



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลอง

ข้อมูลการทดลองจากการทำปฏิกิริยาอัลคิลเลชัน ระหว่างโทลูอีนกับเมทานอล แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ถึงตารางที่ 4.6 และสัญลักษณ์ต่าง ๆ ในตารางมีความหมาย ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{โทลูอีน} : \text{เมทานอล} &= \text{โมลของโทลูอีน} : \text{โมลของเมทานอลในสารตั้งต้น} \\ \text{WHSV} &= \text{อัตราการไหลเชิงมวล (กรัม/ชั่วโมง) ของสารตั้งต้น} \\ &\quad (\text{โทลูอีนและ เมทานอล) ต่อกรัมของตัวเร่งปฏิกิริยา} \\ \text{ความ เปลี่ยน} &= \frac{(\text{โมลของโทลูอีนที่หายไป เนื่องจากปฏิกิริยาเคมี}) \times (100)}{(\text{โมลของโทลูอีนในสารตั้งต้น})} \\ \text{อัตราการเกิดปฏิกิริยา} &= \frac{\text{มวลของโซลีน}}{(\text{น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา}) (\text{เวลา})} \\ [=] &= \frac{(\text{กรัมของโซลีน})}{(\text{กรัมของตัวเร่งปฏิกิริยา}) (\text{ชั่วโมง})} \end{aligned}$$

ตารางที่ 4.1 HM 10

ร้อยละโดยน้ำหนักขององค์ประกอบ	$\text{Na}_2\text{O} = 0.12, \text{SiO}_2 = 85.31, \text{Al}_2\text{O}_3 = 14.57$
สัดส่วนโดยโมล	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 9.9$
ความถ่วงจำเพาะ	0.44

อุณหภูมิ (°C)	200	300	500
โพลูอีน : เมทานอล	1.7 : 1	1.7 : 1	1.7 : 1
WHSV	0.47	0.47	0.47
ความเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	2.61	3.21	3.78

ผลวิเคราะห์จาก เครื่องมือ

G.C. (ร้อยละ เติงโมล)

มีเทน	0.27	0.43	0.74
เอทิลีน	1.61	2.18	3.23
เบนซีน	0.08	0.28	0.60
โพลูอีน	95.55	94.26	92.40
เอทิล เบนซีน	-	0.02	0.05
พาราไซลีน	0.99	1.09	0.76
เมตาไซลีน	0.58	0.72	1.50
ออร์โทไซลีน	0.92	1.02	0.72
อัตราการผลิตปฏิกิริยา	(กรัมของไซลีน) / (กรัมของตัวเร่งปฏิกิริยา) (ชั่วโมง)		
พาราไซลีน	4.43×10^{-3}	5.04×10^{-3}	3.46×10^{-3}
เมตาไซลีน	2.66×10^{-3}	3.33×10^{-3}	6.82×10^{-3}
ออร์โทไซลีน	4.19×10^{-3}	4.70×10^{-3}	3.25×10^{-3}
อัตราการผลิตปฏิกิริยาของไซลีน	1.14×10^{-2}	1.31×10^{-2}	1.35×10^{-2}

ตารางที่ 4.2 HM 20

ร้อยละโดยน้ำหนักขององค์ประกอบ	$\text{Na}_2\text{O} = 0.06$	$\text{SiO}_2 = 92.09$	Al_2O_3
	$= 7.85$		
สัดส่วนโดยโมล	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 20$		
ความต่างจำเพาะ	0.44		

อุณหภูมิ (°C)	200	300	500
โพลูอีน : เมทานอล	1.7 : 1	1.7 : 1	1.7 : 1
WHSV	0.47	0.47	0.47
ความเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	2.36	2.56	3.88

ผลวิเคราะห์จากเครื่องมือ

G.C. (ร้อยละเชิงโมล)

มีเทน	0.01	0.14	0.37
เอทธีลีน	0.87	0.94	0.84
เบนซีน	0.04	0.09	0.31
โพลูอีน	96.69	96.38	94.00
เอทธีลเบนซีน	0.03	0.06	0.13
พาราไซลีน	1.04	1.05	0.84
เมตาไซลีน	0.38	0.32	0.63
ออร์โทไซลีน	0.85	1.02	1.88
อัตราการเกิดปฏิกิริยา	(กรัมของไซลีน) / (กรัมของตัวเร่งปฏิกิริยา) (ชั่วโมง)		
พาราไซลีน	4.70×10^{-3}	4.81×10^{-3}	3.86×10^{-3}
เมตาไซลีน	1.73×10^{-3}	3.49×10^{-3}	7.52×10^{-3}
ออร์โทไซลีน	3.84×10^{-3}	4.66×10^{-3}	4.06×10^{-3}
อัตราการเกิดปฏิกิริยาของไซลีน	1.03×10^{-2}	1.10×10^{-2}	1.54×10^{-2}

ตารางที่ 4.3 NaHY 5.6

ร้อยละโดยน้ำหนักขององค์ประกอบ	$\text{Na}_2\text{O} = 3.56$	$\text{SiO}_2 = 74.06$	Al_2O_3
	$= 22.38$		
สัดส่วนโดยโมล	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 5.6$		
ความถ่วงจำเพาะ	0.43		
ร้อยละการแลกเปลี่ยนประจุจาก	Na^+	$\text{H}^+ = 71.3$	

อุณหภูมิ (°C)	200	300	500
โทลูอีน : เมทานอล	1.7 : 1	1.7 : 1	1.7 : 1
WHSV	0.47	0.47	0.47
ความเปลี่ยน (ร้อยละ)	6.40	6.85	7.95

ผลวิเคราะห์จากเครื่องมือ

G.C. (ร้อยละเชิงโมล)

มีเทน	0.27	0.44	0.66
เอทิลีน	1.13	1.37	1.61
เบนซีน	0.63	0.52	1.69
โทลูอีน	92.29	91.46	89.96
เอทิล เบนซีน	0.03	0.04	0.1
พาราไซลีน	2.10	1.96	1.36
เมตาไซลีน	1.24	1.69	3.19
ออร์โทไซลีน	2.31	2.52	1.43
อัตราการเกิดปฏิกิริยา	(กรัมของไซลีน) / (กรัมของตัวเร่งปฏิกิริยา) (ชั่วโมง)		
พาราไซลีน	9.57×10^{-3}	8.97×10^{-3}	6.26×10^{-3}
เมตาไซลีน	5.69×10^{-3}	7.74×10^{-3}	1.47×10^{-2}
ออร์โทไซลีน	1.05×10^{-2}	1.18×10^{-2}	6.58×10^{-3}
อัตราการเกิดปฏิกิริยาของไซลีน	2.58×10^{-2}	2.83×10^{-2}	2.75×10^{-2}

ตารางที่ 4.4 NaHY ทำปฏิกิริยาลดอุณหภูมิनागलशुलकणतेदरकलरुद

ร้อยละโดยน้ำหนักขององค์ประกอบ	Na ₂ O = 3.20	SiO ₂ = 89.50	Al ₂ O ₃
	= 7.30		
สัดส่วนโดยโมล	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ = 21		
ความถี่จำเพาะ	0.45		

อุณหภูมิ (°C)	200	300	500
โทลูอีน : เมทานอล	1.7 : 1	1.7 : 1	1.7 : 1
WHSV	0.47	0.47	0.47
ความเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	2.45	3.52	7.30

ผลวิเคราะห์จากเครื่องมือ

G.C. (ร้อยละเชิงโมล)

มีเทน	0.02	0.12	0.36
เอทิลีน	0.11	0.48	1.24
เบนซีน	0.25	0.23	1.29
โทลูอีน	97.42	95.90	91.15
เอทิล เบนซีน	-	0.08	0.31
พาราไซลีน	0.86	1.34	1.36
เมตาไซลีน	0.48	0.56	2.68
ออร์โธไซลีน	0.86	1.29	1.54
อัตราการเกิดปฏิกิริยา	(กรัมของไซลีน) / (กรัมของตัวเร่งปฏิกิริยา) (ชั่วโมง)		
พาราไซลีน	3.87x10 ⁻³	6.08x10 ⁻³	6.20x10 ⁻³
เมตาไซลีน	2.16x10 ⁻³	2.54x10 ⁻³	1.22x10 ⁻²
ออร์โธไซลีน	3.87x10 ⁻³	5.83x10 ⁻³	7.00x10 ⁻³
อัตราการเกิดปฏิกิริยาของไซลีน	9.90x10 ⁻³	1.45x10 ⁻²	2.54x10 ⁻²

ตารางที่ 4.5.1 NaHY 21 ทำปฏิกิริยาดกลูมินาท์ลิกอนเตตระคลอไรด์ และผ่านกระบวนการ
อิมเพรอกเนชันกับแมกนีเซียมอะซิเตต

ร้อยละโดยน้ำหนักขององค์ประกอบ $\text{Na}_2\text{O} = 2.7$ $\text{SiO}_2 = 77.4$ $\text{Al}_2\text{O}_3 = 6.4$
 $\text{MgO} = 7.4$

ความถ่วงจำเพาะ 0.45

อุณหภูมิ (°C)	200	300	500
โพลูอีน : เมทานอล	1.7 : 1	1.7 : 1	1.7 : 1
WHSV	0.47	0.47	0.47
ความเปลี่ยน (ร้อยละ)	1.29	1.81	3.78
ผลวิเคราะห์จากเครื่องมือ			
G.C. (ร้อยละ เชิงโมล)			
มีเทน	0.08	0.36	0.91
เอทิลีน	0.33	0.49	0.67
เบนซีน	0.16	0.37	1.53
โพลูอีน	98.31	97.36	94.70
เอทิล เบนซีน	-	0.11	0.34
พาราไซลีน	0.63	0.77	0.78
เมตาไซลีน	0.25	0.23	0.51
ออร์โทไซลีน	0.24	0.31	0.56
อัตราการผลิตปฏิกิริยา	(กรัมของไซลีน) / (กรัมของตัวเร่งปฏิกิริยา) (ชั่วโมง)		
พาราไซลีน	2.86×10^{-3}	3.49×10^{-3}	3.57×10^{-3}
เมตาไซลีน	1.13×10^{-3}	1.06×10^{-3}	2.33×10^{-3}
ออร์โทไซลีน	1.09×10^{-3}	1.43×10^{-3}	2.56×10^{-3}
อัตราการผลิตปฏิกิริยาของไซลีน	5.07×10^{-3}	5.99×10^{-3}	8.46×10^{-3}

ตารางที่ 4.5.2 NaHY 21 ทำปฏิกิริยาดอลูมิบอริกซิลิกอนเตตระคลอไรด์ และผ่านกระบวนการ
ถลุง เปรก เบนกับแมกนีเซียมอะซีเตต

ร้อยละโดยน้ำหนักขององค์ประกอบ $\text{Na}_2\text{O} = 2.8$ $\text{SiO}_2 = 77.1$ $\text{Al}_2\text{O}_3 = 6.3$
 $\text{MgO} = 13.8$
ความถ่วงจำเพาะ 0.45

อุณหภูมิ (°C)	200	300	500
โพลีอีน : เมทานอล	1.7 : 1	1.7 : 1	1.7 : 1
WHSV	0.47	0.47	0.47
ความเปลี่ยน (ร้อยละ)	0.65	0.76	1.33

ผลวิเคราะห์จาก เครื่องมือ

G.C. (ร้อยละ เชิงโมล)

มีเทน	0.10	0.11	0.13
เอทิลีน	0.26	0.34	0.54
เบนซีน	0.06	0.08	0.21
โพลีอีน	98.99	98.79	98.01
เอทิล เบนซีน	-	0.01	0.03
พาราไซลีน	0.42	0.45	0.60
เมตาไซลีน	0.06	0.10	0.21
ออร์โทไซลีน	0.11	0.12	0.27
อัตราการเกิดปฏิกิริยา (กรัมของไซลีน) / (กรัมของตัวเร่งปฏิกิริยา) (ชั่วโมง)			
พาราไซลีน	1.89×10^{-3}	2.03×10^{-3}	2.72×10^{-3}
เมตาไซลีน	2.71×10^{-4}	4.49×10^{-4}	9.50×10^{-4}
ออร์โทไซลีน	4.94×10^{-4}	5.40×10^{-4}	1.22×10^{-3}
อัตราการเกิดปฏิกิริยาของไซลีน	2.65×10^{-3}	3.02×10^{-3}	4.89×10^{-3}

ตารางที่ 4.6 NaHY เคลือบด้วยซิลิกาออกไซด์ จากเตตระอีทกที่ไซเลน

ร้อยละโดยน้ำหนักขององค์ประกอบ	$\text{Na}_2\text{O} = 3.56$	$\text{SiO}_2 = 74.06$	$\text{Al}_2\text{O}_3 = 22.38$
สัดส่วนโดยโมล	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 5.6$		
ความถ่วงจำเพาะ	0.43		

อุณหภูมิ (°C)	200	300	500
โทลูอีน : เมทานอล	1.7 : 1	1.7 : 1	1.7 : 1
WHSV	0.47	0.47	0.47
ความเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	2.46	3.31	3.80
ผลวิเคราะห์จากเครื่องมือ			
G.C. (ร้อยละ เหนียงโมล)			
มีเทน	0.08	0.13	0.31
เอทิลีน	0.21	0.48	0.87
เบนซีน	0.50	0.65	1.08
โทลูอีน	97.26	96.10	95.06
เอทิล แบนซีน	0.05	0.07	0.31
พาราไซลีน	0.80	1.03	0.86
เมตาไซลีน	0.45	0.65	0.73
ออร์โทไซลีน	0.65	0.89	0.78
อัตราการเกิดปฏิกิริยา	(กรัมของไซลีน) / (กรัมของตัวเร่งปฏิกิริยา) (ชั่วโมง)		
พาราไซลีน	3.62×10^{-3}	4.66×10^{-3}	3.91×10^{-3}
เมตาไซลีน	2.03×10^{-3}	2.94×10^{-3}	3.32×10^{-3}
ออร์โทไซลีน	2.93×10^{-3}	3.99×10^{-3}	3.55×10^{-3}
อัตราการเกิดปฏิกิริยาของไซลีน	8.58×10^{-3}	1.16×10^{-2}	1.08×10^{-2}

ตารางที่ 4.7 ปฏิริยาติสพรลพอร์ชัน เนชันขลงโหลอ์น บนตัวเร่งปฏิริยา NaHY 5.6

ร้อยละโดยน้ำหนักขององค์ประกอบ $\text{Na}_2\text{O} = 3.56$ $\text{SiO}_2 = 74.06$ $\text{Al}_2\text{O}_3 = 22.38$
 สัดส่วนโดยโมล $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 5.6$
 ความถ่วงจำเพาะ 0.43

อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	200	300	500
WHSV	0.39	0.39	0.39
ความเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	0.31	0.44	1.32
ผลวิเคราะห์จาก เครื่องมือ			
G.C. (ร้อยละ เติ้งโมล)			
มีเทน	0.01	0.01	0.03
เอทิลีน	0.04	0.05	0.11
เบนซีน	0.18	0.26	0.81
โหลอ์น	99.64	99.50	98.54
เอทิล เบนซีน	-	-	-
พาราไซลีน	0.04	0.06	0.12
เมตาไซลีน	0.03	0.05	0.27
ออร์โทไซลีน	0.60	0.07	0.12
อัตราการเกิดปฏิริยา	(กรัมของไซลีน) / (กรัมของตัวเร่งปฏิริยา) (ชั่วโมง)		
พาราไซลีน	1.80×10^{-4}	2.70×10^{-4}	5.40×10^{-4}
เมตาไซลีน	1.35×10^{-4}	2.25×10^{-4}	1.21×10^{-3}
ออร์โทไซลีน	2.70×10^{-4}	3.15×10^{-4}	5.40×10^{-3}
อัตราการเกิดปฏิริยาของไซลีน	5.85×10^{-4}	8.10×10^{-4}	2.29×10^{-3}
	(กรัมของเบนซีน) / (กรัมของตัวเร่งปฏิริยา) (ชั่วโมง)		
อัตราการเกิดปฏิริยาของเบนซีน	6.08×10^{-4}	8.59×10^{-4}	2.68×10^{-3}
สัดส่วน เติ้งโมลของ เบนซีนกับไซลีน	1.38:1	1.44:1	1.59:1

ตารางที่ 4.8 ผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ และสัดส่วนของไซลีนทั้งสามไอโซเมอร์บนตัวเร่งปฏิกิริยา
HM 10

อุณหภูมิ °C	ผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ (ร้อยละ เติ้งโบล)			สัดส่วนของไซลีน (ร้อยละ เติ้งโบล)		
	ไซลีน	อะโรเมติก	ไฮโดรคาร์บอน	พารา	เมตา	ออร์โธ
200	55.29	1.69	43.02	38.88	23.31	36.81
300	49.33	5.20	45.47	38.56	25.49	35.95
500	38.04	9.78	52.18	25.6	50.4	24.0

ตารางที่ 4.9 ผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ และสัดส่วนของไซลีนทั้งสามไอโซเมอร์บนตัวเร่งปฏิกิริยา
HM 20

อุณหภูมิ °C	ผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ (ร้อยละ เติ้งโบล)			สัดส่วนของไซลีน (ร้อยละ เติ้งโบล)		
	ไซลีน	อะโรเมติก	ไฮโดรคาร์บอน	พารา	เมตา	ออร์โธ
200	68.39	2.30	29.31	45.78	16.85	37.36
300	66.39	3.44	30.17	43.93	13.56	42.51
500	55.87	7.36	36.77	25.00	48.7	26.3

ตารางที่ 4.10 ผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ และสัดส่วนของโซลีนทั้งสามไอโซเมอร์บนตัวเร่งปฏิกิริยา
NaHY 5.6

อุณหภูมิ °C	ผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ (ร้อยละเชิงมวล)			สัดส่วนของโซลีน (ร้อยละเชิงมวล)		
	โซลีน	อะโรเมติก	ไฮโดรคาร์บอน	พารา	เมตา	ออร์โท
200	73.28	8.56	18.16	37.17	21.95	40.88
300	72.25	6.56	21.19	31.77	27.39	40.84
500	59.56	17.83	22.61	22.74	53.34	23.92

ตารางที่ 4.11 ผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ และสัดส่วนของโซลีนทั้งสามไอโซเมอร์บนตัวเร่งปฏิกิริยา
NaHY 21 (ผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิในโครงสร้างผลึก)

อุณหภูมิ °C	ผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ (ร้อยละเชิงมวล)			สัดส่วนของโซลีน (ร้อยละเชิงมวล)		
	โซลีน	อะโรเมติก	ไฮโดรคาร์บอน	พารา	เมตา	ออร์โท
200	85.27	9.69	5.04	39.09	21.82	39.09
300	77.81	7.56	14.63	42.01	17.55	40.44
500	63.04	18.08	18.08	24.37	48.03	27.60

ตารางที่ 4.12.1 ผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ และสัดส่วนของโซลีนทั้งสามไอโซเมอร์บนตัวเร่งปฏิกิริยา NaHY 21 (ผ่านกระบวนการลิมเฟรกเนชันด้วย แมกนีเซียมอะซีเตต ค่าร้อยละ โดยน้ำหนักขององค์ประกอบตามที่ ตารางที่ 4.5.1)

อุณหภูมิ °C	ผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ (ร้อยละ เชิงโมล)			สัดส่วนของโซลีน (ร้อยละ เชิงโมล)		
	โซลีน	อะโรเมติก	ไฮโดรคาร์บอน	พารา	เมตา	ออร์โธ
200	66.27	9.46	24.26	56.25	22.32	21.43
300	49.63	18.18	32.19	58.78	17.56	23.66
500	34.91	35.28	29.81	42.16	27.57	30.27

ตารางที่ 4.12.2 ผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ และสัดส่วนของโซลีนทั้งสามไอโซเมอร์บนตัวเร่งปฏิกิริยา NaHY 21 (ผ่านกระบวนการลิมเฟรกเนชันด้วย แมกนีเซียมอะซีเตต ค่าร้อยละ โดยน้ำหนักขององค์ประกอบตามที่ ตารางที่ 4.5.2)

อุณหภูมิ °C	ผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ (ร้อยละ เชิงโมล)			สัดส่วนของโซลีน (ร้อยละ เชิงโมล)		
	โซลีน	อะโรเมติก	ไฮโดรคาร์บอน	พารา	เมตา	ออร์โธ
200	58.41	5.94	35.64	71.19	10.17	18.64
300	55.37	7.44	37.19	67.17	14.93	17.91
500	54.27	12.06	33.67	55.56	19.44	25.00

ตารางที่ 4.13 ผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ และสัดส่วนของไซลีนทั้งสามไอโซเมอร์บนตัวเร่งปฏิกิริยา NaHY 5.6 (เคลือบด้วยซิลิกาออกไซด์ จากเตตระอีทอกซีไลเลน)

อุณหภูมิ °C	ผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ (ร้อยละ เติ้งโมล)			สัดส่วนของไซลีน (ร้อยละ เติ้งโมล)		
	ไซลีน	อะโรเมติก	ไฮโดรคาร์บอน	พารา	เมตา	ออร์โธ
200	69.35	20.07	10.58	42.11	23.68	34.21
300	65.90	18.46	15.64	40.08	25.29	34.63
500	47.98	28.14	23.88	36.29	30.80	32.91

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.2.1 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นบนตัวเร่งปฏิกริยา

เนื่องจากซีโอไลต์นั้น มีความว่องไว ในการดูดซับ ทั้งสารอะโรเมติก และสารที่จะเข้าไปทำปฏิกริยาแทนที่ไฮโดรเจน ณ ตำแหน่งวงแหวนของเบนซีน (alkylating agents) ดังนั้นปฏิกริยาเคมี อาจเกิดได้ ดังต่อไปนี้ (ตามภาคผนวก ง.)

- 1) ดิสพรอพอร์พอซัน เบนซีนของโทลูอีน หรือไซลีน
- 2) ไอโซ เมอไรเซชันของไซลีน
- 3) ไฮโดรดีอัลคิล เลขชั้นของสารอัลคิลอะโรเมติก
- 4) ปฏิกริยาของ เมธานอลไป เป็นสารไฮโดรคาร์บอน

ผลการวิเคราะห์ จากอุปกรณ์แก๊สโครมาโตกราฟี แสดงสารผลิตภัณฑ์ที่ไม่ เลกุลมีองค์ประกอบเป็นธาตุไฮโดรเจน และคาร์บอนเท่านั้น ไม่ได้แสดงสารผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำ ก็เทอร์ออกไซด์ของคาร์บอน และ เมธานอล (ที่เหลือ) สารผลิตภัณฑ์ ที่วิเคราะห์ได้แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ สารไฮโดรคาร์บอนชนิดเบา ไซลีนทั้งสามไอโซเมอร์ และสารอะโรเมติกชนิดกึ่ง

สารอะโรเมติกชนิดกึ่ง เกิดจากปฏิกริยาดิสพรอพอร์ซัน เบนซีนของโทลูอีนและของไซลีน ปฏิกริยาดีอัลคิล เลขชั้นของสารอะโรเมติก และปฏิกริยาอัลคิล เลขชั้นของกลลิฟินกับสารอะโรเมติก

ส่วนไซลีนทั้งสามไอโซเมอร์ เกิดจากปฏิกริยา อัลคิล เลขชั้นโดยตรง โดยที่ไซลีนที่ได้นี้อาจจะเกิดปฏิกริยาไอโซ เมอไรเซชันต่อไป ถ้ามีปัจจัยเพียงพอ นอกจากนี้ไซลีนอาจจะเกิดจากปฏิกริยาดิสพรอพอร์ซันเบนซีนของโทลูอีนอีกด้วย

ข้อมูลที่ยืนยันว่า ไซลีนส่วนใหญ่เกิดจากปฏิกริยาอัลคิล เลขชั้น คือ ตารางที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.7 ซึ่งเปรียบเทียบอัตราการเกิดไซลีน ของปฏิกริยาอัลคิล เลขชั้น และปฏิกริยาดิสพรอพอร์ซันเบนซีนไว้ในตารางที่ 4.14

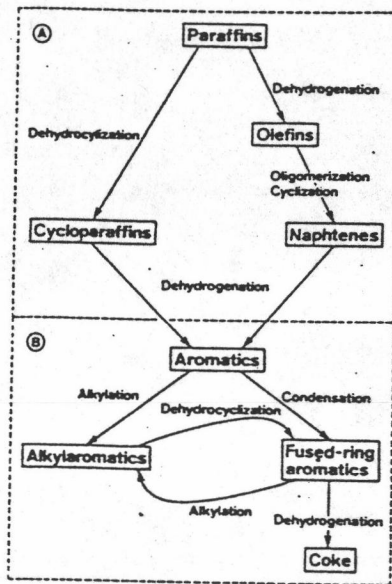
ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบอัตราการเกิดโซลีน ระหว่างปฏิกิริยาดีสพรอพอร์ชัน เนชัน
ของโทลูอีน กับปฏิกิริยาอัลคิลเลชันของโทลูอีนกับ เมธานอลแบบ ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด NaHY

อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	อัตราการเกิดโซลีน (กรัมของโซลีน) / (กรัมของตัวเร่งปฏิกิริยา) (ชั่วโมง)		อัตราส่วน A/D
	ดีสพรอพอร์ชัน เนชัน (D)	อัลคิลเลชัน (A)	
200	5.85×10^{-4}	9.90×10^{-3}	16.9
300	8.59×10^{-4}	1.45×10^{-2}	16.9
500	2.68×10^{-3}	2.54×10^{-2}	9.5

4.2.2 การคำนวณค่าของความเปลี่ยนแปลง ผลได้ และอัตราการเกิดปฏิกิริยา

สารผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่แสดงอยู่ในตารางที่ 4.1 ถึงตารางที่ 4.6 นั้น สามารถจะเกิดขึ้นมาได้ แม้จะมีสารตั้งต้นเป็นโทลูอีนเพียงอย่างเดียว (ตารางที่ 4.7) เพราะสารไฮโดรคาร์บอนชนิดเบา ก็สามารถเกิดขึ้นได้ผ่านปฏิกิริยาไฮโดรดีอัลคิลเลชัน ส่วนสารอะโรเมติกชนิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นล้วนมีโทลูอีนเป็นสารตั้งต้น เพราะฉะนั้นสารอะโรเมติกทั้งหมดที่เกิดขึ้น 1 โมเลกุล จากปฏิกิริยาอัลคิลเลชัน ย่อมจะเกิดมาจากโทลูอีน 1 โมเลกุล (โดยการตัดเอาสมมติฐานที่ว่า สารอะโรเมติก อาจจะถูกเกิดมาจากเมธานอลก็ได้) เพราะว่าสารผลิตภัณฑ์ประเภทอะโรเมติกล้วนประกอบด้วย วงแหวนของเบนซีน 1 วงแหวนต่อ 1 โมเลกุล ด้วยเหตุผลข้อนี้ เราจึงสามารถจะหาความเปลี่ยนแปลงของโทลูอีน และอัตราการเกิดปฏิกิริยาของสารผลิตภัณฑ์ประเภทอะโรเมติกได้ อย่างสะดวก โดยนับจำนวนโมลของสารอะโรเมติกทั้งหมดในสารผลิตภัณฑ์จากข้อมูลของแก๊สโครมาโตกราฟฟี เพราะถ้าหากคิดคำนวณจากความเปลี่ยนแปลง หรือผลได้ของสารผลิตภัณฑ์โดยใช้ เมธานอล เป็นฐานในการคำนวณแล้วจะยุ่งยาก เพราะปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ ที่ได้ไม่สอดคล้องกับการอนุรักษ์จำนวนโมล

แต่อย่างไรก็ตามมวลของโพลีอีน ที่เปลี่ยนแปลงไปก็ไม่ได้กลายเป็นสารอะโรเมติกทั้งหมด เพราะจะมีการสะสมมวลของโพลีอีนปริมาณหนึ่งอยู่ในตัว เปรื่องปฏิกิริยาในรูปของถ่านโค้ก และเมื่อถ่านโค้กนี้สะสมอยู่ในตัว เปรื่องปฏิกิริยามากขึ้น ก็จะลดความว่างของตัว เปรื่องปฏิกิริยาลงได้ รูปที่ 4.1 แสดงปฏิกิริยาการเกิดเป็นถ่านโค้กของสารอะโรเมติก



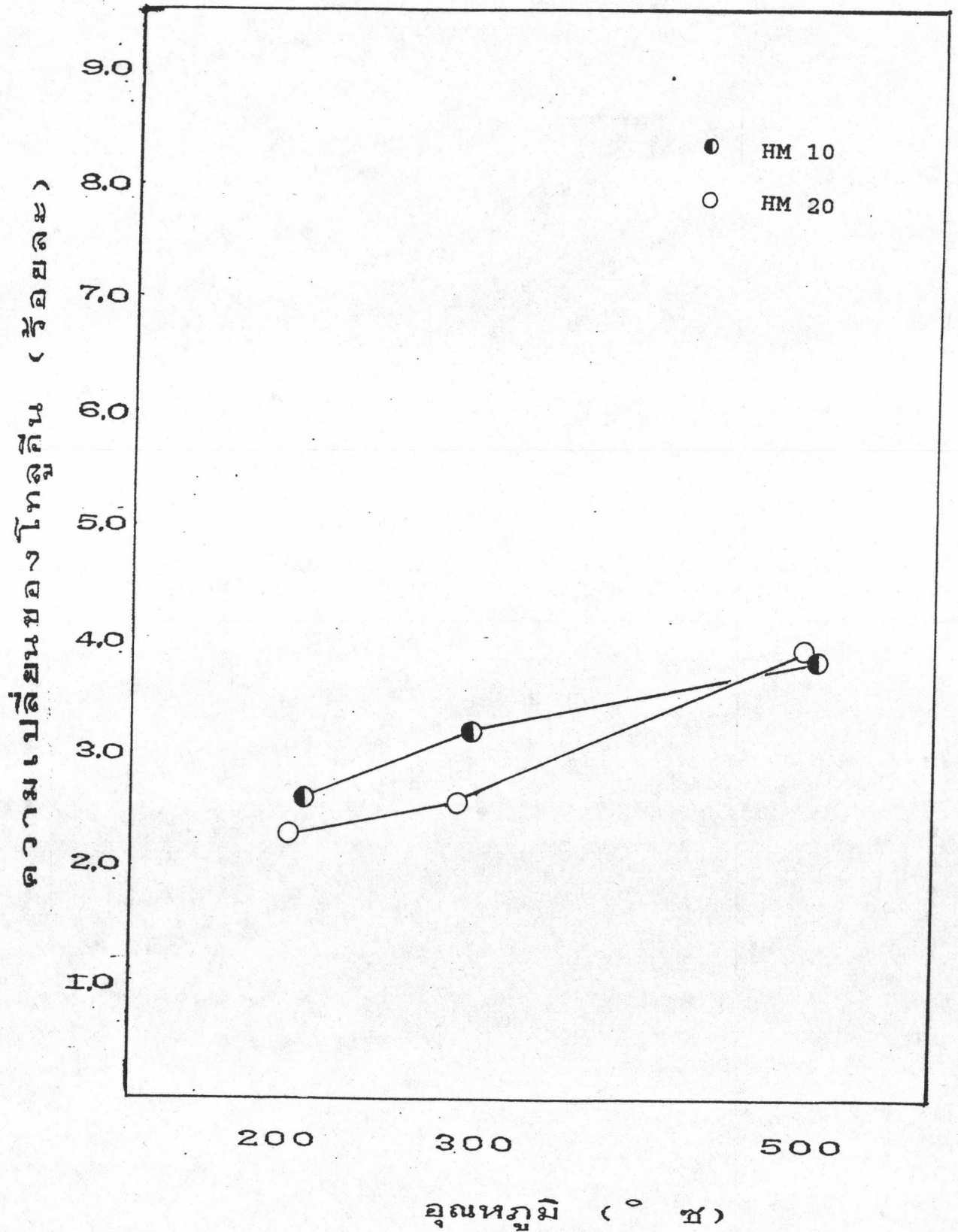
รูปที่ 4.1 ปฏิกิริยาการเกิดเป็นถ่านโค้กของสารอะโรเมติก

4.2.3 ความเปลี่ยนแปลงของโพลีอีน

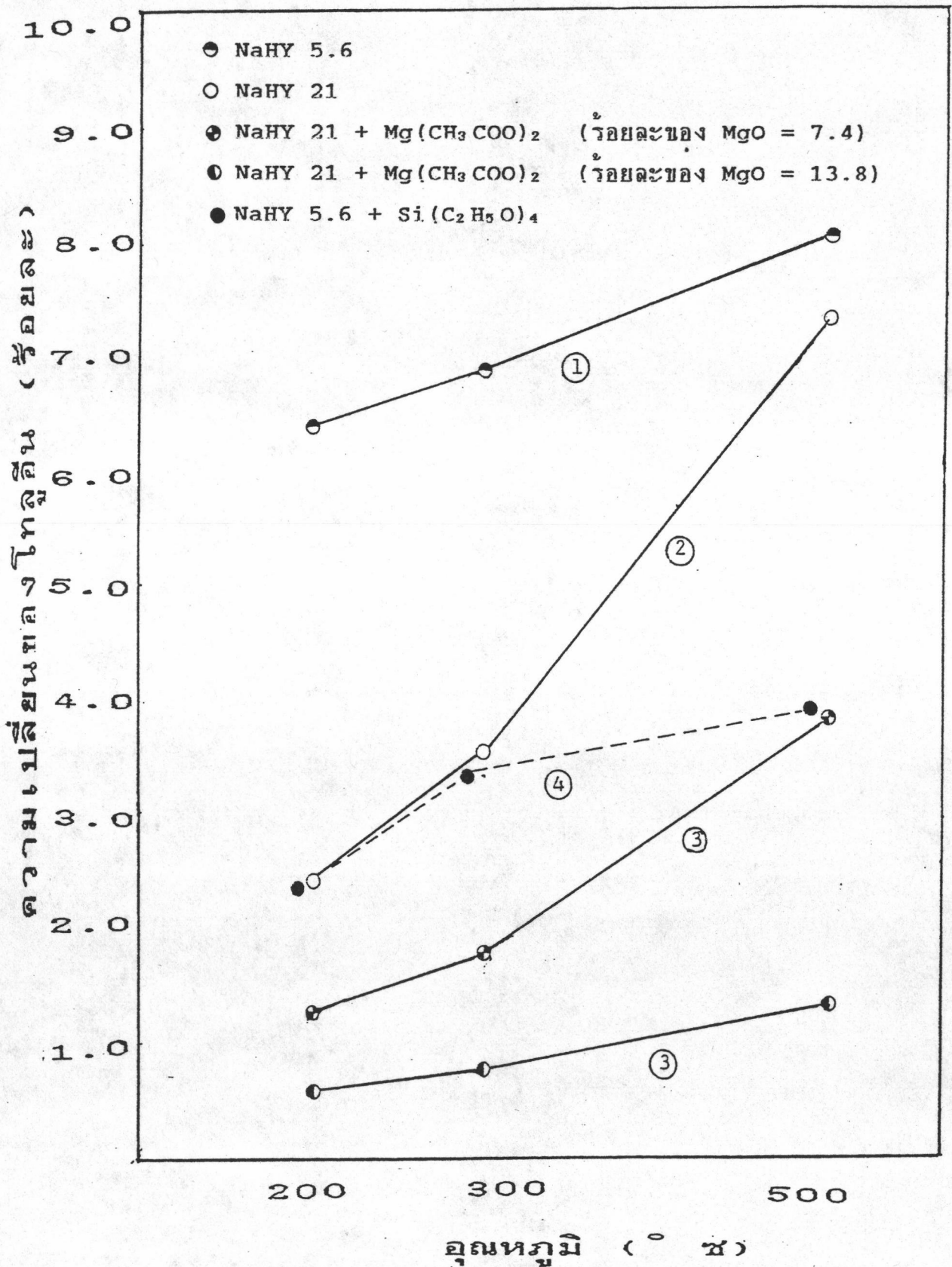
จากรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 แสดงร้อยละของความเปลี่ยนแปลงของโพลีอีน บนตัว เปรื่องปฏิกิริยาทุกชนิด ซึ่งหากพิจารณาอุณหภูมิของปฏิกิริยาเป็นตัวแปร จะเห็นว่า ยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นเท่าไร ค่าความเปลี่ยนแปลงจะสูงขึ้น แต่อัตราการเพิ่มขึ้นของความเปลี่ยนแปลง เมื่ออุณหภูมิของปฏิกิริยาสูงขึ้น จะไม่เท่ากัน บนตัว เปรื่องปฏิกิริยาต่างชนิดกัน โดยสังเกตจากความชันของเส้นกราฟ

พิจารณาตัว เปรื่องปฏิกิริยาชนิดมอร์ดีไนต์ (รูปที่ 4.2) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 200°ซ เป็น 300°ซ ความเปลี่ยนแปลงของโพลีอีน บนตัว เปรื่องปฏิกิริยาแบบ HM 10 และ HM 20 เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และความชันของกราฟ ของตัว เปรื่องปฏิกิริยาทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 500°ซ ความชันของกราฟ ทั้งสองเส้นจะแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยสามารถกล่าวได้ว่า HM 20 ซึ่งมี SiO₂ สูง จะให้ความเปลี่ยนแปลงของโพลีอีนที่อุณหภูมิ 500°ซ สูงกว่า HM 10 ซึ่งมี SiO₂ ต่ำกว่า

รูปที่ 4.2 ความเปลี่ยนแปลงของโพลูอิน (ร้อยละ) บนตัวเร่งปฏิกิริยามอร์ทีไนต์



รูปที่ 4.3 ความเปลี่ยนแปลงของโทลูอีน (ร้อยละ) บนตัวเร่งปฏิกิริยาเฟอร์ไรต์



พิจารณาตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเฟอร์ไรต์ รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกราฟเส้นที่ 1 (NaHY 5.6) กับกราฟเส้นที่ 2 (NaHY 21) จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 200°ซ เป็น 300 °ซ ค่าความเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และอัตราการเพิ่มขึ้นของความเปลี่ยนแปลงของโพลีเมอร์ บนตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองชนิดใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 500°ซ ความชันของกราฟทั้งสองจะแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยที่อัตราการเพิ่มของความเปลี่ยนแปลงของตัวเร่งที่มีซิลิกาสูงกว่า จะมากกว่าของตัวเร่งที่มีซิลิกาต่ำกว่า แต่อย่างไรก็ตาม ร้อยละความเปลี่ยนแปลงบนตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีซิลิกาสูงจะมีค่าต่ำกว่าบนตัวเร่งปฏิกิริยา ที่มีซิลิกาต่ำ

เปรียบเทียบระหว่างกราฟเส้นที่ 1 (NaHY 5.6) กับกราฟเส้นที่ 4 (NaHY 5.6 เคลือบด้วย SiO₂ จากเตตระอีทอกซี ไฮดรอกไซด์) จะเห็นว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของความเปลี่ยนแปลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นบนตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองจะใกล้เคียงกัน แต่ร้อยละความเปลี่ยนแปลงของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เคลือบด้วย SiO₂ จากเตตระอีทอกซี ไฮดรอกไซด์ ต่ำกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ได้เคลือบอย่างเห็นได้ชัด

เปรียบเทียบระหว่างกราฟเส้นที่ 2 (NaHY 21) กับกราฟเส้นที่ 3 (NaHY 21 ผ่านกระบวนการอิมเพกเนชันด้วยแมกนีเซียมออกไซด์) ได้ว่า ความเปลี่ยนแปลงของโพลีเมอร์บนตัวเร่งปฏิกิริยาของกราฟเส้นที่ 3 ต่ำกว่าบนตัวเร่งปฏิกิริยาของกราฟเส้นที่ 2 และอัตราการเพิ่มความเปลี่ยนแปลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 300 °ซ เป็น 500 °ซ บนตัวเร่งปฏิกิริยาของกราฟเส้นที่ 3 ต่ำกว่าบนตัวเร่งปฏิกิริยาของกราฟเส้นที่ 2 เช่นกัน

สรุปได้ว่าการที่อุณหภูมิ ของปฏิกิริยาสูงขึ้นแล้วความเปลี่ยนแปลงของโพลีเมอร์มากขึ้น เพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะไปเพิ่มค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา ตามทฤษฎีพลังงานกระตุ้นของอาร์เรเนียส คือ

$$k = Ae^{-E_a/RT}$$

โดยที่ k = ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา

E_a = พลังงานกระตุ้น

A = ค่าคงที่

R = ค่าคงที่ของกาซในอุดมคติ

และ T = อุณหภูมิสัมบูรณ์

เมื่อความ เปลี่ยนของโพลูอินสูง เพราะค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้น แต่เราไม่อาจจะสรุปว่าปฏิกิริยาอัลคิล เลชัน ของโพลูอิน กับเมทานอล จะสูงตามไปด้วยหรือไม่ เพราะจะต้องตรวจสอบจากค่าผลได้ ของสารผลิตภัณฑ์ทั้งหมด

เนื่องจากสัดส่วนของซิลิกาต่ออลูมินา ในโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อความ เปลี่ยนในทางผกผัน เพราะว่าปริมาณของกรด (amount of acid) จะแปรผกผันกับสัดส่วนของซิลิกาต่ออลูมินา เพราะว่าปฏิกิริยาเคมีจะเกิดขึ้นบริเวณที่แสดงความเป็นกรดเท่านั้น เพราะฉะนั้นในตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีซิลิกาต่ออลูมินาสูง ความเปลี่ยนของโพลูอินจึงต่ำลง และ เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการเพิ่มขึ้นของความ เปลี่ยนเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่ออลูมินาแตกต่างกัน จะพบว่าตัวเร่งที่มีซิลิกาสูง จะมีอัตราการเพิ่มของความ เปลี่ยนสูงกว่า เหตุผลก็เพราะ ความรุนแรงของกรด ของตัวเร่งปฏิกิริยา (acid strength) ไม่เท่ากัน ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีสัดส่วนของซิลิกามากกว่าจะมีความรุนแรงของกรดมากกว่า เพราะฉะนั้นจึงมีความสามารถในการดูดซับสารที่ชอบนิวเคลียส (เช่นวงแหวนของสารอะโรเมติกหรืออะตอมออกซิเจนของ เมทานอล) ได้ดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีสัดส่วนของซิลิกาน้อย ในขณะเดียวกัน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ก็จะทำให้เกิดกระบวนการปลดปล่อย (desorption) ได้เร็วด้วย ดังนั้นความถี่ของขบวนการดูดซับ และปลดปล่อยโมเลกุลของสารเคมี บริเวณแสดงความเป็นกรดจึงมากขึ้น ข้อมูลซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของซิลิกาต่ออลูมินากับผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาของไซลีน แต่ละไอโซเมอร์ จะสรุปในหัวข้อต่อไป

4.2.4 ผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ และสัดส่วนของไซลีนแต่ละไอโซเมอร์

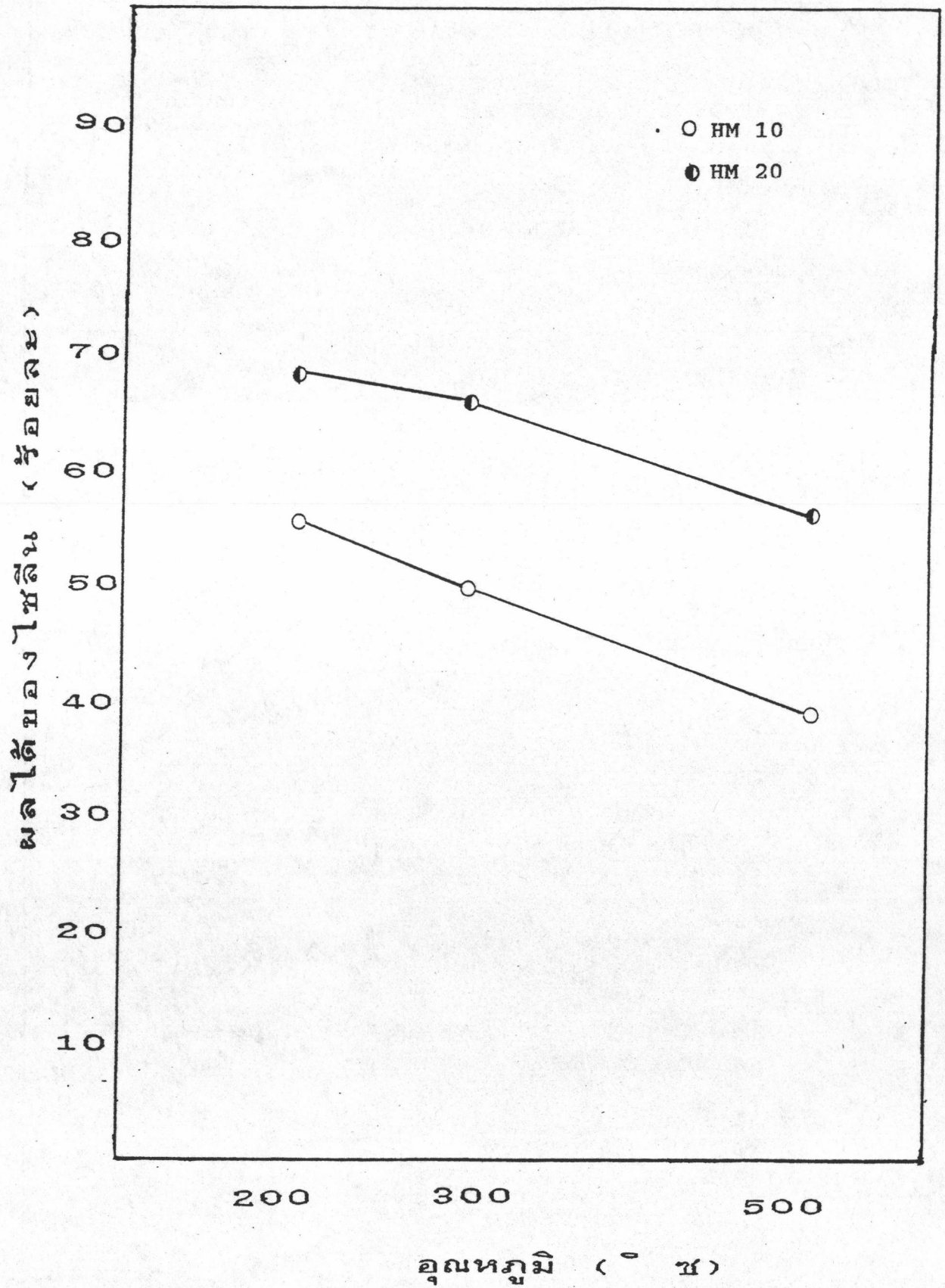
ข้อมูลในตารางที่ 4.8 ถึงตารางที่ 4.13 แสดงถึงผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรอุณหภูมิ และชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนี้

ผล เนื่องจากอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิของปฏิกิริยาสูงขึ้น ผลได้ของไซลีนจะลดลงในขณะที่ผลได้ของสารอะโรเมติกและไซโตรคาร์บอนเพิ่มขึ้น แสดงว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปฏิกิริยาข้างเคียงเพิ่มขึ้น ผลที่เสนอออกมาว่าผลได้ของไซลีนลดลงไม่ได้หมายความว่าอัตราการเกิดไซลีนลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

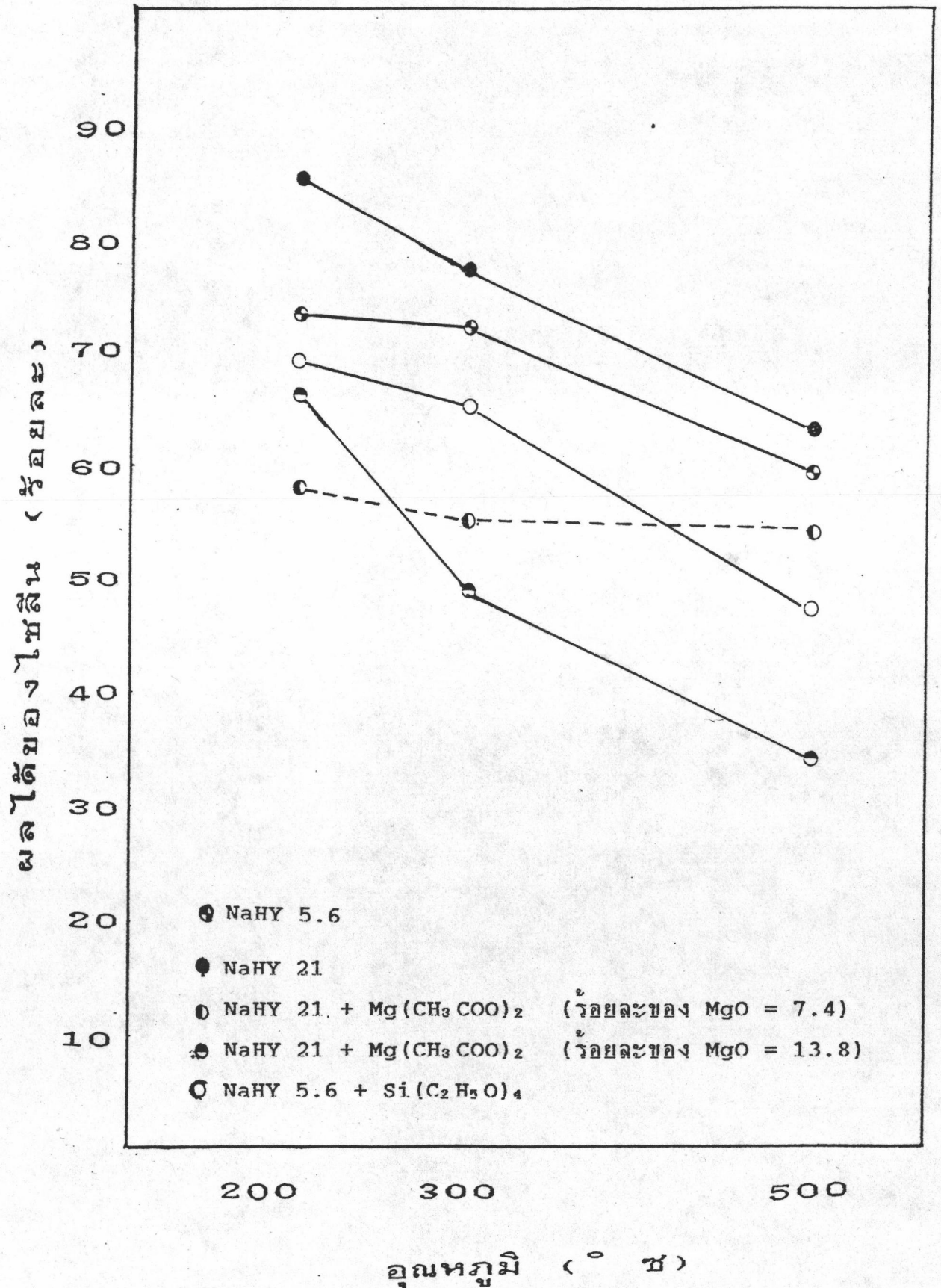
เมื่อเปรียบเทียบ เฉพาะผลได้ของโซลีน ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาต่างชนิดกัน สำหรับเมอร์ดีไนต์ (รูปที่ 4.4) และสำหรับเพอร์จาชิต (รูปที่ 4.5) พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนของซิลิกาต่อคลูมินา ผลได้ของโซลีนจะเพิ่มขึ้น ในทุกอุณหภูมิ และเมื่อเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเพอร์จาชิต ระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาที่ปรับปรุงขนาดช่องว่างด้วยออกไซด์ ของแมกนีเซียม หรือออกไซด์ของซิลิกอนกับตัวเร่งที่ไม่ได้ปรับปรุงพบว่า ผลได้ของโซลีนในตัวเร่งที่ไม่ได้ปรับปรุงมีค่าสูงกว่า แสดงว่าต้องมีปรากฏการณ์บางอย่างคอยขัดขวางปฏิกิริยาอัลคิล เลชันบนตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้ปรับปรุงแล้ว ปรากฏการณ์ที่ขัดขวางคือ กระบวนการแพร่บริเวณปากรูของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเกิดขึ้นได้ช้า เพราะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของปากรูลดลงทำให้การแพร่ของสารตั้งต้นเข้าไปในรู มีความลำบากมากขึ้น และทำให้โซลีน ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแคบตึกลงกว่าของพาราโซลีน นอกจากรูของตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ได้ ต้องกลับเข้ามาทำปฏิกิริยาไอโซ เมอไรเซชันที่บริเวณระดับอีกครึ่ง หรืออาจจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรดีอัลคิล เลชันเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มี เป็น เบนซีนซึ่งมีขนาดของโมเลกุลเล็กลง ซึ่งปรากฏการณ์นี้ มีผลให้ความเปลี่ยนแปลงของโพลูอีเทนต่ำ และในขณะที่เดียวกัน ผลได้ของอะโรเมติก และไฮโดรคาร์บอนจะสูงขึ้น แต่ผลดีของปรากฏการณ์นี้ก็คือ สัดส่วนของพาราโซลีน ในผลิตภัณฑ์จะสูงขึ้น ดูรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ได้ปรับปรุง

ทำไมปฏิกิริยาอัลคิล เลชันของโพลูอีเทนกับเมทรานอล จึงเกิดขึ้นได้ดีเมื่อตัวเร่งปฏิกิริยามีสัดส่วนของซิลิกาต่อคลูมินาสูง? เพราะว่าเมื่อมีซิลิกาในโครงผลึกของซีโอไลต์สูง แต่ละส่วนของบริเวณระดับจะมีความรุนแรงของกรดสูง คาร์บอนเนียม อีออน ซึ่งเกิดจากโมเลกุลของเมทรานอล ก็จะมี ความรุนแรงเช่นกัน คือมีความต้องการคู่ของอิเล็กตรอนมากกว่าคาร์บอนเนียม อีออน บนตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อคลูมินาต่ำ อิเล็กตรอนที่อยู่บริเวณวงแหวนของเบนซีน จะมีความถี่ที่จะชนกันกับคาร์บอนเนียม อีออน ที่มีความรุนแรงสูงมากกว่า ทันต่อนการเกิดปฏิกิริยาอัลคิล เลชันมีดังต่อไปนี้ (Young L.B. et al. 1981)

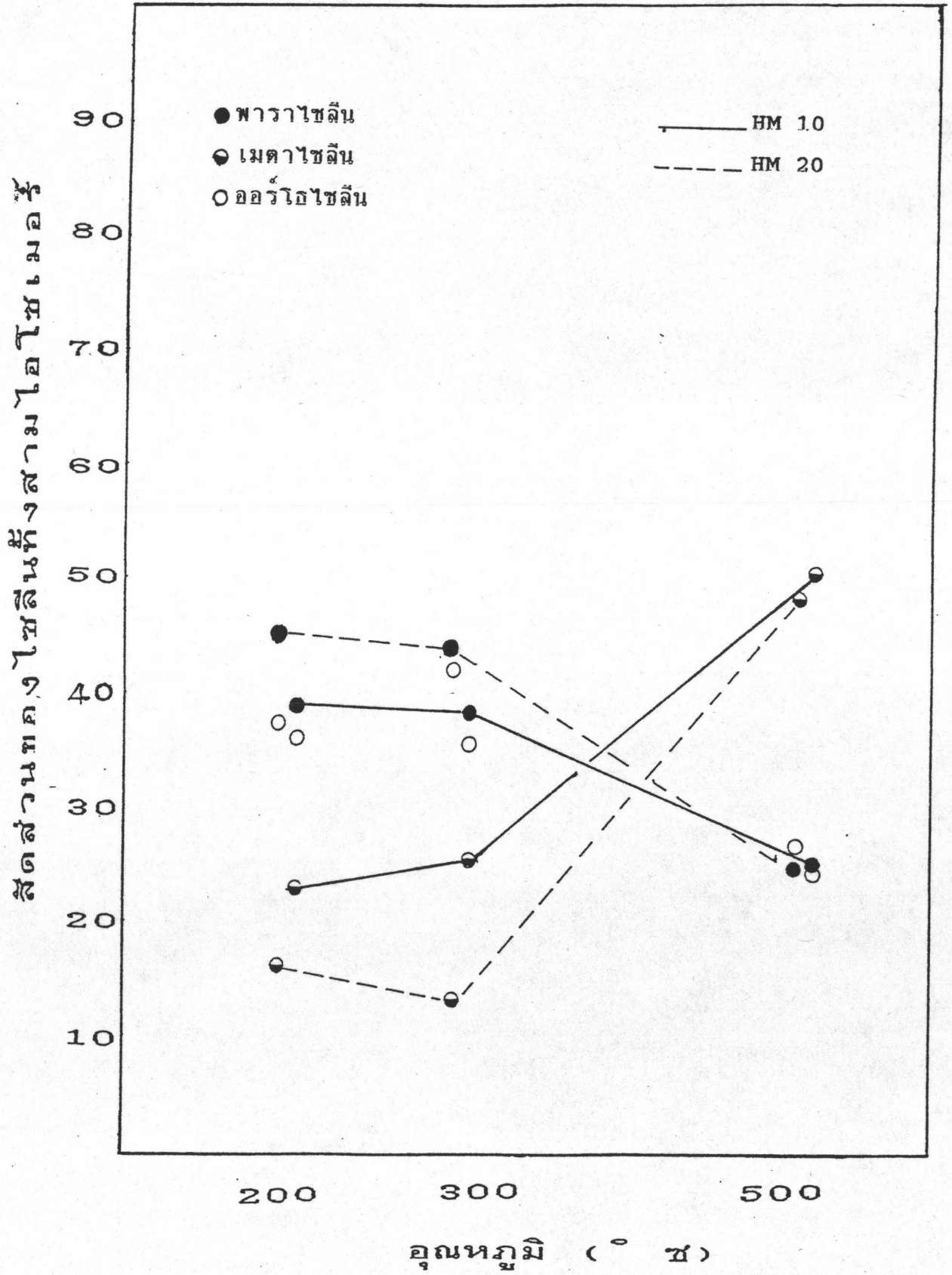
รูปที่ 4.4 ผลได้ของไซลีน (ร้อยละ) บนตัวเร่งปฏิกิริยามอร์ทีไนต์



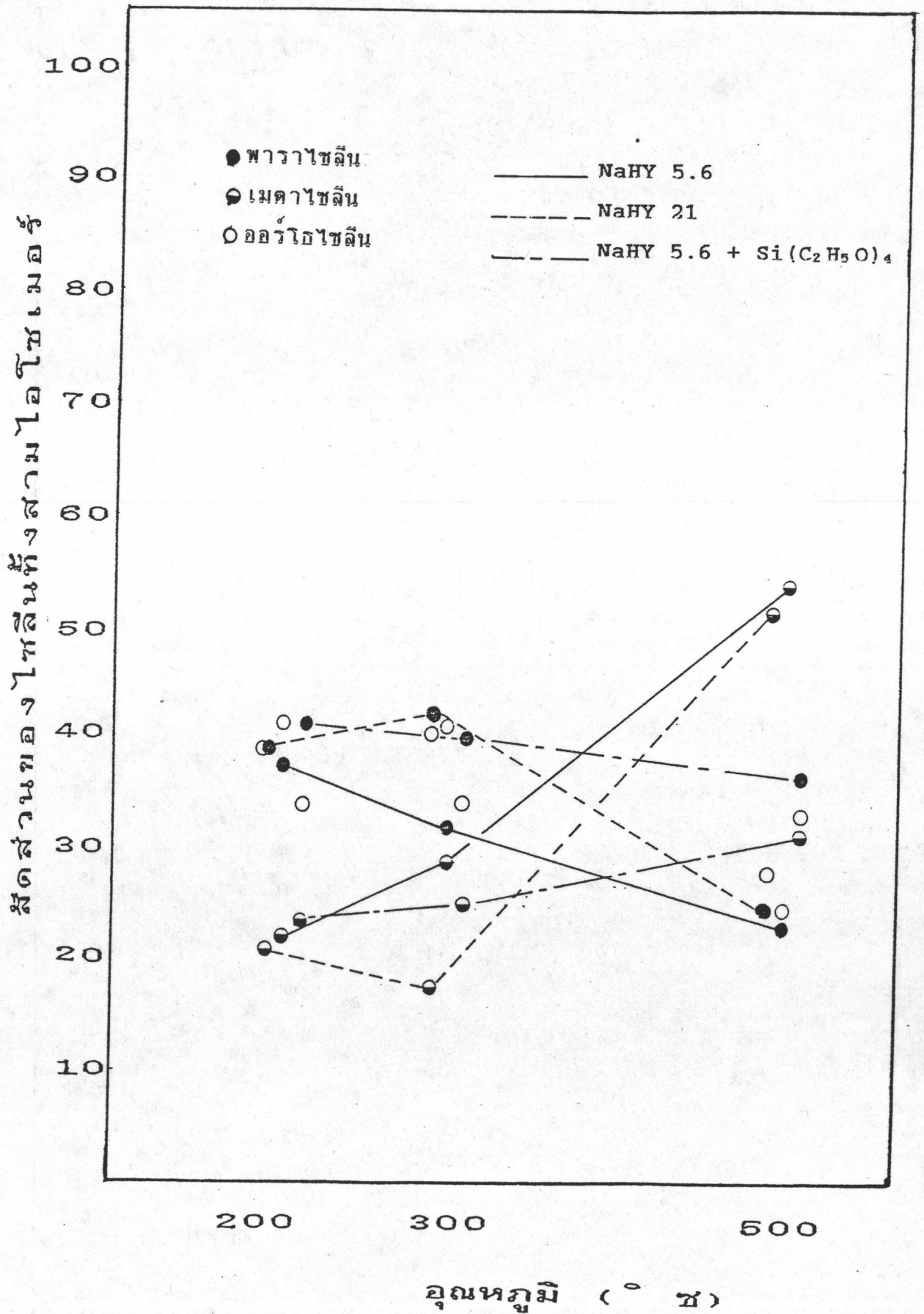
รูปที่ 4.5 ผลได้ของไซลีน (ร้อยละ) บนตัวเร่งปฏิกิริยาเฟอร์ไรต์



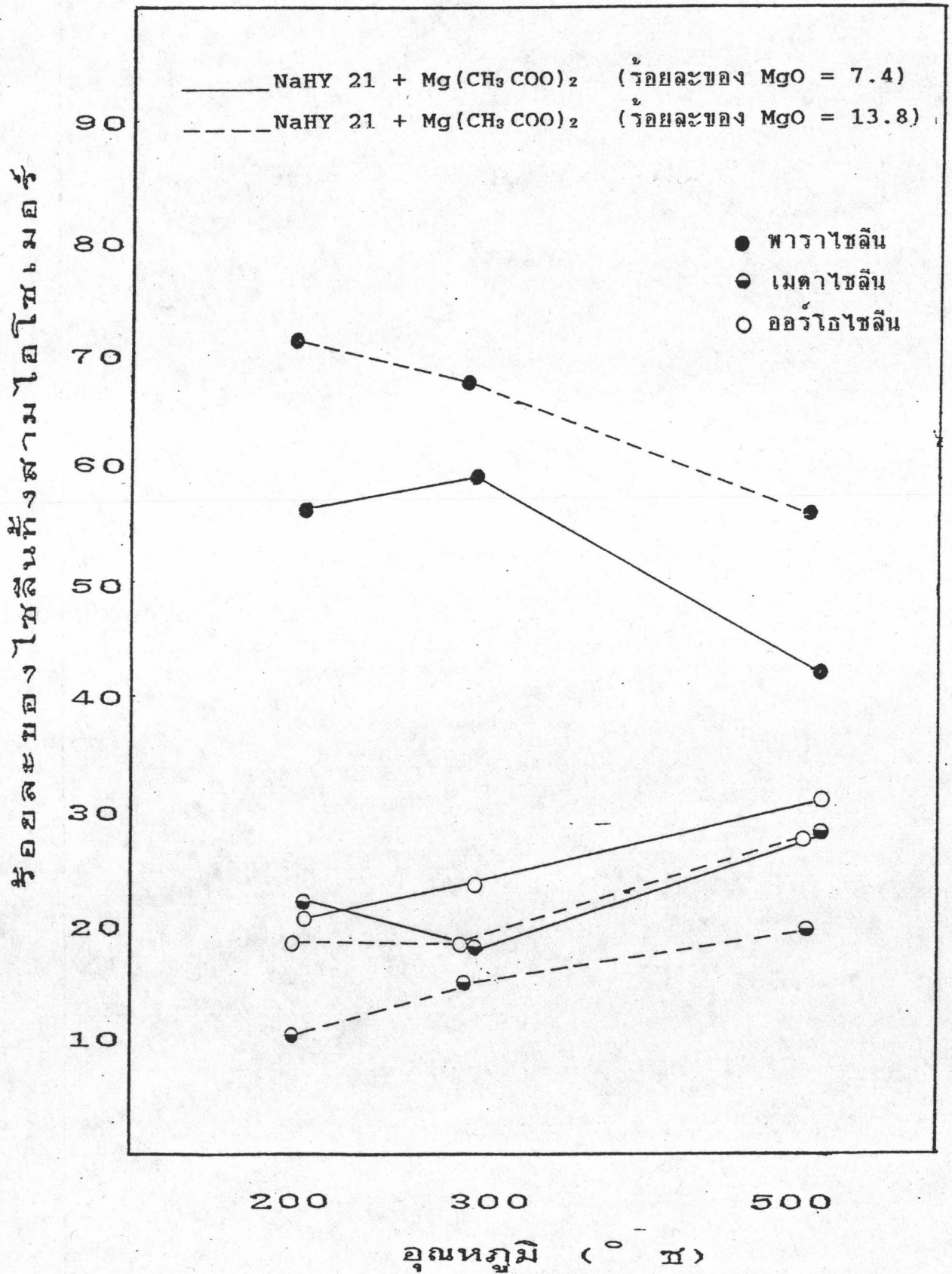
รูปที่ 4.6 สัดส่วนของไซลีนทั้งสามไอโซเมอร์บนตัวเร่งปฏิกิริยามอร์ทีไนต์

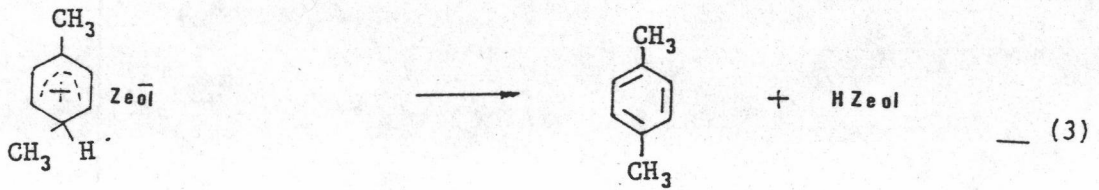
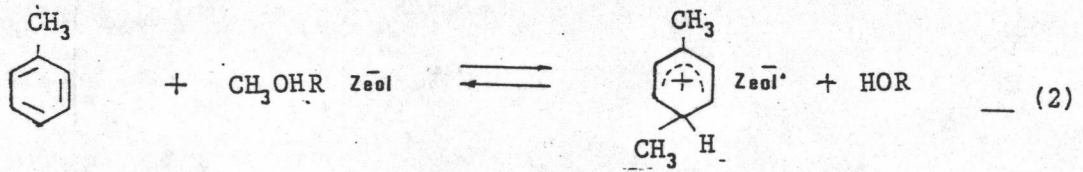
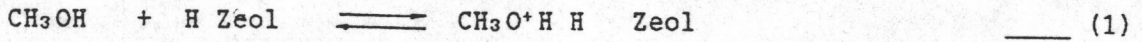


รูปที่ 4.7 สัดส่วนของไซลีนทั้งสามไอโซเมอร์บนตัวเร่งปฏิกิริยาเฟอร์ไรต์



รูปที่ 4.8 สัดส่วนของไขมันทั้งสามไอโซเมอร์บนตัวเร่งปฏิกิริยา NaHY 21

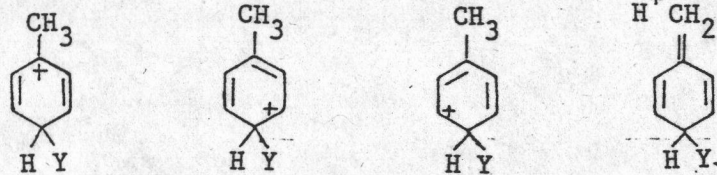




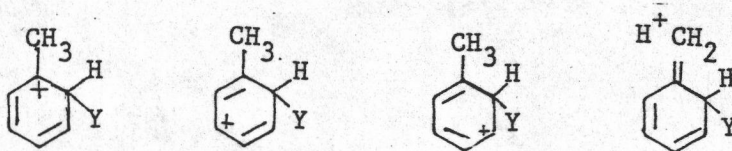
จากขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาข้างบน ถ้าหากว่า ความต้องการคู่อิเล็กตรอนของคาร์บอนเนียม
อัลลิล ไม่มากเกินไป สมการที่ (2) อาจจะไม่เกิดขึ้นก็ได้

ผลจากการทดลองก็คล้าย คือ ในตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเดียวกัน ที่อุณหภูมิสูงกว่าจะมีสัดส่วน
ของเมตาไซลีนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่สภาวะอุณหภูมิต่ำกว่า ออร์โทไซลีนกับพาราไซลีนจะสูง
เหตุผลที่จะอธิบายได้ ต้องอาศัยหลักของกลไกการเกิดปฏิกิริยาผ่านสารอินเทอร์มีเดียตต่างชนิดกัน
แล้วตรวจสอบดูว่า พลังงานกระตุ้นของสารอินเทอร์มีเดียต แต่ละตัวมีค่าแตกต่างกันเท่าไรจาก
ภาคผนวก จ จะได้ว่า อินเทอร์มีเดียตของไซลีนทั้งสามไอโซเมอร์เป็นดังนี้

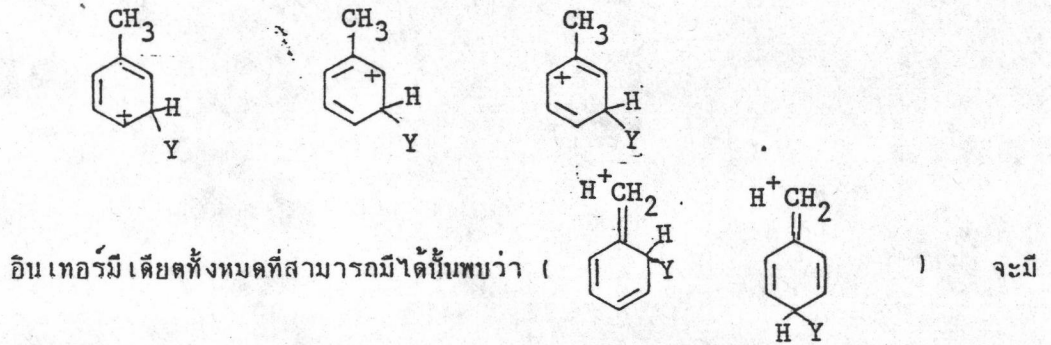
พาราไซลีน



ออร์โทไซลีน

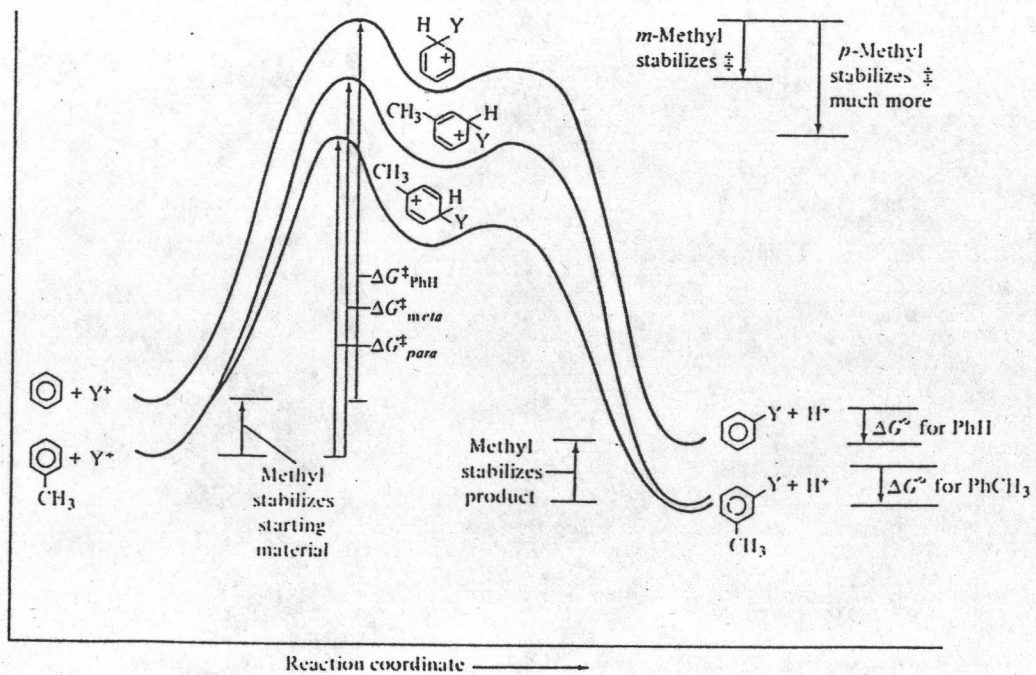


เมตาไซลีน



เสถียรภาพที่สุด เพราะอะตอมทุกตัวมีอิเล็กตรอนวงนอกครบแปด การที่มีเสถียรภาพมากที่สุด ย่อมจะหมายถึงต้องการพลังงานกระตุ้นในการเกิดน้อยกว่า อินเทอร์มีเดียตตัวอื่น ๆ เมื่อคิดในเชิงปริมาณจะได้ว่าในระดับพลังงานที่ใส่ให้กับระบบของปฏิกิริยาเท่ากัน ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านสารอินเทอร์มีเดียต ที่ต้องการพลังงานกระตุ้นน้อย ย่อมจะมากกว่า, ดูรูปที่ 4.9

รูปที่ 4.9 แสดงพลังงานกระตุ้นของสารอินเทอร์มีเดียต ในปฏิกิริยาแทนที่ด้วยสารที่ชอบอิเล็กตรอนของเบนซีน และโทลูอีน



แม้ว่าตามกลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีแล้วผลิตภัณฑ์ที่แรกจะอุดมไปด้วยพาราไซลินและออร์โทไซลินก็ตาม แต่ผลบังคับทางเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งจะต้องปรากฏออกมาว่าสารผลิตภัณฑ์ ที่มีค่าพลังงานอิสระต่ำที่สุด (ค่าสมมูลทางเทอร์โมไดนามิกส์แสดงไว้ในตารางที่ 1.2) ย่อมจะเกิดขึ้นได้มากที่สุด จากข้อมูลใน ภาคผนวก ช ได้ว่าเมตาไซลิน เป็นไอโซเมอร์ของไซลิน ที่มีค่าพลังงานอิสระต่ำที่สุด เพราะฉะนั้นพาราไซลิน และออร์โทไซลิน จากผลิตภัณฑ์ที่แรกจำเป็นต้องลดพลังงานอิสระของตัวเองให้ต่ำลง โดยผ่านปฏิกิริยาไอโซเมไรเซชัน ซึ่งอาจจะเกิดได้ภายในโมเลกุลของตัวเอง หรือเกิดระหว่างโมเลกุลสองโมเลกุลถ้าหากมีช่องว่างภายในตัวเร่งปฏิกิริยาเพียงพอ (ภาคผนวก ง) สำหรับเพอร์ออกไซด์ และมอร์ดีนัติน มีขนาดช่องว่างโตพอที่จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างอะโรเมติกสองโมเลกุล (ภาคผนวก จ) เพราะฉะนั้นทวนการไอโซเมไรเซชันก็จะเกิดได้ง่ายขึ้น เมื่อมีพลังงานกระตุ้นเพียงพอซึ่งหมายความว่า การเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบของปฏิกิริยาจะทำให้ห้วงค์ประกอบของไซลินทั้งสามไอโซเมอร์ เข้าสู่สภาวะสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง

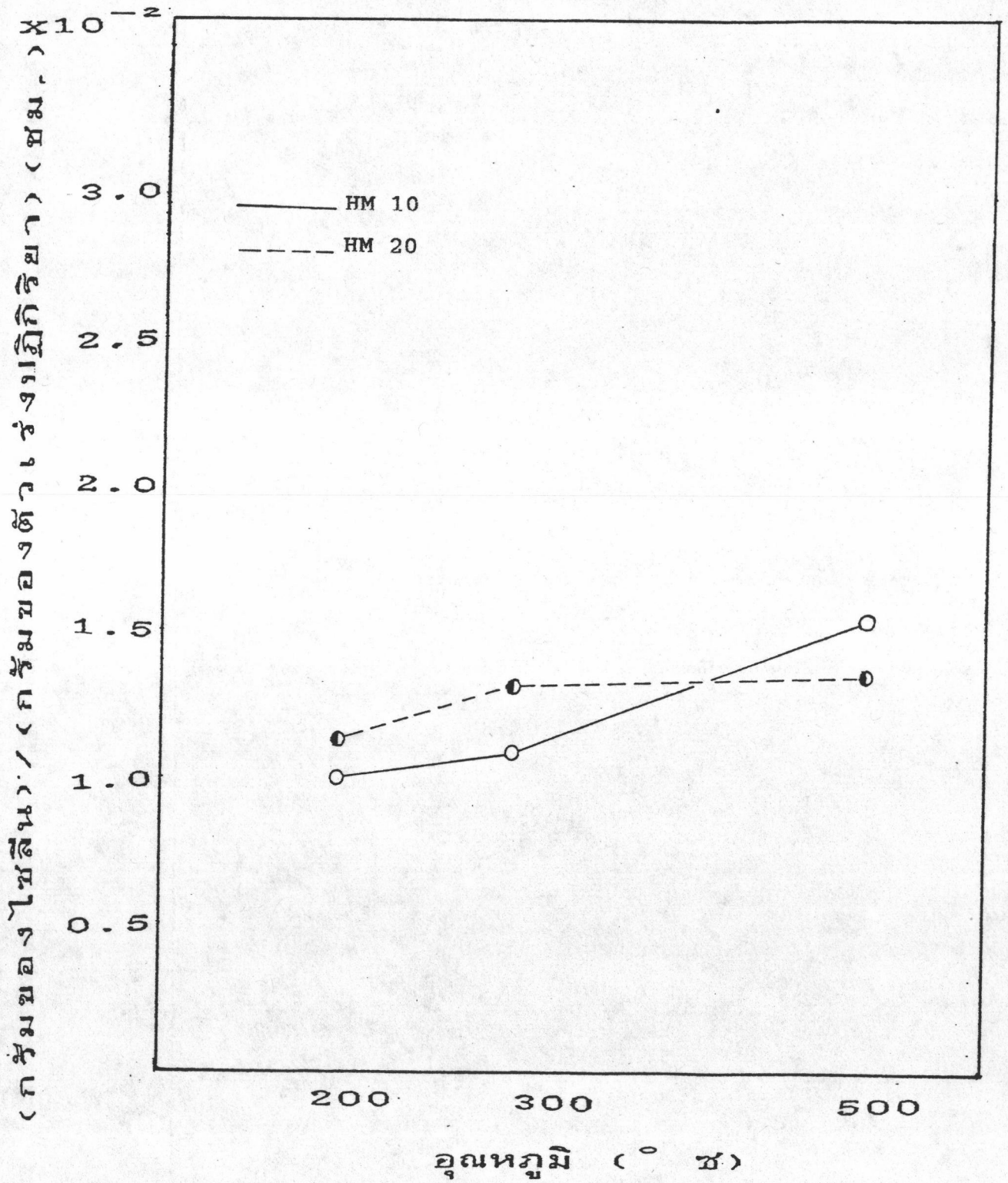
4.2.5 อัตราการเกิดปฏิกิริยาของไซลิน

ข้อมูลจากกราฟ รูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 จะเห็นว่าอัตราของการเกิดไซลินของตัวเร่งของปฏิกิริยาทุกตัวเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เพราะว่าความเปลี่ยนแปลงของโพลูอินเพิ่มขึ้นตามหัวข้อ 4.2.3 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาต่างชนิดกันจะพบความแตกต่างของอัตราการเกิดปฏิกิริยาของไซลินดังนี้

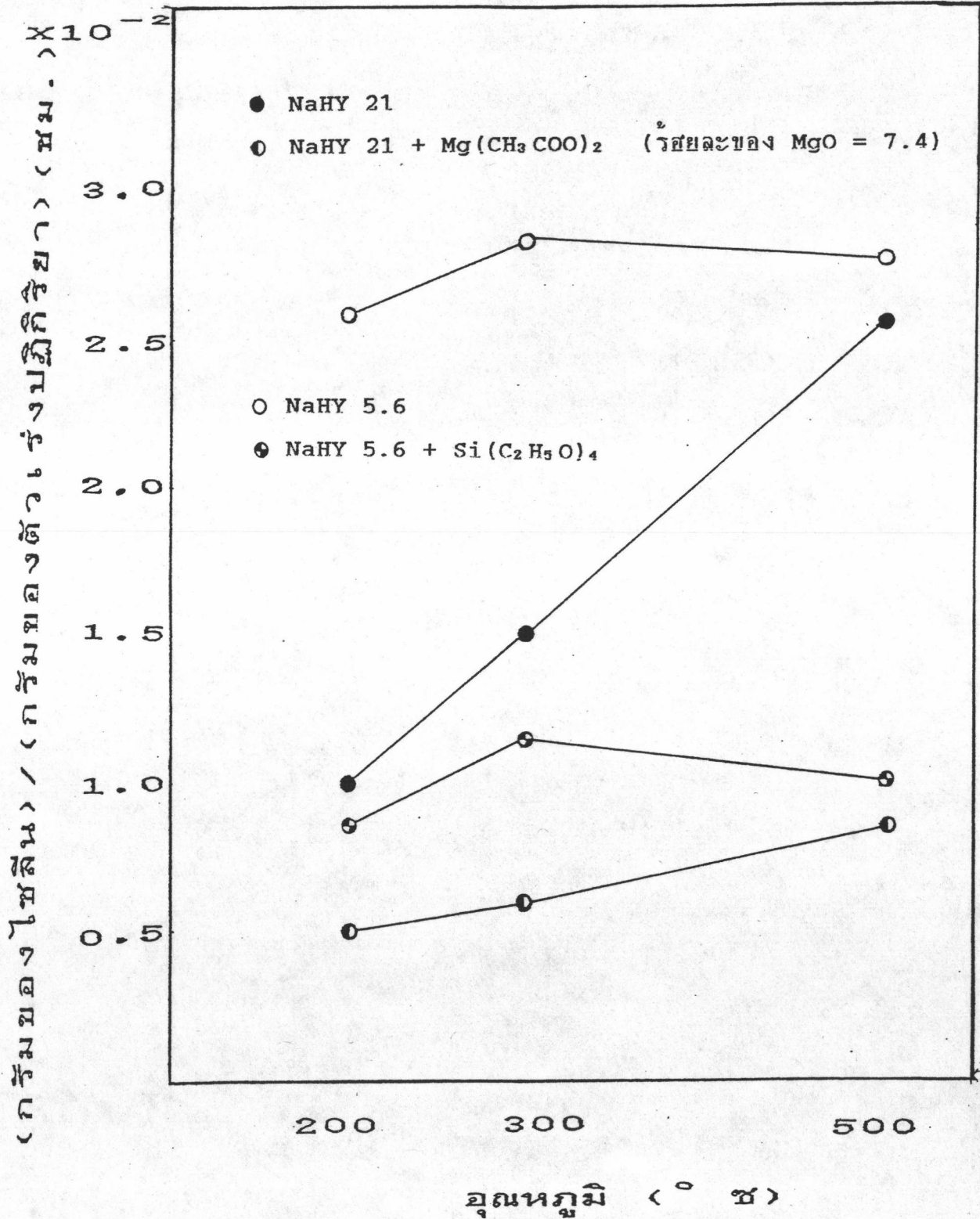
ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มี SiO_2 สูงกว่าจะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยา ของไซลินต่ำกว่า เพราะมีบริเวณกระตุ้นจำนวนน้อยกว่า แต่อัตราการเพิ่มขึ้นของอัตราการเกิดของไซลิน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มี SiO_2 ต่ำกว่า ทั้งนี้เพราะว่าสภาพความเป็นกรด ที่มีความรุนแรงมากกว่าของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มี SiO_2 สูงกว่า เมื่อมีพลังงานภายนอกเพิ่มเข้ามามากขึ้น ทำให้คาร์บอนเนียมอีลอน มีความรุนแรงมากพอที่จะทำปฏิกิริยา อัลคิลเลชันได้เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งมี SiO_2 ต่ำกว่า จะให้ประสิทธิภาพของคาร์บอนเนียม อีลอน ที่ต่ำกว่า

ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีสัดส่วนของ SiO_2 กับ Al_2O_3 เท่ากัน แต่ปรับปรุงลักษณะของปากรูนั้นพบว่า เมื่อลดขนาดของปากรูแล้วอัตราการเกิดของผลิตภัณฑ์ไซลิน จะน้อยกว่าบนตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ได้ปรับปรุง (รูปที่ 4.11) เหตุผลก็คือปฏิกิริยาส่วนที่เกิดขึ้นในรูจะลดลง เพราะมีความยากลำบากในการแพร่เข้ามาของสารตั้งต้น และการแพร่ออกไปของสารผลิตภัณฑ์จากรูของตัวเร่งปฏิกิริยา

รูปที่ 4.10 อัตราการเกิดโซลีนบนตัวเร่งปฏิกิริยามอร์ดีไนต์



รูปที่ 4.11 อัตราการเกิดซิลิเกตในตัวเร่งปฏิกิริยาเฟอร์ไรต์



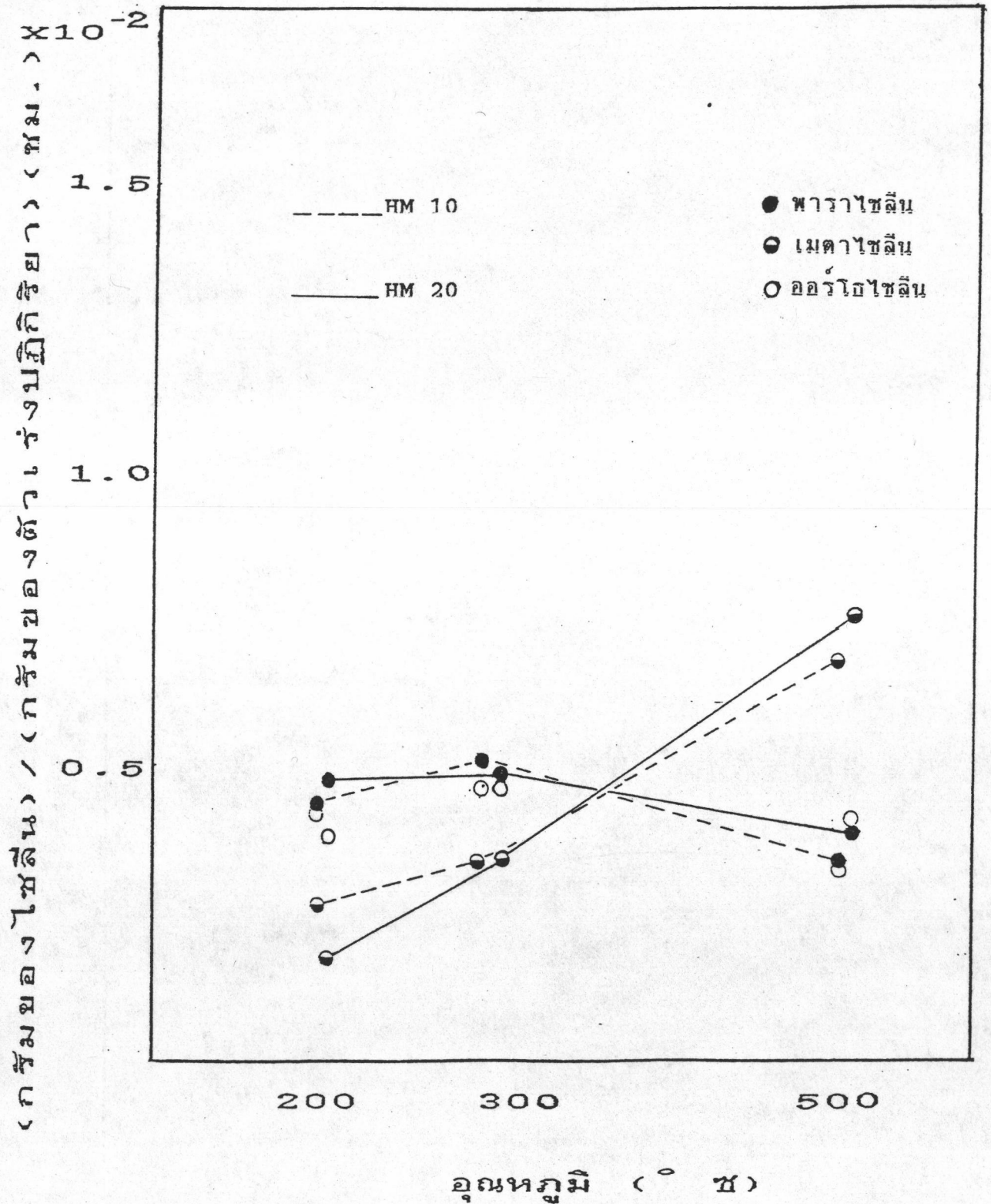
ในกรณีของ NaHY 5.6 และ NaHY 5.6 ซึ่งปรับปรุงขนาดของปากกรู ด้วยซิลิกาออกไซด์ จากเตตระอีทอกซีไฮโดรเจน พบว่าที่อุณหภูมิ 500 °C อัตราการเพิ่มขึ้นของโซลชันลดลงอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เพราะว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงเพิ่มขึ้น เช่น ปฏิกิริยาดีอัลคิลเลชัน และปฏิกิริยาของเมทานอลไปเป็นสารไฮโดรคาร์บอน รวมทั้งการเกิดเป็นถ่านโค้ก (ดูจากรูปที่ 4.1 ตารางที่ 4.10 และตารางที่ 4.13)

ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา NaHY 21 และ NaHY 21 ซึ่งผ่านทวนการถลุงเพรคเนชันกับเกล็ดของแมกนีเซียมอะซีเตต และแคลซีเนชันกับอากาศจนได้เป็นออกไซด์ของโลหะแมกนีเซียม ซึ่งเป็นโลหะอัลคาไลน์ เอิร์ท โดยจะมีคุณสมบัติเป็นเบส เมื่อละลายน้ำเพราะฉะนั้นแมกนีเซียมออกไซด์จะเป็นตัวคอยจับกับบริเวณที่แสดงความเป็นกรดในตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเฉพาะบริเวณพื้นผิว และปากกรู รวมทั้งในรูบางส่วน ทำให้ขนาดรู และขนาดของปากกรูเล็กลง และบังคับให้ปฏิกิริยาส่วนใหญ่เกิดขึ้นเฉพาะในรูเท่านั้น (ต่างกับกับกรณีของ NaHY 5.6 ที่ปรับปรุงบริเวณปากกรูด้วยออกไซด์ของซิลิกา ซึ่งปฏิกิริยาบริเวณพื้นผิวยังคงเกิดได้เหมือนเดิม) ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาของโซลชัน จึงน้อยกว่ากรณีของ NaHY 21 (ดูจากรูปที่ 4.11)

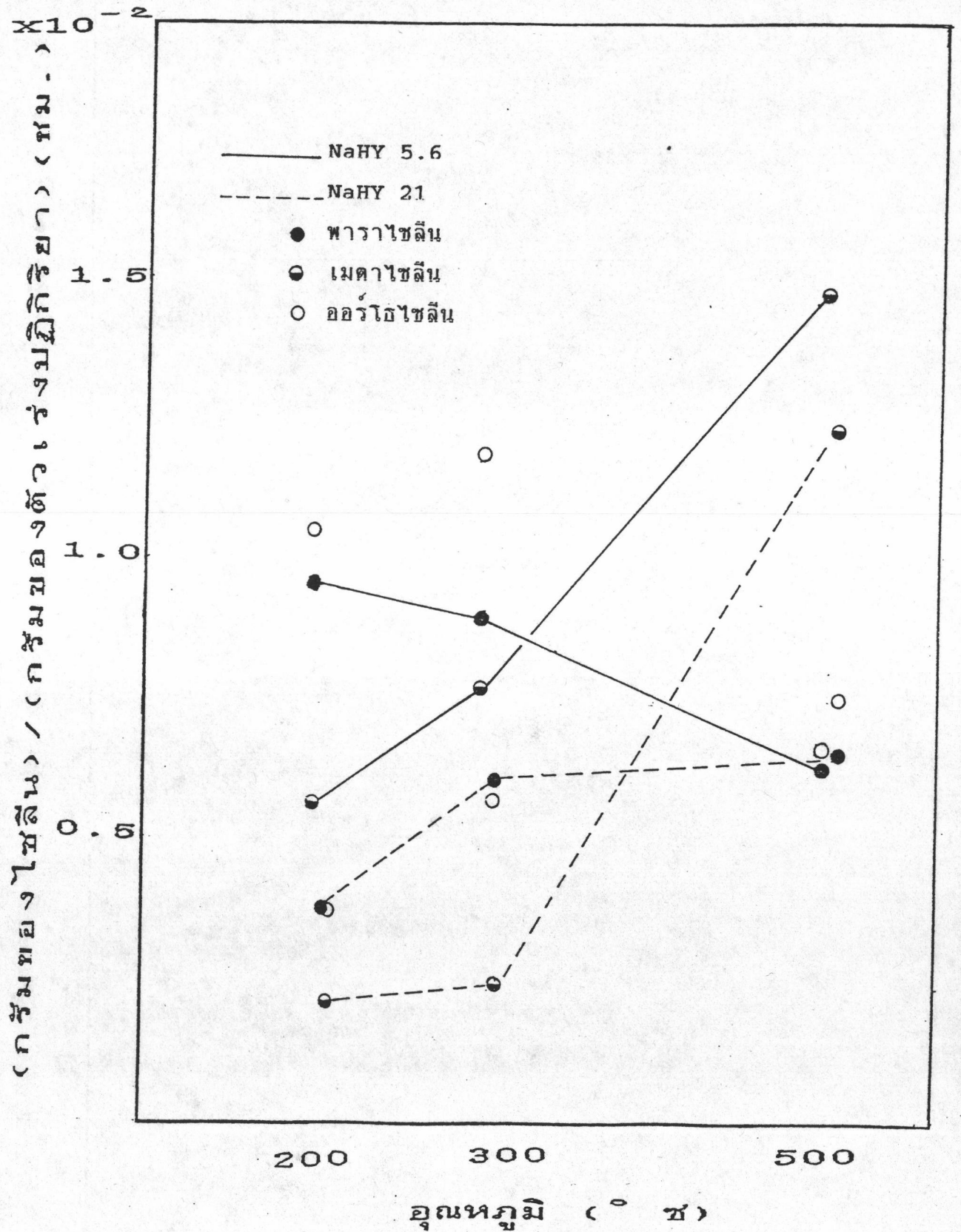
ส่วนข้อมูลจากกราฟรูปที่ 4.12 และกราฟรูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิของปฏิกิริยาสูงขึ้น องค์ประกอบของโซลชันในผลิตภัณฑ์จะเข้าสู่ภาวะสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ และวิธีที่จะป้องกันได้ก็คือ ลดขนาดของรูและขนาดของปากกรูของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะอนุญาตให้พาราโซลชัน แพร่ออกไปจากรูได้มากที่สุด ดังนั้น ภายในช่องว่างของตัวเร่งปฏิกิริยา ก็จะพยายามเพิ่มความเข้มข้นของ พาราโซลชันให้มากขึ้น ตามหลักสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ ผ่านทวนการไอโซเมอไรเซชันของออร์โธโซลชัน และเมตาโซลชัน ที่มีความลำบากในการแพร่ออกไปจากรู ดูจากกราฟรูปที่ 4.14

เมื่ออุณหภูมิของระบบปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น อัตราการเกิดเมตาโซลชัน จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เพื่อปรับสภาวะสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ บนตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ได้ปรับปรุงขนาดของปากกรู

รูปที่ 4.12 อัตราการเกิดไพลีนทั้งสามไอโซเมอร์บนตัวเร่งปฏิกิริยามอร์ดีไนต์



รูปที่ 4.13 อัตราการเกิดไซลีนทั้งสามไอโซเมอร์บนตัวเร่งปฏิกิริยาเฟอร์ไรต์



รูปที่ 4.14 อัตราการเกิดโซลีนทั้งสามไอโซเมอร์บนตัวเร่งปฏิกิริยาเฟอร์ไรต์

