เอกสารอ้างอิง

1. เอ็มแอนด์อี, บริษัทจำกัด. **คู่มือวิศวกรเครื่องกล (ฉบับพิมพ์ปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติม)**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: เอเชียเพรส, 3-134 - 3-152, 2535.
2. กัญจนา บุณยเกียรติ. การคำนวณขั้นต้นในวิชาวิศวกรรมเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 363-490, ภาคผนวก ข, ง, จ, ช, 2531.
3. Rhine, J. M. and Tucker, R. J. Modeling of Gas-Fired Furnaces and Boilers and other Industrial Heating Processes. 1st ed. London: McGraw-Hill, 1991.
4. สุเธียร เกียรติสุนทร. พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุมในกระบวนการอุตสาหกรรม 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2536.
5. Stephanopoulos, G. Chemical Process Control: An Introduction to Theory and Practice. New Jersey: P T R Prentice-Hall, 1990.
6. Smith, C. A. and Corripio A. B. Principles and Practice of Automatic Process Control. New York: John Wiley & Sons, 1985
7. Seborg, D. E., Edgar, T. F., and Mellichamp D. A. Process Dynamics and Control. Singapore: John Wiley & Sons, 1989.
8. Coughanowr, D. R. Process Systems Analysis and Control. 2nd ed. Singapore: McGraw-Hill, 1991.
9. สุเธียร เกียรติสุนทร. พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุมในกระบวนการอุตสาหกรรม 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2537.
10. Luyben, W. L. Process Modeling, Simulation, and Control for Chemical Engineers. 2nd ed. Singapore: McGraw-Hill, 1990.
11. Derenzo, S. E. INTERFACING: A Laboratory Approach Using the Microcomputer for Instrumentation, Data Analysis, and Control. New Jersey: Prentice-Hall, 1990.

12. เก็จวลี พฤกษาทร. การควบคุมการเผาไหม้ถ่านหินในฟลูอิไดซ์เบดด้วยไมโครคอมพิวเตอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2533.

13. สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์. หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2535.

14. Pritchard, R., Guy, J. J., and Connor, N. E. Handbook of Industrial Gas Utilization. London: Van Nostrand Reinhold Company, 1977.

15. American Institute of Physics. TEMPERATURE: Its Measurement and Control in Science and Industry. 6th ed. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1956.

16. Wolfe, H. C., eds. TEMPERATURE: Its Measurement and Control in Science and Industry Volume II. 2nd ed. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1956.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

มาตรฐานส่วนประกอบของก๊าซแอลพีจีในประเทศไทย

มาตรฐานส่วนประกอบของก๊าซแอลพีจีที่ใช้ในการอ้างอิงกับผลการทดลองของงานวิจัยนี้ได้ข้อมูลมาจากสองแหล่งคือ

- กองควบคุมคุณภาพ การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ข้อมูลแสดงดังตารางที่ ก1

ตารางที่ ก1 แสดงส่วนประกอบร้อยละโดยโมลของก๊าซแอลพีจีมาตรฐาน

ส่วนประกอบ	กองควบคุมคุณภาพ การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย	สำนักงานมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
Ethane	0.54	0.20
Propane	65.39	64.20
i-Butane	14.16	35.34
n-Butane	19.82	
Pentane plus	0.09	0.26
รวม	100.00	100.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

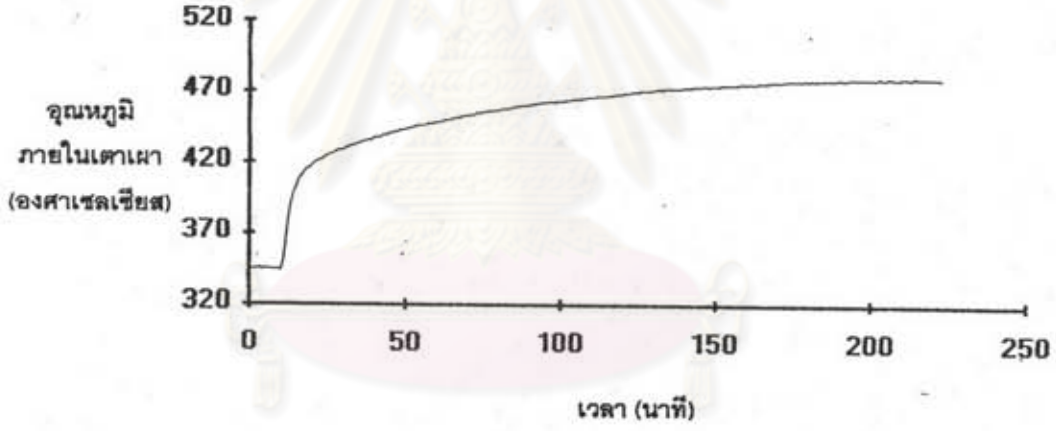
ภาคผนวก ข

ข้อมูลความสัมพันธ์ของตัวแปรเข้าและตัวแปรออกของกระบวนการ

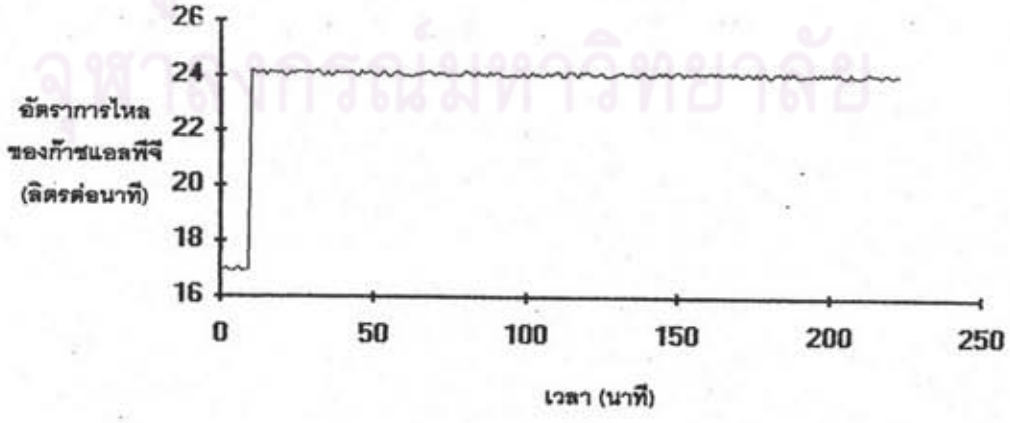
กระบวนการในงานวิจัยนี้คือเตาเผาแบบดราฟท์ดาวน์มีตัวแปรเข้าและตัวแปรออกดังนี้

- ตัวแปรเข้า คือ อัตราการไหลโดยปริมาตรของก๊าซแอลพีจี
- ตัวแปรออก คือ อุณหภูมิภายในเตาเผา

1. ข้อมูลชุดที่ 1

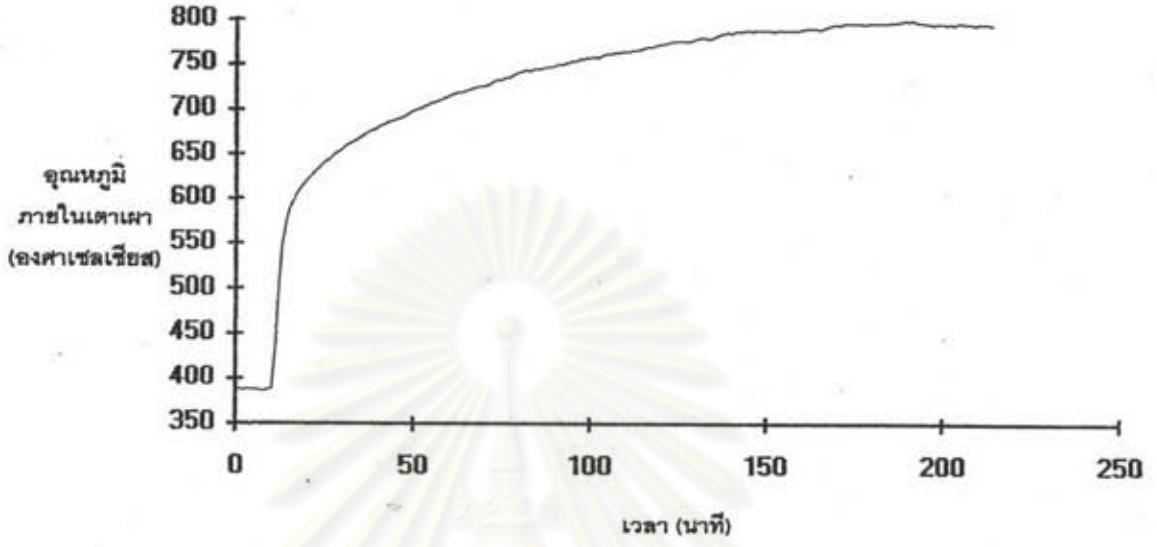


รูปที่ ข1 ข้อมูลตัวแปรออกของกระบวนการ ชุดที่ 1

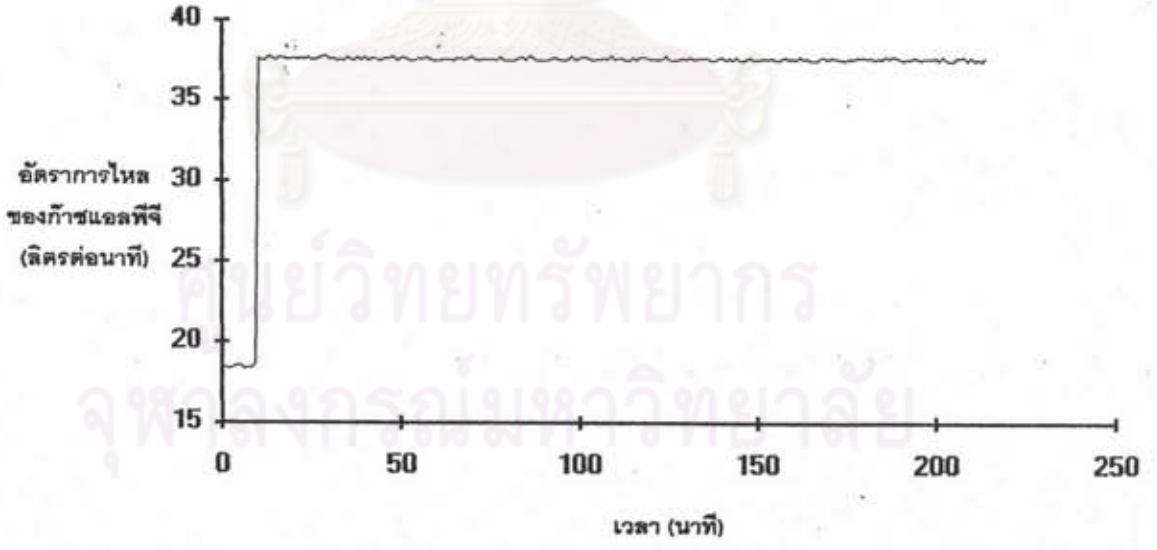


รูปที่ ข2 ข้อมูลตัวแปรเข้ากระบวนการ ชุดที่ 1

2. ข้อมูลชุดที่ 2



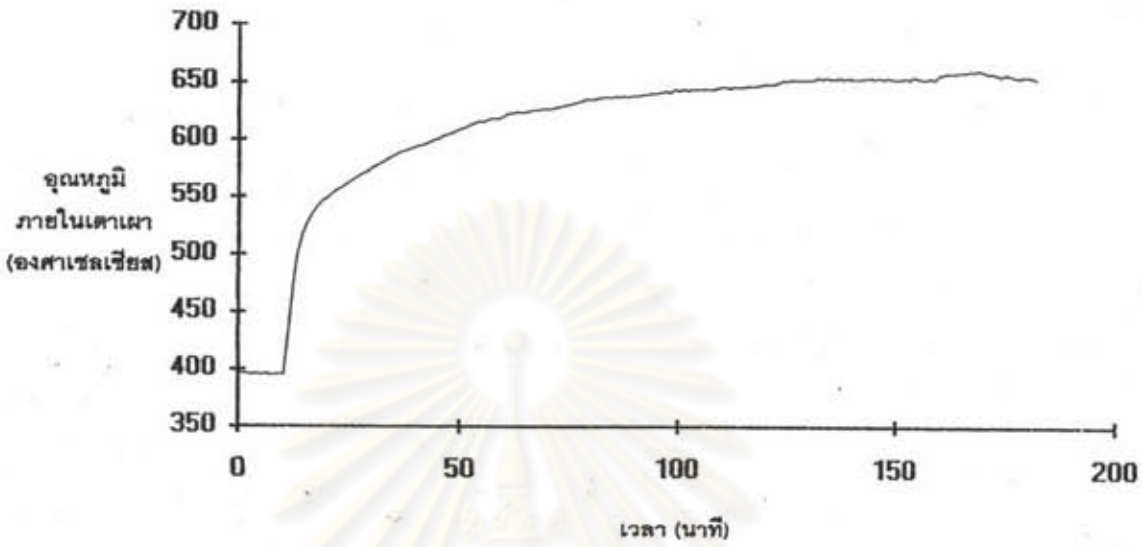
รูปที่ ข3 ข้อมูลตัวแปรออกของกระบวนการ ชุดที่ 2



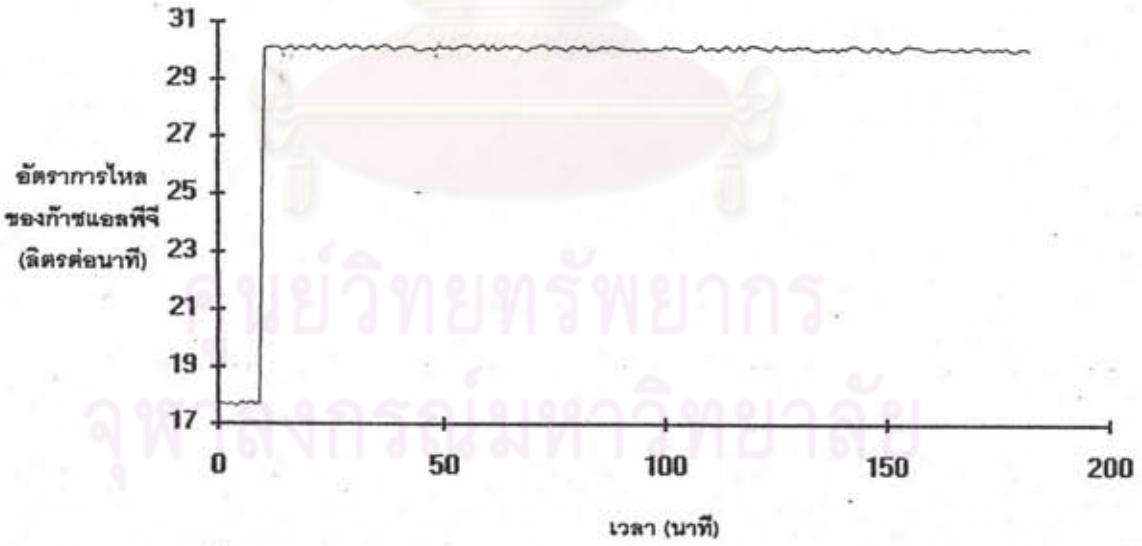
รูปที่ ข4 ข้อมูลตัวแปรเข้ากระบวนการ ชุดที่ 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ข้อมูลชุดที่ 3



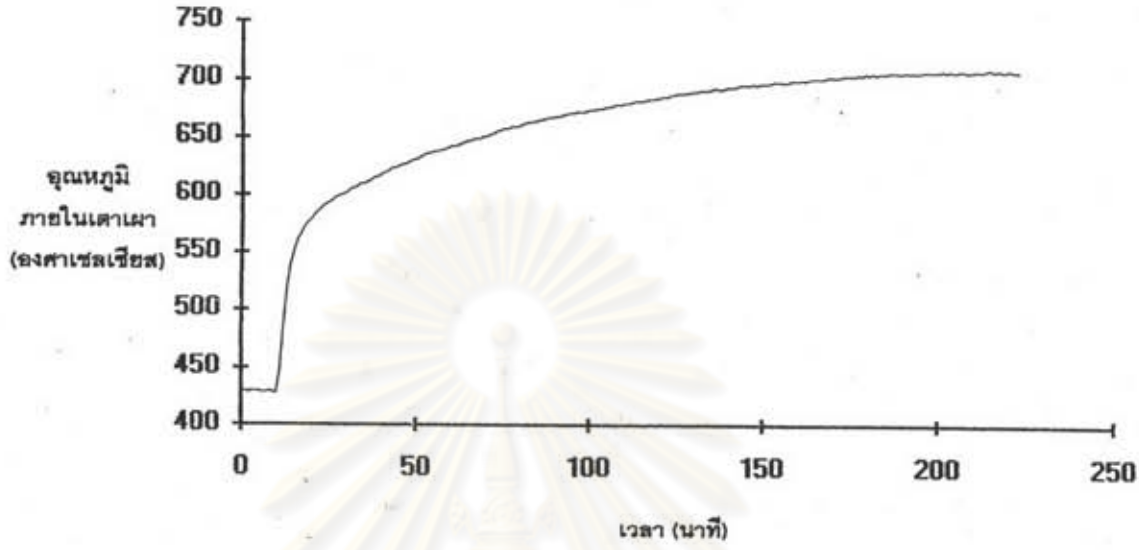
รูปที่ ข5 ข้อมูลตัวแปรออกของกระบวนการ ชุดที่ 3



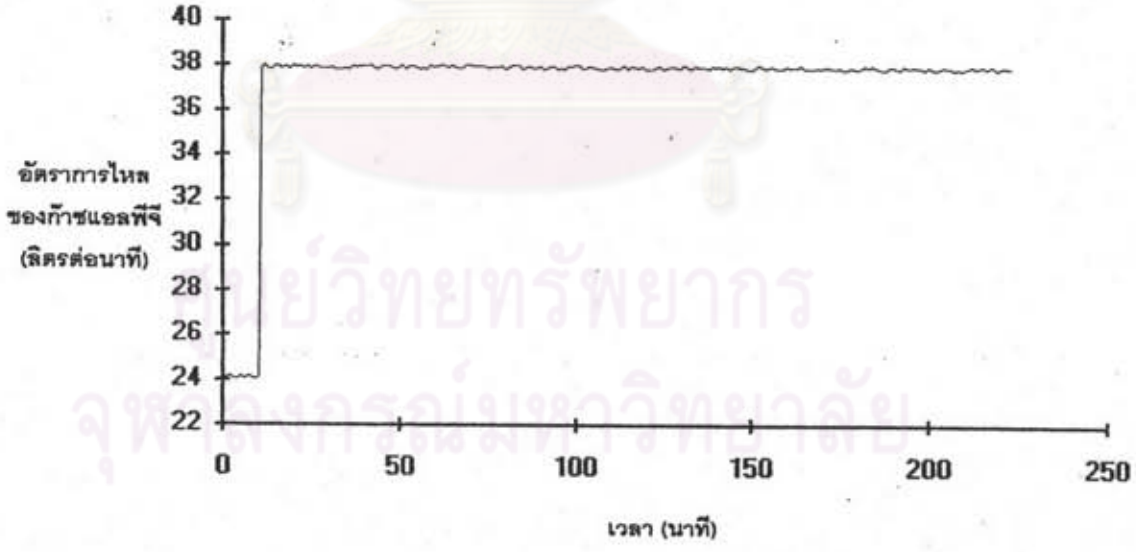
รูปที่ ข6 ข้อมูลตัวแปรเข้ากระบวนการ ชุดที่ 3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. ข้อมูลชุดที่ 4

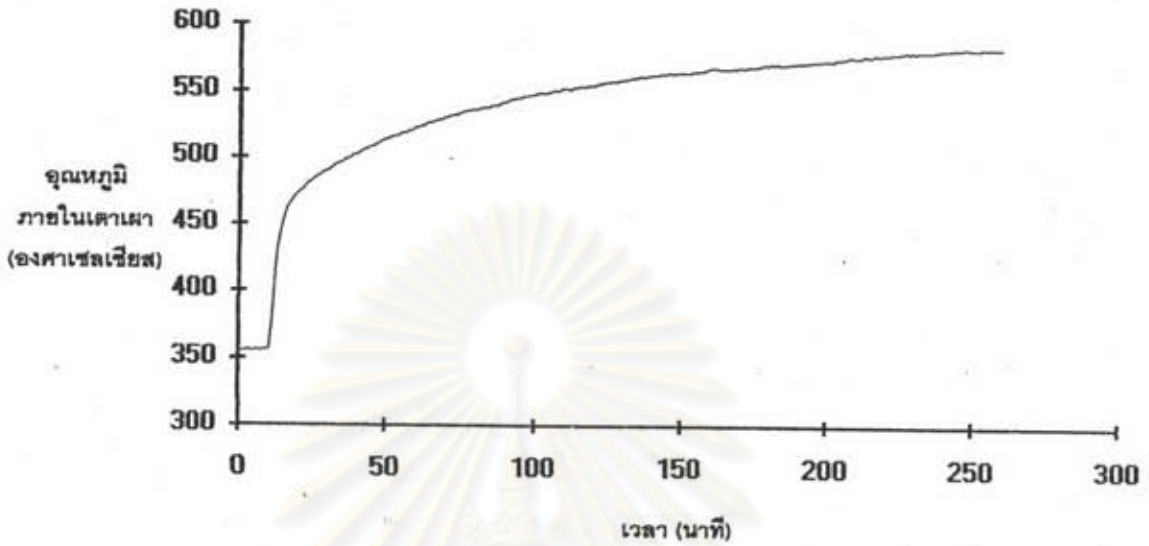


รูปที่ ข7 ข้อมูลตัวแปรออกของกระบวนการ ชุดที่ 4

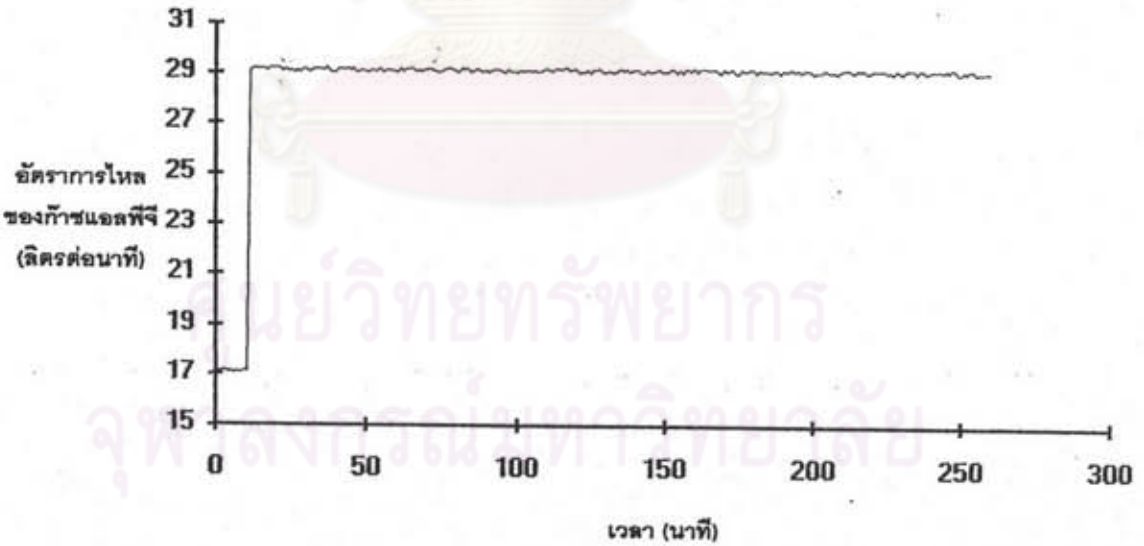


รูปที่ ข8 ข้อมูลตัวแปรเข้ากระบวนการ ชุดที่ 4

5. ข้อมูลชุดที่ 5



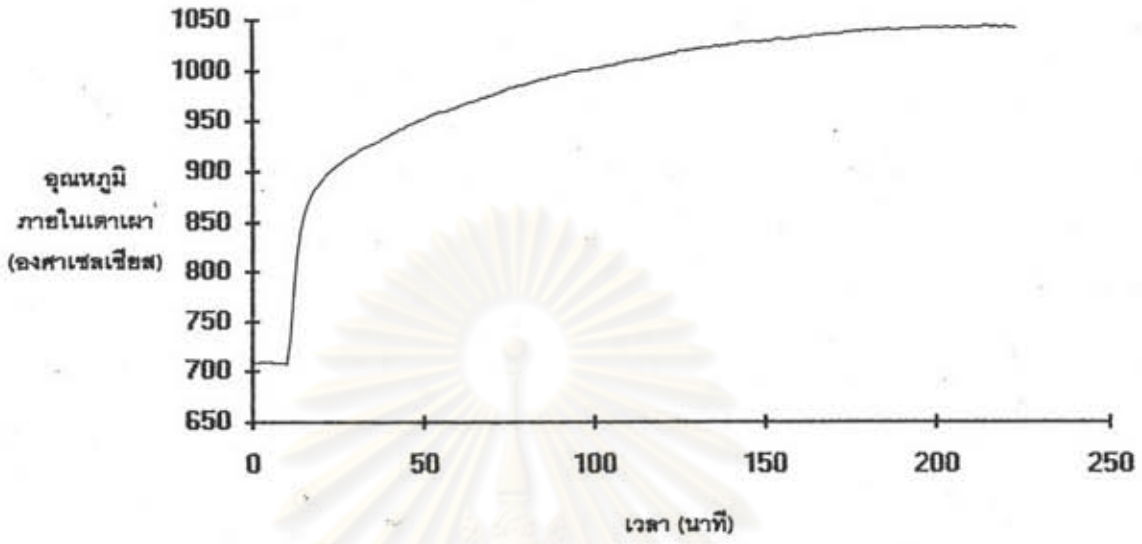
รูปที่ ข9 ข้อมูลตัวแปรออกของกระบวนการ ชุดที่ 5



รูปที่ ข10 ข้อมูลตัวแปรเข้ากระบวนการ ชุดที่ 5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. ข้อมูลชุดที่ 6

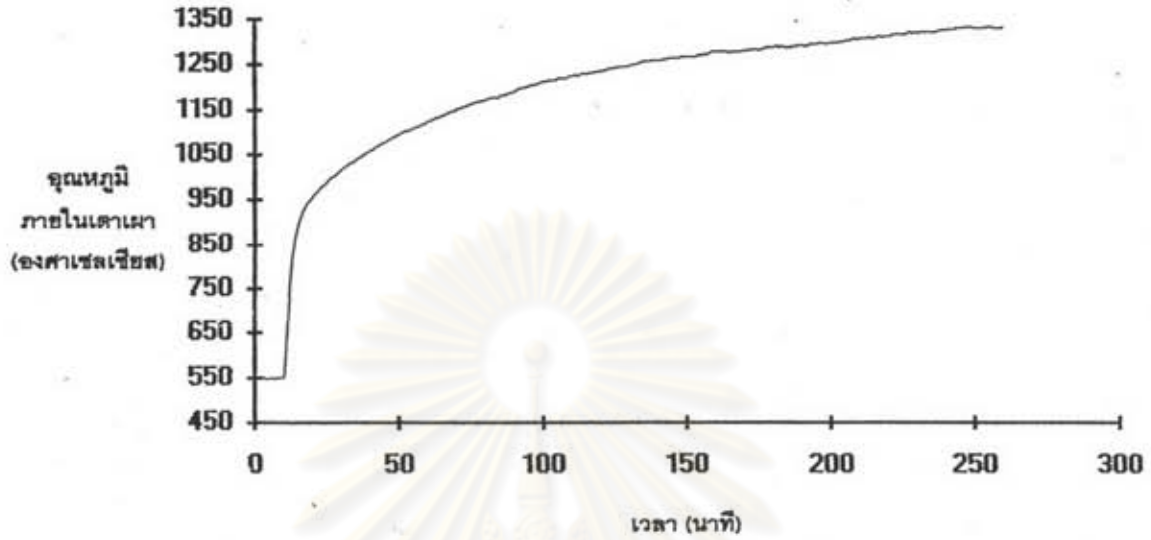


รูปที่ ข11 ข้อมูลตัวแปรออกของกระบวนการ ชุดที่ 6

รูปที่ ข12 ข้อมูลตัวแปรเข้ากระบวนการ ชุดที่ 6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. ข้อมูลชุดที่ 7



รูปที่ ข13 ข้อมูลตัวแปรออกของกระบวนการ ชุดที่ 7

รูปที่ ข14 ข้อมูลตัวแปรเข้ากระบวนการ ชุดที่ 7

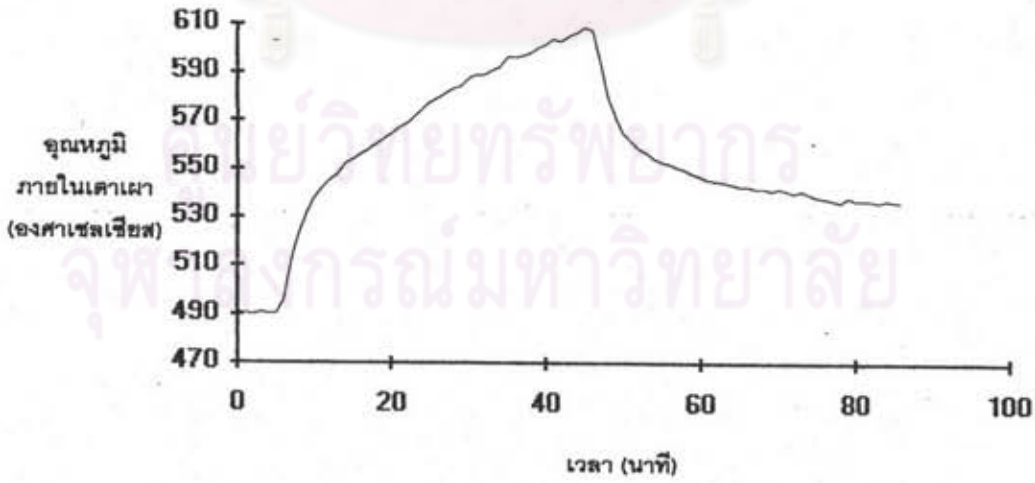
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข1 แสดงข้อมูลการทดลองทั้ง 7 ชุด

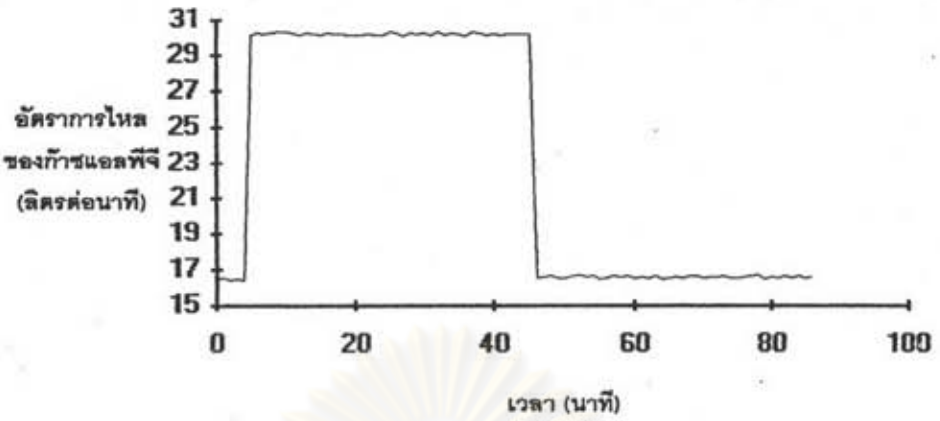
ชุดข้อมูล	ช่วงอุณหภูมิ (°C)	ค่าผลต่างของอุณหภูมิ (°C)	ค่าผลต่างของอัตราการไหล (ลิตรต่อนาที)	ค่าคงที่ของกระบวนการ $K_p \left({}^{\circ}C/_{Lit/_{min}} \right)$	ค่าเวลาคงที่ τ_p (นาที)
1	350 - 500	135	7.04	19.18	15.68
2	400 - 800	405	19.18	21.12	16.32
3	400 - 650	260	12.40	20.97	14.23
4	450 - 700	280	13.82	20.26	16.52
5	350 - 600	230	12.02	19.13	14.70
6	700 - 1050	335	14.90	22.48	15.42
7	550 - 1350	780	30.23	25.80	16.40

ข้อมูลการทดลองของกระบวนการเมื่อทดสอบด้วย pulse แล้ววิเคราะห์ด้วยการตอบสนองเชิงความถี่ แสดงดังต่อไปนี้

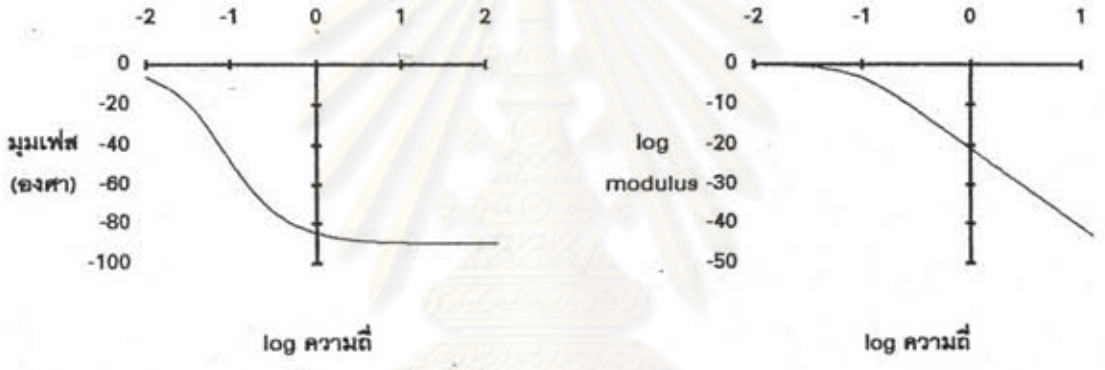
8. ข้อมูลทดสอบด้วย pulse ชุดที่ 1

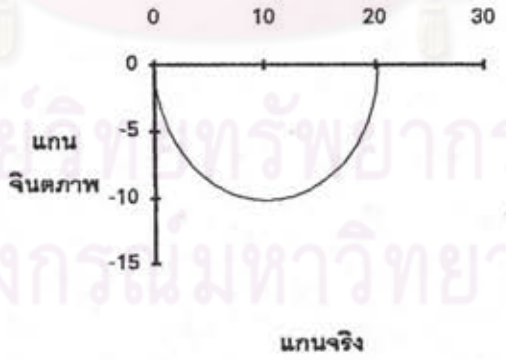


รูปที่ ข15 ข้อมูลตัวแปรออกของกระบวนการ เมื่อทดสอบด้วย pulse ชุดที่ 1



รูปที่ ข16 ข้อมูลตัวแปรเข้าของกระบวนการ เมื่อทดสอบด้วย pulse ชุดที่ 1





ค

รูปที่ ข17 ผลวิเคราะห์การตอบสนองเชิงความถี่ของกระบวนการ ข้อมูลทดสอบด้วย pulse ชุดที่ 1

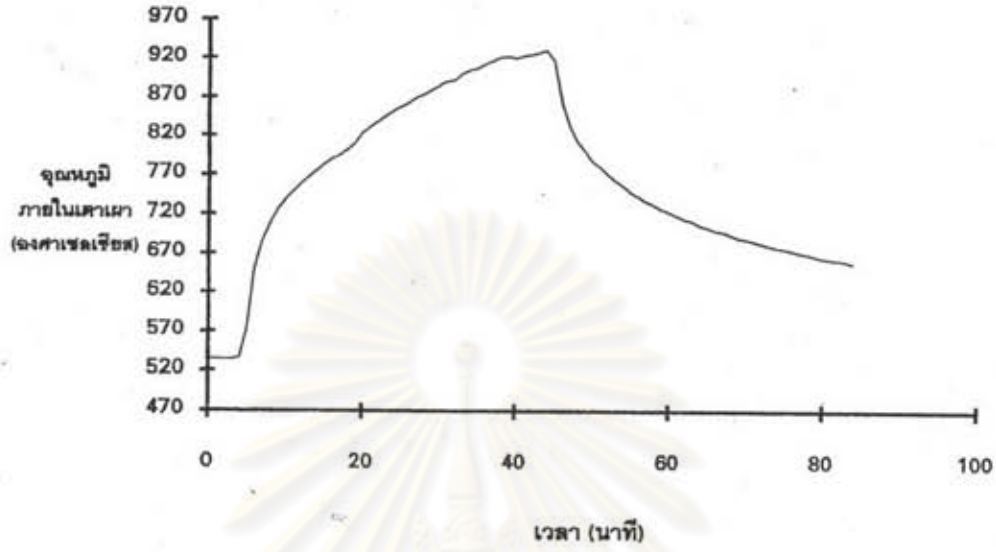
ก. แผนภูมิ Bode ระหว่างมุมเฟสของกระบวนการกับความถี่

ข แผนภูมิ Bode ระหว่างอัตราขยายของกระบวนการกับความถี่

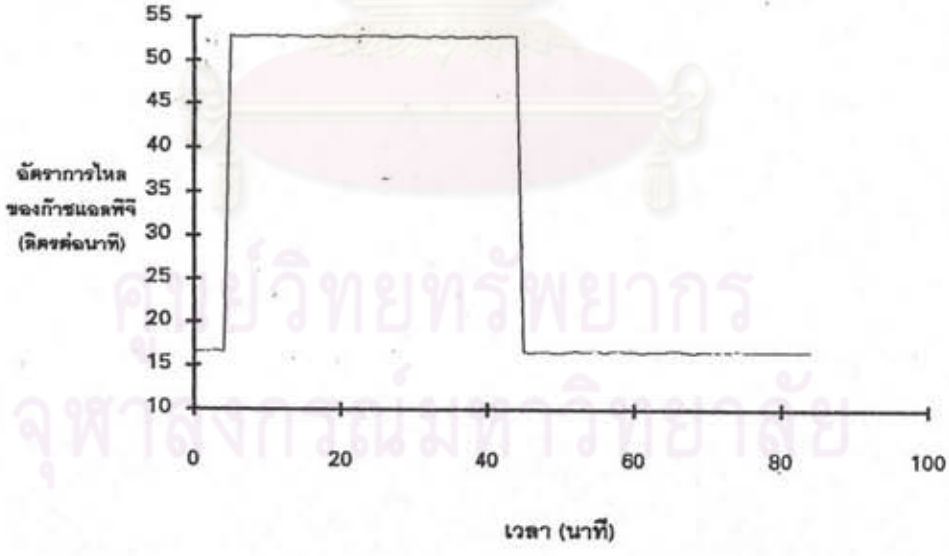
ค แผนภูมิ Nyquist ของกระบวนการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

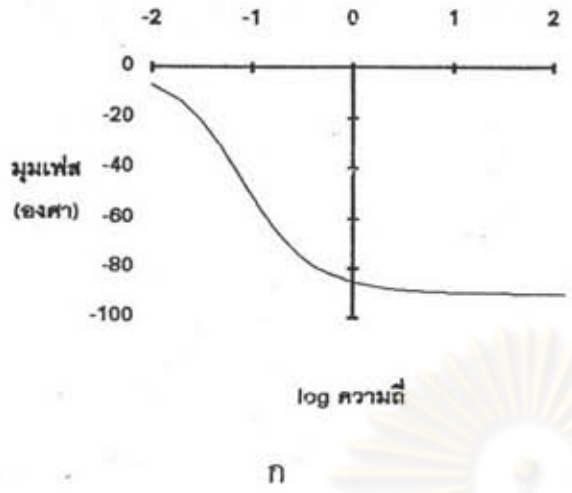
1.9 ข้อมูลทดสอบด้วย pulse ชุดที่ 2



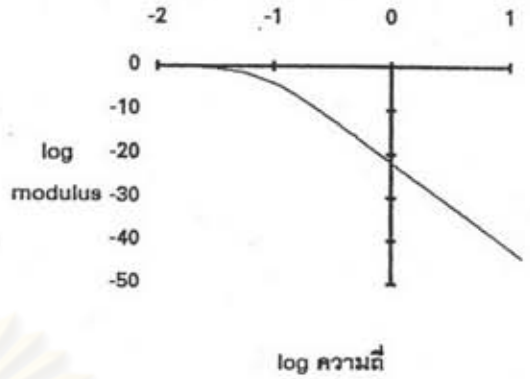
รูปที่ ข18 ข้อมูลตัวแปรออกของกระบวนการ เมื่อทดสอบด้วย pulse ชุดที่ 2



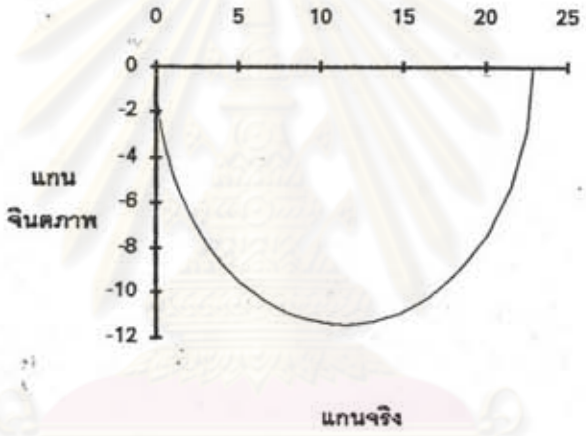
รูปที่ ข19 ข้อมูลตัวแปรเข้าของกระบวนการ เมื่อทดสอบด้วย pulse ชุดที่ 2



ก



ข



ค

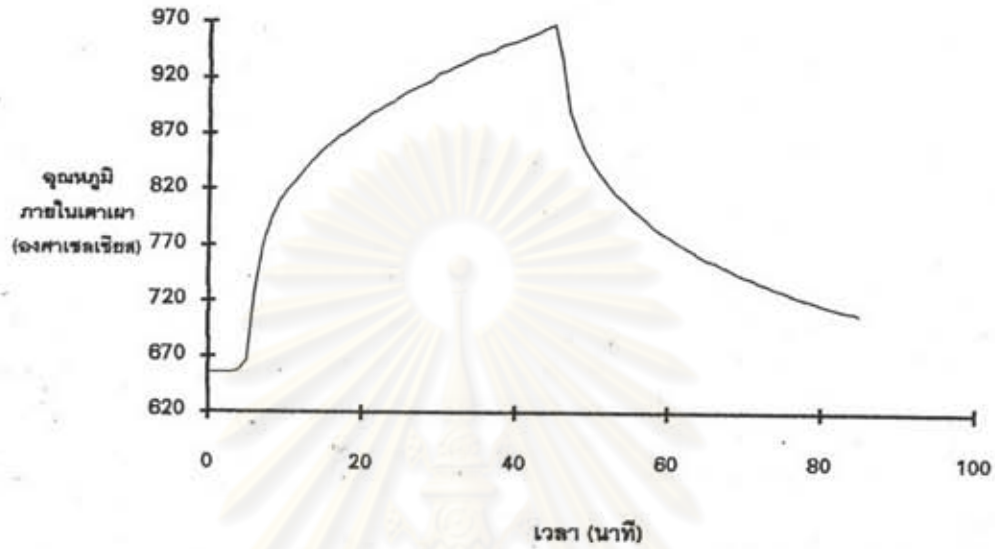
รูปที่ ข20 ผลวิเคราะห์การตอบสนองเชิงความถี่ของกระบวนการ ข้อมูลทดสอบด้วย pulse ชุดที่ 2

ก. แผนภูมิ Bode ระหว่างมุมเฟสของกระบวนการกับความถี่

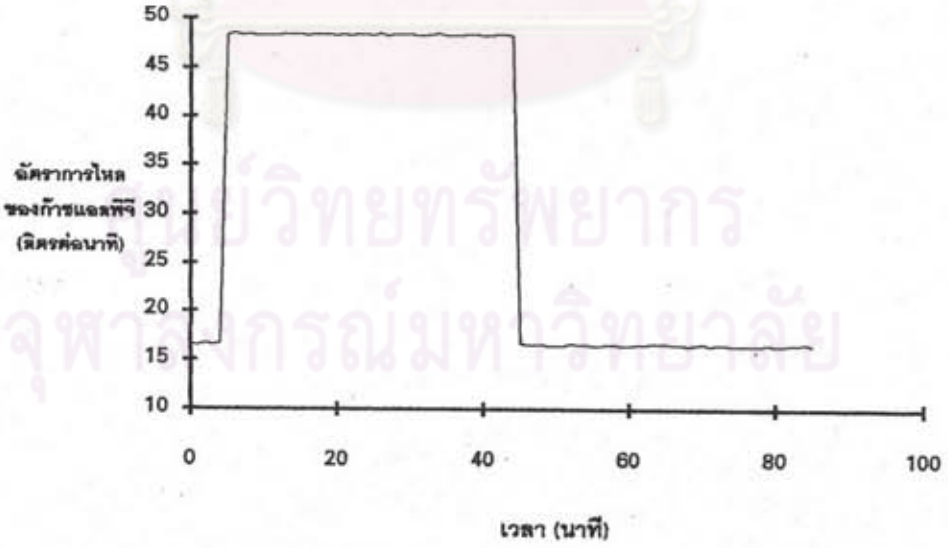
ข แผนภูมิ Bode ระหว่างอัตราขยายของกระบวนการกับความถี่

ค แผนภูมิ Nyquist ของกระบวนการ

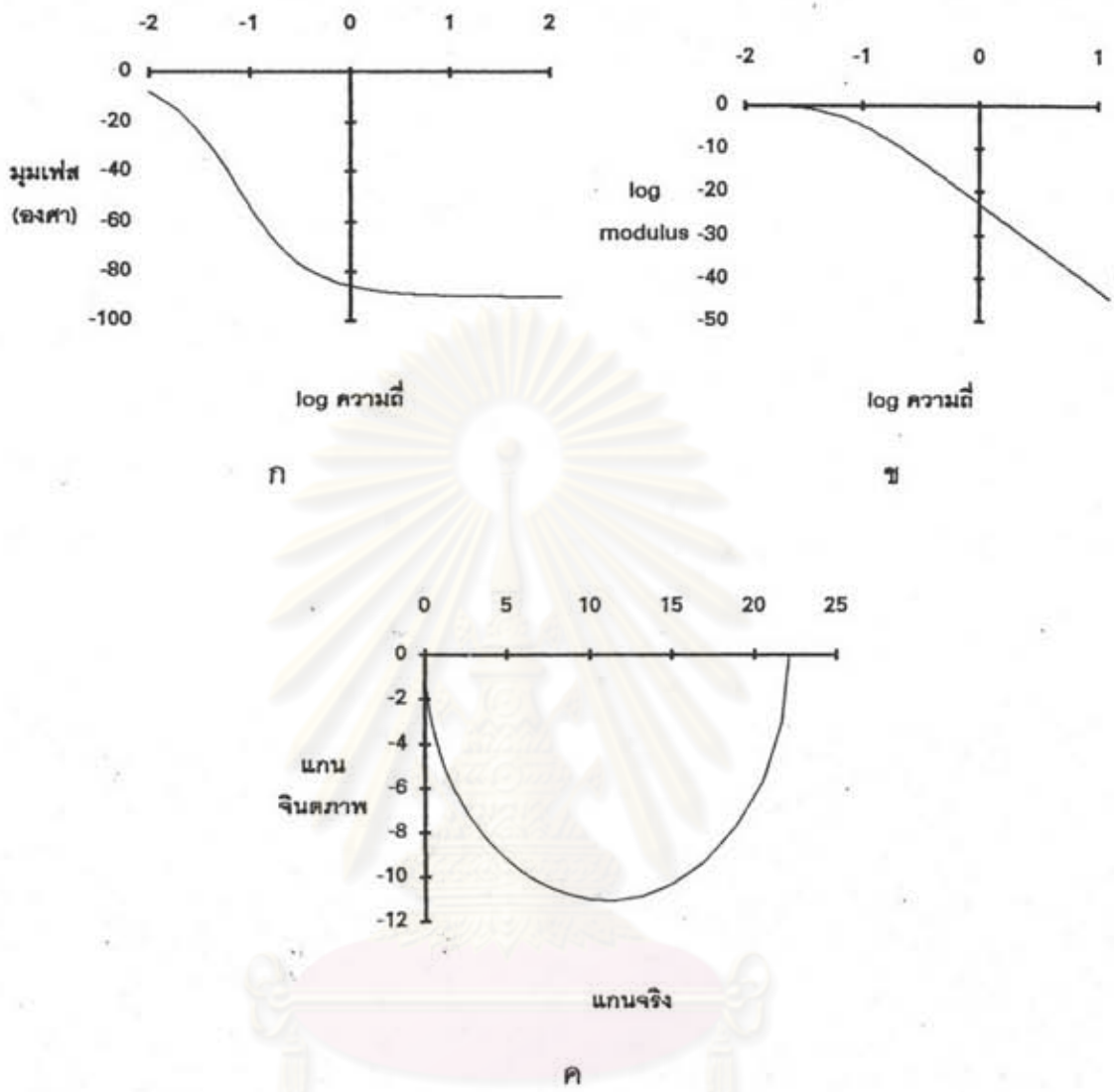
1.10 ข้อมูลทดสอบด้วย pulse ชุดที่ 3



รูปที่ ข21 ข้อมูลตัวแปรออกของกระบวนการ เมื่อทดสอบด้วย pulse ชุดที่ 3



รูปที่ ข22 ข้อมูลตัวแปรเข้าของกระบวนการ เมื่อทดสอบด้วย pulse ชุดที่ 3



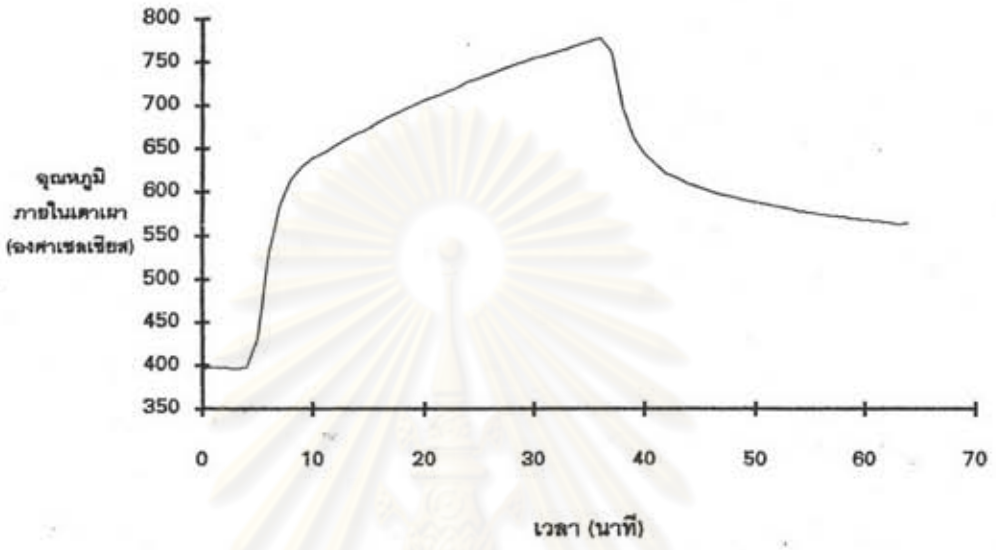
รูปที่ ข23 ผลวิเคราะห์การตอบสนองเชิงความถี่ของกระบวนการ ข้อมูลทดสอบด้วย pulse ชุดที่ 3

ก. แผนภูมิ Bode ระหว่างมุมเฟสของกระบวนการกับความถี่

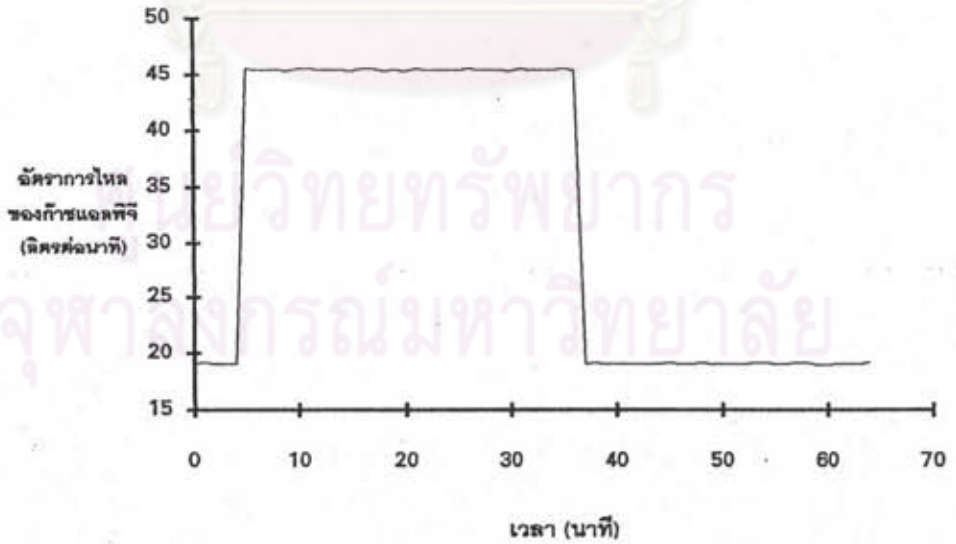
ข แผนภูมิ Bode ระหว่างอัตราขยายของกระบวนการกับความถี่

ค แผนภูมิ Nyquist ของกระบวนการ

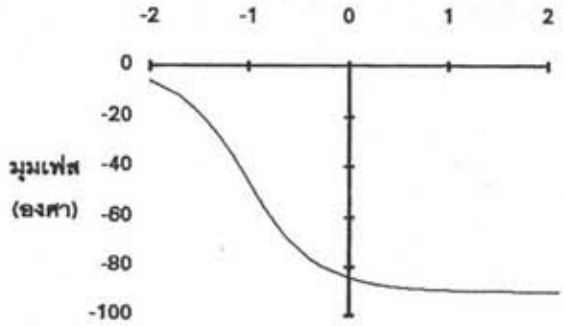
1.11 ข้อมูลทดสอบด้วย pulse ชุดที่ 4



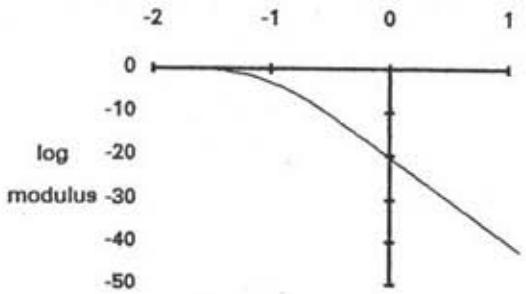
รูปที่ ข24 ข้อมูลตัวแปรออกของกระบวนการ เมื่อทดสอบด้วย pulse ชุดที่ 4



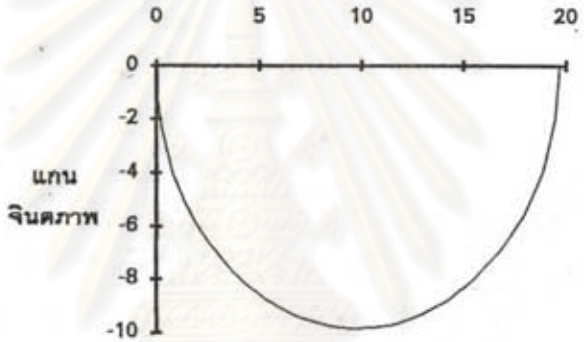
รูปที่ ข25 ข้อมูลตัวแปรเข้าของกระบวนการ เมื่อทดสอบด้วย pulse ชุดที่ 4



ก



ข



ค

รูปที่ ข26 ผลวิเคราะห์การตอบสนองเชิงความถี่ของกระบวนการ ข้อมูลทดสอบด้วย pulse ชุดที่ 4

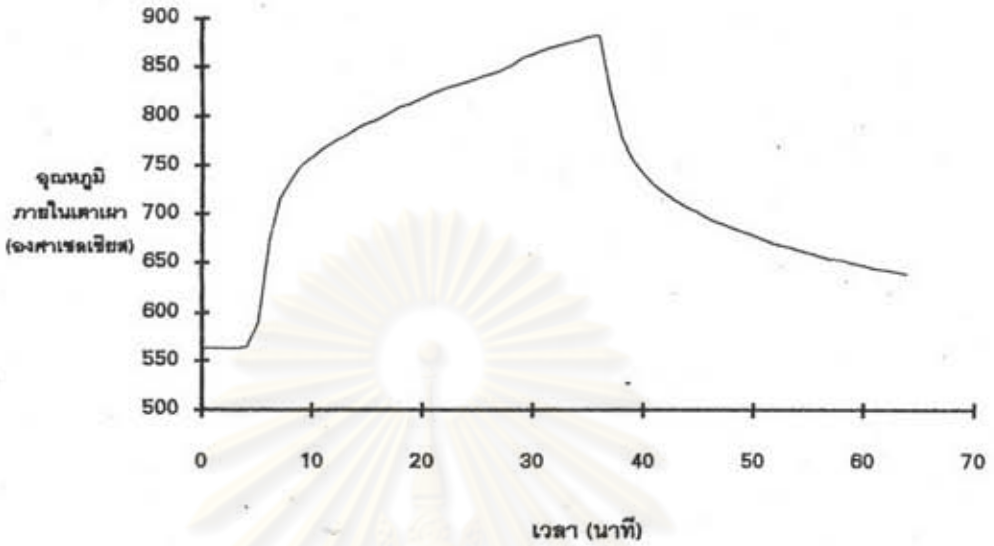
ก. แผนภูมิ Bode ระหว่างมุมเฟสของกระบวนการกับความถี่

ข แผนภูมิ Bode ระหว่างอัตราขยายของกระบวนการกับความถี่

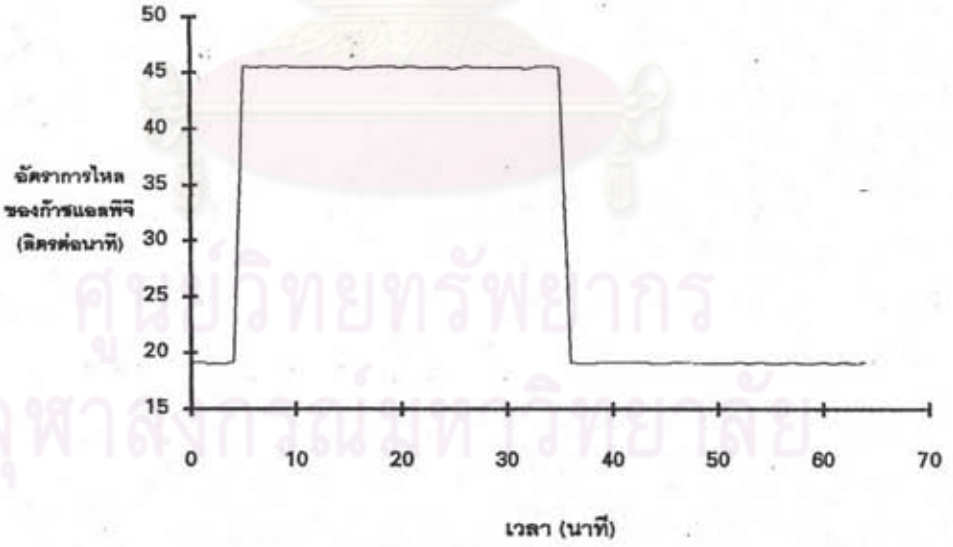
ค แผนภูมิ Nyquist ของกระบวนการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.12 ข้อมูลทดสอบด้วย pulse ชุดที่ 5

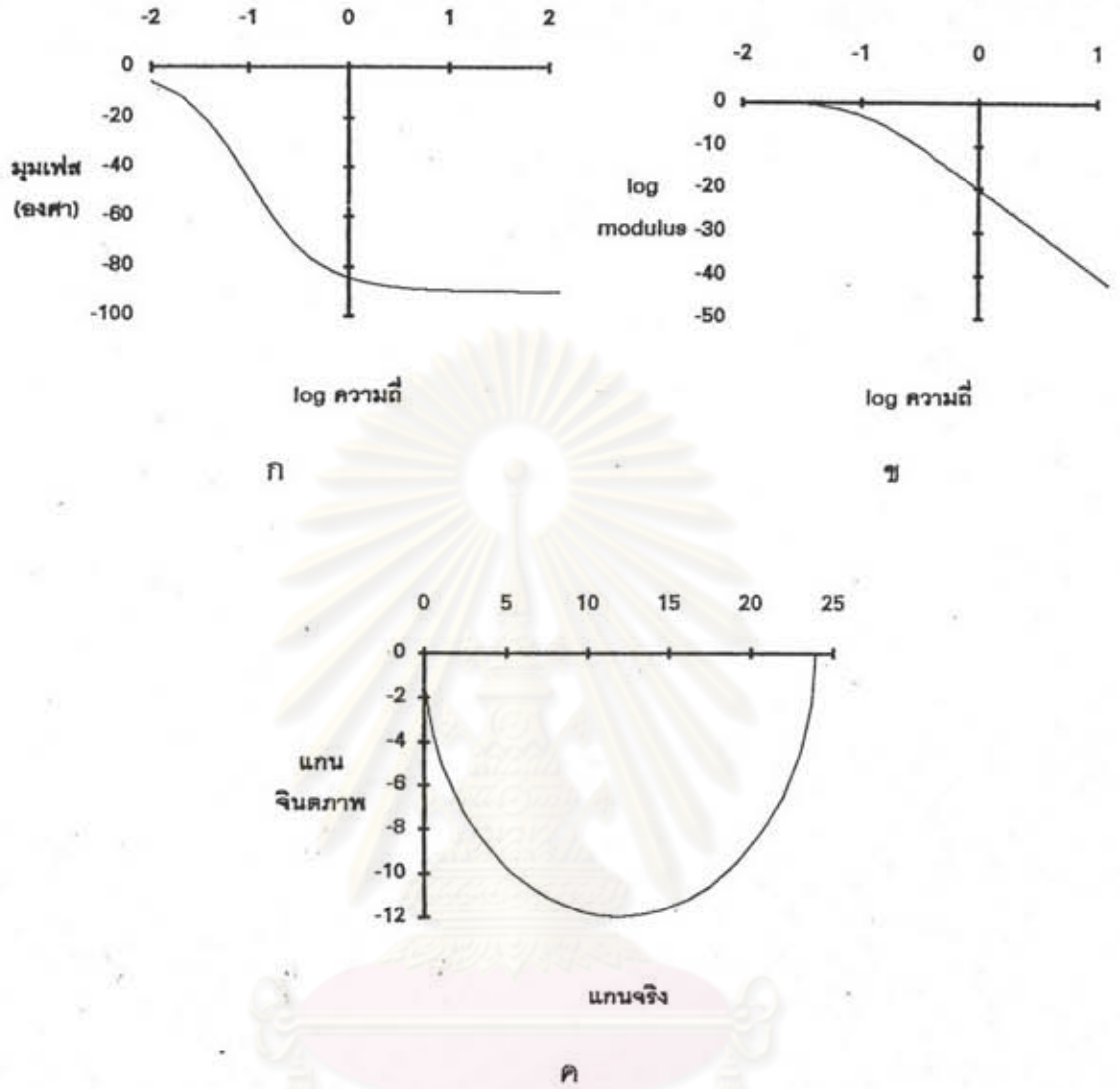


รูปที่ ข27 ข้อมูลตัวแปรออกของกระบวนการ เมื่อทดสอบด้วย pulse ชุดที่ 5



รูปที่ ข28 ข้อมูลตัวแปรเข้าของกระบวนการ เมื่อทดสอบด้วย pulse ชุดที่ 5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข29 ผลวิเคราะห์การตอบสนองเชิงความถี่ของกระบวนการ ข้อมูลทดสอบด้วย pulse ชุดที่ 5

ก แผนภูมิ Bode ระหว่างมุมเฟสของกระบวนการกับความถี่

ข แผนภูมิ Bode ระหว่างอัตราขยายของกระบวนการกับความถี่

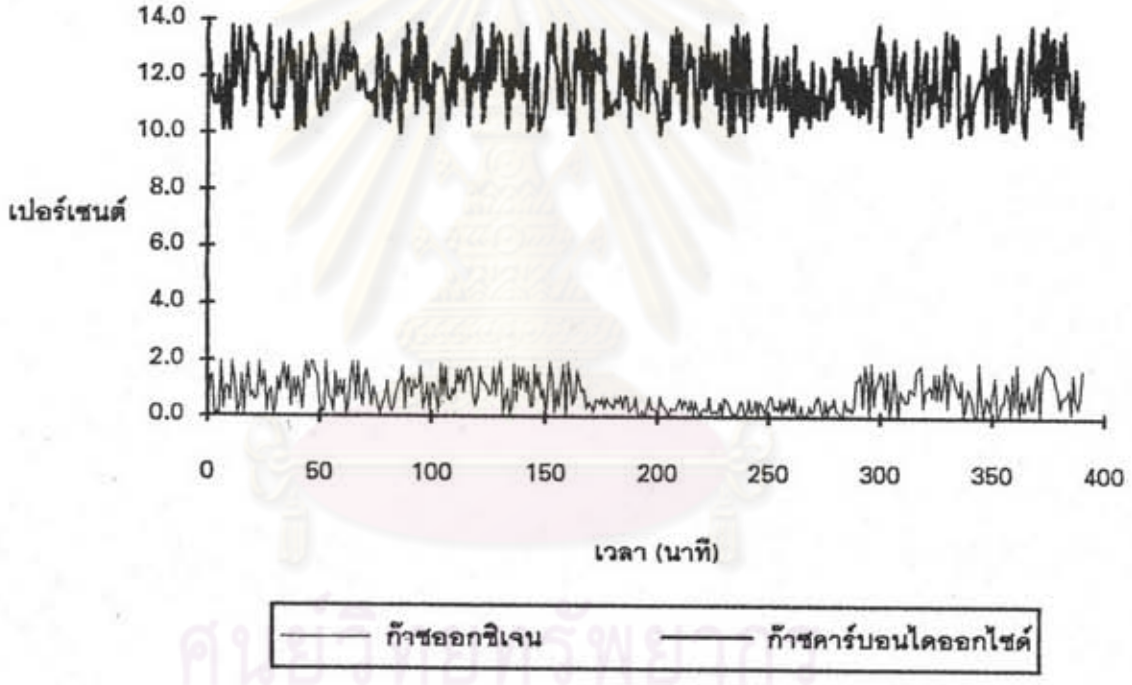
ค แผนภูมิ Nyquist ของกระบวนการ

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการทดลองการควบคุมการเผาไหม้ก๊าซ และการคำนวณสมดุลมวลสารและพลังงาน

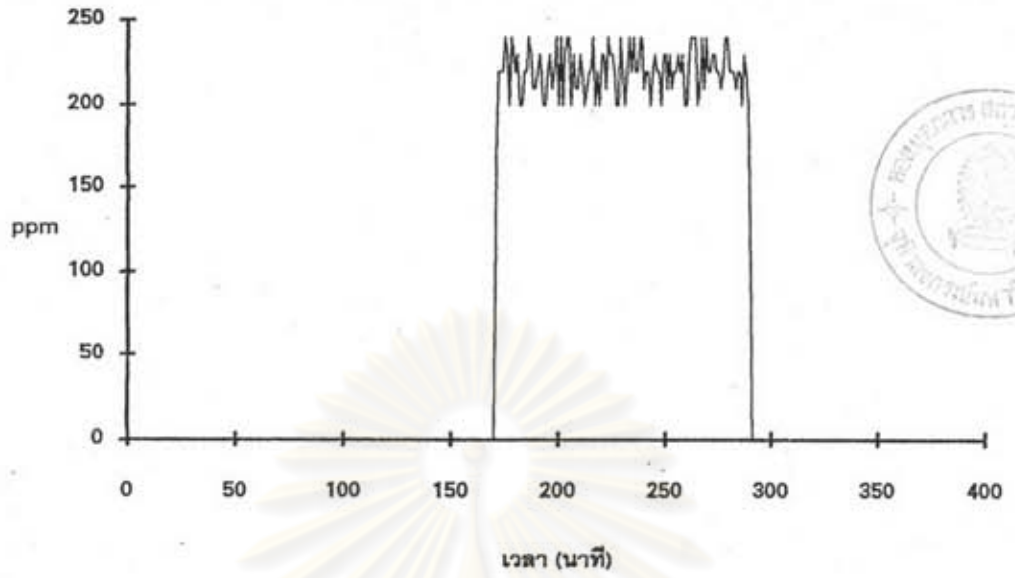
1. การทดลองเผา compound clay ที่อุณหภูมิ 1250 °C

ข้อมูลการทดลองแสดงได้ดังนี้



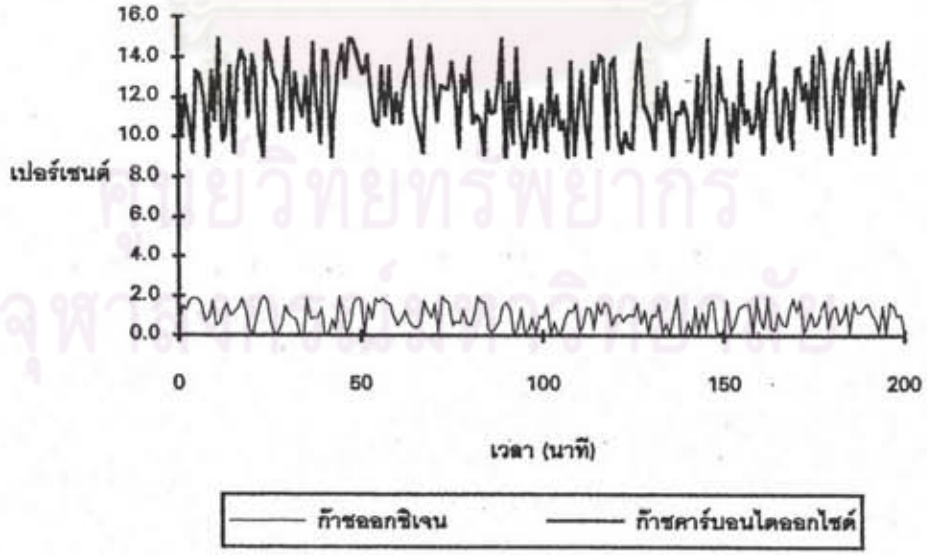
รูปที่ ค1 ปริมาณก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในฟลูก๊าซ จากการเผา compound clay ที่อุณหภูมิ 1250 °C

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



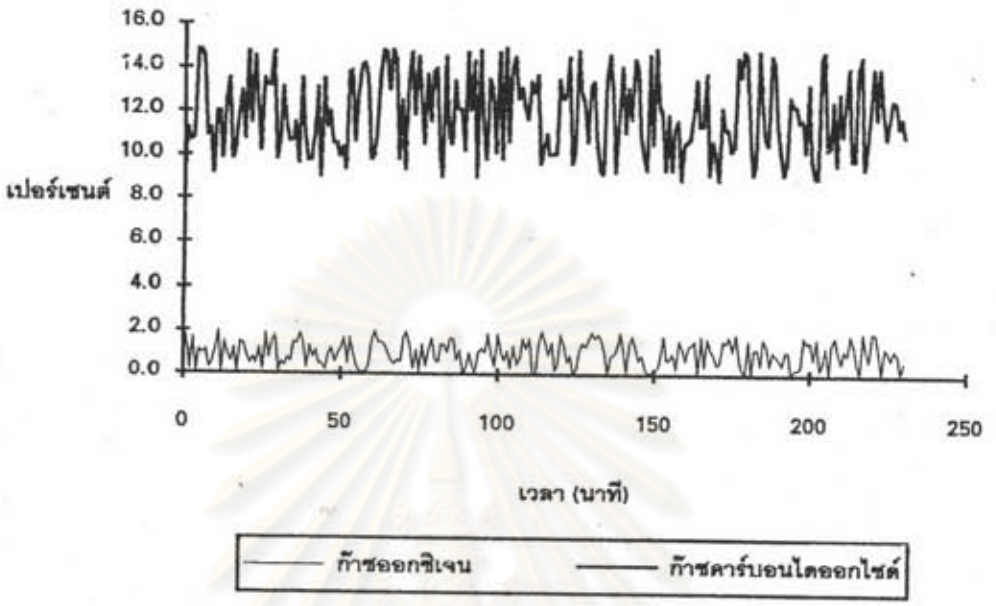
รูปที่ ค2 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในฟลูก๊าซ
จากการเผา compound clay ที่อุณหภูมิ 1250 °C

2. การทดลองเผา compound clay ที่อุณหภูมิ 800 °C



รูปที่ ค3 ปริมาณก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในฟลูก๊าซ
จากการเผา compound clay ที่อุณหภูมิ 800 °C

3. การทดลองเผาดินผสม dolomite ที่อุณหภูมิ 1100 °C



รูปที่ ค4 ปริมาณก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในฟลูก๊าซ จากการเผาดินผสม dolomite ที่อุณหภูมิ 1100 °C

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างการคำนวณ

1. คำนวณอัตราส่วนโดยปริมาตรของก๊าซแอลพีจีต่ออากาศ เพื่อให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซแอลพีจีที่ได้จากผลการทดลอง เปรียบเทียบกับมาตรฐานของก๊าซแอลพีจีในภาคผนวก n สามารถคำนวณองค์ประกอบของก๊าซแอลพีจีโดยประมาณเพื่อใช้ในการคำนวณได้ดังนี้

Propane : i-Butane : n-Butane = 65:15:20

อ้างอิง อัตราการไหลของก๊าซแอลพีจี 100 ลิตรต่อนาที, ปฏิบัติการ 1 นาที

สมมุติให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ร้อยละอากาศเกินพอเท่ากับ 0

ก๊าซแอลพีจีหลังจากออกจากเครื่องอุ่นก๊าซแล้วจะมีความดัน 0.6 kscg และอุณหภูมิ 65 °C ส่วนอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลมจะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 60-70 °C ดังนั้นจึงกำหนดให้อุณหภูมิของสารเข้ามีค่าเท่ากับ 65 °C เท่ากันหมด

จากการคำนวณโดยใช้สมการสภาวะของ Peng-Robinson โดยใช้ส่วนประกอบของก๊าซแอลพีจีคือ propane 65 % โดยโมล, i-butane 15 % โดยโมล และ n-butane 20 % โดยโมล ที่สภาวะอุณหภูมิและความดันดังกล่าวจะได้ค่าปริมาตรจำเพาะ (specific volume) เท่ากับ 16.865 ลิตรต่อกรัมโมล

ก๊าซแอลพีจีเข้า = (100 ลิตรต่อนาที)(1 นาที) / (16.865 ลิตรต่อกรัมโมล)

= 5.929 กรัมโมล

จากสมการการเผาไหม้ของก๊าซแอลพีจี

$$C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$$
$$C_4H_{10} + \tfrac{13}{2}O_2 \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O$$

ส่วนประกอบของก๊าซแอลพีจี = C_3H_8:C_4H_{10} = 65:35

C_3H_8 เข้า = (0.65) (5.929) = 3.854 กรัมโมล

C_4H_{10} เข้า = (0.35) (5.929) = 2.075 กรัมโมล

จำนวนโมลของคาร์บอนในก๊าซแอลพีจี = (3) (3.854) + (4) (2.075)

= 19.863 กรัมโมล

สมดุลคาร์บอน

คาร์บอนในฟลูก๊าซ = คาร์บอนในก๊าซแอลพีจี

= 19.863 กรัมโมล

ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการตามทฤษฎี

= (5) (3.854) + (6.5) (2.075)

= 32.759 กรัมโมล

ปริมาณอากาศแห้งที่ใช้ในการเผาไหม้ = $(32.759)\left(\frac{100}{21}\right)$

= 155.997 กรัมโมล

จากการคำนวณโดยใช้สมการสภาวะของ Peng-Robinson เมื่ออากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลมมีความดันเฉลี่ย 700 mmH_2O อุณหภูมิเฉลี่ย 65 ^oC จะได้ค่าปริมาตรจำเพาะเท่ากับ 24.824 ลิตรต่อกรัมโมล

∴ อากาศแห้งที่ใช้ในการเผาไหม้ = (24.824) (155.997)

= 3872.47 ลิตร

∴ อัตราส่วนของก๊าซแอลพีจี : อากาศ ที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ร้อยละอากาศเกินพอเท่ากับ 0 คือ

อัตราส่วนโดยโมล = 5.929 : 155.997

= 1 : 26.31

อัตราส่วนโดยปริมาตร = 100 : 3872.47

= 1 : 38.72

≈ 1 : 39

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. คำนวณสมดุลมวลสารและสมดุลพลังงานจากข้อมูลการทดลอง

จากข้อมูลการเผา compound clay ที่อุณหภูมิ 1250 °C นาทีที่ 275 มีข้อมูลดังนี้

- ก๊าซออกซิเจนในฟลูก๊าซ = 0.6%
- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในฟลูก๊าซ = 10.6%
- ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในฟลูก๊าซ = 220 ppm
- อุณหภูมิภายในเตาเผา = 1236 °C
- อุณหภูมิฟลูก๊าซ = 909 °C
- อัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีที่นาทีที่ 274 = 51.21 ลิตรต่อนาที

(เพราะว่าระบบควบคุมจะปรับอัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีทุก ๆ 1 นาที ดังนั้นข้อมูลที่บันทึกได้ที่นาทีที่ 275 จะต้องเป็นผลเนื่องจากการเผาไหม้ก๊าซแอลพีจีก่อนนาทีที่ 275)

อ้างอิง 1 นาทีของอัตราการป้อนก๊าซแอลพีจี

สมดุลมวลสาร (material balance)

ก๊าซแอลพีจีเข้า = (51.21 ลิตรต่อนาที)(1 นาที) / (16.865 ลิตรต่อกรัมโมล)

= 3.036 กรัมโมล

จากสมการการเผาไหม้ของก๊าซแอลพีจี

$$C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$$
$$C_4H_{10} + \tfrac{13}{2}O_2 \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O$$

ส่วนประกอบของก๊าซแอลพีจี = C_3H_8:C_4H_{10} = 65:35

C_3H_8 เข้า = (0.65) (3.036) = 1.973 กรัมโมล

C_4H_{10} เข้า = (0.35) (3.036) = 1.063 กรัมโมล

จำนวนโมลของคาร์บอนในก๊าซแอลพีจี = (3) (1.973) + (4) (1.063)

= 10.172 กรัมโมล

สมดุลคาร์บอน

คาร์บอนในฟลูก๊าซ = คาร์บอนในก๊าซแอลพีจี

= 10.172 กรัมโมล

จากการทดลอง ฟลูก๊าซมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ = 10.6%

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ = 220 ppm

ปริมาณฟลูก๊าซที่ออก = ปริมาณคาร์บอน ในฟลูก๊าซ / สัดส่วนคาร์บอนในฟลูก๊าซ

$$= \frac{10.172}{\left(\frac{10.6}{100}+\frac{220}{1000000}\right)}$$

= 95.763 กรัมโมล

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์	กรัมโมล	มวลโมเลกุล	มวล (กรัม)
CO_2	10.60	10.151	44	446.64
O_2	0.60	0.575	32	18.40
CO	0.022	0.021	28	0.59
N_2	88.78	85.016	28	2380.45
			รวม	2846.08

สมดุลไนโตรเจน

N_2 ในอากาศ = N_2 ในฟลูก๊าซ

= 85.016 กรัมโมล (จากตาราง)

O_2 ในอากาศ = $21 \times 85.016 / 79$

= 22.599 กรัมโมล

อากาศแห้งเข้า = 85.016 + 22.599

= 107.616 กรัมโมล

ข้อมูลอากาศขณะทำการทดลอง

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง = 33 °C = 91.4 °F

อุณหภูมิกระเปาะเปียก = 28 °C = 82.4 °F

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากแผนภูมิความชื้น (humidity chart)

ความชื้น = 0.0223 กรัมน้ำ / กรัมอากาศแห้ง

= 0.0359 กรัมโมลน้ำ / กรัมโมลอากาศแห้ง

น้ำในอากาศ = 0.0359 × 107.616

= 3.863 กรัมโมล

น้ำในฟลูก๊าซ = น้ำในอากาศ + น้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาการเผาไหม้

น้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาการเผาไหม้พิจารณาเฉพาะการเผาไหม้แบบสมบูรณ์เท่านั้น

น้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาการเผาไหม้

= (อัตราส่วนโดยโมลของ $H_2O : CO_2$) (โมลของ CO_2)

จากสมการปฏิกิริยาการเผาไหม้ของก๊าซแอลพีจี

อัตราส่วนโดยโมลของ $H_2O : CO_2$ = $\frac{(0.65)(4)+(0.35)(5)}{(0.65)(3)+(0.35)(4)}$

= 4.35 / 3.35

= 1.299

∴ น้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ = (1.299) (โมลของ CO_2)

= 13.186 กรัมโมล

∴ น้ำในฟลูก๊าซ = 3.863 + 13.186

= 17.049 กรัมโมล

O_2 ที่ต้องการตามทฤษฎีจากการเผาไหม้สมบูรณ์

= (อัตราส่วนโดยโมลของ $O_2 : CO_2$) (โมลของ CO_2)

จากสมการปฏิกิริยาการเผาไหม้ของก๊าซแอลพีจี

อัตราส่วนโดยโมลของ $O_2 : CO_2$ = $\frac{(0.65)(5)+(0.35)(6.5)}{(0.65)(3)+(0.35)(4)}$

= 5.53 / 3.35

= 1.651

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$\therefore$ O_2 ที่ต้องการตามทฤษฎีจากการเผาไหม้สมบูรณ์

= (1.651) (โมลของ CO_2)

= 16.759 กรัมโมล

$$\text{ร้อยละอากาศเกินพอ} = \frac{(O_2 \text{ ในฟลูก๊าซ} - O_2 \text{ ที่ใช้เพื่อเผาไหม้ CO})}{(O_2 \text{ ที่ต้องการตามทฤษฎี})} \times 100$$

$$= \frac{0.575 - (\frac{1}{2} \times 0.021)}{16.759} \times 100$$

= 3.4 %

สรุปสมดุลมวลสาร

มวลสารเข้า	กรัมโมล	มวลโมเลกุล	กรัม
ก๊าซแอลพีจี	3.036	49.02	148.82
อากาศแห้ง	107.616	29	3120.86
น้ำในอากาศ	3.863	18	69.54
		รวม	3339.22

มวลสารออก	กรัมโมล	มวลโมเลกุล	กรัม
ฟลูก๊าซแห้ง	—	—	2846.08
น้ำในฟลูก๊าซ	17.049	18	306.88
มวลสูญหาย	—	—	186.26
		รวม	3339.22

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมดุลพลังงาน (energy balance)

อ้างอิง อุณหภูมิ 25 °C, ฟลูก๊าซอยู่ในสถานะก๊าซ และ น้ำอยู่ในสถานะก๊าซ

พลังงานเข้า

1. ค่าความร้อนของก๊าซแอลพีจี

จากสูตรค่าความร้อนสำหรับไฮโดรคาร์บอน พาราฟิน, C_nH_{2n+2} ; 158100 n + 54700 แคลอรี / กรัมโมล

= (0.65)(158100×3 + 54700) + (0.35)(158100×4 + 54700)

= 5.843×10^5 แคลอรี / กรัมโมล

ค่าความร้อนของก๊าซแอลพีจี = (3.036) (5.843×10^5)

= 1.774×10^6 แคลอรี

2. enthalpy ของก๊าซแอลพีจี

ก๊าซแอลพีจีที่เข้ามีปริมาณ propane	=	1.974	กรัมโมล
i-butane	=	0.455	กรัมโมล
n-butane	=	0.607	กรัมโมล

จาก enthalpy $= \int_{T_1}^{T_2} m C_p dT = \int_{25}^{65} m C_p dT$

C_p ของ propane $= 16.260 + 5.398 \cdot 10^{-2} \cdot T - 3.134 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 7.580 \cdot 10^{-9} \cdot T^3$

C_p ของ i-butane $= 21.382 + 7.202 \cdot 10^{-2} \cdot T - 4.519 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 11.92 \cdot 10^{-9} \cdot T^3$

C_p ของ n-butane $= 22.060 + 6.663 \cdot 10^{-2} \cdot T - 3.697 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 8.360 \cdot 10^{-9} \cdot T^3$

อุณหภูมิ (T) : องศาเซลเซียส

enthalpy ของ propane =	1088.1	แคลอรี
enthalpy ของ i-butane =	330.5	แคลอรี
enthalpy ของ n-butane =	449.3	แคลอรี

พลังงานเข้าของก๊าซแอลพีจี

= ค่าความร้อนของก๊าซแอลพีจี + enthalpy ของส่วนประกอบในก๊าซแอลพีจี

= 1.776×10^6 แคลอรี

3. enthalpy ของอากาศแห้ง

C_p ของ อากาศ = $6.917 + 0.09911 \cdot 10^{-2} \cdot T - 0.07627 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0.4696 \cdot 10^{-9} \cdot T^3$

อุณหภูมิ (T) : องศาเซลเซียส

อากาศแห้งเข้า = 107.616 กรัมโมล

enthalpy ของอากาศแห้ง = $m\int_{25}^{65} C_p dT$

= 2.246×10^4 แคลอรี

4. enthalpy ของไอน้ำในอากาศ

C_p ของไอน้ำ = $7.880 + 0.32 \cdot 10^{-2} \cdot T - 0.04833 \cdot 10^{-5} \cdot T^2$

อุณหภูมิ (T) : องศาเซลเซียส

ไอน้ำในอากาศเข้า = 3.863 กรัมโมล

enthalpy ของอากาศแห้ง = $m\int_{25}^{65} C_p dT$

= 928.1 แคลอรี

พลังงานออก

1. sensible heat ของฟลูก๊าซแห้ง ที่อุณหภูมิ 909 °C

C_p ของ CO_2 = $6.393 + 1.01 \cdot 10^{-2} \cdot T - 0.3405 \cdot 10^{-5} \cdot T^2$

C_p ของ O_2 = $7.129 + 0.1407 \cdot 10^{-2} \cdot T - 0.01791 \cdot 10^{-5} \cdot T^2$

C_p ของ CO = $6.89 + 0.1436 \cdot 10^{-2} \cdot T - 0.02387 \cdot 10^{-5} \cdot T^2$

C_p ของ N_2 = $6.919 + 0.1365 \cdot 10^{-2} \cdot T - 0.02271 \cdot 10^{-5} \cdot T^2$

อุณหภูมิ (T) : องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนประกอบในฟลูก๊าซ	กรัมโมล	$m\int_{25}^{909} C_p dT$ (แคลอรี)
CO_2	10.151	1.058×10^5
O_2	0.575	3.931×10^3
CO	0.021	139.6
N_2	85.016	5.633×10^5
	รวม	6.732×10^5

2. enthalpy ของไอน้ำในฟลูก๊าซ

โมลไอน้ำในฟลูก๊าซ = 17.049 กรัมโมล

enthalpy ของไอน้ำในฟลูก๊าซ = $m\int_{25}^{909} C_p dT$

= 1.382×10^5 แคลอรี

พลังงานทั้งหมดของฟลูก๊าซ = $6.732 \times 10^5 + 1.382 \times 10^5$

= 8.114×10^5 แคลอรี

3. ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของก๊าซแอลพีจี

= (จำนวนโมลของคาร์บอนที่ออกในรูป CO_2 / จำนวนโมลของคาร์บอนที่เข้า) x 100

= (10.151 / 10.172) x 100

= 99.8 %

สรุปสมดุลพลังงาน

พลังงานเข้า	พลังงาน (แคลอรี)	พลังงาน (กิโลจูล)
ค่าความร้อนของก๊าซแอลพีจี	1.774×10^6	7415.3
enthalpy ของก๊าซแอลพีจี	1.867×10^4	78.0
enthalpy ของอากาศแห้ง	2.246×10^4	93.9
enthalpy ของไอน้ำในอากาศ	928.1	4.5
รวม	1.816×10^6	7591.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พลังงานออก	พลังงาน (แคลอรี)	พลังงาน (กิโลจูล)
sensible heat ของฟลูก๊าซแห้ง	6.732×10^5	2814.0
enthalpy ของไอน้ำในฟลูก๊าซ	1.382×10^5	577.7
พลังงานที่ใช้ รวมพลังงานสูญเสีย	10.046×10^5	4199.2
รวม	1.816×10^6	7591.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

โปรแกรมควบคุมการเผาไหม้ก๊าซในเตาเผาแบบดราฟท์ดาวน์

โปรแกรมควบคุมการเผาไหม้ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เขียนและพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม QuickBASIC version 4.50 รายละเอียดโปรแกรม (source code) แสดงดังนี้

```
' Thesis Program : Computer-Controlled System for Gas Combustion
'                  in Draft-Down Furnace
'             By : Teerapote Korad
'        Advisor : Prof. Dr. Somsak Damronglert
'     Co-advisor : Asst. Prof. Dr. Lursuang Mekasut
'                  Dr. Pornpote Piumsomboon
'
'                  Department of Chemical Technology
'                  Faculty of Science

'-------------------- setup variables
DIM dat%(4), ary1%(10), ary2%(10), gain%(16)
DIM tc1(16), tc2(16), tc(11, 1300), sp(1000)
DIM spt(11), scol(11), srow(11), sum(7)
DIM py(2), px(2)
DEF fng (x) = x * (5000 / 2047 / 100)
DEF fnf (x) = 12.35 + 136.06 * x - 8.2763 * x ^ 2 + .63963 * x ^ 3 -
.027161 * x ^ 4 + 4.6562E-04 * x ^ 5
DEF fntav (a, b) = (a + b) / 2
DEF fnt (a, b, c, d) = ((2 * a + b + c + d) / 5 + (2 * a + d) / 3 +
(2 * a + b + c) / 4) / 3
pttn1 = &HFFFF: pttn2 = &HAAAA
controller = 1: '1 = P, 2 = PI, and 3 = PID

'-------------------- initialize driver : function 0
port% = &H220                          'I/O port address
dat%(0) = port%                        'get I/O port address
dat%(1) = 3                            'select IRQ 3
dat%(2) = 3                            'select DMA 3
er% = 0                                'error return code
fun% = 0                               'function 0
CALL PCL812(fun%, SEG dat%(0), SEG ary1%(0), SEG ary2%(0), er%)
IF er% <> 0 THEN PRINT "Driver initialization failed !": STOP

'-------------------- set scan channel range : function 1
start% = 0: stp% = 0
dat%(0) = start%                       'set start channel number
dat%(1) = stp%                         'set stop channel number
fun% = 1                               'function 1
CALL PCL812(fun%, SEG dat%(0), SEG ary1%(0), SEG ary2%(0), er%)
IF er% <> 0 THEN PRINT "Set scan channel failed!": STOP

'-------------------- set A/D range : function 23
```

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


```
FOR i = start% TO stp%
        gr% = 0
        dat%(0) = i                          'the channel to be set range
        dat%(1) = gr%                        'A/D range
        gain%(i) = gr%                       'store gain value
        fun% = 23                            'function 23
        CALL PCL812(fun%, SEG dat%(0), SEG ary1%(0), SEG ary2%(0),
er%)
        IF er% <> 0 THEN PRINT "Set A/D range failed!": STOP
NEXT i

'-------------------- title
SCREEN 3: CLS : GOSUB bdrchr
LOCATE 1, 1: PRINT tl$; STRING$(78, hl$); tr$
LOCATE 2, 1: PRINT vl$: LOCATE 2, 80: PRINT vl$
LOCATE 3, 1: PRINT bl$; STRING$(78, hl$); br$
a$ = "COMPUTER CONTROLLED SYSTEM ON GAS COMBUSTION IN DRAFT-DOWN
FURNACE"
FOR i = 1 TO 66
        LOCATE 2, 7: PRINT LEFT$(a$, i)
        FOR j = 1 TO 300: NEXT j
        SOUND 300, .3
NEXT i
LOCATE 5
PRINT "             ÛÛÛÛ  ÛÛ  ÛÛ ÛÛÛÛÛÛÛ ÛÛ   ÛÛ ÛÛÛÛ   ÛÛÛÛ    ÛÛ
ÛÛÛÛ"
PRINT "            ÛÛ  ÛÛ ÛÛ  ÛÛ  ÛÛ   Û ÛÛÛ ÛÛÛ  ÛÛ   ÛÛ  ÛÛ  ÛÛÛÛ
ÛÛ"
PRINT "           ÛÛ      ÛÛ  ÛÛ  ÛÛ Û   ÛÛÛÛÛÛÛ  ÛÛ  ÛÛ      ÛÛ  ÛÛ
ÛÛ"
PRINT "           ÛÛ      ÛÛÛÛÛÛ  ÛÛÛÛ   ÛÛÛÛÛÛÛ  ÛÛ  ÛÛ      ÛÛ  ÛÛ
ÛÛ"
PRINT "           ÛÛ      ÛÛ  ÛÛ  ÛÛ Û   ÛÛ Û ÛÛ  ÛÛ  ÛÛ      ÛÛÛÛÛÛ
ÛÛ   Û"
PRINT "            ÛÛ  ÛÛ ÛÛ  ÛÛ  ÛÛ   Û ÛÛ   ÛÛ  ÛÛ   ÛÛ  ÛÛ ÛÛ  ÛÛ
ÛÛ  ÛÛ"
PRINT "             ÛÛÛÛ  ÛÛ  ÛÛ ÛÛÛÛÛÛÛ ÛÛ   ÛÛ ÛÛÛÛ   ÛÛÛÛ  ÛÛ  ÛÛ
ÛÛÛÛÛÛÛ"
PRINT
PRINT "  ÛÛÛÛÛÛ ÛÛÛÛÛÛÛ   ÛÛÛÛ  ÛÛ  ÛÛ ÛÛ   ÛÛ   ÛÛÛ   ÛÛÛÛ      ÛÛÛ
ÛÛÛÛ  ÛÛ  ÛÛ"
PRINT "  Û ÛÛ Û  ÛÛ   Û  ÛÛ  ÛÛ ÛÛ  ÛÛ ÛÛÛ  ÛÛ  ÛÛ ÛÛ   ÛÛ      ÛÛ ÛÛ
ÛÛ  ÛÛ ÛÛ  ÛÛ"
PRINT "    ÛÛ    ÛÛ Û   ÛÛ      ÛÛ  ÛÛ ÛÛÛÛ ÛÛ ÛÛ   ÛÛ  ÛÛ     ÛÛ
ÛÛ ÛÛ      ÛÛ  ÛÛ"
PRINT "    ÛÛ    ÛÛÛÛ   ÛÛ      ÛÛÛÛÛÛ ÛÛ ÛÛÛÛ ÛÛ   ÛÛ  ÛÛ     ÛÛ
ÛÛ ÛÛ       ÛÛÛÛ"
PRINT "    ÛÛ    ÛÛ Û   ÛÛ      ÛÛ  ÛÛ ÛÛ  ÛÛÛ ÛÛ   ÛÛ  ÛÛ   Û ÛÛ
ÛÛ ÛÛ  ÛÛÛ   ÛÛ"
PRINT "    ÛÛ    ÛÛ   Û  ÛÛ  ÛÛ ÛÛ  ÛÛ ÛÛ   ÛÛ  ÛÛ ÛÛ   ÛÛ  ÛÛ  ÛÛ ÛÛ
ÛÛ  ÛÛ   ÛÛ"
PRINT "   ÛÛÛÛ  ÛÛÛÛÛÛÛ   ÛÛÛÛ  ÛÛ  ÛÛ ÛÛ   ÛÛ   ÛÛÛ   ÛÛÛÛÛÛÛ   ÛÛÛ
ÛÛÛÛÛ  ÛÛÛÛ"
a$ = "PRESS ANY KEY TO CONTINUE" + STRING$(15, "."): a$ = a$ + a$
pause:
FOR i = 1 TO 500: NEXT i
LOCATE 22, 1: PRINT a$: SOUND 300, .1
IF INKEY$ = "" THEN a$ = RIGHT$(a$, 79) + LEFT$(a$, 1): GOTO pause
```

```
'-------------------- data filename
main:
OPEN "runfile.dat" FOR INPUT AS #1
20 INPUT #1, runfile
IF EOF(1) THEN CLOSE : runfile = runfile + 1: GOTO main2
GOTO 20

'-------------------- main program
main2:
GOSUB spcls
dgop1% = 0: dgop2% = 11                    'set digital output channel
da1 = 0: da2 = 0: localgain = 100
sumer = 0: erold = 0
count = 0: numlp = 0: tlp = 0
mint = 0: maxt = 12: maxtc = 1500
FOR z = 1 TO 11: tc1(z) = 0: tc2(z) = 0: NEXT z
GOSUB boxtitle1: GOSUB boxtitle3: GOSUB boxtitle2
GOSUB adin
FOR z = 1 TO 8: tc(z, 0) = tc1(z): NEXT z
front = tc1(1): right = (tc1(2) + tc1(3)) / 2
left = (tc1(4) + tc1(5)) / 2: top = (tc1(6) + tc1(7)) / 2
avgtc = ((2 * front + right + left + top) / 5 + (2 * front + top) / 3
+ (2 * front + right + left) / 4) / 3
ay = avgtc: ax = count: GOSUB transdata
py(1) = py(2): px(1) = px(2)
GOSUB plot

main3:
TIMER ON
ON TIMER(5) GOSUB disp1
100 GOSUB adin
LOCATE 5, 71: PRINT USING "\      \"; TIME$;
LOCATE 23, 67: PRINT "          "
IF count > 1300 THEN GOTO main4
ans$ = INKEY$: IF ans$ = "" THEN GOTO 100
IF ans$ = CHR$(27) THEN TIMER OFF: GOTO main4
IF ans$ = "x" OR ans$ = "X" THEN
        TIMER OFF
        FOR i = 0 TO sumtm
                IF INT(sp(i)) >= INT(avgtc) THEN
                        xxx1 = i: xxx2 = count: i = sumtm + 1
                END IF
        NEXT i
        GOTO main5
END IF
press$ = ans$: GOSUB daout
GOTO 100

main4:
TIMER OFF
ans$ = INPUT$(1)
IF ans$ = CHR$(13) THEN GOTO 99
rf$ = STR$(runfile): rf$ = RIGHT$(rf$, LEN(rf$) - 1)
OPEN "run" + rf$ + ".prn" FOR OUTPUT AS #2
FOR q = 0 TO count
        PRINT #2, q; ",";
        FOR z = 1 TO 8
```

```
                PRINT #2, tc(z, q);
                IF z <> 8 THEN PRINT #2, ","; ELSE PRINT #2,
        NEXT z
NEXT q
OPEN "runfile.dat" FOR APPEND AS #3
PRINT #3, runfile
99 CLOSE : SCREEN 0, 0, 0: CLS : END

main5:
TIMER ON
ON TIMER(5) GOSUB disp3
700 GOSUB adin
da1old = da1: da2old = da2
LOCATE 5, 71: PRINT USING "\       \"; TIME$;
LOCATE 23, 67: PRINT "Automatic"
IF count > 1300 THEN GOTO main4
ans$ = INKEY$: IF ans$ = "" THEN GOTO 700
IF ans$ = CHR$(27) THEN TIMER OFF: GOTO main4
IF ans$ = "x" OR ans$ = "X" THEN TIMER OFF: GOTO main3
press$ = ans$: GOSUB daout
GOTO 700

'-------------------- SUBROUTINE
'-------------------- special clear screen
spcls:
FOR i = 42 TO 347 STEP 3
        LINE (0, i)-(719, i + 2), , BF
        SOUND (i + 4) * 10, .1
        LINE (0, i)-(719, i + 2), 0, BF
        FOR j = 1 TO 40: NEXT j
NEXT i: RETURN

'------------------- box title #1
boxtitle1:
GOSUB bdrchr
LOCATE 1, 1: PRINT tl$; STRING$(78, hl$); tr$
LOCATE 2, 1: PRINT vl$: LOCATE 2, 80: PRINT vl$
LOCATE 3, 1: PRINT bl$; STRING$(78, hl$); br$
LOCATE 2, 7
PRINT "COMPUTER-CONTROLLED SYSTEM FOR GAS COMBUSTION IN DRAFT-DOWN
FURNACE"
LOCATE 4, 62: PRINT tl$; STRING$(17, hl$); tr$
LOCATE 5, 62: PRINT vl$; SPACE$(17); vl$
LOCATE 6, 62: PRINT ml$; STRING$(17, hl$); mr$
LOCATE 7, 62: PRINT vl$; SPACE$(17); vl$
LOCATE 8, 62: PRINT vl$; SPACE$(17); vl$
LOCATE 9, 62: PRINT bl$; STRING$(17, hl$); br$
LOCATE 5, 64: PRINT "Time : 00:00:00"
LOCATE 7, 64: PRINT USING "Counter : #####"; 0
LOCATE 8, 64: PRINT USING "Run No. : #####"; runfile
LOCATE 10, 62: PRINT tl$; STRING$(8, hl$); tm$; STRING$(8, hl$); tr$
LOCATE 12, 62: PRINT ml$; STRING$(8, hl$); mm$; STRING$(8, hl$); mr$
LOCATE 11, 62: PRINT vl$; "Position"; vl$; " T ("; CHR$(248); "C) ";
vl$
LOCATE 13, 62: PRINT vl$; " Front  "; vl$; " 0000.0 "; vl$
LOCATE 14, 62: PRINT vl$; " Right  "; vl$; " 0000.0 "; vl$
LOCATE 15, 62: PRINT vl$; " Left   "; vl$; " 0000.0 "; vl$
LOCATE 16, 62: PRINT vl$; " Top    "; vl$; " 0000.0 "; vl$
```

```
LOCATE 17, 62: PRINT vl$; " Exhaust"; vl$; " 0000.0 "; vl$
LOCATE 18, 62: PRINT ml$; STRING$(8, hl$); mm$; STRING$(8, hl$); mr$
LOCATE 19, 62: PRINT vl$; " Average"; vl$; " 0000.0 "; vl$
LOCATE 20, 62: PRINT ml$; STRING$(8, hl$); mm$; STRING$(8, hl$); mr$
LOCATE 21, 62: PRINT vl$; "Setpoint"; vl$; " 0000.0 "; vl$
LOCATE 22, 62: PRINT bl$; STRING$(8, hl$); bm$; STRING$(8, hl$); br$
RETURN

'-------------------- box title #2
boxtitle2:
LINE (0, 50)-(550, 310), 0, BF
LINE (48, 80)-(49, 299), , BF
LINE (48, 299)-(485, 298), , BF
FOR i = 48 TO 480 STEP 36
        LINE (i, 298)-(i + 1, 301), , BF
        LINE (i + 1, 89)-(i + 1, 299), , , pttn2
NEXT i
FOR i = 299 TO 89 STEP -42
        LINE (46, i)-(49, i - 1), , BF
        LINE (48, i)-(480, i), , , pttn2
NEXT i
LOCATE 5, 1: PRINT "Temperature (deg C)"
LOCATE 21, 56: PRINT "Time": LOCATE 22, 56: PRINT "(hr)"
LINE (48, 299)-(48, 299), , , pttn2
FOR i = 0 TO sumtm
        py = 299 - (211 / maxtc) * sp(i)
        px = 48 + (433 / (maxt - mint) * i / 60)
        LINE -(px, py), , , pttn2
NEXT i
FOR i = 22 TO 7 STEP -3
        LOCATE i, 1: PRINT USING "####"; (22 - i) / 3 * 300
NEXT i
FOR i = 6 TO 54 STEP 8
        LOCATE 23, i - 1: PRINT USING "##"; (i - 6) / 8 + mint
        LOCATE 23, i - 1: PRINT USING "##"; (i - 6) / (maxt * 4 / 3)
/ (.25 ^ ((maxt - 6) / 6))
NEXT i
LOCATE 24, 1: PRINT SPACE$(70);
RETURN

'-------------------- box title #3
boxtitle3:
LINE (48, 80)-(49, 299), , BF
LINE (48, 299)-(485, 298), , BF
FOR i = 48 TO 480 STEP 36: LINE (i, 298)-(i + 1, 301), , BF: NEXT i
FOR i = 299 TO 89 STEP -42: LINE (46, i)-(49, i - 1), , BF: NEXT i
LOCATE 5, 1: PRINT "Temperature (deg C)"
LOCATE 21, 56: PRINT "Time": LOCATE 22, 56: PRINT "(min)"
LINE (48, 299)-STEP(108, -126), , , pttn1
LINE -STEP(36, 0), , , pttn1
LINE -STEP(72, -56), , , pttn1
LINE -STEP(36, 0), , , pttn1
LINE -STEP(36, 42), , , pttn1
LINE -STEP(72, 42), , , pttn1
LINE -STEP(72, 84), , , pttn1
LINE (156, 299)-STEP(0, -126), , , pttn2
LINE (192, 299)-STEP(0, -126), , , pttn2
LINE (264, 299)-STEP(0, -182), , , pttn2
```

```
LINE (300, 299)-STEP(0, -182), , , pttn2
LINE (336, 299)-STEP(0, -140), , , pttn2
LINE (408, 299)-STEP(0, -98), , , pttn2
LOCATE 20, 11: PRINT "(1)": LOCATE 21, 11: PRINT "180"
spt(1) = 180: srow(1) = 21: scol(1) = 11
LOCATE 20, 19: PRINT "(2)": LOCATE 21, 19: PRINT "60"
spt(2) = 60: srow(2) = 21: scol(2) = 19
LOCATE 20, 25: PRINT "(3)": LOCATE 21, 25: PRINT "120"
spt(3) = 120: srow(3) = 21: scol(3) = 25
LOCATE 20, 31: PRINT "(4)": LOCATE 21, 31: PRINT "60"
spt(4) = 60: srow(4) = 21: scol(4) = 31
LOCATE 20, 35: PRINT "(5)": LOCATE 21, 35: PRINT "60"
spt(5) = 60: srow(5) = 21: scol(5) = 35
LOCATE 20, 41: PRINT "(6)": LOCATE 21, 41: PRINT "120"
spt(6) = 120: srow(6) = 21: scol(6) = 41
LOCATE 20, 49: PRINT "(7)": LOCATE 21, 49: PRINT "120"
spt(7) = 120: srow(7) = 21: scol(7) = 49
LOCATE 11, 19: PRINT "(A)": LOCATE 12, 19: PRINT "900"
spt(8) = 900: srow(8) = 12: scol(8) = 19
LOCATE 7, 31: PRINT "(B)": LOCATE 8, 31: PRINT "1300"
spt(9) = 1300: srow(9) = 8: scol(9) = 31
LOCATE 10, 39: PRINT "(C)": LOCATE 11, 39: PRINT "1000"
spt(10) = 1000: srow(10) = 11: scol(10) = 39
LOCATE 14, 48: PRINT "(D)": LOCATE 15, 48: PRINT "700"
spt(11) = 700: srow(11) = 15: scol(11) = 48
LOCATE 24, 5: PRINT "---- Type Number of Letter, <Enter> to select,
<ESC> to start ----";
IF choice = 0 THEN choice = 1
11 choice$ = INKEY$
IF choice$ <> "" THEN SOUND 500, .1
IF choice$ = CHR$(27) THEN SOUND 1200, .5: GOTO 15
IF choice$ = CHR$(13) THEN SOUND 1200, .5: GOSUB 16
IF choice$ >= "1" AND choice$ <= "7" THEN choice = VAL(choice$)
IF choice$ = "a" OR choice$ = "A" THEN choice = 8
IF choice$ = "b" OR choice$ = "B" THEN choice = 9
IF choice$ = "c" OR choice$ = "C" THEN choice = 10
IF choice$ = "d" OR choice$ = "D" THEN choice = 11
LOCATE srow(choice), scol(choice)
PRINT STRING$(LEN(STR$(spt(choice))) - 1, "-")
LOCATE srow(choice), scol(choice)
PRINT RIGHT$(STR$(spt(choice)), LEN(STR$(spt(choice))) - 1)
GOTO 11
16 IF choice >= 1 AND choice <= 7 THEN
        rw = srow(choice): cl = scol(choice): lt = 3: GOSUB gnum
        IF gn >= 0 AND gn <= 360 THEN spt(choice) = gn
ELSE
        rw = srow(choice): cl = scol(choice): lt = 4: GOSUB gnum
        IF gn >= 0 AND gn <= 1400 THEN spt(choice) = gn
END IF
15 IF spt(8) > spt(9) THEN BEEP: GOTO 11
IF spt(10) > spt(9) THEN BEEP: GOTO 11
IF spt(11) > spt(10) OR spt(11) > spt(10) THEN BEEP: GOTO 11
FOR i = 1 TO 7: sum(i) = 0
        FOR j = 1 TO i: sum(i) = sum(i) + spt(j)
NEXT j, i
FOR i = 0 TO sum(1): sp(i) = spt(8) * i / spt(1): NEXT i
FOR i = sum(1) TO sum(2): sp(i) = spt(8): NEXT i
FOR i = sum(2) TO sum(3)
```

```
        IF spt(3) <> 0 THEN
                sp(i) = (spt(9) - spt(8)) * (i - sum(2)) / spt(3) +
spt(8)
        ELSE
                sp(i) = 0
        END IF
NEXT i
FOR i = sum(3) TO sum(4): sp(i) = spt(9): NEXT i
FOR i = sum(4) TO sum(5)
        IF spt(4) <> 0 THEN
                sp(i) = (spt(10) - spt(9)) * (i - sum(4)) / spt(5) +
spt(9)
        ELSE
                sp(i) = 0
        END IF
NEXT i
FOR i = sum(5) TO sum(6)
        IF spt(5) <> 0 THEN
                sp(i) = (spt(11) - spt(10)) * (i - sum(5)) / spt(6) +
spt(10)
        ELSE
                sp(i) = 0
        END IF
NEXT i
FOR i = sum(6) TO sum(7)
        IF spt(6) <> 0 THEN
                sp(i) = (100 - spt(11)) * (i - sum(6)) / spt(7) + spt
(11)
        ELSE
                sp(i) = 0
        END IF
NEXT i
sumtm = sum(7): RETURN

'-------------------- get A/D value
adin:
FOR dat = dgop1% TO dgop2%
'---------- write digital output : function 21
        fun% = 21                       'function 21
        d = INT(dat / 256)
        dat%(0) = dat - d * 256!
        dat%(1) = d
        CALL PCL812(fun%, SEG dat%(0), SEG ary1%(0), SEG ary2%(0),
er%)
        IF er% <> 0 THEN PRINT "Perform function 21 failed!": STOP

'---------- perform single A/D conversion : function 3
        fun% = 3                        'function 3
        CALL PCL812(fun%, SEG dat%(0), SEG ary1%(0), SEG ary2%(0),
er%)
        IF er% <> 0 THEN PRINT "A/D conversion failed!": STOP
        mv = fng(dat%(0))
        IF dat >= 0 AND dat <= 4 THEN
                IF mv <= 0 THEN tc1(dat + 1) = tc1(dat + 1) + 0
                IF mv > 0 AND mv <= 20 THEN tc1(dat + 1) = tc1(dat +
1) + fnf(mv)
        END IF
        IF dat >= 6 AND dat <= 8 THEN
```

```
                IF mv <= 0 THEN tc1(dat) = tc1(dat) + 0
                IF mv > 0 AND mv <= 20 THEN tc1(dat) = tc1(dat) + fnf
(mv)
        END IF
        IF dat >= 9 AND dat <= 11 THEN tc1(dat) = tc1(dat) + mv
NEXT dat
numlp = numlp + 1
RETURN

'-------------------- translate data to graph
transdata:
py(2) = 299 - (211 / maxtc) * ay
px(2) = 48 + (433 / (maxt - mint) / 60) * ax
RETURN

'-------------------- plot graph
plot:
LINE (px(1), py(1))-(px(2), py(2))
LINE (px(1), py(1) + 1)-(px(2), py(2) + 1)
px(1) = px(2): py(1) = py(2)
RETURN

'-------------------- display #1
disp1:
tlp = tlp + 1
front = tc1(1) / numlp: right = fntav(tc1(2), tc1(3)) / numlp
left = fntav(tc1(4), tc1(5)) / numlp: top = fntav(tc1(6), tc1(7)) /
numlp
exh = tc1(8) / numlp
avgtc = fnt(front, right, left, top)
LOCATE 13, 73: PRINT USING "####.#"; front
LOCATE 14, 73: PRINT USING "####.#"; right
LOCATE 15, 73: PRINT USING "####.#"; left
LOCATE 16, 73: PRINT USING "####.#"; top
LOCATE 17, 73: PRINT USING "####.#"; exh
LOCATE 19, 73: PRINT USING "####.#"; avgtc
FOR z = 1 TO 8: tc2(z) = tc2(z) + (tc1(z) / numlp): tc1(z) = 0: NEXT
z
LOCATE 5, 25: PRINT USING "D/A AIR : ####     D/A LPG : ####"; da1;
da2
numlp = 0
LOCATE 7, 74: PRINT USING "#####"; count: SOUND 900 * 1.4, .5
IF tlp = 12 THEN GOTO disp2 ELSE RETURN

'-------------------- display #3
disp3:
tlp = tlp + 1
front = tc1(1) / numlp: right = fntav(tc1(2), tc1(3)) / numlp
left = fntav(tc1(4), tc1(5)) / numlp: top = fntav(tc1(6), tc1(7)) /
numlp
exh = tc1(8) / numlp
avgtc = fnt(front, right, left, top)
LOCATE 13, 73: PRINT USING "####.#"; front
LOCATE 14, 73: PRINT USING "####.#"; right
LOCATE 15, 73: PRINT USING "####.#"; left
LOCATE 16, 73: PRINT USING "####.#"; top
LOCATE 17, 73: PRINT USING "####.#"; exh
LOCATE 19, 73: PRINT USING "####.#"; avgtc
```

```
LOCATE 21, 73: PRINT USING "####.#"; sp(count + xxx1 - xxx2)
FOR z = 1 TO 8: tc2(z) = tc2(z) + (tc1(z) / numlp): tc1(z) = 0: NEXT
z
LOCATE 5, 25: PRINT USING "D/A AIR : ####     D/A LPG : ####"; da1;
da2
numlp = 0
LOCATE 7, 74: PRINT USING "#####"; count: SOUND 900 * 1.4, .5
IF tlp = 12 THEN GOTO disp4 ELSE RETURN

'-------------------- display #2
disp2:
tlp = 0: count = count + 1
front = tc2(1) / 12: right = fntav(tc2(2), tc2(3)) / 12
left = fntav(tc2(4), tc2(5)) / 12: top = fntav(tc2(6), tc2(7)) / 12
avgtc = fnt(front, right, left, top)
FOR z = 1 TO 8: tc(z, count) = tc2(z) / 12: tc2(z) = 0: NEXT z
'ay = avgtc: ax = count: GOSUB transdata: GOSUB plot
RETURN

'-------------------- display #4
disp4:
tlp = 0: count = count + 1
front = tc2(1) / 12: right = fntav(tc2(2), tc2(3)) / 12
left = fntav(tc2(4), tc2(5)) / 12: top = fntav(tc2(6), tc2(7)) / 12
avgtc = fnt(front, right, left, top)
FOR z = 1 TO 8: tc(z, count) = tc2(z) / 12: tc2(z) = 0: NEXT z
ay = avgtc: ax = count + xxx1 - xxx2: GOSUB transdata: GOSUB plot

' Proportional controller
IF controller = 1 THEN
        IF avgtc >= 0 AND avgtc < 550 THEN Kc = 53.615
        IF avgtc >= 550 AND avgtc < 800 THEN Kc = 49.341
        IF avgtc >= 800 AND avgtc < 1050 THEN Kc = 47.015
        IF avgtc >= 1050 THEN Kc = 42.555
END IF

' Proportional Integral controller
IF controller = 2 THEN
        IF avgtc >= 0 AND avgtc < 550 THEN Kc = 48.741
        IF avgtc >= 550 AND avgtc < 800 THEN Kc = 44.855
        IF avgtc >= 800 AND avgtc < 1050 THEN Kc = 42.741
        IF avgtc >= 1050 THEN Kc = 38.686
        Ti = 1.646
END IF

' Proportional Integral Derivative controller
IF controller = 3 THEN
        IF avgtc >= 0 AND avgtc < 550 THEN Kc = 48.741
        IF avgtc >= 550 AND avgtc < 800 THEN Kc = 44.855
        IF avgtc >= 800 AND avgtc < 1050 THEN Kc = 42.741
        IF avgtc >= 1050 THEN Kc = 38.686
        Ti = .987: Td = .247
END IF

er3 = er2: er2 = er: er = sp(count + xxx1 - xxx2) - avgtc
IF controller = 1 THEN
        outnew = Kc * er + outold
ELSEIF controller = 2 THEN
```

```
        outnew = Kc * (1 + 1 / Ti) * er - Kc * er2 + outold
ELSEIF controller = 3 THEN
        outnew = Kc * (1 + 1 / Ti + Td) * er - Kc * (1 + 2 * Td) *
er2 + Kc * Td * er3 + outold
END IF

xx2 = outnew: outold = outnew
IF xx2 < 1200 THEN xx2 = 1200
IF xx2 > 4090 THEN xx2 = 4090
IF xx2 >= 3000 THEN xx1 = 1610 ELSE xx1 = xx2 * .20691 + 961.6447
IF er < 0 THEN
        da1 = xx1: GOSUB daout
        FOR xz = 1 TO 15000: NEXT xz
        da2 = xx2: GOSUB daout
        RETURN
END IF
IF er > 0 THEN
        da2 = xx2: GOSUB daout
        FOR xz = 1 TO 15000: NEXT xz
        da1 = xx1: GOSUB daout
        RETURN
END IF

'-------------------- D/A output
daout:
IF press$ = "i" OR press$ = "I" THEN da2 = da2 + 100
IF press$ = "k" OR press$ = "K" THEN da2 = da2 - 100
IF press$ = "j" OR press$ = "J" THEN da2 = da2 + 10
IF press$ = "l" OR press$ = "L" THEN da2 = da2 - 10
IF press$ = "e" OR press$ = "E" THEN da1 = da1 + 100
IF press$ = "d" OR press$ = "D" THEN da1 = da1 - 100
IF press$ = "s" OR press$ = "S" THEN da1 = da1 + 10
IF press$ = "f" OR press$ = "F" THEN da1 = da1 - 10
IF press$ = "8" THEN da1 = 4090
IF press$ = "2" THEN da1 = 0
IF press$ = "4" THEN da2 = 4090
IF press$ = "6" THEN da2 = 0
IF da1 < 0 THEN da1 = 0
IF da1 > 4090 THEN da1 = 4090
IF da2 < 0 THEN da2 = 0
IF da2 > 4090 THEN da2 = 4090
dat%(0) = da1: dat%(1) = da2
fun% = 16
CALL PCL812(fun%, SEG dat%(0), SEG ary1%(0), SEG ary2%(0), er%)
IF er% <> 0 THEN PRINT "PERFORM D/A #0 AND D/A #1 FAILED!": STOP
LOCATE 5, 25: PRINT USING "D/A AIR : ####     D/A LPG : ####"; da1;
da2
press$ = "": RETURN

'-------------------- border character
bdrchr:
tl$ = CHR$(218): tm$ = CHR$(194): tr$ = CHR$(191)
ml$ = CHR$(195): mm$ = CHR$(197): mr$ = CHR$(180)
bl$ = CHR$(192): bm$ = CHR$(193): br$ = CHR$(217)
hl$ = CHR$(196): vl$ = CHR$(179)
RETURN

'-------------------- get text
```

```
gtxt:
LOCATE rw, cl: PRINT STRING$(lt, "."): gt$ = ""
gta:
ans$ = INPUT$(1): SOUND 800, .3
IF ans$ = CHR$(13) AND LEN(gt$) <> 0 THEN GOTO ptt2
IF ans$ = CHR$(8) AND LEN(gt$) <> 0 THEN
        gt$ = LEFT$(gt$, LEN(gt$) - 1): GOTO ptt1
END IF
IF ans$ = CHR$(27) THEN GOTO gtxt
IF ans$ < CHR$(32) THEN SOUND 1000, .5: GOTO gta
gt$ = gt$ + ans$
IF LEN(gt$) > lt THEN gt$ = LEFT$(gt$, lt): SOUND 1000, .5
ptt1:
LOCATE rw, cl: PRINT gt$ + STRING$(lt - LEN(gt$), "."): GOTO gta
ptt2:
LOCATE rw, cl: PRINT SPACE$(lt)
LOCATE rw, cl: PRINT gt$
RETURN

'-------------------- get number
gnum:
LOCATE rw, cl: PRINT STRING$(lt, "."): gn$ = ""
gna:
ans$ = INPUT$(1): SOUND 800, .3
IF (ans$ = CHR$(13) OR ans$ = ",") AND LEN(gn$) <> 0 THEN GOTO ptt4
IF ans$ = CHR$(8) AND LEN(gn$) <> 0 THEN
        gn$ = LEFT$(gn$, LEN(gn$) - 1): GOTO ptt3
END IF
IF ans$ = CHR$(27) THEN GOTO gnum
IF ans$ < CHR$(32) THEN SOUND 1000, .5: GOTO gna
IF ans$ < "0" OR ans$ > "9" THEN SOUND 1000, .5: GOTO gna
gn$ = gn$ + ans$
IF LEN(gn$) > lt THEN gn$ = LEFT$((gn$), lt): SOUND 1000, .5
ptt3:
LOCATE rw, cl: PRINT gn$ + STRING$(lt - LEN(gn$), "."): GOTO gna
ptt4:
gn = VAL(gn$)
IF gn < 0 THEN SOUND 1000, .5: GOTO gnum
LOCATE rw, cl: PRINT SPACE$(lt)
LOCATE rw, cl: PRINT gn$
RETURN
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นายธีรพจน์ โกราษฎร์ เกิดเมื่อวันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2513 ที่จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีวิศวกรรม ภาควิชาเคมีเทคนิค จากคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2534

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย