

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขยะเชื้อเพลิง : Refuse - Derived Fuel (RDF)

ขยะเชื้อเพลิง : Refuse - Derived Fuel (RDF) คือ เชื้อเพลิงแข็งที่ผลิตจากขยะชุมชน โดยมีการคัดแยกขยะที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ เช่น แก้ว โลหะต่างๆ ออก เหลือแต่ส่วนที่สามารถเผาไหม้ได้ แล้วนำมาผ่านกระบวนการจัดการ เพื่อปรับเปลี่ยนสภาพให้มีลักษณะตามที่ต้องการนำไปเป็นเชื้อเพลิงแข็ง เช่น การบด/ย่อย การผสม หรือการอัดแท่ง ขยะเชื้อเพลิงแข็งที่ได้จะมีคุณสมบัติในด้านค่าความร้อน (Heating Value) ความชื้น ขนาด และความหนาแน่นที่เหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนให้กับหม้อไอน้ำหรือเตาเผา หรือในเตาแก๊สซิไฟร์ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าหรือความร้อนต่อไป

ข้อดีของขยะเชื้อเพลิง คือ มีค่าความร้อนสูง มีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงที่ดีกว่าการใช้ขยะมูลฝอยที่รวบรวมมาใช้โดยตรง ง่ายต่อการจัดเก็บ การขนส่ง การจัดการ และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ต่ำกว่า

ประเภทหรือชนิดของขยะที่จะมาผลิตเป็นขยะเชื้อเพลิงแบ่งเป็น 2 กลุ่ม (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ,2551) ประกอบด้วย

1) ขยะที่ย่อยสลายยากและให้ความร้อนสูง เช่น กุ้งพลาสติก กล่องบรรจุภัณฑ์ขนาดเล็ก เช่น กล่องนม กล่องขนม เศษกระดาษ โฟม ผ้า ยาง หนังสือพิมพ์ เป็นต้น ซึ่งกลุ่มขยะประเภทนี้โดยทั่วไปจะมีค่าความร้อนสูง แต่มักจะมีปัญหาด้านมลพิษจากก๊าซที่เผาไหม้ หากไม่มีการควบคุมการเผาไหม้ที่ดีพอ

2) ขยะชีวมวล เช่น เศษกิ่งไม้ เปลือกแข็ง และเมล็ดผลไม้ ซึ่งขยะกลุ่มนี้ โดยทั่วไปนี้จะมีค่าความร้อนต่ำ และปัญหามลพิษจากก๊าซที่เผาไหม้ก็ต่ำด้วย สามารถนำไปใช้แทนไม้ฟืนได้ง่าย และหากมีการนำขยะชีวมวลกลุ่มนี้ผสมกับขยะกลุ่มแรกอย่างเหมาะสม ก็จะทำให้ได้ขยะเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูง สามารถลดปัญหามลพิษจากการนำขยะเชื้อเพลิงที่ได้ไปใช้งาน ขยะชีวมวลกลุ่มนี้จะมีปริมาณไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับฤดูกาล เช่น เศษใบไม้ เปลือกผลไม้ เป็นต้น

ขยะเชื้อเพลิง RDF สามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ประเภท ตามมาตรฐาน ASTM ซึ่งแบ่งตามลักษณะของขยะเชื้อเพลิงและกระบวนการที่ใช้ในการจัดการขยะ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) **RDF-1** คือ การนำขยะมาเป็นเชื้อเพลิงในสภาพเดียวกับที่ถูกจัดเก็บมาโดยตรง โดยไม่มีกระบวนการแปรสภาพขยะ อาจมีการแยกชิ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่ออกมาในกรณีที่สามารถเห็นได้ด้วยตา

2) **RDF-2** คือ การนำขยะที่เก็บรวบรวมได้มาผ่านกระบวนการคัดแยกนำสิ่งที่ไม่สามารถเผาไหม้ไม่ได้ ออก และนำมาผ่านกระบวนการลดขนาดอย่างหยาบๆ

3) **RDF-3** มีลักษณะเช่นเดียวกับ RDF-2 แต่จะมีการลดขนาดให้เล็กลง ซึ่งทั้ง RDF-2 และ RDF-3 จะมีองค์ประกอบของขยะส่วนใหญ่ (หรือเกือบทั้งหมด) ที่เป็นองค์ประกอบที่เผาไหม้ได้เท่านั้น

4) **RDF-4** จากนั้นถ้าต้องการเชื้อเพลิงไปใช้กับเทคโนโลยีที่ต้องการขนาดของเชื้อเพลิงที่เล็กละเอียด เช่น Suspension Firing System ก็จะนำ RDF-3 มาทำเป็น RDF-4 ในรูปแบบเป็นผงฝุ่น หรือในทางตรงกันข้ามถ้าต้องการเชื้อเพลิงขยะที่มีขนาดใหญ่ขึ้น มีความหนาแน่นมากขึ้น เพื่อความสะดวกในการจัดเก็บและขนส่ง ก็จะนำ RDF-3 มาผ่านกระบวนการอัดหรือที่เรียกว่า RDF-5

5) **RDF-5** ในระหว่างกระบวนการอัด อาจจะมีการเติมส่วนประกอบต่าง ๆ เพิ่มเข้าไปเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นตามต้องการ เช่น เติมหินปูนเพื่อช่วยในการดูดซับแก๊สที่มีสภาพเป็นกรดที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างการเกิดปฏิกิริยาทางความร้อน เติมถ่านหินเพื่อช่วยให้มีค่าพลังงานที่สูงขึ้น หรืออาจจะผสมกับเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อการควบคุมปริมาณองค์ประกอบที่พึงประสงค์ต่าง ๆ เช่น ปริมาณคลอไรด์ ปริมาณโลหะหนัก ที่มีอยู่ในขยะให้มีปริมาณที่กำหนดหรือสามารถควบคุมได้ด้วยเทคโนโลยีการแปรรูปขยะเป็นพลังงานที่ใช้งานอยู่

6) **RDF-6 และ RDF-7** คือ เชื้อเพลิงขยะที่ไม่ได้อยู่ในรูปของเชื้อเพลิงแข็ง เหมือนกับ RDF-1 ถึง RDF-5 แต่จะอยู่ในรูปของเชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงแก๊ส ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 ประเภทของขยะเชื้อเพลิง RDF

ชนิด	กระบวนการจัดการ	ระบบการเผาไหม้
RDF 1MSW	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ได้ออกด้วยมือ รวมทั้งขยะขนาดใหญ่	Stoker
RDF 2 Coarse RDF	มีการบดหรือตัดขยะมูลฝอยอย่างหยาบๆ	Fluidized Bed Combustor, Multi fuel Combustor
RDF 3 Fluff RDF	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ ออก เช่น โลหะ แก้วและอื่นๆ มีการบดหรือตัดจนทำให้ 95% ของขยะมูลฝอยที่คัดแยกแล้ว มีขนาดเล็กกว่า 2 นิ้ว	Stoker
RDF 4 Dust RDF	นำขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ มาผ่านกระบวนการทำให้อยู่ในรูปของผงฝุ่น	Fluidized Bed Combustor, Pulverized Fuel Combustor
RDF 5 Densified RDF	นำขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการอัดแท่งโดยให้ความหนาแน่นมากกว่า 600 kg/m ³	Fluidized Bed Combustor, Multi fuel Combustor
RDF 6 RDF Slurry	นำขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการให้อยู่ในรูปของเชื้อเพลิงเหลวหรือ Slurry	Swirl Burner
RDF 7 RDF Syngas	นำขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการ Gasification เพื่อผลิต Syngas ที่ใช้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงได้	Burner, Integrated Gasification-Combined Cycle (IGCC)

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2551)

2.2 องค์ประกอบของระบบผลิตขยะเชื้อเพลิง

องค์ประกอบที่สำคัญของระบบผลิตขยะเชื้อเพลิง ประกอบด้วย

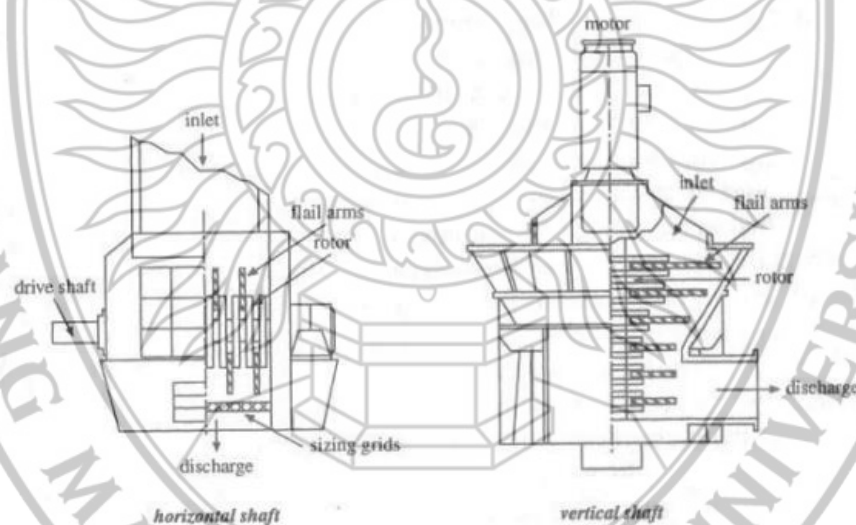
1. ลานรับขยะ เพื่อรองรับขยะที่คัดแยกแล้วจากแหล่งกำเนิด เพื่อแยกสิ่งที่ไม่ต้องการที่ปนมากับขยะออกก่อนเข้าระบบผลิตขยะเชื้อเพลิง

2. เครื่องลดขนาดขยะ หรือเครื่องตัดขยะ ซึ่งอาจจะรวมถึงตะแกรงเพื่อแยกขนาดที่ต้องการถ้าจำเป็น ก่อนจะนำไปอัดแท่ง เป็นขั้นตอนที่มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาตร และเป็นการเตรียมขยะให้มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการลดขนาดขยะมีดังต่อไปนี้

2.1. Hammer mills /flail mills shredders เป็นเครื่องตัดที่สามารถออกแบบให้มีการหมุนทั้งชนิดมีใบติดอยู่ในแนวนอนหรือแนวตั้ง ซึ่งมีความเหมาะสมมากสำหรับขยะจำพวกเศษกิ่งไม้ ใบไม้ เปลือกและเมล็ดผลไม้ แต่ไม่เหมาะกับพลาสติก

2.1.1. ข้อดีของใบตีแนวตั้งคือ สามารถใส่วัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำได้ โดยไม่ทำให้เกิดการไหลย้อนเนื่องจากการหมุนของใบพัดด้วยความเร็วรอบที่สูง (ประมาณ 800 – 1200 รอบ/นาที)

2.1.2. ข้อดีของใบตีแนวนอน เนื่องจากการใส่วัสดุด้านบน และออกทางด้านล่างทำให้ใบตีแนวนอนนั้นมีความสะดวกในการใช้งาน และจากการที่มีตะแกรงรองรับอยู่ทางด้านออกของวัสดุ ทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกความละเอียดที่ต้องการได้



ภาพที่ 2.1 เครื่องลดขนาดแบบ Hammer mills ชนิดแนวตั้งและแนวนอน

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2551)

2.2. Shear shredders ลักษณะการทำงานเหมือนการตัดด้วยกรรไกร โดยมีใบมีดตัดหรือเกียน มีทั้งความเร็วแบบต่ำ 60 – 190 รอบ/นาที เนื่องจากต้องการแรงบิดที่สูงในการทำงาน มอเตอร์ที่ใช้ส่วนมากเป็น Hydraulic motor และแบบที่ใช้ความเร็วสูงมากกว่า 200 รอบ/นาที เช่น แบบมีใบตัดหมุนแบบกรงกระรอก เครื่องตัด Shear shredders มักมีปัญหาในการฉีกขยะที่บางและเหนียว เช่น ถุงพลาสติก เชือก ที่

อาจหลุดเข้าไปในช่องว่างระหว่างใบมีดได้ ดังนั้นหากนำมาใช้กับถุงพลาสติก กล่องนม ใบมีดต้องมีความคม และต้องตั้งระยะห่างของใบมีดให้เหมาะสม

3. เครื่องผสม จะทำหน้าที่ผสมองค์ประกอบของแต่ละชนิดให้ได้ขยะเชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนตามที่ต้องการ และเครื่องลดความชื้นเพื่อควบคุมความชื้นของขยะเชื้อเพลิงที่ผลิตได้

4. เครื่องอัดแน่น เป็นขั้นตอนการเพิ่มความหนาแน่นของขยะ ซึ่งความหนาแน่นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การนำไปใช้ เช่น เพื่อใช้เก็บรวบรวมและการขนย้ายที่มีประสิทธิภาพ รวมถึงลดการกักเก็บ ลดปริมาตรของการขนย้าย หรือเพื่อนำไปใช้เตาเผา ซึ่งความหนาแน่นและขนาดจะขึ้นอยู่กับประเภทและชนิดของเตาเผา การอัดแน่นเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการผลิตขยะเชื้อเพลิง เครื่องมือที่นิยมใช้มีดังต่อไปนี้

4.1. Baling equipment เป็นเครื่องอัดแน่นขยะเพื่อให้เป็นก้อนขนาดใหญ่ เพื่อนำไปใช้กับหลุมฝังกลบประเภท balefill landfill แทนขยะที่อัดเป็นก้อนนี้สะดวกต่อการขนย้าย และประหยัดในการขนส่ง เนื่องจากมีความหนาแน่นสูงทั้งก้อน

4.2. Extruder equipment ขยะเชื้อเพลิงที่ได้จะเป็นรูปแท่ง รูปทรงกระบอกหรือรูปเหลี่ยม กำหนดความยาวได้ โดยทั่วไปประมาณ 50 -100 ซม. ขยะเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีรูปร่างใกล้เคียงกับไม้ฟืนซึ่งมีความเหมาะสมที่จะไปใช้ในเตาเผาที่ใช้ไม้ฟืนได้เป็นอย่างดี เครื่องส่งกำลังอัดแน่นนี้มีทั้งแบบใช้ Hydraulic และแบบที่ใช้กำลังอัดแบบ Screw

4.3. Cubing and pelleting equipment ขยะเชื้อเพลิงที่ได้จะมีลักษณะเป็นก้อน ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ทำ densified RDF สำหรับเป็นเชื้อเพลิงในเตาปฏิกรณ์ เตาเผา เตาแก๊สซิฟเคชัน หรือระบบไพโรไลซิส ซึ่งโดยปกติจะเป็นก้อนขนาดเล็กประมาณ 1-2 นิ้ว ขึ้นอยู่กับความต้องการของเตาเผา

เพื่อให้ขยะเชื้อเพลิงที่อัดแน่นแล้วมีความชื้นต่ำ สะดวกต่อการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง จึงควรมีการลดความชื้นหลังจากการอัดแน่นแล้ว ซึ่งอาจจะเป็นให้ความร้อนที่ทางออกของเครื่องอัดแน่น หรือการใช้เครื่องอบ หรือการตากแห้ง

2.3 คุณลักษณะของขยะเชื้อเพลิง

ในปัจจุบันยังสำหรับประเทศไทย และประเทศในเอเชียไม่มีการกำหนดคุณลักษณะของขยะเชื้อเพลิง RDF เป็นมาตรฐาน แต่ได้มีการกำหนดคุณลักษณะพื้นฐานไว้ 3 ประการ ได้แก่ ค่าความร้อน ความชื้น และข้อจำกัดปริมาณของโลหะเพื่อป้องกันมลพิษ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ,2551) แต่สำหรับในยุโรป เช่น อิตาลี ฟินแลนด์ อังกฤษ สเปน มีการใช้ขยะเชื้อเพลิงอยู่มาก จึงได้มีการกำหนดคุณสมบัติของเชื้อเพลิงไว้ แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติพื้นฐานของขยะเชื้อเพลิง RDF

Parameters	Finland ^a	Italy	United Kingdom
Calorific Value (MJ/kg)	13 -16	15	18.7
Moisture content	25 -35	25 max	7 – 28 ^a
Ash content %w	5 – 10	20	12
Sulfur %w	0.1 – 0.2	0.6	0.1 – 0.5
Chlorine %w	0.3 – 1.0	0.9	0.3 – 1.2

^a Restriction for household wastes

^b 7 -28 for densified-RDF and 28 for coarse-RDF

ที่มา: Jidapa Nithikul, 2007

2.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติของขยะเชื้อเพลิง

2.4.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM 3172 สามารถใช้อธิบายบ่งบอกคุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงได้

- 1) ความชื้น (Moisture) หมายถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง
- 2) คาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon) เป็นส่วนที่เสถียรของโครงสร้างโมเลกุลของชีวมวล ประกอบด้วยคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ ชีวมวลที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงที่ต่ำหรือน้อยจะสันดาปได้ไม่ดี มีอุณหภูมิจุดติดไฟต่ำ ความเร็วในการติดไฟช้า เนื่องจากมีความชื้นมาก
- 3) สารระเหยได้ (Volatile Matter) คือ ส่วนที่โมเลกุลแตกตัวไหม้ได้ง่าย หากเชื้อเพลิงมีค่าสารระเหยได้สูง แสดงว่าติดไฟได้ง่าย
- 4) จีเถ้า (Ash) เป็นส่วนประกอบอนินทรีย์ที่มีอยู่เดิมในชีวมวลที่ถูกออกซิไดส์สมบูรณ์

ในการทดลองตามมาตรฐานดังกล่าว ขยะเชื้อเพลิงจะถูกบดเป็นผงและนำไปอบให้แห้งในเตาอบภายใต้อุณหภูมิประมาณ 105 -110 °C จนได้น้ำหนักคงที่ น้ำหนักส่วนที่หายไปเมื่อเทียบกับน้ำหนักเดิมคือ ปริมาณความชื้น จากสูตร

$$M = \frac{(\square - \square)}{\square} \times 100$$

เมื่อ M = ค่าความชื้น (%)

A = น้ำหนักตัวอย่างทดลองก่อนอบ (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่างทดลองหลังอบ (กรัม)

จากนั้นนำขยะเชื้อเพลิงที่แห้งแล้วจะถูกทำให้ร้อนในภาชนะปิด (เพื่อป้องกันการออกซิเดชัน) ภายใต้ อุณหภูมิ 900 °C เพื่อไล่สารระเหยที่เผาไหม้ได้ จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ น้ำหนักส่วนที่หายไปคือ ปริมาณสารระเหยที่เผาไหม้ได้ จากสูตร

$$\square = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

เมื่อ V = ร้อยละของแข็งที่ระเหยได้ (%)

W_1 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

W_2 = น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

จากนั้นนำขยะเชื้อเพลิงที่ได้ไปอบในภาชนะเปิดภายใต้อุณหภูมิ 750 °C เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ จนได้น้ำหนักที่เหลือคงที่ จะเป็นน้ำหนักของเถ้า ในขณะที่น้ำหนักส่วนที่หายไปคือปริมาณของคาร์บอนคงตัว

$$\square = \frac{(\square - \square)}{\square} \times 100$$

เมื่อ N = ปริมาณเถ้า (%)

C = น้ำหนักภาชนะพร้อมเถ้า (กรัม)

D = น้ำหนักของภาชนะ (กรัม)

E = น้ำหนักตัวอย่างทดลองที่ใช้ (กรัม)

2.4.2 การหาค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value)

ค่าความร้อนเป็นปริมาณความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ด้วยอากาศของชีวมวลแต่ละชนิด โดยทั่วไปค่าความร้อนจะแสดงในรูปของปริมาณความร้อนต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักหรือหนึ่งหน่วยปริมาตร ยกตัวอย่างเช่น MJ/kg สำหรับของแข็ง, MJ/CM (ลูกบาศก์เมตร) สำหรับของเหลว และ MJ/N.CM (ลูกบาศก์เมตรปกติ, Normal Cubic meter) สำหรับก๊าซ (อ้างอิงที่ อุณหภูมิ 0 °C และความดัน 1.01325 bar) เป็นต้น

ค่าความร้อนสามารถอ้างอิงได้ 2 รูปแบบได้แก่ ค่าความร้อนสูงสุด (higher heating value, HHV) และค่าความร้อนต่ำ (lower heating value, LHV) ค่าความร้อนสูงสุดเป็นค่าความร้อนที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้และรวมกับค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำของความชื้นที่อยู่ในชีวมวลนั้น ๆ ค่าความ

ร้อนสูงสุดจึงไม่ขึ้นอยู่กับค่าความชื้นที่อยู่ในชีวมวล ส่วนค่าความร้อนต่ำคือ ค่าความร้อนที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ชีวมวลซึ่งค่าความชื้นจะมีผลโดยตรงต่อค่าความร้อนต่ำ

การวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงตามมาตรฐาน ASTM D 240 ซึ่งสามารถวิเคราะห์โดยตรง ทำได้โดยการนำตัวอย่างเชื้อเพลิงไปทดสอบหาค่าความร้อนจากเครื่อง Bomb Calorimeter ดังรูปที่ 2.4 โดยนำตัวอย่างเชื้อเพลิงมาเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ในตัว Bomb ที่มีออกซิเจนอยู่ในปริมาณเกินพอ โดยกระแสไฟฟ้าจะวิ่งผ่านฟิวส์ไปสัมผัสตัวอย่างเชื้อเพลิง เมื่อเกิดการเผาไหม้ตัวอย่างเชื้อเพลิงจนหมดเครื่อง Bomb Calorimeter จะอ่านค่าความร้อนผ่านสายไฟทั้งสองโดยมีหน่วยเป็นแคลอรีต่อกรัม

2.5 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน

การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงแข็งจากเศษใบไม้ (RDF-5) จะใช้วิธีการทดสอบแบบ Boiling test จากพลังงานที่ใช้ในการต้มน้ำต่อพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ดังสมการ

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_{fuel}} \times 100\%$$

เมื่อ η ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา, %

Q_{fuel} ปริมาณความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง, kJ

Q_u ปริมาณความร้อนที่ใช้ประโยชน์, kJ

ปริมาณความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ หาได้ความร้อนที่ใช้ในการอุ่นและระเหยน้ำ ดังสมการ

$$Q_u = [m_{w,1} C_{p,w} (T_{w,b} - T_{w,i})] + [m_{w,2} h_{fg}]$$

เมื่อ $m_{w,1}$ มวลน้ำเริ่มต้น, kg

$m_{w,2}$ มวลน้ำที่ระเหย, kg

$C_{p,w}$ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมีค่า 4.186 kJ/kg °C

h_{fg} ค่าความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ 2,257 kJ/kg

ปริมาณความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง หาได้ตามสมการ

$$Q_{fuel} = m_{fuel} \times HHV$$

เมื่อ m_{fuel} มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งหมด, kg

HHV ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแข็งจากเศษใบไม้ kJ/kg