



ในการวิจัยครั้งนี้ มีจุดประสงค์ที่จะหาเทคนิคต่าง ๆ ในการวัดค่าคงที่ฉนวนตลอดจนการ
สร้างเครื่องมือต่าง ๆ ที่จำเป็นในการทดลองขึ้นใช้เอง และยังสามารถศึกษาผลการทดลอง เปรียบ
เทียบกับทฤษฎีและผลการทดลองอื่น ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 รายละเอียดในการวิเคราะห์
ข้อมูลและเทคนิคต่าง ๆ จะได้กล่าวโดยละเอียดในหัวข้อต่าง ๆ ข้างล่างนี้

5.1 การสร้างท่อสั้น

ในการสร้างท่อสั้นพบว่าใช้วัสดุเมทัล (wood metal) ในการเชื่อมต่อทองเหลือง
กับท่อพลาสติกไม่ได้เพราะผลึก เหลวสามารถซึมผ่านวัสดุเมทัลออกมาได้ จึงจำเป็นต้องใช้ตะกั่ว
บัดกรีแทน ซึ่งตะกั่วนี้หาซื้อได้ง่ายกว่าวัสดุเมทัล นอกจากนี้เพื่อให้ผิวของท่อพลาสติกสะอาดขึ้นและ
ลดปฏิกิริยาระหว่างผลึก เหลวกับผนังของท่อตลอดจนทำให้ความนำ (conductivity) ของท่อเพิ่ม
ขึ้น ก่อนการทดลองก็ได้นำท่อสั้นนี้ไปชุบด้วยทอง

5.2 การควบคุมอุณหภูมิ

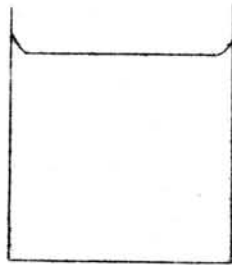
ในการวัดค่าคงที่ฉนวนของ EBBA จำเป็นต้องใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ เพราะ EBBA
เป็นผลึก เหลวที่อุณหภูมิประมาณ 40°C^{12} จากการทดลองพบว่า จะแช่ท่อสั้นและตัวนำความร้อนลง
ในน้ำไม่ได้เพราะจะเกิดมีฟอง ไปติดที่ตัวทำความร้อน ทำให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างตัว
ทำความร้อนกับน้ำ เป็นไปไม่เต็มที่จึงได้ใช้น้ำมันแทน นอกจากนี้น้ำมันยังทำให้การเปลี่ยนแปลง
ของอุณหภูมิ (ΔT) น้อยลงด้วย

5.3 ความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง

ในการทดลองทุกครั้งจะต้องมีความคลาดเคลื่อนอันอาจจะเนื่องมาจากเครื่องมือหรือ
ตัวผู้ทดลองเอง การทดลองครั้งนี้มีสิ่งที่จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้หลายอย่าง ได้แก่

5.3.1 การวัดความหนาของผลึก เหลว สำหรับ MBBA ซึ่งอยู่ในสภาวะของผลึก เหลวที่
อุณหภูมิห้องได้ทำการวัดความหนาโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์วัดความลึกจากปากท่อสั้นถึงสารตัว
อย่าง แล้วนำค่าที่ได้ไปลบออกจากความลึกของท่อเปล่าซึ่งก็ใช้เวอร์เนียร์วัดอีกเช่นเดียวกัน ซึ่ง
การวัดความลึกของผลึก เหลวนั้นปลายของเวอร์เนียร์อาจจะทะลุเลย เข้าไปในเนื้อของผลึก เหลวก็
ได้ จึงอาจจะ เป็นสาเหตุให้เกิดการคลาดเคลื่อน นอกจากนี้แรงตึงผิว (surface tension)

ของผลึก เหลวก็อาจจะ เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนของการทดลองได้ เพราะผิวของผลึก เหลวจะเป็นผิวโค้งดังในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงแรงดึงผิวของผลึก เหลวในท่อน้ำคลื่น

วิธีการแก้ไขก็คืออาจจะถือได้ว่าพื้นที่ของท่อน้ำคลื่นน้อยจนไม่ต้องคำนึงถึงความโค้งของผิวและทำการวัดหลาย ๆ ครั้งแล้วนำค่าเฉลี่ยไปใช้ในการทดลอง

5.2.2 ความถี่ที่ใช้ในการทดลอง เมื่อเริ่มเปิดเครื่องให้สัญญาณหรือเมื่อเปลี่ยนความถี่ต้องรอประมาณ 15 นาที จึงจะลงมือทำการทดลอง เพราะเมื่อเริ่มเปิดเครื่องใหม่ ๆ หรือเปลี่ยนความถี่ใหม่ ๆ ความถี่ที่ได้จะไม่คงที่ อย่างไรก็ตามก็ถึงแม้ว่าจะรอในช่วงเวลาดังกล่าวแล้วก็ตามความถี่ที่ออกมา ก็อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงได้ 2 - 3 MHz ซึ่งก็เป็นเพียง 0.2 - 0.3 เปอร์เซ็นต์ ของความถี่ที่ใช้และในการทดลองได้ตรวจสอบความถี่ที่ใช้ด้วยเวฟมิเตอร์ทุกระยะ

5.3.3 ความแม่นยำของออสซิลอสโคป ในการทดลองตอนที่ก่อให้เกิดสัญญาณบนจอออสซิลอสโคปเป็นศูนย์นั้น ถ้าเครื่องมีกำลังขยายต่ำก็อาจจะมองเห็นสัญญาณเป็นศูนย์แล้ว แต่เมื่อใส่สัญญาณนั้น เข้าสู่ออสซิลอสโคปที่มีกำลังขยายสูงสัญญาณอาจจะยังไม่เป็นศูนย์และต้องปรับ เครื่องมือต่าง ๆ อีกจึงจะเป็นศูนย์ สำหรับออสซิลอสโคปที่ใช้ในนี้มีกำลังขยาย 0.05 โวลต์ต่อเซ็นติเมตร ซึ่งก็เป็นกำลังขยายที่ต่ำพอใช้และในการทดลองได้วัดข้อมูลหลายครั้งแล้วนำค่าเฉลี่ยไปใช้ในการคำนวณ

5.3.4 การจัดวางเครื่องมือ การวัดค่าคงที่ฉนวนไม่ว่าจะเป็นวิธีการใช้ เครื่องตรวจคลื่นสติกคีย์หรือแมจิกที ท่อคลื่นต้องอยู่ในแนวตั้ง เพราะผลึก เหลวเป็นสารที่ไหลได้ ดังนั้นถ้าท่อคลื่นไม่อยู่ในแนวตั้งแล้วก็จะทำให้ผิวของผลึก เหลวไม่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นไมโครเวฟทำให้ข้อมูลที่ได้ผิดไป ในการแก้ไขก่อนการทดลองได้ใช้วัตถุหนัก ๆ เช่น น็อต เหล็กผูกติดกับ เชือกทำเป็นลูกตุ้ม พร้อมกับใช้ เครื่องวัดระดับที่เรียกว่าระดับน้ำตรวจสอบให้ท่อคลื่นอยู่ในแนวตั้ง เสียก่อน

5.4 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

จากข้อมูลที่ได้ซึ่งแสดงในกราฟในรูป 4.7, 4.8, 4.12, 4.13 เราพอมองเห็นว่า

ค่าคงที่ถดถอย ในกรณีต่าง ๆ มีค่าเกือบไม่เปลี่ยนแปลงไปกับความถี่ในช่วง 8 ถึง 12 GHz การเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของค่า K . นี้ไม่สามารถมองเห็นได้ชัดเจน เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลอง อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มว่าค่าคงที่ถดถอยจะลดลงเล็กน้อยเมื่อความถี่สูงขึ้น สำหรับลักษณะของ $\tan \delta$ ก็เป็นเช่นเดียวกัน ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของโมสซิคโค (Moscicki)⁶ ซึ่งได้วัดที่อุณหภูมิ 315°C K สำหรับ MBBA เมื่อไม่มีสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.9 GHz $K = 3.0$ และที่ 9.9 GHz $K = 2.9$ ตามลำดับ ซึ่งเกือบไม่เปลี่ยนแปลงเช่นกัน เพราะว่าในย่านความถี่ของ diopersion region ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่โมเลกุลสามารถตอบสนองกับการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าได้ ค่า K และ $\tan \delta$ จะลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น แต่จากการทดลองพบว่าค่า K และ $\tan \delta$ เกือบไม่เปลี่ยนแปลงในช่วง 8 - 12 GHz แสดงว่าในช่วงนี้ความถี่สูงมากจนกระทั่งโมเลกุลไม่สามารถจะตอบสนองกับการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าที่รวดเร็วได้ เพราะว่าโมเลกุลของผลึกเหลวมีขนาดใหญ่มาก สำหรับสารอื่น ๆ ที่มีโมเลกุลเล็กกว่าเช่นน้ำ ยังสามารถตอบสนองกับสนามไฟฟ้าในช่วงความถี่ที่สูงขนาดนี้ได้ การคำนวณเวลาการผ่อนคลาย (relaxation time) ตามวิธีของโคลส์ - โคลล์ (Cole - Cole)⁴ ซึ่งเป็นไปตามสมการ (1.4.7) นั้นคือ

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

ไม่สามารถหา α จากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เพราะช่วงความถี่นี้เป็นช่วงที่สูง ทำให้เขียนกราฟแบบโคลส์ - โคลล์ ไม่ได้ จึงไม่สามารถคำนวณ τ ออกมาได้ จากผลต่าง ๆ ที่ได้จึงทำให้พอสรุปได้ว่าค่าคงที่ถดถอยที่เกิดขึ้นนั้น เนื่องจากไดโพลเหนี่ยวนำ (induced dipole moment) เนื่องจากสนามไฟฟ้าจากสัญญาณไมโครเวฟนั่นเอง

จากผลการวัดค่าคงที่ถดถอยของ MBBA และ EBBA ที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อ 4.2 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลงานของคาร์และสเปนซี (Carr and Spence)⁵ ที่ได้วัดค่าคงที่ถดถอยของผลึกเหลว para - Azoxyanisole และ para - Azoxyphenetole ที่ความถี่ไมโครเวฟ ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 1 ปรากฏว่าผลการทดลองต่างกันคือ ค่าคงที่ถดถอยเมื่อสนามไฟฟ้าตั้งฉากกับแกนยาวของโมเลกุล (K_{\perp}) มีค่าน้อยกว่าเมื่อสนามไฟฟ้าขนาน (K_{\parallel}) และค่าคงที่ถดถอยเมื่อไม่มีสนามแม่เหล็ก (K'_s) มีค่าใกล้เคียงกับ K_{\perp} หรืออาจเขียนได้ว่า

$$K_{\parallel} > K_{\perp}$$

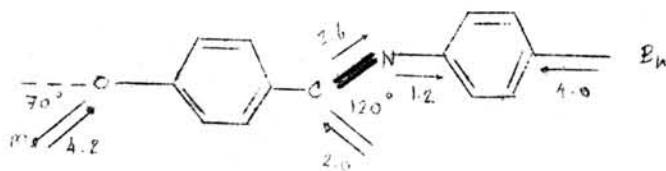
และ $K_{\perp} < K_0$

ส่วนค่าไดอิเล็กตริกของนั้นปรากฏว่า

$$\tan \delta_{\parallel} < \tan \delta_0$$

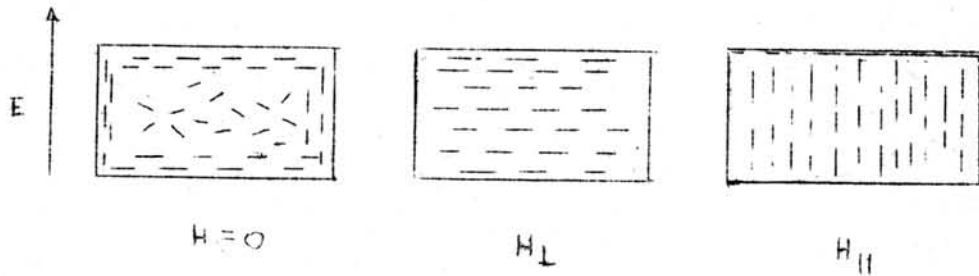
และ $\tan \delta_{\perp} > \tan \delta_0$

การที่ $K_{\parallel} > K_{\perp}$ แสดงว่าการเกิดไดโพลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (induced electric dipole) ในทิศที่ขนานกับแกนยาวของโมเลกุล (ทิศทาง 1 ในรูป) เป็นไปได้ง่ายกว่าในทิศที่ตั้งฉาก (ทิศทาง 2 ในรูป) จากการทดลองเราสรุปว่าค่า K จะมากถ้าแกนยาวของโมเลกุลขนานกับ E และ K จะน้อยถ้าแกนยาวของโมเลกุล \perp กับ E_0



รูปที่ 5.2 โครงสร้างโมเลกุลของ MBBA¹⁵

ส่วนการที่ K_{\parallel} มีค่าใกล้เคียงกับ K_{\perp} ก็เพราะว่าผนังของท่อนำคลื่นก็สามารถชักนำให้โมเลกุลของผลึกเหลวเรียงตัวขนานกับผนังได้¹⁴ ดังนั้นในขณะที่ไม่มีสนามแม่เหล็กก็มีโมเลกุลบางส่วนเรียงตัวในลักษณะที่แกนยาวขนานกับผนังด้านยาวของท่ออยู่แล้ว ซึ่งการเรียงตัวในลักษณะเช่นนี้ เป็นลักษณะเดียวกันกับการเรียงตัว เมื่อสนามแม่เหล็กตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า สำหรับผนังด้านสั้นนั้นก็ชักนำให้โมเลกุลเรียงตัวขนานกับตัวมันเหมือนกันแต่จะมีผลน้อยเพราะความเข้มของสนามไฟฟ้าตรงนั้นมีน้อย การเรียงตัวของโมเลกุลทั้ง 3 กรณีได้แสดงในรูปที่ 5.3 การชักนำให้มีการเรียงตัวของโมเลกุลเนื่องจากผนังท่อนำคลื่นนี้เองทำให้ K_{\parallel} มีค่าใกล้เคียงกับ K'_{\perp}



รูปที่ 5.3 การเรียงตัวของโมเมนต์ภายนอกและภายในสนามแม่เหล็ก

สำหรับค่าไดอิเล็กตริกคอส ($\tan \delta$) สามารถอธิบายโดยอาศัยความสัมพันธ์

$$\begin{aligned} \tan \delta &= \epsilon''/\epsilon' \\ \text{แต่ } K &= \epsilon'/\epsilon_0 \\ \text{ดังนั้น } \tan \delta &= \frac{\epsilon''}{K\epsilon_0} \\ \text{นั่นคือ } \tan \delta_{\perp} &= \frac{\epsilon''_{\perp}}{K_{\perp}\epsilon_0} \\ \text{และ } \tan \delta_{\parallel} &= \frac{\epsilon''_{\parallel}}{K_{\parallel}\epsilon_0} \end{aligned}$$

จากผลการทดลองพอจะเสนอแนะได้ว่า ϵ มีค่าใกล้เคียงกับ ϵ เพราะการสั่นของประจุไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นในทิศทางใดย่อมจะเกิดการสูญเสีย (loss) จากการแผ่ (radiation) เท่า ๆ กัน และเนื่องจากว่า

$$K_{\perp} < K_{\parallel}$$

จึงทำให้ $\tan \delta$ มีค่ามากกว่า $\tan \delta$ ส่วนที่การที่ $\tan \delta$ มีค่าใกล้เคียงกับ $\tan \delta$ ก็จะสามารถจะอธิบายโดยใช้ผลของผนังท่อนำคลื่นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

จากผลการวิจัยครั้งนี้ทำให้พอสรุปได้ว่า โมเมนต์ของผลึกเหลวต้องมีขนาดใหญ่มาก จึงไม่สามารถตอบสนองกับความถี่ของสนามไฟฟ้าในช่วงไมโครเวฟไว้ นอกจากนี้การที่ค่าคงที่

ฉนวน เมื่อสนามไฟฟ้า ตั้งฉากและขนานกับแกนของโมเลกุลมีค่าต่างกันก็แสดงถึงอสมลักษณะ (anisotropic) ของผลึกเหลว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลึกเหลวมีความแตกต่างไปจากของเหลวธรรมดา สำหรับปัญหาที่น่าจะทำต่อไปคือการวัดค่าคงที่ฉนวนของผลึกเหลวนี้นในสนามแม่เหล็กโดยใช้ความถี่ของสนามไฟฟ้าต่ำ ๆ เช่นในช่วงของคลื่นวิทยุ เพื่อศึกษาคุณสมบัติของสารนี้ในช่วง dispersion region ต่อไป.