บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

กาสิฟิเคชัน หมายถึง กระบวนการแปรสภาพเชื้อเพลิงที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเชื้อเพลิงแข็ง เช่น ถ่านหิน ถ่านไม้ เป็นต้น กับอากาศ ก๊าซออกซิเจน ไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือส่วนผสมของตัวทำปฏิกิริยาเหล่านี้ ให้อยู่ในรูปเชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซ ผลิตภัณฑ์ก๊าซที่ได้จากกระบวนการเหมาะที่จะนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงาน

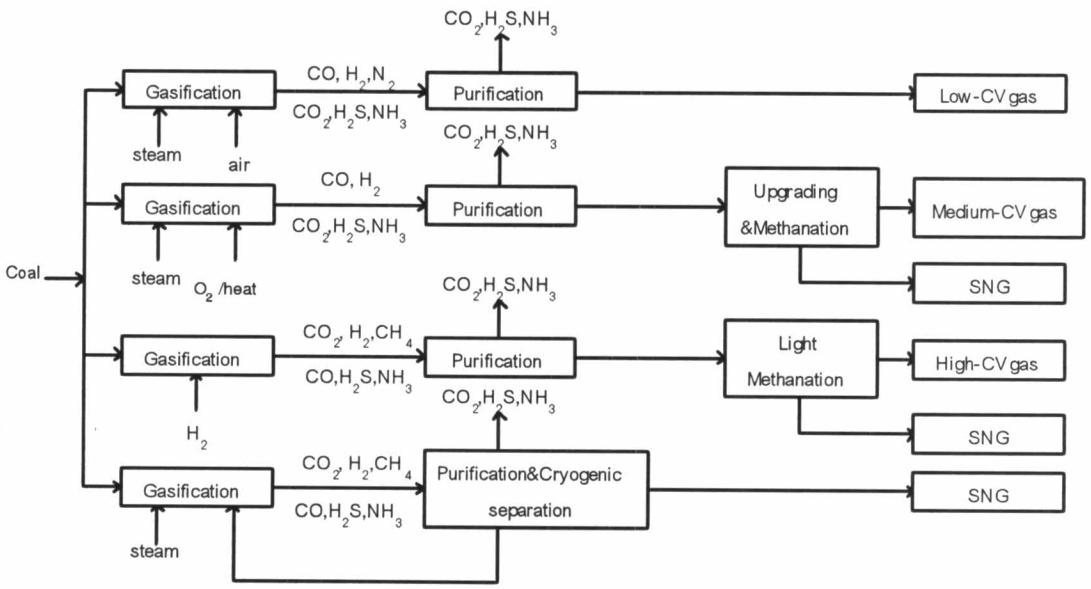
การกาสิฟิเคชันถ่านหิน เป็นการเปลี่ยนองค์ประกอบอินทรีย์ของถ่านหินให้เป็นเชื้อเพลิงโดยการทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วนของถ่านหินกับอากาศ ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน ผลิตภัณฑ์ของการกาสิฟิเคชันส่วนใหญ่ประกอบด้วย ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ ไนโตรเจน ออกซิเจน นอกจากนี้ยังมีสารปนเปื้อนอีกเล็กน้อย ได้แก่ น้ำมันทาร์ ไฮโดรซัลไฟด์ แอมโมเนีย เป็นต้น กระบวนการดังกล่าวเป็นการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วนของคาร์บอนกับออกซิเจนหรือไอน้ำ ที่อุณหภูมิสูงๆความดันตั้งแต่ 1 บรรยากาศขึ้นไป ปฏิกิริยาเกิดขึ้นหลายขั้นตอนมีทั้งปฏิกิริยาดูดความร้อนและคายความร้อน ก๊าซเชื้อเพลิงประกอบด้วยก๊าซผสมของ CO และH_2 เรียกว่า."โปรดิวเซอร์ ก๊าซ" (Producer gas)

โปรดิวเซอร์ ก๊าซ (Producer gas) เกิดจากปฏิกิริยาเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Incomplete combustion) ของคาร์บอนไปเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ และเกิดปฏิกิริยารีดักชันของคาร์บอนไดซ์ออกไซด์หรือไอน้ำไปเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรเจน ขั้นตอนสำคัญของการกาสิฟิเคชันถ่านหินได้แก่ การไพโรไลซ์ถ่านหินตามด้วยการกาสิฟายถ่านชาร์ และน้ำมันทาร์ โดยทั่วไปอุณหภูมิของการกาสิฟิเคชันอยู่ที่ประมาณ 500 – 1000 ^{o}C ภายใต้ความดันบรรยากาศจนมากกว่า 6900 kPa ระหว่างการกาสิฟิเคชันเกิดปฏิกิริยาหลายๆอย่างพร้อมกัน และต่อเนื่องกันซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเชื้อเพลิงแข็งไปเป็นก๊าซเชื้อเพลิง

การไพโรไลซิส เป็นขั้นตอนแรกที่เกิดในการกาสิฟิเคชัน เมื่อถ่านหินได้รับความร้อนในที่อับอากาศหรือออกซิเจน จะเกิดการกลั่นตัวและการสลายตัวเป็นก๊าซ น้ำมันทาร์ชาร์ ช่วงแรกก๊าซและไอน้ำถูกปล่อยออกมาก่อนที่อุณหภูมิประมาณ 200 ^{o}C แต่การสลายตัวจริงๆนั้นเกิดตั้งแต่ 300 ^{o}C ขึ้นไป การปลดปล่อยของสารระเหยเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ และคงที่มีอุณหภูมิประมาณ 500 ^{o}C การเปลี่ยนแปลงทางเคมีทั้งหมดของถ่านหินจะเกิดขึ้นเมื่อถ่านหินได้รับความร้อน สารประกอบที่มีจุดเดือดต่ำเกิดการระเหย และกลั่นตัวออกมาโดยไม่เกิดการแตกตัวของพันธะทางเคมีแต่โมเลกุลที่มีน้ำหนักสูงและโมเลกุลที่มีพันธะเชื่อมขวาง

(Cross Linked) จะเกิดการแตกตัวของ C-O, C-S และ C-C พร้อมทั้งเกิดสารผลิตผลระหว่างปฏิกิริยาที่เกิดจากการสลายครั้งแรกจะดึงไฮโดรเจนจากสารระหว่างปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเกิดเป็นถ่านโค๊ก ถ่านหินส่วนที่เหลือที่ยังไม่กลายเป็นถ่านชาร์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวในครั้งแรก จะเกิดการสลายตัวต่อไปที่อุณหภูมิสูง

รูปที่ 2.1 แสดงถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นและผลิตภัณฑ์เมื่อถ่านหินถูกไพโลไลซ์ ในบรรยากาศที่ความดันบรรยากาศ ทาร์ซึ่งเป็นของเหลวเกิดในระหว่างไพโรไลซ์จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิง (Hydro cracking) และถูกกาสิฟรายต่อเกิดเป็น มีเทน ไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวก่อตัวจากโมเลกุลของถ่านหินที่เกิดจากการสลายตัวจากความร้อนเกิดออกไซด์ของคาร์บอน



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นและผลิตภัณฑ์เมื่อถ่านหินถูกไพโรไลซ์

ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ การกาสิฟิเคชั่นถ่านหิน จะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นหลายขั้นตอน มีทั้งปฏิกิริยาดูดความร้อนและปฏิกิริยาคายความร้อน ก๊าซเชื้อเพลิงประกอบด้วยก๊าซผสมของคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรเจน เรียกว่า โปรดิวเซอร์ก๊าซ (Producer Gas)

Producer gas เกิดจากปฏิกิริยาการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ (Incomplete Combustion) ของคาร์บอนไปเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และปฏิกิริยารีดักชันคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำไปเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน

ปฏิกิริยาที่สำคัญของ Conversion Process เป็นดังนี้

1. ปฏิกิริยาการเผาไหม้หรือออกซิเจน (The Combustion or Oxidation) คาร์บอนในอนุภาคของแข็งจะถูกเผาไหม้ด้วยออกซิเจนในอากาศ เกิดคาร์บอนไดออกไซด์

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 \qquad (1)$$

2. กระบวนการรีดักชัน (The Reduction Process) คาร์บอนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนที่มากเกินพอ (excess carbon) ในอนุภาคของแข็งเกิดเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์

$$C + CO_2 \rightarrow 2CO \qquad (2)$$

3. กระบวนการเปลี่ยน (The shift process) ไอน้ำในอากาศสามารถทำปฏิกิริยากับคาร์บอนที่มากเกินไปด้วย และจะเกิดเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน

$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2 \qquad (3)$$

นอกจากปฏิกิริยา (1) ,(2) และ (3) แล้ว ปฏิกิริยาดังต่อไปนี้อาจจะเกิดขึ้นด้วย

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O \qquad (4)$$

$$C + 2H_2 \rightarrow CH4 \qquad (5)$$

$$CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O \qquad (6)$$

$$C + 2H_2O \rightarrow CO_2 + 2H_2 \qquad (7)$$

$$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2 \qquad (8)$$

Producer Gas ก็คือก๊าซที่ได้จากกระบวนการรีดักชัน เป็นก๊าซที่ได้จากกระบวนการรีดักชันเป็นก๊าซผสมของคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจน (ซึ่งมีอยู่ในอากาศแล้ว) ออกซิเจน (ซึ่งอาจยังมีเหลืออยู่บ้าง) ไฮโดรเจนและมีเทน ก๊าซที่สันดาปได้ (Combustion gas) ในส่วนผสมนี้ก็คือคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดนเจนและมีเทน ซึ่งในหลักการแล้วควรทำให้มีก๊าซนี้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้

ปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์ในก๊าซ ขึ้นกับว่าคาร์บอนไดออกไซด์เปลี่ยนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ได้มากแค่ไหน ในช่วงของรีดักชัน (Reduction zone) และขึ้นกับอุณหภูมิในช่วงรีดักชัน ถ้าต้องการให้คาร์บอนไดออกไซด์เปลี่ยนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ทั้งหมดอุณหภูมิในช่วงรีดักชันต้องสูงเกิน 1100 °C ถ้าเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นถ่านหินปฏิกิริยา (2) เป็นปฏิกิริยาที่มีความสำคัญเพียงปฏิกิริยาเดียว ในช่วงรีดักชันนั้นก็คือ ส่วนประกอบของก๊าซที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ก็คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ แต่หากมีไอน้ำผสมอยู่ด้วยก็มีไฮโดรเจนและมีเทนเกิดตามปฏิกิริยา (4), (5) , (6) , (7) และ (8)

ปฏิกิริยาที่ (3) มีความสำคัญมากเช่นกัน เพราะทำให้ส่วนผสมของไฮโดรเจนในก๊าซมีมากขึ้น เป็นผลทำให้ก๊าซมีค่าพลังงานความร้อนสูงขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการฉีดน้ำเข้าไปผสมกับวัตถุดิบ หรือพ่นไอน้ำเข้าไปเพื่อช่วยให้เกิดไฮโดรเจนให้มากที่สุด แต่ถ้าน้ำมีมากเกินไป ไอน้ำอาจทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์แล้วทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนตามปฏิกิริยาที่ (8) ทำให้ส่วนประกอบของคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง

2.2.ระบบการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง

ในปัจจุบันการทดลองการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง มีการทดลองอยู่ 3 ระบบ ดังนี้ คือ

2.2.1.การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่ำ (Low heating value gas or Low Btu gas) ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะมีค่าความร้อนประมาณ 3.3 – 5.6 MJ/m^3 (90 – 150 Btu/SCF) เกิดจากการเผาไหม้บางส่วนของเชื้อเพลิงกับอากาศ ส่วนใหญ่จะมีไอน้ำอยู่ด้วย ทั้งนี้เนื่องจากในอากาศจะประกอบด้วยออกซิเจนและไนโตรเจน อยู่ด้วย ทำให้ก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้จึงจึงมีค่าความร้อนที่ต่ำ ซึ่งสามารถเขียนกระบวนการก๊าซเชื้อเพลิงได้ดังนี้

$$C+\frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO \qquad (9)$$

$$C+H_2O \rightarrow CO+H_2 \qquad (10)$$

$$CO+H_2O \rightarrow CO_2+H_2 \qquad (11)$$

องค์ประกอบที่สามารถเผาไหม้ได้ (Combustible components) ของก๊าซผลิตภัณฑ์คือ คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน ก๊าซที่ได้จะมีอุณหภูมิเปลวไฟต่ำ (Flame Temperature) ปัจจุบันมีการนำก๊าซผลิตได้ไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

2.2.2. การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนปานกลาง (Medium heating value gas or Medium Btu. gas) ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะมีค่าความร้อนประมาณ 9.3 – 20.5 MJ/m^3 (250 – 550

Btu/SCF) กระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง จะใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ที่ได้จากการแยกออกจากอากาศ ในการทำปฏิกิริยา

2.2.3.การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูง (High heating value gas or High Btu.gas) ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าความร้อนสูงเทียบได้กับ Synthesis gas (SNG) ซึ่งก๊าซที่ผลิตได้มักจะเป็นก๊าซมีเทนเกือบบริสุทธิ์ ซึ่งเราสามารถผลิตได้จาก Medium Btu. Gas โดยใช้กระบวนการเมทาเนชัน (Methanation) ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O \qquad (12)$$

2.3.ประเภทของกระบวนการกาสิฟิเคชัน (Classification of Gasification Process)

2.3.1.แบ่งตามแหล่งที่มาของออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการกาสิฟิเคชัน

2.3.1.1.กาสิฟิเคชันโดยใช้อากาศ (Air Gasification)

2.3.1.2.กาสิฟิเคชันโดยใช้ออกซิเจน (Oxygen Gasification)

2.3.1.1.กาสิฟิเคชันโดยใช้อากาศ (Air Gasification)

เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุด สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงก๊าซพลังงานต่ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับการที่มีไนโตรเจนปริมาณมากน้อยเพียงใด ที่จะไปเจือจางก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้ ก๊าซเชื้อเพลิงดังกล่าวเหมาะสำหรับจะใช้ในประเทศที่กำลังมีการพัฒนาอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถใช้ได้อย่างกว้างขวาง สำหรับอุตสาหกรรมที่ใช้ความร้อน ควรมีการออกแบบเครื่องที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวหรือเชื้อเพลิงก๊าซที่ง่าย ทั้งนี้เพื่อไว้แก้ไขเปลี่ยนแปลง เวลาเปลี่ยนเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง สำหรับกาสิฟิเคชันโดยใช้อากาศ (Air Gasification) ที่ใช้ถ่านหินเป็นวัตถุดิบ สามารถเขียนกระบวนการกาสิฟิเคชัน (Gasification) เบื้องต้นได้ดังนี้

$$2C + O_2 + 4N_2 \rightarrow 2CO + 4N_2 \qquad (13)$$

ซึ่งก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะมีค่าความร้อนประมาณ 4100 MJ/m^3

2.2.1.2.กาสิฟิเคชันโดยใช้ออกซิเจนเข้มข้น (Enriched Oxygen Gasification)

เป็นกระบนการที่ใช้ออกซิเจนเข้มข้น จะให้ก๊าซเชื้อเพลิงที่มีพลังงานสูงกว่าการใช้อากาศ ก๊าซเชื้อเพลิงนี้ประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ กับ ไฮโดรเจน และมักเรียกว่า "ก๊าซสังเคราะห์

(Synthesis Gas) เพราะว่าก๊าซนี้สามารถให้ความร้อนหรือใช้สังเคราะห์เมทานอล แอมโมเนีย และสารเคมีอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม ก๊าซเชื้อเพลิงค่อนข้างจะเป็นสิ่งใหม่และกระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงมีราคาค่อนข้างสูง

2.3.2.แบ่งกระบวนกาสิฟิเคชันตามสภาพเชื้อเพลิงในเบด

2.3.2.1.กระบวนการกาสิฟิเคชันแบบเบดนิ่ง (Fixed – bed Gasification Process)

2.3.2.2.กระบวนการกาสิฟิเคชันแบบฟลูอิไดเบด (Fluidized – bed Gasification Process)

2.3.2.1. กระบวนการกาสิฟิเคชันแบบเบดนิง (Fixed – bed Process)

คำว่า เบดนิ่ง (Fixed – bed) ที่ใช้ในกระบวนการกาสิฟิเคชันเพื่อต้องการให้ทราบว่าเบดเชื้อเพลิงจะรองรับด้วยตะแกรง หรือโดยวิธีอื่นๆและจะรักษาระดับความสูงเหนือตะแกรงให้คงที่ ดังนั้นส่วนบนสุดและล่างสุดของเบดจะคงที่ แต่ภายในเบดเชื้อเพลิงจะเคลื่อนที่อย่างช้าๆ จากด้านบนลงมายังบริเวณที่มีกาสิฟิเคชัน (Gasification zone) ที่เกิดปรากฏการณ์เช่นนั้นเพราะขนาดของเชื้อเพลิงเล็กลงทุกขณะ ต้องมีการเติมเชื้อเพลิงตลอดเวลา เพื่อให้ระดับของเบดคงที่ ไอน้ำและอากาศที่เข้าทางด้านล่างจะเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน บริเวณส่วนล่างของเบด คาร์บอนจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เกิดก๊าซร้อนลอยตัวขึ้นผ่านเบดของคาร์บอน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- เกิดการ Drying เมื่อสัมผัสกับก๊าซร้อนที่ลอยตัวขึ้น
- เกิดการ Devolatilization สารระเหยในวัตถุดิบจะระเหยออกมาแตกตัวให้ก๊าซไฮโดรเจน มีเทน และไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลหนักอื่นๆลอยปะปนไปกับก๊าซผลิตภัณฑ์ (Producer gas) ที่ได้จากการกาสิฟิเคชัน

ส่วนของที่เหลือจากการกาสิฟิเคชันที่เป็นกาก จะนำออกส่วนล่างของเตา กระบวนการกาสิฟิเคชันแบบเบดนิ่ง (Fixed – bed Process) มีข้อดีหลายอย่างเช่น การไหลของเชื้อเพลิงและส่วนของที่เหลือจากการกาสิฟิเคชันที่เป็นกาก จะไหลแบบสวนทางกันกับ ตัวกลางที่ใช้ในการกาสิฟิเคชันและก๊าซผลิตภัณฑ์ (Producer gas) ที่ได้จากการกาสิฟิเคชัน ซึ่งจะเป็นการประหยัดพลังงาน เวลาที่เชื้อเพลิงอยู่ในเตานาน (Long residence time) จะทำให้คาร์บอนเปลี่ยนไปเป็นก๊าซผลิตภัณฑ์ได้มาก (High carbon conversion) ก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีของแข็งปนออกมาเล็กน้อย และการไหลแบบปลั๊ก (Plug) ของเชื้อเพลิงแข็งจะช่วยลดการสูญเสียเชื้อเพลิงที่ยังไม่เผาไหม้ไปในกากได้น้อยที่สุด ข้อเสียสำหรับกระบวนการกาสิฟิเคชันแบบเบดนิ่ง (Fixed – bed Process) คือ ไม่สามารถใช้กับ Caking Coal ได้

2.3.2.2.กระบวนการกาสิฟิเคชันแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized – bed Gasification Process)

กระบวนการกาสิฟิเคชันแบบฟลูอิไดซ์เซชัน (Fluidized – bed Gasification Process) เริ่มมีการพัฒนาตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 และเริ่มมีการนำกระบวนการนี้มาทำเป็นเชิงพาณิชย์ครั้งแรกในปีประมาณ ค.ศ.1920 – 1929 ข้อดีของกระบวนการกาสิฟิเคชันแบบฟลูอิดไดซ์เซชัน คือ

- การหมุนเวียนและเคลื่อนทีอย่างปั่นป่วนของเชื้อเพลิงภายในเบดช่วยทำให้อุณหภูมิมีเสถียรภาพมากขึ้น คือจะทำให้เบดไม่ร้อนขึ้นหรือเย็นลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่เกิด Overheat ซึ่งจะทำให้เกิดการเยิ้มกันเป็นถ่านโค้กและบางส่วนดึงเถ้าที่อยู่รอบๆเกาะสะสมเป็นก้อนใหญ่ (Clinker Formation)
- ความร้อนที่ถ่ายเทภายในเบดหรือจากเบดสู่ผนังรอบๆเป็นไปได้โดยการชนโดยตรงกับอนุภาคเชื้อเพลิง ซึ่งการชนโดยตรงนี้ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าเตาแบบอื่นมาก
- เมื่อป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เตา อุณหภูมิของเชื้อเพลิงจะสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิในเบดอย่างรวดเร็ว จึงทำให้สามารถเผาเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพแตกต่างกันมากๆเช่น มีปริมาณเถ้าสูง ขนาดอนุภาคที่ใช้อยู่ในช่วง 0 – 8 mm. โดยเฉลี่ย และ 0 - 20 mm. สำหรับถ่าน
- ใช้พื้นที่น้อย เพราะมีอัตราการกาสิฟิเคชันสูง มีการถ่ายเทความร้อนรวดเร็วทำให้เตาฟลูอิดไดซ์เบดมีขนาดเล็กกว่าเตาในระบบอื่นที่มีความร้อนออกเท่ากัน ซึ่งหมายถึงเตาฟลูอิดไดซ์เบดมีราคาถูกกว่า

ข้อเสียสำหรับเทคนิคฟลูอิดไดซ์เซชัน

- มีการสูญเสียเชื้อเพลิงที่ยังไม่ได้เผาไหม้ (Ungasification fuel) โดยติดไปกับฝุ่น (Entrained dust)
- มีช่วงจำกัดในการปฏิบัติงานตัวอย่างเช่น ขนาดของอนุภาถ่านหิน การกระจายตัวของอากาศ เนื่องจากลักษณะเฉพาะของฟลูอิดไดซ์เซชันของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

2.4.เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Gasifier)

แบ่งตามทิศทางการไหลของอากาศแบ่งได้ 3 แบบ ดังนี้

2.4.1. Up-draught Gasifier

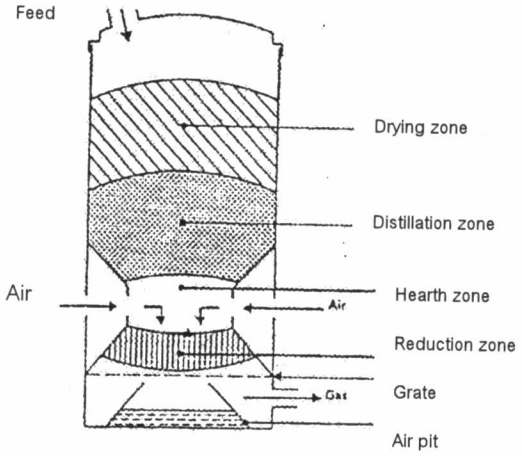
อากาศหรือไอน้ำ จะไหลเข้าทางด้านล่างบริเวณที่มีการสันดาป (Hearth zone) อุณหภูมิอยู่ในช่วง 900 °C หรือมากกว่าตามความต้องการ ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ มีการเติมไอน้ำเข้าไปจะเป็นการลดอุณหภูมิบริเวณที่มีการสันดาปหรือ อาจทำการหล่อเย็นบริเวณนี้ด้วยน้ำตลอดเวลา เพื่อเป็นการยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักรด้วย ก๊าซที่ได้จากบริเวณการเผาไหม้ (Combustion zone) จะผ่านไปยัง Reduction zone เข้าไปที่ Distillation zone และ Drying zone ตามลำดับ ก๊าซที่เกิดขึ้นจะได้ออกมา 2 ระดับคือ ระดับแรกได้มาจาก Gasification zone ในช่วง Reduction zone ซึ่งให้ก๊าซที่สะอาดใส (Clear gas) ออกมา ระดับต่อมาได้จาก Distillation zone หรือ Drying zone ได้ Top gas ซึ่งอุณหภูมิของ Top gas จะปรับสัดส่วนของ Clear gas ซึ่งได้ออกจากเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง กระบวนการนี้สามารถผลิตโปรดิวเซอร์ก๊าซ โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิ

2.4.2. Down – draught Gasifier

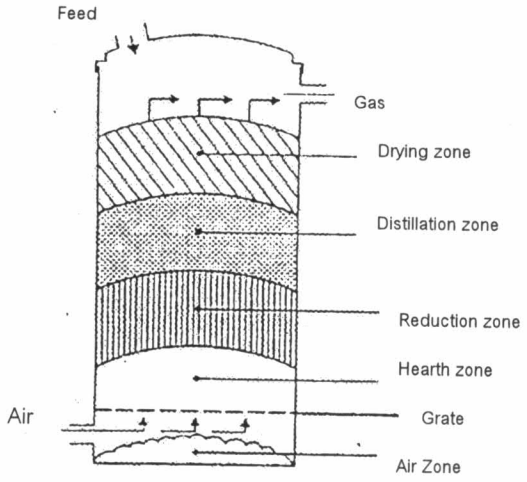
ระบบนี้ได้รับการพัฒนาโดยมีจุดมุ่งหมายที่จะเปลี่ยนน้ำมันทาร์ ที่เกิดขึ้นในเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงไปเป็นก๊าซ ซึ่งมีความสำคัญมาก กรณีส่งก๊าซเชื้อเพลิงไปตามท่อระยะทางไกลๆจากเตา และยังสามารถประยุกต์ใช้กับกรณีเป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ได้ด้วย เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงมี Distillation zone และ drying zone อยู่เหนือ Hearth zone และมี Reduction zone อยู่ด้านล่าง บริเวณที่สำคัญที่สุดก็คือ Combustion zone ระบบ down – draught Gasifier นี้มีการใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับการกาสิฟิเคชันถ่านหิน ถ่านไม้ และลิกไต์ อย่างไรก็ตามระบบนี้ต้องการเชื้อเพลิงที่มีขนาดเท่ากัน และระบบนี้จะทำงานที่อุณหภูมิต่ำกว่าเครื่องในระบบ Cross- draught gasifier

2.4.3. Cross- Draught gasifier

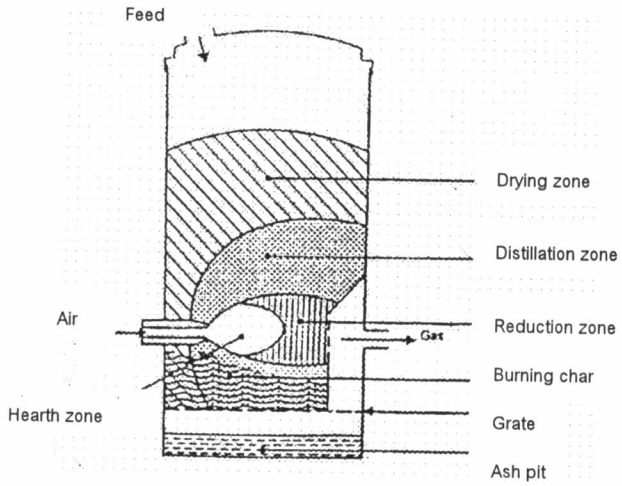
ระบบนี้การไหลของอากาศและเชื้อเพลิงเข้าสู่เตา จะขวางกับตัวเตา แต่ไม่จำเป็นจะต้องขนานในแนวนอนสม่ำเสมอ เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบนี้จะทำงานที่อุณหภูมิสูงมาก ให้มี Combustion zone และ Reduction zone จำกัด โดยใช้ท่ออากาศตรงทางเข้าที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก อุณหภูมิจะสูงถึง 2000 °C จึงต้องมีน้ำหล่อเย็นเสมอ



รูปที่ 2.2 Down-draught Gasifier



รูปที่ 2.3 Up-draught Gasifier



รูปที่ 2.4 Cross – Draught Gasifier

สรุปได้ว่าเตาผลิตก๊าซทั้ง 3 แบบ Up-draught Gasifier, Down – draught Gasifier และ Cross- draught gasifier ตามลำดับมีหลักการทำงานที่คล้ายกันคือการป้อนวัตถุดิบเข้าทางด้านบนของเตา ครั้งแรกวัตถุดิบถูกทำให้แห้ง แล้วถูกกลั่นสลายด้วยความร้อน (Pyrolyse)

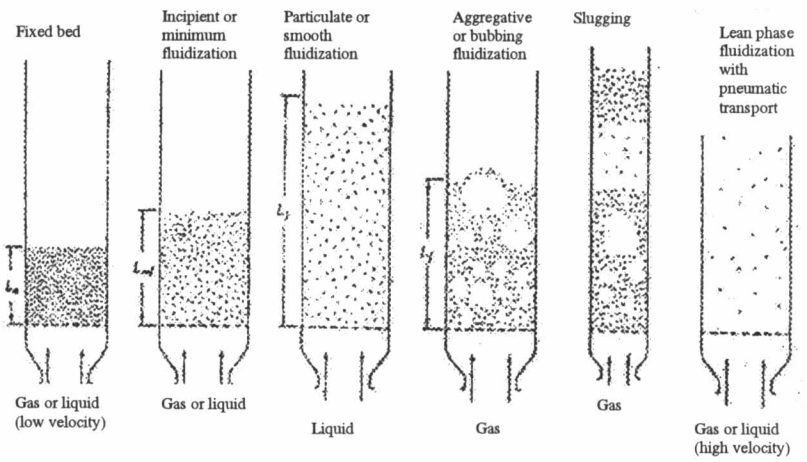
เนื่องมาจากความร้อนที่บริเวณที่ร้อนกว่าอยู่ข้างล่างเตา เรียงลำดับคือ Combustion zone และ Reduction zone องค์ประกอบที่เป็นน้ำมันทาร์และถ่านแดง ถูกออกซิไดซ์บางส่วนให้ความร้อนออกมา และทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นไปอีกประมาณ 500 ^{o}C ปริมาณคาร์บอนที่เหลือทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ได้คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนในช่วงสุดท้าย ส่วนกากที่เหลือจากการเผาไหม้จะร่วงลงผ่านตะแกรงไปที่ส่วนล่าง อากาศร้อนถูกแยกออกในส่วนตรงข้ามกับอากาศเข้า อาจเป็นส่วนบนหรือส่วนล่างขึ้นกับแบบของเตา องค์ประกอบที่แน่นอนที่ได้จากเตาผลิตเชื้อเพลิงที่ใช้อากาศขึ้นกับชนิดของชีวมวลที่ใช้

2.5.ลักษณะของระบบกาสิฟิเคชันแบบฟลูอิไดซ์ (Physical of fluidized Gasification System)

สิ่งที่สำคัญที่ควรพิจารณาได้แก่ ความดันที่ต้องการเพื่อจะให้เกิดการไหลของสารที่ทำปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นผ่านชั้นของก้อนเชื้อเพลิง การเคลื่อนที่ของของไหลและอนุภาคของแข็งเพื่อให้เกิดการผสมกันโดยตรงอย่างทั่วถึง ทั้งในแนวตามความยาวและในแนวรัศมีของเครื่องปฏิกรณ์เคมี อัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลสารที่พื้นผิวสัมผัสอิทธิพลของแฟกเตอร์เหล่านี้ย่อมส่งถึงปรากฏการณ์ทางเคมีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น นอกจากนี้อัตราการลดของความดัน การถ่ายเทความร้อนและความสามารถในการแพร่กระจายของมวล ส่วนคุณสมบัติของของแข็ง ได้แก่ ความหนาแน่นโดยรวม (Bulk Density) ขนาดและปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Area) ปริมารของช่องว่าง (Void Volume) ความสามารถแพร่กระจายความร้อน (Thermal Diffusivity) และตัวแปรอื่นๆ

เมื่อของไหล ไหลผ่านขึ้นมาจากตอนล่างของชั้นอนุภาคของแข็งดังแสดงในรูปที่ 2.5 ที่อัตราการไหลของของไหลต่ำ ของไหลจะแทรกตัวผ่านไปตามช่องระหว่างอนุภาคของแข็งที่หยุดนิ่งจุดนี้เรียกว่า “เบด-นิ่ง” (Fixed-Bed)

เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของของไหลให้มากขึ้น อนุภาคของแข็งจะเริ่มเคลื่อนตัวออกห่างจากกันและบางอนุภาคจะมีการสั่นและเคลื่อนตัวได้ในเนื้อที่จำกัดจุดนี้เรียกว่า “ เบด-ขยาย”

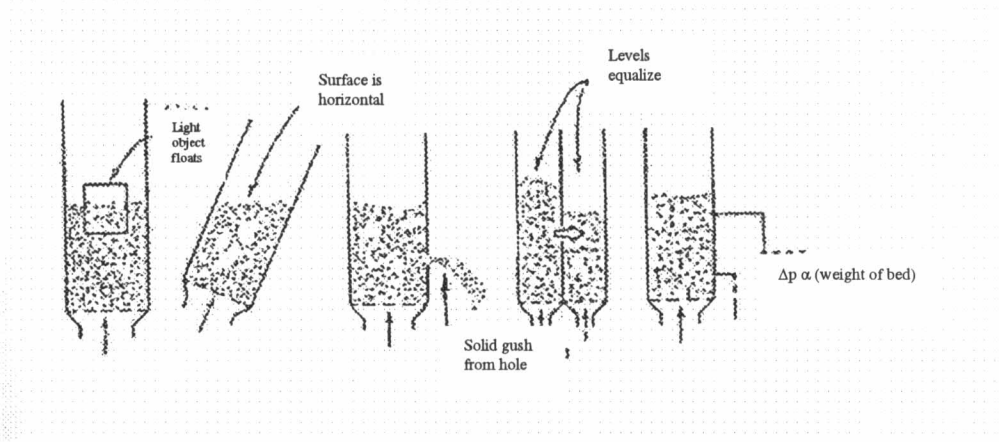


รูปที่ 2.5 การเกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน

(Expanded-Bed) ถ้ายังคงเพิ่มความเร็วของของไหลให้มากขึ้นไปอีก จนถึงจุดหนึ่งซึ่งอนุภาคจะแทรกตัวกระจายอย่างทั่วถึง ในกระแสของของไหลที่ผ่านขึ้นมาจากตอนล่าง ที่จุดนี้แรงเนื่องจากความเสียดทานที่เกิดระหว่างของไหลและผิวของอนุภาค จะเท่ากันพอดีกับน้ำหนักของอนุภาคโดยมีทิศทางส่วนกัน แรงกดลงในแนวดิ่งระหว่างอนุภาคที่อยู่ติดกันจะหายไป และความดันลดตลอดชั้นต่างๆ ของเบดจะเท่ากันน้ำหนักของของไหลและอนุภาคในช่วงนั้นๆซึ่งที่จุดนี้กล่าวได้ว่า เกิดการฟลูอิดไดซ์ หรือเรียกว่า "ฟลูอิดไดซ์ที่น้อยที่สุด" (Minimum Fluidization) ในกรณีของไหลเป็นก๊าซ เมื่อเพิ่มอัตราการไหลให้สูงที่จุดฟลูอิดไดซ์ที่น้อยที่สุดขึ้นไปอีก จะเกิดปรากฏการณ์ที่แตกต่างกัน 2-ลักษณะ คือ

2.5.1.1.ถ้าพื้นที่หน้าตัดของตัวเบดมีขนาดใหญ่ ชั้นของอนุภาคจะเกิดเป็นฟองก๊าซโดยที่ชั้นอนุภาคจะขยายตัวขึ้นไม่มาก แต่จะเกิดการไหลวนผสมกันอย่างรุนแรงเรียกว่า "เบดฟลูอิดไดซ์แบบฟองก๊าซ" (Bubbling Fluidized-Bed)

2.5.1.2.ถ้าขนาดพื้นที่หน้าตัดของเบดมีขนาดเล็ก ฟองก๊าซที่เกิดจะมีขนาดใหญ่ จนในที่สุดรวมตัวกันเท่ากับขนาดของเบด ฟองก๊าซขนาดใหญ่นี้จะทำหน้าที่อุ้มชั้นของอนุภาคที่อยู่ตอนบนให้ลอยตัวขึ้น และตกลงมาเมื่อฟองก๊าซแตกออก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า"ปรากฏการณ์สลักก์กิ้ง" (Slugging Phenomena) ถ้าเพิ่มอัตราการไหลของของไหลต่อไปอีก อนุภาคของแข็งจะเกิดการไหลวนผสมกันอย่างรุนแรงยิ่งขึ้น เกิดการฟลูอิดไดซ์มากขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง ความเร็วของของไหลมากพอที่จะอุ้มเอาอนุภาคทั้งหมดให้ไหลตามออกมาพร้อมๆกับกระแสของไหล จุดนี้เรียกว่า"เบดฟลูอิดไดซ์แบบวัฏภาคเบาบาง" (Lean-phase Fluidized-Bed) ซึ่งนำไปใช้ในการถ่ายเทมวลสารของแข็งจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง รูปที่ 2.6 แสดงพฤติกรรมต่างๆที่เหมือนของเหลวของระบบฟลูอิดไดซ์



รูปที่ 2.6 พฤติกรรมต่างๆที่เหมือนของเหลวของระบบฟลูอิดไดซ์

2.5.2 พฤติกรรมรวมของระบบฟลูอิดไดซ์ - เบด (Gross Behavior of Fluidized-Bed)

ปรากฏการณ์การเคลื่อนที่ของของไหลไปตามช่องว่างของอนุภาคในระหว่างการเกิดฟลูอิดไดซ์นั้นเป็นปรากฏการณ์การเคลื่อนที่ที่สลับซับซ้อนมาก ดังนั้นการศึกษาถึงอิทธิพลจากแฟคเตอร์ต่างๆเช่น ขนาดอนุภาค ความหนืดของของไหล ความดันลดที่เกิดขึ้นต่อหน่วยความสูงเบดและความหนาแน่นของของไหลเป็นต้น เริ่มต้นจากการทดลองและศึกษาถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อของไหลไหลผ่านชั้นของแข็ง ที่อยู่นิ่งและขนาดอนุภาคมีขนาดสม่ำเสมอ Ergun (1952) ได้สรุปความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆดังนี้

ในขณะที่เม็ดของแข็งเริ่มลอยตัวเป็นอิสระอยู่นั้นอาจกล่าวได้ว่า เม็ดของแข็งอยู่ในสภาวะสมดุลของแรง 2 แรงที่เกิดขึ้นบนเม็ดของแข็ง คือแรงที่เกิดจากน้ำหนักของตัวเม็ดของแข็งกับแรงพยุงจากของไหลหรือเกิดจากแรงเสียดทานกับแรงต้านของของไหล

แรงพยุง (แรงเสียดทาน + แรงต้าน) = น้ำหนักของเม็ดของแข็ง (2.1) หรือ

(ความดันตกใน พ.ท.ตัดขวางของเบด)x(พ.ท.ตัดขวางของหอทดลอง) = (ปริมาตรของเบด) X (ส่วนของแข็งในเบด) X (ความถ่วงจำเพาะของของแข็ง) (2.2)

ซึ่งเขียนใหม่ได้เป็น

$$\Delta PA = W = (AL)(1-\varepsilon_{mf})(\rho_s - \rho_g)\frac{g}{g_c} \qquad (2.3)$$

จัดระเบียบใหม่เพื่อให้ได้สถานะต่ำสุดของฟลูอิดไดเซชั่นเป็นดังนี้

$$\frac{\Delta P}{L_{mf}} = (1-\varepsilon_{mf})(\rho_s - \rho_g)\frac{g}{g_c} \qquad (2.4)$$

ปริมาณช่วงว่างในเบดต่ำสุดสำหรับขณะที่เริ่มเกิดนั้นจะมีค่ามากกว่าปริมาณช่องว่างที่อยู่ในเบดนิ่งเล็กน้อยในขณะที่เบดยังอยู่ในลักษณะของค่าต่ำสุดของฟลูอิดไดเซชันนั้น สมการของความดันตกยังสามารถเอามาประยุกต์ใช้ได้เมื่อแทนค่าความดันในสมการของ Ergun (1952) จะได้ว่า

$$\frac{1.75}{\phi_s \varepsilon_{\mathrm{mf}}^{\ 3}}\left(\frac{d_{\mathrm{p}} U_{\mathrm{mf}} \rho_{\mathrm{g}}}{\mu}\right)^2+\frac{150(1-\varepsilon_{\mathrm{mf}})}{\phi_s^2 \varepsilon_{\mathrm{mf}}^{\ 3}}\left(\frac{d_{\mathrm{p}} U_{\mathrm{mf}} \rho_{\mathrm{g}}}{\mu}\right)=\frac{d_p^3 \rho_{\mathrm{g}}(\rho_s-\rho_{\mathrm{g}})\mathrm{g}}{\mu^2} \qquad (2.5)$$

ในเบดที่ใช้เม็ดของแข็งขนาดเล็กจะทำให้สามารถใช้ความเร็วของของไหลเพียงเล็กน้อยก็ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชันแล้ว เพราะฉะนั้นความเร็วต่ำสุดที่จะทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เซชันนั้นสามารถคำนวณได้จาก

$$U_{mf}=\frac{\left(\phi_s d_p\right)^2}{150}\frac{\rho_s-\rho_g}{\mu} g_c \frac{\varepsilon^3{}_{mf}}{1-\varepsilon_{mf}} \qquad (2.6)$$

เมื่อ $\mathrm{Re}=\dfrac{d_p \rho_g U_0}{\mu} \ < \ 20$

และสำหรับเบดที่ใช้เม็ดของแข็งขนาดใหญ่ต้องใช้ความเร็วของของไหลสูงมากๆจึงจะทำให้เม็ดของแข็งลอยเป็นอิสระ กล่าวคือค่าของพลังงานจลน์จะเป็นจุดเด่นในกรณี ดังนั้นความเร็วต่ำสุดของไหลที่จะทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เซชันคำณวณได้จาก

$$U^2{}_{mf}=\frac{d_p g \phi_s \varepsilon^3{}_{mf}\left(\rho_s-\rho_g\right)}{1.75 \rho_g} \qquad (2.7)$$

เมื่อ $\mathrm{Re}=\dfrac{d_p \rho_g U_0}{\mu} \ > \ 1000$

ในฟลูอิดไดซ์เซชั่นนั้นมีความเร็วอยู่ 2 ขอบเขต ขอบเขตอันแรกคือ ความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน ขอบเขตอันที่สองคือ ความเร็วของไหลที่เพิ่มขึ้นจากความเร็วต่ำสุดจนกระทั่งทำให้เม็ดของแข็งหลุดออกไป ความเร็วค่านี้จะมีค่าเท่ากับความเร็วตกอิสระของเม็ดของแข็ง ซึ่งสามารถหาค่าความเร็วนี้ได้จากการคำนวณปรากฏการณ์การตกอย่างอิสระของอนุภาค (Free – fall velocity of the particles)

$$U_t=\left[\frac{4 g d_p\left(\rho_s-\rho_g\right)}{3 \rho_g c_d}\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (2.8)$$

ค่า Reynolds Number

$$\mathrm{Re} = \frac{d_p \rho_g U_t}{\mu} \qquad (2.9)$$

พิจารณาใช้สัมประสิทธิ์ของการเสียดทาน (Drag Coefficient) จากการทดลองพบว่าสัมประสิทธิ์นั้น แปรผันตามขนาดของเม็ดของแข็งดังนี้

$$C_{d,spherical} = \frac{24}{\mathrm{Re}_p} \qquad \text{สำหรับ } \mathrm{Re_p} < 0.4$$

$$C_{d,spherical} = \frac{10}{\mathrm{Re}_p^{\frac{1}{2}}} \qquad \text{สำหรับ } 0.4 < \mathrm{Re_p} < 500$$

$$C_{d,spherical} = 0.43 \qquad \text{สำหรับ } 500 < \mathrm{Re_p} < 200{,}000$$

แทนค่า $C_{d,spherical}$ ใน (2.9) จะได้ U_t

$$U_{t,spherical} = \left[\frac{g d_p^{\,2}\left(\rho_s - \rho_g\right)}{18\mu}\right] \qquad \text{สำหรับ } \mathrm{Re_p} < 0.4 \qquad (2.10)$$

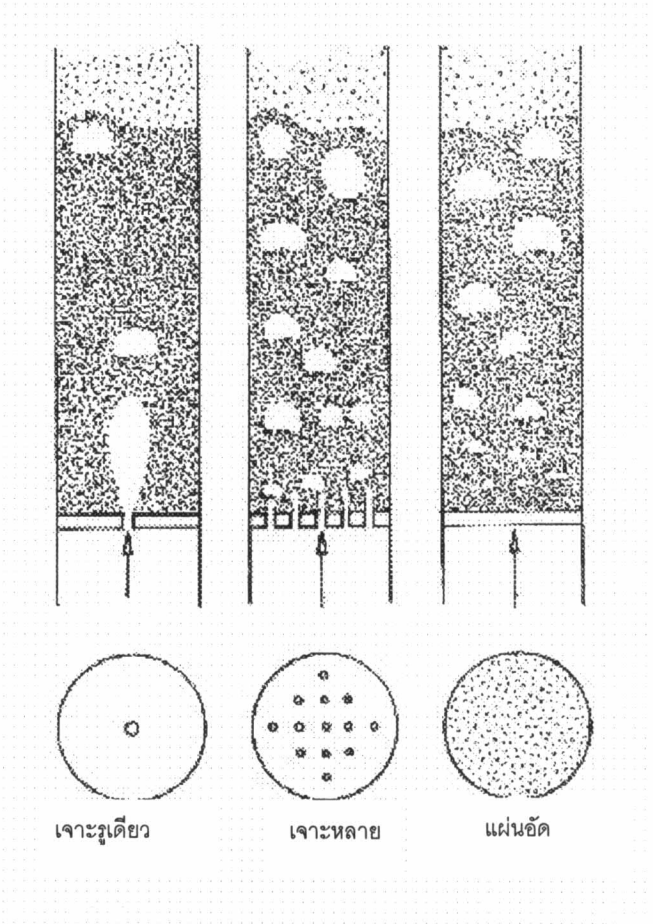
$$U_{t,spherical} = \left[\frac{4g^2\left(\rho_s - \rho_g\right)^2}{225\rho_g \mu}\right]^{\frac{1}{3}} d_p \qquad \text{สำหรับ } 0.4 < \mathrm{Re_p} < 500 \qquad (2.11)$$

$$U_{t,spherical} = \left[\frac{3.1 d_p g\left(\rho_s - \rho_g\right)^2}{\rho_g}\right]^{\frac{1}{2}} \qquad \text{สำหรับ } 500 < \mathrm{Re_p} < 200{,}000 \qquad (2.12)$$

2.6.การเลือกชนิดของแผ่นกระจายก๊าซ (Choice of Distributor Type)

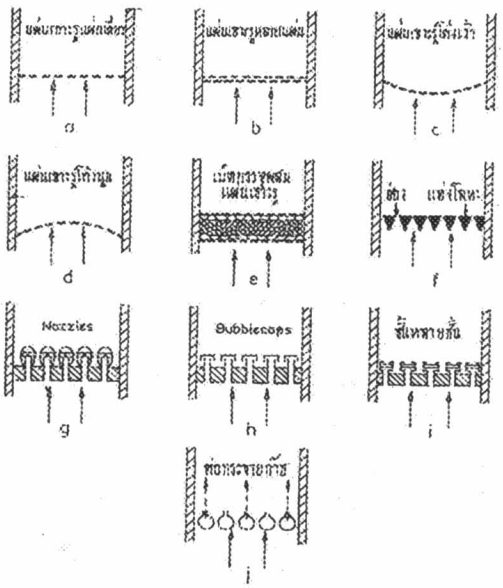
ผลกระทบอีกอย่างหนึ่งสำหรับการเกิดฟองก๊าซในขณะเกิดการฟลูอิดไดซ์ คือ แผนกระจายก๊าซที่ใช้ในระบบ พิจารณารูปที่ 2.7 เมื่อแผ่นกระจายก๊าซมีช่องทางให้ก๊าซที่มีขนาดใหญ่และทางเดียว จะทำให้ความหนาแน่นของอนุภาคภายในระบบมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าอัตราการไหลของก๊าซมีค่ามาก และอาจจะทำให้ฟองก๊าซมีขนาดใหญ่ขึ้นจนเกือบเท่าขนาดท่อ ส่งผลให้เกิดการอุ้มชั้นอนุภาคขึ้นไปตามกระแสการไหลของก๊าซ และถ้าขนาดของช่องทางให้ก๊าซผ่านมีขนาดเล็กลงและมีจำนวนมาก เมื่ออัตราการไหลของก๊าซมีค่าต่ำๆแล้ว จะส่งผลให้ฟองก๊าซแทบจะไม่เกิดขึ้นเลย

หรือเกิดฟองก๊าซขนาดเล็กๆกระจายอยู่ทั่วไปอย่างสม่ำเสมอ ความหนาแน่นของอนุภาคจึงมีความสม่ำเสมอ การสัมผัสกันของก๊าซและของแข็งจะมีมาก การแทรกตัวหนีของก๊าซไปตามช่องว่างของผนังท่อมีน้อยลง และถ้าเปลี่ยนช่องทางให้ก๊าซผ่านมีขนาดเล็กลงอีกและมีปริมาณจำนวนช่องมากขึ้น ความหนาแน่นของอนุภาคในกระแสก๊าซที่ไหลส่วนทางขึ้นจะมีความสม่ำเสมอ ฟองก๊าซเกิดขึ้นน้อยและมีขนาดเล็กลง แต่ข้อเสียของแผ่นกระจายแบบนี้คือค่าความดันลดที่เกิดขึ้นระหว่างตอนบนและตอนล่างของแผ่นกระจายจะมีค่าสูงมาก ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานมาก



รูปที่ 2.7 คุณภาพของฟลูอิดไดซ์เซชันเกิดจากแผ่นกระจายต่างชนิดกัน

นอกจากตัวกระจายก๊าซที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีตัวกระจายกระจายก๊าซอีกหลายแบบซึ่งเหมาะกับใช้งานและมีการกระจายของก๊าซที่ดีขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ดังในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แบบของตัวกระจายก๊าซลักษณะต่างๆกัน

2.7.การนำระบบฟลูอิดไดซ์เซชันประยุกต์ใช้ในกระบวนการก๊าซสิฟิเคชัน

กระบวนการแบบ Up draught Gasification นี้ ถ้าขนาดของเม็ดถ่านเล็กก็พอแล้ว ความเร็วของอากาศที่ป้อนเข้าในเตาก๊าซเชื้อเพลิงได้อัตราส่วนกันพอดี เม็ดของถ่านก็จะลอยอยู่ท่ามกลางของกระแสอากาศ ซึ่งเป็นลักษณะของการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน เราสามารถทราบได้ว่ากระบวนการที่ดำเนินอยู่นี้เกิดเป็นฟลูอิดไดซ์เซชันหรือไม่ก็ได้ จากการคำนวณดูว่าความเร็วของอากาศที่ใช้งานเป็นเท่าไร ถ้าสูงกว่าความเร็วต่ำสุดของฟลูอิไดเซชันแล้ว ระบบก็เกิดฟลูอิดซ์ไดเซชันอย่างแน่นอน ความเร็วต่ำสุดของฟลูอิดไดซ์เซชันนี้ สามารถคำนวณได้จากสมการ ของ Wen และ Yu (1947) ได้เสนอผลคูณของช่องว่างต่ำสุดและ แฟคเตอร์รูปร่างมีค่าคงที่ และอาจสังเกตได้จากการทดลองของเขาโดยใช้วัสดุชนิดต่างๆบรรจุลงในเบดแล้วสรุปว่าวัตถุอย่างหนึ่งก็มีสัดส่วน ช่องว่างอันหนึ่ง ซึ่งกำหนดว่า

$$\frac{1}{\phi_s \varepsilon_{mf}^{\ 3}} \cong 14 \qquad (2.13)$$

และ

$$\frac{1-\varepsilon_{mf}}{\phi_s^{\ 2} \varepsilon^3_{mf}} \cong 11 \qquad (2.14)$$

ดังนั้นสมการของ Ergun (1952) เปลี่ยนเป็น

$$\frac{d_p U_{mf} \rho_f}{\mu} = \left[33.7^2 + 0.0408 \frac{d_p^{\,3} \rho_g \left(\rho_s - \rho_g\right) g}{\mu^2} \right]^{1/2} - 33.7 \qquad (2.15)$$

สำหรับเบดที่มีขนาดของเม็ดของแข็งขนาดเล็กความเร็วต่ำสุดคำนวณได้ใหม่เป็น

$$U_{mf} = \frac{d_p^{\,2} \left(\rho_s - \rho_g\right) g}{1650 \mu} \qquad (2.16)$$

เมื่อ $\mathrm{Re} = \dfrac{d_p \rho_g U_0}{\mu} < 20$

สำหรับเบดที่มีเม็ดของแข็งขนาดใหญ่ ความเร็วต่ำสุดหาได้จาก

$$U^2_{mf} = \frac{d_p^{\,2} g \left(\rho_s - \rho_g\right)}{24.5 \rho_g} \qquad (2.17)$$

เมื่อ $\mathrm{Re} = \dfrac{d_p \rho_g U_0}{\mu} > 1000$

2.8.การออกแบบแผ่นกระจายก๊าซ (Design of Distributor Plate)

เมื่อกระแสของก๊าซไหลมาตามท่อส่ง จนถึงตอนล่างของแผ่นกระจายก๊าซ จะทำให้เกิดความดันลดลง ซึ่งมีค่ามากพอที่จะให้ก๊าซที่ไหลผ่านรูเปิดของแผ่นกระจายมีอัตราเท่ากับอัตราการไหลของการส่งก๊าซพอดี ทำให้ก๊าซที่เข้ามาถูกจัดตัวกันเสียใหม่ตามลักษณะการเรียงตัวของช่องทางเปิดบนแผ่นกระจายก๊าซ

ความต้านทานเนื่องจากการจัดตัวใหม่ของก๊าซ จะอยู่ในรูปของการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการขยายตัวเมื่อก๊าซไหลผ่านช่องทางเปิดเล็กๆของแผ่นกระจายก๊าซ

Richardson (1961) ได้แนะนำอัตราส่วนของการสูญเสียพลังงานเนื่องจากแผ่นกระจายก๊าซต่อการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการขยายตัว ว่าควรจะมีค่าเป็น 100 เท่า

Agarwal และคณะ (1962) ได้แนะนำว่า ความดันลดที่เกิดขึ้นบนแผ่นกระจายก๊าซควรมีค่าประมาณ 10 % ของความดันลดตลอดช่องความยาวของชั้นอนุภาค และมีค่าอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 35 $cm.H_2O$

$$\Delta Pd,min = Max\ (0.1\Delta P_{bed};\quad 35\ cm.H_2O;\quad 100\Delta P_{expansion\ into\ vessel}) \quad (2.18)$$

สมการ 2.18 สามารถนำไปใช้เป็นขอบเขตของการออกแบบความดันลดที่เกิดระหว่างตอนบนและตอนล่างของแผ่นกระจายก๊าซ

แผ่นกระจายก๊าซชนิดแผ่นเรียบ (Perforated Plate) สามารถออกแบบได้โดยตรงอาศัยทฤษฎีออริฟิซ (Orifice Theory) เมื่อความดันที่เกิดขึ้นทั้งหมดมีค่ามากกว่าความดันลดเนื่องจากออริฟิซมากๆ โดยมีขั้นตอนการออกแบบดังนี้

1.คำนวณค่าความดันลดที่จำเป็น ซึ่งเกิดระหว่างแผ่นกระจายก๊าซจากสมการที่ 2.18 และสมการ 2.4

2.คำนวณค่าจำนวนเลขเรย์โนลด์ เนื่องจากอัตราการไหลทั้งหมดของก๊าซที่มาถึงแผ่นกระจายก๊าซ และหาค่าสัมประสิทธิ์ออริฟิซ (Orifice Coefficient) Cd จากรูปที่ 2.9

3.หาค่าความเร็วของไหลที่ผ่านช่องเปิดของแผ่นกระจายก๊าซ โดยใช้ความหนาแน่นและอุณหภูมิของก๊าซวัดที่ช่องเปิดพอดี

$$U_{or} = Cd \left(2 \cdot g_c \cdot \frac{\Delta Pd}{\rho_g} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.19)$$

อัตราส่วนของ $\frac{U_0}{U_{or}}$ คือ เศษส่วนของพื้นที่ของช่องเปิดออริฟิซต่อพื้นที่ของแผ่นกระจายก๊าซ

4.เลือกค่า N_{or} หรือจำนวนรูเปิดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของแผ่นกระจายก๊าซ และหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องทางเปิด

$$U_0 = \frac{\pi}{4} \cdot D_{or}{}^2 \cdot U_{or} \cdot N_{or} \quad (2.20)$$

สำหรับอนุภาคที่มีขนาดเล็กมากๆการออกแบบแผ่นกระจายก๊าซที่ดีจะทำหน้าที่คล้ายๆกับเครื่องกวนผสม ทำให้การผสมกันของของแข็งดีขึ้น และเกิดฟลูอิดไดซ์อย่างทั่วถึงแฟคเตอร์ที่พิจารณาคือ อัตราส่วนของพลังงานจลน์ของกระแสก๊าซ (Gas Jet) ที่ผ่านช่องเปิดของแผ่นกระจายก๊าซต่อความต้านทานที่เกิดขึ้น เนื่องจากน้ำหนักของแข็ง ถ้าพลังงานจลน์มีค่ามากกว่าน้ำหนักของแข็ง กระแสก๊าซจะผลักดันอนุภาคของแข็งขึ้นไปได้ แต่ถ้าพลังงานจลน์มีค่าน้อย

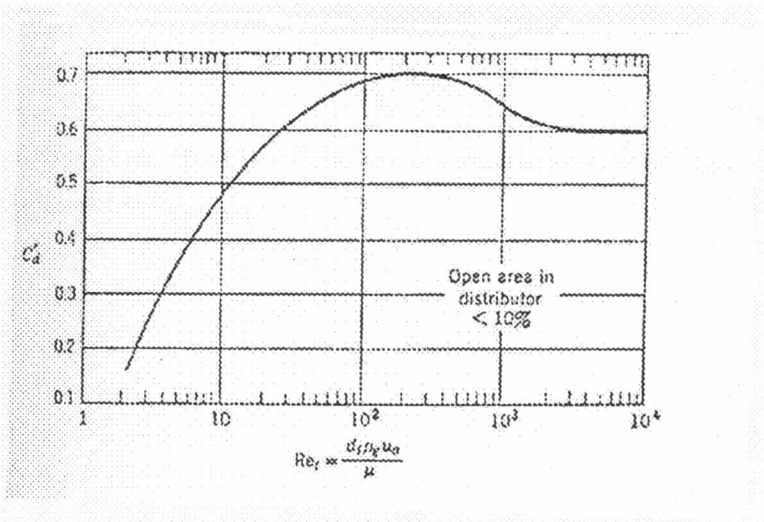
จะเกิดปรากฏการณ์ร่วงหล่นลงของอนุภาคผ่านแผ่นกระจายก๊าซ และไม่เกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดซ์ตามที่ต้องการ ดังนั้นสมดุลของแรงสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{(Kinetic Energy through Orifice)} = \left(\frac{1}{2} \quad to \quad \frac{3}{4}\right) \text{(Resistance by Solid Weight)} \tag{2.21}$$

$$\frac{\rho_g U^2{}_0}{2g_c} = \left(\frac{1}{2} \quad to \quad \frac{3}{4}\right)\left(\frac{1}{A_t} \cdot W_{bed}\right) \tag{2.22}$$

$$U_{or} = (0.7 \; to \; 0.85)\left(2g_c \frac{\Delta P_{bed}}{\rho_g}\right)^{\frac{1}{2}} \tag{2.23}$$

ทั้งสมการ 2.18 และ 2.22 สามารถนำไปใช้ในการออกแบบแผ่นกระจายก๊าซแบบชนิดแผ่นเรียบได้โดยมีความแตกต่างกันไม่มากนัก



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ออริฟิซกับเลขเรย์โนลด์

2.9.เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บัณฑิต ปัตทวีคงคา (2529) ศึกษากระบวนการก๊าซซิฟรายถ่านหินลิกไนต์ในเตาปฏิกรณ์เคมีแบบฟลูอิดไดซ์ โดยการนำถ่านหินลิกไนต์จาก อำเภอลี้ จังหวัดลำพูน และถ่านหินลิกไนต์จาก อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มาศึกษาทางพลศาสตร์ ถ่านหินจะถูกไล่สารระเหยก่อนเกิดปฏิกิริยากาซซิไฟด้วยการเผาในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน หลังจากนั้นถ่านจะทำปฏิกิริยากับไอน้ำซึ่งผสมกับก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิระหว่าง 700 – 950 ^{o}C ความดันบรรยากาศ ถ่านหินมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 0.72 mm. เตาปฏิกรณ์เคมีแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบไม่ต่อเนื่อง อัตราส่วนก๊าซไนโตรเจนต่อไอน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยามีค่าคงที่เท่ากับ 1 ต่อ 2.4 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) พบว่า ความเร็วของฟลูอิดไดซ์ก๊าซจะไม่มีอิทธิพลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา เมื่อความเร็วของก๊าซเป็น 5.4 เท่า ของความเร็วฟลูอิดไดซ์น้อยที่สุด ผลการทดลองก๊าซซิไฟถ่านด้วยไอน้ำนี้สามารถอธิบายจลพลศาสตร์ได้อย่างดีโดยใช้แบบจำลองแกนกลางปราศจากปฏิกิริยา (Unreacted-core model) ปฏิกิริยาจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนปฏิกิริยาเคมี ในช่วงประมาณ 25 นาทีแรกของการเกิดปฏิกิริยา แต่ภายหลังจากนั้นปฏิกิริยาจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนการแพร่ผ่านชั้นเถ้าของถ่านที่เกิดขึ้น ซึ่งมีผลทำให้อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาลดลง ได้มีการศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิพบว่า อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อองค์ประกอบและปริมาณของก๊าซผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น อุณหภูมิที่ให้ปริมาณก๊าซผลิตภัณฑ์ที่สูงสุด อยู่ระหว่าง 850 – 900 ^{o}C

จิระศักดิ์ แสงพุ่ม (2530) ศึกษาการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านไม้ในฟลูอิดไดซ์เบด ในการทดลองใช้ไม้ขนาด 2 –4 mm. และ 4 – 6 mm. ปฏิกิริยาภายในเตาเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 900 –1200 ^{o}C ใช้อัตราการป้อนอากาศอยู่ระหว่าง 0.29 – 0.51 m^3/min ตราการป้อนถ่านไม้ 88 – 280 g/min ความสูงของเบดอยู่ระหว่าง 500 – 700 mm. และพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงนี้คือ

ความสูงเบด	600	mm.
อัตราการป้อนถ่านไม้	99	g/min
อัตราการป้อนอากาศ	0.29	m^3/min
ขนาดถ่านไม้	4 – 6	mm.
และอุณหภูมิเบด	1100	^{o}C

จากนั้นได้ก๊าซเชื้อเพลิงถูกทำให้เย็นลงจนมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิของบรรยากาศ แล้วป้อนไปยังเครื่องยนต์สันดาปภายนอกขนาด 1600 cm^3 เครื่องยนต์เดินได้เรียบที่ความเร็ว

2500 rpm ใช้ก๊าซเชื้อเพลิง 0.30 m^3/min ที่อุณหภูมิห้องความดันบรรยากาศและได้กำลังของเครื่องยนต์ 46.4 hp ซึ่งสามารถใช้หมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 5 kW ได้เป็นอย่างดี

พรทิพย์ แก้ววรานนท์ชัย (2541) ศึกษาแบบจำลองของการก๊าซสิฟิเคชันจากถ่านไม้ในฟลูอิดไดซ์เบด ในการทดลองใช้ไม้ขนาด 4 – 6 mm. อุณหภูมิ 800 – 1100 °C ความสูงเบด 50 cm. อัตราการป้อนถ่านไม้ 100 –260 g/min อัตราการไหลของอากาศ 0.28 – 0.96 m^3/min ทำการวัดอุณหภูมิและวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซที่ความสูงเหนือแผ่นกระจายอากาศ 5 , 10, 15, 20, 30, 40 และ 50 พบว่าเบดสามารถแบ่งออกเป็น 2 โซน คือ โซนออกซิเดชันและรีดักชัน ซึ่งขนาดของโซนทั้งสองแปรเปลี่ยนตามอัตราการป้อนของอากาศและอัตราการป้อนถ่านไม้ ดังนั้น ในการกำหนดขอบเขตของโซนทั้งสอง จึงต้องกำหนดอัตราการป้อนของอากาศและอัตราการป้อนถ่านไม้กำกับไว้ทุกครั้ง

อรรถพล ณรงค์ฤทธิชัย (2542) ศึกษาการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินเวียงแหงในฟลูอิดไดซ์เบดแบบต่อเนื่อง โดยใช้อากาศเป็นก๊าซตัวกลางภายใต้ความดันบรรยากาศ ตัวแปรที่ศึกษาคือ ขนาดถ่านหิน ซึ่งมีขาดเล็กกว่า 0.8 , 0.8 - 2.36 และ 2.36 – 4.75 mm. และใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 500, 600, 700 , 800 และ 900 °C เพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่ให้ค่าร้อยละความเข้มข้นขององก๊าซองค์ประกอบ และค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่สูง และพบว่าที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 900 °C และถ่านหินขนาด 2.36 – 4.75 mm. ก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าความเข้มข้นไฮโดรเจนร้อยละ 8.89 มีเทนร้อยละ 0.36 คาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 16.32 และ คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 7.51 ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าความร้อนเป็น 3.35 MJ/m^3 ที่สภาวะมาตรฐาน