



บทที่ 4

## ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ดังได้กล่าวแล้วในบทที่ 1 ถึงวัตถุประสงค์ของการทดลอง โดยการทดลองมุ่งศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อปฏิกิริยาที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วเชิงสเปซ และสัดส่วนขององค์ประกอบของสารตั้งต้น และศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์กับมีเทน โดยนำผลการทดลองมาหาสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา แล้วจึงพิจารณาเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซสังเคราะห์ต่อไป ดังนั้นในรายละเอียดของบทนี้จะเสนอผลของการทดลองในลักษณะของข้อมูลดิบของการทดลองแต่ละขั้นตอน แล้วจึงนำผลของการทดลองนั้นมาวิเคราะห์ตามทฤษฎีที่แสดงไว้ในบทที่ 2 โดยมีเงื่อนไขการทดลองแต่ละขั้นตอนได้แสดงไว้แล้วในบทที่ 3 ในเรื่องของวิธีการทดลอง

### 4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 ผลการทดลองเพื่อหาอัตราการผลิตของสารตั้งต้นในสภาวะที่ขจัดผลของความต้านทานการถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างบรรยากาศของไหลกับผิวด้านนอกของตัวเร่งปฏิกิริยา

สภาวะที่กำหนดสำหรับการทดลองในขั้นตอนนี้ มีดังนี้

- 1 อุณหภูมิของปฏิกิริยาคงที่ ที่ 750 องศาเซลเซียส
- 2 สัดส่วนของมีเทนกับคาร์บอนไดออกไซด์ของสารตั้งต้นคงที่ มีค่าเป็น 1:1 โดยปริมาตร
- 3 ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช

และมีเงื่อนไขของสภาวะของการทดลอง ดังนี้

- 1 ตัวเร่งปฏิกิริยาในเตาปฏิกรณ์เคมีน้ำหนักต่างกัน คือ 0.0990 กรัม และ 0.2084 กรัม
- 2 อัตราการไหลของสารตั้งต้น มีช่วงอยู่ระหว่าง 60 ถึง 360 ลูกบาศก์ เซ็นติเมตรต่อนาที สำหรับการทดลองที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาน้ำหนัก 0.0990 กรัม และ ช่วงระหว่าง 210 ถึง 630 ลูกบาศก์เซ็นติเมตรต่อนาที สำหรับการทดลองที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาน้ำหนัก 0.2084 กรัม โดยมีการเพิ่มค่าครึ่งละประมาณ 30 ลูกบาศก์เซ็นติเมตรต่อนาที

ซึ่งผลการทดลองในกรณีที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีน้ำหนัก 0.0990 กรัม ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และสำหรับการทดลองที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาน้ำหนัก 0.2084 กรัม ได้แสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.2



ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองเพื่อหาสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทนและตัวประกอบเวลา สำหรับการทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของสารตั้งต้นในสภาวะที่ขจัดผลของความต้านทานการถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างบรรยากาศของไหลกับผิวด้านนอกของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาน้ำหนัก 0.0990 กรัม

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช      น้ำหนัก 0.0990 กรัม<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส<br>อัตราส่วนของสารป้อน $CH_4:CO_2$ 1:1 โดยปริมาตร |   |   |
|--|---|---|
| อัตราการไหลของสารตั้งต้น<br>ที่ 32°ซ<br>[ml/min.]  | สัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทน<br>[Conversion of Methane] | ตัวประกอบเวลา<br>[w/F] ที่ 32°ซ<br>[g cat.hr/mole feed] |
| 65.99  | 0.8883  | 0.62  |
| 101.81   | 0.8082  | 0.40  |
| 115.58   | 0.7700  | 0.36  |
| 139.93   | 0.7134  | 0.29  |
| 178.22   | 0.6592  | 0.23  |
| 232.48   | 0.5972  | 0.18  |
| 270.86   | 0.5381  | 0.15  |
| 306.51   | 0.4910  | 0.13  |
| 339.51   | 0.4482  | 0.12  |
| 364.56   | 0.4147  | 0.11  |

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองเพื่อหาสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทนและตัวประกอบเวลา สำหรับการทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของสารตั้งต้นในสภาวะที่จัดผลของความต้านทานการถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างบรรยากาศของไหลกับผิวต้านนอกของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหนัก 0.2084 กรัม

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช น้ำหนัก 0.2084 กรัม<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส<br>อัตราส่วนของสารป้อน $\text{CH}_4:\text{CO}_2$ 1:1 โดยปริมาตร |   |   |
|---|---|---|
| อัตราการไหลของสารตั้งต้น<br>ที่ 32'ซ<br>[ml/min.]   | สัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทน<br>[Conversion of Methane] | ตัวประกอบเวลา<br>[w/F] ที่ 32'ซ<br>[g cat.hr/mole feed] |
| 218.10  | 0.8213  | 0.40  |
| 252.16  | 0.7892  | 0.34  |
| 285.15  | 0.7539  | 0.30  |
| 320.89  | 0.7042  | 0.27  |
| 365.71  | 0.6715  | 0.24  |
| 424.03  | 0.6318  | 0.20  |
| 470.17  | 0.6115  | 0.18  |
| 532.64  | 0.5670  | 0.16  |
| 601.11  | 0.5220  | 0.14  |
| 646.20  | 0.4944  | 0.13  |



4.1.2 ผลการทดลองเพื่อหาขนาดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสภาวะขจัดผลของความต้านทานการถ่ายเทมวลและความร้อนจากสารตั้งต้นและผลิตผลผ่านรูพรุนตัวเร่งปฏิกิริยา

สภาวะที่กำหนดการทดลองในขั้นตอนนี้ มีดังนี้

- 1 อุณหภูมิของปฏิกิริยาคงที่ ที่ 750 องศาเซลเซียส
- 2 อัตราส่วนโมลกับคาร์บอนไดออกไซด์ของสารตั้งต้นคงที่ มีค่าเป็น 1:1 โดยปริมาตร
- 3 อัตราการไหลของสารตั้งต้น มีค่า 150 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที
- 4 น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0990 กรัม

และมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของการทดลอง ดังนี้

- 1 เปลี่ยนแปลงขนาดของตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 60/80, 40/60, 25/40 และ 20/25 เมช

ซึ่งผลการทดลองในกรณีที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีขนาด 60/80, 40/60, 25/40 และ 20/25 เมช ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 แสดงน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาและอัตราการไหลของสารตั้งต้น สำหรับการทดลองเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาดต่าง ๆ

| ขนาดตัวเร่งปฏิกิริยา |                                     | น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา<br>[gm] | อัตราการไหลของ<br>สารตั้งต้น ที่ 32 °ซ<br>[ml/min.] |
|----------------------|-------------------------------------|---------------------------------|---|
| ตัวเลขเมช<br>[mesh]  | เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย<br>[microns] |                                 |   |
| 60/80                | 210.5                               | 0.1107                          | 148.93  |
| 40/60                | 308.0                               | 0.0990                          | 148.84  |
| 25/40                | 521.5                               | 0.1010                          | 150.26  |
| 20/25                | 753.0                               | 0.1011                          | 150.34  |

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองเพื่อหาสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทนและอัตราการเกิดปฏิกิริยาสำหรับการทดลองเพื่อหาขนาดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสภาวะขจัดผลของความต้านทานการถ่ายเทมวลและความร้อนจากสารตั้งต้นและผลิตผลผ่านรูพรุนตัวเร่งปฏิกิริยา

| ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส<br>อัตราส่วนของสารป้อน $\text{CH}_4 : \text{CO}_2$ 1:1 โดยปริมาตร |   |   |
|---|---|---|
| ขนาดตัวเร่งปฏิกิริยา<br>[mesh]  | สัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทน<br>[Conversion of Methane] | อัตราการเกิดปฏิกิริยา ที่ STP<br>[mol $\text{CH}_4$ reacted/hr g cat] |
| 60/80   | 0.8480  | 1.5373  |
| 40/60   | 0.7575  | 1.5066  |
| 25/40   | 0.7763  | 1.5333  |
| 20/25   | 0.3947  | 0.7983  |



4.1.3 ผลการทดลองเพื่อหาสัดส่วนการเปลี่ยนรูปและอัตราการเกิดปฏิกิริยา  
ในกรณีที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา

สภาวะที่กำหนดการทดลองในขั้นตอนนี้ มีดังนี้

- 1 อัตราส่วนมีเทนกับคาร์บอนไดออกไซด์ของสารตั้งต้นคงที่ มีค่าเป็น 1:1 โดยปริมาตร
- 2 อัตราการไหลของสารตั้งต้น มีค่า 150.26 ลูกบาศก์เซ็นติเมตรต่อนาที

และมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของการทดลอง ดังนี้

- 1 เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปฏิกิริยา คือ 650, 700, 750, 800 และ 850 องศาเซลเซียส

ซึ่งผลการทดลองสำหรับการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในกรณีที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา  
ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองเพื่อหาสัดส่วนการเปลี่ยนรูปและอัตราการเกิด  
ปฏิกิริยาในกรณีที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา

| อุณหภูมิ<br>[°C] | สัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทน<br>[Conversion of Methane] | อัตราการเกิดปฏิกิริยา ที่ STP<br>[mol CH <sub>4</sub> reacted/hr] |
|------------------|---|---|
| 650              | 0.0560  | 0.0101  |
| 700              | 0.0579  | 0.0104  |
| 750              | 0.1060  | 0.0190  |
| 800              | 0.1551  | 0.0279  |
| 850              | 0.2322  | 0.0417  |

#### 4.1.4 ผลการทดลองเพื่อหาอายุการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยาในการทดลอง

สภาวะที่กำหนดการทดลองในขั้นตอนนี้ มีดังนี้

- 1 อุณหภูมิของปฏิกิริยาคงที่ ที่ 750 องศาเซลเซียส
- 2 อัตราส่วนมีเทนกับคาร์บอนไดออกไซด์ของสารตั้งต้นคงที่ มีค่าเป็น 1:1 โดยปริมาตร
- 3 อัตราการไหลของสารตั้งต้น มีค่า 150.26 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที
- 4 น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0990 กรัม

และมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของการทดลอง ดังนี้

- 1 เปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา คือ ตั้งแต่ 0 ถึง 6 ชั่วโมง โดยเก็บก๊าซตัวอย่างทุก 15 นาที

ผลการทดลองสำหรับการเกิดปฏิกิริยาในระยะเวลาต่าง ๆ ได้แสดงในตารางที่ 4.6



ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองเพื่อหาสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทนเพื่อหาระยะเวลา  
การใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยา

| เวลาที่เกิดปฏิกิริยา<br>[hr.:min.] | สัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทน<br>[Conversion of Methane] |
|------------------------------------|---|
| 0:00                               | 0.8335  |
| 3:15                               | 0.8073  |
| 3:30                               | 0.8013  |
| 3:47                               | 0.7922  |
| 4:00                               | 0.7953  |
| 4:18                               | 0.7892  |
| 4:30                               | 0.7901  |
| 4:45                               | 0.7909  |
| 5:00                               | 0.7870  |
| 5:15                               | 0.7831  |
| 5:30                               | 0.7817  |
| 5:45                               | 0.7802  |
| 6:00                               | 0.7895  |

#### 4.1.5 ผลการทดลองเพื่อหาสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา

- 1 ผลการทดลองหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นมีเทนในสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา

สภาวะที่กำหนดสำหรับการทดลองในขั้นตอนนี้ มีดังนี้

- 1 อัตราการไหลของสารตั้งต้น มีค่าประมาณ 150 ลูกบาศก์ เซ็นติเมตรต่อนาที
- 2 น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0998 กรัม
- 3 ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช

และมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของการทดลอง ดังนี้

- 1 เปลี่ยนแปลงสัดส่วนของมีเทนในสารตั้งต้น คือ ประมาณ 2 %, 4 %, 6 %, 8 % และ 10 % มีเทนโดยปริมาตร
- 2 เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ คือ 650, 700, 750, 800 และ 850 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองสำหรับการหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นของมีเทนในสารตั้งต้นในสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 ถึง 4.11



ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองเพื่อหาสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงของมีเทนและอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ 650°ซ เพื่อหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นของมีเทน

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช        |  | น้ำหนัก 0.0998 กรัม  |  |   |
|---------------------------------------|--|--|--|---|
| ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส |  |  |  |   |
| สัดส่วนมีเทนในสารตั้งต้น [%]          | อัตราการไหลของสารตั้งต้นที่ 32°ซ [ml/min.] | สัดส่วนจำนวนโมลคาร์บอนไดออกไซด์ [m mole CO <sub>2</sub> : 1 mole CH <sub>4</sub> ] | สัดส่วนการเปลี่ยนแปลงของมีเทน [Conversion of CH <sub>4</sub> ] | อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ STP [mol CH <sub>4</sub> reacted/hr. g cat.] |
| 1.47                                  | 150.06                                     | 67.0598  | 0.7593   | 0.0403  |
| 3.39                                  | 150.12                                     | 28.5057  | 0.7399   | 0.0906  |
| 5.31                                  | 150.19                                     | 17.8418  | 0.7824   | 0.1501  |
| 7.22                                  | 150.26                                     | 12.8431  | 0.7831   | 0.2045  |
| 10.15                                 | 150.44                                     | 8.8561   | 0.7736   | 0.2841  |

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช น้ำหนัก 0.0998 กรัม |                           |                 |                           |
|--|---------------------------|-----------------|---------------------------|
| ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส              |                           |                 |                           |
| สัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%]             | ln(ความเข้มข้นสารตั้งต้น) |                 | ln(อัตราการเกิดปฏิกิริยา) |
|  | CH <sub>4</sub>           | CO <sub>2</sub> |                           |
| 1.47   | -14.2357                  | -10.0253        | -3.2119                   |
| 3.39   | -13.3999                  | -10.0449        | -2.4016                   |
| 5.31   | -12.9514                  | -10.0650        | -1.8967                   |
| 7.22   | -12.6431                  | -10.0854        | -1.5871                   |
| 10.15  | -12.3034                  | -10.1174        | -1.2583                   |



ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองเพื่อหาสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทนและอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ 700 °ซ เพื่อหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นของมีเทน

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช                      น้ำหนัก    0.0998 กรัม<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ                      700 องศาเซลเซียส |   |  |  |  |
|--|---|--|--|--|
| สัดส่วนมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%]  | อัตราการไหล<br>ของสารตั้งต้น<br>ที่ 32°ซ<br>[ml/min.] | สัดส่วนจำนวนโมล<br>คาร์บอนไดออกไซด์<br>[m mole CO <sub>2</sub><br>: 1 mole CH <sub>4</sub> ] | สัดส่วนการเปลี่ยนรูป<br>ของมีเทน<br>[Conversion of CH <sub>4</sub> ] | อัตราการเกิดปฏิกิริยา<br>ที่ STP<br>[mol CH <sub>4</sub> reacted/<br>hr. g cat.] |
| 1.36   | 149.89  | 72.6481  | 0.8009   | 0.0392   |
| 3.61   | 150.46  | 26.7241  | 0.8002   | 0.1045   |
| 5.20   | 150.02  | 18.2297  | 0.7912   | 0.1485   |
| 7.22   | 150.26  | 12.8431  | 0.7725   | 0.2018   |
| 10.15  | 150.44  | 8.8561   | 0.8018   | 0.2945   |

## ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช น้ำหนัก 0.0998 กรัม |                           |                 |                           |
|--|---------------------------|-----------------|---------------------------|
| ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส              |                           |                 |                           |
| สัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%]             | ln(ความเข้มข้นสารตั้งต้น) |                 | ln(อัตราการเกิดปฏิกิริยา) |
|  | CH <sub>4</sub>           | CO <sub>2</sub> |                           |
| 1.36   | -14.3146                  | -10.0241        | -3.2386                   |
| 3.61   | -13.3376                  | -10.0472        | -2.2586                   |
| 5.20   | -12.9718                  | -10.0639        | -1.9070                   |
| 7.22   | -12.6431                  | -10.0854        | -1.6007                   |
| 10.15  | -12.3034                  | -10.1174        | -1.2226                   |



ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดลองเพื่อหาสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทนและอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ 750 °ซ เพื่อหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นของมีเทน

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช      น้ำหนัก 0.0998 กรัม<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส |   |  |  |  |
|--|---|--|--|--|
| สัดส่วนมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%]  | อัตราการไหล<br>ของสารตั้งต้น<br>ที่ 32°ซ<br>[ml/min.] | สัดส่วนจำนวนโมล<br>คาร์บอนไดออกไซด์<br>[m mole CO <sub>2</sub><br>: 1 mole CH <sub>4</sub> ] | สัดส่วนการเปลี่ยนรูป<br>ของมีเทน<br>[Conversion of CH <sub>4</sub> ] | อัตราการเกิดปฏิกิริยา<br>ที่ STP<br>[mol CH <sub>4</sub> reacted/<br>hr. g cat.] |
| 1.47   | 150.06  | 67.0598  | 0.8282   | 0.0439   |
| 3.39   | 150.12  | 28.5057  | 0.8307   | 0.1017   |
| 5.20   | 150.02  | 18.2297  | 0.7986   | 0.1499   |
| 7.71   | 149.53  | 11.9656  | 0.8254   | 0.2290   |
| 10.35  | 150.78  | 8.6636   | 0.8370   | 0.3142   |

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช น้ำหนัก 0.0998 กรัม |                           |                 |                           |
|--|---------------------------|-----------------|---------------------------|
| ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส              |                           |                 |                           |
| สัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%]             | ln(ความเข้มข้นสารตั้งต้น) |                 | ln(อัตราการเกิดปฏิกิริยา) |
|  | CH <sub>4</sub>           | CO <sub>2</sub> |                           |
| 1.47   | -14.2357                  | -10.0253        | -3.1251                   |
| 3.39   | -13.3999                  | -10.0449        | -2.2858                   |
| 5.20   | -12.9718                  | -10.0639        | -1.8977                   |
| 7.71   | -12.5776                  | -10.0907        | -1.4739                   |
| 10.35  | -12.2837                  | -10.1197        | -1.1577                   |



ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดลองเพื่อหาสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทนและอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ 800 °ซ เพื่อหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นของมีเทน

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช                      น้ำหนัก 0.0998 กรัม<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส |   |  |  |  |
|--|---|--|--|--|
| สัดส่วนมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%]  | อัตราการไหล<br>ของสารตั้งต้น<br>ที่ 32°ซ<br>[ml/min.] | สัดส่วนจำนวนโมล<br>คาร์บอนไดออกไซด์<br>[m mole CO <sub>2</sub><br>: 1 mole CH <sub>4</sub> ] | สัดส่วนการเปลี่ยนรูป<br>ของมีเทน<br>[Conversion of CH <sub>4</sub> ] | อัตราการเกิดปฏิกิริยา<br>ที่ STP<br>[mol CH <sub>4</sub> reacted/<br>hr. g cat.] |
| 1.58   | 150.23  | 62.2698  | 0.8342   | 0.0477   |
| 3.61   | 150.46  | 26.7241  | 0.8438   | 0.1102   |
| 5.31   | 150.19  | 17.8418  | 0.8191   | 0.1571   |
| 7.33   | 150.43  | 12.6456  | 0.8363   | 0.2218   |
| 10.35  | 150.78  | 8.6636   | 0.8589   | 0.3224   |

## ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช น้ำหนัก 0.0998 กรัม |                           |                 |                           |
|--|---------------------------|-----------------|---------------------------|
| ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส              |                           |                 |                           |
| สัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%]             | ln(ความเข้มข้นสารตั้งต้น) |                 | ln(อัตราการเกิดปฏิกิริยา) |
|  | CH <sub>4</sub>           | CO <sub>2</sub> |                           |
| 1.58   | -14.1627                  | -10.0264        | -3.0437                   |
| 3.61   | -13.3376                  | -10.0472        | -2.2056                   |
| 5.31   | -12.9514                  | -10.0650        | -1.8509                   |
| 7.33   | -12.6287                  | -10.0866        | -1.5059                   |
| 10.35  | -12.2837                  | -10.1197        | -1.1318                   |



ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดลองเพื่อหาสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทนและอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ 850°ซ เพื่อหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นของมีเทน

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช      น้ำหนัก 0.0998 กรัม<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส |   |  |  |  |
|--|---|--|--|--|
| สัดส่วนมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%]  | อัตราการไหล<br>ของสารตั้งต้น<br>ที่ 32°ซ<br>[ml/min.] | สัดส่วนจำนวนโมล<br>คาร์บอนไดออกไซด์<br>[m mole CO <sub>2</sub><br>: 1 mole CH <sub>4</sub> ] | สัดส่วนการเปลี่ยนรูป<br>ของมีเทน<br>[Conversion of CH <sub>4</sub> ] | อัตราการเกิดปฏิกิริยา<br>ที่ STP<br>[mol CH <sub>4</sub> reacted/<br>hr. g cat.] |
| 1.47   | 150.06  | 67.0598  | 0.7720   | 0.0410   |
| 3.61   | 150.46  | 26.7241  | 0.8421   | 0.1100   |
| 5.41   | 150.36  | 17.4701  | 0.8496   | 0.1664   |
| 7.22   | 150.26  | 12.8431  | 0.8482   | 0.2215   |
| 9.75   | 151.34  | 9.2570   | 0.8713   | 0.3093   |

ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช น้ำหนัก 0.0998 กรัม |                           |                 |                           |
|--|---------------------------|-----------------|---------------------------|
| ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส              |                           |                 |                           |
| สัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%]             | ln(ความเข้มข้นสารตั้งต้น) |                 | ln(อัตราการเกิดปฏิกิริยา) |
|  | CH <sub>4</sub>           | CO <sub>2</sub> |                           |
| 1.47   | -14.2357                  | -10.0253        | -3.1953                   |
| 3.61   | -13.3376                  | -10.0472        | -2.2076                   |
| 5.41   | -12.9315                  | -10.0661        | -1.7932                   |
| 7.22   | -12.6431                  | -10.0854        | -1.5072                   |
| 9.75   | -12.3433                  | -10.1130        | -1.1734                   |



- 2 ผลการทดลองหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา

สภาวะที่กำหนดสำหรับการทดลองในขั้นตอนนี้ มีดังนี้

- 1 อัตราการไหลของสารตั้งต้น มีค่าประมาณ 150 ลูกบาศก์ เซ็นติเมตรต่อนาที
- 2 น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.1009 กรัม
- 3 ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช

และมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของการทดลอง ดังนี้

- 1 เปลี่ยนแปลงสัดส่วนของมีเทนในสารตั้งต้น คือ ประมาณ 30 %, 35 %, 40 %, 45 % และ 50 % มีเทนโดยปริมาตร
- 2 เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ คือ 650, 700, 750, 800 และ 850 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองสำหรับการหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นของมีเทนในสารตั้งต้นในสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา แสดงไว้ในตารางที่ 4.12 ถึง 4.16

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการทดลองเพื่อหาสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทนและอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ 650°ซ เพื่อหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช                      น้ำหนัก 0.1009 กรัม<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส |   |  |  |  |
|--|---|--|--|--|
| สัดส่วนมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%]  | อัตราการไหล<br>ของสารตั้งต้น<br>ที่ 32°ซ<br>[ml/min.] | สัดส่วนจำนวนโมล<br>คาร์บอนไดออกไซด์<br>[m mole CO <sub>2</sub><br>: 1 mole CH <sub>4</sub> ] | สัดส่วนการเปลี่ยนรูป<br>ของมีเทน<br>[Conversion of CH <sub>4</sub> ] | อัตราการเกิดปฏิกิริยา<br>ที่ STP<br>[mol CH <sub>4</sub> reacted/<br>hr. g cat.] |
| 49.99  | 151.24  | 1.0004   | 0.6078   | 1.0935   |
| 45.25  | 149.95  | 1.2101   | 0.6545   | 1.0569   |
| 40.92  | 151.60  | 1.4438   | 0.7152   | 1.0559   |
| 35.23  | 151.34  | 1.8388   | 0.7399   | 0.9387   |
| 30.71  | 151.52  | 2.2567   | 0.8032   | 0.8893   |

ตารางที่ 4.12 (ต่อ)

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช น้ำหนัก 0.1009 กรัม |                           |                 |                           |          |
|--|---------------------------|-----------------|---------------------------|----------|
| ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส              |                           |                 |                           |          |
| สัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%]             | ln(ความเข้มข้นสารตั้งต้น) |                 | ln(อัตราการเกิดปฏิกิริยา) | ตัวแปร P |
|  | CH <sub>4</sub>           | CO <sub>2</sub> |                           |          |
| 49.99  | -10.7087                  | -10.7034        | 0.0894                    | 10.9890  |
| 45.25  | -10.8083                  | -10.6128        | 0.0553                    | 11.0563  |
| 40.92  | -10.9089                  | -10.5367        | 0.0543                    | 11.1577  |
| 35.23  | -11.0587                  | -10.4447        | -0.0633                   | 11.1925  |
| 30.71  | -11.1960                  | -10.3773        | -0.1173                   | 11.2783  |



ตารางที่ 4.13 แสดงผลการทดลองเพื่อหาสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทนและอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ 700°ซ เพื่อหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช                      น้ำหนัก 0.1009 กรัม<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส |   |  |  |  |
|--|---|--|--|--|
| สัดส่วนมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%]  | อัตราการไหล<br>ของสารตั้งต้น<br>ที่ 32°ซ<br>[ml/min.] | สัดส่วนจำนวนโมล<br>คาร์บอนไดออกไซด์<br>[m mole CO <sub>2</sub><br>: 1 mole CH <sub>4</sub> ] | สัดส่วนการเปลี่ยนรูป<br>ของมีเทน<br>[Conversion of CH <sub>4</sub> ] | อัตราการเกิดปฏิกิริยา<br>ที่ STP<br>[mol CH <sub>4</sub> reacted/<br>hr. g cat.] |
| 49.83  | 151.73  | 1.0070   | 0.7090   | 1.2757   |
| 44.74  | 149.48  | 1.2350   | 0.7535   | 1.1992   |
| 40.41  | 151.13  | 1.4749   | 0.7958   | 1.1565   |
| 34.81  | 150.37  | 1.8728   | 0.8268   | 1.0298   |
| 30.36  | 150.05  | 2.2938   | 0.8446   | 0.9157   |

ตารางที่ 4.13 (ต่อ)

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช      น้ำหนัก 0.1009 กรัม |                           |                 |                           |          |
|---|---------------------------|-----------------|---------------------------|----------|
| ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส                   |                           |                 |                           |          |
| สัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%]                  | ln(ความเข้มข้นสารตั้งต้น) |                 | ln(อัตราการเกิดปฏิกิริยา) | ตัวแปร P |
|   | CH <sub>4</sub>           | CO <sub>2</sub> |                           |          |
| 49.83   | -10.7120                  | -10.7001        | 0.2435                    | 11.1464  |
| 44.74   | -10.8196                  | -10.6036        | 0.1817                    | 11.1941  |
| 40.41   | -10.9215                  | -10.5281        | 0.1454                    | 11.2616  |
| 34.81   | -11.0706                  | -10.4383        | 0.0294                    | 11.2973  |
| 30.36   | -11.2073                  | -10.3723        | -0.0881                   | 11.3190  |

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการทดลองเพื่อหาสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทนและอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ 750°ซ เพื่อหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช                      น้ำหนัก 0.1009 กรัม<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส |   |  |  |  |
|--|---|--|--|--|
| สัดส่วนมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%]  | อัตราการไหล<br>ของสารตั้งต้น<br>ที่ 32°ซ<br>[ml/min.] | สัดส่วนจำนวนโมล<br>คาร์บอนไดออกไซด์<br>[m mole CO <sub>2</sub><br>: 1 mole CH <sub>4</sub> ] | สัดส่วนการเปลี่ยนรูป<br>ของมีเทน<br>[Conversion of CH <sub>4</sub> ] | อัตราการเกิดปฏิกิริยา<br>ที่ STP<br>[mol CH <sub>4</sub> reacted/<br>hr. g cat.] |
| 49.01  | 150.29  | 1.0402   | 0.7817   | 1.3704   |
| 45.10  | 150.45  | 1.2174   | 0.8251   | 1.3323   |
| 40.27  | 151.63  | 1.4831   | 0.8546   | 1.2420   |
| 35.34  | 150.84  | 1.8294   | 0.8634   | 1.0954   |
| 29.71  | 150.08  | 2.3660   | 0.8695   | 0.9226   |



## ตารางที่ 4.14 (ต่อ)

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช น้ำหนัก 0.1009 กรัม |                           |                 |                           |          |
|--|---------------------------|-----------------|---------------------------|----------|
| ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส              |                           |                 |                           |          |
| สัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%]             | ln(ความเข้มข้นสารตั้งต้น) |                 | ln(อัตราการเกิดปฏิกิริยา) | ตัวแปร P |
|  | CH <sub>4</sub>           | CO <sub>2</sub> |                           |          |
| 49.01  | -10.7284                  | -10.6841        | 0.3151                    | 11.2347  |
| 45.10  | -10.8117                  | -10.6101        | 0.2869                    | 11.2912  |
| 40.27  | -10.9248                  | -10.5258        | 0.2167                    | 11.3362  |
| 35.34  | -11.0554                  | -10.4465        | 0.0911                    | 11.3436  |
| 29.71  | -11.2290                  | -10.3630        | -0.0805                   | 11.3486  |

ตารางที่ 4.15 แสดงผลการทดลองเพื่อหาสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทนและอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ 800°ซ เพื่อหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช                      น้ำหนัก 0.1009 กรัม<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส |   |  |  |  |
|--|---|--|--|--|
| สัดส่วนมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%]  | อัตราการไหล<br>ของสารตั้งต้น<br>ที่ 32°ซ<br>[ml/min.] | สัดส่วนจำนวนโมล<br>คาร์บอนไดออกไซด์<br>[m mole CO <sub>2</sub><br>: 1 mole CH <sub>4</sub> ] | สัดส่วนการเปลี่ยนรูป<br>ของมีเทน<br>[Conversion of CH <sub>4</sub> ] | อัตราการเกิดปฏิกิริยา<br>ที่ STP<br>[mol CH <sub>4</sub> reacted/<br>hr. g cat.] |
| 49.34  | 151.26  | 1.0267   | 0.8616   | 1.5303   |
| 45.60  | 150.92  | 1.1930   | 0.8849   | 1.4493   |
| 39.50  | 149.69  | 1.5317   | 0.8780   | 1.2354   |
| 34.81  | 150.37  | 1.8728   | 0.8863   | 1.1040   |
| 29.25  | 149.11  | 2.4185   | 0.8993   | 0.9335   |

ตารางที่ 4.15 (ต่อ)

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช      น้ำหนัก 0.1009 กรัม<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส |                           |               |                           |          |
|--|---------------------------|---------------|---------------------------|----------|
| สัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%]   | ln(ความเข้มข้นสารตั้งต้น) |               | ln(อัตราการเกิดปฏิกิริยา) | ตัวแปร P |
|  | $\text{CH}_4$             | $\text{CO}_2$ |                           |          |
| 49.34  | -10.7217                  | -10.6905      | 0.4255                    | 11.3383  |
| 45.60  | -10.8006                  | -10.6193      | 0.3711                    | 11.3642  |
| 39.50  | -10.9442                  | -10.5130      | 0.2114                    | 11.3506  |
| 34.81  | -11.0706                  | -10.4383      | 0.0989                    | 11.3668  |
| 29.25  | -11.2445                  | -10.3565      | -0.0688                   | 11.3762  |



ตารางที่ 4.16 แสดงผลการทดลองเพื่อหาสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทนและอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ 850 °ซ เพื่อหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช                      น้ำหนัก 0.1009 กรัม<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ                      850 องศาเซลเซียส |   |  |  |  |
|---|---|--|--|--|
| สัดส่วนมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%]   | อัตราการไหล<br>ของสารตั้งต้น<br>ที่ 32°ซ<br>[ml/min.] | สัดส่วนจำนวนโมล<br>คาร์บอนไดออกไซด์<br>[m mole CO <sub>2</sub><br>: 1 mole CH <sub>4</sub> ] | สัดส่วนการเปลี่ยนรูป<br>ของมีเทน<br>[Conversion of CH <sub>4</sub> ] | อัตราการเกิดปฏิกิริยา<br>ที่ STP<br>[mol CH <sub>4</sub> reacted/<br>hr. g cat.] |
| 49.18   | 151.76  | 1.0334   | 0.9504   | 1.6881   |
| 44.95   | 150.95  | 1.2247   | 0.9417   | 1.5206   |
| 39.63   | 151.65  | 1.5235   | 0.9184   | 1.3134   |
| 34.92   | 149.87  | 1.8633   | 0.9132   | 1.1375   |
| 30.06   | 151.54  | 2.3265   | 0.9140   | 0.9909   |

ตารางที่ 4.16 (ต่อ)

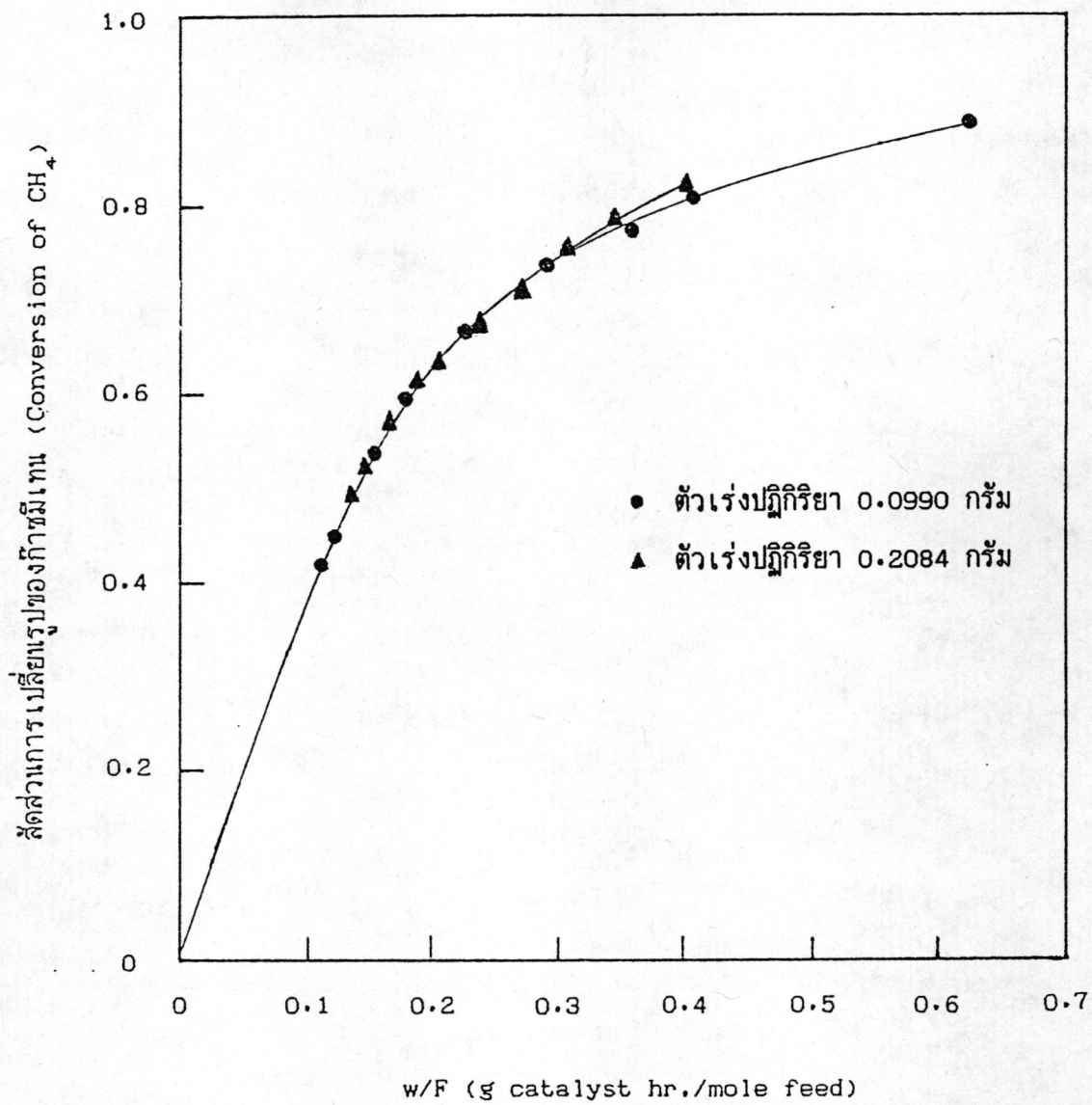
| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช      น้ำหนัก 0.1009 กรัม<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส |                           |               |                           |          |
|--|---------------------------|---------------|---------------------------|----------|
| ลัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%]   | ln(ความเข้มข้นสารตั้งต้น) |               | ln(อัตราการเกิดปฏิกิริยา) | ตัวแปร P |
|  | $\text{CH}_4$             | $\text{CO}_2$ |                           |          |
| 49.18  | -10.7250                  | -10.6873      | 0.5236                    | 11.4398  |
| 44.95  | -10.8150                  | -10.6074      | 0.4191                    | 11.4268  |
| 39.63  | -10.9410                  | -10.5151      | 0.2726                    | 11.4086  |
| 34.92  | -11.0673                  | -10.4401      | 0.1289                    | 11.3934  |
| 30.06  | -11.2172                  | -10.3680      | -0.0091                   | 11.4080  |

## 4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.2.1 การหาอัตราการไหลของสารตั้งต้นในสภาวะที่ขจัดผลของความต้านทานการถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างบรรยากาศของไหลกับผิวด้านนอกของตัวเร่งปฏิกิริยา

การทดลองโดยการป้อนสารตั้งต้นด้วยอัตราการไหลต่าง ๆ ที่อุณหภูมิคงที่เท่ากับ 750 องศาเซลเซียส ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช น้ำหนัก 0.0990 กรัม และ 0.2084 กรัม ผลที่ได้จากการทดลองเป็นพื้นที่ผิวในภาคผนวก ฉ มาคำนวณเป็นสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทน ส่วนอัตราการไหลของสารตั้งต้นคำนวณเป็นตัวประกอบเวลา ( $w/F$ ) โดยได้แสดงผลการคำนวณในตารางที่ 4.1 และ 4.2 เมื่อนำสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทนและตัวประกอบเวลาในการทดลองแต่ละชุดมาสร้างกราฟเส้นโค้งได้ในรูปที่ 4.1 พบว่าได้เส้นโค้ง 2 เส้นโดยเส้นโค้งบนเป็นเส้นจากการทดลองที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหนัก 0.2084 กรัม และเส้นโค้ง 2 เส้นทับกันตลอดช่วงตัวประกอบเวลาตั้งแต่ 0 ถึง 0.27 g cat. hr./mole feed ซึ่งจากตัวประกอบเวลาที่เส้นโค้ง 2 เส้นทับกันตลอดในตำแหน่งสุดท้ายที่อ่านได้จากกราฟ คือค่า 0.27 g cat. hr./mole feed สามารถคำนวณเป็นอัตราการไหลของสารตั้งต้นได้เท่ากับ 137.01 ml feed/min. สำหรับกรณีการทดลองใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหนัก 0.1 กรัม และคำนวณเป็นเวลาสัมผัส (Contact Time) ได้เท่ากับ 0.0466 วินาที หรือความเร็วเชิงสเปซ (Space Velocity) เท่ากับ 21.4574 วินาที<sup>-1</sup> ตามวิธีการคำนวณในภาคผนวก ค ดังนั้นในการทดลองขั้นตอนต่อมาจะใช้อัตราการไหลของสารตั้งต้นที่มากกว่าค่าที่ได้นี้ ซึ่งกำหนดให้ประมาณ 150 ml feed/min. และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหนักประมาณ 0.1 กรัม เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่สภาวะขจัดผลของความต้านทานการถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างบรรยากาศของไหลกับผิวด้านนอกของตัวเร่งปฏิกิริยา



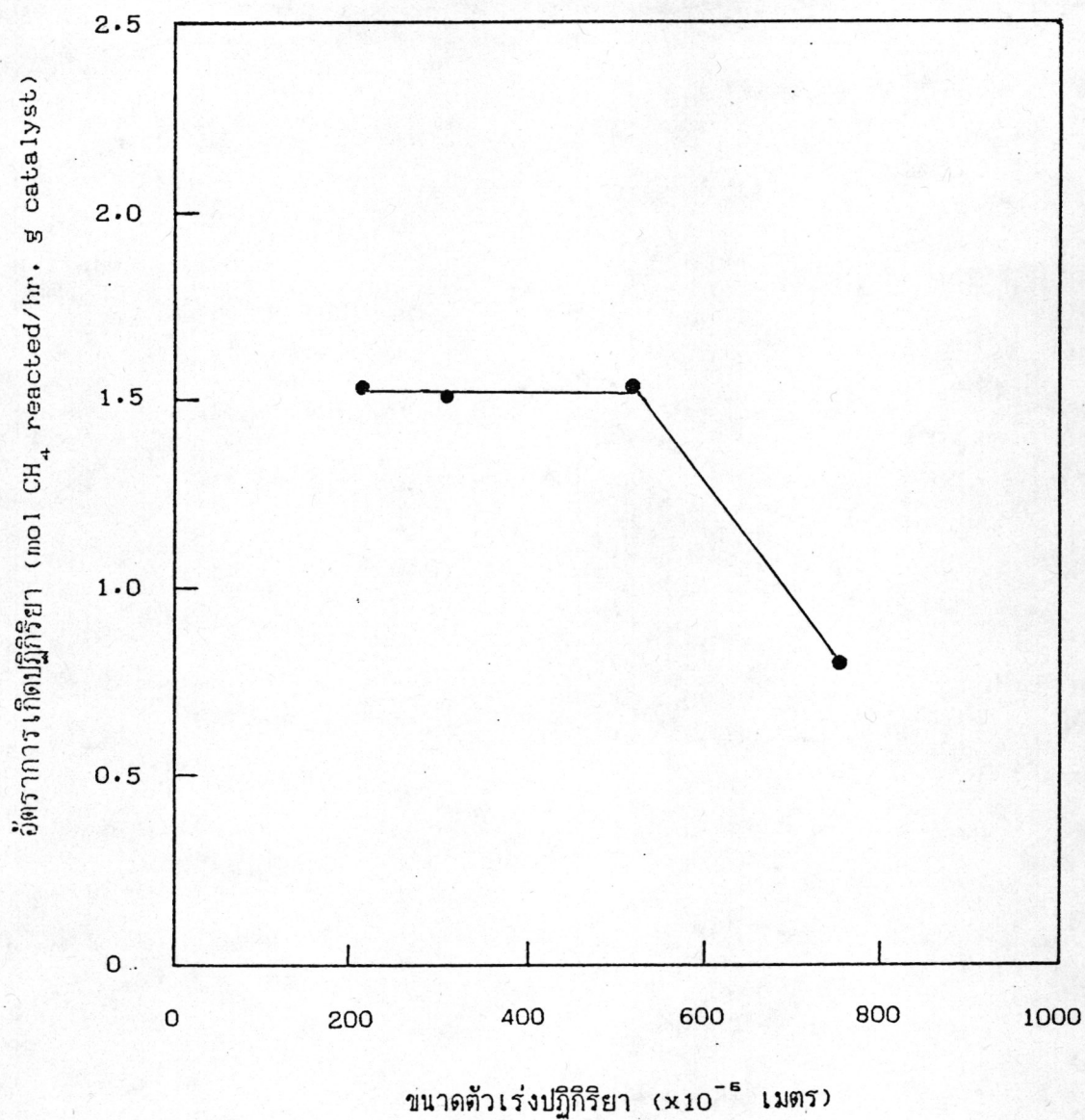


รูปที่ 4.1

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงของมีเทนกับตัวประกอบเวลา

#### 4.2.2 การหาขนาดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสภาวะขจัดผลของความต้านทานการถ่ายเทมวลและความร้อนจากสารตั้งต้นและผลิตผลผ่านรูพรุนตัวเร่งปฏิกิริยา

การทดลองใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาดต่าง ๆ และมีน้ำหนักประมาณ 0.1 กรัม ซึ่งได้แสดงน้ำหนักที่แน่นอนสำหรับการทดลองของแต่ละขนาดตัวเร่งปฏิกิริยาในตารางที่ 4.3 ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส มีอัตราการไหลของสารตั้งต้นประมาณ 150 ลูกบาศก์ เซ็นติเมตรต่อนาที ผลการทดลองแสดงเป็นพื้นที่ผิวดินภาคผนวก ฉ นำมาคำนวณเป็นสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทนและอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ และแสดงผลการคำนวณในตารางที่ 4.4 เมื่อนำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของตัวเร่งปฏิกิริยา กับอัตราการเกิดปฏิกิริยาในรูปที่ 4.2 พบว่ามีลักษณะเป็นเส้นตรงที่ขนานกับแกนอนตั้งแต่ขนาด  $210.5 \times 10^{-6}$  เมตรถึง  $521.5 \times 10^{-6}$  เมตร แล้วมีความชันลดลงอย่างมาก แสดงว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีขนาดเฉลี่ยเล็กกว่า  $521.5 \times 10^{-6}$  เมตร ทำให้ได้อัตราการเกิดเร็วปฏิกิริยาคงที่ที่สภาวะการทดลองที่เหมือนกัน ดังนั้นจึงใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีขนาดเล็กกว่า  $521.5 \times 10^{-6}$  เมตร ในการทดลองขั้นต่อมา คือเลือกใช้ที่มี ขนาดเฉลี่ยเป็น  $308.0 \times 10^{-6}$  เมตรหรือ 50 เมช หรือตัวเร่งปฏิกิริยาขนาดเล็กกว่า 40 เมช และใหญ่กว่า 60 เมช เพื่อให้ได้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มี ขนาดเฉลี่ยเป็น 50 เมชตามต้องการ



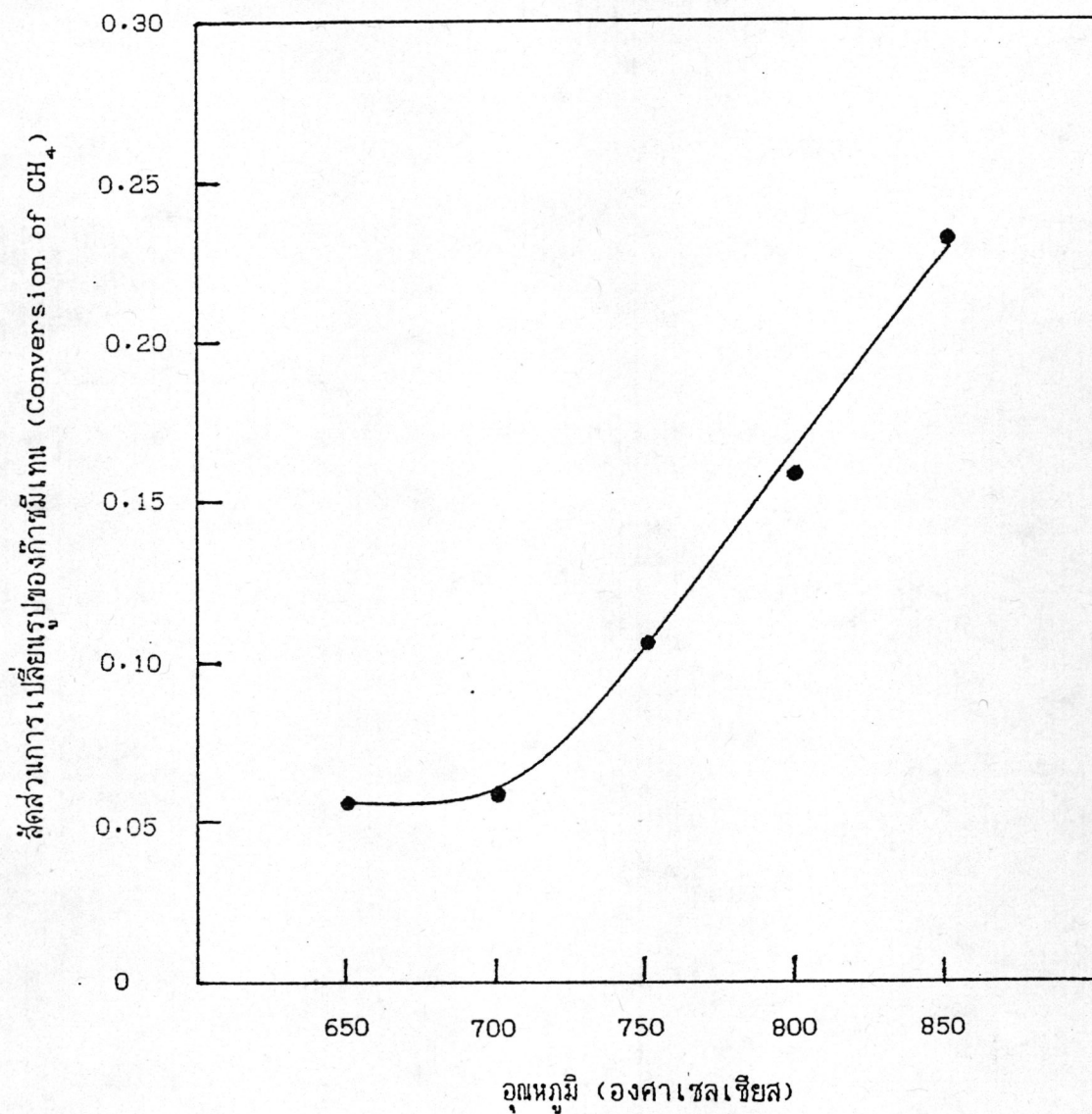
รูปที่ 4.2

กราฟแสดงขนาดตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมโดยเกิดสภาวะขจัดผลของความต้านทานการถ่ายเทมวลและความร้อนจากสารตั้งต้นและผลิตผลผ่านรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา



#### 4.2.3 การหาสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทนและอัตราการเกิดปฏิกิริยา ในกรณีที่ไม่มีความเร่งปฏิกิริยา

การทดลองโดยการบ้อนสารตั้งต้นด้วยอัตราการไหลประมาณ 150 ลูกบาศก์ เซ็นติเมตรต่อนาที่ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ และไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยา ได้ผลการทดลอง เป็นพื้นที่ผิที่นำมาคำนวณเป็นสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทนได้ และแสดงผลการคำนวณใน ตารางที่ 4.5 เมื่อนำสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทนไปสร้างกราฟเส้นโค้งในรูปที่ 4.3 พบว่า สัดส่วนการเปลี่ยนรูปมีเทนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเกิดปฏิกิริยาในช่วงอุณหภูมิ 650 ถึง 700 องศาเซลเซียส และเพิ่มขึ้นอย่างมากด้วยอัตราการเพิ่มคงที่ตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิ 700 ถึง 850 องศาเซลเซียส



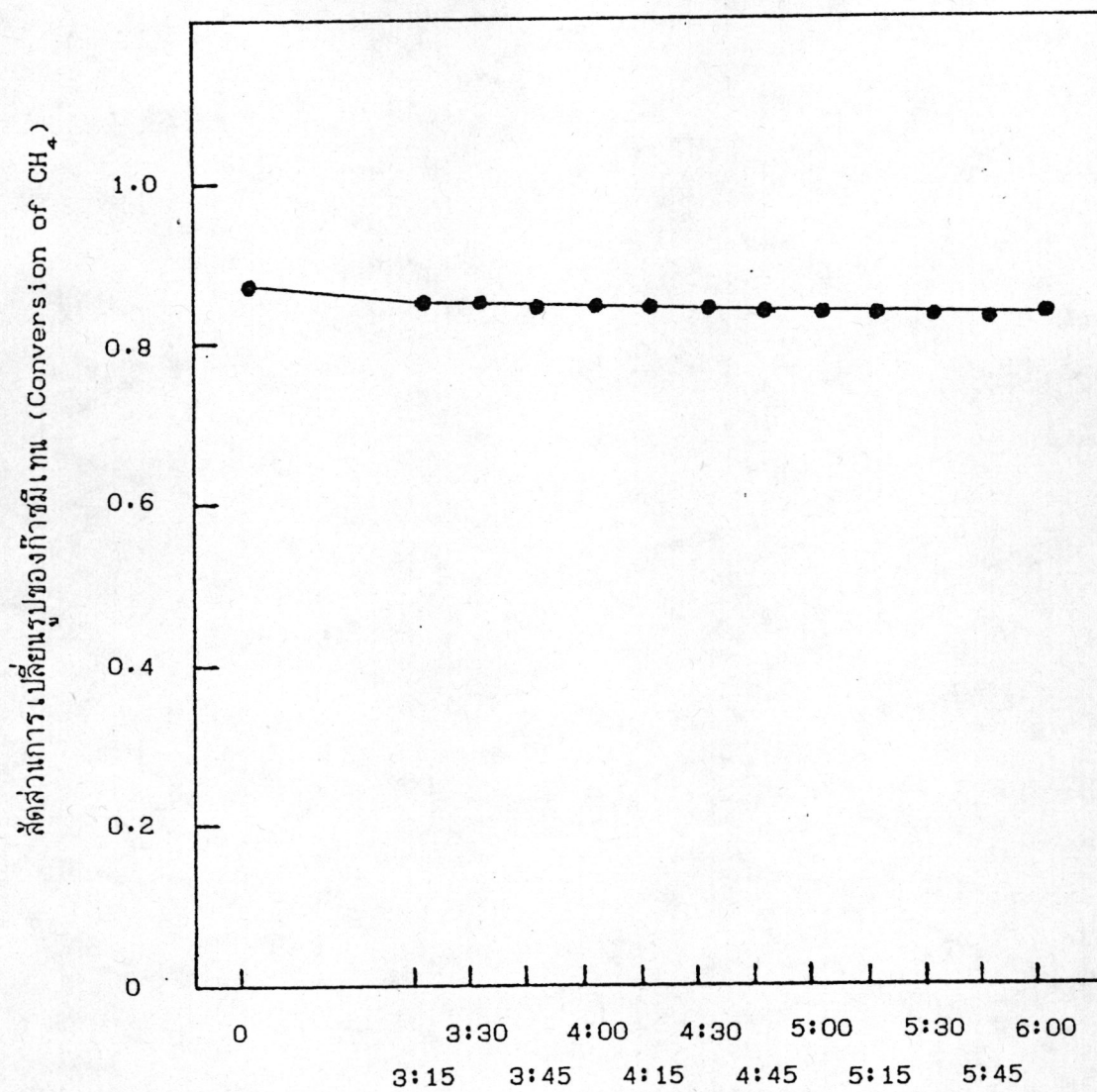
รูปที่ 4.3

กราฟแสดงผลการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในกรณีที่ไม่มีความเร่งปฏิกิริยา

#### 4.2.4 การหาอายุการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยาในการทดลอง

เป็นการทดลองโดยการบ้อนสารตั้งต้นด้วยอัตราการใช้ไฮดรอกซีที่ประมาณ 150 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที่ ที่อุณหภูมิคงที่ 750 องศาเซลเซียส และจากผลการทดลองในข้อ 4.2.2 ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช หนัก 0.1 กรัม ผลการทดลองเป็นพื้นที่ผิวในภาคผนวก ฉ จำนวนเป็นสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทน และอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ในตารางที่ 4.6 เมื่อนำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทนกับเวลาที่เกิดปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่องในรูปที่ 4.4 พบว่ามีลักษณะเป็นเส้นตรงมีความชันลดลงน้อยมากในช่วงระยะเวลาทำปฏิกิริยาตั้งแต่ 0 ถึง 6 ชั่วโมง ซึ่งแสดงว่าในการทดลองขั้นต่อมาสามารถใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการเกิดปฏิกิริยาได้อย่างน้อย 6 ชั่วโมง





รูปที่ 4.4

กราฟแสดงอายุการใช้งานสำหรับการทดลองของตัวเร่งปฏิกิริยา

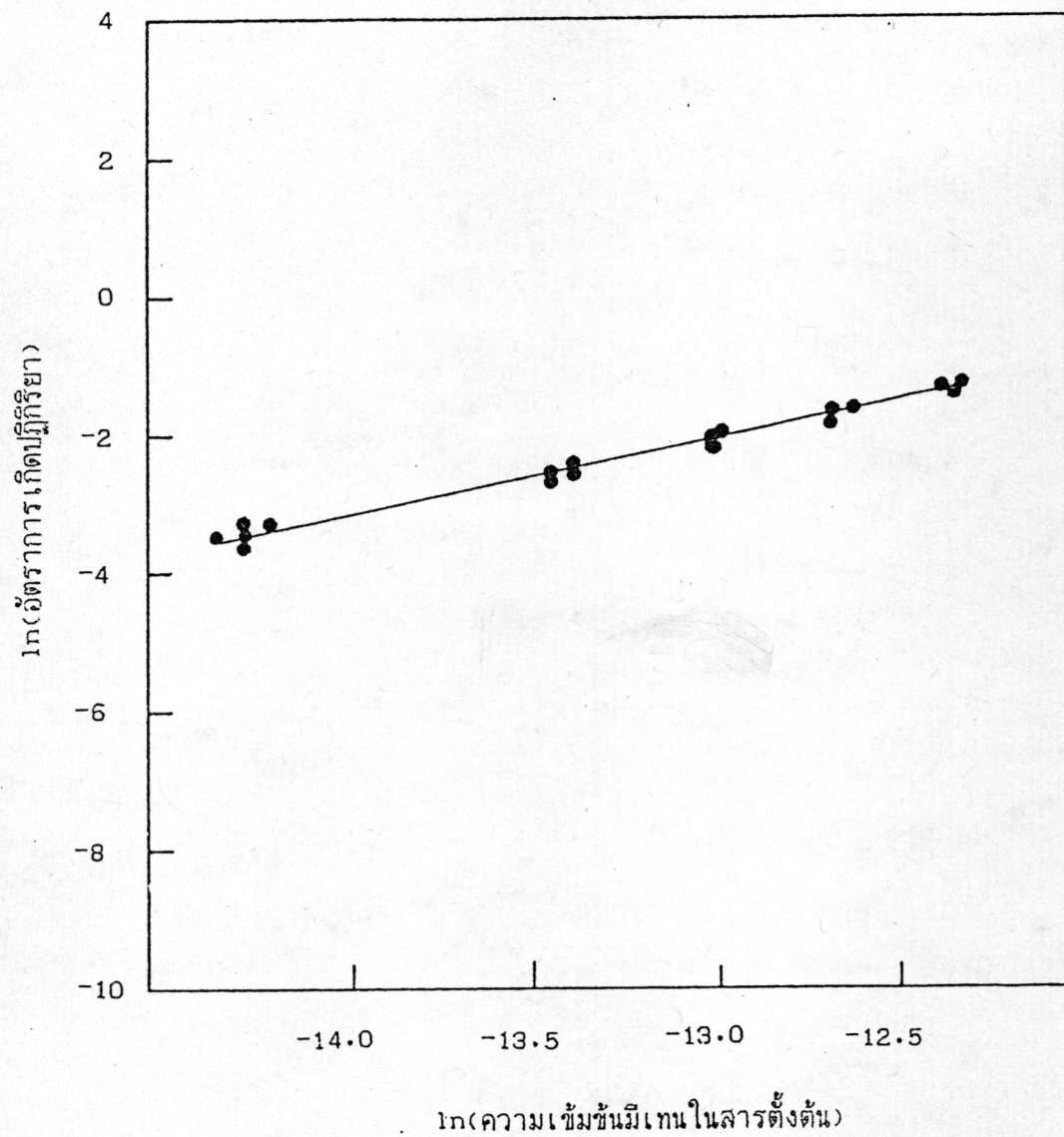
#### 4.2.5 การหาอันดับของปฏิกิริยา เมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นมีเทน ในสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา

การทดลองโดยการบ้อนสารด้วยอัตราการไหลคงที่ประมาณ 150 ml/min. ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 650 ถึง 850 องศาเซลเซียส และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมชหนัก 0.0998 กรัม ได้ผลการทดลองเป็นพื้นที่ผิวในภาคผนวก ฉ นำมาคำนวณเป็นสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทนและอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ ความเข้มข้นของสารตั้งต้นและอัตราการเกิดปฏิกิริยานำมาคำนวณเป็นค่าลอการิทึมได้ แสดงผลการคำนวณในตารางที่ 4.7 ถึง 4.11 เมื่อนำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของความเข้มข้นมีเทนกับลอการิทึมของอัตราการเกิดปฏิกิริยาในรูปที่ 4.5 พบว่ามีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีความชันเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อความเข้มข้นของมีเทนเพิ่มขึ้น และจากกราฟรูปที่ 4.5 หรือจากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีการ Linear Regression โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการคำนวณในภาคผนวก ช สามารถหาความชันและจุดตัดแกนตั้งได้ โดยได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.17 จากสมการคณิตศาสตร์ในภาคผนวก จ ทำให้ทราบอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นมีเทน ซึ่งเท่ากับ ความชันที่ได้

ตารางที่ 4.17 แสดงผลการคำนวณหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นของมีเทน  
ในสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา ด้วยวิธีการ Linear Regression

| ผลการคำนวณด้วยวิธีการ Linear Regression       |         |
|---|---------|
| ค่าความชัน                                    | 1.0178  |
| ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของความชัน           | 0.0128  |
| จุดตัดแกนตั้ง                                 | 11.3250 |
| ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของจุดตัดแกนตั้ง     | 0.0428  |
| ค่ากำลังสองของความแตกต่างของข้อมูลกับการคำนวณ | 0.9964  |
| จำนวนข้อมูล                                   | 25      |





รูปที่ 4.5

กราฟแสดงการหาอันดับของปฏิกิริยา เมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นมีเทนในสมการอัตราเร็ว

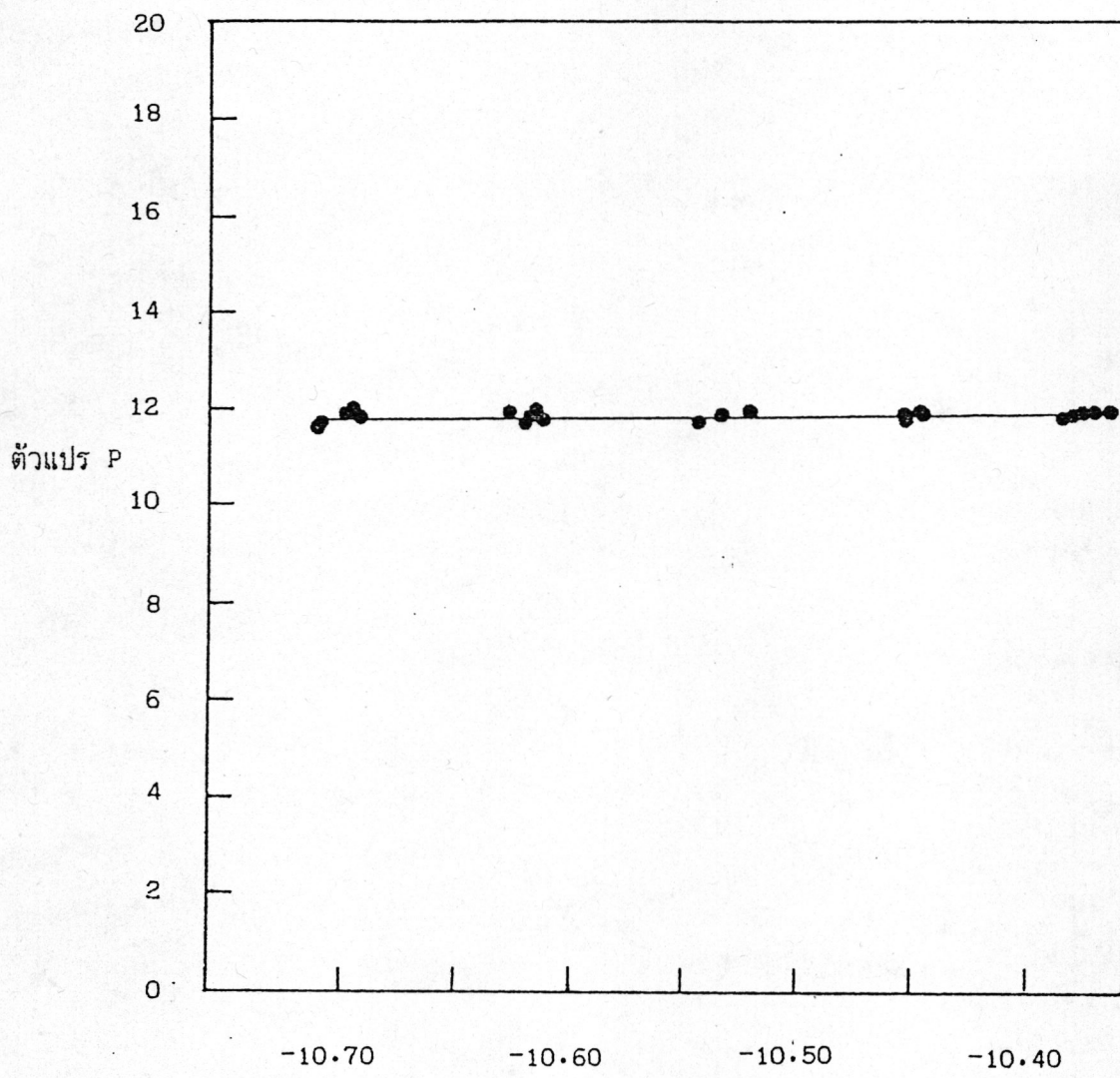


#### 4.2.6 การหาอันดับของปฏิกิริยา เมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ ในสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา

การทดลองโดยป้อนสารตั้งต้นด้วยอัตราการไหลคงที่ประมาณ 150 ลูกบาศก์ เซนติเมตรต่อนาที ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 650 ถึง 850 องศาเซลเซียส และตัวเร่งปฏิกิริยาหนัก 0.1009 กรัม ได้ผลการทดลองเป็นพื้นที่ผิวกี่คำนวณเป็นสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของมีเทนและอัตรา การเกิดปฏิกิริยาได้ เมื่อคำนวณเป็นลอการิทึมของอัตราการเกิดปฏิกิริยา พร้อมกับนำอันดับ ของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นของมีเทนที่ได้จากหัวข้อ 4.2.5 มาคำนวณเป็นตัวแปร P ซึ่งกำหนดไว้เพื่อให้หาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแสดงสมการคณิตศาสตร์ของตัวแปร P ไว้ในภาคผนวก จ ค่าของตัวแปร P แสดงใน ตารางที่ 4.12 ถึง 4.16 นำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของความเข้มข้น คาร์บอนไดออกไซด์กับตัวแปร P ได้เป็นเส้นตรงในรูปที่ 4.6 พบว่ามีความชันเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น และด้วยการคำนวณวิธี Linear Regression หรือจากกราฟ สามารถหาความชันและจุดตัดแกนตั้งได้ ทำให้ทราบอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิด เทียบกับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเท่ากับค่าความชัน และได้แสดงผลการคำนวณ ในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 แสดงผลการคำนวณหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นของ คาร์บอนไดออกไซด์ในสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา ด้วยวิธีการ Linear Regression

| ผลการคำนวณด้วยวิธีการ Linear Regression       |         |
|---|---------|
| ค่าความชัน                                    | 0.3742  |
| ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของความชัน           | 0.1873  |
| จุดตัดแกนตั้ง                                 | 15.2316 |
| ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของจุดตัดแกนตั้ง     | 0.1089  |
| ค่ากำลังสองของความแตกต่างของข้อมูลกับการคำนวณ | 0.7478  |
| จำนวนข้อมูล                                   | 25      |



ln(ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในสารตั้งต้น)

รูปที่ 4.6

กราฟแสดงการหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในสมการอัตราเร็ว



#### 4.2.7 การหาแฟคเตอร์แห่งความถี่และพลังงานกระตุ้น

จากผลการคำนวณในหัวข้อ 4.2.5 และ 4.2.6 ทำให้ทราบอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นของมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยได้แสดงผลการคำนวณในตารางที่ 4.17 และ 4.18 ตามลำดับ เมื่อนำผลการทดลองในตารางที่ 4.7 ถึง 4.11 และตารางที่ 4.12 ถึง 4.16 รวมทั้งอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นทั้ง 2 ค่า แทนลงในสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาสามารถคำนวณเป็นตัวแปร  $Q$  ซึ่งกำหนดขึ้นเพื่อใช้คำนวณหาแฟคเตอร์แห่งความถี่ และพลังงานกระตุ้นจากสมการอาร์เรเนียสในภาคผนวก จ ผลการคำนวณตัวแปร  $Q$  แสดงในตารางที่ 4.19 เมื่อนำไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร  $Q$  กับส่วนกลับของอุณหภูมิสัมบูรณ์ของปฏิกิริยาได้กราฟเส้นตรงในรูปที่ 4.7 พบว่ามีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีความชันลดลงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิลดลง และจากการคำนวณด้วยวิธีการ Linear Regression โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในภาคผนวก ช หรือจากกราฟ สามารถหาความชันและจุดตัดแกนตั้งได้ จากสมการคณิตศาสตร์ในภาคผนวก จ ทำให้ทราบว่าความชันเท่ากับค่าลบของสัดส่วนระหว่างพลังงานกระตุ้นกับค่าคงที่ของก๊าซ และจุดตัดแกนตั้งเท่ากับลอการิทึมของแฟคเตอร์แห่งความถี่ ดังนั้นจึงสามารถหาค่าของแฟคเตอร์แห่งความถี่และพลังงานกระตุ้นสำหรับปฏิกิริยาในช่วงอุณหภูมิ 650 ถึง 850 องศาเซลเซียสได้ และแสดงผลการคำนวณในตารางที่ 4.20



ตารางที่ 4.19 แสดงผลการคำนวณหาตัวแปร Q เพื่อหาแฟคเตอร์แห่งความถี่ และพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช น้ำหนัก 0.0998 กรัม |  |  |  |
|--|--|--|--|
| สัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%]             | ตัวแปร Q<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ<br>650 °ซ | สัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%] | ตัวแปร Q<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ<br>700 °ซ |
| 1.47   | 15.0285                                    | 1.36                                   | 15.0817                                    |
| 3.39   | 14.9955                                    | 3.61                                   | 15.0759                                    |
| 5.31   | 15.0514                                    | 5.20                                   | 15.0614                                    |
| 7.22   | 15.0548                                    | 7.22                                   | 15.0412                                    |
| 10.15  | 15.0498                                    | 10.15                                  | 15.0855                                    |

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช น้ำหนัก 0.0998 กรัม |  |  |  |
|--|--|--|--|
| สัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%]             | ตัวแปร Q<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ<br>750 °ซ | สัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%] | ตัวแปร Q<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ<br>800 °ซ |
| 1.47   | 15.1153                                    | 1.58                                   | 15.1228                                    |
| 3.39   | 15.1113                                    | 3.61                                   | 15.1289                                    |
| 5.20   | 15.0707                                    | 5.31                                   | 15.0972                                    |
| 7.71   | 15.1034                                    | 7.33                                   | 15.1218                                    |
| 10.35  | 15.1312                                    | 10.35                                  | 15.1571                                    |

ตารางที่ 4.19 (ต่อ)

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช  |  | น้ำหนัก 0.0998 กรัม |                             |
|---------------------------------|--|---------------------|-----------------------------|
| สัดส่วนของมีเทนในสารตั้งต้น [%] |  | ตัวแปร Q            | ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 850 °ซ |
| 1.47                            |  | 15.0451             |                             |
| 3.61                            |  | 15.1269             |                             |
| 5.41                            |  | 15.1350             |                             |
| 7.22                            |  | 15.1347             |                             |
| 9.75                            |  | 15.1737             |                             |

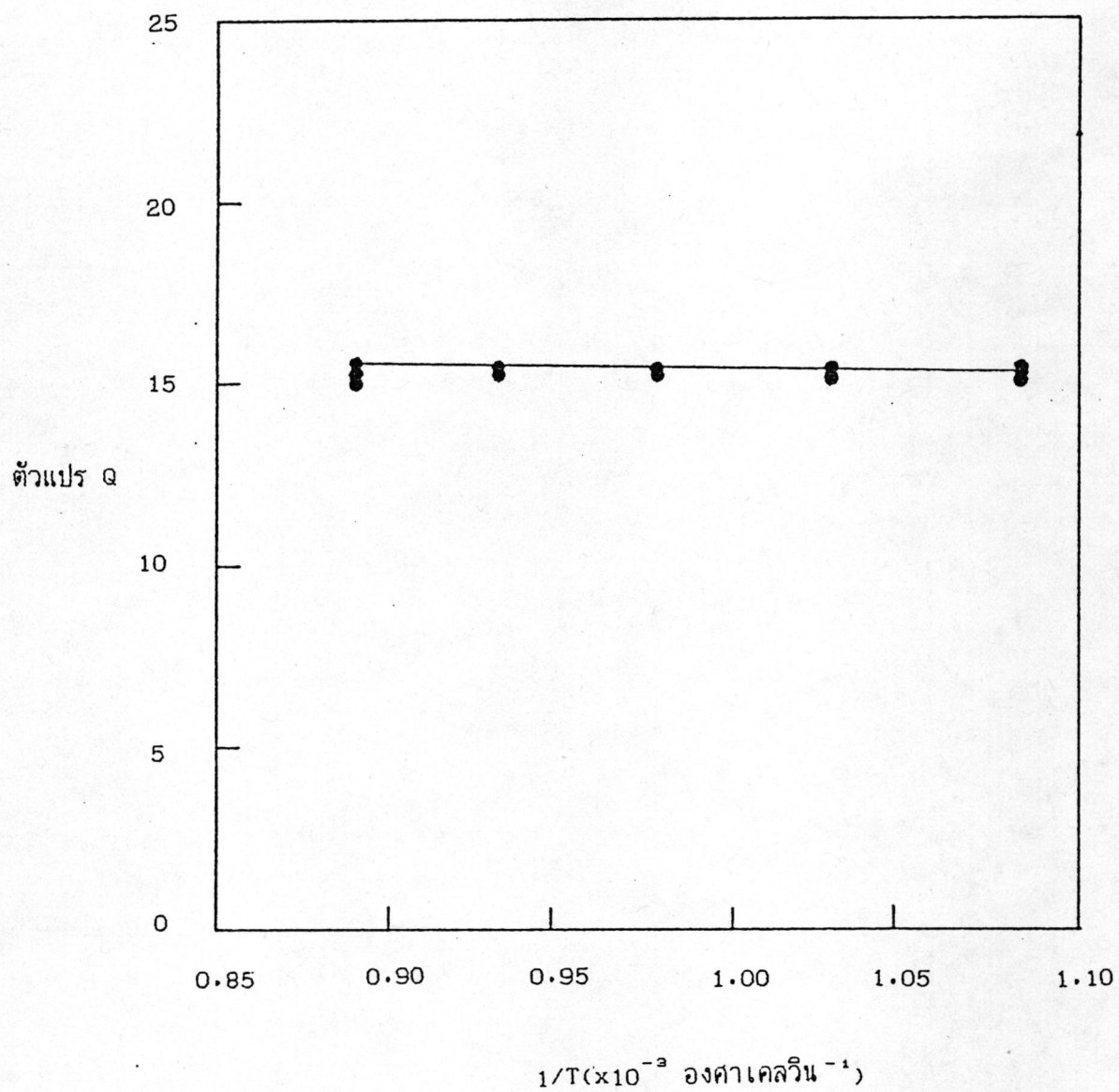
| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช  |   | น้ำหนัก 0.1009 กรัม             |   |
|---------------------------------|---|---------------------------------|---|
| สัดส่วนของมีเทนในสารตั้งต้น [%] | ตัวแปร Q<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 650 °ซ | สัดส่วนของมีเทนในสารตั้งต้น [%] | ตัวแปร Q<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 700 °ซ |
| 49.99                           | 14.9936                                 | 49.83                           | 15.1498                                 |
| 45.25                           | 15.0271                                 | 44.74                           | 15.1614                                 |
| 40.92                           | 15.1000                                 | 40.41                           | 15.2007                                 |
| 35.23                           | 15.1004                                 | 34.81                           | 15.2028                                 |
| 30.71                           | 15.1610                                 | 30.36                           | 15.1998                                 |

ตารางที่ 4.19 (ต่อ)

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช         |  | น้ำหนัก 0.1009 กรัม                    |  |
|--|--|--|--|
| สัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%] | ตัวแปร Q<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ<br>750 °ซ | สัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%] | ตัวแปร Q<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ<br>800 °ซ |
| 49.01                                  | 15.2322                                    | 49.34                                  | 15.3382                                    |
| 45.10                                  | 15.2610                                    | 45.60                                  | 15.3374                                    |
| 40.27                                  | 15.2745                                    | 39.50                                  | 15.2841                                    |
| 35.34                                  | 15.2521                                    | 34.81                                  | 15.2723                                    |
| 29.71                                  | 15.2260                                    | 29.25                                  | 15.2511                                    |

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช     |   | น้ำหนัก 0.1009 กรัม |  |
|------------------------------------|---|---------------------|--|
| สัดส่วนของมีเทนในสารตั้งต้น<br>[%] | ตัวแปร Q<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 850 °ซ |                     |  |
| 49.18                              | 15.4385                                 |                     |  |
| 44.95                              | 15.3956                                 |                     |  |
| 39.63                              | 15.3428                                 |                     |  |
| 34.92                              | 15.2996                                 |                     |  |
| 30.06                              | 15.2872                                 |                     |  |





รูปที่ 4.7

กราฟแสดงการหาแพคเตอร์แห่งความถี่และพลังงานกระตุ้นในสมการอาร์เรเนียส

ตารางที่ 4.20 แสดงผลการคำนวณเพื่อหาแพคเตอร์แห่งความถี่และพลังงานกระตุ้น  
ด้วยวิธีการ Linear Regression

| ผลการคำนวณด้วยวิธีการ Linear Regression   |            |
|---|------------|
| ค่าความชัน                                | -1391.4800 |
| ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของความชัน       | 133.0818   |
| จุดตัดแกนตั้ง                             | 16.5981    |
| ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของจุดตัดแกนตั้ง | 0.0454     |
| ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน                   | 0.8262     |
| จำนวนข้อมูล                               | 50         |

#### 4.2.8 การคำนวณทดสอบสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ได้

จากผลการคำนวณในหัวข้อ 4.2.5, 4.2.6 และ 4.2.7 ทำให้ทราบอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นของมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ แฟคเตอร์แห่งความถี่ และพลังงานกระตุ้น ซึ่งได้แสดงผลการคำนวณในตารางที่ 4.17, 4.18 และ 4.20 ตามลำดับ ทำให้ทราบสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาช่วงอุณหภูมิ 650 ถึง 850 องศาเซลเซียส ดังนี้

$$\begin{aligned}
 -r_A &= k_o e^{-E/RT} C_{CH_4}^\alpha C_{CO_2}^\beta \\
 &= 16.16 \times 10^6 \times e^{-1391.48/T} \times C_{CH_4}^{1.02} \times C_{CO_2}^{0.37}
 \end{aligned}$$

และเมื่อนำความเข้มข้นของสารตั้งต้น และอุณหภูมิของปฏิกิริยาไปแทนค่าในสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาสามารถคำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ โดยแสดงไว้ในตารางที่ 4.21 ถึง 4.25 เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองพบว่ามีความผิดพลาดน้อยมาก

ตารางที่ 4.21 แสดงผลการทดสอบความผิดพลาดของสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยากับผลการทดลองที่อุณหภูมิปฏิกิริยา 650 องศาเซลเซียส

| สัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%] | อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 650 °C<br>[mol CH <sub>4</sub> reacted/ hr g cat.] |             | เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด<br>[%] |
|--|---|-------------|-------------------------------|
|  | จากการทดลอง   | จากการคำนวณ |                               |
| 49.99                                  | 1.0935  | 1.2051      | 10.20                         |
| 45.25                                  | 1.0569  | 1.1264      | 6.58                          |
| 40.92                                  | 1.0559  | 1.0462      | -0.92                         |
| 35.23                                  | 0.9387  | 0.9297      | -0.96                         |
| 30.71                                  | 0.8893  | 0.8291      | -6.78                         |



ตารางที่ 4.22 แสดงผลการทดสอบความผิดพลาดของสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา  
กับผลการทดลองที่อุณหภูมิปฏิกิริยา 700 องศาเซลเซียส

| สัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%] | อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 700°ซ<br>[mol CH <sub>4</sub> reacted/ hr g cat.] |             | เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด<br>[%] |
|--|--|-------------|-------------------------------|
|  | จากการทดลอง  | จากการคำนวณ |                               |
| 49.83                                  | 1.2757   | 1.2994      | 1.86                          |
| 44.74                                  | 1.1992   | 1.2074      | 0.68                          |
| 40.41                                  | 1.1565   | 1.1196      | -3.19                         |
| 34.81                                  | 1.0298   | 0.9948      | -3.40                         |
| 30.36                                  | 0.9157   | 0.8872      | -3.11                         |

ตารางที่ 4.23 แสดงผลการทดสอบความผิดพลาดของสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา  
กับผลการทดลองที่อุณหภูมิปฏิกิริยา 750 องศาเซลเซียส

| สัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%] | อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 750°ซ<br>[mol CH <sub>4</sub> reacted/ hr g cat.] |             | เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด<br>[%] |
|--|--|-------------|-------------------------------|
|  | จากการทดลอง  | จากการคำนวณ |                               |
| 49.01                                  | 1.3704   | 1.3786      | 0.69                          |
| 45.10                                  | 1.3323   | 1.3021      | -2.26                         |
| 40.27                                  | 1.2420   | 1.1976      | -3.57                         |
| 35.34                                  | 1.0954   | 1.0801      | -1.39                         |
| 29.71                                  | 0.9226   | 0.9339      | 1.22                          |

ตารางที่ 4.24 แสดงผลการทดสอบความผิดพลาดของสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา  
กับผลการทดลองที่อุณหภูมิปฏิกิริยา 800 องศาเซลเซียส

| สัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%] | อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 800 °ซ<br>[mol CH <sub>4</sub> reacted/ hr g cat.] |             | เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด<br>[%] |
|--|---|-------------|-------------------------------|
|  | จากการทดลอง   | จากการคำนวณ |                               |
| 49.34                                  | 1.5303  | 1.4752      | -3.60                         |
| 45.60                                  | 1.4493  | 1.3982      | -3.53                         |
| 39.50                                  | 1.2354  | 1.2571      | 1.76                          |
| 34.81                                  | 1.1040  | 1.1366      | 2.96                          |
| 29.25                                  | 0.9335  | 0.9818      | 5.17                          |

ตารางที่ 4.25 แสดงผลการทดสอบความผิดพลาดของสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา  
กับผลการทดลองที่อุณหภูมิปฏิกิริยา 850 องศาเซลเซียส

| สัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%] | อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 850 °ซ<br>[mol CH <sub>4</sub> reacted/ hr g cat.] |             | เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด<br>[%] |
|--|---|-------------|-------------------------------|
|  | จากการทดลอง   | จากการคำนวณ |                               |
| 49.18                                  | 1.6881  | 1.5595      | -7.62                         |
| 44.95                                  | 1.5206  | 1.4663      | -3.57                         |
| 39.63                                  | 1.3134  | 1.3351      | 1.65                          |
| 34.92                                  | 1.1375  | 1.2074      | 6.14                          |
| 30.06                                  | 0.9909  | 1.0648      | 7.46                          |



4.2.9 การหาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของมีเทนในสารตั้งต้น  
และสัดส่วนของสารผลิตภัณฑ์

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.2.6 สามารถนำค่าพื้นที่พีคในภาคผนวก ง มาคำนวณเป็นสัดส่วนของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาได้ โดยนิยามสัดส่วนของสารผลิตภัณฑ์ เป็นสัดส่วนของปริมาณไฮโดรเจนต่อปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้น และได้แสดงผลการคำนวณในตารางที่ 4.26 เมื่อนำมาสร้างกราฟที่มีความสัมพันธ์กับสัดส่วนของมีเทนในสารตั้งต้น ที่ป้อนเข้าสู่เตาปฏิกรณ์เคมี พบว่าได้ความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงมีความชันมากขึ้นเมื่อสัดส่วนของ มีเทนในสารตั้งต้นมีค่าเพิ่มขึ้น และการคำนวณวิธีการ Linear Regression หรือจากกราฟ สามารถหาความชันและจุดตัดแกนตั้งได้ และแสดงผลดังในรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.26 แสดงผลการคำนวณเพื่อหาสัดส่วนของสารผลิตภัณฑ์

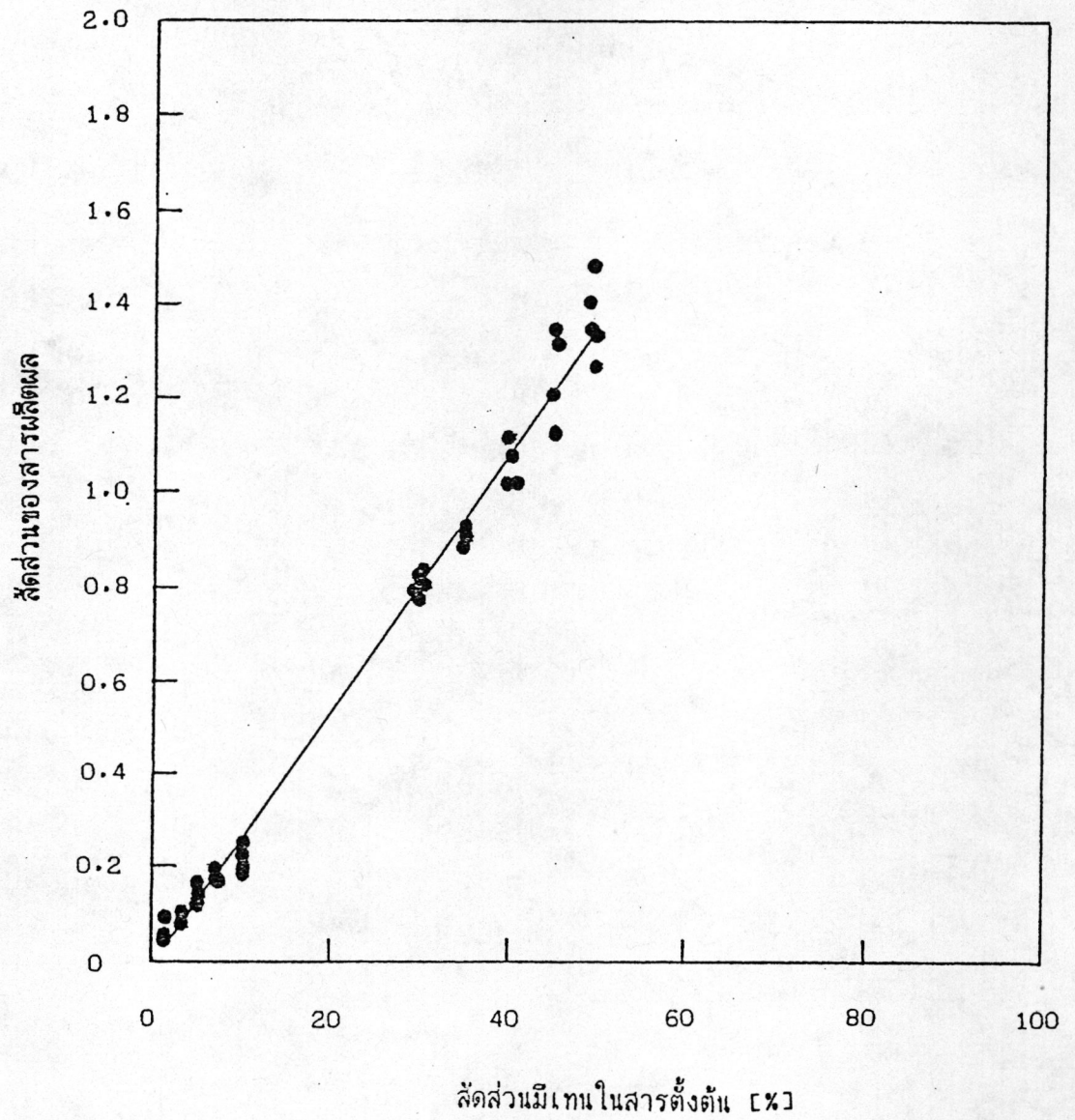
| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช         |  | น้ำหนัก 0.1009 กรัม                    |  |
|--|--|--|--|
| สัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%] | สัดส่วนของสารผลิตภัณฑ์<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ<br>650° ซ | สัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%] | สัดส่วนของสารผลิตภัณฑ์<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ<br>700° ซ |
| 49.99                                  | 14.9936  | 49.83                                  | 15.1498  |
| 45.25                                  | 15.0271  | 44.74                                  | 15.1614  |
| 40.92                                  | 15.1000  | 40.41                                  | 15.2007  |
| 35.23                                  | 15.1004  | 34.81                                  | 15.2028  |
| 30.71                                  | 15.1610  | 30.36                                  | 15.1998  |



ตารางที่ 4.26 (ต่อ)

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช         |   | น้ำหนัก 0.1009 กรัม                    |   |
|--|---|--|---|
| สัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%] | สัดส่วนของสารผลิตผล<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ<br>750 °ซ | สัดส่วนของมีเทน<br>ในสารตั้งต้น<br>[%] | สัดส่วนของสารผลิตผล<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ<br>800 °ซ |
| 49.01                                  | 15.2322   | 49.34                                  | 15.3382   |
| 45.10                                  | 15.2610   | 45.60                                  | 15.3374   |
| 40.27                                  | 15.2745   | 39.50                                  | 15.2841   |
| 35.34                                  | 15.2521   | 34.81                                  | 15.2723   |
| 29.71                                  | 15.2260   | 29.25                                  | 15.2511   |

| ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 40/60 เมช     |  | น้ำหนัก 0.1009 กรัม |  |
|------------------------------------|--|---------------------|--|
| สัดส่วนของมีเทนในสารตั้งต้น<br>[%] | สัดส่วนของสารผลิตผล<br>ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 850 °ซ |                     |  |
| 49.18                              | 15.4385  |                     |  |
| 44.95                              | 15.3956  |                     |  |
| 39.63                              | 15.3428  |                     |  |
| 34.92                              | 15.2996  |                     |  |
| 30.06                              | 15.2872  |                     |  |



รูปที่ 4.8

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนมีเทนในสารตั้งต้นและสัดส่วนของสารผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4.27 แสดงผลการคำนวณเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนสารตั้งต้น  
และสัดส่วนของสารผลิตผล ด้วยวิธีการ Linear Regression

| ผลการคำนวณด้วยวิธีการ Linear Regression   |        |
|---|--------|
| ค่าความชัน                                | 1.5331 |
| ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของความชัน       | 0.0247 |
| จุดตัดแกนตั้ง                             | 0      |
| ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของจุดตัดแกนตั้ง | 0.0894 |
| ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน                   | 0.9683 |
| จำนวนข้อมูล                               | 50     |