



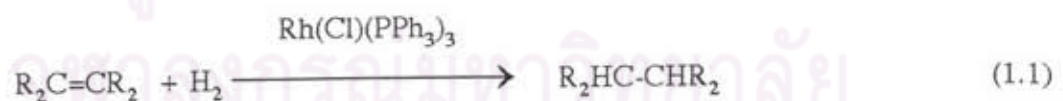
บทที่ 1

บทนำ

1.1 มุลเหตุจูงใจ

ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแบ่งออกเป็น 2 ระบบคือ ตัวเร่งปฏิกิริยาระบบเนื้อเดียว (homogeneous system) และตัวเร่งปฏิกิริยาระบบเนื้อผสม (heterogeneous system) ซึ่งทั้งสองระบบมีทั้งข้อดี และข้อเสียดังนี้

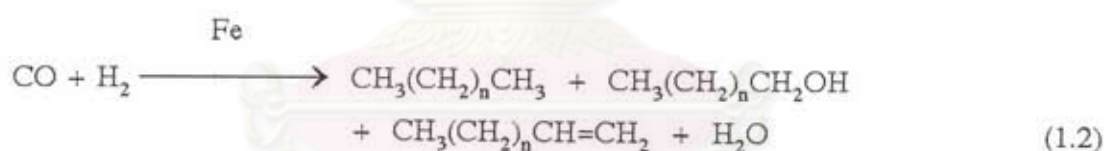
ตัวเร่งปฏิกิริยาระบบเนื้อเดีวมีข้อดีคือ สภาวะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไม่รุนแรง มีความเลือกจำเพาะสูง (high selectivity) และสารตั้งต้นสามารถสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาได้อย่างทั่วถึง (high substrate accessibility) แต่มีข้อเสียคือ การแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากระบบทำได้ยาก มีผลทำให้เกิดการตกค้างของโลหะซึ่งเป็นวัตถุมิพิษอยู่ในผลิตภัณฑ์ และทำให้การนำตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีราคาแพงกลับมาใช้ใหม่เป็นไปได้ยาก ตัวอย่างปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาระบบเนื้อเดีวเช่น ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของแอลคีน (alkene) เกิดผลิตภัณฑ์คือ แอลเคน (alkane) โดยมี $\text{Rh}(\text{Cl})(\text{PPh}_3)_3$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเรียกว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาของวิลคินสัน^(1,2) (Wilkinson's catalyst) ดังสมการที่ 1.1



เมื่อ R = หมู่แอลคิล หรือ ไฮโดรเจน

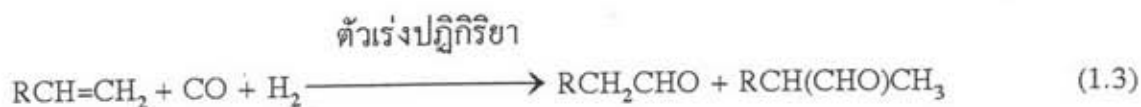
แต่ถ้าใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาระบบเนื้อผสม จะช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาระบบเนื้อเดีวได้คือ สามารถแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากระบบได้ง่าย จึงสามารถ

นำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ได้ และไม่มีวัตถุดิบพิษตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ด้วย แต่ยังคงมีข้อเสียคือ สภาวะที่ใช้ทำปฏิกิริยารุนแรงกว่าระบบตัวเร่งปฏิกิริยาเนื้อเดียว ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการควบคุมอุณหภูมิ และเป็นผลให้ใช้ต้นทุนสูง โดยทั่วไปตัวเร่งปฏิกิริยาระบบเนื้อผสมมีความเลือกจำเพาะต่ำ (low selectivity) สารตั้งต้นไม่สามารถสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาได้อย่างทั่วถึง (low substrate accessibility) ปฏิกิริยาเกิดขึ้นบริเวณผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเท่านั้น ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ภายในตัวรองรับ (support) สารตั้งต้นไม่สามารถเข้าไปสัมผัสได้ และเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาระบบเนื้อผสมชนิดที่มีตัวรองรับไประยะหนึ่ง ตัวเร่งปฏิกิริยาอาจหลุดออกจากตัวรองรับกลับคืนสู่ระบบเนื้อเดียวเนื่องจากอันตรกิริยาระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยากับตัวรองรับไม่แข็งแรงพอ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่หลุดออกจากตัวรองรับอาจรวมกับตัวเร่งปฏิกิริยาโมเลกุลอื่นกลายเป็นโคเมอร์ หรือโมเลกุลชนิดอื่นที่เสื่อมประสิทธิภาพ ตัวอย่างปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาระบบเนื้อผสมเช่นปฏิกิริยาฟิชเชอร์-ทรอปช์⁽³⁾ (Fischer-Tropsch reaction) ซึ่งมีแก๊สสังเคราะห์ (synthesis gas) คือ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ผสมกับแก๊สไฮโดรเจนเป็นสารตั้งต้น และสารประกอบของเหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์ขึ้นหลายชนิด ดังสมการที่ 1.2 จึงกล่าวได้ว่า ปฏิกิริยาฟิชเชอร์-ทรอปช์ไม่มีความเลือกจำเพาะต่อผลิตภัณฑ์



ด้วยเหตุผลดังกล่าว ในโครงการนี้จึงต้องการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาระบบใหม่ที่ลงข้อดีของทั้งระบบเนื้อเดียวและระบบเนื้อผสมไว้แต่พยายามลดหรือกำจัดข้อเสียของแต่ละระบบ เรียกตัวเร่งปฏิกิริยาระบบใหม่นี้ว่า ระบบไฮบริด⁽⁴⁾ (hybrid system) ที่ดัดแปลงมาจากระบบเนื้อผสม โดยเตรียมจากปฏิกิริยาระหว่างซีโอไลต์ Y และสารประกอบ $\text{Me}_3\text{SnMn}(\text{CO})_5$

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมขึ้นในโครงการนี้ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาออกโซของโอลีฟิน⁽⁵⁾ (Oxo reaction of olefin) ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญมากในกระบวนการผลิตพลาสติกในอุตสาหกรรม เช่นการผลิตพลาสติกโพลีเอทีลีน หรือโพลีโพรพีลีน เป็นต้น ปฏิกิริยาออกโซของโอลีฟินเป็นการเปลี่ยนโอลีฟินให้เป็นแอลดีไฮด์ ดังสมการที่ 1.3



เมื่อ R = หมู่แอลคิล หรือไฮโดรเจน

ตัวเร่งปฏิกิริยาออกโซที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาระบบเนื้อเดียว เนื่องจากเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูง มีความเลือกจำเพาะสูง สภาวะในการทำปฏิกิริยาไม่รุนแรง ตัวเร่งปฏิกิริยาออกโซที่มีขายสำเร็จรูป (commercial) ได้แก่ สารประกอบคาร์บอนิลของโลหะบางชนิดเช่น สารประกอบออกตะคาร์บอนิลไดโคบอลต์⁽⁶⁾ $\text{Co}_2(\text{CO})_8$, สารประกอบออกตะคาร์บอนิลโคโรเดียม^(7,8) $\text{Rh}_2(\text{CO})_8$ เป็นต้น

1.2 ภูมิหลัง

โดยทั่วไปการนำสารประกอบโลหะอินทรีย์ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าไปในโพรงของซีโอไลต์ มี 4 วิธีดังนี้

1.2.1 วิธีดูดซับทางกายภาพ (physisorption)

เป็นการนำสารประกอบโลหะอินทรีย์ที่กลายเป็นไอได้ง่าย ได้แก่ สารประกอบคาร์บอนิลของโลหะ เช่น $\text{Ni}(\text{CO})_4$, $\text{Fe}(\text{CO})_5$ และ $\text{Mo}(\text{CO})_6$ เป็นต้น เข้าไปในโพรงของซีโอไลต์โดยวิธี solution deposition หรือ vapor deposition^(4,9) โมเลกุลของสารประกอบดังกล่าวอยู่ภายในโพรงของซีโอไลต์ โดยเกิดอันตรกิริยาทางกายภาพ (physisorption หรือ physical adsorption) นอกจากนี้ยังพบว่าแคตไอออนในซีโอไลต์ กับอะตอมออกซิเจนของหมู่คาร์บอนิลของสารประกอบคาร์บอนิลของโลหะ⁽¹⁰⁾ สามารถมีอันตรกิริยาอย่างอ่อน เมื่อนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเสถียรภาพจึงไม่ดี สารประกอบเหล่านี้หลุดออกจากโพรงของซีโอไลต์ได้ง่าย แล้วเกิดการรวมตัวกัน (agglomeration) กลายเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นที่อุณหภูมิสูงได้^(11,12)

1.2.2 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange)

วิธีการนี้เป็นการนำสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุบวก (cationic complexes) หรือโลหะไอออนเข้าไปในโพรงของซีโอไลต์ โดยวิธีการแลกเปลี่ยนแคตไอออนระหว่างแคตไอออนในโครงสร้างของซีโอไลต์ กับแคตไอออนที่จะนำเข้าไปในโพรงของซีโอไลต์ โดยเกิดอันตรกิริยาระหว่างประจุที่ต่างกัน (coulombic interaction) ระหว่างแคตไอออนใหม่กับซีโอไลต์ ซึ่งเป็นอันตรกิริยาที่แข็งแกร่งกว่าอันตรกิริยาทางกายภาพ ตัวอย่างเช่นต้องการเตรียม RhY ซึ่งเตรียมโดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างซีโอไลต์ NaY กับสารละลายของ $RhCl_3$ หรือ $Rh(NO_3)_3$ เป็นต้น ดังสมการที่ 1.4



1.2.3 Size Encapsulation

วิธีนี้เรียกอีกอย่างว่า “Ship in a bottle” ซึ่งเป็นการสังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนขนาดใหญ่ภายในโพรงของซีโอไลต์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.2.3.1 กระบวนการแลกเปลี่ยนแคตไอออนระหว่างแคตไอออนในซีโอไลต์กับโลหะไอออนในสารละลาย ดังสมการ 1.5



โดยที่ $M'Z$ คือ แคตไอออน M' ในซีโอไลต์

$M(sol^n)$ คือ แคตไอออน M ในสารละลาย

MZ คือ แคตไอออน M ในซีโอไลต์

$M'(sol^n)$ คือ แคตไอออน M' ในสารละลาย

1.2.3.2 กระบวนการ encapsulation คือการทำปฏิกิริยาการระหว่างซีโอไลต์ MZ ที่ได้จากขั้นตอนแรกกับลิแกนด์จำพวก polydentate ดังสมการที่ 1.6



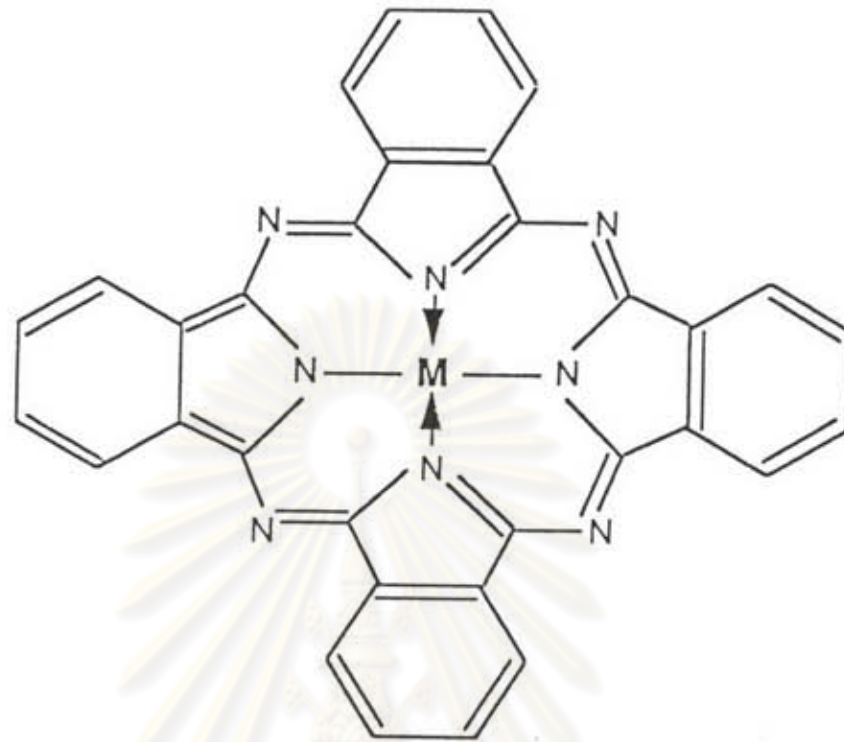
โดยที่ Z คือ โมเลกุลของซีโอไลต์

M คือ แคตไอออนที่อยู่ในซีโอไลต์

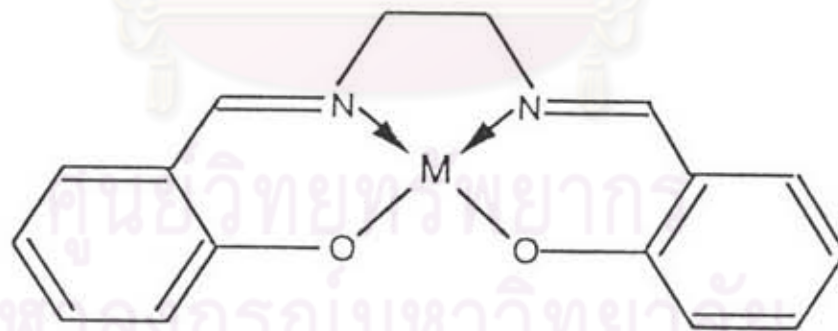
L-L คือ ลิแกนด์จำพวก polydentate เช่น phthalocyanines^(13,14,15,16) และ SALEN (N,N'-bis(salicylaldehyde) ethylenediimine)^(17,18,19) ซึ่งแสดงโครงสร้างดังในรูปที่ 1.1

ตัวอย่างการนำสารประกอบโลหะอินทรีย์เข้าไปในโพรงซีโอไลต์โดยวิธีนี้ เช่น การเตรียมสารประกอบเชิงซ้อน Co-SALEN ภายในซีโอไลต์ พบว่าเกิดอันตรกิริยาเคมีระหว่าง Co กับอะตอมออกซิเจนบนผิวซีโอไลต์⁽¹⁷⁾ อีกตัวอย่างหนึ่งคือ การเตรียมสารประกอบเชิงซ้อน Fe-phthalocyanine ภายในซีโอไลต์⁽²⁰⁾ ซึ่งเตรียมจากซีโอไลต์ FeY กับ ไดไซยาโนเบนซีน (dicyanobenzene) และได้มีการทดสอบความเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของสารประกอบเชิงซ้อนในซีโอไลต์สำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันของโอลิฟินด้วย

วิธี size encapsulation นี้มีข้อดีคือ สารประกอบเชิงซ้อนมีขนาดใหญ่กว่าปากโพรงของซีโอไลต์ จึงไม่สามารถหลุดออกจากโพรงของซีโอไลต์ได้ แต่มีข้อเสียคือ เกิดปัญหาการอุดตันของโพรงของซีโอไลต์ เนื่องจากสารประกอบเชิงซ้อนครอบครองเนื้อที่ภายในโพรงเกือบหมด ทำให้สารตั้งต้นที่จะทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยา ไม่สามารถแทรกเข้าไปถึงจุดว่างไว (active site) ของตัวเร่งปฏิกิริยาในซีโอไลต์ได้ และการใช้ประโยชน์จากโลหะไอออน เพื่อทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนขนาดใหญ่ ไม่สามารถทำได้เต็มที่ เพราะโลหะไอออนกระจายอยู่ทั่วไปในซีโอไลต์ ทั้งในโพรงขนาดเล็กและใหญ่ แต่ลิแกนด์มีขนาดใหญ่เกินกว่าจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับโลหะไอออนในโพรงขนาดเล็กได้ ทำให้มีสารประกอบโลหะมากกว่าหนึ่งชนิดอยู่ในซีโอไลต์



Metal-Phthalocyanine

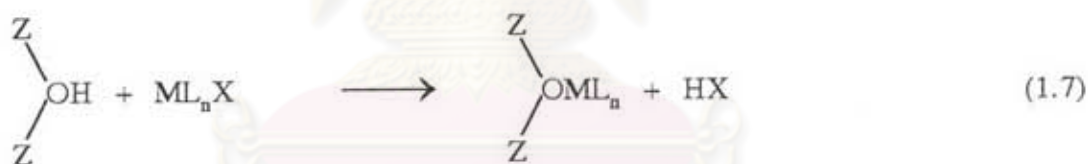


Metal-SALEN

รูปที่ 1.1 แสดงโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อน phthalocyanine และ SALEN ของโลหะ M

1.2.4 Anchoring

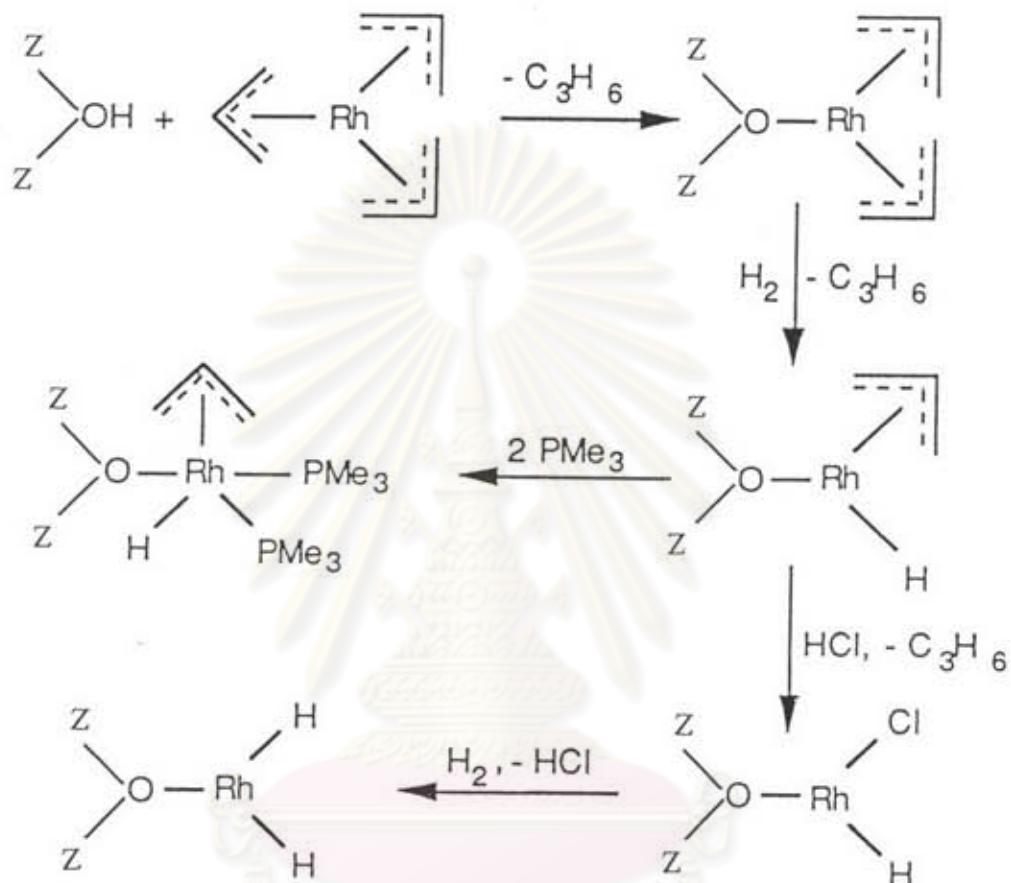
วิธี Anchoring^(21,22,23) เป็นการยึดเกาะชิ้นส่วน (fragments) ของสารประกอบเชิงซ้อนภายในซีโอไลต์ที่มีแคตไอออนเป็นไฮโดรเจน โดยการทำให้ปฏิกิริยาระหว่างลิแกนด์ที่ว่องไวต่อโปรตอนของสารประกอบเชิงซ้อนเช่น เมทิล (methyl), แอลลิล (allyl), แอลคอกไซด์ (alkoxide) และคลอรีน (chlorine) กับโปรตอนของหมู่ไฮดรอกซิลภายในโครงสร้างของซีโอไลต์ แล้วเกิดสารประกอบไฮโดรเจนเป็นผลิตภัณฑ์หลุดออกมา เช่น มีเทน (methyl), โอลีฟิน (olefins), แอลกอฮอล์ (alcohols) และไฮโดรเจนคลอไรด์ (hydrogen chloride) ตามลำดับ ทำให้โลหะในสารประกอบเชิงซ้อนนั้นมีตำแหน่งโคออร์ดิเนชันที่ว่างเกิดขึ้น ดังนั้นจึงสันนิษฐานว่าโลหะสามารถเกิดพันธะโควาเลนต์กับอะตอมออกซิเจนบนผิวซีโอไลต์ได้ ซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรงกว่าพันธะแวนเดอร์วาล (van der Waal) ในวิธีดูดซับทางกายภาพ และพันธะคูลอมบิก (coulombic) ในวิธีการแลกเปลี่ยนแคตไอออน ดังนั้นโอกาสที่ตัวเร่งปฏิกิริยาจะหลุดออกจากผิวซีโอไลต์จึงเป็นไปได้ยากปฏิกิริยาการเกิด anchoring สามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ 1.7



- โดยที่ Z คือ ซีโอไลต์
 OH คือ หมู่ไฮดรอกซิลบนผิวภายในโพรงของซีโอไลต์
 ML_nX คือ สารประกอบโลหะอินทรีย์
 M คือ โลหะ
 L คือ ลิแกนด์เฉื่อย (inert ligands) ที่ไม่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา
 X คือ ลิแกนด์ที่ว่องไว (reactive ligands) ต่อหมู่ไฮดรอกซิลบนผิวซีโอไลต์

N. Huang และ J. Schwartz⁽²⁴⁾ ได้ศึกษาวิธีการนำสารประกอบเชิงซ้อนของโรเดียม คือ สารประกอบ $\text{tris}(\eta^3\text{-allyl})\text{rhodium}$ เข้าไปอยู่ในโพรงของซีโอไลต์ที่มีแคตไอออน

เป็นไฮโคโรเจน ซึ่งได้รายงานว่าสารประกอบ tris(η^3 -allyl) rhodium ทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของซีโอดี ได้ผลิตภัณฑ์คือสารประกอบ bis(η^3 -allyl) rhodium ภายในโพรงของซีโอดี ดังแสดงในรูปที่ 1.2

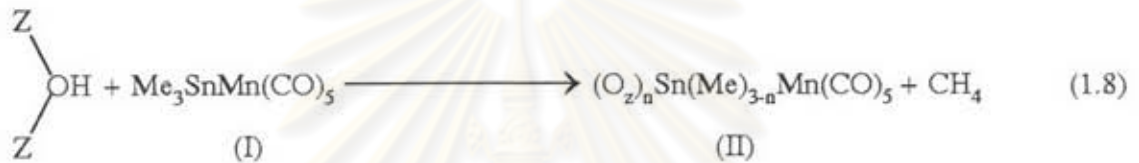


รูปที่ 1.2 แสดงปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบแอลลิลโรเดียมกับซีโอดี

เมื่อนำสารประกอบ bis(η^3 -allyl) rhodium ภายในโพรงของซีโอดี มาทำปฏิกิริยากับแก๊สไฮโคโรเจน จะเกิดเป็นสารประกอบโรเดียมไฮโคโรด์ ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาอื่น ๆ ได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.2 และยังมีรายงานอีกว่าสารประกอบแอลลิลโรเดียมไฮโคโรด์ที่อยู่ในโพรงของซีโอดี สามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาไฮโคโรเจเนชันของโอลลีฟินด้วย

ข้อดีของวิธี anchoring คือสามารถควบคุมให้สารประกอบโลหะอินทรีย์อยู่แยกออกจากกันเป็นโมเลกุลเดี่ยวได้ เนื่องจากสารประกอบโลหะอินทรีย์มีขนาดใหญ่กว่าปากโพรงไซคาไลด์และโพรงวงแหวนหกเหลี่ยม (D6R) ดังนั้นสารประกอบโลหะอินทรีย์จะอยู่ในโพรงซูเปอร์ซึ่งเป็นโพรงที่มีขนาดใหญ่ที่สุดเท่านั้น ทำให้สามารถป้องกันการรวมตัวกันของสารประกอบโลหะอินทรีย์กลายเป็นโมเลกุลอื่นได้

มีผู้ทำการศึกษาปฏิกิริยาระหว่างซีโอไลต์ Y และสารประกอบ $\text{Me}_3\text{SnMn}(\text{CO})_5$ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ $(\text{O}_2)_n\text{Sn}(\text{Me})_{3-n}\text{Mn}(\text{CO})_5$ เมื่อ $n = 1-2$ ⁽²⁵⁾ และ O_2 ก็อะตอมออกซิเจนบนผิวซีโอไลต์ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ 1.8

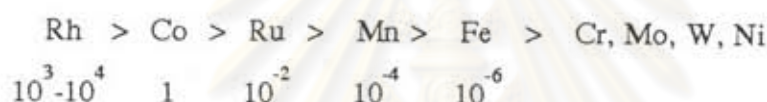


พบว่าสามารถยึดโมเลกุลของสารประกอบโลหะอินทรีย์ I ไว้ในโพรงซีโอไลต์ได้ โดยอาศัยปฏิกิริยาระหว่างหมู่เมทิลบนโมเลกุล I และหมู่ไฮดรอกซิลบนผิวซีโอไลต์ ได้โมเลกุลที่เป็นกลาง คือแก๊สมีเทน (CH_4) หลุดออกมา ทำให้อะตอมทิน (Sn) มีตำแหน่งโคออร์ดิเนชันที่ว่าง 1 ตำแหน่ง ดังนั้นอะตอมทินจึงสามารถโคออร์ดิเนตกับอะตอมออกซิเจนบนผิวซีโอไลต์ได้ 1 ตำแหน่ง เมื่อเวลาผ่านไปหรือมีการเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 100°C อะตอมทินจะสามารถโคออร์ดิเนตกับอะตอมออกซิเจนบนผิวซีโอไลต์ได้ถึง 2 ตำแหน่ง ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมี 2 ชนิดคือ $(\text{O}_2)\text{Sn}(\text{Me})_2\text{Mn}(\text{CO})_5$ และ $(\text{O}_2)_2\text{Sn}(\text{Me})\text{Mn}(\text{CO})_5$ สารประกอบทั้งสองชนิดนี้สามารถเขียนแทนด้วยโมเลกุล II ซึ่งมีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 1.3(ก) และ 1.3(ข) ในรูปเป็นการแสดงพันธะระหว่างอะตอมทินและอะตอมออกซิเจนในวงแหวนหกเหลี่ยม (S6R) ในโพรงซูเปอร์ของซีโอไลต์

ผลิตภัณฑ์ II สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 120°C ในสุญญากาศ แต่ถ้าเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 150°C จะเกิดการแตกพันธะระหว่าง Sn-Mn ดังแสดงในรูป 1.3(ค) สำหรับโมเลกุล I จะกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ 50°C ในสุญญากาศ

1.3 เหตุผลที่เลือกใช้สารประกอบโคบอลต์แทนแมงกานีสเพนตะคาร์บอนิล

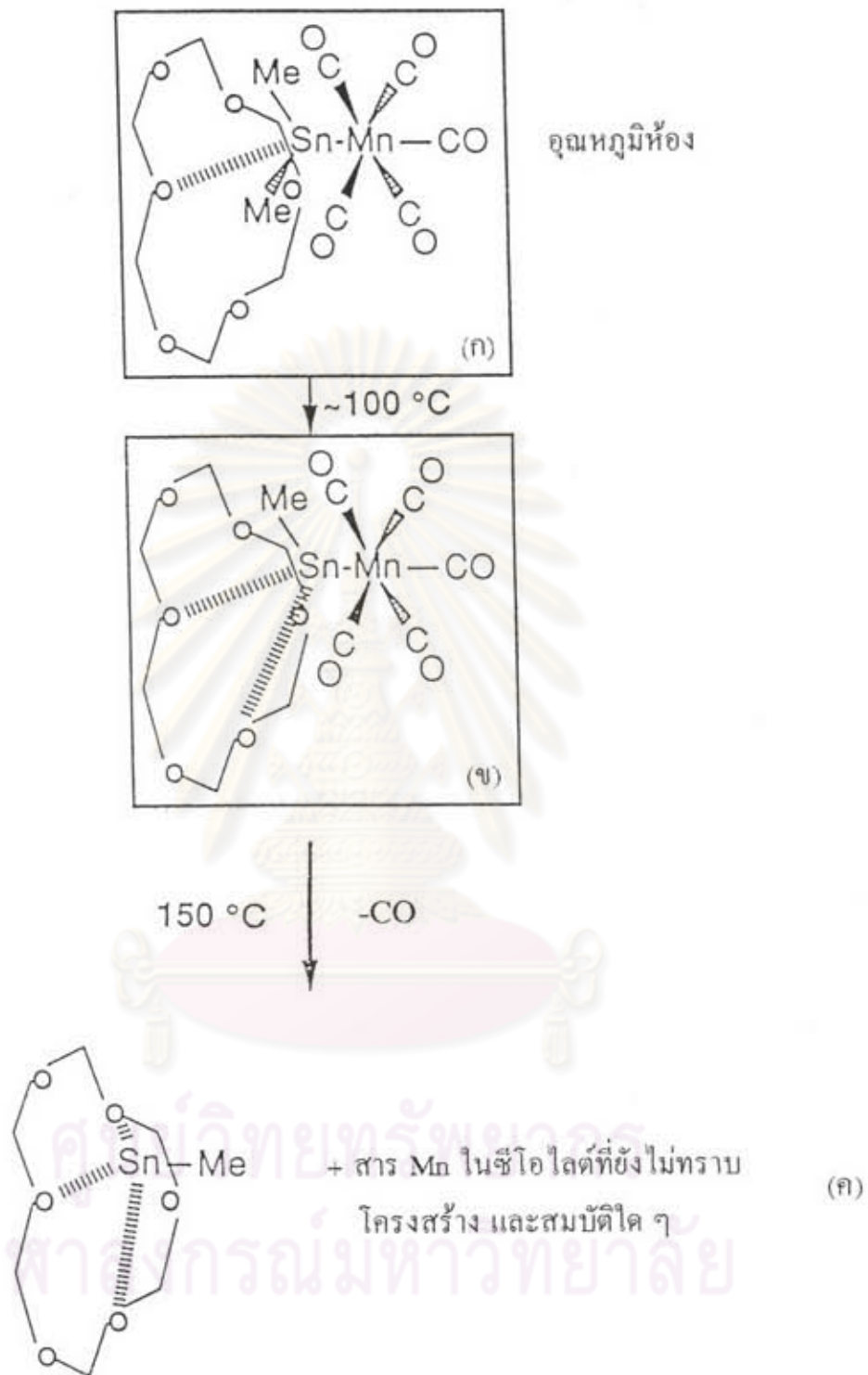
เนื่องจากสารประกอบแมงกานีสมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาออกโซของโอเลฟินได้⁽⁴⁾ ถึงแม้จะมีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าสารประกอบโรเดียมและโคบอลต์ก็ตาม โดยมีการศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกโซ เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสารประกอบโลหะชนิดต่าง ๆ เทียบกับระบบที่มีสารประกอบโคบอลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งสรุปได้ดังนี้



และการที่เลือก $-\text{SnCl}_3$ เป็นส่วนประกอบหนึ่งในโมเลกุลของตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากการเลียนแบบระบบที่ใช้แพลตตินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกโซของโอเลฟิน⁽⁵⁾ กล่าวคือโดยปกติแล้วโลหะแพลตตินัมไม่มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาออกโซของโอเลฟินได้ แต่ถ้ามี $-\text{SnCl}_3$ อยู่ด้วย แพลตตินัมจะสามารถเร่งปฏิกิริยาได้เนื่องจาก $-\text{SnCl}_3$ ทำหน้าที่เป็นตัวเสริม (promoter)

เมื่อพิจารณาสารประกอบ $(\text{O}_2)_n\text{Sn}(\text{Me})_{3-n}\text{Mn}(\text{CO})_5$ พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาออกโซของโอเลฟิน โดยคาดว่า $-\text{Mn}(\text{CO})_5$ เป็นศูนย์กลางที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และ Sn เป็นตัวเสริมให้ $-\text{Mn}(\text{CO})_5$ มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาออกโซได้ดีขึ้น นอกเหนือจากการใช้สารประกอบ $\text{Me}_3\text{SnMn}(\text{CO})_5$ แล้วยังใช้ซีโอไลต์ Y เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาในระบบนี้ด้วย

ดังนั้นโครงการนี้จึงต้องการทดสอบสมมุติฐานดังกล่าวว่า $(\text{O}_2)_n\text{Sn}(\text{Me})_{3-n}\text{Mn}(\text{CO})_5$ เมื่อ $n = 1-2$ สามารถทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาออกโซของโอเลฟินได้จริงหรือไม่



รูปที่ 1.3 แสดงโครงสร้างของสารประกอบ $\text{Me}_3\text{SnMn}(\text{CO})_5$ เมื่ออยู่ในโพรงของซีโอไลต์ Y ที่อุณหภูมิ (ก) 30°C (ข) 100°C (ค) 150°C โดยที่ O แทนอะตอมออกซิเจนของวงเคียวหกเหลี่ยม (S6R) ภายในโพรงซูเปอร์ของซีโอไลต์ Y