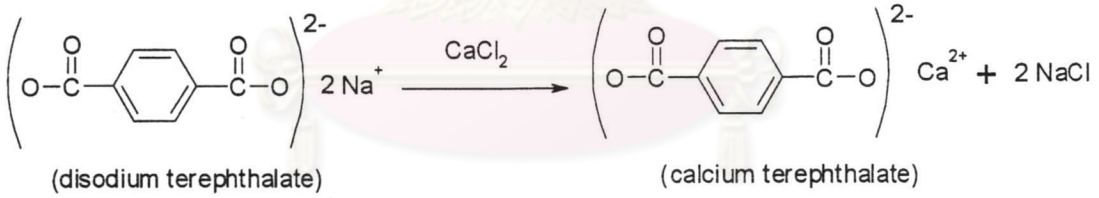
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การเตรียมเกลือเทเรฟทาเลตจากการย่อยสลายขวดเพท

จากการย่อยสลายขวดเพทที่ใช้แล้วด้วยกระบวนการอัลคาไลดีคอมโพสิชันโดยโซเดียมไฮดรอกไซด์ในตัวกลางเอทิลีนไกลคอลที่ปราศจากน้ำ ที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าสามารถย่อยสลายขวดเพทได้ถึง 94.4 เปอร์เซ็นต์ และผลผลิตที่ได้ประกอบด้วยเอทิลีนไกลคอลและไดโซเดียมเทเรฟทาเลต (disodium terephthalate, Na_2-TPA) ซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็ง ผงละเอียด สีขาว

เมื่อนำสารละลายไดโซเดียมเทเรฟทาเลตไปตกตะกอนในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ จะได้แคลเซียมเทเรฟทาเลต (calcium terephthalate, Ca-TPA) ซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็ง ผงละเอียด สีขาว และไม่ละลายน้ำ แสดงได้ดังปฏิกิริยา



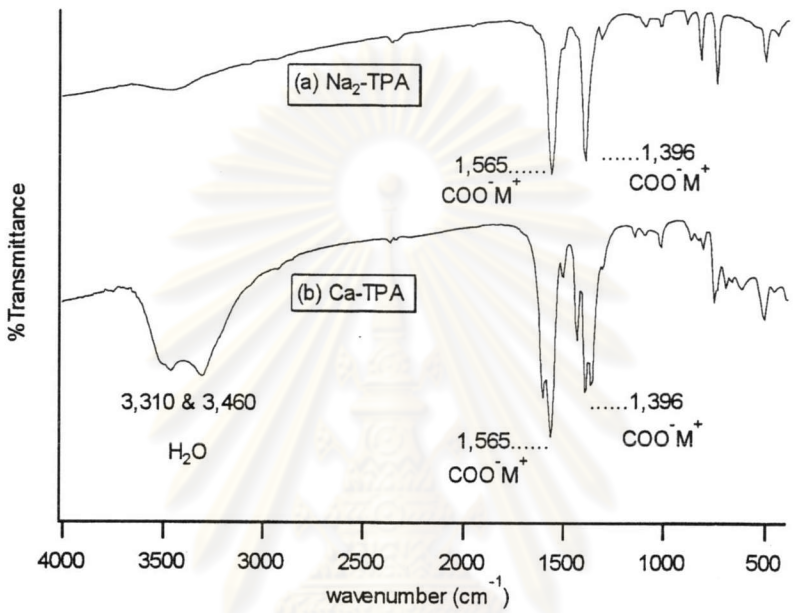
(disodium terephthalate) (calcium terephthalate)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

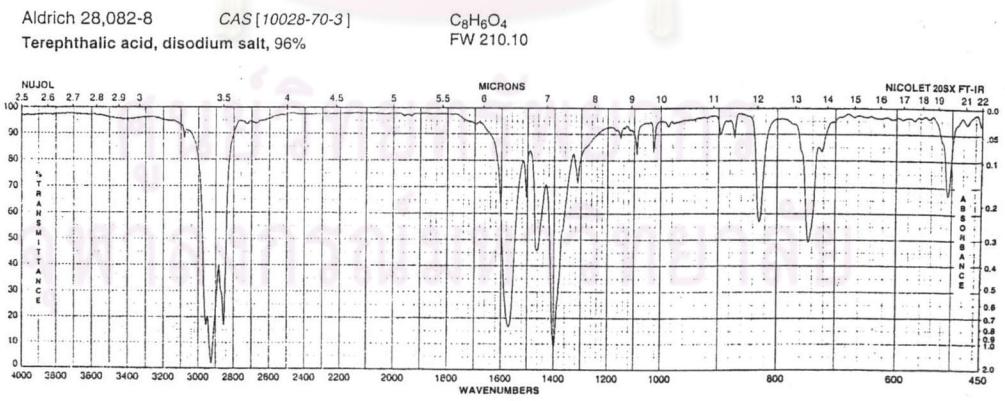
4.2 การวิเคราะห์และตรวจสอบเกลือเทเรฟทาเลต

4.2.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR

เมื่อนำไดโซเดียมเทเรฟทาเลตและแคลเซียมเทเรฟทาเลตที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.1(a) และ 4.1(b) ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 FT-IR สเปกตรัมของ (a) ไดโซเดียมเทเรฟทาเลต และ (b) แคลเซียมเทเรฟทาเลต



รูปที่ 4.2 FT-IR สเปกตรัมมาตรฐานของไดโซเดียมเทเรฟทาเลต[#]

[#] The Aldrich Library of FT-IR spectra Vol.2, 2nd Edition, Sigma-Aldrich (1997) : 2784.

เมื่อเปรียบเทียบ FT-IR สเปกตรัมของไดโซเดียมเทเรฟทาเลตที่ได้จากการย่อยสลายขวดเพทกับสเปกตรัมมาตรฐานของไดโซเดียมเทเรฟทาเลต (รูปที่ 4.2) พบว่ามีสเปกตรัมที่เหมือนกัน กล่าวคือพบพีกที่ตำแหน่ง 1,565 cm^{-1} และ 1,396 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงหมู่ฟังก์ชั่นของเกลือโลหะของกรดคาร์บอกซิลิก (COO^-M^+) แสดงให้เห็นว่าสารที่สังเคราะห์ได้คือไดโซเดียมเทเรฟทาเลต ส่วนพีกที่ตำแหน่ง 1,450 cm^{-1} และ 3,000 cm^{-1} ในสเปกตรัมมาตรฐานของไดโซเดียมเทเรฟทาเลต เป็นพีกของ nujol ซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างเพื่อการทดสอบ

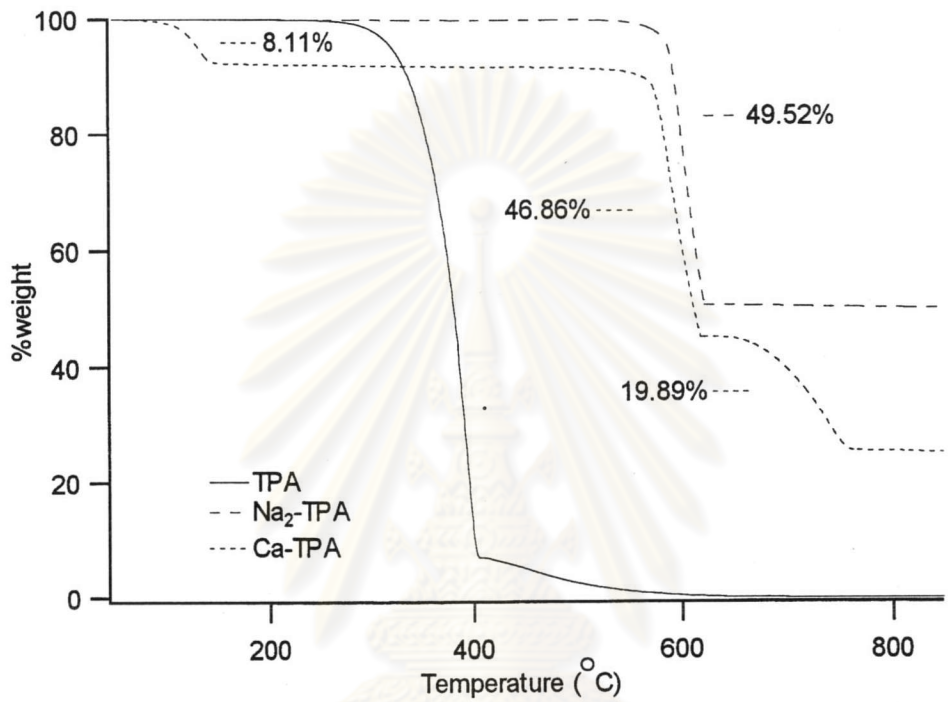
สำหรับ FT-IR สเปกตรัมของแคลเซียมเทเรฟทาเลตที่เตรียมได้ พบว่ามีลักษณะคล้ายคลึงกับ FT-IR สเปกตรัมของไดโซเดียมเทเรฟทาเลต กล่าวคือพบพีกที่ตำแหน่ง 1,565 cm^{-1} และ 1,396 cm^{-1} ทำให้คาดว่าสารที่เตรียมได้น่าจะเป็นแคลเซียมเทเรฟทาเลต

นอกจากนี้ยังพบพีกที่มีความกว้างที่ตำแหน่ง 3,310 cm^{-1} และ 3,460 cm^{-1} ในสเปกตรัมของเกลือเทเรฟทาเลตที่เตรียมได้ทั้ง 2 ชนิด ซึ่งคาดว่าเป็นพีกของน้ำที่มาจากการดูดความชื้นของเกลือทั้ง 2 ชนิด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA

จากการตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของกรดเทเรฟทาลิก ไดโซเดียมเทเรฟทาเลตและแคลเซียมเทเรฟทาเลตด้วยเทคนิค TGA ภายใต้บรรยากาศของแก๊สออกซิเจน ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.3

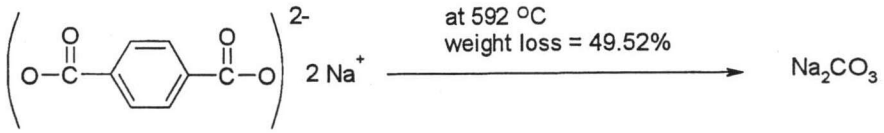


รูปที่ 4.3 TGA เทอร์โมแกรมของกรดเทเรฟทาลิก (——TPA) ไดโซเดียมเทเรฟทาเลต (- -Na_2-TPA) และแคลเซียมเทเรฟทาเลต (····Ca-TPA)

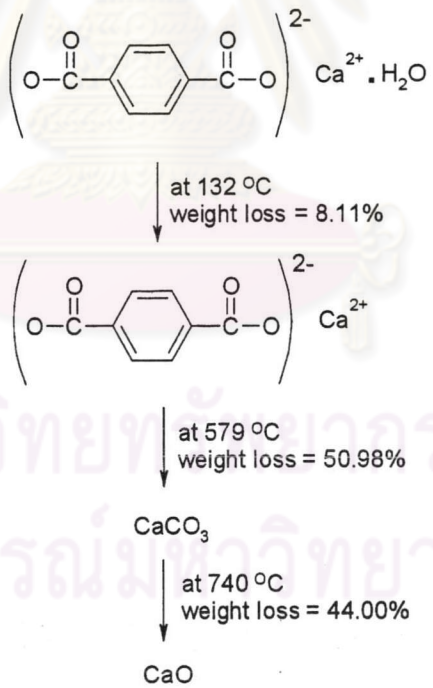
จาก TGA เทอร์โมแกรมพบว่า กรดเทเรฟทาลิกและเกลือเทเรฟทาเลตเกิดการสลายตัวและมีมวลลดลงที่อุณหภูมิสูง (>300°C) โดยเกลือเทเรฟทาเลตทั้ง 2 ชนิดสลายตัวที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิสลายตัวของกรดเทเรฟทาลิก

สำหรับการสลายตัวของกรดเทเรฟทาลิกประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การสลายตัวอย่างรวดเร็วในช่วงแรกที่อุณหภูมิ 393°C และเหลือส่วนของคาร์บอนตกค้างที่จะเกิดการสลายตัวต่อไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

จาก TGA เทอร์โมแกรมของไดโซเดียมเทเรฟทาเลต พบว่าการสลายตัวของไดโซเดียมเทเรฟทาเลตมีเพียง 1 ขั้นตอน คือ การสลายตัวเป็นโซเดียมคาร์บอเนตที่อุณหภูมิเท่ากับ 592°C และมวลหายไป 49.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเท่ากับค่าที่ได้จากการคำนวณจากสมการเคมี แสดงได้ดังนี้



สำหรับ TGA เทอร์โมแกรมของแคลเซียมเทเรฟทาเลต พบว่าการสลายตัวของแคลเซียมเทเรฟทาเลตมี 3 ขั้นตอน คือ สลายตัวที่อุณหภูมิเท่ากับ 132 579 และ 740°C ซึ่งแสดงถึงขั้นตอนการระเหยของน้ำออกไปจากโมเลกุล จากนั้นจึงเกิดการสลายตัวเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต และขั้นตอนสุดท้ายสลายตัวเป็นแคลเซียมออกไซด์ โดยมีมวลหายไปในแต่ละขั้นตอนเท่ากับ 8.1 51.0 และ 44.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณจากสมการเคมี แสดงได้ดังนี้

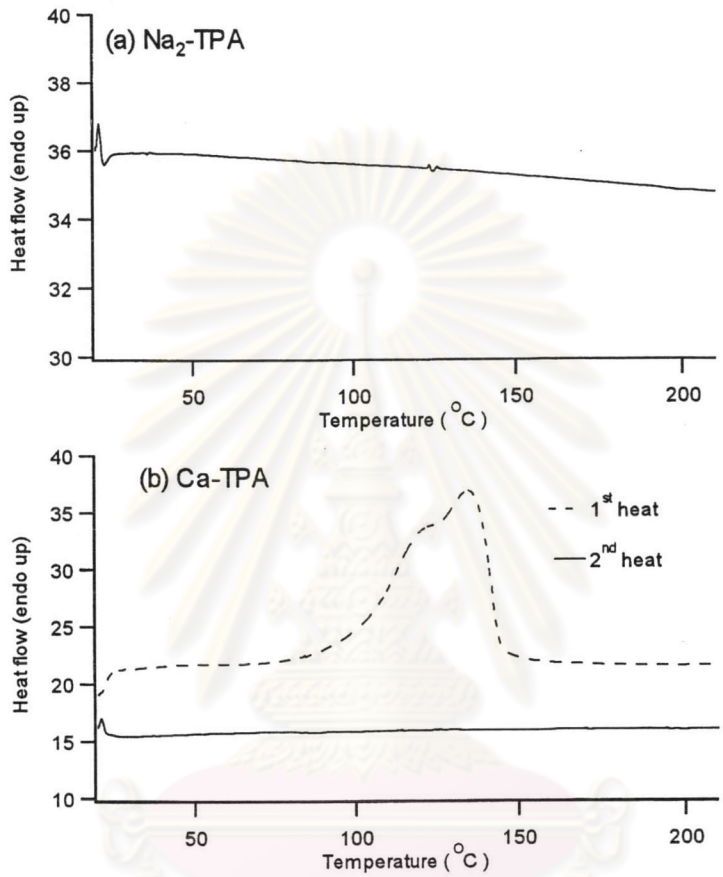


จากผลการตรวจสอบโดยเทคนิค TGA จึงสามารถยืนยันได้ว่าสารที่ได้จากการย่อยสลายขวดเพท คือ ไดโซเดียมเทเรฟทาเลตและแคลเซียมเทเรฟทาเลต นอกจากนี้ จากการที่เกลือเทเรฟทาเลตทั้งสองชนิดมีอุณหภูมิการสลายตัวที่สูงกว่า 500°C จึงสามารถนำไปทดลองใช้เป็นสารก่อผลึกสำหรับไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC

จากการตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของไดโซเดียมเทเรฟทาเลตและแคลเซียมเทเรฟทาเลตด้วยเทคนิค DSC ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.4 (a) และ 4.4(b) ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 DSC เทอร์โมแกรมการเพิ่มอุณหภูมิของ (a) ไดโซเดียมเทเรฟทาเลต และ (b) แคลเซียมเทเรฟทาเลต

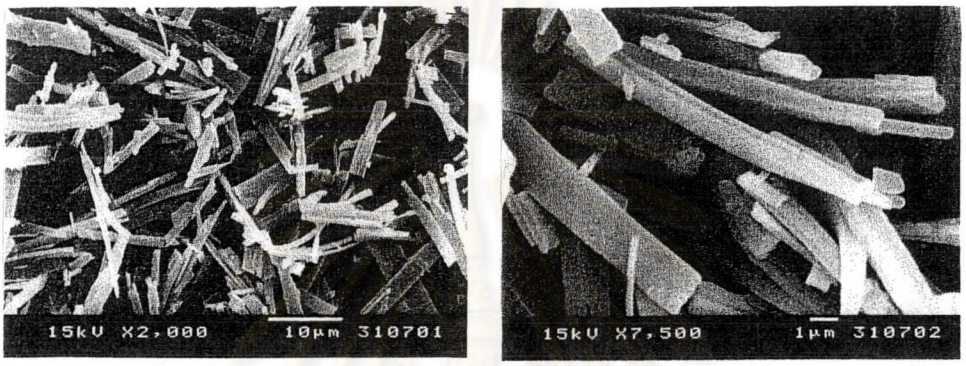
เมื่อพิจารณา DSC เทอร์โมแกรมของไดโซเดียมเทเรฟทาเลต (รูปที่4.4 (a)) พบว่ามีลักษณะเป็นเส้นตรงราบเรียบตลอดการทดสอบในช่วงอุณหภูมิ 50 - 230°C โดยไม่พบพีกที่แสดงถึงการหลอม และจาก DSC เทอร์โมแกรมของแคลเซียมเทเรฟทาเลต (รูปที่ 4.4 (b)) พบว่าการให้ความร้อนครั้งแรกปรากฏพีกในช่วงอุณหภูมิเท่ากับ 120 และ 135°C ซึ่งแสดงถึงการระเหยของน้ำออกจากโมเลกุล สอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดสอบด้วยเทคนิค TGA จากนั้นเมื่อลดอุณหภูมิของสารตัวอย่างและให้ความร้อนเป็นครั้งที่สอง พบว่าเทอร์โมแกรมมีลักษณะราบเรียบไม่ปรากฏพีกซึ่งแสดงถึงการระเหยของน้ำและไม่พบพีกที่แสดงถึงการหลอม แสดงว่าแคลเซียมเทเรฟทาเลต

มีสถานะเป็นของแข็งและไม่เกิดการหลอมเหลวในช่วงอุณหภูมิทดสอบเช่นเดียวกันกับกรณีไดโซเดียมเทเรฟทาเลต ดังนั้นจึงสามารถนำเกลือเทเรฟทาเลตทั้ง 2 ชนิดไปทดลองใช้เป็นสารก่อผลึกสำหรับไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนได้ เนื่องจากเกลือทั้ง 2 ชนิดนี้จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงและหลอมเหลวที่อุณหภูมิการขึ้นรูป (230°C) และอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบสมบัติทางความร้อนของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนคอมปาวด์ (50 - 210°C)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

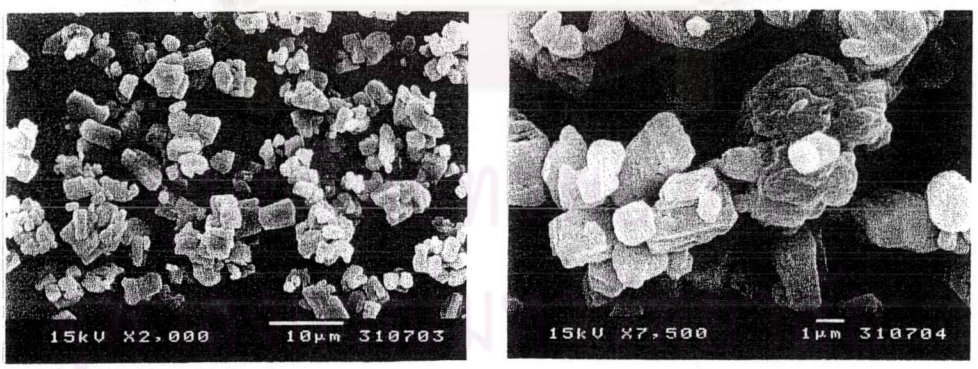
4.2.4 การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด

ผลการตรวจสอบรูปร่างอนุภาคของไดโซเดียมเทเรฟทาเลตและแคลเซียมเทเรฟทาเลตด้วยเครื่อง SEM ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ โดยพบว่าอนุภาคของไดโซเดียมเทเรฟทาเลตมีรูปร่างเป็นแท่งและมีขนาดอนุภาคในช่วง 1-10 ไมโครเมตร ซึ่งต่างจากแคลเซียมเทเรฟทาเลตที่มีรูปร่างของอนุภาคเป็นเม็ดกลมค่อนข้างรี มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าคืออยู่ในช่วง 1-5 ไมโครเมตร



(a) (b)

รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราดของไดโซเดียมเทเรฟทาเลตที่กำลังขยาย (a) 2,000 และ (b) 7,500 เท่า



(a) (b)

รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราดของแคลเซียมเทเรฟทาเลตที่กำลังขยาย (a) 2,000 และ (b) 7,500 เท่า

นอกจากนี้ เพื่อศึกษาผลของขนาดและรูปร่างอนุภาคของสารก่อผลึกต่อการชักนำให้ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนเกิดผลึกและผลต่อสมบัติเชิงกล จึงได้นำผงสีควินาคริโดนซึ่งเป็นสารก่อผลึกแบบเบตาที่มีประสิทธิภาพสูงไปตรวจสอบรูปร่างและขนาดของอนุภาคด้วยเครื่อง SEM ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.7 โดยพบว่าอนุภาคของผงสีควินาคริโดนมีรูปร่างเป็นเม็ดกลมรีและมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 0.5 ไมโครเมตร

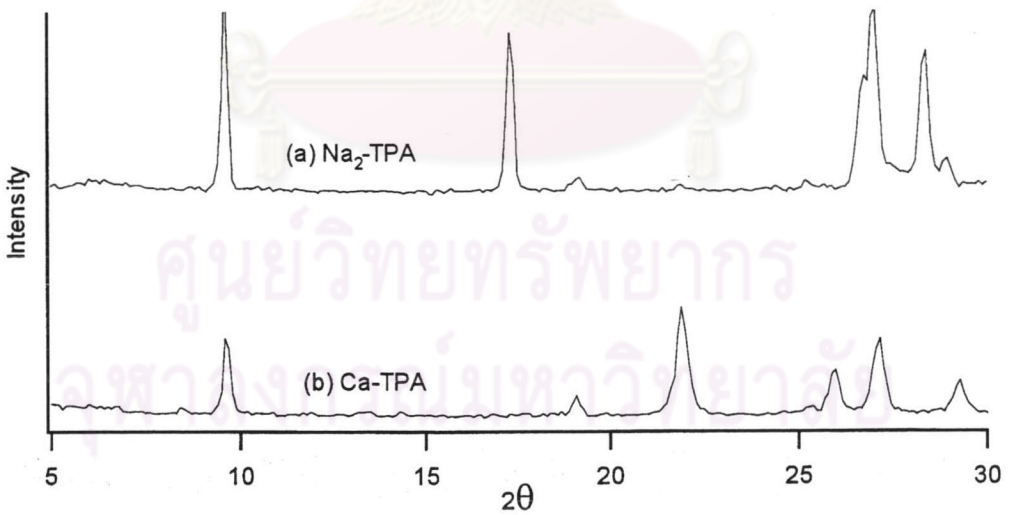
รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราดของผงสีควินาคริโดนที่กำลังขยาย 35,000 เท่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.5 การตรวจสอบด้วยเครื่องไวด์แองเกิลเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์

จากการตรวจสอบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไดโซเดียมเทเรฟทาเลตและแคลเซียมเทเรฟทาเลตด้วยเครื่อง WAXD ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.8 (a) และ 4.8 (b) ตามลำดับ โดยพบว่าในช่วงการตรวจสอบที่มุม 2θ = 5 ถึง 30° ซึ่งเป็นช่วงเดียวกันกับช่วงที่ใช้ในการตรวจสอบชิ้นงานไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน เอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตแกรมของไดโซเดียมเทเรฟทาเลตปรากฏพีกสำคัญที่มุม 2θ = 9.6 17.3 19.1 21.9 27.1 28.5 และ 29.0° ต่างไปจากเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตแกรมของแคลเซียมเทเรฟทาเลตซึ่งปรากฏพีกสำคัญที่มุม 2θ = 9.6 19.1 21.9 26.0 27.2 และ 29.3° แสดงให้เห็นว่าไดโซเดียมเทเรฟทาเลตและแคลเซียมเทเรฟทาเลตมีโครงสร้างผลึกต่างกัน

นอกจากนี้ยังพบว่าเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตแกรมของไดโซเดียมเทเรฟทาเลตและแคลเซียมเทเรฟทาเลตมีพีกสำคัญที่ตำแหน่งไม่ตรงกับพีกสำคัญของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีรูปผลึกทั้งแบบอัลฟา (2θ = 14.2 17.0 18.8 และ 21.2°) และเบตา (2θ = 16.1°) ทำให้สามารถวิเคราะห์รูปผลึกของชิ้นงานไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่เติมสารทั้ง 2 ชนิดด้วยเทคนิค WAXD ได้

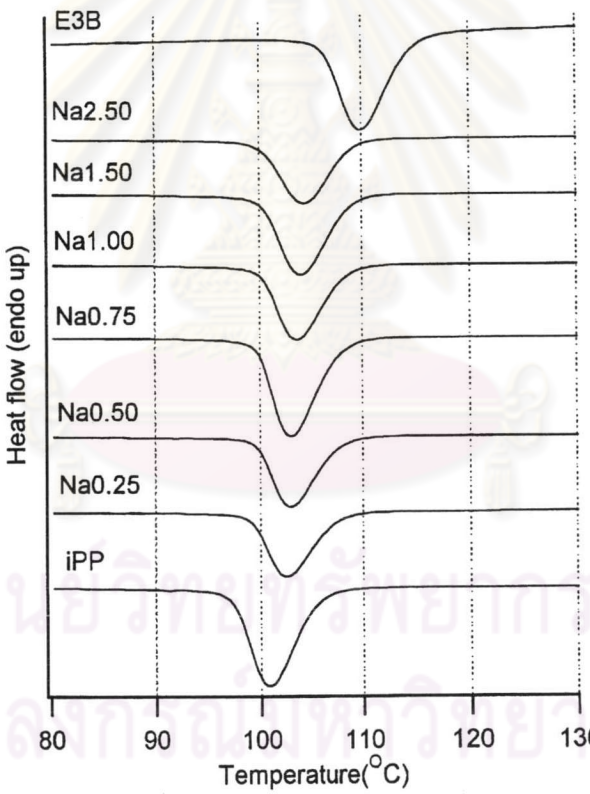


รูปที่ 4.8 เอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตแกรมของ (a) ไดโซเดียมเทเรฟทาเลต และ (b) แคลเซียมเทเรฟทาเลต

4.3 การตรวจสอบความสามารถในการทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึกของเกลือเทเรฟทาเลตสำหรับไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน

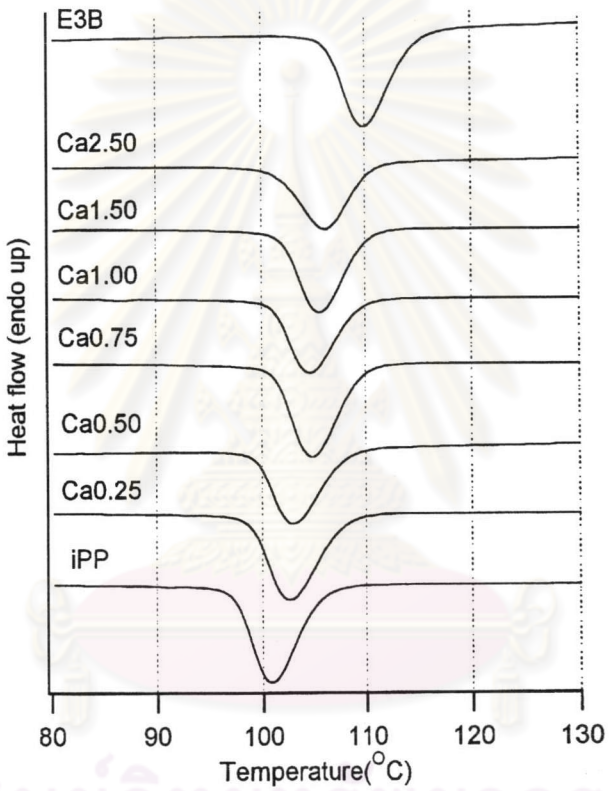
4.3.1 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC

จากการตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดน ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตและไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีแคลเซียมเทเรฟทาเลตด้วยเทคนิค DSC โดยการหลอมไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่อุณหภูมิ 210°C เป็นเวลา 3 นาที และใช้อัตราการลดอุณหภูมิเท่ากับ 20°C/นาที ได้ DSC เทอร์โมแกรมการลดอุณหภูมิซึ่งปรากฏพีกการคายพลังงานที่แสดงถึงการเกิดผลึกของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนดังแสดงในรูปที่ 4.9 และ 4.10



รูปที่ 4.9 DSC เทอร์โมแกรมการลดอุณหภูมิของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน (iPP) ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนปริมาณ 0.0001 %โดยน้ำหนัก (E3B) และไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตปริมาณ 0.25 – 2.50 %โดยน้ำหนัก (Na0.25 – Na2.50)

จากรูปที่ 4.9 ซึ่งแสดง DSC เทอร์โมแกรมการลดอุณหภูมิของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตปริมาณต่างๆ เปรียบเทียบกับไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน พบว่าอุณหภูมิการเกิดผลึกของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิการเกิดผลึกของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มิได้เติมสารก่อผลึกซึ่งมีค่าเท่ากับ 100.9°C และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณไดโซเดียมเทเรฟทาเลตเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าไดโซเดียมเทเรฟทาเลตสามารถทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึกสำหรับไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนได้ เนื่องจากสามารถชักนำให้ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนหลอมเหลวเกิดผลึกที่อุณหภูมิสูงขึ้น

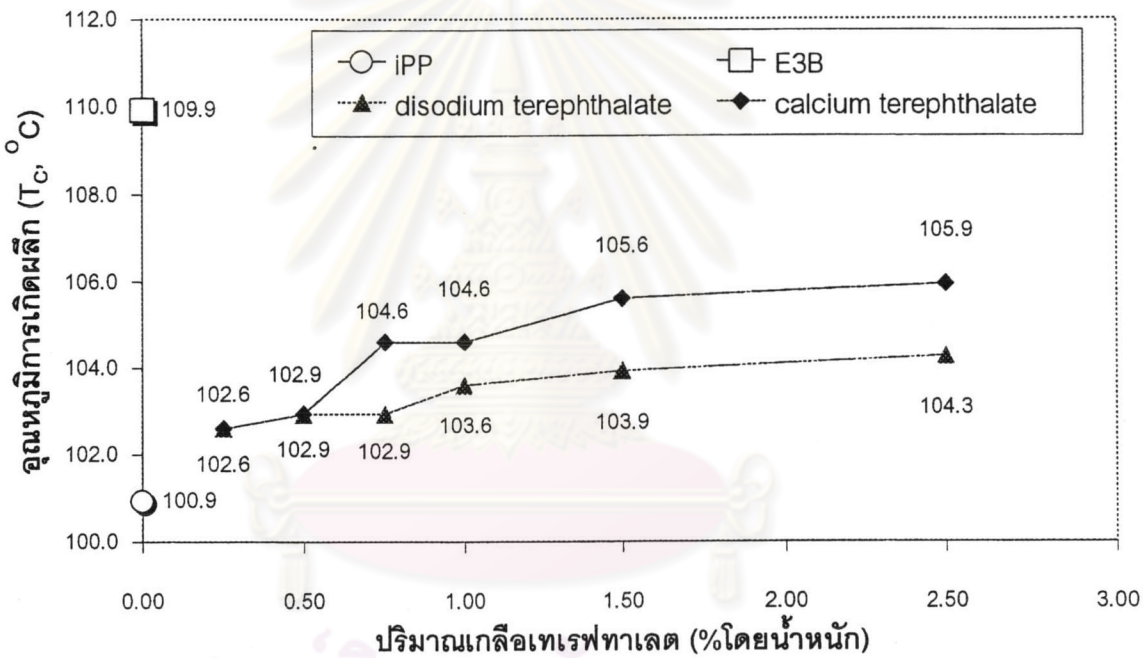


รูปที่ 4.10 DSC เทอร์โมแกรมการลดอุณหภูมิของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน (iPP) ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนปริมาณ 0.0001 %โดยน้ำหนัก (E3B) และไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีแคลเซียมเทเรฟทาเลตปริมาณ 0.25 – 2.50 %โดยน้ำหนัก (Ca0.25 – Ca2.50)

และเมื่อพิจารณา DSC เทอร์โมแกรมการลดอุณหภูมิของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีแคลเซียมเทเรฟทาเลตปริมาณต่างๆ เปรียบเทียบกับไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน (รูปที่ 4.10) พบว่าอุณหภูมิการเกิดผลึกของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีแคลเซียมเทเรฟทาเลตมีค่าสูงกว่าไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนและมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณแคลเซียมเทเรฟทาเลตเพิ่มขึ้น แสดงให้

เห็นถึงความสามารถในการทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึกสำหรับไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนของสารชนิดนี้เช่นเดียวกับไดโซเดียมเทเรฟทาเลต

นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิการเกิดผลึกของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีแคลเซียมเทเรฟทาเลตปริมาณ 0.25 และ 0.50 %โดยน้ำหนัก มีค่าใกล้เคียงกันกับของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตปริมาณเท่ากัน (ดังแสดงในรูปที่ 4.11) และเมื่อปริมาณแคลเซียมเทเรฟทาเลตเพิ่มขึ้นเป็น 0.75 1.00 1.50 และ 2.50 %โดยน้ำหนัก พบว่าอุณหภูมิการเกิดผลึกของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีแคลเซียมเทเรฟทาเลตมีค่าสูงกว่ากรณีที่ใช้ไดโซเดียมเทเรฟทาเลตปริมาณเดียวกันเล็กน้อย



รูปที่ 4.11 อุณหภูมิการเกิดผลึกของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน (iPP) ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนปริมาณ 0.0001 %โดยน้ำหนัก (E3B) และไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตและแคลเซียมเทเรฟทาเลตปริมาณ 0.25 – 2.50 %โดยน้ำหนัก

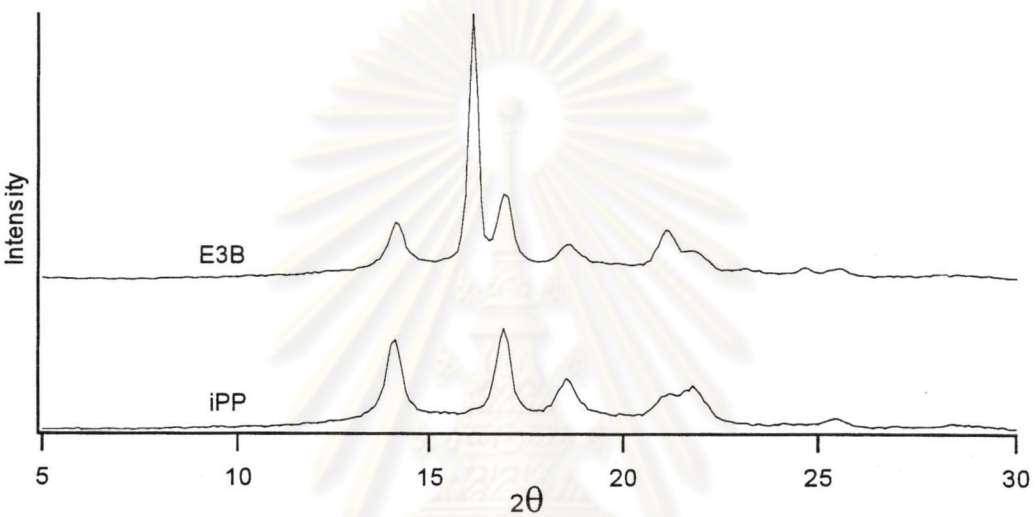
อย่างไรก็ตาม พบว่าอุณหภูมิการเกิดผลึกของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตและแคลเซียมเทเรฟทาเลตที่ทุกปริมาณความเข้มข้นมีค่าต่ำกว่าของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนปริมาณ 0.0001 %โดยน้ำหนัก โดยอุณหภูมิการเกิดผลึกสูงสุด

ของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตและแคลเซียมเทเรฟทาเลตปริมาณ 2.50 %โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 104.3 และ 105.9°C ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดผลึกของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนซึ่งมีค่าเท่ากับ 109.9°C (รูปที่ 4.11) แสดงให้เห็นว่า ไดโซเดียมเทเรฟทาเลตและแคลเซียมเทเรฟทาเลตมีประสิทธิภาพในการทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึกสำหรับไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนได้ต่ำกว่าผงสีควินาคริโดน ทั้งนี้คาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากอนุภาคของผงสีควินาคริโดนมีขนาดเล็ก (<0.5 ไมโครเมตร) เมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคของไดโซเดียมเทเรฟทาเลต (1 – 10 ไมโครเมตร) และแคลเซียมเทเรฟทาเลต (1 – 5 ไมโครเมตร) ทำให้มี heterogeneous nuclei จำนวนมาก ซึ่งส่งผลชักนำให้ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนเกิดผลึกได้เร็วและเกิดที่อุณหภูมิสูงขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 การตรวจสอบด้วยเครื่องไวด์แองเกิลเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์

จากการตรวจสอบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของชิ้นงานทดสอบไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดน ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตและไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีแคลเซียมเทเรฟทาเลตด้วยเครื่อง WAXD เพื่อวิเคราะห์รูปแบบผลึกของชิ้นงานไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน ได้เอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตแกรม ดังแสดงในรูปที่ 4.12 4.13 4.14 และ 4.15



รูปที่ 4.12 เอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตแกรมของชิ้นงานทดสอบไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน (iPP) และไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนปริมาณ 0.0001 %โดยน้ำหนัก (E3B)

จากรูปที่ 4.12 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตแกรมของชิ้นงานทดสอบไอโซแทกพอลิโพรพิลีนและไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนปริมาณ 0.0001 %โดยน้ำหนัก พบว่าเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตแกรมของชิ้นงานไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนปรากฏพีกที่ตำแหน่ง 2θ = 14.1 16.9 18.8 และ 21.2° ซึ่งเป็นพีกที่แสดงถึงระนาบ [110] [040] [130] และ [111] ตามลำดับ ของรูปผลึกแบบอัลฟา โดยไม่ปรากฏพีกที่ตำแหน่ง 2θ = 16.1° ซึ่งเป็นพีกที่แสดงถึงระนาบ [003] ของรูปผลึกแบบเบตา แสดงให้เห็นว่าไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนมีรูปผลึกแบบอัลฟาเพียงอย่างเดียวและไม่สามารถเกิดรูปผลึกแบบเบตาได้เอง และเมื่อพิจารณาเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตแกรมของชิ้นงานไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนปริมาณ 0.0001 %โดยน้ำหนัก ปรากฏพีกที่ตำแหน่ง 2θ = 14.1 16.1 16.9 18.8 และ 21.2° โดยพีกที่ตำแหน่ง 2θ = 16.1° มีความเข้มสูง แสดงถึงการมีรูปผลึกแบบเบตาปริมาณสูง และสามารถคำนวณหา

ค่า K ซึ่งบอกถึงสัดส่วนของปริมาณรูปผลึกแบบเบตาเมื่อเทียบกับปริมาณรูปผลึกแบบอัลฟาได้จากสมการ

$$K = H\beta/[H\beta+(H\alpha_1+H\alpha_2+H\alpha_3)]$$

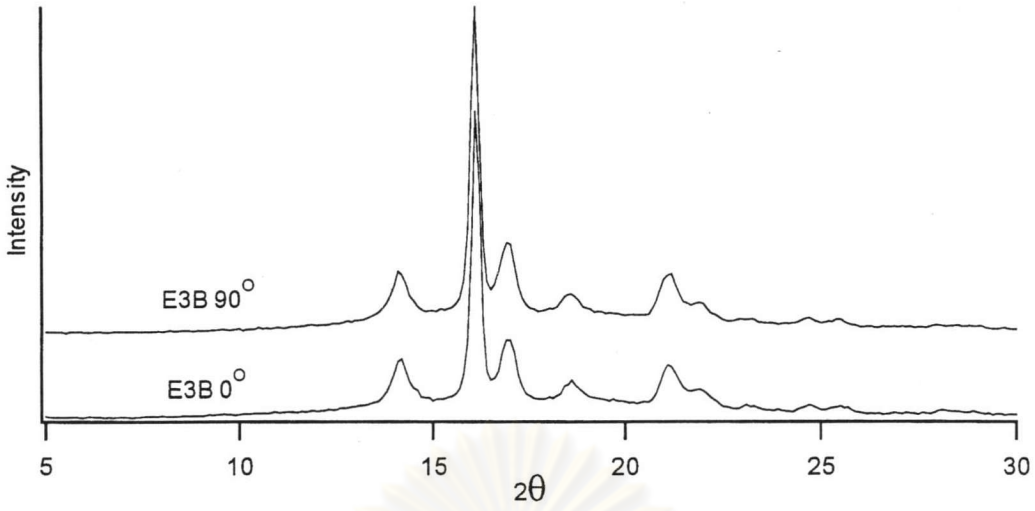
โดยถ้าค่า K เท่ากับ 0 แสดงว่ามีแต่ผลึกแบบอัลฟาและถ้าค่า K เท่ากับ 1 แสดงว่ามีแต่ผลึกแบบเบตา

ทั้งนี้ จากการคำนวณหาค่า K ของชิ้นงานไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนได้ค่าเท่ากับ 0.586 ซึ่งค่าที่ได้นี้เป็นค่า K ที่ผิวหน้าของชิ้นงาน

จากผลการทดลองของ Sterzynski T. และคณะ[18] ซึ่งได้ทดสอบหาค่า K ของชิ้นงานไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่ได้จากการขึ้นรูปโดยการฉีด พบว่าค่า K ที่ผิวหน้ามีค่าต่ำกว่าค่า K ที่แกนกลางชิ้นงาน ทั้งนี้เนื่องจากในขณะการฉีดขึ้นรูป ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนหลอมเหลวจะได้รับแรงเฉือนจากผิวแม่แบบในช่วงที่พลาสติกหลอมเหลวถูกผลักดันเข้าสู่แม่แบบ ซึ่งแรงเฉือนนี้มีอิทธิพลต่อการชักนำให้ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนเกิดผลึกแบบอัลฟาเหนือกว่าการทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึกแบบเบตาของผงสีควินาคริโดน ส่วนบริเวณแกนกลางชิ้นงานได้รับแรงเฉือนน้อยจึงมีปริมาณผลึกแบบเบตาสูงกว่าที่บริเวณผิวหน้าชิ้นงาน

อย่างไรก็ตาม การทดสอบด้วยเทคนิค WAXD เพื่อวิเคราะห์หารูปแบบผลึกของชิ้นงานที่เตรียมโดยการฉีดขึ้นรูปในงานวิจัยนี้ สามารถทำได้เพียงการทดสอบที่บริเวณผิวหน้าชิ้นงานเท่านั้น ไม่สามารถทดสอบหารูปแบบผลึกบริเวณแกนกลางชิ้นงานได้ ซึ่งคาดว่าที่บริเวณแกนกลางชิ้นงานจะมีปริมาณผลึกแบบเบตาสูงกว่าที่บริเวณผิวหน้า

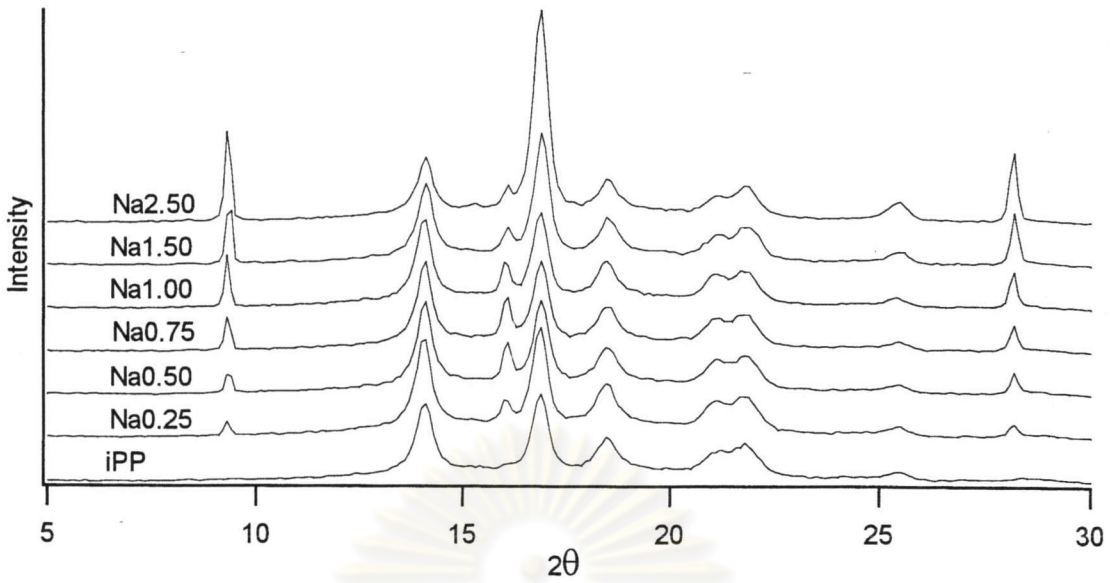
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.13 เอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตแกรมของชิ้นงานทดสอบไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนปริมาณ 0.0001 %โดยน้ำหนัก ในทิศทางการทดสอบที่ 0° (E3B 0°) และ 90° (E3B 90°)

เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าสมบัติการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของชิ้นงานทดสอบที่เตรียมได้ขึ้นกับทิศทางการวางชิ้นงานขณะทดสอบหรือไม่ จึงได้ทำการตรวจสอบชิ้นงานไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนปริมาณ 0.0001 %โดยน้ำหนัก ด้วยการใช้ทิศทางการทดสอบต่างกัน คือ การวางชิ้นงานทดสอบที่ 0° (ทิศทางการฉีดขึ้นรูป) และมุมที่เปลี่ยนไปอีก 90° (ทิศทางตั้งฉากกับการฉีดขึ้นรูป) ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.13 โดยพบว่าการวางชิ้นงานทดสอบที่มุมต่างกันให้เอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตแกรมเหมือนกัน แสดงให้เห็นว่าสมบัติการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของชิ้นงานทดสอบไม่ขึ้นกับทิศทางการวางชิ้นงานในขณะทดสอบ

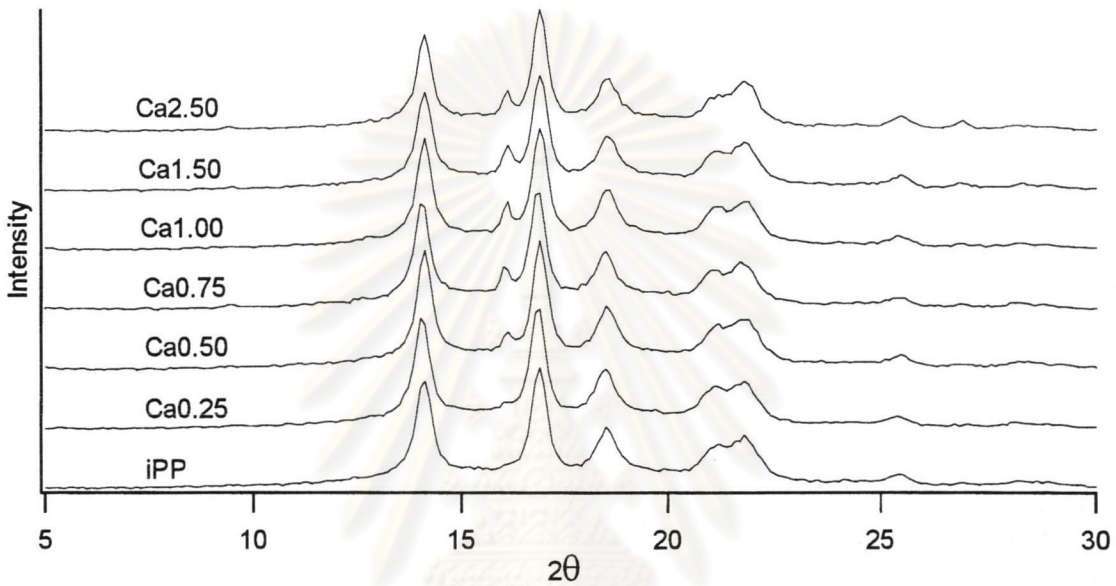
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.14 เอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตแกรมของชิ้นงานทดสอบไอโซแทกพอลิโพรพิลีน (iPP) และไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตปริมาณ 0.25 0.50 0.75 1.00 1.50 และ 2.50 %โดยน้ำหนัก (Na0.25 Na0.50 Na0.75 Na1.00 Na1.50 และ Na2.50 ตามลำดับ)

จากรูปที่ 4.14 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตแกรมของชิ้นงานทดสอบไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตปริมาณ 0.25 0.50 0.75 1.00 1.50 และ 2.50 %โดยน้ำหนักกับไอโซแทกพอลิโพรพิลีน พบว่าเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตแกรมของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตปรากฏพีกที่ตำแหน่ง 2θ = 14.1 16.1 16.9 18.8 และ 21.2° แสดงถึงการมีรูปผลึกทั้งแบบอัลฟาและเบตาเช่นเดียวกับกรณีของการใช้ผงสีควินาคริโดน แสดงให้เห็นว่าไดโซเดียมเทเรฟทาเลตสามารถทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึกแบบอัลฟาและเบตาสำหรับไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนได้ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อปริมาณไดโซเดียมเทเรฟทาเลตเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเข้มของพีกซึ่งแสดงถึงรูปผลึกแบบเบตาที่ตำแหน่ง 2θ = 16.1° มีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วงแรกและต่อมาลดลง โดยสามารถคำนวณหาค่า K ได้เท่ากับ 0.131 0.193 0.209 0.170 0.134 และ 0.110 ตามลำดับ (แสดงการเปรียบเทียบในรูปที่ 4.16) แสดงว่าการใช้ไดโซเดียมเทเรฟทาเลตที่ปริมาณ 0.75 %โดยน้ำหนัก สามารถชักนำให้ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนเกิดรูปผลึกแบบเบตาได้สูงสุด คือ มีค่า K เท่ากับ 0.209 แต่ยังเป็นค่าที่น้อยกว่าค่าที่ได้จากการใช้ผงสีควินาคริโดนที่มีค่า K เท่ากับ 0.586 ชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึกแบบเบตาของไดโซเดียมเทเรฟทาเลตที่ต่ำกว่า และเมื่อปริมาณไดโซเดียมเทเรฟทาเลตเพิ่มขึ้นเป็น 1.00 1.50 และ 2.50 %โดยน้ำหนัก พบว่าค่า K ที่บอกปริมาณผลึกแบบเบตาลดลง โดยมีงานวิจัยพบว่า เมื่อความหนาแน่นของ heterogeneous nuclei (nucleating density) ที่เพิ่มขึ้นเกินความ

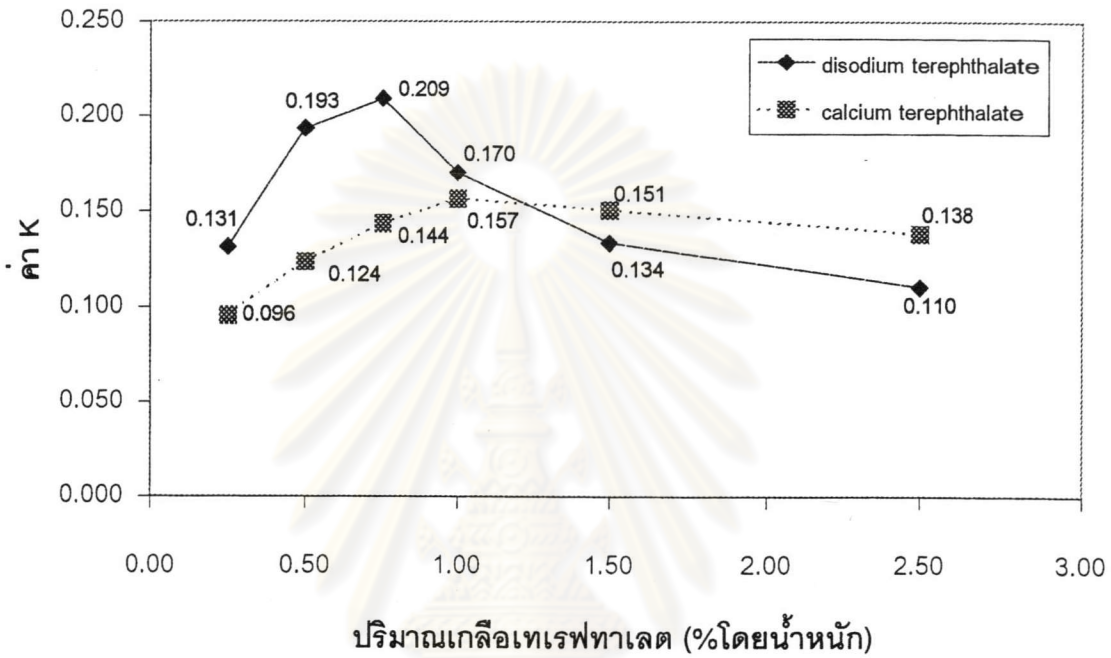
เหมาะสมของระบบนั้นๆ จะส่งผลให้โครงสร้างของผลึกแบบเบตามีความสมบูรณ์ลดน้อยลง เป็นผลเนื่องมาจากผลึกไม่สามารถเติบโตได้เต็มที่[17] จึงมีความเป็นไปได้ที่ไดโซเดียมเทเรฟทาเลตจะกระตุ้นให้ lamellar (ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในโครงสร้างผลึก) เกิดการเติบโตแผ่ขยายออกไปและบรรจบกันอย่างรวดเร็ว ทำให้ได้เป็นโครงสร้างผลึกขนาดเล็กที่ไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้อาจเป็นผลมาจากการทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึกแบบอัลฟาได้ดีกว่าเมื่อปริมาณไดโซเดียมเทเรฟทาเลตเพิ่มขึ้นทำให้ค่า K มีค่าลดลง



รูปที่ 4.15 เอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตแกรมของชิ้นงานทดสอบไอโซแทกพอลิโพรพิลีน (iPP) และไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีแคลเซียมเทเรฟทาเลตปริมาณ 0.25 0.50 0.75 1.00 1.50 และ 2.50 %โดยน้ำหนัก (Ca0.25 Ca0.50 Ca0.75 Ca1.00 Ca1.50 และ Ca2.50 ตามลำดับ)

จากรูปที่ 4.15 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตแกรมของชิ้นงานทดสอบไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีแคลเซียมเทเรฟทาเลตปริมาณ 0.25 0.50 0.75 1.00 1.50 และ 2.50 %โดยน้ำหนักกับไอโซแทกพอลิโพรพิลีน โดยเมื่อพิจารณาเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตแกรมของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีแคลเซียมเทเรฟทาเลต พบว่าปรากฏพีกที่ตำแหน่ง 2θ = 14.1 16.1 16.9 18.8 และ 21.2° เช่นเดียวกับกรณีของการใช้โซเดียมเทเรฟทาเลต แสดงให้เห็นว่าแคลเซียมเทเรฟทาเลตสามารถทำหน้าที่ในการเป็นสารก่อผลึกแบบอัลฟาและเบตาสำหรับไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนได้เช่นกัน โดยเมื่อปริมาณแคลเซียมเทเรฟทาเลตเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเข้มของพีกซึ่งแสดงถึงรูปผลึกแบบเบตาที่ตำแหน่ง 2θ = 16.1° มีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วงแรกและต่อมาลดลง และคำนวณหาค่า K ได้เท่ากับ 0.096 0.124 0.144 0.157 0.151 และ 0.138 ตามลำดับ

(แสดงการเปรียบเทียบในรูปที่ 4.16) ซึ่งพบว่าการใช้แคลเซียมเทเรฟทาเลตที่ปริมาณ 1.00 %โดยน้ำหนัก สามารถชักนำให้ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนเกิดรูปผลึกแบบเบตาได้สูงสุด คือ มีค่า K เท่ากับ 0.157 และลดลงเมื่อปริมาณแคลเซียมเทเรฟทาเลตเพิ่มเป็น 1.50 และ 2.50 %โดยน้ำหนัก ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกันกับในกรณีของการใช้ไดโซเดียมเทเรฟทาเลตเป็นสารก่อผลึก และสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกัน



รูปที่ 4.16 ค่า K ของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลต และไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีแคลเซียมเทเรฟทาเลตปริมาณ 0.25 – 2.50 %โดยน้ำหนัก

ผลจากการตรวจสอบด้วยเทคนิค DSC และ WAXD ในข้างต้น แสดงให้เห็นว่าเกลือเทเรฟทาเลตทั้งสองชนิดสามารถชักนำให้ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนเกิดรูปผลึกแบบเบตาได้ ถึงแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าผงสีควินาคริโดนก็ตาม นอกจากนี้ คาดได้ว่าเกลือเทเรฟทาเลตทั้งสองชนิดยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึกแบบอัลฟาได้ด้วย ส่งผลให้โครงสร้างสเฟียรูไลท์ของรูปผลึกแบบอัลฟาในไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนมีขนาดเล็กลงกว่าในกรณีที่มิได้เติมสารก่อผลึก

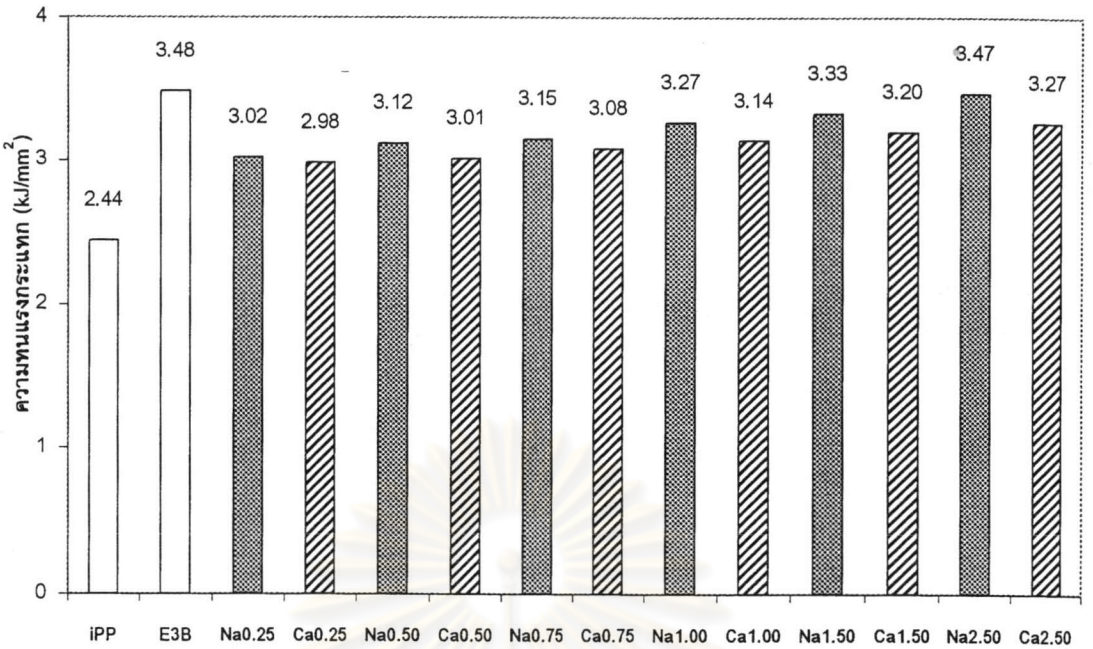
4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน

4.4.1 ความทนแรงกระแทก

จากการทดสอบชิ้นงานไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนเพื่อหาค่าความทนแรงกระแทกแบบ Izod (notch) ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.17 โดยพบว่าชิ้นงานทดสอบไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนมีค่าความทนแรงกระแทกเท่ากับ 2.44 kJ/mm^2 และไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนปริมาณ 0.0001 %โดยน้ำหนัก มีค่าความทนแรงกระแทกเท่ากับ 3.48 kJ/mm^2 ซึ่งสูงกว่าของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน 42.62 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องมาจากผงสีควินาคริโดนมีประสิทธิภาพสูงในการหน้าที่เป็นสารก่อผลึกแบบเบตาสำหรับไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน ทำให้เกิดโครงสร้างสเฟียรูไลท์ขนาดเล็กของรูปผลึกแบบเบตาที่มีลักษณะเป็นแบบ shaef-like ซึ่งมีสายโซ่โมเลกุลจำนวนมากเชื่อมโยงแต่ละสเฟียรูไลท์ต่อเนื่องกัน จึงสามารถดูดซับและกระจายพลังงานระหว่างสเฟียรูไลท์ได้ดี ต่างจากสเฟียรูไลท์ขนาดใหญ่ของรูปผลึกแบบอัลฟาซึ่งมีอยู่ในชิ้นงานไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่ไม่มีสารก่อผลึกมีขอบเขตแยกจากกันเปรียบเสมือนเป็นจุดบกพร่องภายในชิ้นงาน[24, 25]

สำหรับการทดสอบหาค่าความทนแรงกระแทกของชิ้นงานทดสอบไอโซแทกติกพอลิ-โพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตปริมาณ 0.25 0.50 0.75 1.00 1.50 และ 2.50 %โดยน้ำหนัก พบว่ามีค่าเท่ากับ 3.02 3.12 3.15 3.27 3.33 และ 3.47 kJ/mm^2 ตามลำดับ (ดังแสดงในรูปที่ 4.17) ซึ่งสูงกว่าของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน 23.77 27.87 29.10 34.02 36.48 และ 42.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยความทนแรงกระแทกมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณไดโซเดียมเทเรฟทาเลตที่เพิ่มขึ้น และไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่ปริมาณไดโซเดียมเทเรฟทาเลตสูงสุดคือเท่ากับ 2.50 %โดยน้ำหนัก มีค่าความทนแรงกระแทกใกล้เคียงกับไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนปริมาณ 0.0001 %โดยน้ำหนัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.17 ค่าความทนแรงกระแทกแบบ Izod ของชิ้นงานไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน (iPP) ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนปริมาณ 0.0001 %โดยน้ำหนัก (E3B) และไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตและแคลเซียมเทเรฟทาเลตปริมาณ 0.25 - 2.50 %โดยน้ำหนัก (Na0.25 - Na2.50 และ Ca0.25 - Ca2.50 ตามลำดับ)

การที่ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตมีความทนแรงกระแทกสูงขึ้นนั้น คาดว่าน่าจะเป็นผลมาจาก

(1) การทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึกแบบเบตาที่ส่งเสริมให้ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนเกิดโครงสร้างผลึกแบบ sheaf-like ขนาดเล็ก ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีสมบัติความทนแรงกระแทกที่ดี

(2) จากผลที่ได้จากการตรวจสอบชิ้นงานไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตด้วยเทคนิค WAXD พบว่าไดโซเดียมเทเรฟทาเลตยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึกแบบอัลฟาด้วย ซึ่งคาดว่าเป็นผลให้เกิดโครงสร้างสเฟียรูไลท์ของรูปผลึกอัลฟาที่มีขนาดเล็กลงกว่าในกรณีของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มิได้เติมสารก่อผลึก และจากการที่สเฟียรูไลท์ขนาดเล็กจึงมีพื้นที่ผิวมากขึ้น ทำให้มีโมเลกุลเชื่อมโยง (tie molecule) ระหว่างสเฟียรูไลท์จำนวนมากตามมา ส่งผลให้เกิดการส่งถ่ายแรงภายในวัสดุดีขึ้น จึงมีความทนแรงกระแทกเพิ่มขึ้น

จากการทดสอบหาค่าความทนแรงกระแทกของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีแคลเซียมเทเรฟทาเลตปริมาณ 0.25 0.50 0.75 1.00 1.50 และ 2.50 %โดยน้ำหนัก พบว่ามีค่าความทนแรงกระแทกเท่ากับ 2.98 3.01 3.08 3.14 3.20 และ 3.27 kJ/mm^2 ตามลำดับ (ดังแสดงในรูปที่ 4.17) ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนเท่ากับ 22.13 23.36 26.23 28.69 31.15 และ 34.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยความทนแรงกระแทกมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณแคลเซียมเทเรฟทาเลตที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับกรณีการใช้ไดโซเดียมเทเรฟทาเลต อย่างไรก็ตามที่ปริมาณเดียวกันของสารก่อผลึก 2 ชนิดนี้ พบว่าไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีแคลเซียมเทเรฟทาเลตมีความทนแรงกระแทกต่ำกว่าไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตเล็กน้อย

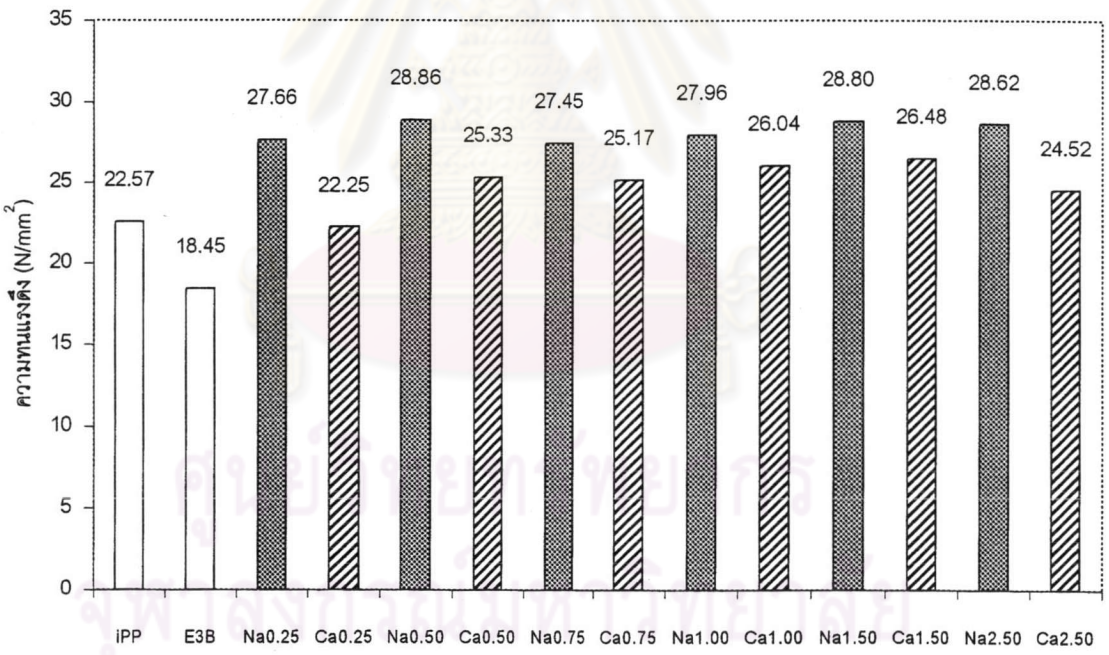
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.2 ความทนแรงดึง

จากการทดสอบชิ้นงานเพื่อหาค่าความทนแรงดึง ณ จุดแตกหักได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.18 โดยพบว่าไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตปริมาณ 0.25 0.50 0.75 1.00 1.50 และ 2.50 %โดยน้ำหนัก มีความทนแรงดึงใกล้เคียงกัน กล่าวคือ มีค่าเท่ากับ 27.66 28.86 27.45 27.96 28.80 และ 28.62 N/mm^2 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าความทนแรงดึงของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน (22.57 N/mm^2) แสดงให้เห็นว่าการใช้ไดโซเดียมเทเรฟทาเลตสามารถทำให้ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนมีความทนแรงดึงสูงขึ้น ทั้งนี้คาดว่าน่าจะเป็นผลมาจาก

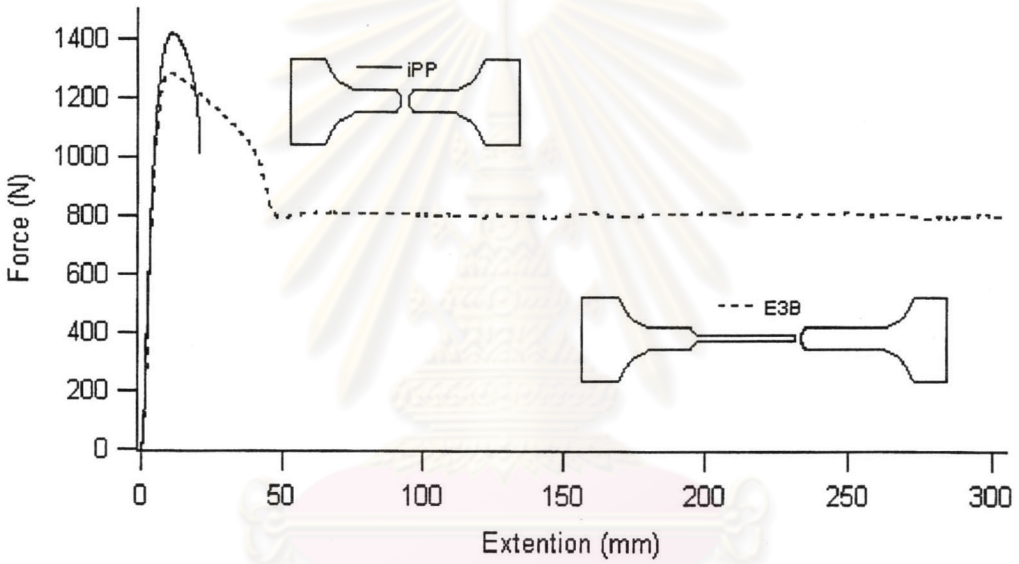
(1) ไดโซเดียมเทเรฟทาเลตทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึกสำหรับไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนทำให้ผลึกมีขนาดเล็กลงและมีปริมาณผลึกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตมีความทนแรงดึงเพิ่มขึ้น

(2) อนุภาคของไดโซเดียมเทเรฟทาเลตมีรูปร่างเป็นแท่งจึงสามารถเสริมแรงให้กับไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนได้



รูปที่ 4.18 ค่าความทนแรงดึงของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน (iPP) ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนปริมาณ 0.0001 %โดยน้ำหนัก (E3B) และไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีไดโซเดียมเทเรฟทาเลตและแคลเซียมเทเรฟทาเลตปริมาณ 0.25 - 2.50 %โดยน้ำหนัก (Na0.25 – Na2.50 และ Ca0.25 – Ca2.50 ตามลำดับ)

และเมื่อพิจารณาค่าความทนแรงดึงของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีแคลเซียมเทเรฟทาเลตปริมาณ 0.25 0.50 0.75 - 1.00 1.50 และ 2.50 %โดยน้ำหนัก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 22.25 25.33 25.17 26.04 26.48 และ 24.52 N/mm^2 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่ปริมาณแคลเซียมเทเรฟทาเลตสูงกว่า 0.50 %โดยน้ำหนักขึ้นไปส่งผลให้ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนมีความความทนแรงดึงสูงกว่าไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มิได้เติมสารก่อผลึก อย่างไรก็ตาม ที่ปริมาณเกลือเทเรฟทาเลตเท่ากันพบว่า ในกรณีที่ใช้ไดโซเดียมเทเรฟทาเลต ความทนแรงดึงของชิ้นงานมีค่าสูงกว่าในกรณีที่ใช้แคลเซียมเทเรฟทาเลต ทั้งนี้คาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากรูปร่างของอนุภาคของเกลือเทเรฟทาเลต กล่าวคือ แคลเซียมเทเรฟทาเลตมีอนุภาคที่มีรูปร่างค่อนข้างกลมทำให้มีประสิทธิภาพในการเสริมแรงได้ต่ำกว่าไดโซเดียมเทเรฟทาเลตซึ่งมีอนุภาคเป็นแท่ง



รูปที่ 4.19 เส้นกราฟแรงดึงระยะยืดและลักษณะการแตกหักจากการทดสอบความทนแรงดึงของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน (— iPP) และไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนปริมาณ 0.0001 %โดยน้ำหนัก (- - -E3B)

สำหรับการทดสอบหาความทนแรงดึง ณ จุดแตกหักของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนปริมาณ 0.0001 %โดยน้ำหนัก พบว่ามีค่าความทนแรงดึงเท่ากับ 18.45 N/mm^2 ซึ่งน่าจะเป็นค่าที่ต่ำกว่าความเป็นจริง เนื่องจากการทดสอบในกรณีนี้ ชิ้นงานทดสอบมีลักษณะการแตกหักที่ต่างไปจากกรณีของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนและกรณีของไอโซแทกติกพอลิ-โพรพิลีนที่มีเกลือเทเรฟทาเลต กล่าวคือ เกิดการแตกหักที่บริเวณของคอขวด (necking) ระหว่างการดึงยืด ดังแสดงในรูปที่ 4.19 ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากสายโซ่โมเลกุลที่จัดเรียงตัวภายใน

สเฟียรูไลท์แบบเบตาของชิ้นงานไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนที่มีผงสีควินาคริโดนสามารถถูกยืดดึงออกจาก lamellar อย่างต่อเนื่องด้วยแรงที่น้อยกว่าชิ้นงานตัวอย่างอื่น ซึ่งการยืดออกจะเกิดอย่างต่อเนื่องด้วยแรงดึงที่ต่ำและเกิดการแตกหัก ณ จุดที่โมเลกุลถูกดึงให้เลื่อนไถล

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน ซึ่งพบว่าการใช้เกลือเทเรฟทาเลตทั้งสองชนิดสามารถทำให้ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนมีความทนแรงกระแทกและความทนแรงดึงสูงขึ้นกว่ากรณีที่มิได้เติมสารก่อผลึก แสดงให้เห็นว่าเกลือเทเรฟทาเลตทั้งสองชนิดสามารถทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึกสำหรับไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนและช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนได้ นอกจากนี้ การใช้เกลือเทเรฟทาเลตเป็นสารก่อผลึกมีข้อได้เปรียบตรงที่ไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสี ในขณะที่การใช้ผงสีควินาคริโดนจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย