

กระบวนการกาชไฟฟ้าผ่านหินลิกไนต์ในเตาปฏิกรณ์เคมีแบบฟลูอิดไคซ์



นายบัณฑิต ปัททวิคองคา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

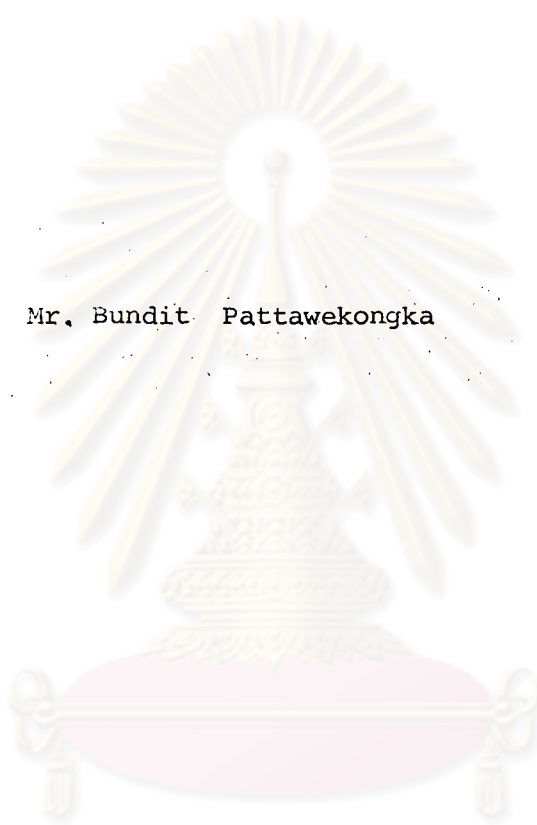
พ.ศ. 2529

ISBN 974-566-074-4

013506

I16002672

LIGNITE GASIFICATION IN FLUIDIZED BED REACTOR



Mr. Bundit Pattawekongka

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1985

หัวข้อวิทยานิพนธ์	กระบวนการก๊าซซีไฟถ่านหินลิกไนท์ในเตาปฏิกรณ์เคมีแบบฟลูอิดซ์
ชื่อนิสิต	นายบัณฑิต ปัททวีคงคา
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2528



บทคัดย่อ

ถ่านหินลิกไนท์จาก อำเภอสี จังหวัดลำพูน และถ่านหินลิกไนท์จาก อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ถูกนำมาศึกษาทางจลนพลศาสตร์ ถ่านหินจะถูกไล่สารระเหยก่อนเกิดปฏิกิริยาก๊าซซีไฟด้วยการเผาในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน หลังจากนั้นถ่านจะทำปฏิกิริยากับไอน้ำ ซึ่งผลลัมกับก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิระหว่าง 700-950 °ซ ความดันบรรยากาศ ถ่านหินมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 0.72 มิลลิเมตร เตาปฏิกรณ์เคมีเป็นฟลูอิดซ์เบคมืดต่อเนื่อง อัตราส่วนก๊าซไนโตรเจนต่อไอน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยามีค่าคงที่เท่ากับ 1 ต่อ 2.4 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) พบว่าความเร็วของฟลูอิดซ์ก๊าซจะไม่อิทธิพลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา เมื่อความเร็วของก๊าซเป็น 5.4 เท่าของความเร็วฟลูอิดซ์น้อยที่สุด ผลการทดลองก๊าซซีไฟถ่านด้วยไอน้ำนี้สามารถอธิบายจลนพลศาสตร์ได้อย่างดีโดยใช้แบบจำลองแกนกลางปราศจากปฏิกิริยา (Unreacted-Core Model) ปฏิกิริยาจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนปฏิกิริยาเคมี ในช่วงประมาณ 25 นาทีแรกของการเกิดปฏิกิริยา แต่ภายหลังจากนั้นปฏิกิริยาจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนการแพร่ผ่านชั้นเถ้าของถ่านที่เกิดขึ้น ซึ่งมีผลทำให้อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาลดลง ได้มีการศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิพบว่า อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อองค์ประกอบและปริมาณของก๊าซผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น อุณหภูมิที่ให้ปริมาณก๊าซผลิตภัณฑ์สูงสุด อยู่ระหว่าง 850-900 °ซ.

Thesis Title Lignite Gasification in Fluidized Bed Reactor
 Name Mr. Bundit Pattawekongka
 Thesis Advisor Associate Professor Piyasan Prasertthdam, Dr. Ing.
 Department Chemical Engineering
 Academic Year 1985



ABSTRACT

Lignite obtained from Lee Lumpoon and Mae-Mah Lumpang was studied experimentally in order to understand kinetics of carbon removal. Lignite was devolatilized before gasification in a nitrogen atmosphere. The carbon reacted with a mixed gas of steam and pure nitrogen at 700-950°C and at atmospheric pressure, using 0.72 millimeter average size particles. The reactor was a batch fluidized bed reactor. The ratio of nitrogen gas to steam was held constant at 1:2.4 (wt:wt). There were no influence of fluidized gas velocity on the rate of reaction when the gas velocity was 5.4 times of minimum fluidized velocity. The experimental results were well described by the Unreacted-Core Model. For the first 25 minutes the reaction rate was controlled by the chemical step but then later by the ash-diffusion step which reduced the rate of reaction. The influence of temperature was studied and it was found that temperature had an effect on both the amount and composition of product gases. A temperature range between 850-900°C gave the maximum amount of product gases.



กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำ ตลอดจนช่วยเหลือให้งานวิจัยนี้เกิดขึ้นมาได้ ขอขอบคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ และทำให้งานวิจัยนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และผู้ร่วมงานทุก ๆ ท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในการสร้างเครื่องมืองานวิจัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

ย

หน้า

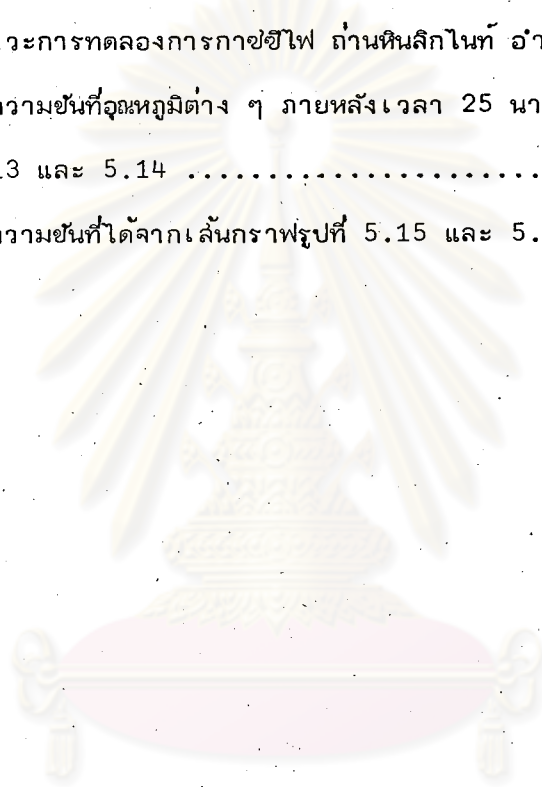
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญภาพ	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ข
บทที่.	
1. บทนำ	1
1.1 นิยามกระบวนการกาซซีไฟเคชั่น	1
1.2 เทอร์โมไดนามิคของปฏิกิริยากระบวนการกาซซีไฟ	2
1.3 องค์ประกอบที่จุดสมดุล	5
1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	8
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย	8
2. กายภาพของระบบกาซซีไฟแบบฟลูอิดไอซ์	10
2.1 ปฏิกิริยาการถ่วงดุลฟลูอิดไอซ์	10
2.2 พฤติกรรมรวมของระบบฟลูอิดไอซ์เบด	12
2.3 การเลือกชนิดของแผ่นกระจายก๊าซ	15
2.4 การออกแบบแผ่นกระจายก๊าซ	16
3. ผลการวิจัยทางจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาการกาซซีไฟถ่านหินด้วยไอน้ำที่ผ่านมา	19
4. แบบจำลองจลนพลศาสตร์ระหว่างก๊าซ-ของแข็ง	25
4.1 การเลือกแบบของแบบจำลอง	25
4.2 แบบจำลองโปรเกรสซีฟ-คอนเวอร์ชันสำหรับอนุภาคของแข็ง ที่ไม่เปลี่ยนแปลงขนาด	28
4.3 แบบจำลองแกนกลางปราศจากปฏิกิริยาสำหรับอนุภาคของแข็ง ทรงกลมที่ไม่เปลี่ยนแปลงขนาด	29

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.1 ขั้นตอนการแพร่ผ่านฟิล์มก๊าซควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยา	30
4.3.2 ขั้นตอนการแพร่ผ่านชั้นเยื่อถ่านควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยา	33
4.3.3 ขั้นตอนปฏิกิริยาเคมีควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยา	36
4.4 อัตราเร็วปฏิกิริยาสำหรับอนุภาคทรงกลมที่ขนาดลดลงเมื่อเกิดปฏิกิริยา	37
4.5 การพิจารณาขั้นตอนควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยา	40
5. การทดลองและผลการทดลอง	42
5.1 เครื่องมือทดลอง	42
5.2 วิธีการทดลอง	44
5.2.1 การแปลงข้อมูลดิบจากการทดลอง	46
5.2.2 การทดลองตัดตัวแปรเนื่องจากความเร็วก๊าซ	47
5.2.3 การทดลองจลนพลศาสตร์ปฏิกิริยาก๊าซซีไฟถ่านหินลิกไนท์ ด้วยไอน้ำ	48
5.3 สรุปผลและการอภิปรายการทดลอง	53
5.3.1 อิทธิพลเนื่องจากความเร็วก๊าซ	53
5.3.2 แบบจำลองโปรเกรสซีฟ-คอนเวอร์ชัน	56
5.3.3 แบบจำลองแกนกลางหดตัว	59
5.3.4 แบบจำลองขนาดอนุภาคหดตัว	70
6. บทสรุป	80
เอกสารอ้างอิง	83
ภาคผนวก	86
ประวัติผู้เขียน	136

สารบัญตาราง

ตารางที่.	หน้า
1.1 แสดงแนวโน้มน้ำหนักของระบบ C-H-O (H/O=1 gm-atom/atom)	7
5.1 แสดงสภาวะการทดลองอิทธิพลอัตราเร็วของก๊าซ	48
5.2 แสดงสภาวะการทดลองการกาซซีไฟ ถ่านหินลิกไนท์ อ่าเกอส์ ...	50
5.3 แสดงสภาวะการทดลองการกาซซีไฟ ถ่านหินลิกไนท์ อ่าเกอแม่เมาะ	50
5.4 แสดงค่าความชื้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ ภายหลังจากเวลา 25 นาทีจากผลการ รูปที่ 5.13 และ 5.14	66
5.5 แสดงค่าความชื้นที่ได้จากเส้นกราฟรูปที่ 5.15 และ 5.16	67



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่.	หน้า
1.1 ลักษณะสมดุลของระบบกราไฟท์-ไฮโดรเจน-มีเทน.....	5
1.2 ลักษณะสมดุลของระบบกราไฟท์-ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์-ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	6
1.3 ลักษณะสมดุลของระบบคาร์บอน-ไฮโดรเจน-ออกซิเจน (H/O=1)	7
2.1 แสดงลักษณะปรากฏการณ์ฟลูอิดัลไนต์ต่าง ๆ ของอนุภาคของแข็งด้วยของไหล	11
2.2 แสดงพฤติกรรมต่าง ๆ ที่เหมือนของเหลวของระบบฟลูอิดัล.....	12
2.3 แสดงลักษณะการเกิดฟลูอิดัลไนต์ต่าง ๆ เนื่องจากอิทธิพลของชนิดแผ่นกระจายก๊าซ	16
2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ออร์พิลซ์กับเลขเรย์โนลด์	17
4.1 แสดงพฤติกรรมการเกิดปฏิกิริยาของอนุภาคของแข็ง	26
4.2 แสดงการเกิดปฏิกิริยาของอนุภาคของแข็งตามแบบจำลองโพรเกสซีฟ-คอนเวอร์ชัน	27
4.3 แสดงการเกิดปฏิกิริยาของอนุภาคของแข็งตามแบบจำลองแกนกลางปราศจากปฏิกิริยา	27
4.4 แสดงความเข้มข้นของสารเข้าทำปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์สำหรับปฏิกิริยา $A(g) + bB(s) \rightarrow rR(g) + sS(s)$ เมื่อขนาดอนุภาคไม่เปลี่ยนแปลง	29
4.5 แสดงความเข้มข้นของก๊าซที่เข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคของแข็ง เมื่อการแพร่ผ่านฟิล์มก๊าซเป็นขั้นตอนควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยา	31
4.6 แสดงความเข้มข้นของก๊าซที่เข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคของแข็ง เมื่อการแพร่ผ่านชั้น ถ้าถ่านเป็นขั้นตอนควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยา	34
4.7 แสดงความเข้มข้นของก๊าซที่เข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคของแข็ง เมื่อปฏิกิริยาเคมีเป็นขั้นตอนควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยา	36

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่.	หน้า
4.8 แสดงความเข้มข้นของสารเข้าทำปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์สำหรับปฏิกิริยา $A(g) + bB(s) \rightarrow rR(g)$ เมื่อขนาดของอนุภาคเล็กลงเมื่อเกิดปฏิกิริยา	38
5.1 แสดงเตาปฏิกรณ์เคมีระบบฟลูอิดซ์	43
5.2 แสดงแผนภาพเครื่องมือการทดลองการกาศซีไฟระบบฟลูอิดซ์	45
5.3 แสดงผลการทดลองอิทธิพลอัตราเร็วก๊าซ	49
5.4 แสดงกราฟผลการทดลองกาศซีไฟ ถ่านหินลิกไนท์ อำเภอสี จังหวัดลำพูน	51
5.5 แสดงกราฟผลการทดลองกาศซีไฟ ถ่านหินลิกไนท์ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง	52
5.6 แสดงการเทียบแบบจำลองแกนกลางหุดตัว เมื่อฟิล์มก๊าซควบคุมอัตราเร็ว ปฏิกิริยา	54
5.7 แสดงการเทียบแบบจำลองแกนกลางหุดตัวและขนาดอนุภาคลดลง เมื่อ ฟิล์มก๊าซควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยา	55
5.8 แสดงแบบจำลองโปรแกสซิฟ-คอนเวอร์ชัน ถ่านหินลิกไนท์ อำเภอสี จังหวัดลำพูน	57
5.9 แสดงแบบจำลองโปรแกสซิฟ-คอนเวอร์ชัน ถ่านหินลิกไนท์ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง	58
5.10 แสดงแบบจำลองโปรแกสซิฟ-คอนเวอร์ชัน ที่อุณหภูมิ 700 °ซ	60
5.11 แสดงแบบจำลองแกนกลางหุดตัว เมื่อฟิล์มก๊าซควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยา ถ่านหินลิกไนท์ อำเภอสี จังหวัดลำพูน	62
5.12 แสดงแบบจำลองแกนกลางหุดตัว เมื่อฟิล์มก๊าซควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยา ถ่านหินลิกไนท์ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง	63
5.13 แสดงแบบจำลองแกนกลางหุดตัว เมื่อการแพร่ผ่านชั้นถ่านควบคุม อัตราเร็วปฏิกิริยา ถ่านหินลิกไนท์ อำเภอสี จังหวัดลำพูน	64

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่.	หน้า
5.14 แสดงแบบจำลอง แกนกลางหัดตัว เมื่อการแพร่ผ่านชั้นแก้วถ่านควบคุม อัตราเร็วปฏิกิริยา ถ่านหินลิกไนท์ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง.....	65
5.15 แสดงแบบจำลอง แกนกลางหัดตัว เมื่อปฏิกิริยาเคมีควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยา ถ่านหินลิกไนท์ อำเภอสี จังหวัดลำพูน	68
5.16 แสดงแบบจำลอง แกนกลางหัดตัว เมื่อปฏิกิริยาเคมีควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยา ถ่านหินลิกไนท์ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง	69
5.17 แสดงแบบจำลอง ขนาดอนุภาคหัดตัว เมื่อฟิล์มก๊าซควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยา ถ่านหินลิกไนท์ อำเภอลำพูน	71
5.18 แสดงแบบจำลอง ขนาดอนุภาคหัดตัว เมื่อฟิล์มก๊าซควบคุมอัตราเร็วปฏิกิริยา ถ่านหินลิกไนท์ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง	72
5.19 แสดงอิทธิพลของ อุณหภูมิต่อองค์ประกอบของ ก๊าซผลิตภัณฑ์ ถ่านหินลิกไนท์ อำเภอสี ที่อุณหภูมิ 700 °ซ (GR 1) และ 950 °ซ (GR 6)	73
5.20 แสดง อิทธิพลของ อุณหภูมิต่อองค์ประกอบของ ก๊าซผลิตภัณฑ์ถ่านหินลิกไนท์ อำเภอแม่เมาะ ที่อุณหภูมิ 700 °ซ (GR 7) และ 950 °ซ (GR 12)	74
5.21 แสดง อิทธิพลของ อุณหภูมิต่อปริมาณการ เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ ถ่านหินลิกไนท์ อำเภอสี	76
5.22 แสดง อิทธิพลของ อุณหภูมิต่อปริมาณการ เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ ถ่านหินลิกไนท์ อำเภอแม่เมาะ	77
5.23 แสดงจำนวนโมลของ ก๊าซผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	79

สัญลักษณ์



- A_t = พื้นที่หน้าตัดของท่อ (cm^2)
- Cd = ค่าคงที่สัมประสิทธิ์ออริฟิซ
- Cd' = ค่าคงที่สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
- D_{or} = เส้นผ่าศูนย์กลางของออริฟิซ ($cm.$)
- D_p = เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค ($cm.$)
- \mathcal{D} = สัมประสิทธิ์การแพร่โมเลกุลของก๊าซ ($cm^2/sec.$)
- E_f = ปริมาณช่องว่างระหว่างอนุภาคเมื่อเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไรซ์
- E_m = ปริมาณช่องว่างระหว่างอนุภาคเมื่อชั้นอนุภาคหยุดนิ่ง
- E_{mf} = ปริมาณช่องว่างระหว่างอนุภาคเมื่อเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไรซ์น้อยที่สุด
- L = ความสูงของชั้นอนุภาค ($cm.$)
- L_f = ความสูงของชั้นอนุภาคเมื่อเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไรซ์ ($cm.$)
- L_m = ความสูงของชั้นอนุภาคที่หยุดนิ่ง ($cm.$)
- L_{mf} = ความสูงของชั้นอนุภาคเมื่อเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไรซ์น้อยที่สุด ($cm.$)
- N_B = จำนวนโมลของสารชนิด B ที่ถูกถ่ายเท (mol)
- N_{or} = จำนวนช่องออริฟิซต่อหน่วยพื้นที่ ($/cm^2$)
- P = ความดัน ($atm.$)
- Q_A = ภาวะการหลั่งไหลของสาร A ผ่านพื้นที่ ($mol/cm^2 \cdot sec.$)
- R = ค่าคงที่ของก๊าซ ($atm \cdot liter/mol \cdot ^\circ K$)
- Rep = จำนวนเลขเรย์โนลด์
- S_{ex} = พื้นที่ผิวภายนอกของอนุภาค (cm^2)
- T = อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)
- U_o = ความเร็วของก๊าซในท่อว่างเปล่า ($cm./sec.$)
- U_{or} = ความเร็วของก๊าซที่ผ่านช่องออริฟิซ ($cm./sec.$)
- U_t = ความเร็วสุดท้ายที่เกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไรซ์ ($cm./sec.$)
- V = ปริมาตรของอนุภาค (cm^3)

สัญลักษณ์ (ต่อ)

W	=	น้ำหนักของอนุภาค (gm.)
X_B	=	ปริมาณการแปลงผันสะสมของสารชนิด B
d_t	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของชั้นอนุภาค (cm.)
g	=	ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก (980 cm./sec^2 .)
g_c	=	ค่าแฟกเตอร์แปลงผัน ($980 \text{ gm.cm./gm-wt.sec}^2$.)
k	=	ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยา (cm./sec)
k_r	=	ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาพื้นผิวอันดับหนึ่ง ($\text{cm}^3/\text{gm.mol A.sec}$.)
r	=	อัตราเร็วปฏิกิริยา (mol/sec.)
r_c	=	รัศมีของแกนกลางปราศจากปฏิกิริยา (cm.)
t	=	เวลา (min.)
α	=	อัตราส่วนค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาไปข้างหน้าและปฏิกิริยาถอยกลับของปฏิกิริยา การดูดซับก๊าซไฮโดรเจน
β	=	อัตราส่วนค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาไปข้างหน้าและปฏิกิริยาถอยกลับของปฏิกิริยา การดูดซับไอน้ำ
σ_c	=	ปริมาณพื้นที่ว่องไวปฏิกิริยา
μ	=	ความหนืดของของไหล (gm/cm.sec.)
ρ_g	=	ความหนาแน่นของก๊าซ (gm/cm^3 .)
ρ_s	=	ความหนาแน่นของอนุภาคของแข็ง (gm/cm^3 .)
τ	=	เวลาที่ใช้ทั้งหมดเพื่อให้สารเกิดปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์ (min)
ϕ_s	=	ค่าสภาพความกลมของอนุภาคของแข็ง