บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์-โมลิบดินัมบนอะลูมิน่า ($Co\text{-}Mo/Al_2O_3$) ใช้กันอย่างแพร่หลายในปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน ซึ่งในการทดลองนี้ได้นำตัวอย่างมาจากการใช้งานจริงในระบบบำบัดก๊าซไข่เน่า (Claus Process) ซึ่งมีข้อมูลจำเพาะจากผู้ผลิตดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา $Co\text{-}Mo/Al_2O_3$ จากบริษัทผู้ผลิต

Appearance	Blue , Gray
Diameter	3-5 mm.
Area	> 200 m^2/g
Hole holding	>0.35 ml/g
Pile density	0.6-0.7 g/cm^2
Radial intencity	>120 N/cm

จากตารางที่ 4.1 เป็นคุณสมบัติพื้นฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาเท่านั้น ไม่สามารถบอกรายละเอียดที่เกี่ยวกับการใช้งานในปฏิกิริยาจริงได้ ดังนั้นในส่วนของการทดลองเพื่อหาคุณลักษณะเฉพาะตัวของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะใช้เทคนิค 6 ประเภท ได้แก่ XRF, BET, SEM, XRD, XPS และ Raman Spectroscopy เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุการเสื่อมประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

4.1 การหาคุณลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา (Characterization of the Catalysts)

4.1.1 เครื่องเอ็กซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF)

ตัวอย่างตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3 ที่ยังไม่ได้ใช้งาน (Fresh catalyst) และตัวอย่างตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเดียวกันที่ผ่านการใช้งานแล้ว (Used catalyst) ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF เพื่อหาองค์ประกอบภายในตัวเร่งปฏิกิริยา โดยผลการทดลองถูกแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3 จากเครื่อง XRF

Sr. No.	Composition	Fresh Catalyst Result (%)	Used Catalyst Result (%)
1	Al_2O_3	78.6	78.4
2	MoO_3	12.1	11.99
3	Co_2O_3	3.06	3.13
4	SiO_2	0.311	0.253
5	Na_2O	0.196	0.227
6	NiO	0.161	0.14
7	CaO	0.051	0.054
8	Fe_2O_3	0.035	0.050
9	K_2O	0.030	0.036
10	SO_3	-	2.85
11	CuO	0.0126	0.014
12	ZnO	-	0.015
13	Ca_2O_3	0.0135	0.016
14	As_2O_3	-	0.004
15	Yb_2O_4	0.53	0.0088
16	Other	4.90	2.81
	Total	100.00	99.99

จากตารางที่ 4.2 พบว่าตัวอย่างตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งของใหม่และที่ใช้งานแล้วมีองค์ประกอบหลักที่ใกล้เคียงกันโดยตัวรองรับ (Supported) Al_2O_3 เป็นองค์ประกอบหลักมีปริมาณอยู่ที่ 78.4 % - 78.6 % ในส่วนของโลหะว่องไว (Active phase) MoO_3 มีปริมาณอยู่ที่ 11.99 -12.1 % และ Co_2O_3 มีปริมาณอยู่ที่ 3.06 – 3.13 % เมื่อพิจารณาพบว่าการใช้งานตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3 เป็นเวลา 1 ปี แต่องค์ประกอบหลักกลับมีปริมาณที่เท่าๆเดิมไม่ได้สูญหายไปแสดงว่าไม่มีการเสื่อมประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาในแบบ Metal Phase Transferring นั่นเอง

4.1.2 การหาพื้นที่ผิวและปริมาตรโดยวิธี N_2 Physisorption (BET)

พื้นที่ผิว (Surface area) และ ปริมาตร (Pore volume) ของตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3 ทั้งที่ใช้งานแล้วและยังไม่ได้ใช้งานได้แสดงในตารางที่ 4.3

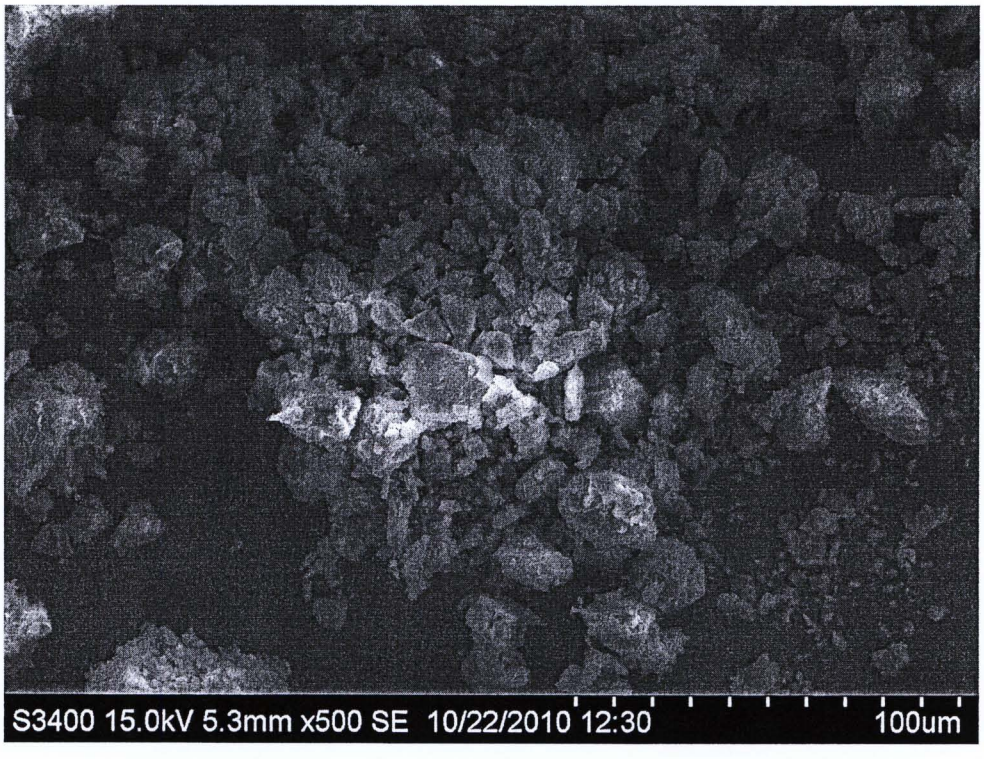
ตารางที่ 4.3 พื้นที่ผิวและปริมาตรของตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3

Appearance	Description	Sample	
		Fresh catalyst	Used catalyst
Specific surface area	m^2/g	172.13	65.04
Pore volume	cm^3/g	0.33	0.17

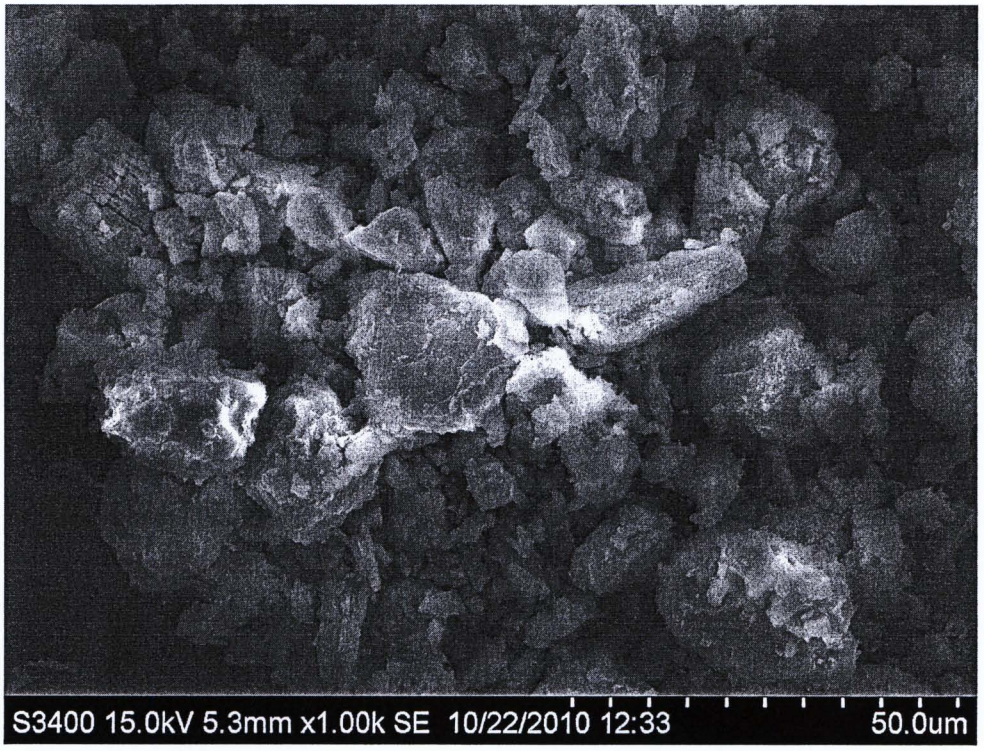
จากตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาใช้งานไปเป็นเวลา 1 ปี มีพื้นที่ผิวลดลงจาก 172.13 ตารางเมตรต่อกรัม เหลือ 65.04 ตารางเมตรต่อกรัม คิดเป็นพื้นที่ผิวที่หายไป 62 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาถึงปริมาตรในรูพรุน เมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาใช้งานไปเป็นเวลา 1 ปี มีรูพรุนลดลงจาก 0.33 ลูกบาศก์เซนติเมตร เหลือ 0.17 เซนติเมตร หรือคิดเป็นปริมาตรที่หายไป 48 % จากผลการทดลองพบว่าพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ลดลงจะส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาน้อยลง ขนาดของปริมาตรภายในรูพรุนที่น้อยลงก็ส่งผลให้มีอัตราการแพร่ผ่านของสารตั้งต้นเข้าสู่รูพรุนช้าลงและส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาน้อยลงเช่นกัน การหาสาเหตุของการลดลงของพื้นที่ผิวและปริมาตรของตัวเร่งปฏิกิริยาต้องใช้เครื่องมือที่เหมาะสมในการค้นหาต่อไป

4.1.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

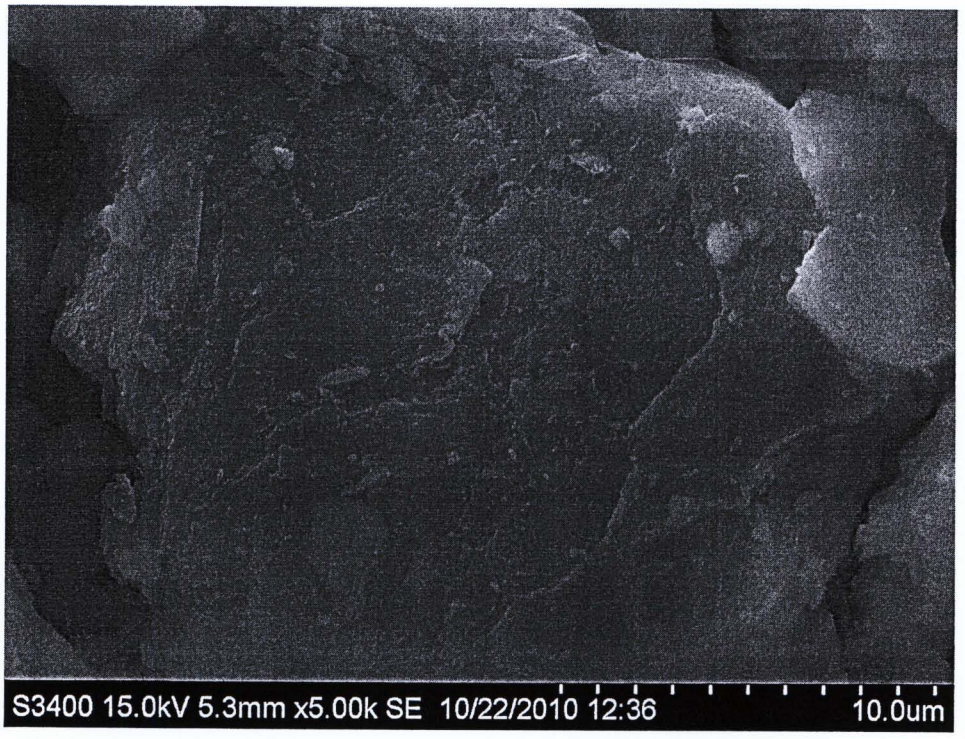
ผลการศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าที่กำลังขยายในช่วง 500 -1,000 เท่า ยังไม่พบความแตกต่างระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้งานแล้วเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ยังไม่ได้ใช้งาน แต่เมื่อเพิ่มกำลังขยายไปที่ 5,000 – 30,000 เท่า จะพบความแตกต่างที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจนกล่าวคือในส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการใช้งานมาแล้วจะมีผลึกบางอย่างเคลือบอยู่บางบริเวณผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ยังไม่ได้ใช้งานจะไม่พบผลึกดังกล่าว ซึ่งผลึกชนิดนี้เราเรียกว่า superficial layers [10]



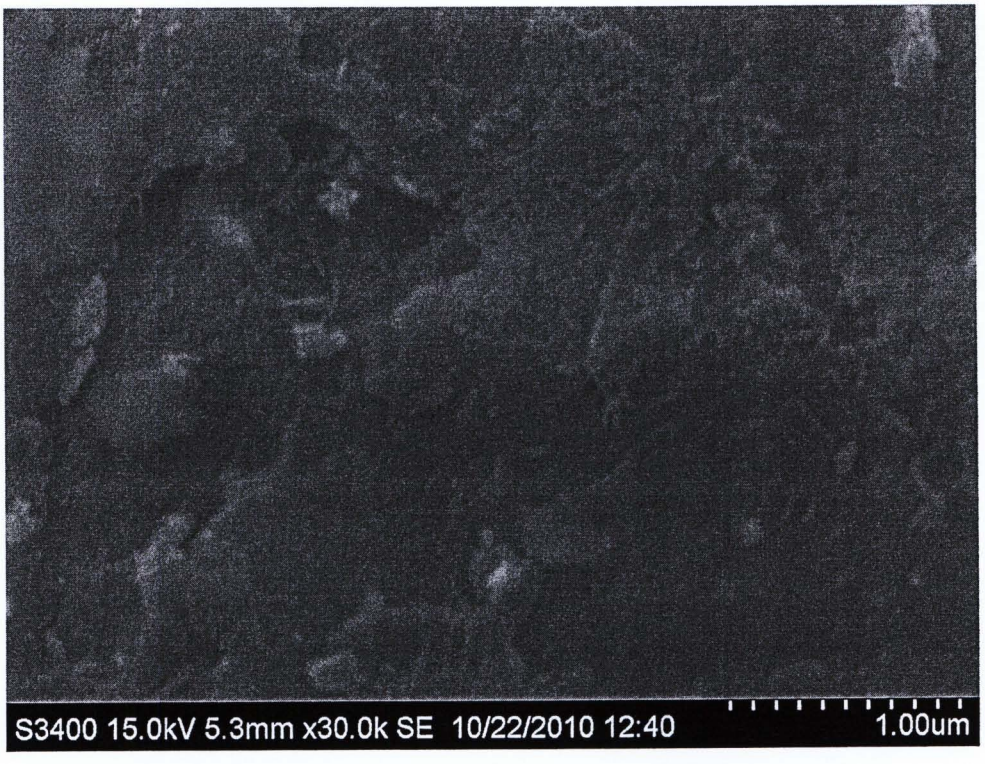
รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายตัวเร่งปฏิกิริยาที่ยังไม่ได้ใช้งานจาก SEM ด้วยกำลังขยาย 500 เท่า



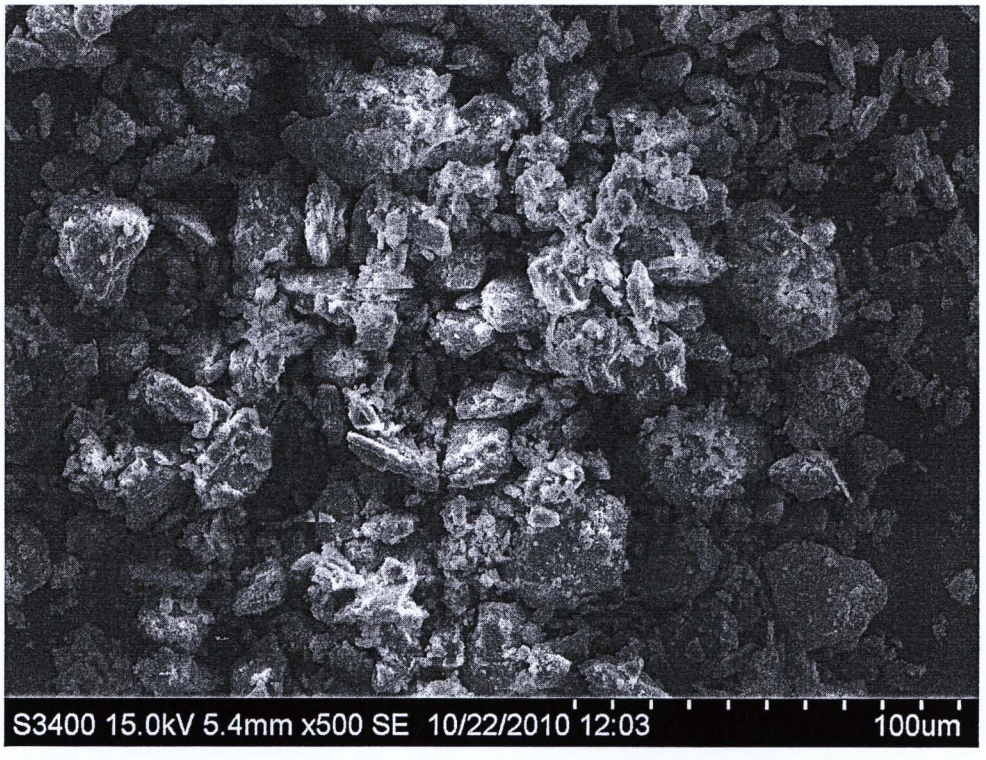
รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายตัวเร่งปฏิกิริยาที่ยังไม่ได้ใช้งานจาก SEM ด้วยกำลังขยาย 1000 เท่า



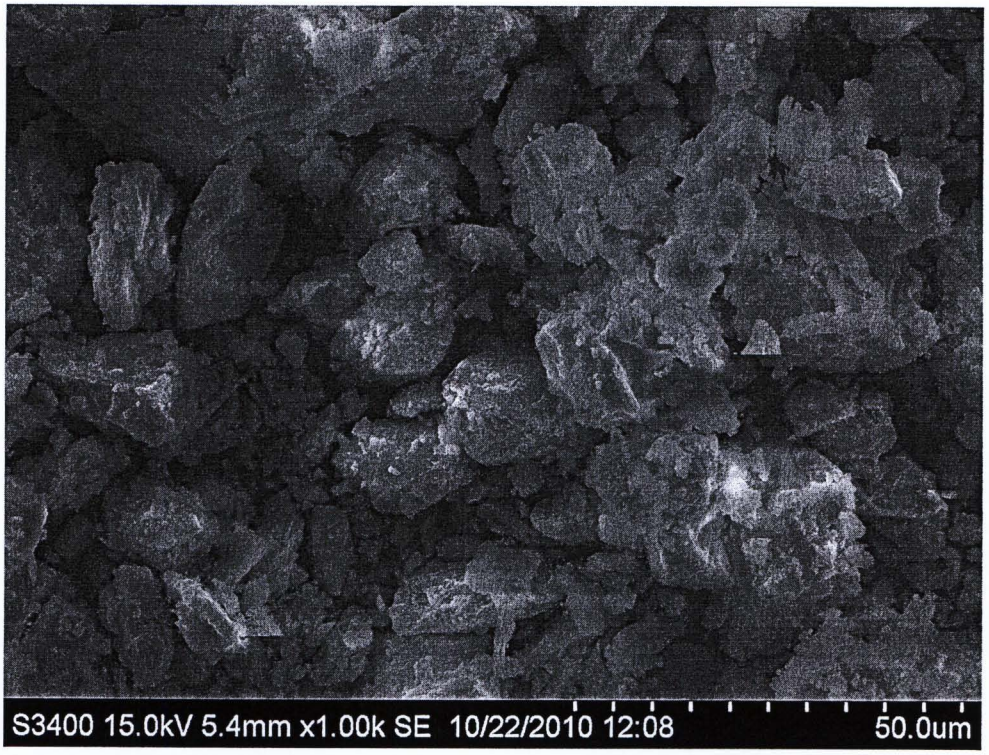
รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายตัวเร่งปฏิกิริยาที่ยังไม่ได้ใช้งานจาก SEM ด้วยกำลังขยาย 5000 เท่า



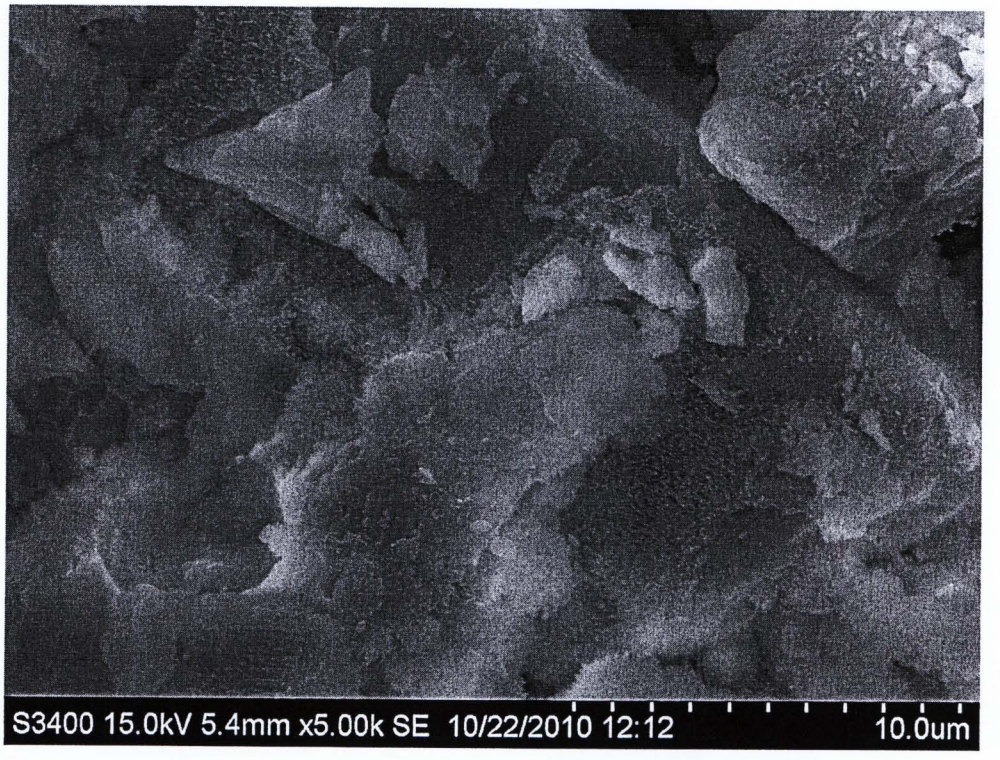
รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายตัวเร่งปฏิกิริยาที่ยังไม่ได้ใช้งานจาก SEM ด้วยกำลังขยาย 30000 เท่า



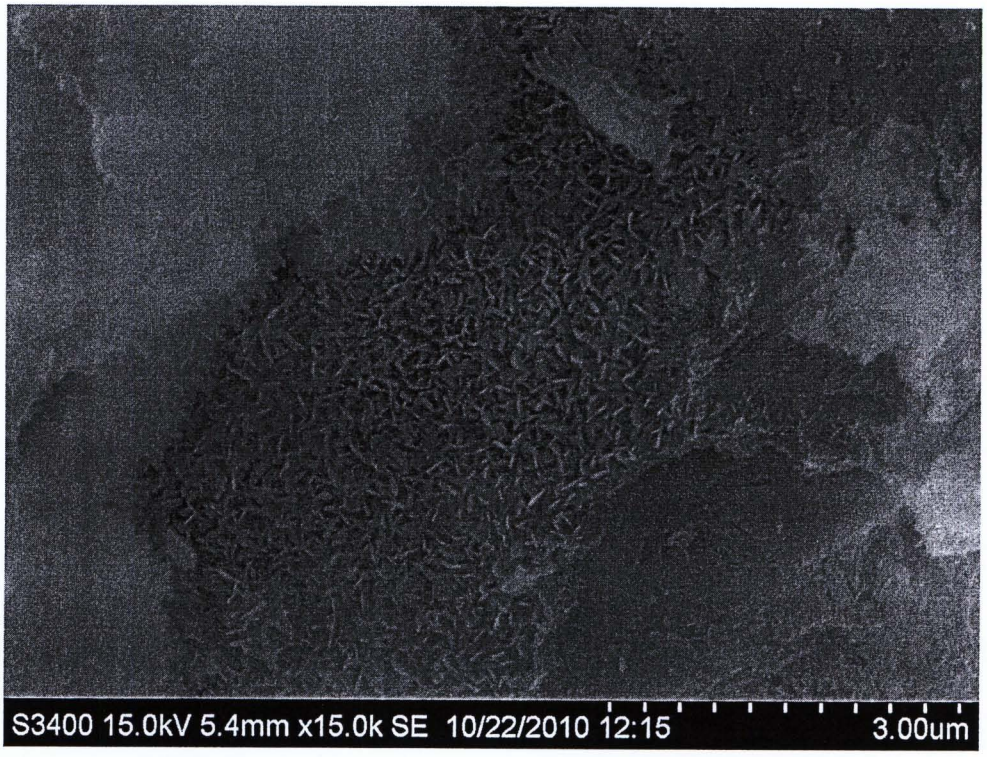
รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายตัวเร่งปฏิกิริยาผ่านการใช้งานแล้วจาก SEM ด้วยกำลังขยาย 500 เท่า



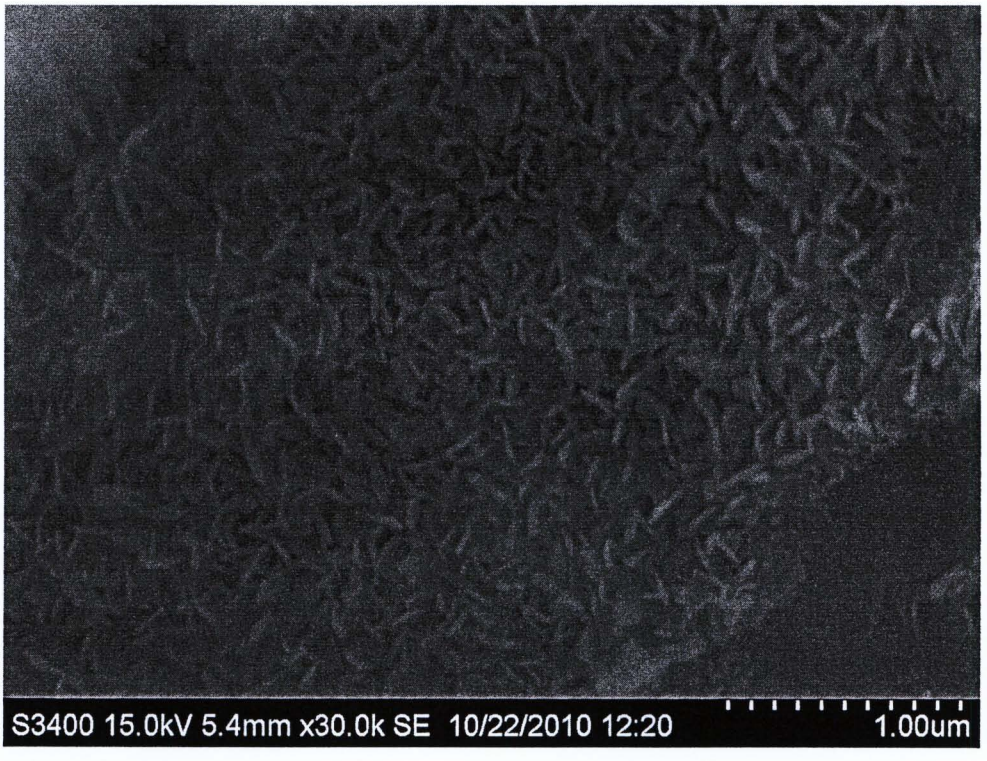
รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายตัวเร่งปฏิกิริยาผ่านการใช้งานแล้วจาก SEM ด้วยกำลังขยาย 1000 เท่า



รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายตัวเร่งปฏิกิริยาผ่านการใช้งานแล้วจาก SEM ด้วยกำลังขยาย 5000 เท่า



รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายตัวเร่งปฏิกิริยาผ่านการใช้งานแล้วจาก SEM ด้วยกำลังขยาย 15000 เท่า



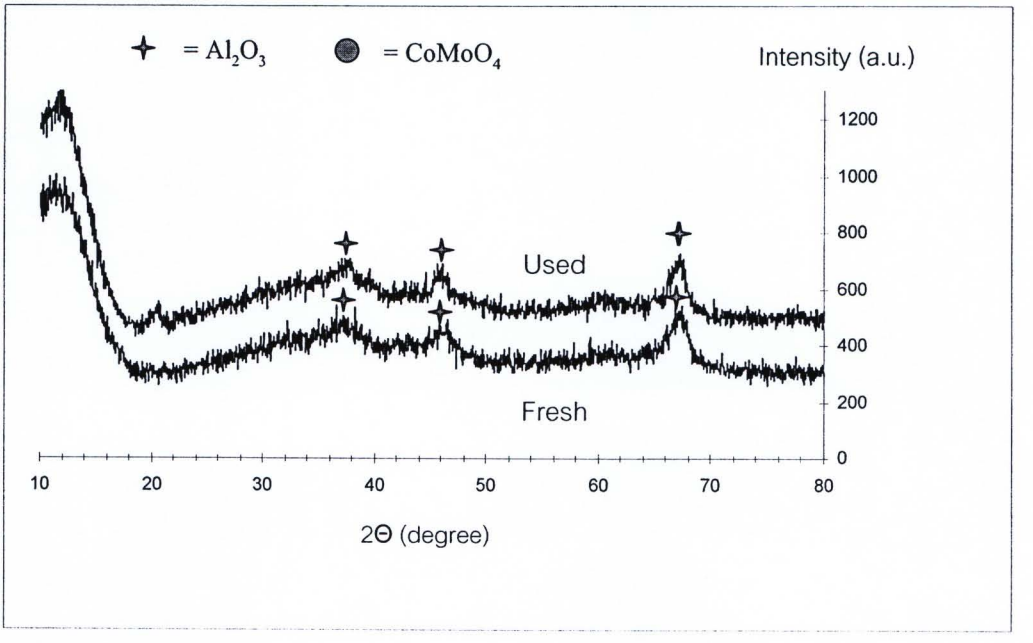
รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายตัวเร่งปฏิกิริยาผ่านการใช้งานแล้วจาก SEM ด้วยกำลังขยาย 30000 เท่า

สำหรับผลึกที่เราเรียกว่า Superficial layers นั้นเกิดขึ้นบนตัวเร่งปฏิกิริยาหลังจากใช้งานเป็นเวลา 1ปี ซึ่งผลึกดังกล่าวเป็นสารประกอบที่ซับซ้อนจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่เหมาะสมในการค้นหาว่าผลึกดังกล่าวเป็นสารประกอบชนิดใด

4.1.4 เครื่องวิเคราะห์ผลึก (XRD)

จากกราฟเปรียบเทียบระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้งานแล้วและยังไม่ได้ใช้งานพบว่าที่บริเวณ $2\Theta = 37^0$, 46^0 และ 68^0 ปรากฏพีคขึ้นทั้งสองตัวอย่าง ซึ่งพีคทั้ง 3 อันนี้เป็นผลึกของตัวรองรับแกมมาอะลูมินา (Ý- Al_2O_3) [14] ในขณะที่บริเวณ $2\Theta = 19^0$ นั้นจะมีพีคที่ปรากฏเฉพาะตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการใช้งานแล้ว ซึ่งพีคดังกล่าวเป็นผลึกของ $CoMoO_4$ [14]

ดังนั้นจึงสรุปได้จากการทดลองนี้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3 เกิดสารประกอบใหม่ขึ้นมาได้แก่ $CoMoO_4$ ซึ่งถือว่าเป็นการเสื่อมสภาพประเภทการหลอมรวมของโลหะ (Sintering) โดยการหลอมรวมของโลหะเกิดขึ้นได้จากอุณหภูมิที่สูงเกินไปในการทำปฏิกิริยา [10]



รูปที่ 4.10 X-Ray Diffractogram ของตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3

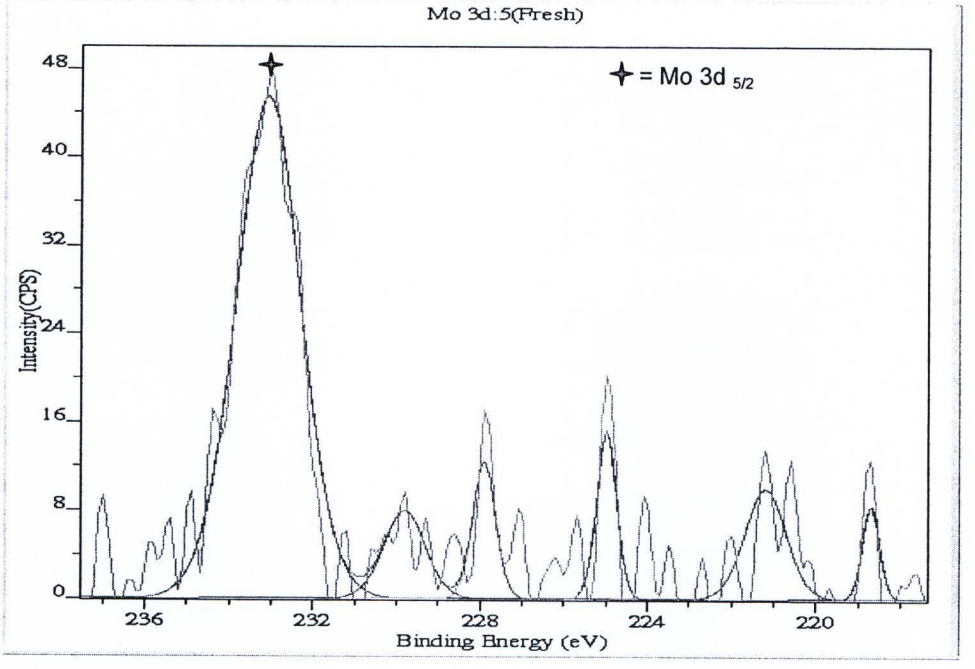
4.1.5 เครื่องเอ็กซเรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโตรสโคปี (XPS)

เครื่องมือ XPS ใช้สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ผิวชั้นนอกของตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3 โดยพันธะระหว่าง โคบอลต์, โมลิบดีนัม, อะลูมินา และธาตุอื่นๆ สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยวิธีนี้ ซึ่งผลการทดลองจะแสดงในรูปที่ 4.11 - 4.14 โดยพีกที่มีนัยสำคัญจะถูกคัดกรองโดยใช้เทคนิค Deconvolution

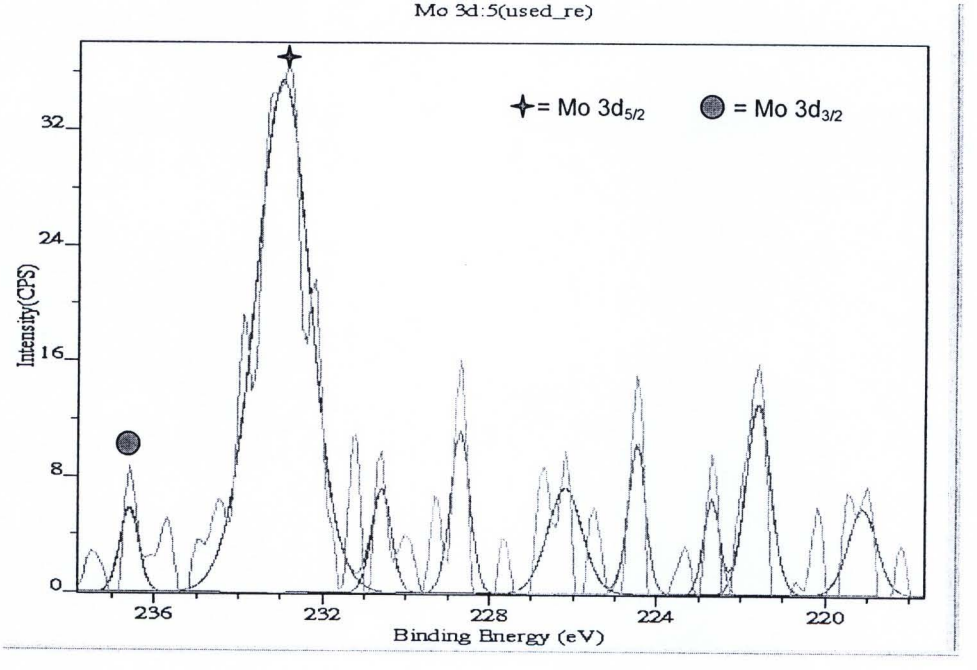
รูปที่ 4.11 จะแสดงพลังงานพันธะ (Binding energy) ที่โมลิบดีนัมปลดปล่อยออกมาจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่ยังไม่ได้ใช้งาน และในรูปที่ 4.12 จะแสดงพลังงานพันธะที่โมลิบดีนัมปลดปล่อยออกมาจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการใช้งานแล้ว จุดที่พีคมีความแตกต่างกันชัดเจนมีด้วยกัน 2 จุด ได้แก่ ที่ Binding Energy = 236.4 eV ซึ่งหมายถึง Mo $3d_{3/2}$ และที่ Binding Energy = 232.5 eV ซึ่งหมายถึง Mo $3d_{5/2}$ [10]

การที่พีกเกิดความแตกต่างจากอะตอมของโมลิบดีนัมนั้น เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงเฟสทรานซิชันของโลหะหลังการใช้งานตัวเร่งปฏิกิริยาไปแล้ว กล่าวคือในตัวเร่งปฏิกิริยาที่ยังไม่ได้ใช้งานจะมีสารประกอบ CoO ซึ่งมีประจุของโคบอลต์คือ Co^{+2} และ สารประกอบ MoO_3 ซึ่งมีประจุของโมลิบดีนัมคือ Mo^{+6} กระจายตัวอยู่บนตัวรองรับ Al_2O_3 แต่เมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาถูกใช้งานไประยะเวลาหนึ่งภายใต้สภาวะที่ไม่เหมาะสม ทำให้เกิดสารประกอบชนิดใหม่คือ $CoMoO_4$ [10] ซึ่งประจุของโคบอล์ต คือ Co^{+2} และ ประจุของโมลิบดีนัมคือ Mo^{+5} และส่งผลต่อการคายพลังงานที่เปลี่ยนไปซึ่งสามารถตรวจวัดค่าพลังงานได้จากเครื่องเอ็กซเรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโตรสโคปี

ดังนั้นจึงสรุปได้จากการทดลองนี้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3 เกิดสารประกอบ $CoMoO_4$ ขึ้น ซึ่งถือว่าเป็นการเสื่อมสภาพประเภทการหลอมรวมของโลหะ (Sintering) นั่นเอง



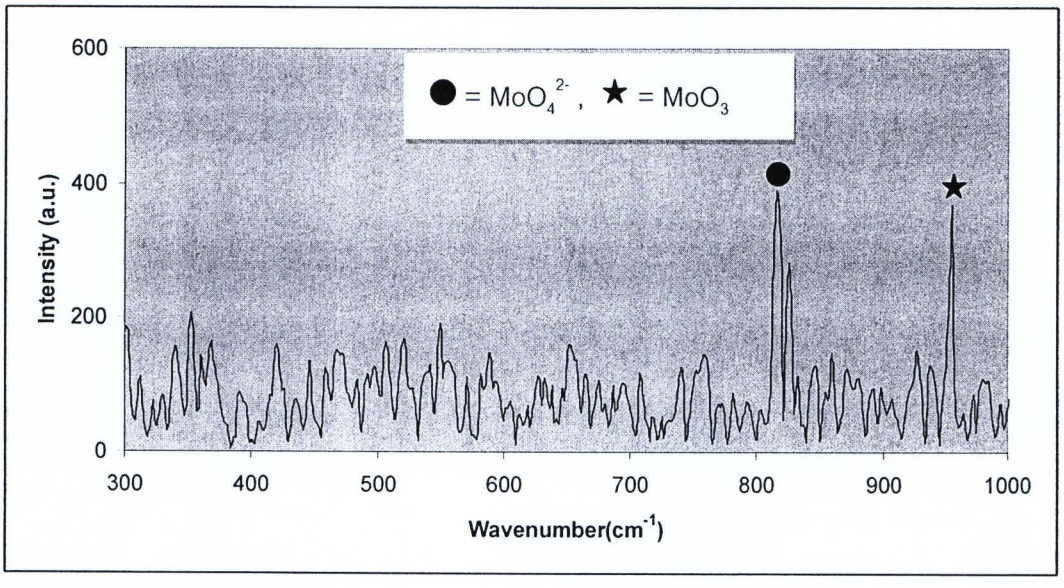
รูปที่ 4.11 ผล XPS ต่อตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3 ที่ยังไม่ได้ใช้งานในช่วงของ Molybdenum



รูปที่ 4.12 ผล XPS ต่อตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3 ที่ผ่านการใช้งานแล้วในช่วงของ Molybdenum

4.1.6 เครื่องรามานสเปกโตรสโคปี (Raman Spectroscopy)

การศึกษาองค์ประกอบที่อยู่ในตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่องมือ Raman Spectroscopy ในตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3 ที่ยังไม่ใช้งานพบพีค 2 จุด คือ Wave number = 820 cm^{-1} คือสาร MoO_4^{2-} [17] และที่ Wave number = 941 cm^{-1} คือสาร MoO_3 [18] ในส่วนทางด้านของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้งานแล้ว เมื่อนำเข้าไปทดสอบพบว่าเกิดการลุกไหม้เมื่อเพิ่มพลังงานเข้าไปในระหว่างการทดลองจึงไม่สามารถทราบผลการทดลองได้ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงไม่สามารถเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้งานแล้วและยังไม่ได้ใช้งานได้

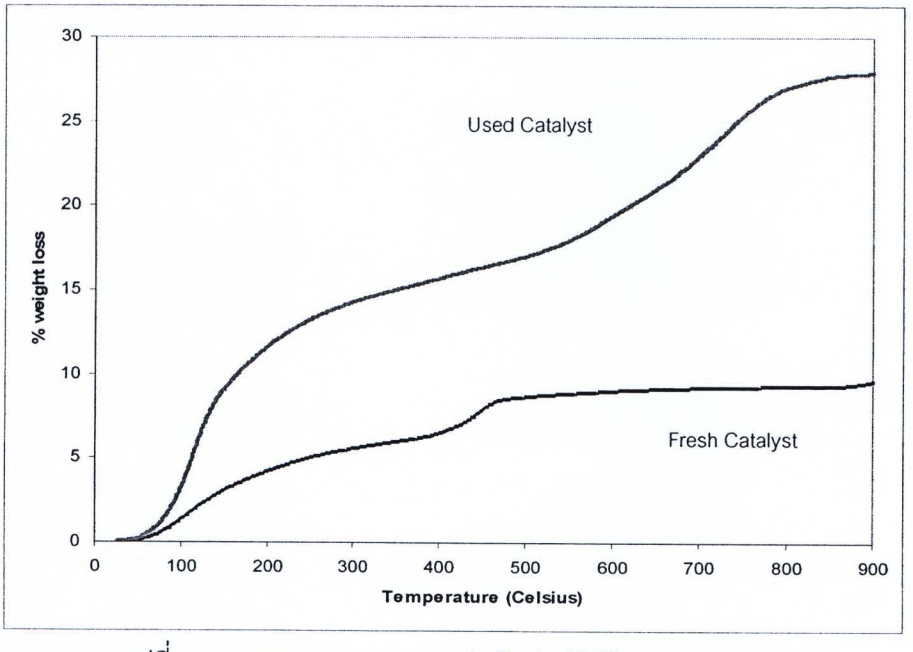


รูปที่ 4.13 ผลรามานเปกโตรสโคปี ต่อตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3 ที่ยังไม่ได้ใช้งาน

จากการทดลองด้วยเทคนิคต่างๆทำให้ทราบว่าในตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3 ที่ใช้งานแล้วในระบบบำบัดก๊าซไข่เน่าเป็นเวลา 1 ปี พบสารประกอบขึ้นใหม่ได้แก่ $CoMoO_4$ (XPS, XRD) ซึ่งสารประกอบเหล่านี้เป็นการเสื่อมประสิทธิภาพแบบ sintering [10,13] ซึ่งปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการเสื่อมประสิทธิภาพได้แก่ความร้อนในการทำปฏิกิริยาสูงเกิน 500 องศาเซลเซียส [14]

4.1.7 เครื่องศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (TGA)

การศึกษาองค์ประกอบที่อยู่ในตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่องมือ Thermogravimetric Analysis (TGA) ในตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3 ได้ผลดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ผลการทดลอง TGA ต่อตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3

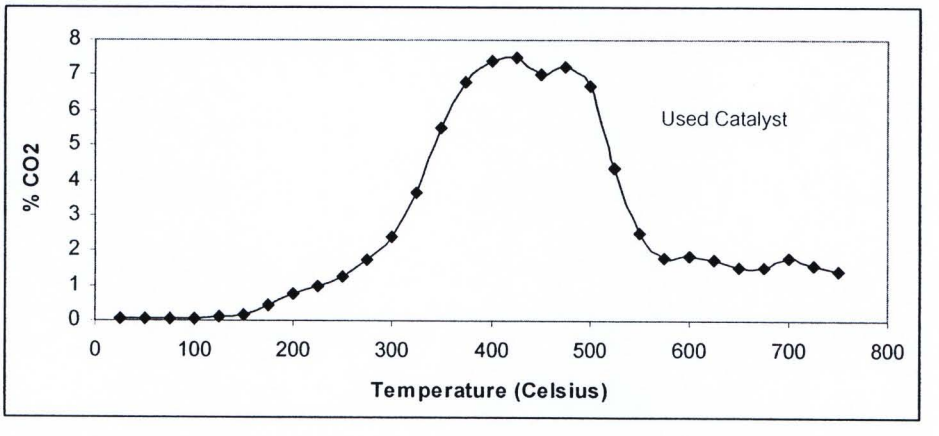
จากผลการทดลองพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3 ที่ยังไม่ได้ใช้งานมีน้ำหนักที่หายไปทั้งหมดคือ 10.5 % โดยอัตราน้ำหนักที่หายไปเริ่มคงที่ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ในส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3 ที่ผ่านการใช้งานแล้วมีน้ำหนักที่หายไปทั้งหมดคือ 28 % โดยอัตราน้ำหนักที่หายไปเริ่มคงที่ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส จากการทดลองทำให้ทราบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้งานแล้วน้ำหนักหายไปมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ยังไม่ได้ใช้งานถึง 17.5 % ซึ่งเป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยาและเป็นสาเหตุการเสื่อมประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

4.1.8 เครื่องศึกษาการออกซิเดชัน (TPO)

การศึกษาผลของการออกซิเดชันของตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3 ด้วยอัตราการป้อนอากาศ 30 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสต่อนาทีเป็นไปดังรูป 4.14 พบว่าเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้นตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิในช่วง 400 – 500 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่มีการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดประมาณ 7- 7.5 % และที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส การเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเริ่มคงที่ที่ประมาณ 1.5 % ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าภายในตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้งานแล้วเกิดการเสื่อมประสิทธิภาพแบบ coking ซึ่งเป็นสารประกอบคาร์บอนที่เคลือบอยู่บนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาและสารประกอบคาร์บอนนี้สามารถเผาไหม้กับอากาศได้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงดังสมการ

$$C_xH_{2y} + (X+Y/2)\ O_2 \longrightarrow XCO_2 + YH_2O$$



รูปที่ 4.15 ผลการทดลอง TPO ต่อตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3 ที่ผ่านการใช้งานแล้ว

จากการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาทำให้ทราบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3 ที่ผ่านการใช้งานในระบบบำบัดหางก๊าซไข่เน่านั้น มีการเสื่อมประสิทธิภาพทั้งแบบ sintering และ coking การเสื่อมประสิทธิภาพในแบบ sintering นั้นเกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงเกินไป [8] ในขณะที่การเกิด coking นั้นเกิดจากมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหลุดเข้าไปในระบบบำบัดก๊าซไข่เน่าและเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ในกระบวนการ Claus Process จนทำให้เกิดเขม่าขึ้น[1] การควบคุมสภาวะการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3 ให้เหมาะสมจึงมีความจำเป็นในการป้องกันการเสื่อมประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้

4.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาของ Co-Mo/Al_2O_3

การทดลองนี้ได้เก็บตัวอย่างก๊าซก่อนเข้าทำปฏิกิริยา (input Gas) และก๊าซหลังทำปฏิกิริยา (product gas) ณ เวลาเดียวกัน ทั้งหมด 14 ครั้ง ข้อมูลขององค์ประกอบก๊าซที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือก๊าซโคมาโตกราฟ, ปริมาณอากาศสายป้อนสู่ระบบบำบัดก๊าซไข่เน่าและความแตกต่างของอุณหภูมิตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3 ได้แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซตั้งต้นและก๊าซผลิตภัณฑ์

Air flow	Sample point I (input Gas)			Sample point II (product Gas)				H_2S Gen.	Outlet temp.
M_3/Hrs	H_2S (%)	SO_2(%)	COS(%)	H_2S(%)	SO_2(%)	COS(%)	H_2(%)	H_2S(%)	°C
4190	0.2965	0.1265	0.0014	1.232	0	0.02	2.3985	0.9355	33
4300	0.7845	0.0821	0.0009	1.555	0	0.036	2.1168	0.7705	23
4270	0.5225	0.2415	0.0015	0.9249	0	0.019	2.0382	0.4024	37
4370	0.2955	0.3321	0.0008	1.355	0	0.0015	1.8827	1.0595	39
4510	0.1498	0.6521	0.0011	1.433	0	0.0025	2.2429	1.2832	39
4400	0.4117	0.3458	0.0011	1.115	0	0.0018	2.4326	0.7033	32
4210	1.3041	0.001	0.0014	1.875	0	0.0022	3.084	0.575	18
4140	1.1052	0.0015	0.0008	1.6887	0	0.0018	2.4556	0.5887	26
4205	0.1562	0.9732	0.0005	1.775	0	0.0029	1.8103	1.619	43
4943	0.0204	1.3737	0.0009	1.988	0	0.0051	0.9954	1.968	50
4400	0.3426	0.1354	0.0011	1.087	0	0.0028	2.0607	0.7444	33
4800	0.2121	0.9104	0.0012	1.547	0	0.0049	1.4049	1.337	40
4080	0.6289	0.04	0.0012	1.321	0	0.0035	2.4254	0.6921	29
4160	1.0942	0.2114	0.0021	1.21	0	0.0031	2.2227	0.1158	28

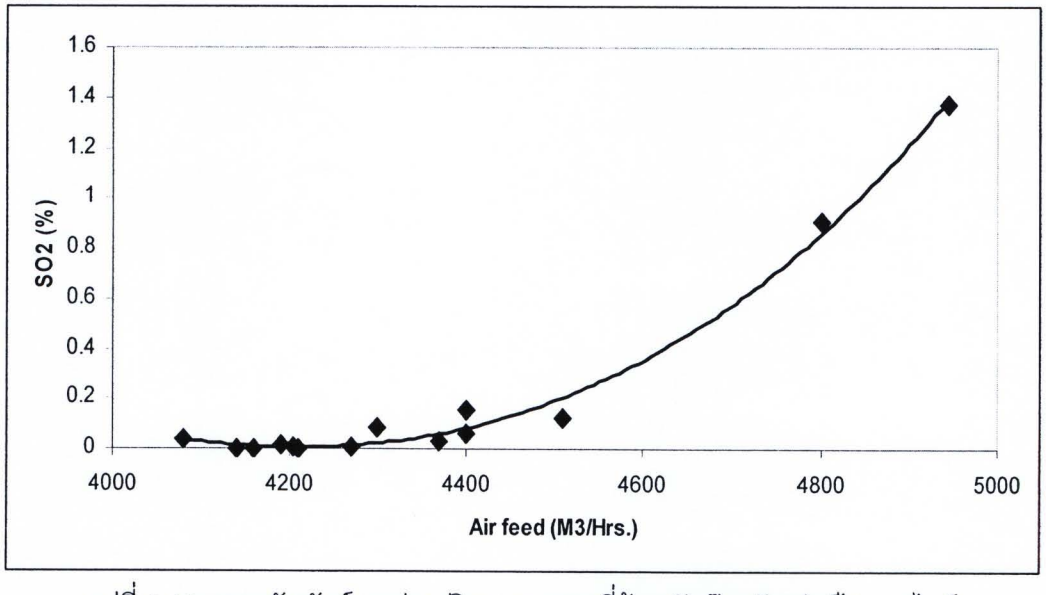
4.2.1 ความสัมพันธ์ของปริมาณอากาศกับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

จากรูปที่ 4.16 พบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณอากาศเข้าไปในเตาเผาเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วนในระบบ Claus Process ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ออกจากระบบ (sample point I) จะสูงขึ้นทั้งนี้สอดคล้องกับสมการ

$$H_2S + 3/2O_2 \longrightarrow SO_2 + H_2O + Heat \qquad (1)$$

$$SO_2 + 2H_2S \longleftrightarrow 3S + 2H_2O + Heat \qquad (2)$$

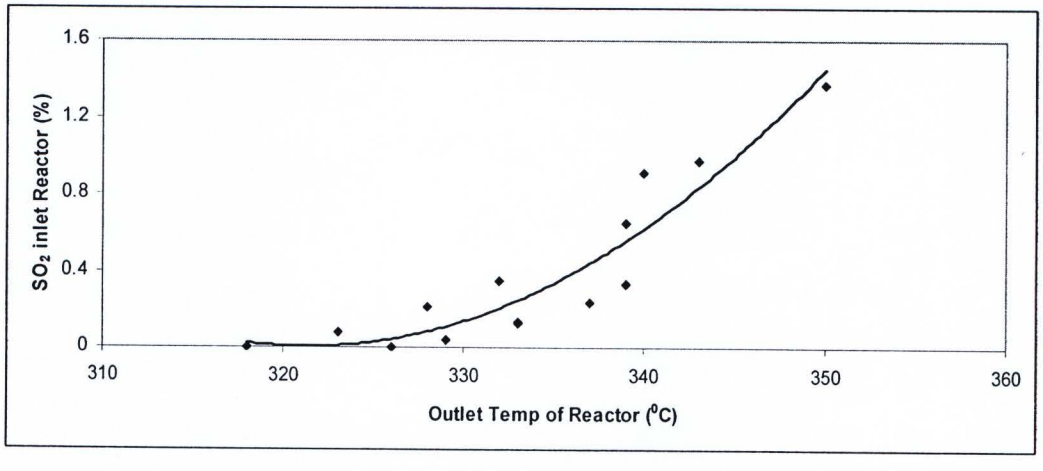
การที่มีอากาศมากเกินไปจะทำให้ SO_2 เกิดขึ้นมากในสมการที่ (1) และเมื่อ SO_2 ที่เกิดขึ้นเข้าไปทำปฏิกิริยาในสมการที่ (2) ไม่หมด จึงหลงเหลือ SO_2 ในระบบนั่นเอง



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอากาศที่ป้อนกับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

4.2.2 ความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับอุณหภูมิตัวเร่งปฏิกิริยา

จากรูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เข้าทำปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันเพิ่มมากขึ้นอุณหภูมิของตัวเร่งปฏิกิริยาก็เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ จากบริเวณทางเข้าของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เราควบคุมไว้คงที่ที่ 300 องศาเซลเซียส ที่บริเวณทางออกอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 350 องศาเซลเซียสเมื่อมีปริมาณ SO_2 ที่เข้าทำปฏิกิริยา 1.37 % และอุณหภูมิมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นอีกหากเพิ่มปริมาณ SO_2 ที่มากขึ้น จะเห็นได้ว่าการเพิ่มอากาศมากเกินไปที่บริเวณทางเข้าของระบบบำบัดก๊าซไข่เน่านอกจากจะทำให้ SO_2 ในระบบมากขึ้นแล้วยังส่งผลต่อการเพิ่มอุณหภูมิของตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3 โดยตรงอีกด้วย

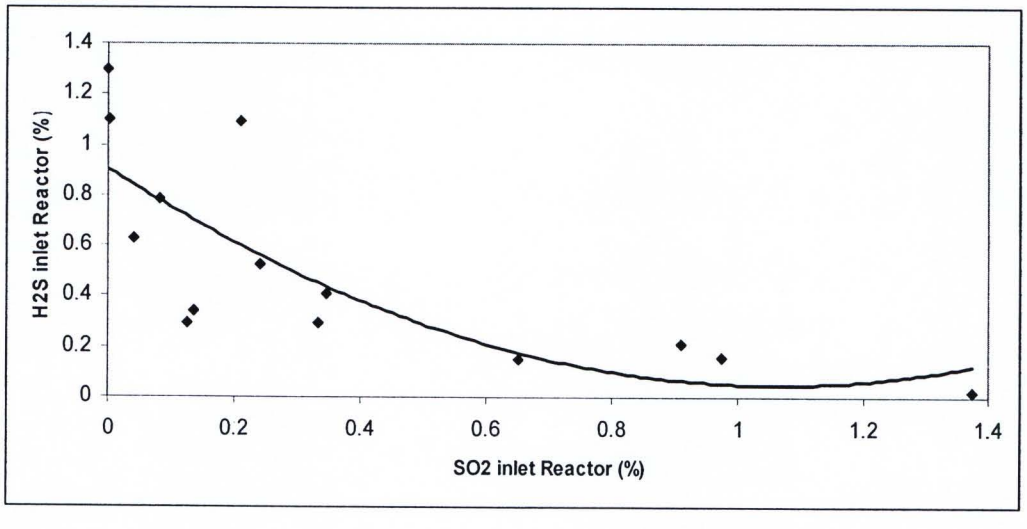


รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับอุณหภูมิทางออกถังปฏิกรณ์

4.2.3 ความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกซ์กับก๊าซไข่เน่า(H_2S) ทางเข้า

จากรูปที่ 4.18 แสดงถึงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับก๊าซไฮโดรเจน ซัลไฟด์ก่อนเข้าทำปฏิกิริยาในถังปฏิกรณ์ พบว่าปริมาณก๊าซทั้งคู่แปรผกผันกันที่ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มากๆจะไม่พบก๊าซไข่เน่าเลย อย่างไรก็ตามหากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีปริมาณมากเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ก็จะเปลี่ยนรูปกลายเป็นก๊าซไข่เน่าอีกครั้งดังสมการ (3)

$$SO_2 + 3H_2 \xrightarrow{\text{Co-Mo/Al2O3}} H_2S + 2H_2O + \text{Heat} \qquad (3)$$

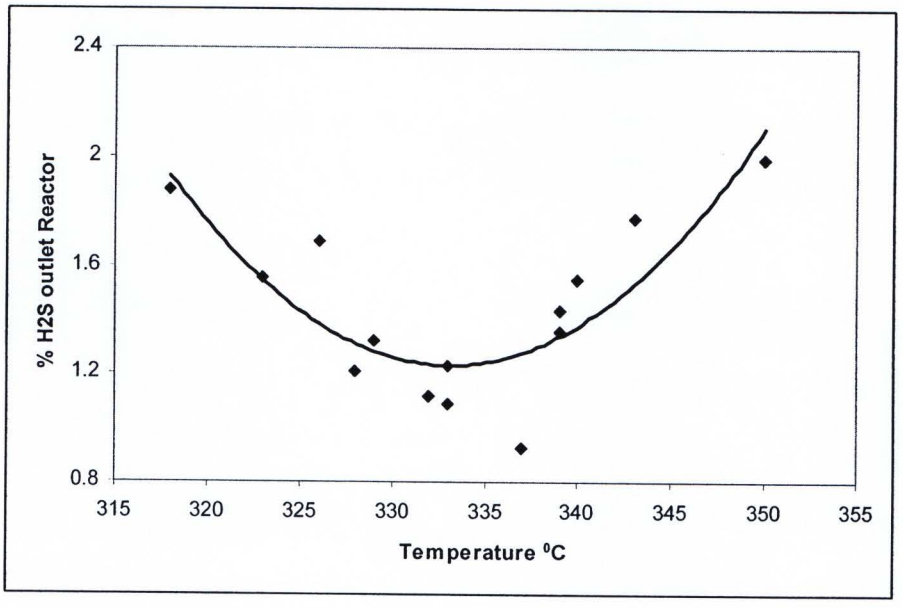


รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ทางเข้า

4.2.4 ความสัมพันธ์ของก๊าซไข่เน่า(H_2S) ที่ทางออกกับอุณหภูมิของตัวเร่งปฏิกิริยา

จากรูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซไข่เน่าที่ทางออกถังปฏิกรณ์กับอุณหภูมิของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยก๊าซไข่เน่าที่ทางออกนั้นคือผลรวมระหว่างก๊าซไข่เน่าที่เข้ามายังถังปฏิกรณ์และก๊าซไข่เน่าที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนรูปของของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ดังสมการ (4)

$$H_2S_{out} = H_2S_{inl} + H_2S_{Gen.} \qquad (4)$$



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซไข่เน่า (H_2S) ที่ทางออกกับอุณหภูมิของตัวเร่งปฏิกิริยา

จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพของระบบบำบัดก๊าซไข่เน่านั้นสังเกตได้จากก๊าซไข่เน่าที่ออกจากระบบ หากมีปริมาณน้อยแสดงว่าระบบสามารถบำบัดก๊าซไข่เน่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ การควบคุมปริมาณก๊าซไข่เน่าที่ออกจากระบบมีปริมาณน้อยสามารถทำได้โดยควบคุมการเกิดปฏิกิริยา Claus Process ให้เหมาะสม การควบคุมปริมาณก๊าซไข่เน่าที่เข้าสู่ระบบ (H_2S_{inl}) และปริมาณก๊าซไข่เน่าที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (H_2S_{Gen}) ให้มีปริมาณน้อยที่สุดเป็นสิ่งสำคัญในกระบวนการนี้

จากรูปที่ 4.19 พบว่าที่อุณหภูมิทางออกของตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ที่ 330 ^{0}C – 340 ^{0}C เป็นจุดที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งานตัวเร่งปฏิกิริยา เพราะจะทำให้ปริมาณก๊าซไข่เน่าที่ออกจากระบบมี

ปริมาณน้อยที่สุดที่ 1.2-1.3 % หากควบคุมอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปหรือสูงเกินไปจะทำให้ก๊าซไข่เน่าที่ออกจากระบบมีปริมาณมาก นอกจากนั้นหากควบคุมอุณหภูมิตัวเร่งปฏิกิริยาที่สูงเกินไปหรือต่ำเกินไปอาจทำให้เกิดการเสื่อมประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Mo/Al_2O_3 ได้ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น