



เอกสารอ้างอิง

Bennett C.O. and Myers J.E., Momentum, Heat, and Mass Transfer, pp 580, McGraw-Hill Co., Singapore, 3th ed, 1988.

Charles E. Wicks. Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer, pp 335, John Wiley & Sons, Inc., Singapore, 2nd ed., 1984.

Chen. N.Y. and Degnan T.F., "Industrial Catalytic Applications of Zeolites," Chemical Engineering Progress, 2, 32-41, 1988.

_____, Kaeding W.W. and Dwyer, F.G., "Para-directed Aromatic Reactions over Shape Selective Molecular Sieve Zeolite Catalysts" J. Am. Chem. Soc., 101, 6783-6784, 1979.

Denise Barthomeuf, "Structural and Physicochemical Aspects of Acidic Catalysis in Zeolite," Catalysis by Zeolites (B. Imelik et al, eds.), p 55-64, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1980.

D.E.W. Vaughan, "The synthesis and Manufactur of Zeolite," Chemical Engineering Progress, 2, 25-31, 1988.

Eric. G. Derouane, "New Aspects of Molecular Shape-Selectivity," Catalysis by Zcolites (B. Imelik et al, eds.), p 5-18, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1980.

Hermann K. Beyer and Ita Belenykaja, "A New Method for The Dealumination of Faujasite-type Zeolites," *Catalysis by Zeolites* (B. Imelik et al, eds.), p 203-209, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1980.

Kaeding, W.W., Chu, C., Young, L.B. and Butler, S.A., "Selective Alkylation of Toluene with Methanol to Produce para-Xylene," *J. Catalysis* 67, p 159-174, 1981.

Liley E. Peter., Reid C.-Robert., and Buck Evan., *Chemical Engineer's Hand Book* (Robert H. Perry), pp 3-44; 3-257, McGraw-Hill Book Co., Singapore 5th ed. 1984.

Mclaughlin K.W. and R.G. Antony, "The Role of Zeolite Pore Structure During Deactivation by Coking," *AICh.E. J.*, 31 (6), p 927-933, 1985.

Richardson, J.F. and Coulson J.M., *Chemical Engineering volume three, Chemical Reactor Design, Biochemical Reaction Engineering including Computational Thechniques and Control* (Richardson, J.F. et al. eds.) pp 113, Pergamon Press Ltd. England, 2nd edition, 1982.

Satterfield N. Charles, Heterogeneous Catalysis in Practice, pp 151-155; 167, Mc. Graw-Hill Book Co, Singapore, 1st ed., 1981.

Talor W.J., D.D. Wagman, M.G. Williams, K.S. Pitzer, and F.D. Rossini.

"Heat, Equilibrium Constants, and Free Energies of Formation of Alkylbenzenes," J. Res. Nat. Bur. Std., 37, 116-122, 1946.

Tanabe. K, "Solid Acid and Base Catalysts," Catalysis-Science and Technology (John. R. Anderson and Michel Boudart, eds.) vol.2, pp 237, Springer-Verlag, Berlin, 1981.

Yashima T., Yamazaki K., Ahmak H., Katsuta M., and Hara N.,
"Alkylation on Synthetic Zeolites II. Selectivity of p-Xylene Formation," J. Catalysis 17, p 151-156, 1970.

_____, Sakaguchi Y., and Namba S., "Selective Formation of p-Xylene by Alkylation of Toluene with Methanol on ZSM-5 Type Zeolites," J. Catalysis, P 739-751, 1985.

Young, L.B. Butter, S.A., and Kaeding, W.W., "Shape Selective Reactions with Zeolite Catalysts, III. Selectivity in Xylene Isomerization, Toluene-Methanol Alkylation, and Toluene Disproportionation over ZSM-5 Zeolite Catalysts." J. Catalysis 76, p 418-432, 1982.

ภาคผนวก ก

การหาค่าพลักซ์เชิงโมลของสารตั้งต้น

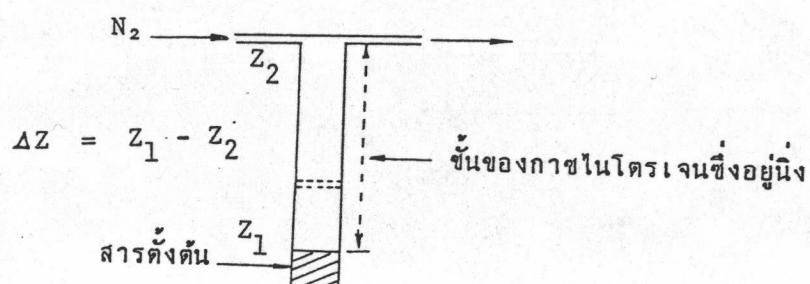
สารตั้งต้นในที่นี้ คือ โทลูอีน และ เมทานอล ซึ่งอยู่ในสถานะของเหลว และมีค่าเศษส่วนโมลคงที่ ปริมาณของสารตั้งต้นทั้งสองระเหยแพร่ผ่านชั้นของก๊าซไนโตรเจน ซึ่งอยู่นิ่ง (Stagnant nitrogen gas film) สมการต่อไปนี้จะแสดงขั้นตอนการคำนวณพลักซ์เชิงโมลของสารตั้งต้นทั้งสอง ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับค่าตัวแปรต่าง ๆ เช่น ความดันไอของสารแต่ละชนิด สมประสิทธิ์การแพร่ของสารแต่ละชนิด เป็นต้น

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ และค่าความดันไอของสารตั้งต้นทั้งสอง ส่วนรูปที่ ก.1 แสดงถึงลักษณะของเครื่องมือระเหยสารตั้งต้น (Robert H. Perry et al. 1984)

ตารางที่ ก.1 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ และค่าความดันไอของสารตั้งต้นที่อุณหภูมิ 27° ซ

สารเคมี	สปส. การแพร่ในก๊าซไนโตรเจน (D_{A,N_2}), ซม. ² /วินาที	ความดันไอ (P_A^s) บรรยากาศ
โทลูอีน (A)	0.0812	0.085
เมทานอล(B)	0.1136	0.146

รูปที่ ก.1 เครื่องมือระเหยสารตั้งต้น



การคำนวณฟลักซ์เชิงของสารตั้งต้น ใช้สมการข้อที่ 1 ของฟิค (Fick's first law)
(Charles E. Wicks et al. 1984)

$$N_{A,z} = \frac{P}{RT} \frac{D_{A,N_2}}{\Delta Z} \frac{(Y_{A1} - Y_{A2})}{Y_{N_2,lm}} \quad (ก.1)$$

เมื่อ $N_{A,z}$ = ฟลักซ์เชิงโมลของก๊าซโทลูอีน ผ่านชั้นของก๊าซไนโตรเจนซึ่งอยู่ตั้งในทิศ
ทางแกน z (โมล/ชม.² วินาที)

P = ความดันของระบบ (บรรยากาศ)

R = ค่าคงที่ของก๊าซ

T = อุณหภูมิของระบบ

Y_{A1}, Y_{A2} = ค่าเศษส่วนโมลของก๊าซโทลูอีนที่จุด $Z=z_1$ และ $Z = z_2$

$$Y_{N_2,lm} = \frac{(1 - Y_{A2}) - (1 - Y_{A1})}{\frac{\ln(1 - Y_{A2})}{(1 - Y_{A1})} - \frac{\ln(1 - Y_{A1})}{(1 - Y_{A2})}} = \frac{Y_{A1} - Y_{A2}}{\frac{\ln(1 - Y_{A2})}{(1 - Y_{A1})} - \frac{\ln(1 - Y_{A1})}{(1 - Y_{A2})}} \quad (ก.2)$$

แทนค่าสมการ (ก.2) ลงในสมการ (ก.1) จะได้

$$N_{A,z} = \frac{P}{RT} \frac{D_{A,N2}}{Z} \frac{\ln(1 - Y_{A2})}{(1 - Y_{A1})} \quad (\text{ก.3})$$

แทนค่าตัวแปรต่าง ๆ ลงในสมการที่ (ก.3)

$$P = 1 \text{ บรรยากาศ}$$

$$D_{A1,N2} = 0.0812 \text{ ซม.}^2/\text{วินาที}$$

$$Z = 10 \text{ ซม.}$$

$$R = 82.05 \text{ (ซม.}^3 \text{ บรรยากาศ) / (โมล) (เคลวิน)}$$

$$T = 300 \text{ เคลวิน}$$

$$Y_{A2} = 0 \text{ (เพราะมีก๊าซไนโตรเจนไหลผ่านตลอด)}$$

$$Y_{A1} = X_A P_A^s \text{ (ตามกฎของเฮนรี)}$$

โดยที่ X_A = เศษส่วนโมลของโพลูอีเทนในของเหลว

$$\text{จะได้ } N_{A,z} = \frac{1}{(82.05)(300)} \frac{0.0812}{(10)} \ln \left(\frac{1}{(1 - 0.085 X_A)} \right) \quad (\text{ก.4})$$

$$N_{B,z} = \frac{1}{(82.05)(300)} \frac{0.1136}{(10)} \ln \left(\frac{1}{(1 - 0.146 X_B)} \right) \quad (\text{ก.5})$$

กำหนดค่าที่เศษส่วนโมลของโพลูอีเทนในเฟสของเหลวเท่ากับ 0.8 เศษส่วนโมลของเมทานอลในเฟสของเหลวเท่ากับ 0.2 แทนค่าลงไปสมการที่ (ก.4) และ (ก.5) จะได้

$$N_{A,z} = 2.32 \times 10^{-8} \frac{\text{(กรัมโมล)}}{\text{(ซม}^2 \text{)(วินาที)}}$$

$$N_{B,z} = 1.36 \times 10^{-8} \frac{\text{กรัมโมล}}{\text{(ซม}^2 \text{)(วินาที)}}$$

$$\frac{N_{A,Z}}{N_{B,Z}} = 1.7$$

พื้นที่หน้าตัดของเครื่องมือระเหยเท่ากับ $\frac{\pi}{4} (2.54)^2$ ตารางเซนติเมตร

อัตราการไหลเชิงโมล

$$\text{ของโพลูอิน} = (2.32 \times 10^{-8}) \left(\frac{\pi}{4} \right) (2.54)^2 = 1.17 \times 10^{-7} \frac{\text{กรัมโมล}}{\text{วินาที}}$$

อัตราการไหลเชิงโมล

$$\text{ของเมทานอล} = (1.36 \times 10^{-8}) \left(\frac{\pi}{4} \right) (2.54)^2 = 6.93 \times 10^{-8} \frac{\text{กรัมโมล}}{\text{วินาที}}$$

อัตราการไหลเชิงมวล

$$\text{ของโพลูอิน} = (1.17 \times 10^{-7}) (92) (3600) = 0.039 \frac{\text{กรัม}}{\text{ชั่วโมง}}$$

อัตราการไหลเชิงมวล

$$\text{ของเมทานอล} = (6.73 \times 10^{-8}) (32) (3600) = 7.99 \times 10^{-3} \frac{\text{กรัม}}{\text{ชั่วโมง}}$$

$$\text{จะได้อัตราการไหลรวมเชิงโมลของสารตั้งต้น} = 1.87 \times 10^{-7} \text{ (กรัมโมล) / (วินาที)}$$

$$\text{จะได้อัตราการไหลรวมเชิงมวลของสารตั้งต้น} = 0.047 \text{ (กรัม) / (ชั่วโมง)}$$

$$\text{ถ้าใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาในแบบหนึ่ง} = 0.10 \text{ กรัม}$$

จะได้น้ำหนักของสารตั้งต้นค่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อชั่วโมง (WHSV) มีค่าเท่ากับ

$$\frac{0.047}{0.10} = 0.47 \text{ (กรัมสารตั้งต้น) / (กรัมตัวเร่งปฏิกิริยา) (ชั่วโมง)}$$

ภาคผนวก ข

อัตราการไหลเชิงโมลของก๊าซพา (molar flow rate of carrier gas)

ในการปฏิบัติการเราสามารถวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตรของก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 27 °ซ ความดัน 1 บรรยากาศ ซึ่งเท่ากับ 260 (ซม.³)/(ชั่วโมง)

จากทฤษฎีของก๊าซในอุดมคติ;

$$n = (PV) / (RT)$$

$$n = \frac{(1 \text{ บรรยากาศ}) (260 \text{ ซม.}^3/\text{ชั่วโมง})}{\left(\frac{(82.05 \text{ ซม.}^3 \text{ บรรยากาศ}) (300 \text{ เคลวิน})}{(\text{โมล}) (\text{เคลวิน})} \right)}$$

$$= 0.0106 \text{ (โมล) / (ชั่วโมง)}$$

เราสามารถจะหาค่าเศษส่วนโมลของสารตั้งต้น ก่อนเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ เมื่อทราบอัตราการไหลเชิงโมลของก๊าซพา

จากภาคผนวก ก.

$$\text{อัตราการไหลเชิงโมลของสารตั้งต้นรวม} = 1.87 \times 10^{-7} \text{ กรัมโมล/นาที}$$

$$\text{และ อัตราการไหลเชิงโมลของก๊าซพา (N}_2\text{)} = 0.0106 \text{ กรัมโมล/ชั่วโมง}$$

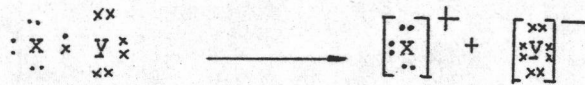
$$\text{เศษส่วนโมลของสารตั้งต้น} = \frac{(1.87 \times 10^{-7}) (3600)}{0.0106 + (1.87 \times 10^{-7}) (3600)}$$

$$= 0.064$$

ภาคผนวก ค

คาร์บอนเนียมอิออน และปฏิกิริยาของคาร์บอนเนียมอิออน

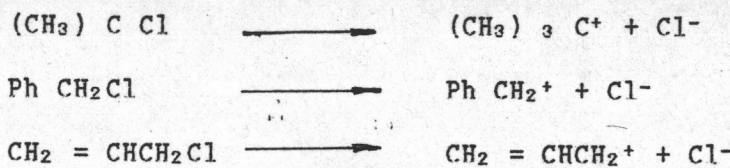
ในการแตกตัวของสาร x และสาร y ในพันธะโควาเลนต์, ให้สาร x เป็นตัวจ่ายอิเล็กตรอน จึงแสดงประจุบวกในขณะที่สาร y เป็นตัวรับอิเล็กตรอน จึงแสดงประจุลบ, ดังนี้



เมื่อสาร x และสาร y คือ อะตอมของธาตุคาร์บอน สาร x ซึ่งหมายถึง คาร์บอนที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุดเท่ากับ 6 ตัว $[c]^+$ เรียกว่า 'คาร์บอนเนียม อิออน' ส่วนสาร y ซึ่งมีอิเล็กตรอนวงนอกสุดเท่ากับ 8 ตัว และมีอิเล็กตรอนเหลืออยู่คู่หนึ่งเป็นอิสระ $[c]^-$ เรียกว่า 'คาร์บาเนียน' ทั้งคาร์บอนเนียม อิออน และคาร์บาเนียน จะเป็นสารอินเทอร์มีเดียตสำหรับปฏิกิริยาของสารไฮโดรคาร์บอนทั่ว ๆ ไป ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะคาร์บอนเนียม อิออน ซึ่งปฏิกิริยาของมัน จะชอบทำปฏิกิริยากับสารที่ชอบนิวเคลียส (Nucleophilic) เช่นปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยสารชอบนิวเคลียส ที่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (nucleophilic substitution at a saturated carbon) และปฏิกิริยาเติมสารที่บอนด์คู่ของคาร์บอน (addition reactions of carbon - carbon double bond) เป็นต้น

ต่อไปนี้จะแสดงถึงวิธีการเกิดเป็น คาร์บอนเนียม อิออน

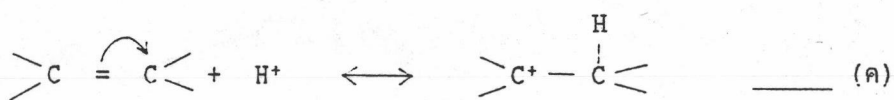
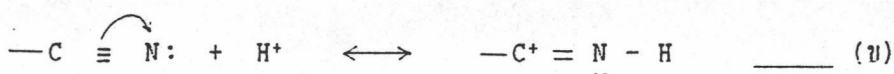
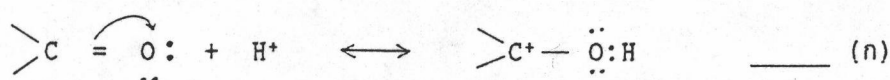
ก) การแตกตัวเป็นประจุโดยตรง (Direct ionization) คาร์บอนเนียม อิออนสามารถเกิดมาจากการแตกตัวเป็นประจุโดยตรง จากบอนด์ของคาร์บอนกับธาตุหมู่ที่ 7 เช่น



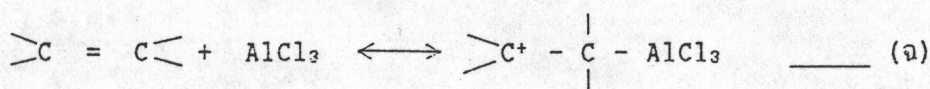
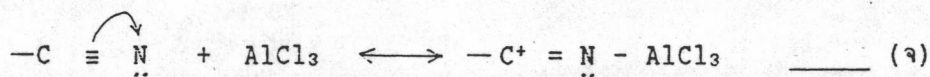
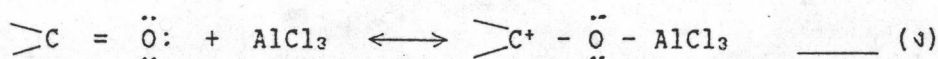
การเกิดเป็นคาร์บอนเนียม อีออน วิธีนี้ต้องอาศัยตัวกลางซึ่งเป็นตัวทำลายที่มีสภาพขั้วสูงจนทำให้มีการแตกตัวเป็นประจุได้

ข) เติมกรดลงในสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด์ ไม่มีกัมแล้ว

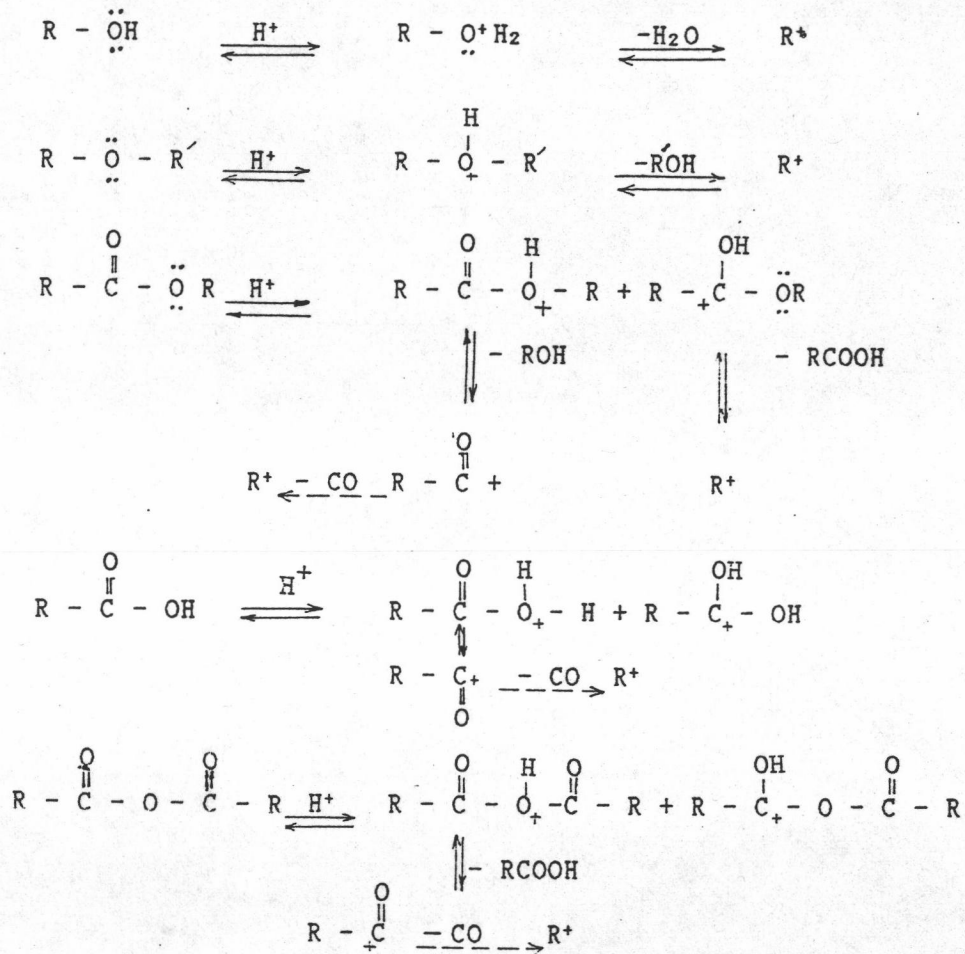
โปรตอน (หรือกรดแบบลิวอิส) จะเข้าไปขอใช้อิเล็กตรอนร่วมกับ พันธะคู่หรือพันธะอื่นที่มากกว่าสอง จะทำให้อะตอมของคาร์บอนที่เคยใช้พันธะคู่หรือพันธะอื่นร่วมกับขาดอิเล็กตรอนไปหนึ่งคู่และเกิดเป็นคาร์บอนเนียม อีออน ด้วยสมการ (ก), (ข) และ (ค)



หรือถ้าพิจารณา เมื่อปฏิกิริยาดำเนินไป เมื่อมีการเติมกรดแบบลิวอิส จะเกิดเป็นคาร์บอนเนียม อีออนตามสมการ (ง), (จ) และ (ฉ)

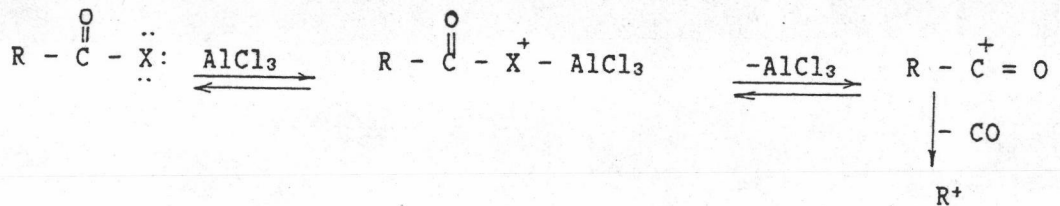
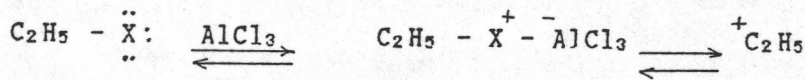
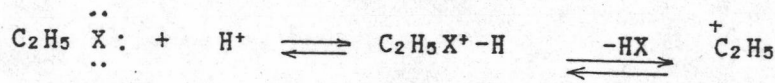


ค) เติมกรดลงในสารประกอบที่มีธาตุออกซิเจน ในรูปแบบ, -O- เช่น แอลกอฮอล์, อีเทอร์, เอสเทอร์, กรด, และ แอซิด แอนไฮไดรด์ ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้



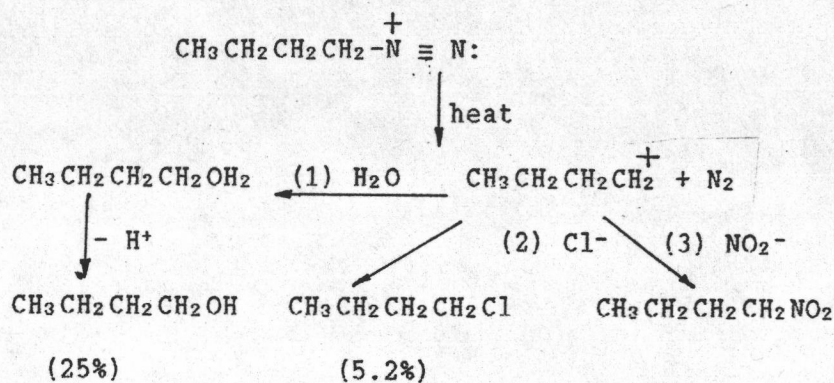
ปฏิกิริยาข้างต้นทั้งหมดป็นกรดจะเข้าไปจับบริเวณที่มีอิเล็กตรอนหนาแน่นของอะตอมออกซิเจนก่อน ทำให้บริเวณอะตอมของออกซิเจนขาดอิเล็กตรอน แล้วจึงเกิดการสลายพันธะระหว่างอะตอมของออกซิเจน กับคาร์บอน โดยที่อะตอมของคาร์บอน จะเสียคู่อิเล็กตรอนไป 1 คู่ เกิดเป็นคาร์บอนเนียม อีออน ส่วนของอะตอมออกซิเจนก็จะเกิดเป็นสารเคมีประเภท น้ำ, แอลกอฮอล์ หรือกรดคาร์บอกซิลิก สำหรับกรณีของกรดแบบลิวอิส ก็เกิดปฏิกิริยาทำนองเดียวกัน

ง) เติมกรดลงปบบสารกึ่งทรีย์ ของธาตุหมู่ที่ 7 สารประกอบของธาตุหมู่ 7 ทั้งแบบเส้นตรง (alkyl halide) และแบบวงแหวน (acyl halide) เมื่อทำปฏิกิริยากับกรด แล้วจะแตกตัวให้ คาร์บอกเนียม ไอออน ดังสมการต่อไปนี้

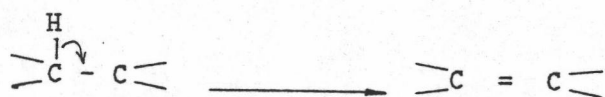


ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น เนื่องจากมีคาร์บอกเนียม ไอออน เป็นสารตั้งต้นแบ่งเป็น 3 ชนิดคือ

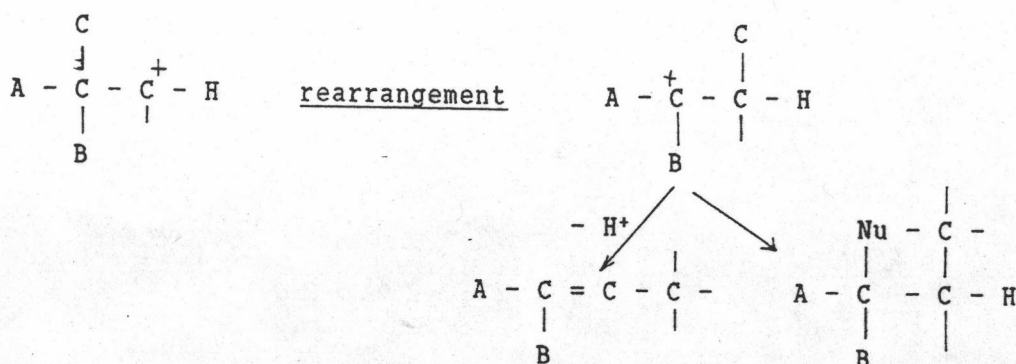
ก) รวมตัวกับสารที่หลอนนิวเคลียส (Combination with nucleophile) ถ้าปบบสารผสมมีคาร์บอกเนียม ไอออน และสารที่หลอนนิวเคลียสหลายชนิดอยู่ด้วยกันแล้ว ย่อมจะได้ผลิตภัณฑ์รวมเป็นสัดส่วนต่าง ๆ ซึ่งก็แล้วแต่ระดับของความหลอนนิวเคลียส (nucleophilicity) ของสารที่หลอนนิวเคลียส แต่ละสารตัวอย่างเช่น



ข) ขจัดโปรตอนซึ่งมีพันธะร่วมกันกับอะตอมของคาร์บอนใกล้เคียง (Elimination of a proton from an adjacent carbon) ปฏิกริยานี้เกิดขึ้นภายในโมเลกุลของคาร์บอนเนียมอ็อกไซด์ โดยการขจัดโปรตอนออกไป เพื่อสร้างพันธะคู่ระหว่างอะตอมของคาร์บอนติดกับอะตอมของคาร์บอน



ค) ปฏิกริยาการจัดรูปแบบใหม่ภายในโมเลกุล (Rearrangement reactions) การจัดเรียงตัวใหม่ภายในโมเลกุลของคาร์บอนเนียมอ็อกไซด์ โดยการสับเปลี่ยนตำแหน่งของหมู่อัลคิลหรือไฮโดรเจน (alkyl shift or hydride shift) เพราะฉะนั้นตำแหน่งของคาร์บอนเนียมอ็อกไซด์ จะเปลี่ยนจากอะตอมเดิมไปเป็นอะตอมข้างเคียง และมีทางเลือกสองทางของการเกิดปฏิกริยาเคมีของคาร์บอนเนียมอ็อกไซด์ คือ ถูกโจมตีด้วยสารที่มีความชอบนิวเคลียสหรือ ขจัดโปรตอนออกไป



ภาคผนวก ง

ปฏิกิริยาข้างเคียง

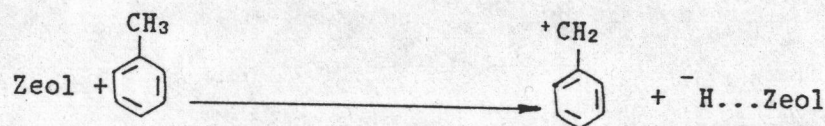
ปฏิกิริยาข้างเคียงในงานวิจัยครั้งนี้แบ่งเป็น 4 ชนิดคือ

- ก. ปฏิกิริยาดีสโพรพอร์ชันเนชันของสาร อัลคิลอะโรมาติก (Disproportionation of alkyl aromatic)
- ข. ปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชันของไซลีน (Isomerization of xylene)
- ค. ปฏิกิริยาไฮโดรดีอัลคิลเลชัน ของสารอัลคิลอะโรมาติก (Hydrodealkylation of alkyl aromatic)
- ง. ปฏิกิริยาของเมทานอลไปเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Methanol to hydrocarbon)

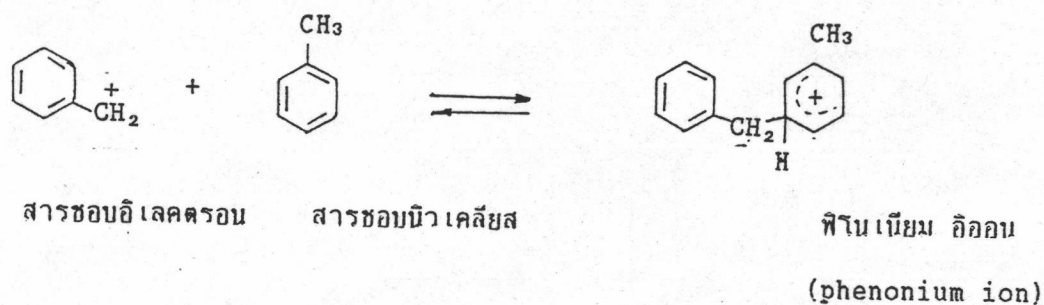
ก. ปฏิกิริยาดีสโพรพอร์ชันเนชัน (Gerard V. Smith. 1977)

ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้น เมื่อช่องว่างภายในตัวเร่งปฏิกิริยามีมากเพียงพอ ที่จะให้โมเลกุลของสารอะโรมาติกสองโมเลกุลก่อตัวเป็นสารอินเทอร์มีเดียตได้ คือ ไม่มีสภาวะเรสทริกทรานสิชันสเตต ซีเลคทีวิตี (ดูในรูปที่ 2.1, และหัวข้อ 2.1) ขึ้นตอนการเกิดปฏิกิริยานี้ของโพลูอีนมีดังนี้

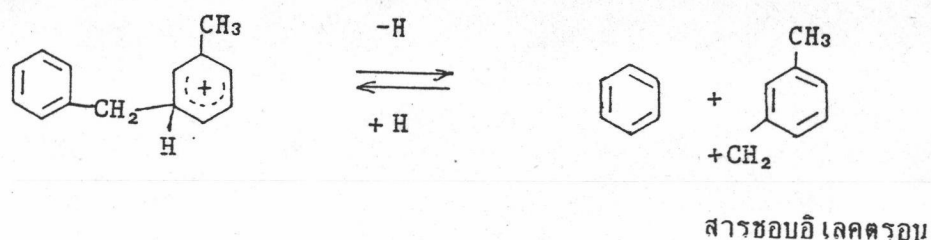
1) การเกิดคาร์บอนเนียม อิลอน ที่หมู่เมทิล เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาต้องการอิเล็กตรอนคู่จากสารอะโรมาติกโดยตรง



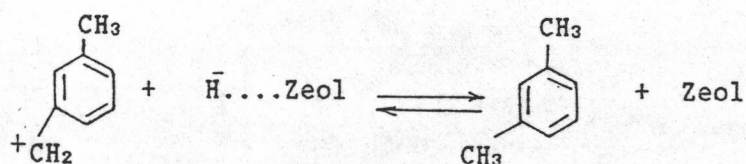
2) ปฏิกิริยาระหว่างสารชอบอิเล็กตรอน (electrophile) กับสารชอบนิวเคลียส (nucleophile)



3) การแตกตัวของสาร คีนเทอรัมีเตียตเก็บแบบที่บ และคาร์บอนเนียม อีออน



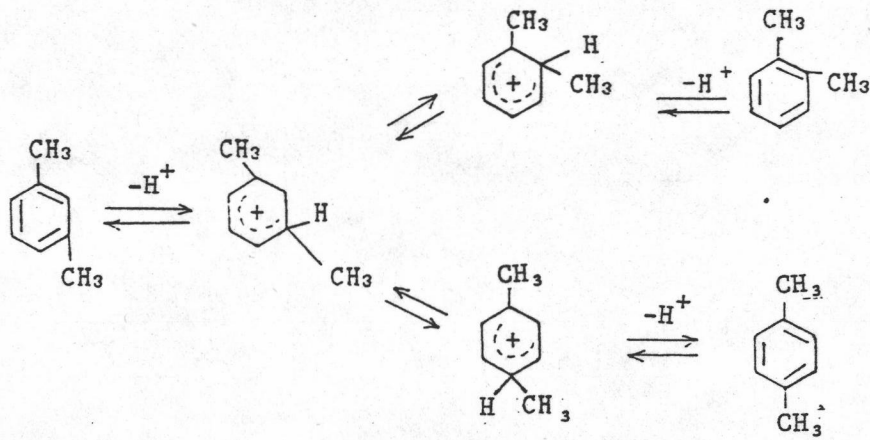
4) ปฏิกริยาของสารชอบอิเล็กตรอนไปเป็น ไซลีน



ข) ปฏิกริยาไอโซเมไรระหว่างไซลีน (Riberio F. Ramoa. 1980)

ปฏิกริยานี้แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทเกิดขึ้นจากการเคลื่อนย้ายหมู่เมทิล ภายในโมเลกุลของไซลีนเอง (Intramolecular reaction) และประเภทที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนหมู่เมทิล ระหว่างโมเลกุลของไซลีน 2 โมเลกุล (Inter molecular reaction) ปฏิกริยาแบบที่สองจะเกิดขึ้นได้ เมื่อขนาดของช่องว่าง ภายในตัวเร่งปฏิกริยามีน้อยพอ หรือไม่เกิดสภาวะเรสตรัค ทรานส์ชัน สเตต ที่เลคทิวตี้

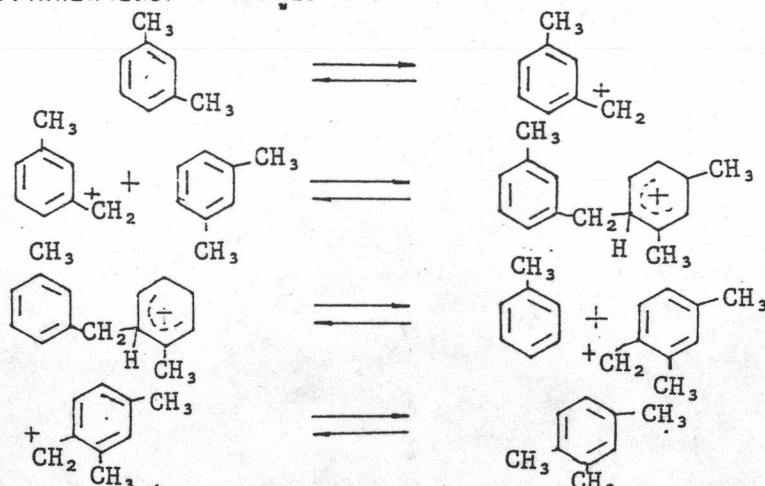
ปฏิกริยาประเภทที่เกิดขึ้นภายในโมเลกุล เขียนเป็นสมการได้ดังนี้



ปฏิกิริยาประเภทเกิดขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของไซลีนสองโมเลกุล

สมมติให้ปฏิกิริยาเริ่มต้นด้วย เมตาไซลีนสองโมเลกุลจะดำเนินปฏิกิริยาดิสปรัพอลชันแบบ

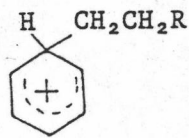
จนได้ ไตรเมทิลเบนซีน และโทลูอีน ดังนี้



เมื่อทำปฏิกิริยาย้อนกลับจากโทลูอีน และไตรเมทิลเบนซีนไปเป็นไซลีนสองโมเลกุล อาจจะได้ไอโซเมอร์ตัวหนึ่ง ย่อมแล้วแต่ว่าจะเกิดคาร์บอนเนียม อีออน ที่หมู่เมทิลตำแหน่งไหน ของไตรเมทิลเบนซีน หรือ คาร์บอนเนียม อีออน ของไตรเมทิลเบนซีน จะจับกับอิเล็กตรอนที่คาร์บอนตำแหน่งไหนของโทลูอีน

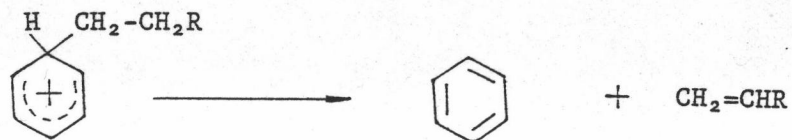
ค) ปฏิกิริยาไฮดรอลิซิสของสารอัลคิลอะโรเมติก (Gerard V. Smith. 1977)

เกิดขึ้นเนื่องจากโปรตอนของตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าไปจับอิเล็กตรอน บริเวณวงแหวนของเบนซีน ของสารอัลคิลอะโรเมติก ซึ่งจะไปจับตำแหน่งที่มีหมู่อัลคิล ซึ่งแทนที่ไฮโดรเจนอยู่ที่ (เพราะตำแหน่งนี้มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมากกว่า) ได้เป็นฟีนีลเนียม อีออน



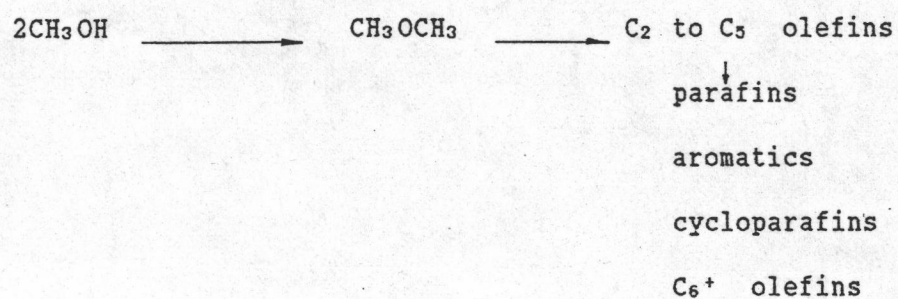
โดยที่ R แทนหมู่อัลคิล

สารอินเทอร์มีเดียต จะเข้าสู่สภาวะเสถียร เมื่อการจัดตัวอิเล็กตรอนของหมู่อัลคิลจัดตัว
ใหม่เป็นพันธะคู่ เพื่อให้ได้สารประกอบ ออลิฟิน (olefin)

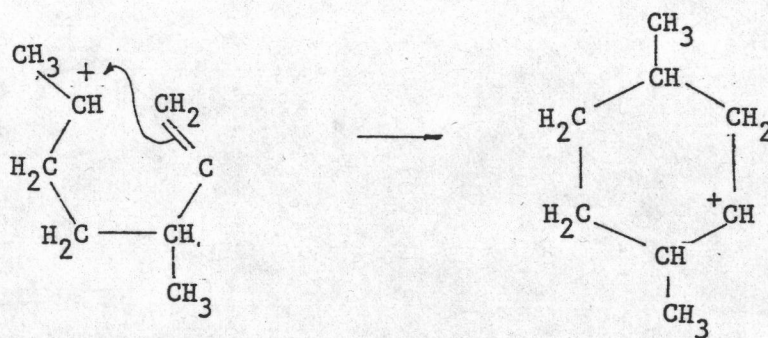
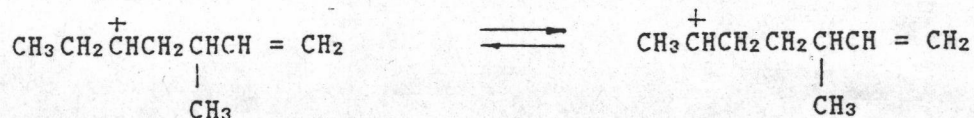
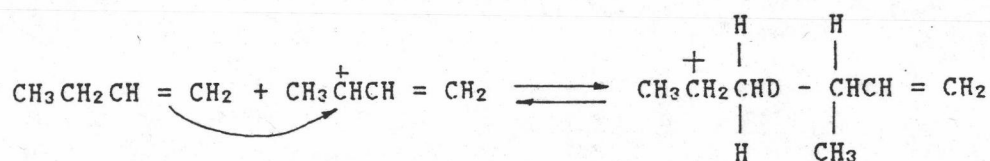
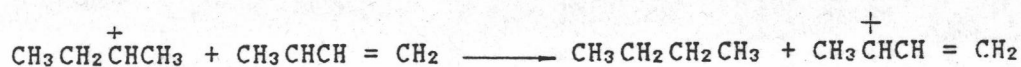
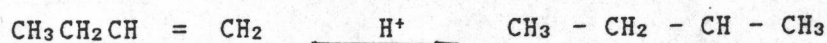


ง) ปฏิกิริยาของเมธานอลไปเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Mclaughlin D.W.
et al. 1985)

แอลกอฮอล์ สามารถจะเกิดเป็นคาร์บอนเนียมไอออนได้ เมื่อเติมกรดลงไป (ภาคผนวก ค)
เพราะฉะนั้นปฏิกิริยาที่ใช้เมธานอลเป็นสารตั้งต้นบนตัวเร่งปฏิกิริยานิคซีโอไลต์ จะได้
ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ตามสมการข้างล่าง



ปฏิกิริยาจากแอลกอฮอล์ หรืออีเทอร์ไปเป็นสารประกอบ ออลิฟินัม ทำได้โดยการเกิดเป็น โม่เลกุลของน้ำแล้วสลับน้ำทิ้งไป คาร์บอนและไฮโดรเจนที่เหลือก็จะจัดเรียงโม่เลกุลใหม่เป็นสารประกอบออลิฟิน ตัวอย่างปฏิกิริยาการรวมตัวของสารประกอบ ออลิฟินไปเป็นสารประกอบที่มี โม่เลกุลใหญ่กว่า โดยผ่านขั้นตอนปฏิกิริยาต่อไปนี้ คือ การเคลื่อนย้ายไฮโดรเจน (hydrogen and hydride Transfer), การรวมตัวของสองโม่เลกุล (dimerization), และการเกิดเป็นโม่เลกุลวงแหวน (cyclization reaction) แสดงได้ ดังนี้



ภาคผนวก จ

ซีโอโลไลต์

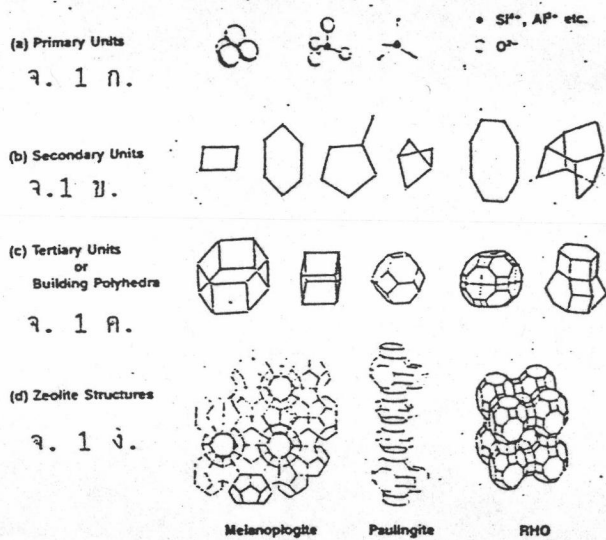
โครงสร้างของผลึกซีโอโลไลต์

โครงสร้างพื้นฐานของผลึกซีโอโลไลต์คือ หน่วยทรงรูปทรงสี่หน้า (tetrahedra) ของอะตอมออกซิเจน สี่อะตอมล้อมรอบอะตอมของซิลิกอน - $(SiO_4)^{4-}$ ดูรูปที่ จ. 1 ก ตำแหน่งของอะตอมออกซิเจนทั้งสี่ จะเป็นตัวเชื่อมกับอะตอมของออกซิเจน ของหน่วยรูปทรงสี่หน้าหน่วยอื่น เชื่อมโยงกันเป็นตาข่าย ดูรูปที่ จ. 1 ข จะมีลักษณะเป็นรูปทรงแบบปิดแต่มีแค่ 2 มิติ ขึ้นต่อกายเพื่อให้ได้รูปทรงที่สมบูรณ์ คือมี 3 มิติ ก็คือ นำเอาตาข่ายในรูปที่ จ. 1 ข มาจัดเรียงกันได้รูปที่ จ. 1 ค เมื่อเอาแต่ละรูปแบบในรูปที่ จ. 1 ค มาต่อกันเรียงกันอย่างมีระเบียบแบบแผน ก็จะได้โครงสร้างของผลึกซีโอโลไลต์หลาย ๆ ชนิด ดูรูปที่ จ. 1 ง ศูนย์กลางของรูปทรงสี่หน้าอาจจะเป็นอลูมิเนียมหรือซิลิกอนก็ได้

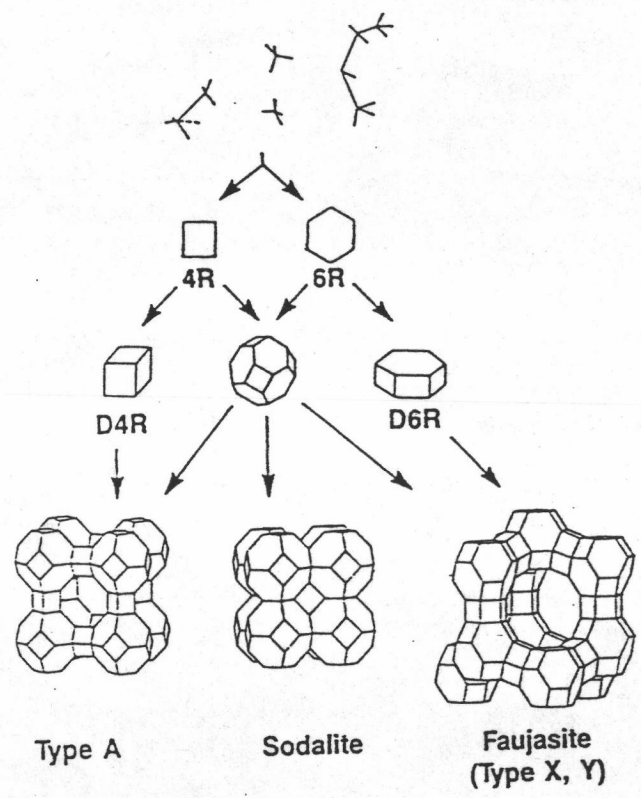
รูปที่ จ. 2 แสดงผลึกของซีโอโลไลต์ 3 แบบ ซึ่งเกิดจากการจัดเรียงตัวของหน่วยพื้นฐานในระนาบ 3 มิติ ที่แตกต่างกันอย่างมีระเบียบแบบแผน ถ้าเราคิดจะปรับปรุงคุณสมบัติบางอย่างของซีโอโลไลต์ โดยการเปลี่ยนจากการที่หน่วยรูปทรงสี่หน้ามีธาตุซิลิกอนเป็นศูนย์กลางของออกซิเจนทั้งสี่อะตอมก็ย่อมได้ แต่ขนาดของ โลหะชนิดนั้น (แสดงประจุเป็นบวก) จะต้องไม่มีขนาดใหญ่เกินไป จนอะตอมของออกซิเจนไม่สามารถจะอยู่ได้ เพื่อรักษาสภาพของหน่วยรูปทรงสี่หน้า (คือ จะมีความเครียด แล้วสลายพันธะ) ในการแทนที่ธาตุซิลิกอนด้วยอลูมิเนียม ปัญหาที่ตามมา คือ ไม่มีคุณสมบัติทางประจุไฟฟ้า คือ บริเวณหน่วยรูปทรงสี่หน้าของอลูมิเนียมจะแสดงประจุลบ สามารถทำให้มีความสมดุลทางประจุไฟฟ้าได้ โดยการหาไอออนบวก ซึ่งมีความอิสระ คือไม่ได้สร้างพันธะถาวรกับธาตุอื่นใดเลย ตัวอย่างเช่น ไอออนของธาตุโซเดียม มาบรรจุอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกับอลูมิเนียมในช่องว่างของผลึกซีโอโลไลต์

เพราะว่าไอออนบวกที่นำมา เพื่อให้เกิดความสมดุลทางประจุไฟฟ้า ไม่ได้รวมตัวกับธาตุอื่น เช่น ถูกล้อมรอบด้วยออกซิเจนสี่อะตอม เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความอิสระที่จะเคลื่อนที่ไปในตำแหน่งใด ๆ ได้ เมื่อโดนกระตุ้น รูปที่ จ. 3 แสดงถึงตำแหน่งใด ๆ ในผลึกซีโอโลไลต์ แบบเพอร์จาชิต์ที่ไอออนของโซเดียมสามารถบรรจุได้ คือ ตำแหน่ง 1, 1', 2, และ 3 ตามลำดับ เนื่องจากด้วยสมบัติข้อนี้ทำให้เราสามารถที่จะเปลี่ยนไอออนบวก จากชนิดหนึ่งไปเป็นอีกชนิดหนึ่งได้ ซึ่งคุณ

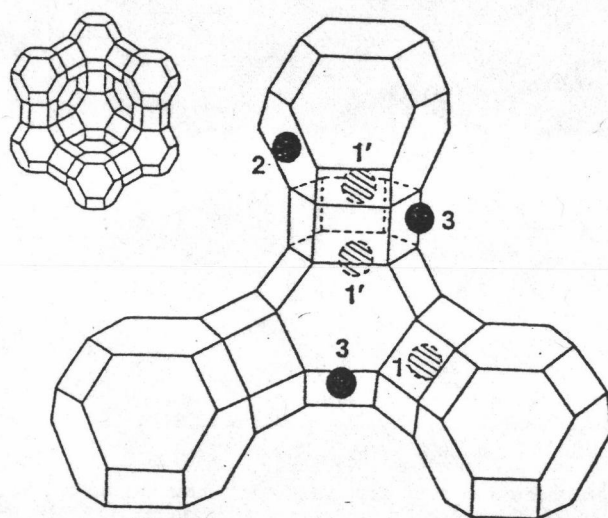
รูปที่ จ.1 ลักษณะการเกิดผลึกของซีโอไลต์ เริ่มจาก จ.1ก. หน่วยเตตระฮีดรา 1 หน่วย จ.1ข
 วางแหวนของหน่วยเตตระฮีดรา จ.1ค จากวงแหวนมาต่อเรียงกันเป็นรูปแบบหลาย ๆ หน้าตัด
 (polyhedral units) และ จ.1ง แต่ละรูปแบบใน จ.1ค มาต่อเรียงกันเป็นผลึกเฉพาะแบบ



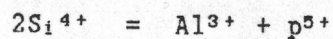
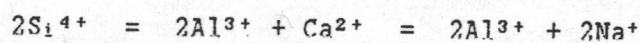
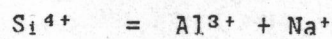
รูปที่ ๑.๒ สามารูปแบบของผลึกซีโอไลต์ ที่มีหน่วยพื้นฐานจากวงแหวนแบบสี่เหลี่ยม และหกเหลี่ยม



รูปที่ ๑.๓ โครงสร้างของผลึกซีโอไลต์ แบบเฟอร์ไรไซด์ ซึ่งมีประจุบวก บรรจุภายใน
โครงสร้างได้จำนวน สี่ตำแหน่ง คือ 1, 1', 2 และ 3



สมบัติข้อนี้มีประโยชน์มากในการปรับปรุงลักษณะเฉพาะของผลึกซีโอไลต์ เพื่อความเหมาะสมในปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ และเมื่อไรก็ตามละดอมของซิลิกอน ถูกแทนที่ด้วยโลหะที่มีค่าตัวเลขออกซิเดชันต่ำกว่า เช่น อลูมิเนียมออกไซด์ (Al^{3+}) หรือแกเลียมออกไซด์ (Ga^{3+}) มากขึ้นเท่าไร ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนจะมากขึ้นเท่านั้น ขบวนการแลกเปลี่ยนไอออน ที่สามารถจะเลือกไอออนตัวไหนก็ได้ที่มีประจุรวมกันแล้วเท่าเดิมนี้ เรียกว่า ขบวนการแทนที่แบบไอโซมอร์ฟิซ (Isomorphous substitution) ตัวอย่างเช่น

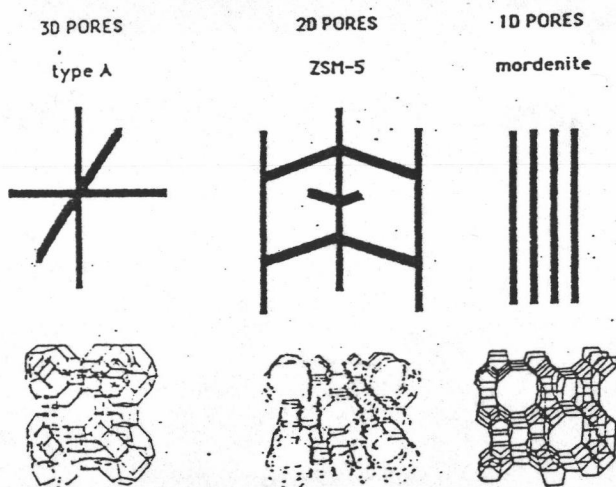


ผลึกของซีโอไลต์สามารถจะแบ่งเป็น 1, 2 หรือ 3 มิติ ของโครงสร้างของช่องว่าง ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบของการจัดเรียงตัว เช่น ผลึกแบบเฟลอร์जाไซด์ จะมีมิติของช่องว่างเท่ากับ 3 ในขณะที่ของมอร์ดีไนต์ มีมิติของช่องว่าง เท่ากับ 1 ดูจากรูปที่ จ. 4

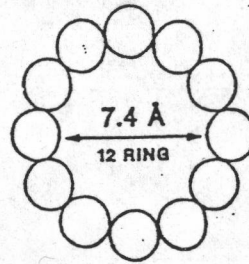
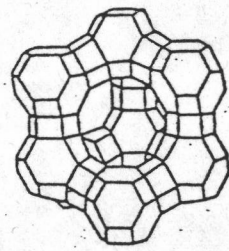
คุณสมบัติของซีโอไลต์

คุณสมบัติของดิงแรงปฏิกิริยาที่มีความสำคัญ ต่อปฏิกิริยาทางเคมี คือ ปริมาณของส่วนที่แสดงความเป็นกรด (acid site density) หมายถึงจำนวนของโปรตอนที่ใช้ในการสมดุลประจุไฟฟ้าในโครงสร้างของผลึก, ความรุนแรงของกรด (acid strength) หมายถึงระดับประจุไฟฟ้าในโปรตอน, และขนาดของช่องว่าง (pore site) ภายในผลึก ซึ่งรวมถึงลักษณะรูปร่างและขนาดของทางเข้าสู่ช่องว่าง หรือทางออกจากช่องว่าง (pore entrance) ด้วย, ตารางที่ จ. 1 แสดงถึงลักษณะของช่องว่างทั้งขนาด และระนาบ สำหรับซีโอไลต์ ซึ่งมีระนาบของช่องว่างที่ทำให้ขนาดของช่องว่างแตกต่างกัน การแบ่งประเภทของมันตามขนาดของช่องว่าง ๑ ค่านี้ถึงขนาดของช่องว่างที่ใหญ่ที่สุดเช่น มอร์ดีไนต์ เป็นต้น รูปที่ จ. 5 แสดงขนาดของช่องว่างของซีโอไลต์ (Vaughan D.E.W. 1988)

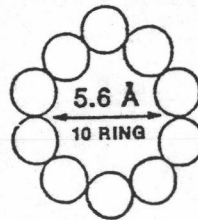
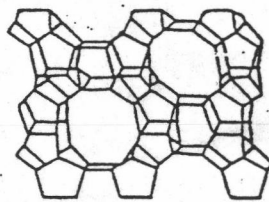
รูปที่ ๑.๔ มิติของช่องว่างในผลึกซีโอไลต์ต่างรูปแบบ คือแบบ A มีระบบของช่องว่าง (channel) 3 ระบบมาตัดกัน แบบ ZSM-5 มีระบบของช่องว่าง 2 ระบบมาตัดกันคือ ระบบเส้นตรง 180 องศา กับแบบคลื่น (sinusoidal) และแบบมอร์ดีไนต์ มีระบบของช่องว่างเป็นเส้นตรงอย่างเดียว



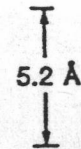
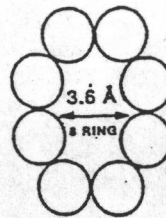
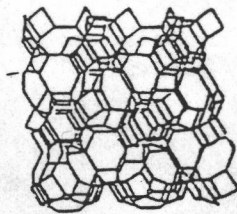
รูปที่ ๑.๕ ระบบของผลึกซีโอไลต์ และขนาดของช่องว่าง



Y ZEOLITE



ZSM-5



ERIONITE

สำหรับปริมาณของส่วนที่แสดงความเป็นกรด และความรุนแรงของกรดนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยของความหนาแน่นของหน่วยรูปทรงสี่หน้าซึ่งมีโลหะที่มีตัวเลขออกซิเดชันเท่ากับ 3 (เช่น Al^{3+}) ในโครงสร้างผลึก และตำแหน่งของหน่วยรูปทรงสี่หน้าในผลึก รวมทั้งชนิดของโลหะประจุบวก ซึ่งมีหน้าที่ให้เกิดความสมดุลทางประจุไฟฟ้าด้วย เพราะฉะนั้นบางครั้ง ซีโอไลต์จะถูกแบ่งตามสัดส่วนของซิลิกาต่ออลูมินา ถ้ามีซิลิกาสูงแล้วจะมีเสถียรภาพดีขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอย่างไรก็ตาม คุณสมบัติต่าง ๆ ของซีโอไลต์ ที่เป็นผลสืบเนื่องจากการเพิ่มสัดส่วนของซิลิกาต่ออลูมินา ยังสรุปเป็นทฤษฎีที่แน่นอนไม่ได้ ตามตารางที่ จ. 2 แบ่งซีโอไลต์ตามสัดส่วนของซิลิกาต่ออลูมินา

ตารางที่ จ. 1 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบซีโอไลต์แบ่งตามขนาดของช่องว่าง

ซีโอไลต์	ระบบของช่องว่าง* (Channel System)	อุโมงค์** (Cavity)
รู ขนาดใหญ่เฟอร์जाไซด์		
(Faujasite)	(2) 7.4, 3 มิติ (Dimension)	6.6, 11.4
มอร์ดไนต์ (Mordenite)	(8) 2.9 x 5.7, 1 มิติ	มีระบบเชื่อมต่อกันระหว่างช่องว่าง
	(12) 6.7 x 7.0, 1 มิติ	(Inter connected Channels)
	(12) 7.1, 1 มิติ	ระบบเดี่ยว (Unidimension)
รูขนาดปานกลางเพนตาซิล		
(ZSM-5)	(10) 5.4 x 5.6, 1 มิติ	มีระบบเชื่อมต่อกันระหว่างช่องว่าง
	(10) 5.1 x 5.6, 1 มิติ	
เฟอร์ไรต์จากการสังเคราะห์		
(Synthetic Ferricrite)	(8) 3.4 x 4.8m 1 มิติ	มีระบบเชื่อมต่อกันระหว่างช่องว่าง
	(10) 4.3 x 5.5, 2 มิติ	
รูขนาดเล็กเออร์ไวไนต์	(8) 3.6 x 5.2, 2 มิติ	6.3 x 13

* ตัวเลขในวงเล็บ คือ จำนวนของอะตอมออกซิเจนต่อ 1 วงแหวน, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู (pore) ของวงแหวน 1 วง หน่วยเป็นอังสตรอม, และทิศทางของช่องว่าง (channel)

** ขนาดของอุโมงค์ หน่วยเป็นอังสตรอม

ตารางที่ จ. 2 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบซีโอไลต์ แบ่งตามสัดส่วนของซิลิกาต่ออลูมินา

ระดับ	สัดส่วนของซิลิกาต่ออลูมินา (Si/Al ratio)	ชนิดของซีโอไลต์ (Types)
ต่ำ	1.0 - 1.5	A, X
ปานกลาง	2.0 - 2.5	ก) จากธรรมชาติ เช่น เออร์ริโอบไนต์ (Erionite), ชาบาไซต์ (Chabazite) และมอร์ดไนต์ (Mordenite) ข) จากการสังเคราะห์ เช่น เฟอ์จาไซต์แบบ Y (Faujasite type Y), L, และมอร์ดไนต์แบบรูขนาดใหญ่ (Large pore mordenite)
สูง	10 - 100	ก) ปรับปรุงโดยอาศัยความร้อน เช่น เฟอ์จาไซต์, มอร์ดไนต์, และเออร์ริโอบไนต์ ข) จากการสังเคราะห์ เช่น เพนตาซิล (ZSM-5)

ภาคผนวก จ

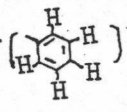
การเลือกตำแหน่งในวงแหวนของ เบนซีน เมื่อเกิดปฏิกิริยาการแทนที่
(Orientation effects of aromatic substitutions)

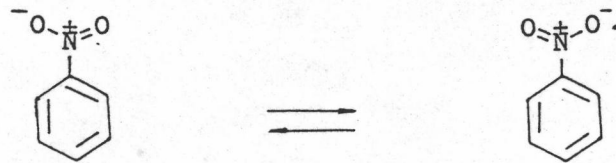
อะตอมของไฮโดรเจน ที่มีพันธะกับอะตอมของคาร์บอน ณ ตำแหน่งวงแหวนของเบนซีน สามารถถูกแทนที่ด้วย สารประกอบหลายชนิด และสารประกอบตัวนี้ สามารถจะทำปฏิกิริยากับสารที่ชอบอิเล็กตรอนได้อีก เพราะว่า ณ ตำแหน่งวงแหวนของเบนซีน มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนค่อนข้างมาก ปัญหาที่มีอยู่ว่าสารที่ชอบอิเล็กตรอนจะเข้าไปแทนที่อะตอมของไฮโดรเจน ณ ตำแหน่งใด (ตำแหน่งพารา-, เมตา- หรือ ออร์โธ) ปัจจัยที่กำหนดตำแหน่งการแทนที่ไม่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ชอบอิเล็กตรอนอย่างเดียว หากชนิดของสารที่แทนที่อะตอมไฮโดรเจน ที่มีอยู่เดิมจะเป็นตัวกำหนดที่สำคัญมากเหมือนกัน

สามารถจะแบ่งชนิดของสารที่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนที่มีอยู่เดิมเป็น 2 ชนิด ตามตารางที่ จ. 1

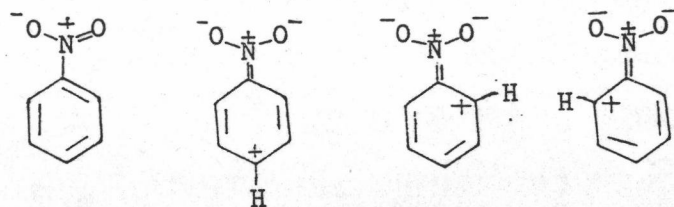
ตารางที่ จ. 1 ชนิดของสารที่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนในวงแหวนของ เบนซีน

ตำแหน่งออร์โธ, และพารา	ตำแหน่ง เมตา
<p>รุนแรง</p> <p>$-\text{NH}_2$, $-\text{NHR}$, $-\text{NR}_2$</p> <p>$-\text{OH}$, $-\text{O}-$</p>	<p>$-\text{NO}_2$, $-\text{NH}_3^+$, $-\text{NR}_3^+$</p>
<p>ปานกลาง</p> <p>$-\text{OR}$, $-\text{NHCOCH}_3$</p>	<p>$-\text{C} = \text{N}$, $-\text{SO}_3\text{H}$</p>
<p>อ่อน</p> <p>$-\text{R}$, $-\text{Ph}$, $-\text{F}$</p> <p>$-\text{Cl}$, $-\text{Br}$, $-\text{I}$</p>	<p>$-\text{CHO}$, $-\text{COR}$</p> <p>$-\text{COOR}$, $-\text{COOH}$</p>

พิจารณาไนโตรเบนซีน (nitrobenzene) เมื่อทำปฏิกิริยากับสารที่ก่อให้เกิดอิเล็กตรอน (Y⁺) ใด ๆ เนื่องจากหมู่ไนโตร (-NO₂) เป็นหมู่ที่มีความตึงกับอิเล็กตรอน สูงกว่าหมู่ฟีนิล  ด้จากการจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอน ดังนี้

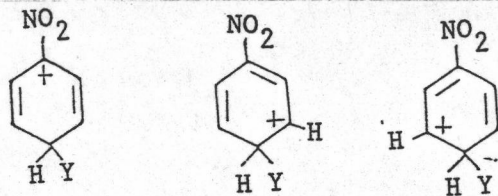


จะเห็นว่าในหมู่ไนโตรนั้น นิวเคลียสของไนโตรจะต้องการอิเล็กตรอน เพื่อจะให้เกิดความสมดุลทางประจุไฟฟ้า ถ้าหากดึงเอาอิเล็กตรอนมาจากแหวนของเบนซีน เมื่อพิจารณาเอาความใกล้เคียงกันเป็นปัจจัย จะเห็นว่าตำแหน่งออร์โธ ควรจะถูกดึงเอาอิเล็กตรอนไปมากที่สุด และรองลงมาคือ เมตา และพาราตามลำดับ แต่ตามผลการทดลองเช่น ใช้ปรอทเป็นตัวแทนที่ จะได้ผลิตภัณฑ์ของ เมตา-โบรมิโน-ไนโตร เบนซีน เป็นผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ ซึ่งปรากฏการณ์นี้ อธิบายได้จากผลกระทบ เนื่องจากการเรโซแนนซ์ (resonance effect) ดังนี้

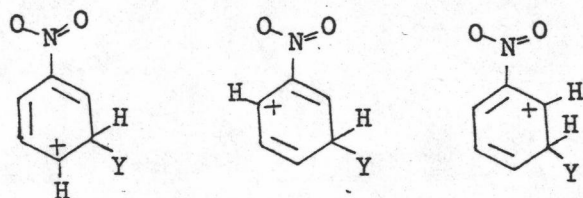


จะเห็นว่าเมื่อเกิดปรากฏการณ์เรโซแนนซ์แล้ว ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน ในวงแหวนของเบนซีนจะอยู่ในตำแหน่งเมตาหมด เพราะฉะนั้น สารที่ก่อให้เกิดอิเล็กตรอนก็จะเข้าจุ่มุมตำแหน่ง เมตามากที่สุด หรือถ้าจะพิจารณาถึงสารอินทรีย์ที่มีเดี่ยตทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ ทั้งแบบ เมตา-และพารา- จะพิจารณาได้ดังนี้

ตำแหน่งพารา-



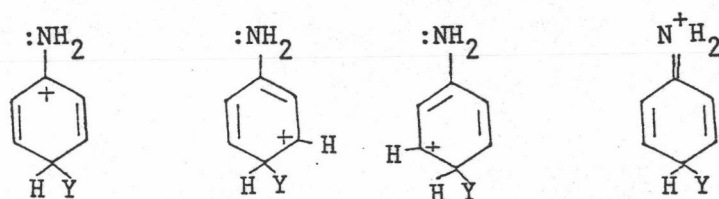
ตำแหน่งเมตา-



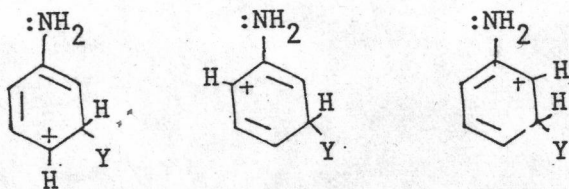
จะเห็นว่ารูปแบบแรกของอินเทอร์มีเดียตของตำแหน่งพาราเกิดขึ้นได้ลำบากมาก เพราะโดยปกติแล้วตำแหน่งอะตอมของไนโตรเจน แสดงประจุบวกอยู่แล้ว

พิจารณาสารประกอบของเบนซีนกับหมู่ อมิโนซึ่งจัดอยู่ในประเภท ที่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารที่ชอบอิเล็กตรอนแล้วให้ผลิตภัณฑ์ ตำแหน่ง ออร์โธ และพารา เป็นส่วนใหญ่ โดยการพิจารณาถึง สารอินเทอร์มีเดียตทั้งหมด ของผลิตภัณฑ์ ทั้งแบบเมตา- และพารา- ดังนี้

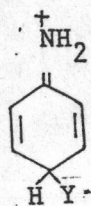
ตำแหน่งพารา-



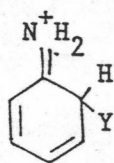
ตำแหน่ง เมตา-



ในบรรดา รูปแบบของอินเทอร์มีเดียต ของสารผลิตภัณฑ์ทั้งหมด รูปแบบสุดท้ายของตำแหน่ง พารา

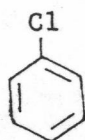


เป็นแบบที่เกิดขึ้นได้ง่าย และเสถียรมากที่สุด เพราะว่า อิเล็กตรอนวงนอกสุดของธาตุทั้งหมดครบแปด และถ้าแทนในตำแหน่งออร์โธ- จะได้

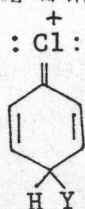


ซึ่งมีคุณสมบัติทางประจุไฟฟ้า เหมือนกับกับตำแหน่งพารา เพราะฉะนั้นสรุปได้ว่า เมื่อสารคลอโรอิเล็กตรอน เข้ามาจับรวม ณ ตำแหน่งวงแหวนของเบนซีน ซึ่งมีหมู่มีริบแทนที่ละตอมของไฮโดรเจนอยู่แล้ว ผลิตภัณฑ์ที่ส่วนใหญ่จะเกิดที่ตำแหน่ง พารา- และออร์โธ-

พิจารณาคความว่องไวในปฏิกิริยา การแทนที่ด้วยสารที่คลอโรอิเล็กตรอนระหว่างสารอะโรแมติกประเภทคลอโรตำแหน่ง เมตา- และประเภทคลอโรตำแหน่ง พารา- , ออร์โธ- จะเห็นได้ว่าหมู่ไฮโดรเจน จะดึงเอาอิเล็กตรอนของวงแหวนในขณะที่หมู่มีริบ จะให้อิเล็กตรอนแก่วงแหวน เพราะฉะนั้นความว่องไว ในปฏิกิริยาของอะโรแมติกที่แทนที่ด้วยหมู่มีริบ จะมีความว่องไวมากกว่า แต่ก็มีข้อยกเว้น เช่น คลอโรเบนซีน



เมื่อเกิดเป็นสารอินเทอร์มีเดียต แล้วจะได้ว่าชอบที่จะเกิดเป็นสารประกอบตำแหน่ง พารา-, หรือออร์โธ มากกว่า



แต่ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ เพราะคลอรีนมีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี (electro negativity) สูงมาก

ภาคผนวก ข

คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์

ตารางที่ ข.1 ความร้อนและพลังงานอิสระในการเกิดของสารอินทรีย์

(Heats and Free Energies of Formation of Organic Compounds)

(Robert. H. Perry et al. 1984)

สารประกอบ	สถานะ	ความร้อนในการเกิดสาร (H) ที่ 25°ซ, กิโลแคลอรี/โมล	พลังงานอิสระของการเกิดสาร (F) ที่ 25°ซ, กิโลแคลอรี/โมล
เมทานอล	ก๊าซ	- 48.08	- 38.62
	ของเหลว	- 57.04	- 39.80
น้ำ	ก๊าซ	- 57.7979	- 54.6351
	ของเหลว	- 68.3174	- 56.6899
มีเทน	ก๊าซ	- 17.889	- 12.140
เอทธีลีน	ก๊าซ	12.496	16.282
เบนซีน	ก๊าซ	19.820	30.989
	ของเหลว	11.718	29.756
โทลูอีน	ก๊าซ	11.950	29.228
	ของเหลว	2.867	27.282
ออร์โท-ไซลีน	ก๊าซ	4.540	29.177
	ของเหลว	- 5.841	26.370
เมตา-ไซลีน	ก๊าซ	4.120	28.405
	ของเหลว	- 6.075	25.730
พารา-ไซลีน	ก๊าซ	4.290	28.952
	ของเหลว	- 5.838	26.310

**ชีวประวัติ**

นายเล็กพงศ์ แก้วศรีจันทร์ สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาปีที่ 5 จากโรงเรียน สาธิตมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดปัตตานี เมื่อ พ.ศ. 2524 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา เมื่อ พ.ศ. 2528 ทำงานที่บริษัทอุตสาหกรรมปิโตรเคมีกัลไทย จำกัด จังหวัดระยองจนถึงปี 2530 เข้าศึกษาต่อหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2530