



1.1 บทนำ

ในการศึกษาคุณสมบัติโดยทั่ว ๆ ไปของสารไม่ว่าจะเป็นในทางเคมี หรือฟิสิกส์ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant- k) ก็เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอันหนึ่ง เช่น จากค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของสารที่ความถี่ต่าง ๆ ก็จะทำให้ทราบว่าโมเลกุลของสารนั้นมีไดโพลถาวรทางไฟฟ้า (permanent electric dipole) หรือไม่มี และจากค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ความถี่สูง เช่นความถี่ในช่วงไมโครเวฟ (microwave) คือ ที่ความถี่ประมาณพันล้านรอบต่อวินาที ก็จะทำให้ทราบถึงความคล่องตัวของโมเลกุล และอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างโมเลกุลแต่ละตัวกับโมเลกุลข้างเคียง นอกจากนี้ในการสร้างอุปกรณ์ทางไฟฟ้าหลายชนิดก็ต้องทราบค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุที่นำมาประกอบ เป็นอุปกรณ์นั้นอย่างดี ดังนั้นการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของสารต่าง ๆ จึงมีประโยชน์ทั้งในทางวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ และวิทยาศาสตร์ประยุกต์

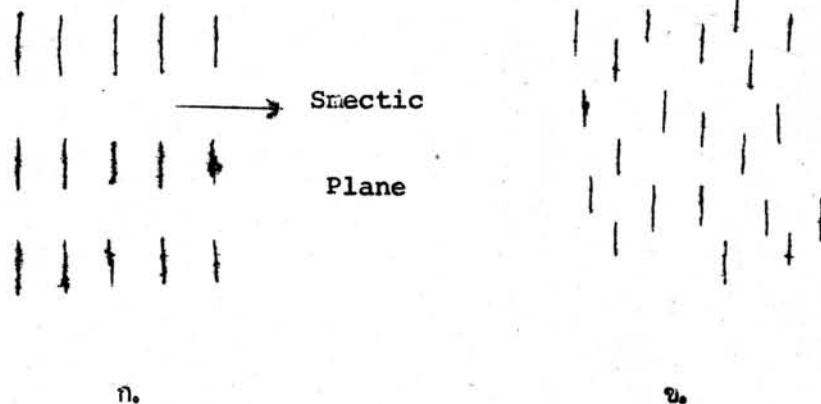
ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของผลึกเหลว (liquid crystal) แบบนีมาติก (nematic) ชนิด MBBA (N - p - Methoxybenzyliden) - p - n - butylaniline) และชนิด EBBA (N - (p - Etoxy benzylidene) - p - n - butylaniline) ทั้งภายนอกและภายในสนามแม่เหล็ก การที่ต้องวัดภายในสนามแม่เหล็ก ก็เพื่อที่จะใช้สนามแม่เหล็ก เป็นตัวจัดความเป็นระเบียบ (order) ของโมเลกุลของผลึกเหลว โดยสนามแม่เหล็กจะทำให้โมเลกุลของผลึกเหลวจัดตัวในลักษณะที่แกนยาวของโมเลกุลอยู่ในแนวเดียวกับทิศของสนามแม่เหล็ก¹ ในการทดลองก็ได้จัดวางเครื่องมือจนทำให้สามารถวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเมื่อแกนยาวของโมเลกุล (หรือสนามแม่เหล็ก) ตั้งฉากและขนานกับสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ ทั้งนี้ก็เพื่อศึกษาการหมุนของโมเลกุลรอบแกนยาวและรอบแกน ซึ่งตั้งฉากกับแกนยาวของโมเลกุลนั่นเอง

1.2 การจำแนกผลึกเหลว²

ในปี ค.ศ. 1887 ไรนิตเซอร์ (Reinitzer) ได้สังเกตว่าเมื่อให้ความร้อนแก่ Cholesteryl benzoate ในขณะที่เป็นของแข็งสารนี้จะหลอมละลายที่อุณหภูมิ 145°C ของเหลวที่ได้มีลักษณะขุ่นขาว และถ้าให้ความร้อนต่อไปจนถึงอุณหภูมิ 179°C ของเหลวขุ่นขาวนี้จะกลายเป็นของเหลวใส ต่อมาไลแมน (Lehman) ได้ศึกษาสารนี้ในช่วงที่เป็นของเหลวขุ่นขาวและพบว่า ในช่วงนี้สารนี้จะมีสมบัติในทางทัศนศาสตร์ (Optical anisotropy) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่พบในผลึกของแข็ง ไลแมนได้เรียกสภาวะของสารในช่วงที่เป็นของเหลวขุ่นขาวนี้ว่า ผลึกเหลว (Liquid Crystal) และผลึกเหลวนี้มีอีกชื่อหนึ่งที่มักนิยมเรียกว่า คือ มีโซเฟส (Mesophase)

ลักษณะโดยทั่วไปของผลึกเหลวคือโมเลกุลของมันมีลักษณะยาว โดยปกติโมเลกุลพวกนี้มักมีความยาว 15 ถึง 40 Å และได้มีการจำแนกผลึกเหลวออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

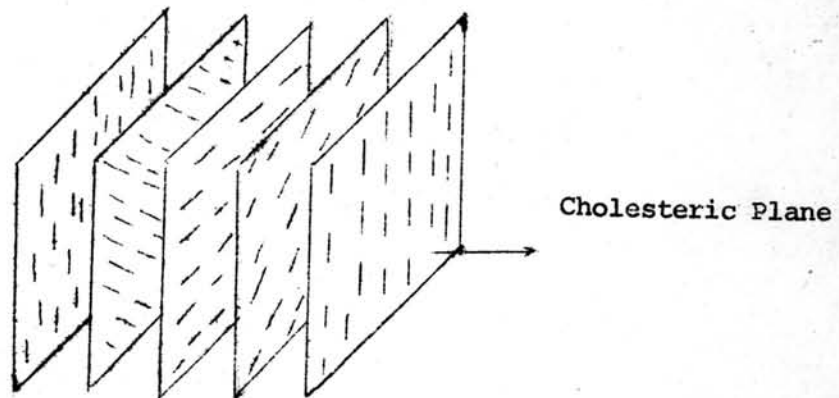
1. ผลึกเหลวชนิดสเมคติก (Smectic Liquid Crystal) โมเลกุลของผลึกเหลวชนิดนี้จะเรียงตัวกันเป็นชั้น ๆ ดังรูปที่ (1.1 ก) โดยแต่ละชั้นจะมีโมเลกุลขนานกัน แกนยาว (long axis) ของโมเลกุลจะตั้งฉากกับระนาบของสเมคติก (Smectic Plane)



รูปที่ 1.1 การเรียงตัวของโมเลกุลของผลึกเหลว ก. แบบสเมคติก
ข. แบบนีมาติก

2. ผลึกเหลวแบบนีมาติก (Nematic Liquid Crystal) โมเลกุลของผลึกเหลวแบบนี้จะมีแกนยาวขนานกัน แต่ไม่เรียงเป็นชั้น ๆ เหมือนในสเมคติก ดังในรูปที่ (1.1 ข.) ผลึกเหลวแบบนี้ถือว่าเป็นผลึกเหลวแบบที่ง่ายที่สุด

3. ผลึกเหลวแบบคอเลสเทอริก (Cholesteric Liquid Crystal) ผลึกเหลวชนิดนี้จะมีโมเลกุลที่ขนานกันเป็นชั้น ๆ โดยแกนยาวของโมเลกุลขนานกับระนาบของคอเลสเทอริก (Cholesteric Plane) และในระนาบถัดมาโมเลกุลจะบิดตัว (twist) จากระนาบแรกรอบแกนที่ตั้งฉากกับระนาบของคอเลสเทอริกจนครบ 1 คาบ (Period) แล้วเริ่มบิดซ้ำเดิมอีก ดังรูปที่ (1.2) ผลึกเหลวแบบนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าทวิสท์นีมาติก (Twist Nematic)



รูปที่ 1.2 การเรียงตัวของผลึกเหลวแบบคอเลสเทอริก

1.3: คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของสารฉนวน³

เมื่อสารฉนวนอยู่ในสนามไฟฟ้า ประจุไฟฟ้าภายในสารก็จะถูกโพลาไร (Polarize) ให้เรียงตัวอยู่ในแนวของสนามไฟฟ้า ถ้าสนามไฟฟ้าที่ใช้เป็นสนามสลับการเรียงตัวของประจุไฟฟ้าก็จะสลับไปมาตามสนามไฟฟ้า ในกรณีที่สนามไฟฟ้าเป็น

ตั้งสมการ (1.3.1) คือ

$$E = E_0 \cos \omega t \quad (1.3.1)$$

การขจัดทางไฟฟ้า (Electric displacement) จะมีเฟสต่างกับสนามไฟฟ้าโดย

$$\begin{aligned} D &= D_0 \cos (\omega t - \phi) \\ &= D_1 \cos \omega t + D_2 \sin \omega t \end{aligned} \quad (1.3.2)$$

โดยที่ $D_1 = D_0 \cos \phi$ (1.3.3ก.)

$$D_2 = D_0 \sin \phi \quad (1.3.3ข.)$$

โดยทั่วไป D_0 จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ E_0 และอัตราส่วน D_0/E_0 จะขึ้นกับ
ความถี่ที่ใช้ จึงได้มีการกำหนดค่าเปอมีตริวิตี $\epsilon'(\omega)$ และ $\epsilon''(\omega)$ ที่ขึ้นกับความถี่
ดังนี้

$$D_1 = \epsilon' E_0 \quad (1.3.4ก.)$$

และ $D_2 = \epsilon'' E_0$ (1.3.4ข.)

ซึ่งจาก (1.3.3) และ (1.3.4) จะได้ว่า

$$\tan \phi = \frac{\epsilon''}{\epsilon'}$$

และมักจะเขียน $\epsilon'(\omega)$, $\epsilon''(\omega)$ เป็นปริมาณเชิงซ้อน (complex permittivity)
ดังนี้

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (1.3.5)$$

และสมการ (1.3.1) กลายเป็น

$$E = E_0 e^{j\omega t} \quad (1.3.6)$$

ในกรณีที่ $\omega = 0$ $\epsilon'(\omega) = \epsilon_s$

$$\epsilon''(\omega) = 0$$

และถ้า $\omega \rightarrow \infty$ $\epsilon'(\omega) = \epsilon_\infty$

โดย ϵ_s คือค่าเปอมีตริวิตีสถิตย (Static permittivity) และ ϵ_∞ เป็นค่าเปอมีตริวิตีที่ความถี่ของแสง (Optical permittivity)

ถ้าใส่สนามไฟฟ้าที่มีความเข้ม $E(u)$ ในช่วงเวลา u ถึง $u + du$ ลงในสภาวะนั้นก็จะเกิดการขจัด D ขึ้น และเนื่องจากความเฉื่อย (Inertia) ของโพลาริเซชันทำให้ D ที่เกิดขึ้นนี้อยู่ในช่วงเวลา t ซึ่งมากกว่า $u + du$ ดังนั้น D จึงเป็นฟังก์ชันของ $t - u$ ดังนี้

$$D(t - u) = E(u) \alpha(t - u) du \quad \text{ถ้า } t > u + du \quad (1.3.7)$$

โดย $\alpha(t - u)$ เป็น decay function ซึ่งเป็นตัวบอกถึงการลดลงของ D เมื่อเวลาผ่านไป และมีคุณสมบัติว่า

$$\alpha(t - u) \rightarrow 0 \quad \text{เมื่อ } t \rightarrow \infty \quad (1.3.8)$$

นอกจากนี้การขจัด D ยังมีส่วนประกอบส่วนหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนไปตามสนามไฟฟ้าได้ทันทีเท่ากับ $\epsilon_\infty E(u)$

$$\text{ดังนั้น } D(t - u) = \epsilon_\infty E(u) + E(u) \alpha(0) du \quad \text{ถ้า } u < t < u + du \quad (1.3.9)$$

โดยสามารถคิดได้ว่า α เท่ากับ $\alpha(0)$ ในช่วงเวลาสั้น ๆ du ถ้าเวลาที่ใช้เป็น
เวลาต่อเนื่อง โดยที่เมื่อเวลา $u = 0$ ความเข้มสนามไฟฟ้าจะเป็น $E(u)$
ทำให้ได้ว่า

$$D(t) = \epsilon_{\infty} E(t) + \int_0^t E(u) \alpha(t-u) du \quad (1.3.10)$$

เมื่อแทน $E(t)$ จากสมการ (1.3.1) ลงใน (1.3.10) จะได้

$$\begin{aligned} D(t) - \epsilon_{\infty} E_0 \cos \omega t &= E_0 \int_0^t \alpha(t-u) \cos \omega u du \\ &= E_0 \int_0^t \alpha(x) \cos \omega(t-x) dx \quad (1.3.11) \end{aligned}$$

โดยกำหนดให้ $x = t - u$ (1.3.12)

ถ้า decay function เป็นฟังก์ชันของเวลาแบบ exponential คือ

$$\alpha(t) \propto e^{-t/\tau} \quad (1.3.14)$$

โดย τ เป็นเวลาแห่งการผ่อนคลาย (relaxation time) เป็นตัวที่จะบอกถึง
ความคล่องแคล่วของโมเลกุลที่จะสามารถกลับตัวตามสนามไฟฟ้าได้เร็วเพียงใด เวลา
แห่งการผ่อนคลายคือเวลาที่โมเลกุลใช้ในการกลับตัว 1 รอบ และจากสมการ
(1.3.10) ถ้าขยายขอบเขตล่าง (lower limit) เป็นลบอนันต์ จะได้ว่า

$$D(t) = \epsilon_{\infty} E(t) + \int_{-\infty}^t E(u) \alpha(t-u) du \quad (1.3.15)$$

สมการนี้สามารถทำให้เป็น differential equation ได้โดยทำการหาอนุพันธ์
(differentiate) ทั้งสมการเทียบกับเวลาและจาก (1.3.14) จะได้

$$\frac{d\alpha}{dt} = -\frac{1}{\tau} \alpha(t) \quad (1.3.16)$$

จากวิธีการข้างบนจะทำให้สมการ (1.3.15) กลายเป็น

$$\tau \frac{dD(t)}{dt} = \epsilon_{\infty} \tau \frac{dE(t)}{dt} + \tau \alpha(0) E(t) - \int_{-\infty}^t E(u) \alpha(t-u) du \quad (1.3.17)$$

เมื่อนำสมการ (1.3.15) บวกกับ (1.3.17) จะได้

$$\tau \frac{d}{dt} (D - \epsilon_{\infty} E) + (D - \epsilon_{\infty} E) = \tau \alpha(0) E \quad (1.3.18)$$

ในกรณีที่ความถี่เป็นศูนย์จะได้

$$\frac{d}{dt} (D - \epsilon_{\infty} E) = 0 \quad (1.3.19a.)$$

$$\text{และ} \quad D = \epsilon_S E \quad (1.3.19b.)$$

ดังนั้นจากสมการ (1.3.18) ได้ว่า

$$\tau \alpha(0) = \epsilon_S - \epsilon_{\infty} \quad (1.3.20)$$

ดังนั้นจากสมการ (1.3.18) ได้ว่า

$$\tau \frac{d}{dt} (D - \epsilon_{\infty} E) + (D - \epsilon_{\infty} E) = (\epsilon_S - \epsilon_{\infty}) E \quad (1.3.21)$$

เมื่อแทนสนามไฟฟ้า E ด้วยสมการ (1.3.6) และใช้ความสัมพันธ์

$$D = \epsilon(w) E \quad (1.3.22)$$

$$\text{จะได้ว่า} \quad \frac{dD}{dt} = jw \epsilon(w) E \quad (1.3.23)$$

เมื่อแทนค่า (1.3.6), (1.3.22), (1.3.23) ลงในสมการ (1.3.21) จะได้

$$\epsilon(\omega) - \epsilon_\infty = \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + j\omega\tau} \quad (1.3.24)$$

เมื่อพิจารณาค่าจริง (real part) และค่าจินตภาพ (imaginary part) ของสมการ (1.3.24) แล้ว จะได้

$$\epsilon'(\omega) - \epsilon_\infty = \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (1.3.25)$$

$$\epsilon''(\omega) = \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty)\omega\tau}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (1.3.26)$$

$$\text{และ } \tan \phi = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} = \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty)\omega\tau}{\epsilon_s + \epsilon_\infty \omega^2 \tau^2} \quad (1.3.27)$$

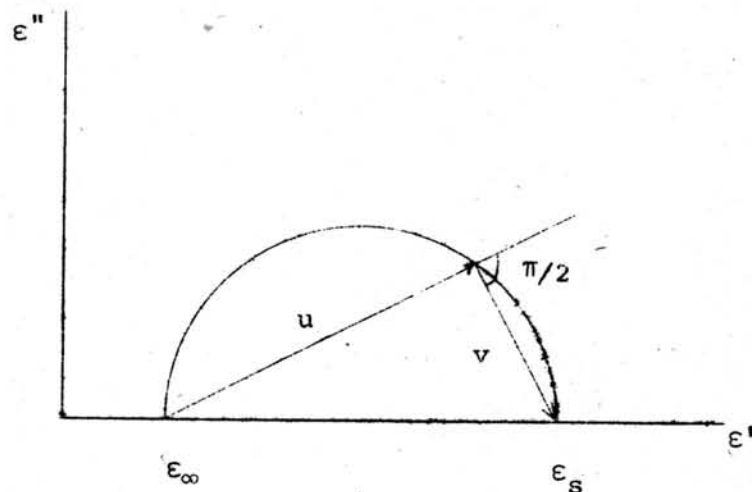
สมการ (1.3.25), (1.3.26) และ (1.3.27) เรียกว่าสมการของเดอบาย (Debye's equation) และดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าในการทดลองได้ใส่ผลึกเหลวลงในสนามแม่เหล็ก ซึ่งทำให้ทราบถึง ϵ' และ ϵ'' ในทิศทางสนามไฟฟ้าตั้งฉากและขนานกับแกนยาวของโมเลกุล นอกจากนี้ค่า τ ในทิศทางทั้งสองยังจะทำให้ทราบถึงความคล่องตัวและอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างโมเลกุลในทิศทางดังกล่าวด้วย

1.4 การเขียนกราฟแบบโคล์-โคล์⁴

จากสมการของเดอบาย (1.3.25) และ (1.3.26) สามารถจะพิสูจน์ได้ว่าเมื่อเขียนกราฟระหว่าง ϵ' และ ϵ'' ที่ความถี่ต่าง ๆ จะได้เส้นกราฟออกมาเป็นรูปวงกลม ซึ่งการพิสูจน์เป็นดังนี้

$$\begin{aligned}
 \left(\epsilon' - \frac{(\epsilon_s + \epsilon_\infty)}{2} \right)^2 + \epsilon''^2 &= \left[\frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty)}{1 + w^2 \tau^2} + \epsilon_\infty - \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty)}{2} \right]^2 + \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty)^2 w^2 \tau^2}{(1 + w^2 \tau^2)^2} \\
 &= (\epsilon_s - \epsilon_\infty)^2 \left[\left(\frac{1}{1 + w^2 \tau^2} - \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{w^2 \tau^2}{(1 + w^2 \tau^2)^2} \right] \\
 &= \frac{1}{4} (\epsilon_s - \epsilon_\infty)^2 \quad (1.4.1)
 \end{aligned}$$

เมื่อพิจารณาสมการ (1.4.1) เห็นได้ว่าทางขวามือของสมการเป็นค่าคงที่ และแบบของสมการเป็นสมการวงกลม นั่นคือ ถ้าเขียนกราฟระหว่าง ϵ' และ ϵ'' ในระนาบเชิงซ้อน (complex plane) โดยให้ ϵ' อยู่บนแกนจริง (real axis) และ ϵ'' อยู่บนแกนจินตภาพ (imaginary axis) ก็จะได้เส้นกราฟเป็นรูปวงกลมมีจุดศูนย์กลางอยู่บนแกน ϵ' ตรงจุดที่ ϵ' เท่ากับ $(\epsilon_s + \epsilon_\infty)/2$ รัศมีเท่ากับ $(\epsilon_s - \epsilon_\infty)/2$ เส้นกราฟจึงตัดแกน ϵ' ที่จุด ϵ' เท่ากับ ϵ_s และ ϵ_∞ ดังในรูป 1.3



รูปที่ 1.3 กราฟระหว่าง ϵ' และ ϵ'' ตามสมการของเคอร์บาย

นอกจากเขียนกราฟบนระนาบเชิงซ้อนแล้ว อาจจะพิจารณาถึงเวกเตอร์ใน
ระนาบเชิงซ้อนที่ได้ โดยที่ถ้ากำหนดให้ u และ v เป็นเวกเตอร์ในระนาบนี้
โดย

$$u = \epsilon - \epsilon_{\infty} \quad (1.4.2)$$

$$v = j\omega T (\epsilon - \epsilon_{\infty}) \quad (1.4.3 \text{ ก.})$$

หรือ $v = j\omega T u \quad (1.4.3 \text{ ข.})$

ดังนั้น $u \cdot v = (\epsilon - \epsilon_{\infty}) \cdot j\omega T (\epsilon - \epsilon_{\infty})$

$$= (\epsilon' - \epsilon_{\infty}, -\epsilon'') \cdot (\omega T \epsilon'', \omega T (\epsilon' - \epsilon_{\infty}))$$

$$= \omega T \epsilon'' (\epsilon' - \epsilon_{\infty}) - \omega T (\epsilon' - \epsilon_{\infty}) \epsilon''$$

$$= 0$$

และ $u + v = \epsilon - \epsilon_{\infty} + j\omega T (\epsilon - \epsilon_{\infty})$

เมื่อแทนค่า $(\epsilon - \epsilon_{\infty})$ จากสมการ (1.3.24) จะทำให้ได้ว่า

$$u + v = \frac{\epsilon_s - \epsilon_{\infty}}{1 + j\omega T} + \frac{j\omega T (\epsilon_s - \epsilon_{\infty})}{1 + j\omega T}$$

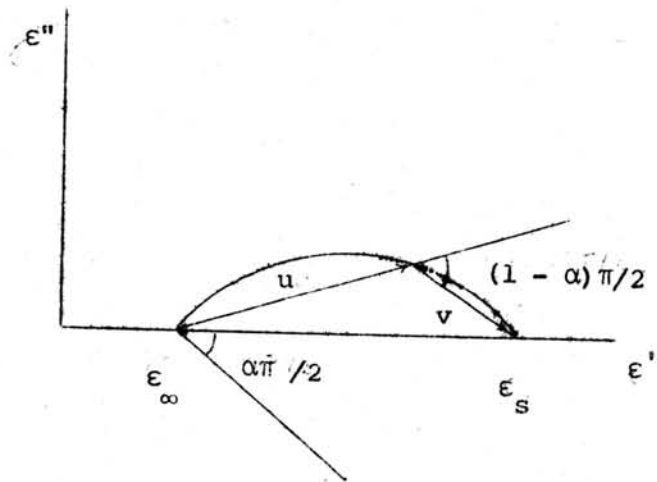
$$= \frac{(\epsilon_s - \epsilon_{\infty}) - j\omega T (\epsilon_s - \epsilon_{\infty}) + j\omega T (\epsilon_s - \epsilon_{\infty}) + \omega^2 T^2 (\epsilon_s - \epsilon_{\infty})}{1 + \omega^2 T^2}$$

$$= \frac{(\epsilon_s - \epsilon_{\infty}) (1 + \omega^2 T^2)}{1 + \omega^2 T^2}$$

$$= \epsilon_s - \epsilon_{\infty}$$

จากการกำหนดและการคำนวณข้างบนนี้จะเห็นได้ว่าถ้าเลื่อนจุดเริ่มต้น (origin) มาอยู่ที่ ϵ' เท่ากับ ϵ_∞ จากสมการ (1.4.2) จะได้ว่าปลายของเวกเตอร์ u จะเริ่มที่ ϵ_∞ และเพราะว่า $u \cdot v$ เท่ากับศูนย์ เวกเตอร์ v จึงตั้งฉากกับ u และผลรวมของเวกเตอร์ทั้งสองจะเป็นค่าจริงคงที่เท่ากับ $\epsilon_s - \epsilon_\infty$ ดังนั้นถ้าต่อเวกเตอร์ v จากปลายบนของเวกเตอร์ u แล้ว อีกปลายหนึ่งของเวกเตอร์ v จะต้องอยู่ที่จุดซึ่ง ϵ' เท่ากับ ϵ_s ไม่ว่าความถี่ของสนามไฟฟ้าจะเป็นเท่าใด ดังในรูป 1.3 จึงทำให้สามารถแทนสมการของเดอริบายได้ด้วยเวกเตอร์ u และ v

ต่อมานักฟิสิกส์ 2 คนคือ โกล์ (Kenneth S. Cole) และโคล์ (Robert H. Cole) พบว่ากราฟระหว่าง ϵ' และ ϵ'' ที่ได้จากสมการของเดอริบายนั้นไม่ตรงกับการทดลองคือ เส้นกราฟจะไม่เป็นวงกลม แต่จะเป็นส่วนของวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ใดแกน ϵ' ดังในรูป 1.4



รูปที่ 1.4 กราฟระหว่าง ϵ' และ ϵ'' แบบโคล์ - โกล์

ในกรณีที่มุมที่เส้นรัศมีทำกับแกน ϵ' ตรงจุดที่ ϵ' เท่ากับ ϵ_∞ จะไม่เป็นมุมฉาก แต่จะเป็น $\alpha\pi/2$ และจากทฤษฎีเรขาคณิตจะได้ว่ามุมระหว่างเวกเตอร์ u และ v จะเป็น $(1 - \alpha)\pi/2$

$$\text{สมมติว่า } u = u_0 e^{j\theta} \quad (1.4.4)$$

$$\text{และ } v = u (j\omega\tau)^{1-\alpha} \quad (1.4.5)$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ว่า } v &= u_0 e^{j\theta} j^{(1-\alpha)} (\omega\tau)^{1-\alpha} \\ &= u_0 (\omega\tau)^{1-\alpha} e^{j((1-\alpha)\pi/2 + \theta)} \end{aligned}$$

ซึ่งแสดงว่าเวกเตอร์ u และ v ทำมุมกัน $(1 - \alpha)\pi/2$ เช่นกัน จึงสามารถใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง u กับ v ตามสมการ (1.4.5) ได้ ซึ่งจะทำให้ผลรวมของเวกเตอร์ทั้งสองเป็น

$$u + v = u(1 + (j\omega\tau)^{1-\alpha}) \quad (1.4.6)$$

เมื่อแทนค่า u จากสมการ (1.4.2) และ v จากสมการ (1.4.5) ลงในสมการ (1.4.6) จะได้ว่า

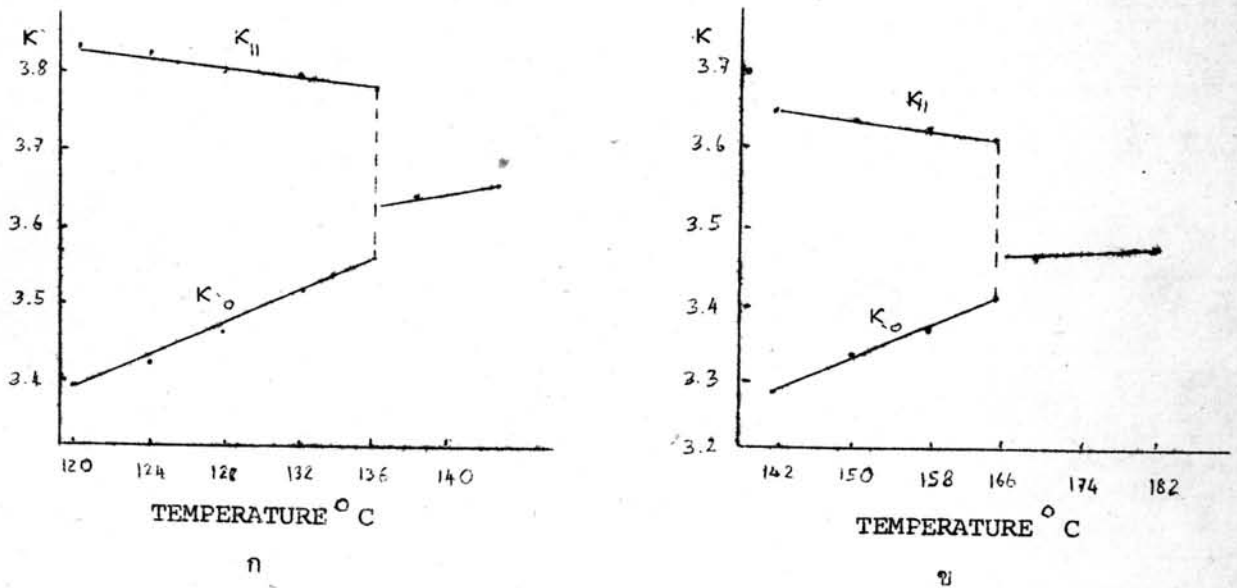
$$\epsilon_s - \epsilon_\infty = (\epsilon - \epsilon_\infty) (1 + (j\omega\tau)^{1-\alpha})$$

$$\text{หรือ } \epsilon - \epsilon_\infty = (\epsilon_s - \epsilon_\infty) / (1 + (j\omega\tau)^{1-\alpha}) \quad (1.4.7)$$

ดังนั้นในการคำนวณหา τ ต้องใช้ α ที่ได้จากรูป 1.4 และกราฟที่ได้ในลักษณะดังรูป 1.4 นี้เรียกว่ากราฟแบบโคล์-โคล์ (Cole - Cole plot)

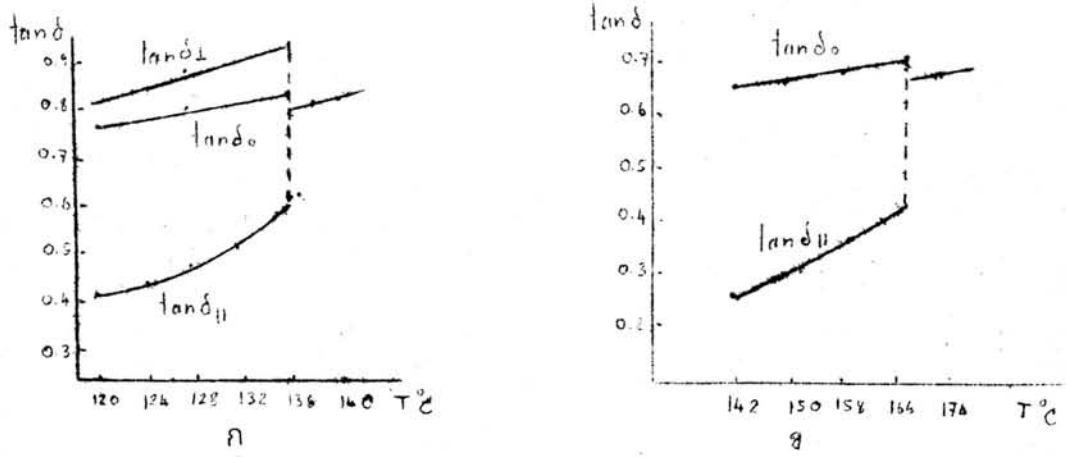
1.5 ผลการทดลองที่ทำมาแล้วเกี่ยวกับการหาค่าคงที่อุณหภูมิของผลึกเหลว

การทดลองหาค่าคงที่อุณหภูมิของผลึกเหลวได้มีการทำกันมาแล้วในอดีต คาร์ (E.F Carr) และสเปนซี (Spance)⁵ ได้ทำการวัดค่าคงที่อุณหภูมิของผลึกเหลว para-Azoxyanisole และ para-Azoxyphenetole ในช่วงความถี่ไมโครเวฟที่อุณหภูมิต่าง ๆ และใช้สนามแม่เหล็กที่มีความเข้ม 3000 เกาส์ ในการเรียงโมเลกุลปรากฏว่า ค่าคงที่อุณหภูมิของผลึกเหลวทั้งสองชนิดเมื่อสนามไฟฟ้าตั้งฉากกับแกนยาวของโมเลกุล (K_{\perp}) มีค่าใกล้เคียงกันเมื่อไม่มีสนามแม่เหล็ก (K_0) และเมื่อสนามไฟฟ้าขนานกับแกนยาวของโมเลกุล ค่าคงที่อุณหภูมิ (K_{\parallel}) จะมีค่าสูงขึ้น ผลการทดลองได้แสดงในรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 กราฟระหว่างค่าคงที่อุณหภูมิกับอุณหภูมิ ก. ของผลึกเหลว para-Azoxyanisole และ ข. ผลึกเหลว para-Azoxyphenetole

ส่วนค่าไดอิเล็กตริก loss ($\tan \delta$) นั้น ปรากฏว่า $\tan \delta_{\perp}$ มีค่าใกล้เคียงกับ $\tan \delta_{\parallel}$ และ $\tan \delta_{\parallel}$ มีค่าต่ำกว่า ดังแสดงในรูปที่ 1.6 แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนผลึกเหลวกลายเป็นของเหลวธรรมดา (Isotropic Liquid) ค่าคงที่ไดนามิกและไดอิเล็กตริก loss จะมีค่าเท่ากันไม่ว่าจะวัดในทิศทางใดก็ตาม



รูปที่ 1.6 ค่าไดอิเล็กตริก loss ก. ของ para-Azoxyanisole ข. ของ para-Azoxyphenetole

โมสซิคโค (J. Moscicki)⁶ และคณะได้วัดค่าคงที่ไดนามิกของ MBBA ในช่วงไมโครเวฟหลายความถี่ ได้แก่ 1.0, 1.6, 1.8, 2.9 และ 9.9 GHz โดยไม่ได้ใส่สนามแม่เหล็กที่อุณหภูมิ 260 $^{\circ}\text{K}$ ถึง 340 $^{\circ}\text{K}$ ปรากฏว่าที่อุณหภูมิ 260 $^{\circ}\text{K}$ ถึง 293 $^{\circ}\text{K}$ หรือในช่วงที่สารตัวอย่างเป็นของแข็งนั้น ค่าคงที่ไดนามิกไม่ค่อยขึ้นกับอุณหภูมิ แต่เมื่ออยู่ในสภาวะของผลึกเหลว ค่าคงที่ไดนามิกจะขึ้นกับอุณหภูมิ โดยที่ความถี่หนึ่ง ๆ จะมีค่าคงที่ไดนามิกเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เขายังพบว่าในช่วง 1.0 - 2.9 GHz ที่อุณหภูมิใด ๆ ค่าคงที่ไดนามิกจะลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น แต่ที่ 2.9 และ 9.9 GHz จะมีค่าคงที่ไดนามิกใกล้เคียงกัน และจากการนำค่าคงที่ไดนามิก และไดอิเล็กตริก loss ไปเขียนกราฟแบบโคลด์-โคลด์ แล้วนำไปคำนวณโดยใช้สมการ (1.4.4) จะทำให้ได้เวลาแห่งการผ่อนคลายเท่ากับ 156 psec ที่อุณหภูมิ 34 $^{\circ}\text{C}$ และ 117 psec ที่ 43 $^{\circ}\text{C}$ รอนดีลซ์ (F. Rondelcz) และเมอร์เซีย-รัสเซล (A. Mircea-Roussel)⁷ ได้ทำการวัดค่าคงที่ไดนามิก K_{\perp} และ K_{\parallel} ของผลึกเหลว MBBA ที่ความถี่ช่วง 0.1-10 MHz ที่อุณหภูมิ 22.75 $^{\circ}\text{C}$ ปรากฏว่าสำหรับ K_{\perp} เขาได้พบขบวนการผ่อนคลาย (relaxation process) ที่

จากผลงานต่าง ๆ ที่ได้เสนอมานี้ ทำให้มีปัญหาที่น่าสนใจที่จะทำการวิจัยต่อไป
ในขั้นแรกเป็นการสมควรที่จะทำการทดลองวัดค่าคงที่ฉนวนของสารที่มาติดตัวอื่น
(เช่น EBBA) ที่ความถี่ไมโครเวฟ เพื่อทดสอบดูว่ามีลักษณะแตกต่างกันอย่างไร สำหรับ
MBBA เราควรวัดค่าคงที่ฉนวนในกรณีที่แกนของโมเลกุลตั้งฉาก และขนานกับสนามไฟฟ้า
เพื่อดูว่า ค่าคงที่ฉนวนทั้ง 2 กรณี เปลี่ยนแปลงไปจากในกรณีที่แกนของโมเลกุลมีทิศทาง
ไม่แน่นอนอย่างไรบ้าง การศึกษาเหล่านี้ นอกจากเป็นการทดสอบความถูกต้องของผลการ
ทดลองที่แ้วมายังทำให้เราทราบคุณลักษณะต่าง ๆ ของโมเลกุลเพิ่มเติมไปจากเดิมด้วย
รายละเอียดและผลการทดลองจะได้กล่าวในบทต่อไป