

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิแบบโดยใช้โปรแกรมควบคุมแบบ P

การควบคุมอุณหภูมิภายในเขตโดยใช้โปรแกรมควบคุมแบบ P ซึ่งเป็นโปรแกรมพื้นฐานที่สุดที่ได้พัฒนาขึ้น มีการปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของขดลวดให้ความร้อนที่ห่อรอบเครื่องปฏิกรณ์เพื่อควบคุมอุณหภูมิเขตตามสัญญาณที่ส่งมาจากไมโครคอมพิวเตอร์ดังสมการ

$$V(t) = K_c (T_s - T(t)) + V_s \quad \dots\dots (4.1)$$

ตัวแปรที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยได้แก่  $K_c$ ,  $V_s$  และ  $T_s$  จึงได้ลำดับการศึกษางานวิจัยไว้ดังนี้

- ก. ศึกษาอิทธิพลของ  $K_c$  ที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิเขต
- ข. ศึกษาอิทธิพลของ  $V_s$  ที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิเขตที่อุณหภูมิต่าง ๆ
- ค. ศึกษาอิทธิพลของส่วนประกอบของสารตั้งต้นที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิเขต
- ง. ศึกษาอิทธิพลของอัตราเร็วในการบ้อนสารตั้งต้นที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิเขต

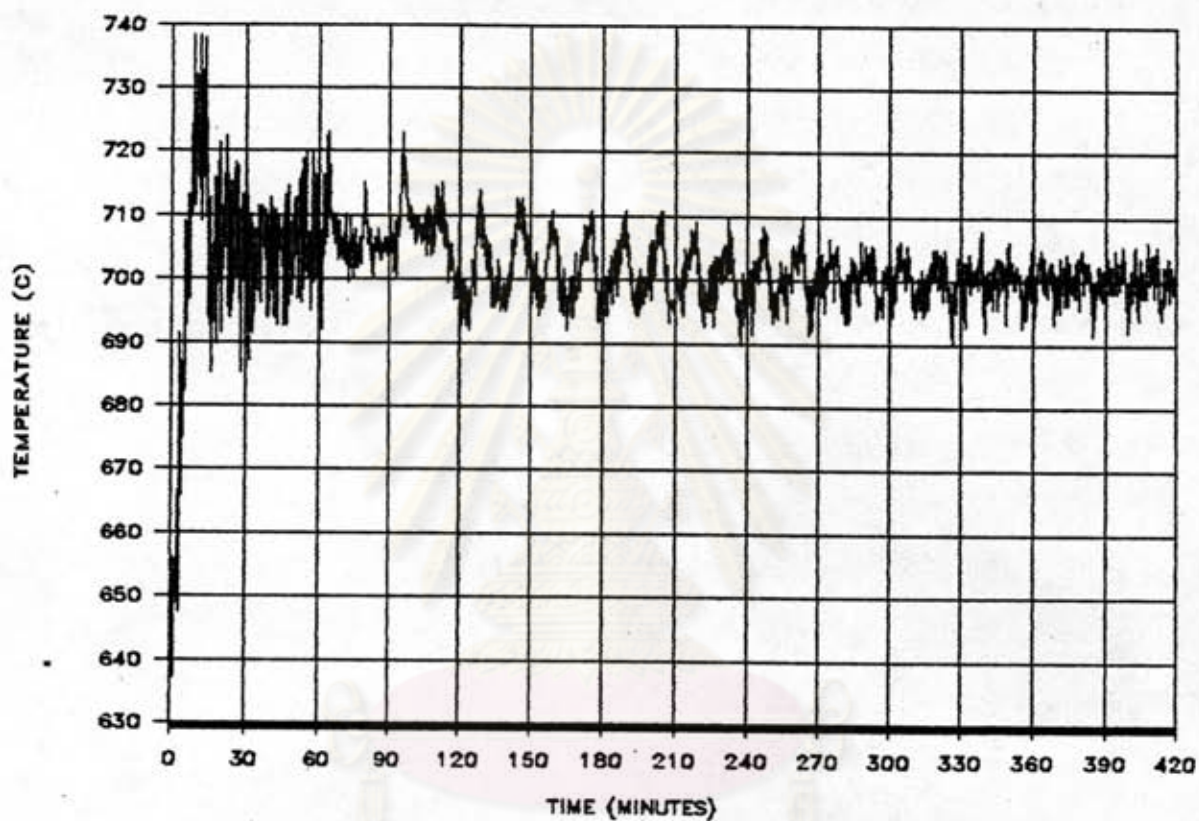
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.1.1 อิทธิพลของ $K_c$ ที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิเบด

การทดลองศึกษาอิทธิพลของ  $K_c$  ที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิเบดโดยใช้โปรแกรมควบคุมแบบ P ได้ทดลองที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วก๊าซ 3.5 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดเซชัน อัตราส่วนของ  $H_2O/LPG = 4$  ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา  $Ni/Al_2O_3$  470 กรัม ค่า  $V_g$  130 โวลต์ ค่า  $K_c$  ที่ใช้อยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 15 โวลต์ต่อองศาเซลเซียส ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.1 พบว่า การควบคุมในสภาวะดังกล่าว โปรแกรมควบคุมแบบ P สามารถควบคุมอุณหภูมิเบดได้ทุกค่าของ  $K_c$  ถ้าค่า  $K_c$  ที่ใช้มีค่าต่ำ ( $K_c < 8$  โวลต์ต่อองศาเซลเซียส) จะเกิดการขึ้น-ลงของอุณหภูมิอย่างเป็นช่วง และการเบี่ยงเบนของอุณหภูมิจะอยู่ในช่วงกว้าง นอกจากนี้ยังเกิดออฟเซต (offset) ของอุณหภูมิเฉลี่ยจากสภาวะที่ต้องการควบคุม ( $T_o - T_g$ ) อีกด้วย แต่เมื่อค่า  $K_c$  ที่ใช้มีค่าสูงขึ้น ( $8 < K_c < 15$  โวลต์ต่อองศาเซลเซียส) จะไม่พบการขึ้น-ลงของอุณหภูมิเกิดขึ้นอีก การเบี่ยงเบนของอุณหภูมิเบดจะอยู่ในช่วงที่แคบลง ออฟเซตของอุณหภูมิที่ควบคุมได้ยังลดลงอีกด้วย ดังรูปที่ 4.2

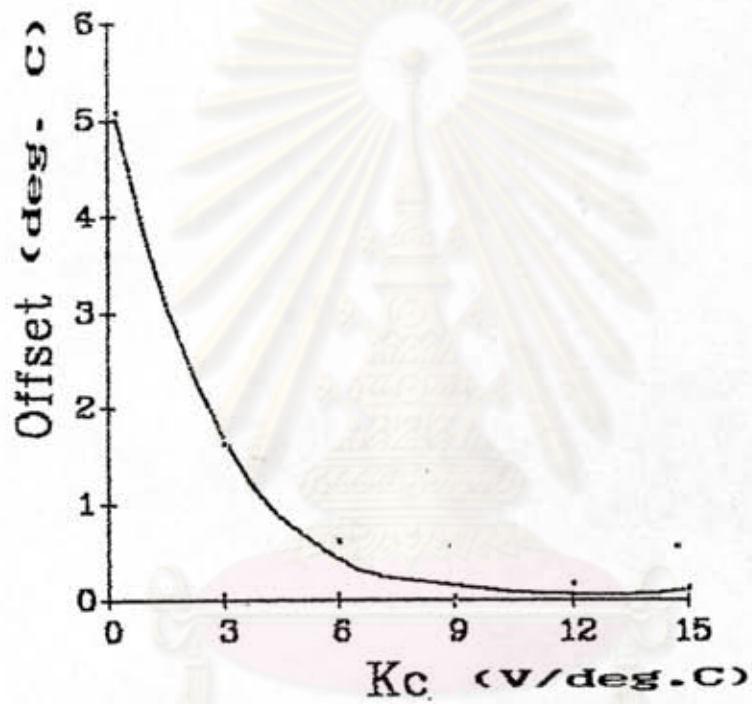
#### 4.1.2 อิทธิพลของ $V_g$ ที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิเบดที่อุณหภูมิต่าง ๆ

การทดลองศึกษาอิทธิพลของ  $V_g$  ที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิเบดโดยใช้โปรแกรมควบคุมแบบ P ทดลองที่อุณหภูมิ 650, 700, 750 และ 800 องศาเซลเซียส ในแต่ละการทดลองใช้ความเร็วก๊าซ 3.5 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดเซชัน อัตราส่วนของ  $H_2O/LPG = 4$  ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 470 กรัม ค่า  $K_c$  8 โวลต์ต่อองศาเซลเซียส ค่า  $V_g$  ที่ใช้อยู่ระหว่าง 80 ถึง 160 โวลต์ จากการทดลองพบว่า การควบคุมในสภาวะดังกล่าว โปรแกรมควบคุมแบบ P สามารถควบคุมอุณหภูมิเบดให้คงที่ได้ทุกค่าของ  $V_g$  แต่ที่อุณหภูมิค่าหนึ่งจะมี  $V_g$  ที่เหมาะสมเพียงค่าเดียวซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิค่าที่ต้องการให้คงที่ได้ ( $T_o = T_g$ ) สำหรับค่า  $V_g$  ที่ไม่เหมาะสม จะเกิดออฟเซต (offset) ของอุณหภูมิเฉลี่ยจากสภาวะที่ควบคุมได้ ( $T_o - T_g$ ) ตามค่าของ  $V_g$  ดังรูปที่ 4.5

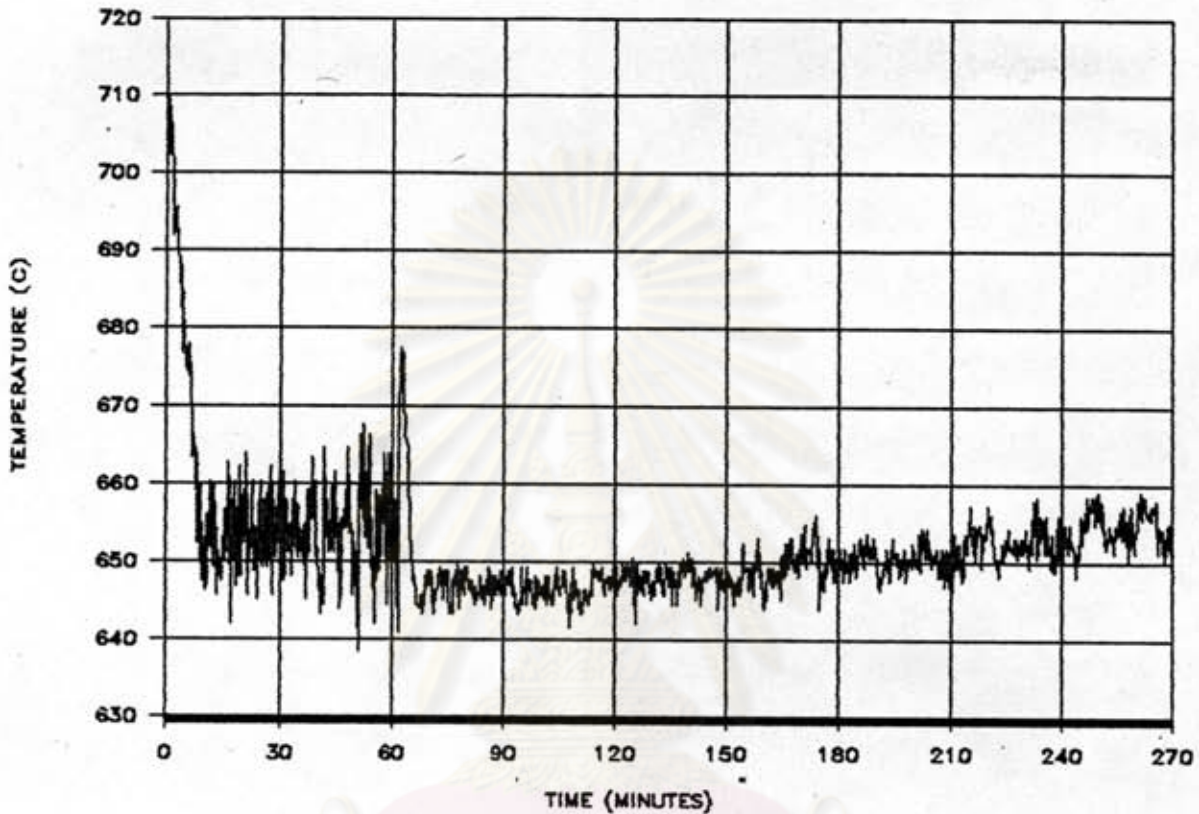


รูปที่ 4.1 อิทธิพลของ  $K_c$  ที่มีผลต่อการตอบสนองของอุณหภูมิเบดที่ควบคุมได้ จากการควบคุมแบบ P ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส  $V_g$  130 โวลต์

ที่เวลา 63 นาที	$K_c = 0.2$	โวลต์ต่อองศาเซลเซียส
158 นาที	$K_c = 3$	โวลต์ต่อองศาเซลเซียส
211 นาที	$K_c = 6$	โวลต์ต่อองศาเซลเซียส
266 นาที	$K_c = 9$	โวลต์ต่อองศาเซลเซียส
319 นาที	$K_c = 12$	โวลต์ต่อองศาเซลเซียส
367 นาที	$K_c = 15$	โวลต์ต่อองศาเซลเซียส



รูปที่ 4.2 อิทธิพลของ  $K_c$  ที่มีผลต่อออฟเซตของอุณหภูมิเบดที่ควบคุมได้  
 โดยการควบคุมแบบ P ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

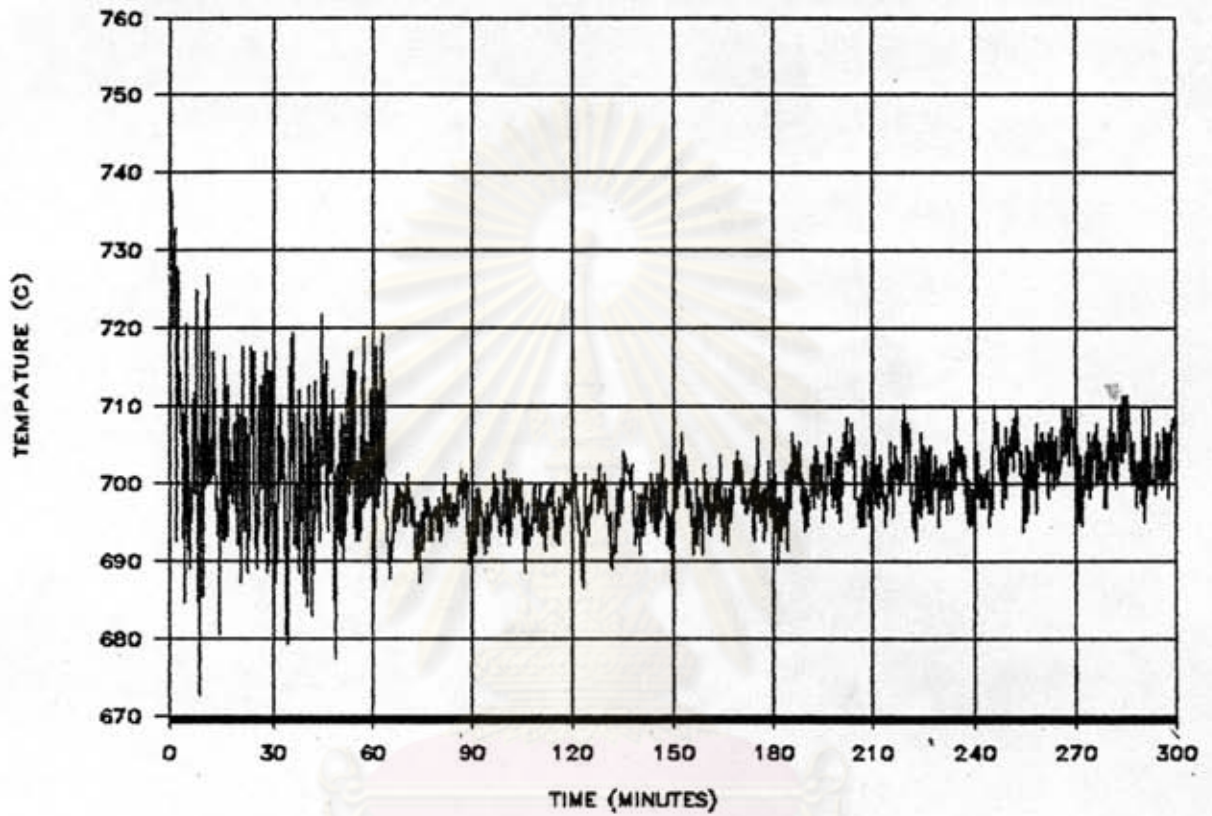


รูปที่ 4.3 ก.

รูปที่ 4.3 อิทธิพลของ  $V_{\sigma}$  ที่มีผลต่อการตอบสนองของอุณหภูมิเบดที่ควบคุมได้ จากการควบคุมแบบ P ที่อุณหภูมิ 650, 700, 750 และ 800 องศาเซลเซียส เมื่อ  $K_c = 8$  โวลต์ต่อองศาเซลเซียส

ก. ควบคุมอุณหภูมิที่ 650 องศาเซลเซียส

- |                                         |                                   |
|-----------------------------------------|-----------------------------------|
| ที่เวลา 66 นาที $V_{\sigma} = 70$ โวลต์ | 113 นาที $V_{\sigma} = 90$ โวลต์  |
| 164 นาที $V_{\sigma} = 110$ โวลต์       | 213 นาที $V_{\sigma} = 130$ โวลต์ |
| 245 นาที $V_{\sigma} = 150$ โวลต์       |                                   |

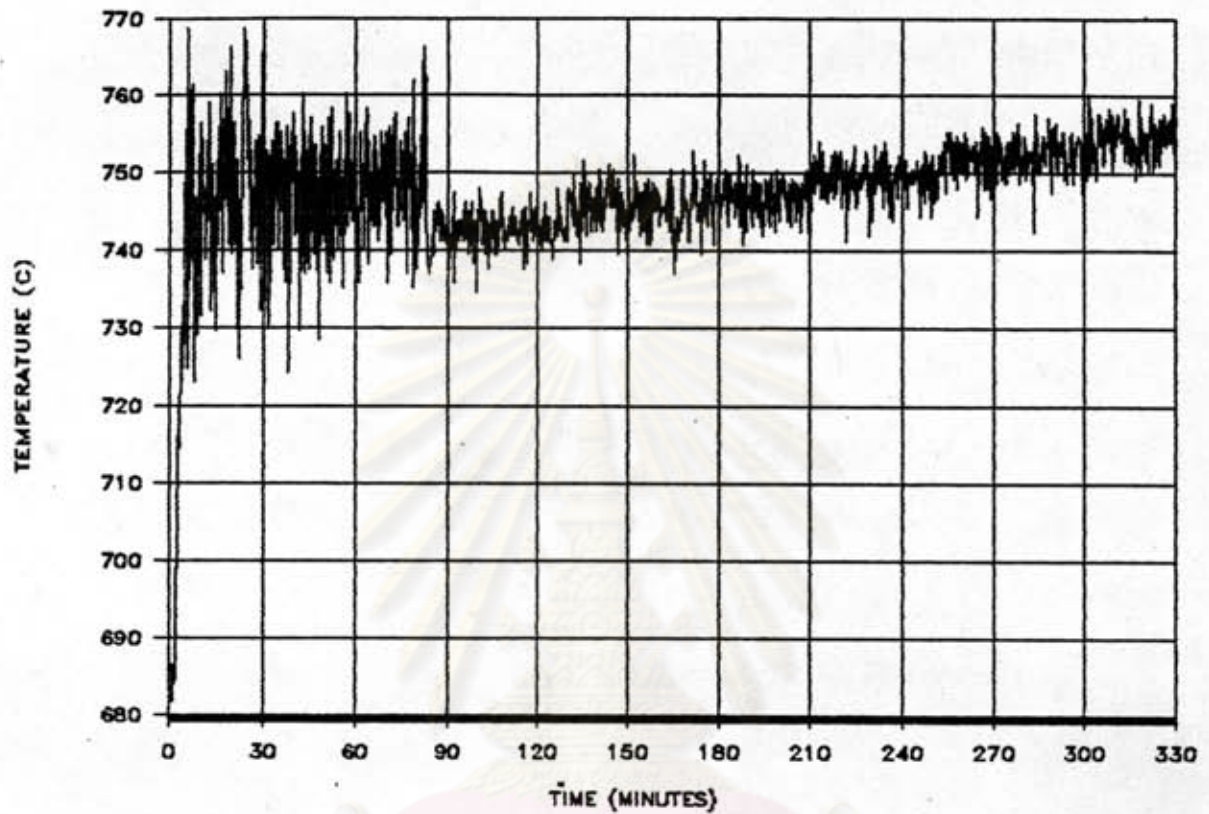


รูปที่ 4.3 ข.

ข. ความคุมอุณหภูมิที่ 700 องศาเซลเซียส

ที่เวลา 64 นาที  $V_g = 90$  โวลต์      126 นาที  $V_g = 110$  โวลต์

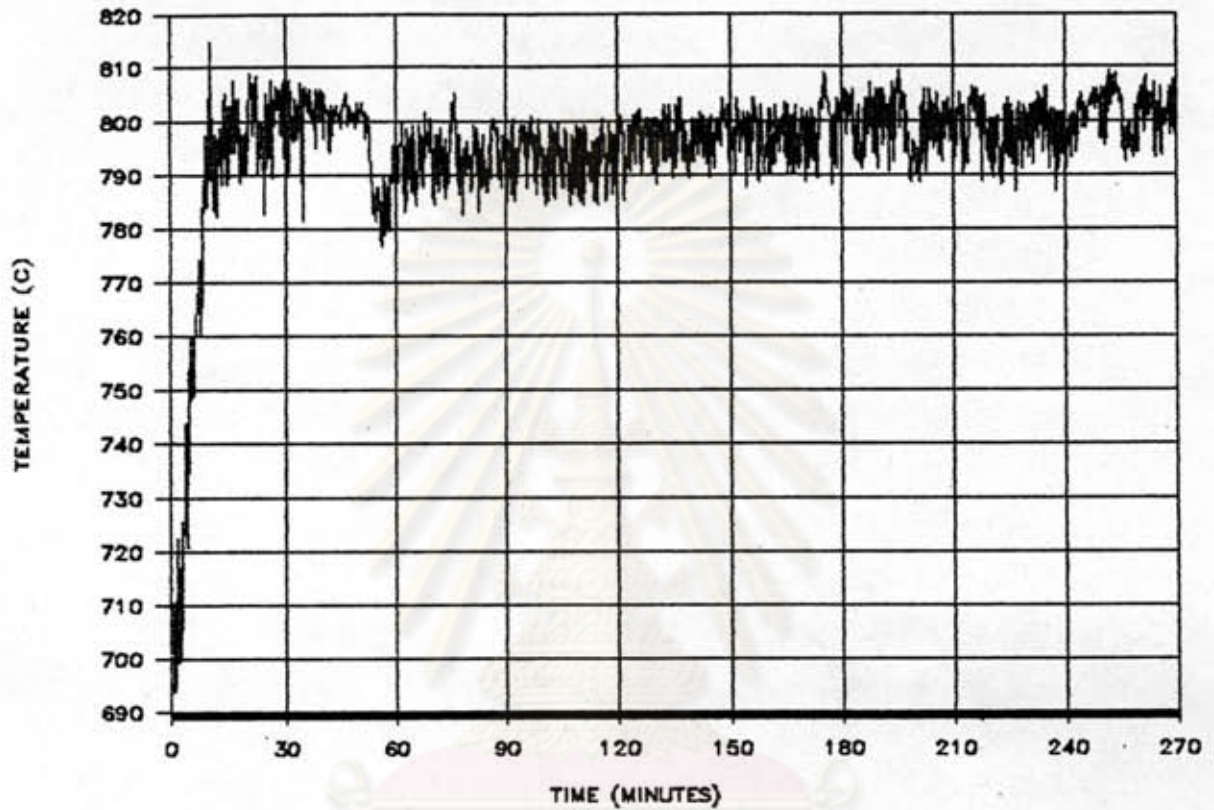
185 นาที  $V_g = 130$  โวลต์      244 นาที  $V_g = 150$  โวลต์



รูปที่ 4.3 ค.

ค. ความคุมอุณหภูมิที่ 750 องศาเซลเซียส

ที่เวลา 84 นาที	$V_g = 80$ โวลต์	129 นาที	$V_g = 100$ โวลต์
176 นาที	$V_g = 120$ โวลต์	209 นาที	$V_g = 140$ โวลต์
252 นาที	$V_g = 160$ โวลต์	298 นาที	$V_g = 180$ โวลต์

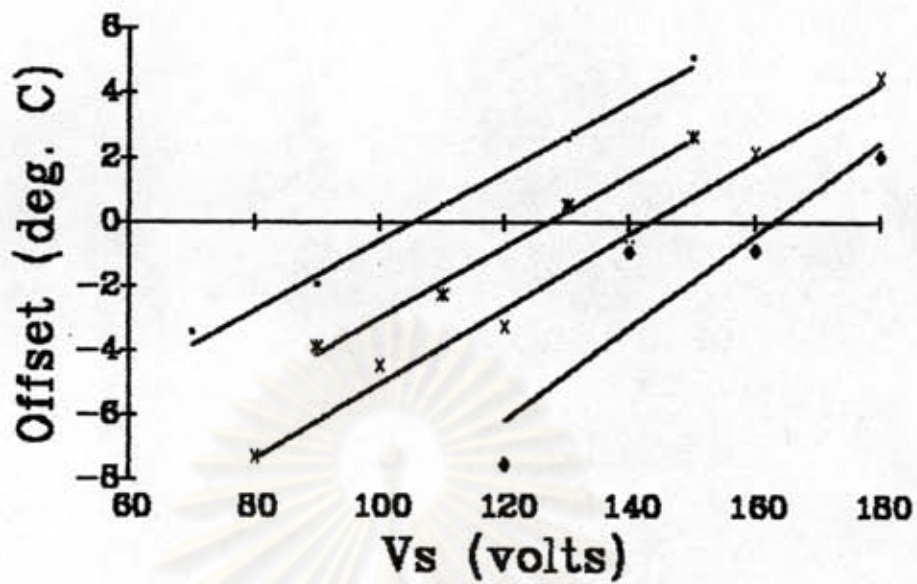


รูปที่ 4.3 ง.

ง. ความคุมอุณหภูมิที่ 800 องศาเซลเซียส

ที่เวลา 55 นาที	$V_s = 120$ โวลต์	120 นาที	$V_s = 140$ โวลต์
173 นาที	$V_s = 160$ โวลต์	243 นาที	$V_s = 180$ โวลต์

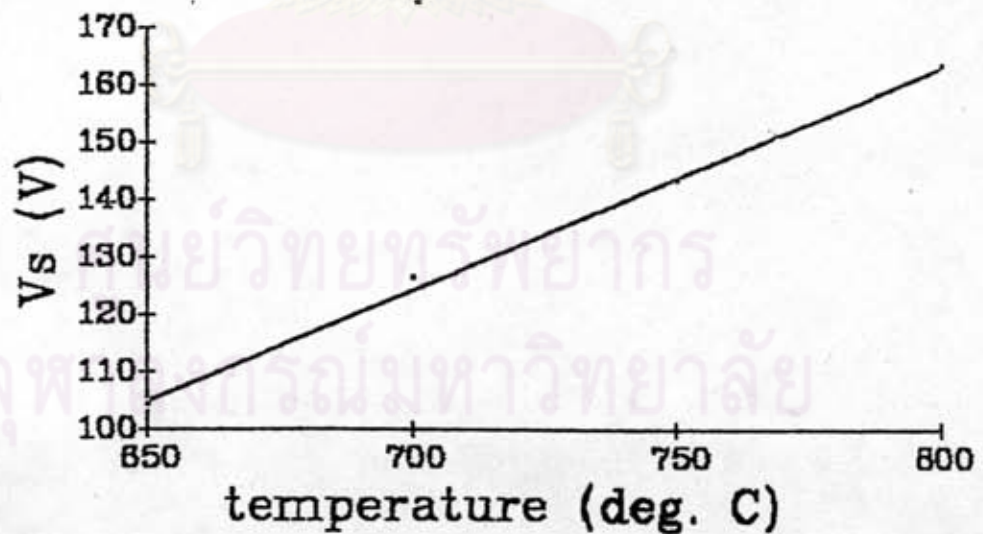




รูปที่ 4.4 อิทธิพลของ  $V_s$  ที่มีผลต่อออฟเซตของอุณหภูมิที่ควบคุมจากการควบคุมแบบ P

(●) 650 องศาเซลเซียส      (\*) 700 องศาเซลเซียส

(x) 750 องศาเซลเซียส      (◆) 800 องศาเซลเซียส



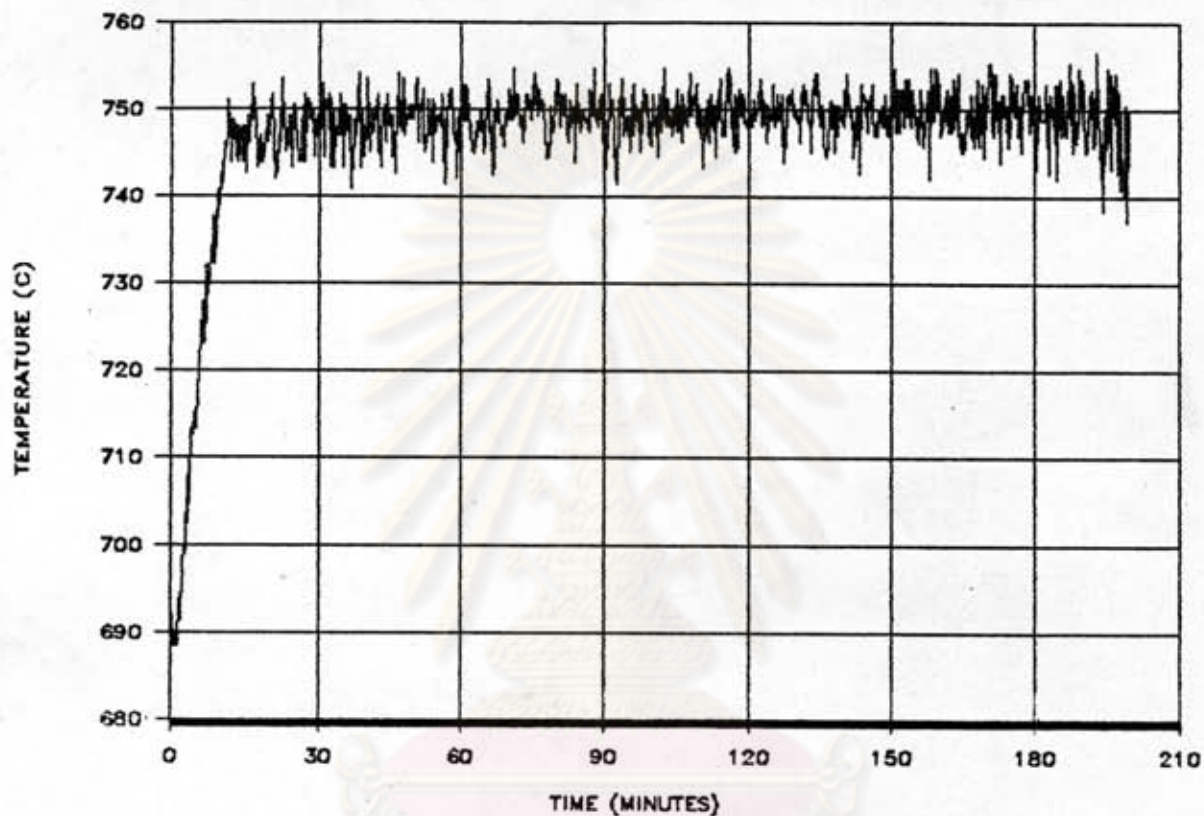
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $V_s$  ที่เหมาะสม กับอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม สำหรับการควบคุมแบบ P

#### 4.1.3 อิทธิพลของส่วนประกอบของสารตั้งต้นที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิเบด

การทดลองศึกษาอิทธิพลของส่วนประกอบของสารตั้งต้น ที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิเบด โดยใช้โปรแกรมควบคุมแบบ P ได้ทดลองที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ใช้ค่า  $V_{in}$  130 โวลต์ ค่า  $K_c$  15 โวลต์ต่อองศาเซลเซียส ความเร็วก๊าซ 3.5 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดเซชัน ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 470 กรัม ใช้อัตราส่วนของ  $H_2O/LPG = 2$  ถึง 8 พบว่า การควบคุมในสภาวะดังกล่าว เมื่อมีการเปลี่ยนส่วนประกอบของสารตั้งต้น  $H_2O/LPG$  ระหว่าง 2 ถึง 8 โปรแกรมควบคุมแบบ P ยังสามารถปรับอัตราการให้ความร้อนแก่เบดได้เหมาะสมตามการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของ  $H_2O/LPG$  จนสามารถควบคุมอุณหภูมิเบดได้อย่างสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 4.6

#### 4.1.4 อิทธิพลของอัตราเร็วในการป้อนสารตั้งต้นที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิเบด

การทดลองศึกษาอิทธิพลของอัตราเร็วในการป้อนสารตั้งต้นที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิเบด โดยใช้โปรแกรมควบคุมแบบ P ได้ทดลองที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 470 กรัม ใช้ค่า  $V_{in}$  130 โวลต์ ค่า  $K_c$  10 โวลต์ต่อองศาเซลเซียส อัตราส่วนของ  $H_2O/LPG = 4$  ความเร็วก๊าซ 1.5 ถึง 6 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดเซชัน ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.7 พบว่า การควบคุมในสภาวะดังกล่าวโปรแกรมควบคุมแบบ P สามารถควบคุมอุณหภูมิเบดได้อย่างคงที่ทุกค่าของความเร็วก๊าซที่ใช้ และถ้าความเร็วก๊าซที่ใช้เหมาะสมกับค่าคงที่ของการควบคุม อุณหภูมิเบดที่ควบคุมได้จะมีค่าเท่ากับที่กำหนดไว้ ( $T_o = T_{set}$ ) แต่ถ้าความเร็วของก๊าซที่ใช้ไม่เหมาะสมจะเกิดออฟเซตของอุณหภูมิเฉลี่ยจากสภาวะที่ควบคุมได้ ( $-8 < T_o - T_{set} < +8$  องศาเซลเซียส) เมื่อความเร็วของก๊าซสูงกว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับค่าคงที่ของการควบคุม อุณหภูมิเบดที่ควบคุมได้จะเกิดออฟเซตและมีค่าต่ำกว่าที่กำหนด ( $T_o < T_{set}$ ) แต่ถ้าความเร็วของก๊าซที่ใช้ต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับค่าคงที่ของการควบคุมอื่น อุณหภูมิเบดที่ควบคุมได้จะเกิดออฟเซตและมีค่าสูงกว่าที่กำหนดไว้ ( $T_o > T_{set}$ )



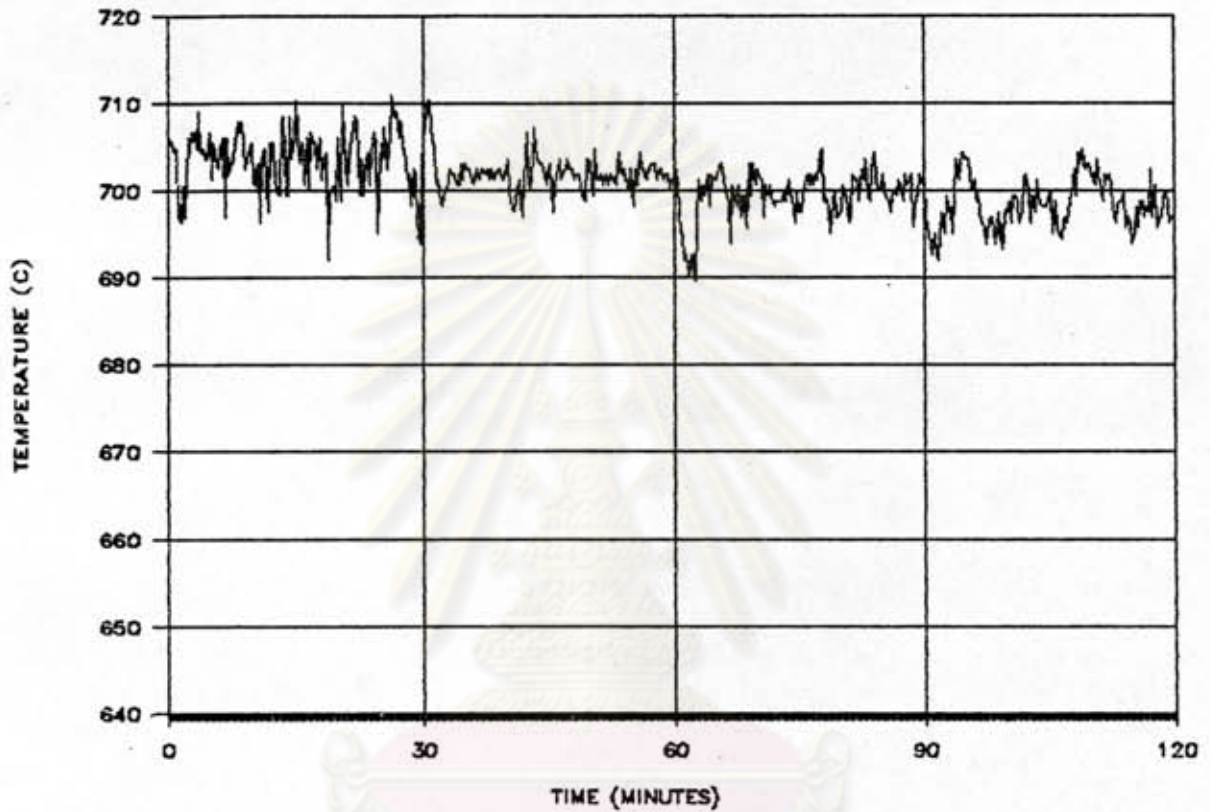
รูปที่ 4.6 อิทธิพลของส่วนประกอบของสารตั้งต้น  $H_2O/LPG$  ที่มีผลต่อการตอบสนองของ  
อุณหภูมิเบดที่ควบคุมได้จากการควบคุมแบบ P ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส  
 $V_s$  130 โวลต์  $K_c$  10 โวลต์ต่อองศาเซลเซียส

ที่เวลาเริ่มต้น  $H_2O/LPG = 2$

62 นาที  $H_2O/LPG = 4$

119 นาที  $H_2O/LPG = 6$

166 นาที  $H_2O/LPG = 8$



รูปที่ 4.7 อิทธิพลของอัตราเร็วในการบ่อนสารตั้งต้น  $U/U_{mr}$  ที่มีผลต่อการตอบสนองของ  
อแดกมิเบดที่ควบคุมได้จากการควบคุมแบบ P ที่อแดกมิ 700 องศาเซลเซียส  
 $V_s$  130 โวลต์  $K_c$  10 โวลต์ต่อองศาเซลเซียส

ที่เวลาเริ่มต้น  $U/U_{mr} = 1.5$

ที่เวลา 30 นาที  $U/U_{mr} = 3$

60 นาที  $U/U_{mr} = 4.5$

90 นาที  $U/U_{mr} = 6$

#### 4.2 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิเบตโดยใช้โปรแกรมควบคุมแบบ PI

โปรแกรมควบคุมอุณหภูมิเบตแบบ PI ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อที่จะลดออฟเซตของอุณหภูมิเฉลี่ยที่ควบคุมได้ ( $T_o - T_s$ ) จากการควบคุมแบบ P ในกรณีที่ค่า  $v_s$  ไม่เหมาะสม การปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของขดลวดให้ความร้อนที่หน้ารอบเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อควบคุมอุณหภูมิเบตจะเป็นไปตามสัญญาณที่ส่งมาจากไมโครคอมพิวเตอร์ ดังสมการ

$$v(t) = K_c (T_o - T(t)) + \frac{K_c}{T_i} \int_0^t (T_o - T(t)) dt + v_s \quad \dots\dots (4.2)$$

ตัวแปรที่จะศึกษาสำหรับการควบคุมแบบ PI ได้แก่  $T_i$  ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่มีผลในการลดออฟเซตของอุณหภูมิเฉลี่ยที่ควบคุมได้จากการควบคุมแบบ P ในกรณีที่ค่าคงที่  $v_s$  ที่ใช้ไม่เหมาะสม ค่าคงที่  $K_c$  จะถูกเลือกในช่วงที่เหมาะสมที่สุดจากการควบคุมแบบ P มาใช้ในการทดลอง จึงได้ลำดับการศึกษางานวิจัยไว้ดังนี้

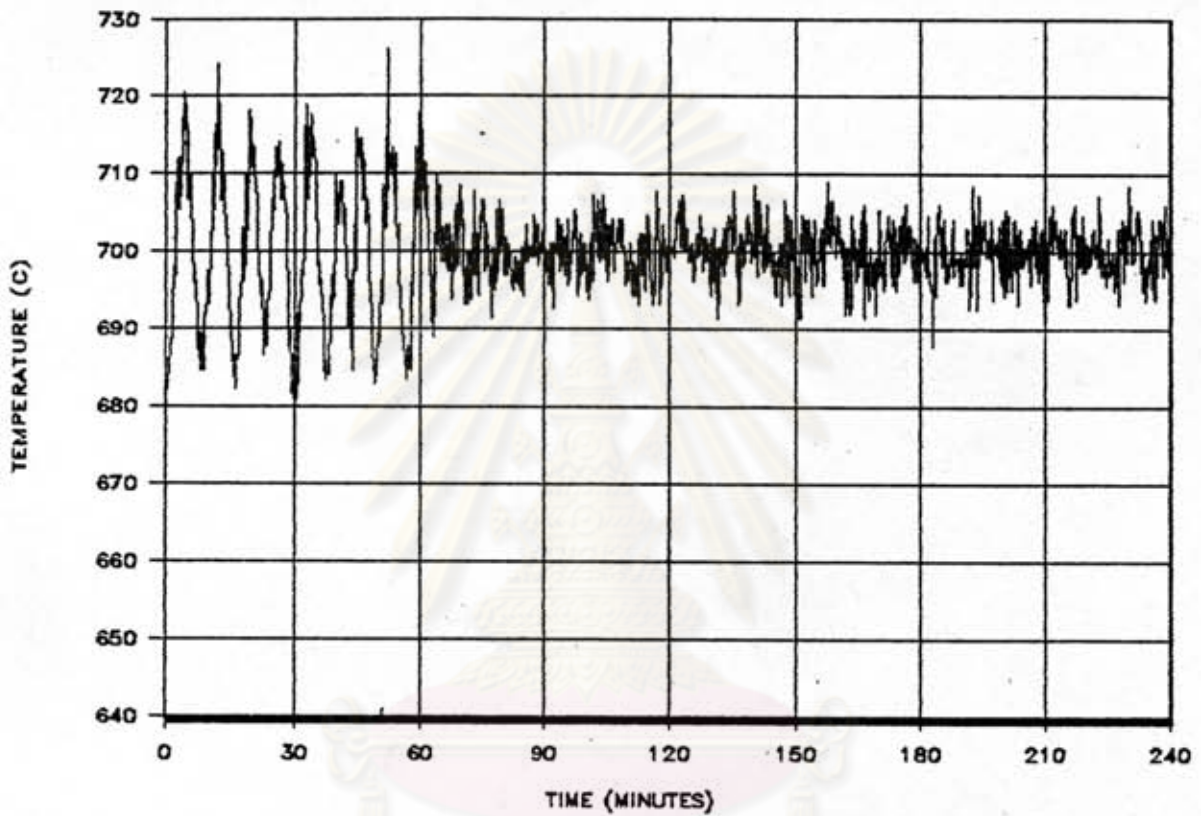
- ก. ศึกษาอิทธิพลของ  $T_i$  ที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิเบต
- ข. ศึกษาการใช้โปรแกรมควบคุมแบบ PI เพื่อแก้ออฟเซตของอุณหภูมิเฉลี่ย เนื่องมาจากการใช้โปรแกรมควบคุมแบบ P ในกรณีที่  $v_s$  ไม่เหมาะสม
- ค. ศึกษาอิทธิพลของอัตราเร็วในการบ่อนสารตั้งต้นที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิเบต

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.2.1 อิทธิพลของ $T_c$ ที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิเบด

การทดลองศึกษาอิทธิพลของ  $T_c$  ที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิเบดโดยใช้โปรแกรมควบคุมแบบ PI ได้ทดลองที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วก๊าซ 3.5 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชัน อัตราส่วนของ  $H_2O/LPG = 4$  ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 470 กรัม ใช้ค่า  $V_{in}$  130 โวลต์  $K_c$  12 โวลต์ต่อองศาเซลเซียส ค่า  $T_c$  ที่ใช้อยู่ระหว่าง 1 ถึง 15 นาที ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.8 พบว่า ในการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้โปรแกรมควบคุมแบบ PI สามารถควบคุมอุณหภูมิเบดได้ทุกค่าของ  $T_c$  แต่ถ้าค่า  $T_c$  ที่ใช้มีค่าต่ำ ( $T_c < 5$  นาที) จะเกิดการขึ้น-ลงของอุณหภูมิที่ควบคุมได้เป็นช่วงและเกิดการกระจายอยู่ในช่วงกว้าง แต่เมื่อค่า  $T_c$  เพิ่มขึ้น พบว่าจะไม่เกิดการขึ้น-ลงของอุณหภูมิเบดที่ควบคุมได้อีก และเกิดการเบี่ยงเบนของอุณหภูมิเบดอยู่ในช่วงที่แคบลงอีกด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



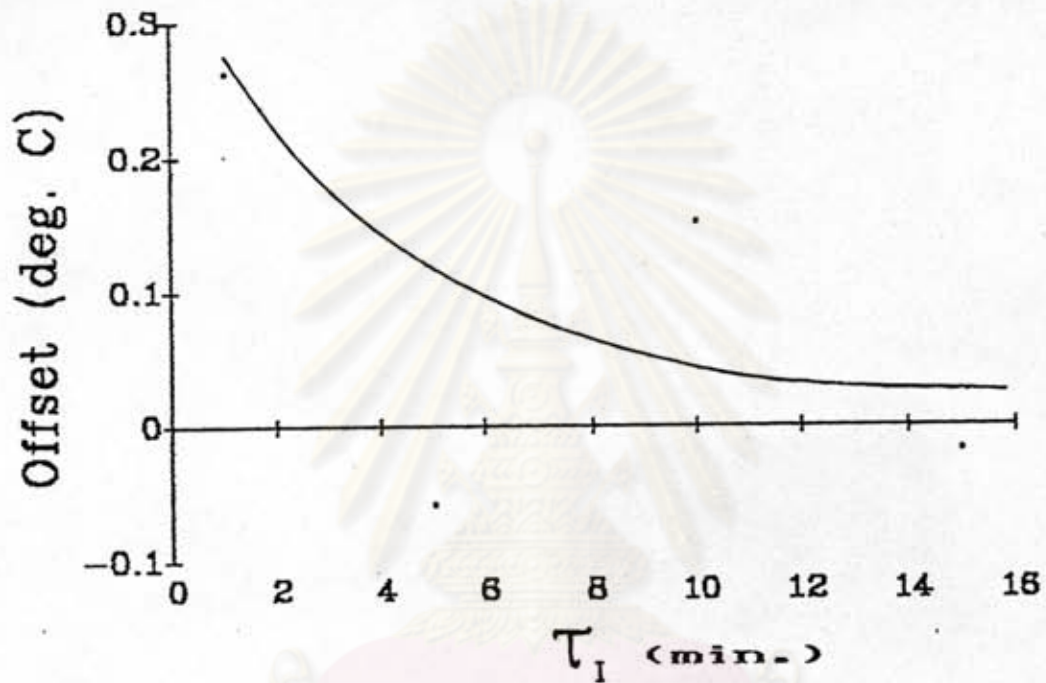
รูปที่ 4.8 อิทธิพลของ  $T_i$  ที่มีผลต่อการตอบสนองของอุณหภูมิเบดที่ควบคุมได้จากการควบคุมแบบ PI ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส  $V_s$  130 โวลต์  $K_c$  12 โวลต์ต่อองศาเซลเซียส

ที่เวลาเริ่มต้น  $T_i = 1$  นาที

ที่เวลา 60 นาที  $T_i = 5$  นาที

120 นาที  $T_i = 10$  นาที

180 นาที  $T_i = 15$  นาที



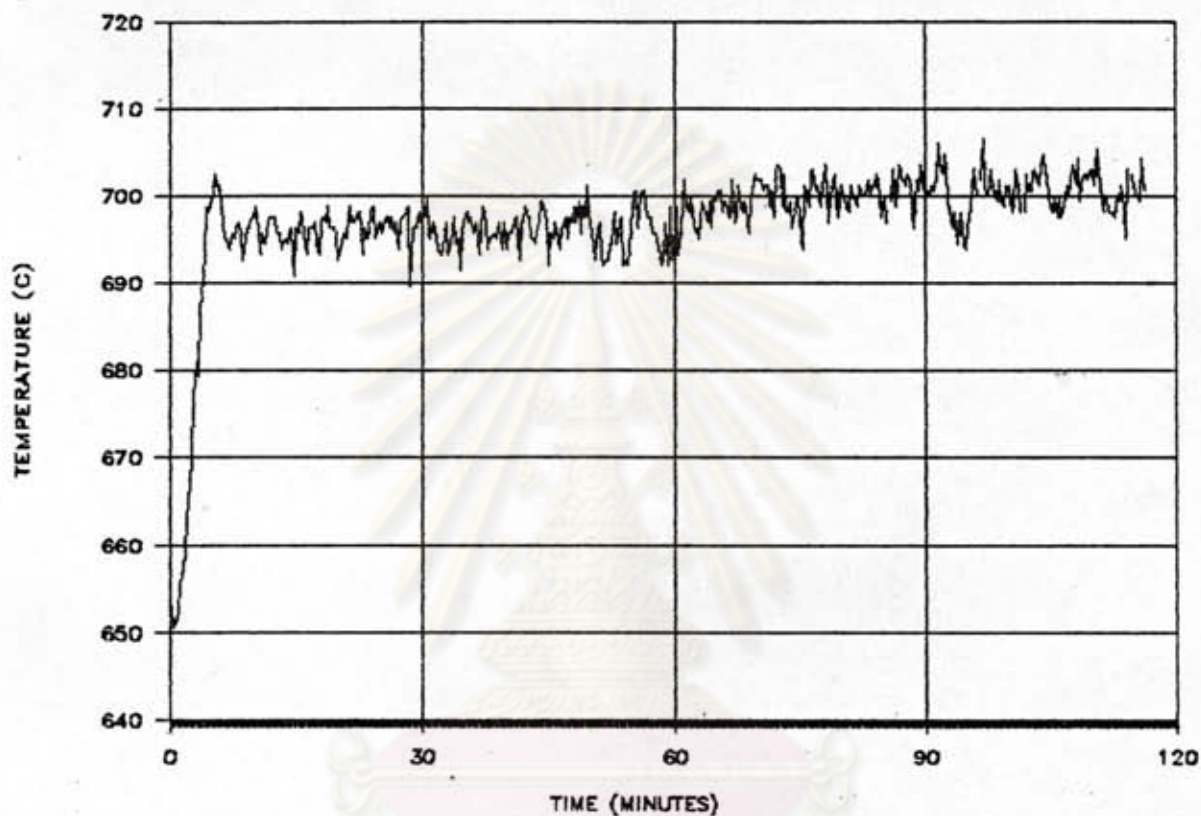
รูปที่ 4.9 อิทธิพลของ  $T_I$  ที่มีผลต่อค่าเบี่ยงเบนและออฟเซตของอุณหภูมิเบดที่ควบคุมได้ โดยการควบคุมแบบ PI ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส  $V_c$  130 โวลต์  $K_c$  12 โวลต์ต่อองศาเซลเซียส



4.2.2 การใช้โปรแกรมควบคุมแบบ PI เมื่อแก้ออฟเซทของอุณหภูมิเฉลี่ย เนื่องมาจากการใช้โปรแกรมควบคุมแบบ P ในกรณีที่  $v_{\infty}$  ไม่เหมาะสม

ผลการทดลองการใช้โปรแกรมควบคุมอุณหภูมิแบบ PI เปรียบเทียบกับการใช้โปรแกรมควบคุมอุณหภูมิแบบ P แสดงดังรูปที่ 4.10 ในการควบคุมแบบ P ทดลองที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วก๊าซ 3.5 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดเซชัน อัตราส่วนของ  $H_2O/LPG = 4$  ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 470 กรัม ใช้ค่า  $v_{\infty}$  90 โวลต์  $K_c$  12 โวลต์ต่อองศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.10 พบว่า การควบคุมแบบ P สามารถควบคุมอุณหภูมิเบดให้คงที่ได้ที่ 695 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเกิดออฟเซทของอุณหภูมิเฉลี่ยที่ควบคุมได้ 5 องศาเซลเซียส แต่เมื่อทดลองใช้การควบคุมแบบ PI โดยใช้ค่า  $T_i$  5 นาที ทำการทดลองที่สภาวะเดียวกัน พบว่า การควบคุมแบบ PI สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ 700 องศาเซลเซียส ให้คงที่ได้ตามต้องการ แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมควบคุมแบบ PI สามารถลดออฟเซทของอุณหภูมิเฉลี่ยที่ควบคุม จากการควบคุมแบบ P ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 การลดค่าออฟเซตของการควบคุมแบบ P ด้วยการควบคุมแบบ PI

ที่อุณหภูมิที่ต้องการ 700 องศาเซลเซียส

ที่เวลาเริ่มต้น

ควบคุมแบบ P

$V_e$  90 โวลต์  $K_c$  10 โวลต์ต่อองศาเซลเซียส

ที่เวลา 60 นาที

ควบคุมแบบ PI

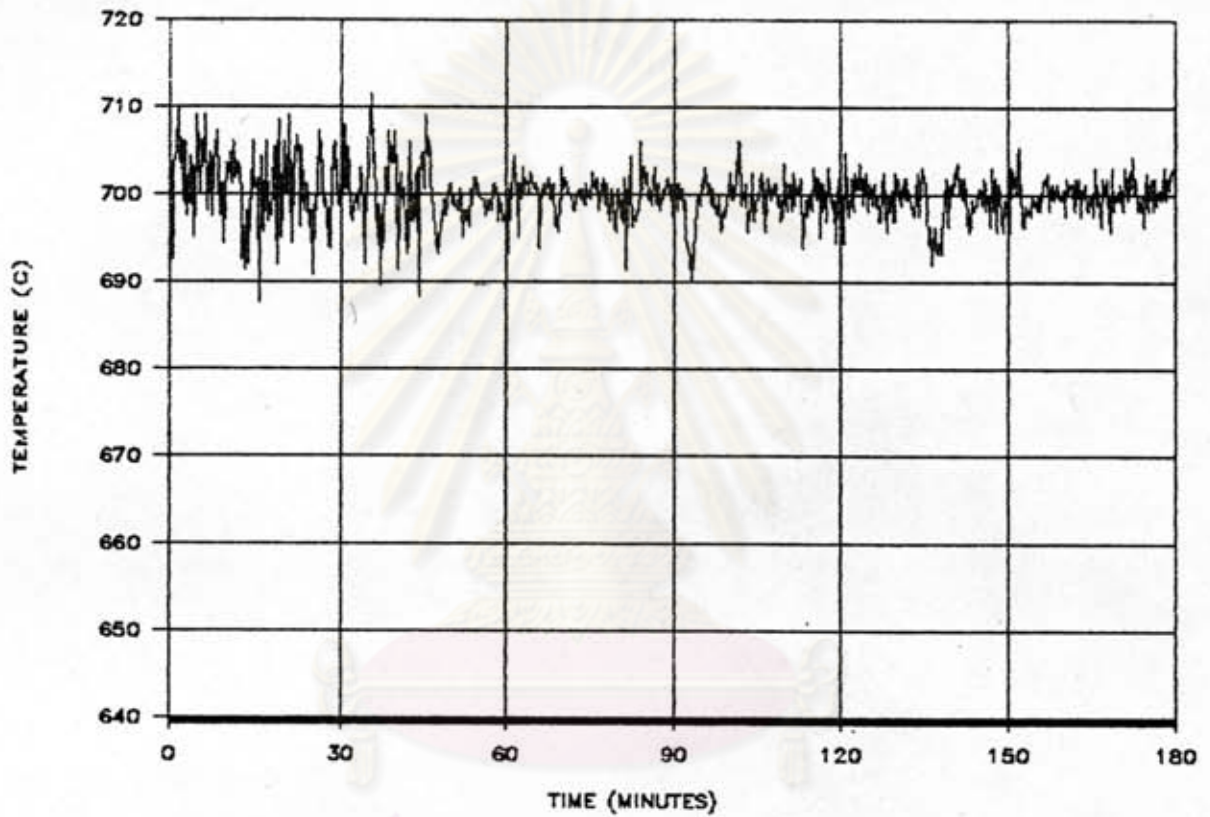
$V_e$  90 โวลต์  $K_c$  10 โวลต์ต่อองศาเซลเซียส

$T_i$  5 นาที

#### 4.2.3 อิทธิพลของอัตราเร็วในการบ้อนสารตั้งต้นที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิเบด

การทดลองศึกษาอิทธิพลของอัตราเร็วในการบ้อนสารตั้งต้นที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิเบด โดยใช้โปรแกรมควบคุมแบบ PI ได้ทดลองที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 470 กรัม ใช้ค่า  $V_{\text{g}}$  130 โวลต์ ค่า  $K_c$  10 โวลต์ต่อองศาเซลเซียส  $\tau_i = 10$  นาที อัตราส่วนของ  $\text{H}_2\text{O}/\text{LPG} = 4$  ความเร็วก๊าซ 1.5 ถึง 6 เท่า ของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชัน จากการทดลอง พบว่า การควบคุมในสภาวะดังกล่าว เมื่อมีการเปลี่ยนอัตราเร็วในการบ้อนสารตั้งต้นระหว่าง 1.5 ถึง 6 โปรแกรมควบคุมแบบ PI ยังสามารถปรับอัตราการให้ความร้อนแก่เบดได้อย่างเหมาะสม ตามการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วในการบ้อนสารตั้งต้นจะสามารถควบคุมอุณหภูมิเบดได้อย่างสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 4.11

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 อิทธิพลของอัตราเร็วในการบ่อนสารตั้งต้น  $U/U_{mr}$  ที่มีผลต่อการตอบสนองของ  
 อนุกรมเบตที่ควบคุมได้จากการควบคุมแบบ PI ที่อนุกรม 700 องศาเซลเซียส  
 $V_s$  130 โวลต์  $K_c$  10 โวลต์ต่อองศาเซลเซียส  $\tau_i$  10 นาที

ที่เวลาเริ่มต้น  $U/U_{mr} = 1.5$

ที่เวลา 45 นาที  $U/U_{mr} = 3$

90 นาที  $U/U_{mr} = 4.5$

135 นาที  $U/U_{mr} = 6$

#### 4.3 ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิเขต โดยใช้โปรแกรมควบคุมแบบ PID

โปรแกรมควบคุมแบบ PID ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดออฟเซตของอุณหภูมิเฉลี่ยที่ควบคุมได้ ( $T_o - T_s$ ) จากการควบคุมแบบ P ในกรณีที่ค่า  $v_s$  ไม่เหมาะสมและปรับอัตราการให้ความร้อนให้ระบบเข้าสู่ภาวะคงที่ได้เร็วที่สุดเมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลง จากนั้น นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการควบคุมแบบ PI การปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของขดลวดให้ความร้อนที่ห่อรอบเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อควบคุมอุณหภูมิเขต จะเป็นไปตามสัญญาณที่ส่งมาจากไมโครคอมพิวเตอร์ ดังสมการ

$$v(t) = K_c(T_s - T(t)) + \frac{K_c}{\tau_i} \int_0^t (T_s - T(t)) dt + K_c \tau_d \frac{d(T_s - T(t))}{dt} + v_s \quad \dots\dots (4.3)$$

ตัวแปรที่จะศึกษาสำหรับการควบคุมแบบ PID ได้แก่  $\tau_o$  ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่มีผลในการปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของขดลวดให้ความร้อน ค่าคงที่  $K_c$  และ  $\tau_i$  ที่ใช้ในการทดลองจะถูกเลือกจากช่วงที่เหมาะสมที่สุดจากการควบคุมแบบ P และ PI ตามลำดับ จึงได้ลำดับการศึกษางานวิจัยไว้ดังนี้

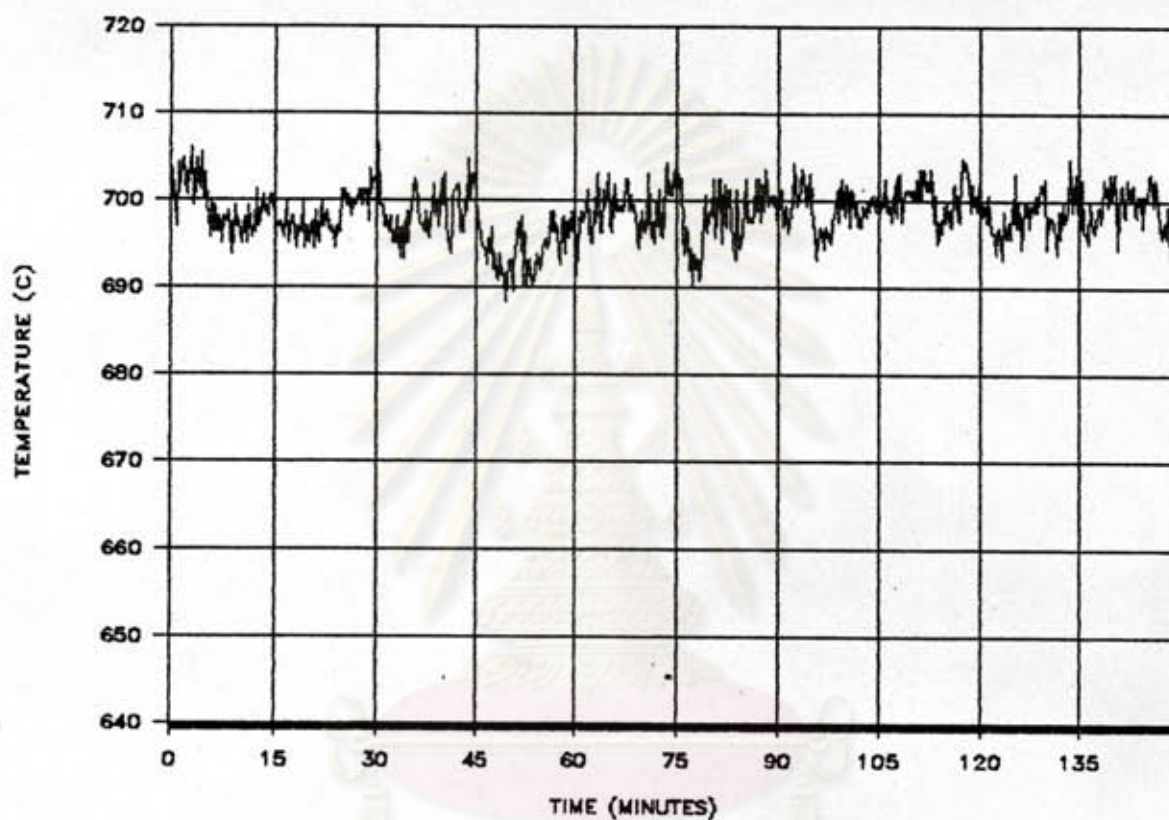
- ก. ศึกษาอิทธิพลของ  $\tau_o$  ที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิเขต
- ข. ศึกษาการใช้โปรแกรมควบคุมแบบ PID เพื่อแก้ออฟเซตของอุณหภูมิเฉลี่ย เนื่องมาจากการใช้โปรแกรมควบคุมแบบ P ในกรณีที่  $v_s$  ไม่เหมาะสม เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับการใช้โปรแกรมควบคุมแบบ PI

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.3.1 อิทธิพลของ $T_0$ ที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิเบด

การทดลองศึกษาอิทธิพลของ  $T_0$  ที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิเบดโดยใช้โปรแกรมควบคุมแบบ PID ได้ทดลองที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วก๊าซ 3.5 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชัน อัตราส่วนของ  $H_2O/LPG = 4$  ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 470 กรัม ใช้ค่า  $V_0$  130 โวลต์  $K_c$  12 โวลต์ต่อองศาเซลเซียส  $T_1$  5 นาที ค่า  $T_0$  ที่ใช้อยู่ระหว่าง 0.02 ถึง 5 นาที ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.12 พบว่าในการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้โปรแกรมควบคุมแบบ PID สามารถควบคุมอุณหภูมิเบดได้ทุกค่าของ  $T_0$  ในช่วง 0.02 ถึง 5 นาที เมื่อทดลองใช้ค่า  $T_0$  ที่มีค่าสูง (มากกว่า 0.1 นาที) พบว่ามีการขึ้น-ลงของอุณหภูมิอย่างเป็นช่วงเกิดขึ้น เมื่อทำการลดค่า  $T_0$  ที่ใช้ให้ต่ำลง (ต่ำกว่า 0.1 นาที) พบว่าไม่เกิดการขึ้น-ลงของอุณหภูมิอย่างเป็นช่วงเกิดขึ้นอีก และสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ดีกว่าเมื่อใช้ค่า  $T_0$  ที่มีค่าสูง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.12 อิทธิพลของ  $\tau_o$  ที่มีผลต่อการตอบสนองของอุณหภูมิเบดที่ควบคุมได้จากการควบคุมแบบ PID ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส  $V_s$  130 โวลต์  $K_c$  12 โวลต์ต่อองศาเซลเซียส  $\tau_i$  5 นาที

ที่เวลาเริ่มต้น  $\tau_o = 5$  นาที  
 ที่เวลา 45 นาที  $\tau_o = 1$  นาที  
 75 นาที  $\tau_o = 0.1$  นาที  
 120 นาที  $\tau_o = 0.02$  นาที

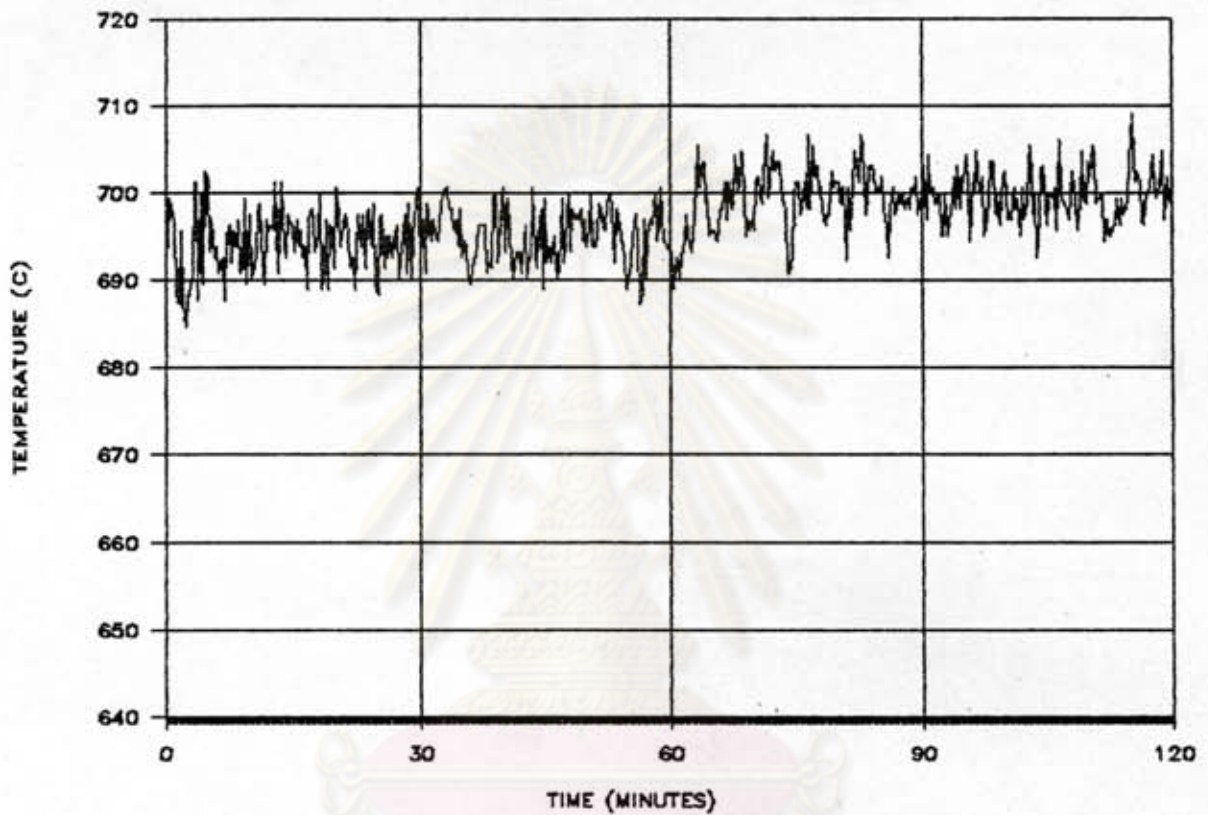
4.3.2 การใช้โปรแกรมควบคุมแบบ PID เพื่อแก้ออฟเซทของอุณหภูมิเฉลี่ย เนื่องมาจากการใช้โปรแกรมควบคุมแบบ P ในกรณีที่  $v_u$  ไม่เหมาะสม เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับการใช้โปรแกรมควบคุมแบบ PI

ผลการทดลองการใช้โปรแกรมควบคุมอุณหภูมิแบบ PID เปรียบเทียบกับการใช้โปรแกรมควบคุมอุณหภูมิแบบ P แสดงดังรูปที่ 4.13 ในการควบคุมแบบ P ทดลองที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วก๊าซ 3.5 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดเซชัน อัตราส่วนของ  $H_2O/LPG = 4$  ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 470 กรัม ใช้ค่า  $v_u$  90 โวลต์  $K_c$  12 โวลต์ต่อองศาเซลเซียส พบว่า การควบคุมแบบ P ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 695 องศาเซลเซียส ซึ่งเกิดออฟเซทของอุณหภูมิเฉลี่ยจากสภาวะที่ควบคุม 5 องศาเซลเซียส เมื่อทำการทดลองใช้การควบคุมแบบ PID โดยใช้ค่า  $\tau_i$  5 นาที และ  $\tau_d$  0.02 นาที ที่สภาวะเดียวกัน พบว่า การควบคุมแบบ PID สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ 700 องศาเซลเซียส ให้คงที่ได้ตามต้องการ แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมควบคุมแบบ PID สามารถลดออฟเซทของอุณหภูมิเฉลี่ยที่เกิดจากการควบคุมแบบ P ได้

เมื่อนำผลที่ได้จากการทดลองควบคุมอุณหภูมิโดยใช้โปรแกรมควบคุมแบบ PID ดังรูปที่ 4.13 เปรียบเทียบกับผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิโดยใช้โปรแกรมควบคุมแบบ PI ดังรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่า ในการควบคุมอุณหภูมิโดยโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิของทั้งสองโปรแกรมสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในเบดได้เป็นอย่างดี และจะให้ผลของลักษณะการควบคุมอุณหภูมิที่เหมือนกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 4.13 การลดค่าออฟเซตของการควบคุมแบบ P ด้วยการควบคุมแบบ PID

ที่อุณหภูมิที่ต้องการ 700 องศาเซลเซียส

ที่เวลาเริ่มต้น ควบคุมแบบ P

$V_s$  90 โวลต์  $K_c$  10 โวลต์ต่อองศาเซลเซียส

ที่เวลา 60 นาที ควบคุมแบบ PID

$V_s$  90 โวลต์  $K_c$  10 โวลต์ต่อองศาเซลเซียส

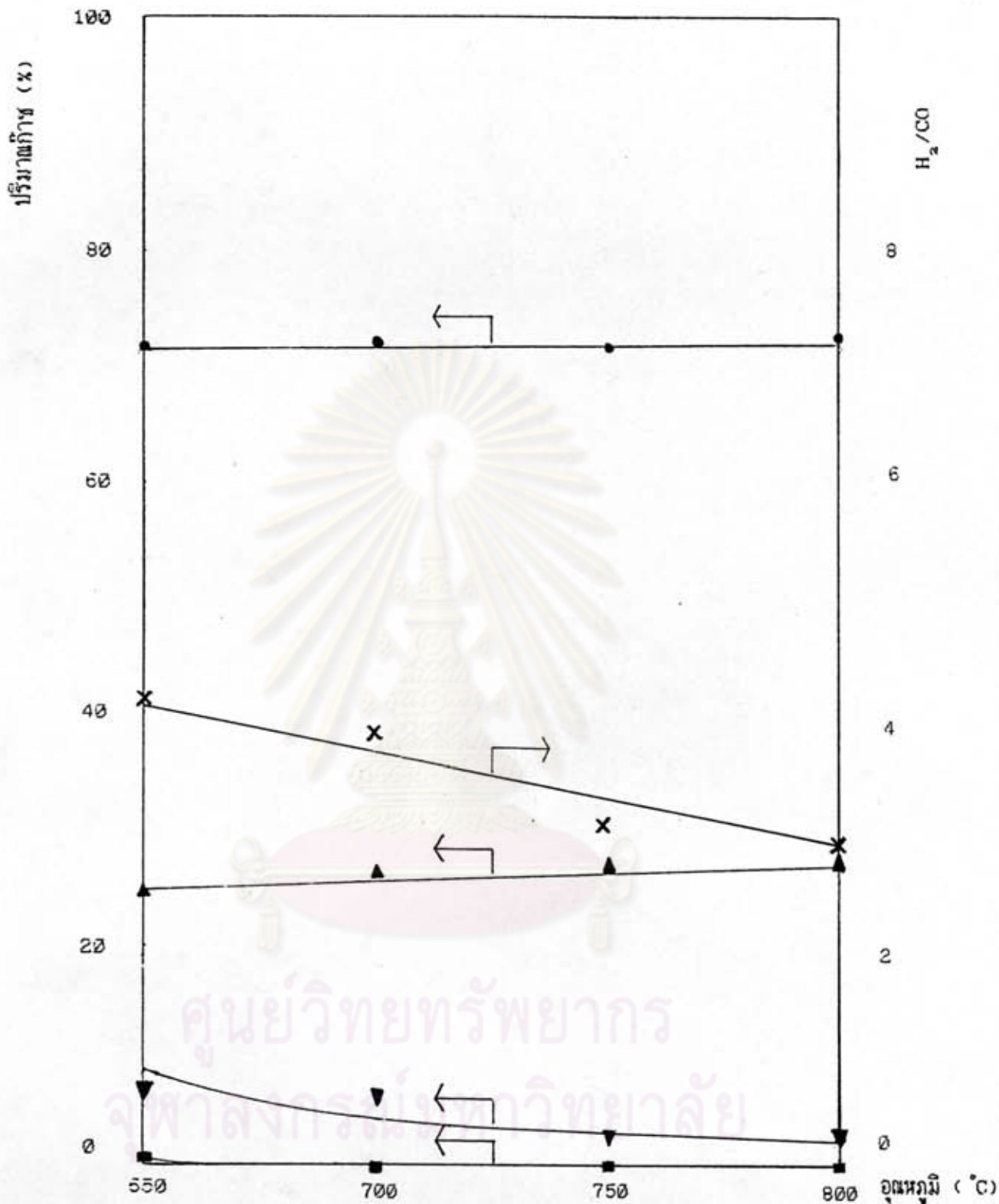
$T_i$  5 นาที  $T_d$  0.02 นาที

#### 4.4 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งแอล พี จี ด้วยไอน้ำ

การทดลองศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งแอล พี จี ด้วยไอน้ำ ได้ทดลองศึกษาในช่วงอุณหภูมิ 650 ถึง 800 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 470 กรัม อัตราส่วนของ  $H_2O/LPG = 4$  ความเร็วก๊าซ 3.5 เท่าของความเร็วย่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชัน จากผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้  $CO$  เพิ่มขึ้น  $CO_2$  ลดลง  $H_2$  ค่อนข้างคงที่  $CH_4$  ลดลง สำหรับก๊าซแอล พี จี ซึ่งใช้เป็นสารตั้งต้นจะถูกเปลี่ยนเป็นสารผลิตภัณฑ์หมดทุกการทดลอง



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

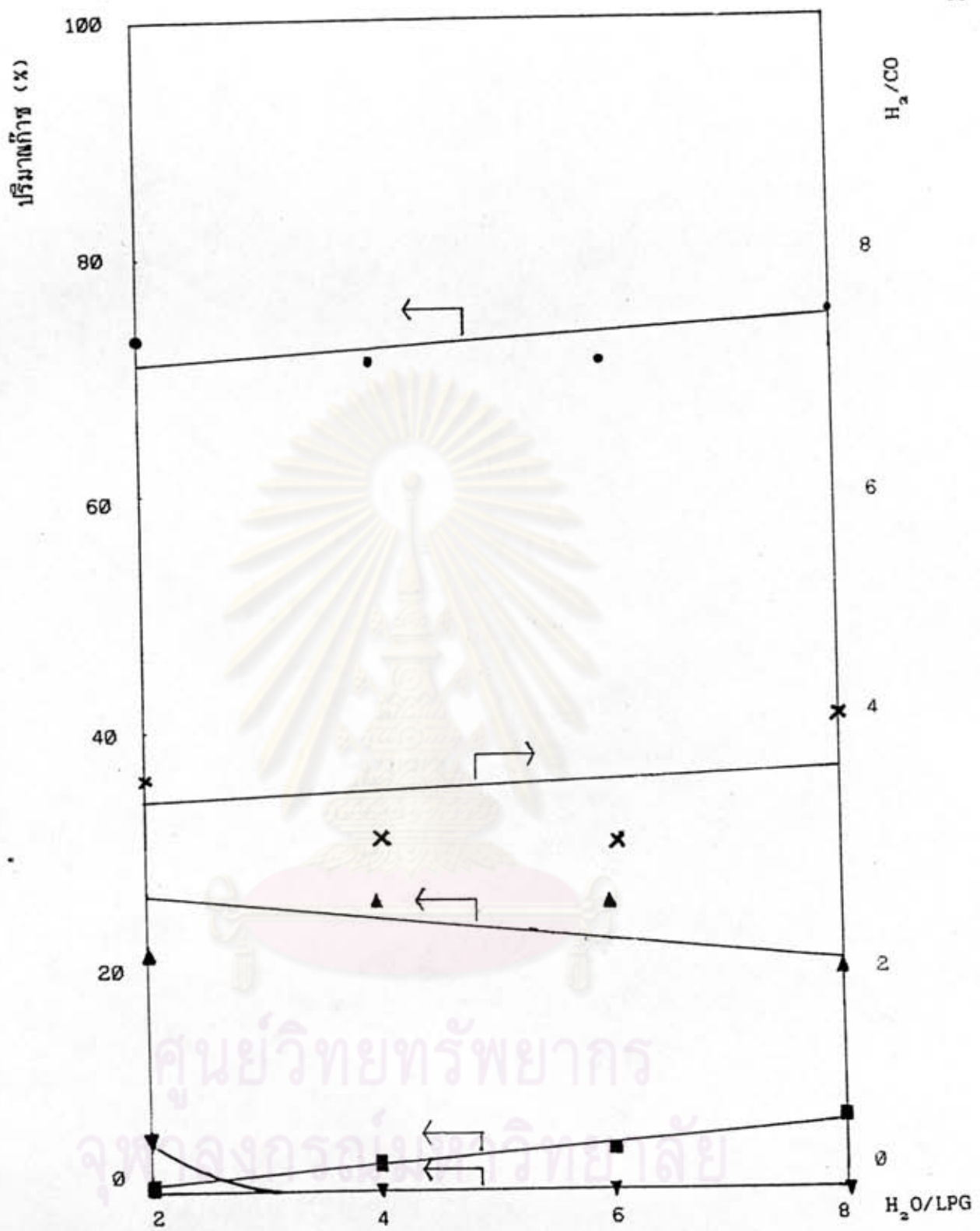


รูปที่ 4.14 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาฟอรัมมิ่งแอล นี จี ด้วยไอน้ำ เมื่ออัตราการป้อนสารตั้งต้น  $U/U_{nr} = 3.5$  ส่วนประกอบของสารตั้งต้น  $H_2O/LPG = 4$  ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 470 กรัม (●) ไฮโดรเจน (▲) คาร์บอนมอนอกไซด์ (▼) คาร์บอนไดออกไซด์ (■) มีเทน (X)  $H_2/CO$

#### 4.5 อิทธิพลของอัตราส่วน $H_2O/LPG$ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาฟอรัมมิ่งแอล นิ จี ด้วยไอน้ำ

การทดลองศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วน  $H_2O/LPG$  ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาฟอรัมมิ่งแอล นิ จี ด้วยไอน้ำ ได้ทดลองศึกษาในช่วงอัตราส่วนของ  $H_2O/LPG$  ตั้งแต่ 2 ถึง 8 กระทำที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 470 กรัม อัตราส่วนของ  $H_2O/LPG = 4$  ความเร็วก๊าซ 3.5 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชัน จากผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.15 พบว่า เมื่ออัตราส่วน  $H_2O/LPG$  เพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้  $CO_2$  เพิ่มขึ้น  $CO$  มีแนวโน้มลดลง  $H_2$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย  $CH_4$  ลดลงอย่างมาก สำหรับก๊าซแอล นิ จี ซึ่งใช้เป็นสารตั้งต้นจะถูกเปลี่ยนเป็นสารผลิตภัณฑ์หมดทุกการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.15 อิทธิพลของส่วนประกอบของสารตั้งต้น H<sub>2</sub>O/LPG ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยา รีฟอร์มมิ่งแอล ฟี จี ด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เมื่ออัตราการ บ้อนสารตั้งต้น U/P<sub>in</sub> = 3.5 ส่วนประกอบของสารตั้งต้น H<sub>2</sub>O/LPG = 4 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 470 กรัม (●) ไฮโดรเจน (▲) คาร์บอนมอนอกไซด์ (■) คาร์บอนไดออกไซด์ (▼) มีเทน (×) H<sub>2</sub>/CO