

โครงการวิศวกรรมชลประทาน  
(207499)

ที่ 8/2551

เรื่อง

การศึกษาพัฒนาเครื่องมือวัดความลึกน้ำในคลองชลประทาน  
Study and developing a water-level measuring instrument for irrigation channels

โดย

นายนราเศรษฐ์ เหล่ามี 47243944  
นายสหรัฐ แสงประยูร 47244108

เสนอ

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม  
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา-ชลประทาน)  
พ.ศ. 2551

ใบรับรองโครงการวิศวกรรมชลประทาน  
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เรื่อง การศึกษาพัฒนาเครื่องมือวัดความลึกน้ำในคลองชลประทาน  
(Study and developing a water-level measuring instrument for irrigation channels)

รายนามผู้ทำโครงการ นายนราเศรษฐ์ เหลามี  
นายสหรัฐ แสงประยูร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

.....  
(ดร.จิระกานต์ ศิริวิษณุไมตรี)  
...../...../.....

หัวหน้าภาควิชา

.....  
(รศ.สันติ ทองพำนัก)  
...../...../.....

## บทคัดย่อ

เรื่อง การศึกษาพัฒนาเครื่องมือวัดความลึกน้ำในคลองชลประทาน

โดย นายนราเศรษฐ์ เหล่ามี  
นายสหรัฐ แสงประยูร

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ .....  
(ดร.จิระกานต์ ศิริวิษณุไมตรี)  
...../...../.....

โครงการวิศวกรรมชลประทานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการทดสอบและพัฒนาเครื่องมือวัดความลึกแบบอัตโนมัติในต้นทุนที่ต่ำกว่าเครื่องมือที่มีอยู่โดยอาศัยหลักการของโพลลเซลล์เปลี่ยนค่าแรงดันน้ำที่โพลลเซลล์ได้รับในแนวราบ เป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าและถูกส่งแปลงเป็นค่าให้นักแสดงผลเป็นตัวเลขดิจิทัลบนจอแสดงผลและเครื่องมือวัดความลึกนี้สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อการแสดงผลและเก็บข้อมูลได้

ผลการทดลองเครื่องมือพบว่าสามารถใช้งานได้ในระดับหนึ่งซึ่งยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ โดยได้สมการเฉลี่ยจากการทดลองทั้งหมดคือ  $y=85.804x+6.211$  จากโปรแกรม Microsoft Excel ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 4.51 ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่มากที่สุดคือ 16.016 และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุดคือ 0.170 ซึ่งความคลาดเคลื่อนนี้มีปัจจัยจากตัวโพลลเซลล์และจากการออกแบบเครื่องมือ สรุปว่าเครื่องมือวัดความลึกนี้สามารถใช้ได้ในระดับหนึ่งและควรมีการพัฒนาต่อไป

## ABSTRACT

Title : Study and developing a water-level measuring instrument for an irrigation channel

By : Mr.Naraset laomee        47243944

Mr.Saharat sangprayoon 47244108

Project Advisor : .....

(Mr.Chirakarn Sirivitmaitrie)

...../...../.....

The objective of this irrigation engineering project is the experiment and the development of the Automatic Depth Measuring Tool, which is lower cost compare to the other methods. Practically, the load cell indoctrination has been utilized inside this equipment by convert water pressure value, in horizontal to resisting electric value. Subsequently, these values will have been transformed into the digital display on the monitor. Furthermore, this Automatic Depth Measuring Tool is able to connect with the computer for display and data collection.

The result of this research states that there are some little errors on the process. The average algebraic equation of equipment is  $y=85.804x+6.211$  . We use Microsoft Office Excel to compute the error. The result shows 4.51 average percent of error. The highest and lowest percent of error are 16.016 and 0.170 . The Load Cell elements and instrumental design are the major causes, affect on gained values. In conclusion, the Automatic Depth Measuring Tool works effectively although there are some incorrect values in some times. We suggest the one who interests to do develop this device more and more.

## คำนิยม

โครงการวิศวกรรมชลประทานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากการให้คำปรึกษา แนะนำของ อาจารย์จรัสกานต์ ศิริวิษณุไมตรี ประธานกรรมการที่ปรึกษาโครงการที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือ แนวคิด คำอธิบาย คำแนะนำ และอุปกรณ์เพื่อจัดทำโครงการ

ขอระลึกถึงพระคุณของคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า ขอขอบคุณผู้เขียนหนังสือและรายงานผลการศึกษาทุกเล่มที่ใช้ในการอ้างอิง ขอขอบคุณระวี อยู่สำราญ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนเพื่อนนิสิตและเจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาวิศวกรรมชลประทานทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุนในการทำการศึกษาด้วยดี

ประโยชน์อันเนื่องมาจากการศึกษาในครั้งนี้จะมีมากน้อยเพียงใดก็ตาม ขอขอบแต่ บิดามารดาที่ให้กำเนิดและสมาชิกในครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านที่เมตตาอบรมสั่งสอน และส่งเสริมจนประสบความสำเร็จในการศึกษา

นายนราเศรษฐ์ เหล่ามี

นายสหรัฐ แสงประยูร

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
คำนิยาม	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	V
สารบัญรูป	VI
บทที่ 1. บทนำ	1
1.1ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2วัตถุประสงค์	1
บทที่ 2. การตรวจเอกสาร	2
2.1 การตรวจวัดระดับน้ำของกรมชลประทาน	2
2.2 เครื่องมือวัดน้ำระดับน้ำในปัจจุบัน	2
1. เครื่องวัดระดับน้ำแบบทุ่นลอยในท่อหรือบ่อน้ำ (Float)	4
2. เครื่องวัดระดับน้ำแบบวัดความดัน	5
3. เครื่องวัดระดับน้ำแบบเสียงสะท้อน (Acoustic)	7
4. เครื่องวัดระดับน้ำแบบเรดาร์	8
2.3 หลักการทำงานของ โหลดเซลล์	9
2.4 ชนิดของ โหลดเซลล์แบบต่างๆ	10
2.5 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด	12
2.6 โครงสร้างของสเตรนเกจ	13
2.7 ระบบโหลดเซลล์	18
2.8 การหาจุดศูนย์กลางแรงดันของของไหล	20
บทที่ 3. อุปกรณ์และวิธีการ	23
3.1 อุปกรณ์สำหรับการทดสอบ	23
3.2 วิธีการทดสอบ	24
3.3 การทดสอบภาคสนาม	30
3.4 วิธีการทดสอบ	32

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4. ผลการทดลองและวิจารณ์	35
4.1 ผลการทดลองของเครื่องมือวัดความลึกน้ำ	35
4.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	35
4.4 ผลการทดลองและกราฟแสดงผล	37
บทที่ 5. สรุปและข้อเสนอแนะ	41
5.1 สรุปผลการทดลอง	41
5.2 ข้อเสนอแนะ	41
เอกสารอ้างอิง	43
ภาคผนวก	44
1. ผลการทดลองและกราฟแสดงผล	44
2. แสดงการจำลองแรงที่กระทำต่อหัววัดความลึก	53
3. สมการแรงกระทำต่อเครื่องมือ	54
4. ค่าแรงตามทฤษฎี	55
5. ข้อมูลความหนาแน่นของน้ำกับอุณหภูมิ	56
6. ข้อมูลเครื่องชั่งและเครื่องมือวัดความลึก	57
7. ค่าใช้จ่ายของโครงการ	62

## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่1	ข้อมูลค่าความคลาดเคลื่อนจากสมการที่ได้จากการกราฟข้อมูลรวม	38
ตารางที่2	ผลการทดลองที่1	44
ตารางที่3	ผลการทดลองที่2	45
ตารางที่4	ผลการทดลองที่3	46
ตารางที่5	ผลการทดลองที่4	47
ตารางที่6	ผลการทดลองที่5	48
ตารางที่7	ผลการทดลองที่6	49
ตารางที่8	ผลการทดลองที่7	50
ตารางที่9	ผลการทดลองที่8	51
ตารางที่10	ผลการทดลองที่9	52
ตารางที่11	ข้อมูลค่าแรงตามทฤษฎีกับความลึก	55
ตารางที่12	ข้อมูลความหนาแน่นของน้ำกับอุณหภูมิ	56



## สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่1	เครื่องวัดระดับน้ำแบบทุ่นลอยในท่อหรือบ่อน้ำ	4
รูปที่2	เครื่องวัดระดับน้ำแบบวัดความดันชนิด Pneumatic Bubbler Gauge	5
รูปที่3	เครื่องวัดระดับน้ำแบบวัดความดันชนิด Pneumatic Sensor Gauge	6
รูปที่4	เครื่องวัดระดับน้ำแบบเสียงสะท้อน	7
รูปที่5	เครื่องมือวัดดาวเทียม	8
รูปที่6	โพลีเอทิลีน	9
รูปที่7	โครงสร้างของสเตรนเกจและแนวแรงที่กระทำกับสเตรนเกจ	13
รูปที่8	ค้ำเบรคเซ็นเซอร์ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความไว	15
รูปที่9	ตัวอย่างกราฟของค่า Static Sensitivity	17
รูปที่10	หลักการการทำงานของระบบโพลีเอทิลีนแบบอนาล็อก	18
รูปที่11	หลักการการทำงานของระบบโพลีเอทิลีนแบบดิจิทัล	19
รูปที่12	แสดงความดันที่จุดใด ๆ ของของไหล	21
รูปที่13	อุปกรณ์สำหรับการทดสอบ	23
รูปที่14	ท่อที่ใช้ทำการทดลอง	24
รูปที่15	แสดงการวัดความยาวของสายไฟ	24
รูปที่16	นำน้ำใส่ท่อการทดลอง	24
รูปที่17	ท่อที่พร้อมทำการทดลอง	25
รูปที่18	แสดงการวัดอุณหภูมิ	25
รูปที่19	แหล่งพลังงานของหน้าจอแสดงผล	26
รูปที่20	แสดงการเชื่อมต่อศูนย์ก่อนการทดลอง	26
รูปที่21	แสดงการเอนเอียงของเครื่องมือก่อนทดลอง	27
รูปที่22	แสดงสภาพเครื่องมือเมื่ออยู่ในท่อทดลอง	27
รูปที่23	แสดงระยะที่อ่านค่าจากเครื่องมือ	28
รูปที่24	แสดงค่าน้ำหนักจากหน้าจอแสดงผล	28
รูปที่25	สะพานหลังสโมสรคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน	31
รูปที่26	สะพานข้างตึกไป โอเทค ม. เกษตรศาสตร์ กำแพงแสน	31
รูปที่27	คลองชลประทาน บ่อ1 ม. เกษตรศาสตร์ กำแพงแสน	32
รูปที่28	แสดงการใช้แท่งหยั่งความลึก	32
รูปที่29	แสดงการวัดระยะจากแท่งวัดความลึก	33
รูปที่30	แสดงการวัดอุณหภูมิ	33

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า	
รูปที่31	แสดงการนำเครื่องมือหย่อนลงในน้ำ	34
รูปที่32	กราฟแสดงผลการทดลองรวมทุกการทดลอง	37
รูปที่33	กราฟแสดงผลการทดลองที่1	44
รูปที่34	กราฟแสดงผลการทดลอง2	45
รูปที่35	กราฟแสดงผลการทดลอง3	46
รูปที่36	กราฟแสดงผลการทดลอง4	47
รูปที่37	กราฟแสดงผลการทดลอง5	48
รูปที่38	กราฟแสดงผลการทดลอง6	49
รูปที่39	กราฟแสดงผลการทดลอง สะพานหลังสโสมสรณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน	50
รูปที่40	กราฟแสดงผลการทดลอง สะพานข้างตึกไปโอเทล ม.เกษตรศาสตร์ กำแพงแสน	51
รูปที่41	กราฟแสดงผลการทดลอง คลองชลประทาน บ่อ1 ม. เกษตรศาสตร์ กำแพงแสน	52
รูปที่42	แสดงการจำลองแรงที่กระทำต่อหัววัดความลึก	53
รูปที่43	กราฟแสดงค่าแรงตามทฤษฎี	55
รูปที่44	เครื่องชั่งน้ำหนัก	57
รูปที่45	Drawing หัววัดความลึก	58
รูปที่46	แสดงปุ่มของหน้าจอแสดงผล	59
รูปที่47	แสดงแหล่งพลังงานของหน้าจอแสดงผล6x D	60
รูปที่48	Drawing ตัวโหนดเซลล์	61

## บทที่ 1

### บทนำ

ปัจจุบันเครื่องมือวัดระดับน้ำมีอยู่หลายแบบ เช่น แบบ Ultrasonic ,แบบ Pressure gauge, แบบ Float เป็นต้น แต่เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบต่างๆ ที่ใช้อยู่ในกรมชลประทานนั้นส่วนมาก จะจัดหาด้วยวิธีการจัดซื้อมาใช้งานมากกว่าวิธีการทำเอง ซึ่งมีราคาสูง ในการตรวจวัดความลึกน้ำในประเทศไทยต้องมีการตรวจวัดความลึกน้ำโดยใช้เครื่องวัดความลึกน้ำอยู่หลายสถานีมากมาย การที่จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการวัดความลึกน้ำจึงเกิดเครื่องวัดความลึกน้ำขึ้น เครื่องวัดที่อยู่ตามสถานีเดิมที่ใช้อยู่ก็มีความแม่นยำแต่ยังมีราคาที่สูง จึงมีการคิดประดิษฐ์เครื่องวัดความลึกที่มีความแม่นยำยอมรับได้ สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้มีคุณภาพและมีต้นทุนที่ต่ำกว่าที่มีอยู่ โดยประยุกต์จากอุปกรณ์ข่งน้ำหนัก โดยใช้หลักการของตัวไหลคเซลล์ และหลักการของแรงดันน้ำ เครื่องวัดความลึกน้ำตัวนี้เป็น โมเดลเริ่มแรกเพื่อการพัฒนาต่อไป โดยให้มีความกระทัดรัดและความแม่นยำและต้นทุนต่ำ ถ้าเครื่องมือชิ้นนี้สำเร็จจะช่วยให้ประหยัดงบประมาณค่าใช้จ่ายได้อย่างมากมายเนื่องจากมีต้นทุนต่ำและประดิษฐ์ได้โดยไม่ซับซ้อน

### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาเครื่องมือวัดทางชลศาสตร์แบบวัดความดัน ทั้งนี้การศึกษาจะรวมถึงการศึกษาจุดเด่นจุดด้อยข้อจำกัด ออกแบบการทดลองติดตามผลตรวจวัดทั้งในภาคสนามและในห้องปฏิบัติการ การวิเคราะห์จะใช้เครื่องมือทางคณิตศาสตร์และสถิติเข้าช่วย แล้วจึงทำการปรับแก้ หากความเที่ยงตรงของเครื่องมือทั้งในภาคทฤษฎีและปฏิบัติ

## บทที่ 2

### การตรวจเอกสาร

#### ความเป็นมา

ภารกิจหนึ่งของกรมชลประทานคือ การพัฒนาแหล่งน้ำเพื่อการชลประทาน รวมทั้งการป้องกันและบรรเทาอุทกภัย จึงต้องมีการตรวจวัดระดับน้ำตามแม่น้ำลำคลองและแหล่งน้ำสำคัญต่างๆ จากหลักฐานพบว่ากรมชลประทานได้ตั้งเสาสำรวจระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาครั้งแรกบริเวณวัดพิศกุลทอง บ้านท่าหาด อ.วัดสิงห์ จ.ชัยนาทตั้งแต่ปี พ.ศ.2448 โดยมีการพัฒนาเครื่องวัดระดับน้ำเรื่อยมา จากเสาสำรวจระดับน้ำ เป็นเครื่องวัดระดับน้ำอัตโนมัติแบบหุ่นลอยและRemote Control ในปัจจุบันกรมชลประทานได้ติดตั้งสถานีวัดระดับน้ำ ตามแม่น้ำลำคลองและแหล่งน้ำ ต่างๆ ทั่วประเทศ มากกว่า 500 สถานี

#### เครื่องมือวัดน้ำระดับน้ำในปัจจุบัน

การวัดระดับน้ำตั้งแต่สมัยโบราณ กระทำโดยเครื่องมืออย่างง่ายไม่ซับซ้อนมากนัก เช่น การทำเครื่องหมายในบริเวณที่ต้องการวัดระดับน้ำโดยตรง การใช้ไม้บรรทัดติดตั้งบริเวณท่าเรือและมีผู้จดบันทึกระดับน้ำ จนกระทั่งมีการประดิษฐ์อุปกรณ์วัดระดับน้ำอัตโนมัติ การวัดระดับน้ำในวงกว้างและต่อเนื่องอย่างยาวนาน จึงสามารถดำเนินการได้อย่างสะดวก ปัจจุบันมีอุปกรณ์วัดน้ำหลากหลายรูปแบบ ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นผลจากความต้องการวัดระดับน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาอันเนื่องมาจากอิทธิพลของคลื่นจากต้นกำเนิดอื่นๆที่ไม่ใช่อิทธิพลทางดาราศาสตร์รวมอยู่ด้วย อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์วัดระดับน้ำอัตโนมัติในปัจจุบันส่วนใหญ่สามารถจัดอยู่ในแบบใดแบบหนึ่งในสี่แบบหลักดังนี้

ก.แบบหุ่นลอย(Float) ในท่อหรือบ่อน้ำ ซึ่งจะขจัดการรบกวนของคลื่น โดยการออกแบบท่อหรือบ่อน้ำที่เหมาะสม

ข.แบบวัดความดัน(Pressure gauge) ซึ่งจะวัดความกดดันของน้ำจากใต้น้ำ แล้วแปลงเป็นความสูงของน้ำเหนืออุปกรณ์วัด โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน ความหนาแน่นของน้ำ อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง และความสูงของน้ำ

ค.แบบเสียงสะท้อน(Acoustic) ซึ่งวัดเวลาที่คลื่นเสียงเดินทางจากอุปกรณ์ตรวจวัด กลับมายังอุปกรณ์ภาครับ และความเร็วของเสียงในน้ำ นำมาหาระยะทางที่คลื่นเสียงเดินทาง

ง.แบบเรดาร์(Radar) หลักการเดียวกับแบบเสียงสะท้อน (Acoustic) แต่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแทนคลื่นเสียง

ในแต่ละแบบหลักมีการใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกัน รวมทั้งมีทฤษฎีการออกแบบที่ไม่เหมือนกันอีกด้วย นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ที่ใช้แท่งหรือหลอดความต้านทานหรือการนำไฟฟ้า ในการวัดระดับน้ำด้วยแต่ไม่เป็นที่นิยม ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีใหม่ๆ เช่น วิธี Global Position System (GPS) Reflection สามารถเปิดประตูสู่ความก้าวหน้าที่ซับซ้อนใหม่ซึ่งอาจมีความสำคัญยิ่งในอนาคต

เครื่องมือใหม่ๆ เหล่านี้ สามารถวัดระดับน้ำได้ด้วยความแม่นยำระดับ 1 เซนติเมตร หากได้รับการดูแลและใส่ใจอย่างจริงจังซึ่งเพียงพอสำหรับงานทั่วไป การเลือกเครื่องมือในการวัดระดับน้ำ มีข้อจำกัดในทางปฏิบัติหลายประการ รวมทั้งราคา ความยากง่ายในการติดตั้ง ซ่อมบำรุงและดูแลรักษาเป็นต้น การใช้เครื่องมือที่ซับซ้อนมีซอฟต์แวร์ยุ่งยากเป็นทางเลือกที่ขาดความเหมาะสม หากขาดบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถ และทรัพยากรในการซ่อมบำรุงที่เพียงพอ

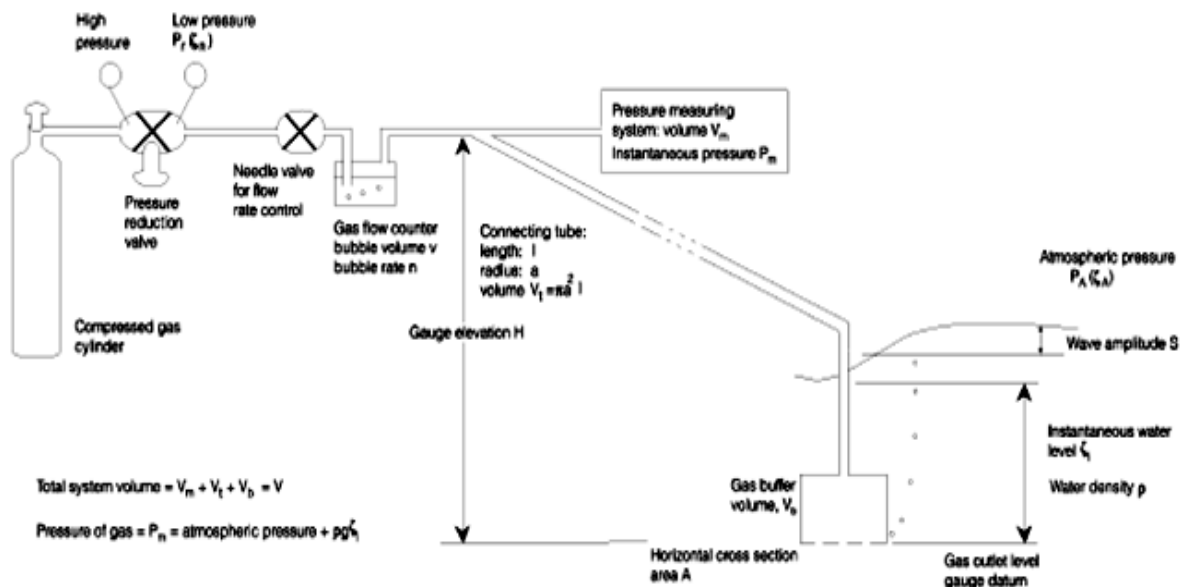


## 2. เครื่องวัดระดับน้ำแบบวัดความดัน (Pressure gauge)

เครื่องวัดความดันน้ำแทนการวัดระดับผิวน้ำโดยตรงเป็นที่นิยมใช้มาก การคำนวณความสูงของผิวน้ำจากหัววัดต้องการข้อมูล ความหนาแน่นของน้ำ อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง ระบบนี้มีข้อได้เปรียบกว่าระบบอื่นจากการที่สามารถติดตั้งได้ง่าย สามารถแบ่งได้สองชนิดคือ

### 2.1 Pneumatic Bubbler Gauge

เป็นเครื่องวัดระดับน้ำแบบวัดความดัน ซึ่งเป็นที่นิยมในหลายทศวรรษที่ผ่านมา โดยเข้ามาแทนที่เครื่องวัดระดับน้ำแบบทุ่นลอยในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา และอังกฤษ เป็นต้น แม้ว่าในสหรัฐอเมริกาก็จะถูกแทนที่ด้วยเครื่องวัดระดับน้ำแบบเสียงสะท้อน (Acoustic) แล้ว แต่ในอังกฤษระบบนี้ยังมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากความเชื่อถือได้ในความแม่นยำและเสถียรของระดับอ้างอิง และเป็นแบบที่สามารถวางอุปกรณ์วัดระดับน้ำห่างจากฝั่งได้หลายร้อยเมตร แยกจากอุปกรณ์บนฝั่ง โดยไม่จำเป็นต้องสร้างโครงสร้างในแนวตั้งรองรับ

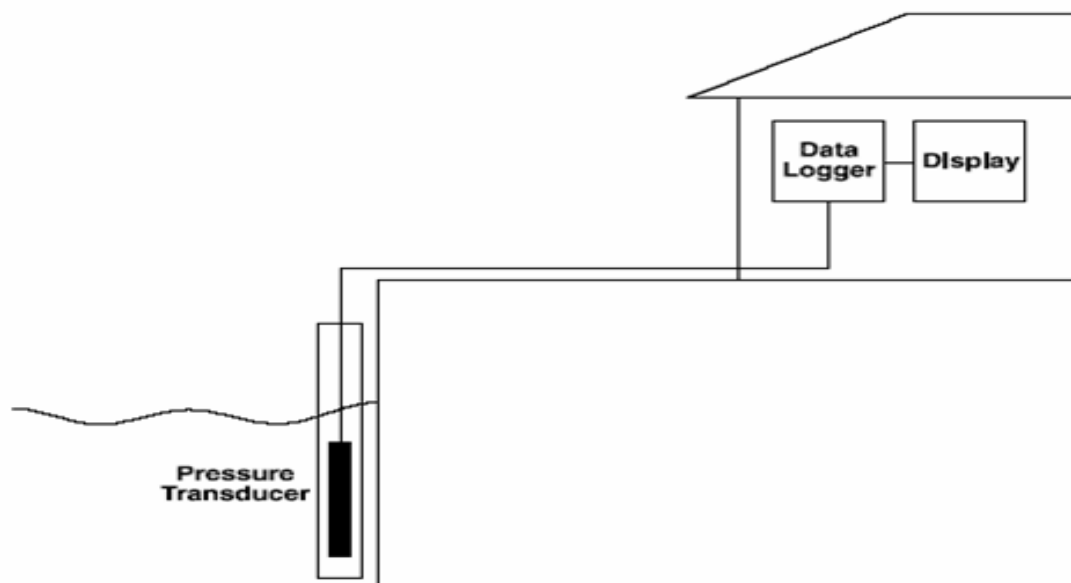


รูปที่ 2. เครื่องวัดระดับน้ำแบบวัดความดันชนิด Pneumatic Bubbler Gauge\*<sup>1</sup>

Pneumatic Bubbler Gauge ประกอบด้วยปั๊มลม (Air Compressor) ซึ่งจะสร้างความดันผ่านท่อเชื่อม (Connection Tube) ซึ่งเชื่อมกับกระบอกที่มีปลายด้านบนปิด สามารถกักอากาศไว้ ด้านล่างเปิดให้อากาศสามารถหนีออกจากกระบอกได้ กระบอกนี้จะติดตั้งในระดับที่ลึกกว่าระดับน้ำลงต่ำสุด เป็นระยะพอสมควร ระดับกลางกระบอกจะมีช่องเล็กๆ ซึ่งจะปล่อยให้อากาศไหลออกจากกระบอกช้าๆ ดังนั้นหากอัตราการไหลของอากาศช้าพอดี และท่อเชื่อมไม่ยาวมากเกินไป ความดันระบบจะเท่ากับความดัน ณ ระดับที่อากาศสามารถไหลผ่านช่องเล็กๆกลางกระบอกกักอากาศซึ่งเป็นความดันของน้ำรวมกับความกดอากาศ อุปกรณ์วัดความดันที่ติดตั้งบนฝั่งจะสามารถวัดความดันนี้และคำนวณเป็นความสูงของระดับน้ำได้ โดยอาจแยกวัดความกดอากาศต่างหากหรือมีท่อเปิดให้อากาศผ่านอย่างอิสระแล้ววัดความดันที่แตกต่างกันได้โดยตรงก็ได้

## 2.2 Pressure Sensor Gauge

เป็นระบบที่หัววัดความดันติดตั้งใต้น้ำโดยตรง ซึ่งเชื่อมต่ออุปกรณ์สนับสนุนเหนือน้ำทางเคเบิลส่งข้อมูลและกำลังไฟฟ้า ซึ่งอาจวัดความดันสัมบูรณ์ หรือมีท่อเปิดให้อากาศผ่านอย่างอิสระแล้ววัดความดันที่แตกต่างกันได้เช่นเดียวกับ Pneumatic Bubbler Gauge หัวตรวจวัดมีราคาไม่สูงจะเป็น Strain Gauge หรือ Ceramic การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำส่งผลให้เกิดความเปลี่ยนแปลงความต้านทานหรือความจุในส่วนที่เป็รับความดันระบบที่มีความแม่นยำสูงที่สุดคือ ระบบที่ใช้แร่ควอทซ์ เป็นต้นกำเนิดความถี่เมื่อแร่ได้รับความดันซึ่งเป็นระบบที่มีราคาสูงที่สุดด้วย

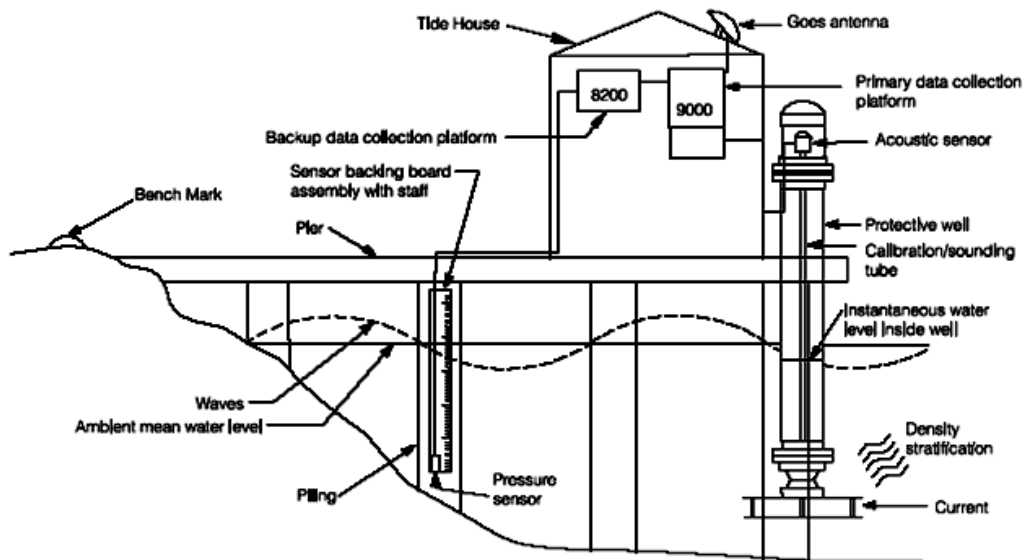


รูปที่ 3. เครื่องวัดระดับน้ำแบบวัดความดันชนิด Pneumatic Sensor Gauge\*<sup>1</sup>



### 3. เครื่องวัดระดับน้ำแบบเสียงสะท้อน (Acoustic)

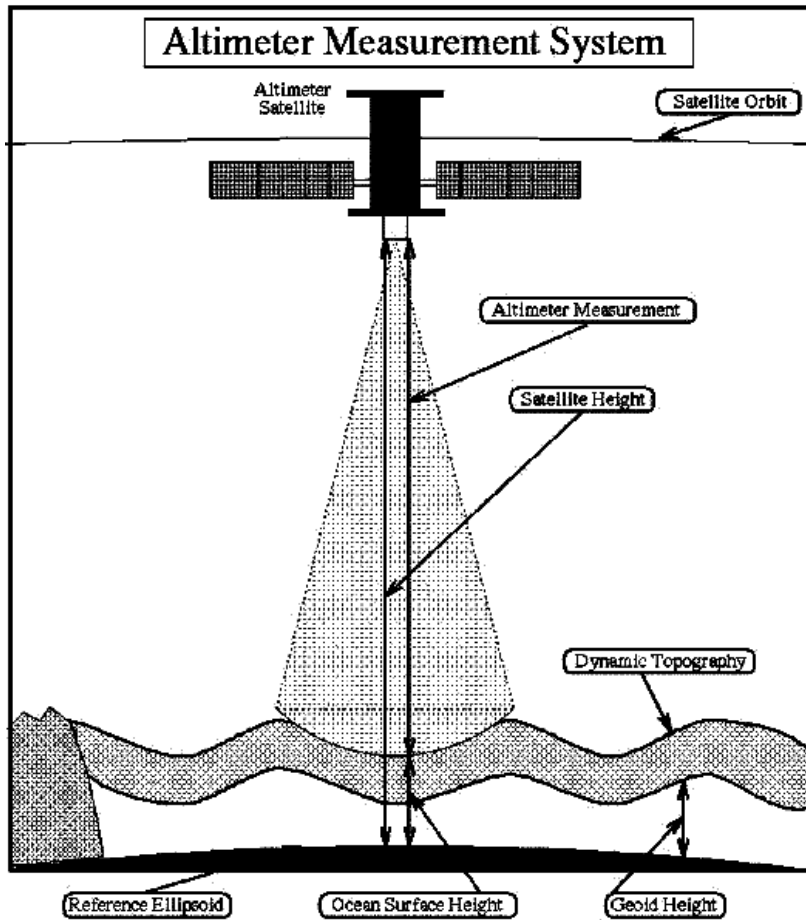
เป็นเครื่องวัดระดับน้ำที่ประกอบด้วย หัวส่งคลื่นเสียง ไปยังผิวน้ำ คลื่นเสียงจะสะท้อนกลับมายังภาครับเมื่อวัดเวลาที่คลื่นเดินทางจากอุปกรณ์ส่งและเดินทางกลับมายังอุปกรณ์ภาครับและหากทราบความเร็วเสียงในน้ำ ณ เวลาตรวจวัดระดับน้ำจะสามารถคำนวณหาระยะทางที่คลื่นเสียงเดินทางได้ ในทางทฤษฎีแล้ว เครื่องวัดระดับน้ำแบบนี้สามารถติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดเหนือน้ำได้ อย่างไรก็ตามหากผิวน้ำมีคลื่นมาก สัญญาณที่สะท้อนกลับอาจมาสมบูรณ์ได้และเนื่องจากความเร็วเสียงมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ(0.17%ต่อ1องศาเซลเซียส) ดังนั้นจึงนิยมติดตั้งในท่อที่สามารถลดคลื่นได้และป้องกันอุปกรณ์ส่ง-รับ คลื่นเสียงได้ และมีอุปกรณ์วัดอุณหภูมิตลอดความยาวท่อ วิธีที่ให้ผลแม่นยำกว่าคือ ติดแผ่นสะท้อนเสียงที่ระยะห่างที่แน่นอนเพื่อสามารถเปรียบเทียบความเร็วเสียงได้โดยตรง



รูปที่ 4. เครื่องวัดระดับน้ำแบบเสียงสะท้อน\*<sup>1</sup>

#### 4. เครื่องวัดระดับน้ำแบบเรดาร์(Radar)

เป็นเครื่องวัดระดับน้ำที่มีการทำงานแบบเดียวกับเครื่องวัดระดับน้ำแบบเสียงสะท้อน แต่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแทนคลื่นเสียง มีข้อได้เปรียบสำคัญคืออุณหภูมิและความดันอากาศที่มีผลต่อความเร็วคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าน้อยมาก แต่มีข้อเสียที่สำคัญคือโดยทั่วไปจะมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงมากซึ่งเป็นข้อจำกัดในการติดตั้งระบบวัดระดับน้ำในที่ซึ่งห่างจากแหล่งพลังงานที่เหมาะสม



รูปที่ 5. เครื่องมือวัดดาวเทียม\*<sup>10</sup>

## หลักการทํางานของโหลดเซลล์

การออกแบบโหลดเซลล์จะขึ้นอยู่กับชนิดของสัญญาณที่จะออกจากตัวโหลดเซลล์เป็นสำคัญ เช่น สัญญาณออกที่ต่อเข้ากับระบบนิวมेटริกไฮดรอลิก หรือไฟฟ้า นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงชนิดของแรงที่ต้องการวัด แรงบิด แรงเฉือน แรงกด แรงคัต เป็นต้น โหลดเซลล์จะเปลี่ยนแรงที่มากระทำเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า โหลดเซลล์จะเป็นตัวกลางที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน โดยมีขั้วไฟฟ้าต่อทั้งสองด้านของโหลดเซลล์เพื่อให้กระแสไฟฟ้าครบวงจรเมื่อตัวโหลดเซลล์มีแรงมากระทำ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างเกิดแรงstressและstrain กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวโหลดเซลล์จะเกิดความต้านทานไฟฟ้า ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมีการเปลี่ยนแปลงไป กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านได้น้อยลง โดยค่าความต้านทานจะถูกส่งเป็นสัญญาณไปยังตัวไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อกำหนดออกมาเป็นตัวเลข โดยแรงที่กระทำบนตัวโหลดเซลล์จะมีผลกับความต้านทานและความต้านทานจะถูกเปลี่ยนเป็นค่าน้ำหนักที่มากระทำ ตัวโหลดเซลล์ที่ใช้วัดทำขึ้นด้วยโลหะอลูมิเนียม โดยมีการออกแบบขนาดให้เหมาะสมกับงานที่ใช้วัดและให้ค่าเกิดความสัมพันธ์กับข้อมูล โดยค่าที่ได้จะเป็นค่าเชิงเส้นตรง กราฟของแรงที่กระทำบนโหลดเซลล์กับน้ำหนักที่ได้ออกมา ปัจจัยที่จะมีผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนหรือทำให้กราฟเป็นเส้นตรงน้อยลงคืออุณหภูมิเพราะอุณหภูมิมีผลต่อตัวโหลดเซลล์ที่ทำจากอลูมิเนียมอาจทำให้ค่าเปลี่ยนแปลงได้น้อยลง



รูปที่ 6. โหลดเซลล์อลูมิเนียม\*<sup>2</sup>

## ชนิดของไหลเซลล์แบบต่างๆ

1. โหลดเซลล์แบบไฮดรอลิก วัตถุประสงค์จากการเปลี่ยนแปลงความดันของของเหลวภายในระบบเมื่อมีแรงกระทำที่แท่นรับน้ำหนักในโหลดเซลล์แบบไฮดรอลิกที่มีแผ่นไดอะแฟรม แรงจะถูกส่งผ่านลูกสูบเป็นผลให้ของเหลวภายในช่องแผ่นไดอะแฟรมถูกกดอัด การวัดแรงที่เกิดขึ้นสามารถวัดได้จากความดันของของเหลว ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับแรงดันของของเหลวนี้ มีลักษณะเป็นแบบเชิงเส้น โดยไม่ขึ้นกับอุณหภูมิและปริมาณของของเหลวในกระบอกสูบ ถ้าโหลดเซลล์แบบนี้ได้รับการติดตั้งหรือสอบเทียบที่เหมาะสม ความแม่นยำในการวัดควรจะอยู่ที่ 0.25% ของช่วงการวัดเต็มสเกลหรือดีกว่านั้น ระดับความแม่นยำนี้เป็นที่ยอมรับได้ในงานอุตสาหกรรมทั่วไป เนื่องจากเครื่องมือวัดแบบนี้ไม่ต้องใช้ไฟฟ้า จึงเหมาะที่จะใช้ในพื้นที่ที่อันตราย ข้อเสียของโหลดเซลล์แบบไดอะแฟรมนี้ คือสามารถรับแรงสูงสุดได้ไม่เกิน 1000 psig ในงานที่ต้องการวัดแรงดันสูงจะต้องใช้โหลดเซลล์แบบที่มีไดอะแฟรมทำด้วยโลหะซึ่งสามารถรับน้ำหนักได้ถึง 10,000,000 ปอนด์

2. โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ จะเปลี่ยนแรงที่มากระทำเป็นสัญญาณไฟฟ้า เครื่องมือวัดแบบนี้ยึดติดกับโครงสร้างที่มีการเปลี่ยนรูปเมื่อมีแรงหรือน้ำหนักมากระทำ ส่วนใหญ่แล้วมักจะใช้เกจวัดความเครียด 4 ตัว ในการวัดเพื่อให้ได้ความไวสูงสุดและมีการชดเชยผลของอุณหภูมิขณะทำการวัดด้วย เกจทั้งสี่จะเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อช่วยในการปรับตั้งค่าชดเชยวงจร โดยทั่วไปเกจ 2 ตัวจะอยู่ในสภาพถูกดึงและอีก 2 ตัวอยู่ในสภาพถูกกด ดังแสดงในรูปที่ 3 เมื่อมีน้ำหนักมากระทำ ความเครียดจะเปลี่ยนเป็นความต้านทานทางไฟฟ้าในสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่มากระทำ

3. โหลดเซลล์แบบวัดความเค้นโดยตรง ใช้คานแบบที่วัดแรงดัดนั่นเอง แต่ติดตั้งอยู่ในแนวของเสาหรือสิ่งที่จะต้องรับแรง คานจะจับยึดในแนวตั้งพร้อมด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด 2 ตัวที่ติดอยู่ในแนวเดียวกับเสา และอีก 2 ตัวจะติดอยู่ในแนวขวางของเสา เสาอาจจะเป็นสี่เหลี่ยม วงกลมหรือวงกลมที่มีการแตงผิวให้เรียบเพื่อให้เหมาะกับการติดอุปกรณ์วัดความเครียดก็ได้ นอกจากนี้ตัวกล่องยังป้องกันอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดไม่ให้เกิดความเสียหายจากสภาพแวดล้อม กล่องของเซลล์จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1-1/2 นิ้ว ซึ่งรับแรงได้ 100-500 ปอนด์ สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลาง 6-1/2 นิ้วซึ่งเหมาะสำหรับการชั่งรถบรรทุกถังและถังเก็บที่รับน้ำหนักได้ถึง 500,000 ปอนด์

4. **ไพโซรีซิสทีฟ (Piezoresistive)** มีการทำงานเหมือนกับเกจวัดความเครียด แต่ไพโซรีซิสทีฟ สามารถผลิตสัญญาณออกมาได้ในระดับสูงจึงเหมาะสำหรับเครื่องชั่งน้ำหนักที่ไม่ซับซ้อนในการวัด เนื่องจากสามารถต่อเข้าโดยตรงกับส่วนแสดงผล อย่างไรก็ตามเครื่องมือวัดลักษณะนี้ได้รับความนิยมลดลงเรื่อย ๆ เพราะไพโซรีซิสทีฟยังมีข้อเสียคือความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่ออกกับน้ำหนักที่วัดมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น อุปกรณ์ที่ใช้หลักการการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก อุปกรณ์ลักษณะนี้จะตรวจวัดการเคลื่อนที่ของแกนแม่เหล็ก โดยวัดการเหนี่ยวนำของขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป ในที่นี้การเคลื่อนที่ของแกนเหล็กจะแปรผันโดยตรงกับน้ำหนักที่วัดนั่นเอง

5. **แมกเนโตสเตริกทีฟ (Magnetostrictive)** การทำงานของเซนเซอร์แบบนี้ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงในการแผ่สัญญาณแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรที่อยู่ภายใต้แรงที่มากระทำ แรงทำให้เกิดการผิดรูปของสนามแม่เหล็กและจะให้เกิดสัญญาณที่เป็นสัดส่วน โดยตรงต่อแรงที่มากระทำ อุปกรณ์ตรวจวัดนี้มีความทนทานมากและยังคงมีใช้อยู่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมที่มีการรีดโลหะแผ่น

## โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด

ส่วนประกอบที่เป็นสปริงในโพลีเซลล์มีลักษณะเป็นคาน สามารถตอบสนองโดยตรงต่อความเค้นที่มาจากแรงดึง การกด การค้ำ หรือการเฉือน โดยทั่วไปแล้วจะเรียกชื่อตามลักษณะของการวัด เช่น คานค้ำ คานเฉือน เสาสูง ทรงกระบอก เกลียวและอื่น ๆ และแบบที่นิยมที่สุดในการวัดน้ำหนักในอุตสาหกรรมมีอยู่ 2 ชนิด คือแบบวัดแรงค้ำ และ แบบวัดแรงเฉือน

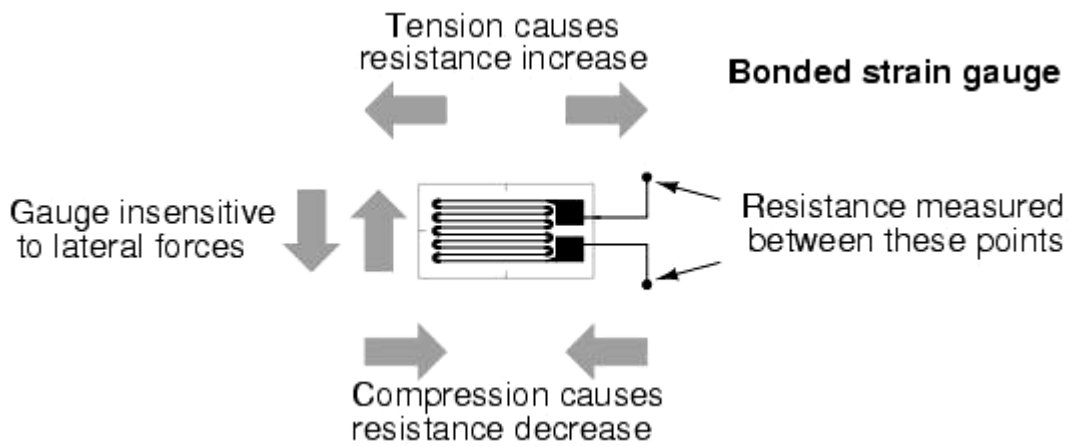
-**เซนเซอร์แบบคานค้ำ** เป็นหนึ่งในการออกแบบโพลีเซลล์ที่นิยมที่สุด เนื่องจากการใช้งานไม่ซับซ้อนและมีราคาไม่แพง อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดจะติดอยู่ทั้งด้านบนและด้านล่างเพื่อวัดแรงดึงและแรงกด จึงมีการใช้ยางยืดคลุมเพื่อป้องกันตัวคานที่ทำจากโลหะผสมซึ่งมีความทนทานสูงและเคลือบด้วยนิเกิล ในการวัดน้ำหนักหรือแรง เช่น ในเครื่องมือทางการแพทย์ หุ่นยนต์ คานของเครื่องมือวัดจะมีขนาดเล็กและสามารถใช้วัดแรงสูงสุดถึง 40 ปอนด์ (18 กิโลกรัม) ในกรณีที่แรงไม่เกิน 230 กรัม ตัวคานจะทำจากโลหะผสมทองแดงกับเบอริลเลียม ในกรณีที่ภาระมากกว่านั้นคานจะทำจากสเตนเลสเคลือบผิวด้วยยูรีเทน

-**เซนเซอร์แบบแหวน** อุปกรณ์ตรวจวัดแบบนี้จะใช้คานที่มีรูปร่างกลมแบน ประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดที่ติดอยู่กับกล่องสเตนเลส เครื่องมือวัดจะมีกลไกเพื่อจำกัดการเคลื่อนที่ของแรงและควบคุมให้แนวแรงผ่านไปยังจุดกึ่งกลางของแผ่นวงกลม เครื่องมือที่วัดแรงกดอัดและแรงดึงจะมีเกลียวที่จุดกึ่งกลางของตัวเครื่องมือวัด ส่วนแผ่นไดอะแฟรมจะติดอยู่ที่บริเวณเซนเซอร์ที่รับแรง

-**เซนเซอร์แบบวัดแรงเฉือน** ใช้วัดแรงเฉือน ส่วนเซนเซอร์ใช้วัดแรงค้ำไม่สามารถใช้วัดแรงเฉือนได้เนื่องจากความเค้นเฉือนจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามระดับความลึกของพื้นที่หน้าตัดของคาน คานสำหรับวัดแรงเฉือนจะเป็นคานรูปตัวไอ (I-beam) อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดจะติดอยู่บนคานและใต้คานด้านละ 1 คู่ โดยที่แนวของอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดจะยาวตามแกนหลัก ข้อดีเซนเซอร์แบบวัดแรงเฉือนเมื่อเทียบกับเซนเซอร์แบบวัดแรงค้ำ คือสามารถตรวจวัดแรงด้านข้างและแรงพลวัตได้เพราะสามารถกลับสู่จุดศูนย์ได้เร็วกว่า

โครงสร้างของสเตรนเกจ

เส้นโลหะตัวนำเส้นเดียวไม่สามารถนำมาใช้แปะบนสเตรนเกจได้ เนื่องจากปัจจัยของความต้านทานรวมของเกจและพื้นที่ที่รับแรงดึงนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มความยาวของตัวนำและลดขนาดพื้นที่ของเกจ เส้นโลหะตัวนำของสเตรนเกจจึงได้ถูกผลิตให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กจนสามารถรวมกันเป็นกลุ่มมัดขนาดเล็กจะ มีชื่อเรียกว่ากริด (Grid) สำหรับเมทาลิกสเตรนเกจขบวนการในการผลิตกริดที่นิยมใช้คือ (Photoetching process) เนื่องจากขบวนการนี้สามารถผลิตกริดที่มีรูปร่างและขนาดหลากหลายตามต้องการจากเส้นโลหะที่มีขนาดเล็กๆ ได้ สวิตช์และสวิตช์ปลายของขดลวดตัวนำจะถูกออกแบบให้มีขนาดใหญ่เพื่อให้ง่ายต่อการเชื่อมติดเข้ากับวงจรทางไฟฟ้าเรียกว่า จุดเชื่อมต่อ (Solder)



รูปที่ 7 โครงสร้างของสเตรนเกจและแนวแรงที่กระทำกับสเตรนเกจ\*<sup>2</sup>

เนื่องจากกริดภายในสเตรนเกจ มีคุณสมบัติเปราะบางและง่ายต่อการเสียหาย ดังนั้นในขบวนการผลิตจะมีการนำแผ่นพลาสติกบางๆ มาใช้แปะบนพื้นรองและตัวนำพา โดยมีการทำเครื่องหมาย ที่กึ่งกลางของความยาวของเกจให้ง่ายในการติดตั้งและยังทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนให้กับเกจกับวัสดุที่นำไปติดตั้งได้อีกด้วย วัสดุที่นำมาใช้แปะบนตัวนำพา มีอยู่หลายชนิดขึ้นอยู่กับงานที่นำไปใช้ ได้แก่

- Polyimide Plastic ใช้กับงานทั่วไป
- Epoxy ใช้กับงานที่ต้องการความแม่นยำและความเปราะบางสูง

นสูง

-Glass-Reinforced Epoxy ใช้กับงานที่มีความเครียดสูงและอุณหภูมิสูงมากๆ ตัวนำพาจะสามารถเอาออกได้ในขณะติดตั้ง แล้วยังใช้การ

เซรามิกทำเพื่อให้อุปกรณ์รักษาโครงสร้างของกริดและความเปราะบางของกริดกับวัสดุที่ใช้อุปกรณ์ติดตั้ง

**-เมทัลลิกสเตรนเกจ (Metallic Strain Gauge)**

หลักการทำงานจากค่านิยามของความเครียด ที่กลึงลวดบางจนลวดนำวัสดุที่นำมาใช้เปราะบางตัวนำทางไฟฟ้าจะนำไปสู่ความเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าของตัวนำ โดยใช้สมการดังนี้

$$R = \frac{\rho L}{A} \dots\dots\dots(1)$$

- ρ = สภาพต้านทานไฟฟ้า
- L = ความยาวของตัวนำ
- A = พื้นที่หน้าตัด

นั่นหมายความว่าเมื่อมีแรงกระทำกับสเตรนเกจจะมีผลทำให้เกิดความเครียดขึ้นภายใน กริดของสเตรนเกจ หรือมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับความยาวและพื้นที่ของกริด ส่งผลให้ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของสเตรนเกจนั้นมีค่าเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังสมการ

$$dR = \frac{A(\rho dL + Ld\rho) - \rho LdA}{A^2} \dots\dots\dots(2)$$

หรือเขียนในเทอมของ Poisson's ratio, ν

$$\frac{dR}{R} = \frac{dL}{L}(1 + 2\nu_p) + \frac{d\rho}{\rho} \dots\dots\dots(3)$$

ค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปจะแปรผันด้วยปัจจัยปริมาณของแรงที่ใดก็ตามกระทำต่อสเตรนเกจ ขณะนั้นด้วยหลักการดังกล่าวทำให้สเตรนเกจสามารถนำมาใช้เป็นตัวตรวจวัดแรงและความดันได้



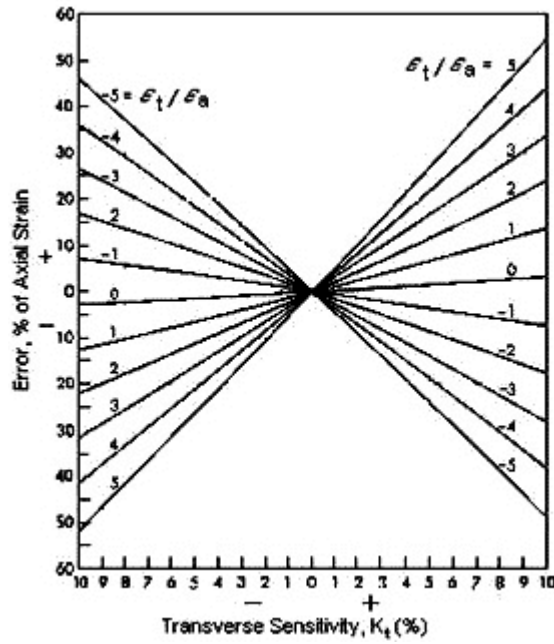
- เกจแฟกเตอร์ (Gauge Factor)

ในการพิจารณาคุณสมบัติของสเตรนเกจ ตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญ คือ เกจแฟกเตอร์ ตัวแปรนี้จะเป็ นตัวแปรที่บ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของความตึงทานไฟฟ้ าใน ตัวสเตรนเกจ โดย ส่วนมากค้ าเกจแฟกเตอร์ จะถูกระบุให้ จากโรงงานผู้ผลิตเพื่อ ให้ ง้ ายในการพิจารณาเกจแฟกเตอร์ สามารถเขียนให้ อยู่ในรูปสมการ ดังนี้

$$GF = \frac{dR}{R} / \frac{dL}{L} \dots\dots\dots(4)$$

ดังนั้น เกจแฟกเตอร์ (GF) คือ ค้ าการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดของความตึงทาน ในสเตรนเกจ ภายใต้สภาวะรับโหลดของการปรับเทียบค้ า (Calibration loading condition) โดยปกติสภาวะรับโหลดของการปรับเทียบค้ าจะหมายถึงสภาวะที่เกิดสนามแรง เกรียดขึ้นสองแนวแกน ดังนั้น ย่อมทำให้ ความไวในแนวทแยงมุม (Transverse sensitivity) มีผลต่อผลลัพธ์ที่ถูกวัด

โดยทั่วไป เกจแฟกเตอร์ จะถูกวัดในสนามแนวแรงเกรียดสองแกนที่เกิดจากการ โ ค้งองของคานที่มีค้ า Poission ratio = 0.285 ดังนั้นสำหรับสนามแรงเกรียดในแนวแกน อื่นๆ จะ ก้ ่อให้เกิดค้ าความคลาดเคลื่อนขึ้น



รูปที่ 8.ค □าเปอร์ □ เซ็นต □ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความไว\*<sup>2</sup>

เนื่องจากความไวในแนวทแยงมุมของสเตรนเกจ ค □าเปอร์ □ เซ็นต □ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความไวในแนวทแยงมุมของสเตรนเกจที่ติดบนวัตถุใดๆที่ทิศทางในแนวแรงเครียดใดๆ  $\epsilon_t$  สามารถแสดงได้ □ ดังนี้

$$e_t = \frac{K_t \left( \frac{\epsilon_t}{\epsilon_a} + V_p \right)}{1 - V_p K_t} \times 100 \dots\dots\dots(5)$$

**-เซมิคอนดักเตอร์ □ สเตรนเกจ (Semiconductor Strain Gauge)**

ดังที่ □ กล □ วามาแล □ วข □ างต □ น เซมิคอนดักเตอร์ □ สเตรนเกจ (Semiconductor strain gauge) เป □ น สเตรนเกจที่ผลิตขึ้นจากสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำนี้จะมีคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงของความต □ นทานเมื่ออยู่ □ ภายใต □ โหลดเซ □ นเดียวกับในสารตัวนำ ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้ □ ในการวัดความเครียดได้ □ โดยปกติสารกึ่งตัวนำที่ □ คือ ซิลิกอน ซึ่งอยู่ □ ในรูปของผลึก ในการผลิต ผลึกซิลิกอนจะถูกนำมาตัดแบ □ งบางๆ และนำขึ้นรูปเพื่อผลิตสเตรนเกจ ส □ วนการติดตั้งเซมิคอนดัก เตอร์ □ สเตรนเกจจะคล □ าย

คลึงกับการติดตั้งในเมทาลิก สเตรณเกจหลักการทำงานสภาพต□านทานไฟฟ□าของสารกึ่งตัวนำสามารถเขียนรูปสมการได้□ดังนี้

$$\rho = \frac{1}{eN\mu} \dots\dots\dots(6)$$

e = ประจุไฟฟ□าขึ้นอยู่□กับชนิดของการเจือปน (impurity)

N = จำนวนของพาหะนำประจุ (carriers) ขึ้นอยู่□กับความเข□มข□นของการเจือปน

μ = ความสามารถในการเคลื่อนที่ของพาหะนำประจุขึ้นอยู่□กับความเครียดและความสัมพันธ์□ของแกนผลึก

จากสมการจะเห็นว□าสภาพต□านทานไฟฟ□าจะขึ้นอยู่□กับค□า e, N และ μ เมื่อสเตรณเกจอยู่□ภายใต้□ความเครียด จะทำให□ค□าของ μ เกิดการเปลี่ยนแปลงส□งผลให□ค□าความต□านทานของ สเตรณเกจมีค□าเปลี่ยนแปลงไปค□วย นอกจากนี้ค□า e, N ก็ขึ้นอยู่□กับชนิดและความเข□มข□นของการเจือปนเข□นกัน นั้นหมายความว่าสภาพต□านทานไฟฟ□าก็จะขึ้นอยู่□กับการเจือปนค□วย ดังนั้นเซมิคอนดัคเตอร์ □ สเตรณเกจจะสามารถกำหนดคุณสมบัติได้ □ โดยใช□การเจือปนมาเป□นตัวกำหนด

จากหัวข้อ□อข□างต□น ตัวแปรที่มีผลต□ออก□าความต□านทานของสเตรณเกจอีกตัวหนึ่งก็คือ เกจแฟกเตอร์ □ ในส□วนของเซมิคอนดัคเตอร์ □ สเตรณเกจ □ สเตรณเกจผลิตจากสารกึ่งตัวนำที่มีความหนาเน□นของพาหะนำประจุสูง (ประมาณ 10 carriers/cm) การเปลี่ยนแปลงของค□าเกจ แฟกเตอร์ □ เนื่องจากความเครียดละอุณหภูมิจะมีค□าน □ อยลง ในทางกลับกันค□าความหนาเน□นของพาหะนำประจุต่ำประมาณ 10 Carriers/cm ค□า เกจแฟกเตอร์ □ จะมีค□าประมาณตามสมการดังนี้

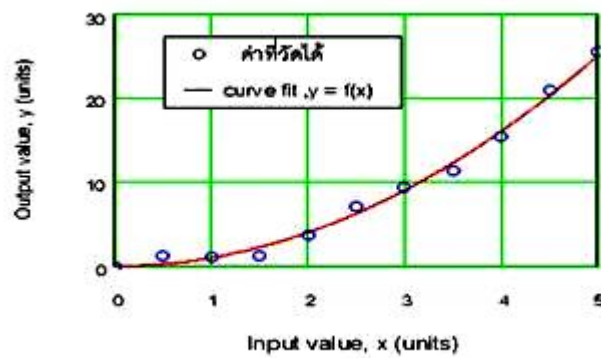
$$GF = \frac{T_0}{T} GF_0 + C_1 \left[ \frac{T_0}{T} \right]^2 \epsilon \dots\dots\dots(7)$$

GF = ค□าเกจแฟกเตอร์ □ ที่อุณหภูมิ □ างอิง T ภายใต้ □ สภาพความเครียด □ าเท □ กับ 0

$$C = c \times \text{ค่าคงที่ของเกจเฉพาะ}$$

สรุปได้ว่าค่าคงที่ของเกจแฟกเตอร์ของเซมิคอนดักเตอร์สเตรนเกจสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้ค่าความต้านทานทางเปลี่ยนแปลงด้วย ดังนั้นในการใช้งานจะต้องมีการชดเชยอุณหภูมิอย่างเหมาะสม

**Static Sensitivity**



รูปที่ 9 ตัวอย่างกราฟของค่า Static Sensitivity\*<sup>2</sup>

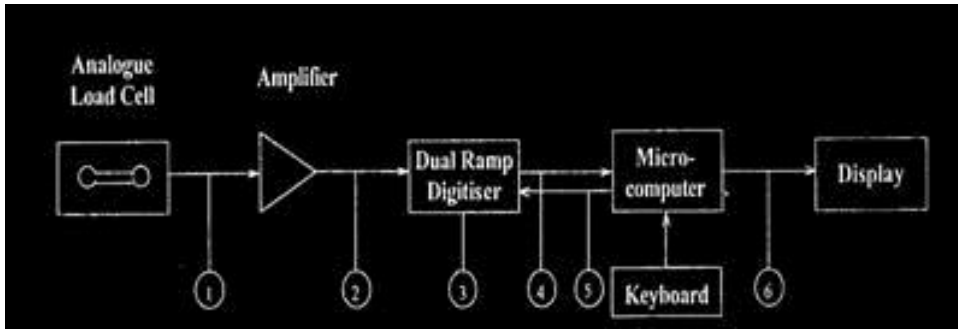
จากกราฟข้างต้นเป็นกราฟตัวอย่างของค่า Static Sensitivity ค่า Static Sensitivity คือ ค่าอัตราส่วนระหว่าง Output ต่อ Input ซึ่งในที่นี้ค่า Output หมายถึงแรงดันไฟฟ้าที่ออกมา และค่า Input คือแรงที่กระทำกับตัว Load Cell ซึ่งจะต้องมา Plot กราฟอีกครั้งหลังจากการทดลอง

**ระบบไหลคเซลล์**

ระบบไหลคเซลล์ในปัจจุบันได้ รับการพัฒนาและนิยมใช้กันในปัจจุบัน 2 ระบบด้วยกัน

**1. ระบบไหลคเซลล์แบบอนาล็อก (A common analogue system)**

เครื่องชั่งไม้อัดโนมัติในระบบไหลคเซลล์แบบอนาล็อกประกอบทำงานอยู่บนพื้นฐานรูปแบบที่นิยมใช้กับเครื่องชั่งไม้อัดโนมัติมากที่สุด การทำงานจะประกอบด้วยรูปที่



รูปที่ 10. หลักการทำงานของระบบโหลดเซลล์แบบอนาล็อก\*<sup>2</sup>

หมายเลข 1 สัญญาณควมทางออกโหลดเซลล์ (Load cell output) มีควมประมาณ 0-30mV

หมายเลข 2 สัญญาณถูกขยายควมด้วยขยายสัญญาณ (Amplifier) เพิ่มสูงขึ้นไปประมาณ 0.5V

หมายเลข 3 ตัวแปรสัญญาณอนาล็อกเป็ควมดิจิตอล (A/D Converter) แบบ Dual ramp digitizer Converts ทำการแปรสัญญาณอนาล็อกให้เป็ควมดิจิตอลควมทางออกจากตัวขยายและทำการนับจำนวนสัญญาณพัลซควมดิจิตอล

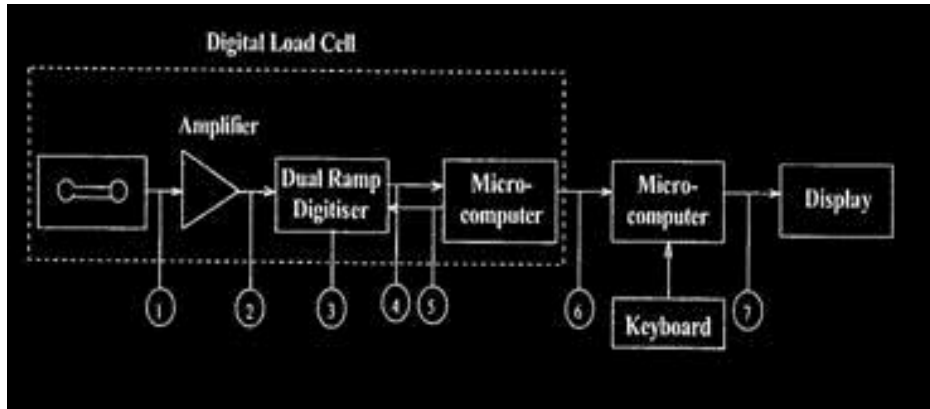
หมายเลข 4 จำนวนพัลซควมจะเป็ควมสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักที่กระทำต่อโหลดเซลล์ ซึ่งจำนวนสัญญาณพัลซควมจะประกอบควมด้วยน้ำหนักตาย (dead load) เช่น น้ำหนักสควมรับ น้ำหนัก และน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง (Life Load) คือน้ำหนักวัสดุที่ตองการชั่ง

หมายเลข 5 ไมโครคอมพิวเตอร์ จะทำการส่งสัญญาณเกจ (Gating Signals) ออกมาเพื่อควบคุมการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็ควมดิจิตอล

หมายเลข 6 สัญญาณจากตำแหน่ง 4 ก็จะถูกส่งไปประมวลผลเพื่อส่งสัญญาณไปเพื่อแสดง

ควมน้ำหนักโดยทางจอแสดงควม

## 2. ระบบโหลดเซลล์แบบดิจิตอล (A common digital system)



รูปที่ 11. หลักการทำงานของระบบโหลดเซลล์แบบดิจิทัล\*<sup>2</sup>

หมายเลข 1 สัญญาณค่านอกของโหลดเซลล์ (Load cell output) มีค่าประมาณ 0-30 mV

หมายเลข 2 สัญญาณถูกขยายค่านอกด้วยขยายสัญญาณ (Amplifier) เพิ่มสูงขึ้นประมาณ 0-5 V

แปรสัญญาณหมายเลข 3 ตัวแปรสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (A/D Converter) แบบ Dual ramp digitizer converts ทำการอนาล็อกให้เป็นดิจิทัล ค่านอกทางออกจากตัวขยาย และทำการนับจำนวนสัญญาณพัลซแบบดิจิทัล

หมายเลข 4 จำนวนพัลซจะเปลี่ยนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักที่กระทำต่อโหลดเซลล์ ซึ่งจำนวนสัญญาณพัลซจะประกอบค่านอกน้ำหนักตาย (Dead load) หรือน้ำหนักส่วรับน้ำหนักและน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง (Life Load) คือน้ำหนักวัสดุ ที่ต้องการชั่ง

หมายเลข 5 ไมโครคอมพิวเตอร์ จะทำการส่งสัญญาณเกจ (Gating Signals) ออกมาเพื่อควบคุมการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล

หมายเลข 6 สัญญาณจากค่านอก 4 จะถูกทำให้เป็นเส้นตรงก่อนและทำการชดเชยผลค่านอกเนื่องจากปัจจัยฟิสติกส์ต่างๆ เช่น อุณหภูมิ, ความยืดตัวของโลหะ (creep), และ hysteresis เป็นต้นโดยไมโครชิปซึ่งติดตั้งอยู่บนโหลดเซลล์ชนิดดิจิทัลชนิดนี้ก่อนที่จะส่งสัญญาณออกไปจากตัวโหลดเซลล์ไปประมวลผล

หมายเลข 7 สัญญาณส่งไปยังจอแสดงค่านอก (Display) เพื่อแสดงผลการชั่ง

**การหาจุดศูนย์กลางแรงดันของของไหล**  
(Center of Hydrostatic Pressure)

**ทฤษฎี**

1. ความดันของของไหล ณ จุดใด ๆ เมื่อวัดจากผิวอิสระมีค่าเท่ากับน้ำหนักจำเพาะของของไหลนั้นคูณกับระยะในแนวตั้งที่วัดจากผิวของของไหลไปยังจุดนั้นหรือ

$$P = \gamma h \quad \text{-----}(8)$$

เมื่อ

- $P$  = ความดันของของไหล ณ จุดที่พิจารณา  
 $\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของของไหล =  $\rho g$   
 $\rho$  = ความหนาแน่นของของไหล  
 $g$  = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก  
 $h$  = ความลึกของของไหลเมื่อวัดจากผิวอิสระของของไหลในแนวตั้งมายังจุดที่พิจารณา

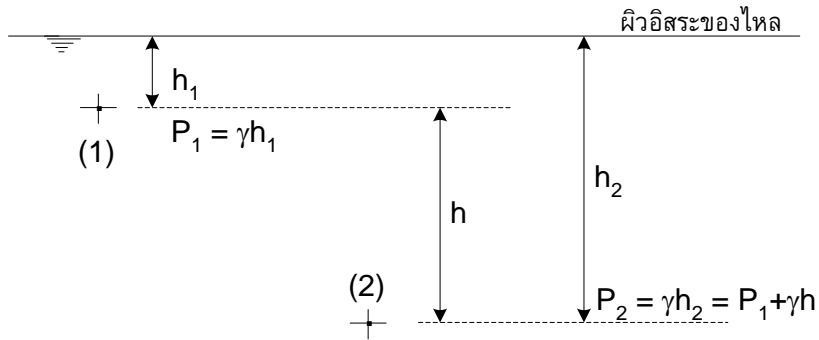
2. ความดันของของไหลที่จุดใด 2 จุด มีระยะห่างกันในแนวตั้งเท่ากับ  $h$  ค่าความดันที่จุดต่ำกว่าจะมีค่าเท่ากับความดันที่จุดสูงกว่าบวกด้วยค่าผลต่างของความดันระหว่าง 2 จุดนี้ กล่าวคือ

$$P_2 = P_1 + \gamma h \quad \text{-----}(9)$$

เมื่อ

- $P_2$  = ความดันที่จุด 2 ซึ่งอยู่ต่ำกว่าจุด 1  
 $P_1$  = ความดันที่จุด 1  
 $\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของของไหล  
 $h$  = ระยะห่างในแนวตั้งระหว่างจุด 1 และ 2

จากสมการที่ 2 ถ้าจุด 1 อยู่ที่ผิวอิสระของของไหล และสัมผัสกับบรรยากาศเมื่อวัดความดันเป็นลักษณะความดันเกจ (Gauge Pressure)  $P_1$  จะมีค่าเท่ากับ 0 ดังนั้นสมการ 2 ก็จะ เป็น  $P_2 = \gamma h$  เหมือนกับสมการที่ 1



รูปที่ 12 แสดงความดันที่จุดใด ๆ ของของไหล\*<sup>9</sup>

3. แรงดันทั้งหมดของของไหลสถิตย์ที่กระทำต่อระนาบผิวตรงของวัตถุที่จมอยู่ในของไหลนั้นมีค่าเท่ากับผลคูณของความดันที่จุดศูนย์กลางถ่วงของพื้นที่นั้นกับพื้นที่ผิวตรงที่จมอยู่ในของไหล

$$F = \gamma \bar{h} . A \text{ -----(10)}$$

เมื่อ

- F = ดันทั้งหมดที่กระทำต่อพื้นที่
- $\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของของไหล
- $\bar{h}$  = ความลึกในแนวตั้งวัดจากผิวของของไหลมายังจุดศูนย์กลางถ่วงของพื้นที่ตรงผิวนั้น



2.4 ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางแรงดัน (Center of Pressure, CP) แรงดันทั้งหมด (F) ที่กระทำต่อระนาบผิวตรงที่จมอยู่ในของไหลจะกระทำที่จุดศูนย์กลางแรงดัน (CP) ซึ่งหาได้จากสูตร

$$Y_p = \bar{Y} + \frac{I_{CG}}{YA} \quad \text{-----(11)}$$

เมื่อ

- $Y_p$  = ระยะที่วัดจากผิวของของไหลในแนวขนานกับผิวของวัตถุนั้นไปยังจุดศูนย์กลางแรงดัน (CP)
- $\bar{Y}$  = ระยะที่วัดจากผิวของของไหลในแนวขนานกับผิวของวัตถุนั้นไปยังจุดศูนย์กลางถ่วง (CG) ของพื้นที่ผิวนั้น
- $I_{CG}$  = โมเมนต์อินเนอร์เชียร์ของพื้นที่ผิวที่จมอยู่ในของไหลนั้นรอบแกนที่ลากผ่านจุด CG ของพื้นที่นั้น
- $A$  = พื้นที่ผิวของวัตถุที่จมอยู่ในของไหล

### บทที่ 3

## อุปกรณ์และวิธีการ

เครื่องมือวัดความลึกน้ำ (Depth Measuring Tool) นี้ได้มีแนวคิดในการประดิษฐ์ โดยอาศัยหลักการชั่งน้ำหนักของไหลเซลล์ แรงที่กดคือแรงดันน้ำจะถูกแปลงเป็นความลึกแทนค่าน้ำหนัก ตัวเครื่องมือได้ดัดแปลงมาจากเครื่องชั่งน้ำหนักยี่ห้อ Sartorius รุ่น Miras Series AG IW2-6 ซึ่งได้นำไหลเซลล์ของเครื่องชั่งน้ำหนักมาเป็นตัวรับแรงดันน้ำของหัววัดโดยหัววัดทำจากวัสดุอะคริลิกและมีสายไฟขนาดยาว 10 เมตรเป็นตัวเชื่อมต่อไปยังหน้าจอแสดงผล

#### อุปกรณ์สำหรับการทดสอบ

1. เครื่องวัดความลึก ( Depth Measuring Tool )
2. สายไฟยาว ประมาณ 10 m.
3. เครื่องอ่านค่าดิจิทัล
4. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ
5. ตลับเมตร
6. ท่อ PVC ขนาด 6 นิ้ว ยาว 4.5 m.
7. สายยางขนาดยาว
8. แหล่งพลังงาน
  - 1) 6x ถ่านขนาด D
  - 2) ไฟฟ้า 220 V 50 Hz



รูปที่ 13 อุปกรณ์สำหรับการทดสอบ

## วิธีการทดสอบ

1. ติดตั้งท่อPVC ขนาด6นิ้วยาว4.5เมตรในแนวตั้งติดกับผนัง



รูปที่ 14 ท่อที่ใช้ทำการทดลอง

2. ทำการวัดความยาวสายไฟจากหัววัดความลึกทุกๆ 50cm.



รูปที่ 15 แสดงการวัดความยาวของสายไฟ

3. ต่อสายยางเพื่อนำน้ำขึ้นมาใส่ในท่อ



รูปที่16 นำน้ำใส่ท่อการทดลอง

4. ใส่น้ำในท่อจนเต็ม



รูปที่17 ท่อที่พร้อมทำการทดลอง

5. นำเครื่องมือวัดอุณหภูมิวัดอุณหภูมิน้ำจืดบันทึกค่าอุณหภูมิ



รูปที่18 แสดงการวัดอุณหภูมิ

6. นำถ่านไฟฉายหรือสายไฟต่อเข้ากับเครื่องแสดงผล



รูปที่19 แหล่งพลังงานของหน้าจอแสดงผล

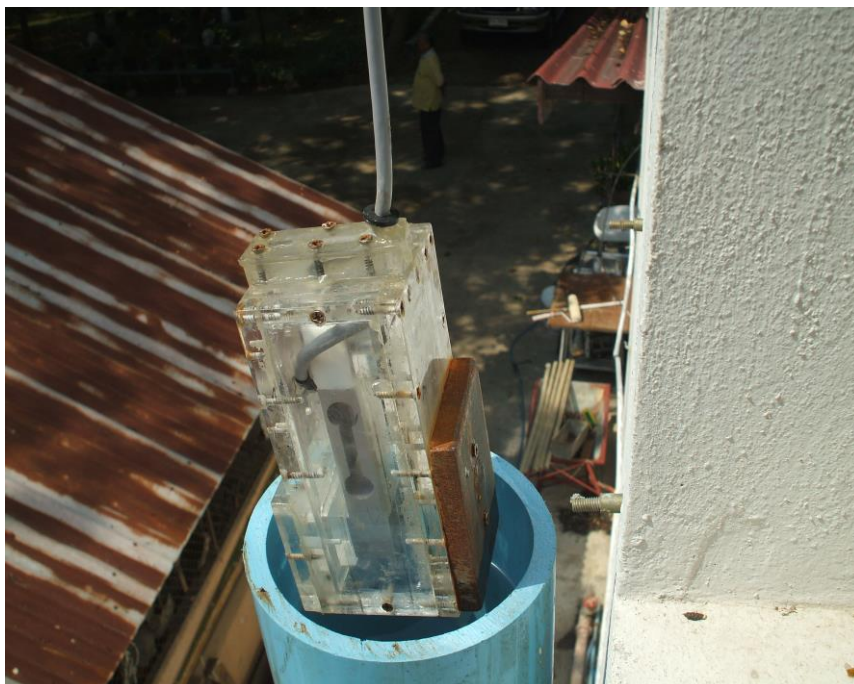


7. ทำการเซ็ตศูนย์ที่เครื่องแสดงผลโดยกดปุ่ม zero



รูปที่20 แสดงการเซ็ตค่าศูนย์ก่อนการทดลอง

8. จดค่าน้ำหนักก่อนหว่าดจุ่มลงในน้ำเพื่อการนำไปคำนวณ



รูปที่21 แสดงการเอนเอียงของเครื่องมือก่อนทดลอง

9. นำหัววัดความลึกจุ่มลงในท่อPVC



รูปที่22 แสดงสภาพเครื่องมือเมื่ออยู่ในท่อทดลอง

10. อ่านค่าจากเครื่องมือวัดทุกๆระยะลึก 50 cm. โดยระยะของสายไฟที่ทำการวัดระยะไว้ และทำเครื่องหมายไว้



รูปที่23 แสดงระยะที่อ่านค่าจากเครื่องมือ

11. อ่านค่าจากเครื่องมือวัดค่าและบันทึกค่า ตั้งแต่ระยะลึก 0-400 cm. โดยค่าที่ได้เป็นหน่วยkg.



รูปที่24 แสดงค่าน้ำหนักจากหน้าจอแสดงผล

12. จดบันทึกค่าน้ำหนักในแต่ละความลึกความลึกค่าละ3ค่าเพื่อมาหาค่าเฉลี่ย
13. ทำการทดสอบซ้ำหลายๆครั้งเพื่อนำค่ามาplot กราฟระยะลึกกับน้ำหนักเพื่อดูแนวโน้มกราฟว่าเป็นเส้นตรงหรือไม่และหาค่าสมการแต่ละการทดลอง



## การทดสอบภาคสนาม

### อุปกรณ์สำหรับการทดสอบ

1. เครื่องวัดความลึก ( Depth Measuring Tool )
2. สายไฟยาว ประมาณ 10 m.
3. เครื่องอ่านค่าดิจิทัล
4. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ แบบเลเซอร์
5. ตลับเมตร
6. แหล่งพลังงาน 6x ถ่านขนาด D
7. แท่งวัดความลึก

### สถานที่

1. สะพานหลังสโมสรคณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน
2. สะพานข้างตึกไปไอเทค ม. เกษตรศาสตร์ กำแพงแสน
3. คลองชลประทาน บ่อ1 ม. เกษตรศาสตร์ กำแพงแสน

1. สะพานหลังสโมสรคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน



รูปที่25 สะพานหลังสโมสรคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

2. สะพานข้างตึกไปโอเทค ม. เกษตรศาสตร์ กำแพงแสน



รูปที่26 สะพานข้างตึกไปโอเทค ม. เกษตรศาสตร์ กำแพงแสน



### 3. คลองชลประทาน บ่อ1 ม. เกษตรศาสตร์ กำแพงแสน



รูปที่27. คลองชลประทาน บ่อ1 ม. เกษตรศาสตร์ กำแพงแสน

#### วิธีการทดสอบ

##### 1.1 ทำการหยั่งความลึกน้ำโดยใช้แท่งวัดความลึก



รูปที่28 แสดงการใช้แท่งหยั่งความลึก

### 1.2 ทำการวัดระดับน้ำจากแท่งวัดความลึก

แท่งวัดความลึกมีรอยสเกลที่แท่งวัด ห่างกันระยะละ 10 เซนติเมตรเมื่อนำแท่งวัดหยั่งความลึกลงในน้ำจะได้อ่านความลึกที่ไม่พอดี จึงต้องใช้การทำสัญลักษณ์ที่ระดับผิวน้ำที่แท่งวัดความลึกโดยใช้ห่วงยางรัดที่แท่งวัดความลึกในระดับผิวน้ำที่ได้วัดได้ จากนั้นทำการวัดความลึกจากปลายแท่งวัดถึงห่วงยางที่ทำสัญลักษณ์ไว้ในระดับผิวน้ำ จะได้ระดับน้ำที่ทำการหยั่งความลึกไว้



รูปที่ 29. แสดงการวัดระยะจากแท่งวัดความลึก

### 1.3 ทำการวัดอุณหภูมิโดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอิงเซ็นเซอร์



รูปที่ 30. แสดงการวัดอุณหภูมิ



1.4 ทำการหย่อนเครื่องวัดความลึก( Depth Measuring Tool ) โดยทำการเช็ดศูนย์จากหน้า  
จอแสดงผลก่อน



รูปที่31. แสดงการนำเครื่องมือหย่อนลงในน้ำ

1.5 ทำการจดบันทึกค่าหน้าน้ำทุก25cm. ในกระดวยจดบันทึก

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### ผลการทดลองของเครื่องมือวัดความลึกน้ำ

จากการทดลองการทำงานของเครื่องมือ ในแต่ละครั้งจะได้ค่าน้ำหนักในแต่ละความลึกที่ทำการทดลองทั้งในภาคการทดลองและภาคสนามผลการทดลองแต่ละครั้งจะได้ค่าที่อ่านจากตัวเครื่องยังไม่คงที่ จึงได้นำผลการทดลองในแต่ละครั้ง นำค่าที่ได้นำไปทำการป้อนกราฟในProgram Microsoft Excel ระหว่างความลึกและค่าน้ำหนัก จะได้กราฟที่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ในแต่ละกราฟจะได้สมการเส้นตรงที่มีความสัมพันธ์คือ ค่า  $x$  คือน้ำหนัก ค่า  $y$  คือความลึก และเมื่อนำผลการทดลองที่ได้ทุกค่ามาป้อนกราฟให้อยู่ในกราฟเดียวกันเพื่อที่จะได้สมการกราฟเส้นตรงเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมดได้ สมการเฉลี่ยคือ  $y=85.804x+6.211$  ซึ่งจากการคำนวณได้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยคือ 5.59cmและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 4.51%

#### วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองของเครื่องมือในครั้ง ในความลึกต่างๆเมื่อนำค่าน้ำหนักไปแทนในสมการเฉลี่ยจากกราฟค่าคลาดเคลื่อนน้อยสุดคือ-0.088cm และค่าคลาดเคลื่อนมากที่สุดคือ 15.667cm จะเห็นได้ว่ายังมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ แม้ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยังมีค่าน้อยอยู่ก็ตาม ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเกิดจากปัจจัยจากตัวโพลลเซลล์และปัจจัยจากการทดลองและเครื่องมือ

## ปัจจัยที่มีผลต่อความแม่นยำของโพลดเซลล์

1. อุณหภูมิ เนื่องจากอุณหภูมิมิผลต่อการไหลของกระแสไฟฟ้าบนตัวโพลดเซลล์ ที่อุณหภูมิต่ำกระแสไฟฟ้าไหลได้ดีทำให้เกิดความต้านทานต่ำซึ่งจะแปรผกผันกับค่าอุณหภูมิต่ำ
2. การเอนเอียงของโพลดเซลล์ เนื่องจากการวัดเป็นแบบแนวตั้ง ถ้ามีการเอนเอียงของโพลดเซลล์จะต้องรับน้ำหนักของตัวมันเองทำให้ค่าคลาดเคลื่อนได้
3. อายุการใช้งาน เนื่องจาก การใช้งานและเวลาการใช้มีผลต่อตัวโพลดเซลล์
4. แผ่นอะคิลิกรับแรงมีผลต่อการกด เนื่องจากแรงมีการกระจายบนแผ่นอะคิลิกก่อนที่จะกดบนตัวโพลดเซลล์

## ปัจจัยการคลาดเคลื่อนของเครื่องมือ

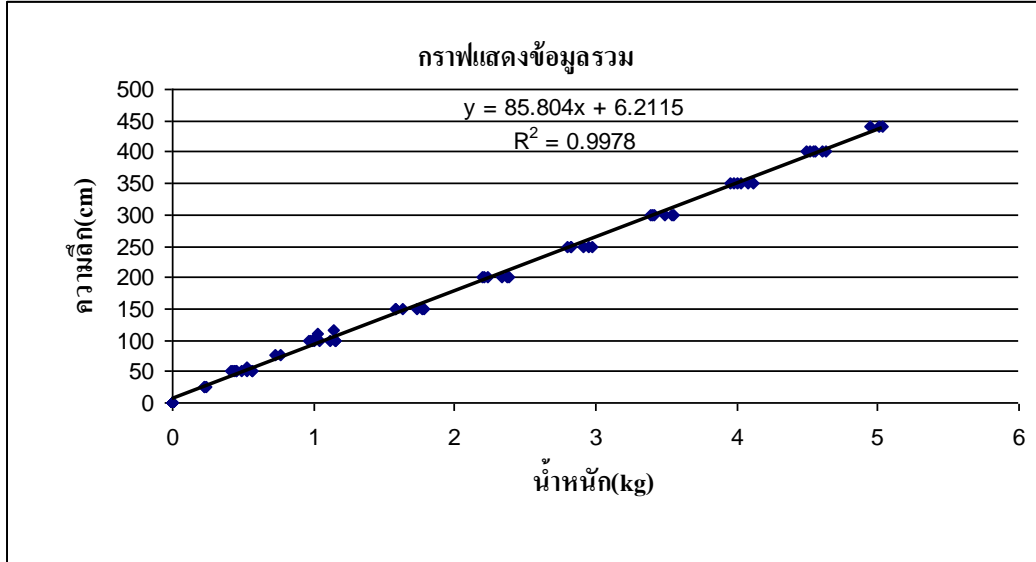
1. อุณหภูมิ เนื่องจาก อุณหภูมิมิผลต่อความหนาแน่นของน้ำ
2. การเอนเอียงของเครื่องมือ ถ้าเครื่องมือไม่อยู่ในแนวตั้งจากการเอนเอียงน้ำหนักของเครื่องมือจะมีผลต่อตัวโพลดเซลล์
3. อากาศภายในเครื่องมือ ตัวเครื่องมือเป็นตัวกั้นน้ำระบบปิดมีอากาศอยู่ภายในอุณหภูมิจึงมีผลต่ออากาศภายในและทำให้มีผลต่อตัวโพลดเซลล์
4. ตัวพื้นที่รับแรงกด วัสดุอะคิลิก มีผลต่อแรง reaction และการดูดซับแรง และขนาดพื้นที่หน้าตัดก็มีผลต่อแรงกด

## ปัจจัยการคลาดเคลื่อนจากการทดลอง

1. ผู้ทดลองอาจเกิดความคลาดเคลื่อนจากการอ่านค่าข้อมูลหรือการมองระดับความลึกของตัวหัววัดความลึกและการหย่อนหัววัดความลึกมีความไม่นิ่งพอ
2. จากสิ่งแวดล้อมเช่นความเร็วของกระแสน้ำ สภาพกันคลองเป็น โคลนตมเป็นต้น
3. สภาพของน้ำในแหล่งต่างๆสารเจือปนของน้ำมีผลต่อความหนาแน่นของน้ำ

สมการเส้นตรงจากกราฟข้อมูลรวม

วิธีการหาค่าสมการเส้นตรงคือการนำค่าข้อมูลทั้งหมดไปลงในกราฟเดียวกัน โดยอาศัยโปรแกรม Microsoft excel หากกราฟข้อมูลรวมและแสดงค่าสมการเส้นตรงออกมา



รูปที่ 32. กราฟแสดงผลการทดลองรวมทุกการทดลอง

ได้ค่าสมการเส้นตรงคือ

$$y=85.804x+6.211 \dots\dots\dots(12)$$

$$R^2=0.9978$$



## การหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย

ตารางที่ 1. ข้อมูลค่าความคลาดเคลื่อนจากสมการที่ได้จากการกราฟข้อมูลรวม

ความลึก(cm) (L)	น้ำหนัก(kg)	ความลึกจาก สมการ(cm) (L*)	ค่าความคลาด เคลื่อน(cm) L-L*	%ค่าความ คลาดเคลื่อน
50	0.426	42.764	7.235996	14.47199
100	0.968	89.26977	10.73023	10.73023
150	1.576	141.4386	8.561396	5.707597
200	2.205	195.4093	4.59068	2.29534
250	2.822	248.3504	1.649612	0.659845
300	3.418	299.4896	0.510428	0.170143
350	3.999	349.3417	0.658304	0.188087
400	4.554	396.9629	3.037084	0.759271
440	5.032	437.9772	2.022772	0.459721
50	0.417	41.99177	8.008232	16.01646
100	0.98	90.29942	9.70058	9.70058
150	1.585	142.2108	7.78916	5.192773
200	2.197	194.7229	5.277112	2.638556
250	2.794	245.9479	4.052124	1.62085
300	3.392	297.2587	2.741332	0.913777
350	3.96	345.9953	4.00466	1.144189
400	4.494	391.8147	8.185324	2.046331
440	5.011	436.1753	3.824656	0.86924
50	0.45	44.8233	5.1767	10.3534
100	1.036	95.10444	4.895556	4.895556
150	1.63	146.072	3.92798	2.618653
200	2.233	197.8118	2.188168	1.094084
250	2.829	248.951	1.048984	0.419594
300	3.402	298.1167	1.883292	0.627764
350	3.973	347.1108	2.889208	0.825488

ตารางที่ 1. (ต่อ)

ความลึก(cm) (L)	น้ำหนัก(kg)	ความลึกจาก สมการ(cm) (L*)	ค่าความคลาด เคลื่อน(cm) L-L*	%ค่าความ คลาดเคลื่อน
400	4.514	393.5308	6.469244	1.617311
440	4.949	430.8555	9.144504	2.078296
50	0.569	55.03398	-5.03398	-10.068
100	1.15	104.8861	-4.8861	-4.8861
150	1.769	157.9988	-7.99878	-5.33252
200	2.38	210.425	-10.425	-5.21251
250	2.972	261.221	-11.221	-4.4884
300	3.535	309.5286	-9.52864	-3.17621
350	4.085	356.7208	-6.72084	-1.92024
400	4.611	401.8537	-1.85374	-0.46344
50	0.566	54.77656	-4.77656	-9.55313
100	1.156	105.4009	-5.40092	-5.40092
150	1.778	158.771	-8.77101	-5.84734
200	2.371	209.6528	-9.65278	-4.82639
250	2.953	259.5907	-9.59071	-3.83628
300	3.552	310.9873	-10.9873	-3.66244
350	4.111	358.9517	-8.95174	-2.55764
400	4.635	403.913	-3.91304	-0.97826
50	0.531	51.77342	-1.77342	-3.54685
100	1.114	101.7972	-1.79716	-1.79716
150	1.727	154.395	-4.39501	-2.93001
200	2.335	206.5638	-6.56384	-3.28192
250	2.915	256.3302	-6.33016	-2.53206
300	3.488	305.4959	-5.49585	-1.83195
350	4.035	352.4306	-2.43064	-0.69447
400	4.544	396.1049	3.895124	0.973781
25	0.222	25.25999	-0.25999	-1.03995

ตารางที่ 1. (ต่อ)

ความลึก(cm) (L)	น้ำหนัก(kg)	ความลึกจาก สมการ(cm) (L*)	ค่าความคลาด เคลื่อน(cm) L-L*	%ค่าความ คลาดเคลื่อน
50	0.443	44.22267	5.777328	11.55466
57	0.521	50.91538	6.084616	10.67476
25	0.22	25.08838	-0.08838	-0.35352
50	0.456	45.33812	4.661876	9.323752
75	0.731	68.93422	6.065776	8.087701
100	0.99	91.15746	8.84254	8.84254
110	1.027	94.33221	15.66779	14.24345
25	0.243	27.06187	-2.06187	-8.24749
50	0.491	48.34126	1.658736	3.317472
75	0.765	71.85156	3.14844	4.19792
100	0.998	91.84389	8.156108	8.156108
117	1.144	104.3713	12.62872	10.79378

$L^* = \text{ค่าน้ำหนัก}(x) \text{ แทนในสมการ } y = 85.804x + 6.211$

$L - L^* = \text{ค่าความคลาดเคลื่อน}$

ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด = 15.667cm

ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุด = -0.088cm

ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย = 5.588cm

%ความคลาดเคลื่อน =  $(\text{ค่าความคลาดเคลื่อน} / \text{ค่าความลึกจริง}) * 100$

%ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย =  $\% \text{ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทั้งหมด} / \text{ข้อมูลทั้งหมด} = 4.51\%$

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองใช้งานเครื่องมือวัดความลึกน้ำ พบว่าตัวรูปแบบอุปกรณ์มีความสะดวกต่อการใช้งานกะทัดรัดสามารถพกพาเพื่อใช้นอกสถานที่ได้เนื่องจากสามารถใช้แหล่งพลังงานพกพาและสามารถวัดความลึกได้โดยง่ายโดยใช้หลักการของโพลดเซลล์รับน้ำหนักและแสดงผลเป็นดิจิทัลสามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ จากผลการทดลองจะได้สมการเฉลี่ยของทุกการทดลองคือ  $y=85.804x+6.211$  โดย  $x$  คือน้ำหนักและ  $y$  คือความลึก และได้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยคือ 5.59cm และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 4.51% เครื่องมือวัดความลึกนี้ทดลองในช่วงอุณหภูมิที่ยังไม่กว้างนักคือ 25-30 องศาเซลเซียส

#### ข้อเสนอแนะ

1. ถ้าต้องการให้โพลดเซลล์มีความนิ่งและไม่เอนเอียงเวลาทดสอบ ควรทำรางติดตั้งสำหรับตัวหัววัดความลึกเพื่อให้ได้ระดับดังคงที่
2. อาจเปลี่ยนการรับแรงของเครื่องมือมาเป็นแนวแกน  $y$  เพื่อลดปัจจัยการเอนเอียงของโพลดเซลล์
3. ทำสัญลักษณ์ที่บอกระยะลึกของเครื่องมือให้ชัดเจนกว่าเดิมเช่นใช้เทปสีที่มองเห็นได้ชัดเจน เพื่อง่ายต่อการมองระยะไกล
4. ใช้ตัวโพลดเซลล์ที่มีการชดเชยอุณหภูมิมากกว่าเดิม เพื่อลดการไวต่ออุณหภูมิ
5. ใช้วัสดุอื่นทดแทนอะคิลิกเนื่องจากมีการแตกร้าวได้ง่าย ในกรณีที่ใช้งานที่อาจได้รับแรงกระแทก
6. ปรับพื้นที่รับแรงอะคิลิกให้มีขนาดเล็กลงและมีการกระจายเต็มบนตัวโพลดเซลล์เพื่อเมื่อเวลารับแรง แรงที่รับมาจะถูกส่งถึงตัวโพลดเซลล์ได้หมดโดยไม่มีการกระจายไปในส่วนที่เป็นอะคิลิกที่เกินจากตัวโพลดเซลล์
7. ทำการทดลองอีกเพื่อหาค่าสมการต่างๆ เพื่อใช้ประกอบกับการเขียน โปรแกรมเพื่อสะดวกและง่ายต่อการอ่านค่า
8. ใส่ตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิในตัวหัววัดความลึกเพื่อนำค่าไปใช้ในการวิเคราะห์และคำนวณ

9. ทำการทดลองในช่วงอุณหภูมิที่กว้างขึ้นเพื่อนำมาเปรียบเทียบ
10. ทำการทดลองนอกสถานที่อีกหลายๆแห่ง เนื่องจากกราฟที่ได้จากการทดลองนอกสถานที่ที่มีความคลาดเคลื่อนอยู่และจะได้นำมาเปรียบเทียบกัน
11. ในการที่จะพัฒนาตัวเครื่องต่อไป ตัวเครื่องมือสามารถที่จะพัฒนาสามารถต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูลระดับน้ำ(Data logger)เพื่อบันทึกข้อมูลระดับน้ำในช่วงเวลาต่างๆ

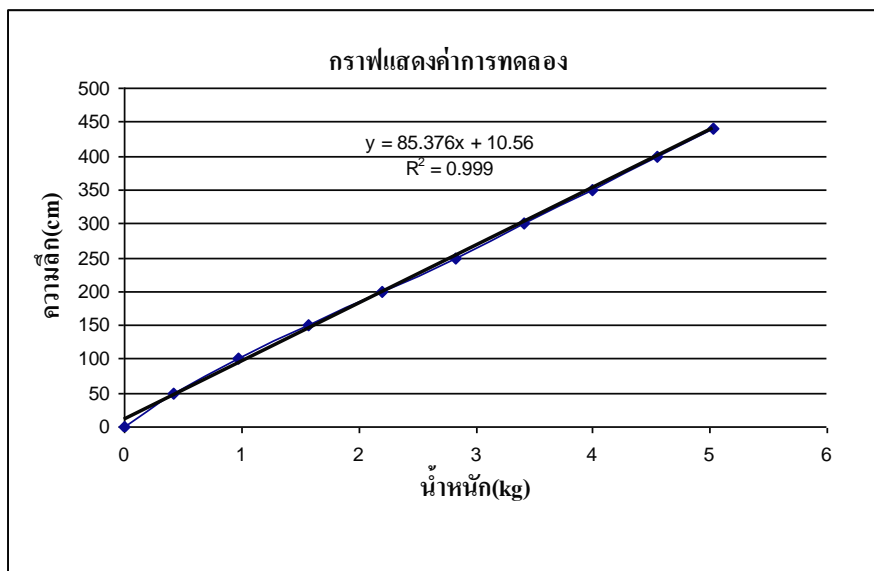
## เอกสารอ้างอิง

1. กรมอุทกศาสตร์, กองสมุทรศาสตร์, กองทัพเรือ(2550),ระดับน้ำในน่านน้ำไทย ที่ระลิกวัน คล้ายวันสถาปนากกรมอุทกศาสตร์ครบรอบ86ปี .โรงพิมพ์ก่อสร้างแผนที่กรมอุทกศาสตร์, กรุงเทพมหานคร  
[http://www.navy.mi.th/hydro/data/Oceannet/EBOOKTIDE/tide\\_index.htm](http://www.navy.mi.th/hydro/data/Oceannet/EBOOKTIDE/tide_index.htm)
2. ดร.พีญศิริ ทองผดุงโรจน์ (2547), “Load Cell”, Industrial Technology Review, 10(124), 105-109 วารสาร  
<http://pirun.ku.ac.th/~b4755264/reference.htm>
3. OMEGADYNE. (1996), “Omegadyne® Pressure, Force, Load, Torque Databook” (1996), “The Pressure, Strain, and Force Handbook”., Omega Press LLC
4. Joseph J. Carr. (1996), “Elements of Electronic Instrumentation and Measurements”. 3rd Edition, Prentice Hall
5. Bela Liptak. (1995), “Industrial Control Handbook”., CRC Press LLC
7. Douglas M. Considine and Glenn D. Considine. (1997), “Van Nostrand’s Scientific Encyclopedia”., Van Nostrand
8. T. Kemeny. (1991), “Weighing and Force Measurement in the ‘90s”., IMEKO TC Series
9. [http://www.egmu.net/civil/areeya/EGCE322/Lab12\\_A'Areeya.doc](http://www.egmu.net/civil/areeya/EGCE322/Lab12_A'Areeya.doc)
10. <http://www.ggy.bris.ac.uk/personal/JonathanBamber/teaching>
11. [http://www2.volstate.edu/chem/1120/Labs/Denisty\\_of\\_Water.png](http://www2.volstate.edu/chem/1120/Labs/Denisty_of_Water.png)
12. <http://www.sartorius.com>

## ภาคผนวก

### ผลการทดลองและกราฟแสดงผล

วันที่ 11 ก.พ.52 เวลา 11.18 น. อุณหภูมิ = 28.3 องศา



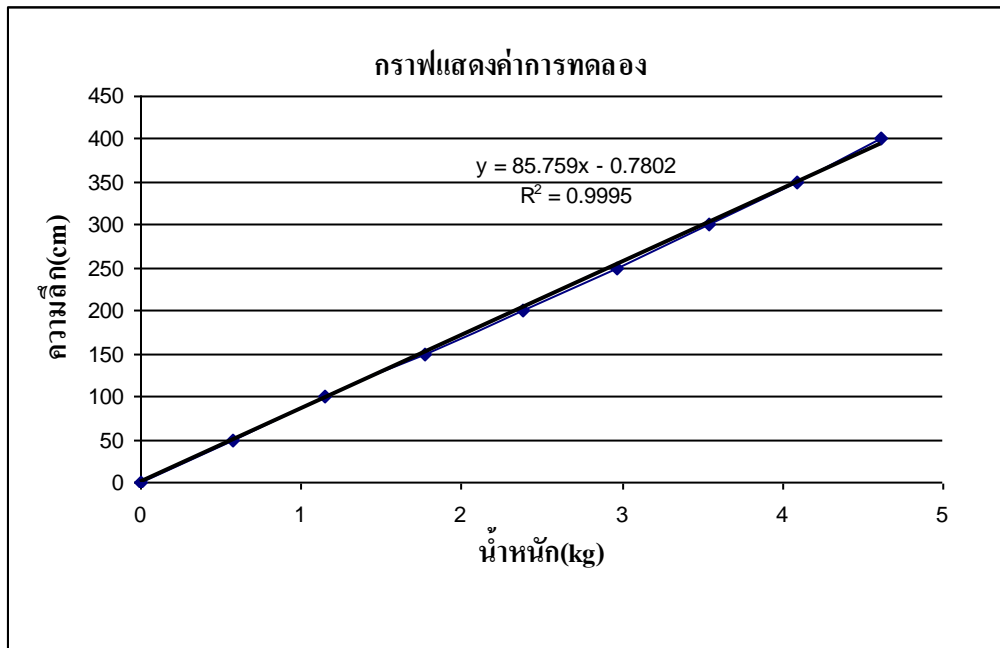
รูปที่33. กราฟแสดงผลการทดลองที่1

ห้อยลง

ตารางที่2. ผลการทดลองที่1

น้ำหนัก (kg)	ความลึก (cm)
0	0
0.426	50
0.968	100
1.576	150
2.205	200
2.822	250
3.418	300
3.999	350
4.554	400
5.032	440

วันที่ 11 ก.พ.52 เวลา 11.18 น. อุณหภูมิ = 28.3 องศา



รูปที่34. กราฟแสดงผลการทดลองที่2

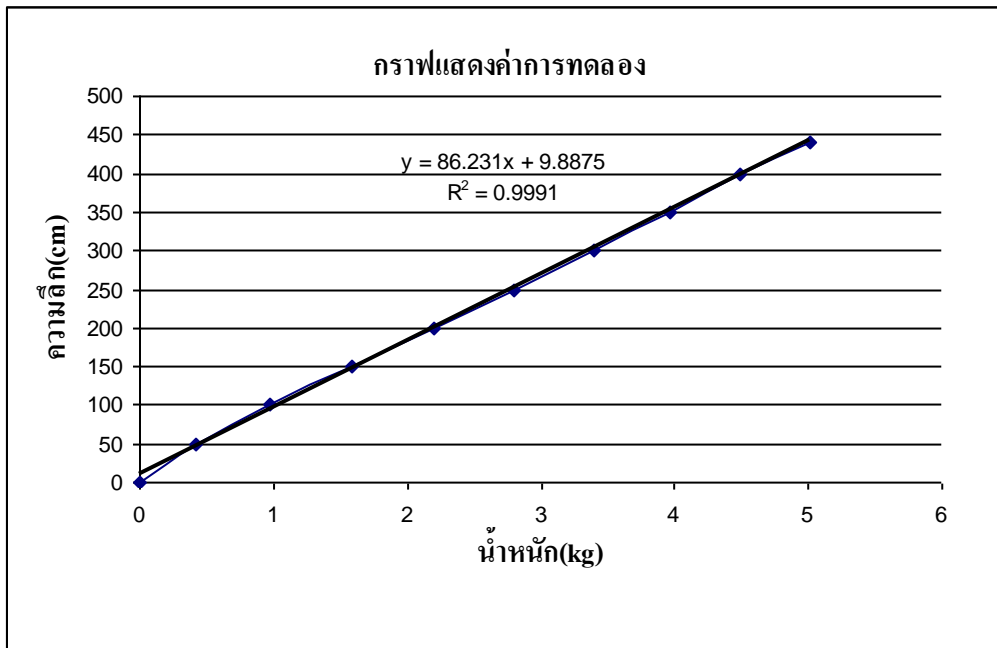
ดิ่งขึ้น

ตารางที่3. ผลการทดลองที่2

น้ำหนัก (kg)	ความลึก (cm)
0	0
0.569	50
1.15	100
1.769	150
2.38	200
2.972	250
3.535	300
4.085	350
4.611	400



วันที่ 11 ก.พ.52 เวลา 11.45 น. อุณหภูมิ = 28.4 องศา



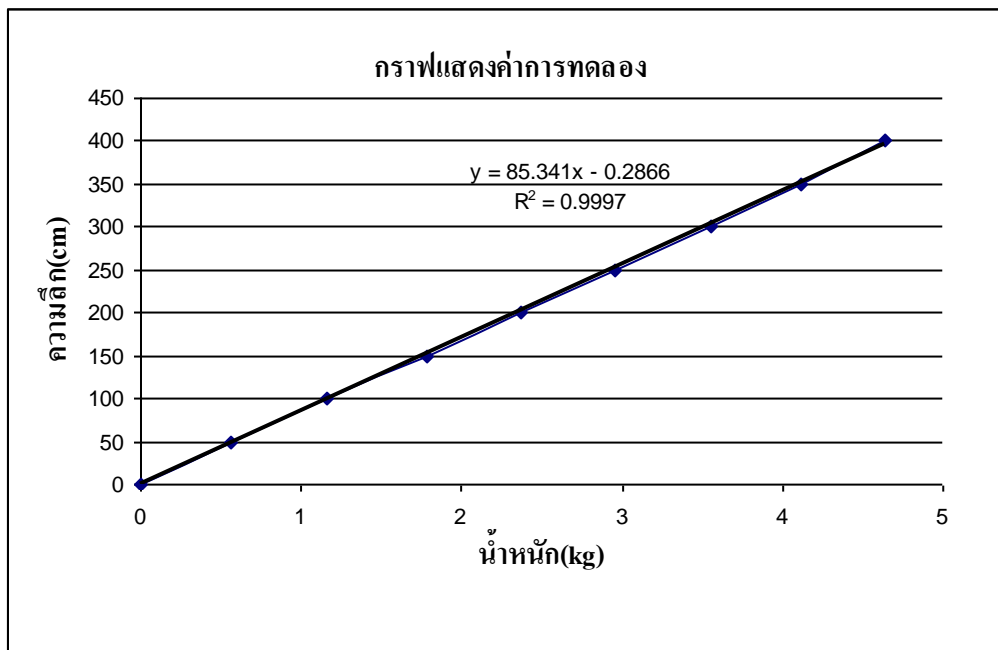
รูปที่35. กราฟแสดงผลการทดลองที่3

หย้อนลง

ตารางที่4. ผลการทดลองที่3

น้ำหนัก (kg)	ความลึก (cm)
0	0
0.417	50
0.98	100
1.585	150
2.197	200
2.794	250
3.392	300
3.96	350
4.494	400
5.011	440

วันที่ 11 ก.พ.52 เวลา 11.45 น. อุณหภูมิ = 28.4 องศา



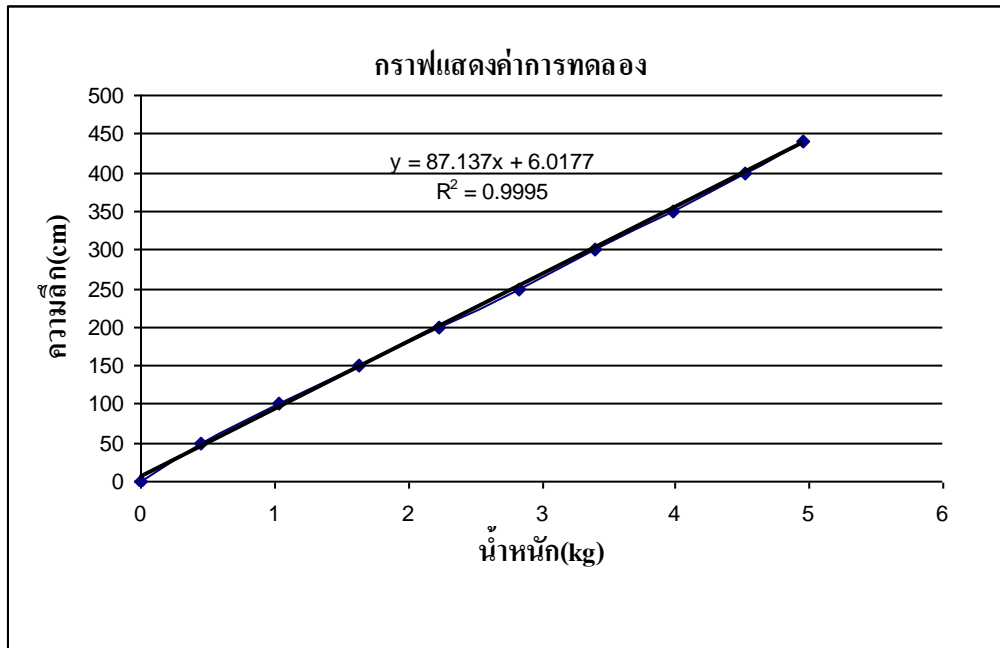
รูปที่36. กราฟแสดงผลการทดลองที่4

ดิ่งขึ้น

ตารางที่5. ผลการทดลองที่4

น้ำหนัก (kg)	ความลึก (cm)
0	0
0.566	50
1.156	100
1.778	150
2.371	200
2.953	250
3.552	300
4.111	350
4.635	400

วันที่ 11 ก.พ.52 เวลา 12.20 น. อุณหภูมิ = 28.7 องศา



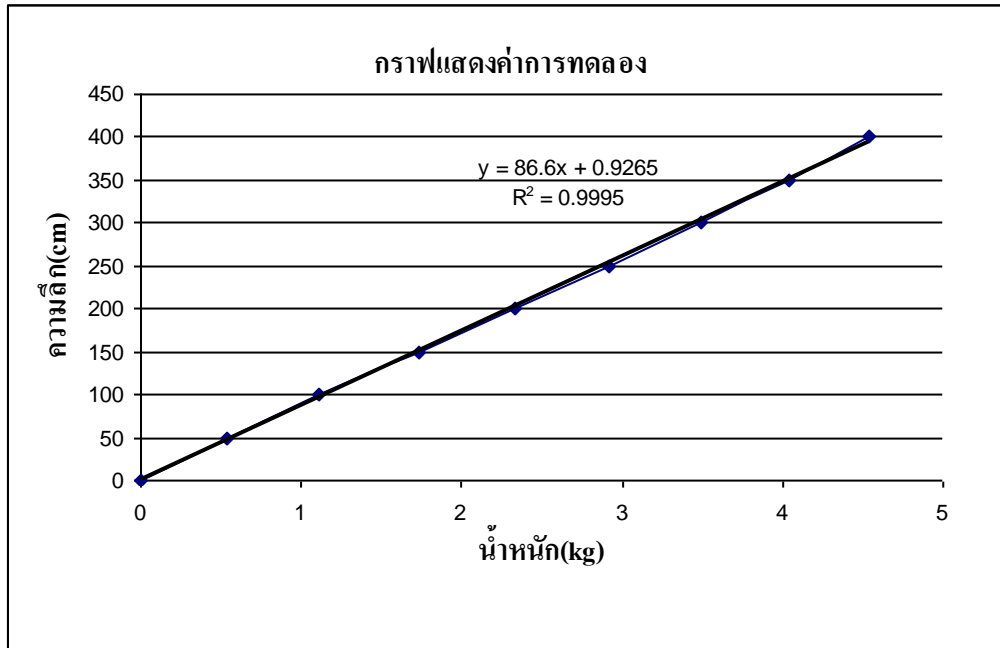
รูปที่ 37. กราฟแสดงผลการทดลองที่ 5

หย้อนลง

ตารางที่ 6. ผลการทดลองที่ 5

น้ำหนัก (kg)	ความลึก (cm)
0	0
0.45	50
1.036	100
1.63	150
2.233	200
2.829	250
3.402	300
3.973	350
4.514	400
4.949	440

วันที่ 11 ก.พ.52 เวลา 12.20 น. อุณหภูมิ = 28.7 องศา



รูปที่ 38. กราฟแสดงผลการทดลอง 6

ดิ่งขึ้น

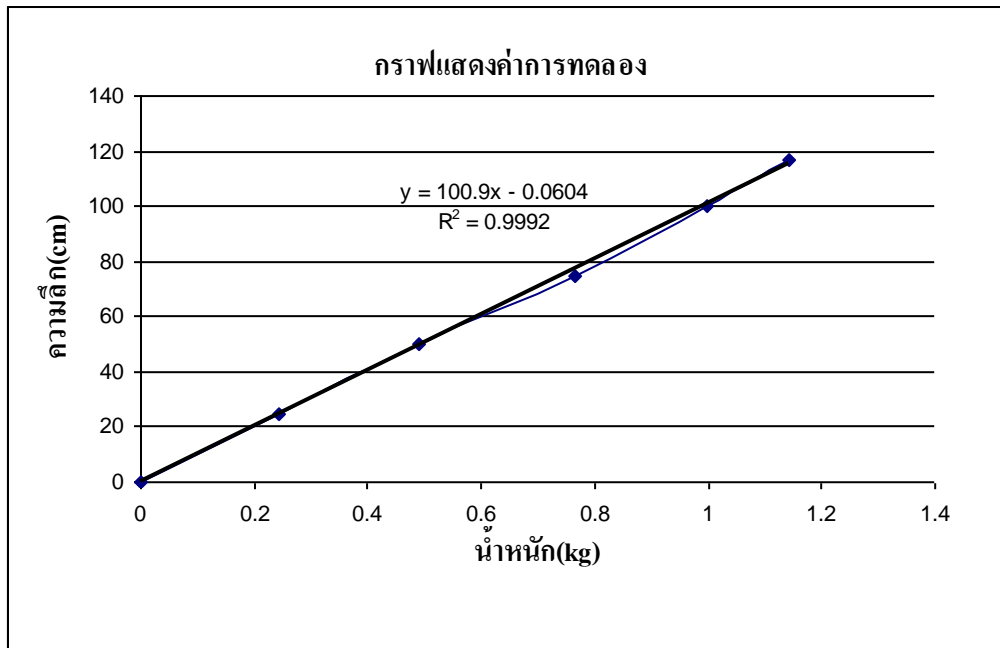
ตารางที่ 7. ผลการทดลองที่ 6

น้ำหนัก (kg)	ความลึก (cm)
0	0
0.531	50
1.114	100
1.727	150
2.335	200
2.915	250
3.488	300
4.035	350
4.544	400

## ผลการทดลองและกราฟแสดงผลภาคสนาม

### 1. สะพานหลังสโม่สรณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

วันที่ 5 พค.52 เวลา 13.00 น. อุณหภูมิ = 29.2 องศาเซลเซียส



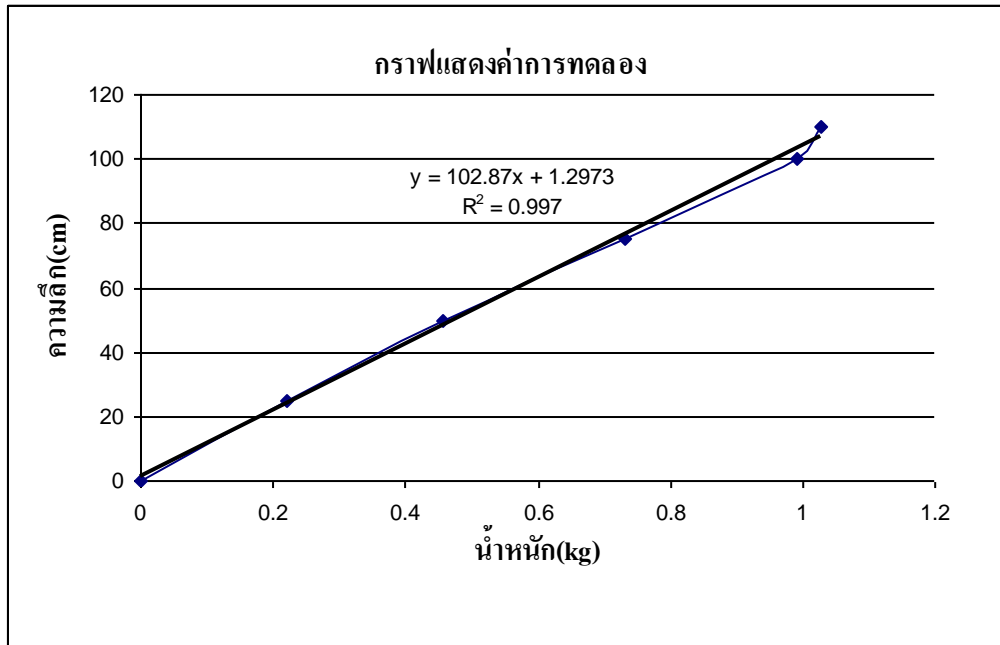
รูปที่ 39. กราฟแสดงผลการทดลอง สะพานหลังสโม่สรณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

### ตารางที่ 8. ผลการทดลองที่ 7

น้ำหนัก (kg)	ความลึก (cm)
0	0
0.243	25
0.491	50
0.765	75
0.998	100
1.144	117

## 2. สะพานข้างตึกไปโอเทค ม.เกษตรศาสตร์ กำแพงแสน

วันที่ 5 พค.52 เวลา 13.30 น. อุณหภูมิ = 29.3 องศาเซลเซียส



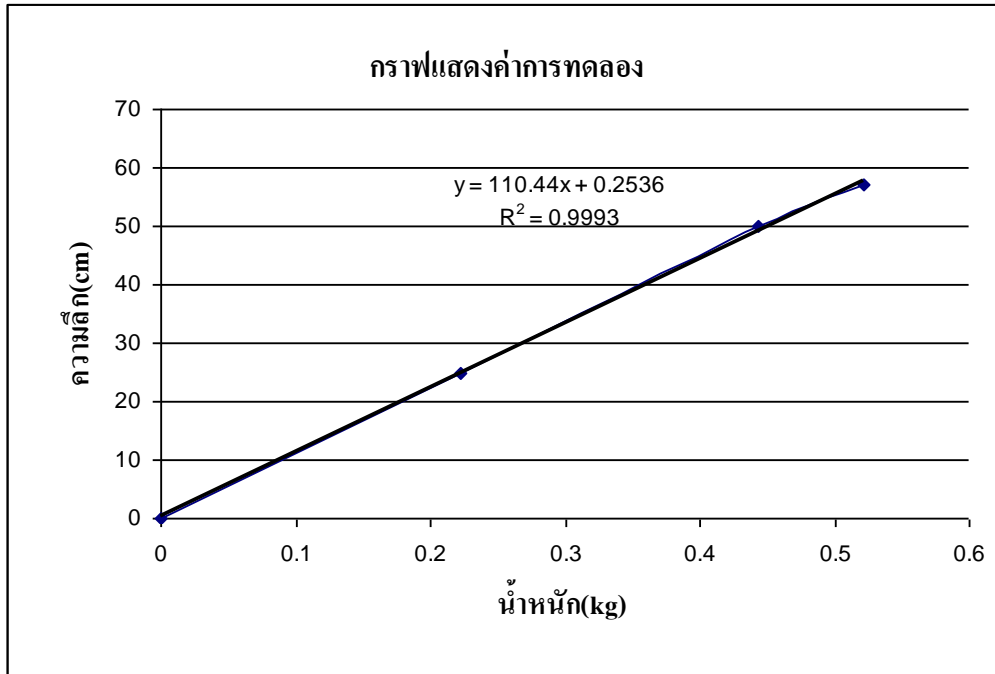
รูปที่ 40. กราฟแสดงผลการทดลอง สะพานข้างตึกไปโอเทค ม.เกษตรศาสตร์ กำแพงแสน

### ตารางที่ 9. ผลการทดลองที่ 8

น้ำหนัก (kg)	ความลึก (cm)
0	0
0.22	25
0.456	50
0.731	75
0.99	100
1.027	110

### 3. คลองชลประทาน ป่อ1 ม. เกษตรศาสตร์ กำแพงแสน

วันที่ 5 พค.52 เวลา 14.15 น. อุณหภูมิ = 25.5 องศาเซลเซียส

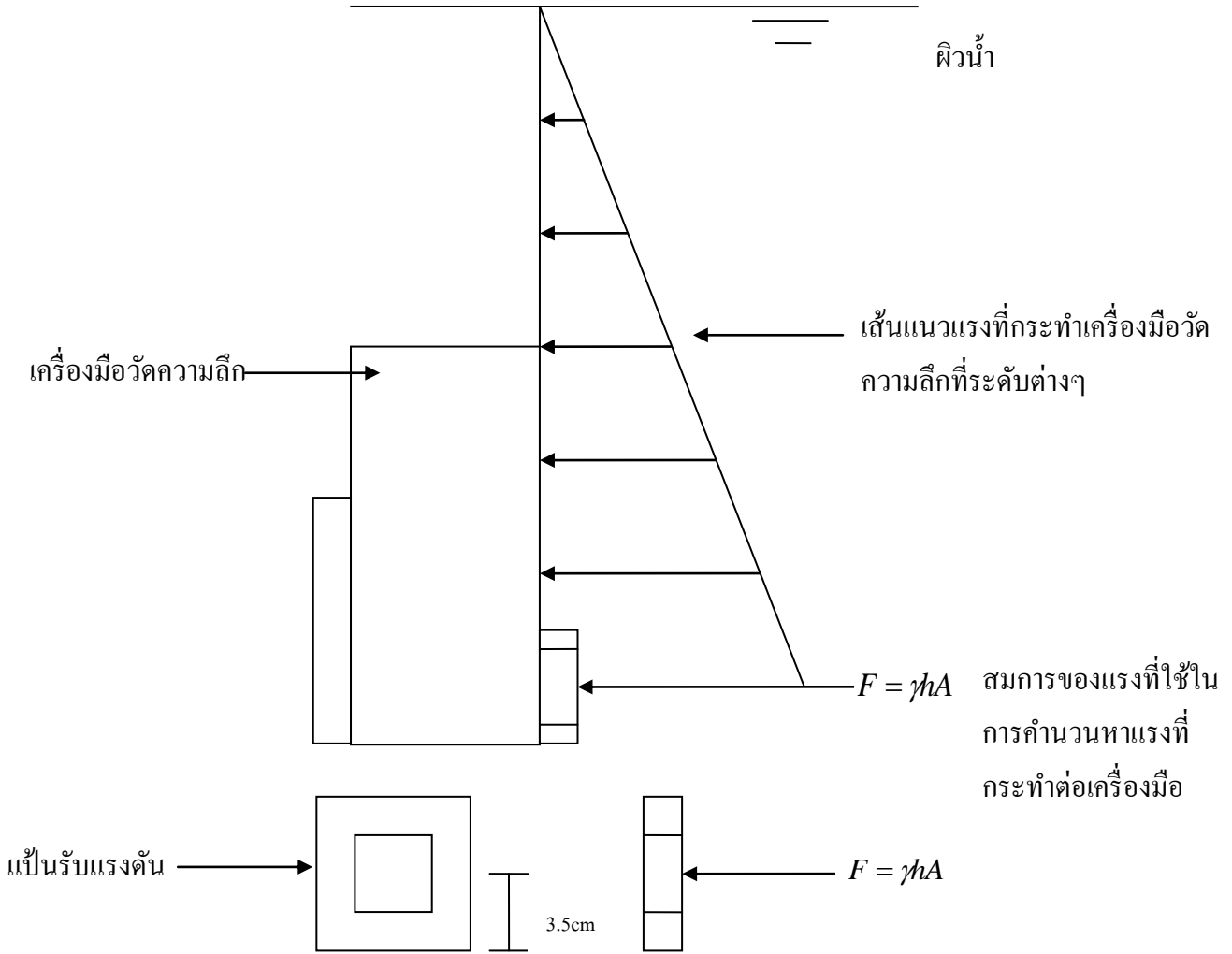


รูปที่41. กราฟแสดงผลการทดลอง คลองชลประทาน ป่อ1 ม. เกษตรศาสตร์ กำแพงแสน

ตารางที่10. ผลการทดลองที่9

น้ำหนัก (kg)	ความลึก (cm)
0	0
0.222	25
0.443	50
0.521	57

แสดงการจำลองแรงที่กระทำต่อหัววัดความลึก



รูปที่42. แสดงการจำลองแรงที่กระทำต่อหัววัดความลึก



### สมการแรงกระทำต่อเครื่องมือ

$$F = \gamma h A$$

$F$  = แรงกระทำบนพื้นที่รับแรงของเครื่องมือวัดความลึก

$$\gamma = \rho g$$

$\gamma$  = ความถ่วงจำเพาะของน้ำ

$\rho$  = ความหนาแน่นของน้ำตามอุณหภูมิ

$A$  = พื้นที่รับแรงของโหลคเชลล์

$h$  = ความลึกน้ำ

$$g = 9.81$$

### ตัวอย่างการคำนวณ

ที่ความลึก 1 m

$$\gamma = \rho g$$

$$\gamma = 998.5 \times 9.81$$

$$= 9795.285$$

$$F = \gamma h A$$

$$A = 3.1 \times 3.1$$

$$= 9.61 \text{ cm}^2$$

$$= 0.000961 \text{ m}^2$$

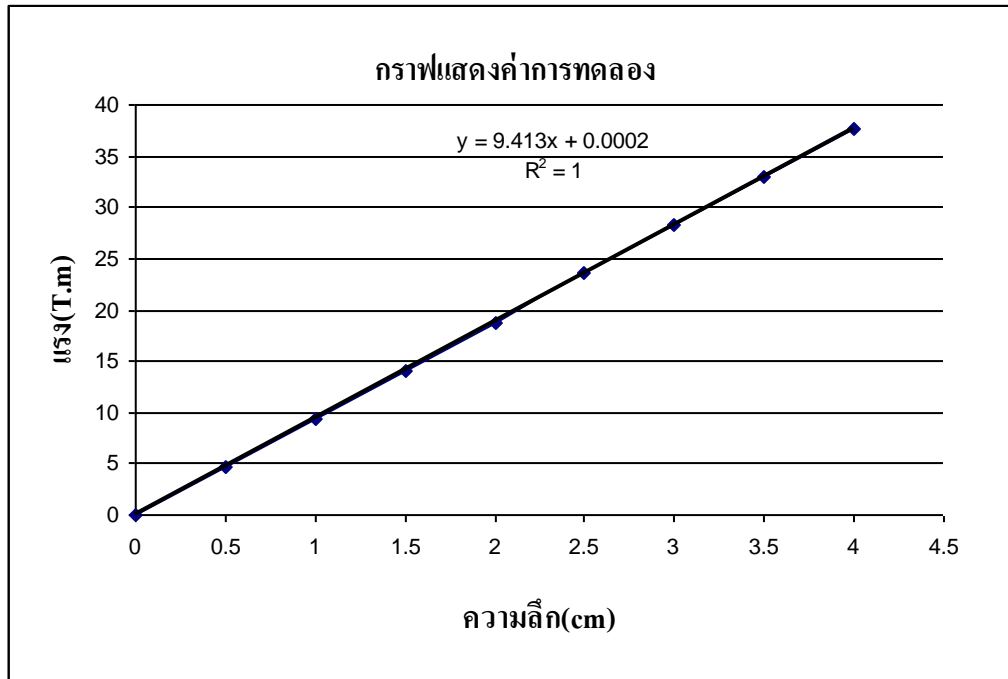
$$F = 9795.285 \times 1 \times 0.000961$$

$$= 9.413 \text{ T.m}$$

## ค่าแรงตามทฤษฎี

ตารางที่ 11. ข้อมูลค่าแรงตามทฤษฎีกับความลึก

ความลึก (m)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
แรง(T.m)	0	4.707	9.413	14.12	18.826	23.533	28.239	32.946	37.652



รูปที่ 43. กราฟแสดงค่าแรงตามทฤษฎี

ตารางที่ 12. ข้อมูลความหนาแน่นของน้ำกับอุณหภูมิ\*<sup>11</sup>

### Density of Water (g/mL) vs. Temperature (°C)

(from Handbook of Chemistry and Physics, 53rd Edition, p. F4)

Whole **degrees** are listed down the left hand side of the table, while **tenths of a degree** are listed across the top. So to find the density of water at say **5.4 °C**, you would first find the whole degree by searching down the left hand column until you reach '**5**'. Then you would slide across that row until you reach the column labeled '**0.4**'.

The density of water at **5.4 °C** is 0.999957 g/mL.

	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	0.999841	0.999847	0.999854	0.999860	0.999866	0.999872	0.999878	0.999884	0.999889	0.999895
1	0.999900	0.999905	0.999909	0.999914	0.999918	0.999923	0.999927	0.999930	0.999934	0.999938
2	0.999941	0.999944	0.999947	0.999950	0.999953	0.999955	0.999958	0.999960	0.999962	0.999964
3	0.999965	0.999967	0.999968	0.999969	0.999970	0.999971	0.999972	0.999972	0.999973	0.999973
4	0.999973	0.999973	0.999973	0.999972	0.999972	0.999972	0.999970	0.999969	0.999968	0.999966
5	0.999965	0.999963	0.999961	0.999959	0.999957	0.999955	0.999952	0.999950	0.999947	0.999944
6	0.999941	0.999938	0.999935	0.999931	0.999927	0.999924	0.999920	0.999916	0.999911	0.999907
7	0.999902	0.999898	0.999893	0.999888	0.999883	0.999877	0.999872	0.999866	0.999861	0.999855
8	0.999849	0.999843	0.999837	0.999830	0.999824	0.999817	0.999810	0.999803	0.999796	0.999789
9	0.999781	0.999774	0.999766	0.999758	0.999751	0.999742	0.999734	0.999726	0.999717	0.999709
10	0.999700	0.999691	0.999682	0.999673	0.999664	0.999654	0.999645	0.999635	0.999625	0.999615
11	0.999605	0.999595	0.999585	0.999574	0.999564	0.999553	0.999542	0.999531	0.999520	0.999509
12	0.999498	0.999486	0.999475	0.999463	0.999451	0.999439	0.999427	0.999415	0.999402	0.999390
13	0.999377	0.999364	0.999352	0.999339	0.999326	0.999312	0.999299	0.999285	0.999272	0.999258
14	0.999244	0.999230	0.999216	0.999202	0.999188	0.999173	0.999159	0.999144	0.999129	0.999114
15	0.999099	0.999084	0.999069	0.999054	0.999038	0.999023	0.999007	0.998991	0.998975	0.998959
16	0.998943	0.998926	0.998910	0.998893	0.998877	0.998860	0.998843	0.998826	0.998809	0.998792
17	0.998774	0.998757	0.998739	0.998722	0.998704	0.998686	0.998668	0.998650	0.998632	0.998613
18	0.998595	0.998576	0.998558	0.998539	0.998520	0.998501	0.998482	0.998463	0.998444	0.998424
19	0.998405	0.998385	0.998365	0.998345	0.998325	0.998305	0.998285	0.998265	0.998244	0.998224
20	0.998203	0.998183	0.998162	0.998141	0.998120	0.998099	0.998078	0.998056	0.998035	0.998013
21	0.997992	0.997970	0.997948	0.997926	0.997904	0.997882	0.997860	0.997837	0.997815	0.997792
22	0.997770	0.997747	0.997724	0.997701	0.997678	0.997655	0.997632	0.997608	0.997585	0.997561
23	0.997538	0.997514	0.997490	0.997466	0.997442	0.997418	0.997394	0.997369	0.997345	0.997320
24	0.997296	0.997271	0.997246	0.997221	0.997196	0.997171	0.997146	0.997120	0.997095	0.997069
25	0.997044	0.997018	0.996992	0.996967	0.996941	0.996914	0.996888	0.996862	0.996836	0.996809
26	0.996783	0.996756	0.996729	0.996703	0.996676	0.996649	0.996621	0.996594	0.996567	0.996540
27	0.996512	0.996485	0.996457	0.996429	0.996401	0.996373	0.996345	0.996317	0.996289	0.996261
28	0.996232	0.996204	0.996175	0.996147	0.996118	0.996089	0.996060	0.996031	0.996002	0.995973
29	0.995944	0.995914	0.995885	0.995855	0.995826	0.995796	0.995766	0.995736	0.995706	0.995676
30	0.995646	0.995616	0.995586	0.995555	0.995525	0.995494	0.995464	0.995433	0.995402	0.995371

(Updated by C.R. Snelling, 6/14/08)

## โมเดลเครื่องที่นำมาประยุกต์



เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ Sartorius

รุ่น Miras Series AG IW2-6

ขนาด 6 kg ความละเอียด 1 g

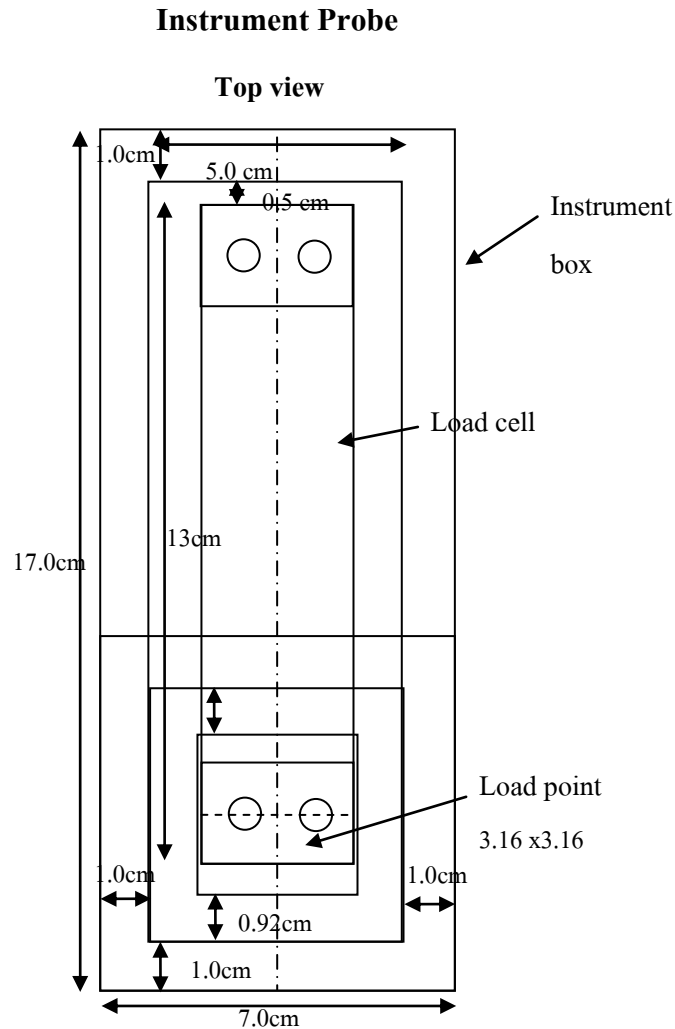
คุณสมบัติ

- สามารถใช้ไฟบ้านและใช้แบตเตอรี่
- มีระบบปิดเครื่องอัตโนมัติ
- สามารถเปลี่ยนหน่วยการชั่ง kg/g/Lb/oz/t
- มีฟังก์ชันตรวจสอบน้ำหนัก ฟังก์ชันนับจำนวน ฟังก์ชันน้ำหนักรวม/น้ำหนักสุทธิ
- โพลดเชลล์ลูมิเนียมมีระบบป้องกันฝุ่นและน้ำ IP65

รูปที่ 44. เครื่องชั่งน้ำหนัก\*<sup>12</sup>

## โมเดลเครื่องวัดความลึกน้ำ (Depth Measuring Tool)

### หัววัดความลึก

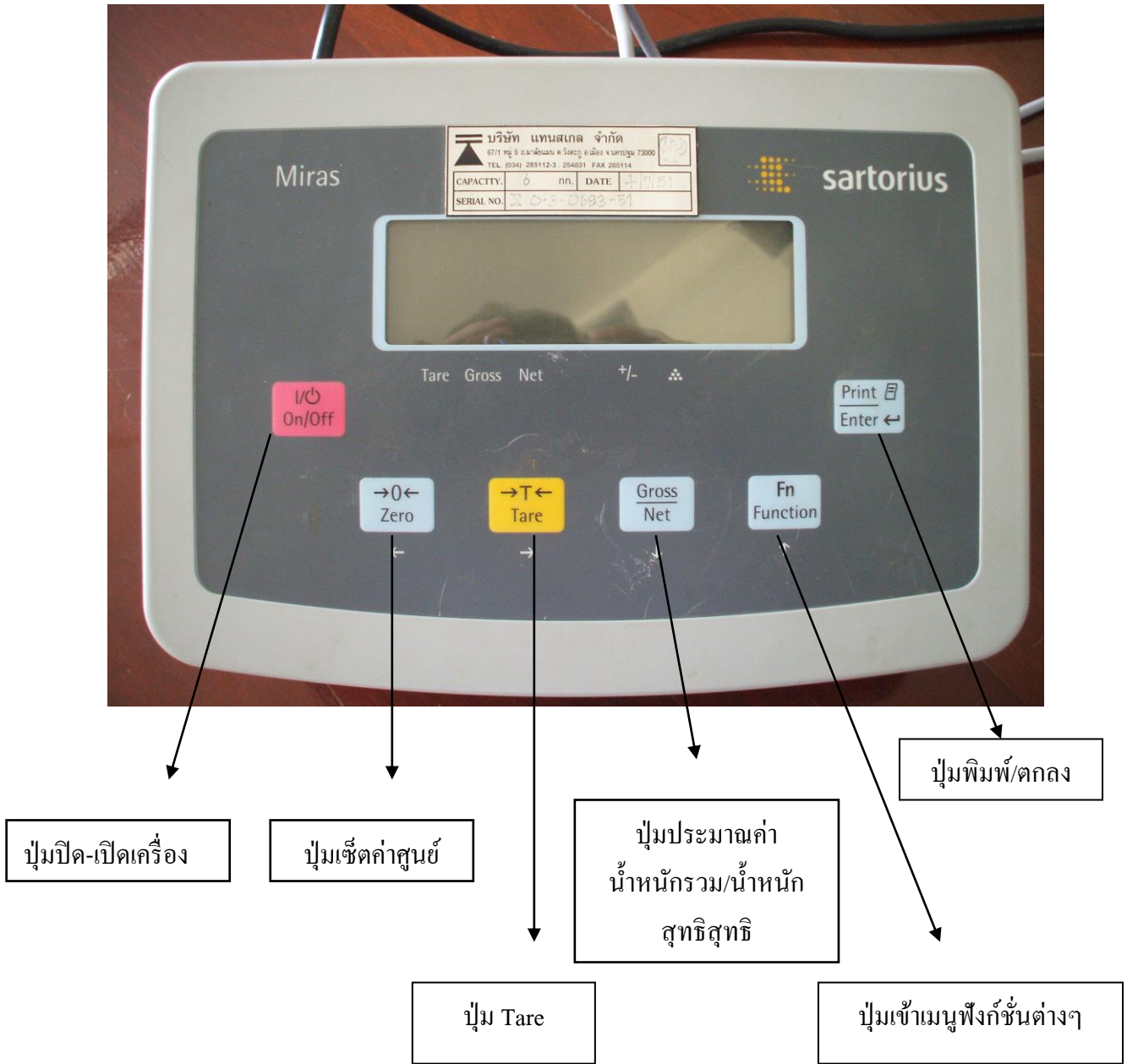


รูปที่ 45. Drawing หัววัดความลึก

#### คุณสมบัติ (Specification)

วัสดุ(หัววัดความลึกน้ำ)	Clear Acrylic
ขนาด (กว้าง x ยาว x สูง)	7 ซม. x 17 ซม. x 6.7 ซม.
ขนาดโหลดเซลล์ (กว้าง x ยาว x สูง)	3 ซม. x 13 ซม. x 2.2 ซม.
สายวัดยาว	10 เมตร
ความสามารถในการวัดความลึก	0-6 เมตร

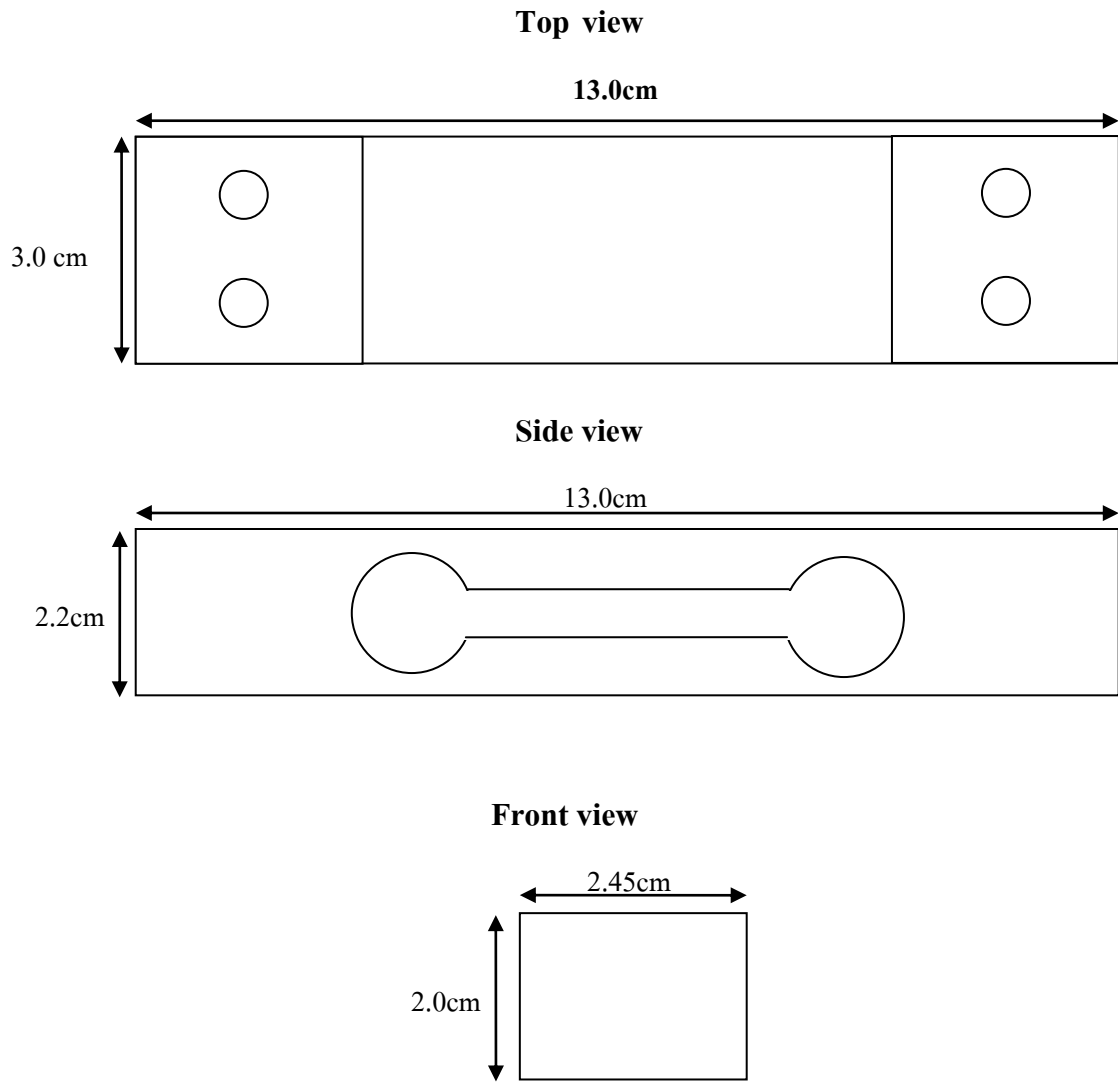
ตัวเครื่องแสดงผล



รูปที่ 46. แสดงปุ่มของหน้าจอแสดงผล



ตัวโหลดเซลล์



รูปที่ 48. Drawing ตัวโหลดเซลล์

คุณสมบัติ

โหลดเซลล์อลูมิเนียมมีระบบป้องกันฝุ่นและน้ำ IP65 น้ำหนักใช้งาน 0-6 kg ความละเอียด 1 g



## ค่าใช้จ่ายของโครงการ

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก	14000 บาท
2. อุปกรณ์ประกอบห้วัดความลึก	4000 บาท
3. ท่อขนาด6นิ้วและค่าติดตั้ง	500 บาท
4. ค่าเอกสารในการทำโครงการ	2000 บาท
5. อื่นๆ	500 บาท
รวม	21000 บาท