

3. ผลของการวิจัย

3.1 การสังเคราะห์และการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ของสาร LDH

สารที่สังเคราะห์ได้ นำมาตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคต่างๆดังนี้

3.1.1 เทคนิค ICP

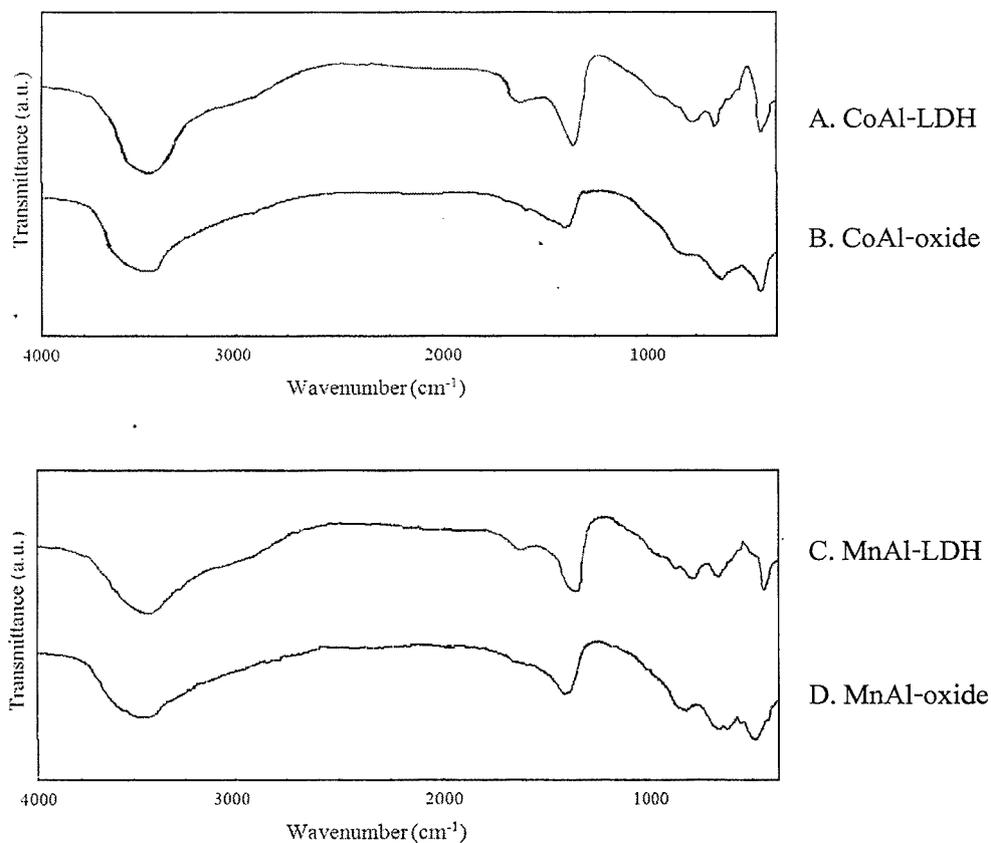
ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะด้วยเทคนิค ICP ที่แสดงในตารางที่ 2 พบว่า สัดส่วนโดยโมลของ $M^{2+}:Al^{3+}$ ในสาร LDH ที่สังเคราะห์ขึ้น ใกล้เคียงกับสัดส่วนโดยโมลที่มีอยู่ในสารละลายที่ใช้เตรียม

ตารางที่ 2 สัดส่วนของ $M^{2+}:Al$ ในตัวเร่งปฏิกิริยา

สาร	สัดส่วนโดยโมล $M^{2+}:Al^{3+}$	
	ในสารละลายที่เตรียม	ในตัวเร่งปฏิกิริยา
CoAl- LDH	4:1	4.4:1
	3:1	3.2:1
	2:1	2.1:1
MnAl - LDH	4:1	4.5:1
	3:1	3.1:1
	2:1	1.9:1
CoMnAl - LDH	4:1:1	4.0:0.8:0.9
	3:1:1	3.2:0.9:1

3.1.2 เทคนิค FTIR

ในรูปที่ 2 แสดงสเปกตรัม FTIR เปรียบเทียบระหว่าง CoAl-LDH และ CoAl-oxide จะเห็นได้ว่า สำหรับ CoAl-LDH ปรากฏพีก OH stretching ของไฮดรอกไซด์และน้ำที่แทรกระหว่างชั้นในโครงสร้างของ LDH ที่ตำแหน่ง wavenumber 3450 cm^{-1} และ OH bending ที่ 1635 cm^{-1} พีกของคาร์บอนที่ตำแหน่ง 1410 cm^{-1} หมู่มากขึ้นที่ตรวจพบสอดคล้องกับที่มีรายงานไว้สำหรับสารประเภท LDH [9] หลังจากทำการเผาที่ 500°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าใน FTIR สเปกตรัมของ CoAl-oxide ยังคงปรากฏพีกของ OH stretching เนื่องจากการดูดซับน้ำในอากาศ แต่พีกของคาร์บอนที่ตำแหน่ง 1410 cm^{-1} มีความเข้มลดลง สาเหตุที่ยังคงปรากฏอยู่แม้จะทำการเผาเนื่องจากการสัมผัสของสารกับอากาศ ซึ่งมีคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับพีกที่ตำแหน่ง $600\text{-}800\text{ cm}^{-1}$ เป็นของ M-O stretching สเปกตรัมของ LDH และ metal oxide อื่นๆ ก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน

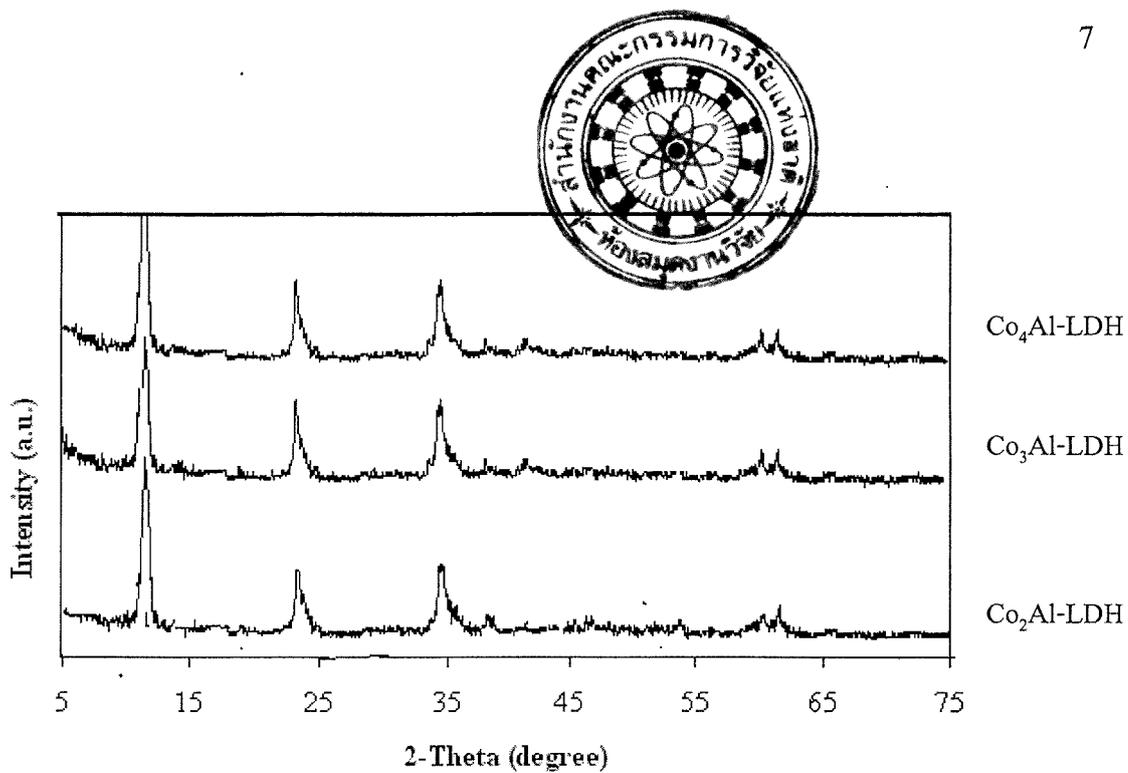


รูปที่ 2 สเปกตรัม FT-IR ของ A. CoAl-LDH, B.CoAl-oxide,
C. MnAl-LDH, D. MnAl-oxide

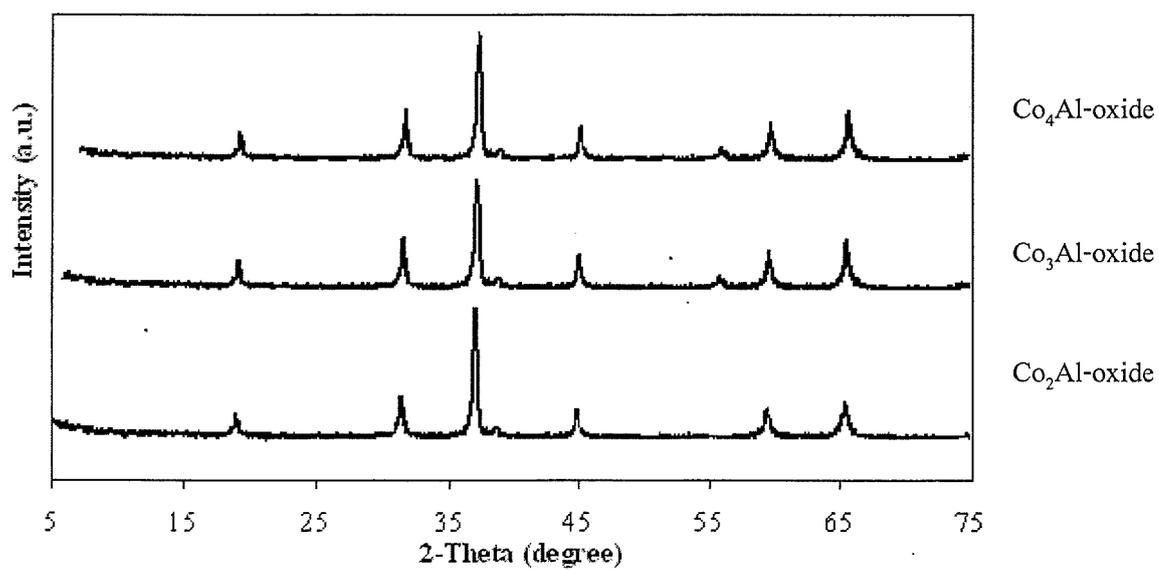
3.1.3 เทคนิค XRD

โครงสร้างของสาร CoAl-LDH (สัดส่วนโดยโมลของ Co:Al = 2,3,4) จากการวิเคราะห์ด้วย XRD แสดงในรูปที่ 3 ปรากฏพีกของ layered double hydroxide (JCPDS 41-1428) การแปรเปลี่ยนสัดส่วนโดยโมลของ Co:Al ไม่ได้ทำให้โครงสร้างแตกต่างกัน

เมื่อทำการเผา XRD แสดงในรูปที่ 4 มีลักษณะที่เปลี่ยนไปจากเดิม แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างกลายเป็น metal oxides ในเฟส spinel



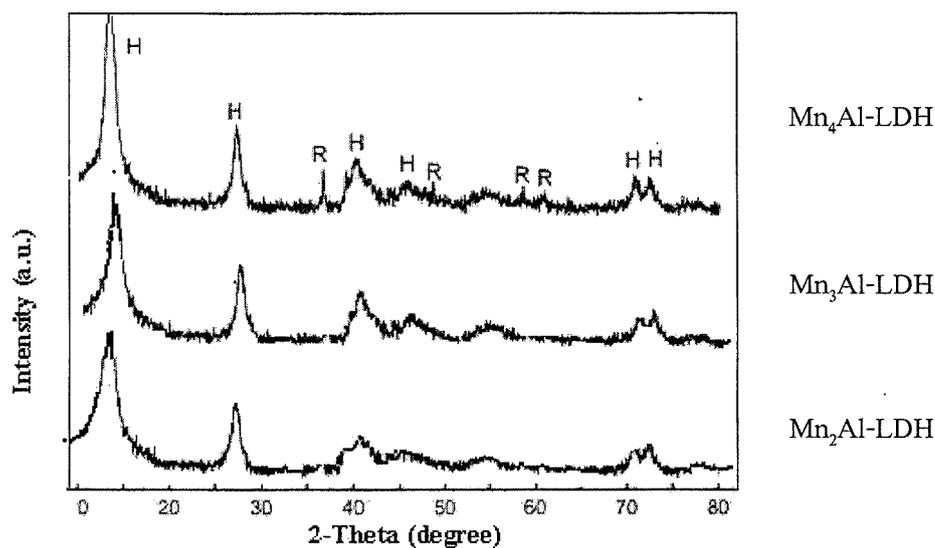
รูปที่ 3 XRD ของ CoAl-LDH (Co:Al = 2, 3, 4)



รูปที่ 4 XRD ของ CoAl-oxides (Co:Al = 2, 3, 4)

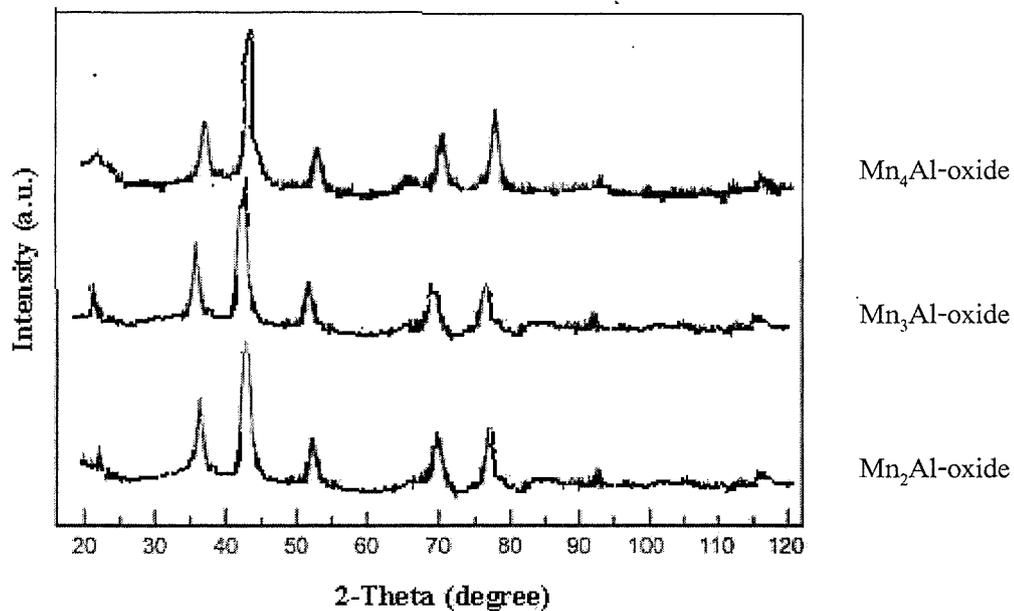
สำหรับ XRD ของ MnAl-LDH (สัดส่วนโดยโมลของ Mn:Al = 2, 3, 4) แสดงในรูปที่ 5 เมื่อใช้สัดส่วนโดยโมลของ Mn:Al = 2, 3 ปรากฏพีกของ LDH แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของ Mn คือเมื่อใช้สัดส่วนโดยโมล ของ Mn:Al = 4 พบว่า มีเฟสของ MnCO_3 (rhodochrosite) ในปริมาณเล็กน้อยปนกับเฟสของ LDH

ในรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่า เมื่อทำการเผา ภาพ XRD ของสารมีลักษณะที่เปลี่ยนไปกลายเป็น metal oxides อย่างไรก็ตาม MnAl-LDH ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ Mn:Al ต่างกัน ก็ยังแสดงพีก XRD ที่มีลักษณะเหมือนกัน



รูปที่ 5 XRD ของ ของ MnAl-LDH (Mn:Al = 2,3,4)

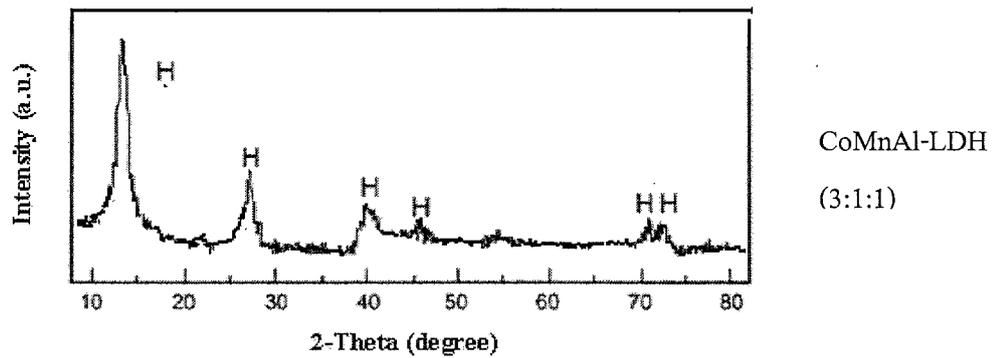
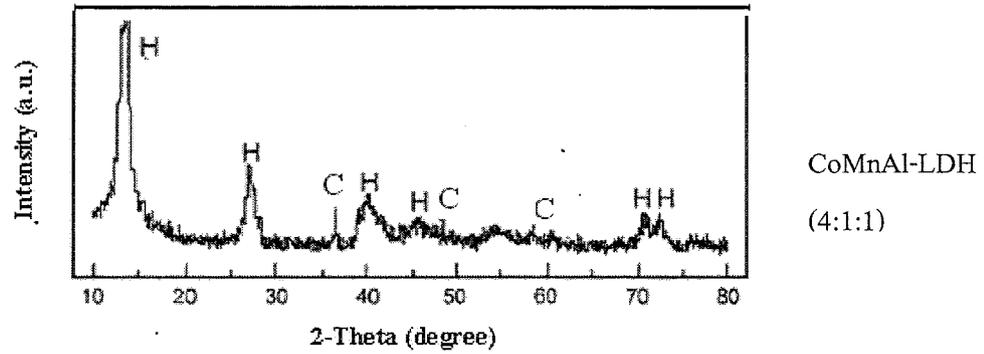
H หมายถึง โครงสร้าง LDH, R หมายถึง โครงสร้าง MnCO_3 (rhodochrosite)



รูปที่ 6 XRD ของ ของ MnAl- oxides (Mn:Al = 2,3,4)

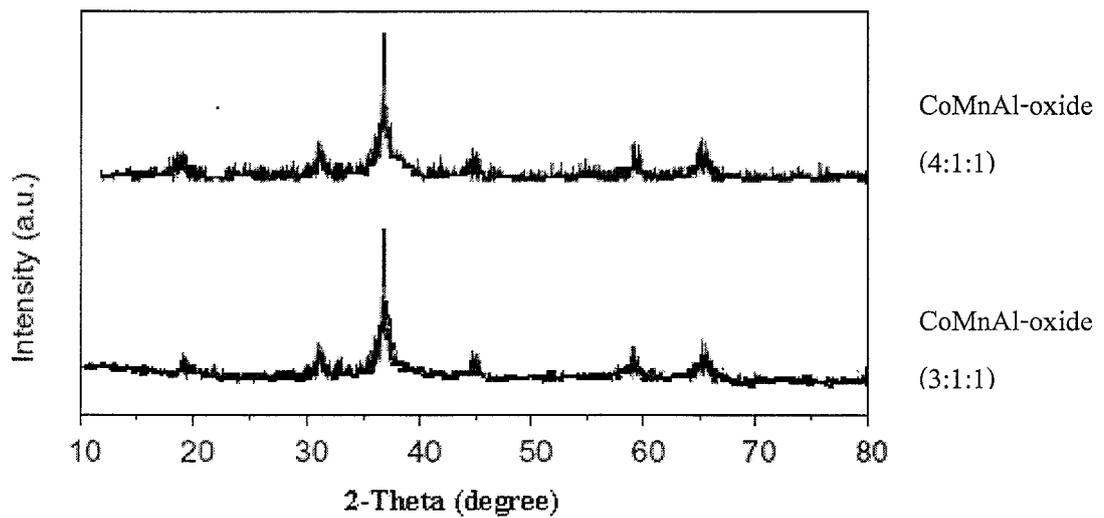
สำหรับ CoMnAl-LDH (สัดส่วนโดยโมล Co:Mn:Al = 4:1:1 และ 3:1:1) แสดง XRD ในรูปที่ 7 เมื่อใช้ สัดส่วนโดยโมล Co:Mn:Al = 4:1:1 ปรากฏฟีกของ LDH ผสมกับฟีกของ CoCO_3 (JCPDS 11-0692) แต่เมื่อใช้สัดส่วนโดยโมล Co:Mn:Al = 3:1:1 ปรากฏเฟสของ LDH

หลังจากทำการเผา แสดง XRD ในรูปที่ 8 ทั้ง Co:Mn:Al = 4:1:1 และ 3:1:1 แสดงโครงสร้างที่เป็นเฟส spinel MnCo_2O_x ซึ่งโครงสร้างนี้สอดคล้องกับที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหน้านี้ [10]



รูปที่ 7 XRD ของ CoMnAl-LDH (สัดส่วน Co:Mn:Al = 4:1:1 และ 3:1:1)

H= LDH, C = CoCO_3



รูปที่ 8 XRD ของ CoMnAl-oxide (สัดส่วน Co:Mn:Al = 4:1:1 และ 3:1:1)

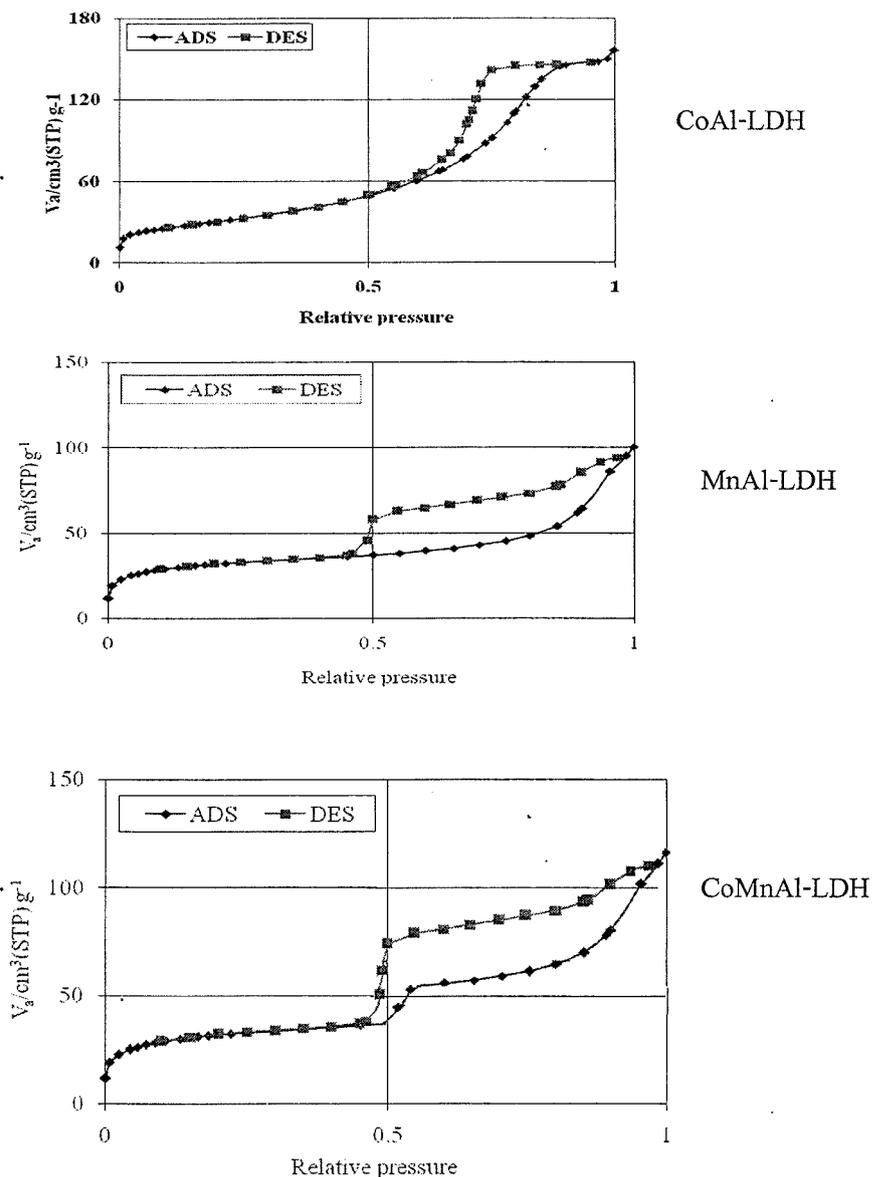
3.1.4 เทคนิค BET

ใช้เครื่อง BELSORP-mini วัดที่อุณหภูมิไนโตรเจนเหลว (77 เคลวินหรือ -195 องศาเซลเซียส) ก่อนทำการวัดได้ดูดอากาศและความชื้นออกจากสารตัวอย่างเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ด้วยปั๊มสูญญากาศ กำหนดค่าพื้นที่ผิวโดยใช้วิธี Brunnauer, Emmer และ Teller (BET) และค่าของ pore size distribution หาได้จากการวิเคราะห์ Barrett–Joyner–Halenda (BJH) ของข้อมูล desorption และคำนวณค่าเฉลี่ยของขนาดโพรง (average pore size) พื้นที่ผิว ปริมาตรช่อง และขนาดเฉลี่ยของช่องของสาร LDH และ metal oxides แสดงในตารางที่ 3 ผลการทดลองแสดงว่าการเผาทำให้พื้นที่ผิวของสารเพิ่มขึ้น เนื่องจากการสลายตัวขององค์ประกอบ

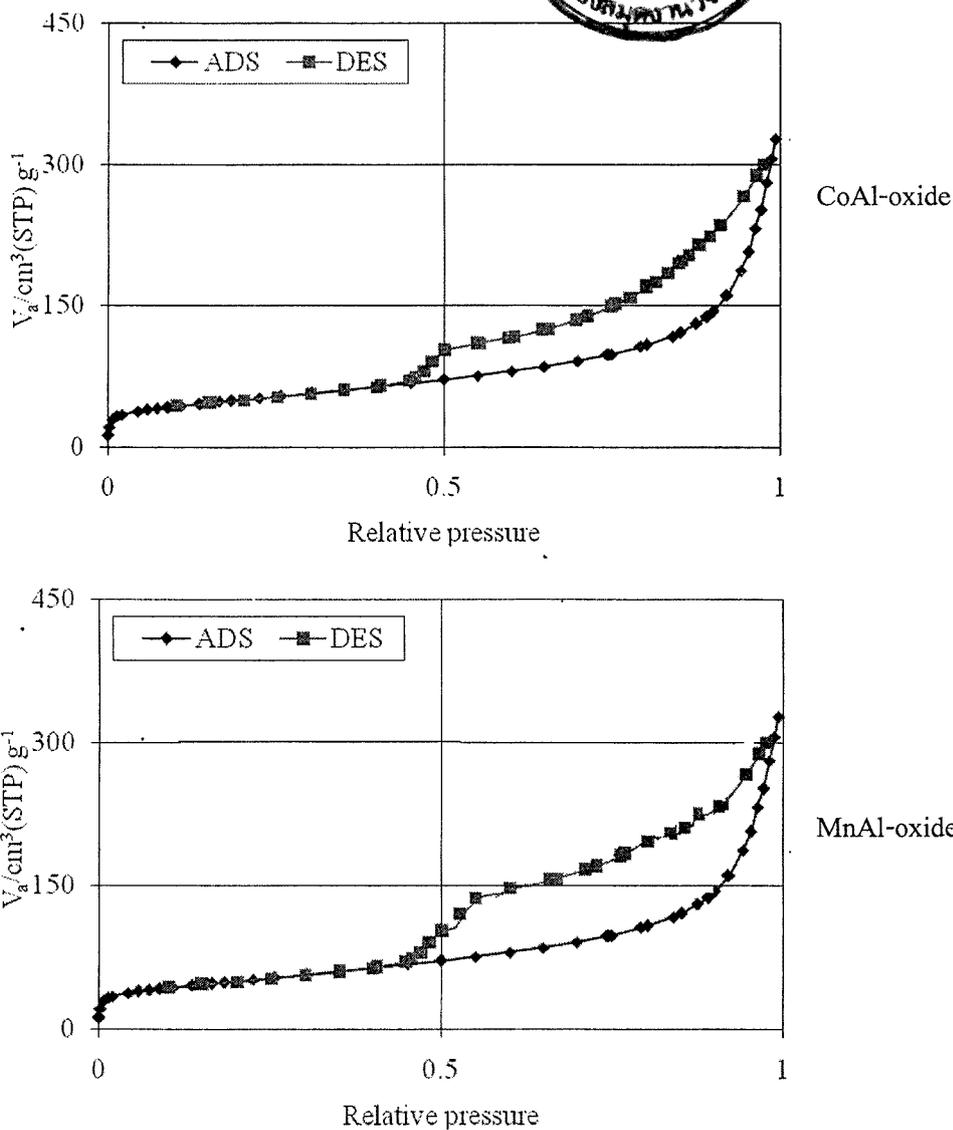
ตารางที่ 3 พื้นที่ผิว ปริมาตรช่อง ขนาดช่องของ LDH และ metal oxides

สาร	สัดส่วนโดยโมล $M^{2+}:Al^{3+}$	พื้นที่ผิว ($m^2 g^{-1}$)	ปริมาตรช่อง ($cm^3 g^{-1}$)	ขนาดช่อง (nm)
CoAl-LDH	2:1	70	0.4	10
	3:1	89	0.3	8
	4:1	90	0.3	7
CoAl- oxide	2:1	94	0.6	9
	3:1	105	0.6	10
	4:1	109	0.6	10
MnAl-LDH	2:1	63	0.4	11
	3:1	72	0.3	10
	4:1	85	0.3	10
MnAl- oxide	2:1	67	0.4	10
	3:1	80	0.5	14
	4:1	94	0.6	15
CoMnAl- LDH	4:1:1	81	0.4	16
	3:1:1	79	0.3	14
CoMnAl- oxide	4:1:1	99	0.4	18
	3:1:1	100	0.5	17

รูปที่ 9 แสดง Adsorption และ desorption isotherm ของ LDH ทั้ง 3 ชนิด เห็นได้ว่ามีลักษณะแบบ type IV แสดงถึง mesoporous สำหรับ hysteresis loop จัดเป็นแบบ H2 บ่งบอกถึงโพรงที่มีลักษณะ tabular รูปที่ 10 แสดง Adsorption และ desorption isotherm ของ oxide ที่ได้จากการเผา LDH มีลักษณะ แบบ type IV เช่นเดียวกัน แต่ hysteresis loop จัดเป็นแบบ H4 แสดงถึงโพรงที่มีลักษณะ narrow slit



รูปที่ 9 Adsorption และ desorption isotherm ของ CoAl-LDH, MnAl-LDH และ CoMnAl-LDH

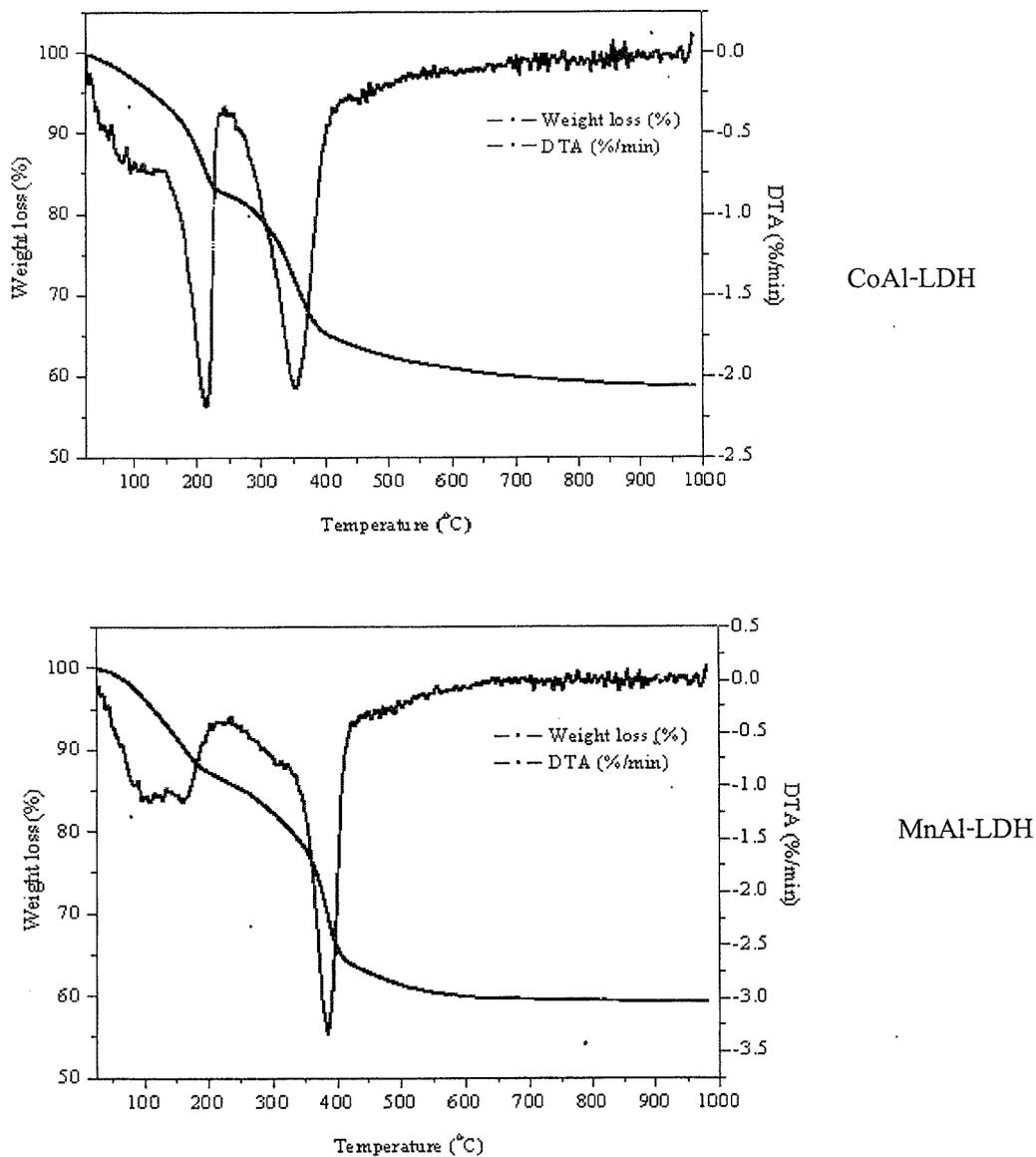


รูปที่ 10 Adsorption และ desorption isotherm ของ CoAl- oxide และ MnAl-oxide

3.1.5 เทคนิค TGA/DTA

ได้หาอุณหภูมิการสลายตัวของ LDH ด้วยเทคนิค TGA/DTA ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 11 ปรางภู 2 พิก เป็นการสลายตัวของน้ำ คาร์บอเนต และไฮดรอกซิล จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา (calcination) ในการทดลองนี้ คือ 500°ซ เป็นอุณหภูมิที่สูงพอที่จะทำให้ โครงสร้าง LDH เปลี่ยนไปเป็นโครงสร้าง metal oxide เนื่องจากสาร LDH สลายตัวที่ 360-390°ซ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	
ห้องสมุดงานวิจัย	
วันที่.....	6 มี.ย. 2555
เลขทะเบียน.....	246001
เลขที่ของหนังสือ.....	

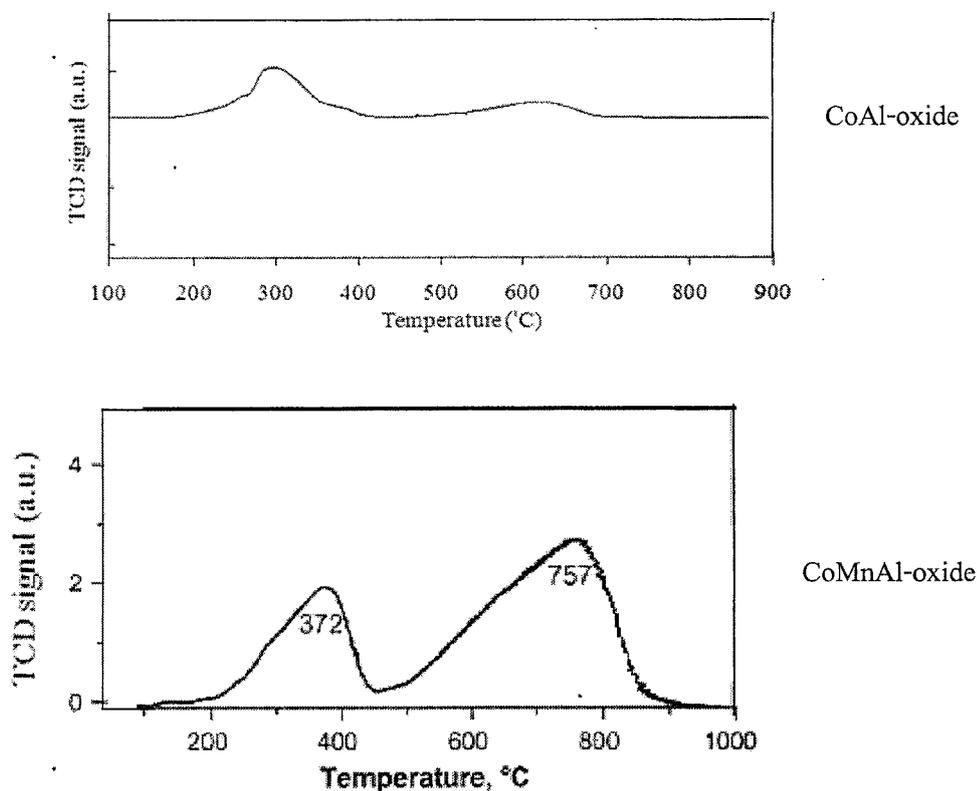


รูปที่ 11 TGA (thermogravimetric analysis) ของ CoAl-LDH และ MnAl-LDH

3.1.6 เทคนิค TPR ((temperature-programmed reduction)

รูปที่ 12 แสดงอุณหภูมิรีดักชันของสาร metal oxide ที่ได้จากเทคนิค TPR (temperature-programmed reduction) จะเห็นได้ว่าสำหรับ CoAl-oxide ปรากฏพีคที่ตำแหน่งประมาณ 300 และ 635°ซ ซึ่งเป็นผลจาก reduction ของ Co(III) เป็น Co (II) และ Co(0) ตามลำดับ สำหรับ CoMnAl-oxide ปรากฏพีค 2 พีคเช่นเดียวกัน แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่า คือ 372 และ 757°ซ ซึ่งเป็นผลจากการมีทั้ง Co และ Mn ถูกล้อมรอบด้วย Al ในโครงสร้างแบบ spinel เกิด reduction ของ Co(III) และ Mn(III)

ซึ่งสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้าที่ระบุว่า การที่โลหะ Co ถูกล้อมรอบด้วย Al มีผลทำให้อุณหภูมิรีดักชันของโลหะ Co สูงขึ้น เนื่องจากpolarization ของพันธะ Co-O โดย Al ทำให้ประจุของโลหะเพิ่มขึ้น จึงใช้อุณหภูมิในการรีดิวซ์ที่มากขึ้น [11]



รูปที่ 12 Temperature-programmed reduction ของ CoAl-oxide, CoMnAl-oxide

3.2 ออกซิเดชันของเอทิลเบนซินโดยใช้สารออกซิไดซ์เป็น tert-butylhydroperoxide

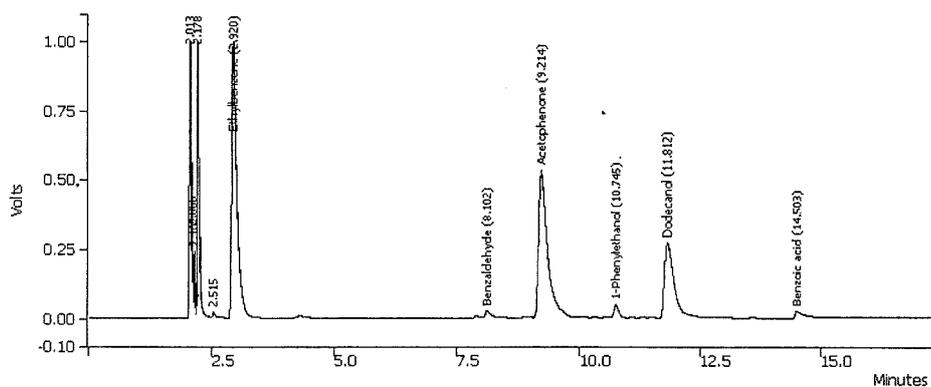
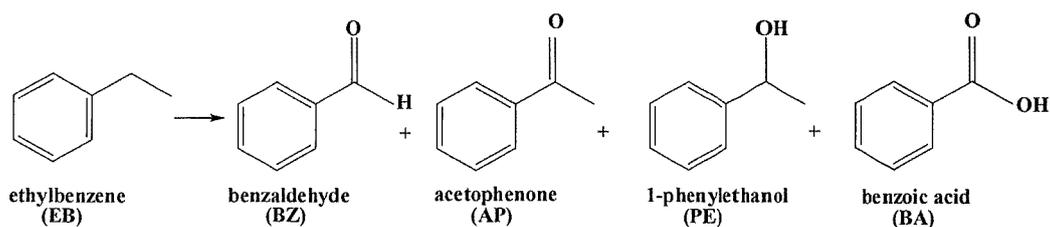
3.2.1 ตัวเร่งปฏิกิริยา CoAl-oxides

ในขวดก้นกลมสองคอ ที่มี reflux condenser ใส่ เอทิลเบนซิน 10 มิลลิโมล และตัวเร่งปฏิกิริยา CoAl-oxide (สัดส่วนโดยโมล Co:Al = 2, 3, 4) น้ำหนัก 0.2 กรัม แล้วเติมสารออกซิไดซ์ tert-butylhydroperoxide (TBHP) 20 มิลลิโมล ให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่กำหนด กวนด้วยความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที หลังจากเวลาในการทำปฏิกิริยาที่กำหนดไว้ ตรวจสอบวิเคราะห์ชนิดและปริมาณผลิตภัณฑ์ ด้วย GC (Gas chromatography) โดยใช้ internal standard method หรือ GC-MS รายงานค่าเป็น % conversion ของเอทิลเบนซิน และ %selectivity ต่อ แอซิโทฟีโนน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่วิเคราะห์ได้

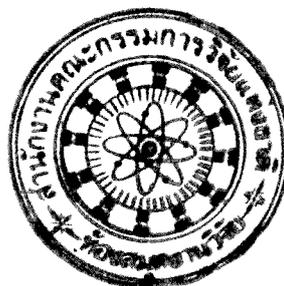
$$\%conversion = \frac{\text{จำนวนโมลของเอทิลเบนซีน ที่เปลี่ยนไป} \times 100}{\text{จำนวนโมลของเอทิลเบนซีน เริ่มต้น}}$$

$$\%selectivity = \frac{\text{จำนวนโมลของผลิตภัณฑ์แอซิโทฟีโนน} \times 100}{\text{จำนวนโมลของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด}}$$

ผลของการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลเบนซีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CoAl-oxide สัดส่วนโดยโมล Co:Al ต่างกัน ที่ภาวะการทำปฏิกิริยาเดียวกัน คือ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.2 กรัม เอทิลเบนซีน 10 มิลลิโมล TBHP 20 มิลลิโมล อุณหภูมิ 120°C เวลา 12 ชั่วโมง ใช้เทคนิค GC วิเคราะห์ ได้ผลิตภัณฑ์หลักเป็น แอซิโทฟีโนน (acetophenone) และตรวจพบผลิตภัณฑ์อื่นใน ปริมาณเล็กน้อย (1-4%) ได้แก่ 1-เฟนิลเอทานอล (1-phenylethanol) เบนซัลดีไฮด์ (benzaldehyde) และเบนโซอิกแอซิด (benzoic acid) ดังแสดงใน chromatogram ในรูปที่ 13



รูปที่ 13 GC chromatogram ของปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลเบนซีน



ผลของออกซิเดชันของเอทิลเบนซีนเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CoAl-oxide แสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลของออกซิเดชันของเอทิลเบนซีนเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CoAl-oxide

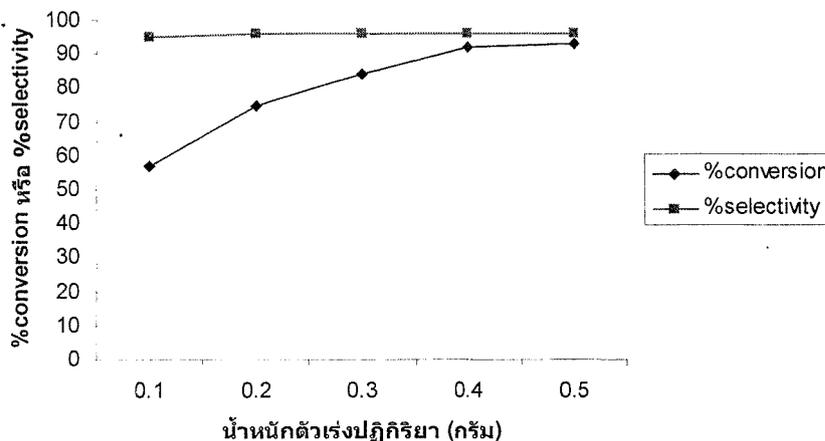
สัดส่วนโดยโมล Co:Al	Conversion (%)	Selectivity (%) ต่อ acetophenone
4:1	75	96
3:1	71	95
2:1	64	94

ภาวะการทดลอง: นำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.2 กรัม เอทิลเบนซีน 10 มิลลิโมล TBHP 20 มิลลิโมล อุณหภูมิ 120°C เวลา 12 ชั่วโมง

ผลการทดลองแสดงว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา CoAl-oxide ที่มีสัดส่วนโดยโมลของ Co:Al = 4:1 ให้ %conversion และ %selectivity สูงกว่า แสดงถึงปริมาณ Co มีผลต่อปฏิกิริยา จึงได้เลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานี้ มาเพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการทำปฏิกิริยา โดยแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาได้แก่

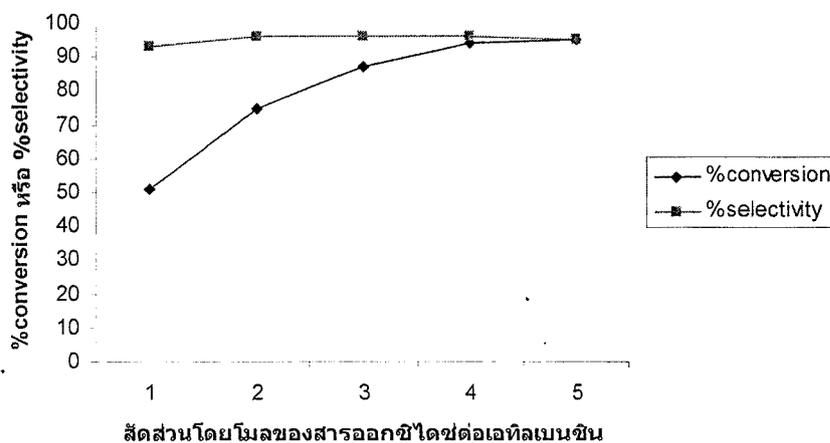
- ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา
- สัดส่วนโดยโมลของสารออกซิไดซ์ต่อเอทิลเบนซีน
- อุณหภูมิ

ผลการทดลอง แสดงในรูปที่ 14-16 ในรูปที่ 14 เห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา CoAl-oxide จะได้ %conversion ที่สูงขึ้น จาก 75% เพิ่มเป็น 84%, 92% และ 93% เมื่อใช้ปริมาณ 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 กรัม ตามลำดับ และ %selectivity ต่อ acetophenone ไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิม ยังคงได้ 96%.



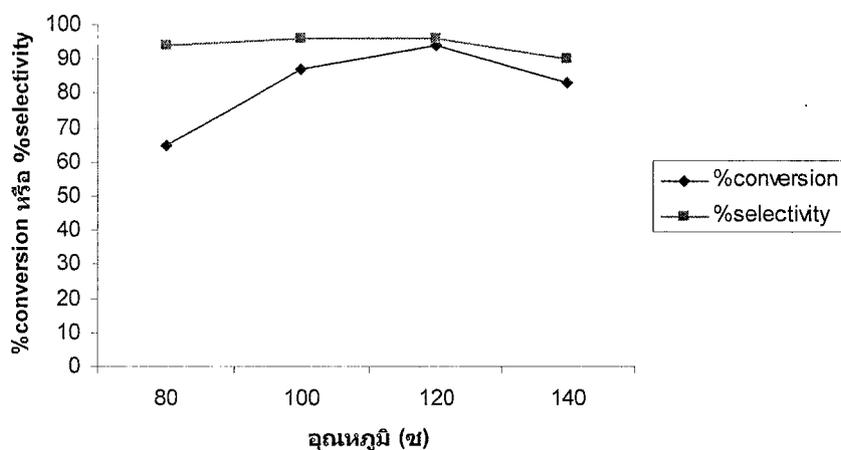
รูปที่ 14 ผลของปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา
(เอทิลเบนซีน 10 มิลลิโมล TBHP 20 มิลลิโมล อุณหภูมิ 120 °ซ เวลา 12 ชั่วโมง)

ในรูปที่ 15 ใช้ภาวะการทดลองดังนี้ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.2 กรัม เอทิลเบนซีน 10 มิลลิโมล อุณหภูมิ 120°ซ เวลา 12 ชั่วโมง แต่ทดลองเพิ่มปริมาณของสารออกซิไดซ์ จากผลการทดลองเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนโดยโมลของสารออกซิไดซ์ ต่อเอทิลเบนซีน จะได้ %conversion ที่สูงขึ้น จาก 75% เพิ่มเป็น 87%, 94% และ 95% เมื่อใช้สัดส่วน 2, 3, 4 และ 5 เท่า ตามลำดับ ส่วน %selectivity ไม่เปลี่ยนแปลง ยังคงได้ 96% อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองพบว่า conversion จะลดลงอย่างมาก เป็น 51% รวมทั้งการลดลงของ selectivity เป็น 93% เมื่อใช้สัดส่วนโดยโมลของสารออกซิไดซ์ ต่อเอทิลเบนซีน 1:1



รูปที่ 15 ผลของสัดส่วนโดยโมลของสารออกซิไดซ์ ต่อเอทิลเบนซีน
(น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.2 กรัม เอทิลเบนซีน 10 มิลลิโมล อุณหภูมิ 120°ซ เวลา 12 ชั่วโมง)

ต่อจากนั้น ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเกิดปฏิกิริยา โดยเลือกใช้น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา เป็น 0.4 กรัม แต่เลือกใช้สัดส่วนโดยโมลของสารออกซิไดซ์ ต่อเอทิลเบนซีน เป็น 2 เท่า ในรูปที่ 16 เห็นได้ว่า %conversion และ %selectivity กลับลดลง เป็น 83% และ 90% ตามลำดับ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ จาก 120°C เป็น 140 °C ในทำนองเดียวกัน อุณหภูมิที่ต่ำลง ก็ให้ %conversion และ %selectivity ที่ลดลง



รูปที่ 16 ผลของอุณหภูมิ

(น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.4 กรัม เอทิลเบนซีน 10 มิลลิโมล TBHP 20 มิลลิโมล เวลา 12 ชั่วโมง)

3.2.2 ตัวเร่งปฏิกิริยา MnAl-oxides

ศึกษาผลการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอทิลเบนซีน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา MnAl-oxide และใช้ภาวะการทดลองเหมาะสมที่หาได้ข้างต้น ผลดังแสดงในตารางที่ 5 .

ตารางที่ 5 ผลของออกซิเดชันของเอทิลเบนซีนเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา MnAl-oxide

สัดส่วนโดยโมล Mn:Al	Conversion (%)	Selectivity (%) ต่อ acetophenone
4:1	40	93
3:1	32	93
2:1	30	93

ภาวะการทดลอง: น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.4 กรัม เอทิลเบนซีน 10 มิลลิโมล TBHP 20 มิลลิโมล อุณหภูมิ 120°C เวลา 12 ชั่วโมง

ผลการทดลองแสดงว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา MnAl-oxide ที่มีสัดส่วนโดยโมล Mn:Al = 4 ให้ conversion (40%) สูงกว่าสัดส่วนอื่นๆ แต่ประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันเอทิลเบนซีนต่ำกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา CoAl-oxide ทั้งในแง่ของ conversion และ selectivity

3.2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา CoMnAl-oxides

ศึกษาผลการเร่งปฏิกิริยาของ CoMnAl-oxides โดยใช้ภาวะการทดลองที่เหมาะสมข้างต้น ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 6 ผลการทดลองแสดงว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา CoMnAl-oxide ที่มีสัดส่วนโดยโมล Co:Mn:Al = 4:1:1 ให้ conversion (40%) สูงกว่า สัดส่วนโดยโมล Co:Mn:Al = 3:1:1

ตารางที่ 6 ผลของออกซิเดชันของเอทิลเบนซีนเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CoMnAl-oxide

สัดส่วนโดยโมล Co:Mn:Al	Conversion (%)	Selectivity (%) ต่อ acetophenone
4:1:1	69	94
3:1:1	58	93

ภาวะการทดลอง: น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.4 กรัม เอทิลเบนซีน 10 มิลลิโมล TBHP 20 มิลลิโมล อุณหภูมิ 120°C เวลา 12 ชั่วโมง

3.3. ออกซิเดชันของเอทิลเบนซีนโดยใช้สารออกซิไดซ์เป็น hydrogen peroxide

ทำการทดลองใช้สารออกซิไดซ์ H_2O_2 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 3 ชนิด โดยใช้ภาวะการทดลองดังนี้ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.4 กรัม เอทิลเบนซีน 10 มิลลิโมล โดยแปรเปลี่ยนสัดส่วนโดยโมลของ H_2O_2 ต่อ เอทิลเบนซีน = 2 และ 4 ใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าที่ใช้ในกรณีของ TBHP คือ ทำที่ 70°C เนื่องจาก H_2O_2 สลายตัวที่อุณหภูมินี้ เวลาในการทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลของออกซิเดชันของเอทิลเบนซีนเมื่อใช้ hydrogen peroxide

ตัวเร่งปฏิกิริยา	H ₂ O ₂ : เอทิลเบนซีน	Conversion (%)	Selectivity (%) ต่อ acetophenone
CoAl-oxide (4:1)	2:1	22	95
	4:1	29	97
MnAl-oxide (4:1)	2:1	11	89
	4:1	18	89
CoMnAl-oxide (4:1:1)	4:1	23	95

ภาวะการทดลอง: นำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.4 กรัม เอทิลเบนซีน 10 มิลลิโมล H₂O₂ อุณหภูมิ 70°C เวลา 6 ชั่วโมง

ผลการทดลองแสดงว่า H₂O₂ เป็นสารออกซิไดซ์ที่ดีกว่า TBHP [12] ประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ทั้ง 3 ชนิด มีลำดับที่คล้ายกันในกรณีการใช้ TBHP กล่าวคือ CoAl-oxide > CoMnAl-oxide > MnAl-oxide

3.4 ทดสอบการนำกลับมาใช้ใหม่และเสถียรภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

ได้ทดลองนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำ 3 ครั้ง โดยหลังการทำปฏิกิริยาแต่ละครั้ง ทำการกรองตัวเร่งปฏิกิริยาออก ล้างด้วยอะซิโตน อบ และเผาที่ 500°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง นำมาทดสอบใหม่ ผลแสดงในตารางที่ 9 ตัวเร่งปฏิกิริยามีความเสถียร สามารถใช้ซ้ำได้ โดยได้ conversion และ selectivity ที่ลดลงเล็กน้อย

ตารางที่ 9 ผลการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่

ตัวเร่งปฏิกิริยา	ครั้งที่	Conversion (%)	Selectivity (%) ต่อ acetophenone
CoAl-oxide (4:1)	1	75	96
	2	74	96
	3	72	95
CoMnAl-oxide (4:1:1)	1	69	94
	2	68	92
	3	65	92

ภาวะการทดลอง: นำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.4 กรัม เอทิลเบนซีน 10 มิลลิโมล TBHP 20 มิลลิโมล อุณหภูมิ 120°C เวลา 12 ชั่วโมง