บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 สัญลักษณ์ที่ใช้

เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้มีการทดลองหลายชนิด จึงนำรหัสย่อมาใช้เพื่อความสะดวกในการเรียก ดังแสดงในตารางที่ 4.1 คือ

ตารางที่ 4.1 รหัสย่อของตัวอย่าง ในการทดลองต่าง ๆ

ประเภท	รหัส	ความหมาย
ถ่านหิน	coal decoal	ถ่านหิน ถ่านหินที่ผ่านการล้างกรด
แกลบ	RH deRH	แกลบ แกลบที่ผ่านการล้างกรด
ซังข้าวโพด	CC deCC	ซังข้าวโพด ซังข้าวโพดที่ผ่านการล้างกรด

4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ

4.2.1 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis)

การวิเคราะห์แบบประมาณโดยวิธีมาตรฐาน ASTM D3173-3175 เป็นการวิเคราะห์ในขั้นแรกเพื่อศึกษาสมบัติของตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่ใช้ คือ ถ่านหินจากแหล่งแม่ทะ แกลบและซังข้าวโพด จากศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฝ่าง ซึ่งมีสมบัติแสดงดังตารางที่ 4.2

จากตารางจะเห็นได้ว่าชีวมวลที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิด ที่แตกต่างกัน คือ แกลบ เป็นชีวมวลที่มีเถ้าสูง มีปริมาณสารระเหยต่ำ และซังข้าวโพดเป็นชีวมวลที่มีเถ้าต่ำ มีปริมาณสารระเหยสูง

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างแบบประมาณ

ตัวอย่าง	สารระเหยได้	คาร์บอนคงตัว	เถ้า
Coal	42.9	38.7	18.4
decoal	43.6	46.1	10.3
RH	63	16	21.08
deRH	59.1	16.4	24.5
CC	80.2	17.6	2.2
deCC	79.2	19.2	1.56

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างแบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis)

การวิเคราะห์แบบแยกธาตุเป็นการวิเคราะห์อย่างละเอียดโดยวิเคราะห์ธาตุสำคัญที่มีในตัวอย่าง คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และออกซิเจน จากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHN analyzer ได้ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างแบบแยกธาตุ

Sample	Carbon (%w/w)	Hydrogen (%w/w)	Nitrogen (%w/w)	Sulfur (%w/w)	Oxygen (%w/w)	Ash (%w/w)	Total
Coal	50.72	4.50	1.34	1.72	23.30	18.42	100.00
decoal	53.08	3.75	0.98	1.25	30.67	10.27	100.00
RH	31.85	4.53	0.67	-	41.87	21.08	100.00
deRH	34.21	4.38	0.43	-	36.48	24.50	100.00
CC	39.68	5.30	0.17	-	52.65	2.20	100.00
deCC	43.46	5.25	0.62	-	49.10	1.56	100.00

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ และความพรุนด้วยวิธี BET

ผลการวิเคราะห์ปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ และความพรุนของตัวอย่างมีค่าดังตารางที่ 4.4

จากตารางจะพบว่าเมื่อทำการล้างกรดแล้วจะทำให้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงขึ้นทั้งนี้เนื่องจากกรดไฮโดรคลอริกจะไปทำการกำจัดสารประกอบที่มีโลหะประจุบวกเป็นองค์ประกอบ อีกทั้งยังเป็นการเปิดรูที่สารประกอบซิลิกาซึ่งก่อนหน้าการล้างกรดจะถูกปิดด้วยไอออนบวกของโลหะซึ่งจะพบในกรณีของแกลบ

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธี BET

Sample	Specific area (m^2/g)	Pore Volume (m^3/g)
Coal	6.730	0.012
decoal	7.050	0.011
RH	6.578	0.008
deRH	11.037	0.017
CC	9.333	0.006
deCC	9.439	0.006

4.2.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารอนินทรีย์ในตัวอย่าง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารอนินทรีย์ในตัวอย่างด้วยเทคนิค X-ray fluorescence spectrometry (XRF) เปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 4.5

จากตารางที่ 4.5 พบว่าเมื่อทำการชะแร่ธาตุด้วยกรดไฮโดรคลอริกแร่ธาตุจำพวกคาร์บอเนตจะถูกชะออกทำให้โลหะอัลคาไลน์และโลหะอัลคาไลน์เอิร์ทละลายออกมาส่งผลให้มีปริมาณโลหะเหล่านี้เหลือน้อยลงมาก โดยในกรณีของถ่านหินจะพบว่าปริมาณแคลเซียมลดลงชัดเจนที่สุด ส่วนชีวมวลจะพบว่าโพแทสเซียมและแคลเซียมจะลดลงมากโดยเฉพาะในซังข้าวโพดจะเห็นชัดเจนที่สุด

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารอนินทรีย์ในตัวอย่างด้วยเทคนิค XRF

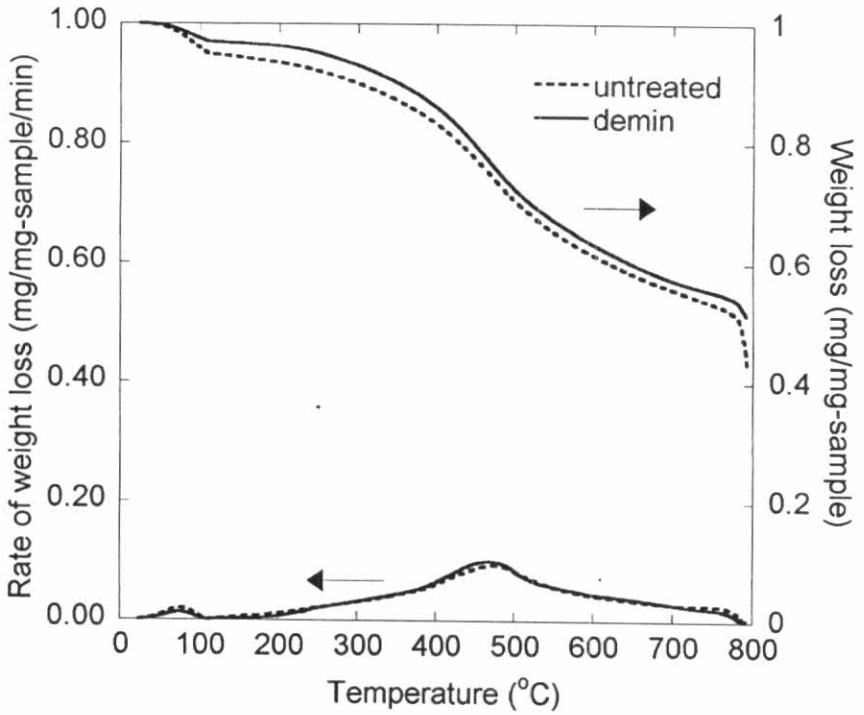
% Element in sample	Atomic Wt	Coal	decoal	RH	deRH	CC	deCC
Na	23	-	-	-	-	-	-
Mg	24.3	0.092	0.019	0.047	-	0.022	-
Al	27	1.392	0.742	0.029	0.020	0.015	-
Si	28.1	2.614	1.638	5.820	6.804	0.241	0.325
S	32.1	1.714	1.248	0.067	0.042	0.078	0.058
K	39.1	0.221	0.162	0.209	0.010	0.646	0.009
Ca	40	0.956	0.016	0.086	0.062	0.062	0.006
Fe	56	1.071	0.327	0.025	0.013	0.032	0.009
Total		8.060	4.152	6.283	6.951	1.109	0.407

4.2.5 เปรียบเทียบสมบัติของตัวอย่างที่ผ่านการล้างและไม่ล้างสารอนินทรีย์

ผลการเปรียบเทียบสมบัติของตัวอย่างทั้ง 6 ชนิดพบว่าเมื่อชะแร่ธาตุออกด้วยวิธีการล้างสารอนินทรีย์โดยกรดไฮโดรคลอริก 5 โมลาร์ดังกล่าวสามารถลดปริมาณเถ้าได้โดยไอออนของไฮโดรเจนในกรดไฮโดรคลอริกเข้าแทนที่ประจุบวกซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ในตัวอย่าง โดยจะลดลงในกรณีที่ตัวอย่างมีปริมาณสารอนินทรีย์จำพวกโลหะอยู่ แต่ไม่สามารถชะแร่ธาตุจำพวก อะลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกาออกไซด์ได้ อีกทั้งกรดไฮโดรคลอริกจะไปทำการชะสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเบา(สารระเหย)บางตัวที่สามารถละลายในกรดได้(ในกรณีของถ่านหิน) และ ไปไฮโดรไลซ์องค์ประกอบจำพวกเฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบในชีวมวล และเป็นส่วนหนึ่งของสารระเหยได้ ซึ่งมีกลูโคสเป็นองค์ประกอบในโครงสร้าง ทำให้เกิดการแตกออกเป็นโมเลกุลสั้นลง

4.3 ผลการไพโรไลซ์

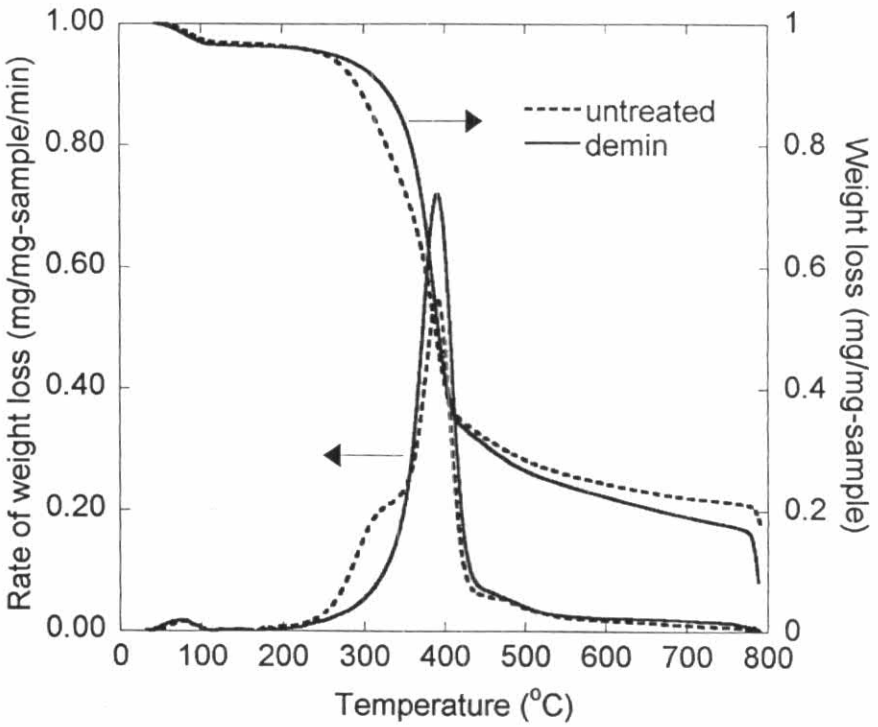
นำตัวอย่างถ่านหินกับชีวมวล(แกลบและซังข้าวโพด)ทั้งที่ผ่านการชะแร่ธาตุและที่ไม่ผ่านการชะแร่ธาตุมาทำการไพโรไลซิสด้วยเครื่อง TG/DTA จากอุณหภูมิห้องจนกระทั่งอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส



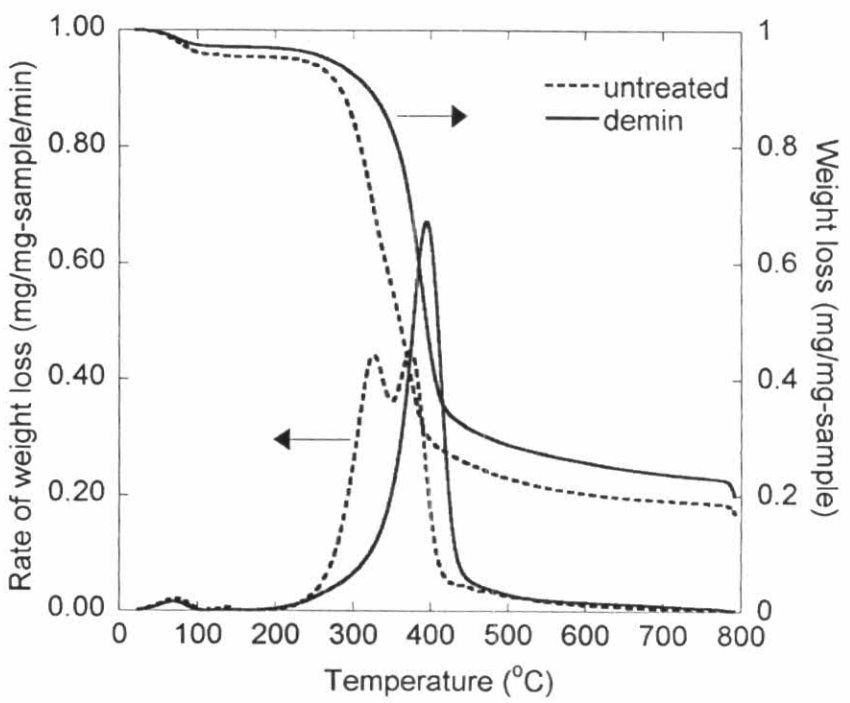
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักและอัตราการสูญเสียน้ำหนักกับอุณหภูมิของตัวอย่างถ่านหินกับถ่านหินที่ผ่านการล้างกรด

จากกราฟจะแสดงถึงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักกับอุณหภูมิ(เส้นบน) จะพบว่าเมื่อนำถ่านหินมาทำการล้างด้วยกรดแล้วจะทำให้ได้ปริมาณถ่านชาร์มากกว่าปกติเล็กน้อยเนื่องจากว่าเมื่อทำการชะด้วยกรด กรดจะไปชะเอาแร่ธาตุที่มีอยู่ในถ่านหิน(ดังแสดงในตารางที่ 4.5)ซึ่งแร่ธาตุเหล่านี้อยู่ร่วมกับหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลิก ส่งผลให้มีหมู่คาร์บอกซิลิกน้อยลงเปลี่ยนไปอยู่ในรูปไฮโดรจีเนต (Li C.-Z. และคณะ,2000)ซึ่งเมื่อสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนแล้วสารที่ระเหยออกมาจะมีการโพลิเมอร์ไรเซชันที่ผิวของถ่านชาร์ได้ง่ายดังนั้นจึงทำให้ปริมาณถ่านชาร์มากขึ้นและเมื่อพิจารณาจากค่าการวิเคราะห์โดยประมาณจะพบว่าเมื่อชะแร่ธาตุออกแล้วส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงซึ่งเป็นผลมาจากการที่ปริมาณเถ้าน้อยลงและเกิดการพอลิเมอไรเซชันซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองนี้

กราฟเส้นล่างจะพิจารณาความสัมพันธ์ของอัตราการสูญเสียน้ำหนักกับอุณหภูมิ(DTG) กราฟมีลักษณะคล้ายภูเขาโดยส่วนนี้เราจะพิจารณาได้เป็น 2 กรณี คือตำแหน่งของอุณหภูมิ ณ จุดที่มีค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักสูงสุดที่อุณหภูมิประมาณ 480 องศาเซลเซียสซึ่งแสดงถึงความว่องไวของปฏิกิริยา ถ้าอุณหภูมินี้ต่ำแสดงว่าสามารถเกิดได้ดี กรณีที่สองคือ ส่วนสูงที่สุดของยอดกราฟแสดงถึงการสลายตัวของเชื้อเพลิงถ้าสูงมากแสดงว่ามีการสลายตัวกลายเป็นไอมาก โดยจากกราฟพบว่าถ่านหินที่ทำการชะด้วยกรด ให้ผลการสลายตัวไม่แตกต่างจากถ่านหินที่ไม่ผ่านการชะด้วยกรดเมื่อทำการชะด้วยกรดแล้ว ไม่พบความแตกต่างมากนัก



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักและอัตราการสูญเสียน้ำหนักกับอุณหภูมิของตัวอย่างชีวมวลกับชีวมวลที่ผ่านการล้างกรด (ก) แกลบ (ข) ซังข้าวโพด

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักกับอุณหภูมิของชีวมวล(กราฟเส้นบน) จะพบว่าลักษณะจะคล้ายของถ่านหิน คือ เมื่อทำการชะแร่ธาตุออกแล้วจะทำให้มีปริมาณถ่านชาร์หลังจากทำการไพโรไลซิสแล้วจะมีปริมาณสูงขึ้นโดยเฉพาะจะเห็นได้ชัดในกรณีของซังข้าวโพด ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อพิจารณาปริมาณแร่ธาตุที่ถูกชะออกไปแล้วจะพบว่าในกรณีของซังข้าวโพดจะเห็นได้ชัดเจนเป็นอย่างมาก (ตารางที่ 4.5) ส่วนกรณีของแกลบพบว่าไม่แตกต่างกันมากนัก

สำหรับในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูญเสียน้ำหนักกับอุณหภูมิพบว่า ในชีวมวลจะมีลักษณะกราฟแบ่งออกช่วงอุณหภูมิซึ่งสัมพันธ์กับการสลายตัวของส่วนประกอบในชีวมวลซึ่งส่วนแรกคือเฮมิเซลลูโลส ซึ่งมีการศึกษาพบว่าจะเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำสุดประมาณ 200-350 องศาเซลเซียส ต่อมาเป็นส่วนของเซลลูโลสที่อุณหภูมิประมาณ 290-400 องศาเซลเซียส สุดท้ายเป็นลิกนินที่อุณหภูมิประมาณ 200-590 องศาเซลเซียส โดยจากกราฟจะเห็นว่าจะมีส่วนของ กราฟที่หายไปคือสาร เฮมิเซลลูโลสโดยสารเฮมิเซลลูโลสจะสลายตัวในกรดได้ง่าย สำหรับในส่วนของความสูงของกราฟพบว่าเมื่อทำการล้างกรดแล้วจะทำให้ค่าสูงสุดของกราฟสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อทำการชะแร่ธาตุแล้วกรดไฮโดรคลอริกจะไปทำการไฮโดรไลซ์สารเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส ทำให้สายโมเลกุลของกลูโคสที่เป็นองค์ประกอบเกิดการแตกออกเป็นสายสั้นลง การสลายตัวจึงง่ายขึ้น (Das.และคณะ,2004) ประกอบกับการที่คุณสมบัติของสารเฮมิเซลลูโลสซึ่งทำหน้าที่เหมือนเป็นกำแพงเสริมความแข็งแรงให้กับผนังเซลล์(เซลลูโลส) เมื่อกำแพงเสริมตามธรรมชาติหายไปทำให้เซลลูโลสสลายตัวได้เร็วขึ้นความสูงของกราฟจึงสูงขึ้น และเมื่อพิจารณาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะจะพบว่าเมื่อทำการชะกรดแล้วจะทำให้มีค่าสูงขึ้นส่งผลให้การสลายตัวเร็วขึ้น

สำหรับอุณหภูมิที่จุดสูงสุดของกราฟจะพบว่าเมื่อทำการชะแร่ธาตุออกแล้วแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี คือในกรณีของแกลบจะพบว่าอุณหภูมิที่อัตราการสลายตัวสูงสุดไม่เห็นการเปลี่ยนแปลง แต่กรณีของซังข้าวโพดพบว่าเมื่อชะแร่ธาตุแล้วจะทำให้อุณหภูมิที่อัตราการสลายตัวสูงสุดมีค่าสูงขึ้นทั้งนี้เมื่อพิจารณาถึงแร่ธาตุที่ถูกชะออกจากตารางที่ 4.5 จะพบว่าซังข้าวโพดมีปริมาณ โพแทสเซียมลดลงในปริมาณมาก อีกทั้งคาดว่าโลหะอัลคาไลน์ที่อยู่ในซังข้าวโพดอยู่ในรูปโพแทสเซียมคาร์บอเนตดังที่กล่าวไปแล้วมีพฤติกรรมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีผลในการช่วยแตกตัวของน้ำมันทาร์ได้ และช่วยลดการพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งจะลดการเกิดโค้ก

4.4 ผลของการไพโรไลซิสร่วมระหว่างถ่านหินและชีวมวล

นำตัวอย่างถ่านหินผสมกับชีวมวล(แกลบและซังข้าวโพด)ทั้งที่ผ่านการชะแร่ธาตุและที่ไม่ผ่านการชะแร่ธาตุมาผสมกันในอัตราส่วน ถ่านหิน 60 และชีวมวล 40 โดยน้ำหนัก มาทำการไพโรไลซิสด้วยเครื่อง TG/DTA จากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

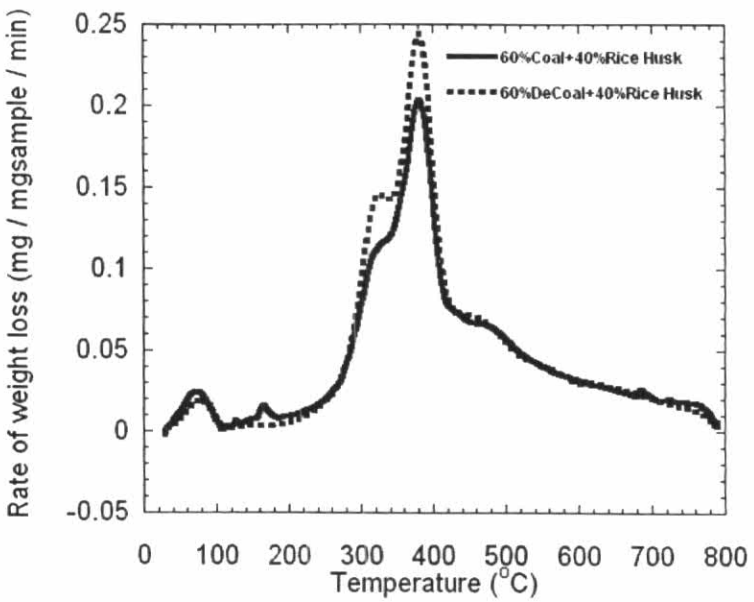
4.4.1 อิทธิพลของแร่ธาตุในถ่านหินต่อการไพโรไลซิสร่วมระหว่างถ่านหินและชีวมวล

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสลายตัวทางความร้อนกับอุณหภูมิของของผสมระหว่างถ่านหินและชีวมวล(รูปที่ 4.3) แบ่งได้เป็น 2 กรณี

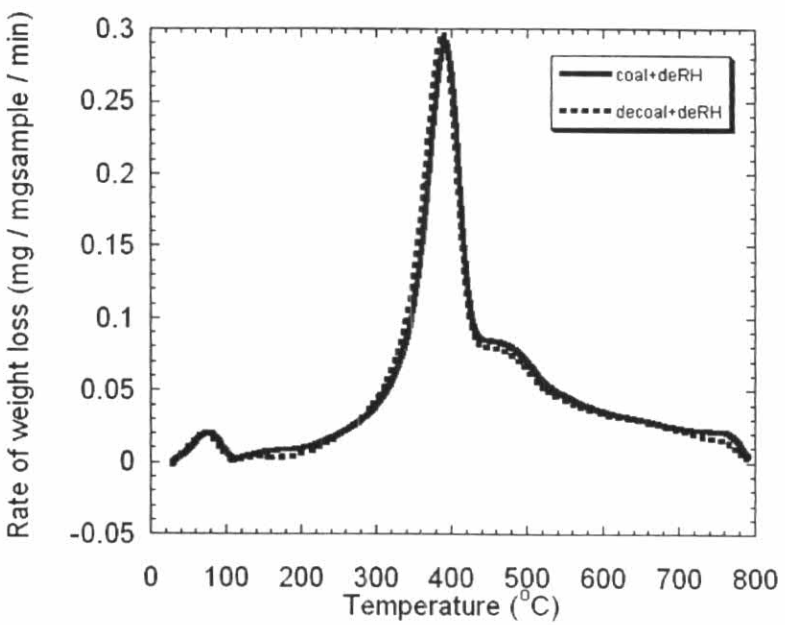
4.4.1.1 กรณีของถ่านหินผสมกับแกลบ พบว่าเมื่อทำการชะแร่ธาตุในถ่านหินออกทำให้อัตราการสลายตัวของของผสมระหว่างถ่านหินกับแกลบที่ไม่ผ่านการชะแร่ธาตุสูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.4 ทั้งนี้เนื่องจากแร่ธาตุจะจับตัวกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเกิดในรูปของคาร์บอกซิลิกซึ่งเสถียรกว่าในรูปของไฮโดรจีเนตประกอบกับการที่เมื่อนำมาผสมกับแกลบ แร่ธาตุในแกลบได้แก่ โพแทสเซียมซึ่งอยู่ในรูปคาร์บอเนต ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยในการแตกตัวของสารระเหยจากถ่านหินที่ทำการชะแร่ธาตุแล้วส่งผลให้อัตราการสลายตัวทางความร้อนสูงขึ้น เมื่อพิจารณาจากปริมาณสารระเหยที่มีอยู่นั้นจะพบว่าแกลบกับถ่านหินมีค่าปริมาณสารระเหยได้ไม่ต่างกันมากนักทำให้เห็นผลของตัวเร่งปฏิกิริยาชัดเจนขึ้น

สำหรับอุณหภูมิที่จุดสูงสุดของกราฟจะพบว่าเมื่อทำการชะแร่ธาตุของแกลบออกแล้วนั้นจะทำให้อุณหภูมิที่จุดสูงสุดไม่เปลี่ยนแปลง

4.4.1.2 กรณีของถ่านหินผสมกับซังข้าวโพด พบว่าเมื่อทำการชะแร่ธาตุในถ่านหินออกแล้วพบว่าอัตราการสลายตัวทางความร้อน และตำแหน่งของอุณหภูมิที่จุดสูงสุดของกราฟไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากการที่ซังข้าวโพดมีค่าปริมาณสารระเหยได้สูงกว่าถ่านหินค่อนข้างมาก ทำให้ถึงแม้ว่าค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของของผสมมีค่าสูงขึ้น แต่ด้วยปริมาณสารระเหยที่สูงทำให้เกิดการพอลิเมอไรเซชันได้ง่ายจึงทำให้ไม่เห็นความแตกต่างกันมากนัก

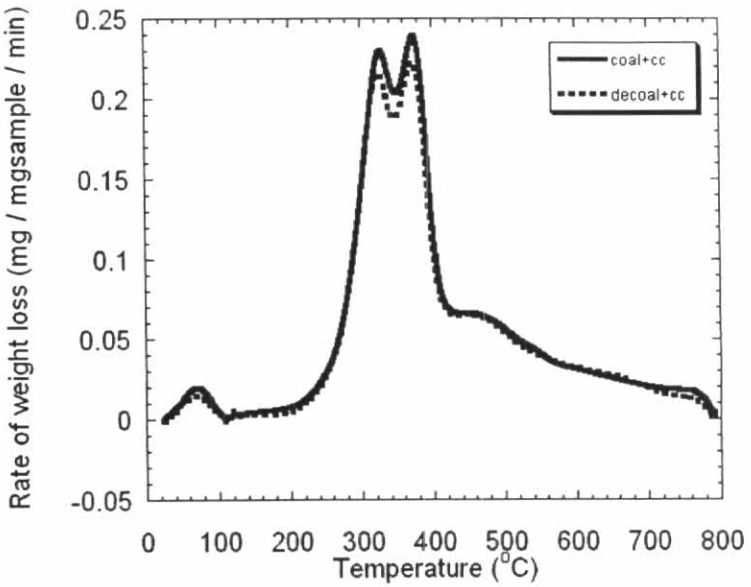


(ก)

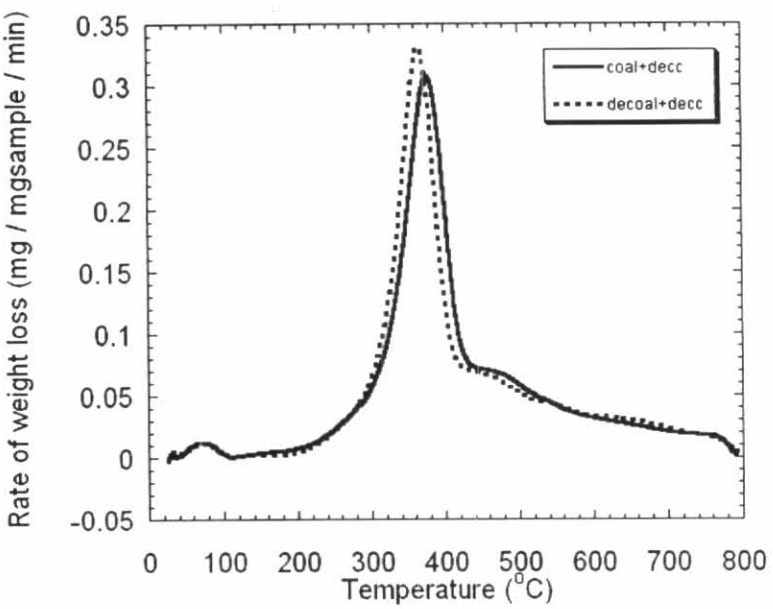


(ข)

รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูญเสียน้ำหนักกับอุณหภูมิของของผสมระหว่างถ่านหินและชีวมวล (ก)ถ่านหินกับแกลบ (ข)ถ่านหินกับแกลบที่ชะแร่ธาตุ



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูญเสียน้ำหนักกับอุณหภูมิของของผสมระหว่างถ่านหินและชีวมวล (ค)ถ่านหินกับซังข้าวโพด (ง)ถ่านหินกับซังข้าวโพดที่ชะแร่ธาตุ (ต่อ)

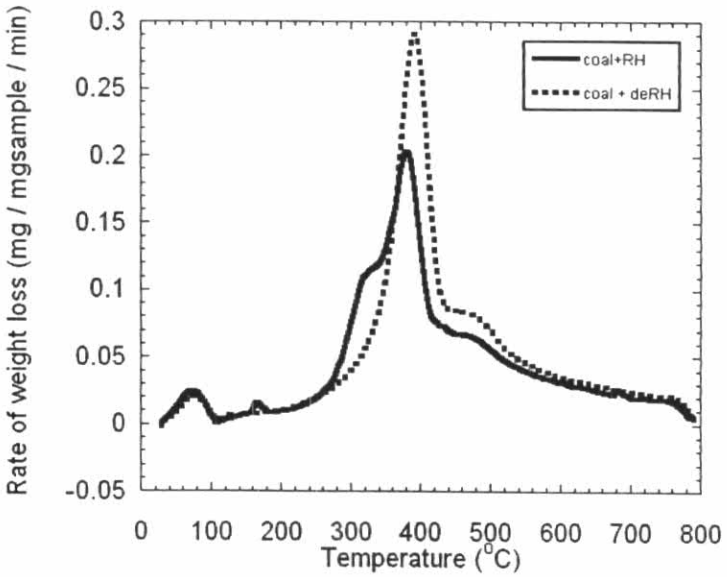
4.4.2 อิทธิพลของแร่ธาตุในชีวมวลต่อการไพโรไลซิสร่วมระหว่างถ่านหินและชีวมวล

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสลายตัวทางความร้อนกับอุณหภูมิของของผสมระหว่างถ่านหินและชีวมวล (รูปที่ 4.4 และ 4.5) พิจารณาเป็น 2 กรณี คือ

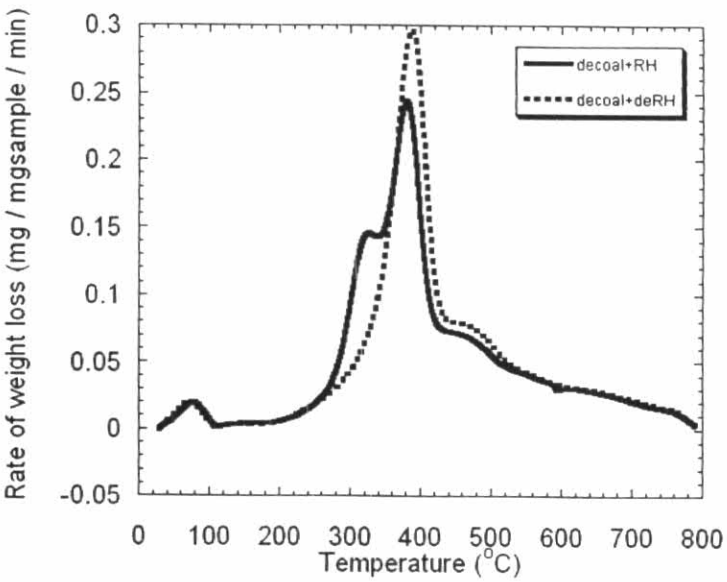
4.4.2.1 กรณีของแกลบเมื่อทำการชะแร่ธาตุในแกลบออกทำให้อัตราการสลายตัวของของผสมทั้งระหว่างถ่านหินกับแกลบและถ่านหินที่ชะแร่ธาตุกับแกลบสูงขึ้นดัง แสดงดังรูปที่ 4.4 ทั้งนี้เนื่องจากแร่ธาตุจะจับตัวกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเกิดในรูปของคาร์บอกซิลิกซึ่งเสถียรกว่าในรูปของไฮโดรจีเนตประกอบกับการที่เมื่อนำแกลบมาชะแร่ธาตุแล้วนั้นจะทำให้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ(Specific Area) สูงขึ้นดังนั้นเมื่อนำมาผสมกับถ่านหินซึ่งมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะต่ำ ค่าเฉลี่ยโดยรวมจึงสูงขึ้นส่งผลให้อัตราการสลายตัวทางความร้อนมีค่าสูงขึ้น

สำหรับอุณหภูมิที่จุดสูงสุดของกราฟจะพบว่าเมื่อทำการชะแร่ธาตุของแกลบออกแล้วนั้นจะทำให้อุณหภูมิที่จุดสูงสุดเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากแร่ธาตุจะทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวของสารระเหย ทำให้สารระเหยได้สามารถระเหยออกมาได้ง่ายขึ้นจึงสลายตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำลง

4.4.2.2 กรณีของซังข้าวโพดมีลักษณะคล้ายกับกรณีของแกลบคือเมื่อชะแร่ธาตุออกแล้วจะทำให้อัตราการสลายตัวของของผสมสูงขึ้น และอุณหภูมิที่จุดสูงสุดของกราฟสูงขึ้นเล็กน้อย

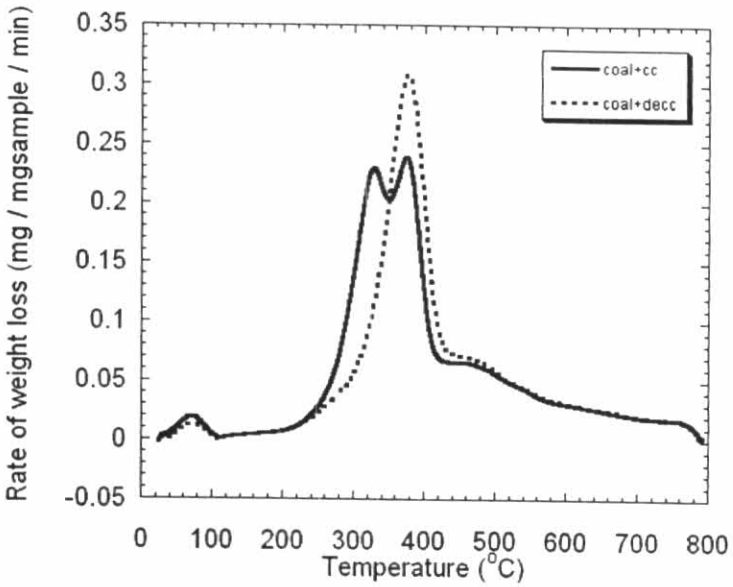


(ก)

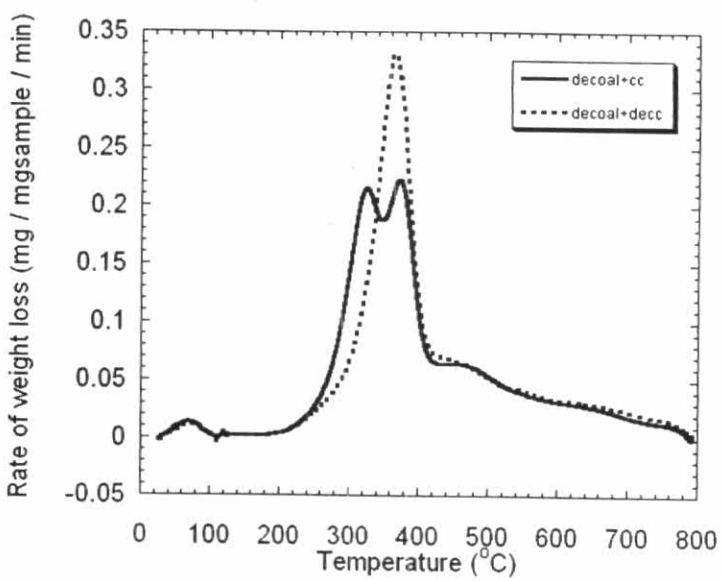


(ข)

รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูญเสียน้ำหนักกับอุณหภูมิของของผสมระหว่างถ่านหินและชีวมวล (ก)ถ่านหินกับแกลบที่ชะแร่ธาตุและแกลบที่ไม่ชะแร่ธาตุ (ข)ถ่านหินที่ชะแร่ธาตุกับแกลบที่ชะแร่ธาตุและแกลบที่ไม่ชะแร่ธาตุ



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูญเสียน้ำหนักกับอุณหภูมิของของผสมระหว่างถ่านหินและชีวมวล (ก)ถ่านหินกับซังข้าวโพดที่ชะแร่ธาตุและซังข้าวโพดที่ไม่ชะแร่ธาตุ (ข)ถ่านหินที่ชะแร่ธาตุกับซังข้าวโพดที่ชะแร่ธาตุและซังข้าวโพดที่ไม่ชะแร่ธาตุ

4.5 ผลของแกซิฟิเคชัน

นำตัวอย่างถ่านหินกับชีวมวล(แกลบและชังข้าวโพด)ทั้งที่ผ่านการชะแร่ธาตุและที่ไม่ผ่านการชะแร่ธาตุมาทำแกซิฟิเคชันด้วยไอน้ำในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนน้ำเท่ากับ 0.075 มิลลิลิตรต่อนาที

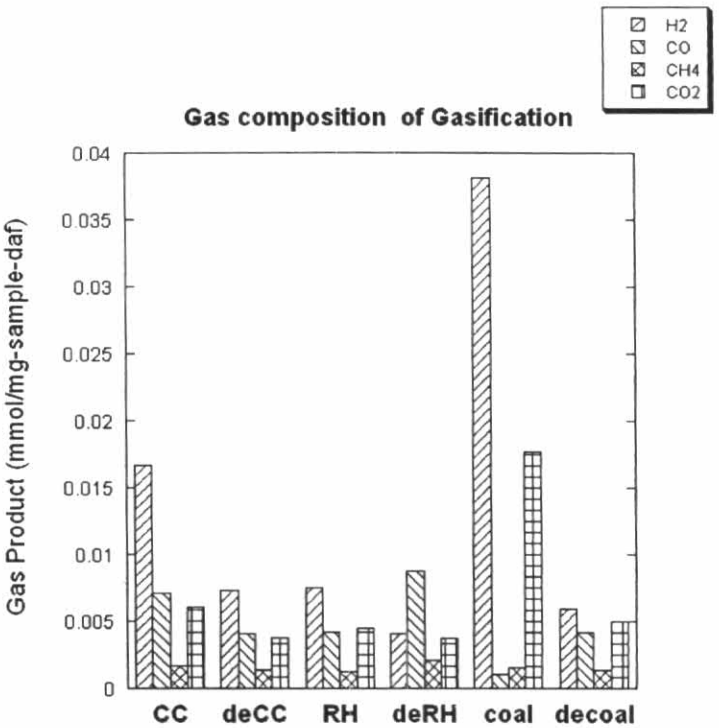
4.5.1 ผลของแร่ธาตุต่อการแกซิฟิเคชัน

จากกราฟที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้พบว่าเมื่อทำการชะแร่ธาตุออกแล้วจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แก๊สที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบลดลง น้ำมันทาร์เพิ่มขึ้น ส่วนถ่านชาร์พบว่าไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนในกรณีของแกลบเมื่อทำการชะแร่ธาตุแล้วจะเห็นว่าค่าพื้นที่ผิวจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากดังตารางที่ 4.4 ดังนั้นเมื่อทำแกซิฟิเคชันทำให้ถ่านชาร์ที่ได้มีความว่องไวมากขึ้น(มีรูพรุนมาก) ดังนั้นจึงเกิดปฏิกิริยาได้ดีส่งผลให้เกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มากขึ้นซึ่งแก๊สเหล่านี้มาจากการแตกตัวของน้ำมันทาร์ประกอบกับโครงสร้างของโลหะโพแทสเซียมที่มีในองค์ประกอบของชังข้าวโพดและแกลบมีโครงสร้างต่างกันโดยมีงานวิจัย(Zevenoven-Onderwater M.และคณะ,2000) พบว่า ในกรณีที่ชีวมวลมีปริมาณของซิลิกามากแต่มีปริมาณโลหะน้อยเมื่อเกิดปฏิกิริยาแกซิฟิเคชันหรือปฏิกิริยาการเผาไหม้จะทำให้สารประกอบจำพวกโลหะเกิดในรูปของโลหะซิลิเกตโดยเฉพาะในกรณีของโพแทสเซียมเนื่องจากการฟอร์มตัวจะต่ำกว่า 800 องศาเซลเซียส ส่วนในกรณีที่มีซิลิกาไม่มากแต่มีปริมาณโลหะมากจะเกิดในรูปของโลหะคาร์บอเนต ซึ่งจะเกิดการเยิ้มตัวและหลอมตัวที่อุณหภูมิประมาณ 700 องศาเซลเซียส ประกอบกับบางส่วนเกิดการสลายตัวออกไปด้วย ทำให้เมื่อเกิดการแกซิฟิเคชันแล้วโลหะคาร์บอเนตบางส่วนจะหลอมตัวและปิดรูพรุนของถ่านชาร์ที่เกิดขึ้น ทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านชาร์ลดลง

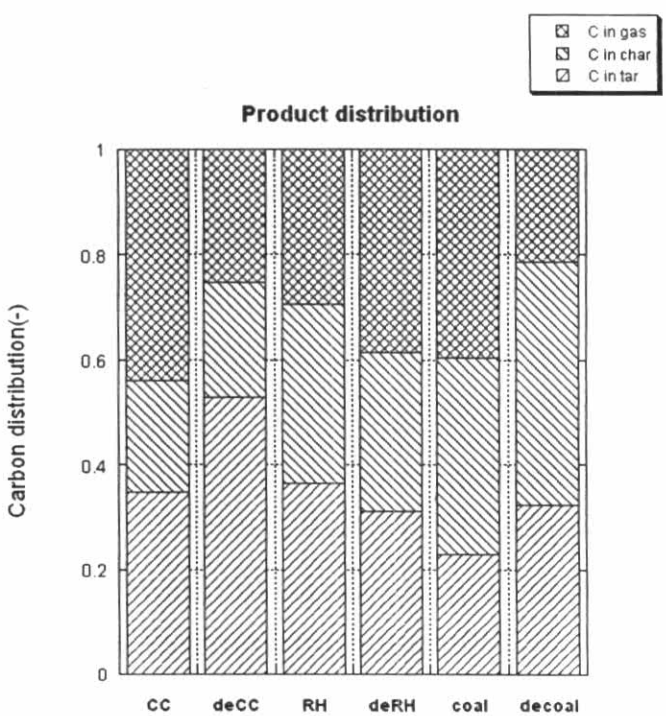
ซึ่งเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.5 จะพบว่าชังข้าวโพดมีปริมาณโพแทสเซียมมากแต่มีปริมาณซิลิกาน้อย โพแทสเซียมเมื่อเกิดปฏิกิริยาแกซิฟิเคชันจึงอยู่ในรูปของโพแทสเซียมคาร์บอเนต ส่วนกรณีของแกลบจะพบว่าแกลบมีปริมาณโพแทสเซียมน้อยแต่มีปริมาณซิลิกามาก โพแทสเซียมจึงอยู่ในรูปของโพแทสเซียมซิลิเกตซึ่งมีความว่องไวน้อยกว่าในรูปของโพแทสเซียมคาร์บอเนต แต่จะมีการสลายตัวยากกว่าทำให้มีการสูญเสียตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยเมื่อเกิดปฏิกิริยาแกซิฟิเคชัน

ในด้านขององค์ประกอบแก๊สที่ได้พบว่าเมื่อทำการชะแร่ธาตุออกแล้วส่งผลให้แก๊สแต่ละชนิดลดลงแสดงว่าแร่ธาตุในเชื้อเพลิงช่วยให้เกิดปฏิกิริยาโดยรวมมากขึ้น สำหรับในกรณีของถ่านหินพบว่าเมื่อชะแร่ธาตุแล้วมีปริมาณแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงอย่างมาก

ประกอบกับมีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นแสดงว่าแร่ธาตุในถ่านหินสนับสนุนให้เกิดปฏิกิริยาแกซิฟิเคชัน ปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟท์ แต่จะสนับสนุนปฏิกิริยาชิฟท์มากกว่าโดยเป็นผลจากสาร แคลเซียมคาร์บอเนต(Li X.และคณะ,2005) และสารเหล็กออกไซด์ (Yu J. และคณะ ,2004) สำหรับในส่วนของแกลบจะพบว่าเมื่อทำการชะแร่ธาตุแล้วจะส่งผลให้แก๊สผลิตภัณฑ์โดยรวมลดลงยกเว้นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จะมีปริมาณมากขึ้นเนื่องจากเมื่อทำการชะแร่ธาตุแล้วจะทำให้มีสัดส่วนของเซลลูโลสมากขึ้นประกอบกับการมีรูพรุนและพื้นที่ผิวมากทำให้เกิดปฏิกิริยาแตกตัวได้ดีอีกทั้งโพแทสเซียมที่อยู่ในแกลบเมื่อเกิดปฏิกิริยาแกซิฟิเคชันจะอยู่ในรูปโพแทสเซียมซิลิเกตซึ่งจะว่องไวน้อยกว่าโพแทสเซียมคาร์บอเนต ทำให้ผลของตัวเร่งมีน้อยกว่าผลของพื้นที่ผิวส่วนกรณีของซังข้าวโพดคาดว่าเมื่อทำการชะแร่ธาตุแล้วจะส่งผลให้มีปริมาณโลหะน้อยลงดังนั้นเมื่อนำมาแกซิฟิเคชันจึงส่งผลให้แก๊สผลิตภัณฑ์ลดลง



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.6ความสัมพันธ์ระหว่าง ผลิตภัณฑ์กับชนิดของชีวมวล (ก) องค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้กับชนิดของชีวมวล (ข) องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ที่ได้กับชนิดของชีวมวล

4.5.2 ผลของแร่ธาตุต่อการแกซิฟิเคชันร่วมระหว่างถ่านหินกับแกลบ

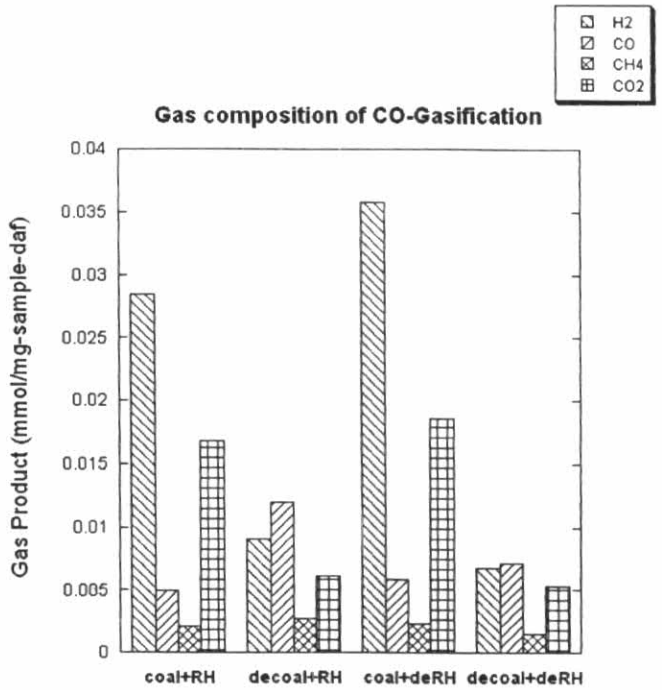
จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ของเชื้อเพลิงผสม(รูปที่ 4.7) แบ่งได้เป็น 2 กรณี

4.5.2.1 ผลของแร่ธาตุในถ่านหินต่อแกซิฟิเคชันร่วมของของผสมถ่านหินกับแกลบ พบว่าเมื่อชะแร่ธาตุในถ่านหินจะส่งผลให้แก๊สผลิตภัณฑ์น้อยลงทั้ง แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับแก๊สมีเทนไม่เห็นชัดมากนักแต่จะทำให้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจากแร่ธาตุในถ่านหินจะไปช่วยสนับสนุนให้เกิดปฏิกิริยาแกซิฟิเคชันและปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟท์ โดยจะสนับสนุนปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟท์มากกว่าดังนั้นเมื่อชะแร่ธาตุออกแล้วทำให้ปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟท์เกิดน้อยลงส่งผลให้มีแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มากแต่มีแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์น้อย

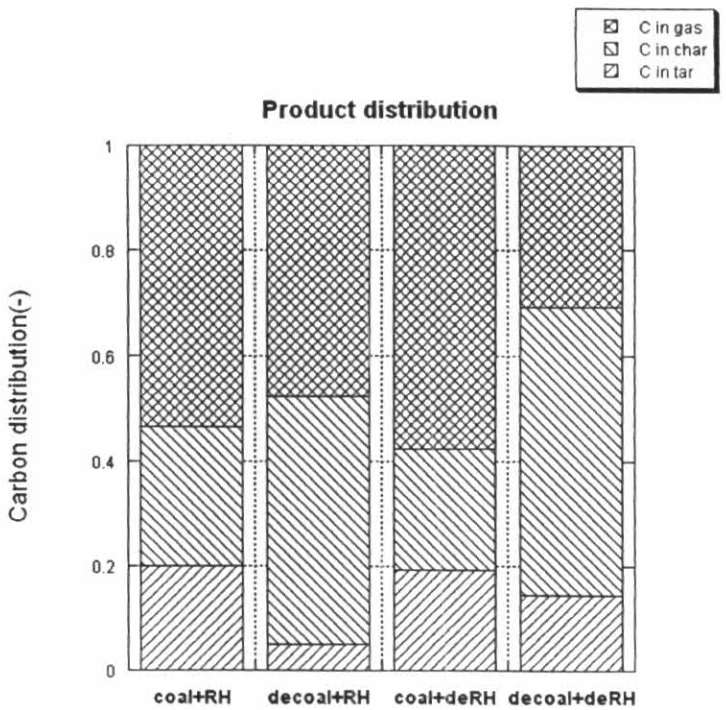
4.5.2.2 ผลของแร่ธาตุในแกลบต่อแกซิฟิเคชันร่วมในของผสมถ่านหินกับแกลบพบว่าเมื่อชะแร่ธาตุในแกลบจะส่งผลใน 2 ลักษณะ คือ

- กรณีผสมกับถ่านหินจะพบว่าผลิตภัณฑ์แก๊สเพิ่มขึ้นเล็กน้อยซึ่งปริมาณแก๊สที่เพิ่มขึ้นนี้มาจากส่วนของถ่านชาร์ที่ลดลง อธิบายได้ว่าโดยปกติแล้วแกลบที่ชะแร่ธาตุแล้วเมื่อนำไปแกซิฟิเคชันแล้วจะส่งผลให้แก๊สผลิตภัณฑ์ลดลงแต่จะให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นแต่เมื่อนำมาผสมกับถ่านหินซึ่งมีแร่ธาตุที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาแกซิฟิเคชันและปฏิกิริยาชิฟท์ได้ดีโดยเฉพาะปฏิกิริยาชิฟท์ ทำให้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดปฏิกิริยาชิฟท์ จึงมีแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น

- กรณีผสมกับถ่านหินที่ชะแร่ธาตุแล้วพบว่าเมื่อชะแร่ธาตุในแกลบแล้วจะทำให้มีปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์โดยรวมน้อยลงเนื่องจากถ่านหินที่ชะแร่ธาตุจะมีปริมาณแคลเซียมกับโพแทสเซียมน้อยส่งผลให้การแตกตัวและการเกิดปฏิกิริยาของสารระเหยได้น้อยลงและอีกทั้งโพแทสเซียมในแกลบไม่ว่าจะชะแร่ธาตุหรือไม่ชะแร่ธาตุน่าจะอยู่ในรูปของโพแทสเซียมซิลิเกตเหมือนกัน (สัดส่วนน้อยเมื่อเทียบกับการซิลิกา) ดังนั้นจึงไม่ระเหยง่าย ปริมาณค่อนข้างคงที่ตลอดแกซิฟิเคชันดังนั้นการมีปริมาณโพแทสเซียมมากหรือน้อยจึงมีผลในการช่วยแตกตัวของคาร์บอน



(ก)



(ข)

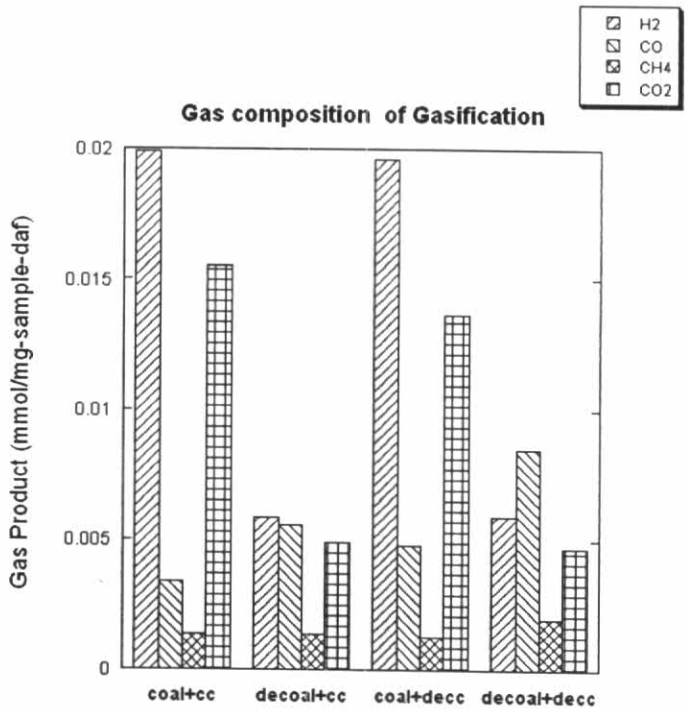
รูปที่ 4.7ความสัมพันธ์ระหว่างผลิตภัณฑ์กับชนิดของชีวมวล(ถ่านหินและแกลบ) (ก) องค์ประกอบแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้กับชนิดของชีวมวล (ข) องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ที่ได้กับชนิดของชีวมวล

4.5.3 ผลของแร่ธาตุต่อการแกซิฟิเคชันร่วมระหว่างถ่านหินกับซังข้าวโพด

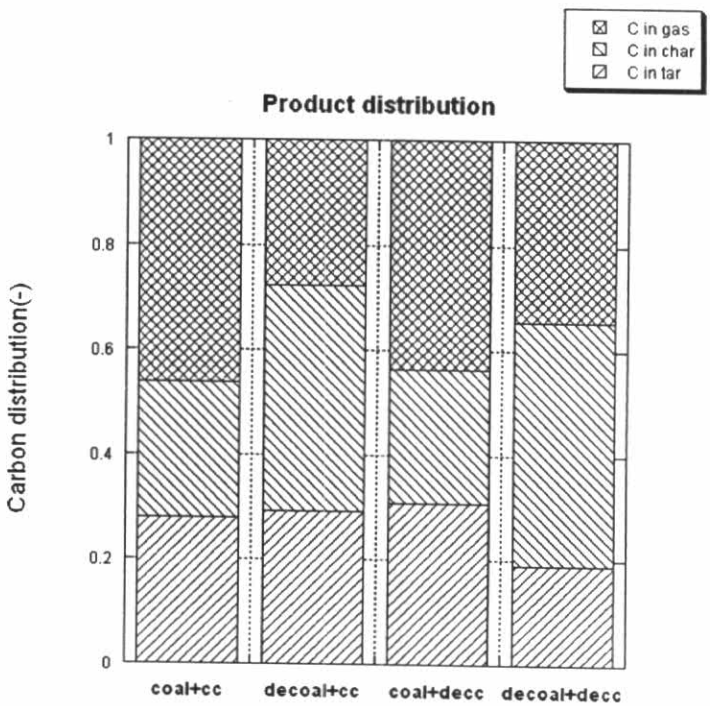
จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ของเชื้อเพลิงผสมแบ่งได้เป็น 2 กรณี

4.5.3.1 ผลของแร่ธาตุในถ่านหินต่อแกซิฟิเคชันร่วมในของผสมถ่านหินกับซังข้าวโพด พบว่าเมื่อชะแร่ธาตุในถ่านหินจะส่งผลให้แก๊สผลิตภัณฑ์น้อยลงทั้ง แก๊สไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับแก๊สมีเทนไม่เห็นชัดมากนักแต่จะทำให้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจากแร่ธาตุที่มีอยู่ในถ่านหินทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยในการแตกตัวของสารระเหยได้ ช่วยในการกระตุ้นปฏิกิริยาแกซิฟิเคชันและปฏิกิริยาชิฟท์ซึ่งจะเปลี่ยนแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้ได้แก๊สไฮโดรเจนกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งแก๊สผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นผลมาจากส่วนของการเกิดปฏิกิริยาของถ่านชาร์ อีกทั้งยังคาดว่า สารระเหยที่ออกมาจากซังข้าวโพดจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันที่ผิวถ่านชาร์ของทั้งซังข้าวโพดและอาจไปเกาะติดที่ผิวถ่านชาร์ของถ่านหินทำให้ปริมาณถ่านชาร์ของของผสมถ่านหินและซังข้าวโพดมากขึ้น และสามารถเกิดปฏิกิริยาแกซิฟิเคชันของถ่านชาร์ได้มากขึ้น

4.5.3.2 ผลของแร่ธาตุในซังข้าวโพดต่อแกซิฟิเคชันร่วมในของผสมถ่านหินกับซังข้าวโพด พบว่าเมื่อชะแร่ธาตุในซังข้าวโพดจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แก๊สลดลงเล็กน้อยแต่จะได้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นโดยคาดว่าแร่ธาตุในซังข้าวโพด(โพแทสเซียม)ไปลดการเกิดการรีพอลิเมอไรเซชันของน้ำมันทาร์ทำให้มีปริมาณถ่านชาร์น้อย ส่งผลให้มีสารตั้งต้นในปฏิกิริยาน้อยลงแก๊สผลิตภัณฑ์จึงน้อยลงอีกทั้งยังคาดว่าแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มากขึ้นมาจากการที่มีสัดส่วนของสารเซลลูโลสเพิ่มขึ้นหลังจากการชะแร่ธาตุแล้ว



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.8ความสัมพันธ์ระหว่างผลิตภัณฑ์กับชนิดของชีวมวล(ถ่านหินและซังข้าวโพด) (ก) องค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้กับชนิดของชีวมวล (ข) องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ที่ได้กับชนิดของชีวมวล