



บทที่ 2

## ประวัติและผลงานการค้นคว้า GASIFICATION

### 2.1 ประวัติความเป็นมาของ GASIFICATION

การผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Gasification) จากชีวมวลที่เป็นของแข็ง ได้มีวิวัฒนาการมานานแล้ว เริ่มในปี ค.ศ.1788 Robert Garder แนะนำให้นำแก๊สร้อนที่ได้จาก Boiler และยังสามารถที่จะติดไฟได้ กลับเข้าไปเผาไหม้อีกเพื่อให้ได้อิอน้ำเพิ่มขึ้น และในปี ค.ศ.1791 John Barber เสนอความคิดให้นำแก๊สที่ได้จากเตาผลิตแก๊ส (Gas Producer) มาใช้เป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน แต่รายงานเรื่องเตาผลิตแก๊สจากถ่านหินออกมาครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ.1792 และในปีเดียวกัน Murdock ได้ใช้แก๊สนี้จุดไฟใช้เป็นแสงสว่างในบ้านเขาเอง หลายปีต่อมาความคิดนี้ก็แพร่หลายในประเทศอังกฤษ ในต้นปี ค.ศ.1798 Lebon ได้ทดลองผลิตแก๊สเชื้อเพลิงวิธีนี้จากถ่านไม้ และ Lampadius ก็ได้พิสูจน์ว่าเป็นไปได้ที่จะใช้ประโยชน์จากแก๊สที่ได้จากไม้ ในปี ค.ศ.1804 Fourcroy ได้ค้นพบวิธีผลิต Water Gas โดยฉีดไอน้ำเข้าไปในถ่านซึ่งกำลังร้อนแดงอยู่ เตาผลิตแก๊สจากชีวมวลที่เป็นของแข็งนี้ได้มีการพัฒนาจนกระทั่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้กับเครื่องยนต์สันดาปภายใน และในขบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ในศตวรรษที่ 19 ได้มีสถานีผลิตแก๊สโดยใช้ไม้เกิดขึ้นหลายแห่งในญี่ปุ่น, อเมริกา, และยุโรป

เตาผลิตแก๊สขนาดเล็กเริ่มสร้างในประเทศอังกฤษตั้งแต่ปี ค.ศ.1819 แต่ก็ยังไม่มีรายงานยืนยันการใช้งานกับรถยนต์ จนกระทั่ง J.W.Parker ได้ทดลองกับรถยนต์ 2.5 แรงม้า และ 25 แรงม้า โดยใช้แก๊สจากไม้วิ่งเป็นระยะทางมากกว่า 1,000 ไมล์ในสกอตแลนด์ ระหว่างปี ค.ศ.1901-1905 จากนั้นอีก 15 ปี ก็มีเตาผลิตแก๊ส และระบบที่ต่อเข้ากับรถยนต์ผลิตออกมาเป็นการค้า รถยนต์ส่วนใหญ่ในสมัยนั้นใช้เชื้อเพลิงจากเตาผลิตแก๊สนี้ บางบริษัทในอังกฤษ สร้างเครื่องปั่นไฟฟ้าโดยใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงออกจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศ หลักการส่วนใหญ่ในการทำงานของระบบผลิตแก๊สจากชีวมวลที่เป็นของแข็งในสมัยนั้น ไม่แตกต่างจากในปัจจุบันมากนัก

มีการทดลองใช้พลังงานจากไม้ในการขับเคลื่อนเรือขนส่งสินค้าในประเทศเยอรมัน,



ฝรั่งเศส และอังกฤษ ต่อมาโรงงานของ J.Pintsch ได้ผลิตเตาผลิตแก๊สขนาดเล็กใช้คนควบคุมเพียง 4 คน ออกจำหน่าย เตาและระบบผลิตเชื้อเพลิงจากไม้ได้พัฒนาขึ้นเป็นลำดับ โดย H.A. Humphrey ได้ใช้เป็นพลังขับเคลื่อนน้ำขนาดใหญ่ในสถานีสูบน้ำขนาด 1,000 แรงม้า ที่สร้างขึ้นใน Alexandria (Egypt), Berlin (West Germany) และ Ching Ford (England) ได้มีโรงงานผลิตและการใช้งานเตาผลิตแก๊สจากไม้แพร่หลายไปทั่วยุโรป และอาณานิคม ในปี ค.ศ. 1904 ได้มีความคิดที่จะนำมาใช้งานในสหรัฐอเมริกา โดยทำการทดสอบครั้งแรกที่ Louisiana Purchase Exposition เพื่อแสดงให้เห็นว่า มีถ่านหินบางส่วนที่ยังไม่เผาไหม้และ เป็นแก๊สที่ติดไฟได้ใน Steam-Power Plants ต่อมาได้มีการสร้างระบบผลิตแก๊สแบบ Updraft ให้ใหญ่ขึ้นและใหญ่ขึ้นเรื่อยมาจนใช้กับเครื่องยนต์ 5,400 แรงม้า ในสหรัฐอเมริกา แต่อย่างไรก็ตามความยุ่งยากในการควบคุม, ข้อมูลทางเทคนิคเกี่ยวกับเตาผลิตแก๊ส, ความรู้ความเข้าใจในการทำงานของผู้ควบคุมซึ่งต้องมีความชำนาญเป็นพิเศษ และการรับประกันความสามารถของเตาผลิตแก๊สกับผู้สั่งซื้อ เหล่านี้ล้วนเป็นอุปสรรคในการขยายตัวสำหรับการใช้พลังงานจากเตาผลิตแก๊สจากชีวมวลที่เป็นของแข็ง แม้จะมีโรงเรียนฝึกอบรมผู้ควบคุมเตาผลิตแก๊ส เพื่อส่งเสริมเทคโนโลยีนี้แล้วก็ตาม เป็นเหตุให้การใช้พลังงานจากเตาผลิตแก๊สลดลงในภายหลังเพราะความสะดวกในการใช้งาน และจำนวนของน้ำมันที่ถูกค้นพบมากขึ้นได้เข้ามาแทนที่

การพัฒนารถยนต์ที่ใช้แก๊สจากเตาผลิตแก๊สได้เริ่มขึ้นอีกครั้ง เมื่อน้ำมันขาดแคลนระหว่างสงครามโลกครั้งที่หนึ่ง โดย Porter และ Smith ในประเทศอังกฤษ นำเอาเทคนิคเก่า ๆ มาพัฒนาให้เหมาะสมกับรถยนต์ยิ่งขึ้นทั้งขนาด, น้ำหนัก และมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งต่อมาได้เริ่มแพร่หลายในฝรั่งเศส, เยอรมัน และอีกหลายประเทศในยุโรป รวมทั้งสหรัฐอเมริกา, เคนาดา ซึ่งได้หันมาเริ่มพัฒนา และใช้เตาผลิตแก๊ส เป็นเชื้อเพลิงกับรถยนต์, เครื่องยนต์ ดันกำลังต่าง ๆ กันอีกครั้งหนึ่ง ในระหว่างปี ค.ศ.1920-1930 มีรายงานการใช้รถยนต์โดยใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงวิ่งเป็นระยะทางเกินกว่า 1,600 กิโลเมตร และ 3,000 กิโลเมตร บริษัทผลิตเตาผลิตแก๊สใหญ่ ๆ ในตอนนั้นมี Frenchmen ในฝรั่งเศส และ Imbert ในเยอรมัน ซึ่งได้จดทะเบียนลิขสิทธิ์เตาผลิตแก๊สชนิด Downdraft ในปี ค.ศ.1923 อีกทั้งยังมีบริษัทผู้ผลิตเตาผลิตแก๊สมากกว่า 150 บริษัททั่วยุโรป

สำหรับในระหว่างปี ค.ศ.1930-1950 ก็ได้เริ่มหันมาพัฒนากันครั้งใหญ่อีกครั้งระหว่างสงครามโลกครั้งที่สอง และก่อนหน้านั้นเล็กน้อยได้ใช้วิวัฒนาการใหม่ ๆ ประยุกต์ในการออกแบบเตาผลิตแก๊สแบบ Downdraft และ Crossdraft รวมทั้งลดน้ำหนักของระบบ, ปรับปรุงระบบกรองแก๊ส เชื้อเพลิง



ที่ออกมาเพื่อให้เหมาะสมที่จะใช้กับรถยนต์ยิ่งขึ้น อีกทั้งยังสามารถใช้เชื้อเพลิงดิบได้หลายชนิดขึ้น มีการแพร่หลายกับรถยนต์, รถบรรทุก, แทรคเตอร์, เครื่องสูบน้ำ, เครื่องปั่นไฟฟ้า ฯลฯ โดยทั่วไป เตาผลิตแก๊สแบบ Crossdraft ที่ออกแบบให้มีประสิทธิภาพสูงได้ทำขึ้นในฝรั่งเศส คุณภาพของแก๊สที่ผลิตได้ในสมัยนี้พัฒนาขึ้นมาใกล้เคียงกับใช้น้ำมัน และที่น่าสนใจคือที่ Sabatier Plant และ Gohin Poulence Plant มีสมรรถนะการใช้งานเทียบเท่ากับใช้น้ำมัน ในปี ค.ศ.1938 ประเทศส่วนใหญ่ในยุโรปได้ส่งเสริมการใช้พลังงานจากไม้โดยรัฐให้ทุนในการตัดแปลง เครื่องยนต์บ้าง หรือประกาศบังคับ อย่างไรก็ตามประเทศฝรั่งเศสบังคับให้บริษัทขนส่ง ต้องใช้เชื้อเพลิงจาก เตาผลิตแก๊สขับเคลื่อนรถบรรทุกอย่างน้อย 10% ของที่มีอยู่, ในประเทศอิตาลีบังคับให้รถเมล์ประจำทางใช้เชื้อเพลิงที่ผลิตได้ในประเทศ เช่น ถ่านไม้, แอลกอฮอล์ หรือน้ำมันที่ผลิตได้ในประเทศ ก่อนปี ค.ศ.1939 มีรถยนต์ใช้แก๊สจากเตาแก๊ส 4,500 คันในฝรั่งเศส, 2,200 คันในเยอรมัน และมากกว่า 2,000 คันในอิตาลี แต่ในประเทศอังกฤษซึ่งเป็นต้นตำหรับของเทคโนโลยีนี้กลับมีจำนวนรถยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงจากเตาผลิตแก๊สน้อยมากเพราะราคาน้ำมันในอังกฤษถูกลงในกลางปี ค.ศ.1938 ปลายปี ค.ศ.1939 มีรถยนต์ประมาณ 250,000 คันในสวีเดน แต่ในต้นปี 1942 รถที่วิ่งอยู่เหลือแค่ 80,000 คัน เพราะสงครามโลกครั้งที่สองเกิดขึ้นและภาวะการขาดแคลนน้ำมันเกิดขึ้นทั่วไป ในช่วงเวลาปีครึ่งนี้ 90% ของรถยนต์ ในสวีเดนใช้เชื้อเพลิงจากเตาผลิตแก๊ส 40% ของเชื้อเพลิงดิบในเตาเป็นไม้ 60% เป็นถ่านไม้ และการสั่งซื้อน้ำมันเข้าประเทศสวีเดนลดลงจาก 11 ล้านบาร์เรล ในปี ค.ศ.1939 เป็น 80,000 บาร์เรลในปี ค.ศ.1942 หลังจากปี ค.ศ.1939 ยุโรปเริ่มเข้าสู่ภาวะสงครามโลกครั้งที่สองในประเทศเยอรมันได้มีรายงานเกี่ยวกับเทคโนโลยีนี้เป็นประจำในแต่ละปี และมีการเตรียมการไว้สำหรับใช้กับรถยนต์ประมาณ 100,000 คันได้ทันทีในภาวะฉุกเฉิน อีกประเทศหนึ่งที่มีการเตรียมเทคโนโลยีนี้ไว้ยามขาดแคลนน้ำมัน คือ สวีเดน

ในช่วงปี ค.ศ.1930-1939 Schläpfer และ Tobler ได้ทำการทดสอบในสวิสเซอร์แลนด์พบว่าอุปกรณ์สำคัญในการใช้เชื้อเพลิงจาก เตาผลิตแก๊สจากไม้ในรถยนต์โดยสารประจำทางคือคนขับไม่ยอมรับการขับที่เร่งเครื่องได้ช้ากว่าใช้น้ำมันและงานซ่อมบำรุงที่ต้องทำเพิ่มขึ้นในการทำความสะอาดเตา, ระบบกรองแก๊ส และต้องยุ่งยากในการบรรจุเชื้อเพลิง และสคาร์ทเครื่องยนต์ ได้มีบริษัทขนส่งแห่งหนึ่งในฝรั่งเศสได้ติดตั้งเชื้อเพลิงทั้งสองระบบ คือ น้ำมัน และแก๊สจากเตาผลิตในรถบรรทุกของบริษัท โดยที่คนขับต้องเพิ่มงานซ่อมบำรุงรักษา และยุ่งยากขึ้นในขณะที่รายได้เท่าเดิม ปรากฏว่าเตาผลิตแก๊สต้องถูกส่งไปยังโรงงานซ่อมบ่อย ๆ และเป็นประจำเพราะการกระทำของคนขับเอง แต่พอ



บริษัทตัดสินใจจ่ายเงินพิเศษให้กับงานที่เพิ่มขึ้น ปัญหาเหล่านี้ก็หมดไป หลักการนี้ได้ถูกนำไปใช้อีกหลายแห่ง และปัญหาเรื่องคนขับรถ และ เต้าผลิตแก๊สก็หมดไปเช่นกัน

หลังจากสงครามโลกครั้งที่สองสงบลงในปี ค.ศ.1945 เทคโนโลยีการผลิตแก๊สจากไม้ก็ลดความสำคัญลงเรื่อยมา และ เลิกใช้ไปในที่สุด ทั้งนี้มีผลสืบเนื่องมาจากราคาของน้ำมัน เชื้อเพลิง และ แก๊สธรรมชาติถูกลงและมีจำนวนมากเพียงพอกับความต้องการ เทคโนโลยีที่ถูกพัฒนามามากกว่าร้อยปี ได้หยุดลงโดยสิ้นเชิงในระหว่างปี ค.ศ.1950-1970 ยกเว้นในสวีเดนที่ได้รวบรวมและค้นคว้าไว้ในช่วงปี ค.ศ.1957-1963 เพื่อเป็นหลักฐานและคงไว้ซึ่งเทคโนโลยีการผลิตแก๊สจากชีวมวลที่เป็นของแข็ง

ในปี ค.ศ.1970 เป็นต้นมาได้ตระหนักถึงภาวะที่พลังงานจากน้ำมันและแก๊สธรรมชาติซึ่งเป็นพลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป มีราคาสูงขึ้นทุกปี และมีโอกาสจะขาดแคลนและหมดไปในที่สุด เทคโนโลยีการผลิตแก๊สจากชีวมวลที่เป็นของแข็งได้ถูกนำมาเริ่มใช้งานและเพิ่มความสนใจมากขึ้น ด้วยความหวังว่าจะพัฒนาถึงขั้นนำเอา เศษวัสดุที่เหลือจากการเกษตรส่วนใหญ่มาเปลี่ยนเป็นพลังงานโดยใช้เต้าผลิตแก๊สไม่เฉพาะถ่านไม้, ไม้ฟืน และถ่านหินเท่านั้น เทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่ค้นพบในสมัยนี้ได้ถูกนำมาใช้ประกอบในการพัฒนาเต้าผลิตแก๊สเพื่อให้เหมาะสมในการใช้งาน, ง่ายทั้งในการสร้างและควบคุม โดยตั้งเป้าหมายที่จะนำไปใช้กับบริเวณที่มีเชื้อเพลิงดิบจากการเกษตรอุดมสมบูรณ์ตามชนบท เพื่อ เป็นต้นกำลังในการผลิตกระแสไฟฟ้าและต้นกำลังของเครื่องยนต์ที่อยู่กับที่ เช่น สถานีสูบน้ำ, โรงสีข้าว, และในเครื่องต้นกำลังในการเกษตรเพื่อที่จะลดต้นทุนการผลิต และประหยัดการใช้น้ำมันลงไป อีกทั้งพลังงานจากแหล่งนี้สามารถจะสร้างขึ้นทดแทนที่สูญไปได้ ถ้ามีการวางแผนปลูกป่ากันให้ดี และพัฒนาเทคโนโลยีนี้ต่อไป แม้จะมีปัญหาความยุ่งยาก ไม่สะดวกในการใช้พลังงานจากเต้าผลิตแก๊สกับเครื่องยนต์อยู่บ้าง แต่เมื่อเทียบกับราคาต่อหน่วยของพลังงานจากน้ำมันที่สูงขึ้น ปัญหาความไม่สะดวกก็คงไม่สำคัญอีกต่อไป และโอกาสที่จะนำมาใช้กับรถยนต์, ยานพาหนะ, เครื่องจักรกลอื่น ๆ ในเมืองที่เจริญแล้วและในวงการอุตสาหกรรมไม่เฉพาะในชนบทที่ห่างไกลก็มีโอกาสที่จะเป็นไปได้สูงขึ้นในอนาคตต่อไป

## 2.2 ปฏิกิริยาเคมีการผลิตแก๊สจากชีวมวลที่เป็นของแข็ง (CHEMISTRY OF GASIFICATION)

ขบวนการผลิตแก๊ส เชื้อเพลิงจากชีวมวลที่เป็นของแข็งนี้เป็นการเปลี่ยนคาร์บอนที่มีอยู่ในชีวมวลให้เป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซึ่งเป็นแก๊สที่ติดไฟได้โดยการเผาไหม้คาร์บอนในเต้า



ผลิตแก๊สที่มีปริมาณของออกซิเจนในอากาศที่เข้าไปเผาไหม้ในเตาพอเหมาะที่จะทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มากที่สุด คือ  $O_2$  ต้องไม่มากเกินไปจนเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์และแก๊สที่ออกมาเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) ซึ่งไม่ติดไฟได้อีก เตาผลิตแก๊สจะต้องมีช่องอากาศเข้าที่พอเหมาะ. กันอากาศรั่วได้ และมีส่วนของห้องเผาไหม้ที่ออกแบบไว้เป็นพิเศษ ชนิดของเตาผลิตแก๊สจะมีชื่อเรียกตามทิศทางอากาศในเตาคือถ้าอากาศถูกป้อนจากด้านล่างขึ้นข้างบนของเตาเรียกว่า Updraft และถ้าป้อนจากส่วนบนของห้องเผาไหม้ลงด้านล่างของเตาเรียกว่า Downdraft ส่วนอากาศเข้าในแนวขวางเรียกว่า Crossdraft แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จะมีค่าความร้อนจำเพาะต่ำกว่าแก๊สเชื้อเพลิงอย่างอื่นและน้ำมัน ทั้งนี้เพราะมีแก๊สไนโตรเจนที่มากับอากาศเป็นจำนวนมากและไม่ทำปฏิกิริยาในเตาผสมออกมาด้วย ปัญหานี้อาจแก้ไขได้โดยใช้แก๊สออกซิเจนแทนอากาศเข้าไปทำการเผาไหม้ในเตา แต่ผลที่ตามมาคืออุณหภูมิในเตาจะสูงขึ้นมาก เป็นเหตุให้ต้องใช้วัสดุทนความร้อนอย่างดี และราคาแพงอีกทั้งมีความยุ่งยากในการใช้งาน และไม่ประหยัดเท่าใช้อากาศจึงไม่นิยมใช้แก๊สออกซิเจนในการใช้งานทั่วไป

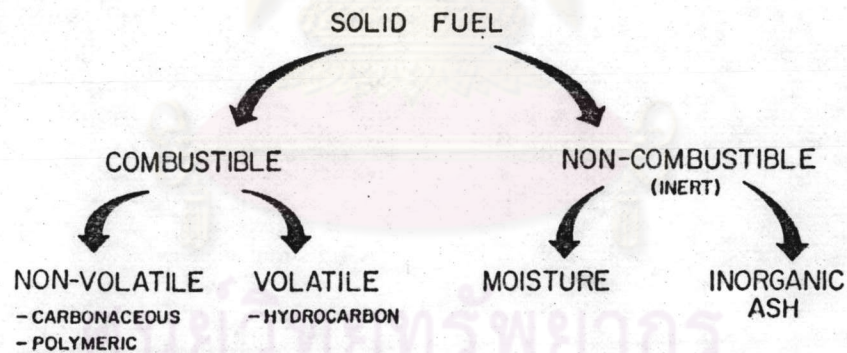


Figure 2.1 Chemical constituents that may be present in solid fuel. (23)

ก่อนจะกล่าวถึงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ภายในเตาผลิตแก๊สควรจะต้องศึกษาพื้นฐานการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็ง (Solid Fuel) เสียก่อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งคือไม่เพื่อความเข้าใจปฏิกิริยาเคมีการเผาไหม้ในเตาผลิตแก๊สให้ดีขึ้น ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็ง



เช่น ไม้, ถ่านหิน จะมีทั้งสารที่เผาไหม้ได้ (Combustible) และเผาไหม้ไม่ได้ (Uncombustible) สารที่เผาไหม้ได้ยังแบ่งเป็นพวกสาร Volatile เช่นพวก Hydrocarbon และสาร Non Volatile ซึ่งได้แก่ Carbonaceous, Polymeric, ส่วนที่ไม่เผาไหม้มีความชื้น (Moisture) และ Inorganic Ash คุณสมบัติของเชื้อเพลิงเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดว่าเชื้อเพลิงชนิดไหนเหมาะสมและให้แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้เป็นอย่างไร ถ้ามีสาร Volatile มากก็จะมียางเหนียวและไอระเหยของ Tar ออกมากับแก๊สมากซึ่งจะทำความเสียหายให้กับเครื่องยนต์ ในขณะที่เดียวกันจำนวนแก๊สไฮโดรคาร์บอนจะมากขึ้นตามปริมาณของสาร Volatile ด้วย ถ้ามี Inorganic Ash มากไป ก็จะเกิดการสะสมในส่วนของห้องเผาไหม้ทำให้เป็นอุปสรรคกับการเผาไหม้ สำหรับความชื้นจะมีผลทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจน แต่ถ้ามีมากเกินไปอุณหภูมิในการเผาไหม้จะลดลงมากจนทำให้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง ซึ่งปริมาณของสารชนิดต่าง ๆ ในเชื้อเพลิงจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิงเหล่านั้น

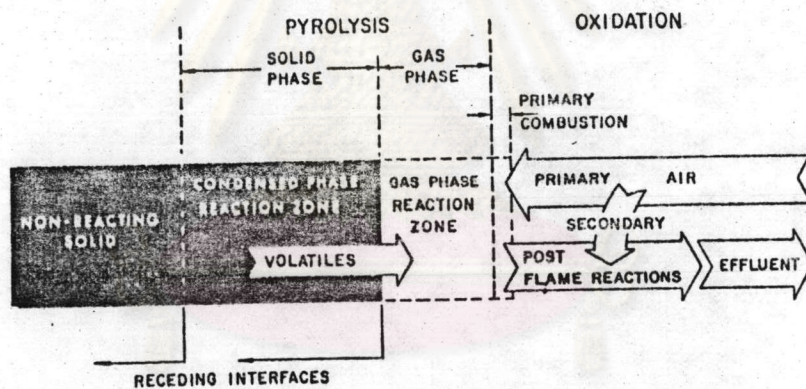


Figure 2.2 Combustion of a solid. (23)

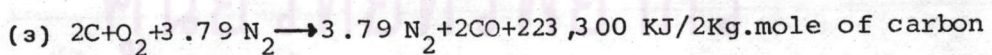
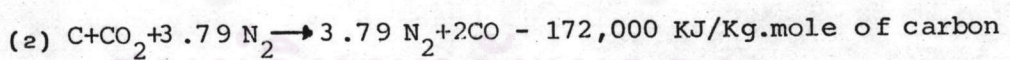
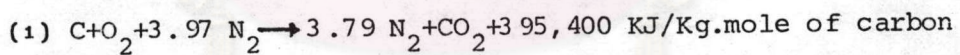
การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงของแข็งตามรูป 2.2 ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นในส่วนที่เป็น Condensed Phase และ Gas Phase ซึ่งปฏิกิริยาในส่วนนี้จะไม่ต้องใช้ ออกซิเจน (Pyrolysis) สาร Volatile จะระเหยเป็นแก๊สออกมารอบผิวของของแข็ง ส่วนสารที่เป็น Non Volatile จะเกิดปฏิกิริยาใน Condensed Phase กลายเป็นแก๊สออกมาที่ Gas Phase และเกิดการเผาไหม้ขึ้นที่บริเวณนอกสุดกับอากาศรอบ ๆ ลูกไหม้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในส่วนที่ถัดไป จนการเผาไหม้สมบูรณ์



ความร้อนที่เกิดขึ้นจะแผ่รังสีกลับไปช่วยให้เกิดปฏิกิริยา Pyrolysis ในส่วน Solid Phase และ Gas Phase ให้แก่ออกมาเผาไหม้ต่อไป

เมื่อไม่นำคุณสมบัติของ เชื้อเพลิงซึ่งมีสารประกอบที่แตกต่างกันมาพิจารณา แล้วอุณหภูมิในการเผาไหม้จะสูงตามอัตราการเผาไหม้ (Combustion Rate) อัตราการเผาไหม้นี้ขึ้นอยู่กับจำนวนของออกซิเจนที่ใช้ในปฏิกิริยา ถ้ามีการเป่าอากาศให้กับเชื้อเพลิงที่กำลังเผาไหม้จะทำให้ความเร็วสัมผัสของออกซิเจนที่ผิวเชื้อเพลิงบริเวณกำลังเผาไหม้เร็วขึ้นขั้นของปฏิกิริยารอบเชื้อเพลิงจะบางลง การถ่ายเทแก๊สที่เผาไหม้แล้วออกไปเร็วขึ้น ทำให้อัตราการเผาไหม้สูงขึ้น จากปรากฏการณ์ตามที่กล่าวมา เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กจะส่งผลการเพิ่มอัตราการเผาไหม้ดีกว่าขนาดใหญ่ เพราะการเรียงตัวของก้อนเชื้อเพลิงขนาดเล็กมีช่องว่างที่ให้อากาศไหลผ่านแคบกว่าความเร็วของอากาศที่ผ่านจึงสูง อีกทั้งพื้นที่ในการเผาไหม้ซึ่งมีอยู่รอบก้อนเชื้อเพลิง เมื่อปริมาตรของบริเวณเผาไหม้เท่ากัน เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กก็ยังมีมากกว่า เป็นเหตุให้ความหนาแน่นของบริเวณการเผาไหม้มีมาก การแผ่รังสีความร้อนเพื่อช่วยในการเกิดปฏิกิริยา Pyrolysis รอบผิวเชื้อเพลิงเร็วขึ้นด้วย เหตุผลเหล่านี้เป็นข้อกำหนดขนาดของเชื้อเพลิงที่ใช้ในเตาผลิตแก๊ส (23)

ในปฏิกิริยาการเผาไหม้เมื่อคิดว่าเชื้อเพลิงเป็นคาร์บอนอย่างเดียว ปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่เกิดคาร์บอนมอนนอกไซด์มีดังต่อไปนี้

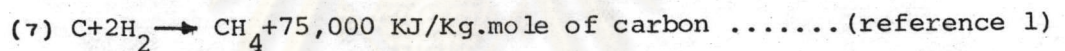
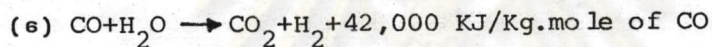
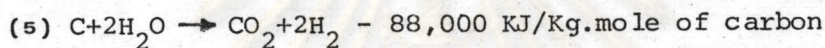
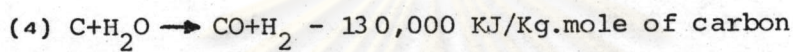


สมการ(1)เป็นปฏิกิริยาการเผาไหม้ (Combustion Reaction) ให้ความร้อนออกมาประมาณ 395,400 KJ/Kg.mole of carbon (Macrae, 1966) คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะถูก Reduced เป็นคาร์บอนมอนนอกไซด์ ตามสมการ (2) (Boudouard Reaction)  $CO_2$  มากกว่า 90% จะถูก Reduced เป็น CO ที่อุณหภูมิสูงกว่า  $900^\circ C$  (Skov and Papworth, 1974)

สมการ(3) เป็นสมการรวมที่ใช้แทนปฏิกิริยาที่ (1) และปฏิกิริยาที่ (2) เมื่อเปลี่ยนคาร์บอนเป็นแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ได้ 100% ตามสมการ(3) คือไม่มี  $CO_2$  เกิดขึ้นด้านขวาของสมการ(3) มี CO 2Kg.mole และ  $N_2$  3.79 Kg.mole คิดเป็นแก๊สที่ออกมามีทั้งหมด 5.79 Kg.



mole โดยมี CO 34.5% และ N<sub>2</sub> 65.5% โดยปริมาตร ความร้อนจำเพาะของแก๊สที่ออกมาประมาณ 4,003 KJ/m<sup>3</sup> ที่ STP ผลจากสมการ(1) 2Kg mole ของคาร์บอนให้ความร้อน 790,800 KJ ส่วนความร้อนที่ออกมาจากสมการ(3) 223,300 KJ ดังนั้นถ้าเทียบสมดุลย์ทางความร้อนของสมการ(3) แก๊ส CO ที่ผลิตได้จะมีค่าความร้อนประมาณ 567,500 KJ เมื่อคิด เป็นประสิทธิภาพในการ เปลี่ยนพลังงานในเตาผลิตแก๊สจากสมการ(3) ได้ประมาณ 72% ความชื้นในอากาศและใน เชื้อเพลิง หรือมีการฉีดไอน้ำเข้าไปบริเวณเผาไหม้ในเตาผลิตแก๊สจะเกิดแก๊สไฮโดรเจนขึ้นตามสมการที่(4) (Water Gas Reaction) ทำให้ค่าความร้อนจำเพาะในแก๊ส เชื้อเพลิงที่ได้จากเตาเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานจะ เพิ่มขึ้นด้วย



สมการที่(4) จะเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิ 900°C ขึ้นไป แต่ถ้ามี H<sub>2</sub>O มากไป อุณหภูมิภายในเตาจะลดลงมากเกินไป แก๊สที่ผลิตได้จะน้อยลงด้วยคือ ที่อุณหภูมิประมาณ 500-600°C สมการที่เกิดขึ้นระหว่าง C และ H<sub>2</sub>O จะมีโอกาสเป็นสมการที่(5) มากกว่า

ถ้ามีไอน้ำมากเกินพอในเตาอีก H<sub>2</sub>O จะรวมตัวกับ CO กลายเป็น CO<sub>2</sub> และ H<sub>2</sub> ซึ่งค่าความร้อนจำเพาะของแก๊สจะต่ำลงดังสมการ(6) (Water Shift Reaction) (Moore,1962)

สิ่งที่มีผลกับแก๊สเชื้อเพลิงที่ออกมาจากเตาผลิตแก๊สนอกจาก ความเร็วของอากาศเข้าเตา, ระยะทางในการเผาไหม้, ขนาดและสารประกอบในเชื้อเพลิงแล้ว สิ่งสำคัญที่ควรทำคือ ระบบหล่อเย็นและกรองแก๊สก่อนใช้งาน ควรจะทำให้แก๊สอุณหภูมิลดต่ำกว่า 600°C ทันทีที่ออกมาจาก Reduction Zone เพื่อป้องกัน CO แยกตัวเป็นผงคาร์บอนและ CO<sub>2</sub> อีก(7) วิธีการนี้เรียกว่า "Freezing The Equilibrium"

สมการที่(7) เป็นสมการง่าย ๆ ที่เขียนแทนการเกิด CH<sub>4</sub> ในเตาผลิตแก๊สซึ่งเกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 500°C เรียกว่า Methane Reaction



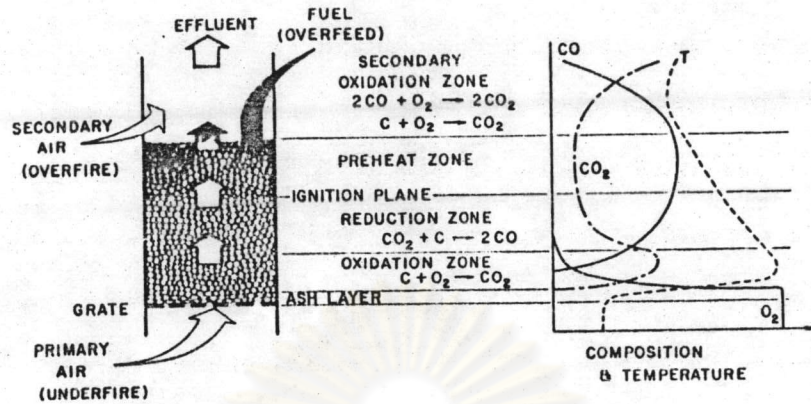


Figure 2.3 Combustion of a bed of solid fuel, overfeed arrangement (23)

รูปที่ 2.3 เป็นการเผาไหม้ในเตาเปิด อากาศเข้าทางด้านล่างและส่วนบน รูปซ้ายแสดง ลักษณะของชั้นของการเผาไหม้ รูปขวาแสดงส่วนประกอบของแก๊สและอุณหภูมิในแต่ละส่วนของเตา

รูปที่ 2.4 แสดงชั้นของการเผาไหม้ในเตาชนิด Updraft ซึ่งจะแตกต่างกันกับรูปที่ 2.3 ที่ไม่มีอากาศ เข้ามาเผาไหม้ ในส่วนบนของเตาอีกทำให้ CO ที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากอยู่เพราะไม่เผาไหม้เป็น CO<sub>2</sub> สำหรับรูปที่ 2.5, 2.6 เป็นชั้นการเผาไหม้ในเตาชนิด Downdraft และ Crossdraft บริเวณ ช่องอากาศเข้าเรียกว่า Oxidation Zone หรือ Hearth Zone ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น เป็น Combustion Reaction,  $C + O_2 \rightarrow CO_2$  ให้ความร้อนออกมาบริเวณนี้จะเป็นร้อนมากที่สุด ในเตา ส่วน ถัดไปเป็น Reduction Zone ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเป็น Boudouard Reaction,  $C + CO_2 \rightarrow 2CO$  และดึงความร้อนบางส่วนที่เกิดขึ้นใน Oxidation Zone ไปใช้ในปฏิกิริยาเกิดคาร์บอนมอนนอกไซด์ ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงตัวสำคัญในขบวนการผลิตแก๊ส เชื้อเพลิงนี้ ใน Reduction Zone ยังมี Water Gas Reaction,  $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$  ซึ่งต้องดึงความร้อนไปใช้ในปฏิกิริยาเช่นกัน ทำให้อุณหภูมิกายใน Reduction Zone ลดลงเรื่อย ๆ ขอบเขตชั้นของการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจริงในเตาผลิตแก๊สไม่ได้แบ่ง โดยแน่นอน ระหว่างช่วงต่อของชั้นยังมีปฏิกิริยา Oxidation และ Reduction รวมกันอยู่จะ เห็น ได้จากรูปที่ 2.3 มี CO เกิดขึ้นแล้วใน Oxidation Zone ส่วนสมการ Water Shift Reaction,  $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$  เกิดขึ้นเพราะปริมาณน้ำมากเกินไป และให้ความร้อนออกมาเช่นเดียวกับ Methane Reaction,  $C + 2H_2 \rightarrow CH_4$  แต่ไม่ช่วยรักษาอุณหภูมิที่ต่ำลงตามความยาวของ Reduction



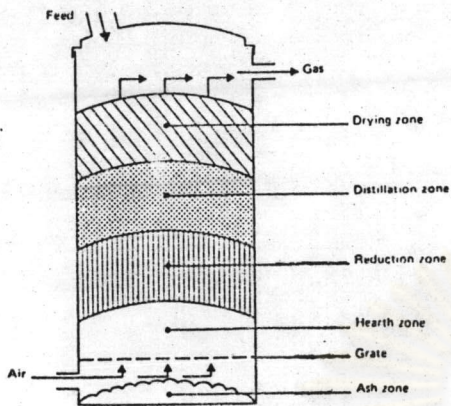


Figure 2.4 Updraft gas producer (7)

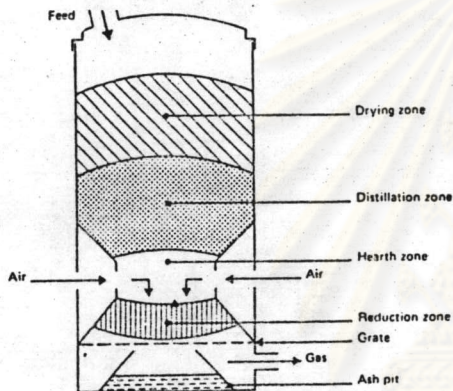


Figure 2.5 Downdraft gas producer (7)

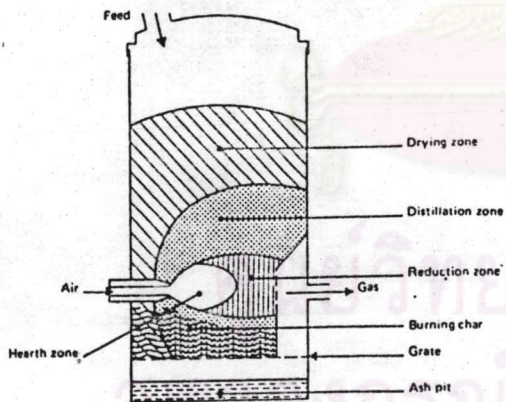


Figure 2.6 Crossdraft gas producer (7)

Zone ไหลลงที่หรือสูงขึ้นได้ เพราะ Water Shift Reaction ตามปกติแทบจะไม่เกิดขึ้น น้ำส่วนใหญ่ถูกใช้ใน Water Gas Reaction ส่วน Methane Reaction จะเกิดน้อยมาก

สมดุล (Equilibrium) ทางเคมีของ Boudouard Reaction จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีเวลาเพียงพอ และสมดุลนี้ส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ส่วนคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของ เชื้อเพลิงและการ



ออกแบบห้องเผาไหม้ในเตาเช่นขนาดและชนิดของเชื้อเพลิง, ความยาวของ Oxidation Zone ความเร็วของอากาศเข้าเตา เหล่านี้มีผลไม่มากนัก ความยาวของส่วน Oxidation Zone ปกติอยู่ระหว่าง 0.1 ซม. ถึง 15 ซม. (1) ขึ้นอยู่กับขนาดของเชื้อเพลิงเป็นส่วนใหญ่ จากการทดลองพบว่าความยาวนี้เป็น 2.66 เท่าของขนาดเฉลี่ยของเชื้อเพลิง (33) และความยาวของ Reduction Zone อยู่ระหว่าง 80-100 ซม. (1) ในเตาขนาดใหญ่ จากการทดลอง Boudouard Reaction จะถึงสมดุลต้องใช้เวลานานเป็นชั่วโมงแต่ในปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจริงในเตาเวลาที่อากาศผ่านเข้าทำปฏิกิริยาแล้วออกไปใช้เวลาเพียงไม่ถึงวินาทีซึ่งเป็นการยากที่จะสรุปปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในเตาผลิตแก๊ส ในรูปที่ 2.7 เป็นการทดลองโดย Boudouard โดยเปลี่ยน  $\text{CO}_2$  เป็น CO โดยใช้ถ่านไม้และ  $\text{CO}_2$  ทดลองที่อุณหภูมิ  $800^\circ\text{C}$  และ  $650^\circ\text{C}$  พบว่าที่อุณหภูมิ  $800^\circ\text{C}$  จะถึงสมดุล ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ในขณะที่อุณหภูมิ  $650^\circ\text{C}$  ใช้เวลาถึง 12 ชั่วโมง และปริมาณ CO ที่เกิดขึ้นก็น้อยกว่าด้วย ส่วนในรูปที่ 2.8 ทดลองเช่นเดียวกันแต่ใช้ถ่านไม้ซึ่งมีรูพรุนและพื้นที่ผิวมากกว่าถ่านหิน พบว่าถ่านไม้จะถึงสมดุลก่อนถ่านหิน

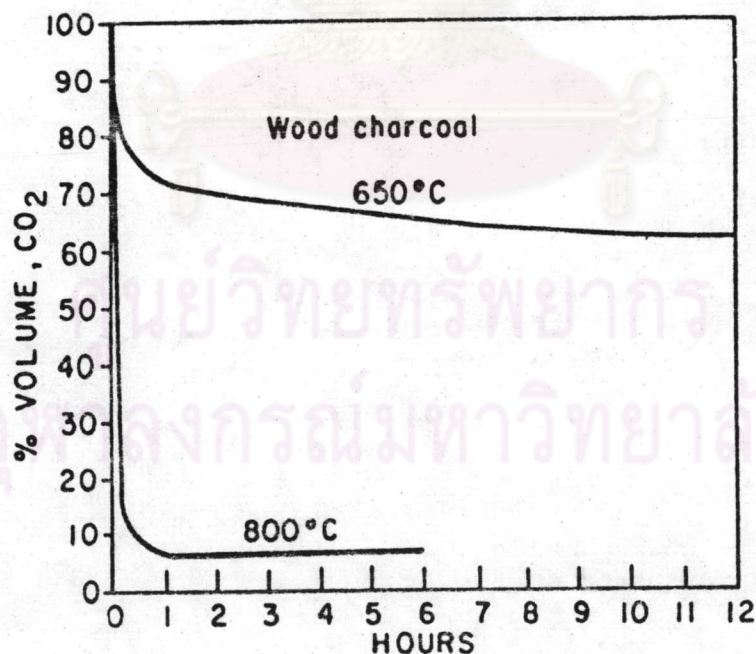


Figure 2.7 Influence of Temperature on the Conversion of  $\text{CO}_2$  to CO (11)



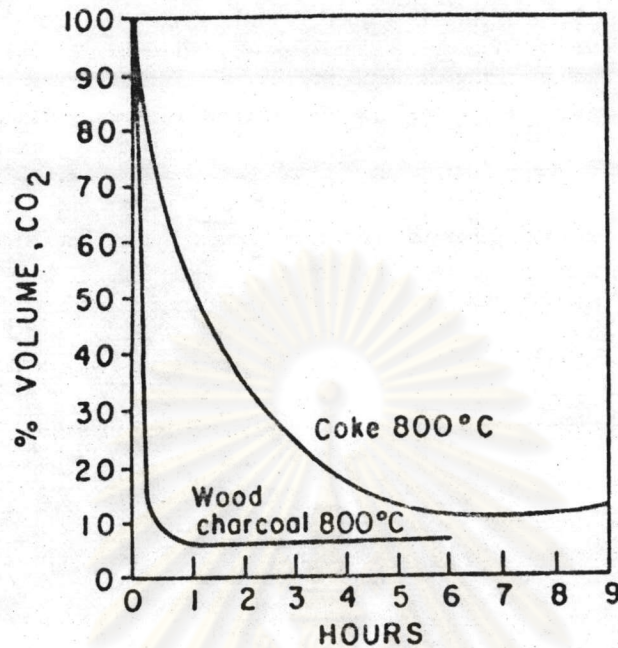


Figure 2.8 Conversion of  $\text{CO}_2$  to CO With  
Wood Charcoal and Coke (11)

การทดลองของ Boudouard ในห้องทดลองซึ่งสภาพไม่เหมือนในเตาจริง เพราะการทดลองทำในขณะที่ไม่มีความร้อนถ่ายเทออกจากระบบ (Isothermal) อุณหภูมิถูกรักษาไว้คงที่ตลอด ในขณะที่ภายในเตาจริงจะมีความร้อนผ่านออกมาและอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอทั่วเตา โดยอุณหภูมิจะสูงและต่ำลงเรื่อยตามทิศทางการเผาไหม้ และปฏิกิริยาในเตาเกิดขึ้นหลายปฏิกิริยาในขณะเดียวกันไม่เฉพาะ Boudouard Reaction ดังนั้นส่วนประกอบและความเข้มข้นของแก๊สในแต่ละจุด เป็นอย่างไรจึงยากที่จะทดลองวัดค่าเพื่ออธิบายยกเว้นเตาชนิด Updraft ซึ่งคล้ายกับการเผาไหม้ที่ทำการทดลองได้ง่ายในห้องปฏิบัติการ เท่าที่วิเคราะห์แก๊สที่ผลิตได้  $\text{CO}_2$  จะต่ำมากสำหรับเตา Updraft เพราะมีความยาวของส่วน Reduction Zone มากกว่า และอุณหภูมิในส่วน Oxidation Zone ก็สูงกว่าชนิด Downdraft ด้วย สำหรับรูปที่ 2.9 เป็นการคำนวณส่วนประกอบของแก๊สในเตาผลิตแก๊สที่คิดว่ามีคาร์บอนเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีน้ำ กำหนดให้อากาศมีออกซิเจน 21% และไนโตรเจน 79% โดยปริมาตร แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้เป็นคาร์บอนมอนอกไซด์อย่างเดียว



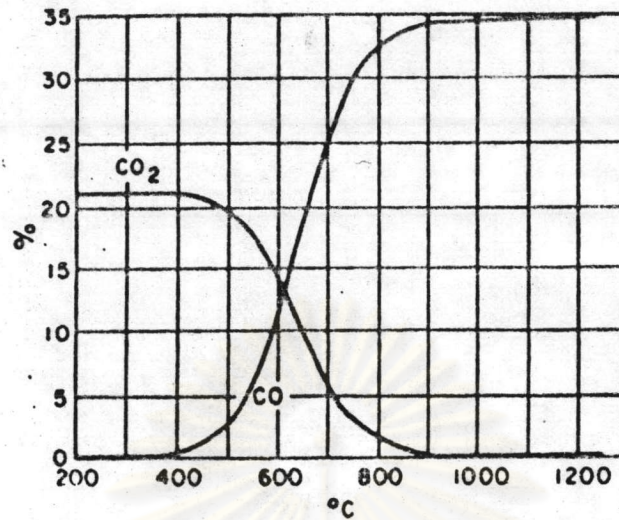


Figure 2.9 Air-Gas Composition of Gasification of Carbon at 1 atm. (17)

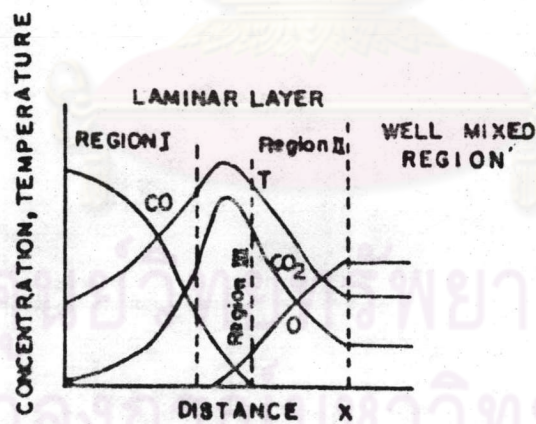


Figure 2.10 Schematic Concentration and Temperature Profiles in the double Film Model (17)

สำหรับรูปที่ 2.10 เป็นปรากฏการณ์ที่ศึกษาใน Microscale โดยใช้ Double Film Model บนผิวของคาร์บอนที่เผาไหม้ รูปที่ 2.11 เป็นการศึกษาภายในเตา แสดงอุณหภูมิของแก๊ส และผิวของคาร์บอนในแต่ละส่วนภายในเตา



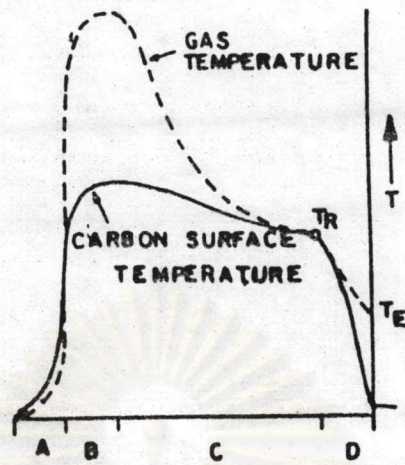


Figure 2.11 Temperature of Solid and Gas Phase in a Gas Producer (17)

A = Ash Zone, B = Partial Combustion Zone

C = Reduction Zone, D = Distillation Zone

T = Reaction Temperature, and

T<sub>E</sub> = Exit Gas Temperature

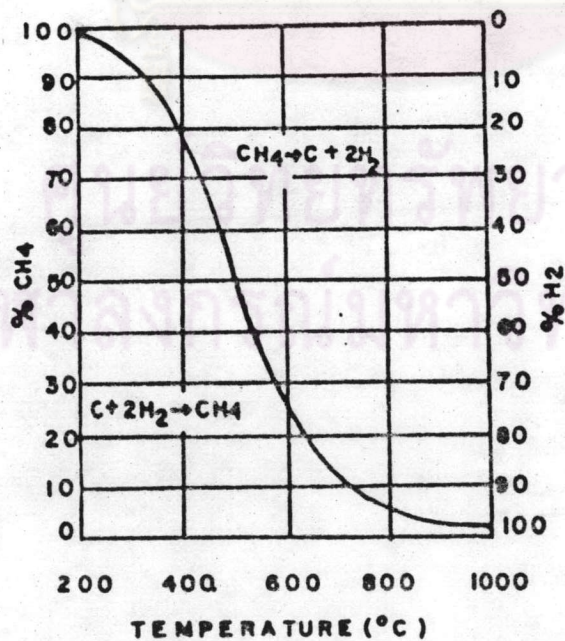
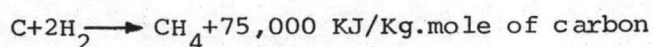


Figure 2,12 Equilibrium Curve for Methan at 1 atm. (17)



## Methane Reaction



สมการข้างบนนี้เขียนให้ง่ายต่อการเข้าใจ เท่านั้น เพราะสมการที่เกิดขึ้นจริงพบว่าเป็น  $CO + 3H_2 \rightleftharpoons CH_4 + H_2O$  หรือ  $CO_2 + 4H_2 \rightleftharpoons CH_4 + 2H_2O$  ซึ่งทั้งสองสมการนี้เกิดขึ้นยากที่ความดันบรรยากาศ และต้องมีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เข้าช่วย รูปที่ 2.12 แสดงการคำนวณสมดุลเคมีของการเกิดมีเทนที่ความดันบรรยากาศ

การเกิด  $CH_4$  ในเตาผลิตแก๊สพบว่าส่วนใหญ่เกิดบริเวณ Distillation Zone ซึ่งมีสาร Volatile มากเพราะในการทดลองพบว่าไฮโดรเจนอยู่มากในบริเวณนี้ แต่คาร์บอนไม่อยู่ในรูปที่จะทำปฏิกิริยาได้ แต่จะสรุปว่า  $CH_4$  เกิดจากสาร Volatile ทั้งหมดก็ไม่ถูกต้องนักเพราะมีการตรวจพบ  $CH_4$  ในส่วนของเตาที่ไม่มีสาร Volatile อยู่เลยเช่นกัน (1) ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะสรุปว่า  $CH_4$  เกิดขึ้นที่บริเวณไหนของเตาและเกิดขึ้นอย่างไร เท่าที่พบ  $CH_4$  จะเกิดขึ้นได้ในบริเวณที่อุณหภูมิต่ำและจะไม่มีการเกิดขึ้นเลยเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า  $1,000^\circ C$

Table 2.1 Higher Heating Values of the Constituents of Producer Gas (20)

Gas	Higher heating value kJ/kg mol at $25^\circ C$
Hydrogen, $H_2$	285,840
Carbon monoxide, CO	282,990
Methane, $CH_4$	890,360
Ethane, $C_2H_6$	1,559,900

ในทางปฏิบัติพบว่าค่าความร้อนจำเพาะของแก๊สที่ผลิตได้จากเตาจะสูงหรือต่ำมีผลจากปริมาณ  $CH_4$  ที่เกิดขึ้นมาก เพราะค่าความร้อนจำเพาะของ  $CH_4$  สูงกว่า CO, และ  $H_2$  อยู่มาก ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 ในรูปที่ 2.13 เป็นรูปการทดลองผลของปริมาณ  $CH_4$  ต่อค่าความร้อนจำเพาะของแก๊ส



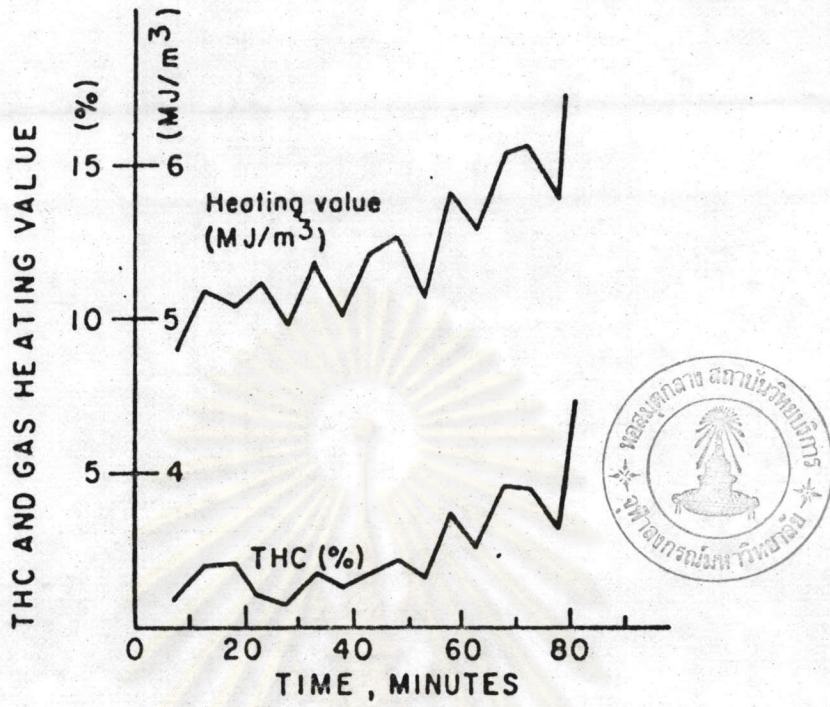


Figure 2.13 Gas Composition and Energy Content of Producer Gas as a Function of Time (1)

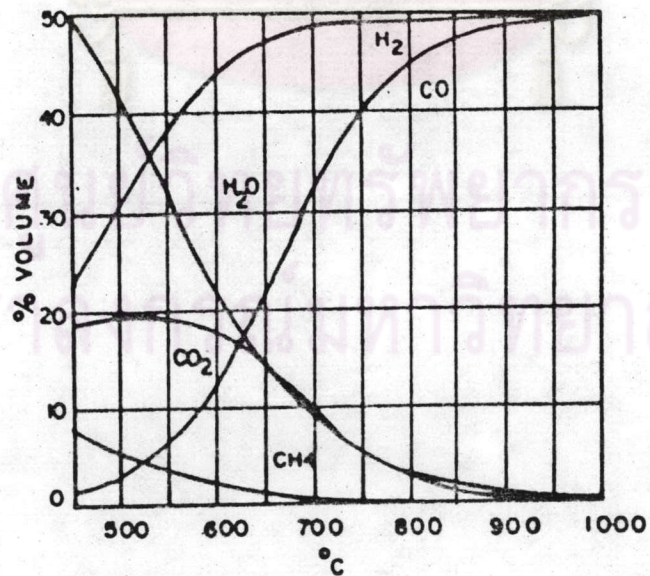


Figure 2.14 Composition of Water Gas from Carbon at 1 atm (17)



ในทางปฏิบัติ การควบคุมเตาผลิตแก๊สขนาดเล็กไม่นิยมฉีดน้ำเข้าไปอีก เพราะมีความชื้นในเชื้อเพลิงและอากาศอยู่แล้ว อีกทั้งถ้าจำนวนของน้ำมากเกินไปจะเกิด Water Shift Reaction ขึ้น ทำให้ได้แก๊สดีไฟลดลง รูปที่ 2.14 เป็นการคำนวณสมดุลทางเคมีที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของการเกิด Water Gas ที่ความดันบรรยากาศ

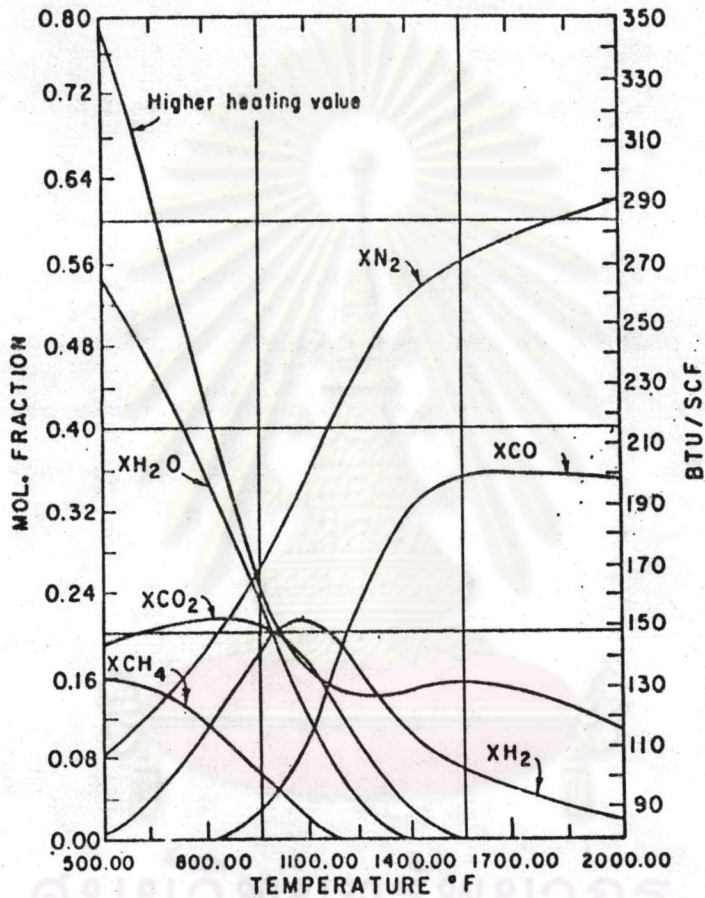


Figure 2.15 Equilibrium Composition and Energy Content of Producer Gas at atm (6)

ในรูปที่ 2.15 แสดงการคำนวณส่วนประกอบของแก๊สและพลังงานเมื่ออุณหภูมิต่าง ๆ ภายในเตาผลิตแก๊ส สมดุลเคมีที่กำหนดให้เป็นของ Water Gas, Methane, Water Shift Reaction ใน Adiabatic Reactor การคำนวณคิดว่าเชื้อเพลิงมี H-C-O-N เท่านั้น และสมมุติให้ H/O น้อยกว่า 2



### 2.3 เตาผลิตแก๊ส (GAS PRODUCERS)

เตาผลิตแก๊สที่จะกล่าวถึงในที่นี้จะกล่าว เฉพาะ เตาขนาดเล็กที่ทำงาน เป็นช่วงแล้วต้องหยุด เต็มเชื้อเพลิง และใช้อากาศในการเผาไหม้เท่านั้น ซึ่งการออกแบบในปัจจุบันรูปลักษณะส่วนใหญ่ไม่ แตกต่างจากสมัยก่อนมากนักยกเว้นวัสดุที่ใช้ทำตัวขึ้นและคงทนกว่าก่อน การออกแบบเตาผลิตแก๊สใน ปัจจุบันจะคำนึงถึงการควบคุมขณะใช้งาน, ความสะดวกในการซ่อมบำรุง เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพ การที่เปลี่ยนแปลงไป แต่ในส่วนของห้องเผาไหม้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก เพราะหลักการ เกิดปฏิกิริยา และการทดลองในปัจจุบันไม่ได้แตกต่างไปจากสมัยก่อนเลย ดังนั้นรูปลักษณะห้องเผาไหม้, ขนาด เชื้อ เพลิง และการทำงานโดยทั่วไปต่างจากเดิมน้อยมาก

เตาผลิตแก๊สส่วนใหญ่สร้างกันง่าย ๆ โดยใช้ท่อ, ดึงกลม, อิฐทนไฟหรือคอนกรีตทำเป็น เตา ใส่เชื้อเพลิงมีช่องอากาศเข้าเตา มีตะแกรงให้เถ้าตก และไม่ต้องบำรุงรักษามากไปกว่าการ เอาเถ้าและ เศษวัสดุที่เหลือใน เตาออกภายหลังหรือก่อน เต็มเชื้อเพลิง การออกแบบเตาผลิตแก๊ส, ระบบหล่อเย็น, เครื่องกรองแก๊สจะมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น ใช้กับเครื่องยนต์ ประเภทไหน ใช้เชื้อเพลิงอะไร กล่าวคือถ้าเป็น เครื่องยนต์ที่อยู่กับที่ส่วนใหญ่จะทำงานที่รอบคงที่และ ไม่สูงมากปริมาณแก๊สที่ต้องการคงที่ ถ้าเป็นรถยนต์รอบเครื่องช้าเร็วต่างกันมาก ปริมาณของแก๊สที่ ต้องการจะ เปลี่ยนแปลงในช่วงกว้าง และอุณหภูมิของแก๊สที่ใช้กับเครื่องยนต์, ปริมาณฝุ่นผง, Tar คาร์จะต่ำ แต่ถ้าใช้กับ Burner ในงานอุตสาหกรรมอุณหภูมิของแก๊สสูงก็ยิ่งดี การแบ่งชนิดของ เตา แบ่งตามทิศทางการเผาไหม้ดังนี้

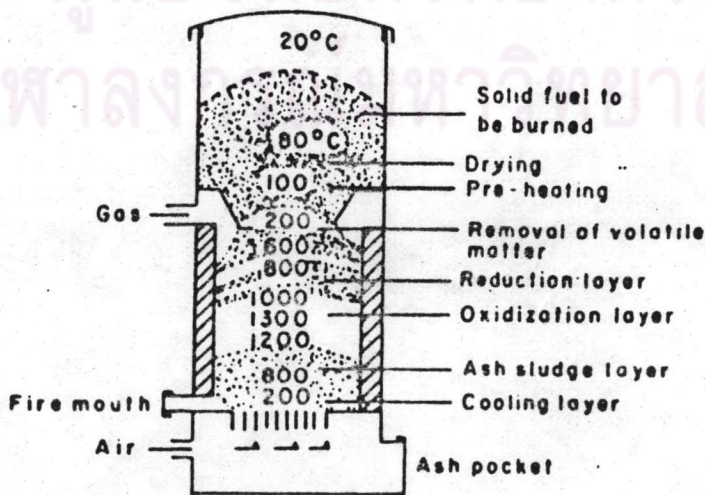


Figure 2.16 Diagram of Updraft Gasification (44)







Updraft ที่มีทางออกของแก๊สอยู่กลาง เตาหรือเตาที่มีการนำแก๊สที่ออกมาย้อนกลับเข้าไปเผาไหม้ในเตาใหม่อีกครั้ง ส่วนมากเตาชนิด Updraft จะมีการฉีดน้ำเพื่อเพิ่มปริมาณของ  $H_2$  และลดอุณหภูมิที่สูงเกินไป

#### หลักสำคัญในการออกแบบเตาชนิด Updraft

1. วิธีในการนำอากาศเข้าเตา
2. ตำแหน่งของแก๊สออกจากเตา
3. ชนิดและขนาดของตะแกรง
4. ค่าความชื้นเฉลี่ยของอากาศ
5. การหุ้มฉนวนในส่วน เคาไหม้
6. ปริมาณแก๊สที่ต้องการใช้งาน
7. ความสูงของส่วนใส่เชื้อเพลิง

เตาแบบ Updraft ไม่นิยมใช้กับรถยนต์ เพราะแก๊สที่ออกมา มี Tar และผงถ่านมากซึ่งต้องการพื้นที่สำหรับติดตั้งระบบกรองแก๊สมาก อีกทั้งการตอบสนองคุณภาพของแก๊สที่เลวลง เมื่อปริมาณแก๊สเพิ่มขึ้นให้คืนสู่สภาพปกติต้องใช้เวลาอย่างมาก ไม่เหมือนเตา Downdraft และ Crossdraft ซึ่งมีระยะเผาไหม้สั้นกว่า เคาแบบ Updraft ที่ผลิตออกมาขายสำหรับรถยนต์จะมีทางออกของแก๊สอยู่เหนือส่วน Reduction Zone และใช้เชื้อเพลิงที่มีสาร Volatile น้อย เช่น ถ่านหิน, ถ่านไม้ ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.18, 2.19, 2.20, 2.21 สำหรับรูปที่ 2.22 เป็นการทดลองหาอุณหภูมิภายในเตาชนิด Updraft ของ Mie University, Japan ซึ่งมีประสิทธิภาพสูง ใช้ถ่านไม้และถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงขับเคลื่อนเครื่องยนต์ 5 แรงม้า

ปริมาณของแก๊สที่ผลิตได้ในเตาชนิด Updraft นี้กำหนดเป็น Specific Gasification Rate ซึ่งเป็นน้ำหนักของเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ในเตาต่อหน่วยพื้นที่ของตะแกรงในหนึ่งชั่วโมง คิดเมื่อเชื้อเพลิงไม่มีความชื้น (Dry Fuel Basis) เพราะความชื้นจะถูกทำให้ระเหยไปใน Distillation Zone ไม่ผ่านไปเผาไหม้ Specific Gasification Rate ที่ใช้งานจะมีค่ามากน้อยต่างกันขึ้นกับชนิดของเชื้อเพลิง, การออกแบบเตา และการใช้งาน เช่น ของถ่านหินจะอยู่ระหว่าง  $100-300 \text{ Kg/m}^2\text{-hr}$  ถ้าอัตราการใช้แก๊สเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ค่า Specific Gasification Rate จะสูงขึ้น และอุณหภูมิจะสูงขึ้นด้วย ที่สูงกว่า  $300 \text{ Kg/m}^2\text{-hr}$  ก็มีรายงานว่า มีบ้างเหมือนกัน แต่ถ้าใช้งานในอัตรานี้



เป็นเวลานานจะทำให้ผนังห้องเผาไหม้, ช่องอากาศเข้าเตาและตะแกรงเสียหายได้เนื่องจากอุณหภูมิสูงเกินไป

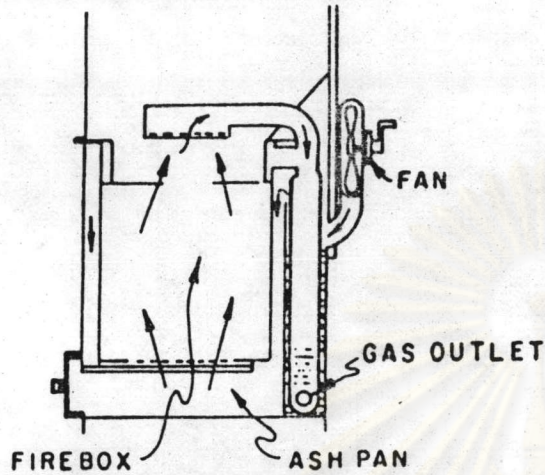


Figure 2.18 Hearth Zone of C.G.B. Producer (14)

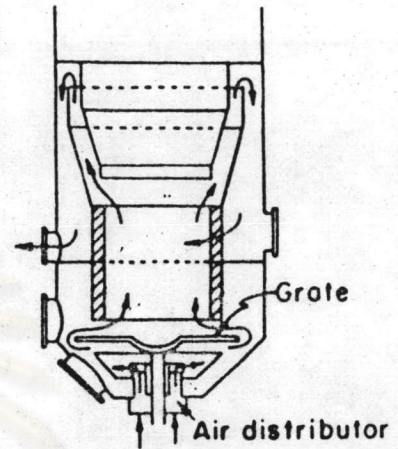


Figure 2.19 Hearth Zone of Malbay Producer (14)

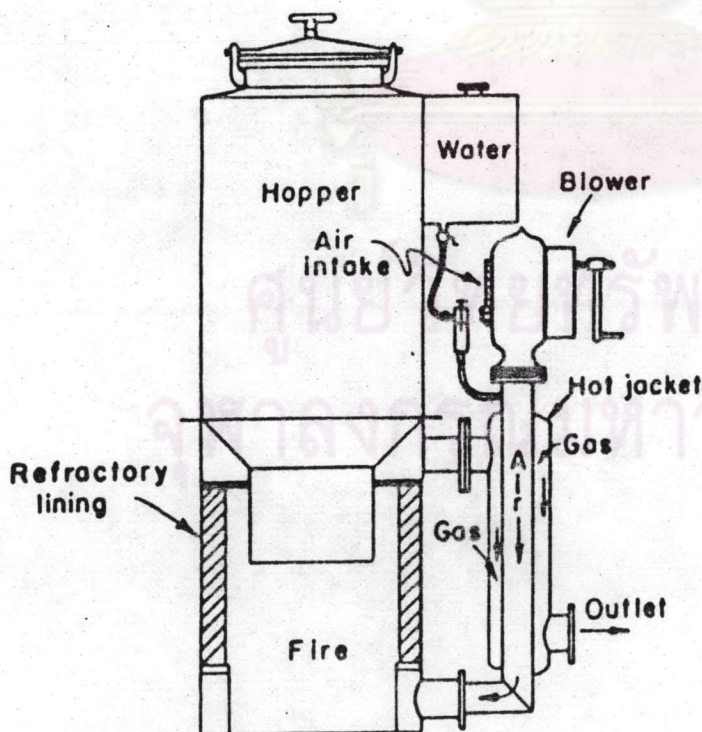


Figure 2.20 Koela Updraft Gas Producer (14)

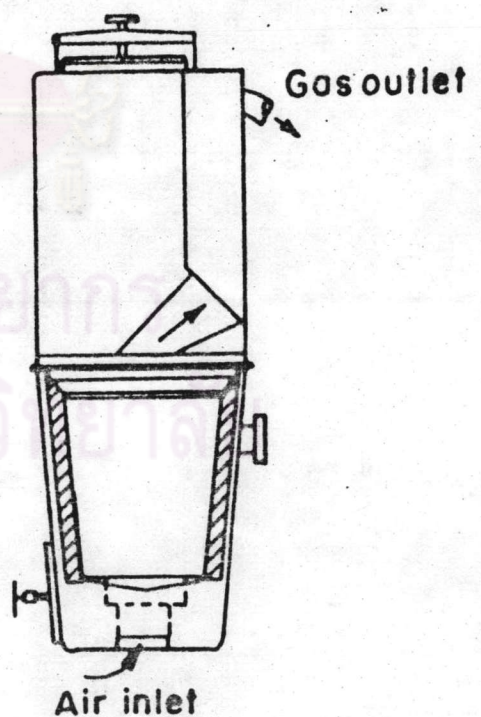


Figure 2.21 Hansa Gas Producer (14)



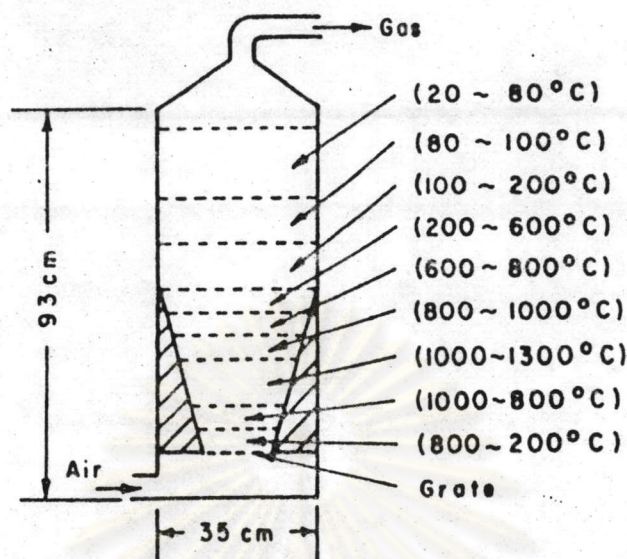


Figure 2.22 Pilot Producer, Mie University (39) (40)

2. Downdraft Gas Producers เนื่องจากแก๊สที่ออกมาจากเตาชนิด Updraft มี Tar ซึ่งเป็นอันตรายกับเครื่องยนต์จึงมีการคิดออกแบบเตาชนิด Downdraft ขึ้น เพื่อให้ Tar ที่จะออกมากับแก๊สแตกตัวทำปฏิกิริยาในส่วนของ การเผาไหม้ที่ร้อนจัด ทำให้แก๊สที่ออกมามี Tar น้อยลง และยังสามารถลดขนาดของเครื่องกรองแก๊สด้วย หลักการทำงานของเตาชนิดนี้ อากาศจะเข้าสู่เตา บริเวณ Hearth Zone เผาไหม้ผ่านออกไปทางด้านล่างของเตาตามรูปที่ 2.23

หลักการสำคัญในการออกแบบเตาชนิด Downdraft

1. การออกแบบห้องเผาไหม้ (Combustion Zone)
2. ระบบอากาศเข้าเตา
3. การออกแบบตะแกรง

หลักสำคัญในการจะลด Tar มีอยู่สองอย่าง คือ ระบบของอากาศที่เข้าเตาและรูปลักษณะของห้องเผาไหม้ เตาชนิด Downdraft จะลดพื้นที่หน้าตัดของเตาบริเวณห้องเผาไหม้เพื่อจะรักษาอุณหภูมิให้สูงไว้มากที่สุดเพื่อการแตกตัวของ Tar เมื่อผ่านบริเวณนี้ตามรูป 2.24, 2.25, 2.26, 2.27 เป็นเตาที่ใช้งานได้ดีของ Imbert Type



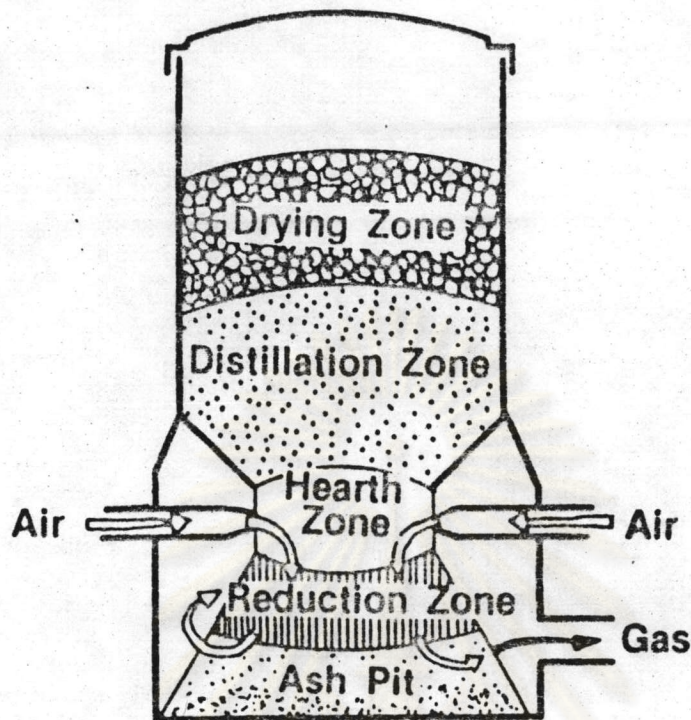


Figure 2.23 Downdraft Gasification (35)

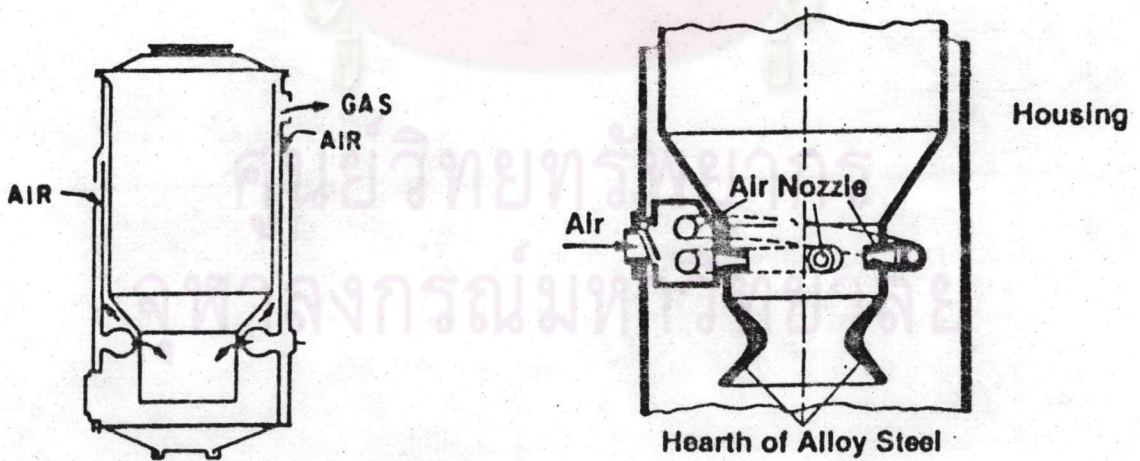


Figure 2.24 Wall Tuyeres Central Air Feed (34)

Figure 2.25 Wall Tuyeres Individual Air Feed (35)



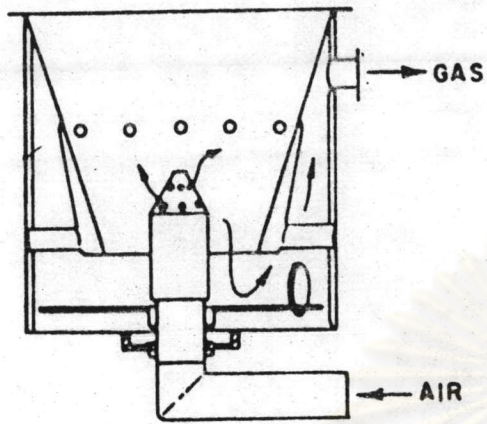


Figure 2.26 Central Air Inlet from Below (34)

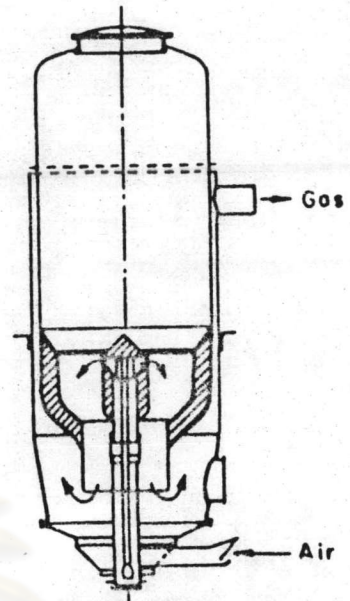


Figure 2.27 Central Air Inlet Refractory Lining (34)

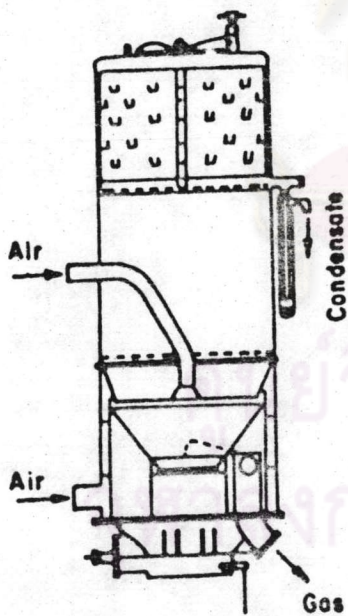


Figure 2.28 Central Air Inlet From Above and Below (34)

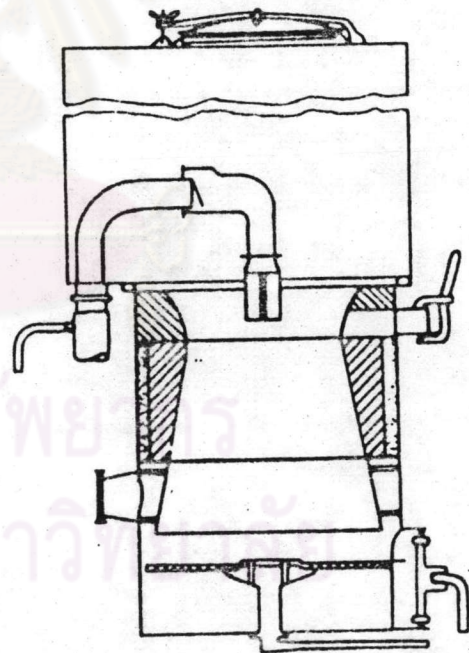


Figure 2.29 Central Air Inlet and Refractory Lining (1)



ในรูปที่ 2.24 อากาศเข้าเตาจะผ่านช่องผนังรอบเตาเข้าไปตามรูรอบห้องเผาไหม้ต่อมาพบว่าการไหลเข้าของอากาศในแต่ละรูไม่เท่ากันเนื่องจาก Pressure Drop ต่างกัน ได้มีการพัฒนา มาเป็นเตาตามรูปที่ 2.25 โดยใช้ท่ออากาศเข้าแยกกันต่างหาก ในรูปที่ 2.26 เป็นเตาที่มีรูอากาศ เข้าตรงกลาง (Middle Tuyeres) และรอบผนัง (Wall Tuyeres) ในรูปที่ 2.27 เป็นเตาที่มีรูอากาศเข้าตรงกลางและมีฉนวนหุ้มกันความเสียหายเนื่องจากร้อนจัด สำหรับรูปที่ 2.28, 2.29 แสดงเตาที่มีรูอากาศเข้าตรงกลางแต่ท่อเข้าคว่ำลง

แบบโดยทั่วไปของเตาชนิด Downdraft สี่แบบซึ่งพัฒนามามากกว่า 50 ปี คือ

1. รูอากาศเข้ารอบผนังเตาและมีคอคอด (Throat) แบบง่าย ๆ (รูป 2.30)
2. รูอากาศเข้ากลางเตาต่อคว่ำลงและมีคอคอดแบบง่าย ๆ (รูป 2.31)
3. รูอากาศเข้ากลางเตาต่อหงายขึ้นและมีคอคอดแบบง่าย ๆ (รูป 2.32)
4. รูอากาศเข้ารอบผนังเตาและมีแผ่นขวาง (Choke Plate) (รูป 2.33)

การคำนวณอุณหภูมิภายในเตารอบรูอากาศเข้าเตา (Tuyeres) และคอคอด (Throat) ไม่สามารถจะประมาณได้ในการออกแบบซึ่งบางครั้งจะสูงมากจนทำให้บริเวณนี้เสียหายได้ ในรูปที่ 2.33 แผ่นขวาง (Choke Plate) ออกแบบโดย University of California, Davis, (UCD) เพราะทนต่อความเค้นเนื่องจากความร้อน (Thermal Stress) ได้สูงแทนคอคอด อีกทั้งยังง่ายต่อการเลื่อนระยะระหว่างคอคอดและรูอากาศเข้าเพื่อหาระยะที่เหมาะสมในการกำจัด Tar และให้แก๊สเชื้อเพลิงมากที่สุด จากรูปที่ 2.34 แสดงลักษณะของการเผาไหม้ภายในเตาที่มีรูอากาศเข้ารอบผนัง (Wall Tuyeres) จะเห็นว่าบริเวณเผาไหม้รอบรูอากาศเข้าจะเป็นไปได้ดี และอุณหภูมิสูงเพราะ

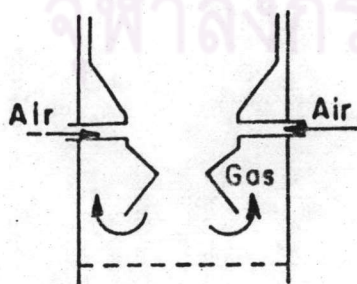


Figure 2.30 Wall Tuyere and  
Conventional Throat  
(16)

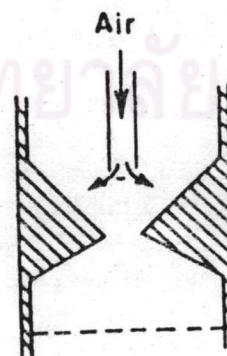


Figure 2.31 Middle Tuyere Pointed  
Downward and Conventional  
Throat (16)



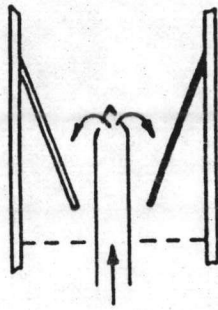


Figure 2.32 Middle Tuyere Pointed  
Upward and Conventional  
Throat (16)

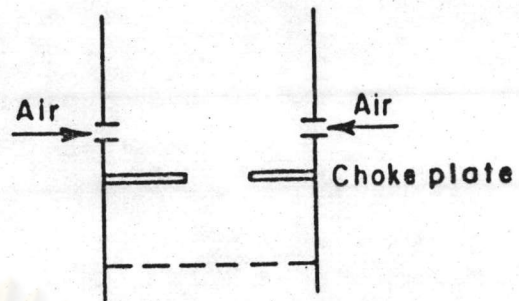


Figure 2.33 Wall Tuyere and Choke  
Plate (1)

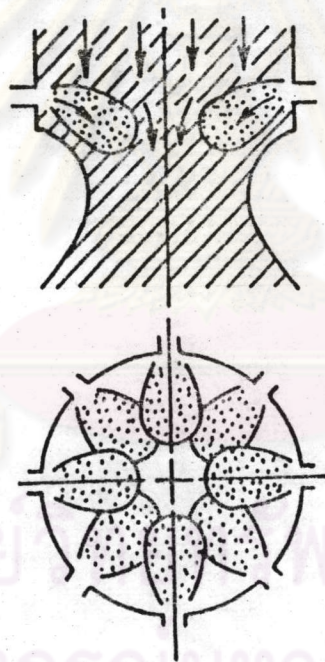


Figure 2.34 Fire Zone in Front of Wall Tuyeres (17)

เพราะมีออกซิเจนเพียงพอ ส่วนบริเวณอื่น และตรงกลางอุณหภูมิจะเย็นกว่า เพราะออกซิเจนเข้าไป  
ไม่ทั่วถึง ดังนั้นเตาที่มีรูอากาศเข้ารอบผนังจะมีผลในการกำจัด Tar ได้ดีไม่เท่ารูอากาศที่เข้าตรง  
กลาง (Middle Tuyeres) ซึ่งบริเวณการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูงกระจายทั่วคอคอดมากกว่า แต่ต่อ  
อากาศที่เข้าตรงกลางเตาจะขวางการตกของเชื้อเพลิง ทำให้การวางตัวของเชื้อเพลิงหลวมมีผลใน  
การกำจัด Tar น้อยลงเช่นกัน



เตาผลิตแก๊สแบบ Downdraft นี้จะใช้ได้ไม่ดีกว่าเชื้อเพลิงที่มีเจ้าอยู่มากเพราะเจ้าจะเกิดการสะสมและขวางการเผาไหม้ ทำให้อัตราการเผาไหม้ช้าลง และเกิด Pressure Loss ภายในเตามากขึ้น ปริมาณของเจ้าในเชื้อเพลิงที่ใช้ไม่ควรเกิน 5% โดยน้ำหนัก ดังนั้นตะแกรงจะต้องออกแบบเป็นพิเศษเพื่อให้เจ้าและสารที่ไม่เผาไหม้ตกลงในส่วนเก็บเจ้าได้ดี การฉีดน้ำในเตาชนิด Downdraft ไม่นิยมทำกันเพราะความชื้นในเชื้อเพลิงถูกใช้ทำปฏิกิริยาทั้งหมดไม่เหมือนในเตาชนิด Updraft เฉพาะความชื้นในเชื้อเพลิงและที่มากับอากาศก็เพียงพอแล้วที่จะทำปฏิกิริยา เป็นไฮโดรเจน ค่า Specific Gasification Rate ของเตาผลิตแก๊สชนิด Downdraft จะคิดอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแห้งต่อหน่วยพื้นที่คอกอด เนื่องจากระยะเผาไหม้สั้นจึงทำให้คุณภาพของแก๊สไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อเครื่องยนต์ต้องการปริมาณแก๊สมากขึ้นในขณะเร่งเครื่อง และคุณภาพของแก๊สจะดีขึ้นในระยะเวลานั้นกว่าเตาชนิด Updraft จึงเหมาะที่จะใช้กับรถยนต์ จากที่กล่าวมาแล้ว เมื่อพิจารณาเตาชนิด Crossdraft แล้ว จะตอบสนองภาวะเช่นนี้ได้ดีกว่าสองชนิดแรก และใช้เวลาในการจุดเตาจนให้แก๊สคุณภาพดีสั้นกว่า เตามีความกระจัดรัดและสร้างง่ายกว่า

3. Crossdraft Gas Producers เป็นเตาที่มีข้อดีกว่า Downdraft และ Updraft ตามที่กล่าวมาแล้วแต่ก็ไม่ได้ทั้งหมด เพราะยังมีข้อเสีย เช่น อุณหภูมิของแก๊ส ออกมาสูง เชื้อเพลิงที่ใช้ต้องมีเจ้าน้อยเพราะอุณหภูมิภายในเตาสูงอาจถึง  $2,000^{\circ}\text{C}$  ทำให้เจ้าหลอมรวมกันและเป็นก้อนแข็งในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ก้อนของแข็งนี้เรียกว่า Chinker ซึ่งจะขวางการเผาไหม้. การตกของเชื้อเพลิงและเจ้าถ่านส่วนอื่น เนื่องจากอุณหภูมิภายในเตา Crossdraft สูงมาก รูอากาศเข้าเตา (Tuyere) และตะแกรง ต้องใช้วัสดุหรือมีการหล่อเย็นที่ดี จากรูปที่ 2.35 เป็นเตาแบบ Crossdraft จะเห็นว่า ส่วนของการเผาไหม้ Oxidation Zone, Reduction Zone แบ่งขอบเขตกันได้ยาก

เนื่องจากเวลาในการทำปฏิกิริยาในเตา Crossdraft สั้นตามทฤษฎีแล้วปริมาณของ CO จะต่ำลงตามเวลาที่ทำปฏิกิริยา (Boudouard Experiment) แต่จากการทดสอบเตา Crossdraft แล้วพบว่าถ้าอุณหภูมิภายในเตาสูงกว่า  $1,500^{\circ}\text{C}$  ซึ่งสามารถทำได้โดยลดขนาดรูอากาศเข้าเตาให้ความเร็วอากาศเพิ่มขึ้น แก๊สเชื้อเพลิงที่ออกมาจะมีคุณภาพดี ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นการรวมตัวของ  $\text{C} + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{CO} + 121,000 \text{ KJ/kg.mole of carbon}$  ที่บริเวณผิวของคาร์บอน โดยตรงเป็นส่วนใหญ่แล้ว CO ถึงจะถูกเผาไหม้กับ  $\text{O}_2$  ที่เหลือในช่องว่างระหว่างก้อนเชื้อเพลิง ตามรูปที่ 2.10 แต่ที่เกิดขึ้นภายในเตา Crossdraft CO จะไม่ถูกเผาไหม้ไปในส่วนที่ห่างจากรู



อากาศเข้าเพราะไม่มี O<sub>2</sub> เหลือ และไม่มีเวลาพอที่จะเกิดปฏิกิริยาแตกตัวเป็นแก๊ส CO<sub>2</sub> ส่วนบริเวณใกล้รูอากาศเข้า (Tuyere) จะมีปฏิกิริยาการเผาไหม้  $C + O_2 = CO_2 + 39,800 \text{ KJ/Kg. mole of carbon}$  เป็นส่วนมากทำให้อุณหภูมิในบริเวณนี้สูงขึ้น (๑)

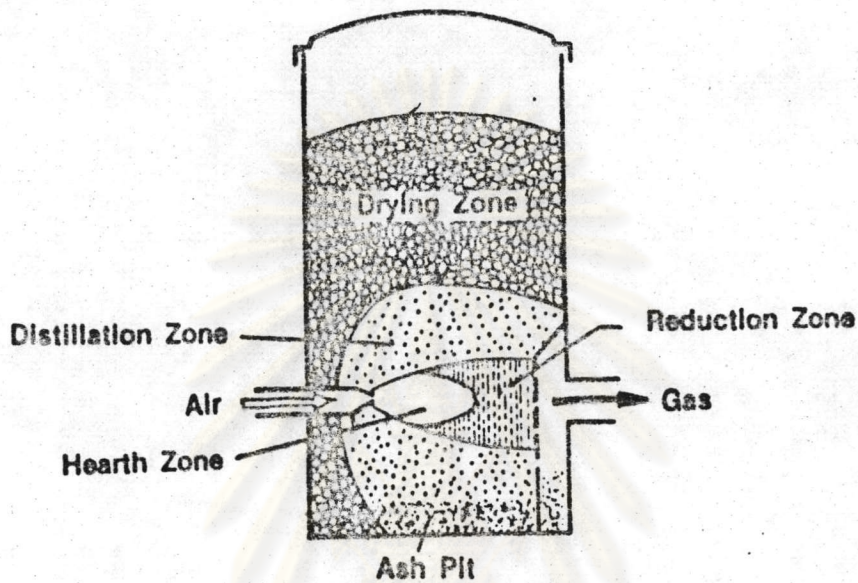


Figure 2.35 Crossdraft Gas Producer (35)

เตาชนิด Crossdraft นี้ มีระยะการเผาไหม้สั้น เวลาในการจุดเตาและให้แก๊สคุณภาพดีจึงเร็ว (ประมาณ 5-10 นาที) (1) ปกติแล้วจะไม่มีกัมมันตภาพภายในเตาแบบนี้เพราะบริเวณการเผาไหม้อยู่กลางเตาและมีเชื้อเพลิงที่ยังไม่ติดไฟเป็นฉนวนล้อมรอบอยู่แล้ว รูอากาศเข้าเตาจะมีการป้องกันความเสียหายที่เกิดจากอุณหภูมิสูงโดยใช้อากาศหรือน้ำหล่อเย็นดังแสดงไว้ในรูป 2.36, 2.37, 2.38 มีการฉีดน้ำเข้าในส่วนของการเผาไหม้อยู่บ้างในเตาชนิดนี้ทั้งนี้ก็เพื่อเพิ่มแก๊สไฮโดรเจนและเพื่อการลดอุณหภูมิภายในเตา

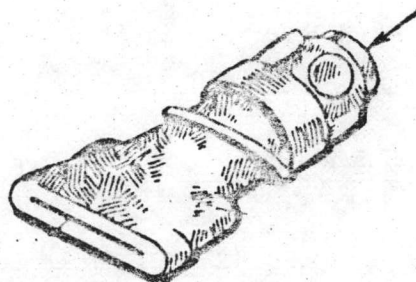


Figure 2.36 Watercooled Rectangular Tyre for Crossdraft Gas Producer (35)



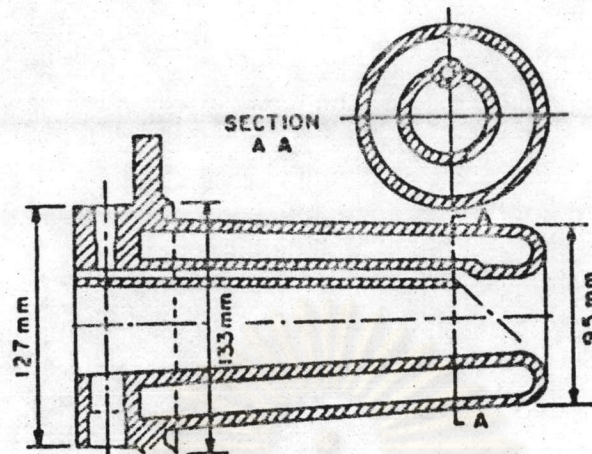


Figure 2.37 Tuyere of H.S.G.Plant (4)

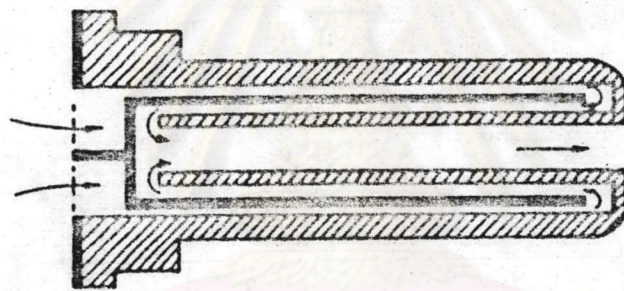


Figure 2.38 Sabatier Air Cooled Tuyere (44)

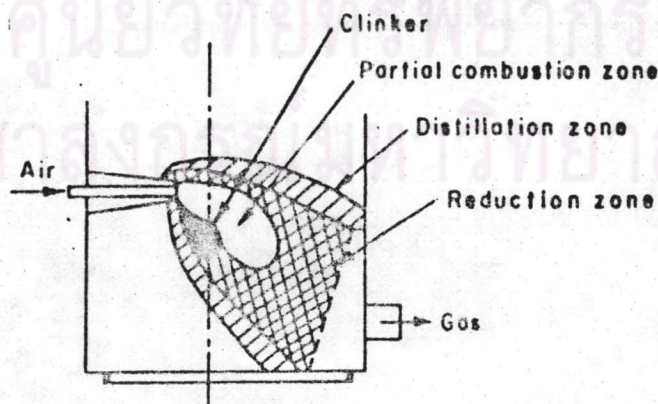


Figure 2.39 Diagram of Fire, Reduction and Distillation Zone in a Crossdraft Gasifier (18)



ที่อุณหภูมิสูงกว่า  $1,500^{\circ}\text{C}$  จะมีสารประกอบของเถ้าบางชนิดหลอมรวมกันและแข็งเป็น Clinker สะสมในเตาตอนล่าง หรือติดห้อยกับรูอากาศเข้าเหมือนในรูปที่ 2.39 การเปลี่ยนความยาวของการเผาไหม้, เพิ่มหรือลดเวลาที่ทำปฏิกิริยาของแก๊ส, ปริมาณของน้ำที่ฉีดในเตา เหล่านี้ จะมีผลกับค่าความร้อนจำเพาะของแก๊สดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.41, 2.42, 2.43 ซึ่งการทดสอบนี้ ใช้เตาผลิตแก๊สของ Wishart ที่สามารถปรับระยะการเผาไหม้ได้ตามแสดงไว้ในรูปที่ 2.40

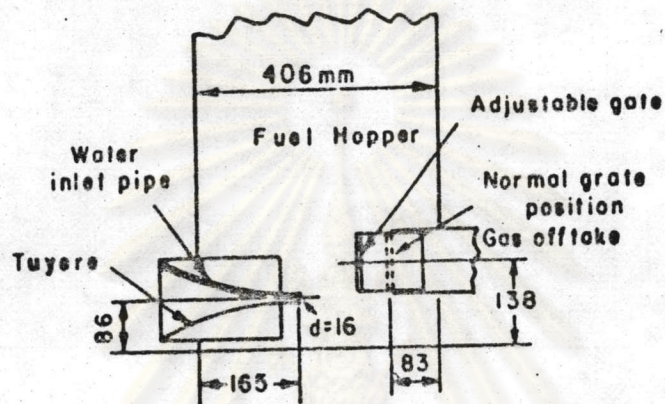


Figure 2.40 Wishart Crossdraft with Adjustable Gate (2)

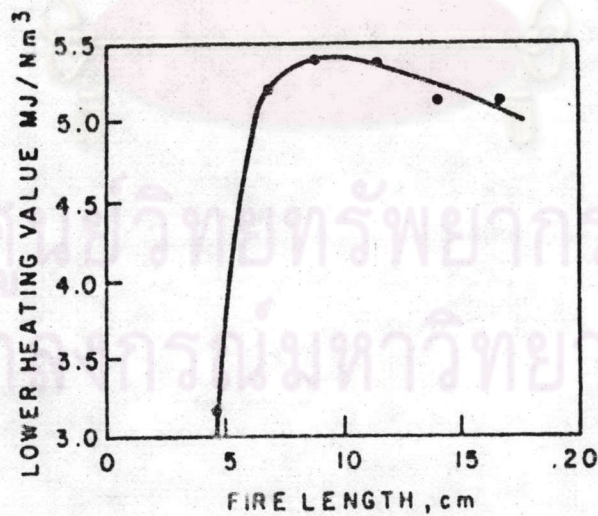


Figure 2.41 Lower Heating Value of the Gas Versus Fire Length (2)



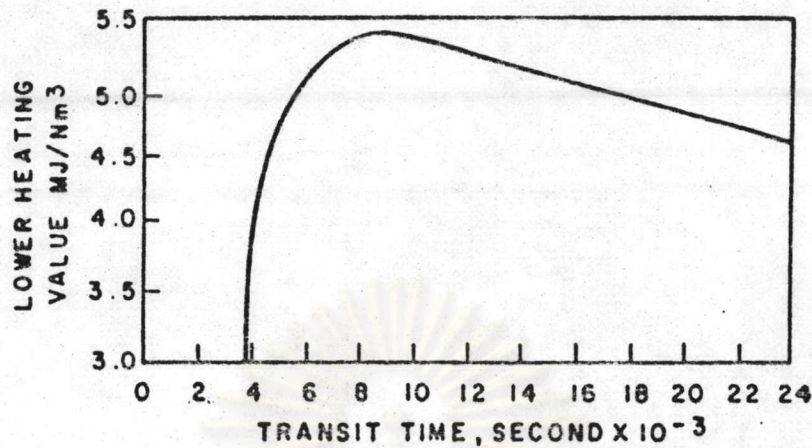


Figure 2.42 Heating Value of the Gas Versus Transit Time in a Crossdraft Gas Producer (2)

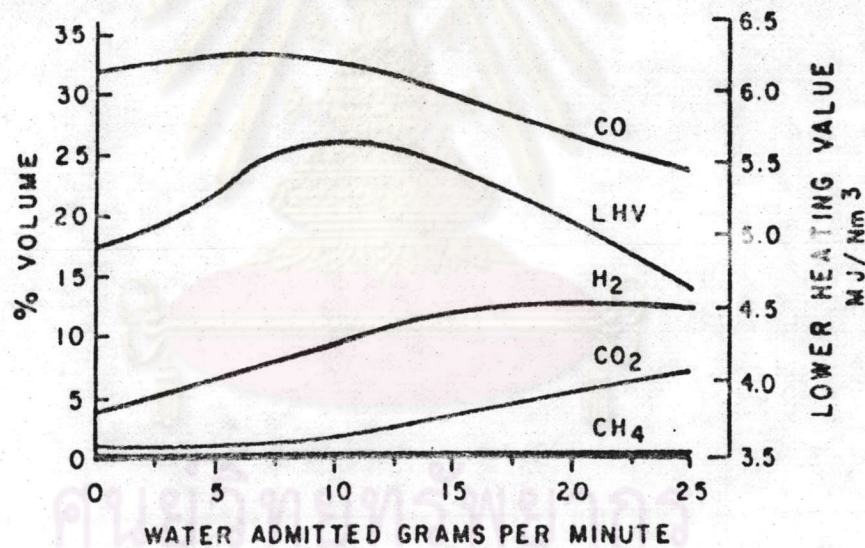


Figure 2.43 Gas Composition Versus Water Injected in a Crossdraft Gas Producer (2)

มีการทดสอบเตาชนิด Crossdraft โดยไม่มีการฉีดน้ำตามเอกสารอ้างอิงที่ 24 เพื่อที่จะเป็นแนวทางในการกำหนดขนาดของรูอากาศเข้าเตาที่เหมาะสม ในรูปที่ 2.44 แสดงอุณหภูมิของการเผาไหม้ เมื่อความเร็วของอากาศเข้าเตาเปลี่ยนไป โดยให้รูอากาศเข้าหลายขนาด รูปที่ 2.45 แสดงผลของอัตราส่วน  $\frac{CO}{CO+CO_2}$  (แก๊ซคุณภาพดีมีค่า 0.9 ขึ้นไป) เมื่อปริมาณการผลิตแก๊ซเปลี่ยนไป โดยใช้รูอากาศเข้าหลายขนาด สำหรับตารางที่ 2.2 เป็นผลการทดสอบส่วนประกอบ





ในแก๊สที่อุณหภูมิและความเร็วของอากาศเข้าเตาเปลี่ยนแปลงไป ตารางที่ 2.3 เป็นขนาดของรูอากาศเข้าที่เหมาะสมกับการใช้งานในช่วงของปริมาณอากาศเข้าเตา, อัตราการผลิตแก๊สและกำลังม้าของเครื่องต่าง ๆ ตารางที่ 2.4 เป็นค่าต่ำสุดของความเร็วอากาศเข้าเตา, ปริมาณอากาศและแก๊สที่แนะนำให้ใช้สำหรับขนาดรูอากาศเข้าเตาต่าง ๆ ส่วนอุณหภูมิของแก๊สที่ออกจากเตาเมื่อปริมาณของแก๊สเปลี่ยนแปลงไปสำหรับความยาวของการเผาไหม้ต่าง ๆ แสดงไว้ในรูปที่ 2.46

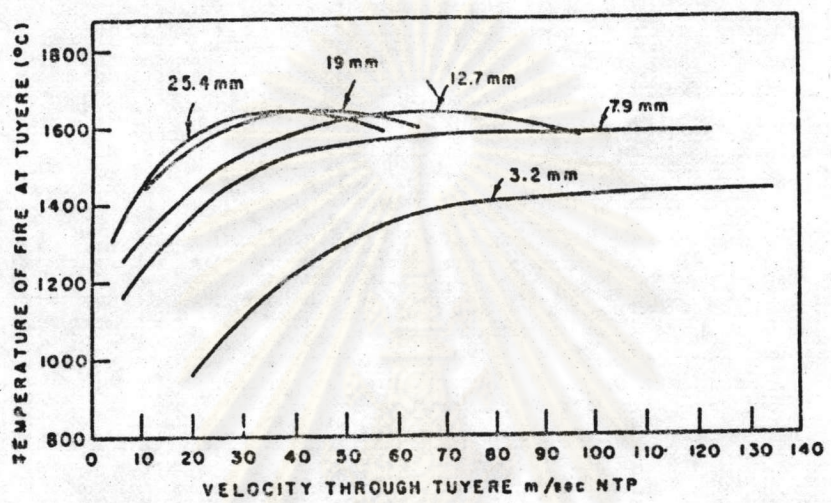


Figure 2.44 Fire Zone Temperature Versus Air Blast Velocity at Tuzere (24)

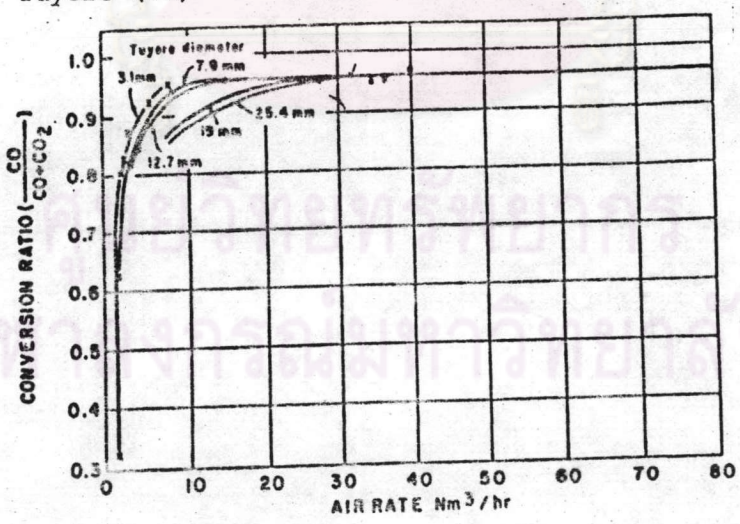


Figure 2.45 Conversion Ratio Versus Air Rate for Various Tuzere Diameters (24)



Table 2.2 Gas Composition Versus Air Blast Velocity at Tuyere. (24)

Air Blast Velocity m/s	Tuyere Fire Temperature °C	Gas Composition*				Conversion Ratio
		CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	
22.6	980	17.7	8.5	1.3	0.9	0.325
44.8	1300	9.1	20.3	4.2	1.1	0.693
72.3	1420	6.0	24.9	4.2	1.1	0.807
90.0	1400	5.6	27.5	4.3	1.2	0.832
115.0	1420	4.2	28.4	5.6	1.3	0.877
218.6	1520	2.6	30.1	6.5	1.3	0.922

$$*N_2 = 100 - (\% CO_2 + \% CO + \% H_2 + \% CH_4)$$

Table 2.3 Tuyere Diameter Versus Useful Range of Air Rate, Gas Rate and Engine Power. (24)

Tuyere Diameter mm	7.9	12.7	19	25.4
Useful Range Air Rate m <sup>3</sup> /h	6.3-11.9	7.6-27.2	12.4-47.6	13.9-64.6
Useful Range Gas Rate m <sup>3</sup> /h	8.1-15.6	9.9-35.7	16.1-61.2	17.5-85
Useful Range, Engine Power hp	2.5-6	4-14	5-22	6-32

Table 2.4 Recommended Minimum Air Velocities Gas and Air Rate, for Various Tuyere Diameters. (24)

Tuyere Diameter mm	3.2	7.9	12.7	19	25.4
Air Blast Velocity m/s	146.0	35.0	17.0	12.0	7.5
Air Rate m <sup>3</sup> /h	4.2	6.3	7.7	12.4	14.0
Gas Rate m <sup>3</sup> /h	5.3	8.2	10.0	16.2	17.5



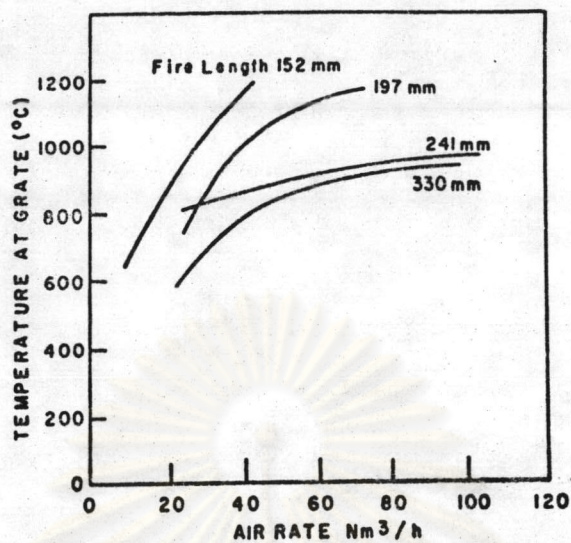


Figure 2.46 Exit Grate Temperature Versus Air Rate for Various Fire Lengths (24)

ได้มีการนำข้อดีของเตาชนิด Crossdraft มารวมกับข้อดีของเตา Updraft หรือ Downdraft เป็นเตาแบบรวมซึ่งคาดว่าจะสามารถใช้งานได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.47

เตาที่น่าสนใจมากแบบหนึ่งในรูปที่ 2.48 คือแบบ Brandt Double Zone มีการทำงานคล้ายชนิด Downdraft ในส่วน Oxidation Zone โดยมีรูอากาศเข้ารอบแกนกลางซึ่งเป็นท่อการเผาไหม้เริ่มจากบริเวณนี้ลงด้านล่าง และวกขึ้นในท่อที่เป็นแกนกลางซึ่งบรรจุถ่านไม้เอาไว้เป็นส่วนของ Reduction Zone เหมือนเตาชนิด Updraft ซึ่งมีความยาวของส่วนนี้มากเพื่อเพิ่มปริมาณของ CO แก๊สจะออกส่วนบนสุดของเตา

รูปที่ 2.50, 2.51 และตารางที่ 2.5 เป็นรูปลักษณะหรือมระยต่าง ๆ ของเตาแบบ Swedish Downdraft ซึ่งใช้งานได้ดี และ University of California, Davis (UCD) ใช้เป็นแบบอย่างในการพัฒนาและใช้ทดสอบในห้องปฏิบัติการ มีการเปลี่ยนคอคอดมาเป็น Choke Plate ตามรูปที่ 2.49

แก๊สที่ผลิตได้จากเตาผลิตแก๊สชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีส่วนประกอบไม่เท่ากันจะให้ค่าความร้อนมากน้อยต่างกันไป U.S.Bureau of Mines ประมาณค่าความร้อนจำเพาะของแก๊สเฉลี่ยจาก Downdraft และ Updraft ไว้ประมาณ  $4.85 \text{ MJ/Nm}^3$  และ  $5.95 \text{ MJ/Nm}^3$  ตามลำดับ สำหรับส่วนประกอบของแก๊สในเตาทั้งสามชนิด แสดงไว้ในตารางที่ 2.6 และ 2.7



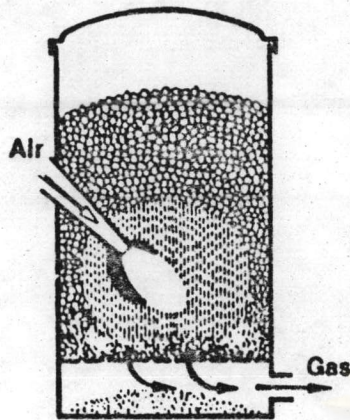


Figure 2.47 Combination of Downdraft and Crossdraft Gas Producer (35)

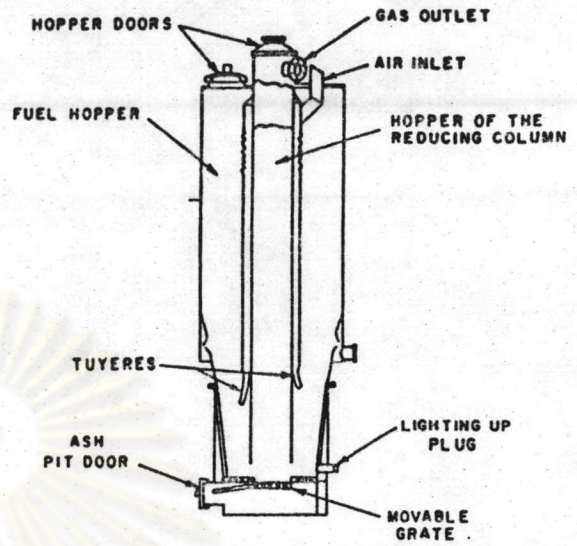


Figure 2.48 Brandt Double Zone Gas Producer

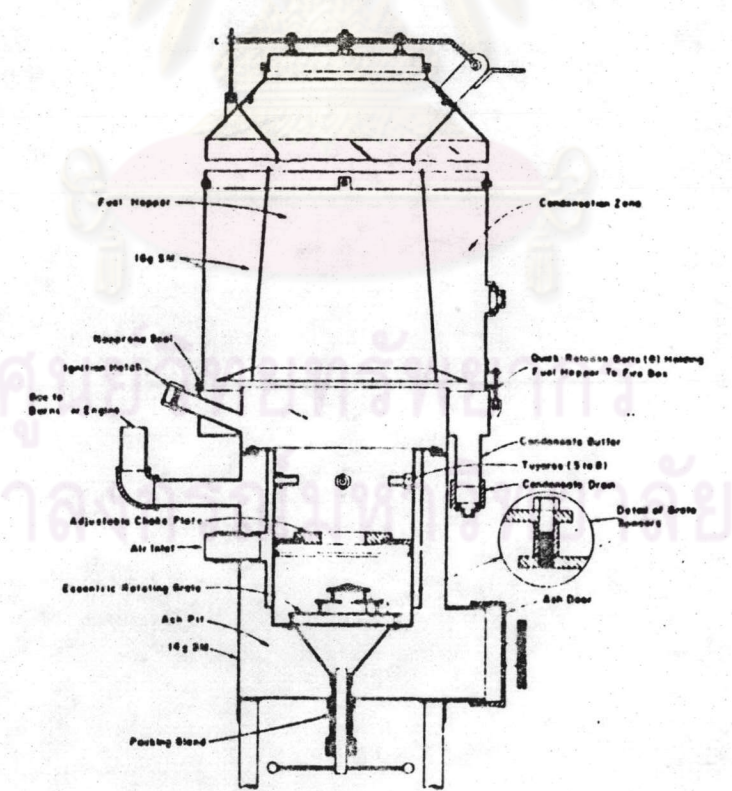


Figure 2.49 UCD Laboratory Gas Producer (15)



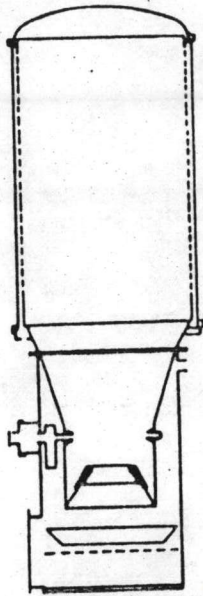


Figure 2.50 Swedish Downdraft Gas Producer (29)

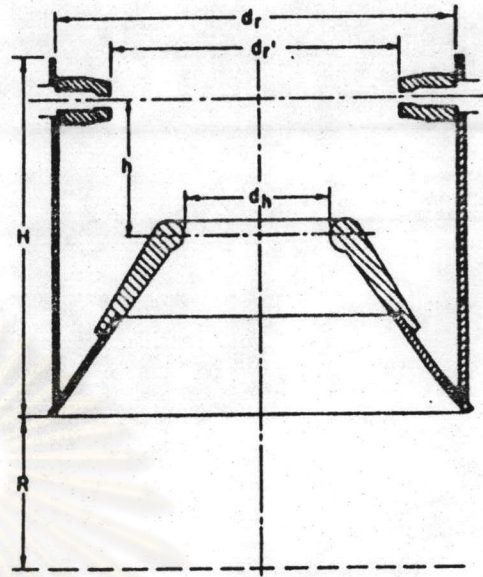


Figure 2.51 Dimensions for Downdraft Gas Producer with Wall Tuyeres (29)

Table 2.5 Dimensions for Swedish Downdraft Gas Producers (29)

$d_r/d_h$	$d_h$ mm	$d_r$ mm	$d_r'$ mm	$h$ mm	$H$ mm	$R$ mm	$A$ no.	$d_m$ mm	$\frac{A_m \times 100}{A_h}$	$\frac{d_r}{d_h}$	$\frac{h}{d_h}$	Range of gas output		Maximum wood consumption kg/h	Air blast velocity $v_m$ m/s
												max. $Nm^3/h$	min. $Nm^3/h$		
268/60	60	268	150	80	256	100	5	7.5	7.8	4.5	1.33	30	4	14	22.4
268/80	80	268	176	95	256	100	5	9	6.4	3.3	1.19	44	5	21	23.0
268/100	100	268	202	100	256	100	5	10.5	5.5	2.7	1.00	63	8	30	24.2
268/120	120	268	216	110	256	100	5	12	5.0	2.2	0.92	90	12	42	26.0
300/100	100	300	208	100	275	115	5	10.5	5.5	3.0	1.00	77	10	36	29.4
300/115	115	300	228	105	275	115	5	11.5	5.0	2.6	0.92	95	12	45	30.3
300/130	130	300	248	110	275	115	5	12.5	4.6	2.3	0.85	115	15	55	31.5
300/150	150	300	258	120	275	115	5	14	4.4	2.0	0.80	140	18	67	30.0
400/130	130	400	258	110	370	155	7	10.5	4.6	3.1	0.85	120	17	57	32.6
400/150	135	400	258	120	370	155	7	12	4.5	2.7	0.80	150	21	71	32.6
400/175	175	400	308	130	370	155	7	13.5	4.2	2.3	0.74	190	26	90	31.4
400/200	200	400	318	145	370	153	7	16	3.9	2.0	0.73	230	33	110	31.2

$d_m$  = inner diameter of the tuyere

$A_m$  = sum of cross sectional areas of the air jet openings in the tuyeres

$A_h$  = cross sectional area of the throat

$A$  = number of tuyeres.



Table 2.6 Gas Quality Versus Downdraft and Updraft Gas Producer for

Charcoal and Anthracite Fuel (14)

	<u>CO</u>	<u>H<sub>2</sub></u>	<u>CH<sub>4</sub></u>	<u>CO<sub>2</sub></u>	<u>O<sub>2</sub></u>	<u>N<sub>2</sub></u>
Charcoal						
Updraft	30.8	12	0	3.6	0.4	53.5
Downdraft	23	14	0.9	7.0	0.2	54.9
Anthracite						
Updraft	29.3	6.8	1.6	1.4	0.3	60.6
Downdraft	22	12.0	1.1	6.0	1.0	57.9

Table 2.7 Gas Quality Versus Updraft and Crossdraft Gas Producers for

Four Different Coal Fuel (27)

- No. 1 — Updraft producer dry gasification  
 No. 2 — Updraft producer wet gasification  
 No. 3 — Crossdraft producer dry gasification  
 No. 4 — Crossdraft producer dry gasification

## Fuel Analysis, Percent Weight

	No. 1.	No. 2.	No. 3.	No. 4.
Moisture	2.1	5.0	2.67	4
Ash	7.9	3.5	6.31	4
Volatile matter	9.6	5.5	6.25	6
Carbon	80.4	86.5	84.77	86.2
Sulphur	—	—	—	0.5-0.8
Water to coal ratio	15-40 % weight			
Water decomposed	80-85 % weight			

## Gas Analysis, Percent Volume

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
CO <sub>2</sub>	0.6	1.6	1.7	1.0
CO	24.4	29.0	29.3	30.5
H <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub>	13.1	15.0	9.2	8.0
O <sub>2</sub>	0.6	0.5	—	0.5
N <sub>2</sub>	61.3	48.5	59.8	59.0
Heating value MJ/Nm <sup>3</sup>	5.3	5.9	5.2	5.2
Percent combustible gas	37.5	44.0	38.5	38.5



## 2.4 เชื้อเพลิงที่ใช้กับเตาผลิตแก๊ส

เชื้อเพลิงที่ใช้กับเตาผลิตแก๊สที่คุณสมบัติต่าง ๆ ซึ่งเหมาะสมกับเตาผลิตแก๊สแต่ละชนิดและ การใช้งานแต่ละอย่างแตกต่างกันไป กล่าวคือถ้าใช้แก๊สที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์สันดาปภายในแล้ว ต้องมี Tar ดำ, เถ้าเล็กน้อย ส่วนถ้าใช้กับ Burners แล้วก็ไม่น่าจะเป็นนัก คุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ใช้ กับเตาผลิตแก๊สแบ่งโดยทั่วไปได้ 7 อย่างคือ

1. ค่าความร้อนจำเพาะ
2. ความชื้นในเชื้อเพลิง
3. ขนาดและรูปทรง
4. ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (Bulk Density)
5. สาร Volatile ที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง
6. ปริมาณของ เถ้าและส่วนประกอบของเถ้า
7. ส่วนประกอบโดยคร่าว ๆ ของเชื้อเพลิง

พลังงานของเชื้อเพลิงต่อหน่วยน้ำหนัก ถ้าเชื้อเพลิงที่ดีต้องให้พลังงานออกมาต่อหน่วยน้ำหนัก ไม่ต่ำจนเกินไป ค่าความร้อนและความชื้นที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2.8 , 2.9

ความชื้นในเชื้อเพลิง ตามปกติแล้วเชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นของแข็งจะมีความชื้นอยู่ไม่มาก ก็น้อย ซึ่งจะช่วยให้ในการทำปฏิกิริยาเกิดไฮโดรเจนแต่ถ้ามากเกินไปจะทำให้สูญเสียความร้อนภายใน เตาเพื่อการระเหยของน้ำและปฏิกิริยาที่เกิด CO จะลดลง จากการทดสอบของ UCD แนะนำไว้ว่า เชื้อเพลิงที่จะใช้ผลิตแก๊สในเตาไม่ควรมีความชื้นเกิน 20% โดยน้ำหนัก ปริมาณของความชื้นในเชื้อเพลิง โดยคร่าว ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2.8, 2.9 ถ้าเกินกว่า 20% แล้วควรจะมีการตากแดดหรืออบแห้งให้ ความชื้นน้อยกว่า 20% ก่อนนำไปใช้งาน

ขนาดและรูปทรงของเชื้อเพลิง โดยปกติแล้วจะมีขนาดเล็กความกว้าง ยาว สูงไม่แตกต่างกันมาก กล่าวคืออาจเป็นลูกบาศก์, ทรงกลม, มน, กระบอก ฯลฯ เพื่อที่จะช่วยให้อัตราการเผาไหม้ เร็วขึ้น (ได้กล่าวมาแล้วในบท 2.2) ซึ่งจะช่วยให้การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงได้มาก แต่ก็ต้องไม่เล็กมาก จนทำให้อัดแน่นเกินไปจนเกิด Pressure Loss ภายในเตาสูง หรือเชื้อเพลิงหลุดลอดตะแกรงออกไป โดยไม่เผาไหม้ให้เกิดประโยชน์เลย ตารางที่ 2.10 และรูปที่ 2.52 เป็นขนาดโดยประมาณที่เหมาะสม ซึ่งได้จากการทดสอบในการใช้งานจริง



Table 2.8 Moisture Content and Heating Values of Fossil Fuel (1)

Fuel	Moisture Content % Wet Weight	Average Higher Heating Value MJ/kg Dry Basis	Reference
Coal, air dried			19
Lignite	45	19.7	19
Subbituminous C	30	22.1	19
Subbituminous B	25	25.6	19
Subbituminous A	17	30.2	19
High Volatile C bituminous	17	30.2	19
High Volatile B bituminous	10	32.6	19
High Volatile A bituminous	4	33.7	19
Medium Volatile bituminous	5	34.8	19
Low Volatile bituminous	4	36	19
Semi Anthracite	3	34.9	19
Anthracite	3	33.7	19
Meta Anthracite	5	31.4	19
Bituminous Coal Char	—	28.1	32
Peat (Finland), average	40-70	22.5	12
Milled Peat, 40%-50% moisture, dry basis	—	7.5-12*	12
Sod Peat 30%-40% moisture, dry basis	—	11-14*	12
Peat briquettes 10%-15% moisture, dry basis	—	17-18.5*	12
Peat pellets 10%-20% moisture, dry basis	—	16.8-18.9*	12
30%-40% moisture, dry basis	—	12.6-14.7*	12
Gasoline	—	43.6	26
Diesel Oil	—	45	26

\*Wet basis, Net Heating Value.

Table 2.9 Moisture Content and Heating Values of Non Fossil Fuel (1)

Fuel	Moisture Content % Wet Weight	Average Higher Heating Value MJ/kg Dry Basis	Reference
Alfalfa seed straw, air dried	8	18.4	22
Almond shell, air dried	7	19.4	22
Barley straw	8-20	17.3	22
Bean straw	8-20	16.8	22
Beef cattle manure	—	14.6	26
Coffee hulls	70	28.8	5,
Corn cobs	8-20	18.9	22
Corn stalks	8-20	18.3	22
Cotton gin trash	20	16.4	22
Cotton stalks	25-45	15.8	26
Flax straw, collected off ground	—	20	5
Furfural Residue	50	20	22
Olive pits, air dried	10	21.4	5
Peanut husks, air dried	—	19.7	22
Peach pits, air dried	11	23	22
Prune pits, air dried	8	23.3	22
Rice hulls	—	15	22
Sunflower hulls, oil type	—	20	26
Sunflower stalks, grown in greenhouse	—	21	26
Screened composted sewage sludge, 22% inorganic	—	9.9	26
Sewage sludge and wood chips, composted, 14% inorganic	—	15.2	26
Safflower straw cubes	9	19.5	22
Walnut shell (cracked)	7-10	21.1	22
Walnut shell (6 mm pellet)	7-10	20.4	22
Walnut hull	25-45	—	15
Wheat straw with 50% corn stalks	8-20	16.9	23
Wheat straw, collected behind a combine	—	18.9	5
Wood average	—	20	11
Pine bark	40-60	21	5
Pine, freshly felled	40	19.9	5
Fir, freshly felled	37	11.4*	5
Fir, seasoned	15-20	14.9*	5
Fir, kiln dried	8	17.8*	5
Beech, freshly felled	40	19	11
Birch, freshly felled	31	19	11
Oak, freshly felled	35	18.3	11
Wood Charcoal — mixed forest wood,	—	—	14
Keyna native burned	—	31.3	14
Yarura wood British Guiana	—	30.1	14
English mixed hard wood, stationary retort	—	32.2	40
Japanese hard wood	—	31.9	40
Japanese Palm nut	—	32	40
Wood charcoal, average	2-10	29	14

\*Wet basis, Net heating value



Table 2.10 Recommended Fuel Size for small Gas Producers (20-100 hp.)

Plant	Fuel	Size mm	Reference
Malbay	low temperature coke, anthracite	10-25	14
Wisco	charcoal, peat coke	20-40	14
	low temperature coke	15	14
Gohin Poulence	charcoal	15-22	14
	anthracite	5-15	
Brandt	wood	80x40x40	14
Koela	charcoal	10-20	14
	low temperature coke	10-15	14
	anthracite	5-10	14
UCD Laboratory Gas Producer	wood	20-40 cubes	22
	hard durable cubes of corn stalks, alfalfa and cereal straw	30x30x50	22
	hard durable rice hull pellets	larger 10	22
	hammermilled corn cobs	40	22
	fruit pits	15-30	25
Imbert	wood, birch	60-80 length 50-60 diameter	14
	oak	20x40 60	14
Swedish Gas Producers 1939-45	sawed and split fire wood,		
	thick blocks	8 cm x 25 cm <sup>2</sup>	3
	thin blocks	6 cm x 20 cm	3
	cylinders	8-9 cm, 25-75 dia.	3
	sticks	6 cm, 25-50 dia.	3
	charcoal, coarse grade	10-60	3
	charcoal, fine grade	10-30	3
		no more than 10%, may be of 10-20	3
British Government Regulations	fine grade wood	length 20-50 largest <sup>2</sup> cross section, 25 cm	
	coarse grade wood	length 30-80, largest <sup>2</sup> cross section, 30 cm	

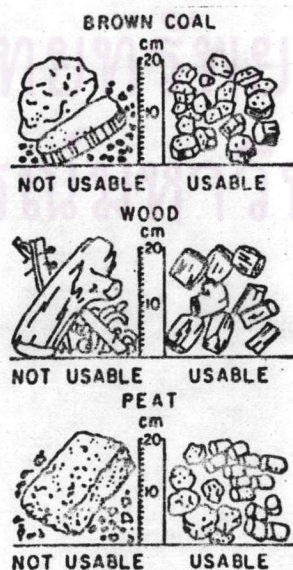


Figure 2.52 Desired Grading of Gas Producer Fuel (3)



ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (Bulk Density) คือความหนาแน่นของเชื้อเพลิงโดยใช้เชื้อเพลิงที่มีขนาดและรูปร่างที่ใช้งานในสถานะวัดหาปริมาณรวมของภาชนะออกมาว่าเชื้อเพลิงหนักเท่าไรต่อหน่วยปริมาตรรวม ซึ่งไม่ควรต่ำเกินไป เพราะจะทำให้ภาชนะส่วนบรรจุเชื้อเพลิงใหญ่เกินไปหรือใช้งานได้ไม่นานก็ต้องเติมเชื้อเพลิงใหม่ ค่า Bulk Density ที่เหมาะสมแสดงไว้ในตารางที่ 2.11

Table 2.11 Bulk Density of Various Fuels

Fuel	Grading	Bulk Density kg/m <sup>3</sup>	Reference
Saw dust	loose	177	32
Saw dust	briquets 100 mm long 75 mm diameter	555	32
Peat	dust	350-440	32
	briquets 45x65x60 mm	550-620	32
	hand cut	180-400	32
Charcoal (10% moisture)	beech	210-230	3
	birch	180-200	3
	softwood blocks	150-170	3
	softwood slabs	130-150	3
	mixed 60% hard/40% soft	170-190	3
Wood	sizes as in Table 16		
	hardwood	330	3
	softwood	250	3
Straw	loose	80	—
	bales	320	—
Alfalfa seed straw	cube 30x30x50 mm, 7% moisture	298	22
Barley straw	cube 30x30x50 mm, 7% moisture	300	22
Bean straw	cube 30x30x50 mm, 7% moisture	440	22
Corn cobs	11% moisture	304	22
Corn stalks	cube 30x30x50 mm	391	22
Cotton gin trash	23% moisture	343	22
Peach pits	11% moisture	474	22
Olive pits	10% moisture	567	22
Prune pits	8% moisture	514	22
Rice hulls	cube 30x30x50 mm	679	22
Safflower straw	cube 30x30x50 mm	203	22
Walnut shells	cracked	336	22
	8 mm pellets	599	22
Wood, blocks chips	17% moisture	256	22
	10% moisture	167	22
Coal	anthracite	830-900	32
	bituminous	770-930	32
Coke	hard	380-530	32
	soft	360-470	32
Brown coal	air dry lumps	650-780	32

สาร Volatile ที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิด Tar และไฮโดรคาร์บอนในแก๊สจากเตา จำนวนสาร Volatile ในเชื้อเพลิงแต่ละชนิดแสดงไว้ในตารางที่ 2.12

เถ้าและสารประกอบของเถ้า ถ้ามีปริมาณของเถ้ามากจะทำให้เกิดการสะสมภายในส่วนที่เผาไหม้และขบวนการเผาไหม้ทำให้ Pressure Loss สูงขึ้นภายในเตาผลิตแก๊ส สารประกอบของเถ้ามีหลายชนิดและบางตัวสามารถหลอมกลายเป็นของเหลวรวมกัน เป็นก้อนได้ที่อุณหภูมิต่ำ ถ้า



มีสารประกอบชนิดที่มีจุดหลอมเหลวต่ำอยู่มากก็จะเกิดการรวมตัวของ เถ้าที่หลอมและแข็งจับกัน เป็นก้อน  
 โดในบริเวณที่อุณหภูมิไม่ร้อนจัด เรียกว่า Clinker ซึ่งเป็นอุปสรรคในการเผาไหม้และการตกของ  
 เชื้อเพลิง โดยปกติแล้วปริมาณของเถ้าในเชื้อเพลิงไม่ควรเกิน 5%-6% โดยน้ำหนัก(1) ปริมาณและ  
 สารประกอบของเถ้าในเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2.13, 2.15 สำหรับ จุดหลอมตัว  
 และจุดเดือดของสารประกอบของเถ้าแสดงไว้ในตารางที่ 2.14

Table 2.12 Volatile Matter of Fuels for Gasification

<u>Fuel</u>	<u>Volatile Matter % Weight</u>	<u>Reference</u>
Crop residues	63-80	22
Wood	72-78	22
Peat	70	12
Coal		
lignite	40	19
subbituminous A,B,C	45	19
high volatile bituminous	40-45	19
low volatile bituminous	20-30	19
semianthracite	8	19
anthracite	5	19
meta anthracite	1-3	19
Charcoal	3-30 and over, depends strongly on manufacture	14

Table 2.13 Ash Content of Major Fuels (19,22,26)

<u>Fuel</u>	<u>% weight ash, dry basis</u>	<u>Fuel</u>	<u>% weight ash, dry basis</u>
Alfalfa seed straw, cubed	6.0	Municipal tree prunings	3.0
Almond shell	4.8	Olive pits	3.2
Barley straw mix	10.3	Peach pits	0.9
Bean straw	10.2	Peanut husks	1.5
Charcoal	2-5	Peat (average)	1.6
Coffee hulls	1.3	Douglas fir wood blocks	0.2
Coal	5-17	Prune pits	0.5
Corn cobs	1.5	Refuse derived fuel	10.4
Corn stalks	6.4	Rice hulls	16-23
Cotton gin trash	17.6	Safflower straw	6.0
Cubed cotton stalks	17.2	1/4" pelleted walnut shell mix	5.8
Pelleted rice hulls	14.9	Walnut shell (cracked)	1.1
Furfural residue	12	Wheat straw and corn stalks	7.4
Hogged wood manufac- turing residue	0.3	Whole log wood chips	0.1



Table 2.14 Flow and Boiling Temperatures of Common Ash Constituents (1)

Mineral	Flow temperature °C	Boiling temperature °C
SiO <sub>2</sub>	1460-1723	2230
CaO	2570	2850
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1560	—
Metallic Fe	1535	—
FeO	1420	—
MgO	2800	3600
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2050	2210
MgO • Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2135	—
MgO • Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , forms above 700 °C	1750	—
CaO • Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , forms above 600 °C	1250	—
3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> • 2 SiO <sub>2</sub>	1930	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> • SiO <sub>2</sub> , converts into		
3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> • 2 SiO <sub>2</sub> above 1550 °C	1930	—
NaCl	800	1465
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	884	—
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	401	—
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	920	—
KCl	790	1405 (1500)
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1096 (588 transition)	—
K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	larger 300	—
K <sub>2</sub> S <sub>5</sub>	206	—
CaCl <sub>2</sub>	765	1600
CaSO <sub>4</sub>	1450	—
MgSO <sub>4</sub>	1127	—
Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	480	—
FeS	1195	—
FeS <sub>2</sub>	1171	—
SiS	—	940
SiS <sub>2</sub>	1090	—
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	770	—
Al <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	1100	—
P <sub>4</sub> S <sub>10</sub>	290	514
P <sub>4</sub> S <sub>3</sub>	172	407



Table 2.15 Mineral Oxide in Coal and Biomass Ash (19, 22)

Coal	% SiO <sub>2</sub>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% TiO <sub>2</sub>	% CaO	% MgO	% Na <sub>2</sub> O	% K <sub>2</sub> O	% SO <sub>3</sub>	% CL
Anthracite	48-68	25-44	2-10	1.0- 2	0.2- 4	0.2- 1	—	—	0.1- 1	—
Bituminous	7-68	4-39	2-44	0.5- 4	0.7-36	0.1- 4	0.2- 3	0.2- 4	0.1-32	—
Subbituminous	17-58	4-35	3-19	0.6- 2	2.2-52	0.5- 8	—	—	3.0-16	—
Lignite	6-40	4-26	1-34	0.0-08	12.4-52	2.8-14	0.2-28	0.1-1.3	8.3-32	—
<b>Biomass</b>										
Wheat straw	56.8	—	0.5	—	5.8	2.0	6.0	14.8	7.6	5.0
Corn stover	18.6	—	1.5	—	13.5	2.9	13.3	26.4	8.8	0.9
Rice straw	78.46	1.38	0.14	0.1	2.2	3.03	1.79	9.93	0.34	—
Residue derived fuel	31	27	4	6.0	6	1	7	6	—	—
Rice hulls	90-97	—	0.4	—	0.2-1.5	0.1-2	0-1.75	0.6-1.6	0.1-1.13	0.15-0.4
Wood	0.09-?	1-75	0.5-3.3	—	10-60	1.4-17	under 10	1.5-41	—	—

The list indicates the wide range of possible ash compositions for various coal and biomass fuels. Knowing the ash composition is especially important for high ash fuels, since any clinker formation will quickly obstruct the gas and fuel flow and stop operation. High ash fuels combined with low ash melting point are the most difficult to gasify, due to the poor gas quality one obtains at fire zone temperatures below 1,000 °C.

ปริมาณคร่าว ๆ ของสารประกอบในเชื้อเพลิง ปกติแล้วจะคิดว่ามีสาร C-H-O เท่านั้น

ในชีวมวลที่เป็นของแข็ง ซึ่งมีปริมาณของแต่ละตัวแตกต่างกันไปในเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ถ้ามีคาร์บอนมากเชื้อเพลิงนั้นจะให้พลังงานความร้อนต่อหน่วยน้ำหนักได้สูง ปริมาณโดยคร่าว ๆ ของสารประกอบ C-H-O ในเชื้อเพลิงแต่ละชนิดแสดงไว้ในรูปที่ 2.53, 2.54

## 2.5 ระบบปรับปรุงคุณภาพแก๊สทางฟิสิกส์ก่อนใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายใน

แก๊ส เชื้อเพลิงที่ออกมาจากเตาผลิตแก๊สจะมีส่วนผสมของ N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> และไฮโดรคาร์บอนอื่น ๆ อีกเล็กน้อยเช่น C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> อีกทั้งยังมีไอระเหยของ Tar, Mineral Vapor, ไขมัน, ผงถ่าน, เถ้า, สารประกอบของซัลเฟอร์และไนโตรเจน ส่วนประกอบเหล่านี้ที่เป็นเชื้อเพลิงได้คือ CO, H<sub>2</sub>, ไฮโดรคาร์บอน, ไอระเหยของ Tar ส่วนแก๊สอย่างอื่นเป็นเพียงแก๊สเฉื่อย สำหรับ Tar, ผงถ่าน, เถ้า จะทำให้เกิดการเสียดสีและสึกหรอ ในกระบอกสูบ ส่วนสารประกอบของซัลเฟอร์และไนโตรเจน ซึ่งละลายน้ำได้มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนจะกัดกร่อน เครื่องยนต์ สารที่จะก่อให้เกิดผลเสียหายกับเครื่องยนต์เหล่านี้จะต้องกำจัดออก อีกทั้งอุณหภูมิของแก๊สที่สูงเมื่อออกมาต้องทำให้เย็นลงเพื่อเพิ่ม Volumetric Efficiency ของเครื่องยนต์ด้วย



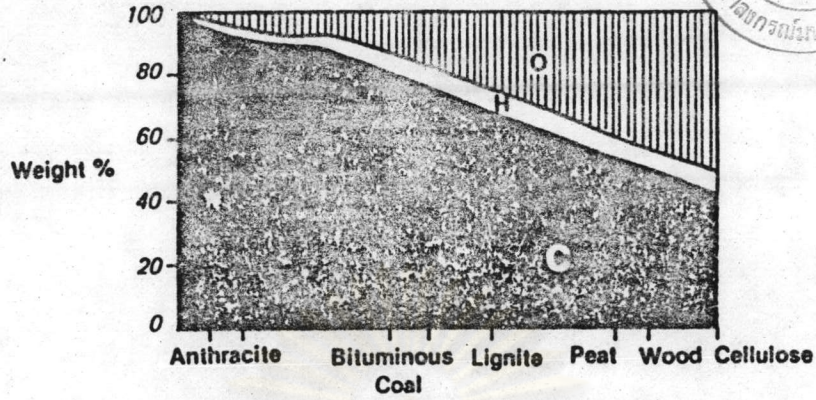


Figure 2.53 Ultimate Analysis of Wood and Coal (35)

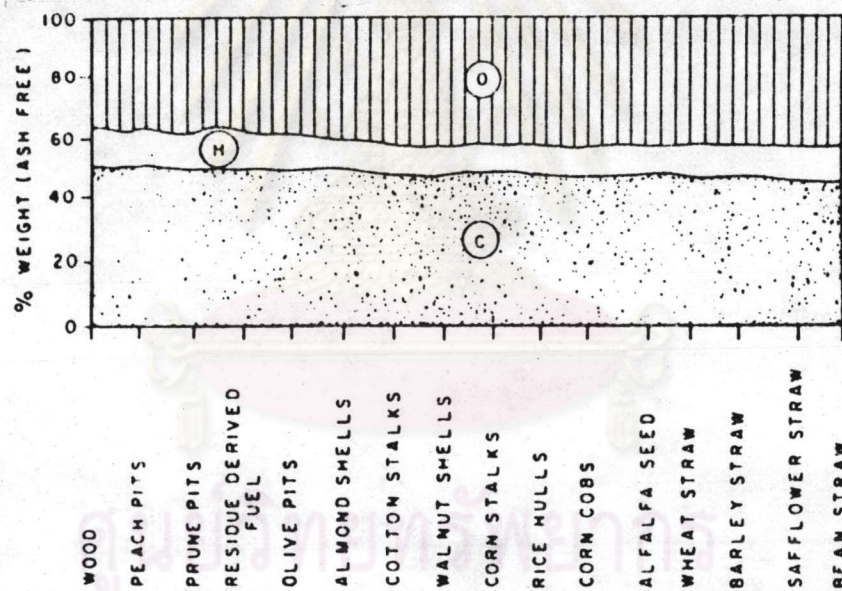


Figure 2.54 Ultimate Analysis of Biomass Fuel Tested at the University of California, Davis

การที่จะกำจัด เอาก๊าซ แฉะออกจากแก๊สที่ได้จากเตาผลิตจะทำได้ยากและไม่คุ้มกับที่ลงทุน ดังนั้นการปรับคุณภาพของแก๊สจะทำได้ก็เพียงกำจัด Tar เถ้า, ผงถ่าน, และทำให้แก๊สเย็นลง จากการทดสอบพบว่า Tar จะมากขึ้นกับจำนวนของสาร Volatile ในไม้ ส่วนผงถ่านและเถ้า นอกจากขึ้นอยู่กับชนิดของ เชื้อเพลิงแล้วยังขึ้นกับปริมาณแก๊สที่ผลิตได้ด้วยดังจะเห็นได้ในรูปที่ 2.55 ส่วนอุณหภูมิของแก๊สที่ออกมาจาก เตาจะสูงขึ้นตามปริมาณของแก๊สที่ผลิตได้และขึ้นกับชนิดและรูปร่าง



ของห้องเผาไหม้ภายในเตา ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2.๕๖ และรูปที่ 2.56 รูปที่ 2.57 เป็นการ  
แสดงจำนวน Tar ที่เกิดขึ้นเมื่อจำนวนสาร Volatile ในเชื้อเพลิงเปลี่ยนไป

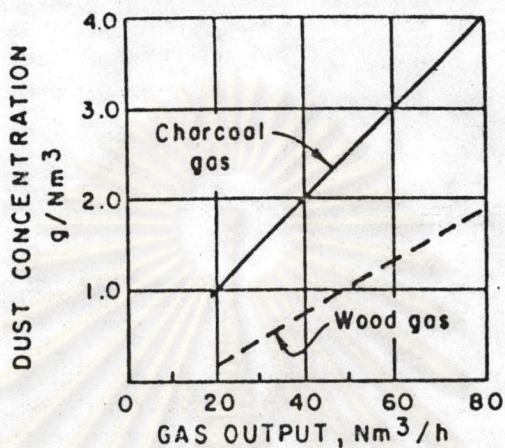


Figure 2.55 Dust Concentration as a Function of the Fuel (3)

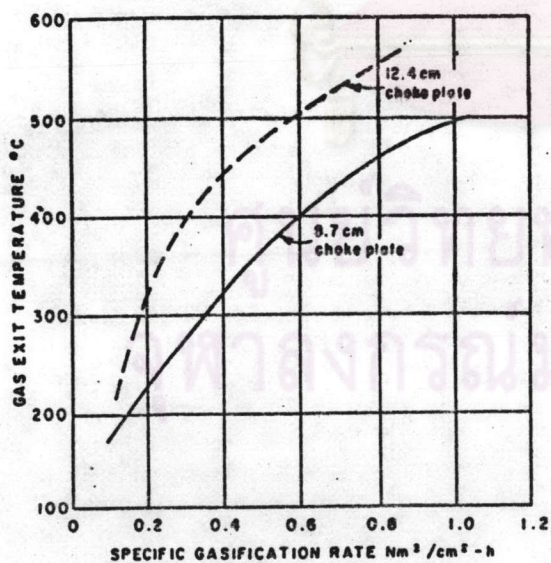


Figure 2.56 Exit Gas Temperature Versus Specific Gasification Rate (29)

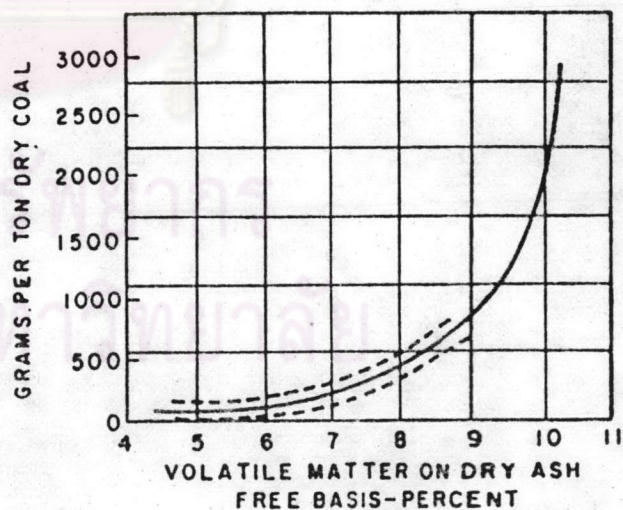


Figure 2.57 Potential Tar Versus Volatile Matter (21)



Table 2.16 Gas Temperature at Outlet for Various Gas Producers

	Temperature at Producer Outlet in °C	Fuel Used	Reference
Malbay updraft	180-220	charcoal	14
Malbay updraft	150-160	low temperature coke	14
Malbay updraft	160-175	anthracite	14
Wisco updraft	400	charcoal	14
Humboldt Deutz updraft	280-300	anthracite, charcoal	14
Koela	180-230	anthracite, charcoal	14
Mie University updraft gas producer	20-80	wood charcoal, palm nut charcoal, anthracite	41
Modified Imbert downdraft (Swedish design)	200-580 depending on specific gasification rate	peat briquettes, wood chips, charcoal	29
Gohin Poulence crossdraft	400-500	charcoal, low temperature coke, anthracite	14
University of Kentucky updraft gasifier	160-380 depending on depth of fuel bed and fuel	corncoals	30
Purdue University modified Imbert type	275	corncoals	31
UC-Davis Laboratory Downdraft Gas Producer 360,000 kJ/h	220-360	crop residues	22
UC-Davis Civil Engineering downdraft gas producer 600,000 kJ/h	300	paper cubes, solid waste cubes, wood chips	43
UC-Davis Downdraft Pilot Plant 5,000 MJ/h	240-454 depending on moisture content of the fuel	wood chips	

อุปกรณ์ปรับคุณภาพของแก๊สแบบง่าย ๆ มีดังต่อไปนี้

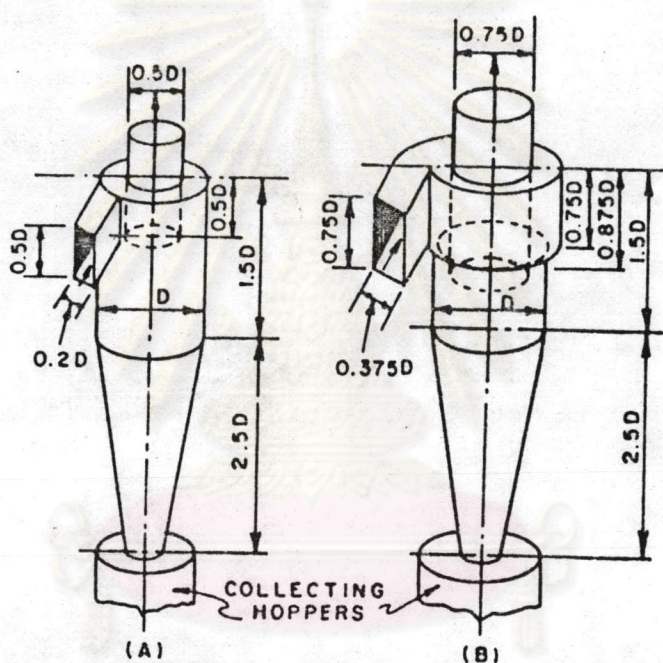
Cyclone Filter เป็นตัวกรองฝุ่นโดยใช้แรงเหวี่ยงจากกระแสลมที่หมุนวนทำ

ให้ฝุ่นถูกเหวี่ยงออกไปรวมอยู่บริเวณรอบนอกและท่อแก๊สออกจะอยู่ตรงกลางซึ่งมีฝุ่นออกไปได้น้อย ฝุ่นส่วนใหญ่จะถูกเหวี่ยงอยู่รอบนอกและตกลงด้านล่างของ Cyclone Filter รูปลักษณะของ Cyclone Filter และประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นแสดงไว้ในรูปที่ 2.58 และ ประสิทธิภาพของ Cyclone Filter จะสูงขึ้นตามความเร็วของแก๊สที่เข้าซึ่งการออกแบบขนาดทางเข้าของแก๊สนี้จะมีความสำคัญมากต้องเลือกขนาดให้เหมาะสมแต่ก็ไม่ควรเล็กมาก เพราะจะเกิด Pressure Loss มากเกินไป เมื่อแก๊สผ่านทางเข้าที่เล็กจะมีความเร็วสูง และขยายตัวทันทีภายใน Cyclone Filter จะทำให้อุณหภูมิลดต่ำลงได้ด้วย



Table 2.17 Efficiency Range of Medium and High Efficiency Cyclones (37)

Particle size (micron)	Medium (collection efficiency in %)	High (collection efficiency in %)
Less than 5	Less than 50	50-80
5-20	50-80	80-95
15-40	80-95	95-99
Greater than 40	95-99	95-99

Figure 2.58 High (A) and Medium (B) Efficiency Cyclone  
(36, 38)

ประสิทธิภาพของ Cyclone Filter จะเพิ่มตามตัวแปรดังต่อไปนี้

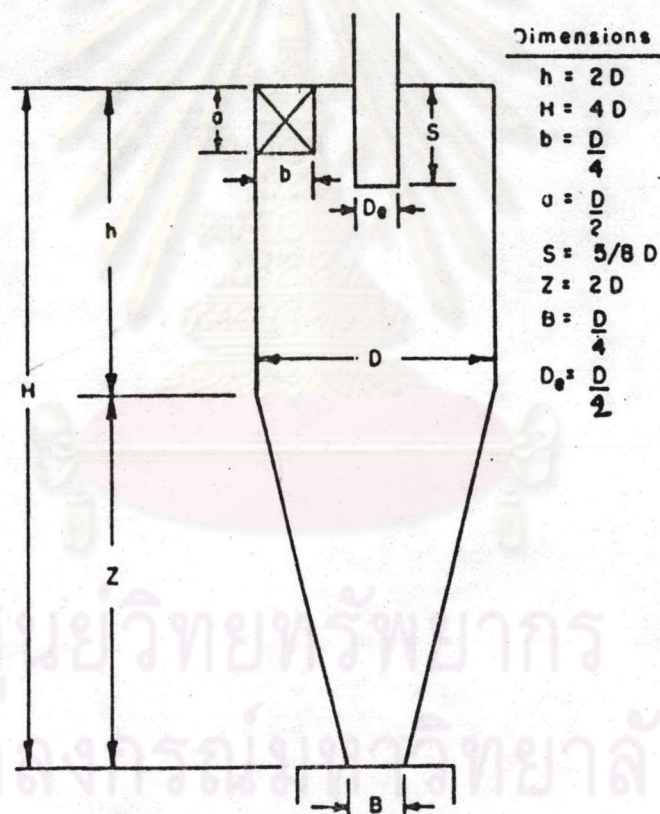
1. ความหนาแน่นของฝุ่น
2. ความเร็วแก๊สที่เข้า Cyclone
3. ความสูงของตัว Cyclone
4. ความเร็วรอบของแก๊สที่หมุนใน Cyclone
5. ขนาดของฝุ่น
6. จำนวนของฝุ่นที่มากับแก๊ส
7. ความเรียบของผิวภายใน Cyclone Filter



ประสิทธิภาพของ Cyclone จะลดลงถ้าตัวแปรดังต่อไปนี้มีความมากขึ้น

1. ความหนืด (Viscosity) ของแก๊ส
2. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของ Cyclone Filter
3. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของทางออกและความกว้างของทางเข้า
4. พื้นที่หน้าตัดของทางเข้า
5. ความหนาแน่นของแก๊ส

จากรูปที่ 2.59 พร้อมทั้งความเร็วต่ำสุดของแก๊สที่ท่อทางเข้าได้กำหนดเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบขนาดของทางเข้าและขนาดของ Cyclone Filter



The conveying velocities in pipes are dependent upon the nature of the contaminant. Recommended minimum gas velocities are

<u>Contaminant</u>	<u>Velocity</u>
Smoke, fumes, very light dust	10 m/s
Dry medium density dust (saw dust, grain)	15 m/s
Heavy dust (metal turnings)	25 m/s

Figure 2.59 Recommended Dimensions for a High Efficiency Cyclone (10)



เครื่องหล่อเย็น มีอยู่ 2 ชนิดคือ ชนิดใช้อากาศและใช้น้ำหล่อเย็น ที่นิยมใช้กันเป็นแบบใช้อากาศโดยทำเป็นท่อเล็ก ๆ หลายท่อรวมกันเพื่อเพิ่มพื้นที่ระบายความร้อน ให้มากขึ้น และรวมกันโดยมีท่อประธานที่ทางเข้าและออกตามรูปที่ 2.60 ส่วนวิธีหล่อเย็นโดยใช้น้ำในลักษณะของ Me at Exc hanger ไม่นิยมใช้กันเพราะจะต้องเสียพลังงานส่วนหนึ่งให้กับปั๊มน้ำที่ใช้หมุนเวียน เพื่อหล่อเย็น

เครื่องกรองแก๊ส ที่ใช้กรองแก๊สจากเตาผลิตแก๊สจะมีทั้งแบบที่ให้แก๊สผ่านของเหลว (Wet Scrubbers) ที่เป็นน้ำหรือน้ำมันหรือทั้ง 2 อย่างผ่านชั้นกรองแห้งที่เป็นผ้า, ฝ้าย, ใยแก้ว ฯลฯ อีกครั้งหนึ่ง หรือผ่านชั้นกรองแห้งเหล่านี้อย่างเดียว หลักการสำคัญในการเลือกใช้เครื่องกรองวิธีใดขึ้นอยู่กับ Pressure Loss ที่เกิดขึ้นระหว่างเครื่องกรอง และจำนวนของฝุ่นที่ออกมาซึ่งโดยปกติแล้วถ้าเป็น Wet Scrubbers จะทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของแก๊สที่ผ่านด้วยในขณะเดียวกัน ชนิดของของเหลวที่ใช้จากการทดสอบพบว่าน้ำมันจะมีคุณภาพในการดักฝุ่นถ่านได้ดีกว่าน้ำ เพราะผงถ่านจะลอยบนน้ำได้เป็นเวลานาน แต่จะจมทันทีเมื่ออยู่ในน้ำมัน (1)

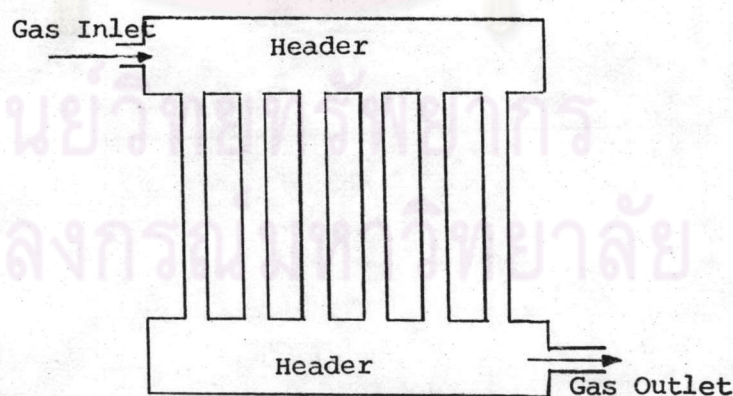


Figure 2.60 Air Cooler



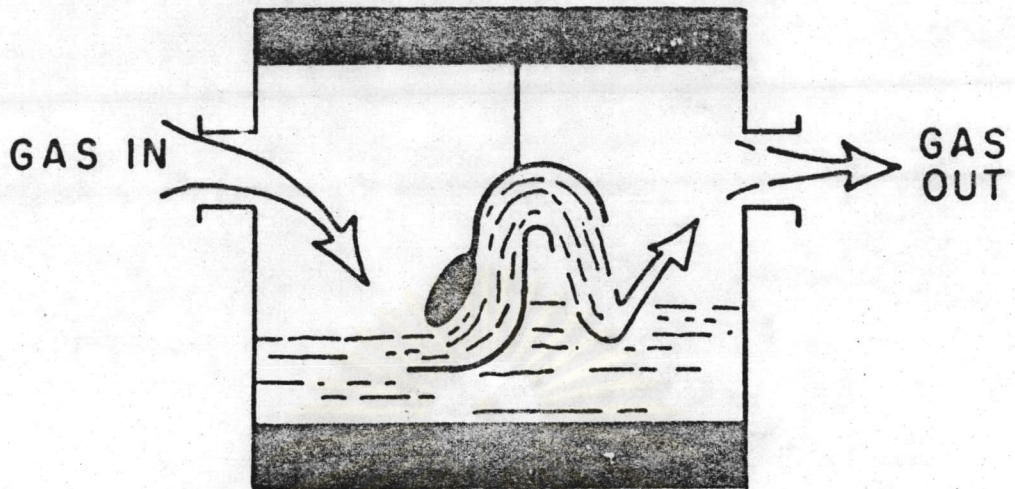


Figure 2.61 Self Induced Spray Scrubber (8)

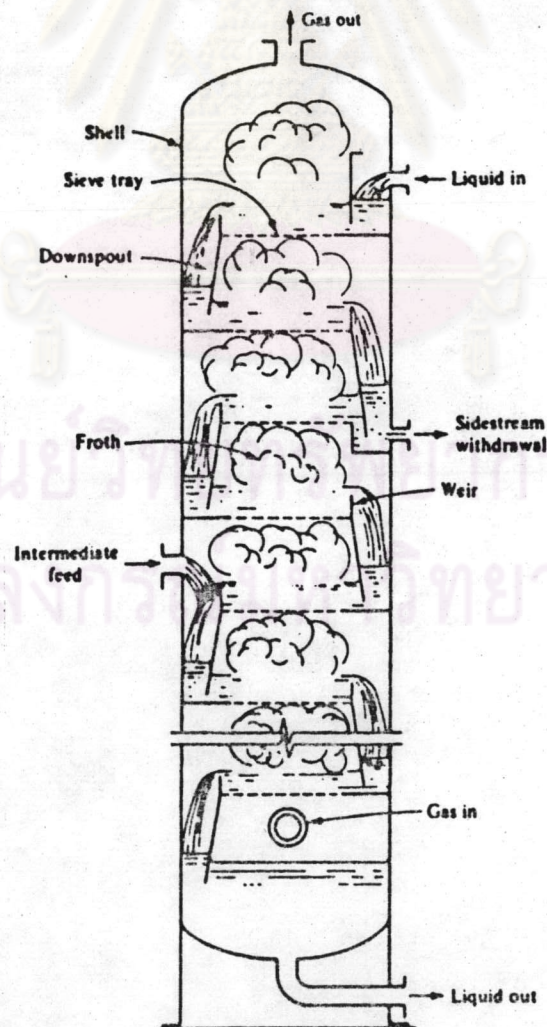


Figure 2.62 Plate Column (42)



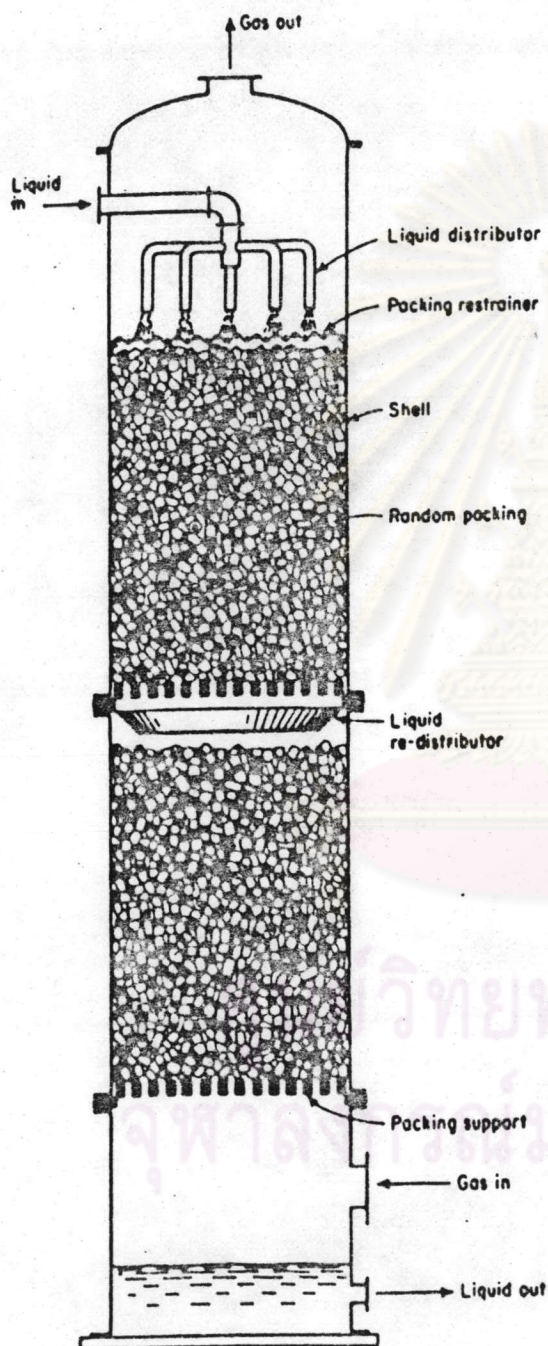


Figure 2.63 Packed Bed Scrubber (42)

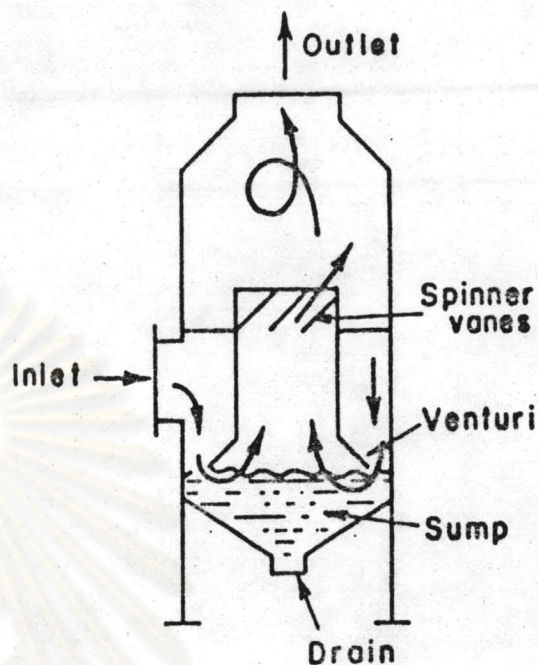


Figure 2.64 Turbulaire Type D Gas Scrubber (Joy Manufacturing Co.,) (8)

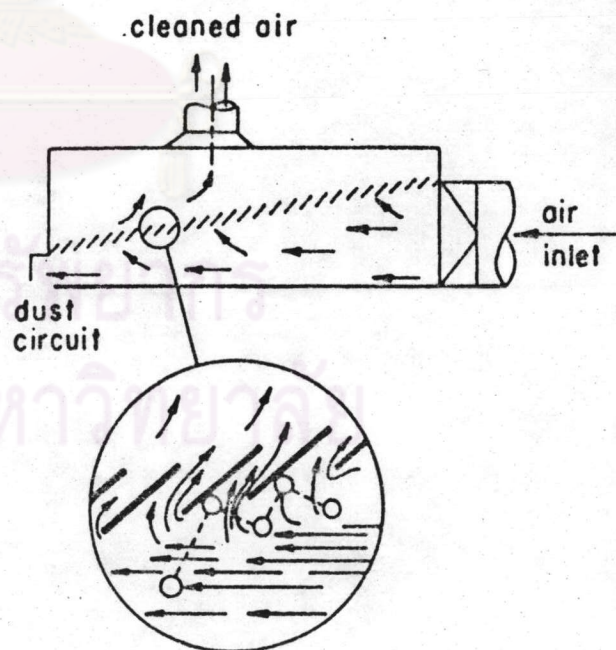


Figure 2.65 Louver Impingement Separator (A.I.H.A. 1968) (8)



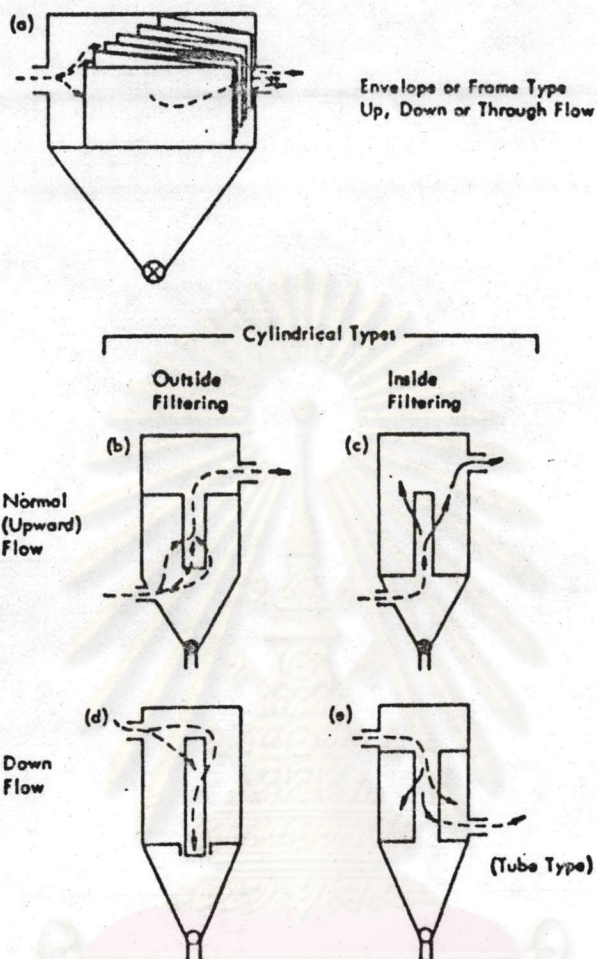
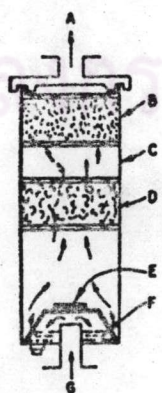


Figure 2.66 Configuration of Fabric Filters (28)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



- A. Gas Exit at 27°C
- B. Cotton Waste
- C. Metal Cylinder
- D. Coal
- E. Lead Weight to hold cone down
- F. Oil bath level
- G. Gas Inlet at 49°C

Figure 2.67 Oil and Fabric Safety Filter (13)



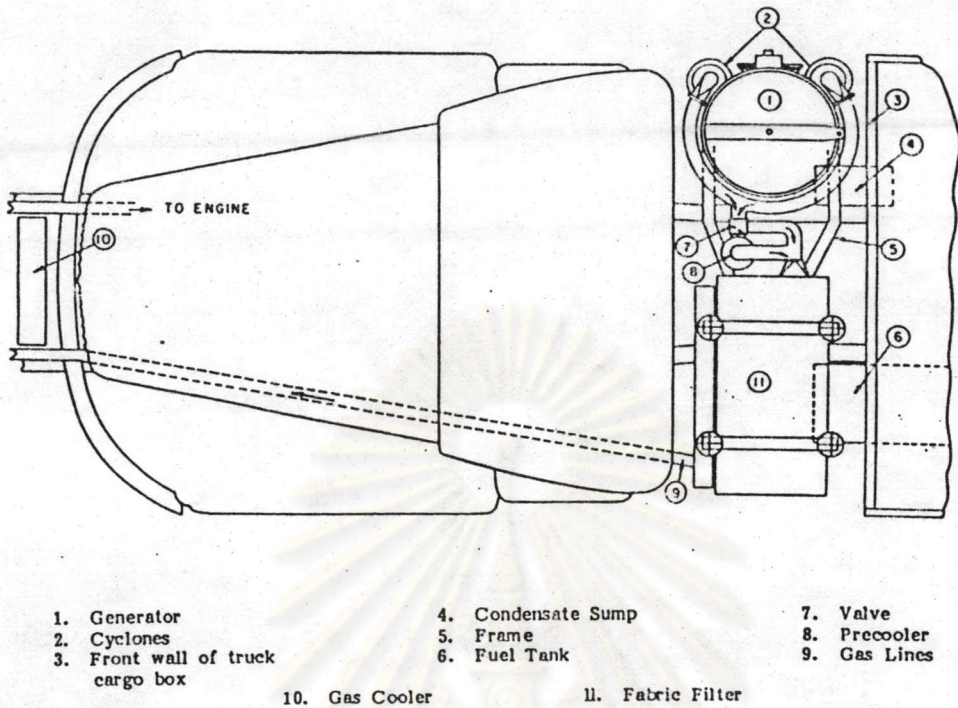


Figure 2.68 Arrangement of the Gas Producer and Clearing System on a Truck (29)

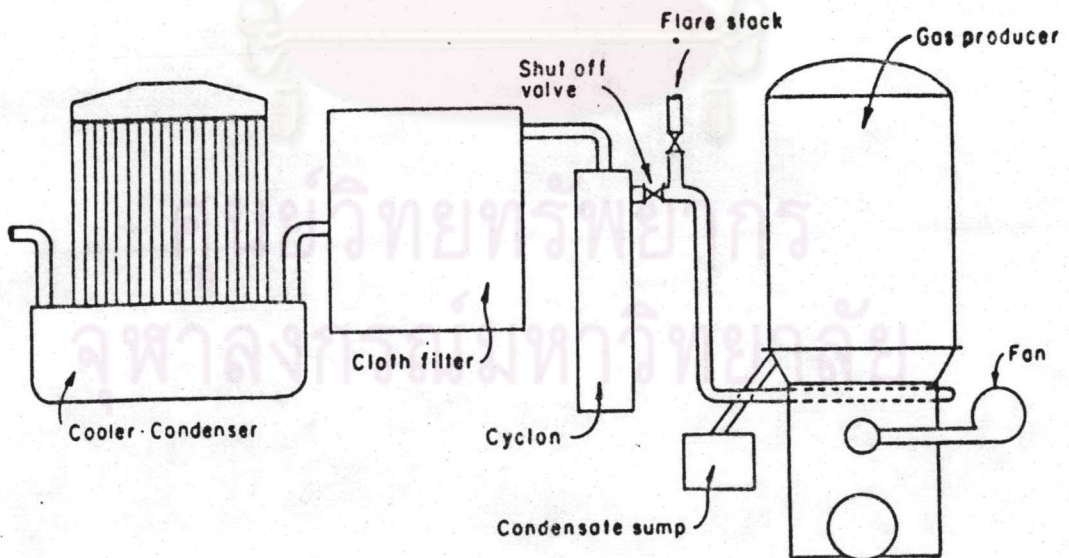


Figure 2.69 Purification System For Tractors (29)