บทที่ 4

ผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์เศษถ่านหินจากเหมืองแม่ตีบ ตามรายการการวิเคราะห์แบบประมาณค่าความร้อน และร้อยละกำมะถันแสดงในตารางที่ 4.1 จากค่าความร้อน (ตัวอย่างรวมความชื้นและไม่รวมสารอนินทรีย์) แสดงว่าเศษถ่านหินตัวอย่างนี้จัดอยู่ในศักดิ์ซับ-บิทูมินัส ซี เปรียบเทียบจากตารางการจัดแบ่งถ่านหินโดยวิธี ASTM D 388 ในตารางที่ 2.2 เศษถ่านหินนี้มีปริมาณเถ้าสูงถึงร้อยละ 26.21 และสารระเหยสูงถึงร้อยละ 29.51 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติดังกล่าวภายหลังการแยกขนาดเป็น 4 ช่วงขนาดคือ 2-7 มิลลิเมตร 1-2 มิลลิเมตร 0.5 - 1.0 มิลลิเมตร และ 0.25 - 0.50 มิลลิเมตร แสดงในตารางที่ 4.1 เช่นกัน จะเห็นว่าคุณสมบัติของเศษถ่านหินทั้ง 3 ช่วงขนาดแรก ไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนช่วงขนาด 0.25 - 0.50 มิลลิเมตร มีปริมาณเถ้าสูงกว่า 3 ช่วงขนาดแรก และมีปริมาณคาร์บอนคงตัวและค่าความร้อนต่ำกว่า

4.1 ผลการทดลองคาร์บอไนซ์ในรีทอร์ทมาตรฐานแบบฟิชเชอร์

4.1.1 ผลของช่วงขนาดและอุณหภูมิต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ จากตารางที่ 4.2 - 4.5

4.1.1.1 ก๊าซถ่านหิน ปริมาตรเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่คาร์บอไนซ์ และให้ผลใกล้เคียงกันทั้ง 4 ช่วงขนาดโดยเฉลี่ยจาก 2,000 ถึง 22,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่สภาวะมาตรฐาน และเพิ่มอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิ 600 - 700 องศาเซลเซียส คือเพิ่มขึ้นประมาณ 5,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อที่อุณหภูมิสูงกว่านี้

4.1.1.2 ของเหลวใส ปริมาตรเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ คืออยู่ในช่วง 23 - 29 มิลลิลิตร ทั้ง 4 ช่วงขนาด ตั้งแต่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ขึ้นไปปริมาตรค่อนข้างคงที่

4.1.1.3 น้ำมันทาร์ จากถ่านหินทั้ง 4 ช่วงขนาด เมื่อถูกคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณน้ำมันทาร์น้อยมากเพียง 0.5 - 1.0 มิลลิลิตร และเพิ่มขึ้น

กว่าเท่าตัวเป็น 2.2 - 3.0 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส จากนั้นเปลี่ยนแปลงไม่มากนักเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณสูงที่สุดคือที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส (3.5-4.0 มิลลิลิตร) โดยเศษถ่านหินช่วงขนาดใหญ่ที่สุด (2-7 มิลลิเมตร) ให้ปริมาณน้ำมันทาร์สูงที่สุด

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของถ่านหินดิบช่วงขนาดต่าง ๆ ตั้งแต่ 0.25 ถึง 7.00 มิลลิเมตร (ผึ่งตัวอย่างแห้งในอากาศ)

คุณสมบัติ	ขนาดเศษถ่านหินดิบ			
	2ถึง 7 มม.	1 ถึง2 มม.	0.5 ถึง 1.0 มม.	0.25 ถึง 0.50 มม.
การวิเคราะห์แบบประมาณ, ร้อยละ				
ความชื้น	19.86	20.68	20.09	18.88
เถ้า	21.75	19.34	21.41	25.55
สารระเหย	30.17	30.32	30.12	29.23
คาร์บอนคงตัว	28.22	29.66	28.38	26.34
อัตราส่วนคาร์บอนคงตัว/สารระเหย	0.94	0.98	0.94	0.90
ร้อยละกำมะถัน	0.70	0.70	0.72	0.74
ค่าความร้อน, แคลอรี/กรัม				
ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์	3,913	4,074	3,984	3,627
ตัวอย่างไม่รวมความชื้น	4,883	5,136	4,986	4,471
ตัวอย่างไม่รวมความชื้นและเถ้า	6,701	6,792	6,810	6,527
ค่าความร้อน (บีทียู/ปอนด์) (ตัวอย่างไม่รวมสารอนินทรีย์)	9,001	9,091	9,125	8,769
ศักดิ์ของตัวอย่างเทียบกับ ASTM D388 (ตารางที่ 2.2)	ซับ-บิทูมินัส ซี	ซับ-บิทูมินัส ซี	ซับ-บิทูมินัส ซี	ซับ-บิทูมินัส ซี

ตารางที่ 4.2 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 2-7 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิที่คาร์บอไนซ์ (องศาเซลเซียส)	ผลิตภัณฑ์ที่ได้			
	ก๊าซถ่านหิน (ลบ.ซม.ที่ส่ภาวะมาตรฐาน)	ของเหลวใส่ (มิลลิลิตร)	น้ำมันทาร์ (มิลลิลิตร)	ถ่านชาร์ (กรัม)
300	1,900	24.0	0.9	69.8
400	3,100	26.0	3.0	64.3
500	6,600	28.0	4.0	58.0
600	10,200	28.5	4.0	53.8
700	16,100	28.0	3.8	50.5
800	18,800	29.0	3.8	49.9
900	21,650	29.0	3.8	49.2
1,000	22,500	29.0	3.8	48.5

ตารางที่ 4.3 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 1-2 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิที่คาร์บอไนซ์ (องศาเซลเซียส)	ผลิตภัณฑ์ที่ได้			
	ก๊าซถ่านหิน (ลบ.ซม.ที่ส่ภาวะมาตรฐาน)	ของเหลวใส่ (มิลลิลิตร)	น้ำมันทาร์ (มิลลิลิตร)	ถ่านชาร์ (กรัม)
300	2,000	23.0	0.5	71.0
400	3,450	25.0	3.0	64.5
500	7,500	28.0	3.0	58.2
600	10,450	29.4	3.5	53.0
700	15,250	29.0	3.5	50.4
800	18,400	29.0	3.5	49.1
900	20,700	29.0	3.5	48.6
1,000	21,750	28.8	3.5	47.8

ตารางที่ 4.4 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 0.5-1.0 มิลลิเมตรที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิที่คาร์บอไนซ์ (องศาเซลเซียส)	ผลิตภัณฑ์ที่ได้			
	ก๊าซถ่านหิน (ลบ.ซม.ที่ส่ภาวะมาตรฐาน)	ของเหลวใส่ (มิลลิลิตร)	น้ำมันทาร์ (มิลลิลิตร)	ถ่านชาร์ (กรัม)
300	2,350	24.0	1.0	69.0
400	3,650	25.5	2.2	65.1
500	6,900	27.0	3.0	58.3
600	10,850	28.5	3.5	54.3
700	16,500	28.0	3.3	51.8
800	19,500	28.5	3.4	50.2
900	20,700	28.5	3.3	49.4
1,000	22,350	28.5	3.3	48.7

ตารางที่ 4.5 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 0.25-0.50 มิลลิเมตรที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิที่คาร์บอไนซ์ (องศาเซลเซียส)	ผลิตภัณฑ์ที่ได้			
	ก๊าซถ่านหิน (ลบ.ซม.ที่ส่ภาวะมาตรฐาน)	ของเหลวใส่ (มิลลิลิตร)	น้ำมันทาร์ (มิลลิลิตร)	ถ่านชาร์ (กรัม)
300	2,350	23.0	1.0	71.4
400	3,600	24.5	2.8	65.7
500	7,300	27.0	3.1	59.0
600	9,900	27.5	3.5	56.0
700	15,700	26.7	3.3	53.6
800	18,300	26.7	3.3	52.3
900	20,350	26.7	3.3	51.0
1,000	21,500	27.0	3.3	50.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

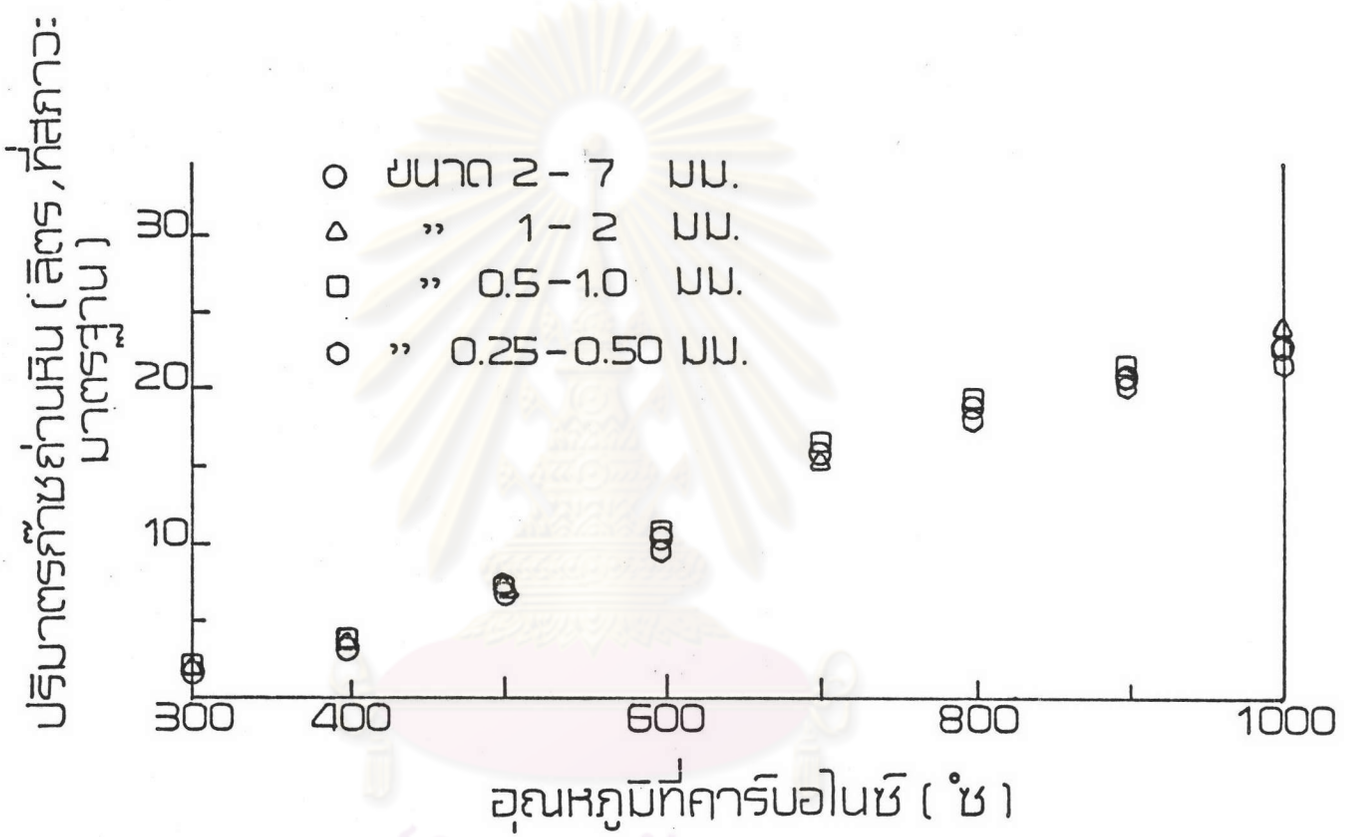
4.1.1.4 ถ่านชาร์ หรือของแข็งที่เหลือภายหลังการคาร์บอไนซ์ มีน้ำหนักลดลง เมื่ออุณหภูมิที่คาร์บอไนซ์สูงขึ้นตามลำดับจาก 300-700 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 700 องศาเซลเซียส อัตราการลดลงช้ามากคือน้อยกว่า 1 กรัม ในแต่ละช่วงอุณหภูมิ เศษถ่านหินทั้ง 4ช่วงขนาดให้การเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน

เพื่อแสดงผลให้ชัดเจนได้สร้างกราฟจากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 - 4.5 ในรูปที่ 4.1 - 4.4 แสดงปริมาตรของก๊าซถ่านหินเป็นลิตรต่อลูกบาศก์เซนติเมตรที่สภาวะมาตรฐานของเหลวใส เป็นมิลลิลิตร น้ำมันทาร์เป็นมิลลิลิตร และปริมาณถ่านชาร์เป็นกรัมจากคาร์บอไนซ์ถ่านหินทั้ง 4 ช่วงขนาด ตามลำดับ

รูปที่ 4.5 - 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของผลิตภัณฑ์ทุกชนิดกับอุณหภูมิ เมื่อคาร์บอไนซ์ถ่านหินช่วงขนาด 2-7 มิลลิเมตร 1-2 มิลลิเมตร 0.5-1.0 มิลลิเมตร และ 0.25 - 0.50 มิลลิเมตร ตามลำดับ สำหรับค่าความหนาแน่นของก๊าซถ่านหิน ใช้ค่าจากเอกสารอ้างอิง (46) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.64 กรัมต่อลิตรที่สภาวะมาตรฐาน (อุณหภูมิ 60 องศาฟาเรนไฮท์ และความดัน 1 บรรยากาศ)

เมื่อนำปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้งหมดมารวมกัน แล้วหักจากน้ำหนักถ่านหินที่ใช้ 100.0 กรัม ได้ร้อยละการสูญเสียในการคาร์บอไนซ์ดังแสดงเป็นสมดุลมวลสารในตารางที่ 4.6 - 4.9 และสร้างเป็นกราฟในรูปที่ 4.9 ร้อยละการสูญเสียนี้แตกต่างกันเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกันในแต่ละช่วงอุณหภูมิ และแต่ละช่วงขนาด โดยเกิดการสูญเสียน้อยในช่วงอุณหภูมิต่ำและสูง ส่วนในช่วงอุณหภูมิกลางคือ 600 และ 700 องศาเซลเซียสเกิดการสูญเสียมากกว่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

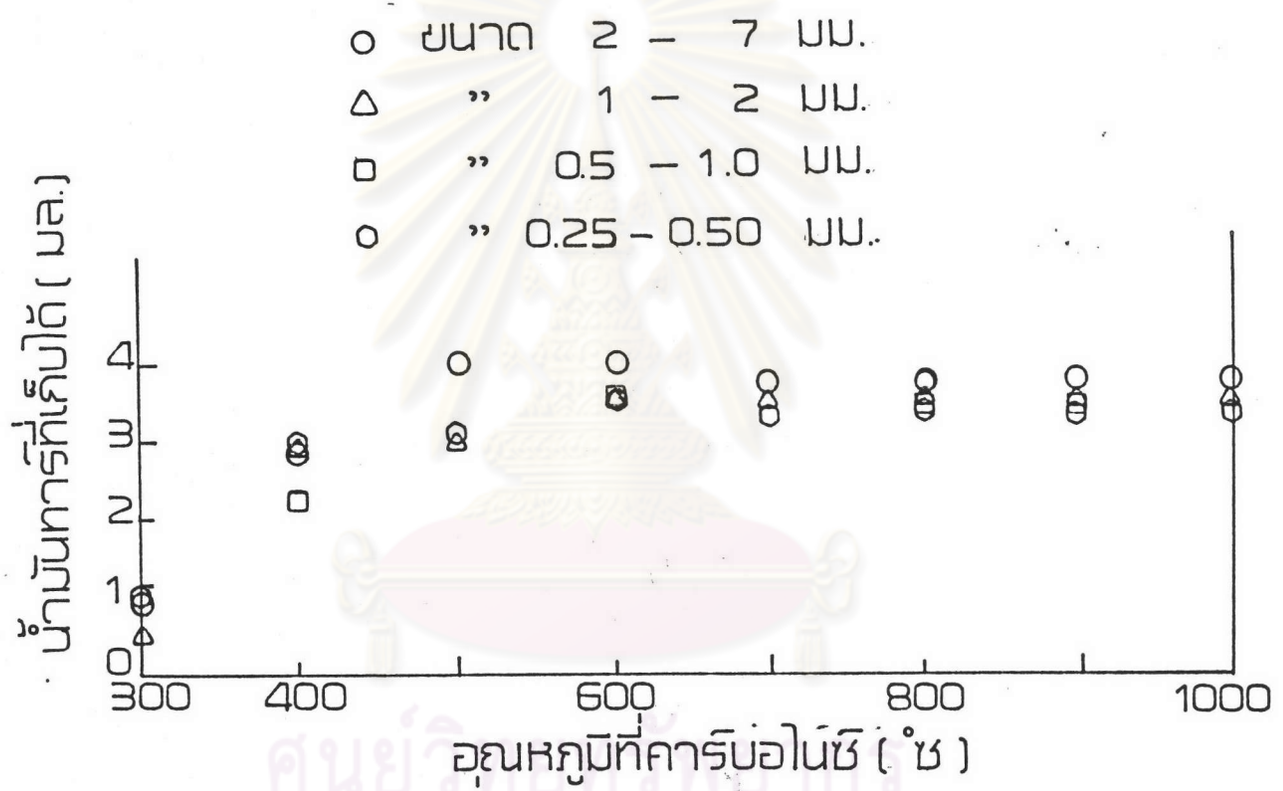


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรก๊าซถ่านหินจากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาดต่าง ๆ กับอุณหภูมิ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

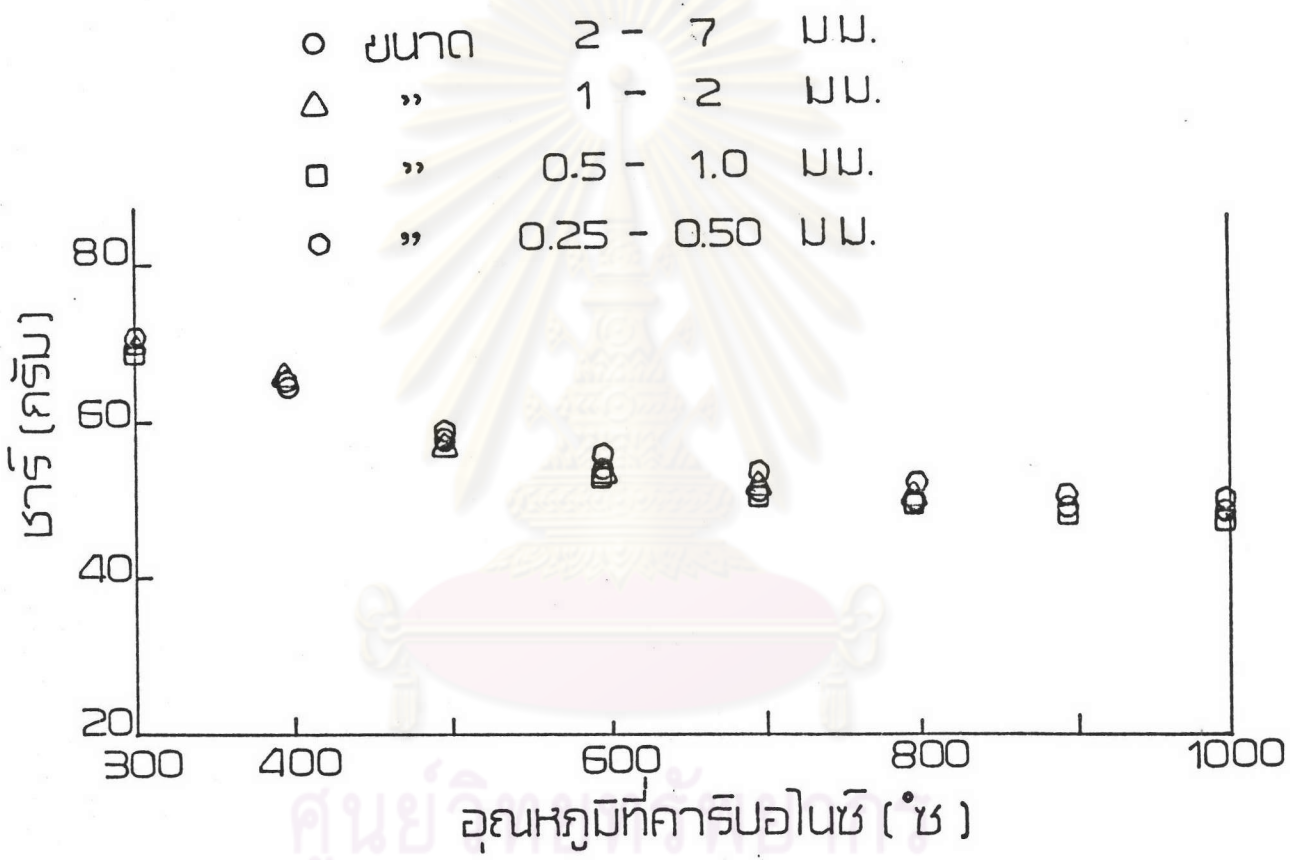
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของเหลวใสจากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาดต่าง ๆ กับอุณหภูมิ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



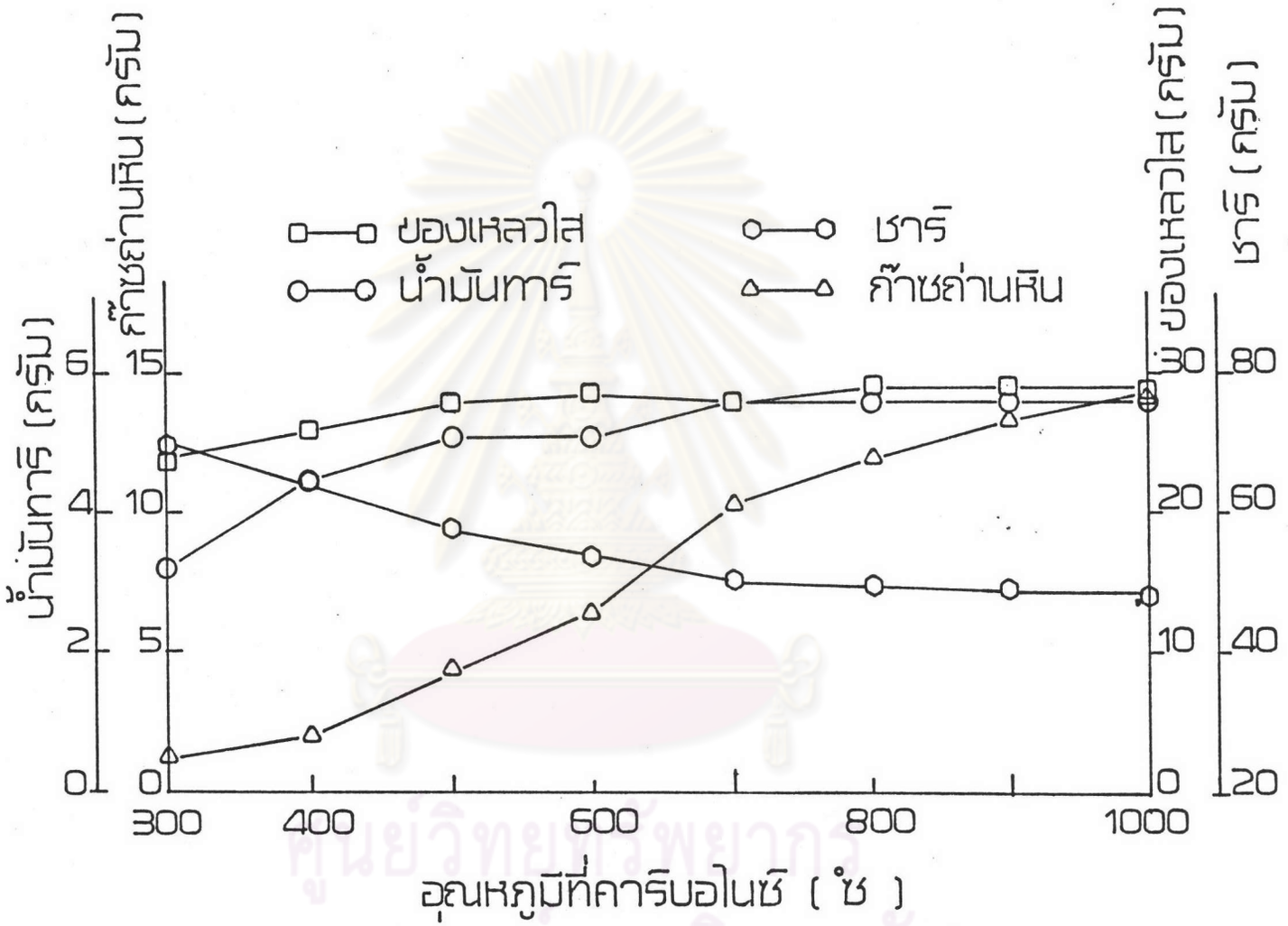
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำมันทาร์จากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาดต่าง ๆ กับอุณหภูมิ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



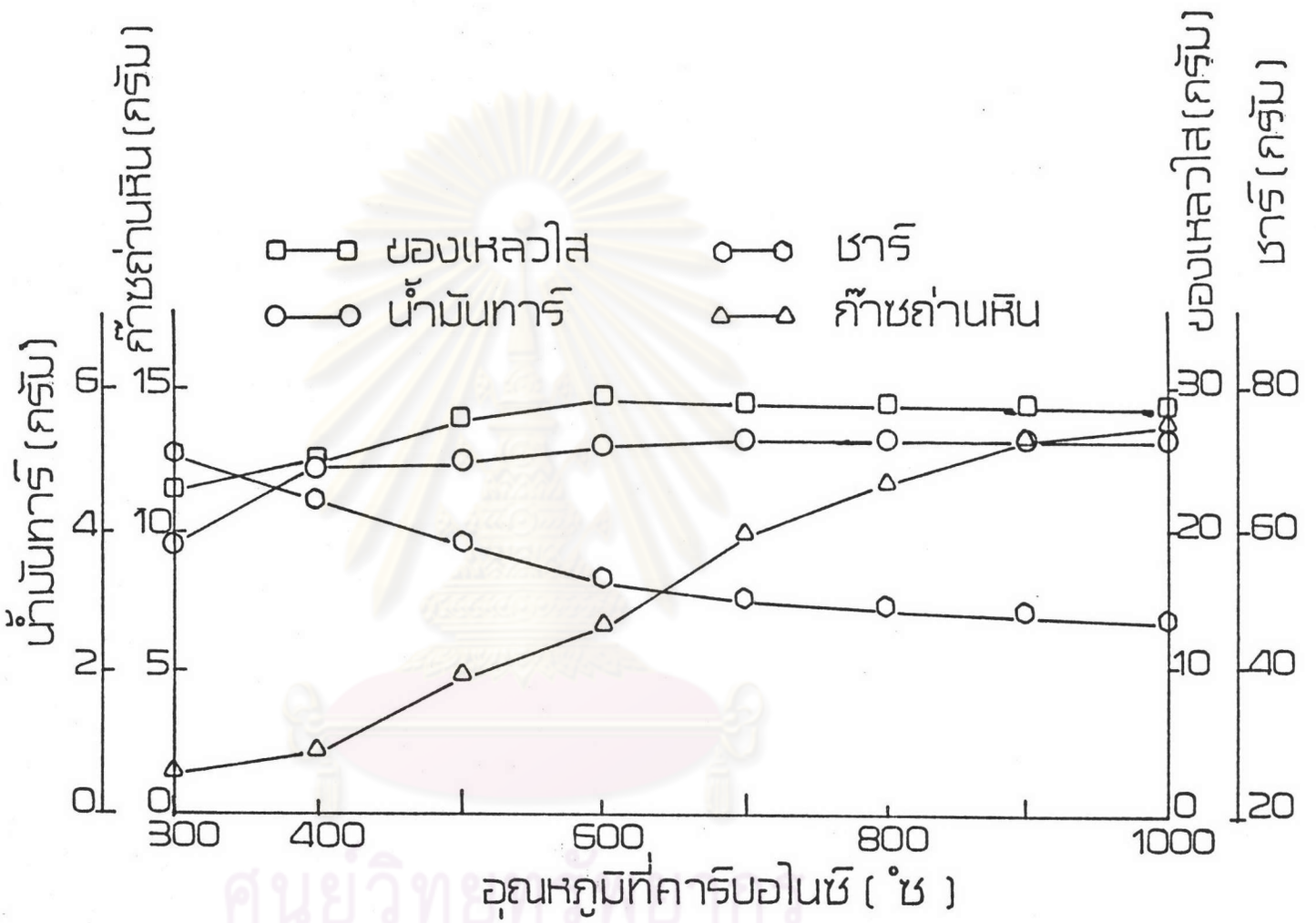
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณถ่านชาร์จากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาดต่าง ๆ กับอุณหภูมิ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



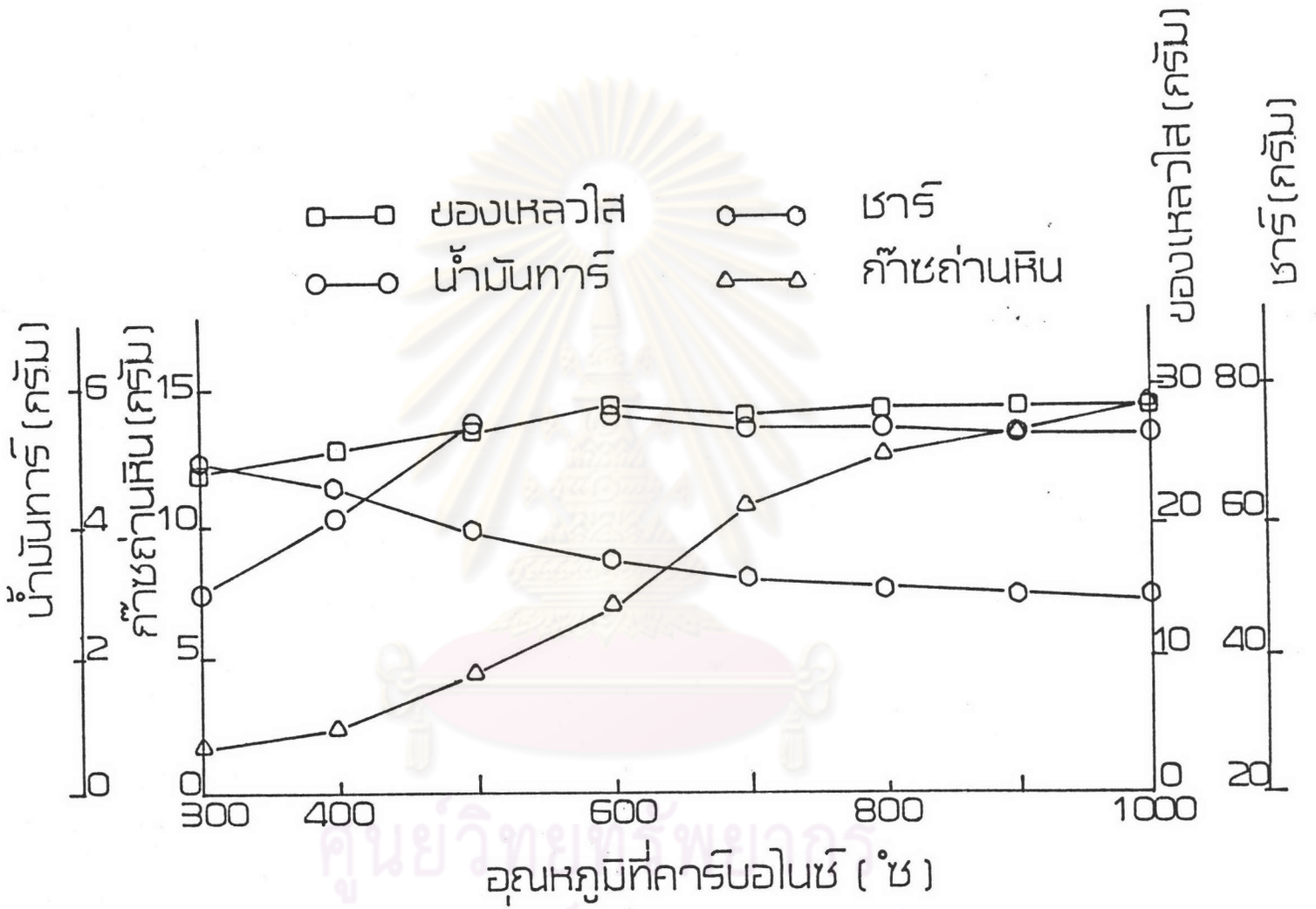
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 2-7 มิลลิเมตรกับอุณหภูมิ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



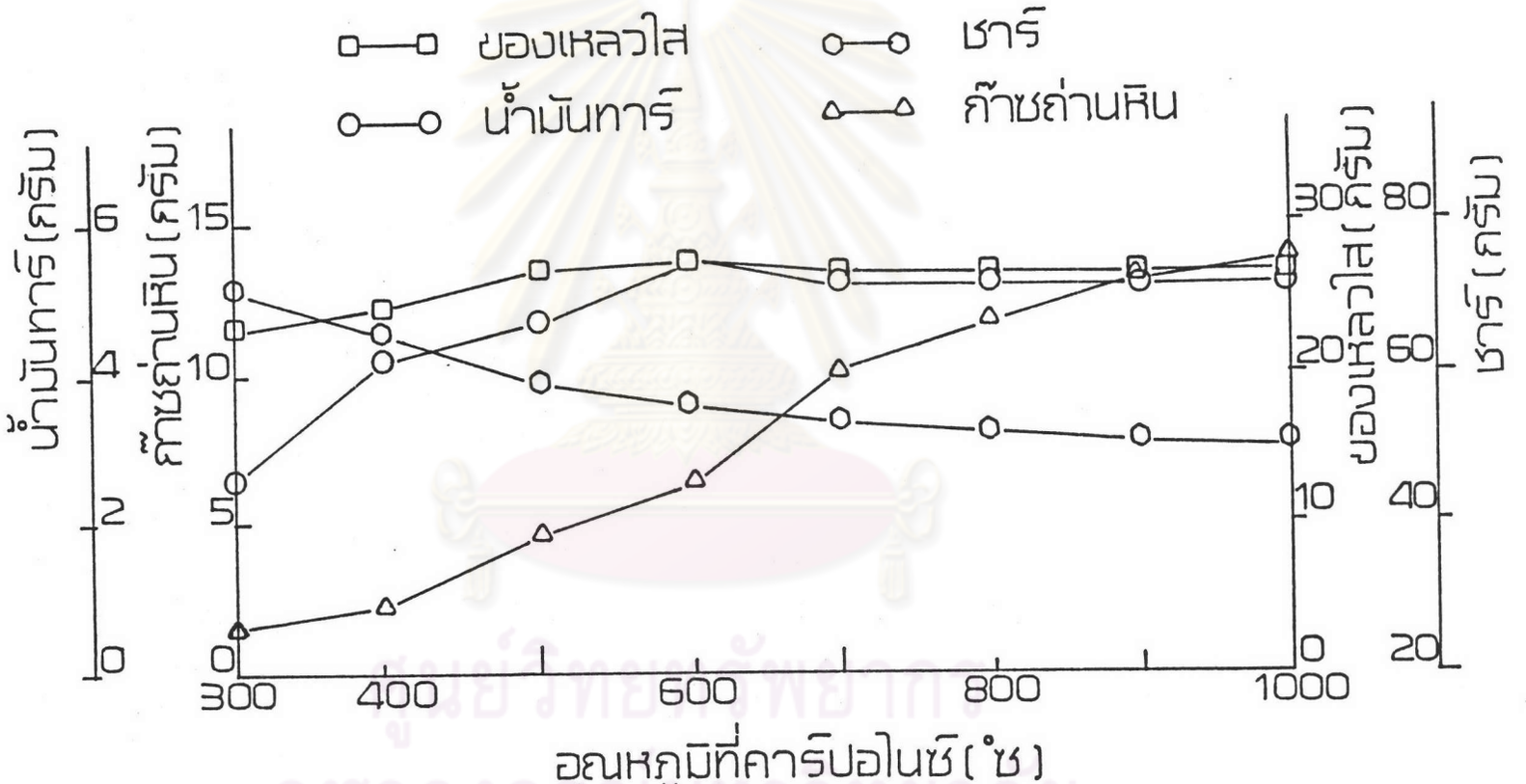
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินขนาด 1-2 มิลลิเมตรกับอุณหภูมิ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 0.5-1.0 มิลลิเมตรกับอุณหภูมิ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 0.25-0.50 มิลลิเมตรกับอุณหภูมิ

ตารางที่ 4.6 สมดุลมวลสารของการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 2-7 มิลลิเมตรที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิที่คาร์บอไนซ์ (องศาเซลเซียส)	ร้อยละโดยน้ำหนัก					
	ก๊าซถ่านหิน	ของเหลวใส	น้ำมันทาร์	ถ่านชาร์	น้ำหนักผลิตภัณฑ์ทั้งหมด	การสูญเสีย
300	1.2	24.0	3.2	69.8	98.2	1.8
400	2.0	26.0	4.5	64.3	96.8	3.2
500	4.2	28.0	5.1	58.0	95.4	4.6
600	6.5	28.5	5.1	53.8	93.9	6.1
700	10.3	28.0	5.6	50.5	94.4	5.6
800	12.0	29.0	5.6	49.9	96.5	3.5
900	13.8	29.0	5.6	49.2	97.6	2.4
1,000	14.4	29.0	5.6	48.5	97.5	2.5

ตารางที่ 4.7 สมดุลมวลสารของการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 1-2 มิลลิเมตรที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิที่คาร์บอไนซ์ (องศาเซลเซียส)	ร้อยละโดยน้ำหนัก					
	ก๊าซถ่านหิน	ของเหลวใส	น้ำมันทาร์	ถ่านชาร์	น้ำหนักผลิตภัณฑ์ทั้งหมด	การสูญเสีย
300	1.3	23.0	3.8	71.0	99.1	0.9
400	2.2	25.0	4.9	64.5	96.6	3.4
500	4.8	28.0	5.0	58.2	96.0	4.0
600	6.7	29.4	5.2	53.0	94.3	5.7
700	9.9	29.0	5.3	50.4	94.6	5.4
800	11.8	29.0	5.3	49.1	95.2	4.8
900	13.3	29.0	5.3	48.6	96.2	3.8
1,000	13.9	28.8	5.3	47.8	95.8	4.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

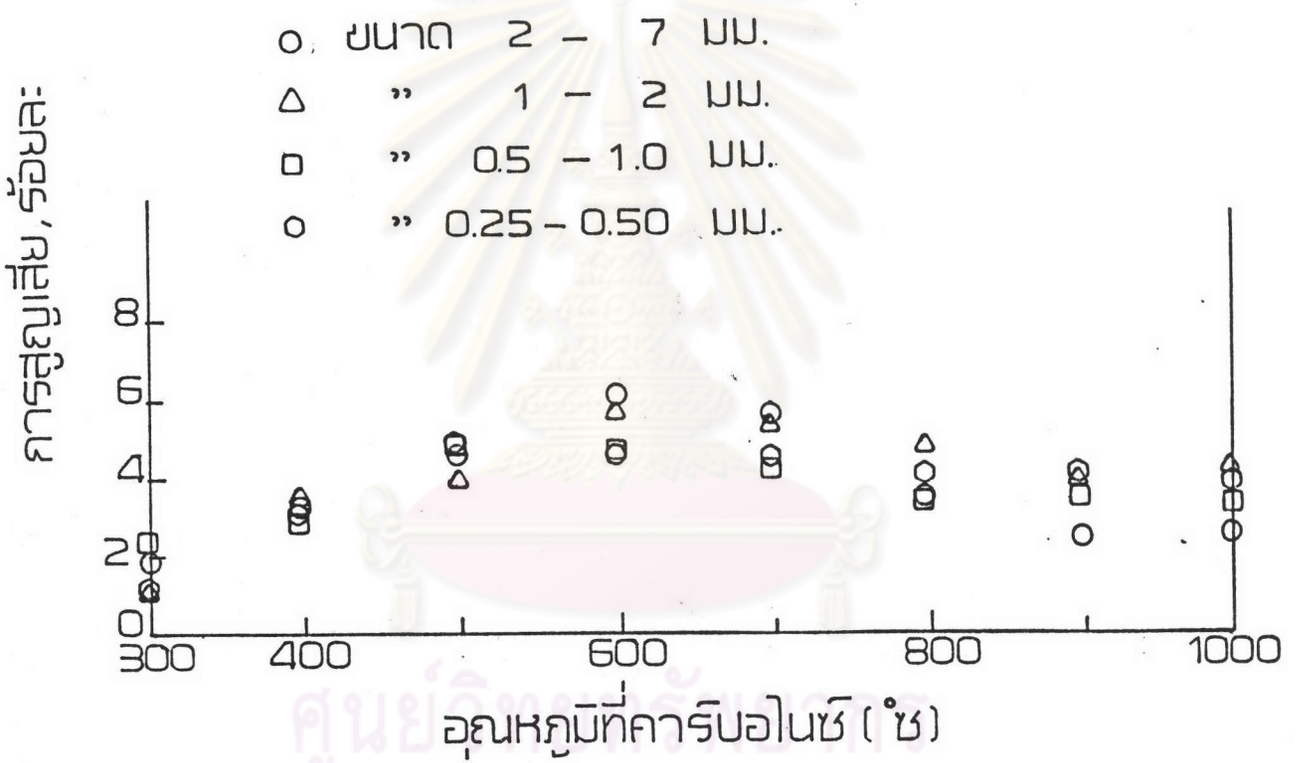
ตารางที่ 4.8 สมดุลมวลสารของการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 0.5 - 1.0 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิที่คาร์บอไนซ์ (องศาเซลเซียส)	ร้อยละโดยน้ำหนัก					
	ก๊าซถ่านหิน	ของเหลวใส	น้ำมันทาร์	ถ่านชาร์	น้ำหนักผลิตภัณฑ์ทั้งหมด	การสูญเสีย
300	1.6	24.0	3.0	69.0	97.6	2.4
400	2.4	25.5	4.1	65.1	97.1	2.9
500	4.5	27.0	5.5	58.3	95.3	4.7
600	6.9	28.5	5.6	54.3	95.3	4.7
700	10.6	28.0	5.4	51.8	95.8	4.2
800	12.5	28.5	5.4	50.2	96.6	3.4
900	13.3	28.5	5.3	49.4	96.5	3.5
1,000	14.3	28.5	5.3	48.7	96.8	3.2

ตารางที่ 4.9 สมดุลมวลสารของการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 0.25 - 0.50 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิที่คาร์บอไนซ์ (องศาเซลเซียส)	ร้อยละโดยน้ำหนัก					
	ก๊าซถ่านหิน	ของเหลวใส	น้ำมันทาร์	ถ่านชาร์	น้ำหนักผลิตภัณฑ์ทั้งหมด	การสูญเสีย
300	1.5	23.0	2.6	71.4	98.5	1.5
400	2.3	24.5	4.2	65.7	96.7	3.3
500	4.7	27.0	4.7	59.0	95.4	4.6
600	6.4	27.5	5.5	56.0	95.4	4.6
700	10.1	26.7	5.2	53.6	95.6	4.4
800	11.8	26.7	5.2	52.3	96.0	4.0
900	13.1	26.7	5.2	51.0	96.0	4.0
1,000	13.8	27.0	5.2	50.2	96.2	3.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการสูญเสียในการคาร์บอไนซ์กับอุณหภูมิ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2 ผลของช่วงขนาดและอุณหภูมิต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์

4.1.2.1 คุณสมบัติของก๊าซถ่านหิน ค่าความร้อนของก๊าซถ่านหินแสดงในตารางที่ 4.10 - 4.13 ค่าความร้อนนี้เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในช่วง 300 - 700 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นมีความเพิ่มขึ้นหรือลดลงเพียงเล็กน้อย สำหรับเศษถ่านหินทั้ง 4 ช่วงขนาด ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสเมื่อคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาดใหญ่ คือ 2-7 มิลลิเมตร ให้ก๊าซที่มีค่าความร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 565 บีทียูต่อลูกบาศก์ฟุตที่สภาวะมาตรฐาน, ก๊าซอิ่มตัวด้วยไอน้ำ และเศษถ่านหินช่วงขนาดเล็กที่สุดให้ก๊าซที่มีค่าความร้อนต่ำที่สุด

4.1.2.2 คุณสมบัติของน้ำมันทาร์ ค่าความร้อนและปริมาณกำมะถันแสดงในตารางที่ 4.10 - 4.13 เศษถ่านหินทุกช่วงขนาดให้น้ำมันทาร์มีค่าความร้อนสูงที่สุดเมื่อคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำ ที่อุณหภูมิสูงขึ้นค่าความร้อนจะใกล้เคียงกันทั้ง 4 ช่วงขนาด โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 9,700 - 9,800 แคลอรี ต่อกรัม ส่วนร้อยละกำมะถันก็มีค่าใกล้เคียงกันคือ 0.40 - 0.56

4.1.2.3 คุณสมบัติของถ่านชาร์ ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ ค่าความร้อนและปริมาณกำมะถัน แสดงในตารางที่ 4.14 - 4.17 และแสดงเป็นกราฟในรูปที่ 4.10 - 4.13 ปริมาณความชื้นในถ่านชาร์มีค่าลดลงมากจากความชื้นของเศษถ่านหินร้อยละ 20 เหลืออยู่เพียงร้อยละ 1 - 4 ในถ่านชาร์ ตั้งแต่อุณหภูมิที่คาร์บอไนซ์ 300 - 1,000 องศาเซลเซียส และความชื้นในถ่านชาร์จากเศษถ่านหินทั้ง 4 ช่วงขนาดมีค่าใกล้เคียงกันด้วย ปริมาณสารระเหยลดลงอย่างสม่ำเสมอตั้งแต่อุณหภูมิ 300 - 700 องศาเซลเซียสเหลือประมาณร้อยละ 6 และลดลงเล็กน้อยหลังจากนั้นเหลือประมาณร้อยละ 2 ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส และถ่านชาร์จากเศษถ่านหินทุกช่วงขนาดมีสารระเหยใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.14 โดยที่ปริมาณคาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอตั้งแต่อุณหภูมิ 300 - 700 องศาเซลเซียสจากนั้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนเกือบคงที่ เมื่อเปรียบเทียบถ่านชาร์จากเศษถ่านหินทั้ง 4ช่วงขนาดในรูปที่ 4.15 พบว่าถ่านชาร์จากเศษถ่านหินช่วงขนาดเล็กที่สุด คือ 0.25 - 0.50 มิลลิเมตร มีปริมาณคาร์บอนคงตัวน้อยที่สุดในทุกช่วงอุณหภูมิ ในขณะที่ถ่านชาร์จาก 3 ช่วงขนาดแรกมีค่าใกล้เคียงกันมาก ส่วนร้อยละเถ้ามีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่คาร์บอไนซ์อันเนื่องมาจากปริมาณถ่านชาร์ที่ลดลงตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับร้อยละเถ้าของถ่านชาร์จากเศษถ่านหินแต่ละช่วงขนาดในรูปที่ 4.16 เศษถ่านหินช่วงขนาดเล็กที่สุดซึ่งมีปริมาณเถ้าสูงกว่าช่วงขนาดอื่นอยู่แล้ว เมื่อถูกคาร์บอไนซ์

ตารางที่ 4.10 คุณสมบัติของน้ำมันทาร์และก๊าซถ่านหินจากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 2-7 มิลลิเมตร

อุณหภูมิที่คาร์บอไนซ์ (องศาเซลเซียส)	น้ำมันทาร์		ก๊าซถ่านหิน
	ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)	ร้อยละกำมะถัน	ค่าความร้อน (บีทียู/ลบ.ฟุตที่ สภาวะมาตรฐาน)
300	10,032	0.41	331
400	9,931	0.42	411
500	9,855	0.42	449
600	9,897	0.41	516
700	9,851	0.40	554
800	9,660	0.46	565
900	9,876	0.45	562
1,000	9,896	0.41	526

ตารางที่ 4.11 คุณสมบัติของน้ำมันทาร์และก๊าซถ่านหินจากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหินช่วงขนาด 1-2 มิลลิเมตร

อุณหภูมิที่คาร์บอไนซ์ (องศาเซลเซียส)	น้ำมันทาร์		ก๊าซถ่านหิน
	ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)	ร้อยละกำมะถัน	ค่าความร้อน (บีทียู/ลบ.ฟุตที่ สภาวะมาตรฐาน)
300	10,079	0.47	338
400	10,024	0.50	367
500	9,782	0.58	401
600	9,859	0.57	497
700	9,741	0.54	522
800	9,788	0.56	528
900	9,359	0.56	522
1,000	9,744	0.55	513

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 คุณสมบัติของน้ำมันทาร์และก๊าซถ่านหินจากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหิน ช่วงขนาด 0.5 - 1.0 มิลลิเมตร

อุณหภูมิที่คาร์บอไนซ์ (องศาเซลเซียส)	น้ำมันทาร์		ก๊าซถ่านหิน
	ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)	ร้อยละกำมะถัน	ค่าความร้อน (บีทียู/ลบ.ฟุตที่สภาวะมาตรฐาน)
300	10,108	0.42	309
400	9,935	0.46	454
500	9,436	0.46	499
600	9,694	0.42	519
700	9,634	0.43	523
800	9,530	0.46	516
900	9,798	0.46	492
1,000	9,601	0.45	505

ตารางที่ 4.13 คุณสมบัติของน้ำมันทาร์และก๊าซถ่านหินจากการคาร์บอไนซ์เศษถ่านหิน ช่วงขนาด 0.25 - 0.50 มิลลิเมตร

อุณหภูมิที่คาร์บอไนซ์ (องศาเซลเซียส)	น้ำมันทาร์		ก๊าซถ่านหิน
	ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)	ร้อยละกำมะถัน	ค่าความร้อน (บีทียู/ลบ.ฟุตที่สภาวะมาตรฐาน)
300	10,063	0.42	316
400	9,798	0.43	370
500	9,615	0.45	440
600	9,797	0.45	477
700	9,566	0.46	499
800	9,764	0.43	509
900	9,643	0.46	519
1,000	9,621	0.45	519

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 คุณสมบัติของถ่านชาร์จากเศษถ่านหินขนาด 2-7 มิลลิเมตร คาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

คุณสมบัติ	อุณหภูมิที่คาร์บอไนซ์ (องศาเซลเซียส)							
	300	400	500	600	700	800	900	1,000
การวิเคราะห์แบบประมาณ, ร้อยละ								
ความชื้น	4.41	3.69	4.41	2.85	1.67	1.20	1.77	2.26
เถ้า	25.91	28.76	31.29	35.03	37.20	38.83	38.72	39.65
สารระเหย	30.02	26.84	18.72	12.57	5.49	4.96	2.45	2.07
คาร์บอนคงตัว	39.66	40.71	45.58	49.55	55.64	55.12	56.95	56.02
อัตราส่วนคาร์บอนคงตัว/สารระเหย	1.32	1.52	2.44	3.94	10.14	11.11	23.27	27.09
ร้อยละกำมะถัน	0.88	0.89	0.91	0.97	1.02	1.09	1.07	0.87
ค่าความร้อน, แคลอรี/กรัม								
ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์	4,671	4,555	4,573	4,723	4,604	4,498	4,522	4,451
ตัวอย่างไม่รวมความชื้น	4,886	4,730	4,784	4,682	4,682	4,553	4,603	4,554
ตัวอย่างไม่รวมความชื้นและเถ้า	6,704	6,743	7,112	7,603	7,531	7,487	7,613	7,662

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.15 คุณสมบัติของถ่านชาร์จากเศษถ่านหินช่วงขนาด 1-2 มิลลิเมตร คาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

คุณสมบัติ	อุณหภูมิที่คาร์บอไนซ์ (องศาเซลเซียส)							
	300	400	500	600	700	800	900	1,000
การวิเคราะห์แบบประมาณ, ร้อยละ								
ความชื้น	3.90	2.88	4.60	2.67	1.46	2.11	1.39	2.48
เถ้า	23.90	26.39	29.35	31.37	34.71	36.64	35.79	35.99
สารระเหย	30.29	26.69	18.26	15.77	6.40	3.72	2.39	2.00
คาร์บอนคงตัว	41.91	44.04	47.79	50.19	57.43	57.53	60.43	59.53
อัตราส่วนคาร์บอนคงตัว/สารระเหย	1.38	1.65	2.62	3.18	8.97	15.47	25.32	29.77
ร้อยละกำมะถัน	0.91	0.95	0.95	1.04	1.06	1.11	0.90	0.78
ค่าความร้อน, แคลอรี/กรัม								
ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์	4,685	4,659	4,763	4,857	4,942	4,624	4,819	4,878
ตัวอย่างไม่รวมความชื้น	4,875	4,797	4,993	4,990	5,015	4,724	4,887	5,002
ตัวอย่างไม่รวมความชื้นและเถ้า	6,489	6,587	7,211	7,364	7,742	7,549	7,671	7,928

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.16 คุณสมบัติของถ่านชาร์จากเศษถ่านหินช่วงขนาด 0.5 - 1.0 มิลลิเมตร คาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

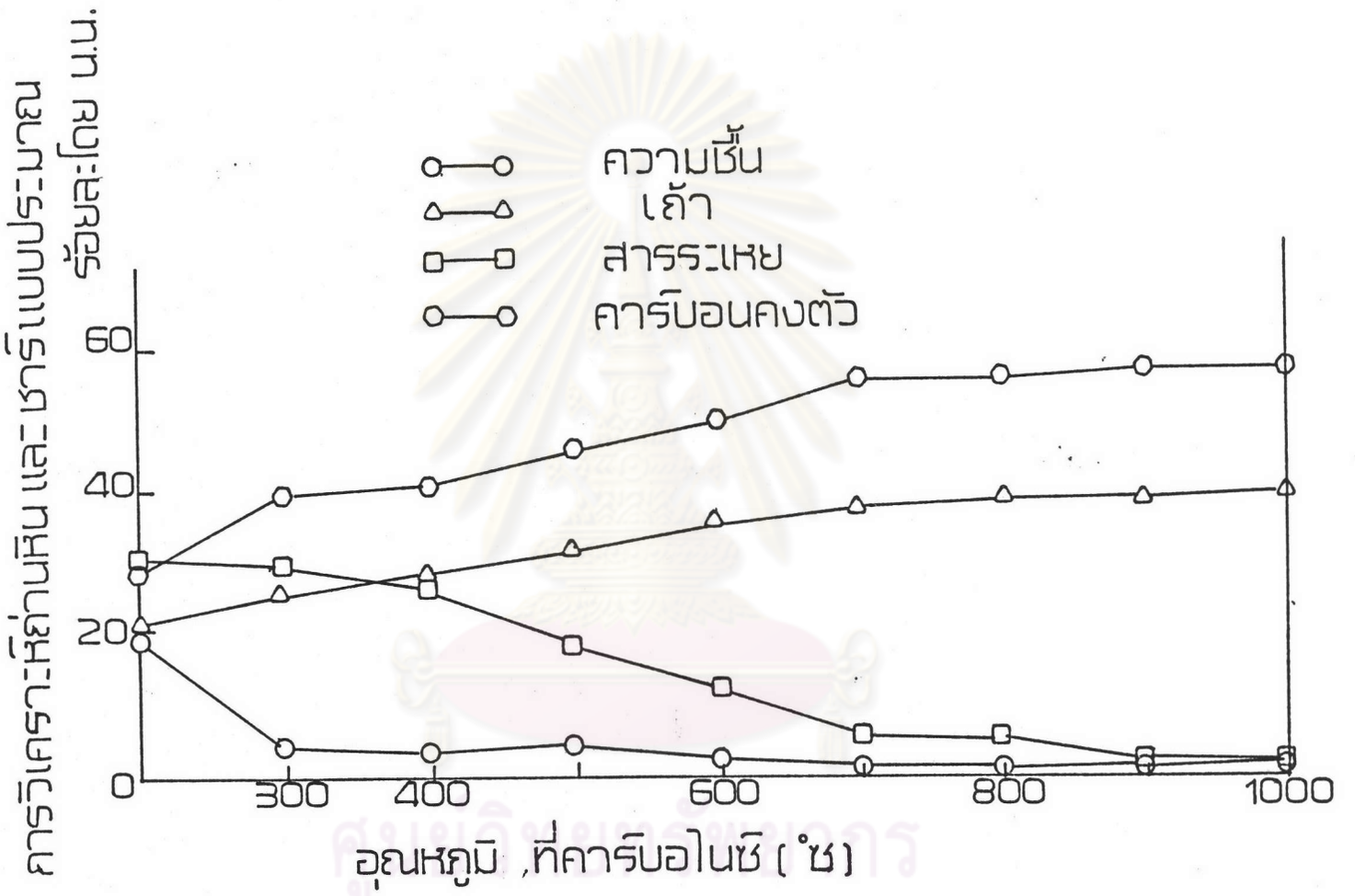
คุณสมบัติ	อุณหภูมิที่คาร์บอไนซ์ (องศาเซลเซียส)							
	300	400	500	600	700	800	900	1,000
การวิเคราะห์แบบประมาณ, ร้อยละ								
ความชื้น	2.56	2.55	2.92	2.31	1.92	1.86	2.18	1.43
เถ้า	26.21	28.28	31.41	34.08	36.66	37.61	36.52	38.48
สารระเหย	29.59	26.74	18.73	12.50	6.33	3.35	2.24	1.26
คาร์บอนคงตัว	41.64	42.43	46.94	51.11	55.09	57.18	59.06	58.83
อัตราส่วนคาร์บอนคงตัว/ สารระเหย	1.41	1.59	2.51	4.09	8.70	17.08	26.40	46.62
ร้อยละกำมะถัน	1.09	1.14	1.20	1.24	1.33	1.39	1.15	0.88
ค่าความร้อน, แคลอรี/กรัม								
ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์	4,679	4,588	4,600	4,825	4,757	4,723	4,758	4,898
ตัวอย่างไม่รวมความชื้น	4,802	4,708	4,738	4,939	4,850	4,813	4,864	4,969
ตัวอย่างไม่รวมความชื้น และเถ้า	6,569	6,633	7,005	7,585	7,745	7,803	7,762	8,151

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

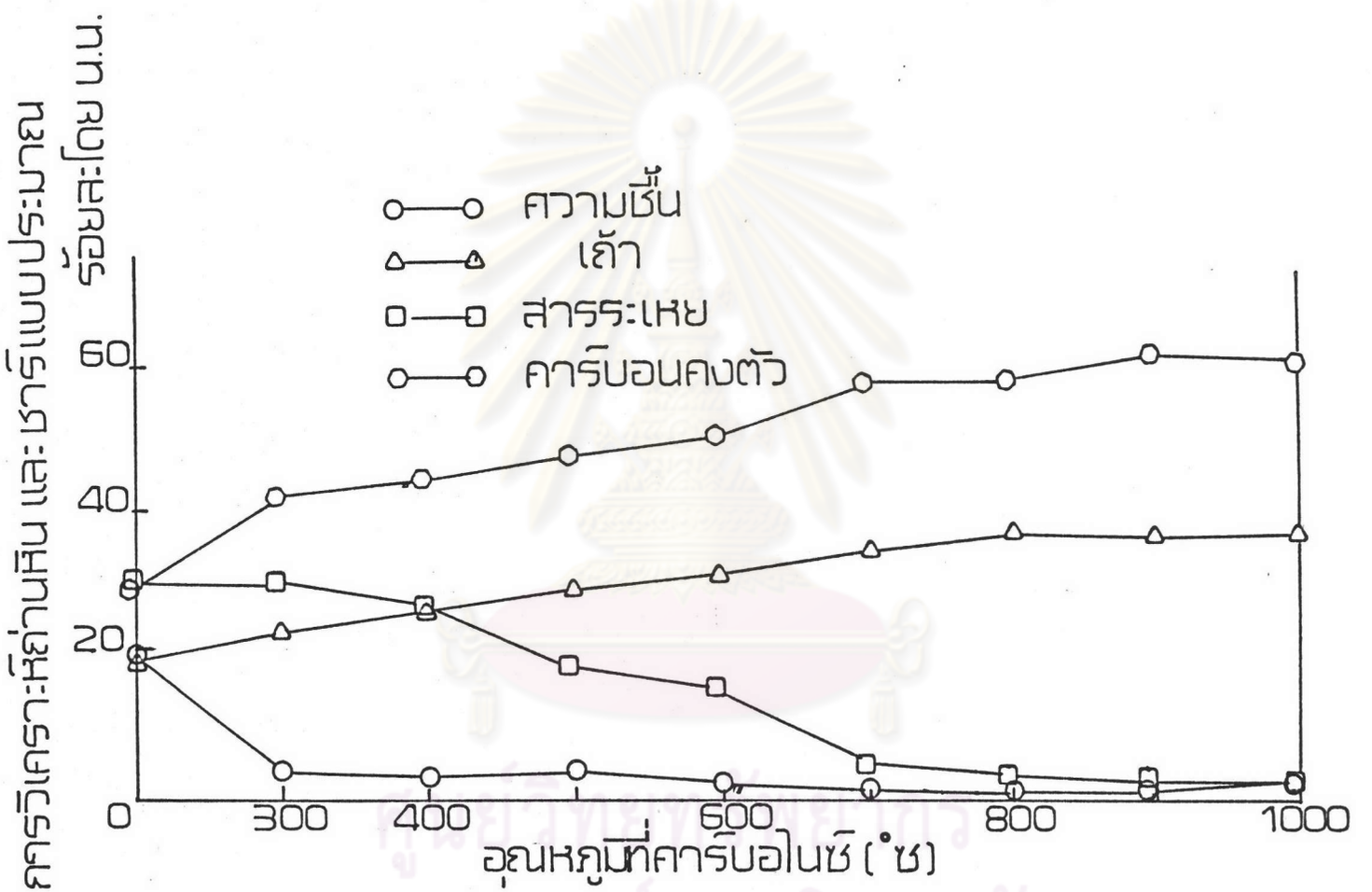
ตารางที่ 4.17 คุณสมบัติของถ่านชาร์จากเศษถ่านหินช่วงขนาด 0.25 - 0.50 มิลลิเมตร คาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

คุณสมบัติ	อุณหภูมิที่คาร์บอไนซ์ (องศาเซลเซียส)							
	300	400	500	600	700	800	900	1,000
การวิเคราะห์แบบประมาณ, ร้อยละ								
ความชื้น	3.03	2.71	3.12	2.60	1.66	2.13	1.94	1.7
เถ้า	31.72	34.02	37.94	41.39	43.85	44.44	45.03	45.4
สารระเหย	28.68	25.96	18.40	12.21	6.79	4.13	3.17	2.2
คาร์บอนคงตัว	36.57	37.31	40.54	43.80	47.70	49.30	49.86	50.6
อัตราส่วนคาร์บอนคงตัว/สารระเหย	1.28	1.44	2.20	3.59	7.03	11.94	15.72	22.81
ร้อยละกำมะถัน	1.16	1.23	1.32	1.45	1.47	1.40	1.11	0.97
ค่าความร้อน, แคลอรี/กรัม								
ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์	4,266	4,290	4,270	4,377	4,307	4,133	4,142	4,131
ตัวอย่างไม่รวมความชื้น	4,399	4,326	4,408	4,494	4,380	4,223	4,224	4,203
ตัวอย่างไม่รวมความชื้นและเถ้า	6,538	6,652	7,245	7,815	7,904	7,735	7,811	7,818

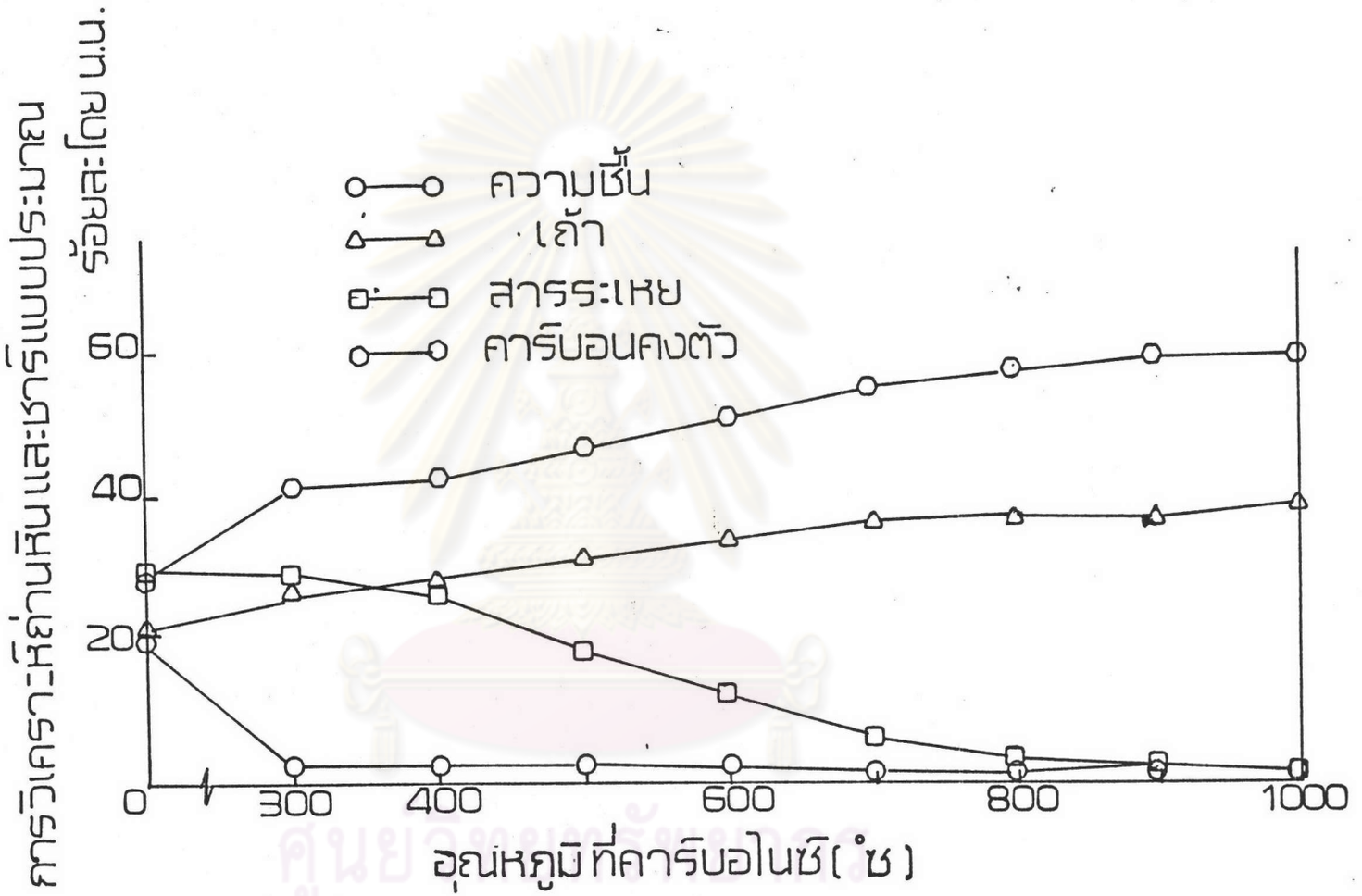
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



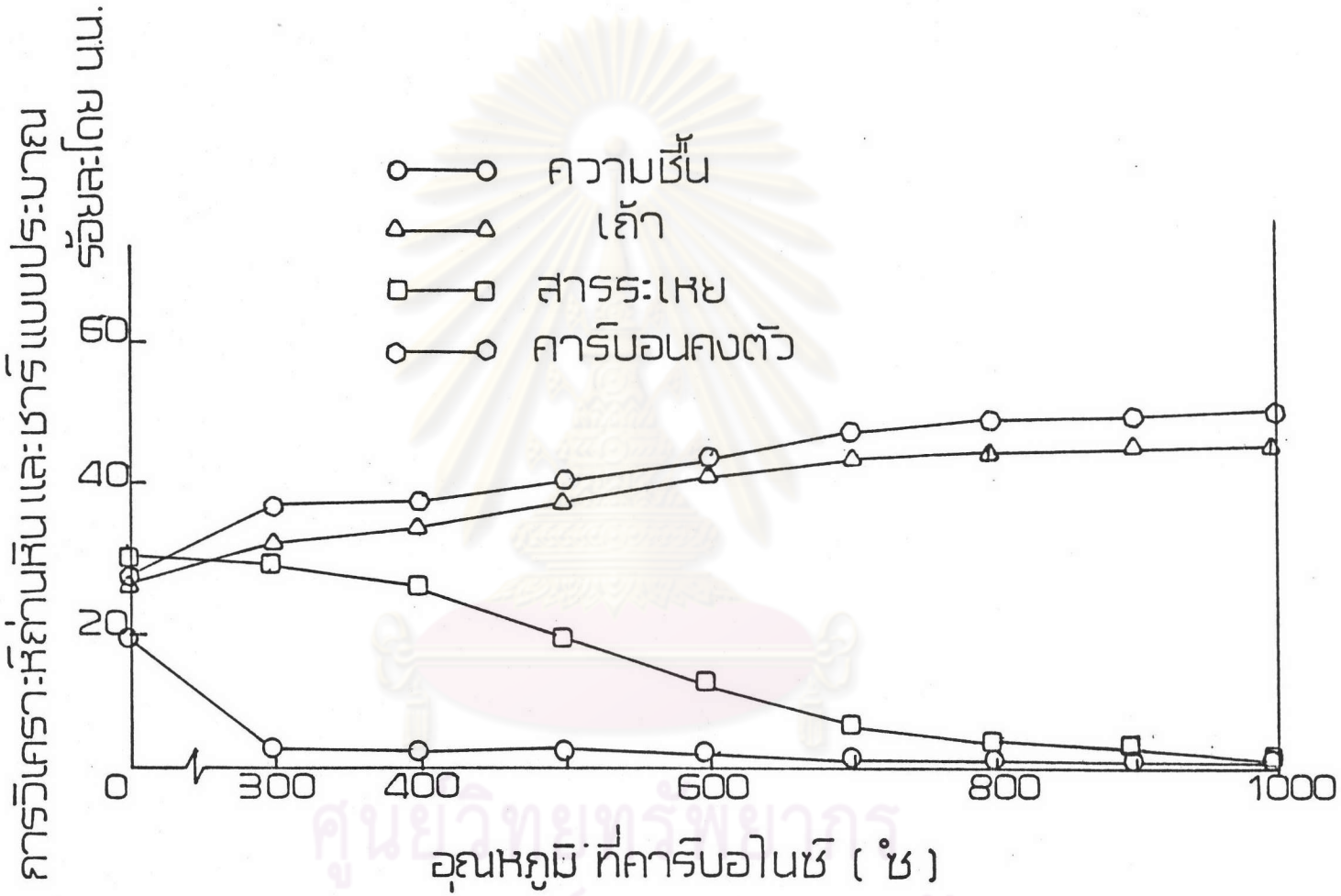
รูปที่ 4.10 การวิเคราะห์แบบประมาณของเศษถ่านหินช่วงขนาด 2-7 มิลลิเมตร และถ่านฮาร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 4.11 การวิเคราะห์แบบประมาณของเศษถ่านหินช่วงขนาด 1-2 มิลลิเมตร และถ่านชาร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 4.12 การวิเคราะห์แบบประมาณของเศษถ่านหินช่วงขนาด 0.5-1.0 มิลลิเมตร และถ่านชาร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

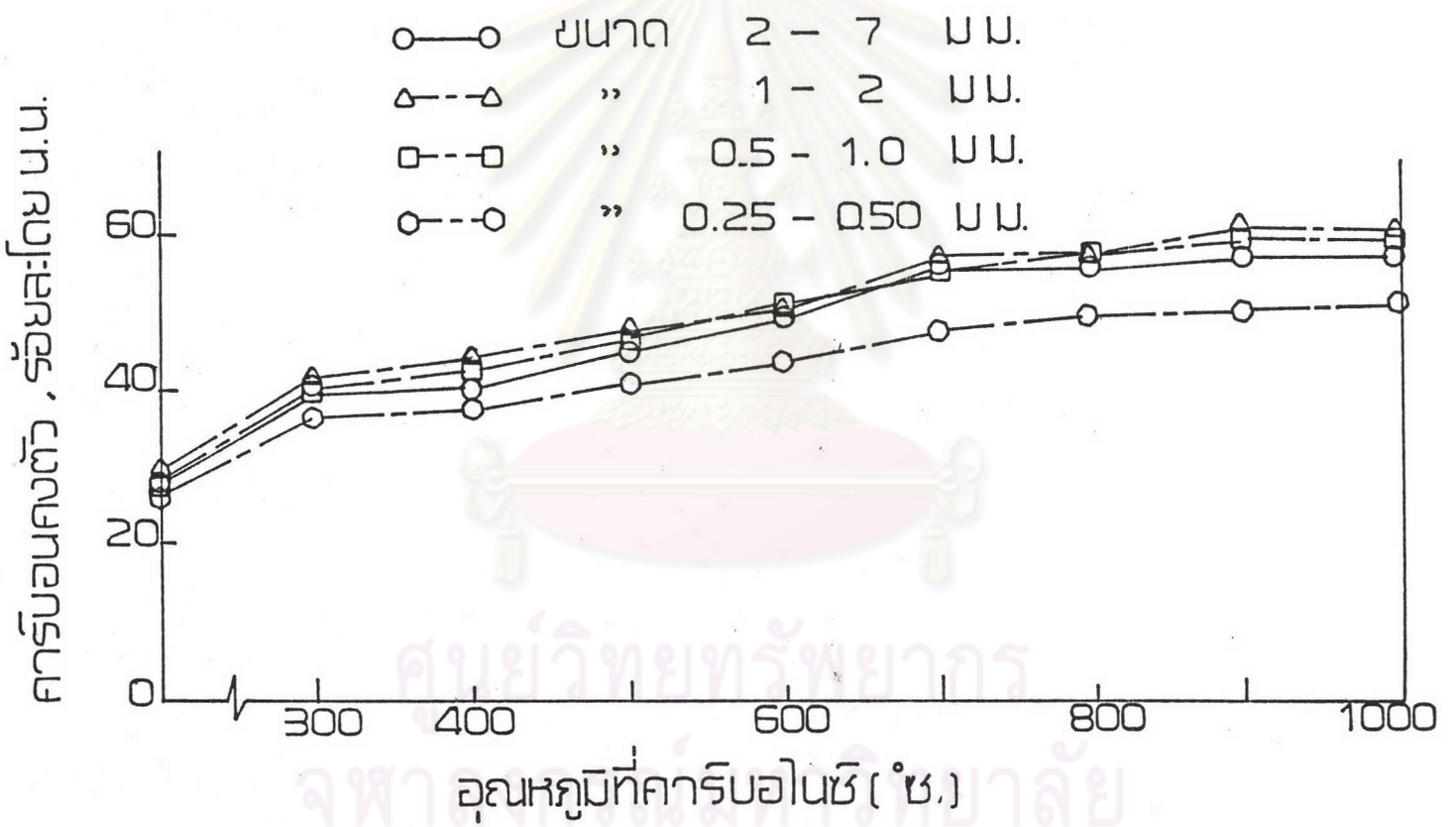


รูปที่ 4.13 การวิเคราะห์แบบประมาณของเศษถ่านหินช่วงขนาด 0.25-0.50 มิลลิเมตร และถ่านชาร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

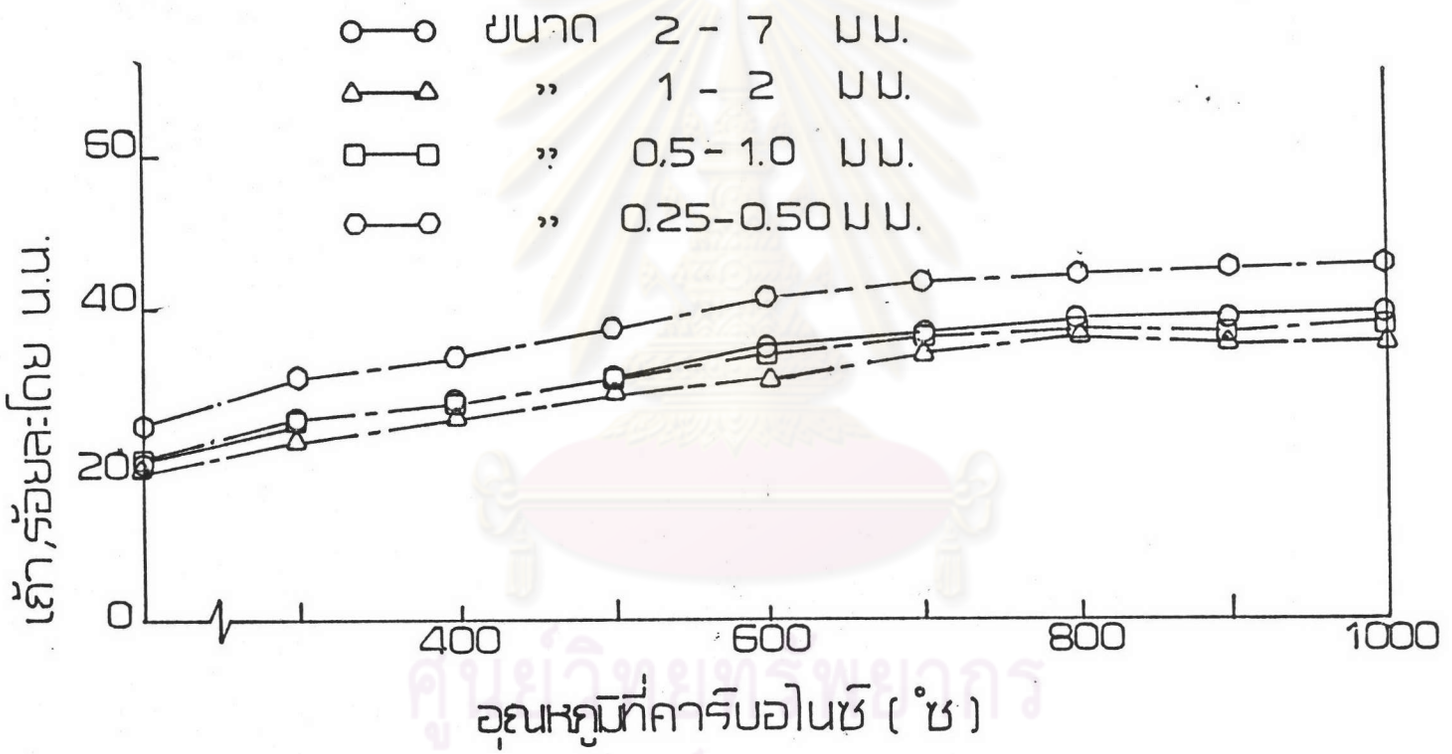
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างสารระเหยของเศษถ่านหินและถ่านยางย่วงขนาดต่าง ๆ กับอุณหภูมิ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนคงตัวของเศษถ่านหินและถ่านยาร์ช่วงขนาดต่าง ๆ กับอุณหภูมิ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



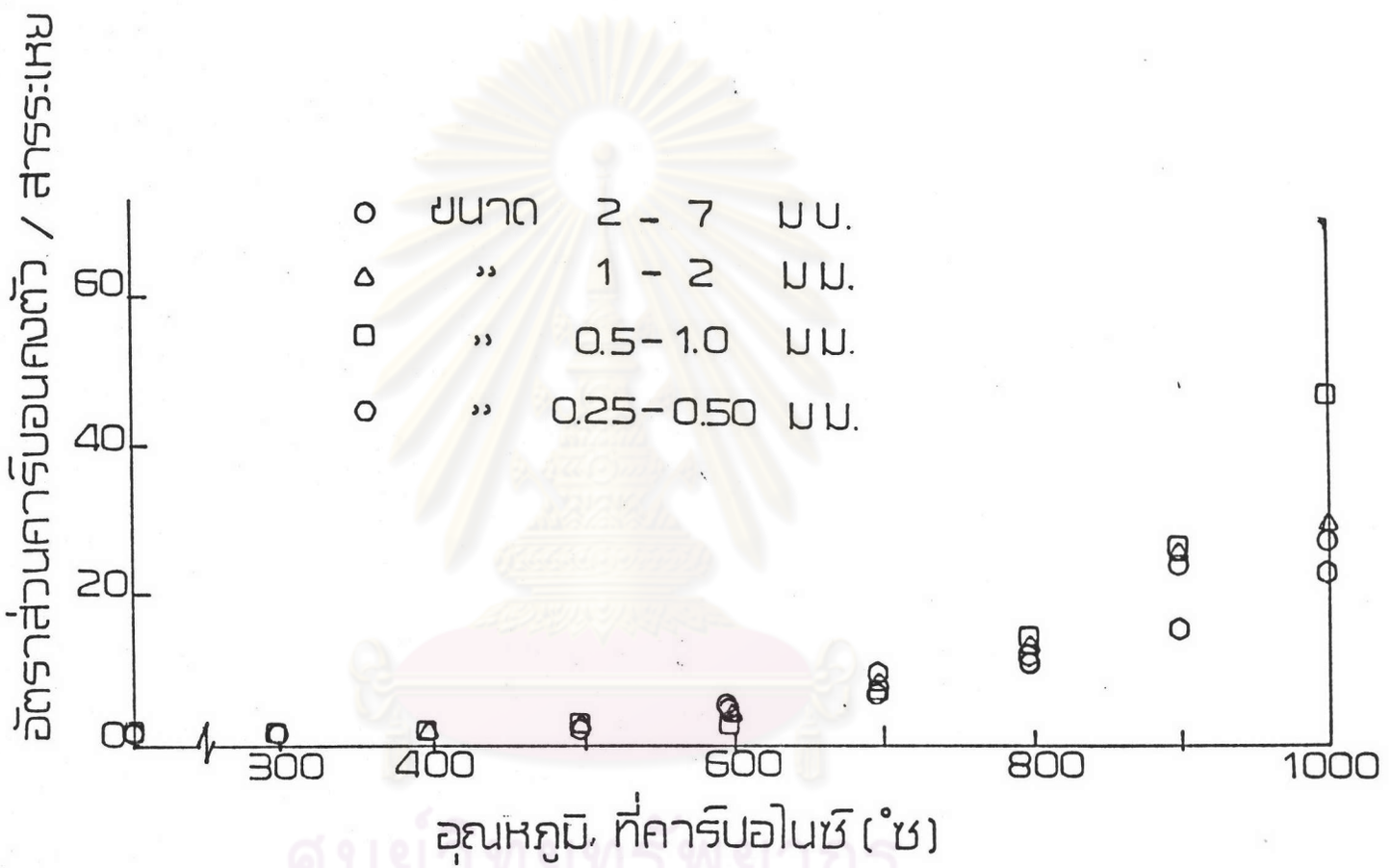
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างเถ้าของเศษถ่านหินและถ่านชาร์ย่างขนาดต่าง ๆ กับอุณหภูมิ

ถ่านข้าวที่ได้ยิ่งมีค่าร้อยละเถ้าสูงขึ้นกว่าถ่านข้าวจากช่วงขนาดอื่น ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน

อัตราส่วนการับอนลงตัวต่อสารระเหย แสดงในรูปที่ 4.17 มีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมากในช่วงอุณหภูมิ 300 - 600 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 700 องศาเซลเซียส อัตราส่วนนี้เพิ่มขึ้นเท่าตัว ทั้ง 4 ช่วงขนาด และเพิ่มขึ้นมากที่ช่วงอุณหภูมิสูงขึ้น ร้อยละกำมะถันในถ่านข้าวมีค่าสูงกว่าในเศษถ่านหินดิบ ถ่านข้าวจากเศษถ่านหินช่วงขนาด 2-7 มิลลิเมตร มีร้อยละกำมะถันต่ำที่สุด และจะมีค่ามากขึ้นตามช่วงขนาดที่เล็กลงตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสให้ถ่านข้าวซึ่งมีร้อยละกำมะถันสูงที่สุด คือร้อยละ 1.09 - 1.39 ยกเว้นช่วงขนาดเล็กที่สุดให้ร้อยละกำมะถันสูงที่สุดคือ 1.47 ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงทุกช่วงขนาดจนถึงที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียสให้ร้อยละกำมะถันต่ำที่สุด

ค่าความร้อนของถ่านข้าวเป็นค่าที่สำคัญที่สุดของเชื้อเพลิง พบว่าในแง่ของค่าความร้อนของถ่านข้าวนั้น การคาร์บอไนซ์ทำให้ความร้อนของถ่านข้าวเพิ่มขึ้น เห็นได้ชัดเจนจากค่าความร้อนของถ่านข้าวที่ถูกคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 600 และ 700 องศาเซลเซียส โดยถ่านข้าวจากเศษถ่านหิน 3 ช่วงขนาดแรกให้ค่าความร้อนประมาณ 4,800 แคลอรีต่อกรัม มากกว่าช่วงขนาดที่เล็กที่สุด ซึ่งให้ค่าความร้อนประมาณ 4,300 แคลอรีต่อกรัม เมื่อพิจารณาค่าความร้อนที่คำนวณโดยไม่รวมความชื้น หรือไม่รวมทั้งความชื้นและเถ้าในตารางที่ 4.1 เทียบกับตารางที่ 4.14 - 4.17 การคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 300 - 400 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อค่าความร้อนของถ่านข้าวเพียงแค่เป็นการลดความชื้นในถ่านหินเท่านั้น เมื่อคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิสูงขึ้นค่าความร้อนจึงเพิ่มขึ้น ตามลำดับ และเพิ่มมากที่อุณหภูมิ 600 และ 700 องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนคาร์บอนคงตัว/สารระเหยของเศษถ่านหินและถ่านอาร์ย่วงขนาดต่าง ๆ กับอุณหภูมิ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 ผลการทดลองในรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการ

จากผลการทดลองในรีทอร์ทมาตรฐานขนาดเล็กแบบฟิชเชอร์ พบว่าถ่านหินทั้ง 4 ช่วงขนาด ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาด้านคุณสมบัติแล้ว พบว่าเศษถ่านหินช่วงขนาดที่เล็กที่สุด คือ 0.25 - 0.50 มิลลิเมตร ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติด้อยกว่าผลิตภัณฑ์จากเศษถ่านหิน 3 ช่วงขนาดแรก ในการทดลองในรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการ จึงเลือกใช้ตัวอย่างขนาดตั้งแต่ 0.5 ถึง 7.0 มิลลิเมตร รวมเป็นตัวอย่างเดียว ทำการคาร์บอไนซ์ครั้งละ 3.0 กิโลกรัม เพื่อให้ได้ถ่านชาร์นำไปทดลองผลิตถ่านลังเคราะห์มากขึ้น และทดลองเปรียบเทียบปริมาณและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อื่น ๆด้วย ส่วนอุณหภูมิที่เลือกใช้คือ 600 และ 700 องศา-เซลเซียส เนื่องจากที่ 2 อุณหภูมินี้ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์มากพอควร และผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติดีกว่าที่ช่วงอุณหภูมิอื่น

การทดลองในรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการนี้ พยายามกำหนดช่วงเวลาในการเพิ่มอุณหภูมิ และเวลาทั้งหมดในการคาร์บอไนซ์ใกล้เคียงกับการทดลองในรีทอร์ทแบบฟิชเชอร์

จากตารางที่ 4.18 แสดงปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ และเปลี่ยนปริมาตรก๊าซถ่านหินเป็นน้ำหนัก แสดงค่าปริมาณผลิตภัณฑ์ทั้งหมดเป็นร้อยละ เปรียบเทียบสมดุลมวลสารระหว่างการคาร์บอไนซ์แยกขนาดในรีทอร์ทแบบฟิชเชอร์ และรวมขนาดในรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการในตารางที่ 4.19 พบว่าร้อยละของผลิตภัณฑ์ก๊าซถ่านหิน ของเหลวใส และถ่านชาร์ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากรีทอร์ทแบบฟิชเชอร์ แต่ปริมาณน้ำมันทาร์ที่เก็บได้น้อยมาก คิดเป็นร้อยละ 13 - 16 ของน้ำมันทาร์ที่ได้จากรีทอร์ทแบบฟิชเชอร์ ทำให้ร้อยละของการสูญเสียเพิ่มขึ้น ทั้งที่อุณหภูมิ 600 และ 700 องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคารับอไนซ์เศษถ่านหินรวมขนาด 0.5 - 7.0 มิลลิเมตร ในรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ผลิตภัณฑ์จากการคารับอไนซ์			
	ก๊าซ (ลิตรที่ สภาวะมาตรฐาน)	ของเหลวใส (มิลลิลิตร)	น้ำมันทาร์ (กรัม)	ถ่านชาร์ (กรัม)
600	368	825	20.7	1,600
700	475	850	25.9	1,500

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 สมดุลมวลสารของการคาร์บอไนซ์เค้กถ่านหินรวมขนาด 0.5 - 7.0 มิลลิเมตร เป็นร้อยละในรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการ เทียบกับผลจากการแยกขนาดในรีทอร์ทมาตรฐานแบบฟิชเชอร์ (จากตารางที่ 4.6 - 4.9)

อุณหภูมิที่คาร์บอไนซ์ (องศาเซลเซียส)	ขนาดถ่านหิน (มิลลิเมตร)	ร้อยละโดยน้ำหนัก					
		ก๊าซถ่านหิน	ของเหลวใส	น้ำมันทาร์	ถ่านข่าร์	น้ำหนักผลิตภัณฑ์ทั้งหมด	การสูญเสีย
600	1) แยกขนาด						
	2-7	6.5	28.5	5.1	53.8	93.9	6.1
	1-2	6.7	29.4	5.2	53.0	94.3	5.7
	0.5-1.0	6.9	28.5	5.6	54.3	95.3	4.7
	เฉลี่ย	6.7	28.8	5.3	53.7	94.5	5.5
	2) รวมขนาด	7.9	27.5	0.7	53.3	89.4	10.6
700	1) แยกขนาด						
	2-7	10.3	28.0	5.6	50.5	94.4	5.6
	1-2	9.9	29.0	5.3	50.4	94.6	5.4
	0.5-1.0	10.6	28.0	5.4	51.8	95.8	4.2
	เฉลี่ย	10.3	28.3	5.4	50.9	94.9	5.1
	2) รวมขนาด	10.1	28.3	0.9	50.0	89.3	10.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.20 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันทาร์และก๊าซถ่านหิน ค่าความร้อนของก๊าซถ่านหินใกล้เคียงกับค่าความร้อนของก๊าซถ่านหินจากรีทอร์ทแบบฟิชเชอร์ และที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ก็ยังคงให้ค่าความร้อนของก๊าซถ่านหินสูงกว่าที่ 600 องศาเซลเซียส ค่าความร้อนของน้ำมันทาร์ต่ำกว่าที่ได้จากรีทอร์ทแบบฟิชเชอร์ทั้ง 2 อุณหภูมิ และที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ก็ยังคงให้ค่าความร้อนของน้ำมันทาร์ใกล้เคียงกับที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ส่วนปริมาณกำมะถันในน้ำมันทาร์สูงกว่าค่าที่ได้จากรีทอร์ทมาตรฐานแบบฟิชเชอร์ และปริมาณกำมะถันที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติของถ่านชาร์ในตารางที่ 4.21 - 4.22 เทียบกับถ่านชาร์จากรีทอร์ทแบบฟิชเชอร์ ในตารางที่ 4.14 - 4.17 ร้อยละความชื้นและเถ้าใกล้เคียงกับค่าเดิม แต่ปริมาณสารระเหยลดลงเกือบเท่าตัวจากร้อยละ 13.61 โดยเฉลี่ยเป็นร้อยละ 7.63 ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และจากร้อยละ 6.07 โดยเฉลี่ยเป็นร้อยละ 2.56 ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ค่าคาร์บอนคงตัวมากขึ้น อัตราส่วนคาร์บอนคงตัวต่อสารระเหยเพิ่มขึ้นเท่าตัวเช่นกันทั้ง 2 อุณหภูมิ ค่าความร้อนของถ่านชาร์จากรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการ ทั้ง 2 อุณหภูมิสูงกว่าจากรีทอร์ทแบบฟิชเชอร์ โดยเฉพาะเมื่อคิดค่าความร้อนไม่รวมความชื้นและเถ้า เมื่อเปรียบเทียบถ่านชาร์จากการคาร์บอไนซ์ในรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการทั้ง 2 อุณหภูมินี้พบว่า ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ให้ถ่านชาร์มีปริมาณสารระเหยต่ำกว่าเกือบครึ่งหนึ่ง ปริมาณเถ้าสูงกว่าเล็กน้อย ค่าความร้อนไม่รวมความชื้นและเถ้าสูงกว่า แต่ปริมาณกำมะถันใกล้เคียงกัน คือประมาณร้อยละ 1.1

นอกจากการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ยังได้ศึกษาอัตราการแตกร่วนจากคาร์บอไนซ์ในตารางที่ 4.23 จากขนาดเศษถ่านหินดิบ 0.5 - 7.0 มิลลิเมตร ได้ถ่านชาร์ขนาดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตรรวมร้อยละ 11.6 และ 11.9 ที่อุณหภูมิ 600 และ 700 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ตารางที่ 4.20 คุณสมบัติของน้ำมันทาร์และก๊าซถ่านหินจากการคาร์บอไนซ์เค้กถ่านหินรวมขนาด 0.5 - 7.0 มิลลิเมตร ในรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการ เทียบกับผลจากการแยกขนาดในรีทอร์ทมาตรฐานแบบฟิชเชอร์ (ตารางที่ 4.10 - 4.12)

อุณหภูมิที่คาร์บอไนซ์ (องศาเซลเซียส)	ขนาดถ่านหิน (มิลลิเมตร)	น้ำมันทาร์		ก๊าซถ่านหิน
		ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)	ร้อยละกำมะถัน	ค่าความร้อน (บีทียู/ลบ.ฟุตที่สภาวะมาตรฐาน)
600	1) แยกขนาด			
	2-7 มม.	9,897	0.41	516
	1-2 มม.	9,859	0.57	497
	0.5-1.0 มม.	9,694	0.42	519
	2) รวมขนาด	8,736	0.98	507
700	1) แยกขนาด			
	2-7 มม.	9,851	0.40	554
	1-2 มม.	9,741	0.54	522
	0.5-1.0 มม.	9,634	0.43	523
	2) รวมขนาด	8,578	0.74	534

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.21 คุณสมบัติของถ่านหินดิบรวมขนาด 0.5 - 7.0 มิลลิเมตร และถ่านชาร์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ในรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการ เทียบกับผลจากการแยกขนาดในรีทอร์ทมาตรฐานแบบฟิชเชอร์ (ตารางที่ 4.14 - 4.17)

คุณสมบัติ	ถ่านชาร์แยกขนาด			รวมขนาด	
	2-7 มม.	1-2 มม.	0.5-1.0มม.	ถ่านดิบ	ถ่านชา
การวิเคราะห์แบบประมาณ,ร้อยละ					
ความชื้น	2.85	2.67	2.31	18.54	2.66
เถ้า	35.03	31.37	34.08	19.67	35.59
สารระเหย	12.57	15.77	12.50	30.84	7.63
คาร์บอนคงตัว	49.55	50.19	51.11	30.95	54.12
อัตราส่วนคาร์บอนคงตัว/สารระเหย	3.94	3.18	4.09	1.00	7.09
ร้อยละกำมะถัน	0.97	1.04	1.24	0.75	1.10
ค่าความร้อน,แคลอรี/กรัม					
ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์	4,723	4,857	4,825	4,069	5,115
ตัวอย่างไม่รวมความชื้น	4,862	4,990	4,939	4,995	5,255
ตัวอย่างไม่รวมความชื้นและเถ้า	7,603	7,364	7,585	6,585	8,283

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.22 คุณสมบัติของถ่านหินดิบรวมขนาด 0.5 - 7.0 มิลลิเมตร และถ่านชาร์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ในรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการ เทียบกับผลจากการแยกขนาดในรีทอร์ทมาตรฐานแบบฟิชเชอร์ (ตารางที่ 4.14 - 4.17)

คุณสมบัติ	ถ่านชาร์แยกขนาด			รวมขนาด	
	2-7 มม.	1-2 มม.	0.5-1.0 มม	ถ่านดิบ	ถ่านชาร์
การวิเคราะห์แบบประมาณ, ร้อยละ					
ความชื้น	1.67	1.46	1.92	18.54	3.06
เถ้า	37.20	34.71	36.66	19.67	37.27
สารระเหย	5.49	6.40	6.33	30.84	2.56
คาร์บอนคงตัว	55.64	57.43	55.09	30.95	57.11
อัตราส่วนคาร์บอนคงตัว/สารระเหย	10.14	8.97	8.70	1.00	22.31
ร้อยละกำมะถัน	1.02	1.06	1.33	0.75	1.16
ค่าความร้อน, แคลอรี/กรัม					
ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์	4,604	4,942	4,757	4,069	5,075
ตัวอย่างไม่รวมความชื้น	4,682	5,015	4,850	4,995	5,235
ตัวอย่างไม่รวมความชื้นและเถ้า	7,531	7,742	7,745	6,585	8,505

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.23 วิเคราะห์ขนาดของถ่านหินและถ่านชาร์ที่อุณหภูมิ 600 และ 700 องศา-เซลเซียส แบบรวมขนาด

ผ่านขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	ถ่านหิน	ถ่านชาร์	
		600 °ซ	700 °ซ
2.000	34.90	27.85	25.51
1.000	40.87	35.71	35.84
0.500	24.23	24.85	26.71
0.355	-	9.60	9.57
0.250	-	0.64	0.89
น้อยกว่า 0.250	-	1.37	1.48
	100.00	100.00	100.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 ผลการทดลองผลิตถ่านลังเคราะห์และคุณสมบัติในการเผาไหม้

การผลิตถ่านลังเคราะห์นั้น ได้ทดลองใช้ตัวประสาน 2 ชนิดคือ แป้งเปียก และแบลคลิกเคอร์ ให้ผลการทดลองในการอัดก้อนดังนี้คือ

4.3.1 แป้งเปียก ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานคิดเป็นร้อยละ 25 โดยน้ำหนักในถ่านชาร์อัดก้อนหรือถ่านลังเคราะห์ ผลิตถ่านลังเคราะห์รูปไข่โดยใช้เครื่องอัดระบบ Double Ring Roll ซึ่งสภาวะการอัดคล้ายคลึงกับสภาวะการอัดด้วยเครื่องไฮดรอลิกส์ที่ความดัน 36 เมกกะนิวตันต่อตารางเมตร (ความชื้นของถ่านลังเคราะห์หลังจากอัดก้อนประมาณร้อยละ 20 ซึ่งเป็นความชื้นที่เหมาะสมในการอัดก้อนด้วย) หลังจากได้ถ่านลังเคราะห์แล้ว ผึ่งทิ้งให้แห้งในอากาศประมาณ 2 วันก่อนนำไปทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ถ่านลังเคราะห์รูปไข่มีน้ำหนักก้อนละประมาณ 16 กรัม

4.3.2 แบลคลิกเคอร์ เจือจางด้วยน้ำจนมีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 37.5 ใช้เป็นตัวประสานโดยผสมกับถ่านชาร์คิดเป็นร้อยละ 11.25 โดยน้ำหนักของแบลคลิกเคอร์ก่อนเจือจาง จากการทดลองอัดก้อนด้วยเครื่องไฮดรอลิกส์ต้องใช้ความดันสูงที่สุด (105 เมกกะนิวตันต่อตารางเมตร) และต้องใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งสภาวะนี้ไม่สามารถอัดก้อนด้วยเครื่องอัดระบบ Double Ring Roll ได้ จึงอัดก้อนตัวอย่างด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกส์เป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว มีน้ำหนักก้อนละประมาณ 10 กรัม อัดได้ครั้งละ 2 ก้อน เมื่อถอดตัวอย่างออกจากแบบอัดต้องทิ้งไว้ให้เย็นก่อนนำไปทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ

ค่าความแข็งแรงของก้อนถ่านลังเคราะห์ หาโดยวัดความต้านทานแรงอัด (compressive strength) สำหรับก้อนถ่านรูปทรงกระบอก และน้ำหนักที่ทำให้ก้อนถ่านแตก (crushing strength) สำหรับถ่านลังเคราะห์รูปไข่ รวมทั้งค่าความหนาแน่น แสดงในตารางที่ 4.24 ถ่านชาร์จากการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสมีความหนาแน่นและความแข็งแรงสูงกว่าถ่านชาร์ที่ 600 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติของถ่านลังเคราะห์เทียบกับถ่านชาร์และถ่านไม้ในตารางที่ 4.25 ถ่านลังเคราะห์มีความชื้นและสารระเหยเพิ่มขึ้น ค่าความร้อนลดลงประมาณร้อยละ 6 เนื่องจากผสมตัวประสานในปริมาณร้อยละ 11.25 และ 25 ของแบลคลิกเคอร์ และแป้งเปียกตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านไม้ พบว่าถ่านไม้มีคุณสมบัติดีกว่าในแง่ของปริมาณเถ้าและกำมะถันต่ำ

ตารางที่ 4.24 ความหนาแน่นโดยการแทนที่น้ำและค่ากำลังต้านแรงกด และ น้ำหนักที่ทำให้ถ่านลังเคราะห์แตก

ตัวอย่างถ่านลังเคราะห์	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)	น้ำหนักที่ทำให้แตก (กก.)	ค่ากำลังต้านแรงกด (กก./ตร.ซม.)
ป. 600	1.41	43.1	-
ป. 700	1.47	49.0	-
ซ. 600	1.59	285.6	56.36
ซ. 700	1.61	343.6	67.82

หมายเหตุ ป. 600 คือ ถ่านลังเคราะห์รูปไข่ ซึ่งได้จากการอัดถ่านชาร์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน

ป. 700 คือ ถ่านลังเคราะห์รูปไข่ ซึ่งได้จากการอัดถ่านชาร์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน

ซ. 600 คือ ถ่านลังเคราะห์รูปทรงกระบอก ซึ่งได้จากการอัดถ่านชาร์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ใช้แบลคลิกเคอร์ เป็นตัวประสานด้วยความดัน 105 เมกกะนิวตัน/ตารางเมตร

ซ. 700 คือ ถ่านลังเคราะห์รูปทรงกระบอก ซึ่งได้จากการอัดถ่านชาร์ที่ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ใช้แบลคลิกเคอร์ เป็นตัวประสานด้วยความดัน 105 เมกกะนิวตัน/ตารางเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.25 คุณสมบัติของถ่านสังเคราะห์และถ่านไม้ เทียบกับถ่านชาร์รวมขนาดจาก ตารางที่ 4.21 และ 4.22

คุณสมบัติ	ถ่านไม้	จากการคาร์บอไนซ์ที่ 600°ซ			จากการคาร์บอไนซ์ที่ 700°ซ		
		ถ่านชาร์	ป.600	ซ.600	ถ่านชาร์	ป.700	ซ.700
การวิเคราะห์แบบประมาณ, ร้อยละ							
ความชื้น	5.34	2.66	5.69	5.94	3.06	6.55	5.69
เถ้า	5.45	35.59	31.24	34.46	37.27	32.79	36.01
สารระเหย	4.02	7.63	11.91	6.54	2.56	6.55	4.21
คาร์บอนคงตัว	85.19	54.12	51.16	53.06	57.11	54.11	54.09
อัตราส่วนคาร์บอนคงตัว/สารระเหย	21.19	7.09	4.30	8.11	22.31	8.26	12.85
ร้อยละกำมะถัน	0.05	1.10	1.00	1.10	1.16	1.10	1.15
ค่าความร้อน, แคลอรี/กรัม							
ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์	7,402	5,115	4,765	4,857	5,075	4,775	4,709
ตัวอย่างไม่รวมความชื้น	7,820	5,255	5,052	5,164	5,235	5,110	4,993
ตัวอย่างไม่รวมความชื้นและเถ้า	8,297	8,283	7,555	8,149	8,505	7,872	8,077

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทั้งยังมีอัตราส่วนคาร์บอนคงตัวต่อสารระเหยสูงกว่าถ่านสังเคราะห์ และค่าความร้อนของถ่านสังเคราะห์โดยเฉลี่ย (ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์) คิดเป็นร้อยละ 65 ของถ่านไม้ ในการทดลองเผาไหม้ในเตาอั้งโล่ เทียบกับปริมาณถ่านไม้ 500 กรัม (ตารางที่ 4.26) ต้องใช้ถ่านสังเคราะห์ประมาณ 770 กรัม จึงจะให้ค่าความร้อนทั้งหมดออกมาเท่ากัน ทำการทดลองและถ่ายรูปลักษณะเปลวไฟ และเถ้าโดยจัดอุปกรณ์ดังภาพที่ 4.1 ใช้ถ่านไม้เป็นมาตรฐานเปรียบเทียบแสดงการลุกไหม้ในภาพที่ 4.2 การลุกไหม้ของถ่านไม้ให้เปลวไฟยาว มีสีส้ม ไม่มีควัน และไม่มีกลิ่น แต่เถ้าของถ่านไม้เบาดังในภาพที่ 4.3 และฟุ้งกระจายทำให้บริเวณที่เผาไหม้ไม่สะอาด การลุกไหม้ของถ่านสังเคราะห์จากการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 600 และ 700 องศาเซลเซียส โดยมีแป้งเปียกเป็นตัวประสานให้ผลการทดลองและลักษณะการลุกไหม้ใกล้เคียงกันมากตามตารางที่ 4.26 และภาพที่ 4.4 และ 4.6 เมื่อเริ่มติดไฟถ่านสังเคราะห์นี้จะเกิดควันแต่เมื่อถ่านติดไฟดีแล้วควันก็จะหมดไปและไม่มีกลิ่น ให้เปลวไฟสีเหลืองอมฟ้า ระยะเวลาในการลุกไหม้นานกว่าถ่านไม้ถึง 30 นาที ส่วนการลุกไหม้ของถ่านสังเคราะห์ทั้ง 2 อุณหภูมิที่มีแบลคคลิกเคอร์เป็นตัวประสาน ให้ผลการทดลองและลักษณะการลุกไหม้ใกล้เคียงกันตามตารางที่ 4.26 และภาพที่ 4.8 และ 4.10 ถ่านสังเคราะห์ชนิดนี้ไม่ทำให้เกิดควัน แต่มีกลิ่นเล็กน้อยให้เปลวไฟสีส้มและระยะเวลาในการติดไฟนานเท่าถ่านไม้คือ 110 นาที จะทำให้น้ำเดือดช้ากว่าถ่านไม้ 5 นาที ทั้งนี้เนื่องจากถ่านสังเคราะห์มีไม่พอ จึงใช้ปริมาณถ่านสังเคราะห์ในจำนวนที่ให้ค่าความร้อนเท่ากันทั้ง 2 อุณหภูมิ แต่น้อยกว่าถ่านไม้ประมาณร้อยละ 20

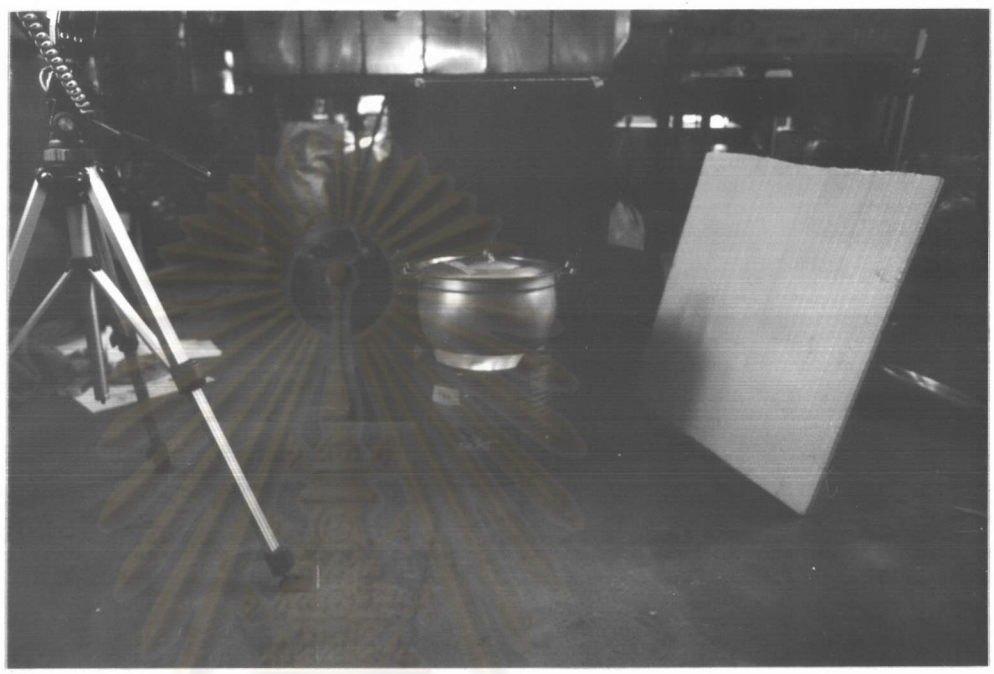
ถ่านสังเคราะห์ทั้ง 4 ตัวอย่างให้ประสิทธิภาพของเตาเท่ากับถ่านไม้คือร้อยละ 28 ซึ่งเท่ากับสภาพการทดลองมาตรฐาน (45) และให้ผลดีกว่าถ่านไม้คือ เถ้ารวมตัวเป็นก้อนรูปร่างเหมือนก่อนเผาไหม้แสดงในภาพที่ 4.5 4.7 4.9 และ 4.11 เถ้าไม่เบาและปลิวฟุ้งเหมือนเถ้าของถ่านไม้ในภาพที่ 4.3 ซึ่งทำให้บริเวณที่เผาไหม้สะอาด และถ่านสังเคราะห์ที่มีแป้งเปียกเป็นตัวประสานติดไฟได้นานกว่า

ตารางที่ 4.26 ผลการทดลองเผาไหม้ถ่านลังเคราะห์เทียบกับถ่านไม้

ตัวอย่าง	ค่าความร้อน (แคลอรี / กรัม)	น้ำหนัก (กรัม)	เวลาที่ทำให้น้ำเดือด (นาที)	เวลาที่ลุกไหม้ (นาที)	ประสิทธิภาพของเตา (%)	เปลวไฟและลักษณะการลุกไหม้
ป. 600	4,765	777	20	140	28.25	มีควันมากตอนเริ่มติดไฟ แต่เมื่อลุกแดงแล้วไม่มีควัน ไม่มีกลิ่นเหม็น
ป. 700	4,775	775	20	138	28.19	เปลวไฟสีเหลืองอมฟ้า ยาวประมาณ 2 นิ้ว เถ้ารวมตัวเป็นก้อนเหมือนก่อนเผา
ถ่านไม้	7,402	500	20	110	28.26	ไม่มีควัน ไม่มีกลิ่น เปลวไฟสีส้มยาวประมาณ 4 นิ้ว เถ้าเบาและฟุ้ง
ซ. 600	4,857	600	25	110	28.25	ไม่มีควัน มีกลิ่นเหม็นเล็กน้อย เปลวไฟสีส้มยาว
ซ. 700	4,709	619	25	110	28.24	ประมาณ 1 นิ้ว เถ้ารวมตัวเป็นก้อนเหมือนก่อนเผา

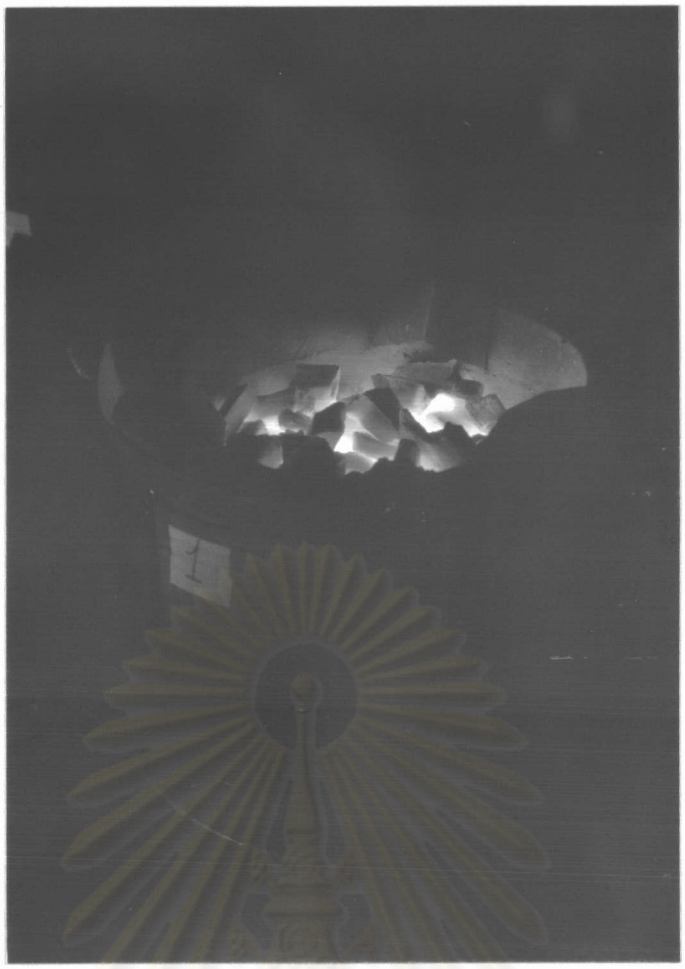
หมายเหตุ 1) ใช้น้ำปริมาตร 4.0 ลิตร

2) วิธีทำใช้การต้มน้ำให้เดือดแล้วปล่อยให้น้ำระเหยเป็นไอไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งไฟรา

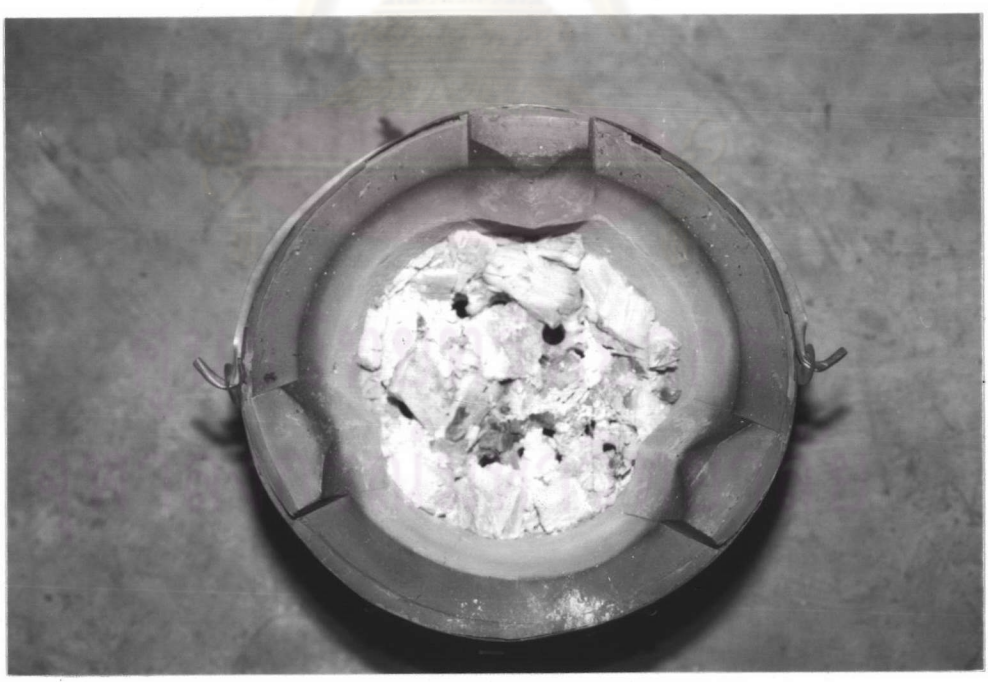


ภาพที่ 4.1 แสดงการจัดอุปกรณ์ในการศึกษาการลุกไหม้ของถ่านในเตาอั้งโล่

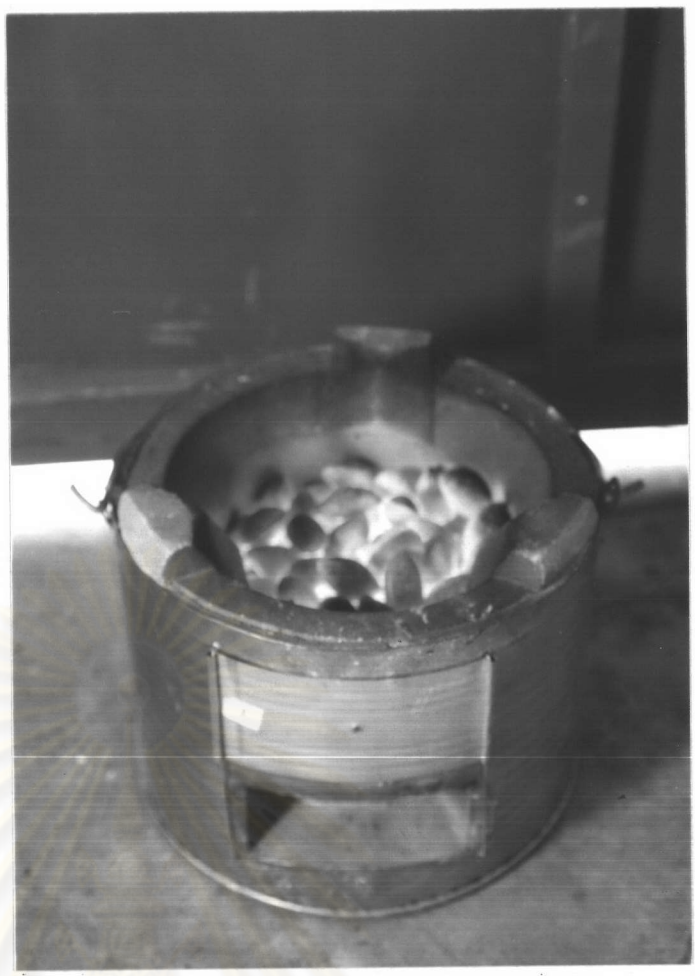
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



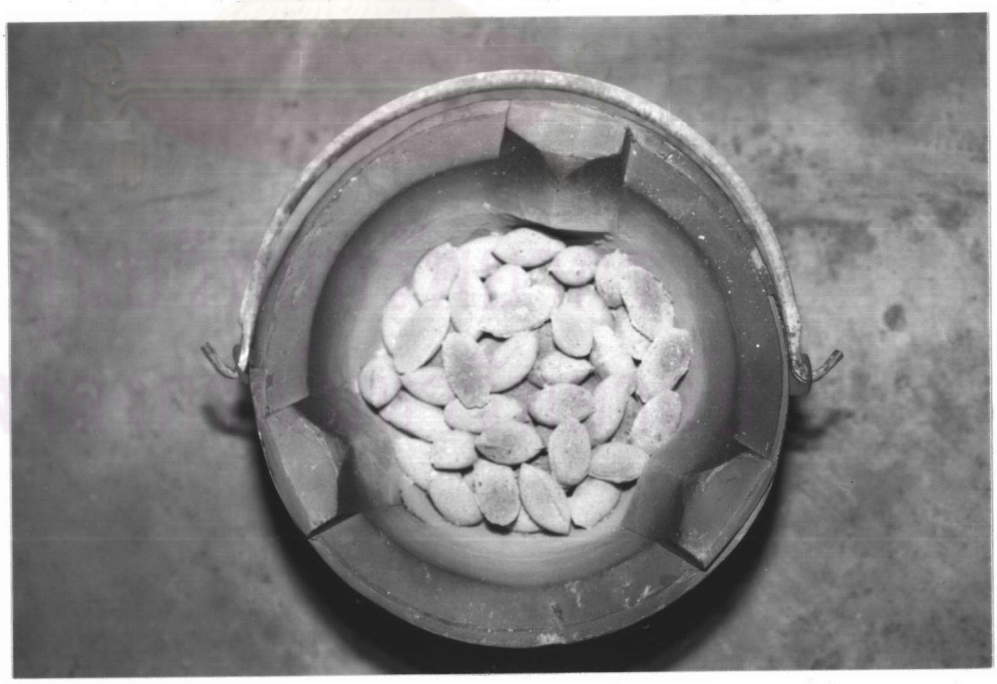
ภาพที่ 4.2 การลุกไหม้ของถ่านไม้



ภาพที่ 4.3 เถ้าของถ่านไม้



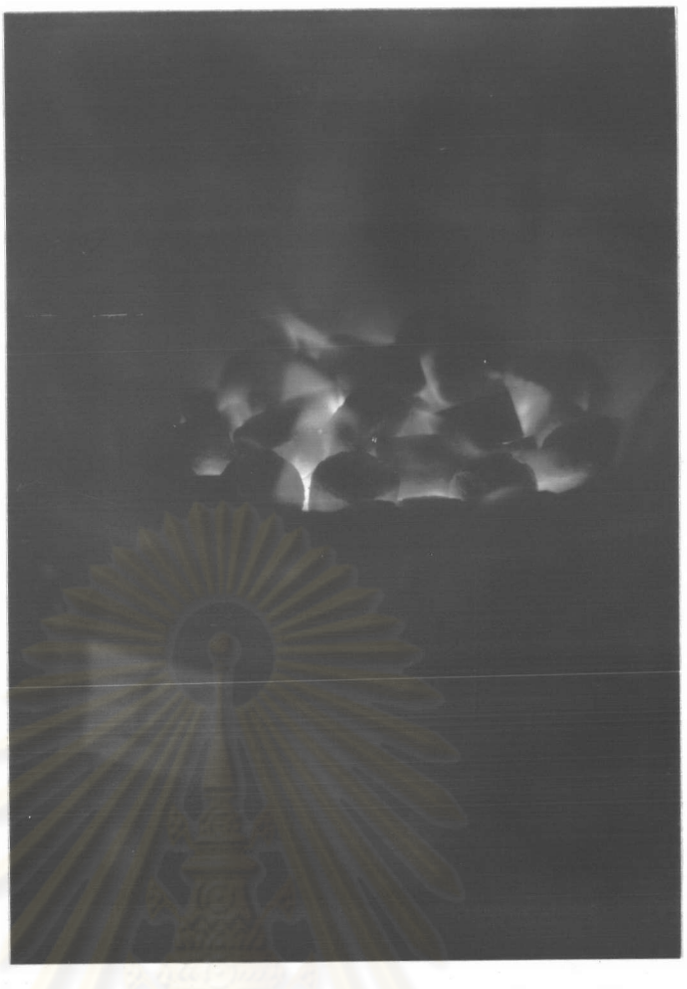
ภาพที่ 4.4 การลุกไหม้ของถ่านสังเคราะห์จากการคาร์บอไนซ์ ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน



ภาพที่ 4.5 เถ้าของถ่านสังเคราะห์จากการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน

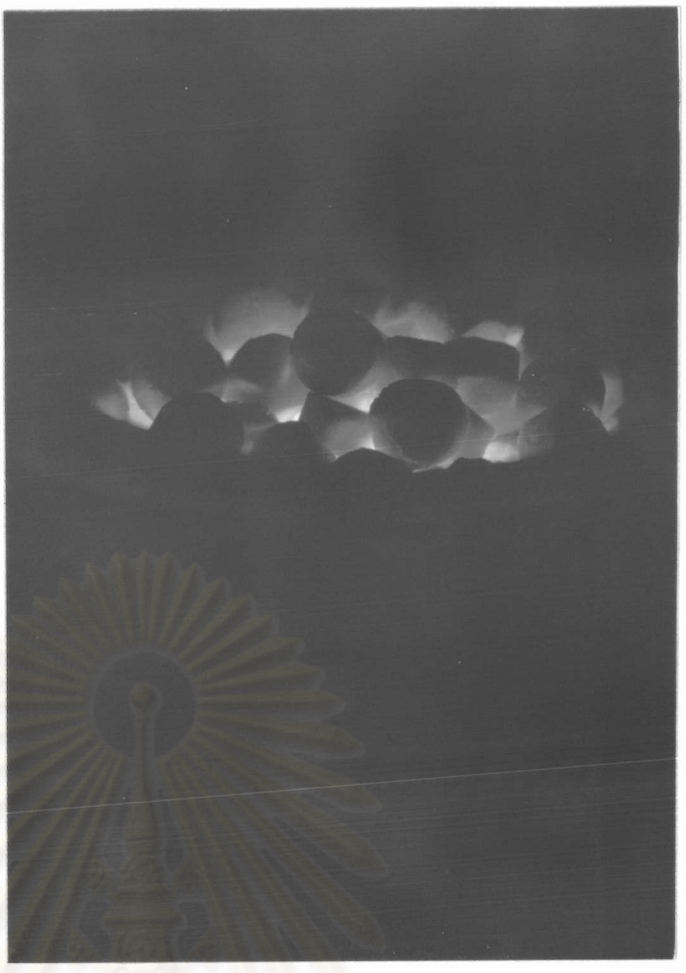
ภาพที่ 4.6 การลุกไหม้ของถ่านสังเคราะห์จากการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน

ภาพที่ 4.7 เถ้าของถ่านสังเคราะห์จากการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน



ภาพที่ 4.8 การลุกไหม้ของถ่านสังเคราะห์จากการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ใช้แบลคลิกเคอร์เป็นตัวประสาน

ภาพที่ 4.9 เถ้าของถ่านสังเคราะห์จากการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ใช้แบลคลิกเคอร์เป็นตัวประสาน



ภาพที่ 4.10 การลุกไหม้ของถ่านสังเคราะห์จากการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ใช้แบลคลิกเคอร์เป็นตัวประสาน

ภาพที่ 4.11 เถ้าของถ่านสังเคราะห์จากการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ใช้แบลคลิกเคอร์เป็นตัวประสาน