

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



250753



รายงานการวิจัย

การสาธิตการเปลี่ยนขยะในมหาวิทยาลัย เป็นพลังงานในรูปความร้อน

Demonstration Projects on Thermal Energy from Waste in University



จัดทำโดย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

และศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้



ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก
สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
ประจำปีงบประมาณ 2553



250753



รายงานการวิจัย

การสาธิตการเปลี่ยนขยะในมหาวิทยาลัยเป็นพลังงานในรูปความร้อน

Demonstration Projects on Thermal Energy from Waste in University

จัดทำโดย

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
และ ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้



ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ
ประจำปีงบประมาณ 2553

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

แผนงานวิจัย โครงการสาธิตการเปลี่ยนขยะในมหาวิทยาลัยเป็นพลังงานในรูปความร้อน โดยภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2553

ทั้งนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้มอบทุนสนับสนุนการวิจัยในการนำองค์ความรู้ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาและปรับใช้กับชุมชนจริง โดยการเริ่มต้นศึกษาอย่างจริงจังในระดับมหาวิทยาลัย และสามารถขยายผลต่อเนื่องไปยังชุมชนได้ในที่สุด

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการผู้ตรวจสอบทางวิชาการ ที่ได้กรุณาตรวจสอบอย่างรอบคอบ และให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินงานวิจัย

สุดท้ายนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และบุคลากรทุกท่านของหน่วยวิจัยระบบทางอุณหภาพ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ผู้เป็นกำลังสนับสนุนที่สำคัญให้งานวิจัยนี้ดำเนินไปจนสำเร็จลุล่วง

คณะผู้วิจัย

พฤษภาคม 2554

รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัย

ส่วนที่ 1 รายละเอียดเกี่ยวกับแผนงานวิจัย

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) โครงการสาธิตการเปลี่ยนขยะในมหาวิทยาลัยเป็นพลังงานในรูปความร้อน

(ภาษาอังกฤษ) Demonstration Projects on Thermal Energy from Waste in University

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปี 2553 จำนวนเงิน 803,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 24 พฤษภาคม 2553 ถึง 23 พฤษภาคม 2554

หน่วยงานและคณะผู้ดำเนินงานวิจัย

1. ผู้อำนวยการแผนงาน

ศ.ดร. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์

หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3101800521174

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

โทรศัพท์ 053-944144 โทรสาร 053-944145

e-mail: tanong@dome.eng.cmu.ac.th tanongkiat_k@yahoo.com

2. ผู้ร่วมงานวิจัย

ผศ.ดร. ไพสิฐ พาณิชยกุล

คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

โทรศัพท์ 053-943591 ต่อ 106

3. ผู้ร่วมงานวิจัย

อาจารย์ ดร. เหมือนจิต แจ่มศิลป์

ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

โทรศัพท์ 053-878333 โทรสาร 053-878333

e-mail: entaneer007@yahoo.com muanjit@mju.ac.th

4. หัวหน้าโครงการย่อย 1:

อาจารย์ ดร. ณัฐนี วรรณยศ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

โทรศัพท์ 053-944144 โทรสาร 053-944145

5. ผู้ร่วมงานวิจัย

ผศ.ดร. จิตเทพ ประสิทธิ์อยู่ศิลป์

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

โทรศัพท์ 053-944144 โทรสาร 053-944145

6. หัวหน้าโครงการย่อย 2:

ผศ.ดร. ณัฐวุฒิ คุชฎี

ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

โทรศัพท์ 053-878333, 081-5315376 โทรสาร 053-878333

ส่วนที่ 2

บทคัดย่อ

250753

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่และมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ เป็นมหาวิทยาลัยขนาดใหญ่ที่มีปัญหาขยะที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัยอย่างต่อเนื่อง โดยมีวิธีการจัดการขยะในปัจจุบัน คือ การจ้างเหมาบริษัทเอกชนขนขยะไปทิ้งในหลุมฝังกลบที่อยู่ในพื้นที่อื่น ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการจัดการขยะในมหาวิทยาลัยดังกล่าว

แผนงานวิจัย โครงการสาธิตการเปลี่ยนขยะในมหาวิทยาลัยเป็นพลังงานในรูปความร้อน เป็นการสำรวจข้อมูล ปริมาณ และประเภทของขยะในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่และมหาวิทยาลัยแม่โจ้ เพื่อหาศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากผลิตเชื้อเพลิง โดยมี 2 โครงการย่อยที่เชื่อมโยงกัน กล่าวคือ โครงการย่อยที่ 1 โดยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นการศึกษาและดำเนินการนำขยะชุมชนมาแปลงเป็นเชื้อเพลิงแข็งในรูป RDF-5 และโครงการย่อยที่ 2 โดยมหาวิทยาลัยแม่โจ้ เป็นการนำขยะเชื้อเพลิง RDF-5 มาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป และยังมีการศึกษาข้อกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับโครงการ ผลการศึกษาศักยภาพด้านปริมาณขยะ พบว่าปริมาณขยะเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่มีค่าอยู่ที่ 4.28 ตันต่อวัน และมหาวิทยาลัยแม่โจ้มีปริมาณขยะ 1.55 ตันต่อวัน สำหรับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่า ประเภทของขยะที่สามารถนำมาผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จะเป็นพลาสติก ตามด้วย กระดาษ และเศษไม้ ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณรวม 2.09 ตันต่อวัน ซึ่งเพียงพอในการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 ในระดับสาธิต ซึ่งกำหนดกำลังการผลิตที่ 200 กิโลกรัมต่อวัน

โครงการย่อยที่ 1 โครงการสาธิตการผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะชุมชน: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นการศึกษาและดำเนินการนำขยะชุมชนมาแปลงเป็นเชื้อเพลิงแข็งในรูป RDF-5 และมีการศึกษาด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและต้นทุนของขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ผลการพัฒนาระบบการผลิต พบว่าสามารถผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ได้ และมีคุณสมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิง เป็นไปตามค่ามาตรฐาน ผลการคำนวณค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro ด้วยวิธี Eco-indicator 95 พบว่าผลกระทบต่อด้านสุขภาพของมนุษย์ที่มากที่สุด คือ ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ในเบื้องต้น พบว่ามีต้นทุนเท่ากับ 3.58 บาทต่อกิโลกรัม หรือ 3,581 บาทต่อตันของขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตได้

โครงการย่อยที่ 2 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงจาก RDF - 5: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยแม่โจ้ เป็นการนำขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่ผลิตจากโครงการย่อยที่ 1 มาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน ผลศึกษาพบว่าเชื้อเพลิง RDF-5 สามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้ 45 % ที่ภาระทางไฟฟ้า 63 % (18 kW) ผลการวิเคราะห์ไอเสีย พบว่ามีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของเครื่องยนต์ดีเซล นอกจากนี้อุณหภูมิที่บริเวณการเผาไหม้จะมีค่าประมาณ 1,100 – 1,200 °C ซึ่งสูงมากพอในการกำจัดไดออกซิน ที่เกิดจากพลาสติกในเชื้อเพลิง RDF ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าโครงการจะมีความคุ้มทุนเมื่อราคาน้ำมันดีเซลต้องไม่ต่ำกว่า 34 บาท/ลิตร และราคาขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ไม่เกิน 4.0 บาท/กิโลกรัม โดยจะมีจุดคุ้มทุนประมาณ 6 ปี ในกรณีที่ใช้ขยะเชื้อเพลิง RDF-5 เป็นเชื้อเพลิง 100 % มีต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 2.82-4.73 บาท/kWh และค่าไฟฟ้าส่วนเพิ่มจากการผลิตไฟฟ้าจากขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ที่สอดคล้องกับต้นทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5 ควรอยู่ที่ 3.5-4.5 บาท/kWh

ABSTRACT

250753

Chiang Mai University and Maejo University are the biggest universities in Chiang Mai province which have had waste problem continuously. Nowadays, they manage waste by hiring the waste management company to carry out waste and dump at other landfill site. This method spends high expense every year. Thus, we need to find another way to solve this problem which is suitable for reducing quantity of waste, friendly with environment and we can operate the technology by ourselves.

Demonstration project on thermal energy from waste in university is a survey on quantity and types of university waste in Chiang Mai University and Maejo University and carried out to find a potential in RDF-5 production and the environmental impact during the fuel production process. The project consists of two relative sub-projects. The sub-project 1 operates by Chiang Mai University which aims to study and produce the RDF-5 while the sub-project 2, which operates by Maejo University, aims to study and produce producer gas from RDF-5 for electricity generation. Moreover, the laws and regulations related to the production plant are also considered. It could be found that the amounts of waste in Chiang Mai University and Maejo University are about 4.28 tons/day and 1.55 tons/day respectively. For Chiang Mai University, the amount of waste that could be taken as raw material for RDF-5 which are plastic, paper and wood chips is about 2.09 tons/day. This amount is high enough to produce RDF in this study of which the production rate is at 200 kg/day.

The sub-project 1: Demonstration project on RDF-5 production from waste: a case study of Chiang Mai University, focuses on RDF-5 production from the university waste, including study of environmental impacts from RDF-5 production and costs. It is found that the produced RDF-5 characteristics are in a standard range. From a Life Cycle Assessment (LCA) by SimaPro software, with Eco-Indicator 95, it is found that the main human health impact is due to the impact on the climate change. The cost of the produced RDF-5 is about 3.58 Baht/kg or 3,581 Baht/ton.

The sub-project 2: Potential of power generation by producer gas from RDF-5: a case study of Maejo University, focuses on producer gas generation from RDF-5 which is the product from the sub-project 1. It is used as a co-fired with diesel oil to generate electricity from an internal combustion engine. The RDF-5 producer gas could replace to 45% diesel oil at 63% electricity load (18 kW). All the emissions are found to be less than standard of diesel engine. Moreover, the temperature in the combustion zone is between 1,100 – 1,200 °C which is high enough to dispose dioxin from plastic in the RDF fuel. From economic analysis, it is found that the payback period is 6 years when the diesel price rises to 34 Baht/liter and cost of RDF-5 is up to 4.0 Baht/kg. In case of using 100% of RDF-5 as fuel the results are found that electricity cost is in a range of 2.82 – 4.73 Baht/kWh while adder for electricity purchasing from RDF-5 should be in a range of 3.5 – 4.5 Baht/kWh.

คำสำคัญ (Keywords)

โครงการสาธิต / ขยะเชื้อเพลิงอัดแท่ง / การผลิตพลังงานจากขยะ / การผลิตก๊าซเชื้อเพลิง

Demonstration Project / Refuse Derived Fuel (RDF-5) / Waste to Energy / Gasification

สารบัญเรื่อง

บทที่	หัวข้อ	หน้า
1	บทนำรวม	
	1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1-1
	1.2 วัตถุประสงค์ของแผนงานวิจัย	1-5
	1.3 รายละเอียดความเชื่อมโยงระหว่างโครงการวิจัยย่อย	1-5
	1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	1-7
	1.5 หน่วยงานที่สามารถนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์	1-7
2	การศึกษาทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	
	2.1 การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย	2-1
	2.2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย	2-35
3	ระเบียบวิธีดำเนินงานวิจัย	
	3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย	3-1
	3.2 การกำหนดสมมติฐานในการวิจัย	3-3
	3.3 การศึกษาศักยภาพของขยะในมหาวิทยาลัย	3-4
	3.4 การวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	3-11
	3.5 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5	3-11

บทที่	หัวข้อ	หน้า
4	<u>ผลการดำเนินงานวิจัย</u>	
	4.1 ผลการศึกษาศักยภาพของขยะในมหาวิทยาลัย	4-1
	4.2 ผลการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	4-36
	4.3 ผลการศึกษาต้นทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF-5	4-36
	4.4 ผลการศึกษาข้อกฎหมายที่เกี่ยวข้อง	4-37
5	<u>การอภิปรายและวิจารณ์ผลการดำเนินงาน</u>	
	5.1 ผลการประเมินศักยภาพของขยะในมหาวิทยาลัย	5-1
	5.2 ผลการประเมินค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิตขยะเชื้อเพลิง	5-5
	5.3 ผลการประเมินต้นทุนของขยะเชื้อเพลิง RDF-5	5-5
6	<u>สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ</u>	
	6.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	6-1
	6.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม	6-2

บรรณานุกรม

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
1.1	การเปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากขยะชุมชน	1-3
2.1	การพิจารณาคัดเลือกเทคโนโลยีการจัดการขยะมูลฝอย	2-21
2.2	ประเภทของขยะเชื้อเพลิง RDF	2-24
2.3	มาตรฐานของขยะเชื้อเพลิง RDF ของประเทศในแถบยุโรป	2-25
2.4	คุณสมบัติพื้นฐานของขยะเชื้อเพลิง RDF	2-25
2.5	องค์ประกอบทางเคมีในขยะเชื้อเพลิง RDF	2-26
2.6	กระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF	2-30
2.7	ค่าใช้จ่ายสำหรับอุปกรณ์ในการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF	2-31
2.8	ต้นทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF	2-32
2.9	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของขยะเชื้อเพลิง RDF	2-34
2.10	การเปรียบเทียบข้อดี - ข้อจำกัดของเทคโนโลยีขยะเชื้อเพลิงอัดแท่ง	2-40
2.11	องค์ประกอบของขยะชุมชนทั่วประเทศที่เหมาะสมสำหรับการผลิต RDF	2-42
2.12	ผลการทดสอบคุณสมบัติของขยะเชื้อเพลิง RDF	2-43
2.13	ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF	2-44
2.14	ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF	2-44
2.15	อัตราการทิ้งมูลฝอยจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่	2-46
2.16	ปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในเขตมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พ.ศ. 2549	2-50
3.1	แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	3-2
3.2	รายละเอียดของจุดที่ทำการเก็บข้อมูลในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่	3-7

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
4.1	จำนวนนักศึกษาและบุคลากรของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2552	4-16
4.2	จำนวนนักศึกษาในหอพักนักศึกษาชาย	4-16
4.3	จำนวนนักศึกษาในหอพักนักศึกษาหญิง	4-17
4.4	ผลการสำรวจข้อมูลพื้นที่ส่วนสำนักงานในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่	4-18
4.5	ข้อมูลบ้านพักและจำนวนผู้พักอาศัย	4-20
4.6	จำนวนนักศึกษาที่พักในหอพักมหาวิทยาลัย	4-21
4.7	จำนวนบุคลากรที่พักอยู่ภายในมหาวิทยาลัย	4-22
4.8	ปริมาณขยะรวมโดยเฉลี่ยต่อวันของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่	4-24
4.9	องค์ประกอบของขยะโดยรวมเฉลี่ยต่อปีในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ วิทยาเขตเชิงดอย	4-35

สารบัญรูปลูกภาพ

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1.1	กลยุทธ์การจัดการขยะชุมชน	1-1
1.2	กรอบแนวคิดการผลิตพลังงานจากขยะชุมชน	1-2
1.3	ผังความเชื่อมโยงระหว่างโครงการวิจัยย่อยภายใต้แผนงานวิจัย	1-6
2.1	กลไกการแปรเปลี่ยนจากผลิตผลไปเป็นขยะมูลฝอย	2-5
2.2	การจำแนกประเภทของขยะมูลฝอยโดยทั่วไป	2-6
2.3	องค์ประกอบด้านกายภาพของขยะมูลฝอยและวิธีการจัดการที่เหมาะสม	2-14
2.4	ทางเลือกเทคโนโลยีในการจัดการขยะมูลฝอย	2-22
2.5	กระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF แบบ Front End	2-28
2.6	ตัวอย่างกระบวนการผลิตขยะเชื้อเพลิง RDF	2-29
2.7	กระบวนการ MBT ที่จังหวัดพิษณุโลก	2-34
2.8	กรอบการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ของขยะเชื้อเพลิง RDF	2-35
2.9	สัดส่วนการใช้ขยะเชื้อเพลิง RDF ของประเทศในแถบทวีปยุโรป	2-36
2.10	วิธีการผลิต RDF โดยการใช้ไอน้ำ (Steam Treatment, Autoclave)	2-42
2.11	วิธีการผลิต RDF โดยการใช้เครื่องจักรกล (Mechanical Treatment)	2-43
3.1	จุดที่ทำการเก็บข้อมูลในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่	3-6
4.1	การจัดการขยะของหอพักนักศึกษา	4-5
4.2	การจัดการขยะของสำนักงานคณะวิศวกรรมศาสตร์	4-6
4.3	การจัดการขยะบริเวณโรงอาหาร	4-7
4.4	ตัวอย่างขยะที่เกิดขึ้นในอาคารเรียน	4-8
4.5	ตัวอย่างขยะประเภทกิ่งไม้ เศษไม้ ใบไม้แห้ง	4-9

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.6	โครงการธนาคารขยะมหาวิทยาลัยเชียงใหม่	4-12
4.7	ขยะจำพวกเศษใบไม้ กิ่งไม้	4-13
4.8	ขยะภายในโรงพักขยะ มหาวิทยาลัยแม่โจ้	4-14
4.9	ลักษณะของขยะภายในถุงดำที่โรงพักขยะ มหาวิทยาลัยแม่โจ้	4-15
4.10	การแยกประเภทของขยะในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เขตเชิงดอย	4-25
4.11	สัดส่วนองค์ประกอบขยะของหอพักนักศึกษาชาย	4-26
4.12	สัดส่วนองค์ประกอบขยะของหอพักนักศึกษาหญิง	4-27
4.13	ปริมาณองค์ประกอบขยะของหอพักนักศึกษาและศูนย์อาหาร	4-28
4.14	สัดส่วนองค์ประกอบขยะของสำนักงาน	4-29
4.15	สัดส่วนองค์ประกอบขยะของสำนักงานและร้านอาหาร	4-30
4.16	สัดส่วนองค์ประกอบขยะบริเวณสนามกีฬากลาง	4-31
4.17	สัดส่วนองค์ประกอบขยะของร้านค้า	4-32
4.18	สัดส่วนองค์ประกอบขยะของที่พักออาศัย	4-33
4.19	สัดส่วนองค์ประกอบขยะของที่พักออาศัยและร้านอาหาร	4-34
4.20	องค์ประกอบของขยะแต่ละประเภทเฉลี่ยต่อปีในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เขตเชิงดอย	4-35
5.1	การเปรียบเทียบองค์ประกอบของขยะชุมชนโดยทั่วไป กับขยะที่เกิดขึ้น ในมหาวิทยาลัย	5-4
5.2	ผลการเปรียบเทียบค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีผลิต พลังงานจากขยะ	5-5