



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เครื่องวัดและศึกษาดัชนีบ่งชี้ความสดของเนื้อปลาทะเลโดยการวัดความต้านทาน
เชิงซ้อน

The Measurement and Study on freshness indicator of marine fish by
measuring the Impedance

นายมนตรี ไชยชาญยุทธ์
นายพิมล ผลพฤกษา
นายอรรถศาสตร์ นาคเทวีญ
นายสั๊กกะพันธ์ คล้ายดอกจันทร์
นางสาวแขวดี วิบูลย์กิจ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2555
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เครื่องวัดและศึกษาดัชนีบ่งชี้ความสดของเนื้อปลาทะเลโดยการวัดความต้านทาน
เชิงซ้อน

The Measurement and Study on freshness indicator of marine fish by
measuring the Impedance

นายมนตรี ไชยชาญยุทธ์
นายพิมล ผลพฤษชา
นายอรรถศาสตร์ นาคเทวีญ
นายสั๊กกะพันธ์ คล้ายดอกจันทร์
นางสาวแขวลิ วิบูลย์กิจ

สงพมู
เลขทะเบียน 142873
รับลงทะเบียนที่ - 6 ส.ย. 2559

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2555
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) เครื่องวัดและศึกษาดัชนีบ่งชี้ความสดของเนื้อปลาทะเลโดยการวัดความต้านทาน
เชิงซ้อน

แหล่งเงิน เงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2555

ประจำปีงบประมาณ 2555 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 328,500 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2554 ถึง กันยายน 2555

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

นายมนตรี ไชยชาญยุทธ์	สถานะ หัวหน้าโครงการวิจัย	หน่วยงานต้นสังกัด	วิทยาเขตชุมพร
นายพิมล ผลพฤกษา	สถานะ ผู้ร่วมวิจัย	หน่วยงานต้นสังกัด	วิทยาเขตชุมพร
นายอรรถศาสตร์ นาคเทวัญ	สถานะ ผู้ร่วมวิจัย	หน่วยงานต้นสังกัด	วิทยาเขตชุมพร
นายสั๊กกะพันธ์ คล้ายดอกจันทร์	สถานะ ผู้ร่วมวิจัย	หน่วยงานต้นสังกัด	วิทยาเขตชุมพร
นางสาวแหวลลี วิบูลย์กิจ	สถานะ ผู้ร่วมวิจัย	หน่วยงานต้นสังกัด	วิทยาเขตชุมพร

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้กล่าวถึง การตรวจวัดความสดของปลาทุด้วยวิธีการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าซึ่งได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษา และตรวจวัดความสดของปลาทุ โดยได้ออกแบบโพรบแบบ 2 เข็ม และโพรบแบบ 4 เข็ม มาทดสอบ โพรบแบบ 2 เข็ม จะใช้การตรวจวัดความต้านทานของเนื้อปลา โพรบแบบ 4 เข็มจะส่งสัญญาณความถี่ 1 KHz เข้าไปในเนื้อปลาผ่านเข็มที่ 1 เทียบกราวัดในเข็มที่ 4 สัญญาณเอาต์พุตจากเข็มที่ 2 และ 3 จะถูกนำไปขยาย และแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลส่งให้ไมโครคอนโทรเลอร์ประมวลผลเกรดของปลาทุ พร้อมทั้งแสดงเกรดปลาทุผ่านจอแอลซีดี และเขียนบันทึกไว้ในหน่วยความจำ

จากการทดลองโพรบแบบ 2 เข็ม ไม่สามารถใช้แบ่งความสดของปลาทุได้ ทั้งนี้เนื่องจากความต้านทานของปลาขณะปลาสดกับปลาเสื่อมสภาพมีค่าความต้านทานใกล้เคียงกันจนไม่สามารถแบ่งแยกสถานะความสดได้ แต่จากการทดลองใช้โพรบ 4 เข็ม วัดความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาทุกับสมบัติทางไฟฟ้า โดยทดลองกับตัวอย่างปลาทุขนาด (16-20 ซม.) จะเห็นว่า เมื่อความสดของปลาทุเปลี่ยนแปลง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้าส่งผลให้แรงดันทางเอาต์พุต (เข็ม 2 - 3) เกิดการเปลี่ยนแปลงตาม โดยความสดปลาทุกับแรงดันจะแปรผันตามกัน ดังนั้นเมื่อแบ่งเกรดปลาทุตามทางกายภาพเทียบกับสัญญาณแรงดันจะแบ่งได้ 4 เกรด คือ สดมากที่สุด(A) สดมาก (B) สดปานกลาง(C) และเสื่อมสภาพ (D)

คำสำคัญ : ความสด, ปลาทะเล, สภาพความต้านทาน

Research Title: The Measurement and Study on freshness indicator of marine fish by measuring the Impedance.....
Researcher:..... Mr. MONTREE CHAICHANYUT.....
Faculty: Chumphon campus..... Department: ... Electronics engineering , King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.....

ABSTRACT

The objective of this project to the measurement and study on fresh of marine fish by measuring the electrical properties method. We design probe for measurable mackerel freshness were two needle probe and four needle probe. The two needle probe was use to measure the resistance of fish, but the four needle probe was use the conductivity, which we must sent to the signal of frequency 1KHz into the fish(needle1) while the needle(4) was ground. The different signal between needle (2) with needle(3) will be convert from analog to digital for sent to microcontroller. Microcontroller will be processing grade of mackerel as soon as the system will show grade on LCD and save data into memory (24LC256).

From experimental, the two needle probe can't use the separated status mackerel freshness because the resistances were similar. For experimental measure mackerel freshness by four needle probe, which experimental with mackerel size 18-20 cm. From the result, when mackerel freshness change will be effect to electric properties so, if we consider electrical properties to compare with physical form of mackerel. Four grade of mackerel freshness were grade: most fresh (A), very fresh (B), medium fresh(C) and mackerel to deteriorate (D).

Keywords: Freshness, marine fish, Impedance

กิตติกรรมประกาศ


งานวิจัยชิ้นนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยความช่วยเหลือ และการสนับสนุนจากบุคคลหลายๆ ท่าน ซึ่งผู้เขียนขอขอบคุณทุกๆ ท่านดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ผู้ซึ่งคอยให้การอบรมสั่งสอน เลี้ยงดู สนับสนุนการศึกษาอย่างเต็มที่ ตลอดจนให้กำลังใจเสมอมา ผู้เขียนขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ ผศ.พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ ที่ปรึกษางานวิจัย และคำแนะนำต่าง ๆ เกี่ยวกับการทำงานวิจัย ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความเมตตาของท่านจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณนางวรัญญา พริ้มจรัส ที่ช่วยในการสนับสนุนค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับงานวิจัย ทั้งยังช่วยเหลือในด้านการประสานงาน และคอยให้กำลังใจเสมอมา จนงานวิจัยสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นอกจากนี้ผู้เขียนใคร่ขอขอบพระคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ความรู้ และโอกาสในการทำงาน ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวได้รับงบประมาณจากแหล่งทุนงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2555



นายมนตรี ไชยชาญยุทธ์
นายพิมล ผลพุกษา
นายอรรถศาสตร์ นาคเทวีญ
นายสักระพันธ์ คล้ายดอกจันทร์
นางสาวแซวลี วิบูลย์กิจ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูปภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (Literature review).....	5
2.2 วิธีการวัดสภาพความต้านทานทางไฟฟ้า.....	6
2.2.1 เครื่องวัดแบบบริดจ์.....	6
2.2.2 การวัดสภาพความต้านทานไฟฟ้าโดยโพร์พอยท์โพรบ.....	15
2.3 ออปแอมป์(OP-AMP).....	18
2.3.1 คุณสมบัติของออปแอมป์.....	18
2.3.2 คุณสมบัติของออปแอมป์ในทางอุดมคติ.....	19
2.3.3 วงจรขยายแบบกลับเฟส(Inverting Amplifier).....	19
2.3.4 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส(Non-Inverting Amplifier).....	19
2.3.5 วงจรขยายความแตกต่าง(Differential Amplifier).....	20
2.3.6 วงจรบัฟเฟอร์(Buffer).....	21
2.3.7 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ(Low Pass Filter).....	21
2.4 วงจรกำเนิดสัญญาณ(Oscillator).....	22
บทที่ 3 วิธีการ และการออกแบบ.....	25
3.1 บล็อกไดอะแกรมของโครงการ.....	25
3.2 การออกแบบโพรบ(Probe Design).....	26
3.2.1 การออกแบบโพรบแบบ 2 เข็ม เพื่อใช้วัดค่าความนำไฟฟ้าของปลา(ปลาทูเป็นตัวอย่าง).....	26
3.2.2 การออกแบบโพรบแบบ 4 เข็ม เพื่อใช้วัดค่าความนำไฟฟ้าของปลาทู.....	27

สารบัญ (ต่อ)

3.2.3 การออกแบบโพรบแบบ 4 เข็ม ที่ใช้วัสดุแบบโลหะผสม.....	28
3.3 การออกแบบวงจรใช้งาน.....	29
3.3.1 วงจรออสซิลเลเตอร์(Oscillator).....	30
3.3.2 วงจรขยายความแตกต่าง(Differential Amplifier).....	32
3.3.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล(Analog to Digital).....	33
3.3.4 วงจรหน่วยความจำ(Memory).....	34
3.3.5 วงจรตรวจเช็คแรงดันแบตเตอรี่(Check Battery Voltage).....	34
3.4 การออกแบบโปรแกรมควบคุม(Software).....	36
3.4.1 โหมดของปลา.....	36
3.4.2 โหมดของอื่นๆ.....	37
บทที่ 4 วิธีการ และผลการทดลอง.....	38
4.1 การศึกษาด้านกายภาพของปลา.....	38
4.2 การทดลองที่ 1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาหูกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าโดยโพรบแบบ 2 เข็ม.....	38
4.3 การทดลองที่ 2 การศึกษาความถี่ที่เหมาะสมต่อการวัดความสดของปลาหูกด้วยวิธีการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยโพรบแบบ 4 เข็ม.....	41
4.4 การทดลองที่ 3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาหูกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม โดยใช้เข็มตัวนำ (เข็มเย็บผ้า).....	44
4.5 การทดลองที่ 4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาหูกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม โดยใช้เข็มตัวนำที่ทำจากโลหะผสม.....	45
4.6 การแบ่งเกรดความสดปลา.....	48
4.7 การทดลองที่ 5 การศึกษาผลของขนาดตัวอย่างต่อการวัดความสดด้วยวิธีการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าโดยใช้โพรบแบบ 4 เข็ม.....	49
4.8 การทดลองที่ 6 การหาค่าความผิดพลาดการวัดเกรดความสดปลา.....	52
4.9 การทดลองที่ 7 การตรวจวัดความสดปลาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ.....	53
4.10 การทดลองที่ 8 การวัดความสดปลาเมื่อความชื้นที่ผิวตัวปลาเปลี่ยนแปลง.....	54
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ.....	56
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	56
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	57

สารบัญ (ต่อ)

บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง.....	58
ภาคผนวก.....	59
ภาคผนวก ก.....	59
ภาคผนวก ข.....	61
ประวัตินักวิจัย.....	67



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลา กับคุณสมบัติทางไฟฟ้าด้วยโพรบแบบ 2 เซ็ม	39
4.2 ผลการทดลองค่าแรงดัน V1, V2 โดยใช้โพรบแบบ 4 เซ็ม ที่ความถี่ 1 KHz	42
4.3 ผลการทดลองค่าแรงดัน V1, V2 โดยโพรบแบบ 4 เซ็ม ที่ความถี่ 10 KHz	42
4.4 ผลการทดลองค่าแรงดัน V1, V2 โดยโพรบแบบ 4 เซ็ม ที่ความถี่ 50 KHz	42
4.5 ผลการทดลองค่าแรงดัน V1, V2 โดยโพรบแบบ 4 เซ็ม ที่ความถี่ 100 KHz	43
4.6 ผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลา กับคุณสมบัติทางไฟฟ้า ด้วย โพรบแบบ 4 เซ็ม โดยใช้เข็มตัวนำที่ทำจากเข็มเย็บผ้า	44
4.6 (ต่อ) ผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลา กับคุณสมบัติทางไฟฟ้า ด้วยโพรบแบบ 4 เซ็ม โดยใช้เข็มตัวนำที่ทำจากเข็มเย็บผ้า	45
4.7 ผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลา กับคุณสมบัติทางไฟฟ้าด้วยโพรบแบบ 4 เซ็ม โดยใช้เข็มตัวนำที่ทำจากโลหะผสม	46
4.8 การแบ่งเกรดโดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของปลา เปรียบเทียบกับค่าแรงดัน ที่ทำการตรวจวัด	49
4.9 ผลการทดลองขนาดปลาที่มีต่อการวัดความสดด้วยวิธีการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าโดยใช้โพรบแบบ 4 เซ็ม ปลาตัวที่ 1 ความยาว 14 ซม.	50
4.10 ผลการทดลองขนาดปลาที่มีต่อการวัดความสดด้วยวิธีการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยใช้โพรบแบบ 4 เซ็ม ปลาตัวที่ 2 ความยาว 18 ซม.	50
4.11 ผลการทดลองขนาดปลาที่มีต่อการวัดความสดด้วยวิธีการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยใช้โพรบแบบ 4 เซ็ม ปลาตัวที่ 3 ความยาว 23 ซม.	51
4.12 ผลการทดลองเกรดความสดปลาที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง และการสังเกตทางกายภาพ	52
4.13 ผลการทดลองการตรวจวัดความสดปลาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	54
4.14 ผลการทดลองเกรดความสดปลาก่อนแช่น้ำ และหลังแช่น้ำ	55

สารบัญรูปรภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงเครื่องวัดแบบวิทส์โตนบริดจ์	7
2.2 แสดงวงจรวิทส์โตนบริดจ์เบื้องต้น	7
2.3 แสดงบริดจ์แบบสมดุล	9
2.4 แสดงบริดจ์แบบไม่สมดุล	10
2.5 แสดงวงจรเคลวินบริดจ์	11
2.6 แสดงวงจรบริดจ์ไฟฟ้ากระแสสลับ	12
2.7 แสดงวงจรบริดจ์มุมเหมือน	13
2.8 แสดงวงจรแมกซ์เวลล์บริดจ์	13
2.9 แสดงวงจรบริดจ์มุมตรงข้าม	14
2.10 แสดงวงจรวินบริดจ์	14
2.11 แสดงอุปกรณ์การวัดค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าโดยวิธีโพร์พอยท์โพรบ	15
2.12 แสดงโครงสร้างของชั้นสารกึ่งตัวนำชั้นบางๆ ที่อยู่บนแผ่นผลึกฐานรอง	17
2.13 แสดงสัญลักษณ์ออปแอมป์	18
2.14 แสดงวงจรขยายออปแอมป์แบบกลับเฟส	19
2.15 แสดงวงจรขยายออปแอมป์แบบไม่กลับเฟส	20
2.16 แสดงวงจรขยายความแตกต่าง	20
2.17 แสดงวงจรบัฟเฟอร์	21
2.18 แสดงวงจรแอกทีฟฟิลเตอร์	22
2.19 แสดงวงจรรวม ICL 8038	22
2.20 แสดงวงจรเครื่องกำเนิดสัญญาณอย่างง่ายที่ใช้ ICL 8038	23
3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรม	25
3.2 แสดงลักษณะของเข็มตัวนำ	26
3.3 แสดงลักษณะของแผ่นยึดเข็มตัวนำ	27
3.4 แสดงลักษณะโพรบที่ใช้ในการทดลอง	27
3.5 แสดงลักษณะของเข็มตัวนำ	27
3.6 แสดงลักษณะของแผ่นยึดเข็มตัวนำ	28
3.7 แสดงลักษณะโพรบที่ใช้ในการทดลอง	28
3.8 แสดงลักษณะของเข็มตัวนำชนิดโลหะผสม	28
3.9 แสดงลักษณะของแผ่นยึดเข็มตัวนำ	29
3.10 แสดงลักษณะโพรบแบบ 4 เข็มที่ใช้โลหะผสม	29
3.11 แสดงวงจรออสซิลเลเตอร์ โดยใช้ไอซีเบอร์ ICL 8038	30
3.12 แสดงวงจรขยายความแตกต่าง	32

สารบัญรูปรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13 แสดงวงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล	33
3.14 แสดงวงจรหน่วยความจำ	34
3.15 แสดงวงจรตรวจเช็คแรงดันแบตเตอรี่	35
3.16 แสดงลำดับชั้นการทำงานของโปรแกรม	36
4.1 แสดงการตรวจวัดด้วยโพรบแบบ 2 เข็ม	39
4.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาทุกกับคุณสมบัติทางไฟฟ้า	40
4.3 แสดงการตรวจวัดด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม มีการเปลี่ยนแปลงความถี่	41
4.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่าง ที่ค่าความถี่ต่างๆ ตามเวลาที่เปลี่ยนแปลง	43
4.5 แสดงการตรวจวัดด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม ที่ทำจากเข็มเย็บผ้า	44
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของแรงดัน ที่เวลาต่างกัน ของเข็มวัดแบบเข็มเย็บผ้า	45
4.7 แสดงการตรวจวัดด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม ที่ทำจากโลหะผสม	46
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของแรงดันและเวลาต่างกัน ของเข็มวัดโลหะผสม	47
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของแรงดันเฉลี่ยของเข็มวัดแต่ละชนิด	47
4.10 แสดงกราฟที่ใช้ในการแบ่งเกรดความสดปลา	48
4.11 แสดงการตรวจวัดด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม ที่ขนาดปลาแตกต่างกัน	49
4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของ (V1-V2) ที่ปลาขนาดไม่เท่ากัน	50

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎี หรือแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และแผนการถ่ายทอดเทคโนโลยี

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เศรษฐกิจโลกในปี 2553 ที่มีแนวโน้มฟื้นตัวอาจส่งผลให้ผู้บริโภคในหลายประเทศกลับมารับประทานอาหารทะเลที่มีราคาสูง อาทิ ปู เนื้อปลา และปลาหมึก เพิ่มขึ้นอีกทั้งคาดว่าอาหารทะเลจะยังเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เนื่องจากเป็นอาหารที่ดีต่อสุขภาพ สอดคล้องกับกระแสรักสุขภาพของผู้บริโภคในปัจจุบัน

มูลค่าส่งออกอาหารทะเลสดแช่เย็นแช่แข็งขยายตัวอีกครั้ง หลังจากหดตัวลงในปี 2552 เป็นครั้งแรกในรอบ 7 ปี โดยในปี 2552 มีการส่งออกเนื้อปลาสดแช่เย็นแช่แข็ง จำนวน 104, 9079 ตัน โดยในช่วงครึ่งปีแรกมีการส่งออกจำนวน 52,552 ตัน คิดเป็นมูลค่าการส่งออกที่ 3,556.1 ดอลลาร์สหรัฐต่อตัน และในปี 2553 สถานการณ์ส่งออกครึ่งปีแรกมีการส่งออกจำนวน 48,495 ตัน มีมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นจากปี 2552 ด้วยปัจจัยด้านราคาเป็นสำคัญ โดยคิดเป็นมูลค่าการส่งออกที่ 3,932.4 ดอลลาร์สหรัฐต่อตัน ประเทศคู่ค้าอาหารทะเลสดแช่ เย็นแช่แข็งที่สำคัญ ได้แก่ ญี่ปุ่น(65.8%) สหรัฐฯ (8.6%) นอร์เวย์ (3.8%) เกาหลีใต้ (2.7%) หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บ แสดงสัดส่วนมูลค่าส่งออกของไทยไปประเทศเหล่านั้นเทียบกับมูลค่าส่งออกรวมหมวดดังกล่าวในปี 2553 (ม.ค-มิ.ย.) [1]

ปัจจัยตัวสำคัญที่เกี่ยวข้องต่อปริมาณการส่งออกก็คือ คุณภาพหรือความสดของเนื้อปลา โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความสดสูงเช่น เนื้อปลาลด (ซูริมิ) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของญี่ปุ่นที่นำไปบริโภคสด การตรวจสอบคุณภาพของเนื้อปลาสดที่นำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปในโรงงานอุตสาหกรรมยังไม่มีวิธีการที่ง่ายและถูกต้องแม่นยำแต่อาศัยความชำนาญเฉพาะบุคคล จากการศึกษา ข้อมูลการวิจัยเกี่ยวกับการวัดความสดของอาหารทะเล พบว่า มีการศึกษาดัชนีวัดความสดของอาหารทะเลหลายอย่างเช่น การศึกษาหาดัชนีชี้วัดคุณภาพหรือความสดของปลาหมึก ทางด้านประสาทสัมผัส เคมี จุลินทรีย์ และทางด้านกายภาพ [2] ดัชนีวัดความสดของปูนิม [3] หรือการพัฒนาเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีสำหรับการตรวจความสดของอาหารทะเล (ไดเมธิลเอมีนและไตรเมธิลเอมีน)[4] ซึ่งที่กล่าวมานี้เป็นการศึกษาดัชนีวัดความสดของอาหารทะเลด้วยการวิเคราะห์ทางด้านเคมี ทางประสาทสัมผัส และทางจุลินทรีย์ เป็นส่วนใหญ่

ดังนั้นเป้าหมายของการศึกษารุ่นนี้เป็นการศึกษาหาดัชนีชี้วัดคุณภาพหรือความสดของเนื้อปลาทะเลโดยอาศัยคุณสมบัติทางไฟฟ้า (สมบัติการความนำไฟฟ้า หรือความต้านทานเชิงซ้อน)ให้ได้วิธีที่จะสามารถตรวจสอบคุณภาพหรือความสดของเนื้อปลาทะเลได้ง่าย รวดเร็วและถูกต้องแม่นยำ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการส่งออกอุตสาหกรรมอาหารทะเลของไทยต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ความรู้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อตรวจสอบคุณภาพความสดของอาหารทะเลโดยเฉพาะกลุ่มของเนื้อปลา ซึ่งวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยมีดังนี้

- ศึกษาความเป็นไปได้ของดัชนีวัดความสดของเนื้อปลาทะเลโดยการวัดความต้านทานเชิงซ้อน
- ศึกษาวิธีการ และโพรบที่เหมาะสมในการตรวจวัดความสดของเนื้อปลาทะเลแทนวิธีการตรวจวัดความสดด้วยวิธีการดั้งเดิม
- เพิ่มประสิทธิภาพทางด้านความรวดเร็ว และการใช้งานที่ง่าย สำหรับการตรวจวัดความสดของเนื้อปลาทะเล
- เพื่อการสร้างมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร และประมงเพื่อการส่งออก
- เพื่อการพัฒนาศักยภาพในการแข่งขัน และการพึ่งพาตนเองของสินค้าเกษตร
- เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัย เชิงประยุกต์โดยแนวทางใหม่
- กระตุ้นให้เกิดการวิจัยในเชิงวิศวกรรมระดับสูง และเผยแพร่ต่อสาธารณะ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ภายในปีงบประมาณ 2555 จะทำออกแบบระบบการวัด และศึกษาวิธีการที่เหมาะสม และความเป็นไปได้ในการทำนายหรือวัดความสดของเนื้อปลาทะเลโดยอาศัยสมบัติทางไฟฟ้า โดยจะศึกษาส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- ศึกษาารูปแบบของโพรบที่จะนำมาใช้ในการตรวจวัดดัชนีความสดของเนื้อปลาทะเลด้วยวิธีวัดสภาพความนำไฟฟ้า และวัดความต้านทานเชิงซ้อน
- ออกแบบระบบเครื่องมือวัดที่ใช้ในการเก็บข้อมูลดัชนีความสดของเนื้อปลาทะเลด้วยวิธีวัดสภาพความนำไฟฟ้า และวัดความต้านทานเชิงซ้อน
- ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเนื้อปลาทะเล เช่น ขนาด ชนิด และปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้า
- ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้า (สภาพความนำไฟฟ้า และวัดความต้านทานเชิงซ้อน) กับความเสื่อมสภาพหรือความสดของเนื้อปลาที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา
- เครื่องที่ออกแบบสามารถนำไปศึกษาดัชนีความสดกับอาหารสดอื่นๆ ได้โดยเครื่องที่ออกแบบจะมีโหมดในการวัด และเก็บข้อมูลสมบัติทางไฟฟ้าด้วย

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้จะแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 2 ส่วน คือ 1. การศึกษารูปแบบของโพรบ (Probe) เพื่อใช้ในการตรวจวัดดัชนีความสดของเนื้อปลาทะเลด้วยวิธีวัดสภาพความนำไฟฟ้า และวัดความต้านทานเชิงซ้อน และ 2. ออกแบบระบบเครื่องมือวัดที่ใช้ในการเก็บข้อมูลดัชนีความสดของเนื้อปลาทะเลด้วยวิธีวัดสภาพความนำไฟฟ้า และวัดความต้านทานเชิงซ้อน ซึ่งการดำเนินการวิจัยมีขั้นตอนดังนี้

1.4.1 รวบรวมข้อมูลการตรวจวัดความสดอาหารทะเล

1.4.2 ออกแบบ และจัดสร้างหัววัดหรือโพรบที่ใช้ตรวจวัดสมบัติทางไฟฟ้าของเนื้อปลา โดยเน้นถึงการตรวจวัดสภาพความนำไฟฟ้า และวัดความต้านทานเชิงซ้อน

1.4.3 ออกแบบ จัดสร้างเครื่องวัด พัฒนาโปรแกรม และทำการสอบเทียบ และปรับปรุงให้มีเสถียรภาพ

1.4.4 หลังจากจัดสร้างระบบในข้างต้นเรียบร้อยแล้วจะทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ และทำการทดลองศึกษาดัชนีความสดของเนื้อปลาโดยแบ่งเป็นการทดลองต่างๆ ดังต่อไปนี้

การทดลองที่ 1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเนื้อปลาทะเล

วิธีการทดลอง ทำการทดลองโดยการนำเนื้อปลาตัวอย่างที่มีระดับความสดระดับเดียวกัน(ทราบความสดด้วยวิธีมาตรฐาน)แต่ที่มีลักษณะทางกายภาพ เช่น ขนาดของเนื้อปลา ชนิดของเนื้อปลา ต่างกัน มาทำการสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า(สภาพความนำไฟฟ้า และวัดความต้านทานเชิงซ้อน) แล้วบันทึกผลการทดลอง

การทดลองที่ 2 สมบัติทางไฟฟ้ากับความเสื่อมสภาพหรือความสดของเนื้อปลา

วิธีการทดลอง ทำการทดลองโดยการนำเนื้อปลาตัวอย่างตั้งแต่เพิ่งตายใหม่ ๆ มาทำการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าบันทึกผลสภาพความนำไฟฟ้า และวัดความต้านทานเชิงซ้อน แล้วปล่อยให้เนื้อปลาตัวอย่างเสื่อมสภาพไปตามเวลาในอุณหภูมิปกติ ทำการสุ่มบันทึกผลสมบัติทางไฟฟ้าจนกว่าเนื้อปลาจะเน่าเสีย

การทดลองที่ 3 การศึกษาดัชนีวัดความสดอาหารสดอื่น ๆ

วิธีการทดลองทำการทดลองเหมือนกับการทดลองที่ 2 แต่เปลี่ยนตัวอย่างเป็นอาหารสดชนิดอื่น ๆ ที่สามารถวัดด้วยโพรบที่ออกแบบมาได้

1.4.5 นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่ 2 มาเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางไฟฟ้ากับความเสื่อมสภาพของเนื้อปลา จากนั้นนำสมการดังกล่าวไปพัฒนาโปรแกรมของเครื่องมือวัดให้สามารถทำนายระดับความสดของเนื้อปลา

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ทราบข้อมูลทางไฟฟ้าที่ใช้เป็นดัชนีวัดความสดของเนื้อปลาทะเล
- สามารถตรวจวัดความสดของเนื้อปลาทะเลแทนวิธีการตรวจวัดความสดด้วยวิธีการดั้งเดิม
- เพิ่มคุณภาพ มาตรฐานและประสิทธิภาพในการการตรวจวัดความสดของเนื้อปลาทะเลเพื่อการส่งออก
- กระตุ้นให้เกิดการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากมหาวิทยาลัยสู่ชุมชน
- เป็นข้อมูลให้หน่วยงานอื่นที่สนใจได้นำไปใช้ประโยชน์เพื่อการพัฒนาประเทศเช่น ศูนย์พัฒนาประมงชายฝั่งภาคใต้ตอนบนจังหวัดชุมพร สำนักงานประมงอื่น ๆ

1.5.2 หน่วยงานที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

- สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร
- กรมส่งเสริมการเกษตร
- หน่วยงานภาครัฐ เอกชนและเกษตรกรทั่วไป

1.6 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

เมื่อเสร็จสิ้นการวิเคราะห์ และทดลองในห้องปฏิบัติการแล้ว จะทำการถ่ายทอดเทคนิคให้กับหน่วยงาน และกลุ่มเกษตรกรผู้สนใจ ทำการเผยแพร่ผลงานในรูปแบบบทความ ในวารสารด้านการเกษตรและวิศวกรรมศาสตร์ การตีพิมพ์ในรูปแบบงานวิจัย และการเสนอผลงานทางวิชาการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง วิธีการวัดสภาพความต้านทานทางไฟฟ้าเช่น การวัดแบบบริดจ์ด้วยวงจรแบบต่าง การวัดสภาพความต้านทานไฟฟ้าโดยโพร์พอยท์โพรบ นอกจากนี้ยังกล่าวถึง วงจรออปแอมป์ และวงจรกำเนิดสัญญาณ

2.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

คุณภาพสัตว์น้ำหรือผลิตภัณฑ์ประมงมีความสำคัญต่อการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ หรือสัตว์น้ำที่มีคุณภาพสูงให้อยู่แก่คนที่ผู้บริโภคยอมรับ ความสด (Freshness) ของสัตว์น้ำมีความสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจาก สัตว์น้ำเป็นวัตถุดิบที่เสื่อมเสียง่าย (perishable) โดยทันทีที่สัตว์น้ำตายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับคุณภาพ เช่นการย่อยตัวเองด้วยเอนไซม์ (autolysis) จากน้ำย่อยและจุลินทรีย์ ที่ปนเปื้อนมากับสัตว์น้ำเอง

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหลังจากปลาตาย

หลังจากปลาตาย จะเกิดการเปลี่ยนแปลงในตัวปลา ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน

[5] คือ

ขั้นตอนที่ 1 เป็นขั้นตอนที่กล้ามเนื้อปลาเกิดการเกร็งตัว (rigor- mortis) ซึ่งการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อปลาอาจเกิดขึ้นภายใน 1-3 ชั่วโมง หรือหลายวัน หลังจากปลาตายทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของปลาก่อนตายและการดูแลรักษาปลาหลังตาย

ขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนที่เกิดการย่อยตัวเอง (autolysis) โดยเอนไซม์ในตัวปลา เช่นเอนไซม์ทริปซิน (trypsin) เอนไซม์คาเทปซิน (cathepsin) และเพปซิน (pepsin) เกิดการย่อยโปรตีนเป็นกรดอะมิโน

ขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนที่ปลาเน่าเสีย (putrefaction) เกิดขึ้นจากเอนไซม์ที่แบคทีเรียสร้างขึ้น ซึ่งจะวัดค่าความสดของปลาจากจุลินทรีย์ได้จากค่า Trimethylamine (TMAO), Formaldehyde (FA), Trimethylamine (TMA) และค่า Volatile base-nitrogen (VB-N) หรือ Total volatile base (TVB)

การศึกษาดัชนีวัดความสดของอาหารทะเลได้มีการวิจัย และเล็งเห็นถึงความสำคัญกันอย่างแพร่หลาย อย่างเช่น จากการศึกษาหาดัชนีชี้วัดคุณภาพหรือความสดของปลาหมึกกล้วย และหมึกกระดองโดยอาศัยกระบวนการศึกษาดัชนีชี้วัดความสดทางด้านประสาทสัมผัส ทางเคมี ทางจุลินทรีย์ และทางด้านกายภาพ [2] ซึ่งพบว่า แอมโมเนียมีความสัมพันธ์กับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงสุด (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9) ดังนั้นดัชนีที่มีความเป็นไปได้ในการวัดความสดของปลาหมึกกล้วยและปลาหมึกกระดองคือ แอมโมเนีย แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงชนิดและวิธีการเก็บรักษา

ดัชนีวัดความสดของปูนิ่ม หรือการ

จากการศึกษาดัชนีวัดความสดของปูนิ่ม[3] พบว่า ดัชนีความสดที่เหมาะสมในการวัดความสดของปูนิ่มได้แก่ ค่า TVB-N ซึ่งพบว่าค่า TVB-N มีปริมาณสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการแบ่งชั้นคุณภาพความสดของปูนิ่มสด ได้แก่ ลักษณะของกระดองและ

ลำตัว และกลิ่นของปูนิ่มสด ส่วนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ใช้เป็น หลักเกณฑ์ในการแบ่งชั้นคุณภาพ ความสดของปูนิ่มนี้ ได้แก่ ลักษณะเนื้อปู และกลิ่นของเนื้อปู

และจากการวิจัยพัฒนาเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีสำหรับการตรวจความสดของอาหารทะเล (โดเมธิลเอมีนและไตรเมธิลเอมีน)[4] พบว่าโดเมธิลเอมีนและไตรเมธิลเอมีนเป็นเอมีนระเหยที่ใช้ เป็นดัชนีชี้ คุณภาพความสดของอาหารทะเล โดยนำเทคนิคเฮดสเปซ/แก๊สโครมาโทกราฟีมาใช้ควบคู่กับตัวตรวจวัด ไนโตรเจนฟอสฟอรัสสำหรับการวิเคราะห์โดเมธิลเอมีนและไตรเมธิลเอมีน โดยได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมใน การวิเคราะห์ เช่น อัตราการไหลของแก๊สพา อุณหภูมิที่เหมาะสมของคอลัมน์ หัวฉีด และตัวตรวจวัด และได้ การแยกที่ดีที่สุด โดยใช้คาปิลลารีคอลัมน์ชนิด HP-FFAP (ขนาด ความยาว 25 เมตร, เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตร ความหนา 0.52 ไมโครเมตร) ซึ่งให้ขีดจำกัดการตรวจวัดของโดเมธิลเอมีน 0.37 มิลลิกรัมต่อลิตร และไตรเมธิลเอมีน 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงของความเข้มข้นของโดเมธิลเอมีน 5-200 มิลลิกรัมต่อลิตร และไตรเมธิลเอมีน 0.05-7 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 7-17 มิลลิกรัมต่อลิตร ($r^2 > 0.99$) ที่สภาวะที่เหมาะสมมีค่า เบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ $\leq 4\%$ ข้อดีของเทคนิคนี้คือ ไม่มีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างที่ยุ่งยากและปราศจาก ตัวทำลายอินทรีย์ มีขั้นตอนในการวิเคราะห์ที่ง่าย มีความจำเพาะและความไวของการตรวจวัดสูง ใช้ ระยะเวลาสั้น และสิ้นเปลือง ค่าใช้จ่ายน้อย มีความเป็นไปได้สูงในการนำเทคนิคนี้ไปประยุกต์ใช้สำหรับการ ตรวจวัดความสดของอาหารทะเล

2.2 วิธีการวัดสภาพความต้านทานทางไฟฟ้า

การวัดสภาพความต้านทานทางไฟฟ้าเป็นสิ่งที่สามารถบ่งบอกได้ว่า สิ่งที่เราทำการวัดนั้นมีค่าความ ต้านทานมากน้อยเพียงใด และมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาหรือไม่จากหลักการดังกล่าวนี้ จึงมีการนำมา ประยุกต์ใช้ในการทำนายความสดของปลาหู โดยการตรวจสอบสภาพความต้านทานที่เปลี่ยนไปตามเวลาที่ เปลี่ยนแปลง ซึ่งวิธีการวัดสภาพความต้านทานทางไฟฟ้ามีด้วยกันหลายวิธี

2.2.1 เครื่องวัดแบบบริดจ์

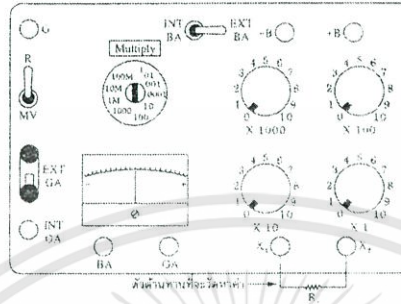
เครื่องวัดแบบบริดจ์(Bridge meter) [6] เป็นเครื่องวัดที่ใช้วัดค่าความต้านทาน ค่า ความเหนี่ยวนำ และค่าความจุไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการเปรียบเทียบค่าความต้านทาน ค่าความเหนี่ยวนำ และ ค่าความจุที่ต้องการทราบค่า และใช้สภาพสมดุลของวงจรบริดจ์เป็นส่วนประกอบสำคัญของเครื่องวัด ในการชี้ ค่าที่ต้องการทราบ สามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ บริดจ์ไฟฟ้ากระแสตรง กับบริดจ์ไฟฟ้ากระแสสลับ

2.2.1.1 บริดจ์ไฟฟ้ากระแสตรง

วงจรบริดจ์เป็นวงจรที่ประกอบด้วยด้าน 4 ด้านของความต้านทานที่ต่อถึง กัน ใช้ปรับเปรียบเทียบให้เกิดความสมดุลเพื่อวัดปริมาณที่ไม่ทราบค่า โดยการเปรียบเทียบกับปริมาณอ้างอิงที่ ทราบค่าเป็นมาตรฐาน การแสดงค่าความสมดุลจะแสดงโดยเข็มชี้ของเครื่องวัดชี้ค่าที่ตำแหน่งศูนย์พอดี ค่าที่ อ่านได้จะอยู่ในรูปปริมาณอ้างอิงที่ทราบค่า

การวัดวิธีนี้ต้องการส่วนแสดงค่าศูนย์มีความไวสูง โดยไม่ขึ้นอยู่กับ การเปรียบเทียบเป็นค่าสเกลต่างๆ เช่น แสดงเป็นแรงดันหรือกระแส เป็นต้น ดังนั้นวิธีการวัดแบบนี้จึงไม่มีความ คลาดเคลื่อนเนื่องจากการเปรียบเทียบเกิดขึ้น แต่อาศัยการปรับสมดุล ความสำคัญอยู่ที่การปรับค่าครั้งสุดท้าย ความไวของส่วนแสดงค่าศูนย์จะต้องสูงพอที่จะตรวจจับการเปลี่ยนแปลงที่น้อยที่สุดของปริมาณที่ตรวจวัดได้

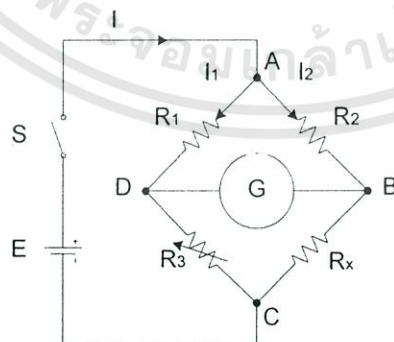
แต่ความไวดังกล่าวที่มากเกินไปอาจเกิดผลเสียต่อเครื่องวัดได้ถ้าไม่ระมัดระวัง ค่าการเปลี่ยนแปลงของวงจรที่ทำการตรวจวัดในช่วงแรกๆ จะเปลี่ยนแปลงมาก อาจส่งผลให้มิเตอร์แสดงความสมดุลชั่วคราวเสียหายไป ดังนั้นส่วนแสดงค่าศูนย์จะต้องมีตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ต่อขนาน (Shunt) เพื่อปรับค่าความไวโดยการจำกัดกระแสที่ผ่านมิเตอร์ให้เหมาะสมในการปรับสมดุลครั้งสุดท้ายจะต้องปรับความไวของวงจรให้สูงที่สุด เพราะความไวจะช่วยให้เพิ่มความแน่ใจในความสมดุลของวงจรมากขึ้น



รูปที่ 2.1 แสดงเครื่องวัดแบบวีทสโตนบริดจ์

1. วีทสโตนบริดจ์ (Wheatstone bridge) คือวงจรบริดจ์ไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. bridge) ที่สร้างขึ้นมาเพื่อวัดค่าความต้านทานที่ไม่ทราบค่า ใช้หลักการของวงจรบริดจ์แบบสมดุล ด้วยวิธีการเปรียบเทียบกับความต้านทานค่ามาตรฐานที่ปรับเปลี่ยนค่าได้ โดยใช้กัลวานมิเตอร์เป็นตัวแสดงค่าความสมดุล เมื่อเข็มชี้ค่าที่ศูนย์พอดี สามารถวัดค่าความต้านทานตั้งแต่ 1Ω ถึง $10\text{ M}\Omega$ ได้อย่างแม่นยำ วีทสโตนบริดจ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1

วีทสโตนบริดจ์แบบเบื้องต้นสามารถสร้างขึ้นมาใช้งานเองได้ วงจรประกอบด้วยตัวต้านทานต่อเป็นวงจรบริดจ์ 4 ด้าน โดยมีความต้านทานคงที่ที่ทราบค่า 2 ด้าน โดยกำหนดค่าความต้านทานเป็นอัตราส่วนกัน มีความต้านทานอีกด้านหนึ่งเป็นความต้านทานมาตรฐานที่ทราบค่าปรับเปลี่ยนค่าได้ เพื่อใช้ปรับความสมดุลของวงจรวีทสโตนบริดจ์ ส่วนความต้านทานอีกด้านเป็นความต้านทานที่ไม่ทราบค่า โดยการหาค่าแรงดันที่จ่ายด้วยแรงดันไฟตรง ใช้กัลวานมิเตอร์ แสดงความสมดุลของวงจรบริดจ์ วงจรวีทสโตนบริดจ์เบื้องต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงวงจรวีทสโตนบริดจ์เบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.2 เป็นวงจรวิทสโตนบริดจ์เบื้องต้น ประกอบด้วยความต้านทาน 4 ตัวคือ R_1, R_2, R_3, R_x แบตเตอรี่ E และกัลวานอมิเตอร์ G ความต้านทาน R_1, R_2 เป็นความต้านทานค่าคงที่ที่ทราบค่า และ R_1, R_2 จะถูกกำหนดค่าขึ้นมาเป็นอัตราส่วนที่ลงตัว ซึ่งกันและกัน เช่น $1\Omega, 10\Omega, 100\Omega, 1\text{ K}\Omega$ หรือ $10\text{K}\Omega$ เป็นต้น ส่วนความต้านทาน R_3 เป็นความต้านทานมาตรฐานที่ทราบค่า สามารถปรับเปลี่ยนค่าเพื่อปรับความสมดุลของวงจรวิทสโตนบริดจ์ได้ ความต้านทาน R_x เป็นความต้านทานที่ไม่ทราบค่า และแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ E จ่ายเข้าวงจรที่จุด A, C ทำให้เกิดกระแส I ไหลเข้าวงจร สังเกตเข็มชี้ของกัลวานอมิเตอร์ ถ้าเข็มชี้ของกัลวานอมิเตอร์เบี่ยงเบนไปจากตำแหน่งศูนย์ แสดงว่าวงจรบริดจ์ยังไม่สมดุล ให้ปรับความต้านทาน R_3 ไปมาจนกระทั่งเข็มชี้ของ กัลวานอมิเตอร์ชี้ที่ตำแหน่งศูนย์พอดี ขณะนี้วงจรบริดจ์จะอยู่ในสภาวะสมดุล

เมื่อบริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุลจะเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ จุด B = จุด D ซึ่งกระแสที่ไหลผ่าน $R_1 = R_3 = I_1$ และกระแสที่ไหลผ่าน $R_2 = R_x = I_2$ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.1 และ 2.2

$$I_2 R_2 = I_1 R_1 \quad (2.1)$$

และ $I_2 R_x = I_1 R_3 \quad (2.2)$

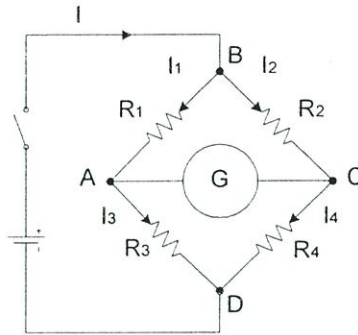
นำสมการที่ 2.1 ทหารด้วยสมการที่ 2.2 จะได้สมการที่ 2.3

$$\frac{R_2}{R_x} = \frac{R_1}{R_3} \quad (2.3)$$

เมื่อทราบค่าความต้านทาน R_1, R_2, R_3 ก็สามารถหาค่าความต้านทาน R_x ได้โดยเปลี่ยนค่าความต้านทาน R_1, R_2 ให้เป็นสัดส่วน

ข้อสังเกต สามารถสลับตำแหน่งของแบตเตอรี่ E กับกัลวานอมิเตอร์ G กันได้เช่น ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ถ้าเปลี่ยนตำแหน่งของกัลวานอมิเตอร์ G ไปอยู่ที่จุด A, C และตำแหน่งของแบตเตอรี่ E ไปอยู่ที่จุด B, D เมื่อปรับให้บริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุล สมการของวงจรบริดจ์ยังคงเหมือนเดิมคือ $\frac{R_2}{R_x} = \frac{R_1}{R_3}$

2. บริดจ์แบบสมดุล(Balanced Bridge) ขณะที่บริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุล จะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ทำให้เข็มของเครื่องวัดชี้ที่เลข 0 ถ้าต้องการทราบค่าความต้านทาน R_4 จะต้องสับสวิตช์ S_1 และ S_2 แล้วปรับอัตราส่วนของความต้านทาน R_2/R_1 (Ratio adjust) และความต้านทาน R_3 จนกระทั่งกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์มีค่าเป็นศูนย์ หรือเข็มกัลวานอมิเตอร์ชี้ที่ศูนย์ แสดงว่าวงจรบริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุล



รูปที่ 2.3 แสดงบริดจ์แบบสมดุล

จากสภาพสมดุลของวงจรบริดจ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ทำให้ทราบว่า แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_3 และ R_4 มีค่าเท่ากัน ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.4

$$I_3 R_3 = I_4 R_4 \quad (2.4)$$

นอกจากนี้ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_1 และ R_2 ยังมีค่าเท่ากันด้วยสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.5

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \quad (2.5)$$

ขณะที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ G แสดงว่า $I_1 = I_3$ และ $I_2 = I_4$ แทนค่า I_3 ด้วย I_1 และ I_4 ด้วย I_2 ในสมการที่ 2.4 ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.6

$$I_1 R_3 = I_2 R_4 \quad (2.6)$$

นำสมการที่ 2.5 หารด้วยสมการที่ 2.6 จะได้สมการที่ 2.7

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \quad (2.7)$$

3. บริดจ์แบบไม่สมดุล(Unbalanced Bridge) ขณะที่บริดจ์อยู่ในสภาวะไม่สมดุลจะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ทำให้เข็มของเครื่องวัดเบี่ยงเบนได้การเบี่ยงเบนของเข็มชี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความไวของกัลวานอมิเตอร์ ตัวอย่างเช่น ถ้ามีกัลวานอมิเตอร์ 2 เครื่อง และมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเท่ากันกัลวานอมิเตอร์ที่มีความไวสูงกว่าเข็มชี้จะเบี่ยงเบนได้มากกว่า การหาค่าความไวของกัลวานอมิเตอร์ทำได้ 2 แบบ คือ หาค่าในรูปของการเบี่ยงเบนของเข็มชี้ ต่อจำนวนกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน หรือมุมการเบี่ยงเบนของเข็มชี้ต่อจำนวนกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.8

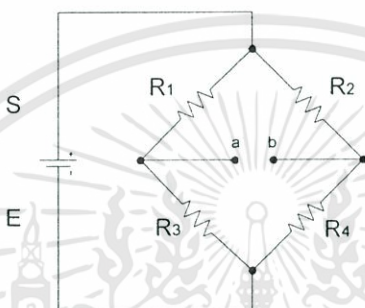
$$\text{หรือ } \frac{\text{rad}}{\mu A} \quad (2.8)$$

ระยะการบ่งเบนของเข็มชี้ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.9

$$D = S \times I_g \quad (2.9)$$

เมื่อ D คือ ระยะการบ่งเบนของเข็มชี้ (มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร)
 S คือ ความไวของกัลวานอมิเตอร์ (มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร / μA)
 I_g คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ (มีหน่วยเป็น μA)

สามารถหาค่าปริมาณของกระแสไฟฟ้า (I_g) ที่ไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ที่แสดงสภาวะไม่สมดุลของวงจรได้ดังนี้



รูปที่ 2.4 แสดงบริดจ์แบบไม่สมดุล

ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เมื่อปลดกัลวานอมิเตอร์ออกจากวงจร ผลต่างของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว a และ b เมื่อนำ สมการการแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider) มารวมพิจารณาจะได้แรงดัน ไฟฟ้าที่จุด a ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.10

$$E_a = \frac{E \cdot R_3}{R_1 + R_3} \quad (2.10)$$

และแรงดันไฟฟ้าที่จุด b ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.11

$$E_b = \frac{E \cdot R_4}{R_2 + R_4} \quad (2.11)$$

ผลต่างของแรงดันไฟฟ้า E_a และ E_b จะมีค่าเท่ากับ $E_{ab} = E_a - E_b$ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.12

$$E_{ab} = \frac{E \cdot R_3}{R_1 + R_3} - \frac{E \cdot R_4}{R_2 + R_4} \quad (2.12)$$

ความต้านทานรวมของวงจร ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.13

$$R_t = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} \quad (2.13)$$

กระแสที่ไหลผ่านจุด a และ b ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.14

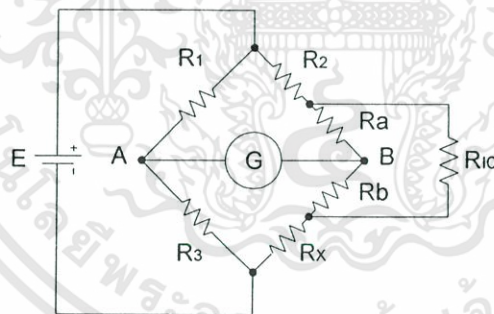
$$I_{ab} = \frac{E_{ab}}{R_t} \quad (2.14)$$

ถ้าต่อกัลวานอมิเตอร์เข้าที่ขั้ว a และ b กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เข็มเบี่ยงเบน ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.15

$$I_g = \frac{E_{ab}}{R_t + R_g} \quad (2.15)$$

เมื่อ R_g คือ ความต้านทานของกัลวานอมิเตอร์

4. เคลวินบริดจ์(Kelvin Bridge) ในวีทสโตนบริดจ์(Wheatstone bridge) สายและขั้วต่อสายจะมีความต้านทานอยู่จำนวนหนึ่ง ดังนั้น การนำ วีทสโตนบริดจ์ มาวัดความต้านทานที่มีค่าต่ำ (ในช่วง $0.1 \mu\Omega - 100\Omega$) จะทำให้ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดคลาดเคลื่อนจากค่าความต้านทานที่แท้จริง เนื่องจากอัตราส่วนของความต้านทานที่ทำให้วงจรบริดจ์สมดุล จะรวมค่าความต้านทานของสายและขั้วต่อสาย เข้าไปด้วย



รูปที่ 2.5 แสดงวงจรเคลวินบริดจ์

วิธีการลดผลกระทบจากความต้านทานของสายและขั้วต่อสายของ วีทสโตนบริดจ์ ต่ออัตราส่วนของวงจรบริดจ์ทำได้โดยการนำอัตราส่วนความต้านทานอีกค่าหนึ่งต่อเพิ่มเข้าไปในวงจรวีทสโตนบริดจ์ เรียกวงจรบริดจ์ที่มีลักษณะนี้ว่า เคลวินบริดจ์ สามารถวัดค่าความต้านทานตั้งแต่ $0.1 \mu\Omega - 1\Omega$ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

ขณะที่เคลวินบริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุล แสดงว่าอัตราส่วนความต้านทานของวงจร ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.16

$$\frac{R_3}{R_1} = \frac{Rb}{Ra} \quad (2.16)$$

เมื่อนำกฎการแบ่งแรงดันไฟฟ้ามาพิจารณาเคลวินบริดจ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 แรงดันไฟฟ้าที่จุด A ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.17

$$VA = \frac{E \cdot R_3}{R_1 + R_3} \quad (2.17)$$

ในกรณีที่วงจรบริดจ์สมดุล แรงดันไฟฟ้า $V_A = V_B$ เมื่อวงจรบริดจ์สมดุลทำให้ $\frac{Rb}{Ra} = \frac{R_3}{R_1}$ นำมาเขียนใหม่ได้ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.18

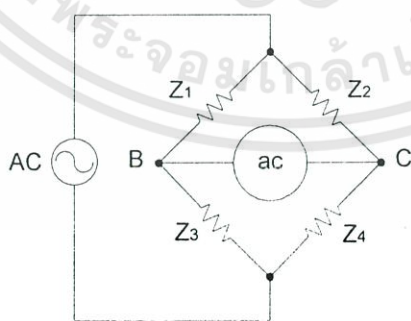
$$Rx = \frac{R_2 R_3}{R_1} \quad (2.18)$$

ดังนั้นเมื่อเคลวินบริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุล ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.19

$$\frac{Rx}{R_2} = \frac{R_3}{R_1} = \frac{Rb}{Ra} \quad (2.19)$$

2.1.1.2 บริดจ์ไฟฟ้ากระแสสลับ(A.C. Bridge)

เป็นเครื่องมือวัดที่ใช้หลักการพื้นฐานของวิธีสโตนบริดจ์ เพื่อหาค่าความต้านทาน ความเหนี่ยวนำ และความจุในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ประกอบด้วยอิมพีแดนซ์(Z) 4 ตัวแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ(A.C.Source) และเครื่องตรวจจับความเปลี่ยนแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ(ac detector) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



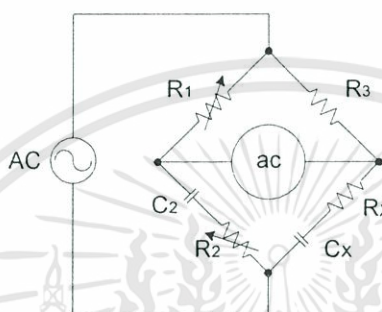
รูปที่ 2.6 แสดงวงจรบริดจ์ไฟฟ้ากระแสสลับ

จากรูปที่ 2.6 เมื่อบริดจ์อยู่ในสถานะสมดุล ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.20

$$Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3 \quad (2.20)$$

บริดจ์ไฟฟ้ากระแสสลับ สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. บริดจ์มุมเหมือน(Similar Angle Bridge) เป็นวงจรบริดจ์ที่ใช้วัดอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุ (Capacitive impedance; R_x and C_x) โดยใช้คาปาซิเตอร์มาตรฐาน(C_2) เป็นองค์ประกอบการเปรียบเทียบค่า ดังแสดงในรูปที่ 2.7



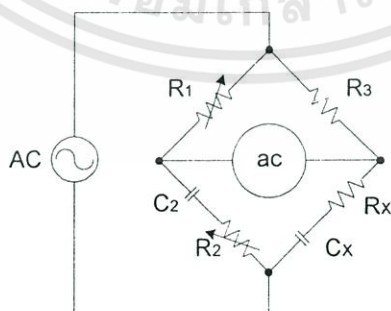
รูปที่ 2.7 แสดงวงจรบริดจ์มุมเหมือน

เมื่อวงจรบริดจ์มุมเหมือน อยู่ในสถานะสมดุล ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.21 และ 2.22

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1} \quad (2.21)$$

$$C_x = \frac{R_1 \cdot C_2}{R_2} \quad (2.22)$$

2. แมกซ์เวลล์บริดจ์(Maxwell Bridge) เป็นวงจรบริดจ์กระแสสลับที่ใช้วัดอิมพีแดนซ์ของค่าเหนี่ยวนำ(Inductive Impedance; R_x and L_x) โดยใช้คาปาซิเตอร์มาตรฐาน(C_1) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการเปรียบเทียบค่า ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงวงจรแมกซ์เวลล์บริดจ์

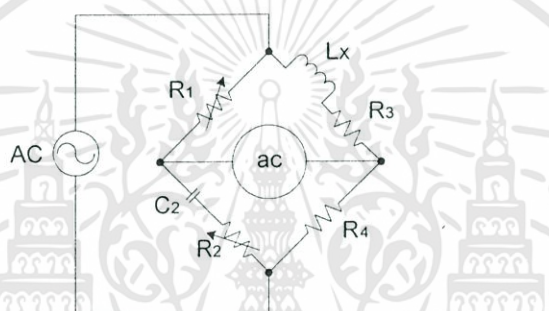
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแมกซ์เวลล์บริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุลนำค่าต่างๆ มาเปรียบเทียบกับกัน ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.23 และ 2.24

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1} \quad (2.23)$$

$$L_x = R_2 \cdot R_3 \cdot C_1 \quad (2.24)$$

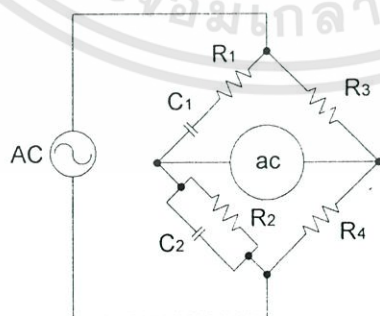
3. บริดจ์มุมตรงข้าม(Opposite Angle bridge) การหาค่าอิมพีแดนซ์ของค่าเหนี่ยวนำ(Inductive Impedance; R_x and L_x) ทำได้โดยใช้อินดักเตอร์มาตรฐาน(L_x) แทนคาปาซิเตอร์มาตรฐาน(C_2) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 แต่เนื่องจากอินดักเตอร์มาตรฐานมีขนาดใหญ่ และราคาแพงมาก ดังนั้นการวัดอิมพีแดนซ์ของค่าเหนี่ยวนำ จึงใช้คาปาซิเตอร์มาตรฐานแทน และต้องจัดรูป วงจรบริดจ์ไฟฟ้ากระแสสลับเสียใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงวงจรบริดจ์มุมตรงข้าม

4. วินบริดจ์(Wien Bridge) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 เป็นวงจรบริดจ์ที่ใช้หาค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุ(Capacitive impedance; R_x and C_x) ได้คือ

- Capacitive impedance ที่มี R และ C ต่อแบบอนุกรม(R_1 and C_1) โดยใช้คาปาซิเตอร์มาตรฐาน(C_2) เป็นองค์ประกอบในการเปรียบเทียบค่า
- Capacitive impedance ที่มี R และ C ต่อแบบขนาน(R_2 and C_2) โดยใช้คาปาซิเตอร์มาตรฐาน(C_1) เป็นองค์ประกอบในการเปรียบเทียบค่า



รูปที่ 2.10 แสดงวงจรวินบริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

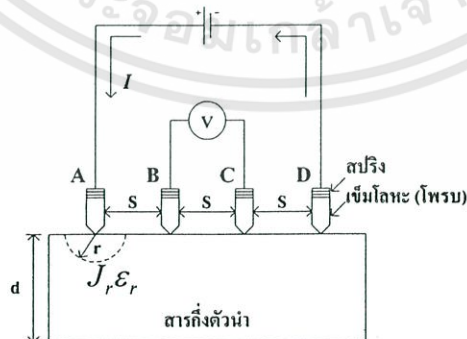
2.2.2 การวัดสภาพความต้านทานไฟฟ้าโดยโพรบสี่โพรบ

ในการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า(Resistivity: ρ) ของแท่งสารกึ่งตัวนำสามารถทำได้โดยง่ายในกรณีที่สามารเตรียมให้แท่งสารนั้น มีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมพื้นที่หน้าตัด A มีขนาดยาว l และที่สำคัญก็คือ ต้องทำขั้วไฟฟ้า(metal contact) ที่ปลายทั้งสองด้านของฉากกับพื้นที่หน้าตัดของแท่งสาร ซึ่งกรณีนี้ เมื่อให้ความต่างศักย์แก่แท่งสารนี้ V โวลต์ และวัดกระแสที่ไหลผ่านแท่งสารกึ่งตัวนำ I จะได้ $J = \sigma \cdot \mathcal{E}$ และ $\frac{I}{A} = \frac{1}{\rho} \frac{V}{l}$ ดังนั้นสภาพต้านทาน(Resistivity) ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.25

$$\rho = \frac{AV}{I l} \quad (2.25)$$

เมื่อแทนค่าต่างๆ ลงไปในสมการที่ (2.25) เราสามารถทำการคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของสารได้ อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปแล้วในทางปฏิบัติเราไม่สามารถแยกสารกึ่งตัวนำออกมาจากแผ่นผลึก และทำให้อยู่ในสภาพที่เป็นรูปทรงแท่งสี่เหลี่ยมได้ เพราะจะทำให้แผ่นผลึกเสียหายได้ การทำจุดสัมผัสโหม้มิคที่ปลายของแท่งผลึกให้สม่ำเสมอทำได้ยาก เมื่อทำรอยสัมผัสแล้วสารกึ่งตัวนำนั้นก็ไม่สามารถนำกลับไปใช้งานอื่นได้อีก รวมทั้งการกำหนดขนาดความกว้างหรือพื้นที่หน้าตัดให้แน่นอนก็ทำได้ยาก ดังนั้นการวัดด้วยวิธีนี้จึงเป็นปัญหา และไม่นิยมกัน วิธีที่ได้รับความนิยมสูงสุด คือ วิธีโพรบสี่โพรบ(Four points probe) [7] หรือ เข็ม 4 จุด เป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากทำการวัดได้ง่าย และสะดวกสามารถวัดได้ทุกขนาดของแท่งสารไม่ว่าจะมีขนาดรูปร่างอย่างไร โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถวัดบนแผ่นผลึกที่บริเวณผิวหน้าของแผ่นผลึกได้โดยไม่ต้องตัดแยกออกมา ยิ่งกว่านั้นยังเป็นวิธีการวัดที่ไม่จำเป็นต้องทำรอยสัมผัสโหม้มิคไม่สิ้นเปลืองเวลา และวัสดุอีกด้วย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด และทดลองประกอบด้วยเข็มโลหะจำนวน 4 เข็ม มีปลายแหลม อาจมีสปริงช่วยให้ปลายของเข็มถูกกด สามารถสัมผัสกับระนาบผิวหน้าด้านที่ขัดมันของชิ้นสารกึ่งตัวนำได้เป็นอย่างดี เข็มทั้ง 4 คือ A, B, C และ D อยู่ห่างกันเป็นระยะ S เท่าๆกัน ซึ่งในทางปฏิบัติทั่วไปจะมีค่าราว 0.5 – 1 มม. ดังแสดงในรูปที่ 2.11 และอยู่ในแนวระนาบเดียวกันในการวัดจะเริ่มจากการปล่อยกระแสคงที่เข้าที่เข็มนอกสุด คือเข็ม A และ เข็ม D ทำให้มีกระแสไหลจากขั้ว A ผ่านเนื้อสารกึ่งตัวนำไปยังเข็ม D จึงเกิดมีแรงดันตกคร่อมเนื้อสาร ถูกวัดออกมาที่ขั้ว B และ C นำค่ากระแสคงที่ I และแรงดัน V ที่วัดได้มาคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าได้



รูปที่ 2.11 แสดงอุปกรณ์การวัดค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าโดยวิธีโพรบสี่โพรบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวิเคราะห์ทำได้โดยพิจารณาว่า ขนาดของชั้นสารกึ่งตัวนำนี้มีขนาดใหญ่และมีความหนา(d) มากกว่าระยะห่างระหว่างเข็ม หรือ $d \gg s$ กระแสจากขั้ว A จึงสามารถผ่านออกไปที่ขั้ว D ได้ ความหนาแน่นของกระแสจากขั้ว A จะกระจายออกไปยังเนื้อสารกึ่งตัวนำ ซึ่งความหนาแน่นของกระแส (Jr) ที่รัศมี r ใดๆที่กระจายออกไป จากจุด A ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.26

$$Jr = \frac{I}{2\pi \cdot r^2} \quad (2.26)$$

เมื่อ $2\pi \cdot r^2$ คือ ครึ่งหนึ่งของพื้นที่ผิวของทรงกลมที่มีรัศมี r และจากกฎของโอห์ม สนามไฟฟ้า $\mathcal{E}r$ ที่จุด r ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.27

$$\mathcal{E}r = \frac{J}{\sigma} = \frac{I}{2\pi \cdot r^2 \cdot \sigma} \quad (2.27)$$

เมื่อ σ คือ สภาพนำไฟฟ้า(Conductivity) ของแท่งสารนี้ และจากนิยามที่ว่า ศักดาไฟฟ้าที่ตำแหน่งใดๆ ในรัศมี a ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.28

$$V_a = - \int_{-\infty}^a \mathcal{E}r dr = - \frac{I}{2\pi \cdot \sigma} \int_{-\infty}^a \frac{1}{r^2} dr = \frac{I}{2\pi \cdot \sigma \cdot a} \quad (2.28)$$

ดังนั้นเมื่อมีกระแสไหลจากขั้ว A ผ่านเนื้อสารกึ่งตัวนำ ค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้ว B และขั้ว C ที่เกิดเนื่องจากกระแส I ไหลผ่าน ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.29

$$V_{b-c} = \frac{I}{2\pi \cdot \sigma \cdot s} - \frac{I}{2\pi \cdot \sigma \cdot 2s} = \frac{I}{4\pi \cdot \sigma \cdot s} \quad (2.29)$$

เมื่อพิจารณาว่า มีกระแสไหลออกที่ปลายเข็ม D โดยผ่านเนื้อสารกึ่งตัวนำ และทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้ารวมระหว่างขั้ว B และขั้ว C อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งเหมือนกับการพิจารณาครั้งแรก ดังนั้นความต่างศักย์ไฟฟ้ารวมที่ขั้ว B และขั้ว C จะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.30

$$V_{B-C}^{Total} = 2 \left(\frac{I}{4\pi \cdot \sigma \cdot s} \right) = \frac{I}{2\pi \cdot \sigma \cdot s} \quad (2.30)$$

หรือสภาพนำไฟฟ้า(Conductivity) ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.31

$$\sigma = \frac{1}{2\pi \cdot s} \frac{I}{V_{B-C}^{(Total)}} = \frac{1}{2\pi \cdot s} \frac{I}{V} \quad (2.31)$$

และสภาพต้านทานไฟฟ้า(Resistivity) ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.32

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = 2\pi \cdot s \frac{V}{I} \tag{2.32}$$

อย่างไรก็ดี สมการที่ 2.31 และ 2.32 จะใช้ได้และถูกต้อง ในกรณีที่ความหนาของชั้นสาร(d) มีค่ามากกว่าระยะห่างของเข็ม หากไม่เป็นไปตามเงื่อนไขนี้ เช่นในการวัดชั้นสารที่มีขนาดความหนา (d) บางๆ ค่าที่วัดได้จะผิดพลาดจากความเป็นจริง ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.33

$$\rho_{corrected} = \rho_{measured} \cdot F \tag{2.33}$$

- เมื่อ $\rho_{corrected}$ คือ ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ถูกต้อง
- $\rho_{measured}$ คือ ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้ ดังสมการที่ 2.32
- F คือ แฟคเตอร์ความถูกต้อง(Correction factor)

สำหรับค่าแฟคเตอร์ความถูกต้อง F จะขึ้นอยู่กับขนาดความหนา และรูปร่างของชั้นสาร กิ่งตัวนำที่ทำการวัดโดยเฉพาะอัตราส่วนของค่า d/s

ในกรณีของการวัดชั้นสารกิ่งตัวนำที่มีความหนาน้อยๆ หรือบางมากๆ เช่นการวัดชั้นบางๆ ของสารกิ่งตัวนำที่ถูกแพร่ด้วยอะตอมสารเจือบนแผ่นผลึกฐานรอง ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งในกรณีนี้ ความหนาของชั้นสาร (x_j) มีค่าน้อยกว่าระยะห่างระหว่างเข็ม หรือ $x_j \ll s$ ดังนั้น ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ย ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.34



รูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างของชั้นสารกิ่งตัวนำชั้นบางๆ ที่อยู่บนแผ่นผลึกฐานรอง

$$\bar{\rho} = \frac{\pi}{\ln 2} \frac{V}{I} x_j = 4.532 \frac{V}{I} x_j \quad \Omega - cm. \tag{2.34}$$

เมื่อ x_j คือ ความหนาของชั้นสารกิ่งตัวนำที่ทำการวัด หรือเท่ากับความลึกของรอยต่อ พี - เอ็น นอกจากนี้แล้ว จากสมการที่ 2.34 สภาพต้านทานแผ่น หรือ Sheet Resistivity ρ_s ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.35

$$\rho_s = \frac{\bar{\rho}}{x_j} = 4.532 \frac{V}{I} \tag{2.35}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

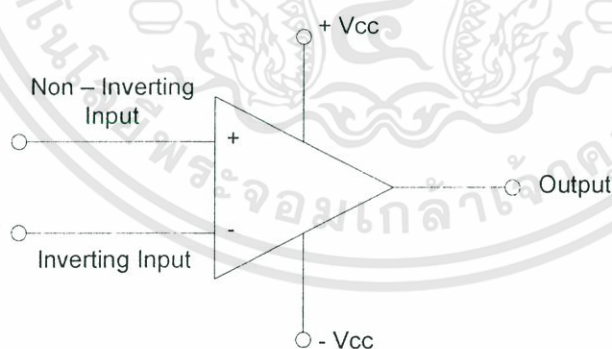
ซึ่งในทางปฏิบัติ สมการที่ 2.35 เป็นสมการที่ถูกนำมาใช้มากที่สุด เพราะในกระบวนการสร้างอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำจะเกี่ยวกับการวิเคราะห์ชั้นสารกึ่งตัวนำที่ถูกแพร่ด้วยสารเจือ ซึ่งมีขนาดบางๆราว 1-3 ไมโครเมตรอยู่ด้านบนของแผ่นผลึก สมการนี้จึงสะดวกต่อการนำไปใช้เพื่อคำนวณและวิเคราะห์หาพารามิเตอร์อื่นๆ ต่อไป

ข้อเสียในการวัดด้วยวิธีโฟรพอยท์โพรบนี้ คือ อาจทำให้ผิวหน้าของแผ่นผลึกสารกึ่งตัวนำมีริ้วรอย และเสียหายได้ เพราะถูกปลายแหลมของเข็มกดจี้ทับ ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงมีการนำเอาวิธีการใหม่มาใช้ ซึ่งเป็นวิธีการวัดโดยที่ผิวของชั้นสารกึ่งตัวนำมาวัดได้ถูกจี้ หรือสัมผัสกับอุปกรณ์ที่ใช้วัด เราเรียกรูปแบบนี้ว่า Non contacting วิธีนี้ใช้หลักการเหนี่ยวนำให้เกิด Eddy current ในสารกึ่งตัวนำด้วยสนามไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมีการนำเอาระบบอัลตราซาวด์มาช่วยในการวัดความหนาของชั้นสารอีกด้วยทำให้ได้ระบบการวัดที่ไม่ต้องมีการสัมผัสแบบอัตโนมัติ ซึ่งสะดวกต่อการใช้งานมาก และนิยมใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำทั่วไป

2.3 ออปแอมป์(OP-AMP)

2.3.1 คุณสมบัติของออปแอมป์

ออปแอมป์(Op-Amp) [8] เป็นชื่อย่อสำหรับเรียกวงจรรขยายที่มาจาก Operating Amplifier เป็นวงจรรขยายแบบต่อตรง(Direct coupled amplifier) ที่มีอัตราขยายสูงมากใช้การป้อนกลับแบบลบไปควบคุมลักษณะการทำงาน ทำให้ผลการทำงานของวงจรไม่ขึ้นกับพารามิเตอร์ภายในของออปแอมป์ วงจรภายในประกอบด้วยวงจรรขยายที่ต่ออนุกรมกัน คือ วงจรรขยายดิฟเฟอเรนเชียลด้านทางเข้า วงจรรขยายดิฟเฟอเรนเชียลภาคที่สอง วงจรเลื่อนระดับ และวงจรรขยายกำลังด้านทางออก สัญลักษณ์ที่ใช้แทนออปแอมป์จะเป็นรูปสามเหลี่ยม ไอซีออปแอมป์เป็นไอซีที่แตกต่างไปจากลิเนียร์ไอซีทั่วไป คือ ไอซีออปแอมป์มีขาอินพุท 2 ขา เรียกว่า ขาเข้าไม่กลับเฟส(Non-Inverting Input) หรือ ขา (+) และขาเข้ากลับเฟส(Inverting Input) หรือ ขา (-) ส่วนทางด้านออกมีเพียงขาเดียว ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงสัญลักษณ์ออปแอมป์

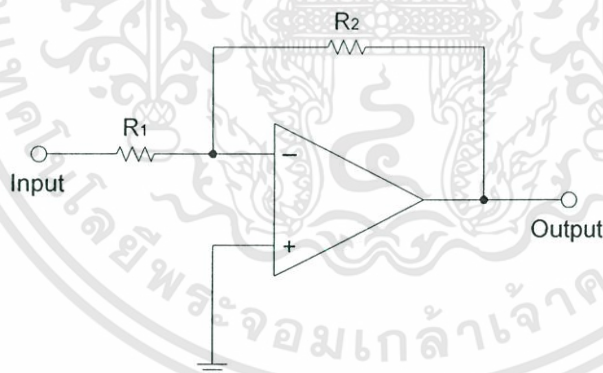
2.3.2 คุณสมบัติของออปแอมป์ในทางอุดมคติ

1. อัตราขยายมีค่าสูงมากเป็นอนันต์หรือ อินฟินิตี้ ($AV = \infty$)
2. อินพุตอิมพีแดนซ์มีค่าสูงมากเป็นอนันต์ ($Z_i = \infty$)
3. เอาท์พุตอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำมากเท่ากับศูนย์ ($Z_o = 0$)
4. ความกว้างของแบนด์วิธ(Bandwidth) ในการขยายสูงมาก ($BW = \infty$)
5. สามารถขยายสัญญาณได้ทั้งสัญญาณ AC และ DC
6. การทำงานไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ

2.3.3 วงจรขยายแบบกลับเฟส(Inverting Amplifier)

ในวงจรขยายออปแอมป์นั้นสามารถที่จะกำหนดอัตราการขยายของวงจรได้โดยการใช้ วงจรเนกาทีฟฟีดแบ็ค(Negative Feedback) เมื่อเราป้อนสัญญาณเข้าทางขาอินเวอร์ติ้ง(Inverting ขา -) แรงดันด้านทางออกจะมีมูมเฟสต่างไปจากแรงดันทางเข้า 180 องศา ซึ่งมีลักษณะตรงข้าม สัญญาณตรงกันข้าม นี้จะถูกป้อนกลับผ่าน R_2 เข้ามายังขาอินเวอร์ติ้งอีกครั้งหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ตรงจุดนี้จะทำให้สัญญาณ เกิดการหักล้างกันอัตราการขยายก็จะลดลง ถ้าตัวต้านทานที่เป็นตัวป้อนกลับมีค่ามาก จะทำให้สัญญาณ ป้อนกลับมีขนาดเล็กอัตราการขยายออกจึงสูง ถ้าตัวต้านทานที่ป้อนกลับมีค่าน้อยสัญญาณป้อนกลับไปได้มาก อัตราการขยายก็จะลดลง ฉะนั้นอัตราส่วนของความต้านทาน R_1 และ R_2 จะเป็นตัวกำหนดอัตราการขยายของ วงจรโดยไม่ขึ้นกับอัตราการขยายของออปแอมป์ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.36

$$AV = -\frac{R_2}{R_1} \quad (2.36)$$



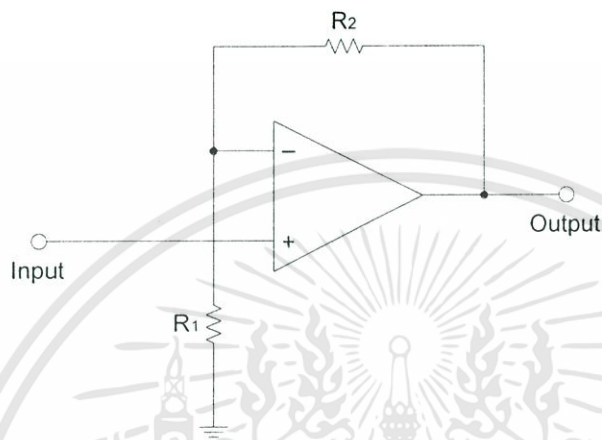
รูปที่ 2.14 แสดงวงจรขยายออปแอมป์แบบกลับเฟส

2.3.4 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส(Non-Inverting Amplifier)

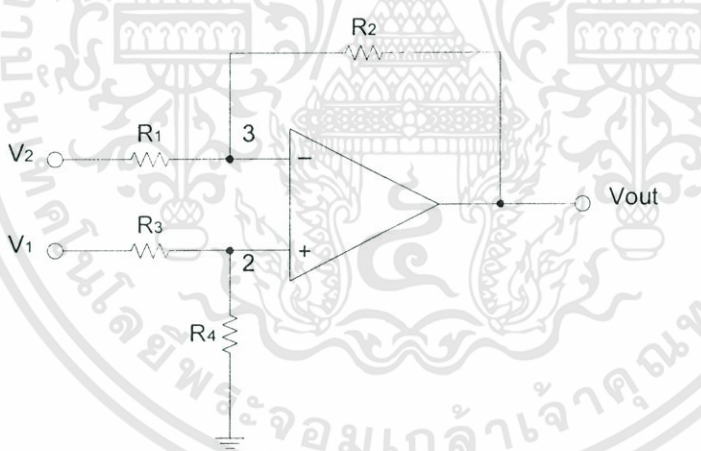
วงจรมีลักษณะเป็นวงจรมีการขยายอีกแบบหนึ่งที่ต้องการเฟสในการขยายเป็นเฟสเดียวกัน ดังนั้น การป้อนสัญญาณอินพุตจึงต้องป้อนเข้าที่ขาอินเวอร์ติ้ง(Non - Inverting ขา +) ซึ่งเมื่อขยายออกที่ เอาท์พุตแล้วจะได้สัญญาณเอาท์พุตที่มีเฟสเหมือนเดิม ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ดังนั้นในวงจรมีการขยายแบบไม่กลับ

เฟสเกิดการป้อนกลับเพื่อลดอัตราขยายจึงยังคงต้องป้อนไปยังขาอินเวอร์ตติ้ง (-) เพื่อให้เกิดการหักล้างของสัญญาณกันภายในตัวไอซีออปแอมป์ โดยสามารถหาอัตราขยายของวงจร ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.37

$$AV = \frac{R_2}{R_1} + 1 \quad (2.37)$$



รูปที่ 2.15 แสดงวงจรขยายออปแอมป์แบบไม่กลับเฟส



รูปที่ 2.16 แสดงวงจรขยายความแตกต่าง

2.3.5 วงขยายความแตกต่าง(Differential Amplifier)

วงจรขยายผลต่าง โดยใช้วงจรออปแอมป์ที่ทำหน้าที่ขยายผลต่างของแรงดันทั้งสองทางด้านอินพุตลักษณะของวงจรขยายผลต่างมีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 2.16

เมื่อความแตกต่างระหว่างจุด 2 และจุด 3 เป็นศูนย์โดยให้แรงดัน V_3 เท่ากับแรงดันที่จุด 2 และจุด 3 ด้วยทฤษฎีแรงดันโนด ที่โนด 3 ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{V_3 - V_2}{R_1} + \frac{V_3 - V_O}{R_2} = 0 \quad (2.38)$$

และที่โหนด 2 ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.39

$$\frac{V_3 - V_1}{R_3} + \frac{V_3}{R_4} = 0 \quad (2.39)$$

ทำการกำหนด $R_1 = R_3$ และ $R_2 = R_4$ จาก $V_1 = V_2$ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.40 ถึงสมการที่ 2.42

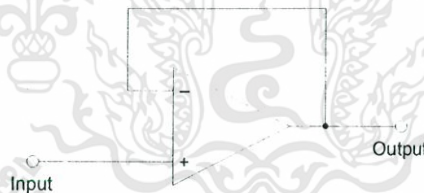
$$\frac{V_3 - V_2}{R_1} + \frac{V_3 - V_O}{R_2} = \frac{V_3 - V_1}{R_1} + \frac{V_3}{R_2} \quad (2.40)$$

$$-\frac{V_2}{R_1} + \frac{V_1}{R_1} = \frac{V_O}{R_2} \quad (2.41)$$

$$V_O = \frac{R_2}{R_1}(V_1 - V_2) \quad (2.42)$$

2.3.6 วงจรบัฟเฟอร์(Buffer)

วงจรบัฟเฟอร์หรือวงจรถูกกันชน เป็นวงจรที่ใช้เชื่อมวงจรสองวงจรเข้าด้วยกัน เช่นระบบไอซีที่ต่างตระกูลกันหรือทรานซิสเตอร์ที่ไม่แมทซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์กัน คือวงจรที่จำเป็นต้องใช้บัฟเฟอร์เพราะคุณสมบัติของออปแอมป์ทางเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ต่ำ เมื่อเชื่อมต่อกับวงจรอื่นแล้วจะไม่ทำให้วงจรอื่นมีผลแตกต่างไปจากเดิม วงจรบัฟเฟอร์นั้นจะมีอัตราขยายเท่ากับ 1 วงจรบัฟเฟอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.17



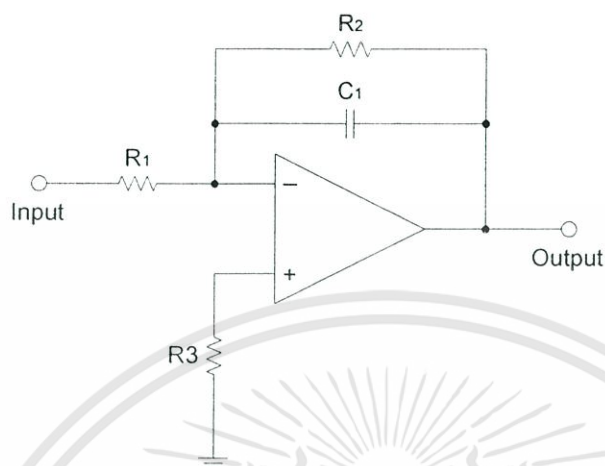
รูปที่ 2.17 แสดงวงจรบัฟเฟอร์

2.3.7 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ(Low Pass Filter)

การใช้วงจรกรองแบบอาร์ซี(RC Filter) เข้ามาเป็นเนกาทีฟฟีดแบ็ค(Negative Feedback) การขยายสัญญาณของออปแอมป์จะกรองเอาความถี่เฉพาะบางความถี่ออกไปเท่านั้นสามารถหาความถี่ที่ใช้งาน ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.43

$$F = \frac{1}{2\pi R_2 C_1}(H_z) \quad (2.43)$$

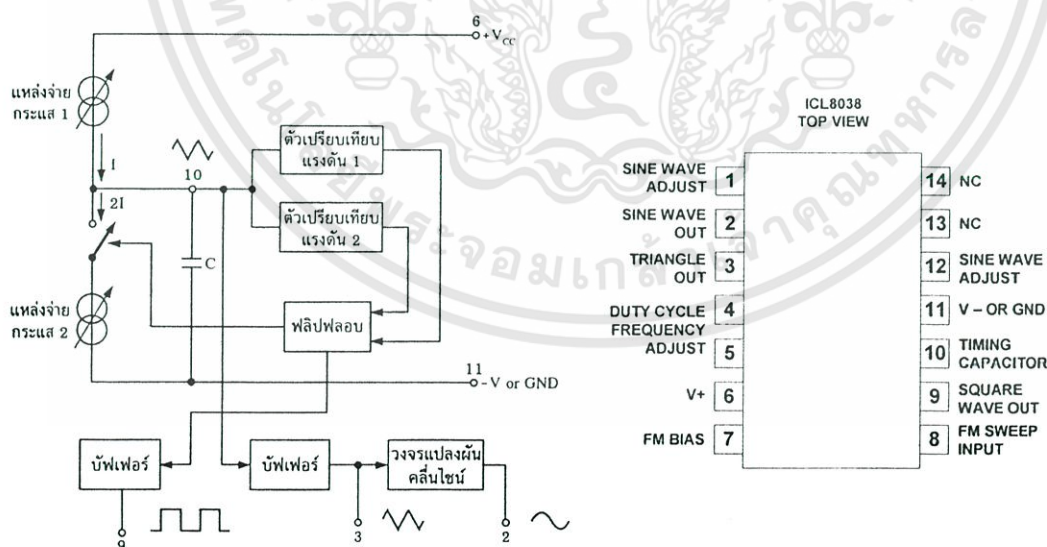
สามารถที่จะประยุกต์ใช้งานวงจรนี้ในวงจรกรองความถี่ต่างๆ ได้เช่น ภาครองความถี่ไอเอฟ วงจรตัดจับความถี่ และวงจรออสซิลเลเตอร์ เรียกววงจรกรองความถี่ว่า แอคทีฟฟิลเตอร์(Active Filter) ซึ่งสามารถจัดวงจรแอกทีฟฟิลเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงวงจรแอกทีฟฟิลเตอร์

2.4 วงจรกำเนิดสัญญาณ(Oscillator)

วงจรรวมเบอร์ ICL 8038 [9] เป็นวงจรรวมที่ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณ 3 ชนิดคือ รูปคลื่นไซน์ รูปคลื่นสามเหลี่ยม รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่สามารถปรับขนาดของสัญญาณ และความถี่ของสัญญาณทั้งสามชนิดได้ โดยการใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ และตัวเก็บประจุที่ต่อภายนอก โครงสร้างภายใน ลักษณะภายนอก และการจัดขาของวงจรรวมเบอร์ 8038 ดังแสดงในรูปที่ 2.19

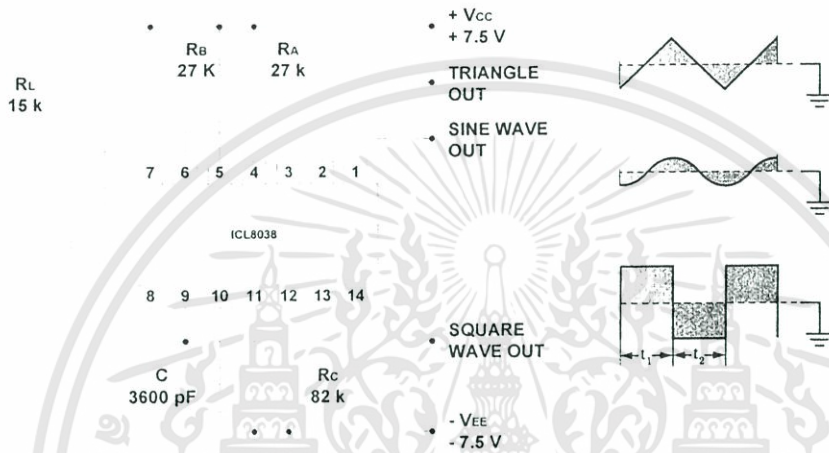


รูปที่ 2.19 แสดงวงจรรวม ICL 8038

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.21 แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ใช้กับวงจรรวม IC L8038 มีค่าแรงดันอยู่ระหว่าง +10V ถึง +30 V และยังสามารถใช้แหล่งจ่ายไฟลบได้เช่นกัน ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $\pm 5V$ ถึง $\pm 15V$ การเลือกใช้แหล่งจ่ายขึ้นอยู่กับความต้องการของ V_o ถ้าต้องการ V_o เฉพาะพัลส์บวกก็ใช้แหล่งจ่าย +Vcc แต่ถ้าต้องการ V_o เป็นพัลส์บวกลบ ต้องใช้แหล่งจ่าย $\pm V_{cc}$ ขนาดของแรงดันจากยอดถึงยอดเท่ากับ 33% ของแหล่งจ่ายในกรณีของคลื่นสามเหลี่ยม และจะเท่ากับ 22% ของแรงดันแหล่งจ่าย สำหรับสัญญาณเอาต์พุตที่เป็นคลื่นไซน์ สำหรับเอาต์พุตคลื่นสี่เหลี่ยมขนาดแรงดันของเอาต์พุตขึ้นอยู่กับค่า V_{cc}

การออกแบบวงจรเบื้องต้นสำหรับวงจรรวมเบอร์ ICL 8038 สามารถกำหนดความถี่ที่ต้องการได้ดังนี้



รูปที่ 2.20 แสดงวงจรเครื่องกำเนิดสัญญาณอย่างง่ายที่ใช้ ICL 8038

จากรูปที่ 2.20 ตัวต้านทาน R_A และ R_B ที่ต่อจากแหล่งจ่าย +Vcc มาที่ขา 4(ขา Duty Cycle) และขา 5(ขา Frequency Adjust) เพื่อกำหนดค่าคาบและความถี่เอาต์พุตของสัญญาณ ซึ่งเป็นตัวกำหนดเวลาในการคายประจุของ C ที่ต่อกับขา 10(ขา Timing Capacitor) ของวงจรรวมความต้านทาน R_C ที่ต่อกับขา 12(ขา Sine Wave Adjust) เพื่อลดทอนความเพี้ยนจากสัญญาณฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นกับสัญญาณคลื่นไซน์ ซึ่งกำหนดค่าความต้านทานไว้ที่ 82K

การคำนวณหาค่า R_A ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.44

$$I_A = \frac{V_T}{5R_A} \quad (2.44)$$

เมื่อ V_T คือ ค่าแรงดันแหล่งจ่าย เช่น $V_T = 30 V$ เมื่อแหล่งจ่ายเท่ากับ $\pm 15V$

I_A คือ กระแสคายประจุที่ผ่าน $R_A C$

ซึ่งเมื่อต้องการค่าคาบเวลาของสัญญาณ(Duty cycle) เท่ากับ 50% จะได้ $R_A = R_B$ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.45

$$t_1 = \frac{CR_A}{0.6} \quad (2.45)$$

ถ้ากำหนดคาบเวลาเท่ากับ 50% $R_A = R_B = R$ จะได้ $T = 2t_1 = \frac{CR}{0.3}$

ดังนั้นความถี่ของสัญญาณเอาต์พุต ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.46

$$f = \frac{1}{T} = \frac{0.3}{CR} \quad (2.46)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วิธีการ และการออกแบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงบล็อกไดอะแกรมการทำงาน การออกแบบโพรบแบบ 2 เข็ม และแบบ 4 เข็ม การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณ และวงจรขยายความแตกต่าง โดยการออกแบบดังกล่าวจะนำมาใช้ในการจัดทำโครงงาน การตรวจสอบความสดของปลาตู้ด้วยวิธีการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า

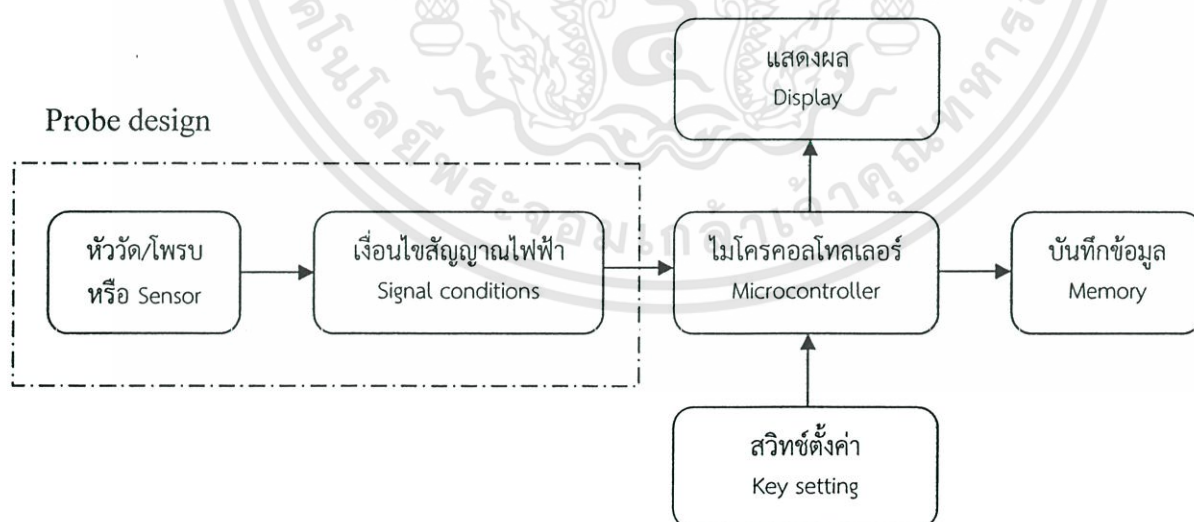
3.1 บล็อกไดอะแกรมของโครงงาน

ในการศึกษาวิจัยนี้คณะผู้วิจัยมีกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัยจากกระบวนการเสื่อมสภาพของปลา การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของปลาจะเกิดขึ้นทันทีเมื่อจับปลาขึ้นจากน้ำหรือเมื่อปลาดาย ซึ่งการเน่าเสียของปลาและสัตว์น้ำเกิดจากกระบวนการต่างๆ 3 กระบวนการ[10],[11]คือ

- 1) การย่อยสลายตัวเองจากเอนไซม์ (autolysis)
- 2) การเน่าเสียจากจุลินทรีย์(bacterial spoilage)
- 3) การเน่าเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid oxidation)

ในรายละเอียดของกระบวนการเน่าเสียของปลานั้นจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีภายในตัวปลาผู้วิจัยตั้งสมมุติฐานว่าปฏิกิริยาทางเคมีภายในตัวปลาที่เกิดขึ้นนั้นจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้า (สภาพความนำไฟฟ้า และวัดความต้านทานเชิงซ้อน) กับความเสื่อมสภาพหรือความสดของเนื้อปลาด้วยเช่นกัน

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้คณะผู้วิจัยมีกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัยโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการ ศึกษาออกแบบ และสร้างโพรบตัวตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้า และส่วนของกระบวนการในการนำข้อมูลทางไฟฟ้าที่ได้จากโพรบมาประมวลผลและแสดงระดับความสดของเนื้อปลา ซึ่งทั้งสองส่วนได้แสดงดังในไดอะแกรมรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรม

จากรูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของโครงการเพื่อใช้ในการออกแบบการทำงาน และวงจรเพื่อใช้งานในโครงการให้สามารถทำงานได้ตามต้องการ โดยแบ่งออกเป็นภาคต่างๆ ดังนี้

- เซนเซอร์(Sensor) ทำหน้าที่ตรวจวัดคุณสมบัติความนำไฟฟ้า โดยใช้โพรบแบบ 2 เข็ม และโพรบแบบ 4 เข็ม

- เงื่อนไขสัญญาณไฟฟ้า(Signal conditions) ซึ่งได้ออกแบบโดยใช้วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A to D) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกที่ได้จากตัวเซนเซอร์ให้เป็นสัญญาณดิจิทัลส่งไปยังส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการประมวลผล

- ไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller) ทำหน้าที่ประมวลผลของสัญญาณที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และส่งค่าที่ประมวลผลได้ออกมาแสดงผ่านทางจอแอลซีดี (LCD) อีกทั้งยังนำค่าที่ประมวลผลได้ส่งเข้าไปเก็บในหน่วยความจำด้วย นอกจากนี้จะรับการสั่งงานจากคีย์สวิตช์ (Key Switch) เพื่อเรียกดูค่าย้อนหลังที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ

- หน่วยความจำ (Memory) ทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลเสร็จแล้ว จากนั้นจะส่งเข้ามาเก็บไว้ในหน่วยความจำ

- จอแสดงผล (Display) ทำหน้าที่แสดงผลค่าข้อมูลด้วยจอแอลซีดี (LCD) ซึ่งข้อมูลที่จะแสดงจะถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

- คีย์สวิตช์ (Key Switch) ทำหน้าที่รับค่าจากผู้ใช้เพื่อทำการสั่งงานให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานตามฟังก์ชันที่ผู้ใช้ต้องการ โดยประกอบด้วยฟังก์ชันต่างๆดังนี้ เช่น ตั้งเวลา เรียกดูค่าย้อนหลัง เลือกโหมดการตรวจวัด เป็นต้น

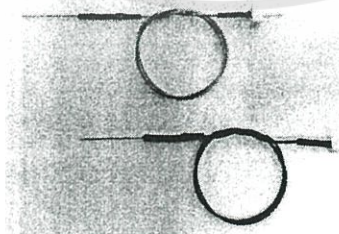
3.2 การออกแบบโพรบ(Probe Design)

ตัวเซนเซอร์ที่ออกแบบในโครงการ เพื่อใช้ตรวจสอบความสดของปลาทุจะมีลักษณะเป็นโพรบปลายแหลม ซึ่งในการศึกษาได้ทำการออกแบบโพรบแบบ 2 เข็ม และโพรบแบบ 4 เข็ม

3.2.1 การออกแบบโพรบแบบ 2 เข็ม เพื่อใช้วัดค่าความนำไฟฟ้าของปลา(ปลาทูเป็นตัวอย่าง)

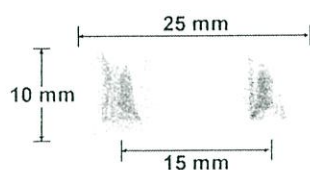
การออกแบบโพรบที่ใช้วัดค่าความนำไฟฟ้าของปลาตัวอย่างใช้เข็มเย็บผ้าซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวนำทางไฟฟ้าเพียงแค่ 2 เข็มเท่านั้น โดยเข็มจะเสียบลงในเนื้อปลา เพื่อใช้วัดค่าความนำไฟฟ้าของปลาทู

3.2.1.1. ลักษณะของเข็มตัวนำที่ใช้จะเป็นเข็มเย็บผ้า ที่มีขนาดความยาว 20 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 มิลลิเมตร เมื่อนำมาต่อร่วมสายสัญญาณจะมีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของเข็มตัวนำ

3.2.1.2. ส่วนฐานที่เป็นแผ่นยึดเข็มตัวนำ จะทำจากแผ่นปริ้นต์แบบอีพอกไซด์เรซิน (Epoxy Woven Glass Fabric) มีขนาดความกว้าง 10 มิลลิเมตร ยาว 25 มิลลิเมตร ใช้เป็นฐานสำหรับยึดเข็มตัวนำทั้ง 2 เข็มไว้ด้วยกัน กำหนดระยะห่างระหว่างเข็มทั้งสองเท่ากับ 15 มิลลิเมตร ซึ่งฐานยึดดังกล่าวมีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของแผ่นยึดเข็มตัวนำ

3.2.1.3. ลักษณะโพรบแบบ 2 เข็ม เพื่อใช้วัดค่าความต้านทานของเนื้อปลาที่ประกอบเสร็จพร้อมใช้งาน โดยประกอบเข็มตัวนำ และส่วนฐานที่ยึดเข็มเข้าด้วยกัน จะได้ลักษณะของโพรบแบบ 2 เข็มที่นำไปใช้ในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.4

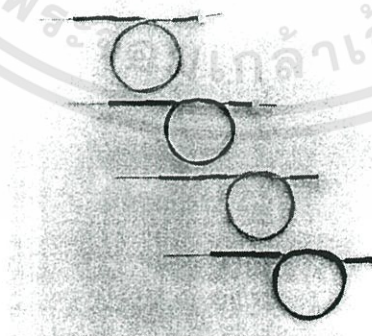


รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะโพรบที่ใช้ในการทดลอง

3.2.2 การออกแบบโพรบแบบ 4 เข็ม เพื่อใช้วัดค่าความนำไฟฟ้าของปลา

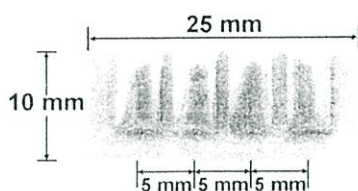
การออกแบบโพรบที่ใช้วัดค่าความนำไฟฟ้าของปลาจะใช้วัสดุที่เป็นเข็มเย็บผ้าซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวนำทางไฟฟ้า ในกรณีนี้จะใช้เข็มตัวนำ 4 เข็ม โดยเข็มจะเสียบลงในเนื้อปลา เพื่อใช้วัดค่าความนำไฟฟ้าของปลา

3.2.2.1. ลักษณะของเข็มตัวนำที่ใช้จะเป็นเข็มเย็บผ้า ที่มีขนาดความยาว 20 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 มิลลิเมตร เมื่อนำมาต่อร่วมสายสัญญาณจะมีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของเข็มตัวนำ

3.2.2.2 ส่วนฐานที่เป็นแผ่นยึดเข็มตัวนำ จะทำจากแผ่นปริ้นต์แบบอีพอกไซด์เรซิน (Epoxy Woven Glass Fabric) มีขนาดความกว้าง 10 มิลลิเมตร ยาว 25 มิลลิเมตร ใช้เป็นฐานสำหรับยึดเข็มตัวนำทั้ง 4 เข็มไว้ด้วยกัน กำหนดระยะห่างระหว่างเข็มทั้งสี่เท่ากับ 5 มิลลิเมตร ซึ่งฐานยึดดังกล่าวมีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของแผ่นยึดเข็มตัวนำ

3.2.2.3 ลักษณะโพรบแบบ 4 เข็ม เพื่อใช้วัดค่าความนำไฟฟ้าของปลาทุที่ประกอบเสร็จพร้อมใช้งาน โดยประกอบเข็มตัวนำ และส่วนฐานที่ยึดเข็มเข้าด้วยกัน จะได้ลักษณะของโพรบแบบ 4 เข็มที่นำไปใช้ในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.7

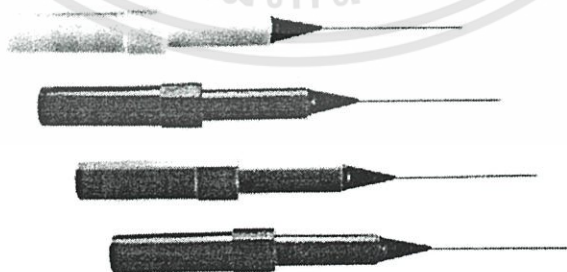


รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะโพรบที่ใช้ในการทดลอง

3.2.3 การออกแบบโพรบแบบ 4 เข็ม ที่ใช้วัสดุแบบโลหะผสม

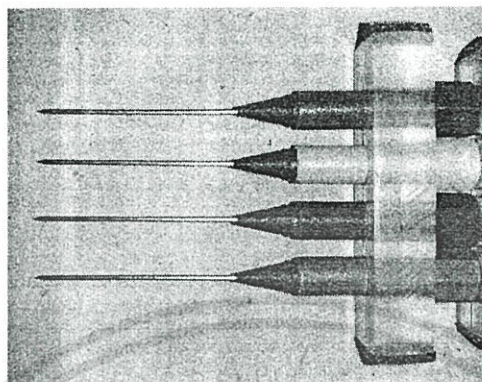
การออกแบบโพรบที่ใช้วัดค่าความนำไฟฟ้าของปลาทุจะใช้วัสดุที่เป็นโลหะผสม ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวนำทางไฟฟ้า ในกรณีนี้จะใช้เข็มตัวนำ 4 เข็ม โดยเข็มจะเสียบลงในเนื้อปลา เพื่อใช้วัดค่าความนำไฟฟ้าของปลาทุ

3.2.3.1. ลักษณะของเข็มตัวนำที่ใช้เป็นวัสดุชนิดโลหะผสม โดยมีส่วนประกอบของทองแดง สแตนเลส และทอง มีขนาดความยาว 25 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะของเข็มตัวนำชนิดโลหะผสม

3.2.3.2 ส่วนฐานยึดเข็มตัวนำชนิดโลหะผสม จะทำจากแท่งอะคริลิก มีขนาดความกว้าง 10 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร และหนา 7 มิลลิเมตร ใช้เป็นฐานสำหรับยึดเข็มตัวนำทั้ง 4 เข็มไว้ด้วยกัน กำหนดระยะห่างระหว่างเข็มทั้งสี่เท่ากับ 5 มิลลิเมตร ซึ่งฐานยึดดังกล่าวมีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะของแผ่นยึดเข็มตัวนำ

3.2.3.3 ลักษณะโพรบแบบ 4 เข็ม เพื่อใช้วัดค่าความนำไฟฟ้าของปลาทุ ที่ประกอบเสร็จพร้อมใช้งาน โดยประกอบเข็มตัวนำ และส่วนฐานที่ยึดเข็มเข้าด้วยกัน จะได้ลักษณะของโพรบแบบ 4 เข็ม ที่นำไปใช้ในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะโพรบแบบ 4 เข็มที่ใช้โลหะผสม

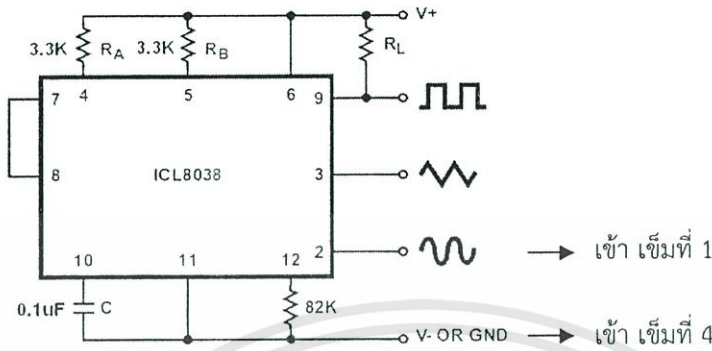
3.3 การออกแบบวงจรใช้งาน

ในการตรวจวัดความสดของปลาทุด้วยวิธีการทางไฟฟ้า ได้มีการออกแบบวงจรที่สำคัญเพื่อใช้ในการตรวจวัดความสดของปลาทุ เช่น วงจรออสซิลเลเตอร์ วงจรขยายความแตกต่าง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 วงจรออสซิลเลเตอร์(Oscillator)

วงจรออสซิลเลเตอร์จะทำหน้าที่ กำเนิดสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ 1 KHz แรงดัน 5 Vp-p * สัญญาณความถี่ดังกล่าวจะส่งไปยังโพรบแบบ 4 เข็ม เข้าทางเข็มวัดที่ 1 และเข็มวัดที่ 4



* ความถี่ 1 KHz แรงดัน 5 Vp-p ได้จากการทดลองที่ 2 การศึกษาความถี่ที่เหมาะสมต่อการวัดความสดของปลาหูด้วยวิธีการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยโพรบแบบ 4 เข็ม

รูปที่ 3.11 แสดงวงจรออสซิลเลเตอร์ โดยใช้ไอซีเบอร์ ICL 8038

การผลิตสัญญาณไซน์จะใช้ไอซีเบอร์ ICL 8038 ต่อร่วมกับอุปกรณ์ภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ตัวไอซีจะมีคุณสมบัติในการกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม และสัญญาณไซน์ โดยการออกแบบวงจรสามารถคำนวณค่าต่างๆ ของวงจรออสซิลเลเตอร์ได้ดังนี้

จากวงจรต้องการออกแบบสัญญาณไซน์ความถี่ 1KHz มีค่าคาบเวลา 50% เพื่อใช้ในการทดลองสามารถคำนวณค่าต่างๆ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 3.1 ถึงสมการที่ 3.5

$$f = \frac{1}{T} \tag{3.1}$$

เมื่อ f คือ ความถี่ของสัญญาณคลื่นไซน์

$$T = \frac{1}{1KHz} = 1ms$$

เมื่อ T คือ คาบเวลาของสัญญาณคลื่นไซน์

$$T = t_{high} + t_{low} \tag{3.2}$$

เมื่อ t_{high} คือ ช่วงของสัญญาณทางซีกบวก

t_{low} คือ ช่วงของสัญญาณทางซีกลบ

ต้องการคาบเวลา 50% ดังนั้น $t_{high} = t_{low} = 500\mu s$

สูตร
$$t_{high} = \frac{R_A \cdot C}{0.66} \quad (3.3)$$

จากวงจรในรูปที่ 3.11 ทำการกำหนดค่า $C = 0.1\mu F$ แทนลงในสมการที่ 3.3 เพื่อหาค่า R_A

ดังนั้น
$$500\mu s = \frac{R_A \times 0.1 \times 10^{-6}}{0.66}$$

จะได้
$$R_A = 3.3K\Omega$$

และ
$$t_{low} = \frac{R_A \cdot R_B \cdot C}{0.66(2R_A - R_B)} \quad (3.4)$$

พิจารณาจากสมการที่ 3.4 แทนค่าต่างๆ ลงในสมการ เพื่อหาค่า R_B จากวงจรในรูปที่ 3.11

ดังนั้น
$$500\mu s = \frac{3.3K \times R_B \times 0.1 \times 10^{-6}}{0.66(2(3.3K) - R_B)}$$

$$3.3 \times 10^{-4} (6.6K - R_B) = 3.3K \times R_B \times 0.1 \times 10^{-6}$$

$$2.178 - 3.3 \times 10^{-4} R_B = 3.3 \times 10^{-4} R_B$$

$$2.178 = 3.3 \times 10^{-4} R_B + 3.3 \times 10^{-4} R_B$$

$$2.178 = 6.6 \times 10^{-4} R_B$$

จะได้
$$R_B = 3.3K$$

จากคู่มือการใช้งานของไอซีเบอร์ ICL 8038 สามารถคำนวณหาแรงดันเอาต์พุตของสัญญาณไซน์ ($V_{o\text{sinewave}}$) ได้ดังในสมการที่ 3.5

$$V_{o\text{sinewave}} = 0.22 \times V_{\text{supply}} \quad (3.5)$$

กำหนด
$$V_{\text{supply}} = 12V$$

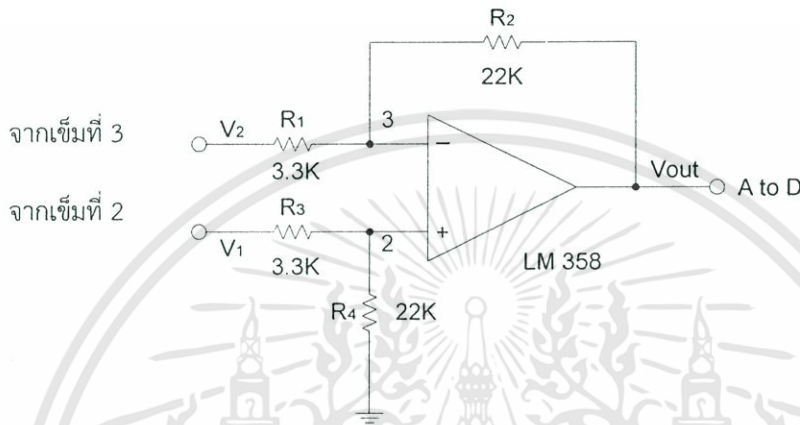
แทนค่า
$$V_{o\text{sinewave}} = 0.22 \times 12$$

$$= 2.64V$$

ดังนั้นจากวงจรในรูปที่ 3.11 ต้องการสัญญาณไซน์ที่ความถี่ 1KHz มีค่าคาบเวลา 50% สามารถทำได้โดยการแทนค่า $R_A = R_B = 3.3K\Omega$ และค่า $C = 0.1\mu F$

3.3.2 วงจรขยายความแตกต่าง(Differential Amplifier)

จากวงจรออสซิลเลเตอร์จะทำหน้าที่ กำเนิดสัญญาณความถี่ 1 KHz แร่งดัน 5 Vp-p สัญญาณความถี่ดังกล่าวจะส่งไปยังโพรบแบบ 4 เข็ม เข้าทางเข็มวัดที่ 1 และเข็มวัดที่ 4 จากนั้นค่าแรงดันที่ได้จากเข็มวัดที่ 2 และเข็มวัดที่ 3 ของโพรบ จะเข้าสู่วงจรขยายความแตกต่างของแรงดัน เพื่อจะได้ค่าของผลต่างของแรงดันออกมา โดยวงจรขยายความแตกต่างจะใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ LM 358 เนื่องจากไม่ต้องมีการปรับค่าออฟเซต (Offset) ของตัวออปแอมป์การใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 3.12 เพื่อส่งต่อไปยังส่วนของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล การคำนวณหาค่าต่างๆของวงจรขยายความแตกต่างได้ดังนี้



รูปที่ 3.12 แสดงวงจรขยายความแตกต่าง

จากวงจรรูปที่ 3.12 ทำการกำหนดค่า $R_1 = R_3$ และ $R_2 = R_4$ แร่งดัน V_o พิจารณา

จากสมการที่ 3.6

$$\text{เมื่อ} \quad V_o = \frac{R_2}{R_1}(V_1 - V_2) \quad (3.6)$$

และ อัตราการขยาย พิจารณาจากสมการที่ 3.7

$$\text{Gain} = \frac{R_2}{R_1} \quad (3.7)$$

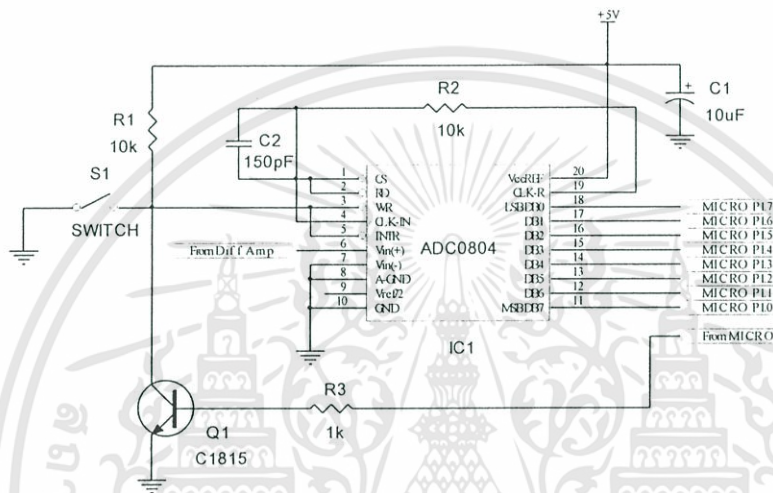
จากวงจรในรูปที่ 3.12 ค่าความแตกต่างของแรงดันอินพุตที่ V_1 และ V_2 มีค่าน้อยมาก อยู่ในระดับมิลลิโวลต์ จึงต้องทำการขยายแรงดันให้สูงขึ้น เพื่อให้แรงดันเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0- 5 โวลต์ ซึ่งอัตราขยายจะมีค่าประมาณ 6.6 เท่า จึงได้ทำการแทนค่า $R_1 = 3.3K\Omega$, $R_2 = 22K\Omega$ เพื่อหาค่าแรงดัน V_o ในสมการที่ 3.6

$$\text{จะได้} \quad V_o = \frac{22K}{3.3K}(V_1 - V_2)$$

$$V_o = 6.67(V_1 - V_2)$$

3.3.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล(Analog to Digital)

เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าที่อยู่ในรูปของสัญญาณอนาล็อกเช่น แรงดัน 0-5โวลต์เป็นสัญญาณแบบดิจิทัลซึ่งง่ายต่อการนำไปประมวลผลด้วยวงจรมicroคอมพิวเตอร์ วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลนี้จะใช้ไอซีเบอร์ ADC 0804 ที่มีสัญญาณออกเป็นแบบ 8 บิต มีการต่อใช้งาน ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงวงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัล

การหาค่าความละเอียด(Resolution) ของสัญญาณที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปหนึ่งลอจิกบิตกำหนดจากคู่มือการใช้งานของไอซีเบอร์ ADC 0804 พิจารณาจากสมการที่ 3.8

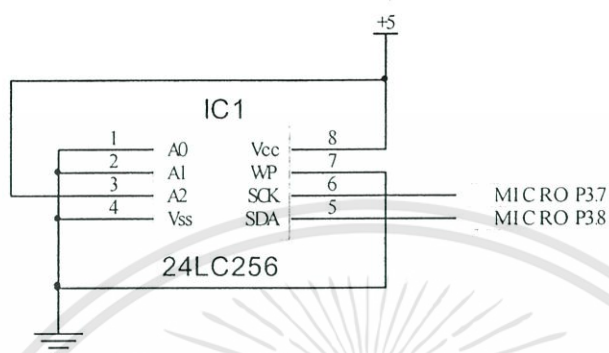
$$V_{REF} = \frac{\text{Resolution} \times 256}{2} \tag{3.8}$$

เมื่อกำหนดค่า $V_{REF} = 2.5V$ ทำการแทนค่าลงในสมการที่ 3.8 เพื่อทำการหาค่าความละเอียดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปหนึ่งลอจิกบิต

$$\begin{aligned} \text{Resolution} &= \frac{5}{256} \\ &= 19.53mV \end{aligned}$$

3.3.4 วงจรหน่วยความจำ(Memory)

เป็นวงจรที่มีไว้สำหรับจัดเก็บข้อมูลที่ทำกรตรวจวัดความสดเพื่อความสะอาดในการเรียกข้อมูลภายหลัง เมื่อเราทำการตรวจวัดเสร็จแล้ว โดยในส่วนของหน่วยความจำนี้จะใช้ ไอซีเบอร์ 24LC256 มีการต่อใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 3.14 ในการเชื่อมต่อเพื่อจัดเก็บข้อมูลและอ่านค่าข้อมูลนั้นจะใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการติดต่อสื่อสารกับหน่วยความจำ ซึ่งมีการเชื่อมต่อแบบ I²C BUS



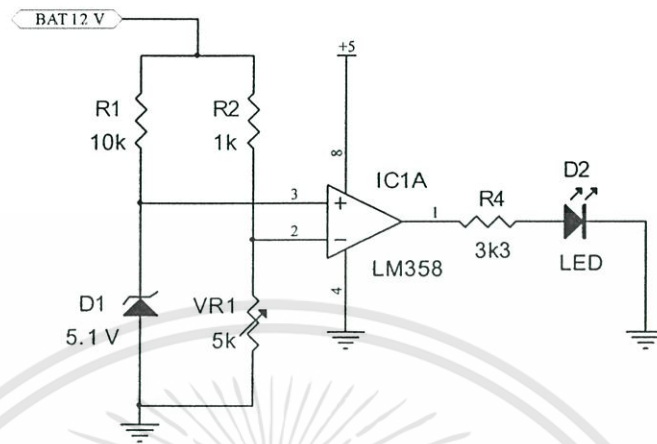
รูปที่ 3.14 แสดงวงจรหน่วยความจำ

การต่อใช้งานนั้นจะมีสายสัญญาณเพียงแค่ 2 เส้นคือ ขา SCL และขา SDA โดยการติดต่อระหว่างอุปกรณ์จะเป็นแบบ 2 ทิศทาง การรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์จะเริ่มต้นด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์จะสร้างสถานะเริ่มต้น(Start Condition) เพื่อขอใช้บัสจากนั้นจึงเริ่มการส่งรหัสควบคุม(Control Byte) เพื่อระบุตำแหน่งของหน่วยความจำที่ต้องการจะติดต่อด้วยโดยรหัสควบคุมนี้จะมีขนาด 8 บิต ซึ่ง 7 บิตแรกโดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดจะเป็นค่าตำแหน่งของหน่วยความจำส่วนบิตที่ 8 คือ บิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุดจะเป็นบิตสุดท้ายของไบนารีเพื่อใช้สำหรับระบุทิศทางในการรับส่งข้อมูล ซึ่งเมื่อกำหนดให้บิตดังกล่าวนี้มีค่าเป็น “1” หมายถึงไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการที่จะอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำแต่หากบิตดังกล่าวมีค่าเป็น “0” หมายถึงไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการที่จะเขียนข้อมูลเข้าไปยังหน่วยความจำ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการส่งรหัสควบคุมครบ 8 บิตแล้วจะทำการปล่อยสัญญาณข้อมูลขา SDA ให้อยู่ในสถานะว่างและสร้างสัญญาณนาฬิกาขา SCL มีค่าเป็น “0” เป็นเวลา 1 ลูกคลื่นของสัญญาณนาฬิกาขา SCL และไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำการตรวจสอบสัญญาณการรับรู้(Acknowledge) ในช่วงที่สัญญาณนาฬิกามีค่าเป็น “1” เสมอเมื่อทำการตรวจสอบสัญญาณการรับรู้เรียบร้อยแล้ว ต่อไปไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการเขียนข้อมูลลงไปหน่วยความจำหรืออ่านข้อมูลจากหน่วยความจำนั้นขึ้นอยู่กับที่กำหนดค่าในรหัสควบคุมข้างต้น เมื่อทำการเขียนหรืออ่านข้อมูลเสร็จแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการกลับมาตรวจสอบสัญญาณการรับรู้อีกครั้งและหลังจากนั้นก็จะทำการสร้างสถานะสิ้นสุด(Stop Condition) เพื่อเป็นการบ่งบอกว่าการสื่อสารได้เสร็จสิ้นลง

3.3.5 วงจรตรวจเช็คแรงดันแบตเตอรี่(Check Battery Voltage)

วงจรตรวจเช็คแรงดันแบตเตอรี่เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ในการตรวจสอบแรงดันของแบตเตอรี่ว่ามีค่าของแรงดันลดต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้หรือไม่ เนื่องจากการที่แรงดันของแบตเตอรี่มีค่าลดลง

กว่าที่กำหนดอาจส่งผลให้วงจรที่ใช้งานอยู่เกิดการ ทำงานที่ผิดปกติได้ โดยในวงจรตรวจเช็คแรงดันแบตเตอรี่ จะใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ LM 358 มีการต่อใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงวงจรตรวจเช็คแรงดันแบตเตอรี่

การทำงานของวงจร ไอซีออปแอมป์จัดวงจรแบบคอมพาราเตอร์(Comparator) ทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันระหว่าง แรงดันตกคร่อมซีเนอร์ไดโอด 5.1 โวลต์ เป็นอินพุตที่ขาอินเวอร์ตติ้ง (Non-Inverting) และแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้เป็นอินพุตที่ขาอินเวอร์ตติ้ง(Inverting) ถ้าแรงดันที่ขาอินเวอร์ตติ้งสูงกว่าแรงดันที่ขาอินเวอร์ตติ้ง จะทำให้เอาต์พุตของออปแอมป์ มีค่าเท่ากับศูนย์ หรือแอลอีดี (LED) ไม่ติด แต่หากแรงดันที่ขาอินเวอร์ตติ้งต่ำกว่าแรงดันที่ขาอินเวอร์ตติ้งจะทำให้ เอาต์พุตมีค่าใกล้เคียงกับแหล่งจ่าย หรือแอลอีดีติด

ดังนั้นเมื่อแรงดันของแบตเตอรี่ลดลงทำให้แรงดันอินพุตที่ขาอินเวอร์ตติ้งลดลงจนมีค่าต่ำกว่าแรงดันอินพุตที่ขาอินเวอร์ตติ้ง และทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าใกล้เคียงแหล่งจ่ายส่งผลให้แอลอีดีติดในการกำหนดค่าแรงดันที่จะตรวจสอบค่าแรงดันแบตเตอรี่ที่ลดลงสามารถกำหนดได้โดยการปรับค่าตัวต้านทาน (VR_1) ได้

ค่าความต้านทาน (VR_1) สามารถหาค่าได้ พิจารณาจากสมการที่ 3.9

$$VR_1 = \frac{5.1 \times R_2}{6.9}$$

(3.9)

จากวงจรในรูปที่ 3.15 แทนค่า $R_2 = 1K\Omega$ ลงในสมการที่ 3.9 เพื่อหาค่า VR_1

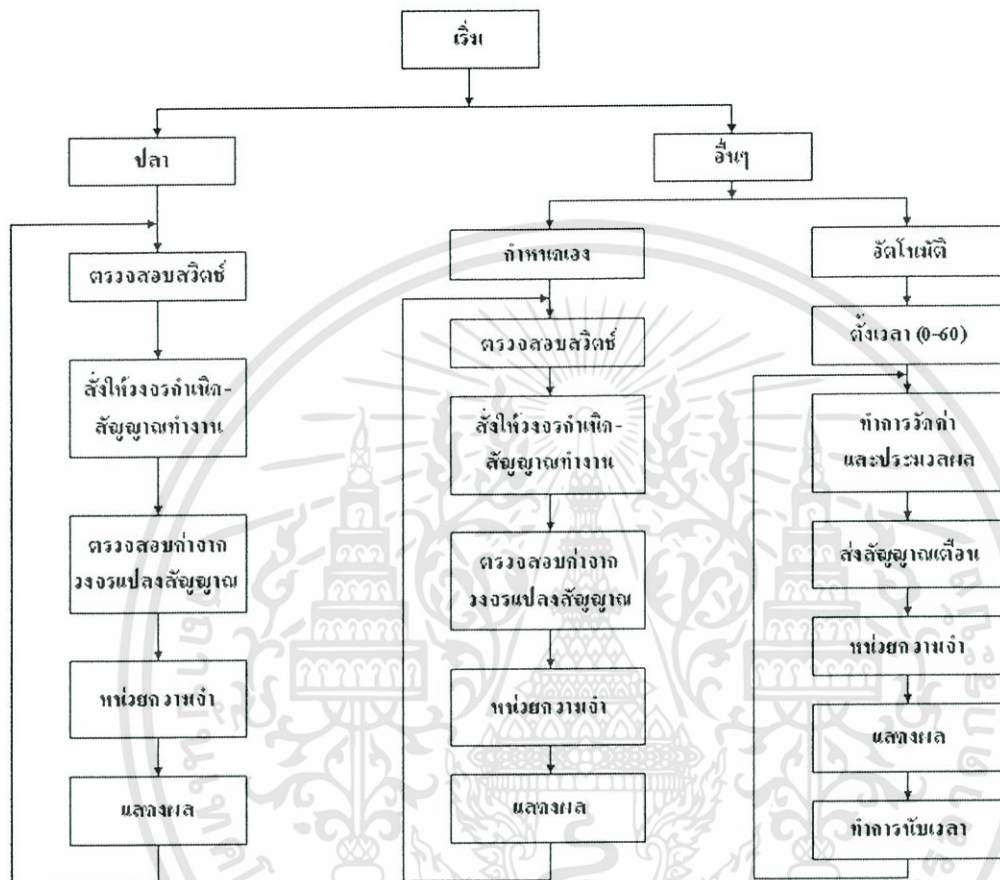
$$VR_1 = \frac{5.1 \times 1K\Omega}{6.9}$$

$$VR_1 = 739.13\Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบโปรแกรมควบคุม(Software)

ในส่วนของโปรแกรมออกแบบมาให้รองรับกับการทำงานของโครงงาน โปรแกรมจะควบคุมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานตามลำดับขั้นตอนตามที่เรากำลังต้องการ ซึ่งสามารถแสดงได้ตามโฟลว์ชาร์ตการทำงานของระบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

จากโฟลว์ชาร์ตแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม ดังแสดงในรูปที่ 3.16 จะแบ่งการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในโครงงาน การตรวจสอบความสดของปลาตู้ด้วยวิธีการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 โหมดใหญ่ๆคือ

3.4.1 โหมดของปลา

จะเป็นการตรวจสอบความสดของปลาตู้ที่นำมาตรวจวัดโดยเริ่มจากการกดสวิตซ์สั่งงานเพื่อเริ่มทำการตรวจวัด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการสั่งงานให้วงจรกำเนิดสัญญาณทำงานและทำการจ่ายสัญญาณเข้าไปในตัวปลา จากนั้นทำการประมวลผลค่าสัญญาณที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล เพื่อที่จะหาค่าความสดของปลาตู้ที่ทำการตรวจวัดจัดอยู่ในเกรดใด แล้วนำค่าที่ได้ไปแสดงผลและ

จัดเก็บในหน่วยความจำ การจัดเก็บในหน่วยความจำนั้นจะทำการจัดเก็บเพียงค่าเดียวคือค่าที่ทำการตรวจวัดครั้งล่าสุด

3.4.2 โหมดของอื่นๆ

ในโหมดนี้จะมีไว้เพื่อตรวจวัดคุณสมบัติทางความนำไฟฟ้าของวัสดุอื่นๆที่เราไม่ทราบค่า เช่น เนื้อหมู เนื้อไก่ เป็นต้น และสามารถแบ่งย่อยได้ 2 โหมดคือ

3.4.2.1 การตรวจวัดแบบกำหนดเอง โดยเริ่มจากการกดสวิทซ์สั่งงานเพื่อเริ่มทำการตรวจวัด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการสั่งงานให้วงจรกำเนิดสัญญาณทำงานและทำการจ่ายสัญญาณเข้าไปในวัสดุที่ต้องการตรวจวัด จากนั้นทำการประมวลผลค่าสัญญาณที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล เพื่อที่จะหาค่าแรงดันตรวจวัดว่ามีค่าเท่าไร แล้วนำค่าแรงดันที่ได้ไปแสดงผล และจัดเก็บในหน่วยความจำ การจัดเก็บค่าแรงดันในหน่วยความจำนั้นจะทำการจัดเก็บเพียงค่าเดียวคือค่าที่ทำการตรวจวัดครั้งล่าสุด

3.4.2.2 การตรวจวัดแบบอัตโนมัติ เป็นโหมดที่มีความสะดวกเมื่อต้องการตรวจวัดคุณสมบัติทางความนำไฟฟ้าของวัสดุที่ต้องใช้ระยะเวลาในการเปลี่ยนแปลง ซึ่งการทำงานมีดังนี้คือ เมื่อเราใช้งานในโหมดของการตรวจวัดแบบอัตโนมัติ ขั้นแรกจะต้องทำการกำหนดระยะเวลาที่จะทำการตรวจวัดว่าจะมีการตรวจวัดทุกๆกี่นาที โดยระบบสามารถตั้งเวลาในการตรวจวัดได้ตั้งแต่ 1 ถึง 60 นาที จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งงานให้วงจรกำเนิดสัญญาณทำงาน และจ่ายสัญญาณเข้าไปในตัวอย่างที่ต้องการตรวจวัด แล้วทำการประมวลผลค่าสัญญาณที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลเพื่อที่จะหาค่าแรงดันที่ทำการตรวจวัดว่ามีค่าเท่าไร นำค่าแรงดันที่ได้ไปจัดเก็บในหน่วยความจำ และแสดงผล หลังจากนั้นจะรอนจนกว่าครบตามเวลาที่กำหนด จึงจะทำการตรวจวัดใหม่อีกครั้ง สำหรับการจัดเก็บข้อมูลในหน่วยความจำนั้นจะมีการบันทึกค่าทุกครั้งที่ทำกรตรวจวัด ซึ่งยังสามารถจัดเก็บข้อมูลแบบต่อเนื่องได้สูงสุดถึง 60 ค่า ในกรณีที่มีการตั้งค่าการตรวจวัดใหม่ค่าแรงดันเดิมที่ได้ทำการบันทึกไว้ในครั้งแรกจะถูกลบและทำการเก็บค่าใหม่เข้าไปแทน

บทที่ 4

วิธีการ และผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลอง วิธีการทดลอง กราฟแสดงผลการทดลอง และการสรุปผลการทดลอง เกี่ยวกับการศึกษาถึงวิธีการตรวจวัดความนำไฟฟ้าของปลาหู ซึ่งเป็นการศึกษาว่าวิธีใดเหมาะสมมากที่สุด และควรนำไปใช้งานในการตรวจสอบความสดของปลาหู โดยมีวิธีต่างๆ ดังนี้

4.1 การศึกษาด้านกายภาพของปลาหู

การศึกษาด้านกายภาพของปลาหู [12] เป็นการตรวจสอบความสดของปลาหูโดยการสังเกต หรือการตัดสินใจจากตัวบุคคล ซึ่งส่วนใหญ่จะมีการสังเกตหลักๆ ดังนี้

1. ความใสของตาปลา
2. ความนิ่ม หรือแข็งของเนื้อปลา
3. สีของเหงือกปลา
4. กลิ่นของปลา

จากปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมานี้เป็นสิ่งที่ผู้คนส่วนใหญ่ใช้ในการตัดสินใจว่า ปลามีความสดมากน้อยเพียงใด แต่การตัดสินใจดังกล่าวจะไม่เป็นมาตรฐานเดียวกันเนื่องจากมีความแตกต่างของแต่ละบุคคล

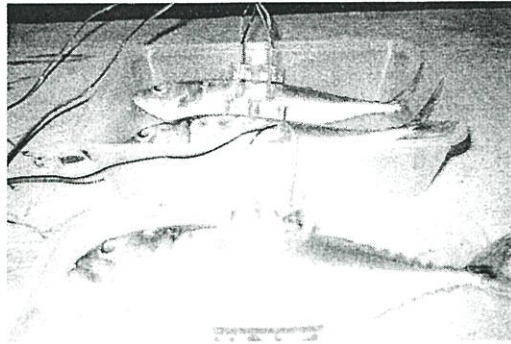
4.2 การทดลองที่ 1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาหูกับคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยโพรบแบบ 2 เข็ม

การทดลองนี้เป็นการการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาหูกับคุณสมบัติทางไฟฟ้า ด้วยโพรบแบบ 2 เข็ม เพื่อให้ทราบว่าวิธีการตรวจวัดดังกล่าวสามารถแบ่งเกรดความสดของปลาหูได้หรือไม่

4.2.1 ขั้นตอนการทดลองการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาหูกับคุณสมบัติทางไฟฟ้า ด้วยโพรบแบบ 2 เข็ม ด้วยวิธีการเสียบโพรบลงในเนื้อปลาหู และทำการตรวจวัดคุณสมบัติความนำไฟฟ้าด้วยมัลติมิเตอร์

4.2.1.1 ใช้ตัวอย่างปลาหู 3 ตัว ที่มีขนาดความยาวของลำตัวใกล้เคียงกัน ประมาณ(18 – 20 ซม.) มาทำการทดลอง

4.2.1.2 นำโพรบแบบ 2 เข็ม เสียบลงในตัวปลาหูบริเวณที่มีความหนาของเนื้อปลามากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการตรวจวัดด้วยโพรบแบบ 2 เข็ม

4.2.1.3 วัดค่าความต้านทานที่ได้ โดยใช้เข็มลติมิเตอร์ SANWA รุ่น YX-361TR ย่านวัด $R \times 1k$

4.2.2 ทำการบันทึกผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาหูกับคุณสมบัติทางไฟฟ้า ด้วยโพรบแบบ 2 ลงในตารางที่ 4.1

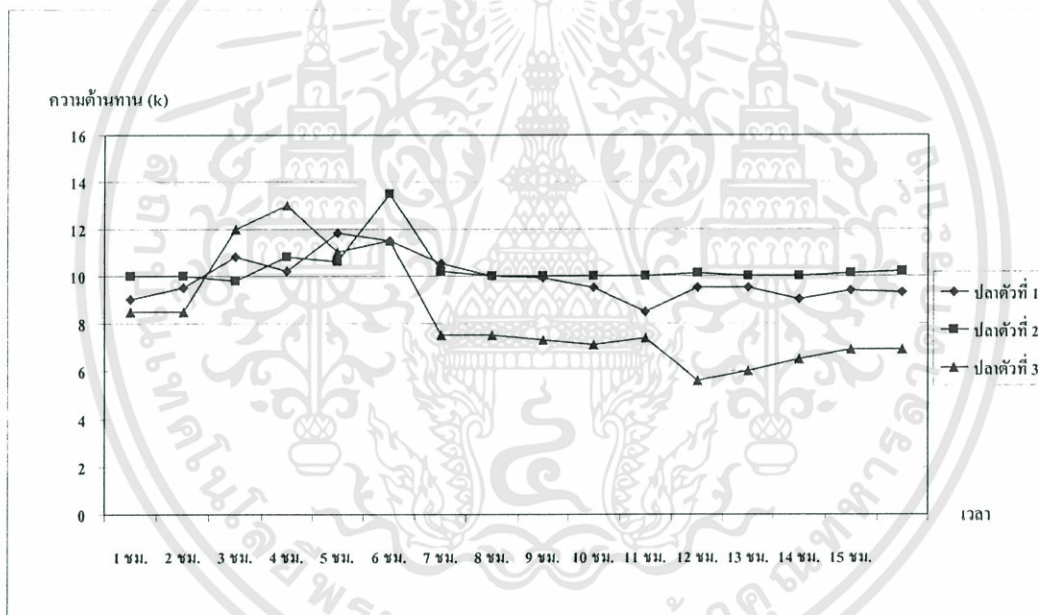
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาหูกับคุณสมบัติทางไฟฟ้า ด้วยโพรบ แบบ 2 เข็ม

ปลาหูกตัวที่ 1		ปลาหูกตัวที่ 2		ปลาหูกตัวที่ 3	
เวลา (ชั่วโมง)	ความต้านทาน ($k\Omega$)	เวลา (ชั่วโมง)	ความต้านทาน ($k\Omega$)	เวลา (ชั่วโมง)	ความต้านทาน ($k\Omega$)
1	9	1	10	1	8.5
2	9.5	2	10	2	8.5
3	10.8	3	9.8	3	12
4	10.2	4	10.8	4	13
5	11.8	5	10.6	5	11
6	11.5	6	13.5	6	11.5
7	10.5	7	10.2	7	7.5
8	10	8	10	8	7.5
9	9.9	9	10	9	7.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาทุกับคุณสมบัติทางไฟฟ้า ด้วยโพรบแบบ 2 เซ็ม

10	9.5	10	10	10	7.1
11	8.5	11	10	11	7.4
12	9.5	12	10.1	12	5.6
13	9.5	13	10	13	6
14	9	14	10	14	6.5
15	9.4	15	10.1	15	6.9
16	9.3	16	10.2	16	6.9



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาทุกับคุณสมบัติทางไฟฟ้า

จากบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 4.1 ค่าที่วัดได้จะอยู่ในรูปแบบของความต้านทาน เมื่อนำผลการทดลองดังกล่าวมาทำการพล็อตกราฟ จะได้ดังแสดงในรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าค่าความต้านทานจะมีค่าหนึ่งที่ค่าหนึ่งในช่วงแรก หลังจากนั้นค่าความต้านทานมีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาที่นานขึ้นความสดของปลาทุลดลงค่าความต้านทานที่ได้กลับมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าในช่วงแรกที่มีความสดของปลาทุมีความสดมากที่สุด จึงทำให้วิธีการตรวจวัดความสดของปลาทุด้วยโพรบแบบ 2 เซ็ม ไม่สามารถแบ่งแยกระดับความสดของปลาทุได้

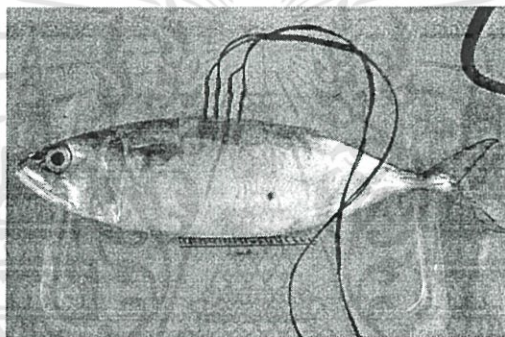
4.3 การทดลองที่ 2 การศึกษาความถี่ที่เหมาะสมต่อการวัดความสดของปลาทุด้วยวิธีการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยโพรบแบบ 4 เข็ม

การตรวจวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม ในการตรวจวัดจะมีการจ่ายสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ต่างกันเข้าผ่านทางโพรบไปยังตัวปลา เพื่อทำการศึกษาว่าความถี่ใดที่สามารถตรวจวัดความสดของปลาทุได้ดีที่สุด

4.3.1 ขั้นตอนการทดลองการศึกษาเพื่อหาค่าความถี่ที่เหมาะสมต่อการวัดความสดด้วยวิธีการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยโพรบแบบ 4 เข็ม ด้วยวิธีการเสียบโพรบลงในเนื้อปลาทุ ป้อนสัญญาณไซน์ตามความถี่ที่กำหนด คือ 1 KHz, 10 KHz, 50 KHz, และ 100 KHz, ตามลำดับ

4.3.1.1 ใช้ตัวอย่างปลาทุ 3 ตัว ที่มีขนาดความยาวของลำตัวใกล้เคียงกัน ประมาณ(18 – 20 ซม.) มาทำการทดลอง

4.3.1.2 นำโพรบแบบ 4 เข็ม เสียบลงในตัวปลาทุบริเวณที่มีความหนาของเนื้อปลามากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงการตรวจวัดด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม มีการเปลี่ยนแปลงความถี่

4.3.1.3 ทำการป้อนความถี่ 1 KHz ขนาด 5Vp-p

4.3.1.4 บันทึกค่า V_1 , V_2 เข็มที่ 2 และ 3 ตามลำดับ โดยวัดจากออสซิลอสโคป

4.3.1.5 ทำซ้ำข้อ 1-4 แต่เปลี่ยนความถี่เป็น 10 KHz ขนาด 5Vp-p

4.3.1.6 ทำซ้ำข้อ 1-4 แต่เปลี่ยนความถี่เป็น 50 KHz ขนาด 5Vp-p

4.3.1.7 ทำซ้ำข้อ 1-4 แต่เปลี่ยนความถี่เป็น 100 KHz ขนาด 5Vp-p

4.3.2 ทำการบันทึกผลการทดลองค่าแรงดัน V_1 , V_2 ที่ความถี่ต่างกัน โดยใช้โพรบแบบ 4 เข็ม ลงในตารางที่ 4.2 ถึงตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองค่าแรงดัน V_1 , V_2 โดยใช้โพรบแบบ 4 เข็ม ที่ความถี่ 1 KHz

เวลา	V_1 (V)	V_2 (V)	ผลต่าง
1 ชั่วโมง	1.82	1.36	0.46
2 ชั่วโมง	1.84	1.42	0.42
3 ชั่วโมง	1.84	1.44	0.40
4 ชั่วโมง	1.88	1.44	0.42
5 ชั่วโมง	1.86	1.48	0.38
6 ชั่วโมง	1.86	1.48	0.38
7 ชั่วโมง	1.82	1.48	0.34
8 ชั่วโมง	1.82	1.50	0.32
9 ชั่วโมง	1.66	1.44	0.22
10 ชั่วโมง	1.62	1.42	0.20

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองค่าแรงดัน V_1 , V_2 โดยใช้โพรบแบบ 4 เข็ม ที่ความถี่ 10 KHz

เวลา	V_1 (V)	V_2 (V)	ผลต่าง
1 ชั่วโมง	1.80	1.36	0.44
2 ชั่วโมง	1.88	1.44	0.44
3 ชั่วโมง	1.86	1.42	0.44
4 ชั่วโมง	1.92	1.44	0.48
5 ชั่วโมง	1.88	1.46	0.42
6 ชั่วโมง	1.86	1.46	0.40
7 ชั่วโมง	1.90	1.50	0.40
8 ชั่วโมง	1.88	1.48	0.40
9 ชั่วโมง	1.74	1.46	0.28
10 ชั่วโมง	1.52	1.36	0.26

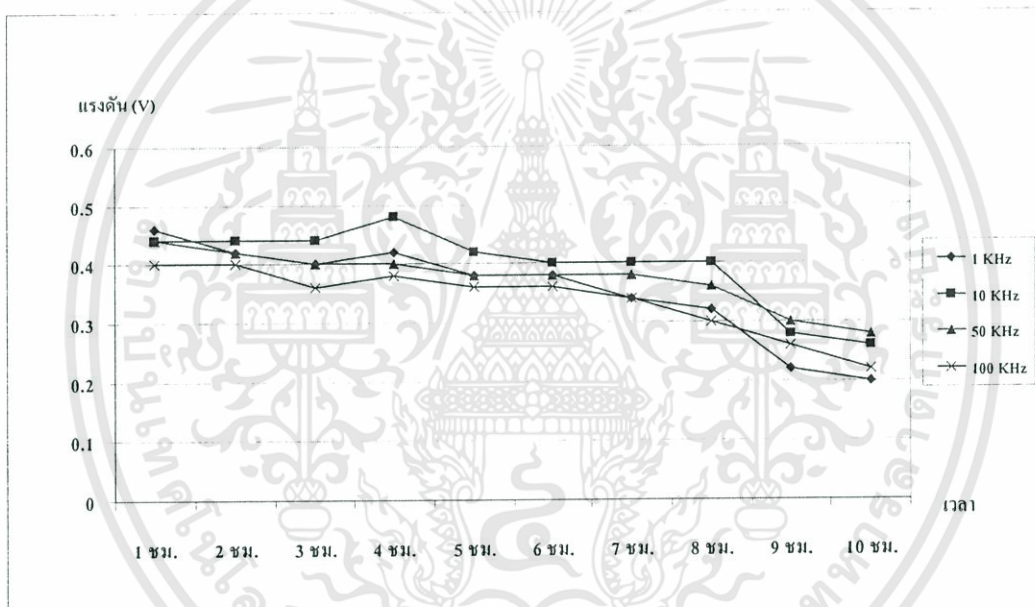
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองค่าแรงดัน V_1 , V_2 โดยใช้โพรบแบบ 4 เข็ม ที่ความถี่ 50 KHz

เวลา	V_1 (V)	V_2 (V)	ผลต่าง
1 ชั่วโมง	1.76	1.37	0.44
2 ชั่วโมง	1.70	1.28	0.42
3 ชั่วโมง	1.70	1.30	0.40
4 ชั่วโมง	1.70	1.30	0.40
5 ชั่วโมง	1.62	1.24	0.38
6 ชั่วโมง	1.64	1.26	0.38
7 ชั่วโมง	1.64	1.26	0.38
8 ชั่วโมง	1.62	1.26	0.36
9 ชั่วโมง	1.46	1.16	0.30
10 ชั่วโมง	1.40	1.12	0.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองค่าแรงดัน V_1 , V_2 โดยโพรบแบบ 4 เซ็ม ที่ความถี่ 100 KHz

เวลา	V_1 (V)	V_2 (V)	ผลต่าง
1 ชั่วโมง	1.72	1.32	0.40
2 ชั่วโมง	1.68	1.28	0.40
3 ชั่วโมง	1.70	1.34	0.36
4 ชั่วโมง	1.70	1.32	0.38
5 ชั่วโมง	1.64	1.28	0.36
6 ชั่วโมง	1.60	1.28	0.36
7 ชั่วโมง	1.60	1.26	0.34
8 ชั่วโมง	1.60	1.30	0.30
9 ชั่วโมง	1.42	1.16	0.26
10 ชั่วโมง	1.38	1.16	0.22



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่าง ที่ค่าความถี่ต่างๆ ตามเวลาที่เปลี่ยนแปลง

จากบันทึกผลการทดลอง ในตารางที่ 4.2 ถึงตารางที่ 4.5 เป็นการทดลองเพื่อหาค่าความถี่ที่เหมาะสมที่ใช้ในการตรวจวัดความสดของปลาหู โดยการตรวจวัดคุณสมบัติทางความนำไฟฟ้าด้วยโพรบแบบ 4 เซ็ม พบว่าเมื่อนำผลที่ได้มาพล็อตกราฟ จะได้ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ความถี่ที่เหมาะสมที่สุดคือความถี่ในช่วง 1 KHz เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงที่เด่นชัดที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความถี่อื่นที่ได้ทำการทดลองด้วยกันในขณะที่ความสดของปลาหูมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นจากการทดลองนี้จึงได้ค่าความถี่ที่ใช้ในการตรวจวัดความสดของปลาหูด้วยโพรบแบบ 4 เซ็มคือ สัญญาณไซน์ที่มีความถี่ 1 KHz

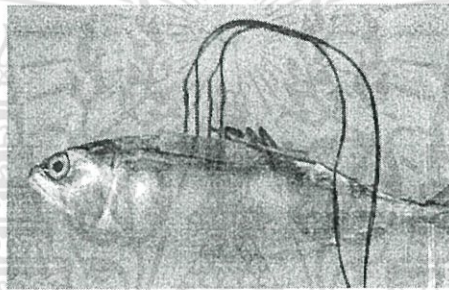
4.4 การทดลองที่ 3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาทุกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม โดยใช้เข็มตัวนำที่ทำจากเข็มเย็บผ้า

การทดลองนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาทุกับคุณสมบัติทางไฟฟ้า ด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม โดยใช้เข็มตัวนำที่ทำจากเข็มเย็บผ้า เพื่อให้ทราบว่าวิธีการดังกล่าวนี้สามารถแบ่งเกรดความสดของปลาทุได้หรือไม่

4.4.1 ขั้นตอนการทดลองการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาทุกับคุณสมบัติทางไฟฟ้า ด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม โดยใช้เข็มตัวนำที่ทำจากเข็มเย็บผ้า ด้วยวิธีการเสียบโพรบลงในเนื้อปลาทุ ป้อนสัญญาณไซน์ ความถี่ที่กำหนด คือ 1 KHz ขนาด 5Vp-p

4.4.1.1 ใช้ตัวอย่างปลาทุ 3 ตัว ที่มีขนาดความยาวของลำตัวใกล้เคียงกัน ประมาณ(18 – 20 ซม.) มาทำการทดลอง

4.4.1.2 นำโพรบแบบ 4 เข็ม เสียบลงในตัวปลาทุบริเวณที่มีความหนาของเนื้อปลามากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงการตรวจวัดด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม ที่ทำจากเข็มเย็บผ้า

4.4.1.3 ทำการป้อนความถี่ 1 KHz ขนาด 5Vp-p

4.4.1.4 บันทึกค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการแสดงผลของตัวเครื่อง

4.4.2 ทำการบันทึกผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาทุกับคุณสมบัติทางไฟฟ้า ด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม โดยใช้เข็มตัวนำที่ทำจากเข็มเย็บผ้า ลงในตารางที่ 4.6

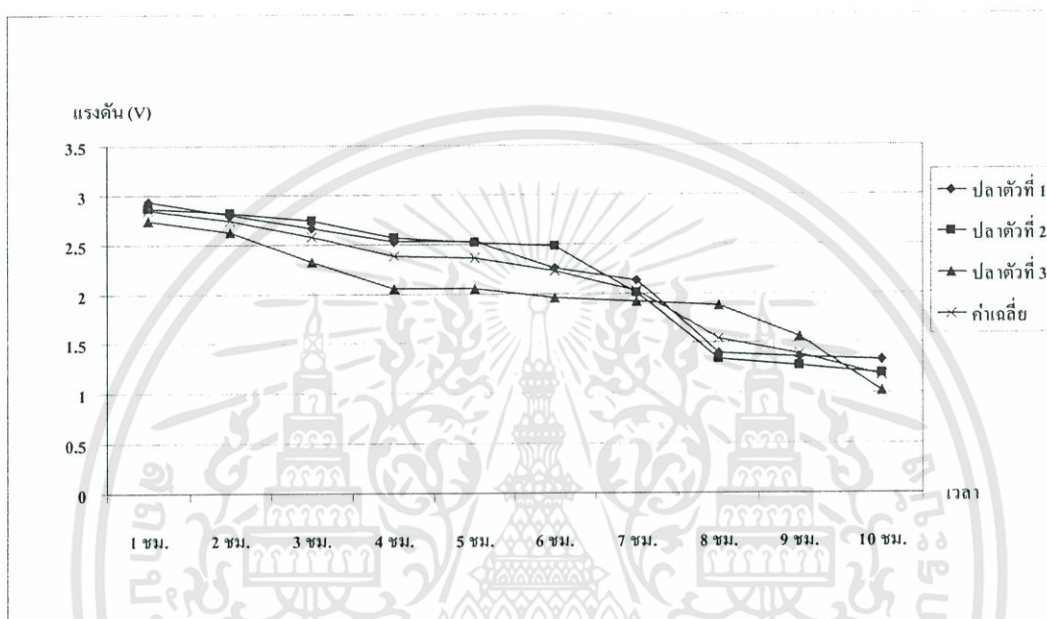
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาทุกับคุณสมบัติทางไฟฟ้า ด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม โดยใช้เข็มตัวนำที่ทำจากเข็มเย็บผ้า

เวลา (ชั่วโมง)	ปลาทุ			ค่าเฉลี่ย (V)
	ตัวที่ 1 (V)	ตัวที่ 2 (V)	ตัวที่ 3 (V)	
1 ชั่วโมง	2.93	2.86	2.74	2.84
2 ชั่วโมง	2.80	2.82	2.62	2.74
3 ชั่วโมง	2.66	2.74	2.32	2.57
4 ชั่วโมง	2.53	2.56	2.05	2.38
5 ชั่วโมง	2.53	2.52	2.05	2.36
6 ชั่วโมง	2.26	2.48	1.96	2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6(ต่อ) ผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาทุกับคุณสมบัติทางไฟฟ้า ด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม โดยใช้เข็มตัวนำที่ทำจากเข็มเย็บผ้า

7 ชั่วโมง	2.13	2.01	1.92	2.02
8 ชั่วโมง	1.40	1.34	1.88	1.54
9 ชั่วโมง	1.36	1.27	1.56	1.39
10 ชั่วโมง	1.33	1.20	1.02	1.18



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของแรงดัน ที่เวลาต่างกัน ของเข็มวัดแบบเข็มเย็บผ้า

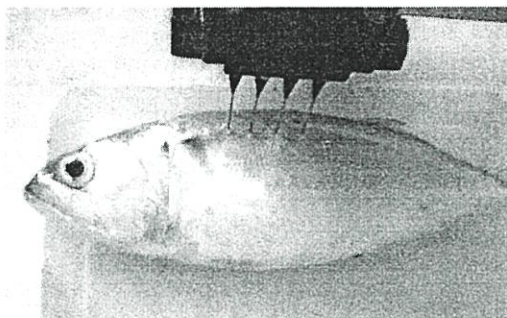
4.5 การทดลองที่ 4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาทุกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม โดยใช้เข็มตัวนำที่ทำจากโลหะผสม

การทดลองนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาทุกับคุณสมบัติทางไฟฟ้า ด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม โดยใช้เข็มตัวนำที่ทำจากโลหะผสม เพื่อให้ทราบว่าวิธีการดังกล่าวนี้สามารถแบ่งเกรดความสดของปลาทุได้หรือไม่

4.5.1 ขั้นตอนการทดลองการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาทุกับคุณสมบัติทางไฟฟ้า ด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม โดยใช้เข็มตัวนำที่ทำจากโลหะผสม ด้วยวิธีการเสียบโพรบลงในเนื้อปลาทุ ป้อนสัญญาณไซน์ ความถี่ที่กำหนด คือ 1 KHz ขนาด 5Vp-p

4.5.1.1 ใช้ตัวอย่างปลาทุ 3 ตัว ที่มีขนาดความยาวของลำตัวใกล้เคียงกัน ประมาณ(18 – 20 ซม.) มาทำการทดลอง

4.5.1.2 นำโพรบแบบ 4 เข็ม เสียบลงในตัวปลาทุบริเวณที่มีความหนาของเนื้อปลามากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงการตรวจวัดด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม ที่ทำจากโลหะผสม

4.5.1.3 ทำการป้อนความถี่ 1 KHz ขนาด 5Vp-p

4.5.1.4 บันทึกค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการแสดงผลของตัวเครื่อง

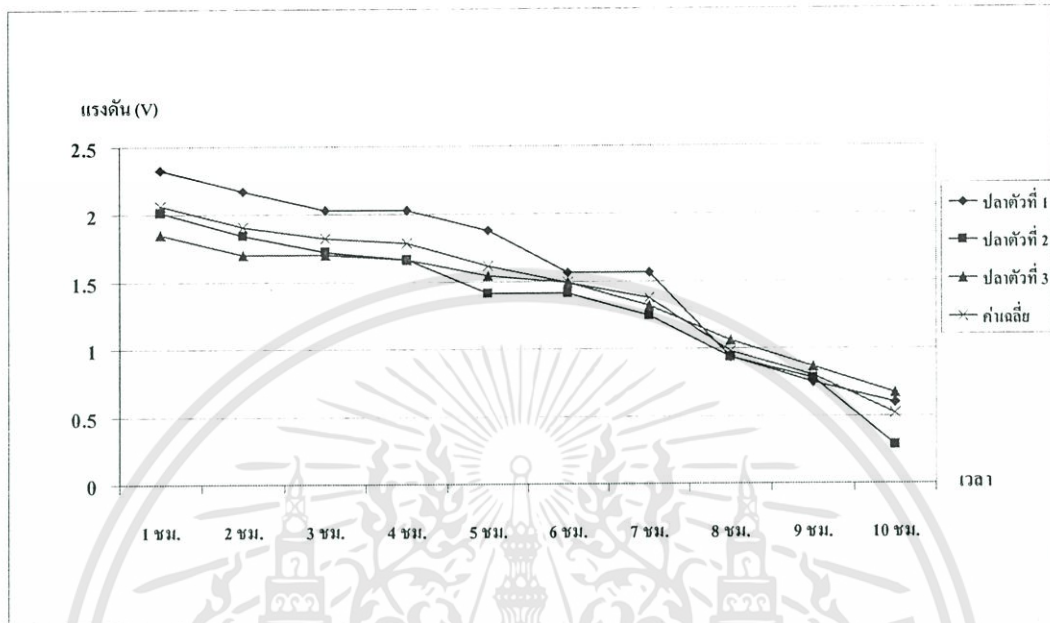
4.5.2 ทำการบันทึกผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาทุกกับคุณสมบัติทางไฟฟ้า ด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม โดยใช้เข็มตัวนำที่ทำจากโลหะผสม ลงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาทุกกับคุณสมบัติทางไฟฟ้า ด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม โดยใช้เข็มตัวนำที่ทำจากโลหะผสม

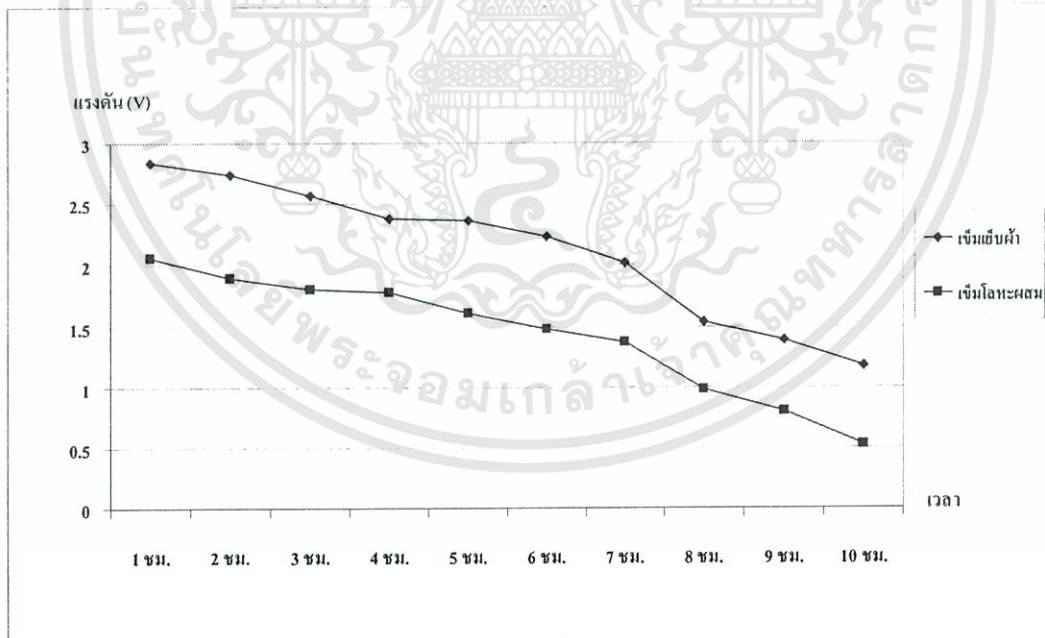
เวลา (ชั่วโมง)	ปลาทุ			ค่าเฉลี่ย (V)
	ตัวที่ 1 (V)	ตัวที่ 2 (V)	ตัวที่ 3 (V)	
1 ชั่วโมง	2.33	2.01	1.85	2.06
2 ชั่วโมง	2.17	1.84	1.70	1.90
3 ชั่วโมง	2.03	1.72	1.70	1.81
4 ชั่วโมง	2.03	1.66	1.66	1.78
5 ชั่วโมง	1.88	1.41	1.54	1.61
6 ชั่วโมง	1.56	1.41	1.49	1.48
7 ชั่วโมง	1.56	1.25	1.32	1.37
8 ชั่วโมง	0.94	0.94	1.06	0.98
9 ชั่วโมง	0.75	0.78	0.87	0.8
10 ชั่วโมง	0.60	0.29	0.67	0.52

จากบันทึกผลการทดลอง ในตารางที่ 4.7 เป็นการทดลองการตรวจวัดความสดของปลาทุ โดยโพรบแบบ 4 เข็มโดยที่เข็มวัดนั้นทำมาจากเข็มโลหะผสมและมีการจ่ายสัญญาณความถี่ 1KHz เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาพล็อตกราฟ จะได้ดังแสดงในรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่อความสดของปลาทุมีความสดลดลงในขณะที่เวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ค่าความแตกต่างของแรงดันที่วัดได้จากเข็มวัดที่ 2 และเข็มที่ 3 ของโพรบแบบ 4 เข็ม คือเมื่อความสดของปลาทุลดลงค่าแรงดันที่วัดได้จะมีค่าลดลงไปด้วย จนระยะเวลาผ่านไปประมาณ 10 ชั่วโมงค่าแรงดันจะเริ่มคงที่และขณะเดียวกันพบว่าปลาเริ่มมีกลิ่น

หมื่นไม่เหมาะแก่การบริโภค และจากการทดลองด้วยโพรบแบบ 4 เข็มโดยที่เข็มวัดทำมาจากโลหะผสมจะมีข้อดีกว่าโพรบแบบ 4 เข็มที่ทำมาจากเข็มเย็บผ้าคือเมื่อทำการตรวจวัดไปช่วงระยะเวลาหนึ่ง ที่เท่ากันโพรบที่ทำมาจากโลหะผสมจะไม่เกิดสนิมเขียว และไม่มีการฟุ้งร้อนเกิดขึ้นทำให้อายุการใช้งานมีค่าสูงกว่าโพรบที่ทำมาจากเข็มเย็บผ้า



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของแรงดันและเวลาต่างกัน ของเข็มวัดโลหะผสม



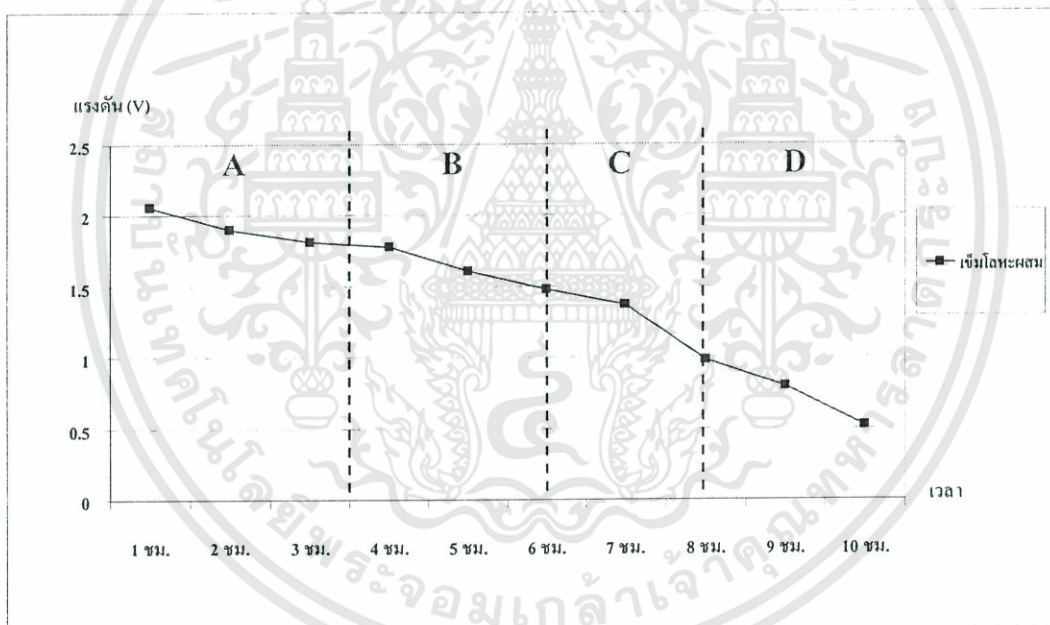
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของแรงดันเฉลี่ยของเข็มวัดแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากบันทึกผลการทดลองของค่าเฉลี่ย ในตารางที่ 4.6 และ 4.7 เมื่อนำมาพล็อตกราฟ จะได้ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าแรงดันที่ได้จากโพรบแบบ 4 เซ็ม ที่ทำมาจากเซมิเย็บผ้า และโพรบแบบ 4 เซ็มที่ทำมาจากโลหะผสม ที่ใช้ในการตรวจวัดความสดของปลา พบว่าค่าแรงดันที่ตรวจวัดได้จากโพรบที่ทำมาจากเซมิเย็บผ้าจะมีค่าแรงดันที่สูงกว่าโพรบที่ทำมาจากโลหะผสม แต่ทิศทางการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงดันที่ได้เมื่อความสดของปลามีค่าลดลงในขณะที่ยังมีระยะเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไปในทิศทางเดียวกัน คือค่าแรงดันจะลดลงเมื่อความสดของปลาลดลงตามระยะเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากโพรบที่ทำมาจากเซมิเย็บผ้าจะเกิดสนิมเขียวมีการผุกร่อนง่าย ดังนั้นจึงได้ทำการเลือกโพรบที่ทำมาจากโลหะผสมไปใช้งานเนื่องจากไม่เกิดสนิมเขียว และทนต่อการผุกร่อน จึงทำให้อายุการใช้งานมีค่ามากกว่าโพรบที่ทำมาจากเซมิเย็บผ้า

4.6 การแบ่งเกรดความสดปลา

ในการตรวจวัดความสดของปลาเพื่อทำการคัดแยกเกรด ได้นำผลการทดลองในตารางที่ 4.7 ซึ่งเป็นการตรวจวัดด้วยโพรบแบบ 4 เซ็มที่ทำจากโลหะผสมมาเป็นเกณฑ์ในการแบ่งเกรด ซึ่งเมื่อนำมาพล็อตกราฟ จะแสดงได้ดังรูปที่ 4.10.



รูปที่ 4.10 แสดงกราฟที่ใช้ในการแบ่งเกรดความสดปลา

การแบ่งเกรดทำได้โดยการสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของปลา และนำมาเปรียบเทียบกับค่าแรงดันที่ทำการตรวจวัดได้ซึ่งสามารถแบ่งเกรดความสดปลาได้ทั้งหมด 4 เกรดดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การแบ่งเกรดโดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของปลาทุ เปรียบเทียบกับค่าแรงดันที่ทำการตรวจวัด

เกรด	แรงดัน(V)	ลักษณะทางกายภาพ
A	มากกว่า 1.80V	สดมากที่สุดตาใสเนื้อแข็งไม่มีกลิ่น
B	1.79V-1.50V	สดจะมีสีขุ่นเล็กน้อยเหงือกมีสีชมพูเนื้อปลามีความนิ่มเล็กน้อย
C	1.49V-0.90V	สดปานกลางรอบตาปลามีสีแดงเนื้อนิ่มเหงือกมีสีแดงคล้ำ
D	น้อยกว่า 0.89V	สดน้อยที่สุดมีกลิ่นเนื้อนิ่มไม่เหมาะแก่การบริโภค

การแบ่งเกรดความสดปลาทุ เกรด A ปลาทุจะมีความสดมากที่สุดลักษณะของปลาจะสังเกตได้จากตาที่ใสเนื้อปลาแข็งไม่นิ่มและไม่มีกลิ่น เกรด B ตาของปลาจะมีสีขุ่นเล็กน้อยเหงือกมีสีชมพูเนื้อปลามีความนิ่มเล็กน้อย เกรด C ตาปลามีสีขุ่นบริเวณรอบตาปลามีสีแดงเนื้อนิ่มเหงือกมีสีแดงคล้ำส่วนปลายของหางปลาเริ่มมีสีแดง เกรด D ปลาจะมีความสดน้อยที่สุดสังเกตได้จากบริเวณรอบตาปลามีสีแดงเนื้อปลาจะนิ่มมากส่วนปลายของหางปลามีสีแดงมีเลือดไหลออกมาจากตัวปลาและมีกลิ่นเหม็นไม่เหมาะแก่การนำบริโภค

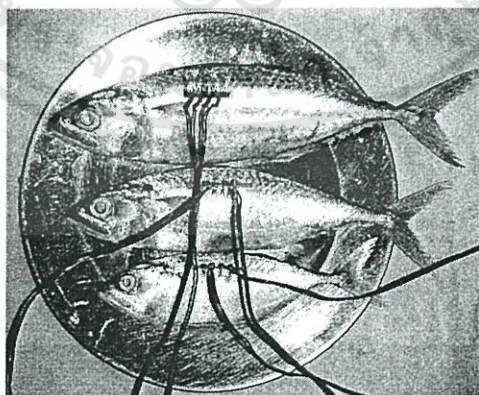
4.7 การทดลองที่ 5 การศึกษาผลของขนาดตัวอย่างต่อการวัดความสดด้วยวิธีการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยใช้โพรบแบบ 4 เข็ม

การทดลองนี้เป็นการศึกษาว่าในการตรวจวัดความสดของปลาทุด้วยวิธีการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม เมื่อปลาทุมีความสดต่างกัน เกรดที่สามารถตรวจวัดออกมาจะมีค่าแตกต่างกันหรือไม่

4.6.1 ขั้นตอนการทดลองการศึกษามลของขนาดปลาทุที่มีต่อการวัดความสดด้วยวิธีการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยใช้โพรบแบบ 4 เข็ม ด้วยวิธีการเสียบโพรบลงในเนื้อปลาทุ ป้อนสัญญาณความถี่ที่กำหนด คือ 1 KHZ ขนาด 5Vp-p

4.6.1.1 ใช้ตัวอย่างปลาทุ 3 ตัว ที่มีขนาดความยาวของลำตัวต่างกัน ทำการทดลอง

4.6.1.2 นำโพรบแบบ 4 เข็ม เสียบลงในตัวปลาทุบริเวณที่มีความหนาของเนื้อปลามากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงการตรวจวัดด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม ที่ขนาดปลาทุต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.1.3 ทำการป้อนความถี่ 1 KHz ขนาด 5Vp-p

4.6.1.4 บันทึกค่า V_1 และ V_2 โดยวัดจากออสซิลอโคป

4.6.2 ทำการบันทึกผลการทดลองผลของขนาดปลาหุที่มีต่อการวัดความสดด้วยวิธีการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยใช้โพรบแบบ 4 เข็ม ลงในตารางที่ 4.9 ถึงตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองขนาดปลาหุที่มีต่อการวัดความสดด้วยวิธีการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยใช้โพรบแบบ 4 เข็ม ปลาตัวที่ 1 ความยาว 14 ซม.

เวลา	V_1 (V)	V_2 (V)	ผลต่าง
1 ชั่วโมง	1.58	1	0.58
2 ชั่วโมง	1.56	0.98	0.58
3 ชั่วโมง	1.56	1	0.56
4 ชั่วโมง	1.48	0.96	0.52
5 ชั่วโมง	1.46	0.94	0.52
6 ชั่วโมง	1.40	0.90	0.50
7 ชั่วโมง	1.36	0.88	0.48
8 ชั่วโมง	1	0.66	0.34
9 ชั่วโมง	1	0.72	0.28
10 ชั่วโมง	0.82	0.60	0.22
11 ชั่วโมง	0.90	0.68	0.22
12 ชั่วโมง	0.86	0.68	0.18

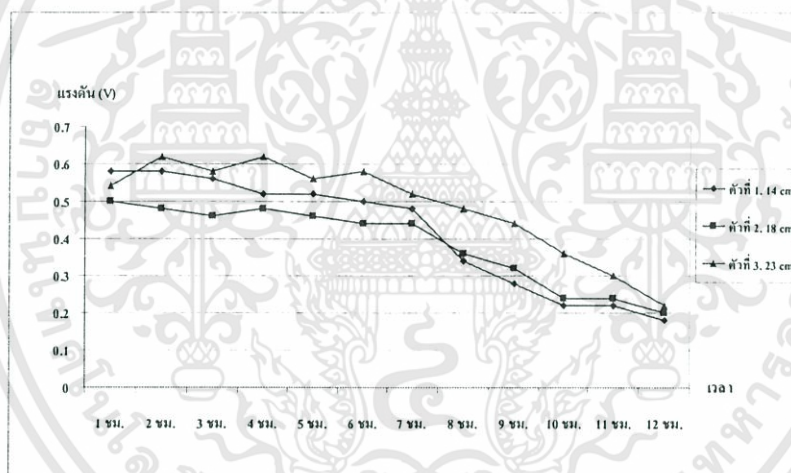
ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองขนาดปลาหุที่มีต่อการวัดความสดด้วยวิธีการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยใช้โพรบแบบ 4 เข็ม ปลาตัวที่ 2 ความยาว 18 ซม.

เวลา	V_1 (V)	V_2 (V)	ผลต่าง
1 ชั่วโมง	1.52	1.02	0.50
2 ชั่วโมง	1.46	0.98	0.48
3 ชั่วโมง	1.44	0.98	0.46
4 ชั่วโมง	1.42	0.94	0.48
5 ชั่วโมง	1.38	0.92	0.46
6 ชั่วโมง	1.34	0.90	0.44
7 ชั่วโมง	1.30	0.86	0.44
8 ชั่วโมง	1.08	0.72	0.36
9 ชั่วโมง	1	0.68	0.32
10 ชั่วโมง	0.90	0.66	0.24
11 ชั่วโมง	0.88	0.66	0.24
12 ชั่วโมง	0.88	0.68	0.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองขนาดปลาที่มีต่อการวัดความสดด้วยวิธีการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยใช้โพรบแบบ 4 เข็ม ปลายที่ 3 ความยาว 23 ซม.

เวลา	V_1 (V)	V_2 (V)	ผลต่าง
1 ชั่วโมง	1.74	1.20	0.54
2 ชั่วโมง	1.66	1.04	0.62
3 ชั่วโมง	1.58	1.00	0.58
4 ชั่วโมง	1.58	0.96	0.62
5 ชั่วโมง	1.52	0.96	0.56
6 ชั่วโมง	1.50	0.92	0.58
7 ชั่วโมง	1.44	0.92	0.52
8 ชั่วโมง	1.28	0.80	0.48
9 ชั่วโมง	1.18	0.74	0.44
10 ชั่วโมง	1.02	0.66	0.36
11 ชั่วโมง	0.96	0.66	0.30
12 ชั่วโมง	0.92	0.70	0.22



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของ (V_1-V_2) ที่ปลาทุขนาดไม่เท่ากัน

จากบันทึกผลการทดลอง ในตารางที่ 4.9 ถึงตารางที่ 4.11 เป็นการทดลองเพื่อหาว่า ปลาทุที่มีขนาดแตกต่างกันเมื่อความสดลดลงค่าแรงดันที่วัดได้จะเท่ากันหรือไม่ นำผลการทดลองมาพล็อตกราฟจะแสดงได้ดังรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าเมื่อความสดปลาทุลดลงมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไปในทิศทางเดียวกัน แต่ค่าแรงดันที่วัดได้จะมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นขนาดของปลาทุจึงมีผลต่อโพรบที่ทำการวัด แต่ทั้งนี้จากการทดลองที่ 4 ขนาดปลาทุที่นำมาวัดความสดจะมีความยาวของลำตัวใกล้เคียงกัน(18 – 20 ซม.) หากนำโพรบมาวัดความสดปลาทุตามขนาดที่กำหนดเกรดที่วัดได้จะมีความถูกต้อง แต่ปลาทุที่มีขนาดแตกต่างไปจากนี้เกรดที่วัดได้จะมีความผิดพลาดเนื่องจากสมการฮอร์โมนไลซ์ที่นำมาใช้แบ่งเกรดจะต่างกัน

4.8 การทดลองที่ 6 การหาค่าความผิดพลาดการวัดเกรดความสดปลาทุ

การทดลองนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาค่าความผิดพลาดของเครื่องวัด โดยการนำเกรดที่ได้จากการแสดงผลของตัวเครื่องที่ทำกรวัดความสดปลาทุแต่ละตัว มาเปรียบเทียบกับเกรดความสดที่ได้จากการสังเกตทางการภาพของปลาทุ และสามารถคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดได้

4.8.1 การหาค่าความผิดพลาดการวัดเกรดความสดปลาทุที่ได้ทำการแบ่งเกรดในการทดลองที่ 6 โดยนำมาเปรียบเทียบกับการสังเกตทางการภาพ และการตรวจวัดด้วยเครื่องวัด

4.8.1.1 ใช้ตัวอย่างปลาทุ 20 ตัว ที่มีขนาดความยาวของลำตัวใกล้เคียงกัน ประมาณ(18 – 20 ซม.) มาทำการทดลอง

4.8.1.2 นำโพรบแบบ 4 เซ็ม เสียบบลงในตัวปลาทุบริเวณที่มีความหนาของเนื้อปลามากที่สุด

4.8.1.3 ทำการเปิดเครื่อง และตั้งโหมดการวัดไปยังโหมดการวัดความสดปลา

4.8.1.4 บันทึกเกรดที่ได้จากการสังเกตลักษณะทางการภาพของปลาทุ

4.8.1.5 บันทึกเกรดที่ได้จากการแสดงผลของตัวเครื่องวัด

4.8.2 ทำการบันทึกผลการทดลองวัดเกรดความสดปลาทุ และการสังเกตทางการภาพของปลาทุ ลงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองเกรดความสดปลาทุที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง และการสังเกตทางการภาพ

ปลาทุตัวที่ (ตัวที่)	เกรดความสดปลาทุ	
	การสังเกตทางการภาพ	การตรวจวัดด้วยเครื่อง
1	B	B
2	B	B
3	B	C
4	C	C
5	C	C
6	C	D
7	C	C
8	C	C
9	C	C
10	C	D
11	C	C
12	C	C
13	C	C
14	D	D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12(ต่อ) ผลการทดลองเกรดความสดปลาที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง และการสังเกตทางกายภาพ

15	D	D
16	D	D
17	D	D
18	D	D
19	D	D
20	D	D

จากบันทึกผลการทดลอง ในตารางที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าเกรดความสดปลาบางตัวที่ได้จากการวัดมีเกรดไม่ตรงกับ การสังเกตลักษณะทางกายภาพ ซึ่งความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากความผิดพลาดของเครื่องวัด และสามารถหาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด} = \frac{\text{จำนวนปลาทั้งหมด} - \text{จำนวนปลาที่วัดได้ถูกต้อง}}{\text{จำนวนปลาทั้งหมด}} \times 100\%$$

$$= \left(\frac{20-17}{20} \right) \times 100\%$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด} = 15\%$$

จากการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจะเห็นได้ว่าการตรวจวัดเกรดความสดปลาด้วยวิธีการตรวจวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้ามีความผิดพลาดเพียง 15% ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธีการดังกล่าวนี้สามารถนำไปใช้ในการตรวจวัดเกรดความสดปลาได้

4.9 การทดลองที่ 7 การตรวจวัดความสดปลาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

การทดลองนี้เป็นการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเนื้อปลา ว่ามีผลกระทบต่อ การตรวจวัดเกรดของความสดปลาหรือไม่

4.9.1 ขั้นตอนการทดลองการตรวจวัดความสดปลาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเนื้อปลา โดยใช้วิธีการเสียบโพรบลงในเนื้อปลาแล้วเปิดเครื่องวัดตั้งโหมดการวัดไปที่โหมดปลา

4.9.1.1 ใช้ตัวอย่างปลา 10 ตัว ที่มีขนาดความยาวของลำตัวใกล้เคียงกัน ประมาณ (18 – 20 ซม.) มาทำการทดลอง

4.9.1.2 นำโพรบแบบ 4 เข็ม เสียบลงในตัวปลาบริเวณที่มีความหนาของเนื้อปลามากที่สุด

4.9.1.3 ทำการเปิดเครื่อง และตั้งโหมดการวัดไปยังโหมดการวัดความสดปลา

4.9.1.4 นำตัวอย่างปลาทั้ง 10 ตัว มาทำการวัด และบันทึกเกรดที่ได้จากการแสดงผลของเครื่องวัด ลงในตารางที่ 4.13 (ปลาหูกต)

4.9.1.5 นำตัวอย่างปลาทุทั้ง 10 ตัว ไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ 0 องศา เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง

4.9.1.6 นำตัวอย่างปลาทุทั้ง 10 ตัว มาทำการวัด และบันทึกเกรดที่ได้จากการแสดงผลของเครื่องวัด ลงในตารางที่ 4.13 (ปลาทุแช่แข็ง)

4.9.2 ทำการบันทึกผลการทดลองการวัดความสดปลาทุเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยเกรดที่วัดได้ขณะที่ปลาทุอยู่ในอุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิที่ 0 องศา ลงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองการตรวจวัดความสดปลาทุเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ปลาทุ (ตัวที่)	เกรดความสดปลาทุ	
	ปลาทุปกติ	ปลาทุแช่แข็ง
1	B	B
2	B	B
3	B	B
4	B	B
5	C	C
6	C	C
7	C	C
8	C	C
9	C	C
10	C	C

จากบันทึกผลการทดลอง ในตารางที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการวัดความสดปลาทุปกติเกรดที่ได้คือ เกรด B จากนั้นทำการนำปลาทุตัวเดียวกันนั้นไปแช่ที่อุณหภูมิ 0 องศาทิ้งไว้ 4 ชั่วโมง และนำมาทำการวัดความสดอีกครั้งผลที่ได้ คือ เกรดความสดยังคงมีค่าตรงกับการวัดก่อนนำไปแช่ที่อุณหภูมิ 0 องศา ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิในเนื้อปลาไม่มีผลต่อการตรวจวัดเกรดความสดของเครื่องวัด

4.10 การทดลองที่ 8 การวัดความสดปลาทุเมื่อความชื้นที่ผิวตัวปลาทุเปลี่ยนแปลง

การทดลองนี้เป็นการศึกษาถึงความชื้นผิวของปลาทุที่มีการเปลี่ยนแปลง ว่ามีผลกระทบต่อ การตรวจวัดเกรดของความสดของปลาทุหรือไม่

4.10.1 ขั้นตอนการทดลองการวัดความสดปลาทุในขณะที่ตัวปลาทุมีความชื้นเปลี่ยนแปลง โดยใช้วิธีการเสียบโพรบลงในเนื้อปลาทุ แล้วเปิดเครื่องวัดตั้งโหมดการวัดไปที่โหมดปลา และนำปลาทุที่มีความชื้นผิวต่างกันมาตรวจวัด

4.10.1.1 ใช้ตัวอย่างปลาทุ 10 ตัว ที่มีขนาดความยาวของลำตัวใกล้เคียงกัน ประมาณ (18 – 20 ซม.) มาทำการทดลอง

4.10.1.2 นำโพรบแบบ 4 เข็ม เสียบลงในตัวปลาทุบริเวณที่มีความหนาของเนื้อปลามากที่สุด

- 4.10.1.3 ทำการเปิดเครื่อง และตั้งโหมดการวัดไปยังโหมดการวัดความสดปลา
- 4.10.1.4 นำตัวอย่างปลาทุทั้ง 10 ตัว มาทำการวัด และบันทึกเกรดที่ได้จากการแสดงผลของเครื่องวัด
- 4.10.1.5 นำตัวอย่างปลาทุทั้ง 10 ตัว ไปแช่น้ำประมาณ 1 นาที
- 4.10.1.6 นำตัวอย่างปลาทุขึ้นมาจากน้ำ และทำการวัดทีละตัว
- 4.10.1.7 บันทึกค่าเกรดที่ได้จากการแสดงผลของตัวเครื่องวัด
- 4.10.2 ทำการบันทึกผลการทดลองการวัดความสดปลาทุเมื่อความชื้นที่ผิวตัวปลาทุเปลี่ยนแปลง ลงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองเกรดความสดปลาทุก่อนแช่น้ำ และหลังแช่น้ำ

ปลาทุ (ตัวที่)	เกรดความสดปลาทุ	
	ก่อนแช่น้ำ	หลังแช่น้ำ
1	C	C
2	C	C
3	C	C
4	C	C
5	C	C
6	D	D
7	D	D
8	D	D
9	D	D
10	D	D

จากบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าเกรดความสดปลาทุที่ทำการตรวจวัดก่อนแช่น้ำ และหลังแช่น้ำจะมีเกรดอยู่ในระดับเดียวกัน ดังนั้นเมื่อความชื้นผิวของตัวปลาทุที่เปลี่ยนแปลง จะไม่มีผลกระทบต่อกรตรวจวัดเกรดความสดปลาทุด้วยวิธีการตรวจวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาโครงการ การตรวจสอบความสดของปลาตู้ด้วยวิธีการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า ได้มีการนำวิธีการตรวจวัดคุณสมบัติทางความนำไฟฟ้าแบบต่างๆ มาประยุกต์ใช้งานเพื่อตรวจวัดความสดของปลาตู้ จากการศึกษพบว่าวิธีการตรวจวัดทางไฟฟ้าแต่ละแบบมีความแตกต่างกัน โดยแบ่งเป็นวิธีการต่างๆ ดังต่อไปนี้

จากการทดลองการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาตู้กับสมบัติทางไฟฟ้าด้วยโพรบแบบ 2 เข็ม วัดความต้านทานของเนื้อปลาเมื่อความสดลดลง ซึ่งผลที่ได้คือขณะที่ปลาตู้มีความสดมากที่สุด ค่าความต้านทานที่วัดได้จะมีค่าเท่ากับค่าความต้านทานของปลาตู้ในขณะที่มีการเสื่อมสภาพ และไม่เหมาะแก่การนำไปบริโภคแล้ว จึงทำให้วิธีการตรวจวัดความสดปลาตู้ด้วยโพรบแบบ 2 เข็ม ไม่สามารถนำไปใช้แบ่งเกรดความสดของปลาตู้ได้

จากการทดลองการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสดของปลาตู้กับสมบัติทางไฟฟ้าด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม ในการทดลองนี้จะใช้สัญญาณไซน์ป้อนเข้าไปยังเข็มที่ 1 เทียบกับเข็มที่ 4 จากนั้นนำสัญญาณความแตกต่างที่ได้จากเข็มที่ 2 และเข็มที่ 3 เพื่อบ่งบอกว่าเมื่อความสดปลาตู้ลดลงจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ จากการทดลองความถี่ที่เหมาะสมที่สุดคือความถี่ในช่วง 1 KHz เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงที่เด่นชัดที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความถี่ย่านอื่นๆ

จากการทดลองโดยใช้ความถี่ 1 KHz ทำการทดลองวัดความสัมพันธ์ของค่าแรงดันกับความสดปลาตู้ และแบ่งเกรดความสดของปลาตู้จะเห็นว่าเมื่อความสดของปลาตู้มีค่าลดลง ค่าความแตกต่างของแรงดันที่วัดได้จากเข็มวัด เข็มที่ 2 และเข็มที่ 3 ของโพรบแบบ 4 เข็มจะมีค่าลดต่ำลงตามไปด้วย เมื่อระยะเวลาผ่านไปประมาณ 10 ชั่วโมงค่าแรงดันจะคงที่ และขณะเดียวกันปลาเริ่มมีกลิ่นเหม็นไม่เหมาะแก่การบริโภค จากการทดลองนี้สามารถหาค่าความสดของปลาตู้ที่เปลี่ยนแปลงได้ซึ่งอยู่ในรูปแบบของแรงดัน และนำค่าแรงดันมาทำการแบ่งเกรดความสดปลาตู้ได้ทั้งหมด 4 เกรดคือ สดมากที่สุด(A) สดมาก(B) สดปานกลาง(C) และเสื่อมสภาพ(D)

การตรวจวัดความสดของปลาตู้ด้วยวิธีการตรวจวัดคุณสมบัติความนำทางไฟฟ้า จะเห็นว่าวิธีการตรวจวัดคุณสมบัติทางความนำไฟฟ้าด้วยโพรบแบบ 4 เข็ม มีคุณสมบัติที่ดีกว่าการตรวจวัดคุณสมบัติทางความนำไฟฟ้าด้วยโพรบแบบ 2 เข็ม คือเมื่อความสดของปลาตู้ลดลงค่าแรงดันจะมีค่าลดลงด้วย นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความชื้นที่ผิวของปลาตู้ และอุณหภูมิในเนื้อปลาตู้จะไม่มีผลกระทบต่อกรตรวจวัดเกรดความสดปลาตู้ แต่ทั้งนี้ขนาดความยาวของปลาตู้ที่แตกต่างกันจะส่งผลให้การตรวจวัดเกรดความสดของปลาตู้มีความผิดพลาดดังนั้นปลาตู้ที่นำมาตรวจวัดควรมีขนาดความยาวประมาณ(18 – 20 ซม.)

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการทดลองกับปลาชนิดอื่นๆ เพื่อดูความเปลี่ยนแปลง

5.2.2 ควรมีการทดลองวัดความสดปลาตู้ที่มีขนาดความยาวแตกต่างกันและหาสมการที่สามารถแบ่งเกรดความสดของปลาตู้ได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงขนาดความยาวของปลาตู้

- 5.2.3 การตรวจวัดด้วยวิธีการตรวจวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้านี้ควรตรวจวัดควบคู่ไปกับการตรวจวัดทางเคมี
- 5.2.4 ควรมีการนำไปประยุกต์ใช้กับการตรวจวัดเนื้อสัตว์ชนิดอื่นๆนอกจากปลา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง

- [1] สถานการณ์และแนวโน้ม: อาหารทะเลอื่นๆ สดแช่เย็น[online],2553,เข้าถึงได้จาก www.exim.go.th/doc/newsCenter/10412.pdf
- [2] เบญจพร สุนเจริญ, เอกรัฐ คำเจริญ และ ก่องกาญจน์ กิจรุ่งโรจน์, “การศึกษาพารามิเตอร์ชี้วัดความสดของปลาหมึกกล้วย และปลาหมึกกระดอง”, สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2549
- [3] มยุรี จัยวัฒน์, สวามินี ธีระวุฒิ และนงนุช รักสกุลม, “ดัชนีวัดความสดของปูน้ำม”
- [4] พรพิมล บุญชัย, ปณิต ถาวรังกูร, เพรศพิชญ์ คณาธารณา, “พัฒนาเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีสำหรับการตรวจความสดของอาหารทะเล (ไดเมทิลเอมีนและไตรเมทิลเอมีน)”, Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112, Thailand
- [5] ตรี วาทกิจ, “เอกสารประกอบการสอนวิชาผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ”, คณะวิชาอุตสาหกรรมเกษตร, วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีนครพนม มหาวิทยาลัยนครพนม.2552
- [6] บริดจ์ [Online], เข้าถึงได้จาก: <http://eestaff.kku.ac.th/~amnart/instru/6.pdf>
- [7] สมเกียรติ ศุภเดช, เขมิกอนดักเตอร์ฟิสิกส์, กรุงเทพ, 2547
- [8] นภัทร วัจนเทพินทร์, การประมวลผลสัญญาณด้วยออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี, ปทุมธานี, สกายบุ๊กส์, 2550
- [9] วีระพันธ์ ดิย์พเสน และ นภัทร วัจนเทพินทร์, ทฤษฎีเครื่องมือและการวัดทางไฟฟ้า,ปทุมธานี, สกายบุ๊กส์, 2551
- [10] วรณวิบูลย์ กาญจนบุญชู. “เทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์ประมง.ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร”, คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.2529
- [11] สุวรรณ วิรัชกุล.การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของปลาภายหลังการจับ.ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.,2540
- [12] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.) [Online], 2548, เข้าถึงได้จาก: <http://www.acfs.go.th>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

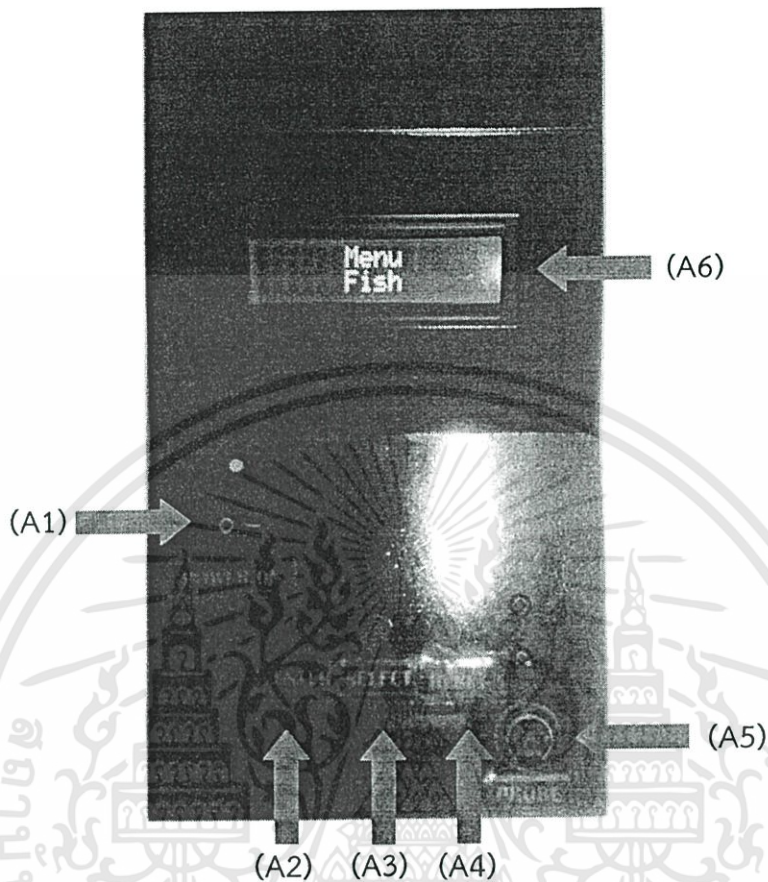


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งานเครื่องวัดความสดปลา



รูปที่ ข1 แสดงรายละเอียดปุ่มใช้งาน และส่วนประกอบของเครื่อง

รายละเอียดปุ่มและส่วนประกอบของเครื่อง

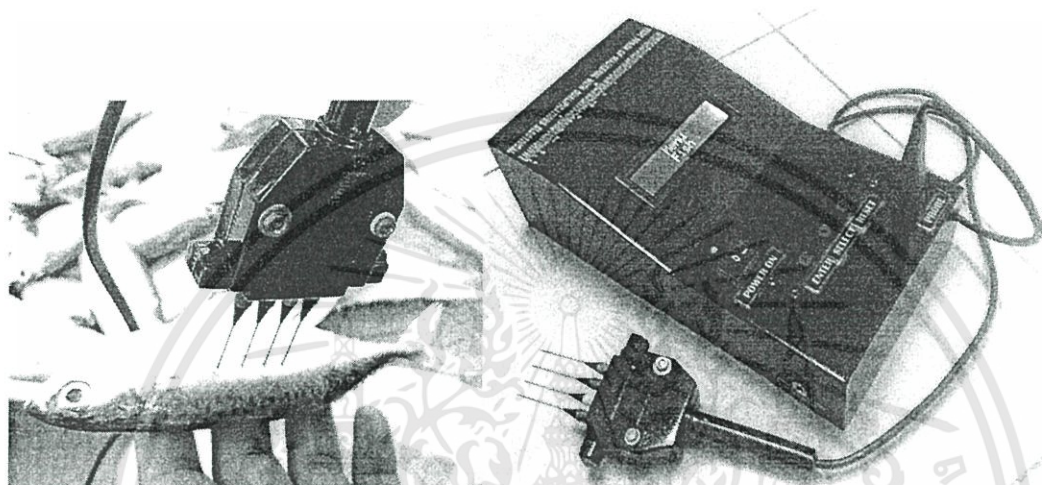
- 1 .สวิตช์เปิดเครื่อง(A1)
2. ปุ่ม ENTER(A2)
3. ปุ่ม SELECT(A3)
4. ปุ่ม RESET(A4)
5. ช่องเสียบโพรบ (A5)
6. จอแสดงผล(A6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการใช้งาน

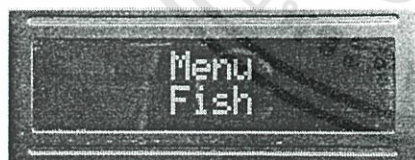
การใช้งานของเครื่องตรวจวัดความสดของปลาทุ มีโหมดการใช้งานอยู่ 2 โหมดด้วยกัน คือ โหมด Fish และโหมด other ซึ่งมีวิธีการใช้งานดังนี้

1. ประกอบโพรบวัดแบบ 4 เข็ม เข้ากับตัวเครื่องในช่องสำหรับเสียบโพรบ (A5) ดังแสดงในรูปที่ ข2



รูปที่ ข2 แสดงการประกอบโพรบเข้ากับตัวเครื่อง

2. กดปุ่ม POWER ON เพื่อเปิดเครื่อง (A1) ดังแสดงในรูปที่ ข1
 3. ทำการ กดปุ่ม SELECT (A3) เพื่อเลือกโหมดการตรวจวัดซึ่งจะมีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 2 โหมด คือ โหมด Fish และโหมด Other เมื่อต้องผู้ใช้งานในโหมดใด กดปุ่ม ENTER (A2) ดังแสดงในรูปที่ ข.3

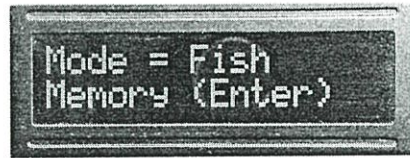
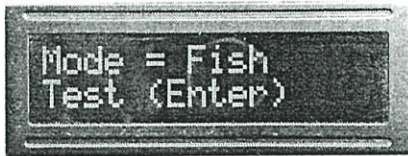


รูปที่ ข3 แสดงโหมดการทำงานของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 โหมด Fish

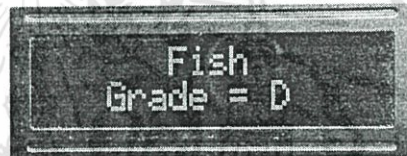
2.1.1 ทำการ กดปุ่ม SELECT(A3) เพื่อเลือกว่า ต้องการตรวจสอบความสดของปลา หรือ ต้องการดูค่าของการวัดครั้งล่าสุดที่วัดได้ จากนั้น กดปุ่ม ENTER(A2) ดังแสดงในรูปที่ ค 4



รูปที่ ข4 แสดงโหมดการทำงานในโหมด Fish

2.1.2 ทำการเสียบโพรบวัดแบบ 4 เข็มลงในตัวปลาบริเวณที่มีความหนาของเนื้อปลามากที่สุด เมื่อได้ความลึกตามที่กำหนด

2.1.3 ทำการ กดปุ่ม ENTER(A2) รอสักครู่ จากนั้นเครื่องจะแสดงเกรดของปลาที่ทำการตรวจวัดผ่านทางจอแอลซีดี ดังแสดงในรูปที่ ข5



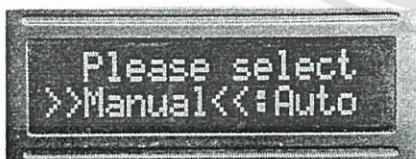
รูปที่ ข5 แสดงผลการตรวจวัดเกรดความสดปลา โหมด Fish

2.1.4 หากต้องการตรวจวัดอีกครั้งให้ กดปุ่ม ENTER(A2) อีกครั้ง เครื่องจะทำการตรวจสอบเกรดของปลาอีกครั้งหนึ่ง

2.1.5 หากต้องการออกจากโหมด Fish ที่ใช้งานอยู่ กดปุ่ม RESET(A4)

2.2 โหมด Other

ทำการกดปุ่ม SELECT (A3) เพื่อเลือกการวัดโหมด Manual หรือโหมดAuto เมื่อเลือกโหมดที่ต้องการจะใช้งานให้กดปุ่ม ENTER (A2) ดังแสดงในรูปที่ ข 6



รูปที่ ข6 แสดงโหมดการทำงานในโหมด Other

2.2.1 โหมด Manual

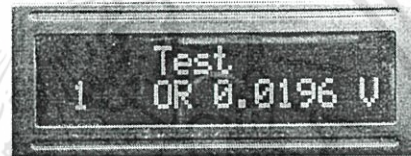
1. ทำการ กดปุ่ม SELECT(A3) เพื่อเลือกว่าต้องการที่จะตรวจวัด หรือต้องการดูค่าของการวัดครั้งล่าสุดที่วัดได้ และกดปุ่ม ENTER(A2) ดังแสดงในรูปที่ ข7



รูปที่ ข7 แสดงการทำงานในโหมด Manual

2. ทำการเสียบโพรบวัดแบบ 4 เข็ม เข้าไปยังวัสดุตัวอย่างที่ต้องการจะตรวจสอบ

3. ทำการ กดปุ่ม ENTER(A2) รอสักครู่ จากนั้นเครื่องจะแสดงค่าที่ทำการตรวจวัดได้ ออกมาเป็นค่าแรงดันผ่านทางจอแอลซีดี ดังแสดงในรูปที่ ข8



รูปที่ ข8 แสดงผลการตรวจวัดเกิดความสดปลา โหมด Manual

4. หากต้องการตรวจวัดอีกครั้งให้ กดปุ่ม ENTER(A2) อีกครั้ง เครื่องจะทำการตรวจวัดอีกครั้งหนึ่ง

5. หากต้องการออกจากโหมด Manual ที่ใช้งานอยู่ ให้กดปุ่ม RESET(A4)

2.2.2 โหมด Auto

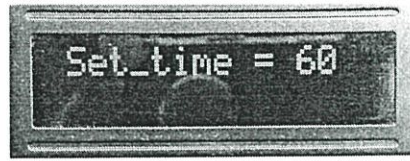
1. ทำการกดปุ่ม SELECT(A3) เพื่อเลือกว่าต้องการที่จะตรวจวัด หรือต้องการดูค่าที่บันทึกไว้ใน memory และกดปุ่ม ENTER(A2) ดังแสดงในรูปที่ ข9



รูปที่ ข9 แสดงการทำงานในโหมด Auto

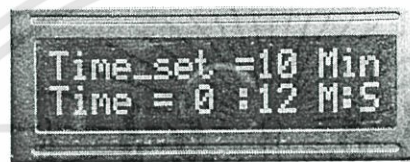
2. ทำการเสียบโพรบวัดแบบ 4 เข็ม เข้าไปยังวัสดุตัวอย่างที่ต้องการจะตรวจสอบ

3. ทำการกดปุ่ม SELECT เพื่อตั้งเวลาในการตรวจวัดในแต่ละครั้ง ระบบสามารถตั้งเวลาในการตรวจวัดได้ตั้งแต่ 10 ถึง 60 นาที ดังแสดงในรูปที่ ข10



รูปที่ ข10 แสดงการตั้งเวลาในการวัด โหมด Auto

4. เมื่อได้เวลาตามที่ต้องการให้กดปุ่ม ENTER เครื่องจะทำการตรวจวัด และบันทึกค่าที่ตรวจวัดไว้โดยอัตโนมัติ สามารถเก็บค่าในหน่วยความจำได้สูงสุด 60 ค่า ดังแสดงในรูปที่ ข11



รูปที่ ข11 แสดงการทำงาน และเก็บค่าในการตรวจวัด โหมด Auto

5. หากต้องการออกจากโหมด Auto ที่ใช้งานอยู่ ให้กดปุ่ม RESET(A4)

ประวัติหัวหน้าโครงการวิจัย/ผู้วิจัยหลัก/ผู้วิจัยร่วม/ที่ปรึกษาโครงการ

1. หัวหน้าโครงการ

- 1.1 ชื่อ (ภาษาไทย) นายมนตรี ไชยชาญยุทธ์
(อังกฤษ) MR. Montree CHAICHANYUT
- 1.2 เลขหมายประจำตัวประชาชน 3 9001 00182 80 8
- 1.3 ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ระดับ 5
- 1.4 หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้
แผนก/ภาควิชา ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ กอง/คณะ วิทยาเขตชุมพร
กรม/มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ที่อยู่ หมู่ 6 ต.ชุมโค อ.ปะทิว จ.ชุมพร 86160
โทรศัพท์ 077-591-445
โทรสาร 077-506-410
Email: kcmontre@kmitl.ac.th

1.5 ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	สาขาวิชา	วิชาเอก	ชื่อสถาบัน การศึกษา	ประเทศ
2547	โท	วศ.ม.	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์	อิเล็กทรอนิกส์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ไทย
2545	ตรี	วศ.บ.	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์	อิเล็กทรอนิกส์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ไทย

1.6 สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชา

- อิเล็กทรอนิกส์ทางการแพทย์และการประมวลผลสัญญาณ
- วิศวกรรมระบบเครื่องมือวัดควบคุมและอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

1.7 ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

1.7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย

1.7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

1.7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

- ชื่อเรื่อง Microwave Ablation with Cap-Choke Antenna: Result in Computer Simulation

วารสาร International Conference organized by Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2010),

ปีที่พิมพ์ 19-21 MAY, 2010, Chiang Mai, THAILAND

สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย

- ชื่อเรื่อง ความเป็นไปได้ในการตรวจจัดการลอกคราบของปูนด้วยวิธีการประมวลผลภาพสำหรับฟาร์มปูนิม

วารสาร การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11

- ปีที่พิมพ์ ประเทศไทย, 6-7 พฤษภาคม 2553
 สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย
- ชื่อเรื่อง เทคนิคการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยคลื่นความถี่ไมโครเวฟแบบสาย พานลำเลียง
- วารสาร การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11
- ปีที่พิมพ์ ประเทศไทย, 6-7 พฤษภาคม 2553
 สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย
- ชื่อเรื่อง เครื่องคัดแยกขนาดสับปรดโดยใช้อินฟาเรดเซนเซอร์
- วารสาร การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11
- ปีที่พิมพ์ ประเทศไทย, 6-7 พฤษภาคม 2553
 สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย
- ชื่อเรื่อง เครื่องคว่ำกาแฟ
- วารสาร การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11
- ปีที่พิมพ์ ประเทศไทย, 6-7 พฤษภาคม 2553
 สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย
- ชื่อเรื่อง การออกแบบโพรบตรวจจับความชื้นในผิวดินด้วยวิธีการวัดความนำ ไฟฟ้า
- วารสาร การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10
- ปีที่พิมพ์ ประเทศไทย, 1-3 เมษายน 2552
 สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย
- ชื่อเรื่อง ระบบต้นแบบการเก็บข้อมูลขนาดความยาว และ ภู่านักของปลาทะเล
- วารสาร การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10
- ปีที่พิมพ์ ประเทศไทย, 1-3 เมษายน 2552
 สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย
- ชื่อเรื่อง ระบบต้นแบบการตรวจจับการลอกคราบของปูทะเลสำหรับฟาร์มปูน้ำจืดด้วยวิธีการประมวลผลภาพ
- วารสาร การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10
- ปีที่พิมพ์ ประเทศไทย, 1-3 เมษายน 2552
 สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย
- ชื่อเรื่อง ตู้ต้นแบบเพื่อการเพาะถั่วงอกปลอดสารพิษในครัวเรือนด้วยระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น
- วารสาร การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10
- ปีที่พิมพ์ ประเทศไทย, 1-3 เมษายน 2552
 สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย
- ชื่อเรื่อง LENGTH EFFECT OF DIELECTRIC-TIP MONOPOLE ANTENNA TO TEMPERATURE DISTRIBUTIONS FOR MICROWAVE ABLATION
- วารสาร International Conference on Cellular & Molecular Bioengineering
- ปีที่พิมพ์ 10-12th December 2007, Singapore
- สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย
- ชื่อเรื่อง LENGTH EFFECT OF METAL-TIP MONOPOLE ANTENNA TO TEMPERATURE DISTRIBUTIONS FOR MICROWAVE ABLATION
- วารสาร World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2006
- ปีที่พิมพ์ August 27 –September 1 WC 2006
- สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย

- ชื่อเรื่อง COMPARISON TEMPERATURE DISTRIBUTION BETWEEN MICROWAVE AND RADIO-FREQUENCY ABLATION PROBE IN HEPATIC CANCER
วารสาร World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2006
ปีที่พิมพ์ August 27 –September 1 WC 2006
สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย
- ชื่อเรื่อง “FINITE ELEMENT METHOD FOR ANALYSIS OF HEPATIC CANCER TISSUE DESTRUCTION USING 2.45 GIGAHERTZ ANTENNAS”
วารสาร ICBME the 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOMEDICAL ENGINEERING
ปีที่พิมพ์ December 7-10, 2005
สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย
- ชื่อเรื่อง “Finite Element Analyses for a study of Hepatic cancer tissue destruction using monopolar and bipolar Radio-frequency Ablation”
วารสาร ISBME INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BIOMEDICAL ENGINEERING
ปีที่พิมพ์ November 16-18, 2004
สถานภาพในการทำวิจัย ผู้ร่วมวิจัย
- ชื่อเรื่อง “ระบบเก็บข้อมูลสำหรับอุณหภูมิและความชื้น”
วารสาร การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5
ปีที่พิมพ์ 2547
สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย

1.7.4 งานวิจัยที่กำลังจะทำ

- ชื่อเรื่อง “การศึกษาอัลกอริทึมในการประมวลผลภาพสำหรับการตรวจจับการลอกคราบของปูนในพาร์มเลียง”
สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย
แหล่งเงินทุน งบวิจัยเงินรายได้วิทยาเขตชุมพร 2553
- ชื่อเรื่อง “เทคนิคการทดสอบความชื้นของเมล็ดพันธุ์โดยใช้คลื่นไมโครเวฟ”
สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย
แหล่งเงินทุน งบวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ 2553
- ชื่อเรื่อง “เครื่องต้นแบบสำหรับสร้างแบบแม่พิมพ์กระดาษเพาะชำต้นกล้าจากเส้นใยถลายปาล์มเพื่อช่วยลดโลกร้อน”
สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย
แหล่งเงินทุน งบวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ 2553

2. ผู้ร่วมวิจัย

2.1 ชื่อ (ภาษาไทย)	นายพิมล ผลพุกษา		
(อังกฤษ)	MR. Phimon PHONPHRUKSA		
2.2 เลขหมายประจำตัวประชาชน	3 8601 00763 24 1		
2.3 ตำแหน่งปัจจุบัน	อาจารย์ระดับ 5		
2.4 หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้			
แผนก/ภาควิชา	ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์	กอง/คณะ	วิทยาเขตชุมพร
กรม/มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		
ที่อยู่	หมู่ 6 ต.ชุมโค อ.ปะทิว จ.ชุมพร 86160		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรศัพท์ 077-591-445
 โทรสาร 077-506-410
 Email: kpphimon@kmitl.ac.th

2.5 ประวัติการศึกษา

ปีจบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	สาขาวิชา	วิชาเอก	ชื่อสถาบัน การศึกษา	ประเทศ
2545	โท	วศ.ม.	วิศวกรรม อิเล็กทรอนิกส์	อิเล็กทรอนิกส์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ไทย
2543	ตรี	วศ.บ.	วิศวกรรม อิเล็กทรอนิกส์	อิเล็กทรอนิกส์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ไทย

2.6 สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชา

- อิเล็กทรอนิกส์ทางการแพทย์และการประมวลผลสัญญาณ
- วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ และการประมวลผล

2.7 ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ: ระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่า

เป็นหัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละเรื่อง

3.7.1 การบริหารงานวิจัย: ชื่อแผนงานวิจัยหรือชุดโครงการวิจัย

3.7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

3.7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว: ชื่อเรื่อง ปีที่พิมพ์การเผยแพร่และสถานภาพในการทำวิจัย

- ชื่อเรื่อง “วิธีการและเครื่องมือในการวัดหาค่า ผลตอบสนองการส่งผ่านของฮีมาโตคริตโดยวิธีการทางแสง”

วารสาร การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 25 (EECON-25)
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ปีที่พิมพ์ 2545

สถานภาพในการทำวิจัย ผู้วิจัย

- ชื่อเรื่อง “A Photoplethysmographic Method For real time Hematocrit Monitoring”

วารสาร International Congress on Biological and Medical Engineering (ICBME)

ปีที่พิมพ์ 2002

สถานภาพในการทำวิจัย ผู้วิจัย

2.7.4 งานวิจัยที่กำลังจะทำ ---

3. ผู้ร่วมวิจัย

3.1 ชื่อ (ภาษาไทย) นายอรธศาสตร์ นาคเทวัญ

(ภาษาอังกฤษ) Mr. Athasart NARKTHEWAN

3.2 หมายเลขประจำตัวประชาชน 3 8097 00050 44 8

3.3 ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ ระดับ 5

3.4 หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้

แผนก/ภาควิชา ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ กอง/คณะ วิทยาเขตชุมพร
 กรม/มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ที่อยู่ หมู่ 6 ต.ชุมโค อ.ปะทิว จ.ชุมพร 86160

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรศัพท์ 077-591-445
 โทรสาร 077-506-410
 Email: knathasa@kmitl.ac.th

3.5 ประวัติการศึกษา

ปีจบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	สาขาวิชา	วิชาเอก	ชื่อสถาบัน การศึกษา	ประเทศ
2545	โท	วศม.	วิศวกรรมไฟฟ้า	อิเล็กทรอนิกส์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ไทย
2536	ตรี	คอบ.	ครุศาสตร์ วิศวกรรม	อิเล็กทรอนิกส์ และ คอมพิวเตอร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ไทย

3.6 สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิมการศึกษ) ระบุสาขาวิชา

- Image Processing
- Pattern Recognition

3.7 ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นหัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละเรื่อง

3.7.1 การบริหารงานวิจัย: ชื่อแผนงานวิจัยหรือชุดโครงการวิจัย

3.7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

3.7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

- ชื่อเรื่อง “การตรวจสอบสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต.”
 วารสาร การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41
 ปีที่พิมพ์ 3-7 กุมภาพันธ์ 2546.
 สถานภาพในการทำวิจัย ผู้วิจัย
- ชื่อเรื่อง “การวิเคราะห์เท็กเจอร์โดยใช้การแปลงเวฟเล็ต.”
 วารสาร การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 20
 ปีที่พิมพ์ พฤศจิกายน 2540.
 สถานภาพในการทำวิจัย ผู้วิจัย
- ชื่อเรื่อง “การแก้ไขรายละเอียดของภาพโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต.”
 วารสาร วิศวกรรมลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ปีที่พิมพ์ เมษายน 2540.
 สถานภาพในการทำวิจัย ผู้วิจัย

3.7.4 งานวิจัยที่กำลังจะทำ ---

4. ผู้ร่วมวิจัย

- 4.1 ชื่อ (ภาษาไทย) นายสักกะพันธ์ คล้ายดอกจันทร์
 (อังกฤษ) Mr. Sakapan KLAYDOKJAN
- 4.2 เลขหมายประจำตัวประชาชน 3 8001 00551 10 3
- 4.3 ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ระดับ 4
- 4.4. หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนก/ภาควิชา ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ กอง/คณะ วิทยาเขตชุมพร
 กรม/มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ที่อยู่ หมู่ 6 ต.ชุมโค อ.ปะทิว จ.ชุมพร 86160
 โทรศัพท์ 077-591-445
 โทรสาร 077-506-410
 Email: kksakapa@kmitl.ac.th

4.5 ประวัติการศึกษา

ปีจบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	สาขาวิชา	วิชาเอก	ชื่อสถาบัน การศึกษา	ประเทศ
2545	โท	วศ.ม.	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์	อิเล็กทรอนิกส์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ไทย
2542	ตรี	วศ.บ.	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์	อิเล็กทรอนิกส์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ไทย

4.6 สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชา

- การประมวลผลสัญญาณ
- ระบบวัดและควบคุม

4.7 ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

4.7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย

4.7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

4.7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

- ชื่อเรื่อง “Real time Electrocardiogram Compression Technique using wavelet transform on MCS-51”

วารสาร Proceedings of 16-TH Biennial International Eurasip conference on biosignal

ปีที่พิมพ์ May 2002

สถานภาพในการทำวิจัย ผู้วิจัย

4.7.4 งานวิจัยที่กำลังจะทำ ---

5. ผู้ร่วมวิจัย

- 5.1 ชื่อ (ภาษาไทย) นางสาวแหวลี วิบูลย์กิจ
 (ภาษาอังกฤษ) Miss Kaewalee Viboonkit
- 5.2 เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-9001-01095-93-3
- 5.3 ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
- 5.4 หน่วยงานที่สังกัด สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร (เทคโนโลยีการประมง)
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 วิทยาเขตชุมพร
 17/1 ม.6 ต.ชุมโค อ.ปะทิว จ.ชุมพร 86160
 โทรศัพท์. +66 4858 1596, +66 7759 1444-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรสาร. 0-7759-1445
อีเมลล์: kvkaewal@kmitl.ac.th

5.5. ประวัติการศึกษา

ปีจบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญาและชื่อเต็ม	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2545	ปริญญาโท	วท.ม. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต	วิทยาศาสตร์ทางทะเล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	ไทย
2540	ปริญญาตรี	วท.บ. วิทยาศาสตร์บัณฑิต	การประมง	มหาวิทยาลัยแม่โจ้	ไทย

5.6 สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

- สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง สรีรวิทยาสัตว์น้ำ วิทยาศาสตร์ทางทะเล
- การเพาะเลี้ยงกุ้งและครัสเตเชียน พันธุกรรมของกุ้ง

5.7 ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

5.7.1 งานวิจัยที่สำเร็จแล้ว:

- 1) ชื่อเรื่อง : ความหลากหลายของชนิดกุ้งสกุล *Penaeus* ที่พบในบริเวณอ่าวไทยตอนบน
การเผยแพร่: - วิทยานิพนธ์ปริญญาโท (2545) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- เสวนาวิชาการเรื่องกุ้ง (2543) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
สถานภาพ: หัวหน้าโครงการ
แหล่งทุน: โครงการพัฒนาองค์ความรู้และศึกษานโยบายการจัดการทรัพยากรชีวภาพในประเทศไทย (BRT)
- 2) ชื่อเรื่อง : การรวบรวมวิเคราะห์และสังเคราะห์งานวิจัยกุ้งทะเลของประเทศไทย (2547)
การเผยแพร่: - รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
- การสัมมนาเผยแพร่งานวิจัย “การวิจัยเพื่อแก้ปัญหาอุตสาหกรรมกุ้งของประเทศไทย” สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
สถานภาพ: ผู้ร่วมโครงการ
แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
- 3) ชื่อเรื่อง : การปรับปรุงพันธุ์กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius) ให้ได้สายพันธุ์ที่เหมาะสม เพื่อการเลี้ยงในสภาพความเค็มต่ำ (2547)
การเผยแพร่: รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
สถานภาพ: ผู้ร่วมโครงการ
แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
- 4) ชื่อเรื่อง : Species-Specificity of *Penaeus monodon*'s Microsatellite Markers in *Penaeus* Species
การเผยแพร่: อยู่ในระหว่างการตีพิมพ์
สถานภาพ: หัวหน้าโครงการ
แหล่งทุน: โครงการพัฒนาองค์ความรู้และศึกษานโยบายการจัดการทรัพยากรชีวภาพในประเทศไทย (BRT)
- 5) ชื่อเรื่อง : การพัฒนาเครื่องร่อนควั่นหอยแมลงภูโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับควั่นร้อน
สถานภาพ: ผู้ร่วมโครงการ
แหล่งทุน: กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ
- 6) การศึกษาห้องรวมควั่นหอยแมลงภูแบบพลังงานความร้อนร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานภาพ: ผู้ร่วมโครงการ
แหล่งทุน: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพร (งบประมาณเงินรายได้)

5.7.2 งานวิจัยที่กำลังทำ

- 1) ชื่อเรื่อง : การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกุ้งขาวแวนนาไมท์ (*Litopenacus vannamei*) ไซต์ใหญ่ และสีเข้มด้วยการเสริมสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ตามแนวเกษตรอินทรีย์

สถานภาพ: ผู้ร่วมโครงการ
แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
สถานภาพการทำวิจัย: จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

- 2) ชื่อเรื่อง : ปริมาณโลหะหนักในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจที่จับได้ในจังหวัดชุมพร

สถานภาพ: หัวหน้าโครงการ
แหล่งทุน: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพร (งบประมาณเงินรายได้)

สถานภาพการทำวิจัย: ระหว่างการดำเนินการ

- 3) ชื่อเรื่อง : การกระตุ้นการปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ของปลิงดำ *Holothuria atra* Jaeger, 1833 (Echinodermata: Holothuroidea) โดยอาศัยการปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมบางประการ

สถานภาพ: หัวหน้าโครงการ
แหล่งทุน: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพร (งบประมาณเงินรายได้)

สถานภาพการทำวิจัย: ทุนวิจัยปี 2555 (รอดำเนินการ)

- 4) ชื่อเรื่อง : การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการอนุบาลตัวอ่อนปลิงดำ (*Holothuria atra* Jaeger, 1833) ระยะ Auricularia จนถึงระยะลงเกาะ

สถานภาพ: หัวหน้าโครงการ
แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
สถานภาพการทำวิจัย: ทุนวิจัยปี 2555 (รอดำเนินการ)

6. ที่ปรึกษาโครงการ

6.1 ชื่อ (ภาษาไทย)	นายพลศาสตร์ เลิศประเสริฐ
(ภาษาอังกฤษ)	Mr.Polsart LERTPASERT
6.2 เลขหมายประจำตัวประชาชน	3 3001 00371 48 7
6.3 ตำแหน่งปัจจุบัน	อาจารย์ ระดับ 7
6.4 หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้	
แผนก/ภาควิชา	ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ กอง/คณะ คณะวิศวกรรมศาสตร์
กรม/มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ที่อยู่	3 หมู่ 2 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์	02-326-4222-3
โทรสาร	02-7392398
Email:	klpolsar@kmitl.ac.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญาและชื่อเต็ม	สาขาวิชา	วิชาเอก	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2533	ปริญญาโท	วศ.ม.วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	วิศวกรรมไฟฟ้า	อิเล็กทรอนิกส์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ไทย
2530	ปริญญาตรี	อส.บ. อดสาหกรรมศาสตรบัณฑิต	เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์	อิเล็กทรอนิกส์	สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ไทย

6.6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชา

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ และการประมวลผลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
วิศวกรรมระบบควบคุมและอิเล็กทรอนิกส์กำลัง
วิศวกรรมคลื่นเสียง

6.7 ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ: ระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นหัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละเรื่อง

6.7.1 การบริหารงานวิจัย: ชื่อแผนงานวิจัยหรือชุดโครงการวิจัย

6.7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

6.7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว: ชื่อเรื่อง ปีที่พิมพ์การเผยแพร่และสถานภาพในการทำวิจัย

- ชื่อเรื่อง “เครื่องต้นแบบเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ อัตราการเต้นของหัวใจ และอัตราการหายใจ แบบแสดงผลบนจอภาพใช้ในสนาม”

วารสาร รายงานการวิจัยห้องวิจัยอิเล็กทรอนิกส์ทางการแพทย์ ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีที่พิมพ์ 2530

สถานภาพในการทำวิจัย ผู้ร่วมวิจัย

- ชื่อเรื่อง “ระบบแสดงสัญญาณจากร่างกายสำหรับห้องผู้ป่วยหนัก”

วารสาร การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 10 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีที่พิมพ์ 24-25 พฤศจิกายน 2530

สถานภาพในการทำวิจัย ผู้ร่วมวิจัย

- ชื่อเรื่อง “ระบบส่งคลื่นไฟฟ้าหัวใจด้วยคลื่นวิทยุ”

วารสาร การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า 9 สถาบัน ครั้งที่ 11 คณะวิศวกรรมเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

ปีที่พิมพ์ 16-17 ธันวาคม 2531

สถานภาพในการทำวิจัย ผู้ร่วมวิจัย

- ชื่อเรื่อง “เครื่องวัดความดันโลหิตควบคุมโดยไมโครโปรเซสเซอร์

วารสาร การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 13 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปีที่พิมพ์ 8-9 พฤศจิกายน 2533

สถานภาพในการทำวิจัย ผู้ร่วมวิจัย

- ชื่อเรื่อง “เทคนิคการวัดความต้านทานทางไฟฟ้าของร่างกาย”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วารสาร การประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 14 คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่

ปีที่พิมพ์ 7-8 พฤศจิกายน 2534

สถานภาพในการทำวิจัย ผู้ร่วมวิจัย

- ชื่อเรื่อง “การใช้จอ VGA ในการแสดงผลรูปสี่เหลี่ยม”

วารสาร การประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 15 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปีที่พิมพ์ 3-4 ธันวาคม 2535

สถานภาพในการทำวิจัย ผู้ร่วมวิจัย

- ชื่อเรื่อง “เครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ 2 ช่องสัญญาณ”

วารสาร วิศวกรรมสาร ปีที่ 46 เล่มที่ 8

ปีที่พิมพ์ สิงหาคม 2535

สถานภาพในการทำวิจัย ผู้ร่วมวิจัย

- ชื่อเรื่อง “Microprocessor base Arrhythmia Monitor Processing”

วารสาร Asian Australia Regional Conference on Biomedical Electronics 1994,
Institute Technology Bandung, INDONESIA

ปีที่พิมพ์ 27-29 April 1994

สถานภาพในการทำวิจัย ผู้ร่วมวิจัย

6.7.4 งานวิจัยที่กำลังจะทำ: ชื่อเรื่องและสถานภาพในการทำวิจัย

- ชื่อเรื่อง “การสร้างต้นแบบแขนกลโดยใช้เส้นใยไฟเบอร์”

สถานภาพในการทำวิจัย ที่ปรึกษาโครงการ

- ชื่อเรื่อง “การควบคุมแขนกลแบบป้อนกลับทางลบ”

สถานภาพในการทำวิจัย ที่ปรึกษาโครงการ

- ชื่อเรื่อง “เครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์ UHF”

สถานภาพในการทำวิจัย ที่ปรึกษาโครงการ

- ชื่อเรื่อง “การควบคุมหุ่นยนต์อัตโนมัติ”

สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้ากลุ่มวิจัย



T142873

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้