

การวัดเชิงพลวัตของสัมประสิทธิ์ไฟโรอิเล็กทริกของพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์



นางสาวเอื้ออารี กัลวาทนนท์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-3827-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DYNAMICAL MEASUREMENT OF PYROELECTRIC COEFFICIENT OF
POLYVINYLIDENE FLUORIDE



Miss Aue-aree Kanvatanond

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Physics

Department of Physics
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2003
ISBN 974-17-3827-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวัดเชิงพลวัตของสัมประสิทธิ์ไฟโรอิเล็กทรอนิกส์ของพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์
โดย นางสาวเอื้ออารี กัลวาทนนท์
สาขาวิชา ฟิสิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิริถนันต์ รัตนธรรมพันธ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.อนันตสิน เตชะกำพุช

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขจรยศ อยู่ดี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิริถนันต์ รัตนธรรมพันธ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.อนันตสิน เตชะกำพุช)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.โคจิพงษ์ ฉัตรภรณ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.รุจิกร ธนวิทยาพล)

เอื้ออารี กัลวาทานนท์ : การวัดเชิงพลวัตของสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกของพอลิไวนิลิดีน
ฟลูออไรด์. (DYNAMICAL MEASUREMENT OF PYROELECTRIC COEFFICIENT OF
POLYVINYLIDENE FLUORIDE อ. ที่ปรึกษา : ผ.ศ. กิรณันต์ รัตนธรรมพันธ์,
อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ดร. อนันตสิน เตชะกำพุช 74 หน้า. ISBN 974-17-3827-7.

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการวัดสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริก (p_3) ของฟิล์มพอลิไวนิลิดีน
ฟลูออไรด์ (PVDF) โดยการฉายแสงเป็นจังหวะ ด้วยความถี่ 10 Hz ลงบนฟิล์ม PVDF สองตัวอย่าง
ซึ่งหนา 30 μm ค่าความเข้มแสงที่ใช้ในการทดลองแต่ละชุดการทดลองจะมี 3 ค่า ในการทดลอง
ได้ใช้เครื่องขยายสัญญาณแบบล็อกอินแอมป์ปรีฟายเออร์ วัดค่าความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรด
ของฟิล์ม ที่เกิดขึ้นในแต่ละจังหวะการฉายแสง และได้ใช้อิเล็กโทรมิเตอร์ วัดการเปลี่ยนแปลงของ
ความต้านทานของอิเล็กโทรดอะลูมิเนียมของฟิล์ม ซึ่งสามารถนำไปคำนวณอุณหภูมิของฟิล์มที่
เพิ่มขึ้น ในแต่ละจังหวะการฉายแสงได้ จากข้อมูลนี้ได้ ค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริก (p_3) ของ
ฟิล์มทั้งสองตัวอย่างในช่วง $(41 \pm 4) - (50 \pm 6) \mu\text{C}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ และ $(4.9 \pm 0.2) - (5.5 \pm 0.5)$
 $\mu\text{C}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ค่านี้ได้แตกต่างจากค่าอ้างอิงของฟิล์มประมาณ 15 %

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา	ฟิสิกส์.....	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....	ฟิสิกส์.....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....	2546.....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4372506523 : MAJOR PHYSICS

KEYWORD : PVDF / FERROELECTRIC POLYMER / PYROELECTRIC EFFECT / PYROELECTRIC
COEFFICIENT / DYNAMICAL METHOD

AUE-AREE KANVATANOND : DYNAMICAL MEASUREMENT OF PYROELECTRIC
COEFFICIENT OF POLYVINYLIDENE FLUORIDE. THESIS ADVISOR :

ASST. PROF. KIRANANT RATANATHAMMAPAN, THESIS COADVISOR :

ASSOC. PROF. ANUNTASIN TECHAGUMPUCH, Ph.D., 74 pp. ISBN 974-17-3827-7.

In this work a method for measuring pyroelectric coefficient (p_3) of polyvinylidene fluoride (PVDF) films was developed. Light pulses of 10 Hz frequency were exposed on two samples of PVDF films of 30 μm thickness. Three different light intensities were used for each set of measurement. A lock-in amplifier was used to measure voltage pulses from PVDF electrodes. An electrometer was used to measure the increase in the resistance of PVDF electrode when the films were exposed to light and obtain the increase in the temperature of the films due to the light pulses. From these experiments, the values of p_3 of the first and second films were found to be in range of (41 ± 4) to (50 ± 6) $\mu\text{C}/\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}$ and (4.9 ± 0.2) to (5.5 ± 0.5) $\mu\text{C}/\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}$, respectively. These values are different from the reference values of the film by 15%.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.....Physics..... Student's signature.....
Field of study.....Physics..... Advisor's signature.....
Academic year.....2003..... Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความเรียบร้อย โดยได้รับความแนะนำ และ ข้อคิดเห็นต่างๆ ทั้งทางด้านทฤษฎี การวิจัย และ การตรวจทานวิทยานิพนธ์จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กิรณันต์ รัตนธรรมพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. อนันตสิน เตชะกำพุช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขจรยศ อยู่ดี อาจารย์ ดร. ไศยพงศ์ ฉัตรภรณ์ และ อาจารย์ ดร. รุจิกร ธนวิทยาพล ที่ให้คำแนะนำ และ ข้อคิดเห็นต่างๆ ในการตรวจทานวิทยานิพนธ์

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณห้องปฏิบัติการพลาสติก ที่ให้ช่วยเหลือทางด้านเครื่องวิเคราะห์ LCR ที่ใช้สำหรับตรวจหาค่าคงที่ไดอิเล็กทริก

ผู้ศึกษาขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ทุกท่าน ที่ให้ข้อคิดเห็น และ ความช่วยเหลือสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย และขอขอบคุณผู้มีส่วนร่วมอื่นๆ ที่ไม่สามารถเอ่ยนามได้ทั้งหมด

ท้ายที่สุดนี้ ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ขอบคุณน้องๆ และ เพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนทุกๆด้านมาโดยตลอด จึงขอขอบคุณมา ณ. โอกาสนี้ด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอื้ออารี กัลวทานนท์

กันยายน 2546

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ณ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ด
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ และ ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 ปรากฏการณ์ไฟโรอิเล็กทรอนิกส์	
2.1 ทฤษฎีไฟโรอิเล็กทรอนิกส์.....	5
2.2 การทำงานของฟิล์มไฟโรอิเล็กทรอนิกส์.....	7
2.3 การวัดสัมประสิทธิ์ไฟโรอิเล็กทรอนิกส์.....	9
2.4 คุณสมบัติของโลหะตัวนำที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่มี แสงตกกระทบ.....	12
2.5 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของฟิล์มไฟโรอิเล็กทรอนิกส์ พอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์.....	15
บทที่ 3 ฟิล์มไฟโรอิเล็กทรอนิกส์พอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์	
3.1 โครงสร้างผลึกของพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์.....	17
3.2 การเตรียมฟิล์มไฟโรอิเล็กทรอนิกส์พอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ จากฟิล์มพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ธรรมดา.....	21
3.2.1 ขั้นตอนการยัดและอบฟิล์มพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์.....	22
3.2.2 การเตรียมอิเล็กโทรดของฟิล์ม หรือ การทำขั้วไฟฟ้า.....	23
3.2.3 การจัดขั้วไฟฟ้า.....	23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4	วิธีการทดลองเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็คทริก	
4.1	การวัดความต่างศักย์ที่เกิดจากปรากฏการณ์โพโรอิเล็คทริก.....	28
4.1.1	การวัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นขณะที่แสงตกกระทบฟิล์ม อย่างต่อเนื่อง.....	28
4.1.2	การวัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นขณะที่แสงตกกระทบฟิล์ม เป็นจังหวะ.....	29
4.1.3	การวัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นขณะที่แสงตกกระทบฟิล์ม เป็นจังหวะ ด้วยความถี่ 10 Hz	30
4.2	การวัดค่าคุณสมบัติของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่มีแสง ตกกระทบฟิล์ม.....	32
4.2.1	การวัดค่าคุณสมบัติของอิเล็กโทรดที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่มีแสงตกกระทบฟิล์ม.....	32
บทที่ 5	ผล และ การวิเคราะห์การทดลองเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็คทริก	
5.1	ผลการวัดความต่างศักย์ที่เกิดจากปรากฏการณ์โพโรอิเล็คทริก.....	35
5.1.1	ผลการวัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นขณะที่แสงตกกระทบฟิล์ม อย่างต่อเนื่อง.....	35
5.1.2	ผลการวัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นขณะที่แสงตกกระทบฟิล์ม เป็นจังหวะ.....	36
5.1.3	ผลการวัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นขณะที่แสงตกกระทบฟิล์ม เป็นจังหวะ ด้วยความถี่ 10 Hz	39
5.2	ผลการวัดค่าคุณสมบัติของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่มีแสง ตกกระทบฟิล์ม.....	45
5.2.1	ผลการวัดค่าคุณสมบัติของอิเล็กโทรดที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่มีแสงต่อเนื่องตกกระทบฟิล์ม.....	45
5.2.1.1	ผลการวัดค่าความต่างศักย์ของอิเล็กโทรดบน ที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่มีแสงต่อเนื่อง ตกกระทบฟิล์ม.....	45
5.2.1.2	ผลการวัดค่าความต่างศักย์ของอิเล็กโทรดล่าง ที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่มีแสงต่อเนื่อง ตกกระทบฟิล์ม.....	46

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2.2 ผลการวัดค่าอุณหภูมิของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่มีแสงตกกระทบฟิล์ม.....	51
5.3 ผลการวัดค่าคงที่ไดโอดเล็กทริกของฟิล์มไพโรอิเล็กทริก พอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์.....	60
5.4 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริก ที่เกิดจากการวัดเชิงพลวัต.....	61
บทที่ 6 สรุป ข้อเสนอแนะ และ งานวิจัยในอนาคต	
สรุป ข้อเสนอแนะ และ งานวิจัยในอนาคต.....	63
รายการอ้างอิง.....	66
ภาคผนวก.....	68
ก. การวัดสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกโดยวิธีต่างๆ.....	69
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	74

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	แสดง hysteresis loop ของสารเฟอร์โรอิเล็กทริก โดย P คือ โพลาริเซชัน, P_s คือ สปอนเตเนียสโพลาริเซชัน, E_c คือ สนามไฟฟ้าโคอีซีฟ, E คือ สนามไฟฟ้า.....	5
รูปที่ 2.2	แสดงฟิล์มไฟโรอิเล็กทริกในสภาพอิสระ.....	7
รูปที่ 2.3	แสดงฟิล์มไฟโรอิเล็กทริกที่อุณหภูมิ T เมื่ออิเล็กโทรดทั้งสองถูกลัดวงจร.....	8
รูปที่ 2.4	แสดงฟิล์มไฟโรอิเล็กทริกเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ΔT และเมื่ออิเล็กโทรดทั้งสองต่อกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า V จนมีสนามไฟฟ้า E.....	8
รูปที่ 2.5	เมื่ออุณหภูมิของฟิล์มเพิ่มขึ้น จะมีกระแสไฟฟ้าไหลจากอิเล็กโทรดล่างไปยังอิเล็กโทรดบน.....	10
รูปที่ 2.6	แสดงลักษณะที่ลวดตัวนำระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองต่อไม่ถึงกัน ทำให้มีความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองเกิดขึ้น.....	11
รูปที่ 2.7	แสดงสภาพต้านทานของโลหะหลายชนิด ในช่วงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น.....	12
รูปที่ 3.1	แสดงโครงสร้างโมเลกุล 4 แบบ ของ PVDF (ก) เฟสเบตา (ข) เฟสแอลฟา และเดลตา และ (ค) เฟสแกมมา โดยวงกลมที่บีบ วงเล็ก และ วงใหญ่ แสดงอะตอมของคาร์บอน ไฮโดรเจน ฟลูออรีน ตามลำดับ.....	18
รูปที่ 3.2	แสดงโครงสร้างผลึก และ เซลล์หน่วย ของ PVDF เฟสแอลฟา.....	18
รูปที่ 3.3	แสดงโครงสร้างผลึกของ PVDF เฟสเบตา.....	19
รูปที่ 3.4	แสดงการจัดเรียงตัวโมเลกุลของ PVDF เฟสแกมมา (ลูกศร แสดงถึงทิศของไดโพลในโมเลกุล).....	20
รูปที่ 3.5	แสดงการจัดเรียงตัวของโมเลกุล PVDF เฟสเดลตา (ลูกศร แสดงถึงทิศของไดโพลในโมเลกุล).....	20
รูปที่ 3.6	แสดงแผนภาพการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเฟสต่างๆของ PVDF โดย HMPTA และ DMA คือ เฮกซะเมทิลฟอสฟอริกไตรอะไมด์ (Hexamethylphosphoric triamide) และ ไดเมทิลอะซิตาไมด์ (Dimethylacetamide) ตามลำดับ.....	21
รูปที่ 3.7	(ก) ฟิล์ม PVDF ซึ่งอัดแน่นที่ขอบโดยเครื่องยืด และ (ข) ฟิล์ม PVDF ซึ่งถูกยืดออก 3.5 - 4 เท่า ซึ่งติดกับเครื่องยืด.....	22
รูปที่ 3.8	แสดงการจัดตัวของฟิล์ม PVDF เมื่อมองจากด้านบน.....	24

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.1	แสดงการทดลองเพื่อวัดความต่างศักย์ที่เกิดจากฟิล์ม PVDF เมื่อมีแสงตกกระทบฟิล์มอย่างต่อเนื่อง บันทึกค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น ด้วยอิเล็กโทรมิเตอร์ ตามรูปได้ขยายความหนาของฟิล์ม.....	28
รูปที่ 4.2	แสดงการทดลองเพื่อวัดความต่างศักย์ที่เกิดจากฟิล์ม PVDF เมื่อมีแสงตกกระทบ และไม่ตกกระทบฟิล์ม บันทึกค่าความ ต่างศักย์ที่เกิดขึ้นด้วยอิเล็กโทรมิเตอร์.....	30
รูปที่ 4.3	แสดงการทดลองเพื่อใช้ในการหาความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น ขณะที่แสงตกกระทบฟิล์ม ด้วยความถี่สัญญาณแสง 10 Hz.....	31
รูปที่ 4.4	แสดงการต่อขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิของอิเล็กโทรดที่ เปลี่ยนแปลงไป เมื่อมีแสงตกกระทบ (ในรูปมองจากด้านบน) โดย ตำแหน่ง 1,4 ใช้สำหรับผ่านกระแสไฟฟ้า เข้าไปที่อิเล็กโทรดของฟิล์ม ส่วนตำแหน่ง 2,3 ใช้สำหรับวัดค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ.....	33
รูปที่ 4.5	แสดงการต่อวงจรเพื่อปล่อยกระแสไฟฟ้า เข้าไปที่อิเล็กโทรด ของฟิล์ม PVDF โดยส่วนที่แรเงา คือ อิเล็กโทรดของฟิล์ม.....	33
รูปที่ 4.6	แสดงการทดลองเพื่อใช้ในการคำนวณหาอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ในอิเล็กโทรด ขณะที่แสงตกกระทบฟิล์ม โดยส่วนที่แรเงา คือ อิเล็กโทรดของฟิล์ม.....	34
รูปที่ 5.1	แสดงค่าความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดของฟิล์ม PVDF กับเวลา ตามรูป ช่วง (ก) แสดงค่าความต่างศักย์ ขณะไม่มีแสงตกกระทบฟิล์ม ช่วง (ข) แสดงค่าความต่างศักย์ ขณะมีแสงตกกระทบฟิล์ม.....	35
รูปที่ 5.2	แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรด ของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 กับ เวลา ในช่วง (ก) แสดงค่าความต่างศักย์ ขณะไม่มีแสงตกกระทบฟิล์ม ช่วง (ข) แสดงค่าความต่างศักย์ขณะมีแสง ตกกระทบฟิล์ม และ ช่วง (ค) แสดงค่าความต่างศักย์ ขณะไม่มีแสงตก กระทบฟิล์ม อีกครั้งหนึ่ง.....	36

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.3	แสดงค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไปของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 กับ เวลา เมื่อแหล่งกำเนิดแสงห่างจากฟิล์มเป็นระยะ 15 และ 20 เซนติเมตร โดยในช่วง (ก) แสดงค่าความต่างศักย์ ขณะไม่มีแสงตกกระทบฟิล์ม ช่วง (ข) แสดงค่าความต่างศักย์ขณะมีแสงตกกระทบฟิล์ม และ ช่วง (ค) แสดงค่าความต่างศักย์ขณะไม่มีแสงตกกระทบฟิล์ม อีกครั้งหนึ่ง.....	37
รูปที่ 5.4	แสดงค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไปของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 กับ เวลา เมื่อแหล่งกำเนิดแสงห่างจากฟิล์มเป็นระยะ 10, 15 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยในช่วง (ก) แสดงค่าความต่างศักย์ ขณะไม่มีแสงตกกระทบฟิล์ม ช่วง (ข) แสดงค่าความต่างศักย์ขณะมีแสงตกกระทบฟิล์ม และ ช่วง (ค) แสดงค่าความต่างศักย์ขณะไม่มีแสงตกกระทบฟิล์ม อีกครั้งหนึ่ง.....	38
รูปที่ 5.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความต่างศักย์ที่ได้จากลึอกอิน แอมป์ลิฟายเออร์ กับเวลา ของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 พื้นที่ของอิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร เมื่อแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 10 เซนติเมตร.....	40
รูปที่ 5.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความต่างศักย์ที่ได้จากลึอกอิน แอมป์ลิฟายเออร์ กับเวลา ของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 พื้นที่ของอิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร เมื่อแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 15 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ.....	42
รูปที่ 5.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความต่างศักย์ที่ได้จากลึอกอิน แอมป์ลิฟายเออร์ กับเวลา ของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 พื้นที่ของอิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร เมื่อแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 10, 15 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ.....	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.8	แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดบน ขณะที่มีแสง และ ไม่มีแสง ตกกระทบบ กับ เวลา ของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 พื้นที่อิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร โดยแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 10 เซนติเมตร ตามรูป ช่วง (ก) แสดงค่าความต่างศักย์ ขณะไม่มีแสงตกกระทบบ และ ช่วง (ข) แสดงค่าความต่างศักย์ ขณะมีแสงตกกระทบบ.....	45
รูปที่ 5.9	แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดล่าง ขณะที่มีแสง และ ไม่มีแสง ตกกระทบบ กับ เวลา ของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 พื้นที่อิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร โดยแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 10 เซนติเมตร ตามรูป ช่วง (ก) แสดงค่าความต่างศักย์ ขณะไม่มีแสงตกกระทบบ และ ช่วง (ข) แสดงค่าความต่างศักย์ ขณะมีแสงตกกระทบบ.....	46
รูปที่ 5.10	แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดบนกับเวลา และ แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดล่างกับเวลา ขณะที่มีแสง และ ไม่มีแสง ตกกระทบบฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 พื้นที่อิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร ในรูป กราฟเส้นบน แสดงค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดล่าง โดยได้ทำการยกกราฟขึ้นไป 0.2 mV จากข้อมูลเดิม.....	47
รูปที่ 5.11	แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดบนกับเวลา และ แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดล่างกับเวลา ขณะที่มีแสง และ ไม่มีแสง ตกกระทบบฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 พื้นที่อิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร โดยแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 15 เซนติเมตร ในรูปกราฟเส้นบน แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดล่าง โดยได้ทำการยกกราฟขึ้นไป 0.2 mV จากข้อมูลเดิม.....	48
รูปที่ 5.12	แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดบนกับเวลา และ แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดล่างกับเวลา ขณะที่มีแสง และ ไม่มีแสง ตกกระทบบฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 พื้นที่อิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร โดยแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 20 เซนติเมตร ในรูปกราฟเส้นบน แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดล่าง โดยได้ทำการยกกราฟขึ้นไป 0.2 mV จากข้อมูลเดิม.....	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.13	แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดบนกับเวลา และ แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดล่างกับเวลา ขณะที่มีแสง และ ไม่มีแสง ตกกระทบฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 พื้นที่อิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร โดยแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 10 เซนติเมตร ในรูปกราฟเส้นบน แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดล่าง โดยได้ทำการยกกราฟขึ้นไป 0.3 mV จากข้อมูลเดิม.....	50
รูปที่ 5.14	แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดบนกับเวลา และ แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดล่างกับเวลา ขณะที่มีแสง และ ไม่มีแสง ตกกระทบฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 พื้นที่อิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร โดยแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 15 เซนติเมตร ในรูปกราฟเส้นบน แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดล่าง โดยได้ทำการยกกราฟขึ้นไป 0.3 mV จากข้อมูลเดิม.....	50
รูปที่ 5.15	แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดบนกับเวลา และ แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดล่างกับเวลา ขณะที่มีแสง และ ไม่มีแสง ตกกระทบฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 พื้นที่อิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร โดยแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 20 เซนติเมตร ในรูปกราฟเส้นบน แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดล่าง โดยได้ทำการยกกราฟขึ้นไป 0.3 mV จากข้อมูลเดิม.....	51
รูปที่ 5.16	แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดบนขณะที่มีแสง และ ไม่มีแสง ตกกระทบฟิล์ม กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง ของ PVDF ชนิดที่ 1 พื้นที่อิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร โดยแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 10 เซนติเมตร.....	52
รูปที่ 5.17	แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดบนขณะที่มีแสง และ ไม่มีแสง ตกกระทบฟิล์ม กับเวลาที่ใช้ในการทดลอง ของ PVDF ชนิดที่ 2 พื้นที่อิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร โดยแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 10 เซนติเมตร.....	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.18	แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรด ของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 เนื่องจากการฉายแสงต่อเนื่องตกระยะฟิล์ม โดยแหล่งกำเนิดแสง วางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 10 เซนติเมตร.....	53
รูปที่ 5.19	แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรด ของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 เนื่องจากการฉายแสงต่อเนื่องตกระยะฟิล์ม โดยแหล่งกำเนิดแสง วางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 15 เซนติเมตร.....	55
รูปที่ 5.20	แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรด ของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 เนื่องจากการฉายแสงต่อเนื่องตกระยะฟิล์ม โดยแหล่งกำเนิดแสง วางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 20 เซนติเมตร.....	56
รูปที่ 5.21	แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรด ของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 เนื่องจากการฉายแสงต่อเนื่องตกระยะฟิล์ม โดยแหล่งกำเนิดแสง วางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 10 เซนติเมตร.....	57
รูปที่ 5.22	แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรด ของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 เนื่องจากการฉายแสงต่อเนื่องตกระยะฟิล์ม โดยแหล่งกำเนิดแสง วางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 15 เซนติเมตร.....	57
รูปที่ 5.23	แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรด ของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 เนื่องจากการฉายแสงต่อเนื่องตกระยะฟิล์ม โดยแหล่งกำเนิดแสง วางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 20 เซนติเมตร.....	58

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แสดงสมบัติไพโรอิเล็กทริก และ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ของสารต่างๆ.....	2
ตารางที่ 2.1 แสดง สัมประสิทธิ์อุณหภูมิ ที่ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส.....	13
ตารางที่ 5.1 แสดงผลการคำนวณค่าความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรด ที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากแสงตกกระทบฟิล์ม PVDF ทั้งสองชนิด เป็นเวลา 0.01 วินาที.....	44
ตารางที่ 5.2 แสดงผลการคำนวณค่าอุณหภูมิของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจาก แสงตกกระทบฟิล์ม PVDF ทั้งสองชนิดเป็นเวลา 0.01 วินาที.....	59
ตารางที่ 5.3 แสดง สัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริก (p_3) ของฟิล์ม PVDF ทั้งสองชนิด.....	62



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์ และ คำย่อที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

สัญลักษณ์

ความหมาย

A	พื้นที่อิเล็กทรอนิกส์ของฟิล์ม
B	ความหนาของฟิล์ม, อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับเวลา
C	ความจุไฟฟ้า
C, C_V	ความจุความร้อนของฟิล์ม, ความจุความร้อนจำเพาะ
d	สัมประสิทธิ์เพียสโซอิเล็กทริก
D	การขจัดทางไฟฟ้า
E	สนามไฟฟ้า
E_a	พลังงานกระตุ้น
E_c	สนามโคอิสี่ฟ
E_p	สนามไฟฟ้าที่ใช้ในการจัดขั้ว
I	กระแสไฟฟ้า, ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
K	ค่าคงที่ได้อิเล็กทริก
K_B	ค่าคงที่ของโบลต์ซมันน์
P	โพลาริเซชัน
P_s	สปอนเตเนียสโพลาริเซชัน
P_r	รีมานนท์โพลาริเซชัน
PVDF	พอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์
p	สัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริก
p_3	สัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกในแนวตั้งฉากกับระนาบของฟิล์ม
Q	ประจุไฟฟ้า
R	ความต้านทานไฟฟ้า
R_T	ความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิ T
R_0	ความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิเริ่มต้น
T	อุณหภูมิหน่วยเซลเซียส, อุณหภูมิสัมบูรณ์
T_0	อุณหภูมิเริ่มต้น
T_c	อุณหภูมิวิกฤต

คำอธิบายสัญลักษณ์ และ คำย่อที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย
T_m	อุณหภูมิการหลอมตัว
T_p	อุณหภูมิที่ใช้ในการจัดขึ้น
t	เวลา
V	ความต่างศักย์
$V_{\text{Lock-In}}$	ความต่างศักย์ที่ได้จากล็อกอินแอมป์ฟลายเออร์
V_T	ความต่างศักย์ที่อุณหภูมิ T
V_0	ความต่างศักย์ที่อุณหภูมิเริ่มต้น
W'	กำลังความร้อนที่ฟิล์มได้รับ
X	ความเครียด

อักษรกรีก

ϵ_0	สภาพยอมของสุญญากาศ
ϵ	สภาพยอมของสาร
χ	สภาพซึมซับได้ไดอิเล็กทริก
ρ_s	ความหนาแน่น
μ	ไดโพลไฟฟ้า
τ	เวลาผ่อนคลาย
α	สัมประสิทธิ์อุณหภูมิ

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

หลักฐานที่แสดงสมบัติของสารเมื่อได้รับพลังงานความร้อนและสามารถเปลี่ยนพลังงานเหล่านี้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้นั้น ได้มีการบันทึกโดย ทีโอฟอส (Theophrast) 314ปีก่อนคริสตกาล ซึ่งพบปรากฏการณ์ชนิดหนึ่งใน พลอยสี และเซอร์ เดวิท บรูสเตอร์ (Sir David Brewster) ได้ให้ชื่อปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ว่าปรากฏการณ์ไพโรอิเล็กทริก (pyroelectric effect) [1]

ในปี ค.ศ. 1824 วิลเลียม ทอมป์สัน (William Thomson) ได้พัฒนาทฤษฎีที่ใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ไพโรอิเล็กทริก และ ในปี ค.ศ. 1880 ปีแอร์และแจค คูรี (Pierre and Jacques Curie) ค้นพบปรากฏการณ์ เพียโซ - ไพโร อิเล็กทริกใน ควอตซ์ (quartz), มุซราคัม (topaz) โดยศึกษาจากความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์เพียโซ - ไพโรอิเล็กทริก (piezo - pyroelectric) กับ ความสมมาตรของผลึก [1]

อีพินัส (F. Epinus) และ โลมโนซอฟ (M. Lomonosov) ได้ทำนายว่าจะมีแท่งไฟฟ้า (electret) ที่สามารถให้สนามไฟฟ้าสถิตรอบๆ แท่งไฟฟ้านั้นได้ ซึ่งคำทำนายนี้ ได้รับการสนับสนุนจาก เฮฟวิไซด์ (O. Heaviside) โดยได้เขียนทฤษฎี แท่งไฟฟ้าขึ้นมา ในปี ค.ศ. 1892 จนกระทั่ง อิคุชิ (M. Eguchi) สามารถสร้างแท่งไฟฟ้าจากส่วนผสมของขี้ผึ้ง (carnauba wax) และเรซิน (resin) โดยการลดอุณหภูมิของสารขณะที่มีสนามไฟฟ้าภายนอก ได้สำเร็จในปี ค.ศ. 1921 ซึ่งแท่งไฟฟ้าประเภทนี้เรียกว่า เทอร์โมอิเล็กทริค (thermoelectret) [2]

ในยุคแรก อุปกรณ์ไพโรอิเล็กทริกจะสร้างจากสารที่เป็นผลึกเดี่ยว (single crystal) เช่น ผลึกควอตซ์ (quartz) แบเรียมไททาเนต (Barium Titanate, $BaTiO_3$) ไตรไกลซีนซัลเฟต (Triglycine Sulfate, TGS) หรือไม่ก็สร้างจากเซรามิก (ceramic) เช่น เลดเซอร์โคเนตไททาเนต (lead zirconate titanate, PZT) เนื่องจากในสารพอลิเมอร์จะมีสมบัติไพโรอิเล็กทริกไม่สูงมากนัก

จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1969 คาวาอิ (H. Kawai) ได้สังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ที่มีชื่อว่า พอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ (Polyvinylidene fluoride มีชื่อย่อว่า PVDF) ซึ่งค้นพบในภายหลังว่า หลังจากที่ผ่านมาวิธีทางกายภาพที่เหมาะสม คือ ยืด อบ และ จัดข้อโดยสนามไฟฟ้าที่มีความเข้มสูงที่อุณหภูมิสูงค่าหนึ่ง และลดอุณหภูมิลง ขณะที่สนามไฟฟ้าอยู่ จากนั้นลดค่าสนามไฟฟ้าให้เป็นศูนย์จะแสดงสมบัติเพียโซ - ไพโรอิเล็กทริก (piezo - pyro electric) [1]

ตารางที่ 1.1 แสดงสมบัติไพโรอิเล็กทริก (p) และ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (K) ของสารต่างๆ [2]

Material	p ($\mu\text{C}/\text{m}^2\text{K}$)	K
PVDF (β -phase)	30 - 50	10 - 15
PVDF (δ -phase)	10 - 15	
Other polymers		
VF-trifluoroethylene copolymer	30 - 50	15 - 20
Ceramics and single crystals		
Lead zirconate titanate	50 - 300	1200
Barium titanate	200	1700
Triglycine sulfate	340	50
Lithium tantalate	170	43

สมบัติเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric) ในพอลิเมอร์พอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์เป็นรอง เมื่อเทียบกับสารอื่นๆ แต่สำหรับสมบัติไพโรอิเล็กทริก(pyroelectric) แล้วพอลิเมอร์พอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ได้เปรียบกว่าสารอื่นๆ ในการตอบสนองต่อการกระตุ้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เนื่องจาก พอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริก เท่ากับ 10 - 15 ซึ่งต่ำกว่าสารอื่นๆ

ในปัจจุบันได้มีการนำ PVDF ไปใช้ประยุกต์ในด้านต่างๆ เช่น อุปกรณ์ตรวจจذبรังสีใต้แดง (infrared) หรือ คลื่นเสียงความถี่ต่างๆ (ultrasonic) และ ด้านวิศวกรรม การแพทย์ชีวภาพ (bio medical engineering) ตลอดจนมีการใช้พอลิเมอร์ร่วมของสาร PVDF ในทางอุตสาหกรรม

ในอุปกรณ์ตรวจจذبรังสีใต้แดง (ตัวรับรู้อินฟราเรด) นั้น สารที่นิยมใช้อีกแบบคือ ตัวรับรู้ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ (semiconductor) ซึ่งหลักการทำงานของตัวรับรู้ชนิด นี้จะตอบสนองต่อรังสีอินฟราเรดที่มีความถี่จำกัดค่าหนึ่ง หรือ พลังงานมีค่าเท่ากับ หรือ สูงกว่าช่องพลังงาน (band gap) ของสารกึ่งตัวนำนั้น จึงนิยมใช้ตัวรับรู้ชนิดนี้คู่กับตัวส่งรังสีอินฟราเรดที่มีความถี่เดียวกัน และ ตัวรับรู้ชนิดนี้ จะให้สัญญาณรบกวนต่ำกว่า PVDF แต่ PVDF ก็มีสมบัติหลายอย่างที่น่าสนใจ ได้แก่

1. มีค่าสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็กทริกสูงกว่าพอลิเมอร์ชนิดอื่น
2. มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง
3. มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกต่ำ เมื่อเทียบกับสารเซรามิกส์
4. มีค่าความจุความร้อนจำเพาะต่ำ
5. มีความหนาแน่นต่ำ
6. มีความยืดหยุ่นและทนทานสูง
7. สามารถทำให้มีรูปร่างตามต้องการได้
8. มีราคาถูก
9. สามารถเตรียมให้มีสมบัติทางโพโรอิเล็กทริก ด้วยวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก สามารถทำได้ในห้องปฏิบัติการ

ที่ผ่านมาในห้องปฏิบัติการได้มีการศึกษา พัฒนาฟิล์ม PVDF ทางกายภาพ ให้มีคุณสมบัติทางโพโรอิเล็กทริกที่ดี และ ทราบปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของ PVDF ในระดับหนึ่ง จุดมุ่งหมายของศึกษาค้นคว้าในห้องปฏิบัติการ คือ การทำให้ฟิล์ม PVDF มีค่าสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็กทริก ในแนวตั้งฉากกับฟิล์ม (p_3) สูง (เนื่องจากค่านี้จะแสดงถึงอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงโวลตาไรเซชัน ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ) และ สามารถตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็กทริก (p_3) นี้ได้โดย ใช้วิธีการที่ไม่ยุ่งยาก รวดเร็ว และ มีความถูกต้องแม่นยำ ซึ่งพบว่าวิธีการตรวจสอบค่า สัมประสิทธิ์โพโรอิเล็กทริก (p_3) แบบประยุกต์ [3] ที่ได้กระทำในห้องปฏิบัติการนั้น แม้ว่าจะให้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำ แต่ใช้เวลาในการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็กทริกของแต่ละฟิล์มนานมาก

ในงานวิจัยนี้ มีจุดมุ่งหมายที่จะพัฒนาวิธีการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็กทริก (p_3) ให้ได้ค่าอย่างถูกต้องแม่นยำ และ มีความรวดเร็วในการตรวจสอบ ซึ่งจะส่งผลไปสู่การพัฒนาทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้ได้ผลผลิตเชิงพาณิชย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 วัตถุประสงค์ และ ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของสารไพโรไลติกและสมบัติของพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์
2. วัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของฟิล์มไพโรไลติกพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญ ที่บ่งบอกการตอบสนองทางไฟฟ้าเมื่อฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
3. หากกระบวนการวัดค่าสัมประสิทธิ์ไพโรไลติกของฟิล์มไพโรไลติกพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ ด้วยวิธีพลวัต
4. วัดค่าสัมประสิทธิ์ไพโรไลติกของฟิล์มไพโรไลติกพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ ด้วยวิธีพลวัต

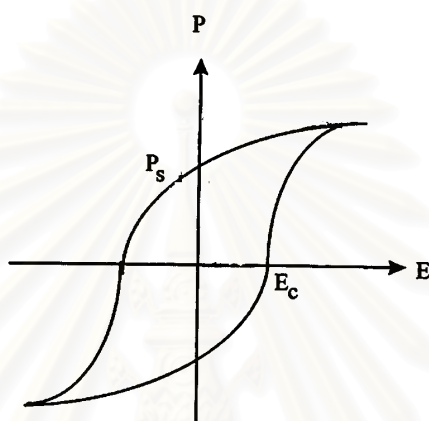
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวัดค่าสัมประสิทธิ์ไพโรไลติกของฟิล์มไพโรไลติกพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ ด้วยวิธีพลวัต คือ สามารถรู้ค่าสัมประสิทธิ์ไพโรไลติกของฟิล์ม PVDF ได้อย่างรวดเร็ว และ ถูกต้องแม่นยำ โดยการใช้เทคโนโลยีอย่างง่าย ๆ ซึ่งจะส่งผลไปสู่การพัฒนาการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นฟิล์ม PVDF ให้ได้ดียิ่งขึ้น

ปรากฏการณ์ไฟโรอิเล็กทริก

2.1 ทฤษฎีไฟโรอิเล็กทริก

สารเฟอร์โรอิเล็กทริกเป็นสารที่มีไดโพลถาวรทางไฟฟ้า ถึงแม้ว่าจะไม่มีสนามไฟฟ้าจากภายนอกผ่าน แต่สารนี้ยังคงมีโพลาริเซชัน (ไดโพลต่อปริมาตร) อยู่ [4]



รูปที่ 2.1 แสดง hysteresis loop ของสารเฟอร์โรอิเล็กทริก โดย P คือ โพลาริเซชัน, P_s คือ สปอนเทเนียสโพลาริเซชัน (spontaneous polarization), E_c คือ สนามไฟฟ้าโคเอซีฟ (coersive electric field), E คือ สนามไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มสนามไฟฟ้า (E) แล้วลดสนามไฟฟ้าลงจนเป็นศูนย์ จะมีโพลาริเซชันค้างอยู่ สารเฟอร์โรอิเล็กทริกโดยทั่วไปสามารถแสดงสมบัติไฟโรอิเล็กทริกได้ โดยเมื่ออุณหภูมิของสารเพิ่มขึ้น การสั่นไหวของโมเลกุลจะเพิ่มขึ้น ทำให้โพลาริเซชันของสารลดลง (ในทำนองตรงกันข้าม ถ้าอุณหภูมิของสารลดลงโพลาริเซชันของสารจะเพิ่มขึ้น) และเมื่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิคูรี (Curie temperature) หรืออุณหภูมิวิกฤต (Critical temperature) สารจะไม่แสดงสภาวะเฟอร์โรอิเล็กทริก

เนื่องจากโพลาริเซชันของสารไฟโรอิเล็กทริกขึ้นกับสนามไฟฟ้าและ อุณหภูมิ $P(E,T)$ เมื่อทำการกระจายตามแบบอนุกรมเทเลอร์ (Taylor series expansion) รอบจุดที่สนามไฟฟ้าเป็นศูนย์ และ อุณหภูมิเริ่มต้น T_0 จะได้ค่า $P(E,T)$ ดังนี้

$$P(E,T) = P(0,T_0) + E \left(\frac{\partial P}{\partial E} \right)_{T=T_0} + (T-T_0) \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{E=0} + \frac{1}{2!} \left[E^2 \left(\frac{\partial^2 P}{\partial E^2} \right)_{T=T_0} + 2E(T-T_0) \frac{\partial^2 P}{\partial E \partial T} + (T-T_0)^2 \left(\frac{\partial^2 P}{\partial T^2} \right)_{E=0} \right] + \dots \quad (2.1a)$$

จากผลการทดลองที่เกิดขึ้น พบลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้น เนื่องจาก อุณหภูมิของสารที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าไม่สูงมากนัก ทำให้สามารถพิจารณาสมการที่ (2.1a) ได้ดังนี้

$$P = P_s + \chi \varepsilon_0 E + p(T - T_0) \quad (2.1b)$$

โดย χ คือ สภาพซึมซับได้ไดอิเล็กทริกของสาร

ε_0 คือ สภาพยอมของสุญญากาศ (permittivity of free space)

P_s คือ สปอนเตเนียสโพลาริเซชัน (spontaneous polarization) หรือ โพลาริเซชันเมื่อ $E=0, T=T_0$

p คือ สัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกของสาร

ในกรณีที่สารไม่มีความเค้น ($X = 0$) $P_s = P_r$ โดยที่ P_r คือ ค่าโพลาริเซชันขณะที่ $E=0, T=T_0, X=0$ สมการที่ (2.1b) เขียนได้เป็น

$$P = P_r + \chi \varepsilon_0 E + p(T - T_0) \quad (2.2 a)$$

$$P - P_r = \chi \varepsilon_0 E + p(T - T_0) \quad (2.2 b)$$

สมการที่ (2.2 b) หมายความว่า เมื่อมีรังสีความร้อนมาตกกระทบสาร สารจะร้อนขึ้น ทำให้การสั่นไหวของโมเลกุลของสารมีเพิ่มขึ้น ค่าโพลาริเซชันของสารจะเปลี่ยนไป (ลดลง เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกมีค่าเป็นลบ)

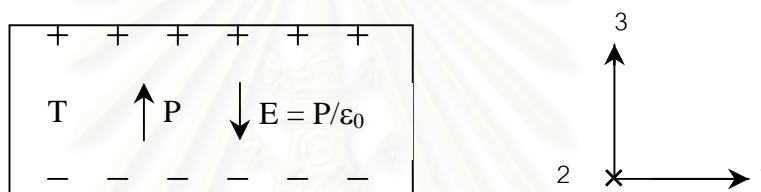
ที่กล่าวมาแล้ว เป็นทฤษฎีไพโรอิเล็กทริกสำหรับสารโดยทั่วไป แต่สมบัติไพโรอิเล็กทริกในพอลิเมอร์ [5] พบว่า เกิดจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการ คือ

ประการแรก เนื่องจาก สมบัติไพโรอิเล็กทริกภายในสารพอลิเมอร์ (intrinsic pyroelectricity) ซึ่งขึ้นกับ ลักษณะโครงสร้าง และ สมบัติทางกายภาพ ของโมเลกุลของสารพอลิเมอร์นั้น

ประการที่สอง เกิดจาก มีประจุอิสระถูกกักขังไว้ในสารพอลิเมอร์ ซึ่งไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ทั้งก้อน เรียกว่า สภาพวิวิธพันธ์ (heterogeneity)

สำหรับทฤษฎีไพโรอิเล็กทริกของ PVDF ได้มีแบบจำลองที่สร้างขึ้นมาอธิบายเช่น แบบจำลองของบรอดเฮิร์สต์ (Broadhurst' s Model) โดยจะกล่าวถึงโครงสร้างที่แท้จริงของ PVDF และผลของประจุอิสระที่มีต่อโพลาริเซชัน [6] และ แบบจำลองของวาดะ(Wada's Model) ซึ่งเป็นแบบจำลองของพอลิเมอร์กึ่งผลึกแบบมีขั้ว สมมติให้มีผลึกรูปทรงกลมกระจายอยู่ในเฟสอสัณฐาน [7] แต่ในงานวิจัยนี้ไม่ได้กล่าวถึงรายละเอียดของแต่ละแบบจำลอง โดยสามารถสรุปจากแบบจำลองทั้งสองได้ว่า $p \propto P_s$ ดังนั้นถ้าสารมีค่า P_s มาก ค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริก (p) ของสารก็จะมีค่ามาก

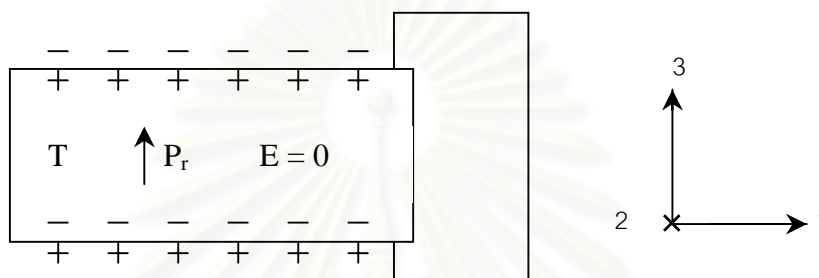
2.2 การทำงานของฟิล์มไพโรอิเล็กทริก



รูปที่ 2.2 แสดงฟิล์มไพโรอิเล็กทริกในสภาพอิสระ

ฟิล์มไพโรอิเล็กทริกในสภาพอิสระแสดงในรูปที่ 2.2 (ในรูปได้ขยายความหนาของฟิล์มให้มากขึ้น เพื่อความสะดวกในการอธิบาย) ตามรูป T คือ อุณหภูมิ และ P คือ โพลาริเซชันของฟิล์ม มีทิศทาง $(+\hat{z}$ หรือ ทิศ 3) และ ตั้งฉากกับระนาบของฟิล์ม (ระนาบ xy) จากทฤษฎีไฟฟ้าสถิต ใน การที่จะหา สนามไฟฟ้าภายในฟิล์ม เนื่องจากไดโพล ให้คิดว่า ฟิล์มมีประจุโพลาริเซชัน (polarization charge) ที่ผิวบน และ ล่าง ซึ่งประจุนี้ไม่ใช่ประจุจริงที่ปรากฏในสมการของแมกซ์เวลล์ โดยประจุต่อพื้นที่ผิวบน - ล่างนี้ เป็น $\vec{P} \cdot \hat{n}$ เมื่อ \hat{n} เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วย ที่พุ่งออก และ ตั้งฉาก กับระนาบของฟิล์ม หรือ เท่ากับ $+P$ และ $-P$ ตามลำดับ ในการหาสนามไฟฟ้า E ให้คิดว่า ทั้งระบบเป็นสุญญากาศ สนามไฟฟ้าภายในฟิล์มเนื่องจากไดโพลจะมีค่าเป็น $E = -\frac{P}{\epsilon_0} \hat{z}$ (ในระบบ SI) เมื่อ ϵ_0 คือ สภาพยอมของสุญญากาศ (permittivity of free space) มีค่าเท่ากับ 8.85×10^{-12} คูลอมป์ต่อตารางเมตร-โวลต์ ส่วน P มีหน่วยเป็น คูลอมป์ต่อตารางเมตร

ถ้าที่ผิวบน และ ล่างของฟิล์มฉาบด้วยโลหะตัวนำเป็นอิเล็กโทรด เมื่อลัดวงจรระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสอง ด้วยลวดตัวนำ ประจุลบจะเคลื่อนออกจากอิเล็กโทรดด้านล่างขึ้นไปอยู่ที่ผิวบนของอิเล็กโทรดด้านบน เมื่อคิดรวมกับประจุโพลาไรเซชันด้านบนของฟิล์มแล้ว จะอยู่ในสภาพเป็นกลาง และ ทั้งประจุจริงบวกไว้ด้านล่าง จนเมื่อรวมกับประจุโพลาไรเซชันด้านล่างแล้ว ทำให้อิเล็กโทรดล่างเป็นกลางเช่นกัน สนามไฟฟ้าภายในฟิล์มเป็นศูนย์ (เพราะอิเล็กโทรดทั้งสองมีศักย์เท่ากัน) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ในกรณีนี้โพลาไรเซชันของฟิล์ม P จะเปลี่ยนเป็น P_r ซึ่งคือ โพลาไรเซชันของฟิล์ม เมื่อสนามไฟฟ้าภายใน $E = 0$ และ เมื่อฟิล์มไม่มีความเค้น (stress) $X = 0$



รูปที่ 2.3 แสดงฟิล์มไพโรอิเล็กทริกที่อุณหภูมิ T เมื่ออิเล็กโทรดทั้งสองถูกลัดวงจร

ถ้า $\pm Q$ เป็นประจุจริงที่อิเล็กโทรดพื้นที่ A ทั้งสอง และ ให้ D_r เป็น การขจัดทางไฟฟ้าที่ผ่านฟิล์ม มีทิศ $+z$ ตามรูปที่ 2.3 จะได้ว่า

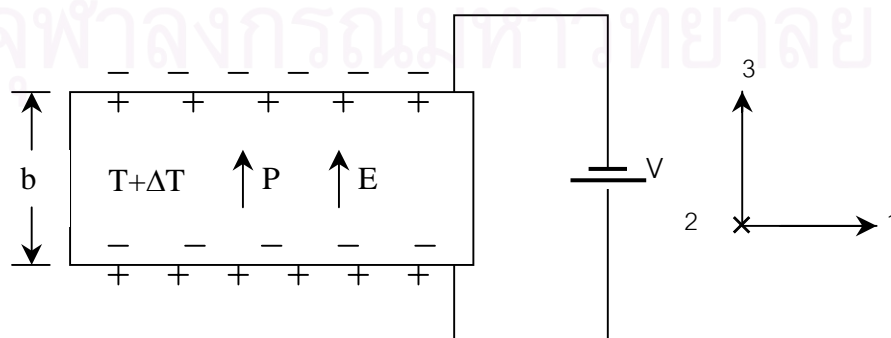
$$\frac{Q}{A} = D_r = P_r \quad (2.3 a)$$

$$E = 0 \quad (2.3 b)$$

ถ้าต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้า V ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 สนามไฟฟ้าที่ผ่านฟิล์มจะเท่ากับ

$$E = \frac{V}{b} \quad (2.4)$$

เมื่อ b คือ ความหนาของฟิล์ม



รูปที่ 2.4 แสดงฟิล์มไพโรอิเล็กทริกเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ΔT และเมื่ออิเล็กโทรดทั้งสองต่อกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า V จนมีสนามไฟฟ้า E

ถ้าขณะนั้นอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น ΔT (ถ้าไม่มีความเค้น ($X=0$)) จากสมการที่ (2.1b), (2.2) โพลาริเซชันของฟิล์มจะเปลี่ยนเป็น

$$P = P_r + \chi \varepsilon_0 E + p \Delta T$$

จากการพิจารณารูปที่ 2.4 โดยใช้ทฤษฎีไฟฟ้าสถิต พบว่า

$$D = \varepsilon_0 E + P \quad (2.5)$$

จากสมการที่ (2.2 a), (2.3 a) และ (2.5) แสดงได้ว่า

$$D - D_r = \varepsilon_0 (1 + \chi) E + p \Delta T$$

แต่ $1 + \chi = K =$ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก และ $\varepsilon_0 K = \varepsilon =$ ค่าสภาพยอมรับได้
ดังนั้นจะได้สมการ

$$\Delta D = \varepsilon E + p \Delta T \quad (2.6)$$

สมการนี้แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของการขจัดทางไฟฟ้าที่ผ่านฟิล์ม หรือ ประจุไฟฟ้าจริง ต่อพื้นที่อิเล็กโทรดที่เพิ่มขึ้น เมื่อสนามไฟฟ้าที่ผ่านฟิล์มเพิ่มจาก 0 เป็น E และ อุณหภูมิเพิ่มจาก T เป็น $T + \Delta T$

จริงๆแล้วปริมาณต่างๆในสมการ (2.6) เป็นเทนเซอร์ ตามรูปที่ 2.4 ทำให้สมการ (2.6) เขียนได้เป็น

$$\Delta D_3 = \varepsilon_{T33} E_3 + p_3 \Delta T \quad (2.7)$$

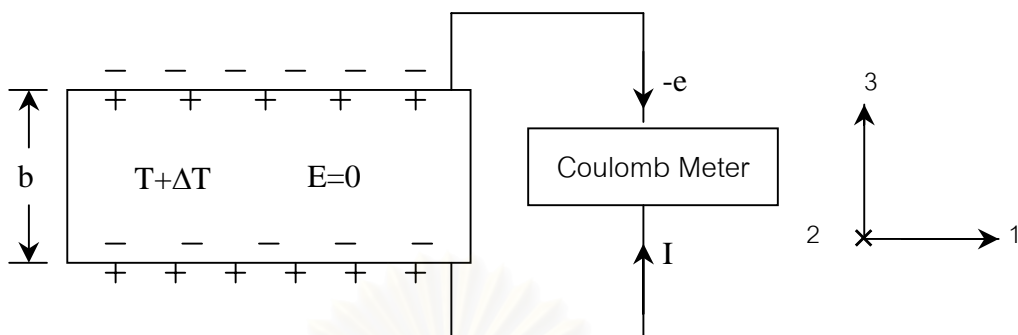
โดย ε_{T33} คือ $\varepsilon_0 K_{33}$ และ E_3 คือสนามไฟฟ้าในแนวแกนหลัก 3 ของผลึก ซึ่งตั้งฉากกับฟิล์ม

2.3 การวัดสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริก

การหาสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกในที่นี้จะอาศัยหลักการเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราคงที่ แล้ววัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากฟิล์ม หรือ วัดการเปลี่ยนแปลงของโพลาริเซชัน เมื่ออุณหภูมิของฟิล์มเปลี่ยนไป

ถ้าอุณหภูมิของฟิล์มเพิ่มขึ้น จาก T เป็น $T + \Delta T$ การสั่นไหวของโมเลกุลในสารเพิ่มขึ้น ค่า โพลาริเซชัน (P) ของฟิล์ม จะลดลง ΔP ในกรณีลัดวงจรระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสอง สนามไฟฟ้าในแนวตั้งฉากกับฟิล์มจะเท่ากับศูนย์ $E = 0$ (เพื่อให้ $E = 0$ จะมีการเคลื่อนย้ายประจุลบจาก อิเล็กโทรดบนลงมาถึงอิเล็กโทรดล่าง)

ถ้าต่อลวดตัวนำกับมาตรวัดประจุ (Coulomb meter) จะสามารถวัดประจุ Q ที่เคลื่อนย้ายได้ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เมื่ออุณหภูมิของฟิล์มเพิ่มขึ้น จะมีกระแสไฟฟ้าไหลจากอิเล็กโทรดล่างไปยังอิเล็กโทรดบน

จากสมการที่ (2.6) ในกรณีลัดวงจรระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสอง สนามไฟฟ้าในแนวตั้งฉากกับฟิล์มจะเท่ากับศูนย์ $E = 0$ จะได้

$$\Delta D = \frac{\Delta Q}{A} = p_3 \Delta T$$

โดยที่ ΔQ เป็นประจุบวกที่เพิ่มขึ้นของอิเล็กโทรดแผ่นล่าง
ดังนั้น

$$p_3 = \frac{\Delta Q}{A \Delta T} \quad (2.8)$$

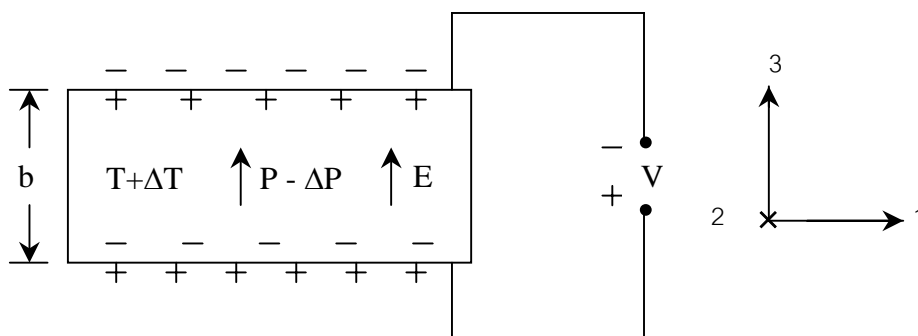
เมื่อ ΔQ คือ ประจุที่เคลื่อนย้าย

A คือ พื้นที่ของอิเล็กโทรด

ΔT คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

โดยการวัดประจุที่เคลื่อนย้ายระหว่างอิเล็กโทรดเมื่ออุณหภูมิของฟิล์มเพิ่มขึ้น ΔT ก็สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกได้ จากสมการ (2.8)

ถ้าต่อลวดตัวนำกับโวลต์มิเตอร์ที่มีความต้านทานภายในสูงมากๆ เช่นอิเล็กโทรมิเตอร์ (แทนที่จะต่อลวดตัวนำเข้ากับเครื่องวัดประจุ) ประจุจริงที่ผิวจะเคลื่อนย้ายไม่ได้ ในกรณีนี้ประจุของอิเล็กโทรดบนและล่างจะเป็น ลบและบวก ตามลำดับ ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายในฟิล์ม และสามารถวัดความต่างศักย์ V ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองได้ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะที่ลวดตัวนำระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองต่อไม่ถึงกัน ทำให้มีความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองเกิดขึ้น

ในกรณีที่ไม่มี การเคลื่อนย้ายประจุ (เพราะเป็นวงจรเปิด ดังแสดงในรูปที่ 2.6) จากสมการ (2.6) พบว่า $\Delta Q = 0$ และ $\Delta D = 0$ ค่าความต่างศักย์ V ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสอง คือ

$$0 = K\varepsilon_0 E + p_3 \Delta T$$

$$V = b|E| = \frac{|p_3| b \Delta T}{K\varepsilon_0} \quad (2.9)$$

เมื่อ b คือ ความหนาของฟิล์ม และ K คือ K_{33}

ในการคำนวณตามสมการ (2.9) นี้ เพื่อลดความซับซ้อน จึงคิดเฉพาะขนาดของค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น ทำให้ใช้แต่ขนาดของสนามไฟฟ้าที่ผ่านฟิล์ม

ดังนั้นจากสมการที่ (2.9) สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกได้ดังนี้

$$|p_3| = \frac{K\varepsilon_0 V}{b \Delta T} \quad (2.10)$$

เมื่อ K = ค่าคงที่ได้อิเล็กทริก ในแนวแกนหลัก 3 ของผลึก

ε_0 = สภาพยอมรับได้ในสุญญากาศ (permittivity of free space) = 8.85×10^{-12} C/m²V

b = ความหนาของฟิล์ม

ΔT = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป

V = ความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองของฟิล์ม

ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกโดยใช้ สมการที่ (2.10) ค่าที่ใช้ในการคำนวณ คือ ค่าความต่างศักย์ ค่าอุณหภูมิของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงไป และ ค่าคงที่ได้อิเล็กทริก จึงต้องทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการหาค่าที่จะนำมาใช้ในการคำนวณ ดังที่จะได้กล่าวต่อไป

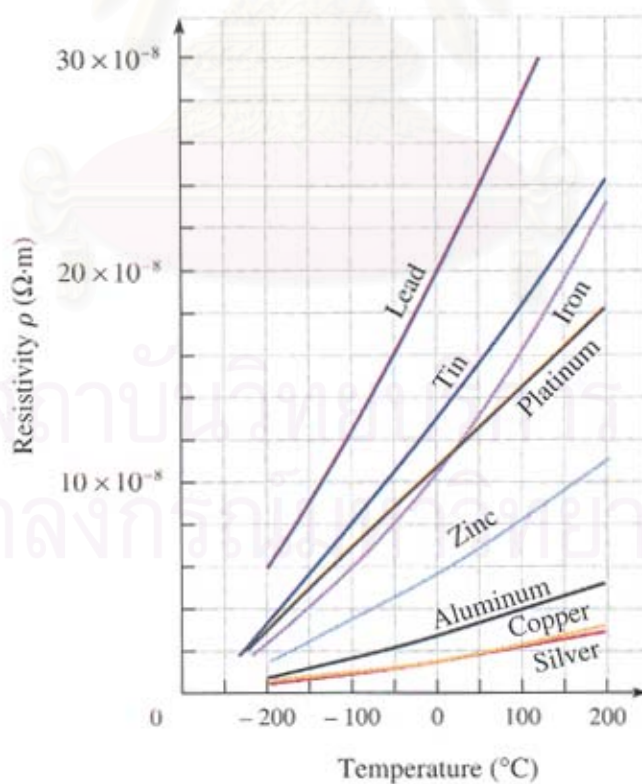
เนื่องจากฟิล์มที่ใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์นั้น ฉาบด้วยโลหะตัวนำเป็นอิเล็กทรอนิกส์ จึงทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการหาค่าอุณหภูมิที่อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อนำไปสู่การหาค่าอุณหภูมิของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงไป

2.4 อุณหภูมิของโลหะตัวนำที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่มีแสงตกกระทบ

เมื่อฉายแสงต่อเนื่อง ตกกระทบโลหะตัวนำ สามารถคำนวณอุณหภูมิของโลหะตัวนำ ที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจาก แสงที่ตกกระทบบนโลหะตัวนำได้ โดยใช้ความสัมพันธ์ ระหว่างความต้านทานของโลหะตัวนำ และ อุณหภูมิของโลหะตัวนำ ที่เปลี่ยนแปลงไป

เมื่อฉายแสงตกกระทบบนโลหะตัวนำ จะเกิดความร้อนขึ้นบนตัวนำ ทำให้อุณหภูมิของโลหะตัวนำสูงขึ้น เป็นผลทำให้อะตอมของตัวนำ มีช่วงกว้างของการสั่นเพิ่มขึ้น อิเล็กตรอนอิสระ ภายในตัวนำ มีโอกาสที่จะชนกับไอออนของตัวนำได้เร็วขึ้น มีสภาพต้านทานเพิ่มขึ้น ทำให้ความต้านทานของโลหะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิของตัวนำสูงขึ้นด้วย

จากการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิของโลหะตัวนำ มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ค่าสภาพต้านทานจะเปลี่ยนแปลงตามในลักษณะที่ประมาณเป็นเชิงเส้น ดังรูปที่ 2.7 [8]



รูปที่ 2.7 แสดงสภาพต้านทานของโลหะหลายชนิด ในช่วงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น [8]

ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของโลหะตัวนำที่อุณหภูมิอื่นๆ สัมพันธ์ กับ ค่าความต้านทานของโลหะตัวนำ ณ ตำแหน่งอุณหภูมิที่ทราบค่า คือ

$$R_T = R_0(1 + \alpha(T - T_0)) \quad (2.11)$$

เมื่อ R_T คือ ค่าความต้านทานของโลหะตัวนำที่อุณหภูมิ T

R_0 คือ ค่าความต้านทานของโลหะตัวนำที่อุณหภูมิ T_0

α คือ สัมประสิทธิ์อุณหภูมิ (temperature coefficient of resistance)

มีค่าตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดง สัมประสิทธิ์อุณหภูมิ ที่ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส [8]

สาร	$\alpha (^{\circ}C)$
อะลูมิเนียม	0.0039
ทองเหลือง	0.002
Constantan (60% Cu, 40% Ni)	0.000002
ทองแดง	0.00393
เหล็ก	0.005
ปรอท	0.00089
Nichrome (59% Ni, 23% Cu, 16% Cr)	0.0004
แพลทินัม	0.003927
เงิน	0.0038
ดีบุก	0.0042
ทังสเตน	0.0045
คาร์บอน	-0.0005
เจอร์เมเนียม	-0.05
ซิลิคอน	-0.075
โซเดียมคลอไรด์ (สารละลายอิ่มตัว)	-0.005

จากกฎของโอห์ม (Ohm's law) พบว่า

$$V = IR$$

เมื่อ V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างสองจุดบนตัวนำ ที่สังเกต

I คือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำสองจุดนั้น

R คือ ความต้านทานไฟฟ้าระหว่างสองจุดบนตัวนำนั้น

ทำให้สมการที่ (2.11) กลายเป็น

$$V_T = V_0(1 + \alpha(T - T_0))$$

$$V_T - V_0 = V_0\alpha(T - T_0)$$

$$\Delta V = V_0\alpha\Delta T$$

เมื่อ V_T คือ ความต่างศักย์ระหว่างสองจุดบนตัวนำที่สังเกต ณ อุณหภูมิ T

V_0 คือ ความต่างศักย์ระหว่างสองจุดบนตัวนำที่สังเกต ณ อุณหภูมิ T_0

ΔV คือ ความต่างศักย์ระหว่างสองจุดบนตัวนำ ที่เปลี่ยนแปลงไป

ΔT คือ อุณหภูมิของตัวนำ ที่เปลี่ยนแปลงไป

ค่าความต่างศักย์ระหว่างสองจุดบนตัวนำที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับเวลา t คือ

$$\frac{dV}{dt} = V_0\alpha \frac{dT}{dt}$$

ดังนั้น อุณหภูมิของตัวนำที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับเวลา t คือ

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{V_0\alpha} \frac{dV}{dt} \quad (2.12)$$

2.5 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของฟิล์มโพลีเอทิลีนฟลูออไรด์

ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant, K) ของฟิล์ม PVDF สามารถหาค่าได้ โดยทำการวัดความจุ (capacitance, C) ของฟิล์ม และ จากพื้นที่ของอิเล็กโทรดกับความหนาของฟิล์ม ทำให้สามารถ คำนวณหาค่า K ได้ในที่สุด การวัดค่า C ทำได้ทั้งวิธีไฟฟ้ากระแสตรง และ ไฟฟ้ากระแสสลับ แต่ ใน งานวิจัยนี้ได้ทำการวัดค่า C โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ LCR ซึ่งจะวัดโดยวิธีทางไฟฟ้ากระแสสลับ

สำหรับฟิล์ม PVDF ไดอิเล็กทริก เมื่อสนามไฟฟ้าเพิ่มจาก 0 เป็น E การขจัดทางไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดเพิ่มจาก 0 เป็น D ได้

$$D = \epsilon_0 K E \text{ และ } D = \frac{Q}{A}$$

จะได้

$$D = \frac{Q}{A} = \epsilon_0 K \frac{V}{b} \quad (2.13)$$

โดย V เป็นความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสอง ซึ่งห่างกัน b และ ประจุ $\pm Q$ เป็นประจุบนอิเล็กโทรดทั้งสอง จากสมการ (2.13) จะได้ความจุไฟฟ้า (capacitance) ของฟิล์ม

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\epsilon_0 K A}{b}$$

ในการวัดค่า C โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ LCR (AGILENT 4284A Precision LCR Meter) ซึ่งจะวัดโดยวิธีทางไฟฟ้ากระแสสลับ อาจใช้ความถี่ได้ตั้งแต่ 20 Hz – 1 MHz ในกรณีนี้

$$C = \frac{dQ}{dV} = \frac{\epsilon_0 K A}{b}$$

ที่ความถี่ต่ำๆ เช่นจาก 0 – 1000 Hz ค่า K จะเป็นค่าค่อนข้างจะคงที่ แต่ที่ความถี่สูงมากๆ โหมดของไดโพลผ่อนคลายไม่ทันกับการเปลี่ยนแปลงของสนาม ค่า K จะเปลี่ยนไปโดย

$$K = K' - jK'' \quad j = \sqrt{-1}$$

สำหรับฟิล์มไพโรอิเล็กทริก PVDF ในกรณีสนามไฟฟ้าเพิ่มจาก 0 เป็น E การขจัดทางไฟฟ้าจะเพิ่มจาก D_r เป็น D ซึ่งคือ

$$D = D_r + \epsilon_0 KE$$

โดย D_r เป็นการขจัดทางไฟฟ้าของฟิล์ม เมื่อ $E = 0$ และ ความเครียด $X = 0$ ดังนั้น

$$D = D_r + \epsilon_0 K \frac{V}{b}$$

ในระบบไฟฟ้าสลับ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของ V จะได้

$$dD = \frac{dQ}{A} = \epsilon_0 K \frac{dV}{b}$$

ซึ่งจะได้

$$\frac{dQ}{dV} = C = \frac{\epsilon_0 KA}{b}$$

จะเห็นว่าค่า C ของฟิล์มไดอิเล็กทริก และ ฟิล์มไพโรอิเล็กทริก เหมือนกัน ดังนั้นเครื่องวิเคราะห์ LCR สามารถใช้วัดค่า C ของฟิล์มไพโรอิเล็กทริกได้เช่นเดียวกับฟิล์มไดอิเล็กทริก

ดังนั้นค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสามารถคำนวณได้จาก

$$K = \frac{Cb}{\epsilon_0 A} \quad (2.14)$$

เมื่อ K = ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก

C = ค่าความจุ (capacitance) ของฟิล์ม

ϵ_0 = สภาพยอมรับได้ในสุญญากาศ (permittivity of free space) = 8.85×10^{-12} C/m²V

b = ความหนาของฟิล์ม

A = พื้นที่ของอิเล็กโทรดของฟิล์ม

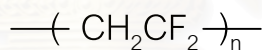
บทที่ 3

ฟิล์มไพโรอิเล็กทริกพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์

นับตั้งแต่ คาวาอิ (Kawai) ได้ค้นพบว่า พอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ (polyvinylidene fluoride, PVDF) หลังจากผ่านกรรมวิธีทางกายภาพที่เหมาะสม จะมีไดโพลถาวรทางไฟฟ้า จึงมีสมบัติทาง ไพโรอิเล็กทริกที่ดี เนื่องจากฟิล์มแบบนี้มีราคาถูก และเตรียมง่าย จึงดึงดูดความสนใจทางด้านวิทยาศาสตร์ และ ด้านอุตสาหกรรม โดยนักวิทยาศาสตร์ได้ทำการศึกษาทางด้านสมบัติฟิสิกส์พื้นฐานของ PVDF กันอย่างมากมาย จนปัจจุบันทราบข้อมูลสำคัญ ที่ทำให้เข้าใจสมบัติทางกายภาพของสารนี้ได้เป็นอย่างดี ในบทนี้จะกล่าวถึงสมบัติเชิงโมเลกุลของ PVDF และการเตรียมฟิล์มไพโรอิเล็กทริกพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์

3.1 โครงสร้างผลึกของพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์

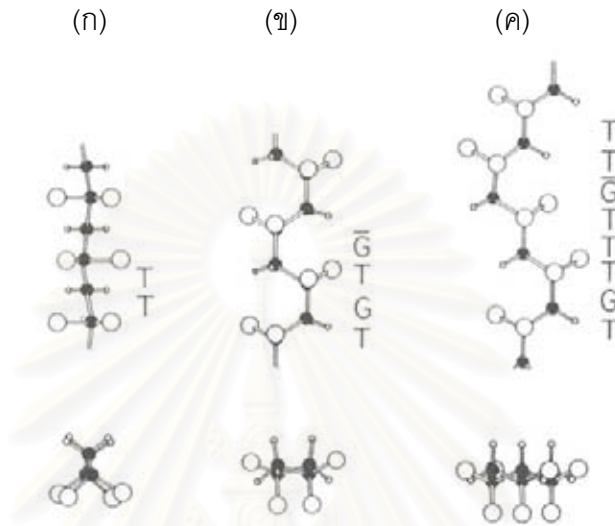
พอลิเมอร์ PVDF จัดอยู่ในประเภท พอลิเมอร์กิ่งผลึก ประกอบด้วยมอนอเมอร์ (monomer)



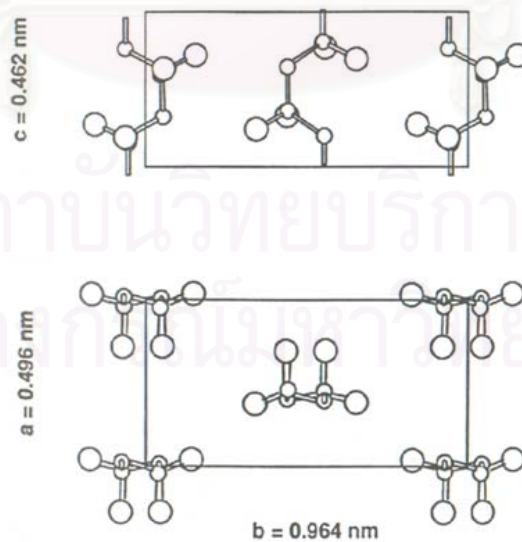
ต่อกันเป็นสายโซ่ยาว อุณหภูมิคูรี (T_c) มีค่าประมาณ 120 องศาเซลเซียส อุณหภูมิการหลอมตัว (melting temperature " T_m ") มีค่าประมาณ 175-185 องศาเซลเซียส

PVDF มีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลที่ซับซ้อน 4 แบบ ด้วยกัน ดังรูปที่ 3.1 ขณะที่อุณหภูมิสูง PVDF จะหลอมเหลว เมื่ออุณหภูมิต่ำลงกว่า 150 องศาเซลเซียส สารนี้จะเริ่มแข็งตัว เกิดโครงสร้างแบบสเฟียรูไลต์ (spherulite structure) มีส่วนที่มีโครงสร้างแบบอสัณฐาน (amorphous) และ แบบผลึกปะปนกัน ผลึกที่เกิดขึ้นแบบนี้มีโครงสร้างรูปแบบที่ II หรือ นิยมเรียกว่า เฟสแอลฟา (α -phase) โครงสร้างผลึกเป็นแบบโมโนคลินิก (monoclinic) แบบมุม 90 องศา ($\beta = 90^\circ$) เซลหน่วย (unit cell) ของผลึกนี้เป็นผลึกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (rectangular lattice) การวางตัวของสายโซ่อะตอมคาร์บอน (carbon-carbon chain) เป็นแบบซีสระนาบ (trans-gauche-trans-gauche': planar cis) เนื่องจากอะตอมฟลูออรีนมี สภาพเป็นลบทางไฟฟ้าสูงกว่าอะตอมคาร์บอน และ อะตอมคาร์บอนมีสภาพเป็นลบทางไฟฟ้าสูงกว่าอะตอมไฮโดรเจน ทำให้แต่ละมอนอเมอร์ของ PVDF มีไดโพล

ถาวร แต่ในผลึก PVDF เฟสแอลฟา การวางตัวของสายโซ่โมเลกุล 2 สาย ในเซลล์หน่วย เป็นไปในแบบที่ไดโพลแต่ละสายโซ่มีทิศทางสวนกัน จึงหักล้างกันหมด ส่งผลให้ผลึก PVDF เฟส แอลฟา ไม่มีไดโพลทางไฟฟ้าถาวร ดังรูปที่ 3.2

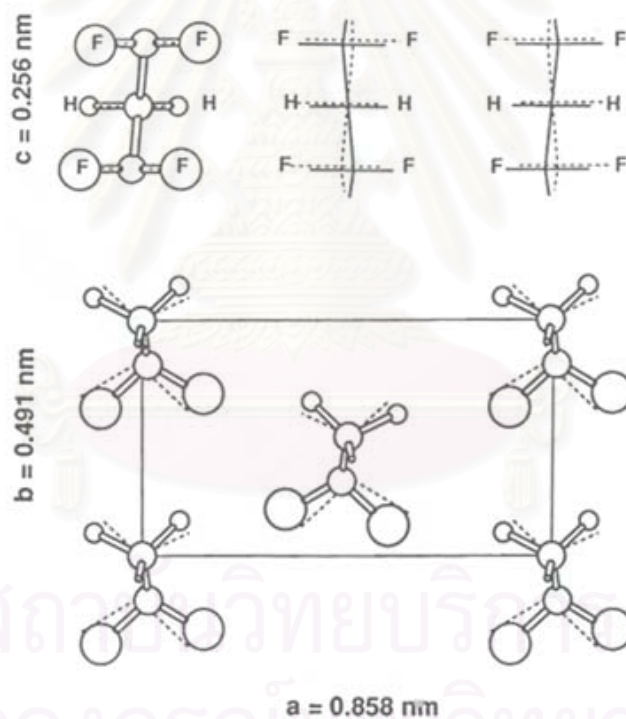


รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างโมเลกุล 4 แบบ ของ PVDF (ก) เฟสเบตา (ข) เฟสแอลฟา และ เดลตา และ (ค) เฟสแกมมา โดยวงกลมที่บิ วงเล็ก และ วงใหญ่ แสดงอะตอมของ คาร์บอน ไฮโดรเจน ฟลูออรีน ตามลำดับ [2]



รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างผลึก และ เซลล์หน่วย ของ PVDF เฟสแอลฟา [9]

เมื่อยืดฟิล์ม PVDF ออกไปประมาณ 3-4 เท่าของความยาวเดิม ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นอบฟิล์มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4-5 นาที สายโซ่คาร์บอนจะถูกยืดออกไปตามแนวแรงที่ยืด โครงสร้างผลึกจะเปลี่ยนเป็นแบบ I หรือ เฟสเบตา (β -phase) ซึ่งจะมีโครงสร้างแบบออร์โธรอมบิก (orthorhombic) การวางตัวของโซ่คาร์บอนจะวางตัวแบบซิกแซกในระนาบ *TTTT* (all-trans: planar zigzag) โดยอะตอมของคาร์บอนจะวางตัวซิกแซกอยู่ในระนาบหนึ่ง (ระนาบนี้ตั้งฉากกับระนาบของกระดาษ) ส่วนอะตอมฟลูออรีน และ อะตอมไฮโดรเจน จะวางตัวขึ้นลง และ จากการศึกษาย่างละเอียดโดยรังสีเอกซ์ พบว่า เนื่องจากรัศมีแวนเดอร์วาลส์ของอะตอมฟลูออรีน เท่ากับ 1.35 อังสตรอม ซึ่งใหญ่เกินกว่าที่จะบรรจุลงในสายโซ่แบบนี้ (ระยะระหว่างจุดกึ่งกลางของอะตอมฟลูออรีน เท่ากับ 2.56 อังสตรอม) อะตอมคาร์บอนจึงต้องวางตัวทำให้สายโซ่โมเลกุลบิดไปเล็กน้อย โดยมุมที่บิดไปมีค่าเท่ากับ 7 องศา ในทิศทางตรงข้ามกับระนาบซิกแซก ดังรูปที่ 3.3

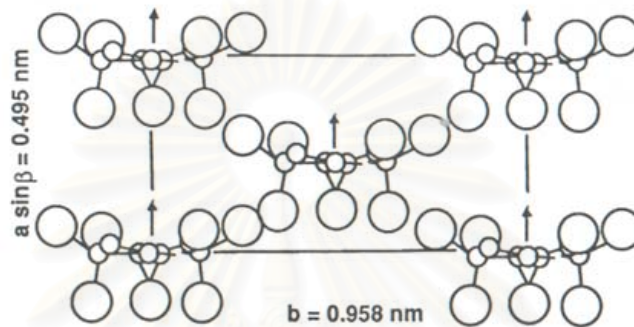


รูปที่ 3.3 แสดงโครงสร้างผลึกของ PVDF เฟสเบตา [9]

เซลล์หน่วยของผลึกเฟสเบตา ตามรูปที่ 3.3 แกนของสายโซ่คาร์บอนคือ แกน C แต่ละเซลล์หน่วยประกอบด้วยสายโซ่โมเลกุล 2 สาย ซึ่งแนวแกนขนานกัน เนื่องจากอะตอมฟลูออรีน คาร์บอน และ ไฮโดรเจน มีสภาพเป็นลบทางไฟฟ้า แตกต่างกัน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้แต่ละมอนอเมอร์ของ PVDF มีไดโพล และ จากความสมมาตร ทำให้ผลึกเฟสเบตานี้มีขั้ว แต่ถ้าทิศทางของไดโพลใน

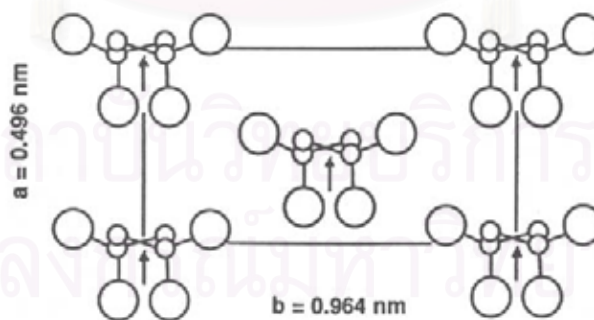
ผลึกเป็นแบบสุ่มจะทำให้โพลาริเซชันเป็นศูนย์ได้ ดังนั้นจะต้องมีวิธีการเตรียมฟิล์มทางกายภาพที่เหมาะสม และมีการจัดหัวด้วยสนามไฟฟ้าความเข้มสูง ในแนวตั้งฉากกับฟิล์ม แผ่นฟิล์มที่ได้จึงจะแสดงสภาพโพโรอิเล็กทริกได้

สำหรับผลึกแบบ III หรือเฟสแกมมา (γ -phase) มีโครงสร้างผลึกดังรูปที่ 3.4 การวางตัวของสายโซ่คาร์บอนเป็นแบบ $TTTGT\bar{T}\bar{G}$ ($T_3GT_3\bar{G}$)



รูปที่ 3.4 แสดงการจัดเรียงตัวโมเลกุลของ PVDF เฟสแกมมา (ลูกศร แสดงถึง ทิศของไดโพลในโมเลกุล) [9]

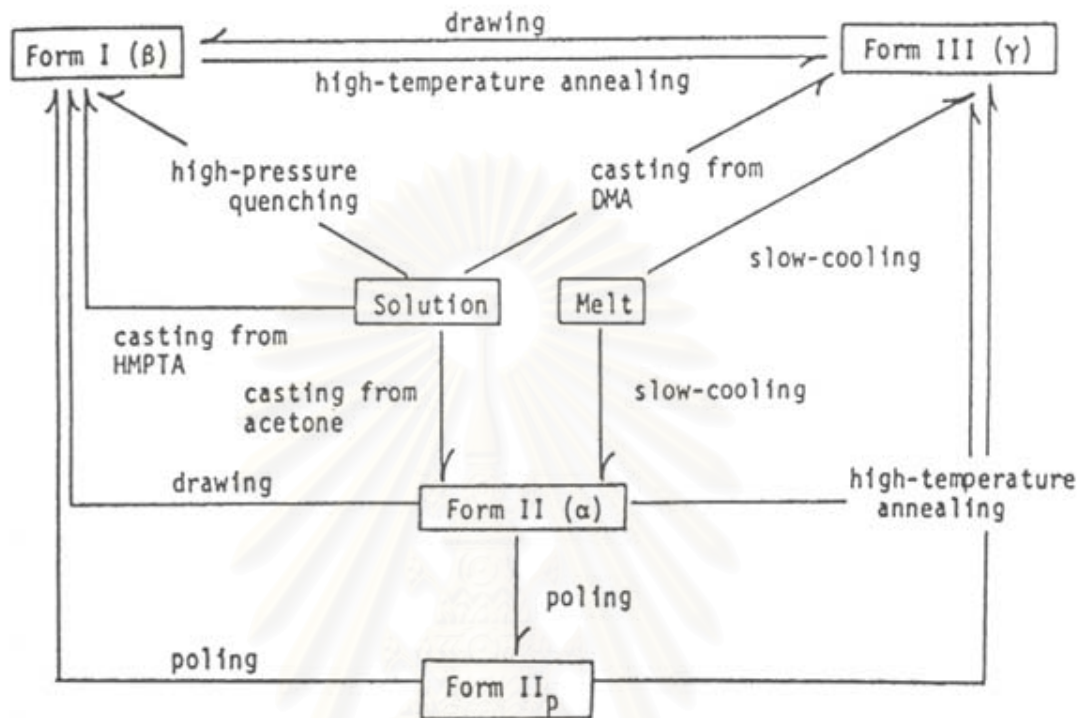
ส่วนผลึกแบบ IV หรือ II_p หรือ เฟสเดลตา (δ -phase) มีการวางตัวของโซ่คาร์บอนแบบเดียวกับผลึกเฟสแอลฟา แต่ต่างกันตรงที่ผลึกเฟสเดลตานั้นในแต่ละเซลล์หน่วยจะมีโซ่โมเลกุลสองสาย ไดโพลทั้งสองสายมีทิศทางเดียวกัน ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการจัดเรียงตัวของโมเลกุล PVDF เฟสเดลตา (ลูกศร แสดงถึง ทิศของไดโพลในโมเลกุล) [9]

ผลึกเฟสเดลตาสามารถเปลี่ยนเป็นผลึกเฟสเบตาได้ และผลึกเฟสเดลตาจะมีไดโพลถาวรที่มีขนาดน้อยกว่าผลึกเฟสเบตา

เนื่องจาก PVDF สามารถเปลี่ยนเฟสเป็นเฟสแบบต่างๆได้ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาแผนภาพ
 ขึ้นมาอธิบายการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเฟสต่างๆ ของ PVDF [2] แสดงดังรูปที่ 3.6



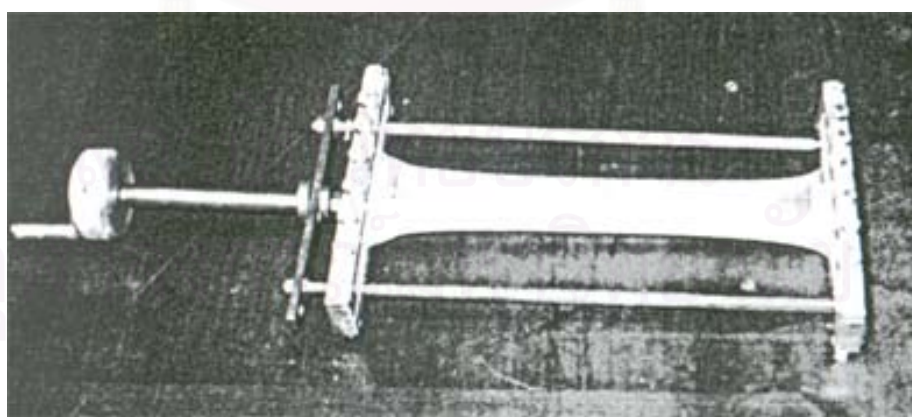
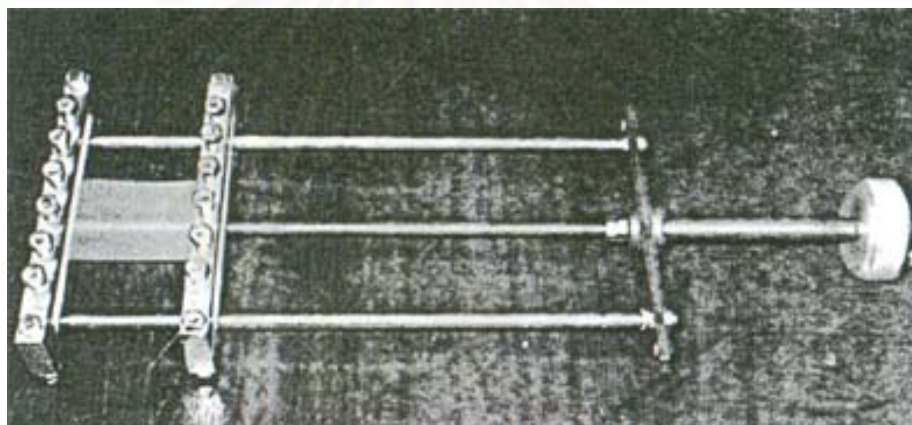
รูปที่3.6 แสดงแผนภาพการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเฟสต่างๆของ PVDF โดย HMPTA และ
 DMAคือ เฮกซะเมทิลฟอสฟอริกไตรอะไมด์ (Hexamethylphosphorictriamide) และ ไดเมทิลอะซิตา
 ไมด์ (Dimethylacetamide) ตามลำดับ [2]

3.2 การเตรียมฟิล์มไพโรอิเล็กทริกพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์จากฟิล์มพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ธรรมดา

ในประเทศไทยได้มีผู้ทำการศึกษา วิธีการพัฒนาแผ่นฟิล์ม PVDF ด้วยเครื่องมือที่ไม่ยุ่งยาก ผลที่
 ได้พบว่าแผ่นฟิล์มที่พัฒนานั้นมีสมบัติทัดเทียมกับฟิล์มมาตรฐาน สามารถนำไปใช้ประยุกต์ ทำเครื่อง
 มือต่างๆได้ ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการเหล่านั้นพอสังเขป รายละเอียดศึกษาได้จาก [10] ขั้นตอนการ
 เตรียมฟิล์ม แบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

3.2.1 ขั้นตอนการยึดและอบฟิล์มพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์

การเตรียมฟิล์มพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ให้ได้ขนาดตามต้องการ สอดขอบทั้งสองข้างเข้ากับช่องหนีบของเครื่องยึด ชั้นน็อตให้แน่นพอประมาณ แล้วทำการยึดฟิล์มในน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เพราะ การยึดฟิล์มที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ฟิล์มฉีกขาด เนื่องจากความแข็งของฟิล์ม จึงต้องใช้แรงในการยึดมาก ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส แผ่นฟิล์มก็จะยุบ อัตราส่วนของการยึด 3.5-4 เท่าของความยาวเดิม การยึดฟิล์มจะทำให้สายโซ่โมเลกุลเรียงตัวเป็นระเบียบมากขึ้นโครงสร้างผลึกจะเปลี่ยนจากเฟสแอลฟาเป็นเฟสเบตา และ ยังทำให้จัดซั้วง่ายขึ้นด้วย



รูปที่ 3.7 (ก) ฟิล์ม PVDF ที่ยึดแน่นที่ขอบโดยเครื่องยึด และ (ข) ฟิล์ม PVDF ที่ถูกยึดออก 3.5 - 4 เท่า ซึ่งติดกับเครื่องยึด [10]

หลังจากยึดฟิล์มเสร็จจะถอดฟิล์มออกจากเครื่องยึดทันทีที่ฟิล์มจะหดตัวเข้าที่เดิม ทั้งนี้เพราะโมเลกุลยาวๆของ PVDF ยังไม่คลายตัวออกจากกัน แต่ถ้าอบฟิล์มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อยู่ประมาณ 5 นาที ปล่อยให้เย็น จากนั้นถอดฟิล์มออกจากเครื่องยึด ฟิล์มจะไม่หดตัวเข้าหาความยาวเดิมอีก เนื่องจาก การอบฟิล์มความเหนียวของฟิล์มจะลดลง โมเลกุลจะเคลื่อนที่ออกจากกัน และ ปรับตัวเข้ากับความยาวใหม่ของฟิล์ม ความตึงของฟิล์มจะลดลงอย่างรวดเร็ว ภายใน 5 นาที จะลดลง ไปมาก นั่นคือ สามารถปรับตัวเข้าสู่รูปร่างใหม่ได้เกือบสมบูรณ์

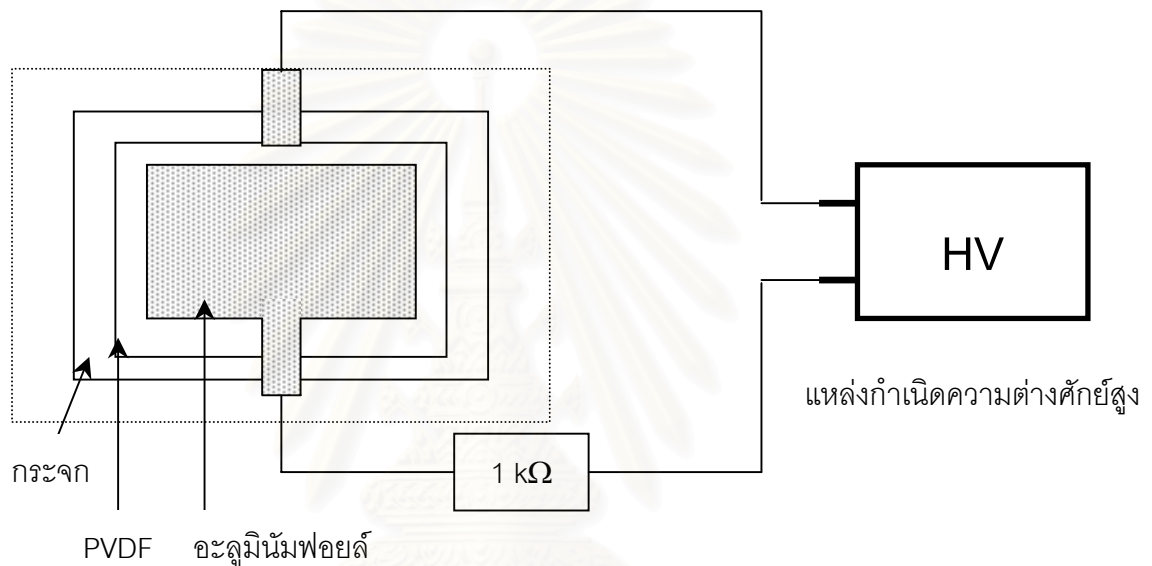
3.2.2 การเตรียมอิเล็กโทรดของฟิล์ม หรือ การทำขั้วไฟฟ้า

ในงานวิจัยที่ผ่านมาการเตรียมอิเล็กโทรดของฟิล์มโดยการระเหยไออะลูมิเนียมภายใต้สภาพสุญญากาศ (high vacuum evaporation) ที่ความดัน 10^{-5} ทอร์ (torr) เข้าจับฟิล์มแต่ละด้านให้ตรงกัน [3] ซึ่งจะพบว่าวิธีนี้เสียเวลา และสิ้นเปลืองสูง จึงทำการเตรียมอิเล็กโทรดของฟิล์มจากกาวเงิน (silver conductive paint) ซึ่งประกอบด้วยผงเงินละเอียดมากห้อยแขวนอยู่ในกาวซึ่งมีตัวทำละลายบิวติล อะซิเตต (butylacetate) เป็นส่วนประกอบ โดยการทาเงินทำด้วยส่วนผสมที่เจือจางมาก และ ทาบางบนฟิล์ม อย่างไรก็ตาม อิเล็กโทรดที่ทำด้วยกาวเงินนี้มีความหนามากกว่าอิเล็กโทรดที่ทำด้วยการระเหยอะลูมิเนียม แต่วิธีการเตรียมง่ายกว่ามาก เสียเวลา และค่าใช้จ่ายน้อยกว่ามาก แต่พบว่าความหนาของอิเล็กโทรดทำให้เกิดความกระด้าง ซึ่งเมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสสลับเข้าไปจะทำให้การสั่นไหวของฟิล์มลดลง นั่นคือ สมบัติทางเพียโซอิเล็กทริกจะด้อยลง อย่างไรก็ตาม พบว่า สมบัติทางไพโรอิเล็กทริกเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก เนื่องจากงานนี้ใช้สมบัติทางไพโรอิเล็กทริกของฟิล์มอิเล็กโทรดที่ทำจากกาวเงินจึงนำมาใช้งานได้

3.2.3 การจัดขั้วไฟฟ้า

แม้แผ่นฟิล์มที่ผ่านกระบวนการยึด และ อบ จะมีโครงสร้างผลึกที่เปลี่ยนจากเฟสแอลฟาเป็นเฟสเบตา ซึ่งมีสภาพขั้วสูงสุด แต่ทิศทางของไดโพลในผลึกเป็นแบบสุ่มทำให้โพลาริเซชันเป็นศูนย์ จะต้องผ่านการจัดขั้วด้วยสนามไฟฟ้าความเข้มสูง ในแนวตั้งฉากกับฟิล์ม แผ่นฟิล์มที่ได้จึงมีโพลาริเซชันไม่เป็นศูนย์ ซึ่งมีวิธีการจัดขั้วไฟฟ้างั้นตอนต่อไปนี้

จัดวางฟิล์ม PVDF ให้บนราบบนแผ่นแก้ว โดยพยายามวางให้แนบสนิทที่สุด นำอะลูมิเนียมฟอยล์ (aluminum foil) 2 แผ่นที่ตัดไว้วางทับลงบนฟิล์มทั้งสองด้านระวังอย่าให้ อะลูมิเนียมฟอยล์ทั้ง 2 แผ่นแตะกัน จากนั้นต่อขั้วไฟฟ้าของอะลูมิเนียมฟอยล์เข้ากับเครื่องกำเนิดความต่างศักย์สูง (high-voltage dc supply) โดยมีความต้านทาน 1 กิโลโอห์ม ต่ออนุกรมกับฟิล์ม ดังแสดงในรูปที่ 3.8 เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับเครื่องกำเนิดความต่างศักย์สูง ในกรณีเกิดการสปาร์กขึ้นบนแผ่นฟิล์ม เพราะขณะเกิดการสปาร์กจะมีกระแสไฟฟ้าสูงมาก



รูปที่ 3.8 แสดงการจัดขั้วฟิล์ม PVDF เมื่อมองจากด้านบน

ในขณะจัดขั้วใช้คุณสมบัติ T_p ประมาณ 80-100 องศาเซลเซียส ความต่างศักย์ที่ใช้หาได้จากสมการ $E_p = \frac{V_p}{b}$ โดย b เป็นความหนาของฟิล์ม (สนามไฟฟ้าที่ใช้ในการจัดขั้ว E_p ควรมีค่าอย่างน้อย 80 MV/m) สำหรับฟิล์มหนาประมาณ 30 ไมครอน ค่อยๆเพิ่มความต่างศักย์ของแหล่งจ่ายขึ้นไปอย่างช้าๆ จนถึงประมาณ 2500 โวลต์ หรือกว่านั้น ทิ้งค้างไว้ 20 นาที ถ้าไม่เกิดการสปาร์กลัดวงจรของฟิล์ม เมื่อครบกำหนดเวลาดูดอุณหภูมิลงจนถึงอุณหภูมิห้อง จากนั้นลดความต่างศักย์ลงจนเป็นศูนย์ ต่อมาลัดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั้งสองของฟิล์มผ่านความต้านทาน 1 กิโลโอห์ม จากนั้นถอดฟิล์มออกจากแผ่นแก้วและอะลูมิเนียมฟอยล์ ก็จะได้ฟิล์มไพโรอิเล็กทริกตามต้องการ

การจัดซื้อที่กล่าวมาอาจทำก่อนการเตรียมอิเล็กโทรดก็ได้ กล่าวคือ จัดซื้อฟิล์ม PVDF หลังจากการยัดและอบ ซึ่งยังไม่มีอิเล็กโทรดนั่นเอง จากนั้นจึงเตรียมอิเล็กโทรด

ปัญหาสำคัญที่มักเกิดขึ้นในขณะจัดซื้อก็คือ การสปาร์กลัดวงจรระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองของฟิล์ม ซึ่งจะทำให้ฟิล์มเสียไปทันที จุดที่เกิดการลัดวงจรง่ายที่สุด คือ บริเวณที่ฟิล์มมีส่วนโค้งรัศมีต่ำ (บริเวณโค้งเว้ามากๆ หรือบริเวณหักมุม) ถ้าฟิล์มเรียบสนิทถือได้ว่ารัศมีมีความโค้งมากเป็นอนันต์ การสปาร์กจะเกิดขึ้นยาก ถึงแม้จะใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงๆ ก็ตาม แต่ถ้าหากฟิล์มไม่เรียบจริง กล่าวคือ มีรอยย่นเป็นริ้ว ในการจัดซื้อจะมีโอกาสเกิดการสปาร์กได้มาก

โดยสรุปแล้ว ถ้าจะทำอิเล็กโทรดโดยวิธีทาขาวเงิน ควรจัดซื้อก่อนทำอิเล็กโทรด และ ในกรณีนี้อาจลดการสปาร์กโดยทาทั้งสองด้านของฟิล์มด้วยซิลิโคนเหลว เพื่อช่วยเสริมความสม่ำเสมอในแง่ของระบบไฟฟ้าสถิตให้ดีขึ้นในกรณีที่ฟิล์มไม่เรียบจริง หลังจากจัดซื้อแล้วจึงนำฟิล์มมาทำอิเล็กโทรดโดยทาขาวเงินดังกล่าวมาข้างต้น ในทางกลับกัน ถ้าเตรียมอิเล็กโทรดโดยใช้วิธีระเหยไออะลูมิเนียมควรเตรียมอิเล็กโทรดก่อนการจัดซื้อ เพราะการเตรียมอิเล็กโทรดด้วยวิธีนี้ หลายครั้งที่ฟิล์มจะถูกความร้อนทำให้คุณสมบัติสูงเกินไป จนทำให้สมบัติทางไฟโรอิเล็กทริกลดลงกว่าที่ควร ดังนั้นจึงควรเตรียม อิเล็กโทรดก่อนจัดซื้อฟิล์ม

หลังจากลัดวงจรระหว่างขั้วของอิเล็กโทรดทั้งสองของสารไฟโรอิเล็กทริก เมื่ออุณหภูมิของสารมีการเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดกระแสขึ้น 2 ส่วน คือ กระแสไฟโรอิเล็กทริก ซึ่งผันกลับได้ และกระแส TSC (Thermally Stimulated Current) เป็นกระแสซึ่งผันกลับไม่ได้ เกิดจากการจัดเรียงตัวของไดโพล ขณะที่คุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไป [11]

กระแส TSC คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของโพลาริเซชันถาวร P ซึ่งจะลดลงในเทอมของ เวลาผ่านคลาย τ มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{P}{\tau}$$

โพลาริเซชันเริ่มต้น P_0 หาได้จากอุณหภูมิขณะจัดซื้อ T_p และสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการจัดซื้อ E_p [4]

$$P_0 = \frac{N\mu^2 E_p}{3k_B T_p}$$

ซึ่งถูกกำหนดโดยฟังก์ชันแลงเจวิน (Langevin function) เมื่อ $\mu E_p \ll k_B T_p$

โดยที่ μ คือ ไดโพลไฟฟ้า ; k_B คือค่าคงที่โบลต์ซมันน์

การจัดเรียงตัวของไดโพลเกี่ยวข้องกับเคลื่อนที่ของประจุจากตำแหน่งสมดุลหนึ่งไปยัง อีกตำแหน่งหนึ่ง โดยประจุจะต้องกระโดดผ่านกำแพงศักย์ (potential barrier) ที่มีพลังงานกระตุ้น E_a ความน่าจะเป็นในการที่ประจุจะกระโดดผ่าน ต่อ 1 หน่วยเวลา แปรผันตรงกับ $\exp\left(-\frac{E_a}{k_B T}\right)$ ค่าผ่อนคลายทางเวลา (τ) คือ ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการกระโดด หรือ ส่วนกลับของความน่าจะเป็น ดังนั้น

$$\tau = \tau_0 \exp\left(-\frac{E_a}{k_B T}\right)$$

เมื่อ τ_0 คือ ค่าคงที่ และ T คืออุณหภูมิสัมบูรณ์

โพลาริเซชัน P และ ค่าผ่อนคลายทางเวลา (τ) ขึ้นกับอุณหภูมิ ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ สารไพโรอิเล็กทริกจะปรับตัวเข้าสู่สภาวะสมดุลใหม่ สารที่มีค่าผ่อนคลายทางเวลามากจะ ต้องใช้เวลาในการปรับตัวเข้าสู่สภาวะสมดุลยาวนานกว่าสารที่มีค่าผ่อนคลายทางเวลาน้อย พบว่าใน พอลิเมอร์หลายชนิดมีค่าผ่อนคลายทางเวลาสูงมาก [12] ทำให้กระแส TSC ผันกลับไม่ได้ และ กระแส TSC จะปรากฏในรอบแรกของการเพิ่มอุณหภูมิเท่านั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

วิธีการทดลองเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริก

ในการศึกษาสภาวะไพโรอิเล็กทริกของสารนั้น จะอาศัยสมบัติโพลาไรเซชันของสารที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยการเปลี่ยนแปลงโพลาไรเซชันต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนไป คือ สัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริก (pyroelectric coefficient) ซึ่งเป็นค่าคงที่สำหรับสารหนึ่งๆ สารที่มีสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกสูงจะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดีสามารถนำไปประยุกต์เป็นตัวรับรู้ที่มีคุณภาพ คุณภาพของสารจึงสามารถตรวจสอบได้จากการวัดค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกนี้ การวัดสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกมีได้หลายวิธี (ภาคผนวก ก.) แต่เนื่องจากไม่มีเครื่องมือสำเร็จรูปที่ใช้ในการวัดสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริก จึงพัฒนาวิธีวัดสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกแบบง่ายๆ ซึ่งให้ผลแม่นยำพอสมควร และ เสียเวลาน้อยกว่าการวัดสัมประสิทธิ์ ไพโรอิเล็กทริกแบบประยุกต์ ที่ได้มีการวัดมาก่อนหน้านี้ [3]

ในการวัดสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริก จะใช้หลักการ เมื่อมีแสงตกกระทบบที่ฟิล์ม พลังงานแสงทำให้ฟิล์มร้อนขึ้น การสั่นไหวของโมเลกุลของฟิล์มเพิ่มขึ้น ค่าโพลาไรเซชันของฟิล์ม จะลดลง ถ้าต่อลวดตัวนำที่ผิวอิเล็กโทรดเข้ากับมิเตอร์ที่มีความต้านทานภายในสูงมากๆ (เสมือนวงจรเปิด) ประจุที่ผิวอิเล็กโทรด จะไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายในฟิล์ม และสามารถวัดค่าความต่างศักย์ V ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองได้ ซึ่งทำให้คำนวณหาสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริก (p_3) จากความสัมพันธ์ของ ค่าความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองของฟิล์มที่เกิดเนื่องจากปรากฏการณ์ไพโรอิเล็กทริก และ ค่าอุณหภูมิของสารที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่มีแสงตกกระทบบ ดังสมการที่ (2.10)

ในการพัฒนาวิธีการวัดสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกนั้น จะทำการตรวจสอบ ค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริก จากฟิล์มที่ทราบค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกที่แน่นอน เพื่อที่จะหาวิธีการที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งสามารถนำไปใช้ ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกจาก ฟิล์มที่ไม่ทราบค่าได้ จึงทำการตรวจสอบจากฟิล์ม ซึ่งฉาบด้วยโลหะตัวนำ (อะลูมิเนียม) เป็นอิเล็กโทรด พื้นที่ของอิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร หน้า $30 \mu\text{m}$ 2 ชนิด โดยชนิดที่ 1 คือ ชนิดที่ทราบค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกที่แน่นอน ส่วนชนิดที่ 2 เป็นฟิล์มที่ไม่ทราบค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริก

4.1 การวัดความต่างศักย์ที่เกิดจากปรากฏการณ์ไพโรอิเล็กทริก

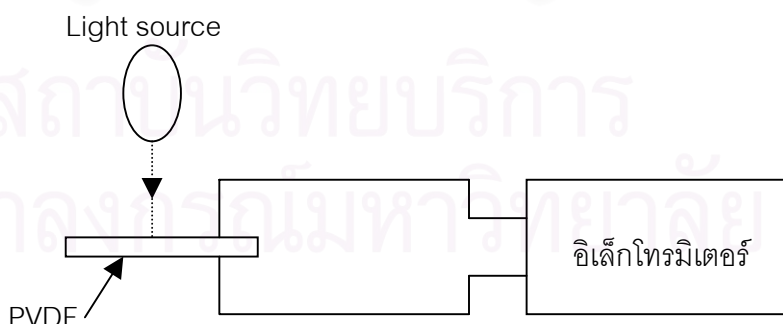
ในการวัดค่าความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากปรากฏการณ์ไพโรอิเล็กทริก เพื่อนำไป คำนวณหาความสัมพันธ์ไพโรอิเล็กทริก (p_3) นั้น ค่าความต่างศักย์ที่ใช้ในการคำนวณ จะต้องเป็นค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงจากค่าความต่างศักย์เริ่มต้นอย่างชัดเจนที่สุด จึงทำการวัดค่าความต่างศักย์ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

4.1.1 การวัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น ขณะที่แสงตกกระทบฟิล์มอย่างต่อเนื่อง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ฟิล์ม PVDF ที่ใช้ในการตรวจสอบ (ชนิดที่ 1 และ 2)
2. แหล่งกำเนิดแสง หลอดไฟ 60 วัตต์
3. อิเล็กโทรมิเตอร์ (KEITHLEY Model 617 Programmable Electrometer)

วิธีการวัด

1. วางหลอดไฟ (หลอดไส้ ซึ่งมีกำลัง 60 วัตต์) ห่างจากฟิล์ม PVDF ที่ใช้ตรวจสอบ เป็นระยะต่างๆ (10, 15 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ) ความเข้ม I ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากหลอดไฟที่กระทบฟิล์มในแนวตั้งฉาก จะแปรผกผันกับกำลังสองของระยะนี้
2. ต่อขั้วไฟฟ้าทั้งสองด้านของฟิล์ม เข้ากับอิเล็กโทรมิเตอร์ เพื่อ บันทึกค่าความต่างศักย์ระหว่าง อิเล็กโทรดทั้งสองของฟิล์มที่เวลาต่างๆ เมื่อมีแสงความเข้ม I ตกกระทบฟิล์มอย่างต่อเนื่อง (คุณสมบัติของฟิล์มจะมีการเปลี่ยนแปลง)



รูปที่ 4.1 แสดงการทดลองเพื่อวัดความต่างศักย์ที่เกิดจากฟิล์ม PVDF เมื่อมีแสงตกกระทบฟิล์มอย่างต่อเนื่อง บันทึกค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นด้วย อิเล็กโทรมิเตอร์ ตามรูปได้ขยายความหนาของฟิล์ม

เมื่อพิจารณาจากการทดลอง คาดว่า เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากแหล่งกำเนิด ตกกระทบฟิล์มอย่างทันทีทันใด จะทำให้คุณสมบัติของฟิล์ม มีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น จะเปลี่ยนแปลงไปจากค่าความต่างศักย์เริ่มต้นอย่างชัดเจน และ เมื่อเวลาผ่านไป คุณสมบัติของสารที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะนั้น จะแตกต่างจากคุณสมบัติก่อนนี้เพียงเล็กน้อย ทำให้ความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าลดลง จนกระทั่งเมื่อฟิล์มอยู่ในสภาวะสมดุลความร้อน ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจะเข้าสู่ค่าความต่างศักย์เริ่มต้นอีกครั้งหนึ่ง

ดังนั้นในการพิจารณาถึงค่าความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากแสงตกกระทบฟิล์ม เพื่อใช้ในการคำนวณหาความสัมพันธ์โพโรอิเล็กทริก จึงต้องทำการวัดสัญญาณความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น ขณะที่มิแสงตกกระทบฟิล์มเป็นจังหวะ

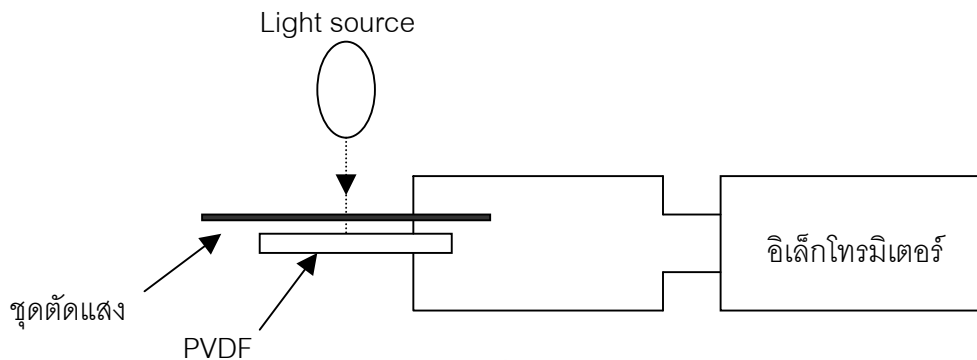
4.1.2 การวัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น ขณะที่แสงตกกระทบฟิล์มเป็นจังหวะ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ฟิล์ม PVDF ที่ใช้ในการตรวจสอบ (ชนิดที่ 1 และ 2)
2. แหล่งกำเนิดแสง หลอดไฟ 60 วัตต์
3. ชุดอุปกรณ์ตัดแสง
4. อิเล็กโทรมิเตอร์ (KEITHLEY Model 617 Programmable Electrometer)

วิธีการวัด

1. วางหลอดไฟ (หลอดไส้ ซึ่งมีกำลัง 60 วัตต์) ห่างจากฟิล์ม PVDF ที่ใช้ตรวจสอบ เป็นระยะต่างๆ (10, 15 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ) ความเข้ม I ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากหลอดไฟที่กระทบฟิล์มในแนวตั้งฉาก จะแปรผกผันกับกำลังสองของระยะนี้
2. ต่อขั้วไฟฟ้าทั้งสองด้านของฟิล์ม เข้ากับอิเล็กโทรมิเตอร์ เพื่อ บันทึกค่าความต่างศักย์ระหว่าง อิเล็กโทรดทั้งสองของฟิล์มที่เวลาต่างๆ เมื่อมีแสงความเข้ม I ตกกระทบฟิล์ม และไม่ตกกระทบฟิล์ม
3. เปิดแหล่งกำเนิดแสง ผ่านชุดอุปกรณ์ตัดแสง ทำให้เกิดลักษณะแสงตกกระทบบนฟิล์ม และไม่ตกกระทบฟิล์ม



รูปที่ 4.2 แสดงการทดลองเพื่อวัดความต่างศักย์ที่เกิดจากฟิล์ม PVDF เมื่อมีแสงตกกระทบบ และ ไม่ตกกระทบบฟิล์ม บันทึกค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นด้วย อิเล็กทรอนิกส์

เมื่อพิจารณาจากการทดลอง คาดว่า จะสามารถแบ่ง ค่าความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดขึ้น ได้เป็น 2 ช่วง คือ ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีแสงตกกระทบบฟิล์ม และ ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นเมื่อไม่มีแสงตกกระทบบฟิล์ม ซึ่งจะช่วยให้เห็นถึงแนวโน้มของลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์ที่จะเกิดขึ้น ในขณะที่มีการฉายแสงตกกระทบบ และ ไม่ตกกระทบบบนฟิล์ม

เนื่องจากค่าความต่างศักย์ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทรอนิกส์นั้น จะต้องเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าความต่างศักย์เริ่มต้นได้อย่างชัดเจนที่สุด จึงทำการวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น ขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน และ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์เป็นไปอย่างต่อเนื่อง จึงทำการทดลอง ขณะที่ไม่มีแสงตกกระทบบฟิล์ม เป็นเวลานาน 0.01 วินาที ด้วยความถี่ของแสงที่ตกกระทบบฟิล์ม 10 Hz

4.1.3 การวัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น ขณะที่แสงตกกระทบบฟิล์มเป็นจังหวะ ด้วยความถี่ 10 Hz

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ฟิล์ม PVDF ที่ใช้ในการตรวจสอบ (ชนิดที่ 1 และ ชนิดที่ 2)
2. แหล่งกำเนิดแสง หลอดไฟ 60 วัตต์
3. ชุดอุปกรณ์ตัดแสง (ชอปเปอร์) ซึ่งความกว้างของช่องที่แสงส่องผ่านเป็นอัตราส่วน 1 ใน 10 ส่วนของพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด
4. ล็อกอินแอมป์ลิฟายเออร์ (ORIEL CORPORATION Model 70707)
5. อิเล็กทรอนิกส์ (KEITHLEY Model 617 Programmable Electrometer)

วิธีการวัด

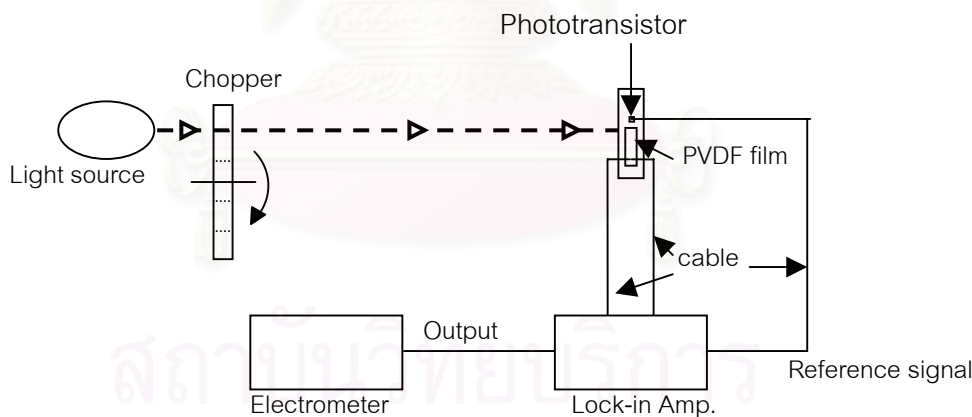
1. นำฟิล์มที่ตรวจสอบใส่ไว้ใต้แหล่งกำเนิดแสง และ ชุดอุปกรณ์ตัดแสงที่ได้เตรียมไว้ จัดชุดอุปกรณ์ตัดแสงให้พัลส์มีความถี่ 10 Hz โดยแหล่งกำเนิดแสงห่างจากฟิล์ม เป็นระยะต่างๆกัน (10, 15 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ)

2. ต่อขั้วไฟฟ้าของฟิล์มเข้ากับส่วนอินพุตของล็อกอินแอมป์พลิฟายเออร์ โดยล็อกอิน-แอมป์พลิฟายเออร์จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการฉายแสง และ เพื่อให้การวัดมีประสิทธิภาพมากขึ้น ก่อนวัดจะต้องเปิดล็อกอินแอมป์พลิฟายเออร์ทิ้งไว้ 30 นาที

3. ต่อส่วนเอาต์พุตของล็อกอินแอมป์พลิฟายเออร์เข้ากับอิลเล็กโทรมิเตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่บันทึกค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีแสงตกกระทบฟิล์ม โดยจะทำการบันทึกข้อมูลในเวลาห่างกันทุกๆ 0.3 วินาที

4. เริ่มเปิดแหล่งกำเนิดแสง (อย่างต่อเนื่อง) ผ่านชอปเปอร์ที่มีความถี่ 10 Hz จากนั้นกดปุ่มเริ่มบันทึกความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น โดยบันทึกค่าความต่างศักย์ที่อ่านจากส่วนเอาต์พุตของล็อกอินแอมป์พลิฟายเออร์ ไปเป็นจำนวน 80-100 ค่า

5. นำค่าความต่างศักย์ที่บันทึกไว้ในอิลเล็กโทรมิเตอร์ ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ที่ได้จากล็อกอินแอมป์พลิฟายเออร์ กับ เวลา เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความต่างศักย์ที่ได้จริง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของฟิล์มที่มีแสงตกเป็นจังหวะ



รูปที่ 4.3 แสดงการทดลองเพื่อใช้ในการหาความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดที่เกิดขึ้นขณะที่แสงตกกระทบฟิล์มด้วยความถี่สัญญาณแสง 10 Hz

จากการทำการทดลองลักษณะนี้ ควรที่จะเห็นถึงค่าความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่มิแสงตกกระทบฟิล์ม ได้อย่างชัดเจนที่สุด เนื่องจากการทดลอง จะทำให้ค่าความต่างศักย์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ถึง 2 ช่วง คือ ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่เกิดขึ้นในช่วงที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลัน เนื่องจากการฉายแสงตกกระทบฟิล์ม ด้วยเวลาสั้นๆ และ ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นในช่วงที่อุณหภูมิลดลง เนื่องจากไม่มีการฉายแสง และ จากการฉายแสงเป็นจังหวะ จะทำให้เห็นถึงความต่อเนื่องของค่าความต่างศักย์ที่จะเกิดขึ้น

4.2 การวัดค่าอุณหภูมิของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่มิแสงตกกระทบฟิล์ม

เนื่องจากฟิล์ม PVDF ที่ใช้ในการวัดค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกนั้น ฉาบด้วยโลหะตัวนำ (อะลูมิเนียม) เป็นอิเล็กโทรดทั้ง 2 หน้าของฟิล์ม จึงตั้งสมมติฐานว่า ในการวัดค่าอุณหภูมิของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่มิแสงตกกระทบฟิล์ม ในทิศทางการฉายแสงจากบนลงล่าง นำที่จะคำนวณได้จาก ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของอิเล็กโทรดทั้ง 2 หน้าที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อมิแสงตกกระทบ โดยในการวัดค่าอุณหภูมิของอิเล็กโทรดที่เปลี่ยนแปลงไปนั้น จะทำการวัด โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของโลหะตัวนำที่เปลี่ยนแปลงไป กับ อุณหภูมิของตัวนำที่เปลี่ยนแปลงไปตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ในหัวข้อที่ 2.4

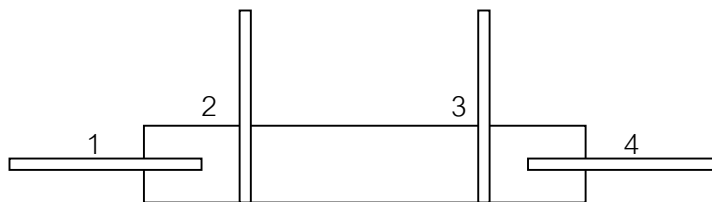
4.2.1 การวัดค่าอุณหภูมิของอิเล็กโทรดที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่มิแสงตกกระทบฟิล์ม

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ฟิล์ม PVDF (ชนิดที่ 1 และ 2) ซึ่งฉาบด้วยโลหะตัวนำเป็นอิเล็กโทรด
2. แหล่งกำเนิดแสง หลอดไฟ 60 วัตต์
3. ความต้านทาน $1\text{ k}\Omega$ และ DC power supply 0-30 V
4. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (HEWLETT PACKARD Multimeter971A)
5. อิเล็กโทรมิเตอร์ (KEITHLEY Model 617 Programmable Electrometer)

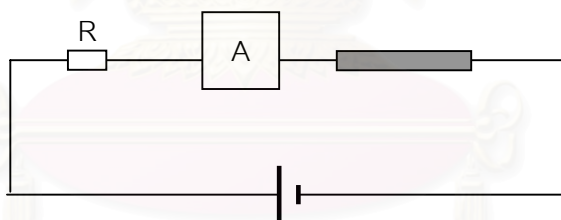
วิธีการทดลอง

1. ต่อขั้วไฟฟ้าในที่นี้ใช้อะลูมิเนียมฟอยล์เข้ากับอิเล็กโทรดของฟิล์ม PVDF ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงการต่อขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิของอิเล็กโทรดที่เปลี่ยนแปลง เมื่อมีแสงตกกระทบ (ในรูปมองจากด้านบน) โดย ตำแหน่ง 1,4 ใช้สำหรับผ่านกระแสไฟฟ้า เข้าไปที่อิเล็กโทรดของฟิล์ม ส่วนตำแหน่ง 2,3 ใช้สำหรับวัดค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

2. ต่อวงจรเพื่อปล่อยกระแสไฟฟ้า เข้าไปยังอิเล็กโทรดของฟิล์ม PVDF โดย ต่อขั้วไฟฟ้า ตำแหน่ง 1 และ 4 เข้ากับความต้านทาน (R) $1\text{ k}\Omega$, DC power supply 0-30 V และ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (แอมป์มิเตอร์ A) ซึ่งทำหน้าที่อ่านค่ากระแสไฟฟ้าที่ผ่านอิเล็กโทรดได้จากแอมป์มิเตอร์



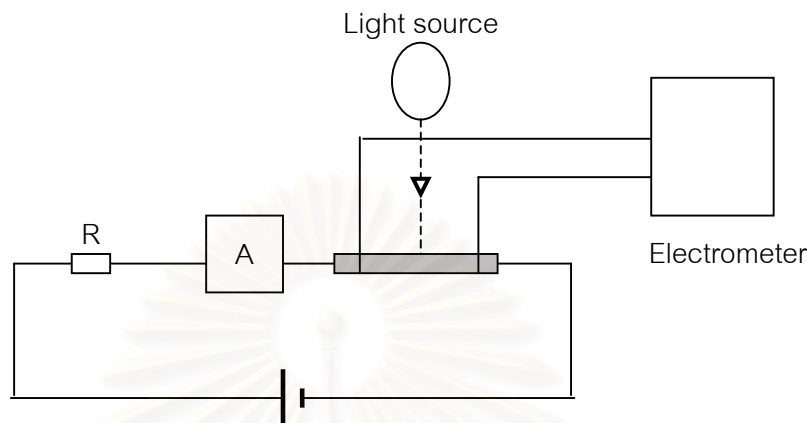
รูปที่ 4.5 แสดงการต่อวงจรเพื่อปล่อยกระแสไฟฟ้า เข้าไปที่อิเล็กโทรดของฟิล์ม PVDF โดยส่วนที่แรเงา คือ อิเล็กโทรดของฟิล์ม

3. ต่อขั้วไฟฟ้าตำแหน่ง 2 และ 3 เข้ากับอิเล็กโทรมิเตอร์ เพื่ออ่าน และ บันทึกความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากค่าความต้านทานของอิเล็กโทรดเปลี่ยนแปลงไป เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (แสงตกกระทบที่ผิวอิเล็กโทรด)

4. เปิดแสงจากแหล่งกำเนิดตกกระทบฟิล์ม ในทิศการฉายแสงจากบนลงล่าง เมื่อแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์มเป็นระยะต่างๆกัน (10, 15 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ)

5. บันทึกค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น โดยในเวลา 0.3 วินาที อิเล็กโทรมิเตอร์จะบันทึกค่าความต่างศักย์ได้ 1 ค่า บันทึกค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นจำนวน 50 – 100 ค่า

6. นำค่าความต่างศักย์ที่บันทึกไว้ในอิเล็กโทรมิเตอร์ ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ที่ได้จากค่าความต้านทานของอิเล็กโทรดเปลี่ยนแปลงไป กับเวลา เพื่อนำไปคำนวณหาอุณหภูมิของอิเล็กโทรดที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีแสงตกกระทบฟิล์ม



รูปที่ 4.6 แสดงการทดลองเพื่อใช้ในการคำนวณหาอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในอิเล็กโทรดขณะที่มีแสงตกกระทบฟิล์ม โดยในส่วนที่แรเงา คือ อิเล็กโทรดของฟิล์ม

ในการทดลองลักษณะนี้กับอิเล็กโทรดของฟิล์ม PVDF ทั้ง 2 หน้า ทำให้ได้ค่าอุณหภูมิของอิเล็กโทรด (ทั้ง 2 หน้า) ที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากแสงตกกระทบฟิล์มอย่างต่อเนื่อง (ตามสมการที่ 2.12) ซึ่งเมื่อทราบอุณหภูมิของอิเล็กโทรดที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากแสงตกกระทบฟิล์ม ในทิศการฉายแสงจากบนลงล่าง ทำให้สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอิเล็กโทรดทั้ง 2 ด้านได้ ซึ่งจะนำไปสู่การคำนวณค่าอุณหภูมิของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากแสงตกกระทบได้

บทที่ 5

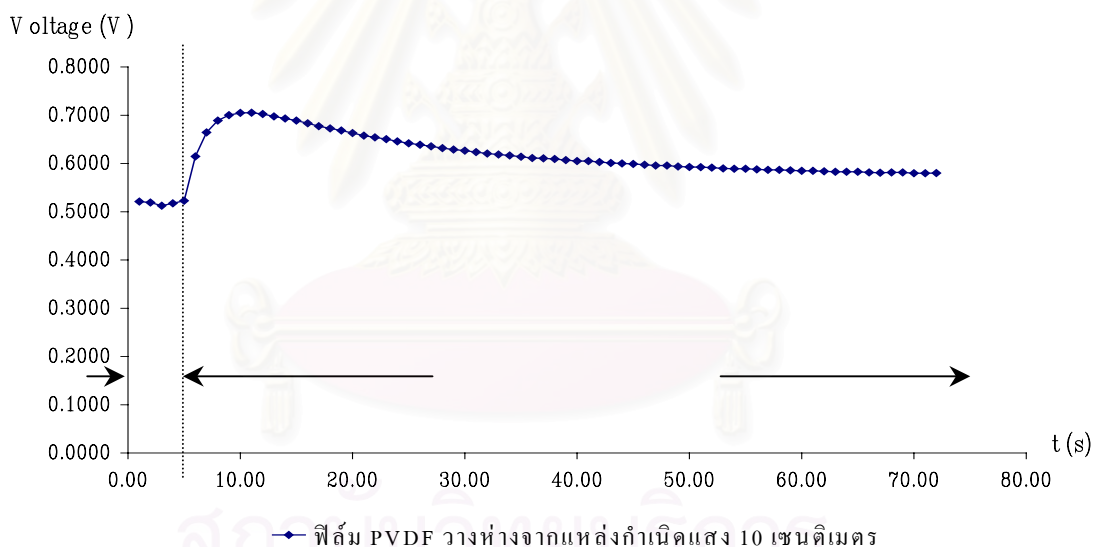
ผล และ การวิเคราะห์การทดลองเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็กทริก

ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็กทริก (p_3) ของฟิล์ม PVDF ตามสมการที่ (2.10) นั้น จะต้องทราบค่าความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองของฟิล์ม ที่เกิดขึ้นเนื่องจากปรากฏการณ์โพโรอิเล็กทริก ค่าอุณหภูมิของสารที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่มีแสงตกกระทบ จึงทำการทดลองดังที่กล่าวมาในบทที่ 4 เพื่อหาตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็กทริก ซึ่งผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

5.1 ผลการวัดความต่างศักย์ที่เกิดจากปรากฏการณ์โพโรอิเล็กทริก

5.1.1 ผลการวัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น ขณะที่แสงตกกระทบฟิล์มอย่างต่อเนื่อง

จากการทดลอง ตามหัวข้อที่ 4.1.1 ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงค่าความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดของฟิล์ม PVDF กับเวลา ตามรูป ช่วง (ก) แสดงค่าความต่างศักย์ ขณะไม่มีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากหลอดไฟตกกระทบฟิล์ม ช่วง (ข) แสดงค่าความต่างศักย์ ขณะมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากหลอดไฟตกกระทบฟิล์ม

จากผลการทดลองพบว่า ในช่วงเวลาเริ่มต้นที่ฉายแสง เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากหลอดไฟมากระทบฟิล์ม ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น จะมีลักษณะแตกต่างจากค่าความต่างศักย์เริ่มต้น (ขณะไม่มีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบฟิล์ม) อย่างชัดเจน และ เมื่อเวลาผ่านไป ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจะลดลงเข้าสู่ค่าความต่างศักย์ที่เป็นความต่างศักย์เริ่มต้น อีกครั้งหนึ่ง

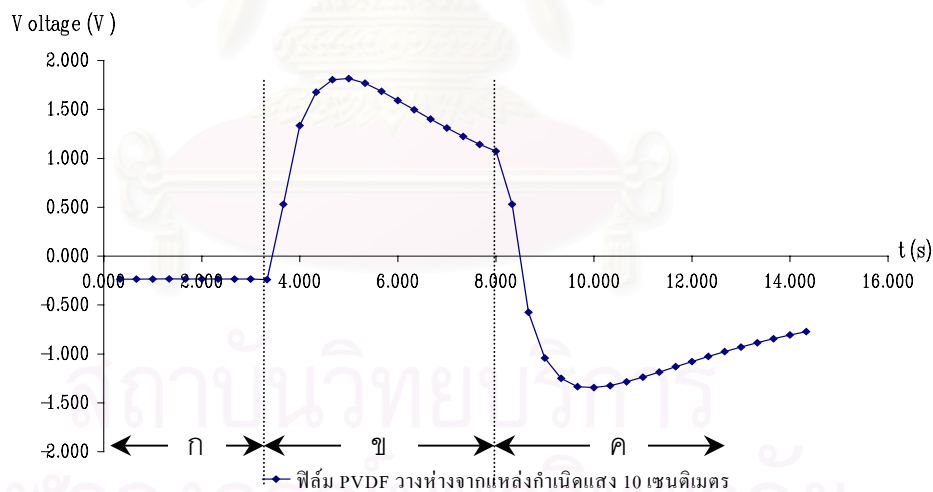
เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองจะเห็นว่า เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากหลอดไฟ ตกกระทบฟิล์มอย่างทันทีทันใด จะทำให้คุณสมบัติของฟิล์ม มีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น จะเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าความต่างศักย์เริ่มต้นอย่างชัดเจน และ เมื่อเวลาผ่านไปคุณสมบัติของสารที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะนั้นจะแตกต่างจากคุณสมบัติก่อนนี้เพียงเล็กน้อย ทำให้ความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าลดลง จนกระทั่งเมื่อฟิล์มอยู่ในสภาวะสมดุลความร้อน ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น จะเข้าสู่ค่าความต่างศักย์เริ่มต้นอีกครั้งหนึ่ง

ซึ่งได้สอดคล้องกับสมมติฐานที่ได้คาดหมายไว้ใน การทดลองที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.1.1 จึงต้องทำการทดลองวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นขณะที่แสงตกกระทบฟิล์มเป็นจังหวะ ซึ่งผลการทดลองจะนำเสนอในหัวข้อถัดไป

5.1.2 ผลการวัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น ขณะที่แสงตกกระทบฟิล์มเป็นจังหวะ

ในการทำการทดลองกับฟิล์ม PVDF ที่ตรวจสอบทั้ง 2 ชนิด ตามหัวข้อที่ 4.1.2 ผลทดลองแสดงดังนี้

ผลการทดลองของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 เมื่อระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสง กับฟิล์ม PVDF ที่ใช้ในการทดลอง มีค่าเท่ากับ 10 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 5.2

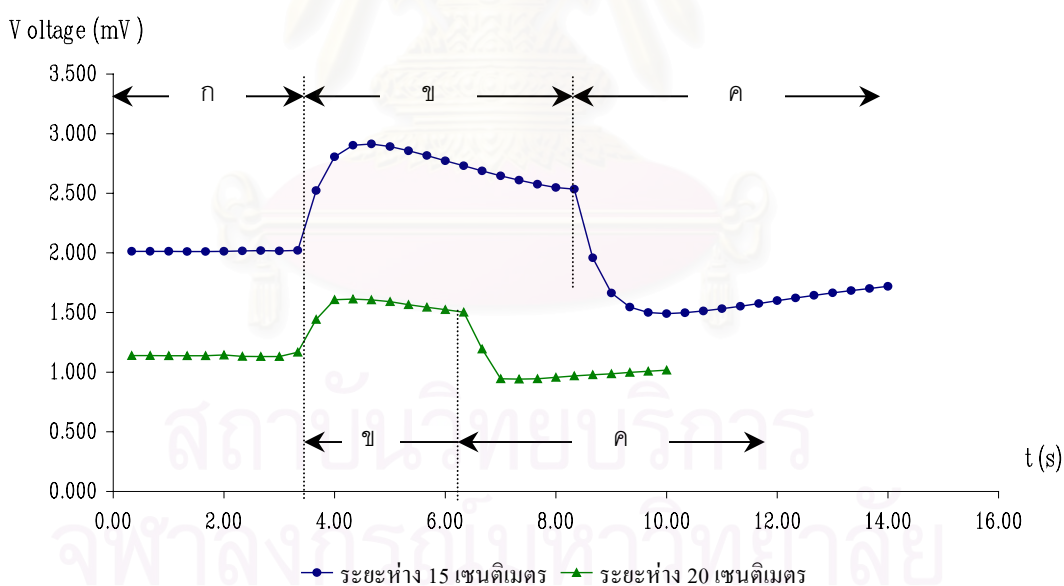


รูปที่ 5.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 กับเวลา ในช่วง (ก) แสดงค่าความต่างศักย์ขณะที่ไม่มีแสงตกกระทบฟิล์ม ช่วง(ข) แสดงค่าความต่างศักย์ขณะที่มีแสงตกกระทบฟิล์ม และ ช่วง (ค) แสดงค่าความต่างศักย์ขณะที่ไม่มีแสงตกกระทบฟิล์ม อีกครั้งหนึ่ง

จากผลการทดลองพบว่าค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น สามารถพิจารณาได้ 2 ช่วง คือ ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น ขณะมีแสงตกกระทบบฟิล์ม และ ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นขณะไม่มีแสงตกกระทบบฟิล์ม

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองถึงช่วงเวลาเริ่มต้นของการฉายแสงตกกระทบบ และไม่ตกกระทบบฟิล์ม พบว่า ขณะมีการฉายแสง อัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลานี้ จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้น ในทิศทางที่ค่าความต่างศักย์มีค่าสูงขึ้นกว่า ค่าความต่างศักย์เริ่มต้น และ ในทำนองเดียวกัน ขณะไม่มีการฉายแสง อัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่เท่ากัน จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้น ในทิศทางที่ค่าความต่างศักย์มีค่าน้อยกว่าค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นก่อนหน้านั้น ซึ่งพบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น (ในช่วงเวลาของการฉายแสงจกกระทบบ และ ไม่ตกกระทบบฟิล์ม ที่เท่ากัน) จะเปลี่ยนแปลงด้วยอัตราส่วนที่เท่ากัน

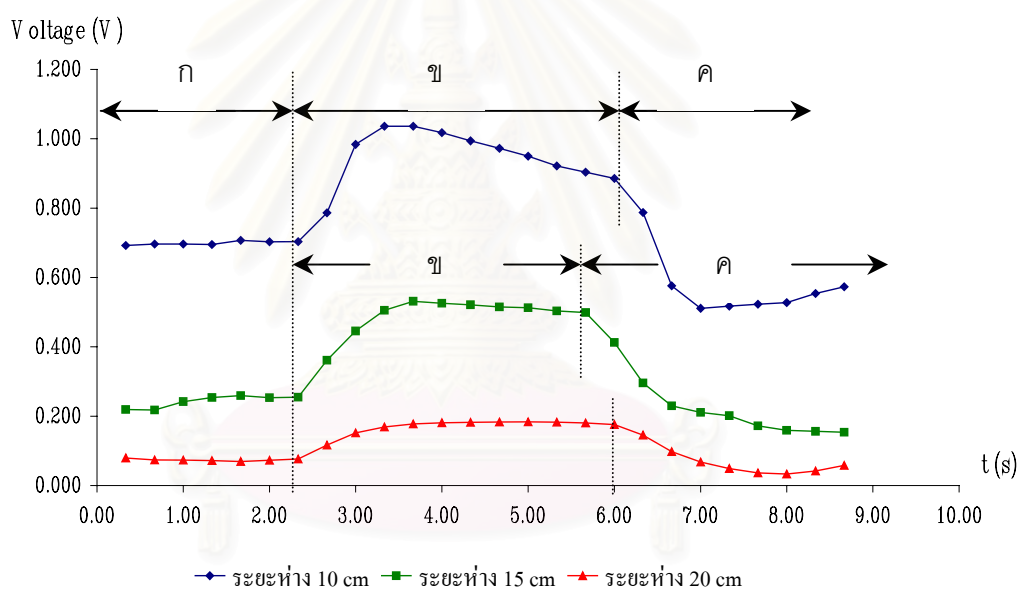
เมื่อแหล่งกำเนิดแสง วางห่างจากฟิล์มชนิดที่ 1 เป็นระยะ 15 และ 20 เซนติเมตร ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 แสดงค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไปของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 กับ เวลา เมื่อแหล่งกำเนิดแสงห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 15 และ 20 เซนติเมตร โดยในช่วง (ก) แสดงค่าความต่างศักย์ ขณะไม่มีแสงตกกระทบบฟิล์ม ช่วง (ข) แสดงค่าความต่างศักย์ ขณะมีแสงตกกระทบบฟิล์ม และ ช่วง (ค) แสดงค่าความต่างศักย์ ขณะไม่มีแสงตกกระทบบฟิล์มอีกครั้งหนึ่ง

จากผลการทดลองพบว่า ค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อมีแสงตกกระทบบ และ ไม่ตกกระทบบฟิล์ม จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้น ในทิศทางที่เพิ่มขึ้น และ ลดลง ตามลำดับ ซึ่งพบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น (ในช่วงเวลาของการฉายแสงตกกระทบบ และ ไม่ตกกระทบบฟิล์ม ที่เท่ากัน) จะเปลี่ยนแปลงไปด้วยอัตราส่วนที่เท่ากัน ซึ่งทำให้ลักษณะความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจะสอดคล้องกับ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ ขณะที่ มีแสงจากแหล่งกำเนิดที่ระยะห่างจากฟิล์ม 10 เซนติเมตร มาตกกระทบบฟิล์ม และ ไม่ตกกระทบบฟิล์ม ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น

นอกจากนี้ ได้ทำการทดลอง ในลักษณะเดียวกันนี้ กับฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 ซึ่งเป็นชนิดที่ไม่ทราบค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริก ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 แสดงค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไปของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 กับ เวลา เมื่อแหล่งกำเนิดแสงอยู่ห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 10, 15 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยในช่วง (ก) แสดงค่าความต่างศักย์ ขณะไม่มีแสงตกกระทบบฟิล์ม ช่วง (ข) แสดงค่าความต่างศักย์ ขณะมีแสงตกกระทบบฟิล์ม และ ช่วง (ค) แสดงค่าความต่างศักย์ ขณะไม่มีแสงตกกระทบบฟิล์ม อีกครั้งหนึ่ง

จากผลการทดลอง พบว่า ค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะแสงจากแหล่งกำเนิด ที่ระยะห่างจากฟิล์ม 10, 15 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ มาตกกระทบบ และ ไม่ตกกระทบบ ฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้น ในทิศทางที่เพิ่มขึ้น และ ลดลง ตามลำดับ และ พบว่า ในช่วงเวลาของการพิจารณาที่เท่ากัน อัตราการเปลี่ยนแปลงความ

ต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงด้วยอัตราส่วนที่เท่ากัน ซึ่งจะสอดคล้องกับ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ ที่เกิดขึ้นในฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 ซึ่งเป็นชนิดที่ทราบค่าสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็กทริกอย่างชัดเจน

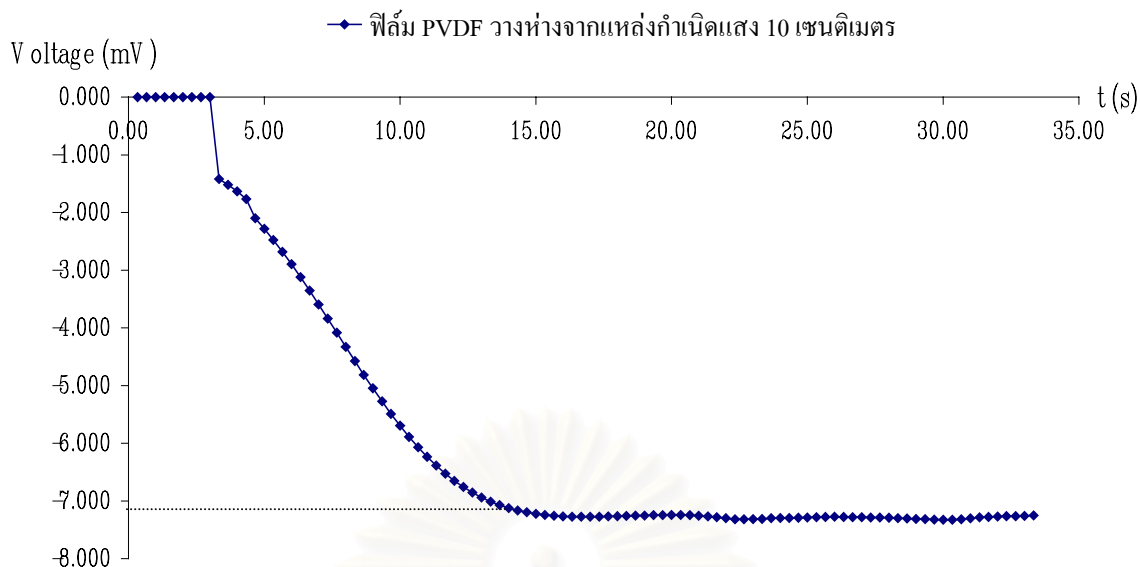
จากผลการทดลอง เมื่อพิจารณา ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นของฟิล์ม PVDF ทั้ง 2 ชนิด พบว่า ในช่วง (ข) เมื่อมีแสงตกกระทบฟิล์ม คุณสมบัติของฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน จึงทำให้เห็นถึง ค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน เมื่อเวลาผ่านไปคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะนั้นจะแตกต่างจากคุณสมบัติก่อนนี้เพียงเล็กน้อย ทำให้ความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าลดลง และ ในช่วง (ค) พบว่า เมื่อไม่มีแสงตกกระทบฟิล์ม คุณสมบัติของฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันอีกครั้ง จึงทำให้เห็นถึง ค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน และ ค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไป จะเข้าสู่ค่าความต่างศักย์ค่าหนึ่งเมื่อฟิล์มอยู่ในสภาวะสมดุลความร้อน

เนื่องจากค่าความต่างศักย์ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็กทริก จะต้องเป็นค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงจากค่าความต่างศักย์เริ่มต้นอย่างชัดเจนที่สุด จึงทำการวัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น ขณะที่แสงตกกระทบฟิล์ม เป็นเวลา 0.01 วินาที ด้วยความถี่ 10 Hz ซึ่งผลการทดลองจะนำเสนอในหัวข้อถัดไป

5.1.3 ผลการวัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น ขณะที่แสงตกกระทบฟิล์มเป็นจังหวะ ด้วยความถี่ 10 Hz

ในการทำการทดลอง กับฟิล์ม PVDF ที่ใช้ในการตรวจสอบทั้ง 2 ชนิดตามหัวข้อที่ 4.1.3 ผลการทดลองแสดงดังนี้

ค่าความต่างศักย์ที่ลือคอินแอมป์ลิฟายเออร์อ่าน และบันทึกผลการทดลองด้วยอิเล็กโทรมิเตอร์ ของฟิล์ม PVDF ชนิดที่1 เมื่อฟิล์มวางห่างจากแหล่งกำเนิดแสงเป็นระยะ 10 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความต่างศักย์ที่ได้จากล็อกอินแอมป์พลิฟายเออร์ กับเวลา ของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 พื้นที่ของอิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร เมื่อแหล่งกำเนิดแสง วางห่างจากฟิล์มเป็นระยะ 10 เซนติเมตร

เนื่องจากค่าความต่างศักย์ที่ล็อกอินแอมป์พลิฟายเออร์ แสดงออก คือ ค่าเฉลี่ยของสัญญาณความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อมีแสงตกกระทบฟิล์มเป็นเวลา 0.01 วินาที ด้วยความถี่ของสัญญาณแสง 10 Hz ทำให้ในการคำนวณค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นนั้น ใช้ค่าความต่างศักย์ที่แสดงจากล็อกอินแอมป์พลิฟายเออร์ในช่วงคงที่

ค่าความต่างศักย์ที่ล็อกอินแอมป์พลิฟายเออร์ แสดงออก มีขนาดเท่ากับ 7.278 mV

เมื่อค่าความต่างศักย์ที่ล็อกอินแอมป์พลิฟายเออร์ แสดงออก คือ ค่าเฉลี่ยของสัญญาณความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไป และจากผลการทดลองที่เกิดขึ้นในหัวข้อที่ (5.1.2) จะเห็นแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น จึงทำให้สามารถคำนวณค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น จากการฉายแสงตกกระทบฟิล์ม เป็นเวลา 0.01 วินาที ได้จากค่าความต่างศักย์ที่ล็อกอินแอมป์พลิฟายเออร์ แสดงออกมา ดังสมการ

$$V_{Lock-In} = \frac{1}{0.1} \left(\frac{1}{2} \times V \times (0.01 + t') \right) \quad (5.1)$$

เมื่อ $V_{Lock-In}$ คือ ค่าความต่างศักย์ที่อ่านได้จากล็อกอินแอมป์พลิฟายเออร์

V คือ ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีแสงตกกระทบฟิล์มเป็นเวลา 0.01 วินาที

t' คือ เวลาที่ใช้ขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เมื่อไม่มีแสงตกกระทบฟิล์ม

PVDF

เนื่องจากผลการวัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น ขณะที่แสงตกกระทบบนฟิล์มเป็นจังหวะ (หัวข้อ 5.1.2) พบว่า ในช่วงเวลาที่เท่ากัน อัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นขณะที่แสงตกกระทบบนฟิล์ม กับ อัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นขณะที่ไม่มีแสงตกกระทบบนฟิล์ม จะเปลี่ยนแปลงด้วยอัตราส่วนที่เท่ากัน จึงทำให้ทราบว่า เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลง ค่าความต่างศักย์ เมื่อไม่มีแสงกระทบบนฟิล์ม จะเท่ากับ เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลง ค่าความต่างศักย์ เมื่อมีแสงกระทบบนฟิล์มนั่นเอง

ดังนั้น เมื่อแสงตกกระทบบนฟิล์ม เป็นเวลา 0.01 วินาที ทำให้สมการที่ (5.1) กลายเป็น

$$V_{Lock-In} = \left(\frac{0.02}{0.2} \right) V = 0.1V$$

$$V = 10V_{Lock-In} \quad (5.2)$$

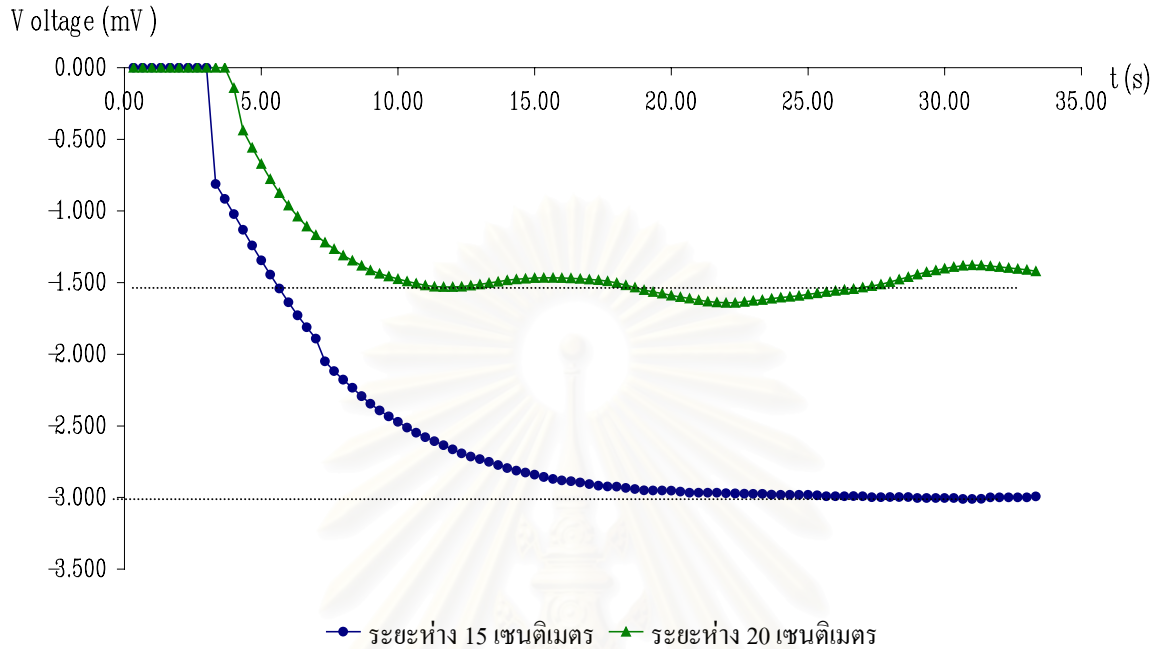
ทำให้ทราบว่า ค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการฉายแสงตกกระทบบนฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 เป็นเวลา 0.01 วินาที เมื่อแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 10 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ

$$V = 10V_{Lock-In} = 72.78 \text{ mV}$$

โดยค่าความคลาดเคลื่อนของค่าความต่างศักย์มีค่าเท่ากับ 0.01 mV

เมื่อทำการทดลองลักษณะเดียวกัน โดยแหล่งกำเนิดแสง วางห่างจากฟิล์มชนิดที่ 1 เป็นระยะ 15 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความต่างศักย์ที่ได้จากลึอกอินแอมป์ลิฟายเออร์ กับเวลา ของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 พื้นที่ของอิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร เมื่อแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 15 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ

จากการทดลองจะพบว่า ค่าความต่างศักย์ในช่วงที่คงที่ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการฉายแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่วางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 15 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ มีขนาดเท่ากับ 2.978 และ 1.512 mV ตามลำดับ

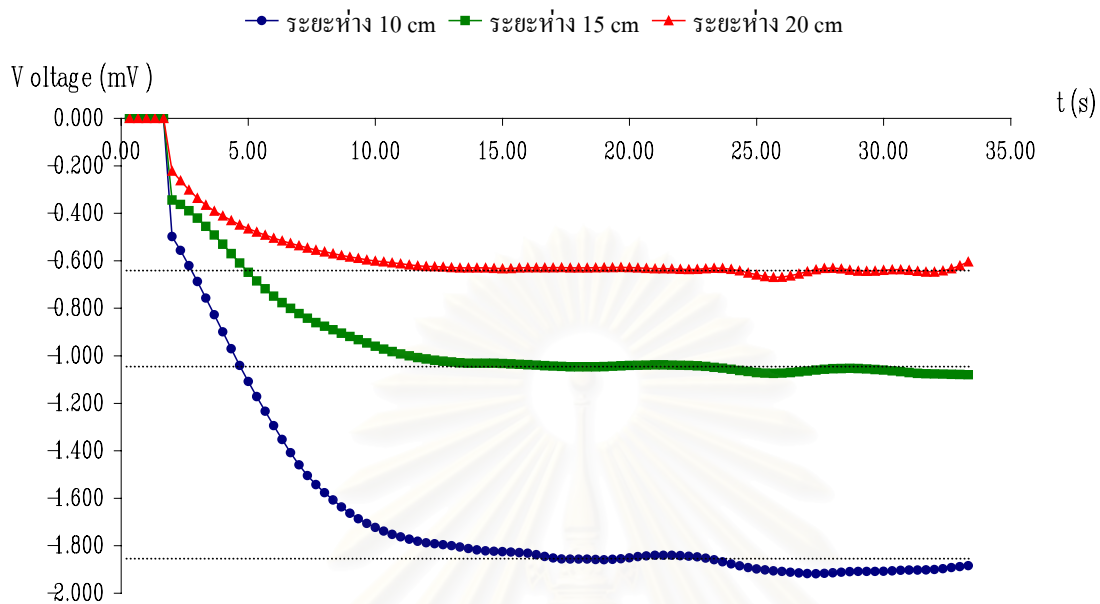
ดังนั้น ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 เป็นเวลา 0.01 วินาที โดยแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์มเป็นระยะ 15 และ 20 เซนติเมตรตามลำดับ สามารถคำนวณได้จากสมการ (5.2) ดังนี้

$$\text{แหล่งกำเนิดแสงห่างฟิล์ม 15 เซนติเมตร} \quad V = 10V_{\text{Lock-In}} = 29.78 \text{ mV}$$

$$\text{แหล่งกำเนิดแสงห่างฟิล์ม 20 เซนติเมตร} \quad V = 10V_{\text{Lock-In}} = 15.12 \text{ mV}$$

โดยความคลาดเคลื่อนของค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น มีค่าเท่ากับ 0.01 mV

เมื่อทำการทดลองลักษณะเดียวกันกับฟิล์มชนิดที่ 2 โดยแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 10, 15 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความต่างศักย์ที่ได้จากลึอกอินแอมป์ลิฟายเออร์ กับเวลา ของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 พื้นที่ของอิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร เมื่อแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 10, 15 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ

ผลการทดลองพบว่า ค่าความต่างศักย์ที่ลึอกอินแอมป์ลิฟายเออร์ แสดงออก เมื่อมีแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่วางห่างจากฟิล์มที่ใช้ทดลอง เป็นระยะ 10, 15 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 1.869, 1.065 และ 0.633 mV ตามลำดับ

เนื่องจากผลการทดลองวัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น ขณะที่แสงตกกระทบฟิล์มเป็นจังหวะ (หัวข้อ 5.1.2) พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นในฟิล์มชนิดที่ 2 มีลักษณะเดียวกับ อัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นในฟิล์มชนิดที่ 1 ทำให้สามารถคำนวณหา ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 เป็นเวลา 0.01 วินาที ได้จากสมการที่ (5.2)

ดังนั้น ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 เป็นเวลา 0.01 วินาที โดยแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์มเป็นระยะ 10, 15 และ 20 เซนติเมตรตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 18.69, 10.65 และ 6.33 mV ตามลำดับ

โดยความคลาดเคลื่อนของค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น มีค่าเท่ากับ 0.01 mV

นอกจากนี้ เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง จึงได้ทำการวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น ด้วยการทดลองลักษณะนี้ (หัวข้อที่ 4.1.3) กับ फिल्म PVDF ทั้งสองชนิด อีกชนิดละ 2 ตัวอย่างพบว่า ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นมีลักษณะสอดคล้องกับ ผลการทดลองที่เกิดขึ้นในฟิล์มทั้งสองชนิด ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งสามารถสรุป ผลการคำนวณค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากแสงตกกระทบฟิล์ม PVDF เป็นเวลา 0.01 วินาที แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการคำนวณค่าความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากแสงตกกระทบฟิล์ม PVDF ทั้งสองชนิด เป็นเวลา 0.01 วินาที

ฟิล์ม PVDF		การวางฟิล์ม ห่างจากแหล่งกำเนิดแสง เป็นระยะ		
		10 cm	15 cm	20 cm
ชนิดที่ 1 ตัวอย่างที่ 1	V (mV)	72.78 ± 0.01	29.78 ± 0.01	15.12 ± 0.01
ชนิดที่ 1 ตัวอย่างที่ 2	V (mV)	71.38 ± 0.01	30.39 ± 0.01	14.02 ± 0.01
ชนิดที่ 1 ตัวอย่างที่ 3	V (mV)	70.20 ± 0.01	31.28 ± 0.01	14.09 ± 0.01
ชนิดที่ 2 ตัวอย่างที่ 1	V (mV)	18.69 ± 0.01	10.65 ± 0.01	6.33 ± 0.01
ชนิดที่ 2 ตัวอย่างที่ 2	V (mV)	18.76 ± 0.01	10.62 ± 0.01	6.65 ± 0.01
ชนิดที่ 2 ตัวอย่างที่ 3	V (mV)	17.91 ± 0.01	10.75 ± 0.01	6.20 ± 0.01

หมายเหตุ फिल्म PVDF ชนิดที่ 1 เป็นฟิล์มที่ทราบค่าสัมประสิทธิ์โฟโรอิเล็กทริก

จากตารางที่ 5.1 สามารถสรุปได้ว่า ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น จะมีค่าสอดคล้องกับค่าความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากหลอดไฟที่ตกกระทบฟิล์ม และค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น จะสอดคล้องกับ ชนิดของฟิล์ม PVDF ที่ใช้ในการตรวจสอบ

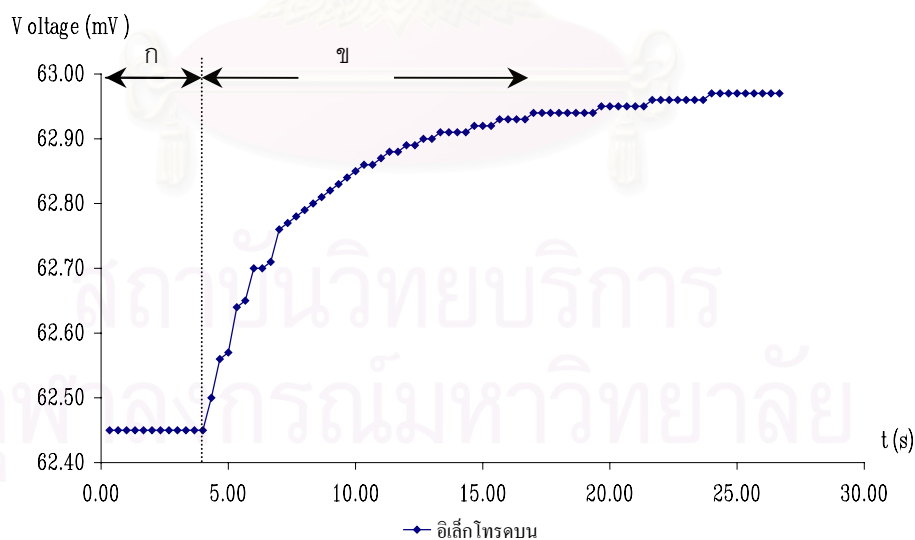
5.2 ผลการวัดค่าอุณหภูมิของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่มีแสงตกกระทบฟิล์ม

ในการพิจารณาอุณหภูมิของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากแสงตกกระทบฟิล์ม จะพิจารณาจากความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของอิเล็กโทรดทั้ง 2 หน้าของฟิล์ม เมื่อมีแสงตกกระทบฟิล์ม ในทิศทางการฉายแสงจากบนลงล่าง ซึ่งค่าอุณหภูมิของอิเล็กโทรดที่เปลี่ยนแปลงไป สามารถคำนวณโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ระหว่างสองจุดบนอิเล็กโทรดที่สังเกต ต่อเวลา กับ อุณหภูมิที่อิเล็กโทรดที่เปลี่ยนแปลงไป เทียบกับเวลา ตามสมการที่ (2.12) เนื่องจากอิเล็กโทรดของฟิล์ม เป็นโลหะตัวนำ

5.2.1 ผลการวัดค่าอุณหภูมิของอิเล็กโทรดที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่มีแสงต่อเนื่อง ตกกระทบฟิล์ม

5.2.1.1 ผลการวัดค่าความต่างศักย์ของอิเล็กโทรดบนที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่มีแสงต่อเนื่อง ตกกระทบฟิล์ม

จากการทดลองตามหัวข้อที่ 4.2.1 โดยผ่านกระแสไฟฟ้าไปที่ อิเล็กโทรดบน เมื่อฉายแสงต่อเนื่อง จากแหล่งกำเนิดแสง ที่ห่างจากฟิล์มเป็นระยะ 10 เซนติเมตร ตกกระทบฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 พบว่า ค่าความต่างศักย์ของสองจุดที่อิเล็กโทรดบนที่เกิดขึ้น เนื่องจาก อุณหภูมิของอิเล็กโทรดบนที่เปลี่ยนแปลงไป มีผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.8

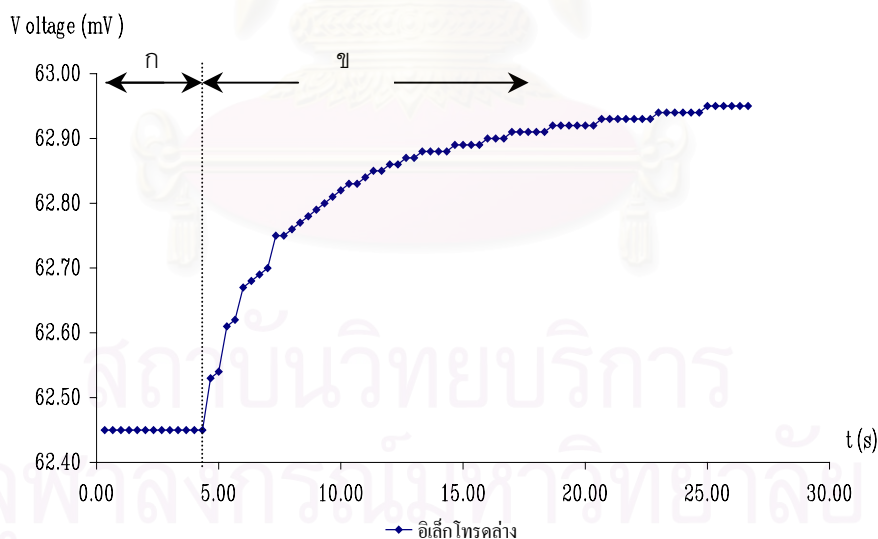


รูปที่ 5.8 แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดบน ขณะที่มีแสง และ ไม่มีแสงตกกระทบ กับเวลา ของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 พื้นที่อิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร โดยแหล่งกำเนิดแสง วางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 10 เซนติเมตร ตามรูป ช่วง (ก) แสดงค่าความต่างศักย์ขณะไม่มีแสงตกกระทบ และ ช่วง (ข) แสดงค่าความต่างศักย์ขณะมีแสงตกกระทบ

จากผลการทดลอง (รูปที่ 5.8) พบว่า เมื่อมีการฉายแสงต่อเนื่อง ตกกระทบบิเล็กโทรด ค่าความต่างศักย์ระหว่างสองจุดบนอิเล็กโทรดจะมีค่าเพิ่มขึ้น จากค่าความต่างศักย์เดิม ขณะที่ไม่ได้ฉายแสงตกกระทบบ และ ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นนี้จะเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันในช่วงแรก และ การเพิ่มจะค่อยๆ ลดลงจนมีแนวโน้มเข้าสู่ค่าคงที่

5.2.1.2 ผลการวัดค่าความต่างศักย์ของอิเล็กโทรดกลางที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่มีแสงต่อเนื่อง ตกกระทบบฟิล์ม

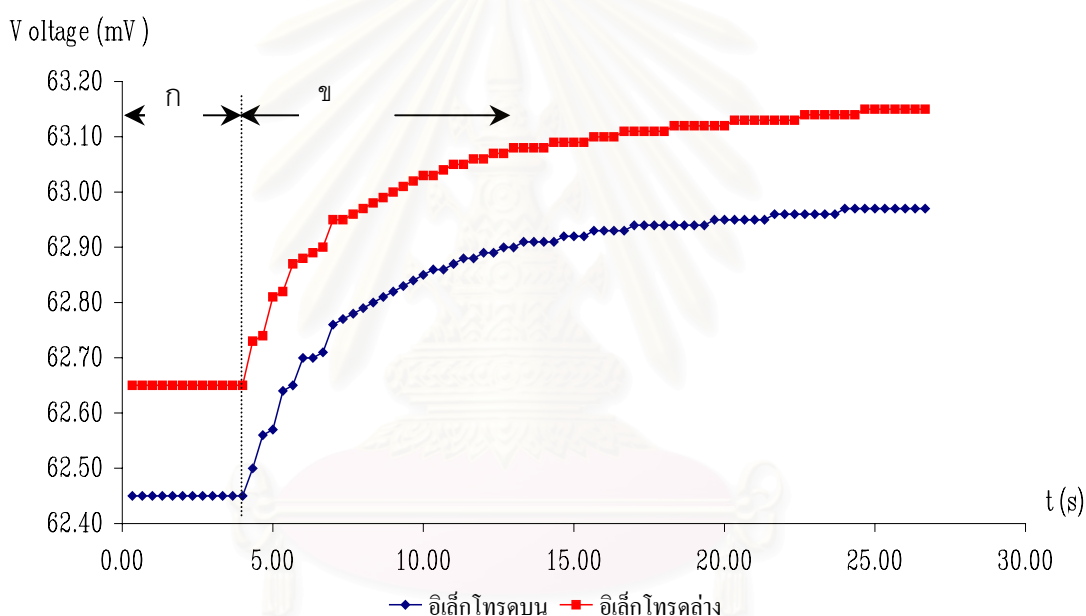
จากการทดลองตามหัวข้อที่ 4.2.1 โดยผ่านกระแสไฟฟ้าไปที่ อิเล็กโทรดกลาง เมื่อฉายแสงต่อเนื่อง จากแหล่งกำเนิดแสง ที่ห่างจากฟิล์มเป็นระยะ 10 เซนติเมตร ตกกระทบบฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 พบว่า ค่าความต่างศักย์ของสองจุดที่อิเล็กโทรดบนที่เกิดขึ้น เนื่องจาก คุณสมบัติของอิเล็กโทรดบนที่เปลี่ยนแปลงไป มีผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดกลาง ขณะที่มีแสง และ ไม่มีแสงตกกระทบบ กับ เวลา ของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 พื้นที่ของอิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร ตามรูป ช่วง (ก) แสดงค่าความต่างศักย์ขณะไม่มีแสงตกกระทบบ และ ช่วง (ข) แสดงค่าความต่างศักย์ขณะมีแสงตกกระทบบ

จากผลการทดลอง (รูปที่ 5.9) พบว่า เมื่อมีการฉายแสงต่อเนื่อง (ทิศการฉายแสงจากบนลงล่าง) ตกกระทบฟิล์ม ค่าความต่างศักย์ระหว่างสองจุดบนอิเล็กโทรดล่างจะมีค่าเพิ่มขึ้น จากค่าความต่างศักย์เดิม ขณะที่ไม่ได้ฉายแสงตกกระทบ และ ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นนี้ จะเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันในช่วงแรก และ การเพิ่มจะค่อยๆ ลดลงจนมีแนวโน้มเข้าสู่ค่าคงที่

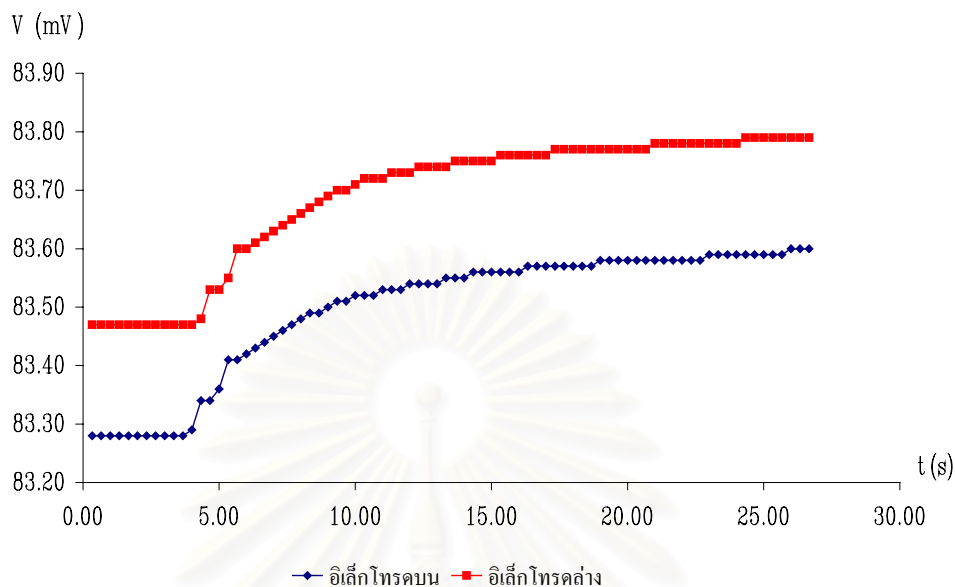
เมื่อพิจารณาค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดบนและล่าง เมื่อมีแสงตกกระทบฟิล์มจากบนลงล่าง โดยระยะห่างของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 กับ แหล่งกำเนิดแสง มีค่าเท่ากับ 10 เซนติเมตร พบว่า ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นมีทิศทางที่เหมือนกัน ดังรูปที่ 5.10



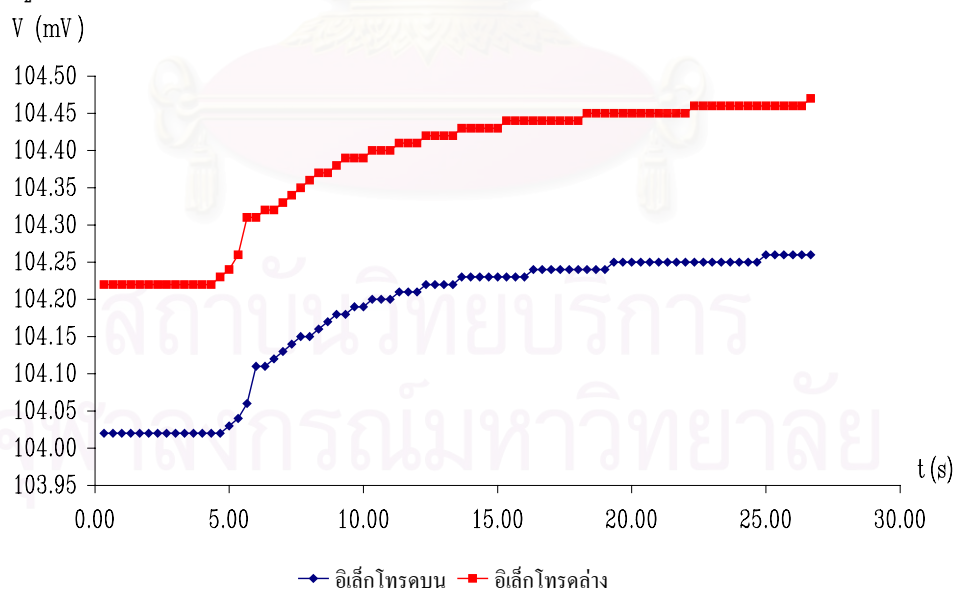
รูปที่ 5.10 แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดบนกับเวลา และ แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดล่างกับเวลา ขณะที่ไม่มีแสง และ ไม่มีแสงตกกระทบ ฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 พื้นที่ของอิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร ในรูปกราฟเส้นบน แสดง ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดล่าง โดยได้ทำการยกกราฟขึ้นไป 0.2 mV จากข้อมูลเดิม

จากผลการทดลองพบว่าค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดบน และ อิเล็กโทรดล่าง เนื่องจากการฉายแสงตกกระทบบนฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 จากบนลงล่าง ไม่แตกต่างกันในแง่ของการวัด ซึ่งเมื่อคำนวณหาค่าอนุกรมที่เปลี่ยนแปลงต่อเวลา ตามสมการที่ (2.12) ทำให้สามารถหาอนุกรมที่เปลี่ยนแปลงไปต่อเวลา ของอิเล็กโทรดทั้งสอง ได้ค่าที่เท่ากัน

ในการทำการทดลองลักษณะเดียวกัน เมื่อแหล่งกำเนิดแสงอยู่ห่างจาก फिल्म PVDF ชนิดที่ 1 ด้วยระยะ 15 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ พบว่าค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นในอิเล็กโทรดบน และ ล่าง แสดงได้ ดังรูปที่ 5.11 และ 5.12 ตามลำดับ



รูปที่ 5.11 แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดบน กับ เวลา และ แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดล่าง กับ เวลา ขณะที่มีแสงและไม่มีแสงตกกระทบ फिल्म PVDF ชนิดที่ 1 พื้นที่ของอิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร โดยแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์มเป็นระยะ 15 เซนติเมตร ในรูปกราฟเส้นบน แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดล่าง โดยได้ทำการยกกราฟขึ้นไป 0.2 mV จากข้อมูลเดิม



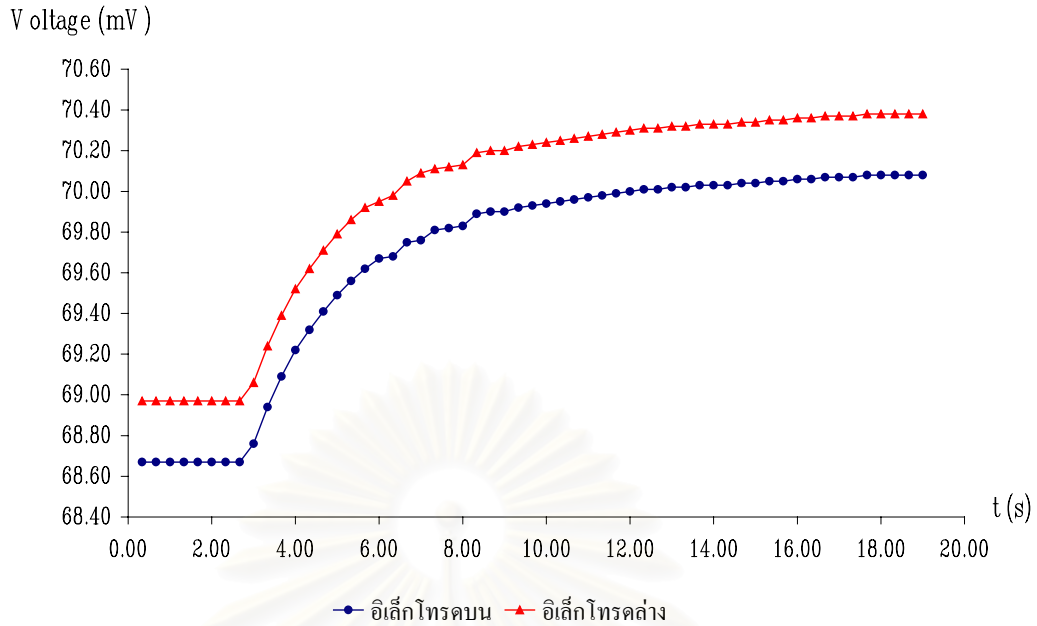
รูปที่ 5.12 แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดบนกับเวลา และ แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดล่างกับเวลา ขณะที่มีแสง และ ไม่มีแสงตกกระทบ फिल्म PVDF ชนิดที่1 พื้นที่ของอิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร โดยแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์มเป็นระยะ 20 เซนติเมตร ในรูปกราฟเส้นบน แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดล่าง โดยได้ทำการยกกราฟขึ้นไป 0.2 mV จากข้อมูลเดิม

จากผลการทดลอง (รูปที่ 5.11) เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่วางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 15 เซนติเมตร ตกกระทบฟิล์ม พบว่า ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดบน และ อิเล็กโทรดล่าง ไม่แตกต่างกันในแง่ของการวัด ซึ่งเมื่อคำนวณหาค่าอนุกรมที่เปลี่ยนแปลงต่อเวลา ตามสมการที่ (2.12) ทำให้สามารถหาอนุกรมที่เปลี่ยนแปลงไปต่อเวลา ของอิเล็กโทรดทั้งสอง ได้ค่าเท่ากัน และ ในทำนองเดียวกัน เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่วางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 20 เซนติเมตร ตกกระทบฟิล์ม พบว่า ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดทั้งสองด้าน ไม่แตกต่างกันในแง่ของการวัด เหมือนกัน ดังนั้นในการวัดอนุกรมที่เปลี่ยนแปลงไปต่อเวลา ของอิเล็กโทรดทั้งสอง จะได้ค่าที่เท่ากัน

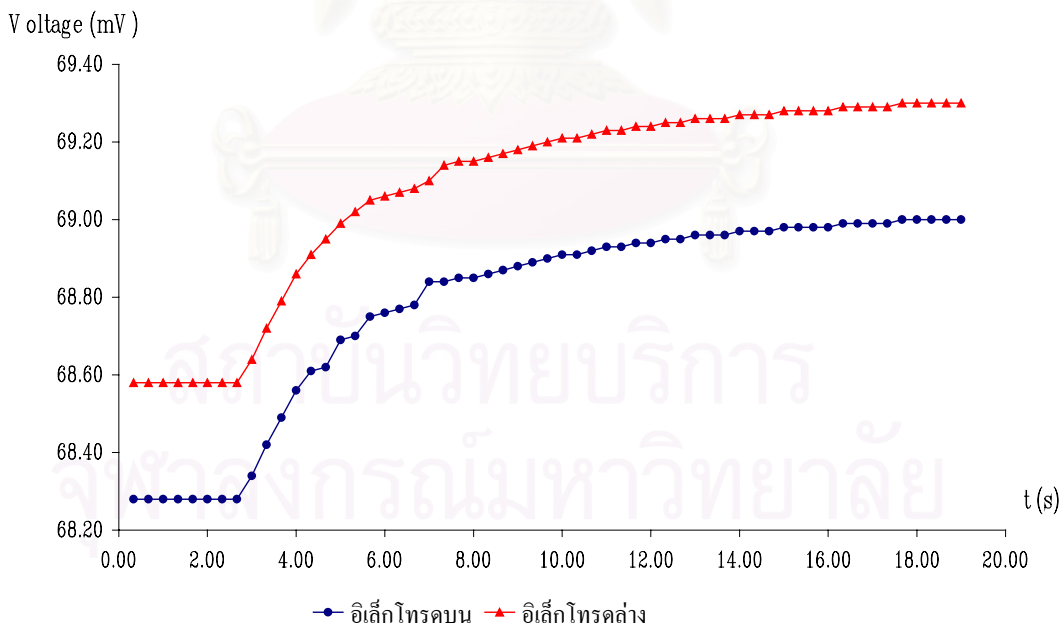
จากผลการทดลอง (รูปที่ 5.10, 5.11 และ 5.12) พบว่าค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดบน และ ล่าง ของทุกความเข้มแสงที่ตกกระทบนั้น มีลักษณะที่สอดคล้องกัน กล่าวคือ ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดบน มีค่าเท่ากับ ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดล่าง

ดังนั้นสามารถหาอนุกรมของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 ที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อแสงความเข้มต่างๆ ตกกระทบฟิล์ม ได้จากอนุกรมของอิเล็กโทรดของฟิล์ม ตามสมการที่ (2.12)

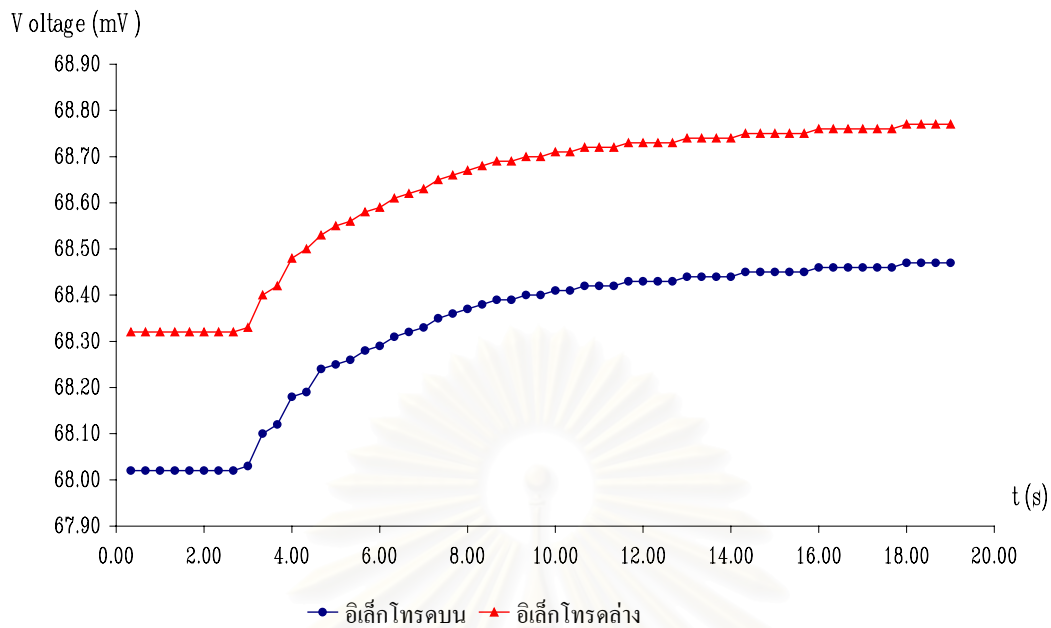
นอกจากนี้ ในการทดลองลักษณะเดียวกัน เพื่อวัดอนุกรมที่เปลี่ยนแปลงที่อิเล็กโทรดของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 พบว่า ในแต่ละความเข้มแสงที่ตกกระทบ อนุกรมของอิเล็กโทรดบน และ อนุกรมของอิเล็กโทรดล่างของฟิล์มจะมีค่าเท่ากัน (ตามรูปที่ 5.13, 5.14 และ 5.15) จึงสามารถสรุปได้ว่า อนุกรมของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 ที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อแสงความเข้มต่างๆ ตกกระทบฟิล์ม คำนวณได้จากอนุกรมของอิเล็กโทรดของฟิล์มนั่นเอง



รูปที่ 5.13 แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิลเล็กโทรดบนกับเวลา และ แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิลเล็กโทรดล่างกับเวลา ขณะที่มีแสง และ ไม่มีแสงตกกระทบ फिल्म PVDF ชนิดที่ 2 พื้นที่ของอิลเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร โดยแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์มเป็นระยะ 10 เซนติเมตร ในรูปกราฟเส้นบน แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิลเล็กโทรดล่าง โดยได้ทำการยกกราฟขึ้นไป 0.3 mV จากข้อมูลเดิม



รูปที่ 5.14 แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิลเล็กโทรดบนกับเวลา และ แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิลเล็กโทรดล่างกับเวลา ขณะที่มีแสง และ ไม่มีแสงตกกระทบ फिल्म PVDF ชนิดที่ 2 พื้นที่ของอิลเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร โดยแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์มเป็นระยะ 15 เซนติเมตร ในรูปกราฟเส้นบน แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิลเล็กโทรดล่าง โดยได้ทำการยกกราฟขึ้นไป 0.3 mV จากข้อมูลเดิม

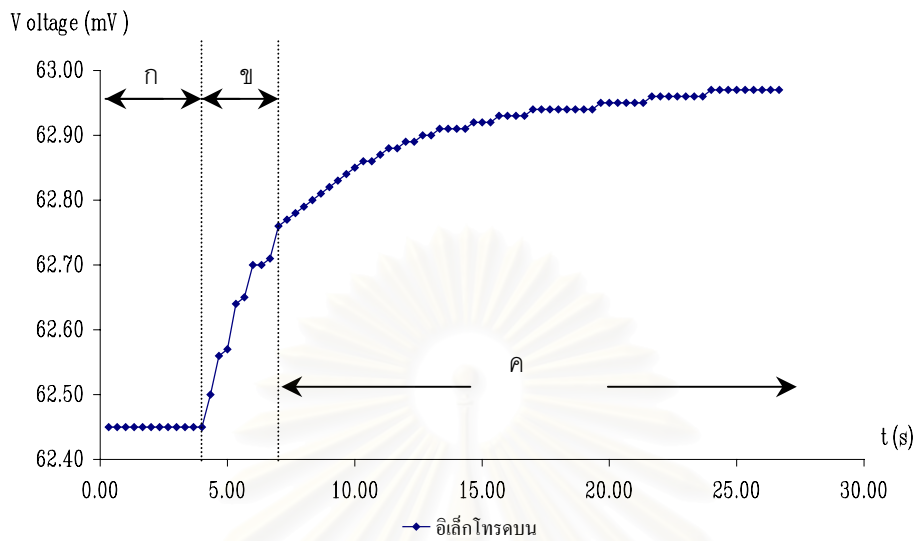


รูปที่ 5.15 แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดบนกับเวลา และ แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดล่างกับเวลา ขณะที่มีแสง และ ไม่มีแสงตกกระทบ फिल्म PVDF ชนิดที่ 2 พื้นที่ของอิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร โดยแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์มเป็นระยะ 20 เซนติเมตร ในรูปกราฟเส้นบน แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดล่าง โดยได้ทำการยกกราฟขึ้นไป 0.3 mV จากข้อมูลเดิม

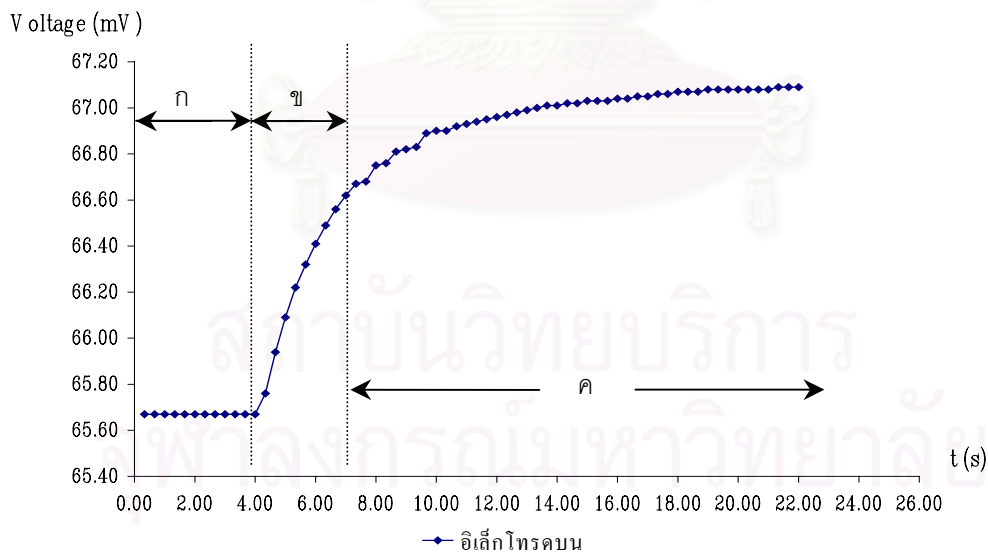
5.2.2 ผลการวัดค่าอุณหภูมิของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่มีแสงตกกระทบฟิล์ม

ในหัวข้อที่ผ่านมา สามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิของฟิล์มที่เกิดขึ้นเมื่อมีแสงตกกระทบฟิล์ม จะเท่ากับ อุณหภูมิของอิเล็กโทรดของฟิล์มที่เกิดขึ้นเมื่อมีแสงตกกระทบ ทำให้สามารถคำนวณหา ค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในฟิล์มได้จากการคำนวณค่าอุณหภูมิของอิเล็กโทรดที่เปลี่ยนแปลงไป ตามสมการที่ (2.12)

พิจารณา ผลค่าความต่างศักย์ที่ผิวอิเล็กโทรด ขณะที่มีแสงตกกระทบ फिल्म PVDF ทั้ง 2 ชนิด ดังรูปที่ 5.16 และ 5.17



รูปที่ 5.16 แสดงค่าความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดบนขณะที่มีแสง และ ไม่มีแสงตกกระทบฟิล์ม กับ เวลาที่ใช้ในการทดลอง ของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 พื้นที่ของอิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร โดยแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์มเป็นระยะ 10 เซนติเมตร

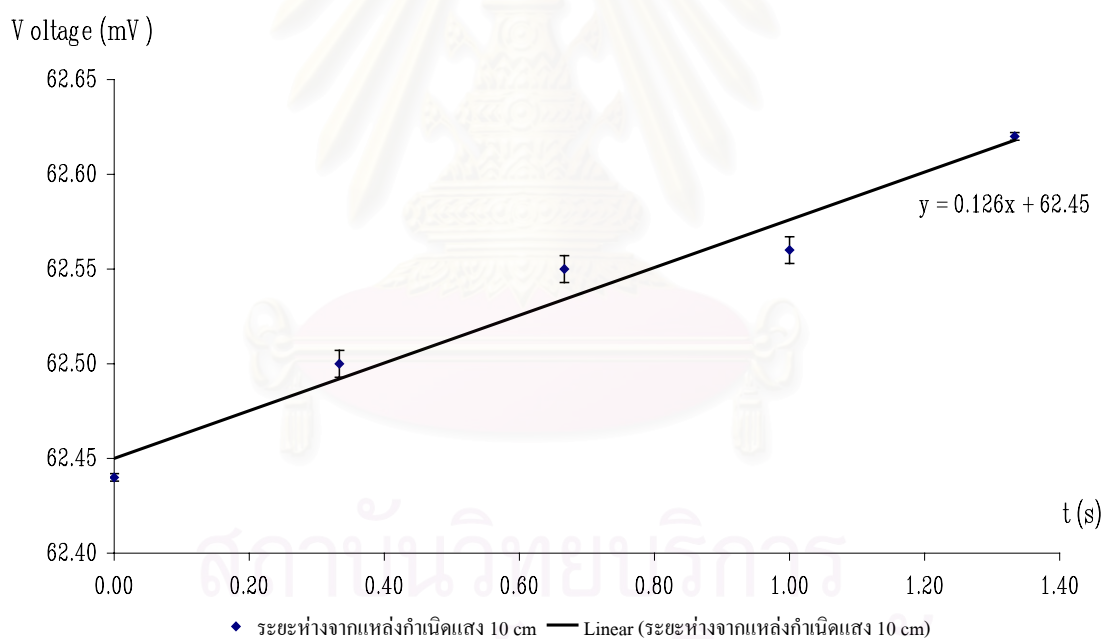


รูปที่ 5.17 แสดงค่าความต่างศักย์ที่ผิวของอิเล็กโทรดบนขณะที่มีแสง และ ไม่มีแสงตกกระทบฟิล์ม กับ เวลาที่ใช้ในการทดลอง ของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 พื้นที่ของอิเล็กโทรด 1 ตารางเซนติเมตร โดยระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับฟิล์มมีค่าเท่ากับ 10 เซนติเมตร

พิจารณารูปที่ 5.16 และ 5.17 พบว่า ช่วง (ก) แสดงค่าความต่างศักย์ของอิเล็กโทรด เมื่อไม่มีแสงต่อเนื้อตกรกระทบฟิล์ม ช่วง(ข) แสดงค่าความต่างศักย์ของอิเล็กโทรด เมื่อมีแสงต่อเนื้อตกรกระทบฟิล์ม โดยที่การแผ่ และการพารังสีความร้อนของฟิล์มมีค่าน้อย และ ช่วง (ค) แสดงค่าความต่างศักย์ของอิเล็กโทรดเมื่อมีแสงตกรกระทบฟิล์ม โดยที่การแผ่ และการพารังสีความร้อนของฟิล์มมีค่ามากขึ้น

ดังนั้นในการคำนวณค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในเวลา 0.01 วินาที จึงเลือกใช้ข้อมูลในช่วง (ข) มาใช้ในการคำนวณ

ในการวัดค่าอุณหภูมิของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่มิแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่วางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 10 เซนติเมตร ตกรกระทบฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 เป็นเวลา 0.01 วินาที พบลักษณะการกระจายของชุดข้อมูลดังรูปที่ 5.18



รูปที่ 5.18 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดของฟิล์มPVDF ชนิดที่ 1 เนื่องจากการฉายแสงต่อเนื้อตกรกระทบฟิล์ม โดยแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์มเป็นระยะ 10 เซนติเมตร

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ โดยอาศัย ความเบี่ยงเบนที่น้อยที่สุด พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ต่อเวลา มีค่าเท่ากับ $1.26 \times 10^{-4} \text{ V/s}$

จากสมการที่ (2.12) สามารถคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของฟิล์มต่อเวลา ได้ดังนี้

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1.26 \times 10^{-4}}{6.244 \times 3.9 \times 10^{-5}} = 0.52 \text{ } ^\circ\text{C/s}$$

ดังนั้นค่าอุณหภูมิของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อแสงตกกระทบฟิล์มเป็นเวลา 0.01 วินาที คือ $5.2 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}$

ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติสามารถคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของความชัน (ในที่นี้คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่อิเล็กโทรดต่อเวลา) ได้ [13] ซึ่งจะส่งผลให้ สามารถคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อแสงตกกระทบฟิล์มเป็นเวลา 0.01 วินาทีได้

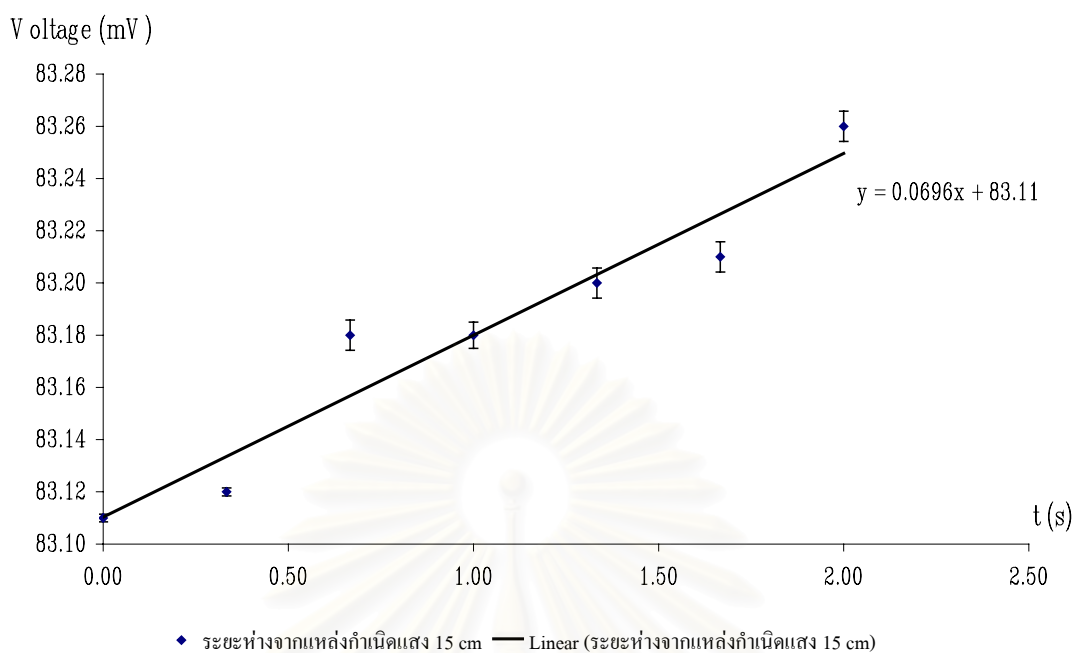
ค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อแสงตกกระทบฟิล์มเป็นเวลา 0.01 วินาที

$$\Delta T = 0.6 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}$$

ดังนั้นอุณหภูมิของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 เมื่อมีแสงจากแหล่งกำเนิดแสง วางตัวห่างจากฟิล์มเป็นระยะ 10 เซนติเมตร ตกกระทบฟิล์มเป็นเวลา 0.01 วินาที คือ

$$T \pm \Delta T = (5.2 \pm 0.6) \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}$$

ในการวัดค่าอุณหภูมิของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่มิแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่วางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 15 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ ตกกระทบฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 เป็นเวลา 0.01 วินาที พบลักษณะการกระจายของชุดข้อมูลดังรูปที่ 5.19 และ 5.20

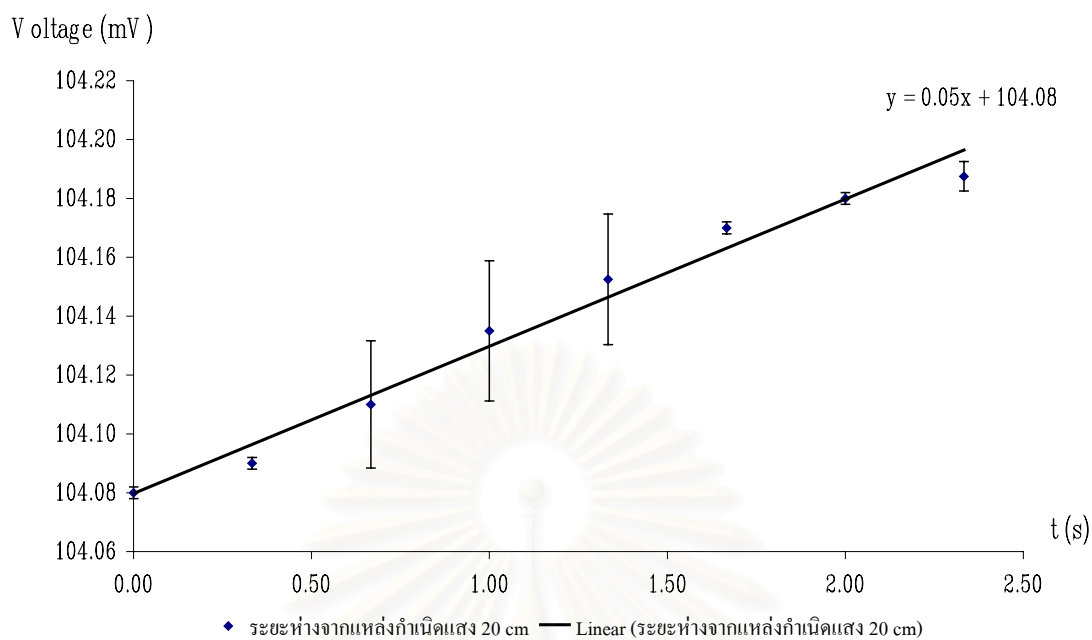


รูปที่ 5.19 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 เนื่องจากการฉายแสงต่อเนื่องตกระยะห่างจากฟิล์ม โดยแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์มเป็นระยะ 15 เซนติเมตร

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ โดยอาศัย ความเบี่ยงเบนที่น้อยที่สุด และ จากสมการที่ (2.12) พบว่า คุณสมบัติของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 ที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดที่วางตัวห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 15 เซนติเมตร ตกระยะห่างจากฟิล์มเป็นเวลา 0.01 วินาที คือ

$$T \pm \Delta T = (2.2 \pm 0.3) \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

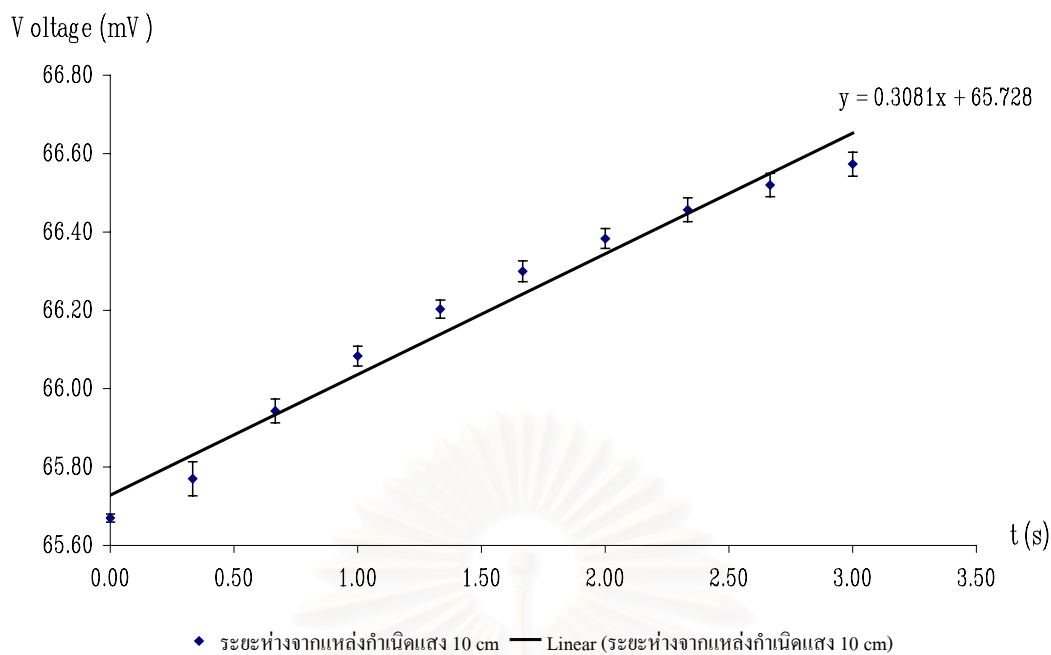


รูปที่ 5.20 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 เนื่องจากการฉายแสงต่อเนื่องตกระยะห่างฟิล์ม โดยแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์มเป็นระยะ 20 เซนติเมตร

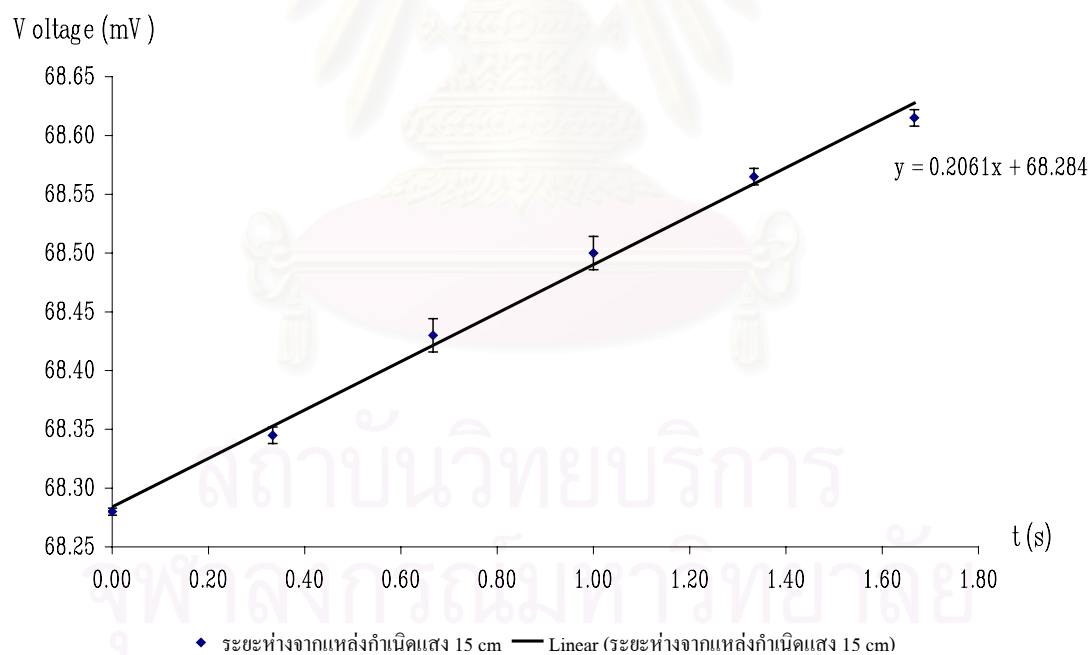
จากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ และ จากการคำนวณในลักษณะเดิม พบว่า อุณหภูมิของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 ที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดที่วางตัวห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 20 เซนติเมตร ตกระยะห่างฟิล์มเป็นเวลา 0.01 วินาที คือ

$$T \pm \Delta T = (1.2 \pm 0.1) \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}$$

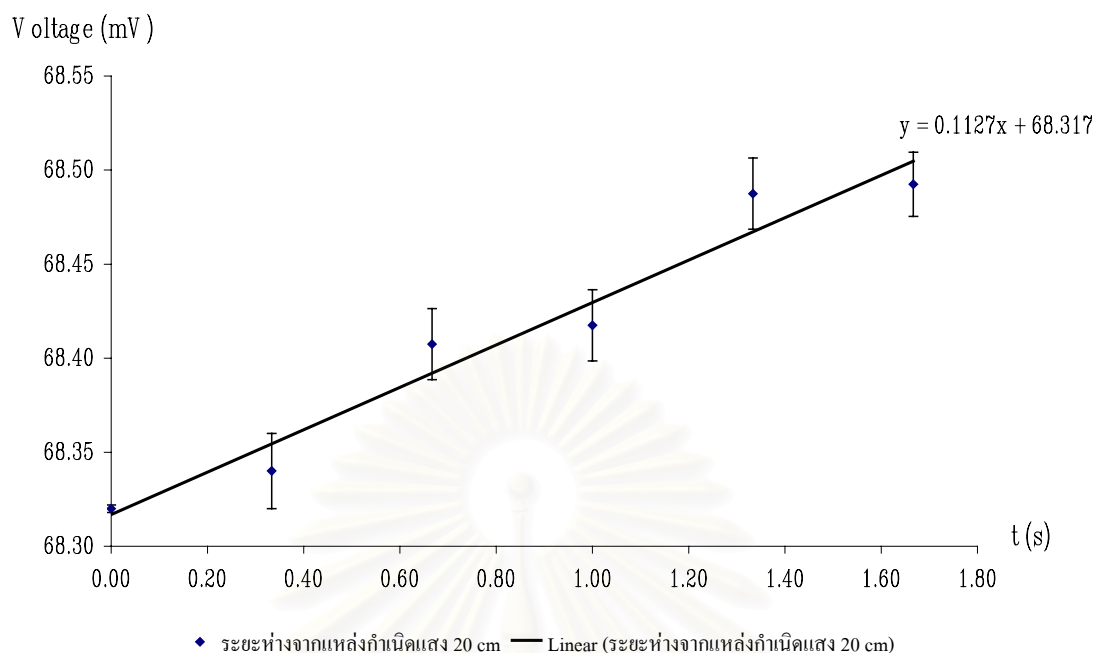
นอกจากนี้ ได้ทำการทดลอง ในลักษณะเดียวกันนี้ กับฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 ซึ่งเป็นชนิดที่ไม่ทราบค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริก พบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรด ของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 สอดคล้องกับลักษณะที่เกิดขึ้นในฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 (ชนิดที่ทราบค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกอย่างชัดเจน) ดังรูปที่ 5.21-5.23 ทำให้สามารถคำนวณอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากแสงตกระยะห่างฟิล์มเป็นเวลา 0.01 วินาทีได้



รูปที่ 5.21 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 เนื่องจากการฉายแสงต่อเนื่องตกระบบฟิล์ม โดยแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์มเป็นระยะ 10 เซนติเมตร



รูปที่ 5.22 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 เนื่องจากการฉายแสงต่อเนื่องตกระบบฟิล์ม โดยแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์มเป็นระยะ 15 เซนติเมตร



รูปที่ 5.23 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 เนื่องจากการฉายแสงต่อเนื่องตกระยะฟิล์ม โดยแหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์มเป็นระยะ 20 เซนติเมตร

จากผลการทดลอง และจากการคำนวณในลักษณะเดียวกับผลการทดลองที่เกิดขึ้นในฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 ทำให้ทราบอุณหภูมิของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดที่อยู่ห่างจากฟิล์มเป็นระยะ 10, 15 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ ตกระยะฟิล์ม นาน 0.01 วินาที ดังนี้

แสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่อยู่ห่างจากฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 เป็นระยะ 10 เซนติเมตร

$$T \pm \Delta T = (1.2 \pm 0.1) \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}$$

แสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่อยู่ห่างจากฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 เป็นระยะ 15 เซนติเมตร

$$T \pm \Delta T = (7.7 \pm 0.3) \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}$$

แสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่อยู่ห่างจากฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 เป็นระยะ 20 เซนติเมตร

$$T \pm \Delta T = (4.2 \pm 0.3) \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}$$

นอกจากนี้ เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง จึงได้ทำการวัดค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ด้วยการทดลองลักษณะนี้กับ พิล์ม PVDF ทั้งสองชนิด อีกชนิดละ 2 ตัวอย่างพบว่า ค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง มีลักษณะสอดคล้องกับ ผลการทดลองที่เกิดขึ้นในฟิล์มทั้งสองชนิด ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งสามารถสรุป ผลการคำนวณค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากแสงตกกระทบฟิล์ม PVDF เป็นเวลา 0.01 วินาที แสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการคำนวณค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากแสงตกกระทบ พิล์ม PVDF ทั้งสองชนิด เป็นเวลา 0.01 วินาที

ฟิล์ม PVDF		การวางฟิล์ม ห่างจากแหล่งกำเนิดแสง เป็นระยะ		
		10 cm	15 cm	20 cm
ชนิดที่ 1 ตัวอย่างที่ 1	$T \pm \Delta T$ ($^{\circ}C$)	$(5.2 \pm 0.6) \times 10^{-3}$	$(2.2 \pm 0.3) \times 10^{-3}$	$(1.2 \pm 0.1) \times 10^{-3}$
ชนิดที่ 1 ตัวอย่างที่ 2	$T \pm \Delta T$ ($^{\circ}C$)	$(5.1 \pm 0.6) \times 10^{-3}$	$(2.3 \pm 0.3) \times 10^{-3}$	$(1.2 \pm 0.1) \times 10^{-3}$
ชนิดที่ 1 ตัวอย่างที่ 3	$T \pm \Delta T$ ($^{\circ}C$)	$(5.0 \pm 0.3) \times 10^{-3}$	$(2.3 \pm 0.3) \times 10^{-3}$	$(1.2 \pm 0.1) \times 10^{-3}$
ชนิดที่ 2 ตัวอย่างที่ 1	$T \pm \Delta T$ ($^{\circ}C$)	$(1.2 \pm 0.1) \times 10^{-2}$	$(7.7 \pm 0.3) \times 10^{-3}$	$(4.2 \pm 0.3) \times 10^{-3}$
ชนิดที่ 2 ตัวอย่างที่ 2	$T \pm \Delta T$ ($^{\circ}C$)	$(1.2 \pm 0.1) \times 10^{-2}$	$(7.6 \pm 0.6) \times 10^{-3}$	$(4.4 \pm 0.4) \times 10^{-3}$
ชนิดที่ 2 ตัวอย่างที่ 3	$T \pm \Delta T$ ($^{\circ}C$)	$(1.2 \pm 0.1) \times 10^{-2}$	$(7.8 \pm 0.4) \times 10^{-3}$	$(4.0 \pm 0.3) \times 10^{-3}$

หมายเหตุ พิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 เป็นฟิล์มที่ทราบค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริก

เนื่องจากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริก โดยวิธีนี้ ได้ใช้ความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้อง กับค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (K) ของฟิล์ม จึงทำการตรวจสอบ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของฟิล์มทั้ง 2 ชนิดว่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานหรือไม่ ดังที่จะแสดงในหัวข้อถัดไป

5.3 ผลการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของฟิล์มไพโรอิเล็กทริกพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์

การวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant, K) ของฟิล์ม PVDF ทำโดยการวัดความจุ (capacitance, C) ของฟิล์ม และ จากพื้นที่ของอิเล็กโทรดกับความหนาของฟิล์ม ทำให้สามารถคำนวณหาค่า K ได้ในที่สุด การวัดค่า C ทำได้ทั้งวิธีไฟฟ้ากระแสตรง และ ไฟฟ้ากระแสสลับ แต่ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดค่า C โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ LCR ซึ่งจะวัดโดยวิธีทางไฟฟ้ากระแสสลับ

ในการทดลองได้วัดค่า C ของฟิล์มไพโรอิเล็กทริก PVDF ที่ความถี่ต่ำที่เลือก คือ 20 Hz จำนวน 200 ครั้ง ของฟิล์มทั้ง 2 ชนิด พบว่า

ฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 มีพื้นที่อิเล็กโทรด 3.5 ตารางเซนติเมตร มีความหนา 30 ไมครอน พบว่าค่า $C = 1239$ pF ใช้ค่านี้คำนวณค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ตามสมการที่ (2.14) ได้ผลดังนี้

$$K = \frac{Cb}{\epsilon_0 A} = \frac{1239 \times 10^{-12} \times 30 \times 10^{-6}}{8.85 \times 10^{-12} \times 3.5 \times 10^{-4}} = 12$$

จากการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริก K ของฟิล์ม PVDF ไพโรอิเล็กทริก ชนิดที่ 1 ทั้ง 3 ตัวอย่างโดยวิธีข้างบนพบว่าได้ค่า K อยู่ในย่าน 12 ± 1 ซึ่งใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานทั่วไป ($=12$)

ฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 มีพื้นที่อิเล็กโทรด 2.8 ตารางเซนติเมตร มีความหนา 30 ไมครอน พบว่าค่า $C = 969$ pF ใช้ค่านี้คำนวณค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ตามสมการที่ (2.14) ได้ผลดังนี้

$$K = \frac{Cb}{\epsilon_0 A} = \frac{969 \times 10^{-12} \times 30 \times 10^{-6}}{8.85 \times 10^{-12} \times 2.8 \times 10^{-4}} = 12$$

จากการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริก K ของฟิล์ม PVDF ไพโรอิเล็กทริก ชนิดที่ 2 ทั้ง 3 ตัวอย่างโดยวิธีข้างบนพบว่าได้ค่า K อยู่ในย่าน 12 ± 1 ซึ่งใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานทั่วไป ($=12$)

5.4 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกที่เกิดจากการวัดเชิงพลวัต

เมื่อทราบค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการฉายแสงตกกระทบฟิล์ม เป็นเวลา 0.01 วินาที ด้วยความถี่ของสัญญาณ 10 Hz และค่าอุณหภูมิของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการฉายแสง ตกกระทบฟิล์ม เป็นเวลา 0.01 วินาที ทำให้สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกได้จากสมการที่ (2.10)

สมการที่ (2.10)

$$|p_3| = \frac{K \varepsilon_0}{b} \frac{V}{\Delta T}$$

เมื่อ K = ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (สำหรับ PVDF ค่า $K = 12$)

ε_0 = สภาพยอมรับได้ในสุญญากาศ (permittivity of free space) = 8.85×10^{-12} C / m²V

b = ความหนาของฟิล์ม

ΔT = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป

V = ความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองของฟิล์ม

แทนค่าความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองของฟิล์ม ตามตารางที่ 5.1 และ ค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ตามตารางที่ 5.2 ลงในสมการที่ (2.10) ค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกของฟิล์มไพโรอิเล็กทริก PVDF 2 ชนิด เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่วางห่างจากฟิล์ม เป็นระยะ 10, 15 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ ตกกระทบฟิล์ม ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 5.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์พีโรอิเล็กทริก (p_3) ของฟิล์ม PVDF ทั้งสองชนิด

ฟิล์ม PVDF		การวางฟิล์ม ห่างจากแหล่งกำเนิด แสง เป็นระยะ		
		10 cm	15 cm	20 cm
ชนิดที่ 1 ตัวอย่างที่ 1	$p_3 \pm \Delta p_3$ ($\mu C / m^2 \cdot ^\circ C$)	50 ± 6	48 ± 7	45 ± 4
ชนิดที่ 1 ตัวอย่างที่ 2	$p_3 \pm \Delta p_3$ ($\mu C / m^2 \cdot ^\circ C$)	50 ± 6	47 ± 6	41 ± 4
ชนิดที่ 1 ตัวอย่างที่ 3	$p_3 \pm \Delta p_3$ ($\mu C / m^2 \cdot ^\circ C$)	50 ± 3	48 ± 6	42 ± 4
ชนิดที่ 2 ตัวอย่างที่ 1	$p_3 \pm \Delta p_3$ ($\mu C / m^2 \cdot ^\circ C$)	5.5 ± 0.5	4.9 ± 0.2	5.3 ± 0.4
ชนิดที่ 2 ตัวอย่างที่ 2	$p_3 \pm \Delta p_3$ ($\mu C / m^2 \cdot ^\circ C$)	5.5 ± 0.5	5.0 ± 0.4	5.4 ± 0.5
ชนิดที่ 2 ตัวอย่างที่ 3	$p_3 \pm \Delta p_3$ ($\mu C / m^2 \cdot ^\circ C$)	5.3 ± 0.5	4.9 ± 0.3	5.5 ± 0.4

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 5.3) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์พีโรอิเล็กทริก ของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 1 มีค่าอยู่ในช่วง (41 ± 4) - (50 ± 6) $\mu C / m^2 \cdot ^\circ C$ ซึ่งแตกต่างจากค่าที่มีการอ้างอิงประมาณ 15 % และ ค่าสัมประสิทธิ์พีโรอิเล็กทริก ของฟิล์ม PVDF ชนิดที่ 2 มีค่าอยู่ในช่วง (4.9 ± 0.2) - (5.5 ± 0.5) $\mu C / m^2 \cdot ^\circ C$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุป ข้อเสนอแนะ และ งานวิจัยในอนาคต

ในงานวิจัยนี้ ได้พัฒนาวิธีการวัดค่าสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็กทริกของฟิล์ม PVDF ด้วยวิธีการอย่างง่าย ๆ ซึ่งให้ผล รวดเร็ว และ แม่นยำพอสมควร โดยในการวัดค่าสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็กทริก ด้วยวิธีนี้ ใช้หลักการที่ว่า เมื่อมีแสงตกกระทบบนฟิล์ม พลังงานแสงทำให้ฟิล์มร้อนขึ้น การสั่นไหวของโมเลกุลของฟิล์มเพิ่มขึ้น ค่าโพลาไรเซชันของฟิล์มจะลดลง ถ้าต่อลวดตัวนำที่ผิวอิเล็กโทรดเข้ากับมิเตอร์ที่มีความต้านทานภายในสูงมากๆ (เสมือนวงจรเปิด) ประจุที่ผิวอิเล็กโทรดไม่สามารถเคลื่อนย้าย ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายในฟิล์ม เมื่อวัดค่าความต่างศักย์ (V) ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองของฟิล์ม และ ค่าอุณหภูมิของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่มีแสงตกกระทบบนฟิล์ม สามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็กทริก ($p_3 \pm \Delta p_3$) ได้

ในการพัฒนาวิธีการวัด $p_3 \pm \Delta p_3$ นั้น จะต้องทำการตรวจสอบ ค่าสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็กทริกจากฟิล์มที่ทราบค่าสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็กทริกที่แน่นอน เพื่อที่จะหาวิธีการที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งสามารถนำไปใช้ ในการหาค่าสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็กทริกจาก ฟิล์มที่ไม่ทราบค่าได้ จึงทำการตรวจสอบจากฟิล์ม ซึ่งฉาบด้วยโลหะตัวนำ (อะลูมิเนียม) เป็นอิเล็กโทรด หน้า $30 \mu\text{m}$ 2 ชนิด โดยชนิดที่ 1 คือ ชนิดที่ทราบค่าสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็กทริกที่แน่นอน ส่วนชนิดที่ 2 เป็นฟิล์มที่ไม่ทราบค่าสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็กทริก เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้อง จึงทำการตรวจสอบจากฟิล์ม PVDF ทั้ง 2 ชนิด ชนิดละ 3 ตัวอย่าง โดยเปลี่ยนค่าความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (จากแหล่งกำเนิดแสง) ตกกระทบบนฟิล์มไป 3 ค่า ซึ่งค่าความเข้มนี้จะเป็นสัดส่วนผกผันกับกำลังสองของระยะที่แหล่งกำเนิดแสงวางห่างจากฟิล์ม

ในการวัดค่าความต่างศักย์ (V) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการฉายแสงตกกระทบบนฟิล์ม ได้ทำการวัดขณะที่แสงจากแหล่งกำเนิดตกกระทบบนฟิล์ม 3 ลักษณะด้วยกันดังนี้

1. แสงจากแหล่งกำเนิดตกกระทบบนฟิล์ม PVDF อย่างต่อเนื่อง
2. แสงจากแหล่งกำเนิดตกกระทบบนฟิล์ม PVDF เป็นจังหวะ
3. แสงจากแหล่งกำเนิดตกกระทบบนฟิล์ม PVDF ด้วยความถี่ 10 Hz

เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดตกกระทบบนฟิล์ม PVDF (ทั้ง 2 ชนิด) อย่างต่อเนื่อง จากการทดลองพบว่า เมื่อแสงกระทบบนฟิล์ม อุณหภูมิของฟิล์มจะมีการเปลี่ยนแปลง ค่าความต่างที่เกิดขึ้น จะมีลักษณะแตกต่างจากค่าความต่างศักย์เริ่มต้น (ขณะไม่มีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบบนฟิล์ม) อย่างชัดเจน และ ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจะลดลงเข้าสู่ค่าความต่างศักย์ที่เป็นความต่างศักย์เริ่มต้น

ในการพิจารณาค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจะพบว่า ขณะที่แสงตกกระทบบนฟิล์มอย่างทันทีทันใด จะทำให้อุณหภูมิของฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน จึงเห็น ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น มีค่าเปลี่ยนแปลงจากค่าเริ่มต้นอย่างชัดเจน และ เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะนั้น จะแตกต่างจากอุณหภูมิก่อนนี้เพียงเล็กน้อย ทำให้ความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าลดลง จนกระทั่ง เมื่อฟิล์มอยู่ในสภาวะสมดุลความร้อน ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจะเข้าสู่ค่าความต่างศักย์เดิม จึงเป็นสาเหตุให้ ในการพิจารณาค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากแสงตกกระทบบนฟิล์มนั้น จะต้องทำการวัดขณะที่มีแสงตกกระทบบนฟิล์มเป็นจังหวะ

เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดตกกระทบบนฟิล์ม PVDF (ทั้ง 2 ชนิด) เป็นจังหวะ จากการทดลองพบว่า ขณะที่แสงตกกระทบบนฟิล์มทันทีทันใด ค่าความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองจะเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่เพิ่มขึ้น (เพิ่มจากค่าความต่างศักย์เดิม ขณะที่ไม่มีแสงตกกระทบบน) และ ในทำนองเดียวกัน เมื่อไม่มีแสงตกกระทบบนฟิล์ม ค่าความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองจะเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ลดลง (จากค่าความต่างศักย์เดิม ขณะที่ไม่มีแสงตกกระทบบน) ซึ่งพบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ ต่อ เวลา ที่เกิดขึ้นขณะที่มีแสง และ ไม่มีแสง ตกกระทบบนฟิล์ม อย่างทันทีทันใดนั้น จะเปลี่ยนแปลงไปด้วยอัตราส่วนที่เท่ากัน ดังนั้นจึงทำการพิจารณา แสงจากแหล่งกำเนิด ที่ตกกระทบบนฟิล์ม นาน 0.01 วินาที เป็นจังหวะอย่างต่อเนื่องด้วยความถี่ 10 Hz

การพิจารณา แสงจากแหล่งกำเนิด ที่ตกกระทบบนฟิล์ม นาน 0.01 วินาที เป็นจังหวะอย่างต่อเนื่องด้วยความถี่ 10 Hz สามารถสรุปจากการทดลองได้ว่า ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น จะสอดคล้องกับค่าความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตกกระทบบนฟิล์ม และ ค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น จะสอดคล้องกับชนิดของฟิล์ม PVDF ที่ใช้ในการตรวจสอบ

ในการวัดค่าอุณหภูมิของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อแสงตกกระทบฟิล์มเป็นเวลานานๆ ทำได้ โดยการประมาณจากการวัดค่าอุณหภูมิของอิเล็คโทรด (อะลูมิเนียม) ที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อมีการฉายแสงตกกระทบฟิล์มเป็นเวลานาน จากการทดลองพบว่า เมื่อมีการฉายแสง ในทิศตั้งฉากกับระนาบของฟิล์ม (จากบนลงล่าง) อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปที่อิเล็คโทรดบนของฟิล์ม จะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปที่ อิเล็คโทรดล่างของฟิล์ม ทำให้สามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิของอิเล็คโทรดของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อมีแสงตกกระทบฟิล์ม คือ อุณหภูมิของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงนั่นเอง

เนื่องจากในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็กทริก โดยวิธีนี้ ได้ใช้ความสัมพันธ์ ที่เกี่ยวข้องกับค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (K) ของฟิล์ม จึงทำการตรวจสอบ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของฟิล์มทั้ง 2 ชนิด ว่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานหรือไม่ ซึ่งพบว่า ค่า K ของฟิล์มทั้ง 2 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 12 ± 1 ซึ่งใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่ระบุไว้

เมื่อวัดค่าความต่างศักย์ (V) ระหว่างอิเล็คโทรดทั้งสองของฟิล์ม และ ค่าอุณหภูมิของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่มีแสงตกกระทบฟิล์มได้ ทำให้สามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็กทริก ($p_3 \pm \Delta p_3$) ได้ ซึ่งพบว่าค่าสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็กทริก ของฟิล์มชนิดที่ 1 มีค่าในช่วง $(41 \pm 4) - (50 \pm 6) \mu C / m^2 \cdot ^\circ C$ ซึ่งค่านี้ แตกต่างจากค่าที่มีการอ้างอิงประมาณ 15 % และ สำหรับ ฟิล์มชนิดที่ 2 มีค่าในช่วง $(4.9 \pm 0.2) - (5.5 \pm 0.5) \mu C / m^2 \cdot ^\circ C$

ในงานวิจัยนี้ ได้ค่าสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็กทริกของฟิล์ม PVDF จากการวัดค่าความต่างศักย์ และ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป โดยในการวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นนั้น จะต้องทำการวัด ขณะที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ทำให้ในการวัด แสงที่ตกกระทบฟิล์ม จะใช้เวลาที่สั้นที่สุด เนื่องจากข้อจำกัดของระบบที่ใช้ในการทดลอง ทำให้ไม่สามารถหาอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันได้ จึงทำการประมาณอุณหภูมิเมื่อแสงตกกระทบฟิล์มอย่างฉับพลัน จากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีแสงตกกระทบฟิล์มเป็นเวลานานๆ ดังนั้นในการพัฒนาต่อไปเพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการวัดค่าสัมประสิทธิ์โพโรอิเล็กทริกอย่างถูกต้องมากที่สุด จึงควรจัดการทดลองที่สามารถ วัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบฟิล์มด้วยเวลาสั้นๆ และ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะนั้น ได้พร้อมกัน

รายการอ้างอิง

1. Wang, T.T., Herbert, J.M. and Glass, A.M., The Applications of Ferroelectric Polymers. Glasgow : Blackie and Son, 1988.
2. Nalwa, H. S. Ferroelectrics Polymers : Chemistry, Physics and Applications. New York : Marcel Dekker, Inc. 1995.
3. ชูศรี อุทัยวศิน. การพัฒนาพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์พอลิเมอร์เป็นไฟโรอิเล็กทริกและการประยุกต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
4. Kittel, C. Introduction of Solid State Physics., 7th ed., New York ; John Wiley & Sons, Inc.1996.
5. Mort, J. and Pfister, G. Electronics Properties of Polymers. New York : John Wiley & Sons, Inc.1982.
6. Broadhurst, M.G.; David, G.T.; McKinney, J.E.; and Collins, R.E. Piezoelectricity and Pyroelectricity in Polyvinylidene Fluoride – A model. J. Appl. Phys. 49 (October 1978) : 4992-4997.
7. Wada, Y. and Hayakawa, R. A Model Theory of Piezo- and Pyroelectricity of Poly (vinylidene fluoride) Electret. Ferroelectrics. 32 (1981) : 115-118.
8. Hecht, E. Physics Algebra/Trig., 3rd ed., Brooks/Cole. 2003.
9. Kepler, R.G. and Anderson, R.A. Ferroelectric polymers. Adv. in Phys. 41 (1992) : 1-57.
10. พูนศักดิ์ สันตวิธานนท์. การพัฒนาอุปกรณ์ตัวรับรู้ไฟโรอิเล็กทริกโดยใช้พอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
11. Perlman, M. M. Thermal Currents and the Internal Polarization in Carnauba Wax Electret. J. Appl. Phys. 42 (June 1971) : 2645 – 2652.
12. Creswell, R. A.; Perlman, M. M. and Kabayama, M. The Electret Properties of Series of Corona-Charged Substituted Polyolefins. Dielectric Properties of Polymer, edited by Karasz, F. E. New York : Plenum Press, 1972.

13. Bevington, P.R. Data Reduction and Error Analysis., 3rd ed., Mc Graw Hill. 2003.
14. Sessler, G. M., Piezoelectricity in Polyvinylidene Fluoride. J. Acoust Soc. Am. 70
(December 1981) : 1596 – 1608.
15. Sussner, H., Harn, D. E. and Yoon, D. Y., A new method for determining the Pyroelectric coefficient of thin Polymer films using Dielectric Heating. Appl. Phys. Lett. 32
(February 1978) : 137 – 139.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

การวัดสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกโดยวิธีต่างๆ

ฟิล์ม PVDF ซึ่งผ่านกระบวนการทางกายภาพดังกล่าวมาแล้ว จะมีสภาพไพโรอิเล็กทริกสูง เนื่องจากไดโพลโมเมนต์เรียงตัวอยู่ในทิศทางเดียวมากขึ้น ทำให้มีโพลาริเซชันสุทธิสูงชันกว่าเดิม ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิของฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลง จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโพลาริเซชัน ซึ่งเป็นค่าคงที่สำหรับแผ่นฟิล์มหนึ่งๆ ฟิล์มที่มีสภาพไพโรอิเล็กทริกสูงสามารถนำไปในอุปกรณ์ต่างๆได้เป็นอย่างดี คุณภาพของฟิล์มสามารถบอกได้จากค่าสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกนี้ การหาสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกในที่นี้จะอาศัยหลักการของการเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราคงที่ แล้ววัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากฟิล์ม ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีที่นิยมใช้ในการวัด 3 วิธี พอสังเขป

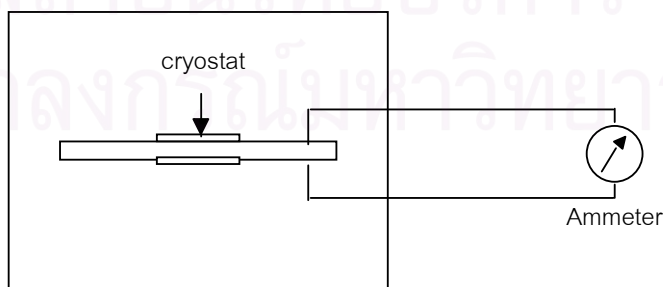
1) Electrical heating [14]

วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันทั่วไป นำฟิล์มวางภายในตัวให้ความร้อน (electrical heater) โดยอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจะเปลี่ยนแปลงด้วยอัตราคงที่ $b = \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right)$ มีแผ่นควบคุมความร้อน (Cryostat) เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกินค่าที่กำหนดไว้ เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่อฟิล์ม กระแสไฟฟ้า I ที่วัดขณะอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงจะสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกดังต่อไปนี้

$$p = \frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial T} = \frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} \frac{\partial t}{\partial T} = \frac{I}{bA} \quad (ก1)$$

เมื่อ A คือพื้นที่อิเล็กโทรดของฟิล์ม

Electrical heater



รูปที่ ก1 แสดงวิธีการวัดสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกโดยวิธี Electrical heating

2) Optical heating [14]

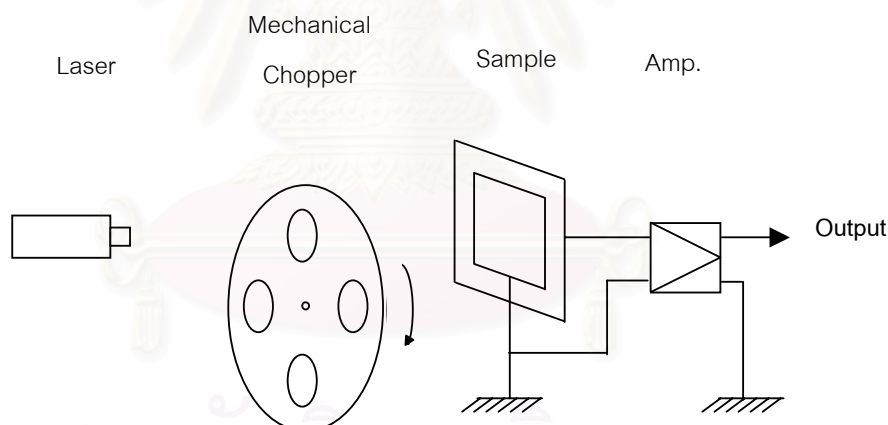
การทำให้อุณหภูมิของฟิล์มที่เปลี่ยนแปลงไป โดยใช้ลำแสงเลเซอร์ที่มีลักษณะเป็นพัลส์ (Chopped laser beam) ที่มีอัตราพัลส์ 5-80 Hz ยิงไปที่ฟิล์ม เมื่อวัดกระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจร สามารถหาสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกได้จาก

$$P = \frac{c}{A} \frac{I}{W'} \quad (ก2)$$

เมื่อ c คือ ความจุความร้อนของฟิล์ม (heat capacity)

W' คือ กำลังความร้อนที่ฟิล์มได้รับจากเลเซอร์

หมายเหตุ กระแสไฟฟ้าที่วัดจากวิธีการทั้งสอง จะต้องเป็นกระแสไพโรอิเล็กทริกเพียงอย่างเดียว ในทางปฏิบัติสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเกิน 1 รอบ แล้ววัดกระแสที่เกิดขึ้นในรอบที่ 2, 3, 4,... ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ



รูปที่ ก2 แสดงวิธีการวัดสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกโดยวิธี Optical heating

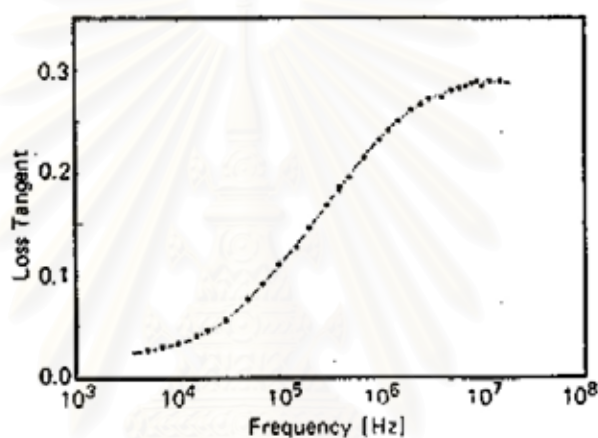
3) Dielectric heating [15]

ฟิล์มซึ่งเป็นสารไดอิเล็กทริก จะรับคลื่นวิทยุมาเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนภายในฟิล์ม ในระยะเวลามิลลิวินาทีเท่านั้น ความร้อนที่เกิดขึ้นจะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ โดยวิธีการนี้แตกต่างจาก 2 วิธีข้างต้น ซึ่งทั้ง 2 วิธีดังกล่าวจะเป็นการรับความร้อนจากแหล่งกำเนิดพลังงานภายนอก

พิจารณาฟิล์มที่ได้รับคลื่นวิทยุความถี่ $f = \omega/2\pi$ จะมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริก $\epsilon = \epsilon' - i\epsilon''$ และ $\tan \delta = \epsilon''/\epsilon'$ เมื่อฟิล์มได้รับคลื่นวิทยุซึ่งมีสนามไฟฟ้า $E = E_0 \sin \omega t$ ดังนั้น กำลังความร้อนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (power dissipation per unit volume) W คือ

$$W = \epsilon \omega \tan \delta E_{rms}^2 \quad (ก3)$$

โดยค่า $\tan \delta$ ของสารจะขึ้นกับความถี่ f ดังรูปที่ ก3



รูปที่ ก3 แสดงค่า $\tan \delta$ ของสารที่ความถี่ต่างๆของฟิล์ม PVDF หนา 30 μm ณ อุณหภูมิห้อง

จากรูปที่ ก3 จะพบว่า กำลังความร้อน W จะมีค่าสูงที่ความถี่สูงๆ การทำให้ฟิล์ม ซึ่งมีความจุความร้อนจำเพาะ c_v มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ΔT ในช่วงเวลาสั้นๆ จะต้องได้รับความร้อน ΔQ ดังนั้น

$$\Delta Q = mc_v \Delta T \quad (ก4)$$

หารทั้งสองด้านด้วย ปริมาตร V และ ช่วงเวลา Δt ที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง พบว่า

$$\frac{1}{V} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{m}{V} c_v \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (ก5)$$

สมมติว่าฟิล์มสูญเสียความร้อนแก่สิ่งแวดล้อมน้อยมาก เทอมทางซ้ายคือ ค่ากำลังความร้อนต่อปริมาตรที่สารไดอิเล็กทริกเปลี่ยนมาจากคลื่นวิทยุ ฉะนั้น

$$W = \rho_s c_v \frac{dT}{dt} \quad (ก6)$$

โดยที่ ρ_s คือความหนาแน่นของพอลิเมอร์

จะพบว่าอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของฟิล์มพอลิเมอร์จะมีค่าสูงเมื่อกำลังความร้อนมีค่ามาก หรืออัตราการเพิ่มอุณหภูมิ จะสูงที่ความถี่สูงๆนั่นเอง

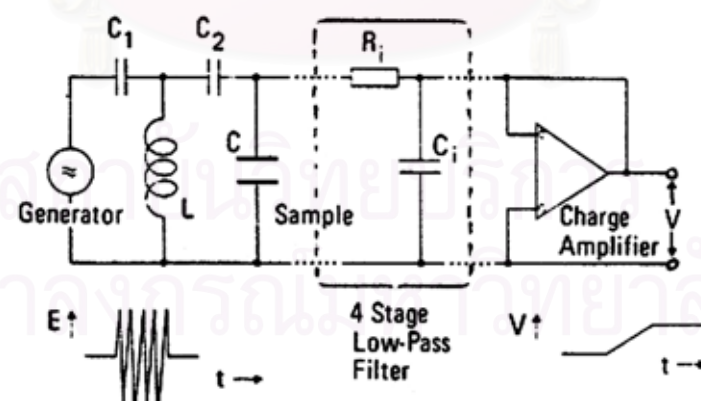
ถ้าฟิล์มมีพื้นที่หน้าตัด A มีความจุไฟฟ้า C_0 ความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองคือ V ดังนั้นสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกสามารถหาได้จาก

$$p = \frac{1}{A} \frac{dQ}{dT} = \frac{C_0}{A} \frac{dV}{dt} \frac{dt}{dT} \quad (ก7)$$

แทนค่าสมการที่ (ก3) และสมการที่ (ก6) ลงในสมการที่ (ก7) จะได้

$$p = \frac{C_0}{A} \frac{dV}{dt} \frac{\rho_s c_v}{\epsilon \omega \tan \delta E_{rms}^2} \quad (ก8)$$

การส่งคลื่นวิทยุเข้าไปในฟิล์มจะต้องมีวงจรของความถี่(ดังแสดงในรูปที่ ก4) เพื่อลดสัญญาณรบกวน



รูปที่ ก4 แสดงการวัดสัญญาณขาออกของฟิล์ม PVDF ที่ได้รับคลื่นวิทยุ $C_1 = 0.1 \mu\text{F}$, $L = 93 \mu\text{H}$, $C_2 = 0.022 \mu\text{F}$, $R_i = 49.9 \text{ k}\Omega$, $C_i = 200 \text{ pF}$ Sample capacitance C_0 ประมาณ 300 pF , $r_f \sim 500 \text{ kHz}$

คลื่นวิทยุจะถูกส่งมาจากตัวกำเนิดความถี่ (Generator) ด้วยความถี่ 500 kHz ด้วยความกว้างพัลส์ (pulse width) 20 มิลลิวินาที ผ่าน C_1 , C_2 , L ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำ (high-pass filter) ยอมให้คลื่นที่มีความถี่สูงผ่านไปยังฟิล์ม สัญญาณขาออกจากฟิล์ม จะผ่าน C_1 , R_1 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรกรองความถี่สูง (low-pass filter) เพื่อกันสัญญาณรบกวนจากคลื่นวิทยุที่ส่งเข้ามา

การส่งคลื่นวิทยุเข้าไปยังฟิล์มจะกระทำในช่วงเวลาสั้นๆ ในหน่วยมิลลิวินาทีเท่านั้น ในระหว่างที่ฟิล์มได้รับคลื่นวิทยุ ความต่างศักย์ของฟิล์มจะเพิ่มแปรผันตรงกับเวลา ขึ้นกับอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ b หลังจากหยุดส่งคลื่นวิทยุความต่างศักย์ของฟิล์มจะคงที่ แสดงว่าไม่มีการสูญเสียความร้อน แก่สิ่งแวดล้อมในช่วงเวลาที่พิจารณา

การคำนวณสัมประสิทธิ์ไพโรอิเล็กทริกด้วยวิธีนี้ มีข้อดีคือ ใช้เวลาในการทดลองน้อย และลดปัญหาในการควบคุมอุณหภูมิ แต่ต้องทราบค่าคงที่ต่างๆของฟิล์ม เช่น ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ความหนาแน่น และความจุความร้อนจำเพาะของสารเป็นต้น อย่างไรก็ตาม จากการทดลองพบว่าค่า p ที่คำนวณได้จากสมการ มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากวิธีอื่น แตกต่างกันเพียง 7% เท่านั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเอื้ออารี กัลดานนท์ เกิดเมื่อวันที่ 6 กรกฎาคม พ.ศ. 2521

ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

มหาวิทยาลัยมหิดล เมื่อปีการศึกษา 2542 แล้วเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2543



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย