduino uno r3

สามารถดาวน์โหลดได้จาก [Arduino.CC/EN/main/software](http://Arduino.CC/EN/main/software) หลังจากที่เราเขียนโค้ดโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ใช้งานเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ใช้และหมายเลข Com port

## 2.9 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current motor)

การคอนโทรลมอเตอร์กระแสตรงหรือดีซีมอเตอร์ (DC Motor) จะพบได้โดยทั่วไป โดยเฉพาะในงานอุตสาหกรรมสมัยใหม่ส่วนมาก ด้วยความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีทางไมโครอิเล็กทรอนิกส์ มอเตอร์กระแสตรงมีผลการทำงานที่ไม่มีตำแหน่งหยุดที่แน่นอน ดังนั้นระบบคอนโทรลมอเตอร์กระแสตรงจึงเป็นแบบวงรอบปิด ตำแหน่งเอาต์พุตหรือความเร็วเอาต์พุตจะถูกป้อนกลับไปเปรียบเทียบกับอินพุตอ้างอิงเพื่อให้ได้ผลการทำงานตามที่ต้องการ

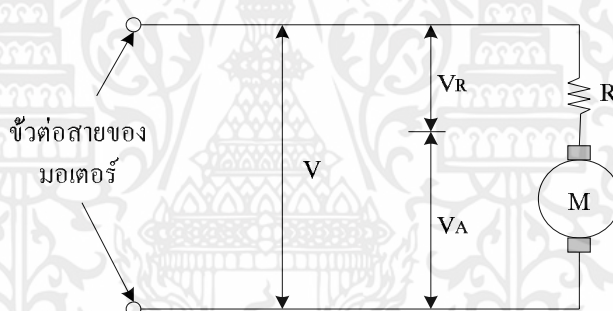
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเป็นสงวนเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.9.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

เมื่อมีการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กซึ่งมีส่วนของแรงขึ้นกับกระแสแรงของสนามแม่เหล็ก โดยแรงจะเกิดขึ้นเป็นมุมฉากกับกระแสและสนามแม่เหล็ก ขณะที่ทิศทางของแรงกลับตรงกันข้ามกัน ถ้าหากกระแสของสนามแม่เหล็กไหลย้อนกลับจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสและสนามแม่เหล็กเป็นผลทำให้ทิศทางของแรงเปลี่ยนไป ด้วยคุณสมบัตินี้ทำให้มอเตอร์กระแสตรงกลับทิศทางการทำงานได้ สนามแม่เหล็กของมอเตอร์ส่วนหนึ่งเกิดขึ้นจากแม่เหล็กถาวรซึ่งจะถูกยึดติดกับแผ่นเหล็กหรือเหล็กกล้า โดยปกติส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ยึดอยู่กับที่และขดลวดเหนี่ยวนำจะพันอยู่กับส่วนที่เป็นแกนหมุนของมอเตอร์

### 2.9.2 คุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรง

ในการอธิบายคุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรงให้ละเอียดนั้นต้องพิจารณาแรงดันที่ป้อนและความต้านทานของโรเตอร์ด้วย วงจรภายในของมอเตอร์เขียนได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.14 วงจรภายในของมอเตอร์กระแสตรง

โดยสมมติให้หุ่นโรเตอร์ไม่มีความต้านทานอยู่เลย อนุกรมกับความต้านทานซึ่งในที่นี้ก็คือความต้านทานของขดลวดนั่นเอง แรงดันที่ขั้วต่อสายของมอเตอร์ก็คือผลบวกระหว่างแรงดันที่หุ่นโรเตอร์ ( $V_A$ ) และ แรงดันตกคร่อมความต้านทานขดลวด ( $V_R$ )

แรงดัน ( $V_A$ ) ถูกเรียกว่า แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำป้อนกลับ (Back EMF) ซึ่งเกิดขึ้นในโรเตอร์ขณะที่หมุนแรงดันที่เกิดขึ้นนี้เป็นไปตามกฎของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าจากการเคลื่อนที่ของตัวนำในสนามแม่เหล็ก สัมพันธ์กับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำแม่เหล็ก และ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของตัวนำ แรงดันที่เกิดขึ้นจะมีขั้วตรงกันข้ามกับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ และ แปรผันตรงกับความเร็วในการหมุน ผลบวกของแรงดันที่หุ่นโรเตอร์ ( $V_A$ ) และแรงดันตกคร่อมขดลวด ( $V_R$ ) ต้องเท่ากับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ตามสมการ

$$V = V_A + V_R \quad (2.14)$$

เมื่อพิจารณาตั้งแต่มอเตอร์หยุดนิ่ง ความเร็วมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้น  $V_A = 0$  ,  $V_R = V$  กระแสที่ไหลในมอเตอร์หาได้จาก

$$I = \frac{V_R}{R} \quad (2.15)$$

เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนจะมีความเร็วและ ( $V_A$ ) เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามความเร็ว ( $V_R$ ) มีค่าเท่ากับความแตกต่างระหว่าง ( $V_A$ ) และ ( $V$ ) จะเริ่มลดลงกระแสก็จะเริ่มลดลงเช่นกันขณะที่มอเตอร์ยังมีความเร่งอยู่ ความเร็วจะเพิ่มขึ้น แรงบิดจะลดลงจนกว่าจะถึงจุดซึ่งแรงบิดของมอเตอร์รับภาระโหลดได้สมดุลพอดี ขณะที่มอเตอร์ไม่มีโหลด และ หมุนอย่างอิสระจะมีเพียงค่าความฝืดของแบร์ริง และ แรงต้านอากาศทำให้ ( $V_A$ ) เกือบเท่ากับค่า ( $V$ )

### 2.9.3 การควบคุมมอเตอร์

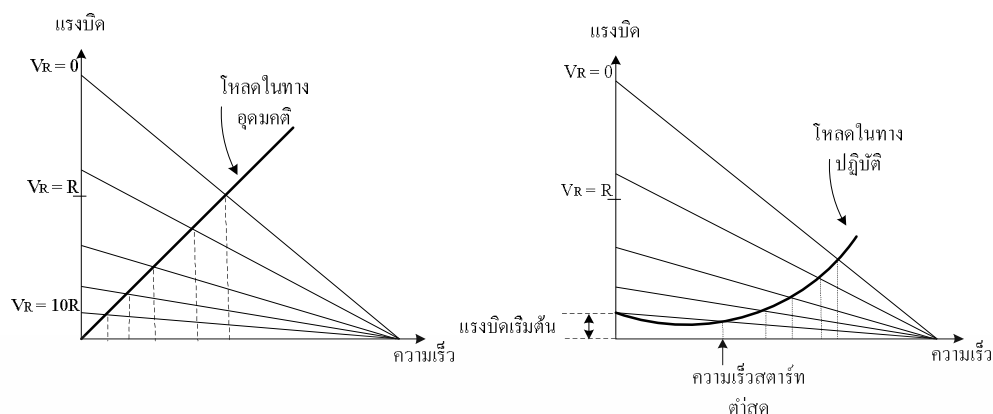
ควบคุมความเร็วในระบบกลไกแบบเซอร์โวมอเตอร์ถูกเรียกว่า มอเตอร์แบบเซอร์โว (Servo motor) เครื่องวัดรอบในรูปแบบป้อนกลับจะวัดความเร็วของมอเตอร์แบบเซอร์โวและส่งป้อนกลับมาในรูปของสัญญาณไฟฟ้าแรงดันหรือกระแส แปรตามความเร็วเพลลาของมอเตอร์

1) ระบบควบคุมกำลังบิด (Torque control system) กำลังบิดของมอเตอร์เซอร์โวจะถูกรักษาให้มีค่าคงที่ เนื่องจากแรงบิดของมอเตอร์แปรตามกระแสของมอเตอร์ ดังนั้น กระแสที่ป้อนให้กับมอเตอร์ เพื่อรักษาค่าแรงบิดให้คงที่เอาไว้ วิธีนี้สามารถทำได้ด้วยวงจรที่ทำการเปรียบเทียบกระแสเอาท์พุทของมอเตอร์กับกระแสอินพุทของมอเตอร์ และขยายผลต่างเพื่อใช้เป็นวงจรควบคุมแรงบิดป้อนกลับ (Torque control feedback circuit )

2) ระบบควบคุมการเคลื่อนที่แบบเพิ่ม (Incremental motion control system) ทำหน้าที่สับเปลี่ยนโหมดควบคุมจากโหมดหนึ่งไปเป็นอีกโหมดหนึ่ง เพื่อให้เกิดสมรรถนะการใช้งานที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น การควบคุมความเร็วและตำแหน่ง ทำหน้าที่ควบคุมให้ได้ความเร็วที่ต้องการ แต่ก็สามารถปรับเปลี่ยนเป็นการควบคุมตำแหน่ง เพื่อหยุดเพลลาให้ได้ถูกต้อง

### 2.9.4 วิธีการควบคุมมอเตอร์

1.) การควบคุมด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ เป็นรูปแบบพื้นฐานที่สุดของการควบคุมมอเตอร์ คือ ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้อนุกรมกับมอเตอร์ โดยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้จะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ การบังคับแบบนี้ไม่มีประสิทธิภาพเพราะกำลังไฟสูญเสียไปในตัวความต้านทาน มักนิยมใช้กับมอเตอร์ตัวเล็กๆ การบังคับแบบนี้ให้คุณสมบัติการสตาร์ทที่ดี (ให้แรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ) แต่จะให้ความเร็วสูงมากเมื่อมอเตอร์อยู่ในภาวะที่มีโหลดน้อยๆ ดังนั้นการบังคับแบบนี้มีประโยชน์เฉพาะภาวะที่แรงต้านคงที่



รูปที่ 2.15 กราฟแสดงคุณสมบัติ

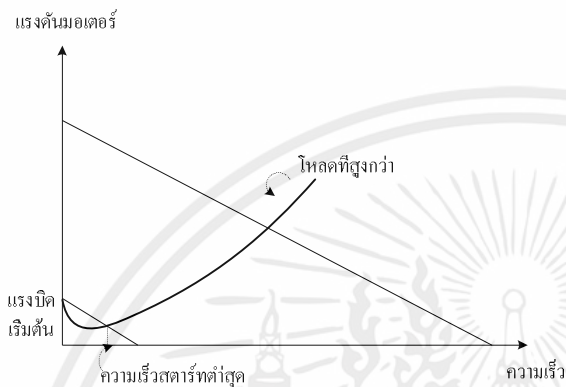
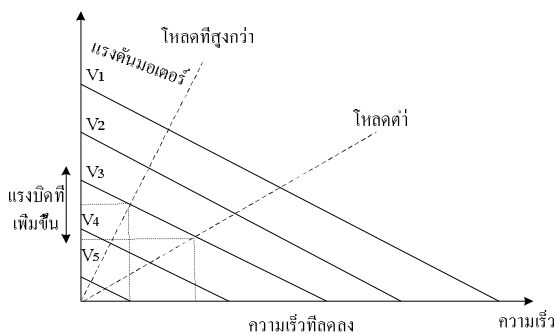


รูปที่ 2.16 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้ตัวต้านทานอนุกรม

## 2) การควบคุมด้วยวิธีเปลี่ยนค่าแรงดัน

เป็นวิธีใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้อัตราขยายกำลังสูงและมอเตอร์จะถูกป้อนด้วยแรงดันที่เปลี่ยนแปลงค่าได้จากแหล่งจ่ายที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำ ถ้าความเร็วลดลงจากผลของแรงบิดแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาระดับความเร็ว ส่วนข้อเสียจากการควบคุมวิธีนี้ คือเมื่อมอเตอร์มีความเร็วต่ำแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะมีค่าต่ำเช่นกัน

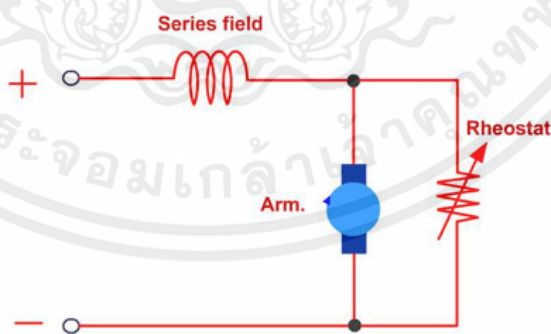
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 การควบคุมความเร็วโดยเปลี่ยนค่าแรงดัน

3) การควบคุมด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้

การควบคุมแบบนี้ สามารถขับดีซีมอเตอร์ให้การเรีคูเลทที่ดีกว่ากระแสถูกปล่อยให้ฟิลด์คงที่ ผลของคุณสมบัติ ความเร็วและแรงบิดได้รับการปรับปรุงดีขึ้นกว่าการบังคับด้วยความต้านทานที่ปรับค่าได้ และให้การเรีคูเลทความเร็วคงที่ได้ดีขึ้นตลอดช่วงความเร็วที่กว้างกว่า



รูปที่ 2.18 การควบคุมความเร็วโดยปรับค่าความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) ส่วนประกอบหลักๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้
- ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) คือขดลวดที่ถูกพันอยู่กับขั้วแม่เหล็กที่ยึดติดกับโครงมอเตอร์
  - ทำหน้าที่กำเนิดขั้วแม่เหล็กขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) แทนแม่เหล็กถาวรขดลวดที่ใช้เป็นขดลวด
- อาน้ำยาฉนวน สนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นเมื่อจ่ายแรงดันไฟตรงให้มอเตอร์
- ขั้วแม่เหล็ก (Pole Pieces) คือแกนสำหรับรองรับขดลวดสนามแม่เหล็กถูกยึดติดกับโครงมอเตอร์ด้านใน ขั้วแม่เหล็กทำมาจากแผ่นเหล็กอ่อนบางๆ อัดซ้อนกัน (Lamination Sheet Steel) เพื่อลดการเกิดกระแสไหลวน (Edy Current) ที่จะให้ความเข้าของสนามแม่เหล็กลดลง ขั้วแม่เหล็กทำหน้าที่ให้กำเนิดขั้วสนามแม่เหล็กมีความเข้มสูงสุด แทนขั้วสนามแม่เหล็กถาวร ผิวด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กทำให้โค้งรับกับอาร์เมเจอร์พอดี
  - โครงมอเตอร์ (Motor Frame) คือส่วนเปลือกหุ้มภายนอกของมอเตอร์ และยึดส่วนอยู่กับที่ (Stator) ของมอเตอร์ไว้ภายในร่วมกับฝาปิดหัวท้ายของมอเตอร์ โครงมอเตอร์ทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กระหว่างขั้วแม่เหล็กให้เกิดสนามแม่เหล็กครบวงจร
  - อาร์เมเจอร์ (Armature) คือส่วนเคลื่อนที่ (Rotor) ถูกยึดติดกับเพลา (Shaft) และรองรับการหมุนด้วยที่รองรับการหมุน (Bearing) ตัวอาร์เมเจอร์ทำจากเหล็กแผ่นบางๆ อัดซ้อนกัน ถูกเจาะร่องออกเป็นส่วนๆ เพื่อไว้พันขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) ขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นขดลวดอาน้ำยาฉนวน ร่องขดลวดอาร์เมเจอร์จะมีขดลวดพันอยู่และมีลิมไฟเบอร์อัดแน่นชิดขดลวดอาร์เมเจอร์ไว้ ปลายขดลวดอาร์เมเจอร์ต่อไว้กับคอมมิวเตเตอร์ อาร์เมเจอร์ผลัดกันของสนามแม่เหล็กทั้งสอง ทำให้อาร์เมเจอร์หมุนเคลื่อนที่
  - คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) คือส่วนเคลื่อนที่อีกส่วนหนึ่ง ถูกยึดติดเข้ากับอาร์เมเจอร์และเพลาร่วมกัน คอมมิวเตเตอร์ทำจากแท่งทองแดงแข็งประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก แต่ละแท่งทองแดงของคอมมิวเตเตอร์ถูกแยกออกจากกันด้วยฉนวนไมก้า (Mica) อาร์เมเจอร์ คอมมิวเตเตอร์ทำหน้าที่เป็นขั้วรับแรงดันไฟตรงที่จ่ายมาจากแปรงถ่าน เพื่อส่งไปให้ขดลวดอาร์เมเจอร์
  - แปรงถ่าน (Brush) คือตัวสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ ทำเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผลิตมาจากคาร์บอนหรือแกรไฟต์ผสมผงทองแดง เพื่อให้แข็งและนำไฟฟ้าได้ดี มีสายตัวนำต่อร่วมกับแปรงถ่านเพื่อไปรับแรงดันไฟตรงที่จ่ายเข้ามา แปรงถ่านทำหน้าที่รับแรงดันไฟตรงจกแหล่งจ่าย จ่ายผ่านไปให้คอมมิวเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

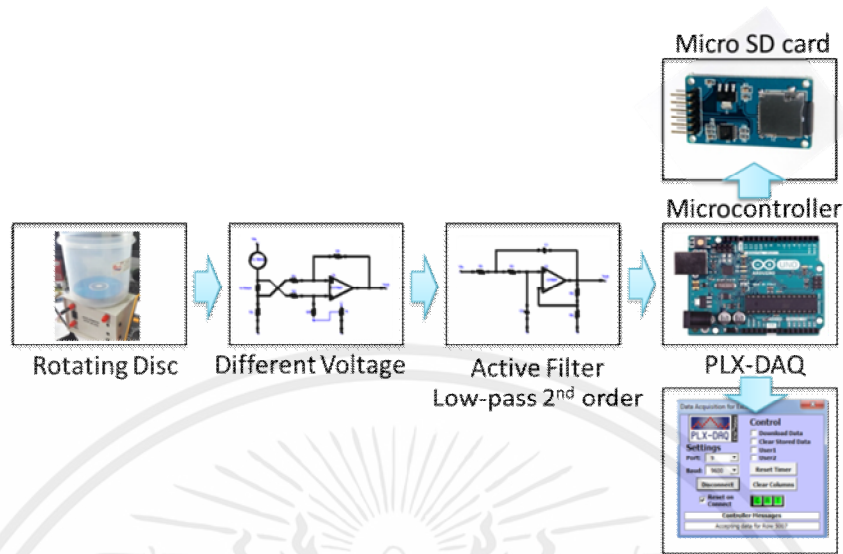
## บทที่ 3

### การออกแบบงานวิจัย

ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องบันทึกอัตราการไหลของปัสสาวะแบบจานหมุน (Rotating disc) โดยใช้หลักการเปรียบเทียบผลต่างแรงดันไฟฟ้าจากตัวต้านทานแบบขนาน ซึ่งทำหน้าที่ตรวจจับค่าการเปลี่ยนแปลงตามภาระไหลที่จานหมุนได้รับ โดยทดสอบด้วยการเทของเหลวทดสอบลงบนแผ่นจานหมุนพร้อมจับเวลาการไหลและวัดค่าพลังงานจากวงจรตรวจจับผลต่างแรงดัน จากนั้นนำมาผ่านวงจรขยายระดับค่าแรงดันไฟฟ้าและบันทึกค่าไว้ในหน่วยความจำและแสดงผลการอ่านค่าต่อเนื่องด้วยโปรแกรมรูปแบบการเก็บข้อมูลผู้ป่วย การประมวลผลการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เครื่องที่สร้างขึ้นสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกสำหรับใช้งานกับโรงพยาบาลห่างไกลได้และสามารถจัดเก็บประวัติการตรวจในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์

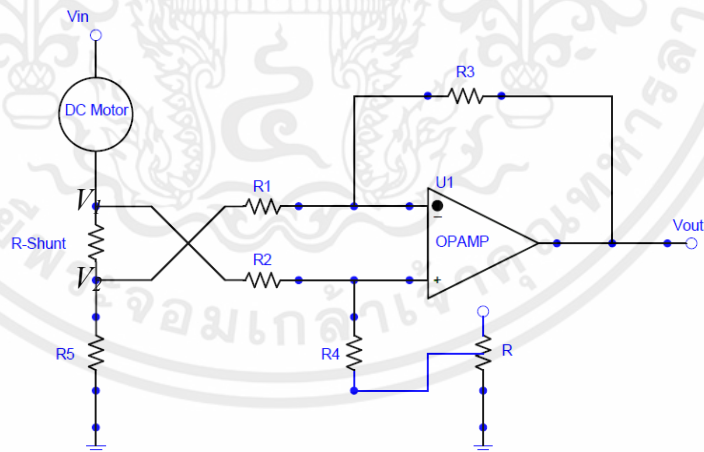
การออกแบบและสร้างเครื่องบันทึกอัตราการไหลของปัสสาวะแบบจานหมุน โดยจะใช้หลักการเปรียบเทียบผลต่างแรงดันไฟฟ้าจากตัวต้านทานแบบขนาน ซึ่งทำหน้าที่ตรวจจับค่าการเปลี่ยนแปลงตามภาระไหลที่จานหมุนได้รับ โดยมีมอเตอร์ชุดขับตัวจานหมุนต่อดัวยวงจร Lowside voltage sensing ค่าพลังงานที่วัดได้จากวงจรตรวจจับผลต่างแรงดันโดยใช้ตัวต้านทาน Resistor-shunt ก็บวงจรนำมาผ่านวงจรขยายระดับค่าแรงดันไฟฟ้า บันทึกค่าที่วัดได้ไว้ใน Micro sdcard และอ่านค่าต่อเนื่องแสดงในโปรแกรม Parallax excel ผ่านวงจรประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino uno r3 กับตัวมอเตอร์ติดจานหมุนนั้น นำไปเขียนกราฟเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่างผลต่างแรงดันกับอัตราการไหล ค่าที่ได้เป็นข้อมูลให้แพทย์ผู้เชี่ยวชาญใช้ในการวินิจฉัย และสามารถแยกชนิดโรคเกี่ยวกับทางเดินท่ปัสสาวะโครงสร้างของวงจร รูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องบันทึกค่าอัตราการไหลปัสสาวะแบบจานหมุน

3.1 วงจรตรวจจับค่าผลต่างแรงดันไฟฟ้า (Different voltage) ใช้ความต้านทาน R-shunt ต่อกับวงจร low side sending ค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบจะถูกขยายด้วยตัว Opamp เพื่อให้ได้ค่าผลต่างแรงดันนำไปใช้บันทึกค่า กำหนดค่าอุปกรณ์ :  $R_1=R_2=39\text{ k}\Omega$ ,  $R_3=R_4=47\text{ k}\Omega$ ,  $R\text{-SHUNT}=5\ \Omega$ ,  $R_5=10\text{ k}\Omega$  แสดงดัง รูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจรวัดค่าผลต่างแรงดัน Different voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 วิธีออกแบบวงจร Different voltage

กำหนดค่าอุปกรณ์ :  $R_1=R_2=39\text{ k}\Omega$ ,  $R_3=R_4=47\text{ k}\Omega$ ,  $R\text{-shunt}=5\text{ }\Omega$ ,  $R_5=10\text{ k}\Omega$

#### 3.2.1 การหาค่ากระแสวงจร Different voltage

$$I_1 = \frac{V_{in}}{R_{motor} + R_{Shunt} + R_5} \quad (3.1)$$

$$I_1 = \frac{12V}{50\Omega + 5\Omega + 10k\Omega}$$

$$I_1 = \frac{12V}{10055k\Omega}$$

$$I_1 = 1.193 \times 10^{-3} A = 1.193 mA$$

#### 3.2.2 หาค่าแรงดันที่จุด $V_1$

$$V_1 = (R_{Shunt} + R_5) * I_1 \quad (3.2)$$

$$V_1 = (5\Omega + 10k\Omega) * 1.193 \times 10^{-3} A$$

$$V_1 = (10005\Omega) * 1.193 \times 10^{-3} A_1$$

$$V_1 = 11.94032V$$

#### 3.2.3 หาค่าแรงดันที่จุด $V_2$

$$V_2 = (R_5) * I_1 \quad (3.3)$$

$$V_2 = (10k\Omega) * 1.193 \times 10^{-3} A$$

$$V_2 = (10000\Omega) * 1.193 \times 10^{-3} A_1$$

$$V_2 = 11.93436V$$

#### 3.2.4 หาค่าแรงดันที่จุด $V_{OUTPUT}$

$$V_{OUTPUT} = \left( \frac{R_3}{R_1} \right) * (V_1 - V_2) \quad (3.4)$$

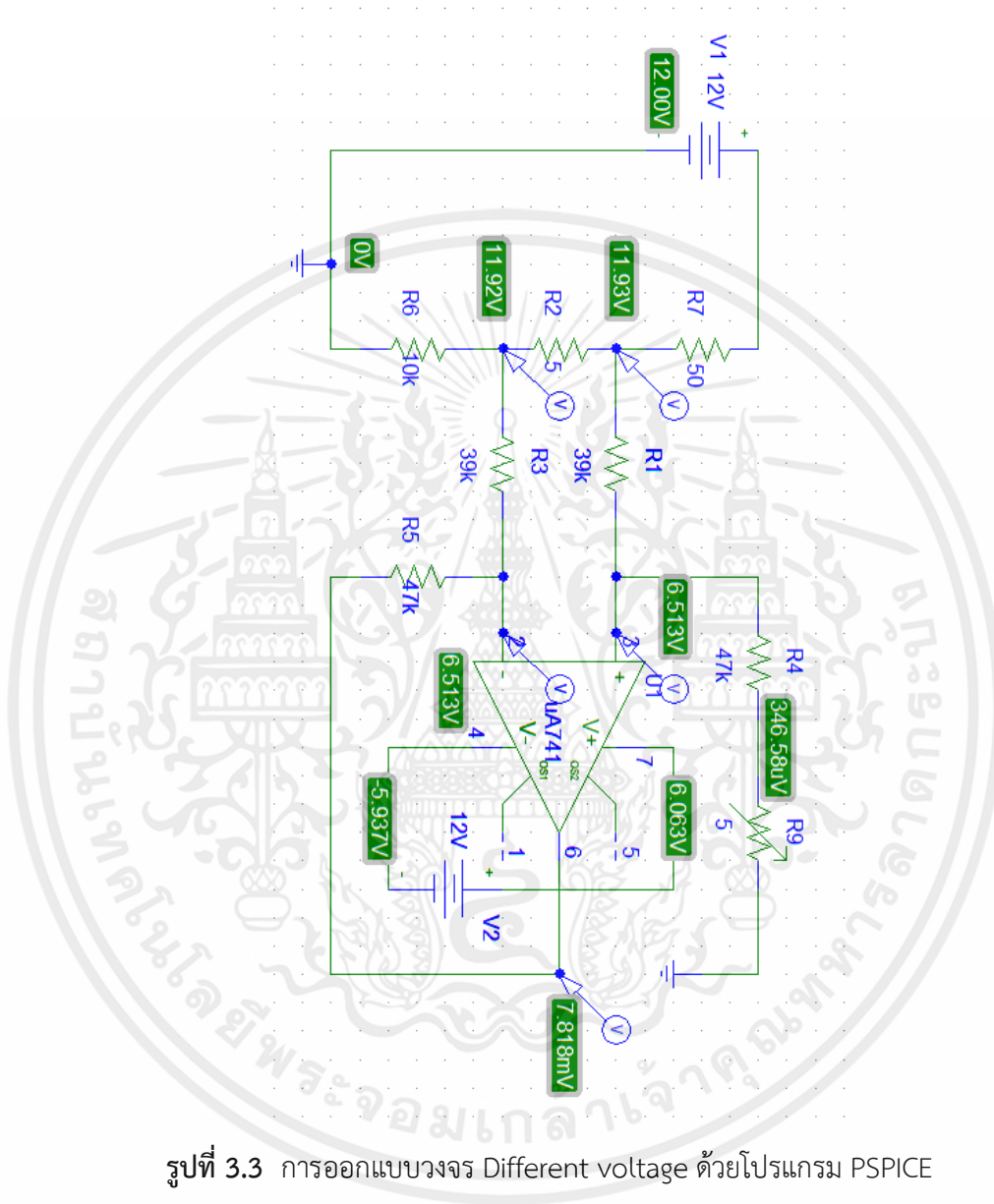
$$V_{OUTPUT} = \left( \frac{47k\Omega}{39k\Omega} \right) * (11.94032V - 11.93436V)$$

$$V_{OUTPUT} = 1.20512 * (5.96mV)$$

$$V_{OUTPUT} = 0.0071825V = 7.1825mV$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

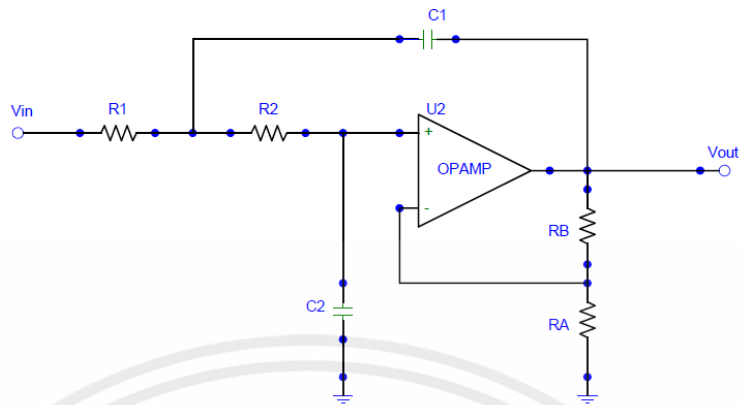
3.2.5 การออกแบบวงจรด้วยโปรแกรม PSPICE ) เมื่อเขียนวงจรลงโปรแกรม PSPICE จะได้ค่า output ที่ได้เท่ากับ 7.818 mV ซึ่งใกล้เคียงกับการคำนวณจากสูตรความสัมพันธ์



รูปที่ 3.3 การออกแบบวงจร Differential voltage ด้วยโปรแกรม PSPICE

### 3.3 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบลำดับสองแบบ Sallen and Key active lowpass filter 2<sup>nd</sup> order

เอกสารนี้เป็นเอกสารโดยออกแบบที่ความถี่ตัด (Cutoff frequency) = 1kHz,  $R_1=R_2=48k\Omega$ ,  $R_A=47k\Omega$ ,  $R_B=27k\Omega$ ,  $C_1=C_2=0.033\mu F$  แสดงดังรูปที่ 3.4 นี้อาหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจร Active lowpass filter 2<sup>nd</sup> order

ในส่วนของความต้านทาน  $R_A$  และ  $R_B$  มีไว้เพื่อกำหนดอัตราขยายของวงจร Close loop (ACL) โดยปกติจะกำหนด ACL นี้เท่ากับ 1.586 เท่า เพื่อให้วงจรสามารถทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุดจึงกำหนดให้ เป็น 0.568 เท่าของ เนื่องจาก Opamp ต่อแบบไม่กลับเฟสค่าความต้านทานที่เหมาะสม  $R_A=47k\Omega$ ,  $R_B=27 k\Omega$  ดังรูปที่ 3.4

วิธีออกแบบวงจร Active lowpass filter 2<sup>nd</sup> order จากสมการ

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

กำหนดให้  $R_1 = R_2 = R$  และ  $C_1 = C_2 = C$

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

กำหนดค่าความถี่คutoffในการออกแบบ Frequency Cutoff เท่ากับ 1kHz และเลือกตัวประจุค่ามาตรฐาน  $C = 0.033\mu F$  หาค่าตัวต้านทานของระบบ

จากสมการ

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

แทนค่า

$$R = \frac{1}{2\pi * f_c * C}$$

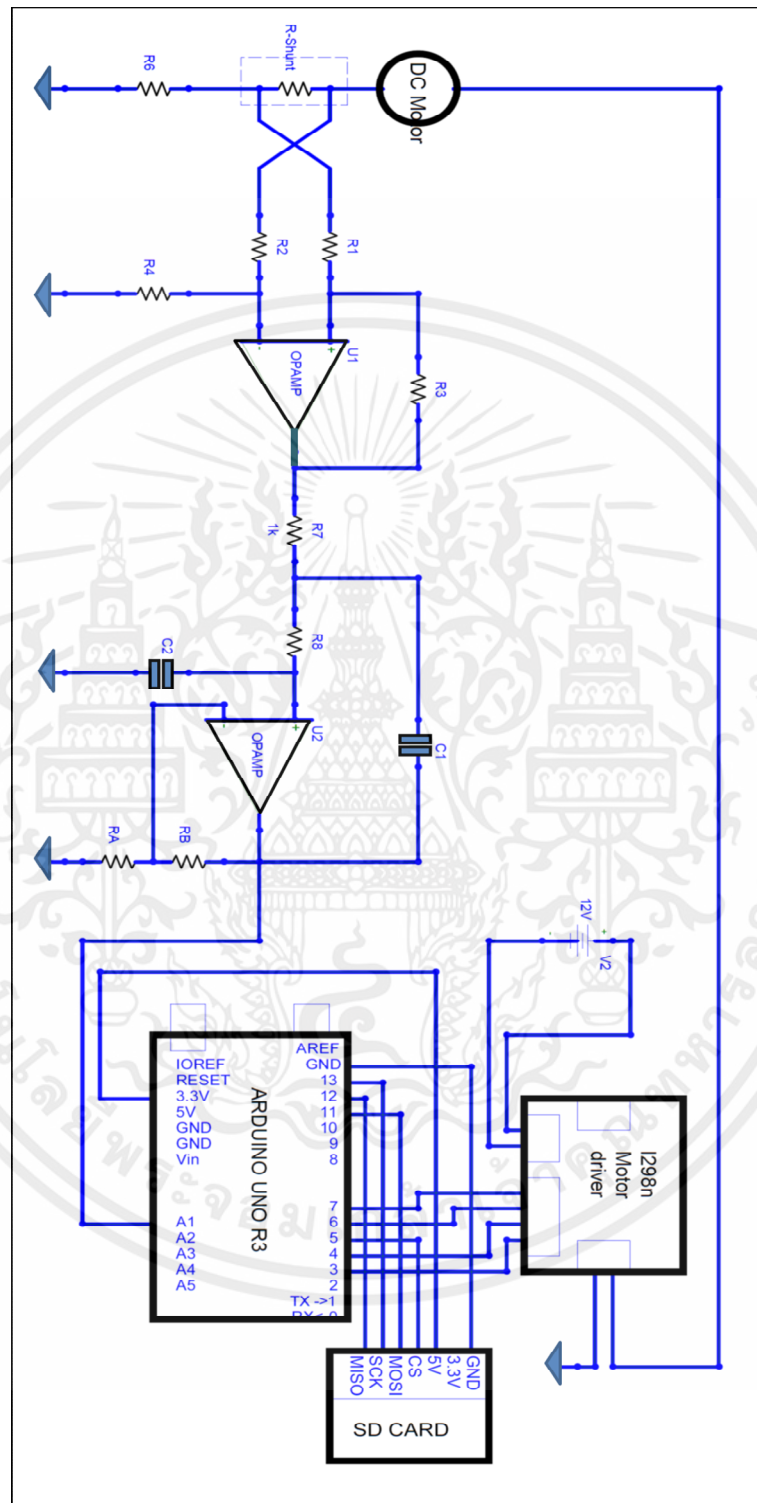
$$R = \frac{1}{2 * 3.142 * 1000 * 0.033 * 10^{-6}}$$

$$R = 48.222k\Omega$$

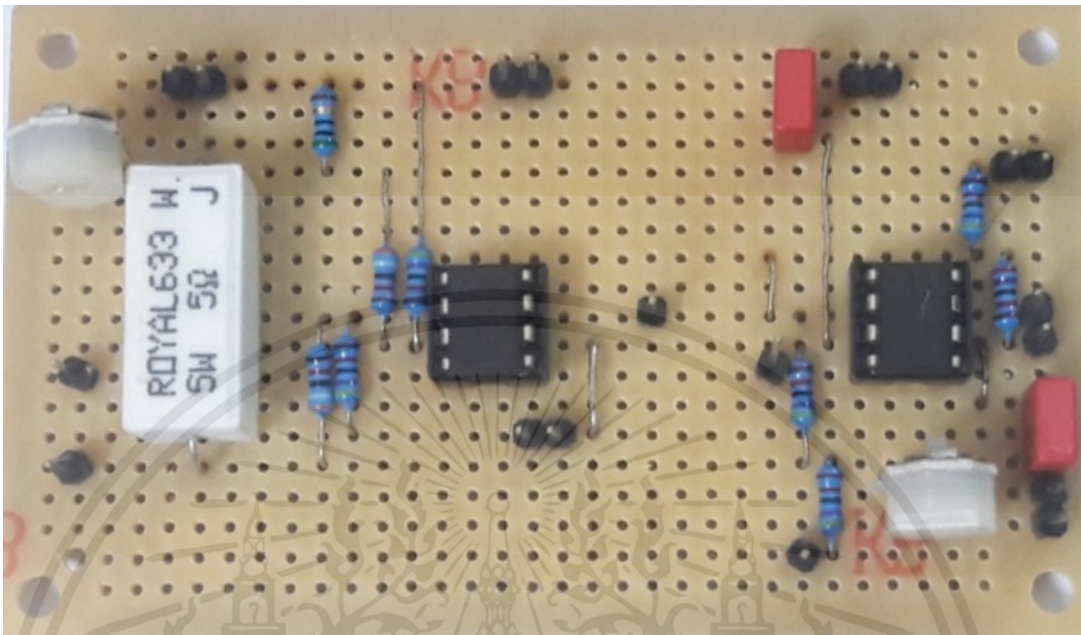
เลือกค่าความต้านทานที่

$$R = 48k\Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ  $R = 48.222k\Omega$  ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาใดๆ กรุณาแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีก **รูปที่ 3.5** วงจร Different voltage และ Active lowpass filter 2<sup>nd</sup> order นำมาใช้

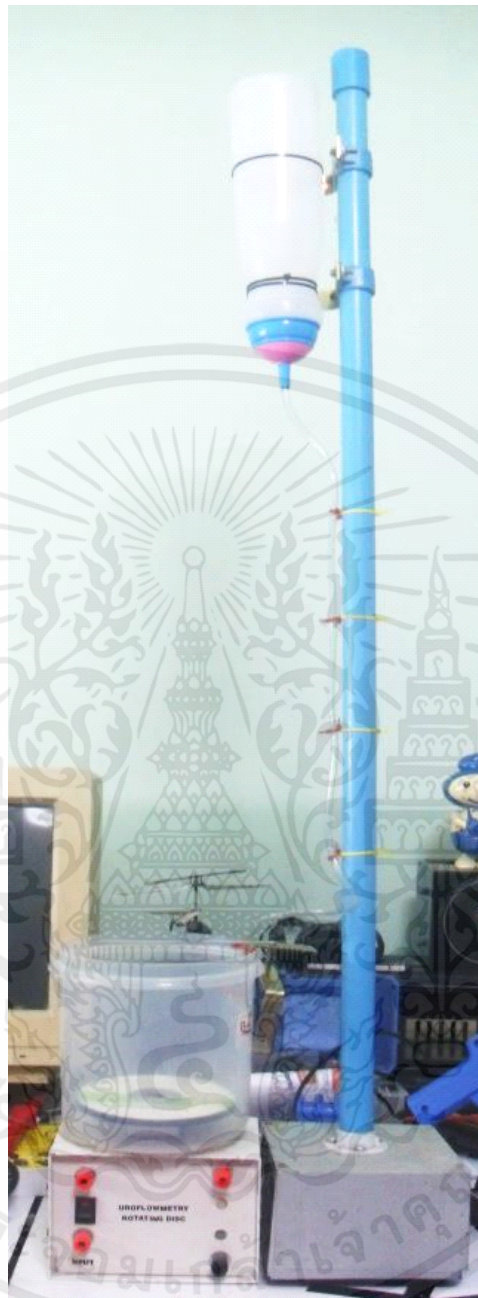


รูปที่ 3.6 แผงวงจร Different voltage และ Active low pass filter 2<sup>nd</sup> order ที่สร้างขึ้น

### 3.4 ชุดจานหมุน Rotating disc

เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่ Sensor ใช้แบบจานหมุนขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง Servo motor ขนาดเล็ก เลือกใช้งานระดับที่แรงดัน 12 โวลต์ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm. ควบคุมการทำงานด้วย Microcontroller ทำหน้าที่รับโพลดจากน้ำที่ไหลมากกระทบกับจานหมุนซึ่งยึดติดอยู่กับเพลามอเตอร์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของจานหมุน 0.12 m. เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจากความแรงของน้ำที่พุ่งลงที่แผ่นจานหรือตามภาระโพลดที่ได้รับ ลักษณะของชุดตามรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 เครื่อง Rotating disc ต้นแบบ

### 3.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Microcontroller

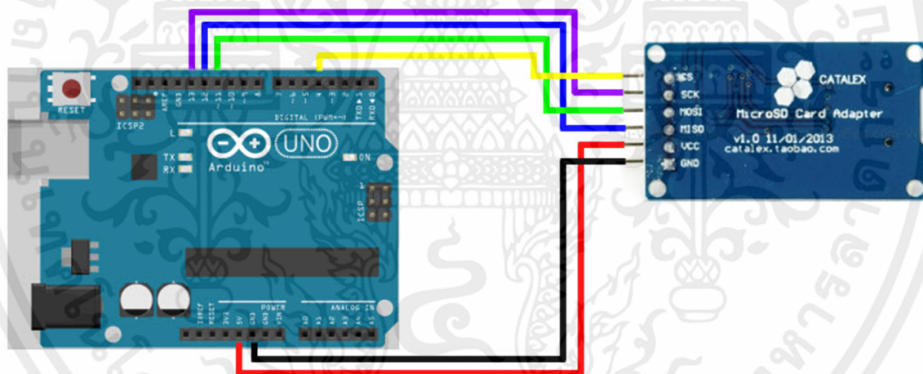
ในงานวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอ เลือกใช้บอร์ด รุ่น Arduino uno r3 ทำหน้าที่ประมวลผลค่าที่ทำการตรวจวัดแล้วส่งไปยังอุปกรณ์หน่วยความจำ Micro sdcard และอ่านค่าบันทึกลง Parallax excel ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 บอร์ด ARDUINO UNO R3

### 3.6 หน่วยความจำขนาดเล็ก Micro sdcard

ที่ใช้เก็บข้อมูลบันทึกอัตราการไหลปัสสาวะ

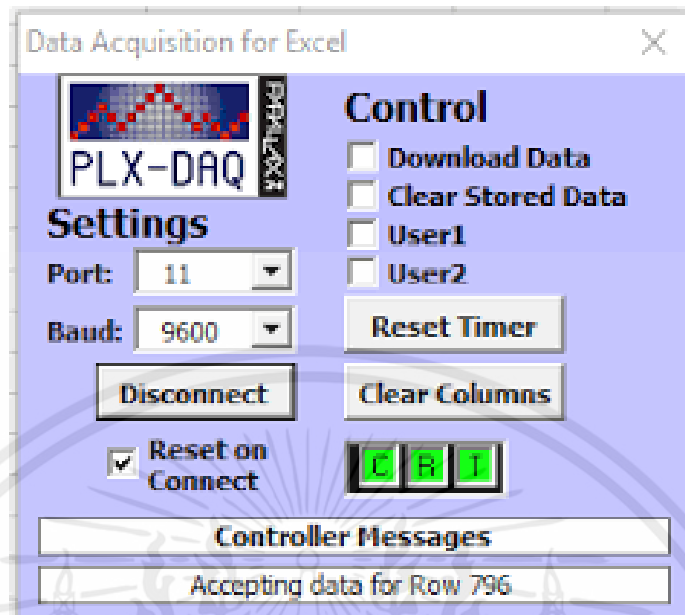


รูปที่ 3.9 การต่อ Micro sdcard กับบอร์ด Arduino uno r3

### 3.7 โปรแกรมอ่านค่าข้อมูลที่วัดได้รูปแบบ Parallax excel

สามารถนำค่าที่บันทึกไปเขียนกราฟ สำหรับใช้เปรียบเทียบความถูกต้องกับเครื่องวัดต้นแบบนั้น การทำ data logger[8] จำเป็นต้องเพิ่มเติมวิธีการวัดเพื่อเก็บข้อมูลไว้วิเคราะห์ บอร์ด Microcontroller สามารถที่จะเก็บข้อมูลจากบอร์ด Arduino แล้วส่งค่าไปที่ Excel ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



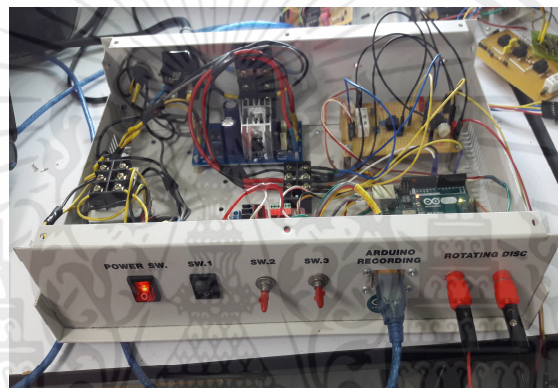
รูปที่ 3.10 ขอร์ด Arduino กับ Computer ด้วยโปรแกรม Parallax excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

การทดลองเปรียบเทียบผลต่างแรงดันไฟฟ้าจากตัวต้านทานต่อลำดับกับขดลวด Dc motor ซึ่งทำหน้าที่ตรวจจับค่าการเปลี่ยนแปลงตามภาระโหลดที่งานหมุนที่ได้รับ โดยทดสอบด้วยการเทของเหลวทดสอบลงบนแผ่นงานหมุนพร้อมจับเวลาการไหล และวัดค่าพลังงานจากวงจรตรวจจับผลต่างแรงดันมาเปรียบเทียบอัตราการไหล โดยใช้การประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino uno r3 แสดงผลการวัดด้วยโปรแกรม Parallax excel ในการพล็อตกราฟอัตราการไหล ดังรูปที่ 4.1-4.2



รูปที่ 4.1 วงจร Differential Amplifier



รูปที่ 4.2 เครื่อง Rotating disc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ผู้ดูแลให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การทดลองที่ 1 ปริมาตรน้ำ 200 ml ที่แรงดันระดับความสูง 20 cm. ขนาดรูท่อน้ำ 6 mm.

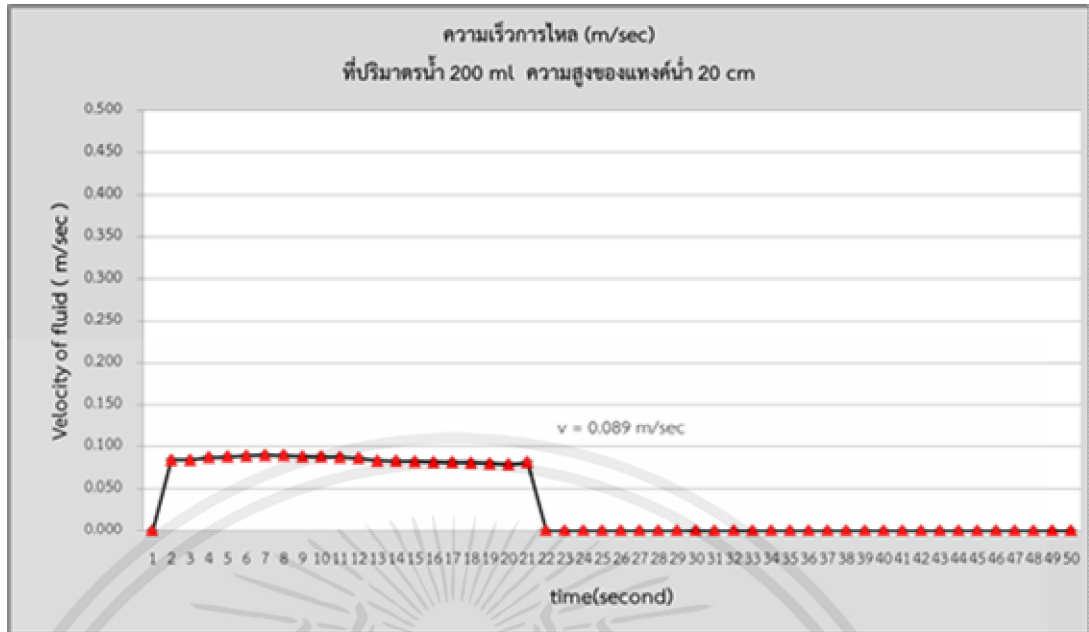
ตารางที่ 4.1 ค่าอัตราการไหลจากการจับเวลาการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันที่วัดได้จากเครื่องที่สร้าง ปริมาตรน้ำ 200 ml ที่ระดับความสูง 20 cm.

Connect using "PLX-DAQ "

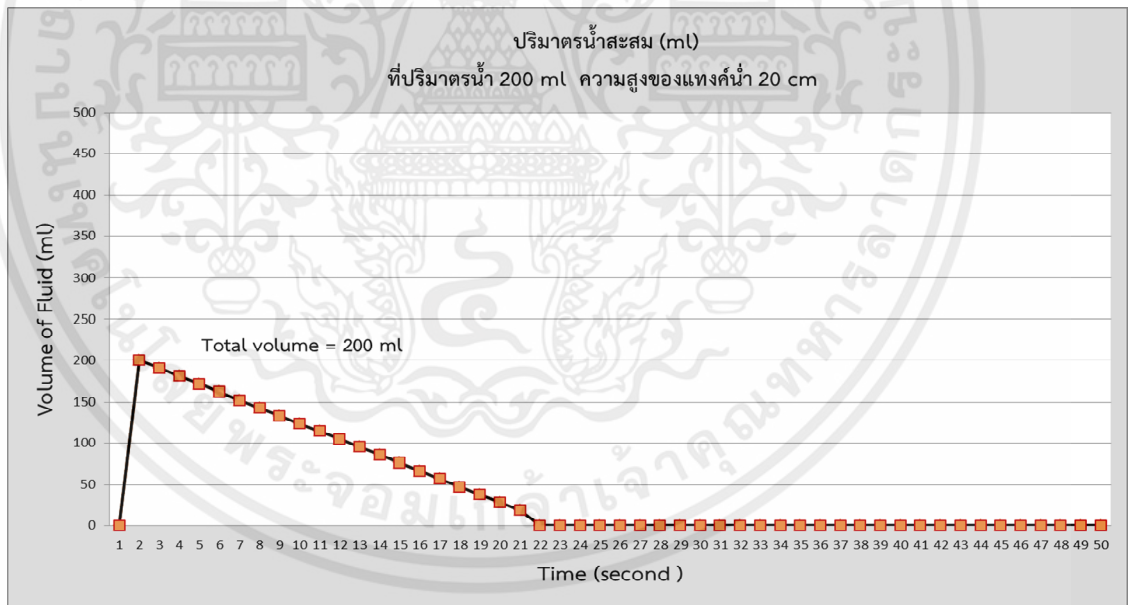
คาบเวลา (time)	ผลต่างแรงดันที่วัดได้ จากเครื่องวัดที่สร้าง	ความเร็วการไหล (Velocity of fluid)	อัตราการไหลเฉลี่ย จากการจับเวลา	ปริมาตรน้ำสะสม (Volume of fluid)	อัตราการไหลเทียบจาก ผลต่างแรงดันที่วัดได้
(Second)	(Volt)	(m/sec)	(mL/sec)	(ml)	(mL/sec)
1	0.000	0.000	0.000	0	0.000
2	0.226	0.084	9.524	200	9.494
3	0.226	0.084	9.524	190	9.494
4	0.233	0.087	9.524	181	9.788
5	0.235	0.087	9.524	171	9.872
6	0.239	0.089	9.524	162	10.041
7	0.241	0.090	9.524	152	10.125
8	0.240	0.089	9.524	143	10.083
9	0.237	0.088	9.524	133	9.957
10	0.235	0.087	9.524	124	9.872
11	0.234	0.087	9.524	114	9.830
12	0.231	0.086	9.524	105	9.704
13	0.223	0.083	9.524	95	9.368
14	0.222	0.083	9.524	86	9.326
15	0.221	0.082	9.524	76	9.284
16	0.219	0.081	9.524	67	9.200
17	0.218	0.081	9.524	57	9.158
18	0.217	0.081	9.524	48	9.116
19	0.214	0.080	9.524	38	8.990
20	0.211	0.078	9.524	29	8.864
21	0.212	0.081	9.524	19	9.158
	0.227	0.084	9.524	200.00	9.536

จากตารางที่ 4.1 แสดงค่าอัตราการไหลจากการจับเวลาการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันที่วัดได้จากเครื่องที่สร้าง ปริมาตรน้ำ 200 ml ที่ระดับความสูง 20 cm. ความเร็วการไหลเฉลี่ย 0.084 m/sec อัตราการไหลเฉลี่ย 9.524 mL/sec ที่คาบเวลา 21 sec และอัตราการไหลเฉลี่ยจากเครื่องวัด 9.536 mL/sec ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดเฉลี่ย 0.277 volt ค่าความคลาดเคลื่อน +6.40% ดังรูปที่ 4.1-4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

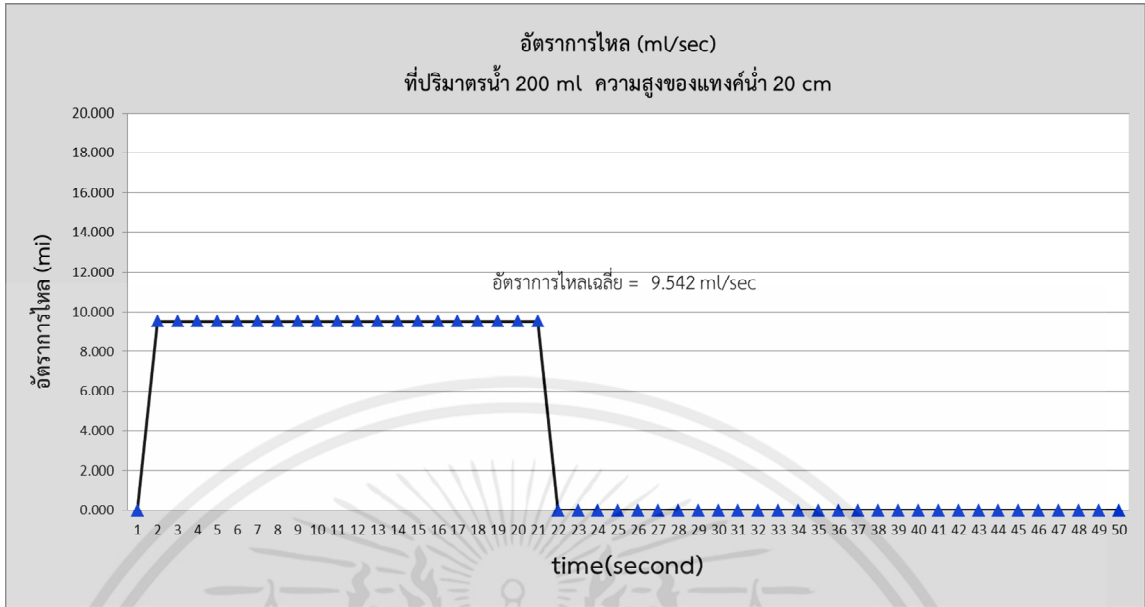


รูปที่ 4.3 ความเร็วการไหลเฉลี่ย 0.089 m/sec ปริมาตรน้ำ 200 ml ความสูงของแท่งน้ำ 20 cm

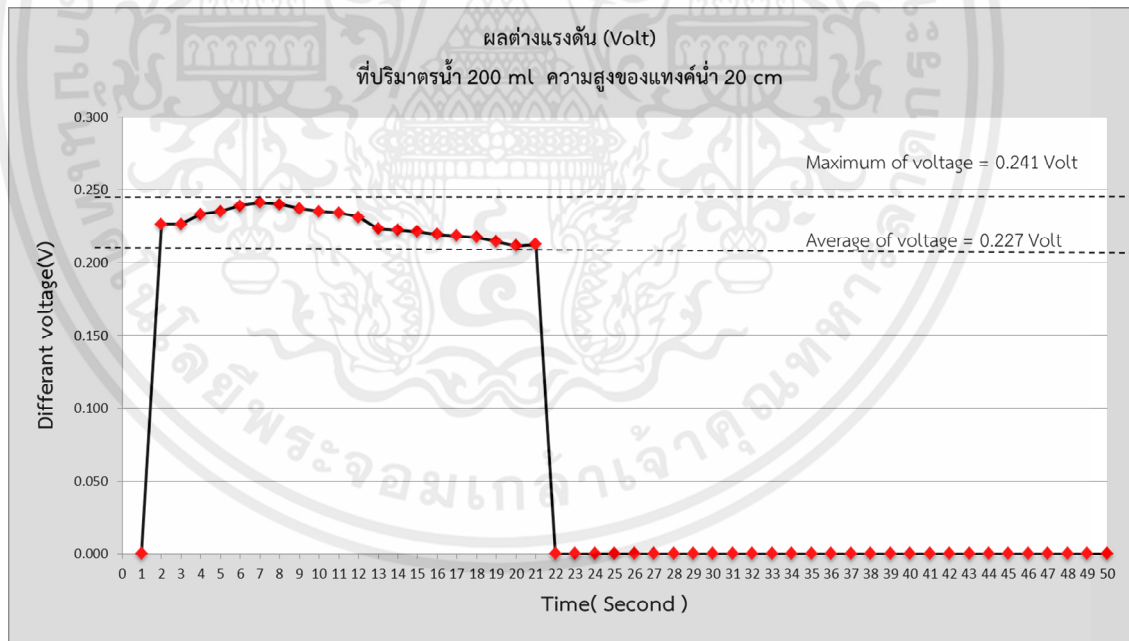


รูปที่ 4.4 ปริมาตรน้ำสะสม 200 ml ความสูงของแท่งน้ำ 20 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

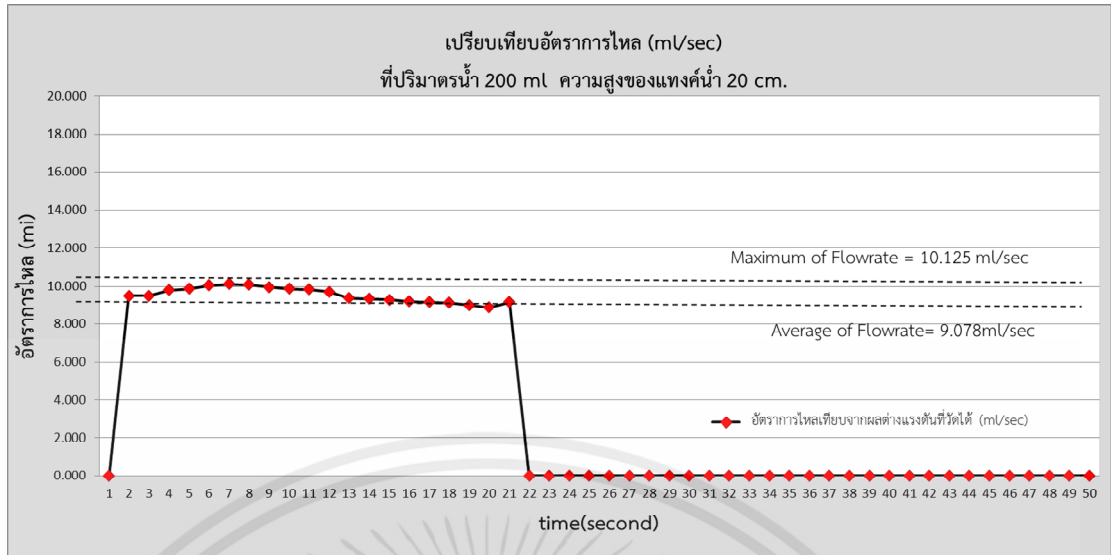


รูปที่ 4.5 อัตราการไหล /เฉลี่ย 9.542 mlsec

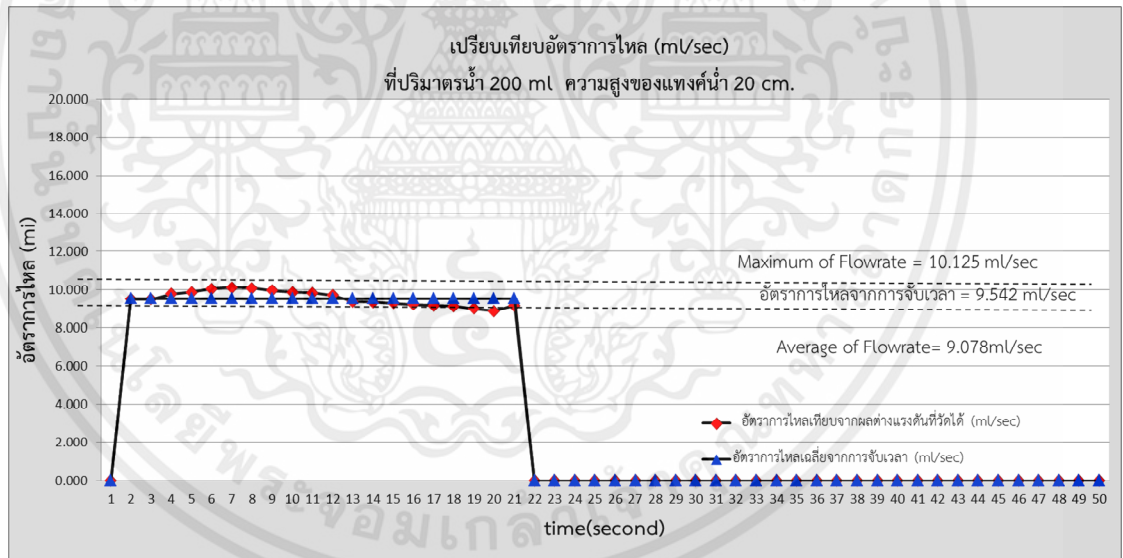


รูปที่ 4.6 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัด ค่าสูงสุด 0.227 volt และค่าเฉลี่ย 0.241 volt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 10.125 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 9.078 ml/sec



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 10.125 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 9.078 ml/sec ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดเทียบกับค่าเฉลี่ย +6.40%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 การทดลองที่ 2 ปริมาตรน้ำ 200 ml ที่แรงดันระดับความสูง 40 cm. ขนาดรูท่อน้ำ 6 mm.(ต่อ)

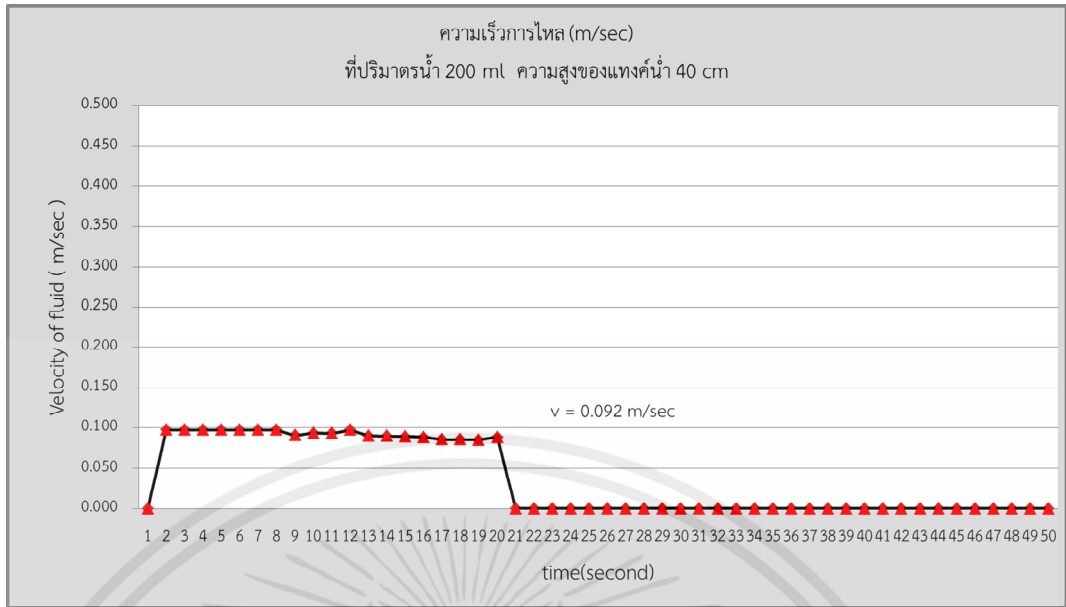
ตารางที่ 4.2 ค่าอัตราการไหลจากการจับเวลาการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันที่วัดได้จากเครื่องที่สร้าง ปริมาตรน้ำ 200 ml ที่ระดับความสูง 40 cm.

Connect using "PLX-

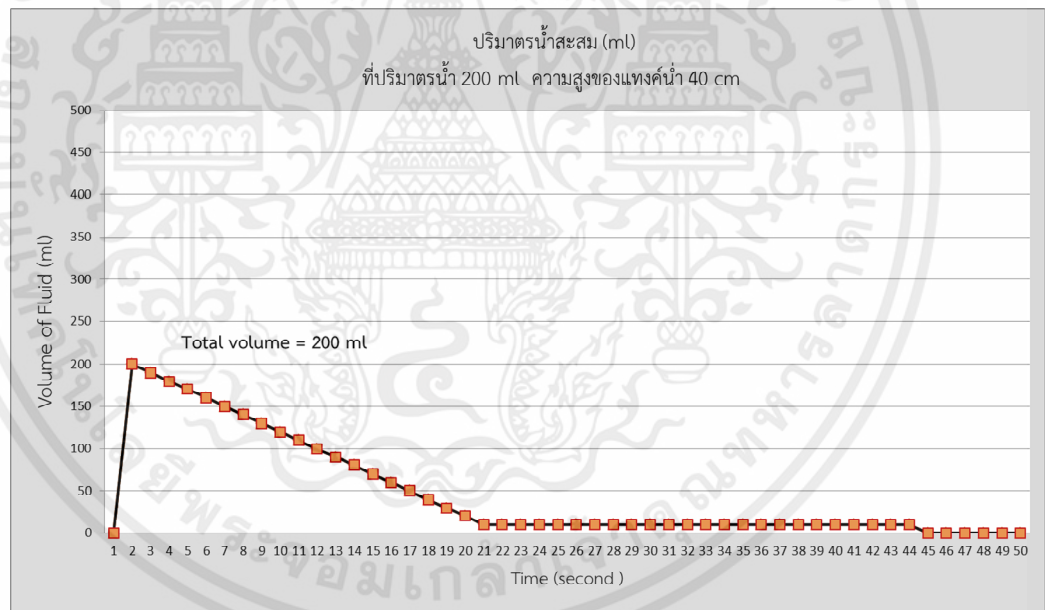
คาบเวลา (Second)	ผลต่างแรงดันที่วัดได้ จากเครื่องวัดที่สร้าง (Volt)	ความเร็วการไหล (Velocity of fluid) (ml/sec)	อัตราการไหลเฉลี่ย จากการจับเวลา (ml/sec)	ปริมาตรน้ำสะสม (Volume of fluid) (ml)	อัตราการไหลเทียบ จากผลต่างแรงดันที่วัดได้ (ml/sec)
1	0.000	0.000	0.000	0	0.000
2	0.219	0.097	10.000	200	11.000
3	0.221	0.097	10.000	190	11.000
4	0.224	0.097	10.000	180	11.000
5	0.231	0.097	10.000	170	11.000
6	0.233	0.097	10.000	160	11.000
7	0.229	0.097	10.000	150	11.000
8	0.234	0.097	10.000	140	11.000
9	0.235	0.091	10.000	130	10.255
10	0.242	0.093	10.000	120	10.560
11	0.241	0.093	10.000	110	10.517
12	0.238	0.097	10.000	100	11.000
13	0.233	0.090	10.000	90	10.168
14	0.232	0.090	10.000	80	10.124
15	0.231	0.089	10.000	70	10.080
16	0.229	0.088	10.000	60	9.993
17	0.222	0.086	10.000	50	9.688
18	0.221	0.085	10.000	40	9.644
19	0.220	0.085	10.000	30	9.600
20	0.219	0.088	10.000	20	10.000
21	0.000	0.000	0.000	10	0.000
	<b>0.229</b>	<b>0.092</b>	<b>10.000</b>	<b>200.00</b>	<b>10.454</b>

จากตารางที่ 4.2 แสดงค่าอัตราการไหลจากการจับเวลาการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันที่วัดได้จากเครื่องที่สร้าง ปริมาตรน้ำ 200 ml ที่ระดับความสูง 40 cm. ความเร็วการไหลเฉลี่ย 0.092 m/sec อัตราการไหลเฉลี่ย 10.000 ml/sec ที่คาบเวลา 20 sec และอัตราการไหลเฉลี่ยจากเครื่องวัด 10.454 ml/sec ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดเฉลี่ย 0.229 volt ค่าความคลาดเคลื่อน -2.61% ดังรูปที่ 4.9-4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

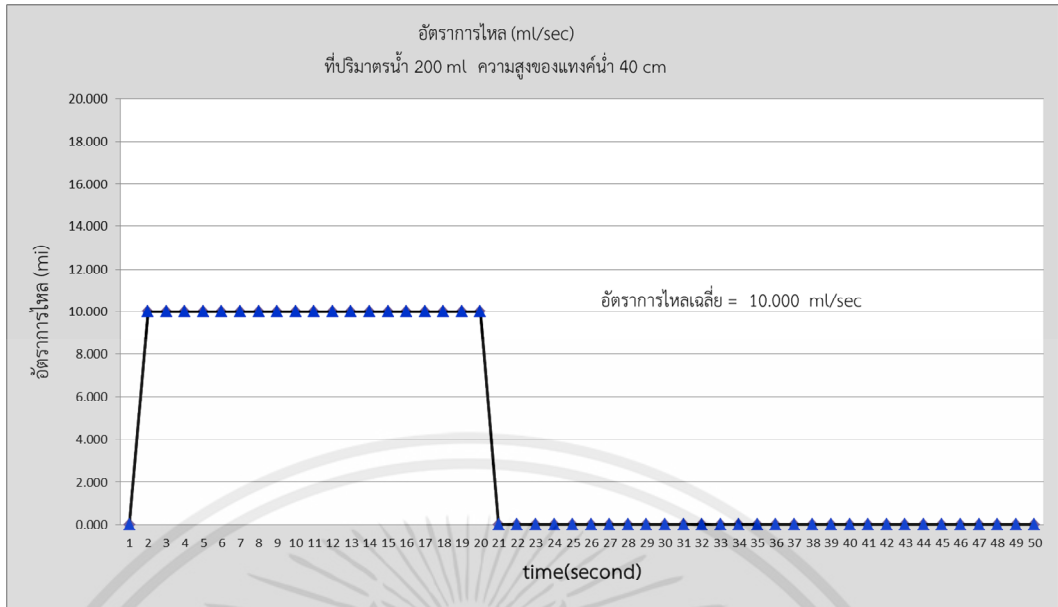


รูปที่ 4.9 ความเร็วการไหลเฉลี่ย 0.092 m/sec

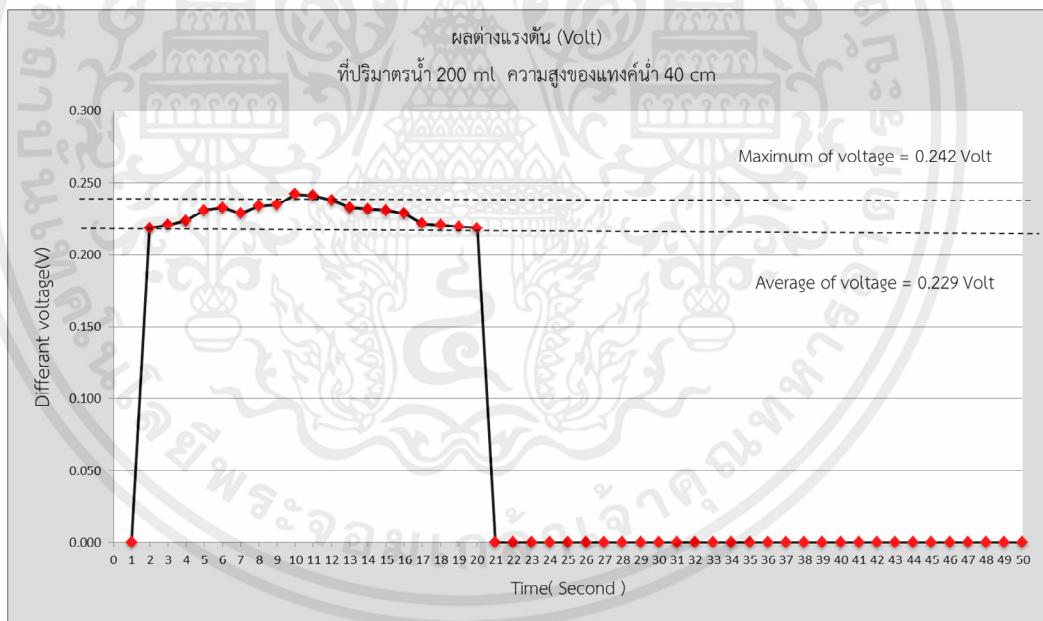


รูปที่ 4.10 ปริมาตรน้ำสะสม 200 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

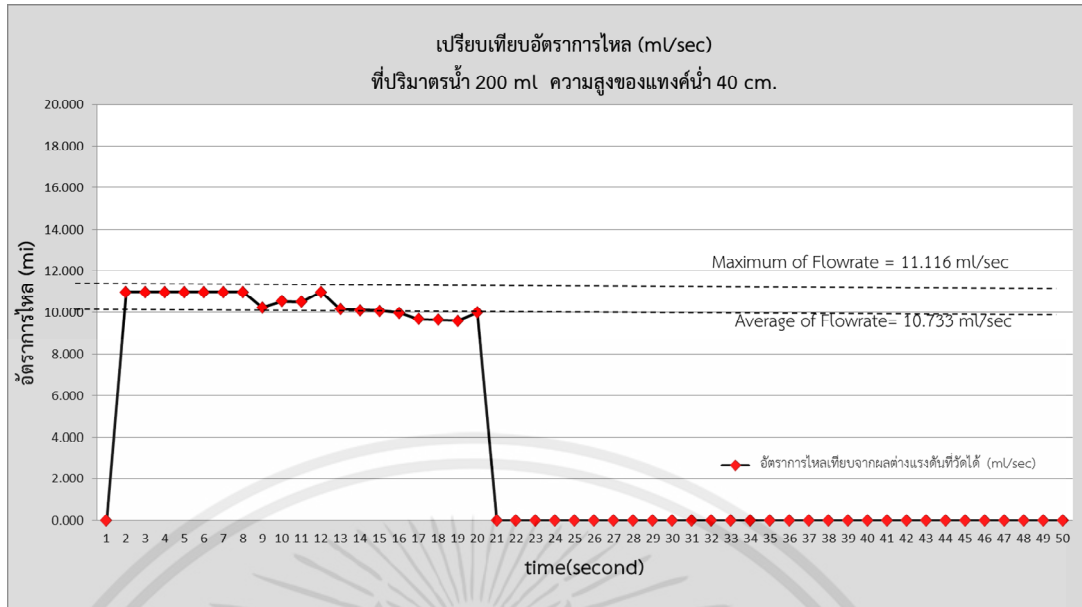


รูปที่ 4.11 อัตราการไหลเฉลี่ย 10.000 ml/sec

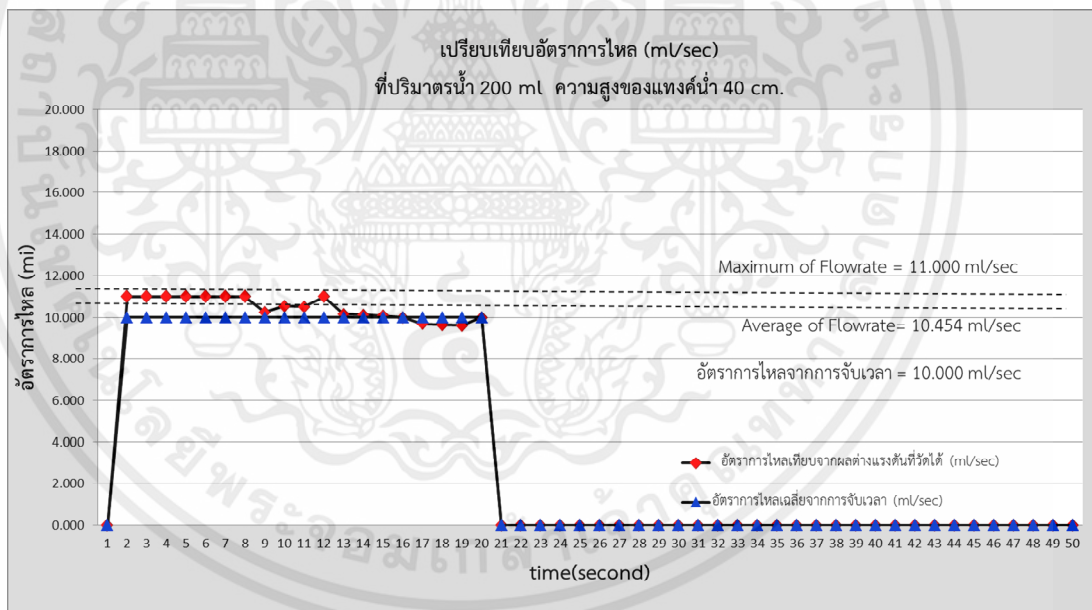


รูปที่ 4.12 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัด ค่าสูงสุด 0.242 volt และค่าเฉลี่ย 0.229 volt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 11.116 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 10.733 ml/sec



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 11.000 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 10.454 ml/sec ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดเทียบกับค่าเฉลี่ย -2.61%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การทดลองที่ 3 ปริมาตรน้ำ 200 ml ที่แรงดันระดับความสูง 60 cm. ขนาดรูท่อน้ำ 6 mm.

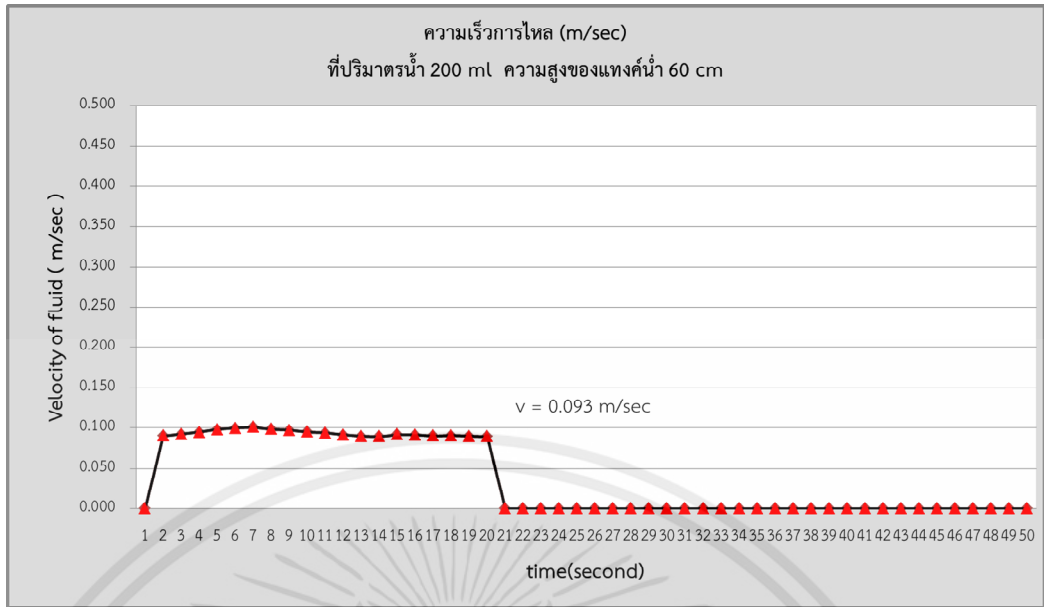
ตารางที่ 4.3 ค่าอัตราการไหลจากการจับเวลาการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันที่วัดได้จากเครื่องที่สร้าง ปริมาตรน้ำ 200 ml ที่ระดับความสูง 60 cm.

Connect using "PLX-DAQ "

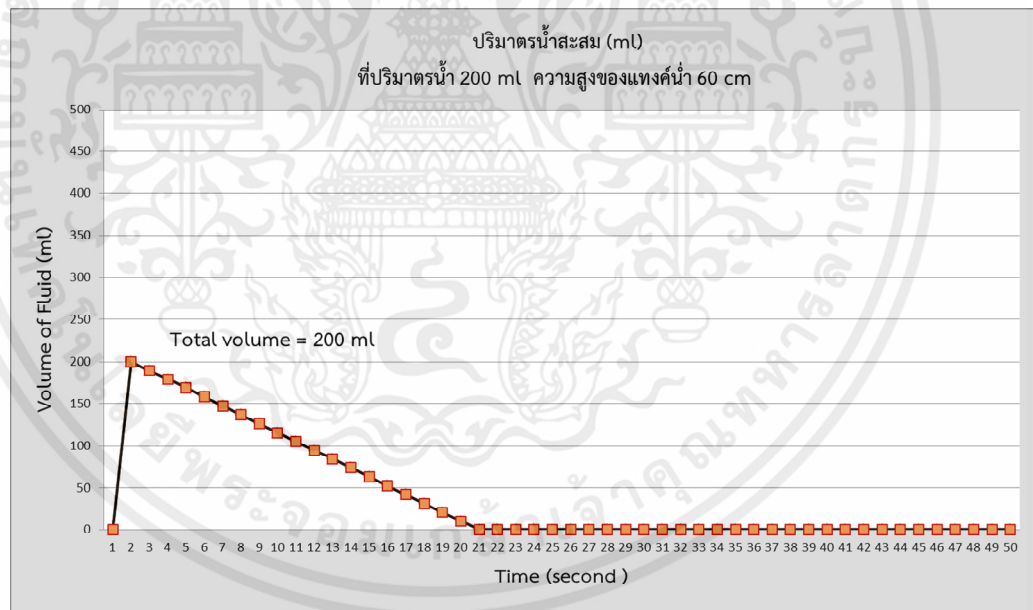
คาบเวลา (Second)	ผลต่างแรงดันที่วัดได้จาก เครื่องวัดที่สร้าง (Volt)	ความเร็วการไหล (Velocity of fluid) (m/sec)	อัตราการไหลเฉลี่ยจากการจับเวลา (ml/sec)	ปริมาตรน้ำสะสม (Volume of fluid) (ml)	อัตราการไหลเทียบจา ผลต่างแรงดันที่วัดได้ (ml/sec)
1	0.000	0.000	0.000	0	0.000
2	0.222	0.090	10.526	200	10.172
3	0.227	0.092	10.526	189	10.401
4	0.233	0.094	10.526	179	10.676
5	0.241	0.098	10.526	168	11.042
6	0.245	0.099	10.526	158	11.226
7	0.248	0.101	10.526	147	11.363
8	0.242	0.098	10.526	137	11.088
9	0.239	0.097	10.526	126	10.951
10	0.234	0.095	10.526	116	10.722
11	0.231	0.094	10.526	105	10.584
12	0.225	0.091	10.526	95	10.309
13	0.221	0.090	10.526	84	10.126
14	0.220	0.089	10.526	74	10.080
15	0.226	0.092	10.526	63	10.355
16	0.225	0.091	10.526	53	10.309
17	0.222	0.090	10.526	42	10.172
18	0.223	0.090	10.526	32	10.218
19	0.221	0.090	10.526	21	10.126
20	0.220	0.089	10.526	11	10.080
	<b>0.230</b>	<b>0.093</b>	<b>10.526</b>	<b>200.00</b>	<b>10.573</b>

ตามตารางที่ 4.3 ค่าอัตราการไหลจากการจับเวลาการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันที่วัดได้จากเครื่องที่สร้าง ปริมาตรน้ำ 200 ml ที่ระดับความสูง 60 cm. ความเร็วการไหลเฉลี่ย 0.093 m/sec อัตราการไหลเฉลี่ย 10.526 ml/sec ที่คาบเวลา 19 sec และอัตราการไหลเฉลี่ยจากเครื่องวัด 10.573 ml/sec ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดเฉลี่ย 0.230 volt ค่าความคลาดเคลื่อน -3.78% ตามรูปที่ 4.15-4.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

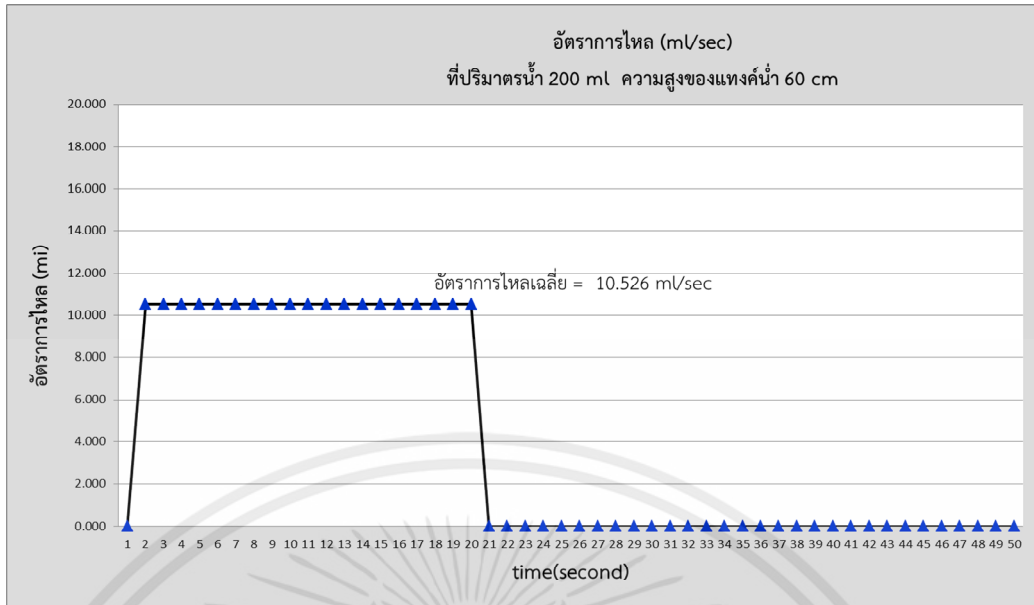


รูปที่ 4.15 ความเร็วการไหลเฉลี่ย 0.093 m/sec

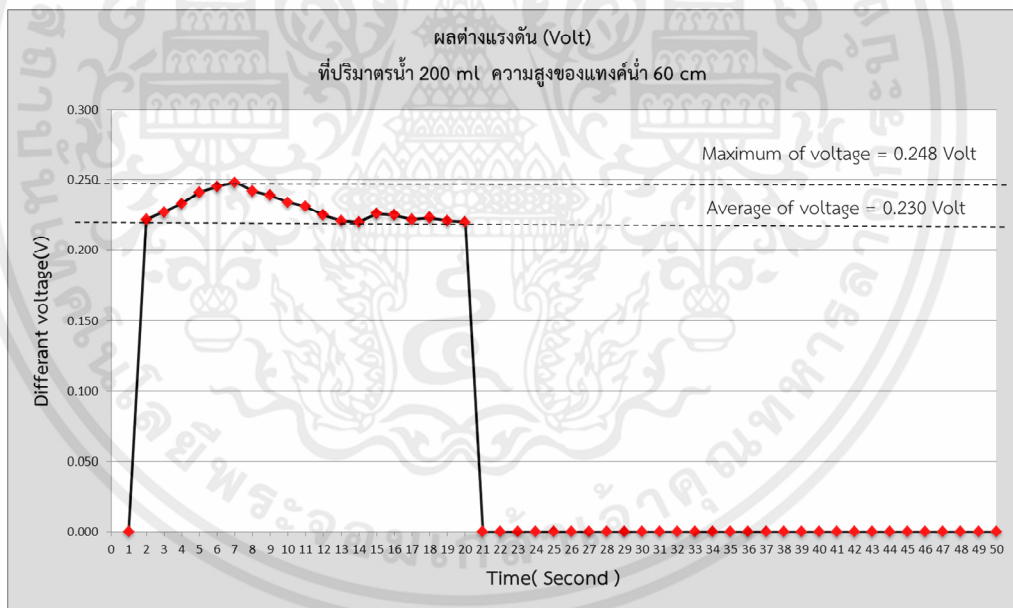


รูปที่ 4.16 ปริมาตรน้ำสะสม 200 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

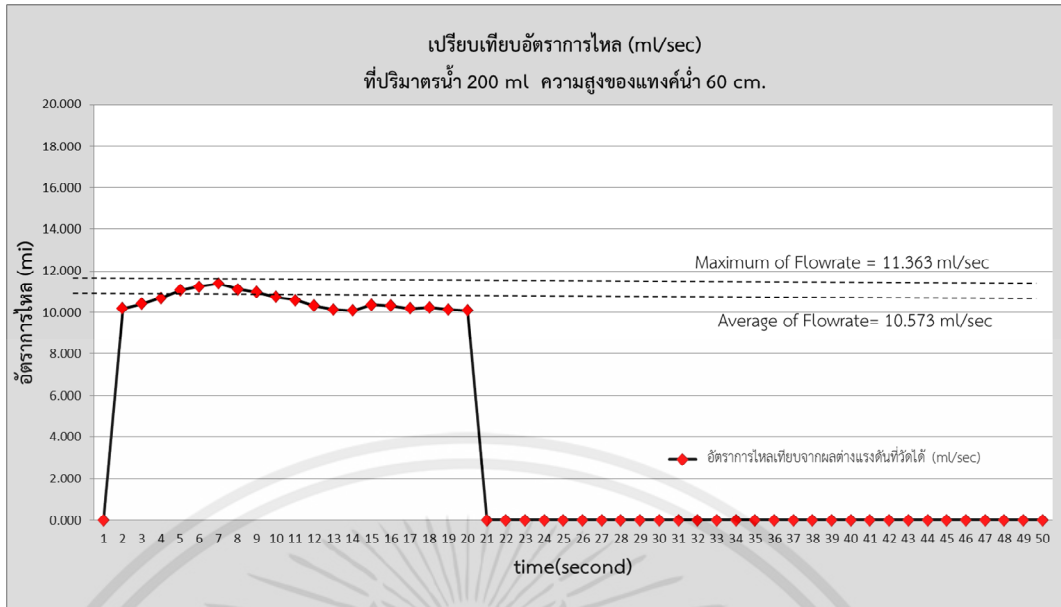


รูปที่ 4.17 อัตราการไหลเฉลี่ย 10.526 ml/sec

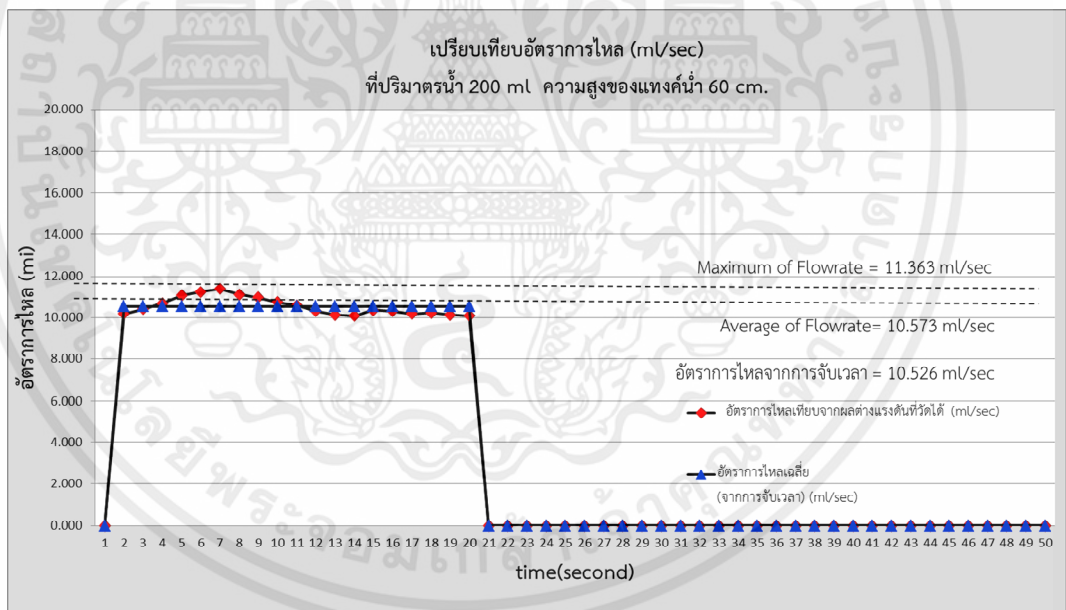


รูปที่ 4.18 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัด ค่าสูงสุด 0.248 volt และค่าเฉลี่ย 0.230 volt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 11.363 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 10.573 ml/sec



รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 11.363 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 10.573 ml/sec ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดเทียบกับค่าเฉลี่ย -3.78%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การทดลองที่ 4 ปริมาตรน้ำ 300 ml ที่แรงดันระดับความสูง 20 cm. ขนาดรูท่อน้ำ 6 mm.

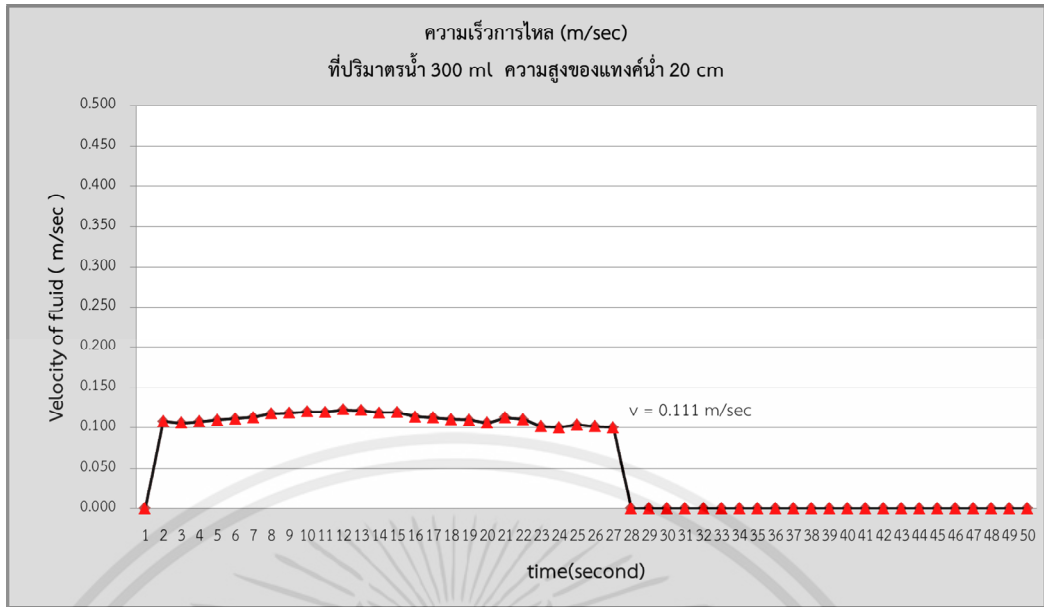
ตารางที่ 4.5 ค่าอัตราการไหลจากการจับเวลาการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันที่วัดได้จากเครื่องที่สร้าง ปริมาตรน้ำ 300 ml ที่ระดับความสูง 20 cm.

Connect using "PLX-DAQ "

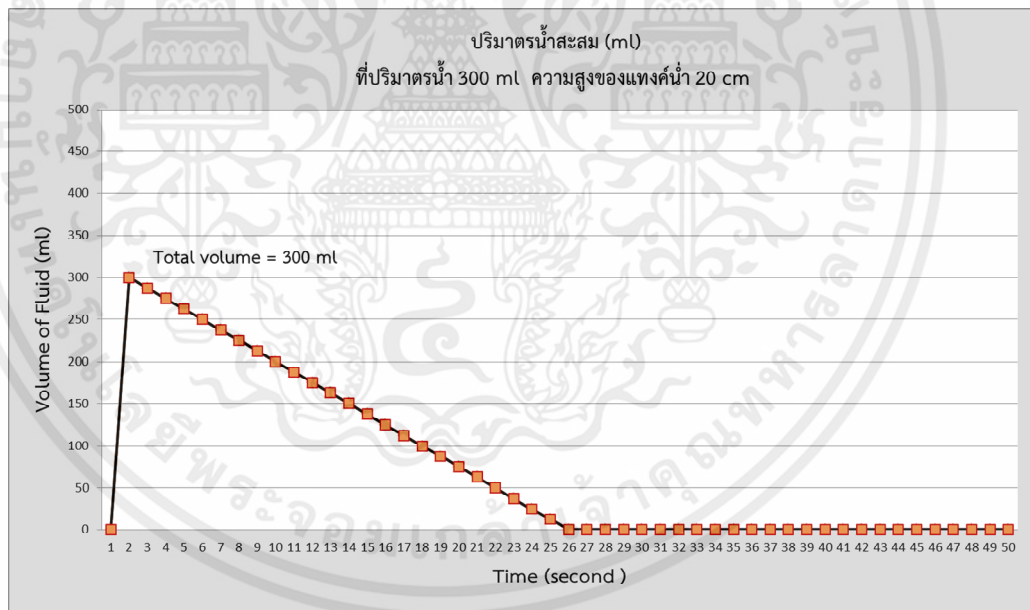
คาบเวลา	ผลต่างแรงดันที่วัดได้จาก เครื่องวัดที่สร้าง	ความเร็วการไหล (Velocity of fluid)	อัตราการไหลเฉลี่ย จากการจับเวลา	ปริมาตรน้ำสะสม (Volume of fluid)	อัตราการไหลเทียบจาก ผลต่างแรงดันที่วัดได้
(Second)	(Volt)	(m/sec)	(ml/sec)	(ml)	(ml/sec)
1	0.000	0.000	0.000	0	0.000
2	0.226	0.108	12.500	300	12.193
3	0.221	0.105	12.500	288	11.923
4	0.225	0.107	12.500	275	12.139
5	0.229	0.109	12.500	263	12.355
6	0.233	0.111	12.500	250	12.571
7	0.236	0.113	12.500	238	12.732
8	0.246	0.117	12.500	225	13.272
9	0.247	0.118	12.500	213	13.326
10	0.251	0.120	12.500	200	13.542
11	0.250	0.119	12.500	188	13.488
12	0.256	0.122	12.500	175	13.811
13	0.254	0.121	12.500	163	13.704
14	0.248	0.118	12.500	150	13.380
15	0.249	0.119	12.500	138	13.434
16	0.238	0.114	12.500	125	12.840
17	0.235	0.112	12.500	113	12.678
18	0.231	0.110	12.500	100	12.463
19	0.229	0.109	12.500	88	12.355
20	0.221	0.105	12.500	75	11.923
21	0.219	0.112	12.500	63	12.678
22	0.217	0.110	12.500	50	12.463
23	0.213	0.102	12.500	38	11.492
24	0.210	0.100	12.500	25	11.330
25	0.217	0.104	12.500	13	11.707
26	0.213	0.102	12.500	0	11.492
27	0.210	0.100	12.500	0	11.330
	<b>0.232</b>	<b>0.111</b>	<b>12.500</b>	<b>300.00</b>	<b>12.700</b>

ตามตารางที่ 4.5 ค่าอัตราการไหลจากการจับเวลาการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันที่วัดได้จากเครื่องที่สร้าง ปริมาตรน้ำ 300 ml ที่ระดับความสูง 20 cm. ความเร็วการไหลเฉลี่ย 0.111 m/sec อัตราการไหลเฉลี่ย 12.500 ml/sec ที่คาบเวลา 24 sec และอัตราการไหลเฉลี่ยจากเครื่องวัด 12.700 ml/sec ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดเฉลี่ย 0.232 volt\_ค่าความคลาดเคลื่อน +5.26%\_ตามรูปที่ 4.21-4.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

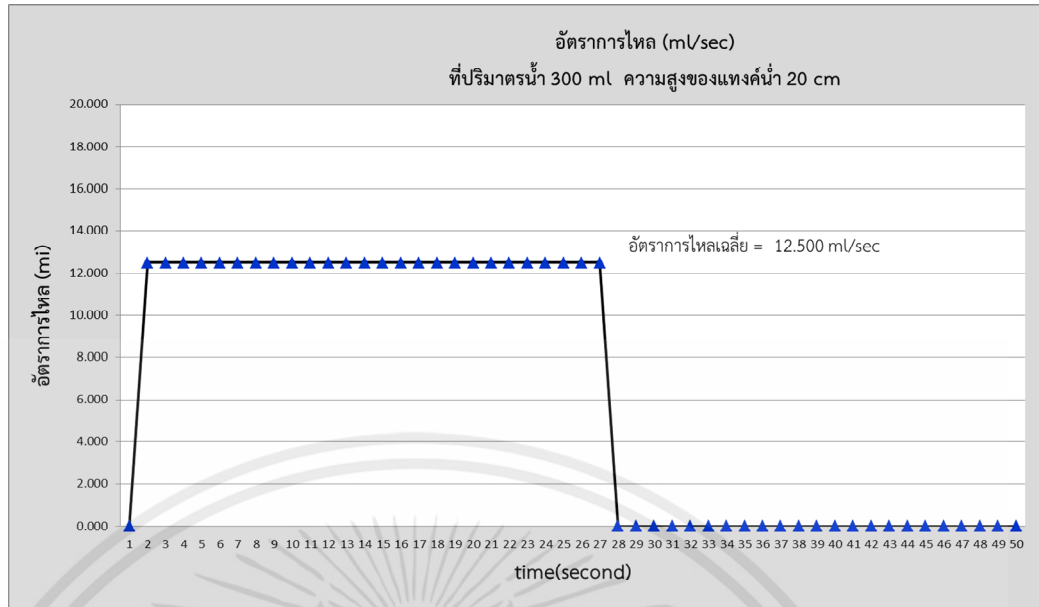


รูปที่ 4.21 ความเร็วการไหลเฉลี่ย 0.111 m/sec

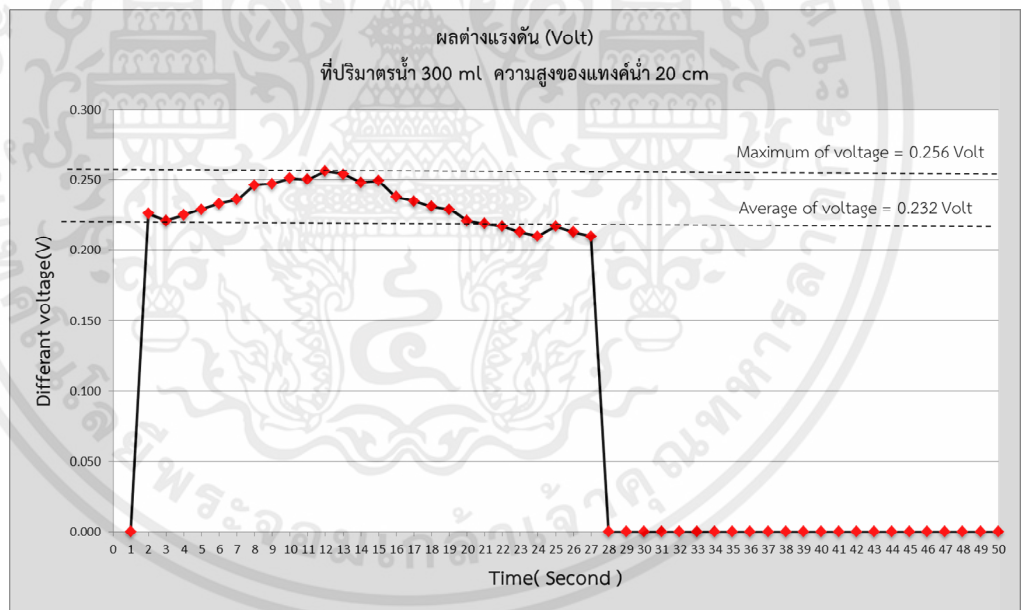


รูปที่ 4.22 ปริมาตรน้ำสะสม 300 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

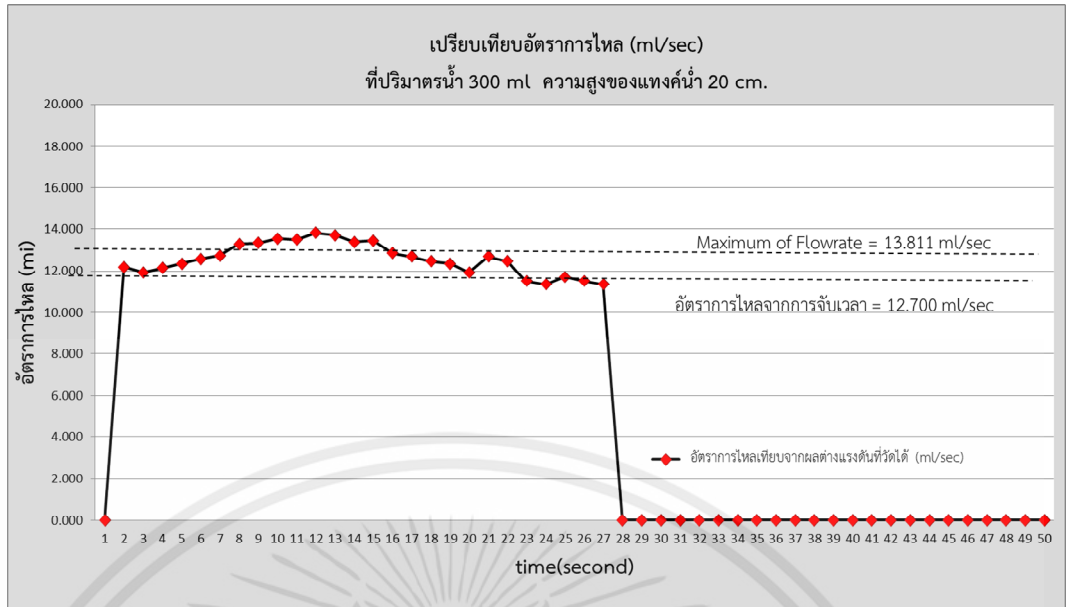


รูปที่ 4.23 อัตราการไหลเฉลี่ย 12.500 ml/sec

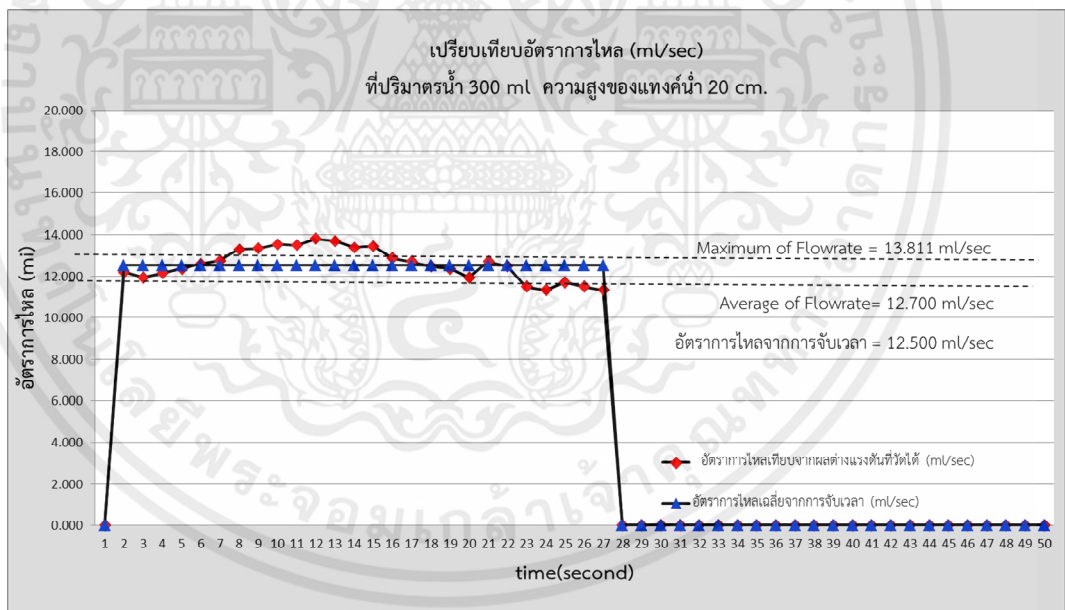


รูปที่ 4.24 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัด ค่าสูงสุด 0.256 volt และค่าเฉลี่ย 0.232 volt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 11.811 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 12.700 ml/sec



รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 13.811 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 12.500 ml/sec ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดเทียบกับค่าเฉลี่ย +5.26%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดลองที่ 5 ปริมาตรน้ำ 300 ml ที่แท่งระดับความสูง 40 cm. ขนาดรูท่อน้ำ 6 mm.

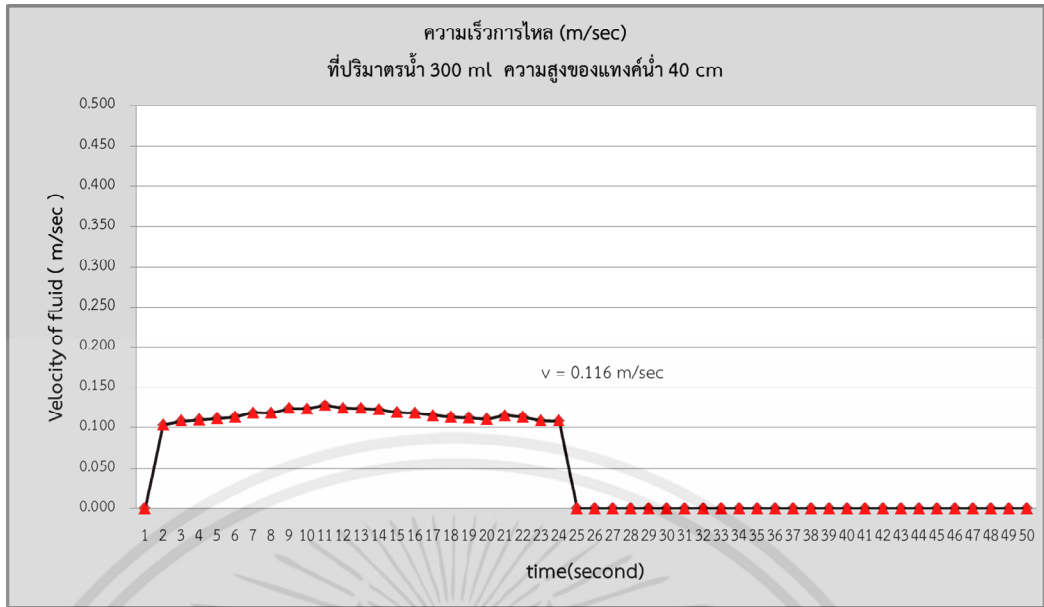
ตารางที่ 4.6 ค่าอัตราการไหลจากการจับเวลาการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันที่วัดได้จากเครื่องที่สร้าง ปริมาตรน้ำ 300 ml ที่ระดับความสูง 40 cm.

Connect using "PLX-DAQ "

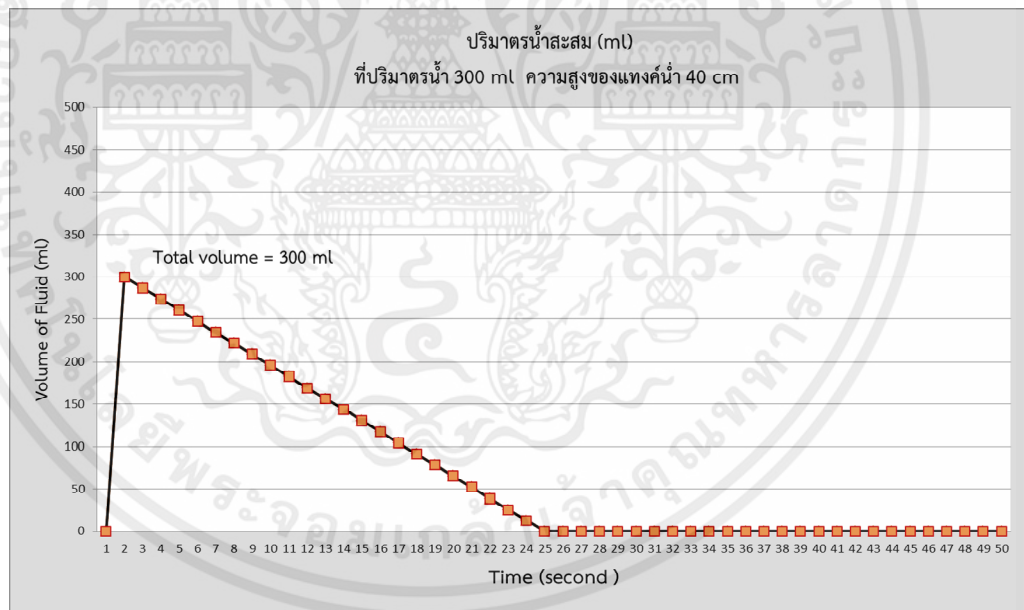
คาบเวลา (Second)	ผลต่างแรงดันที่วัดได้จาก เครื่องวัดที่สร้าง (Volt)	ความเร็วการไหล (Velocity of fluid) (m/sec)	อัตราการไหลเฉลี่ย จากการจับเวลา (ml/sec)	ปริมาตรน้ำสะสม (Volume of fluid) (ml)	อัตราการไหลเทียบจาก ผลต่างแรงดันที่วัดได้ (ml/sec)
1	0.000	0.000	0.000	0	0.000
2	0.210	0.104	13.043	300	11.723
3	0.219	0.108	13.043	287	12.226
4	0.222	0.110	13.043	274	12.393
5	0.226	0.112	13.043	261	12.616
6	0.229	0.113	13.043	248	12.784
7	0.240	0.119	13.043	235	13.398
8	0.239	0.118	13.043	222	13.342
9	0.251	0.124	13.043	209	14.012
10	0.250	0.123	13.043	196	13.956
11	0.259	0.128	13.043	183	14.459
12	0.252	0.124	13.043	170	14.068
13	0.251	0.124	13.043	157	14.012
14	0.248	0.122	13.043	143	13.844
15	0.241	0.119	13.043	130	13.454
16	0.239	0.118	13.043	117	13.342
17	0.233	0.115	13.043	104	13.007
18	0.229	0.113	13.043	91	12.784
19	0.227	0.112	13.043	78	12.672
20	0.224	0.111	13.043	65	12.505
21	0.225	0.115	13.043	52	13.007
22	0.221	0.113	13.043	39	12.784
23	0.220	0.109	13.043	26	12.281
24	0.219	0.108	13.043	13	12.226
	<b>0.234</b>	<b>0.116</b>	<b>13.043</b>	<b>300.00</b>	<b>13.144</b>

ตามตารางที่ 4.6 ค่าอัตราการไหลจากการจับเวลาการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันที่วัดได้จากเครื่องที่สร้าง ปริมาตรน้ำ 300 ml ที่ระดับความสูง 40 cm. ความเร็วการไหลเฉลี่ย 0.116 m/sec อัตราการไหลเฉลี่ย 13.043 ml/sec ที่คาบเวลา 23 sec และอัตราการไหลเฉลี่ยจากเครื่องวัด 13.144 ml/sec ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดเฉลี่ย 0.234 volt ค่าความคลาดเคลื่อน +1.94% ตามรูปที่ 4.27 – 4.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

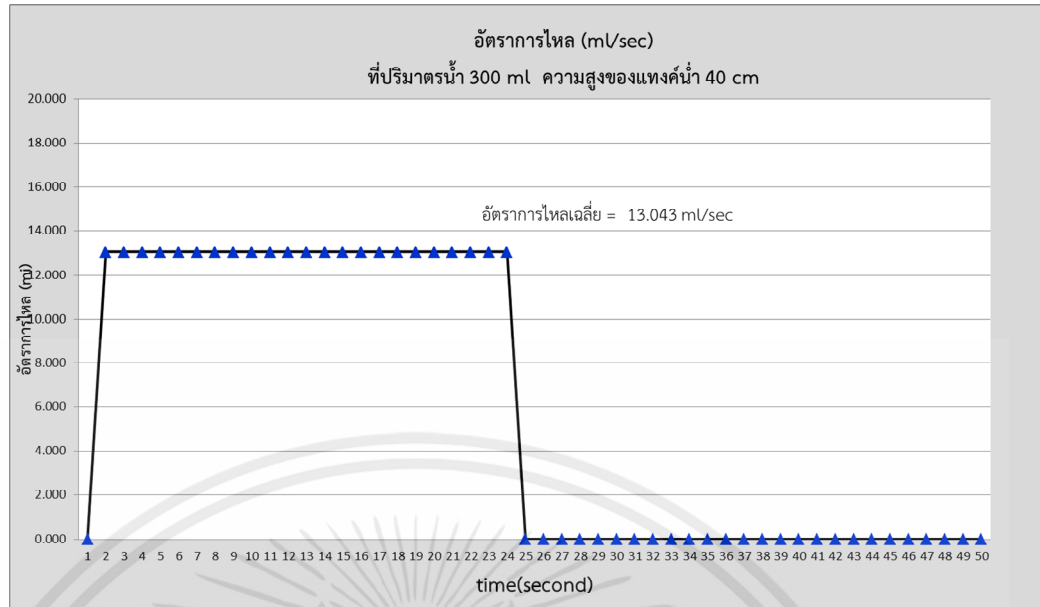


รูปที่ 4.27 ความเร็วการไหลเฉลี่ย 0.116 m/sec

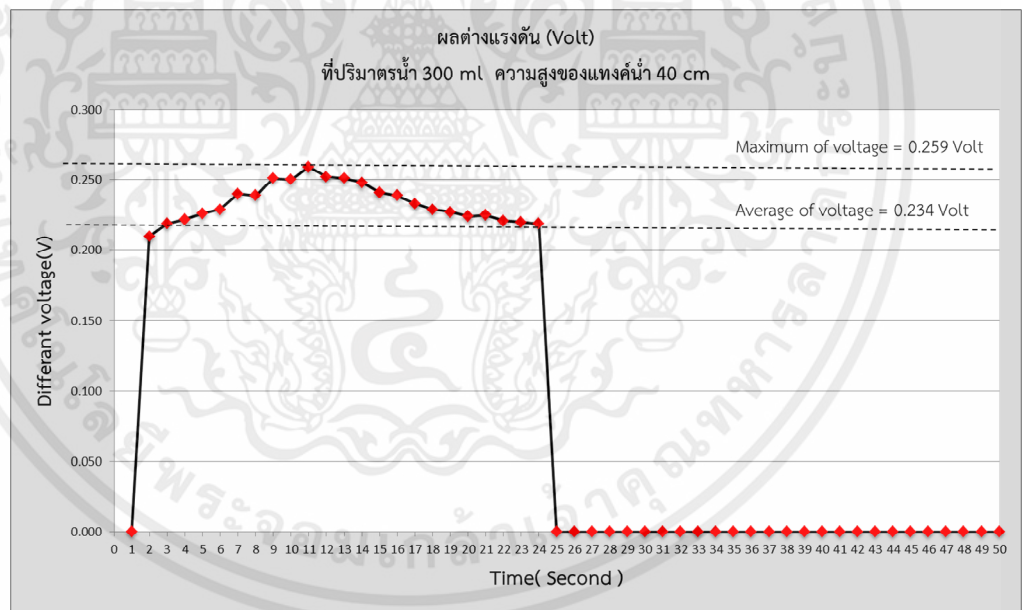


รูปที่ 4.28 ปริมาตรน้ำสะสม 300 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

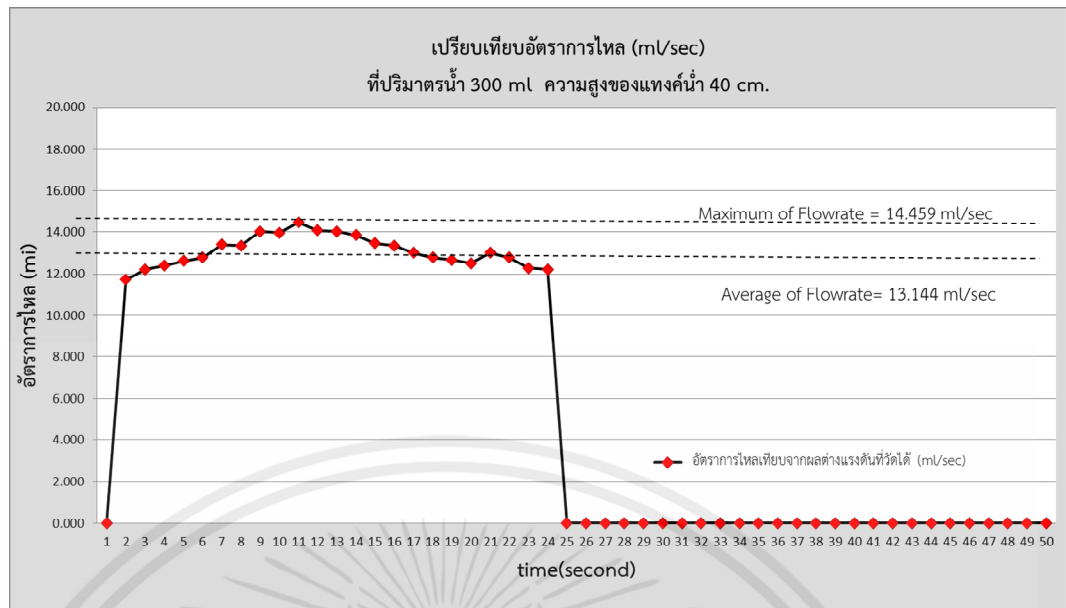


รูปที่ 4.29 อัตราการไหลเฉลี่ย 13.043 ml/sec

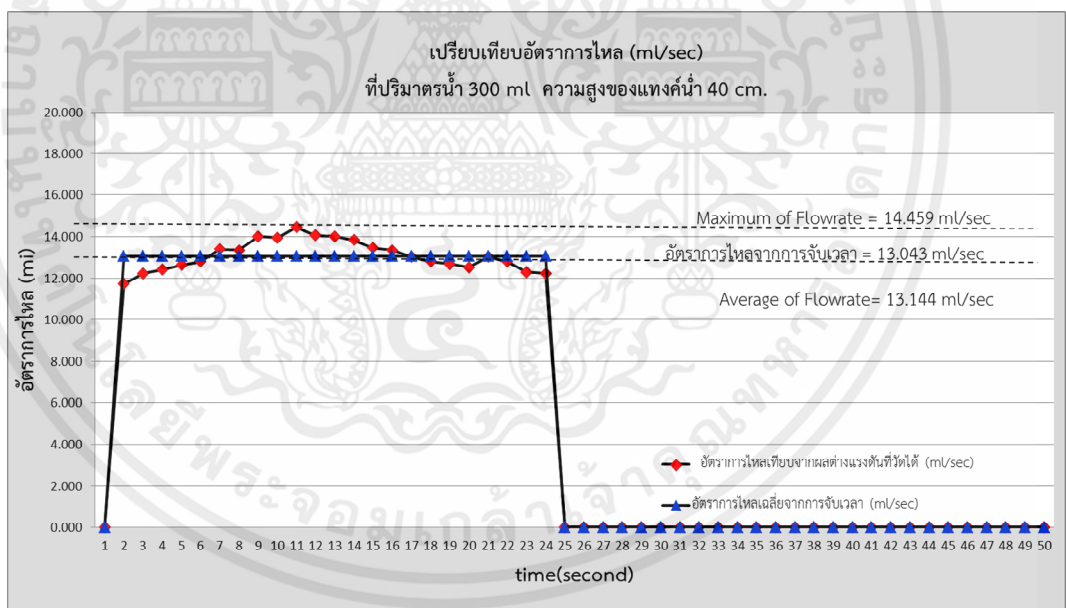


รูปที่ 4.30 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัด ค่าสูงสุด 0.259 volt และค่าเฉลี่ย 0.234 volt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 14.459 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 13.144 ml/sec



รูปที่ 4.32 เปรียบเทียบผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 14.459 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 13.144 ml/sec ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดเทียบกับค่าเฉลี่ย +1.94%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การทดลองที่ 6 ปริมาณน้ำ 300 ml ที่แรงดันระดับความสูง 60 cm. ขนาดรูท่อน้ำ 6 mm.

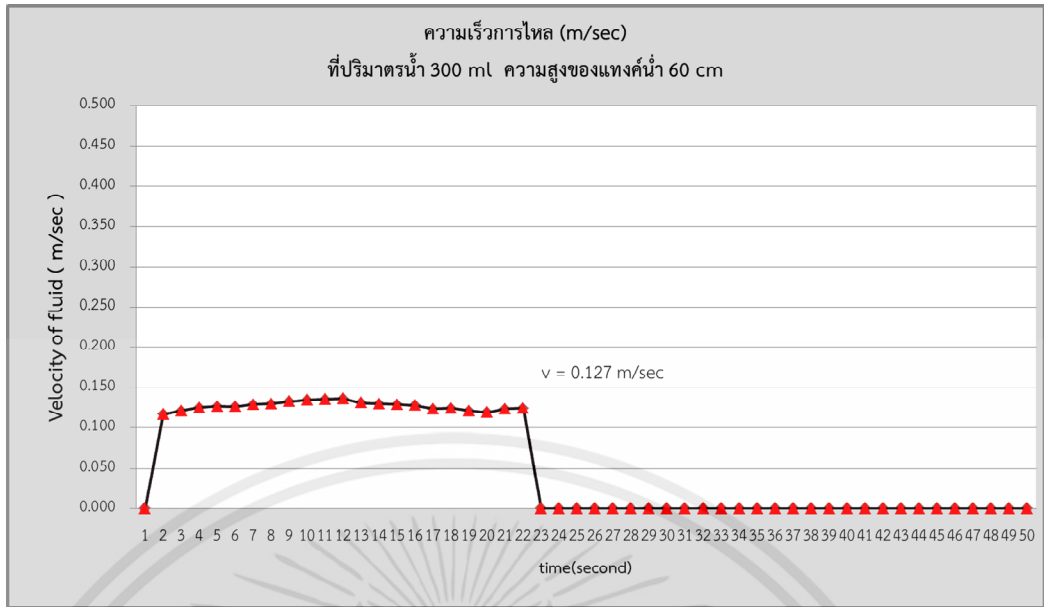
ตารางที่ 4.7 ค่าอัตราการไหลจากการจับเวลาการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันที่วัดได้จากเครื่องที่สร้าง ปริมาณน้ำ 300 ml ที่ระดับความสูง 60 cm.

Connect using "PLX-DAQ "

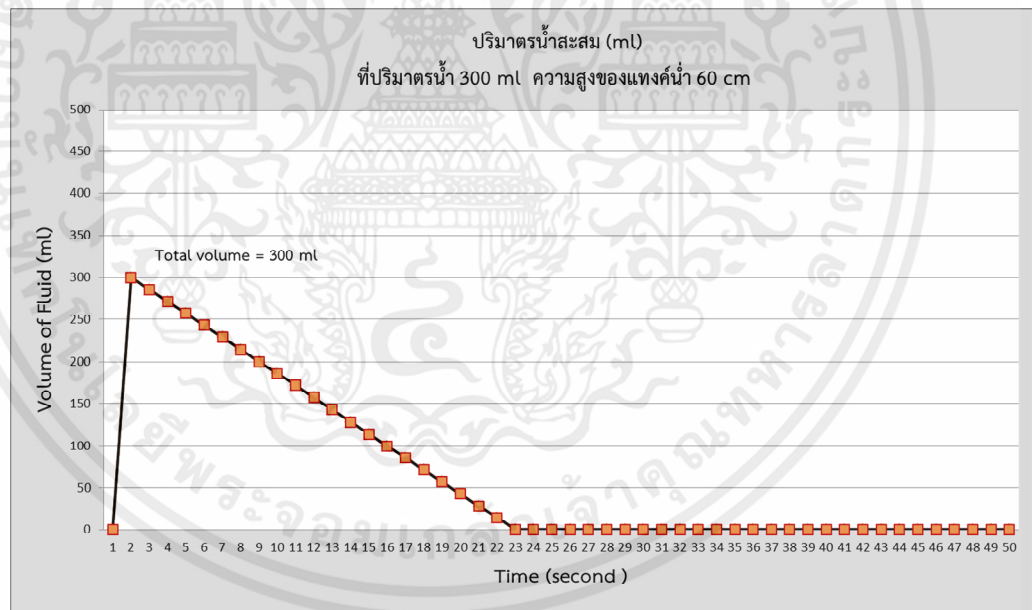
คาบเวลา	ผลต่างแรงดันที่วัดได้จาก เครื่องวัดที่สร้าง	ความเร็วการไหล (Velocity of fluid)	อัตราการไหลเฉลี่ย จากการจับเวลา	ปริมาตรน้ำสะสม (Volume of fluid)	อัตราการไหลเทียบจาก ผลต่างแรงดันที่วัดได้
(Second)	(Volt)	(m/sec)	(ml/sec)	(ml)	(ml/sec)
1	0.000	0.000	0.000	0	0.000
2	0.222	0.116	14.286	300	13.146
3	0.231	0.121	14.286	286	13.679
4	0.239	0.125	14.286	271	14.153
5	0.242	0.127	14.286	257	14.331
6	0.241	0.126	14.286	243	14.272
7	0.247	0.129	14.286	229	14.627
8	0.248	0.130	14.286	214	14.686
9	0.254	0.133	14.286	200	15.041
10	0.258	0.135	14.286	186	15.278
11	0.259	0.136	14.286	171	15.338
12	0.261	0.137	14.286	157	15.456
13	0.251	0.131	14.286	143	14.864
14	0.248	0.130	14.286	129	14.686
15	0.247	0.129	14.286	114	14.627
16	0.244	0.128	14.286	100	14.449
17	0.236	0.124	14.286	86	13.976
18	0.237	0.124	14.286	71	14.035
19	0.231	0.121	14.286	57	13.679
20	0.227	0.119	14.286	43	13.443
21	0.222	0.124	14.286	29	13.976
22	0.221	0.124	14.286	14	14.035
	<b>0.241</b>	<b>0.127</b>	<b>14.286</b>	<b>300.00</b>	<b>14.370</b>

ตามตารางที่ 4.7 ค่าอัตราการไหลจากการจับเวลาการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันที่วัดได้จากเครื่องที่สร้าง ปริมาณน้ำ 300 ml ที่ระดับความสูง 60 cm. ความเร็วการไหลเฉลี่ย 0.124 m/sec อัตราการไหลเฉลี่ย 14.286 ml/sec ที่คาบเวลา 22 sec และอัตราการไหลเฉลี่ยจากเครื่องวัด 14.370 ml/sec ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดเฉลี่ย 0.241 volt ค่าความคลาดเคลื่อน -7.20% ตามรูปที่ 4.33 – 4.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

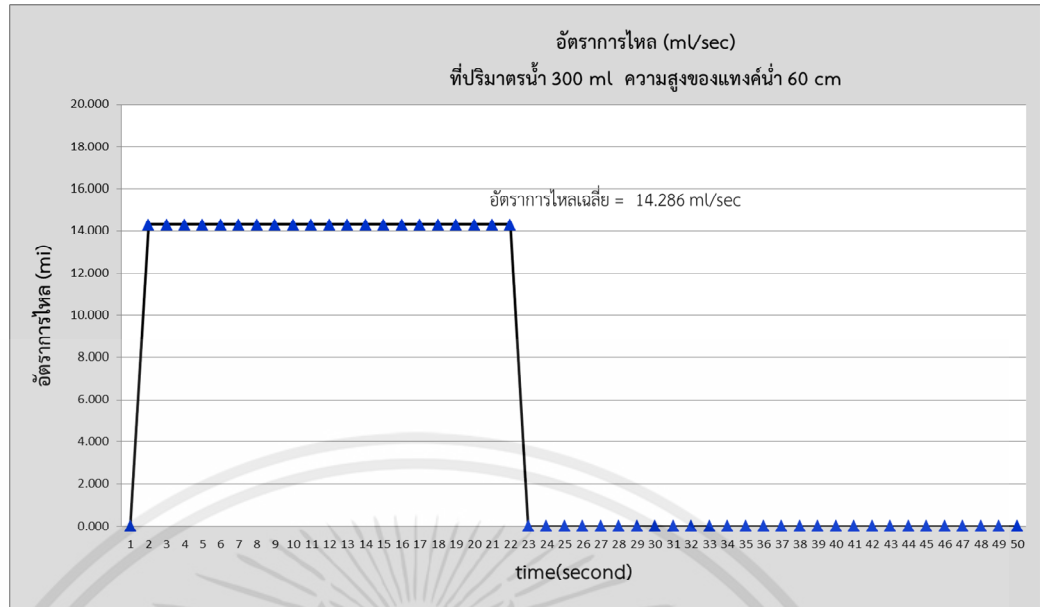


รูปที่ 4.33 ความเร็วการไหลเฉลี่ย 0.127 m/sec

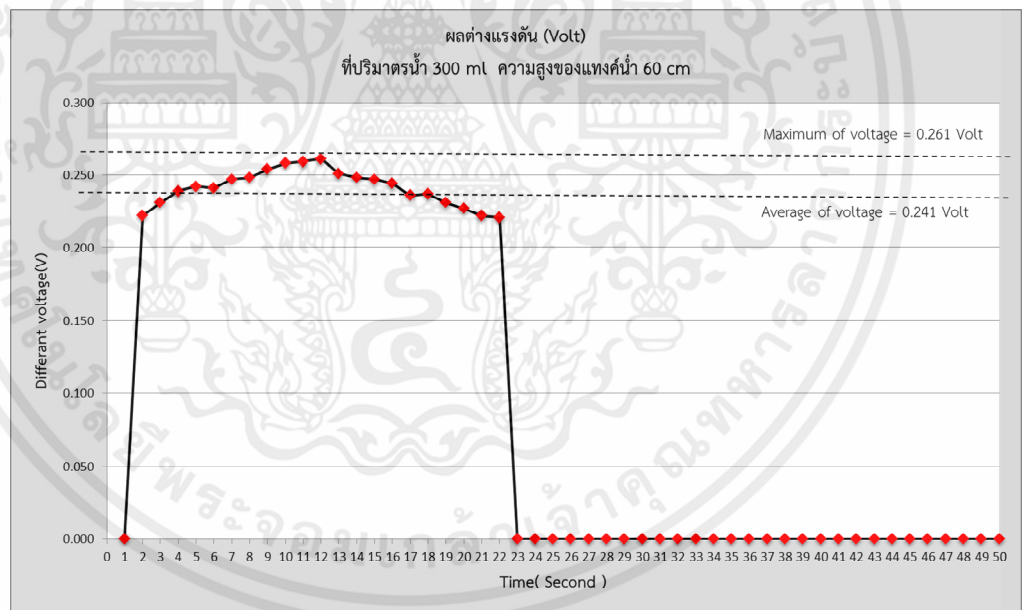


รูปที่ 4.34 ปริมาตรน้ำสะสม 300 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

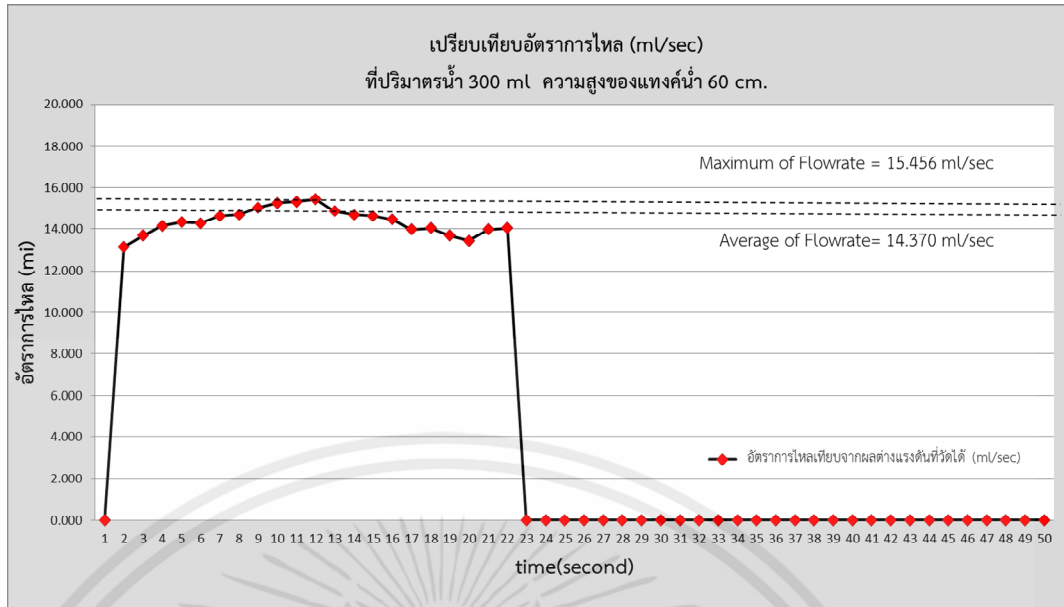


รูปที่ 4.35 อัตราการไหลเฉลี่ย 14.286 ml/sec

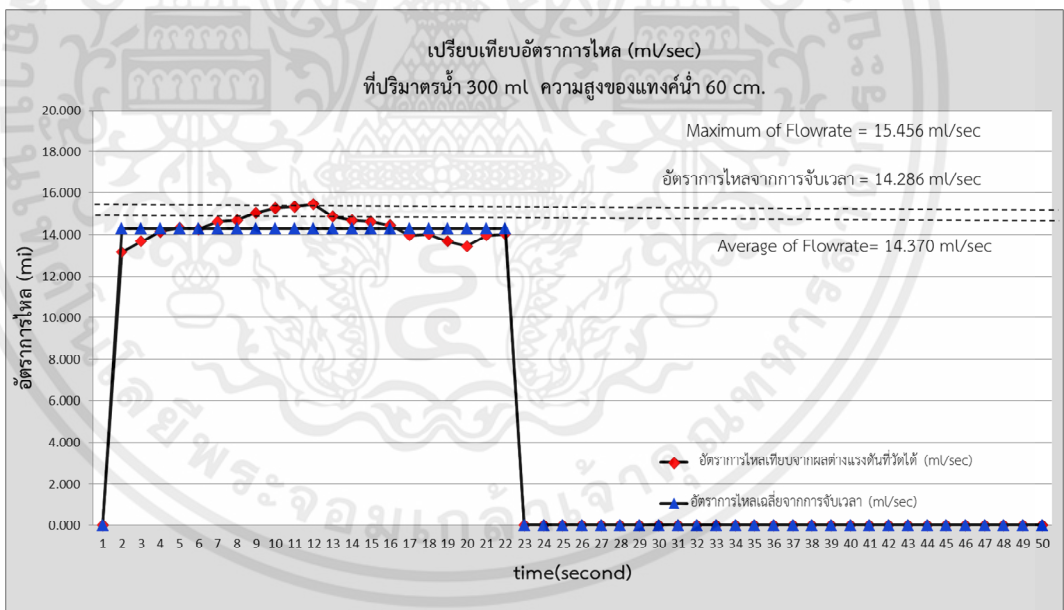


รูปที่ 4.36 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัด ค่าสูงสุด 0.261 volt และค่าเฉลี่ย 0.241 volt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.37 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 15.456 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 14.370 ml/sec



รูปที่ 4.38 เปรียบเทียบผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 15.456 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 14.286 ml/sec ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดเทียบกับค่าเฉลี่ย -7.20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การทดลองที่ 7 ปริมาตรน้ำ 400 ml ที่แรงดันระดับความสูง 20 cm. ขนาดรูท่อน้ำ 6 mm.

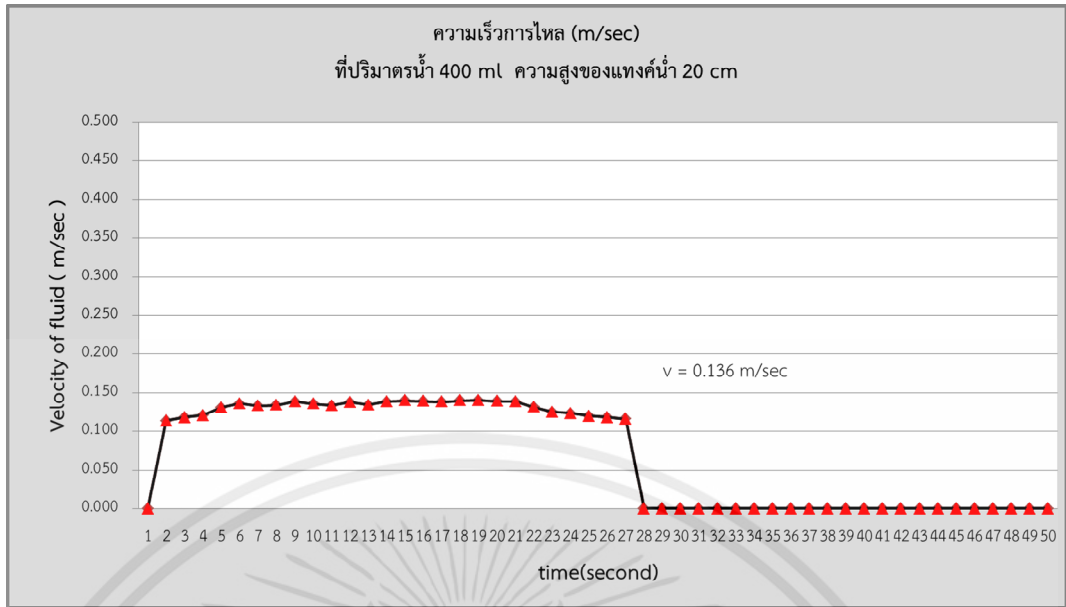
ตารางที่ 4.8 ค่าอัตราการไหลจากการจับเวลาการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันที่วัดได้จากเครื่องที่สร้าง ปริมาตรน้ำ 400 ml ที่ระดับความสูง 20 cm.

Connect using "PLX-DAQ "

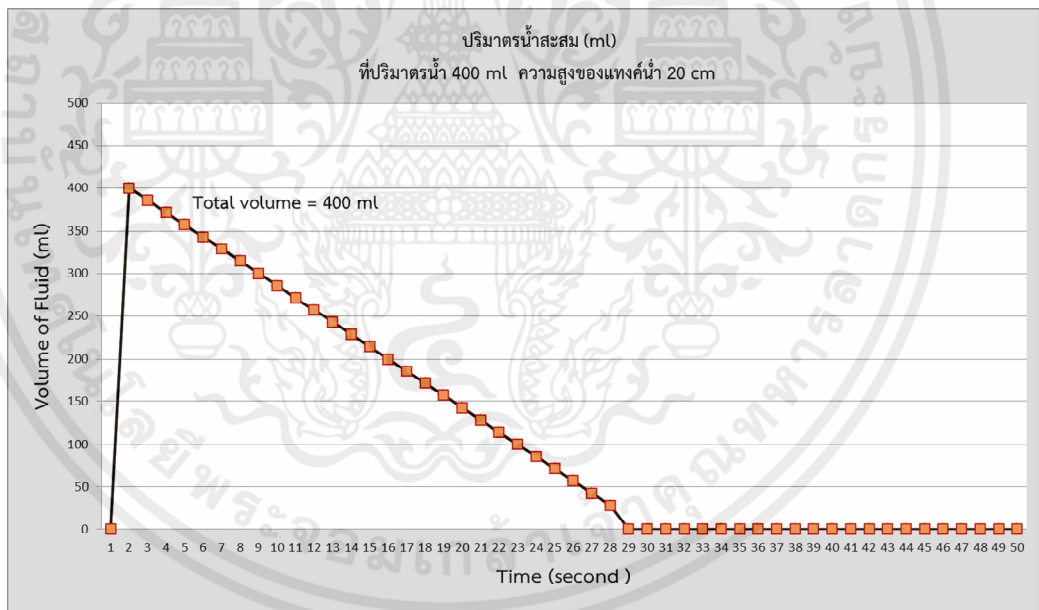
คาบเวลา (Second)	ผลต่างแรงดันที่วัดได้จาก เครื่องวัดที่สร้าง (Volt)	ความเร็วการไหล (Velocity of fluid) (m/sec)	อัตราการไหลเฉลี่ย จากการจับเวลา (ml/sec)	ปริมาตรน้ำสะสม (Volume of fluid) (ml)	อัตราการไหลเทียบจาก ผลต่างแรงดันที่วัดได้ (ml/sec)
1	0.000	0.000	0.000	0	0.000
2	0.210	0.113	14.286	400	12.823
3	0.218	0.118	14.286	386	13.312
4	0.223	0.120	14.286	371	13.617
5	0.242	0.131	14.286	357	14.777
6	0.252	0.136	14.286	343	15.388
7	0.246	0.133	14.286	329	15.021
8	0.248	0.134	14.286	314	15.144
9	0.257	0.139	14.286	300	15.693
10	0.251	0.136	14.286	286	15.327
11	0.247	0.133	14.286	271	15.082
12	0.255	0.138	14.286	257	15.571
13	0.249	0.135	14.286	243	15.205
14	0.257	0.139	14.286	229	15.693
15	0.259	0.140	14.286	214	15.815
16	0.258	0.139	14.286	200	15.754
17	0.256	0.138	14.286	186	15.632
18	0.259	0.140	14.286	171	15.815
19	0.260	0.140	14.286	157	15.876
20	0.258	0.139	14.286	143	15.754
21	0.257	0.139	14.286	129	15.693
22	0.243	0.131	14.286	114	14.820
23	0.231	0.125	14.286	100	14.105
24	0.228	0.123	14.286	86	13.922
25	0.221	0.119	14.286	71	13.495
26	0.218	0.118	14.286	57	13.312
27	0.214	0.116	14.286	43	13.067
	<b>0.234</b>	<b>0.131</b>	<b>14.286</b>	<b>400.00</b>	<b>14.835</b>

ตามตารางที่ 4.8 ค่าอัตราการไหลจากการจับเวลาการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันที่วัดได้จากเครื่องที่สร้าง ปริมาตรน้ำ 400 ml ที่ระดับความสูง 20 cm. ความเร็วการไหลเฉลี่ย 0.131 m/sec อัตราการไหลเฉลี่ย 14.286 ml/sec ที่คาบเวลา 28 sec และอัตราการไหลเฉลี่ยจากเครื่องวัด 14.835 ml/sec ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดเฉลี่ย 0.241 volt ค่าความคลาดเคลื่อน +3.76% ตามรูปที่ 4.39 – 4.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

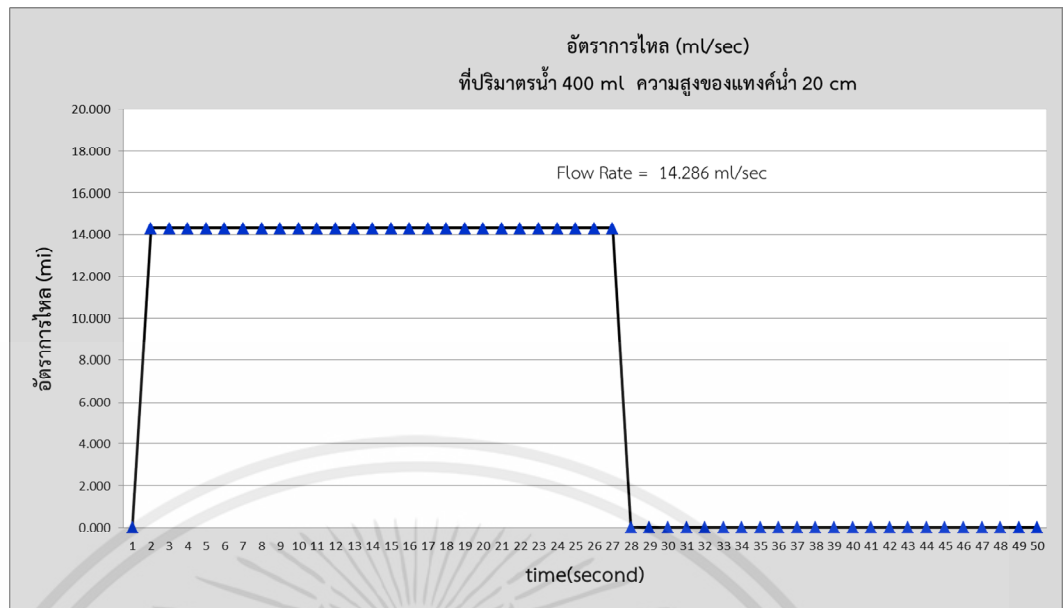


รูปที่ 4.39 ความเร็วการไหลเฉลี่ย 0.136 m/sec

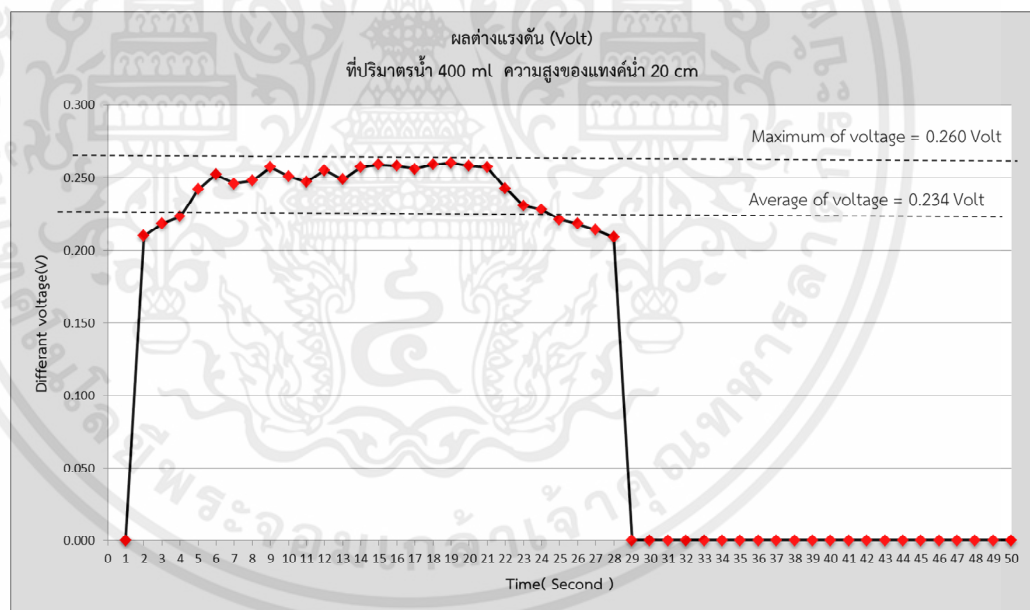


รูปที่ 4.40 ปริมาตรน้ำสะสม 400 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

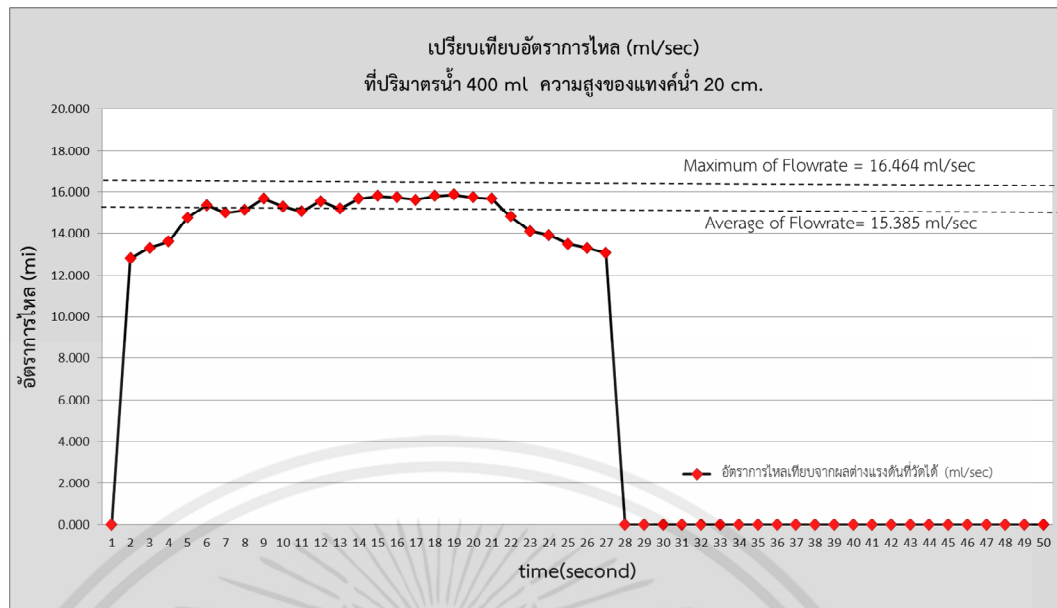


รูปที่ 4.41 อัตราการไหลเฉลี่ย 14.286 ml/sec

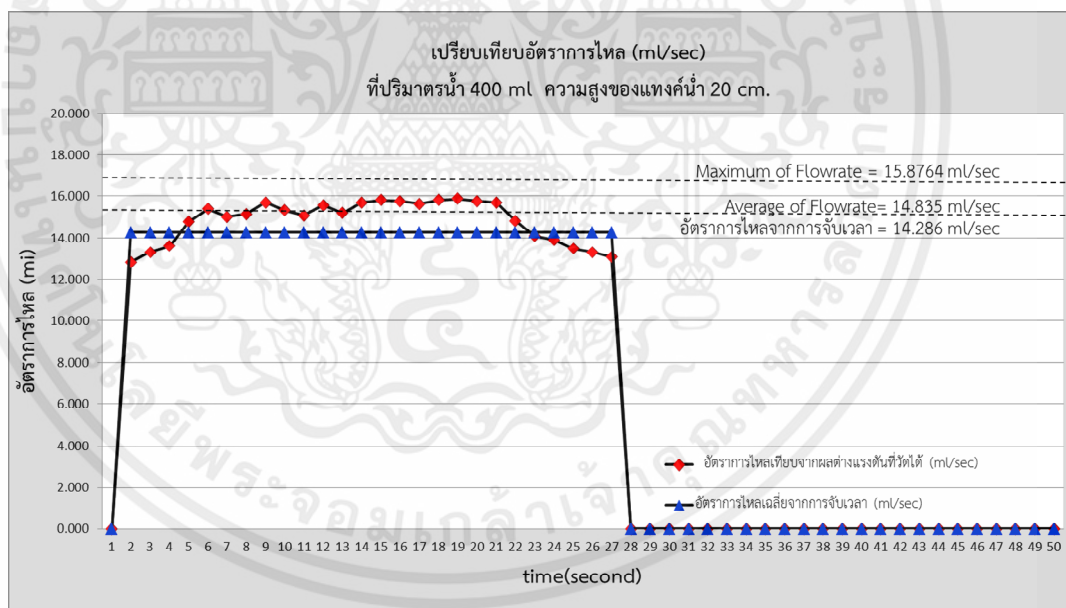


รูปที่ 4.42 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัด ค่าสูงสุด 0.260 volt และค่าเฉลี่ย 0.234 volt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.43 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 16.464 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 15.385 ml/sec



รูปที่ 4.44 เปรียบเทียบผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 15.876 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 14.835 ml/sec ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดเทียบกับค่าเฉลี่ย +3.76%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.8 การทดลองที่ 8 ปริมาตรน้ำ 400 ml ที่แรงดันระดับความสูง 60 cm. ขนาดรูท่อน้ำ 6 mm.

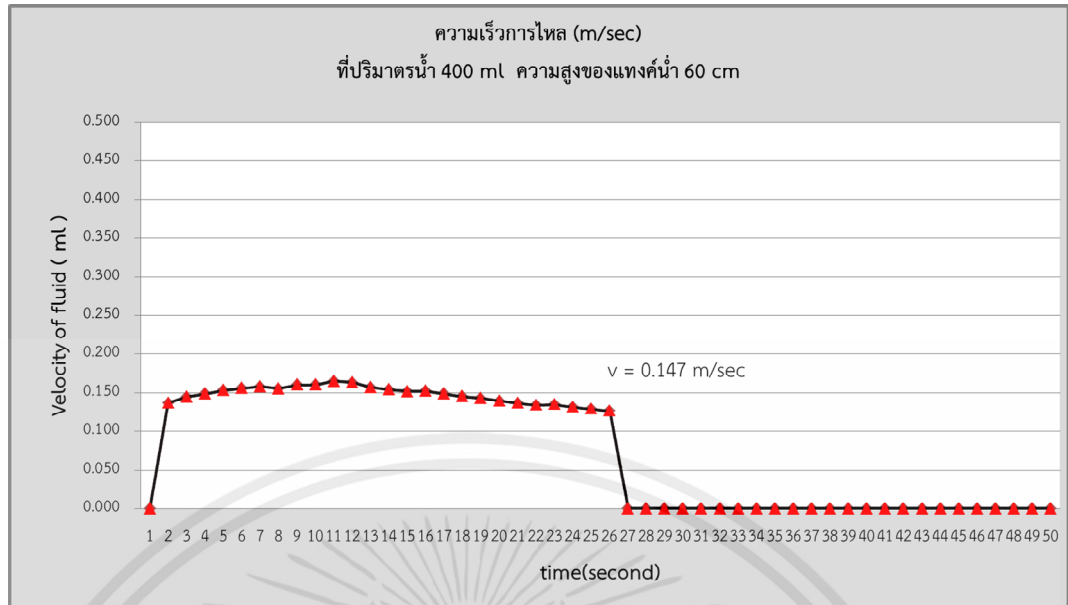
ตารางที่ 4.10 ค่าอัตราการไหลจากการจับเวลาการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันที่วัดได้จากเครื่องที่สร้าง ปริมาตรน้ำ 400 ml ที่ระดับความสูง 60 cm.

Connect using "PLX-DAQ "

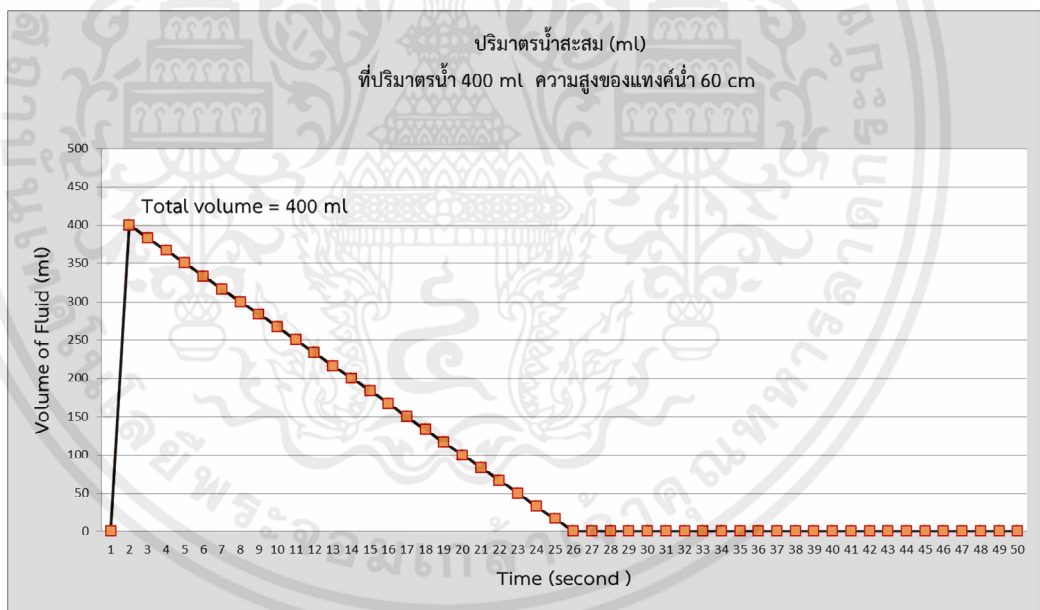
คาบเวลา	ผลต่างแรงดันที่วัดได้จาก เครื่องวัดที่สร้าง	ความเร็วการไหล	อัตราการไหลเฉลี่ย (จากการจับเวลา)	ปริมาตรน้ำสะสม (Volume of fluid)	อัตราการไหลเทียบ(จาก ผลต่างแรงดันที่วัดได้)
(Second)	(Volt)	(m/sec)	(ml/sec)	(ml)	(ml/sec)
1	0.000	0.000	0.000	0	0.000
2	0.231	0.137	16.667	400	15.497
3	0.244	0.145	16.667	383	16.369
4	0.251	0.149	16.667	367	16.838
5	0.258	0.153	16.667	350	17.308
6	0.263	0.156	16.667	333	17.643
7	0.266	0.158	16.667	317	17.845
8	0.262	0.155	16.667	300	17.576
9	0.270	0.160	16.667	283	18.113
10	0.270	0.160	16.667	267	18.113
11	0.278	0.165	16.667	250	18.650
12	0.275	0.163	16.667	233	18.448
13	0.265	0.157	16.667	217	17.778
14	0.260	0.154	16.667	200	17.442
15	0.256	0.152	16.667	183	17.174
16	0.257	0.153	16.667	167	17.241
17	0.251	0.149	16.667	150	16.838
18	0.245	0.145	16.667	133	16.436
19	0.241	0.143	16.667	117	16.168
20	0.235	0.139	16.667	100	15.765
21	0.230	0.136	16.667	83	15.430
22	0.226	0.134	16.667	67	15.161
23	0.227	0.135	16.667	50	15.228
24	0.221	0.131	16.667	33	14.826
	<b>0.248</b>	<b>0.147</b>	<b>16.667</b>	<b>400.00</b>	<b>16.026</b>

ตามตารางที่ 4.10 ค่าอัตราการไหลจากการจับเวลาการไหลเทียบกับผลต่างแรงดันที่วัดได้จากเครื่องที่สร้าง ปริมาตรน้ำ 400 ml ที่ระดับความสูง 60 cm. ความเร็วการไหลเฉลี่ย 0.147 m/sec อัตราการไหลเฉลี่ย 16.667 ml/sec ที่คาบเวลา 24 sec และอัตราการไหลเฉลี่ยจากเครื่องวัด 16.026 ml/sec ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดเฉลี่ย 0.248 volt ค่าความคลาดเคลื่อน -3.96% ตามรูปที่ 4.45- 4.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

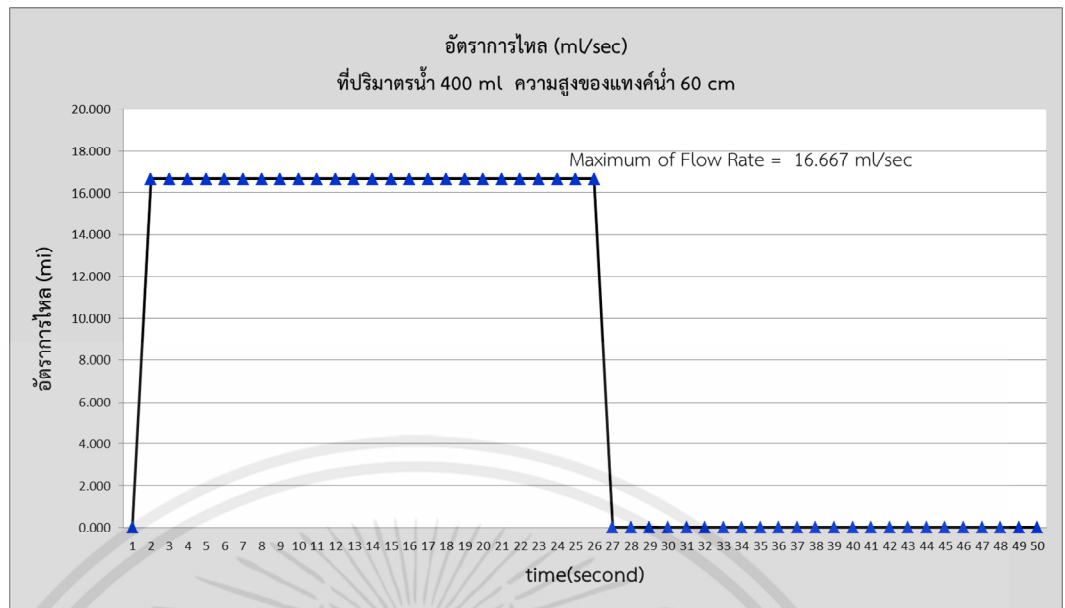


รูปที่ 4.45 ความเร็วการไหลเฉลี่ย 0.147 m/sec

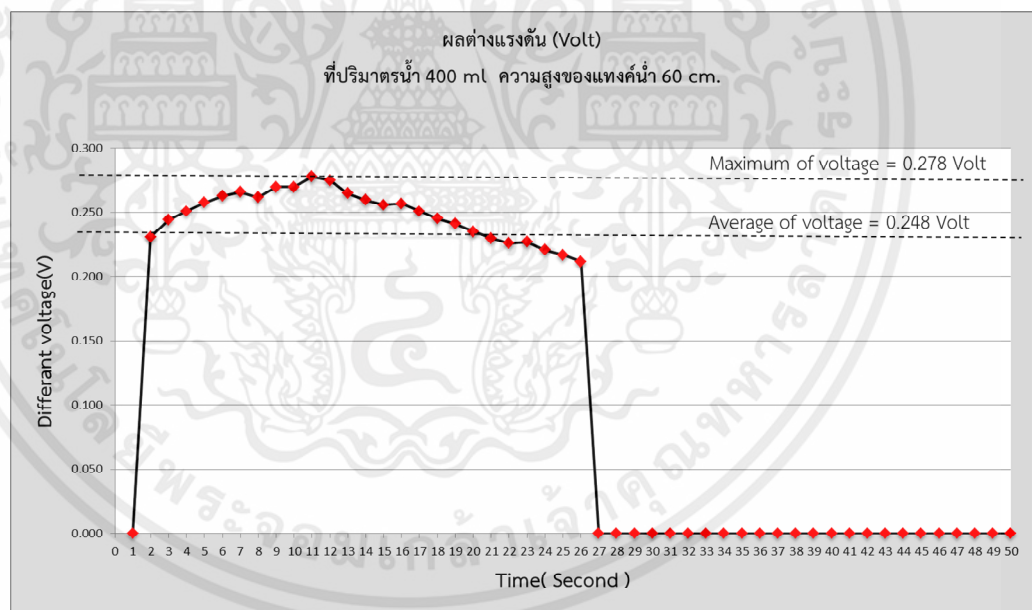


รูปที่ 4.46 ปริมาตรน้ำสะสม 400 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

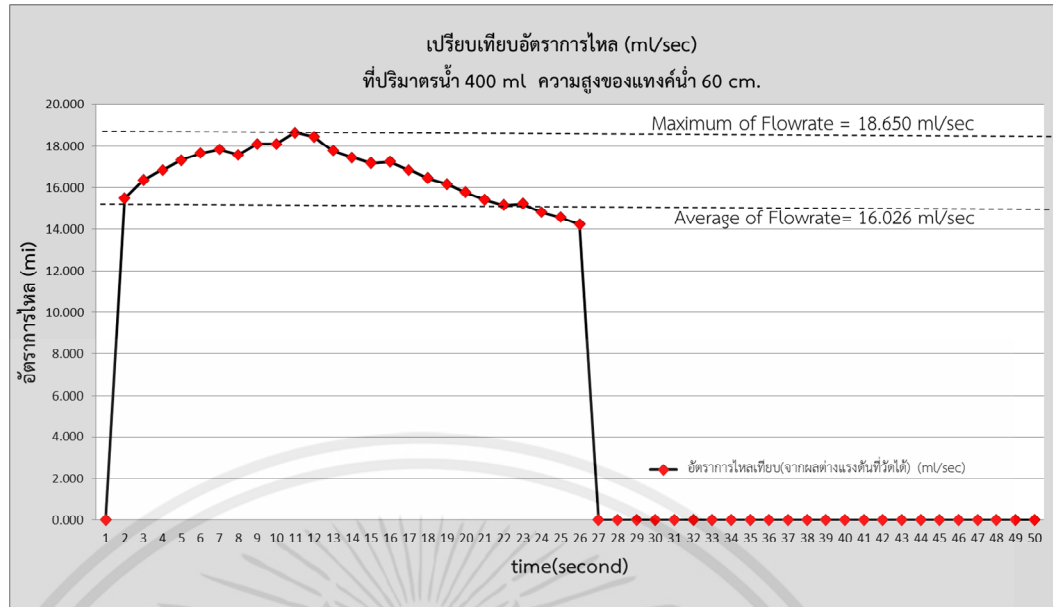


รูปที่ 4.47 อัตราการไหลเฉลี่ย 16.667 ml/sec

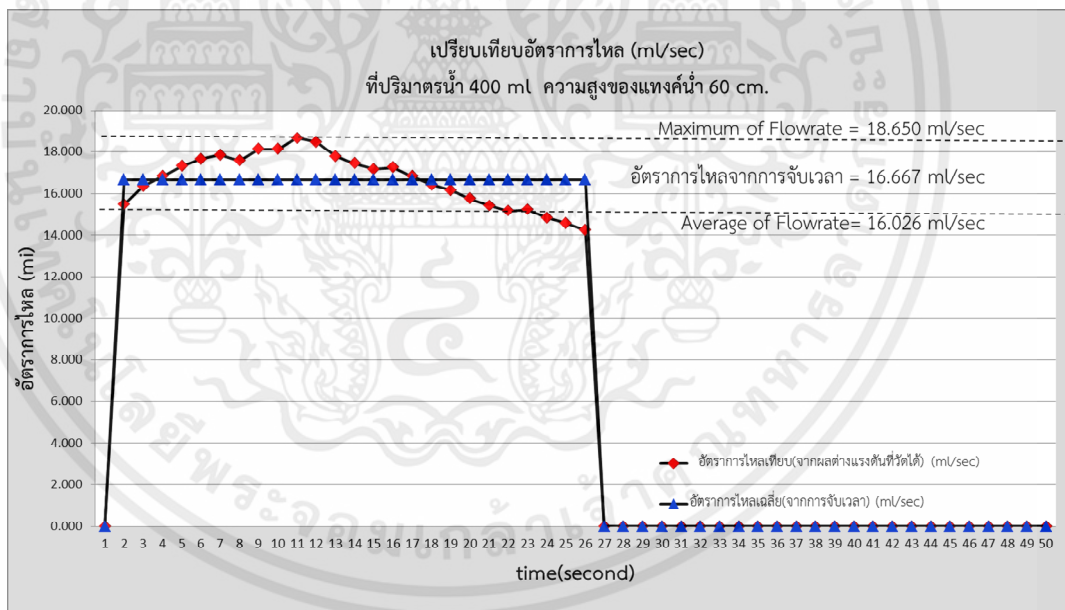


รูปที่ 4.48 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัด ค่าสูงสุด 0.278 volt และค่าเฉลี่ย 0.248 volt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.49 ผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 18.650 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 16.026 ml/sec



รูปที่ 4.50 เปรียบเทียบผลต่างแรงดันจากเครื่องวัดค่าอัตราการไหลสูงสุด 18.650 ml/sec ,ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 16.026 ml/sec ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดเทียบกับค่าเฉลี่ย -3.96%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

## สรุปการทดลองและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากตารางที่ 5.1 พบว่า ที่ปริมาตรน้ำ 200 ml อัตราการไหลเฉลี่ย 10.186 ml/sec ค่าความคลาดเคลื่อนการวัด -3.70% ถึง +6.40% ,ปริมาตรน้ำ 300 ml อัตราการไหลเฉลี่ย 13.405 ml/sec ค่าความคลาดเคลื่อนการวัด -7.20% ถึง +5.26% ,ปริมาตรน้ำ 400 ml อัตราการไหลเฉลี่ย 115.415 ml/sec ค่าความคลาดเคลื่อนการวัด -3.96% ถึง +3.76% เครื่องต้นแบบจะยอมรับที่  $\pm 10\%$  ผลข้อมูลจากการวัดค่าต่างๆผ่านการประมวลผลด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อส่งไปจัดเก็บใน Mini sdcard และอ่านค่าต่อเนื่องด้วยโปรแกรม Parallax excel ได้จริง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานด้านการจัดเก็บประวัติผู้ป่วย ในการทดลองนี้จะเห็นได้ว่ายังมีข้อผิดพลาดในส่วนของอัตราการขยายแรงดันที่ผลออกมารูปคลื่นไม่ราบเรียบ และการกำหนดอัตราการขยายวงจรรองความถี่ต่ำผ่านแบบใช้ Opamp ตัวเดียวแรงดันเอาต์พุตรูปคลื่นยังไม่ราบเรียบเท่าที่ควร ซึ่งควรได้รับการพัฒนาต่อไป

ตารางที่ 5.1 ค่าความคลาดเคลื่อนการวัดเทียบกับค่าเฉลี่ยอัตราการไหล

ปริมาณน้ำ	ความสูง แทงค์น้ำ	คาบเวลา	ผลต่างแรงดันที่วัดได้ จากเครื่องวัดที่สร้าง	ความเร็วการไหล (Velocity of fluid)	อัตราการไหลเฉลี่ย (จากการจับเวลา)	อัตราการไหลเทียบจาก ผลต่างแรงดันที่วัดได้	อัตราการไหล เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน การวัดเทียบกับค่าเฉลี่ย
Volume	Height	(Second)	(Volt)	(ml/sec)	(ml/sec)	(ml/sec)	(ml/sec)	(%)
200	60	19	0.230	0.093	10.526	10.573	10.188	-3.78%
	40	20	0.229	0.092	10.000	10.454	10.188	-2.61%
	20	21	0.227	0.084	9.524	9.536	10.188	6.40%
300	60	21	0.241	0.127	14.286	14.370	13.405	-7.20%
	40	23	0.234	0.116	13.043	13.144	13.405	1.94%
	20	24	0.232	0.111	12.500	12.700	13.405	5.26%
400	60	24	0.248	0.147	16.667	16.026	15.415	-3.96%
	40	26	0.241	0.136	15.385	15.385	15.415	0.20%
	20	28	0.234	0.131	14.286	14.835	15.415	3.76%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] วิสูตร คงเจริญสมบัติ 2554 **โรคต่อมลูกหมากโต** สมาคมศัลยแพทย์ระบบปัสสาวะแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ โรงพยาบาลรามาธิบดี. กรุงเทพฯ.
- [2] C. W. Groetsch, **Inverse Problem and Torricelli' Law**. The Collage Mathematics Journal 24 : 210-217, 1993.
- [3] **Arduino Uno R3**. Available online at <http://www.thaieasyelec.com/Development-Tools/Arduino/Official-Board-Made-in-Italy/Arduino-Uno.html>
- [4] T. Ding, Z. Zhang and Y. Wei. 1992. **Momentum method for measuring uroflow parameters and the uroflowmeter**. USA patent 5078012.
- [5] Kim K. A., E. J. Cha and S.S. Choi. 2010. **Method and system for measuring urinary flow rate**. USA patent 2010/0152684.
- [6] **Micro SD Card Module**. Website: <http://www.thaieasyelec.com/index.php>
- [7] M,E. Saleta, D. Tobia and S.Gil. Experimental study of Bernoulli's equation with losses. American Journal of Physics 73: 598-609. 2005.
- [8] **Parallax Program a Board of Education style development board by adding an Arduino microcontroller**. Website <https://www.parallax.com/catalog/microcontrollers>
- [9] C.Shaschke, **Fluid Mechanics, Worked examples for engineering**. 141-163. Website : [www.elegance-p.com](http://www.elegance-p.com). 2015. Power Supply 35W 12VDC 3A. Elegance Power Company., 1998.
- [10] S.Shroff S.V.Ramanan. **Manual Urodynamics**.Website:<http://www.medindia.net/articles/Manual-Urodynamics2.asp#3>
- [11] **UA741 Operational Amplifiers 741 (Op-amp) IC** Website: Chip <http://www.micontechlab.com/product/834/1x-ua741-operational-amplifiers-741-op-amp-ic-chip>

- [12] A. Wilk, **Experimental laboratory tests of the pressure drop resulting from the liquid flow through orifices in a rotating disc.** Experimental Thermal and Fluid Science 54. 297–303. 2014.
- [13] H.-C. Kuo, M.D. ,**Interpretation of Uroflowmetry** ,Incont Pelvic Floor Dysfunct 2007;2:51-55
- [14] E.K. Christopher, “**Evaluation of Voiding Dysfunction and Measurement of Bladder Volume,**” vol. 6 suppl. 1, reviews in urology, s32-s37, 2004.
- [15] W. Andrzej, “**Experimental laboratory tests of the pressure drop resulting from the liquid flow through orifices in a rotating disc,**” Experimental Thermal and Fluid Science 54, p297–303, 2014.
- [16] M.S. Khan, A. Mannan, R.A. Tasneem, “**Evaluating Urological Residents on Interpretation of Uroflowmetry Graphs,**” Annals vol 13, no. 4 oct.- dec. 2007, p252-254.
- [17] T. Ding, Z. Zhang, Y. Wei, inventors; **Momentum method for measuring uroflow parameters and the uroflow flowmeter.** USA patent 5,078,012. 1992 January 7.
- [18] K.A. Kim, J. Cha, S.S. Choi, inventors; **Method and system for measuring urinary flow rate.** USA patent 2010/0152684. 2010 June 17.
- [19] E.J. Cha, K.A. Kim, inventors; **uroflowmeter attachable to toilet.** USA patent 2011/0265576, 2011 Nov 3.
- [20] B.R. Munson ,F.Y. Donald, T.H. Okiishi, “**Fundamentals of Fluid Mechanics,**” John Wiley and Sons, 1990.
- [21] [www.portescap.com/products/brush-dc-motor/28dt12](http://www.portescap.com/products/brush-dc-motor/28dt12), download on 2014.
- [22] [www.atmel.com](http://www.atmel.com) “**ATMega128 Microcontroller**” download on 2011.
- [23] E. Tanagho ,J.W. McAninch, “**Smith's General Urology,**” 15th ed. San Francisco, McGraw-Hill, 2000

[24] W. Victor. M.D. Nitti, **urodynamic and video urodynamic evaluation of the lower urinary tract** .[www.https://abdominalkey.com/](http://www.https://abdominalkey.com/)

- [25] N. Lawrentschuk, M. Perera. **Benign Prostate Disorders**. [Updated 2016 Mar 14]. In: De Groot LJ, Chrousos G, Dungan K, et al., editors. Endotext [Internet]. South Dartmouth (MA): MDText.com, Inc.; 2000-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK279008/>
- [26] P. Abrams, D.J. Griffiths, : **The assessment of prostatic obstruction from urodynamic measurements and from residual urine**. Br J Urol 1979;51:129.
- [27] A.V. Manu-Marin, N. Calomfirescu, M. Neamtu, : **Investigarea tulburarilor mictionale. Rolul examenului urodinamic. Tendinte actuale de diagnostic si tratament in practica medicala**. Editura Ministerului de Interne 2002;405.
- [28] N. Calomfirescu ,A.V.M. Marin, : **Urodynamicæ øi Neurourologie**. Ed. Academiei, 2004.
- [29] T.N. Layton, W.J. Binard, : **Male peak urinary flow rate: relationships to volume voided and age**. J Urol 1979; 122:210.
- [30] M.B. Siroky, C.A. Olsson, R.J. Krane : **The flow rate nomograms: II. Clinical correlation**. J Urol 1980;123:208.
- [31] S. Madersbacher, A. Pycha, C.H. Klingler, C. Mian, B. Djavan, T. Stulnig , M. Marberger., . **Interrelationships of bladder compliance with age, detrusor instability, and obstruction in elderly men with lower urinary tract symptoms**. Neurourol Urodyn. 1999; 18(1):3-15
- [32] Q. Yang; J.L. Donovan; T.J. Peters; W. Schafer; J.J de la Rosette; N.F. Dabhoiwala ; D. Osawa; A.T. Lim; P. Abrams. **The ICS-BPH Study: uroflowmetry, lower urinary tract symptoms and bladder outlet obstruction**. Br J Urol. 1998; 82(5):619-23
- [33] N. Calomfirescu : V. Voinescu: **Uroflowmetria in tratamentul endoscopic al stricturilor uretrale masculine**. Editura Academiei 2001;45.
- [34] P.D. O'Donnell : **Pitfalls of urodynamic testing**. Urol Clin North Am 1991;18:257.
- [35] D.G. Barnes, R.C.A. Lewis, P.J.R. Shaw , P.H.L. Worth: **A consumer's guide to commercially available urodynamic equipment**. Br J Urol 1991;68:138.

- [36] P. Abrams, J.G. Blaivas, S.L. Stanton , J.T. Andersen : **The standardization of terminology of lower urinary tract function.** Neurourol Urodynamic 1988;7:403.
- [37] J.V. Jepsen V; R.C. Bruskewitz. **Comprehensive patient evaluation for benign prostatic hyperplasia.** Urology. 1998; 51 (4A Suppl):13-8
- [38] P.B. Grino, R. Bruskewitz , J.G. Blaivas ,M.B. Siroky, J.T. Andersen, T. Cook , E. Stroner : **Maximum urinary flow rate by uroflowmetry: automatic or visual interpretation.** J Urol 1993;149:339.
- [39] Kuo HC. **Clinical prostate score for diagnosis of bladder outlet obstruction by prostate measurements and uroflowmetry.** Urology. 1999; 54(1):90-6
- [40] Ohio Electric Motors. DC Series Motors: **High Starting Torque but No Load Operation Ill-Advised.** Ohio Electric Motors, 2011. Archived November 8, 2011
- [41] K.M. Santosh, S. Avinash , Avinash KS., **Speed Control of DC Motor Using Arduino** ,Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR) ,Vol-3, Issue-4, 2017 ,ISSN: 2454-1362, <http://www.onlinejournal.in>
- [42] สมพงษ์ อารีย์ และสิรภพ ตู้ประกาย 2560 “**Design of Uroflowmetry Rotating Disc Recording**” หน้า 555-566 ในการประชุมทางวิชาการของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55 สาขาวิศวกรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การออกแบบเครื่องบันทึกค่าอัตราการไหลปัสสาวะแบบจานหมุน DESIGN OF UROFLOWMETRY ROTATING DISC RECORDING

สมพงษ์ อารีย์<sup>1</sup> และ สิริภพ ตูประกาย<sup>1</sup>

Sompong Aree<sup>1</sup> and Siraphop Tooprakai<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้แสดงการออกแบบเครื่องบันทึกค่าอัตราการไหลปัสสาวะแบบจานหมุนวงจรตรวจจับผลต่างแรงดันจะจับค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้นบนจานหมุนนำไปเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์เพื่อหาความเร็วการไหลและอัตราการไหลของปัสสาวะ ทั้งนี้ยังสามารถอ่านค่าผลการวัดแบบต่อเนื่องด้วยโปรแกรม PLX-DAQ พร้อมจัดเก็บข้อมูลใน Micro SD Card ปัจจุบันผู้ป่วยประเภทนอนติดเตียงไม่ได้รับความสะดวกในการย้ายเครื่องวัดออกนอกโรงพยาบาลยุ่งยากหลายขั้นตอนและเครื่องวัดต้องนำเข้าจากต่างประเทศทำให้ราคาแพง ในบทความวิจัยนี้ได้ออกแบบเครื่องบันทึกค่าอัตราการไหลที่สามารถพกพาสะดวกเลือกใช้วัสดุประกอบวงจรภายในประเทศจึงมีราคาถูก ผลจากการทดลองโดยปล่อยน้ำให้พุ่งไปสัมผัสจานหมุนโดยตรงเพื่อวัดค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลงจากมอเตอร์เพื่อนำไปเปรียบเทียบหาอัตราการไหลปัสสาวะ ผลที่ได้คือค่าผลต่างแรงดันที่วัดได้มีค่าระหว่าง 0.077 - 0.278 โวลต์ที่ได้ค่าอัตราการไหลสูงสุดอยู่ที่ 19.60 ml<sup>3</sup>/sec เมื่อเปรียบเทียบเครื่องวัดที่สร้างขึ้นใกล้เคียงกันกับกราฟค่ามาตรฐานอัตราไหลของคนปกติที่ 16-18 ml<sup>3</sup>/sec โดยค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ +8.16%

### ABSTRACT

This research is presented the design of uroflowmetry rotating-disc machine which reduces the energy that collides with the disc, displays results on a PLX-DAQ, and is able to record data in SDcard. Currently, the patients lying next to the bed have assembly process with several steps is not convenient and the uroflowmetry rotating disc imported from abroad is very expensive. It is recording the flow rate can be easy to move and use local materials are inexpensive. The results showed that the uroflowmetry machine tested with water directed onto the rotating disc causing voltage change received to be compared with the flow of normal urine. The different voltage ranged from 0.077 to 0.278 volts that was compared the flow rate up to 19.60 ml<sup>3</sup>/second with the standard flow rate graph of the normal urine is 16 to 18 ml<sup>3</sup>/second. The experimental results showed the accuracy to 8.16%.

Key words: uroflowmetry, rotating disc, different voltage, low-side voltage sensing, microcontroller, PLX-DAQ,

\*Corresponding author: e-mail address : [arsompong.kmitl@hotmail.com](mailto:arsompong.kmitl@hotmail.com)

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 10520

<sup>1</sup>Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology

Ladkrabang, 10520

### คำนำ

ปัจจุบันโรคทางเดินปัสสาวะ เช่น โรคนี้ว โรคต่อมลูกหมากโต(Benign Prostatic Hyperplasia : BPH) โรคเมเร็งต่อมลูกหมาก โรคกระเพาะปัสสาวะอักเสบ เป็นโรคเกี่ยวกับทางเดินปัสสาวะทั้งสิ้น(วิสูตร คงเจริญ สมบัติ ,2554) โดยมีต่อมลูกหมากทำหน้าที่ควบคุมการไหลของปัสสาวะ และผลิตโปรตีนที่เป็นแอนติเจนจำเพาะของต่อมลูกหมาก เช่น การผลิตน้ำหล่อลื่นและหล่อเลี้ยงด้วยลิวคินเป็นต้น ต่อมลูกหมากมีลักษณะคล้ายลูกเกาดัดขนาดใหญ่ สำหรับผู้ป่วยเกี่ยวกับต่อมลูกหมากนั้นอาจจะไม่มีอาการอะไรเลยก็ได้ แต่ในกลุ่มผู้ป่วยที่มีอาการนั้น อาจจะมีอาการดังนี้คือ ไม่สามารถถ่ายปัสสาวะได้ ปัสสาวะต้องเบ่งนานและปัสสาวะขัด ปัสสาวะบ่อยครั้ง โดยเฉพาะเวลากลางคืน ปัสสาวะอ่อนแรงไม่พุ่ง อาจมีอาการปวดแสบระหว่างการถ่ายปัสสาวะ ผู้ชายที่มีช่วงอายุประมาณ 50 ปีขึ้นไปหรือยิ่งอายุมากก็ยิ่งมีโอกาสเสี่ยงเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ ยังพบว่าถ้าบุคคลในครอบครัวมีประวัติการเป็นเมเร็งต่อมลูกหมากจะมีโอกาสเสี่ยงมากกว่าบุคคลทั่วไป รวมถึงผู้ชายที่นิยมรับประทานอาหารที่มีไขมันสูงก็จะจัดในกลุ่มผู้มีความเสี่ยงสูงด้วย

ปัจจุบันการตรวจอุโรพลศาสตร์ Urodynamics (Shaschke C. 1998. Fluid Mechanics) ได้รับความนิยมใช้วิธีคือการตรวจ Uroflowmetry ถ้าพบภาวะอุดตันต่อทางเดินปัสสาวะจะมีอัตราการไหลของปัสสาวะลดลง หรือถ้าปัสสาวะนานขึ้น ซึ่งมีค่า Maximum Urinary Flow Rate หรือค่า Peak Flow Rate ต่ำกว่าค่า 10 mL/Sec ถือว่าผิดปกติ ถ้าค่า Maximum Urinary Flow Rate อยู่ระหว่าง 10-15 mL/Sec เป็นภาวะก้ำกึ่งว่าจะมีภาวะอุดตัน ถึงแม้จะอุดตันก็อาจจะยังไม่มากนัก ต้องอาศัยซักประวัติและสังเกตอาการอื่นๆ ส่วนค่า Maximum Urinary Flow Rate มีค่า 15mL/Sec แสดงว่าไม่มีภาวะอุดตันทางออกปัสสาวะ แต่อาจสาเหตุอื่น เช่น ห่อปัสสาวะตีบตัน อาจเป็นต่อมลูกหมากโตหรือเมเร็งต่อมลูกหมากก็ได้ ดังนั้นการตรวจวัดด้วยวิธี Uroflowmetry จะต้องมียุทธศาสตร์อย่างน้อย 150-170 mL จึงสามารถแยกแยะโรคได้ เช่น กรณีความดันในกระเพาะปัสสาวะสูง แต่ Flow Rate ต่ำมีสาเหตุจากการอุดตัน ถ้าความดันในกระเพาะปัสสาวะต่ำแล้ว Flow Rate ต่ำด้วย มีสาเหตุมาจากกระเพาะปัสสาวะบีบตัวลดลง โดยปัจจุบันมีการใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลของปัสสาวะประกอบการวินิจฉัยเพื่อแยกโรคทางเดินปัสสาวะ ซึ่งข้อจำกัดของเครื่องตรวจวัดในปัจจุบันคือเคลื่อนย้ายลำบากราคาแพงการเก็บประวัติข้อมูลการตรวจวัดทำได้ยาก

ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องบันทึกอัตราการไหลของปัสสาวะแบบจานหมุน โดยใช้หลักการเปรียบเทียบผลต่างแรงดันไฟฟ้าจากตัวต้านทานแบบขนาน ซึ่งทำหน้าที่ตรวจจับค่าการเปลี่ยนแปลงตามภาวะไหลคที่งานหมุนได้รับ โดยทดสอบด้วยการเทของเหลวทดสอบลงบนแผ่นจานหมุนและวัดค่าพลังงานจากวงจรตรวจจับผลต่างแรงดัน จากนั้นนำมาผ่านวงจรขยายระดับค่าแรงดันไฟฟ้าและบันทึกค่าไว้ในหน่วยความจำประเภท Micro SDCard และแสดงผลการอ่านค่าต่อเนื่องด้วยโปรแกรม PLX-DAQ(Parallax Excel) หรือรูปแบบการเก็บข้อมูลผู้ป่วยในรูปแบบไฟล์ Excel โดยใช้การประมวลผลการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 โดยเครื่องที่สร้างขึ้นราคาไม่แพงเนื่องจากใช้อุปกรณ์หาได้ในประเทศ และสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกสำหรับใช้งานกับโรงพยาบาลห่างไกลได้และสามารถจัดเก็บประวัติการตรวจในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ทฤษฎีและหลักการงานวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้ ใช้หลักการเปรียบเทียบการถ่ายของเหลวของกระเพาะปัสสาวะเป็นแท่งค้ำน้ำเจาะรู ซึ่งกฎของทอริเชลลี (Groetsch, C. W. 1993) และร่วมกับหลักการของแบร์นูลลี (Bernoulli's principle) ว่าด้วยความเร็วของของไหลที่ไหลออกจากท่อเปิด อัตราเร็วของการไหล สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามเส้นทางการไหล ความดันก็สามารถเปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสูง (หรือความลึก) เช่นเดียวกันกับในของไหลสถิต และความดันก็ขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของการไหลด้วย เราจะหาความสัมพันธ์ระหว่างความดัน อัตราเร็วของการไหล และความสูงหรือไหลตกกระทบ โดยในงานวิจัยได้ใช้แผ่นจานหมุนรับปริมาตรของเหลวแล้วแปรเป็นค่าพลังงาน ดังรูปภาพ Figure 1

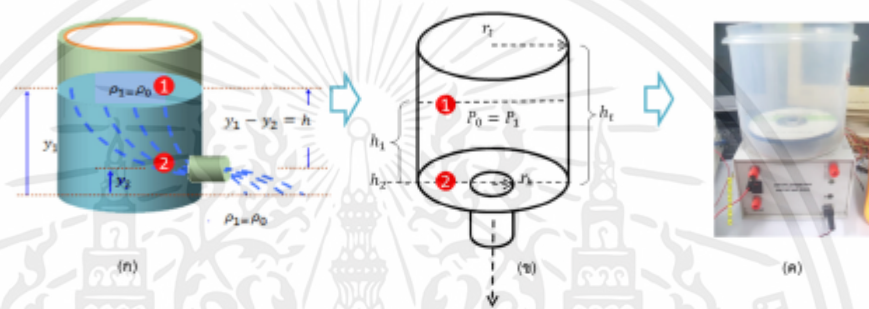


Figure 1 แสดงการเปรียบเทียบทฤษฎีแบร์นูลลี (Bernoulli's Principle) กับเครื่องวัดอัตราการไหลปัสสาวะที่สร้างขึ้น

จากรูปภาพ Figure 1.(a) ถังน้ำบรรจุน้ำไว้ตอนเริ่มต้น มีท่อเล็ก ๆ ต่อกันอยู่ต่ำกว่าผิวน้ำในถังเป็นระยะ  $h$  ถ้าถังนี้มีฝาปิดความดันอากาศภายในบริเวณเหนือผิวน้ำในถังคือ  $P_0$  ต้องการคำนวณหาอัตราเร็วของการไหลของน้ำออกจากท่อสมมติว่า น้ำเป็นของไหลอุดมคติและบีบอัดไม่ได้ ดังนั้นสามารถใช้สมการของแบร์นูลลีในการศึกษาปัญหาการไหลของน้ำนี้ได้ กำหนดจุดที่ 1 และ 2 ดังรูปภาพ Figure 1.(a) จะได้สมการที่ 1

$$P_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (1)$$

เมื่อความดันที่จุดที่ 1 คือความดันบรรยากาศ  $P_1 = P_a$  และความดันที่จุดที่ 2 เมื่อ  $P_2 = P_a$  คือ

$$P_a + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_a + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (2)$$

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_a - P_a - \rho g y_1 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (3)$$

$$v_1^2 = v_2^2 + \frac{2(P_a - P_a)}{\rho} + 2gh \quad (4)$$

จากสมการที่ 4 ถ้าพื้นที่หน้าตัดของท่อน้ำออก  $A_1$  มีขนาดเล็กกว่าพื้นที่หน้าตัดของแท่งค้ำน้ำ  $A_2$  จุดที่ 2 มากกว่าจุดที่ 1 จะมีความมากกว่า  $v_2$  มากกว่า ดังนั้นสามารถตัด  $v_2$  ในสมการข้างต้นทิ้งได้ จะได้

$$v_1^2 = \frac{2(P_a - P_a)}{\rho} + 2gh \quad (5)$$

จากสมการที่ 5 คืออัตราความเร็วของน้ำ  $v_1$  ที่ไหลออกจากท่อเรียกว่า *efflux speed* ซึ่งมีค่าขึ้นกับผลต่างความดัน  $P_0 - P_a$  (Wilk A. 2014) และความสูงถ้าด้านบนของถังเปิด  $P_0$  จะเท่ากับ  $P_a$  ทำให้ได้  $P_0 - P_a = 0$  และถ้าถังเป็นระยะ  $h$  อัตราเร็วที่ได้ไม่มีขนาดเท่ากับอัตราเร็วที่วัดตกอย่างอิสระในระยะความสูง  $h$  ถ้าพิจารณาที่ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 557  
 ไม่ว่าจะผิดใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสูงคงที่เมื่อของไหลมีอัตราเร็วเพิ่มขึ้นความดันของของไหลจะลดลง และเมื่อของไหลมีอัตราเร็วลดลงความดันของของไหลจะเพิ่มขึ้นซึ่งเรียกว่าก่าหนดตัวแปรทฤษฎีแบร์นูลลี (Bernoulli's Principle) สมการอัตราเร็วของน้ำที่ไหลออกมาจากท่อ(รู) ช้างตั้งที่เปิดฝาหาได้จาก  $v = \sqrt{2gh}$  คืออัตราความเร็วของน้ำที่ไหลออกมาจากท่อ(รู)ช้างตั้งที่เปิดฝาอยู่ โดยที่ท่ออยู่ต่ำกว่าผิวน้ำภายใน ดังนั้นสรุปได้ว่า

สมการอัตราเร็วของน้ำ Velocity : (mL/sec)

$$v = \sqrt{2gh} \quad (6)$$

สมการอัตราการไหลของน้ำ Quality(Q) : (mL<sup>3</sup>/sec)

$$Q = A(mm.^2) * v(mL/sec) \quad (7)$$

$$Q = A * \sqrt{2gh} ; (mL^3/sec) \quad (8)$$

สมการปริมาตรของน้ำ Volume of Fluid : (mL)

$$V = A * \pi r^2 * d_{water} \quad (9)$$

โดยที่ Q=(Quantity of Flowrate)อัตราการไหล (mL<sup>3</sup>/sec)

h=(Height of Tank)ความสูงของระดับแท่งค้ำน้ำ (mm.)

v=(Velocity)อัตราเร็วของน้ำ(mL/sec)

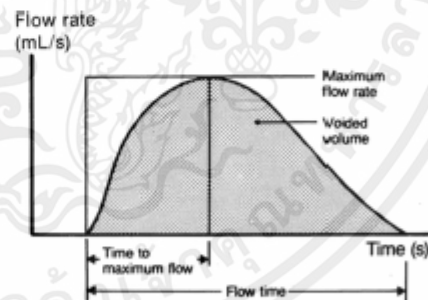
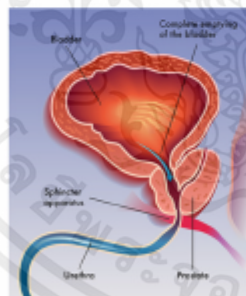
g=(Gravity)ค่าแรงโน้มถ่วง(9.81 m/sec)

V=(Volume of Fluid)ปริมาตรของน้ำ (mL)

r<sub>h</sub>=(Radial of Bottom Hole)รัศมีของรูท่อน้ำทางออก (mm.)

d<sub>water</sub>=(Deep of water)ความลึกของน้ำในแท่งค้ำ (mm.)

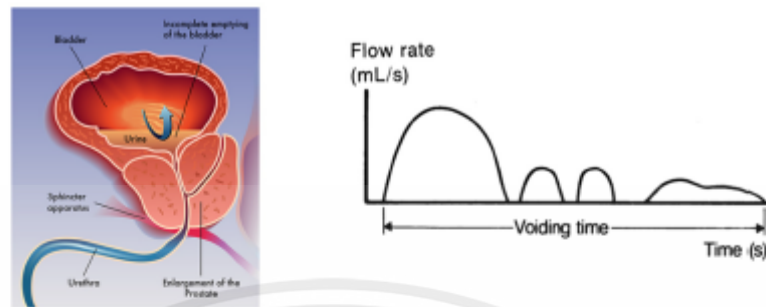
A=(Area)ขนาดพื้นที่หน้าตัดที่ส่งน้ำ (mm<sup>2</sup>)



ก. ต่อมลูกหมากปกติ

Figure 2 (ก.) แสดงการลักษณะกราฟอัตราการไหลของต่อมลูกหมาก ในสภาวะปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
558  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข. ต่อมลูกหมากโต

Figure 2 (ข.) แสดงการลักษณะกราฟอัตราการไหลในสภาวะของต่อมลูกหมากโต

Table 1 แสดงค่ามาตรฐานปกติอัตราการไหลปัสสาวะขึ้นอยู่กับเพศและอายุ

ช่วงอายุ	อัตราการไหล (Flow Rate) : mL <sup>3</sup> /sec	
	ผู้ชาย	ผู้หญิง
4 - 7	10	15
8 - 13	12	18
14 - 45	21	18
46 - 65	12	18
66 - 80	9	18

จากรูปภาพ Figure 2. แสดงการเปรียบเทียบการทำงานของต่อมลูกหมากปกติกับต่อมลูกหมากโต ซึ่งตามตาราง Table 1. แสดงค่ามาตรฐานปกติอัตราการไหลปัสสาวะขึ้นอยู่กับเพศและอายุ. (Hann-Chong Kuo, M.D., Interpretation of Uroflowmetry 2007;2:51-55) ซึ่งการตรวจวัดอัตราการไหลของปัสสาวะเป็นการตรวจขั้นต้นสำหรับผู้ป่วยที่มีอาการถ่ายปัสสาวะผิดปกติ เมื่อแพทย์ผู้ตรวจสังเกตว่าผู้ป่วยมีอาการเกี่ยวกับต่อมลูกหมากโต (วิสูตร คงเจริญสมบัติ, 2554) เช่น อาการปัสสาวะเล็ดรดหรือปัสสาวะเร็วหรืออื่นๆที่เกี่ยวกับการถ่ายปัสสาวะ นอกจากการตรวจร่างกายตามปกติแล้วแพทย์จะใช้เครื่องวัดการไหลของปัสสาวะ เพื่อทำการทดสอบสมรรถภาพของกระเพาะปัสสาวะร่วมกับกระเพาะปัสสาวะของผู้ป่วยอาจทำงานผิดปกติ เช่น อาจจะไม่สามารถบีบตัวให้ปัสสาวะไหลได้แรงหรือต่อเนื่องหรือจะต้องเบ่งปัสสาวะแรงๆ เป็นไปได้ว่าอาจเกิดจากสาเหตุบางอย่างมาด้วยกัน เช่น ต่อมลูกหมากโต ท่อปัสสาวะตีบตัน หรือกระบังลมหย่อน ในการตรวจอัตราการไหลของปัสสาวะทำได้ไม่ยากและใช้เวลาไม่มาก โดยแพทย์จะให้ผู้ป่วยถ่ายปัสสาวะลงเครื่องมือวัด อัตราไหลความแรงของปัสสาวะเป็น mL/sec โดยมีค่าปกติเพศชายประมาณ 16 mL/sec เพศหญิงประมาณ 18 mL/sec ดังนั้นแพทย์จะวินิจฉัยจากกราฟที่วัดได้ว่า สภาวะที่เกิดขึ้นจะเกี่ยวกับต่อมลูกหมากโตหรือกระเพาะปัสสาวะของผู้ป่วยทำงานปกติหรือผิดปกติเครื่องมือวัดควรมีความเกี่ยวข้องตรงสามารถใช้งานได้จริงในทางการรักษาและใช้ประกอบการวินิจฉัยจึงต้องมีเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 559  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การออกแบบงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องบันทึกอัตราการไหลของบัสสภาวะแบบงานหมุน โดยจะใช้หลักการเปรียบเทียบผลต่างแรงดันไฟฟ้าจากตัวต้านทานแบบขนาน ซึ่งทำหน้าที่ตรวจจับค่าการเปลี่ยนแปลงตามภาระไหลที่งานหมุนได้รับ โดยมีมอเตอร์ขับเคลื่อนตัวงานหมุนต่อยังวงจร Low-side Voltage Sensor ค่าพลังงานที่วัดได้จากวงจรตรวจจับผลต่างแรงดันโดยใช้ตัวต้านทาน Resister-Shunt กับวงจรนำมาจากวงจรขยายระดับค่าแรงดันไฟฟ้า บันทึกค่าที่วัดได้ไว้ใน Micro SD Card และอ่านค่าต่อเนื่องแสดงในโปรแกรม PLX-DAQ (www.parallax.com) ผ่านวงจรประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 (www.thaieasyelec.com) ค่าพลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงกับตัวมอเตอร์ติดงานหมุนนั้น นำไปเขียนกราฟเปรียบเทียบอัตราการไหล (Shaschke C. 1998. Fluid Mechanics) เพื่อให้แพทย์ผู้เชี่ยวชาญใช้เป็นข้อมูลการเปรียบเทียบในการวินิจฉัยและแยกชนิดโรคเกี่ยวกับทางเดินท่อยับสภาวะโครงสร้างของวงจรรูปภาพ Figure 3

โครงสร้างของเครื่องบันทึกอัตราการไหลบัสสภาวะแบบงานหมุน

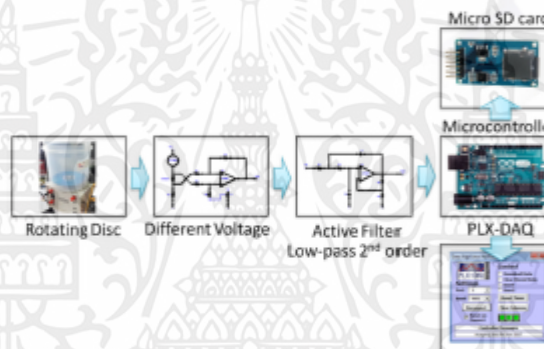


Figure 3 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องบันทึกค่าอัตราการไหลบัสสภาวะแบบงานหมุน

- Different Voltage : เป็นวงจรตรวจจับค่าผลต่างแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ความต้านทาน R-Shunt ต่อกับวงจร Low-side Sensor ค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบจะถูกขยายด้วยตัว OP-Amp เพื่อให้ได้ค่าผลต่างแรงดันนำไปใช้บันทึกค่า กำหนดค่าอุปกรณ์ :  $R_1=R_2=39k\Omega$ ,  $R_3=R_4=47k\Omega$ ,  $R\text{-shunt}=5\Omega$ ,  $R_5=10K\Omega$  แสดงดังรูปภาพ Figure 4.

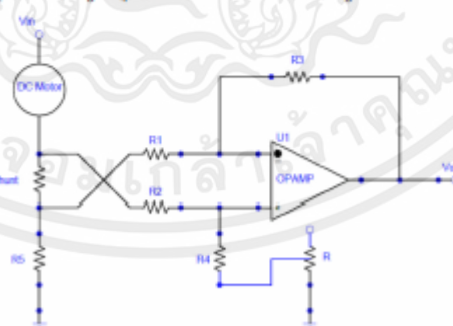
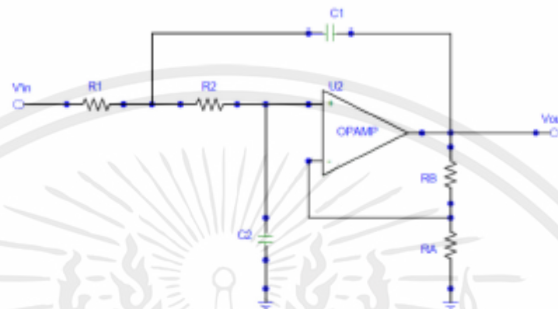


Figure 4 แสดงวงจรวัดค่าผลต่างแรงดัน Different Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 560  
 ไม่ว่าจะผิดใจทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Active Filter Low-pass 2<sup>nd</sup> order : วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบลำดับสองแบบ Sallen and Key โดย ออกแบบที่ความถี่ตัด (Cutoff Frequency)= 1kHz,  $R=R_1=R_2=48\text{k}\Omega$ ,  $R_A=47\text{k}\Omega$ ,  $R_B=27\text{k}\Omega$ ,  $C_1=C_2=0.033\mu\text{F}$  แสดงดังรูปภาพ Figure 5.

Figure 5 แสดงวงจร Active Filter Low-pass 2<sup>nd</sup> order

ในส่วนของความต้านทาน  $R_A$  และ  $R_B$  มีไว้เพื่อกำหนดอัตราขยายของวงจร Close Loop (ACL) โดยปกติจะกำหนด ACL นี้เท่ากับ 1.586 เท่า เพื่อให้วงจรสามารถทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุดจึงกำหนดไว้ เป็น 0.568 เท่า ของ เนื่องจาก OP-Amp ต่อแบบไม่กลับเฟสค่าความต้านทานที่เหมาะสม  $R_A=47\text{k}\Omega$ ,  $R_B=27\text{k}\Omega$  ดังรูปภาพ Figure 6.( UA741 Operational Amplifiers 741 )

- Rotating disc : เป็นอุปกรณ์จานหมุนขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรง Servo Motor ขนาดเล็กใช้งานระดับแรงดัน 12 โวลต์ ควบคุมการทำงานด้วย Microcontroller ทำหน้าที่รับโวลตจจากอัตราการไหลของบัสสาวะมากรวมกับจานหมุน ซึ่งยึดติดอยู่กับเฟลตามอเตอร์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของจานหมุน 0.12 m. ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของพลังงานตามการไหลที่ได้รับ ดังรูปภาพ Figure 7.
- Microcontroller : ไมโครคอนโทรลเลอร์ในงานวิจัยนี้เลือกใช้บอร์ดรุ่น Arduino Uno R3[10] ทำหน้าที่ประมวลผลค่าที่ทำการตรวจวัดแล้วส่งไปยังอุปกรณ์หน่วยความจำ Micro SDCard และโปรแกรม PLX-DAQ
- Micro SDCard : หน่วยความจำขนาดเล็กที่ใช้เก็บข้อมูลอัตราการไหลบัสสาวะ
- Parallax-DAQ : โปรแกรมอ่านค่าข้อมูลที่วัดได้รูปแบบ Excel สามารถนำไปเขียนกราฟ สำหรับใช้เปรียบเทียบความถูกต้องกับเครื่องวัดต้นแบบ

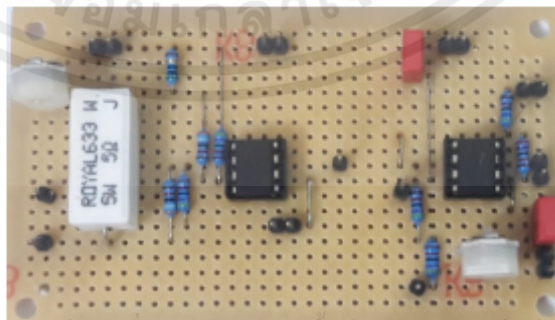


Figure 6 แสดงแผงวงจร Different Voltage และ Active Filter Low-pass 2nd order ที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Figure 7 แสดงเครื่องต้นแบบ Rotating disc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการวิจัย

จากรูปภาพ Figure 6.7 แสดงเครื่องต้นแบบของ Rotating disc กับแผงวงจรวัดผลต่างแรงดันที่ได้จากการทดลองพบดังแสดงใน Figure 8. (Hann-Chomg Kuo, M.D., Interpretation of Uroflowmetry 2007;2:51-55) ได้แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการวัดจากวงจรผลต่างแรงดัน (Different Voltage) มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.077 โวลต์, ค่าแรงดันสูงสุดอยู่ที่ 0.278 โวลต์หรือเฉลี่ย 0.211 โวลต์ ณ ช่วงเวลาวินาทีที่ 18 ตามตาราง Table 2. และค่าอัตราการไหล (Flowrate) ที่วงจรวัดได้จากการทดลองโดยการเทน้ำจากทางค้ทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร, ศึก 250 มิลลิเมตร ผ่านท่อขนาด 6 มิลลิเมตร โดยระยะเวลาการทดลองเท่ากับ 43 sec. หรือน้ำที่ใช้ทดลองไหลทั้งหมดทางค้ วัดค่าอัตราการไหลสูงสุด (Maximum Flowrate=19.60 mL<sup>3</sup>/sec.), ค่าเฉลี่ยอัตราการไหล (Average Flowrate= 14.88 mL<sup>3</sup>/sec), ระยะเวลาที่เกิดอัตราการไหลสูงสุด (Time to Max. Flow= 18 Sec.), ปริมาตรรวม (Void Volume= 400 mL/sec.) ดังแสดงใน Figure 9. ส่วนการบันทึกค่าที่วัดได้ผ่านการประมวลผลด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 เพื่อส่งไปจัดเก็บใน Micro SD Card และอ่านค่าต่อเนื่องด้วยโปรแกรม Parallax ได้จริง (www.parallax.com) ตามตาราง Table 2

Table 2. แสดงผลการทดลองจากการวัดจากวงจรผลต่างแรงดันมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.077 โวลต์และค่าสูงสุด 0.278 โวลต์หรือเฉลี่ย 0.211 โวลต์และการเปรียบเทียบอัตราการไหลตลอดช่วงเวลา 43 Sec., ปริมาตรของน้ำรวม 400 mL, อัตราการไหลเฉลี่ย 14.88 mL<sup>3</sup>/sec.

Connect using "PLX-DAQ "

Time ช่วงเวลาการวัด (Second)	Diff. Voltage Output แรงดันผลต่าง (Volt)	Velocity of Fluid ความเร็วการไหล (ml/sec)	Flowrate อัตราการไหล (ml <sup>3</sup> /sec)	Volume of Fluid ปริมาตรของน้ำ (ml)
1	0.000	0.00	0.00	0.00
3	0.161	7.09	11.35	28.75
5	0.242	10.66	17.08	29.43
7	0.246	10.84	17.34	51.37
9	0.257	11.32	18.12	73.62
11	0.247	10.88	17.41	95.66
13	0.249	10.97	17.55	117.77
15	0.265	11.68	18.68	140.76
17	0.270	11.90	19.03	163.94
18	0.278	12.25	19.60	178.19
19	0.269	11.85	18.96	188.04
21	0.261	11.50	18.40	210.68
23	0.256	11.28	18.05	233.20
25	0.261	11.50	18.40	255.89
27	0.264	11.63	18.61	278.84
29	0.261	11.50	18.40	301.75
31	0.254	11.19	17.91	324.09
33	0.240	10.57	16.92	345.90
35	0.179	7.89	12.62	362.11
37	0.167	7.36	11.77	376.91
39	0.144	6.34	10.15	390.04
41	0.077	3.39	5.43	397.31
43	0.000	0.00	0.00	0.00
	<b>0.211</b>	<b>9.302</b>	<b>14.88</b>	<b>400.00</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

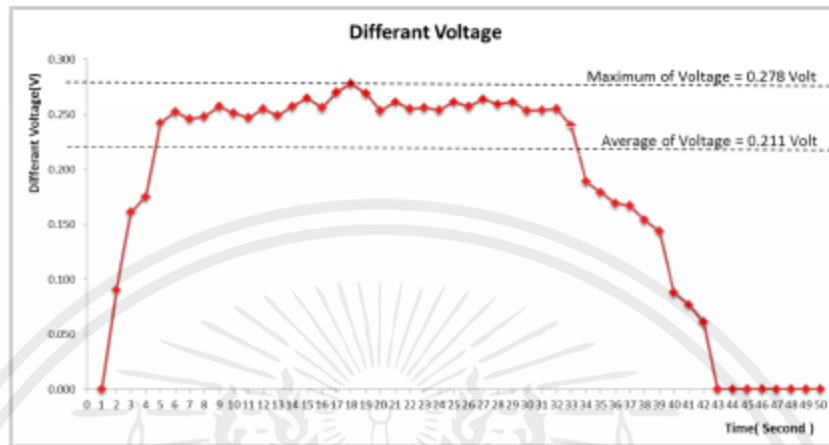


Figure 8. กราฟแสดงค่าผลต่างการวัดจากวงจรขยายแรงดัน Differant Voltage มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.077 โวลต์และค่าสูงสุด 0.278 โวลต์หรือเฉลี่ย 0.211 โวลต์

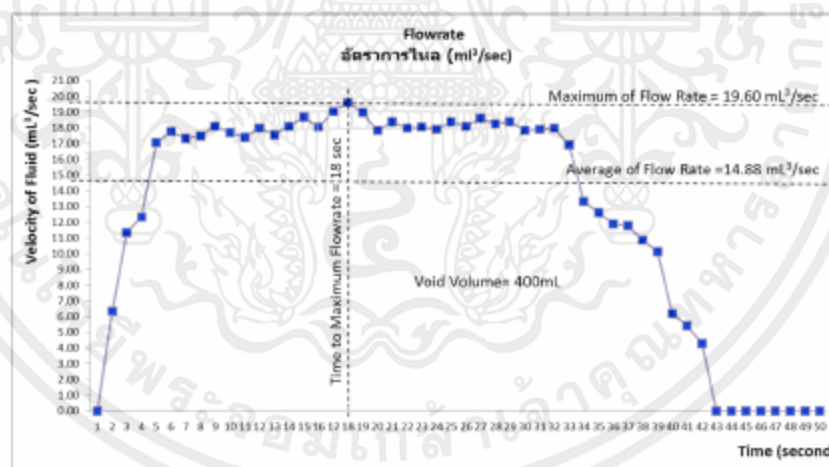


Figure 9. กราฟแสดงค่า อัตราการไหลสูงสุด(Maximum Flowrate=19.60 mL³/sec.) ,ค่าเฉลี่ยอัตราการไหล (Average Flowrate= 14.88 mL³/sec) ,ระยะเวลาที่เกิดอัตราการไหลสูงสุด(Time to Max. Flow= 18 Sec.) ,ปริมาตรรวม(Void Volume= 400 mL/sec.) ,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

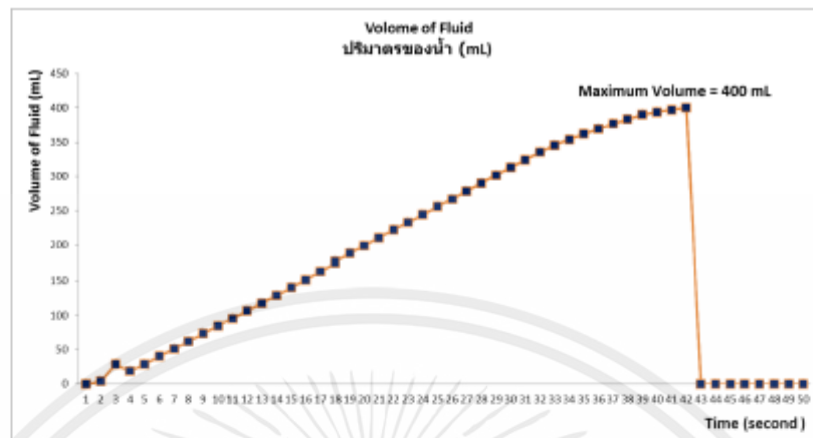


Figure 10. กราฟแสดงค่าปริมาตรน้ำสะสม ตลอดช่วงเวลาที่ทดลอง 43 sec (Volume of Fluid= 400 mL/sec.)

### สรุปผลการวิจัยและวิจารณ์

การออกแบบและสร้างเครื่องบันทึกค่าอัตราการไหลปัสสาวะแบบจานหมุน สำหรับพกพาได้สะดวกและใช้วัสดุภายในประเทศเพื่อลดต้นทุนการจัดหาเครื่องวัด จากผลการทดลองด้วยวิธีปล่อยน้ำไหลลงสัมผัสจานหมุน และเกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่จ่ายให้กับมอเตอร์ขับเคลื่อนจานหมุน(Rotating Disc) ผลต่างแรงดันที่เกิดขึ้นจากวงจรตรวจจับ(Different Voltage) ส่งไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์(Arduino Uno R3) เพื่อควบคุมการบันทึกด้วยโปรแกรม(Paralax Excel)และจัดเก็บไว้ใน Micro SDCard ผลที่ได้จากการทดลอง จากวงจรผลต่างแรงดัน(Different Voltage)มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.077 โวลต์ ,ค่าแรงดันสูงสุดอยู่ที่ 0.278 โวลต์หรือเฉลี่ย 0.211 ค่าแรงดันที่ได้จะเปลี่ยนแปลงตามภาระไหลที่ตกกระทบแผ่นจานหมุน ค่าอัตราการไหลสูงสุด(Maximum Flowrate= 19.60 mL<sup>3</sup>/sec.) ,ค่าเฉลี่ยอัตราการไหล(Average Flowrate= 14.88 mL<sup>3</sup>/sec) ,ระยะเวลาที่เกิดอัตราการไหลสูงสุด (Time to Max. Flow= 18 Sec.) ,ปริมาตรรวม(Void Volume= 400 mL/sec.) เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยมาตรฐานตาม Table 1. ผู้ชายประมาณ 16 mL<sup>3</sup>/sec. และผู้หญิงประมาณ 18 mL<sup>3</sup>/sec. (Hann-Chong Kuo, M.D., Interpretation of Uroflowmetry 2007;2:51-55) ถ้าเทียบกับยานที่วัดจริงสามารถวัดค่าได้จริง

การพัฒนาปรับปรุงเครื่องบันทึกค่าอัตราการไหลปัสสาวะแบบจานหมุน ยังมีข้อบกพร่องอยู่ คือส่วนของวงจรขยายผลต่างแรงดันผลการออกและสร้างวงจรแรงดันเอาท์พุทค่าค่อนข้างต่ำอาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนได้ง่ายควรกำหนดอัตราการขยายให้สูงกว่านี้ อัตราการไหลที่ได้จากการวัดนั้นต้องทำการเปรียบเทียบระหว่างผลต่างแรงดันกับระยะเวลา และปริมาตรการไหลของน้ำแล้วนำมาเขียนสูตรหาความสัมพันธ์ความเร็วและอัตราการไหล ลงในโปรแกรม Paralax PLX-DAQ แล้วทำการทดลองหาค่า ซึ่งมีขั้นตอนยุ่งยาก ควรพัฒนาให้ได้โปรแกรมสำเร็จรูปให้สามารถตั้งค่าเงื่อนไขต่างๆได้ให้สะดวกยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความเมตตาช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากท่าน รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ และท่านอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ผู้อนุมติเห็นชอบในการจัดทำงานวิจัยครั้งนี้ท่าน ผศ.ดร.สิริภพ ผู้ประกายอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และความกรุณาของท่านหัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์อุตสาหกรรมและอุปกรณ์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ท่าน รศ.ดร.สุรพันธ์ ยิ้มมั่น และอาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์อุตสาหกรรมและอุปกรณ์การแพทย์ ท่านอาจารย์สุกัญญา แพรสมบุญ และนายณกรณ์ ชำชัยสิเมฆ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการวิจัยและสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

### เอกสารอ้างอิง

- วิสูตร คงเจริญสมบัติ. 2554. โรคต่อมลูกหมากโต. สมาคมศัลยแพทย์ระบบบัสตลาวะแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ โรงพยาบาลรามธิบดี. กรุงเทพฯ.
- Groetsch, C. W. 1993. Inverse Problem and Tomicelli' Law. The Collage Mathematics Journal 24: 210-217.
- Arduino Uno R3. Available online at <http://www.thaieasyelec.com/Development-Tools/Arduino/Official-Board-Made-in-Italy/Arduino-Uno.html>
- Ding T., Z. Zhang and Y. Wei. 1992. Momentum method for measuring uroflow parameters and the uroflowmeter. USA patent 5078012.
- Kim K. A., E. J. Cha and S.S. Choi. 2010. Method and system for measuring urinary flow rate. USA patent 2010/0152684.
- Micro SD Card Module. Website: <http://www.thaieasyelec.com/index.php>
- Saletta M. E., D. Tobia, and S. Gil. 2005. Experimental study of Bernoulli's equation with losses. American Journal of Physics 73: 598-609.
- Parallax Program a Board of Education style development board by adding an Arduino microcontroller. Website : <https://www.parallax.com/catalog/microcontrollers>
- Shaschke C. 1998. Fluid Mechanics, Worked examples for engineering. 141-163. Website : [www.elegance-p.com](http://www.elegance-p.com). 2015. Power Supply 35W 12VDC 3A. Elegance Power Company.
- Shroff S., S. V. Ramanan. Manual Urodynamics. Website: <http://www.medindia.net/articles/Manual-Urodynamics2.asp#3>
- UA741 Operational Amplifiers 741 (Op-amp) IC Website: <http://www.micontechlab.com/product/834/1x-ua741-operational-amplifiers-741-op-amp-ic-chip>
- Wilk A. 2014. Experimental laboratory tests of the pressure drop resulting from the liquid flow through orifices in a rotating disc. Experimental Thermal and Fluid Science 54. 297-303.
- Hann-Chong Kuo, M.D. , Interpretation of Uroflowmetry ,Incont Pelvic Floor Dysfunct 2007;2:51-55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

วัน เดือน ปีเกิด	5 ตุลาคม 2517
ที่อยู่	120/1 หมู่ 4 ตำบลนาหวาง อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง รหัสไปรษณีย์ 92210
ประวัติการศึกษา	2542 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ผลงานวิจัย	2546 ผลงานร่วมวิจัยเรื่อง <b>วงจรถักกำเนิดความถี่แบบเลื่อนเฟสโดยใช้เทคโนโลยีซีมอส</b> ตีพิมพ์ Ladkrabang Engineering Journal ,Vol.20 ,No. 3 September 2003 2560 ผลงานวิจัยเรื่อง <b>DESIGN OF UROFLOWMETRY ROTATING DISC RECORDING</b> ,ตีพิมพ์วารสาร KASERTSART JOURNAL“NATURAL SCIENCE, ประชุมเชิงวิชาการครั้งที่ 55 ,THE 55TH KASETSART UNIVERSITY ANNUAL CONFERENCE ,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , การประชุมจัดขึ้นเมื่อวันที่ 31 มกราคม ถึง 3 กุมภาพันธ์ 2560
ประสบการณ์การทำงาน	2540-2547 บริษัทบ้านสิริโฮมเทลลิ่งจำกัด ตำแหน่งหัวหน้าฝ่ายซ่อมบำรุง วิศวกรรมอาคาร 2542 รางวัลชนะเลิศ รับโล่รางวัลจัดทำโครงการอาคารอนุรักษ์พลังงานใน อาคารรุ่น 4 จัดอบรมโดย ดร.บุญพงศ์ กิจวัฒนาชัย บริษัทมิตร คอนซัลแตนท์ 2547-2561 บริษัท เซ็นทรัลพัฒนา(มหาชน) จำกัด ตำแหน่งผู้จัดการฝ่าย วิศวกรรม ฝ่ายพัฒนาและบริหารทรัพย์สิน สำนักงานใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งนี้ออกไปและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารในทุกกรณีที่มีการนำมาใช้