

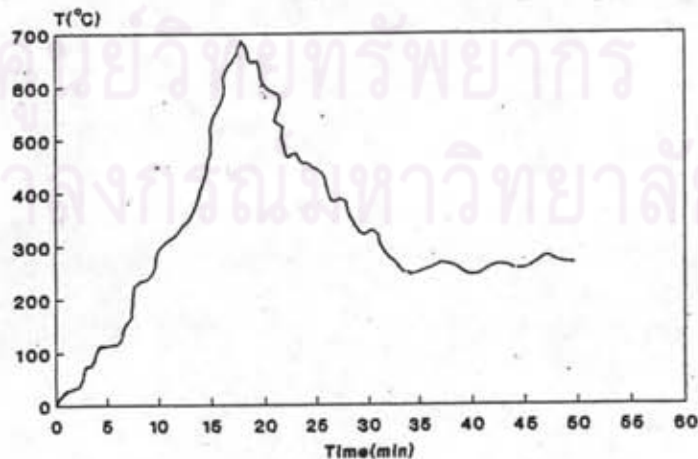
ผลการทดลอง

4.1 การคาร์บอนไนซ์ในฟลูอิดไครสเทค

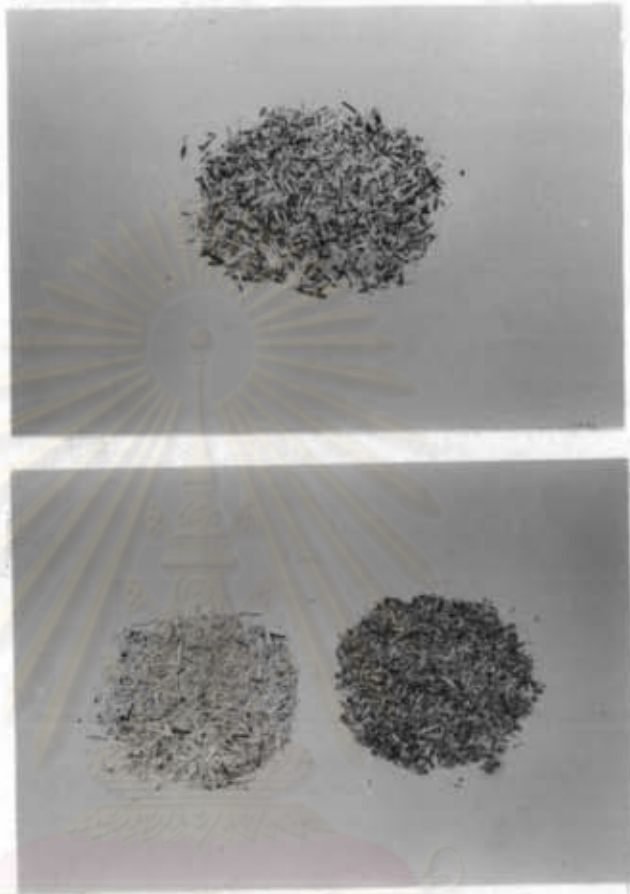
หลักการของการคาร์บอนไนซ์จะเป็นการไล่สารอินทรีย์ออกจากตัวแกลบโดยใช้ความร้อนจากการศึกษา พบว่าลักษณะทางกายภาพของแกลบเป็นอุปสรรคต่อการเกิดสภาวะฟลูอิดเซชันในเบต ส่วนปริมาณออกซิเจน และสารระเหยที่เกิดขึ้นในระบบจะมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิภายในเบต จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมให้มีการไล่สารระเหย ออกอย่างช้าๆ ในช่วงเริ่มต้น และการเพิ่มความร้อนจะทำให้ขนาดเล็กๆ ที่ผิวของแกลบให้หลุดออก เพื่อให้เกิดสภาวะฟลูอิดเซชัน ได้ดีขึ้นก่อนที่จะทำการทำการทดลองต่อไป โดยมีการศึกษาถึงปริมาณออกซิเจน และอัตราการให้ความร้อนในช่วงเริ่มต้น ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิในเบตได้ ดังนี้

4.1.1 อัตราการให้ความร้อนในช่วงเริ่มต้น

การทดลองส่วนนี้จะนำแกลบที่ผ่านการต้มกรดแล้วมาทำการคาร์บอนไนซ์ โดยที่ยังไม่มีการควบคุมอัตราการให้ความร้อน และปริมาณออกซิเจนในเบต ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งเบต ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 อุณหภูมิในเบตกรณีไม่มีการควบคุมอัตราการเพิ่มความร้อน และปริมาณออกซิเจน ปริมาณแกลบ 60 กรัม

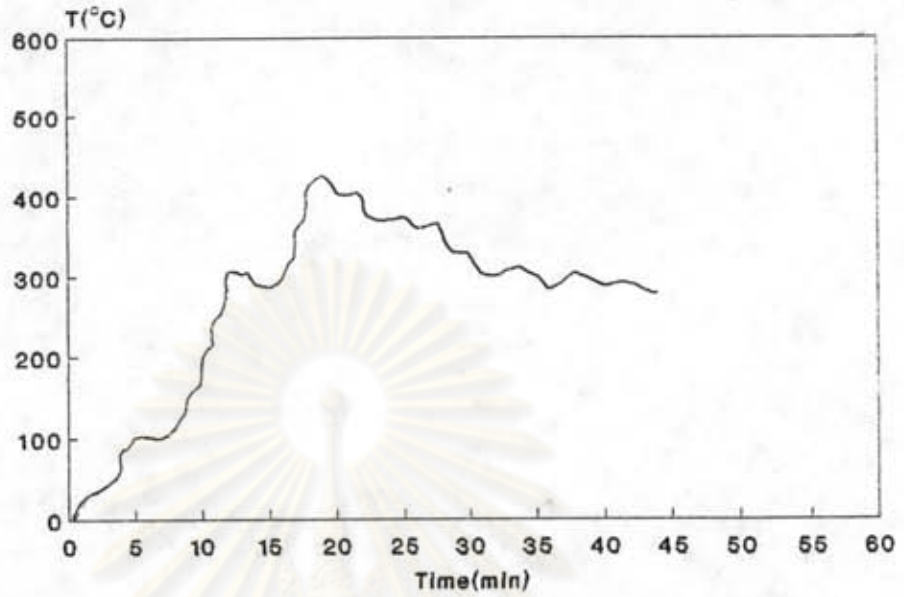


รูปที่ 4.2 ผลผลิตที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์กรณีที่ไม่มีการควบคุมการให้ความร้อน และปริมาณออกซิเจน ปริมาณแกลบ 60 กรัม

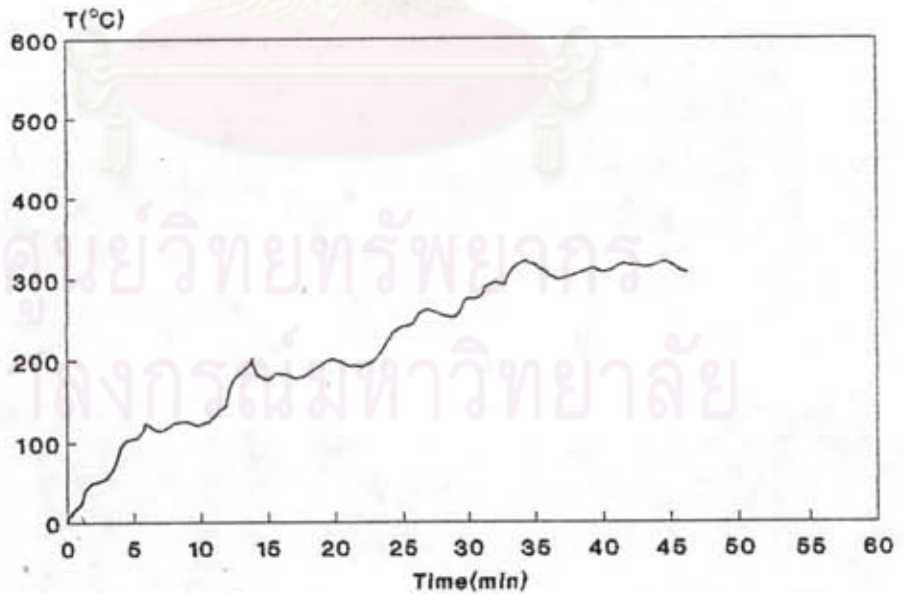
ก. เกิดการเผาไหม้ของแกลบบางส่วน

ข. เกิดสภาวะเป็นช่อง และเกิดการเผาไหม้

ในกรณีควบคุมอัตราการให้ความร้อนในช่วงเริ่มต้น โดยมีการหยุดให้ความร้อน ที่อุณหภูมิต่างๆเป็นช่วงๆคือ 100 องศาเซลเซียส 5 นาที, 200 องศาเซลเซียส 10 นาที และ 250 องศาเซลเซียส 10 นาที โดยมีปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในเขตต่ำกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ และ 8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แนวของอุณหภูมิภายในเตาที่อัตราการไหลก๊าซ 3 เมตรต่อวินาที แสดงได้ ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 และลักษณะของผลผลิตที่ได้มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6



รูปที่ 4.3 อุณหภูมิภายในเตากับเวลา ที่มีการควบคุมการให้ความร้อน และปริมาณออกซิเจนต่ำกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ อัตราการไหลก๊าซ 3 เมตรต่อวินาที ปริมาณแกลบ 60 กรัม



รูปที่ 4.4 อุณหภูมิภายในเตากับเวลา ที่มีการควบคุมการให้ความร้อน และปริมาณออกซิเจนต่ำกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ อัตราการไหลก๊าซ 3 เมตรต่อวินาที ปริมาณแกลบ 60 กรัม

#### 4.2 อิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อคุณสมบัติ และลักษณะของผลิตภัณฑ์

การทดลองในส่วนนี้ได้มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนในระบบให้ต่ำกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ และทำการควบคุมความร้อนให้เพิ่มขึ้นเป็นช่วงๆ จนถึงช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง คือ 300 ถึง 600 องศาเซลเซียส และใช้อัตราการไหลก๊าซสูงกว่า 0.9 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นค่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชันของแกลบในเบด โดยมีการแปรค่าตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ปริมาณแกลบ อัตราการป้อนก๊าซ และเวลา แล้วทำการวิเคราะห์โดยประมาณเพื่อหาคุณสมบัติต่างๆ ของแกลบที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ คือ ปริมาณความชื้น สารระเหย เถ้า และคาร์บอนคงตัว ข้อมูลจากการวิเคราะห์โดยประมาณ (proximate analysis) และอัตราส่วนชิลิกาต่อคาร์บอนของการทดลองทั้งหมดแสดงไว้ในภาคผนวก ค.

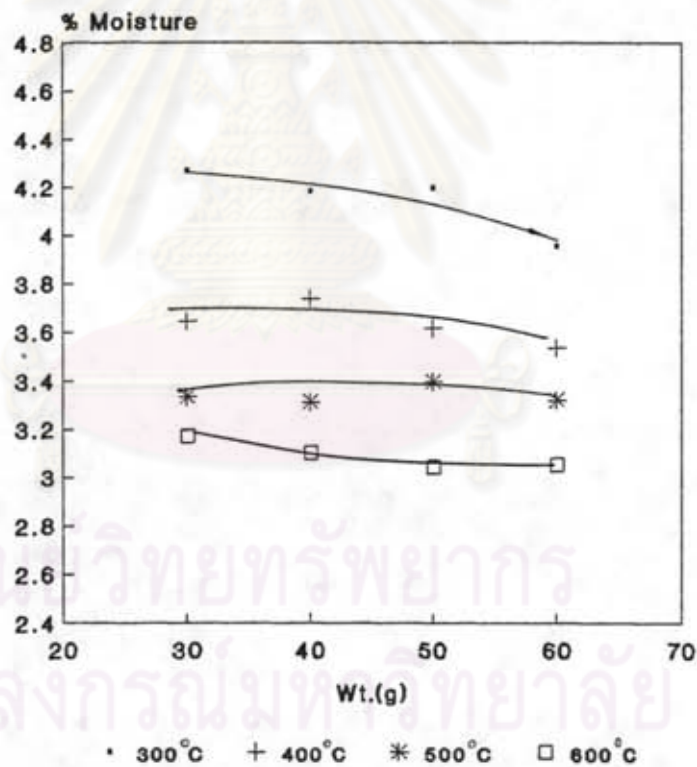
ผลการวิเคราะห์โดยประมาณของแกลบก่อนที่จะนำมาทำการคาร์บอนไนซ์มีคุณสมบัติ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์โดยประมาณของแกลบที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

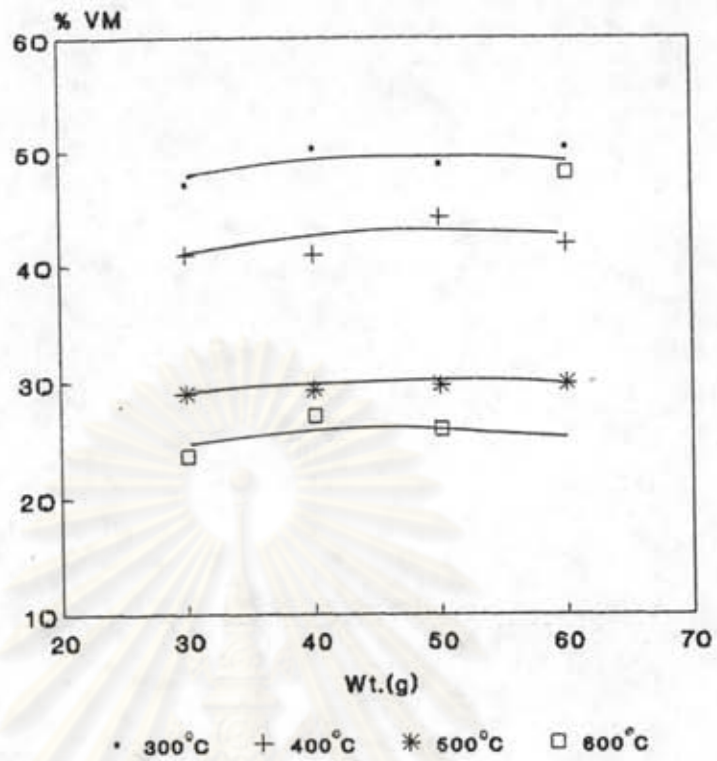
คุณสมบัติ	เปอร์เซ็นต์
ความชื้น	7.367
สารระเหย	58.373
เถ้า	19.313
คาร์บอนคงตัว	14.947

#### 4.2.1 อิทธิพลของปริมาณแกลบต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์

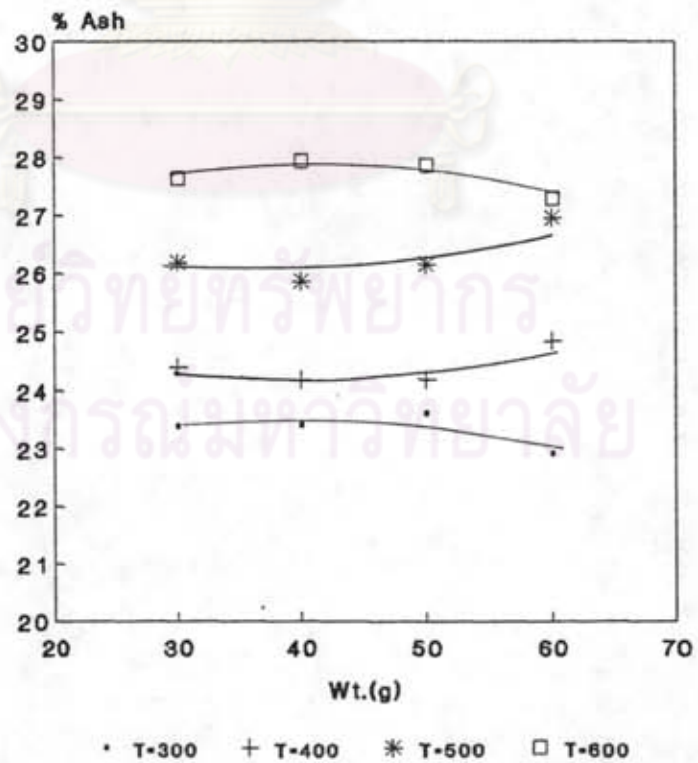
ปริมาณของแกลบที่ใส่ลงในเตาที่มีผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์จากการวิเคราะห์โดยประมาณ เมื่อทำการทดลองที่น้ำหนักต่างๆกัน ได้แก่ 30, 40, 50 และ 60 กรัม, อัตราการไหลของก๊าซ 1.2, 1.6 และ 2.4 เมตรต่อวินาที และใช้เวลาในการคาร์บอนไนซ์ 15, 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ ผลการทดลองของปริมาณแกลบต่างๆ ที่อัตราการไหลของก๊าซ 2.4 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 300 ถึง 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที แสดงได้ดังรูป 4.7 ถึง 4.11 ส่วนในรูปที่ 4.12 และ 4.13 แสดงถึงลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง



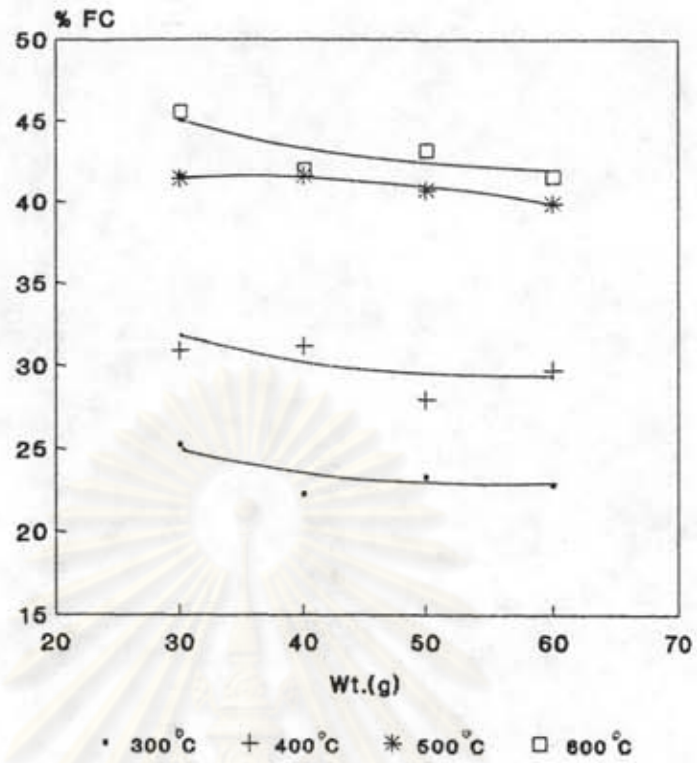
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับปริมาณแกลบ



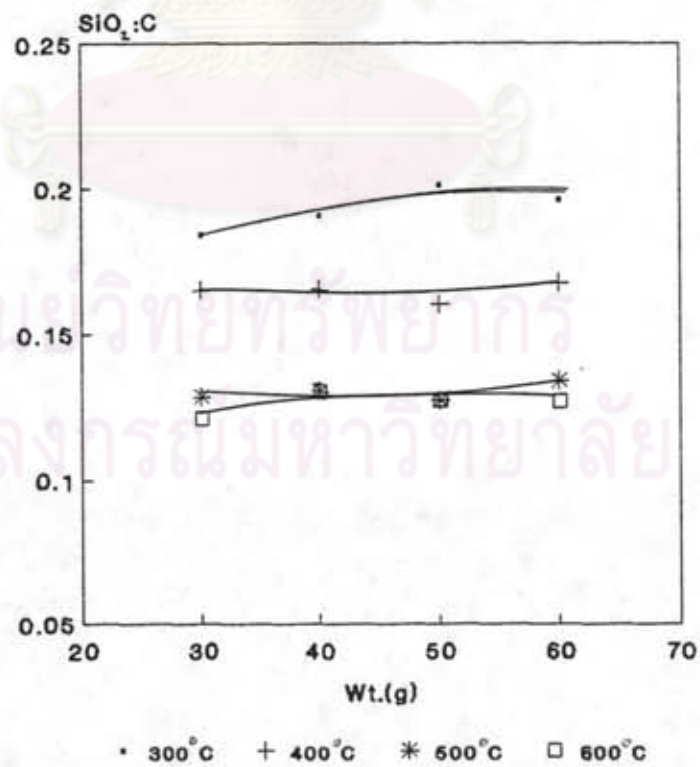
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์สารระเหยกับปริมาณแกลบ



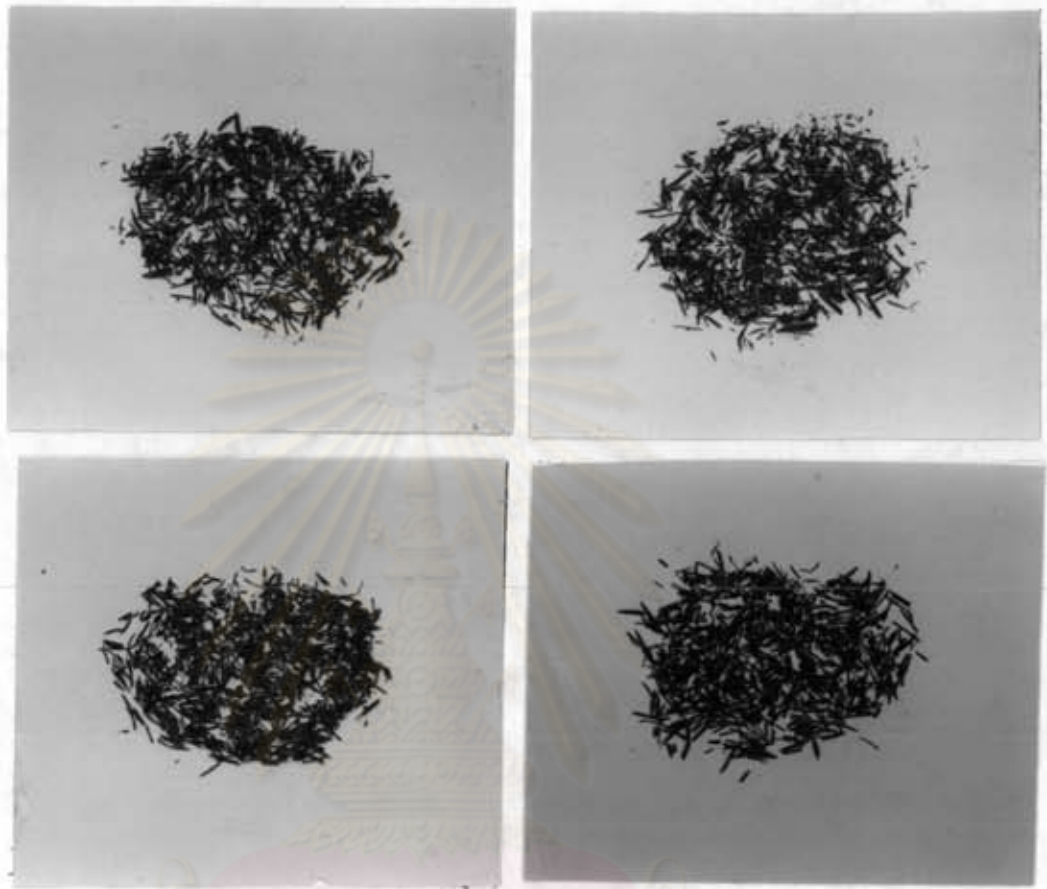
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์เถ้ากับปริมาณแกลบ



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัวกับปริมาณแกลบ



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนซิลิกาต่อคาร์บอนกับปริมาณแกลบ



(ก.) ปริมาณแก๊ส 30 กรัม

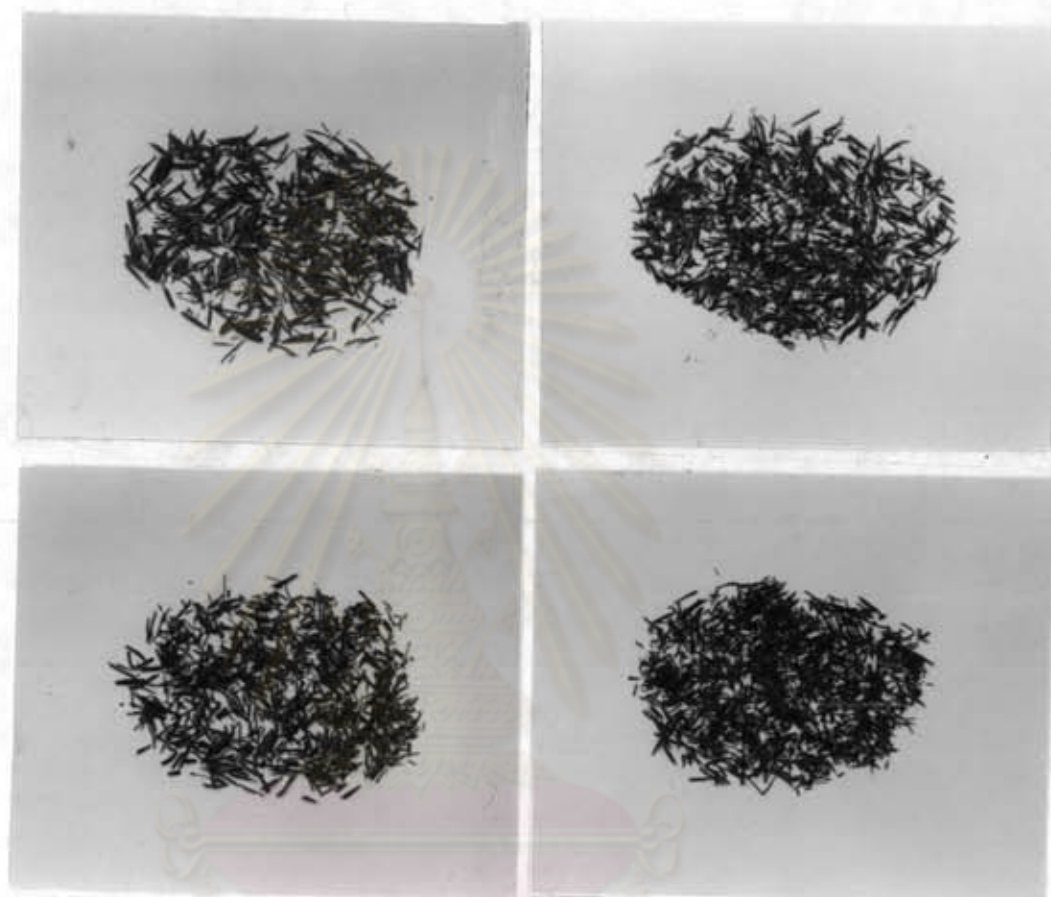
(ข.) ปริมาณแก๊ส 40 กรัม

(ค.) ปริมาณแก๊ส 50 กรัม

(ง.) ปริมาณแก๊ส 60 กรัม

รูปที่ 4.12 ลักษณะของผลิตภัณฑ์จากการคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อัตราการไหลก๊าซ 2.4 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที ที่ปริมาณแก๊สต่างๆ





(ก.) ปริมาณแกมมา 30 กรัม

(ข.) ปริมาณแกมมา 40 กรัม

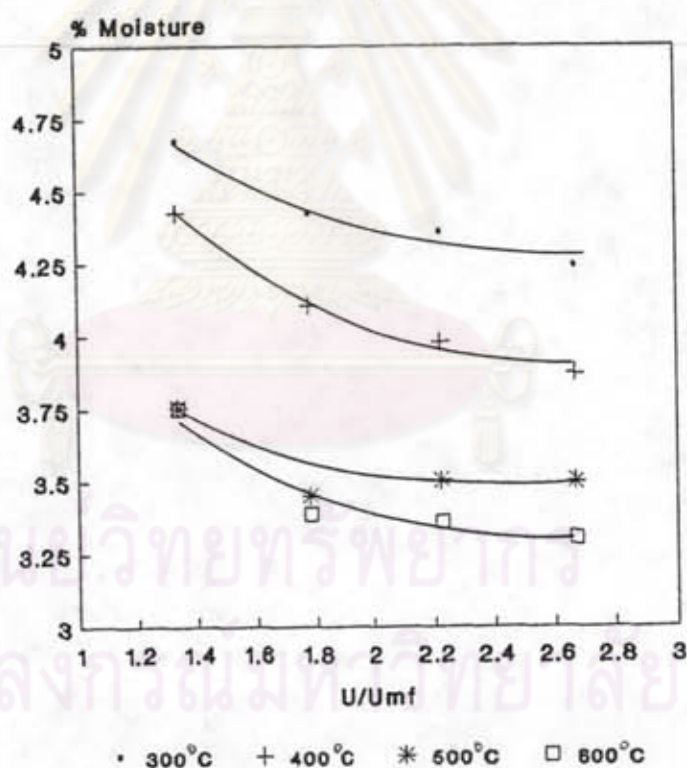
(ค.) ปริมาณแกมมา 50 กรัม

(ง.) ปริมาณแกมมา 60 กรัม

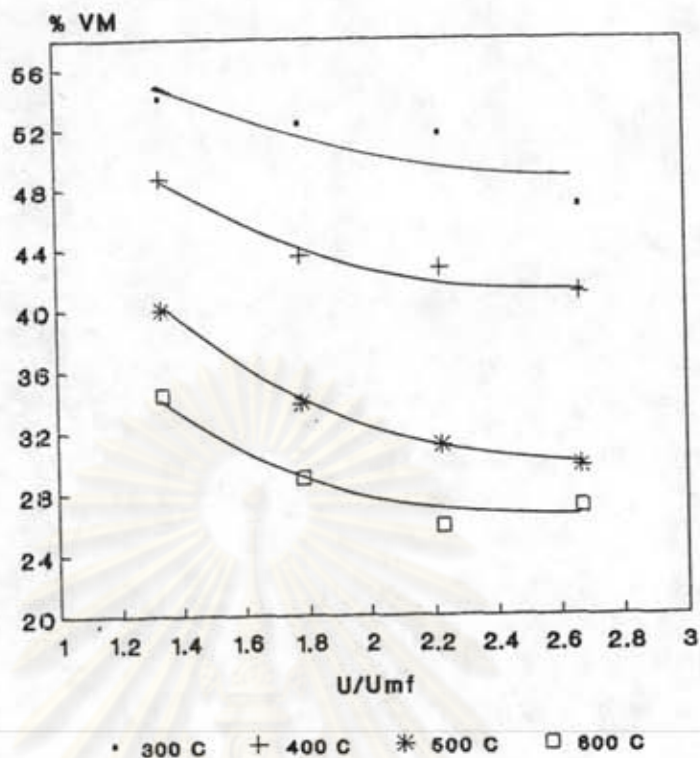
รูปที่ 4.13 ลักษณะของผลิตภัณฑ์จากการคาร์บอนไนซ์ ที่อัตราการไหลก๊าซ 2.4 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที ที่ปริมาณแกมมาต่างๆ

#### 4.2.2 อิทธิพลของอัตราการป้อนก๊าซต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์

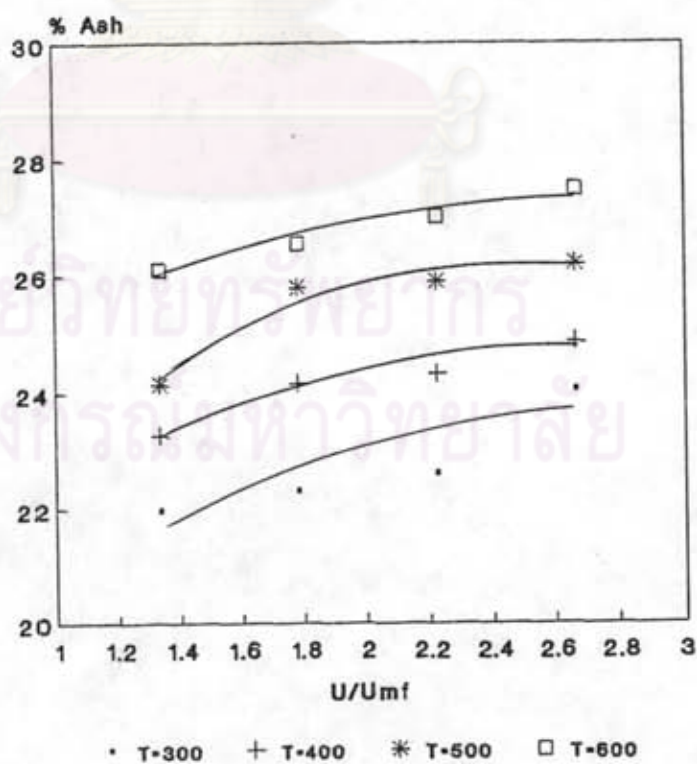
การศึกษาถึงอัตราการไหลของก๊าซ ที่มีผลต่อคุณสมบัติของแกลบที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ ในช่วงอุณหภูมิ 300 ถึง 600 องศาเซลเซียส เวลา 15, 30, 45 และ 60 นาที ปริมาณแกลบ 30, 40, 50 และ 60 กรัม ที่อัตราการป้อนก๊าซด้วยความเร็ว 1.2, 1.6, 2.0 และ 2.4 เมตรต่อวินาที ผลการทดลองที่ปริมาณแกลบ 40 กรัม อุณหภูมิ 300 ถึง 600 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ที่อัตราการไหลก๊าซต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 4.14 ถึง 4.18 และ ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์แสดงไว้ในรูปที่ 4.19 และ 4.20



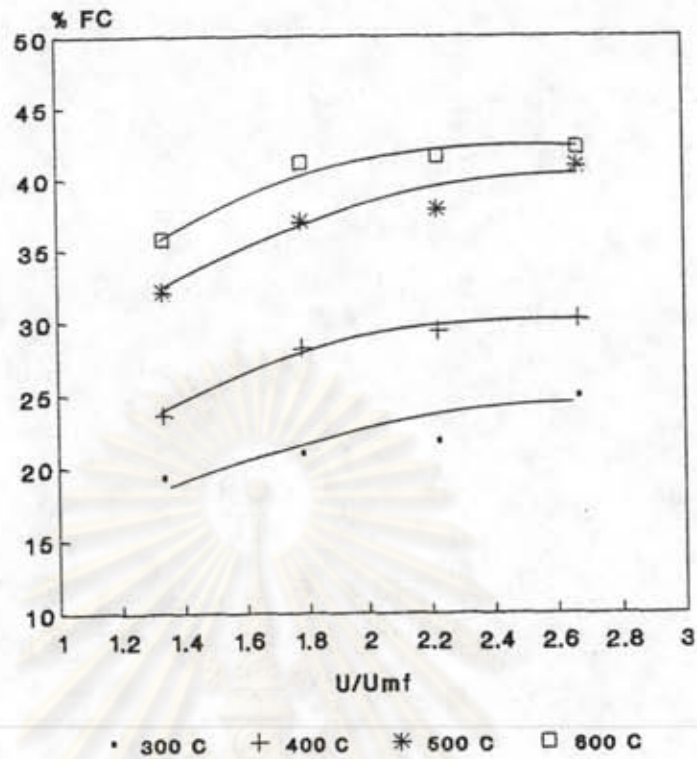
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับอัตราการไหลของก๊าซ



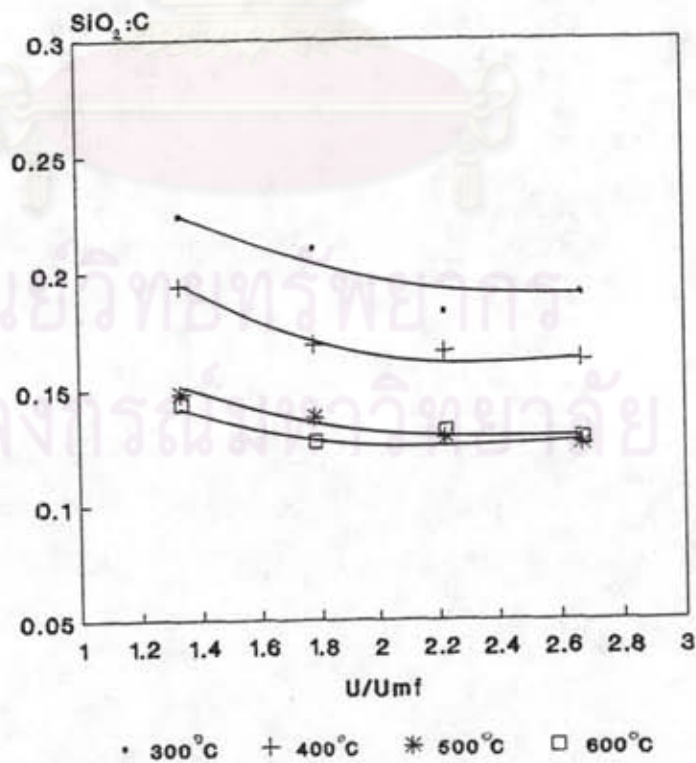
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์สารระเหยกับอัตราการไหลก๊าซ



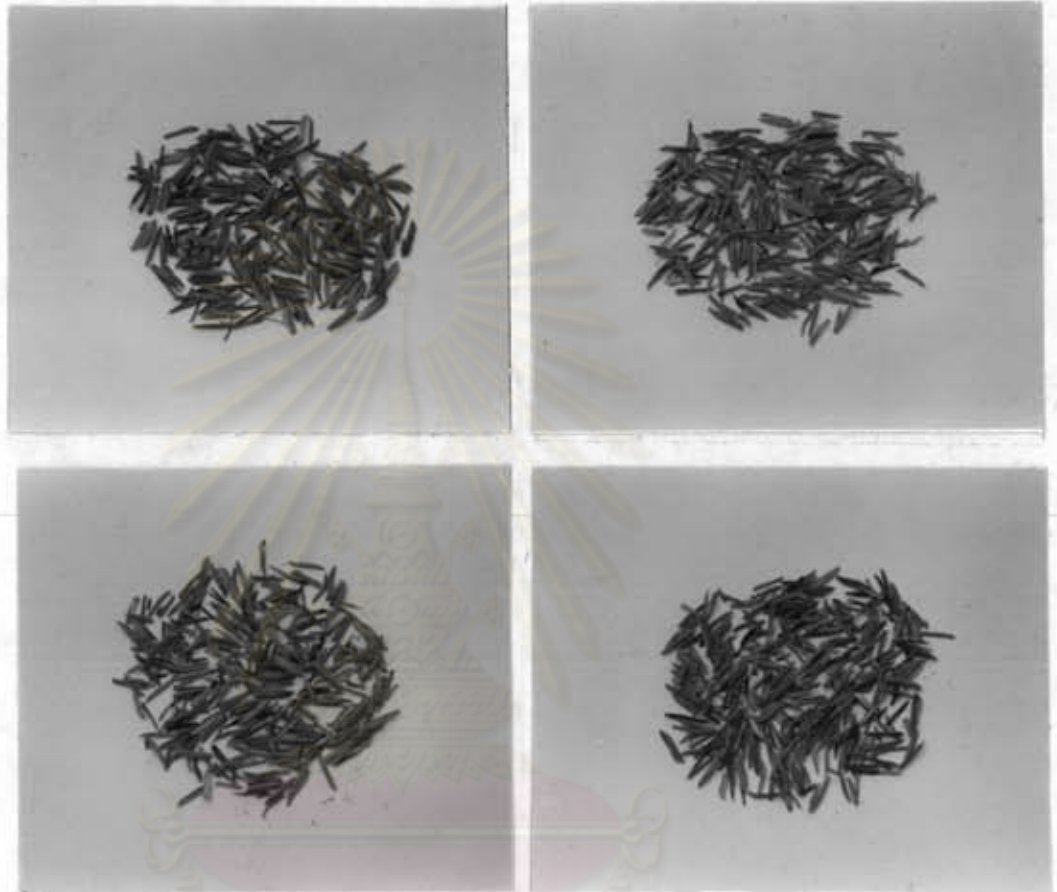
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์เถ้ากับอัตราการไหลก๊าซ



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัวกับอัตราการไหลก๊าซ



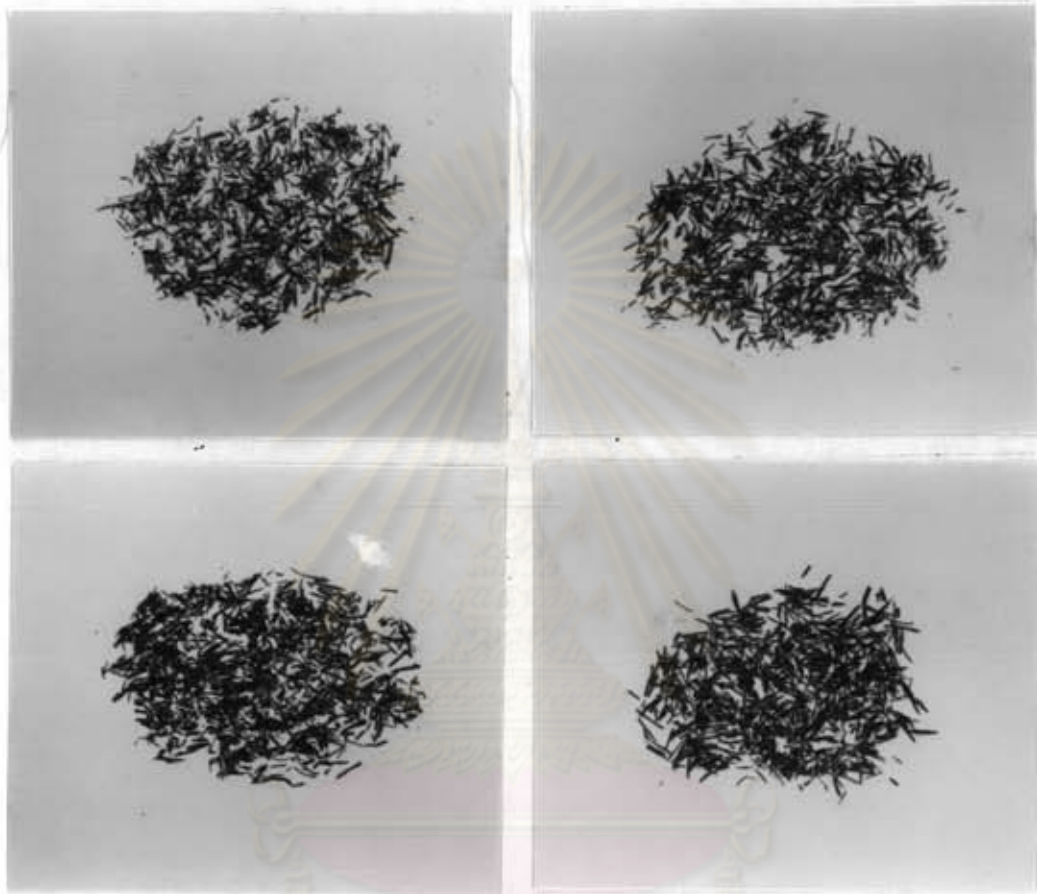
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนซิลิกาต่อคาร์บอนกับอัตราการไหลก๊าซ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| (ก.) 1.2 เมตรต่อวินาที | (ข.) 1.6 เมตรต่อวินาที |
| (ค.) 2.0 เมตรต่อวินาที | (ง.) 2.4 เมตรต่อวินาที |

รูปที่ 4.19 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ ที่ปริมาณแกลบ 40 กรัม  
 อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที ที่อัตราการป้อน  
 ก๊าซด้วยความเร็วต่างๆ



## ศูนย์วิทยทรัพยากร

(ก.) 1.2 เมตรต่อวินาที

(ข.) 1.6 เมตรต่อวินาที

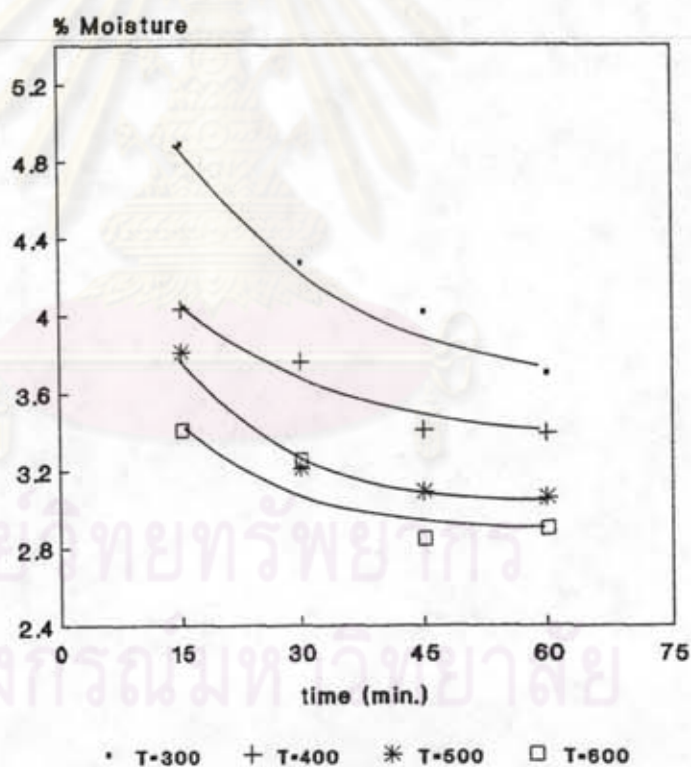
(ค.) 2.0 เมตรต่อวินาที

(ง.) 2.4 เมตรต่อวินาที

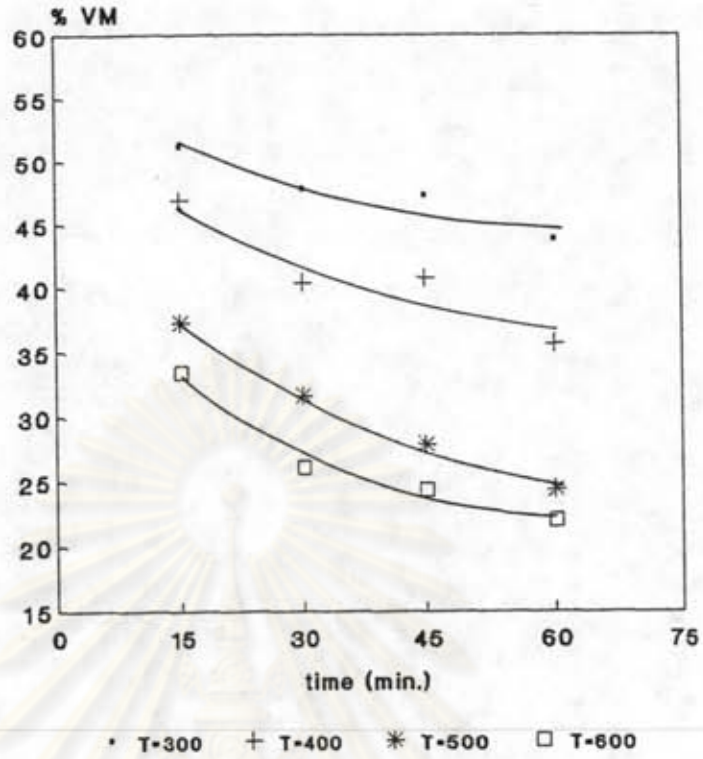
รูปที่ 4.20 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ ที่ปริมาณแกลบ 40 กรัม  
อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที ที่อัตราการป้อน  
ก๊าซด้วยความเร็วต่างๆ

#### 4.2.3 อิทธิพลของเวลาต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์

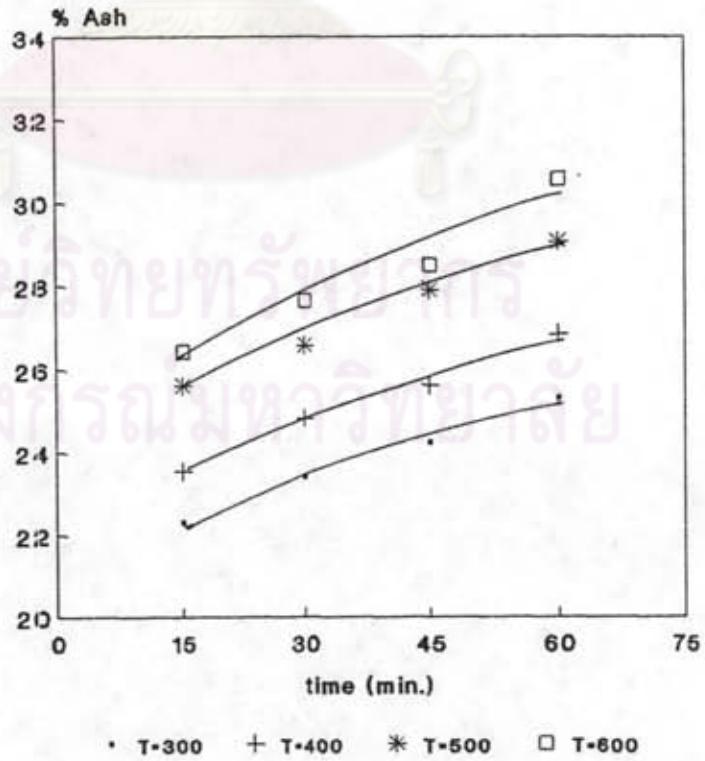
ระยะเวลาที่ใช้ในการคาร์บอนไนซ์เป็นตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่งที่ทำการศึกษาโดยมีการแปรค่าเวลาต่างๆ คือ 15, 30, 45 และ 60 นาที ส่วนตัวแปรอื่น ๆ ที่ทำการแปรค่าได้แก่ ปริมาณแกลบ 30, 40, 50 และ 60 กรัม อัตราการป้อนก๊าซด้วยความเร็ว 1.2, 1.6 และ 2.4 เมตรต่อวินาที เวลาที่ใช้ 15, 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ ผลของเวลาต่อคุณสมบัติของแกลบจากการคาร์บอนไนซ์ ที่ปริมาณแกลบ 60 กรัม อัตราการไหลก๊าซ 2.4 เมตรต่อวินาที และช่วงอุณหภูมิ 300 ถึง 600 องศาเซลเซียส แสดงไว้ในรูปที่ 4.21 ถึง 4.25 และในรูปที่ 4.26 และ 4.27 แสดงถึงลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลา

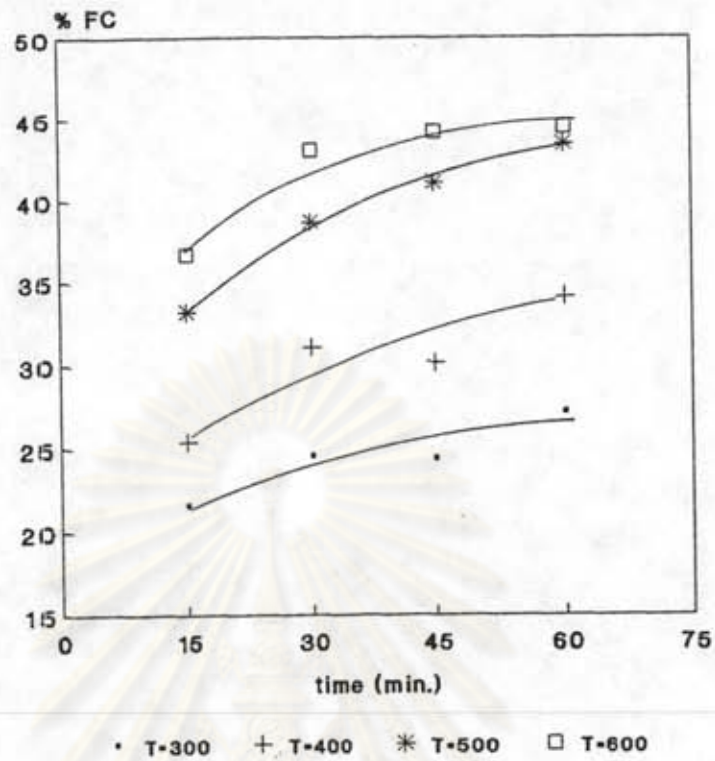


รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์สารระเหยกับเวลา

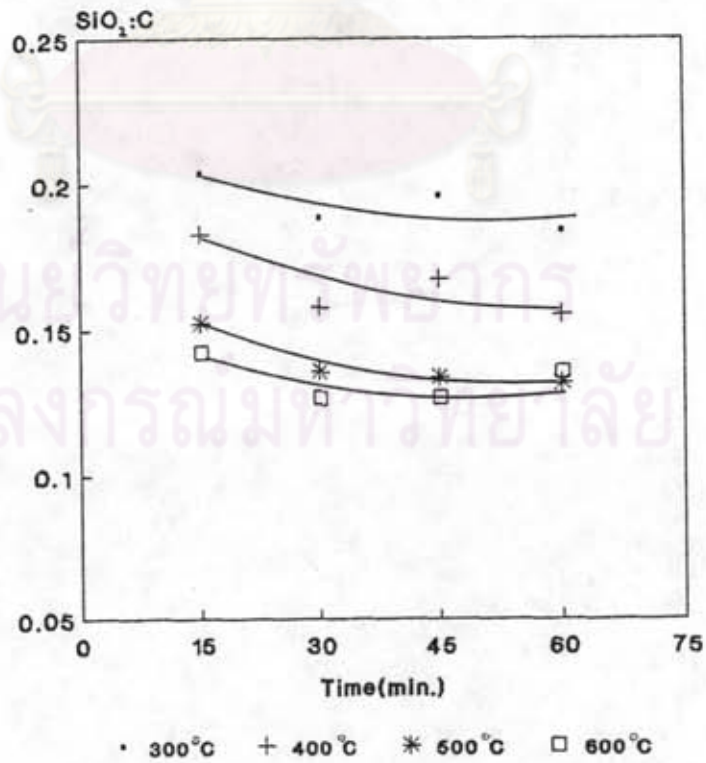


รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์เถ้ากับเวลา

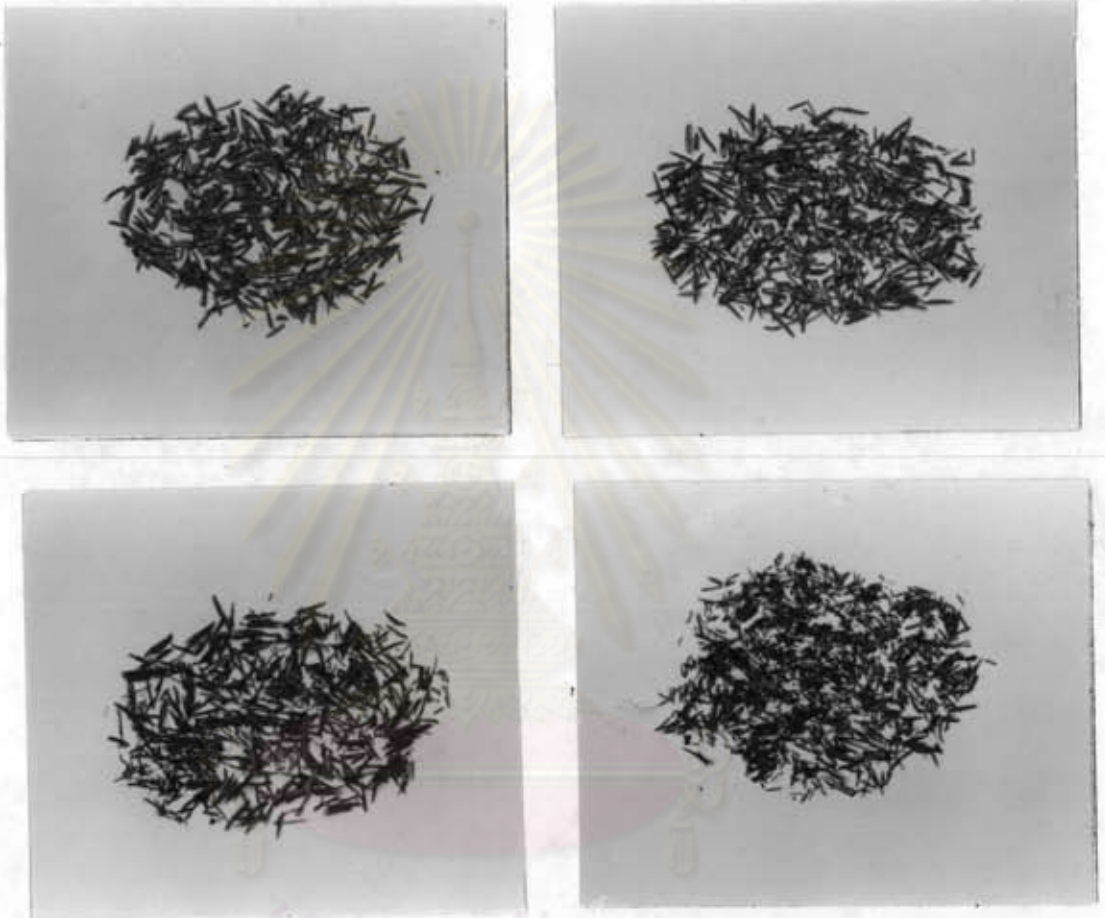




รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัวกับเวลา



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนซิลิกาต่อคาร์บอนกับเวลา



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

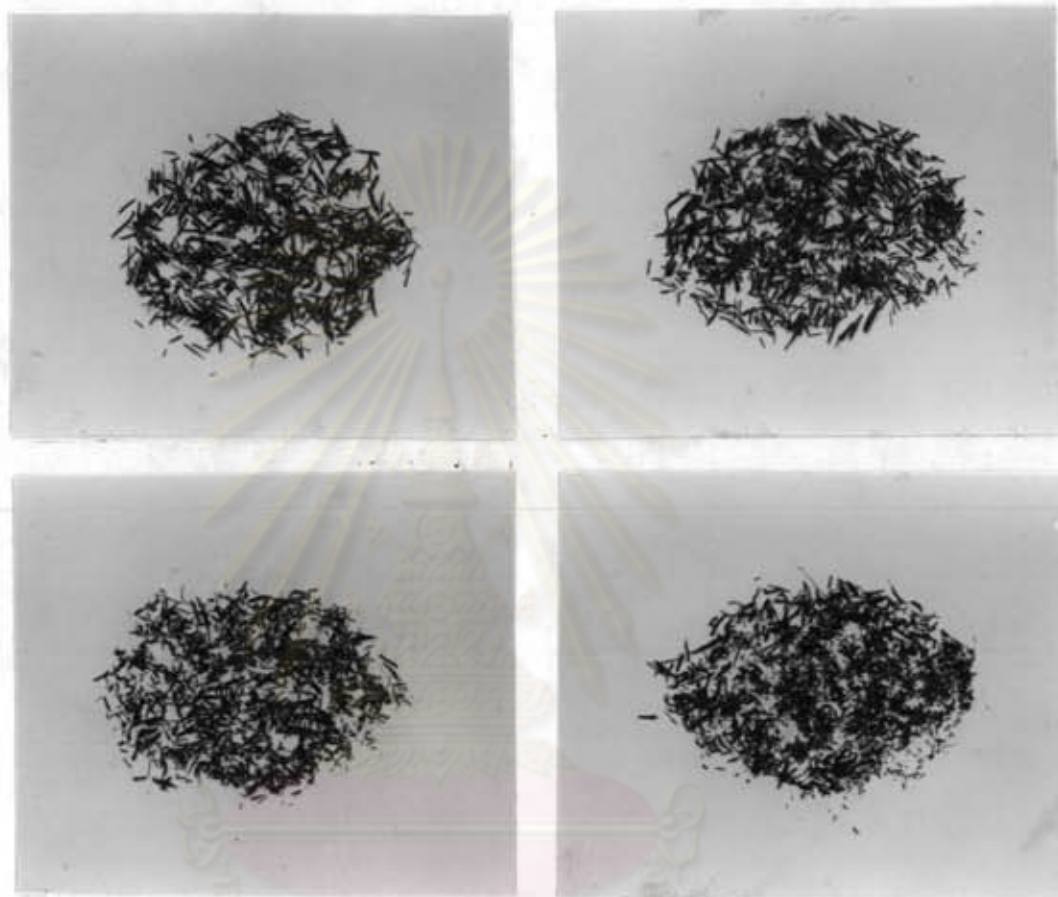
(ก.) 15 นาที

(ข.) 30 นาที

(ค.) 45 นาที

(ง.) 60 นาที

รูปที่ 4.26 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ ที่ปริมาณแกลบ 60 กรัม อัตราการไหลก๊าซ 2.4 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ที่เวลาในการคาร์บอนไนซ์ต่างๆ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก.) 15 นาที

(ข.) 30 นาที

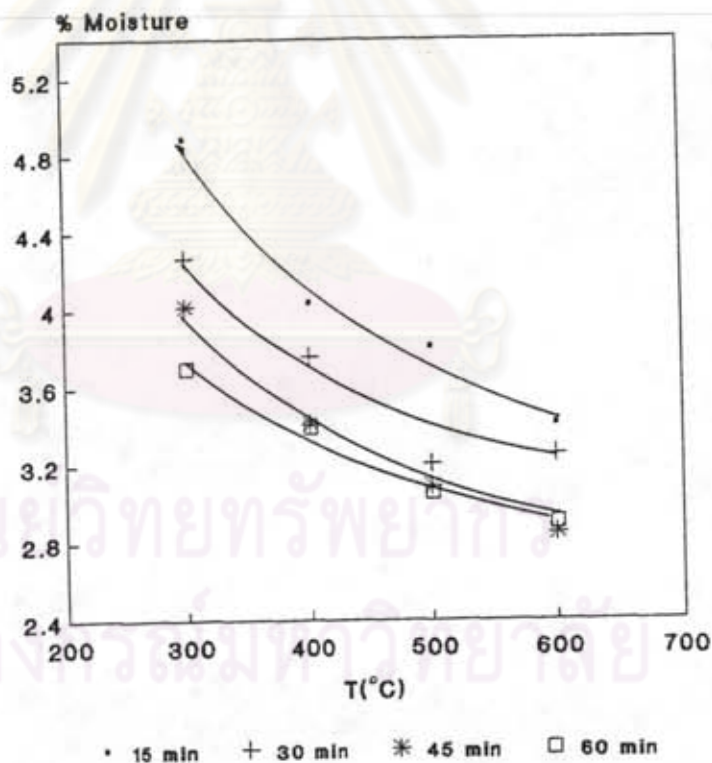
(ค.) 45 นาที

(ง.) 60 นาที

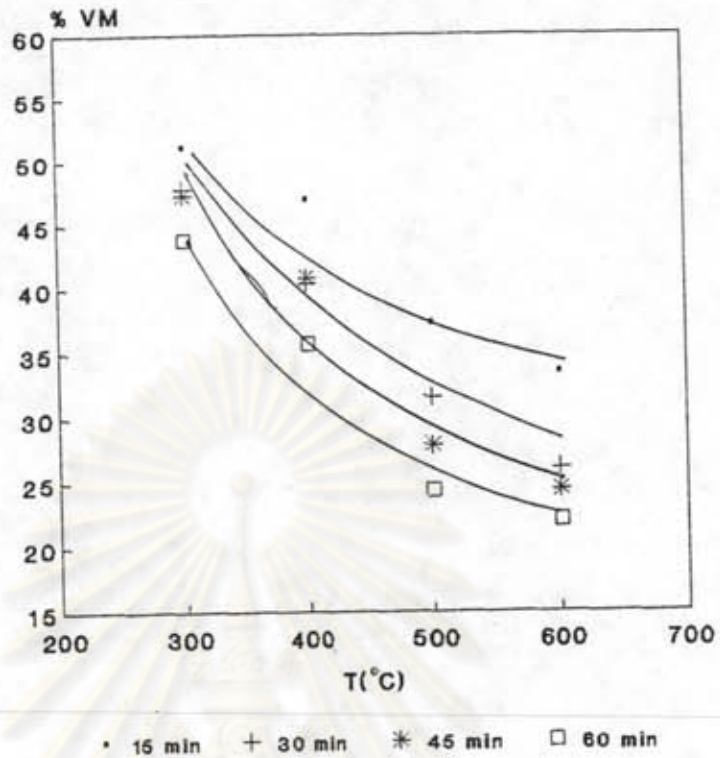
รูปที่ 4.27 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ ที่ปริมาณแกลบ 60 กรัม อัตราการไหลก๊าซ 2.4 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ที่เวลาในการคาร์บอนไนซ์ต่างๆ

#### 4.2.4 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์

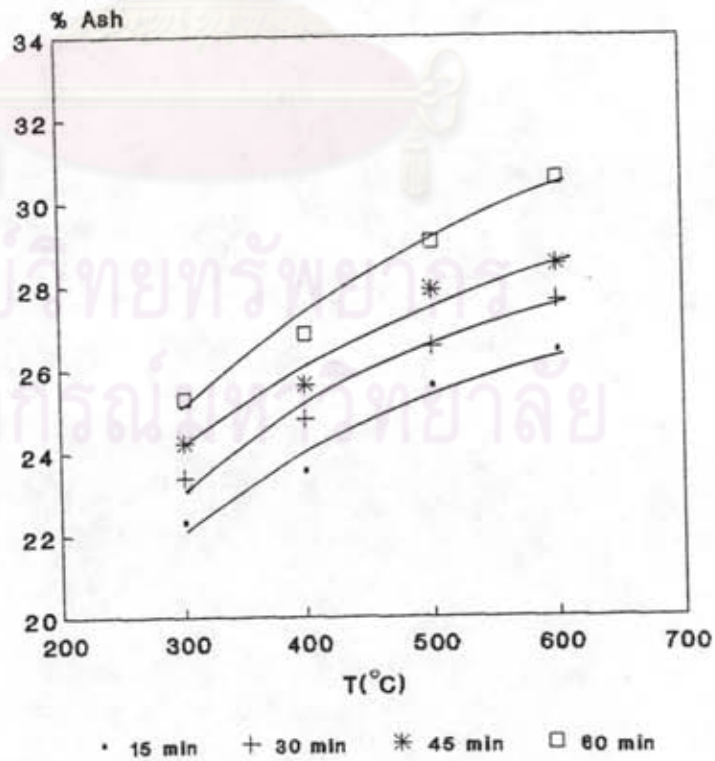
การสลายตัวของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในแกลบเป็นผลจากการให้ความร้อนแก่การคาร์บอไนซ์ ดังนั้นจึงต้องศึกษาถึงการคาร์บอไนซ์ในช่วงอุณหภูมิต่างๆ ได้แก่ 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส โดยมีการแปรค่าตัวแปรอื่นๆ คือ ปริมาณแกลบ 30, 40, 50 และ 60 กรัม อัตราการไหลก๊าซ 1.2, 1.6 และ 2.4 เมตรต่อวินาที ในช่วงเวลา 15, 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ ผลการทดลองในช่วงอุณหภูมิต่างๆ ซึ่งใช้ปริมาณแกลบ 60 กรัม อัตราการไหลก๊าซ 2.4 เมตรต่อวินาที ในช่วงเวลา 15 ถึง 60 นาที แลตงได้ดังรูปที่ 4.28 ถึง 4.32 และ ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.33 และ 4.34



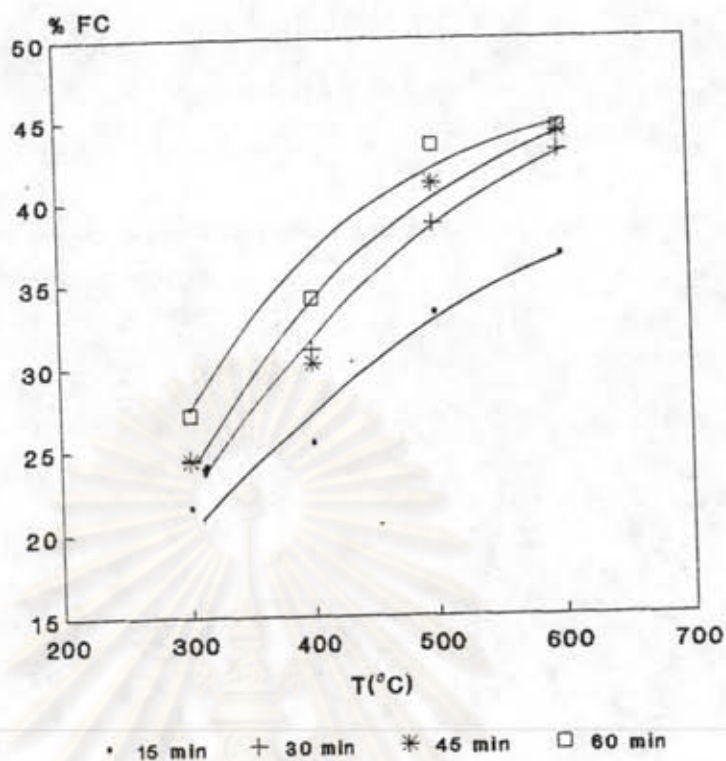
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับอุณหภูมิ



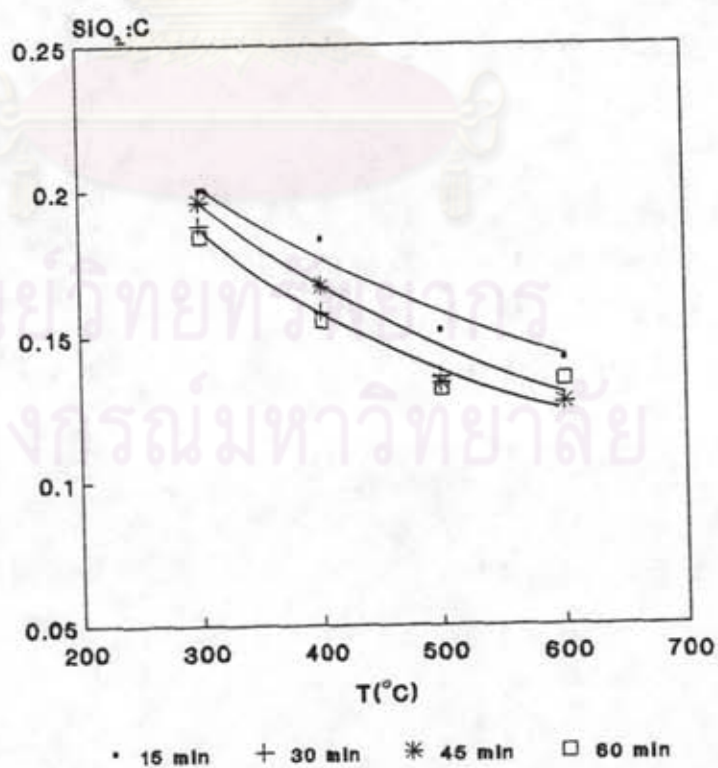
รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์สารระเหยกับอุณหภูมิ



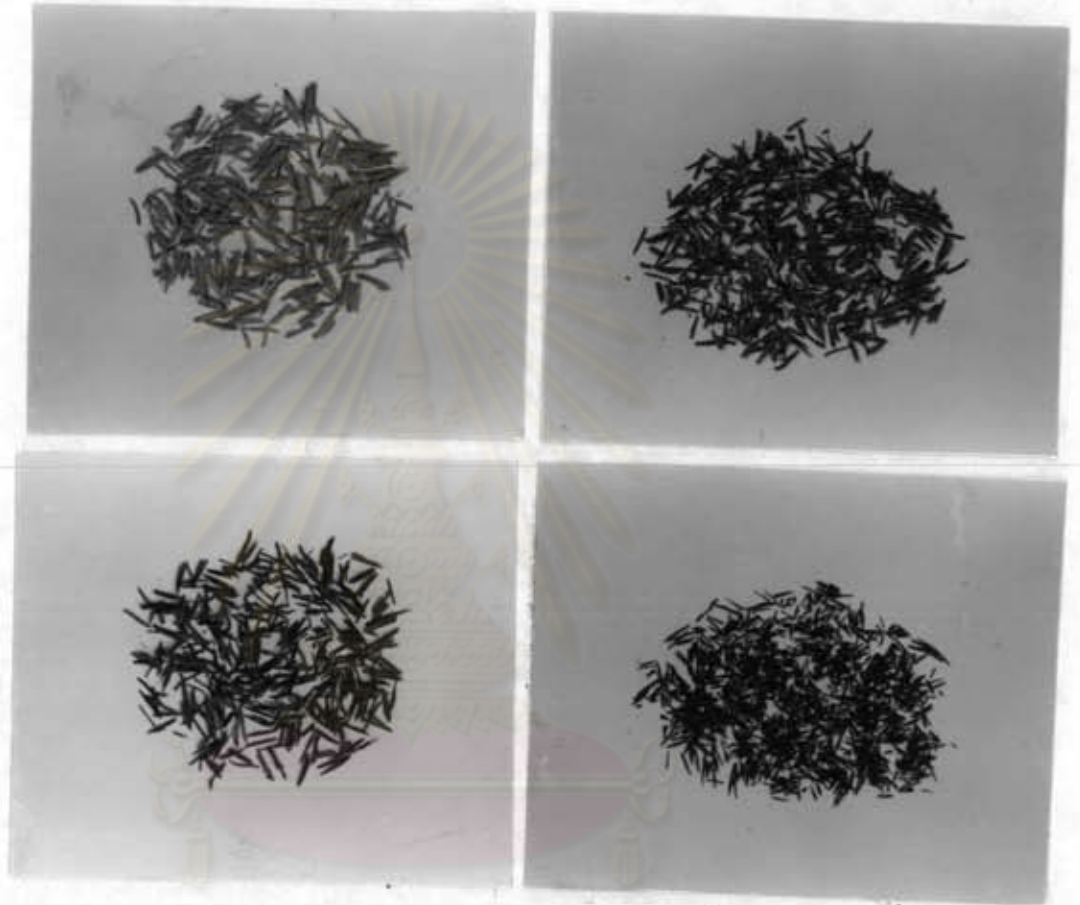
รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์เถ้ากับอุณหภูมิ



รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัวกับอุณหภูมิ



รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนซิลิกาต่อคาร์บอนกับอุณหภูมิ



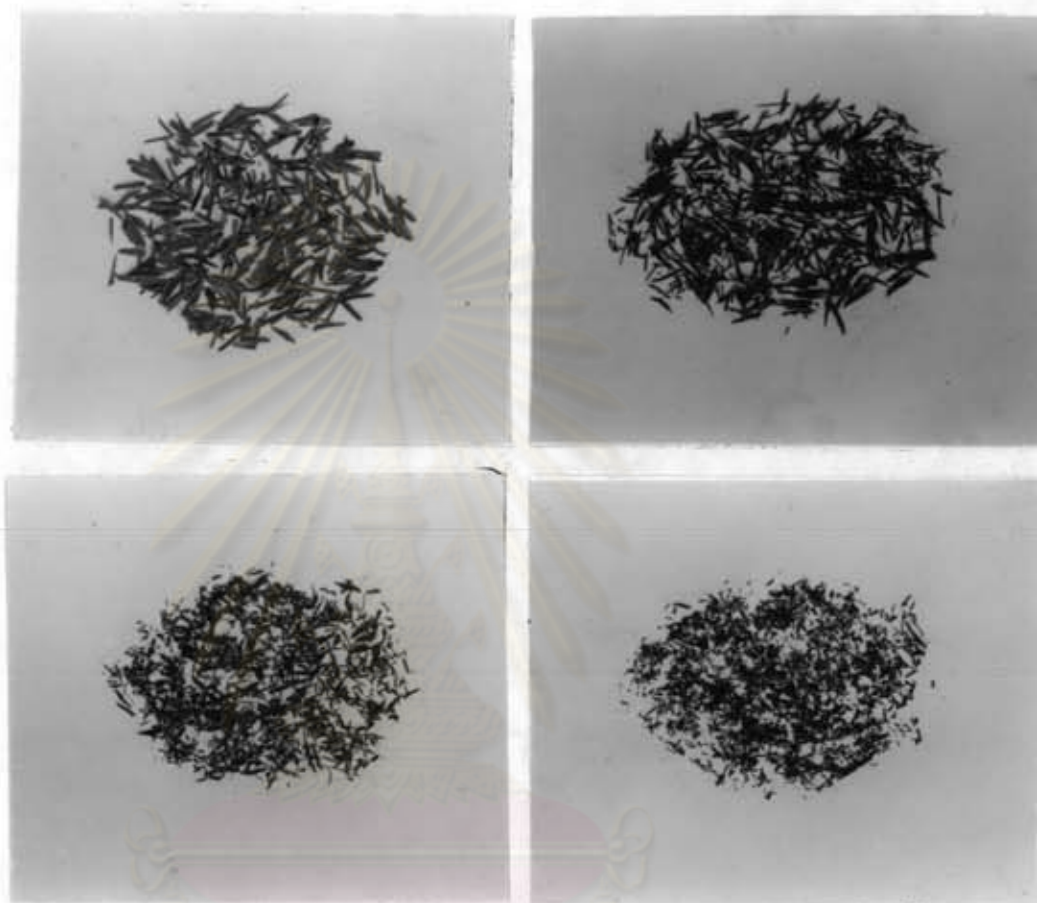
(ก.) 300 องศาเซลเซียส

(ข.) 400 องศาเซลเซียส

(ค.) 500 องศาเซลเซียส

(ง.) 600 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.33 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ ที่ปริมาณแกลบ 60 กรัม อัตราการไหลก๊าซ 2.4 เมตรต่อวินาที ใช้เวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิในการคาร์บอนไนซ์ต่างๆ



(ก.) 300 องศาเซลเซียส

(ข.) 400 องศาเซลเซียส

(ค.) 500 องศาเซลเซียส

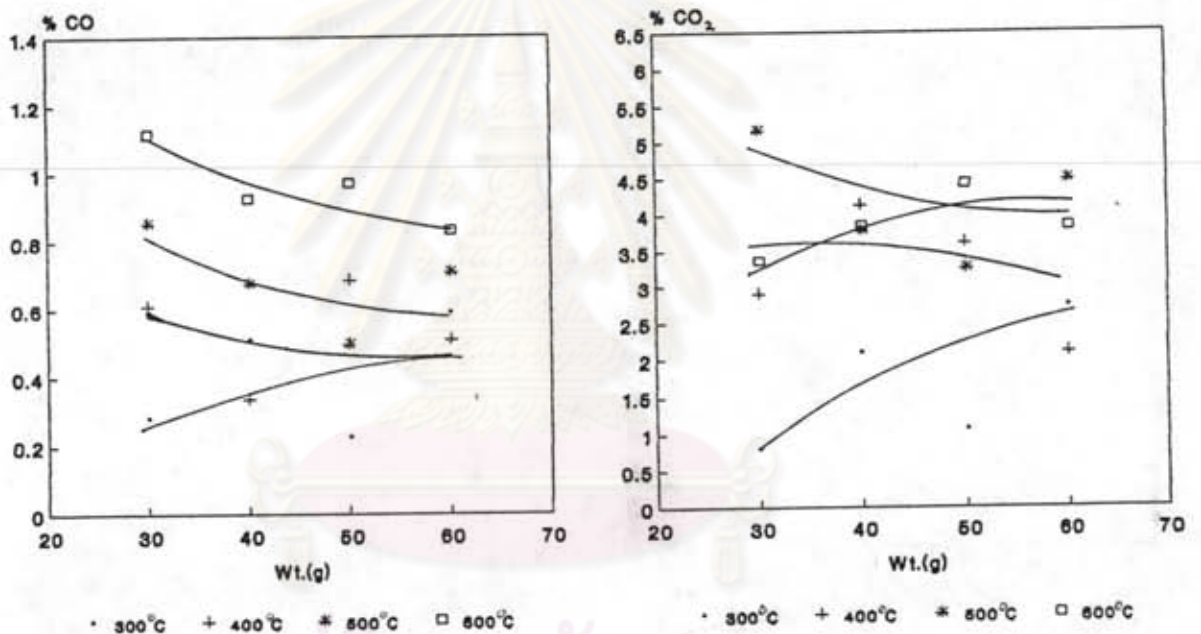
(ง.) 600 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.34 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ ที่ปริมาณแกลบ 60 กรัม อัตราการไหลก๊าซ 2.4 เมตรต่อวินาที ใช้เวลา 45 นาที ที่อุณหภูมิในการคาร์บอนไนซ์ต่างๆ



4.3 ผลของปริมาณแกลบ อัตราการไหลก๊าซ อุณหภูมิ และเวลาต่อผลิตภัณฑ์ก๊าซ

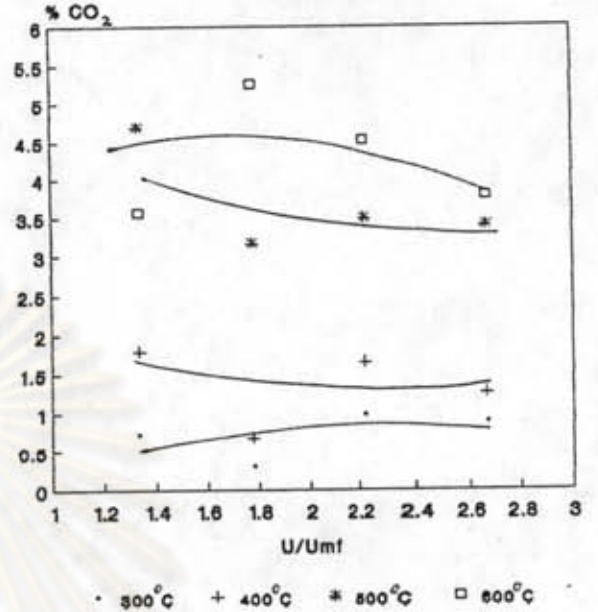
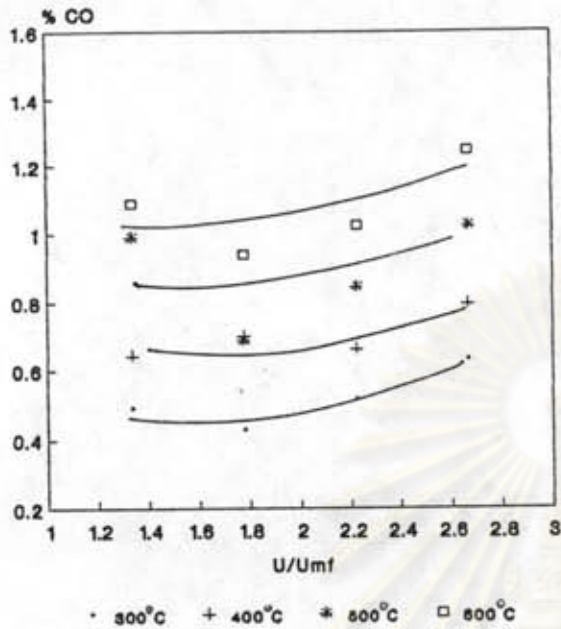
การคาร์บอนไนซ์แกลบจะมีการปลดปล่อยก๊าซต่างๆออกมาได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นส่วนใหญ่ สำหรับปริมาณก๊าซไฮโดรเจนจะพบเมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิ ประมาณ 600 องศาเซลเซียส ซึ่งความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นกับค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง แสดงได้ดังรูปที่ 4.35 ถึง 4.42



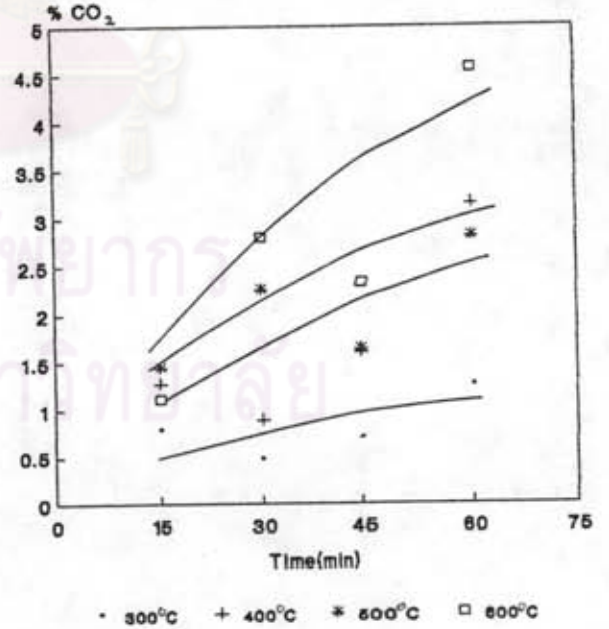
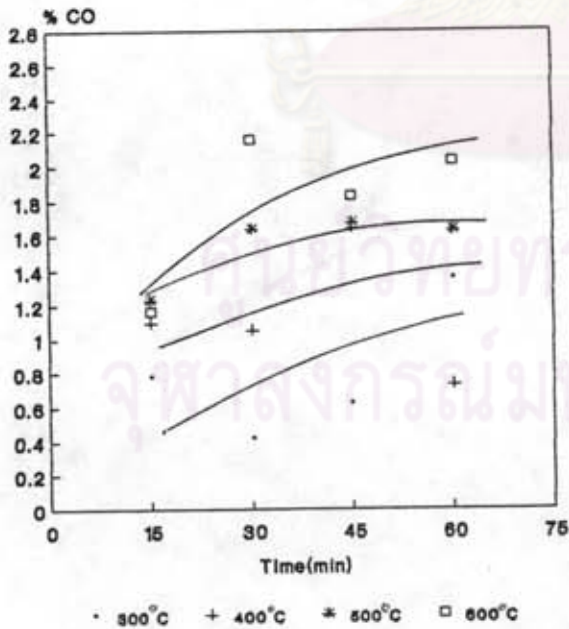
• 300°C + 400°C \* 500°C □ 600°C

รูปที่ 4.35 เปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับ ปริมาณแกลบ ที่อัตราการไหลก๊าซ 1.6 ม./วินาที เวลา 45 นาที

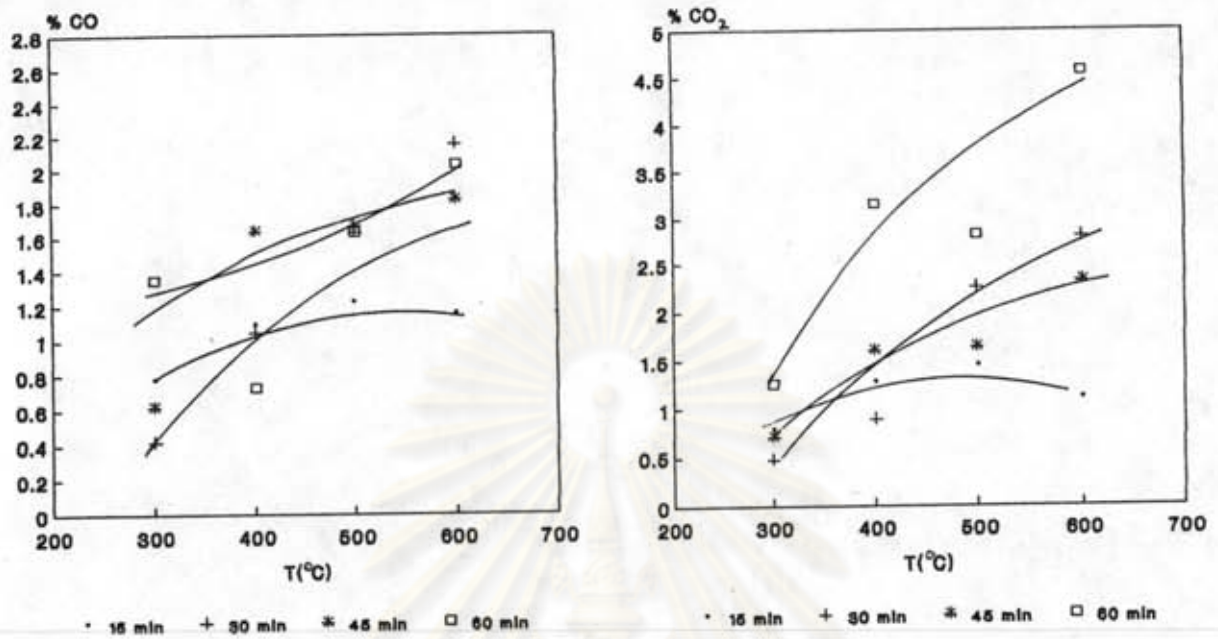
ศูนย์วิทยทรัพยากร



รูปที่ 4.36 เปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับ อัตราการไหลก๊าซ ที่ปริมาณแกลบ 40 กรัม เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 4.37 เปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับ เวลา ที่ปริมาณแกลบ 60 กรัม อัตราการไหลก๊าซ 2.4 ม./วินาที



รูปที่ 4.38 เปอร์เซนต์ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับอุณหภูมิ ที่ปริมาณแกลบ 60 กรัม อัตราการไหลก๊าซ 2.4 ม./วินาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย