

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการแกซีฟิเคชันของขยะพลาสติกในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง โดยขยะพลาสติกที่นำมาศึกษามี 4 ชนิด คือ พอลิสไตรีน (PS) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิโพรพิลีน (PP) ซึ่งมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงาน โดยการทดลองได้ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อกระบวนการแกซีฟิเคชันของขยะพลาสติก ได้แก่ อุณหภูมิ อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน ร้อยละของไอน้ำ นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ คือ โดโลไมต์ และนิกเกิลออกไซด์บนตัวรองรับโดโลไมต์ พร้อมทั้งศึกษาผลของปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้และร้อยละของนิกเกิลออกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมต่อการเกิดแก๊สผลิตภัณฑ์

โดยผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 4 ส่วนด้วยกัน ส่วนที่ 1 คือผลการวิเคราะห์สมบัติของพลาสติก ได้แก่ การวิเคราะห์แบบประมาณและแบบแยกธาตุ ส่วนที่ 2 คือผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์และนิกเกิลออกไซด์บนตัวรองรับโดโลไมต์ ส่วนที่ 3 คือผลการศึกษการสลายตัวทางความร้อนของพลาสติก และส่วนที่ 4 คือผลการศึกษาการแกซีฟิเคชันของขยะพลาสติกในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ได้แก่ การวิเคราะห์ร้อยละขององค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของพลาสติก

ตาราง 4.1 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) ของพลาสติก

| ชนิดของเชื้อเพลิง | องค์ประกอบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | | |
|-------------------|-------------------------------|----------|--------------|
| | เถ้า | สารระเหย | คาร์บอนคงตัว |
| PS | - | 99.8 | 0.2 |
| LDPE | - | 100 | - |
| HDPE | - | 100 | - |
| PP | - | 100 | - |

ตาราง 4.2 ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis) ของพลาสติก

| ชนิดของเชื้อเพลิง | ธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | | | |
|-------------------|-------------------------|----------|----------|----------|
| | คาร์บอน | ไฮโดรเจน | ออกซิเจน | ไนโตรเจน |
| PS | 92 | 8 | - | - |
| LDPE | 85.56 | 14.44 | - | - |
| HDPE | 85.40 | 14.60 | - | - |
| PP | 85.19 | 14.81 | - | - |

ตารางที่ 4.1 และ 4.2 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณและแบบแยกธาตุ เพื่อศึกษาสมบัติของตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่ใช้ คือเม็ดพลาสติกพอลิสไตรีน (PS) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิโพรพิลีน (PP) พบว่าพลาสติกทั้ง 4 ชนิดมีปริมาณสารระเหยสูง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนรูปขยะพลาสติกซึ่งเป็นขยะที่ย่อยสลายยากให้อยู่ในรูปของแก๊สเชื้อเพลิง แต่เนื่องจากขยะพลาสติกมีน้ำมันทาร์ในปริมาณสูง สังเกตได้จากปริมาณสารระเหยที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงมีการประยุกต์ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อช่วยในการทำให้ไฮโดรคาร์บอนและน้ำมันทาร์เกิดการแตกตัวเป็นผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจน แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น

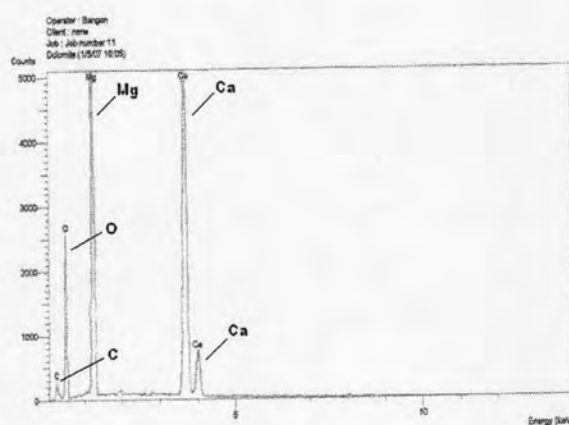
4.2 สมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์และนิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์ โดยเทคนิคการวิเคราะห์พื้นที่ผิว BET (BET Surface Area) แสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่าโดโลไมต์มีค่าพื้นที่ผิวไม่สูงมากนักถ้าเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่น เช่น แกมมาอะลูมินา ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) แต่ในงานวิจัยนี้เลือกโดโลไมต์มาใช้ในการทดลอง เนื่องจากมีงานวิจัยพบว่าโดโลไมต์มีคุณสมบัติในการช่วยให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนและน้ำมันทาร์เกิดการแตกตัวได้ดี (McIlveen et al., 2006) และยังพบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับโดโลไมต์จะมีความต้านทานการเกาะติดของคาร์บอน (coking) สูง เพราะผลของโดโลไมต์ ซึ่งมีความเป็นเบส จะทำให้ออกไซด์ที่เป็นเบส (basic oxide) เช่น แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) กระตุ้นให้น้ำหรือคาร์บอนไดออกไซด์สร้างออกไซด์ไฮดรอกไซด์ (O_x^-) เพื่อมา

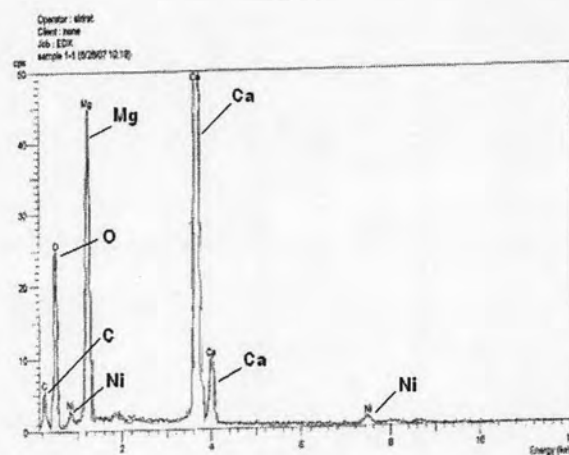
แกซีฟายผิวของคาร์บอนที่อยู่บนตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลไปเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (Srinakruang et al.,2005) อีกทั้งโดโลไมต์ยังมีราคาถูกและหาได้ง่ายอีกด้วย และเมื่อโดโลไมต์ผ่านการฝังตัว (impregnation) ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลแล้วพบว่า มีค่าพื้นที่ผิว BET ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากนิกเกิลจะไปเกาะหรือฝังตัวที่บริเวณผิวและปากรูพรุนของโดโลไมต์

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิว BET (BET surface area) ของตัวเร่งปฏิกิริยาก่อนใช้

| สารตัวอย่าง | พื้นที่ผิว BET (ตารางเมตร/กรัม) | ปริมาตรรูพรุน (ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม) |
|-------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|
| Calcined dolomite | 22.82 | 0.096 |
| 5%NiO/dolomite | 17.34 | 0.058 |



(ก)

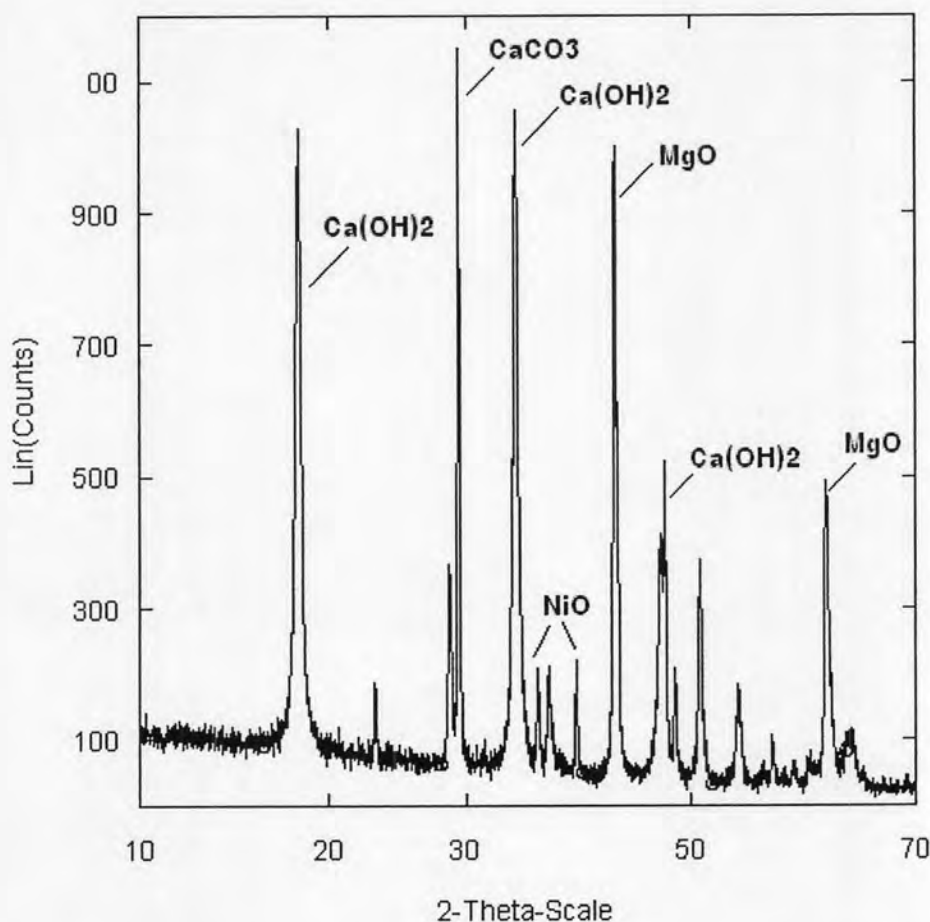


(ข)

รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง EDX:

(ก) Calcined dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) (ข) 5%NiO/dolomite

การวิเคราะห์ธาตุบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์และนิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์ด้วยเครื่อง energy dispersive x-ray (EDX) ดังรูปที่ 4.1 พบว่าจะปรากฏพีคของแคลเซียม แมกนีเซียม ออกซิเจน และคาร์บอนซึ่งเป็นองค์ประกอบของโดโลไมต์ และเมื่อทำการเติมนิกเกิลลงไปบนตัวรองรับโดโลไมต์จะปรากฏพีคของนิกเกิลชัดเจนขึ้น ซึ่งยืนยันถึงปริมาณของนิกเกิลที่เพิ่มขึ้นบนตัวเร่งปฏิกิริยาจากกระบวนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา



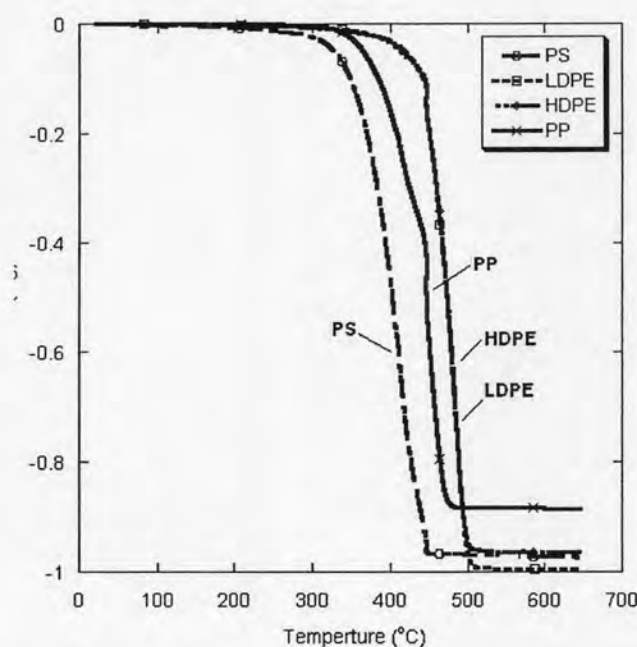
รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%NiO/dolomite ด้วยเครื่อง XRD

การวิเคราะห์โครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์ด้วยเครื่อง x-ray diffraction (XRD) ดังรูปที่ 4.2 พบว่าจากโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาจะพบตำแหน่งพีคของแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ Ca(OH)₂ ซึ่งเป็นองค์ประกอบในโดโลไมต์ และยังพบพีคของนิกเกิลออกไซด์ (NiO) ที่เพิ่มขึ้นบนตัวเร่งปฏิกิริยาจากกระบวนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

4.3 การวิเคราะห์พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนด้วยเครื่อง thermogravimetric analysis (TGA)

การสลายตัวทางความร้อนระหว่างการไพโรไลซิสของเม็ดพลาสติก 4 ชนิด คือ พอลิสไตรีน พอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ศึกษาโดยวัดปริมาณจากการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่าง เมื่อเวลาระหว่างการไพโรไลซิสเพิ่มขึ้น โดยการทดลองเริ่มต้นจากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิสุดท้ายคือ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 50 มิลลิลิตรต่อนาที ด้วยอัตราการให้ความร้อน (heating rate) 20 เคลวินต่อนาที เพื่อศึกษาผลของอัตราการให้ความร้อนต่อพฤติกรรมการสลายตัวของเชื้อเพลิง

4.3.1 การสลายตัวทางความร้อนของพลาสติกพอลิสไตรีน พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และพอลิโพรพิลีน

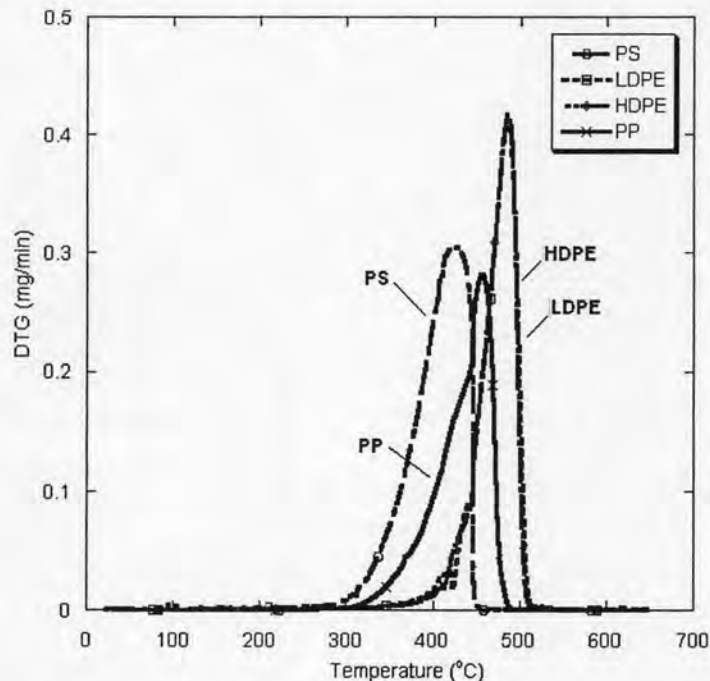


รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงมวลเมื่อให้ความร้อนของพลาสติก 4 ชนิด คือ พอลิสไตรีน พอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

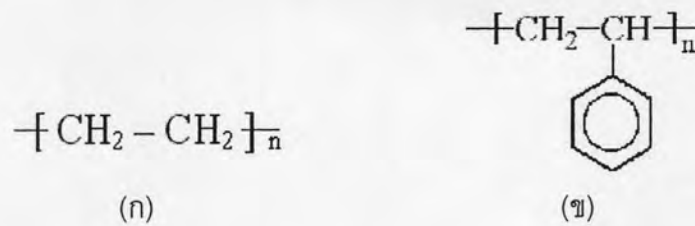
จากรูปที่ 4.3 พบว่าการสลายตัวของพลาสติกทั้ง 4 ชนิด มีลักษณะเป็นรูปตัวเอส (sigmoid curve) มีการสลายตัวของไฮโดรคาร์บอนอย่างรวดเร็วขององค์ประกอบในพลาสติก การสลายตัวทางความร้อนของพอลิสไตรีนเกิดที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส พอลิเอทิลีนชนิดความ

หนาแน่นสูงและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเกิดที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ส่วนพอลิโพรพิลีนเกิดที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส และในช่วงอุณหภูมิประมาณ 450 องศาเซลเซียส พบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักอย่างช้าๆ จนถึงอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

การศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงมวลต่ออุณหภูมิ พบว่าการสลายตัวสูงสุด (maximum weight losses) ของพลาสติกทั้ง 4 ชนิด อยู่ในช่วง 420-480 องศาเซลเซียส โดยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) จะเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงที่สุด คือที่ 480 องศาเซลเซียส ในขณะที่พอลิสไตรีน (PS) เกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำที่สุด คือที่ 420 องศาเซลเซียส ซึ่งพฤติกรรมการสลายตัวของพลาสติกที่แตกต่างกันอาจเนื่องมาจากโครงสร้างทางเคมีของพลาสติกแต่ละชนิดเป็นสำคัญ โดยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงที่สุด อาจเนื่องจากโครงสร้างของพอลิเอทิลีน เป็นโซ่ตรงและสั้นจึงทำให้เกาะตัวกันได้ดี ส่วนพอลิสไตรีนเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำที่สุด เนื่องจากโครงสร้างของพอลิสไตรีน มีวงอะโรมาติกซึ่งมีความเสถียรสูง จึงทำให้หลุดออกได้ง่าย ส่งผลให้พอลิสไตรีนเกิดการสลายตัวเร็วกว่าพลาสติกชนิดอื่นที่เกาะกันได้ดีกว่าแสดงดังรูปที่ 4.4 โดยโครงสร้างของพอลิเอทิลีน และพอลิสไตรีนแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.4 อัตราการเปลี่ยนแปลงมวลต่ออุณหภูมิของพลาสติก 4 ชนิด
คือ พอลิสไตรีน พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และพอลิโพรพิลีน

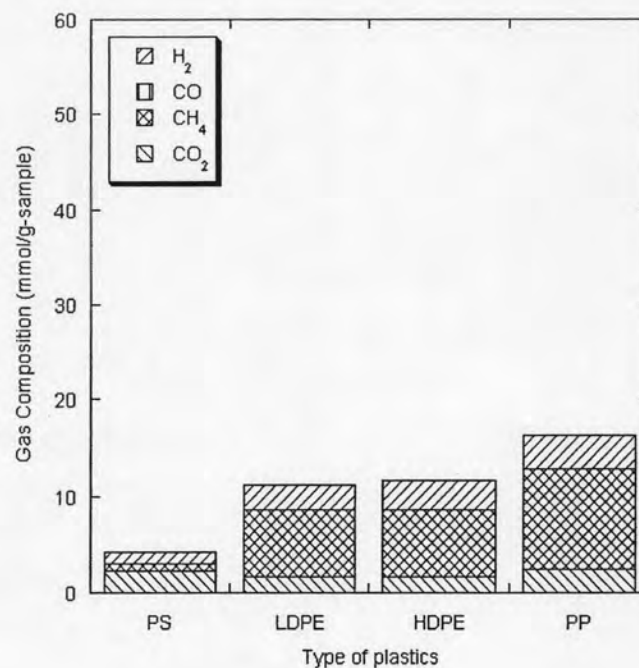


รูปที่ 4.5 โครงสร้างของ: (ก) พอลิเอทิลีน (PE) (ข) พอลิสไตรีน (PS)

4.4 แก๊สพีเคชั่นของขยะพลาสติกในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง

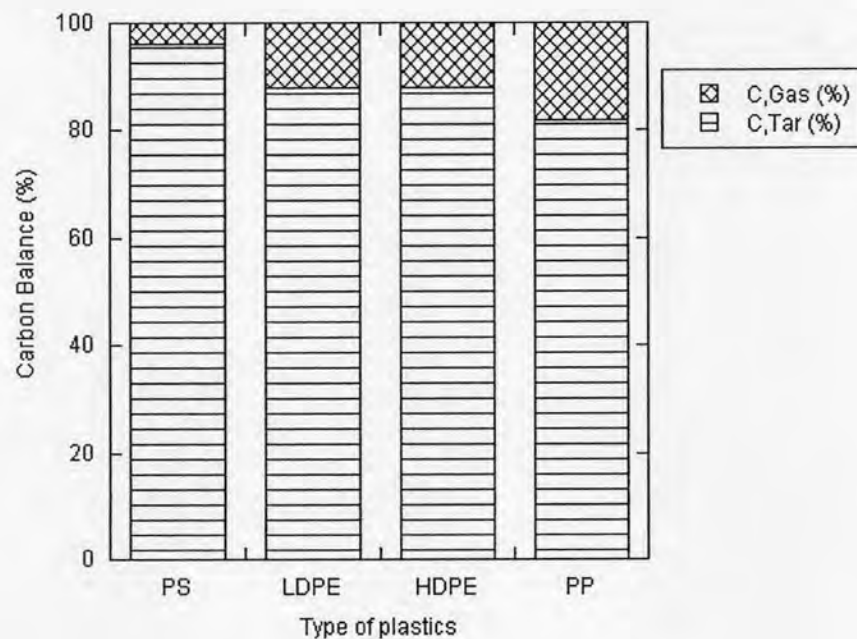
ในกระบวนการแก๊สพีเคชั่นของขยะพลาสติก ได้ศึกษาผลของอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน ร้อยละของไอน้ำ อุณหภูมิ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้และร้อยละของนิกเกิลออกไซด์ในตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมต่อการเกิดแก๊สผลิตภัณฑ์ และการศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

4.4.1 การแก๊สพีเคชั่นพลาสติกโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 4.6 ผลของการแก๊สพีเคชั่นพลาสติกโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่อผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่อนาที

จากรูปที่ 4.6 แสดงผลการแกซีพีเคชันพลาสติกโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าจะได้สัดส่วนของแก๊สผลิตภัณฑ์ต่ำ เนื่องจากเมื่อพลาสติกได้รับความร้อนจะหลอมตัวได้เป็นไฮโดรคาร์บอนและน้ำมันทาร์ จึงนิยมนำพลาสติกไปใช้ในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงเหลว (Leesuksan, 2000) มากกว่าการนำมาใช้ในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง และจากผลการทดลองที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าการนำพลาสติกไปใช้ในกระบวนการแกซีพีเคชันโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นไปได้ยาก

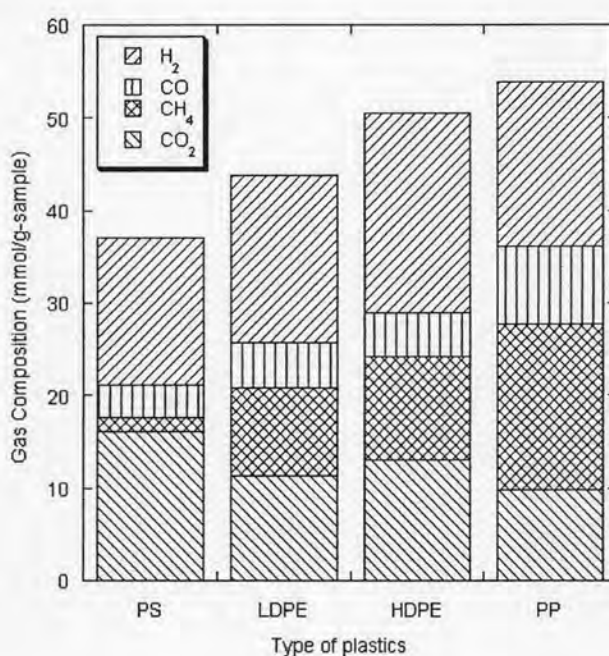
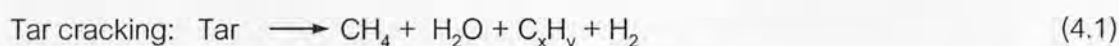


รูปที่ 4.7 ผลของการแกซีพีเคชันพลาสติกโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่อผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่อนาที

เมื่อพิจารณาผลของการแกซีพีเคชันพลาสติกโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่อผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.7 พบว่าการแกซีพีเคชันพลาสติกโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้แก๊สที่ได้มีปริมาณต่ำ เนื่องจากไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาที่จะไปกระตุ้นให้ไฮโดรคาร์บอนและน้ำมันทาร์ที่เกิดจากการที่พลาสติกได้รับความร้อนแล้วหลอมตัวเป็นของเหลวให้แตกตัวไปเป็นแก๊สผลิตภัณฑ์ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ยังคงอยู่ในรูปของทาร์

4.4.2 การแกซีฟิเคชันพลาสติกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์

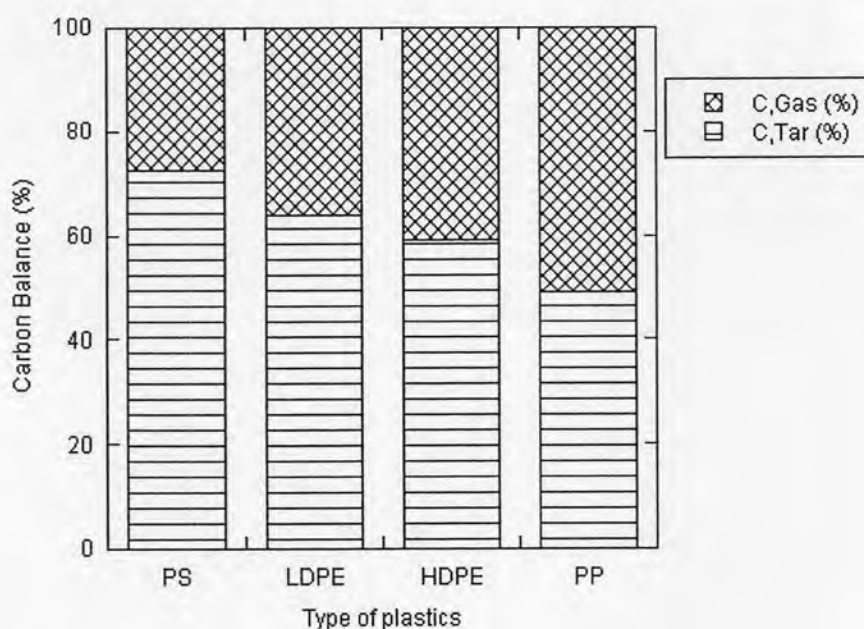
จากรูปที่ 4.8 พบว่าสัดส่วนของผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิดเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์มีปริมาณเพิ่มขึ้นกว่าการแกซีฟิเคชันโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเกิดจากผลของตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ ซึ่งมีคุณสมบัติในการเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวของไฮโดรคาร์บอนและน้ำมันทาร์ (tar cracking) ให้เปลี่ยนไปเป็นแก๊สผลิตภัณฑ์ได้ดี ทำให้ไฮโดรคาร์บอนและน้ำมันทาร์แตกตัวเป็นแก๊สได้เพิ่มขึ้น ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ (4.1)



รูปที่ 4.8 ผลของการแกซีฟิเคชันพลาสติกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ต่อผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่ออนาที

เมื่อพิจารณาผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ต่อผลิตภัณฑ์ทั้งหมดในกระบวนการแกซีฟิเคชัน ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่ออนาที ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.9 พบว่า เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์เข้าร่วมในการทำปฏิกิริยาจะทำให้แก๊สที่ได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นและน้ำมันทาร์มีปริมาณลดลง แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์สามารถช่วยเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวของไฮโดรคาร์บอนและ

น้ำมันทาน์ได้ โดยจะทำให้ไฮโดรคาร์บอนและน้ำมันทาน์เกิดการแตกตัวไปเป็นผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจน มีเทนและไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลเบามากขึ้น



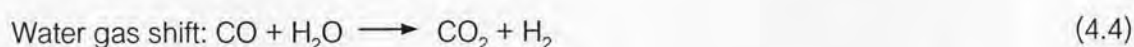
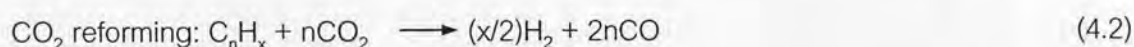
รูปที่ 4.9 ผลของการแก๊สซิฟิเคชันพลาสติกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์ต่อผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่ออนาที

ตารางที่ 4.4 แสดงอิทธิพลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์เปรียบเทียบกับไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่ออนาที

| องค์ประกอบของแก๊ส (mmol/g-sample) | PS | | LDPE | | HDPE | | PP | |
|--------------------------------------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| | Uncatalyst | Catalyst | Uncatalyst | Catalyst | Uncatalyst | Catalyst | Uncatalyst | Catalyst |
| H ₂ | 1.10 | 15.87 | 2.52 | 18.19 | 3.03 | 21.55 | 3.49 | 17.74 |
| CO | 0 | 3.63 | 0 | 4.85 | 0 | 4.79 | 0 | 8.34 |
| CH ₄ | 0.79 | 1.46 | 6.94 | 9.42 | 6.95 | 11.26 | 10.46 | 18.02 |
| CO ₂ | 2.29 | 16.08 | 1.63 | 11.40 | 1.62 | 12.94 | 2.37 | 9.76 |

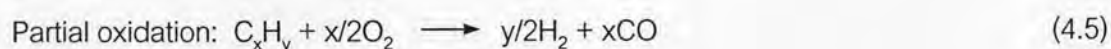
ผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโคโลไมต์เปรียบเทียบกับไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่ออนาที แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าในกรณีที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

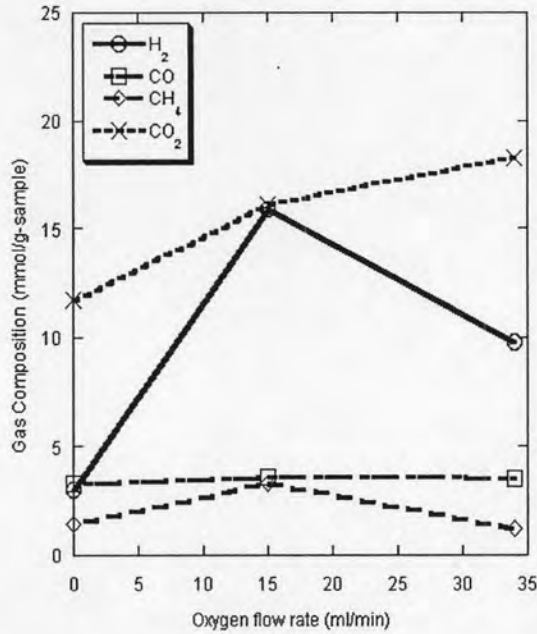
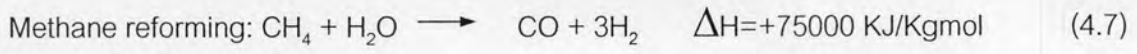
โดโลไมต์จะให้ปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์สูงกว่ากรณีที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเฉพาะแก๊สไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยแก๊สไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นประมาณ 8 เท่า ซึ่งได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวไฮโดรคาร์บอนและน้ำมันทาร์ (อธิบายได้จากสมการ (4.1)) ส่วนแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นประมาณ 4 เท่า สำหรับกรณีที่ใช้โดโลไมต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อธิบายได้ว่าเกิดจากปฏิกิริยารีฟอร์มมิงด้วยคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ (ดังแสดงในปฏิกิริยา (4.2) (4.3) และ (4.4))



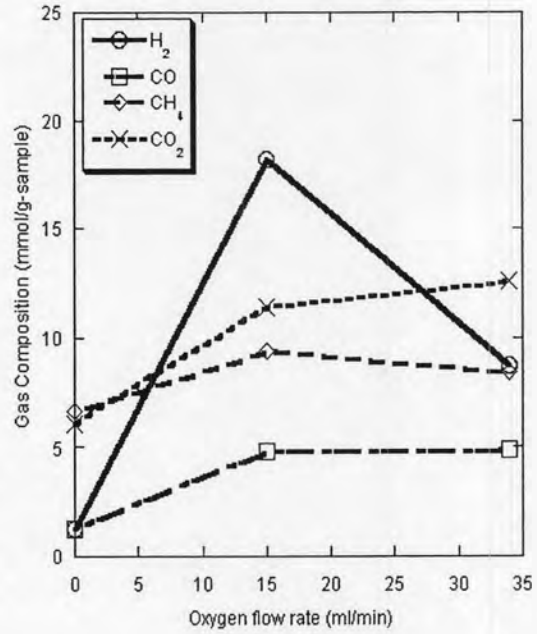
4.4.3 ผลของอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน

ผลของอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์ต่อผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส และร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร แสดงดังรูปที่ 4.10 พบว่าอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนมีผลต่อสัดส่วนผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด โดยเมื่ออัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 15 มิลลิลิตรต่ออนาที จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น อธิบายได้ว่าเป็นเนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนจะไปสนับสนุนให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณเพิ่มขึ้น ดังสมการที่ (4.5) และ (4.6) อีกทั้งยังเกิดปฏิกิริยารีฟอร์มมิงของมีเทนและไฮโดรคาร์บอน ทำให้ปริมาณของแก๊สไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น ดังสมการที่ ((4.3) และ (4.7)) และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนเป็น 34 มิลลิลิตรต่ออนาที พบว่าไม่มีผลต่อสัดส่วนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์มากนัก แต่จะสังเกตเห็นว่าปริมาณของแก๊สไฮโดรเจนมีปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัด สามารถอธิบายได้ว่าแก๊สไฮโดรเจนที่ลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนอาจเนื่องมาจากเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ของไฮโดรเจนได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำ ดังสมการที่ (4.8)

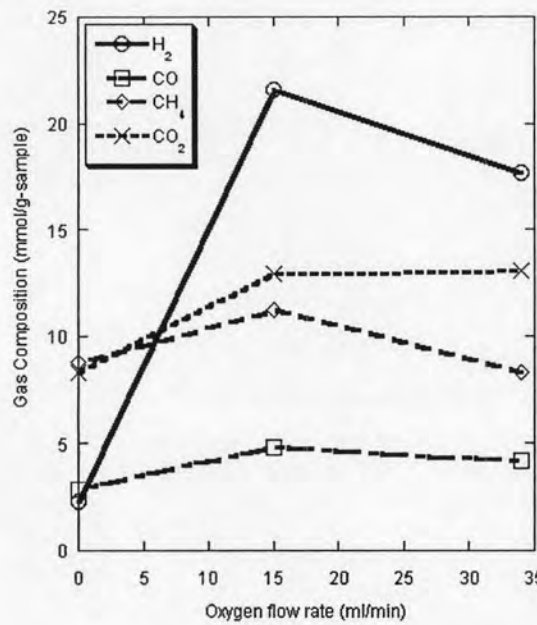




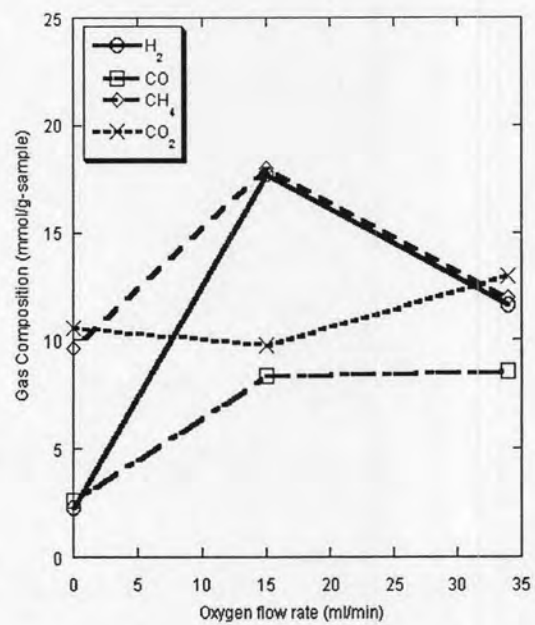
(ก)



(ข)

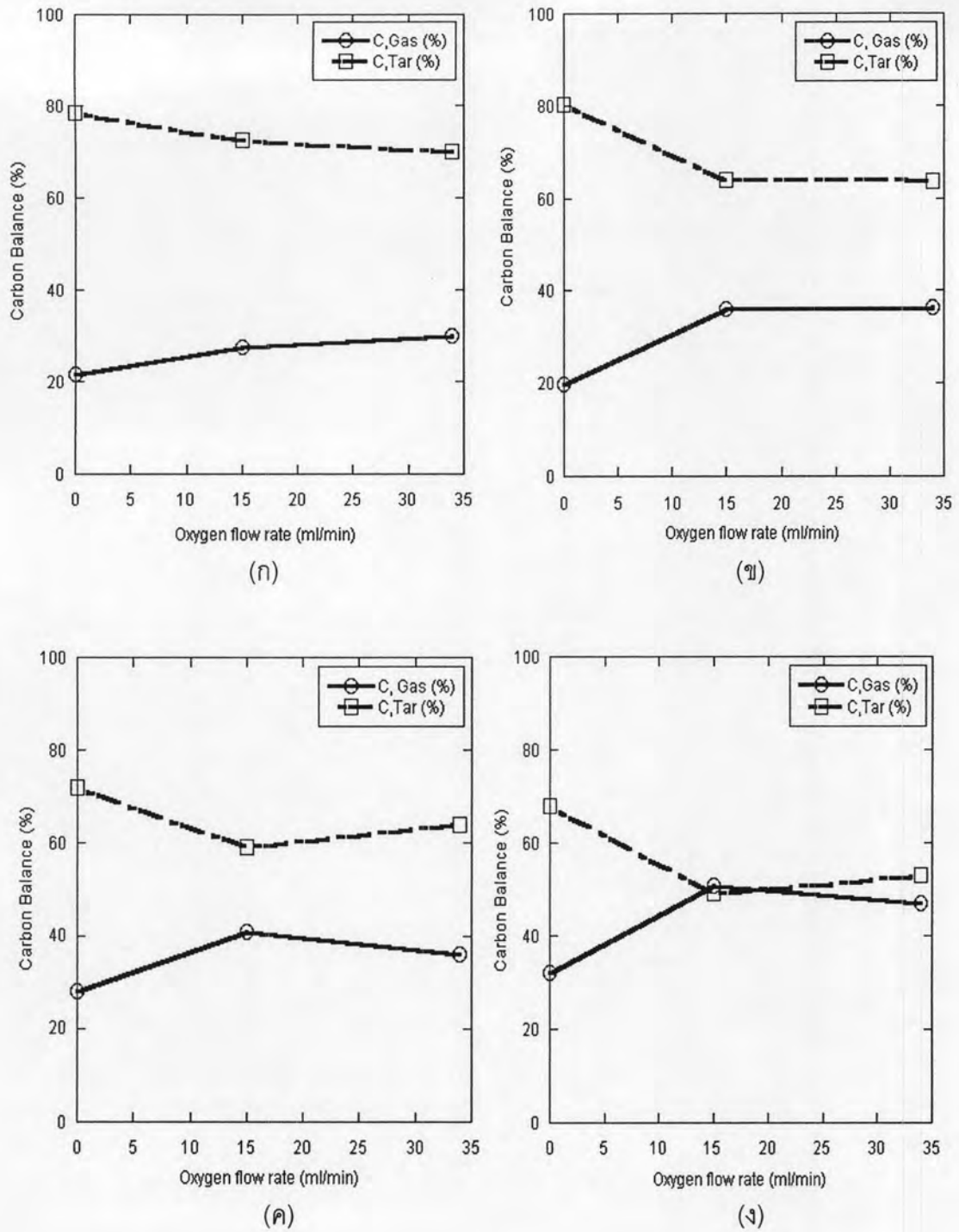


(ค)



(ง)

รูปที่ 4.10 ผลของอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน (0 15 และ 34 มิลลิลิตรต่อนาที) ต่อผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด: (ก) PS (ข) LDPE (ค) HDPE (ง) PP โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โคโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส และร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร



รูปที่ 4.11 ผลของอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน (0 15 และ 34 มิลลิลิตรต่อนาที) ต่อผลิตภัณฑ์ทั้งหมด: (ก) PS (ข) LDPE (ค) HDPE (ง) PP โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไดโลไมด์ ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร

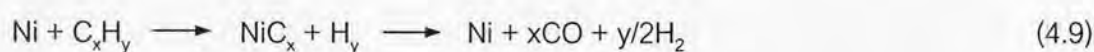
เมื่อพิจารณาผลของอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไดโลไมด์ต่อผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส และร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร ซึ่งแสดง

ดังรูปที่ 4.11 พบว่าเมื่ออัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 15 มิลลิลิตรต่อนาที ทำให้ปริมาณของน้ำมันทาร์ลดลง และแก๊สที่ได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยที่อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 0 มิลลิลิตรต่อนาที ปฏิริยาออกซิเดชันบางส่วนเกิดได้ไม่ดี จึงทำให้แก๊สที่ได้มีปริมาณต่ำ แต่เมื่อมีการเพิ่มแก๊สออกซิเจนเข้าไปบางส่วน พบว่าจะทำให้เกิดการส่งเสริมที่ดีขึ้นโดยแก๊สออกซิเจนที่เพิ่มเข้าไปจะส่งผลให้เกิดปฏิริยาออกซิเดชัน ทำให้แก๊สที่ได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยเมื่ออัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนเพิ่มขึ้นจาก 15 เป็น 34 มิลลิลิตรต่อนาที ทำให้ปริมาณของน้ำมันทาร์เพิ่มขึ้น และแก๊สผลิตภัณฑ์มีปริมาณลดลง แต่ผลที่ได้มีความใกล้เคียงกับการใช้อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่อนาที เนื่องจากปริมาณของแก๊สออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นมากส่งผลให้เกิดปฏิริยาออกซิเดชันบางส่วนได้ผลิตภัณฑ์ที่มีโอกาสจะรวมตัวกันกลับมาเป็นสารระเหยง่าย (volatile matter) มากขึ้น จึงทำให้แก๊สที่ได้มีปริมาณลดลง

4.4.4 ผลของการเติมตัวเร่งปฏิริยานิกเกิลออกไซด์

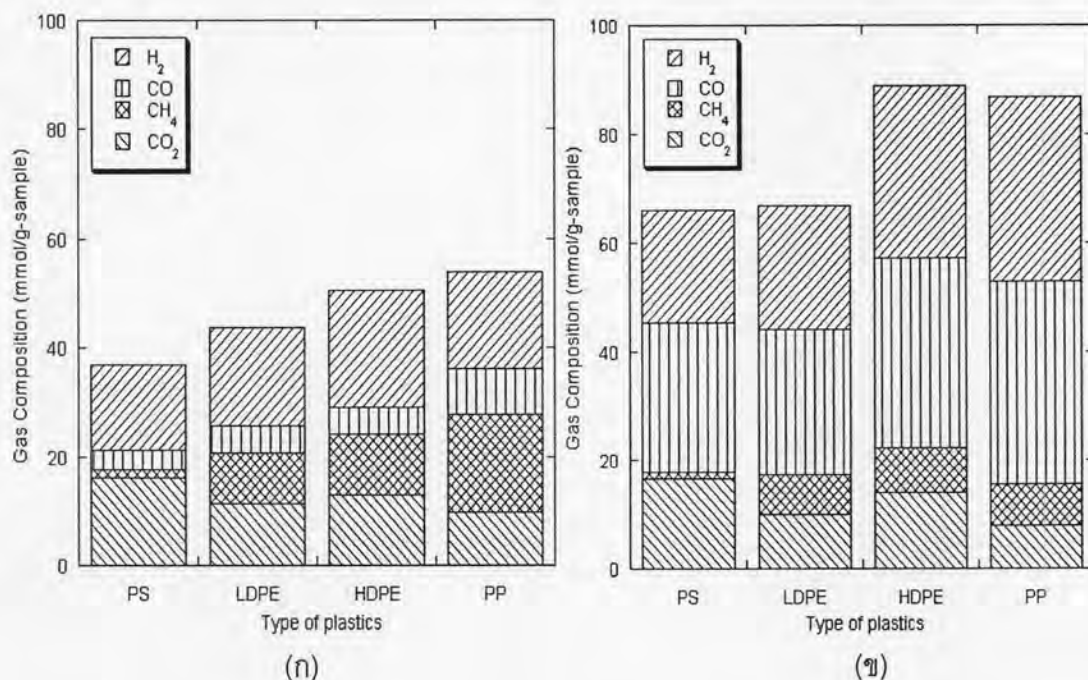
การศึกษาผลของการใช้ตัวเร่งปฏิริยานิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์เปรียบเทียบกับการใช้ตัวเร่งปฏิริยาโดโลไมต์ต่อผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่อนาที แสดงดังรูปที่ 4.12 พบว่ากรณีที่ใช้ตัวเร่งปฏิริยานิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์จะให้ผลิตภัณฑ์แก๊สสูงชันกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิริยาโดโลไมต์ โดยเฉพาะแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งอธิบายได้ว่าตัวเร่งปฏิริยานิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์จะช่วยเร่งปฏิริยาการแตกตัวของไฮโดรคาร์บอนและน้ำมันทาร์ อีกทั้งยังช่วยในการเร่งปฏิริยารีฟอร์มมิงของมีเทน (methane reforming) ได้ดี แสดงดังปฏิริยาที่ (4.7)

กลไกการเกิดปฏิริยาของตัวเร่งปฏิริยานิกเกิลแสดงดังปฏิริยาที่ (4.9)



จากสมการ (4.9) นิกเกิลจะช่วยให้เกิดปฏิริยาการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้เป็นนิกเกิลคาร์ไบด์ (NiC_x) และไฮโดรเจน จากนั้นนิกเกิลคาร์ไบด์จะทำปฏิริยาต่อกับไอน้ำได้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนเป็นผลิตภัณฑ์ (Puttasawat, 2006) และยังพบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิริยานิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์

เป็นแก๊สไฮโดรเจนสูงขึ้นไปประมาณ 6 เท่าเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งได้อธิบายเหตุผลดังกล่าวมาก่อนหน้านี้แล้วว่านิกเกิลจะช่วยในการเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวของไฮโดรคาร์บอนและน้ำมันทาร์ได้ดี อีกทั้งยังช่วยเร่งปฏิกิริยารีฟอร์มมิงของมีเทนอีกด้วย ดังนั้นเมื่อมีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) ลงบนตัวรองรับโดโลไมต์จะส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาได้ดีขึ้น เมื่อมีไอน้ำเข้าร่วมทำปฏิกิริยาในกระบวนการแกซิฟิเคชัน ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันทาร์ (tar cracking) และปฏิกิริยารีฟอร์มมิงของมีเทน (methane reforming) จะเพิ่มขึ้นทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มมากขึ้น (อธิบายได้จากสมการ (4.1) และ (4.7) ตามลำดับ)

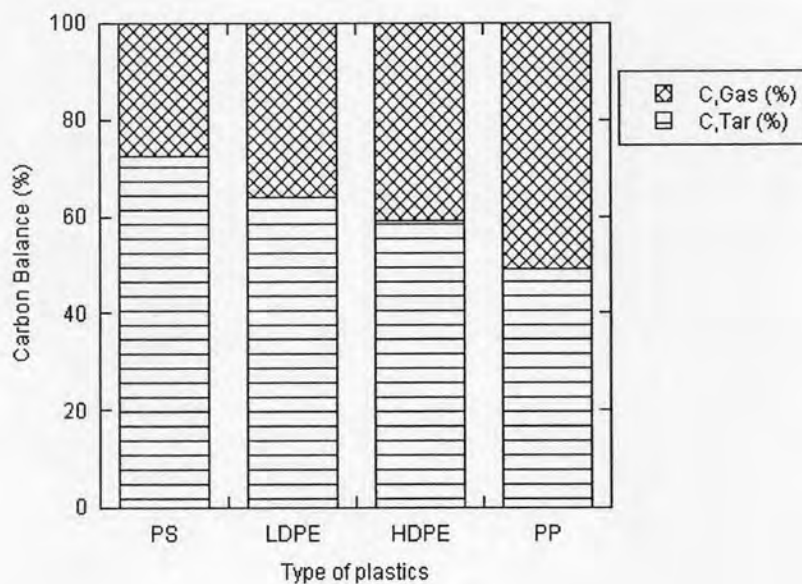


รูปที่ 4.12 ผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา: (ก) โดโลไมต์ (ข) นิกเกิลออกไซด์ (5% NiO)

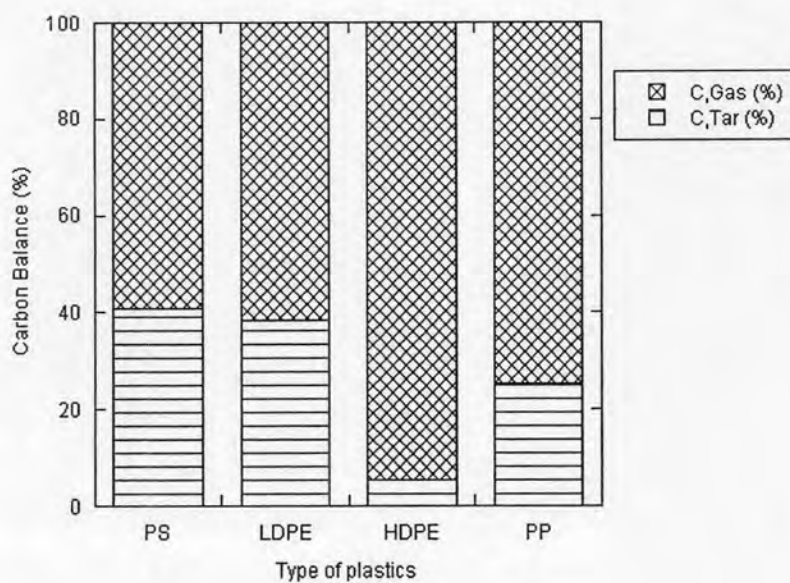
บนตัวรองรับโดโลไมต์ต่อผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่ออนาที

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์ต่อผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ในกระบวนการแกซิฟิเคชัน ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่ออนาที ดังรูปที่ 4.13 พบว่าผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น และน้ำมันทาร์ลดลง เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์ ซึ่งอธิบายได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์สามารถช่วยเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันทาร์ได้ (Pengmei Lv et al., 2003

and Asadullah et al., 2002) ซึ่งอาจเนื่องมาจากนิกเกิลที่อยู่บนตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีผลต่อการแตกตัวของน้ำมันทาร์ โดยทำปฏิกิริยากับไอน้ำเปลี่ยนไปเป็นแก๊สผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น



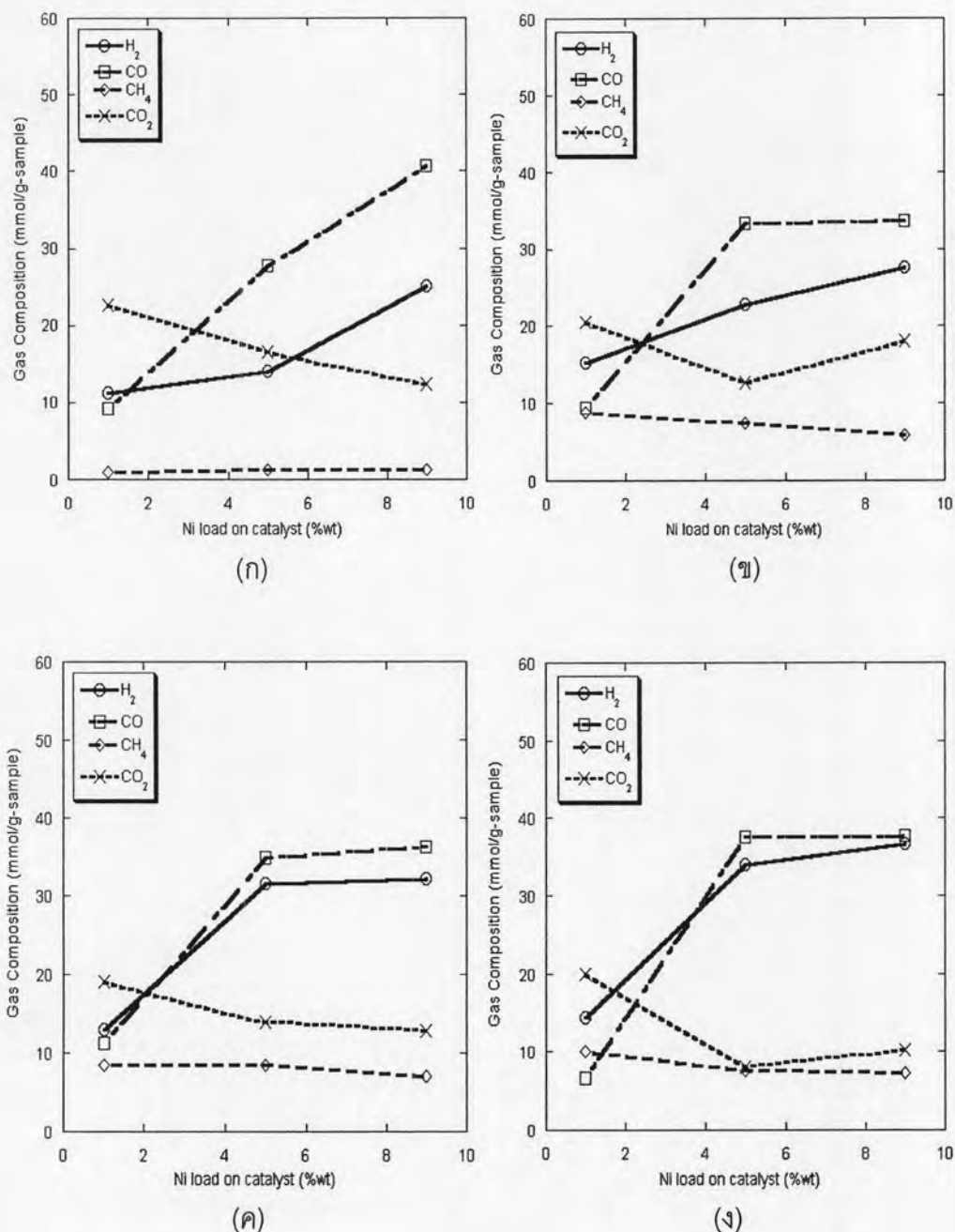
(ก)



(ข)

รูปที่ 4.13 ผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา: (ก) โดโลไมต์ (ข) นิกเกิลออกไซด์ (5% NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์ ต่อผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่ออนาที

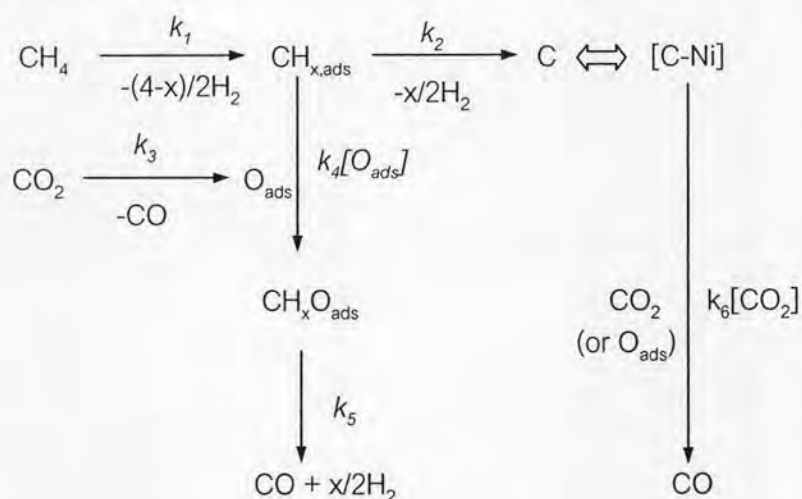
4.4.5 ผลของร้อยละของนิกเกิลบนตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 4.14 อิทธิพลของร้อยละของนิกเกิล (1% 5% และ 9% NiO) บนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด: (ก) PS (ข) LDPE (ค) HDPE (ง) PP ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่อนาที

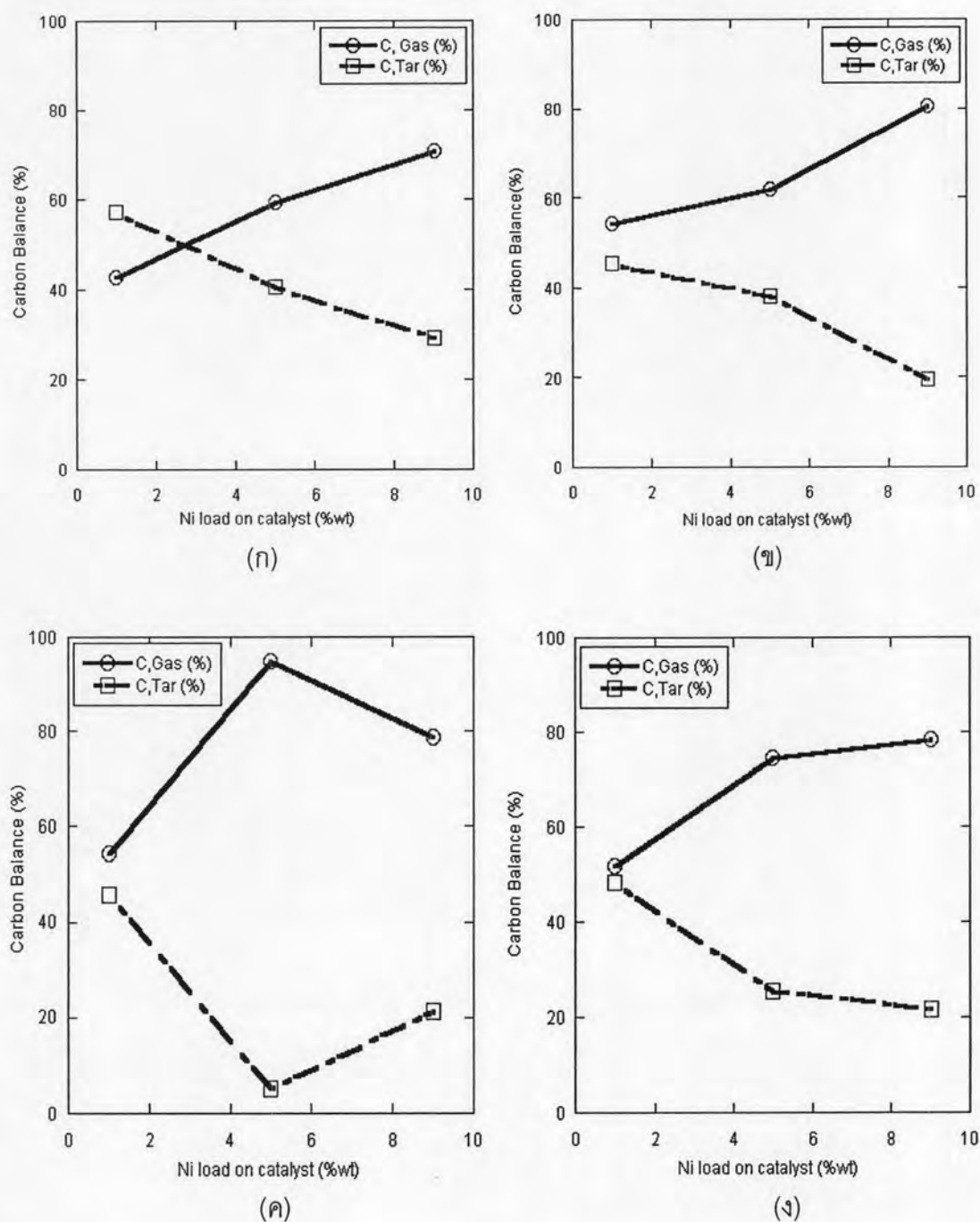
ผลของร้อยละของนิกเกิลบนตัวเร่งปฏิกิริยา (1% 5% และ 9% NiO) ต่อผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่อนาที แสดงดังรูปที่ 4.14 พบว่าร้อยละของนิกเกิลบนตัวเร่ง

ปฏิกิริยามีผลต่อสัดส่วนของแก๊สแต่ละชนิด โดยร้อยละของนิกเกิลบนตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1 เป็นร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้สัดส่วนของแก๊สไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์ในผลิตภัณฑ์แก๊สมีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า การเพิ่มปริมาณของนิกเกิลในตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นโลหะที่ว่องไวจะทำให้ตำแหน่งที่ถูกกระตุ้น (active site) เพิ่มมากขึ้น โดยตำแหน่งที่ถูกกระตุ้นนี้คือตำแหน่งที่ตัวเร่งปฏิกิริยาจับกับคาร์บอน ซึ่งช่วยเร่งปฏิกิริยารีฟอร์มมิง (CO_2 reforming) ดังสมการ (4.2) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรเจนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณมีเทนที่ลดลง จากข้อมูลสามารถอธิบายการเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้ แก๊สมีเทนแยกตัวออก (dissociation) เป็น $\text{CH}_{x,\text{ads}}$ และ $(4-x)/2\text{H}_2$ หลังจากนั้น $\text{CH}_{x,\text{ads}}$ แยกตัวออกเป็น C และ $x/2\text{H}_2$ โดย CO_2 แยกตัวออกเป็น CO และ O_{ads} ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่พื้นผิวระหว่าง $\text{CH}_{x,\text{ads}}$ และ O_{ads} ไปเป็น $\text{CH}_x\text{O}_{\text{ads}}$ หลังจากนั้นเกิดปฏิกิริยา $\text{CH}_x\text{O}_{\text{ads}} \rightarrow \text{CO} + x/2\text{H}_2$ และการแก๊สฟายของคาร์บอนที่เกาะบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย CO_2 (Osaki and Mori, 2001) ดังแสดงในปฏิกิริยาข้างล่างนี้



เมื่อพิจารณาผลของร้อยละของนิกเกิลในตัวเร่งปฏิกิริยา (1% 5% และ 9% NiO) ต่อผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่ออนาที แสดงดังรูปที่ 4.15 พบว่าเมื่อร้อยละของนิกเกิลในตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1 เป็นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก แก๊สที่ได้จะมีปริมาณสูงขึ้น และน้ำมันหามีปริมาณลดลง เนื่องมาจากผลของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลจะช่วยเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันหามีปริมาณได้ดี (Osaki and Mori, 2001) สังเกตจากการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของแก๊สแต่ละชนิดดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น อีกทั้งมีงานวิจัยที่ผ่านมาเสนอว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับโดโลไมต์จะมีความต้านทานการเกาะติดของคาร์บอน (coking) สูง เพราะผลของโดโลไมต์ ซึ่งมีความเป็นเบส จะทำให้ออกไซด์ที่เป็นเบส (basic oxide) เช่น แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) กระตุ้นให้น้ำหรือคาร์บอนไดออกไซด์สร้างออกไซด์

ไอออน (O_x) เพื่อมาแกชฟายผิวของคาร์บอนที่อยู่บนตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลไปเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (Srinakruang et al.,2005) ทำให้แก๊สที่ได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มร้อยละของนิกเกิลบนตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก พบว่าแก๊สที่ได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าที่ร้อยละของนิกเกิล 5 โดยน้ำหนัก ให้ผลการทดลองดีที่สุด

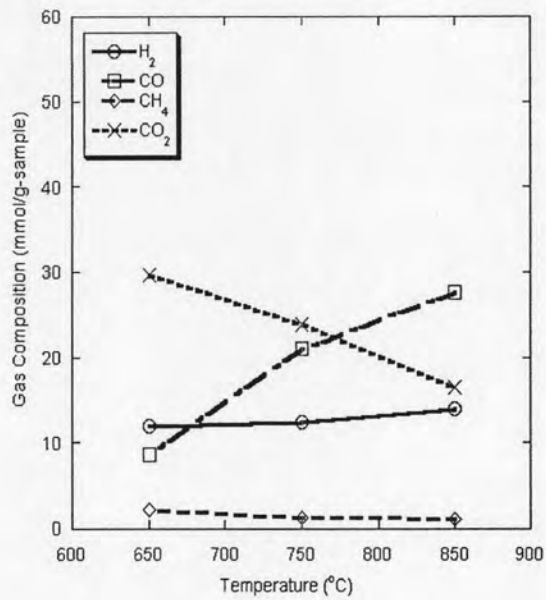


รูปที่ 4.15 อิทธิพลของร้อยละของนิกเกิล (1% 5% และ 9% NiO) บนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อผลิตภัณฑ์

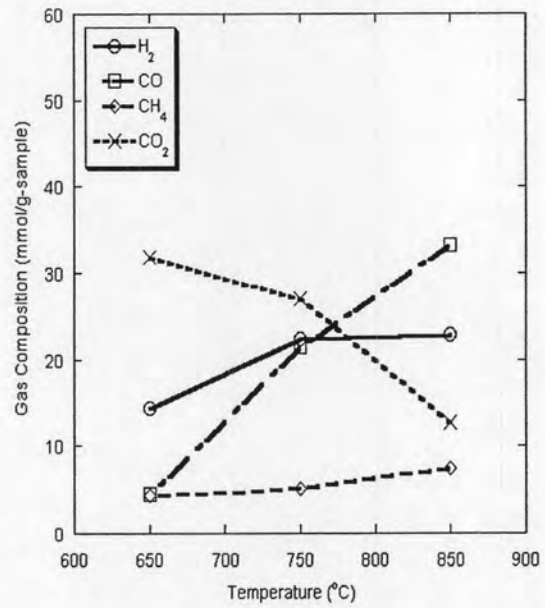
ทั้งหมด: (ก) PS (ข) LDPE (ค) HDPE (ง) PP ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส

ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่อนาที

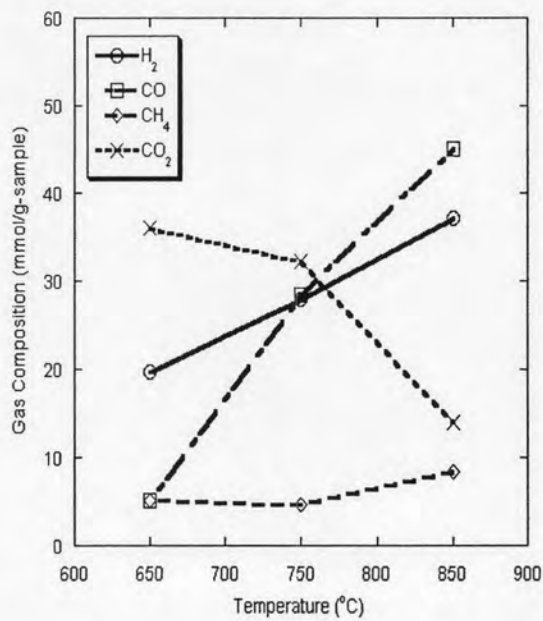
4.4.6 ผลของอุณหภูมิ



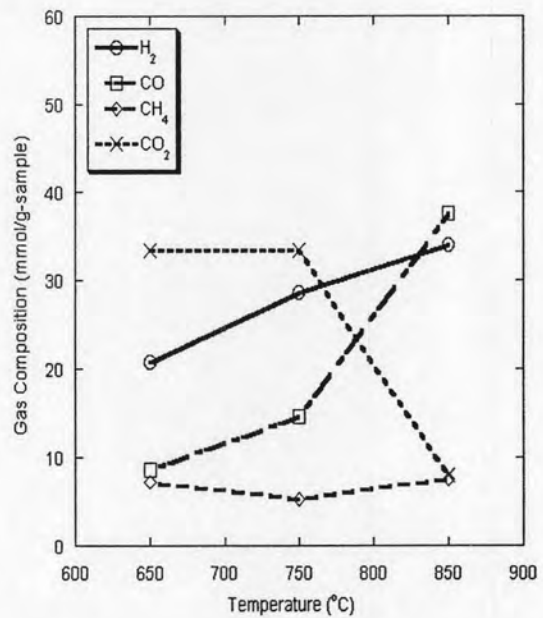
(ก)



(ข)



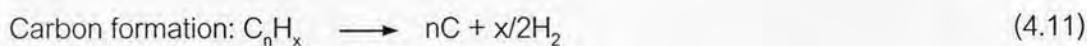
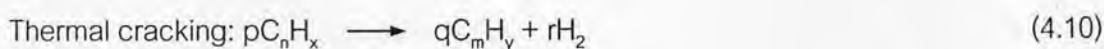
(ค)



(ง)

รูปที่ 4.16 ผลของอุณหภูมิ (650 750 และ 850 องศาเซลเซียส) ต่อผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด: (ก) PS (ข) LDPE (ค) HDPE และ (ง) PP โดยใช้ निकเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโคโลไมต์ ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการผลิตของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่อนาที

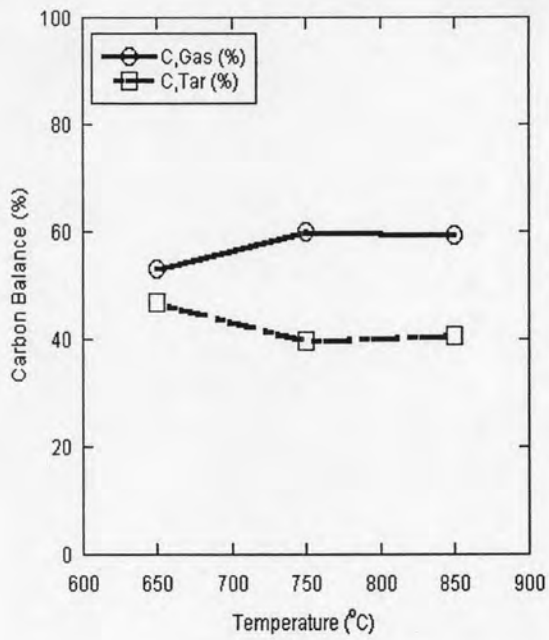
ผลของอุณหภูมิต่อผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด โดยใช้นิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวเร่งปฏิกิริยา ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่อ นาที แสดงดังรูปที่ 4.16 พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณโดยรวมของแก๊สผลิตภัณฑ์และสัดส่วนของแก๊สแต่ละชนิด โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 650 เป็น 850 องศาเซลเซียส ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น ส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณลดลง ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ปริมาณไฮโดรคาร์บอนและน้ำมันทาร์เกิดการแตกตัวไปเป็นแก๊สไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น (thermal cracking) สามารถอธิบายได้ดังปฏิกิริยา (4.10) และ (4.11) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปฏิกิริยาจะเกิดไปข้างหน้า



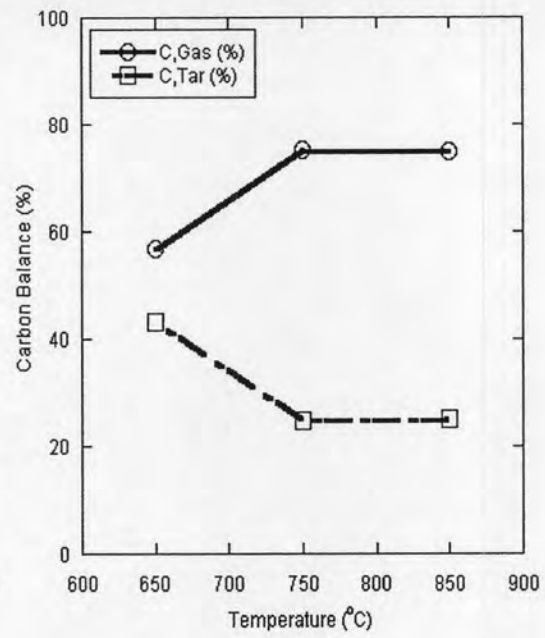
และผลิตภัณฑ์แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นสามารถอธิบายได้ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้



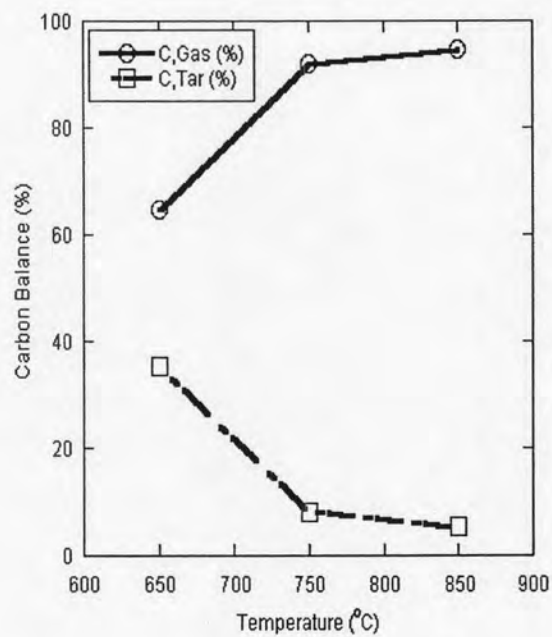
เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปฏิกิริยาจะเกิดไปข้างหน้า ซึ่งปฏิกิริยาเบาดาด (boudouard) เป็นปฏิกิริยาพื้นฐานของการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส โดยที่คาร์บอนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนที่มากเกินไป (excess carbon) ในอนุภาคของแข็ง เกิดเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณลดลงสามารถ (อธิบายได้ดังปฏิกิริยาที่ (4.12)) ซึ่งการเพิ่มของผลิตภัณฑ์แก๊สสอดคล้องกับการเพิ่มของอุณหภูมิสามารถอธิบายได้หลายเหตุผล เช่น (i) ผลิตภัณฑ์แก๊สสูงขึ้นในขั้นตอนเริ่มต้นของกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งเป็นกระบวนการแรกก่อนเข้าสู่กระบวนการแกซิฟิเคชันโดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (ii) ผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้ในกระบวนการแกซิฟิเคชันของชาร์ (char gasification) เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปฏิกิริยาจะเกิดไปข้างหน้า (iii) การเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์แก๊สอาจเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาสตีม-รีฟอร์มมิง (steam reforming) และการแตกตัวของไฮโดรคาร์บอนและน้ำมันทาร์ (C. Franco et al., 2002)



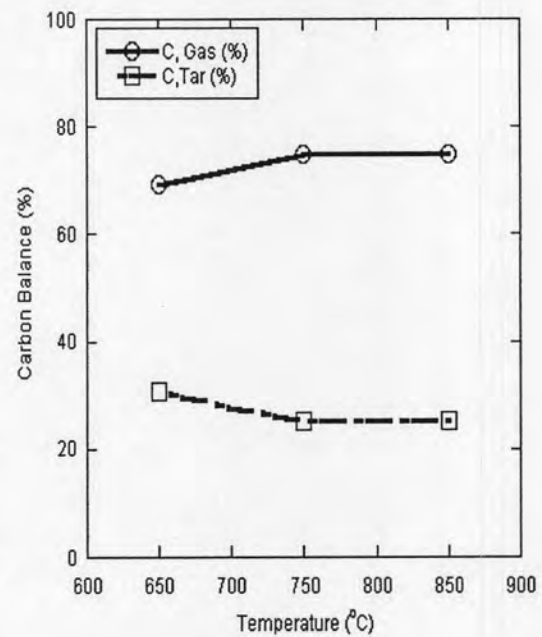
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.17 ผลของอุณหภูมิ (650 750 และ 850 องศาเซลเซียส) ต่อผลิตภัณฑ์ทั้งหมด:
 (ก) PS (ข) LDPE (ค) HDPE และ (ง) PP โดยใช้ निकเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์
 ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่อนาที

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิต่อผลิตภัณฑ์ทั้งหมดโดยใช้ निकเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัว
 รองรับโดโลไมต์ ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15

มิลลิลิตรต่ออนาที แสดงดังรูปที่ 4.17 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 650 เป็น 850 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำมันทาร์ลดลง ส่วนปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปฏิกิริยาการแตกตัวจะเกิดได้ดี ทำให้เกิดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลเบามากขึ้น เช่น สารไฮโดรคาร์บอนและน้ำมันทาร์เกิดการแตกตัวไปเป็นผลิตภัณฑ์แก๊สเพิ่มขึ้น (อธิบายได้จากสมการ (4.7)) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน แต่จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เสถียรภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาจะลดลง แต่หากลดอุณหภูมิลงเหลือ 750 องศาเซลเซียส อาจทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถใช้งานได้นานยิ่งขึ้น

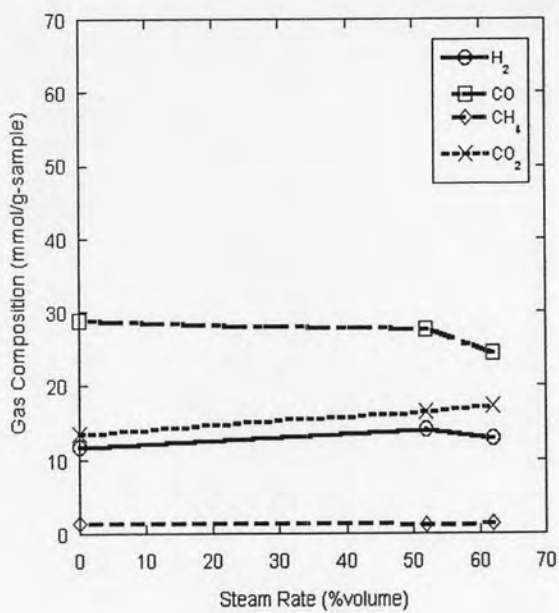
4.4.7 ผลของร้อยละของไอน้ำ

ผลของร้อยละของไอน้ำโดยใช้นิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโคโลไมต์ ต่อผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่ออนาที แสดงดังรูปที่ 4.18 พบว่าร้อยละของไอน้ำมีผลต่อผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด โดยร้อยละของไอน้ำเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 52 โดยปริมาตร ทำให้ผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ในขณะที่แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณลดลง (ดังปฏิกิริยาที่ (4.4) และ (4.13)) อธิบายได้ว่าที่ร้อยละของไอน้ำ 0 โดยปริมาตร ปริมาณของไอน้ำมีไม่เพียงพอในการทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงทำให้ปฏิกิริยาสตีม-รีฟอร์มมิง (steam reforming) และปฏิกิริยาชิฟท์ (water-gas shift) ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ (Franco et al., 2003) ทำให้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และมีเทนมีปริมาณลดลง ในขณะที่แก๊สไฮโดรเจนมีปริมาณเพิ่มขึ้น

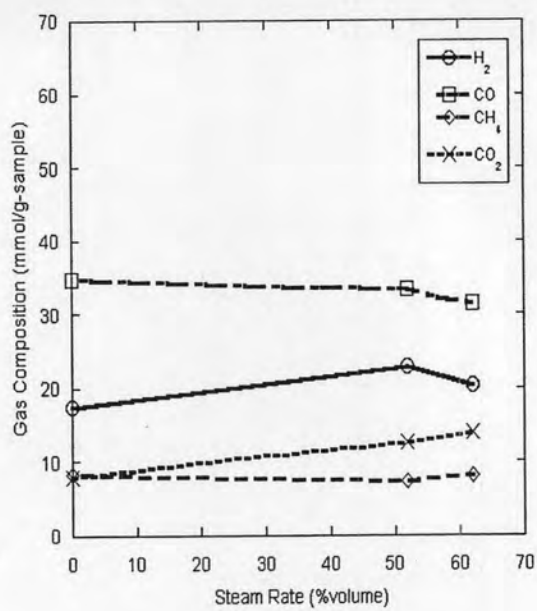


โดยเมื่อไอน้ำมีมากขึ้น คือที่ร้อยละของไอน้ำ 62 โดยปริมาตร ไอน้ำควรทำปฏิกิริยากับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนตามปฏิกิริยาที่ (4.4) และ (4.13) ทำให้สัดส่วนของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง แต่จากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจนมีปริมาณลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจนที่ได้จากปฏิกิริยาที่ (4.4) และ (4.13) ไปเกิดปฏิกิริยาต่อโดยเป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยามีเทนเนชัน (methanation) เกิดปฏิกิริยาของคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นแก๊สมีเทน ดังสมการที่ (4.14)

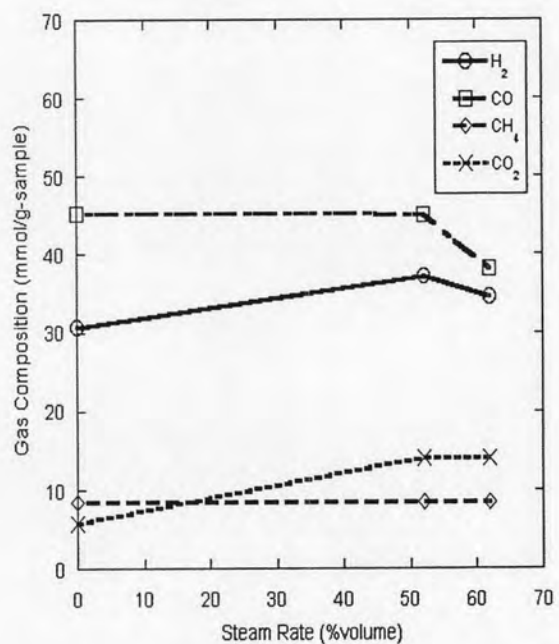




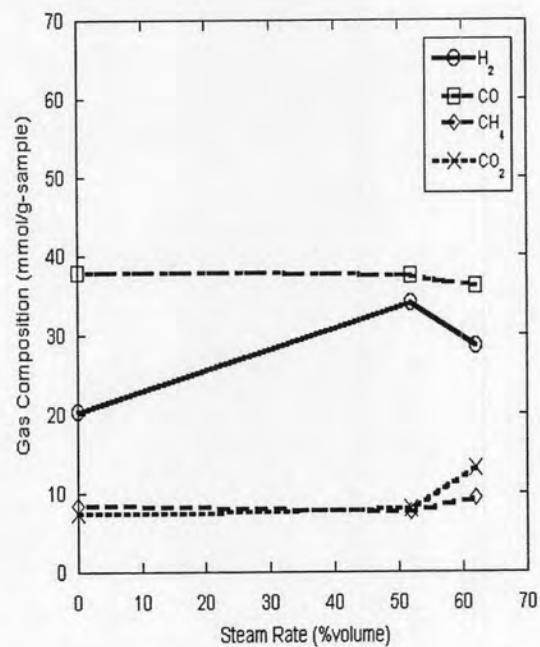
(ก)



(ข)

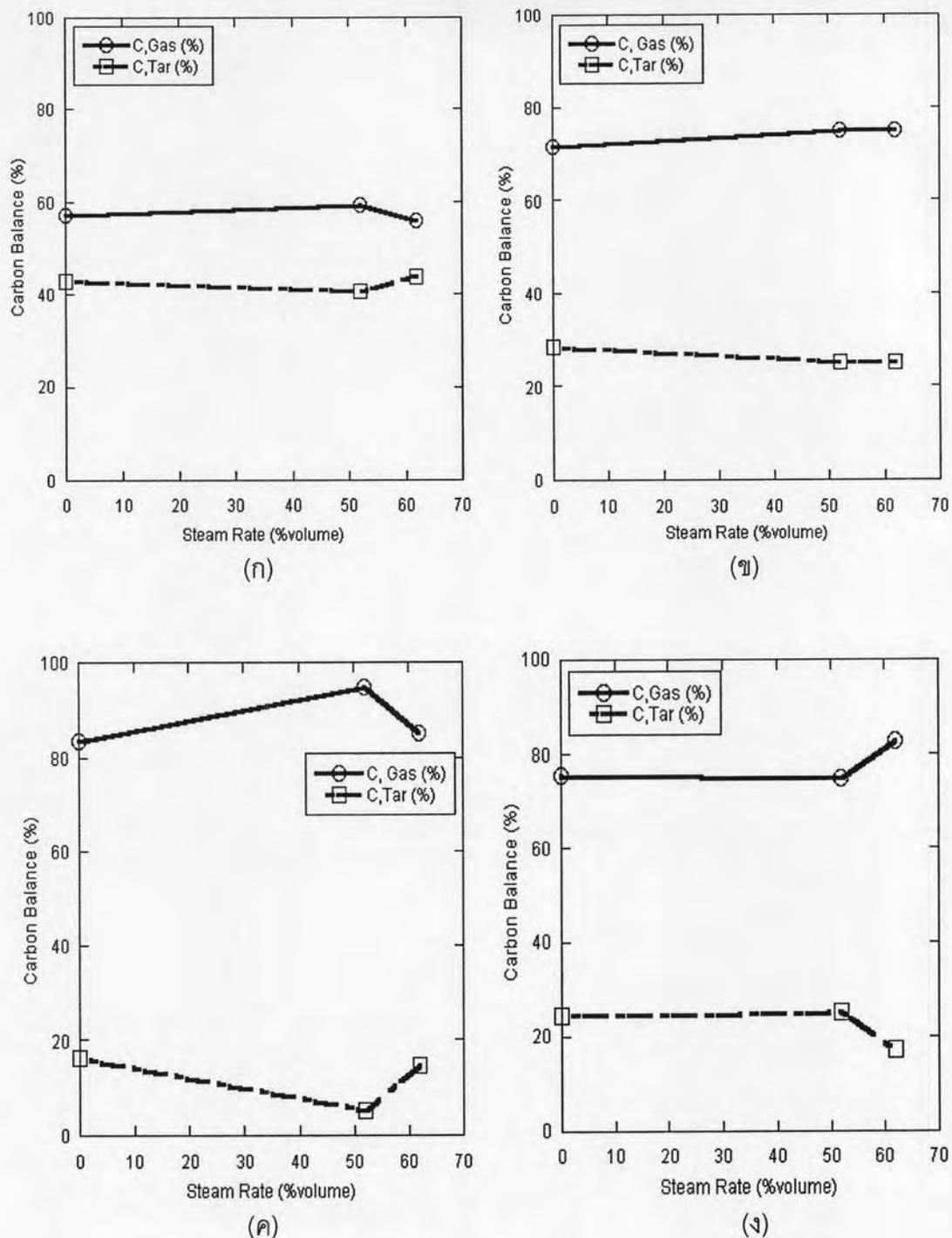


(ค)



(ง)

รูปที่ 4.18 ผลของร้อยละของไอน้ำต่อผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด: (ก) PS (ข) LDPE
 (ค) HDPE (ง) PP โดยใช้ निकเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโคโลไมต์
 ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่อนาที

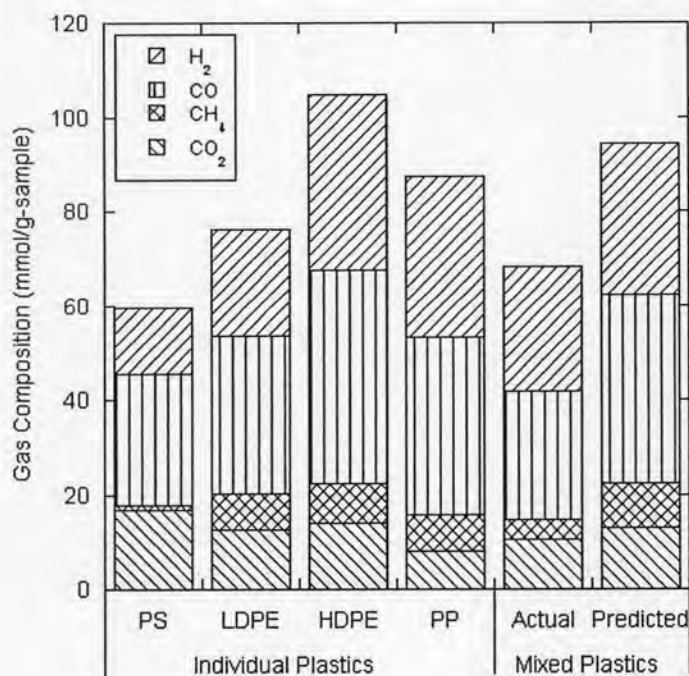


รูปที่ 4.19 ผลของร้อยละของไอน้ำต่อผลิตภัณฑ์ทั้งหมด: (ก) PS (ข) LDPE (ค) HDPE (ง) PP โดยใช้ निकเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่อนาที

เมื่อพิจารณาผลของร้อยละของไอน้ำ โดยใช้ निकเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์ต่อผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.19 พบว่าร้อยละของไอน้ำมีผลต่อผลิตภัณฑ์ทั้งหมด โดย

เมื่อร้อยละของไอน้ำเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 52 โดยปริมาตร จะทำให้น้ำมันทาร์มีปริมาณลดลง และผลิตภัณฑ์แก๊สเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณไอน้ำที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของไฮโดรคาร์บอนและน้ำมันทาร์ และการเพิ่มขึ้นของไอน้ำยังช่วยเร่งปฏิกิริยา สตีม-รีฟอร์มมิง (steam reforming) ปฏิกิริยาชิฟท์ (water-gas shift) ทำให้แก๊สที่ได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มร้อยละของไอน้ำเป็น 62 โดยปริมาตร พบว่าน้ำมันทาร์มีปริมาณเพิ่มขึ้น และแก๊สผลิตภัณฑ์มีปริมาณลดลง อาจเกิดจากปริมาณไอน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดฟิล์มบางๆคลุม surface reaction ทำให้ไฮโดรคาร์บอนเกิดปฏิกิริยากับไอน้ำได้ยากขึ้น อีกทั้งยังเกิดจากผลของการเพิ่มร้อยละของไอน้ำทำให้ระยะเวลาที่สารตั้งต้นสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ลดลง ทำให้แก๊สที่ได้มีปริมาณลดลง

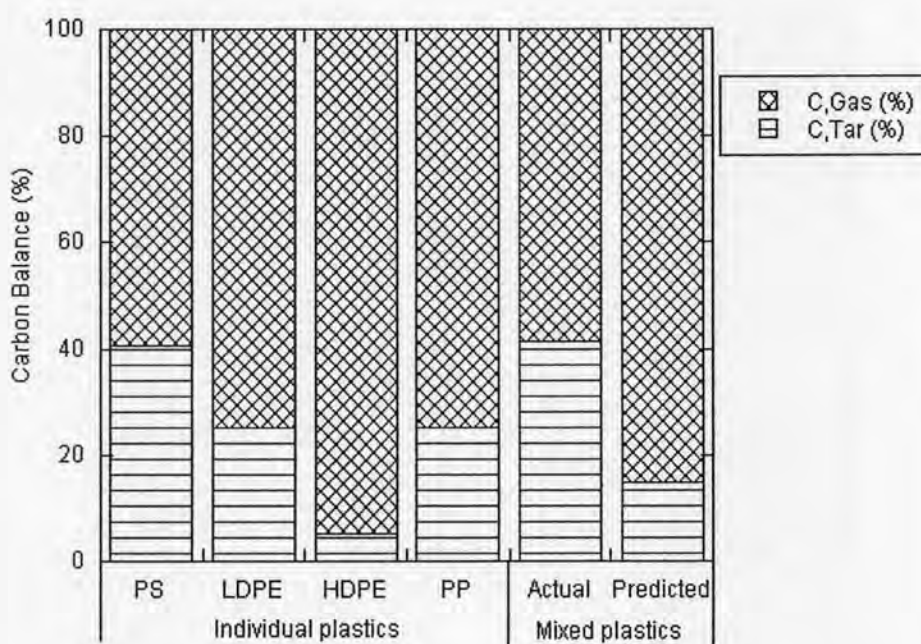
4.4.8 ผลของการใช้พลาสติกผสม



รูปที่ 4.20 ผลของการใช้พลาสติกผสมต่อผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิดโดยใช้นิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่อนาที

จากรูปที่ 4.20 ผลของการใช้พลาสติกผสม (PS:LDPE:HDPE:PP) ในอัตราส่วน (4:28:56:12) ต่อผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด โดยใช้นิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊ส

ออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่ออนาที พบว่าเมื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊สแต่ละชนิดที่ได้กับผลที่ได้จากการคำนวณ พบว่าการใช้พลาสติกผสมจะให้สัดส่วนของแก๊สแต่ละชนิดลดลง เนื่องจากพลาสติกที่ใช้มีโครงสร้างและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดสารผสมที่มีโอกาสรวมตัวกันเป็นไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 3 อะตอมขึ้นไป เช่น อีเทน โพรเพน บิวเทน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Williams and Williams, 1999) ซึ่งพบว่าเมื่อผสมพลาสติกพอลิไทรีนกับพลาสติกจำพวกพอลิเอทิลีน ได้แก่ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และพอลิโพรพิลีนจะให้ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นแอลคีนแก๊ส คือ อีทีน โพรพีน และบิวทีน ทำให้แก๊สที่ได้มีปริมาณต่ำ และมีน้ำมันทาร์สูงกว่าผลที่ได้จากการคำนวณ



รูปที่ 4.21 ผลของการใช้พลาสติกผสมต่อผลิตภัณฑ์ทั้งหมด

โดยใช้นิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโคโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่ออนาที

จากรูปที่ 4.21 ผลของการใช้พลาสติกผสม (PS:LDPE:HDPE:PP) ในอัตราส่วน (4:28:56:12) ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทั้งหมดโดยใช้นิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโคโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่ออนาที พบว่าการใช้พลาสติกผสมมีผลต่อผลิตภัณฑ์ทั้งหมด โดยทำให้ปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ เนื่องจากการใช้พลาสติกผสมที่มีโครงสร้างและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ทำให้มีโอกาสเกิดสารระเหยที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของน้ำมันทาร์มากกว่าที่จะอยู่ในรูปของแก๊ส

ผลิตภัณฑ์ที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น และจากผลการทดลองที่ได้พบว่าในการแกซีพีเคชั่นพลาสติกควรจะแยกชนิดของพลาสติกก่อนทำการทดลอง เพราะจะทำให้ได้แก๊สผลิตภัณฑ์สูงกว่าการแกซีพีเคชั่นโดยใช้พลาสติกผสม

4.4.9 ผลของระยะเวลาที่สารตั้งต้นสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ (contact time) และผลของระยะเวลาที่สารตั้งต้นอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ (residence time)

การศึกษาผลของระยะเวลาที่สารตั้งต้นสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ (contact time) และผลของระยะเวลาที่สารตั้งต้นอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ (residence time) สามารถศึกษาได้ 2 กรณี คืออัตราการไหลของแก๊สตัวพา (แก๊สไนโตรเจน) และแก๊สออกซิเจน กับปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการแกซีฟาย ดังนั้นจึงทดลองใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโคโลไมต์ความสูง 0.4 เซนติเมตร (น้ำหนัก 1.5 กรัม) โดยการลดอัตราการไหลของแก๊สพา (แก๊สไนโตรเจน) และแก๊สออกซิเจน ระยะเวลาที่สารตั้งต้นสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.5 และระยะเวลาที่สารตั้งต้นอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ระยะเวลาที่สารตั้งต้นสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์

| ตัวอย่าง | ระยะเวลาที่ใช้ (วินาที) |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| อัตราการไหลรวม 240 มิลลิลิตรต่อนาที, ตัวเร่งปฏิกิริยา สูง 1.4 เซนติเมตร | 0.022 |
| อัตราการไหลรวม 120 มิลลิลิตรต่อนาที, ตัวเร่งปฏิกิริยา สูง 2 เซนติเมตร | 0.062 |
| อัตราการไหลรวม 240 มิลลิลิตรต่อนาที, ตัวเร่งปฏิกิริยา สูง 2 เซนติเมตร | 0.031 |
| อัตราการไหลรวม 260 มิลลิลิตรต่อนาที, ตัวเร่งปฏิกิริยา สูง 2 เซนติเมตร | 0.029 |

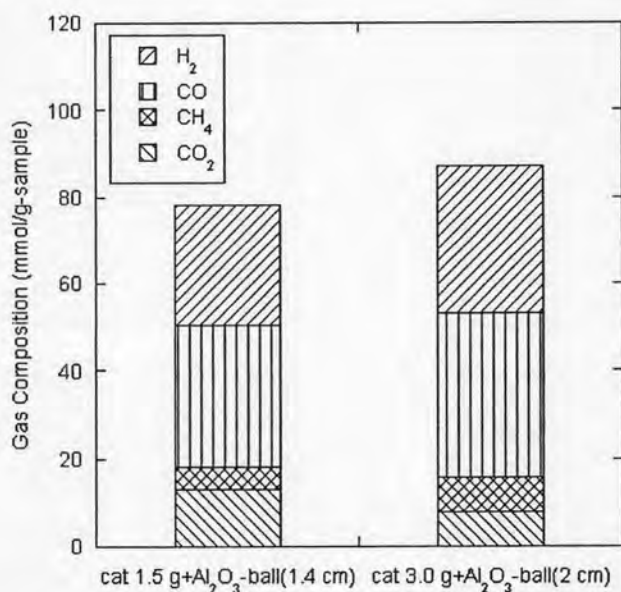
ระยะเวลาที่สารตั้งต้นสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ (contact time) แสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาที่สารตั้งต้นสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น และการลดอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน ออกซิเจนและไอน้ำ จะทำให้ระยะเวลาที่สารตั้งต้นสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

ระยะเวลาที่สารตั้งต้นอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ (residence time) แสดงดังตารางที่ 4.6 พบว่าการเพิ่มความสูงของเบดในเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้ระยะเวลาที่สารตั้งต้นอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ (residence time) ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการมีเบดทำให้ปริมาตรช่องว่างลดลง โดยเบดจะขวางกั้นการไหลของแก๊ส ทำให้เวลาที่สารตั้งต้นสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง

ตารางที่ 4.6 ระยะเวลาที่สารตั้งต้นอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ (residence time) (base on: 2 cm.-height)

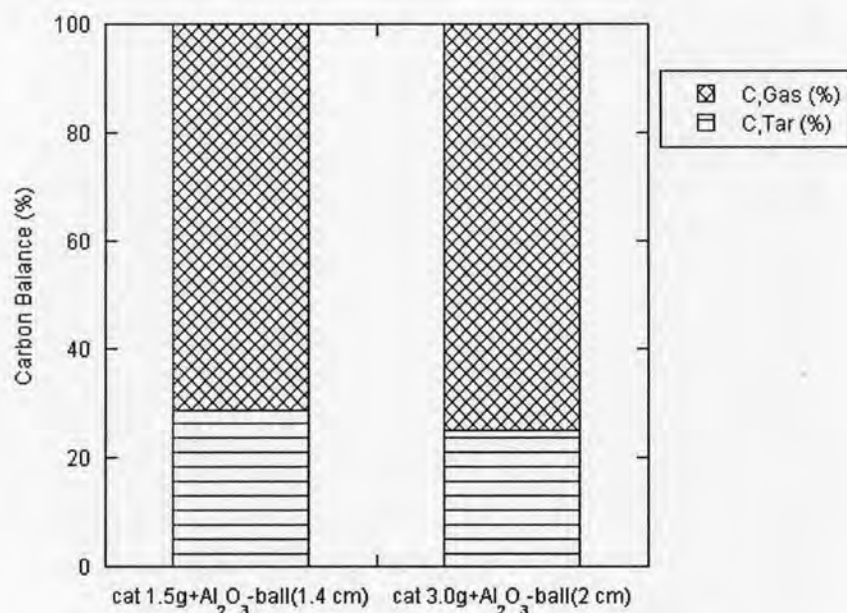
| ตัวอย่าง | ระยะเวลาที่ใช้ (วินาที) |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| อัตราการไหลรวม 240 มิลลิลิตรต่ออนาที, ไม่มีเบด | 0.046 |
| อัตราการไหลรวม 240 มิลลิลิตรต่ออนาที, ตัวเร่งปฏิกิริยา สูง 1.4 เซนติเมตร | 0.036 |
| อัตราการไหลรวม 120 มิลลิลิตรต่ออนาที, ตัวเร่งปฏิกิริยา สูง 2 เซนติเมตร | 0.063 |
| อัตราการไหลรวม 240 มิลลิลิตรต่ออนาที, ตัวเร่งปฏิกิริยา สูง 2 เซนติเมตร | 0.031 |
| อัตราการไหลรวม 260 มิลลิลิตรต่ออนาที, ตัวเร่งปฏิกิริยา สูง 2 เซนติเมตร | 0.029 |

4.4.10 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 4.22 ผลของปริมาณของเบดในการแยกฟลายของพลาสติกพอลิโพรพิลีนต่อผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 5%NiO/dolomite ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส รัอยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่ออนาที

การศึกษาผลของปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด โดยใช้นิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์ (น้ำหนัก 1.5 กรัม) ผสมกับ Al_2O_3 -ball (น้ำหนัก 10 กรัม) ที่ความสูง 1.4 เซนติเมตร และนิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์ (น้ำหนัก 3.0 กรัม) ผสมกับ Al_2O_3 -ball (น้ำหนัก 10 กรัม) ที่ความสูง 2 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 4.22 พบว่าเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจน แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และมีเทนเพิ่มขึ้น ซึ่งอธิบายได้ว่าเป็นผลจากผลของตัวเร่งปฏิกิริยาและผลของระยะเวลาที่สารตั้งต้นอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ (residence time) โดยการเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้สามารถเพิ่มการเร่งปฏิกิริยาได้ดีขึ้น แต่ระยะเวลาที่สารตั้งต้นอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ (residence time) ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการมีเบดทำให้ปริมาตรช่องว่างลดลง โดยเบดจะขวางกั้นการไหลของแก๊ส ทำให้เกิดแรงดันสูงขึ้นส่งผลให้แก๊สไหลผ่านเบดออกมาเร็วขึ้น (Puttasawat, 2006)



รูปที่ 4.23 ผลของปริมาณของเบดในการแยกไฟของพลาสดิกพอลิโพรพิลีนต่อผลิตภัณฑ์ทั้งหมด โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 5%NiO/dolomite ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่อนาที

จากรูปที่ 4.23 พบว่าเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์ (น้ำหนัก 3.0 กรัม) ผสมกับ Al_2O_3 -ball (น้ำหนัก 10 กรัม) ปริมาณน้ำมันทาร์ที่ได้มีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์ (น้ำหนัก 1.5 กรัม) ผสมกับ Al_2O_3 -ball (น้ำหนัก 10 กรัม) เนื่องจากผลของระยะเวลาที่สารตั้งต้นอยู่ใน

เครื่องปฏิกรณ์เปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ (residence time) ลดลง และอธิบายได้ว่าเกิดจากผลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น โดยทำให้ไฮโดรคาร์บอนและน้ำมันทาร์เกิดการแตกตัวไปเป็นผลิตภัณฑ์แก๊สเพิ่มขึ้น

ดังนั้นถ้าต้องการศึกษาผลของปริมาณการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ต้องควบคุมระยะเวลาที่สารตั้งต้นอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ให้เท่ากัน โดยการเปรียบเทียบกับ การเพิ่มความสูงของเบด ซึ่งพิจารณาการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์ (น้ำหนัก 3.0 กรัม) ผสมกับ Al_2O_3 -ball (น้ำหนัก 10 กรัม) กับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์ (น้ำหนัก 1.5 กรัม) ผสมกับ Al_2O_3 -ball (น้ำหนัก 10 กรัม) พบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (น้ำหนัก 3.0 กรัม) ผสมกับ Al_2O_3 -ball (น้ำหนัก 10 กรัม) จะให้ผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิดและผลิตภัณฑ์แก๊สทั้งหมดเพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำมันทาร์ลดลง ซึ่งอธิบายได้ว่าเป็นผลจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การเร่งปฏิกิริยาเกิดได้ดีขึ้น เนื่องจากมีตำแหน่งที่ว่องไวเพิ่มขึ้น (active site) และยังเกิดจากผลของความสูงของเบดที่เพิ่มขึ้นด้วย

4.4.11 ผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาลดลง อีกทั้งยังช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาที่ต้องการมากขึ้น แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการใช้งานแล้ว อาจเกิดการหน่วงปฏิกิริยา เมื่อมีคาร์บอนเกาะติดที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบประสิทธิภาพของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ โดยตรวจสอบจากผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิดและผลิตภัณฑ์แก๊สทั้งหมด ตารางที่ 4.7 แสดงการวิเคราะห์การเกาะติดของคาร์บอนบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง thermogravimetric analysis (TGA) การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) แสดงดังรูปที่ 4.24 และ 4.25 และผลการวิเคราะห์โครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง x-ray diffraction (XRD) ดังรูปที่ 4.26

4.4.11.1 การตรวจสอบประสิทธิภาพของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ โดยการพิจารณาการเกาะติดของคาร์บอนบนตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้

การนำตัวเร่งปฏิกิริยาเข้ามาช่วยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยา ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ ต่ำลง และยังช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาเป็นไปตามที่ต้องการมากขึ้น แต่เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยา

ดังกล่าวอาจเกิดการหน่วงปฏิกิริยา เมื่อมีคาร์บอนมาเกาะติดที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบประสิทธิภาพของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA

ตารางที่ 4.7 การเกาะติดของคาร์บอนบนตัวเร่งปฏิกิริยา

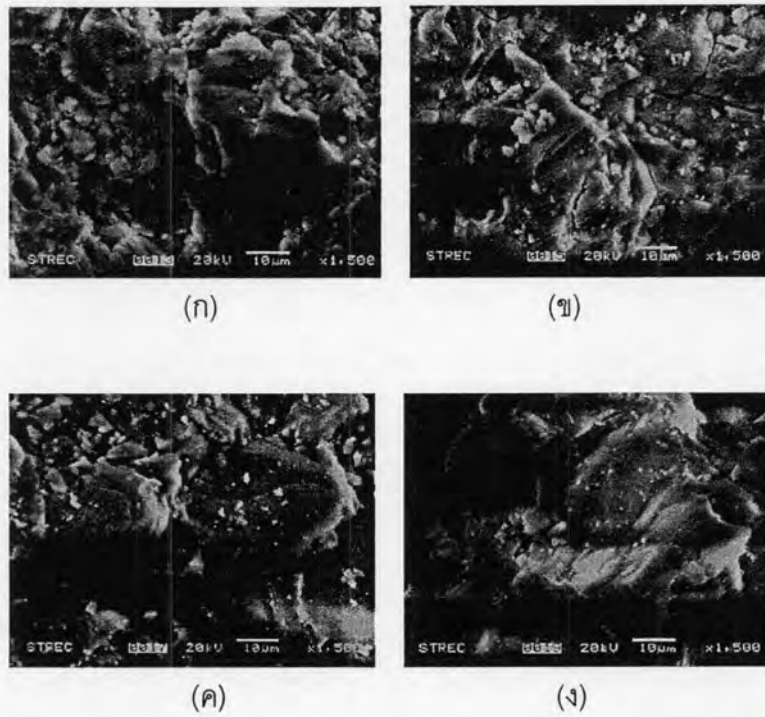
| ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ | การเกาะติดของคาร์บอนบนตัวเร่งปฏิกิริยา (mg) |
|------------------------|---------------------------------------------|
| Calcined dolomite | 10.7 |
| Calcined dolomite+HDPE | 23.2 |
| Calcined dolomite+PP | 23.5 |
| 5%NiO/dolomite | 2.3 |
| 5%NiO/dolomite+HDPE | 18.1 |
| 5%NiO/dolomite+PP | 3.5 |

* วิเคราะห์ด้วยเครื่อง TG/DTA

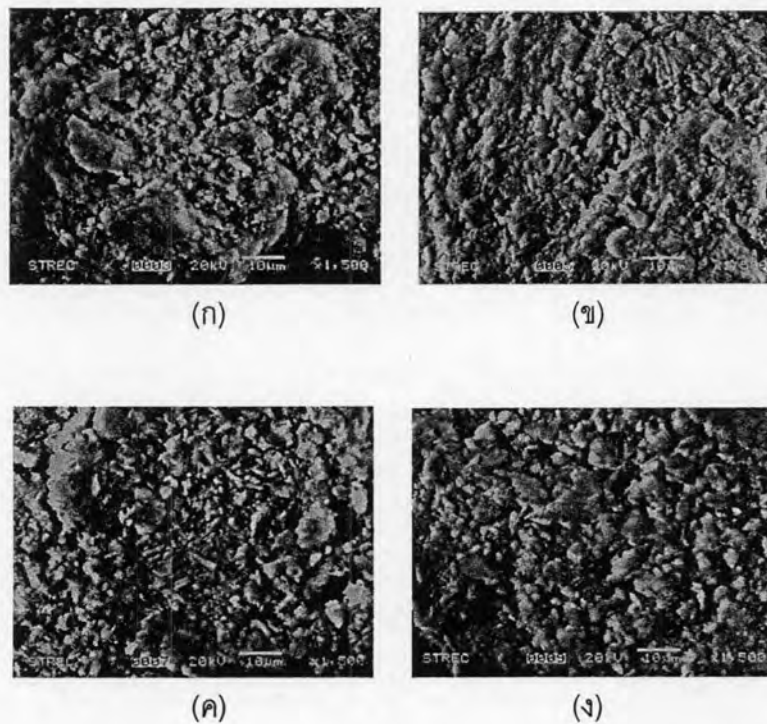
ตารางที่ 4.7 การเกาะติดของคาร์บอนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเรียงจากมากไปน้อยได้ดังนี้
 Calcined dolomite+PP > Calcined dolomite+HDPE > 5%NiO/dolomite+HDPE > Calcined dolomite > 5%NiO/dolomite+PP > 5%NiO/dolomite ตามลำดับ ซึ่งการเกาะติดของคาร์บอนจะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดการเสื่อมสภาพ อีกทั้งยังส่งผลต่อผลิตภัณฑ์แก๊สและปริมาณน้ำมันทาร์ โดยทำให้แก๊สที่ได้มีปริมาณลดลง

4.4.11.2 การตรวจสอบประสิทธิภาพของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ โดยการศึกษาสมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้แล้ว

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์และนิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์ที่ใช้แล้ว โดยการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 4.24 และ 4.25 พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดการรวมตัวกัน ทำให้พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเกิดได้น้อยลง

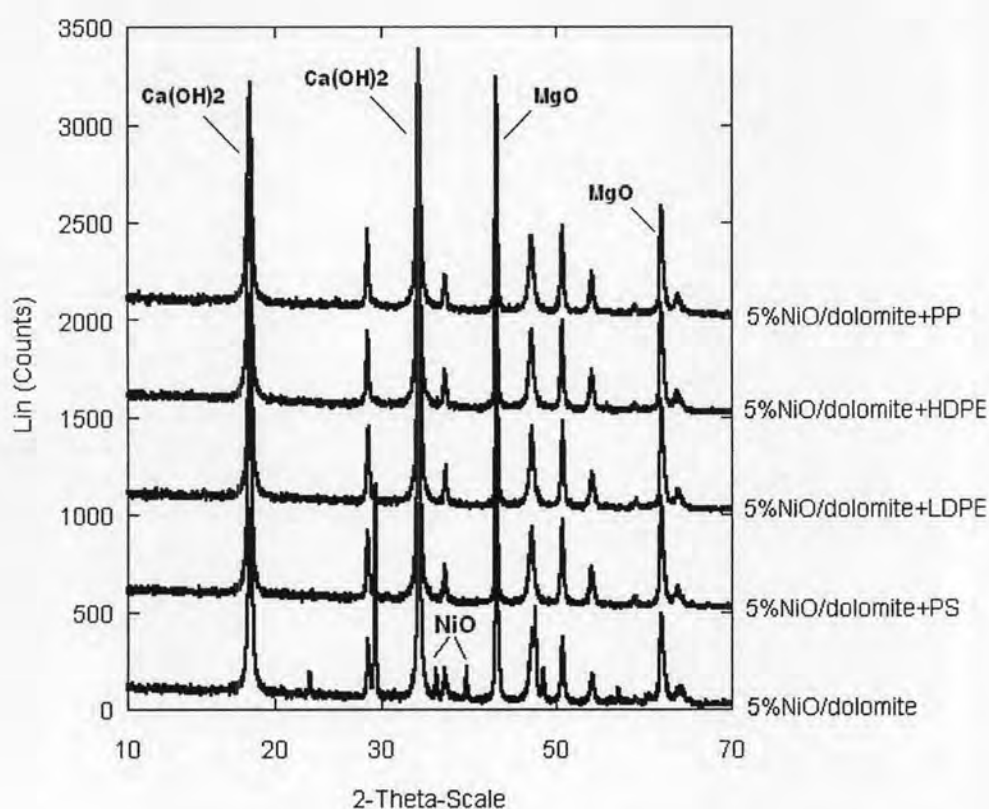


รูปที่ 4.24 วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาโดโลไมต์หลังทำการทดลองด้วยเครื่อง SEM:
 (ก) PS (ข) LDPE (ค) HDPE (ง) PP ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.25 วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับ
 โดโลไมต์หลังทำการทดลองด้วยเครื่อง SEM:(ก) PS (ข) LDPE (ค) HDPE (ง) PP
 ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์โครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์หลังทำการทดลองด้วยเครื่อง x-ray diffraction (XRD) ดังรูปที่ 4.26 พบว่าจากโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาหลังทำการทดลองจะไม่พบตำแหน่งพีคของนิกเกิลออกไซด์ (NiO) คาดว่าอาจเกิดจากนิกเกิลออกไซด์เกิดการเปลี่ยนรูป และยังไม่พบตำแหน่งพีคของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) คาดว่าอาจเปลี่ยนรูปไปเป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แต่จากผลการทดลองก็ไม่พบตำแหน่งพีคแคลเซียมออกไซด์เช่นเดียวกันอาจเป็นเพราะแคลเซียมออกไซด์ทำปฏิกิริยากับน้ำเปลี่ยนไปเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์

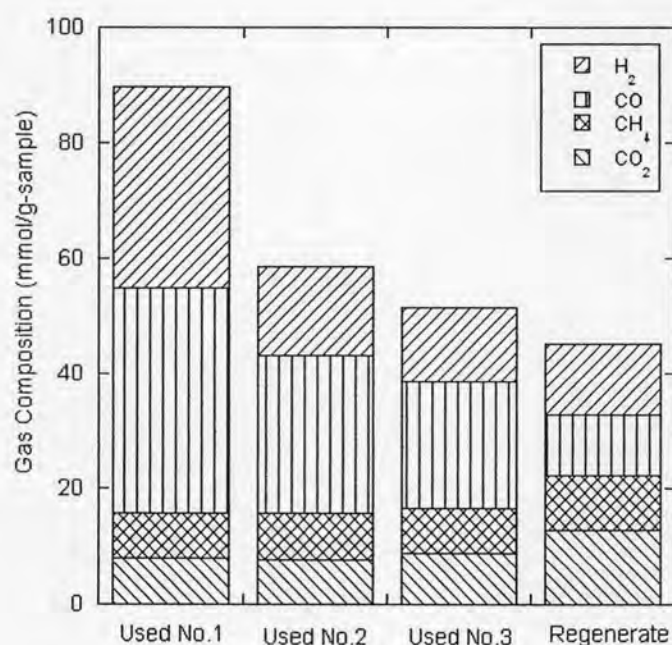


รูปที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์บนตัวรองรับโดโลไมต์ก่อนทำการทดลองเปรียบเทียบกับหลังทำการทดลองด้วยเครื่อง XRD

4.4.11.3 การตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์ที่มีต่อผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด และผลิตภัณฑ์ทั้งหมด

การตรวจสอบประสิทธิภาพของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์ต่อผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่อนาที แสดงดังรูปที่ 4.27 พบว่า

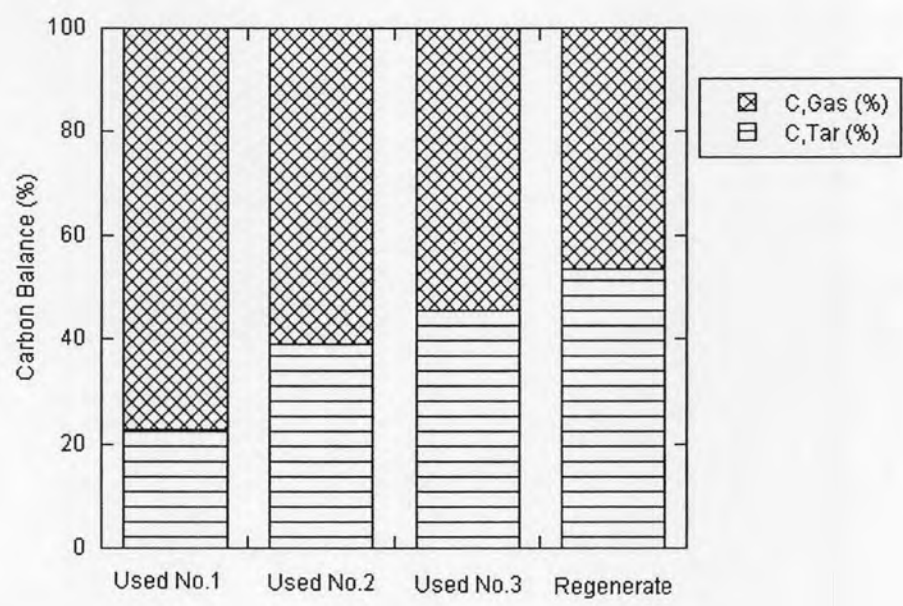
การนำตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวกลับมาใช้ใหม่ และเมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาไปบำบัด (regenerate) โดยการเผาไล่คาร์บอนที่ติดอยู่ที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ พบว่าผลิตภัณฑ์แก๊สโดยรวมลดลง อาจเนื่องมาจากปริมาณนิกเกิลในตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดการระเหย (volatilized) ในระหว่างการแก๊สฟาย (Akyurtlu, 1994) และอาจเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากการเกาะติดของคาร์บอนบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้ลดลง และไม่สามารถบำบัด (regenerate) โดยการเผาไล่คาร์บอนที่ติดอยู่ที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 20 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง ให้กลับมาเร่งปฏิกิริยาได้เหมือนเดิม



รูปที่ 4.27 ผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์ต่อผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่อนาที

เมื่อพิจารณาผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโดโลไมต์ต่อผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่อนาที โดยนำตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวกลับมาใช้ใหม่ และเมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาไปบำบัด (regenerate) โดยการเผาไล่คาร์บอนที่ติดอยู่ที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา แสดงดังรูปที่ 4.28 พบว่าจะทำให้ปริมาณน้ำมันสารเพิ่มขึ้น และผลิตภัณฑ์แก๊สลดลง อาจเนื่องมาจากตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดการเสื่อมสภาพ

เนื่องจากการเกาะติดของคาร์บอนบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่สามารถบำบัด (regenerate) โดยการเผาไล่คาร์บอนที่ติดอยู่ที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาให้กลับมาเร่งปฏิกิริยาได้เหมือนเดิม



รูปที่ 4.28 ผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์ (5%NiO) บนตัวรองรับโคโลไมต์ต่อผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่อนาที