



บทที่ 4

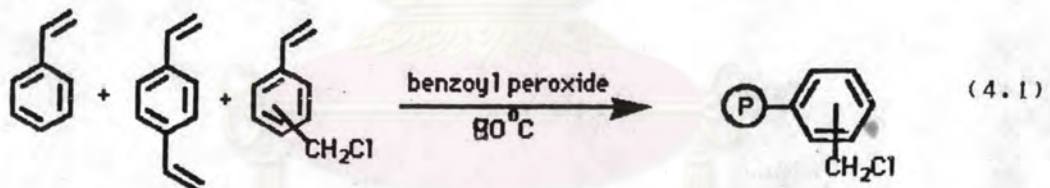
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การเตรียมตัวเร่ง (9a), ตัวเร่ง (9b) และตัวเร่ง (9c)

ขั้นตอนการเตรียมและการหาปริมาณหมู่วงไวของตัวเร่ง 9a แบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน

4.1.1 การเตรียมคลอโรเมทิลโพลิสไตรีนชนิดมีร่างแห ขนาดเม็ด 80-100 เมลส์

คลอโรเมทิลโพลิสไตรีนชนิดมีร่างแห เตรียมได้จากปฏิกิริยาโคโพลิเมอไรเซชันชนิดแขวนลอยของโมโนเมอร์ 3 ชนิดคือ สไตรีน ดีวีบี และวีบีซี ที่อุณหภูมิ 80°C . ใช้เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเกิดเรดิคัลเริ่มต้น ดังสมการ 4.1



โมโนเมอร์ทั้งสามตัวที่ใช้จะทำหน้าที่แตกต่างกันไปโดย ดีวีบีจะเป็นตัวทำให้โพลิเมอร์เกิดร่างแห ร้อยละของดีวีบีมากจะทำให้โพลิเมอร์แข็ง ทนต่อการกระแทกและสภาวะต่าง ๆ ตลอดจนเป็นตัวบอกความสามารถในการละลายหรือการขมตัวในตัวทำละลายด้วย วีบีซีเป็นโมโนเมอร์ชนิดฟังก์ชันัลมีคลอโรเมทิลเป็นหมู่วงไว เมื่อนำมาทำปฏิกิริยาโคโพลิเมอไรเซชันแล้ว จะได้โพลิเมอร์ชนิดฟังก์ชันัลซึ่งใช้เป็นรีเอเจนต์ในการเตรียมตัวเร่งต่อไป ส่วนสไตรีนเป็นตัวช่วยปรับความถี่-ห่างของหมู่ฟังก์ชันัลคลอโรเมทิล จากสมบัติของโมโนเมอร์แต่ละตัวแสดงว่าอัตราส่วนของโมโนเมอร์ที่ใช้มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของโพลิเมอร์ชนิดฟังก์ชันัล ในงานวิจัยนี้ใช้อัตราส่วนของสไตรีน/ดีวีบี/วีบีซีเป็น 0.072 : 0.01 : 0.018 ได้โพลิเมอร์ชนิดมีร่างแหร้อยละ 10 มีหมู่คลอโรเมทิลชนิดแทนที่ได้ร้อยละ 18 ซึ่งไม่ละลายในตัวทำละลายใด ๆ

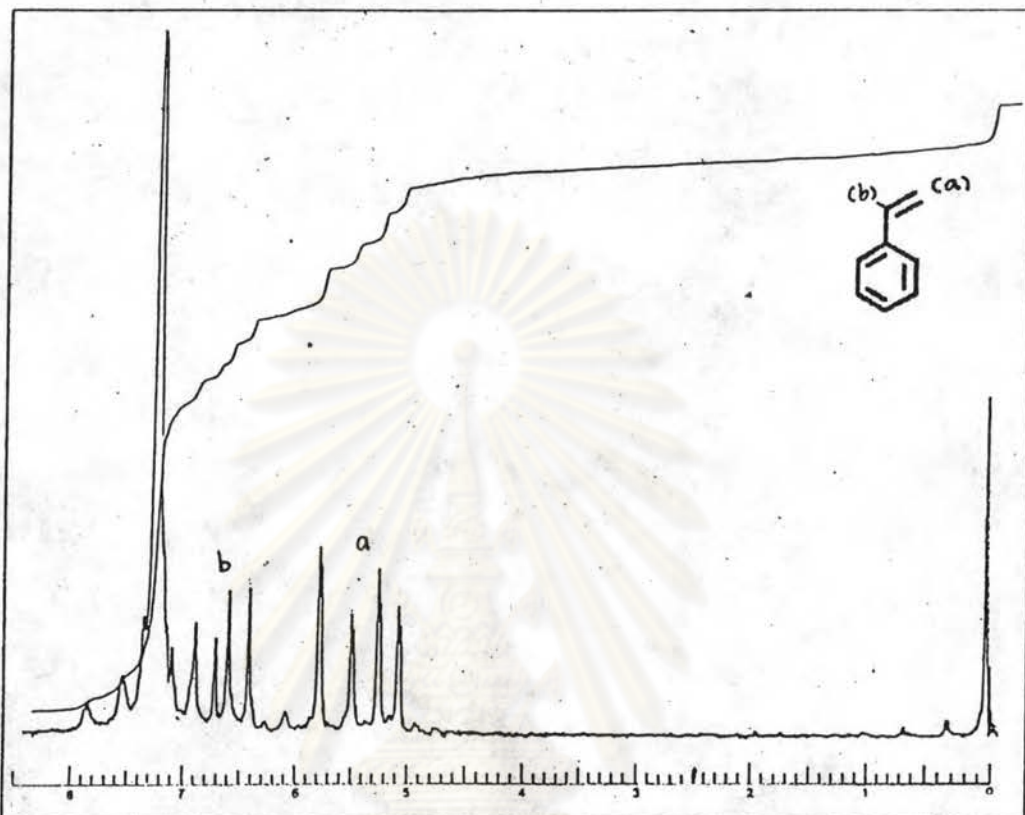
แต่บวมตัวได้เล็กน้อย

เนื่องจากโมโนเมอร์ทั้ง 3 ชนิด มีหมู่วงวาต่อปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันเป็นหมู่ไวนิล ซึ่งเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันได้ง่ายแม้ที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นโมโนเมอร์ที่ชื่อมาจะมีสารยับยั้ง 4-เทอร์ต-บิวทิลแคทาคอลปนอยู่ประมาณร้อยละ 1 ดังนั้นก่อนใช้เตรียมโพลิเมอร์ครั้งนี้จึงจำเป็นต้องทำให้โมโนเมอร์บริสุทธิ์ก่อน โดยการกำจัดสารยับยั้งออก ซึ่งทำได้โดยการสกัดด้วย สารละลายไซโตลิมไฮดรอกไซด์ชั้นร้อยละ 0.5-5 หลังจากนั้นจึงนำมากลั่นภายใต้ความดันต่ำอีกครั้ง ซึ่งจะเก็บส่วนของสไตรีนที่กลั่นออกมาที่อุณหภูมิ 30°C. (8 มม., สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์รูป 4.1) สำหรับตัวบีจะถูกกลั่นออกมาที่อุณหภูมิ 65°C. (8 มม., สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์รูป 4.2) โดยมีเอทิลเบนซินผสมอยู่ร้อยละ 29 และตัวซีซึ่งเป็นของผสมระหว่างเมทาและพาราไอโซเมอร์ จะถูกกลั่นออกมาที่อุณหภูมิ 90°C. (8 มม., สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์รูป 4.3)

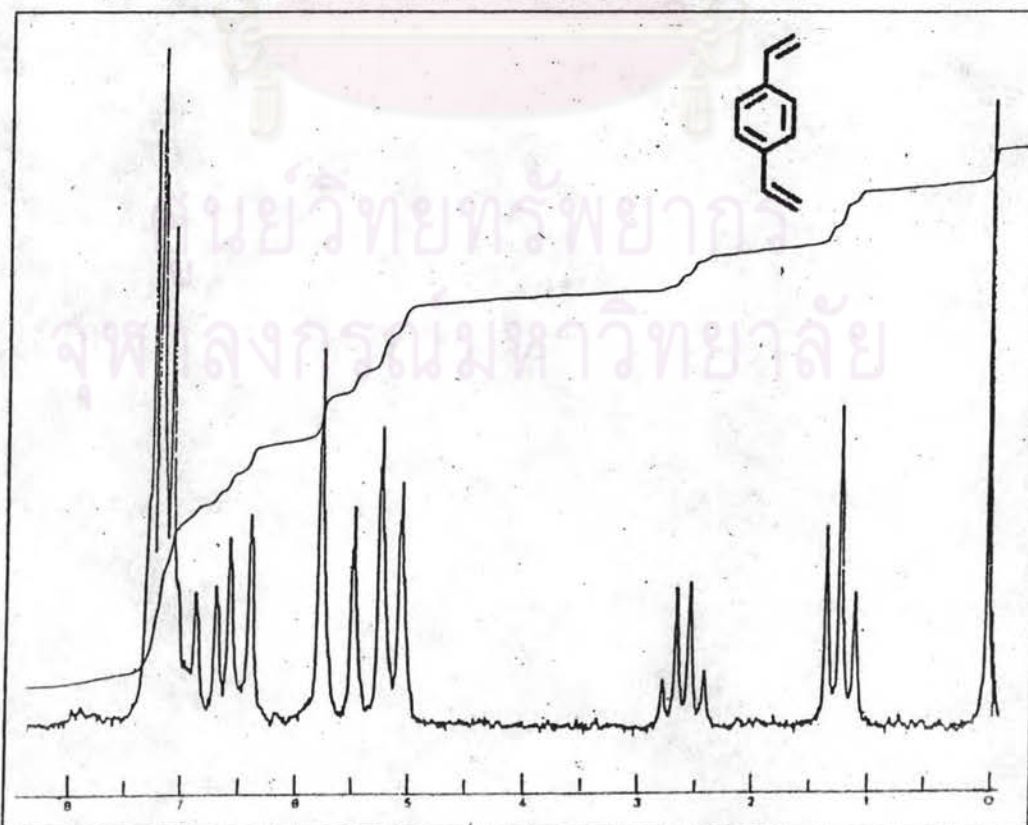
ในขั้นตอนการเกิดโพลิเมอร์ชนิดฟังก์ชันัล การกวนจะมีผลต่อขนาดของเม็ดโพลิเมอร์ ในการทดลองใช้อัตราการกวน 1,200 รอบต่อนาที จะได้เม็ดโพลิเมอร์ที่มีขนาดเล็กพอที่จะกรองได้ง่ายด้วยกรวยกรอง แต่ถ้าใช้อัตราการกวนมากกว่านี้จะได้เม็ดโพลิเมอร์ขนาดที่ต้องการมากขึ้น (80-100 เมลล์ซ) แต่การกรองเม็ดโพลิเมอร์ค่อนข้างยากและช้า ในทางปฏิบัติจะกวนสารละลายด้วยอัตรา 1,200 รอบต่อนาที เมื่อครบเวลาที่กำหนด กรองเม็ดโพลิเมอร์ แล้วทำให้บริสุทธิ์โดยการสกัดร้อนด้วยโทลูอีนเพื่อกำจัดโมโนเมอร์ ตัวทำละลายและโพลิเมอร์ที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นนำไปอบให้แห้งจะได้เม็ดคลอโรเมทิลโพลิสไตรีนสีขาว แล้วนำมาบดจนได้ขนาดตามต้องการอีกครั้งหนึ่ง

4.1.2 การหาปริมาณคลอไรด์ในคลอโรเมทิลโพลิสไตรีน

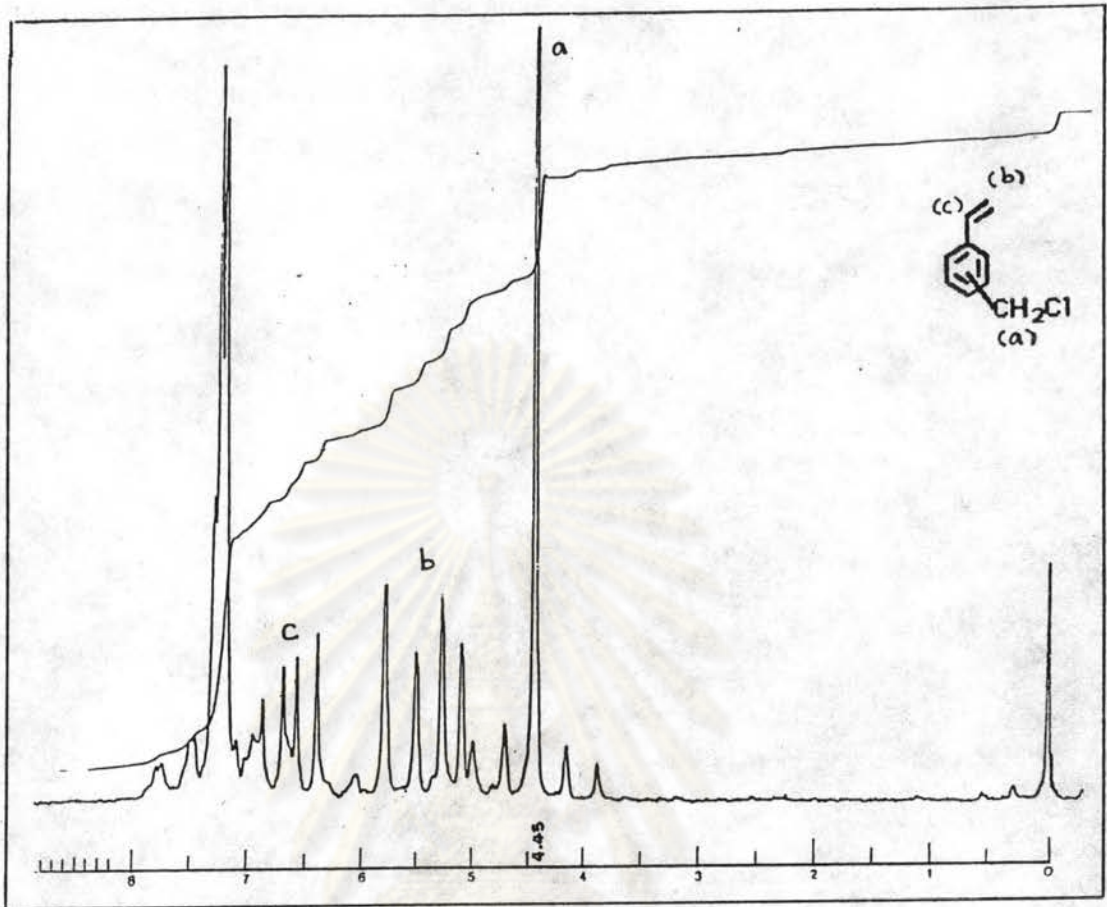
ในการหาปริมาณคลอไรด์ในคลอโรเมทิลโพลิสไตรีนนั้น ขั้นแรกต้องเปลี่ยนคลอไรด์ให้อยู่ในรูปแอนไอออนคลอไรด์เสียก่อน โดยนำคลอโรเมทิลโพลิสไตรีนมาทำปฏิกิริยากับไนริตินที่มากเกินไปที่อุณหภูมิ 80°C. เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดเป็นดังสมการ



รูป 4.1 สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์ของสไตรีน (ในตัวที่ไตรคลอโรฟอร์ม)



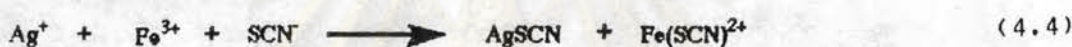
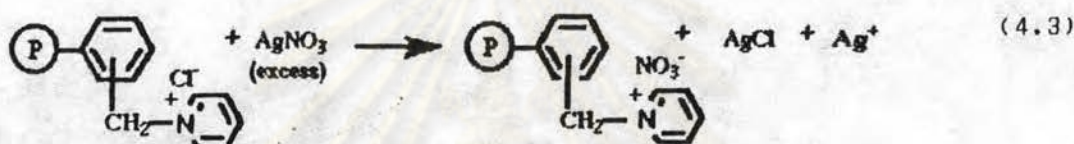
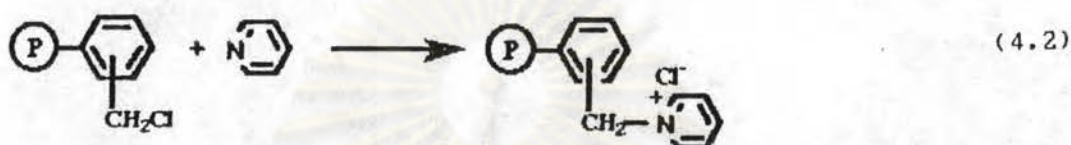
รูป 4.2 สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์ของสตีปี (ในตัวที่ไตรคลอโรฟอร์ม)



รูป 4.3 สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์ของวีนีล (ในคลอโรฟอร์ม)

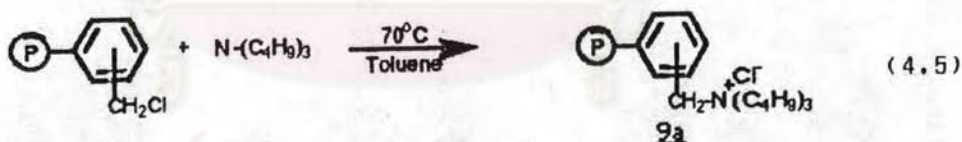
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 หลังจากนั้นนำสารละลายที่ได้จากการย่อยมาทำให้เป็นกรด (กรดไนตริกเข้มข้น) ซึ่งสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีส้ม และทำการหาปริมาณคลอไรด์โดยวิธีของโวลาร์ด [32] ซึ่งใช้วิธีไทเทรตหาปริมาณของซิลเวอร์ไนเตรดที่เหลือกับสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียมไทโอไซยาเนต และใช้เหล็กกล่อมเป็นอินดิเคเตอร์ ที่จุดยุติจะได้สารละลายสีส้มแดงของเหล็กไทโอไซยาเนต $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}$ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ



ผลการคำนวณได้ปริมาณคลอไรด์ 1.39 มิลลิควิวาเลนซ์ต่อกรัม (ดูภาคผนวก ก)

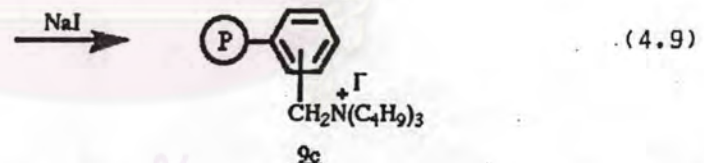
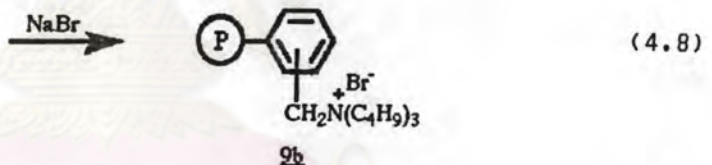
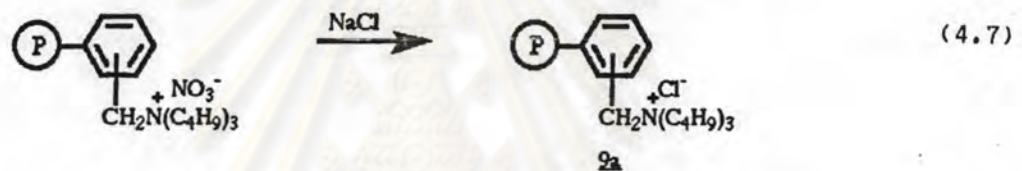
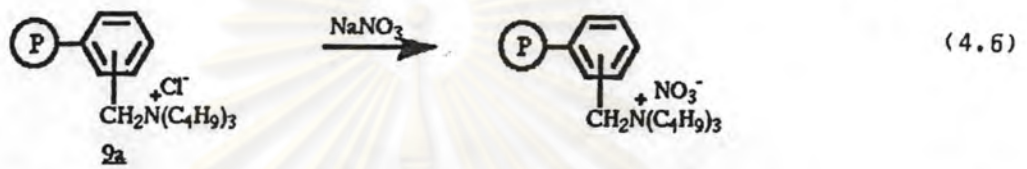
4.1.3 การเตรียมตัวเร่ง 9a โดยปฏิกิริยาควอเทอไนเซชัน



การเตรียมตัวเร่ง 9a ทำโดยนำคลอโรเมทิลโพลิสไตรีนมาทำปฏิกิริยากับไตร-เอิน-บิวทิลอะมีน ในอัตราส่วน 1.39 มิลลิควิวาเลนซ์ต่อกรัม : 13.9 มิลลิโมลของอะมีนที่อุณหภูมิ 70°C. ใช้โทลูอีนเป็นตัวทำละลาย ปฏิกิริยานี้ต้องใช้เวลา 5 วัน เพื่อให้แน่ใจว่าปฏิกิริยาเกิดอย่างสมบูรณ์แล้วเนื่องจากคลอโรเมทิลโพลิสไตรีนมีร่างหล่งถึงร้อยละ 10 ทำให้หมู่อะมีนเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่คลอโรเมทิลได้ช้า เมื่อครบกำหนดเวลา กรองเรซิน และล้างด้วยเมทานอล น้ำ และทำให้แห้งโดยอบภายใต้ความดันต่ำที่อุณหภูมิ 70°C. เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้ตัวเร่ง 9a สีเหลืองอ่อน

4.1.4 การหาปริมาณหมู่วงไวต่อการแลกเปลี่ยนแอนไอออนบนตัวเร่ง 9a

การหาปริมาณแอนไอออนคลอไรด์ที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนแอนไอออนบนตัวเร่ง 9a จะใช้วิธีมาตรฐานของ ASTM D2187 โดยการชะแอนไอออนคลอไรด์ออกจากตัวเร่งด้วย สารละลายโซเดียมไนเตรดปริมาณมากเกินพอ (สมการ 4.6) เพื่อให้แน่ใจว่าแอนไอออนคลอไรด์ ถูกแทนที่ออกมาหมด ต่อจากนั้นจึงไทเทรตหาคลอไรด์โดยวิธีของโวลาร์ด ผลการไทเทรตหา ปริมาณแอนไอออนคลอไรด์บนตัวเร่ง 9a ได้ร้อยละ 58 ของปริมาณคลอไรด์ที่มีอยู่ (ดูภาคผนวก ข)



การนำตัวเร่ง 9a กลับมาใช้ใหม่ ทำได้โดยชะเรซินด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 10 (สมการ 4.7) หรือแช่เรซินในสารละลายนี้เป็นเวลา 3 วัน แล้วล้างไอออนที่เหลือออก ด้วยน้ำกลั่น กรอง อบให้แห้ง

สำหรับการเตรียมตัวเร่ง 9b และ 9c จากตัวเร่ง 9a นั้น ทำได้โดยแช่ตัวเร่ง 9a ในสารละลายโซเดียมโบรไมด์ และโซเดียมไอโอดีน ร้อยละ 10 ตามลำดับเป็นเวลา 3-5 วัน (สมการ 4.8-4.9) ล้างไอออนที่เหลือออกด้วยน้ำ ทดสอบการแทนที่แอนไอออนโบรไมด์และ ไอโอดีนโดยการชะเรซิน 9b และ 9c ด้วยสารละลายโซเดียมไนเตรด แล้วนำสารละลายที่ได้จากการชะมาหยดด้วยอินดิเคเตอร์โรสเบนกาล (Rose bengal) และ อีโอซิน

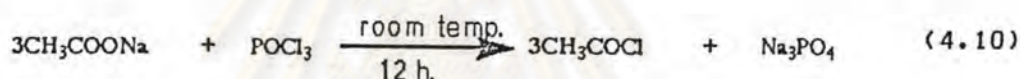
(Eosin) ตามลำดับ (โรสเบนเจลจะเลือกเฟ้นกับแอนไอออนโบรไมด์ส่วนอีโอซินจะเลือกเฟ้นกับแอนไอออนไอโอดีน) จากนั้นไทเทรตด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ที่จุดยุติสารละลายที่ได้จากตัวเร่ง 9b จะให้ตะกอนขาวสีม่วง ส่วนสารละลายที่ได้จากตัวเร่ง 9c จะให้ตะกอนชมพูส้ม

4.2 การเตรียมบีซีโมโนเมอร์

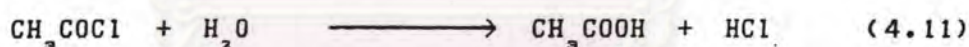
การเตรียมบีซีจากบิสฟีนอลเอ มีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

4.2.1. การเตรียมอะซีทิลคลอไรด์

อะซีทิลคลอไรด์เตรียมได้จากปฏิกิริยาของโซเดียมอะซิเตตชนิดปราศจากน้ำ กับฟอสฟอรัสออกซีคลอไรด์ ดังสมการ 4.10



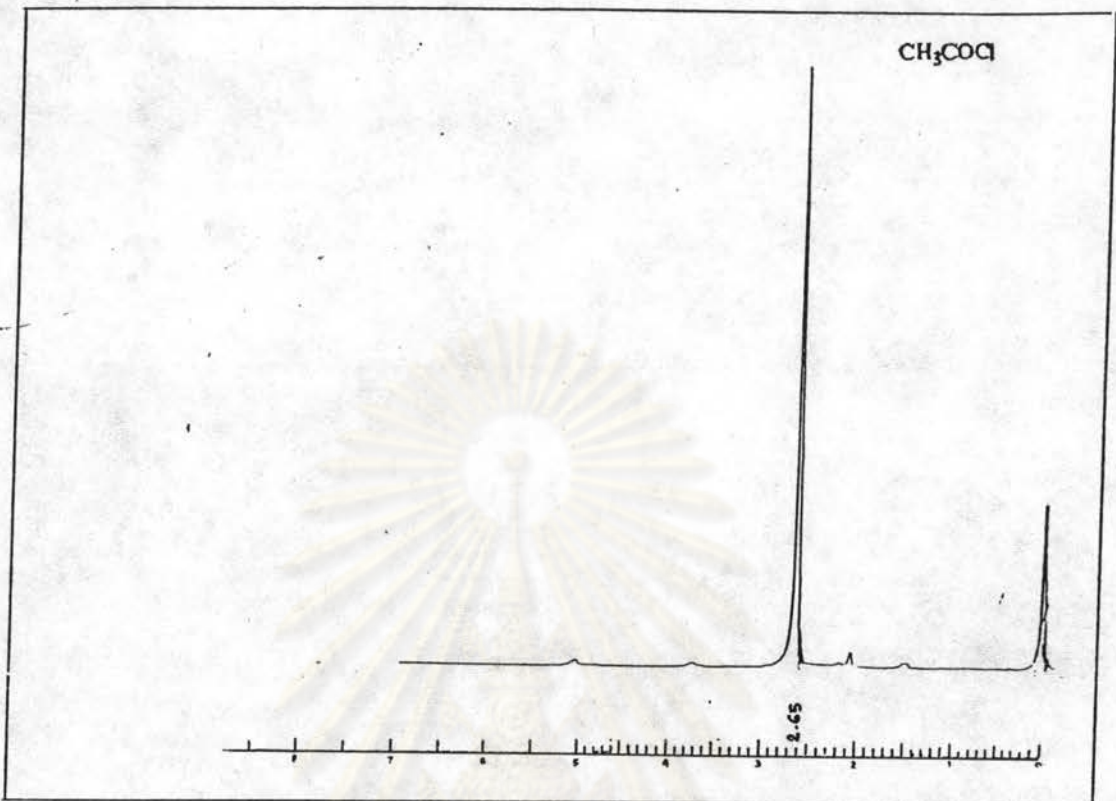
เนื่องจากอะซีทิลคลอไรด์เป็นสารที่ไวต่อความชื้นมาก เมื่อถูกความชื้นจะสลายตัวให้กรดอะซิติกและกรดไฮโดรคลอริก ดังสมการ 4.11



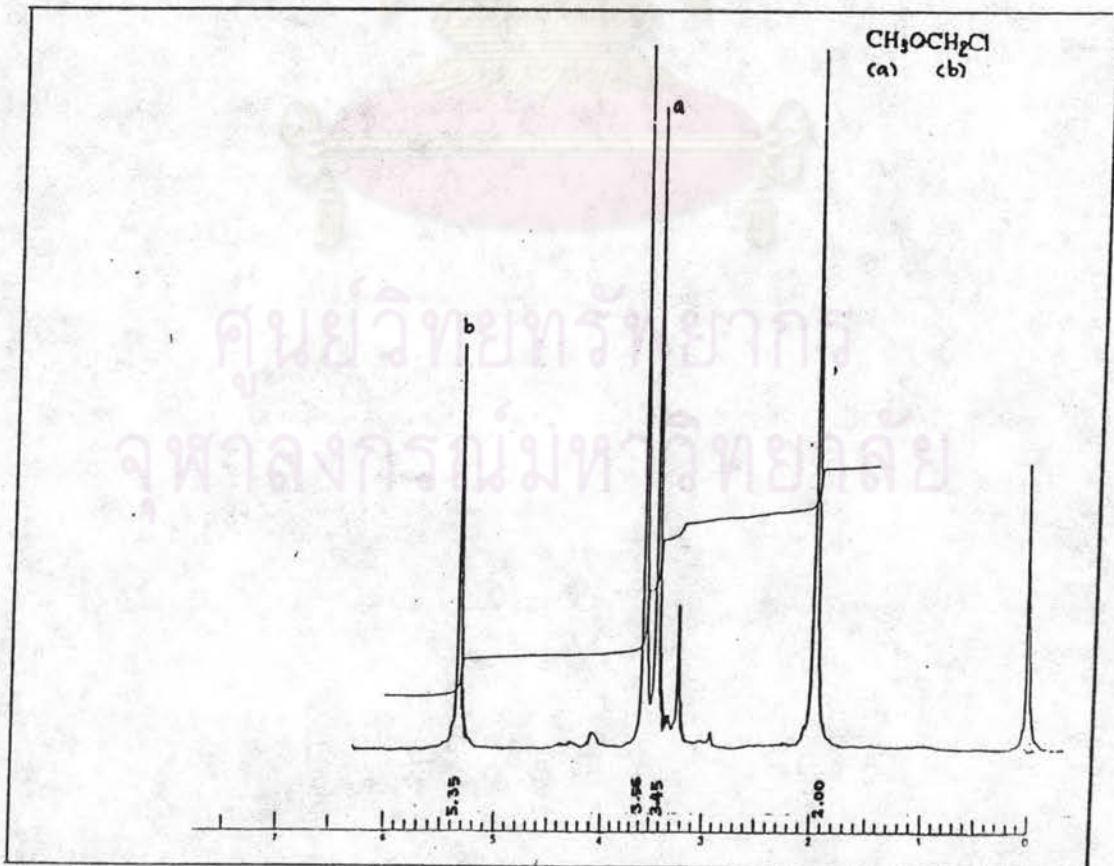
ดังนั้นระบบของปฏิกิริยานี้จะต้องทำในสภาวะเปิดและแห้ง โดยต่อทางออกของก๊าซด้วยหลอดกันความชื้น (Drying tube) ซึ่งบรรจุแคลเซียมคลอไรด์ชนิดปราศจากน้ำ เราสามารถสังเกตเห็นปฏิกิริยาได้โดยเกล็ดสีขาวของโซเดียมอะซิเตต จะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดงเมื่อหยด POCl_3 และเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมงจะได้ของแข็งสีน้ำตาลแดง นำมาลั่นด้วยตะเกียงเบนเสนจนถึงอุณหภูมิ 100°C . ได้ของเหลวใส นำของเหลวมาลั่นอีกครั้งหนึ่งในอ่างน้ำมันจะได้ของเหลวใสของอะซีทิลคลอไรด์ออกมาในช่วงอุณหภูมิ $52-55^\circ\text{C}$. คิดเป็นร้อยละ 52.46 (สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์รูป 4.4)

4.2.2. การเตรียมคลอโรเมทิลเมทิลอีเทอร์

การเตรียมคลอโรเมทิลเมทิลอีเทอร์ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการของ Amato et al.[33] โดยนำอะซีทิลคลอไรด์มาทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ไดเมทิลอะซีทิลที่มากเกินพอ

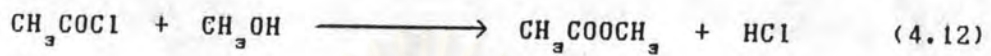


รูป 4.4 สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์ของอะซิติลคลอไรด์ (ในดิวทีโรคลอโรฟอร์ม)

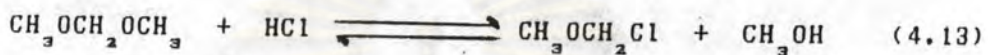


รูป 4.5 สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์ของคลอโรเอทิลเมทิลอีเทอร์ (ในดิวทีโรคลอโรฟอร์ม)

เล็กน้อย เร่งปฏิกิริยาด้วยเมทานอลชนิดปราศจากน้ำ จะได้คลอโรเมทิลเมทิลอีเทอร์ผสมกับ เมทิลอะซีเตต กลไกการเกิดปฏิกิริยาเริ่มจากเมทานอลทำปฏิกิริยากับอะซีทิลคลอไรด์ ได้กรด ไฮโดรคลอริกกับเมทิลอะซีเตต กรดไฮโดรคลอริกที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ ไดเมทิลอะซีทัล ได้ผลิตภัณฑ์ตามต้องการ พร้อมกับได้เมทานอลกลับคืนมา ดังสมการ 4.12-4.13



เมทิลอะซีเตต

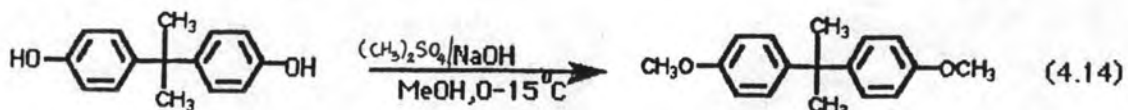


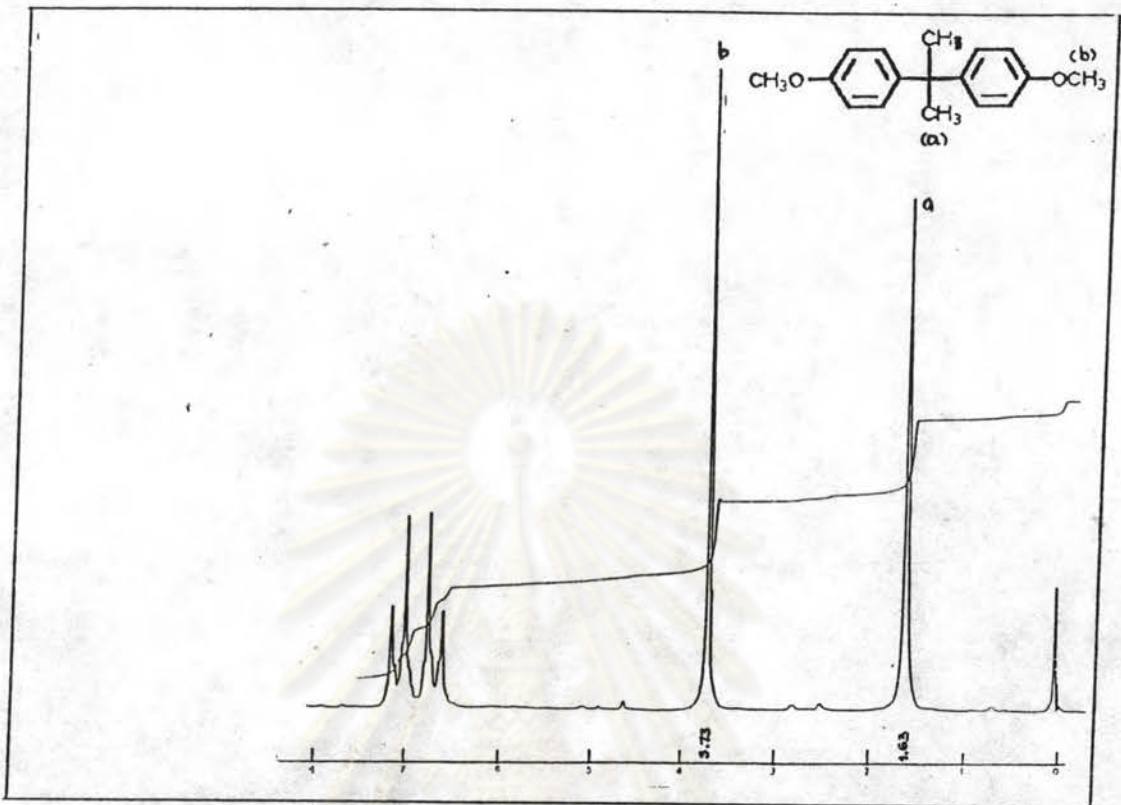
คลอโรเมทิลเมทิลอีเทอร์

การเตรียมคลอโรเมทิลเมทิลอีเทอร์วิธีนี้ ถึงแม้จะได้ผลิตภัณฑ์ 2 ตัว คือ ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการและเมทิลอะซีเตต แต่เมทิลอะซีเตตไม่เป็นพิษและไม่ไวต่อปฏิกิริยาคลอโรเมทิลเลชัน ฉะนั้นสามารถนำของผสมนี้มาใช้ได้ โดยไม่ต้องผ่านการกลั่นแยกคลอโรเมทิลเมทิลอีเทอร์ออกมา เป็นการประหยัดเวลาและพลังงานและลดการเสี่ยงต่อการได้รับไอพิษ (วิธีการเตรียมคลอโรเมทิลเมทิลอีเทอร์เดิมนั้นเป็นวิธีของ Marvel and Porter [33] ซึ่งใช้ปฏิกิริยาของ อะซีทิลคลอไรด์กับฟอร์มัลดีไฮด์ ปฏิกิริยานี้นอกจากจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการแล้วยังได้คลอโรเมทิลอีเทอร์ซึ่งเป็นพิษและไวต่อปฏิกิริยานี้ด้วย) สำหรับปฏิกิริยาในสมการ 4.13 เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ เมื่อควันท่อหมักห้องเป็นเวลา 36 ชั่วโมง จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเข้มข้นค่อนข้างคงที่ สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์จะปรากฏพีคที่ δ (พีเอ็มเอ็ม) 3.45 ($\text{ClCH}_2\text{OCH}_3$) และ 5.35 ($\text{ClCH}_2\text{OCH}_3$) การคำนวณหาความเข้มข้นของคลอโรเมทิลเมทิลอีเทอร์ในเมทิลอะซีเตต ใช้คำนวณจากความสูงของเส้นสเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์ได้ 6.4 โมลาร์ (ดูภาคผนวก ข)

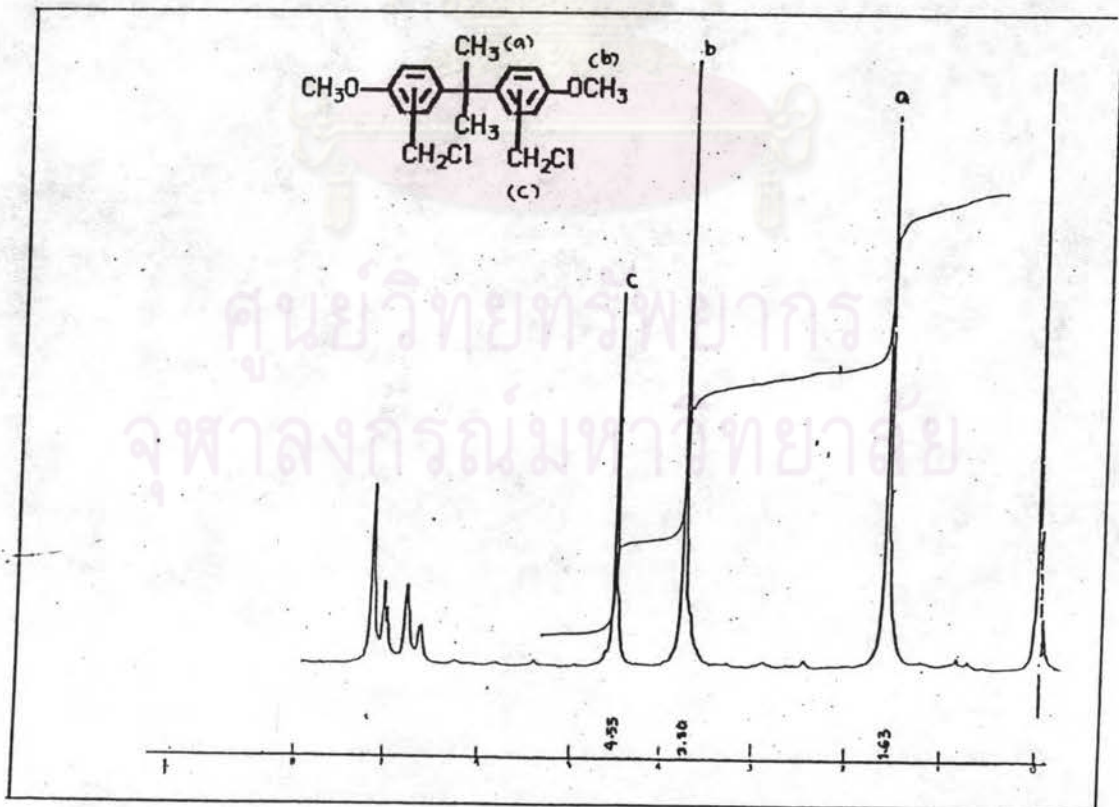
4.2.3. การเตรียม 2,2-บิส(4-มีทอกซีฟีนิล)โพรเพน

เตรียมได้จากปฏิกิริยาเมทิลเลชันของ บิสฟีนอลเอกับไดเมทิลซัลเฟต ในสารละลายต่าง ดังสมการ 4.14





รูป 4.6 สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์ของ 2,2-บิส(4-มีทอกซิฟีนิล)โพรเพน (ในดิฟทริคลอโรฟอร์ม)

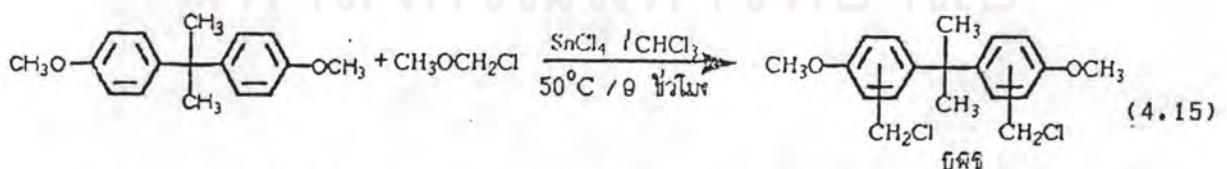


รูป 4.7 สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์ของบิสฟีซี (ในดิฟทริคลอโรฟอร์ม)

บิสฟีนอลเออร์นี้สามารถเตรียมได้ 2 วิธี วิธีแรกจะนำบิสฟีนอลเอผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หลังจากนั้นค่อย ๆ หยดสารละลายไดเมทิลซัลเฟต ส่วนวิธีที่ 2 จะนำบิสฟีนอลเอมาละลายในเมทานอลแล้วเติมสารละลายไดเมทิลซัลเฟต หลังจากนั้นค่อย ๆ หยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในทั้ง 2 วิธีนี้ ต้องกวนและควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 0-15°ซ. เพราะปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนและที่อุณหภูมิสูงกว่า 15°ซ. ไดเมทิลซัลเฟตละลายตัวได้ง่าย จากการทดลองพบว่าวิธีแรกให้ผลผลิตต่ำกว่าวิธีที่ 2 มากเพราะเมื่อนำบิสฟีนอลเอมาละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะได้เกลือโซเดียมของบิสฟีนอลเอ ซึ่งเป็นของแข็ง ฉะนั้นการเกิดปฏิกิริยากับไดเมทิลซัลเฟตจะช้ากว่าในกรณีที่ 2 ซึ่งบิสฟีนอลเอเป็นสารละลายในเมทานอลผสมกับไดเมทิลซัลเฟต เมื่อหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ บิสฟีนอลเอจะเกิดเป็นเกลือและทำปฏิกิริยากับไดเมทิลซัลเฟตทันที ได้ผลิตภัณฑ์เป็นของเหลวร้อยละ 98.25 ซึ่งไม่ละลายทั้งในเมทานอลและน้ำ (สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์รูป 4.6) อย่างไรก็ตามในวิธีการที่สองหลังจากเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ไปมากพอควร สารละลายจะเกิดตะกอนขาวเช่นกัน ฉะนั้นจึงต้องควบคุมการกวนให้ดี

4.2.4 การเตรียมบิพีซี

บิพีซีเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่าง 2,2-บิส(4-เมทอกซีฟีนิล)โพรเพน กับคลอโรเมทิลเมทิลอีเทอร์ (สารละลายที่ได้จากหัวข้อ 2.2) ในอัตราส่วนโมล 1 ต่อ 8 ในคลอโรฟอร์ม ที่อุณหภูมิ 50°ซ. เป็นเวลา 9 ชั่วโมง เร่งปฏิกิริยากด้วยทินเตตราคลอไรด์ ดังสมการ 4.15



การล้างชั้นคลอโรฟอร์มด้วยน้ำหลาย ๆ ครั้งจะเป็นการกำจัดตัวเร่งทินเตตราคลอไรด์และเมทิลอะซีเตตออกจากบิพีซีซึ่งละลายอยู่ในชั้นคลอโรฟอร์ม ซึ่งสารละลายจะเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเหลืองอ่อน เมื่อระเหยคลอโรฟอร์มออกจะได้ของแข็งสีเหลืองซึ่งเป็นส่วนผสมของบิพีซีกับสาร

เริ่มต้นในอัตราส่วน 5 : 1 การชะของผลของบีบีซีด้วย 60/40 เอกเซน/คลอโรฟอร์ม จะได้ผลึกสีขาวของบีบีซีบริสุทธิ์ (สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์รูป 4.7 ปรากฏนิกของ CH_2Cl ที่ δ 4.55 พีพีเอ็ม) เนื่องจากในงานวิจัยครั้งนี้ 2,2-บิส(4-มีทอกซีฟีนิล)โพรเพนไม่มีผลกระทบต่อปฏิกิริยาการแทนที่ จึงไม่จำเป็นต้องทำให้บีบีซีบริสุทธิ์

4.3 การศึกษาปฏิกิริยาการแทนที่ของแอนไอออนไซยาไนด์ อะซีเตต และไทโอไซยาเนต บนสารแบบจำลอง วิบีซี และบีบีซี

4.3.1. อิทธิพลของปริมาณตัวเร่ง 9a ที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยนของปฏิกิริยาการแทนที่แอนไอออนไซยาไนด์บนสารแบบจำลอง

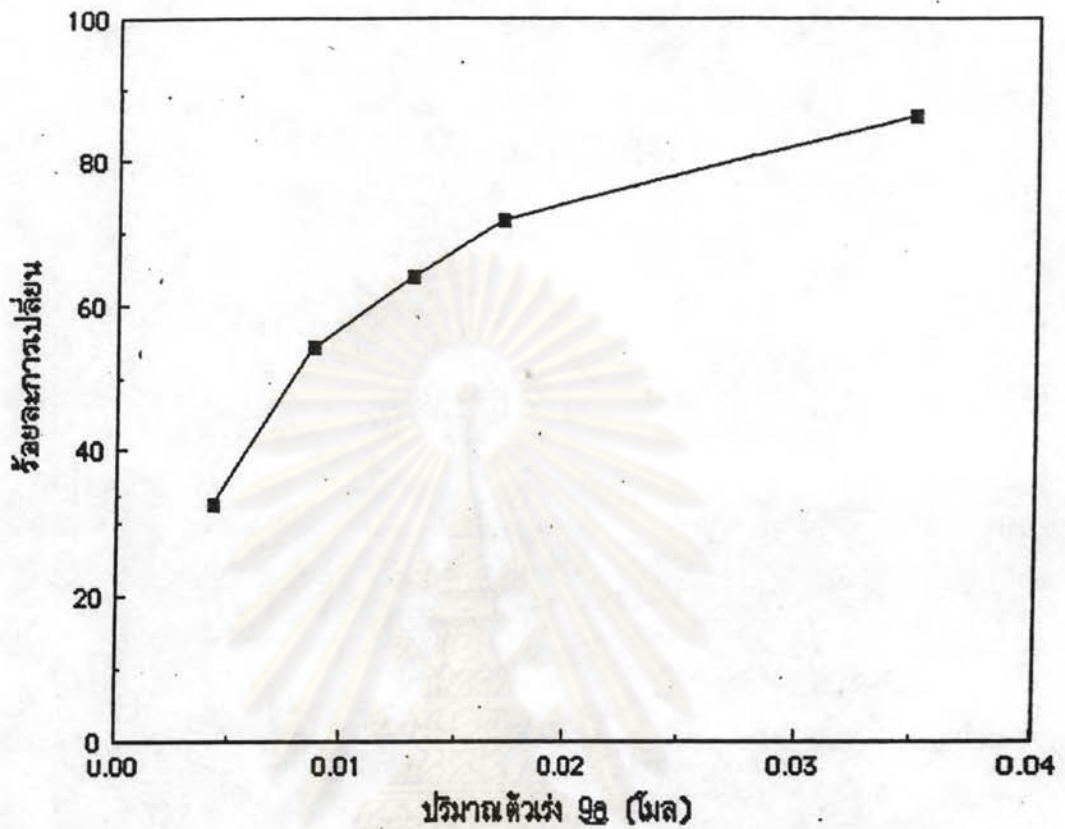
ได้ศึกษาปฏิกิริยาการแทนที่แอนไอออนไซยาไนด์บนสารแบบจำลอง ภายใต้ระบบที่บีบีซีที่อุณหภูมิ 30°C . เป็นเวลา 60 ชั่วโมง กวนด้วยอัตรา 600 รอบต่อนาทีและเร่งปฏิกิริยาด้วย 9a เพื่อดูอิทธิพลของปริมาณตัวเร่ง 9a ที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ในการศึกษาได้ใช้ 9a มีปริมาณตั้งแต่ 0.004-0.035 โมล ผลการทดลองได้แสดงในตาราง 4.1 และรูป 4.8 จะเห็นว่าร้อยละการเปลี่ยนจะเพิ่มขึ้นในระดับค่อนข้างสูงเมื่อปริมาณตัวเร่งอยู่ในช่วง 0.004-0.017 โมล แต่ถ้าใช้ปริมาณตัวเร่งสูงกว่านี้อัตราการเปลี่ยนจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ค่อนข้างต่ำ (ผลการศึกษาดูอิทธิพลของปริมาณตัวเร่ง 9a ที่ใช้ให้ผลทำนองเดียวกับผลการทดลองของ Tomoi and Ford [34] พบว่าปริมาณของตัวเร่งโพลีเมอร์มีอิทธิพลต่ออัตราของปฏิกิริยาการแทนที่ภายใต้ระบบที่บีบีซีที่คล้ายคลึงกัน ถึงแม้ว่าสภาวะและสารเริ่มต้นที่ใช้จะแตกต่างกันก็ตาม)

สาเหตุที่เมื่อปริมาณตัวเร่งเพิ่มขึ้นในช่วง 0.004-0.017 โมล ทำให้ร้อยละการเปลี่ยนเพิ่มขึ้นด้วยเพราะ ตัวเร่งสามารถพาแอนไอออนจากชั้นน้ำไปยังชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์ได้มากขึ้นและเข้าทำปฏิกิริยากับสารแบบจำลองได้มากขึ้น แต่จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งมากกว่า 0.017 โมล อัตราการเพิ่มขึ้นของร้อยละการเปลี่ยนจะช้าลง สาเหตุที่เป็นเช่นนั้นเพราะตัวเร่งต้องการตัวทำละลายส่วนหนึ่งในการบวมตัว เพื่อให้หมู่ฟังก์ชันได้สัมผัสกับทั้ง

ตาราง 4.1. ผลของปริมาณตัวเร่ง 9a ที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ในปฏิกิริยาการแทนที่ของ แอนไอออนไซยาไนด์ (0.026 โมล) บนเบนซิลคลอไรด์ (0.009 โมล) ใน สารละลายคลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ (2มล.) กวนด้วยอัตรา 600 รอบ ต่อนาที ภายใต้ระบบที่หนีซี ที่อุณหภูมิ 30°C. เวลา 60 ชั่วโมง

ปริมาณตัวเร่ง <u>9a</u> (โมลคลอไรด์)	ร้อยละการเปลี่ยน
0.004	32.54
0.009	54.20
0.013	63.89
0.017	71.79
0.035	86.09

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4.8. ผลของปริมาณตัวเร่ง 9a ที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ในปฏิกิริยาการแทนที่ของ แอนไอออนไซยาไนด์ (0.026 โมล) บนเบนซิลคลอไรด์ (0.009 โมล) ใน สารละลายคลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ (2มล.) กวนด้วยอัตรา 600 รอบ ต่อนาที ภายใต้ระบบที่หีซี ที่อุณหภูมิ 30°C. เวลา 60 ชั่วโมง

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รีเอเจนต์และสารแบบจำลองทั้งสองได้เร็วขึ้น แต่ในระบบมีตัวทำละลายเพียง 7 มล. (คลอโรฟอร์ม 5 มล. น้ำ 2 มล.) ฉะนั้นการเพิ่มปริมาณตัวเร่งให้มากขึ้น ตัวทำละลายจึงถูกใช้ในการบวมตัวมากขึ้น ทำให้ระบบมีความหนืดสูง การได้สัมผัสของหมว่องไวกับสารเข้าทำปฏิกิริยาและสารแบบจำลองจะเป็นไปอย่างเชื่องช้า ปฏิกิริยาจึงเกิดได้น้อยและร้อยละการเปลี่ยนจึงเพิ่มขึ้นน้อย

4.3.2. อิทธิพลของปริมาณรีเอเจนต์ที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยนในปฏิกิริยาการแทนที่แอนไอออนโซยาไนต์ อะซีเทต และไทโอโซยาเนตบนสารแบบจำลองและวิธีซี

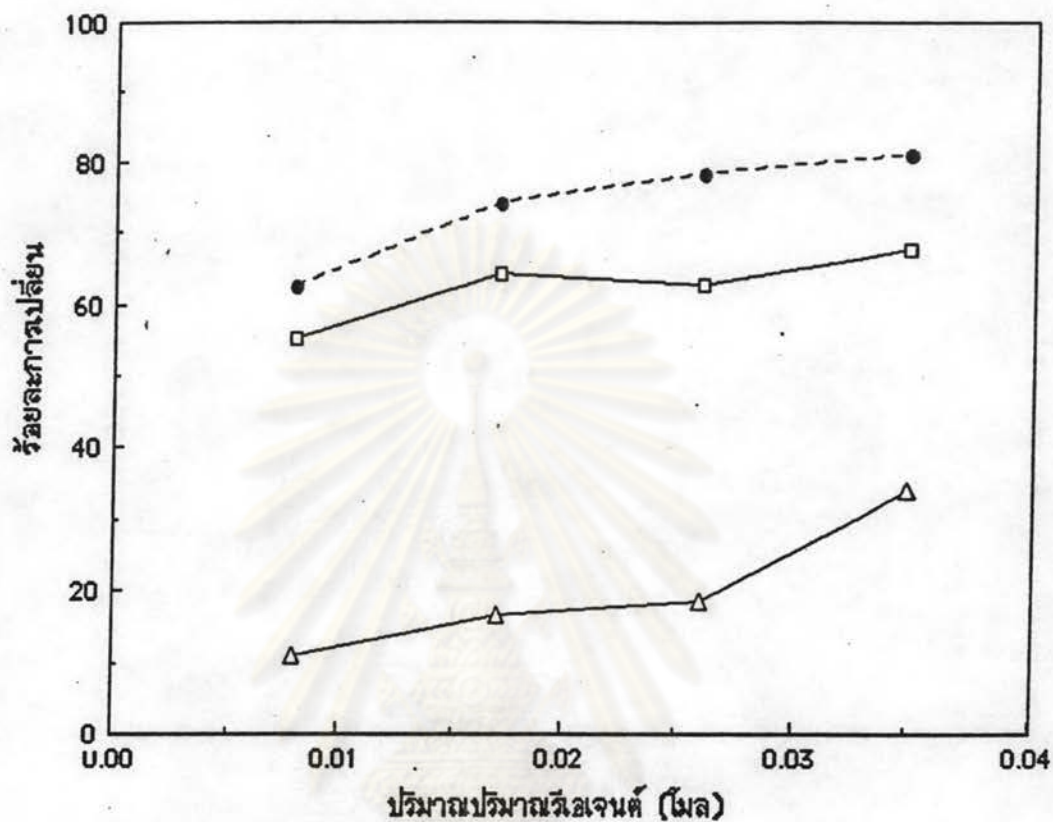
ได้ศึกษาอิทธิพลของปริมาณรีเอเจนต์ คือ แอนไอออนโซยาไนต์, อะซีเทต และไทโอโซยาเนตที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยนบนสารแบบจำลองและวิธีซี ปริมาณของแอนไอออนโซยาไนต์, อะซีเทต และไทโอโซยาเนตที่ใช้ศึกษามีค่าตั้งแต่ 0.009-0.035 โมล อัตราความในสารละลายผสมของคลอโรฟอร์มและน้ำเป็น 600 รอบต่อนาที ใช้เวลา 60 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30°C. ใช้สารเริ่มต้น 0.009 โมล และปริมาณตัวเร่ง 9a ที่ใช้เท่ากับ 0.017 โมล ผลการทดลองปฏิกิริยาการแทนที่ของรีเอเจนต์บนสารแบบจำลองได้แสดงในตาราง 4.2 และรูป 4.9 จากรูป 4.9 จะเห็นว่าความเข้มข้นของรีเอเจนต์ทุกชนิดมีผลต่อร้อยละการเปลี่ยนเพียงเล็กน้อย (ปริมาณรีเอเจนต์เพิ่มขึ้น 4 เท่า ร้อยละการเปลี่ยนเพิ่มขึ้นเพียง 1.2-1.3 เท่า) ยกเว้นในกรณีของแอนไอออนอะซีเทต จะมีการเปลี่ยนมากในช่วง 0.026-0.035 โมล (ร้อยละการเปลี่ยนเพิ่มขึ้น 2 เท่า เมื่อปริมาณแอนไอออนเพิ่มขึ้น 2 เท่า) ผลการทดลองปฏิกิริยาการแทนที่ของรีเอเจนต์บนวิธีซีได้แสดงในตาราง 4.3 และรูป 4.10 จากรูป 4.10 จะเห็นว่าปริมาณรีเอเจนต์มีผลต่อร้อยละการเปลี่ยนที่ค่อนข้างน้อย (ปริมาณรีเอเจนต์เพิ่มขึ้น 4 เท่า ร้อยละการเปลี่ยนเพิ่มขึ้น 1.3 เท่าสำหรับ CN^- , 2.7 เท่าสำหรับ OAc^- และ 1.1 เท่าสำหรับ SCN^-)

ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณของรีเอเจนต์ที่ใช้ให้ผลทำนองเดียวกับผลการทดลองของ Regen [35] ซึ่งพบว่าปริมาณแอนไอออนในน้ำไม่มีผลต่ออัตราของปฏิกิริยา สรุปได้ว่าอัตราของปฏิกิริยาหรือร้อยละการเปลี่ยนไม่ขึ้นกับปริมาณแอนไอออนที่อยู่ในชั้นน้ำ แต่จะขึ้นอยู่กับ

ตาราง 4.2. ผลของปริมาณรีเอเจนต์ที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยนในปฏิกิริยาการแทนที่ของรีเอเจนต์บนเบนซิลคลอไรด์ (0.009 โมล) ในสารละลายคลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ (2 มล.) กวนด้วยอัตรา 60 รอบต่อนาที เร่งด้วยตัวเร่ง 9a (0.017 โมลคลอไรด์) ที่อุณหภูมิ 30°C. เวลา 60 ชั่วโมง

ปริมาณรีเอเจนต์ (โมล)	ร้อยละการเปลี่ยน		
	CN ⁻	OAc ⁻	SCN ⁻
0.009	57.28	10.89	50.29
0.017	72.35	16.54	55.55
0.026	78.97	18.54	54.90
0.035	79.99	34.12	60.20

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



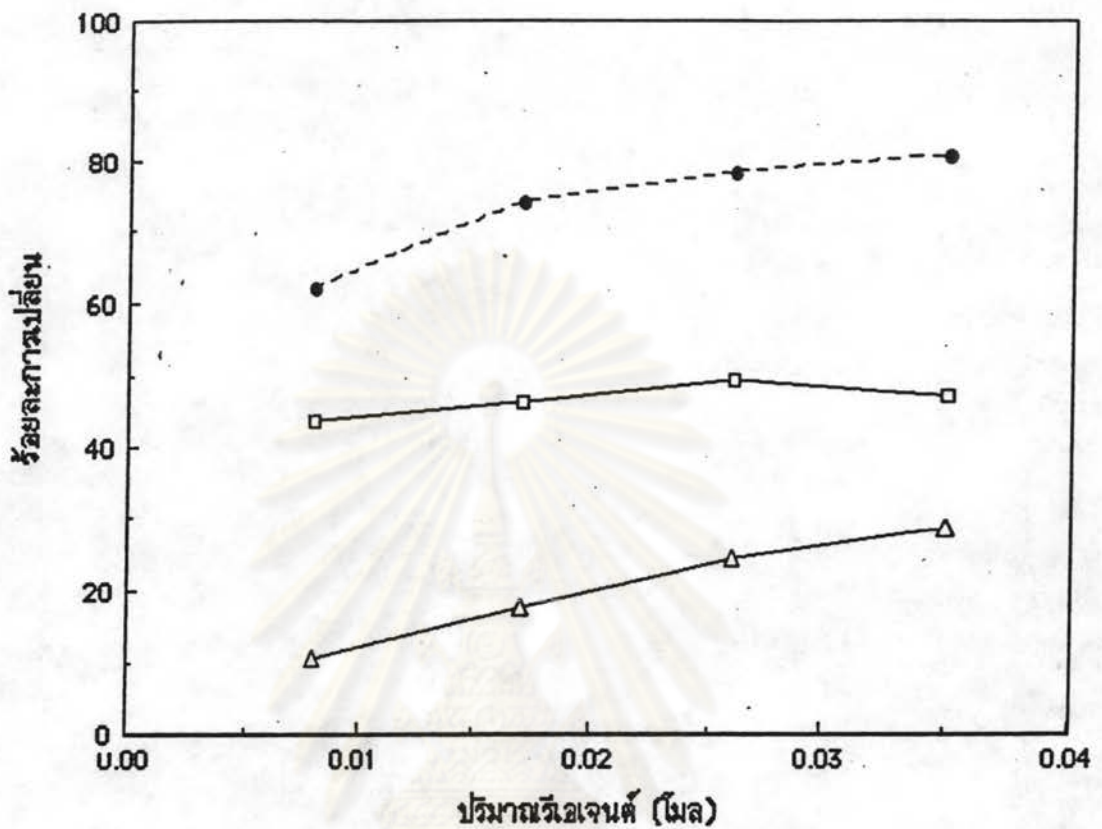
รูป 4.9. ผลของปริมาณรีเอเจนต์ที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงในปฏิกิริยาการแทนที่ของรีเอเจนต์บนเบนซิลคลอไรด์ (0.009 โมล) ในสารละลายคลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ (2 มล.) กวนด้วยอัตรา 600 รอบต่อนาที เร่งด้วยตัวเร่ง 9a (0.017 โมลคลอไรด์) ที่อุณหภูมิ 30°C. เวลา 60 ชั่วโมง
 (Δ) KOAc; (\bullet) NaCN; (\square) NaSCN

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.3. ผลของปริมาณรีเอเจนต์ที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยนในปฏิกิริยาการแทนที่ของรีเอเจนต์บนวีบีซี (0.009 โมล) ในสารละลายคลอโรฟอร์ม (5 มล.) น้ำ (2 มล.) กวนด้วยอัตรา 600 รอบต่อนาที แรงด้วยตัวเร่ง 9a (0.017 โมลคลอไรด์) ที่อุณหภูมิ 30°C. เวลา 60 ชั่วโมง

ปริมาณรีเอเจนต์ (โมล)	ร้อยละการเปลี่ยน		
	CN ⁻	OAc ⁻	SCN ⁻
0.009	62.32	10.59	43.65
0.017	74.24	17.81	46.34
0.026	78.54	24.43	49.43
0.035	80.93	28.53	47.03

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4.10. ผลของปริมาณรีเอเจนต์ที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงในปฏิกิริยาการแทนที่ของรีเอเจนต์บนวีบีซี (0.009 โมล) ในสารละลายคลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ (2 มล.) กวนด้วยอัตรา 600 รอบต่อนาที เร่งด้วยตัวเร่ง 9a (0.017 โมลคลอไรด์) ที่อุณหภูมิ 30°C. เวลา 60 ชั่วโมง
 (Δ) KOAc; (\bullet) NaCN; (\square) NaSCN

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

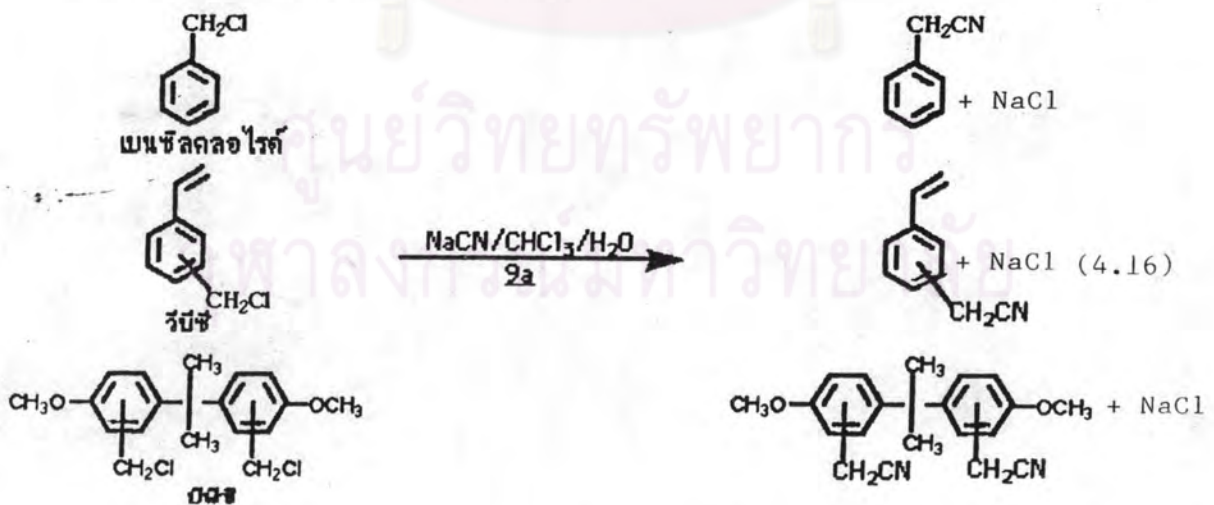
อัตราการแลกเปลี่ยนแอนไอออนในน้ำกับแอนไอออนที่หุ้มวงไวบนตัวเร่ง แล้วแพร่ไปยังชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ซึ่งเป็นชั้นที่เกิดปฏิกิริยาการแทนที่

4.3.3. อิทธิพลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ในปฏิกิริยาการแทนที่แอนไอออนไซยาไนด์ อะซีเทต และไทโอไซยาเนต บนสารแบบจำลอง วิบีซี และ บีพีซี

ปฏิกิริยาโดยทั่วไปที่ไม่ใช่ปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ ปฏิกิริยาจะเกิดและดำเนินต่อไปจนสารเข้าทำปฏิกิริยาตัวใดตัวหนึ่งหมดไป ปฏิกิริยาที่จะสิ้นสุด การเพิ่มอุณหภูมิจะช่วยให้ปฏิกิริยาสิ้นสุดได้เร็วขึ้นเพราะโมเลกุลจะเคลื่อนที่เร็วขึ้นและทำให้มีโอกาสที่จะชนกันมากขึ้น ทำให้มีจำนวนโมเลกุลที่มีพลังงานมากกว่าพลังงานกระตุ้นมากขึ้น ปฏิกิริยาจึงเกิดได้เร็ว

ในการศึกษาอิทธิพลของเวลาได้ให้ปฏิกิริยาเกิดในช่วงตั้งแต่ 10-100 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 30° 50° และ 70° ซ. ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

4.3.3.1. ผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ในปฏิกิริยาการแทนที่ไซยาไนด์บนสารแบบจำลอง วิบีซี และ บีพีซี

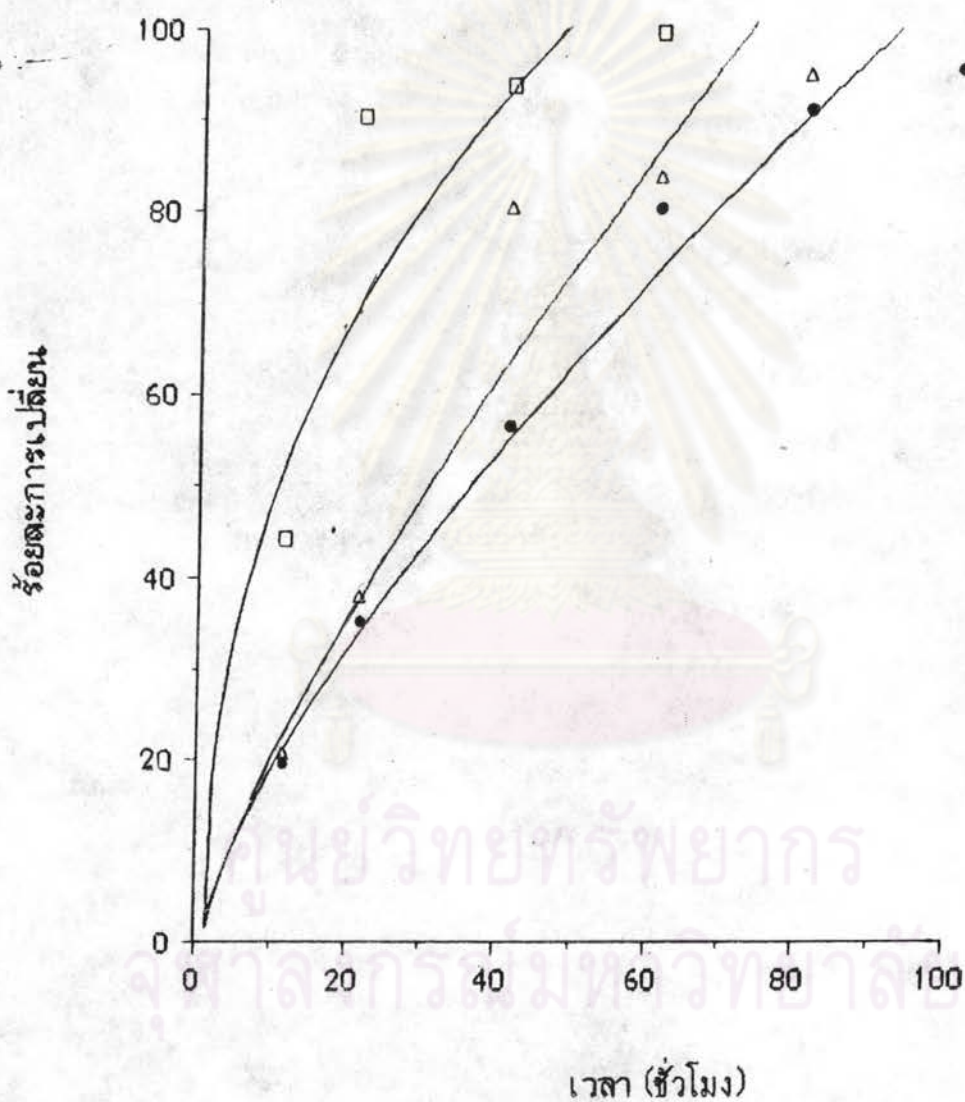


ผลการทดลองของปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยแอนไอออนไซยาไนด์บนสารแบบจำลองแสดงได้ในตาราง 4.4 และรูป 4.11 (สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์รูป 4.12

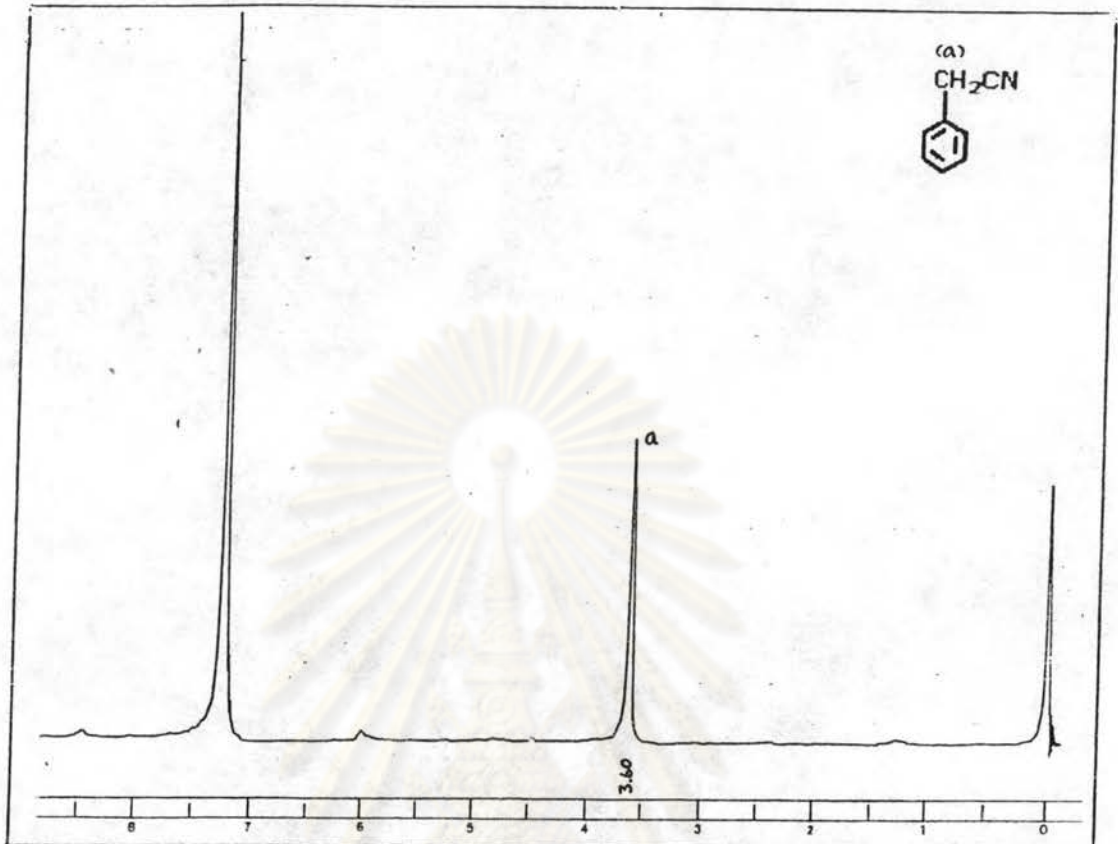
ตาราง 4.4. ผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ของปฏิกิริยาการแทนที่ แอนไอออนไซยาไนด์ (0.026 โมล) บนเบนซิลคลอไรด์ (0.009 โมล) ในสารละลายคลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ (2 มล.) กวนด้วยอัตรา 600 รอบต่อนาที เร่งด้วยตัวเร่ง 9a (0.017 โมลคลอไรด์)

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละการเปลี่ยน		
	30°ซ.	50°ซ.	70°ซ.
10	18.40	19.19	43.01
20	33.93	36.62	89.19
40	55.32	79.03	92.59
60	78.97	82.42	98.34
80	89.74	93.69	
100	94.14		

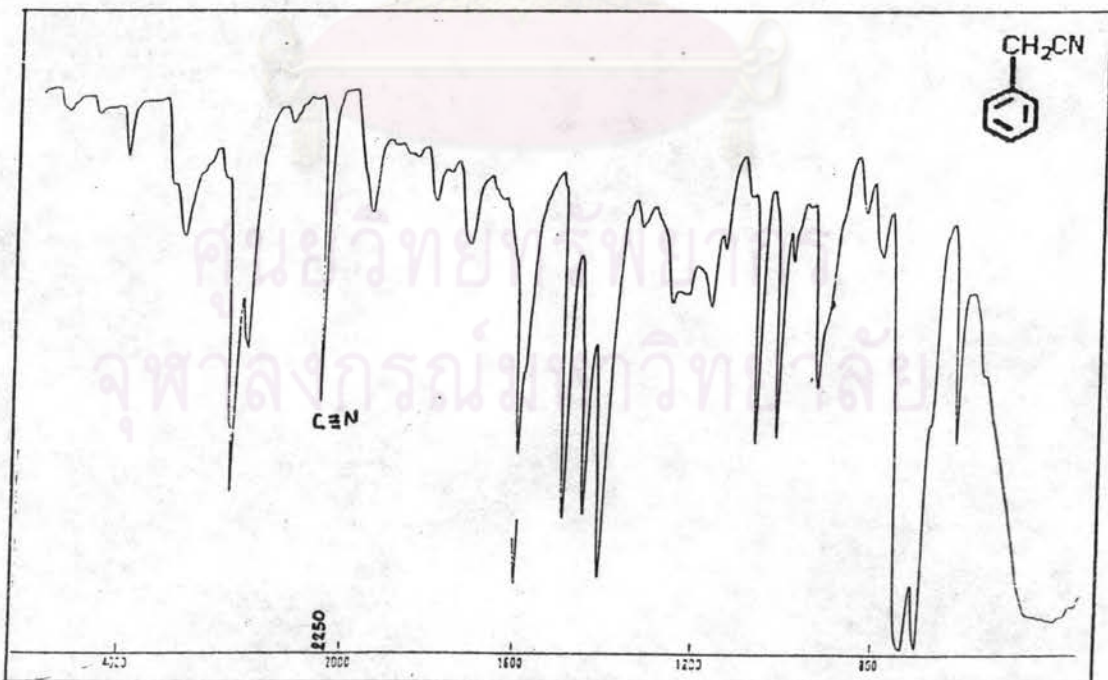
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4.11. ผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลง ของปฏิกิริยาการแทนที่ แอนไอออนไซยาไนด์ (0.026 โมล) บนเบนซิลคลอไรด์ (0.009 โมล) ในสารละลายคลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ (2 มล.) กวนด้วยอัตรา 600 รอบต่อนาที เร่งด้วยตัวเร่ง 9b (0.017 โมลคลอไรด์)
 (●) 30°C.; (Δ) 50°C.; (□) 70°C.



รูป 4.12 สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์ของเบนซิลไซยาไนด์ (ในตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม)



รูป 4.13 สเปกตรัมไออาร์ของเบนซิลไซยาไนด์ (ฟิล์ม)

ปรากฏพีกที่ δ 3.58 (CH_2CN) พีเอ็มเอ็มและไออาร์รูป 4.13 ปรากฏพีกที่ ν 2,225 cm^{-1} (CN) จากรูป 4.11 จะเห็นว่าที่อุณหภูมิใด ๆ เมื่อใช้เวลานานขึ้น ร้อยละการเปลี่ยนจะเพิ่มขึ้นด้วย แต่ในช่วงเวลาแรก ๆ ร้อยละการเปลี่ยนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและอัตราปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 70°ซ. มากกว่าที่อุณหภูมิ 50°ซ. และ 30°ซ. ผลการทดลองนี้สามารถอธิบายได้จากสมการของ Arrhenius ซึ่งแสดงได้ดังสมการ 4.17

$$k = Ae^{-E/RT} \quad (4.17)$$

เมื่อ k = ค่าคงที่อัตรา
 A = ค่าคงที่การชน
 E = พลังงานกระตุ้น
 R = ค่าคงที่ก๊าซ
 T = อุณหภูมิสัมบูรณ์

จะเห็นว่า อัตราปฏิกิริยาขึ้นตรงต่ออุณหภูมิแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ซึ่งอัตราปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นสูงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

ผลของเวลาของปฏิกิริยาการแทนที่แอนไอออนไซยาไนด์บนบีซีได้แสดงในตาราง 4.5 และรูป 4.14 (สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์และไออาร์รูป 4.15 และ 4.16) จากรูป 4.14 จะเห็นว่า ที่อุณหภูมิ 30°ซ. ร้อยละการเปลี่ยนเพิ่มขึ้นเกือบเป็นเส้นตรงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น และในช่วงเวลา 0-20 ชั่วโมงแรก ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50°ซ. และ 70°ซ. ให้อัตราปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และสูงกว่าที่อุณหภูมิ 30°ซ. มาก แต่ที่อุณหภูมิ 70°ซ. ให้ค่าการเปลี่ยนต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 50°ซ.

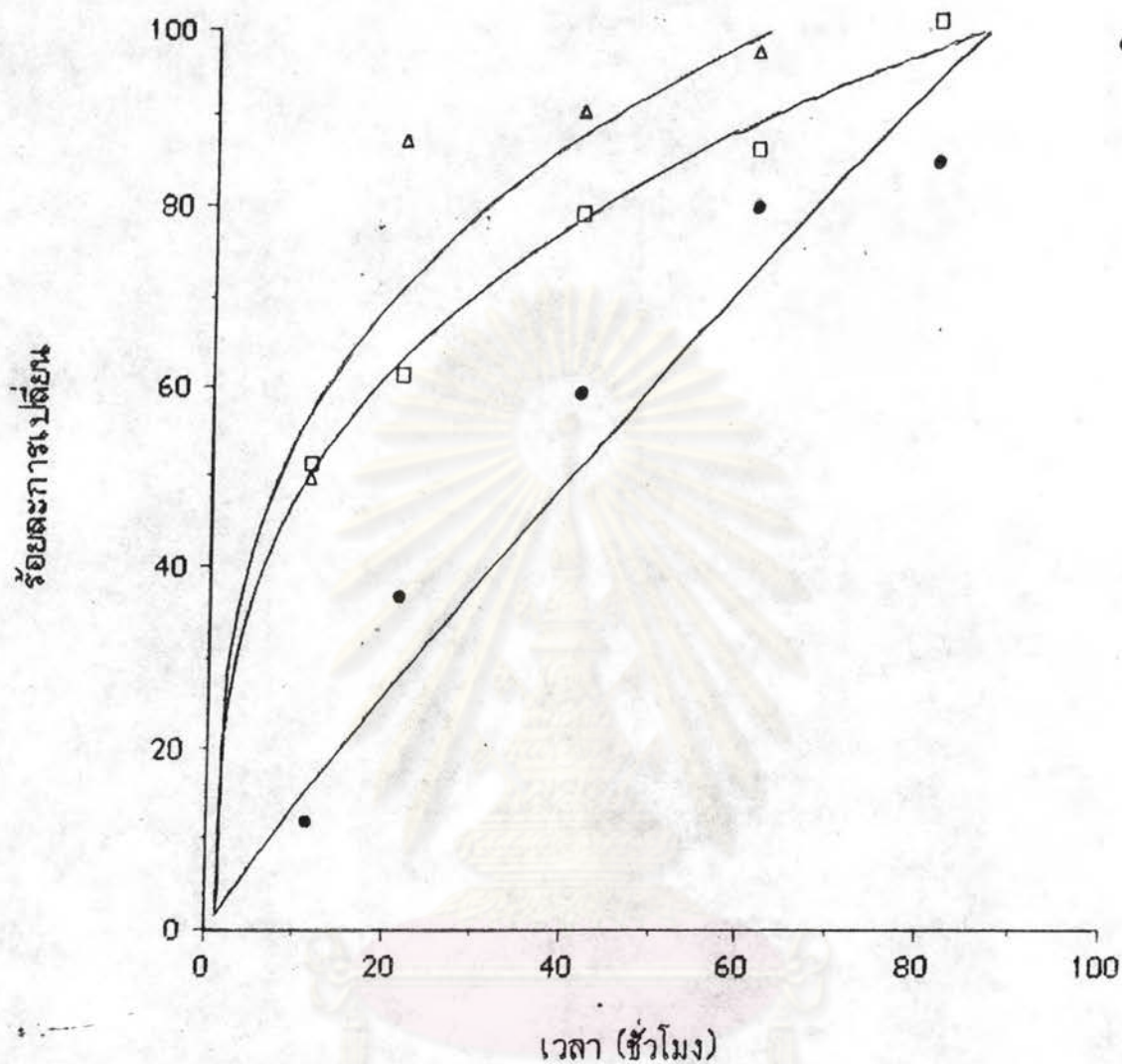
ผลของเวลาที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยนของปฏิกิริยาการแทนที่แอนไอออนไซยาไนด์บนบีซีได้แสดงในตาราง 4.6 และรูป 4.17 (สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์และไออาร์รูป 4.18 และ 4.19) สำหรับปฏิกิริยาการแทนที่บนบีซีที่จำเพาะที่อุณหภูมิ 50°ซ. และ 70°ซ. จากรูป 4.17 จะเห็นว่า ที่อุณหภูมิ 50°ซ. อัตราปฏิกิริยาหรือร้อยละการเปลี่ยนเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น แต่ที่อุณหภูมิ 70°ซ. ร้อยละการเปลี่ยนเพิ่มขึ้นน้อยเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยนของปฏิกิริยาการแทนที่แอน

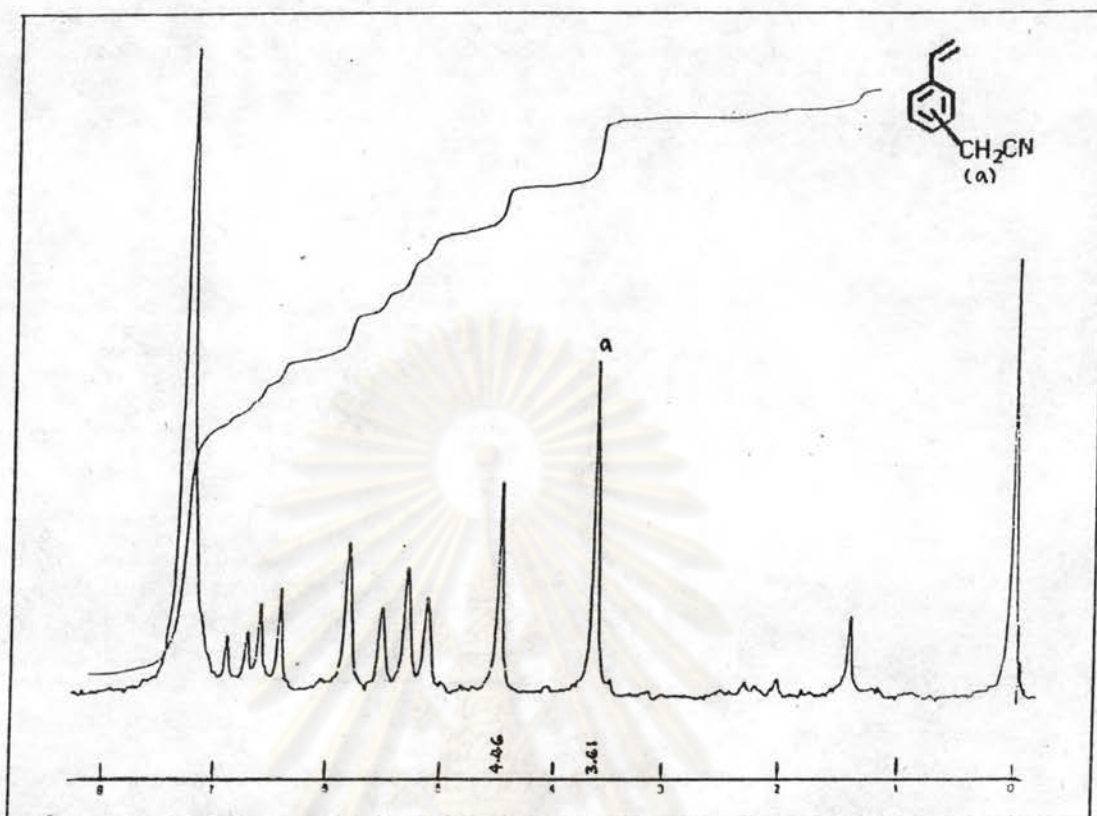
ตาราง 4.5. ผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ของปฏิกิริยาการแทนที่
แอนไอออนไซยาไนด์ (0.026 โมล) บนวีบีซี (0.009 โมล)
ในสารละลายคลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ (2 มล.) กวนด้วยอัตรา 600
รอบต่อนาที เร่งด้วยตัวเร่ง 9a (0.017 โมลคลอไรด์)

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละการเปลี่ยน		
	30°ซ.	50°ซ.	70°ซ.
10	10.52	48.33	50.00
20	35.29	85.71	60.00
40	58.02	89.01	78.05
60	78.54	96.15	85.19
80	83.64	100.0	100.0
100	97.50		

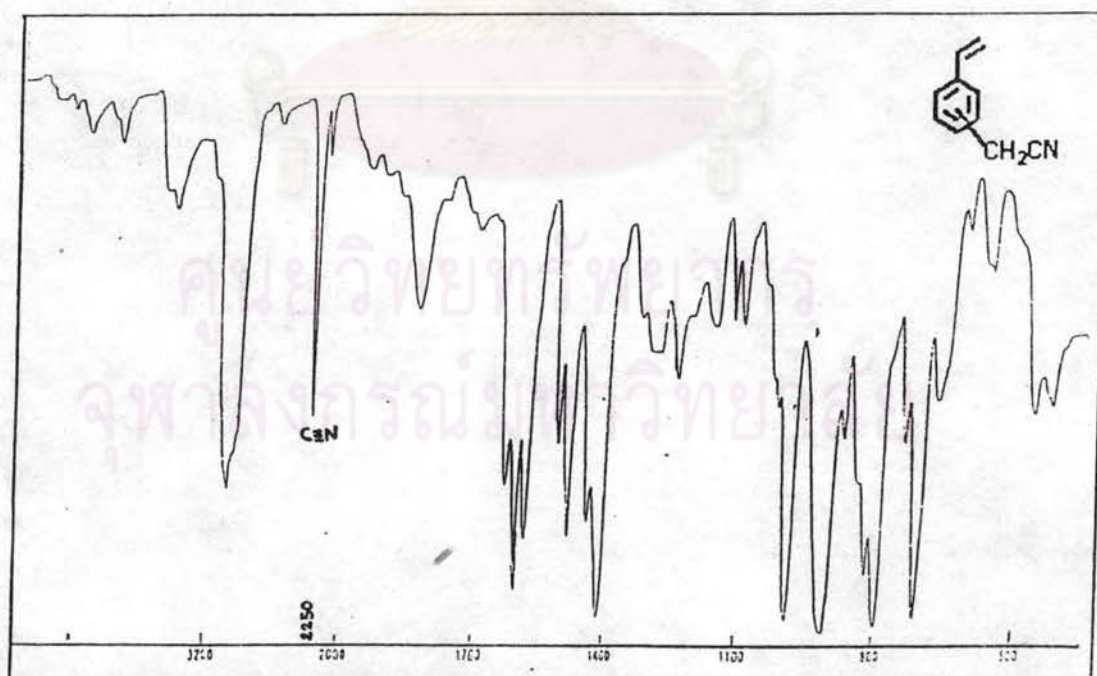
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4.14. ผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลง ของปฏิกิริยาการแทนที่
 แอนไอออนไซยาไนด์ (0.026 โมล) บนวีบีซี (0.009 โมล)
 ในสารละลายคลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ (2 มล.) กวนด้วยอัตรา 600
 รอบต่อนาที เร่งด้วยตัวเร่ง 9a (0.017 โมลคลอไรด์)
 (●) 30°C.; (▲) 50°C.; (□) 70°C.



รูป 4.15 สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์ของสาร 2 ผสมกับบีพีทีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยน 55 (ในตัวทำละลายโรฟอร์ม)

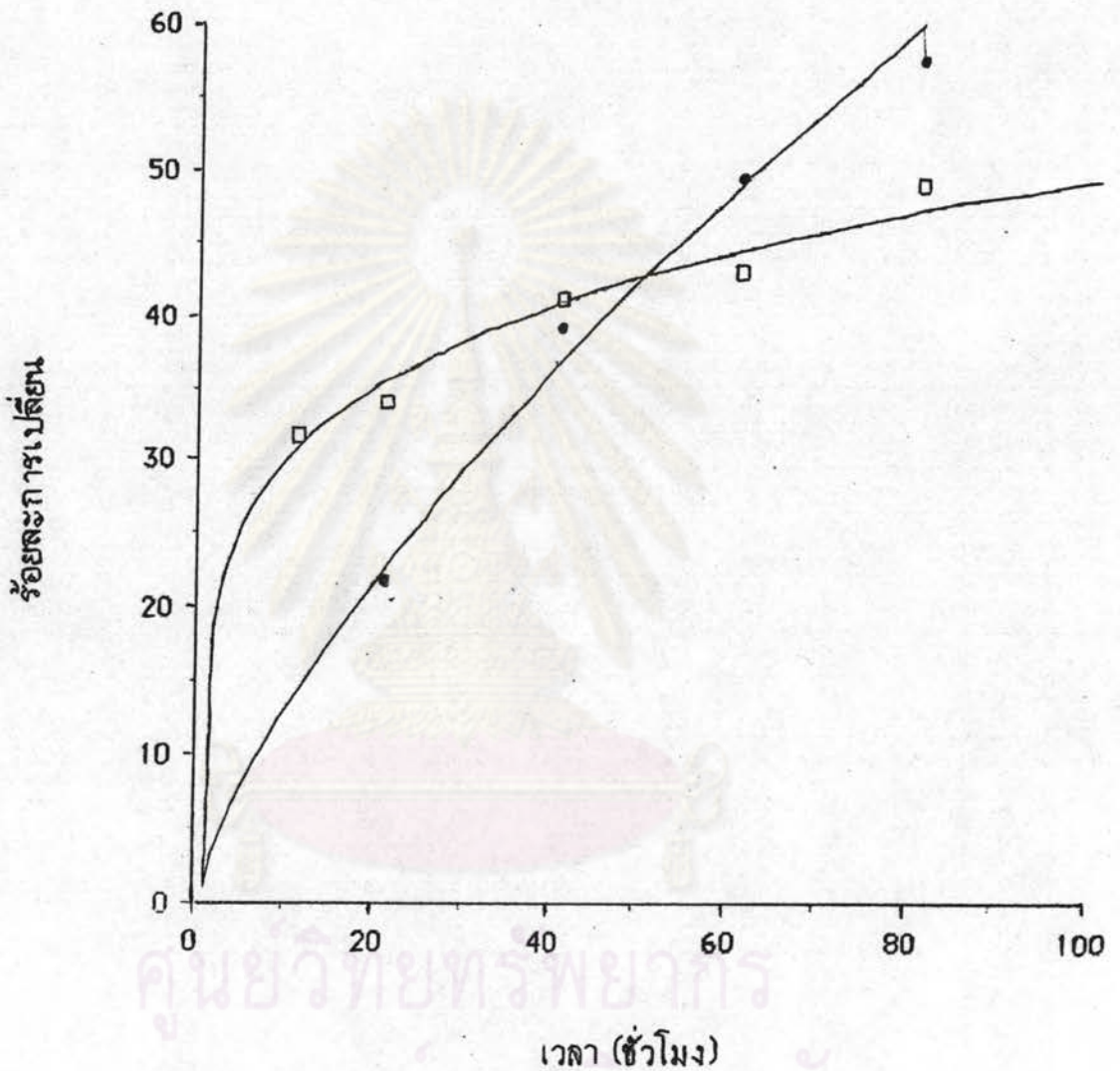


รูป 4.16 สเปกตรัมไออาร์ของสาร 2 (ฟิล์ม)

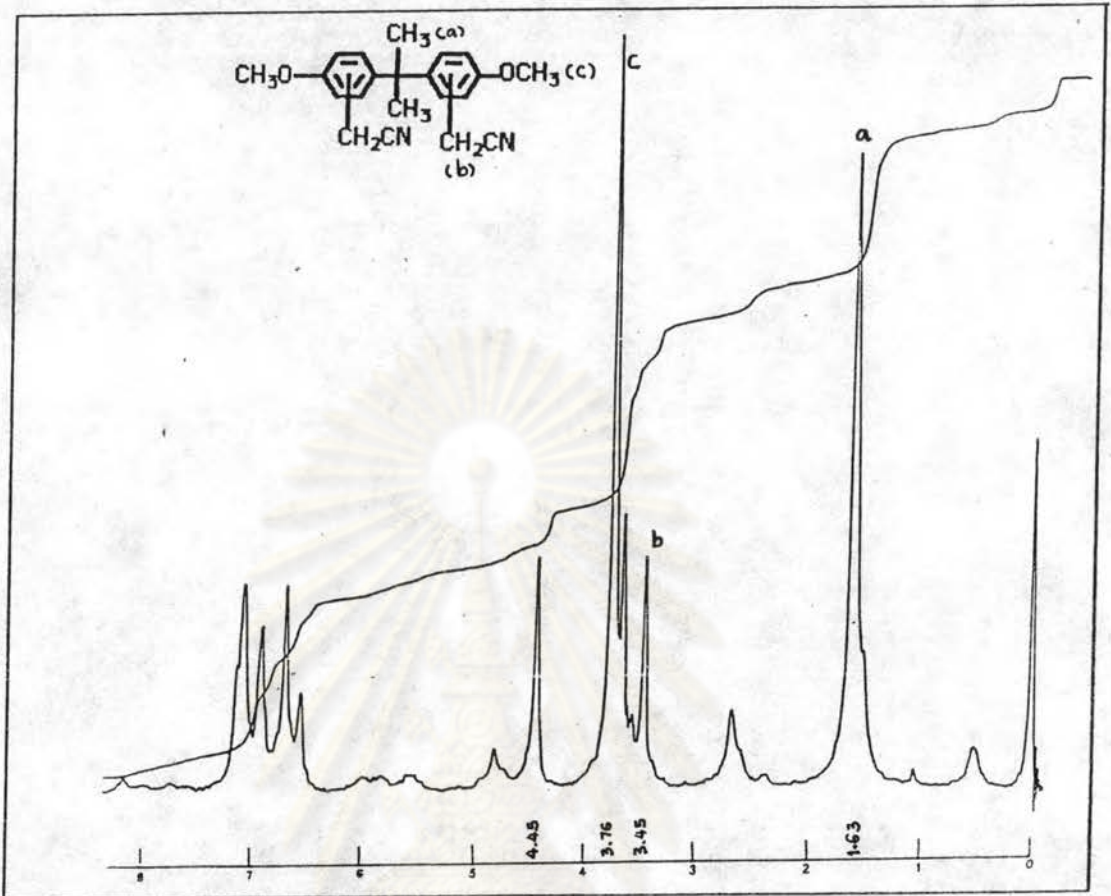
ตาราง 4.6. ผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ของปฏิกิริยาการแทนที่ แอนไอออนไซยาไนด์ (0.026 โมล) บนบีพีซี (0.009 โมล) ในสารละลายคลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ (2 มล.) กวนด้วยอัตรา 600 รอบต่อนาที เร่งด้วยตัวเร่ง 9a (0.017 โมลคลอไรด์)

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละการเปลี่ยน	
	50°C.	70°C.
10	-	30.91
20	21.16	33.33
40	38.46	40.32
60	48.78	42.25
80	56.86	48.21

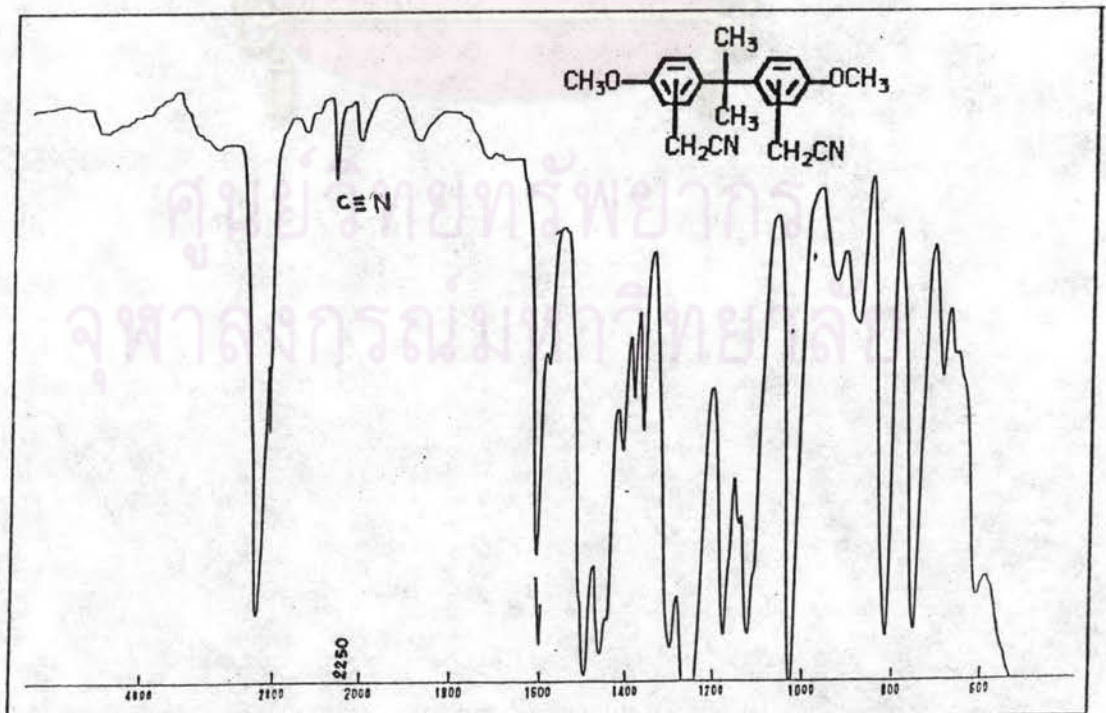
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4.17. ผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลง ของปฏิกิริยาการแทนที่ แอนไอออนไซยาไนด์ (0.026 โมล) บนบีพีซี (0.004 โมล) ในสารละลาย คลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ (2 มล.) กวนด้วยอัตรา 600 รอบต่อนาที เร่งด้วยตัวเร่ง 9a (0.017 โมลคลอไรด์) (●) 50°C.; (□) 70°C.

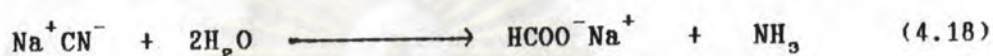


รูป 4.18 สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์ของสาร 6 ผสมกับบีพีซีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยน 48.78 (ในตัวทำละลายไคลโอโรฟอร์ม)

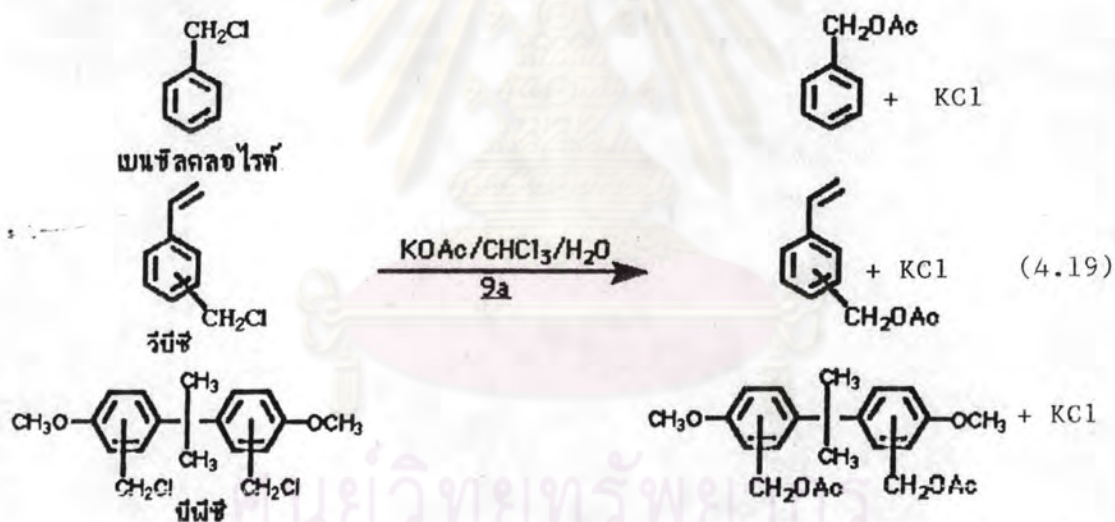


รูป 4.19 สเปกตรัมไออาร์ของสาร 6 (ฟิล์ม)

ไอออนไซยาไนด์บนวีนิลและบีฟีซีไม่เป็นไปตามที่คาดคิดไว้กล่าวคือ กรณีสองวีนิลที่อุณหภูมิ 50°ซ. จะให้ร้อยละการเปลี่ยนที่สูงกว่าที่อุณหภูมิ 70°ซ. ส่วนกรณีของบีฟีซีเมื่อเวลาของปฏิกิริยามากกว่า 40 ชั่วโมง ปฏิกิริยาที่เกิดที่อุณหภูมิ 50°ซ. ให้ค่าการเปลี่ยนสูงกว่าปฏิกิริยาที่เกิดที่ 70°ซ. สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจสรุปได้ว่าวีนิลและบีฟีซีมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาการแทนที่น้อยกว่าสารแบบจำลอง และ NaCN ไม่เสถียรที่อุณหภูมิสูง กล่าวคือ แอนไอออนไซยาไนด์ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในน้ำ จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสให้เป็นเกลือฟอร์เมตซึ่งไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยาการแทนที่ ดังสมการ 4.18



4.3.3.2 ผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ในปฏิกิริยาการแทนที่ของแอนไอออนอะซีเตตบนสารแบบจำลอง วีนิล และบีฟีซี

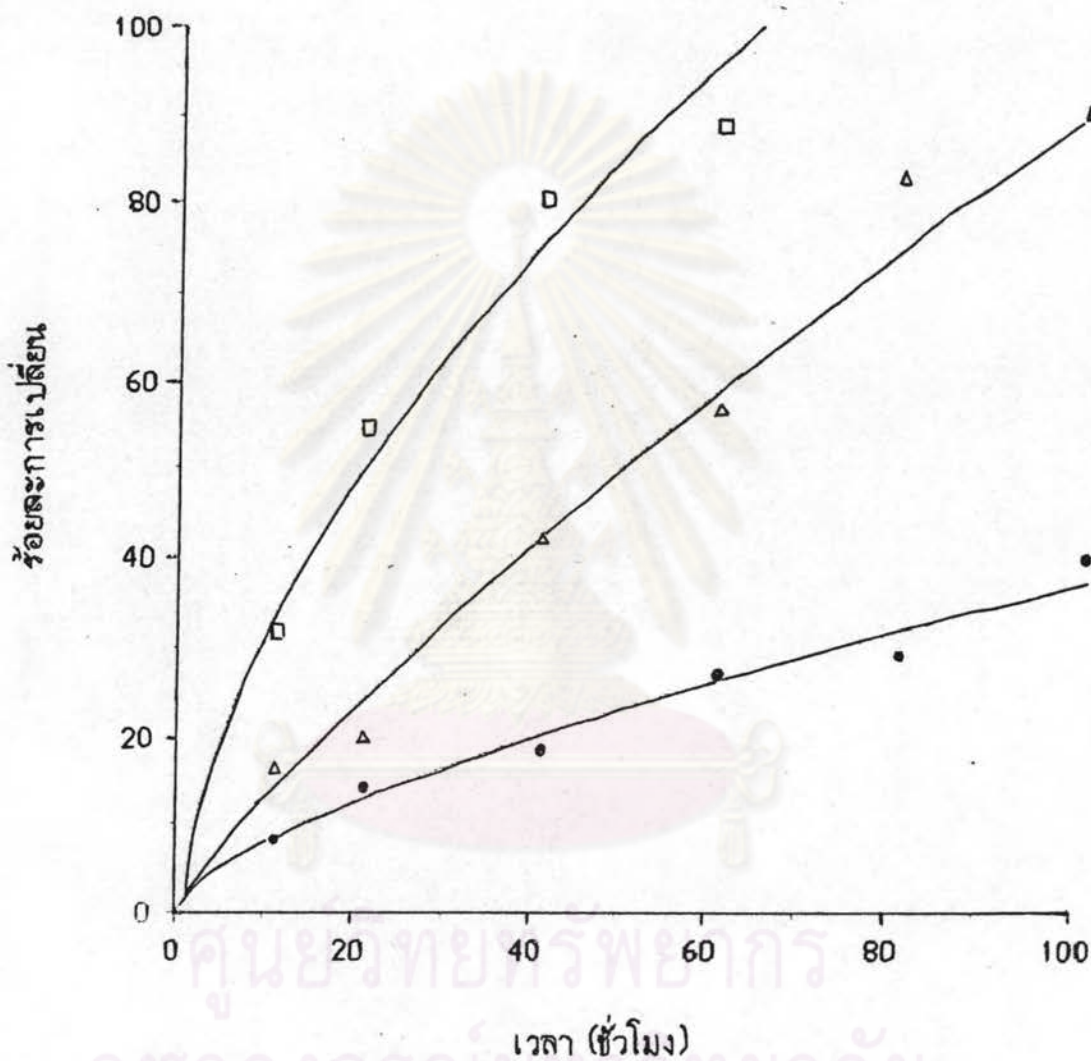


ผลการศึกษานี้ปฏิกิริยาการแทนที่แอนไอออนอะซีเตตบนสารแบบจำลอง ได้แสดงในตาราง 4.7 และรูป 4.20 (สเปกตรัมอินฟราเรดรูป 4.21 ปรากฏพีกที่ δ 5.00 (CH_2OAc) และ 2.00 (CH_3COO) พีพีเอ็ม และไออาร์รูป 4.22 ปรากฏพีกที่ ν 1,735 cm^{-1} (C=O) จากรูป 4.28 จะเห็นว่าผลการทดลองเป็นไปตามที่คาดคิดไว้กล่าวคือ ที่อุณหภูมิใด ๆ ร้อยละการเปลี่ยนเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น เพราะรีเอเจนต์ทั้งสองแพร่มาซึ่งส่วนว่องไวของตัวเร่งได้มากขึ้น ปฏิกิริยาจึงเกิดอย่างรวดเร็ว และผลของอุณหภูมิ (ที่ 30° 50° และ 70°ซ.) เป็นไปตามสมการของ Arrhenius กล่าวคือ ร้อยละการเปลี่ยนที่อุณหภูมิ 30°ซ. เกิดค่อนข้างช้ากว่าที่

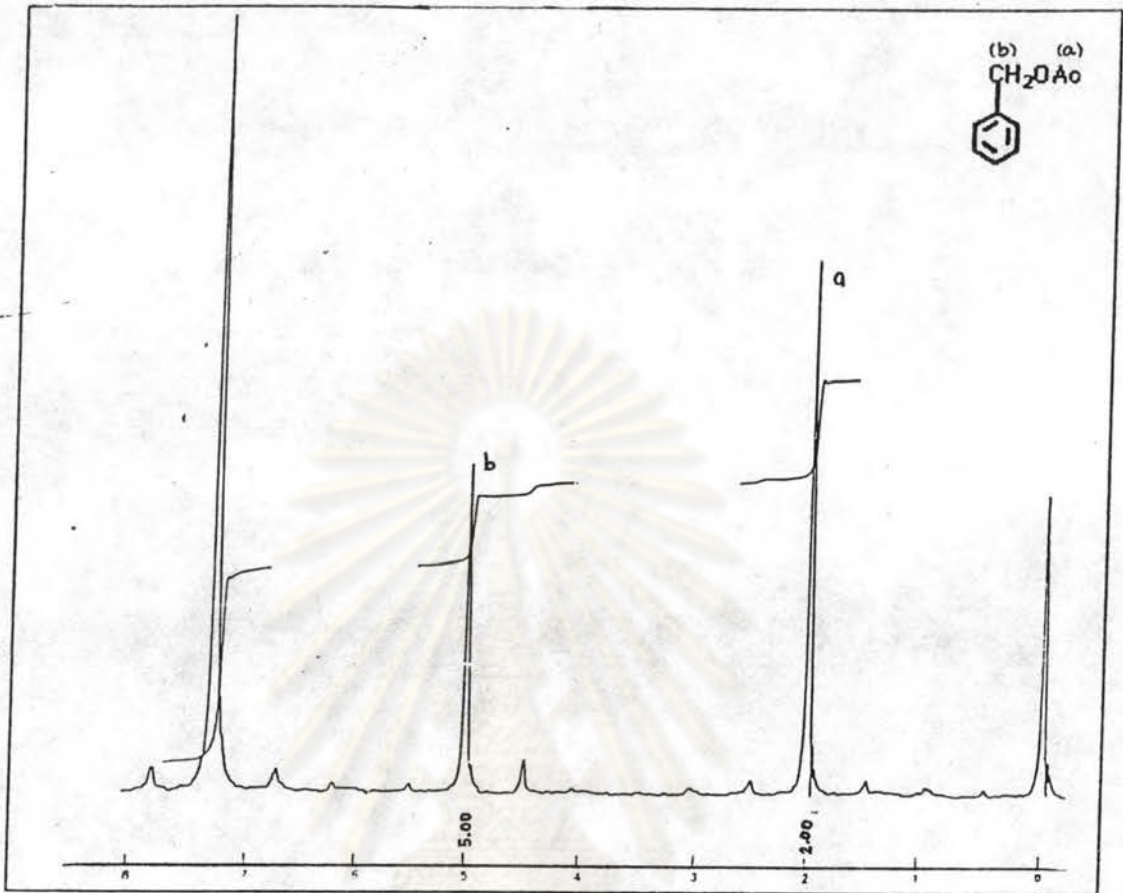
ตาราง 4.7. ผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ของปฏิกิริยาการแทนที่
แอนไอออนอะซิเตต (0.026 โมล) บนเบนซิลคลอไรด์ (0.009 โมล)
ในสารละลายคลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ (2 มล.) กวนด้วยอัตรา 600
รอบต่อนาที เร่งด้วยตัวเร่ง 9a (0.017 โมลคลอไรด์)

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละการเปลี่ยน		
	30°C.	50°C.	70°C.
10	6.89	15.02	30.33
20	12.95	18.40	53.33
40	17.03	40.80	79.05
60	25.76	55.36	87.50
80	27.92	81.56	
100	38.52	88.89	

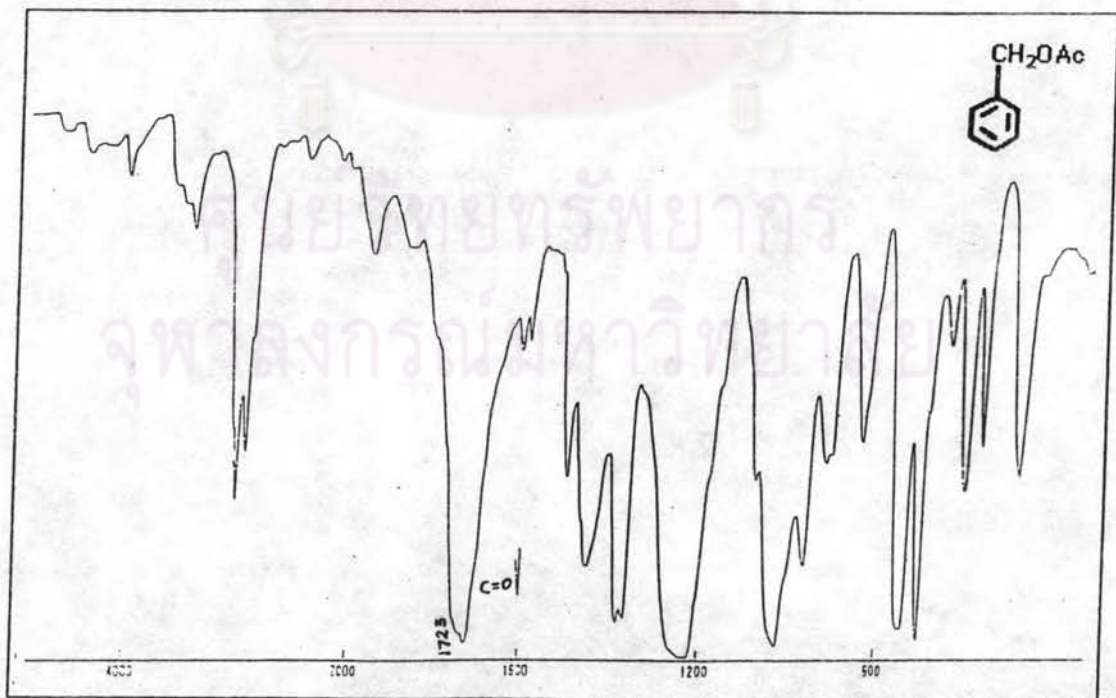
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4.20. ผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลง ของปฏิกิริยาการแทนที่แอนไอออนอะซิเตต (0.026 โมล) บนเบนซิลคลอไรด์ (0.009 โมล) ในสารละลายคลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ (2 มล.) กวนด้วยอัตรา 600 รอบต่อนาที เร่งด้วยตัวเร่ง 9a (0.017 โมลคลอไรด์)
(●) 30°C.; (Δ) 50°C.; (□) 70°C.



รูป 4.21 สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์ของเบนซิลอะซิเตต (ในดิวทีโรคลอโรฟอร์ม)



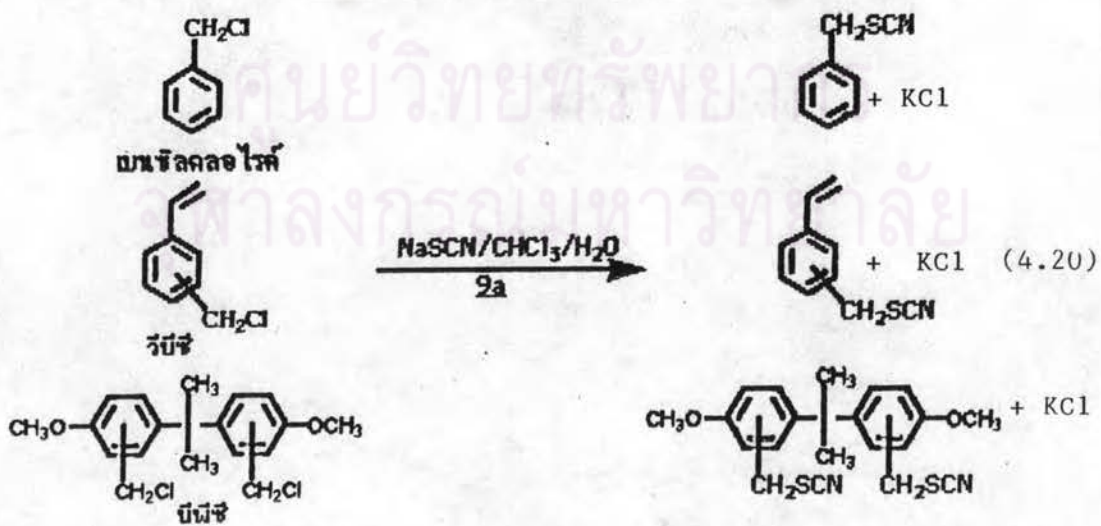
รูป 4.22 สเปกตรัมไออาร์ของเบนซิลอะซิเตต (ฟิล์ม)

อุณหภูมิ 50°ซ. และ 70°ซ. และอุณหภูมิยิ่งสูงอัตรายิ่งเกิดได้เร็วยิ่งขึ้น

ผลการศึกษาปฏิกิริยาการแทนที่แอนไอออนอะซีเตตบนวินีลที่ ได้แสดง ในตาราง 4.8 และรูป 4.23 (สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์และไออาร์รูป 4.24 และ 4.25) อิทธิพลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ก็คล้ายคลึงกับในกรณีของสารแบบจำลองคือ ที่อุณหภูมิใด ๆ ร้อยละการเปลี่ยนเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น และผลของอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยนเป็นไปตามสมการของ Arrhenius กล่าวคือ อัตราปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 70°ซ.มากกว่าที่อุณหภูมิ 50°ซ. และ 30°ซ.

ส่วนในกรณีของปฏิกิริยาการแทนที่แอนไอออนอะซีเตตบนบีทีที ได้แสดง ในตาราง 4.9 และรูป 4.26 (สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์และไออาร์รูป 4.27 และ 4.28) จากรูป 4.26 จะเห็นว่าอิทธิพลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน จะคล้ายคลึงกับกรณีเมื่อใช้สารตั้งต้นเป็นสารแบบจำลองและบีทีที กล่าวคือ ร้อยละการเปลี่ยนเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิ 70°ซ. ให้อัตราปฏิกิริยาสูงกว่าที่อุณหภูมิ 50°ซ. แต่ร้อยละการเปลี่ยนก็ยังต่ำกว่าในสองกรณีแรกมาก

4.3.3.3 ผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยนในปฏิกิริยาการแทนที่แอนไอออนโทโอไซยานเนตบนสารแบบจำลอง วินีล และบีทีที

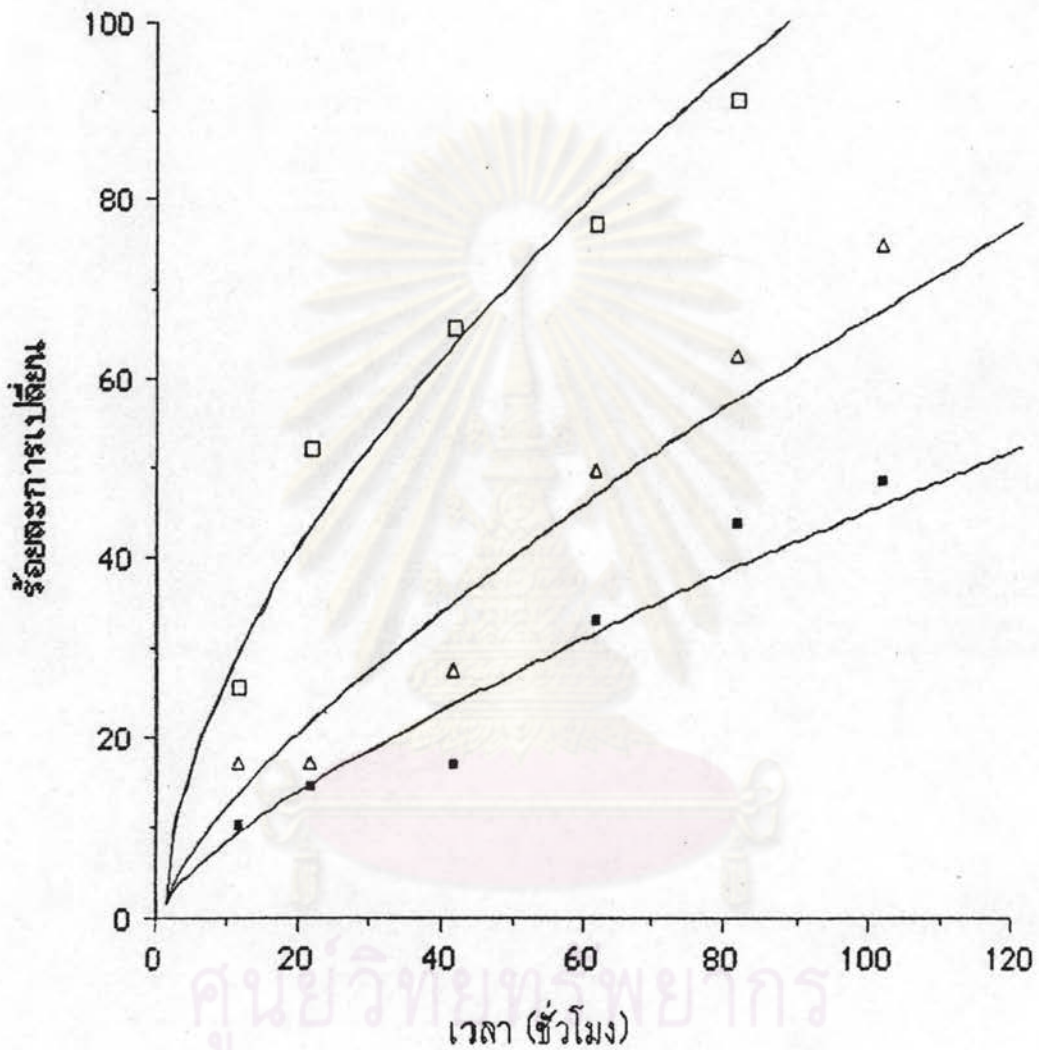


ผลการศึกษาปฏิกิริยาการแทนที่แอนไอออนโทโอไซยานเนตบนสาร

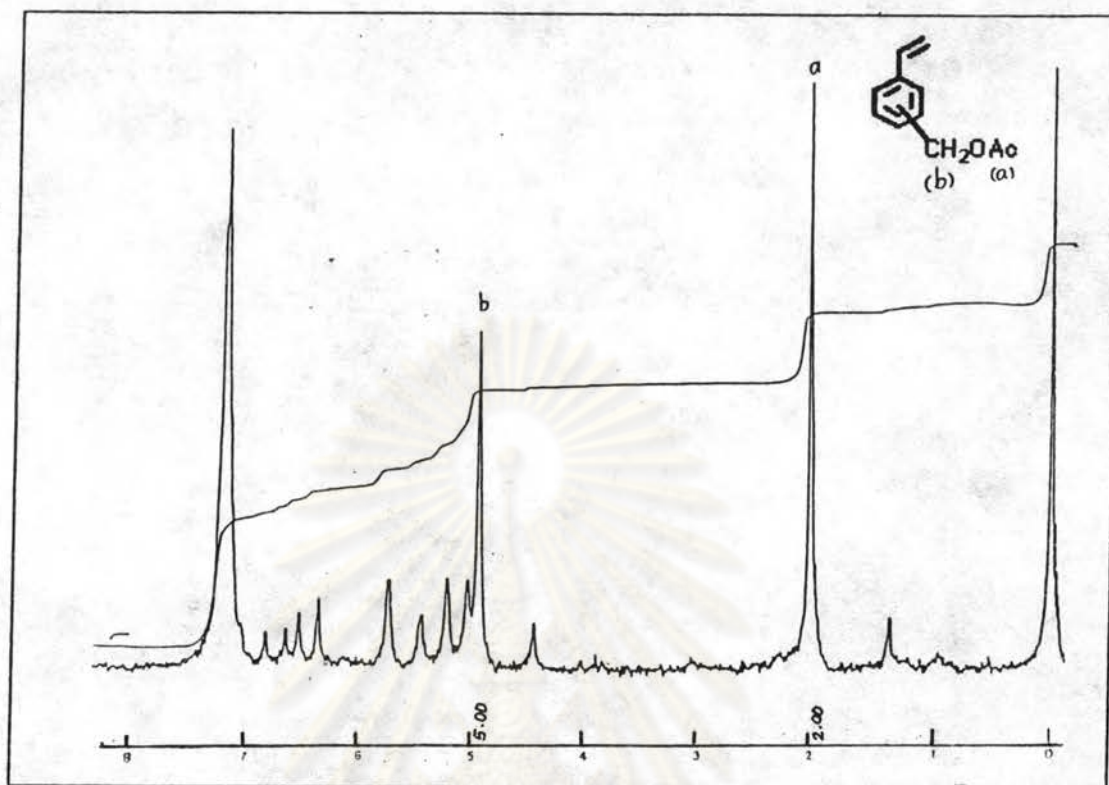
ตาราง 4.8. ผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ของปฏิกิริยาการแทนที่ แอนไอออนอะซิเตต (0.026 โมล) บนรีบิซี (0.009 โมล) ในสารละลายคลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ (2 มล.) กวนด้วยอัตรา 600 รอบต่อนาที เร่งด้วยตัวเร่ง 9a (0.017 โมลคลอไรด์)

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละการเปลี่ยน		
	30°C.	50°C.	70°C.
10	8.91	15.63	24.29
20	13.17	15.72	50.54
40	15.74	26.22	64.15
60	31.95	48.33	75.68
80	42.33	61.17	89.66
100	47.12	73.33	

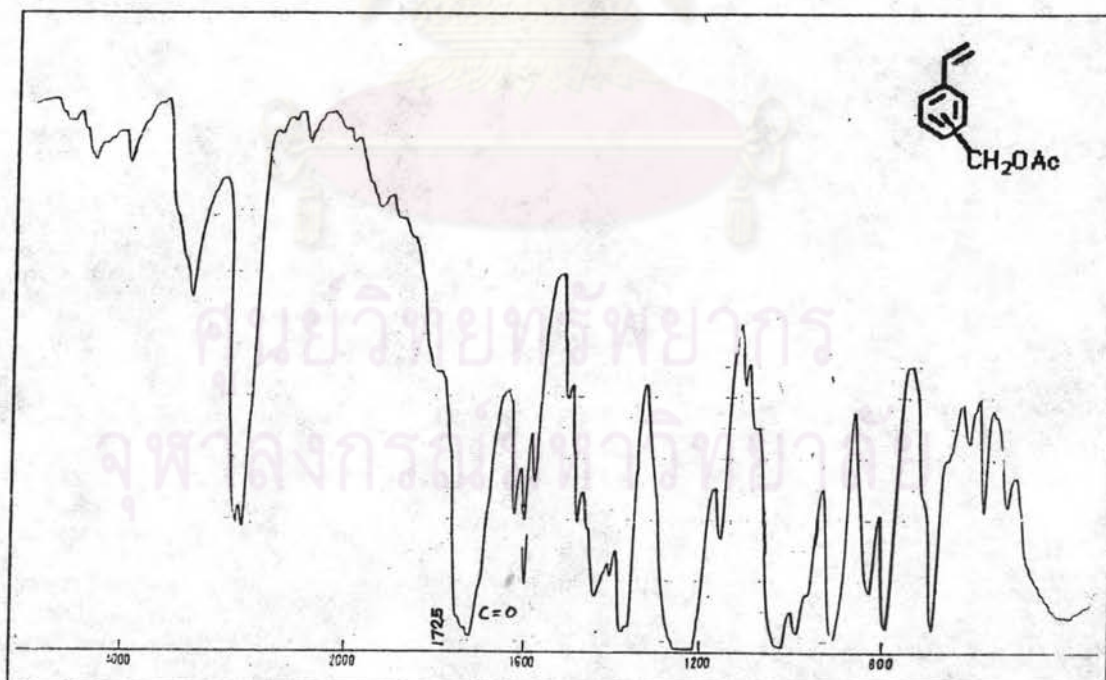
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4.23. ผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ของปฏิกิริยาการแทนที่ แอนไอออนอะซีเตต (0.026 โมล) บนวีบีซี (0.009 โมล) ในสารละลาย คลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ (2 มล.) กวนด้วยอัตรา 600 รอบต่อนาที เร่งด้วยตัวเร่ง 9a (0.017 โมลคลอไรด์)
 (●) 30°C.; (Δ) 50°C.; (□) 70°C.



รูป 4.24 สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์ของสาร 3 (ในดีทีโอคลอโรฟอร์ม)

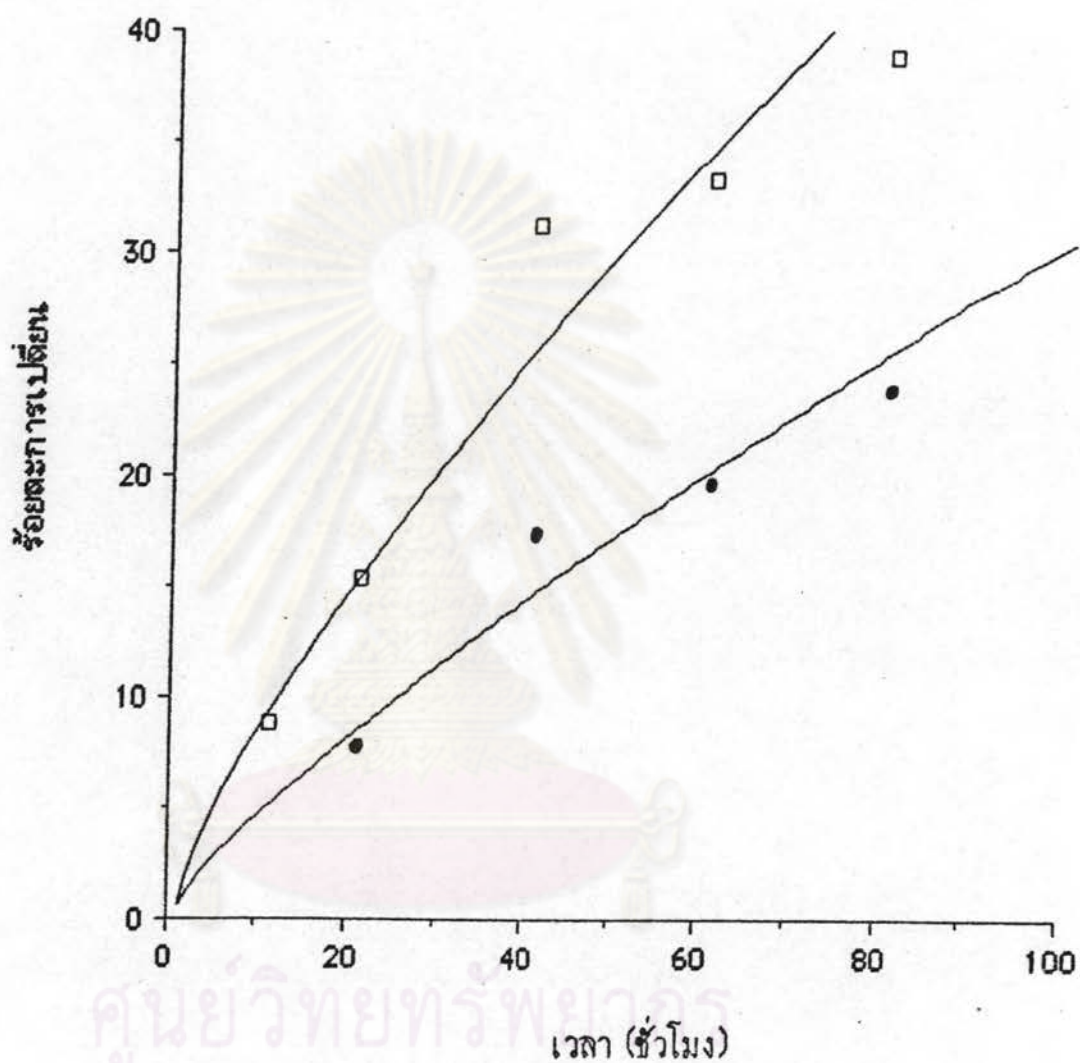


รูป 4.25 สเปกตรัมไออาร์ของสาร 3 (ฟิล์ม)

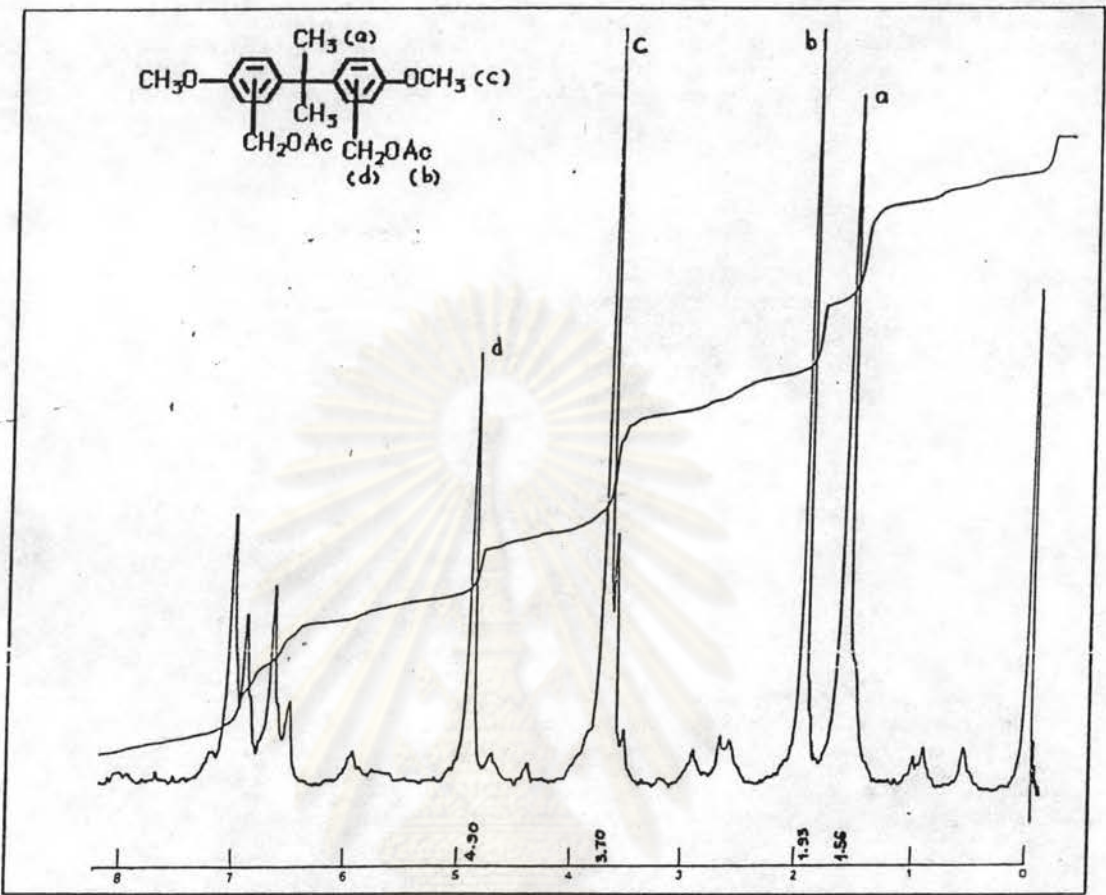
ตาราง 4.9. ผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ของปฏิกิริยาการแทนที่ แอนไอออนอะซีเตต (0.026 โมล) บนบีพีซี (0.009 โมล) ในสารละลายคลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ (2 มล.) กวนด้วยอัตรา 600 รอบต่อนาที เร่งด้วยตัวเร่ง 9a (0.017 โมลคลอไรด์)

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละการเปลี่ยน	
	50°C.	70°C.
10	-	8.33
20	7.41	14.84
40	16.80	30.65
60	19.17	32.84
80	23.39	38.37

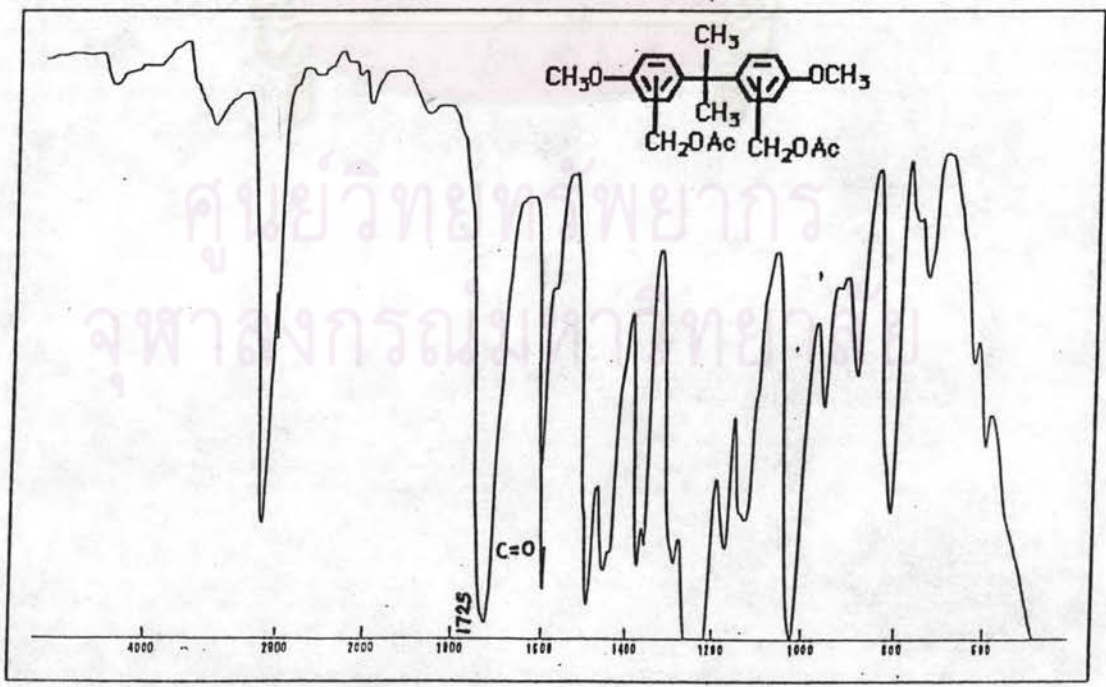
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4.26. ผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลง ของปฏิกิริยาการแทนที่ แอนไอออนอะซีเทต (0.026 โมล) บนบีพีซี (0.004 โมล) ในสารละลาย คลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ (2 มล.) กวนด้วยอัตรา 600 รอบต่อนาที เร่งด้วยตัวเร่ง 9a (0.017 โมลคลอไรด์) (●) 50°C.; (□) 70°C.



รูป 4.27 สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์ของสาร 7 (ในตัวทำละลายไคลโอโรฟอร์ม)



รูป 4.28 สเปกตรัมไออาร์ของสาร 7 (ฟิล์ม)

แบบจำลองได้แสดงในตาราง 4.10 และรูป 4.29 (สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์รูป 4.30 ปรากฏที่ 4.05 (CH_2SCN) พีพีเอ็ม และไออาร์ปรากฏที่ $2,150 \text{ cm}^{-1}$ (SCN)) จากรูป 4.29 จะเห็นว่า ที่อุณหภูมิใด ๆ ร้อยละการเปลี่ยนเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งในช่วงเวลาแรก ๆ ร้อยละการเปลี่ยนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เพราะรีเอเจนต์ทั้งสองเคลื่อนที่และแพร่ไปยังหมู่ว่องไวของตัวเร่งได้มาก ร้อยละการเปลี่ยนยังเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 70°C . ให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนถึง 100 ในเวลา 40 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 50°C . ให้ร้อยละการเปลี่ยน 93 ในเวลา 60 ชั่วโมง อัตราที่อุณหภูมิ 50°C . และ 70°C . เร็วกว่าที่อุณหภูมิ 30°C . มาก ซึ่งผลการทดลองเป็นไปตามสมการของ Arrhenius ดังได้กล่าวไว้แล้วในตอนต้น

ผลการศึกษาปฏิกิริยาการแทนที่แอนไอออนไทโอไซยาเนตบนวีบีซี

ได้แสดงในตาราง 4.11 และรูป 4.32 (สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์และไออาร์รูป 4.33 และ 4.34)

จากรูป 4.32 จะเห็นว่า ที่อุณหภูมิ 30°C . ร้อยละการเปลี่ยนเพิ่มขึ้นเกือบเป็นเส้นตรงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น และในช่วงเวลา 0-20 ชั่วโมงแรก ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50°C . และ 70°C . ให้อัตราปฏิกิริยาเร็วและให้ค่าการเปลี่ยนสูงกว่าที่อุณหภูมิ 30°C . ค่อนข้างมาก

ผลการศึกษาปฏิกิริยาการแทนที่แอนไอออนไทโอไซยาเนตบนบีพีซีได้

แสดงในตาราง 4.12 และรูป 4.35 (สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์และไออาร์รูป 4.36 และ 4.37)

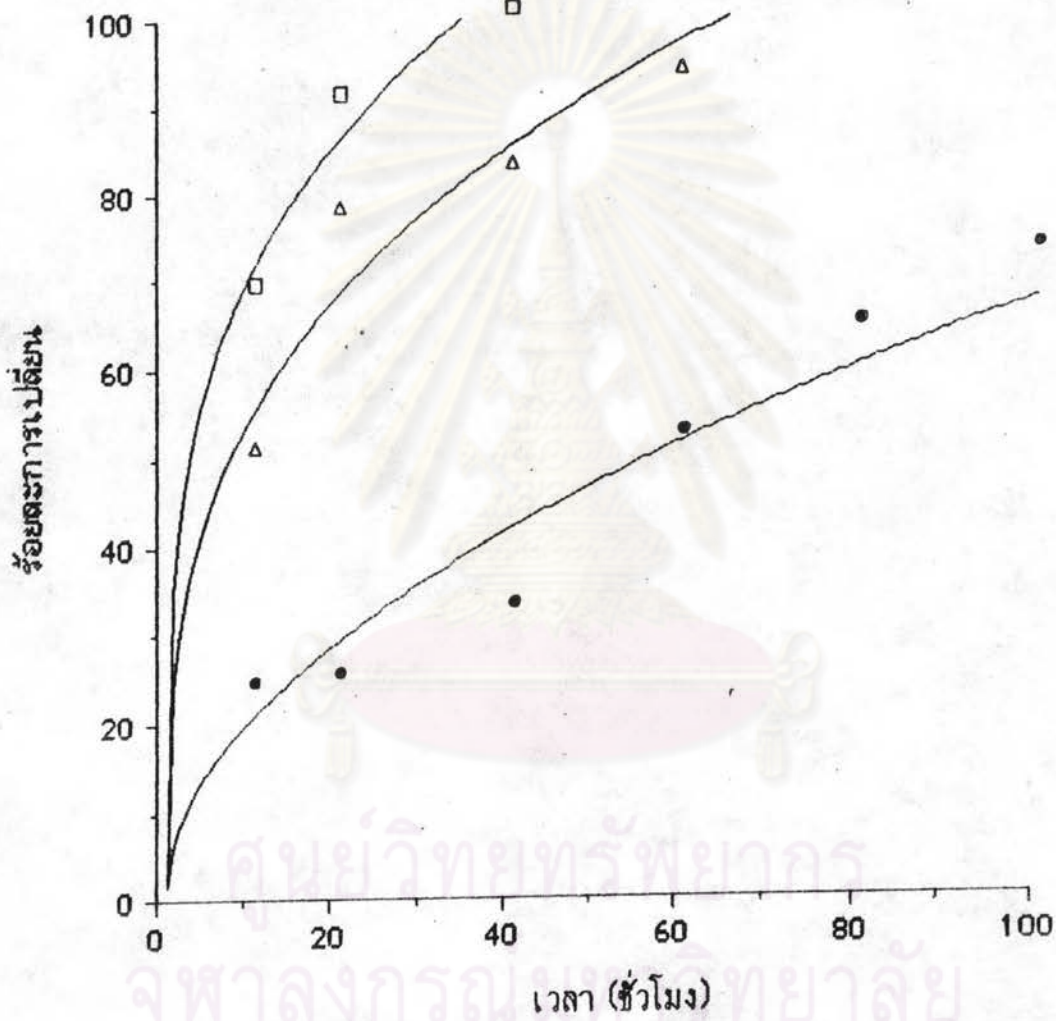
ในที่นี้ได้ศึกษาปฏิกิริยาเฉพาะที่อุณหภูมิ 50°C . และ 70°C . ซึ่งให้ผลคล้ายคลึงกับในกรณีของสารแบบจำลอง กล่าวคือ ร้อยละการเปลี่ยนเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น และอัตราที่อุณหภูมิ 50°C . มีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 70°C .

จากผลการทดลองปฏิกิริยาการแทนที่ที่กล่าวมา เป็นปฏิกิริยาระหว่างสารเริ่มต้น 3 ตัว คือ สารแบบจำลอง วีบีซี และบีพีซี กับรีเอเจนต์ NaCN , KOAc , และ NaSCN ที่อุณหภูมิ 30° , 50° และ 70°C . ภายใต้การเร่งแบบสามวัฏภาคโดยเฉลี่ยแล้วที่อุณหภูมิ 70°C . ปฏิกิริยาเกือบทุกชนิดให้ร้อยละการเปลี่ยนที่สูงเมื่อใช้เวลาเท่ากัน (ยกเว้นปฏิกิริยาของวีบีซี และบีพีซีกับ NaCN) โดยเฉพาะปฏิกิริยาเมื่อใช้ NaSCN เป็นรีเอเจนต์ จะให้ค่าการเปลี่ยนที่สูงมากกับสารตั้งต้นทั้ง

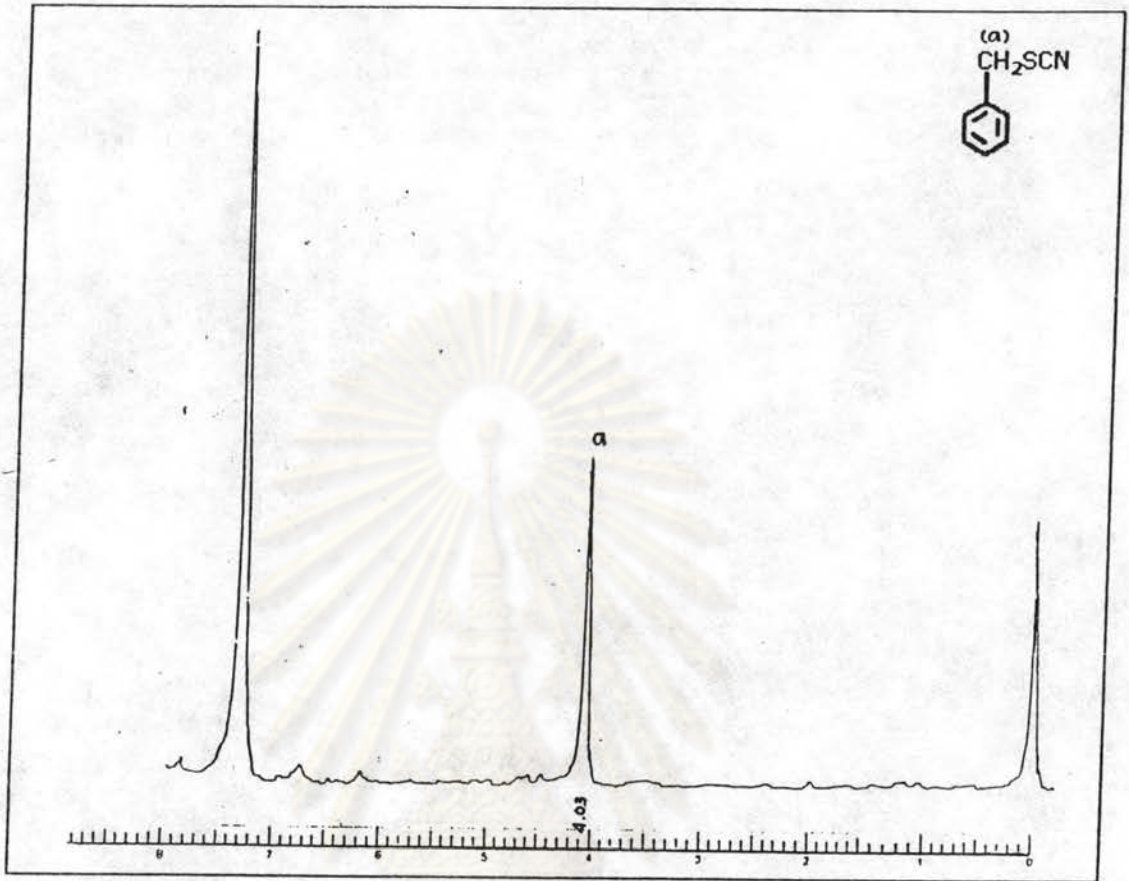
ตาราง 4.10. ผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ของปฏิกิริยาการแทนที่ แอนไอออนโทโอโซยาเนต (0.026 โมล) บนเบนซิลคลอไรด์ (0.009 โมล) ในสารละลายคลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ (2 มล.) กวนด้วยอัตรา 600 รอบต่อนาที เร่งด้วยตัวเร่ง 9a (0.017 โมลคลอไรด์)

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละการเปลี่ยน		
	30°ซ.	50°ซ.	70°ซ.
10	23.51	50.00	68.42
20	24.48	77.33	90.24
40	32.26	82.08	100.0
60	51.74	92.79	-
80	63.81	-	-
100	72.27	-	-

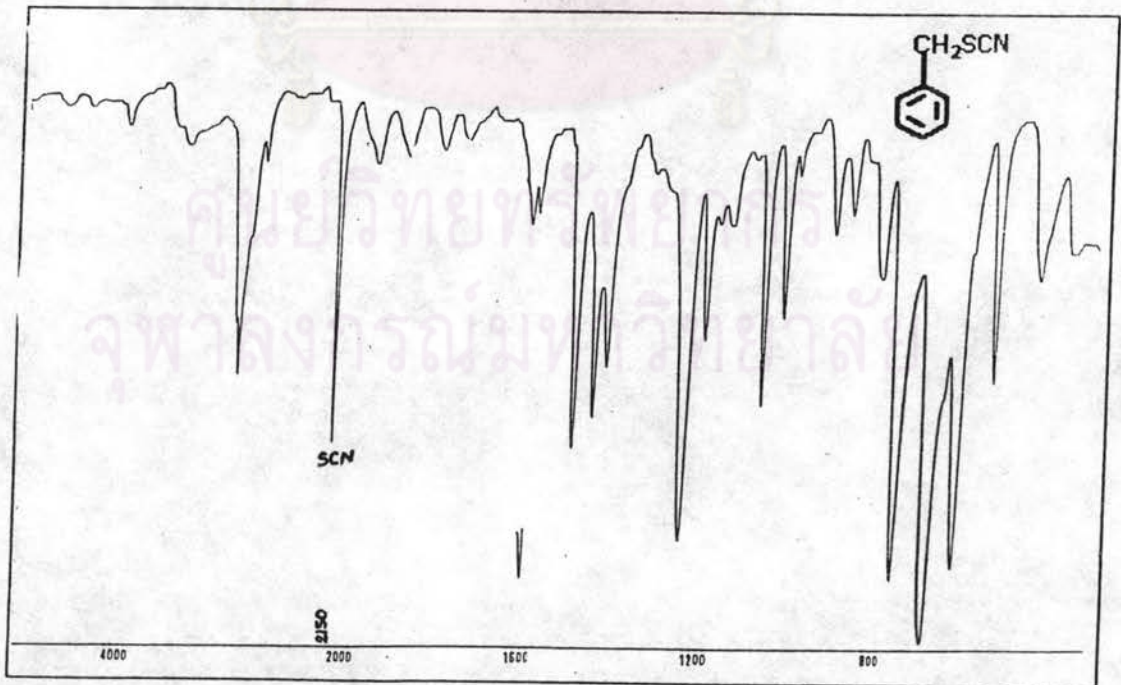
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4.29. ผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ของปฏิกิริยาการแทนที่แอนไอออนไทโอไซยาเนต (0.026 โมล) บนเบนซิลคลอไรด์ (0.009 โมล) ในสารละลายคลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ (2 มล.) กวนด้วยอัตรา 600 รอบต่อนาที เร่งด้วยตัวเร่ง 9a (0.017 โมลคลอไรด์)
(●) 30°C.; (Δ) 50°C.; (□) 70°C.



รูป 4.30 สเปกตรัมเอ็มเอ็มอาร์ของเบนซิลไทโอไอโซไซยาเนต (ในดีวทีโอคลอโรฟอร์ม)

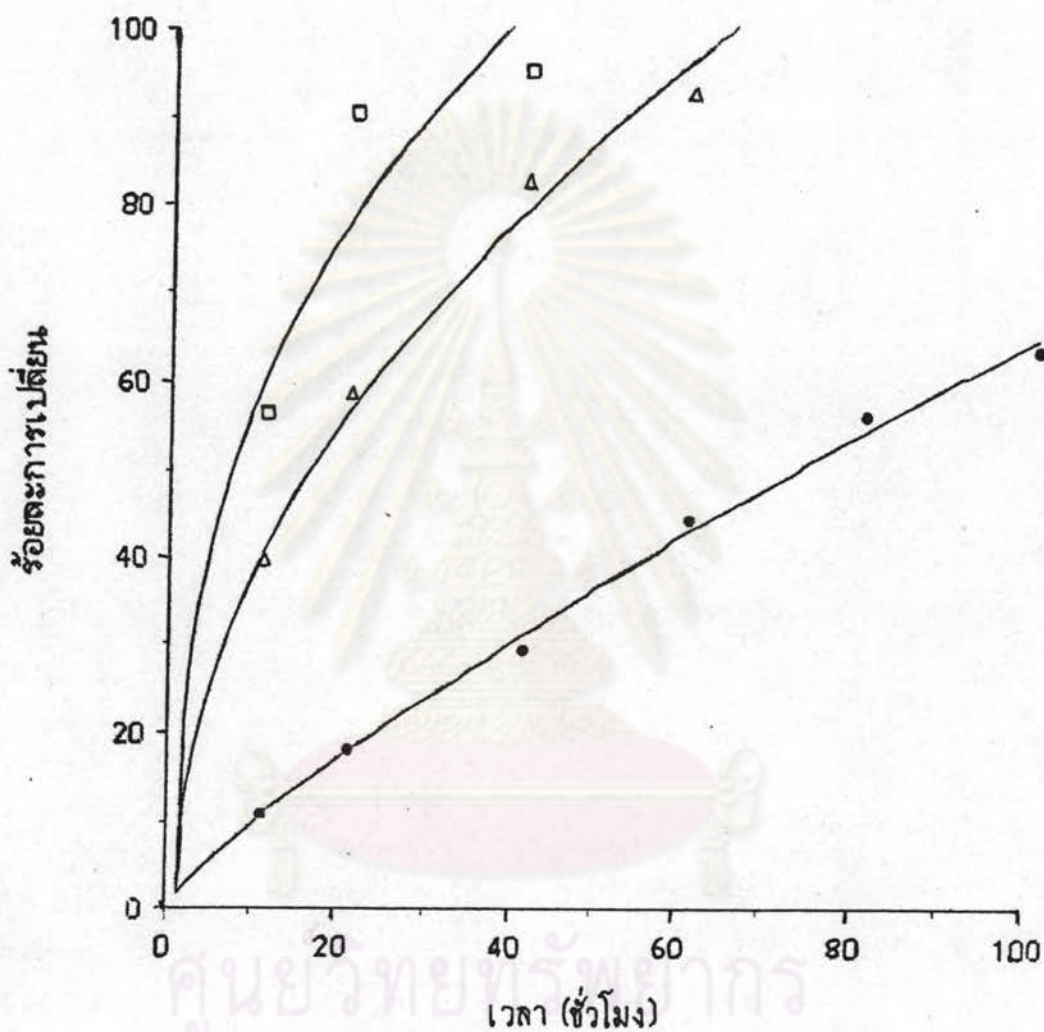


รูป 4.31 สเปกตรัมไออาร์ของเบนซิลไทโอไอโซไซยาเนต (ฟิล์ม)

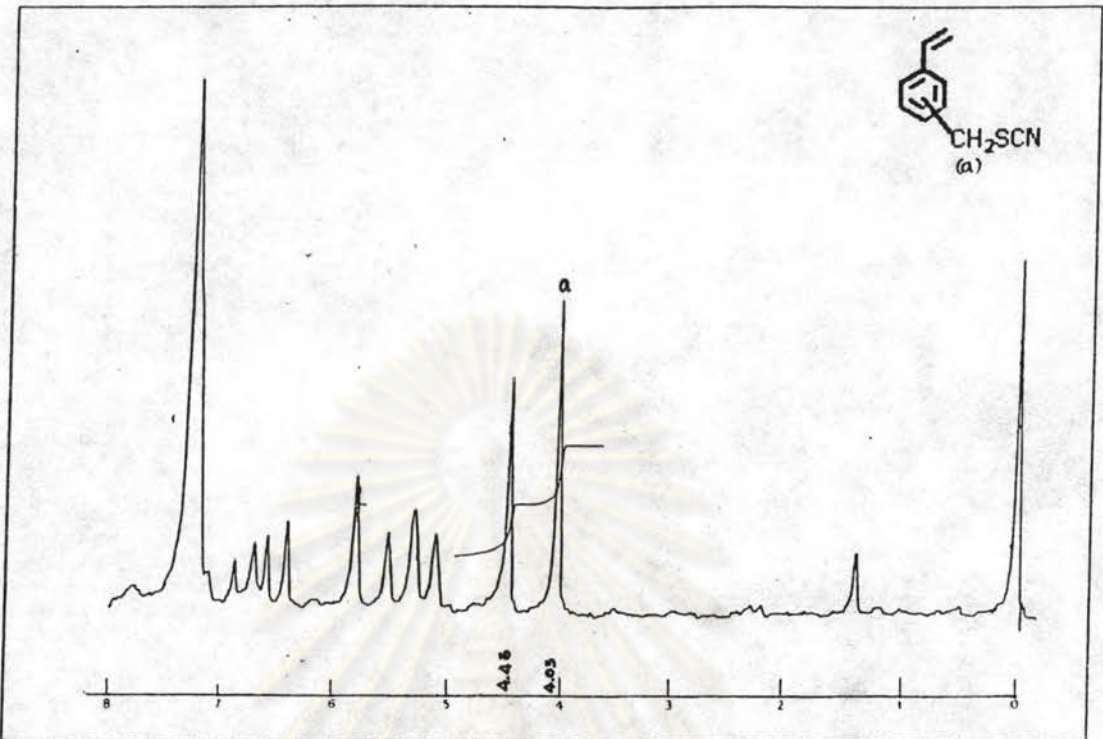
ตาราง 4.11. ผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ของปฏิกิริยาการแทนที่ แอนไอออนไทโอไซยาเนต (0.026 โมล) บนวีบีซี (0.009 โมล) ในสารละลายคลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ (2 มล.) กวนด้วยอัตรา 600 รอบต่อนาที เร่งด้วยตัวเร่ง 9a (0.017 โมลคลอไรด์)

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละการเปลี่ยน		
	30°ซ.	50°ซ.	70°ซ.
10	9.36	38.37	55.24
20	16.88	57.18	89.29
40	27.95	81.42	94.00
60	42.71	91.11	-
80	54.72	-	-
100	62.07	-	-

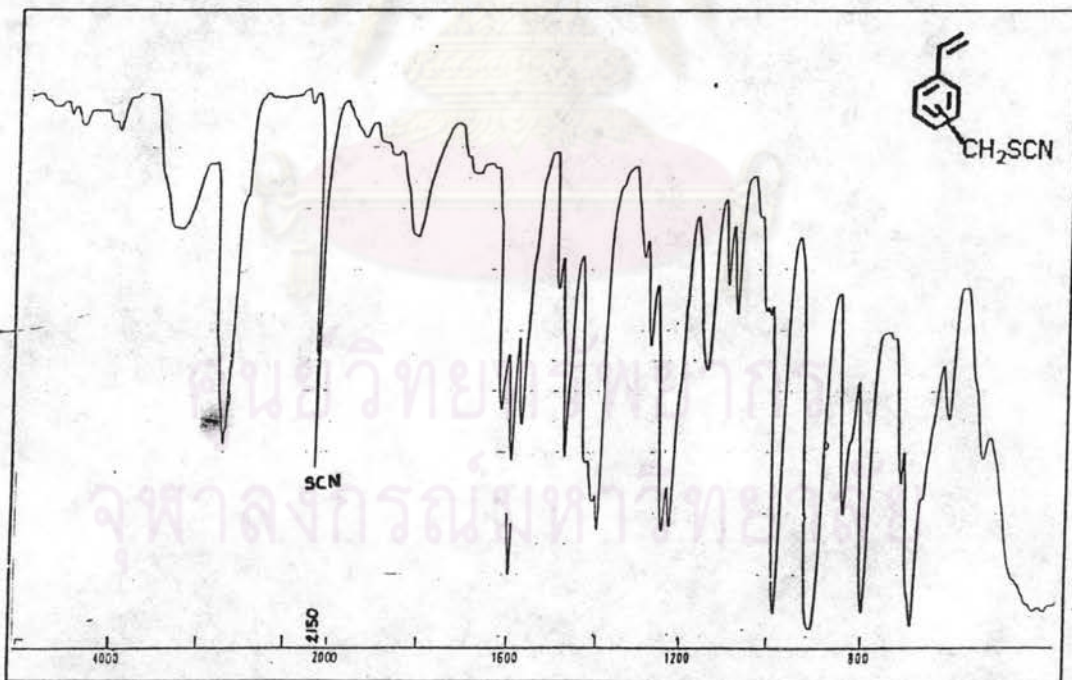
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4.32. ผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ของปฏิกิริยาการแทนที่
 แอนไอออนไทโอไซยาเนต (0.026 โมล) บนวีบีซี (0.009 โมล)
 ในสารละลายคลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ (2 มล.) กวนด้วยอัตรา 600
 รอบต่อนาที เร่งด้วยตัวเร่ง 9a (0.017 โมลคลอไรด์)
 (●) 30°C.; (Δ) 50°C.; (□) 70°C.



รูป 4.33 สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์ของสาร 4 กับวิธีอินทิเกรชันค่าการเปลี่ยน 57

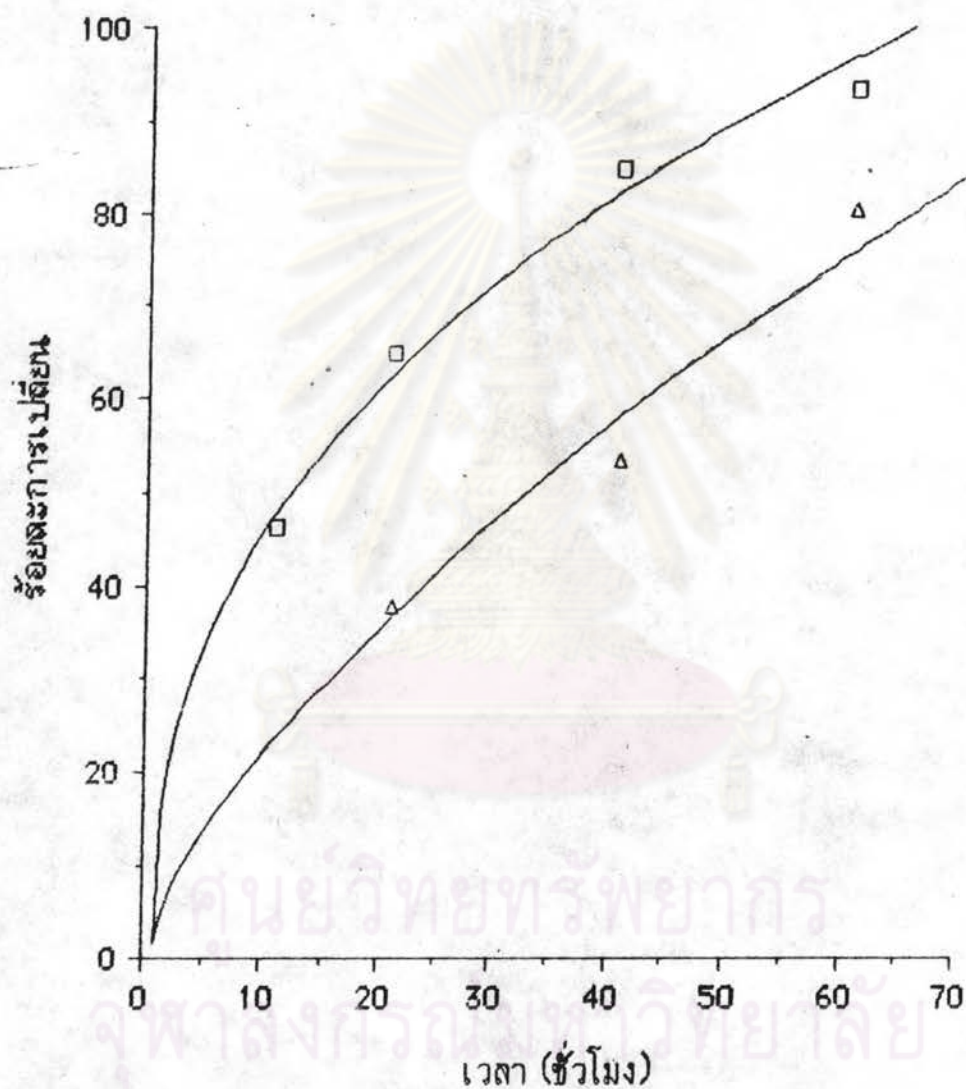


รูป 4.34 สเปกตรัมไออาร์ของสาร 4 (ฟิล์ม)

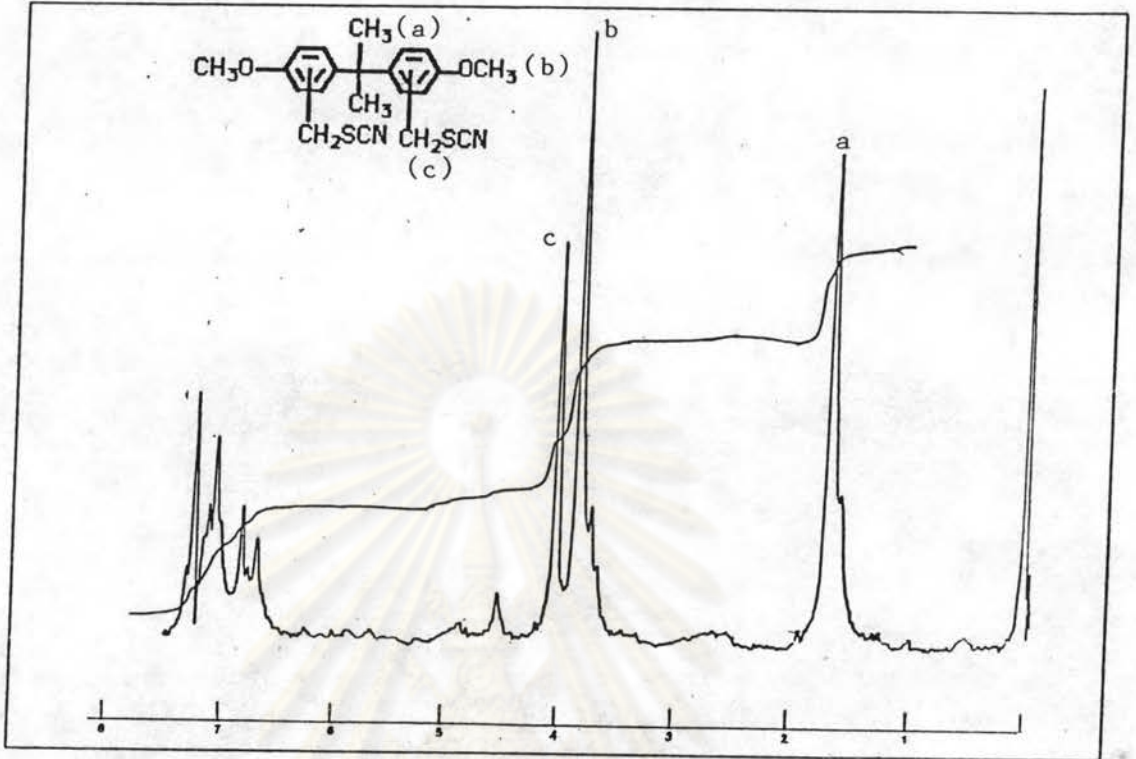
ตาราง 4.12. ผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ของปฏิกิริยาการแทนที่ แอนไอออนโทโอไซยาเนต (0.026 โมล) บนบีพีซี (0.009 โมล) ในสารละลายคลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ (2 มล.) กวนด้วยอัตรา 600 รอบต่อนาที เร่งด้วยตัวเร่ง 9a (0.017 โมลคลอไรด์)

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละการเปลี่ยน	
	50°C.	70°C.
10	-	45.00
20	36.59	63.53
40	52.00	83.67
60	78.79	91.80

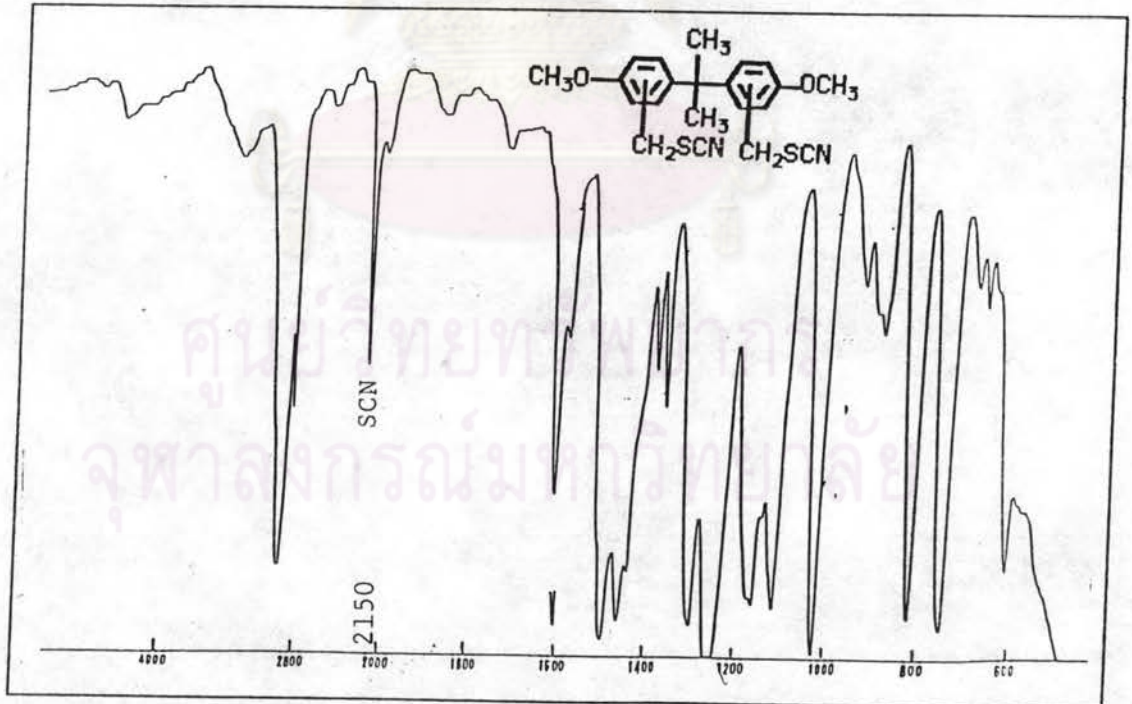
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4.35. ผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลง ของปฏิกิริยาการแทนที่แอนไอออนไทโอไซยาเนต (0.026 โมล) บนบีพีซี (0.004 โมล) ในสารละลายคลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ (2 มล.) กวนด้วยอัตรา 600 รอบต่อนาที เร่งด้วยตัวเร่ง 9a (0.017 โมลคลอไรด์)
(Δ) 50°C.; (\square) 70°C.

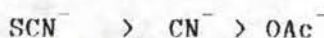
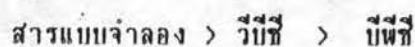


รูป 4.36 สเปกตรัมเอ็นเอ็มอาร์ของสาร 8 (ในคลอโรฟอร์ม)



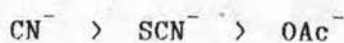
รูป 3.37 สเปกตรัมไออาร์ของสาร 8 (ฟิล์ม)

3 ตัว โดยสารแบบจำลองจะให้ร้อยละการเปลี่ยนสูงสุด ส่วนบีพีซีให้ร้อยละการเปลี่ยนต่ำสุด และในการใช้รีเอเจนต์ KOAc ให้ค่าการเปลี่ยนต่ำกว่าสารตั้งต้นทุกชนิด จากผลการทดลองสามารถสรุปลำดับความว่องไวของสารเริ่มต้นและรีเอเจนต์ที่มีต่อปฏิกิริยาการแทนที่ได้ดังนี้ (รูป 4.38)

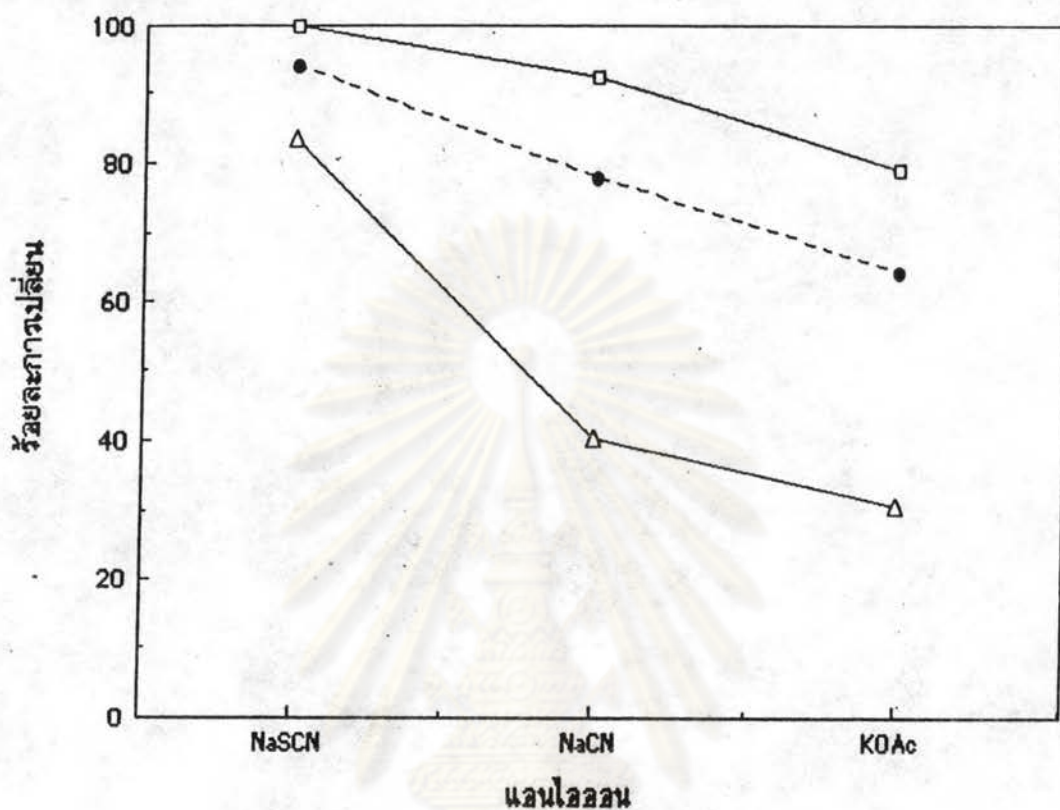


สาเหตุที่ลำดับความว่องไวของสารตั้งต้นซึ่งมีหมู่ว่องไวเป็นคลอโรเมทิลต่อกับวงแหวนเบนซีนเป็นดังข้างต้น สามารถอธิบายได้ว่าโครงสร้างของสารแบบจำลองมีหมู่เกาะเกาะต่อการแพร่เข้าทำปฏิกิริยากับรีเอเจนต์น้อยที่สุด เพราะฉะนั้นสารแบบจำลองจึงมีความว่องไวสูงสุด ส่วนโครงสร้างของบีพีซีนอกจากจะมีโมเลกุลใหญ่แล้วยังมีหมู่เกาะเกาะอยู่ในโมเลกุลด้วย ทำให้บีพีซีแพร่ไปยังส่วนที่ว่องไวของตัวเร่งซึ่งเป็นโมเลกุลใหญ่เช่นกันได้ยากที่สุด จึงมีความว่องไวต่ำสุด ส่วนวีบีซีแม้จะมีโครงสร้างคล้ายกับสารแบบจำลองมากที่สุด คือมีหมู่ไวเลเพิ่มขึ้นมาอีก 1 หมู่ ซึ่งความเกาะเกาะที่เพิ่มขึ้น ทำให้การแพร่ของวีบีซีไปยังหมู่ว่องไวของตัวเร่งเกิดได้ช้ากว่าสารแบบจำลอง ดังนั้นวีบีซีจึงมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาการแทนที่น้อยกว่าสารแบบจำลอง

ส่วนผลสรุปความว่องไวของรีเอเจนต์ที่อุณหภูมิ 30°C. สามารถอธิบายได้จากผลของขนาดและความสามารถในการเป็นนิวคลีโอไฟล์ของแอนไอออน กล่าวคือ แอนไอออนไซยาไนด์มีขนาดเล็กที่สุด การแพร่ไปยังส่วนที่ว่องไวของตัวเร่งซึ่งเป็นโมเลกุลใหญ่จะเป็นไปได้ง่ายกว่าแอนไอออนอะซีเตตซึ่งมีขนาดใหญ่ที่สุด ฉะนั้นบริเวณส่วนที่ว่องไวของตัวเร่งจะมีปริมาณแอนไอออนไซยาไนด์มากกว่าแอนไอออนไทโอไซยาเนตและแอนไอออนอะซีเตต และเนื่องจากความสามารถในการเป็นนิวคลีโอไฟล์ของรีเอเจนต์ทั้งสามมีลำดับดังนี้



ดังนั้นความว่องไวของแอนไอออนไซยาไนด์ในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นบริเวณส่วนที่ว่องไวของตัวเร่งจึงมากกว่าแอนไอออนไทโอไซยาเนตและแอนไอออนอะซีเตต

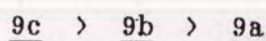


รูป 4.38 ผลของชนิดของรีเอเจนต์และสารตั้งต้นที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ในปฏิกิริยาการแทนที่ของรีเอเจนต์ (0.026 โมล) บนเบนซิลคลอไรด์ (0.009 โมล) วีสซี (0.009 โมล) และบีสซี (0.004 โมล) (ที่อุณหภูมิ 70°C. เวลา 40 ชั่วโมง ในสารละลายคลอโรฟอร์ม (5 มล.) - น้ำ (2 มล.) กวนด้วยอัตรา 600 รอบต่อนาที เร่งด้วยตัวเร่ง 9a (0.017 โมล)
 (△) บีสซี; (●) วีสซี; (□) เบนซิลคลอไรด์

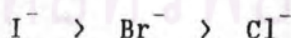
สำหรับที่อุณหภูมิสูงกว่า 30°C . และเวลามากขึ้น (มากกว่า 40 ชั่วโมง) สภาวะของปฏิกิริยาทำให้แอนไอออนไฮซาลีนด์ในน้ำไม่เสถียร และนั่นที่อุณหภูมิสูงลำดับความว่องไวของของแอนไอออนทั้งสามจึงแตกต่างจากที่ 30°C . ยกเว้นกรณีที่สารเริ่มต้นที่มีความว่องไวสูง ผลของความว่องไวของรีเอเจนต์จะเป็นดังที่กล่าวมาเช่นกัน

4.3.4. อิทธิพลของตัวเร่งที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยนในปฏิกิริยาการแทนที่แอนไอออนอะซีเตต, ไทโอไฮซาลีนเดอนวีนีลและบีทีที ที่อุณหภูมิ 70°C .

ได้ศึกษาผลของตัวเร่ง 9a, 9b และ 9c (ซึ่งมีแอนไอออนบนหมู่ว่องไวเป็นคลอไรด์ โบรไมด์ และไอโอดีน ตามลำดับ) ที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยนโดยใช้ตัวเร่ง 9a, 9b และ 9c จำนวน 0.017 โมล (คลอไรด์), 0.009 โมล (โบรไมด์) และ 0.004 โมล (ไอโอดีน) ตามลำดับ ในการเปรียบเทียบความว่องไวของตัวเร่งสองตัวหลัง จะนำร้อยละการเปลี่ยนมาคูณด้วย 2 และ 4 ตามลำดับ ผลการศึกษาปฏิกิริยาการแทนที่ของแอนไอออนอะซีเตต และ ไทโอไฮซาลีนเดอนวีนีลที่ได้แสดงในตาราง 4.13-4.14 และบีทีทีได้แสดงในตาราง 4.15-4.16 พบว่าโดยเฉลี่ยแล้วลำดับความว่องไวของตัวเร่งเป็นดังนี้



หรือกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า ลำดับความว่องไวของแอนไอออนในการแลกเปลี่ยนแอนไอออนบนตัวเร่งกับรีเอเจนต์ เป็นดังนี้



สาเหตุที่ลำดับความว่องไวเป็นดังข้างบนอาจเป็นเพราะไอโอดีนเป็นแอนไอออนที่ใหญ่ เพราะฉะนั้น แรงคูอมบ์ หรือแรงดึงดูดของไอออนกับควอเตอร์นารีแอมโมเนียมจะมีน้อยกว่า โบรไมด์และคลอไรด์ [32] ดังนั้นตัวเร่ง 9c จึงแลกเปลี่ยนแอนไอออนกับรีเอเจนต์ได้เร็วกว่า 9b และ 9a อัตราส่วนความว่องไวของ $9c/9b/9a$ มีค่าประมาณ $4 : 2 : 1$

ตาราง 4.13. ผลของชนิดตัวเร่งที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ในปฏิกิริยาการแทนที่ของแอนไอออน อะซีเทต(0.026 โมล) บนวีบีซี(0.009 โมล) ในสารละลายคลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ(2 มล.) ที่อุณหภูมิ 70°C. กวนด้วยอัตรา 600 รอบต่อนาที ภายใต้ระบบที่บีซี

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละการเปลี่ยน		
	9a	9b	9c
10	24.29	17.31(34.64)	17.68(70.72)
20	50.54	34.88(69.76)	35.22(140.88)
40	64.15	82.38(164.76)	81.12(324.48)
60	75.68		
80	89.66		

หมายเหตุ ใช้ปริมาณ 9a 0.017 โมล
 " 9b 0.009 "
 " 9c 0.004 "

(.....) เป็นร้อยละการเปลี่ยนหลังปรับปริมาณตัวเร่งเป็น 0.017 โมลแล้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.14 ผลของชนิดตัวเร่งที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ในปฏิกิริยาการแทนที่ของแอนไอออน ไทโอไซยาเนต (0.026 โมล) บนวีบีซี (0.009 โมล) ในสารละลาย คลอโรฟอร์ม(5 มล.)-น้ำ(2 มล.) ที่อุณหภูมิ 70°C. กวนด้วยอัตรา 600 รอบต่อนาที ภายใต้ระบบที่นิ่ง

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละการเปลี่ยน		
	9a	9b	9c
10	55.24	59.02(118.04)	54.55(218.20)
20	89.29	78.56(157.12)	80.33(321.32)
40	94.00	88.22(176.44)	95.15(380.60)

หมายเหตุ ใช้ปริมาณ 9a 0.017 โมล

" 9b 0.009 "

" 9c 0.004 "

(.....) เป็นร้อยละการเปลี่ยนหลังปรับปริมาณตัวเร่งเป็น 0.017 โมลแล้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.15 ผลของชนิดตัวเร่งที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ในปฏิกิริยาการแทนที่ของแอนไอออน อะซีเทต(0.026 โมล) บนบีพีซี(0.004 โมล) ในสารละลายคลอโรฟอร์ม (5 มล.)-น้ำ(2 มล.) ที่อุณหภูมิ 70°C. กวนด้วยอัตรา 600 รอบต่อนาที ภายใต้ระบบบีพีซี

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละการเปลี่ยน		
	<u>9a</u>	<u>9b</u>	<u>9c</u>
10	8.33	6.08(12.16)	10.20(40.80)
20	14.84	14.94(29.88)	14.29(57.16)
40	30.65	23.64(47.28)	22.55(90.50)
60	32.84	26.61(53.22)	31.58(126.32)
80	38.37	39.74 (79.48)	

หมายเหตุ ใช้ปริมาณ 9a 0.017 โมล

" 9b 0.009 "

" 9c 0.004 "

(....) เป็นร้อยละการเปลี่ยนหลังปรับปริมาณตัวเร่งเป็น 0.017 โมลแล้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.16 ผลของชนิดตัวเร่งที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยน ในปฏิกิริยาการแทนที่ของแอนไอออน ไทโอไซยาเนต (0.026 โมล) บนบีพีซี (0.004 โมล) ในสารละลาย คลอโรฟอร์ม(5 มล.)-น้ำ(2 มล.) ที่อุณหภูมิ 70°C. กวนด้วยอัตรา 600 รอบต่อนาที ภายใต้ระบบบีพีซี

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละการเปลี่ยน		
	9a	9b	9c
10	45.00	34.12(68.24)	35.96(143.44)
20	63.53	59.38(118.76)	68.09(272.36)
40	83.67	72.34(144.68)	75.66(302.64)
60	91.80	80.77(161.54)	84.13(336.52)

หมายเหตุ ใช้ปริมาณ 9a 0.017 โมล

" 9b 0.009 "

" 9c 0.004 "

(.....) เป็นร้อยละการเปลี่ยนหลังปรับปริมาณตัวเร่งเป็น 0.017 โมลแล้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย