บทที่ ๕

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองวัดค่าคงที่ฉนวนของสารไดอิเลคตริกของเบนซิน ของสารละลาย MBBA และ EBBA ที่ละลายในเบนซินซึ่งมีความเข้มข้น ๐.๐๒ mole fraction

<u>๕.๑ การวัดค่าคงที่ฉนวนของเบนซิน</u>

เบนซินเป็นสารพวกนอนโพลา ดังนั้นสารพวกนี้ไม่มีไดโพลถาวรทางไฟฟ้าอยู่เลย จึงมีการดูดกลืนพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าน้อยมาก เราวัดค่าคงที่ฉนวนของเบนซินที่ความถี่ ๘.๐๐๐ , ๑๐.๐๐๐ และ ๑๒.๐๐๐ GHz โดยอาศัยแมจิกทีวัดสัมประสิทธิ์การสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผิวของสาร จากสมการ

$$\Theta = 2\beta_1 (DT - p - d) + \pi \qquad (๕.๑.๑)$$

ในการทดลองเราวัด DT , p และ d เป็นเซนติเมตร (cm) ซึ่งทำให้ β_1 มีหน่วยเป็น cm^{-1} การหา β_1 ซึ่งเป็นเวกเตอร์คลื่นของคลื่นในอากาศ ได้จากสมการ (๓.๒.๓๑)

$$\beta_1 = \left[k_0^2 - \left(\frac{\pi}{a}\right)^2 \right]^{1/2} \qquad (๕.๑.๒)$$

โดยที่ $k_0^2 = \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 = \left(\frac{2\pi f}{c}\right)^2$ และ f เป็นความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า a เป็นความยาวของพื้นที่หน้าตัดของท่อนำคลื่น x - band วัดได้ ๒.๒๘๖ เซนติเมตร จากสมการข้างบนทำให้เราทราบค่า β_1 ซึ่งแสดงในตารางข้างล่างดังนี้

<u>ตารางที่ ๕.๑</u> ค่า β_1 ที่ความถี่ต่าง ๆ

f (GHz)	β_1 (cm^{-1})
๘.๐๐๐	๐.๙๕๘๕
๑๐.๐๐๐	๑.๕๘๐๕
๑๒.๐๐๐	๒.๑๐๔๓

และในการวัดตำแหน่ง DT ที่ความถี่ต่าง ๆ ซึ่งแสดงในตารางข้างล่างนี้

<u>ตารางที่ ๕.๒</u> ตำแหน่ง DT ที่ความถี่ต่าง ๆ

f(GHz)	DT (cm)
๘.๐๐๐	๐.๕๙๖
๑๐.๐๐๐	๐.๕๗๖
๑๒.๐๐๐	๐.๔๙๑

ในการทดลองเราวัด Θ หลาย ๆ ค่าโดยการเปลี่ยนความหนาของเบนซิน เราได้ข้อมูลดังแสดงในตารางข้างล่างนี้

<u>ตารางที่ ๕.๓</u> การเปลี่ยนเฟสที่ผิวของเบนซินที่ความถี่ ๘.๐๐๐ GHz ที่ความหนาต่าง ๆ ของคลื่นไมโครเวฟ

d(cm)	p (cm)	Θ (rad)
๑.๗๘๖๐	๒.๔๓๑๐	− ๐.๖๕๘๘
๑.๙๒๐๐	๒.๕๓๙๐	− ๑.๑๒๑๖
๒.๒๖๑๐	๑.๙๘๐๐	− ๐.๗๐๓๓
๒.๔๑๓๐	๐.๖๓๓๐	− ๑.๕๕๖๐
๒.๖๑๘๐	๐.๘๔๔๐	๐.๗๘๙๔
๒.๗๕๙๐	๐.๘๙๐๐	๐.๔๓๑๒

<u>ตารางที่ ๕.๔</u> การเปลี่ยนเฟสที่ผิวของเบนซินที่ความถี่ ๑๐.๐๐๐ GHz ที่ความหนาต่าง ๆ ของคลื่นไมโครเวฟ

d (cm)	p(cm)	Θ (rad)
๑.๗๘๖๐	๒.๑๕๒๐	− ๑.๒๐๒๕
๑.๙๒๐๐	๒.๒๗๘๐	๑.๑๑๖๓
๒.๒๖๑๐	๐.๓๓๘๐	− ๐.๑๐๙๙
๒.๔๑๓๐	๐.๓๖๐๐	− ๐.๖๖๑๕
๒.๖๑๗๕	๐.๕๓๓๐	๑.๒๘๗๗
๒.๗๕๙๐	๐.๘๓๒๐	− ๐.๑๐๕๖

ตารางที่ ๕.๕ การเปลี่ยนเฟสที่ผิวของเบนซินที่ความถี่ ๑๒.๐๐๐ GHz ที่ความหนาต่าง ๆ ของคลื่นไมโครเวฟ

d(cm)	P(cm)	Θ (rad)
๑.๗๘๖๐	๑.๖๙๗๐	− ๐.๐๒๕๘
๑.๙๒๐๐	๑.๗๒๓๐	− ๐.๖๕๘๓
๒.๒๖๑๐	๐.๕๙๐๐	− ๐.๕๐๒๕
๒.๔๑๓๐	๐.๗๗๒๐	๑.๒๒๘๔
๒.๖๑๘๐	๐.๘๑๑๐	๐.๒๐๓๖
๒.๗๖๐๐	๐.๘๒๒๐	− ๐.๔๓๙๕

จากข้อมูลที่ทดลองได้ เราสามารถหา β_2 ซึ่งเป็นเวคเตอร์คลื่นในเบนซิน จากสมการ

$$\tan\Theta = \frac{2\beta_1\beta_2 \sin 2\beta_2 d}{(\beta_1^2-\beta_2^2)-(\beta_1^2+\beta_2^2)\cos 2\beta_2 d}$$

หรือ

$$\Theta = \tan^{-1}\left\{\frac{2\beta_1\beta_2 \sin 2\beta_2 d}{(\beta_1^2-\beta_2^2)-(\beta_1^2+\beta_2^2)\cos 2\beta_2 d}\right\} \qquad (๕.๑.๓)$$

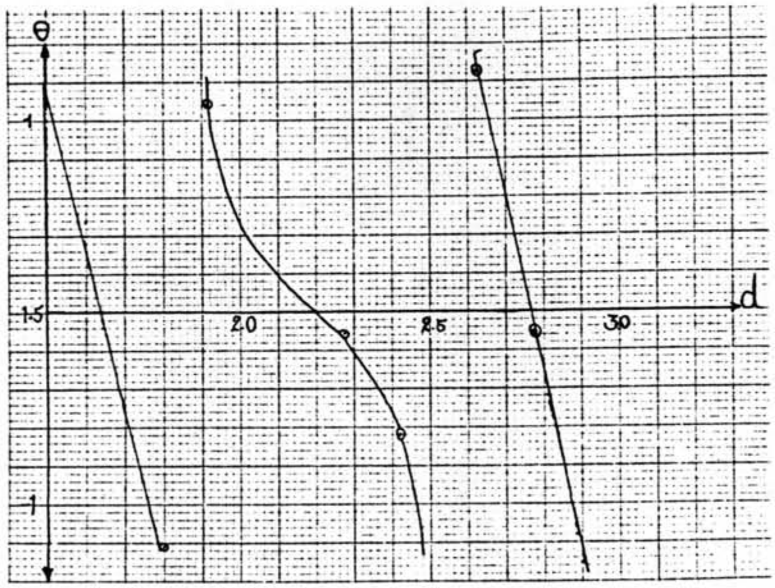
การถอดสมการ (๕.๑.๓) หาค่า β_2 ตรง ๆ ทำได้ค่อนข้างลำบาก ในการวิจัยนี้เราอาศัยเครื่องคำนวน HP 97 ซึ่งมี magnetic card สำหรับบันทึก program ได้ทำให้เราสามารถได้ผลลัพย์อย่างรวดเร็ว (การเขียนโปรแกรมดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก) แต่อย่างไรก็ตาม เพื่อความสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้นเราต้องหาค่าคร่าว ๆ ของ β_2 เสียก่อนแล้วจึงใช้ β_2 นี้เป็นค่าเริ่มต้นในการใช้เครื่องคำนวน HP 97 เพื่อหา β_2 ที่ถูกต้องที่ทำให้ Θ_ℓ (ค่า Θ จากการทดลอง) = Θ_c (ค่า Θ จากการคำนวน) ในการคำนวนหาค่า β_2 คร่าว ๆ เราพิจารณาสมการ (๕.๑.๓) เราพบว่า ถ้าเราเขียนกราฟระหว่าง Θ กับ d เราอาจสังเกตได้ว่า จะมีค่าเท่ากับศูนย์เมื่อค่า d ที่ทำให้ $\sin 2\beta_2 d = 0$ หรือ $2\beta_2 d = n\pi$ โดยที่ $n = ๑, ๒, \ldots$ ถ้าเราให้ d_1 และ d_2 เป็นค่า d ซึ่งติดกันที่ทำให้ $\Theta = 0$ เราจะได้

$$2\beta_2(d_2-d_1) = \pi \qquad (๕.๑.๔ก)$$

$$\beta_2 = \frac{\pi}{2\Delta d} \qquad (๕.๑.๔ข)$$

โดยที่ $\Delta d = d_2 - d_1$

จากสมการ (๕.๑.๘ข) เราสามารถทราบค่า β_2 คร่าว ๆ ได้ ตัวอย่างของการคำนวน β_2 ของเบนซินที่ความถี่ ๑๐.๐๐๐ GHz จากข้อมูลเราสามารถเขียนกราฟระหว่าง Θ และ d ได้ดังรูป(๕.๑)



รูปที่ ๕.๑.แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Θ กับ d

จากรูปที่ (๕.๑)เราสามารถหา β_2 คร่าว ๆ ได้จากสมการ (๕.๑.๘ข) ได้ดังนี้

$$\beta_2 \simeq \frac{\pi}{๒\,(\,๒.๗๕ - ๒.๒\,)}$$

$$\simeq ๒.๘๕๖๐$$

จากค่า β_2 ที่ได้ข้างบนเราใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวนด้วยเครื่องคำนวน HP 97 ซึ่งจะได้ค่าที่ถูกต้องดี

ตัวอย่างการใช้เครื่องคำนวน HP 97 หาค่า β_2 ที่ความถี่ ๑๐.๐๐๐ GHz , β_1= ๑.๖๘๐๕ cm^{-1} d = ๑.๗๘๖๐ cm, Θ_2 = − ๑.๒๐๒๕ rad โดยใช้ LBL C คำนวน ผลการคำนวนแสดงในตารางข้างล่างนี้

<u>ตารางที่ ๕.๖</u> แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง β_2 กับ Θ

$\beta_2 (cm^{-1})$	Θ (rad)
๒.๘๕๖๐*	− ๑.๒๗๓๔
๒.๘๓๐๐*	− ๑.๑๓๔๙
๒.๘๔๒๗	− ๑.๒๐๓๓
๒.๘๔๒๐	− ๑.๑๙๙๖
๒.๘๔๒๕	− ๑.๒๐๒๕

จากตารางข้างบนเราจะเห็นว่า ถ้าให้ β_2= ๒.๘๕๖๐ จะได้ Θ = −๑.๒๗๓๔ ซึ่งน้อยกว่า Θ_ℓ ซึ่งเท่ากับ − ๑.๒๐๒๕ ดังนั้นเราต้องลด β_2 ลงเล็กน้อยให้มีค่าเป็น ๒.๘๓๐๐ เราสามารถหา Θ_ℓ ได้เท่ากับ −๑.๑๓๔๙ จากนี้ใช้ LBL B ทำการ intrapolate ได้ค่า β_2 = ๒.๘๔๒๗ ซึ่งให้ค่า Θ_ℓ = − ๑.๒๐๓๓ ซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองยิ่งขึ้น ในทำนองเดียวกันนี้เราสามารถหาค่า β_2 ที่ทำให้ผลการคำนวนสอดคล้องกับการทดลองมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ในข้อมูลนี้เราสามารถหาค่า β_2 ได้มีค่าเท่ากับ ๒.๘๔๒๕ cm^{-1}

สำหรับข้อมูลอื่น ๆ เราสามารถทำการคำนวนด้วยวิธีเดียวกันนี้ ซึ่งผลการคำนวนได้แสดงในตารางที่ ๕.๗

<u>ตารางที่ ๕.๗</u> แสดงค่า β_2 ของ C_6H_6 ที่ความหนาต่าง ๆ ที่ความถี่ ๘.๐๐๐ , ๑๐.๐๐๐ และ ๑๒.๐๐๐ GHz

	$B_2 (cm^{-1})$		
d (cm)	๘.๐๐๐ GHz	๑๐.๐๐๐ GHz	๑๒.๐๐๐ GHz
๑.๗๘๖๐	๒.๑๒๑๗	๒.๘๔๒๕	๓.๕๓๐๒
๑.๙๒๐๐	๒.๑๓๐๖	๒.๘๓๔๑	๓.๕๔๔๔
๒.๒๖๑๐	๒.๑๕๖๒	๒.๘๒๒๙	๓.๕๔๑๔
๒.๔๑๓๐	๒.๑๒๖๑	๒.๘๓๒๕	๓.๕๔๔๘
๒.๖๑๘๐	๒.๑๑๖๔	๒.๘๔๙๙	๓.๕๓๕๘
๒.๗๕๙๐	๒.๑๑๔๒	๒.๘๕๗๓	๓.๕๔๖๕

จากค่า β_2 ที่ได้นำมาหาค่าเฉลี่ยได้ดังนี้

<u>ตารางที่ ๕.๘</u> แสดงค่าเฉลี่ยของ β_2 ของ C_6H_6 ที่ความถี่ ๘.๐๐๐ , ๑๐.๐๐๐ และ ๑๒.๐๐๐ GHZ

f (GHz)	β_2 (cm^{-1})
๘.๐๐๐	๒.๑๒๗๕ ± ๐.๐๐๙๑
๑๐.๐๐๐	๒.๘๓๙๙ ± ๐.๐๐๘๖
๑๒.๐๐๐	๓.๕๔๐๕ ± ๐.๐๐๔๓

จากค่า β_2 เฉลี่ยที่ได้เรานำไปแทนค่าในสมการ (๕.๑.๓) เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวนและผลที่ได้จากการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ ๕.๙

ตารางที่ ๕.๙ แสดงผลการเปรียบเทียบ Θ_{cal} กับ Θ_{exp} ของ C_6H_6 ที่ความถี่ ๘.๐๐๐ , ๑๐.๐๐๐ และ ๑๒.๐๐๐ GHz

d (cm)	๘.๐๐๐ GHz			๑๐.๐๐๐ GHz			๑๒.๐๐๐ GHz		
	Θ_{exp}	Θ_{cal}	$\Delta\Theta/2\beta_1$	Θ_{exp}	Θ_{cal}	$\Delta\Theta/2\beta_1$	Θ_{exp}	Θ_{cal}	$\Delta\Theta/2\beta_1$
๑.๗๘๖๐	− ๐.๖๕๘๘	− ๐.๖๗๐๓	๐.๐๐๖๐	− ๑.๒๐๒๕	− ๑.๑๘๘๔	− ๐.๐๐๔๕	− ๐.๐๒๕๘	− ๐.๐๔๗๗	๐.๐๐๕๒
๑.๙๒๐๐	− ๑.๑๒๑๖	− ๑.๑๑๑๕	− ๐.๐๐๕๓	๑.๑๑๖๓	๑.๐๙๔๔	๐.๐๐๖๙	− ๐.๖๕๘๓	− ๐.๖๔๘๔	− ๐.๐๐๒๔
๒.๒๖๑๐	− ๐.๗๐๓๓	− ๐.๔๒๔๗	− ๐.๑๔๕๓	− ๐.๑๐๙๙	− ๐.๑๕๒๕	− ๐.๐๘๓๐	− ๐.๕๐๕๒	− ๐.๔๙๕๘	− ๐.๐๐๑๖
๒.๔๑๓๐	− ๑.๕๕๕๐	− ๑.๕๖๕๔	๐.๐๐๕๔	− ๐.๖๖๑๕	− ๐.๖๘๔๖	๐.๐๐๗๓	๑.๒๒๘๔	๑.๒๔๙๗	− ๐.๐๐๕๔
๒.๖๑๘๐	๐.๗๔๕๐	๐.๗๔๕๐	๐.๐๒๓๒	๑.๒๘๗๗	๑.๓๕๓๙	− ๐.๐๒๐๙	๐.๒๐๓๖	๐.๑๘๘๒	๐.๐๐๓๗
๒.๗๕๙๐	๐.๔๓๑๒	๐.๓๙๐๓	๐.๐๒๑๓	− ๐.๑๐๕๖	๐.๐๖๗๒	๐.๐๑๒๑	− ๐.๔๓๙๕	− ๐.๔๑๘๙	− ๐.๐๐๔๙

$\Delta\Theta/2\beta_1$ มีหน่วยเป็น เซนติเมตร หมายถึงความผิดพลาดในการวัดค่าแหน่งของพลันเจอร์

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อเราทราบค่า β_2 เราสามารถจะหาค่าคงที่ฉนวนของ C_6H_6 ได้โดยอาศัยสมการ

$$K = \left(\beta_2^2 + \frac{\pi^2}{a^2}\right)\left(\frac{c}{\omega}\right)^2 \qquad (๕.๑.๕)$$

ตัวอย่างการคำนวน ที่ความถี่ ๘.๐๐๐ GHz, β_2 = ๒.๑๒๓๕ cm^{-1} a = ๒.๒๘๖ cm และ c = ๓ × ๑๐^{๑๐} m/s จากสมการ (๕.๑.๕) เราได้

$$K = \left\{(๒.๑๒๓๕)^{๒} + \left(\frac{\pi}{๒.๒๘๖}\right)^{๒}\right\}\left\{\frac{๓ \times ๑๐^{๑๐}}{๒ \times \pi \times ๘ \times ๑๐^{๙}}\right\}^{๒}$$

$$= ๒.๒๘๕๐$$

สำหรับการคำนวนหาค่าคงที่ฉนวนของเบนซินที่ความถี่ ๑๐.๐๐๐ และ ๑๒.๐๐๐ GHz เราสามารถคำนวนได้โดยวิธีเดียวกัน สรุปผลการคำนวนได้ดังตารางข้างล่างนี้

<u>ตารางที่ ๕.๑๐</u> แสดงค่าคงที่ฉนวนของ C_6H_6 ที่ความถี่ ๘.๐๐๐ , ๑๐.๐๐๐ และ ๑๒.๐๐๐ GHz

f (GHz)	K
๘.๐๐๐	๒.๒๘๕๐
๑๐.๐๐๐	๒.๒๖๙๒
๑๒.๐๐๐	๒.๒๘๓๕

๕.๒ <u>การวัดค่าคงที่ฉนวนของสารละลาย MBBA ในเบนซิน ๐.๐๒ mole fraction</u>

เราทำการวัดค่าคงที่ฉนวนของสารละลายนี้ที่ความถี่ ๘.๐๐๐ , ๑๐.๐๐๐ และ ๑๒.๐๐๐ GHz โดยใช้แมจิกทีทดลองหา ρ และ Θ ที่ความหนาต่าง ๆ โดยอาศัยสมการ

$$\Theta = 2\beta_1(DT - p - d) + \pi \qquad (๕.๒.๑)$$

และ

$$\rho = \left(\log^{-1}\frac{dB}{10}\right)^{-1} \qquad (๕.๒.๒)$$

ผลการทดลองของสารละลาย MBBA ๐.๐๒ mole frac$^{\underline{n}}$ ที่ความหนาต่าง ๆ แสดงอยู่ในตารางข้างล่าง

ตารางที่ ๕.๑๑ การทดลองที่ความถี่ ๘.๐๐๐ GHz

d(cm)	P(cm)	θ(rad)	dB	ρ
๑.๖๔๕๐	๐.๘๖๒๐	− ๐.๕๒๙๑	๐.๑๗๑๙	๐.๙๖๑๒
๑.๘๐๗๐	๐.๙๕๖๐	− ๑.๐๑๒๕	๐.๓๐๘๒	๐.๙๓๑๕
๒.๑๔๗๐	๑.๗๔๕๐	− ๐.๐๓๔๔	๑.๔๘๓๑	๐.๗๑๐๗
๒.๔๔๑๐	๒.๕๘๑๐	๐.๙๓๙๗	๐.๖๔๘๐	๐.๘๖๑๔
๒.๗๓๖๐	๒.๖๖๓๐	๐.๒๑๗๘	๐.๔๑๕๘	๐.๙๐๘๗
๒.๙๐๒๐	๒.๖๖๓๐	− ๐.๐๘๐๖	๐.๓๑๑๐	๐.๙๓๐๙
๓.๐๑๒๐	๒.๖๗๔๐	− ๐.๓๓๒๙	๐.๕๒๓๐	๐.๙๐๗๒

ตารางที่ ๕.๑๒ การทดลองที่ความถี่ ๑๐.๐๐๐ GHz

d(cm)	P(cm)	θ(rad)	dB	ρ
๑.๒๔๕๐	๐.๕๑๕๐	− ๐.๖๐๒๖	๐.๑๔๘๔	๐.๙๖๖๔
๑.๕๗๑๙	๐.๘๖๙๐	๐.๓๘๘๘	๐.๗๓๙๑	๐.๘๔๓๕
๑.๗๑๒๐	๑.๑๘๕๐	− ๑.๐๕๓๘	๐.๖๓๗๙	๐.๘๖๓๔
๑.๘๗๗๐	๑.๓๑๘๐	๑.๑๔๔๕	๐.๓๙๒๐	๐.๙๑๓๗
๒.๐๔๖๐	๑.๔๑๒๐	๐.๓๑๔๑	๐.๓๕๗๙	๐.๙๒๐๙
๒.๓๑๖๐	๑.๕๒๙๐	− ๐.๕๙๐๙	๐.๓๗๒๕	๐.๙๑๗๘
๒.๕๔๒๐	๑.๕๘๕๐	๑.๓๔๑๓	๐.๗๙๖๗	๐.๘๓๒๔

ตารางที่ ๕.๑๓ การทดลองที่ความถี่ ๑๒.๐๐๐ GHz

d(cm)	p(cm)	θ (rad)	dB	ρ
๑.๕๒๒๐	๐.๙๖๓๐	๑.๐๓๔๙	๐.๕๐๐๖	๐.๘๙๑๒
๑.๘๒๗๐	๐.๙๙๙๐	− ๐.๔๐๑๙	๐.๓๙๘๑	๐.๙๑๒๔
๑.๙๐๔๐	๑.๐๓๑๐	− ๐.๘๖๑๕	๐.๔๙๐๕	๐.๘๙๓๒
๒.๑๔๗๐	๑.๒๘๕๐	๐.๑๙๐๒	๑.๔๗๘๙	๐.๗๑๑๔
๒.๔๕๘๐	๑.๖๒๖๐	๐.๕๘๘๙	๐.๗๒๐๑	๐.๘๔๗๒
๒.๖๑๕๐	๒.๓๗๙๐	− ๐.๑๐๔๑	๐.๕๕๑๗	๐.๘๘๐๗
๒.๙๐๔๐	๒.๔๘๓๐	๑.๓๘๖๘	๑.๓๐๗๑	๐.๗๕๘๐

เราสามารถคำนวนหา β_2' และ β_2'' จากสมการ

$$\rho = \left(\frac{A^2 + B^2}{C^2 + D^2}\right)^{1/2} \qquad (๕.๒.๓)$$

และ

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{BC - AD}{AC + BD}\right) \qquad (๕.๒.๔)$$

โดยที่

$$A = \beta_1 - \beta_2' - e^{-2\beta_2'' d}\left\{(\beta_1 + \beta_2')\cos 2\beta_2' d - \beta_2''\sin 2\beta_2' d\right\}$$

$$B = \beta_2'' + e^{-2\beta_2'' d}\left\{\beta_2''\cos 2\beta_2' d + (\beta_1 + \beta_2')\sin 2\beta_2' d\right\}$$

$$C = \beta_1 + \beta_2' - e^{-2\beta_2'' d}\left\{(\beta_1 - \beta_2')\cos 2\beta_2' d + \beta_2''\sin 2\beta_2' d\right\}$$

$$D = -\beta_2'' - e^{-2\beta_2'' d}\left\{\beta_2''\cos 2\beta_2' d - (\beta_1 - \beta_2')\sin 2\beta_2' d\right\}$$

เนื่องจากสมการข้างบนค่อนข้างซับซ้อนยุ่งยาก เราอาศัยเครื่องคำนวน HP 97 ที่โปรแกรมได้ช่วยในการคำนวน (รายละเอียดในการเขียนโปรแกรมอยู่ในภาคผนวก) ในการวิจัยนี้สารละลายที่ใช้ทดลองเจือจางมาก ๆ ดังนั้นที่ความถี่เดียวกันค่าของ β_2' จึงมีค่าใกล้เคียง

กับ β_2 ของเบนซีนมาก ดังนั้นเราสามารถใช้ β_2 ของเบ็นซินนี้เป็นค่าเริ่มต้นโดยที่ β_2'' มีค่าน้อย ๆ เราจะได้ β_2' และ β_2'' ที่ทำให้ ρ และ Θ มีผลสอดคล้องกับการทดลอง

ตัวอย่างการคำนวนหา β_2' และ β_2'' ของ MBBA + C_6H_6 ๐.๐๒ mole frac<u>n</u> ที่ความถี่ ๑๒.๐๐๐ GHz , β_1= ๒.๑๐๔๓ cm^{-1}, d = ๑.๙๐๔๑ cm , ρ=๐.๘๙๓๒ , Θ = − ๐.๘๖๑๕ rad และใช้ β_2' = ๓.๕๔๐๕ cm^{-1} เป็นค่าเริ่มต้น โดยอาศัย LBL A คำนวน β_2' และ β_2'' ได้ดังนี้

<u>ตารางที่ ๕.๑๔</u> แสดงการหา β_2' และ β_2'' ที่ทำให้ $\rho_\ell = \rho_e$ และ $\Theta_\ell = \Theta_e$ ของ MBBA + C_6H_6 โดยใช้เครื่องคำนวน

$\beta_2'(cm^{-1})$	$\beta_2''(cm^{-1})$	Θ	ρ
๓.๕๔๐๕	๐.๐๔๒๑	− ๐.๕๖๘๙	๐.๙๐๒๖
๓.๖๕๐๐*	๐.๐๔๒๑	− ๐.๘๔๘๘*	๐.๘๙๑๒
๓.๖๖๐๐*	๐.๐๔๒๑	− ๐.๘๗๕๙*	๐.๘๘๙๗
๓.๖๕๙๘	๐.๐๔๒๑*	− ๐.๘๖๑๕	๐.๘๙๐๕*
๓.๖๕๙๘	๐.๐๓๙๐*	− ๐.๘๖๒๐	๐.๘๙๘๑*
๓ ๖๕๙๘	๐.๐๔๑๐	− ๐.๘๖๑๗	๐.๘๙๓๒
๓.๖๕๙๗	๐.๐๔๑๐	− ๐.๘๖๑๕	๐.๘๙๓๒

จากตารางข้างบนจะเห็นว่า ถ้า β_2'= ๓.๕๔๐๕ ของเบนซินเป็นค่าเริ่มต้นและให้ β_2''= ๐.๐๔๒๑ จะทำให้ ρ_e=๐.๙๐๒๖ และ Θ_e= − ๐.๕๖๘๙ rad จากการศึกษาพบว่า ρ จะขึ้นอยู่กับ β_2'' ส่วน Θ ขึ้นอยู่กับ β_2' ดังนั้นถ้าเราพิจารณาค่า ρ_e และ Θ_e ที่ได้จากการคำนวณเราต้องเพิ่ม β_2' ส่วน β_2'' คงเดิมเพื่อให้ Θ มีค่าลดลงใกล้เคียงกับการทดลองเราเลือกให้ β_2'= ๓.๖๕๐๐* cm^{-1} β_2''= ๐.๐๔๒๑* cm^{-1} จะได้ ρ_e= ๐.๘๙๑๒ และ Θ_e= − ๐.๘๔๘๘* rad พบว่าเราต้องเปลี่ยน β_2' อีกให้ β_2'= ๓.๖๖๐๐* cm^{-1} และ β_2''= ๐.๐๔๒๑* cm^{-1} จะได้ ρ = ๐.๘๘๙๗ และ Θ= − ๐.๘๗๕๙* rad จากนี้เราสามารถ intrapolate (ใช้ LBL B) ได้ β_2' = ๓.๖๕๙๘ cm^{-1} และ β_2''= ๐.๐๔๒๑* cm^{-1} ซึ่งให้ค่า ρ_e = ๐.๘๙๐๕ และ Θ_c= − ๐.๘๖๑๕ rad ต่อมาเราให้ β_2' คงที่แล้วเปลี่ยน β_2'' โดยให้มีค่าลดลงเพื่อให้ ρ เพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับการทดลองเราเลือกให้ β_2'' = ๐.๐๓๙๐* cm^{-1} ส่วน β_2'

คงเดิม ซึ่งให้ผล ρ_e = ๐.๘๙๘๑ และ θ_e = − ๐.๘๖๒๐ rad เราสามารถ intrapolate ได้ β_2'' = ๐.๐๔๑๐ cm^{-1} และ β_2' = ๓.๖๕๔๘ cm^{-1} จะได้ ρ_e = ๐.๘๙๓๒ และ θ_e − ๐.๘๖๑๗ จะเห็นว่า $\rho_e = \rho_\ell$ แต่ θ_e ยังให้ผลไม่ดีพอเราต้องเปลี่ยนค่า β_2' อีกนิดหน่อยโดยเลือกให้ β_2' = ๓.๖๕๔๗ cm^{-1} และให้ β_2'' = ๐.๐๔๑๐ cm^{-1} ซึ่งจะให้ผล ρ_e = ๐.๘๙๓๒ และ θ_e = − ๐.๘๖๑๕ rad ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง

สำหรับการคำนวณหาค่า β_2' และ β_2'' ในการทดลองที่ความหนาต่าง ๆ เราสามารถหาได้ในทำนองเดียวกันนี้ ผลการคำนวณได้สรุปไว้ในตารางข้างล่าง

<u>ตารางที่ ๔.๑๕</u> แสดงค่า β_2' และ β_2'' ที่ทำให้ $\rho_e = \rho_\ell$ และ $\theta_e = \theta_\ell$ ของ MBBA + C_6H_6 ๐.๐๒ mole frac<u>n</u> ที่ความถี่ ๑๒.๐๐๐ GHz

d (cm)	β_2' (cm^{-1})	β_2'' (cm^{-1})
๑.๕๒๒๐	๓.๖๑๘๗	๐.๐๔๐๓
๑.๘๒๗๐	๓.๖๒๔๕	๐.๐๔๒๑
๑.๙๐๔๐	๓.๖๕๔๗	๐.๐๔๑๐
๒.๑๔๗๐	๓.๖๓๓๕	๐.๐๔๖๒
๒.๔๕๘๐	๓.๖๓๕๙	๐.๐๔๗๗
๒.๖๑๕๐	๓.๖๓๗๙	๐.๐๔๒๓
๒.๙๐๔๐	๓.๖๔๑๐	๐.๐๓๙๑

จากผลการคำนวณที่ได้เรานำมาเฉลี่ยจะได้ค่าของ β_2' และ β_2'' ดังนี้

β_2' = ๓.๖๓๔๒

β_2'' = ๐.๐๔๒๗

ค่า β_2' และ β_2'' เฉลี่ยนี้จะทำให้ผลการคำนวณกับการทดลองสอดคล้องกันทุกการทดลอง สำหรับที่ความถี่ ๘.๐๐๐ และ ๑๒.๐๐๐ GHz เราสามารถหา β_2' และ β_2'' ได้โดยวิธีเดียวกันนี้ ซึ่งผลการคำนวณได้แสดงในตารางข้างล่าง

ตารางที่ ๕.๑๖ แสดงค่า β_2' และ β_2'' ของ MBBA + C_6H_6 ๐.๐๒ mole frac$^{\underline{n}}$

ที่ความถี่ ๘.๐๐๐ , ๑๐.๐๐๐ และ ๑๒.๐๐๐ GHz

f (GHz)	β_2' (cm^{-1})	β_2'' (cm^{-1})
๘.๐๐๐	๒.๒๑๗๒ ± ๐.๐๑๖๙	๐.๐๓๑๓ ± ๐.๐๐๔๔
๑๐.๐๐๐	๒.๙๒๕๒ ± ๐.๐๑๑๙	๐.๐๒๘๒ ± ๐.๐๐๒๙
๑๒.๐๐๐	๓.๖๓๔๒ ± ๐.๐๐๗๔	๐.๐๔๒๗ ± ๐.๐๐๒๔

นำค่า β_2' และ β_2'' ที่ได้จากการคำนวณนี้แทนลงในสมการ (๕.๒.๓) และ สมการ (๕.๒.๔) เพื่อหาค่า ρ และ θ แล้วเปรียบเทียบกับ ρ และ θ ที่ได้จากการทดลอง ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ ๕.๑๗ ผลการเปรียบเทียบที่ความถี่ ๘.๐๐๐ GHz

d (cm)	θ_{exp} (rad)	θ_{cal} (rad)	$\Delta\theta/2\beta_1$ (cm)	ρ_{exp}	ρ_{cal}	deviation
๑.๖๔๙๐	− ๐.๕๒๙๑	− ๐.๔๗๘๘	− ๐.๐๒๖๖	๐.๙๖๑๒	๐.๙๕๒๒	๐.๙๔
๑.๘๐๗๐	− ๑.๐๑๒๕	− ๐.๙๓๖๘	− ๐.๐๓๙๕	๐.๙๓๑๕	๐.๙๒๒๒	๑.๐๐
๒.๑๔๗๐	− ๐.๐๓๔๙	− ๐.๒๒๑๑	− ๐.๐๙๗๑	๐.๗๑๐๗	๐.๗๓๑๒	− ๒.๗๔
๒.๔๔๑๐	๐.๙๓๙๗	๐.๙๓๙๑	− ๐.๐๐๐๓	๐.๘๖๑๔	๐.๘๗๒๑	− ๑.๒๔
๒.๗๓๖๐	๐.๒๑๗๘	๐.๑๘๗๗	๐.๐๑๕๗	๐.๙๐๘๗	๐.๙๒๓๗	๑.๖๔
๒.๙๐๑๖	− ๐.๐๘๐๖	− ๐.๑๓๐๙	๐.๐๒๖๒	๐.๙๓๐๙	๐.๙๒๕๐	๐.๖๔
๓.๐๑๒๐	− ๐.๓๓๒๙	− ๐.๓๕๕๔	− ๐.๐๑๑๗	๐.๙๐๗๒	๐.๙๑๖๒	− ๐.๙๙

ซึ่ง $\Delta\theta/2\beta_1$ มีหน่วยเป็น เซนติเมตร หมายถึงความผิดพลาดในการวัดตำแหน่งของ พลันเจอร์

ตารางที่ ๕.๑๘ ผลการเปรียบเทียบที่ความถี่ ๑๐.๐๐๐ GHz

d(cm)	θ_{exp}(rad)	θ_{cal}(rad)	$\Delta\beta/2\beta_1$(cm)	ρ_{exp}	ρ_{cal}	deviation
๑.๒๔๕๐	− ๐.๖๐๒๖	− ๐.๕๗๗๗	− ๐.๐๐๗๙	๐.๙๖๖๔	๐.๙๖๐๗	๐.๖๐
๑.๕๗๒๐	๐.๓๘๘๘	๐.๔๑๒๕	− ๐.๐๐๗๕	๐.๘๔๓๕	๐.๘๕๕๘	− ๑.๔๕
๑.๗๑๒๐	− ๑.๐๕๓๘	− ๑.๐๓๙๑	− ๐.๐๐๔๗	๐.๘๖๓๔	๐.๘๕๕๔	๐.๙๓
๑.๘๗๗๐	๑.๑๔๔๕	๐.๙๙๒๘	− ๐.๐๔๘๐	๐.๙๑๓๗	๐.๙๐๗๗	๐.๖๖
๒.๐๔๖๐	๐.๓๑๔๑	๐.๓๒๒๕	− ๐.๐๐๒๗	๐.๙๒๐๙	๐.๙๓๓๑	− ๑.๓๒
๒.๓๑๕๐	− ๐.๕๙๐๙	− ๐.๕๖๕๙	− ๐.๐๐๗๙	๐.๙๑๗๘	๐.๙๒๔๔	− ๐.๗๒
๒.๕๔๒๐	๑.๓๔๑๓	๑.๓๗๓๒	− ๐.๐๑๐๑	๐.๘๓๒๔	๐.๘๓๔๔	− ๐.๒๔

ตารางที่ ๕.๑๙ ผลการเปรียบเทียบที่ความถี่ ๑๒.๐๐๐ GHz

d(cm)	θ_{exp}(rad)	θ_{cal}(rad)	$\Delta\theta/2\beta_1$(cm)	ρ_{exp}	ρ_{cal}	deviation
๑.๕๒๒๐	๑.๐๓๔๙	๐.๙๙๐๘	๐.๐๑๐๕	๐.๘๙๑๒	๐.๘๘๗๘	๐.๓๘
๑.๘๒๗๐	− ๐.๔๐๑๙	− ๐.๔๒๓๐	๐.๐๐๕๐	๐.๙๑๒๔	๐.๙๑๑๐	๐.๑๕
๑.๙๐๔๐	− ๐.๘๖๑๕	− ๐.๘๐๕๘	− ๐.๐๑๓๒	๐.๘๙๓๒	๐.๘๙๒๐	๐.๑๓
๒.๑๔๗๐	๐.๑๙๐๒	๐.๑๘๓๘	๐.๐๐๑๕	๐.๗๑๑๔	๐.๗๓๐๑	− ๒.๖๐
๒.๔๕๘๐	๐.๕๘๘๖	๐.๕๙๕๙	− ๐.๐๐๑๗	๐.๘๔๗๒	๐.๘๖๑๖	− ๑.๖๙
๒.๖๑๕๐	− ๐.๑๐๔๑	− ๐.๐๙๓๒	− ๐.๐๐๒๖	๐.๘๘๐๗	๐.๘๗๙๕	๐.๑๔
๒.๙๐๔๐	๑.๓๘๖๘	๑.๓๙๐๑	− ๐.๐๐๐๘	๐.๗๕๘๐	๐.๗๓๙๓	๒.๕๐

นำค่า β_2' และ β_2'' ที่ได้ไปหาค่าคงที่ฉนวนของไดอิเลคตริกได้โดยอาศัยสมการ (๓.๒.๔๖) และ สมการ (๓.๒.๔๘)

$$K = \left(\beta_2'^2 - \beta_2''^2 + \frac{\pi^2}{a^2} \right)\left(\frac{c}{\omega} \right)^2 \qquad (๕.๒.๕)$$

และ

$$\tan\delta = \frac{2\beta_2'\beta_2''}{\beta_2'^2 - \beta_2''^2 + \frac{\pi^2}{a^2}} \qquad (๕.๒.๖)$$

ตัวอย่างการคำนวณที่ความถี่ ๘.๐๐๐ GHz โดยที่ $\beta_2' =$ ๒.๒๐๓๓ cm^{-1} , $\beta_2'' =$ ๐.๐๓๓๓ cm^{-1}
$a =$ ๒.๒๘๖ cm และ $c =$ ๓ × ๑๐^{๑๐} cm/s แทนลงสมการ (๕.๒.๕)

$$K = \left\{ (๒.๒๑๗๒)^{๒} - (๐.๐๓๑๓)^{๒} + \left(\frac{\pi}{๒.๒๘๖}\right)^{๒} \right\} \left\{ \frac{๓ \times ๑๐^{๑๐}}{๒ \times \pi \times ๘ \times ๑๐^{๙}} \right\}^{๒}$$

$$= ๒.๔๒๓๕$$

และจากสมการ (๕.๒.๖)

$$\tan\delta = \frac{๒\,(๒.๒๑๗๒)(๐.๐๓๑๓)}{(๒.๒๑๗๒)^{๒} - (๐.๐๓๑๓)^{๒} + \left(\frac{\pi}{๒.๒๘๖}\right)^{๒}}$$

$$= ๐.๐๒๐๔$$

สำหรับที่ความถี่ ๑๐.๐๐๐ และ ๑๒.๐๐๐ GHz เราสามารถหา K และ $\tan\delta$ ในทำนองเดียวกัน ผลการคำนวณแสดงในตารางข้างล่าง

<u>ตารางที่ ๕.๒๐</u> แสดงค่าคงที่ฉนวนของไดอิเลคตริกและการสูญเสียพลังงาน ของ MBBA + C_6H_6 ๐.๐๒ molefrac$^{\underline{n}}$ ที่ความถี่ ๘.๐๐๐ , ๑๐.๐๐๐ และ ๑๒.๐๐๐ GHz

f(GHz)	K	$\tan\delta$	K''
๘.๐๐๐	๒.๔๒๓๕	๐.๐๒๐๔	๐.๐๔๙๔
๑๐.๐๐๐	๒.๓๘๓๔	๐.๐๑๕๘	๐.๐๓๗๖
๑๒.๐๐๐	๒.๓๘๙๖	๐.๐๒๐๖	๐.๐๔๙๑

๕.๓ การวัดค่าคงที่ฉนวนของสารละลาย EBBA ในเบนซีน ๐.๐๒ mole fraction

การทดลองคงใช้วิธีเดียวกัน โดยใช้แมจิกทีวัด ρ และ Θ ของสารละลายที่ความถี่ ๘.๐๐๐ , ๑๐.๐๐๐ และ ๑๒.๐๐๐ GHz สรุปการทดลองดังแสดงในตารางข้างล่าง

ตารางที่ ๕.๒๑ การทดลองที่ความถี่ ๘.๐๐๐ GHz

d(cm)	P(cm)	Θ (rad)	dB	ρ
๑.๗๓๒๐	๐.๘๕๔๐	− ๐.๖๗๓๖	๐.๒๒๘๓	๐.๙๔๘๘
๒.๐๔๖๐	๑.๓๑๖๐	๐.๙๗๙๘	๑.๐๙๗๕	๐.๗๗๖๗
๒.๑๓๗๐	๑.๖๘๘๐	๐.๐๙๓๐	๑.๔๓๗๕	๐.๗๑๘๒
๒.๒๑๖๐	๒.๐๐๘๐	− ๐.๖๗๑๙	๑.๓๔๗๘	๐.๗๓๓๒
๒.๔๕๑๐	๒.๕๑๕๐	๑.๐๔๗๗	๐.๖๒๘๓	๐.๘๖๕๓
๒.๕๒๘๐	๒.๖๐๖๐	๐.๗๒๕๓	๐.๕๘๐๙	๐.๘๗๔๘
๒.๖๓๑๐	๒.๖๒๒๐	๐.๔๙๗๕	๐.๓๘๑๕	๐.๙๑๕๙

ตารางที่ ๕.๒๒ การทดลองที่ความถี่ ๑๐.๐๐๐ GHz

d(cm)	P(cm)	Θ (rad)	dB	ρ
๑.๖๕๒๐	๑.๐๓๔๐	− ๐.๓๕๔๓	๐.๗๓๖๑	๐.๘๔๔๑
๑.๘๕๒๐	๑.๓๔๓๐	๑.๑๗๘๑	๐.๔๓๘๘	๐.๙๐๓๙
๑.๙๕๘๐	๑.๔๐๔๐	๐.๖๑๙๕	๐.๓๘๓๔	๐.๙๑๕๕
๒.๐๗๘๐	๑.๔๐๔๐	๐.๒๓๗๓	๐.๓๐๕๔	๐.๙๓๒๑
๒.๑๙๒๐	๑.๔๑๗๐	− ๐.๑๕๙๓	๐.๒๙๓๓	๐.๙๓๔๗
๒.๒๗๘๐	๑.๔๑๑๐	− ๐.๔๑๕๔	๐.๓๘๙๑	๐.๙๑๔๓
๒.๔๐๙๐	๑.๔๖๐๐	− ๐.๙๘๓๑	๐.๕๒๔๒	๐.๘๘๖๓

ตารางที่ ๕.๒๓ การทดลองที่ความถี่ ๑๒.๐๐๐ GHz

d (cm)	p (cm)	θ (rad)	dB	ρ
๑.๗๐๙๐	๑.๐๐๑๐	๐.๐๘๓๔	๐.๔๑๕๓	๐.๙๐๘๘
๑.๙๒๑๐	๑.๐๑๑๐	− ๐.๘๔๘๙	๐.๖๔๓๔	๐.๘๖๒๓
๒.๐๖๕๐	๑.๑๓๓๐	๑.๑๗๕๘	๑.๐๖๖๘	๐.๗๘๒๒
๒.๑๔๘๐	๑.๒๘๕๐	๐.๑๘๗๖	๑.๔๐๖๒	๐.๗๒๓๔
๒.๒๗๘๐	๑.๕๐๙๐	− ๑.๓๐๗๗	๑.๑๘๖๗	๐.๗๖๐๙
๒.๔๑๐๐	๒.๓๕๒๐	๐.๘๗๔๓	๐.๘๔๑๓	๐.๘๒๓๙
๒.๖๔๑๐	๒.๓๗๙๐	− ๐.๒๑๒๗	๐.๖๖๙๒	๐.๘๕๗๒

อาศัยวิธีการเดียวกันโดยใช้เครื่องคำนวณ จากข้อมูลในตารางข้างบนเราสามารถหาค่า β_2' และ β_2'' ได้ดังแสดงในตารางข้างล่าง

ตารางที่ ๕.๒๔ แสดงค่า β_2' และ β_2'' ของ EBBA + C_6H_6 ๐.๐๒ mole frac$^{\underline{n}}$ ที่ความถี่ ๘.๐๐๐ , ๑๐.๐๐๐ และ ๑๒.๐๐๐ GHz

f (GHz)	β_2' (cm^{-1})	β_2'' (cm^{-1})
๘.๐๐๐	๒.๒๐๓๔ ± ๐..๐๑๗๑	๐.๐๓๓๐ ± ๐.๐๐๒๐
๑๐.๐๐๐	๒.๙๒๘๒ ± ๐.๐๐๔๔	๐.๐๓๐๑ ± ๐.๐๐๒๓
๑๒.๐๐๐	๓.๖๒๙๐ ± ๐.๐๐๔๘	๐.๐๔๗๑ ± ๐.๐๐๒๙

นำค่า β_2' และ β_2'' ไปคำนวณหาค่า ρ และ Θ แล้วเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้กับผลการทดลอง ซึ่งสรุปผลได้ดังนี้

<u>ตารางที่ ๕.๒๕</u> แสดงการเปรียบเทียบที่ความถี่ ๘.๐๐๐ GHz

d(cm)	θ_{exp} (rad)	θ_{cal} (rad)	$\Delta\theta/2\beta_1$ (cm)	ρ_{exp}	ρ_{cal}	deviation
๑.๗๓๒๐	− ๐.๖๗๓๖	− ๐.๖๖๘๖	− ๐.๐๐๒๖	๐.๙๔๘๘	๐.๙๓๘๖	๑.๐๘
๒.๐๔๕๐	๐.๙๗๙๘	๐.๙๐๕๒	๐.๐๓๘๙	๐.๗๗๖๗	๐.๗๗๗๑	− ๐.๐๕
๒.๑๓๗๐	๐.๐๙๓๐	๐.๐๒๕๙	๐.๐๓๕๐	๐.๗๑๘๒	๐.๗๒๑๗	− ๐.๔๙
๒.๒๑๖๐	− ๐.๖๗๑๙	− ๐.๗๖๒๒	๐.๐๔๗๑	๐.๗๓๓๒	๐.๗๓๒๔	๐.๑๑
๒.๔๕๑๐	๑.๐๔๗๗	๐.๙๖๒๐	๐.๐๔๔๗	๐.๘๖๕๓	๐.๘๖๒๕	๐.๓๒
๒.๕๒๘๐	๐.๗๒๕๓	๐.๗๑๒๘	๐.๐๐๖๕	๐.๘๗๖๔	๐.๘๘๖๔	− ๑.๓๒
๒.๖๓๑๐	๐.๔๙๗๕	๐.๔๔๗๒	๐.๐๒๖๒	๐.๙๑๕๙	๐.๙๐๖๖	๑.๐๒

<u>ตารางที่ ๕.๒๖</u> แสดงผลการเปรียบเทียบที่ความถี่ ๑๐.๐๐๐ GHz

d(cm)	θ_{exp} (rad)	θ_{cal} (rad)	$\Delta\theta/2\beta_1$ (cm)	ρ_{exp}	ρ_{cal}	deviation
๑.๖๔๒๐	− ๐.๓๕๔๓	− ๐.๓๕๒๓	− ๐.๐๐๐๖	๐.๘๔๔๑	๐.๘๓๒๗	๑.๓๖
๑.๘๔๒๐	๑.๑๗๘๑	๑.๑๗๐๐	๐.๐๐๒๖	๐.๙๐๓๙	๐.๘๙๒๓	๑.๒๙
๑.๙๕๘๐	๐.๖๑๙๕	๐.๖๓๗๕	− ๐.๐๐๕๗	๐.๙๑๕๕	๐.๙๑๘๕	− ๐.๓๓
๒.๐๗๘๐	๐.๒๓๗๓	๐.๒๑๓๕	๐.๐๐๗๕	๐.๙๓๒๑	๐.๙๓๑๐	๐.๑๒
๒.๑๙๒๐	− ๐.๑๕๙๓	− ๐.๑๔๕๕	− ๐.๐๐๔๔	๐.๙๓๔๗	๐.๙๓๑๙	๐.๓๐
๒.๒๗๘๐	− ๐.๔๑๕๔	− ๐.๔๓๒๕	๐.๐๐๕๔	๐.๙๑๔๓	๐.๙๒๕๑	− ๑.๑๗
๒.๔๐๙๐	− ๐.๙๘๓๑	− ๐.๙๖๒๒	− ๐.๐๐๖๖	๐.๘๘๖๓	๐.๘๙๕๓	− ๑.๑๐

<u>ตารางที่ ๕.๒๗</u> แสดงผลการเปรียบเทียบที่ความถี่ ๑๒.๐๐๐ GHz

d (cm)	θ_{exp} (rad)	θ_{cal} (rad)	$\Delta\theta/\ell\beta_1$ (cm)	ρ_{exp}	ρ_{cal}	deviation
๑.๗๐๙๐	๐.๐๘๓๔	๐.๐๙๑๐	− ๐.๐๐๑๘	๐.๙๐๘๘	๐.๙๐๙๕	− ๐.๐๘
๑.๙๒๑๐	− ๐.๘๔๘๙	− ๐.๘๘๖๘	๐.๐๐๙๐	๐.๘๖๒๓	๐.๘๗๕๕	− ๑.๕๒
๒.๐๖๕๐	๑.๑๗๕๘	๑.๑๗๐๑	๐.๐๐๑๔	๐.๗๘๒๒	๐.๗๗๓๕	๑.๒๒
๒.๑๔๘๐	๐.๑๘๗๖	๐.๒๑๖๔	− ๐.๐๐๖๘	๐.๗๒๓๔	๐.๗๐๗๗	๒.๑๙
๒.๒๗๘๐	− ๑.๓๐๗๗	− ๑.๓๑๓๖	๐.๐๐๑๔	๐.๗๖๐๙	๐.๗๔๕๘	๒.๐๐
๒.๔๑๐๐	๐.๘๗๔๓	๐.๘๖๖๔	๐ ๐.๐๐๑๙	๐.๘๒๓๙	๐.๘๒๘๘	− ๐.๕๙
๒.๖๔๑๐	− ๐.๒๑๒๗	− ๐.๑๘๖๗	− ๐.๐๐๖๒	๐.๘๕๗๒	๐.๘๖๖๑	− ๑.๐๓

ในทำนองเดียวกัน เราสามารถนำค่า β_2' และ β_2'' ที่คำนวณได้นี้ไปหาค่าคงที่ฉนวน K และ $\tan\delta$ ได้โดยอาศัยสมการ (๕.๒.๕) และ (๕.๒.๖) ผลการคำนวณได้ผลดังแสดงในตารางข้างล่าง

<u>ตารางที่ ๕.๒๘</u> แสดงค่าคงที่ฉนวนและการสูญเสียพลังงานของ EBBA + C_6H_6 ๐.๐๒ mole frac$^{\underline{n}}$ ที่ความถี่ ๘.๐๐๐ , ๑๐.๐๐๐ และ ๑๒.๐๐๐ GHz

f (GHz)	K	$\tan\delta$	K''
๘.๐๐๐	๒.๔๐๑๗	๐.๐๒๑๖	๐.๐๕๑๘
๑๐.๐๐๐	๒.๓๘๕๑	๐.๐๑๖๘	๐.๐๔๐๖
๑๒.๐๐๐	๒.๓๘๓๖	๐.๐๒๒๗	๐.๐๕๔๑

๕.๔ การคำนวณเวลาผ่อนคลาย และ อิเลคทริกไดโพลโมเมนต์

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการคำนวณเวลาผ่อนคลาย และ ไดโพลโมเมนต์ของ MBBA และ EBBA โดยอาศัยวิธีการของเคอบาย และ กักเกนไฮม์

พิจารณาสมการของเคอบาย

$$a' = a_{\alpha} + \frac{1}{\omega\tau} a'' \qquad (\text{๕.๔.๑})$$

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิจารณาสมการของกักเกนไฮม์

$$\mu = \frac{9kT}{4\pi N}\left(\frac{3}{(\epsilon_1+2)(n_1^2+2)}\right)\left[\frac{d\Delta}{dc}\right]_{c \to 0} \qquad (\text{๕.๔.๒})$$

โดยที่

$$\Delta = (\epsilon - n^2) - (\epsilon_1 - n_1^2) \qquad (\text{๕.๔.๓})$$

อาศัยข้อมูลที่วัดได้ในหัวข้อ (๕.๑) , (๕.๒) และ (๕.๓) ซึ่งสรุปได้ในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ ๕.๒๙ แสดงค่า ϵ', ϵ'' และ ϵ_{∞} ของสารละลาย MBBA และ EBBA ในเบนซิน ๐.๐๒mole fraction ที่ความถี่ ๘.๐๐๐ GHz ๑๐.๐๐๐ GHz และ ๑๒.๐๐๐ GHz

	MBBA				EBBA			
	๘ GHz	๑๐ GHz	๑๒ GHz	optical frequency	๘ GHz	๑๐ GHz	๑๒ GHz	Optical frequency
ϵ'	๒.๔๒๓๕	๒.๓๘๓๔	๒.๓๘๙๖	๒.๒๕๕๗	๒.๔๐๑๗	๒.๓๘๕๑	๒.๓๘๓๖	๒.๒๔๗๓
ϵ''	๐.๐๔๙๔	๐.๐๓๗๖	๐.๐๔๙๑	๐	๐.๐๕๑๘	๐.๐๔๐๒	๐.๐๕๔๑	๐

ตารางที่ ๕.๓๐ แสดงค่า ϵ' , ϵ'' และ ϵ_{∞} ของเบนซินที่ความถี่ ๘.๐๐๐ GHz ๑๐.๐๐๐ GHz และ ๑๒.๐๐๐ GHz

	๘ GHz	๑๐ GHz	๑๒ GHz	Optical frequency
ϵ'	๒.๒๘๕๐	๒.๒๖๙๒	๒.๒๘๓๕	๒.๒๑๙๘
ϵ''	๐	๐	๐	๐

อาศัยข้อมูลจากตาราง (๕.๒๙) และ ตาราง (๕.๓๐) เราสามารถหาค่าเวลาผ่อนคลายได้จากสมการ (๕.๔.๑) ตัวอย่างการคำนวณที่ ๘.๐๐๐GHzของสารละลาย MBBA เราจะได้

$$\alpha' = \frac{๒.๔๒๓๕ - ๒.๒๘๕๐}{๐.๐๒} = ๖.๙๒๕๐$$

$$\alpha'' = \frac{๐.๐๔๙๔}{๐.๐๒} = ๒.๔๗๐๐$$

$$a_{\mu} = \frac{๒.๒๕๕๗ - ๒.๒๑๙๘}{๐.๐๒} = ๑.๗๙๕๐$$

แทนค่าเหล่านี้ในสมการ(๕.๔.๑) จะได้

$$๖.๙๒๕๐ = ๑.๗๙๕๐ + \frac{๑}{๒\pi \times ๘ \times ๑๐^{๙} \times \tau}(๒.๔๗๐๐)$$

$$\tau = ๙.๕๘ \times ๑๐^{-๑๒} \quad s$$

พิจารณาสมการ (๕.๔.๒) และ สมการ (๕.๔.๓) เราสามารถคำนวณหาค่าไดโพลโมเมนต์ได้โดยที่ $k = ๑.๓๘๐๖ \times ๑๐^{-๑๖}$ erg/K, $N = ๖.๐๒๒๑ \times ๑๐^{๒๓}$ mole^{-1}, $T = (๒๗๓ + c)^{\circ}$ K อุณหภูมิที่ทำการทดลองประมาณ ๒๗$^{\circ}$c และ c เป็นจำนวณโมลต่อลูกบาศก์เซนติเมตรของ MBBA และ EBBA ในเบนซินมีค่าเท่ากับ ๐.๐๐๐๒๑๙ mole/cc และ ๐.๐๐๐๒๑๘ mole/cc ตามลำดับ ดังนั้นเราจะได้

$$\mu^{2} = \frac{๙ \times ๑.๓๘๐๖ \times ๑๐^{-๑๖} \times (๒๗๓ + ๒๗)}{๔\pi \times ๖.๐๒๒๑ \times ๑๐^{๒๓}} \left(\frac{๓}{(๒.๒๘๕๐ + ๒)(๒.๒๑๙๘ + ๒)}\right)$$

$$\times \left(\frac{(๒.๔๒๓๕ - ๒.๒๕๕๗) - (๒.๒๘๕๐ - ๒.๒๑๙๘)}{๐.๐๐๐๒๑๙}\right)$$

$$\mu = ๑.๙๕ \times ๑๐^{-๑๘} \quad e.s.u.-cm$$

โดยที่ ๑ coulome = ๒.๙๙๘ × ๑๐^{๙} e.s.u. และ ๑ m = ๑๐^{๒} cm ดังนั้นเราจะได้

$$\mu = ๖.๓๙ \times ๑๐^{-๓๐} \quad C\cdot m$$

ส่วนข้อมูลอื่น ๆ คงคำนวณได้โดยวิธีเดียวกัน ผลที่คำนวณได้แสดงในตารางข้างล่าง

<u>ตารางที่ ๕.๓๑</u> แสดงค่า μ และ τ ของ MBBA และ EBBA

	MBBA		EBBA	
	τ (s)	μ (c·m)	τ (s)	μ (c·m)
๘.๐๐๐	๙.๕๘ × ๑๐$^{-๑๒}$	๖.๓๙ × ๑๐$^{-๓๐}$	๑๑.๕๕ × ๑๐$^{-๑๒}$	๕.๙๙ × ๑๐$^{-๓๐}$
๑๐.๐๐๐	๗.๖๔ × ๑๐$^{-๑๒}$	๕.๖๑ × ๑๐$^{-๓๐}$	๗.๕๕ × ๑๐$^{-๑๒}$	๕.๙๘ × ๑๐$^{-๓๐}$
๑๒.๑๐๐	๙.๒๘ × ๑๐$^{-๑๒}$	๕.๓๑ × ๑๐$^{-๓๐}$	๙.๘๘ × ๑๐$^{-๑๒}$	๕.๘๒ × ๑๐$^{-๓๐}$
เฉลี่ย	๘.๘๓ × ๑๐$^{-๑๒}$	๕.๗๗ × ๑๐$^{-๓๐}$	๙.๖๖ × ๑๐$^{-๑๒}$	๕.๘๐ × ๑๐$^{-๓๐}$