

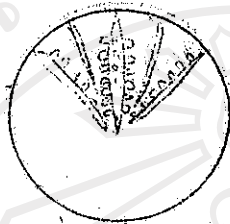
บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการทดลองปลูกผลึกของสารแอมโมเนียมคลอไรด์ โดยวิธีการระเหิด (Sublimation technique) ตามวิธีการตั้งไคกลามาแล้ว ผลึกที่ได้จากการทดลอง เมื่อเผาสารที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน 5 ครั้ง จากอุณหภูมิ 300-400 องศาเซลเซียส ในช่วงอุณหภูมิเดียวกันผลึกจะมีลักษณะคล้าย ๆ กัน และในการทดลองแต่ละครั้ง ผลึกที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงจะมีลักษณะแตกต่างกัน ลักษณะที่แตกต่างกันนั้นอาจแบ่งออกได้ 5 แบบดังนี้

1. ผลึกรูปลูกบาศก์ (Cubic form)
2. ผลึกอันตรรูป (Complex form)
3. ผลึกเค้นโครท (Dendrite) ชนิดเข็มและเป็นพุ่ม
4. ผลึกเค้นโครทชนิดกางปลา
5. ผลึกเค้นโครทชนิดรูปเข็มเดี่ยว (Needle form)

ลักษณะของการเกาะของผลึกบนหลอดแก้วเหมือน ๆ กันทุกการทดลอง ถ้าดูตามภาคตัดขวางของหลอดทดลอง ส่วนที่เกาะของผลึกอยู่ด้านบน ส่วนนี้มีลักษณะแฉวมเหมือนปลายเข็มเย็บผ้าผลึกที่ปลายด้านบนของหลอดแก้ว จะหาจุดศูนย์กลางของหลอดแก้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.1

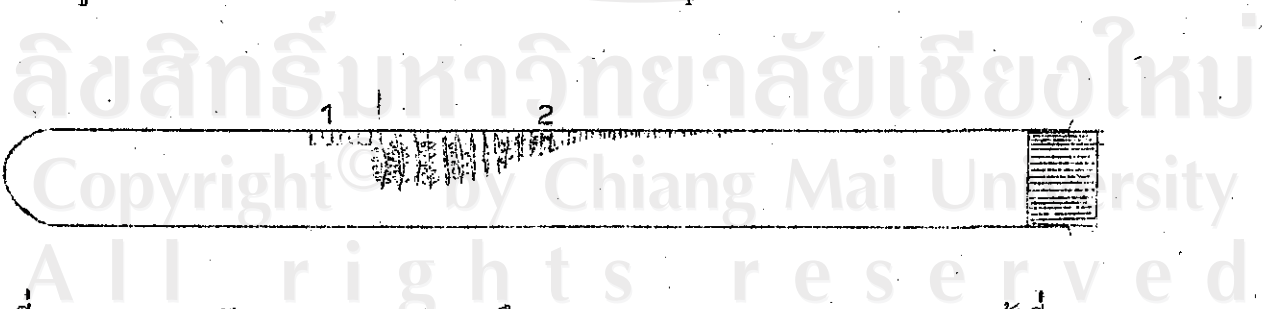


รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะการเกาะของผลึกบนหลอดแก้ว ตามภาคตัดขวางของหลอดปลาย
ด้านบนของผลึกที่เข้าหาจุดศูนย์กลางของหลอดแก้ว

พิจารณาการเกิดผลึกในระหว่างการทดลอง โดยดูตามยาวของหลอด

การทดลองที่ 1

ใช้สารแอมโมเนียมคลอไรด์ประมาณ 10 กรัม ใช้เวลาปลูก 24 ชั่วโมง เติมน้ำ
สารที่อุณหภูมิสูงสุด 300 องศาเซลเซียส คำนวณหมักตามส่วนต่าง ๆ ของหลอดแก้ว พิจารณา
ได้จากรูปที่ 3.15 ผลของการปลูกผลึก เกิดผลึกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังแสดงในรูปที่ 4.2
ลักษณะรูปร่างของผลึก จากการทดลองนี้ได้แสดงไว้ในรูปถ่ายที่ 1



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะการเกาะของผลึกบนหลอดแก้วจากการทดลองครั้งที่ 1
(ดูตามความยาวของหลอดแก้ว) การเกิดผลึกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

พิจารณารูปร่างของผลึกที่เกิดขึ้นตามส่วนต่าง ๆ ดังนี้

ส่วนที่ 1 เกิดผลึกรูปลูกบาศก์ ลักษณะดังรูปถ่ายที่ 1 ก. ผลึกรูปนี้เกิดในช่วงอุณหภูมิสูง คือ เกิดในช่วงอุณหภูมิประมาณ 150-140 องศาเซลเซียส ผลึกที่เกิดขึ้นมีขนาดแตกต่างกัน ประมาณ 1-8 มิลลิเมตร ผลึกที่นำมาฉายรูปนี้เป็นเพียงบางส่วน และเป็นผลึกขนาดใหญ่ คุณสมบัติของผลึกตามรูปถ่ายที่ 1 ก. รูปร่างเป็นลูกบาศก์ที่ค่อนข้างกลม โดยเฉพาะผลึกอันกลางขวาในรูปถ่ายที่ 1 ก. มองเห็นลักษณะลูกบาศก์ที่ค่อนข้างน้อยได้ชัด ผลึกทั้งหมดมีลักษณะใสเป็นเงา ไม่มีสี

การเกิดผลึกรูปนี้ขึ้นเนื่องจาก เมื่อเกิด (Nucleation) ขึ้นแล้วการเจริญต่อไปของนิวเคลียสเป็นไปโดยเท่า ๆ กันทุก ๆ หน้าของผลึก ดังนั้นผลที่ได้ลักษณะจึงเป็นผลึกรูปลูกบาศก์ขึ้น จากทฤษฎีกล่าวว่าลักษณะรูปร่างของผลึกขึ้นกับแรงตึงผิว แสดงว่าในช่วงอุณหภูมินี้ แรงตึงผิวของทุก ๆ หน้าของนิวเคลียสในตอนแรกเท่า ๆ กันหมด ทำให้การเจริญต่อ ๆ ไปเกิดเป็นรูปลูกบาศก์ ดังกล่าว

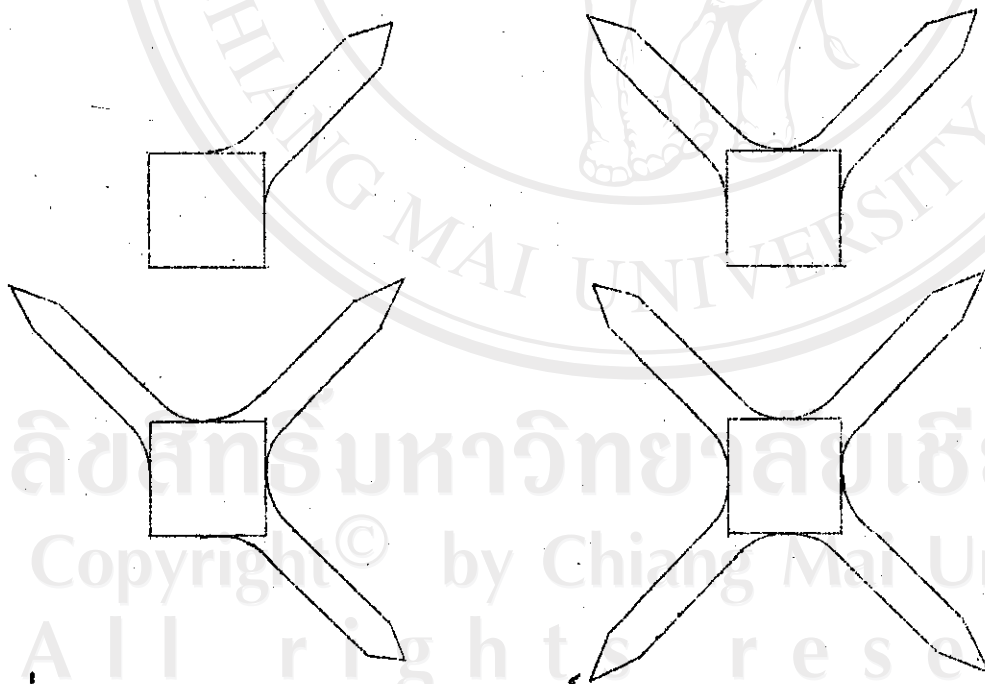
ส่วนที่ 2 เป็นส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าส่วนแรก เกิดผลึกเป็นเส้นใยหรือรูปเข็มและเส้นใยหรือท่อนิกทางปลา ปะปนกันโดยทั่ว ๆ ไปตลอดทั้งส่วนนี้ ผลึกดังกล่าวเกิดในช่วงอุณหภูมิประมาณตั้งแต่ 140 องศาเซลเซียสลงไป ลักษณะรูปร่างของผลึกที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปถ่ายที่ 1 ข, 1 ค และ 1 ง ขนาดของผลึกนี้ตั้งแต่ขนาดเล็ก ๆ จนถึงขนาดใหญ่ ๆ ความยาวถึง 18 มิลลิเมตร ผลึกต่าง ๆ เหล่านี้ทั้งขนาดเล็ก และขนาดใหญ่มีลักษณะเหมือน ๆ กัน ผลึกขนาดใหญ่ เกิดในช่วงอุณหภูมิสูง ๆ ตามรูปที่ 4.2 ในช่วงที่ 2 และผลึกขนาดเล็ก ๆ เกิดในช่วงอุณหภูมิต่ำลงไป

พิจารณาลักษณะของผลึกดังรูปถ่ายที่ 1 ผลึกทั้งหมดมีลักษณะหัวท้ายแหลม พิจารณาผลึกเส้นใยหรือท่อนิกหรือเข็ม ลักษณะดังผลึกอันบนของรูปถ่ายที่ 1 ข. บางส่วนของผลึกอันนี้มองดูเป็นเหลี่ยมเห็นได้ชัด ผิวเรียบเป็นบางหน้า จะสังเกตเห็นว่าส่วนที่ขรุขระ

ของผลึกรูปนี้ ดังรูปถ่ายเป็นส่วนที่เกิดบนเหลี่ยมของผลึก กล่าวคือถ้าเราตัดส่วนนี้ออกไป ผลึกจะเป็นรูปแท่งสี่เหลี่ยมลักษณะยาวขึ้นมา จะสังเกตเห็นว่าส่วนปลายแหลมนั้นยังมีองค์ เป็นเหลี่ยมที่เห็นได้ชัดเจน ส่วนผลึกอันกลางในรูปเดียวกัน ลักษณะเป็นรูปเค้นไครทอนิก ก้างปลา มีระยางค์งอกออกมาจากแกนกลางที่มีลักษณะเป็นรูปเข็ม ลักษณะการงอกของ ระยางค์ งอกออกมาจากเหลี่ยมของแกนกลาง มองคล้ายกับก้างปลา

ในรูปถ่ายที่ 1ค. และ 1ง. ก็เป็นผลึกรูปเค้นไครทอนิกก้างปลาอีกลักษณะ หนึ่ง ทำนองเดียวกัน ในรูปนี้ผลึกมีแกนกลางที่เป็นแท่งเหลี่ยมของรูปเข็ม และมีระยางค์ งอกออกมาจากเหลี่ยมของมัน ลักษณะการงอกของระยางค์ดังแสดงในรูปวาดที่ 4.3

สำหรับผลึกอันกลางสุด ในรูปถ่ายที่ 1ค. นั้น ผลึกมีลักษณะซ้อนกัน คือผลึก เกิดต่อ ๆ กัน ส่วนที่ต่อกันของผลึกมีลักษณะไม่เป็นระเบียบ ตรงจุดที่ต่อกันสีเข้มกว่าจุดอื่น ๆ



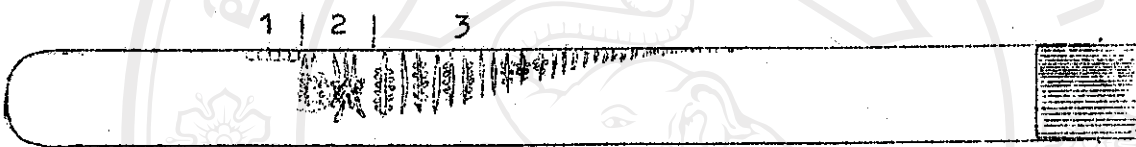
รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะการงอกของระยางค์ ออกจากแกนกลาง ตามภาคตัดขวาง
ระยางค์มี 4 แบบคือมีงอกจากมุมเดียว 2 มุม 3 มุม และ 4 มุม

การเกิดผลึกรูปเค้นโครทชนิดรูปเต็ม อธิบายได้ว่าเกิดจากการที่ผลึกเจริญไปทางด้านเดียว กล่าวคือ เมื่อเกิดนิวเคลียสของผลึกจากกระบวนการ Nucleation ขึ้นแล้ว ลักษณะของนิวเคลียสเริ่มต้น เป็นรูปลูกบาศก์ จากนั้นการเจริญของผลึกทางด้านข้างทั้ง 4 ด้านเป็นไปอย่างรวดเร็วที่ช้ามาก ส่วนในแนวตรงด้านตรงข้ามกับด้านที่เกาะกับผนังของหลอดแก้ว เกิดมีโมเลกุลมาเกาะมากกว่า การเจริญจึงเป็นไปในแนวนี้นั้นมาก ส่วนทางด้านข้างโมเลกุลไปถึงน้อย

การเกิดผลึกรูปเค้นโครทชนิดก้างปลา จะเห็นว่าผลึกชนิดนี้มี 4 แบบ แบ่งตามลักษณะระยางค์ของผลึกที่งอกออกมา (ตามรูปที่ 4.3) แบบแรกมีระยางค์ออกมาทางด้านเดียว แบบที่ 2 มีระยางค์ 2 ด้าน แบบที่ 3 มีระยางค์ 3 ด้าน แบบที่ 4 มีระยางค์ 4 ด้าน พิจารณาตำแหน่งที่เกิดผลึกชนิดนี้ทั้ง 4 แบบ รูปที่ 4.1 ช่วงของการเกิดผลึกตามภาคตัดขวางมีขอบเขตตรงหนึ่งตามเส้นรอบวงของหลอดแก้ว ผลึกที่มีระยางค์ออกไป 4 ด้าน จะเกิดตรงกลาง ๆ ของส่วนนี้ สำหรับรูปที่มีระยางค์ 1, 2, และ 3 ด้าน จะเกิดริมขอบ ๆ ออกไป และระยางค์ที่เกิดขึ้นหาตำแหน่งในส่วนที่เกิดผลึกขึ้น การที่ผลึกเค้นโครทแบบก้างปลาที่มีระยางค์ 4 ด้านเกิดตรงส่วนกลาง ๆ เนื่องจากว่าโมเลกุลของแอมโมเนียมคลอไรด์ ที่ระเหิดจากจุดเริ่มต้นแล้วลอยมา จะเข้ามาในส่วนกลาง ๆ มากที่สุด ส่วนที่เลยขอบเขตของช่วงการเกิดผลึกตามภาคตัดขวางมีน้อยมาก จึงทำให้ริมทางด้านนอกของการเกิดผลึกไม่เกิดระยางค์ การเกิดผลึกแบบนี้เกิดจากการที่ผลึกเกิดการเจริญออกไปทุกด้าน

การทดลองที่ 2

ใช้สารแอมโมเนียมคลอไรด์ประมาณ 10 กรัม ใช้เวลาปลูก 24 ชั่วโมง
 เติมน้ำที่อุณหภูมิสูงสุด ประมาณ 325 องศาเซลเซียส ผลที่เกิดขึ้นมีลักษณะต่าง ๆ เกาะ
 บนผนังด้านบนของหลอดแก้ว อาจแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ได้ 3 ส่วนดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะการเกิดผลึก จากการทดลองที่ 2 การเกิดผลึกแบ่งออกได้เป็น
 3 ส่วนตามรูป ตามส่วนต่าง ๆ ของอุณหภูมิ

ลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้นจากการทดลองนี้ ดังแสดงในรูปถ่ายที่ 2 พิจารณา
 การเกิดผลึกตามส่วนต่าง ๆ ในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ ดังนี้

ส่วนที่ 1 (รูปที่ 4.4) เกิดผลึกรูปลูกบาศก์ (Cubic form) ลักษณะรูป
 ร่างของผลึกดังแสดงในรูปถ่ายที่ 2ก. ผลึกแบบนี้เกิดในช่วงอุณหภูมิประมาณ 160-150
 องศาเซลเซียส พิจารณาลักษณะรูปร่างของผลึกที่เกิดขึ้น ส่วนของผลึกที่เกาะของหลอดแก้ว
 คือส่วนที่มีปลายแหลม และสีค่อนข้างขาวกว่าส่วนอื่น ๆ สังเกตความรูปก็คือส่วนที่ขรุขระลักษณะ
 ของผลึกมองเห็นได้ชัดเจนที่เรียกว่าเป็นรูปลูกบาศก์ ดังผลึกอันซ้ายสุด ในรูปถ่ายที่ 2ก.
 จะเห็นว่าผลึกอันนี้ มีลักษณะเป็นลูกบาศก์มองเห็นเหลี่ยมได้ชัดเจน แต่มีบางส่วนที่มีก่อนผลึก
 เล็ก ๆ มาเกาะ ปิดบังส่วนที่เป็นเหลี่ยมของลูกบาศก์ไป ผลึกอันบนสุดในรูปนี้ก็ยังมองเห็น
 เป็นเหลี่ยมแต่ไม่ชัดเจน ผลึกอันล่างสุดมีลักษณะเดียวกันกับอันบนสุด จะสังเกตเห็นว่าผลึกทั้ง

หมกในรูปถ่ายที่ 2ก. นี้ มีผิวหนังที่ราบเรียบ ลักษณะใสไม่มีสี

การเกิดผลึกรูปนี้อธิบายได้ทำนองเดียวกันกับการทดลองครั้งแรก

ส่วนที่ 2 เกิดผลึกลักษณะอันบรมิ ลักษณะของผลึกดังแสดงในรูปถ่ายที่ 2ข.

ผลึกรูปนี้เกิดในช่วงอุณหภูมิประมาณ 150-140 องศาเซลเซียส ลักษณะของผลึกเป็นก้อนที่มีรูปร่างไม่แน่นอน ตามลักษณะในรูปถ่ายนั้น ผลึกอันซ้ายมือจะเห็นว่ามีส่วนหนึ่งที่มีลักษณะเป็นรูปเข็ม 2 อัน ส่วนปลายแหลมตรงจุดแหลมเป็นส่วนที่เกาะติดกับหลอดแก้ว และปลายอีกด้านประกอบด้วยผลึกขนาดเล็ก ๆ มาเกาะรวมกลุ่มกัน ส่วนก่อนผลึกอันซ้ายมือเป็นส่วนที่หักออกมาจากส่วนซ้ายมือ ลักษณะก็เป็นก้อนผลึกเล็ก เกาะกันอยู่ ถ้าพิจารณาผลึกทั้งก้อนผลึกนี้เป็นแบบเชิงซ้อนแต่ผลึกเล็ก ๆ แต่ละอันมีลักษณะเป็นลูกบาศก์

แสดงให้เห็นว่าการเกิดผลึกรูปนี้ตอนแรกเกิดเป็นผลึกรูปเข็มขึ้นมาก่อน และเมื่อเจริญไปถึงขั้นหนึ่ง ผลึกรูปเข็มนั้นเกิดการเจริญที่ไม่เป็นระเบียบอาจเป็นไปได้ว่าเมื่อเจริญไปถึงขั้นหนึ่งปลายคานบนเกิดมาสัมผัสกัน จากทฤษฎีกล่าวมาจุดสัมผัสของผลึก 2 อันเป็นจุดกำเนิด (Source) ของการเกิดนิวเคลียสอันใหม่ได้ ดังนั้นจะเห็นว่าตรงจุดสัมผัสนี้ทำให้เกิดขบวนการ Nucleation ตามทฤษฎี และการเกิด Nucleation ตรงจุดนั้นเกิดนิวเคลียสขึ้นมาหลายอัน เมื่อเกิดนิวเคลียสแล้วผลึกอันเดิมจะหยุดการเจริญทันที เมื่อนิวเคลียสอันใหม่เกิดการเจริญมาได้เล็กน้อย พอเกิดเป็นผลึกเล็ก ๆ ขึ้นมา แล้วผลึกเล็ก ๆ อันนั้นเกิดมาสัมผัสกันอีก ทำให้เกิดขบวนการ Nucleation เกิดนิวเคลียสใหม่ซ้อนอันเดิมขึ้นมาเรื่อย ๆ นิวเคลียสแต่ละอันไม่สามารถเจริญอย่างเป็นระเบียบ เกิดเป็นผลึกอันใหญ่ขึ้นมาได้ ทำให้เกิดผลึกอันบรมิลักษณะดังรูปขึ้น อีกประการหนึ่งของการเกิดผลึกรูปนี้เนื่องจากในอุณหภูมิช่วงนี้ เป็นช่วงที่โมเลกุลของสารมาอยุกันหนาแน่นที่สุดมากกว่าช่วงอื่น ๆ สังเกตดูจะเห็นว่าในอุณหภูมิช่วงนี้และที่ใกล้เคียงกัน ผลึกที่เกิดขึ้นเป็นผลึกขนาดใหญ่ เมื่อในช่วงนี้มีจำนวนโมเลกุลในสถานะโอบมาก ก็มีโอกาสดเกิดนิวเคลียสใหม่ได้มาก ที่อุณหภูมิค่า ๆ ลงไปจำนวนโมเลกุลมาถึงน้อยลงตามลำดับ การ

เจริญเป็นระเบียบมากกว่า แต่ที่อุณหภูมิต่ำมาก ๆ ผลึกก็ไม่สามารถเจริญเป็นขนาดใหญ่ขึ้นมาได้ เนื่องจากโมเลกุลของสารไปถึงน้อยเกินไป

ส่วนที่ 3 เกิดผลึกรูปเค้นโครท (Dendrite form) ชนิดต่าง ๆ คือ รูปเข็มและรูปกางปลา ปะปนกันและแทรกซ้อนกัน ห้ว ๆ ไปตลอดทั้งช่วง ลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้นแสดงในรูปถ่ายที่ 2ค, 2ง, 2จ และ 2ด เกิดในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 140 องศาเซลเซียสลงไป ผลึกรูปนี้มีทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ๆ ผลึกขนาดใหญ่ ๆ ความยาวมากที่สุดประมาณ 16-20 มิลลิเมตร ผลึกขนาดใหญ่เกิดในส่วนที่มีอุณหภูมิสูง ๆ ของช่วงนี้ ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ลงไปผลึกค่อย ๆ มีขนาดเล็กลง คุรูปที่ 4.4 จนขนาดของผลึกมีความยาวเพียง 1-2 มิลลิเมตรเท่านั้น ผลึกเหล่านี้ทั้งหมดทั้งขนาดเล็ก ๆ และขนาดใหญ่ มีรูปร่างและลักษณะเหมือน ๆ กัน ดังแสดงในรูปถ่ายดังโคลงแล้ว

พิจารณาลักษณะรูปร่างของผลึกที่เกิดขึ้น

ผลึกรูปเค้นโครทชนิดกางปลา ในรูปถ่ายที่ 2ค. และ 2ง. มีลักษณะคล้าย ๆ กันกับผลึกที่โคจากการทดลองครั้งที่ 1 ในรูปถ่ายที่ 2ค. นั้นจะเห็นว่าลักษณะผลึก มีแกนกลางเป็นแท่งสี่เหลี่ยม สังเกตคุณสมบัติอันบนของรูปดังกล่าว จะเห็นลักษณะของเหลี่ยม และผิวหน้าที่ราบเรียบโคชัดเจน ปลายทั้ง 2 ข้างแหลม ส่วนปลายด้านที่แหลมที่สุด (ด้านซ้ายมือของรูป) เป็นส่วนที่เกาะติดกับหลอดแก้ว ส่วนปลายด้านบนคือส่วนทางขวามือที่ไม่มีระยางคกิ่งงอกออกมา เป็นส่วนที่เห็นลักษณะของเหลี่ยมและระนาบของผิวโคชัดเจนที่สุด ลักษณะของระยางคกิ่งงอกออกมา ออกมาจากแกนกลาง จากเหลี่ยมของแกนกลาง เหมือนกับผลึกจากการทดลองที่ 1 ทุกประการดังแสดงในรูปที่ 4.3 แต่จะสังเกตเห็นว่า รูปเค้นโครทชนิดกางปลาในรูปถ่ายที่ 2ค. นี้ มีความสวยงาม ความเป็นระเบียบและเหลี่ยมที่ดีกว่าจากการทดลองที่ 1 ระยางคกิ่งงอกมาเว่นของว่างเท่า ๆ กันตลอดทั้งผลึก แต่ความยาวของระยางคกิ่งงอกออกมาไม่เท่ากัน ส่วนตรงกลาง ๆ มีความยาวมากกว่าระยางคกิ่งที่อยู่ตรงส่วนปลายทั้ง 2 ข้าง

ผลึกชนิดกึ่งปลาอีกรูปหนึ่งแสดงในรูปถ่ายที่ 2ง. ปลาแห่คานซ้ายมือเป็น ส่วนที่เกาะติดกับหลอดแก้ว มองดูแกนกลางเป็นเหลี่ยมและมีผิวหนังราบเรียบ หัวท้ายแหลม ลักษณะตรงกลาง ๆ ของผลึกเป็นแท่งสี่เหลี่ยมเหมือน ๆ กับในรูปถ่ายที่ 2ค. แต่ระยางค์ ที่งอก ลักษณะของระยางค์แตกต่างจากรูปถ่ายที่ 2ง. มาก คอมันมีลักษณะคล้ายลูกกระ-
สวยขนาดของระยางค์ใหญ่กว่ารูปถ่ายที่ 2ง. มาก

ลักษณะของผลึกเค้นไครทอนิครูปเข็มดังรูปถ่ายที่ 2จ. และ 2ฉ. ลักษณะหัว-
ท้ายแหลมเหมือน ๆ กัน ปลาแห่คานแหลมที่สุดเป็นส่วนที่เกาะติดกับหลอดแก้ว ลักษณะส่วน
กลาง ๆ แตกต่างกันหลายแบบดังแสดงในรูป ลักษณะของผลึกในรูป จ. คล้ายปลา ผลึก
2 อันบนในรูปนี้ มีผิวหนังราบเป็นบางผิวลักษณะของผลึกอันล่างสุดในรูปถ่าย 2จ. นั้น มอง
ดูเป็นรูปเข็มชัดกว่า 2 อันบน ผิวราบมองเห็นเหลี่ยมได้ชัดเจน ในรูป 2ฉ.

การทดลองครั้งที่ 3

ใช้สารแอมโมเนียมคลอไรด์ ประมาณ 10 กรัม ใช้เวลาปลูก 24 ชั่วโมง เติมน้ำ สารที่อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 350 องศาเซลเซียส ผลที่ได้เกิดผลึกรูปต่าง ๆ เกาะบนผนังของหลอดแก้ว แบ่งออกเป็น 3 ส่วนตามลักษณะการเกิดรูปร่างของผลึก ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้นดังแสดงในรูปถ่ายที่ 3 พิจารณาการเกิดผลึกต่าง ๆ ตามส่วนต่าง ๆ ดังนี้

ส่วนที่ 1 เกิดผลึกลักษณะรูปร่างดังรูปถ่ายที่ 3ก. ผลึกนี้เกิดในช่วงอุณหภูมิประมาณ 150-130 องศาเซลเซียส ลักษณะแตกต่างจากผลึกที่เกิดขึ้นในช่วงเดียวกัน จากการทดลอง 2 ครั้งแรกลักษณะของผลึกตามรูปถ่าย 3ก. มีผิวที่มองดูไม่เรียบ การเกิดผลึกนี้มีลักษณะคล้ายกับการทดลองที่ 1 และครั้งที่ 2 ปลายด้านแหลมคือส่วนล่างรูปถ่ายเป็นส่วนที่เกาะติดกับหลอดแก้ว ลักษณะการเจริญของผลึก จากรูปแสดงให้เห็นว่ามันไม่ได้เจริญออกไปทุกด้านพร้อม ๆ กัน แต่มันจะเจริญไปทางด้านเดียวคือในแนวตั้ง แต่การเรียงตัวของอะตอมบนผิวของผลึกค่อย ๆ ขยายกว้างออกตรงส่วนบน ๆ ของผลึก

ส่วนที่ 2 เกิดผลึกเค้นโครทชนิดเข็มและเป็นพุ่ม ลักษณะดังรูปถ่ายที่ 3ข. และ 3ค. เกิดปะปนกันในช่วงอุณหภูมิประมาณ 130-120 องศาเซลเซียส ลักษณะของผลึกเป็นการเกิดผลึกชนิดรูปเข็มซ้อนกันและผลึกบางอันเป็นผลึกเล็ก ๆ ที่เกิดเกาะซ้อนขึ้นบนผลึกอันเดิมที่เป็นชนิดรูปเข็ม ในรูปถ่ายที่ 3ข. ลักษณะคล้ายกับผลึกที่เกิดจากการทดลองที่ 2 ดังในรูปถ่ายที่ 2ข. ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิเดียวกัน การเกิดผลึก จะเห็นว่าในตอนเริ่มต้นจะเกิดผลึกเค้นโครทชนิดรูปเข็มขึ้นมาก่อน และเมื่อเจริญมาถึงระยะหนึ่งปลายด้านบนของผลึกเค้นโครทชนิดรูปเข็มเกิดมาสัมผัสกัน ทำให้ส่วนที่สัมผัสเป็นจุดกำเนิดของนิวเคลียสใหม่ได้และเนื่องจากยังมีโมเลกุลของแอมโมเนียมคลอไรด์ที่เป็นสถานะไออยู่อีกมากพอในอันที่จะเกิดกระบวนการ Nucleation ขึ้นตรงจุดสัมผัสของผลึกอันเดิม นิวเคลียสจะเจริญขึ้นแต่ไม่สามารถเกิดเป็นผลึกขนาดใหญ่ได้ เนื่องจากพอลิเมอร์ใหญ่ขึ้นเพียงเล็กน้อย มัน

มันก็จะมาสัมผัสกันอีก ทำให้เกิดขบวนการ Nucleation ซ้อน ๆ กันขึ้นมากมาย จนผลึกอันเดิม ทำให้เกิดผลึกลักษณะดังรูปถ่ายที่ 3ข.

ลักษณะของผลึกในรูปถ่ายที่ 3ค. เป็นแบบเค้นโครทซ์นิครูปเข็มและเป็นพุ่ม ผลึกรูปนี้แตกต่างจากผลึก. ในรูปถ่ายที่ 3ข. เห็นได้ชัดเจน จะเห็นว่าในรูปนี้ผลึกที่เป็นฐานมีเพียงอันเดียวเท่านั้นและการเกิดผลึกซ้อนขึ้นมาไม่ได้เกิดโดยการเริ่มต้นเกิดขบวนการ Nucleation จากส่วนสัมผัสของผลึกเค้นโครทซ์นิครูปเข็ม แต่เป็นการเกิดผลึกซ้อนขึ้นมาจากผลึกอันเดิมเนื่องจากอัตราการที่โมเลกุลจากจุดเริ่มต้น (จุดที่เค้นสาร) มาถึงจุดนั้นมาก ทำให้การเรียงตัวกันของโมเลกุลเข้าไปกับผลึกอันเดิม เกิดความไม่เป็นระเบียบขึ้น ผลึกอันเดิมไม่สามารถจะเจริญใหญ่ขึ้นต่อไปได้ ทำให้เกิดขบวนการ Nucleation ขึ้นบนผลึกอันเดิม แต่นิวเคลียสที่เกิดจากฐานอันเดิมเพียงอันเดียวนั้นต่างจากการเกิดจากจุดสัมผัสของผลึกมาก โดยที่นิวเคลียสนี้สามารถเจริญขึ้นมาเป็นผลึกขนาดใหญ่ขึ้นมาได้ และลักษณะของผลึกที่เกิดซ้อนขึ้นมา มีลักษณะเป็นผลึกเค้นโครทซ์นิครูปเข็ม มองดูผลึกทั้งอันมีลักษณะเป็นพุ่มคล้ายต้นไม้ ที่มีกิ่งก้านสาขาออกมาหลายอัน

ลักษณะของผลึกเค้นโครทซ์นิครูปเข็มที่เกิดซ้อนขึ้นมา มีลักษณะผิวหน้าเรียบ มองเห็นเหลี่ยมได้ชัดเจน เป็นที่น่าสังเกตว่าผลึกชนิดรูปเข็มที่เกิดซ้อนขึ้นมา มีลักษณะเป็นเหลี่ยมที่มองเห็นได้ชัดเจนกว่ารูปเข็มที่เกิดเดี่ยว ๆ ดังรูปถ่ายที่ 1ข, 2ง และ 2ฉ. และแม้แต่ในรูปถ่ายที่ 3ฉ. ซึ่งเป็นผลึกจากการทดลองเดียวกัน

ส่วนที่ 3 เกิดผลึกรูปเค้นโครทซ์ (Dendritic form) ชนิดกางปลา ค้างแสดงในรูปถ่ายที่ 3ง, 3จ. และชนิดรูปเข็ม (Needle form) ดังรูปถ่ายที่ 3ฉ. ผลึกทั้ง 2 รูปที่เกิดขึ้นมีทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ผลึกขนาดใหญ่ ๆ เกิดในชามอุณหภูมิสูง ๆ ของส่วนนี้และที่ชามอุณหภูมิต่ำ ๆ ลงไป ผลึกค่อย ๆ มีขนาดเล็ก ๆ ลงรูปที่ 4.4

พิจารณาลักษณะรูปร่างของผลึกที่เกิดขึ้น สำหรับผลึกรูปเค้นโครทซ์นิกกางปลา ดังแสดงในรูปถ่ายที่ 3ง. ลักษณะผลึกมีแกนกลางเป็นรูปเค้นโครทซ์นิกกางปลาเข้มลักษณะเป็นเหลี่ยม มองดูคล้ายตาปลาโคจรัดเจน ระบายสีทั้งออกออกมา ออกมาจากเหลี่ยมของแกนกลางเหมือนกับผลึกรูปเค้นโครทซ์นิกกางปลา จากการทดลองก่อน ๆ ลักษณะของระบายสีทั้งออกออกมา เว้นช่วงว่างเท่า ๆ กัน แต่ความยาวของระบายสีแต่ละอันไม่เท่ากัน มีข้อสงสัยเกตุว่าระบายสีของเค้นโครทซ์นิกกางปลาในรูปนี้ มีผิวหน้าเรียบและมองเห็นเหลี่ยมของมันชัดเจนวาผลึกรูปเค้นโครทซ์นิกกางปลาจากการทดลองก่อน ๆ

สำหรับผลึกในรูปถ่ายที่ 3จ. เป็นรูปเค้นโครทซ์นิกกางปลาอีกลักษณะหนึ่งของการทดลองนี้ทำนองเดียวกันกับรูปอื่น ๆ ระบายสีที่มีเพียงด้านเดียว งอกออกมาจากแกนกลางที่มีลักษณะเป็นรูปเค้นโครทซ์นิกกางปลา

ผลึกรูปเค้นโครทซ์นิกกางปลาในรูปถ่ายที่ 3ค. ของการทดลองนี้มีลักษณะคล้าย ๆ กันกับการทดลองครั้งแรก ๆ คือมีลักษณะหัวท้ายแหลม แต่ในรูปนี้ผลึกมองดูไม่เป็นลักษณะของรูปสี่เหลี่ยม

การทดลองครั้งที่ 4

ใช้สารแอมโมเนียมคลอไรด์ประมาณ 10 กรัม ใช้เวลาในการปลูก 24 ชั่วโมง เติมน้ำที่อุณหภูมิสูงที่สุดประมาณ 375 องศาเซลเซียส ผลที่ได้เกิดผลึกรูปต่าง ๆ เกาะตามผนังของหลอดแก้วแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน เหมือนกับการทดลองที่ 2 และ 3 ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ลักษณะรูปร่างของผลึกที่เกิดขึ้นดังแสดงในรูปถ่ายที่ 4 พิจารณาลักษณะรูปร่างของผลึกตามส่วนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ ดังนี้

All rights reserved

ส่วนที่ 1 (ดังแสดงในรูปที่ 4.4) เกิดผลึกลักษณะรูปร่างดังรูปถ่ายที่ 4ก.

ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 170-140 องศาเซลเซียส ลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น แตกต่างจากผลึกที่เกิดขึ้นในส่วนเดียวกัน จากการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 และมีลักษณะคล้าย ๆ กับผลึกที่เกิดขึ้นในส่วนเดียวกันจากการทดลองที่ 3 คือลักษณะเป็นก้อนที่มองดูไม่เป็นเหลี่ยมของผลึกลูกบาศก์ ซึ่งเป็นลักษณะของผลึกจากการทดลอง 2 ครั้งแรก ที่มองดูเป็นรูปลูกบาศก์ที่มองเห็นได้ชัดเจนนมาก และผลึกในรูปถ่ายที่ 4ก. จากการทดลองนี้มีบางหน้าที่ยาวเรียบ บางหน้าก็ขรุขระไม่เป็นระนาบ แสดงให้เห็นว่าเมื่อเวลาสารที่อุณหภูมิสูง ๆ ขึ้น การเกิดผลึกลักษณะลูกบาศก์จะไม่มี จนทำให้มองดูไม่เห็นลักษณะดังกล่าว การเจริญของผลึกเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับการทดลองครั้งที่ 3

ส่วนที่ 2 เกิดผลึกลักษณะรูปร่างดังรูปถ่ายที่ 4ข. และ 4ค. ในช่วงอุณหภูมิ

ประมาณ 140-120 องศาเซลเซียส ลักษณะรูปร่างของผลึกเป็นรูปเด่นโครทแบบรูปเข็ม และเป็นพุ่ม เกิดในช่วงอุณหภูมิใกล้เคียงกัน กับผลึกที่เกิดขึ้นจากการทดลองครั้งที่ 3 (รูปถ่ายที่ 3ค.) ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิเดียวกันของการเกิดผลึกที่เกาะบนหลอดแก้ว สังเกตดูลักษณะการเกิดผลึกเหมือนกัน คือมีการเกิดผลึกของรูปเข็มซ้อนขึ้นไปจากผลึกอันเดิมที่เป็นรูปเข็ม หรือเด่นโครทชนิดกางปลาการเกิดผลึกแบบนี้อธิบายได้ทำนองเดียวกันกับการเกิดผลึกที่เกิดขึ้น จากการทดลองครั้งที่ 3 (รูปถ่ายที่ 3ค.)

ในรูปถ่ายที่ 4ข. แตกต่างจาก 3ค. คือลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้นมา เกิดซ้อนขึ้นมาหลายชั้น ความเป็นระเบียบมีน้อยกว่ารูปถ่าย 3ค. และลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้นมามีขนาดเล็กกว่าและจำนวนมากกว่า แต่ผลึกที่เกิดขึ้นมาบางอันก็ยังมีลักษณะเป็นเหลี่ยมผิวหน้าเรียบที่ยังเห็นได้ชัด

ในรูปถ่ายที่ 4ค. ก็ทำนองเดียวกัน การเกิดผลึกซ้อนขึ้นมาหลายชั้นมากกว่าจากการทดลองครั้งแรก

ส่วนที่ 3 เกิดผลึกรูปเค้นโครท (dendritic form) ชนิดก้างปลา ลักษณะทั้งรูปถ่ายที่ 4ง. และ 4จ. ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 120 องศาเซลเซียสลงไป ในช่วงอุณหภูมิสูง ๆ ของช่วงนี้เกิดผลึกรูปเค้นโครทชนิดก้างปลาขนาดใหญ่ ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ลงไปมีผลึกเค้นโครทชนิดรูปเข็มเล็ก ๆ และรูปเค้นโครทชนิดก้างปลาเกิดขึ้น

ลักษณะโดยทั่วไปของรูปเค้นโครทชนิดก้างปลาจากการทดลองนี้ คล้าย ๆ กับจากการทดลอง 3 ครั้งแรกมีแกนกลางที่เป็นแท่งเหลี่ยมงอกยาวขึ้นมา และมีระยางค์งอกออกมาจากเหลี่ยมของมัน แต่จะเห็นว่าตามรูปถ่ายที่ 4ง. ลักษณะของระยางค์ที่งอกออกมา มีความราบเรียบน้อยกว่าจากการทดลอง 3 ครั้งแรกมาก ลักษณะของผลึกตามรูปถ่ายที่ 4จ. ลักษณะของแกนกลางมองดูไม่เป็นเหลี่ยม และระยางค์ที่งอกออกมามีเพียงด้านเดียว เหมือนกับผลึกรูปเค้นโครทในรูปถ่ายที่ 3จ. จะเห็นว่าในรูปถ่ายที่ 3จ. ลักษณะของแกนกลางเป็นเหลี่ยมชัดกว่า ลักษณะของระยางค์ก็ใส ราบเรียบมากกว่า การเกิดระยางค์เป็นระเบียบมาก แสดงให้เห็นว่าการเกิดผลึกในการทดลองนี้ ความเป็นระเบียบน้อยกว่าเมื่อเผาสารที่อุณหภูมิต่ำกว่า

การเจริญของผลึกเค้นโครทชนิดก้างปลาอธิบายได้พ้องกันกับการทดลองครั้งก่อน ๆ แต่อัตราการเจริญของการทดลองครั้งนี้เร็วกว่าการทดลองครั้งก่อน ๆ จึงทำให้ลักษณะของผลึกมีความเป็นระเบียบและผิวหน้าที่ราบเรียบน้อยกว่า

การทดลองครั้งที่ 5

ใช้สารแอมโมเนียมคลอไรด์ประมาณ 10 กรัม ใช้เวลาปลง 7 ชั่วโมง เผาสารที่อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 400 องศาเซลเซียส ลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปถ่ายที่ 5 ผลึกที่เกิดแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงดังแสดงในรูปที่ 4.4 พิจารณาการเกิดผลึกในช่วงต่าง ๆ ดังนี้

ส่วนที่ 1 เกิดผลึกลักษณะคังรูปถ่ายที่ 5ก. ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 170-140 องศาเซลเซียส ลักษณะไม่ราบเรียบ จะเห็นว่าผลึกรูปนี้เกิดในช่วงอุณหภูมิเดียวกันกับการทดลองครั้งก่อน ๆ แต่อย่างไรก็ตามมันยังมีลักษณะที่แตกต่างจากการทดลองครั้งก่อน ๆ จากลักษณะของผลึก (จากรูปถ่าย) จะเห็นว่าลักษณะเป็นลูกบาศก์หลาย ๆ อันซ้อนกันอยู่ บางส่วนของผลึกมีผิวหน้าที่ราบเรียบเห็นได้ชัด

ส่วนที่ 2 เกิดผลึกอันรูปลักษณะคังรูปถ่ายที่ 5ข. และผลึกลักษณะคังรูปถ่ายที่ 5ค. เกิดในช่วงอุณหภูมิประมาณ 130-120 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าลักษณะของผลึกคังรูปถ่ายที่ 5ข. เป็นผลึกก้อนเล็ก ๆ เกาะรวมกลุ่มกันอยู่ ส่วนฐานที่เกาะกับหลอดแก้วมีขนาดเล็กกว่า คือส่วนที่เป็นปลายแหลมยื่นออกมาจากรูป ลักษณะเป็นส่วนผลึกเค้น-โครทชนิครูปเข็ม แสดงว่าผลึกรูปนี้เมื่อเริ่มเกิดผลึกใหม่ ๆ จะเกิดเป็นผลึกเค้นโครทชนิครูปเข็มและกางปลา แต่เมื่อการเจริญของผลึกไปถึงช่วงเวลาหนึ่ง การเกาะของโมเลกุลเริ่มไม่เป็นระเบียบ ทำให้ส่วนบนของผลึกรูปเข็มแต่ละอันมาเกาะติดกัน และเกาะรวมกันเกิดลักษณะเป็นรูปคังรูปถ่ายที่ 5ข. ขึ้น

ผลึกในรูปถ่ายที่ 5ค. ลักษณะคล้ายกับในรูป 5ข. แต่จะเห็นว่าผลึกที่มาเกาะรวมกันมีขนาดใหญ่กว่า ผลึกในรูปที่ 5ข. นี้ถ้าการเจริญช้าพอ จะเป็นระเบียบมากกว่านี้แล้ว คาดจะเกิดเป็นผลึกเค้นโครทชนิครูปเข็มเป็นพุ่ม แบบเดียวกันกับการทดลองครั้งที่ 3 และ 4 ลักษณะคังรูปถ่ายที่ 3ค, 4ค.

ส่วนที่ 3 เกิดผลึกลักษณะเค้นโครทชนิกางปลา ดังแสดงในรูปถ่ายที่ 5ง. เกิดในช่วงอุณหภูมิ ตั้งแต่ประมาณ 120 องศาเซลเซียสลงไป ลักษณะของรูปเค้นโครทชนิกางปลาจากการทดลองนี้จะเห็นว่าแตกต่างจากรูปเค้นโครทชนิกางปลา จากการทดลองก่อน ๆ อย่างเห็นได้ชัด คือลักษณะของผลึกมีความเป็นระเบียบน้อยกว่าจากการทดลองครั้งก่อน ๆ มาก

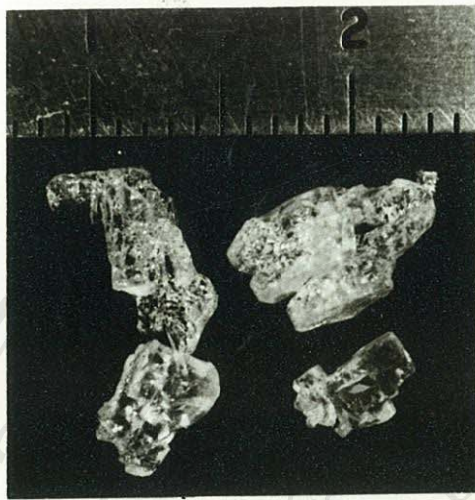
ดังนั้นจะเห็นว่าการเจริญของผลึกจากการทดลองนี้มีความเป็นระเบียบน้อยกว่าจากการทดลองอื่น ๆ โดยการเผาสารที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ทั่วมาก การเจริญของผลึกเป็นไปโดยลักษณะเดียวกันกับการทดลองครั้งก่อน เพียงแต่อัตราการเจริญเร็วกว่า ทำให้ลักษณะของผลึกมีความเป็นระเบียบน้อยกว่ามาก



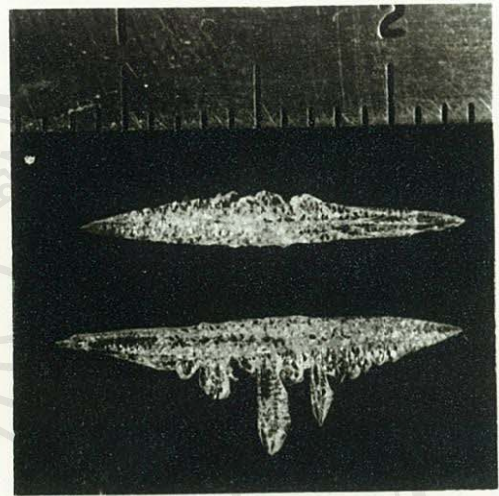
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

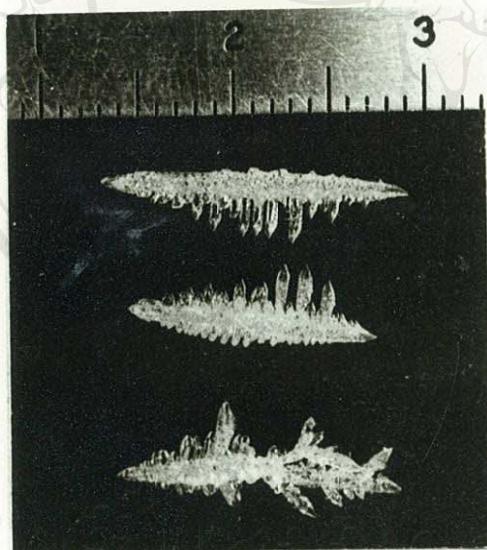
All rights reserved



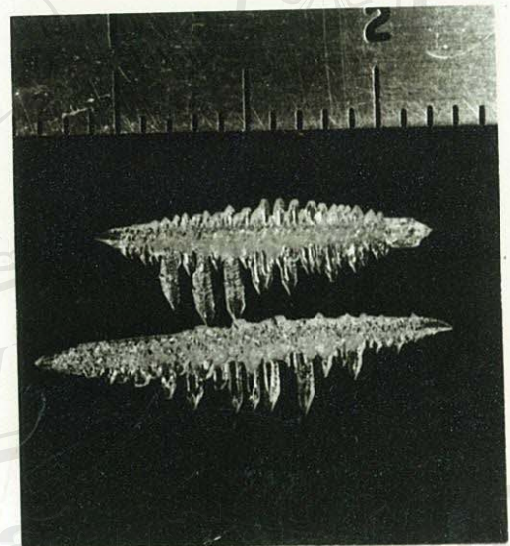
ก



ข



ค

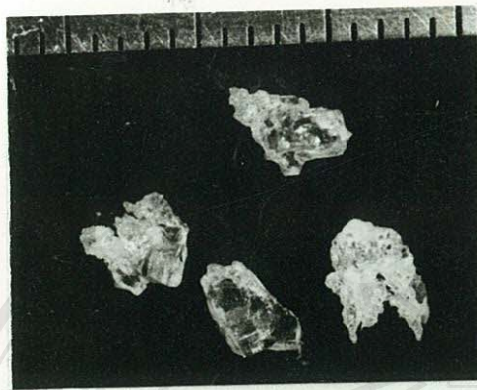


ง

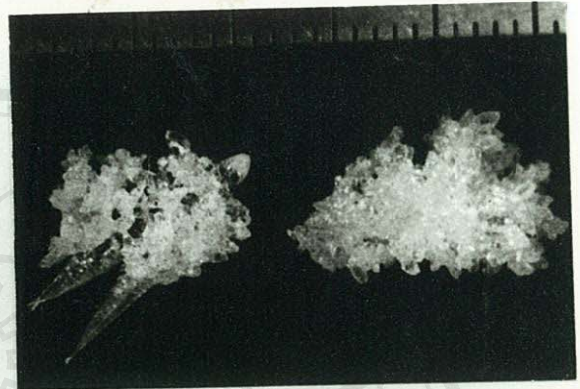
Copyright © by Chiang Mai University

All rights reserved

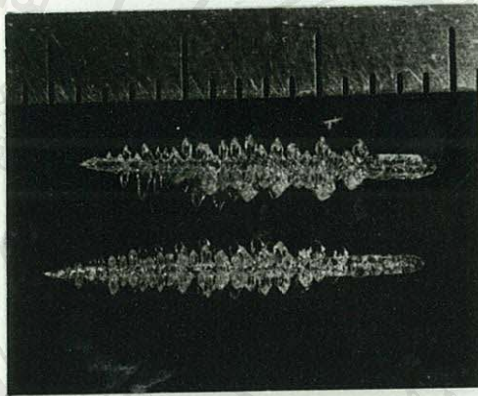
รูปถ่ายที่ 1 ผลึกแอมโมเนียมคลอไรด์ จากหลอดทดลองที่ 1 เผาสาร
ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (สเกลใน 1 ช่องเล็ก
เท่ากับ 1 มิลลิเมตร)



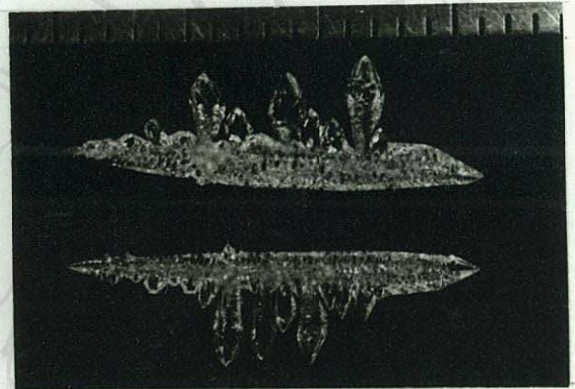
ก



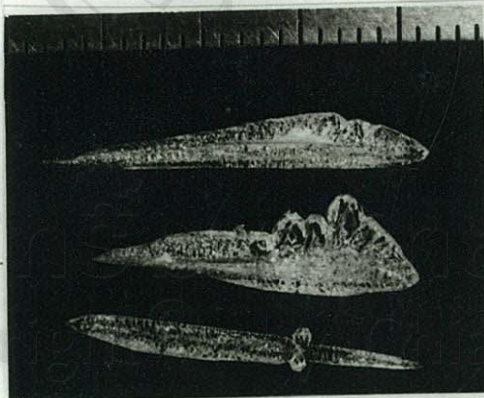
ข



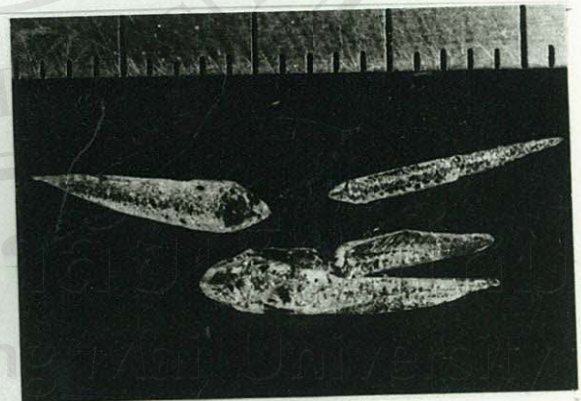
ค



ง

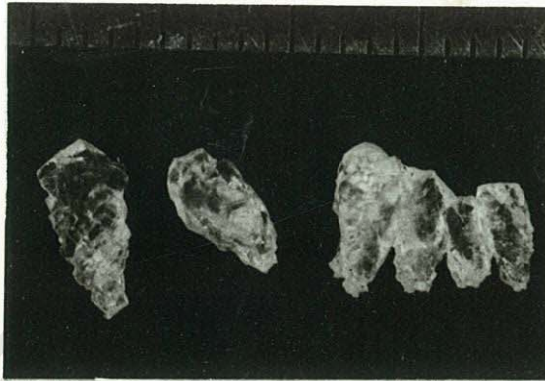


จ

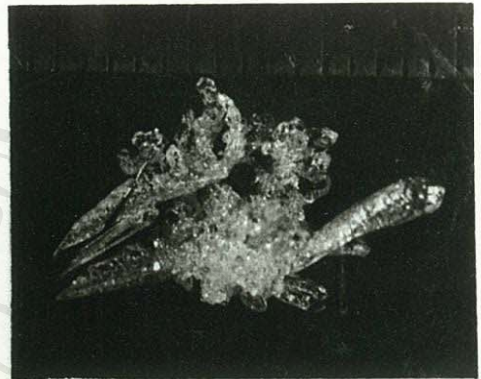


ฉ

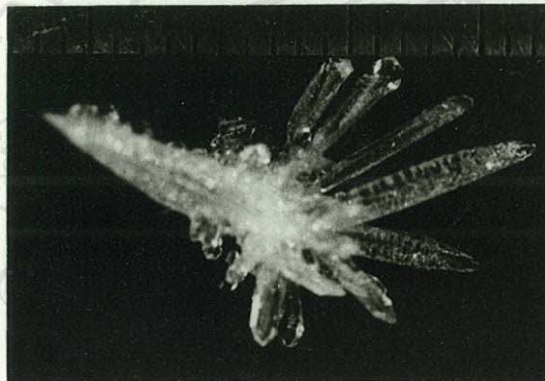
รูปถ่ายที่ 2 ผลึกแอมโมเนียมคลอไรด์ จากหลอกทดลองที่ 2 เปรียบเทียบกับ
อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส (สเกล 1 ของเล็กเท่ากับ
1 มิลลิเมตร)



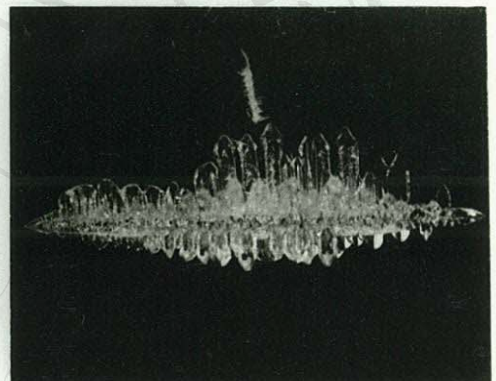
ก



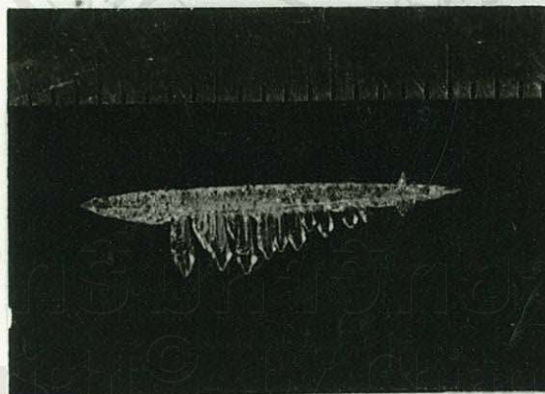
ข



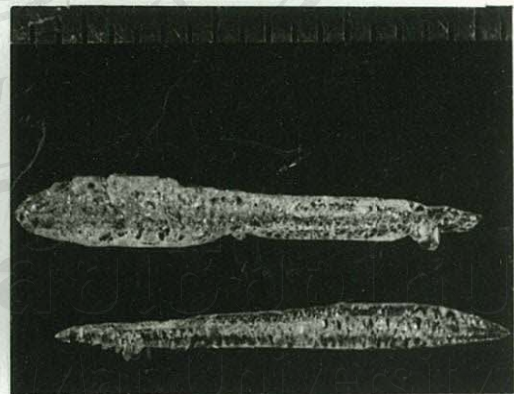
ค



ง

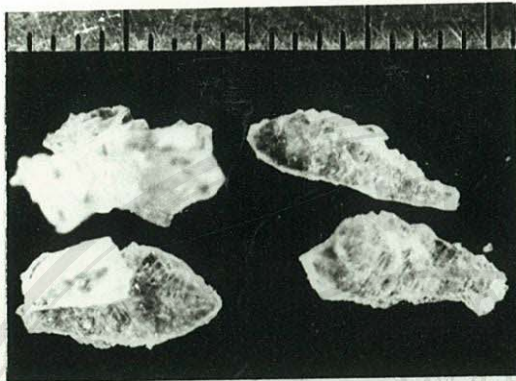


จ

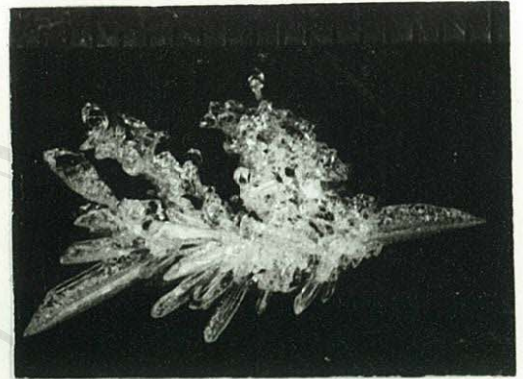


ฉ

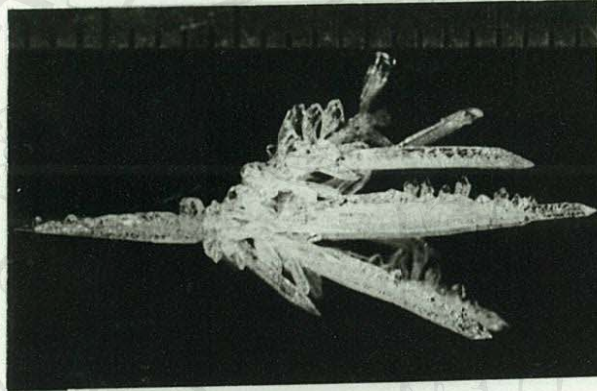
รูปถ่ายที่ 3 ผลิตจากโมเนียมโครไรต์ จากหลอกทดลองที่ 3 เฝ้า
 สานที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส (สเกล 1 ของเล็ก
 เท่ากับ 1 มิลลิเมตร)



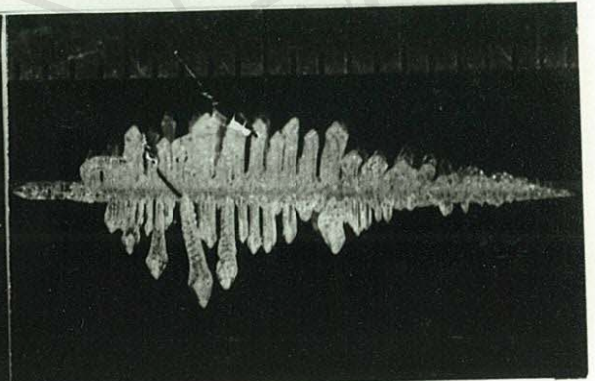
ก



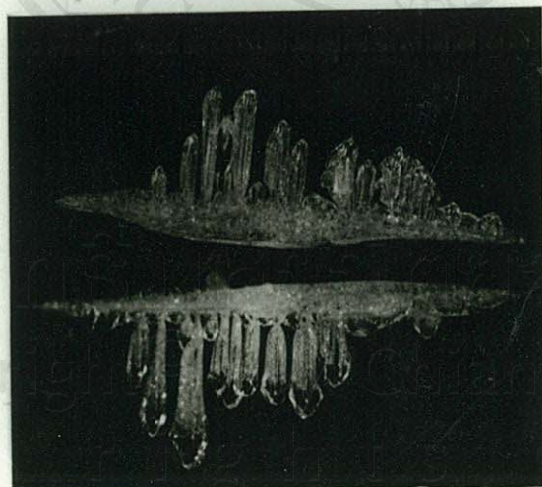
ข



ค



ง



จ

รูปถ่ายที่ 4 ผลึกแอมโมเนียม
คลอไรด์จากหลอดทดลองที่ 4
เอกสารที่อนุกรม 375 องค์
ศาสตราจารย์ (สเกล 1 ของเล็ก
เท่ากับ 1 มิลลิเมตร)

ลิขสิทธิ์

Copyright

All

ลิขสิทธิ์

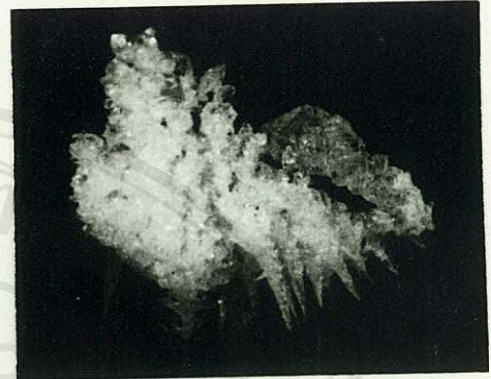
Copyright

All

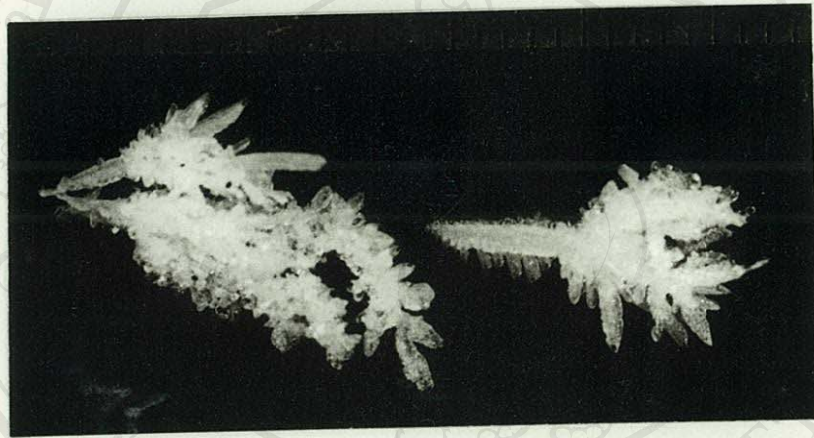
reserved



ก

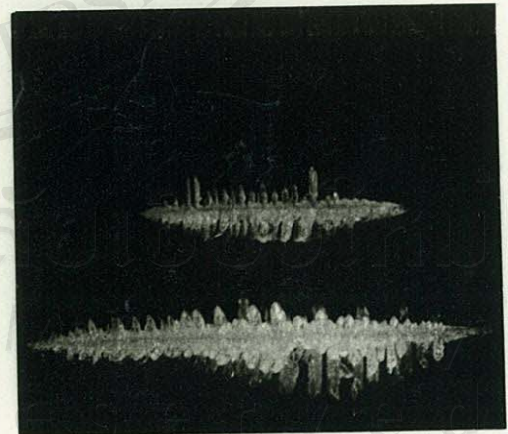


ข



ค

รูปถ่ายที่ 5 ผลึกแอมโมเนียมคลอไรด์
จากหลอดทดลองที่ 5 เปรียบเทียบกับ
400 องศาเซลเซียส (สเกล 1 ของ
เล็กเท่ากับ 1 มิลลิเมตร)



ง

ตารางเปรียบเทียบช่วงอุณหภูมิของการเกิดผลรูปต่าง ๆ ในการทดลองแต่ละครั้ง

รูปของผลึก	เขาสารที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ช่วงของการเกิดผลึก °C	เขาสารที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิของการเกิดผลึก °C	เขาสารที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิของการเกิดผลึก °C	เขาสารที่อุณหภูมิ 375 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิของการเกิดผลึก °C	เขาสารที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิของการเกิดผลึก °C
อุณหภูมิ อินทรีย์	150 - 140	160 - 150	150 - 130	170 - 140	170 - 130
อินทรีย์ เค้นโครทอน	-	150 - 140	130 - 120	140 - 120	130 - 120
อินทรีย์ เค้นโครทอน	140 ลงไป	140 ลงไป	120 ลงไป	120 ลงไป	120 ลงไป
อินทรีย์ เค้นโครทอน	140 ลงไป	140 ลงไป	120 ลงไป	120 ลงไป	120 ลงไป