

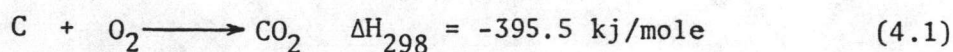
ปฏิกิริยาเคมีของการเกิดก๊าซเชื้อเพลิง
(Chemical Reaction of Gasification)

ไม้เป็นสาร โพลีเมอร์ ของพวก ลิกโนเซลลูโลส มีสูตรทางเคมีเป็น $C_{38}H_{54}O_{23}$ จากตารางที่ 1 ก. การเกิดปฏิกิริยาของ O_2 กับไม้ค่อนข้างยุ่งยาก ซับซ้อนเพื่อให้ง่ายขึ้น เราอาจตั้งข้อกำหนด (Assumption) ว่า การเกิดปฏิกิริยาเคมีของการเกิดก๊าซเชื้อเพลิง เกี่ยวข้องเฉพาะคาร์บอน (C) เป็นหลัก คือคิดว่า ไม้ มีองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจนดังสูตรเคมีอย่างง่าย CH_xO_y และเมื่อมีการเผาไหม้ทำลายจะเกิดคาร์บอนส่วนหนึ่ง กับส่วนที่เหลือคิดว่าเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ กับน้ำ (CO_2 กับ H_2O) ส่วนที่เป็น สารระเหยในไม้ ที่เหลือจะไม่นำมาคิดหรือมาเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาทางเคมีของการเกิดก๊าซเชื้อเพลิง

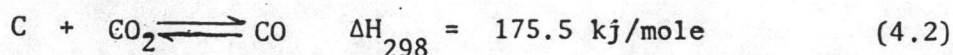
4.1 ปฏิกิริยาเคมีหลักๆ ของการเกิดก๊าซเชื้อเพลิง (7,10,11,12,16)

1. เป็นปฏิกิริยาที่คาร์บอนทำกับออกซิเจน (Oxygenolysis) เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) กับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เราควรจะควบคุมการเผาไหม้ (Combustion) โดยควบคุมค่าความดันของออกซิเจนหรืออากาศที่ใช้ไม่ให้เกิน 1 บรรยากาศมากนัก และควรใช้ออกซิเจนหรืออากาศในปริมาณมาก (อัตราการไหลเข้าของอากาศสูง) เพื่อให้ได้ความร้อนพอเพียงในการเกิด ก๊าซซีที เคซีน

ปฏิกิริยาการเผาไหม้ (Combustion reaction)

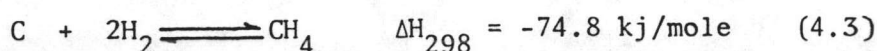


ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

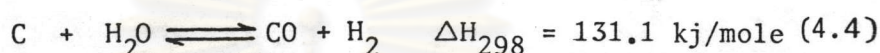


แม้ว่าค่าความร้อนของปฏิกิริยา (ΔH) จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแต่ก็แตกต่างกันเล็กน้อยเท่านั้นที่ อุณหภูมิต่างๆ ดูจากตารางที่ 4.1 (1)

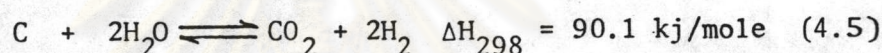
2. เป็นปฏิกิริยาที่คาร์บอนทำกับไฮโดรเจน (Hydrogenolysis) เกิดก๊าซ CH_4



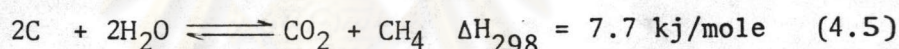
8. เป็นปฏิกิริยาที่คาร์บอนทำกับน้ำ (Hydrolysis) เกิดก๊าซ $\text{CO}, \text{CO}_2, \text{H}_2$ หรือ CH_4 ถ้าเติมน้ำไม่มากนักและอุณหภูมิสูง จะเกิดปฏิกิริยาเคมีเป็น



ถ้ามีการเติมน้ำมากและอุณหภูมิจะเกิดปฏิกิริยาเคมีเป็น



หรืออาจเกิดปฏิกิริยาเป็น



ค่า ΔH ถ้าเป็น บวก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะดูดความร้อนจากนอกระบบ (Endothermic) ถ้าเป็น ลบ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะคายความร้อนออกสู่นอกระบบ (Exothermic)

เครื่องหมาย \longrightarrow หมายความว่า เป็นปฏิกิริยาแบบไม่ย้อนกลับ (Irreversible reaction)

เครื่องหมาย \rightleftharpoons หมายความว่า เป็นปฏิกิริยาแบบย้อนกลับได้ (Reversible reaction)

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซสังเคราะห์ที่ผลิตกับเงื่อนไขต่างๆ ของเตาผลิต (12)

จากปฏิกิริยาเคมีที่กล่าวมาแล้ว อาจจะพิจารณารวมๆ ถึงปฏิกิริยาเคมีต่างๆ อย่างง่าย ได้ว่าปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นนั้น เกิดเนื่องจากคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H_2) และไอน้ำ (H_2O) ทำปฏิกิริยากัน (กระบวนการเกิดก๊าซสังเคราะห์นั้นควรพิจารณาทั้งทางจลนพลศาสตร์เคมี (Chemical Kinetics) และสมดุลเคมี (Chemical Equilibrium) แต่การพิจารณาทั้งสองทางนี้คงต้องรอนักวิจัยที่ศึกษาทางด้านเหล่านี้โดยตรง) ในการบอกผลของการเกิดก๊าซต่างๆ ในก๊าซสังเคราะห์นั้น จะใช้เงื่อนไขของสมดุลเคมีเป็นหลัก โดยคิดว่าปฏิกิริยาที่เกิดก๊าซสังเคราะห์ต่างๆ เข้าสู่จุดสมดุล

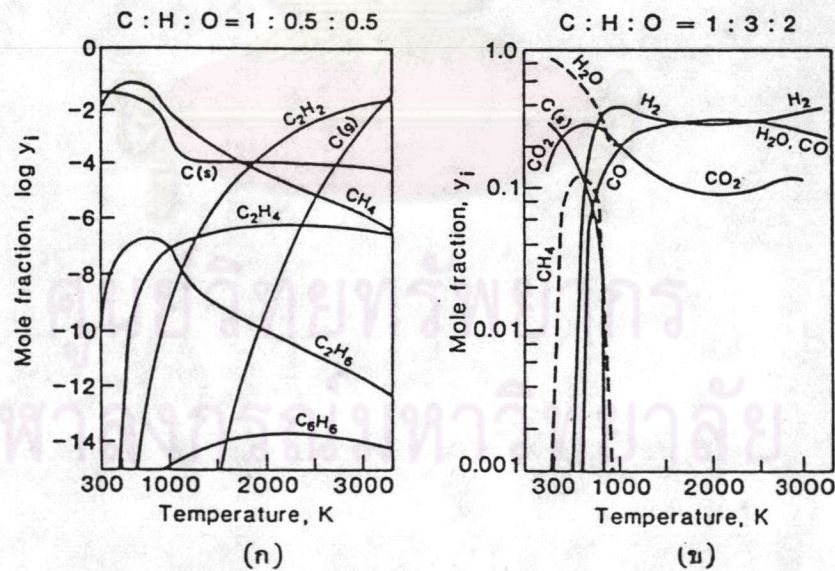
Calculated heats of reaction in kJ/mol for formation reactions of

gases*

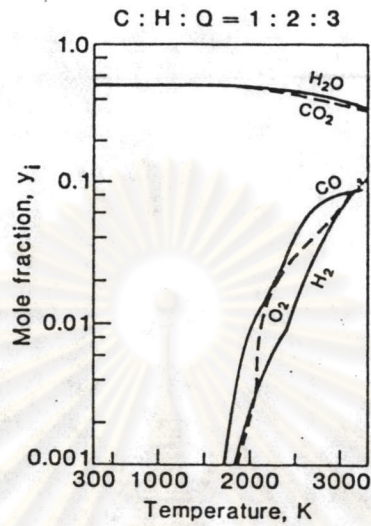
Reaction	298 K	700 K	1000 K	1500 K
$C + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO$	-110.5	-110.5	-111.9	-116.1
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	-393.5	-394.0	-394.5	-395.0
$C + 2H_2 \rightarrow CH_4$	-74.8	-85.3	-89.5	-94.0
$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$	-241.8	-245.6	-247.8	-250.5
$C + 2H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CH_3OH(g)$	-201.2	-212.9	-217.2	-223.9
$2C + 3H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow C_2H_5OH(g)$	-218.5	-233.6	-238.0	-245.9
$2C + 3H_2 \rightarrow C_2H_6$	-84.7	-100.4	-105.6	-110.8
$2C + 2H_2 \rightarrow C_2H_4$	+52.2	+42.3	+38.7	+33.2
$2C + H_2 \rightarrow C_2H_2$	+226.7	+225.0	+223.2	+217.9
$6C + 3H_2 \rightarrow C_6H_6(g)$	+82.9	+66.9	+62.7	+53.6
$6C + 3H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow C_6H_5OH(g)$	-96.4	-108.9	-111.3	-113.2
$\frac{1}{2}N_2 + \frac{1}{2}H_2 \rightarrow NH_3$	-45.9	-52.6	-55.0	-57.5
$\frac{1}{2}N_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow NO$	+90.4	+90.6	+90.6	+91.4
$S(g) + O_2 \rightarrow SO_2$	-361.7	-363.0	-362.9	-361.3
$S(g) + H_2 \rightarrow H_2S$	-84.9	-89.0	-90.4	-91.8

* For any other reaction R which can be written in terms of the formation reactions R, such that $R = \sum a_i R_i$, then $\Delta H^\circ = \sum a_i \Delta_f H^\circ$.

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความร้อนของการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ (กิโลจูลต่อโมล) ที่อุณหภูมิต่างๆ (เคลวิน) (12)



รูปที่ 4.1 การเกิดก๊าซต่างๆของการทำปฏิกิริยาระหว่าง คาร์บอน ไฮโดรเจน และ ออกซิเจน อะตอม ที่อุณหภูมิต่างๆ ที่จุดสมดุลเคมีของปฏิกิริยา (ก) ใช้ ออกซิเจน และ ไฮโดรเจน น้อยๆ (ข) ใช้ ออกซิเจน และ น้ำ ทำปฏิกิริยากับ คาร์บอน ในปริมาณพอเหมาะ (ค) ใช้ ออกซิเจน ในปริมาณที่มากเกินพอ (12)



4.1 (ก)

Table Calculated equilibrium constants for formation reactions of gases*
Values are $\log_{10} K$.

Reaction	298 K	700 K	1000 K	1500 K
$C + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO$	+24.065	+12.968	+10.483	+ 8.507
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	+69.134	+29.502	+20.677	+13.801
$C + 2H_2 \rightarrow CH_4$	+ 8.906	+ 0.958	- 0.999	- 2.590
$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$	+40.073	+15.590	+10.070	+ 5.733
$C + 2H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CH_3OH(g)$	+28.331	+ 7.593	+ 2.780	- 1.042
$2C + 3H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow C_2H_5OH(g)$	+29.500	+ 6.852	+ 1.572	- 2.618
$2C + 3H_2 \rightarrow C_2H_6$	+ 5.771	- 3.413	- 5.719	- 7.594
$2C + 2H_2 \rightarrow C_2H_4$	-11.940	- 7.097	- 6.189	- 5.551
$2C + H_2 \rightarrow C_2H_2$	-36.674	-13.908	- 8.888	- 5.035
$6C + 3H_2 \rightarrow C_6H_6(g)$	-22.736	-15.097	-13.646	-12.607
$6C + 3H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow C_6H_5OH(g)$	+ 5.770	- 4.518	- 6.984	- 8.941
$\frac{1}{2}N_2 + \frac{1}{2}H_2 \rightarrow NH_3$	+ 2.859	- 2.041	- 3.246	- 4.222
$\frac{1}{2}N_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow NO$	-15.198	- 6.090	- 4.063	- 2.482
$S(g) + O_2 \rightarrow SO_2$	+59.672	+23.190	+15.064	+ 8.753
$S(g) + H_2 \rightarrow H_2S$	+12.853	+ 4.140	+ 2.131	+ 0.548

* For any other reaction R which can be written in terms of the formation reactions R_i such that $R = \sum a_i R_i$, then $\log K = \sum a_i \log K_i$.

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าคงที่สมดุลปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ในรูปค่าลอการิทึม ที่
อุณหภูมิต่างๆ (12)

จำนวนปฏิกิริยาจริงๆ ที่ใช้อธิบายนั้นขึ้นกับลักษณะต่างๆ ของเตาผลิตก๊าซ เชื้อเพลิง
ว่าเป็นประเภทใด จะเจาะลงไปในส่วนประกอบของก๊าซเชื้อเพลิง ที่ผลิตได้ซึ่งขึ้นตรงต่ออุณห-
ภูมิตั้งแต่และส่วนประกอบของวัตถุดิบที่เติมเข้าเตา (Feed Composition) วิธีการหา
ส่วนประกอบต่างๆ ในก๊าซเชื้อเพลิง จะพิจารณาเริ่มจากอุณหภูมิ จากรูปกราฟที่ 4.2 ช่วง
อุณหภูมิที่เหมาะสมของการเกิดก๊าซเชื้อเพลิง 800 ถึง 1500 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)
เป็นอย่างน้อย (527 ถึง 1227 องศาเซลเซียส) ก๊าซต่างๆ ที่เกิดขึ้นมี CO , CO_2 , CH_4 , H_2 และ
 H_2O ดังนั้นสมการเคมีจึงเป็นดังนี้



สภาวะปกติของ H_2 และ O_2 ที่อุณหภูมิค่าจะอยู่ในรูปของโมเลกุลแต่ที่อุณหภูมิสูงๆ แล้วทั้ง
 H_2 และ O_2 จะอยู่ในสภาวะอะตอมที่รวมกับสารประกอบค้ำอะตอมอื่น เช่น H_2 ก็จะมีอยู่
ในรูปน้ำ (H_2O) O_2 ก็จะมีอยู่ในรูปของ CO_2 และ H_2O แต่พออุณหภูมิลดลงคือช่วง
เกิด Gasification พบว่า H_2 จะกลับคืนได้โดยที่ H_2O จะทำปฏิกิริยากับ C
ได้ $\text{CO} + \text{H}_2$ แต่ O_2 ไม่สามารถกลับคืนสภาพเดิมได้ ดังนั้นเราจะถือว่า ไม่มี O_2
เหลืออยู่เลยที่จุดสมดุล เพราะฉะนั้นปฏิกิริยาที่ใช้ O_2 จะไม่น่ามาคิด สมการเคมีที่ได้จึงเป็น

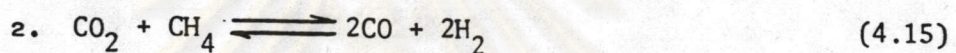
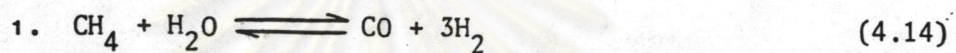


ขั้นตอนในการเขียนปฏิกิริยาต่างๆ และตีคปฏิกิริยาที่ไม่ค่อยจำเป็นออกไปก็เพื่อจะหา
สมการทางเคมีให้เหลือน้อยที่สุดที่เพียงพอในการจะอธิบายผลต่างๆ ได้ โดยง่ายโดยเฉพาะทาง
ตัวเลขจำนวนโมลของก๊าซต่างๆ ของระบบ (Stoichiometry of System)

ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ที่พิจารณากันนั้น สมการ 3 สมการที่ได้มา ก็ยังคงยุ่งยากเกิน
ไปที่จะหาจลนศาสตร์เคมีของระบบ อย่างไรก็ตามเราอาจจะหาคำตอบจากความสัมพันธ์ระหว่าง

สมดุลปฏิกิริยาเคมี (Chemical Equilibrium) กับ สมการสมดุลมวลสาร (Mass Balance Equation) เพื่อนำไปใช้หาส่วนประกอบต่างๆ ของก๊าซสังเคราะห์สำหรับเงื่อนไขที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ

ในการคำนวณทางสมดุลมวลสารและสมดุลของปฏิกิริยาเคมีนั้น เพื่อไม่ให้ซับซ้อนมากเราต้องกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสม โดยกำหนดให้คาร์บอน (C) ถูกเผาอย่างสมบูรณ์ และต้องใช้ไอน้ำ (H_2O) กับออกซิเจน (O_2) พอเพียงที่จะทำให้คาร์บอนเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ด้วย ในกรณีนี้เราสามารถลดจำนวนสมการเคมี ทั้ง 3 สมการ (4.11, 4.12, และ 4.13) ให้เหลือเพียง 2 สมการได้ดังนี้



ค่าคงที่ของสมดุลปฏิกิริยาเคมีของทั้ง 2 สมการ

$$K_1 = \frac{(Y_{CO})(Y_{H_2})^3 p^2}{(Y_{CH_4})(Y_{H_2O})} \quad (4.16)$$

$$K_2 = \frac{(Y_{CO})^2 (Y_{H_2})^2 p^2}{(Y_{CH_4})(Y_{CO_2})} \quad (4.17)$$

โดยที่ Y_i (Y_{CO} , Y_{H_2} , Y_{CH_4} , Y_{CO_2} และ Y_{H_2O}) เป็นค่าสัดส่วนโมล (Mole Fraction) ของก๊าซแต่ละตัว ส่วน p เป็นค่าความดันรวมของระบบ (Total Pressure of System)

เราสามารถเปลี่ยนค่าสัดส่วนโมลกับค่าความดันรวมของระบบไปเป็นค่าคงที่สมดุลเคมีของแต่ละปฏิกิริยาได้ นั่นคือ K_1 และ K_2 เปลี่ยนได้ใหม่เป็น

$$K_1 = \frac{K_{CO}}{K_{CH_4} \cdot K_{H_2O}} \quad (4.18)$$

$$K_2 = \frac{K_{CO}^2}{K_{CO_2} \cdot K_{CH_4}} \quad (4.19)$$

K_i (K_{CO} , K_{CO_2} , K_{CH_4} และ K_{H_2O}) เป็นค่าคงที่สมดุลย์ปฏิกิริยาเคมีของปฏิกิริยาต่างๆ ซึ่งเปิดหาจากตารางที่ 4.2 ก็จะสามารถคำนวณค่าของ K_1 และ K_2 ได้

พิจารณาเมื่อระบบสมบูรณ์ เราจะเริ่มคำนวณหาจำนวนโมลของโมเลกุลของธาตุต่างๆ ที่ต้องใช้ในเตาผลิตก๊าซสังเคราะห์ที่อื่นได้แก่ คาร์บอน (C) ออกซิเจน (O_2) และไฮโดรเจน (H_2) กำหนดให้ n เป็นจำนวนโมลของก๊าซสังเคราะห์ทั้งหมด

$$\text{สำหรับ } H_2: (2Y_{CH_4} + Y_{H_2} + Y_{H_2O}) n = n_{H_2} \quad (4.20)$$

$$O_2: \left(\frac{1}{2}Y_{CO} + Y_{CO_2} + \frac{1}{2}Y_{H_2O}\right) \cdot n = n_{O_2} \quad (4.21)$$

$$C: (Y_{CH_4} + Y_{CO} + Y_{CO_2}) n = n_C \quad (4.22)$$

n_{H_2} , n_{O_2} , n_C เป็นจำนวนโมลของ H_2 , O_2 และ C ที่เดิมเข้าเตาผลิตก๊าซ (Feed on gasifier) และสัดส่วนโมลของก๊าซแต่ละตัวทั้งหมดรวมกันเท่ากับ 1

$$Y_{CO} + Y_{CO_2} + Y_{CH_4} + Y_{H_2} + Y_{H_2O} = 1 \quad (4.23)$$

จากสมการ 4.18 ถึง 4.23 แก้สมการได้เป็น

$$Y_{CO} = \frac{n_C - n_{H_2} + n_{O_2}}{2n} - Y_{CO_2} \quad (4.24)$$

$$Y_{CH_4} = \frac{n_{H_2} + n_C - n}{2n} \quad (4.25)$$

$$Y_{H_2} = \frac{3n - 4n_{O_2} - n_C - n_{H_2}}{2n} + Y_{CO_2} \quad (4.26)$$

$$Y_{H_2O} = \frac{4n_{O_2} + n_{H_2} - n_C - n}{2n} - Y_{CO_2} \quad (4.27)$$

จะเห็นได้ว่าค่า Y_{CO} , Y_{CH_4} , Y_{H_2O} และ Y_{H_2O} คิดตัวแปร n กับ Y_{CO_2}

$$K_1(n_{H_2} + n_C - n) \quad 4n_{O_2} + n_{H_2} - n_C - n(1 + 2Y_{CO_2})$$

$$- \frac{P^2}{2n^2} [n_C - n_{H_2} + n(1 - 2Y_{CO_2})] [n(3 + 2Y_{CO_2}) - n_C - 4n_{O_2} - n_{H_2}]^3 = 0$$

(4.28)

$$Y_{CO_2} = b - \frac{\left\{ b^2 - 16n^2(K_1 - K_2) K_1 [4n_{O_2} + n_{H_2} - n_C - n][n_C - n_{H_2} + n] \right\}^{\frac{1}{2}}}{8n^2(K_1 - K_2)}$$

(4.29)

$$b = 8n \cdot K_1 n_{O_2} + 2n \cdot K_2 (3n - n_C - 4n_{O_2} - n_{H_2})$$

(4.30)

สมการที่ 4.28, 4.29 และ 4.30 จะสามารถหาค่า n และ CO_2 เมื่อเรารู้ค่า n_C , n_{O_2} , n_{H_2} และ K_1 กับ K_2 โดยวิธีการสมมติค่า n แล้วหาค่า Y_{CO_2} ในสมการ 4.30 กับ 4.29 แล้วแทนค่า n กับ Y_{CO_2} ลงใน 4.28 คว้าสมการด้านซ้ายมือเท่ากับศูนย์หรือว่า 0 ถ้ายังมีสมมติค่า n ใหม่ วิธีการแบบนี้เราเรียกว่า "Trial and Error" ตัวอย่างเช่นที่อุณหภูมิ 1000 °K ความดัน 1 บรรยากาศ 7.5 โมล ไอน้ำต่อ 1 โมลคาร์บอน และ 0.25 โมลออกซิเจน ต่อ 1 โมลคาร์บอน ในระบบนี้จะเห็นว่า ส่วนที่เดิมเข้าเตาผลิตก๊าซ $n_C = 1$ โมล $n_{H_2} = 0.5$ โมล $n_{O_2} = 0.25 + 0.25 = 0.5$ โมล ($n_C = 1$, $n_{H_2} = .5$, $n_{O_2} = 0.5$) จากตารางที่ 4.2 ข. ได้ค่า K_{CH_4} , K_{H_2O} , K_{CO} , K_{CO_2} เพื่อนำไปคำนวณหาค่า K_1 และ K_2 ได้ $K_1 = 25.82$ และ $K_2 = 19.41$ จากการคำนวณสมการที่ 4.24 ถึง 4.30 ผลที่ได้คือ $n = 1.378$ $Y_{CO} = 0.648$, $Y_{CO_2} = 0.034$, $Y_{H_2} = .264$, $Y_{CH_4} = .044$ และ $Y_{H_2O} = 0.010$

4.3 วิธีการเลือกปริมาณการเติม คาร์บอน น้ำ และออกซิเจนที่เหมาะสม (12)

จากความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซต่างๆ ใน Gasifier จนมาเป็นสมการที่ (4.30) จะต้องถือว่า O_2 และ C ถูกใช้หมด ไม่มีเหลืออยู่ที่จุดสมดุล (at equilibrium) อัตรา

การเดิม (Feed Rate) ของ C , H₂O และ O₂ จะต้องสอดคล้องกับตารางทาง Stoichiometry ความสัมพันธ์ของอัตราการผลิต H₂O , O₂ และ C ในการเกิด ก๊าซซิทีเคชั่น สามารถสอบหาได้โดยใช้แผนภูมิสามเหลี่ยม (Triangular Diagram) ตาม รูปที่ 4.2

การใช้แผนภูมิสามเหลี่ยมขึ้นอยู่กับ C , O₂ และ H₂O ว่าผสมด้วยอัตราส่วนอย่างไร จากรูป 4.2 ที่จุด D $Y_{H_2O} = 0.5$

$$\text{ถ้าเขียนในเทอมสัดส่วนโมลจะได้ } Y_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_C + n_{H_2O}} = 0.5$$

$$n_C = n_{H_2O}$$

$$\text{ที่จุด E } Y_{O_2} = 0.2 = \frac{n_{O_2}}{n_C + n_{O_2}}$$

$$n_{O_2} = 0.25 n_C$$

จะเห็นว่า เมื่อรวม n_C, n_{H_2} และ n_{O_2} เข้าด้วยกันจะได้ว่า

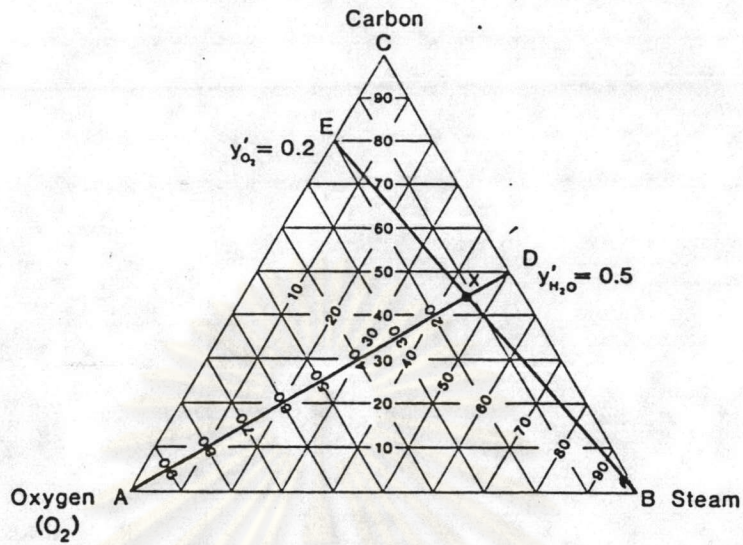
$$Y_C = Y_{H_2O} = 0.444 \quad \text{โดยประมาณ}$$

$$Y_{O_2} = 0.111 \quad \text{โดยประมาณ}$$

ถ้าดูจากรูป 4.2 เมื่อลากเส้นจาก B (Steam) ไป E และลากจากจุด A(O₂) ไป D จะได้ว่าจุด x ที่เป็นจุดตัดของเส้นตรงทั้ง 2 เส้นนั้น ค่าสัดส่วนโมลในการเดิม คือ $Y = .444, Y_{H_2} = .444, Y_{O_2} = .111$ ซึ่งตรงกับการคำนวณข้างบน

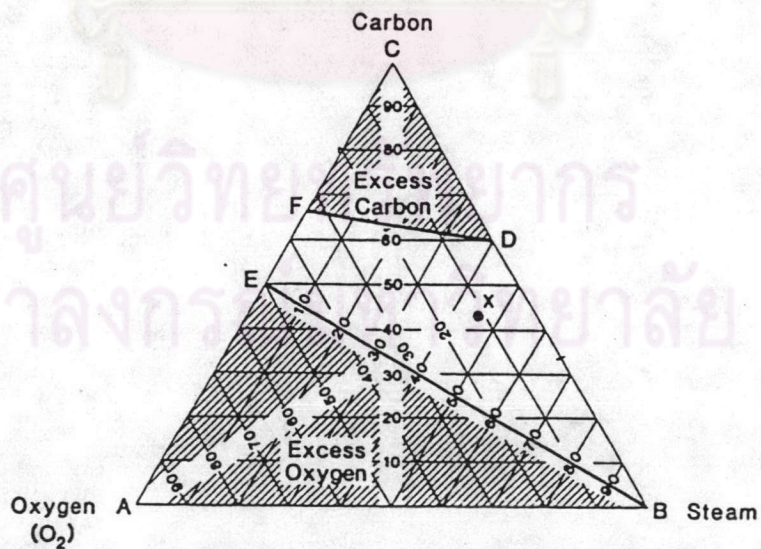
ในการพิจารณาขอบเขตที่เกิด ก๊าซซิทีเคชั่น บนแผนภาพสามเหลี่ยม โดยเริ่ม จาก O₂ กับ C เราจะถือหลักที่ว่า O₂ และ C ทำปฏิกิริยากันหมด ซึ่งจะพบว่า ใช้ O₂ มากที่สุด $n_{O_2} = n_C$ จากปฏิกิริยา





Triangular diagram for representing ternary compositions.

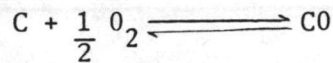
รูปที่ 4.2 แผนภาพสามเหลี่ยมแสดงส่วนผสม ของ คาร์บอน ออกซิเจน และไอน้ำ ในรูปของสัดส่วนโมล (12)



Stoichiometric constraints for gasifiers in which all the carbon and oxygen is consumed.

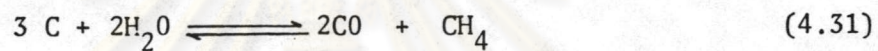
รูปที่ 4.3 แผนภาพสามเหลี่ยมแสดงขอบเขตของส่วนผสม คาร์บอน ออกซิเจน และ ไอน้ำ เพื่อเกิดกาซซิฟิเคชั่น BDFE เป็นบริเวณขอบเขต ส่วนผสมที่เกิดกาซซิฟิเคชั่น (12)

พิจารณาที่ด้าน C - O₂ ของแผนภาพ $Y_C = Y_{O_2}$ ซึ่งก็คือจุด E ในรูปที่ 4.3 ข. และใช้ O₂ อย่างน้อยที่สุดที่ไม่มีการเหลือ C ซึ่งก็คือการเกิด CO นั้นเอง



จะเห็นว่า $n_{O_2} = \frac{1}{2} n_C$ และได้ $Y = .67, y_{O_2} = .33$ ซึ่งก็คือจุด F ในรูปที่ 4.3 ข.

มาพิจารณาที่ด้าน C กับ ไอน้ำ (H₂O) บ้าง ขอบเขตของการใช้ H₂O ไม่มีการจำกัดเลย เพราะจะเติมน้ำมากขนาดไหนก็ได้เกิด ก๊าซซีทีเคชั่น ได้ จุด B จึงเป็นจุดบอกรอบเขตของ ไอน้ำ มาพิจารณาว่า H₂O จะใช้น้อยที่สุดเท่ากับเท่าใด โดยที่ไม่ทำให้ C เหลือ หรือเราอาจจึกคิดว่าใช้ C สูงที่สุดเท่าไร พบว่าเป็นไปตามปฏิกิริยา



$$\text{จะได้ว่า } n_{H_2O} = \frac{2}{3} n_C \quad \text{หรือ } Y_{H_2O} = 0.4, Y_C = 0.6$$

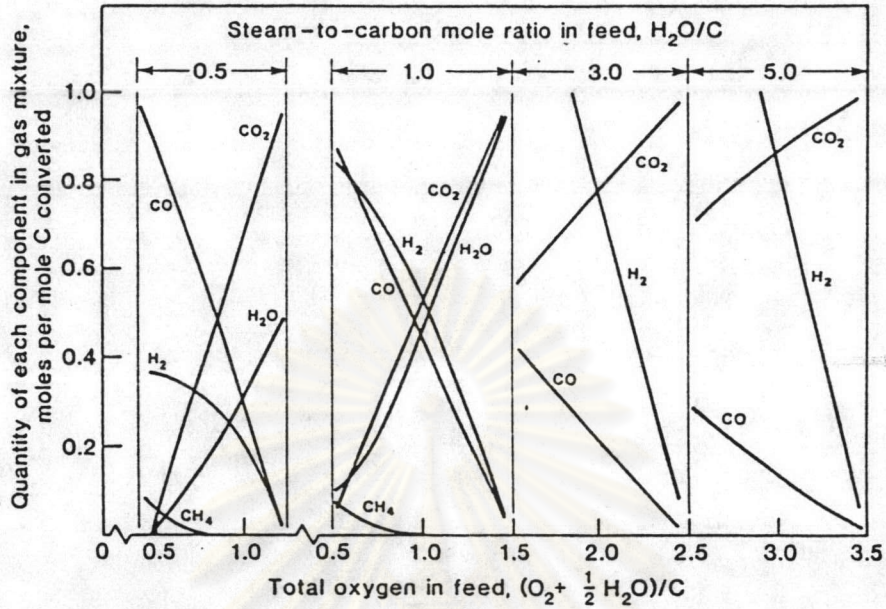
ซึ่งก็คือจุด D ในรูปที่ 4.3 ข. นั้นเอง จากจุด E F D B ทั้ง 4 จุดที่หามาภายในรูปสี่เหลี่ยม E F B D จะเป็นบริเวณที่จะเกิด ก๊าซซีทีเคชั่น ได้ หมายความว่าถ้าเรารู้ส่วนผสมในการเติมของ C, H₂O และ O₂ เราอาจจะบอกได้ว่าเกิด ก๊าซซีทีเคชั่น ได้หรือไม่ หรืออาจจะบอกได้ว่าเกิดดีหรือไม่ดีเพียงเราหาออกมาให้ได้ว่า จุดที่เราใช้ C, H₂O และ O₂ เติม นั้นอยู่ตรงไหน ถ้าอยู่ในบริเวณสี่เหลี่ยม E F B D จะเกิด ก๊าซซีทีเคชั่น แต่ถ้าหากอยู่ในสามเหลี่ยม A B E ไม่เกิด ก๊าซซีทีเคชั่น แต่เกิด การเผาไหม้ แทน จะได้ CO₂ กับ H₂O เท่านั้น และถ้าอยู่ในสามเหลี่ยม C F D ก็จะไม่เกิด ก๊าซซีทีเคชั่น อย่างปกติ แต่จะเกิดเป็นพวกไฮโดรคาร์บอน (C_xH_y) เสียส่วนมาก

ลักษณะสำคัญๆ ของการเกิด ก๊าซซีทีเคชั่น จากรูปที่ 4.4 และ 4.5

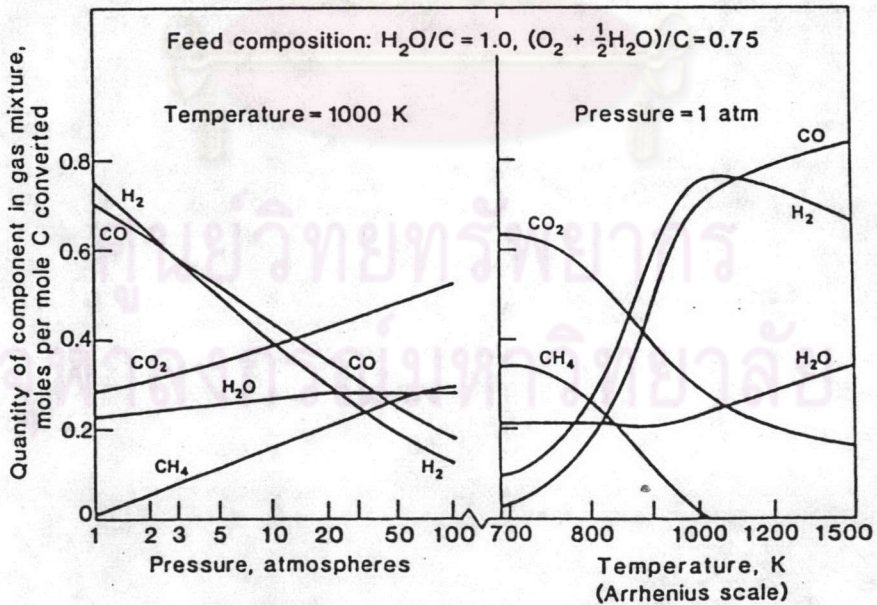
1. H₂ และ CO จะเพิ่มขึ้นเมื่อลด O₂ ในกรณีเติมเข้าเตาผลิตก๊าซลง
2. CH₄ จะเพิ่มขึ้นเมื่อ เมื่อเพิ่มความดัน และ ลดอุณหภูมิ
3. CO₂ จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่ม O₂ และ ลดอุณหภูมิ แต่ จะลดลง

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

4. CO จะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ



รูปที่ 4.4 เป็นกราฟที่แสดงส่วนผสมของก๊าซต่างๆที่เกิดขึ้นที่จุดสมดุลปฏิบัติการ ความดัน 1 บรรยากาศและอุณหภูมิ 1000 องศาเซลวิน โดยการเพิ่มอัตราส่วนของ ไอน้ำต่อคาร์บอน และเพิ่มอัตราส่วนของ ออกซิเจนต่อคาร์บอน (12)



Effect of temperature and pressure on equilibrium gas composition.

รูปที่ 4.5 เป็นกราฟที่แสดงผลของ อุณหภูมิและความดัน ที่มีต่อการเกิดก๊าซต่างๆ โดยใช้ ไอน้ำต่อคาร์บอนเท่ากับ 1 (เทียบอัตราส่วนโดยโมล) และ ออกซิเจนต่อคาร์บอนเท่ากับ 0.75 (โดยโมล) (12)

สำหรับอัตราการเกิดปฏิกิริยาของ ก๊าซซิงค์

ที่สำคัญ มีดังนี้ (12,7)

ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 800° ซ หรือ 1073° เคลวิน

ปฏิกิริยา	อัตราเร็วสัมพัทธ์
$C + O_2 \longrightarrow CO_2$	10^5
$C + H_2O \longrightarrow CO + H_2$	3
$C + CO_2 \longrightarrow CO$	1
$C + 2H_2 \longrightarrow CH_4$	10^{-3}

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย