

การพัฒนาระบบวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันในผลปาล์มดิบโดยใช้เทคนิคการ
เปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้า

DEVELOPMENT OF AN OIL PERCENTAGE MEASURING SYSTEM IN
RAW PALM USING CAPACITIVE SENSING TECHNIQUE

พงษ์สกุล ศรีเพชร
PONGSAKUN SRIPHANT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2562

KMITL-2019-SC-M-030-050

การพัฒนาระบบวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันในผลปาล์มดิบโดยใช้เทคนิคการ
เปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้า

DEVELOPMENT OF AN OIL PERCENTAGE MEASURING SYSTEM IN
RAW PALM USING CAPACITIVE SENSING TECHNIQUE

พงษ์สกุล ศรีเพชร
PONGSAKUN SRIPHANT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-SC-M-030-050

DEVELOPMENT OF AN OIL PERCENTAGE MEASURING SYSTEM IN
RAW PALM USING CAPACITIVE SENSING TECHNIQUE

PONGSAKUN SRIPHANT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS
DEPARTMENT OF PHYSICS FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2019

KMITL-2019-SC-M-030-050

COPYRIGHT 2019

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันในผลปาล์มดิบ โดยใช้เทคนิคการเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้า
ชื่อนักศึกษา	นายพงษ์สกุล ศรีเพชร
รหัสประจำตัว	57605085
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์อนุพงศ์ สรงประภา

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการพัฒนาระบบวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันในผลปาล์มดิบโดยใช้เทคนิคการเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้า โดยระบบที่พัฒนามีทั้งสิ้น 2 ระบบ คือ ระบบวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันแบบตั้งโต๊ะและระบบวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันแบบพกพา ระบบวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันแบบตั้งโต๊ะนั้น ใช้ไอซี AD7747 ความละเอียด 24 บิต ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino R3 โดยโพรบวัดเป็นแผ่นไฟฟ้าคู่ขนาน ในระบบวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันแบบพกพา ใช้ไอซี LM555 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano โพรบวัดใช้ RCA แจ็ค ในส่วนของโปรแกรมเป็นการวัดค่าความจุไฟฟ้าและคำนวณกลับมาเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำมันโดยเทียบกับการสกัดด้วยวิธีทางเคมี พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการวัดไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : ความจุไฟฟ้า, น้ำมันปาล์มดิบ, แผ่นไฟฟ้าคู่ขนาน

Thesis Title	Development of an oil percentage measuring system in raw palm Using capacitive sensing technique
Student Name	Mr. Pongsakun Sriphant
Student ID	57605085
Degree	Master of Science (Applied physics)
Department	Applied physics
Year	2019
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Anupong Srongprapa

Abstract

In this thesis proposed to develop of an oil percentage measuring system in raw palm using capacitive sensing technique. The oil percentage measuring system included desktop and portable system. The desktop system used Arduino R3 microcontroller, parallel plate electrode and capacitive digital convertor (AD7747).The portable system used Arduino Nano microcontroller, LM555 and RCA jack probe. The program is measured of the electrical capacity and calculation to oil percentage. The prototype of desktop and portable system were test with crude palm oil (CPO) and raw palm. The result of oil percentage was compared with chemical extraction below 5 %.

Keywords: capacitive, crude palm oil (CPO), parallel plate

กิตติกรรมประกาศ

สำหรับความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ อนุพงศ์ สรงประภา ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ท่านได้ให้แนวทางการวิจัย การช่วยเหลือแก้ไขในส่วนที่ไม่เข้าใจ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่เป็นกรรมการสอบหัวข้อ ที่คอยให้ความรู้และแนะนำข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อที่จะได้นำไปแก้ไขให้ดีขึ้น และขอขอบคุณทางภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ข้าพเจ้าได้หยิบยืมอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยนี้

ขอขอบคุณผลงานวิจัยและเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ ที่ข้าพเจ้าได้หยิบยืมมา ที่ทำให้เกิดความสนใจในการทำงานวิจัยนี้ ซึ่งข้าพเจ้าคาดว่างานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจในภาคหน้า และพัฒนาต่อยอดในลำดับถัดไป

ขอขอบคุณ บริษัทสุขสมบูรณ์ น้ำมันพืช จำกัด อำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี ที่ได้ให้การสนับสนุน อำนวยความสะดวกและขอขอบพระคุณ คุณวรฤทัย ตูลาผล และเจ้าหน้าที่ทุกคนในห้องแลปที่คอยให้การสนับสนุนและคำแนะนำในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยอิเล็กทรอนิกส์และห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องมือทางการแพทย์ และสิ่งแวดล้อม ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ โดยมีพี่และเพื่อน ๆ ในห้องปฏิบัติการฯ ทุกท่านเป็นแรงผลักดัน

สุดท้ายคุณความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแก่บิดา นายวีรวัฒน์ และมารดา นางสาวเรียง ศรีเพชร ที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า

พงษ์สกุล ศรีเพชร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ไฟฟ้าสถิต	3
2.1.1 กฎของคูลอมบ์	3
2.1.2 สนามไฟฟ้า	4
2.1.3 เส้นแรงไฟฟ้า	5
2.1.4 ศักย์ไฟฟ้า	6
2.2 กฎของเกาส์	7
2.2.1 ไดโพล (Dipole)	8
2.2.2 ความหนาแน่นพลังงานในสนามไฟฟ้าสถิต	9
2.3 ความจุไฟฟ้า	10
2.3.1 การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน	11
2.3.2 การต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม	11
2.4 ปาล์มน้ำมัน	12
2.4.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของปาล์มน้ำมัน	12
2.4.2 การผลิตน้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil, CPO)	13
2.4.3 มาตรฐานและดัชนีเก็บเกี่ยวของปาล์มน้ำมัน	14
2.4.4 การแบ่งชั้นคุณภาพปาล์มน้ำมัน	14
2.5 การสกัดสารจากของแข็งด้วยตัวทำละลาย	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	17
3.1 การออกแบบระบบวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันแบบตั้งโต๊ะ	17
3.1.1 ภาชนะที่ใช้บรรจุสาร	17
3.1.2 การออกแบบแผ่นไฟฟ้าคู่ขนาน	18
3.1.3 การออกแบบวงจรวัดค่าความจุไฟฟ้า	18

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.1.4 โปรแกรมและการเปรียบเทียบ	19
3.1.5 การเตรียมน้ำมันปาล์มดิบเพื่อใช้การวัดค่าความจุไฟฟ้า	21
3.1.6 การวัดค่าความจุไฟฟ้า	23
3.1.7 การวัดค่าความจุไฟฟ้าเทียบกับเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม	24
3.2 การออกแบบระบบวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันแบบพกพา	25
3.2.1 การออกแบบวงจรไฟฟ้า	25
3.2.2 การออกแบบโพรบวัดค่าความจุไฟฟ้า	26
3.2.3 การออกแบบโปรแกรมการทำงาน	27
3.2.4 การวัดค่าความจุไฟฟ้า	28
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	29
4.1 เครื่องวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันแบบตั้งโต๊ะ	29
4.1.1 ผลการเปรียบเทียบเครื่องวัดกับ LCR Meter	29
4.1.2 ผลการทดสอบระยะห่างระหว่างแผ่นไฟฟ้าคู่ขนานกับความจุไฟฟ้า	29
4.1.3 ผลการวัดค่าความจุไฟฟ้ากับความเข้มข้นของCPO	30
4.1.4 ผลการวัดค่าความจุไฟฟ้าเทียบกับเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มดิบ	31
4.2 เครื่องวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันแบบพกพา	31
4.2.1 ผลการเปรียบเทียบเครื่องวัดกับ LCR Meter	31
4.2.2 ผลการวัดค่าความจุไฟฟ้าเทียบกับเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มดิบ	32
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	33
5.1 สรุปผลการวิจัย	33
5.2 ข้อเสนอแนะ	33
เอกสารอ้างอิง	34
ภาคผนวก	36
ภาคผนวก ก	37
ภาคผนวก ข	40
ภาคผนวก ค	42
ภาคผนวก ง	43
ภาคผนวก จ	44
ภาคผนวก ฉ	45
ภาคผนวก ช	46
ประวัติผู้เขียน	52

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ประจุและมวลของอิเล็กตรอน โปรตอน และนิวตรอน	4
3.1 อัตราส่วนของน้ำมันปาล์มดิบ Crude Palm Oil (CPO) ผสมกับน้ำที่ความเข้มข้น ต่าง ๆ	21
3.1 (ต่อ)อัตราส่วนของน้ำมันปาล์มดิบ Crude Palm Oil (CPO) ผสมกับน้ำที่ความเข้มข้น ต่าง ๆ	22

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เบนจามิน แฟรงคลิน	3
2.2 ภาพประจุกี่จุดกันและผลักกัน	3
2.3 (ก) เส้นแรงไฟฟ้า จุดประจุบวกอิสระ (ข) เส้นแรงไฟฟ้า จุดประจุลบอิสระ	4
2.4 เส้นแรงไฟฟ้าจุดประจุต่างชนิดกันของแผ่นคู่ขนาน	4
2.5 ฟลักซ์ไฟฟ้า	7
2.6 ฟลักซ์ไฟฟ้าที่ผ่านพื้นผิวเอียง	7
2.7 ฟลักซ์ไฟฟ้าที่ไหลผ่านพื้นผิวลักษณะต่าง ๆ	8
2.8 ไดโพล	8
2.9 แสดงสัญญาณลักษณะของตัวเก็บประจุ	10
2.10 แผ่นไฟฟ้าคู่ขนาน	10
2.11 การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน	11
2.12 การต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม	12
2.13 ทะลายปาล์ม	12
2.14 โครงสร้างของผลปาล์ม	13
2.15 เครื่องสกัดซอท์กเล็ก	15
3.1 ระบบวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันแบบตั้งโต๊ะ	17
3.2 (ก) คิวเวทท์ (ข) แผนภาพขนาดคิวเวทท์	18
3.3 แผนภาพออกแบบแผ่น PCB	18
3.4 ภาพวงจรวัดค่าความจุไฟฟ้า	19
3.5 ภาพโปรแกรม Arduino IDE	19
3.6 ภาพหน้าต่างแสดงผล	20
3.7 แผนภาพโปรแกรม	20
3.8 LCR meter ยี่ห้อ LEADER รุ่น LCR-746	21
3.9 การเตรียมตัวอย่าง CPO	22
3.10 ตัวอย่างน้ำมันปาล์มดิบ	22
3.11 การสันตัวอย่างด้วยเครื่อง Ultrasonic	23
3.12 (ก) ภาพตัวอย่างน้ำมันปาล์มดิบก่อนสันด้วย Ultrasonic (ข) ภาพตัวอย่างน้ำมันปาล์มดิบหลังสันด้วย Ultrasonic	23
3.13 การวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำมันปาล์ม	23
3.14 ปาล์มน้ำมัน	24
3.15 ตัวอย่างผลปาล์มหลังการหัน	24
3.16 เครื่องซอท์กเล็ก	24
3.17 ระบบวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันแบบพกพา	25

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.18	วงจรไฟฟ้าของเครื่องวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันชนิดพกพา	25
3.19	แสดงการวัดค่าความจุไฟฟ้าด้วย LM555	26
3.20	RCA แจ็ค	26
3.21	แผนภาพโปรแกรม	27
3.22	การทำงานของโปรแกรม	27
3.23	การวัดค่าความจุไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดแบบพกพา	28
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง LCR meter กับ AD7747	29
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างแผ่นไฟฟ้าคู่ขนานกับความจุไฟฟ้า	30
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำมันปาล์มดิบกับความจุไฟฟ้า	30
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มกับค่าความจุไฟฟ้า	31
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง LCR meter กับ LM555	31
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับเปอร์เซ็นต์น้ำมัน	32

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากความสำคัญของอุตสาหกรรมทั้งต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำของน้ำมันปาล์ม ซึ่งเป็นแหล่งผลิตน้ำมันจากพืช ที่มีกำลังการผลิตในปริมาณมากถึง 13% จัดเป็นอันดับสองของโลกรองจากถั่วเหลือง และในปัจจุบันมีความต้องการเพิ่มมากขึ้นทั้งในส่วนของภาคธุรกิจ อุตสาหกรรม เครื่องสำอาง ฯลฯ ที่สำคัญ คือ การนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปของไบโอดีเซล โดยประเทศอินโดนีเซีย มาเลเซีย และไทย ครองสัดส่วนในการตลาดเป็น 46% 41% และ 3% ตามลำดับ[1] การสนับสนุนให้มีการเพิ่มพื้นที่การเพาะปลูกให้มากขึ้น ไม่ใช่การตอบโจทยที่ตีเสมอไป แนวทางที่ยั่งยืนในส่วนของเกษตรกร คือ การมุ่งเน้นการพัฒนาพันธุ์ที่มีผลผลิตต่อไร่สูง ทนทานต่อโรค ศัตรูพืช และสภาพดินฟ้าอากาศ ในส่วนของโรงงานแปรรูป ควรนำเทคโนโลยีมาใช้ในการลดต้นทุนการผลิต และมีผลได้ (yield) ของกระบวนการผลิตที่สูง เนื่องจากปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากผลปาล์มน้ำมันไม่เพียงแต่จะขึ้นกับชนิดของสายพันธุ์และความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารในดิน ยังขึ้นกับปัจจัยที่สำคัญ คือ ช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม โดยในช่วงราวสัปดาห์ที่ 15 หลังจากดอกบานเต็มที่ เนื้อปาล์ม (mesocarp) เริ่มสะสมไขมันคาร์ราว 0.1 – 48% เมื่อสุกเต็มที่ราวสัปดาห์ที่ 20 ส่วนของน้ำหรือความชื้นใน mesocarp ลดลงราว 88% เหลือ 3% [2] และเนื่องจากธรรมชาติของการได้รับสารอาหารจากลำต้น ทำให้ผลปาล์มในทะเลสาบไม่พร้อมกัน การรอให้ผลปาล์มสุกทั้งทะเลสาบและความล่าช้าในการขนส่งจะทำให้เนื้อของผลปาล์มสุกเกิน เกิดเป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acid)[3] ทำให้ปริมาณน้ำมันที่จะสกัดได้ลดลงมาก ดังนั้นการตรวจสอบปริมาณน้ำมันในผลปาล์มดิบด้วยความรวดเร็ว แม่นยำ และราคาประหยัด จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งในการสร้างความเชื่อมั่นให้กับเกษตรกรและโรงงานผู้ซื้อ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับทั้งสองฝ่าย

การวัดปริมาณน้ำมันในผลปาล์มดิบ ด้วยวิธี Soxhlet[4,14] เป็นวิธีมาตรฐาน อาศัยกระบวนการการเตรียมสารและปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งมีความยุ่งยากและใช้เวลานาน ส่วนวิธีอื่น ๆ เช่น การใช้เทคนิคการก้ำทอนของนิวเคลียสในสนามแม่เหล็ก (Nuclear Magnetic Resonance, NMR)[5] การใช้คลื่นไมโครเวฟ (Microwave) การใช้คลื่นใกล้อินฟราเรด (Near-Infrared)[6] ต่างก็มีข้อดี ข้อด้อยที่แตกต่างกัน แต่สิ่งหนึ่งที่เหมือนกันคือ ระบบมีราคาแพง

โดยหัวข้อการวิจัยนี้อาศัยหลักการวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันในผลปาล์ม โดยพิจารณาจากสมบัติทางไดอิเล็กทริก (Dielectric) และค่าความจุไฟฟ้า (Capacitance) ของสาร เช่นเดียวกับวิธีการทางไมโครเวฟ แต่เป็นเทคนิคที่มีความถ่วงในการวัดค่าความจุไฟฟ้า โดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็ก ค่าระดับการตอบสนอง (Sensitivity) และความแม่นยำ (Accuracy) สูง และเนื่องจากการพัฒนาอย่างก้าวกระโดดของเทคโนโลยีจอสัมผัสจึงส่งผลให้ราคาและวงจรรวม (Integrating Circuits ,IC) มีราคาและขนาดลดลง การออกแบบต้นแบบเครื่องมือการวัดค่าความจุไฟฟ้าจึงออกแบบให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็กกับส่วนหัววัดความจุไฟฟ้า (Capacitive sensor) อยู่ในแผงวงจรเดียวกันและมีหน้าจอสถงผลแบบLiquid Crystal Display (LCD) แสดงค่าปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมัน ระบบจึงมีความกะทัดรัด ราคาถูก และสามารถนำไปตรวจสอบระดับการสะสมของน้ำมันในผลปาล์มได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาค่าความจุไฟฟ้าของผลปาล์มน้ำมัน
- 2) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับเปอร์เซ็นต์น้ำมันของผลปาล์ม
- 3) เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบการวัดปริมาณน้ำมันของผลปาล์ม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) สามารถออกแบบและพัฒนาระบบการวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันในผลปาล์มดิบ
- 2) สามารถวัดปริมาณน้ำมันโดยใช้หลักการวัดค่าความจุไฟฟ้า

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) มีความรู้ความเข้าใจหลักการวัดปริมาณน้ำมันในผลปาล์มน้ำมัน
- 2) สามารถสร้างเครื่องมือวัดปริมาณน้ำมันในผลปาล์มดิบราคาถูกลงได้
- 3) เพื่อเป็นเครื่องมือวัดต้นแบบที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในการพัฒนาอุตสาหกรรม การเกษตรได้

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีต่าง ๆ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่ ไฟฟ้าสถิต กฎของเกาส์ ความจุไฟฟ้าและปัลมน้ำมัน การสักระยะจากของแข็งด้วยตัวทำละลาย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ไฟฟ้าสถิต

เมื่อประมาณ 550 ปี ก่อนคริสตกาล นักปราชญ์ชาวกรีก ชื่อ ทาลีส (Thales of Miletus, 624-546 B.C.) พบว่า แห้งอำพันเมื่อนำมาถูกับขนสัตว์สามารถดูดสิ่งของเบาๆ ขึ้นได้ต่อมาในคริสต์ศักราชที่ 1600 กิลเบิร์ต (William Gilbert, 1544-1603)[8] ได้ศึกษาเพิ่มเติมว่ามีวัตถุอื่นนอกเหนือจากแห้งอำพัน ก็สามารถทำให้วัตถุดูดกันได้เช่นกัน และเรียกสารที่ทำให้เกิดแรงทางไฟฟ้าว่า electrics

เบนจามิน แฟรงคลิน (Benjamin Franklin, 1706-1790) นักปราชญ์ชาวอเมริกาได้ประดิษฐ์สายล่อฟ้าขึ้นเพื่อความปลอดภัยของอาคารสูง ที่มีกัถูกฟ้าผ่าได้ง่าย อีกทั้งผู้คนที่เดินไปมาตามท้องถนนไม่ให้ถูกฟ้าผ่าจนถึงแก่ชีวิตได้ การค้นพบครั้งนี้ทำให้ได้ความรู้เพิ่มเติมว่าประจุไฟฟ้ามี 2 ชนิด คือ ประจุไฟฟ้าบวก และประจุไฟฟ้าลบ ถ้าวัดวัตถุมีประจุไฟฟ้าบวกอยู่มาก ก็จะอยู่ในสภาวะเป็นบวก และมีน้อยเกินพอดีก็อยู่ในสภาวะเป็นลบ



รูปที่ 2.1 เบนจามิน แฟรงคลิน [8]

2.1.1 กฎของคูลอมบ์

ในปีคริสตศักราชที่ 1785 คูลอมบ์ (Charles Augustin de Coulomb, 1736-1806) ได้ทำการทดลองแรงระหว่างประจุพบว่า แรงระหว่างจุดประจุเป็นปฏิภาคผกผันกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างประจุและเป็นปฏิภาคโดยตรงกับผลคูณเชิงพีชคณิตของประจุ โดยที่ประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกันย่อมผลักกัน ในทางตรงข้ามประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันย่อมดึงดูดกัน ดังที่แสดงในรูปที่ 2.2 และสัมพันธ์กับกฎของคูลอมบ์ดังสมการที่ 2.1



รูปที่ 2.2 ภาพประจุที่ดูดกันและผลักกัน[9]

$$f \propto \frac{q_1 q_2}{(r_{12})^2} = k \frac{q_1 q_2}{(r_{12})^2} \quad (2.1)$$

เมื่อ k คือ ค่าคงที่เรียกว่า ค่าคงที่คูลอมบ์ ในระบบ SI ประจุมีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (C) ค่าคงที่คูลอมบ์ k ในหน่วยระบบ SI มีค่าเท่ากับ $k = 8.9876 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$ โดยค่า k สามารถหาได้จากสมการที่ 2.2

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad (2.2)$$

เมื่อ ϵ_0 คือค่าคงที่ (ภาษากรีกอ่านว่า “epsilon”) เรียกว่า สภาพยอม (Permittivity) ในสูญญากาศและมีค่าเป็น $\epsilon_0 = 8.8543 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2$ [10]

จากที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าประจุนุภาคของประจุไฟฟ้าที่เป็นบวกเรียกว่าโปรตอน ประจุไฟฟ้าลบเรียกว่าอิเล็กตรอนและสถานะเป็นกลางทางไฟฟ้าเรียกว่านิวตรอน ซึ่งค่าของประจุและมวลของอิเล็กตรอน โปรตอน และนิวตรอน สามารถแสดงดังตารางที่ 2.1 สังเกตเห็นว่าอิเล็กตรอนและโปรตอนมีประจุขนาดเท่ากันแต่มวลต่างกัน ในทางตรงกันข้ามโปรตอนและนิวตรอนมีมวลเท่าแต่มีประจุต่างกัน

ตารางที่ 2.1 ประจุและมวลของอิเล็กตรอน โปรตอน และนิวตรอน [10]

อนุภาค	ประจุ	มวล
อิเล็กตรอน	$-1.6028 \times 10^{-19} \text{ C}$	$9.1094 \times 10^{-31} \text{ kg}$
โปรตอน	$1.6028 \times 10^{-19} \text{ C}$	$1.67262 \times 10^{-27} \text{ kg}$
นิวตรอน	0	$1.67493 \times 10^{-27} \text{ kg}$

2.1.2 สนามไฟฟ้า

ในปี ค.ศ.1791-1867 ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) ได้ศึกษาสนามไฟฟ้าและได้หาคำจำกัดความไว้ว่า สนามไฟฟ้า หมายถึง บริเวณโดยรอบประจุไฟฟ้า ซึ่งประจุไฟฟ้าสามารถส่งอำนาจทางไฟฟ้าไปถึง หรือ บริเวณที่เมื่อนำประจุไฟฟ้าทดสอบไปวางแล้วเกิดแรงกระทำบนประจุไฟฟ้านั้น ซึ่งค่าสนามไฟฟ้าสามารถหาได้โดยการนำแรงทางไฟฟ้าที่กระทำต่อจุดประจุไฟฟ้าหารด้วยประจุขนาดหนึ่งหน่วย แสดงอยู่ในรูปสมการที่ 2.3 [8]

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q_0} \quad (2.3)$$

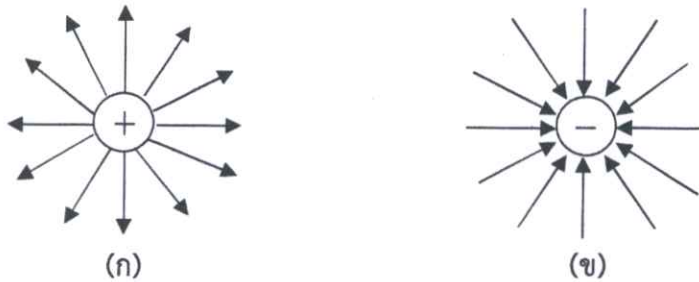
ในระบบ SI เวกเตอร์ \vec{E} มีหน่วยเป็น นิวตันต่อคูลอมบ์ (N/C) ทิศทางของ \vec{E} เป็นทิศเดียวกับแรงที่ประจูดสอบได้รับเมื่อวางประจูดสอบนั้นในสนามไฟฟ้า การมีอยู่ของสนามไฟฟ้าเป็นสมบัติแหล่งกำเนิดสนาม ทั้งนี้การมีอยู่ของสนามไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องขึ้นอยู่กับการปรากฏตัวของประจูดสอบ ประจูดสอบทำหน้าที่เป็นเสมือนเครื่องตรวจวัดสนามไฟฟ้า นั่นคือ มีสนามไฟฟ้าอยู่ที่จุดที่ประจูดสอบวางอยู่ถ้ามีแรงฟ้ากระทำต่อประจูดสอบนั้น จากสมการที่ 2.3 นำสมการที่ 2.1 มาแทนค่า ทำให้ได้สมการที่ 2.4

$$E = \frac{kq}{r^2} \quad (2.4)$$

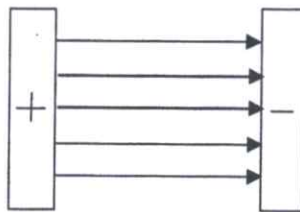
สมการที่ 2.4 เป็นสมการที่ใช้หาขนาดของสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งใด ๆ เนื่องจากจุดประจุเพียงประจุเดียว ส่วนทิศสนามไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับชนิดของประจุ q

2.1.3 เส้นแรงไฟฟ้า

สนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุพบว่าสนามไฟฟ้าจุดประจุบวกมีทิศทางพุ่งออกจากจุดประจุบวกทุกทิศทางแสดงดังรูปที่ 2.3(ก) และสนามไฟฟ้าจากจุดประจุลบมีทิศพุ่งเข้าทุกทิศทาง แสดงดังรูปที่ 2.3(ข) ทิศของสนามไฟฟ้าในบริเวณรอบ ๆ จุดประจุ จะเรียกว่า เส้นแรงไฟฟ้า หรือ เส้นสนามไฟฟ้า ใช้แสดงทิศของแรงที่กระทำต่อประจุบวกที่วางอยู่ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าเส้นแรงไฟฟ้าของแผ่นคู่ขนานจะแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 (ก) เส้นแรงไฟฟ้า จุดประจุบวกอิสระ
(ข) เส้นแรงไฟฟ้า จุดประจุลบอิสระ



รูปที่ 2.4 เส้นแรงไฟฟ้าจุดประจุต่างชนิดกันของแผ่นคู่ขนาน[9]

คุณสมบัติของเส้นแรงไฟฟ้า

- เส้นแรงไฟฟ้าพุ่งออกจากประจุไฟฟ้าบวก และพุ่งเข้าประจุลบ
- เส้นแรงไฟฟ้าแต่ละเส้นจะไม่ตัดกัน
- เส้นแรงไฟฟ้าจากประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกัน ไม่เสริมเป็นแนวเดียวกัน แต่จะเบนแยกออกจากกันเป็นแต่ละแนว ส่วนเส้นแรงไฟฟ้าจากจุดไฟฟ้าต่างชนิดกันจะเสริมเป็นแนวเดียวกัน
- เส้นแรงไฟฟ้าที่พุ่งออกหรือพุ่งเข้าสู่วัตถุยอมตั้งฉากกับผิววัตถุนั้น ๆ เสมอ
- เส้นแรงไฟฟ้า จะไม่พุ่งผ่านวัตถุตัวนำเลย เส้นแรงไฟฟ้าจะสิ้นสุดอยู่ที่ผิวของวัตถุตัวนำเสมอ

2.1.4 ศักย์ไฟฟ้า

การเคลื่อนประจุด้านทิศของสนามไฟฟ้าจะต้องใช้แรงเท่ากัน กระทำในทิศตรงข้ามกับแรงที่กระทำต่อประจุทดสอบ ซึ่งหมายความว่า จะต้องใช้พลังงานหรือต้องทำงาน ถ้าต้องการเคลื่อนประจุตามทิศของสนาม พลังงานที่ใช้ในการนี้จะเป็นลบ นั่นคือไม่ต้องทำงานและสนามเป็นฝ่ายทำงาน

ในการเคลื่อนประจุไฟฟ้า ปริมาณงานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ประจุจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งมีระยะห่างกันจำกัดจะหาได้ดังสมการที่ 2.5

$$W = -Q \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{L} \quad (2.5)$$

อินทิกรัลในสมการ 2.5 เป็นอินทิกรัลเชิงเส้นโดยที่จะต้องกำหนดเส้นทางในการอินทิกรัลด้วย และปริมาณงานที่ใช้ในการเคลื่อนประจุจะไม่ขึ้นอยู่กับเส้นทางที่เลือกในการเคลื่อนประจุในสนามไฟฟ้าสถิต ความต่างศักย์มีนิยามหมายถึงเป็น “งานที่กระทำ (โดยแหล่งภายนอก) ในการเคลื่อนประจุบวกหนึ่งหน่วยจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในสนามไฟฟ้า” สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.6

$$V = -\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{L} \quad (2.6)$$

กำหนดให้ V_{AB} เป็นความต่างศักย์ระหว่าง A และ B และคืองานที่ทำในการเคลื่อนประจุหนึ่งหน่วยจากจุด B ไปยังจุด A ดังนั้น สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.7

$$V_{AB} = -\int_B^A \vec{E} \cdot d\vec{L} \quad (2.7)$$

V_{AB} จะมีค่าเป็นบวกถ้างานที่กระทำมีค่าเป็นบวกในการเคลื่อนประจุจากจุด B ไปยังจุด A ดังนั้นถ้าศักดาไฟฟ้าที่จุด A คือ V_A และศักดาไฟฟ้าที่จุด B คือ V_B และถ้า V_A กับ V_B ต่างก็มีศักดาศูนย์อ้างอิงเดียวกัน จะได้ V_{AB} ดังสมการที่ 2.8

$$V_{AB} = V_A - V_B \quad (2.8)$$

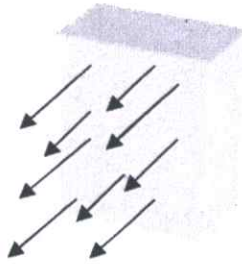
สรุปได้ว่าความต่างศักย์ระหว่างจุดสองจุดในสนามไฟฟ้าที่เกิดจากประจุดจุดจะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างจุดนั้นกับจุดที่ตั้งของประจุดจุด และจะไม่ขึ้นอยู่กับเส้นทางที่ประจุหนึ่งหน่วยเคลื่อนที่ไป ดังนั้นจะได้ค่าดังสมการที่ 2.9

$$V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r} + C_1 \quad (2.9)$$

เมื่อ C_1 เป็นศักดาไฟฟ้าที่จุดอ้างอิง[8]

2.2 กฎของเกาส์

กฎของเกาส์ถูกคิดค้นโดย เกาส์ (Karl Friedrich Gauss, 1777-1855)[13] ซึ่งเป็นนักคณิตศาสตร์ชาวเยอรมันได้กล่าวไว้ว่า เมื่อพื้นผิวที่ฟลักซ์ไฟฟ้าหุ้มครอบคลุมประจุสุทธิ จำนวนเส้นสนามไฟฟ้าที่พุ่งผ่านผิวนั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับประจุสุทธิที่อยู่ล้อมรอบด้วยผิว จำนวนเส้นที่นับได้จะเป็นอิสระต่อรูปร่างของพื้นที่ผิวที่หุ้มประจุ โดยที่ ฟลักซ์ไฟฟ้า หมายถึง จำนวนเส้นสนามไฟฟ้าที่พุ่งผ่านผิวใด ๆ จะแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ฟลักซ์ไฟฟ้า[11]

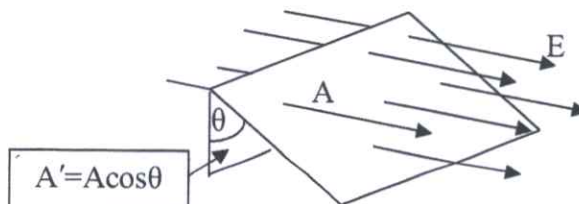
ดังนั้นจำนวนเส้นที่ทะลุผ่านผิวจะเป็นสัดส่วนกับ EA ผลคูณนี้คือฟลักซ์ไฟฟ้า Φ

$$\Phi = EA \quad (2.10)$$

ในระบบหน่วย SI หน่วยของ Φ เป็น $N \cdot m^2 / C$

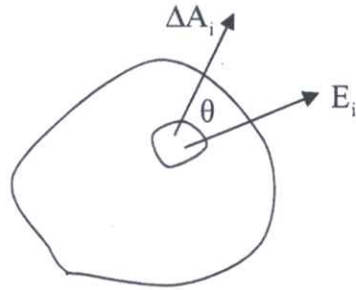
ในกรณีที่ผิวที่พิจารณาอยู่ไม่ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าจำนวนเส้นหรือฟลักซ์ เส้นตั้งฉากกับผิวทำมุม θ กับสนามไฟฟ้าในที่นี้พบว่าจำนวนเส้นทะลุเส้นทะลุผ่านพื้นที่นี้จะเท่ากับจำนวนเส้นที่ทะลุผ่านพื้นที่ A' ซึ่งตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าซึ่งแสดงในรูปที่ 2.6 จะได้ว่า $A' = A \cos \theta$ ดังนั้น

$$\Phi = EA \cos \theta \quad (2.11)$$



รูปที่ 2.6 ฟลักซ์ไฟฟ้าที่ผ่านพื้นผิวเอียง

เมื่อพิจารณาในกรณีทั่ว ๆ ไปว่าสนามไฟฟ้าอาจจะแปรเปลี่ยนไปตามพื้นผิวที่ตำแหน่งต่าง ๆ พิจารณาในพื้นที่เล็ก ๆ ΔA_i มีสนามไฟฟ้า E_i



รูปที่ 2.7 ฟลักซ์ไฟฟ้าที่ไหลผ่านพื้นผิวลักษณะต่าง ๆ [11]

ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า

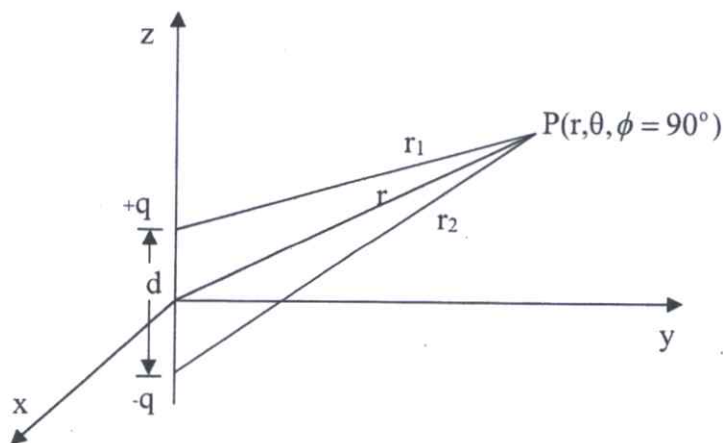
$$\Delta\Phi_i = E_i \Delta A_i \cos\theta = E_i \cdot \Delta A_i \quad (2.12)$$

โดยการรวมทุก ๆ ส่วนของพื้นที่เล็ก ๆ เราจะได้ฟลักซ์ทั้งหมดที่พุ่งผ่านผิวเป็นสมการที่ 2.13 เป็นการอินทิเกรตตามผิว โดยทั่วไป Φ จะขึ้นอยู่กับลักษณะของสนามและของผิว

$$\Phi = \lim_{\Delta A_i \rightarrow 0} \sum E_i \cdot \Delta A_i = \int_{\text{surface}} E \cdot dA \quad (2.13)$$

2.2.1 ไดโพล (Dipole)

ไดโพล คือประจุชนิดบวกและลบคู่หนึ่ง ซึ่งมีปริมาณประจุเท่ากันมีระยะห่างระหว่างประจุทั้งสองเป็นระยะทางสั้นมาก เมื่อเทียบกับจุดกำเนิดไปยังจุด P ใด ๆ ที่เราต้องการ [14] แสดงในรูปที่ 2.8 นิยามไดโพลโมเมนต์แสดงดังสมการที่ 2.14



รูปที่ 2.8 ไดโพล [10]

$$\vec{p} = Q\vec{d} \quad (2.14)$$

โดยที่ \vec{d} เป็นเวกเตอร์ความยาวจาก $-q$ ไปยัง $+q$ ศักดาไฟฟ้าที่เกิดจากไดโพลจะมีค่าดังสมการที่ 2.15

$$V = \frac{\vec{p} \cdot \vec{a}_r}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (2.15)$$

และค่าของสนามไฟฟ้าจะแสดงได้ดังสมการที่ 2.16

$$\vec{E} = -\nabla V = \frac{Qd}{4\pi\epsilon_0 r^3} (2\cos\theta\vec{a}_r + \sin\theta\vec{a}_\theta) \quad (2.16)$$

2.2.2 ความหนาแน่นพลังงานในสนามไฟฟ้าสถิต

ในบริเวณที่มีประจุชนิดจำนวน N ประจุ งานทั้งหมดที่ต้องการสำหรับการวางประจุในสนามของประจุเหล่านี้จะเป็น

$$\begin{aligned} \text{งานทั้งหมด} &= \text{พลังงานศักย์ของสนาม} = W_E \\ &= \frac{1}{2} (Q_1 V_1 + Q_2 V_2 + \dots + Q_N V_N) \\ W_E &= \frac{1}{2} \sum_{m=1}^N Q_m V_m \end{aligned} \quad (2.17)$$

โดยที่ V_1, V_2, \dots, V_N เป็นศักดาไฟฟ้าที่ Q_1, Q_2, \dots, Q_N เนื่องจากประจุนั้นทั้งหมดตามลำดับสำหรับพลังงานที่ถูกเก็บไว้ในบริเวณที่มีประจุกระจายอย่างสม่ำเสมอจะสามารถเขียนได้โดยแทนแต่ละประจุด้วย ρdv และแทนเครื่องหมายอินทิกรัลได้ดังสมการที่ 2.18

$$W_E = \frac{1}{2} \int_{vol} \rho dv \quad (2.18)$$

จากสมการที่หนึ่งของแมกซ์เวลล์ $\rho = \nabla \cdot \vec{D}$ ดังนั้นจะได้ค่าของ W_E จะได้ดังสมการที่ 2.19

$$W_E = -\frac{1}{2} \int_{vol} \vec{D} \cdot (\nabla V) dv \quad (2.19)$$

แทนค่า ∇V ด้วย $-\vec{E}$ และ $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$ จะได้ค่า W_E ดังสมการที่ 2.20

$$W_E = \frac{1}{2} \int_{vol} \vec{D} \cdot \vec{E} dv$$

$$W_E = \frac{1}{2} \int_{vol} \epsilon_0 E^2 dv \quad (2.20)$$

2.3 ความจุไฟฟ้า

ตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์ที่เก็บพลังงานศักย์ไฟฟ้าและประจุไฟฟ้า ตัวเก็บประจุสามารถสร้างได้จากการคั่นฉนวนระหว่างตัวนำสองชิ้น พลังงานในอุปกรณ์นี้จะถ่านโอนประจุจากตัวนำหนึ่งไปยังอีกตัวนำหนึ่งข้างหนึ่ง ในแผนภาพวงจรจะแทนตัวเก็บประจุด้วยสัญลักษณ์แสดงในรูปที่ 2.9

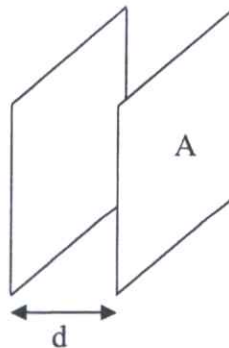


รูปที่ 2.9 แสดงสัญลักษณ์ของตัวเก็บประจุ[12]

สำหรับตัวเก็บประจุ อัตราส่วนของประจุต่อความต่างศักย์ อัตราส่วนนี้เรียกว่า ความจุ ของตัวเก็บประจุ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.21

$$C = \frac{Q}{V} \quad (2.21)$$

ในหน่วย SI ความจุจะใช้หน่วย ฟารัด (farad, F) เพื่อเป็นเกียรติแก่ Michael Faraday นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ 1 ฟารัด (1 F) มีค่าเท่ากับ หนึ่งคูลอมบ์ต่อโวลต์ (1 C/V) ตัวเก็บประจุแบบง่ายที่สุดประกอบด้วยแผ่นตัวนำขนานสองแผ่น แต่ละแผ่นมีพื้นที่ A วางห่างกันระยะ d เมื่อให้ประจุกับแผ่นสนามไฟฟ้าเกือบทั้งหมดอยู่ในบริเวณระหว่างแผ่น สนามไฟฟ้านั้นถือว่าสม่ำเสมอและประจุบนแผ่นกระจายอย่างสม่ำเสมอบนผิวตรงข้ามกันของแผ่นตัวนำ การจัดวางแบบนี้เรียกว่า ตัวเก็บประจุแผ่นขนาน แสดงดังรูปที่ 2.10 ในการหาค่าสนามไฟฟ้าโดยใช้กฎของเกาส์จะได้ดังสมการที่ 2.22



รูปที่ 2.10 แผ่นไฟฟ้าคู่ขนาน[12]

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0 A} \quad (2.22)$$

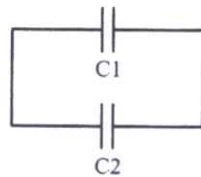
โดยที่ σ คือขนาดของความหนาแน่นของประจุ การคำนวณหาค่าความจุ C ของตัวเก็บประจุแบบแผ่นไฟฟ้าคู่ขนานในสุญญากาศจะใช้สมการที่ 2.23

$$C = \frac{Q}{V} = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2.23)$$

เมื่อ A คือ พื้นที่ของแผ่นคู่ขนานมีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m^2)
 d คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นคู่ขนาน มีหน่วยเป็น เมตร (m)
 ϵ_0 คือ ค่าคงที่ มีค่าเป็น 8.85×10^{-12} F/m

2.3.1 การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน

การต่อตัวเก็บประจุแบบขนานจะทำการต่อได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน[13]

C_1 มีประจุบนแต่ละแผ่นเป็น q_1 ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นซ้ายกับแผ่นขวาของ C_1 เป็น $V = \frac{q_1}{C_1}$ ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นซ้ายกับขวาของ C_2 ก็ต้องเป็น V ในกรณีสถิต ไม่มีการถ่ายเทประจุระหว่าง C_1 กับ C_2 จะได้ว่า $q = CV$ ประจุรวมสำหรับระบบขนานจึงมีค่าเป็น

$$q = q_1 + q_2$$

$$q = C_1 V + C_2 V = (C_1 + C_2) V$$

การต่อกันของตัวเก็บประจุแบบขนานนี้จะให้ค่าความจุรวม ดังสมการที่ 2.24

$$C = C_1 + C_2 \quad (2.24)$$

2.3.2 การต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม

การต่อตัวเก็บประจุแบบขนานจะทำการต่อได้ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม[13]

ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นซ้ายและแผ่นขวาของ C_1 คือ $V_1 = \frac{q_1}{C_1} = \frac{q}{C_1}$ และความต่างศักย์ระหว่างแผ่นของ C_2 คือ $V_2 = \frac{q_2}{C_2} = \frac{q}{C_2}$ ความต่างศักย์รวมของการต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรมคือ

$$V = V_1 + V_2$$

$$V = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) q$$

ดังนั้นค่าความจุไฟฟ้ารวมของการต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบอนุกรม ดังสมการที่ 2.25

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad (2.25)$$

2.4 ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา ได้มีการนำเข้ามาปลูกในประเทศอินโดนีเซีย เมื่อปี พ.ศ.2391 ซึ่งเป็นพันธุ์ดुर่า ต่อมาในปี พ.ศ.2418 ประเทศมาเลเซียได้นำพันธุ์เตลีดูร่ามาปลูก ซึ่งทั้งสองประเทศเริ่มปลูกปาล์มน้ำมันเป็นการค้าขายในปี พ.ศ.2460 สำหรับประเทศไทย พระยาประดิพัทธ์ภูบาล ได้นำพันธุ์ปาล์มน้ำมันจากมาเลเซียมาปลูกในประเทศไทย โดยปลูกเป็นไม้ประดับ ส่วนการปลูกแบบค้าขายเริ่มขึ้นในสมัยหม่อมเจ้าอมรสมานลักษณ์ กิติยากร [1]

2.4.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของปาล์มน้ำมัน

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของปาล์มน้ำมัน จะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1) ทะลายปาล์ม

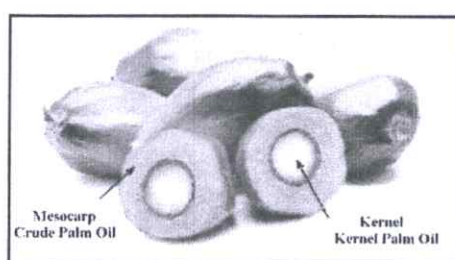
ประกอบด้วยก้านทะลายปาล์ม ช่อทะลายย่อย และผลปาล์ม โดยน้ำหนักของผลปาล์มจะขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์และขนาดของทะลายปาล์ม เมื่อผลปาล์มสุกเต็มที่น้ำหนักจะแปรตามชนิดของสายพันธุ์ อายุและปัจจัยสิ่งแวดล้อม ภาพลักษณะทะลายปาล์มจะแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ทะลายปาล์ม[1]

2) ผลปาล์มน้ำมัน

ผลปาล์มน้ำมัน ไม่มีก้านผล (Sessile Drup) รูปร่างมีหลายแบบ ตั้งแต่รูปรียาวแหลมจนถึงรูปไข่หรือรูปยาวรี ความยาวผลประมาณ 2 - 5 เซนติเมตร น้ำหนักผลประมาณ 3 - 30 กรัม ผลปาล์มประกอบด้วยผิวเปลือกนอก (Exocarp) ชั้นเปลือกนอก (Mesocarp) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเส้นใยสีส้มแดง เมื่อสุกจะมีน้ำมันอยู่ในชั้นนี้ (เรียกว่าชั้นน้ำมันเปลือกนอก) ปาล์มน้ำมันที่ปลูกเป็นการค้า โดยทั่วไปพบว่า มีสีผลที่เปลือกนอก 3 ลักษณะ คือ แบบที่ 1 เมื่อผลดิบเป็นสีเขียว ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นสีส้มเมื่อสุกเรียกลักษณะนี้ว่า Virescens โดยทั่วไปพบน้อยกว่าแบบที่ 2 ซึ่งเรียกว่า Nigreacens ผลดิบมีสีดำปลายผลมีสีงาช้าง และจะเปลี่ยนเป็นสีแดงเมื่อสุกแล้วส่วนแบบที่ 3 เรียกว่า Albescens มีสีเปลือกเมื่อสุกเป็นสีเหลืองซีดทั่วไปพบน้อยมาก



รูปที่ 2.14 โครงสร้างของผลปาล์ม[2]

3) พันธุ์ปาล์มน้ำมัน

จากลักษณะของผลปาล์มจะสามารถแบ่งพันธุ์ปาล์มได้ 3 ชนิด ได้แก่

- ดุรา (Dura)

ดุรา มีลักษณะกะลาหนา 2 - 8 มิลลิเมตร และไม่มีวงเส้นประสีดำอยู่รอบกะลามิชั้นเปลือกนอกบาง มียีนควบคุมเป็นลักษณะเด่น (Dominant, Sh+Sh+) ซึ่งใช้เป็นพันธุ์แม่

- ฟิสิเฟอรา (Fisifera)

ฟิสิเฟอรา มีลักษณะคือผลไม่มีกะลาหรือมีกะลาบาง ข้อดอกตัวเมียมักเป็นหมัน (Absortion) ทำให้ผลฝ่อลีบทะเลาะเล็กเนื่องจากผลไม่มีการพัฒนา มียีนควบคุมเป็นลักษณะด้อย (Recessive, Sh-Sh-) มักใช้เป็นต้นพ่อพันธุ์ในการผลิตลูกผสม

- เทเนอรา (Tenera)

เทเนอรา มีลักษณะกะลาบาง มีความหนาตั้งแต่ 0.5 - 4 มิลลิเมตร มีวงเส้นประสีดำอยู่รอบกะลา ลักษณะเทเนอรา (Sh+Sh-) เป็นพันทาง (Heterozygous) เกิดจากการผสมระหว่างดุรากับฟิสิเฟอรา

2.4.2 การผลิตน้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil, CPO)

ผลปาล์มน้ำมันสามารถให้ผลผลิตน้ำมัน 2 ชนิดคือ น้ำมันปาล์มสกัดจากเนื้อปาล์มและน้ำมันเมล็ดในปาล์มสกัดจากเมล็ดปาล์ม น้ำมันที่สกัดจากผลปาล์มสดจะมีเบต้าแคโรทีนโปรวิตามินเอ และวิตามินอีในปริมาณสูง ในทางอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ มีขั้นตอนการผลิตดังนี้

- การอบนึ่งผลปาล์ม (Fruit Bunch Sterilization)

ผลปาล์มสดจะถูกส่งจากลานเทเข้าสู่หม้ออบโดยใช้ราง ทำการอบในหม้ออบนึ่งรับแรงดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 130 - 150 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมงต่อรอบ

- การนวดแยกทะลายจากผลปาล์ม (Fruit Threshing)

ผลปาล์มสดที่นึ่งเสร็จแล้วจะถูกลำเลียงเข้าเครื่องนวดแยกทะลายจากผลปาล์ม โดยทะลายปาล์มเปล่าจะถูกแยกไปใช้ประโยชน์ต่อไป

- การกวนผลปาล์ม (Fruit Digestion)

ผลปาล์มที่ถูกแยกจากเครื่องนวดแยกจะถูกส่งเข้าหม้อกวนซึ่งจะทำให้ผลปาล์มยุ่ย ระหว่างการกวนจะเพิ่มความร้อนด้วยไอน้ำ เพื่อช่วยให้ส่วนที่เป็นน้ำมันหรือเนื้อเยื่อของผลปาล์มแยกออกจากส่วนที่เป็นเมล็ดเพื่อให้ง่ายต่อการหีบ

- การหีบหรือบีบน้ำมันจากผลปาล์ม (Pressing)

ผลปาล์มจากหม้อกวนเมื่อถูกกวนจนนิ่มแล้วจะถูกส่งเข้าเครื่องบีบน้ำมัน (Screw Press) ในส่วนของน้ำมันจะถูกแยกออกจากส่วนที่เป็นของแข็ง ได้แก่ เมล็ด กะลา เป็นต้น สำหรับน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดหรือบีบออกมาได้จะส่งไปกรองเพื่อแยกสิ่งสกปรกหรือสิ่งเจือปน

- การกลั่นกรองแยกสิ่งเจือปน (Clarification and Centrifugation)

ในขั้นนี้น้ำมันปาล์มดิบที่บีบได้จะผ่านตะแกรงเส้นเพื่อแยกกากเส้นใยและอนุภาคของแข็งขนาดเล็ก หลังจากนั้นจะนำไปยังถังตั้งจม (Setting Tank) เพื่อแยกน้ำมันและส่วนปนเปื้อนออกจากกัน น้ำมันที่ได้จะถูกนำไปกำจัดความชื้นในลำดับต่อมา [3]

2.4.3 มาตรฐานและดัชนีเก็บเกี่ยวของปาล์มน้ำมัน

สำนักงานมาตรฐานสินค้าและอาหารแห่งชาติ ได้กำหนดคุณภาพทั่วไปของทะลายปาล์มตามมาตรฐานสินค้าเกษตรทะลายปาล์มน้ำมัน (มกษ. 5702-2552) ที่เก็บเกี่ยวเพื่อจำหน่ายไว้ดังนี้

- 1) ทะลายปาล์มมีลักษณะตรงตามพันธุ์
- 2) เป็นทะลายปาล์มสุกหรือกึ่งสุก
 - ทะลายสุก (Ripe bunch) เป็นทะลายที่ผลปาล์มส่วนใหญ่ มีผิวเปลือกสีส้มแดงหรือแดง และเนื้อปาล์ม (Mesocarp) มีสีส้ม และมีจำนวนผลร่วงอย่างน้อย 10 ผล/ทะลาย
 - ทะลายกึ่งสุก (Underripe bunch) เป็นทะลายที่ผลปาล์มส่วนใหญ่มีผิวเปลือกสีส้มแดง หรือแดงม่วง มีจำนวนผลร่วงน้อยกว่า 10 ผล/ทะลาย
- 3) มีความสด (ส่งถึงโรงงานภายใน 24 ชั่วโมงหลังเก็บเกี่ยว) โดยไม่ผ่านการรดน้ำหรือมีการกระทำใด ๆ ที่เป็นการเร่งให้ดูเหมือนสุกหรือผลร่วง เช่น การบ่มแก๊ส
- 4) สะอาดและปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้
- 5) ไม่มีความเสียหายอันเนื่องมาจากศัตรูพืชที่มีผลกระทบต่อคุณภาพผลผลิต
- 6) ความยาวของก้านทะลายไม่เกิน 5 ซม.

2.4.4 การแบ่งชั้นคุณภาพปาล์มน้ำมัน

สำนักงานมาตรฐานสินค้าและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้กำหนดคุณภาพทะลายปาล์มเป็น 3 ชั้นคุณภาพ (มกษ. 5702-2552) ดังนี้

- ชั้นพิเศษ (Extra class)

ทะลายปาล์มชั้นนี้มีคุณภาพดีที่สุด โดยมีคุณสมบัติตามคุณภาพทั่วไปและมีทะลายสุกไม่น้อยกว่า 90 % มีทะลายปาล์มกึ่งสุกไม่เกิน 10 % ของจำนวนทะลายปาล์มน้ำมันในรุ่น (รุ่นหรือ lot ที่นำส่งโรงงาน) หรือ มีสัดส่วนน้ำมันต่อทะลาย (oil/bunch) ไม่น้อยกว่า 24

- ชั้นหนึ่ง (Class 1)

ทะลายปาล์มน้ำมันชั้นนี้ต้องมีคุณภาพดีตามคุณภาพทั่วไป และมีทะลายสุกไม่น้อยกว่า 80 % และทะลายกึ่งสุกไม่เกิน 20 % ของจำนวนทะลายปาล์มน้ำมันในรุ่น หรือ มีสัดส่วนน้ำมันต่อทะลาย (oil/bunch) ไม่น้อยกว่า 22 %

- ชั้นสอง (Class 2)

ทะลายปาล์มน้ำมันชั้นนี้ต้องมีคุณภาพพื้นฐานตามคุณภาพทั่วไป และมีทะลายสุกไม่น้อยกว่า 70 % และทะลายกึ่งสุกไม่เกิน 30 % ของจำนวนทะลายปาล์มน้ำมันในรุ่น หรือ มีสัดส่วนน้ำมันต่อทะลาย (oil/bunch) ไม่น้อยกว่า 20 % [1]

2.5 การสกัดสารจากของแข็งด้วยตัวทำละลาย

สารผสมที่เป็นของแข็งมีมากมาย โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่เป็นพืชและสัตว์ ตัวอย่างเช่น ใบไม้ ดอกไม้ เปลือกไม้ รากไม้ ผลไม้ เมล็ด และอื่น ๆ การสกัดโดยทั่วไปนั้นทำให้ของแข็งแห้งเพื่อขจัดน้ำออกก่อนแล้วจึงบดให้ละเอียดเพื่อทำให้มีพื้นที่ผิวมากซึ่งจะสกัดสารออกมาได้มากที่สุด จากนั้นจึงนำไปแช่ในตัวทำละลายที่อุณหภูมิ หรือ ต้มที่อุณหภูมิของจุดเดือดของตัวทำละลายที่ใช้สกัด

ตัวทำละลายที่ใช้ได้แก่ เฮกเซน อีเธอร์ เมธิลีนคลอไรด์คลอโรฟอร์ม อะซีโตน แอลกอฮอล์ หรือน้ำ เมื่อแช่หรือต้มในระยะหนึ่งจึงกรองเอาของแข็งออก และนำสารละลายที่ได้ไประเหยเอาตัวทำละลายออกจะได้สารสกัดขั้นต้น (crude extract) ส่วนของแข็งที่เหลืออาจนำไปสกัดต่อได้อีก ในกรณีที่สกัดขั้นแรกด้วยตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วเมื่อจะสกัดต่อจะใช้ตัวทำละลายที่มีขั้วสูงขึ้นวิธีนี้จะทำให้ได้สารสกัดขั้นต้นที่มีสารผสมหลายชนิดเมื่อนำไปแยกต่อจะได้สารที่บริสุทธิ์ ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์หาโครงสร้างได้

การสกัดสารโดยต้มกับตัวทำละลายนั้น วิธีที่นิยมใช้มากคือ การสกัดแบบต่อเนื่อง (Continuous extractor) โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่าเครื่องสกัดแบบซอกซ์เล็ต (soxhlet extractor) ซึ่งเป็นท่อแก้วสำหรับบรรจุของแข็งที่ต้องการสกัด



รูปที่ 2.15 เครื่องสกัดซอกซ์เล็ต[4]

เครื่องสกัดซอห้กเล็กมีลักษณะดังรูปที่ 2.15 ข้างหนึ่งมีแขนเพื่อให้อៃของตัวทำละลายจากขวดที่อยู่ด้านล่างระเหยขึ้นสู่ส่วนบน ส่วนด้านบนจะต่อกับคอนเด็นเซอร์ ด้านข้างอีกด้านหนึ่งเป็นท่อแก้วที่ขีดเป็นสองชั้นเมื่อไៃของตัวทำละลายควบแน่นลงมาจะค้างในเครื่องซอห้กเล็กทำให้ซ่สารเอาไว้เมื่อสารละลายมีระดับสูงพอจะเกิดความดันที่ทำให้สารละลายนั้นไหลกลับสู่ขวดต้นด้านล่าง การสกัดจึงหมุนเวียนต่อเนื่องกัน วิธีนี้ทำให้ประหยัดตัวทำละลายและทำให้สารที่สกัดได้มีความเข้มข้นสูงมากขึ้นนอกจากนี้ของแข็งที่ถูกสกัดจะไม่ถูกความร้อนสูงเท่ากับการต้มโดยตรง

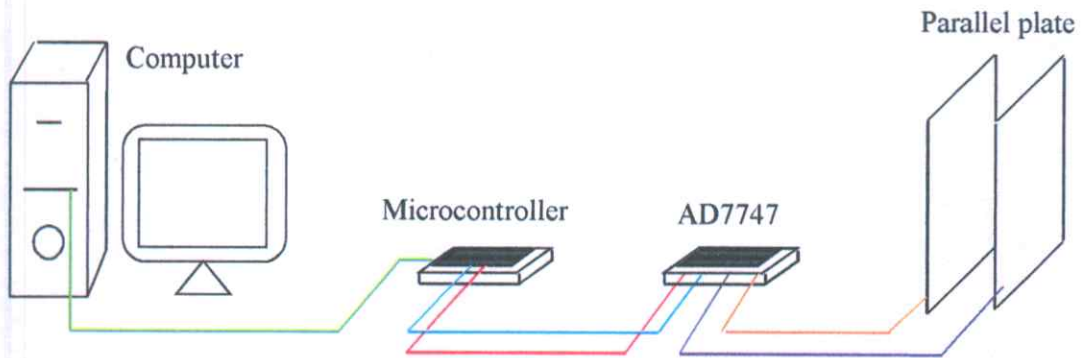
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีดำเนินงานวิจัย พร้อมทั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การออกแบบระบบวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันแบบตั้งโต๊ะและการออกแบบระบบวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันแบบพกพา โดยแต่ละส่วนมีหัวข้อดังต่อไปนี้ การเตรียมวัสดุ การออกแบบวงจรไฟฟ้า โปรแกรมและการปรับเทียบ การวัดค่าความจุไฟฟ้า ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การออกแบบระบบวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันแบบตั้งโต๊ะ

การออกแบบระบบวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันแบบตั้งโต๊ะโดยใช้เทคนิคการเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้า แสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ระบบวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันแบบตั้งโต๊ะ

ระบบการวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันโดยใช้เทคนิคการเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้า ประกอบด้วย ภาชนะบรรจุสาร Parallel plate AD7747 Microcontroller และคอมพิวเตอร์ ซึ่งการทำงานของระบบการวัดคือวัดค่าความจุไฟฟ้าด้วยแผ่นไฟฟ้าคู่ขนาน ค่าความจุไฟฟ้าที่ได้เซ็นเซอร์ AD7747 ทำการแปลงค่าความจุไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า Microcontroller ทำหน้าที่ประมวลผลและส่งข้อมูลไปแสดงผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์

3.1.1 ภาชนะที่ใช้บรรจุสาร

ภาชนะที่เลือกใช้ในการบรรจุน้ำมันปาล์มดิบคือคิวเวทท์ (Cuvette) แสดงดังรูปที่ 3.2 (ก) เนื่องจากวัสดุที่ผลิตเป็นพลาสติกมีความโปร่งแสงจึงสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสารได้ง่าย และมีราคาถูก แผ่นภาพขนาดของคิวเวทท์แสดงดังรูปที่ 3.2 (ข) มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง (1.22 cm x 1.22 cm x 4.5 cm) และความหนาของคิวเวทท์มีขนาด 0.22 cm ทำให้ปริมาตรคิวเวทท์โดยรวมมีค่าประมาณ 6.7 cm^3 ซึ่งปริมาตรของสารที่บรรจุใส่คิวเวทท์มีปริมาตรขนาด 4 cm^3



(ก)

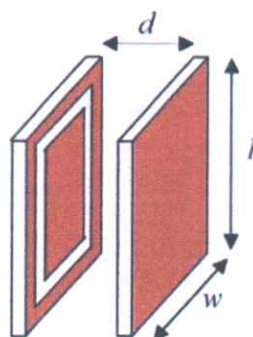


(ข)

รูปที่ 3.2 (ก) คิวเวทท์ (ข) แผนภาพขนาดคิวเวทท์

3.1.2 การออกแบบแผ่นไฟฟ้าคู่ขนาน

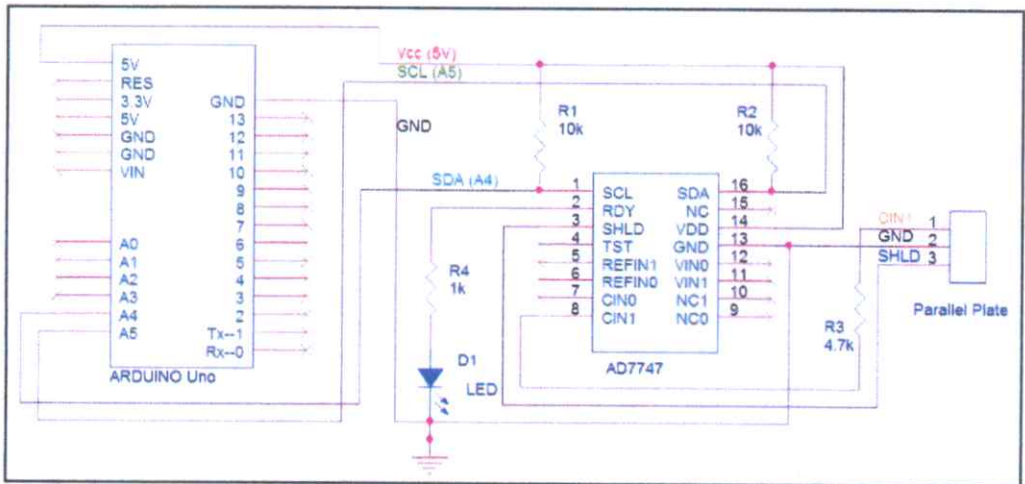
ในการออกแบบแผ่นไฟฟ้าคู่ขนานนั้นจะอาศัยขนาดของภาชนะที่ใช้บรรจุสารจากหัวข้อ 3.1.1 ซึ่งความกว้างและความสูงของคิวเวทท์มีขนาด 1.22 cm , 4.50 cm ตามลำดับ จึงส่งผลให้การออกแบบแผ่นไฟฟ้าคู่ขนานนั้นต้องคำนึงถึงสนามไฟฟ้าที่ผ่านคิวเวทท์ โดยการกำหนดพื้นที่ของแผ่นไฟฟ้าคู่ขนานให้กว้าง 3 cm และยาว 5 cm ดังนั้นพื้นที่ของแผ่นไฟฟ้าคู่ขนานมีค่าเท่ากับ 15 cm^2 และระยะห่างระหว่างแผ่นนั้นกำหนดให้มีระยะห่างเป็น 1.5 cm จากสมการที่ 2.23 เมื่อคำนวณค่าความจุไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 1 pF ซึ่งเป็นค่าความจุไฟฟ้าเริ่มต้น แผ่นไฟฟ้าคู่ขนานใช้แผ่น PCB สองหน้าโดยแผ่นด้านหลังต่อกับซิลล์เพื่อลดสัญญาณรบกวน ซึ่งแผนภาพออกแบบแผ่น PCB แสดงรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภาพออกแบบแผ่น PCB [18,19]

3.1.3 การออกแบบวงจรวัดค่าความจุไฟฟ้า

การออกแบบวงจรวัดค่าความจุไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 3.4 ซึ่งประกอบไปด้วย Integrated Circuit (IC) เบอร์ AD7747 ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้สำหรับวัดค่าความจุไฟฟ้าประเภท Capacitive to Digital Converter (CDC) ซึ่งมีความละเอียด 24 Bit ติดต่อสื่อสารแบบ แบบ 2-wire serial interface (I^2C) ทำงานที่ 2.7 – 5.25 โวลต์ ไฟกระแสตรงและความละเอียดถึง 10 fF ในส่วนของคอนโทรลเลอร์ใช้ arduino รุ่น Uno R3 ซึ่งใช้ชิปของ ATmega328P มี Digital input/output 14 ขา Analog input/output 6 ขา ใช้การเชื่อมต่อแบบ USB ทำงานที่ 3.3 – 5.10 โวลต์ ไฟกระแสตรงและมี Analog to Digital Converter (ADC) ขนาด 10 bit [15,16]



รูปที่ 3.4 ภาพวงจรวัดค่าความจุไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.4 ที่ขา SDA และ SCL จะมีการต่อตัวต้านทาน 10 kΩ เข้าไปด้วยเพื่อ Pull-Up สัญญาณที่ใช้ในการสื่อสาร ที่ขา 2 (RDY) ของไอซีจะมีการต่อ LED เพื่อแสดงสถานะการทำงานของไอซี และที่ขา 8 (CIN1) ของไอซีได้ต่อตัวต้านทาน 4.7 kΩ และต่อเข้ากับแผ่นคู่ไฟฟ้าขนาน

3.1.4 โปรแกรมและการปรับเทียบ

ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Arduino IDE เป็นโปรแกรมที่เปิดให้ผู้พัฒนาใช้งานฟรี และง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งภาษาที่ใช้พัฒนาโปรแกรมเป็นภาษา C และมี User Interface (UI) แสดงดังรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 แสดงหน้าต่างการทำงานการวัดค่าความจุไฟฟ้า รูปที่ 3.7 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเพื่อวัดความจุไฟฟ้าและแปลงเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำมัน โค้ดโปรแกรมแสดงในภาคผนวก ก

```

1 #include <Wire.h>
2 unsigned long Counter = 0;
3 void setup()
4 {
5   int i = 0;
6   Serial.begin(9600);
7   Wire.begin();
8
9   //reset IC
10  Wire.beginTransmission(0x48);
11  Wire.write(0xBF);
12  Wire.endTransmission();
13  relay(4);
14
15  //set CAP
16  Wire.beginTransmission(0x48);
17  Wire.write(0x07);
18  Wire.write(0x50);

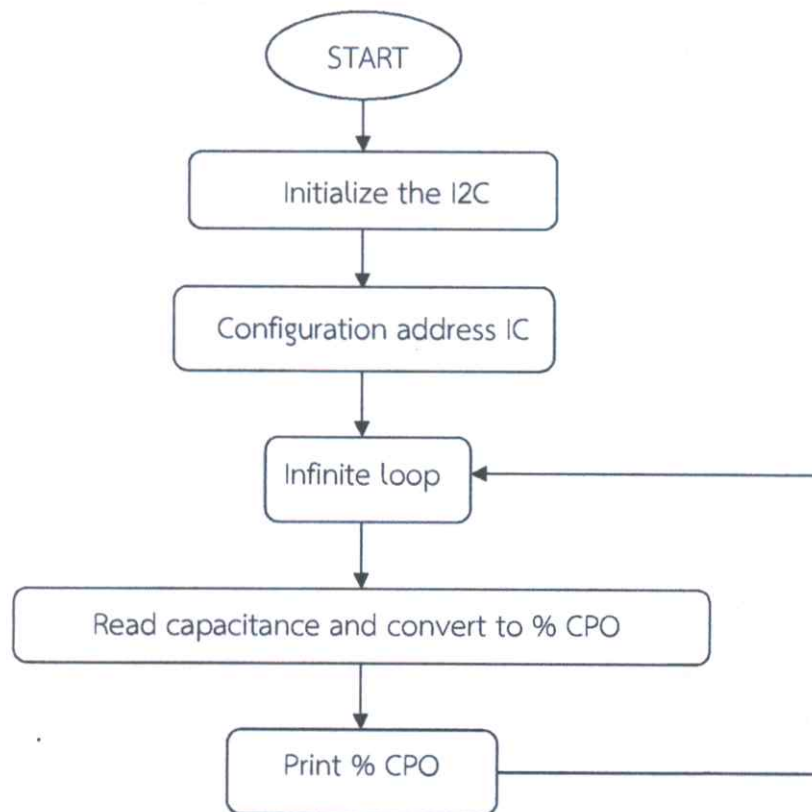
```

รูปที่ 3.5 ภาพโปรแกรม Arduino IDE

```

WIN I2C
6 1.1622
HEX AE4E24
7 1.1635
HEX AE4002
8 1.1620
HEX AE4A2C
9 1.1625
HEX AE494E
10 1.1623
HEX AE4901
11 1.1624
HEX AE4F7F
12 1.1630
HEX AE4976
13 1.1624
HEX AE4785
14 1.1619
HEX AE51E0
15 1.1645
HEX AE4CEB
16 1.1637
HEX AE4E28
17 1.1635
HEX AE45CF
18 1.1615
HEX AE4D2E
19 1.1633
HEX AE4753
20 1.1610
HEX AE4AB6
21 1.1627
HEX AE4B8F
22 1.1629
HEX AE4C5F
23 1.1631
HEX AE4A03
24 1.1625
HEX AE4BCE
  
```

รูปที่ 3.6 ภาพหน้าต่างแสดงผล



รูปที่ 3.7 แผนภาพโปรแกรม [17]

ในส่วนของการเปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้านั้นจะทำการเปรียบเทียบกับเครื่อง LCR meter รุ่น LCR-745 ยี่ห้อ LEADER ที่สามารถโบเอสเป็นไฟกระแสตรงได้ตั้งแต่ 0-30 โวลต์และสามารถวัดค่าความต้านทาน ความนำไฟฟ้าและความจุไฟฟ้าที่ความถี่ 125 Hz หรือ 1 kHz เครื่อง LCR meter แสดงดังรูปที่ 3.8 การเปรียบเทียบใช้ตัวเก็บประจุแบบเซรามิคซึ่งมี part number ดังนี้ 0.75 , 1 , 1.5 , 2 , 3 , 4 และ 5 ตามลำดับ ทำการวัดค่าความจุไฟฟ้าแต่ละ part number จำนวน 30 ครั้ง นำข้อมูลมาทำการเฉลี่ย สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง AD7747 กับ LCR Meter



รูปที่ 3.8 LCR meter ยี่ห้อ LEADER รุ่น LCR-746

ในขั้นตอนต่อไปทำการทดสอบแผ่นไฟฟ้าคู่ขนานเพื่อทดสอบคุณสมบัติของแผ่นไฟฟ้าคู่ขนานว่าประพฤติตัวตามทฤษฎีหรือไม่ โดยการทดสอบจะเพิ่มระยะห่างระหว่างแผ่นไฟฟ้าคู่ขนานโดยเริ่มต้นที่ระยะ 0.5 cm และเพิ่มระยะทีละ 0.1 cm จนถึง 2 cm ทำการบันทึกค่าความจุไฟฟ้าแต่ละระยะแล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างแผ่นไฟฟ้าคู่ขนานกับค่าความจุไฟฟ้า

3.1.5 การเตรียมน้ำมันปาล์มดิบเพื่อใช้ในการวัดค่าความจุไฟฟ้า

การเตรียมน้ำมันปาล์มดิบเพื่อใช้ในการวัดค่าความจุไฟฟ้า ดำเนินการโดยเตรียม Crude Palm Oil (CPO) ผสมกับน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ โดยคิดเป็นค่าความเข้มข้นโดยมวลต่อปริมาตร ซึ่งปริมาตรของเหลวที่บรรจุในคิวเวทที่มีขนาด 4 cm³ ค่าความเข้มข้นแสดงได้ดังตารางที่ 3.1 และการเตรียมตัวอย่างของน้ำมันปาล์มดิบแสดงดังรูปที่ 3.9

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของน้ำมันปาล์มดิบ Crude Palm Oil (CPO) ผสมกับน้ำที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

จำนวน	น้ำหนักน้ำ(g)	น้ำหนัก CPO (g)	ค่าความเข้มข้น(g/cm ³)
1	0.00	3.60	0.900
2	0.20	3.30	0.825
3	0.40	3.10	0.775
4	0.60	3.00	0.750
5	0.80	2.90	0.725
6	1.00	2.70	0.675
7	1.20	2.50	0.625
8	1.40	2.30	0.575

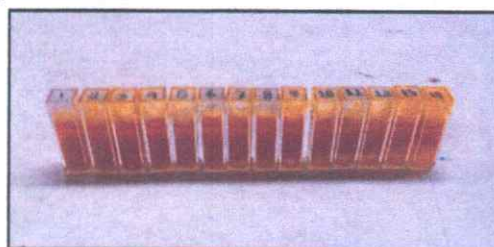
ตารางที่ 3.1 (ต่อ) อัตราส่วนของน้ำมันปาล์มดิบ Crude Palm Oil (CPO) ผสมกับน้ำที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

จำนวน	น้ำหนักน้ำ(g)	น้ำหนัก CPO (g)	ค่าความเข้มข้น(g/cm ³)
9	1.60	2.10	0.525
10	1.80	1.90	0.475
11	2.00	1.80	0.450
12	2.20	1.70	0.425
13	2.40	1.60	0.400
14	2.60	1.50	0.375
15	2.80	1.40	0.350
16	3.00	1.20	0.300
17	3.20	1.00	0.250
18	3.40	0.80	0.200
19	3.60	0.60	0.150
20	3.80	0.50	0.125
21	4.00	0.00	0.000



รูปที่ 3.9 การเตรียมตัวอย่าง CPO

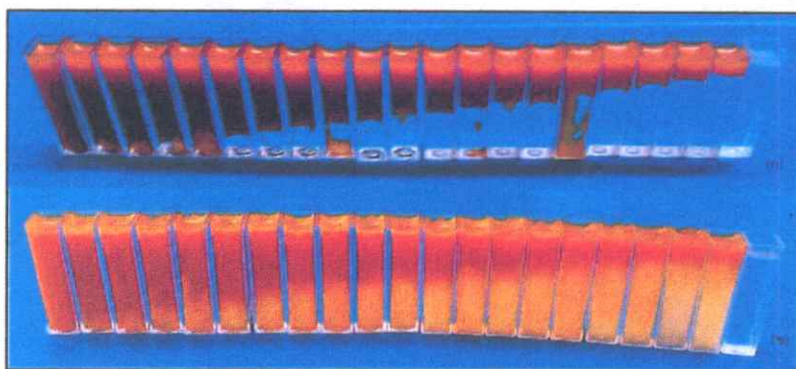
จากที่กล่าวมาข้างต้นตัวอย่างของน้ำมันปาล์มดิบที่ความเข้มข้นต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 3.10 และทำการวัดค่าความจุไฟฟ้า โดยวิธีการวัดจะกล่าวในหัวข้อต่อไป ทำการวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวอย่างแบบแยกชั้นกันระหว่าง CPO กับน้ำ เมื่อทำการวัดตัวอย่างแรกเสร็จตัวอย่างจะถูกนำมาสั่นเพื่อให้ CPO กับน้ำ รวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่อง Ultrasonic เป็นเวลา 2 ชั่วโมงแสดงดังรูปที่ 3.11 และทำการวัดค่าความจุไฟฟ้า ภาพตัวอย่างก่อนและหลังสั่นด้วยเครื่อง Ultrasonic แสดงในรูปที่ 3.12(ก)และรูปที่ 3.12(ข) ตามลำดับ



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างน้ำมันปาล์มดิบ



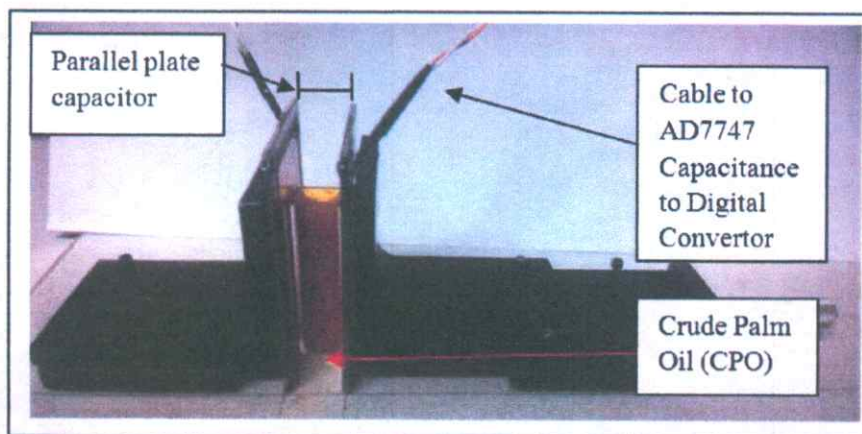
รูปที่ 3.11 การสั่นตัวอย่างด้วยเครื่อง Ultrasonic



รูปที่ 3.12 (ก) ภาพตัวอย่างน้ำมันปาล์มดิบก่อนสั่นด้วย Ultrasonic
(ข) ภาพตัวอย่างน้ำมันปาล์มดิบหลังสั่นด้วย Ultrasonic

3.1.6 การวัดค่าความจุไฟฟ้า

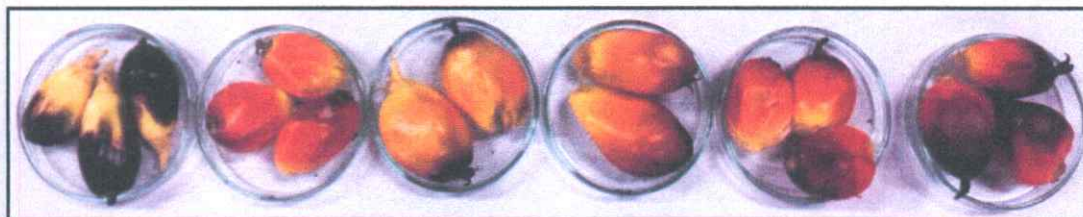
การวัดค่าความจุไฟฟ้าของน้ำมันปาล์มดิบ CPO ที่ผสมกับน้ำที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ โดยกำหนดระยะห่างระหว่างแผ่นคู่ขนานที่ 1.5 cm และทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 25 °C ก่อนทำการนำไปสั่นด้วยเครื่อง Ultrasonic bath เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำน้ำมันปาล์มดิบ Crude Palm Oil (CPO) ที่สั่นด้วยเครื่อง Ultrasonic bath ทำการวัดค่าความจุไฟฟ้าอีกครั้ง โดยการวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำมันปาล์มดิบแต่ละความเข้มข้นนั้นทำการวัดแต่ละตัวอย่างเป็นจำนวน 30 ครั้ง และนำค่าความจุไฟฟ้าที่ได้หาค่าเฉลี่ยของตัวอย่างน้ำมันดิบในแต่ละความเข้มข้นและสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับความจุไฟฟ้า การวัดค่าความจุไฟฟ้าแสดงได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำมันปาล์ม

3.1.7 การวัดค่าความจุไฟฟ้าเทียบกับเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม

การวัดความจุไฟฟ้าเทียบกับเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มนั้น ในขั้นต้นเป็นการเลือกตัวอย่างปาล์มตามความสุกโดยใช้สีเป็นตัวบ่ง ในการเลือกผลปาล์มกระทำการโดยผู้ชำนาญทางโรงงานเป็นผู้เลือกให้ ซึ่งรูปที่ 3.14 เป็นผลปาล์มที่สุ่มจากทะเลาะปาล์ม



รูปที่ 3.14 ปาล์มน้ำมัน



รูปที่ 3.15 ตัวอย่างผลปาล์มหลังการหั่น

ขั้นตอนต่อไปจากรูปที่ 3.15 คือการหั่นเนื้อปาล์มออกจากผลปาล์มก่อนการบดเนื้อปาล์มแล้วสกัดด้วยเฮกเซนโดยเครื่องซอท์กเล็ก แสดงในรูปที่ 3.15 ซึ่งเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1 เวลาในการสกัดนั้นใช้เวลาประมาณ 8 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับปริมาณของปาล์มดิบ

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำมัน} = (w_c/w_n) \times 100\% \quad (3.1)$$

เมื่อ w_c คือ มวลของน้ำมันปาล์มที่สกัดได้ (กรัม)

w_n คือ มวลของตัวอย่างก่อนถูกสกัด (กรัม)



รูปที่ 3.16 เครื่องซอท์กเล็ก

$$C = \frac{1.4}{(R_1 + 2R_2) \times f} \quad (3.2)$$

เมื่อ f คือ ความถี่ (เฮิรตซ์) (Hz)

R_1 คือ ความต้านทาน (โอห์ม) (Ω)

R_2 คือ ความต้านทาน (โอห์ม) (Ω)

C คือ ความจุไฟฟ้า (ฟารัด) (F)

ในการออกแบบวงจรดังกล่าวค่าความต้านทาน R_1 มีค่าเท่ากับ 10 k Ω และค่าความต้านทาน R_2 มีค่าเท่ากับ 100 k Ω เพื่อให้สอดคล้องกับค่าความจุไฟฟ้าในช่วง 10 pf – 200 nF การทดสอบวงจรจะแสดงในรูปที่ 3.19 และนำมาเปรียบเทียบกับเครื่อง LCR meter ด้วยตัวเก็บประจุชนิดเซรามิกซึ่งมี part number ดังนี้ 332 , 103 , 153 , 333 , 393 , 473 , 503 , 683 , 104 , 154 , 204 ตามลำดับ



รูปที่ 3.19 แสดงการวัดค่าความจุไฟฟ้าด้วย LM555

3.2.2 การออกแบบโพรบวัดค่าความจุไฟฟ้า

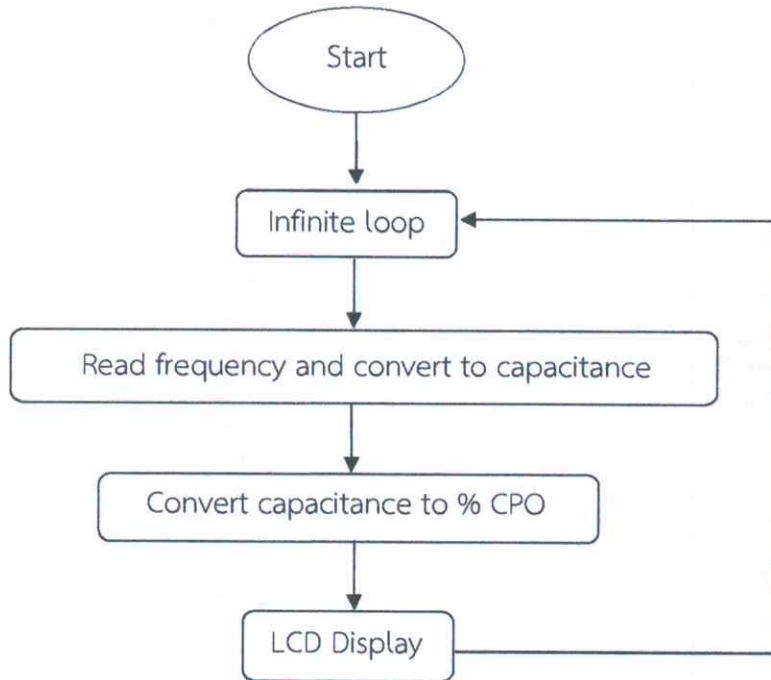
โพรบวัดที่ใช้งานแสดงดังรูปที่ 3.19 ซึ่งโพรบ RCA แจ็ค เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาถูกและสามารถทำได้ง่ายตามท้องตลาด จึงนำมาประยุกต์ใช้งาน โดยในการออกแบบหัวโพรบนั้นต้องทำการเจียรหัวแจ็คให้ขนานกับปลอกด้านนอกเพื่อให้สนามไฟฟ้าถูกจำกัดบริเวณ ความยาวของสายโพรบนั้นมีผลโดยตรงกับค่าความจุไฟฟ้า ซึ่งวงจรสมมูลของสายส่งนั้นจะประกอบด้วย ความต้านทาน ความจุไฟฟ้า ความเหนี่ยวนำ เมื่อระยะของสายเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายเพิ่มขึ้นด้วย ในที่นี้ความยาวของสายโพรบมีความยาวขนาด 15 cm ความจุไฟฟ้าของโพรบมีค่าประมาณ 20 pf



รูปที่ 3.20 RCA แจ็ค

3.2.3 การออกแบบโปรแกรมการทำงาน

จากรูปที่ 3.18 ตัว Arduino Nano ทำหน้าที่เป็นตัวอ่านค่าความถี่เมื่อค่าความจุไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง ความถี่ถูกส่งมาจาก LM555 ในส่วนของของโปรแกรมคือการเขียนโปรแกรมจับพัลส์สัญญาณที่ส่งมาแล้วแปลงกลับมาเป็นค่าความจุไฟฟ้า และขั้นสุดท้ายคือการแปลงเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำมันก่อนจะแสดงผลบนหน้าจอแสดง LCD แผนภาพโปรแกรมแสดงในรูปที่ 3.21 ภาพการทำงานของโปรแกรมแสดงในรูปที่ 3.22 โค้ดโปรแกรมแสดงในภาคผนวก ข



รูปที่ 3.21 แผนภาพโปรแกรม

```

T1656
#include <math.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x2F, 16, 2);

#define N 1.002
#define N 490749
int pin = 3;
unsigned long duration;
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  lcd.begin(16);
}

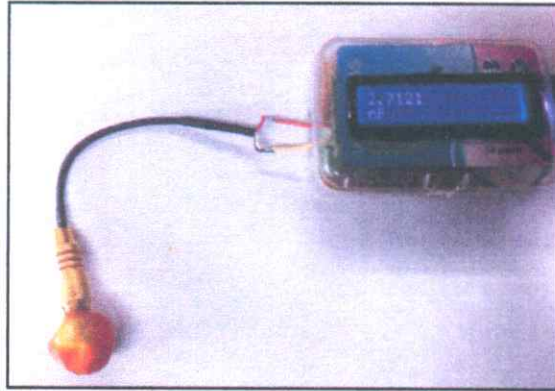
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(Read_freq(2));
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("%CPO");
  delay(500);
}

double Read_freq(void) {
  unsigned long duration = pulseIn(pin, HIGH, 500000);
  double mult = pow(duration, N);
  double freq = N * mult;
  double CAP = ((1.4 * (210000 * freq)) * 1000000000);
  return CAP;
}
  
```

รูปที่ 3.22 การทำงานของโปรแกรม

3.2.4 การวัดค่าความจุไฟฟ้า

ในการวัดค่าความจุไฟฟ้าโดยใช้เครื่องวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันแบบพกพานั้น สามารถวัดโดยใช้เครื่องมือจิ้มลงไปบนผลปาล์มดิบ เครื่องมือทำการวัดค่าความจุไฟฟ้าและแสดงค่าความจุไฟฟ้ากับเปอร์เซ็นต์น้ำมันผ่านหน้าจอ LCD โดยเครื่องมือจะทำการวัดค่าความจุไฟฟ้าทุก ๆ 1 วินาที แสดงในรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 การวัดค่าความจุไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดแบบพกพา

บทที่ 4

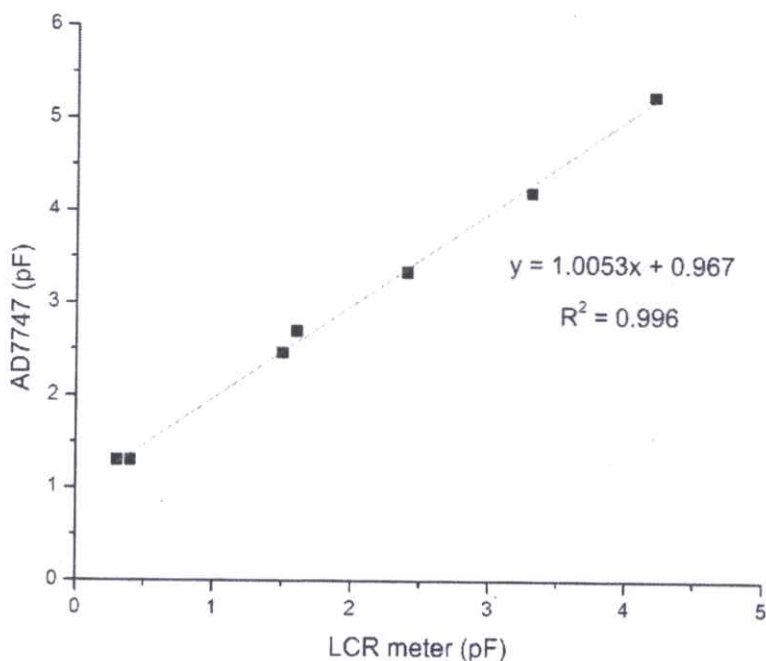
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในการทดสอบระบบระบบวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันในผลปาล์มดิบโดยใช้เทคนิคการเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้า โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ระบบวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันแบบตั้งโต๊ะ โดยระบบแบบตั้งโต๊ะใช้ไอซีเบอร์ AD7747 ทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง 25°C และส่วนที่สองคือ ระบบวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันแบบพกพา โดยระบบแบบพกพานั้นใช้ไอซี LM555 และทำการปรับเทียบกับ LCR Meter ยี่ห้อ LEADER รุ่น LCR-746 ซึ่งผลวัดค่าความจุไฟฟ้าและวิเคราะห์ผลนั้นจะแบ่งออกเป็นดังนี้

4.1 เครื่องวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันแบบตั้งโต๊ะ

4.1.1 ผลการปรับเทียบเครื่องวัดกับ LCR Meter

ในการปรับเทียบกับเครื่อง LCR Meter รุ่น LCR-746 นั้นได้ทำการวัดตัวเก็บประจุเซรามิกจำนวน 7 ตัว part number ดังนี้ 0.75, 1, 1.5, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ ทำการหาความสัมพันธ์ได้แสดงดังรูปที่ 4.1 ซึ่งค่าที่ได้จากสมการคือ $y = 1.0053x + 0.967$ ถูกนำมาปรับเทียบในโปรแกรมเพื่อให้เครื่องวัดค่าความจุไฟฟ้ามีความเที่ยงตรงตามเครื่องมือมาตรฐาน ข้อมูลผลการปรับเทียบเครื่องแสดงในภาคผนวก ค

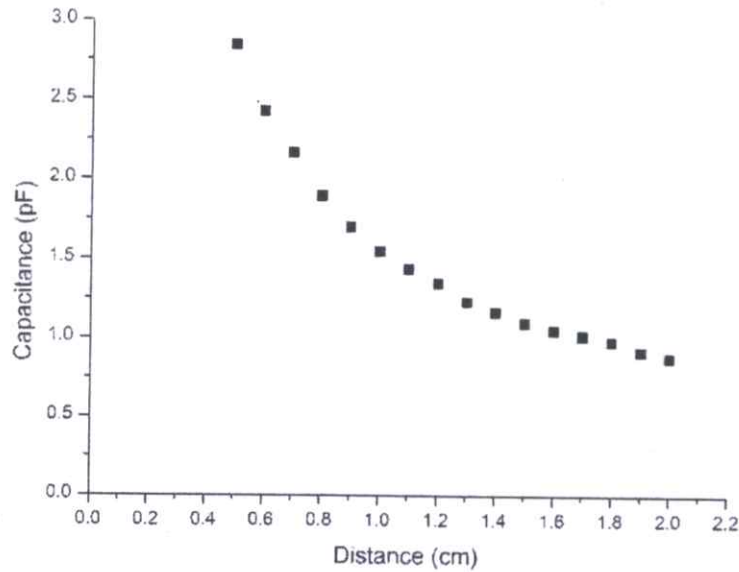


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง LCR meter กับ AD7747

4.1.2 ผลการทดสอบระยะห่างระหว่างแผ่นไฟฟ้าคู่ขนานกับความจุไฟฟ้า

การทดสอบแผ่นไฟฟ้าคู่ขนานกับระยะห่างระหว่างแผ่น เมื่อทำการปรับระยะห่างและทำการวัดค่าความจุไฟฟ้า ค่าความจุไฟฟ้านั้นจะแปรผกผันกับระยะห่างของแผ่นไฟฟ้าคู่ขนานซึ่งแสดง

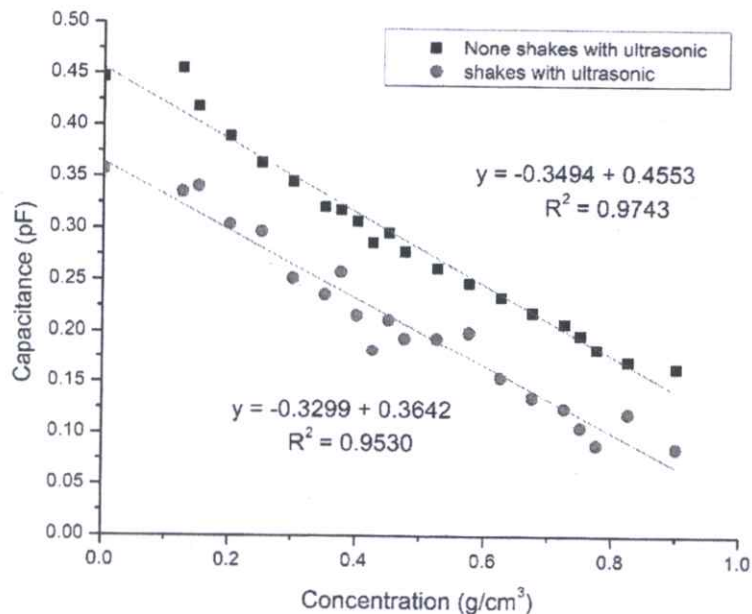
ความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.23 กราฟความสัมพันธ์แสดงในรูปที่ 4.2 ผลการทดสอบแสดงในภาคผนวก ง



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างแผ่นไฟฟ้าคู่ขนานกับความจุไฟฟ้า

4.1.3 ผลการวัดค่าความจุไฟฟ้ากับความเข้มข้นของCPO

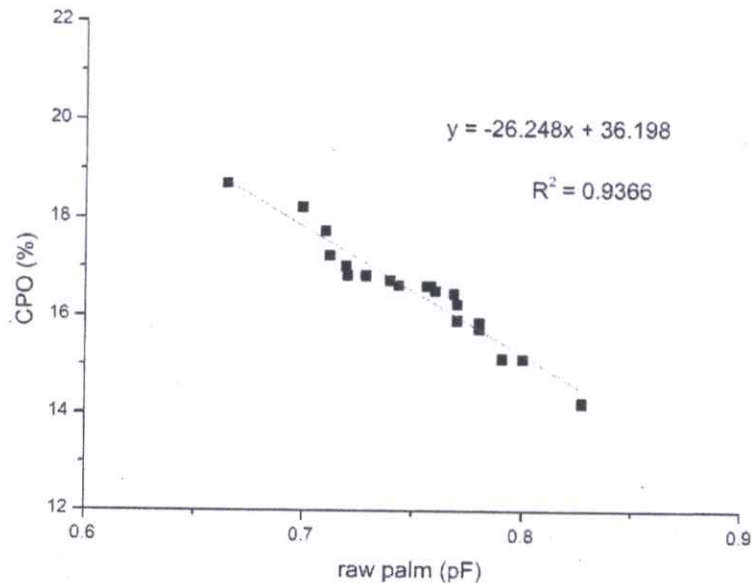
การวัดค่าความจุไฟฟ้ากับความเข้มข้น CPO นั้นมี 2 ตัวอย่าง จากรูปที่ 4.3 จุดวงกลมสีแดงคือการนำตัวอย่างของน้ำมันปาล์มดิบมาผสมกับน้ำแล้วทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยการสั่นจากเครื่อง Ultrasonic ส่วนจุดสีเหลี่ยมสีดำ คือนำตัวอย่างน้ำมันปาล์มดิบเทรวมกับน้ำ ซึ่งจะเกิดการแยกชั้นกันระหว่างน้ำกับน้ำมันปาล์ม ผลการวัดค่าความจุไฟฟ้า แสดงในรูปที่ 4.3 จากกราฟสามารถอธิบายได้ว่า ค่าความเข้มข้นของตัวอย่างเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าความจุไฟฟ้าลดลง เนื่องจากค่าไดอิเล็กทริกของน้ำมันปาล์มดิบมีค่าน้อยกว่าน้ำและการเข้ากันของเนื้อสารส่งผลให้ค่าความจุไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่าการแยกชั้นของน้ำมันกับน้ำ ผลการทดลองแสดงในภาคผนวก จ



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำมันปาล์มดิบกับความจุไฟฟ้า

4.1.4 ผลการวัดค่าความจุไฟฟ้าเทียบกับเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มดิบ

เมื่อทำการวัดค่าความจุไฟฟ้าของผลปาล์มดิบแล้วหาความสัมพันธ์กับน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดวิธีทางเคมีแล้วคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม แสดงดังรูปที่ 4.4 ซึ่งความสัมพันธ์ที่ได้คือเปอร์เซ็นต์น้ำมันเพิ่มขึ้นความจุไฟฟ้าจะลดลง

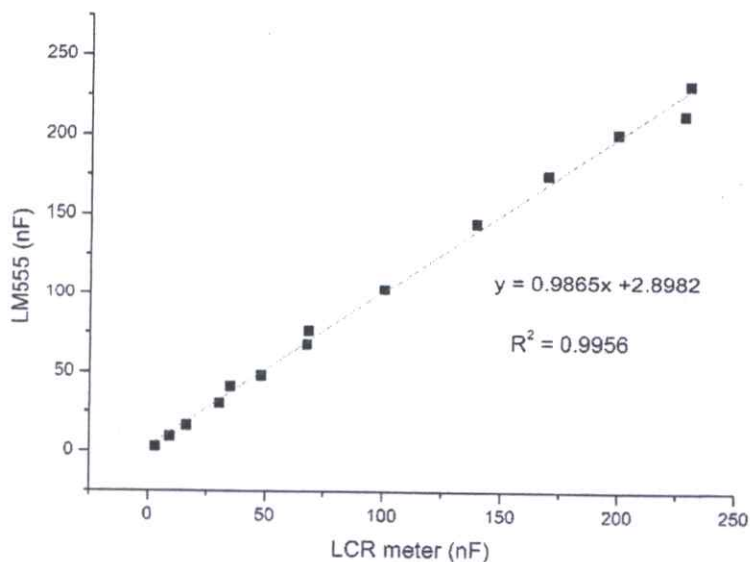


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มกับค่าความจุไฟฟ้า

4.2 เครื่องวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันแบบพกพา

4.2.1 ผลการเปรียบเทียบเครื่องวัดกับ LCR Meter

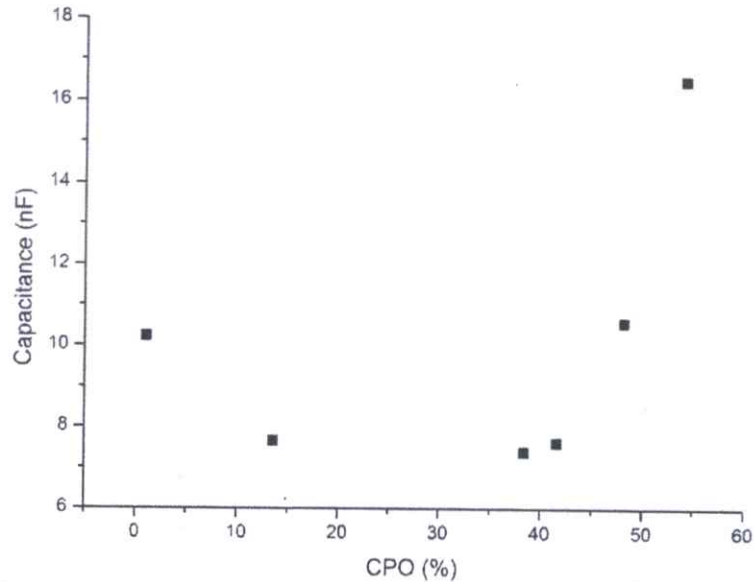
ในการเปรียบเทียบกับเครื่อง LCR Meter รุ่น LCR-746 นั้นได้ทำการวัดตัวเก็บประจุจำนวน 10 ตัว มีค่าดังนี้ 332 , 103 , 153 , 333 , 393 , 473 , 503 , 683 , 104 , 154 และ 204 ตามลำดับ ทำการหาความสัมพันธ์ แสดงดังรูปที่ 4.5 ซึ่งค่าที่ได้จากสมการคือ $y = 0.9865x + 2.8982$ ถูกนำมาปรับในโปรแกรมเพื่อให้เครื่องวัดมีความเที่ยงตรงตามเครื่องมือมาตรฐาน ผลการเปรียบเทียบเครื่องแสดงในภาคผนวก ฉ



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง LCR meter กับ LM555

4.2.2 ผลการวัดค่าความจุไฟฟ้าเทียบกับเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มดิบ

เมื่อทำการวัดค่าความจุไฟฟ้าของผลปาล์มดิบแล้วหาความสัมพันธ์กับน้ำมันปาล์มที่สกัดโดยใช้วิธีทางเคมีแล้วคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม ความสัมพันธ์แสดงดังรูปที่ 4.6 ซึ่งแนวโน้มความสัมพันธ์ที่ได้คือเปอร์เซ็นต์น้ำมันเพิ่มขึ้นความจุไฟฟ้าจะน้อยลง



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับเปอร์เซ็นต์น้ำมัน

จากรูปที่ 4.6 จุดที่น่าสนใจคือจุดที่เริ่มเปลี่ยนโค้งเป็นรูปประซังหงาย เนื่องจากกรดไขมันอิสระ (FFA) เพิ่มขึ้นทำให้ค่าจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตาม

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องมือวัดและพัฒนาระบบการวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันในผลปาล์มดิบโดยใช้กระบวนการเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้า โดยการออกแบบตัวต้นแบบเครื่องมือวัดนั้นจะเน้นเรื่อง ตัวเครื่องมีต้นทุนต่ำ ในการทดลองและออกแบบเครื่องมือวัด ให้ผลสรุปดังนี้

1. ระบบวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันแบบตั้งโต๊ะ ใช้ไอซีเบอร์ AD7747 พบว่าตัววงจรให้ค่าตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าได้ดี และมีความละเอียดสูง จึงมีความเหมาะสมที่นำมาใช้ในตัวต้นแบบและพัฒนาต่อไปในอนาคต

2. การทดสอบแผ่นไฟฟ้าคู่ขนาน เมื่อทำการวัดค่าความจุไฟฟ้าในกรณีที่เพิ่มระยะห่างระหว่างแผ่นคู่ขนาน ค่าความจุไฟฟ้าจะมีค่าลดลงแบบเอ็กโพเนนเชียล และเมื่อทำการวัดความเข้มข้นของน้ำมันปาล์มพบว่าค่าความจุไฟฟ้าจะแปรผกผันกับค่าความเข้มข้นของน้ำมันปาล์ม(CPO) กล่าวคือค่าความเข้มข้นของน้ำมันปาล์มมีค่ามากขึ้นความจุไฟฟ้าจะลดลง มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 3 เปอร์เซ็นต์

3. ระบบวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันแบบพกพา ใช้ไอซีเบอร์ LM555 แทนไอซีเบอร์ AD7747 เนื่องจากพบว่าในขณะที่ทำการวัดค่าความจุไฟฟ้าจากผลปาล์มโดยตรงนั้น ค่าความจุไฟฟ้ามีค่าเกินขอบเขตของไอซีเบอร์ AD7747 ซึ่งไอซีเบอร์ LM555 มีย่านการอ่านค่าความจุไฟฟ้าที่ครอบคลุมมากกว่า การทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันจะเพิ่มขึ้นและความจุไฟฟ้าจะลดลง เครื่องมือมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาต้นแบบเครื่องมือวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันในผลปาล์มโดยใช้กระบวนการเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้า เพื่อเพิ่มความสามารถในการวัดของเครื่องมือ ควรเก็บข้อมูลของพันธุ์ปาล์มแต่ละชนิด และพื้นที่ต่าง ๆ ในประเทศ เพราะพันธุ์ปาล์มแต่ละพื้นที่จะใช้พันธุ์ปาล์มที่มีลักษณะแตกต่างกันตามภูมิภาค และเทคนิคการวัดความจุไฟฟ้ายังมีข้อจำกัดในเรื่องสัญญาณรบกวนและความชื้น ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงกับค่าความจุไฟฟ้าจึงทำให้การวัดค่าความจุไฟฟ้าเกิดความคลาดเคลื่อน

เอกสารอ้างอิง

- [1] เอกชัย พฤกษ์อำไพ, คู่มือปาล์มน้ำมัน (OIL PLAM Handbook), เพ็ท-แพลน พับลิชชิ่ง, พ.ศ.2537.
- [2] ฉกรรจ์ สังข์ทอง ,ปาล์มน้ำมัน, เซาท์เทิร์นเพรสแอนด์พับลิเคชั่น , พ.ศ. 2542.
- [3] สุรกิตติ ศรีกุล, เทคโนโลยีการผลิตปาล์มน้ำมันในภาคใต้, ศูนย์วิจัยพืชสวนสุราษฎร์ธานี กรมวิชาการเกษตร พ.ศ.2544.
- [4] M. D. Luque de Castro and L. E. GarceHa Ayuso, Soxhlet Extraction , Academic Press, Spain , 2000.
- [5] Noor H. H. , Norhisam M. ,Roslina M. S. , and Ishak A. (2014), “ Dual Resonant Frequencies Effect on an Induction-Based Oil Palm Fruit Sensor,” Journal of Sensor, Vol.14, pp., 21923-21940, 2014.
- [6] Nur Hidayah Azeman , Nor Azah Yusof , Jaafar Abdullah , Robiah Yunus , Mohd Nizar Hamidon and Reza Hajian ,Study on the Spectrophotometric Detection of Free Fatty Acids in Palm Oil Utilizing Enzymatic Reactions, Molecules, Vol.20, pp.12328-12340, 2015.
- [7] A. V. Shelke, P. S. More, “ Synthesis and Analysis of Optical Transmission / Capacitance Bridge System for Oil Deterioration Identification” , Journal of Instrumentation Science, Vol.2, pp.41-45 , 2013.
- [8] วุทธิพันธุ์ ปรัชญพฤทธิ , ฟิสิกส์ (แม่เหล็กไฟฟ้า) , โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน. , พ.ศ.2553
- [9] Young&Freedman , University physics with modern physics , Person education Indochina , 2005
- [10] Serway , Jewett , Physics for scientists and engineers 2 , Cengage learning , 2014
- [11] David J.Griffiths, Reed College, Introduction to electrodynamics, Prentice Hall, New Jersey, 1999.
- [12] Larry K. Baxter, Capacitive Sensors: Design and Applications, IEEE Press, New York, 1996.
- [13] Walker, Charles S, Capacitance Inductance and Crosstalk Analysis, ARTECH HOUSE, London, 1990.
- [14] Abdussalam Salhin Mohamed Ali , Abdurhman Moussa Abdurhman, “ Determination of Free Fatty Acids in Palm Oil Samples by Non - Aqueous Flow Injection Using Salicyaldehyde - 2, 4 - Dinitrophenylhydrazone as Colorimetric Reagent ” , Chemical and Materials Engineering, pp. 96-103, 2013
- [15] Soxhlet, F. " Diegewichtsanalytische – Bestimmung – desMilchfettes ". Dinger's Polytechnisches Journal .Vol. 232, pp.461–465, 1879.
- [15] M. Margolis, Arduino Cookbook, O'Reilly, USA, 2011.

- [16] C. Amariei, Arduino Development Cookbook, Packt Publishing, Birmingham, 2015.
- [17] Harry H. Cheng, C for Engineers and Scientists An interpretive Approach, McGrawHill, Singapore, 2010.
- [18] Henry W.Ott, Noise reduction in electronic systems, Wiley, New Jersey, 1988.
- [19] Jasper J.Goedbloed, Electromagnetic compatibility, Prentice hall, Cambridge, 1992.

ภาคผนวก ก

Code program AD7747

```
#include <Wire.h>
unsigned long Counter = 0;
void setup()
{
  int i = 0;
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  //reset IC
  Wire.beginTransmission(0x48);
  Wire.write(0xBF);
  Wire.endTransmission();
  delay(4);
  //Set CAP
  Wire.beginTransmission(0x48);
  Wire.write(0x07);
  Wire.write(0xA0);
  Wire.endTransmission();
  delay(4);
  //Set EXC
  Wire.beginTransmission(0x48);
  Wire.write(0x09);
  Wire.write(0x0E);
  Wire.endTransmission();
  delay(4);
  //Configuration
  Wire.beginTransmission(0x48);
  Wire.write(0x0A);
  Wire.write(0x21);
  Wire.endTransmission();
  delay(4);
  //Set CAP A-----Read 8pF
  Wire.beginTransmission(0x48);
```

```

Wire.write(0x0B);
Wire.write(0x80); //-----if you want to read 16
Wire.endTransmission();
delay(4);
//Set CAP B
Wire.beginTransaction(0x48);
Wire.write(0x0C);
Wire.write(0x00);
Wire.endTransmission();
delay(4);
Serial.println("Loop will start");
}
void loop()
{
int i;
int Status;
Status = READ(0x00);
Serial.print("0x");Serial.println(Status,HEX);
if (Status==0x07)
{
while(true)
{
float CP=0;
unsigned long CAP=0;
CAP=CAP_read(0x01);
Serial.print("HEX \t");Serial.println(CAP,HEX);

CAP = CAP-0x800000;
CP = ((float)CAP/(float)0x800000)*(float)8.192;
CP = CP-1.8000;
Serial.print(i);Serial.print("\t"); Serial.println(CP,4);
i++;
delay(1000);
}
}
}
unsigned int READ(unsigned int ADD)
{

```

```
    unsigned int Data=0;
    Wire.beginTransmission(0x48);
    Wire.write(ADD);
    Wire.endTransmission();
    Wire.requestFrom(0x48,1);
    delay(4);
    Data = Wire.read();
    return Data;
}
unsigned long CAP_read(int ADD)
{
    unsigned long CAP;
    Wire.beginTransmission(0x48);
    Wire.write(ADD);
    Wire.endTransmission();
    Wire.requestFrom(0x48,4,false);
    while(Wire.available())
    {
        CAP=0;
        unsigned int hi=0,mid=0,lo=0,st=0;
        st = Wire.read();
        hi = Wire.read();
        mid= Wire.read();
        lo= Wire.read();
        CAP|=hi;
        CAP<<=8;
        CAP|=mid;
        CAP<<=8;
        CAP|=lo;
    }
    return CAP;
}
```

ภาคผนวก ข

Code program LM555

```
#include<math.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 16, 2);

#define N -1.002
#define M 499769
int pin =3;
unsigned long duration;
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  lcd.begin();
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  //put your main code here, to run repeatedly:

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(Read_frq(),2);
  Serial.println(Read_frq(),2);
  lcd.setCursor(0,7);
  lcd.print("nF");
  delay(500);
}

double Read_frq(void){
  unsigned long duration = pulseIn(pin,HIGH,5000000);
```

```
double muti = pow(duration,N);
double frq = M*muti;
double c1 = ((1.4/(210000*frq))*1000000000);
/* if(c1 >= 1)
{
    double CAP = (c1*0.9865)+2.8982;
    return CAP;
}*/
return c1;
}
```

ภาคผนวก ค.

ผลการเปรียบเทียบระหว่าง LCR meter กับ AD7747

Type number of capacitance	Measuring by LCR meter (pF)	Measuring by AD7747 (pF)
0.75	0.44	1.31
1	0.33	1.35
1.5	1.61	2.73
2	1.56	2.46
3	2.49	3.34
4	3.35	4.25
5	4.28	5.24

ภาคผนวก ง.

ผลการทดลองระยะห่างระหว่างแผ่นไฟฟ้าคู่ขนานกับความจุ
ไฟฟ้า

Number of Sample	Distances (cm)	Capacitance (pF)	Standard Deviation
1	0.5	2.84	0.0294
2	0.6	2.42	0.1810
3	0.7	2.16	0.0054
4	0.8	1.89	0.0044
5	0.9	1.70	0.0105
6	1.0	1.54	0.0132
7	1.1	1.43	0.0062
8	1.2	1.34	0.0111
9	1.3	1.22	0.0060
10	1.4	1.16	0.0098
11	1.5	1.09	0.0027
12	1.6	1.05	0.0028
13	1.7	1.01	0.0087
14	1.8	0.97	0.0026
15	1.9	0.91	0.0077
16	2.0	0.88	0.0058

ภาคผนวก จ.

ผลการวัดค่าความจุไฟฟ้ากับค่าความเข้มข้น CPO

Sample	Concentration (g/cm ³)	Capacitance of Non-shake sample (pF)	Standard Deviation	Capacitance of Shake sample (pF)	Standard Deviation
1	0.900	0.16	0.0014	0.08	0.0019
2	0.825	0.17	0.0012	0.11	0.0020
3	0.775	0.18	0.0019	0.28	0.0019
4	0.750	0.19	0.0007	0.10	0.0017
5	0.725	0.20	0.0021	0.12	0.0022
6	0.675	0.21	0.0027	0.13	0.0016
7	0.625	0.23	0.0020	0.15	0.0019
8	0.575	0.24	0.0052	0.19	0.0016
9	0.525	0.26	0.0061	0.19	0.0019
10	0.475	0.27	0.0071	0.19	0.0018
11	0.450	0.29	0.0014	0.21	0.0018
12	0.425	0.28	0.0038	0.18	0.0017
13	0.400	0.30	0.0130	0.21	0.0020
14	0.375	0.31	0.0015	0.25	0.0019
15	0.350	0.32	0.0018	0.23	0.0018
16	0.300	0.34	0.0131	0.25	0.00139
17	0.250	0.36	0.0013	0.29	0.0015
18	0.200	0.38	0.0008	0.30	0.0019
19	0.150	0.51	0.0014	0.34	0.0019
20	0.125	0.45	0.0006	0.33	0.0020
21	0	0.44	0.0011	0.35	0.0019

ภาคผนวก ฉ.

ผลการเปรียบเทียบระหว่าง LCR meter กับ LM555

Type number of capacitance	Measuring by LCR meter (nF)	Measuring by Lm555 (nF)	Standard Deviation
332	3.14	3.17	0.0401
103	9.23	9.33	0.0427
153	16.31	16.42	0.0427
333	30.40	30.64	0.1690
393	34.83	41.35	0.2445
473	47.93	48.23	0.2187
503	68.13	76.79	0.4903
683	67.50	68.02	0.3376
104	100.40	103.09	1.0701
224	227.30	213.59	3.6764

ภาคผนวก ช.

งานวิจัยที่ได้เข้าร่วมนำเสนอในงานประชุมวิชาการระดับ
นานาชาติ

Final Program & Digest



ICCAS 2017

2017 17th International Conference on Control, Automation and Systems

October 18(WED)~21(SAT), 2017
Ramada Plaza, Jeju, Korea



<http://2017.iccas.org>

Capacitive Measuring of Crude Palm Oil–Water Mixture

Pongsakun Sriphant^{1*}, Anupong Srongprapa¹ and Bhanupol Klongratog¹

¹ Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
1, Chalongkrung road, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
(57605085@kmitl.ac.th)* Corresponding author

Abstract: Oil palm is one of the famous commercial crops of Thailand. The production is in the 3rd rank of the south east Asia, and plantation is still increasing every year. To investigate the feasibility of using electrical capacitance measuring technique as an alternative method for low-cost non-destructive, oil palm fresh oil (CPO) and water have been prepared and studied. One group is concerned with the immiscible fluid and another is all ultrasonic shakes. The mass concentration (x) of CPO varied from 0 g/cm³ to 0.9 g/cm³ and then all experiments were tested on room temperature (25°C). Guard parallel structure has been used in conjunction with AD7747 capacitive to digital converter to obtain capacitance value (y). The results show that $y = 0.11987x^2 - 0.46104x + 0.47418$ with $r^2 = 0.98098$. The model for second sample is $y = 0.08965x^2 - 0.41335x + 0.3731$ with $r^2 = 0.9554$. The capacitance of first sample is higher than the second sample. As previously mentioned, this project aims to make benefit of interest on seasonable optimistic harvests.

Keywords: Crude palm oil (CPO), Capacitive sensing, Non-Destructive, Ripeness, Ultrasonic

1. INTRODUCTION

Regarding the importance of the palm oil industries related to supplier, producer and retailer, they are a major source of plant oil. Based on world ranking of production capacities, 1st and 2nd is soybean and palm respectively. Nowadays, there is a growing demand in terms of consumption, cosmetic industry, etc. One important application is a renewable energy source in the form of bio-diesel. Market share is divided among 3 countries with 46% of the share held by Indonesia, 41% by Malaysia and 3% by Thailand, respectively [1]. Even agriculture areas are expanded, it also not always a good answer. The sustainable approach for farmers is to focus on developing high yielding varieties that are resistant to pests and weathering. For the part of the processing plant, technology should be applied to reduce production costs while high yields. Since the amount of oil extracted from the palm oil does not only depending on the type of strain and nutrient abundance in the soil but also depending on the appropriate harvest time as the critical factor. By the 15th week after full bloom, fat of mesocarp will be accumulated around 0.1 - 48%, once fully cooked by week 20th. The water or moisture content in mesocarp will decrease by 88 to 3% [2]. Regarding nature of getting nutrients from the stems, palm fruit is not cooked together. Waiting the ripened fruits and delaying in transports cause the texture of the palm to be over that make free fatty acid[3,4] and reduce the amount of oil to be extracted. Therefore, the quick and accuracy measurements of palm oil while economic cost is very necessary to make more value to both of them including fairness for farmers and factory buyers. Measurement of CPO by Soxhlet [5, 6] method is the preparation process and the chemical reaction. Other methods, such as Nuclear Magnetic Resonance

(NMR) technique [7], microwave waves and near infrared [8], which has many advantages. Different disadvantages But one thing is the same. The system is expensive.

The aim of this research is to study the relation between capacitance and mass concentration of CPO. As previously mentioned, they will be applied to seasonable optimistic harvests.

In the future, we would like anyone who is interested to invent some portable modules based on the knowledge of this result for measuring distinguishable CPO of palm fresh fruit.

2. MATERIALS AND METHODS

The experiment was setup to measurement the concentration in CPO. This system was divided into two parts hardware and software. For the development of hardware that was designed probe, parallel plate capacitor as show in Fig.1 [9, 10]. AD7747 was chosen based on its connection to ground, low noise, high linearity (+0.01%) and function as capacitance to digital converter (CDC). The Arduino microcontroller also was used in this system control. It is an open-source electronics platform based on easy-to-use hardware and software. Arduino Uno was applied to this research which was the ATmega328P. It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz quartz crystal, a USB connection based on the Arduino programming language and the Arduino Software (IDE) as wiring and processing respectively [11-13]. The software is open-source, and it is growing through the contributions of users worldwide.

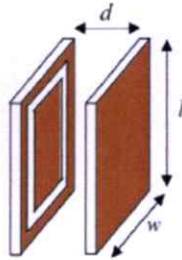


Fig. 1 Parallel plate capacitor.

The designed, parallel plate capacitor was calculated by Eq. (1)

$$c = \frac{w\epsilon l}{d} \quad (1)$$

Where,

- c = capacitance (F/m).
- d = distance between two rectangular conductor.
- w = width conductor.
- l = length of conductor.
- ϵ = material dielectric constant.

The sample was separated into each part as shown in Fig.2 that shows us none shakes. The capacitance was also relative with Eq. (2).

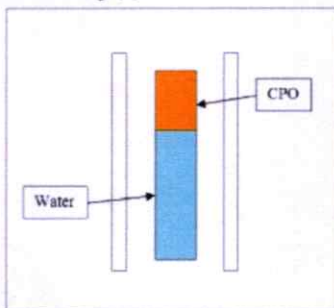


Fig. 2 Sample diagram.

$$c = \frac{w(\epsilon_0 + \epsilon_1)l}{d} \quad (2)$$

Where,

- c = capacitance (F/m).
- ϵ_0 = dielectric of water.
- ϵ_1 = dielectric of crude palm oil.

In parallel plate, the plate of Print Circuit Board (PCB) with two sides that are used in parallel plate must be designed to reduce noise signal [14, 15]. In the plate, the first side of PCB was used to make the pole, and the other side of the PCB was used as a shield.

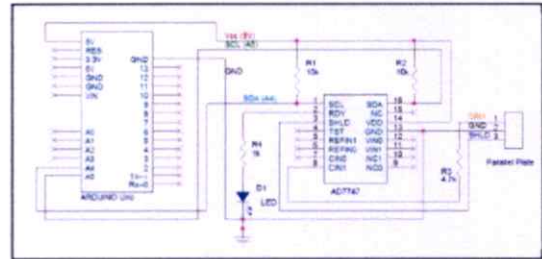


Fig. 3 Schematic of circuit.

The schematic is shown in Fig.3. The designation in this circuit used single-end technique measurement, ranging from 0 pF to 8 pF. Regarding pin CIN from IC, it was connected with 4.7k Ω of resistor value as specific performance and connected to parallel plate. Arduino and IC were communicated by two wire interfaces (I2C). Using only two bidirectional open-drain lines, Serial Data Line (SDA) and Serial Clock Line (SCL) were pulled up with 10k Ω of resistors. The system is shown in Fig. 4

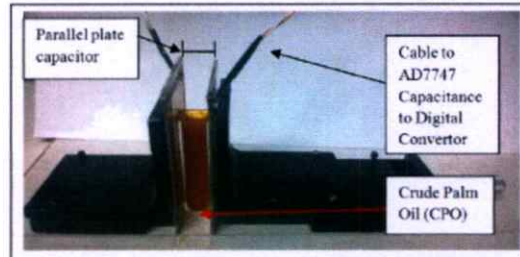


Fig. 4 Parallel plate capacitor for measurement using AD7747.

Regarding the experiments, 4 ml of CPO was contained in cubic volume based on 20 samples of concentration including 0.900, 0.825, 0.775, 0.750, 0.725, 0.675, 0.625, 0.575, 0.525, 0.475, 0.450, 0.425, 0.375, 0.350, 0.250, 0.200, 0.150, 0.125 g/cm³ and water. In the experiment, there will be two examples. The electric charge capacity without vibration of the ultrasonic machine will be applied to the first one. The second one will be measured by the electrical capacitance of the ultrasonic vibration sample. The experiment was conducted at 25°C of room temperature and then the samples were placed between parallel plates for measuring the capacitance. 30 times of measurement will be determined and analyzed on mean value.

3. RESULT AND DISCUSSIONS

In the first experiment, the probes were tested by determining the relationship between capacitance and distance. The 0.5 centimeters of distance was used as a starting point and then would be increased by 0.1 centimeter each time. Finally, the collected data would be presented into graphs as shown as Fig 5.

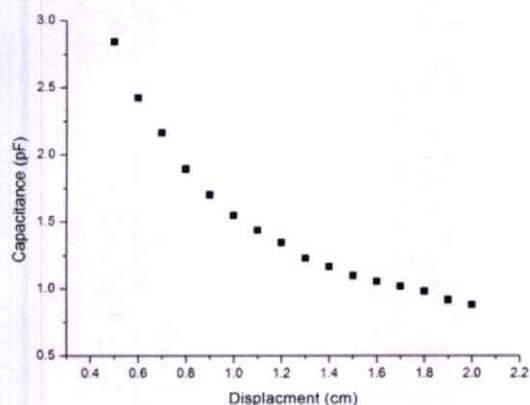


Fig. 5 Relationship between displacement and capacitance

From Fig.5, the electrical charge is inversely proportional to the distance based on the electrodes that were presented into Eq. (1). Whenever the distance based on the electrodes was increased, the capacitance was decreased.

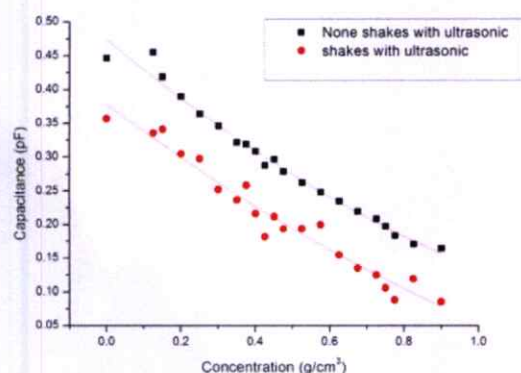


Fig. 6 Relationship between concentration and capacitance

From Fig.6, none shakes with ultrasonic as square dots were the sample of CPO, the model was also $y = 0.11987x^2 - 0.46104x + 0.47418$ with $r^2 = 0.98098$. In addition, circle dots as shakes with ultrasonic were the sample CPO, the model was also $y = 0.08965x^2 - 0.41335x + 0.3731$ with $r^2 = 0.9554$.

4. CONCLUSIONS

Regarding the relation between capacitance and CPO mass concentrations, there were two samples including none shakes with ultrasonic and shakes with ultrasonic that were tested on parallel plate capacitive sensor with room temperature (25°C). The first result showed us the capacitance of first sample is higher than second sample. There were also some immiscible fluids in the first sample that made higher dielectric and then higher capacitance as well. The second result based on the same level of CPO mass concentration concluded once the capacitances are decreased, and CPO concentrations were increased. As above, we make sure the knowledge can be applied to predict suitable harvests and develop any portable module for product management and ease of use respectively.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by Suksomboon Group, Nongyai, Chonburi, Thailand, 20190 and King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Medical Environment Research Laboratory (MERL), Bangkok, Thailand, 10520.

REFERENCES

- [1] Danyo Gilbert, "Oil Palm and Palm Oil industry in Ghana: A Brief History", *International research Journal of plant Science*, Vol.4, pp.158-167, 2013.
- [2] Ng Siew Kee, *The Oil Palm, its Culture, Manuring and Utilisation*, International potash institute, Paris, 1972.
- [3] Nur Hidayah Azeman, Nor Azah Yusof, Jaafar Abdullah, Robiah Yunus, Mohd Nizar Hamidon and Reza Hajian, Study on the Spectrophotometric Detection of Free Fatty Acids in Palm Oil Utilizing Enzymatic Reactions, *Molecules*, Vol.20, pp.12328-12340, 2015.
- [4] Abdussalam Salhin Mohamed Ali, Abdurrahman Moussa Abdurrahman, "Determination of Free Fatty Acids in Palm Oil Samples by Non-Aqueous Flow Injection Using Salicylaldehyde- 2, 4 - Dinitrophenylhydrazone as Colorimetric Reagent", *Chemical and Materials Engineering*, pp. 96-103, 2013.
- [5] Soxhlet, F. "Die gewichtsanalytische Bestimmung des Milchfettes". *Dingler's Polytechnisches Journal*, Vol. 232, pp.461-465, 1879.
- [6] Harwood, Laurence M.; Moody, Christopher J. *Experimental organic chemistry: Principles and Practice*, Wiley-Blackwell, New jersey, 1998.
- [7] Noor H.H., Norhisam M., Roslina M.S., and Ishak A. (2014), "Dual Resonant Frequencies Effect on an Induction-Based Oil Palm Fruit Sensor." *Journal of Sensor*, Vol.14, pp., 21923-21940, 2014.
- [8] A. V. Shelke, P.S. More, "Synthesis and Analysis of Optical Transmission / Capacitance Bridge System for Oil Deterioration Identification", *Journal of Instrumentation Science*, Vol.2,

- pp.41-45, 2013.
- [9] Larry K. Baxter, *Capacitive Sensors: Design and Applications*, IEEE Press, New York, 1996.
 - [10] Walker, Charles S. *Capacitance Inductance and Crosstalk Analysis*, ARTECH HOUSE, London, 1990.
 - [11] Harry H. Cheng, *C for Engineers and Scientists An interpretive Approach*, McGrawHill, Singapore, 2010.
 - [12] M. Margolis, *Arduino Cookbook*, O'Reilly, USA, 2011.
 - [13] C. Amariei, *Arduino Development Cookbook*, Packt Publishing, Birmingham, 2015.
 - [14] Henry W.Ott , *Noise reduction in electronic systems*, Wiley, New jersey, 1988
 - [15] Jasper J.Goedbloed, *Electromagnetic compatibility*, Prentice hall , Cambridge, 1992

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายพงษ์สกุล ศรีเพชร
วัน เดือน ปีเกิด	21 สิงหาคม 2534
ที่อยู่ปัจจุบัน	258/1 ถ.สุรินทร์ภักดี ต.ในเมือง อ.เมือง จ.สุรินทร์ 32000
ประวัติการศึกษา	ปี พ.ศ.2553 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสิรินธร จังหวัดสุรินทร์ ปี พ.ศ.2557 สำเร็จการศึกษา ระดับอุดมศึกษา ปริญญาตรี สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ เกรดเฉลี่ย 2.96 คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานทางวิชาการ	Capacitive Measuring of Crude Palm Oil- Water Mixture, (ICCAS2017) Ramada Plaza, Jeju , Korea