



รายงานการวิจัย

ระบบเก็บข้อมูลขนาดความยาว และน้ำหนักของปลาทะเล

Data Logger system for length size and weight of marine fish



โดย

นายมนตรี ไชยชาอุยุทธ์

นายอิทธิพล พจนสัง

นายพิมล ผลพุกษา

นายอรรถศาสตร์ นาคเทวัญ

นายพิมาน เกาสมบัติ

RCIT

ที่ปรึกษา

TK

7871.86

นายพลศาสตร์ เลิศประเสริฐ

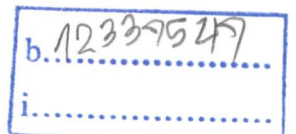
5228

เลขหมู่.....

120278

เลขทะเบียน.....

วัน, เดือน, ปี 13 ก.พ. 2555



ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2551

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นว่าไปเผยแพร่หรือใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบเก็บข้อมูลขนาดความยาว และน้ำหนักของปลาทะเล

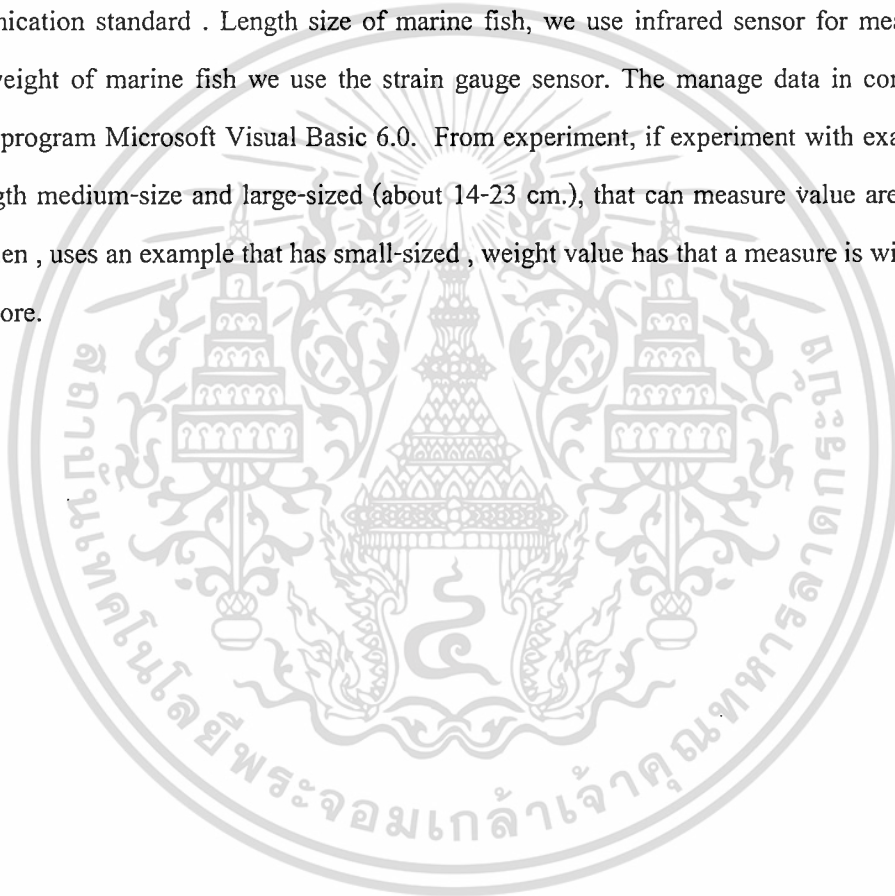
บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เสนอระบบเก็บข้อมูลขนาดความยาว และน้ำหนักของปลาทะเลโดยใช้เซนเซอร์ มาช่วยในการตรวจวัดขนาดความยาว และน้ำหนักของปลาทะเล โดยมีระบบไมโครคอนโทรลเลอร์มาเป็นตัวประมวลผล แล้วเก็บบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำแบบ EEPROM โดยใช้การสื่อสารแบบ I²C ซึ่งข้อมูลที่เก็บในหน่วยความจำสามารถโหลดลงสู่คอมพิวเตอร์ได้โดยผ่านมาตรฐาน RS 232 การทำงานของระบบสามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 การตรวจวัดความยาวจะใช้เซนเซอร์อินฟราเรด ส่วนที่ 2 การตรวจวัดน้ำหนักจะประยุกต์เซนเซอร์จากสเตรนเกจ ส่วนที่ 3 การประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์และบันทึกข้อมูลซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PSOC และส่วนที่ 4 การประมวลผลคอมพิวเตอร์และแสดงผลโดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 จากการทำทดลองใช้งานจริงโดยทำการวัดความยาวและน้ำหนักของปลา และได้ทำการส่งข้อมูลออกไปยังโปรแกรมรับข้อมูล พบว่าเมื่อทำการเลือกใช้ตัวอย่างปลาที่มีขนาดกลางและขนาดใหญ่ (ประมาณ 14-23 ซม.) ตัวเครื่องนั้นสามารถวัดค่าออกมาได้อย่างถูกต้อง แต่เมื่อทำการเลือกใช้ตัวอย่างที่มีขนาดเล็ก ค่าน้ำหนักที่วัดได้จะเกิดค่าความผิดพลาดมากขึ้น

Data Logger system for length size and weight of marine fish

ABSTRACT

This research has presents Data Logger system for length size and weight of marine fish. We use the sensor for measuring length size and weight. The system has PSoC microcontroller for processing and save the data into EEPROM memory. The data will be send to EEPROM by I²C communication standard and can be upload the storage data send to the computer by RS232 communication standard . Length size of marine fish, we use infrared sensor for measurement while weight of marine fish we use the strain gauge sensor. The manage data in computer by using a program Microsoft Visual Basic 6.0. From experiment, if experiment with example that has length medium-size and large-sized (about 14-23 cm.), that can measure value are correctly but , when , uses an example that has small-sized , weight value has that a measure is will be error value more.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยความช่วยเหลือ และการสนับสนุนจากบุคคลหลายๆ ท่าน ซึ่งผู้เขียนขอขอบคุณทุกๆ ท่านดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ ผู้ซึ่งคอยให้การอบรมสั่งสอน เลี้ยงดู สนับสนุนการศึกษา ตลอดจนให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. สุพันธุ์ ตั้งจิตกุศลมั่น อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ซึ่งให้คำแนะนำต่างๆ รวมทั้งเอื้อเพื่อเครื่องมือเครื่องใช้ในการทำวิจัย และติดตามเกี่ยวกับงานวิจัยตลอดมา ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความเมตตาของท่านจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ. พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ ผู้ให้คำปรึกษา และคำแนะนำต่าง ๆ เกี่ยวกับการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณนางวรัญญา ปริ้มจรัส ที่ช่วยในการสนับสนุนค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับงานวิจัยเรื่องการวัดขนาดความยาว การวัดน้ำหนัก และมาตรฐานต่าง ๆ เกี่ยวกับปลาทะเล จนงานวิจัยสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และคอยให้กำลังใจเสมอมา

นอกจากนี้ผู้เขียนใคร่ขอขอบพระคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ที่ให้ความรู้และโอกาสในการทำงาน

คุณค่า และประโยชน์อันพึงมีจากรายงานการวิจัยฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

มนตรี ไชยชาญยุทธ์

และคณะผู้วิจัย

30 กันยายน 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.7 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 แสงอินฟราเรด (Infrared).....	6
2.2.1 คุณสมบัติเด่นของ Infrared	6
2.2.1.1 ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้ Infrared.....	6
2.2.1.2 ตัวอย่างเซนเซอร์ตรวจจับแสงอินฟราเรด แบบที่ 1.....	7
2.2.1.3 เซนเซอร์ตรวจจับแสงอินฟราเรด แบบที่ 2	10
2.3 ตัวเปลี่ยนน้ำหนักเป็นแรงดันไฟฟ้า.....	11
2.3.1 ชิ้นส่วนรับน้ำหนัก (Sensing Element).....	11
2.3.1.1 แบบแกน (Link-Type)	12
2.3.1.2 แบบคาน (Beam-Type).....	15
2.3.1.3 แบบวงแหวน (Ring-Type).....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3.1.4 แบบค่าความต้านทาน (Resistance Strain Gauge).....	20
2.3.2 สเตรนเกจแบบโลหะ (Metallic strain Gauge).....	22
2.3.2.1 หลักการทำงานของสเตรนเกจแบบโลหะ.....	22
2.3.3 สเตรนเกจแบบสารกึ่งตัวนำ.....	23
2.3.4 เกจแฟคเตอร์ (Gauge Factor; GF).....	25
2.3.5 การเลือกสเตรนเกจในการใช้งาน.....	25
2.3.6 การประยุกต์ใช้งานสเตรนเกจ.....	26
2.4 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator).....	27
2.5 การสื่อสารแบบอนุกรม RS-232.....	29
2.5.1 ทฤษฎีพื้นฐานการสื่อสารแบบอนุกรม.....	29
2.5.2 การสื่อสารแบบอนุกรม.....	29
2.5.3 มาตรฐาน RS -232C.....	30
2.5.4 การใช้งานพอร์ตอนุกรม RS-232.....	31
2.5.5 ระดับสัญญาณของ RS-232.....	33
2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC MCU.....	35
2.6.1 จุดเด่นของ PsoC Microcontroller เมื่อเทียบกับไมโครคอนโทรลเลอร์อื่นๆ..	35
2.6.2 คุณสมบัติของPsoC MCU ตระกูล CY8C29X66.....	36
2.6.3 แนวทางในการพัฒนาโปรแกรม.....	36
2.6.4 การโปรแกรมซอร์สโค้ด (Hex File).....	44
บทที่ 3 การออกแบบ และการสร้างระบบ.....	45
3.1 บทนำ.....	45
3.2 การออกแบบระบบการทำงาน Block Diagram.....	45
3.3 การออกแบบเซนเซอร์ความยาว.....	46
3.4 การออกแบบเซนเซอร์น้ำหนัก.....	48
3.5 การออกแบบหน่วยประมวลผล.....	49
3.6 การออกแบบ INTERFACE AND DATABASE.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง.....	51
4.1 บทนำ	51
4.2 การทดลองที่ 1 การตรวจวัดเซนเซอร์ความยาว.....	51
4.2.1 การคำนวณการเปรียบเทียบแรงดัน.....	53
4.3 การทดลองที่ 2 การตรวจวัดเซนเซอร์น้ำหนัก.....	55
4.4 การทดลองที่ 3 การทดลองการ INTERFACE และ DATA BASE.....	59
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	66
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....	66
5.2 ปัญหาที่พบ.....	66
5.3 แนวทางแก้ปัญหา.....	67
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	67
เอกสารอ้างอิง.....	68
ภาคผนวก.....	70
ภาคผนวก ก ภาพประกอบการทดลอง.....	70
ภาคผนวก ข คู่มือการใช้งาน.....	73
ภาคผนวก ค SOURCE CODE.....	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการใช้งานข่าพอร์ตอโนมกรม.....	32
4.1 แสดงการระดับแรงดันที่ความสูงต่างๆเช่นเซอร์.....	52
4.2 แสดงการระดับแรงดันที่ความสูงต่างๆเมื่อผ่านวงจรถอมพาราเตอร์.....	54
4.3 แสดงค่าความถี่ที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับน้ำหนักจริง.....	57
4.3(ต่อ) แสดงค่าความถี่ที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับน้ำหนักจริง (ต่อ).....	58
4.4 ตารางแสดงข้อมูลที่บ้านทีกในโปรแกรม Microsoft Access.....	60
4.4(ต่อ) ตารางแสดงข้อมูลที่บ้านทีกในโปรแกรม Microsoft Access.....	61
4.4(ต่อ) ตารางแสดงข้อมูลที่บ้านทีกในโปรแกรม Microsoft Access.....	62



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงการวัดขนาดความยาวของปลาหมึกและน้ำหนักของปลาตัวเล็ก.....	2
1.2 แสดงไดอะแกรมการทำงานของระบบเก็บข้อมูลขนาดความยาว และน้ำหนักของปลา ทะเล.....	4
2.1 แสดงการกระทบของแสงกับวัตถุด้านหน้า.....	7
2.2 แสดง LED infrared ภาคส่ง D1 และภาครับ D2.....	7
2.3 แสดงอุปกรณ์ในการใช้งานของอินฟราเรด.....	8
2.4 แสดงการต่อวงจรเซนเซอร์อินฟราเรด.....	9
2.5 แสดงการต่อวงจร ไปใช้งานจริง.....	9
2.6 แสดงการตรวจสอบชุดเซนเซอร์.....	10
2.7 แสดงการกระทบของแสงแบบที่สอง.....	10
2.8 แสดงการสะท้อนของตัวส่งกับตัวรับและวงจร Comparator.....	11
2.9 ชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบแกน.....	13
2.10 ชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบคาน.....	15
2.11 ชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบวงแหวน.....	18
2.12 แสดงสเตรนเกจที่ใช้งาน.....	26
2.13 แสดงลักษณะของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน.....	28
2.14 แสดงวงจรเปรียบเทียบแรงดัน แบบใช้ไฟเลี้ยง 2 ชุด.....	28
2.15 แสดงวงจรเปรียบเทียบแรงดัน แบบใช้ไฟเลี้ยง ชุดเดียว.....	28
2.16 แสดงการใช้งาน RS-232.....	31
2.17 พอร์ตอนุกรมของ PC DB9 ตัวผู้ (Male).....	31
2.18 พอร์ตอนุกรมของอุปกรณ์ภายนอก DB9 ตัวเมีย (Female).....	31
2.19 แสดงการจัดขาของคอนเน็กเตอร์ อนุกรมแบบ DB9.....	31
2.20 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ Null modem.....	32
2.21 การต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 เส้น.....	32
2.22 แสดงระดับสัญญาณของ RS-232C และระดับสัญญาณของ TTL.....	33
2.23 แสดงการสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous).....	34
2.24 แสดงการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous).....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.25 แสดงภาพจำลองการวางโมดูลต่างๆลงใน PSoC.....	36
2.26 แสดงขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมให้กับ PSoC MCU ด้วย PSoC Designer.....	39
2.27 แสดงวงจรการจัดขาของบอร์ด ET-BASE PSoC CY8C29866.....	40
2.28 แสดงโครงสร้างบอร์ด ET-BASE PSoC CY8C29866.....	41
2.29 แสดงวงจรพอร์ตอนุกรม RS-232	41
2.30 แสดงพอร์ตของขาสัญญาณ I/O ของ PSoC MCU.....	42
2.31 แสดงพอร์ตสำหรับต่อกับจอแสดงผล LCD.....	42
2.32 แสดงพอร์ตสัญญาณ ET-PSoC ISSP.....	43
2.33 แสดงขั้วต่อสัญญาณ I2C.....	43
2.34 แสดงหลอดไฟ LED ที่ต่อกับขาสัญญาณ P7.....	43
2.35 แสดงวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์.....	44
2.36 การเชื่อมต่อโปรแกรมซอร์สโค้ด (Hex File) ให้กับ PSoC MCU.....	44
3.1 แสดง Block diagram การทำงานของระบบ.....	45
3.2 แสดงอุปกรณ์เซนเซอร์และโครงสร้าง TCRT5000 (L).....	46
3.3 แสดงต่อวงจรคอมพาราเตอร์จากเซนเซอร์.....	47
3.4 การออกแบบวงจรคอมพาราเตอร์.....	48
3.5 แสดงการการจัดวางอุปกรณ์เซนเซอร์.....	48
3.6 เซนเซอร์จากเครื่องชั่งเอนกประสงค์.....	48
3.7 แสดง block diagram ของหน่วยประมวลผล.....	49
3.8 แสดงหน้าต่างโปรแกรมในการอัปโหลดข้อมูล.....	50
3.9 แสดงไฟร์ซาร์ทการทำงานของโครงงาน โดยรวม.....	50
4.1 วงจรเซนเซอร์อินฟราเรด.....	51
4.2 แสดงวงจรจากเซนเซอร์ผ่านวงจรคอมพาราเตอร์.....	52
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของเซนเซอร์กับแรงดันเอาต์พุต.....	55
4.4 ค่าความถี่ที่วัดได้เมื่อน้ำหนักเริ่มต้นที่ 0 กรัม.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.5 ค่าความถี่ที่วัดได้เมื่อน้ำหนักสูงสุด 1,000 กรัม.....	56
4.6 แสดงลูกตุ้มมาตรฐานที่เทียบกับน้ำหนัก.....	57
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับน้ำหนัก.....	58
4.8 แสดงหน้าจอแสดงผลเมื่อยังไม่ได้รับข้อมูล.....	59
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักจริงกับน้ำหนักที่วัดได้จากเครื่องวัดความยาวและหนักปลาทะเล.....	64
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวจริงกับความยาวที่วัดได้จากเครื่องวัดความยาวและหนักปลาทะเล.....	64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

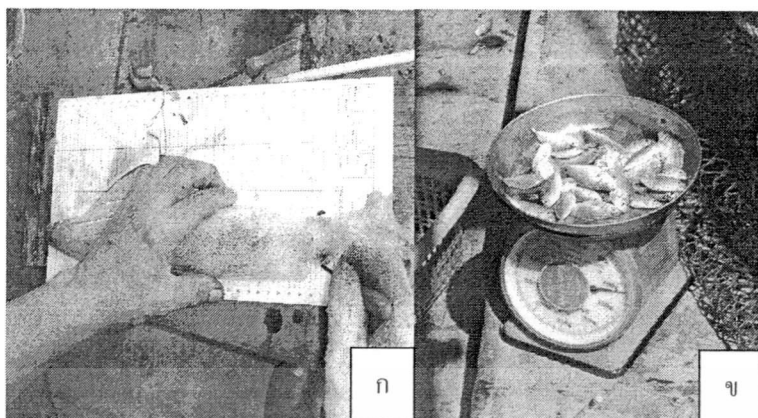
ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย สมมุติฐานของการศึกษา ทฤษฎี หรือแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและ แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยี

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

การประมงน้ำเค็มถือเป็นอาชีพที่สร้างรายได้หลักของชาวภาคใต้หลาย ๆ จังหวัดอย่างเช่น จังหวัด สงขลา ชุมพร แต่ในปัจจุบันนี้ อาชีพดังกล่าวมีปัญหาเกิดขึ้นในหลายด้านไม่ว่าจะเป็นวิกฤต ปัญหาเกี่ยวกับราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลกระทบต่อต้นทุนในการออกเรือไปจับสัตว์ทะเลมาขาย เป็นรายได้ นอกจากนี้ก็ยังมีปัญหาเกี่ยวกับจำนวนสัตว์น้ำที่มีจำนวนน้อยลง สัตว์ทะเล อย่างเช่น ปลา ยังไม่เจริญเติบโตถึงขั้นขยายพันธุ์ก็ถูกจับมาเป็นอาหาร หรือขายเป็นรายได้ก่อน ทำให้สัตว์ทะเลหลายชนิดมีจำนวนลดน้อยลงอย่างรวดเร็ว ฉะนั้นในเวลานี้จะต้องช่วยกันแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งในส่วนของศูนย์พัฒนาประมงชายฝั่งภาคใต้ตอนบนจังหวัดชุมพร ได้มีการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับ ขนาดความยาว และน้ำหนักของสัตว์น้ำทะเล เพื่อสังเกตแนวโน้มอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัตว์ทะเลว่ามี จำนวน ขนาดความยาว และน้ำหนักของสัตว์ที่จับได้เป็นอย่างไร จะได้ทำการแก้ไข ว่า ช่วงไหนที่เหมาะสมที่จะให้มีการจับปลาที่น้ำหนักไหน หรือช่วงไหนที่จะปิดอ่าวเพื่อให้สัตว์ได้มี โอกาสเจริญเติบโตและขยายพันธุ์

จากการที่คณะผู้วิจัยได้ศึกษา และมีโอกาสประสานงานกับ ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงทะเลอ่าวไทยตอนกลาง จังหวัดชุมพร ได้มองเห็นปัญหาเกี่ยวกับระบบการเก็บข้อมูลขนาดความยาว และน้ำหนักของสัตว์ที่จับมาได้ ซึ่งปัจจุบันยังคงใช้คนทำหน้าที่ชั่งน้ำหนัก และวัดขนาดความยาวของสัตว์ที่จับมาได้ แล้วจดบันทึกลงในกระดาษ(ดังแสดงในรูปที่ 1.1 และรูปที่ 1.2)

คณะผู้วิจัยได้ตระหนักถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน จึงได้ถือเป็นหัวข้อวิจัยหลักที่จะทำการวิจัยและพัฒนา ออกแบบระบบเก็บข้อมูลขนาดความยาว และน้ำหนักของปลาทะเล โดยใช้ระบบควบคุม และตรวจวัดทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สามารถหาได้และ สร้างได้เองโดยศักยภาพเทคโนโลยีภายในประเทศ



รูปที่ 1.1 แสดงการวัดขนาดความยาวของปลาหมึกและน้ำหนักของปลาตัวเล็ก [1]

การวัดขนาดความยาวของปลาทะเลที่ใช้ปัจจุบันจะใช้เหล็กแหลมเจาะรูบนกระดาษ ตามขนาดความยาวของสัตว์ดังแสดงในรูปที่ 1.1ก (กระดาษจะไม่เปียกเมื่อโดนน้ำซึ่งต้องนำเข้ามาจากประเทศญี่ปุ่นมีราคาแพง) เมื่อเก็บขนาดความยาวของสัตว์ทุกตัวที่จับได้แล้ว ก็ใช้การนึ่งนับว่าในแต่ละช่องมีจำนวนกี่ตัว ในส่วนของการชั่งน้ำหนักก็ใช้ตาชั่งแบบเข็มธรรมดาดังแสดงรูปที่ 1.1ข.

1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา

โครงการวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเครื่องมือวัดซึ่งประยุกต์วงจรรีเลย์ทรานซิสมาใช้ในการทำงาน โดยมีวัตถุประสงค์ คือ

- 1.2.1 เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบตรวจวัดขนาดความยาว และน้ำหนักของปลาทะเล
- 1.2.2 เพิ่มประสิทธิภาพ ความละเอียด การใช้งานที่ง่าย และรวดเร็ว ในการเก็บข้อมูลขนาดความยาว และน้ำหนักของปลาทะเล
- 1.2.3 เพื่อเก็บข้อมูลขนาดความยาว และน้ำหนักของปลาทะเล
- 1.2.4 เพื่อรู้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจำนวน ขนาดของปลาทะเล
- 1.2.5 เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัย เชิงประยุกต์โดยแนวทางใหม่
- 1.2.6 กระตุ้นให้เกิดการวิจัยในเชิงวิศวกรรมระดับสูง และเผยแพร่ต่อสาธารณะ

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ระบบเก็บข้อมูล ถูกนำมาใช้ในการ วัด และบันทึกข้อมูล เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูล และนำข้อมูลมาเก็บบันทึกไว้เพื่อใช้ประโยชน์ ด้านอื่นๆ อาทิเช่น Muramoto (2000) ใช้ Data logger ในการสังเกตพฤติกรรมของสัตว์ทะเล เกี่ยวกับ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิที่ร่างกาย และ EKG [2] เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

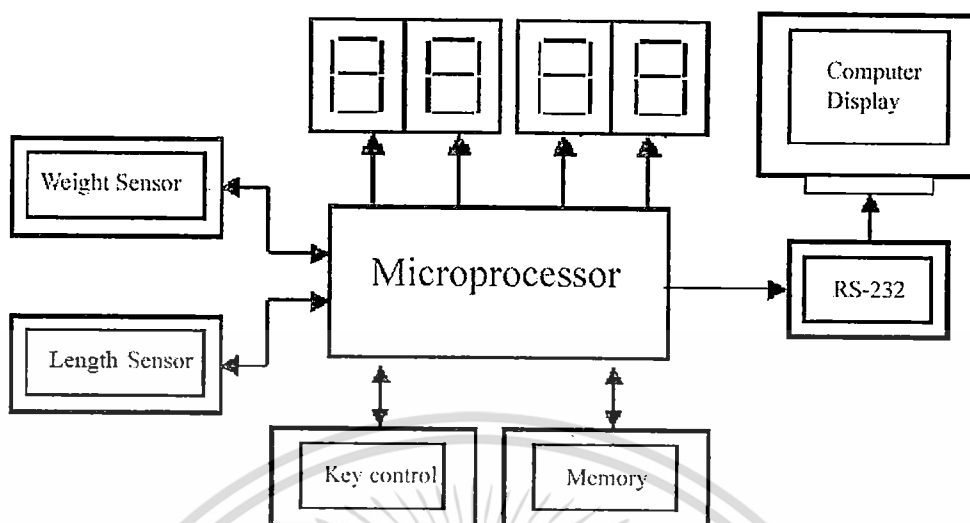
ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาเกี่ยวข้องกับการประมงมากขึ้น เพื่อความสะดวก รวดเร็วและถูกต้องอย่างเช่น การตรวจสอบปริมาณของกุ้งที่ยังมีชีวิตอยู่ในบ่อเลี้ยง โดยประมาณด้วยวิธีประมวลผลภาพ [3] เป็นต้น นอกจากนี้ในส่วนของระบบการเก็บข้อมูลก็ได้มีการนำเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาใช้ อย่างเช่นการเก็บข้อมูลคุณภาพของน้ำ ระดับออกซิเจนในน้ำ ซึ่งการเก็บตัวอย่างเหล่านี้ก็ใช้การตรวจวัดด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ แต่ทั้งนี้เครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้อยู่ในส่วนของ ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงทะเลอ่าวไทยตอนกลาง (ชุมพร) นั้นมีราคาที่สูงมาก

ปลาทะเลจัดเป็นทรัพยากรทางทะเลที่สำคัญมาก แต่นับวันก็ยังมีจำนวนลดน้อยลงเพราะในระยะเวลาที่ผ่านมา มีการจับปลาก่อนที่ปลาจะมีโอกาสได้ขยายพันธ์ [4-5] ดังนั้นในขณะนี้หน่วยงานที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการประมงทางทะเลจึงพยายามเก็บข้อมูล อัตราการเจริญพันธ์ของปลานั้นหมายถึงการเก็บข้อมูลขนาดความยาว และน้ำหนักของปลาที่จับได้ในแต่ละรอบของการออกสำรวจ นอกจากนี้ก็มีการเก็บข้อมูลจำนวนของปลาที่จับได้ในรอบปีด้วย คณะผู้วิจัยจึงคิดที่จะสร้าง และออกแบบ เครื่อง หรือระบบเก็บข้อมูลขนาดความยาว และน้ำหนักของปลาทะเล โดยมีแนวความคิดที่จะนำตัว sensor มาช่วยในการตรวจวัดทั้งขนาดความยาว และน้ำหนักของปลาทะเล และใช้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์มาเป็นตัวประมวลผล แล้วเก็บข้อมูลลงหน่วยความจำแบบ EEPROM ข้อมูลที่เก็บในหน่วยความจำทั้งหมดสามารถโหลดลงสู่คอมพิวเตอร์ ซึ่งระบบทั้งหมดจะช่วยให้การเก็บข้อมูลขนาดความยาว และน้ำหนักของปลาทะเล ได้ถูกต้องรวดเร็วมากขึ้น

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

คณะผู้วิจัยคิดที่จะสร้าง และออกแบบ เครื่อง หรือระบบเก็บข้อมูลขนาดความยาว และน้ำหนักของปลาทะเล โดยมีแนวความคิดที่จะนำตัว Sensor มาช่วยในการตรวจวัดทั้งขนาดความยาว และน้ำหนักของปลาทะเล และใช้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์มาเป็นตัวประมวลผล แล้วเก็บข้อมูลลงหน่วยความจำแบบ EEPROM ข้อมูลที่เก็บในหน่วยความจำทั้งหมดสามารถโหลดลงสู่คอมพิวเตอร์ ซึ่งระบบทั้งหมดจะช่วยให้การเก็บข้อมูลขนาดความยาว และน้ำหนักของปลาทะเล ได้ถูกต้องรวดเร็วมากขึ้น

กรอบแนวความคิดและขอบเขตของระบบเก็บข้อมูลขนาดความยาว และน้ำหนักของปลาทะเลแสดงดังในรูปที่ 1.2 โครงการวิจัยนี้จะประกอบด้วยตัวตรวจวัดขนาดความยาว และน้ำหนัก จากนั้นต้องแปลงข้อมูลเป็นระบบดิจิทัลเพื่อส่งข้อมูลที่เข้าสู่ตัวประมวลผล หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งตัวประมวลผลจะทำหน้าที่หลักในการแสดงผล บันทึกข้อมูลลงหน่วยความจำ และส่งข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ผ่านRS232 เมื่อผู้ใช้ต้องการข้อมูล



รูปที่ 1.2 แสดง ไดอะแกรมการทำงานของระบบเก็บข้อมูลขนาดความยาว และน้ำหนักของปลาทะเล

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ภายในปีงบประมาณ 2551 จะทำการศึกษา ออกแบบระบบตรวจวัดขนาดความยาว และน้ำหนักของปลาทะเล บันทึกผลลงในหน่วยความจำแบบ EEPROM โดยใช้การสื่อสารแบบ I²C และเก็บข้อมูลลงสู่คอมพิวเตอร์ ทำการทดสอบให้มีประสิทธิภาพทั้งในด้านความถูกต้อง และใช้งานได้ง่าย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- สามารถตรวจวัดเก็บข้อมูลขนาดความยาว และน้ำหนักของปลาทะเล
- เพิ่มคุณภาพ มาตรฐานและประสิทธิภาพของระบบเก็บข้อมูลขนาดความยาว และน้ำหนักของปลาทะเล
- กระตุ้นให้เกิดการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากมหาวิทยาลัยสู่ชุมชน
- เป็นข้อมูลให้หน่วยงานอื่นที่สนใจได้นำไปใช้ประโยชน์เพื่อการพัฒนาประเทศเช่น ศูนย์พัฒนาประมงชายฝั่งภาคใต้ตอนบนจังหวัดชุมพร สำนักงานประมงอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6.2 หน่วยงานที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

- สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร
- กรมส่งเสริมการเกษตร
- หน่วยงานภาครัฐ เอกชนและเกษตรกรทั่วไป

1.7 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

ทดลองนำระบบเก็บข้อมูลขนาดความยาว และน้ำหนักของปลาทะเลให้ศูนย์พัฒนาประมงชายฝั่งภาคใต้ตอนบนจังหวัดชุมพร ทดลองใช้เพื่อเก็บข้อมูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานความรู้ และทฤษฎีที่จำเป็นต้องทราบในเบื้องต้นเพื่อใช้ในการวิจัย และกำหนดขอบเขต ข้อจำกัดในการวิจัยเพื่อให้สามารถออกแบบระบบ และระเบียบวิธีการวิจัยได้อย่างถูกต้อง โดยจะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานเซนเซอร์ขนาดความยาว และนำหนักที่ใช้ในงานวิจัย รวมถึงระบบสื่อสารข้อมูล และฐานข้อมูล

2.2 แสงอินฟราเรด (Infrared)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง 1011 – 1014 เฮิร์ตซ์ หรือความยาวคลื่น 6 เมตร เรียกว่า รังสีอินฟราเรด หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า คลื่นความถี่สั้น (Millimeter waves) ซึ่งจะมีย่านความถี่คาบเกี่ยวกับย่านความถี่ของคลื่นไมโครเวฟอยู่บ้าง วัตถุร้อนจะแผ่รังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า 10-4 เมตรออกมา ประสาทสัมผัสทางผิวหนังของมนุษย์ สามารถรับรังสีอินฟราเรด และรังสีอินฟราเรด สามารถอธิบายได้ดังนี้

- เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในระหว่างแสงที่ตามองเห็น
- ถ้าแสงอินฟราเรดเดินทางเป็นเส้นตรง ไม่สามารถผ่านวัตถุทึบแสงและสามารถสะท้อนแสงในวัสดุผิวเรียบได้เหมือนกับแสงทั่วไป
- ใช้มากในการสื่อสารระยะใกล้ เช่น รีโมทคอนโทรลของเครื่องรับโทรทัศน์
- ปัจจุบันถูกพัฒนาใช้ในการสื่อสารไร้สาย สำหรับเครือข่ายเฉพาะบริเวณ
- เมื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลในเครือข่ายสามารถส่งสัญญาณได้ในระยะ 10-30 เมตร

2.2.1 คุณสมบัติเด่นของ Infrared

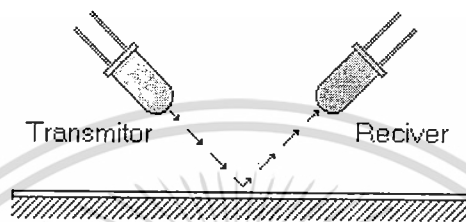
- คลื่นสั้น ทางเดินของแสงเป็นแนวตรง
- ราคาถูก ง่ายต่อการผลิต
- ปกป้องภัยต่อการดักสัญญาณ
- ไม่สามารถทะลุผ่านวัตถุ ทำให้สามารถติดตั้ง Infrared ในห้องทำงานติดกันได้

2.2.1.1 ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้ Infrared

- Remote Control ของโทรทัศน์
- โทรศัพท์มือถือ
- PDA, Palm

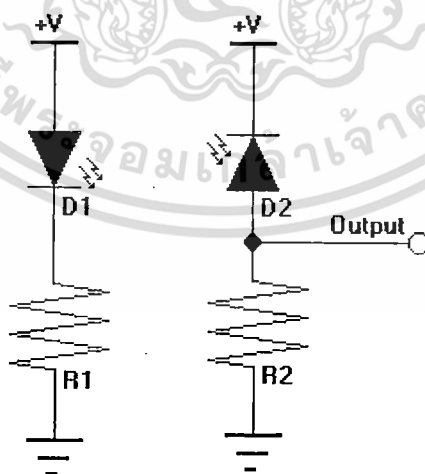
- เครื่องคอมพิวเตอร์มือถือ (Hand held) หรือเครื่องขนาดฝ่ามือ (palmtop)
- เครื่องพิมพ์แบบเลเซอร์สำหรับสำนักงานบางรุ่น
- เครื่องเลเซอร์ในการรักษาโรค
- กล้องส่องทางไกล

2.2.1.2 ตัวอย่างเซนเซอร์ตรวจจับแสงอินฟราเรด แบบที่ 1



รูปที่ 2.1 แสดงการกระทบของแสงกับวัตถุด้านหน้า

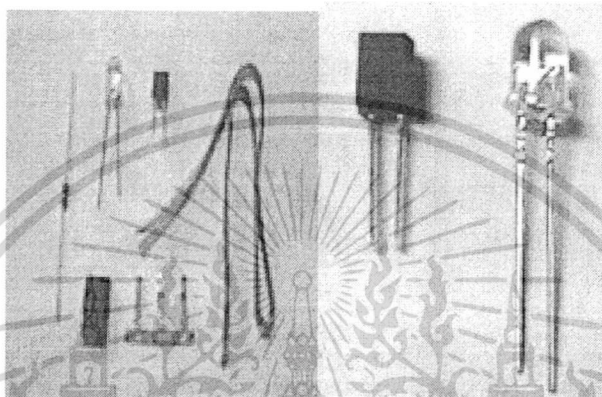
จากรูปที่ 2.1 หลักการของการสะท้อนของแสง [6] กล่าวคือ ใช้อุปกรณ์ส่งแสง เป็นแหล่งกำเนิด ปล่อยแสงออกไป และเมื่อแสงกระทบกับวัตถุด้านหน้า มันก็จะสะท้อนแสงกลับมาเข้าที่ตัวรับแสง ส่วนอัตราของการสะท้อนกลับนั้น ขึ้นอยู่กับสี และสภาพความมัน ของวัตถุที่สะท้อน เช่น สีดำ จะมีอัตราการสะท้อนกลับ น้อยกว่าสีขาว, หรือสภาพพื้นผิวที่มีความราบเรียบเป็นมันวาว จะสามารถสะท้อนแสงได้ดีกว่า พื้นผิวที่มีลักษณะด้าน และขรุขระ เป็นต้น



รูปที่ 2.2 แสดง LED infrared ภาดส่ง D1 และภาดรับ D2

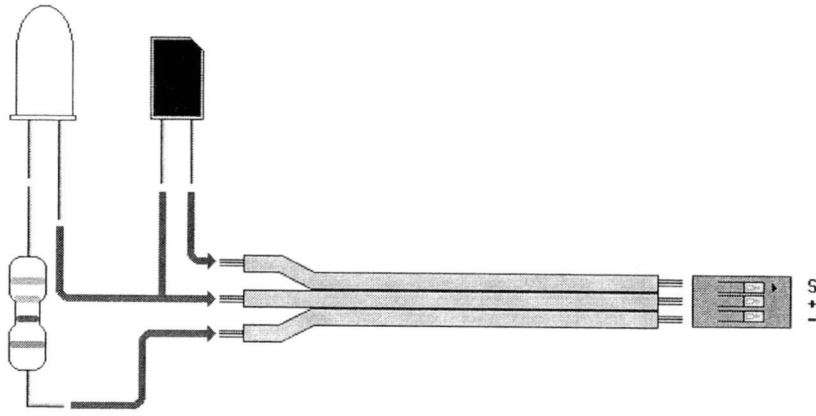
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.2 วงจรภาคส่ง จะประกอบไปด้วย LED infrared ตัวส่ง D1 ทำงานร่วมกับค่าความต้านทาน R1 ที่มีหน้าที่จำกัดกระแสให้กับ LED ตัวส่ง ไม่ให้เสียหายวงจรรับ จะประกอบด้วย LED infrared ตัวรับ D2 และค่าความต้านทาน R2 สำหรับการใช้งาน LED ตัวรับ ให้นำกระแส เราจะต้องต่อแบบ Reverse เมื่อไม่มีแสงมาตกกระทบที่ตัวมัน จะมีค่าความต้านทานเป็นอนันต์ จึงไม่สามารถนำกระแสได้ แต่เมื่อมีแสงมาตกกระทบ ค่าความต้านทานจะลดลง จนสามารถนำกระแสได้



รูปที่ 2.3 แสดงอุปกรณ์ในการใช้งานของอินฟราเรด

สำหรับเซ็นเซอร์ชุดนี้นั้นอาจมีความยุ่งยาก และสร้างความสับสน ให้กับน้อง ๆ รุ่นใหม่ ๆ ที่ยังไม่เคยชินกับอุปกรณ์ LED infrared ตัวรับ และตัวส่ง ซึ่งในท้องตลาดเรามีขายอยู่มากมายหลายแบบ เพราะบางครั้งน้อง ๆ ที่ไปซื้อ อาจซื้อมาไม่เหมือนกันได้ ดังนั้นจึงมีตัวอย่างมาให้ดู ในรูปที่ 2.3 ตัวส่ง จะเป็นลักษณะเหมือน LED ทั่ว ๆ ไป ตัวใส ๆ ขาที่ยาวกว่า เป็นขาแอนโอด (ขาบวก) ส่วนขาที่สั้นกว่าเป็นขาแคโทด (ขาลบ) บางร้านอาจเป็นแบบตัวสี่ขา ๆ ใส ๆ ซึ่งสามารถใช้งานได้เหมือนกัน ส่วนตัวรับ ตามตัวอย่างในภาพนั้น จะมีลักษณะเป็น สีเหลี่ยม ถึงแม้ว่าขาของอุปกรณ์นั้นจะถูกตัดมาเท่ากัน แต่การสังเกตุนั้นให้ดูที่ตัวถัง ฝั่งที่มีรอยบาก จะเป็นขาแคโทด แต่หากใครไปซื้อได้แบบ ตัวดำๆ รูปร่างคล้ายทรานซิสเตอร์ แต่มีสองขา ใช้ได้เหมือนกัน และแบบนั้นโรงงานจะตัดขามาไม่เท่ากัน ขาที่ยาวกว่าจะเป็นแอนโอด ที่เหลือก็เป็นแคโทด หรือถ้าซื้อได้แบบที่เป็นตัวใส ๆ เหมือนกับตัวส่ง ก็ใช้ได้เหมือนกัน การดูขาเหมือนกัน



รูปที่ 2.4 แสดงการต่อวงจรเซนเซอร์อินฟราเรด

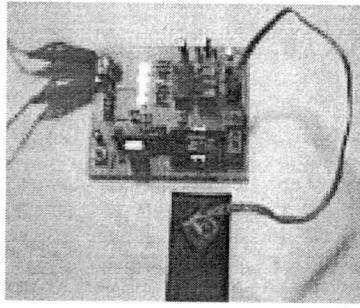


รูปที่ 2.5 แสดงการต่อวงจรไปใช้งานจริง

จากรูปที่ 2.4 และ 2.5 เป็นการสร้างมีอุปกรณ์เพียงแค่ 3 ตัว อาจหาเศษแผ่นปริ้นท์เล็ก ๆ มาใช้ในการลงอุปกรณ์ และเมื่อทำเสร็จแล้ว สวมครอบชุดเซนเซอร์ เอาไว้ เพื่อเป็นการป้องกันแสงจากภายนอกมารบกวนการทำงานของเซนเซอร์ อาจจะเป็นเบ้าอลูมิเนียมสีเหลี่ยม มาทำเป็นกระบอกครอบชุดเซนเซอร์ก็ได้

ก่อนที่จะมีการทดสอบการทำงานของชุดเซนเซอร์นั้น จะต้องมีการปรับแต่งกันก่อน ทั้งนี้เนื่องจากสภาพของแสง ในแต่ละสถานที่นั้น มีความเข้มของแสงไม่เท่ากัน เราจะปรับแต่งโดยต่อชุดเซนเซอร์ที่เราทำ เข้ากับ Micro Activities Board (ที่คอนเน็คเตอร์ S0 - S3 ชุดใดก็ได้) แล้ววางเซนเซอร์ ไว้เหนือพื้นผิวสีดำ (ใช้กระดาษสีดำ) ให้อยู่สูงจากพื้นประมาณไม่เกิน 1 - 2 ซม. แล้วใช้ไขควงแบนเล็ก ๆ ปรับที่ทริมเมอร์ (ชุดเดียวกันกับที่ต่อเซนเซอร์) จนกระทั่ง LED สีเขียวติดสว่างแล้วหยุดแค่นั้น แต่ถ้า LED สว่างอยู่แล้ว ให้ปรับจน LED ดับก่อน แล้วค่อย ๆ ปรับขึ้นมาจาก LED สว่าง แล้วหยุดแค่นั้น ดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

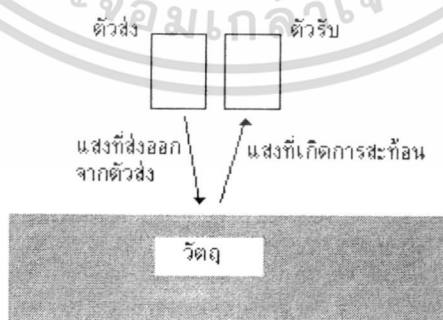


รูปที่ 2.6 แสดงการตรวจสอบชุดเซนเซอร์

เมื่อปรับได้แล้ว คราวนี้ลองขยับเซนเซอร์ มาวางไว้บนพื้นสีดำ คราวนี้ LED จะต้องติดสว่างขึ้นมาอีกครั้ง เหมือนครั้งแรกลองทดสอบเลื่อนไปเลื่อนมาระหว่างสีขาวกับสีดำว่าเซนเซอร์มีการตอบสนองที่ดีพอหรือไม่ โดยการสังเกตจาก LED เท่านั้น เซนเซอร์ก็พร้อมที่จะนำไปใช้งาน

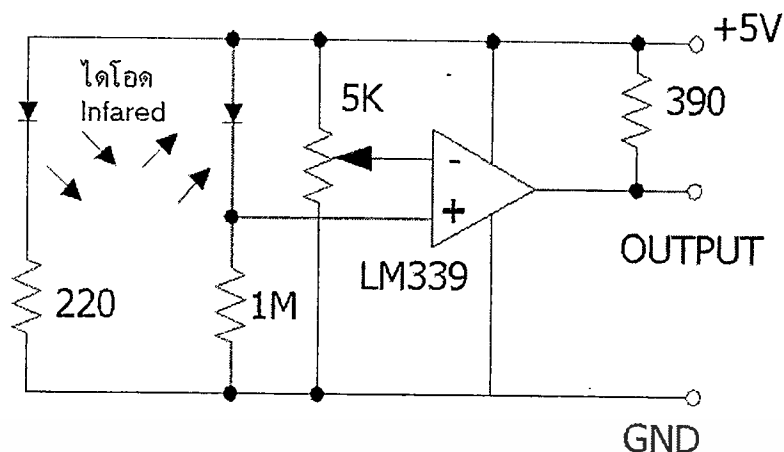
2.2.1.3 เซนเซอร์ตรวจจับแสงอินฟราเรด แบบที่ 2

เซนเซอร์ตัวนี้ ใช้หลักการของการสะท้อนกลับ ของแสงอินฟราเรด เช่นเดียวกับกับแบบแรก แต่ต่างกันตรงตัวเซนเซอร์ ที่จะนำมาใช้นั้น จะรวมเอาตัวรับแสง และตัวส่งแสง รวมอยู่ในตัวเดียวกัน ซึ่งเป็นการสะดวกในการนำมาใช้งาน เพราะเราไม่ต้องมาจัดระยะห่างเอง ไม่ต้องมาจัดมุมสะท้อนเอง เพราะทุกอย่างนั้น ได้ถูกจัดการมาจากโรงงานผลิตเรียบร้อยแล้ว การตรวจจับเส้นหรือระดับความสว่างของแสงที่ตกกระทบผิวของวัสดุ โดยเส้นที่เป็นสีขาวจะมีการดูดซับแสงน้อย ทำให้มีการสะท้อนของแสงมาก ในทางกลับกัน ถ้าเป็นสีดำจะมีการดูดซับแสงมาก ทำให้มีการสะท้อนของแสงน้อยเราจึงได้มีการนำเอาหลักการนี้มาใช้ในการตรวจหาเส้นหรือตรวจหาระดับความสว่างของแสงที่สะท้อนจากวัสดุ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการกระทบของแสงแบบที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงการสะท้อนของตัวส่งกับตัวรับและวงจร Comparator

รูปที่ 2.8 วงจรเซนเซอร์โดยส่วนมากที่ใช้จะใช้ Op-Amp ในการเปรียบเทียบระดับแรงดันไฟฟ้า เพื่อให้ได้เป็นระดับลอจิกเพื่อต่อเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ จากรูปจะใช้ VR 5K ในการปรับระดับแรงดันที่ต้องการเปรียบเทียบ [7] โดยเมื่อมีการสะท้อนของแสงมากหรือเป็นสีขาว จะได้ Output เป็นลอจิก "1" และเซนเซอร์ที่ใช้เป็นตัวรับ-ส่ง อินฟราเรด ซึ่งอินฟราเรดเป็นแสงสีแดงจะทำให้การสะท้อนของสีขาวและสีแดงมีความใกล้เคียงกันจึงต้องระวังในข้อนี้ด้วย

2.3 ตัวเปลี่ยนน้ำหนักเป็นแรงดันไฟฟ้า

ตัวเปลี่ยนน้ำหนักเป็นแรงดันไฟฟ้า ซึ่งต่อไปนี้จะขอเรียกว่า “โพลดเซลล์” เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำหนักของโพลดให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า[8] โดยอาศัยหลักการทางกลศาสตร์ และทางไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้ร่วมกัน กล่าวคือเมื่อน้ำหนักมากกระทำต่อโพลดเซลล์จะเกิดการยืดหรือหดตัวขึ้นในเนื้อวัสดุตามลักษณะการกระทำของแรงดึงหรือแรงกด และจากการยืดหรือหดตัวของวัสดุนี้ทำให้เกิดความเค้น (Stress) ความเครียด (Strain) ขึ้นในวัสดุซึ่งเป็นไปตามกฎของฮุก (Hook's Law) จากนั้นจะใช้สเตรนเกจซึ่งติดอยู่บนตัวรับน้ำหนัก ทำหน้าที่เปลี่ยนความเครียดในวัสดุให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งเมื่อผ่านการขยายและปรับแต่งสัญญาณแล้ว จะสามารถแสดงผลออกมาเป็นค่าน้ำหนักได้โดยตรง และที่สำคัญลักษณะข้อมูลที่อยู่ในรูปของสัญญาณแรงดันไฟฟ้า และง่ายต่อการนำไปใช้งาน จากหลักการทำงานของโพลดเซลล์จะเห็นได้ว่ามีโครงสร้างหลักๆ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ

2.3.1 ชิ้นส่วนรับน้ำหนัก (Sensing Element)

ชิ้นส่วนรับน้ำหนักทำหน้าที่รับน้ำหนักของโพลดที่มากกระทำต่อโพลดเซลล์ ซึ่งจะเกิดการยืดหรือหดตัวขึ้นในเนื้อวัสดุ ทำให้เกิดความเค้น และความเครียดขึ้นโดยทั่วไปแล้ว ชิ้นส่วนรับน้ำหนักต้องไม่มีการยืดหรือหดตัวอย่างถาวรขณะรับโพลด จากกฎของฮุกจะได้รับความสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างแรงหรือน้ำหนัก ที่มากระทำต่อชิ้นส่วนรับน้ำหนักกับค่าความเครียด ได้ซึ่งความสัมพันธ์ได้แสดงไว้ดังสมการที่ 2.1

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F/A}{\Delta L/L} \quad (2.1)$$

โดยที่ E คือ โมดูลัสความยืดหยุ่น (นิวตัน/มม.²)

σ คือ ความเค้น (นิวตัน/มม.²)

ϵ คือ ความเครียด

F คือ แรงที่กระทำ (นิวตัน)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนรับน้ำหนัก (มม.²)

L คือ ความยาวเดิมของชิ้นส่วนรับน้ำหนัก (มม.)

ΔL คือ ความยาวที่เปลี่ยนไปของชิ้นส่วนรับน้ำหนัก (มม.)

โดยการเลือกรูปร่างและชนิดของวัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนรับน้ำหนักให้เหมาะสมแล้ว จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาด และแรงในลักษณะเชิงเส้นซึ่งวัสดุที่ใช้ควรมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. มีความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดเป็นเชิงเส้นอยู่ในช่วงกว้างๆ
2. มีสเตรนฮิสเทอริซิส (Strain Hysteresis) ต่ำเมื่อรับโหลดซ้ำๆ กัน
3. มีการเปลี่ยนแปลงของความเครียดต่อเวลาต่ำในขณะที่มีความเค้นคงที่

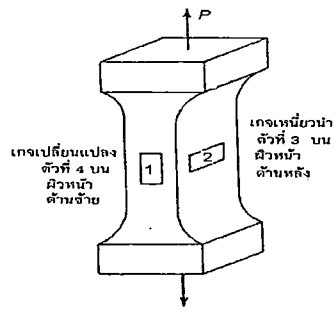
การวัดแรง (Force Measurements) ตัวแปลงสัญญาณที่ใช้ในการวัดแรงบิดและแรงกดปกติจะประกอบด้วยชิ้นส่วนรับแรงยืดหยุ่น ซึ่งจะแปรผันปริมาณไปเป็นการวัดการหักเหหรือความเครียด ตัวตรวจรับการหักเห สเตรนเกจสามารถที่จะใช้ในการวัดปริมาณของผลที่วัด (แรง, แรงบิดหรือแรงกด) คุณลักษณะโดยทางอ้อมของตัวแปลงสัญญาณ เช่น ระยะเวลาเชิงเส้นและความไว ซึ่งจะกำหนดโดยขนาดและตัวตรวจจับ (Sensor) เป็นต้น

วัสดุที่ใช้ทำเป็นชิ้นส่วนรับน้ำหนัก มักจะใช้เหล็กคาร์บอนปานกลางผสมโครเมียมและโมลิบดีนัม ส่วนรูปร่างของชิ้นส่วนรับน้ำหนักที่นิยมใช้กันนั้นจะมีรูปร่างที่แตกต่างออกไป ตามขนาดของโหลดที่รับน้ำหนักซึ่งมีลักษณะใหญ่ๆ ดังนี้

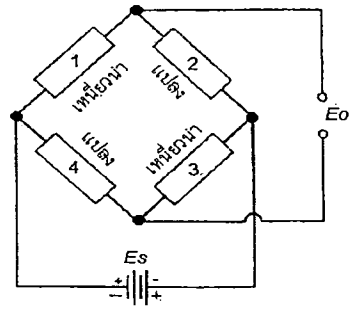
2.3.1.1 แบบแกน (Link-Type)

ชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบแกนเดี่ยวพร้อมด้วยสเตรนเกจซึ่งจะแสดงในรูปที่ 2.9 น้ำหนักของโหลด (P) สามารถที่จะเป็นน้ำหนักดึงหรือน้ำหนักวัด ซึ่งจะมีตัวสเตรนเกจทั้งสี่ตัว ติดอยู่กับแกน โดยจะมีสองตัวติดตรงกับแกน และอีกสองตัวจะติดตามขวางของแกน สเตรนเกจทั้งสี่ตัวเป็นขดลวด ซึ่งจะอยู่ในวงจรบริดจ์ แขนของเกจตัวที่ 1 และตัวที่ 3 จะติดอยู่ตามแกน แขนของเกจตัวที่ 2 และตัวที่ 4 จะติดอยู่ตามขวาง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ชิ้นส่วนรับแรงยึดหยุ่นพร้อมตัวสเตรนเกจ



(ข) สเตรนเกจในวงจรบริดจ์

รูปที่ 2.9 ชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบแกน

เมื่อน้ำหนักของโหลด (P) มากระทำกับแกนความเครียดในแกน (ϵ_a) และความเครียดตามขวาง (ϵ_t) จะมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักดังสมการ 2.2

$$\epsilon_a = \frac{P}{AE}, \quad \epsilon_t = \frac{VP}{AE} \tag{2.2}$$

โดยที่ A คือ พื้นที่ตัดขวางของแกน

E คือ โมดูลัสความยืดหยุ่นของโลหะที่ใช้ทำแกน

V คือ อัตราส่วนของโลหะที่ใช้ทำแกน

P คือ แรงที่กระทำกับแกน

ปฏิกิริยาตอบสนองของสเตรนเกจเมื่อมีน้ำหนักของโหลดมากระทำเท่ากับสมการที่ 2.3

$$\frac{\Delta R_1}{R_1} = \frac{\Delta R_3}{R_3} = S_g \epsilon_a = \frac{S_g P}{AE} \tag{2.3}$$

$$\frac{\Delta R_2}{R_2} = \frac{\Delta R_4}{R_4} = S_g \epsilon_t = -\frac{V \cdot S_g P}{AE}$$

แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต E_o จากวงจรบริดจ์จะแสดงได้ในเทอมของน้ำหนักโหลด (P) โดยแทนค่าในสมการที่ (2.3) ถ้าสมมติให้ตัวสเตรนเกจทั้งสี่ตัวบนแกนมีค่าเหมือนกัน คือ $R_1 = R_2$ จะได้สมการที่ 2.4 และ 2.5

$$E_0 = \frac{S_g P(1+v)E_i}{2AE} \quad (2.4)$$

$$P = \frac{2AE}{S_g(1+v)E_i} E_0 = CE_0 \quad (2.5)$$

ซึ่งจะแสดงให้เห็นรูปของน้ำหนัก P เป็นสัดส่วนเชิงเส้นของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต E_0 และเป็นสัดส่วนที่คงที่หรือค่าคงที่การตรวจสอบ (C) ดังสมการ 2.6

$$C = \frac{2AE}{S_g(1+v)E_i} \quad (2.6)$$

ความไวของวงจรบริดจ์ จัดหมู่โดยให้ $S = E_0 / P$ ดังสมการ 2.7

$$S = \frac{E_0}{P} = \frac{1}{C} = \frac{S_g(1+v)E_i}{2AE} \quad (2.7)$$

ซึ่งจะแสดงถึงความไวของชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบแกนว่าขึ้นอยู่กับพื้นที่ภาคตัดขวางของแกน (A) ค่าคงที่ความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำสเตรนเกจของแกน (E และ V) สเตรนเกจจะใช้เช่นเดียวกับตัวรับ (S_g) และแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานของแรงดันไฟฟ้าอินพุตของวงจรบริดจ์ (E_i) ระยะห่างของชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบแกนได้กำหนดโดยพื้นที่ตัวตั้งฉากกับแกน และความแข็งแรง S_f ของวัสดุที่ใช้ทำตัวสเตรนเกจ จะได้ดังสมการที่ 2.8

$$P_{\max} = S_f A \quad (2.8)$$

อัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าที่น้ำหนักสูงสุด (E_0 / E_i)_{max} สำหรับชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบแกนคือการแทนด้วยสมการที่ (2.8) ในสมการที่ (2.4) จะได้ดังสมการที่ 2.9

$$\frac{E_0}{E_i} = \frac{S_g S_f(1+V)}{2E} \quad (2.9)$$

ชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบแกน ส่วนมากวัสดุที่จะนำมาทำสเตรนเกจจะใช้วัสดุ AISI 4340 ($E = 30,000,000$ psi และ $v = 0.3$) $S_f = 80,000$ psi เมื่อ $S_g = 2$ สำหรับการใส่สเตรนเกจในชิ้นส่วนรับน้ำหนัก สมการที่ (2.9) แสดงได้คือ

$$\left(\frac{E_0}{E_i}\right)_{\max} = \frac{2(80,000)(1+0.3)}{2(30,000,000)} = 3.47 \text{ mV/V}$$

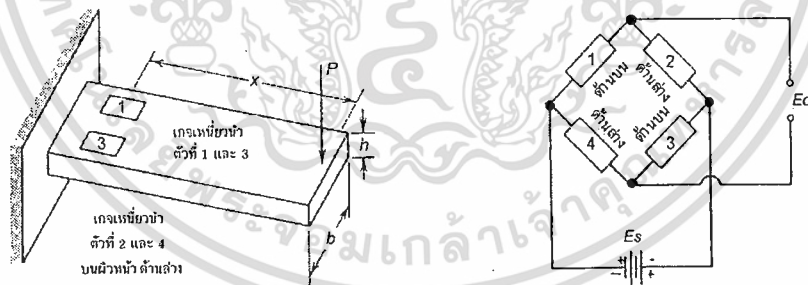
ชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบแกน โดยทั่วไปมีค่าสูงสุดของอัตราแรงดันไฟฟ้า $(E_0/E_i)_{\max} = 3$ มิลลิโวลต์ต่อโวลต์ ที่ค่าน้ำหนักสูงสุด ($P = P_{\max}$) เกี่ยวกับข้อกำหนดค่าสูงสุดของอัตราแรงดันไฟฟ้า $(E_0/E_i)_{\max}$ ค่าน้ำหนัก P บนชิ้นส่วนรับน้ำหนักจะแสดงในสมการที่ 2.10

$$P = \frac{E_0/E_i}{(E_0/E_i)_{\max}} P_{\max} \tag{2.10}$$

แรงดันไฟฟ้า E_i นี้เป็นชนิดสำหรับ 10 โวลต์ เพราะฉะนั้นค่าแรงดันไฟฟ้า เอาต์พุตของชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบแกนที่ค่าน้ำหนักสูงสุดจะมีค่าใกล้เคียง 3 มิลลิโวลต์ สัญญาณเอาต์พุตสามารถดูได้จากโวลต์มิเตอร์แบบดิจิทัล หรือถ้าสัญญาณเป็นแบบไดนามิกจะสามารถแสดงผลได้บนเครื่องบันทึกออสซิลโลกราฟฟิกรหรือออสซิลโลสโคป

2.3.1.2 แบบคาน (Beam-Type)

ชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบคานจะมีลักษณะการใช้งานเช่นเดียวกันกับการวัดน้ำหนักที่ตำแหน่งเดียวกัน เมื่อชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบแกนไม่สามารถทำได้ สำหรับชิ้นส่วนรับน้ำหนัก แบบคานจะประกอบด้วยตัวสเตรนเกจสองตัวอยู่บนผิวหน้าและตัวสเตรนเกจอีกสองตัวอยู่ที่ด้านใต้ของผิวหน้า ซึ่งวางตามความยาวของคานสเตรนเกจเป็นขดลวดที่อยู่ภายในวงจรบริดจ์ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.10



(ก) ชิ้นส่วนรับแรงยืดหยุ่นและสเตรนเกจ (ข) สเตรนเกจในวงจรบริดจ์

รูปที่ 2.10 ชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบคาน

น้ำหนักของโหลด (P) ที่กระทำจะเกิดโมเมนต์ $M = PX$ ที่ตำแหน่ง x ผลลัพธ์ของความเครียด ดังสมการที่ 2.11

$$\epsilon_1 = -\epsilon_2 = \epsilon_3 = -\epsilon_4 = \frac{6M}{Ebh^2} = \frac{6PX}{Ebh^2} \tag{2.11}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ b คือ ความกว้างของภาคหน้าตัดของคาน

h คือ ความสูงของภาคหน้าตัดของคาน

การตอบสนองของสเตรนเกจที่ได้รับจากสมการที่ (2.11) จะได้ดังสมการที่ 2.12

$$\frac{\Delta R_1}{R_1} = \frac{\Delta R_2}{R_2} = \frac{\Delta R_3}{R_3} = \frac{\Delta R_4}{R_4} = \frac{6S_g \cdot PX}{Ebh^2} \quad (2.12)$$

แรงดันเอาต์พุต E_0 จากวงจรบริดจ์จะทำให้ทรานสดิวซ์เซอร์จากน้ำหนัก P ถ้าสเตรนเกจทั้งสี่ตัวบนคานจะสมมติให้มีค่า ดังสมการ 2.13 และ 2.14

$$E_0 = \frac{6S_g \cdot PX E_i}{Ebh^2} \quad (2.13)$$

$$P = \frac{Ebh^2}{6S_g \cdot PX E_i} E_0 = CE_0 \quad (2.14)$$

สมการที่(2.14) แสดงค่าน้ำหนักของ P เป็นสัดส่วนเชิงเส้นกับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตและค่าคงที่ของสัดส่วนหรือค่าคงที่ของการวัด (C) ดังสมการ 2.15

$$C = \frac{Ebh^2}{6S_g \cdot PX E_i} \quad (2.15)$$

ความไวของวงจรบริดจ์ โดยให้ $S = E_0 / P$ ดังสมการที่ 2.16

$$S = \frac{E_0}{P} = \frac{1}{C} = \frac{6S_g \cdot PX E_i}{Ebh^2} \quad (2.16)$$

สมการที่(2.16) ได้แสดงว่าความไวของชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบคานขึ้นอยู่กับรูปร่างของภาพตัดขวางของคาน (b และ h) โมดูลัสความยืดหยุ่นของโลหะที่ใช้ทำตัวสเตรนเกจ (E) ตำแหน่งของน้ำหนักที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับเกจ (x) สเตรนเกจ (S_g) และการใช้แรงดันไฟฟ้าอินพุตของวงจรบริดจ์ (E_i)

ระยะของชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบคานขึ้นอยู่กับขนาดของภาพตัดขวางของคานตำแหน่งของจุดที่ใช้งานของน้ำหนักและความแข็งแรงการล้าของโลหะ จากวัสดุที่ใช้ทำสเตรนเกจถ้าสมมติให้เกจ อยู่ใกล้กับจุดรองรับของคาน $M_{\text{gage}} \approx M_{\text{max}}$ ดังสมการ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก $P_{\text{max}} = \frac{S_f bh^2}{6X}$ เนื่องจากเนื้อหาต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2.17)

จากสมการที่ (2.15) และสมการที่ (2.16) ได้แสดงระยะทางและความไวของชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบคานสามารถที่จะเปลี่ยนได้ โดยการเปลี่ยนจุดน้ำหนักที่ใช้ในการใช้งานความไวสูงสุดและระยะที่เกิดขึ้นใกล้กับความยาว x ของคาน ความไวที่ลดลงและระยะที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับจุดของน้ำหนักที่กระทำที่เคลื่อนที่ใกล้กับเกจ

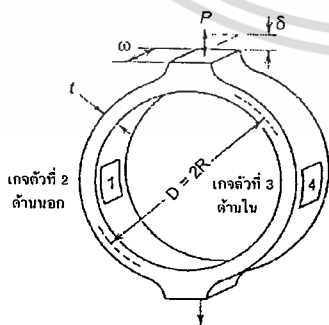
อัตราแรงดันไฟฟ้าที่น้ำหนักสูงสุด $(E_0 / E_i)_{\max}$ สำหรับชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบคาน คือการแทนสมการที่ (2.17) ลงในสมการที่ (2.13) ดังนั้น ดังสมการ 2.18

$$\left(\frac{E_0}{E_i} \right)_{\max} = \frac{S_g S_f}{E} \quad (2.18)$$

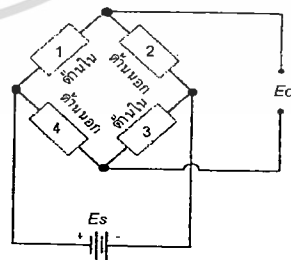
การเปรียบเทียบสมการที่ (2.18) กับสมการที่ (2.9) แสดงว่าชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบคานมีค่าความไวใกล้เคียงร้อยละ 50 มากกว่าชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบแกน โดยทั่วไปแล้วชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบคานจะมีอัตรา (E_0 / E_i) อยู่ระหว่าง 4 ถึง 5 มิลลิโวลต์ต่อโวลต์ (mV/V) ที่ค่าเต็มสเกลของน้ำหนัก

2.3.1.3 แบบวงแหวน (Ring-Type)

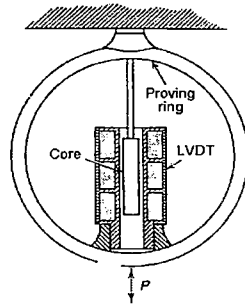
ชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบวงแหวนสามารถที่จะทำการออกแบบให้มีระยะต่างๆ ได้ตามน้ำหนัก โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) ความหนา (t) และความกว้าง (w) ของขนาดวงแหวนทั้งสเตรนเกจหรือมือแปลงไฟฟ้า ปรับความแตกต่างแบบเชิงเส้น (Linear Variable Differential Transformer หรือ LVDT) ซึ่งต่อไปนี้จะขอเรียกว่า “LVDT” สามารถที่จะใช้ได้เช่นเดียวกับตัวตรวจจับ (Sensor) แสดงในรูปที่ 2.11



(ก) ชิ้นส่วนรับแรงยึดหยุ่นและสเตรนเกจ



(ข) สเตรนเกจในวงจรบริดจ์



(ค) ชิ้นส่วนรับแรงยึดหยุ่นพร้อมกับตัวตรวจจิบ LVDT

รูปที่ 2.11 ชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบวงแหวน

ถ้า LVDT เป็นตัวที่ใช้ในการวัดแรงหรือการยึดตัวของวงแหวนความสัมพันธาระหว่างระยะที่เคลื่อนที่และน้ำหนัก P ได้แสดงค่าโดยการประมาณค่าจะได้ดังสมการ 2.19

$$\delta = 1.79 \frac{PR^3}{Ewt^3} \quad (2.19)$$

สมการที่ (2.19) เป็นค่าที่ใกล้เคียง เมื่อพื้นที่ที่เสริมแรงด้านบนและด้านล่างของแหวนไม่มีน้ำหนักโหลดมากระทำ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต E_0 ของ LVDT สามารถแสดงได้ดังสมการ 2.20

$$E_0 = S \cdot \delta \cdot E_i \quad (2.20)$$

การแสดงค่าความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต E_0 และค่าน้ำหนัก P โดยการแทนสมการที่ (2.19) ในสมการที่ (2.20) ดังนั้นจะได้ดังสมการ 2.21

$$E_0 = 1.79 \frac{SPR^3 E_i}{Ewt^3} \quad (2.21)$$

$$P = 0.56 \frac{Ewt^3}{SR^3 E_i} E_0 = CE_0 \quad (2.22)$$

สมการที่ (2.22) แสดงค่าน้ำหนักเป็นสัดส่วนเชิงเส้นกับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต E_0 หรือสัดส่วนของค่าคงที่และค่าคงที่ของการวัด (C) จะมีค่าโดยประมาณเท่ากับสมการ 2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C = 0.56 \frac{E_w t^3}{SR^3 E_i} \quad (2.23)$$

ความไวของวงแหวน LVDT ที่จัดให้ S_f จะได้ดังสมการ 2.24

$$S_f = \frac{E_0}{P} = \frac{1}{C} = 1.79 \frac{SR^3 E_i}{E_w t^3} \quad (2.24)$$

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ความไวของชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบวงแหวนในการใช้ตัวรับแบบ LVDT จะขึ้นอยู่กับค่าต่างๆ ของแหวน (D , t และ w) วัสดุที่นำมาทำเป็นตัวสเตรนเกจ (E) และ คุณสมบัติของ LVDT (S และ E_i) ระยะของชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบวงแหวนได้ควบคุมโดยใช้ ความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้ทำเป็นตัวสเตรนเกจถ้าใช้ในการวัดค่าน้ำหนักที่เป็นวัฏจักรความ แข็งแรงของการล้า จะมีความสำคัญมากถ้าใช้ในการวัดเฉพาะค่าน้ำหนักคงที่ ข้อจำกัดสัดส่วน โลหะสามารถที่จะใช้การจัดตั้งระยะของชิ้นส่วนรับน้ำหนักที่ความดันสูงสุดในชิ้นส่วนของวง แหวนที่เสริมทั้งด้านบนและด้านล่างผิวหน้าด้านในจะมีค่าสูงมากกว่าของแหวนบนเส้นผ่าน ศูนย์กลางที่ระยะตั้งฉากกับ น้ำหนักที่กระทำ การประมาณค่าที่ใกล้เคียงสำหรับความเค้นที่ ตำแหน่งใดๆ ดังสมการ 2.25

$$\sigma_\theta = 1.09 \frac{PR}{wt^2} \quad (2.25)$$

ดังนั้น จากสมการที่ (2.25) สำหรับการวัดน้ำหนักที่เป็นวัฏจักรจะได้ดังสมการ 2.26

$$P_{\max} = 0.92 \frac{wt^3 S_f}{R} \quad (2.26)$$

อัตราแรงดันไฟฟ้าที่ค่าน้ำหนักสูงสุด $(E_0/E_i)_{\max}$ คือการแทนสมการที่ (2.25) ลงในสมการ ที่ (2.1) ดังนั้นจะได้ดังสมการ 2.27

$$\left(\frac{E_0}{E_i} \right)_{\max} = 1.64 \frac{SR^2 S_f}{Et} \quad (2.27)$$

อัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า (E_0/E_i) สำหรับชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบวงแหวนส่วนมากมีค่าน้อย กว่าค่าที่ได้จากสมการที่ (2.27) และไม่ทำงานที่ค่าเท่ากับระดับความเค้นความเสียหายของวัสดุ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า (E_0/E_i) และน้ำหนักสูงสุดในการที่ (2.10) สามารถที่จะทำให้น้ำหนักมีความเท่ากันในการวัดแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ได้ดังสมการ 2.28

$$P = \frac{E_0 / E_i}{(E_0 / E_i)_{\max}} P_{\max} \quad (2.28)$$

ชนิดของ LVDT ระยะสั้น (± 1.25 มิลลิเมตร) จะใช้สำหรับตัวรับ ซึ่งชิ้นส่วนรับน้ำหนักจะแสดงความไว 250 มิลลิโวลต์ต่อโวลต์มิลลิเมตร (mV/V. mm) ถ้าชิ้นส่วนของแหวนของชิ้นส่วนรับน้ำหนักออกแบบให้มีการหักเห $\delta_{\max} = 1.25$ มิลลิเมตร ที่ P_{\max} ดังนั้นสมการที่ (2.20) แสดงได้ดังนี้

$$\left(\frac{E_0}{E_i}\right)_{\max} = S\delta_{\max} = 250(1.25) = 313 \text{ mV/V} \quad \text{ชิ้นส่วน}$$

รับน้ำหนักแบบวงแหวนมีอัตรา (E_0/E_i) ≈ 300 มิลลิโวลต์ต่อโวลต์ คือ การใช้ประโยชน์และมีความสามารถในการวัดทั้งแรงดึงและแรงอัด โดยที่อัตราสัญญาณเอาต์พุตของชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบวงแหวนที่ใช้ตัวรับ LVDT จะดีกว่าอัตราสัญญาณเอาต์พุตของชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบวงแหวนที่ใช้สเตรนเกจเป็นตัวตรวจจับ

2.3.1.4 แบบค่าความต้านทาน (Resistance Strain Gauge)

สำหรับการใช้งานสเตรนเกจ [9] แบบค่าความต้านทานจะถูกยึดติดไว้กับผิวของชิ้นส่วนรับน้ำหนักในตำแหน่งที่มีความเครียดเกิดขึ้นสูงมากที่สุดเพื่อที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานมากที่สุด อันเนื่องมาจากการยืดตัวหรือหดตัวของสเตรนเกจ ซึ่งจะถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าก่อนที่จะนำไปใช้งาน

สเตรนเกจแบบค่าความต้านทานจะแบ่งออกเป็น สเตรนเกจแบบขดลวด (Wire resistance strain gauge) สเตรนเกจแบบแผ่นโลหะบาง (Foil resistance strain gauge) และแบบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor strain gauge) ซึ่งจะกล่าวถึงความแตกต่างได้ดังนี้

แบบแรกคือ สเตรนเกจแบบขดลวดและแบบแผ่นโลหะบาง มีหลักการทำงานเหมือนกัน คือ ค่าความต้านทานของขดลวดหรือของแผ่นโลหะบางจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปเพราะเกิดการเปลี่ยนแปลงความยาวขึ้นในสเตรนเกจ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความยาวนี้มีความสัมพันธ์กับความเครียด ส่วนค่าความต้านทานของสเตรนเกจนั้น จะเป็นดังสมการ 2.29

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ R คือ ความต้านทานของสเตรนเกจ (โอห์ม)
 ρ คือ ความต้านทานจำเพาะของโลหะที่ใช้ทำสเตรนเกจ (โอห์ม-มม.)
 L คือ ความยาวเดิมของสเตรนเกจ (มม.)
 A คือ พื้นที่หน้าตัดขวางของ โลหะที่ใช้ทำสเตรนเกจ (มม.²)

จากสมการที่ (2.29) จะเห็นว่าค่าความต้านทานจะมากขึ้นหรือลดลงเมื่อความยาวเพิ่มขึ้นหรือลดลง สำหรับค่าความไวของสเตรนเกจหรือเกจแฟคเตอร์ (Gauge factor) นั้นจะเป็นอัตราส่วนของค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปต่อหนึ่งหน่วยกับความยาวที่เปลี่ยนไปต่อหนึ่งหน่วย (ความเครียดของวัสดุ) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการ 2.30

$$G = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\epsilon} \quad (2.30)$$

- เมื่อ G คือ เกจแฟคเตอร์
 ΔR คือ ความต้านทานที่เปลี่ยนไปของสเตรนเกจ (โอห์ม)
 R คือ ความต้านทานของสเตรนเกจ (โอห์ม)
 ΔL คือ ความยาวที่เปลี่ยนไปของสเตรนเกจ (มม.)
 L คือ ความยาวเดิมของสเตรนเกจ (มม.)
 ϵ คือ ความเครียด (มม./มม.)

โลหะที่ใช้ทำสเตรนเกจจะต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ จะต้องมียค่าเกจแฟคเตอร์สูง และมีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานต่ำ โลหะที่นิยมใช้ทำสเตรนเกจกันมากในปัจจุบัน คือ ดีบุก ทองแดง และ ทังสเตน

วัสดุที่ใช้ทำแผ่นรอง (Backing material) จะต้องเป็นวัสดุที่สามารถยึดหยุ่นได้ดีมาก และที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันได้แก่ กระดาษ ซึ่งบางมากจะนิยมใช้กับสเตรนเกจแบบขดลวด โพลีไมด์ มีความเหนียวและยึดหยุ่นดีใช้กับงานทั่วไป

อีพ็อกซีและแก้วไฟโนลิกจะให้ความถูกต้องและความเป็นเชิงเส้นที่ดีสามารถใช้กับอุณหภูมิได้สูงถึง 400 องศาเซลเซียส แต่มีจุดอ่อนคือค่อนข้างเปราะและแตกหักง่ายจึงต้องใช้ความระมัดระวังเป็นอย่างมากในการติดกับชิ้นงาน

อีกแบบหนึ่ง คือ สเตรนเกจแบบสารกึ่งตัวนำซึ่งมีหลักการทำงานเหมือนกับสเตรนเกจแบบขดลวดและแบบแผ่นโลหะบาง แต่สเตรนเกจแบบสารกึ่งตัวนำ จะประกอบด้วยผลึกเดี่ยวของซิลิคอนซึ่งทำเป็นชั้นสี่เหลี่ยมผืนผ้าค่อนข้างจะบางมาก ติดอยู่บนแผ่นรองเช่นเดียวกับแบบขดลวดและแบบแผ่นโลหะบาง ซึ่งสเตรนเกจแบบสารกึ่งตัวนำ

โดยทั่วไปแล้วค่าเกจแฟคเตอร์ของสเตรนเกจแบบสารกึ่งตัวนำนั้นจะมีค่าสูงกว่าแบบ

เอกสาขดลวดและแบบแผ่นโลหะบางและค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานก็จะมีค่าสูงกว่าค่า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นกัน นอกจากนี้สเตรนเกจแบบสารกึ่งตัวนำยังจะแบ่งออกเป็น ชนิดพี(P-type) ซึ่งจะมีค่าเกจแฟคเตอร์เป็นค่าบวกและชนิดเอ็น(N-type) ซึ่งมีค่าเกจแฟคเตอร์เป็นค่าลบ

2.3.2 สเตรนเกจแบบโลหะ (Metallic strain Gauge)

เส้นโลหะตัวนำเส้นเดียวไม่สามารถนำมาใช้งานเป็นสเตรนเกจได้จากปัจจัยของค่าความต้านทานรวมของเกจและพื้นที่ที่ใช้ในการรับแรงดัดนั้นเพื่อเพิ่มความยาวของลวดตัวนำและลดขนาดพื้นที่ของเกจ เส้นโลหะตัวนำของสเตรนเกจ จึงถูกผลิตให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก (โดยมีขนาดประมาณ 0.001 นิ้ว) ซึ่งส่วนหัวและปลายของขดลวดตัวนำจะถูกออกแบบให้มีขนาดใหญ่ เพื่อให้่ายในการเชื่อมต่อใช้งานกับวงจรไฟฟ้าจุดเชื่อมต่อ (Solder tab)

2.3.2.1 หลักการทำงานของสเตรนเกจแบบโลหะ

จากคำนิยามถ้าวัสดุซึ่งเป็นโลหะที่นำมาใช้เป็นตัวนำทางไฟฟ้าจะนำไปสู่ความเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของตัวนำจากสมการพื้นฐานความต้านทานของตัวนำจากสมการที่ 2.29 จะได้

$$R = \rho \frac{l}{A}; R = \rho \frac{l}{CD^2}$$

เมื่อ

P คือ สภาพต้านทานทางไฟฟ้าหรือค่าความต้านทานจำเพาะของตัวนำ

l คือ ความยาวของตัวนำ

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ เท่ากับ CD^2

C คือ สัดส่วนของกึ่ง เช่น ถ้าเป็นวงกลม $C = \pi/4$ หรือเป็นสี่เหลี่ยม $C = 1$

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง

เมื่อมีแรงกระทำต่อโลหะตัวนำทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกลขึ้นกับโลหะตัวนำโดยจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานดังกล่าวสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการดิฟเฟอเรนเชียล ดังสมการที่ 2.31 และ 2.32

$$dR = \left[\frac{CD^2(l d\rho + \rho dl) - 2C\rho l D dD}{CD^2} \right] \quad (2.31)$$

$$dR = \frac{l}{CD^2} \left[(l d\rho + \rho dl) - 2\rho l \frac{dD}{D} \right] \quad (2.32)$$

หารสมการที่ 2.31 ด้วยสมการที่ 2.32 จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$dR = \frac{dl}{l} - 2 \frac{dD}{D} + \frac{dp}{\rho}$$

หรืออาจจะเขียนใหม่ได้ดังสมการ 2.33

$$\frac{dR/R}{dl/l} = 1 - 2 \frac{dD/D}{dl/l} + \frac{dp/p}{dl/l} \quad (2.33)$$

เมื่อ

dl/l คือ ค่าความเครียดในแนวแกน ($\epsilon_a = \text{axial strain}$)

dD/D คือ ค่าความเครียดแนวรัศมี ($\epsilon_l = \text{lateral strain}$)

หากถามว่าความเครียดในแนวแกนและความเครียดในแนวรัศมี คืออะไรต่างกันอย่างไร คำตอบคือการเปลี่ยนแปลงความยาว (dl/l) ซึ่งเกิดขึ้นในแนวแรงเท่านั้นซึ่งก็คือความเครียดในแนวแกน (axial strain) นั้นเองแต่ในความเป็นจริงแล้วยังมีความเครียดอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง (dD/D) ของตัวนำที่เรียกว่าเป็นความเครียดด้านข้าง (lateral strain) รวมอยู่ด้วยและโดยทั่วไปจะมีค่าเป็นลบทั้งนั้น เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางจะเล็กลง เมื่อมีแรงดึง ซึ่งอัตราส่วนระหว่างความเครียดแนวรัศมีกับความเครียดในแนวแกนจะเรียกว่า Poisson's ratio ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการได้ดังสมการ 2.34

$$\text{Poisson's ratio} = \nu = - \frac{dD/D}{dl/l} \quad (2.34)$$

หากนำสมการที่ 2.34 แทนในสมการที่ 2.33 จะได้ ดังสมการ 2.35

$$\frac{dR/R}{dl/l} = 1 + 2\nu + \frac{dp/p}{dl/l} \quad (2.35)$$

2.3.3 สเตรนเกจแบบสารกึ่งตัวนำ

สเตรนเกจแบบสารกึ่งตัวนำ สเตรนเกจชนิดนี้ผลิตขึ้นจากสารกึ่งตัวนำโดยที่สารกึ่งตัวนำจะมีคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานเมื่อ อยู่ภายใต้โหลดเช่นเดียวกับสารกึ่งตัวนำ ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้ในการวัดความเครียดได้โดยปกติสารกึ่งตัวนำที่ใช้ จะเป็นซิลิกอน ซึ่งอยู่ในรูปของผลึกในการผลิตผลึกซิลิกอนจะถูกนำมาตัดเป็นแผ่นบางๆและนำไปขึ้นรูปเพื่อผลิตสเตรนเกจ หลักการทำงานของสเตรนเกจแบบสารกึ่งตัวนำ สภาพต้านทานทางไฟฟ้าหรือค่าความต้านทานจำเพาะของสารกึ่งตัวนำสามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการได้ดังสมการ 2.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho = \frac{1}{cNu} \quad (2.36)$$

เมื่อ

ρ คือสภาพต้านทานทางไฟฟ้าหรือค่าความต้านทานจำเพาะของตัวนำ

c คือประจุไฟฟ้า

N คือ จำนวนของพาหะนำประจุ (carrier) โดยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารเจือ

μ คือ ความสามารถในการเคลื่อนที่ของพาหะนำประจุซึ่งขึ้นอยู่กับความเครียดและความสัมพันธ์ของแกนผลึก

ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่าสเตรนเกจแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ใหญ่ ๆ คือ

1. แบบโลหะ Metallic strain gauge อาศัยหลักการว่าโลหะเป็นตัวนำทางไฟฟ้าและมีความต้านทานทางไฟฟ้า ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งความเครียดที่เกิดขึ้นในลวดตัวนำ จะมีในแนวแกนและในแนวรัศมี

2. แบบเซมิคอนดักเตอร์ Semiconductor strain gauge สเตรนเกจชนิดนี้ผลิตขึ้นมาจากสารกึ่งตัวนำมีคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงเหมือนกับสเตรนเกจแบบ โลหะซึ่งสามารถหาค่าของความต้านทานจำเพาะของสารกึ่งตัวนำได้จากสมการ

$$\rho = \frac{1}{cNu}$$

จากสมการค่าความต้านทานทางไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับค่าของ e , N และ μ ซึ่งจำนวนของประจุไฟฟ้าและจำนวนของพาหะประจุก็มีผลต่อสภาพความต้านทานทางไฟฟ้าด้วย เช่นกัน

ผลจากอุณหภูมิ (Temperature Effect) เนื่องจากสเตรนเกจทำด้วยโลหะดังนั้นอุณหภูมิภายนอกจะส่งผลต่อค่าความต้านทานรวมของสเตรนเกจเช่นเดียวกับ RTD ที่เป็นทรานสดิวเซอร์แบบเส้นลวดโลหะชนิดอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานด้วยอุณหภูมิหรือความร้อนจากสมการ 2.37

$$R(T) = R(T_0)[1 + \alpha_0 \Delta T] \quad (2.37)$$

โดยที่

$R(T)$ คือ ค่าความต้านทานที่อุณหภูมิ T ใดๆ

$R(T_0)$ คือ ค่าความต้านทานที่อุณหภูมิอ้างอิง

ΔT คือ $T - T_0$

α_0 คือ สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิที่ T_0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือสงวนเพื่อการค้าเท่านั้น เนื่องด้วยเทคโนโลยีขั้นด้านการค้าไม่จำกัดทุกสิ่งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการจะพบว่าค่าความต้านทานจะมีผลโดยตรงต่ออุณหภูมิ ดังนั้นในการใช้งานสเตรนเกจจึงจำเป็นต้องมีการชดเชยอุณหภูมิที่เกิดขึ้น

2.3.4 เกจแฟคเตอร์ (Gauge Factor ; GF)

การพิจารณาคูสมบัติของสเตรนเกจตัวแปรหนึ่ง ที่มีความสำคัญคือเกจแฟคเตอร์ตัวแปรนี้เป็นตัวที่บ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานในตัวสเตรนเกจ เขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังสมการ 2.38

$$GF = \frac{dR/R}{dl/l} \quad (2.38)$$

เมื่อค่าเกจแฟคเตอร์ คือ จำนวนของค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีความเครียด ดังนั้นจึงมีความสัมพันธ์กับค่าของ Poisson's ratio จากสมการ 2.39

$$GF = \frac{dR/R}{dl/l} = 1 + 2\nu + \frac{dp/p}{dl/l} \quad (2.39)$$

จากสมการที่ 2.37 พบว่าค่าเกจแฟคเตอร์จะมากหรือน้อยนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าของ Poisson's ratio เป็นสำคัญนอกจากนั้นค่าของเกจแฟคเตอร์ยังเป็นตัวบอกความไวของสเตรนเกจด้วย กล่าวคือเกจแฟคเตอร์ที่มีค่าสูง หมายถึงว่าสเตรนเกจนั้นจะมีความไวในการเปลี่ยนแปลงสูงด้วย

2.3.5 การเลือกสเตรนเกจในการใช้งาน

1. เกจควรมีขนาดเล็กเพื่อให้ความเครียดที่ถูกวัดมีค่าความผิดพลาด หรือ ค่าความคลาดเคลื่อนน้อย
2. เกจควรจะสามารถวัดความเครียดได้โดยมีความแม่นยำ (accuracy) ตลอดย่านของการวัดหรือช่วงในการใช้งาน
3. เกจควรให้ค่าการตอบสนองที่เป็นเชิงเส้นกับความเครียดตลอดย่านของการวัด
4. ค่าเกจแฟคเตอร์ต้องเป็นค่าที่มีเสถียรภาพหมายถึง ค่าจะต้องคงที่โดยไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาอุณหภูมิ หรือปัจจัยทางสภาพแวดล้อมอื่นๆ
5. เกจและอุปกรณ์เพิ่มเติมควรมีราคาต่ำเพื่อที่จะสามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวางโดยไม่ยึดติดอยู่กับเรื่องของราคา
6. เกจควรสามารถติดตั้งและทำงานร่วมกับวงจรไฟฟ้าอย่างง่ายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 การประยุกต์ใช้งานสเตรนเกจ

โหลดเซลล์ (Load cell) หนึ่งใน การประยุกต์ใช้งานที่สำคัญของสเตรนเกจ คือการนำ สเตรนเกจมาติดตั้งบนแท่งโลหะและนำแท่งโลหะนี้ไปใช้ในการตรวจวัดแรงหรือน้ำหนักซึ่ง หลักการดังกล่าวคือ โหลดเซลล์ โหลดเซลล์จะถูกปรับเทียบ (calibrate) ด้วยแรงหรือน้ำหนัก โดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน โหลดเซลล์ที่มีใช้อยู่ในงานอุตสาหกรรมสามารถวัด แรงได้สูงถึง 5 เมกกะนิวตัน (MN) หรือประมาณ 106ปอนด์ (lb)

ตัวอย่าง

โหลดเซลล์ทำจากอลูมิเนียมทรงกระบอกรัศมี 2.50 cm. โดยที่มีสเตรนเกจ ติดตั้งอยู่ ตามรูปและสเตรนเกจเหล่านั้นจะใช้ร่วมกับวงจรบริดจ์ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าจ่ายเป็น 2.0V เมื่อ $R_1 = R_2 = R_G = 120$ และค่าเกจแฟคเตอร์ $GF = 2.13$ จงคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจากวงจร บริดจ์เมื่อ โหลดเซลล์ตัวนี้ใช้วัดน้ำหนัก 0 - 5000 ปอนด์ (lb) กำหนดให้ค่าขงโมดูลัสมีค่าเท่ากับ 2.13 แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงสเตรนเกจที่ใช้งาน

วิธีทำ

เปลี่ยนหน่วยน้ำหนักจาก lb เป็น N

$$\text{เมื่อ } 1 \text{ lb} = 4.448 \text{ N} \quad (1 \text{ pound (lb)} = 0.45359 \text{ kg})$$

$$\text{ดังนั้น } 5000 \text{ lb} = (4.448)(5000) = 22240 \text{ N}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดของอลูมิเนียม } A = \pi r^2 = \pi(0.025\text{m})^2$$

$$= 1.963 \times 10^{-3} / \text{m}^2$$

$$\text{ค่า } E \text{ ของอลูมิเนียม} = 6.98 \times 10^{10} \text{ N}$$

จากสมการที่ 2.1

$$E = \frac{\text{stress}}{\text{strain}} = \frac{F/A}{d/l}; d/l = F/EA$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 &= (22240) / (6.89 \times 10^{10})(1.963 \times 10^{-3}) \\
 &= 1.644 \times 10^{-4} \\
 &= 164.4 \text{ mm/m}
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ 2.38 $GF = \frac{dR/R}{dl/l}$

$$dR = (R)(GF)(dl/l)$$

$$= (120)(2.13)(1.644 \times 10^{-4})$$

$$= 0.04203 \text{ W}$$

เนื่องจากการติดตั้งสเตรนเกจภายใต้แรงกดที่ 5000 lb ทำให้ค่าความต้านทานของเกจ ที่ใช้ในการตรวจวัดแรงกด (active gauge) มีค่าลดลงเป็น $R = (120) - (0.04203) = 119.958 \text{ W}$ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากวงจรบริดจ์จะมีค่าเป็น

$$dV = \left[\frac{2(120)}{(120+120)} - \frac{2(119.958)}{(120+119.958)} \right]$$

หรือสามารถคำนวณหาได้จาก

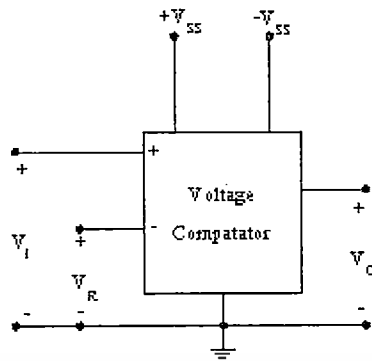
$$\begin{aligned}
 dV &= \frac{-V_s}{4} GF \frac{dl}{l} \\
 &= \frac{-2}{4} (2.13)(1.644 \times 10^{-4}) \\
 &= -175 \times 10^{-6} \text{ V}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากวงจรอันเนื่องมาจากแรง 0 ถึง 5000 lb. มีค่าเป็น 0 ถึง 175 μV

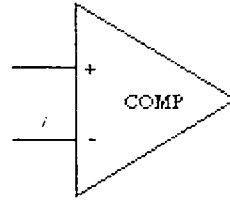
2.4 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator)

เป็นวงจรที่ใช้เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้ที่ขาอินพุตขาหนึ่ง กับระดับแรงดันเปรียบเทียบ [10] ที่ขาอินพุตอีกขาหนึ่ง และระดับแรงดันของเอาต์พุตจะถูกจำกัดอยู่ที่แรงดันที่ป้อนให้กับออปแอมป์ ($+V_{SS}$ และ $-V_{SS}$) โดยมีเงื่อนไขว่า ถ้า $V_i > V_R$ จะได้ว่า $V_o = +V_{SS}$ แต่ถ้า $V_i < V_R$ จะได้ว่า $V_o = -V_{SS}$ ดังรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

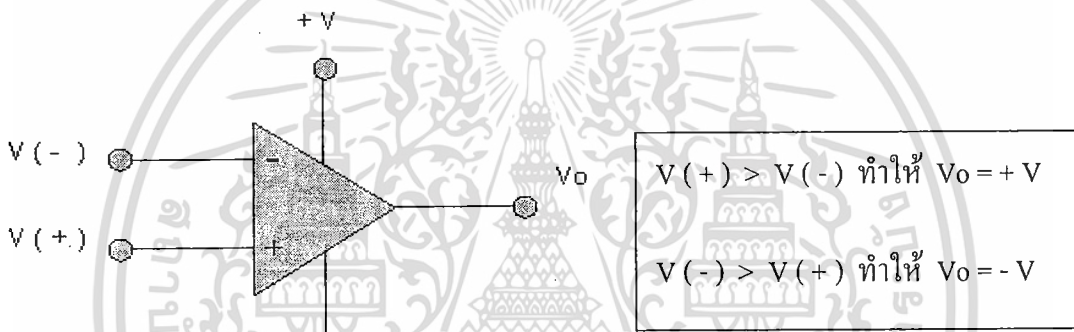


(ก) Block Diagram

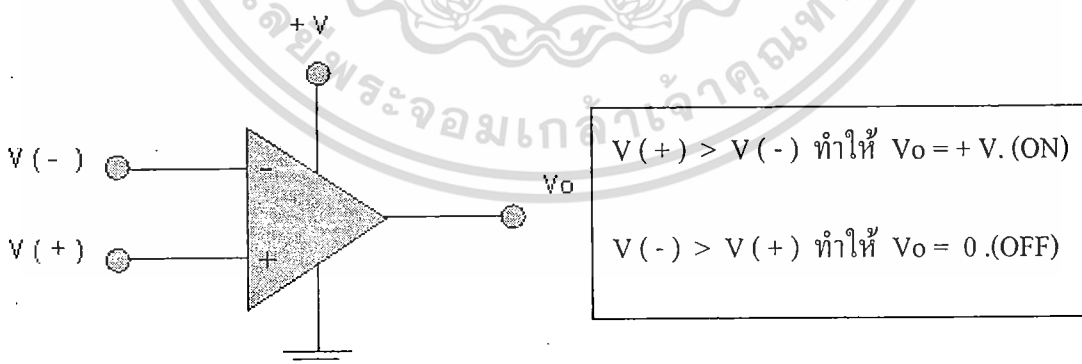


(ข) สัญลักษณ์ของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน



รูปที่ 2.14 แสดงวงจรเปรียบเทียบแรงดัน แบบใช้ไฟเลี้ยง 2 ชุด



รูปที่ 2.15 แสดงวงจรเปรียบเทียบแรงดัน แบบใช้ไฟเลี้ยง ชุดเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.14 และ 2.15 ถ้าแรงดันที่อินพุท V(+) มากกว่าแรงดันที่อินพุท V(-) จะทำให้เอาต์พุทของออปแอมป์ เป็นลอจิก “1” หรือค่าแรงดันประมาณ 3-4 โวลต์ และเมื่อแรงดันที่จุด V(-) มากกว่า แรงดันที่จุด V(+) (ตามขั้วที่กำหนด) จะทำให้เอาต์พุทของออปแอมป์ เป็นลอจิก “0”

2.5 การสื่อสารแบบอนุกรม RS-232

2.5.1 ทฤษฎีพื้นฐานการสื่อสารแบบอนุกรม

ในการสื่อสารแบบอนุกรม [11] ในเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นจะมีความเร็วในการสื่อสารช้ากว่าแบบขนาน เป็นเพราะว่าการเคลื่อนย้ายข้อมูลแบบอนุกรมนั้นเป็นการส่งข้อมูลที่ละ 1 บิต แต่พอร์ตขนานนั้นสามารถส่งข้อมูลได้ครั้งละหลายๆบิตพร้อมกัน ดังนั้นจึงทำให้การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมีความเร็วต่ำกว่าแบบขนาน แต่ว่าข้อดีของการส่งข้อมูลแบบอนุกรมคือสามารถส่งข้อมูลได้ระยะทางไกลกว่าแบบขนาน และอีกทั้งสายสัญญาณก็มีน้อยกว่าการส่งข้อมูลแบบขนาน อีกด้วยการสื่อสารแบบอนุกรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบดังนี้

1. Simplex สามารถส่งข้อมูลได้อย่างเดียวเป็นการสื่อสารแบบทางเดียว
2. Half-Duplex สามารถส่งข้อมูลไปยังปลายทางและสามารถรับข้อมูลจากปลายทางได้ แต่ไม่สามารถทำการส่งและรับข้อมูลในเวลาเดียวกันได้
3. Full-Duplex สามารถรับและส่งข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน

2.5.2 การสื่อสารแบบอนุกรม

สามารถแบ่งประเภทของการสื่อสารตามลักษณะสัญญาณในการสื่อสารได้ 2 แบบ คือ

ก. การสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous) สำหรับการสื่อสารแบบซิงโครนัสนี้จะใช้สัญญาณนาฬิกาควบคุมการรับส่งสัญญาณ เช่น สายเคเบิลคอมพิวเตอร์โดยจะมีสายสัญญาณเส้นหนึ่งเป็นสายสัญญาณนาฬิกา ส่วนอีกเส้นหนึ่งเป็นสายของข้อมูล (และมักจะมีสายกราวนด์ด้วย) สำหรับการสื่อสารแบบซิงโครนัสนี้เหมาะสำหรับการทำงานในระยะใกล้ข้อมูลที่ส่งมีไม่มากนัก เพราะถ้าระยะทางไกลขึ้นจะทำให้สัญญาณนาฬิกามีปัญหา อีกทั้ง ต้องมีสายหลายเส้น

ข. การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) สำหรับการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส นั้นจะใช้สายสัญญาณเพียงตัวเดียวแต่จะใช้รูปแบบการส่งข้อมูล หรือ Bit Pattern เป็นตัวกำหนดว่า ส่วนไหนเป็นตัวเริ่มต้นข้อมูล ส่วนไหนเป็นตัวข้อมูล ส่วนไหนจะเป็นตัวตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล และส่วนไหนเป็นส่วนปิดท้ายของข้อมูล โดยต้องกำหนดให้สัญญาณนาฬิกาเท่ากันทั้งภาครับและภาคส่ง ซึ่งจะมีอุปกรณ์พิเศษที่เรียกว่า UART หรือ Universal Asynchronous Receiver/Trasmitter คอยควบคุมการรับและการส่งข้อมูล อีกแบบที่ได้รับความนิยมอย่างสูงตั้งแต่อดีตจนถึง ปัจจุบันนี้ ก็คือ มาตรฐาน RS -232C

2.5.3 มาตรฐาน RS -232C

เป็นมาตรฐานที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อที่จะทำให้อุปกรณ์ต่อพ่วงจากผู้ผลิตต่างกันสามารถทำงานร่วมกันได้ในยุคแรกๆการอินเตอร์เฟสแบบ RS-232C ถูกออกแบบสำหรับเชื่อมต่อเทอร์มินอล (DTE:DataTerminalEquipment) กับ โมเด็ม DCE : Data CommunicationEquipment) ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการส่งข้อมูลบนสายเดียวกันมาตรฐาน RS-232C แบ่งเป็น 2 อุปกรณ์ คือ

ก. อุปกรณ์ DTE(Data Terminal Equipment) เป็นอุปกรณ์สำหรับส่งข้อมูล(output)

ข. อุปกรณ์ DCE(Data CommunicationEquipment)เป็นอุปกรณ์สำหรับรับข้อมูล(Input)

ตาม มาตรฐาน RS-232C แล้วคอนเนกเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเนกเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งปัจจุบันนี้คอนเนกเตอร์ที่นิยมใช้กันมากจะเป็นชนิด D-type แบบ 9 ขา และ D-type แบบ 25 ขา โดยคอนเนกเตอร์จะติดตั้งอยู่หลังเครื่องคอมพิวเตอร์ ระดับแรงดันจะมีค่าระหว่าง -3V ถึง -15V สำหรับลอจิก High และลอจิก Low จะมีระดับแรงดันระหว่าง +3V ถึง +15V สามารถรับส่งข้อมูลได้ ที่ความยาวของสายสัญญาณสูงสุด 50 เมตรหรือ 150 ฟุต แต่ถ้าเราต้องการสื่อสารกับอุปกรณ์ที่อยู่ห่างกันมากๆ เราจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์อื่นๆ เข้าช่วย เช่น การใช้โมเด็ม เป็นต้น

ลักษณะของคอนเนกเตอร์แบบ D-Type หัวต่อแบบ D-Type ที่ใช้ในการสื่อสารแบบอนุกรม นั้น จะมีอยู่ 2 ลักษณะคือ แบบ 9 ขา และแบบ 25 ขา บางครั้งเราจะเรียกว่า DB9 และ DB25 ซึ่งหัวต่อทั้ง 2 ชนิดจะมีลักษณะการทำงานของสัญญาณเหมือนกันแต่การจัดการไม่เหมือนกัน

รายละเอียดของสายสัญญาณสามารถแบ่งได้ดังนี้

- Transmit Data : TD ใช้สำหรับส่งข้อมูลอนุกรมออกจากคอมพิวเตอร์

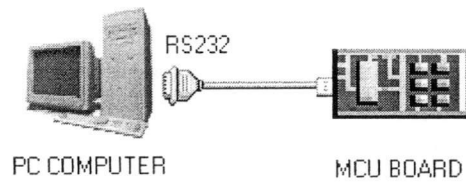
- Receives Data : RD ใช้สำหรับรับข้อมูลอนุกรมเข้าคอมพิวเตอร์

- Reques To Send : RTS ใช้สำหรับส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทางเพื่อร้องขอให้อุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมา

- Clear To Send : CTS ใช้สำหรับตรวจสอบว่าอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อด้วย พร้อมทั้งจะรับข้อมูลหรือไม่ โดยจะคอยรับสัญญาณ RTS เมื่อทุกอย่างพร้อมก็จะทำการส่งข้อมูลออกจากขา TD

- Data set Ready : DSR ใช้สำหรับการตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทางจะใช้คู่กับขา DTR

2.5.4 การใช้งานพอร์ตอนุกรม RS-232



รูปที่ 2.16 แสดงการใช้งาน RS-232

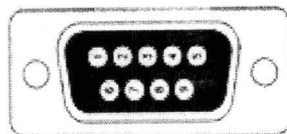
การสื่อสารแบบอนุกรมนับว่ามีความสำคัญต่อการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์มาก ดังรูปที่ 2.16 สามารถใช้เป็นตัวพิมพ์และจอภาพของ PC เป็นอินพุตและเอาต์พุตในการติดต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยสัญญาณอย่างน้อยเพียง 3 เส้นเท่านั้นคือ 1. สายส่งสัญญาณ TX 2. สายรับสัญญาณ RX และ 3. สาย GND โดยปกติพอร์ตอนุกรม RS-232C จะสามารถต่อสายได้ยาว 50 ฟุตโดยประมาณ ขึ้นอยู่กับ ชนิดของ สายสัญญาณ, ระยะทาง, และ ปริมาณ สัญญาณ รบกวน แสดงดังรูปที่ 2.17, 2.18 และ 2.19



รูปที่ 2.17 พอร์ตอนุกรมของ PC DB9 ตัวผู้ (Male)



รูปที่ 2.18 พอร์ตอนุกรมของอุปกรณ์ภายนอก DB9 ตัวเมีย (Female)

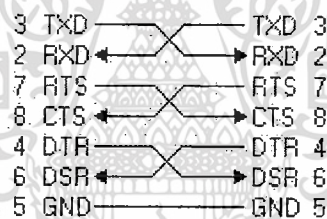


รูปที่ 2.19 แสดงการจัดขาของคอนเน็กเตอร์ อนุกรมแบบ DB9

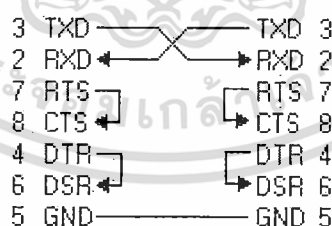
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงการใช้งานขาพอร์ตอนุกรม

Pin	Description	Type
1	Data Carrier Detect (DCD)	Input
2	Received Data (RXD)	Input
3	Transmitted Data (TXD)	Output
4	Data Terminal Ready (DTR)	Output
5	Signal Ground (GND)	Input
6	Data Set Ready (DSR)	Input
7	Request To Send (RTS)	Output
8	Clear to Send (CTS)	Input
9	Ring Indicator (RI)	Input



รูปที่ 2.20 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ Null modem



รูปที่ 2.21 การต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 เส้น

จากตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.20 กับ 2.21 สามารถอธิบายการทำงานของขาสัญญาณ DB9 ได้ดังนี้

- TXD เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูล
- RXD เป็นขาที่ใช้รับข้อมูล

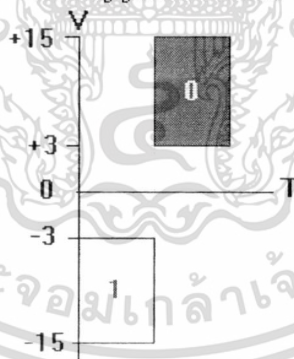
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- DTR แสดงสถานะพอร์ตว่าเปิดใช้งาน, DSR ตรวจสอบว่าพอร์ต ที่ติดต่อด้วย เปิดอยู่หรือไม่
- เมื่อเปิดพอร์ตอนุกรม ขา DTR จะ ON เพื่อให้อุปกรณ์ได้รับทราบว่าการติดต่อด้วย
- ในขณะที่เดียวกันก็จะตรวจสอบขา DSR ว่าอุปกรณ์พร้อมหรือไม่ RTS แสดงสถานะพอร์ตว่าต้องการส่งข้อมูล, CTS ตรวจสอบว่าพอร์ตที่ติดต่อด้วย ต้องการส่งข้อมูลหรือไม่
- เมื่อต้องการส่งข้อมูล RTS จะ ON และจะส่งข้อมูลออกที่ขา TXD เมื่อส่งเสร็จก็จะ OFF
- ในขณะที่เดียวกันก็จะตรวจสอบขา CTS ว่าอุปกรณ์ต้องการที่จะส่งข้อมูลหรือไม่

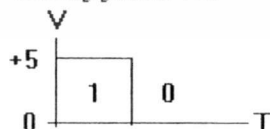
2.5.5 ระดับสัญญาณของ RS-232

สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น ในสายนำสัญญาณ มักจะมีแรงดันเป็นบวก เมื่อเทียบกับกราวด์ เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนนี้ จึงออกแบบแรงดัน ของลอจิก "1" เป็นลบ คืออยู่ในช่วง -3 V ถึง -15V ส่วนแรงดัน ของลอจิก "0" อยู่ในช่วง +3V ถึง +15V และเหตุที่ระดับสัญญาณของพอร์ต RS-232 อยู่ในช่วง +15V ถึง -15V ก็เพื่อให้ต่อสายสัญญาณไปได้ไกลขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรเปลี่ยนระดับแรงดันของ RS-232 มาเป็นระดับแรงดันของ TTL ดังรูปที่ 2.22

ระดับสัญญาณของ RS232



ระดับสัญญาณของ TTL

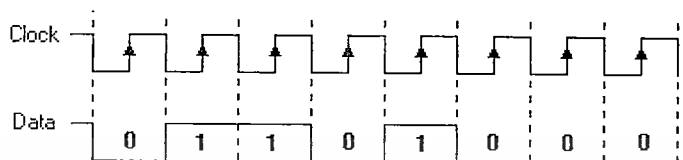


รูปที่ 2.22 แสดงระดับสัญญาณของ RS-232C และระดับสัญญาณของ TTL

อัตราการส่งข้อมูล (Baud rate) คือความเร็วของการรับ-ส่งข้อมูล เป็นจำนวนบิตต่อ

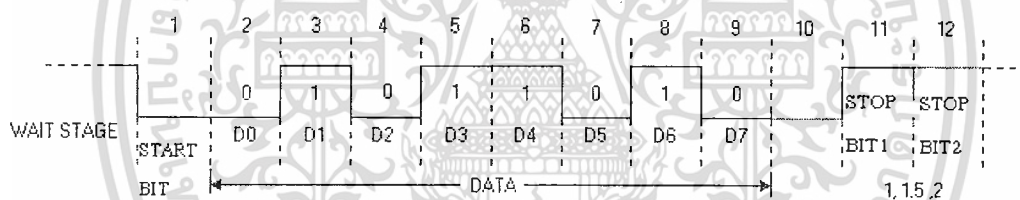
วินาทีเช่น 300, 1,200, 2,400, 4,800, 9,600, 14,400, 19, 200, 38, 400, 56, 000 เป็นต้น การเลือกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับ ชนิดของสายสัญญาณ, ระยะทาง, และปริมาณ สัญญาณรบกวน การรับส่งข้อมูล จะมีสัญญาณนาฬิกา ซึ่งเป็นตัวกำหนด จังหวะเวลา การส่งข้อมูล ร่วมอยู่ด้วยอีกเส้นหนึ่ง ใช้คู่กับสัญญาณข้อมูล ตัวอย่างเช่น การส่งสัญญาณจากคีย์บอร์ด ซึ่งสัญญาณซิงโครนัสสามารถแสดงดังรูป 2.23



รูปที่ 2.23 แสดงการสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous)

การรับส่งข้อมูล โดยที่ไม่จำเป็นต้อง มีสัญญาณนาฬิกา ร่วมด้วย แต่จะใช้ให้ตัวส่ง และตัวรับ มีอัตราส่งข้อมูล ที่เท่ากัน รูปแบบข้อมูลแบบอะซิงโครนัส ดังรูปที่ 2.24 ประกอบด้วย 4 ส่วนคือ



รูปที่ 2.24 แสดงการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)

- 1 บิตเริ่มต้น (Start bit) มีขนาด 1 บิต
- 2 บิตข้อมูล (Data) มีขนาด 5, 6, 7 หรือ 8 บิต
- 3 บิตตรวจสอบพาริตี (Parity bit) มีขนาด 1 บิตหรือไม่มี
- 4 บิตหยุด (Stop bit) มีขนาด 1, 1.5, 2 บิต

- เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล ขา data จะมีสถานะเป็นลอจิก "1" หรือ สถานะหยุดรอ (Waiting stage)

- เมื่อเริ่มต้นส่งข้อมูลจะให้ขา data เป็นลอจิก "0" เป็นจำนวน 1 บิต เรียกว่าบิตเริ่มต้น (Start bit)

- จากนั้นก็จะเริ่มต้นส่งข้อมูล โดยส่งบิตต่ำไปก่อน (LSB)

- แล้วตามด้วยพาริตีบิต (จะมีหรือไม่มีก็ได้ ขึ้นอยู่กับการจัดตั้งค่า ของทั้งสองฝ่าย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สุกท้ายตามด้วยลอจิก "1" อย่างน้อย 1 บิต (มีขนาด 1, 1.5, หรือ 2 บิต) เพื่อแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูล

การรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมยังแบ่งออกเป็นลักษณะการใช้งานได้ 3 แบบคือ

1. แบบซิมเพลกซ์ (Simplex) เป็นการส่ง หรือรับข้อมูล แบบทิศทางเดียว เท่านั้น
2. แบบฮาล์ฟดูเพลกซ์ (Half Duplex) เป็นการส่งและรับข้อมูลแบบสลับกัน คือเมื่อด้านหนึ่งส่ง อีกด้านหนึ่ง เป็นฝ่ายรับ สลับกัน ไม่สามารถรับ-ส่งในเวลาเดียวกันได้
3. แบบฟูลดูเพลกซ์ (Full Duplex) สามารถรับ-ส่งข้อมูลในเวลาเดียวกันได้

2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC MCU

PSoC Microcontroller เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ [12] ของค่าย Cypress Microsystems โดยเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีการประมวลผลข้อมูลแบบ เหมือนไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 บิต ทั่วไป แต่ คุณสมบัติเด่นที่แตกต่างไปจากไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอื่นๆก็คือ PSoC MUC จะรวมเอาการออกแบบทั้งทางด้าน ดิจิตอล และ อนาล็อก มาไว้ด้วยกัน ทำให้การออกแบบที่ต้องยุ่งเกี่ยวกับระหว่าง อุปกรณ์ทาง ดิจิตอล และอนาล็อก สามารถทำได้ง่าย และสะดวกสบายยิ่งขึ้น อีกทั้งทำให้ขนาดของแผ่นวงจรเล็กลงอีกด้วย โดยเฉพาะ วงจรทางด้านอนาล็อก ซึ่งมักจะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ อีกทั้งการทำงานของ PSoC ยังมีความคล่องตัวสูงทั้งเรื่องของแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่หลากหลาย นอกจากนี้ยังมีฟังก์ชัน In-system Serial Programming (ISSP) ที่สามารถทำการโปรแกรมซอร์ทไวด์ที่ได้ออกแบบลงไป ในหน่วยความจำโปรแกรม (Flash Memory) ภายในตัวชิปได้ ซึ่งจะช่วยให้การพัฒนาโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์มีความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น

2.6.1 จุดเด่นของ PsoC Microcontroller เมื่อเทียบกับไมโครคอนโทรลเลอร์อื่นๆ

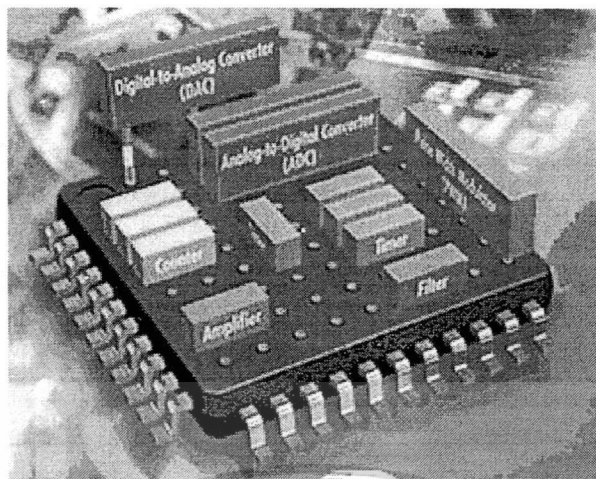
- USER Modules : สามารถเลือกใช้ทรัพยากรของระบบได้ตามต้องการ ทั้ง อนาล็อก และดิจิตอล ไม่ถูกจำกัดด้วย โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์เหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์อื่นๆ

- API (Application Programming Interface) : สนับสนุนการพัฒนาโปรแกรมด้วยฟังก์ชัน API ช่วยให้ผู้ใช้พัฒนาโปรแกรม สามารถเขียน ออกแบบโปรแกรมได้โดยง่าย

- ISRs (Interrupt Service Routines) : สนับสนุน และ รองรับการทำงานแบบอินเตอร์รัพท์

- Interconnect device interface : สามารถทำการเชื่อมต่อสัญญาณต่างๆได้อย่างอิสระ ไม่ถูกกำหนดตายตัวตามฮาร์ดแวร์เหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์อื่นๆ

จากที่กล่าวมาเป็นเพียงคุณสมบัติคร่าวๆเท่านั้นซึ่งคุณสมบัติอื่นๆที่เหลือก็จะคล้ายๆกับไมโครคอนโทรลเลอร์อื่นๆ เช่น Sleep , watchdog , Power on reset (POR) , ISP , UART , I2C เป็นต้น เรียกได้ว่า ไม่ได้ด้อยไปกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์อื่นๆเลย ดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 แสดงภาพจำลองการวางโมดูลต่างๆลงใน PSoC

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC จะสนับสนุนระบบการทำงานทั้งด้าน ดิจิตอล และอนาล็อก โดยในระบบของดิจิตอล (digital system) และ อนาล็อก (analog system) จะถูกออกแบบเป็นบล็อกโมดูล ซึ่งจะเรียกว่า บล็อกดิจิตอล (digital block) และบล็อกอนาล็อก (analog block) โดยบล็อกเหล่านี้จะรองรับการนำเอาโมดูลต่างๆมาใช้งาน เปรียบเสมือนเป็นพื้นที่ว่างๆสำหรับต่อจิ๊กซอ โดยชิ้นส่วนของ จิ๊กซอ ก็คือโมดูลต่างๆ เช่น ADC , DAC , I2C , PWM , UART ,SPI

ผู้ใช้งาน (USER) จะเป็นผู้กำหนดเองว่าจะนำเอาโมดูลตัวไหนมาใช้งานบ้าง นอกจากนี้ผู้ใช้งานยังสามารถกำหนดการเชื่อมต่อสัญญาณต่างๆ (Programmable Interconnect) ภายในได้เองอีกด้วย เสมือนกับว่าผู้ใช้งานสามารถออกแบบเองได้ตั้งแต่ฮาร์ดแวร์ ไปจนถึงซอฟต์แวร์ ซึ่งถือได้ว่าเป็นความสามารถหนึ่งที่เหนือกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอื่นๆที่ทรัพยากรทุกอย่างถูกกำหนดไว้ตายตัวไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้

2.6.2 คุณสมบัติของPsoC MCU ตระกูล CY8C29X66

PSoC MCU มีอยู่หลายตระกูลด้วยกัน โดยตระกูลที่นำมาศึกษานั้น เป็นตระกูล CY8C29X66 ซึ่งในตระกูลนี้มีพอร์ต I/O ได้สูงถึง 8 พอร์ต โดยมีคุณสมบัติ ดังนี้

- สถาปัตยกรรมแบบ Harvard Architecture Processor
- ความเร็วของ M8C Processor สูงสุด 24 MHz
- Two 8x8 Multiply, 32-Bit Accumulate
- Low Power at High Speedทำงานในช่วงแรงดัน 3.0 ถึง 5.25 V
- สามารถทำงานที่แรงดันต่ำสุดที่ 1.0 V โดยใช้วงจรSwitch Mode Pump (SMP) ภายใน

ชีพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรองรับการใช้งานทางด้านอนาล็อก เช่น

- ADCs ความละเอียดสูงสุดถึง 14 บิต
- DACs ความละเอียดสูงสุดถึง 9 บิต
- วงจรเกนที่การขยาย(Programmable Gain Amplifiers)
- วงจรฟิลเตอร์ และ วงจรคอมพาราเตอร์(Programmable Filters and Comparators)

การรองรับการใช้งานทางดิจิทัล เช่น

- Timers, Counters และ PWMs ขนาด 8 ถึง 32 บิต
- CRC และ PRS โมดูล
- UARTs แบบ Full-Duplex สูงสุด 4 ช่อง
- SPI โมดูล เป็นได้ทั้งแบบ Master และ Slave
- ดิจิตอลบล็อกต่างๆ สามารถเชื่อมต่อไปยังขาสัญญาณ GPIO ได้ทุกขาสัญญาณสามารถ

กำหนดขนาดความถี่ของสัญญาณนาฬิกาภายในได้หลายระดับ

- สัญญาณนาฬิกาภายในขนาด 24 /48 MHz ค่าความคลาดเคลื่อน +/- 2.5%
- สามารถเลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณ 24/48MHz จากออสซิลเลเตอร์ 32 kHz ภายในหรือภายนอกได้

- สามารถรับสัญญาณออสซิลเลเตอร์จากภายนอกได้สูงสุด 24 MHz
- มีแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายในให้กับ Watchdog และ Sleep
- หน่วยความจำโปรแกรมแบบ Flash ขนาด 32K Byte สามารถ Erase/Write ได้ถึง 50,000 ครั้ง

- หน่วยความจำข้อมูล SRAM ขนาด 2 K Byte
- ฟังก์ชันการโปรแกรมภายใน ISSP (In-System Serial Programming)
- สามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูล Flash Memory เฉพาะบางส่วนได้
- สามารถตั้งคาระบบป้องกันข้อมูลได้ (Flash Security)
- หน่วยความจำ EEPROM (ใช้จาก Flash Memory)
- ขาสัญญาณ GPIO จำนวน 64 ขาสัญญาณ
- สามารถกำหนดคุณสมบัติของขาสัญญาณต่างๆ ได้ (GPIO Pin Configurations)
- GPIO สามารถจ่ายกระแสสูงสุดได้ถึง 25mA
- สามารถกำหนด Drive Mode ของสัญญาณ GPIO ได้เช่น Pull up , Pull down , High Z,

หรือ Open Drain

- ขาสัญญาณอินพุตอนาล็อกสูงสุด 12 ขาสัญญาณ (จากขาสัญญาณของ GPIO)
- ขาสัญญาณอนาล็อกเอาต์พุตสูงสุด 4 ขาสัญญาณ (จากขาสัญญาณ GPIO) จ่ายกระแส

ได้ถึง 40mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถกำหนดการอินเทอร์รัพท์ได้ทุกขาสัญญาณของ GPIO
- I2C โหมด Slave , Master และ Multi-Master ความเร็วสูงสุด 400 kHz Watchdog และ Sleep Timer

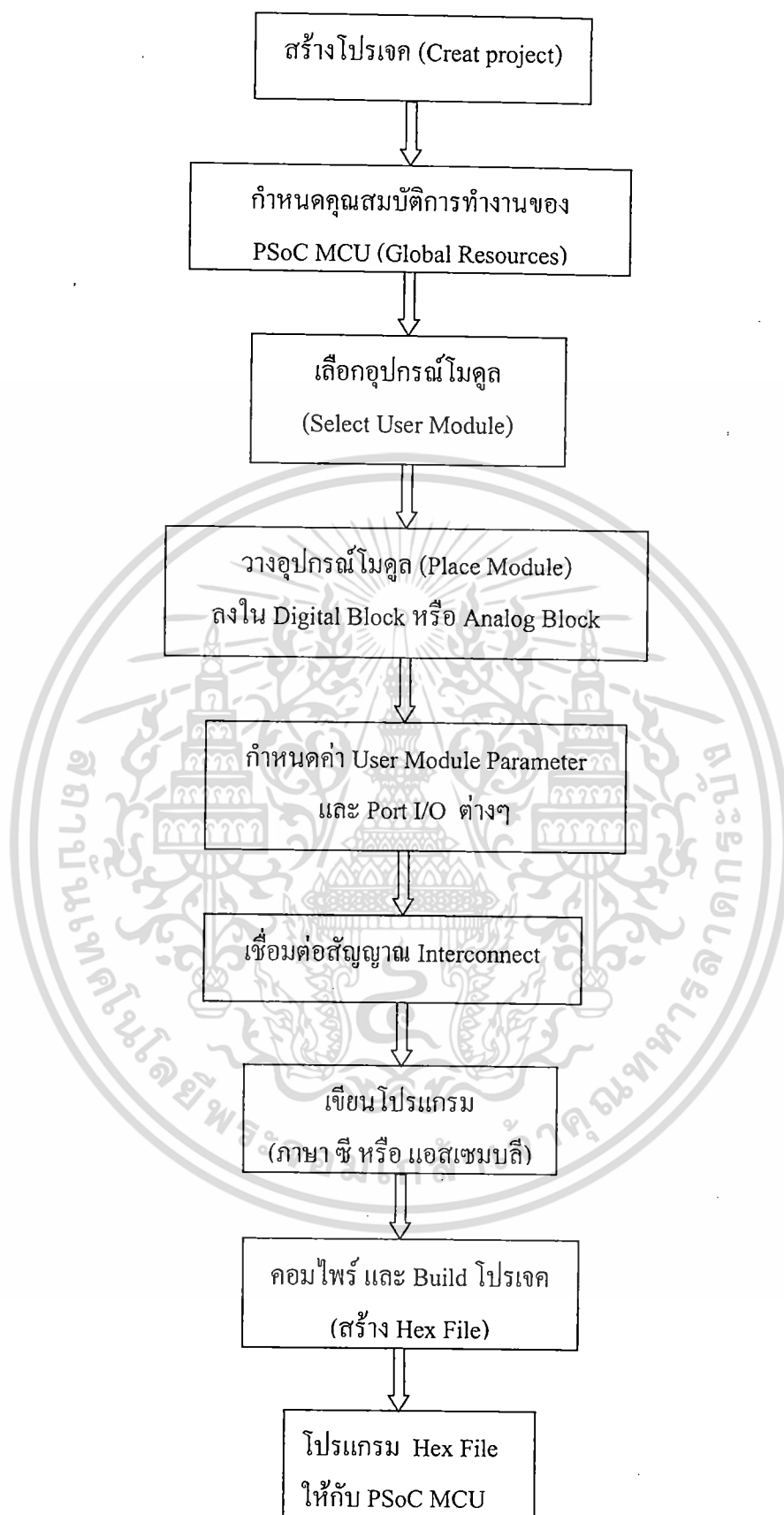
- สามารถตั้งค่าระดับการตรวจจับแรงดันต่ำได้ (Low Voltage Detection)

จะเห็นได้ว่า PSoC MCU เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีคุณสมบัติครบถ้วนมาก ไม่ได้ด้อยไปกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอื่นๆเลย บางทีอาจถูกมองว่าการที่มีคุณสมบัติหลายๆอย่างเช่นนี้จะทำให้การออกแบบนั้นยุ่งยาก แต่สำหรับ PSoC MCU แล้ว กลับทำได้ไม่ยุ่งยากนัก เนื่องจากใช้ซอฟต์แวร์ PSoC Designer การออกแบบ ซึ่งซอฟต์แวร์นี้จะมีออกแบบเป็นลักษณะของกราฟฟิก หรือ แบบวิซชวล (visual) เช่น การเลือกใช้โมดูลต่างๆ หรือการกำหนดค่า configuration ต่างๆ ส่วนในการเขียนโปรแกรมก็จะเป็นลักษณะการเรียกใช้งานฟังก์ชัน (API : Application Programming Interface) ที่ PSoC Designer ได้จัดเตรียมไว้ให้แล้ว ทำให้ลดความยุ่งยากได้มากเลยทีเดียว

2.6.3 แนวทางในการพัฒนาโปรแกรม

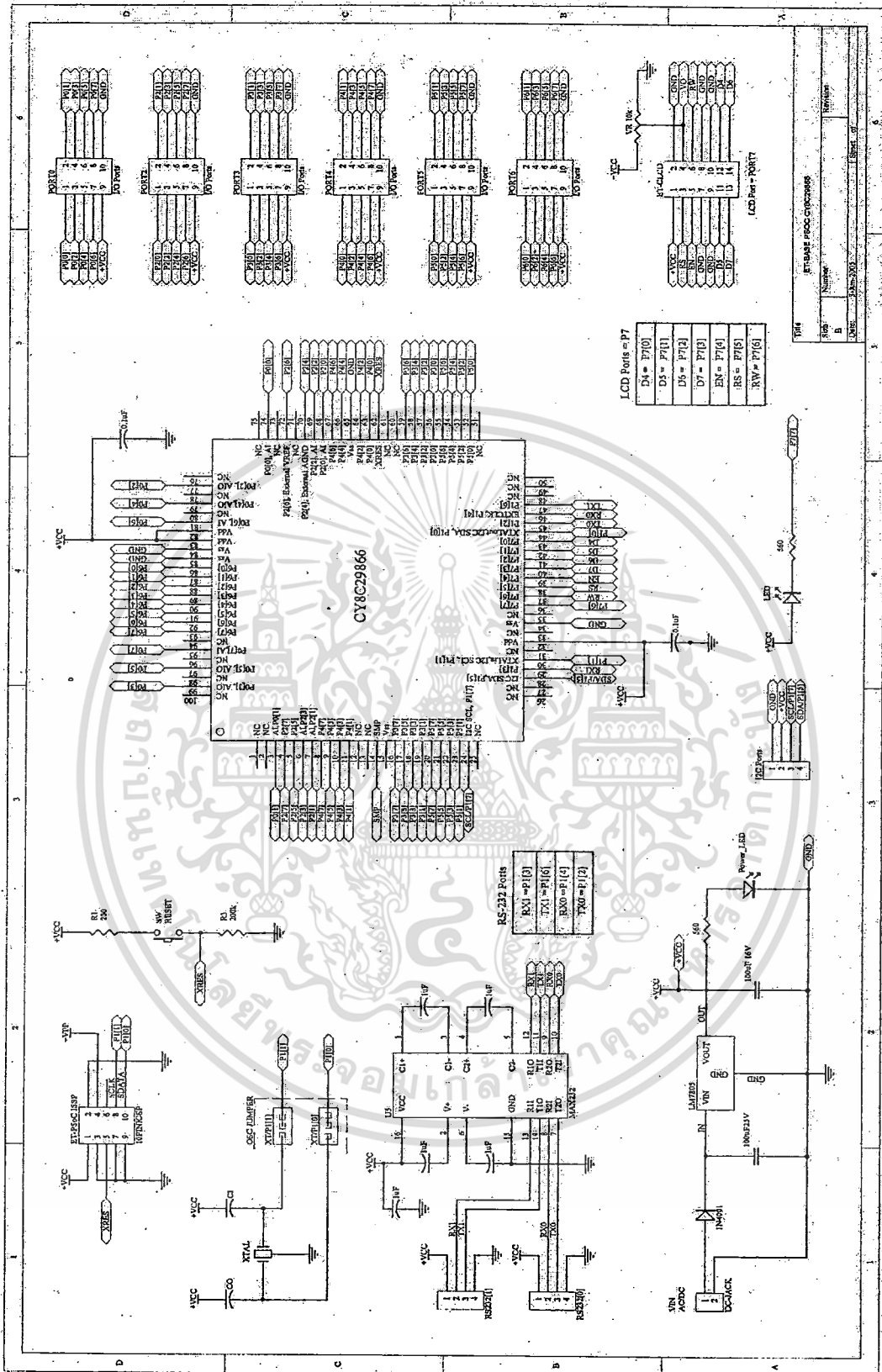
ในการพัฒนาโปรแกรม ภาษาที่ใช้ในการออกแบบพัฒนาการทำงานของ PSoC MUC ปัจจุบันจะมีอยู่ 2 ภาษาด้วยกันคือ ภาษาแอสเซมบลี และภาษาซี โดยภาษาที่เป็นภาษาพื้นฐานในการออกแบบการเขียนโปรแกรมให้กับ PSoC MUC ก็คือ ภาษาแอสเซมบลี ซึ่งเป็นภาษาที่ทางบริษัทผู้ผลิตได้สร้างขึ้นเพื่อสนับสนุนการเขียนโปรแกรมคำสั่งให้กับ PSoC MUC เป็นซอฟต์แวร์ฟรีไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใดๆ ส่วนภาษาซีเป็นภาษาที่เพิ่มเติมขึ้นมาเพื่อสนับสนุนการออกแบบโปรแกรมด้วยภาษาสูง โดยเป็นการร่วมมือกันระหว่างบริษัทผู้ผลิตชิพ PSoC MUC และบริษัทผู้ผลิตซอฟต์แวร์ (IMAGECRAFT) โดยทั้งตัวแปลภาษาแอสเซมบลีและภาษาซีจะถูกรวมอยู่ในซอฟต์แวร์โปรแกรมชื่อ PSoC Designer สามารถดาวน์โหลดได้ฟรีที่เว็บไซต์ของ Cypress Microsystems (www.cypressmicro.com) โดยการใช้งานภาษาซีจะต้องมีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม (license number) สำหรับการนำมาเปิดใช้งาน ส่วนภาษาแอสเซมบลีนั้นสามารถใช้งานได้ทันที

เนื่องจากการพัฒนาโปรแกรมของ PSoC MCU ส่วนใหญ่จะทำโดยการเรียกใช้งานฟังก์ชัน API และการกำหนดคุณสมบัติต่างๆ เช่น ความถี่สัญญาณนาฬิกา sleep, watchdog, supply voltage และอื่นๆ ยังทำได้จากหน้าต่าง Device Editor ของซอฟต์แวร์ PSoC Designer ทำให้เราไม่จำเป็นต้องทราบรายละเอียดของรีจิสเตอร์ต่างๆมากนัก โดยจะเน้นการใช้งานฟังก์ชัน API โดยสามารถสรุปขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมให้กับ PSoC MCU คร่าวๆ ได้ตามลำดับขั้นตอนดังรูป 2.26 และ 2.27



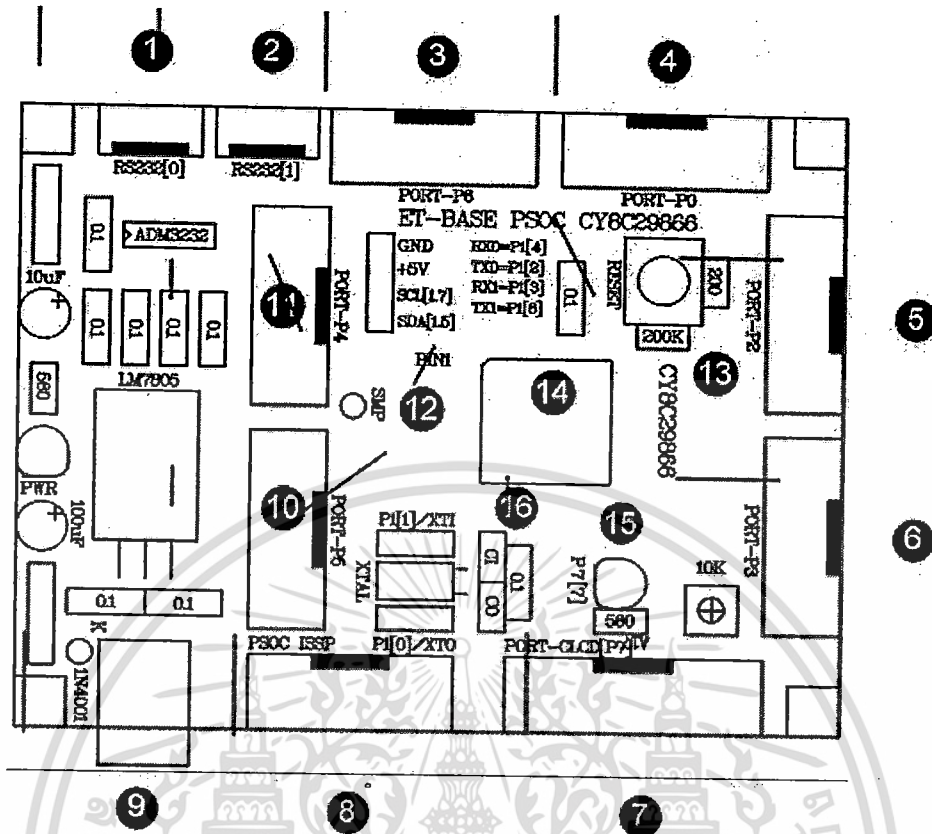
รูปที่ 2.26 แสดงขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมให้กับ PSoC MCU ด้วย PSoC Designer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 แสดงวงจรการจับขาของบอร์ด ET-BASE PSOC CY8C29866

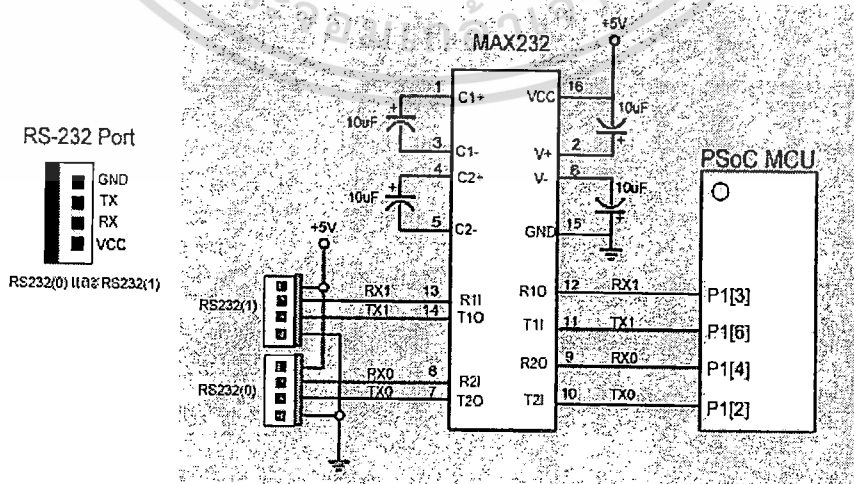
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างบอร์ด ET-BASE PSoc CY8C29866

จากรูปที่ 2.28 อธิบายรายละเอียดตามหมายเลขต่างๆ ดังนี้

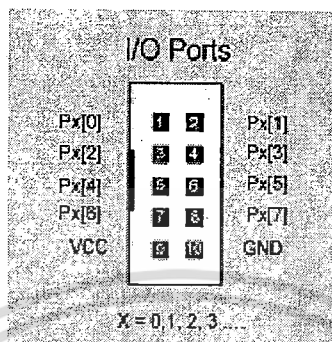
- หมายเลข 1 และ 2 คือ พอร์ตอนุกรม RS-232 โดยมีจำนวน 2 พอร์ต คือ RS232(0) และ RS232(1) ตามลำดับโดยมีรายละเอียดดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 แสดงวงจรพอร์ตอนุกรม RS-232

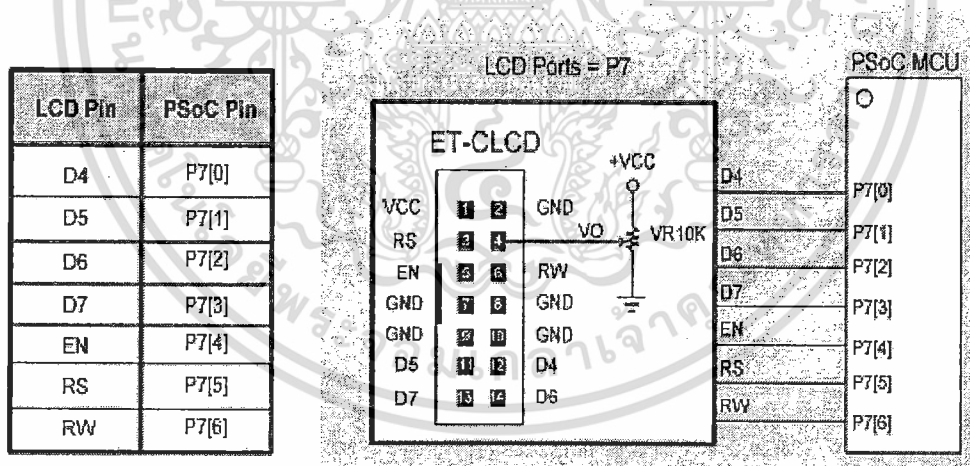
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หมายเลข 3, 4, 5, 6, 10 และ 11 เป็นพอร์ตของขาสัญญาณ I/O ของ PSoC MCU คือ PORT-P6, PORT-P0, PORT-P2, PORT-P3, PORT-P5, และ PORT-P4 ตามลำดับ โดยจะมีการจัดเรียงขาสัญญาณดังรูปที่ 2.30



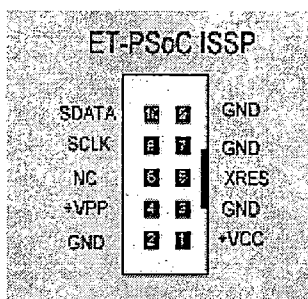
รูปที่ 2.30 แสดงพอร์ตของขาสัญญาณ I/O ของ PSoC MCU

- หมายเลข 7 พอร์ต ET-CLCD เป็นพอร์ตสำหรับต่อกับจอแสดงผล LCD แบบตัวอักษร ใช้การเชื่อมต่อแบบ 4Bit Data และจะมีวงจรปรับระดับ Brightness ของจอ LCD ด้วยดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 แสดงพอร์ตสำหรับต่อกับจอแสดงผล LCD

- หมายเลข 8 คือ พอร์ตสัญญาณ ET-PSoC ISSP ซึ่งใช้สำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องโปรแกรมเพื่อดาวน์โหลดซอร์สโค้ดโปรแกรม (Hex File) ให้กับ PSoC MCU ดังรูปที่ 2.32

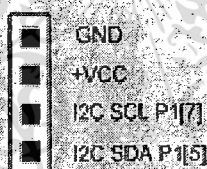


รูปที่ 2.32 แสดงพอร์ตสัญญาณ ET-PSoC ISSP

- หมายเลข 9 เป็นวงจรภาคจ่ายไฟ โดยจะรับแรงดันอินพุตประมาณ 7-10 โวลท์ AC/DC และจะถูกแปลงให้เหลือไปเลี้ยงวงจรเพียง 5 VDC เท่านั้นด้วย IC 7805 ดังรูปที่ 2.33

- หมายเลข 12 ขั้วต่อสัญญาณ I2C คือ ขาสัญญาณ I2C SCL P1 [7] และ I2C SDA P1

[5]

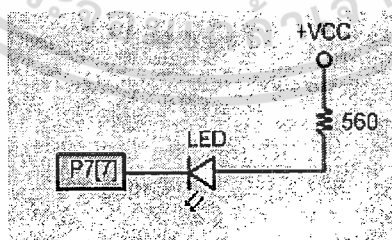


รูปที่ 2.33 แสดงขั้วต่อสัญญาณ I2C

- หมายเลข 13 สวิตช์รีเซตโปรแกรม

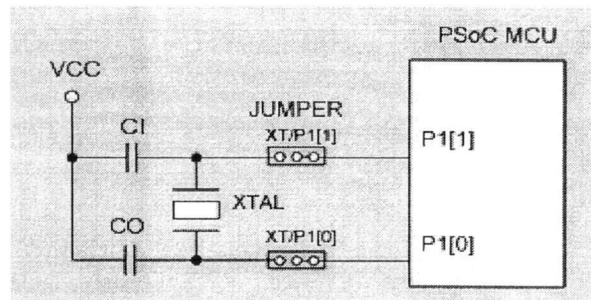
- หมายเลข 14 คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC เบอร์ CY8C29866 ขนาด 100 Pin

- หมายเลข 15 คือ หลอดไฟ LED ที่ต่อกับขาสัญญาณ P7[7] ดังรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 แสดงหลอดไฟ LED ที่ต่อกับขาสัญญาณ P7[11]

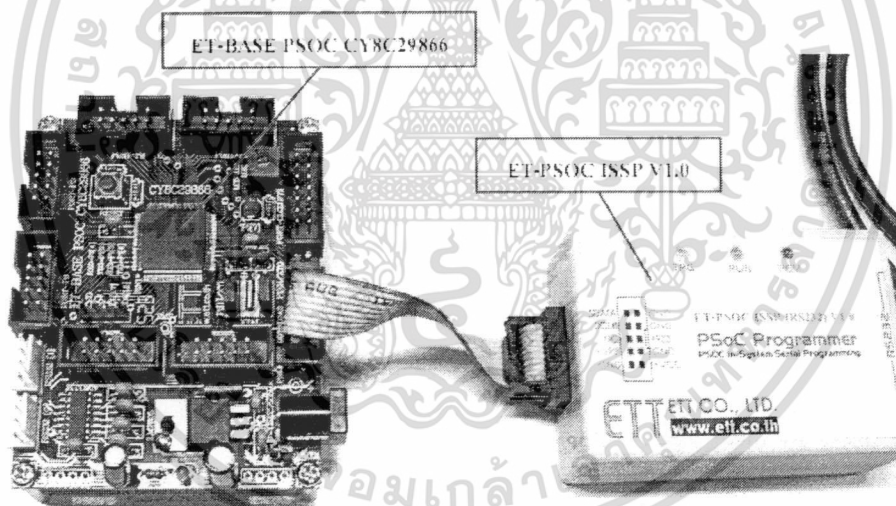
- หมายเลข 16 คือ วงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์ 32 kHz หรือ 32.768 kHz (เมื่อต้องการประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับฟังก์ชันนาฬิกา RTC) โดยจะมีจัมเปอร์สำหรับเลือกที่จะใช้งาน หรือ ไม่ใช้งานดังรูปที่ 2.35 วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 แสดงวงจรคริสตัลอสซิลเลเตอร์

2.6.4 การโปรแกรมซอร์สโค้ด (Hex File)

ในการโปรแกรมซอร์สโค้ด (Hex File) ให้กับ PSoC MCU จะต้องอาศัยเครื่องโปรแกรมจากภายนอก โดย ET-BASE PSoC CY8C29866 จะมีการจัดพอร์ตสัญญาณ (ET-PSoC ISSP) สำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องโปรแกรม ET-PSOC ISSP ซึ่งสามารถศึกษารายละเอียดการใช้งานเครื่องโปรแกรม ET-PSOC ISSP ได้จากคู่มือของเครื่องโปรแกรมห้างค้า โดยการเชื่อมต่อจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.36 การเชื่อมต่อโปรแกรมซอร์สโค้ด (Hex File) ให้กับ PSoC MCU

ถ้าหากการตรวจสอบเบื้องต้นเมื่อไม่สามารถดาวน์โหลดโปรแกรมได้ สามารถตรวจสอบได้ดังนี้

- ตรวจสอบการเชื่อมต่อของสายสัญญาณต่างๆ
- ตรวจสอบการจ่ายพลังงานให้กับบอร์ด

- ตรวจสอบขาสัญญาณ P1[1] และ P1[0] ว่ามีการต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ อยู่หรือไม่ ถ้าพบว่าต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ อยู่ให้ทำการปลดอุปกรณ์ดังกล่าวออก เพราะในการโปรแกรมจะต้องใช้ขาสัญญาณ P1[1] และ P1[0] สำหรับโอนถ่ายข้อมูล แต่เมื่อทำการโปรแกรมเสร็จก็สามารถใช้งาน

เอกสารข้างสัญญาณนี้ได้ตามปกติสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

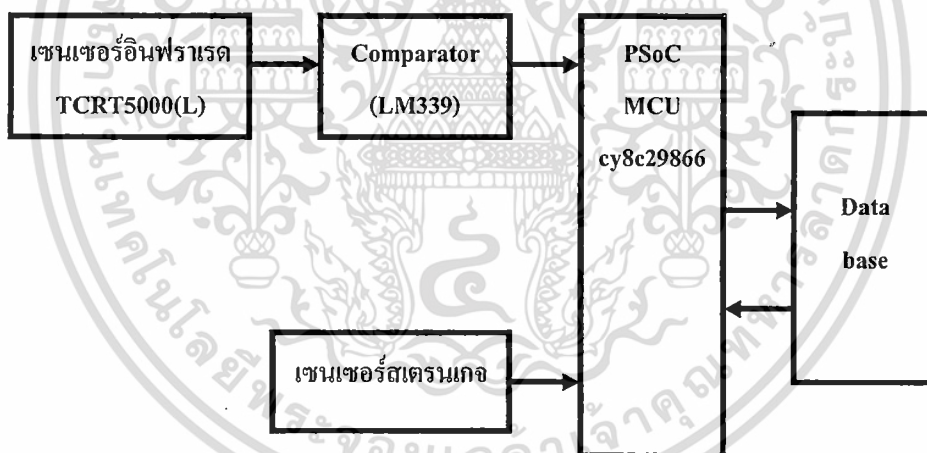
การออกแบบ และการสร้างระบบ

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบระบบทั้งหมดของโครงการวิจัย อันได้แก่ การออกแบบการเซนเซอร์น้ำหนัก การเซนเซอร์ความยาว และระบบฐานข้อมูล ซึ่งในเบื้องต้นผู้วิจัยได้ศึกษาและกำหนดข้อจำกัดในการออกแบบระบบดังแสดงในรูปที่ 3.1

3.2 การออกแบบระบบการทำงาน Block Diagram

ข้อกำหนดจากการศึกษาข้อมูลภาพรวมของปลาทะเลและการใช้งานจริง ในเบื้องต้นคณะผู้วิจัยจะทำการออกแบบระบบเพื่อตรวจวัดปลาที่มีขนาดความยาวอยู่ในช่วง 1-30 เซนติเมตร และทำตรวจวัดน้ำหนักของปลาที่มีน้ำหนักไม่เกิน 1,000 กรัม โดยมีค่าความละเอียดในการวัดครั้งละ 100 กรัม



รูปที่ 3.1 แสดง Block diagram การทำงานของระบบ

จากรูปที่ 3.1 สามารถอธิบายหน้าที่ของ Block diagram ของส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

- การเซนเซอร์ความยาว จะใช้เซนเซอร์อินฟราเรด เป็นชุดรับ ส่งอินฟราเรด จะออกมาในรูปแบบแรงดัน ซึ่งแรงดันที่ออกมานั้นจะแปรผันตามระยะจุดสะท้อน หากต่อการนำไปใช้งาน และจะใช้วงจร Comparator เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันจากชุดอินฟราเรด เพื่อปรับแรงดันเอาท์พุทให้มีค่าคงที่ ซึ่งจะออกมาในรูปแบบลอจิกคือ “1” กับ “0”

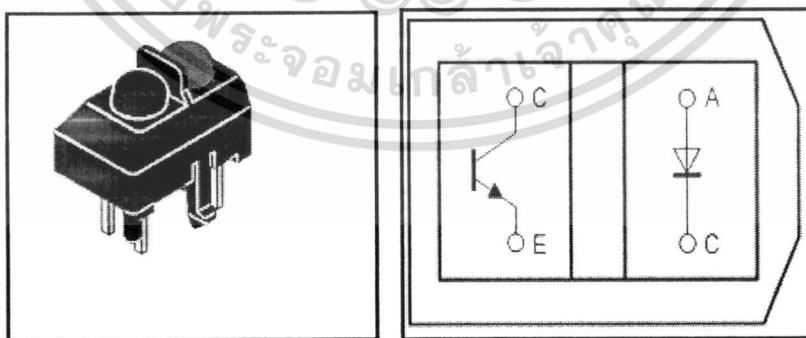
- ส่วนของการเซนเซอร์น้ำหนัก จะเลือกใช้สเตรนเกจความละเอียดสูงซึ่งหาค่อนข้างยาก ในงานวิจัยนี้ ได้จากการประยุกต์ใช้จากเครื่องชั่งเอนกประสงค์ โดยตัวเซนเซอร์นี้จะให้ค่าเอาต์พุตออกมาเป็นค่าความถี่ที่สัมพันธ์กับน้ำหนัก

- ส่วนของการประมวลผลจะใช้ PSoC MCU cy8c29866 เป็นหน่วยประมวลผล ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งโครงการนี้เลือกไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC (Programmable System on Chip) ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล M8 ของ Cypress Semi - conductor มีวงจรรวมต่าง ๆ ทั้งในระบบอะนาล็อกและดิจิทัลอยู่ภายในโดยมีการจัดสรรเป็นบล็อก ซึ่งมีการเชื่อมต่อวงจรภายในตัว PSoC กับพอร์ตต่าง ๆ จะผ่านทางส่วนเชื่อมโยงอะนาล็อกหลัก (Global Analog Interconnect) และส่วนเชื่อมโยงดิจิทัลหลัก (Global Digital Interconnect) ความพิเศษของ PSoC คือสามารถกำหนดขาเชื่อมต่อของโมดูลวงจรรวมต่างๆ ได้อย่างอิสระ

- ระบบเก็บข้อมูล หรือ Data base คือ การติดต่อสื่อสารกับตัวเครื่อง เพื่อทำการอัปเดตข้อมูลที่ได้เก็บไว้ในหน่วยความจำออกมา นั้นจะสื่อสารผ่านการสื่อสารแบบอนุกรม มาตรฐาน RS-232 เลือกใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic[13] ในการติดกับตัวเครื่องบันทึกข้อมูล และใช้โปรแกรม Microsoft Access ในการเก็บข้อมูลที่รับเข้ามา เก็บบันทึก ในฐานข้อมูล ดังนั้น การใช้โปรแกรมจึงต้องทำงานร่วมกับตัวเครื่องด้วย

3.3 การออกแบบเซนเซอร์ความยาว

ในการออกแบบวงจรเซนเซอร์ความยาวนั้น อาศัยหลักการทำงานของแสงอินฟราเรด ที่จะสะท้อนกลับเมื่อตกกระทบกับวัตถุ จึงได้เลือกใช้อุปกรณ์รับส่งแสงอินฟราเรด แบบชนิดคู่ คือ มีทั้งตัวรับและตัวส่งประกอบอยู่ในชุดเดียวกัน เซนเซอร์ที่ใช้คือ TCRT5000(L) ดังรูปที่ 3.2

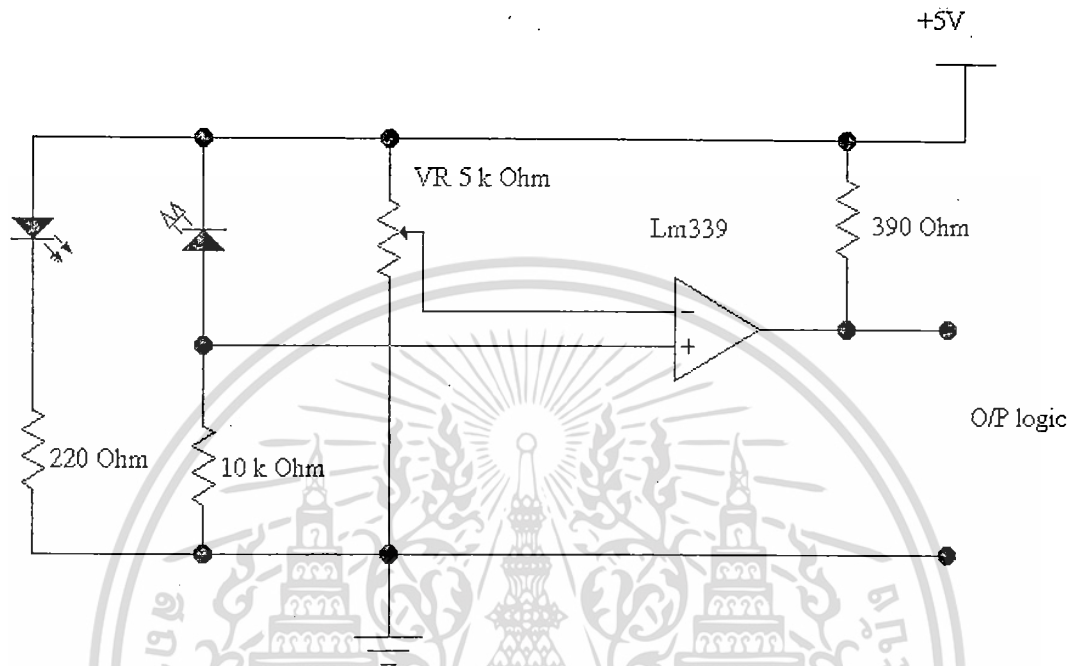


รูปที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์เซนเซอร์และ โครงสร้าง TCRT5000 (L)

ข้อดีของอุปกรณ์ชุดนี้ คือไม่ต้องทำการจัดมุมสะท้อนจึงง่ายต่อการนำมาใช้งาน แต่สัญญาณที่ได้จากตัวเซนเซอร์นั้นยังคงไม่มีความแน่นอนมากนัก เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ได้นั้นจะแปรผันตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่จะระงับการดำเนินการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับระยะห่างของวัตถุที่แสงตกกระทบ กล่าวคือหากวัตถุที่แสงตกกระทบนั้นอยู่ห่างออกไปมาก แรงดันไฟฟ้าที่ได้ก็จะน้อยลงตามระยะห่างนั้นด้วย ทำให้ต้องทำการแก้ปัญหาโดยเพิ่มวงจรเปรียบเทียบแรงดัน หรือวงจรคอมพาราเตอร์เข้าไป เพื่อทำการจัดระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่เมื่อ แสงนั้นตกกระทบบกวัตถุ



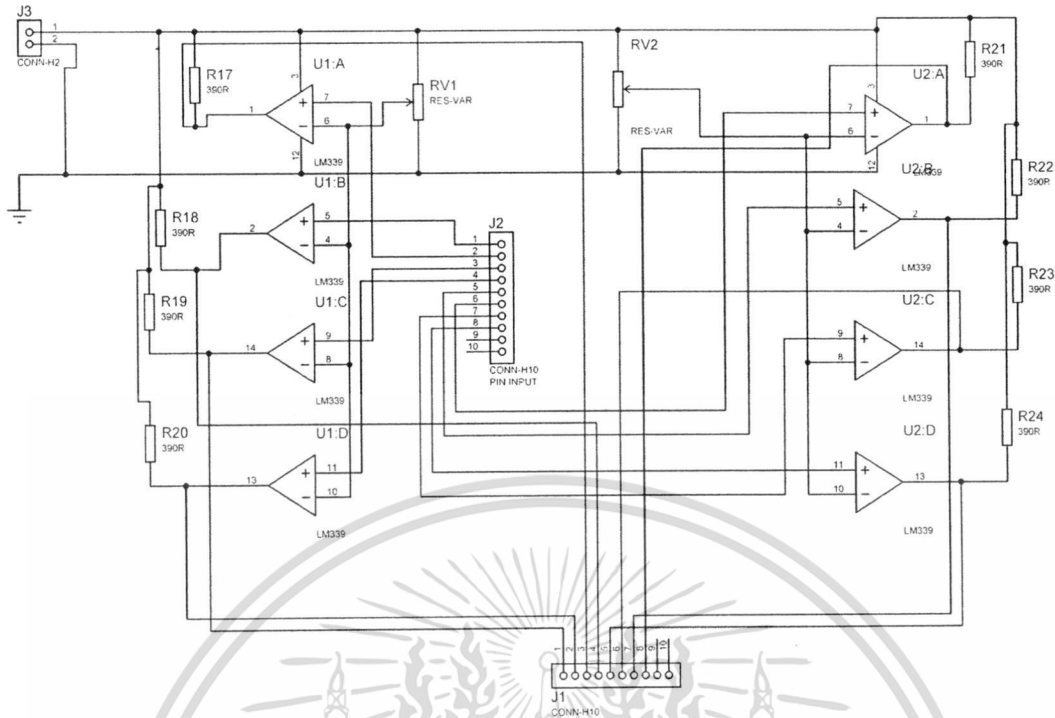
รูปที่ 3.3 แสดงต่อวงจรคอมพาราเตอร์จากเซนเซอร์

ในการออกแบบนั้นจะกำหนดระยะห่างของตัวอุปกรณ์เซ็นเซอร์ให้ได้ระยะห่างที่ 1 เซ็นติเมตร ต่อหนึ่งตัว (วัดที่จุดกึ่งกลางถึงจุดกึ่งกลาง) มีความยาวรวม 30 เซ็นติเมตรเพื่อให้ง่ายต่อการวัดระยะ และการอ่านข้อมูลเพื่อนำไปใช้งาน

จากรูปที่ 3.3 เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบใช้ไฟเลี้ยงชุดเดียว คือเมื่อ $V(+)$ > $V(-)$ ทำให้ $V_o = +V$ (ON) และ $V(-)$ > $V(+)$ ทำให้ $V_o = 0$ (OFF) ใช้ Op amp ในการเปรียบเทียบ ระดับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะใช้ VR 5K ในการปรับระดับแรงดันที่ต้องการเปรียบเทียบ (เป็นแรงดัน อ้างอิง) เพื่อให้ได้เป็นระดับลอจิกเพื่อต่อเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ จากรูป โดยเมื่อมีการสะท้อน ของแสงมากหรือเป็นสีขาวจะได้ Output เป็นลอจิก "1"

ออปแอมป์ ที่ใช้ คือ เบอร์ LM339 ซึ่งเป็นไอซีที่มีโครงสร้างออปแอมป์ภายใน 4 ตัว ดังนั้นในการออกแบบวงจรสามารถสร้างวงจรเซนเซอร์ได้ 4 ชุดต่อไอซีออปแอมป์หนึ่งตัว แต่ในโครงการนี้ จะใช้เซนเซอร์ในการวัดความยาว 32 ชุด จึงใช้ไอซีออปแอมป์ในการออกแบบวงจรทั้งหมด 8 ตัว ดังนั้น สำหรับการออกแบบวงจร โครงการนี้เพื่อให้วงจรไม่สับสนจึงจะแบ่งการสร้างวงจรออกเป็น 2 วงจรเหมือนกัน ซึ่งวงจรจะมีขนาดเล็กลงตาม ดังรูปที่ 3.4 และ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



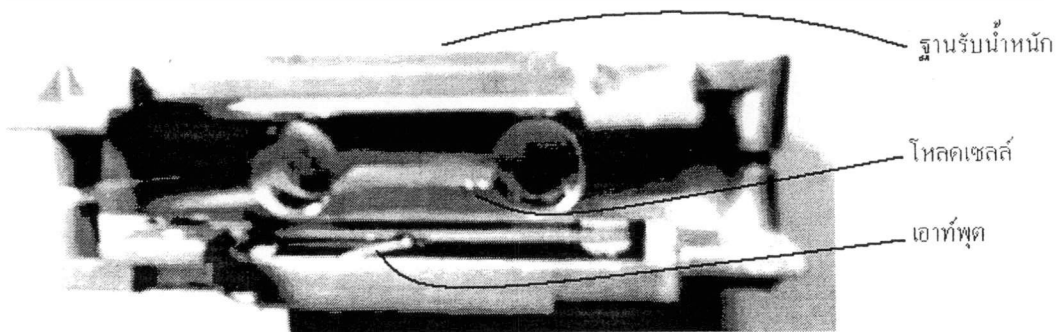
รูปที่ 3.4 การออกแบบวงจรคอมพาราเตอร์



รูปที่ 3.5 แสดงการการจัดวางอุปกรณ์เซนเซอร์

3.4 การออกแบบเซนเซอร์น้ำหนัก

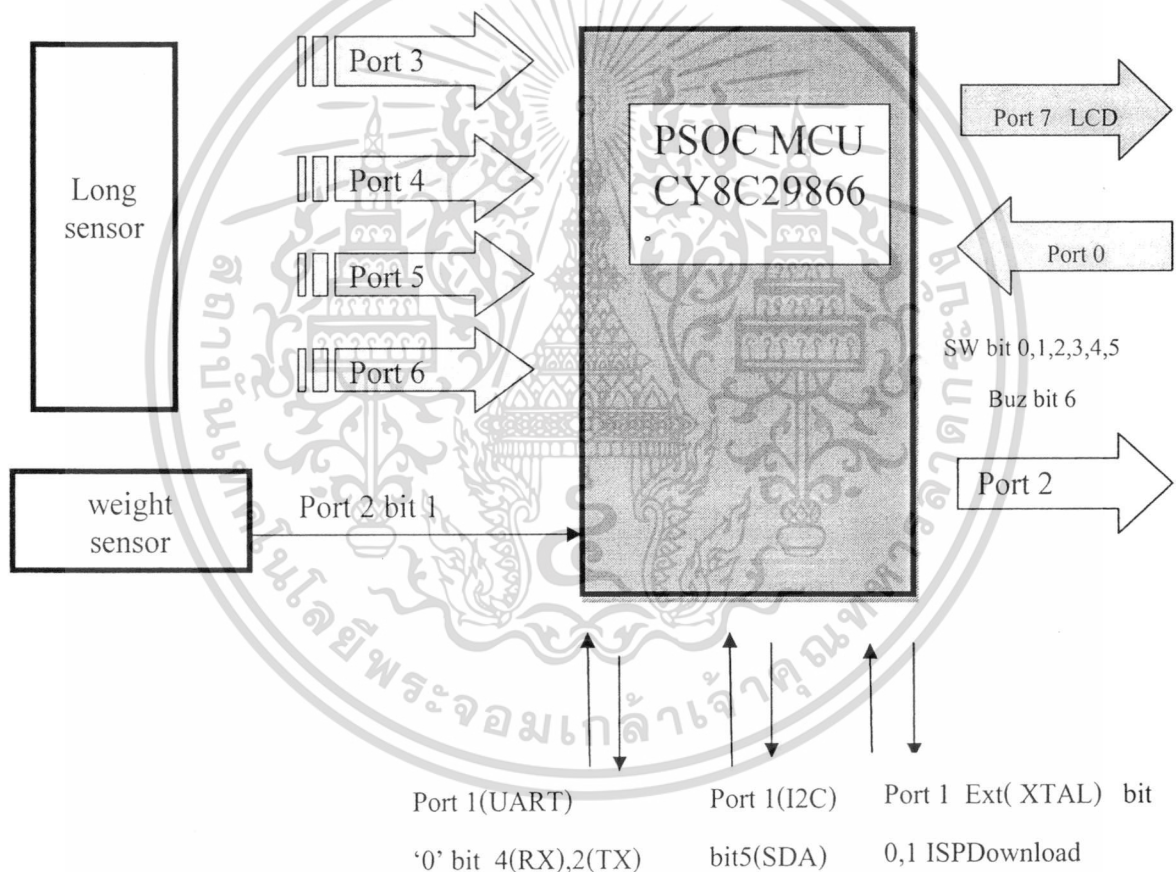
ส่วนของเซนเซอร์น้ำหนักนั้นประยุกต์ใช้เซนเซอร์จากเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้ โดยตัวเซนเซอร์นี้จะให้ค่าเอาต์พุตออกมาเป็นค่าความถี่ ซึ่งจะแปรตามค่าน้ำหนักที่ตกลงมา ดังรูปที่ 3.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.6 เซนเซอร์จากเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบหน่วยประมวลผล

สำหรับหน่วยประมวลผลหลักเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล M8 PsoC CY8C29866 ของบริษัท Cypress Microsystems ทำการรับค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ความยาวและน้ำหนักมาประมวลผลและแสดงผลทางจอแสดงผล LCD โดยกำหนด port 3 , 4 , 5 , 6 ให้รับค่าที่ได้จากเซนเซอร์ความยาว และกำหนด port 2(1) รับค่าจากเซนเซอร์น้ำหนัก เป็นอินพุตให้ โมดูล TIMER ภายในตัว PsoC ทำการนับค่าความถี่ที่ได้จากชุดเซนเซอร์น้ำหนักเพื่อนำค่ามาประมวลผลเป็นค่าน้ำหนักและกำหนด port7 เป็นจอแสดงผลLCD ซึ่งการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล M8 PsoC จะกระทำผ่านซอฟต์แวร์ PSoC designer ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ทางผู้ผลิตชิปเขียนขึ้นเพื่อสนับสนุนการออกแบบและการใช้งาน PSoCMCU แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดง block diagram ของหน่วยประมวลผล

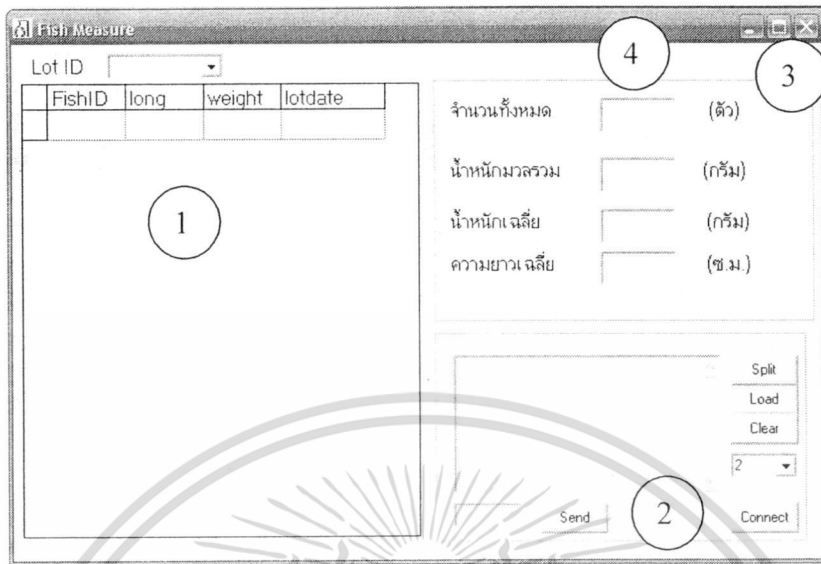
3.6 การออกแบบ INTERFACE AND DATABASE จากรูปที่ 3.8 แสดงหน้าต่างสำหรับ

การใช้งานโปรแกรมอ็ปโหลด

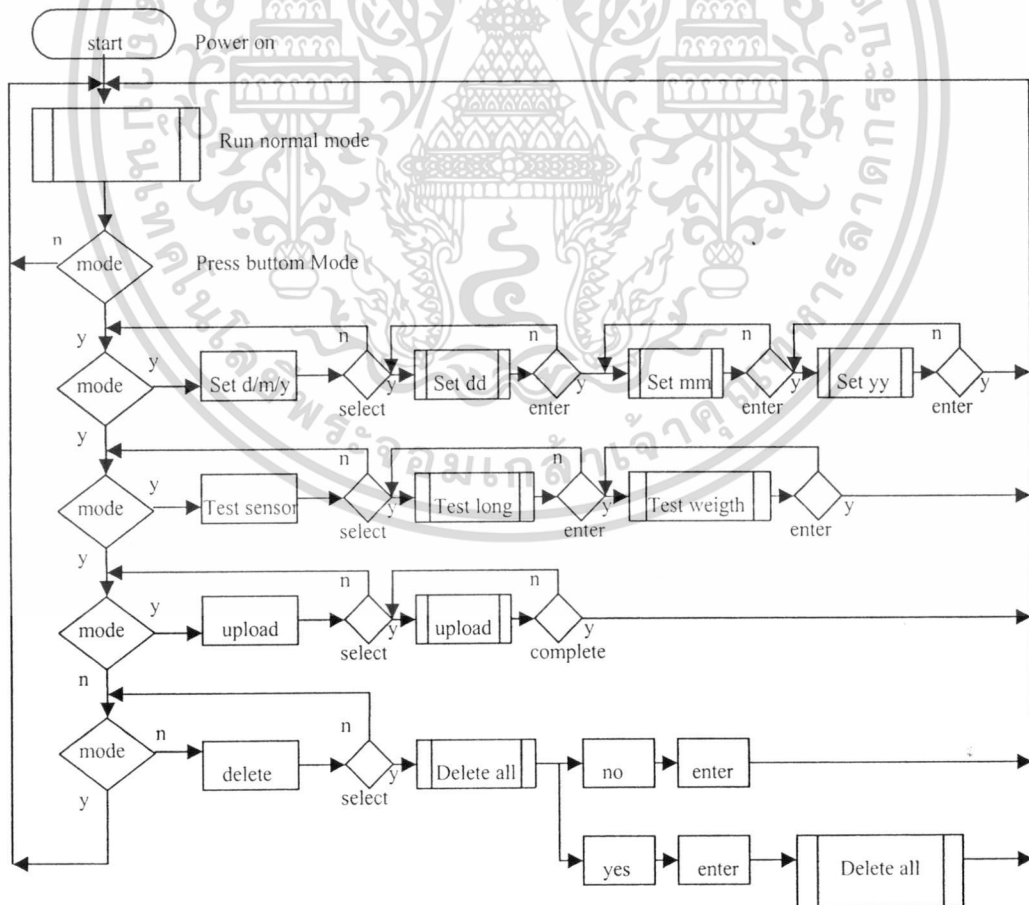
- หมายเลข 1 ส่วนแสดงข้อมูลต่างๆที่บันทึกไว้ในฐานข้อมูล
- หมายเลข 2 ปุ่ม อ็ปโหลดข้อมูลเพื่อติดต่อกับตัวเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 หมายเลข 3 ปุ่มออกจากโปรแกรม และหมายเลข 4 ส่วนแสดงข้อมูลโดยเฉลี่ย
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการทำงานของโครงการโดยรวมทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังโปรแกรมรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 แสดงหน้าต่างโปรแกรมในการอัปโหลดข้อมูล



รูปที่ 3.9 แสดงโปรแกรมการทำงานของโครงการโดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

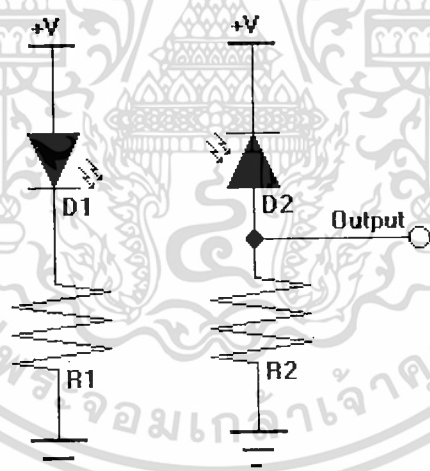
การทดลอง และผลการทดลอง

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลที่ได้จากการทดลอง โดยในการวิจัยได้ทำการแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง คือ การตรวจวัดเซนเซอร์ความยาว การตรวจวัดเซนเซอร์น้ำหนัก ระบบการเก็บและสื่อสารข้อมูล

4.2 การทดลองที่ 1 การตรวจวัดเซนเซอร์ความยาว

เนื่องจากตัวเซนเซอร์ความยาวนั้นถูกจัดวางให้อยู่กลางแจ้งหน้าอะครีติกใสหนา 0.3 ซม. ดังนั้น ความสูงเริ่มแรกของตัวเซนเซอร์จึงเท่ากับความหนาของแผ่นอะครีติก โดยในขั้นแรกจะเป็นการทดลองวัดแรงดันที่ออกจากเซนเซอร์ โดยตรง กำหนด $V_{dd} = +5\text{ V}$



รูปที่ 4.1 วงจรเซนเซอร์อินฟราเรด

จากรูปที่ 4.1 เป็นวงจรการทดสอบเซนเซอร์อินฟราเรด โดยทดลองให้สะท้อนกลับที่ระยะความสูงที่ต่างกัน โดยทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าโดยตรงจากขาเอาต์พุตที่ D2 ซึ่งเป็นชุดรับ ส่วนที่ D1 เป็นชุดส่ง โดยจะกำหนดระดับความสูงที่ 0.3-2.4 เซนติเมตร ดังนั้นแรงดันที่ออกมาสามารถแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงการระดับแรงดันที่ความสูงต่างๆเช่นเซอร์

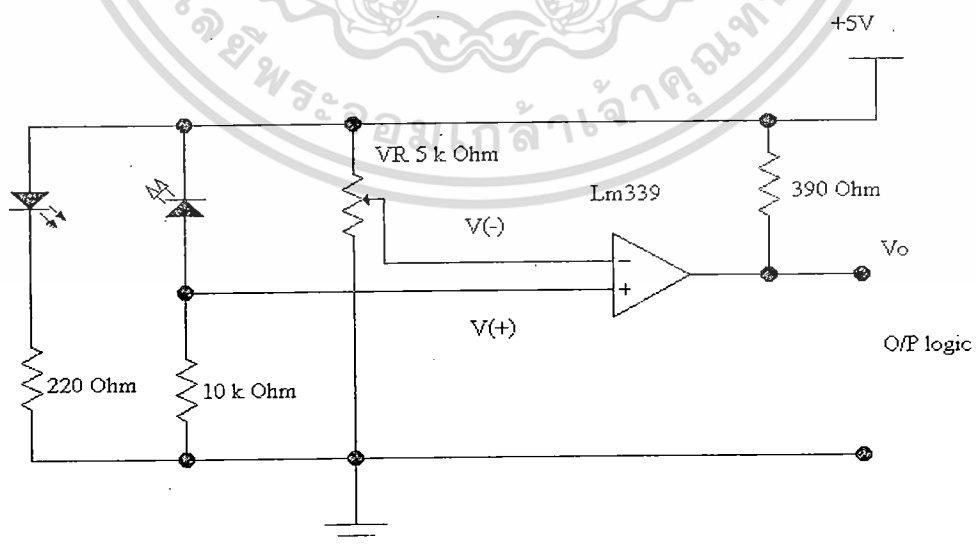
ระดับความสูง(ซม.)	ระดับแรงดัน(โวลต์)
0.3	1.4
0.5	2.0
0.8	2.7
1.1	3.5
1.4	4.0
1.7	3.7
2.1	2.5
2.4	2.0

เมื่อเพิ่มวงจรคอมพาราเตอร์ซึ่งกำหนด ให้ $V_{DD} = 5V$, และปรับ VR ที่ 2 K Ohm แล้วทำการเปรียบเทียบแรงดัน ซึ่งจากทฤษฎีวงจรเปรียบเทียบแรงดัน คือ

เมื่อ $V(+)$ > $V(-)$ ทำให้ $V_o = +V$.(ON)

$V(-)$ > $V(+)$ ทำให้ $V_o = 0$.(OFF)

ทำการปรับค่าความต้านทาน VR ที่ 2 K Ohm แล้วแสดงว่า V_{ref} ที่วงจรคือ $V(-)$ ซึ่งแรงดันอ้างอิงที่ 2 V ซึ่งจะได้เอาท์พุทลอจิก คือ "1" และ "0"



รูปที่ 4.2 แสดงวงจรจากเซนเซอร์ผ่านวงจรคอมพาราเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 วงจรนี้ใช้โอปแอมป์เปรียบเทียบแรงดัน (LM339) จะเทียบแรงดันอ้างอิงที่ขา อินเวอร์ตติ้ง เรียงลำดับไป เทียบกับขาอนอินเวอร์ตติ้ง สามารถคำนวณหา V_o ได้ดังนั้นสามารถนำแรงดันเอาต์พุตจากตารางที่ 4.1 มาทำการเปรียบเทียบแรงดัน ซึ่งจะเป็น $V(+)$ ได้ดังสมการที่ (4.1)

$$\text{จาก } V_o = V(+)-V(-) \quad (4.1)$$

4.2.1 การคำนวณการเปรียบเทียบแรงดัน

ที่ความสูง 0.3 cm แรงดันเอาต์พุต $V(+)=1.4\text{ V}$, แรงดันอ้างอิงที่ $V(-)=2\text{ V}$ ดังนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบแรงดันแล้วจะได้

$$\text{จาก } V(-) > V(+)\text{ ทำให้ } V_o = 0 \text{ (OFF)}$$

$$\text{จะได้ } 2\text{ V} > 1.4\text{ V}\text{ ทำให้ } V_o = 1.4 - 2\text{ V}$$

$$V_o = 0\text{ V} ; \text{Output Logic} = 0$$

ที่ความสูง 0.5 cm แรงดันเอาต์พุต $V(+)=2\text{ V}$, แรงดันอ้างอิงที่ $V(-)=2\text{ V}$ ดังนั้นสามารถเปรียบเทียบแรงดันได้โดย

$$\text{จาก } V(-) = V(+)\text{ ทำให้ } V_o = 0 \text{ (OFF)}$$

$$\text{จะได้ } 2\text{ V} = 2\text{ V}\text{ ทำให้ } V_o = 2 - 2\text{ V}$$

$$V_o = 0\text{ V} ; \text{Output Logic} = 0$$

ที่ความสูง 0.8 cm แรงดันเอาต์พุต $V(+)=2.7\text{ V}$, แรงดันอ้างอิงที่ $V(-)=2\text{ V}$ ดังนั้นสามารถเปรียบเทียบแรงดันได้โดย

$$\text{จาก } V(+) > V(-)\text{ ทำให้ } V_o = +V \text{ (ON)}$$

$$\text{จะได้ } 2.7\text{ V} > 2\text{ V}\text{ ทำให้ } V_o = 2.7 - 2\text{ V}$$

$$V_o = 0.7\text{ V} ; \text{Output Logic} = 1$$

ที่ความสูง 1.1 cm แรงดันเอาต์พุต $V(+)=3.5\text{ V}$, แรงดันอ้างอิงที่ $V(-)=2\text{ V}$ ดังนั้นสามารถเปรียบเทียบแรงดันได้โดย

$$\text{จาก } V(+) > V(-)\text{ ทำให้ } V_o = +V \text{ (ON)}$$

$$\text{จะได้ } 3.5\text{ V} > 2\text{ V}\text{ ทำให้ } V_o = 3.5 - 2\text{ V}$$

$$V_o = 1.5\text{ V} ; \text{Output Logic} = 1$$

ที่ความสูง 1.4 cm แรงดันเอาต์พุต $V(+)=4.0\text{ V}$, แรงดันอ้างอิงที่ $V(-)=2\text{ V}$ ดังนั้นสามารถเปรียบเทียบแรงดันได้โดย

$$\text{จาก } V(+) > V(-)\text{ ทำให้ } V_o = +V \text{ (ON)}$$

$$\text{จะได้ } 4.0\text{ V} > 2\text{ V}\text{ ทำให้ } V_o = 4.0 - 2\text{ V}$$

$$V_o = 2\text{ V} ; \text{Output Logic} = 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความสูง 1.7 cm แรงดันเอาต์พุต $V(+)$ = 3.7 V , แรงดันอ้างอิงที่ $V(-)$ = 2 V ดังนั้นสามารถเปรียบเทียบแรงดันได้โดย

$$\text{จาก } V(+)$$

$$\text{จะได้ } 3.7 \text{ V} > 2 \text{ V} \text{ ทำให้ } V_o = 3.7 - 2 \text{ V}$$

$$V_o = 1.7 \text{ V} ; \text{Output Logic} = 1$$

ที่ความสูง 2.1 cm แรงดันเอาต์พุต $V(+)$ = 2.5 V , แรงดันอ้างอิงที่ $V(-)$ = 2 V ดังนั้นสามารถเปรียบเทียบแรงดันได้โดย

$$\text{จาก } V(+)$$

$$\text{จะได้ } 2.5 \text{ V} > 2 \text{ V} \text{ ทำให้ } V_o = 2.5 - 2 \text{ V}$$

$$V_o = 0.5 \text{ V} ; \text{Output Logic} = 1$$

ที่ความสูง 2.4 cm แรงดันเอาต์พุต $V(+)$ = 2.0 V , แรงดันอ้างอิงที่ $V(-)$ = 2 V ดังนั้นสามารถเปรียบเทียบแรงดันได้โดย

$$\text{จาก } V(+)$$

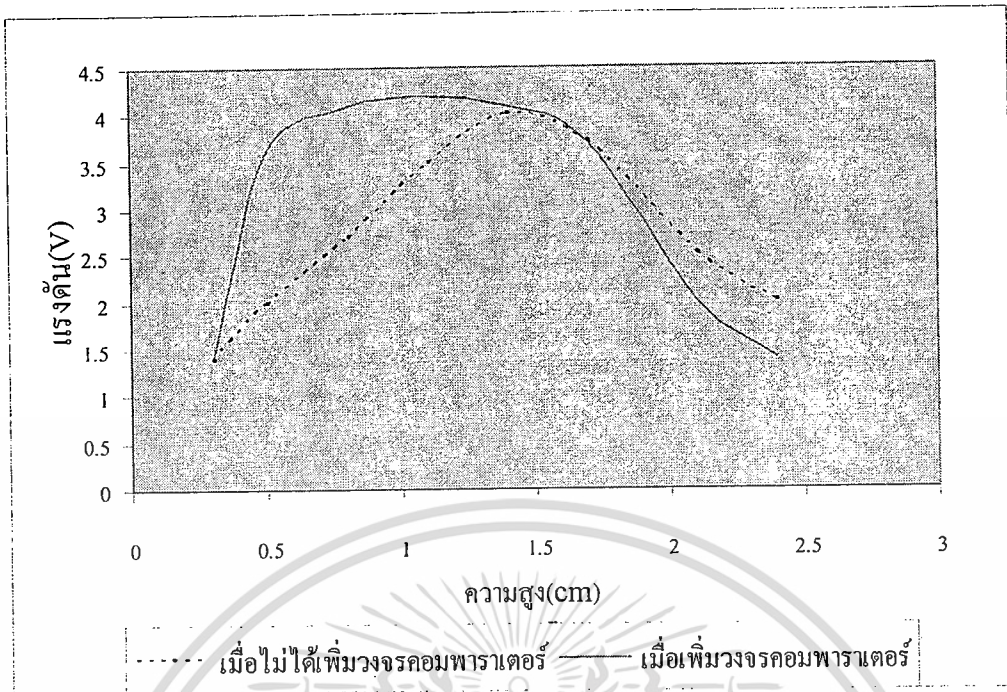
$$\text{จะได้ } 2.0 \text{ V} = 2 \text{ V} \text{ ทำให้ } V_o = 2 - 2 \text{ V}$$

$$V_o = 0 \text{ V} ; \text{Output Logic} = 0$$

จากการเปรียบเทียบแรงดันที่ผ่านมา เราสามารถเขียนตารางแสดงระดับที่ความสูงต่างๆ เมื่อผ่านวงจรคอมพาราเตอ์ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงการระดับแรงดันที่ความสูงต่างๆเมื่อผ่านวงจรคอมพาราเตอ์

ระดับความสูง(ซม.)	ระดับแรงดัน(โวลต์)
0.3	1.4
0.5	3.6
0.8	4.1
1.1	4.2
1.4	4.1
1.7	3.7
2.1	2.0
2.4	1.4



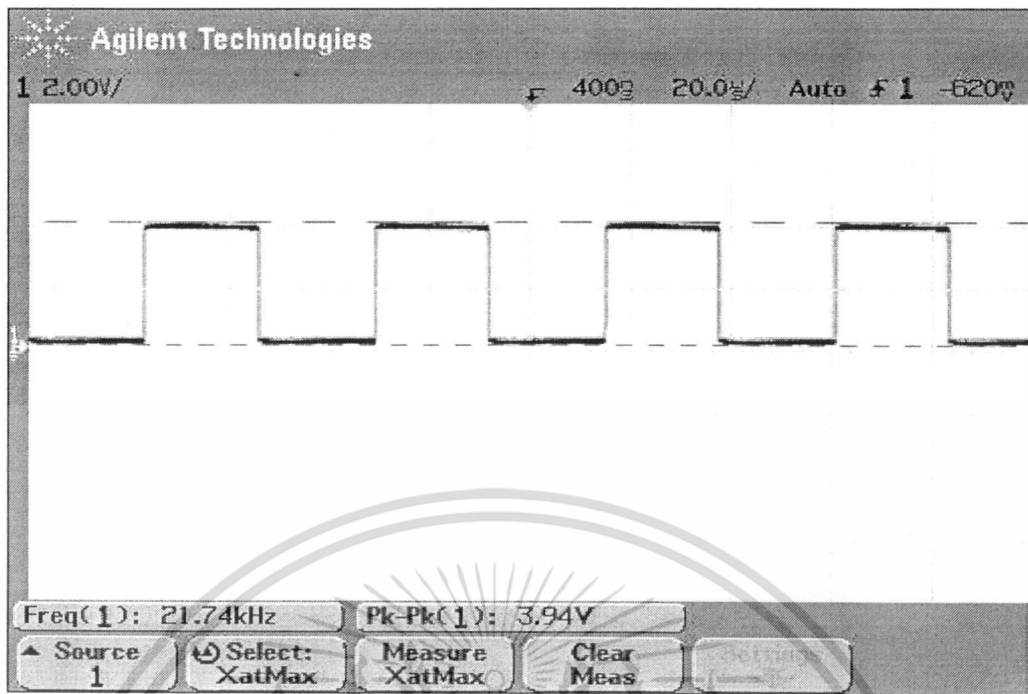
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของเซนเซอร์กับแรงดันเอาต์พุต

จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าแรงดันเอาต์พุตที่วัดได้ เมื่อเทียบกับจากรายที่ 5.1 และ ตารางที่ 4.2 นั้นสามารถบอกได้ว่า เมื่อวัดแรงดัน โดยตรงขณะที่ยังไม่ได้เพิ่มวงจรถอมพาราเตอร์ นั้นแรงดันเอาต์พุตจะไม่สามารถกำหนดระยะห่างของจุดสะท้อนกลับได้ และเมื่อทำการเพิ่มวงจรถอมพาราเตอร์เข้าไปแล้ว จะทำให้แรงดันเอาต์พุตที่ออกมาจะมีระดับการเปลี่ยนแปลงของลอจิกที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ PSoC รับได้จะอยู่ที่ประมาณ “1” และ “0” ดังนั้นความสูงที่ 0.3-2.4 เซนติเมตร ที่เซนเซอร์รับได้นั้นเมื่อผ่านวงจรถอมพาราเตอร์จะทำให้ค่าแรงดันคงที่ขึ้นแรงดันเอาต์พุตที่ได้นั้นอยู่ในระดับ TTL และสามารถกำหนดระยะห่างของจุดสะท้อนทำให้สามารถนำไปใช้งานได้โดยง่าย

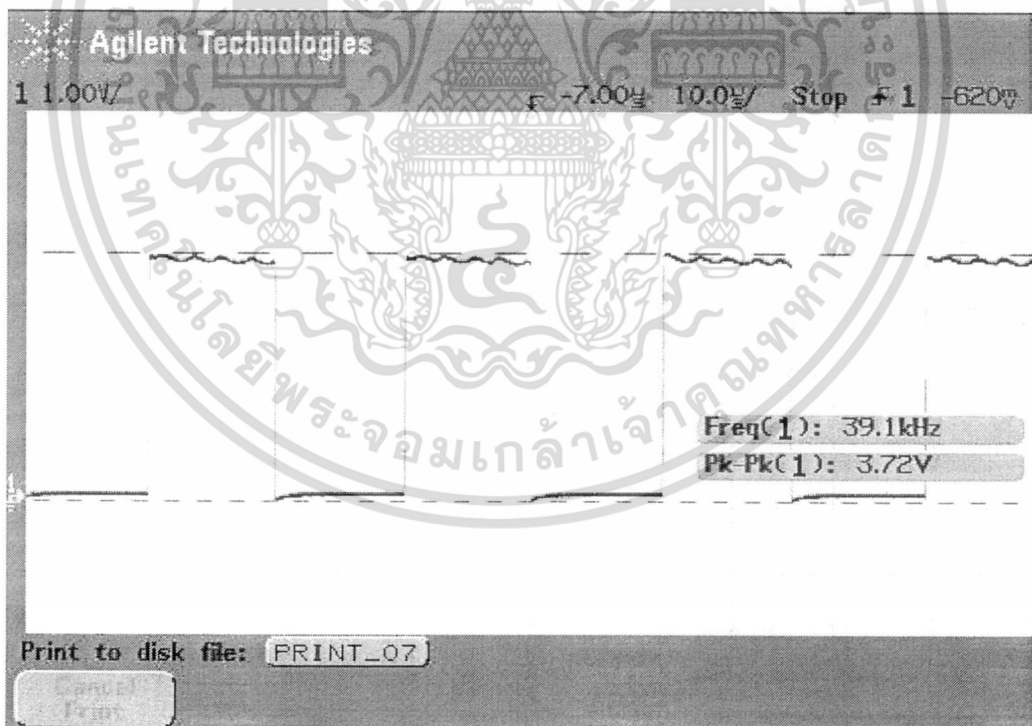
4.3 การทดลองที่ 2 การตรวจวัดเซนเซอร์น้ำหนัก

เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตของเซนเซอร์น้ำหนักนั้นเป็นค่าความถี่ ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามน้ำหนัก โดยเมื่อน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น ค่าความถี่ที่ได้ทางเอาต์พุตก็เพิ่มมากขึ้นตาม ซึ่งช่วงความถี่เริ่มต้น ขณะที่ยังไม่มีการวัด สามารถวัดได้จากการทดลองจากเครื่องมือทางแลป (ออสซิลอสโคป) ดังรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 ความถี่สูงสุดที่วัดได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้กำหนดน้ำหนักสูงสุดไว้ 1,000 กรัม และได้เทียบกับน้ำหนักมาตรฐานคือ จากลูกตุ้ม [14], [15] ซึ่งค่าความถี่จะแปรเปลี่ยนตามน้ำหนักที่วัดได้จากลูกตุ้ม ดังรูปที่ 4.6 ซึ่งได้ทำการวัดโดย เมื่อเพิ่มลูกตุ้มที่ละ 1, 10, 100 กรัม ไปจนถึง 1,000

เอกสารกรรมเนเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

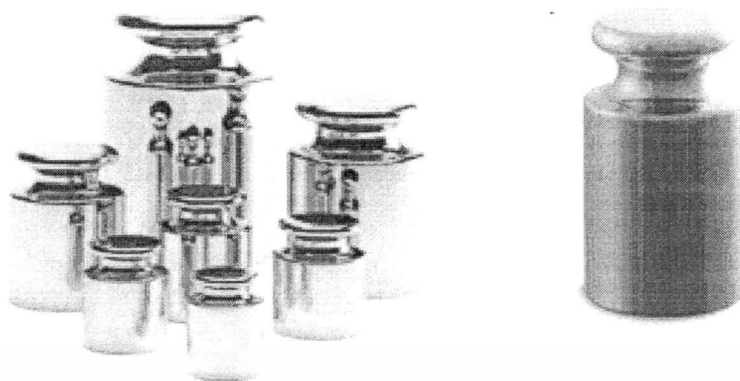


รูปที่ 4.4 ค่าความถี่ที่วัดได้เมื่อน้ำหนักเริ่มต้นที่ 0 กรัม



รูปที่ 4.5 ค่าความถี่ที่วัดได้เมื่อน้ำหนักสูงสุด 1,000 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงลูกตุ้มมาตรฐานที่เทียบกับน้ำหนัก

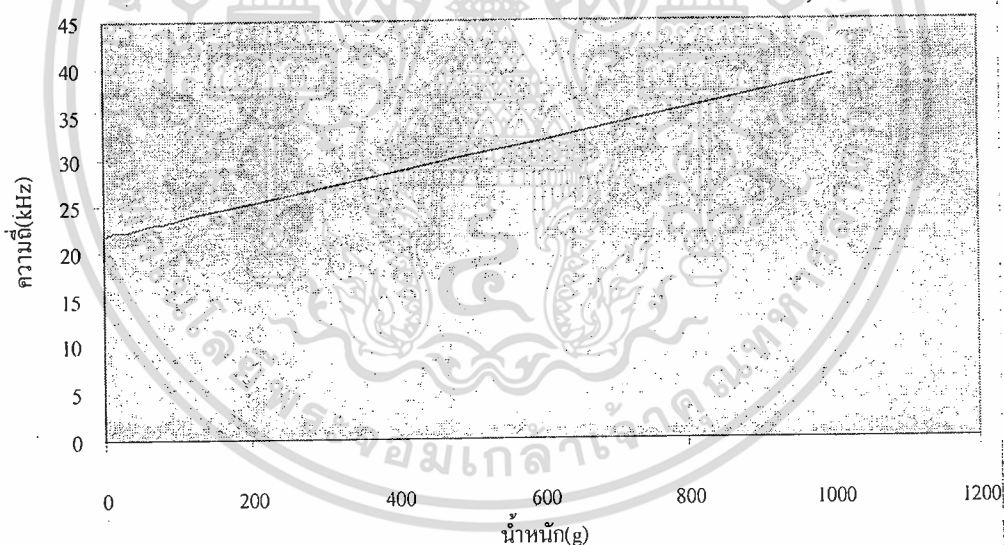
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความถี่ที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับน้ำหนักจริง

ค่าน้ำหนักจริงจากลูกตุ้ม(g)	ค่าความถี่ที่เอาท์พุทเซนเซอร์(KHz)
0	21.74
1	21.757
2	21.774
3	21.792
4	21.801
5	21.826
6	21.844
7	21.861
8	21.878
9	21.896
10	21.914
20	22.087
30	22.260
40	22.434
50	22.608
60	22.781
70	22.955
80	23.128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3(ต่อ) แสดงค่าความถี่ที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับน้ำหนักจริง(ต่อ)

ค่าน้ำหนักจริงจากลูกตุ้ม(g)	ค่าความถี่ที่เอาที่พุตเซนเซอร์(KHz)
90	23.302
100	23.476
200	25.212
300	26.948
400	28.684
500	30.420
600	32.156
700	33.892
800	35.628
900	37.364
1000	39.100



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับน้ำหนัก

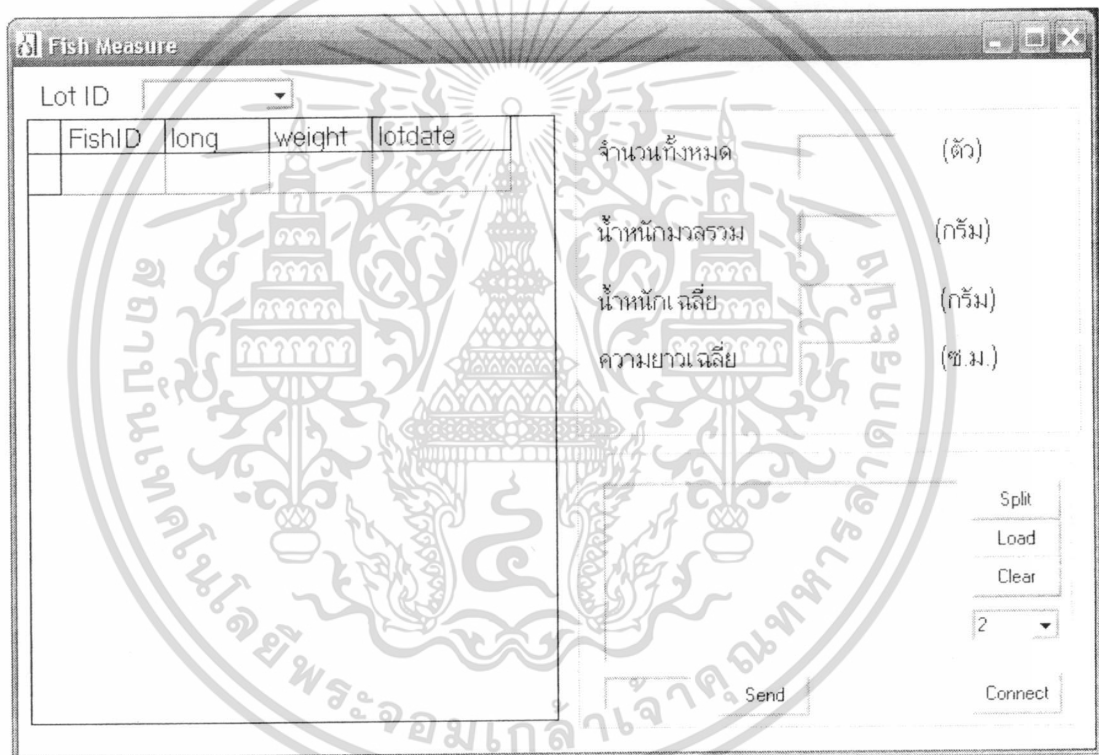
จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าค่าความถี่ที่ออกมา จะอยู่ในช่วง 21.74 – 39.1 KHz เมื่อน้ำหนักอยู่ในระหว่าง 0 – 1000 กรัม กราฟที่ออกมาอยู่ในรูปแบบเชิงเส้น ดังนั้น ถ้าน้ำหนักเพิ่มขึ้นแสดงว่าความถี่ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยจากตารางที่ 4.3 ซึ่งสามารถแบ่งการเปลี่ยนแปลงได้ 3 ระดับคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักครั้งละ 1 กรัม จะเปลี่ยนแปลงความถี่ไป 17.36 Hz
 2. การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักครั้งละ 10 กรัม จะเปลี่ยนแปลงความถี่ไป 173.6 Hz
 3. การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักครั้งละ 100 กรัม จะเปลี่ยนแปลงความถี่ไป 1.736 KHz
- ซึ่งความถี่ทั้งหมดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักนั้น คือ 17.36 KHz

4.4 การทดลองที่ 3 การทดลองการ INTERFACE และ DATA BASE

จากการออกแบบการ INTERFACE และ DATA BASE ซึ่งจะแสดงผลหน้าจอคอมพิวเตอร์ จะนำข้อมูลมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของการวัดส่วนต่างๆของการเซนเซอร์ทั้งสองมาบันทึก แล้วมาอัฟโหลดข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม ซึ่งการออกแบบหน้าจอการแสดงผลดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงหน้าจอแสดงผลเมื่อยังไม่ได้รับข้อมูล

เมื่อทำการวัดขนาดความยาวของปลาในแต่ละครั้ง นำข้อมูลมาเก็บไว้ใน โปรแกรม Microsoft Access แล้วทำการจะอัฟโหลดข้อมูลแสดงผลทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Visual Basic 6 ผลการทดลองที่เก็บได้แสดงดังตารางที่ 4.4

หมายเหตุ ผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลนี้ได้ทำการทดลองเขียนโปรแกรมให้มีการเก็บข้อมูลน้ำหนักอย่างละเอียดโดยมีความละเอียดครั้งละ 1 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงข้อมูลที่บันทึกใน โปรแกรม Microsoft Access

Fish Member				
Fish ID	weight	long	Lot date	Lot ID
001	200	12	12/1/2551	01
002	232	15	12/1/2551	01
003	240	15	12/1/2551	01
004	323	16	12/1/2551	01
005	384	18	12/1/2551	01
006	128	10	12/1/2551	01
007	200	14	12/1/2551	01
008	421	22	12/1/2551	01
009	402	21	12/1/2551	01
010	321	19	12/1/2551	01
011	222	28	12/1/2551	01
012	322	20	12/1/2551	01
013	411	23	12/1/2551	01
014	214	17	15/1/2551	02
015	232	18	15/1/2551	02
016	243	18	15/1/2551	02
017	114	12	15/1/2551	02
018	333	17	15/1/2551	02
019	322	17	15/1/2551	02
020	224	16	15/1/2551	02
021	333	18	15/1/2551	02
022	322	18	15/1/2551	02
023	245	16	15/1/2551	02
024	278	18	15/1/2551	02
025	365	20	15/1/2551	02
026	288	29	15/1/2551	02
027	122	13	15/1/2551	02
028	300	21	15/1/2551	02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4(ต่อ) ตารางแสดงข้อมูลที่บันทึกในโปรแกรม Microsoft Access

Fish Member				
Fish ID	weight	long	Lot date	Lot ID
029	313	22	18/1/2551	03
030	255	19	18/1/2551	03
031	241	18	18/1/2551	03
032	188	15	18/1/2551	03
033	199	16	18/1/2551	03
034	262	19	18/1/2551	03
035	332	21	18/1/2551	03
036	258	22	18/1/2551	03
037	247	21	18/1/2551	03
038	351	23	18/1/2551	03
039	265	23	18/1/2551	03
040	222	20	25/1/2551	04
041	231	21	25/1/2551	04
042	214	18	25/1/2551	04
043	178	14	25/1/2551	04
044	125	12	25/1/2551	04
045	188	17	25/1/2551	04
046	178	17	25/1/2551	04
047	199	18	25/1/2551	04
048	201	18	25/1/2551	04
050	245	20	5/1/2551	05
051	266	21	5/2/2551	05
052	245	20	5/2/2551	05
053	234	20	5/2/2551	05
054	244	20	5/2/2551	05
055	211	19	5/2/2551	05
056	223	20	5/2/2551	05
057	187	19	5/2/2551	05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4(ต่อ) ตารางแสดงข้อมูลที่บันทึกในโปรแกรม Microsoft Access

Fish Member				
Fish ID	weight	long	Lot date	Lot ID
058	188	19	5/2/2551	05
059	224	22	5/2/2551	05
060	321	24	5/2/2551	05
061	411	25	5/2/2551	05
062	351	23	10/2/2551	06
063	322	23	10/2/2551	06
064	258	20	10/2/2551	06
065	365	26	10/2/2551	06
066	410	27	10/2/2551	06
067	254	22	10/2/2551	06
068	214	21	10/2/2551	06
069	401	26	10/2/2551	06

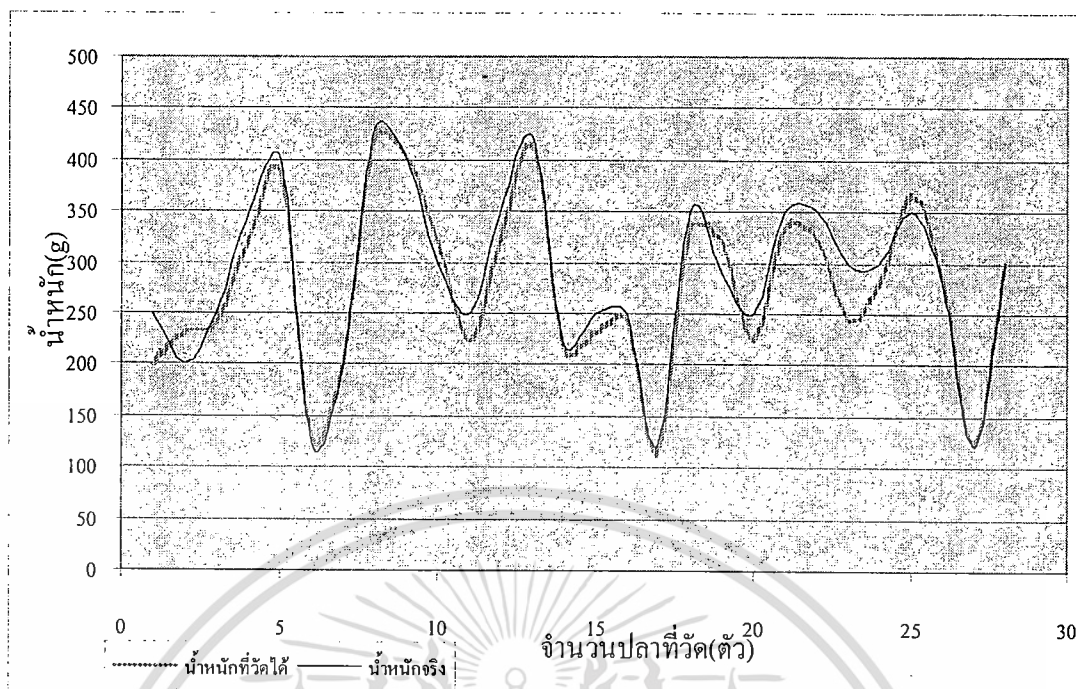
จากข้อมูลที่ได้จากการวัดในแต่ละครั้งจะทำการบันทึกข้อมูลทั้งหมดด้วยโปรแกรม Microsoft Access ซึ่งจะมีการบันทึก วัน/เดือน/ปี, Lot ID, Fish ID, น้ำหนัก และความยาวของการวัดในแต่ละครั้งอยู่ในชุดข้อมูลเดียวกันดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

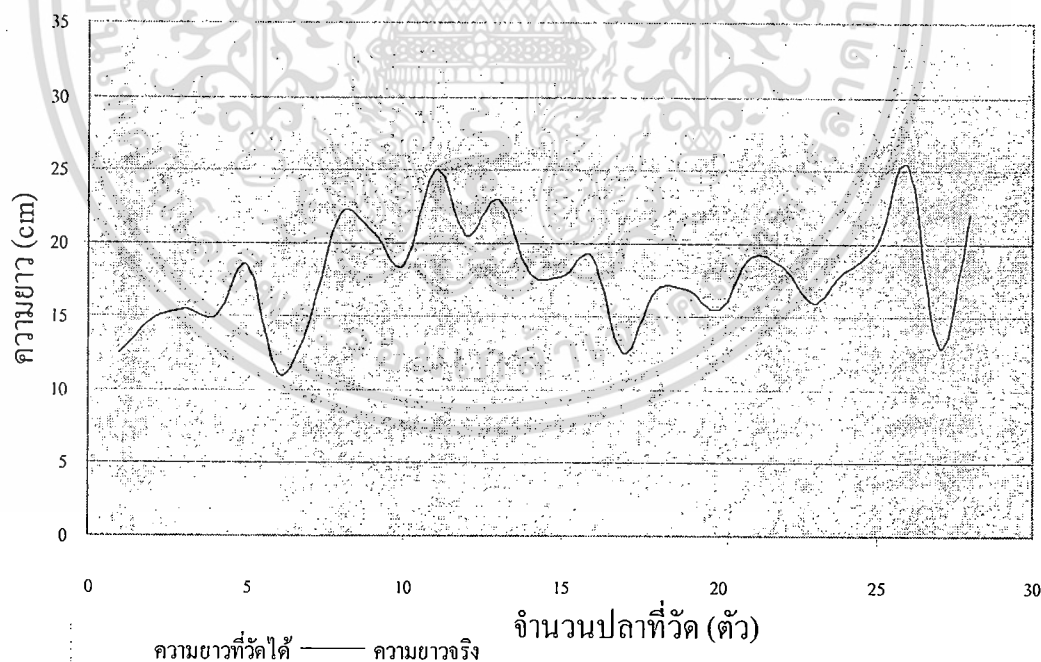
ตารางที่ 4.5 การเทียบน้ำหนักและขนาดของปลาทุ

ครั้งที่	ส่วนของน้ำหนัก		ส่วนของความยาว	
	ที่วัดได้ (g)	จริง (g)	ความยาวที่วัดได้ (cm)	ความยาวจริง (cm)
1	200	250	12	12.50
2	232	200	15	14.75
3	240	250	15	15.50
4	323	350	16	15.00
5	384	400	18	18.50
6	128	120	10	11.00
7	200	200	14	14.70
8	421	430	22	22.00
9	402	400	21	20.79
10	321	300	19	18.50
11	222	250	28	25.00
12	322	350	20	20.50
13	411	420	23	23.00
14	214	220	17	18.00
15	232	250	18	17.70
16	243	250	18	19.00
17	114	120	12	12.50
18	333	350	17	16.75
19	322	290	17	16.90
20	224	250	16	15.50
21	333	350	18	19.00
22	322	350	18	18.50
23	245	300	16	16.00
24	278	300	18	18.05
25	365	350	20	20.00
26	288	280	29	25.45
27	122	120	13	12.79
28	300	300	21	22.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักจริงกับน้ำหนักที่วัดได้จากเครื่องวัดความยาวและหนักปลาทะเล



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวจริงกับความยาวที่วัดได้จากเครื่องวัดความยาวและหนักปลาทะเล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบการเปรียบเทียบกับน้ำหนักและขนาดของปลาหู ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 ที่ได้ทำการทดลองและวัดจากขนาดจริงแล้ว สามารถที่จะหาเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดของเครื่องชั่งได้จากสมการที่ 4.2

$$\text{เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด} = \frac{\text{ค่าเฉลี่ยจริง} - \text{ค่าเฉลี่ยการทดลอง}}{\text{ค่าเฉลี่ยจริง}} \times 100 \quad (4.2)$$

ดังนั้น ที่เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดของเซนเซอร์น้ำหนักจาก ตารางที่ 4.5 จะได้

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดจากเซนเซอร์น้ำหนัก} &= \frac{285.71 - 276.46}{285.71} \times 100 \\ &= 3.24 \% \end{aligned}$$

ที่เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดของเซนเซอร์ความยาวจาก ตารางที่ 4.5 จะได้

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดจากเซนเซอร์ความยาว} &= \frac{17.89 - 17.84}{17.84} \times 100 \\ &= 0.2 \% \end{aligned}$$

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการตรวจวัดน้ำหนักมีความผิดพลาดถึง 3.24 % ทั้งนี้ยังไม่คิดความผิดพลาดที่เกิดขณะวัดเนื่องจากบางครั้งเครื่องไม่สามารถตรวจวัดน้ำหนักได้ เพราะการเปลี่ยนแปลงครั้งละ 1 กรัม ความถี่ที่ออกมาจะไม่นิ่งมีการกระเพื่อมตลอดเวลาส่งผลให้เครื่องไม่สามารถตรวจวัดได้ ดังนั้นจึงต้องมีการแก้ไข โปรแกรมให้ตรวจวัดที่ความละเอียดสูงขึ้นซึ่งจากการทดลองเครื่องจะมีเสถียรภาพมากที่สุด คือ เมื่อมีการตรวจวัดที่ความละเอียด 100 กรัมนั่นเอง

การตรวจวัดความยาวเครื่องสามารถตรวจวัดได้ค่อนข้างจะถูกต้อง และมีความผิดพลาดน้อยมากเพียงแค่ 0.2 % เท่านั้น

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

จากการทำการทดลองใช้งานจริง ทำการวัดความยาวและน้ำหนักของปลาทุ และ ได้ทำการส่งข้อมูลออกไปยังโปรแกรมรับข้อมูลนั้น พบว่า เมื่อทำการเลือกใช้ตัวอย่างปลาทุที่มีขนาดกลางและขนาดใหญ่ (ประมาณ 14-23 ซม.) ตัวเครื่องนั้นสามารถวัดค่าออกมาได้อย่างถูกต้อง (ผิดพลาดน้อยมาก) ทั้งค่าความยาวและน้ำหนัก แต่เมื่อทำการเลือกใช้ตัวอย่างที่มีขนาดเล็ก ค่าน้ำหนักที่วัดได้นั้น จะเกิดค่าความผิดพลาดมากกว่าซึ่งหากว่าตัวอย่างที่นำมาทดลองมีน้ำหนักต่ำกว่า 100 กรัมเครื่องจะไม่สามารถวัดได้ ซึ่งเครื่องจะเก็บข้อมูลเป็น 0 นั่นเอง (ทั้งนี้เนื่องจากทำการแก้ไขโปรแกรมให้เครื่องมีเสถียรภาพโดยให้มีความละเอียดที่ 100 กรัม) ดังนั้นในกรณีที่น้ำหนักของปลาหนักไม่ถึง 100 กรัม ต้องชั่งหลายๆ ตัวพร้อมกัน โดยเลือกตัวที่มีขนาดความยาวใกล้เคียงกันมาชั่งเพื่อให้ค่าเฉลี่ยทางด้านความยังคงถูกต้องไม่ผิดพลาด

สำหรับการทดลองวัดค่าความยาวเมื่อทำการเลือกใช้ตัวอย่างที่มีขนาดเล็ก เครื่องสามารถวัดได้อย่างถูกต้อง และเมื่อทำการอัปเดตข้อมูลโปรแกรมก็สามารถใช้งานได้ดี แต่อาจจะมี การผิดพลาดของข้อมูลที่ส่งออกไปเป็นบางครั้ง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปัจจัยภายนอกร่วมด้วย เช่น จุดต่อสายสัญญาณหลวม หรือ แรงดันของแบตเตอรี่อ่อน

5.2 ปัญหาที่พบ

5.2.1 จากการทดสอบระบบวัดความยาวและน้ำหนักปลาทะเล(ปลาทุ)นั้น จะมีปัญหาเกี่ยวกับแสงทางด้านเซนเซอร์ความยาว ซึ่งเมื่อนำมาวางในที่ที่มีแสงมาก จะทำให้เซนเซอร์มีแสงสะท้อน ซึ่งเป็นแสงสีขาว ทำให้ไม่สามารถวัดความยาวได้

5.2.2 เนื่องจากปลาที่ทำการวัดนั้นเป็นปลาสด จะมีน้ำปะปนมาด้วย เป็นผลให้อุปกรณ์ภายในของเครื่องวัดเสียหายได้

5.2.3 เนื่องจากการจัดวางชุดวัดความยาวให้อยู่บนชุดวัดน้ำหนัก ดังนั้น เมื่อเกิดการสั่นสะเทือนขึ้นมากๆ จะทำให้ชุดวัดน้ำหนักนั้นเกิดการสั่นสะเทือนไปด้วย ทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้

5.2.4 เนื่องจาก ชุดเซนเซอร์น้ำหนัก ที่เลือกใช้นั้น ให้ค่า สัญญาณเอาต์พุตเป็นค่าความถี่ จึงเกิดการผิดพลาดได้ง่าย ทั้งการผิดพลาดจากตัวเซนเซอร์เอง และจากปัจจัยภายนอกเช่น สัญญาณรบกวน

5.3 แนวทางแก้ปัญหา

5.3.1 การแก้ปัญหาเรื่องแสงสะท้อนนั้น ทำได้โดยการสร้างกล่องป้องกันแสง ซึ่งจะต้องเป็นสีดำทึบ และจะเว้นให้ระยะเซนเซอร์ผ่านอย่างเดียว

5.3.2 การแก้ปัญหาการออกแบบโครงสร้างเพื่อให้ป้องกันน้ำนั้น โดยใช้แผ่นอะคริลิกในการสร้าง ซึ่งจะปิดได้อย่างมิดชิด

5.3.3 ถัดน้ำหนักชุดวัดความยาวให้เบาขึ้นจะช่วยลดการสั่นจากแรงสะเทือนที่มาจากภายนอก

5.4 ข้อเสนอแนะ

ในการออกแบบชุดเซนเซอร์ความยาวนั้น ใช้เซนเซอร์มากถึง 32 ตัว ทำให้เกิดการใช้กระแสไฟฟ้าค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายที่สามารถจ่ายกระแสต่อเนื่องได้นานๆ นั้นหมายถึง ขนาดความจุกระแสของแบตเตอรี่ก็ต้องสูงขึ้นตามไปด้วย หากสามารถลดการใช้กระแสไฟฟ้าให้น้อยลงได้ ก็จะสามารถใช้งานตัวเครื่องได้นานขึ้น โดยใช้แบตเตอรี่ขนาดเท่าเดิม

ส่วนของการตรวจวัดน้ำหนักชุดเซนเซอร์น้ำหนัก ที่เลือกใช้นั้น ให้ค่า สัญญาณเอาต์พุตเป็นค่าความถี่ ซึ่งทำให้การเขียนโปรแกรมควบคุมเพื่อให้สามารถตรวจวัดที่ความละเอียดครั้งละ 1 กรัมทำได้ยากเพราะ เมื่อน้ำหนักเปลี่ยนแปลงไป 1 กรัมจะทำให้ความถี่เปลี่ยนแปลงไป 17.36 Hz ซึ่งความถี่ที่เซนเซอร์ส่งออกมาก็ไม่คงที่แต่มีการกระเพื่อมจึงทำให้การตรวจวัดทำได้ยากส่งผลให้เครื่องไม่เสถียรไม่สามารถวัดน้ำหนักได้ จึงเป็นเหตุให้ผู้วิจัยเลือกค่าความละเอียดในการวัดที่ 100 กรัมแทน ดังนั้นหากต้องการตรวจวัดน้ำหนักที่ละเอียดเซนเซอร์ตัวนี้จึงไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงทะเลอ่าวไทยตอนกลาง (ชุมพร) <http://www.fisheries.go.th/mf-cmdec/>
- [2] Muramoto, H.; Naito, Y.; "Development of small size data logger to observe marine animals" Microtechnologies in Medicine and Biology, 1st Annual International, Conference On. 2000, Page(s): 136 –140.
- [3] Boles W.W., Geva S., Busch A., "An image processing approach for estimating the number of live prawn larvae in water", Signal Processing and Its Applications, 1999. ISSPA '99. Proceedings of the Fifth International Symposium on Vol. 2, 22-25 Aug. 1999 Page(s):571 – 574.
- [4] <http://www.oae.go.th/statistic/yearbook/1996-97/table111.html>
- [5] http://www.fisheries.go.th/it%2Dstat/data_2547/Yearbook-2004/T1.1.pdf
- [6] สร้างรถเดินตามเส้น."เซนเซอร์อินฟราเรด(infraed)." [online]. Available.:<http://www.adisak51.com>.
- [7] สมศักดิ์ กิรติวุฒเศรษฐ์. หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2540.
- [8] จรัมพร หรรษมนตร์. การออกแบบโหลดเซลล์ Load Cell Designs. Industrial Technology Review 124. กรุงเทพฯ: เม็ดทรายพริ้นต์. 2547.
- [9] ข้อมูลอ้างอิง."ทรานสดิวเซอร์แบบสเตรนเกจ." [online]. Available.: <http://www.thaiinstrument.net/chapter/3/Intro.html>.
- [10] เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับออปแอมป์."วงจรเปรียบเทียบแรงดัน." [online]. Available.: http://electronics.se-ed.com/contents/064s126/064s126_p06.shtml.
- [11] ข้อมูลอ้างอิง."การใช้งานพอร์ตอนุกรม." [Online]. Available.: <http://www.thaimicrotron.com/CCS-628/Reference/RS232.htm>.
- [12] วัชรินทร์ เคารพ. เรียนรู้และเข้าใจ PSoC Microcontroller ด้วยภาษา Assembly และ ภาษา C . กรุงเทพฯ: บ.อีทีที, 2548.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [13] นิรุช อำนวยศิลป์.คู่มือการเขียนโปรแกรมMicrosoft Visual C++ Version 6.0ฉบับเพื่อใช้งาน .
จริง.บ.ซิกเซส มีเดีย จำกัด,2542.
- [14] เทคโนโลยีเครื่องชั่งตຸ່ມน้ำหนักมาตรฐาน."ตຸ່ມน้ำหนัก"[Online].Available.:<http://www.andweighing.com/and.nsf/html/GF+Series>
- [15] มาตรฐานการเทียบและการปรับน้ำ. "ตຸ່ມน้ำหนัก"บริษัท ไชแอนติฟิค โปรโมชัน จำกัด
เอื้อเพื่อข้อมูล

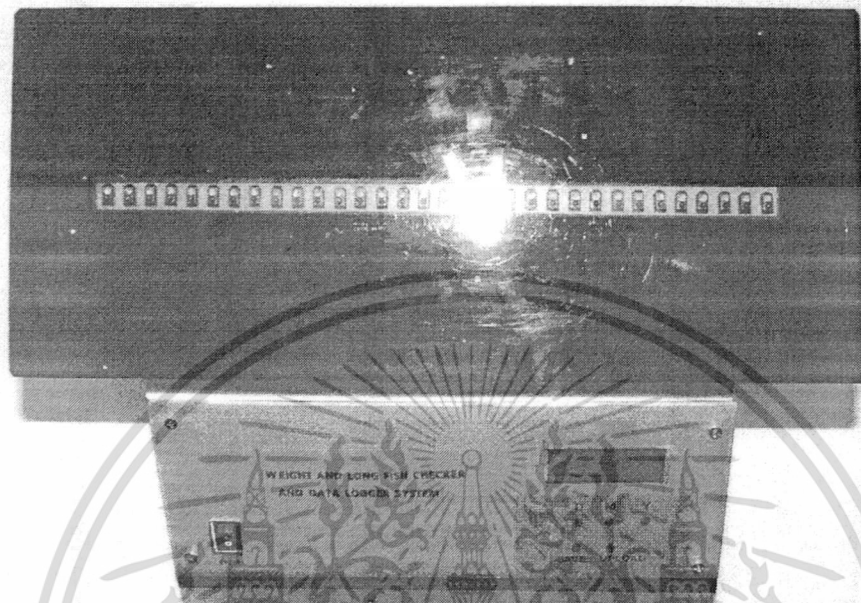


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ลักษณะของระบบเก็บข้อมูลขนาดความยาว และน้ำหนักของปลาทะเล

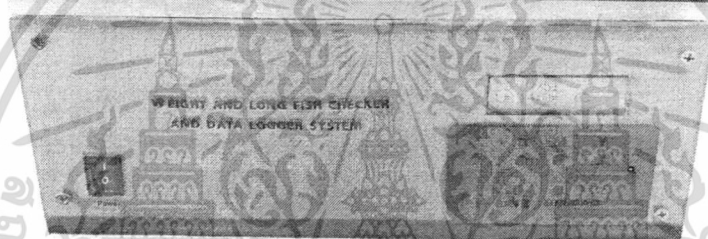
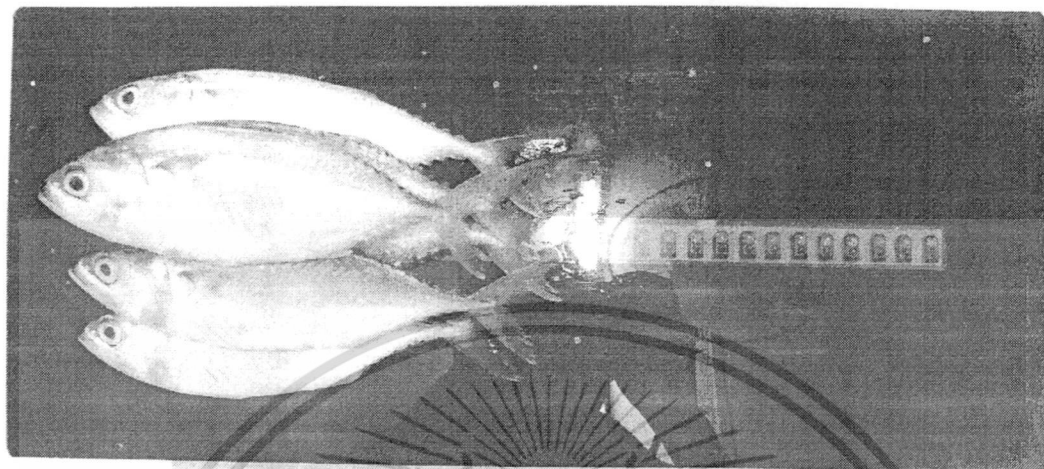


2. การทดลองวัดขนาดความยาว และชั่งน้ำหนักด้วยปลาแบบชั่งตัวเดียว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดลองวัดขนาดความยาว และชั่งน้ำหนักด้วยปลาทุแบบชั่งหลายตัวพร้อมกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้