

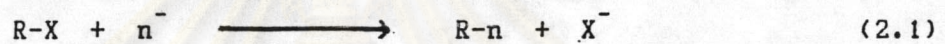


บทที่ 2

วารสารปริทัศน์ของปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์กับการเร่งปฏิกิริยาแบบสามวัฏภาค

2.1 ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์

เป็นปฏิกิริยาการแทนที่ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อนิวคลีโอไฟล์เข้าทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นชนิดมีหมู่ที่หลุดเป็นอิสระได้ง่ายดังสมการ 2.1

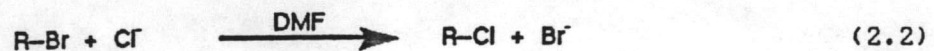


R = หมู่แอลคิล

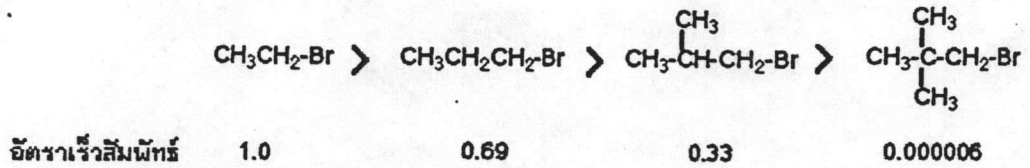
X⁻ = หมู่ที่หลุดเป็นอิสระได้ง่าย

n⁻ = นิวคลีโอไฟล์

ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์มีกลไกการเกิด 2 แบบ คือแบบ S_N1 และแบบ S_N2 (เสนอโดย E.D. Hughes and Sir Christopher Ingold, University College, London เมื่อปีค.ศ. 1935) ปฏิกิริยาจะเกิดโดยกลไกใด ขึ้นอยู่กับชนิดของสารตั้งต้น ตัวทำละลายที่ใช้และความว่องไวของรีเอเจนต์ (นิวคลีโอไฟล์) [13] แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดมีกลไกเป็น S_N2 สารตั้งต้นจะมีหมู่ที่หลุดเป็นอิสระได้เกาะอยู่กับคาร์บอนชนิดปฐมภูมิกับมีรีเอเจนต์ที่เป็นเกลืออินทรีย์ ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาการแทนที่ของแอลคิลโบรไมด์ด้วยแอนไอออนคลอไรด์ในสารละลายเอ็น,เอ็น-ไดเมทิลฟอร์มมาไมด์ (DMF) ดังสมการ 2.2

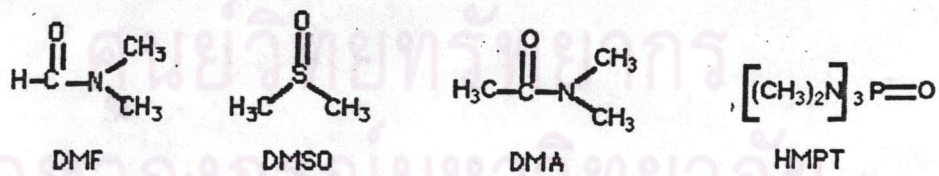


จากการศึกษาอัตราของปฏิกิริยานี้พบว่า หมู่บดบังบนสารตั้งต้นจะมีผลต่ออัตราของปฏิกิริยา เพราะหมู่บดบังทำให้รีเอเจนต์เข้าทำปฏิกิริยากับคาร์บอนชนิดปฐมภูมิที่ติดกับหมู่ที่หลุดเป็นอิสระได้ไม่สะดวก เช่น



รูป 2.1 แสดงอัตราสัมพัทธ์ของปฏิกิริยาการแทนที่แอนไอออนโบรไมด์ด้วยแอนไอออนคลอไรด์ โดยกลไก S_N2 [14]

ปฏิกิริยาการแทนที่ดังกล่าวนอกจากจะขึ้นอยู่กับการมีหมู่บังคับของสารตั้งต้นแล้ว ยังขึ้นกับชนิดของตัวทำละลายเป็นอย่างยิ่ง เพราะในระบบของ S_N2 จะประกอบด้วย สารตั้งต้น อินเตอร์มีเดียต และรีเอเจนต์ซึ่งมีความเป็นขั้วมากขึ้นตามลำดับ ฉะนั้น การเลือกตัวทำละลายประเภทมีความเป็นขั้ว (Polar protic solvent) จะทำให้รีเอเจนต์ซึ่งเป็นไอออนอยู่อย่างเสถียรและไม่ทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้น อัตราของปฏิกิริยาจึงลดลงสำหรับตัวทำละลายชนิดนี้ [15] แต่ถ้าใช้ตัวทำละลายประเภทไม่มีขั้ว จะมีเฉพาะสารตั้งต้นเท่านั้นที่ละลายในตัวทำละลายนี้ รีเอเจนต์ซึ่งเป็นแอนไอออนและมีความเป็นขั้วสูงกว่ามากจะไม่เข้าไปอยู่ในชั้นของตัวทำละลาย ดังนั้นปฏิกิริยาจะไม่เกิด ตัวทำละลายที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปฏิกิริยานี้คือ ตัวทำละลายชนิดมีขั้วและไม่ให้โปรตอน (polar aprotic solvent) เช่น เอ็น, เอ็น-ไดเมทิลฟอร์มมาไมด์ (DMF) ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (DMSO), เอ็น, เอ็น-ไดเมทิลอะซีตาไมด์ (DMA), เฮกซาเมทิลฟอสฟอริกไตรเอไมด์ (HMPT) ฯลฯ



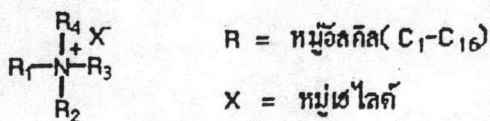
รูป 2.2 ตัวอย่างตัวทำละลายชนิดมีขั้วและไม่ให้โปรตอน

แต่เนื่องจากตัวทำละลายเหล่านี้มีราคาแพงและจุดเดือดสูงทำให้เสียเวลาและพลังงานในการแยกผลิตภัณฑ์ออกจากตัวทำละลายและการกลั่นเพื่อนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ นอกจากนี้การทำให้ตัวทำละลายบริสุทธิ์โดยวิธีการกลั่นที่อุณหภูมิสูงมักทำให้ตัวทำละลายสลายตัวได้ ซึ่งเป็นปัญหาต่อสถานะแวดล้อม จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม ตัวทำละลายประเภทนี้ก็ยัง

มีประโยชน์ในแง่สามารถช่วยเลือกสรรการเกิดปฏิกิริยาได้ เช่น สามารถช่วยเลือกให้ปฏิกิริยาเกิดที่ตำแหน่งออกซิเจนหรือตำแหน่งคาร์บอนของปฏิกิริยาแอลคิลเลชัน (O vs C alkylation) ได้ [15]

2.2 การเร่งปฏิกิริยาของกระบวนการย้ายวงภาค (นิตีซี)

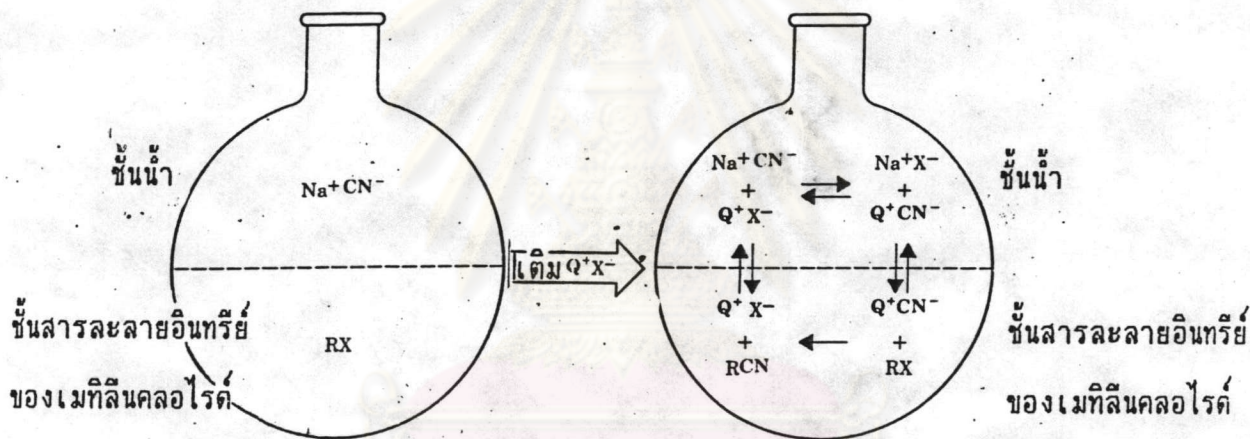
ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ของสารตั้งต้นซึ่งไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์สารอินทรีย์ โมโนเมอร์ชนิดฟังก์ชันัลและโพลิเมอร์ชนิดฟังก์ชันัลมาก แต่จากการศึกษาพบว่า อัตราของปฏิกิริยามีค่าน้อยมาก ถึงแม้จะใช้วิธีการกวนอย่างรุนแรงเพื่อช่วยเร่งหรือเลือกใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมแล้วก็ตาม ในกรณีหลังนี้สามารถทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ในสัดส่วนร้อยละที่สูง แต่ก็มีปัญหาในด้านอื่น ๆ ตามมา ดังได้กล่าวแล้วข้างต้น ต่อมา Makosza, M. Starks, C.M., and Bronstrom, A. ค้นพบวิธีการช่วยเร่งปฏิกิริยาของกระบวนการดังกล่าวและ Starks ได้ให้ชื่อกระบวนการเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวว่า กระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบย้ายวงภาค (นิตีซี) กระบวนการนี้สามารถทำให้สารตั้งต้น (ซึ่งละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดไม่มีขั้ว) และริเอเจนต์ (ซึ่งละลายในน้ำ) ซึ่งแยกวงภาคกันอยู่สามารถทำปฏิกิริยากันได้ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เรียกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดย้ายวงภาคเป็นตัวช่วยพาริเอเจนต์จากชั้นน้ำไปยังชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดไม่มีขั้วและผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ปฏิกิริยาจึงเกิดได้ จะเห็นว่า ตัวเร่งชนิดนี้สามารถแพร่ไปมาระหว่างตัวทำละลายทั้งสองชนิดได้เมื่อนิจารณาโครงสร้างของตัวเร่งประเภทเกลือไอเนียม (Onium Salt) ดังรูป 2.3



รูป 2.3 โครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดย้ายวงภาค

จากรูป 2.3 จะเห็นว่าเกลือชนิดนี้มีโครงสร้างที่แบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ขบหน้า

(แอมโมเนียมไอออน) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (หมู่แอลคิล) ส่วนของเกลือแอมโมเนียมจะอยู่กับคู่แอนไอออนของรีเอเจนต์ หมู่แอลคิลจะช่วยดึงรีเอเจนต์ในรูปคู่ไอออนไปยังชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ เพื่อทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้น และพาแอนไอออนอีกชนิดหนึ่งไปยังชั้นน้ำ กระบวนการพาแอนไอออนของตัวเร่งปฏิกิริยาคือย้ายวัฏภาคจะเกิดต่อไปเรื่อย ๆ จนนิวคลีโอไฟล์หรือสารตั้งต้นหมดไปดังรูป 2.4 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบปฏิกิริยาการแทนที่ของโซเดียมไซยาไนด์บนแอลคิลเฮไลด์ในสารละลายผสมไดคลอโรมีเทนและน้ำเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งและเมื่อเติมตัวเร่ง ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบพีทีซีนั้น นอกจากจะเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวได้แล้ว ยังสามารถทำให้รีเอเจนต์ที่เป็นนิวคลีโอไฟล์ที่เลว (แอนไอออนอะซิเตต) สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นได้ด้วย



รูป 2.4 ปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ภายใต้ระบบพีทีซี ในรูปทางซ้ายมือปฏิกิริยาจะไม่เกิด เพราะนิวคลีโอไฟล์ (CN^-) ไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับ RX ได้ แต่เมื่อเติมตัวเร่ง ($\text{Q}^+ \text{X}^-$) ตัวเร่งจะพาแอนไอออนไซยาไนด์ ($\text{Q}^+ \text{CN}^-$) ไปยังชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ ปฏิกิริยาจึงเกิดอย่างรวดเร็ว

จากการค้นพบระบบพีทีซี ทำให้นักวิทยาศาสตร์หันมาสังเคราะห์สารอินทรีย์ด้วยระบบนี้กันมากขึ้น เพราะปฏิกิริยาเหล่านี้ถึงแม้จะเคยศึกษากันมานานแล้วแต่ต้องใช้สภาวะที่รุนแรงและใช้เวลานาน ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่บริสุทธิ์เพราะเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงมากและให้ผลผลิตต่ำ สำหรับระบบพีทีซีแม้ใช้ตัวเร่งเพียงเล็กน้อย ก็สามารถทำให้อัตราของปฏิกิริยาสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

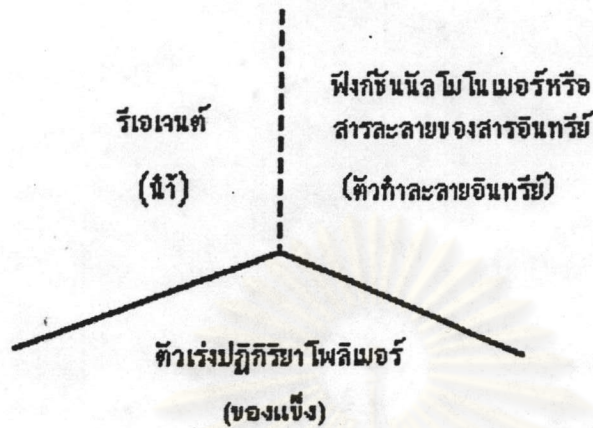
อีกทั้งยังใช้สภาวะที่ไม่รุนแรงเพราะปฏิกิริยาเกิดได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำ ในกรณีของปฏิกิริยาที่ใช้เบสเป็นนิวคลีโอไฟล์ เบสที่ใช้ไม่จำเป็นต้องเป็นเบสที่แรง เช่น อาจใช้ไฮดรอกไซด์ของโลหะหรือเบสที่ละลายน้ำได้แทนแอลคอกไซด์ โซดาไมด์หรือโซเดียมไฮไดรด์ได้ นอกจากนี้ยังใช้ได้กับตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดไม่มีขั้ว เช่น ไดคลอโรมีเทน คลอโรฟอร์ม เบนซีน โทลูอีน ฯลฯ ตัวทำละลายเหล่านี้มีราคาถูกและมีจุดเดือดต่ำ ฉะนั้นจึงไม่มีปัญหาในการกำจัดตัวทำละลายหรือนำตัวทำละลายมาใช้นิวคลีโอไฟล์ได้ง่าย

จะเห็นว่า การนำระบบพีซีมาใช้ในห้องปฏิบัติการจะสะดวกและให้ผลดี แต่อาจมีปัญหาในด้านต้นทุนการผลิตอยู่บ้างเมื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรม เพราะไม่สามารถนำตัวเร่งกลับมาใช้ได้อีก ถึงแม้จะใช้ตัวเร่งในปริมาณน้อย แต่ในระยะยาวอาจเป็นปัญหาในด้านการกำจัดและกักเก็บได้ ในระบบของการสังเคราะห์สารอินทรีย์หรือโพลิเมอร์ชนิดฟังก์ชันัลหรือโอลิโกเมอร์ชนิดฟังก์ชันัล ซึ่งเป็นสารมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีปัญหาที่สำคัญคือการแยกสารผลิตภัณฑ์ออกจากตัวเร่งหรือจากระบบมวลรวมของปฏิกิริยา เพราะในระบบมักเกิดเป็นอิมัลชัน (อันเนื่องมาจากตัวเร่งเอง) ฉะนั้นการแยกผลิตภัณฑ์โดยการสกัดจะกระทำได้ลำบากและใช้เวลานาน หรืออาจต้องใช้ระบบการแยกที่ใช้พลังงานมากขึ้น เช่น การกลั่น หรือการแยกโดยเทคนิคทางโครมาโตกราฟี แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้ยังเหมาะสำหรับใช้ในการคัดแปรทางเคมีของโพลิเมอร์ชนิดฟังก์ชันัลได้ดี [16-18] เพราะสามารถแยกโพลิเมอร์ชนิดฟังก์ชันัลออกได้ง่าย

2.3 กระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบสามวัฏภาค (Triphase Catalysis , ทีพีซี)

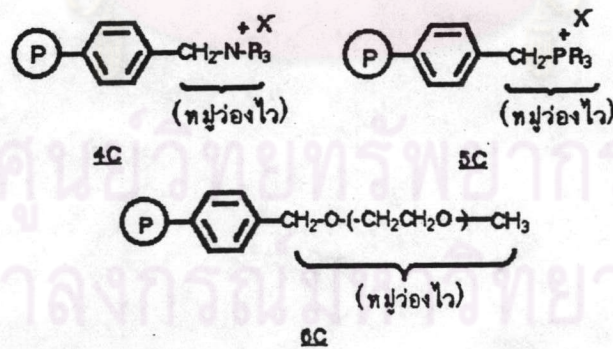
ทีพีซี หมายถึง กระบวนการเร่งปฏิกิริยาของระบบปฏิกิริยาซึ่งประกอบด้วยสามวัฏภาคคือ วัฏภาคของสารอินทรีย์ วัฏภาคของสารเข้าทำปฏิกิริยาในน้ำและวัฏภาคของแข็งของตัวเร่ง ตัวเร่งจะถูกตรึงอยู่กับโพลิเมอร์ชนิดร่างแห ทำให้ตัวเร่งดังกล่าวไม่ละลายในตัวทำละลายใด ๆ ในระบบของปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ชนิดเร่งปฏิกิริยาแบบสามวัฏภาค เราอาจแสดงการแยกของวัฏภาคได้ดังรูป 2.5 ซึ่งประกอบด้วย วัฏภาคของของเหลว 2 วัฏภาคที่ไม่ผสมกัน คือวัฏภาค

ตัวทำละลายอินทรีย์กับวัฏภาคน้ำ และวัฏภาคของแข็งของตัวเร่งโพลีเมอร์อีก 1 วัฏภาค



รูป 2.5 ลักษณะของสามวัฏภาคหรือที่พีซี

ก่อนที่จะมีการศึกษาและค้นพบกระบวนการที่พีซี นักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดย้ายวัฏภาคหลายชนิดก่อน เช่น ควอเตอร์นารีฟอสโฟเนียมไอออน คราวนือเทอร์และคริปแทนด์ เป็นต้น และสามารถแบ่งประเภทตัวเร่งโพลีเมอร์ตามชนิดของหมู่ฟังก์ชันได้เป็น 2 ชนิด คือ ประเภทที่หมู่ฟังก์ชันเป็นแคตไอออน ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนแอนไอออน (4c, 5c) และประเภทที่หมู่ฟังก์ชันเป็นกลาง (6c)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของตัวเร่งโพลีเมอร์

ตัวเร่ง 4c และ 5c นิยมใช้มากในปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ที่ใช้รีเอเจนต์เป็นเกลือ เช่น โซเดียมไซยาไนด์ ฯลฯ ทั้ง 4c และ 5c สังเคราะห์ขึ้นครั้งแรกโดย Regen [18] และเป็นโพลีเมอร์ชนิดมีร่างแหร้อยละ 2 หมู่แอลคิล (R) เป็นเมทิลทั้ง 3 หมู่ หมู่เฮไลด์ (X)

เป็นไอออนคลอไรด์ ตัวเร่งทั้ง 2 ชนิดนี้ทำหน้าที่เป็นตัวพาอีเอเจนต์เข้าไปยังภูมิภาคของตัวทำละลายอินทรีย์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยากับสารตั้งต้น ส่วนตัวเร่ง 6c ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายร่วม (Cosolvent) ของสารเริ่มต้นและอีเอเจนต์ นิยมใช้มากกับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส [21-23] และปฏิกิริยาการสังเคราะห์อีเทอร์

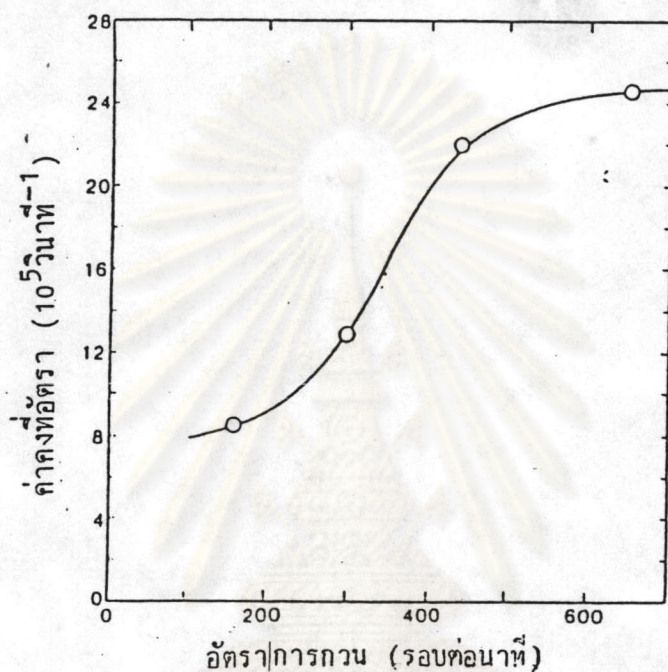
ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะตัวเร่งประเภทแคตไอออนเท่านั้น ซึ่งมีกลไกการเร่งปฏิกิริยาดังนี้ [25]

1. อีเอเจนต์เคลื่อนมาบริเวณผิวของอนุภาคตัวเร่ง
2. อีเอเจนต์แพร่เข้าไปในอนุภาคตัวเร่ง
3. การดูดซับของอีเอเจนต์กับส่วนที่ว่องไว
4. เกิดปฏิกิริยาเคมี
5. ผลิตภัณฑ์ถูกปล่อยออกจากส่วนที่ว่องไว
6. ผลิตภัณฑ์แพร่ส่วนทางออกจากอนุภาคโพลิเมอร์
7. ส่งถ่ายผลิตภัณฑ์ออกจากอนุภาคโพลิเมอร์

จากกลไกการเร่งของตัวเร่งโพลิเมอร์ แสดงให้เห็นว่า อัตราของปฏิกิริยาประเภทนี้ขึ้นกับ อัตราการแพร่ของมวลสารเข้าไปยังส่วนที่ว่องไวบนตัวเร่งโพลิเมอร์ เราอาจสรุปปัจจัยที่มีผลต่ออัตราของปฏิกิริยาเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

1. อัตราของการกวน
2. ปริมาณและโครงสร้างของแคตไอออนควอเทอร์นารี
3. ตัวทำละลาย
4. ร้อยละของร่างแหและหมู่คลอโรเมทิลชนิดแทนที่บนส่วนของโพลิเมอร์ [25]
5. ขนาดของอนุภาคโพลิเมอร์
6. อุณหภูมิ

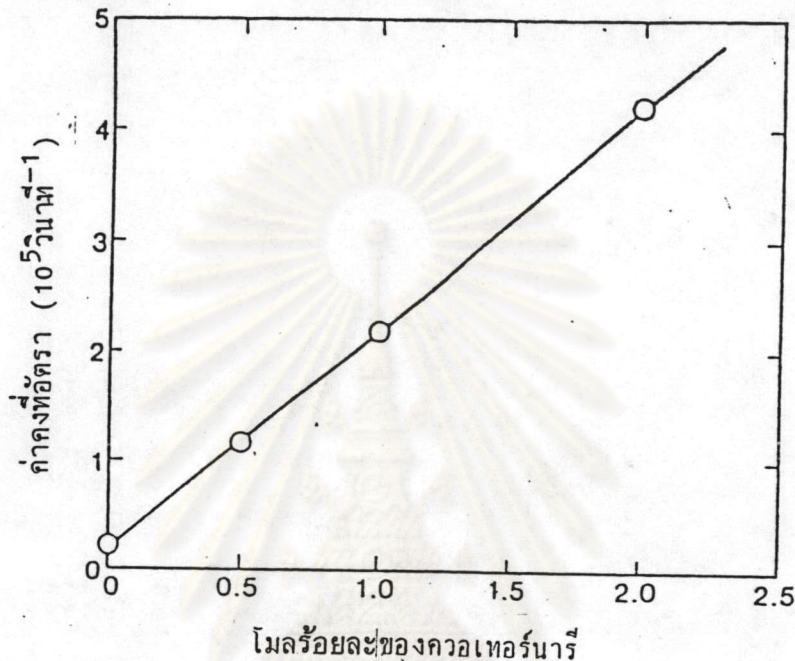
จากการศึกษาระบบเร่งปฏิกิริยาแบบย้ายวัฏภาคทั่ว ๆ ไป พบว่าอัตราของปฏิกิริยาขึ้นกับอัตราการกวนจนถึง 200-250 รอบต่อนาที จำนวนรอบของการกวนที่มากกว่านี้จะไม่มีผลต่ออัตราของปฏิกิริยา แต่สำหรับระบบที่พีซี อัตราของการกวนจะไม่มีผลต่อการแพร่ของมวลสารเมื่ออัตราการกวนมากกว่า 600 รอบต่อนาที [26, 27] ดังรูป 2.7



รูป 2.7 ผลของอัตราการกวนที่มีต่ออัตราของปฏิกิริยา ในปฏิกิริยาการแทนที่ของเบนซิลโบรไมด์ด้วยโซเดียมไซยาไนด์ในโทลูอีน-น้ำ ที่อุณหภูมิ 90°C . เร่งปฏิกิริยาด้วย (โพลิสไตริลเมทิล) ไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์

ฉะนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที และจากการศึกษาของ Tekauchi et al. [31] พบว่าตัวเร่งที่มีหมู่แอลคิลต่อกับควอเตอร์นารีแอมโมเนียมเป็นหมู่แอลคิลชนิดสมมาตรและมีขนาดใหญ่จะช่วยเร่งปฏิกิริยาได้ดีกว่าตัวเร่งที่มีหมู่แอลคิลมีขนาดเล็กหรือไม่สมมาตร ที่เป็นเช่นนี้เพราะหมู่แอลคิลจะมีผลต่อการกระจายแบ่งส่วนเข้าไปอยู่ในชั้นน้ำและชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์ ถ้าหมู่แอลคิลมีขนาดเล็กการกระจายแบ่งส่วนเข้าไปอยู่ในชั้นน้ำจะมากกว่าส่วนที่กระจายอยู่ในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ซึ่งเป็นชั้นที่เกิดปฏิกิริยา ดังนั้นการพาแอนไอออนของรีเอเจนต์ของตัวเร่งที่มีหมู่แอลคิลมีขนาดเล็กไปยังตัวทำละลายอินทรีย์จึงเกิดได้น้อย ตัวเร่งที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่

(โพลิสไตริลเมทิล)ไตร-เอ็น-บิวทิลแอมโมเนียมไอออน (9a, 9b และ 9c) นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราของปฏิกิริยาขึ้นกับปริมาณของเกลือควอเตอร์นารีแบบเส้นตรงเมื่อปริมาณของตัวเร่งอยู่ในช่วง 0-2 โมลร้อยละ [15] ระดับความว่องไวของตัวเร่งระหว่าง 4c และ 5c มีค่าใกล้เคียงกัน

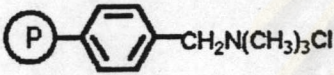
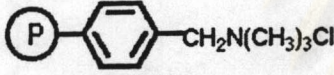
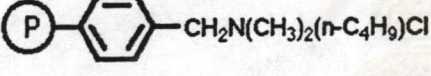


รูป 2.8 ผลของปริมาณตัวเร่งที่มีต่ออัตราของปฏิกิริยาในปฏิกิริยาการแทนที่แอนไอออน ไชยาไนต์บนเบนซิลโบรไมด์ ในโทลูอีน-น้ำ มีอัตราคววน 420- 440 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 90°ซ. เร่งด้วย(โพลิสไตริลเมทิล)ไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์

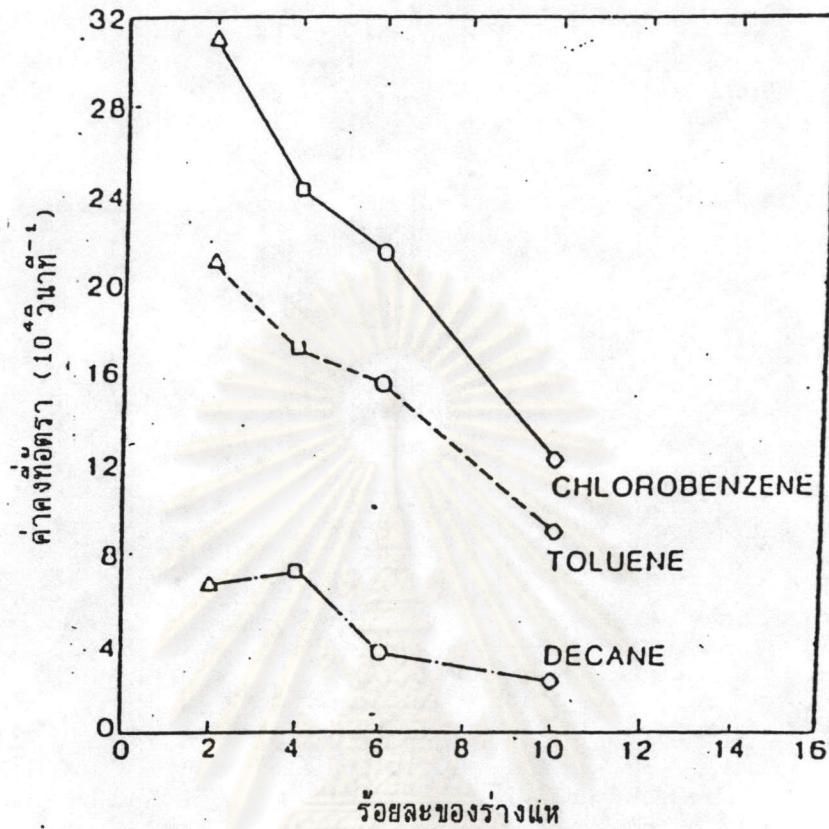
ส่วนของโพลิสไตรีนชนิดร่างแหถึงแม้จะไม่เกี่ยวข้องในการเร่งปฏิกิริยา แต่จะมีผลต่ออัตราของปฏิกิริยาเมื่อร้อยละของร่างแหและปริมาณของหมู่คลอโรเมทิลชนิดแทนที่เปลี่ยนไป ร้อยละของร่างแหและปริมาณหมู่คลอโรเมทิลชนิดแทนที่เป็นตัวบอกความสามารถในการพองตัวของเม็ดโพลีเมอร์(α) ในตัวทำละลายที่ใช้(ดูตาราง 2.1) ตัวทำละลายชนิดที่ทำให้ตัวเร่งโพลีเมอร์พองตัวได้ดีย่อมทำให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์เร็วขึ้น ตัวเร่งที่มีร้อยละของร่างแหสูง(มากกว่าร้อยละ 10) ขนาดของการพองตัวจะไม่มีผลต่ออัตราของปฏิกิริยา แต่จะมีผลต่ออัตราการแพร่ของสาร ถ้าร้อยละของร่างแหมากอัตราการแพร่จะลดลงมากทำให้อัตราของปฏิกิริยาช้าลง อย่างไรก็ตาม Tomoi [26] รายงานว่าตัวเร่งชนิดเดียวกันแต่มีร้อยละของร่างแห 2 และ 10 จะให้อัตรา

ของปฏิกิริยาต่างกันประมาณ 3 เท่า (ดูรูป 2.9) ถ้าไม่คำนึงถึงความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาแล้ว ตัวเร่งชนิดที่มีร่างแหมากมักนิยมใช้ในอุตสาหกรรมมากกว่า เพราะมีความแข็งแรงและทนทานต่อการกรวน การกรอง หรือการอัดในถังปฏิกรณ์ นอกจากนี้ ขนาดของอนุภาคตัวเร่ง ยังมีผลต่ออัตราของปฏิกิริยาด้วย เช่น ถ้าอนุภาคตัวเร่งมีขนาดเล็กจะมีผลทำให้การแพร่ของสารจากผิวของอนุภาคไปยังส่วนที่ว่องไวใช้เวลาสั้นลง

ตาราง 2.1 การขวมตัวของตัวเร่งในโทลูอินและน้ำ

| Resin | ร้อยละของหมู่คลอโรเมทิลแทนที่ | q โทลูอิน | q น้ำ |
|---|-------------------------------|-----------|-------|
|  (P) | 10 | 2.3 | 1.7 |
|  (P) | 21 | 2.3 | 1.8 |
|  (P) | 46 | 1.3 | 3.5 |
| AG 1-X2 | 76 | 1.3 | 4.5 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 2.9 ผลของตัวทำละลายและร้อยละของร่างแหที่มีต่ออัตราการปฏิบัติการแทนที่แอนไอออนไซยาไนด์บนเบนซิลโบรไมด์. กวนด้วยอัตรา 600-650 รอบต่อนาที ในโทลูอีน-น้ำที่อุณหภูมิ 90°C. และเร่งด้วย (โพลิสไตริลเมทิล)ไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์

ศูนย์วิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย