

การวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของสารละลายผลึกเหลว

3.1 การเลือกสารที่ใช้เป็นตัวทำละลาย

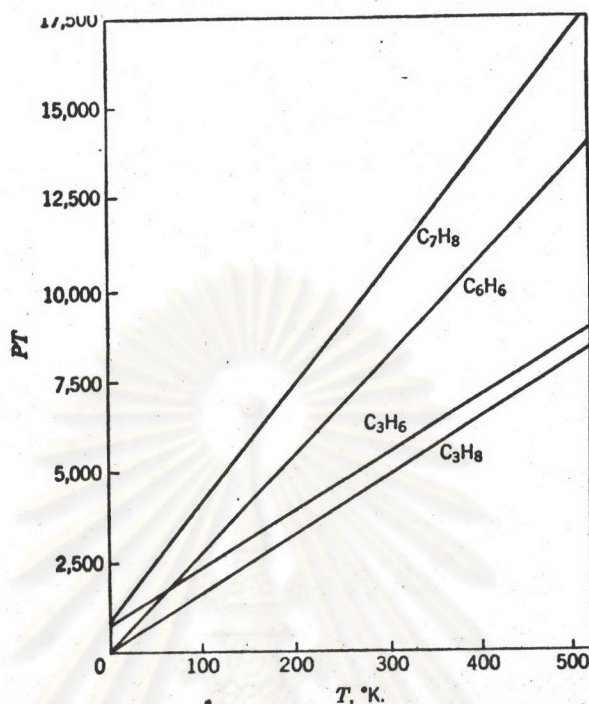
สารที่ใช้เป็นตัวทำละลายในสารละลายผลึกเหลวจะต้องเป็นสารที่มีโมเลกุลชนิดไม่มีขั้ว ขนาดของโมเลกุลจะต้องไม่เล็กกว่าโมเลกุลของผลึกเหลวจนเกินไป เราสามารถทดสอบสารได้ว่าโมเลกุลของมันเป็นชนิดมีขั้วหรือไม่ โดยการใส่สมการ (1-23) ของเดอบายซึ่งกล่าวไว้แล้วในบทที่ 1 เป็นพื้นฐาน ก็จะต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างโมลาร์โพลาไรเซชัน (p) กับอุณหภูมิสัมบูรณ์ของสารนั้น สมการ (1-23) ของเดอบายอาจเขียนให้อยู่ในรูปดังนี้

$$p = \frac{a}{T} + b \quad (3-1)$$

โดย $a = \frac{N \cdot \epsilon_0}{3\epsilon_0} \alpha_0^2$ และ $b = \frac{N\mu^2}{9k\epsilon_0}$

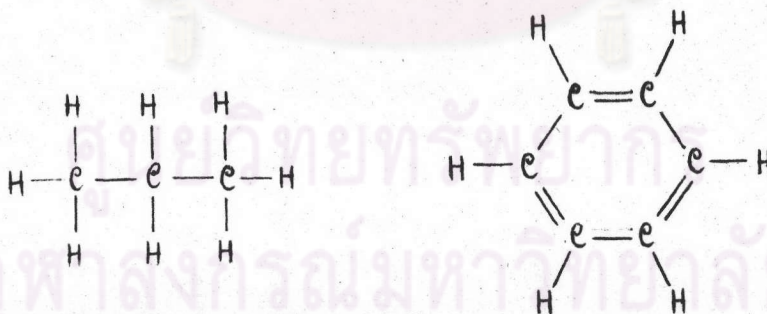
จากการวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า pT กับ T ของสาร จะได้ความสัมพันธ์ซึ่งเป็นกราฟเส้นตรงตัดแกน pT ที่ $\frac{N\mu^2}{9k\epsilon_0}$ และมีความชันเท่ากับ $\frac{N \cdot \epsilon_0}{3\epsilon_0} \alpha_0^2$ ดังนั้นกราฟของสารใดก็ตามที่มีโมเลกุลชนิดไม่มีขั้วจะผ่านจุดกำเนิด (origin) เสมอ

โดยการทดสอบสารอินทรีย์ 4 ชนิด คือ โพรเพน (propane) เบนซีน (benzene) โพรพิลีน (propylene) และโทลูอีน (toluene) พบว่ากราฟระหว่าง pT กับ T ของสารเหล่านี้มีลักษณะดังรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่ากราฟของโพรพิลีนและโทลูอีนตัดแกน pT ส่วนกราฟของโพรเพนและเบนซีนนั้นผ่านจุดกำเนิด ดังนั้นเราสามารถสรุปได้ว่า โพรเพน และ เบนซีน เป็นสารที่มีโมเลกุลชนิดไม่มีขั้ว



รูปที่ 3.1 แสดงกราฟระหว่าง p_T กับ T ของสารอินทรีย์ 4 ชนิด

นอกจากนี้เมื่อพิจารณามวลโมเลกุลและโครงสร้างโมเลกุลตามทฤษฎีของโทรเพนกับเบนซีน จะพบว่ามวลโมเลกุลเท่ากับ 44 และ 78 ตามลำดับ ส่วนโครงสร้างของโมเลกุลมีลักษณะดังรูปที่ 3.2

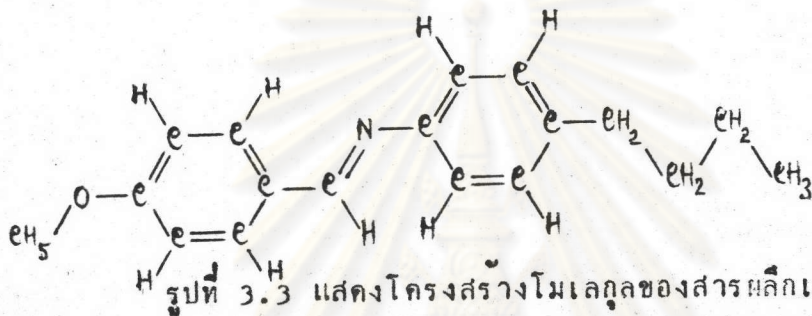


รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของโทรเพนและเบนซีน

จากเหตุผลทั้งสองประการดังกล่าว เราจึงเลือกใช้เบนซีนเป็นตัวทำละลายในสารละลายผลึกเหลว

3.2 สารผลึกเหลวนี้มาติก

สารผลึกเหลวนี้มาติกที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ N-(p-Ethoxybenzylidene)-p-Butylaniline หรือเรียกว่า EBBA โครงสร้างโมเลกุลของสารตามทฤษฎีแสดงดังรูปที่ 3.3



สารดังกล่าวผลิตโดย Riedel-de Haen AG, Seelze-Hannover, Germany มวลโมเลกุลของสารเท่ากับ 281 การเก็บรักษาสารนี้จะต้องควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 40 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพื่อไม่ให้สารเปลี่ยนสภาพจากนี้มาติกไปเป็นไอโซโทรปิก (isotropic)

3.3 การเตรียมสารละลายผลึกเหลว

สารละลายผลึกเหลวที่ใช้ในการทดลองนี้มีความเข้มข้นต่ำมาก คือ 0.010, 0.015 และ 0.020 เศษส่วนโมล แต่ละครั้งจะใช้สารประมาณ 30 ถึง 40 ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนั้นจะต้องคำนวณปริมาณของเบนซีนและสารผลึกเหลวที่จะต้องใช้ไว้เพื่อความสะดวกในการผสมสารละลาย

ให้ V = ปริมาตรของสารละลายซึ่งใกล้เคียงกับปริมาตรของเบนซีนที่ใช้

m_B = มวลของเบนซีนที่ใช้

m_L = มวลของสารผลึกเหลวที่ใช้

c_L = เศษส่วนโมลของสารผลึกเหลวในสารละลาย

N_L = จำนวนโมลของสารผลึกเหลวในสารละลาย

N_B = จำนวนโมลของเบนซีนในสารละลาย

ความหนาแน่นของเบนซีนเท่ากับ 0.887 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

$$m_B = 0.887 V \quad (3-2)$$

$$c_L = \frac{N_L}{N_L + N_B}$$

$$N_L = \frac{c_L N_B}{1 - c_L}$$

$$m_L = \frac{c_L \times 0.887 V \times 281}{78(1 - c_L)} = \frac{3.195 V c_L}{1 - c_L} \quad (3-3)$$

โดยสมการ (3-2) และ (3-3) จะได้อัตราของเบนซีนและมวลของสารผลึกเหลวที่จะต้องใช้ในการเตรียมสารละลายความเข้มข้นต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงมวลของเบนซีนและEBBAในสารละลายความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (เศษส่วนโมล)	0.010		0.015		0.020	
ปริมาตรสาร (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	30.0	40.0	30.0	40.0	30.0	40.0
มวลของเบนซีน (กรัม)	26.6	35.5	26.6	35.5	26.6	35.5
มวลของEBBA (กรัม)	0.968	1.29	1.46	1.95	1.96	2.61

การชั่งสารให้ได้ตามที่คำนวณเป็นสิ่งที่ยาก มักจะมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นอยู่เสมอ ดังนั้นเมื่อเตรียมสารเสร็จแล้ว จะต้องคำนวณความเข้มข้นของสารละลายที่ได้จากปริมาณสารที่ใช้ไปจริงอีกครั้งหนึ่ง ปริมาณสารที่ใช้ไปในการทดลองแต่ละครั้งแสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงมวลของเบนซีนและEBBAที่ใช้ไปจริงตามลำดับความเข้มข้น

มวลของเบนซีน (กรัม)	33.9	30.9	27.9
มวลของEBBA (กรัม)	1.23	1.70	2.05

3.4 การวัดค่าความจุของตัวเก็บประจุบรรจุสารละลายผลึกเหลว

การวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของสารละลายผลึกเหลวที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ทำได้โดยการวัดความจุของตัวเก็บประจุที่บรรจุสารละลายแต่ละความเข้มข้น และสารละลายที่ต้องการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกลงไปให้ท่วมตัวเก็บประจุที่บรรจุไว้ในอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น หมุนแกนของตัวเก็บประจุไปมาเพื่อไล่ฟองอากาศที่อาจหลงเหลืออยู่ออกให้หมด ปิดฝาครอบอุปกรณ์ให้สนิท ต่อตัวเก็บประจุเข้ากับอุปกรณ์วัดความจุไฟฟ้า โดยป้อนสัญญาณเข้าทาง channel 2 ของออสซิลโลสโคป ตั้งสเกล VOLTS/CM และ TIME/CM ไว้ที่ 0.05 และ 0.1 มิลลิวินาทีตามลำดับ สำหรับตัวเก็บประจุมาตรฐานของบริดจ์เลือกใช้ค่า 0.001 ไมโครฟารัด ปรับสไลด์เคอร์ของบริดจ์จนกระทั่งบริดจ์สมดุล การวัดความจุนี้เริ่มตั้งแต่สารละลายความเข้มข้น 0.010 ไปจนถึง 0.020 เศษส่วนโมล โดยเพิ่มค่าความเข้มข้นขึ้นช่วงละ 0.005 เศษส่วนโมล ปรากฏว่าจะได้ค่าความจุคงที่ตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงความจุของตัวเก็บประจุบรรจุสารละลายความเข้มข้นต่าง ๆ

ความถี่ (เฮิรตซ์)	ความจุ (พิโคฟารัด)		
	0.010 เศษส่วนโมล	0.015 เศษส่วนโมล	0.020 เศษส่วนโมล
1000	673	686	694
1100	665	695	698
1200	676	692	698
1300	681	690	697
1400	677	689	698
1500	675	687	699
1600	674	684	694
1700	673	689	700

ตารางที่ 3.3 แสดงความจุของตัวเก็บประจุบรรจุสารละลายความเข้มข้นต่าง ๆ

ความถี่ (เฮิทซ์)	ความจุ (พิโคฟารัด)		
	0.010 เศษส่วนโมล	0.015 เศษส่วนโมล	0.020 เศษส่วนโมล
1800	678	685	696
1900	674	688	697
2000	676	688	694

3.5 การหาค่าคงที่ไคโอเลคตริกของสารละลายผลึกเหลว

จากค่าความจุของตัวเก็บประจุเปล่าและความจุเมื่อบรรจุสารละลายผลึกเหลวตามตารางที่ 3.3 เราสามารถคำนวณค่าคงที่ไคโอเลคตริกของสารละลายความเข้มข้นต่าง ๆ ได้โดยใช้สมการ (2-1) ผลการคำนวณปรากฏดังตารางที่ 3.4

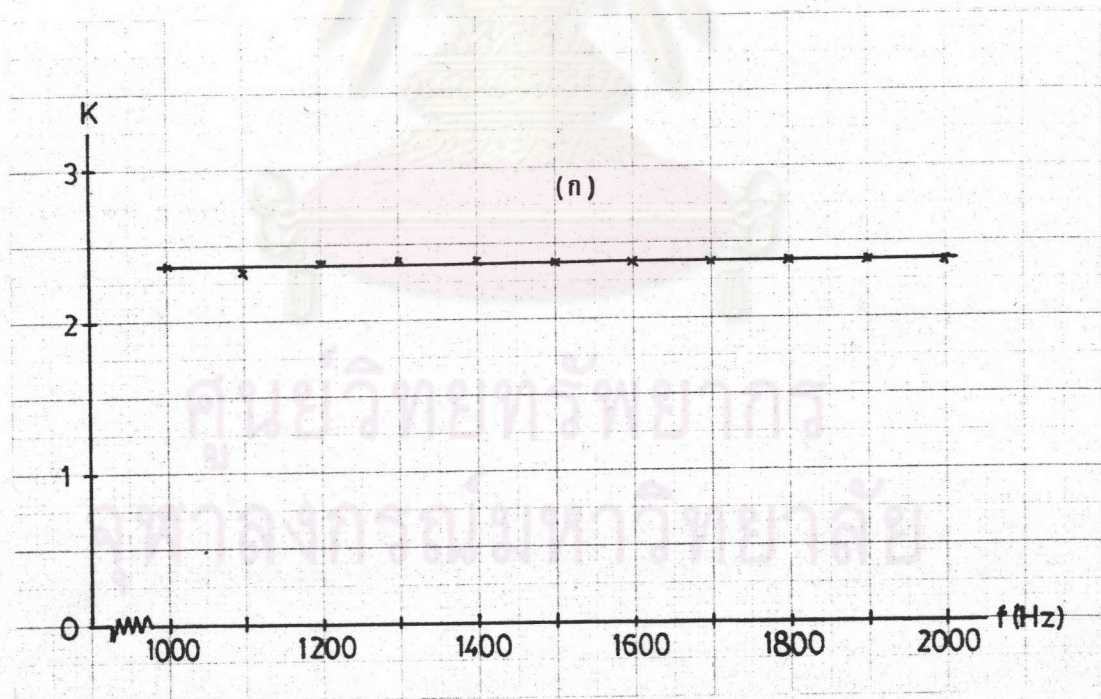
ตารางที่ 3.4 แสดงค่าคงที่ไคโอเลคตริกของสารละลายผลึกเหลวความเข้มข้นต่าง ๆ

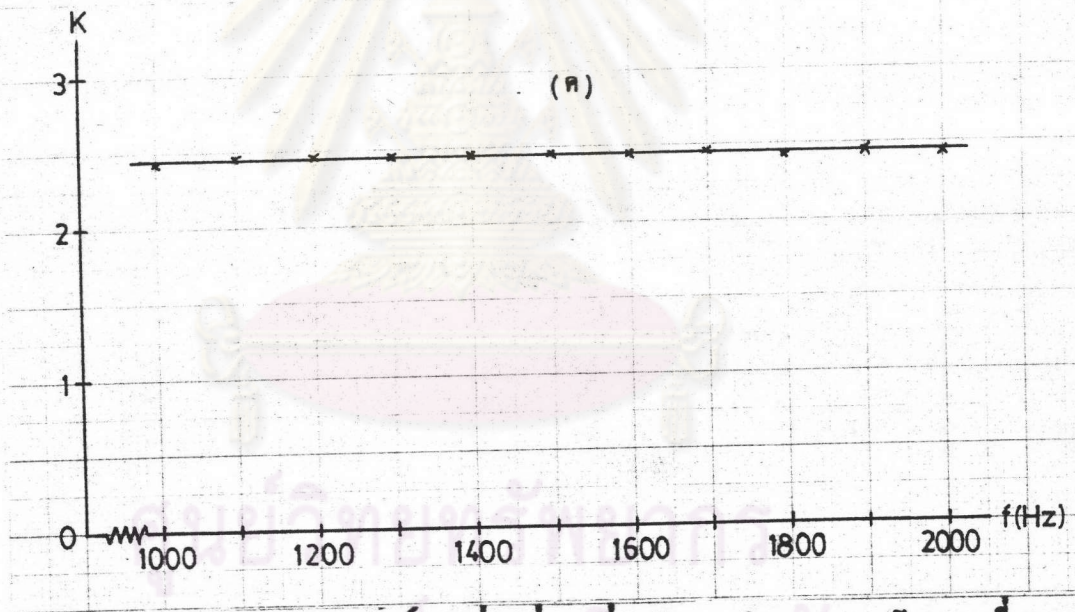
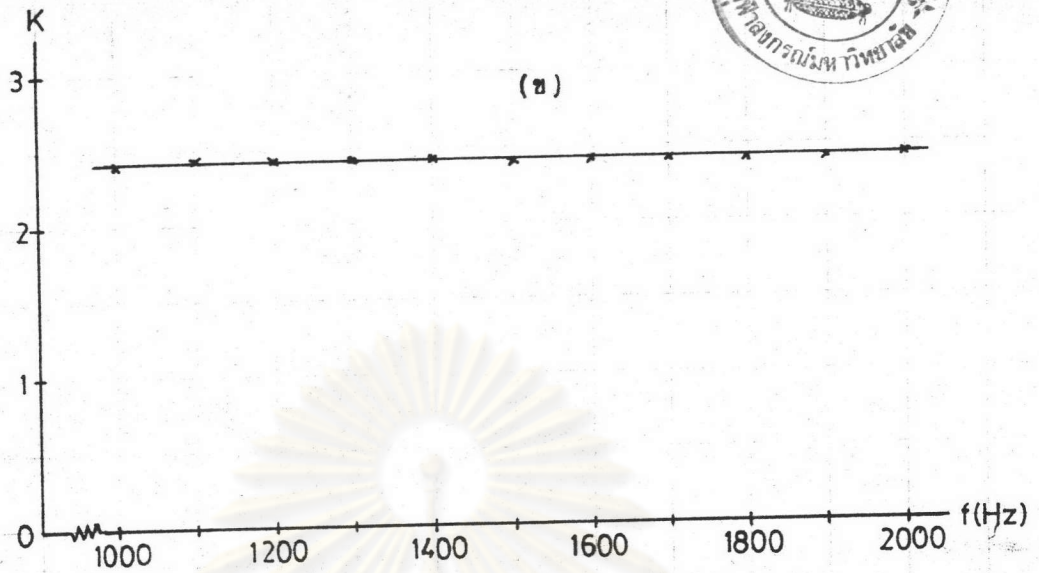
ความถี่ (เฮิทซ์)	ค่าคงที่ไคโอเลคตริก		
	0.010 เศษส่วนโมล	0.015 เศษส่วนโมล	0.020 เศษส่วนโมล
1000	2.361	2.407	2.435
1100	2.333	2.439	2.449
1200	2.372	2.428	2.449
1300	2.389	2.421	2.446
1400	2.375	2.418	2.449
1500	2.368	2.411	2.453
1600	2.365	2.400	2.435

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของสารละลายหลักเหลวความเข้มข้นต่าง ๆ

ความถี่ (เฮิพซ์)	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก		
	0.010 เศษส่วนโมล	0.015 เศษส่วนโมล	0.020 เศษส่วนโมล
1700	2.361	2.418	2.456
1800	2.379	2.404	2.442
1900	2.365	2.414	2.446
2000	2.372	2.414	2.435

จากตารางที่ 3.4 จะได้อกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กตริกกับความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ดังรูปที่ 3.4





รูปที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่โคอิเลคตริกของสารกับความถี่

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ตามตารางที่ 3.4 ประกอบกับกราฟตามรูปที่ 3.4 ปรากฏว่าค่าค่าคงที่สองของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแต่ละความเข้มข้นเท่ากับ 0.088, 0.193 และ 0.012 ตามลำดับ สรุปได้ว่าค่าคงที่โคอิเลคตริกของสารละลายผลึกเหลวที่ความเข้มข้นต่าง ๆ มีค่าเกือบคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้

ดังนั้นจะได้อ่านค่าที่ได้อิเล็กทริกเฉลี่ยของสารละลาย EBBA แต่ละความเข้มข้น พร้อมทั้งความคลาดเคลื่อนของการวัดตามตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงค่าที่ได้อิเล็กทริกของสารละลาย EBBA ในเบนซีน

ความเข้มข้น (เศษส่วนโมล)	ค่าที่ได้อิเล็กทริก	ความคลาดเคลื่อน
0.010	2.367	0.013
0.015	2.416	0.011
0.020	2.445	0.007

3.6 การวัดค่าที่ได้อิเล็กทริกที่ความถี่แสงของเบนซีนและสารละลายผลึกเหลว⁶

เราได้อ่านจากบทที่ 1 แล้วว่า ถ้าใช้สนามไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งมีความถี่สูงมาก ถึงระดับความถี่แสงแล้ว ค่าโมลาร์โพลาไรเซชันของสารได้อิเล็กทริกจะเกิดจากไดโพล ชนิดเหนี่ยวนำแต่เพียงอย่างเดียว และค่าที่ได้อิเล็กทริกก็จะมีความสัมพันธ์กับดัชนีหักเห ของสารตามสมการ (1-26) ด้วย ในการวิจัยเกี่ยวกับการวัดค่าเวลาผ่อนคลายและค่า โมเมนต์ไดโพลถาวรทางไฟฟ้าของโมเลกุล EBBA อีสาระที่ความถี่ไมโครเวฟ ได้ทดลอง วัดค่าดัชนีหักเหของแสงสีเหลืองของสารละลาย EBBA ในเบนซีนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยใช้รีแฟรคโตมิเตอร์ของแอบบ์ (Abbe's refractometer) แล้วนำผลที่ได้ไปเปลี่ยน เป็นค่าที่ได้อิเล็กทริกที่ความถี่แสง ปรากฏผลตามตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 แสดงค่าที่ได้อิเล็กทริกของสารละลายที่ความถี่แสง

ความเข้มข้น (เศษส่วนโมล)	ค่าที่ได้อิเล็กทริก
0.000	2.220
0.010	2.232
0.015	2.240
0.020	2.246