จลนพลศาสตร์ของการรีฟอร์ม มีเทน ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ บนตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล/อลูมินา

นายชัยวัฒน์ ธานีรัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาเคมีเทคนิค
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ.2537

ISBN 974-584-082-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17134547

KINETICS OF METHANE - WATER-VAPOR - CARBON DIOXIDE REFORMING ON NICKEL/ALUMINA CATALYST

MR. CHAIWAT THANEERAT

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfiment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1994

หัวข้อวิทยานิพนธ์	จลนพลศาสตร์ของการรีฟอร์ม มีเทน ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ บนตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล/อลูมินา
โดย	นายชัยวัฒน์ ธานีรัตน์
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ศารงค์เลิศ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เลอสรวง เมฆสุด)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชัยวัฒน์ ธานีรัตน์ : จลนพลศาสตร์ของการรีฟอร์ม มีเทน ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ บนตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล/อลูมินา (KINETICS OF METHANE-WATER VAPOR - CARBON DIOXIDE REFORMING ON NICKEL/ALUMINA CATALYST.) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์. 114 หน้า. ISBN 974-584-082-3

การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการรีฟอร์ม มีเทน ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ บนตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล/อลูมินา ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 27 มิลลิเมตร สูง 450 มิลลิเมตร ภายในบรรจุด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา นิกเกิล/อลูมินา ที่มีพื้นที่จำเพาะ 230 ตารางเมตรต่อกรัม ความหนาแน่น 1610 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จุดประสงค์เพื่อหาสมการอัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งนิยามโดยจำนวนโมลของมีเทนที่เข้าทำปฏิกิริยาต่อหน่วยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อหน่วยเวลา และศึกษากฎของอาร์เรเนียส เพื่อหาค่าพลังงานกระตุ้นและแฟกเตอร์ความถี่

จากการศึกษาทดลองพบว่า อัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาที่จุดเริ่มต้น (initial rate) ของมีเทนจะเป็นปฏิกิริยาอันดับ 1.119 ของมีเทน 0.385 ของไอน้ำ และ -1.311 ของคาร์บอนไดออกไซด์ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$-r_{methane} = K[CH_4]^{1.119}.[H_2O]^{0.385}.[CO_2]^{-1.311}$$

โดย

$$k = 55.23 \exp.(-15,149/RT)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

##C325615 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY
KEY WORD: CARBON DIOXIDE/METHANE/REFORMING/STEAM
CHAIWAT THANEERAT : KINETICS OF METHANE-WATER VAPOR - CARBON DIOXIDE REFORMING ON NICKEL/ALUMINA CATALYST. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. THARAPONG VITIDSANT, Ph.D.
114 pp. ISBN 974-584-082-3

Kinetics of methane-water vapor - carbon dioxide reforming on nickel/alumina catalyst in fixed bed reactor was studied. The spherical catalyst particles of 230 m^3/g specific area and 1,610 kg/m^3 density were packed in the cylindrical reactor of 27 mm. diameter and 450 mm. The effect of ratio of catalyst and methane feed rate on the methane conversion and rate of reaction was studied. The activation energy and frequency factor were reported.

The initial rate of reaction of methane was expressed in order of 1.119 for methane, 0.385 for water vapor and -1.311 for carbon dioxide. The rate equation is as follows:

$$-r_{methane} = k[CH_4]^{1.119}.[H_2O]^{0.385}.[CO_2]^{-1.311}$$

where

$$k = 55.23 \exp.(-15,149/RT)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ก่อเกิดและสำเร็จลุล่วง ก็ด้วยความรู้และคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จากท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และด้วยความรู้ที่คณาจารย์ได้ประสิทธิประสาทให้ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน ตลอดจนผู้บังคับบัญชาจากกรมวิทยาศาสตร์บริการที่ให้คำแนะนำและโอกาสลาศึกษาต่อ

ทางด้านการทดลองในห้องปฏิบัติการ ก็ได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากเจ้าหน้าที่ช่อมสร้าง และการช่วยเหลือจากเพื่อนๆนิสิตและน้องๆปริญญาตรีของภาควิชาเคมีเทคนิค รวมทั้งการบิโตรเลียมแห่งประเทศไทยที่ให้ความอนุเคราะห์ก๊าซมีเทนจากโรงแยกก๊าซธรรมชาติ ต.มาบตาพุด อ.เมือง จ.ระยอง และได้รับทุนอุดหนุนโครงการวิจัยหรือค้นคว้าเพื่อทำวิทยานิพนธ์ของบัณฑิตวิทยาลัย

คุณานุกูลของท่านที่กล่าวมานี้ จักพึงระลึกถึงไว้เสมอและใคร่ขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตารางประกอบ ..... ญ

สารบัญรูปประกอบ ..... ฏ

สัญญลักษณ์ ..... ฒ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 วัตถุประสงค์ในการทำศึกษาวิจัย 2

1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

2 วารสารปริทัศน์ 3

2.1 กระบวนการปฏิกิริยาการรีฟอร์ม 3

2.1.1 ปฏิกิริยาการรีฟอร์ม 3

2.1.2 ประโยชน์ของก๊าซที่ได้จากปฏิกิริยาการรีฟอร์ม 9

2.2 ทฤษฎีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (Chemical Reaction Rate) 18

2.2.1 กฎอัตราเร็ว(rate law) 18

2.2.2 การศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยา 23

2.2.3 กฎของอาร์เรเนียส(The Arrhenius law) 27

2.2.4 พลังงานกระตุ้น (Activation energy) 30

2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา(Catalyst) 32

2.3.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเอกพันธ์(Homogeneous catalysis). 34

2.3.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทวิวิธพันธ์

(Heterogeneous catalysis) 34

2.4 จลนพลศาสตร์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหล 40

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ(ต่อ)

บทที่		หน้า
2	2.5 จลนพลศาสตร์ของการรีฟอร์มมีเทน ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล/อลูมินา	42
	2.5.1 การหาสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา	43
	2.6 งานวิจัยในอดีต	48
3	อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	50
	3.1 อุปกรณ์การทดลอง	50
	3.1.1 เครื่องปฏิกรณ์	53
	3.1.2 ชุดควบคุมอุณหภูมิ	54
	3.1.3 เครื่องผลิตไอน้ำ	55
	3.1.4 เครื่องวัดและควบคุมอัตราการป้อนก๊าซเข้าเครื่องปฏิกรณ์	56
	3.1.5 เครื่องควบแน่นแลกเปลี่ยนความร้อน	58
	3.1.6 เครื่องดูดความชื้น	60
	3.1.7 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ	60
	3.2 สารตั้งต้นและสารเคมีที่ใช้	66
	3.3 การทดลอง	66
4	ผลการทดลอง วิเคราะห์และวิจารณ์ผล	68
	4.1 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยาของมีเทนกับความเข้มข้นของมีเทน	68
	4.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยาของมีเทนกับความเข้มข้นของมีเทน ไอน้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์	74
	4.3 การหาพลังงานกระตุ้น (EA) และแฟกเตอร์ความถี่ (k_o)	85
	4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง	90
5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	95

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
รายการอ้างอิง	99
ภาคผนวก	102
ประวัติผู้เขียน	114

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตารางประกอบ

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงการผลิตก๊าซไฮโดรเจนต่างๆ 14

2.2 แสดงปริมาณการใช้ก๊าซไฮโดรเจนทั่วโลกปี ค.ศ.2000 15

2.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าคงที่อัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยา 28

2.4 รูปแบบของสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาของมีเทนกับไอน้ำ 49

3.1 แสดงค่าการนำความร้อนของก๊าซชนิดต่างๆ 62

3.2 แสดงสภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ 65

4.1 แสดงความเข้มข้นสารตั้งต้นที่อุณหภูมิ 923 เคลวิน ของการทดลองที่ A ถึง D 69

4.2 แสดงค่า $W/F_{o,methane}$ และ เศษส่วนการเปลี่ยนของมีเทน($X_{methane}$) ของการทดลองที่ A ถึง D 70

4.3 แสดงอัตราการเกิดปฏิกิริยา เมื่อทำการทดลองเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นมีเทนและให้ความเข้มข้นของไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ มากเกินพอจนถือว่าคงที่ 73

4.4 แสดงความเข้มข้นของสารตั้งต้น การทดลองที่ E ถึง M 75

4.5 แสดงค่า $W/F_{o,methane}$ และ เศษส่วนการเปลี่ยนของมีเทน($X_{methane}$) การทดลองที่ E ถึง M 76

4.6 แสดงความเข้มข้นที่ทำการทดลองและอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ได้ 81

4.7 แสดงค่า ln ของตารางที่ 4.6 82

4.8 แสดงความเข้มข้นสารตั้งต้นของการทดลองที่ N ถึง Q 85

4.9 แสดงค่า $W/F_{o,methane}$ และเศษส่วนการเปลี่ยนของมีเทน($X_{methane}$) ของการทดลองที่ N ถึง Q 86

4.10 แสดงอัตราการเกิดปฏิกิริยา ค่า k ที่ได้จากการคำนวณ เมื่อทำการทดลอง เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 89

4.11 เปรียบเทียบอัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาของมีเทนที่ได้จากการทดลองกับสมการที่ได้จากวิธี multiple linear regression 91

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตารางประกอบ(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.12 เปรียบเทียบอัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาของมีเทนที่ได้จากการทดลองกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่คำนวณได้จากสมการ 93
ข.1 ข้อมูลอัตราการป้อนสารที่สภาวะ อุณหภูมิ และ ความดันคงที่ ของการทดลองที่ A ถึง D 105
ข.2 ข้อมูลอัตราการป้อนสารที่สภาวะ อุณหภูมิ และ ความดันคงที่ ของการทดลองที่ E ถึง M 106
ข.3 ข้อมูลอัตราการป้อนสารที่สภาวะ เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และความดันคงที่ ของการทดลองที่ N ถึง Q 107

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	ขั้นตอนการแตกตัวและการทำปฏิกิริยาของมีเทนกับไอน้ำ	9
2.2	แสดงผลิตภัณฑ์ขั้นต้นที่ได้จากการใช้ก๊าซสังเคราะห์เป็นวัตถุดิบ	16
2.3	แสดงการนำผลิตภัณฑ์ขั้นต้นมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ	17
2.4	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ที่เวลาต่างๆ	19
2.5	กราฟระหว่างความเข้มข้นกับเวลาที่ความเข้มข้นต่างๆกัน	24
2.6	กราฟระหว่าง log C กับ log r	25
2.7	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในสถานะเริ่มต้น, สถานะสุดท้าย และสถานะกระตุ้น	30
2.8	แผนภาพพลังงานศักย์ของปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งเปรียบเทียบกับปฏิกิริยาที่ไม่มีตัวเร่ง	33
2.9	แสดงขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์เข้ามาเกี่ยวข้อง	35
2.10	ความสัมพันธ์ระหว่างเศษส่วน(fraction)ของผิวหน้าที่ไม่ว่าง(surface covered) กับความดัน	38
2.11	แสดงสัญลักษณ์ต่างๆสำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหล	40
2.12	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $X_{methane}$ กับ $W/F_{0,methane}$	43
2.13	การหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่จุดเริ่มต้น ที่อุณหภูมิต่างๆ	46
3.1	ขั้นตอนการทำงานและการควบคุมในการทดลอง	51
3.2	กระบวนการรีฟอร์มมีเทน ไอน้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์	51
3.3	ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์	53
3.4	เครื่องปฏิกรณ์	54
3.5	เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิ	55
3.6	เครื่องผลิตไอน้ำ	56
3.7	เบดบรรจุควบคุมการไหลของก๊าซ	57
3.8	มาโนมิเตอร์สำหรับวัดแรงดัน	57
3.9	อุปกรณ์ควบแน่นน้ำออกจากก๊าซผลิตภัณฑ์	58

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปประกอบ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.10	อุปกรณ์แยกน้ำออกจากก๊าซผลิตภัณฑ์	59
3.11	เครื่องดูดความชื้น	59
3.12	แสดงเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Gass Chromatography)	60
3.13	แสดงภาพของเครื่องวิเคราะห์ก๊าซที่ใช้ในการวิเคราะห์ครั้งนี้	64
4.1a	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $W/F_{o,methane}$ กับ $X_{methane}$ เพื่อหาค่า $-r_{methane}$ ของการทดลองที่ A	71
4.1b	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $W/F_{o,methane}$ กับ $X_{methane}$ เพื่อหาค่า $-r_{methane}$ ของการทดลอง B	71
4.1c	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $W/F_{o,methane}$ กับ $X_{methane}$ เพื่อหาค่า $-r_{methane}$ ของการทดลอง C	72
4.1d	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $W/F_{o,methane}$ กับ $X_{methane}$ เพื่อหาค่า $-r_{methane}$ ของการทดลอง D	72
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln[CH_4]$ กับ $\ln(-r_{methane})$ เพื่อหา อันดับของมีเทน ได้ค่า "m" เท่ากับ 1.06	73
4.3a-4.3c	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $W/F_{o,methane}$ กับ $X_{methane}$ เพื่อหาค่า $-r_{methane}$ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ของการทดลองที่ E ถึง G	78
4.3d-4.3f	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $W/F_{o,methane}$ กับ $X_{methane}$ เพื่อหาค่า $-r_{methane}$ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ของการทดลองที่ H ถึง J	79
4.3g-4.3i	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $W/F_{o,methane}$ กับ $X_{methane}$ เพื่อหาค่า $-r_{methane}$ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ของการทดลองที่ K ถึง M	80
4.4	การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับการคำนวณ	83
4.5a	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $W/F_{0,methane}$ กับ $X_{methane}$ เพื่อหาค่า $-r_{methane}$ ที่อุณหภูมิ 823 เคลวิน	87

สารบัญรูปประกอบ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.5b	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $W/F_{O,methane}$ กับ $X_{methane}$ เพื่อหาค่า $-r_{methane}$ ที่อุณหภูมิ 873 เคลวิน	87
4.5c	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $W/F_{O,methane}$ กับ $X_{methane}$ เพื่อหาค่า $-r_{methane}$ ที่อุณหภูมิ 923 เคลวิน	88
4.5d	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $W/F_{O,methane}$ กับ $X_{methane}$ เพื่อหาค่า $-r_{methane}$ ที่อุณหภูมิ 973 เคลวิน	88
4.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง 1/T กับ ln k เพื่อหา EA และ k_0	89
4.7	เปรียบเทียบอัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาของมีเทนที่ได้จากการทดลองกับสมการที่ได้จากวิธี Multiple linear regression	92
4.8	เปรียบเทียบอัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาของมีเทนที่ได้จากการทดลองกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่คำนวณได้จากสมการ	94

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญญลักษณ์

a	อันดับการเกิดปฏิกิริยาของสาร A
[A]	ความเข้มข้นของสาร A (โมล/ม^3)
$AB^{\#}$	สถานะกระตุ้นของปฏิกิริยา A + B
b	อันดับการเกิดปฏิกิริยาของสาร B
[B]	ความเข้มข้นของสาร B (โมล/ม^3)
c	อันดับการเกิดปฏิกิริยาของสาร C
[C]	ความเข้มข้นของสาร C (โมล/ม^3)
$[CH_4]$	ความเข้มข้นของมีเทน (โมล/ม^3)
$[CO_2]$	ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ (โมล/ม^3)
C_A	ความเข้มข้นของสาร A (โมล/ม^3)
C_{Ao}	ความเข้มข้นของสาร A ที่จุดเริ่มต้น (โมล/ม^3)
C_{Af}	ความเข้มข้นของสาร A ที่จุดสิ้นสุดปฏิกิริยา (โมล/ม^3)
ΔE	ผลต่างของพลังงาน
EA	พลังงานกระตุ้น(แคลอรี/โมล)
EA_1	สถานะกระตุ้นของปฏิกิริยาที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา
EA_2	สถานะกระตุ้นของปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา
F_A	อัตราการไหลของสาร A (โมล/วินาที)
F_{AO}	อัตราการไหลของสาร A (โมล/วินาที)ที่จุดเริ่มต้น
F_{Af}	อัตราการไหลของสาร A (โมล/วินาที)ที่จุดสิ้นสุดปฏิกิริยา
ΔG	พลังงานอิสระมาตรฐาน
ΔH	ผลต่างของเอนทัลปี
$[H_2O]$	ความเข้มข้นของไอน้ำ (โมล/ม^3)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญญลักษณ์(ต่อ)

k	ค่าคงที่อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเคมี
k_0	แฟกเตอร์ความถี่
k_1	ค่าคงที่อัตราไปข้างหน้า
k_{-1}	ค่าคงที่อัตราย้อนกลับ
K	ผลคูณของค่าคงที่อัตราเร็วกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่คงที่
K_c	ค่าคงที่สมดุลในเทอมของความเข้มข้น
K_p	ค่าคงที่ในเทอมของความดันย่อย
m	อันดับปฏิกิริยาของมีเทน
n	อันดับปฏิกิริยาของไอน้ำ
n	อันดับรวมของปฏิกิริยา
o	อันดับปฏิกิริยาของคาร์บอนไดออกไซด์
$P_{methane}$	ความดันย่อยของมีเทน
Qr	ค่าคงที่ของปฏิกิริยาที่เวลาใดๆ
r	อัตราการเกิดปฏิกิริยา (โมล/กก./วินาที)
$-r_A$	อัตราการเกิดปฏิกิริยาของสาร A (โมล/กก./วินาที)
$-r_{methane}$	อัตราการเกิดปฏิกิริยาของมีเทน (โมล/กก./วินาที)
R	ค่าคงที่ของก๊าซ (แคลอรี/โมล.เคลวิน)
T	อุณหภูมิสัมบูรณ์(เคลวิน)
t	เวลา(วินาที)
$TF.$	แฟกเตอร์ของเวลา
$X_{methane}$	เศษส่วนการเปลี่ยนแปลงของมีเทน
W	น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา (กิโลกรัม)
Θ	เศษส่วนของผิวหน้าที่ไม่ว่างของตัวเร่งปฏิกิริยา
τ	เวลาสเปซ (วินาที)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย