

ความรู้ทั่วไปของ ก๊าซซิเคชั่น

กระบวนการทางด้าน ก๊าซซิเคชั่น ได้มีผู้ศึกษาค้นคว้าและทำการวิจัยมากอาจ จะเรียกได้ว่าการทำวิจัยและทดลองเกี่ยวกับ ก๊าซซิเคชั่น กันทั่วโลกเลยก็ว่าได้ โดยเฉพาะใน ยุโรป เป็นแหล่งที่ริเริ่มและบุกเบิกงานด้านเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง เช่น ในประเทศ อังกฤษ ได้มีการสร้างเครื่องผลิตก๊าซโดยใช้อากาศเผา (Air Gas Generator) มานานกว่า 175 ปีมาแล้ว โดยใช้เตาถลุงเหล็ก (Blast Furnace) เป็นเตาต้นแบบของเตาผลิตก๊าซ ในประเทศเยอรมันนี้ ได้มีการเริ่มพัฒนาเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ในปี ค.ศ. 1920 และใน ประเทศเดนมาร์ค ก็มีการพัฒนาเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแข่งกับประเทศข้างเคียงในปี ค.ศ. 1940 ส่วนในประเทศทางเอเชียก็มี ออสเตรเลีย ญี่ปุ่น ได้พัฒนางานทางด้านเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ด้วย ในประเทศทางทวีปอเมริกา ดูเหมือนการพัฒนาทาง ก๊าซซิเคชั่นค่อนข้างจะล่าช้ากว่าทางยุโรปอยู่มาก โดยเริ่มศึกษาพัฒนาจากงานวิจัยด้านก๊าซซิเคชั่น ของประเทศ เดนมาร์ค และประเทศอื่นๆ ในปี ค.ศ. 1945 (7)

3.1 ประวัติการค้นคว้าและพัฒนาทางด้านก๊าซซิเคชั่น

การค้นคว้าและพัฒนาทางด้านก๊าซซิเคชั่น อาจจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้ดังนี้คือ

3.1.1 การพัฒนาด้านทฤษฎีทางเคมี

3.1.2 การพัฒนาเตาผลิตก๊าซ (Gasifiers) และระบบทำสะอาดก๊าซ

(Gas Cleaning System) รวมทั้งการใช้งานกับเครื่องยนต์ (Gas Engine)

3.1.1 การพัฒนาด้านทฤษฎีทางเคมี มีผู้ศึกษาและค้นคว้าวิจัยกันมากทั้งทางด้าน การเกิดปฏิกิริยาเคมี (Chemical Reaction) และทางด้านจลนพลศาสตร์เคมี (Chemical Kinetics) เพื่อศึกษาอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาและทางด้าน การเข้าสู่จุดสมดุลของปฏิกิริยาเคมี (Chemical Equilibrium) ในอดีตย้อนไปในราวปี ค.ศ. 1788 เกเบอร์ (Gaber) ได้พบว่าก๊าซร้อน

จากเตาต้มน้ำ (Boiler) สามารถคิดไฟได้และแนะนำให้นำกลับเข้าไปเผาอีก เพื่อให้ได้ออน้ำจากเตาต้มน้ำเพิ่มขึ้น ในต้นปี ค.ศ. 1792 มีรายงานเรื่องเตาผลิตก๊าซจากถ่านหินออกมากครั้งแรก ในปี ค.ศ. 1798 เลบอน (Lebon) ได้ทดลองผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านไม้ และในปี 1801 แลมปาเดียส (Lampadius) ก็ได้พิสูจน์ว่าเป็นไปได้ที่จะใช้ประโยชน์จากก๊าซที่ได้จากไม้ (7) ในช่วงต้นๆ นี้ยังไม่มีการศึกษาทางด้านเคมีของก๊าซเชื้อเพลิง มาเริ่มศึกษากันในศตวรรษที่ 20 นี้เอง คือในปี ค.ศ. 1955 เทา Von Frederdsdoff) ได้ศึกษาจลนศาสตร์เคมี (Chemical Kinetics) ของการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่าน (Carbon Gasification), ปฏิกริยา $C + CO_2 \longrightarrow 2CO$ ที่รู้จักในนามปฏิกริยาเบาดาค (Boundouard Reaction) พบว่าอัตราเร็วของปฏิกริยา $r = k \beta pCO_2 / (1 + \alpha pCO + \beta pCO_2)$ k คือค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกริยา (Rate constant) α และ β เป็นค่าคงที่สมดุลปฏิกริยา (Equilibrium Constant), pCO และ pCO_2 เป็นค่าความดันย่อยของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (May) และคณะศึกษาการเกิดก๊าซเชื้อเพลิงบนถ่านหินโค้ก โดยใช้เตาปฏิกรณ์ผลิตก๊าซทั้งแบบฟลูอิดซ์เบด (Fluidized Bed) และแบบเบดนิ่ง (Fixed Bed) ได้ชี้ให้เห็นว่าถ้ามีการเปลี่ยนอน้ำไปเป็นไฮโดรเจน (Steam Conversion) น้อย ปฏิกริยาจะยังไม่เข้าสู่จุดสมดุล, ในปี ค.ศ. 1961 สควัย (Squires) ได้วิเคราะห์ผลของเมย์ และคณะสรุปว่าคาร์บอนในเตาปฏิกรณ์เบดนิ่ง ว่องไวต่อปฏิกริยาเฉพาะตรงบริเวณทางเข้าของอน้ำเท่านั้น แต่เตาปฏิกรณ์ฟลูอิดซ์เบด คาร์บอนจะว่องไวต่อปฏิกริยาเหมือนกันตลอดทั้งเตา และในปี ค.ศ. 1962 ได้ชี้ให้เห็นกลไกการเกิดปฏิกริยาของ $C + H_2O$ และ $C + CO_2$ และยังได้หาสมการอัตราเร็วในการเกิดปฏิกริยาของทั้ง 2 ปฏิกริยา (14) และในปีเดียวกัน มัวร์ (Moore) ได้ศึกษาปฏิกริยาของ $CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2$ ที่รู้จักกันดีในนามปฏิกริยาอวเตอร์ก๊าซชิฟ (Water Gas Shift Reaction) (10), ปี ค.ศ. 1974 จอห์นสัน (Johnson) ได้เสนอแบบจำลองของการเกิดก๊าซเชื้อเพลิงในอุดมคติ (Idealized Gasification Model) มี 3 ขั้นตอน คือ 1) เกิดการไล่สารละลาย (Devolatilization) 2) เกิดการมีเทนอย่างรวดเร็ว (Rapid Rate Methane Formation) 3) เกิดก๊าซเชื้อเพลิงอย่างช้าๆ (Low Rate Gasification). ในขั้นตอนที่ 3 นี้ มีปฏิกริยาที่สำคัญคือ สติมก๊าซชิฟเคชั่น ($C + H_2O$, Steam Gasification) ไฮโดรก๊าซชิฟเคชั่น ($C + H_2$, Hydrogasification) และ ปฏิกริยาเบาดาค ($C + CO_2$, Boundouard Reaction) สมการอัตราเร็วการเกิดปฏิกริยาประกอบด้วย ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกริยา (Rate Constant) , ค่าพื้นที่ผิว (Surface Area Term) และค่าความว่องไวของปฏิกริยาของผิว (Surface Activity Term) ในปี 1981 สัตยานารายานา (Satayanarayana)

และ เคียร์น (Kearins) ได้ศึกษาอัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยา (Rate of Reaction) ของ $C + H_2O$ และ $C + CO_2$ ในเตาปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบด โดยใช้ถ่านโค้ก เป็นวัสดุ เฝ้ามองว่า อัตราเร็วปฏิกิริยาของ $C + H_2O$ จะมากกว่า $C + CO_2$ ประมาณ 2.5 ถึง 5 เท่า (14) ในปี ค.ศ. 1979 จอร์จเกคิส (Georgakis) และคณะได้ศึกษาและนำเสนอกลไกการเกิดการเผาไหม้ของถ่าน โดยใช้ทฤษฎีฟิล์มชั้นเดียวกับฟิล์มสองชั้น (Single and Double Film Theories) (8) ในปี ค.ศ. 1981 คาซาโอกะ (Kasaoka) และคณะได้ศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาและผลขององค์ประกอบต่างๆ ในก๊าซขาเข้าที่มีต่อการเกิดก๊าซเชื้อเพลิงของถ่านและคาร์บอน พบว่าเมื่อใช้เหล็ก (Fe) หรือ นิกเกิล (Ni) เดิมลงไปในเตาจะช่วยทำให้อัตราเร็วในการเกิดก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification Rate) เพิ่มขึ้น และสามารถช่วยทำให้เกิดก๊าซเชื้อเพลิงได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าที่เคยปฏิบัติมา (13) ในช่วงหลังๆ นี้ การเข้าใจในเรื่องก๊าซซิฟิเคชันมีมากขึ้น และก็ยังคงมีการทำวิจัยกันอยู่เพื่อหาหนทางในการพัฒนาทางเทคโนโลยีของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงต่อไป

3.1.2 การพัฒนาเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ระบบทำความสะอาดก๊าซและการใช้งานกับเครื่องยนต์ เริ่มตั้งแต่ปี ค.ศ. 1792 ที่มีรายงานเรื่องเตาผลิตก๊าซจากถ่านหิน ก็ได้มีการสร้างเตาปฏิกรณ์ผลิตก๊าซกันเรื่อยมา ในปี 1798 เลมอน ผลิตก๊าซจากถ่านไม้ ค.ศ. 1804 เฟาครอย (Fourcroy) ได้ค้นพบวิธีผลิตวอเตอร์แก๊ส (Water Gas) โดยใช้ไอน้ำฉีดเข้าไปยังถ่านที่ร้อนแดง ต่อจากนั้นก็ได้มีการนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน ในศตวรรษที่ 19 ได้มีสถานีผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากไม้เกิดขึ้นหลายแห่ง ทั้งใน 3 ประเทศ ญี่ปุ่น อเมริกา และประเทศทางยุโรป ในปี ค.ศ. 1819 ที่ประเทศอังกฤษ มีการสร้างเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงขนาดเล็กบ้างแล้วแต่ยังไม่มียานยนต์ใช้น้ำมันกับรถยนต์ ในระหว่างปี ค.ศ. 1901 - 1905 เจ.คิมบริว พาเคฟ (J.W. Parkev) ได้ทดลองใช้ก๊าซจากเตาผลิตก๊าซที่ใช้ไม้เป็นวัตถุดิบกับรถยนต์ขนาด 2.5 และ 25 แรงม้า รถยนต์สามารถวิ่งได้มากกว่า 1,000 ไมล์ หลังจากนั้น 15 ปี มีการสร้างเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงและระบบที่เชื่อมเข้ากับรถยนต์ออกมา เป็นการค้า นอกจากนี้บางบริษัทในอังกฤษ ได้มีการสร้างเครื่องปั่นกระแสไฟฟ้า โดยใช้เป็นเชื้อเพลิงออกจำหน่าย ทั้งในและนอกประเทศ ต่อมาได้มีการปรับปรุงและสร้างเตาผลิตให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เป็นเตาแบบลมในเตาวิ่งขึ้น (Updraught) เช่นในประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้ก๊าซเดินเครื่องยนต์ขนาด 5,400 แรงม้า แต่อย่างไรก็ตามความยุ่งยากในการควบคุม โดยเฉพาะข้อมูลทางเทคนิคเกี่ยวกับเตาและความรู้ความเข้าใจในการทำงานของเตา ผู้ควบคุมต้องมีความชำนาญเป็นพิเศษ และสิ่งเหล่านี้เป็นอุปสรรคสำคัญในการขยายตัวของเตาผลิตก๊าซทางการค้า ต่อมาความสำคัญของ

เตาผลิตก๊าซได้ลดลง เนื่องจากการขุดพบน้ำมันมากขึ้นอีกทั้ง เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน เป็น เชื้อเพลิง ก็ควบคุมได้ง่ายกว่า เมื่อน้ำมันเริ่มขาดแคลน ในสงครามโลกครั้งที่ 1 ก็ได้มีการนำเตาผลิตก๊าซ มาพัฒนาใช้กับรถยนต์ใหม่อีกครั้งหนึ่ง ประเทศอังกฤษ พอร์เตอร์ (Porter) และ สมิท (Smith) นำเอาเทคนิคเก่าๆ มาพัฒนาให้เหมาะสมกับรถยนต์และมีประสิทธิภาพสูงขึ้น, ในประเทศฝรั่งเศส เยอรมัน และประเทศต่างๆ ในยุโรป รวมทั้งประเทศสหรัฐอเมริกา และแคนาดา ก็ได้หันมาพัฒนา เตาผลิตก๊าซ เป็น เชื้อเพลิง ใช้กับรถยนต์และเครื่องยนต์ต่างๆ ปี ค.ศ. 1923 บริษัท เฟรโนเมน (Frenohmen) ในฝรั่งเศสและบริษัทอิมเบอร์ท (Imbert) ในเยอรมันได้สร้างเตาผลิตก๊าซ ชนิดลมในเคาวิ่งลง (Down Draught) ขึ้น ได้จดทะเบียนลิขสิทธิ์และผลิตออกจำหน่ายเป็นจำนวนมาก ยังมีบริษัทอื่นๆ อีกมากกว่า 150 บริษัททั่วยุโรปที่ผลิตเตาผลิตก๊าซ ออกจำหน่าย ต่อมากิจการ ทางด้านเตาผลิตก๊าซซบเซา ภายหลังสงครามโลกครั้งที่หนึ่งสงบและแหล่งเชื้อเพลิงด้านน้ำมันสามารถ เข้ามามีบทบาทในการใช้งานกับเครื่องยนต์อีก ในราวปี ค.ศ. 1930 ถึง 1950 ได้เริ่มพัฒนาขึ้น ครั้งใหญ่ระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 วิวัฒนาการใหม่ในการออกแบบเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงทั้งแบบ ลมในเคาวิ่งลง และ ลมในเคาวิ่งในแนวนอน (Cross Draught) ได้มีการปรับปรุงกันมากทั้งระบบ ทำความสะอาดก๊าซและการลดน้ำหนักของระบบการผลิต เพื่อสะดวกในการเคลื่อนย้ายและติดตั้ง อุปกรณ์ต่างๆ ให้เหมาะสมที่จะใช้งานกับรถยนต์ได้ดียิ่งขึ้น ทั้งยังสามารถใช้กับเชื้อเพลิงอย่างอื่นได้ หลายชนิด, ในช่วงปี ค.ศ. 1930 - 1939 ประเทศสวีตเซอร์แลนด์ สแลปเฟอร์ (Schlapfer) และ ทอปเปเลอร์ (Topler) ได้ทดสอบพบว่าอุปกรณ์สำคัญในการใช้เชื้อเพลิงจากเตาผลิตก๊าซ จากไม้ในรถยนต์คือการเร่งเครื่องยนต์ได้ช้ากว่าการใช้ น้ำมัน งานซ่อมบำรุงและทำความสะอาด ระบบต่างๆ อีกทั้งยังยุ่งยากในการบรรจุเชื้อเพลิงและสคาร์ทเครื่องยนต์ หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ในปี ค.ศ. 1945 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซจากไม้ก็ลดลงความสำคัญลงมาเรื่อยๆ จนเลิกใช้ไปในที่สุด ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากน้ำมันเชื้อเพลิงและก๊าซธรรมชาติมีราคาถูก และมีปริมาณมากพอกับความต้อง การ ในระหว่างปี ค.ศ. 1950 - 1970 มีบางประเทศเท่านั้นที่ยังค้นคว้าวิจัยเรื่องนี้อยู่ ในปี ค.ศ. 1970 เป็นต้นมาก็ได้เริ่มมีการศึกษาวิจัยและพัฒนาเตาผลิตก๊าซกันใหม่ อันสืบเนื่องมาจากน้ำมัน มีราคาสูงขึ้นเรื่อยๆ อีกทั้งมีแนวโน้มที่จะขาดแคลนและหมดไปในอนาคตอันใกล้

3.2 แบบต่างๆ ของเตาปฏิกรณ์ผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Types of Gasifier)

จากประวัติการพัฒนาเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจะเห็นว่ามีอยู่ 3 แบบ คือ แบบลมในเคาวิ่งขึ้น, แบบลมในเคาวิ่งลงและแบบลมในเคาวิ่งแนวนอน ดังรูปที่ เป็นการพัฒนาในช่วงก่อนสงครามโลกครั้งที่

ครั้งที่ 2 ในปี 1970 เป็นต้นมา การพัฒนา เตาผลิตก๊าซ ไม่ได้พัฒนาเฉพาะใช้กับวัตถุดิบพวก ชีวมวล ยังพัฒนาใช้กับพวกถ่านหิน (Coal) ด้วย แบบของ เตาผลิตก๊าซ ก็มีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จาก แบบต่างๆ ของ เตาผลิตก๊าซ ที่พัฒนากันในปัจจุบันพอจะแบ่งออกเป็น 4 แบบใหญ่ๆ ตามลักษณะ การใช้วัตถุดิบ และขั้นตอนการเกิด ก๊าซซิทีเคชั่น ในเตาผลิตก๊าซ ได้แก่

3.2.1 เตาปฏิกรณ์แบบเชื้อเพลิงหรือวัตถุดิบเลื่อนตกขณะเผา (Moving Packed bed gasifier)

3.2.2 เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไรซ์เบด (Fluidized Bed Gasifier)

3.2.3 เตาปฏิกรณ์แบบเอนเทรนด์ ฟลาว์ (Entrained Flow Gasifier)

3.2.4 เตาปฏิกรณ์แบบโมลเทนมีเดีย (Molten Media Gasifier)

3.2.1 เตาปฏิกรณ์แบบ เชื้อเพลิงหรือวัตถุดิบเลื่อนตกขณะเผา

เป็นเตาปฏิกรณ์ที่มีมาตั้งแต่ก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 สงบลงนั่นเอง ลักษณะ การเผาในเตาปฏิกรณ์ ถ่านถ่านหรือไม้จะค่อยๆ ถูกเผาหมดไปเรื่อยๆ ครึ่งส่วนที่เผาไหม้และถ่าน ถ่านหรือไม้ที่อยู่ส่วนบนก็จะเลื่อนตกลงมาแทนที่ถูกเผาไป เตาแบบนี้ยังแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่

ก. ระบบลมในเตาริ่งขึ้น(Up Draught) รูปที่ 3.1 โดยมากนิยมใช้วัสดุประเภท ถ่าน มากกว่าวัสดุประเภทไม้ เพราะระบบนี้มี ทาร์ ออกมามาก (11)

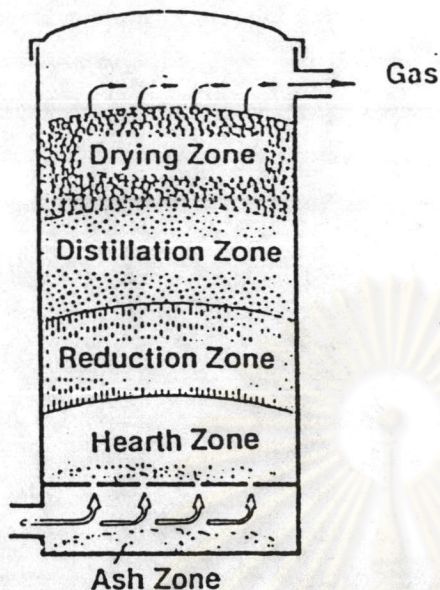
ข. ระบบลมในเตาริ่งลง(Down Draught) รูปที่ 3.2 โดยมากนิยมใช้วัสดุประเภท ไม้ และก็ใช้กับถ่านได้ดีด้วยเช่นกัน ระบบนี้มี ทาร์ ออกมาน้อยกว่า ระบบลมในเตาริ่งขึ้น (11)

ค. ระบบลมในเตาริ่งในแนวนอน(Cross Draught) รูปที่ 3.3 โดยมากนิยมใช้กับ ถ่านก็ใช้กับไม้ได้ ระบบนี้มี ทาร์น้อยกว่าระบบลมในเตาริ่งขึ้นแต่มากกว่าระบบลมในเตาริ่งลง (11)

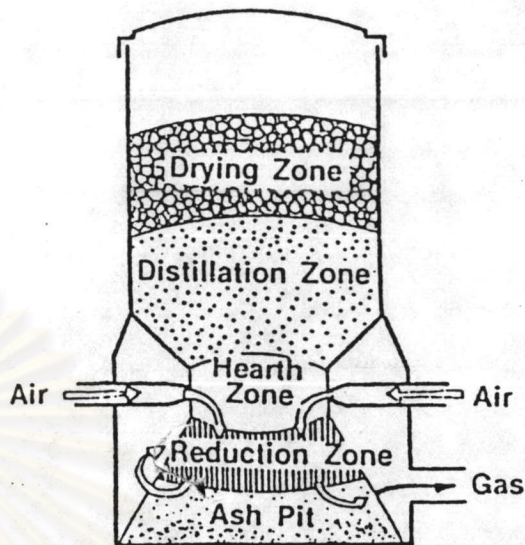
ง. ระบบลมในเตามีทั้งริ่งขึ้นและริ่งลง (Double Circulation) รูปที่ 3.4 ใช้ทั้งวัสดุประเภทไม้และถ่าน ใส่ในเตาเดียวกันแต่คนละที่ โดยตรงที่บริเวณที่ลมริ่งขึ้นจะใส่ถ่าน และตรงบริเวณที่ลมริ่งลงจะใส่ไม้ (9)

3.2.2 เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไรซ์เบด

เป็นเตาปฏิกรณ์ โดยวัสดุที่ใช้เผามีขนาดเล็กๆ เช่น ชีลื้อย ซึ๊กบ แกลบ ถ่านบด ถ่านหินบด เป็นต้น วัสดุเล็กๆ พวกนี้จะริ่งวนอยู่ในเตาเนื่องจากมีก๊าซเป่าด้านล่างทำให้



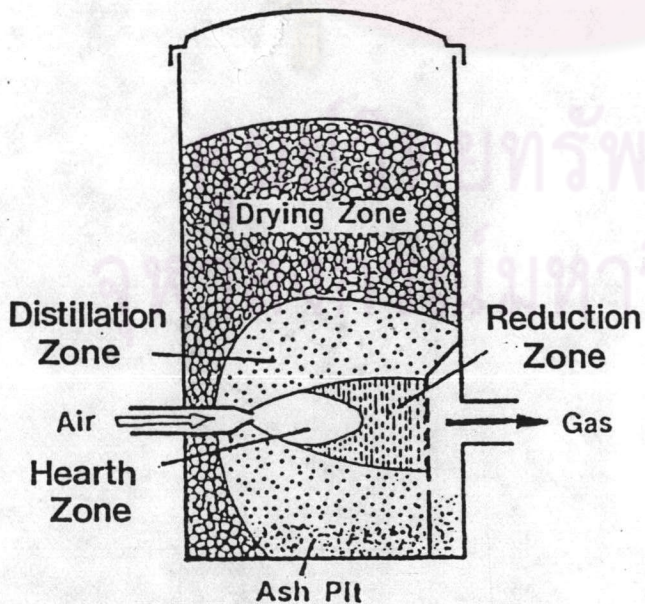
UPDRAUGHT



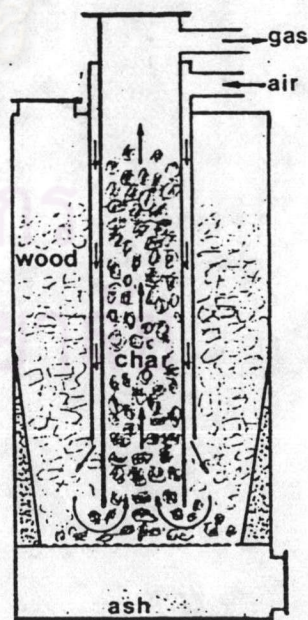
DOWNDRAUGHT

รูปที่ 3.1 เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตาวิ่งขึ้น และแสดงบริเวณการเกิดกระบวนการต่างๆ (11)

รูปที่ 3.2 เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตาวิ่งลง และแสดงบริเวณการเกิดกระบวนการต่างๆ (11)



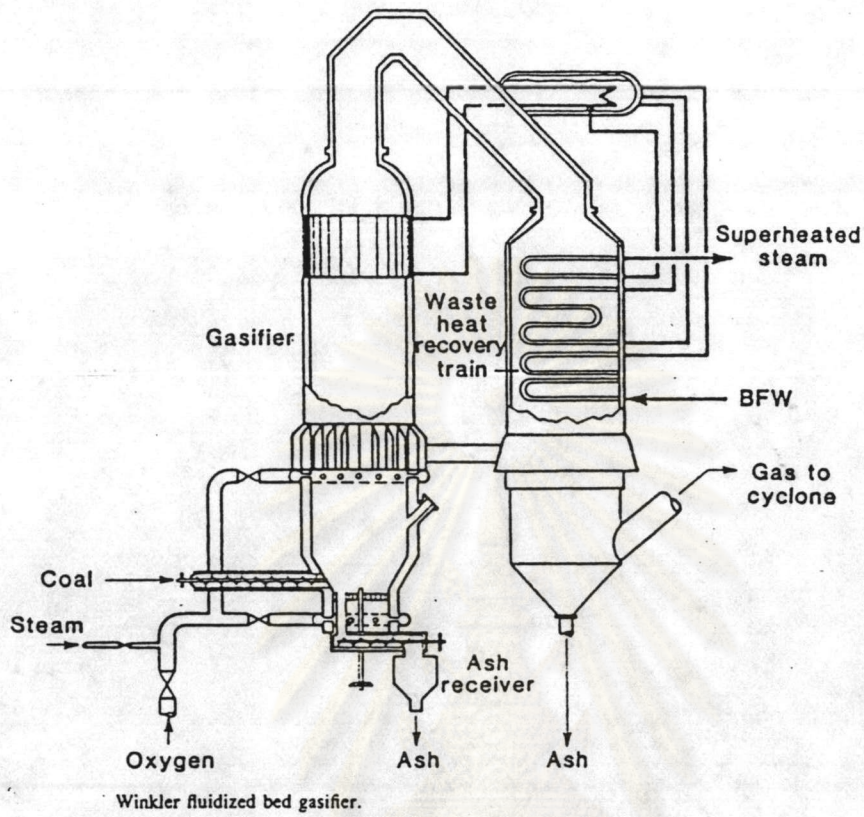
CROSSDRAUGHT



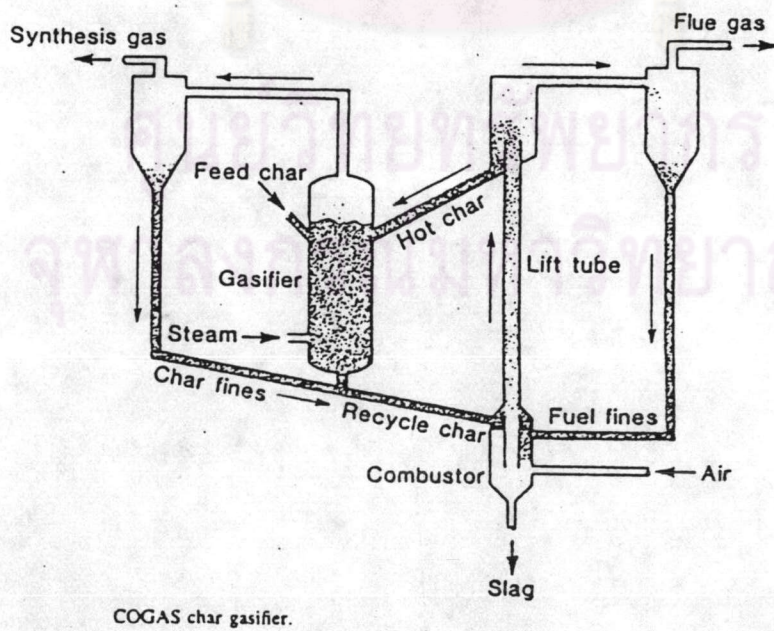
DOUBLE CIRCULATION

รูปที่ 3.3 เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตาวิ่งในแนวนอนและแสดงบริเวณการเกิดกระบวนการต่างๆ (11)

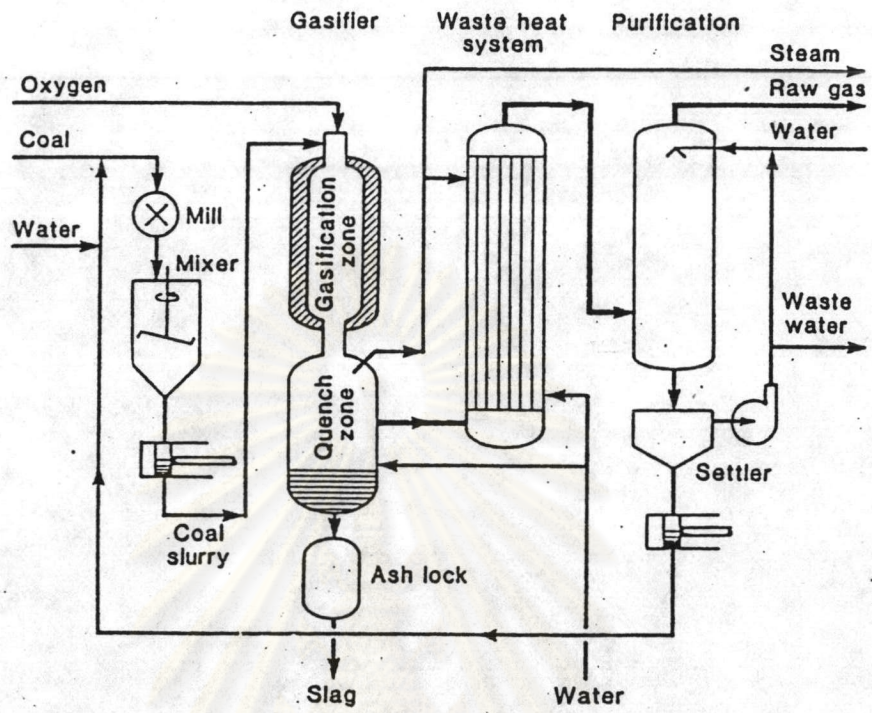
รูปที่ 3.4 เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตามีทั้งวิ่งขึ้นและวิ่งลง (9)



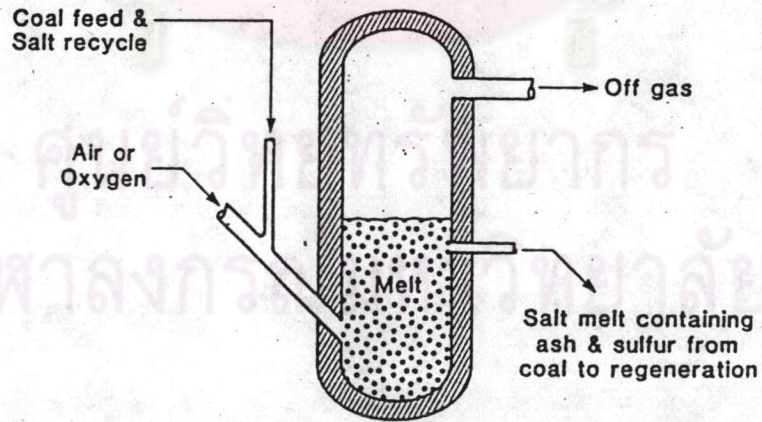
รูปที่ 3.5 เตาปฏิกรณ์แบบ ฟลูอิดซ์เบด โดยใช้ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเตา (12)



รูปที่ 3.6 เตาปฏิกรณ์แบบ ฟลูอิดซ์เบด โดยใช้ความร้อนจากนอกเตา (12)



รูปที่ 3.7 เตาปฏิกรณ์แบบ เอ็นเทรนดโฟลว์ (12)



รูปที่ 3.8 เตาปฏิกรณ์แบบ โมลเทนมีเคีย (12)

ดูคล้ายของไหล (Fluid) ยังแบ่งออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่ (1)

ก. ระบบที่ไม่ต้องพึ่งแหล่งพลังงานความร้อนจากภายนอก (Direct Heat Fluidized Bed Gasifier) ใช้แค่ความร้อนที่เกิดจากการเผาภายในเตา รูปที่ 3.5

ข. ระบบที่ต้องให้ความร้อนจากนอกเตา (Indirect Heat Fluidized Bed Gasifier) รูปที่ 3.6

3.2.3 เตาปฏิกรณ์แบบ เอน เทรนด โพลว์

เป็นเตาปฏิกรณ์ที่นิยมใช้กับวัสดุประเภทถ่าน ทั้งถ่านหินและถ่านไม้ โดยบดเม็ดเล็ก ๆ แล้วผสมน้ำให้เป็นสเลอรรี่ (Slurry) ใส่เข้าเตา และใช้ก๊าซออกซิเจนเป็นก๊าซสำหรับเผา รูปที่ 3.7

3.2.4 เตาปฏิกรณ์แบบ โมล เทนมี เดีย

เป็นเตาที่ใช้กับถ่านหินโดยปนกับสารประกอบบางชนิด เช่น โดโลไมท์ (Dolomite) ซึ่งก็คือหินปูนที่ถูกแคลไซน์แล้ว (Calcined Limestone) หรืออาจจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น เหล็กออกไซด์ (FeO) แล้วใช้ก๊าซออกซิเจนหรืออากาศเป็นก๊าซสำหรับเผา รูปที่ 3.8

3.3 ลักษณะและชนิดต่างๆ ของ ก๊าซซิติกเคชัน

ก๊าซซิติกเคชัน เป็น กระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบไปเป็นก๊าซสังเคราะห์ ก๊าซสังเคราะห์ที่ได้มักมี CO และ H_2 เสียส่วนมากเราเรียกก๊าซเชื้อเพลิงชนิดนี้ว่า ก๊าซโปรดิวเซอร์ (Producer Gas) และการเกิด ก๊าซซิติกเคชัน จัดเป็นปฏิกิริยาเคมีระหว่าง ก๊าซกับของแข็ง (Gas - Solid Chemical Reaction) โดยทั่วไปในการเกิด ก๊าซซิติกเคชัน ใช้ก๊าซออกซิเจน (O_2) เป็นตัวทำปฏิกิริยากับไม้หรือถ่าน (สูตรอย่างง่าย CH_xO_y) มักจะเรียกว่า ออกซิเดทีฟ ก๊าซซิติกเคชัน (Oxidative Gasification) แต่ถ้าใช้ก๊าซอื่นก็จะมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามชนิดของก๊าซที่ใช้ทำปฏิกิริยาแบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ ด้วยกัน ดังนี้

3.3.1 ออกซิเดทีฟ ก๊าซซิติกเคชัน (Oxidative Gasification)

3.3.2 สติมก๊าซซิติกเคชัน (Steam Gasification)

3.3.3 ไฮโดรก๊าซซิติกเคชัน (Hydrogasification)

3.3.1 ออกซิเดทีฟ ก๊าซซิทีเคชัน ใช้ก๊าซออกซิเจน เป็นตัวทำปฏิกิริยา และก๊าซเชื้อเพลิง ที่ได้มี CO , H_2 , CH_4 , CO_2 และ H_2O (มี N_2 ด้วย ถ้าใช้อากาศทำปฏิกิริยาส่วนใหญ่) และอาจจะใช้น้ำเค็มร่วมกับ O_2 ก็ได้

3.3.2 เสริมก๊าซซิทีเคชัน หมายถึง ก๊าซซิทีเคชัน ที่ใช้ออน้ำทำปฏิกิริยากับถ่านไม้หรือถ่านหิน ไม่มีการใช้ O_2 โดยปกติต้องใช้อุณหภูมิที่สูงๆ ประมาณ 800°C ขึ้นไป ก๊าซเชื้อเพลิง ที่ได้ ก็มี CO , H_2 , CH_4 , CO_2 และ H_2O เช่นกัน แต่มักจะได้ ในปริมาณที่มากกว่า ก๊าซซิทีเคชันทั่วไป สำหรับการเกิด ก๊าซซิทีเคชัน ชนิดนี้ต้องใช้ความร้อนจากนอกระบบช่วย ให้อุณหภูมิใน เตาผลิตก๊าซ สูงพอ

3.3.3 ไฮโดรก๊าซซิทีเคชัน หมายถึง ก๊าซซิทีเคชัน ที่ใช้ H_2 ทำปฏิกิริยากับถ่าน ไม่มีการใช้ O_2 เช่นกัน โดยปกติใช้อุณหภูมิที่สูงพอสมควรประมาณ 750°C และต้องใช้ความดันในเตาปฏิกรณ์ชนิดสูงมากถึง 20 เมกกะปาสกาล (Mpa) ก๊าซเชื้อเพลิง ที่ได้จะเป็น มีเทน (CH_4) ส่วนใหญ่ เนื่องจากปฏิกิริยาของ คาร์บอนกับไฮโดรเจน เป็นแบบคายความร้อน ดังนั้นเราอาจจะไม่ต้องใช้ความร้อนจากนอกเตาตลอดเวลา คงใช้เฉพาะในช่วงแรก โดยให้อุณหภูมิของคาร์บอนหรือถ่านสูงถึง 750°C ก่อน แต่เนื่องจากความดันที่ใช้สูงมากจึงจำเป็นต้องใช้พลังงานจากภายนอกเพื่อเพิ่มความดัน และในการพิจารณา ก๊าซซิทีเคชัน แต่ละชนิดนั้นให้ผลผลิตส่วนใหญ่เป็นก๊าซอะไร อาจจะพิจารณาได้จาก รูปที่ 3.9 และจากรูปนี้หากเราต้องการผลิตเป็นอะไร เราก็ใช้วิธีของกระบวนการนั้นๆ ในการเปลี่ยนสาร ชีวมวล เช่น ถ้าเราต้องการเปลี่ยนสาร ชีวมวล ให้กลายเป็นถ่านก็ควรใช้วิธีกลั่นทำลายอย่างช้าๆ (Slow Pyrolysis) หรือถ้าต้องการ C_2H_4 ก็ใช้กระบวนการกลั่นทำลายอย่างรวดเร็ว (Rapid Pyrolysis) หรือถ้าต้องการเป็นก๊าซเชื้อเพลิงโปรดิวเซอร์ (Producer Gas) ก็ใช้กระบวนการ ก๊าซซิทีเคชันที่เรียกว่า ออกซิเดทีฟก๊าซซิทีเคชัน

3.4 ขบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดก๊าซซิทีเคชันต่างๆไป

ถ้าพิจารณาเตาปฏิกรณ์ผลิตก๊าซ เชื้อเพลิงแบบ ระบบลมในเตาวิ่งขึ้น ดังในรูปที่

3.1 ซึ่งแสดงบริเวณการเกิดกระบวนการต่างๆดังนี้ (10;11,12)

3.4.1 บริเวณที่เกิดการเผาไหม้ (Combustion Zone) หรือเรียกบริเวณนี้ว่า "ฮาร์ท โซน" (Hearth Zone)

3.4.2 บริเวณที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction Zone) หรือเรียกบริเวณนี้ว่า "กาซซิฟิเคชัน โซน" (Gasification Zone)

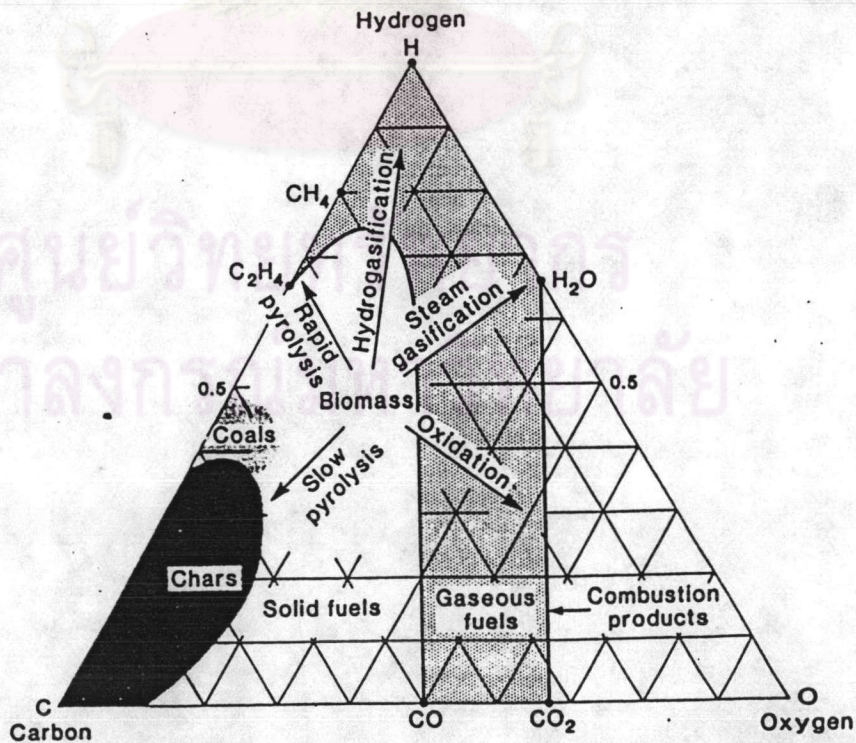
3.4.3 บริเวณที่เกิดการกลั่นทำลาย (Distillation Zone) บริเวณนี้พวกสารระเหย (Volatile Matter) ที่อยู่ใน ถ่าน หรือ ไม้พิน จะสลายตัวออกมา อาจเรียกบริเวณนี้ว่า "ไพโรไลซิส โซน" (Pyrolysis Zone)

3.4.4 บริเวณที่เกิดการอบแห้งไล่ความชื้น (Drying Zone)

3.4.5 บริเวณเก็บกักเถ้าถ่าน (Ash Zone)

ถ้าเราจะพิจารณากระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเกิดกาซซิฟิเคชัน จะเห็นว่ามียู่ 3 กระบวนการ คือ กระบวนการเผาไหม้ กระบวนการกลั่นทำลาย และ กระบวนการอบแห้ง

ในแต่ละกระบวนการรวมทั้ง กาซซิฟิเคชัน มีขั้นตอนในการทำงานอย่างไร คงจะพิจารณาเป็นระบบๆ ไป

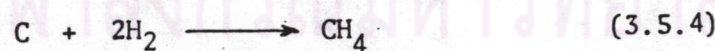
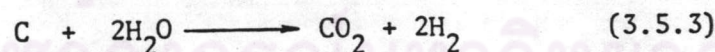
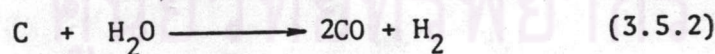
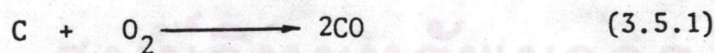


รูปที่ 3.9 การเปลี่ยนสารชีวมวล ให้เป็นเชื้อเพลิงอื่นๆ โดยวิธีทางที่เกี่ยวข้องกับความชื้นโดยตรงคือ อาจจะได้ความร้อนออกมาจากระบบหรืออาจจะต้องใส่ความร้อนเข้าไปในระบบก็ได้ (12)

3.5 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการต่างๆ ในเตาปฏิกรณ์

เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตาวิ่งขึ้น พิจารณา ถ่าน หรือ ไม้ที่อยู่ในบริเวณไล่ความร้อน จะถูกความร้อนจากบริเวณที่เกิดการกลั่นทำลาย ทำให้ความชื้นที่อยู่ในถ่านหรือไม้ถูกไล่ออกจากเนื้อถ่านหรือเนื้อไม้ เนื่องจากเป็นระบบลมในเตาวิ่งขึ้น ความร้อนที่ติดไปกับลมที่วิ่งขึ้น จะช่วยทำให้การไล่ความชื้น เกิดเร็วขึ้น เพราะ ได้รับความร้อนทั้งจากการนำ และการพาความร้อน โดยเฉพาะการพาความร้อนสำหรับระบบลมในเตาวิ่งขึ้น จะมีปริมาณสูงกว่าในระบบลมในเตาวิ่งลงและระบบลมวิ่งในแนวนอนจากนั้น ถ่านบริเวณเผาไหม้ (Hearth Zone) มีการยุบตัวลง ก็จะมีการเลื่อนของถ่านหรือไม้ใน บริเวณ ต่างๆ ถ่านหรือไม้จากบริเวณอบแห้ง ก็จะเลื่อน เข้าสู่บริเวณที่เกิดการกลั่นทำลายและในบริเวณนี้ เกิดกระบวนการ ไพโรไลซิส ขึ้น สารระเหยได้ในถ่านหรือไม้แห้งจะถูกไล่ออกไป ทำให้ถ่านกลายเป็นถ่านที่มีสารระเหยน้อย หรือทำให้ไม้กลายเป็นถ่านธรรมชาติก่อนแล้วจึงถูกไล่สารระเหยออกไปอีกในที่สุดจะได้เป็น ถ่านที่มีสารระเหยน้อย จากนั้นถ่าน จึงเลื่อน เข้าสู่บริเวณที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ในช่วง ไพโรไลซิส นี้ก็จะมีพวกก๊าซ เชื้อเพลิงบางอย่างเกิดด้วย โดยเฉพาะ H_2 กับ CH_4 และเนื่องจาก ได้รับความร้อนจากการพาความร้อนของก๊าซที่วิ่งผ่านทำให้กระบวนการไพโรไลซิสเกิดขึ้น ได้รวดเร็วกว่าแบบระบบลมในเตาวิ่งลงและระบบลมในเตาวิ่งในแนวนอน ถ่านที่มีสารระเหยน้อยจะเลื่อน เข้าสู่บริเวณที่เกิดปฏิกิริยารีดักชันแล้วจะเกิดกระบวนการ ก๊าซซิเคชัน ดังปฏิกิริยาเคมี

ต่อไปนี้



ถ่านที่อยู่ในบริเวณรีดักชันบางส่วน จะเสียไปในการเกิดกระบวนการก๊าซซิเคชัน ส่วนถ่าน ที่เหลือจะเลื่อน เข้าสู่บริเวณเผาไหม้เกิดกระบวนการเผาไหม้ขึ้นโดยที่ถ่าน จะถูก เผาจนหมด เพื่อให้อุณหภูมิใน เตาสูงพอที่จะเกิดก๊าซซิเคชันได้ ในบริเวณเผาไหม้นี้ถ่าน ที่ถูกเผาจะกลายเป็นเถ้าถ่าน

สำหรับเตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตาวิ่งลง ถ่านหรือไม้ตรงบริเวณอบแห้ง ความชื้นในถ่านหรือไม้จะถูกไล่ออกไป แต่ความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งนั้น เกิดจากการพาความร้อนน้อยมาก ส่วนใหญ่จะได้ออกมาจากการแผ่รังสีจากบริเวณเผาไหม้ ซึ่งทำให้การอบแห้งเกิดช้ากว่าระบบลมในเตาวิ่งขึ้น จากนั้น ถ่านหรือไม้ที่แห้งก็เลื่อนตกลงสู่บริเวณกลั่นทำลาย จะเกิดกระบวนการไพโรไลซิสไล่สารระเหยออกจนได้ถ่านที่มีสารระเหยอยู่น้อย จากนั้นจะเลื่อนเข้าสู่บริเวณเผาไหม้ เกิดกระบวนการเผาไหม้ ในการเกิดการเผาไหม้ในบริเวณนี้จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ถ่านที่มีสารระเหยน้อยจะถูกเผาไหม้ไปเพียงบางส่วน และส่วนที่เหลือจะตกลงสู่บริเวณที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน เกิดกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันขึ้น ดังปฏิกิริยาที่ (3.5.1) (3.5.2) (3.5.3) (3.5.4) ในบริเวณนี้ถ่านจะถูกเผาไหม้จนเหลือแต่ถ่านตกลงบริเวณเก็บกักถ่าน ระบบลมในเตาวิ่งลงนี้ สารระเหยพวกโมเลกุลใหญ่ๆ เช่น ทาร์และน้ำมันไม้ที่เกิดขึ้นในบริเวณกลั่นทำลาย จะผ่านบริเวณเผาไหม้ซึ่งมีอุณหภูมิสูง ทำให้มีการสลายตัวของทาร์และน้ำมันไม้ด้วย แต่ไม่สามารถสลายได้หมด ดังนั้นยังคงมีทาร์ปนออกมาที่ก๊าซเชื้อเพลิงด้วยเช่นกัน แต่มีปริมาณที่น้อยกว่าระบบลมในเตาวิ่งขึ้นมากทีเดียว ดังนั้นระบบนี้จึงใช้ในกรณีที่วัสดุเชื้อเพลิงมีพวกสารระเหยอยู่มาก เช่น ไม้ จึงนิยมใช้ระบบนี้มากกว่าระบบอื่น

เตาปฏิกรณ์ระบบลมในเตาวิ่งในแนวนอน คล้ายกับระบบลมในเตาวิ่งลงกับระบบลมในเตาวิ่งขึ้นรวมกัน คือ ในบริเวณอบแห้งและบริเวณกลั่นทำลายเหมือนกัน แต่ถ่านที่เกิดจากการกลั่นทำลาย เลื่อนตกลงมาพบว่ามิตั้งที่ตกลงสู่บริเวณเผาไหม้และบริเวณที่เกิดปฏิกิริยารีดักชันด้วย จึงดูเหมือนกับเป็นระบบลมในเตาวิ่งลงและลมในเตาวิ่งขึ้นผสมกัน

การพิจารณาวัสดุที่จะใช้ให้เหมาะสมกับเตาแบบต่างๆ โดยการพิจารณาสารระเหยในเนื้อวัสดุแล้ว เรายังต้องพิจารณาถึงปริมาณเปอร์เซ็นต์ถ่านในเนื้อวัสดุด้วย ถ้ามีเปอร์เซ็นต์ถ่านตั้งแต่ 5 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไปแล้ว เช่น พวกถ่านหินลิกไนท์ เตาในระบบลมในเตาวิ่งลง โดยเฉพาะที่มีคอคอด (throat) ไม่ควรใช้กับวัสดุประเภทนี้อย่างยิ่ง เนื่องจากอุณหภูมิตรงบริเวณเผาไหม้สูงมาก พวกถ่านจะหลอมรวมกันเกิดเป็นก้อนที่เรียกว่า สแล็ก (Slag) ติดอยู่ตรงบริเวณคอคอด ทำให้เกิดการอุดตันได้ ถ้าเปอร์เซ็นต์ถ่านสูงควรจะใช้เตาระบบลมในเตาวิ่งขึ้นจะดีกว่า (11)