



การอธิบายผลการวิจัย

บทที่ 4 เราได้บรรยายผลการวิจัยทั้งหมดที่ทำแล้ว ในบทนี้เราจะวิจารณ์ผลการวิจัยว่าสอดคล้องกับทฤษฎีที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 อย่างไร

5.1 การเกิดลวดลายของเทกซ์เจอร์ของของผสมนึมาติก-คอเลสเทอริก  
ที่อุณหภูมิใกล้จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิก-ไอโซโทรปิก

จากการศึกษาการเกิดลวดลายของเทกซ์เจอร์ของของผสมนึมาติก-คอเลสเทอริกที่อุณหภูมิใกล้จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิก-ไอโซโทรปิกในแง่ต่างๆ เรานำผลการวิจัยมาสรุปไว้ดังต่อไปนี้

5.1.1 บทบาทของโพลีเมอร์ที่มีต่อเทกซ์เจอร์

ความวิธึเตรียมของผสมนึมาติก-คอเลสเทอริกที่ผสมกันโดยตรงในหัวข้อที่ 3.3.1 ต้องใช้แท่งแก้วคนของผสมนี้อยู่นานจนผสมกันดี เพื่อให้เป็นของผสมนึมาติก-คอเลสเทอริกอย่างสมบูรณ์ ของผสมนึมาติก-คอเลสเทอริกที่ผสมกันโดยตรงนี้ จะเป็นผลึกเหลวซึ่งมีเทกซ์เจอร์คล้ายผลึกเหลวชนิดคอเลสเทอริก แต่ขนาดของพิทซ์ใหญ่กว่า และยังเป็นผลึกเหลวที่อุณหภูมิห้องมีลักษณะขุ่นเหมือน MBBA เราศึกษาสไลด์ของของผสมนี้ที่เตรียมตามวิธีในหัวข้อที่ 3.3.3 โดยกลองจุลทัศน์โอลิมปัสแบบซีเคหรือกลองจุลทัศน์ซึ่งสร้างขึ้นเองได้ทันที แต่สำหรับของผสมนึมาติก-คอเลสเทอริกที่ผสมกันโดยใช้โพลีเมอร์ผสมกันไว้ก่อนแล้ว และเป็นของเหลวแบบไอโซโทรปิกที่อุณหภูมิห้องมีลักษณะใส เราศึกษาสไลด์ของของผสมนี้ได้หลังจากที่โพลีเมอร์ระเหยไปแล้ว และมีบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่เกิดขึ้นแทน

ผลการทดลองพบว่าเทกซ์เจอร์ที่อุณหภูมิใกล้จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิก-ไอโซโทรปิก ของของผสมนี้มาติก-คอเลสเทอริก ที่ผสมกันโดยตรงหรือใส่โทลูอินไม่แตกต่างกันเลย โทลูอิน เพียงแต่ช่วยให้ลวดลายชัดเจนขึ้นเท่านั้น ซึ่งตรงกับผลการทดลองของพี.อี.คลาดิส และเอ็ม. คลีแมน<sup>1</sup> (P.E. CLADIS AND M. KLÉMAN) เทกซ์เจอร์ของ MBBA/CP/Toluene  $0.589 \pm 0.004\%$  สไลด์ที่ 1 และ 2 แสดงไว้ในรูปที่ 4-1 และรูปที่ 4-3 เทกซ์เจอร์ของ MBBA/CP  $1.06 \pm 0.01\%$  สไลด์ที่ 1 และ 2 แสดงไว้ในรูปที่ 4-2 และ 4-4 จะเห็นได้ว่า รูปที่ 4-1 และ 4-2 มีลวดลายเหมือนกัน ต่างกันตรงขนาดของพิทซ์เนื่องจากร้อยละโดยน้ำหนัก ของ CP ต่างกัน และรูปที่ 4-3 และ 4-4 มีลวดลายเหมือนกัน ต่างกันตรงขนาดของพิทซ์ เนื่องจากร้อยละโดยน้ำหนักของ CP ต่างกันเช่นกัน

ตามที่ได้อธิบายมาข้างต้นพอจะสรุปได้ว่า ข้อดีของโทลูอินคือช่วยให้ของผสม นีมาติก-คอเลสเทอริกผสมกันได้รวดเร็ว และทำให้ลวดลายของเทกซ์เจอร์ที่อุณหภูมิใกล้จุด เปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิก-ไอโซโทรปิกชัดเจนขึ้น ส่วนข้อเสียคือสไลด์ของของผสมที่ผสมกัน โดยใส่โทลูอินจะศึกษาทันทีไม่ได้ ต้องทิ้งไว้ให้โทลูอินระเหยไปก่อน บางสไลด์ใช้เวลา หลายชั่วโมง บางสไลด์ใช้เวลาเป็นวัน

### 5.1.2 เทกซ์เจอร์ของทุกสไลด์ของตัวอย่างของของผสมนี้มาติก-คอเลสเทอริกเดียวกัน

จากการทดลองพบว่า ทุกสไลด์ของตัวอย่างของของผสมนี้มาติก-คอเลสเทอริก เดียวกัน จะให้เทกซ์เจอร์ที่อุณหภูมิใกล้จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิก-ไอโซโทรปิก 2 แบบ คือ เทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือและเทกซ์เจอร์ลายก้นหอย ลวดลายของเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือ จะมีเส้นขนานกันคล้ายลายพิมพ์นิ้วมือ ส่วนลวดลายของเทกซ์เจอร์ลายก้นหอยมีลักษณะเป็นวงๆ คล้ายลายก้นหอย ลวดลายของเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือเหมือนกันทุกสไลด์ที่ให้เทกซ์เจอร์แบบนี้

<sup>1</sup>P.E. Cladis and M. Kléman, Molecular Crystals and Liquid Crystals

ในทำนองเดียวกันลวดลายของเท็กซ์เจอร์ลายกันทยก็เหมือนกันทุกสไลด์ที่ให้เท็กซ์เจอร์ลายกันทย  
รูปที่ 4-5, 4-6 และ 4-7 แสดงเท็กซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือของ MBBA/CP/Toluene  
 $0.589 \pm 0.004\%$  สไลด์ที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งลวดลายเหมือนกันทุกสไลด์ รูปที่ 4-8  
และ 4-9 แสดงเท็กซ์เจอร์ลายกันทยของ MBBA/CP/Toluene  $0.589 \pm 0.004\%$   
สไลด์ที่ 1 และ 2 ซึ่งลวดลายเหมือนกันทุกสไลด์ จะเห็นได้ว่ารูปที่ 4-1 และ 4-2 แสดง  
เท็กซ์เจอร์ลายกันทย รูปที่ 4-3 และ 4-4 แสดงเท็กซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือ

### 5.1.3 เท็กซ์เจอร์ของของผสมมีมาติก-คอเลสเทอริกซึ่งมีร้อยละโดยน้ำหนักของคอเลสเทอริก ต่างกัน

เมื่อร้อยละโดยน้ำหนักของคอเลสเทอริกเปลี่ยนไป ลวดลายของเท็กซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือ  
ไม่เปลี่ยน แต่ขนาดของพิทช์เปลี่ยน ขนาดของพิทช์จะเปลี่ยนแปลงเมื่อร้อยละโดยน้ำหนักของ  
คอเลสเทอริกเปลี่ยน กล่าวคือถ้าร้อยละโดยน้ำหนักของคอเลสเทอริกน้อยพิทช์จะมีขนาดใหญ่<sup>2</sup>  
รูปที่ 4-10, 4-11 และ 4-12 แสดงเท็กซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือของ MBBA/CA  $0.391 \pm 0.012\%$ ,  
 $0.8591 \pm 0.0001\%$  และ  $1.99 \pm 0.02\%$  ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าขนาดของพิทช์เล็กลง  
ตามร้อยละโดยน้ำหนักของ CA ที่มากขึ้น ในทำนองเดียวกันเมื่อร้อยละโดยน้ำหนักของ  
คอเลสเทอริกเปลี่ยน ลวดลายที่เป็นวงๆ ลายลายกันทยจะมีขนาดเปลี่ยนตามไปด้วย  
รูปที่ 4-13, 4-14 และ 4-15 แสดงเท็กซ์เจอร์ลายกันทยของ MBBA/CA  $0.391 \pm 0.012\%$ ,  
 $0.8591 \pm 0.0001\%$  และ  $1.99 \pm 0.02\%$  ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าขนาดของลายกันทย  
เล็กลงตามร้อยละโดยน้ำหนักของ CA ที่มากขึ้นเช่นกัน

<sup>2</sup> G. Durand, L. Leger, F. Rondelez, and M. Veysie, Physical Review Letters  
22 No. 6 (1969), 227.



**5.1.4 เทกซ์เจอร์ของของผสมนิมาติก-คอเลสเทอริกซึ่งผลึกเหลวชนิดคอเลสเทอริก  
เปลี่ยนเป็นชนิดต่างๆ**

จากการทดลองพบว่าเมื่อเปลี่ยนผลึกเหลวชนิดคอเลสเทอริกไปเป็น CM และ CP ลวดลายของเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือและเทกซ์เจอร์ลายก้นหอยยังคงเหมือนกับเมื่อใช้ผลึกเหลวชนิดคอเลสเทอริกเป็น CA และเมื่อร้อยละโคยน้ำหนักรวมของ CM หรือ CP เปลี่ยนขนาดของพิทช์ของเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือและขนาดของลายก้นหอยของเทกซ์เจอร์ลายก้นหอยก็เปลี่ยนตามแบบเดียวกับ MBBA/CA เทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือของ MBBA/CM  $0.398 \pm 0.003\%$ ,  $1.061 \pm 0.015\%$  และ  $2.35 \pm 0.03\%$  แสดงไว้ในรูปที่ 4-16, 4-17 และ 4-18 ตามลำดับ เทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของ MBBA/CM  $0.398 \pm 0.003\%$ ,  $1.061 \pm 0.015\%$  และ  $2.35 \pm 0.03\%$  แสดงไว้ในรูปที่ 4-19, 4-20 และ 4-21 ตามลำดับ เนื่องจากหลอดอินไมท์ทำให้ขนาดของพิทช์และลวดลายของเทกซ์เจอร์เปลี่ยนดังกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 5.1.1 เราจึงแสดงเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือของ MBBA/CP/Toluene  $0.589 \pm 0.004\%$ , MBBA/CP  $1.06 \pm 0.01\%$  และ MBBA/CP/Toluene  $1.804 \pm 0.014\%$  ไว้ในรูปที่ 4-3, 4-4 และ 4-22 ตามลำดับ และแสดงเทกซ์เจอร์ลายก้นหอยของ MBBA/CP/Toluene  $0.589 \pm 0.004\%$ , MBBA/CP  $1.06 \pm 0.01\%$  และ MBBA/CP/Toluene  $1.804 \pm 0.014\%$  ไว้ในรูปที่ 4-1, 4-2 และ 4-23 ตามลำดับ

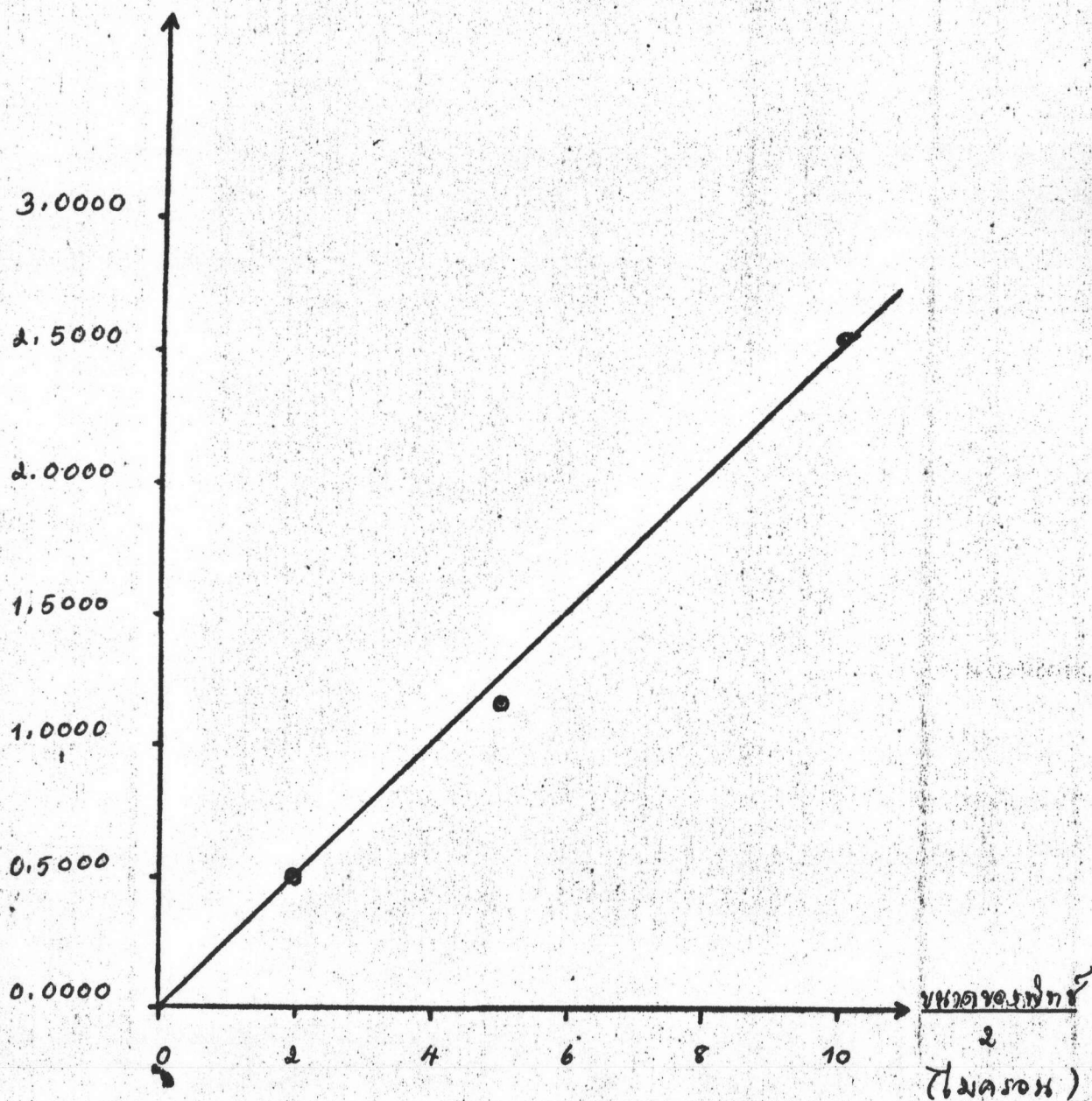
โดยการใช้ไมโครมิเตอร์ อี.ไลทซ์ จี.เอ็ม.บี.เอช.เวทซลาร์ (MIKROMETER E. LEITZ G.M.B.H. WETZLAR) ซึ่งแบ่งสเกลออกเป็น 200 ช่องในความยาว 2 มม. เราสามารถทำการเทียบมาตรฐานสร้างสเกลของความยาวเป็นไมครอนบนสเกลของอายุพิช (EYEPIECE) ได้ และทำการวัดขนาดของพิทช์ของเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือของของผสมนิมาติก-คอเลสเทอริกที่ใช้ในการทดลอง การวัดนี้กระทำเมื่อขนาดของพิทช์ไม่เปลี่ยนแปลง อุณหภูมิที่สูงขึ้นต่อไปแล้ว ขนาดของพิทช์ที่วัดได้แสดงไว้ในตารางที่ 5-1



ของผสม	%	ขนาดของพิทช์ (ไมครอน)	วัดที่อุณหภูมิ (°ซ)	TcMI (°ซ)	$\frac{1}{\%}$	ขนาดของพิทช์ <sup>2</sup> (ไมครอน)
MBBA/CA	$0.391 \pm 0.012$	20.00	38.8	39.2	2.5575	10.00
MBBA/CA	$0.8591 \pm 0.0001$	10.00	32.6	33.5	1.1640	5.00
MBBA/CA	$1.99 \pm 0.02$	4.00	36.9	37.5	0.5025	2.00
MBBA/CN	$0.398 \pm 0.003$	26.67	39.6	40.2	2.5126	13.34
MBBA/CN	$1.061 \pm 0.015$	10.00	37.8	37.9	0.9425	5.00
MBBA/CN	$2.35 \pm 0.03$	5.00	34.3	34.5	0.4255	2.50
MBBA/CP/Toluene	$0.589 \pm 0.004$	16.00	34.0	34.5	1.6978	8.00
MBBA/CP	$1.06 \pm 0.01$	7.27	40.1	40.5	0.9434	3.64
MBBA/CP/Toluene	$1.804 \pm 0.014$	4.00	40.1	40.2	0.5543	2.00

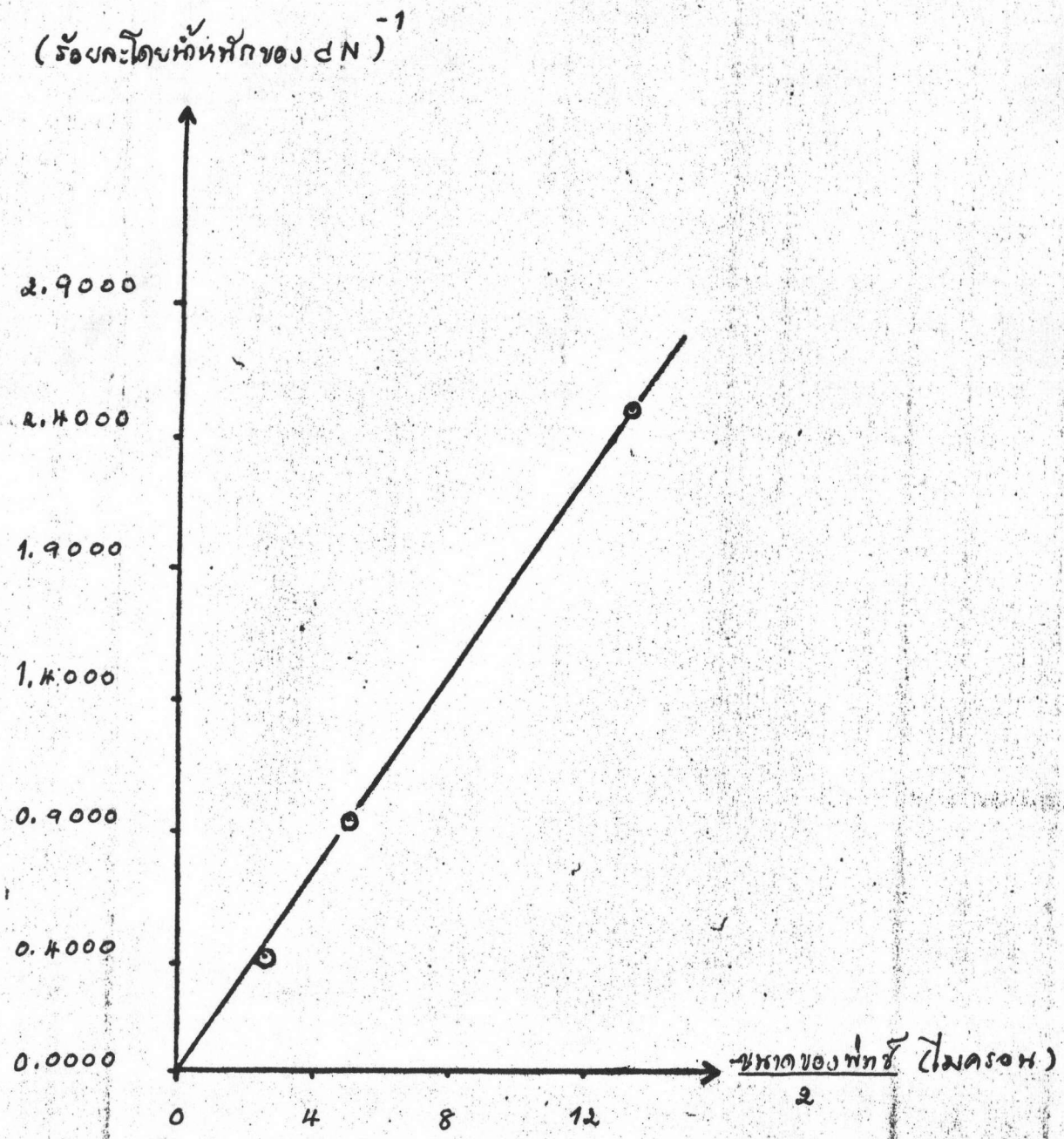
ตารางที่ 5-1 แสดงขนาดของพิทช์ของเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือของของผสมเมมาติก-คอเลสเทอริกที่ใช้ในการทดลอง

(ร้อยละโดยน้ำหนักของ  $CA^{-1}$ )



รูปที่ 5-1 กราฟของ (ร้อยละโดยน้ำหนักของ  $CA^{-1}$ ) กับ  $\frac{\text{ขนาดของพืทซ์}}{2}$

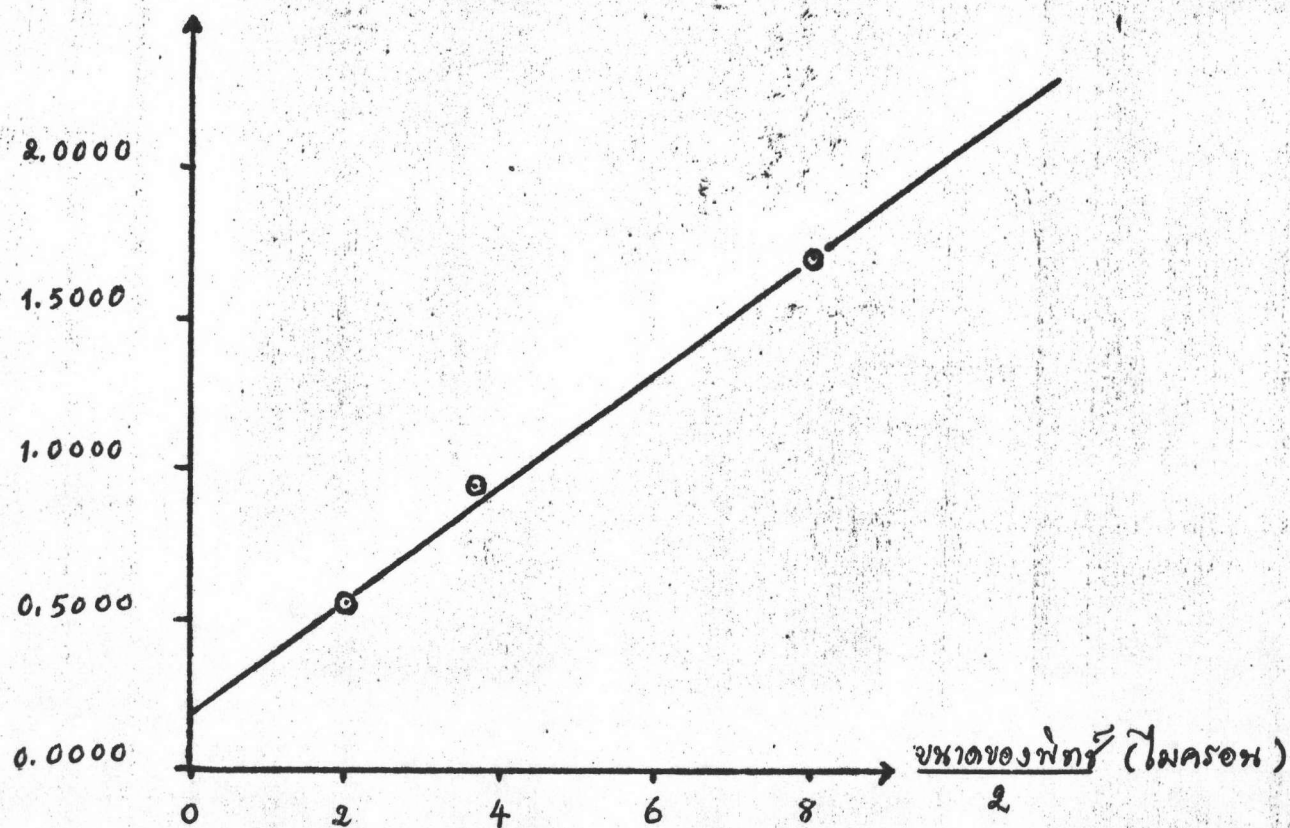




รูปที่ 5-2 กราฟของ (ร้อยละโดยน้ำหนักของ  $\text{CN}^{-1}$ ) กับ  $\frac{\text{ขนาดของพืช}}{2}$



(ร้อยละโดยน้ำหนักของ  $\Delta P$ )<sup>-1</sup>



รูปที่ 5-3 กราฟของ (ร้อยละโดยน้ำหนักของ  $\Delta P$ )<sup>-1</sup> กับ  $\frac{\text{ขนาดของพืกร}}{2}$

กราฟของ (ร้อยละโดยน้ำหนักของ  $CA$ )<sup>1</sup> กับ ขนาดของพิทซ์ แสดงไว้ในรูปที่ 5-1, กราฟของ (ร้อยละโดยน้ำหนักของ  $CM$ )<sup>1</sup> กับ ขนาดของพิทซ์ แสดงไว้ในรูปที่ 5-2 และ กราฟของ (ร้อยละโดยน้ำหนักของ  $CP$ )<sup>1</sup> กับ ขนาดของพิทซ์ แสดงไว้ในรูปที่ 5-3 พิจารณา รูปทั้งสามจะเห็นได้ว่า (ร้อยละโดยน้ำหนักของคอเลสเทอริก)<sup>1</sup> แปรเปลี่ยนอย่างเชิงเส้น กับ ขนาดของพิทซ์ เป็นไปตามทฤษฎีของพี.อี.คลาดิส และเอ็ม.คลีแมน<sup>1</sup>

เราไม่สามารถวัดพิทซ์ของเทกซ์เจอร์ลายกันหอยไค้เพราะมีลวดลายเป็นวงแบบ ลายกันหอย แต่ตามหัวข้อที่ 5.1.3 เราพบว่าขนาดของลายกันหอยเล็กลงตามร้อยละโดยน้ำหนัก ของคอเลสเทอริกที่เพิ่มขึ้น เราอาจสรุปได้ว่า พิตซ์ของลวดลายแบบนี้จะเล็กลงเมื่อร้อยละ โดยน้ำหนักของคอเลสเทอริกมากขึ้น

#### 5.1.5. อุณหภูมิที่จุดเปลี่ยนสภาวะ

ตามตารางที่ 4-1ก และ 4-1ข จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิที่จุดเปลี่ยนสภาวะของ เทกซ์เจอร์ลายกันหอยและเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือไม่คงที่ แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่ จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิก-ไอโซโทรปิก (TCMI) ของเทกซ์เจอร์ทั้งสอง ไม่สูงเกิน พิสัยของอุณหภูมิของการเป็นเมโซมอร์ฟิกของ MBBA ทั้งๆที่พิสัยของอุณหภูมิของการเป็น เมโซมอร์ฟิกของ  $CA, CM$  และ  $CP$  ต่างก็มีค่าสูงๆทั้งนั้น ดูตารางที่ 3-1 ที่เป็นเช่นนี้ เพราะว่าร้อยละโดยน้ำหนักของผลึกเหลวชนิดคอเลสเทอริกที่อยู่ในของผสมนี้มาติก-คอเลสเทอริก น้อยมาก และที่สำคัญก็คือถ้า TCMI สูงเกินพิสัยของอุณหภูมิของการเป็นเมโซมอร์ฟิกของ MBBA จะทำให้พันธะ (BOND) ที่ยึดเหนี่ยวระหว่างประมาณ (ATOM) ถูกทำลาย เสียสภาพของ การเป็น MBBA จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สไลด์หนึ่งสไลด์โคเจนเป็นของเหลว

<sup>1</sup>P.E. Cladis and M. Kleman, Molecular Crystals and Liquid Crystals

แบบไอโซโทรปิก และลคอุณหภูมิลดลงมาถึงอุณหภูมิห้อง ทำเช่นนี้หลายครั้งเป็นเวลาติดต่อกัน  $T_{cMI}$  ของการทดลองแต่ละครั้งจะต่างกันประมาณไม่เกิน  $1^{\circ}\text{C}$  ดังเช่นในตารางที่ 4-1ก MBBA/CA  $1.99 \pm 0.02\%$  วัดได้  $39.4, 39.5$  และ  $39.9^{\circ}\text{C}$  ในตารางที่ 4-1ข MBBA/CN  $0.398 \pm 0.003\%$  วัดได้  $40.7, 40.7, 40.5, 40.2$  และ  $40.4^{\circ}\text{C}$   $T_{cMI}$  ควรจะคงที่เป็นค่าใดค่าหนึ่ง ดังที่ ราชนิทเซอร์<sup>3</sup> (REINITZER) ได้ค้นพบเฟสของผลึกเหลวเป็นครั้งแรกจาก cholesteryl benzoate บันทึกลงไว้ว่าที่อุณหภูมิ  $145^{\circ}\text{C}$  และที่อุณหภูมิ  $179^{\circ}\text{C}$  ผลึกเหลวนี้ได้กลายเป็นของเหลวแบบไอโซโทรปิก แต่จากการทดลองเราได้อุณหภูมิคงที่อาจเนื่องจากเกิดความร้อนยวดยิ่ง (SUPER HEATED) กล่าวคือถึงอุณหภูมิซึ่งควรจะเปลี่ยนสถานะจากเมโซมอร์ฟิกไปเป็นของเหลวแบบไอโซโทรปิกแล้วสารก็ยังไม่ยอมเปลี่ยน ต้องเพิ่มพลังงานอีกเล็กน้อยโดยการเพิ่มอุณหภูมิ สารจึงยอมเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวแบบไอโซโทรปิก

นอกจากนี้ยังพบอีกว่า เมื่อเพิ่มและลคอุณหภูมิลดลงให้สไลด์โกสไลด์หนึ่ง บันทึกลง  $T_{cMI}$  แล้วทิ้งระยะห่างไปเป็นวัน นำสไลด์อันนี้มาเพิ่มและลคอุณหภูมิลดลง  $T_{cMI}$  ที่บันทึกครั้งหลังจะต่างกับบันทึกครั้งแรกตั้งแต่  $1^{\circ}\text{C}$  ขึ้นไป ตัวอย่างเช่นในตารางที่ 4-1ก MBBA/CA  $0.391 \pm 0.012\%$  วัดได้  $39.4$  และ  $39.4^{\circ}\text{C}$  หลังจากนั้น 7 วัน วัดได้  $38.1^{\circ}\text{C}$  ในตารางที่ 4-1ข MBBA/CA  $0.8591 \pm 0.0001\%$  วัดได้  $35.1$  และ  $35.1^{\circ}\text{C}$  หลังจากนั้น 1 วัน วัดได้  $33.5$  และ  $33.2^{\circ}\text{C}$ , MBBA/CA  $1.99 \pm 0.02\%$  วัดได้  $40.0^{\circ}\text{C}$  หลังจากนั้น 1 วัน วัดได้  $37.6, 37.5, 37.7$  และ  $38.0^{\circ}\text{C}$

ในทำนองเดียวกันเมื่อเพิ่มและลคอุณหภูมิลดลงให้สไลด์ต่างๆของสารอย่างเดียวกันปรากฏว่า  $T_{cMI}$  ต่างกันตั้งแต่  $1^{\circ}\text{C}$  ขึ้นไปเช่นกัน ดังเช่นในตารางที่ 4-1ข MBBA/CN  $1.061 \pm 0.015\%$  สไลด์ที่ 1 วัดได้  $38.3$  และ  $37.9^{\circ}\text{C}$  สไลด์ที่ 2 วัดได้  $36.0^{\circ}\text{C}$ ,

<sup>3</sup> I.G.Chistyakov, Soviet Physics Uspekhi 9 No.4, (1967), 551.



MBBA/CP/Toluene  $0.589 \pm 0.004\%$  สไลด์ที่ 1 วัดได้ 34.2, 34.6 และ 34.5 °ซ  
 สไลด์ที่ 2 วัดได้ 36.7, 36.3, 36.4, 36.2 และ 37.3 °ซ และสไลด์ที่ 3 วัดได้ 35.6 °ซ

จะเห็นได้ว่าสไลด์เดียวกันแต่ทำการทดลองต่างวันกับสไลด์ต่างกันของสารอย่างเดียวกัน  
 ให้ผลคือ TcMI เช่นเดียวกัน คืออุณหภูมิมีค่าต่างกันตั้งแต่ 1 °ซ ขึ้นไป พอจะคาดคะเนสาเหตุ  
 ที่ทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิเป็นเช่นนี้ได้ดังนี้ สำหรับสไลด์ต่างกันของสารอย่างเดียวกัน  
 อันตรกิริยา (INTERACTION) ระหว่างผิว (SURFACE) ของสารกับผิวของสไลด์ ตรงบริเวณ  
 ที่สัมผัสกันของแต่ละสไลด์ต่างกัน พลังงานที่ใช้ในการทำให้เปลี่ยนเป็นของเหลวแบบไอโซโทรปิก  
 ควรต่างกัน ผลที่ตามมาคือ TcMI ต่างกัน สำหรับสไลด์เดียวกันแต่ทำการทดลองต่างวันกัน  
 อาจจะเป็นไปได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไปทิศทางการเรียงตัวของโมเลกุลที่ผิวของสารซึ่งสัมผัสกับ  
 ผิวของสไลด์เปลี่ยนไป อันตรกิริยาระหว่างผิวของสารกับผิวของสไลด์ตรงบริเวณที่สัมผัสกัน  
 จึงเปลี่ยนไป ทำให้ TcMI เปลี่ยนไปด้วย

TcIM มีค่าไม่คงที่เนื่องจาก TcMI เปลี่ยน แต่อย่างไรก็ตาม TcIM มีค่าต่ำกว่า  
 TcMI ในการทดลอง อยู่ในตารางที่ 4-1 ก MBBA/CA  $0.8591 \pm 0.0001\%$  TcMI วัดได้  
 42.3, 42.4 และ 42.9 °ซ ซึ่ง TcIM วัดได้เป็น 42.1, 42.2 และ 42.8 °ซ ตามลำดับ  
 อุณหภูมิที่จุดเปลี่ยนสถานะทั้งสองควรเป็นค่าเดียวกัน เพราะมีการผันกลับ (REVERSIBILITY)  
 ได้ในสารที่ให้เฟสซึ่งเป็นผลึกเหลว<sup>4</sup> การที่ TcIM ต่ำกว่า TcMI คงเนื่องจากเกิด  
 ความเย็นยวดยิ่ง (SUPER COOLING.)

ที่ควรสังเกตอีกอย่างคือ ของผสมที่ใช้ในการทดลองมี TcMI เฉลี่ยของ  
 เทกซ์เจอร์ลายกันหอย สูงกว่า TcMI เฉลี่ยของเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือ เช่น MBBA/CA  
 $0.8591 \pm 0.0001\%$  มี TcMI เฉลี่ยของเทกซ์เจอร์ลายกันหอยเป็น  $42.5 \pm 0.2$  °ซ  
 ของเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือเป็น  $34.2 \pm 0.9$  °ซ และ MBBA/CN  $2.35 \pm 0.03\%$   
 มี TcMI เฉลี่ยของเทกซ์เจอร์ลายกันหอยเป็น  $39.3 \pm 0.1$  °ซ ของเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือ

<sup>4</sup> G.H. Brown, American Scientist 60 No. 1 (1972), 64.

เป็น  $34.5^{\circ}$  ช ยกเว้น MBBA/CA  $0.391 \pm 0.012\%$  ที่มี TcMI ของเทกซ์เจอร์ลายกันหอย  
ต่ำกว่าของเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือ แต่ต่ำกว่าไม่มากประมาณ  $0.1^{\circ}$  ช

## 5.2 การเปลี่ยนแปลงของลวดลายของเทกซ์เจอร์ของของผสม

### นิมาติก-คอเลสเทอริกที่อุณหภูมิในช่วงต่างๆซึ่งใกล้จุดเปลี่ยนสถานะเมโซมอร์ฟิก-ไอโซโทรปิก

ก่อนจะถึงอุณหภูมิที่จุดเปลี่ยนสถานะเมโซมอร์ฟิก-ไอโซโทรปิก ลวดลายของ  
เทกซ์เจอร์ของของผสมนิมาติก-คอเลสเทอริกมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งสามารถแยกออกได้เป็น  
3 เฟส (PHASE) 2 เฟสแรกเกิดเมื่ออุณหภูมิอยู่ห่างจาก TcMI มาก เทกซ์เจอร์มีสี่เหลี่ยม  
คือสี่เหลี่ยมของลวดลายที่มีคเป็นสี่ค้ำ แต่เมื่ออุณหภูมิเข้าใกล้ TcMI มาก ลวดลายจะกลายเป็น  
เฟสที่ 3 คือมีสี่เหลี่ยมมากมาย ทั้งจะกล่าวโดยละเอียดต่อไป

#### 5.2.1 ลวดลายของเทกซ์เจอร์ของของผสมนิมาติก-คอเลสเทอริกที่อุณหภูมิห่างจาก TcMI มาก

ที่อุณหภูมิห่างจาก TcMI มาก ในเฟสแรกสังเกตพบลวดลาย 2 แบบของเทกซ์เจอร์  
ของของผสมนิมาติก-คอเลสเทอริก แบบแรกเป็นเส้นคมชัดซึ่งมีขนาดเล็กและแบบที่สองเป็น  
เส้นมัว (BLUR) ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า เมื่อมุมระหว่างโพลาริเซอร์กับแอนนาไลเซอร์เปลี่ยน  
ตำแหน่งของเส้นคมชัดจะไม่เปลี่ยน แต่ตำแหน่งของเส้นมัวจะค่อยๆเปลี่ยนไปตามมุมดังกล่าว  
อาจพิจารณาได้จากรูปที่ 4-24 และ 4-25 ซึ่งเป็นกรณีที่มุมระหว่างโพลาริเซอร์กับแอนนาไลเซอร์  
เป็น 0 และ 90 องศา ในอีกแง่หนึ่งนั้นถ้าหมุนสไลด์ของตัวอย่างของสารเป็นมุมต่างๆ  
และมองดูสารในครอสโพลาไรซด์ ตำแหน่งของเส้นคมชัดจะไม่เปลี่ยน ส่วนเส้นมัวนั้น  
จะไม่เคลื่อนที่ให้เห็นโคซิกแบบกรณีก่อน แต่ความสว่าง, ความมืดและขนาดของมันจะเปลี่ยนไป  
ทั้งในรูปที่ 4-26 และ 4-27 ซึ่งเป็นกรณีที่สไลด์อยู่ที่ตำแหน่ง 0 และ 90 องศา พิจารณา  
รูปที่ 4-27 ให้อีกจะเห็นว่า เส้นมัวซึ่งมีคมมากขึ้นในบางตำแหน่งทำให้มองดูคล้ายกับเส้นคมชัด  
เปลี่ยน แต่จริงๆแล้วตำแหน่งของมันไม่เปลี่ยนคงเหมือนกับในรูปที่ 4-26

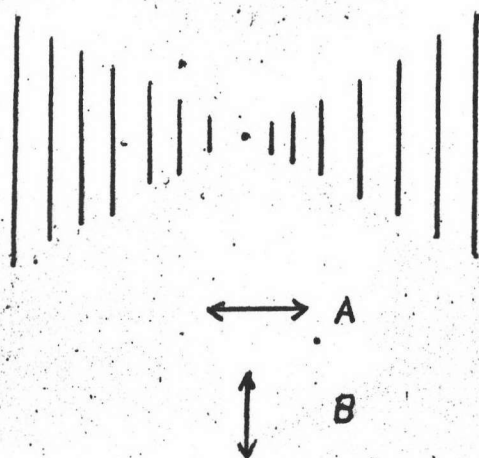
เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเริ่มเฟสที่ 2 ในเฟสนี้ลวดลายซึ่งเป็นเส้นคมชัดจะค่อยหายไปเกือบหมด เส้นมัวยังอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 4-28 และ 4-29 เส้นคมชัดจะเหลืออยู่ไม่มาก และจะขยายใหญ่เป็นแถบ นอกนั้นจะเป็นเส้นมัว แถบนี้มีคุณสมบัติที่น่าสังเกตดังนี้คือ พิจารณาแถบยาวคู่หนึ่งที่ตำแหน่ง AA และ BB กับแถบยาวคดเคี้ยวบริเวณตำแหน่ง CC ตรงกลางของแถบเหล่านี้ปรากฏเป็นเส้นสว่างยาวตั้งในรูปที่ 4-28 แต่ในรูปที่ 4-29 ตรงกลางของแถบปรากฏเป็นเส้นมัวยาว รูปที่ 4-28 และ 4-29 เป็นกรณีที่โพลาริเซอร์กับแอนนาไลเซอร์ ทำมุมกัน 0 และ 90 องศา ถ้าเราถอดโพลาริเซอร์ออกจะโคเทกซ์เจอร์ตั้งรูปที่ 4-30 เส้นมัวในรูปที่ 4-28 และ 4-29 จะจางไปจนมองแทบไม่เห็น ส่วนแถบซึ่งเดิมเป็นเส้นคมชัดนั้น จะปรากฏอย่างชัดเจน ตรงกลางของแถบยังปรากฏเป็นเส้นสว่างคล้ายในรูปที่ 4-28 อีกด้วย จากการศึกษาเทกซ์เจอร์ในเฟสนี้โดยกล้องจุลทรรศน์ที่สร้างขึ้น พบว่าเมื่อหมุนคริสตัลออกไปเป็นมุมต่างๆ เมื่อถอดแอนนาไลเซอร์ออกและหมุนโพลาริเซอร์ไปเป็นมุมต่างๆ และเมื่อไม่มีทั้งโพลาริเซอร์กับแอนนาไลเซอร์ ลวดลายซึ่งเป็นเส้นมัวหายไปหมดเลย เหลือแต่ลวดลายซึ่งเป็นเส้นคมชัดอย่างเดียว

ก่อนที่เฟสนี้จะจากไป เส้นคมชัดจะค่อยๆ ขยายตัวออกจนบางครั้งคล้ายๆ กับเส้นมัว และเส้นมัวเริ่มชัดขึ้น แต่สีของเทกซ์เจอร์ยังเป็นสีเหลืองอยู่ ตอนนี้เทกซ์เจอร์ของของผสมนี้มาติก-คอเลสเทอริกจะปรากฏให้เห็นชัด ว่าเป็นเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือหรือเทกซ์เจอร์ลายกันหอย

มีทฤษฎีกล่าวว่าลวดลายเป็นริ้วของเส้นมึกเส้นสว่าง ซึ่งเกิดในเทกซ์เจอร์ของของผสมนี้มาติก-คอเลสเทอริกที่อุณหภูมิใกล้จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิก-ไอโซโทรปิก เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแบบวัฏจักรของดัชนีหักเหแสง<sup>1</sup> (PERIODIC CHANGE OF REFRACTIVE INDEX) โดยทิศทางการเรียงตัวของโมเลกุลค่อยๆ บิดตัวจากระนาบของคอเลสเทอริกหนึ่งไปยังระนาบที่อยู่ถัดๆ ไปจนครบ 1 คาบ (PERIOD) แล้วเริ่มบิดตัวซ้ำแบบเดิมอีกอย่างนี้เรื่อยๆ ไรระนาบของคอเลสเทอริกตั้งฉากกับระนาบของของผสมนี้

<sup>1</sup> P.E. Cladis and M. Kléman, Molecular Crystals and Liquid Crystals 16 (1972), 1.





รูปที่ 5-4 แสงโพลาไรซ์อย่างเชิงเส้นซึ่งมีเวกเตอร์ทางไฟฟ้าเป็นแบบ A และ B ผ่านผลึกเหลวชนิดคอเลสเทอริกที่มีทิศทางการเรียงตัวของโมเลกุลบิดตัวจากระนาบของคอเลสเทอริกหนึ่งไปยังระนาบที่อยู่ถัดๆ ไปจนครบ 1 ความ แล้วบิดตัวซ้ำแบบเดิม

ลองพิจารณาการผ่านผลึกเหลวแบบนี้ของแสงโพลาไรซ์อย่างเชิงเส้น (LINEARLY POLARIZED LIGHT) ซึ่งมีเวกเตอร์ทางไฟฟ้าของแสงเป็นแบบ A และ B รูปที่ 5-4

ถ้าเวกเตอร์ทางไฟฟ้าของแสงแบบ A ผ่านผลึกเหลวขึ้นมา เราจะเห็นโมเลกุลคล้ายๆ กัน เพราะเวกเตอร์ทางไฟฟ้าของแสงแบบ A มีทิศตั้งฉากกับแกนของทุกโมเลกุล แสงแบบ A ไม่น่าทำให้เกิดวกลายที่กล่าวข้างต้นได้เลย แต่แสงแบบ B ทำให้เราเห็นโมเลกุลต่างกัน เพราะเวกเตอร์ทางไฟฟ้าของแสงแบบ B ทำมุมต่างๆ กับแกนของโมเลกุลในแต่ละระนาบของคอเลสเทอริก ทำให้มีการหักเหและการหักเหของแสง ลวกลายเป็นริ้วของเส้นมืด เส้นสว่างจึงเกิดขึ้นได้

สำหรับที่อุณหภูมิซึ่งห่างจาก  $T_{CMI}$  มากๆ คือในเฟสที่ 1 จากการศึกษาวกลายซึ่งเป็นเส้นมืดในแสงแบบต่างๆ พบว่า บางครั้งเส้นมืดมีการเคลื่อนไหวเห็นได้ชัด บางครั้งเส้นมืดมีการจางหายไป แต่ลักษณะต่างๆ ไม่นั่นอนเปลี่ยนจากสโลคหนึ่งไปยังสโลคที่อื่นๆ ไปจนสรุปลักษณะสำคัญไม่ได้ อาจเป็นได้ว่าเส้นมืดเกิดจากสาเหตุหลายอย่างไม่เหมือนกัน แต่ที่เราสนใจคือวกลายซึ่งเป็นเส้นคมชัด โดยการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์โพลิมัสแบบซีเค

เมื่อให้แอนนาไลเซอร์คงอยู่ที่ตำแหน่งเดิมหมุนโพลาริเซอร์ไปเป็นมุมต่างๆ หรือหมุนสไลด์ของตัวอย่างของสาร ไปเป็นมุมต่างๆ แล้วดูในครอสโพลาไรเซอร์ หรือเมื่อมีแค่แอนนาไลเซอร์ จะเห็นลักษณะของเส้นคมชัดคงเดิม โดยการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่สร้างขึ้น เมื่อหมุนครอสโพลาไรเซอร์ไปเป็นมุมต่างๆ หรือเมื่อถอดแอนนาไลเซอร์ออกและหมุนโพลาริเซอร์ไปเป็นมุมต่างๆ จะเห็นเส้นคมชัดเป็นแบบเดียวกันหมดไม่เปลี่ยนแปลง และถึงแม้จะถอดทั้งโพลาริเซอร์และแอนนาไลเซอร์ออก เส้นคมชัดก็ยังคงปรากฏอยู่อย่างชัดเจน

จากปรากฏการณ์ที่กล่าวข้างต้น เราไม่อาจบอกได้ว่าลวดลายซึ่งเป็นเส้นคมชัด เกิดจากโครงสร้างของโมเลกุลของผลึกเหลวแบบในรูปที่ 5-4 เพราะถ้าโครงสร้างของโมเลกุลเป็นแบบนี้ แสงแบบ A และ B จะทำให้เรามองเห็นลวดลายซึ่งเป็นเส้นคมชัดต่างกัน และการที่เราสามารถเห็นเส้นคมชัดได้ในแสงธรรมชาติ ทำให้เรามีแนวโน้มที่จะเชื่อว่า ลวดลายซึ่งเป็นเส้นคมชัดนี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของคุณสมบัติทางแสง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเรียงตัวของกระหนืดของแกนของโมเลกุลนั่นเอง

ตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.3.2 ถ้าเราสมมุติว่าทิศทางการเรียงตัวของโมเลกุลของผลึกเหลวขนานกับผิวของแผ่นแก้ว และการบิกตัวของโมเลกุลสำหรับผลึกเหลวความหนา  $d$  เป็นฟังก์ชันของ  $x$  และ  $z$  จากรูปที่ 2-9 จากสมการของความหนาแน่นของพลังงานอิสระคือสมการที่ (2-13) เราจะโคโครงสร้างของโมเลกุลซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของทิศทางการเรียงตัวที่ผิว จากรูปที่ 2-10 บริเวณรอบๆ จุด A ทิศทางการเรียงตัวของโมเลกุลเปลี่ยนจากแนวระดับมาเป็นแนวตั้งอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะที่ใกล้ๆ กับผิว โครงสร้างของโมเลกุลบริเวณนั้นทำให้เกิดคลื่นโคเลเนชันแบบ X ซึ่งถ้ามองจากข้างบนจะเห็นริ้วรอยเป็นทางตั้งในรูปถ่าย

รูปที่ 4-28 และ 4-29 แสดงลวดลายของเทกซ์เจอร์เมื่ออุณหภูมิใกล้  $T_{cM1}$  มากขึ้น คือเริ่มอยู่ในเฟสที่ 2 เมื่อมุมระหว่างโพลาริเซอร์กับแอนนาไลเซอร์เป็น 0 และ 90 องศา เส้นคมชัดซึ่งเหลืออยู่ไม่มากจะขยายใหญ่ออกเป็นแถบ ครึ่งกลางของแถบปรากฏเป็นเส้นสว่างและเส้นมืด นี่แสดงให้เห็นว่าบริเวณกึ่งกลางของแถบซึ่งขยายมาจากเส้นคมชัดแสดงตัวกลายเป็นของเหลวแบบไอโซโทรปิก โมเลกุลที่อยู่บริเวณนั้นจะมีทิศทางการเรียงตัวตั้งฉากจากแผ่นแก้วแผ่นบนลงมายังแผ่นแก้วแผ่นล่าง แสงโพลาริซอย่างเชิงเส้นที่ผ่านบริเวณนี้จึงไม่เปลี่ยนทิศทางของโพลาริเซชัน รูปทั้งสองสนับสนุนสมมุติฐานที่กล่าวข้างต้น

รูปซึ่งพอจะเป็นหลักฐานเพื่อแสดงว่า กิสอินโคลเนชั่นอาจมองเห็นได้ด้วยแสงธรรมชาติ หรือเมื่อมีแคโทลาโรเซอร์หรือแอนนาไลเซอร์อย่างใดอย่างหนึ่ง คือรูปที่ 4-31 และ 4-32 ที่จุด AA ในรูปที่ 4-31 เป็นซิงกูลาริตี 4 แฉกของซลิเรนเทกซ์เจอร์ของ MBBA ซึ่งเมื่อถอกโพลาโรเซอร์ออก แฉกทั้ง 4 จะหายไปเหลือแต่จุดซิงกูลาริตีที่จุด AA เพียงจุดเดียวเท่านั้นเอง ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.2.2 ส่วนลักษณะของแฉกของซลิเรนเทกซ์เจอร์ซึ่งหายไปเมื่อไม่มีโพลาโรเซอร์และแอนนาไลเซอร์ หรือมีโพลาโรเซอร์อย่างเดี่ยว หรือมีแอนนาไลเซอร์อย่างเดี่ยว เป็นลักษณะทางแสงที่ผ่านโมเลกุลที่มีแกนอยู่ในแนวอนชนานกับสไลด์ ลักษณะการเกิดของเส้นมืดที่แลเห็นคงจะคล้ายๆกับแฉกในซลิเรนเทกซ์เจอร์นั่นเอง

5.2.2 ลวดลายของเทกซ์เจอร์ของของผสมนี้มาติก-คอเลสเทอริกที่อุณหภูมิใกล้ T<sub>CM1</sub> มาก เฟสที่ 3 จะเริ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของของผสมนี้มาติก-คอเลสเทอริกเข้าใกล้ T<sub>CM1</sub> มากๆ กล่าวคือประมาณ 0.1° ซ ก่อนถึง T<sub>CM1</sub> เทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือและเทกซ์เจอร์ลายกันหอยจะมีสีสรรต่างๆเกิดขึ้น ส่วนมากจะเห็นเป็นสีเขียวและสีแสด สีเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไปกับอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว บางครั้งแทบจะดำรูปไม่ทัน ในเฟสนี้มีปรากฏการณ์สำคัญๆที่น่าสนใจเกดดังต่อไปนี้

1. จากการทดลองเมื่อมุมระหว่างโพลาโรเซอร์กับแอนนาไลเซอร์เปลี่ยนไป จะมีการเปลี่ยนแปลงของสีที่บริเวณตำแหน่งต่างๆของเทกซ์เจอร์ การเปลี่ยนแปลงของสีของเทกซ์เจอร์ลายกันหอยที่แสดงไว้ในรูปที่ 4-33 และ 4-34 เป็นกรณีซึ่งโพลาโรเซอร์กับแอนนาไลเซอร์ทำมุมกัน 0 และ 90 องศา พิจารณาวัดบริเวณตำแหน่ง A ที่อยู่จุดขอบด้านบนของรูป สีเปลี่ยนจากสีแสดอมชมพูในรูปที่ 4-33 ไปเป็นสีเขียวในรูปที่ 4-34 และบริเวณตำแหน่ง BB สีเปลี่ยนจากสีฟ้าอมเขียวในรูปที่ 4-33 ไปเป็นสีแสดในรูปที่ 4-34 เทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือซึ่งแสดงในรูปที่ 4-36 และ 4-37 ก็เช่นเดียวกัน พิจารณาวัดบริเวณตำแหน่ง AA สีเปลี่ยนจากสีฟ้าอมเขียวในรูปที่ 4-36 ไปเป็นสีแสดในรูปที่ 4-37 สองรูปนี้เป็นกรณีที่โพลาโรเซอร์กับแอนนาไลเซอร์ทำมุมกัน 0 และ 90 องศา

2. ถาดอกโพลาโรเซอร์ออกดังแสดงในรูปที่ 4-35 และ 4-38 สีต่างๆจะหายไปหมด เหลือแต่สีเขียวคือสีออกเหลืองซึ่งเป็นสีพื้นของ MBBA ลวดลายต่างๆยังพอเห็นได้แต่รายละเอียดข้างในหายไป



3. ถ้าหมุนสไลด์ของตัวอย่างของสารเป็นมุมต่างๆและมองดูสารในครอสโพลาไรซ์ ลักษณะของสีจะเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย กล่าวคือสีอาจจะจางไปหรือเข้มขึ้น แต่ชนิดของสีจะไม่เปลี่ยน เช่น ส่วนที่เป็นแคงก็ยังคงอยู่ ที่เป็นเขียวก็ยังคงเขียวอยู่ และลักษณะของลวดลายต่างๆจะไม่เปลี่ยนแปลง แต่การถ่ายรูปเทกซ์เจอร์เมื่อสไลด์อยู่ที่ตำแหน่งต่างๆกันทำได้ยาก เพราะเทกซ์เจอร์ที่อุณหภูมิใกล้จุดเปลี่ยนสถานะเมโซมอร์ฟิก-ไอโซโทรปิกเสียเสถียรภาพได้ง่าย เพียงจับกล่องคุมอุณหภูมิหมุนไปนิดเดียว ลวดลายและสีสรรที่บริเวณต่างๆอาจเปลี่ยนทันทีที่เปลี่ยนหลายส่วนมิใช่เพราะตำแหน่งของสไลด์เปลี่ยน แต่เป็นการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ รูปที่ 4-39, 4-40 และ 4-41 เป็นกรณีที่สไลด์อยู่ที่ตำแหน่ง 0,90 และ 0 องศา ตามลำดับ เราถ่ายรูปที่ 4-39 ก่อน จากนั้นหมุนสไลด์ไป 90 องศา แล้วจึงถ่ายรูปที่ 4-40 จากนั้น หมุนสไลด์กลับมาที่ตำแหน่งเดิม แล้วจึงถ่ายรูปที่ 4-41 จะสังเกตเห็นได้ว่า รูปที่ 4-39 และ 4-41 เป็นรูปซึ่งสไลด์อยู่ตำแหน่งเดียวกัน ลวดลายและสีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย นั้นเป็นการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอุณหภูมิและการสะท้อน เวลาที่ใช้ในการถ่ายรูปทั้งสามประมาณ 1 นาทีเศษๆ เปรียบเทียบรูปที่ 4-40 ซึ่งเป็นตอนที่สไลด์ถูกหมุนไป 90 องศา กับรูปที่ 4-39 และ 4-41 พยายามเปรียบเทียบส่วนที่เหมือนกันของรูปทั้งสามนี้ เราสรุปว่าชนิดของสีไม่เปลี่ยนถ้าเราหมุนสไลด์เป็นมุมต่างๆและมองดูในครอสโพลาไรซ์ ส่วนข้อแตกต่างบางอย่างของรูปที่ 4-40 จากรูปที่ 4-39 และ 4-41 อาจเป็นเพราะเทกซ์เจอร์ที่เราเห็นมีหลายแบบ ซ้อนๆกัน เทกซ์เจอร์บางแบบอาจเปลี่ยนแปลงถ้าเราหมุนสไลด์ จึงทำให้เห็นรูปเปลี่ยนไป อีกกรณีหนึ่งอาจมาจากปัญหาของการโฟกัส (FOCUS) ก็ได้ อย่างไรก็ตามรูปทั้ง 3 ที่แสดงนี้ ถ่ายได้ยากมากเพราะลวดลายในเฟสที่ 3 เปลี่ยนแปลงทุกๆช่วงเวลา 10 วินาที

4. จากการสังเกตพบว่า สีที่เห็นเปลี่ยนไปกับอุณหภูมิ รูปที่ 4-42 ถึง 4-45 แสดงการเปลี่ยนของสีตามอุณหภูมิของเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือ สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของพิทซ์ไปกับอุณหภูมิกว้าง ดังแสดงในตารางที่ 4-2 กราฟของอุณหภูมิกับขนาดของพิทซ์ จากตารางนี้แสดงไว้ในรูปที่ 4-46, 4-47 และ 4-48 รูปที่ 4-49 ถึง 4-51 แสดงการเปลี่ยนของสีตามอุณหภูมิของเทกซ์เจอร์ลายกันหอย

5. นอกจากนี้พบว่า เมื่อเทกซ์เจอร์ลายกันหอยกลายเป็นของเหลวแบบไอโซโทรปิก ในบางส่วน ถ้าลวดลายอุณหภูมิกลับลงมานิดหนึ่ง จะโค้เทกซ์เจอร์เป็นสีแคงหรือสีเขียวไม่มีลวดลาย เป็นริ้วอย่างที่เคยเห็นเลย แต่เทกซ์เจอร์แบบนี้เกิดขึ้นในระยะเวลาอันสั้นมาก และไม่เกิดขึ้น

สม่ำเสมอ จึงไม่สามารถถ่ายรูปเอาไว้ได้

ปรากฏการณ์ทางสีกล่าวคือการเกิดสีและการเปลี่ยนแปลงของสี ของเท็กซ์เจอร์ของของผสมนี้มาคิด-คอลเลคเตอร์ที่อุณหภูมิใกล้ TCMI มาก ดังได้บรรยายในข้างต้นนั้น คงเนื่องจากการบิดตัวของเวกเตอร์ทางไฟฟ้า (ELECTRICAL VECTOR) ของแสงนั่นเอง กรณีที่มุมระหว่างโพลาไรเซอร์กับแอนนาไลเซอร์เท่ากับประมาณ 0 องศา คือรูปที่ 4-33 บริเวณตำแหน่ง A มีสีแดงอมชมพู แสดงว่าการผ่านตัวอย่างของสารของแสงโพลาไรซ์อย่างเชิงเส้น เวกเตอร์ทางไฟฟ้าของแสงสีแดงเกือบจะไม่เปลี่ยนทิศทางจึงผ่านแอนนาไลเซอร์ออกมาได้มากที่สุด ส่วนเวกเตอร์ทางไฟฟ้าของแสงสีเขียวคงบิดตัวไปจากเดิมจึงไม่ผ่านแอนนาไลเซอร์ออกมา พอมุมระหว่างโพลาไรเซอร์กับแอนนาไลเซอร์เปลี่ยนไปเป็น 90 องศา คือรูปที่ 4-34 บริเวณตำแหน่ง A สีเปลี่ยนไปเป็นสีเขียวเพราะแอนนาไลเซอร์กับเวกเตอร์ทางไฟฟ้าของแสงสีแดงไว้หมก ในเวลาเดียวกันเวกเตอร์ทางไฟฟ้าของแสงสีเขียวผ่านแอนนาไลเซอร์ได้สะดวก การเปลี่ยนแปลงของสีที่บริเวณตำแหน่ง BB ในรูปที่ 4-33 และ 4-34 ก็อธิบายได้ในทำนองเดียวกัน และการที่สีเกิดแบบเป็นวงๆ คงเนื่องจากการบิดตัวของเวกเตอร์ทางไฟฟ้าของแสงนั่นเอง กรณีที่มุมสไลด์ของตัวอย่างของสารไปเป็นมุม 0, 90 และ 0 องศา และมองดูในครอสโพลารอยด์ คือรูปที่ 4-39, 4-40 และ 4-41 ตามลำดับ สีที่บริเวณตำแหน่งต่างๆไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพราะความหนาของสารตัวอย่างคงเดิม เวกเตอร์ทางไฟฟ้าหมุนไปเป็นมุมคงที่ โพลาไรเซอร์ครอสกันตลอดเวลา แสงความยาวคลื่นต่างๆจึงผ่านแอนนาไลเซอร์ออกมาได้ด้วยลักษณะแบบเดิม จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีที่บริเวณตำแหน่งต่างๆ เมื่อหมุนสไลด์ของตัวอย่างของสารไปเป็นมุมที่กล่าวข้างต้น

เป็นที่ทราบกันว่า ผลึกเหลวชนิดคอลเลคเตอร์มีคุณสมบัติทางทัศนศาสตร์ (OPTICAL PROPERTY) ที่สำคัญ เรียกว่า ออปติคอล แอคติวิตี (OPTICAL ACTIVITY) ซึ่งเกิดจากธรรมชาติที่มีการบิดตัวของโครงสร้างของผลึกเหลว<sup>4</sup> ถ้าแสงโพลาไรซ์อย่างเชิงเส้นตกตั้งฉากกับระนาบของชั้นของโมเลกุลของผลึกเหลว ในขณะที่แสงผ่านผลึกเหลว

<sup>4</sup> C.H. Brown, American Scientist 60 No. 1 (1972), 64.

วนเคอร์ทางไฟฟ้าจะหมุนไปตามวิถีของฮิลิก (HELICAL PATH) มุมที่หมุนไปมากน้อย ขึ้นอยู่กับความหนาของผลึกเหลว จากปรากฏการณ์ดังกล่าวในข้างต้นนี้พอจะสรุปได้ว่า ลักษณะการเรียงตัวของโมเลกุลของตัวอย่างของสารที่ใช้ในการทดลอง แบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบแรกเป็นการเรียงตัวที่บริเวณใกล้ผิวสัมผัสของตัวอย่างของสารกับแผ่นแก้ว ระบายของคอเลสเทอริกจะตั้งฉากกับแผ่นแก้วหรือแกนของฮิลิกขนานกับแผ่นแก้วนั่นเอง การเรียงตัวของโมเลกุลแบบนี้ทำให้เกิดลวดลายของเทกซ์เจอร์ขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พิทช์จะมีขนาดใหญ่ขึ้น การขยายของพิทช์ขยายขนานไปกับแผ่นแก้วเพราะแกนของฮิลิก ขนานกับแผ่นแก้ว ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4-42 ถึง 4-45 แบบที่สองเป็นการเรียงตัวที่บริเวณ ดักบริเวณที่เกิดแบบแรกเข้ามาในตัวอย่างของสาร ระบายของคอเลสเทอริกขนานกับแผ่นแก้ว หรือแกนของฮิลิกตั้งฉากกับแผ่นแก้ว การเรียงตัวแบบนี้ทำให้เกิดออปติคอล แอคทิวิตี ผลก็คือปรากฏการณ์ทางสีที่พบนั่นเอง โดยวนเคอร์ทางไฟฟ้าของแสงความยาวคลื่นต่างๆ บิดตัวตามวิถีของฮิลิก การเปลี่ยนแปลงของสีเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนอาจเนื่องจากพิทช์ของ การเรียงตัวของโมเลกุลแบบที่สองมีขนาดใหญ่ขึ้น การหมุนของวนเคอร์ทางไฟฟ้าของแสง ตามวิถีของฮิลิกจึงเปลี่ยนไป ถึงแม้ความหนาของสารจะคงเดิมก็ตาม อาจทำให้มี วนเคอร์ทางไฟฟ้าของแสงความยาวคลื่นต่างๆกันผ่านแอนนาไลเซอร์ออกมา สีจึงเปลี่ยนไป การที่ลวดลายกลับลงมาพบเทกซ์เจอร์ที่ไม่มีลวดลาย แสดงว่าการเรียงตัวของโมเลกุล มีแบบเดียวคือแบบที่สอง และการที่บริเวณตำแหน่งต่างๆของเทกซ์เจอร์มีสีต่างๆกันนั้น ก็เนื่องจากบริเวณตำแหน่งต่างๆเหล่านี้มีอุณหภูมิต่างกัน เมื่ออุณหภูมิต่างกันการขยายของพิทช์ ของการเรียงตัวแบบที่สองที่บริเวณตำแหน่งต่างๆย่อมไม่เท่ากัน เมื่อแสงโพลาริซอย่างเชิงเส้น ผ่านบริเวณตำแหน่งเหล่านั้น การหมุนของวนเคอร์ทางไฟฟ้าของแสงตามวิถีของฮิลิกจะต่างกัน ทำให้มีวนเคอร์ทางไฟฟ้าของแสงความยาวคลื่นต่างๆกันผ่านแอนนาไลเซอร์ ที่บริเวณตำแหน่ง ต่างๆของเทกซ์เจอร์จึงมีสีต่างๆกันออกไป





### 5.3 ความแตกต่างระหว่างเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือและเทกซ์เจอร์ลายกนหอยของของผสมนี้มาติก-คอเลสเทอริก

จากการศึกษาการเกิด, ลักษณะและธรรมชาติของเทกซ์เจอร์ของของผสมนี้มาติก-คอเลสเทอริก ที่อุณหภูมิใกล้จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิก-ไอโซโทรปิก และประกอบด้วยปรากฏการณ์หลายอย่างที่สังเกตพบ เราพอจะสรุปถึงความแตกต่างระหว่างเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือและเทกซ์เจอร์ลายกนหอยของของผสมนี้มาติก-คอเลสเทอริกได้ดังต่อไปนี้

1. เทกซ์เจอร์ลายกนหอยซึ่งมีลวดลายเป็นวงของลายกนหอย เกิดขึ้นไต่กับตัวอย่างของสารที่อยู่ระหว่างสไลด์กับโคเวอ์สลิป โดยมีแผ่นมายลาร์เป็นสเปเซอร์ แต่ผิวบนของผลึกเหลวไม่สัมผัสกับโคเวอ์สลิป ความหนาของผลึกเหลวจึงน้อยกว่า 25 ไมครอน อาจจะประมาณ 15 ไมครอน ถ้าดูสไลด์แบบนี้ด้วยตาเปล่า จะเห็นหยกของตัวอย่างของสารที่อยู่บนสไลด์เป็นวงรี มีลักษณะศูนย์กลางเหมือนหลังเต่า ส่วนเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือซึ่งมีลวดลายเป็นริ้วของเส้นมืดเส้นสว่าง เกิดขึ้นไต่กับตัวอย่างของสารที่ผิวบนสัมผัสกับโคเวอ์สลิป จึงมีความหนาเป็น 25 ไมครอน หยกของตัวอย่างของสารที่อยู่บนสไลด์เป็นวงกลมมองเห็นขอบชัดเจน ตัวอย่างของสารดูออกสีเหลืองและทึบมากกว่าตัวอย่างของสารที่ให้เทกซ์เจอร์ลายกนหอย ถ้าเราเอานี้วางบนโคเวอ์สลิปของตัวอย่างของสารที่ให้เทกซ์เจอร์ลายกนหอย จะไต่หยกของตัวอย่างของสารเป็นวงกลมมีขอบสีออกเหลืองและทึบกว่าเคม ขนาดของหยกจะดูเล็กกว่าเคมมาก ทั้งนี้เพราะความหนาของตัวอย่างของสารเพิ่มขึ้นนั่นเอง

2. T<sub>cmI</sub> เฉลี่ยของเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือน้อยกว่า T<sub>cmI</sub> เฉลี่ยของเทกซ์เจอร์ลายกนหอย ตามที่ไต่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 5.1.5

3. ในเฟสที่ 3 สีสรรที่เกิดขึ้นของเทกซ์เจอร์ลายกนหอยจะมากกว่าของเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือ และระยะเวลาของการเกิดเฟสที่ 3 ของเทกซ์เจอร์ลายกนหอยจะนานกว่าของเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือ

4. ลวดลายของเทกซ์เจอร์ลายกันหอยจะใหญ่กว่าลวดลายของเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือ สำหรับตัวอย่างของสารเดียวกัน เปรียบเทียบรูปที่ 4-10 กับ 4-13, 4-11 กับ 4-14, 4-12 กับ 4-15, 4-16 กับ 4-19, 4-17 กับ 4-20, 4-18 กับ 4-21, 4-3 กับ 4-1, 4-4 กับ 4-2 และ 4-22 กับ 4-23

5. การเปลี่ยนแปลงของพิทซ์ไปกับอุณหภูมิของเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือ สังเกตได้จากลวดลายเป็นริ้วของเส้นมืดเส้นสว่างซึ่งมีขนาดใหญ่อขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4-42 ถึง 4-45 เนื่องจากยังไม่ได้ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของพิทซ์ไปกับอุณหภูมิของเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือ โดยละเอียด จึงไม่สามารถเขียนกราฟในรูปที่ 4-46, 4-47 และ 4-48 ให้สมบูรณ์ได้ แต่จากการทดลองของ โรนัลด์ เอส. พินแดค, เซียง-เชอร์ ฮวง และ จอห์น ที. โฮ<sup>5</sup>

(RONALD S. PINDAK, CHENG-CHER HUANG, AND JOHN T. HO) พบว่า มีการขยายของพิทซ์ของผลึกเหลวชนิดคอเลสเทอริกที่อุณหภูมิใกล้จุดเปลี่ยนสภาวะคอเลสเทอริก-สเมคติก A ตัวอย่างของสารที่เขาใช้คือ CN ซึ่งมีอุณหภูมิที่จุดเปลี่ยนสภาวะไอโซโทรปิก-คอเลสเทอริกและอุณหภูมิที่จุดเปลี่ยนสภาวะคอเลสเทอริก-สเมคติก A เป็น 91 และ 74<sup>o</sup>C น่าจะเป็นไปได้ว่าการขยายของพิทซ์ของเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือของของผสมนิมาติก-คอเลสเทอริกที่อุณหภูมิใกล้จุดเปลี่ยนสภาวะเมโซมอร์ฟิก-ไอโซโทรปิกอาจมีได้ ซึ่งเป็นปัญหาที่ควรจะศึกษาต่อไป สำหรับเทกซ์เจอร์ลายกันหอย การเปลี่ยนแปลงของพิทซ์ไปกับอุณหภูมิจากลวดลายไม่ได้ คองกูจากสีที่เปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน ดังได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 5.2.2 และแสดงไว้ในรูปที่ 4-49 ถึง 4-51

<sup>5</sup> R. S. Pindak, C-C Huang, and J. T. Ho, Physical Review Letters **32** No. 2 (1974), 43.

6. ก่อนที่จะกลายเป็นของเหลวแบบไอโซโทรปิก จะเกิดขลิเรนเทกซ์เจอร์ในเทกซ์เจอร์ลายกันหอย ซึ่งโคกล่าวแล้วในหัวข้อที่ 4.8 ขลิเรนเทกซ์เจอร์ที่พบเป็นชนิดซิงกูลาริตี 4 แฉกเหมือนของ MBBA รูปที่ 4-54 แสดงให้เห็นโคชี่ควาแฉกของซิงกูลาริตีมาจากลวกลายของเทกซ์เจอร์ลายกันหอยนั่นเอง ไม่ว่าจะของผสมนี้มาคิก-คอเลสเทอริคผสมกันโดยตรงหรือโดยใส่โหลอื่น จะให้ขลิเรนเทกซ์เจอร์ของเทกซ์เจอร์ลายกันหอยเหมือนกันหมด ดังนั้นโหลอื่นไม่ควรมีผลต่อการเกิดขลิเรนเทกซ์เจอร์ พิจารณาซิงกูลาริตี 2 คู่ คือ ที่ตำแหน่ง AA กับ BB และ CC กับ DD ในรูปที่ 4-52 และ 4-53 จะเห็นได้ว่าซิงกูลาริตีเคลื่อนเข้าหากันเพราะคู่กัน แสดงว่าซิงกูลาริตีอันหนึ่งมี  $\delta$  เท่ากับ  $+1$  และอีกอันหนึ่งมี  $\delta$  เท่ากับ  $-1$ <sup>6</sup> การเกิดขลิเรนเทกซ์เจอร์ในลักษณะเช่นนี้อาจเป็นการแสดงคุณสมบัติของ MBBA ก่อนที่จะกลายเป็นของเหลวแบบไอโซโทรปิก สำหรับเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือไม่เกิดขลิเรนเทกซ์เจอร์

7. การเกิดของเทกซ์เจอร์ของคอเลสเทอริคจากของเหลวแบบไอโซโทรปิกที่ T<sub>c1M</sub> ของสไลด์ที่ให้เทกซ์เจอร์ลายกันหอยกับเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือต่างกัน ดังกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.9 รูปที่ 4-56 และ 4-57 แสดงการเกิดของเทกซ์เจอร์ของคอเลสเทอริคจากของเหลวแบบไอโซโทรปิกที่ T<sub>c1M</sub> ของสไลด์ที่ให้เทกซ์เจอร์ลายกันหอย รูปที่ 4-59 แสดงการเกิดของเทกซ์เจอร์ของคอเลสเทอริคจากของเหลวแบบไอโซโทรปิกที่ T<sub>c1M</sub> ของสไลด์ที่ให้เทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือ หลังจากอุณหภูมิลดลงมาจนถึงอุณหภูมิต่ำ เทกซ์เจอร์ของคอเลสเทอริคของสไลด์ที่ให้เทกซ์เจอร์ลายกันหอยและเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือเป็นดังรูปที่ 4-58 และ 4-60 ความล้ากับลวกลายที่ปรากฏในรูปทั้งสองยังเป็น 2 แบบ คือ เป็นเส้นคมชัดและเส้นมัวซึ่งมองดูมึนๆ ความบริเวณต่างๆของเทกซ์เจอร์ สำหรับรูปที่ 4-58 มีเส้นคมชัดเป็นวงๆของลายกันหอย แต่รูปที่ 4-60 มีเส้นคมชัดคล้ายลายพิมพ์นิ้วมือ ถ้าเราศึกษาสไลด์ทั้งสองนี้อีกในวันต่อมาจะพบว่า

<sup>6</sup> J.Nehring and A.Saupe, Journal of Chemical Society 56 (1972),



เทกซ์เจอร์ของคอเลสเทอริกที่อุณหภูมิห้องจะเป็นคล้ายกังรูปที่ 4-24 แสดงว่าเทกซ์เจอร์ในรูปที่ 4-58 และ 4-60 ไม่เสถียร (STABLE)

จะเห็นได้ว่าความแตกต่างที่กล่าวข้างต้นนี้ เนื่องมาจากอิทธิพลของผิวบนและผิวล่างของผลึกเหลว เป็นที่น่าสังเกตว่าลวดลายที่เป็นวงของลายกันหอย มีลักษณะคล้ายลวดลายที่เห็นจากคิสโลเคชันแบบสกรู (SCREW DISLOCATION) ของผลึกของแข็ง<sup>7</sup> ในการเกิดคิสโลเคชันแบบนี้ระนาบของโครงผลึก (LATTICE PLANE) มีการเรียงตัวแบบสัณฐานจะเหลื่อมกันเป็นชั้นๆ ไปมาเหมือนกันหอย ผิวบนค้ำบนของผลึกเหลวซึ่งไม่สัมผัสกับโคเวอรัลลิป ย่อมมีความไม่สม่ำเสมอ อาจทำให้เกิดลักษณะของโมเลกุลที่เหลื่อมกันเป็นชั้นๆ ได้ โดยมากลายวนๆ ที่เห็นจะเกิดตรงบริเวณกลางๆ ของตัวอย่างของสาร ที่ขอบๆ จะเป็นลายเหยียดตรงชี้ไปสู่ขอบ เหตุที่ลายกันหอยมีขนาดใหญ่กว่าลายพิมพ์นิ้วมือสำหรับตัวอย่างของสารเดียวกัน คงเนื่องจากความหนาของตัวอย่างของสารที่เกิดเทกซ์เจอร์ลายกันหอยซึ่งน้อยกว่าในกรณีที่เกิดเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือ ขนาดของพิทซ์แปรเปลี่ยนตามความหนาของตัวอย่างของสารได้<sup>1</sup> ข้อสันนิษฐานข้างบนที่กล่าวมานี้เป็นเรื่องน่าสนใจ ควรจะมีการศึกษาต่อไปอีก รวมทั้งควรศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของเทกซ์เจอร์ลายกันหอยในสนามแม่เหล็กด้วย

<sup>7</sup> C.Kittle, Introduction to Solid State Physics (John Wiley & Sons, Inc., New York, London, Sydney, 1967), p.597.

<sup>1</sup>P.E.Cladis and M.Kléman, Molecular Crystals and Liquid Crystals 16 (1972), 1.

#### 5.4 ข้อสังเกตเกี่ยวกับสเฟียรูไลท์ของเทกซ์เจอร์ลายพิมพ์นิ้วมือ

อันตรกิริยาระหว่างสเฟียรูไลท์กับบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่และสเฟียรูไลท์กับสเฟียรูไลท์ จะกล่าวข้างล่างนี้

- ก. สเฟียรูไลท์เล็กๆที่เกิดจากของเหลวแบบไอโซโทรปิก ส่วนมากจะมีแกนของอีลิคขนานกับแกนของอีลิคของบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 4-59
- ข. มีแรงดึงดูด (ATTRACTIVE FORCE) ระหว่างบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่กับสเฟียรูไลท์ สเฟียรูไลท์จะเคลื่อนที่อย่างช้าๆ เข้าหาบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่ โดยระนาบของคอเลสเทอริกตรงบริเวณใกล้เคียงของสเฟียรูไลท์ด้านซึ่งอยู่ใกล้บริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่จะเพี้ยน (DISTORT) ตรงเข้ามายังบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่ เมื่อสัมผัสกันแกนของอีลิคของสเฟียรูไลท์จะขนานกับแกนของอีลิคของบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่ กรณีเช่นนี้จะเกิดกับสเฟียรูไลท์ซึ่งมุมระหว่างแกนของอีลิคของสเฟียรูไลท์และแกนของอีลิคของบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่ คือ  $\phi$  ไม่เป็น 90 องศา รูปที่ 4-61  $\phi = 51$  องศา สเฟียรูไลท์เคลื่อนที่เข้าหาบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่ แกนของอีลิคขนานกันเห็นได้ชัดในรูปที่ 4-63 และรวมกับบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่ในรูปที่ 4-64 จะเห็นได้ว่าก่อนจะเคลื่อนที่ไปถึงบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่ สเฟียรูไลท์นี้ไ้รวมกับสเฟียรูไลท์ซึ่งเล็กกว่าด้วย แสดงว่ามีแรงดึงดูดระหว่างสเฟียรูไลท์ สเฟียรูไลท์ใหญ่มีคุณสมบัติคล้ายเป็นบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่จึงถูกสเฟียรูไลท์ที่เล็กกว่า รูปที่ 4-65  $\phi = 60$  องศา สเฟียรูไลท์เคลื่อนที่เข้าหาบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่ ระนาบของคอเลสเทอริกขนานกันดังรูปที่ 4-66 และรวมกันในรูปที่ 4-67 มีที่น่าสนใจก็คือสเฟียรูไลท์อันนี้ไม่ยอมรวมกับสเฟียรูไลท์ซึ่งมีขนาดเล็กเดียวกัน คงเป็นเพราะว่าขนาดเกือบเท่ากันตักสินยากว่าสเฟียรูไลท์อันไหนจะถูกถูกเข้าหาอีกอัน บริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่ซึ่งใหญ่กว่าสเฟียรูไลท์ทั้งสองมาก จึงดึงดูดสเฟียรูไลท์อันที่มี  $\phi = 60$  องศาเข้าหาตัวเองและรวมกันในที่สุด รูปที่ 4-68  $\phi = 13.5$  องศา จากรูปจะเห็นว่าสเฟียรูไลท์เล็กข้างเคียงไม่ถูกดึงดูดโดยสเฟียรูไลท์ใหญ่ แต่ที่จริงแล้วสเฟียรูไลท์อันนี้ไ้รวมกับสเฟียรูไลท์เล็กข้างเคียงหลายอัน จนกระทั่งมีขนาดใหญ่เท่าที่ปรากฏในรูปที่ 4-68 และได้เคลื่อนที่เข้าหา



บริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่ จนสัมผัสกันโดยมีระนาบของคอเลสเทอริคขนานกันทั้งในรูปที่ 4-70 รูปที่ 4-71  $\phi = 81$  องศา เห็นสเฟียรูไลท์ขนาดเล็กอยู่ใกล้บริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่ ระนาบของคอเลสเทอริคจะเพี้ยนตรงไปยังบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่ในขณะที่สเฟียรูไลท์เคลื่อนที่เข้าหาบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่ เมื่อสัมผัสกันทั้งในรูปที่ 4-73 แกนของสเฟียรูไลท์ไม่ขนานกัน แต่รวมกันได้

ในทฤษฎีของเคอ.เจนส์ (DE GENNES) เกี่ยวกับการคำนวณหาอันตรกิริยาแบบ แวน เคว วาลส์ (VAN DER WAALS INTERACTION) ระหว่างวัตถุแบบอสสมลักษณะ 2 อัน ที่ถูกคั่นโดยของเหลวแบบไอโซโทรปิกซึ่งมีค่าคงที่วิซชูมิซิม (DIELECTRIC CONSTANT) เฉลี่ยเท่ากัน เขาสรุปว่าพลังงานของอันตรกิริยาระหว่างวัตถุทั้งสองขึ้นอยู่กับมุม  $\phi$  เมื่อ  $\phi < 58$  องศา จะเกิดแรงดึงดูด แต่ถ้า  $\phi > 58$  องศา จะเกิดแรงผลึก (REPULSIVE FORCE) ซึ่งระยะระหว่างขอบของสเฟียรูไลท์กับขอบเขตของบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่ ต้องน้อยกว่ารัศมีของสเฟียรูไลท์ แต่มากกว่าความยาวอาพันธ์ของความร้อน (THERMAL COHERENCE LENGTH) โอ.เรอัลท์ และ พี.อี.คลาดิส (I. RAULT AND P.E. CLADIS) สรุปผลการทดลองว่า ระยะระหว่างขอบเขตของบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่ กับขอบของสเฟียรูไลท์เป็นฟังก์ชันของเวลา มีแรงดึงดูดระหว่างสเฟียรูไลท์ที่มี  $\phi \neq 90$  องศา กับบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่ ถ้า  $\phi = 90$  องศา จะมีแรงผลึกเกิดขึ้น ระยะระหว่างขอบของสเฟียรูไลท์กับขอบเขตของบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่จะเพิ่มตามเวลาที่ผ่านไป

จะเห็นได้ว่าผลการทดลองของเราสอดคล้องกับทฤษฎีของเคอ.เจนส์ ในกรณีที่  $\phi$  เท่ากับ 51 และ 13.5 องศา ซึ่งมีแรงดึงดูดเกิดขึ้น แต่สำหรับกรณีที่  $\phi$  เท่ากับ 60 และ 81 องศา แย้งกับทฤษฎีข้างต้น เพราะแทนที่จะเกิดเป็นแรงผลึกกลับเป็นแรงดึงดูด อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ได้ตรงกับผลการทดลองของโอ.เรอัลท์ และ พี.อี.คลาดิส ทุกกรณีของค่า  $\phi$

<sup>8</sup>I. Rault and P.E. Cladis, Molecular Crystals and Liquid Crystals



สาเหตุที่ผลการทดลองไม่ตรงตามทฤษฎีของ เกอ เจนส์ พอสรูปโกดังนี้คือ

1. ทฤษฎีของ เกอ เจนส์ สร้างจากสมมุติฐานที่ว่า ค่าคงที่วิหขุมิขมิของของเหลวแบบไอโซโทรปิก เท่ากับค่าคงที่วิหขุมิขมิเฉลี่ยของสเฟียรูไลต์และบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่ ซึ่งในการทดลอง อาจไม่เท่ากันก็ได้

2. การทดลองที่สมบรูณ์จริงๆต้องทำให้เกิดสเฟียรูไลต์เพียงอันเดียว เพราะถ้าสเฟียรูไลต์ มีหลายอันจะเกิดอันตรกิริยาระหว่างสเฟียรูไลต์เหล่านั้นด้วย แต่การควบคุมอุณหภูมิให้เสถียร ทำได้ยากมาก อุณหภูมิจะขึ้นๆลงๆบ้างเล็กน้อย เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสเฟียรูไลต์จะหายไปบ้าง พออุณหภูมิต่ำลงสเฟียรูไลต์จะเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นอันตรกิริยาที่นำมาพิจารณา ไม่ใช่อันตรกิริยา ระหว่างสเฟียรูไลต์อันใดอันหนึ่งกับบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่อย่างแท้จริง

3. สเฟียรูไลต์ของเราไม่เป็นเอกพันธ์ (NON-HOMOGENEOUS) เพราะระนาบของคอเลสเตอริก ของสเฟียรูไลต์ทั้งอันไม่ได้ทำมุม  $\phi$  เพียงค่าเดียวกับระนาบของคอเลสเตอริกของบริเวณผลึกเหลว ส่วนใหญ่ ค่า  $\phi$  ที่เราวัดได้วัดตรงบริเวณใกล้ขอบของสเฟียรูไลต์ค่านที่หันเข้าหาบริเวณผลึกเหลว ส่วนใหญ่ การไม่เป็นเอกพันธ์อาจเนื่องจากคิสอินโคลเนชั่นที่เกิดขึ้น และการเพี้ยนเนื่องจาก อันตรกิริยากับสเฟียรูไลต์อื่นๆที่อยู่ข้างเคียง

เนื่องจากยังไม่ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะระหว่างขอบของสเฟียรูไลต์ และขอบเขตของบริเวณผลึกเหลวส่วนใหญ่กับเวลาอย่างชัดเจน จึงไม่สามารถเขียนกราฟใน รูปที่ 4-74, 4-75, 4-76 และ 4-77 ให้สมบรูณ์ได้ แต่อันตรกิริยาระหว่างสเฟียรูไลต์กับบริเวณ ผลึกเหลวส่วนใหญ่และสเฟียรูไลต์กับสเฟียรูไลต์น่าจะศึกษาต่อไป