

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เชื้อเพลิงขยะ (RDF)

เชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel: RDF) เป็นรูปแบบของการจัดการขยะเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงวิธีหนึ่ง โดยการปรับปรุงและแปลงสภาพของขยะมูลฝอยให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีคุณสมบัติในด้านค่าความร้อน (Heating Value) ความชื้น ขนาด และความหนาแน่นเหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าหรือความร้อน และมีองค์ประกอบทั้งทางเคมีและกายภาพสม่ำเสมอ เนื่องจากขยะมูลฝอยโดยทั่วไปจะมีความไม่สม่ำเสมอในองค์ประกอบต่างๆ (Non-homogeneous) ที่เปลี่ยนแปลงไปตามชุมชน และตามฤดูกาล ซึ่งขยะที่ถูกแปรรูปให้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิง แทนเชื้อเพลิงธรรมชาติ เช่น ถ่านหิน น้ำมัน ฯลฯ ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปต่าง ๆ เช่น แท่งเชื้อเพลิง ผงเชื้อเพลิง หรืออื่น ๆ

การนำขยะมาใช้เป็นเชื้อเพลิงนั้นยังไม่มีข้อกำหนดมาตรฐานว่าจะต้องมีลักษณะเป็นเช่นไร มีองค์ประกอบอย่างไรบ้าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการหรือว่าความสามารถของเทคโนโลยีที่จะเปลี่ยนรูปขยะไปเป็นพลังงาน

ได้มีการแบ่งประเภทเชื้อเพลิงขยะโดยใช้ชื่อเรียกที่แตกต่างกันเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจและการนำไปใช้งานซึ่งมีอยู่ 2 ระบบ ได้แก่ ระบบทางประเทศสหรัฐอเมริกา และระบบทางกลุ่มประเทศยุโรป

- ระบบทางประเทศสหรัฐอเมริกา แบ่งออกเป็น 7 ประเภทตามมาตรฐาน ASTM E-75 ดังแสดงในตารางที่ 2.1
- ระบบทางกลุ่มประเทศยุโรป ไม่ได้มีการแบ่งประเภทของเชื้อเพลิงขยะไว้หลายประเทศเหมือนกับระบบทางประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีการกำหนดมาตรฐานที่ชัดเจนเอาไว้ เพียงแต่มีการเรียกประเภทของเชื้อเพลิงขยะตามลักษณะทางกายภาพ ซึ่งกล่าวได้ว่ามี 3 ประเภท ได้แก่ c-RDF (Coarse RDF), f - RDF (Fluff RDF) และ d - RDF (Densified RDF) ซึ่งถ้าจะเทียบกับระบบทางประเทศสหรัฐอเมริกา ก็จะได้ว่า c- RDF เทียบได้กับ RDF-1, f - RDF เทียบได้กับ RDF-3 และ d-RDF เทียบได้กับ RDF-5

RDF-1 คือ การใช้ขยะมาเป็นเชื้อเพลิงในสภาพที่ถูกจัดเก็บมาโดยตรงเลย อาจจะมีการแยกชิ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่ออกมาในกรณีที่สามารถเห็นได้ด้วยตา **RDF-2** คือ ขยะที่ถูกจัดเก็บมาแล้ว นำมาผ่านกระบวนการคัดแยกนำสิ่งที่ไม่ได้ต้องการ รวมถึงผ่านกระบวนการลดขนาดอย่างหยาบ ๆ ไม่ละเอียดมากนัก **RDF-3** จะเหมือนกับ RDF-2 แต่จะมีการลดขนาดให้เล็กลง ทั้งนี้ไม่ว่าจะเป็น RDF-2 หรือ RDF-3 องค์ประกอบของขยะส่วนใหญ่ (หรือเกือบทั้งหมด) จะมีแต่องค์ประกอบของขยะที่เผาไหม้ได้เท่านั้น จากนั้นถ้าต้องการเชื้อเพลิงไปใช้กับเทคโนโลยีที่ต้องการขนาดของเชื้อเพลิงที่เล็กลง เช่น Suspension Firing System ก็จะได้เป็น **RDF-4** หรือในทางตรงกันข้าม ถ้าต้องการเชื้อเพลิงขยะที่มีขนาดใหญ่ขึ้น มีความหนาแน่นมากขึ้น เพื่อความสะดวกในการจัดเก็บและขนส่งนั้น ก็จะนำ RDF-3 มาผ่านกระบวนการอัดแท่งหรืออัดเม็ดหรือที่เรียกว่า **RDF-5** ในระหว่างกระบวนการอัด อาจจะมีการเติมส่วนผสมต่าง ๆ เพิ่มเข้าไปเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นตามต้องการ เช่น เติมหินปูนเพื่อช่วยในการ

ดูดซับแก๊สที่มีสภาพเป็นกรดที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างการเกิดปฏิกิริยาทางความร้อน เติมน้ำหนักเพื่อช่วยให้มีค่าพลังงานที่สูงขึ้น หรืออาจจะผสมกับเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อการควบคุมปริมาณองค์ประกอบที่พึงประสงค์ต่าง ๆ เช่น ปริมาณคลอไรด์ ปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในขยะให้มีปริมาณที่กำหนดหรือสามารถควบคุมได้ด้วยเทคโนโลยีการแปรรูปขยะเป็นพลังงานที่ใช้งานอยู่ ซึ่งตัวอย่างของ RDF-5 แสดงดังรูปที่ 2.1 สำหรับ **RDF-6** และ **RDF-7** คือ เชื้อเพลิงขยะที่ไม่ได้อยู่ในรูปของเชื้อเพลิงแข็ง เหมือนกับ RDF-1 ถึง RDF-5 ก่อนหน้านี้ แต่จะอยู่ในรูปของเชื้อเพลิงแก๊สและเชื้อเพลิงเหลว ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณลักษณะของเชื้อเพลิงขยะแต่ละชนิดและระบบการเผาไหม้

ชนิด	กระบวนการจัดการ	ระบบการเผาไหม้
RDF : MSW (Municipality Solid Waste)	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ได้ออกมาด้วยมือ รวมทั้งขยะที่มีขนาดใหญ่	- Stoker
RDF2 : Coarse RDF	บดหรือตัดขยะมูลฝอยอย่างหยาบๆ	- Fluidized Bed Combustor - Multi fuel Combustor
RDF3 : Fluff RDF	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ออกเช่น โลหะ แก้วและอื่นๆ มีการบดหรือตัดจนทำให้ 95% ของขยะมูลฝอยที่คัดแยกแล้วมี ขนาดเล็กกว่า 2 นิ้ว	- Stoker
RDF4 : Dust RDF	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ มาผ่าน กระบวนการให้อยู่ในรูปของผงฝุ่น	- Fluidized Bed Combustor - Pulverized Fuel Combustor
RDF-5 : Densified RDF	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่าน กระบวนการอัดแท่ง ความหนาแน่น มากกว่า 600kg/m ³	- Fluidized Bed Combustor - Multi fuel Combustor
RDF6 : RDF Slurry	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่าน กระบวนการให้อยู่ในรูปของ Slurry	- Swirl Burner
RDF7 : RDF Syn-gas	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ มาผ่าน กระบวนการ Gasification เพื่อผลิต Syn-gas ที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงก๊าซได้	- Burner - Integrated Gasification - -Combined Cycle (IGCC)

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.), 2547



(1)

(2)

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างเชื้อเพลิงขยะ

ที่มา; (1) “การแยกขยะและแปลงขยะชุมชนเป็นเชื้อเพลิงแข็ง” บริษัท ราชาอีควิปเมนต์ จำกัด
 (2) การศึกษาและวิจัยการผลิตเชื้อเพลิง Refuse Derived Fuel: RDF, 2551, รายงานการวิจัย, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

การที่จะเปลี่ยนสภาพจากเชื้อเพลิงแข็งไปเป็นเชื้อเพลิงแก๊สสามารถทำได้โดยผ่านกระบวนการที่เรียกว่า แก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) ซึ่งแก๊สที่ได้จะประกอบไปด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรเจน (H₂) เป็นองค์ประกอบหลัก และแก๊สอื่น ๆ เช่น มีเทน (CH₄)

ส่วนการเปลี่ยนสภาพจากเชื้อเพลิงแข็งไปเป็นเชื้อเพลิงเหลว ทำได้โดยผ่านกระบวนการเรียกไพโรไลซิส (Pyrolysis) หรือการให้ความร้อนในสภาพไร้อากาศ ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่งออกมาในรูปของเหลว ซึ่งมีองค์ประกอบของไฮโดรคาร์บอนเป็นหลัก แต่ของเหลวที่ว่านี้ยังไม่สามารถนำไปใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ได้ทันที เพราะยังอยู่ในสภาพที่คล้ายกับน้ำมันดิบ จำเป็นต้องไปผ่านกระบวนการกลั่นก่อน

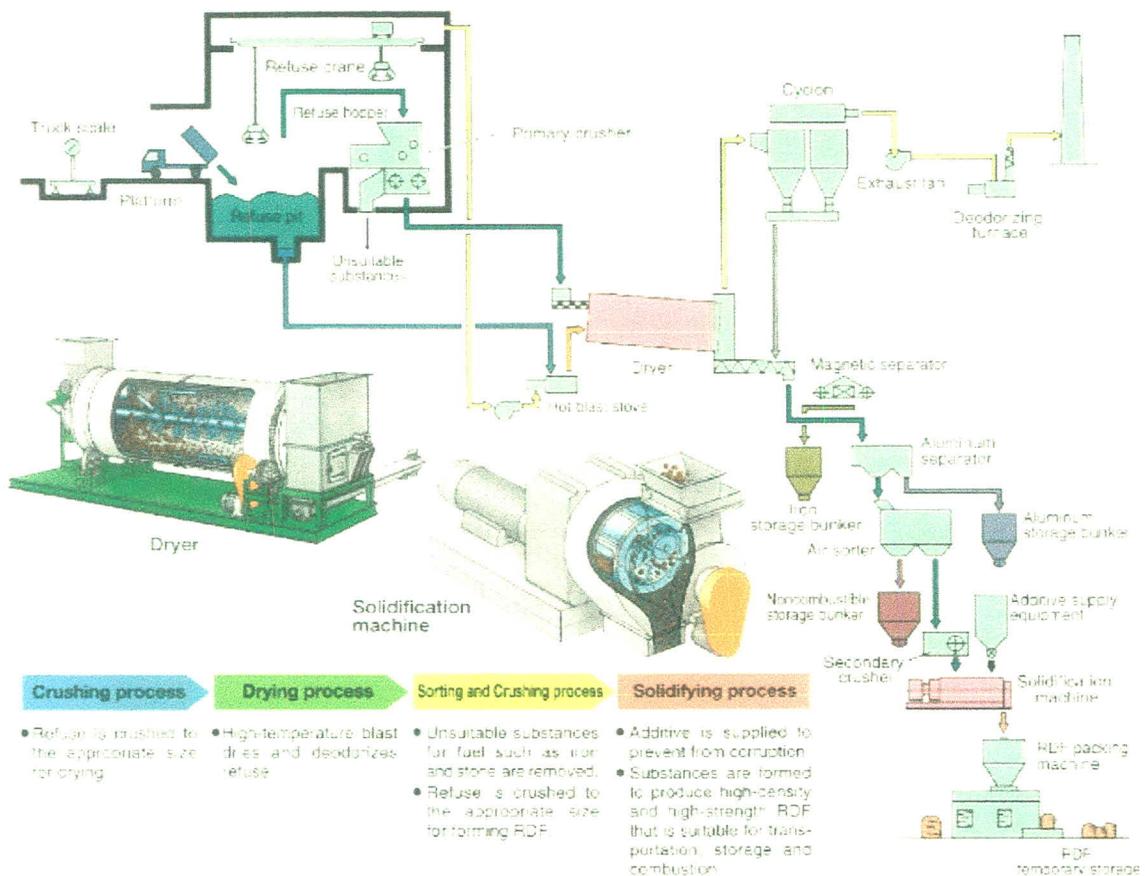
วิธีการที่จะเปลี่ยนจากเชื้อเพลิงแข็งไปเป็นเชื้อเพลิงเหลวอีกวิธีหนึ่ง คือ การเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งไปเป็นเชื้อเพลิงแก๊ส หรือที่เรียกว่าแก๊สสังเคราะห์ (Syn gas) ก่อนโดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เมื่อได้เชื้อเพลิงแก๊สมาแล้วก็จะนำแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรเจน (H₂) ที่มีอยู่ในแก๊สนั้น มาผ่านกระบวนการสังเคราะห์ที่เรียกว่า Fischer-Tropsch Synthesis ก็จะได้น้ำมันเชื้อเพลิงออกมา จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนสภาพจากขยะมาเป็นเชื้อเพลิงแก๊สหรือเชื้อเพลิงเหลวนั้น เป็นการเพิ่มคุณค่าและทางเลือกของการใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงขยะในรูปแบบของพลังงาน

2.2 เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel: RDF)

กระบวนการหรือ เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF แยกได้เป็น 2 แบบตามขบวนการผลิต คือ เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF โดยระบบทางกล และเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF โดยระบบไอน้ำ (Autoclave)

เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF โดยระบบทางกล หลักการทำงานของเทคโนโลยีนี้ เริ่มจากการนำขยะมูลฝอยที่เข้ามายังระบบผ่านกระบวนการคัดแยกขยะส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ (โลหะ แก้ว เศษหิน) ขยะอันตราย และขยะรีไซเคิลออกจากขยะรวม ส่วนขยะที่เหลือนำมาผ่านเครื่อง

สับ-ย่อยเพื่อลดขนาด ก่อนส่งเข้าสู่เครื่องอบความร้อนเพื่อลดความชื้น ซึ่งจะให้น้ำหนักลดลงเกือบ 50% (ความชื้นเหลือไม่เกิน 15%) อากาศร้อนที่ผ่านเครื่องอบแล้วจะต้องนำไปผ่านขบวนการบำบัดเพื่อแยกฝุ่นละออง และเผาไหม้เพื่อขจัดกลิ่นออกก่อนที่จะปล่อยสู่บรรยากาศ ส่วนขยะที่ผ่านการอบแห้งแล้ว จะนำมาผ่านเครื่องคัดแยกแม่เหล็กเพื่อคัดแยกมูลฝอยที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบ และใช้เครื่อง Eddy Current Separator เพื่อคัดแยกอลูมิเนียมออกจากมูลฝอย จากนั้นก็นำไปเข้าเครื่องผสมแล้วจึงป้อนขยะมูลฝอยเข้าไปยังเครื่องอัดเม็ด (Pellet) เพื่อทำให้เชื้อเพลิงขยะอัดเม็ดที่มีขนาดและความหนาแน่นเหมาะสมต่อการขนส่งไปจำหน่ายเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งในบางกรณีจะมีการเติมหินปูน (CaO) เข้าไปกับขยะมูลฝอยระหว่างการอัดเม็ดเพื่อควบคุมและลดปริมาณก๊าซพิษที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ดังแสดงขั้นตอนการผลิตในรูปที่ 2.2

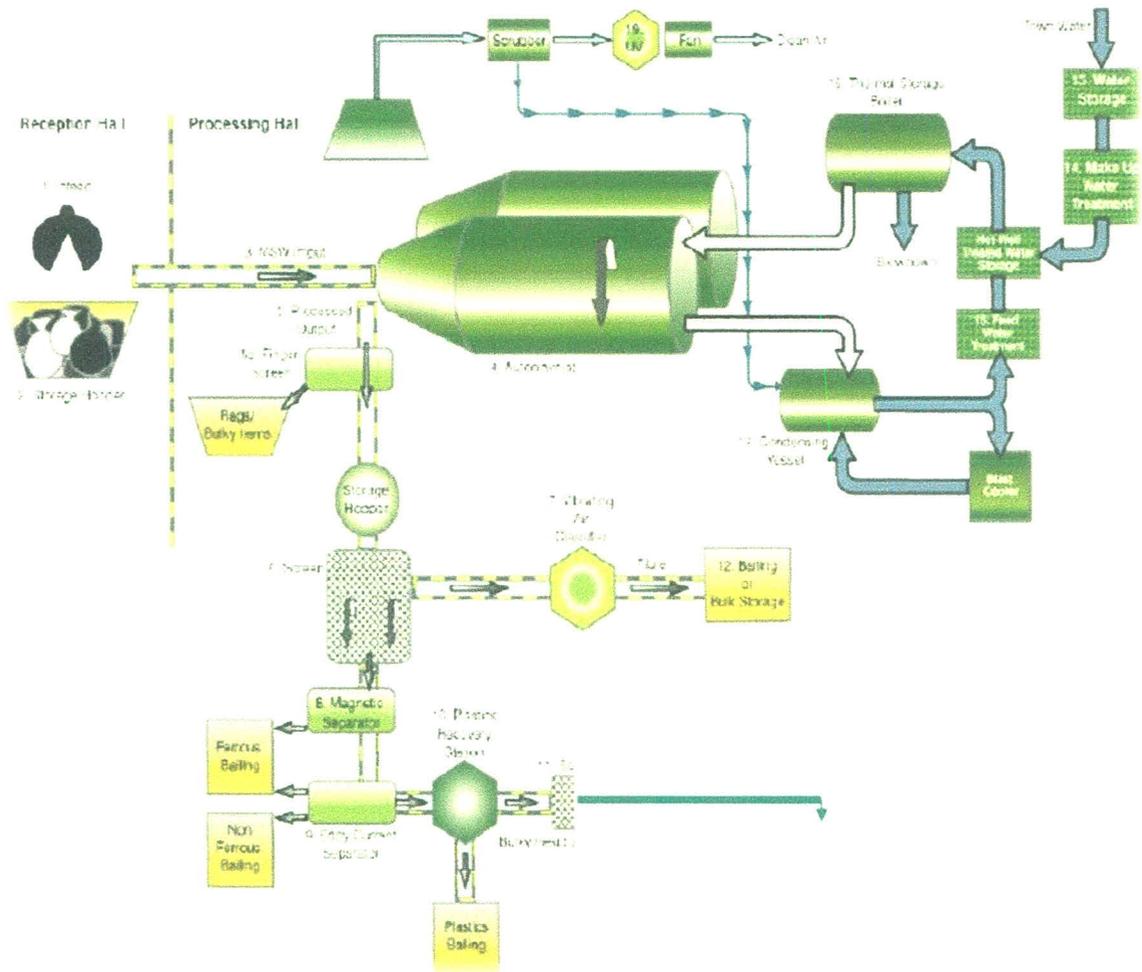


รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel: RDF) โดยระบบทางกลที่மா; <http://www.wrem.co.uk/plants-material-recycling-facilities.html> (10/6/56)

เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF โดยระบบไอน้ำ (Autoclave) หลักการทำงานคล้ายกับระบบแรก เริ่มจากการนำขยะมูลฝอยที่เข้ามายังระบบผ่านขบวนการคัดแยกขยะส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ (โลหะ แก้ว เศษหิน) ขยะอันตราย และขยะรีไซเคิลออกจากขยะรวม หลังจากนั้นจึงนำขยะมูลฝอยเข้าหม้ออบไอน้ำ แรงดัน 5 บาร์ อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 45 นาที โดยไม่ต้องผ่านเครื่องสับ-ย่อยเพื่อลดขนาด ซึ่งจะเป็นการฆ่าเชื้อโรคได้ทั้งหมด ขยะที่ผ่านการอบไอน้ำจะเปื่อยยุ่ย พลาสติกจะอ่อนตัว ฉลากที่ติดกับขวด ภาชนะต่างๆ จะลอกออก ทำให้สามารถนำไปคัดแยก

ในขบวนการต่อไปเช่นเดียวกับระบบแรก แต่สามารถคัดแยกส่วนที่สามารถรีไซเคิลได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า ส่วนที่เหลือจากการคัดแยกสามารถนำไปผ่านเครื่องอัดเม็ด เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงอัดเม็ดต่อไป ดังแสดงขั้นตอนการผลิตในรูปที่ 2.3

สัดส่วนของปริมาณขยะเชื้อเพลิง RDF ที่ผลิตได้ต่อปริมาณขยะมูลฝอย 1 ตัน ขึ้นอยู่กับรูปแบบการจัดเก็บขยะ กระบวนการที่ใช้ในการแปรรูปขยะ และคุณภาพของเชื้อเพลิงขยะที่ต้องการ จากรายงานของ European Commission Directorate General Environment พบว่าสัดส่วนการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะจะอยู่ในช่วงระหว่าง 23 – 25% โดยน้ำหนักของขยะที่ป้อนเข้า



รูปที่ 2.3 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel: RDF) โดยระบบไอน้ำที่มา;[ออนไลน์] <http://www.hydroairenviro.com/solidwaste.htm> (10/6/56)

2.3 การใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงขยะ

การใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงขยะสามารถใช้ได้ทั้งในรูปของการผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า และ/หรือความร้อน โดยที่อาจจะมีการนำไปใช้ประโยชน์ในสถานที่ผลิตเชื้อเพลิงขยะเอง หรือขนส่งไปใช้ในที่อื่นได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เผาพร้อมกับถ่านหิน (Co-firing) เพื่อลดปริมาณการใช้ถ่านหินลงในอุตสาหกรรมบางประเภท เช่นอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ โดยมีรูปแบบเตาเผาที่ใช้เปลี่ยนเชื้อเพลิงขยะให้

เป็นพลังงานความร้อน ประกอบด้วยเตาเผาแบบตะกรับ (Stoker) เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Combustor) หรือเตาเผาแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) หรือไพโรไลซิส (Pyrolysis) การใช้ประโยชน์ RDF ในการเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตเป็นพลังงานความร้อน และพลังงานไฟฟ้ามีหลากหลายวิธี ดังนี้

1. ใช้ในสถานที่แปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงขยะ (on-site) โดยร่วมกับอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนเป็นพลังงาน เช่น เตาเผาแบบตะกรับ เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด แก๊สซิฟิเคชัน และ ไพโรไลซิส
2. ใช้ในสถานที่อื่นที่ต้องมีการขนส่ง (off-site) โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนเป็นพลังงาน เช่น เตาเผาแบบตะกรับ เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด แก๊สซิฟิเคชัน และไพโรไลซิส
3. เผาไหม้ร่วมกับเชื้อเพลิงอื่น เช่น ถ่านหินหรือชีวมวล
4. เผาไหม้ในเตาผลิตปูนซีเมนต์
5. ใช้ร่วมกับถ่านหินหรือชีวมวลในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

โดยทั่วไปเชื้อเพลิงขยะที่มีศักยภาพนำมาใช้ประโยชน์ได้แก่ Dust RDF และ Densified RDF การใช้ Dust RDF หรือ RDF4 นั้น ส่วนใหญ่ใช้ในกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงผง (Pulverized Fuel) ซึ่งจะไม่ผ่านขั้นตอนการอัดเป็นแท่งทำให้มีความหนาแน่นต่ำ ขนส่งลำบาก แต่ปัจจุบันมีความต้องการมากโดยการนำไปใช้ร่วมกับเชื้อเพลิงอื่น หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมในการเผาทำลายกากตะกอนของเสีย เนื่องจากกากตะกอนของเสียไม่สามารถเผาไหม้ได้ด้วยความร้อนจากตัวมันเอง การใช้ Dust RDF เสริมเข้าไปทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพ

ส่วน Densified RDF หรือ RDF-5 หรือเรียกว่า d-RDF เป็นการนำ RDF มาอัดเป็นแท่งเพื่อเพิ่มความหนาแน่น สามารถใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางกว่า Dust RDF สามารถใช้กับหม้อไอน้ำขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ และสามารถใช้กับเตาเผาทั่วไปที่มีการใช้อยู่แล้ว

ข้อดีของการผลิตเชื้อเพลิงขยะ

- มีค่าความร้อนสูงเมื่อเทียบกับขยะที่รวบรวมได้
- เป็นเทคโนโลยีสะอาด การจัดการ เก็บ การขนส่ง การจัดการต่างๆ สะดวก ปลอดภัย และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย
- ได้แท่งเชื้อเพลิงสำหรับผลิตพลังงานความร้อน และพลังงานไฟฟ้า และสามารถใช้ได้กับ ถ่านหินที่มีพลังงานความร้อนต่ำได้
- ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีไพโรไลซิส และแก๊สซิฟิเคชันได้
- ใช้พื้นที่ระบบน้อย โรงกำจัดมีขนาดเล็กสามารถสร้างกระจายไปตามจุดต่างๆ ณ แหล่งกำเนิดขยะได้
- เชื้อเพลิงที่ได้ไม่จำเป็นต้องผลิตเป็นพลังงานทันที เก็บไว้ผลิตเมื่อใดก็ได้

ข้อเสียของการผลิตเชื้อเพลิงขยะ

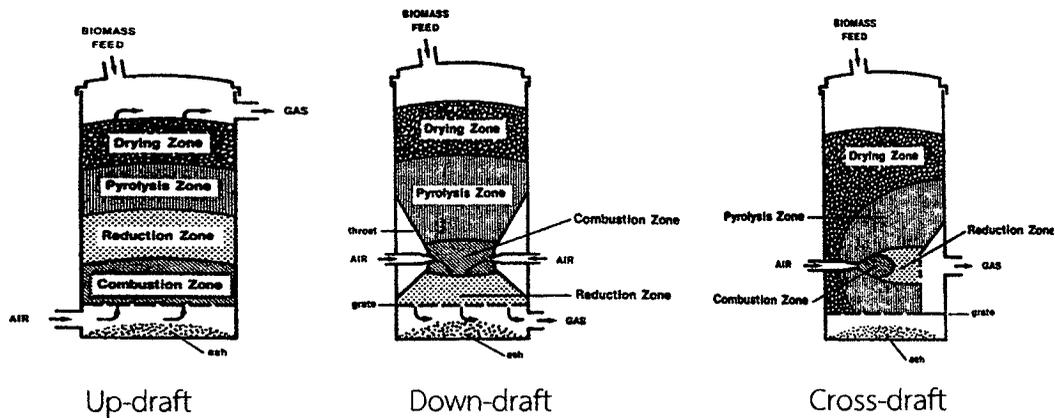
- ต้องมีระบบการคัดแยกขยะมูลฝอยก่อนเข้าสู่ระบบ ทำให้ต้องใช้เงินลงทุนสูง
- มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งเชื้อเพลิงขยะไปยังระบบอื่นๆ เพราะต้องขนส่งโดยพาหนะเท่านั้น
- เป็นเทคโนโลยีที่ยังไม่สิ้นสุด คือจะต้องมีระบบคอยรองรับเพื่อนำเชื้อเพลิงขยะที่ได้ไปเปลี่ยนเป็นพลังงานอีกทอดหนึ่ง
- ยังไม่มีตลาดการซื้อขายเชื้อเพลิงจากขยะ
- มีผลกระทบต่อหม้อต้มไอน้ำและระบบท่อลำเลียงมากกว่าการใช้เชื้อเพลิงประเภทอื่น

2.4 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันเป็นการแปลงสภาพชีวมวลของแข็งโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วน (Partial Oxidation) ที่อุณหภูมิสูงด้วยอากาศ ออกซิเจน หรือไอน้ำ ในช่วง 800 – 1,800°C ทำให้เกิดการแตกตัวออกมาเป็นแก๊สเชื้อเพลิง (Producer Gas) มีความร้อนประมาณ 3-10 MJ/m³

เตาปฏิกรณ์ของกระบวนการเรียกว่า แก๊สซิไฟเลอร์ (Gasifier) ซึ่งมีหลากหลายลักษณะและรูปแบบ ในเตาปฏิกรณ์จะเกิดกระบวนการทางเคมีที่แตกต่างกันออกไป ได้แก่ การอบแห้ง การไพโรไลซิส การเผาไหม้ การรีดักชัน ซึ่งได้มาจากความร้อนจากการเผาไหม้หรือบริเวณการออกซิเดชัน

ชนิดของแก๊สซิไฟเลอร์แบ่งตามการเคลื่อนที่ของเชื้อเพลิงได้เป็น 2 ชนิดคือ เตาปฏิกรณ์แบบขึ้นเชื้อเพลิงนิ่ง แบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ เตาแบบอากาศไหลขึ้น (Updraft Gasifier) เตาแบบอากาศไหลลง (downdraft Gasifier) และ เตาแบบอากาศไหลขวาง (Cross draft Gasifier) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ส่วนแบบที่ 2 คือ เตาปฏิกรณ์แบบขึ้นของไหล



รูปที่ 2.4 Gasifier ชนิดต่างๆ

1. Down-draft Gasifier แบ่งออกเป็น 4 โซนเรียงจากด้านบนลงมาด้านล่าง คือ Drying Zone, Pyrolysis Zone, Combustion Zone และ Reduction Zone โดยอากาศจะไหลเข้ามาทางด้านบนและก๊าซที่ผลิตได้จะไหลออกมาทางด้านล่าง ซึ่งข้อดีของ Gasifier ประเภทนี้ คือ บริเวณ Combustion Zone จะไม่ติดกับบริเวณส่วนที่เป็นซีเมนต์ ดังนั้นในกรณีที่อุณหภูมิของ Combustion Zone สูง ๆ จะไม่ทำให้เกิดการละลายและรวมตัวเป็นก้อนของซีเมนต์ (Clinker) และนอกจากนี้ Gasifier ชนิดนี้ยังสามารถนำความร้อนที่ได้จากการอบเชื้อเพลิงที่บริเวณ Drying Zone มาใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ Reduction Zone ได้ด้วย

2. Up-draft Gasifier แบ่งออกเป็น 4 โซนเรียงจากด้านบนลงมาด้านล่าง เช่นเดียวกับ Down-draft Gasifier คือ Drying Zone, Pyrolysis Zone, Combustion Zone และ Reduction Zone แต่ต่างกันที่ทิศทางการไหลของอากาศ โดยอากาศจะไหลเข้ามาทางด้านล่างและก๊าซที่ผลิตได้จะไหลออกมาทางด้านบน Gasifier ประเภทนี้ไม่ค่อยเป็นที่นิยมมากนักเพราะว่ามีปัญหาทางเรื่อง Clinker, Tar และต้องมีการเติมไอน้ำเข้าไปช่วยในการทำปฏิกิริยาที่ Reduction Zone

3. Cross-draft Gasification ซึ่ง Gasification ประเภทนี้การออกแบบจะง่ายและมีขนาดเล็ก อากาศจะเข้ามาทางด้านหนึ่งและก๊าซที่ผลิตได้จะออกไปในด้านตรงกันข้ามอากาศที่เข้ามาในตอนแรก นั้นจะผ่าน Combustion Zone และ Reduction Zone ตามลำดับเพื่อผลิตก๊าซ โดยที่อากาศเข้ามา จะมีความเร็วและปริมาณสูงมากเพื่อให้การเผาไหม้ที่บริเวณ Combustion Zone เป็นไปอย่างรวดเร็ว บริเวณของ Combustion Zone และ Reduction Zone จะอยู่ตรงกลางของ Gasifier และมีเชื้อเพลิง ที่ยังไม่เผาไหม้ล้อมรอบอยู่ ซึ่งจะเป็นการดีเพราะว่าเป็นการป้องกันอุณหภูมิของผนังเตาไม่ให้สูงเกินไป

Producer Gas ได้จากการ Oxidation บางส่วนของเชื้อเพลิงแข็งชนิดติดไฟ หรือคือการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งในที่ ๆ มีออกซิเจนน้อยกว่าปริมาณที่ต้องการในการสันดาปแบบสมบูรณ์เชื้อเพลิงแข็ง เหล่านี้ได้แก่ ไม้ ถ่านหินชนิดต่าง ๆ แกลบ ชี้เลื่อย และวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรที่สามารถติดไฟได้ กรรมวิธีการผลิต Producer gas นี้จะใช้ไอน้ำเข้าช่วยหรือไม่ก็ได้ Producer Gas โดยทั่วไปแล้ว องค์ประกอบของ Producer Gas มีดังนี้ CO₂ 9.84%, O₂ 0.05%, C₂H₄ 0.18%, CO 18.28%, H₂ 12.90%, CH₄ 3.12% และ N₂ 55.64%

ค่าความร้อนจำเพาะที่ได้จะอยู่ประมาณ 1200 kcal/m³ นับว่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับ เชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ ซึ่งให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงดังนี้

มีเทน	8,000 kcal/m ³
ไฮโดรเจน	2,000 kcal/m ³
ก๊าซชีวภาพ	5,300 kcal/m ³

ประสิทธิภาพของการผลิต Producer Gas ขึ้นกับกระบวนการผลิตที่ใช้และคุณภาพของ เชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิต องค์ประกอบของ Producer Gas ที่อุณหภูมิเตาต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของ Producer Gas (ร้อยละโดยปริมาตร) ที่อุณหภูมิเตาต่าง ๆ

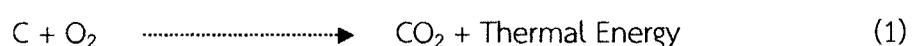
อุณหภูมิ °C	450	550	600	700	800	900
CO	0.72	3.91	9.78	25.40	34.70	36.00
CO ₂	9.37	10.45	10.84	6.58	1.73	0.82
H ₂	1.42	3.96	9.08	13.20	10.60	9.47
H ₂ O	53.19	42.05	27.95	6.23	0.52	0.18
N ₂	36.90	39.62	42.35	28.35	48.49	52.45
ปริมาณไอน้ำต่อ กิโลกรัมคาร์บอนที่เผาไหม้	7.82	4.67	2.70	0.90	0.46	0.395
ค่าความร้อน kcal/m ³ ที่ 17°C	30.67	206.24	496	1040	1240	1249

ที่มา: ประวิทย์ ลีเหมือดกัย และคณะ 2554

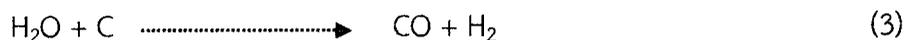
2.5 หลักการทำงานเบื้องต้นของ Gasifier

หลักการทำงานเบื้องต้นของ Gasifier คือ การนำเอาเชื้อเพลิงแข็งมาเผาไหม้ในตัวของ Gasifier โดยสามารถแบ่งโซนการทำงานออกเป็น 3 โซนดังนี้

1. Combustion Zone จะเป็นบริเวณที่เชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ร่วมกับอากาศที่ใส่เข้ามา ปฏิกริยาทางเคมีที่เกิดขึ้น คือ



2. Reduction Zone เป็นบริเวณที่มีหน้าที่เปลี่ยน CO_2 เป็น CO โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ



ผลผลิตที่ได้จากบริเวณนี้คือ CO และ H_2 ซึ่งเป็นก๊าซเชื้อเพลิง ไอน้ำที่เข้ามาทำปฏิกิริยากับคาร์บอนใน Reduction Zone ในกรณีของ Down-draft Gasifier จะมาจากตัวของเชื้อเพลิง (Biomass) เอง ในขณะที่ Up-draft Gasifier จะต้องมีการเติมไอน้ำเข้ามากับอากาศเพื่อเข้าทำปฏิกิริยา เพราะว่าทิศทางการไหลของก๊าซทำให้ความชื้นที่ได้จากเชื้อเพลิงไม่สามารถไหลผ่านมายัง Reduction Zone ได้

3. Distillation Zone บริเวณนี้จะเป็นที่เก็บเชื้อเพลิงที่ยังไม่เผาไหม้โดยจะอยู่ด้านบนสุดของ Gasifier และความร้อนจากการเผาไหม้ด้านล่าง จะช่วยในการอบไล่ความชื้นออกจากเชื้อเพลิง และโดยที่ความชื้นที่ออกมานั้นจะใช้ในการทำปฏิกิริยากับคาร์บอนใน Reduction Zone เพื่อผลิตไฮโดรเจน (ในกรณีของ Down-draft Gasifier)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สตีบพร จันทราษฏร์ (2548) ทำการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากต้นสน โดยใช้เครื่องอัดแท่งแบบสกรู (Screw extrusion machine) ขนาด 5 hp ทำการเปรียบเทียบชนิดตัวประสาน พบว่าการใช้มันสำปะหลังดิบเป็นตัวประสาน ที่อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่อตัวประสาน 10ต่อ100 ผลิตเชื้อเพลิงแปรรูปขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 mm มีความเหมาะสมที่สุด รองลงมาได้แก่แป้งมันสำปะหลังหยาบและโมลาส นอกจากนี้ ที่อัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงต่อตัวประสาน 6 ต่อ 100 มีค่าความร้อน ประมาณ 27.44 MJ/kg ใกล้เคียงกับถ่านไม้ทั่วไป ซึ่งมีค่าความร้อน 28.98 MJ/kg

พิรนาฏ คิตติ และคณะ (2549) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบขยะมูลฝอยในพื้นที่อำเภอ ป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง โดยทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างขยะมูลฝอยจากครัวเรือนในพื้นที่ตำบลบ้านพร้าว ตำบลป่าพะยอม ตำบลเกาะเต่า และตำบลลานข่อย จำนวนตำบลละ 10 กิโลกรัม ผลการวิเคราะห์พบว่าองค์ประกอบของขยะมูลฝอยที่พบมากที่สุด คือ เศษอาหาร ผัก และผลไม้ เฉลี่ยร้อยละ 47.06 รองลงมา คือ พลาสติกและกระดาษ เฉลี่ยร้อยละ 29.41 และ 23.53 ตามลำดับ ส่วนความชื้นของขยะมูลฝอยพบว่ามีสูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 51.72 และต่ำสุด 15.38 ในพื้นที่ตำบลลานข่อยและตำบลเกาะเต่า ตามลำดับ ปริมาณของแข็งรวมของขยะมูลฝอยสูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 84.62 และต่ำสุดเฉลี่ย 48.28 ในพื้นที่เกาะเต่าและตำบลลานข่อย ตามลำดับ ส่วนปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ พบว่ามีค่าสูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 77.14 และต่ำสุดเฉลี่ยร้อยละ 33.77 ในพื้นที่ตำบลลานข่อยและตำบลบ้านพร้าว ตามลำดับ

บุญญา ชาญนอก (2550) ได้ทำการศึกษาการนำพลาสติกจากกองมูลฝอยกลางแจ้งกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ในรูปเชื้อเพลิง พบว่าการผลิตเชื้อเพลิงแปรรูป โดยใช้มันสำปะหลังป่นเป็นตัวประสาน ที่อัตราส่วนพลาสติก:มันสำปะหลังป่น 1: 0.8 เป็นอัตราส่วนที่มีองค์ประกอบพลาสติกมากที่สุด (55.56%) ที่สามารถผลิตเป็นเชื้อเพลิงแปรรูปได้ ใช้ระยะเวลาในการผึ่งแห้ง 5 วัน มีความชื้น 2.95 %, ค่าความร้อน 25.97 MJ/kg, ปริมาณเถ้า 14.46 %, ปริมาณคลอรีน 0.85%, ปริมาณซัลเฟอร์ 0.6%

และปริมาณไนโตรเจน 0.052% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพของการนำของแข็งกลับมาใช้ใหม่ในรูปเชื้อเพลิง ซึ่งกำหนดไว้ โดย European Commission-Directorate General Environment

สำนักนโยบายและแผนพลังงาน (2550) ทำการวิจัยเชิงนโยบายเพื่อสนับสนุนการพัฒนาและการใช้พลังงานหมุนเวียนและการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของประเทศไทย พบว่าสำหรับศักยภาพพลังงานขยะปริมาณขยะที่จะเกิดขึ้นในอนาคตในปี 2558 จะมีปริมาณขยะที่เกิดขึ้นสูงถึง 53,191 ตัน/วัน ดังแสดงในตารางที่ 2.3

จากการสำรวจองค์ประกอบขยะมูลฝอยชุมชนทั่วประเทศปี 2547 (กรมควบคุมมลพิษ 2547) พบว่ามีองค์ประกอบต่างๆ โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

Combustible ซึ่งได้แก่

- เศษอาหาร/อินทรีย์สาร 63.57 % (เศษอาหาร 30.59% , สารอินทรีย์ 32.98%)
- กระดาษ 8.19 %
- พลาสติก 16.83%
- ไม้ 0.74%
- ยาง/หนัง 0.5 %
- ผ้า 1.37 %
- อื่น ๆ ที่แยกไม่ได้ 3.23% (ผ้าอ้อม , ผ้าอนามัย, และกระดาษชำระ)

ตารางที่ 2.3 การประเมินปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากการคำนวณค่าในอนาคต

ปี พ.ศ.	ศักยภาพสูงสุด (ตัน/วัน)
2546	41,941
2548	43,635
2553	48,177
2554	49,141
2558	53,191
2568	58,728

ที่มา; สำนักนโยบายและแผนพลังงาน (2550)

Non Combustibles ซึ่งได้แก่

- โลหะ 2.10%
- แก้ว 3.47%

ปริมาณของเชื้อเพลิงขยะที่ผลิตได้ต่อปริมาณขยะ 1 ตัน ขึ้นอยู่กับการจัดเก็บขยะ กระบวนการที่ใช้ในการแปรรูปขยะ และคุณภาพของเชื้อเพลิงขยะที่ต้องการ จากรายงานของ European Commission Directorate General Environment กล่าวว่าการผลิตเชื้อเพลิงขยะอยู่ในช่วงระหว่าง 23 ถึง 50% โดยน้ำหนักของขยะที่นำมาแปรรูป

องค์ประกอบของเชื้อเพลิงขยะที่ได้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของขยะที่นำมาแปรรูป วิธีการจัดเก็บ และกระบวนการที่ใช้ในการแปรรูป คุณลักษณะที่สำคัญของเชื้อเพลิงขยะหลังจากการแปรรูปแล้ว ได้แก่ ค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และปริมาณซัลเฟอร์และคลอไรด์ และพบว่าความชื้น

ในเชื้อเพลิง RDF ลดลงอย่างมาก (~50%) เมื่อเปรียบเทียบกับขยะก่อนที่จะนำมาแปรรูปเป็น RDF ซึ่งเมื่อความชื้นลดลงก็จะส่งผลให้ค่าความร้อนรวมของเชื้อเพลิงมีค่าสูงขึ้นด้วย

ในพื้นที่จังหวัดพัทลุงมีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นเฉลี่ย 302 ตัน/วัน ซึ่งเป็นขยะมูลฝอยที่เกิดจากเทศบาลเฉลี่ยประมาณ 87 ตัน/วัน โดยเทศบาลเมืองพัทลุง มีอัตราเกิดขยะมูลฝอยสูงสุดเฉลี่ยวันละ 28 ตัน/วัน รองลงมาคือ เทศบาลเมืองแม่ชรี จำนวน 10 ตัน/วัน และที่เหลือเป็นขยะมูลฝอยที่เกิดจากอบต. เฉลี่ยวันละ 215 ตัน/วัน (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16, 2552)

ทิพย์มาศ สมนึก (2551) ทำการศึกษาความเหมาะสมของเทคโนโลยีการกำจัดมูลฝอยชุมชนทั่วไปของกรุงเทพมหานคร ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลทางด้านเทคนิค การลงทุนและค่าดำเนินการของเทคโนโลยีการกำจัดมูลฝอยในแต่ละวิธี พบว่า เมื่อพิจารณาข้อมูลด้านเทคนิค การลงทุนและค่าดำเนินการ จะเห็นว่าเทคโนโลยีการกำจัดมูลฝอยชุมชนทั่วไปในแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะ (Refuse Derived Fuel) มีประสิทธิภาพการกำจัดมูลฝอยชุมชนสูง และแปรรูปมูลฝอยชุมชนเป็นเชื้อเพลิงได้ ลดการใช้พลังงานในขั้นตอนการเตรียมมูลฝอย มูลฝอยที่ผ่านกระบวนการจะถูกคัดแยกออกมา เช่น โลหะ แก้ว เป็นต้น สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ แต่มีข้อเสีย คือ มีส่วน ประกอบ ที่ต้องเคลื่อนไหวยขนาดใหญ่ และรับความร้อนตลอดเวลา ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา

ประวิทย์ และคณะ (2554) ได้ทำการผลิต RDF-5 จากกระดาษ พลาสติกและไม้ ในอัตราส่วน 1:1:1 และใช้ตัวประสานเป็นส่วนผสมระหว่างแ่งมันกับมันสำปะหลัง โดยพบว่า เชื้อเพลิงที่ผลิตได้ผ่านมาตรฐานของ RDF-5 คือมีความหนาแน่น $1,042 \text{ kg/m}^3$ และค่าความร้อนเท่ากับ 19.1 MJ/kg และได้นำเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ไปผลิตเป็นโปรตีนเคอร์แก๊สได้แก๊สที่มีค่าความร้อน $3,231.13 \text{ kJ/Nm}^3$

ภมร และคณะ (2554) ได้ผลิต RDF-5 โดยใช้ของเสียจากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่เป็นวัสดุ ซึ่งใช้อัตราส่วนระหว่างกระดาษ พลาสติกและไม้ ในอัตราส่วน 1.5:1:1 และใช้ตัวประสานเป็นส่วนผสมระหว่างแ่งมันกับมันสำปะหลัง โดยพบว่า เชื้อเพลิงที่ผลิตได้ผ่านมาตรฐานของ RDF-5 คือมีความหนาแน่น $1,169.35 \text{ kg/m}^3$ และค่าความร้อนเท่ากับ 25.05 MJ/kg ที่ความชื้น 4.36% เมื่อทำการเผาเกิดซี้เถ้า 9.9% และเมื่อพิจารณาด้านทุนในการผลิตเท่ากับ 0.21 บาท/MJ

รณชัย จันทรพริ้ม และคณะ (2555) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากของเสียกระบวนการผลิต ไบโอดีเซลและศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ โดยนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต เหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด จึงมีแนวทางที่จะนำเศษวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปของพลังงานความร้อน เพื่อลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมแล้วยังเป็นการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และเป็นการเพิ่มมูลค่าเศษวัสดุที่เหลือใช้ อีกทั้งเชื้อเพลิงอัดแท่งยังถือเป็นพลังงานทดแทนที่ยั่งยืน พบว่าชีวมวลทั้ง 3 ชนิดมีค่าคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ที่สามารถนำมาทำเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ พบว่า อัตราส่วนที่ดีที่สุดที่มีต่อคุณสมบัติต่างๆของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ควรจะใช้ประมาณชีวมวล ที่อัตราส่วน ทะลายปาล์ม, ซี้เถ้า, เป็น (15,15,5) ซึ่งที่อัตราส่วนนี้จะให้ค่าความร้อนค่าความต้านทานน้ำ ค่าเวลาจุดติดไฟ ค่าปริมาณเถ้า และค่าปริมาณสารระเหยได้ดี และมีปริมาณชีวมวลที่ใช้น้อย และควรใช้ปริมาณตัวประสานที่อัตราส่วน แ่งมันกลีเซอริน กากน้ำตาล เป็น (50,10,10) เนื่องจากจะมีการให้ค่าความร้อน ค่าความหนาแน่น ค่าทนแรงอัด และค่าปริมาณความชื้นที่สูง

อัจฉรา อัครวิจิตรชัยและคณะ (2554) ได้นำเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดมาแปรรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยผสมกับแป้งมันสำปะหลังหรือโมลาสซึ่งเป็นตัวประสานที่อัตราส่วนต่างๆ กันแล้วอัดเป็นแท่งโดยวิธีอัดแบบเย็น ทำการศึกษาคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM รวมทั้งการศึกษาความเหมาะสมการนำไปใช้งานและวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง จากการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 3,400-4,348 cal/g และค่าความร้อนที่ได้จากเปลือกทุเรียนที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานมีค่าความร้อนสูงที่สุด 4,348 cal/g ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความร้อนที่ได้จากฟืนไม้ ในขณะที่เผาไหม้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีความเข้มข้นสูงเกินมาตรฐานอากาศเสียจากโรงงาน ขณะที่ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน ระหว่างการเผาไหม้พบว่าการแตกปะทุในขณะติดไฟน้อย มีกลิ่นและควันขณะลุกไหม้น้อย ไม่แตกหักง่ายทำให้สะดวกในการเก็บรักษาและการขนส่ง ดังนั้นการนำเปลือกทุเรียนและมังคุดมาใช้เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งทดแทนฟืนและถ่าน จึงเป็นแนวทางหนึ่งของการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์

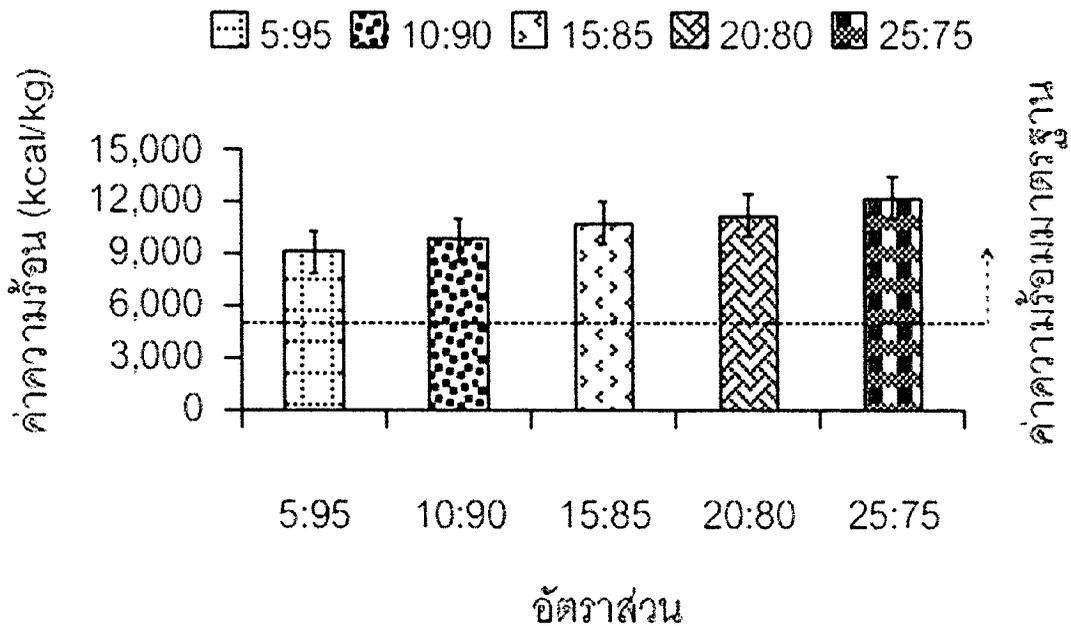
Tawach Prechthai et.al (2006) ได้ทำการศึกษาศักยภาพการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF จากขยะเทศบาล (MSW) ในพื้นที่จังหวัดนนทบุรี โดยพบว่าขยะที่เกิดขึ้นมีส่วนประกอบต่าง ๆ ทั้งส่วนที่ติดไฟได้ เช่น พลาสติก กระดาษ เป็นต้น และส่วนที่ไม่สามารถติดไฟ แก้ว เหล็ก เป็นต้น ดังแสดงสัดส่วนในตารางที่ 2.4 และได้วิเคราะห์คุณลักษณะทางด้านฟิสิกส์ และความร้อนพบว่าขยะมีความชื้นเฉลี่ย 47% มีซีเมนต์ 59.8% มีค่าความร้อนเฉลี่ย 29.5 MJ/kg ที่ความหนาแน่นเฉลี่ย 314 kg/m³ ซึ่งจากความหนาแน่นดังกล่าวขยะยังไม่ผ่านการอัดแท่งแต่คุณสมบัติยังไม่เป็นเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง (RDF-5) และเมื่อนำมาผ่านการอัดแท่งเป็น RDF-5 จนมีความหนาแน่นประมาณ 780-880 kg/m³ ก็พบว่ามีความร้อนประมาณ 23-27 MJ/kg

ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบของขยะเทศบาล (MSW) ในพื้นที่จังหวัดนนทบุรี

Composition		% (W/W)
Combustible	Plastic	41.5
	Wood	9.0
	Textile	10.0
	Rubber	1.0
	Paper	0.7
	Form	1.0
	Food	1.0
Non-Combustible	Stone	0.9
	Glass	1.8
	Metal	3.0
	Soil	30.9

ที่มา: Tawach Prechthai et.al (2006)

วีระ พันอินทร์ และคณะ 2553 ทำการศึกษาการผลิต RDF-5 โดยใช้กากตะกอนน้ำมันดิบเป็นส่วนผสมกับขยะที่ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยวิธีเชิงกลชีวภาพ (MBT) โดยปรับเปลี่ยนส่วนผสมในสัดส่วนต่างๆ ซึ่งได้ค่าความร้อนดังแสดงในรูปที่ 2.5 พบว่า ส่วนผสมผสมระหว่าง น้ำมันดิบกับ MBT 20:80 มีความเหมาะสมที่สุดในการทำมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า เนื่องจากให้ค่าความร้อนที่สูงขึ้นรูปได้ง่าย ปริมาณขี้เถ้าต่ำ และให้ผลความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ดีที่สุด



รูปที่ 2.5 ความความร้อนของ RDF-5 โดยใช้กากตะกอนน้ำมันดิบเป็นส่วนผสมกับขยะ (MBT) ที่มา: วีระ พันอินทร์ และคณะ (2553)

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของ RDF

	RDF 1	RDF 2
<i>Proximate analysis (wt% dry basis)</i>		
Moisture content (wt% wet basis)	3.2	9.5
Volatile matter	84.7	77.0
Fixed carbon	21.3	16.7
Ash	0.8	1.1
<i>Ultimate analysis (wt% dry basis)</i>		
C	46.7	44.0
H	6.2	5.7
O	44.1	47.2
N	1.2	1.4
S	0.5	0.7

ที่มา: Ajay K. Dalai et.al (2009)

Ajay K. Dalai et.al (2009) ได้นำ RDF มาทำการผลิตเป็นโปรตีนเซอร์แก๊ส โดยใช้ Fixed bed Reactor ซึ่ง RDF ที่ทำการศึกษามี 2 รูปแบบ คือ แบบที่ 1 เป็นแบบ เมล็ด (pellet form) และแบบที่ 2 เป็นแบบใยฟู (fluff form) ดังแสดงคุณสมบัติในตารางที่ 2.5 ทำการศึกษาโดยปรับอุณหภูมิ

ระหว่าง 675-775 °C (ครั้งละ 25 °C) อัตราส่วนระหว่าง อากาศกับเชื้อเพลิงขยะที่ 0.68, 1.35, 2.03, 2.70 และ 3.33 kg/kg และปรับ carrier gas flow rate ที่ 18, 24, 28, 32 and 36 ml/min ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือ 725 °C ดังแสดงผลการศึกษาในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ผลการศึกษา

Temperature (°C)	Steam/waste ratio (kg/kg)	RDF 1						RDF 2					
		Char (g)	Liquid (g)	Gas (l/g)	CHN analysis of char (%)			Char (g)	Liquid (g)	Gas (l/g)	CHN analysis of char (%)		
					C	H	N				C	H	N
675	2.0	0.33	2.2	0.23	47.3	1.9	0.1	1.21	1.06	0.32	55.8	1.5	0.1
725	0.68	0.58	0.63	0.26	37.8	0.8	0.3	0.29	1.96	0.30	54.8	1.0	0.1
725	1.35	0.38	1.63	0.33	43.2	0.9	0.5	0.38	2.15	0.33	56.4	0.7	0.1
725	2.0	0.31	2.60	0.29	48.2	1.0	0.5	0.57	0.55	0.31	58.6	1.8	0.2
725	2.7	0.27	3.22	0.31	55.7	0.9	0.5	0.38	1.68	0.35	56.9	1.3	0.2
725	3.33	0.30	3.50	0.37	59.5	1.1	0.1	0.66	0.83	0.31	47.4	1.0	0.1
750	2.0	0.32	1.93	0.33	60.7	0.9	0.1	0.69	0.92	0.30	59.5	0.9	0.2
775	1.35	0.38	1.68	0.43	61.0	0.9	0.1	0.74	1.56	0.28	61.7	1.2	0.1
775	2.0	0.38	2.33	0.30	61.8	1.1	0.2	0.78	1.72	0.29	62.4	1.6	0.1

ที่มา: Ajay K. Dalai et.al (2009)

ประเทศไทยมีการพัฒนาระบบผลิตโปรตีนเซอร์แก๊สสำหรับใช้ในครัวเรือนหรือชุมชนขนาดเล็ก ซึ่งในปี 2522 กองเกษตรวิศวกรรม ได้พัฒนาเตาแก๊สชีววมวลที่มีการใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง โดยใช้กับเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ ขนาด 5 แรงม้า ต่อมาในช่วงปี ค.ศ. 1989-1990 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้พัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าจากโปรตีนเซอร์แก๊สขนาด ขนาด 10 kWe โดยมีการใช้งานประมาณ 700 ชั่วโมง ปี 2548 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้ร่วมกับบริษัท ซาตาแก๊ (ประเทศไทย) ได้ทำการพัฒนาต้นแบบโรงไฟฟ้าชีววมวลขนาด 100 kW โดยใช้เทคโนโลยี Biomass Gasification โดยเทคโนโลยี Fixed Bed Downdraft Gasifier โดยใช้เศษไม้และแกลบอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง โดยแก๊สที่ผลิตได้มีคาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบในสัดส่วนเฉลี่ย 19-28, 1-2 และ 16-17 % ตามลำดับ ค่าความร้อนจากการคำนวณประมาณ 4.5 MJ/Nm³ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 78 kW สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย 1.4-1.8 kg/kWh และประสิทธิภาพระบบ 16-24% ปี 2551 ญัฐวุฒิและคณะ ได้พัฒนาระบบผลิตโปรตีนเซอร์แก๊สชนิดไหลลงแบบกึ่งต่อเนื่อง โดยใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงแล้วนำแก๊สที่ได้ไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 7 แรงม้า สำหรับสูบน้ำ จากการประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์พบว่าสามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้สูงสุด 53.3% ที่อัตราการสูบน้ำ 20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยมีอัตราการใช้น้ำมันดีเซล 0.127 ลิตร/ชั่วโมง และอัตราการใช้ถ่านไม้ 2.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และโปรตีนเซอร์แก๊สมีผลกระทบต่อเครื่องยนต์โดยจะทำให้อุณหภูมิและแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ของไอเสียเครื่องยนต์มีค่าสูงขึ้น ในส่วนการศึกษาวิจัยต่างประเทศพบว่า ปี 2004 Uma et al. ได้ศึกษาลักษณะการเกิดมลพิษและความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้ใช้น้ำมันดีเซลและเครื่องยนต์ที่ใช้ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรตีนเซอร์แก๊ส โดยเครื่องยนต์ที่ใช้เป็นเครื่องยนต์ดีเซล 6 สูบ ขนาด 77.2 kW ผลการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรตีนเซอร์แก๊ส ให้ปริมาณแก๊สซัลเฟอร์ออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน และไนโตรเจนออกไซด์ น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว แต่ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์กลับมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ใช้น้ำมันดีเซลและสามารถทดแทนการใช้น้ำมันดีเซล 67-86% ปี 2006 Singh et al. ได้ประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซล 3 สูบ แบบ 4 จังหวะ โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้ใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันรำข้าว น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรตีนเซอร์แก๊ส และน้ำมันดีเซลผสมร่วมกับน้ำมันรำข้าวกับโปรตีนเซอร์แก๊ส ผลการทดสอบเปรียบเทียบการใช้ระหว่างน้ำมันดีเซลและ

โปรตีนเซอร์แก๊สร่วมกับน้ำมันดีเซล พบว่ากำลังของเครื่องยนต์โปรตีนเซอร์แก๊สร่วมกับน้ำมันดีเซลมีกำลังลดลง โดยต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ประมาณ 0.3-0.9% แต่สามารถทดแทนการใช้น้ำมันดีเซล 62.74% ,68.00% และ 22.44% ที่โหลด 63%,84% และ98%ตามลำดับ ปี 2007 Ramadhasc et al. ได้ประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ แบบ 4 จังหวะ โดยใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรตีนเซอร์แก๊สจากไม้ น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรตีนเซอร์แก๊สจากกากมะพร้าว เปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล 100% ผลการทดสอบพบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรตีนเซอร์แก๊สจากไม้ มีผลการลดใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสูงสุดเฉลี่ย 60% และมีการปล่อยปริมาณแก๊สคาร์บอนออกไซด์น้อยกว่า เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว ปี 2008 Banapurmath et al. ได้ประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ ขนาด 7 แรงม้า เมื่อใช้ระบบเชื้อเพลิงคู่ ซึ่งได้แก่การใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรตีนเซอร์แก๊ส การใช้น้ำมันจากเมล็ด Honge ร่วมกับโปรตีนเซอร์แก๊ส และการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากเมล็ด Honge ร่วมกับโปรตีนเซอร์แก๊ส ผลการทดสอบพบว่า การใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรตีนเซอร์แก๊สจะให้แรงม้าเบรกสูงสุดเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันชนิดอื่นร่วมกับโปรตีนเซอร์แก๊ส ปริมาณแก๊สไอเสียได้แก่ แก๊สไนโตรเจนออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน และคาร์บอนมอนอกไซด์ มีปริมาณที่ต่ำกว่าการใช้น้ำมันจากเมล็ด Honge ร่วมกับโปรตีนเซอร์แก๊ส และการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากเมล็ด Honge ร่วมกับโปรตีนเซอร์แก๊ส