

วารสารปริทัศน์

ประวัติความเป็นมา (๘,๙)

การค้นพบโปรดิวเซอร์ก๊าซ (Producer gas) เริ่มมีบันทึกไว้เมื่อเคลย์ตัน (Clayton, 1699) ทดลองกลั่นสลายถ่านหินแล้วพบว่าก๊าซที่ปล่อยออกจากเตาสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ นอกจากนี้มีรายงานเกี่ยวกับโปรดิวเซอร์ก๊าซจากการค้นพบของ การ์ดเนอร์ และบาร์เบอร์ (Gardner and Barker, 1971) ซึ่งพบว่าก๊าซร้อนที่ปล่อยออกมาจากปล่องควันของหม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงสามารถนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้สำหรับหม้อไอน้ำได้อีกครั้ง ต่อมา เมอร์ด็อก (Murdock, 1972) นำโปรดิวเซอร์ก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินมาใช้ประโยชน์ในการจุดตะเกียงให้แสงสว่าง และให้ความอบอุ่นภายในบ้าน

ในระยะแรกนิยมทำก๊าซซิฟิเคชันจากถ่านหิน ระยะต่อมาจึงมีผู้พยายามคิดค้นทำก๊าซซิฟิเคชันจากวัตถุดิบอย่างอื่น เลบอน (Lebon, 1978) ทดลองทำก๊าซซิฟิเคชันจากไม้และแลมปาเตียส (Lampadius, 1801) ศึกษาความเป็นไปได้จากการใช้ประโยชน์ของโปรดิวเซอร์ก๊าซที่ผลิตจากก๊าซซิฟิเคชันของถ่านไม้ การศึกษาได้ก้าวหน้ามากขึ้นจนถึงขั้นการริเริ่มใช้โปรดิวเซอร์ก๊าซกับเครื่องยนต์ชนิดสันดาปภายใน โดยเฟครอย (Fourcroy, 1804) ผู้ค้นพบวอเตอร์ก๊าซ (Water gas) จากการฉีดไอน้ำไปบนชั้นของถ่านที่ร้อนแดงและนำวอเตอร์ก๊าซไปใช้กับเครื่องยนต์.

ในระหว่างปี ค.ศ. 1815 - ค.ศ. 1839 นักวิจัยหลายท่านศึกษา กระบวนการเคมีที่ทำให้เกิดโปรดิวเซอร์ก๊าซ เทย์เลอร์ (J. Taylor, 1815) ศึกษาปฏิกิริยาการเกิดโปรดิวเซอร์ก๊าซ แล้วออกแบบรวมทั้งก่อสร้างเตาปฏิกรณ์สำหรับผลิตก๊าซขึ้นและจดลิขสิทธิ์ไว้ ส่วนที่ประเทศฝรั่งเศส บีสคอฟ (Bischof, 1840) ได้ออกแบบและก่อสร้างโรงงานเหล็กขนาดใหญ่ที่ใช้โปรดิวเซอร์ก๊าซจำนวนมากเป็นเชื้อเพลิงหลักของโรงงานแห่งนี้ การพัฒนาเกี่ยวกับก๊าซซิฟิเคชันในช่วงระยะเวลานี้จะเน้นที่การออกแบบเตาปฏิกรณ์ ซีเมนส์ (Siemens, 1861) ประสบความสำเร็จจากการออกแบบและก่อสร้างเตาปฏิกรณ์เชิงพาณิชย์สำหรับผลิตโปรดิวเซอร์ก๊าซ ต่อมา ดอร์สัน (Dowson, 1878) ได้พัฒนาการออกแบบเตาปฏิกรณ์สมัยใหม่สำหรับใช้กับเครื่องจักรกลชนิดอยู่กับที่ จนถึงเป็นต้นแบบของเตารุ่นต่อ ๆ มา

ในตอนต้นของศตวรรษที่ 20 การใช้เครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงได้ขยายไปตามเมืองต่าง ๆ ของทวีปยุโรปและแถบสแกนดิเนเวีย ในอังกฤษมีการใช้โปรติวเซอร์ก๊าซ ก๊าซซีพีเคชั่นแทนการใช้ น้ำมันสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า ส่วนประเทศสกอตแลนด์ พาร์เคฟ (J. W. Parkev, 1901) ทดลองติดตั้งเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากไม้ขนาด 2.5 และ 25 แรงม้า บนรถยนต์โดยสาร และรถสามารถแล่นได้ไกลถึง 1000 ไมล์ นอกจากนั้น ฮัมฟรีย์ (H. A. Humphrey) ประสบความสำเร็จจากการใช้โปรติวเซอร์ก๊าซ กับน้ำมันขนาดใหญ่ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 1 พอร์ตเตอร์และสมิธ (Portor and Smith) ชาวอังกฤษ ร่วมกันปรับปรุงเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงสำหรับใช้ติดตั้งในรถยนต์ ซึ่งในขณะนั้นได้มีการกักตุนน้ำมัน เชื้อเพลิงไว้ใช้ในระยะสงครามการพัฒนาเกี่ยวกับเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่สำคัญคือ อัมเบิร์ต (Imbert, 1923) ผู้ออกแบบเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบ Down draught ซึ่งถือเป็นต้นแบบของเครื่องในปัจจุบัน

การพัฒนาเกี่ยวกับก๊าซซีพีเคชั่นในระยะต่อมา จะเน้นที่การศึกษาด้านจลศาสตร์ (Kinetic) เช่น เทาออนฟรีเดอดอฟ (Tao Von Fredersdoff, 1955) ศึกษาจลศาสตร์เคมีของการผลิตโปรติวเซอร์ก๊าซ จากการเผาถ่านโค้กในเตาปฏิกรณ์ทั้งแบบฟลูอิดซ์เบด และแบบเบดอยู่กับที่ สควัย (Squires, 1961) นำผลการศึกษาของ เมย์และคณะมาศึกษาเพิ่มเติม แล้วสรุปว่าในเตาปฏิกรณ์ชนิดเบดอยู่กับที่ คาร์บอนจะว่องไวต่อปฏิกิริยาเฉพาะตรงบริเวณทางเข้าของไอน้ำร้อน แต่ในเตาชนิดฟลูอิดซ์เบด คาร์บอนจะว่องไวต่อปฏิกิริยาเหมือนกันตลอดเวลา นอกจากนั้น สควัยยังได้ศึกษา กลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนกับไอน้ำ, คาร์บอนกับคาร์บอนไดออกไซด์ และ เสนอสมการของอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยา

ในปัจจุบันการใช้โปรติวเซอร์ก๊าซเป็นแหล่งให้ความร้อนในอุตสาหกรรม จะขึ้นอยู่กับสถานที่ตั้ง ว่าที่ใดจะคุ้มทุนหรือไม่ เนื่องจากก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน เชื้อเพลิง ฯลฯ มีปริมาณมากและราคาไม่แพง จึงต้องแข่งขันกันในด้านนี้ แต่ระยะหลังราคาน้ำมัน เชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อเร็ว ๆ นี้กลับราคาคงต่ำลงอีก แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าราคาน้ำมัน เชื้อเพลิงจะลดลง การผลิตโปรติวเซอร์ก๊าซก็ยังนับว่า เป็นกระบวนการที่มีประโยชน์ได้ในเชิงเทคโนโลยี (Technically feasible)

ทฤษฎีก๊าซซิฟิเคชัน (2,10,11)

ก๊าซซิฟิเคชัน (Gasification) หรือกระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง เป็นกระบวนการแปรสภาพเชื้อเพลิงแข็ง เช่น ถ่านหิน ถ่านไม้ ฯลฯ ให้อยู่ในรูปเชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซ ดังเช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน (H₂) มีเทน (CH₄) กระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการการเปลี่ยนแปลงทางเทอร์โมเคมีคอล (Thermochemical conversion process) ได้จากปฏิกิริยาของคาร์บอนกับออกซิเจนและหรือไอน้ำที่อุณหภูมิสูง ๆ ความดันตั้งแต่ 1 บรรยากาศขึ้นไป ปฏิกิริยาเกิดขึ้นหลายขั้นตอน มีทั้งปฏิกิริยาดูดความร้อนและปฏิกิริยาคายความร้อน ก๊าซเชื้อเพลิงประกอบด้วยก๊าซผสมของ CO และ H₂ เรียกว่า โพรดิวเซอร์ก๊าซ (Producer gas)

โพรดิวเซอร์ก๊าซเกิดจากปฏิกิริยาการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ (Incomplete Combustion) ของคาร์บอนไปเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และปฏิกิริยารีดักชันคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำไปเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน

ปฏิกิริยาสำคัญของ Conversion Process เป็นดังนี้ (12)

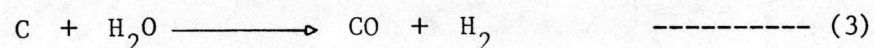
1. ปฏิกิริยาการเผาไหม้หรือออกซิเดชัน (The Combustion or Oxidation) คาร์บอนในอนุภาคของแข็งจะถูกเผาไหม้ด้วยออกซิเจนในอากาศ เกิดคาร์บอนไดออกไซด์



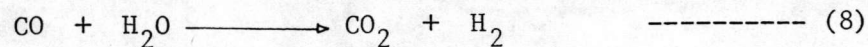
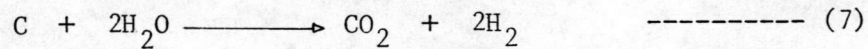
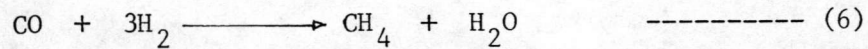
2. กระบวนการรีดักชัน (The Reduction Process) คาร์บอนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนที่มากเกินไป (excess carbon) ในอนุภาคของแข็ง เกิดเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์



3. กระบวนการเปลี่ยน (The Shift Process) ไอน้ำในอากาศสามารถทำปฏิกิริยากับคาร์บอนที่มากเกินไปได้ด้วย และจะเกิดเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน



นอกจากปฏิกิริยา (1), (2) และ (3) แล้ว ปฏิกิริยาดังต่อไปนี้อาจเกิดขึ้นด้วย (14)



โปรคิวเซอร์ก๊าซก็คือก๊าซที่ได้จากกระบวนการรีดักชัน เป็นก๊าซผสมของคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจน (ซึ่งมีอยู่ในอากาศแล้ว) ออกซิเจน (ซึ่งอาจยังมีเหลืออยู่บ้าง) ไฮโดรเจนและมีเทน ก๊าซที่สันดาปได้ (Combustible gas) ในของผสมนี้ก็คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจนและมีเทน ซึ่งในหลักการแล้วควรทำให้มีก๊าซนี้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้

ปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์ในก๊าซ ขึ้นกับว่าคาร์บอนไดออกไซด์เปลี่ยนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ได้มากแค่ไหน ในช่วงของรีดักชัน (reduction zone) และขึ้นกับอุณหภูมิในช่วงรีดักชัน ถ้าต้องการให้คาร์บอนไดออกไซด์เปลี่ยนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ทั้งหมดอุณหภูมิในช่วงรีดักชันต้องสูงเกิน 1100 °C. (13,14)

ถ้าเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นถ่านไม้ปฏิกิริยา (2) เป็นปฏิกิริยาที่มีความสำคัญเพียงปฏิกิริยาเดียว ในช่วงรีดักชันนั้นก็คือ ส่วนประกอบของก๊าซที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ส่วนใหญ่ก็คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ แต่หากมีไอน้ำผสมอยู่ด้วยก็มีไฮโดรเจนและมีเทน เกิดตามปฏิกิริยา (4), (5), (6), (7) และ (8)

ปฏิกิริยาที่ (3) มีความสำคัญมากเช่นกัน เพราะทำให้ส่วนผสมของไฮโดรเจนในก๊าซมีมากขึ้น เป็นผลทำให้ก๊าซมีค่าพลังงานความร้อน (Calorific Value) สูงขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการนิยมการฉีดน้ำ เข้าไปผสมกับวัตถุดิบ หรือพ่นไอน้ำ เข้าไปเพื่อช่วยให้เกิดไฮโดรเจนให้มากที่สุด แต่ถ้ามีน้ำมากเกินไป ไอน้ำอาจทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนตามปฏิกิริยา (8) ทำให้ส่วนประกอบของคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง หากเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสด เช่น ไม้ หรือชีวมวลชนิดอื่น ๆ เราไม่จำเป็นต้องฉีดน้ำเข้าไปอีก เพราะมีน้ำผสมอยู่กับเชื้อเพลิงมากพออยู่แล้ว ส่วนผสมของโปรคิวเซอร์ก๊าซไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง ส่วนผสมของก๊าซโดยทั่วไปแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมของโปรตีนเซอร์ก้าช (13)

องค์ประกอบ	ส่วนผสม เป็นร้อยละของก๊าซจากถ่านไม้	ส่วนผสม เป็นร้อยละของก๊าซจากไม้
CO ₂	3.0	9.5-9.7
C _x H _y	0.1	0-0.3
O ₂	1.3	0.6-1.4
CO	28.7	20.5-22.2
H ₂	3.8	12.3-15.0
CH ₄	0.2	2.4-3.4
N ₂	62.9	50.0-53.8
ค่าความร้อน	4100 กิโลจูล/ลบ.ม.	5000-5400 กิโลจูล/ลบ.ม.

สำหรับโปรติวเซอร์ก๊าศที่เหมาะสมที่นำไปใช้ในเครื่องยนต์ควรมีค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 3700 กิโลจูล/ลบ.ม.(14,15) เราอาจสรุปปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการได้ดังตาราง 2.2 ต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 ปฏิกิริยาการเผาไหม้พื้นฐาน (8,12,16)

ปฏิกิริยา	เครื่องหมาย	ΔH		
		g cal/g.mole	Kj/Kmole	Btu/lbmole
1. $C + O_2 \longrightarrow CO_2$	+	94,410	408,632	169,938
2. $C + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow CO$	+	27,056	123,092	48,701
3. $C + CO_2 \longrightarrow 2CO$	-	40,298	162,448	72,536
4. $CO + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow CO_2$	+	67,355	285,540	121,239
5. $C + H_2O \longrightarrow CO + H_2$	-	32,454	118,905	58,917
6. $C + 2H_2O \longrightarrow CO_2 + 2H_2$	-	24,610	75,362	44,298
7. $CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2$	+	7,844	43,543	14,119

- หมายเหตุ 1. ปฏิกิริยาทดลองที่สภาวะ $1200^\circ K$ ($1700^\circ F$, $927^\circ C$) ความดัน 1 บรรยากาศ คาร์บอนที่ใช้ เป็นมาตรฐานอยู่ในรูปกราไฟท์
2. เครื่องหมายบวก หมายถึง ปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic Reaction)
เครื่องหมายลบ หมายถึง ปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic Reaction)

ปฏิกิริยาการเผาไหม้พื้นฐาน (Fundamental Combustion Reactions)

เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างคาร์บอนกับอากาศ และ/หรือน้ำ ปฏิกิริยาที่แสดงในตาราง 2.2 เป็นปฏิกิริยาที่ได้มีการศึกษามานานแล้ว อาจนับได้ว่าเป็นปฏิกิริยาพื้นฐานที่สามารถใช้อธิบายกระบวนการเผาไหม้ต่าง ๆ ได้

ปฏิกิริยาเหล่านี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ (Reversible) ถึงแม้ว่าปัจจัยทางเวลาและปัจจัยทางสมดุล เกือบจะไม่มีผลเลยในการปฏิบัติงานจริง แต่ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของสมดุล (Equilibrium Constants) กับอุณหภูมิยังเป็นค่าที่น่าสนใจมาก เพราะค่าคงที่ของ

สมมูลสามารถแปรค่าได้มากมาย เห็นได้ในรูปที่ 2.2 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า
ลอการิทึมของค่าคงที่ของสมมูลกับอุณหภูมิของแต่ละปฏิกิริยา

ปฏิกิริยา (1) เป็นการเผาไหม้คาร์บอน ณ บริเวณที่มีปริมาณออกซิเจนมากเกินพอ
ส่วนปฏิกิริยา (2) เป็นการเผาไหม้คาร์บอนที่กำลังลุกแดงภายใต้สภาวะที่ออกซิเจนไม่เพียงพอ
ทั้ง 2 ปฏิกิริยาได้รับความสนใจอย่างสูง เนื่องจากต้องการทราบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
หรือคาร์บอนมอนอกไซด์ตัวไหนที่เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นต้นที่ได้

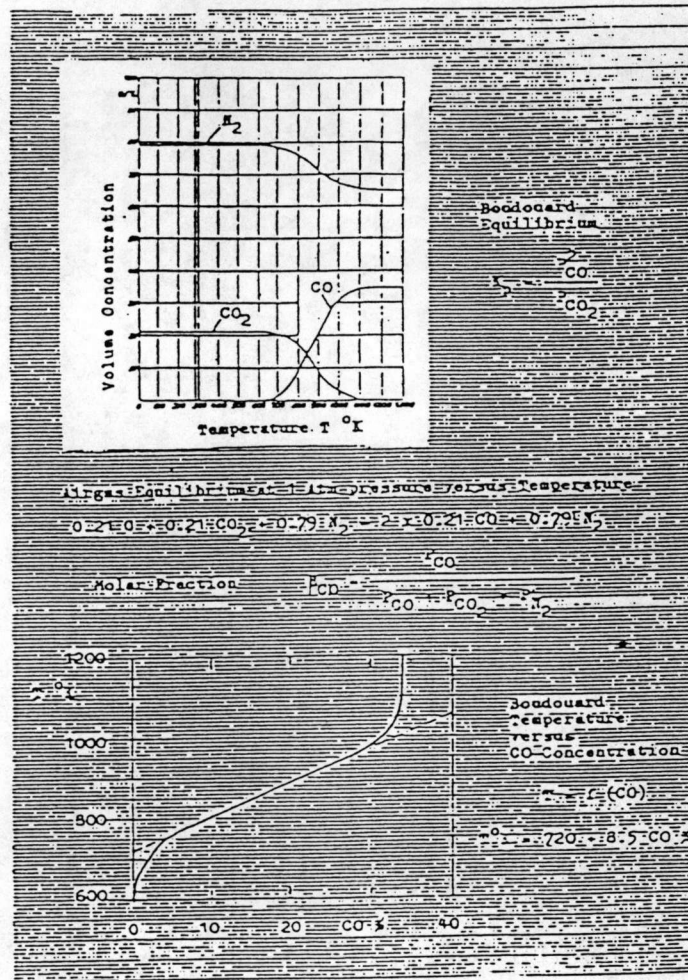
เป็นที่ปรากฏแล้วว่า อุณหภูมิและความเร็วของก๊าซที่เข้าไปทำปฏิกิริยา เป็นปัจจัยที่สำคัญ
ที่มีผลต่อปฏิกิริยา และโดยทั่วไปในปัจจุบันเชื่อว่า คาร์บอนมอนอกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นต้น ณ อุณหภูมิ
ที่ทำการทดลองกันอยู่ แต่ถ้ามีออกซิเจนเหลืออยู่ คาร์บอนมอนอกไซด์ก็จะรวมตัวกลายเป็นคาร์บอน
ไดออกไซด์ ดังปฏิกิริยาที่ (4)

ปฏิกิริยาที่ (3) รู้จักกันในชื่อว่า "Boudouard reaction" เป็นปฏิกิริยาพื้นฐาน
ของการผลิตโปรติวเซอร์ก๊าซ มีการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการเข้าทำปฏิกิริยา (reacti-
vity) ของเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ พบว่าอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับธรรมชาติของเชื้อเพลิง
และลักษณะเฉพาะของผิว (Surface Characteristic) ของเชื้อเพลิงนั้น อัตราของการเกิด
ปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 950°C . (รูปที่ 2.1) เนื่องจากมีการแตกตัว
ของคาร์บอนเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวของเชื้อเพลิง เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่านี้

Grodsowski และ Chukhanov (8) นักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซีย ได้ชี้ให้เห็นว่า
อัตราเร็วที่คาร์บอนไดออกไซด์สามารถดิวิซ์ไปเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ ไม่เร็วเพียงพอที่จะอธิบาย
เหตุที่พบคาร์บอนมอนอกไซด์ เมื่อการเผาไหม้เกิดขึ้นที่ความเร็วสูง ๆ อันนี้เองที่ชี้ให้เห็นว่าการ
เกิดขึ้นแรกของคาร์บอนมอนอกไซด์จะอยู่ภายใต้ปฏิกิริยานี้

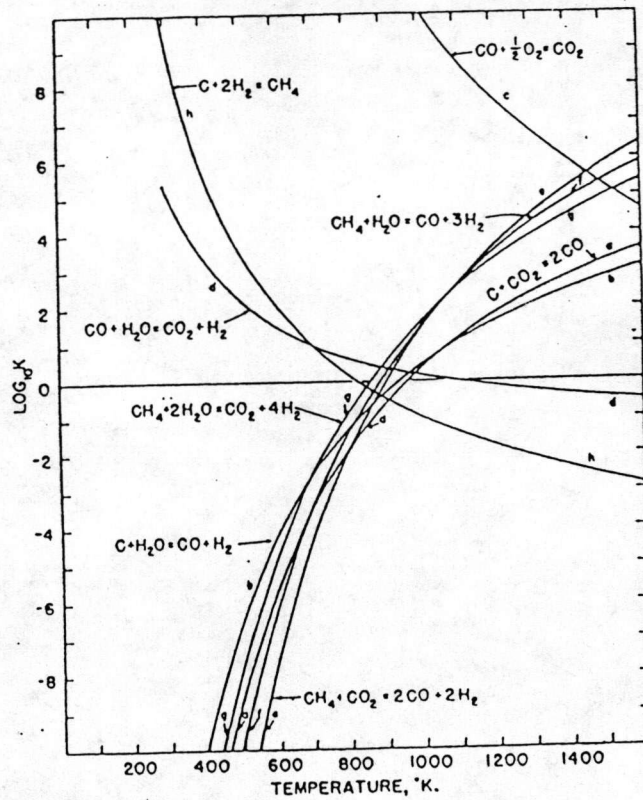
ส่วนปฏิกิริยาที่ (4) เป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา (1) และ (2)

ปฏิกิริยาที่ (5) และ (6) เป็นปฏิกิริยาพื้นฐานของการแตกตัวของไอน้ำ ในกรณีที่มี
การป้อนน้ำเข้าไปพร้อมกับอากาศ ปัจจัยอันหนึ่งในการศึกษากลไกของปฏิกิริยา (5), (6) นี้
คือผลของไอน้ำที่ไม่แตกตัวหรือไม่ทำปฏิกิริยา ทำให้เกิดความซับซ้อนในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์
ที่เกิดขึ้น เพราะไม่สามารถหาได้อย่างถูกต้องและละเอียดพอ



Boudouard Equilibrium and Gasifier Temperature

รูปที่ 2.1 แสดงกราฟของ Boudouard Equilibrium และอุณหภูมิ
ในเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (17)



Logarithm of equilibrium constant for fundamental combustion reactions

รูปที่ 2.2 กราฟระหว่างลอการิทึมของค่าคงที่ของสมดุลสำหรับปฏิกิริยา
 การเผาไหม้ของสมดุลสำหรับปฏิกิริยาการเผาไหม้พื้นฐาน
 กับอุณหภูมิ (8)

ปฏิกิริยาที่ (7) บางครั้ง เรียกว่า water-gas reaction หรือ shift reaction และเป็นสมการที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อมีไอน้ำอยู่ด้วย

ปฏิกิริยาใน เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (8)

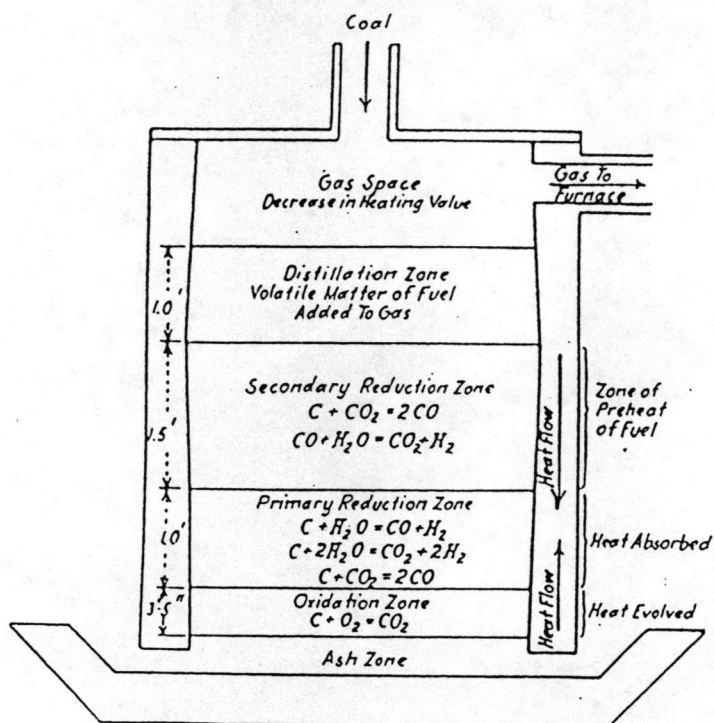
เนื่องจากการเผาไหม้ของคาร์บอนด้วยอากาศ เป็นปฏิกิริยาที่คายความร้อนออกมาอย่างมาก อุณหภูมิใน active zone ของ เตาเชื้อเพลิง เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งมากพอที่ หลอม เถ้าใน เชื้อเพลิงได้ ทำให้เกิดคลิงเกอร์ (Clinkers) (กรณีใช้ถ่านหินเป็น Carbon Source) มีแนวโน้มที่รวม เป็นก้อนแล้วขัดขวางการไหลของก๊าซ เชื้อเพลิงบางชนิดมีปัญหา ในการนำคลิงเกอร์ออก เพื่อการควบคุมการสร้างตัวเป็นคลิงเกอร์มีวิธีดังนี้

1. ต้องป้อนไอน้ำ เข้าไปพร้อม ๆ กับอากาศ อาจทำปฏิกิริยากับคาร์บอนตามสมการ (5), (6) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน
2. ต้องควบคุมสัดส่วนไอน้ำกับอากาศ
3. ควบคุมอุณหภูมิให้เกิดคลิงเกอร์ได้น้อย
4. นำ เถ้าออกขายทันที

เถ้าใน เชื้อเพลิงปกติหลอม เหลวที่อุณหภูมิ 1250-1550 °ซ. อุณหภูมิของ โปรโตเซอ์ ก๊าซอยู่ในช่วง 200-270 °ซ. ได้มีการเสนอที่ใช้ปฏิกิริยา $C + CO_2 \longrightarrow 2CO$ เป็นปฏิกิริยาคูดความร้อนไปใช้ควบคุมอุณหภูมิของ เตาเชื้อเพลิง ถ้าใช้ ออกซิเจนแทนอากาศปฏิกิริยาให้ CO บริสุทธิ์ออกมาพอสมควร และใช้ CO_2 ควบคุมอุณหภูมิ CO_2 ที่มากเกินไปถูกกำจัดโดยวิธี Scrubbling และนำกลับไปใช้ใหม่ในกระบวนการ

โดยทั่วไปอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไอน้ำกับคาร์บอนไม่เร็วเท่ากับออกซิเจนกับคาร์บอน ในการศึกษาเกี่ยวกับสมดุลในการปฏิบัติงานจริงในเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ อาจเป็นเพราะเวลาที่ก๊าซสัมผัสกับเชื้อเพลิงที่เข้าทำปฏิกิริยาสั้นเกินไป

มีงานหลายชิ้นที่ศึกษากลไกของปฏิกิริยาใน เตาเชื้อเพลิง แต่ยังไม่เป็นที่ยอมรับ แต่สำหรับกลไกของปฏิกิริยาที่ยอมรับกันในปัจจุบันแล้วเป็นของ ฮาสแลม (Haslam) (8) และผู้ร่วมงานซึ่งได้เสนอไว้ในรูปที่ 2.3 แบ่งเป็น 5 โทษด้วยกัน



The reactions in the fuel bed of a gas producer

รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาในเบดเชื้อเพลิงของเตาผลิตก๊าซ (8)



การจำแนกกระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน

เราสามารถแบ่งก๊าซซิฟิเคชันสำหรับเชื้อเพลิงแข็งในลักษณะต่าง ๆ ดังนี้ (10,18)

1. แบ่งตามวิธีการให้ความร้อนสำหรับปฏิกิริยาก๊าซซิฟิเคชัน
ให้ความร้อนภายใน เช่น Autothermic, cyclic, ของแข็งหรือของไหลที่เป็นตัวนำความร้อน
ให้ความร้อนภายนอก เช่น ให้ความร้อนถ่ายเทผ่านผนังของเครื่องปฏิกรณ์
2. แบ่งตามวิธีการที่ตัวเข้าทำปฏิกิริยาสัมผัสกัน
เบดนิ่ง (Fixed Bed)
ฟลูอิดไคซ์เบด (Fluidized Bed)
อนุภาคแขวนลอยในตัวกลางในการก๊าซซิฟิเคชัน (Suspension of particles in gasifying medium)
3. แบ่งตามการไหลของตัวที่เข้าทำปฏิกิริยา
ไหลไปทางเดียวกัน (Cocurrent)
ไหลสวนทางกัน (Counter current)
4. แบ่งตามตัวกลางในการก๊าซซิฟิเคชัน (gasifying medium)
ใช้ไอน้ำกับออกซิเจนหรืออากาศหรืออากาศที่มีออกซิเจนมาก
ใช้ก๊าซไฮโดรเจน
5. แบ่งตามสถานะในการกำจัดกาก (residue)
ถ้ำแห้งสำหรับการปฏิบัติการเมื่อไม่มีสแลก (nonslagging operation)
สแลกสำหรับการปฏิบัติการที่มีสแลก (Slagging operation)

พื้นฐานอันหนึ่งที่ใช้ในการแบ่งชนิดของการก๊าซซิฟิเคชันได้ก็คือ แหล่งที่มาของออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการ เราสามารถแบ่งได้ดังนี้

ก๊าซซิฟิเคชันใช้อากาศ (Air Gasification) (19,20) เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุด ผลิตก๊าซเชื้อเพลิงพลังงานต่ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้ไนโตรเจนปริมาณมากน้อยเพียงใด ที่จะไปเจือจางก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้ ก๊าซเชื้อเพลิงดังกล่าวเหมาะสำหรับประเทศที่กำลังพัฒนา สามารถใช้ได้อย่างกว้างขวาง สำหรับพวกที่มีจุดประสงค์ในการใช้ความร้อนในอุตสาหกรรม เครื่องมือควรมีการ

012553

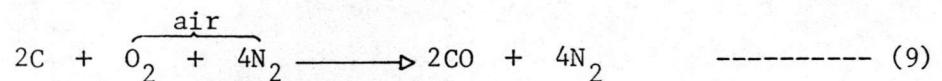
I 10296608

ออกแบบใช้ในการ เผาไหม้น้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติที่ง่ายในการนำไปเปลี่ยนแปลงหรือแก้ไข ในการเดินเตาผลิตก๊าซและประสิทธิภาพทั้งหมดของการ เปลี่ยนให้ใกล้เคียงกับการ เผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion) ซึ่งมีประสิทธิภาพประมาณ 70-80% ถ้าใช้ เครื่องมือที่ออกแบบไว้ดี สำหรับการผลิตไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ ก๊าซ เชื้อเพลิงจะใช้ เป็น เชื้อเพลิงได้ทั้งกังหันก๊าซ (Gas turbine) และ เครื่องกำเนิดไอน้ำ (Steam Generator)

Air Gasification ยังมีสิ่งที่น่าสนใจมากสำหรับการประยุกต์ไปผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก เช่นพวกเครื่องยนต์ ถ้าเครื่องยนต์ได้ปรับปรุงในการใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง ก๊าซเชื้อเพลิงจากเตาผลิตก๊าซสามารถใช้ เป็น เชื้อเพลิงได้ทั้ง เครื่องยนต์ดีเซลและก๊าซโซลีน แม้ว่าจะต้องมีการทำให้ก๊าซเชื้อเพลิง เย็นก่อน เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณปริมาตรความร้อน (Volumetric heat Content) และจะต้องไม่มีน้ำมันทาร์ เพื่อป้องกันการเกิดฟาวลิง (fouling) กับเครื่องยนต์

การที่จะ เปลี่ยนแปลงการนำก๊าซเชื้อเพลิงมาใช้ ขึ้นอยู่กับการออกแบบของ เครื่องยนต์ ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 มีการนำก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่เคลื่อนที่ได้ มาใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ทั้งแบบก๊าซโซลีนและดีเซล ส่วนใหญ่ใช้ถ่านเป็นวัตถุดิบในการผลิต ซึ่งไม่ค่อยสะดวกนัก เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงนี้มีประโยชน์มากในเวลาสงคราม และยังเป็นกระบวนการที่ง่ายและสะดวกเหมาะสมในอนาคต

สำหรับ Air Gasification ที่ใช้ถ่านเป็นวัตถุดิบ (feed Stock) ปฏิกริยาเบื้องต้นสามารถเขียนได้ดังนี้ (19)



ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะมีค่าความร้อนประมาณ 4100 กิโลจูล/ลบ.ม. กรณีใช้ไม้เป็นวัตถุดิบจะต้องประกอบด้วยดังนี้

คาร์บอนไดออกไซด์	10 %
คาร์บอนมอนอกไซด์	20-22 %
ไฮโดรเจน	12-15 %
มีเทน	2-3 %
ไนโตรเจน	50-53 %
ปริมาณความร้อน	≈ 5500 กิโลจูล/ลบ.ม.

ก๊าซซิฟิเคชันใช้ออกซิเจน (Oxygen Gasification) (19) เป็นกระบวนการที่ใช้ ออกซิเจนบริสุทธิ์ จะให้ก๊าซเชื้อเพลิงมีพลังงานสูงกว่าการใช้อากาศ ก๊าซเชื้อเพลิงนี้ประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์กับไฮโดรเจน และมักเรียกว่า "ก๊าซสังเคราะห์" (Synthesis Gas) เพราะว่าก๊าซนี้สามารถให้ความร้อนหรือใช้สังเคราะห์ เมทานอล แอมโมเนีย และ สารเคมีอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม ก๊าซเชื้อเพลิงค่อนข้างจะเป็นสิ่งใหม่และกระบวนการที่มีราคาสูง และยังต้องการสิ่งที่อำนวยความสะดวกในการแยกออกซิเจนจากอากาศ

ถ้าแบ่งก๊าซซิฟิเคชันตามสภาพเชื้อเพลิงในเบด ก็จะได้เป็น 2 ชนิดคือ

กระบวนการแบบเบดนิ่ง (Fixed-bed Processes)

คำว่า เบดนิ่ง (Fixed-bed) ที่ใช้ใน เรื่องก๊าซซิฟิเคชันเพื่อต้องการให้ทราบว่า เบดเชื้อเพลิงจะรองรับด้วยตะแกรง หรือโดยวิธีอื่น ๆ และจะรักษาระดับความสูงเหนือตะแกรง ให้คงที่ ดังนั้นส่วนบนสุดและล่างสุดจะคงที่ แต่ภายในเบดเชื้อเพลิงจะเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ จาก ด้านบนลงมายัง Gasification Zone ที่เกิดปรากฏการณ์เช่นนั้น เพราะขนาดของ เชื้อเพลิง เล็ก ลงทุกขณะ ต้องมีการเติม เชื้อเพลิงอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้ระดับของ เบดคงที่ การเคลื่อนที่ของ เชื้อเพลิง เคลื่อนจากบนลงล่าง ไม่มีการเคลื่อนที่แบบหมุนเวียนอย่างฟลูอิด เช่น ส่วนกากจะนำ ออกส่วนล่าง สิ่งสำคัญของ เบดเชื้อเพลิงก็คือ เบดมีการเคลื่อนที่ (Moving bed) โดยที่ส่วนบน ของเบดเชื้อเพลิงคงที่

เบดนิ่งมีลักษณะเฉพาะหลายอย่างที่มีข้อได้เปรียบกว่ากระบวนการอื่น ๆ การไหล ของเชื้อเพลิงและกากเป็นแบบสวนทางกันกับตัวกลางที่ใช้ในการก๊าซซิฟิเคชันและผลิตภัณฑ์ของ ก๊าซซิฟิเคชัน ซึ่งนำไปสู่การประหยัดพลังงานมากที่สุด เวลาที่เชื้อเพลิงอยู่ใน เตาานาน (Long Residence time) จะทำให้คาร์บอนเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ได้มาก (high carbon conversion) ผลิตภัณฑ์ก๊าซมีของแข็งปนออกมาเล็กน้อย และการไหลแบบปลั๊ก (plug) ของเชื้อเพลิง- แข็งจะช่วยลดการสูญเสีย เชื้อเพลิงที่ยังไม่เผาไหม้ไปในกากได้น้อยที่สุด

ข้อเสียเปรียบสำหรับเบดนิ่งก็คือ ไม่สามารถใช้กับ Caking Coal ได้ ถ้าถ่านหิน ชนิดนั้นไม่ผ่าน pretreatment ก่อน หรือต้องมีการตัดแปลงแก้ไข เครื่องจักรกลหรือสภาวะใน การทำงานของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง โดยทั่วไปแล้วกระบวนการแบบเบดนิ่งจะเป็นวิธีที่มีประ- สติภาพดีที่สุดในการเปลี่ยนคาร์บอนไปเป็นก๊าซเชื้อเพลิง

กระบวนการแบบฟลูอิดเซชัน (Fluidized-Bed Processes) (3,10,18)

เทคนิคฟลูอิดเซชันได้นำมาใช้กับกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันครั้งแรกในเชิงพาณิชย์คือ กระบวนการ Winkler ในปี ค.ศ. 1920-1929 ข้อได้เปรียบของเทคนิคฟลูอิดเซชันคือ

1. การหมุนเวียนและเคลื่อนที่อย่างปั่นป่วนของ เชื้อเพลิงภายใน เเบด ช่วยทำให้ อุณหภูมิมีเสถียรภาพคือ เเบดจะไม่ร้อนขึ้นหรือเย็นลงอย่างรวดเร็ว จึงไม่เกิด Overheat (ถ้า เกิด จะทำให้มีการเกิด Clinker ได้)

2. ความร้อนที่ถ่ายเทภายใน เเบดหรือจาก เเบดสู่ผนังรอบ ๆ เป็นไปได้โดยการชน โดยตรงกับอนุภาค เชื้อเพลิง ซึ่งการชนโดยตรงนี้ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่า เตาแบบ อื่นมาก

3. เมื่อบ้อนเชื้อเพลิง เข้าสู่ เตา อุณหภูมิของ เชื้อเพลิงจะสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิใน เเบด อย่างรวดเร็ว จึงทำให้สามารถเผา เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพต่ำมาก เช่น ขยะเปียก และสาขารถ ใช้ได้กับ เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพแตกต่างกันมาก ๆ เช่น มีปริมาณเถ้าสูง ขนาดอนุภาคที่ใช้อยู่ในช่วง 0-8 มม. โดยเฉลี่ย และ 0-20 มม. สำหรับถ่านร่วน

4. ใช้น้ำมันน้อย เพราะมีอัตราการก๊าซซิฟิเคชันสูง มีการถ่ายเทความร้อนรวดเร็ว ทำให้เตาฟลูอิดซ์ เเบดมีขนาดเล็กกว่า เตาในระบบอื่นที่มีความร้อนขาออกเท่ากัน ซึ่งหมายถึง เตา ฟลูอิดซ์ เเบดมีราคาถูกลงกว่า

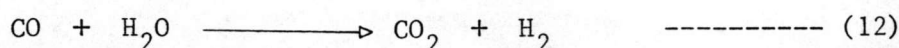
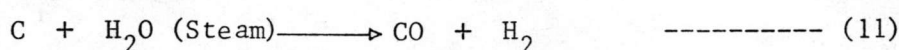
ข้อเสียเปรียบสำหรับเทคนิคฟลูอิดเซชัน

1. มีการสูญเสียความร้อนสัมผัส (Sensible heat) ไปกับฟลูก๊าส (flue gas)
2. มีการสูญเสียเชื้อเพลิงที่ยังไม่ได้เผาไหม้ (Ungasified fuel) โดยติดไปกับฝุ่น (entrained dust)
3. มีปริมาณเถ้าใน เเบดสูง เกิดจากการเผาไหม้ของ เชื้อเพลิงที่ผสมกันได้ดี
4. มีช่วงจำกัดในการปฏิบัติงาน เนื่องจากลักษณะ เฉพาะของฟลูอิดเซชันของ เชื้อเพลิงแต่ละชนิด
5. เกิดสลักกิ้ง (Slugging)

ระบบการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง

ในปัจจุบันกระบวนการก๊าซซิเคชัน มีการทดลองอยู่ 3 ระบบด้วยกันคือ (3.21)

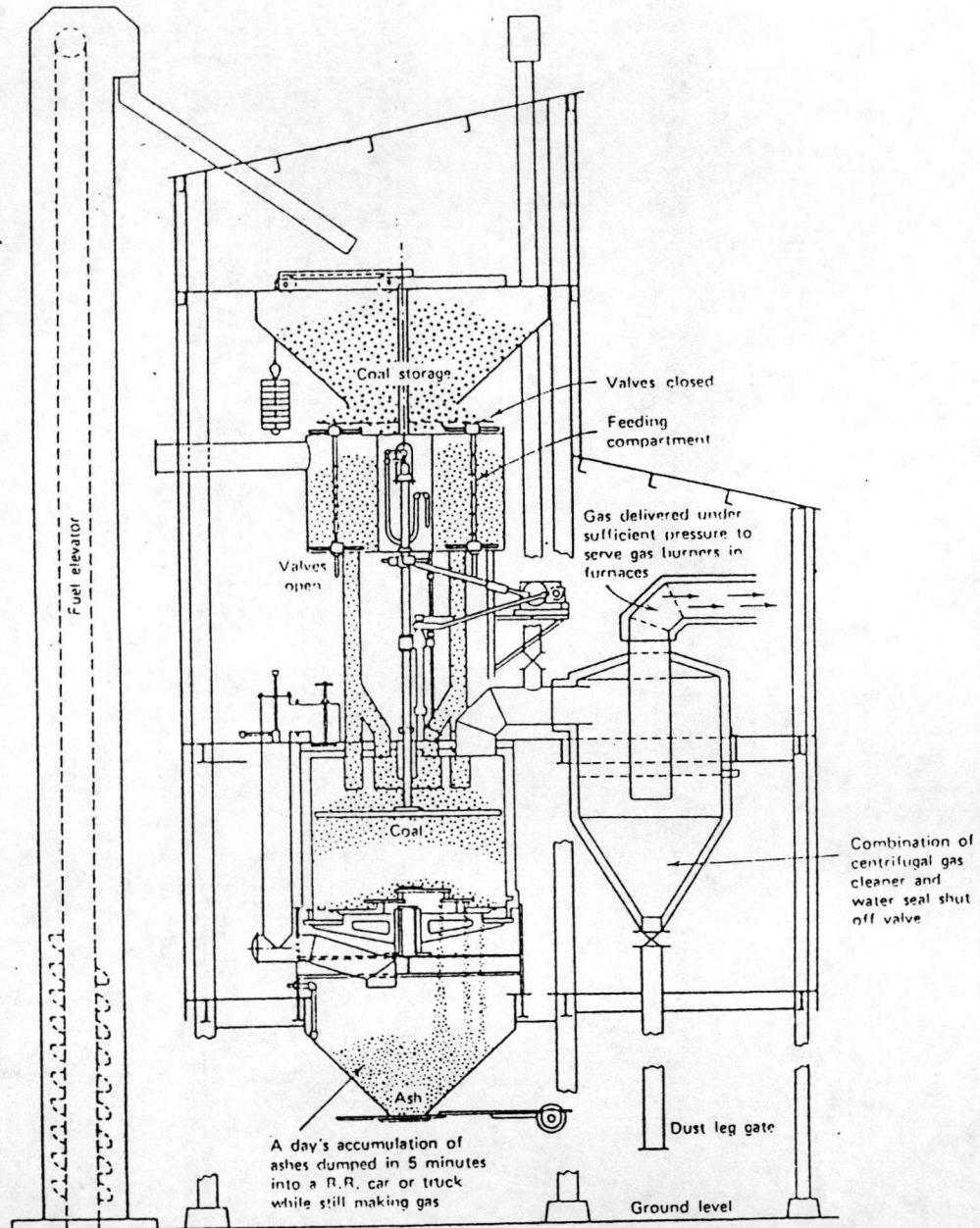
1. การผลิตที่ให้เชื้อเพลิงก๊าซที่มีค่าความร้อนต่ำ (Low heating Value gas or Low Btu. gas) ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าความร้อนประมาณ $3.3-5.6 \text{ MJ/m}^3$ (90-150 Btu./SCF) เกิดจากการเผาไหม้บางส่วนของท่านกับอากาศ ส่วนมากมักจะมีไอน้ำอยู่ด้วย โดยมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังนี้



องค์ประกอบที่สามารถเผาไหม้ได้ (Combustible Components) ของก๊าซผลิตภัณฑ์คือ คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน ซึ่งเจือจางอยู่ในคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจน ก๊าซจะมีอุณหภูมิเปลวไฟ (flame temperature) ต่ำ นอกจากนี้อากาศที่จะนำเข้าไปทำการเผาไหม้นำมาอุ่น (preheat) เสียก่อน ในปัจจุบันได้มีการนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการผลิตไฟฟ้า สำหรับความต้องการของอุตสาหกรรมเล็ก ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ตัวอย่างที่รู้จักกันดีสำหรับการผลิตในระบบนี้คือ Wellman-Galusha (21) ทำงานที่ความดันบรรยากาศ (รูปที่ 2.4) เป็นแบบเป่าอากาศ บ้อนถ่านจาก Hopper ด้านบนแบบต่อเนื่อง ถ่านจะถูกกำจัดโดย Shaker grate แบบต่อเนื่องเช่นกัน ถ้าเป็นหน่วยที่ใหญ่กว่านี้ จะนำถ่านออกโดย revolving grate ถ่านจะถูกนำมารวมใน Ash-hopper อากาศที่ใช้จะอุ่นให้ร้อน 82°C . ก๊าซจะออกจากเบดเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ $428-538^\circ\text{C}$.

2. การผลิตที่ให้เชื้อเพลิงก๊าซที่มีค่าความร้อนปานกลาง (Medium Heating Value gas or Medium Btu. gas) ก๊าซเชื้อเพลิงมีค่าความร้อนประมาณ $9.3-20.5 \text{ MJ/m}^3$ (250-550 Btu./SCF) กระบวนการผลิตนี้ใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ที่ได้จากการแยกออกจากอากาศ เพื่อใช้ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วน (Partial Oxidation) การที่ไม่มีไนโตรเจนจะมีผลให้ค่าความร้อนสูงขึ้น

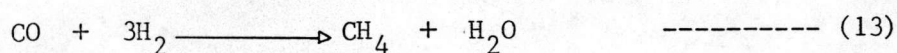


The Wellman-Galusha agitator-type gas producer makes possible the gasification of either bituminous coal, anthracite, or coke without mechanical adjustment. Courtesy of McDowell-Wellman Gas Products

รูปที่ 2.4 เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบ Wellman-Galusha ใช้วัตถุดิบได้ทั้งถ่านหินบิทูมินัส, แอนทราไซต์ หรือถ่านโค้ก (21)

ตัวอย่างของการผลิตในระบบนี้คือ Winkler Process (21) กระบวนการใช้ออกซิเจนเข้าไปแทนอากาศ จะได้ก๊าซเชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนปริมาณมาก จากรูปที่ 2.5 ถ่านหินบดละเอียดเกิดการก๊าซซิฟิเคชันในสภาวะฟลูอิดซ์ บ้อนออกซิเจนและไอน้ำเข้าทางส่วนล่าง และบ้อนถ่านหินทาง lock hopper และ Screw Feeder ลงสู่ส่วนล่างของเบดเชื้อเพลิง ถ้าจะกองบนตะแกรงและจะถูกทำให้เย็นโดยออกซิเจนและไอน้ำที่เข้ามา ถ้าถูกส่งไปยัง disposal hopper เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงนี้เป็นรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 เมตร สูง 21.3 เมตร นอกจากนี้ยังมีกระบวนการอื่น ๆ เช่น Koppers-Totzek (K-T Process) (ดังแสดงในรูปที่ 2.6) Texaco, Shell-Koppers, BI-GAS, Combustion Engineering, Foster-Wheeler (21)

3. การผลิตที่ให้ก๊าซเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูง (High heating Value gas or High Btu. gas) ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้เทียบได้กับ Synthesis gas ส่วนประกอบของ High Btu. gas มักเป็นก๊าซมีเทนเกือบบริสุทธิ์ ซึ่งจาก Medium Btu. gas เอง ก็สามารถเปลี่ยนเป็น SNG ได้ โดยกระบวนการเมทาเนชัน (Methanation) ที่อุณหภูมิต่ำใน Catalytic Process เกิดปฏิกิริยาของก๊าซ CO และ H₂ เป็นก๊าซมีเทนและน้ำ ดังสมการ

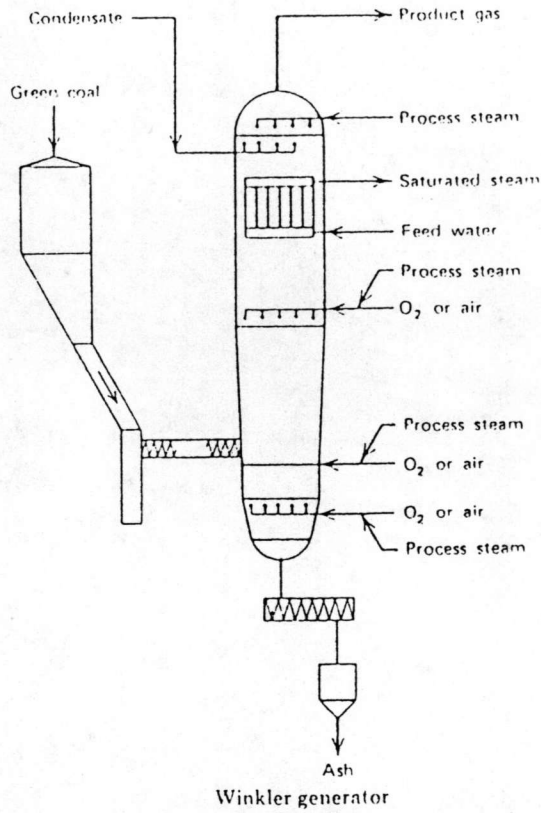


โดยการทำแห้งก็ได้ก๊าซซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับมีเทนบริสุทธิ์ ตัวอย่างของการผลิตแบบนี้คือ Lurgi Pressure Gasifier (22) (ดังแสดงในรูปที่ 2.8)

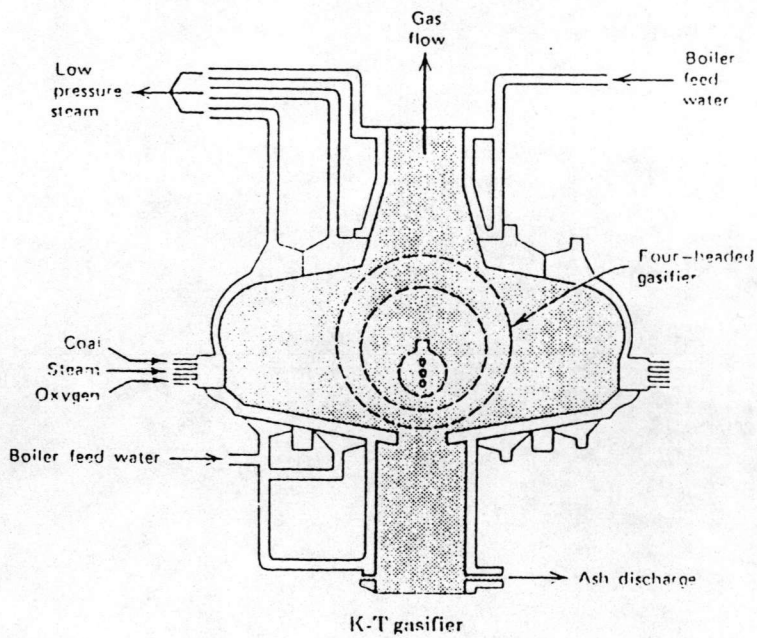
เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Gasifier)

สามารถแบ่งตามทิศทางการไหลของอากาศเป็น 3 แบบคือ (3,12)

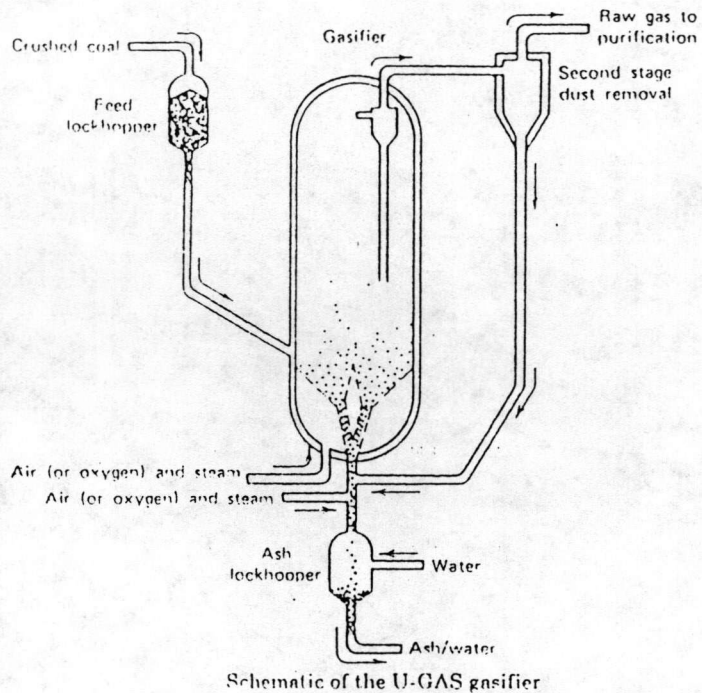
1. Up-draught Gasifier ในเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงนี้ บ้อนอากาศหรือไอน้ำเข้าทางด้านล่างที่มีการสันดาป (Hearth Zone) อุณหภูมิอยู่ในช่วง 900 °ซ. หรือมากกว่าตามความต้องการ ในกรณีที่เป็นการอุตสาหกรรมใหญ่ การเคียวไอน้ำเข้าไปเป็นการลดอุณหภูมิในบริเวณสันดาปหรืออาจทำการหล่อเย็นบริเวณนี้ด้วยน้ำตลอดเวลา เป็นการยืดอายุการใช้งานของเครื่องได้ ก๊าซที่ได้จากบริเวณเผาไหม้ (Combustion Zone) จะผ่านไปยัง Reduc-



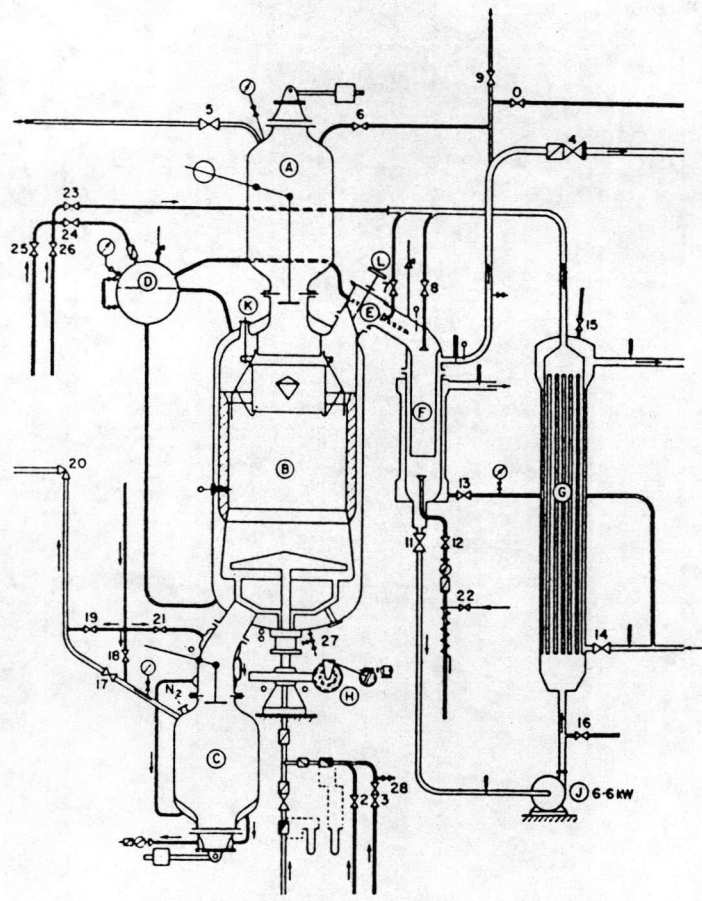
รูปที่ 2.5 แสดงเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง Winkler generator (21)



รูปที่ 2.6 แสดงเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง K-T gasifier (21)



รูปที่ 2.7 แสดงเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง U-GAS gasifier (21)



Generator of Lurgi pressure gasification system.

รูปที่ 2.8 แสดงเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง Lurgi pressure gasifier (23)

tion Zone เข้าไป Distillation Zone และ Drying Zone ตามลำดับ พิจารณารูปที่ 2.9

กระบวนการชนิดนี้ได้มีการพัฒนาเป็นเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบผสม (Hybrid Up-draught Reactor) หรือเป็นเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบ 2 ชั้นตอน ผลิตออกมาครั้งแรก โดยบริษัท II Gas Integrate เมืองมิลาน ประเทศอิตาลี (สมาคมวิจัยและพัฒนาพลังงาน แห่งสหรัฐอเมริกา, 1976) ได้ใช้งานมากกว่า 20 ปี ก๊าซที่เกิดขึ้นออกมา 2 ระดับคือ ระดับแรกได้มาจาก Gasification Zone ในช่วง Reduction ซึ่งให้ก๊าซที่สะอาดใส (Clear gas) ออกมา ระดับต่อมาได้จาก Distillation Zone หรือ Drying Zone ได้ Top gas อุณหภูมิของ Top gas ถูกควบคุมโดยการปรับสัดส่วนของ Clear gas ซึ่ง ไช้ออกจากเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง

Top gas ไหลผ่านไซโคลน เพื่อดักเศษของน้ำมันทาร์ออก ในขณะที่ Clear gas ไหลผ่านไซโคลน เพื่อกำจัดฝุ่นก๊าซทั้งสองระดับมารวมกัน ความร้อนจาก Clear gas ทำให้น้ำมันทาร์ น้ำมันชื้น (oil mist) ใน Top gas ระเหยออกไป เมื่อรวมกันแล้วก๊าซทั้งสอง มีอุณหภูมิต่ำประมาณ 350°C .

กระบวนการนี้สามารถผลิต โปรคิว เซอร์ก๊าซโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้ อุณหภูมิลดลง ก๊าซที่ยังร้อนมีค่าความร้อนประมาณ 7,500 กิโลจูล/ลบ.ม. สำหรับก๊าซที่ทำ ความสะอาดและเย็นลงแล้วมีค่าความร้อนลดลง เหลือประมาณ 6300 กิโลจูล/ลบ.ม.

2. Down-draught Gasifier ระบบนี้ได้รับการพัฒนาโดยมีจุดมุ่งหมายที่เปลี่ยน น้ำมันทาร์ (tars) ที่เกิดขึ้นในเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงไปเป็นก๊าซ ซึ่งมีความสำคัญมาก กรณีส่ง ก๊าซเชื้อเพลิงไปตามท่อระยะทางไกล ๆ จากเตา และยังสามารถประยุกต์ใช้กรณี เป็น เชื้อเพลิง ของเครื่องยนต์ได้ด้วย เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงมี Distillation Zone และ Drying Zone อยู่เหนือ Hearth Zone และมี Reduction Zone อยู่ด้านล่าง บริเวณที่สำคัญที่สุดก็คือ Combustion Zone (พิจารณารูปที่ 2.10)

ระบบ Down-draught นี้มีการใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับการก๊าซซิฟิเคชัน ไม้ ถ่านพีท และลิกไนต์ ตัวอย่างคือเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงของอิมเบิร์ต (Imbert) และรอต (Roth) ซึ่งได้พัฒนาขึ้นในเยอรมันนีและสวิสเซอร์แลนด์ ตามลำดับ เตาดังกล่าวทำงานมีประ- สติภาพสูง มีรูปร่างเป็นกรวยอยู่ภายใน Hearth Zone ข้างล่างทางเข้าของอากาศ ส่วนคอด

เข้าจะเป็นส่วนที่ช่วยเพิ่มความเร็วจนของอากาศและทำให้อุณหภูมิของการทำงานสูงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงเป็นการง่ายที่เปลี่ยนน้ำมันทาร์ไปเป็นก๊าซ

ระบบ Down-draught ได้รับการพัฒนาสำหรับใช้กับไม้และเศษวัสดุ ก๊าซเชื้อเพลิง ที่ได้มีไฮโดร เจนสูงกว่าใช้ถ่านไม้หรือถ่านหิน

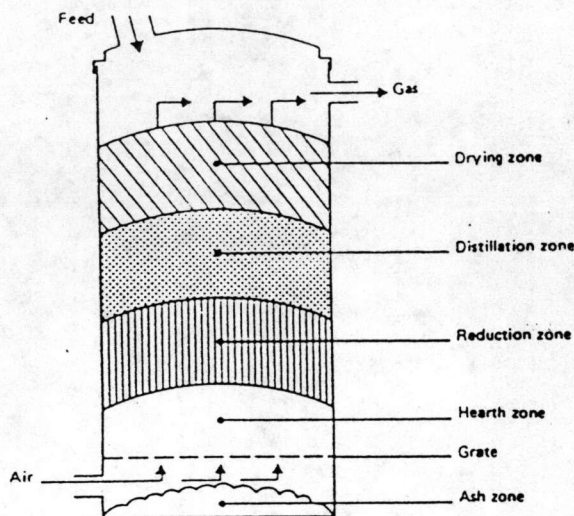
ประโยชน์ที่สำคัญของระบบนี้ก็คือ สามารถใช้วัสดุที่ไม่ได้ผ่านการคาร์บอนซ์ (Uncarbonised Materials) และสามารถลดน้ำมันทาร์ในผลิตภัณฑ์ได้ แต่เป็นระบบที่มีเวลาในการสัมผัส (Contact time) ของอากาศและเชื้อเพลิงน้อย เป็นระบบที่ให้เชื้อเพลิงก๊าซสม่ำเสมอ ดีกว่าระบบ up-draught เมื่อนำไปใช้ เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ อย่างไรก็ตามระบบนี้ต้องการเชื้อเพลิงที่มีความสม่ำเสมอของขนาดวัตถุดิบมากกว่าสำหรับการทำงาน และวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่กว่า 15 ซม. ไม่เหมาะสมในการใช้ เป็นวัตถุดิบของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่ Imbert และ Roth ออกแบบไว้ เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงบาง เตาจะไม่เหมาะสมในการใช้เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กกว่า 1.5 ซม. และมากกว่า 5 ซม. เครื่องเหล่านี้จะทำงานที่อุณหภูมิต่ำกว่าเครื่องในระบบ cross-draught และยังไม่เหมาะสมกับการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงปริมาณต่ำ

3. Cross-draught Gasifier ในระบบนี้การไหลของอากาศและเชื้อเพลิงที่ ได้จะขวางกับตัวเตา แต่ก็ไม่จำเป็นจะต้องขนานในแนวอนเสยอ เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบนี้ จะทำงานที่อุณหภูมิสูงมาก ให้มี Combustion Zone และ Reduction Zone จำกัด โดยใช้ ท่ออากาศเข้าที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก (พิจารณารูปที่ 2.11) อุณหภูมิจะสูงถึง 2000°C . จึงต้องมีน้ำหล่อเย็นอยู่ข้างนอก

เนื่องจากเวลาในการทำปฏิกิริยาสั้น จึงต้องใช้เชื้อเพลิงที่มีน้ำมันทาร์ต่ำและขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6-1 ซม. เป็นขนาดที่ดี เชื้อเพลิงใน hopper จะประพุดตัวเป็น เกราะป้องกันความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อน และเมื่อทำงานโดยใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงก็ไม่จำเป็นต้องก่อปูนทนไฟ (Refractory line)

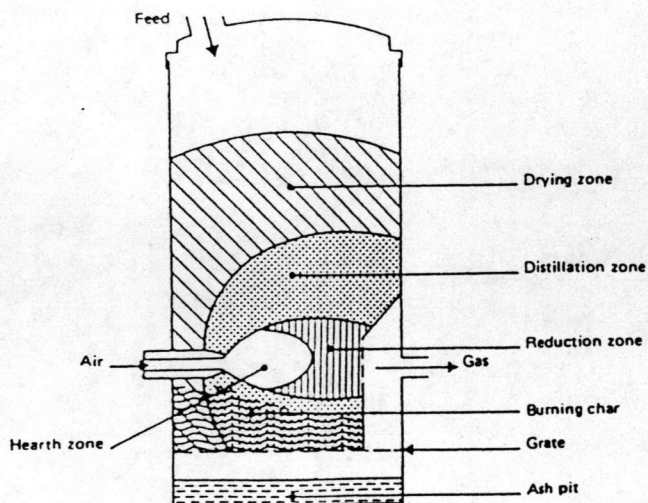
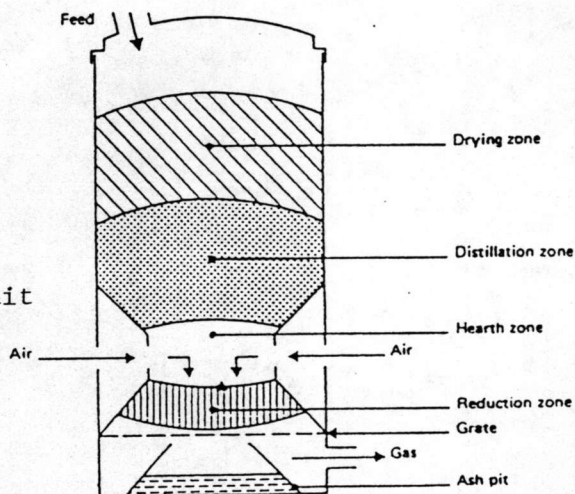
พื้นที่ส่วนใหญ่สัมผัสกับอุณหภูมิสูงที่ซึ่ง เป็นปลายท่อมีความเร็วของอากาศสูงถึง 80 เมตร/วินาที

เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงนี้มีลักษณะพิเศษคือ มีรูปทรงง่าย ๆ และเริ่มเดินเครื่องได้เร็ว และใช้ได้ดีด้วย เครื่องยนต์ขนาดเล็กตอบสนองต่อความต้องการก๊าซที่ไม่คงที่



รูปที่ 2.9 Up-draught unit

รูปที่ 2.10 Down-draught unit



รูปที่ 2.11 Cross-draught unit

ที่มา (24)

เตาผลิตเชื้อเพลิงก๊าซทั้ง 3 แบบ บ้อนวัตถุดิบ เข้าทางด้านบนของเตา ครั้งแรกวัตถุดิบทำให้แห้ง แล้วถูกกลั่นสลายด้วยความร้อน (pyrolyse) เนื่องมาจากความร้อนที่บริเวณที่ร้อนกว่าข้างล่างเตา เรียงลำดับคือ Combustion Zone และ Reduction Zone องค์ประกอบที่เป็นน้ำมันทาร์และถ่านแดงถูกออกซิไดซ์บางส่วนให้ความร้อนมา และทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นไปอีกประมาณ 500 °ซ. ปริมาณคาร์บอนที่เหลือทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ได้คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนในช่วงสุดท้าย เถ้าร่วงหล่นผ่านตะแกรงลงไปสู่ส่วนล่าง อากาศร้อนถูกแยกออกในส่วนตรงข้ามกับอากาศเข้า อาจเป็นส่วนบนหรือส่วนล่างขึ้นกับแบบของเตา องค์ประกอบของก๊าซที่แน่นอนที่ได้จากเตาผลิตเชื้อเพลิงที่ใช้อากาศขึ้นกับชนิดของชีวมวลที่ใช้

การนำระบบฟลูอิดเซชันประยุกต์ใช้ในกระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน

กระบวนการแบบ up-draught นี้ ถ้าขนาดของ เม็ดถ่าน เล็กพอแล้ว ความเร็วของอากาศที่บ้อนเข้าในเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงได้อัตราส่วนกันพอดี เม็ดของถ่านก็จะลอยอยู่ท่ามกลางของกระแสอากาศ ซึ่งเป็นลักษณะของการเกิดเป็นฟลูอิดเซชัน เราสามารถทราบได้ว่ากระบวนการที่ดำเนินอยู่นี้เกิดเป็นฟลูอิดเซชันหรือไม่ ก็ได้จากคำนวณดูว่าความเร็วของอากาศที่ใช้งานเป็นเท่าไร ถ้าสูงกว่าความเร็วต่ำสุดของฟลูอิดเซชันแล้ว ระบบก็เกิดฟลูอิดเซชันอย่างแน่นอน ความเร็วต่ำสุดของฟลูอิดเซชันนี้คำนวณได้จากสมการของ Ergun (10,26)

$$\frac{\Delta P_{gc}}{L} = \frac{150(1-\epsilon_m)}{\epsilon_m^3} - \frac{\mu U_0}{(\phi_s dp)^2} + \frac{1.75(1-\epsilon_m) \rho_g U_0^2}{\epsilon_m^2 \phi_s dp} \quad \text{----- (14)}$$

$$\text{สำหรับ } \text{Rey} = \frac{dp \rho_g U_0}{\mu} < 20$$

$$V_{mf} = dp^2 (\rho_s - \rho_g) g / 1650 \mu \quad \text{----- (15)}$$

$$\text{สำหรับ } \text{Rey} > 1,000$$

$$V_{mf} = dp (\rho_s - \rho_g) g / 24.5 \rho_g \quad \text{----- (16)}$$

หรือจากสมการของ Kunii และ Levenspiel (10,25) ที่กล่าวว่าความเร็วผิวเคลื่อนที่แท้จริง (Superficial gas velocity) ที่ minimum fluidization Conditions

หาได้จาก

$$V_{mf} = dp (\rho_s - \rho_g)g / 1650 \mu \quad \text{สำหรับอนุภาคขนาดเล็ก} \quad \text{----- (17)}$$

$$V_{mf} = dp (\rho_s - \rho_g)g / 24.5 \mu \quad \text{สำหรับอนุภาคขนาดใหญ่} \quad \text{----- (18)}$$

ด้วยระบบฟลูอิดเซชัน ทำให้การดำเนินการสามารถทดลองได้ในลักษณะต่อเนื่อง (Continuous Process) ถ้าที่ก่อกำเนิดมีขนาดเบา ก็ลอยออกจากเบดแล้วไปรวมอยู่ที่ส่วนล่างของไซโคลอน ก๊าซเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นไหลออกทางส่วนบนของไซโคลอน เพื่อนำไปใช้ในเครื่องยนต์ต่อไป ภายในเตาสะอาดอยู่ตลอดเวลา ผิดกับกระบวนการแบบ down-draught ต้องระวังการอุดตันของเก้าตรงบริเวณส่วนล่างของเตา ถ้าระบบการกำจัดถ้าไม่ดี การอุดตันเกิดขึ้นได้เสมอ เพราะระบบ down-draught ใช้งานได้ไม่ต่อเนื่อง

นอกจากนี้ระบบฟลูอิดเซชันความดันลด (pressure drop) ที่เกิดขึ้นในเตาไม่สูงตามอัตราการไหล กล่าวคือมีค่าคงที่ ณ จุดเริ่มเกิดฟลูอิดเซชัน ทำให้เบดต้องการพลังงานน้อยกว่าระบบ down-draught ความดันลดเพิ่มขึ้นตลอดเวลา เมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศผ่านเบด

ดังนั้นจึงมีจุดประสงค์ที่ทดลองศึกษาการก่อกำเนิดฟลูอิดเซชัน โดยประยุกต์ใช้ด้วยเทคนิคฟลูอิดเซชัน แม้ว่าใช้เม็ดถ่านโคในระยแรก เบดจะไม่เกิดฟลูอิดเซชัน แต่เมื่อเกิดการสันดาปแล้ว เม็ดถ่านเล็กลง ใต้อ้อย ๆ หลุดออกจากกรอบนอกของเม็ด เมื่อเม็ดถ่านเล็กลง ก็เกิดเป็นฟลูอิดเซชันเบดในภายหลังได้เช่นกัน

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในระบบฟลูอิดเซชันนั้น โดยทั่วไปใช้ได้กว้างขวาง แต่ก็ยังมีข้อจำกัดเช่นเดียวกัน กล่าวคือเม็ดของแข็งที่เป็ยหรือเป็นยางใช้ไม่ได้ เพราะเกิดการเกาะเป็นก้อนใหญ่และตกตะกอนมายังส่วนล่างของเบด (10) ข้อจำกัดอีกประการหนึ่งก็คือ วัตถุดิบนั้นจะต้องมีขนาดพอเหมาะกับความเร็วดำสุดของอากาศที่บ่อนเข้ามา มีขนาดใหญ่หรือเล็กเกินไปไม่ได้ ต้องมีขนาดอยู่ในช่วงที่เหมาะสมหนึ่ง เท่านั้น

การนำโปรตีน เซอร์ก๊าซประยุกต์ใช้ใน เครื่องยนต์

ประสิทธิภาพของการ เผาไหม้ของ โปรตีน เซอร์ก๊าซในกระบอกสูบขึ้นกับอากาศที่ใช้ในการ เผาไหม้เพียงพหรือไม่ ซึ่งขึ้นกับ

- ความเร็วของ เครื่องยนต์
- สภาวะงานของ เครื่องยนต์ (Engine Load)
- ค่าความร้อนของ โปรตีน เซอร์ก๊าซ
- เปอร์ เซนต์ของพลังงานที่เข้า เครื่องยนต์ที่ได้จาก โปรตีน เซอร์ก๊าซ

ความสำคัญของส่วนประกอบของ โปรตีน เซอร์ก๊าซใน เครื่องยนต์

- ปริมาณ H_2 จะเป็นตัว เร่งปฏิกิริยาการ เผาไหม้
- CO, CH_4 เป็นตัวบ่งกั้นการน็อคของ เครื่องยนต์

การพัฒนา ระบบเครื่องยนต์

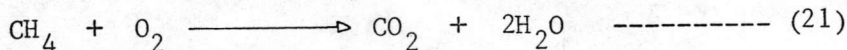
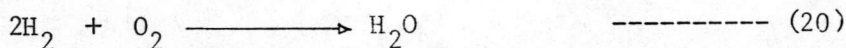
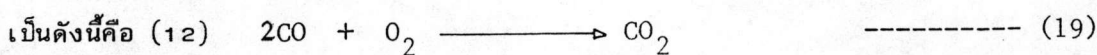
การออกแบบระบบ เครื่องยนต์ได้ถูกพัฒนามาจนกระทั่งปัจจุบัน โดยทั่วไปแล้ว เครื่องยนต์ไม่เหมาะสมกับการตัดแปลงไปใช้ก๊าซ เชื้อเพลิง เครื่องยนต์ที่ต้องการใช้การสปาร์คในการจุดระเบิด สามารถทำงานโดยใช้ก๊าซได้ดีกว่าแบบอื่น แต่ต้องมีการ เปลี่ยนแปลงปรับปรุง เพื่อเพิ่มอัตราส่วนการอัด (Compression Ratio)

ในกรณีทั่วไป ทางเลือกที่ง่ายกว่าคือ การใช้เตาผลิตก๊าซ เป็น เชื้อเพลิง เสริม (Supplementary fuel) สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล โดยการต่อท่อเข้าของ เครื่องยนต์ดีเซลกับทางออกของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง เมื่อเครื่องยนต์เดินก๊าซเชื้อเพลิงจะถูกดูดเข้าไปยังห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber) ซึ่งจะช่วยให้ความเข้มข้นของ เชื้อเพลิงที่เข้า เครื่องยนต์ในภาวะเช่นนั้น การควบคุมการป้อนเชื้อเพลิง (Fuel Feed Control) จะลดอัตราการไหลของเครื่องยนต์ดีเซลโดยอัตโนมัติ โดยที่เครื่องยนต์ดีเซลจะถูกอุ่นเครื่องก่อน และหลังจากนั้นเชื้อเพลิงดีเซลก็จะถูกตัดออกไปโดยสิ้นเชิง ปล่อยให้เครื่องยนต์เดินด้วยก๊าซเพียงอย่างเดียว ถ้าตัดการป้อนของอากาศออก เครื่องยนต์จะเปลี่ยนระบบกลับมาใช้ดีเซลโดยอัตโนมัติ แต่ภายใต้

ภาวะปกติ เชื้อเพลิงดีเซลต้องใช้ในการอุ่น เครื่องตอน เรือต้น เครื่องยนต์ดีเซลซึ่งใช้ก๊าซเชื้อเพลิง สามารถประหยัดได้ถึง 80-85%

เนื่องจากข้อจำกัดของขนาดและน้ำหนักของ เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง เคลื่อนที่ (Mobile gasifier) และความยุ่งยากของการเก็บเชื้อเพลิง (Fuel Storage) และการ บ้อนเชื้อเพลิง (Fuel Feed) ดังนั้นการใช้เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบติดตั้งอยู่กับที่ จึงเป็น ทางเลือกที่น่าสนใจในปัจจุบัน

ปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์



การออกแบบระบบทำความสะอาดก๊าซ (Designs of the Cleaning Train)

โปรตีนเซอร์ก๊าซที่จะนำไปใช้ในเครื่องยนต์สันดาปภายในจะต้องสะอาด ปราศจากฝุ่นละออง สารระเหยได้ เช่น น้ำมันที่เกิดจากการไพโรไลส์ (pyrolytic oil) และน้ำมันทาร์ (tars) และน้ำ และจะต้องทำให้ก๊าซเย็นลงด้วย เหตุผลก็คือ เครื่องยนต์ สันดาปภายในไม่สามารถทนทานต่อความสกปรกเหล่านี้ จากการสัมมนา เรื่องการผลิตก๊าซเชื้อ- เพลิงจากชีวมวล จัดโดยธนาคารโลก และตีพิมพ์เมื่อ ค.ศ. 1983 (Foley and Bernard, 1983) ได้กล่าวถึงตัวเลข เมื่อสงครามโลกครั้งที่ 2 สำหรับระดับที่ยอมรับได้ของปริมาณน้ำมันทาร์ ในโปรตีนเซอร์ก๊าซไม่มากกว่า 0.6 มก./ลบ.ม. และระดับที่ยอมรับได้ของความเข้มข้นของ อนุภาคเล็ก ๆ เท่ากับ 10-20 มก./ลบ.ม. (มาตรฐานของออสเตรเลีย เท่ากับ 5 มก./ลบ.ม. ระหว่างสงคราม) ปริมาณของทั้งอนุภาคเล็ก ๆ และน้ำมันทาร์ในโปรตีนเซอร์ก๊าซขึ้นอยู่กับ การออกแบบเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงและเชื้อเพลิงที่ใช้ ซึ่งทำให้การทำความสะอาดก๊าซจะมีประ- สติภาพน้อยหรือมากดังกล่าว แต่ถ้ามีประสิทธิภาพดี ผลที่ตามมาก็คือความดันลดจะสูง โดย กล่าวถึงข้อมูลในการอ้างอิงข้างต้นให้มีความดันลดได้สูงสุดในการทำความสะอาดก๊าซ เท่ากับ 1000 มม.น้ำ แต่ตัวเลขนี้จะสูงเกินไปสำหรับเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่เล็ก ๆ ระบบทำความสะอาดโดยปกติจะประกอบด้วยไซโคลนซึ่งจะอนุ่ต่อกับเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ไซโคลนนี้จะอาศัย

หลักการของแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal action) เพื่อที่จะแยกอนุภาคขนาดใหญ่ ๆ ออกจากก๊าซสครีม แล้วก๊าซก็จะผ่าน เครื่องระบายความร้อน (Cooler) ซึ่งมักจะใช้การระบายความร้อนด้วยอากาศ (air-cooled) แต่อาจจะใช้น้ำระบายความร้อน (water-cooled) ก็ได้ แต่พบน้อยมาก จุดประสงค์ในการที่ต้องทำก๊าซเชื้อเพลิงให้เย็นลง ก็เพื่อเพิ่มความหนาแน่นของก๊าซเชื้อเพลิงจะช่วยให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร (Volumetric Efficiency) ดีขึ้น ถ้าวัตถุดิบเป็นไม้ ในการออกแบบบางครั้งจะต้องใช้เครื่องมือ water scrubbing ถึงแม้ว่าการกำจัดน้ำมันทาร์จะให้ประสิทธิภาพน้อยใน water scrubber แต่การใช้ Oil scrubber แม้ว่าจะมีประสิทธิภาพดีกว่า แต่ราคาแพงมากกว่ามาก เช่นเดียวกันสำหรับถ้าใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิง ได้มีผู้กล่าวว่าใช้เครื่องกรองปริมาตร (Volume Filter) ข้างในบรรจุด้วยวัสดุดูดซับ (adsorbent material) เช่น คอร์ก (Cork) wood-wool, ไม้เลื่อย (saw-dust) หรือใยแก้ว (fibre glass) ถ้าเป็นเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงใช้ถ่าน การทำความสะอาดหลังการระบายความร้อนต้องการเพียงเครื่องกรองผ้า (fabric filter) เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงหลายระบบจะใช้เครื่องกรองผ้า เป็นเครื่องกรองท้ายสุด และเป็นตัวบ่งถึงความสะอาดของก๊าซเชื้อเพลิงว่าดีเพียงไร

งานวิจัยในประเทศที่ผ่านมา

1. ทำการทดลองที่ภาควิชาวิศวกรรม เครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดย นักสิทธิ์ ภูวัฒนาศัย เป็นเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตไฟฟ้าขนาด 500 We แบบ down-draught เรียบเดินเครื่องเมื่อ 3 พฤษภาคม 2526 ใช้เครื่องยนต์ก๊าซโซลีนฮอนด้า 4 สูบ ขนาด 5 แรงม้า วัตถุดิบที่ใช้คือถ่านไม้ (13)
2. ทำการทดลองที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตไฟฟ้าขนาด 500 We แบบ Up-draught ปริมาณ CO ที่ได้อยู่ในช่วง 22.1-24.5% อุณหภูมิเบด 1171-1234^oC. วัตถุดิบที่ใช้คือ ถ่านไม้ มีการแก้ไขปรับปรุงระบบทำความสะอาดก๊าซถึง 11 ครั้ง ใช้เครื่องยนต์ก๊าซโซลีนฮอนด้า ขนาด 5 แรงม้า (16)
3. ทดลองที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตไฟฟ้าขนาด 500 We แบบ down-draught ปริมาณ CO ที่ได้อยู่ในช่วง 19.6-24.5% ใช้เครื่องยนต์ก๊าซโซลีนขนาด 5 แรงม้า วัตถุดิบที่ใช้คือถ่านไม้ (27)
4. ทำการทดลองที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตไฟฟ้าขนาด 500 We แบบ down-draught เครื่องยนต์ที่ใช้เป็น เครื่องยนต์ก๊าซโซลีนคูโบต้า (Kubota) ขนาด 5 แรงม้า วัตถุดิบที่ใช้คือถ่านไม้ (28)

5. ทำการทดลองที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงสำหรับ เครื่องยนต์ขนาด 7 แรงม้า เป็นเตาแบบ down-draught ใช้วัสดุจากต้นข้าว (29)

6. ทำการทดลองที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์- มหาวิทยาลัย โดย วรพัฒน์ อรรถยุกติ เป็นเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบ down-draught รูปทรง กระบอก เปิดปลายบน ได้ปริมาณ CO อยู่ในช่วง 8.4-12.7% วัสดุที่ใช้คือ ซังข้าวโพด (30)

7. ทำการทดลองที่ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดย พล สาเกตอง เป็นเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบฟลูอิดซ์เบด 2 ชั้นตอน ผลการทดลองได้ ปริมาณ CO ประมาณ 11% (2528) วัสดุที่ใช้คือ แกลบ (31)

8. ทำการทดลองที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย- เชียงใหม่ โดย ทน่อคุณ สิทธิพงษ์ ทำในระบบฟลูอิดซ์เบด ทั้งชั้นตอนเดี่ยวและ 2 ชั้นตอน ได้ ปริมาณ CO สูงสุด 18% วัสดุที่ใช้คือ แกลบและขี้เลื่อย (12)

9. ทำการทดลองที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดย นักสิทธิ์ คูวัฒนาชัย มีด้วยกัน 2 เครื่อง เครื่องแรกออกแบบไว้เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า อีกเครื่องหนึ่งออกแบบสำหรับการสูบน้ำ เครื่องยนต์ที่ใช้กับเตาแบบที่สองเป็นเครื่องยนต์อิชูฟู, ดีเซล 2200 ซซ. ต่อเข้ากับบิมน้ำขนาดเส้น- ผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว วัสดุที่ใช้คือ ไม้ (52)

งานวิจัยต่าง ๆ ดังกล่าวมาแล้วข้างต้นจะเห็นว่างานวิจัยในด้านฟลูอิดเซชันยังมีอยู่ น้อยมาก ประกอบกับยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร จึงน่าที่จะมีการวิจัยและพัฒนา การผลิตก๊าซ- เชื้อเพลิงโดยเทคนิคฟลูอิดเซชันให้มากขึ้น โดยที่เทคนิคฟลูอิดเซชันมีข้อได้เปรียบหลายอย่างดังได้ กล่าวแล้ว งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาและวิจัย การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงให้มีคุณภาพดีด้วยเทคนิคฟลูอิดเซชัน