



โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการเกิด ก๊าซซิฟิเคชัน
(Computer program for Gasification)

ในการเขียนโปรแกรมชุดนี้ได้อาศัยข้อมูลบางประการที่ เอ.กัพพ์ (A. Kaupp) ได้เสนอไว้ในงานวิจัยของเขา (7) คือส่วนประกอบของก๊าซต่างๆ ในก๊าซเชื้อเพลิง ที่ผลิตจะขึ้นอยู่กับ อัตราส่วนของ O_2 ที่ใช้เผาต่อ C ในถ่านหรือไม้ ความชื้นในถ่านหรือไม้ และ อุณหภูมิที่เกิดก๊าซซิฟิเคชัน ในเตาผลิตก๊าซ แต่ไม่ได้ให้รายละเอียดของโปรแกรมไว้ ดังนั้น ในฐานะที่ทำการวิจัยทางด้านนี้จึงคิดว่าน่าจะหาตัว โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ของการเกิดก๊าซสังเคราะห์ต่างๆ มานำเสนอเพื่อให้ผู้สนใจได้ใช้ประโยชน์จากมันบ้างตามสมควร

โดยการอาศัยสมการ 4.18 ถึง สมการ 4.30 เป็นหลัก เพื่อจะคำนวณหา % โมลของก๊าซต่างๆ โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเป็นหลักโดยเริ่มจาก 600 ถึง 1500 °เคลวิน ขั้นตอนที่ใช้ Trial and Error ในสมการที่ 4.28, 4.29 และ 4.30 จะใช้วิธี Interval Halving* เพราะค่อนข้างสะดวก ส่วนวิธีของ นิวตัน แรปสัน นั้น เคยทดลองใช้บ้างแล้ว แต่ให้ผลได้ไม่ดีเท่ากับ Interval Halving เนื่องจากค่า n และ Y_{CO_2} ตรงจุดที่ทำให้สมการ 4.28 เป็นศูนย์นั้นมีค่า ความชัน ทั้งด้านซ้ายด้านขวามาก มาก ทำให้การหาค่า n และ Y_{CO_2} คลาดเคลื่อนมากกว่า Interval Halving แม้จะใช้เวลารวดเร็วกว่า

5.1 ขั้นตอนต่างๆ ในการเขียนโปรแกรม

ในการเขียนโปรแกรมครั้งนี้ใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ของบริษัท Epson จำนวนหา % ต่างๆ ของก๊าซ เชื้อเพลิง บันทึกผลลงบนเครื่องพิมพ์ (Printer) แต่เนื่องจากภาษาที่ใช้เขียนเป็น เอ็ม เบสิก (mbasic) เพราะฉะนั้นสามารถใช้กับไมโครคอมพิวเตอร์ยี่ห้ออื่นก็ได้ที่มีภาษา ซี พี เอ็ม (Cp/m) และมีคอมไพเลอร์ เอ็ม เบสิก (com. mbasic) หมายถึง* ศึกษาได้ตามหนังสือที่มีเรื่อง Trial and Error

ข้อกำหนดและเงื่อนไขในการเขียนโปรแกรมของการเกิดก๊าซซีพี เคชั่นมีดังนี้

-ปฏิกิริยาที่เกิดเข้าสู่สมดุลเคมี

-ก๊าซออกซิเจนถูกใช้หมดในการเกิดก๊าซซีพี เคชั่น

-คาร์บอนในไม้หรือถ่านถูกใช้หมดในการเกิดก๊าซซีพี เคชั่น

-ไม้ไม่ปรีมาณสารระเหย (ทาร์และน้ำมัน) มากัดในปฏิกิริยาที่จุดสมดุลเคมี

-ใช้ สูตรทางเคมี ของไม้หรือถ่านเป็น CH_xO_y (สำหรับไม้คือ $CH_{1.421}O_{0.605}$)

-ความดันรวมของก๊าซเชื้อเพลิง 1 บรรยากาศ

โปรแกรมที่เขียนขึ้นเป็นการทำนายผลของการเกิดก๊าซซีพี เคชั่นอย่างคร่าวๆ เท่านั้น

เพื่อให้ผู้สนใจทางด้านกระบวนการเกิดก๊าซซีพี เคชั่นได้เข้าใจการเกิดก๊าซซีพี เคชั่นเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะที่จุดสมดุลเคมี

ขั้นตอนในการเขียนโปรแกรมเริ่มจากจะหาค่า K_1 และ K_2 ในเทอมของอุณหภูมิ

ได้อย่างไร ก็โดยอาศัยตารางที่ 5.1 หาค่า ΔG° ของก๊าซแต่ละตัวจากสมการ

$$\Delta G^\circ = \Delta H_{298}^\circ - aT \ln T - bT^2 - (c/2) T^3 - (d/3) T^4 + e/(2T) + f + g \cdot T \quad (5.1)$$

ΔG° ของ CO ใช้สัญลักษณ์ DG1 (KJ/mole)

ΔG° ของ CO₂ ใช้สัญลักษณ์ DG2 (KJ/mole)

ΔG° ของ H₂O ใช้สัญลักษณ์ DG3 (KJ/mole)

ΔG° ของ CH₄ ใช้สัญลักษณ์ DG4 (KJ/mole)

a, b, c, d, e, f และ g ของก๊าซแต่ละตัวก็ดูจากตารางที่ 5.1 นั้นเอง

เมื่อหา แล้วก็นำไปหา $K_{CO}, K_{CO_2}, K_{H_2O}$ และ K_{CH_4} คือ โดยที่

$$K = e^{\left(\frac{-\Delta G^\circ}{R \cdot T}\right)} \quad (5.2)$$

R = 8.31441 J/(mole. °K)

T = อุณหภูมิ (°K)

ΔG° = ค่าพลังงานอิสระของกิบส์ (KJ/mole)

$$K_{CO} = e^{\left(\frac{-1000 \cdot D \cdot G1}{RT}\right)} \quad (5.3)$$

Table 5.1 Evaluation of thermodynamic functions for formation reactions of gases

$$\Delta_f H_f^\circ = \Delta_f H_{f,m}^\circ + aT + bT^2 + cT^3 + dT^4 + e/T + f \quad \text{kJ/mol}$$

$$\Delta_f G_f^\circ = \Delta_f H_{f,m}^\circ - aT \ln T - bT^2 - (c/2)T^3 - (d/3)T^4 + (e/2T) + f + gT \quad \text{kJ/mol}$$

$$\Delta_f S_f^\circ = (\Delta_f G_f^\circ - \Delta_f H_f^\circ)/T \quad \text{kJ/(mol} \cdot \text{K)}$$

Compound		$\Delta_f H_{f,m}^\circ$	a	b	c	d	e	f	g
Formula	Name								
CH ₄	Methane	- 74.8	-4.620E-2	+1.130E-5	+1.319E-8	-6.647E-12	-4.891E+2	+1.411E+1	-2.234E-1
C ₂ H ₆	Ethane	- 84.7	-9.834E-2	+6.414E-5	-9.311E-9	-3.553E-12	-9.782E+2	+2.717E+1	-4.535E-1
C ₂ H ₄	Ethylene	+ 52.3	-7.281E-2	+5.802E-5	-1.861E-8	+5.648E-13	-9.782E+2	+2.032E+1	-4.076E-1
C ₂ H ₂	Acetylene	+ 226.7	-2.269E-2	+2.228E-5	-1.208E-8	+1.618E-12	-9.782E+2	+8.373E+0	-2.044E-1
C ₆ H ₆	Benzene	+ 82.9	-1.824E-1	+1.903E-4	-8.670E-8	+1.208E-11	-2.935E+3	+4.950E+1	-9.787E-1
CH ₃ OH	Methanol	-201.2	-5.834E-2	+2.070E-5	+1.491E-8	-9.614E-12	-4.891E+2	+1.688E+1	-2.467E-1
C ₂ H ₅ OH	Ethanol	-218.5	-1.088E-1	+8.252E-5	-1.706E-8	-4.056E-12	-9.782E+2	+2.886E+1	-5.189E-1
C ₆ H ₅ OH	Phenol	- 96.4	-1.983E-1	+2.522E-4	-1.499E-7	+3.375E-11	-2.935E+3	+5.025E+1	-1.000E+0
CO	Carbon monoxide	-110.5	+5.619E-3	-1.190E-5	+6.383E-9	-1.846E-12	-4.891E+2	+8.684E-1	-6.131E-2
CO ₂	Carbon dioxide	-393.5	-1.949E-2	+3.122E-5	-2.448E-8	+6.946E-12	-4.891E+2	+5.270E+0	-1.207E-1
H ₂ O	Water	-241.8	-8.950E-3	-3.672E-6	+5.209E-9	-1.478E-12	0	+2.868E+0	-1.722E-2
NH ₃	Ammonia	- 45.9	-2.896E-2	+8.345E-6	+8.124E-9	-4.366E-12	0	+7.711E+0	-8.876E-2
H ₂ S	Hydrogen sulfide	- 84.9	-1.315E-2	-4.225E-6	+1.270E-8	-4.849E-12	0	+3.999E+0	-5.023E-2
NO ₂	Nitrogen dioxide	+ 33.3	-1.944E-2	+2.755E-5	-1.721E-8	+4.193E-12	0	+3.769E+0	-5.551E-2
NO	Nitric oxide	+ 90.4	-2.850E-4	+2.921E-6	-4.124E-9	+1.744E-12	0	-7.917E-2	-1.307E-2
SO ₂	Sulfur dioxide	-361.7	-2.220E-2	+3.316E-5	-2.234E-8	+5.979E-12	0	+4.216E+0	-6.026E-2

ตารางที่ 5.1 การหาค่าของฟังก์ชันทางเทอร์โมไดนามิกสำหรับปฏิกิริยาของการเกิดก๊าซต่างๆ (12)

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$K_{CO_2} = e^{\frac{(-1000 \cdot DG_2)}{RT}} \quad (5.4)$$

$$K_{H_2O} = e^{\frac{(-1000 \cdot DG_3)}{RT}} \quad (5.5)$$

$$K_{CH_4} = e^{\frac{(-1000 \cdot DG_3)}{RT}} \quad (5.6)$$

จากสมการที่ 4.18 และ 4.19

$$K_1 = \frac{K_{CO}}{K_{CH_4} \cdot K_{H_2O}}$$

และ

$$K_2 = \frac{K_{CO}^2}{K_{CO_2} \cdot K_{CH_4}}$$

จาก 5.3, 5.4, 5.5 และ 5.6 จะได้

$$-1000 (DG - DG - DG)/(R \cdot T) \quad (5.7)$$

$$K_1 = e$$

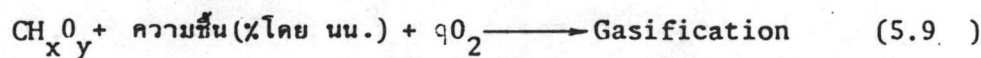
$$XK_1 = \text{Exp} (-1000 * (DG_1 - DG_3 - DG_4)/(R * T))$$

$$-1000(2 \cdot DG_1 - DG_2 - DG_4)/(R \cdot T)$$

$$K_2 = e \quad (5.8)$$

$$XK_2 = \text{Exp} (-1000 * (2 * DG_1 - DG_2 - DG_4)/(R * T))$$

ต่อมาถ้าหา n_C , n_{H_2} และ n_{O_2} ที่เดิมเข้าเตาปฏิกรณ์ ซึ่งหาจากสูตรของไม้อย่างง่ายรวมกับความชื้น และที่จำนวนโมลของ O_2 โดยเทียบกับ C 1 โมล



ในการนี้เราต้องรู้ x และ y จะได้



w คือ จำนวนโมลของความชื้น

$$w = M \cdot \frac{(12 + x + 16y)}{100 \times 18} \quad (5.10)$$

$$n_C = 1 \quad (5.11)$$

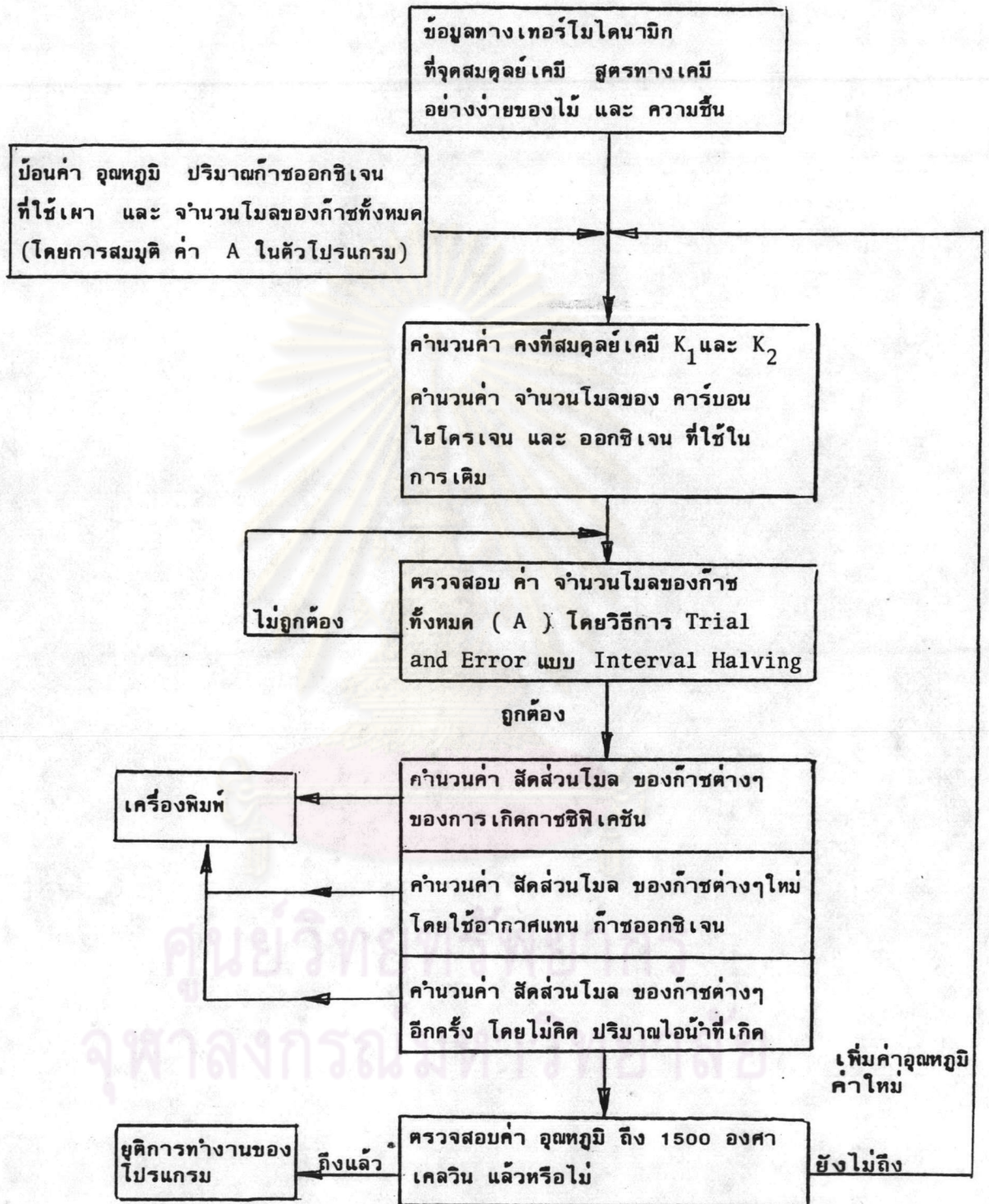
$$n_{H_2} = \frac{x}{2} + w \quad (5.12)$$

$$n_{O_2} = \frac{y}{2} + \frac{w}{2} + q \quad (5.13)$$

เมื่อได้ n_C , n_{H_2} และ n_{O_2} แล้วก็นำไปเขียนโปรแกรมคำนวณหา n , Y_{CO_2} , Y_{CO} , Y_{CH_4} , Y_{H_2} และ Y_{H_2O} โดยเริ่มจากอุณหภูมิ 700° เคลวินแล้วเพิ่มอุณหภูมิโดยเพิ่มครั้งละ 50° เคลวิน

จากนั้น เมื่อได้ค่า n และสัดส่วนโมลของก๊าซต่างๆ แล้ว ต้องนำกลับมาคำนวณหา สัดส่วนโมลใหม่ เนื่องจาก O_2 ที่ใช้เผาไหม้ได้จากอากาศ ซึ่งโดยปกติในอากาศ 1 โมล จะมี O_2 อยู่ .21 โมล และ N_2 ประมาณ .79 โมล ซึ่งถ้าใช้ O_2 ใช้ในการเผา q โมล แสดงว่าจะต้องมี N_2 ปนอยู่ด้วย $= \frac{79}{21} \cdot q$ โมล นั่นคือ จำนวน โมลของก๊าซทั้งหมดที่ออกจากเตาจะต้องมีค่า $= \frac{79}{21} \cdot q + n$ ดังนั้นจึงต้องคำนวณหาค่าสัดส่วนโมลใหม่ ดังปรากฏในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจในการทำงานของโปรแกรมพิจารณาแผนภาพการทำงานของโปรแกรมดังในรูปที่ 5.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.1 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการเกิด
ก๊าซซีพีเคชั่น

5.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการเกิดก๊าซซิติเคชั่นที่จุดสมดุลเคมี

```

1 INPUT "q=?",Q
2 INPUT "T=?",T
3 INPUT "n=?",A
4 DA=.05:X=1.421:Y=.605:M=22.6
5 W=(12*X+16*Y)*M/1800
6 T=T+50
10 DH1=-110.5:A1=.005619:B1=-.0000119:C1=6.383E-09:D1=-1.846E-12:E1=-489.1:F1=.8
684:B1=-.06131:R=B.31441
20 DH2=-393.5:A2=-.01949:B2=3.122E-05:C2=-2.448E-08:D2=6.946E-12:E2=-489.1:F2=5.
27:B2=-.1207
30 DH3=-241.8:A3=-.00895:B3=3.672E-06:C3=5.206E-09:D3=-1.478E-12:E3=0:F3=2.868:8
3=-.01722
40 DH4=-74.8:A4=-.0462:B4=.0000113:C4=1.31E-08:D4=-6.647E-12:E4=-489.1:F4=14.11:
64=-.2234
70 DB1=DH1-A1*T*LOG(T)-B1*T*T-C1*T*T*T/2-D1*T*T*T*T/3+E1/(2*T)+F1+B1*T
80 DB2=DH2-A2*T*LOG(T)-B2*T*T-C2*T*T*T/2-D2*T*T*T*T/3+E2/(2*T)+F2+B2*T
90 DB3=DH3-A3*T*LOG(T)-B3*T*T-C3*T*T*T/2-D3*T*T*T*T/3+E3/(2*T)+F3+B3*T
100 DB4=DH4-A4*T*LOG(T)-B4*T*T-C4*T*T*T/2-D4*T*T*T*T/3+E4/(2*T)+F4+B4*T
150 XK1=EXP(-1000*(DB1-DB3-DB4)/(R*T))
160 XK2=EXP(-1000*(2*DB1-DB2-DB4)/(R*T))
170 XC=1
180 XH=X/2+W
220 XD=Y/2+W/2+Q
225 N=1
260 B=B*A*XK1*XD+2*XK2*(3*A-XC-4*XD-XH)*A
270 N=N+1
275 IF N>20 THEN 390
280 SR=B*B-16*A*A*(XK1-XK2)*XK1*(4*XD+XH-XC-A)*(XC-XH+A)
285 IF SR<0 THEN 340
290 Y1=(B-SQR(SR))/(B*A*A*(XK1-XK2))
300 E=A*(3+2*Y1)-XC-4*XD-XH
310 F=XK1*(XH+XC-A)*(4*XD+XH-XC-A*(1+2*Y1))
320 G=(XC-XH+A*(1-2*Y1))*E*E/(2*A*A)
330 IF ABS(F-G)<.00001 THEN 390
332 PRINT "teap=",T,"nc=",XC,"nh=",XH,"no=",XD,"n=",A,"f=",F,"g=",G,"yc2=",Y1
335 IF F<G THEN 345
340 A=A+ ABS(DA)
342 GOTO 260
345 A=A -.6*ABS(DA)
350 DA=.4*DA
380 GOTO 260
385 REM FIND XMOLE OF GASES WITH OXYGEN
390 YCO2=Y1

```



```

400 YCO = (XC-XH+A)/(2*A)-YCO2
410 YCH4 = (XH+XC-A)/(2*A)
420 YH2 = (3*A-4*XO-XC-XH)/(2*A)+YCO2
430 YH2O = (4*XO+XH-XC-A)/(2*A)-YCO2
440 LPRINT "T=";T,"nc=";XC,"nh2=";XH,"no2=";XO,"n=";A,"yco2=";yco2,YCO,ych4,YH2,
      YH2O
445 REM FIND XMOLE OF GASES WITH AIR AND WET BASIS
450 V=79*Q/21+A
451 YN2=(V-A)/V
452 YCO2=YCO2/V*A
453 YCO=YCO/V*A
454 YCH4=YCH4/V*A
455 YH2 =YH2/V*A
456 YH2O=YH2O/V*A
458 LPRINT "YN2=";YN2,"yco2=";YCO2,"yco=";YCO,"ych4=";YCH4,"yh2=";YH2,"yh2o=";
      YH2O
459 REM FIND XMOLE OF GASES WITH AIR AND DRY BASIS
460 U=YN2+YCO+YCO2+YCH4+YH2
461 YN2=YN2/U
462 YCO2=YCO2/U
463 YCO=YCO/U
464 YCH4=YCH4/U
465 YH2=YH2/U
468 LPRINT "YN2=";YN2,"yco2=";YCO2,"yco=";YCO,"ych4=";YCH4,"yh2=";YH2,"
      _____
500 IF (T<1500) THEN 6
1100 STOP

```

5.3 สัญลักษณ์ต่างๆที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

- Q หมายถึง จำนวนโมลของออกซิเจนที่ใช้เผาเทียบคาร์บอน 1 โมล
- T .. อุณหภูมิที่เกิดก๊าซซีซีเคชั่น (องศาเคลวิน)
- A .. จำนวนโมลของก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น
- DA .. จำนวนโมลที่ใช้เพิ่มหรือลด ในการ Trial and Error
- X,Y .. จำนวนโมลอะตอมของ H และ O ในโมลโดยเทียบ C 1 โมล
- M .. ปริมาณความชื้นในไม้คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักไม้แห้ง
- W .. จำนวนโมลของไอน้ำในไม้
- DH1,DH2,DH3 และ DH4 หมายถึง ค่าความร้อน (ΔH) ของปฏิกิริยาการเกิดก๊าซ
CO,CO₂,H₂O และ CH₄

สัญลักษณ์ต่างๆที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ต่อ)

A1,B1,C1,D1,E1,F1 และ G1 หมายถึง ค่าคงที่ต่างๆของฟังก์ชันทางเทอร์โมไดนามิก ของ
ปฏิกิริยาการเกิด ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์

A2,B2,C2,D2,E2,F2 และ G2 หมายถึง ค่าคงที่ต่างๆของฟังก์ชันทางเทอร์โมไดนามิกของ
ปฏิกิริยาการเกิด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

A3,B3,C3,D3,E3,F3 และ G3 หมายถึง ค่าคงที่ต่างๆของฟังก์ชันทางเทอร์โมไดนามิกของ
ปฏิกิริยาการเกิด ไอน้ำ

A4,B4,C4,D4,E4,F4 และ G4 หมายถึง ค่าคงที่ต่างๆของฟังก์ชันทางเทอร์โมไดนามิกของ
ปฏิกิริยาการเกิด ก๊าซมีเทน

R หมายถึง ค่าคงที่ของก๊าซเท่ากับ 8.31441 จูล/(โมล.องศาเคลวิน)

XK1 และ XK2 หมายถึง ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาของสมการเคมีที่ 4.14 และ 4.15

XC,XH และ XO หมายถึง จำนวนโมลของ คาร์บอน, ไฮโดรเจนและออกซิเจนที่เดิมเข้าเตา

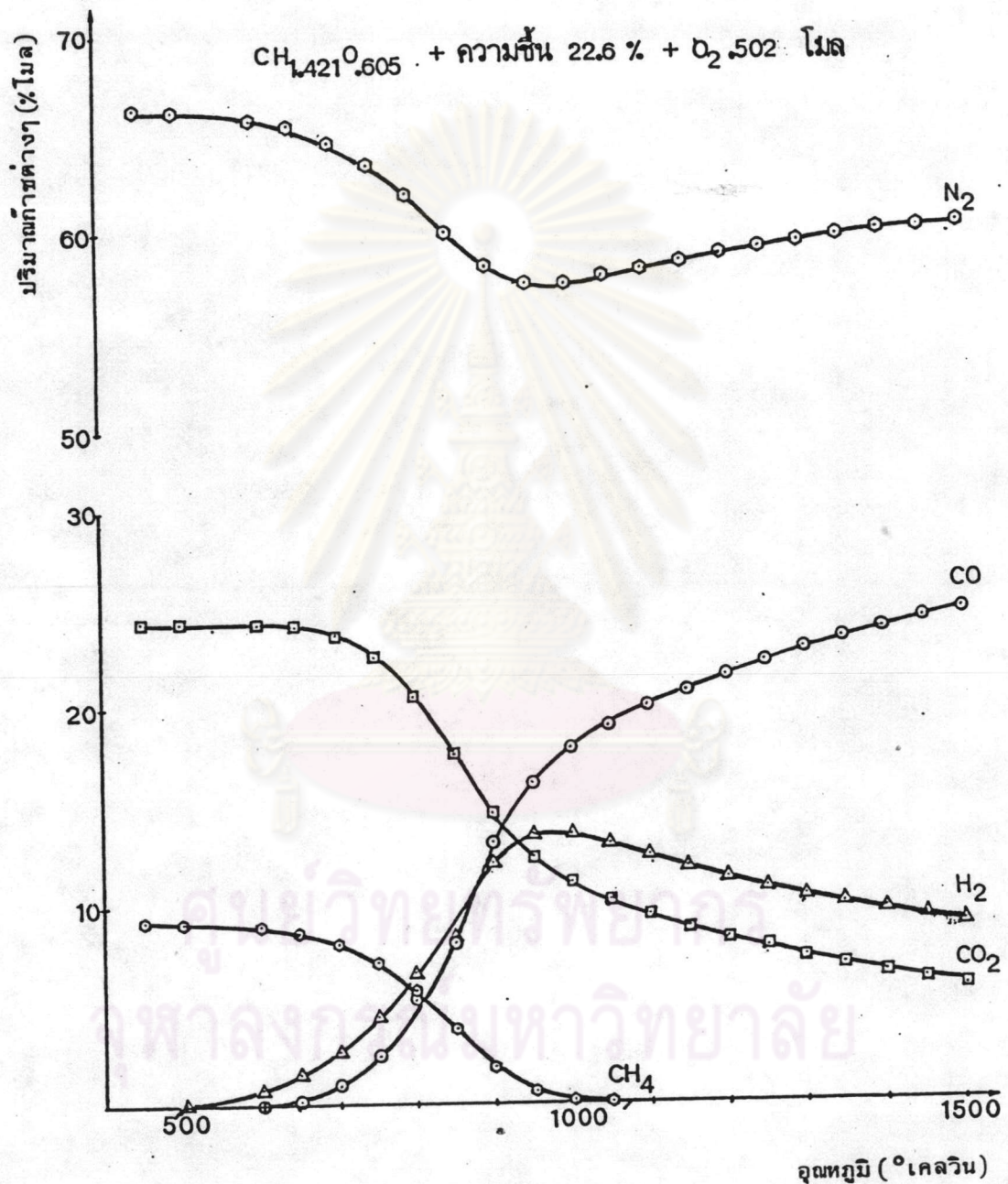
YC02,YC0,YCH4,YH20,YH2 และ YN2 หมายถึง ปริมาณสัดส่วนโมลของ ก๊าซคาร์บอน

ไดออกไซด์,ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์,ก๊าซมีเทน,ไอน้ำ,ก๊าซไฮโดรเจน และ ก๊าซไนโตร-

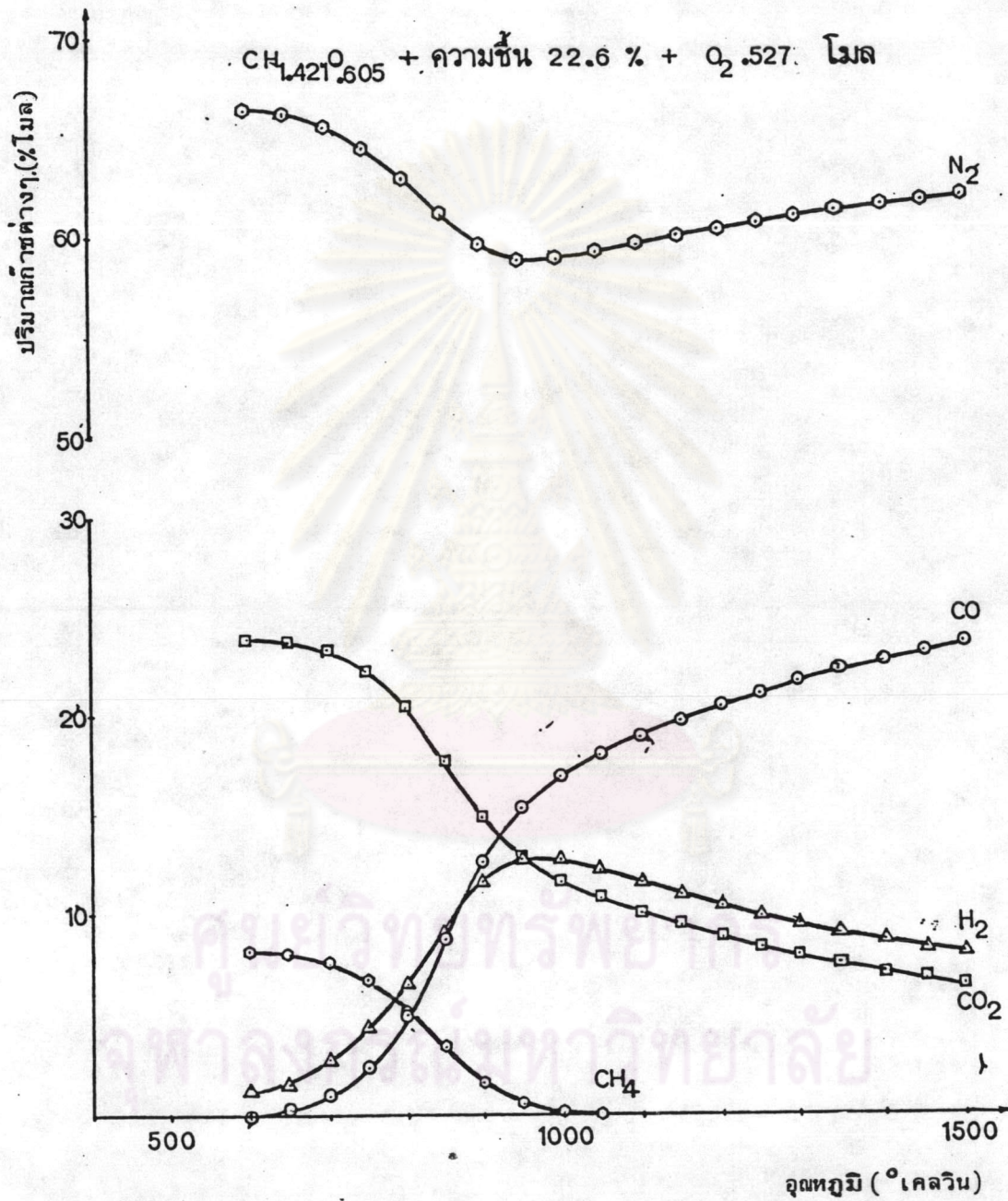
เจน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

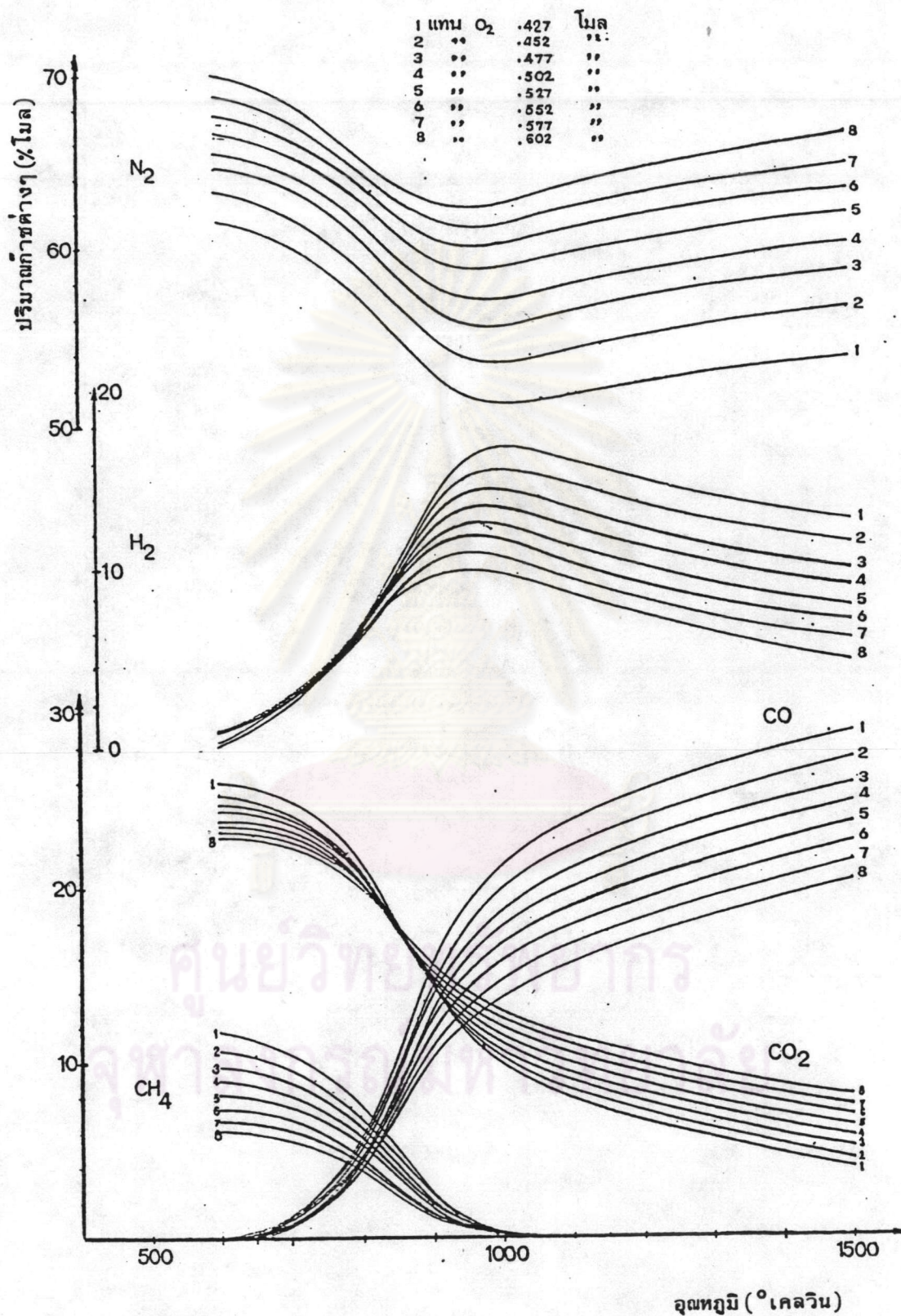
5.4 ตัวอย่างกราฟจากผลการคำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์



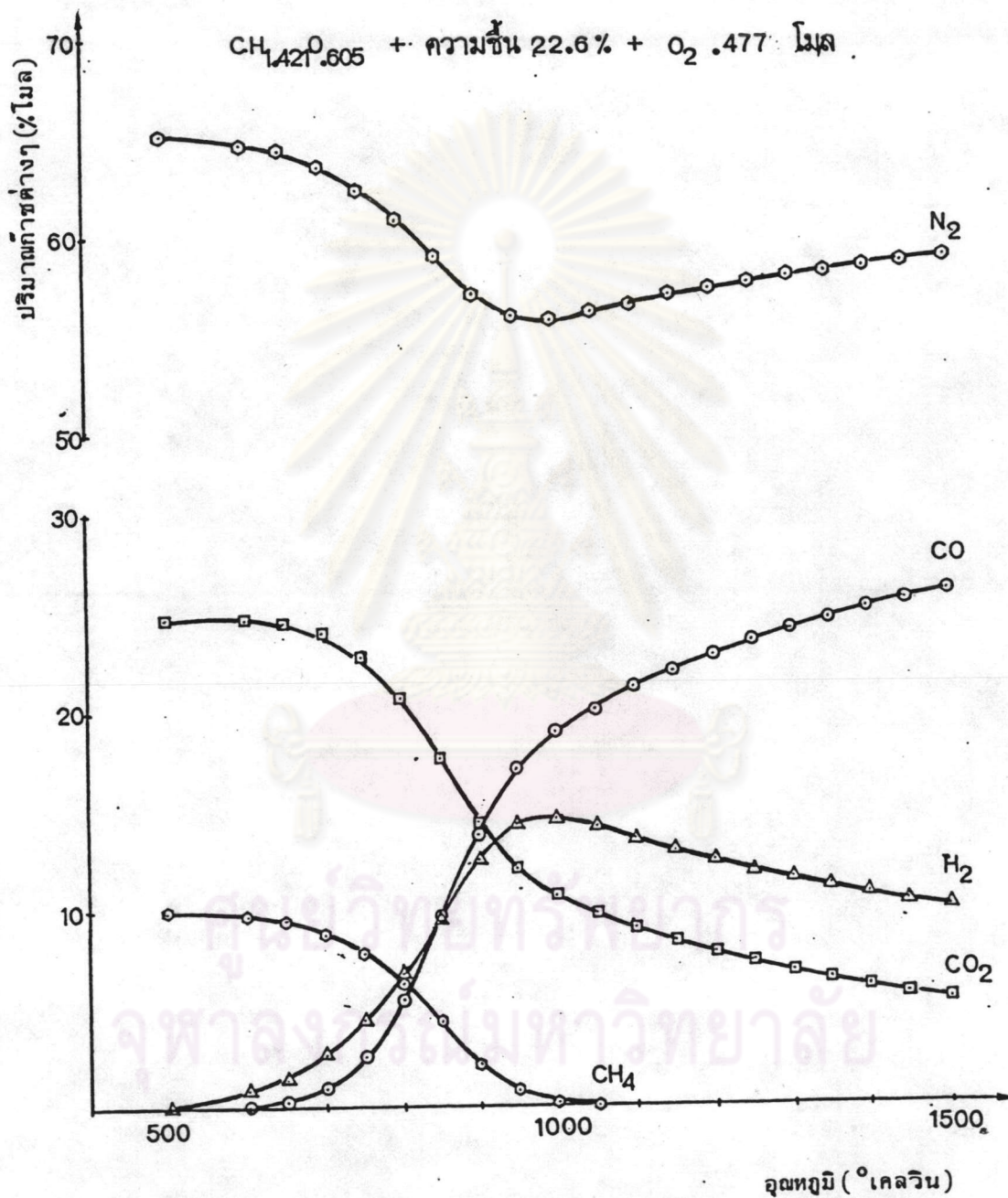
รูปที่ 5.2 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โมลของก๊าซต่างๆกับอุณหภูมิจากผลการคำนวณทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่จุดสมดุลเคมีด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ใช้ซึ่งมีสูตรทางเคมีอย่างง่ายเป็น CH_{1.421}O_{0.605} 1 โมล ความชื้น 22.6 % โดยน้ำหนักไม้แห้ง ก๊าซออกซิเจน 0.502 โมล (จากอากาศ)



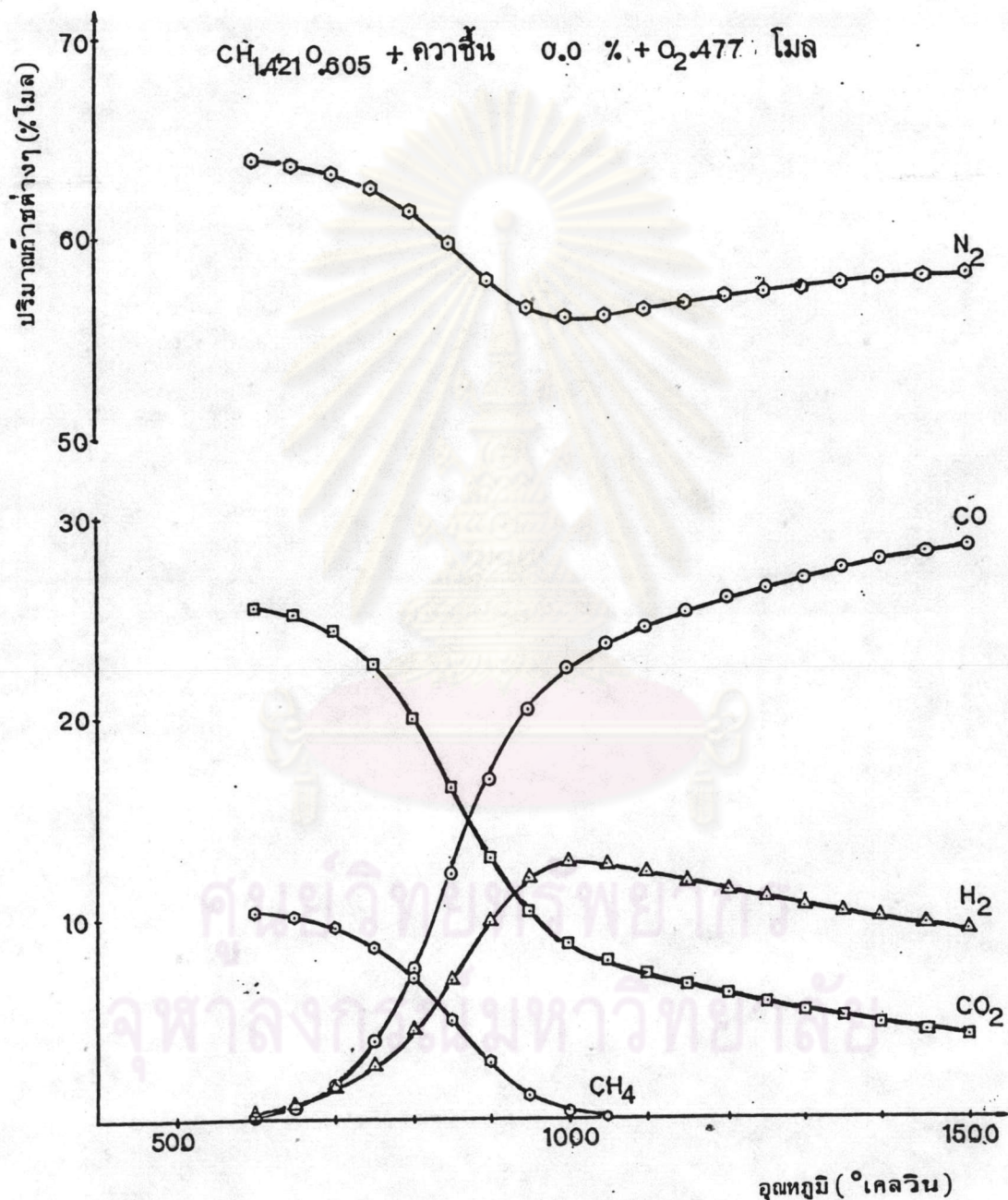
รูปที่ 5.3 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โมลของก๊าซต่างๆกับอุณหภูมิจากผลการคำนวณทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่จุดสมดุลเคมีด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ใช้ไม้ซึ่งมีสูตรทางเคมีอย่างง่ายเป็น CH_{1.421}O_{0.605} 1 โมล ความชื้น 22.6 % โดยน้ำหนักไม้แห้ง ก๊าซออกซิเจน 0.527 โมล (จากอากาศ)



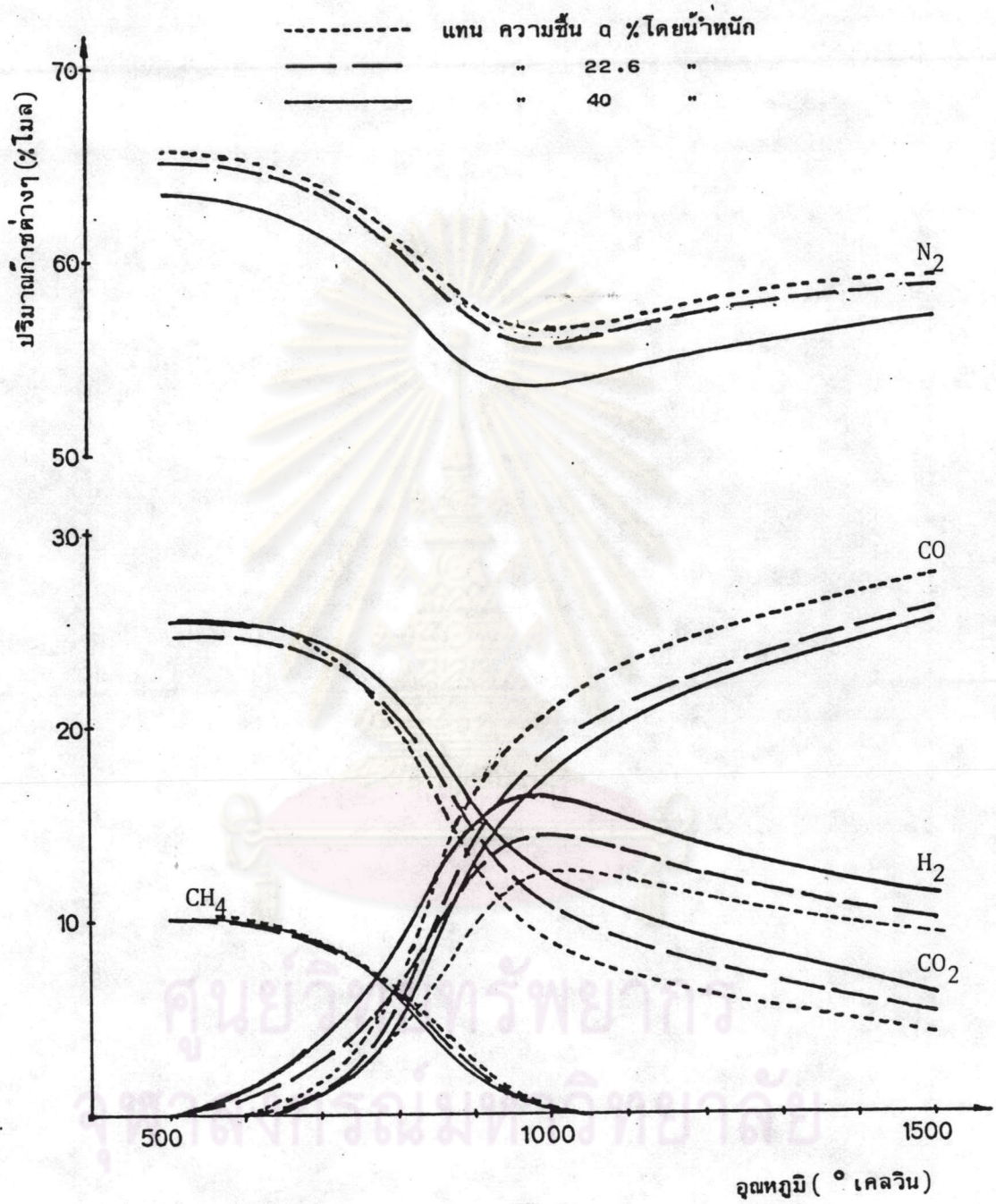
รูปที่ 5.4 เป็นการเปรียบเทียบผลของการใช้ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ค่าต่างๆในการเกิดก๊าซซิเคชั่น ($CH_{1.421}O_{0.605} = 1$ โมล ความชื้น 22.6% โดยน้ำหนัก)



รูปที่ 5.5 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โมลของก๊าซต่างๆกับอุณหภูมิจากผลการคำนวณทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่จุดสมดุลเคมีด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ใช้ไม้ซึ่งมีสูตรทางเคมีอย่างง่ายเป็น $\text{CH}_{1.421}\text{O}_{0.605}$ 1 โมล ความชื้น 22.6% โดยน้ำหนักไม้แห้ง ก๊าซออกซิเจน 0.477 โมล (จากอากาศ)



รูปที่ 5.6 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์โมลของก๊าซต่างๆกับอุณหภูมิจากผลการคำนวณทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่จุดสมดุลเคมีด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ใช้โมเลกุลที่มีสูตรทางเคมีอย่างง่ายเป็น $CH_{1.421}O_{0.605}$ 1 โมล ไม่มีความชื้นในโมเลกุลออกซิเจน 0.477 โมล (จากอากาศ)



รูปที่ 5.7 เป็นการ เปรียบเทียบผลของการใช้ปริมาณความชื้นที่ค่าต่างๆในการ เกิดก๊าซซิติเคชั่น

(CH_{1.421}O_{0.605} = 1 โมล ก๊าซออกซิเจน . 0.477 โมล)