พอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การวัดสัมประสิทธิ์ความเครียดเพียสโซอิเล็กตริก

ในงานวิจัยนี้ มุ่งที่จะสร้างเครื่องมือเพื่อทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเครียดเพียสโซอิเลกตริกแบบกระแสสลับที่ความถี่ต่ำ ซึ่งเป็นวิธีวัดค่าสัมประสิทธิ์เพียสโซอิเลกตริกอีกแบบหนึ่งซึ่งน่าสนใจศึกษานอกเหนือจากการวัดค่าสัมประสิทธิ์โซอิเลกตริกแบบกระแสตรง ข้อได้เปรียบอย่างหนึ่งของการวัดแบบกระแสสลับก็คือ จะวัดได้สะดวกรวดเร็วกว่า ในขณะที่การวัดแบบกระแสตรงนั้นจะช้า เพราะในการทดลองหลังจากที่ถ่วงน้ำหนักและวัดค่าแล้ว ในการถ่วงน้ำหนักเพื่อที่จะวัดค่าต่อไปนั้น ต้องรอให้แผ่นฟิล์มคลายตัวก่อน ซึ่งไม่สะดวกเท่าที่ควร ในการวัดค่าสัมประสิทธิ์เพียสโซอิเลกตริกแบบกระแสสลับของงานวิจัยนี้จะวัดค่าที่ความถี่ 10 Hz ซึ่งจัดว่าเป็นความถี่ต่ำ ดังนั้นเวลาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เพียสโซอิเลกตริก จะคิดเหมือนการวัดแบบกระแสตรงได้ โดยจะไม่คำนึงถึงส่วนจินตภาพของค่านี้ เพราะที่ความถี่ต่ำค่าในส่วนจินตภาพนี้จะมีค่าน้อยมาก ซึ่งสามารถแสดงได้โดยพิจารณาจากสมการ (2.35) และ (2.37) ในบทที่ 2

$$d^*(\omega) = d'(\omega) - id''(\omega) \qquad (2.35)$$

$$d^*(\omega) = d(\infty) + \delta d/(1 + iX) \ , \ X = \omega\tau \qquad (2.37)$$

ซึ่งจะเห็นว่าที่ความถี่ต่ำ ($\omega \rightarrow 0$) เทอมที่เป็นจำนวนจินภาพจะมีค่าน้อย ($X \rightarrow 0$)

สำหรับขอบข่ายของงานวิจัยนี้ จะทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเครียดเพียสโซอิเล็กตริกของแผ่นฟิล์ม PVDF ในแนว 31 กล่าวคือจะให้แรงกระทำกับแผ่นฟิล์มในแนว 1 (แนว x) ซึ่งเป็นแนวเดียวกันกับแนวการยืดตัวของแผ่นฟิล์ม แล้วจะทำการวัดค่าความต่างศักย์ที่ได้ในแนว 3 (แนว z) หลังจากนั้น นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเครียดเพียสโซอิเล็กตริกต่อไป โดยในงานวิจัยนี้ จะวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเครียดเพียสโซอิเล็กตริกเมื่อให้

แรงกระทำในรูปแบบของฟังก์ชันไซนที่ความถี่ 10 Hz (วัดแบบกระแสสลับ) เปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธความเครียดเพียสโซอิเล็กตริก เมื่อให้แรงคงที่กระทำ (วัดแบบกระแสตรง) สำหรับเครื่องมือ วัด , ขั้นตอนต่าง ๆ และรายละเอียดในการวัดจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

5.1 การวัดค่าสัมประสิทธิ์เพียสโซอิเล็กตริกแบบกระแสตรง

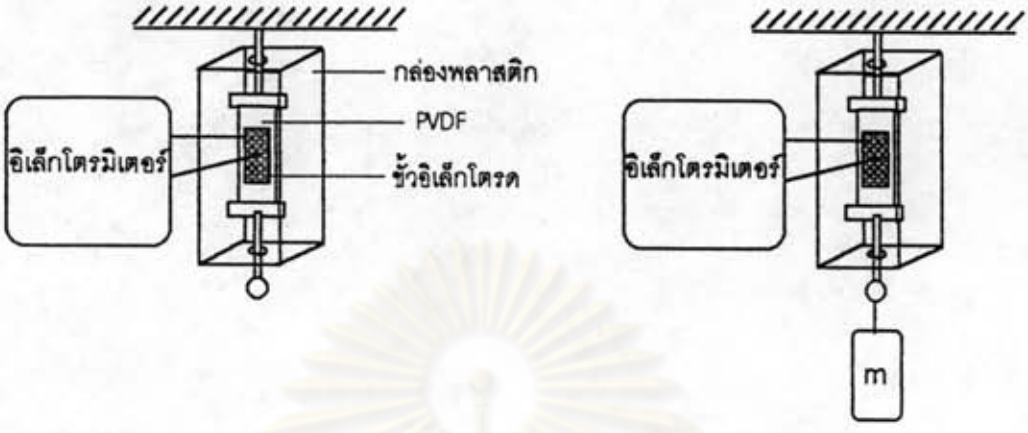
5.1.1 เครื่องมือและอุปกรณที่ใช้วัดค่าสัมประสิทธิ์ความเครียดเพียสโซอิเล็กตริกแบบกระแสตรง

ในการวัดแบบกระแสตรงนี้ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้วัดจะประกอบไปด้วย

1. อิเล็กโตรมิเตอร์ (electrometer) ซึ่งจะใช้ของ Kiethley รุ่น 617 programmable eletrometer
2. กล่องพลาสติก ใช้สำหรับป้องกันสิ่งรบกวนจากภายนอกที่จะมากระทำกับแผ่นฟิล์ม PVDF เช่น ลม เป็นต้น
3. ตุ้มน้ำหนักสำหรับถ่วงแผ่นฟิล์ม PVDF

5.1.2 วิธีการทดลองวัดค่า d_{31} แบบกระแสตรง

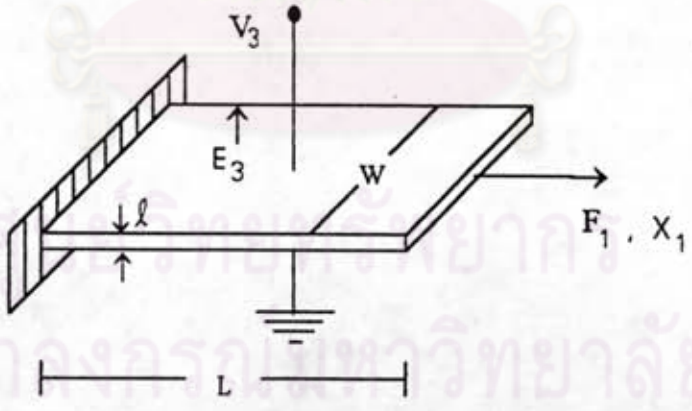
1. นำแผ่น PVDF ที่จะทำการวัดค่า d_{31} มาตรึงกับตัวหนีบในกล่องพลาสติก แล้วนำไปแขวนไว้ หลังจากนั้นต่อขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองของแผ่นฟิล์ม PVDF เข้ากับอิเล็กโตรมิเตอร์ ดังแสดงในรูป (5.5 ก)
2. นำตุ้มน้ำหนักขนาดมวล 5 กรัม มาถ่วงกับแผ่นฟิล์ม PVDF แล้วอ่านค่าความต่างศักย์จากจอแสดงผลของอิเล็กโตรมิเตอร์ (รูป 5.5 ข) บันทึกผล หลังจากนั้นนำตุ้มน้ำหนักออก รอจนกระทั่งค่าบนจอแสดงผลของอิเล็กโตรมิเตอร์ลดลงมาจนกระทั่งเป็นศูนย์ จึงนำตุ้มน้ำหนักขนาด 10 กรัม ถ่วงเข้าไปใหม่ แล้วอ่านค่าความต่างศักย์ใหม่ที่ได้ บันทึกผล
3. ทำเช่นเดียวกับข้อ 2. โดยเปลี่ยนขนาดของตุ้มน้ำหนักเป็น 15 , 20 , 25 , 30 , 35 และ 40 กรัม ตามลำดับ
4. เปลี่ยนแผ่น PVDF แผ่นอื่นมาวัด แล้วทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 3
5. นำค่าที่วัดได้มาเขียนกราฟและคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์เพียสโซอิเล็กตริกต่อไป



(ก) (ข)

รูป 5.1 แสดงการวัดค่า d_{31} แบบกระแสตรง

<u>การคำนวณหาค่า d_{31} แบบกระแสตรง</u>



รูป 5.2 แสดงแผ่นฟิล์ม PVDF ที่มีแรง F_1 มากระทำ

จากรูป (5.7) จะได้ว่า

$$\Delta D_3 = \varepsilon E_3 + d_{31} X_1$$

เมื่อคิดเฉพาะขนาดและละการเขียนสัปสคริป ดังนั้นจะเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\Delta D = \varepsilon E + dX$$

เมื่อใช้อิเล็กโตรมิเตอร์ซึ่งมีค่าความต้านทานอินพุตสูงมาก (200 TΩ) มาวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงคิดว่าไม่มีการถ่ายเทประจุ $\Delta D = 0$ เพราะฉะนั้นจะได้ว่า

$$0 = \varepsilon E + dX$$

แต่ $V = E\ell$, $X = F/\ell W$ ดังนั้นจะได้

$$d = \frac{-\varepsilon E}{X} = \frac{-\varepsilon(V/\ell)}{F/\ell W} = \frac{-\varepsilon VW}{F}$$

เพราะฉะนั้นขนาดของ d_{31} แบบกระแสตรงคือ

$$d = \frac{\varepsilon VW}{F} = \frac{\varepsilon W}{g}\left(\frac{V}{m}\right)$$

โดยค่า g คือค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

V/m คือค่าความชันของกราฟที่มีมวล m เป็นแกนนอนและความต่างศักย์ V เป็นแกนตั้ง

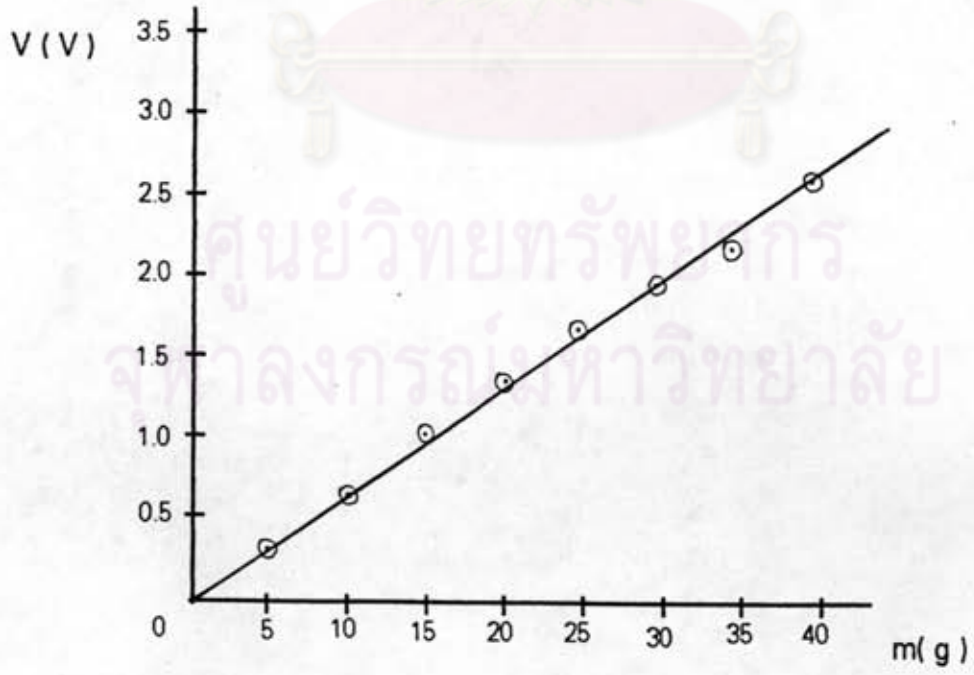
<u>ผลการทดลองวัดค่า d_{31} แบบกระแสตรง</u>

ค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ของแผ่นฟิล์มต่างๆ กับมวลที่ใช้ถ่วงจะแสดงในตารางที่ (5.1)

W(g) PVDF	W (cm)	5	10	15	20	25	30	35	40
D_1	1.20	0.335	0.660	1.002	1.305	1.601	1.911	2.225	2.531
D_5	1.45	0.168	0.334	0.581	0.669	0.829	1.039	1.203	1.371
E_6	1.15	0.067	0.134	0.203	0.273	0.347	0.416	0.478	0.542
k_2	1.00	0.124	0.248	0.384	0.491	0.618	0.744	0.878	0.994
k_4	1.00	0.308	0.610	0.892	1.200	1.534	1.843	2.079	2.402
k_{11}	1.00	0.180	0.385	0.559	0.753	0.954	1.118	1.293	1.482
m_6	0.80	0.425	0.805	1.203	1.610	2.061	2.470	2.853	3.215

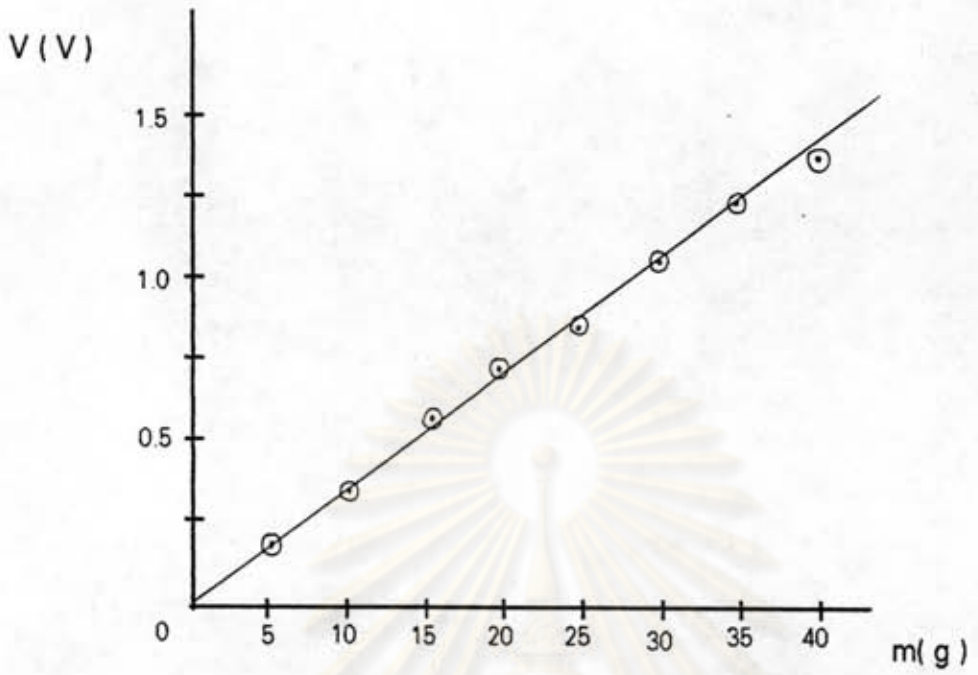
ตารางที่ 5.1 แสดงผลการวัดค่าความต่างศักย์ของแผ่นฟิล์ม PVDF แบบกระแสตรง

เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลที่ใช้ถ่วง (ให้เป็นแกน X) กับค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ (ให้เป็นแกน Y) จะได้ดังนี้

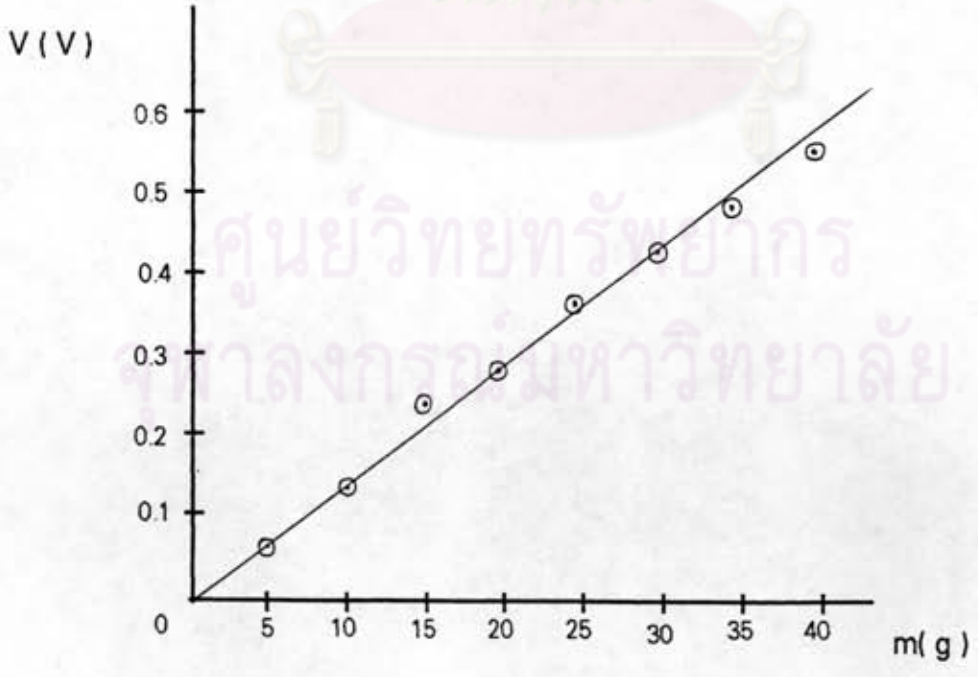


รูป 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลที่ถ่วงกับค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ของแผ่นฟิล์ม D_1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

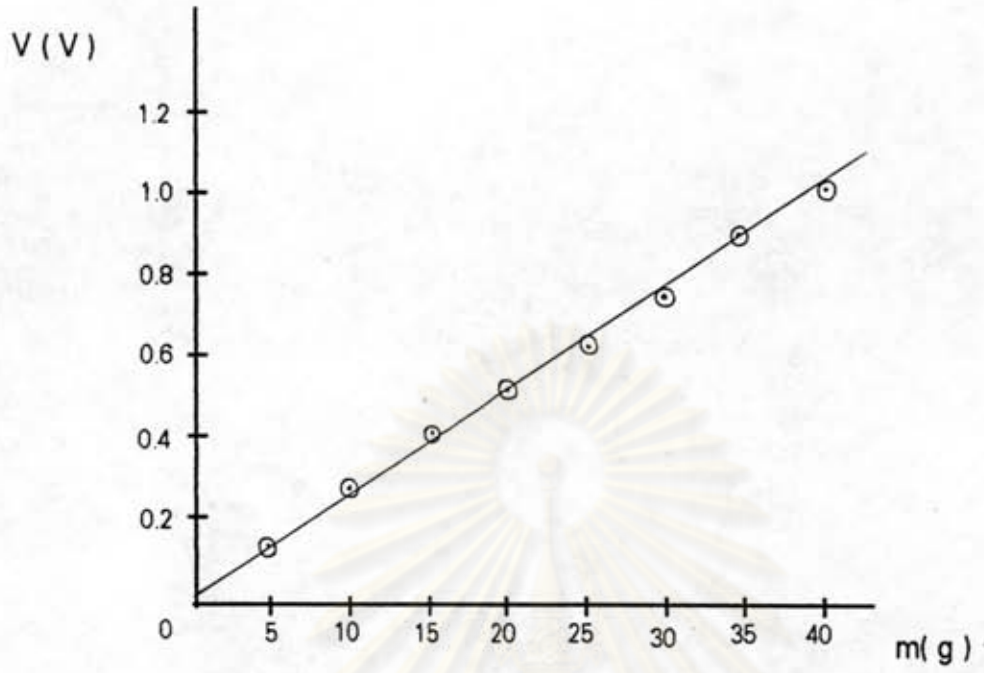


รูป 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลที่ถ่วงกับค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ของแผ่นฟิล์ม D_5

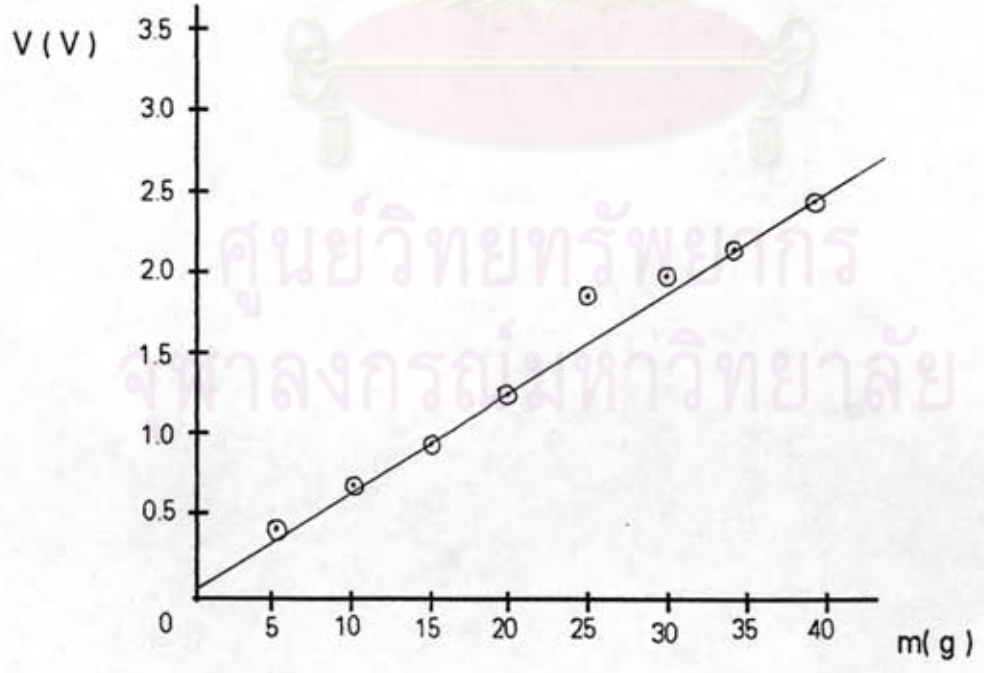


รูป 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลที่ถ่วงกับค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ของแผ่นฟิล์ม E_6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

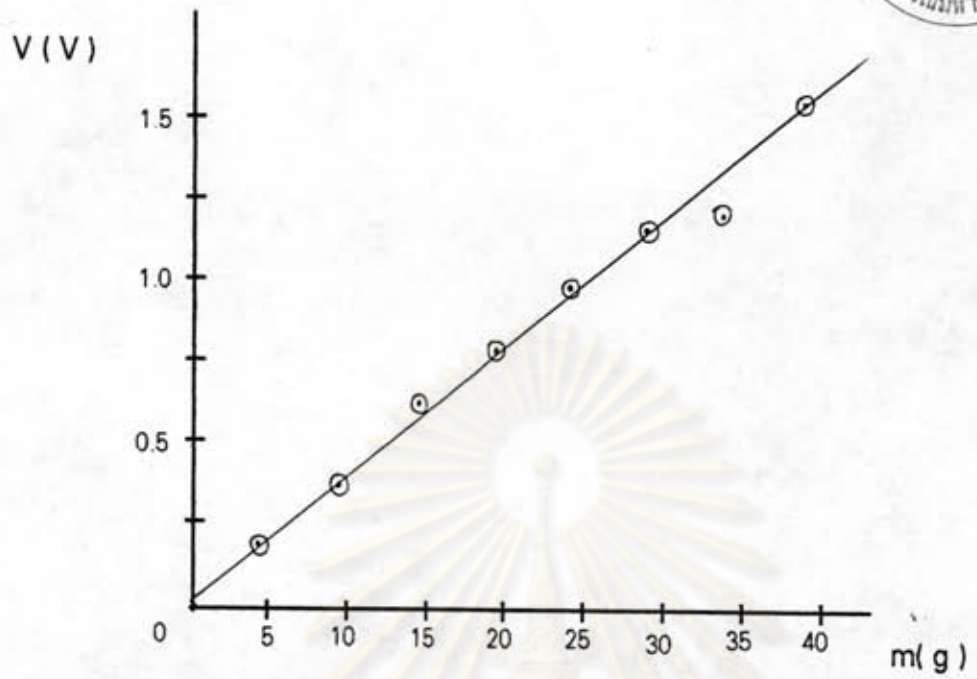


รูป 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลที่ถ่วงกับค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ของแผ่นฟิล์ม k_2

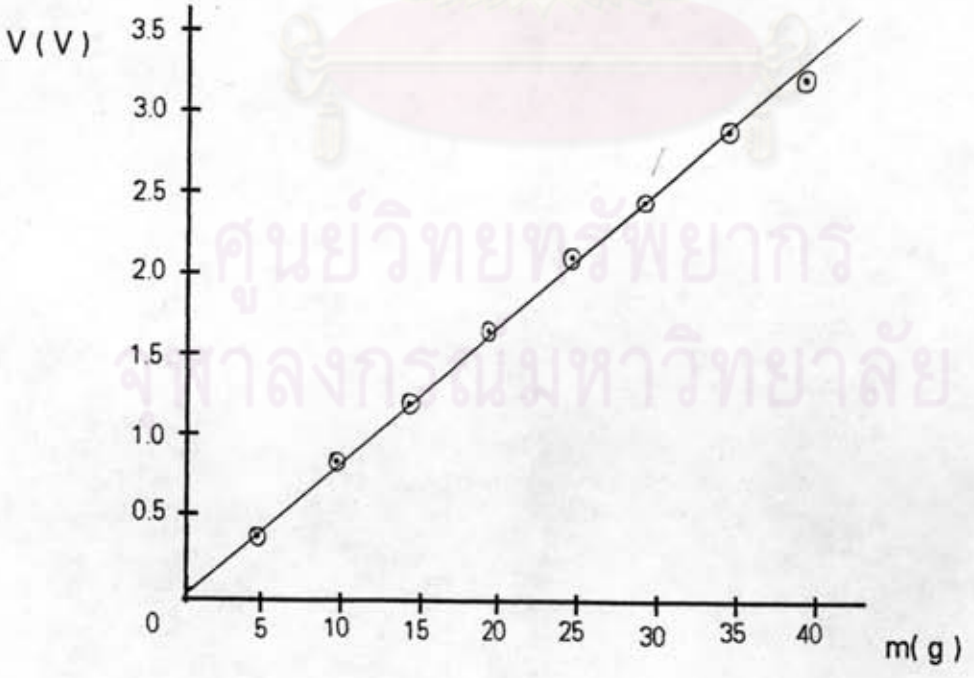


รูป 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลที่ถ่วงกับค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ของแผ่นฟิล์ม k_4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลที่ถ่วงกับค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ของแผ่นฟิล์ม k_{11}



รูป 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลที่ถ่วงกับค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ของแผ่นฟิล์ม m_6

เมื่อนำความชันที่หาได้ในแต่ละกราฟมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์เพียสโซอิเล็กตริก จะได้ค่า d_{31} ของแผ่นฟิล์มต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ (5.2)

ฟิล์ม PVDF	$d_{31}(\times 10^{-12}$ C/N)
D_1	8.45
D_5	5.47
E_6	1.74
k_2	2.70
k_4	6.50
k_{11}	4.01
m_6	7.10

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ d_{31} แบบกระแสตรงของแผ่นฟิล์ม PVDF ต่าง ๆ

5.2 การวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเครียดเพียสโซอิเล็กตริกแบบกระแสสลับ

5.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าสัมประสิทธิ์ความเครียดเพียสโซอิเล็กตริกแบบกระแสสลับ

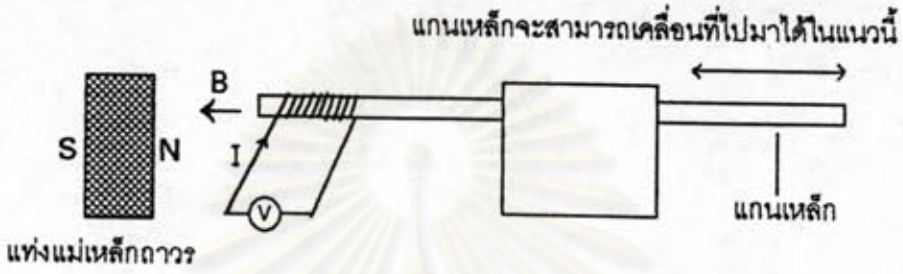
เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่า สัมประสิทธิ์ความเครียดเพียสโซอิเล็กตริกแบบกระแสสลับนี้จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ

1. ส่วนที่ให้แรงกระทำกับแผ่นฟิล์ม PVDF
2. ส่วนที่วัดค่าสัญญาณทางไฟฟ้าของแผ่นฟิล์ม PVDF

5.2.2.1 ส่วนของอุปกรณ์ที่ให้แรงกระทำกับแผ่นฟิล์ม PVDF

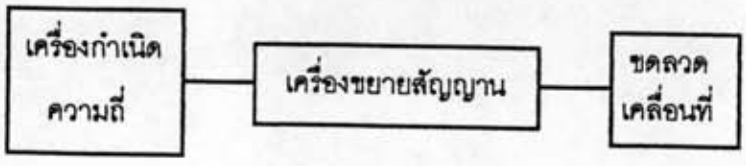
ในส่วนนี้ จะประกอบไปด้วยขดลวดซึ่งพันอยู่บนแกนเหล็ก (ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวเส้นตรงตามความยาวของแกน) และแท่งแม่เหล็กถาวรอีกหนึ่งแท่ง โดยอาศัยความรู้พื้น-

ฐานทางไฟฟ้า-แม่เหล็กที่ว่า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปในขดลวดจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบขดลวดนั้น และจะสามารถหาทิศของสนามแม่เหล็กได้โดยใช้กฎมือขวา นั่นคือเมื่อให้ความต่างศักย์ที่ปลายขดลวดทั้งสอง จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบแกนเหล็ก โดยมีทิศอยู่ในแนวเดียวกันกับแกนเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ (5.1)



รูป 5.10 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการให้แรงดึงกับแผ่นฟิล์ม PVDF

จากรูป (5.1) จะเห็นได้ว่าเมื่อให้กระแสในทิศดังรูป จะเกิดสนามแม่เหล็ก B ไปทางซ้าย ซึ่งจะมีผลทำให้แกนเหล็กถูกผลักออกจากแท่งแม่เหล็กถาวร ในทางกลับกันถ้าให้กระแสกลับทิศ ก็จะเกิดสนามแม่เหล็ก B มาทางขวา ทำให้แกนเหล็กถูกแท่งแม่เหล็กถาวรดูดเข้าหา ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ทิศทางของสนามแม่เหล็ก B จะขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสที่ให้กับขดลวด นั่นคือถ้าใส่กระแสสลับให้กับขดลวด ก็จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีการกลับขั้วไปมา ทำให้แกนเหล็กสามารถเคลื่อนที่กลับไปกลับมาได้ ในการทดลองจะใช้เครื่องกำเนิดความถี่เป็นตัวให้ความต่างศักย์กระแสสลับกับขดลวด แต่เนื่องจากกำลังที่เครื่องกำเนิดความถี่ให้ออกมานั้นไม่เพียงพอจึงต้องทำการผ่านเข้าเครื่องขยายสัญญาณให้มีกำลังสูงขึ้นก่อน แล้วจึงผ่านเข้ามาที่ขดลวด ดังแสดงในรูป (5.2)

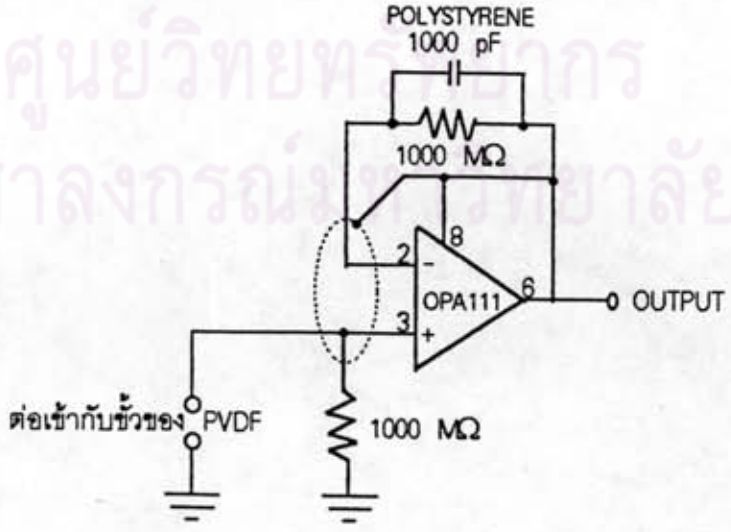


รูป 5.11 แสดงไดอะแกรมการใช้งานของส่วนขดลวดเคลื่อนที่

5.2.1.2 ส่วนที่วัดค่าสัญญาณทางไฟฟ้าของแผ่นฟิล์ม PVDF

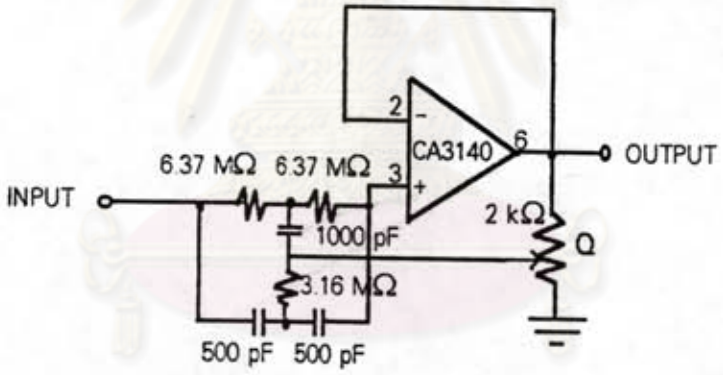
ในการวัดค่าสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้จากแผ่น PVDF ที่ถูกกระตุ้นนั้น สัญญาณที่ได้ออกมาจะให้แต่ความต่างศักย์โดยมีกระแสออกมาน้อยมาก เนื่องจากแผ่นฟิล์ม PVDF เปรียบเสมือนตัวเก็บประจุ ที่มีค่าความจุไฟฟ้าน้อย (≈ 700 pF) ดังนั้นจึงเก็บประจุไฟฟ้าได้น้อย และมีการคายประจุอย่างรวดเร็ว ดังนั้นถ้าใช้มิเตอร์วัดความต่างศักย์มาวัดโดยตรงแล้ว จะวัดไม่ได้ (ในการ ทดลองใช้มัลติมิเตอร์ของ Fluke ซึ่งมีค่าอิมพีแดนซ์ประมาณ 10 MΩ) เพราะจะเห็นว่าค่าเวลาผ่อนคลายจะน้อยมาก (τ = 700 pF × 10 M = 0.007 s) ดังนั้นจึงต้องนำสัญญาณนี้มาผ่านวงจรเพียสโซอิเล็กตริกดีเท็กเตอร์ (piezoelectric detector) (ซึ่งดัดแปลงมาจากวงจรไพโรอิเล็กตริกดีเท็กเตอร์ (pyroelectric infrared detector)) เพื่อที่จะสามารถใช้มิเตอร์วัดค่าความต่างศักย์จากแผ่น PVDF ได้

วงจรในรูป (5.3) จะทำงานคล้ายวงจรตามแรงดัน (voltage) [Berlin , 1980] กล่าวคือ จะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ของสัญญาณอินพุต เนื่องจากค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรจะมาก (เกือบเท่ากับอินพุตอิมพีแดนซ์ของตัวออปแอมป์เอง (intrinsic input impedance) ซึ่งในวงจรที่ใช้ในการทดลองนี้จะใช้ออปแอมป์ Burr - Brown OP111 ซึ่งมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูงถึง 10^8 MΩ) ในขณะที่เอาท์พุตอิมพีแดนซ์จะน้อย และจะมีอัตราขยายจะเท่ากับหนึ่ง (ขนาดของสัญญาณอินพุตจะเท่ากับขนาดของสัญญาณเอาท์พุตที่ออกมา)



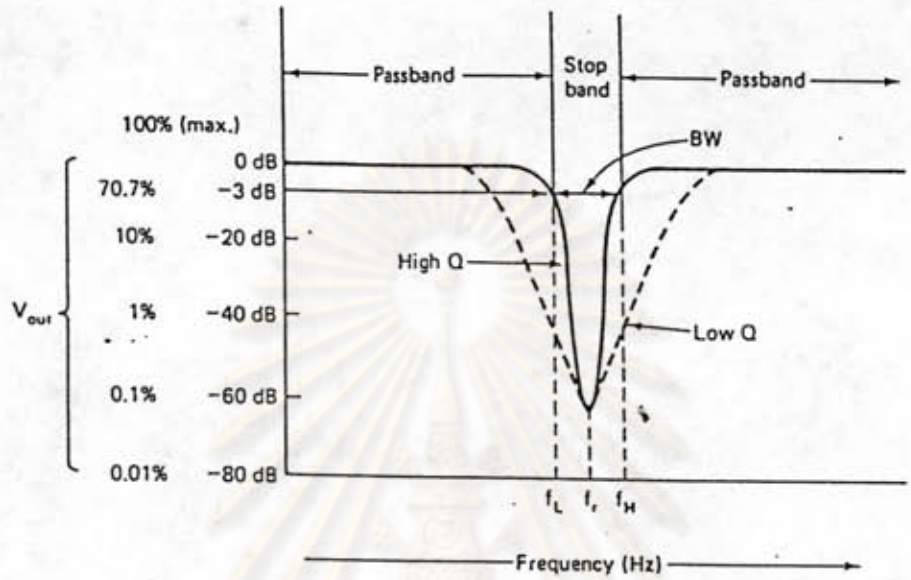
รูป 5.12 แสดงวงจรเพียสโซอิเล็กตริกดีเท็กเตอร์

ในการทดลองวัดค่าของสัญญาณของแผ่นฟิล์ม PVDF ที่ผ่านวงจรเพียสโซอิเล็กตริกดีเท็กเตอร์ ในขณะที่ยังไม่ให้การกระตุ้นใด ๆ กับแผ่นฟิล์ม พบว่ามีสัญญาณรบกวนจากภายนอกเข้ามา และเมื่อดูรูปของสัญญาณจากออสซิโลสโคป พบว่าสัญญาณรบกวนที่เข้ามานั้นมีความถี่ 50 Hz ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรกรองความถี่ที่ 50 Hz (รูป 5.4) มากรองสัญญาณรบกวนออก ซึ่งวงจรกรองความถี่ 50 Hz นี้ ในทางอุดมคติจะยอมให้ทุกความถี่ผ่านไปได้ยกเว้นความถี่ที่ 50 Hz แต่ในทางปฏิบัติจริง ๆ แล้วพบว่า ขนาดของสัญญาณที่ความถี่ใกล้กับ 50 Hz จะถูกกรองออกไปบางส่วนด้วยดังแสดงในรูป (5.5) [วิโรจน์ อัศวรังษี , ชัชวาลย์ เต็มฤทธิวงศ์ และ กรชุลี ใช้สถิตย์ , 2521] ซึ่งวงจรที่ใช้ในการทดลองนี้ เมื่อทดลองใส่สัญญาณอินพุตขนาดความถี่ 10 Hz (ความถี่เดียวกันกับ ความถี่ของแรงที่ใช้ดึงแผ่น PVDF) แล้วปรับค่าของตัวต้านทาน 2 kΩ จนกระทั่งสัญญาณรบกวนลดลงเหลือประมาณ 10 mV พบว่าค่าเอาท์พุตที่ออกมาจะมีการสูญเสียขนาดของสัญญาณไป 10 % ซึ่งอยู่ในขั้นที่ยอมรับได้



รูป 5.13 แสดงวงจรกรองความถี่ 50 Hz

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

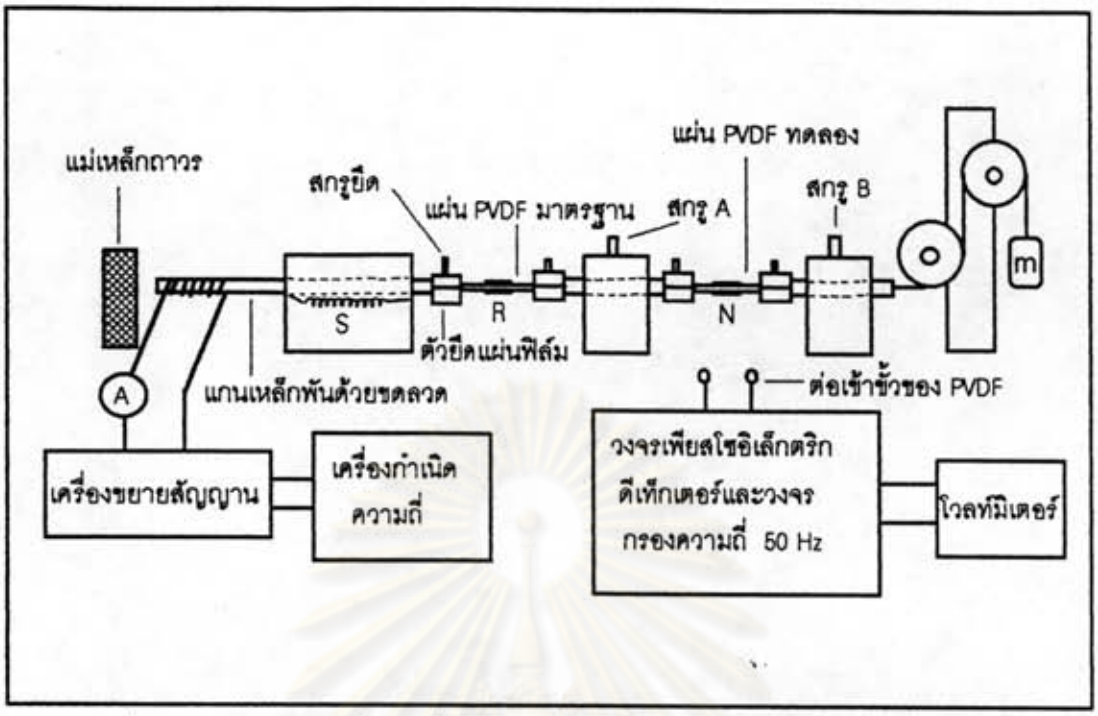


รูป 5.14 แสดงการตอบสนองของความถี่ของวงจรกรองความถี่ 50 Hz

5.2.2 วิธีการทดลองวัดค่า d_{31} แบบกระแสสลับ

การวัดค่า d_{31} แบบกระแสสลับวิธีที่ 1

1. นำแผ่นฟิล์ม PVDF มาสองแผ่นใส่ติดกับตัวยึดดังรูป (5.7) โดยจะให้แผ่นฟิล์ม PVDF ที่อยู่ใกล้กับแกนเหล็กที่พันด้วยขดลวด (ตำแหน่ง R ในรูป) เป็นแผ่นฟิมล์อ้างอิง (ในการทดลองนี้จะใช้แผ่น k_2) ส่วนแผ่นฟิล์มอีกแผ่น (ตำแหน่ง N ในรูป) จะเป็นแผ่นที่นำมาวัดค่า d_{31} แบบกระแสสลับ
2 จากนั้นนำตุ้มน้ำหนักมวล m = 50 กรัม มาถ่วงโดยผ่านรอก โดยจะมีสปริง S มาช่วยต้านไม่ให้แกนเหล็กเลื่อนไปทางขวามาก (ในขณะนี้แผ่นฟิล์ม PVDF ทั้ง สองแผ่นจะมีความตึงเท่ากับน้ำหนักที่มาถ่วง) ขันสกรู B ให้แน่น แล้วนำตุ้มน้ำหนักออก



รูป 5.15 แสดงแบบจำลองในการหาค่า d_{31} ของแผ่นฟิล์ม PVDF แบบสลับ

3. เปิดเครื่องมือต่าง ๆ ให้พร้อมที่จะทำงาน ปรับโวลุม (volume) เครื่องกำเนิดความถี่ไปที่ความถี่ 10 Hz อ่านค่าความต่างศักย์ของแผ่นฟิล์ม PVDF ทั้งสอง (ใช้วิธีโยกสวิทช์) จากโวลท์มิเตอร์ (วัดสัญญานแบบกระแสสลับ) ในขณะที่ยังไม่มีกระแสไหลในขดลวด บันทึกค่าความต่างศักย์ไว้ หลังจากนั้นค่อย ๆ ปรับโวลุมของเครื่องขยายสัญญาน จนกระทั่งเห็นการเปลี่ยนแปลงของค่าความต่างศักย์ของแผ่นฟิล์ม PVDF ที่ใช้เป็นแผ่นอ้างอิงมีค่าประมาณ 0.800 V (เหตุที่ใช้ค่าที่ความต่างศักย์ของแผ่นอ้างอิงเท่ากับ 0.800 V เพราะว่าถ้าใช้ที่ความต่างศักย์น้อยกว่านี้สัญญานที่วัดได้จะน้อย ทำให้มีข้อผิดพลาดมาก แต่ถ้าใช้ที่ความต่างศักย์มากกว่านี้ การสั่นของแกนเหล็กก็จะสั่นกระตุกมากและขดลวดที่พันรอบแกนเหล็กก็จะร้อนมากด้วย จากการทดลองทำหลาย ๆ ครั้ง พบว่าใช้ค่าที่ความต่างศักย์เท่ากับ 0.800 V จึงจะเหมาะสมกับเครื่องมือนี้) บันทึกค่าความต่างศักย์ของแผ่นฟิล์ม PVDF ทั้งสองแผ่นไว้ หลังจากนั้นปรับโวลุมของเครื่องขยายสัญญานไปที่ค่าน้อยที่สุด
4. ขันสกรู A ให้แน่น (เพื่อที่จะสามารถขันสกรูที่ยึดแผ่นฟิล์มได้ง่าย) หลังจากนั้นถอดแผ่นฟิล์ม PVDF ที่ตำแหน่ง N ออก คลายสกรู B นำแผ่นฟิล์ม PVDF แผ่นใหม่ที่ต้องการจะวัดค่า d_{31} มายึดติดกับตัวยึด ขันสกรูตัวยึดให้แน่น แล้วทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 2 ถึงข้อ 4
5. นำค่าความต่างศักย์ที่วัดได้มาคำนวณต่อไป

ผลการทดลองของการวัดค่า d_{31} แบบกระแสสลับโดยวิธีที่ 1

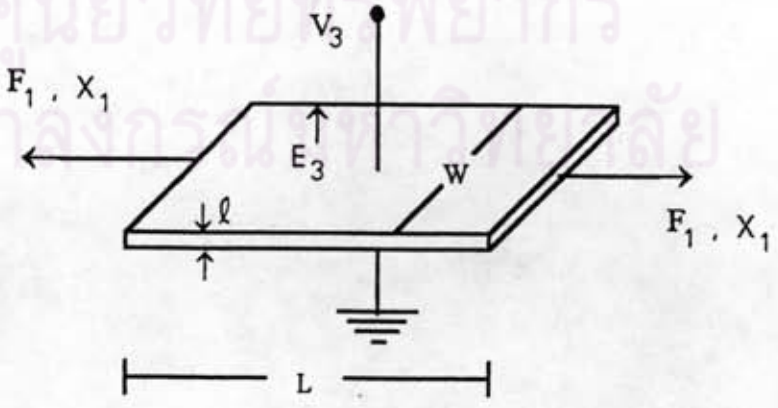
ในตาราง (5.3) จะแสดงค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากแผ่นฟิล์ม PVDF อ้างอิงและแผ่นฟิล์ม PVDF ต่าง ๆ

นำข้อมูลในตารางที่ (5.3) มาหาค่าความต่างศักย์ V_N ในขณะที่ความต่างศักย์ V_R มีค่าเท่ากับ 0.800 V ซึ่งค่าที่ได้จะแสดงในตารางที่ (5.3)

ฟิล์ม PVDF	V_N
D_1	1.62
D_5	0.82
E_6	0.35
k_4	1.55
k_{11}	1.09
m_6	2.21

ตารางที่ 5.3 แสดงค่า V_N ของแผ่นฟิล์มต่างที่ V_R = 0.800 V

นำค่าที่คำนวณได้ในตารางที่ (5.3) มาคำนวณหาค่า d_{31} ได้ดังนี้



รูป 5.16 แสดงแผ่นฟิล์ม PVDF ที่มีแรง F_1 มากระทำ

จากรูป (5.16) และจากสมการ (5.17) จะได้ว่า

$$E = - X_1 d_{31} / \varepsilon^{x}_{33} \qquad (5.1)$$

โดย $V_3 = E_3 \ell$, $X_3 = F_1 / W$

เมื่อพิจารณาเฉพาะขนาดและละการเขียนสัปสคริปจะได้

$$V = \frac{Fd}{\varepsilon W} \qquad (5.2)$$

ในเครื่องมือนี้แรงดึงสามารถเขียนได้ในรูป

$$F = F_o \cos \omega t \quad , \quad \omega = 2\pi f \qquad (5.3)$$

ดังนั้นความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น

$$V = \frac{dF_o \cos \omega t}{\varepsilon W} \qquad (5.4)$$

มาตรทางไฟฟ้าจะอ่านค่า V_{rms} ของความต่างศักย์

$$V_{rms} = \left\langle \frac{d^2 F_o \cos^2 \omega t}{\varepsilon^2 W^2} \right\rangle$$

$$= \frac{dF_o}{\varepsilon W} \left\langle \cos^2 \omega t \right\rangle^{1/2} \qquad (5.5)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แต่ $\langle \cos^2 \omega t \rangle = 1/2$

จะได้

$$V_{rms} = \frac{dF_o}{\sqrt{2}\varepsilon W} \qquad (5.6)$$

$F_o / 2$ คือ F_{rms} ดังนั้นจะได้

$$V_{rms} = \frac{d}{\varepsilon W} F_{rms} \qquad (5.7)$$

สมการข้างบนใช้ได้ดีสำหรับการวัดแบบ AC ซึ่งใช้ในการวิจัยนี้ และเพื่อความสะดวกจะไม่เขียนอักษร rms กำกับ สำหรับการทดลองแบบ AC นี้ V และ F ก็เขียนหมายถึงค่า rms ทั้งสิ้น

ดังนั้นจะได้ว่า $$V = \frac{d}{\varepsilon W} F \qquad (5.8)$$

จากสมการข้างบนจะได้ว่า d_{31} ของแผ่นฟิล์มอ้างอิงคือ

$$d_R = \frac{\varepsilon_R V_R W_R}{F_R} \qquad (5.9)$$

และค่า d_{31} ของแผ่นฟิล์มที่ตำแหน่ง N คือ

$$d_N = \frac{\varepsilon_N V_N W_N}{F_N} \qquad (5.10)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นำสมการที่ (5.9) มาหารสมการที่ (5.10) จะได้

$$d_N = \left(\frac{\varepsilon_N}{\varepsilon_R}\right)\left(\frac{V_N}{V_R}\right)\left(\frac{F_R}{F_N}\right)\left(\frac{W_N}{W_R}\right) d_R$$

เนื่องจากฟิล์มทั้งหมดเป็น PVDF เหมือนกันดังนั้น $\varepsilon_N = \varepsilon_R$ จะได้ว่า

$$d_N = \left(\frac{V_N}{V_R}\right)\left(\frac{F_R}{F_N}\right)\left(\frac{W_N}{W_R}\right) d_R \qquad (5.11)$$

จากสมการที่ (5.3) ถ้าพิจารณาว่า แรงที่กระทำต่อแผ่นฟิล์มทั้งสองเท่ากัน (คิดว่าไม่มีแรงเสียดทาน ($F_N / F_R = 1$)) เพราะฉะนั้นจะได้

$$d_N = \left(\frac{V_N}{V_R}\right)\left(\frac{W_N}{W_R}\right) d_R \qquad (5.12)$$

โดย $d_R = 2.70 \times 10^{-12}$ C/N ,

$W_R = 1.00$ cm (5.13)

และ $V_R = 0.800$ V

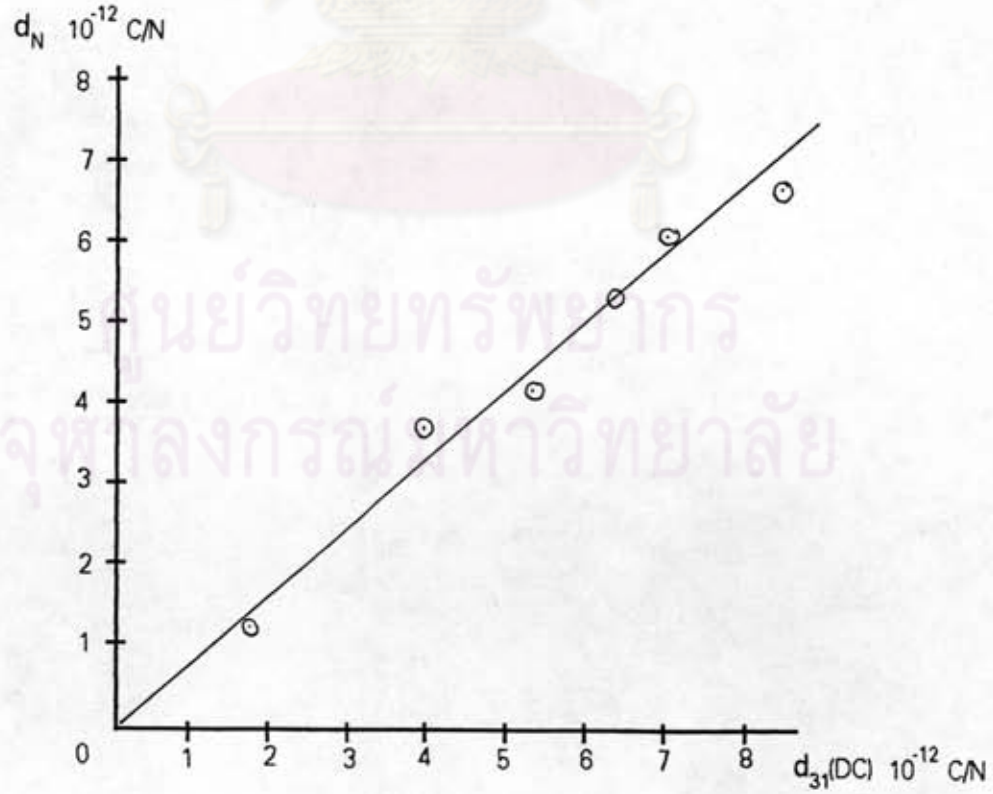
ดังนั้นจะหาค่า d_N ของแผ่นฟิล์มต่าง ๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ (5.4)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฟิล์ม PVDF	d_{31}(DC) ($\times 10^{-12}$ C/N)	W_N (cm)	V_N (V)	d_N ($\times 10^{-12}$ C/N)
D_1	8.45	1.20	1.620	6.56
D_5	5.47	1.45	0.820	4.01
E_6	1.74	1.115	0.350	1.36
k_4	6.50	1.00	1.550	5.23
k_{11}	4.01	1.00	1.090	3.68
m_6	7.10	0.80	2.210	5.97

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าความกว้าง W_N ของฟิล์ม ความต่างศักย์ระหว่างขั้วของฟิล์ม เมื่อ V_{k_2} = 0.800 V, d_{31} ของแผ่นฟิล์มวัดโดยวิธี DC และ AC (d_N)

จะเห็นว่าค่า d_{31} ที่วัดโดยวิธีแบบกระแสสลับของแผ่นฟิล์มต่าง ๆ d_N จะมีค่าน้อยกว่า d_{31}(DC) เมื่อลองเขียนกราฟระหว่าง d_{31} (DC) กับ d_N จะได้ดังแสดงในรูป (5.17)



รูป 5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า d_{31}(DC) กับ d_N

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่า d_N ของฟิล์มต่าง ๆ ในตาราง (5.5) และในรูป (5.17) มาจากการคำนวณจากสมการ (5.12) ซึ่งถือว่าที่เวลาหนึ่ง ๆ แรงดึงที่กระทำต่อฟิล์มทั้งสองเท่ากัน ถ้าผลการทดลองและการคำนวณถูกต้อง d(DC) และ d_N ของแต่ละฟิล์มน่าจะเท่ากัน แต่ผลที่ได้ค่า d ทั้งสองต่างกัน อย่างไรก็ตามจากกราฟในรูป (5.17) ความสัมพันธ์ระหว่าง d(DC) และ d_N เป็นกราฟเส้นตรงหรือ d_N /d(DC) เกือบจะมีค่าคงที่ จาก least - square fit พบว่า

$$\frac{d_N}{d_{DC}} = 0.78 \qquad (5.14)$$

ผลจากข้อมูลข้างบนชี้ให้เห็นว่า ที่เวลาหนึ่ง ๆ แรงที่กระทำต่อฟิล์มอ้างอิง (F_R) และฟิล์มมาตรฐาน (F_N) ไม่เท่ากัน จากการวิเคราะห์พบว่าแรงเสียดทานที่แกนเหล็กระหว่างฟิล์มทั้งสองอาจทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้ขึ้นได้ ในการวิจัยนี้จึงถือว่า

$$F_R > F_N$$

โดยกระแสที่ป้อนให้แก่ขดลวด ทำให้เกิดความต่างศักย์จากฟิล์มอ้างอิงเท่ากับ 0.80 V ค่าอัตราส่วนระหว่าง F_N และ F_R จะเท่ากับ 0.78

$$F_N/F_R = 0.78 \qquad (5.15)$$

จากสมการ (5.11) จะได้สมการเพื่อคำนวณ d_N ของฟิล์มต่าง ๆ

$$d_N = \left(\frac{V_N}{V_R}\right)\left(\frac{W_N}{W_R}\right)\frac{d_R}{0.78} \qquad (5.16)$$

โดยในการทดลองนี้จะใช้ค่า $d_R = 2.70 \times 10^{-12}$ C/N , $W_R = 1.00$ cm และ $V_R = 0.800$ V ดังนั้นจากสมการข้างบนจะได้ว่า

$$d_N = 4.33 \times 10^{-12} V_N W_N \quad C/N \quad (5.17)$$

โดยในสมการนี้ค่าความกว้าง W จะมีหน่วยเป็น cm

เมื่อลองนำเอาสูตรสำเร็จที่หาได้นี้ไปหาค่า d_{31} ของแผ่นฟิล์มต่าง ๆ ใหม่ จะได้ผลดังในตาราง (5.5)

ฟิล์ม PVDF	d_{31}(DC) ($\times 10^{-12}$ C/N)	d_N(ใหม่) ($\times 10^{-12}$ C/N)	เปอร์เซนต์ความแตกต่าง
D_1	8.45	8.41	-0.47
D_5	5.47	5.14	-6.21
E_6	1.74	1.74	0
k_4	6.50	6.71	3.2
k_{11}	4.01	4.72	16.2
m_6	7.10	7.65	7.5

ตาราง 5.5 แสดงค่า d_N หรือ d_{31} ที่ได้จากวัดโดยใช้กระแสสลับของฟิล์มต่าง ๆ

จากการวัดค่า d_{31} แบบกระแสสลับของแผ่นฟิล์มโดยใช้สมการ (5.17) นั้นจะมีข้อจำกัดดังนี้คือ

1. ฟิล์มที่นำมาวัดจะต้องเป็นฟิล์มชนิดเดียวกันกับฟิล์มอ้างอิง กล่าวคือในการหาสมการนี้มา จะให้ $\varepsilon_R / \varepsilon_N = 1$ แต่ถ้าเป็นฟิล์มต่างชนิดกัน $\varepsilon_R / \varepsilon_N$ อาจจะไม่เท่ากับ 1 ก็ได้ ดังนั้น ถ้าแผ่นฟิล์มอ้างอิงกับฟิล์มที่จะนำมาวัดค่า d_{31} โดยวิธีนี้เป็นฟิล์มคนละชนิดกัน สมการที่ (5.17) จะเปลี่ยนเป็น

$$d_N = 4.33 \times 10^{-12} V_N W_N \varepsilon_N \quad C/N \quad (5.17)$$

โดยที่ขั้นตอนการทดลองอย่างอื่นจะต้องเหมือนเดิม

2. การวัดค่าความต่างศักย์ของแผ่นฟิล์มที่นำมาวัด จะต้องวัดที่การสั่นซึ่งทำให้ค่าความต่างศักย์ของแผ่นอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 0.800 V

3. วัดได้ที่ความถี่ 10 Hz เท่านั้น เพราะในการหาสมการมานั้นใช้ค่าการสั่นที่ความถี่นี้เท่านั้น

4. ความตึงของแผ่นฟิล์มที่ในขณะก่อนที่เริ่มการสั่นจะต้องมีค่าความตึงเท่ากับ 50 ×9.8 mN (ใช้มวล 50 g มาถ่วง)

จากการทดลองนี้จะสามารถสรุปได้ว่า ถ้าทำการวัดค่า d_{31} แบบกระสลับโดยวิธีนี้ และใช้สมการที่ (5.17) มาคำนวณ ถ้าขณะทดลองทำอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กล่าวมาแล้วจะได้ค่า d_{31} ที่ใกล้เคียงกับค่า d_{31}(DC) (ซึ่งเราถือว่าถูกต้อง)

<u>การวัดค่า d_{31} แบบกระแสสลับวิธี 2</u>

ในการวัดค่า d_{31} แบบกระแสสลับของแผ่นฟิล์ม PVDF ต่าง ๆ ตามวิธีที่ 1 ซึ่งต้องใช้ฟิล์มที่จะวัดและฟิล์มอ้างอิงพร้อมกัน มีปัญหาในเรื่องที่ว่าแรงตึงที่กระทำต่อฟิล์มทั้งสอง ไม่เท่ากัน ทำให้การวิเคราะห์ยุ่งยากมากขึ้น ในที่นี้จึงได้พัฒนาวิธีวัดขึ้นใหม่โดยวิธีการวัดนี้ใช้ฟิล์มครั้งละฟิล์มเดียวเท่านั้น ดังกล่าวไว้ข้างล่าง

1. ในการวัดด้วยวิธีนี้จะใช้แผ่นฟิล์ม k_2 เป็นแผ่นมาตรฐาน โดยจะนำแผ่นฟิล์ม k_2 ติดยึดกับเครื่องมือในตำแหน่งเดียวกับวิธีแรก และปรับความตึงเช่นเดียวกับวิธีแรก ขันสกรู A ให้แน่น หลังจาก นั้นจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับให้กับขดลวดเท่ากับ 0.75 A ซึ่งจะวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นที่แผ่นฟิล์ม k_2 ได้เท่ากับ 0.800 V
2. นำค่าความต่างศักย์ที่วัดได้มาคำนวณหาค่าแรงที่กระทำต่อแผ่นฟิล์มจากสมการ

$$d = \frac{-\varepsilon VW}{F} \qquad (5.18)$$

โดย F และ V ในสมการนี้เป็นค่า rms

ค่า d ในที่นี้ก็คือค่า d_{31} ของแผ่นฟิล์ม k_2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.70×10^{-12} C/N , W = 1 cm $\varepsilon = 12 \times 8.85 \times 10^{-12}$ ดังนั้นจะหาค่าแรงที่กระทำกับแผ่นฟิล์มที่กระแส 0.75 A ได้คือ

$$F = 0.315 \text{ N} \qquad (5.19)$$

จากการวิเคราะห์ข้างบนสรุปได้ว่าถ้าใช้กระแสสลับป้อนเข้าขดลวด $I_{rms} = 0.75$ แอมแปร์ จะทำให้เกิดความต่างศักย์ที่ฟิล์มมาตรฐาน (k_2) $V_{rms} = 0.80$ V และแรงดึงต่อฟิล์มคือ 0.315 N

3. นำแผ่นฟิล์มแผ่นอื่น ๆ มาวัดค่าความต่างศักย์ V ด้วยวิธีทำเช่นเดียวกับข้อ 1 (แต่งความตึงให้เท่ากันโดยใช้มวล 50 g ถ่วง หลังจากนั้นขันสกรู A ให้แน่น) บันทึกผลไว้ แล้วนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ d_{31} โดยใช้สมการที่ (5.18) ซึ่งจะแทนค่า F ด้วยค่าแรงที่หาได้จากข้อ 2. เปรียบเทียบกับค่า d_{31} ที่วัดได้แบบกระแสตรง

ผลการทดลองวัดค่า d_{31} แบบกระแสสลับวิธี 2

ค่าความต่างศักย์และค่า d_{31} ที่คำนวณได้ของแผ่นฟิล์ม PVDF ต่าง ๆ จะแสดงในตารางที่ (5.6)

ฟิล์ม PVDF	d_{31}(DC) ($\times 10^{-12}$ C/N)	W (cm)	V(V)	d_{31} ($\times 10^{-12}$ C/N)	เปอร์เซนต์ความแตกต่าง
D_1	8.45	1.20	2.16	8.74	3.4
E_6	1.74	1.115	0.50	1.94	10.9
k_4	6.50	1.00	1.80	6.07	-6.8
k_{11}	4.01	1.00	1.22	4.11	2.5
m_6	7.10	0.80	2.74	7.40	4.1

ตาราง 5.5 แสดงค่า d_{31} ที่หาได้โดยการวัดวิธี 2 เปรียบเทียบกับ d_{31}(DC)

พบว่า d_{31} ที่วัดได้โดยวิธีนี้ แตกต่างจาก d_{31} ที่วัดโดยวิธี DC อยู่ประมาณ 2 - 11 %

5.3 สรุป

จากการวัดค่าสัมประสิทธิ์เพียสโซอิเล็กตริกd_{31}แบบกระแสสลับที่ความถี่ 10 Hz โดยเครื่องมือที่ทำขึ้นในงานวิจัยนี้ เปรียบเทียบกับค่า d_{31} ที่วัดแบบกระแสตรง พบว่าในการวัดค่า d_{31} แบบกระแสสลับวิธี 1 นั้น ต้องมีการปรับค่าชดเชยเนื่องจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างแกนเหล็กกับปลอกยึด จึงจะทำให้ค่า d_{31} ที่วัดได้มีค่าถูกต้องมากขึ้น ซึ่งหลังจากที่ทดลองวัดค่า d_{31} เพื่อปรับค่าเครื่องมือนี้ จะได้สูตรสำเร็จออกมาคือ

$$d_N = 4.33 \times 10^{-12} V_N W_N \quad C/N$$

โดย d_N คือค่าสัมประสิทธิ์เพียสโซอิเล็กตริก d_{31}

W_N คือค่าความกว้างของแผ่นฟิล์มที่จะวัด (มีหน่วยเป็น cm)

V_N คือค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ เมื่อตั้งค่าความต่างศักย์ของแผ่นอ้างอิงเท่ากับ 0.800 V

และสมการนี้จะมีข้อจำกัดดังนี้

1. ฟิล์มที่นำมาวัดจะต้องเป็นฟิล์มชนิดเดียวกันกับฟิล์มอ้างอิง

2. การวัดค่าความต่างศักย์ของแผ่นฟิล์มที่นำมาวัด จะต้องวัดที่การสั่นซึ่งทำให้ค่าความต่างศักย์ของแผ่นอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 0.800 V

3. วัดได้ที่ความถี่ 10 Hz เท่านั้น เพราะในการหาสมการมานั้นใช้ค่าการสั่นที่ความถี่นี้เท่านั้น

4. ความตึงของแผ่นฟิล์มที่ในขณะก่อนที่เริ่มการสั่นจะต้องมีค่าความตึงเท่ากับ 50×9.8 mN (ใช้มวล 50 g มาถ่วง)

ซึ่งจากการทดลองพบว่าการวัดแบบนี้ใช้ได้ดีพอสมควร (มีเปอร์เซนต์ความแตกต่างอยู่ในช่วงระหว่าง 0 - 17 %)

สำหรับการวัดค่าสัมประสิทธิ์ d_{31} แบบกระแสสลับวิธี 2 นั้น จะใช้แผ่นฟิล์มมาตรฐานมาหาค่าแรงดึงที่กระแสคงที่ค่าหนึ่ง (เช่น ในการทดลองนี้ใช้กระแส 0.75 A และ

คำนวณแรง ที่กระทำต่อแผ่นฟิล์มที่กระแสนี้ได้เท่ากับ 0.315 N) หลังจากนั้น ถ้ามีการวัดค่าสัมประสิทธิ์ d_{31} ของแผ่นฟิล์มใด ก็จะปรับกระแสที่ให้กับขดลวดไปที่ค่านี้ (0.75 A) ซึ่งตอนนี้ก็จะได้ว่าจะมีแรงขนาด 0.315 N มากระทำกับแผ่นฟิล์ม ซึ่งเมื่อทราบแรง , ความต่างศักย์ , ความกว้าง (จะทราบค่าโดยการวัด) และค่า ε ก็จะสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เพียสโซ-อิเล็กตริกออกมาได้ ซึ่งในการทดลองพบว่าค่า d_{31} ที่คำนวนได้นี้ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่า d_{31} ที่วัดแบบกระแสตรงจะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีเปอร์เซนต์ความแตกต่างอยู่ในช่วงระหว่าง 2 - 11 % (ค่าความผิดพลาดเนื่องจากการวัดจะรวมอยู่ในช่วงของเปอร์เซนต์ความแตกต่างนี้) ดังนั้นวิธีนี้ก็จะสามารถหาค่าสัมประสิทธ์เพียสโซอิเล็กตริก ได้ถูกต้องพอสมควรเช่นกัน

สำหรับเครื่องมือที่สร้างขึ้นเพื่อใช้วัดค่า d_{31} ในงานวิจัยนี้ ยังไม่สมบรูณ์นัก เนื่องจากยังมีค่าผิดพลาดอยู่บ้าง ดังนั้นในอนาคตถ้ามีผู้สนในต้องการพัฒนา เครื่องวัดเพียสโซอิเล็กตริกแบบสลับที่ความถี่ต่ำนี้ ก็ควรจะคำนึงถึงแรงเสียดทานที่กระทำต่อแกนเหล็กด้วย ซึ่งควรจะหาทางลดค่าแรงเสียดทานนี้ และถ้าได้มีการนำแอาคอมพิวเตอร์มาช่วยในการควบคุม , อ่านค่าตลอดจนแสดงผลที่วัดได้ออกมาทางจอภาพหรือพิมพ์ออกมาทางเครื่องพิมพ์ ก็คิดว่าจะทำให้สามารถวัดค่า d_{31} ได้สะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น เนื่องจากในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยวัดค่าสัมประสิทธ์เพียส-โซอิเล็กตริกที่ความถี่ 10 Hz เพียงความถี่เดียว ดังนั้นในอนาคตถ้ามีผู้สนใจและได้พัฒนาเครื่องวัดสัมประสิทธิ์เพียสโซอิเล็กตริกนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเล็กน้อยคือ อาจจะลองวัดค่าสัมประ-สิทธ์เพียสโซอิเล็กตริกแบบสลับนี้ที่ความถี่อื่น ๆ ซึ่งอยู่ในช่วงความถี่ต่ำดูบ้างว่าจะให้ผลเหมือนหรือต่างกันอย่างไร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย