

การศึกษาแนวทางบริหารจัดการขยะชุมชนเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนแบบครบวงจร (ระดับชุมชน) ทั้ง 3 โครงการย่อย สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

โครงการที่ 1 การพัฒนาการเตรียมเชื้อเพลิงขยะ (RDF) จากชุมชนเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน

กรอบแนวคิดของโครงการย่อยนี้คือ ศึกษาการนำขยะที่มีมูลค่ากลับมาใช้ประโยชน์ เพื่อลดปริมาณของขยะที่ต้องนำไปกำจัด เพื่อนำไปใช้ผลิตเป็นขยะเชื้อเพลิง โดย **การพัฒนาการเตรียมเชื้อเพลิงขยะ (RDF) จาก** ที่มีความเหมาะสมในการเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็นพลังงานต่อไป การออกแบบและสร้างเครื่องจักร และการทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องจักร โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 หน่วยปฏิบัติการหลัก ดังต่อไปนี้

หน่วยปฏิบัติการที่ 1 ประกอบไปด้วย 1) ชุดสายพานคัดแยกและสายพานลำเลียง (Belt Conveyors) 2) ชุดเครื่องสับขยะ (Shedder Machine) ผลการทดสอบและการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องจักร พบว่าสมรรถนะของเครื่องสับขยะจะอยู่ในช่วง 0.7 – 3.0 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งดังกล่าวสามารถรองรับปริมาณขยะที่เกิดขึ้นภายในชุมชน มทส ได้ทั้งหมด (ปริมาณขยะเฉลี่ย 3-5 ตันต่อวัน)

หน่วยปฏิบัติการที่ 2 ประกอบไปด้วย โรงงานบำบัดทางกลและชีวภาพ (Mechanical and Biological Treatment: MBT) โดยขยะที่มาจากหน่วยปฏิบัติการที่ 1 จะถูกลำเลียงเข้าสู่โรงงาน MBT เพื่อปรับเสถียร ให้เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศ ซึ่งจะมีการติดตั้งระบบเติมอากาศ และระบบไบโอกวนที่ช่วยให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผลการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการหมัก MBT โดยศึกษากลไกของกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ต่อระยะเวลาการหมัก คือ ความชื้น อุณหภูมิ pH และ C/N ratio พบว่าสภาวะการทำงานของกระบวนการหมักมีความเหมาะสม

หน่วยปฏิบัติการที่ 3 ประกอบไปด้วย ชุดเครื่องคัดแยกแบบตะแกรงหมุน (Trommel Separator) โดยขยะที่ผ่านการหมักในโรงงาน MBT ระยะเวลา 1 เดือน จะถูกนำมาร้อนโดยชุดคัดแยกแบบตะแกรงหมุน ซึ่งอินทรีย์วัตถุขนาดเล็กที่ผ่านตะแกรงจะถูกนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน ส่วนที่เหลือคือเชื้อเพลิงขยะ (RDF-4) ผลการทดสอบและการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องจักร พบว่าสมรรถนะของเครื่องคัดแยกแบบตะแกรงหมุน จะอยู่ในช่วง 1.5 – 1.6 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งเครื่องคัดแยกแบบตะแกรงหมุนนี้จะมีตะแกรงร้อนอยู่ 3 ชั้น เพื่อให้สามารถคัดแยกองค์ประกอบของเชื้อเพลิงขยะได้ครอบคลุม ประกอบกับเพื่อให้ได้อินทรีย์สารที่ละเอียดมาก

หน่วยปฏิบัติการที่ 4 ประกอบไปด้วย เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็ง (Briquetting Machine) โดยเชื้อเพลิงขยะ (RDF-4) ที่คัดแยกได้จากแบบตะแกรงหมุน (ขนาดใหญ่กว่า 15 mm.) จะถูกลำเลียงมา

เครื่องอัดแท่งเพื่อผลิตเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง (RDF-5) ผลการทดสอบและการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องจักร พบว่าสมรรถนะของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็ง อยู่ในช่วง 240 – 260 คันต่อชั่วโมง ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าระบบในแต่ละรอบ

ผลวิเคราะห์เชื้อเพลิงขยะ RDF-4 และ เชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5 แสดงให้เห็นว่าสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี โดยค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขยะ RDF-4 มีค่าประมาณ 40 MJ/kg และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง RDF-5 มีค่าประมาณ 25 MJ/kg การวิเคราะห์ต้นทุนของต้นแบบโรงงานผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 พบว่าต้นทุนการเตรียมเชื้อเพลิง RDF-5 มีค่าเท่ากับ 2.425 บาท/กก. ทั้งนี้ต้นทุนที่สูงที่สุด คือ กระบวนการอัดแท่ง โดยคิดเป็น 50% ของต้นทุนทั้งหมด

โครงการที่ 2 การศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงขยะโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน

การประเมินประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าของระบบ สรุปได้ว่า ที่อัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิงเฉลี่ยเท่ากับ $170 \text{ m}^3/\text{hr}$ สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 65 kW อย่างมีประสิทธิภาพต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง โดยแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าความร้อนเฉลี่ย $6.03 \text{ MJ}/\text{Nm}^3$ โดยมีองค์ประกอบของ CO , H_2 และ CH_4 ในสัดส่วนโดยปริมาตรเท่ากับ 18.1241%, 19.2314% และ 2.7021% ตามลำดับ มีการปนเปื้อนของทาร์และฝุ่น เท่ากับ $60 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ อัตราการใช้เชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง $90 \text{ kg}/\text{hr}$ หรือคิดเป็นอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะเท่ากับ $1.40 \text{ kg}/\text{kWh}$ ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 11 % ตามลำดับ ทั้งนี้หากเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากการใช้เชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5 กับเชื้อเพลิงชีวมวลประเภทอื่นๆ ถือได้ว่าใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงกากตะกอนน้ำเสีย (กากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งของอุตสาหกรรมฟอกย้อม) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แก๊สเชื้อเพลิงสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อผลิตพลังงานได้

การประเมินวัฏจักรชีวิตของการจัดการขยะชุมชนเพื่อนำมาผลิตพลังงาน จะใช้ โปรแกรม SimaPro 7.2 และในการแปลงข้อมูลให้เป็นค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จะใช้วิธีของ Eco-indicator 99 ดังนี้ 1) การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการรวบรวมขนส่งขยะ โดยมีหน่วยหน้าที่ (Functional Unit) คือ ขยะรวม 1 ตัน ที่เข้าสู่โรงงานผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF-5 ซึ่งพบว่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในการรวบรวมและขนส่ง ขยะ 1 ตัน สำหรับการใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่ง จะเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เห็นชัดเจนที่สุดในด้าน (ภาวะโลกร้อน) Climate change และ การใช้เชื้อเพลิง (Fossil fuel) และสำหรับการใช้ถุงพลาสติกเพื่อรวบรวมขยะ จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ชัดเจนที่สุดในด้าน ความเป็นพิษ (Ecotoxicity) การใช้สินแร่ (Minerals) และ การใช้เชื้อเพลิง (Fossil fuel) สำหรับการเปรียบเทียบความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภท เรียกว่า Weighting Factor โดยจะทำการเปรียบเทียบว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใดสำคัญที่สุด สามารถสรุปได้ว่าการใช้ถุงพลาสติกเพื่อรวบรวมขยะ และการใช้น้ำมัน

ดีเซลในการขนส่งขยะ 1 ตัน จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ชัดเจนที่สุด คือลดลงของทรัพยากร (Resource depletion) ลงลงมาคือ ในด้านการใช้เชื้อเพลิง (Fossil fuel) 2) การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF โดยมีหน่วยหน้าที่ (Functional Unit) คือ การผลิตเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง (RDF-5) จากขยะชุมชน 1 ตัน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง (RDF-5) จากขยะชุมชน 1 ตัน ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ชัดเจนที่สุด ในส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต รองลงมาคือการใช้เหล็กในการสร้างเครื่องจักร โดยก่อให้เกิดผลกระทบในด้าน Fossil fuel, Minerals และ Ecotoxicity สำหรับการเปรียบเทียบความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภท สรุปได้ว่าในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง (RDF-5) จากขยะชุมชน 1 ตัน จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ชัดเจนที่สุด คือ ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration of inorganic substance) ที่มาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต

โครงการที่ 3 การศึกษาต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงขยะ โดยใช้เทคโนโลยี แก๊สซิฟิเคชัน

ต้นทุนรวมในการผลิตกระแสไฟฟ้ามีค่า 8.55 บาทต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยมาจาก ต้นทุนในการผลิต ต้นทุนจากการบริหารโครงการ และต้นทุนจากการเสียภาษีรวมทั้งปีผล ทั้งนี้โครงการจะมีรายได้จากการจำหน่ายกระแสไฟฟ้า และได้รับเงินสนับสนุนจากรัฐบาล (Adder = 3.50 บาท/หน่วย) เป็นรายได้รวม 8.18 บาทต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางการเงินสามารถสรุปได้ คือ มีผลตอบแทนภายในทางการเงินจากโครงการลงทุน (Financial Internal Rate of Return: FIRR) คิดลบร้อยละ 0.48 และกระแสเงินสดสุทธิจากการลงทุน (Net Present Value: NPV) = 7.16 ล้านบาท และไม่สามารถวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PP) ได้ เมื่อเทียบกับระยะเวลาของโครงการ 30 ปี ต้นทุนเงินลงทุน (WACC) เท่ากับร้อยละ 10 ซึ่งแสดงให้เห็นได้ชัดว่าโครงการนี้ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เนื่องจากค่าใช้จ่ายที่สูงกว่างบประมาณ (Cost overrun) ซึ่งมาจากปริมาณขยะที่เข้าสู่กระบวนการมีปริมาณไม่เหมาะสมกับขนาดของโรงงาน MBT โดยสามารถรับขยะได้สูงถึง 10 ตันต่อวัน แต่รับขยะได้จริง 5 ตันต่อวัน ทำให้ผลผลิตที่เป็น RDF4 ที่จะนำมาอัดแท่งเป็น RDF5 เพื่อเป็นเชื้อเพลิงเข้าสู่กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า มีปริมาณน้อยตามไปด้วย ทำให้โรงไฟฟ้ามีจำนวนวันหยุดเนื่องจากขาดแคลนเชื้อเพลิงเป็นเวลาถึง 90 วัน ทั้งนี้สำหรับชุมชนที่มีปริมาณขยะเพียง 5 ตันต่อวันสามารถลดต้นทุนในส่วนของการก่อสร้างโรงงาน MBT หรือนำเทคโนโลยีที่มีอยู่ไปใช้ในชุมชนที่มีปริมาณขยะมากกว่า 10 ตันต่อวัน โครงการจึงจะสามารถดำเนินการแล้วมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ได้

จากการประเมินค่าการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของโครงการ CDM ที่เกิดขึ้นจะสามารถลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกเทียบเท่ากับต้นคาร์บอนไดออกไซด์ (tCO₂e) ได้ โดยพบว่า จากระยะเวลาของโครงการ 10 ปี การนำขยะมาเข้าสู่กระบวนการ MBT แทนที่การฝังกลบ จะทำให้สามารถ

ลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้ 4,502.26 tCO₂e โดยจากนั้นนำไปผลิตเป็น RDF-5 เพื่อเป็นวัตถุดิบตั้งต้นให้กับโรงไฟฟ้าจะสามารถทดแทนการผลิตไฟฟ้าแบบปกติที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยสามารถลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้ 3,259.60 tCO₂e แต่ทั้งนี้กระบวนการ MBT จะปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกเท่ากับ 81.58 tCO₂e ดังนั้น จึงแสดงให้เห็นได้ว่าโครงการการจัดการขยะ โดยใช้เทคโนโลยี MBT และผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าสามารถลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้ 7,680.28 tCO₂e ต่ออายุโครงการ 10 ปี

A Study on integrated approaches of municipal solid waste management for producing renewable energy (community scale) consisted of 3 sub-projects which could be concluded as follows:

Project 1: The Development of Refuse-derived Fuel Preparation Used as Renewable Energy

The concept of this project was the study of waste recovery to reduce the amount of waste needed to be disposed of by means of development of refuse-derived fuel (RDF), which is suitable for use in energy production. The design, construction and test to evaluate its efficiency could be divided into four main units shown below.

Unit 1 consisted of a set of separation machine and belt conveyors and a shredder machine. From the machine test results and its performance evaluation, it was found that the performance of the shredder ranged from 0.7 to 3.0 tons/hour which is capable of completely managing the waste produced from the community of Suranaree University of Technology (Approximate solid waste produced is 3-5 tons/days)

Unit 2 consisted of a plant of mechanical and biological treatment (MBT). Waste from Unit 1 was transferred to the MBT plant to stabilize by biological digestion with aerobic microorganisms. Air-filling and agitating systems were installed to promote the digesting reaction to be more efficient. The results and performance evaluation based on factors affecting the digestion of microorganisms with respect to treatment time including moisture, temperature, pH and C/N ratio showed that the MBT system could work efficiently.

Unit 3 consisted mainly of a set of trommel separator. The waste from the MBT plant, obtained after a month of treatment, was passed through the trommel separator. Small digested organic matters falling down from the separator could be used in soil improvement, while the remaining was considered as RDF-4. Test results and performance evaluation showed that the machine could be operated with the capacity ranging from 1.5-1.6 tons/hour. The trommel was designed with a three-layer screen to separate various sizes of the digested waste as well as to obtain more fine organic matters

Unit 4 consisted of a briquetting machine. The RDF-4 obtained from the trommel separation (Size > 15 mm.) was transferred to the briquetting machine to produce RDF-5. The results and

performance evaluation showed that it could work with a capacity between 240 and 260 tons/hour depending on the waste characteristics fed through the system in each batch.

The analysis of both RDF-4 and RDF-5 indicated that they could be properly used as fuels with heating values of 40 MJ/kg and 25 MJ/kg, respectively. The cost analysis of the RDF-5 plant showed that the RDF-5 preparation cost was 2.425 Baht/kg which came mostly from briquetting process accounting for 50% of the total.

Project 2: A Study on the Electricity Production from Refuse-derived Fuel via Gasification Technology

From the efficient evaluation of the electricity production system, it could be concluded that at the gas flow rate $170 \text{ m}^3/\text{hr}$, the electricity was steadily generated throughout the 12 hour of test period with a maximum power output of 65 kW. The producer gas had an average heating value approximately 6.03 MJ/Nm^3 , and consisted mainly of CO, H₂ and CH₄ with percentages by volume of 18.1241%, 19.2314 and 2.7021% , respectively. Tar and dust contamination was found to be 60 mg/Nm^3 . The fuel consumption was 90 kg/hr or equal to specific fuel consumption of 1.40 kg/kWh. The electricity production efficiency obtained was 11%. Compared to other biomass, the gas production efficiency of RDF-5 was proximal to that of sewage sludge (obtained from activated wastewater treatment system of textile industry). This means that the producer gas can be properly used in energy production.

Life cycle assessment (LCA) of the municipal waste for energy production was performed by using SimaPro 7.2. The transformation of data to environmental impact damage categories was carried out by means of Eco-indicator 99, and the results could be described below. 1) **LCA of the waste collection and transportation.** The functional unit used in this analysis was 1 ton of waste coming to the RDF-5 plant. It was found that environmental impacts in the waste collection and transportation were mainly from the use of diesel oil in transportation causing climate change and fossil fuel depletion. The collection of municipal waste using plastic bags would mainly cause the environmental impacts in terms of ecotoxicity and the depletion of minerals and fossil fuel. For the environmental impact characterization called weighting factor, the use of plastic bags to collect the waste and diesel oil in transportation were the main factors causing environmental impacts by mainly depleting natural resource, followed with fossil fuel. 2) **LCA of the RDF production.** The functional unit in this analysis was 1 ton of RDF-5 produced. It was found that, producing 1 ton of RDF-5, the environmental impacts resulted mainly from the process of electricity generation, followed with the use of steel in

machine construction. They had impacts on ecotoxicity and the depletion of fossil fuel and minerals. The environmental impacts characterization indicated that 1 ton of RDF-5 production would principally affect the respiration of inorganic substances caused by the energy used in electricity generation.

Project 3: A Study on the Economy Cost of Electrical Production from Refuse-derived Fuel using Gasification Technology

The total cost in electricity generation was approximately 8.55 Baht/kWh which was attributed to the production cost, project management cost and cost from tax and dividend. The project would gain benefit from selling electricity as well as adder from the government (3.50 Baht/kWh). The net benefit was 8.18 Baht/kWh. Financial analysis showed that the financial internal rate of return (FIRR) was -48% and the net present value (NPV) was 7.16 million Baht. These mean that this project was not able to be analyzed in terms of payback period (PP). Taking into account the project period of 30 years, the weighted average cost of capital (WACC) was equal to 10% which indicated that this project was impossible to succeed because of cost overrun. It might result from inappropriate waste amount fed to the MBT plant where the maximum capacity was 10 tons/day, while waste only 5 tons/day was available in this study. Consequently, the RDF-5, which was derived from RDF-4, was insufficient for use in electricity generation, and the days off due to lack of feedstock would be as many as 90 days. To achieve economic cost benefit, the project should reduce the cost of MBT plant construction in case of the community where the waste available is less than 5 tons/day, or situate the plant in the community having the waste more than 10 tons/day.

From the evaluation of green house gas emission, CDM of this project could reduce the emission of green house gases expressed in terms of ton of carbon dioxide (tCO_2e). For the project period of 10 years, management of municipal waste by MBT can reduce the green house gas emission as much as 4,502.26 tCO_2e in comparison with disposal by landfill. Moreover, the use of municipal waste to produce RDF-5 as feedstock for electricity generation is able to replace the use of fossil fuel which causes the reduction in green house gas emission up to 3,259.60 tCO_2e . Although the MBT still releases the green house gases around 81.58 tCO_2e , the waste management by MBT technology, followed with electricity generation can reduce the net green house gas emission produced as much as 7,680.28 tCO_2e for the 10-year project.