

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

โครงการวิจัยเรื่อง (ภาษาไทย) การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไฟฟ้าระดับชุมชน
โดยใช้พลังงานจากไม้โตเร็ว
(ภาษาอังกฤษ) Feasibility Study of Community-Scale Electricity Generation
from Fast-Growth Wood Energy

ที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2549 จำนวนเงิน 7,000,000. - บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี เริ่มทำการวิจัยเมื่อ กันยายน 2549 – สิงหาคม 2550

รายนามคณะผู้วิจัย พร้อมทั้งหน่วยงานที่สังกัดและหมายเลขโทรศัพท์

หัวหน้าคณะผู้วิจัย:

ชื่อ- นามสกุล	นายณัฐ วรยศ
ตำแหน่งปัจจุบัน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์
หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200 โทรศัพท์ 053-944144 โทรสาร 053-944145 E-mail: nat@dome.eng.cmu.ac.th

ผู้ร่วมวิจัย :

ชื่อ- นามสกุล	นายทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์
ตำแหน่งปัจจุบัน	ศาสตราจารย์ ระดับ 11
หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200 โทรศัพท์ 053-944144 โทรสาร 053-944145 E-mail: tanong@dome.eng.cmu.ac.th

ชื่อ- นามสกุล นายนคร ทิพวงศ์
ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200
โทรศัพท์ 053-944144 โทรสาร 053-944145
E-mail: nakorn@dome.eng.cmu.ac.th

ชื่อ- นามสกุล นางสาวณัฐนี วรรณยศ
ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200
โทรศัพท์ 053-944144 โทรสาร 053-944145
E-mail natance@dome.eng.cmu.ac.th

ชื่อ- นามสกุล นายณัฐวุฒิ คุยฎี
ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก ภาควิชาพีชไร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290
โทรศัพท์ 053-498168 โทรสาร 053-498168
E-mail Address Natthawu@mju.ac.th

ชื่อ- นามสกุล นายชรัตน์ ธารรัตน์
ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก แผนกวิชาช่างกลเกษตร คณะวิชาเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
วิทยาเขตภาคพายัพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300
โทรศัพท์ 053-221576 โทรสาร. 053-213183
E-mail T_churat@thaimail.com

ชื่อ – สกุล นายอดิพงษ์ นันทพันธุ์
ตำแหน่งปัจจุบัน วิศวกรระดับ 7

หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก

การศูนย์ฝึกอบรมแม่เมาะ

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

จ. ลำปาง 52220 โทรศัพท์ 054-256932

โทรสาร 054-256938

E-mail atipoang.n@egat.co.th

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

แนวทางในการลดปัญหาการขาดแคลนพลังงาน ที่สำคัญแนวทางหนึ่งคือการส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการใช้พลังงานหมุนเวียนในการนำมาผลิตกระแสไฟฟ้า ชีวมวลจากไม้โตเร็วที่มีการจัดการปลูกเป็นสวนป่าเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากไม้เชื้อเพลิงที่ได้ปราศจากธาตุหนักที่ก่อให้เกิดมลพิษที่จะเกิดขึ้นในกระบวนการแปรรูปพลังงานเป็นความร้อน นอกจากนี้การปลูกป่าเชื้อเพลิงในลักษณะหมุนเวียนจะช่วยลดปัญหาการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศของโลกไปในตัว และสามารถใช้เป็นกิจกรรมที่เพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร อย่างไรก็ตามการใช้พลังงานจากไม้โตเร็วนั้นถึงแม้จะมีข้อมูลพันธุ์ไม้โตเร็ว และข้อมูลระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากชีวมวลปรากฏอยู่อย่างต่อเนื่อง แต่ การศึกษาและประเมินศักยภาพทั้งระบบในการผลิตไฟฟ้าโดยอาศัยไม้โตเร็วเป็นแหล่งพลังงานอย่างจริงจัง ยังไม่ปรากฏชัดเจนนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของระบบที่มีขนาดเหมาะสมสำหรับชุมชนเกษตรกรรมขนาดเล็ก ที่ต้องการพึ่งพาตัวเองทางด้านพลังงาน อันเป็นลักษณะของชุมชนที่มีอยู่ทั่วไปในประเทศ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

โครงการวิจัยนี้จึงได้ถูกดำเนินการขึ้น เพื่อมุ่งประเมินความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าระดับชุมชน โดยพิจารณาความเป็นไปได้ขององค์ประกอบหลายๆ ส่วน ไม่ว่าจะเป็นพันธุ์ไม้ การจัดการการปลูก การเก็บเกี่ยว การเตรียม การอบไม้โตเร็วจากป่า รวมไปถึงจนถึงระบบผลิตกระแสไฟฟ้าโดยเน้นเทคโนโลยีต้นกำลังไอน้ำที่อาศัยกังหันไอน้ำเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยจะได้นำเสนอ ชนิดของไม้โตเร็วที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชเพื่อเป็นแหล่งพลังงาน รูปแบบการปลูก รวมถึงการศึกษาถึงรูปแบบและขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าชุมชนที่มีขนาดไม่เกิน 50 kWe จากไม้โตเร็ว ตลอดจนผลกระทบที่พึงมีเปรียบเทียบกับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าที่อาศัยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) ที่ได้ข้อมูลมาจากการค้นคว้าจากแหล่งต่างๆ โดยคณะผู้วิจัยจะได้รายงานต้นทุนการผลิตต่อหน่วยไฟฟ้าการผลิตและผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากระบบต้นกำลังไอน้ำเป็นหลัก โดยครอบคลุมตัวแปรหลักคือขนาดกำลังผลิต ลักษณะการปลูกและตัดป่า และลักษณะการนำไอน้ำที่เหลือกลับมาใช้ใหม่ (Combined Heat and Power: CHP)

ระเบียบวิธีการวิจัย

- ศึกษารูปแบบการปลูก และชนิดของไม้โตเร็ว โดยใช้ข้อมูลทางเอกสารและจากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญ รวมถึงการออกสำรวจพื้นที่

- หาแนวทางการ การจัดการและปลูกป่าพืชพลังงานเพื่อใช้ในการทำเป็นไม้เชื้อเพลิง สำหรับผลิตไฟฟ้า
- สร้างหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำขนาดที่สามารถผลิตไฟฟ้าประมาณ 50 kWe สามารถใช้ในระดับชุมชน โดยศึกษาการผลิตไอน้ำจากไม้โตเร็ว ถ้ำซั้งและ ฝุ่นและการกำจัดฝุ่น การออกแบบและสร้างห้องเผาไหม้ และระบบการป้อนเชื้อเพลิง ไม้ที่ใช้จะใช้ไม้โตเร็ว ประเภท ไม้กระถิน และ ไม้เทพา ที่สามารถหาซื้อได้ในพื้นที่
- สร้างห้องอบไม้ขนาด 3.5 m x 3.5 m x 2.5 m โดยผนังห้องเป็นฉนวน มีหม้อต้มน้ำร้อน ใช้แก๊สหรือฟืน เป็นเชื้อเพลิงในการต้มน้ำร้อน และป้อนน้ำร้อนผ่านขดท่อในห้อง มีการหมุนเวียนของอากาศ จะมีหัวจ่ายลม นอกจากนี้จะมีการใช้ความร้อนจากไอเสียช่วยในให้ความร้อนกับหม้อต้ม
- ศึกษาข้อมูลของกังหันไอน้ำ และวิเคราะห์สมรรถนะในการผลิตไฟฟ้า
- ศึกษาแบบแกสซิฟิเคชัน จะใช้ข้อมูลสมรรถนะจากการสืบค้นเอกสาร งานวิจัยที่มีอยู่แล้ว ทั้งในแง่รูปแบบ และสมรรถนะในการผลิตแก๊ส และการใช้แก๊สในการผลิตไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ เพื่อเทียบกับสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันไอน้ำ
- การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

ผลการวิจัย

การรายงานผลการวิจัยของโครงการนี้ คณะผู้วิจัยใคร่ขอนำเสนอผลงานวิจัยออกเป็น 4 ส่วนหลัก อันได้แก่

- ส่วนแรกที่ครอบคลุมการศึกษารูปแบบการปลูก และชนิดของไม้โตเร็วที่เหมาะสมสำหรับการปลูกเพื่อเป็นแหล่งพลังงาน จากเอกสารในงานวิจัยที่ได้ดำเนินการศึกษาไว้แล้วก่อนหน้านี้ ผลการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ไม้โตเร็วที่จะนำมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าควรเป็นไม้ที่สามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว และให้ค่าความร้อนจากการเผาไหม้ค่อนข้างสูง จากการศึกษาพบว่าชนิดของไม้ที่มีความเหมาะสมในกระบวนการผลิตไฟฟ้าในโครงการวิจัยนี้มีด้วยกันหลายชนิด เช่น ยูคาลิปตัส กระจินณรงค์ กระจินเทพา กระจินยักษ์ สะเดาช้าง และจี่เหล็ก เป็นต้น ทั้งนี้เพราะไม้โตเร็วชนิดดังกล่าวมีอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของชีวมวลที่มีปริมาณเพียงพอ มีค่าความร้อนที่เหมาะสม แต่การเลือกพันธุ์ไม้ต้องคำนึงถึงความสามารถในการเจริญเติบโตในพื้นที่ที่ใช้ในการปลูก ซึ่งไม้ต้องสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้ง่าย ที่มีลักษณะการปลูก และการดูแลรักษาควรทำได้ไม่ยุ่งยาก และสามารถใช้ประโยชน์อย่างอื่นควบคู่ไปกับการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง เมื่อพิจารณาปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ จาก

งานวิจัยโดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของข้อมูลผลผลิต และคุณสมบัติของไม้ที่มีการยืนยันข้อมูลของระยะเวลาปลูก และอายุของไม้ที่เหมาะสมอย่างครบถ้วน พบว่าไม้กระถินยักษ์ อายุ 2-3 ปี ที่ระยะเวลาปลูกประมาณ 0.6x0.6 ถึง 1x1 m² มีความเหมาะสมที่จะปลูกเป็นป่าไม้เชื้อเพลิงมากที่สุด โดยจะให้ผลผลิตถึง 15.84 ถึง 17.92 ton/ไร่ ซึ่งถึงแม้จะมีรายงานว่าไม้ชนิดอื่นมีผลผลิตต่อไร่สูงกว่าแต่ข้อมูลเหล่านั้นไม่ได้รับการยืนยันในส่วนของอายุ และระยะเวลาปลูกที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลผลิตตามที่รายงาน ค่าความร้อนของไม้กระถินยักษ์ได้รับการยืนยันว่าจะมีค่าสูงสุดถึง 15.9 MJ/kg (ค่าเชื้อเพลิงค่าสูง) ไม้กระถินยักษ์สามารถเพาะปลูกแพร่พันธุ์ได้ทั่วประเทศ ไม่ได้ต้องการปริมาณน้ำฝนเหมือนไม้โตเร็วบางชนิด และไม่ต้องการการบำรุงรักษามากนัก ยกเว้นตอนเพาะกล้า นอกจากนี้ยังเกษตรกรยังสามารถใช้ยอดอ่อนหรือใบที่เหลือทิ้งระหว่างการปลูกป่า มาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ จึงช่วยลดปัญหาการกำจัดเศษวัสดุที่เหลือในกระบวนการผลิต และยังช่วยเพิ่มรายได้ให้กับโรงไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดการลดราคาต้นทุนต่อหน่วยของไฟฟ้าที่ผลิตได้อีกด้วย

- ในส่วนที่สอง ของการวิจัย จะเป็นการศึกษาหาลักษณะการปลูก และการจัดการเพื่อให้เหมาะสมกับการผลิตไฟฟ้าที่ต่อเนื่อง รวมถึงการเตรียมไม้เชื้อเพลิงก่อนป้อนเข้าระบบการผลิตไอน้ำ พบว่า การปลูกไม้กระถินยักษ์ เพื่อเป็นไม้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าในช่วง 25 - 50 kW ที่เพียงพอกับชุมชนขนาดเล็ก สามารถทำได้ทั้งในรูปแบบสวนป่า และรูปแบบวนเกษตร โดยการวิเคราะห์วิจัย ได้เน้นการ ไม้กระถินยักษ์แบบสวนป่า ข้อมูลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า หากต้องการปลูกกระถินยักษ์ให้ได้ราคาต้นทุนต่อหน่วยของไฟฟ้าที่ผลิตต่ำที่สุดต้องตัดกระถินหลังจากกระถินยักษ์มีอายุครบ 3 ปี ที่ระยะเวลาปลูกระยะ 1x1 m² นั่นก็คือต้องมีการปลูกไม้เชื้อเพลิงให้มียุขครบ 3 ปีก่อน โดยทยอยปลูกกระถินยักษ์ 12 แปลงๆ ละ 48 ไร่ โดยใช้เวลาปลูกแปลงละ 3 เดือน การเก็บเกี่ยวผลผลิตจะเริ่มทำหลังจากปลูกต้นกระถินยักษ์ไปเป็นระยะเวลา 3ปีแล้ว คาดว่าต้นกระถินยักษ์ สูงประมาณ 4.5 m และมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ไม่ใหญ่เกินไปนักที่จะถูกนำไปตัดเป็นท่อนๆ การตัดจะทำที่ละแปลงที่แบ่งไว้ ทุกๆ 3 เดือน และหมุนเวียนจนครบรอบ 3 ปี จะได้ผลผลิตที่มากที่สุดเกือบ 18 ต้นต่อไร่และให้ค่าความร้อนได้ประมาณ 16 MJ/kg โดยต้องตัดเป็นท่อนหรือเป็นชิ้น (Wood log หรือ Wood chip) และเพื่อเพิ่มค่าความร้อนแก่ไม้เชื้อเพลิงต้องมีการลดความชื้นของไม้ให้เหลือประมาณ 40%db

ในโครงการวิจัยนี้ยังได้ศึกษาถึงผลของความชื้นของเนื้อไม้ที่มีผลต่อการเผาไหม้รวมด้วย ซึ่งพบว่า ความชื้นไม้ที่เหมาะสมสำหรับป้อนเข้าสู่ระบบ เพื่อให้ได้ค่าความร้อนที่เหมาะสมจะต้องมีค่าต่ำกว่า 40%db จึงมีการศึกษาถึงการลดความชื้นของไม้โดยอาศัยเครื่องอบแห้ง ซึ่งได้มีการออกแบบ และจัดสร้าง พร้อมกับทดสอบ ผลการทดสอบในเบื้องต้นพบว่า เครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้น ใช้เวลา 9 ชั่วโมงในการอบแห้งไม้สดครั้งละ 1,066 kg เพื่อลดความชื้นจาก 60 %db เหลือ 40 %db ซึ่งคิดผลผลิตเป็นไม้แห้งในปริมาณ 967 kg โดยต้องใช้พลังงานใน

การอบแห้ง 22.03 kW ดังนั้นในหนึ่งวันเครื่องอบแห้งดังกล่าวสามารถอบแห้งได้สูงสุด 3 ครั้ง คิดเป็นปริมาณไม้แห้งที่อบได้ 1,934 kg/day หรือ คิดเป็นปริมาณไม้สดได้ 2,132 kg/day โดยระบบอบลดความชื้นไม้เชื้อเพลิงควรใช้ความร้อนที่เหลือจากการเผาไหม้ในหม้อไอน้ำเป็นแหล่งความร้อน ซึ่งจะทำให้โรงไฟฟ้าสามารถเดินเครื่องอบไม้ ควบคู่กับการลดความชื้นไม้เชื้อเพลิงโดยการตากแดด ได้ตลอดทั้งปี สามารถมีไม้สำรองไว้ใช้แม้ในหน้าฝนที่อาจทำให้ไม่สามารถตากไม้ให้มีความชื้นลดลงตามจำนวนที่ต้องการได้ โดยในโครงการนี้ได้นำเสนอตัวอย่างการจัดการรูปแบบการอบไม้ไว้ด้วยแล้ว

- การศึกษาวิจัยในส่วนที่ 3 จะเป็นการศึกษาถึงรูปแบบ และขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าจากไม้โตเร็วที่เหมาะสม โดยอาศัยเทคนิคการให้ความร้อนโดยตรงเพื่อผลิตไอน้ำ และ จากการทำ แกสซิฟิเคชัน พบว่าการผลิตไฟฟ้าจากไม้โตเร็วทั้งสองวิธีมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน แต่ในโครงการวิจัยนี้ได้ให้ความสนใจที่จะศึกษาการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ระบบกังหันไอน้ำเป็นหลัก เนื่องจากเป็นระบบที่ไม่ซับซ้อน และสามารถถ่ายเทความร้อนได้ง่าย เมื่อเทียบกับการผลิตไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคแกสซิฟิเคชัน ถึงกระนั้นเนื่องจากระบบมีขนาดเล็กมาก และอุปกรณ์หลักหลายชิ้นมีลักษณะเฉพาะ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องกำเนิดไอน้ำขนาดเล็กที่มีอัตราผลิตไอน้ำไม่มาก แต่ ฅ ความดันสูง หรือกังหันไอน้ำขนาดเล็ก เป็นต้น โครงการจึงได้ดำเนินการออกแบบ จัดสร้าง เครื่องกำเนิดไอน้ำ พร้อมทดสอบระบบเบื้องต้น ณ ศูนย์การศึกษามหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตรีภุมชัย จ. ลำพูน จากผลการทดสอบสมรรถนะหม้อไอน้ำเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ใช้ในการออกแบบหม้อไอน้ำ จะเห็นว่าสมรรถนะจากการทดสอบ ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 150 kg/hr ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำสูงสุด 82.77 % และได้กำลังแรงม้าของหม้อไอน้ำ 35.5 hp ที่ความดัน 18-20 bar ปริมาณสารเจือปนในไอเสีย NO_x 134 ppm, SO₂ 41 ppm และ ฝุ่นละออง 68 mg/m³ ผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากำลังแรงม้าของหม้อไอน้ำจากการทดสอบจากงานจริงมีค่าสูงกว่าค่าที่ออกแบบ ปริมาณสารเจือปนในไอเสียต่ำกว่าค่ามาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ ซึ่งปริมาณไอน้ำดังกล่าวจะเพียงพอกับการผลิตกระแสไฟฟ้าในช่วง 25 – 50 กิโลวัตต์

ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์เลือกระบบหลักมีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิดคือ ขนาดการผลิตกระแสไฟฟ้า ระบบการปลูกไม้ที่ใช้อายุและผลผลิตต่อไร่ของไม้เชื้อเพลิงเป็นเกณฑ์ และปริมาณการนำความร้อนที่เหลือในไอน้ำจากการใช้เดินกังหันไอน้ำกลับมาใช้ การวิเคราะห์หารูปแบบของการปลูกและการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ดีที่สุด แสดงให้เห็นว่าหากไม่คิดถึงการนำความร้อนที่เหลือไปใช้ (Combined Heat and Power) ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าแบบแกสซิฟิเคชัน มีต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ถูกกว่าระบบกังหันไอน้ำ กล่าวคือมีต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 4.41 บาท/kWhr เนื่องจากประสิทธิภาพโดยรวมของระบบสูงกว่า ส่งผลให้พื้นที่ในการเพาะปลูกน้อยกว่า

ในกรณีของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำนั้น เนื่องจากกังหันไอน้ำขนาดเล็กมักเป็นกังหันสเตจเดียว ประสิทธิภาพของกังหันจะมีค่าต่ำ มีความร้อนที่เหลือจากการใช้งานผลิตกระแสไฟฟ้าในปริมาณที่มาก การคำนวณแสดงให้เห็นว่าระบบผลิตกระแสไฟฟ้าที่ขนาด 50 kWe เป็นระบบที่เหมาะสมที่สุดในขอบเขตที่พิจารณา การผลิตกระแสไฟฟ้าจะต้องอาศัยหม้อไอน้ำที่ผลิตไอน้ำอิ่มตัวที่ความดัน 20-22 บาร์ ในอัตราการผลิตไอน้ำ ทั้งหมด 1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยมีอัตราการป้อนไม้เชื้อเพลิงกระถินยักษ์ในรูปท่อน 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยรวมของโรงไฟฟ้ามีค่าประมาณเท่ากับ 7.21% จากเชื้อเพลิงสู่กระแสไฟฟ้า) ทั้งนี้ไม้กระถินยักษ์ต้องใช้พื้นที่ในการปลูกทั้งหมด 576 ไร่ ที่ระยะปลูก 1x1 m ต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 5.61 บาทต่อ kWhr หากระบบถูกใช้งานในการผลิตกระแสไฟฟ้าแต่เพียงอย่างเดียว ซึ่งถึงแม้จะสามารถจำหน่ายไฟฟ้าที่ผลิตได้เข้าสู่สายส่งในลักษณะผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Very-Small Power Producer: VSPP) ได้ แต่ระบบดังกล่าวยังไม่มีมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์เนื่องจากราคารับซื้อกระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (ประมาณ 3.10 บาท/kWhr) ยังมีค่าต่ำกว่าต้นทุนการผลิต อย่างไรก็ตาม ไอน้ำที่เหลือจากการเดินเครื่องกังหันไอน้ำ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ให้เกิดรายได้เพื่อช่วยลดต้นทุนค่าไฟฟ้าที่ผลิตได้ ซึ่งเป็นการใช้งานแบบความร้อนร่วมกับกำลัง (Combined Heat and Power: CHP) เช่นการนำไอน้ำที่เหลือใช้ในอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร อันมีมากในประเทศ โดยเฉพาะในเขตภาคเหนือ จะทำให้ต้นทุนการผลิตของระบบลดลงได้ ผลการคำนวณได้แสดงให้เห็นว่าหากนำความร้อนที่เหลือใช้มาอบผลิตผลทางการเกษตรเพียงร้อยละ 35 ของไอน้ำทั้งหมด ภายใน 10 เดือนต่อปี โดยใช้ห้องอบ 4 ชุด ต้นทุนของไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีค่าลดลงเหลือเท่ากับ 3.10 บาท/kW-hr ซึ่งมีความใกล้เคียงกับราคารับซื้อของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากระบบแก๊สซิฟิเคชันขนาด 50 kWe รูปแบบไหลลง (Downdraft Gasifier) โดยอาศัยข้อมูลจากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าระบบที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นไม้แบบท่อนขนาด 5-10 เซนติเมตรในลักษณะเดียวกับระบบกังหันไอน้ำ พบว่าต้องใช้อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 121.95 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จากพื้นที่ในการปลูกทั้งหมด 235 ไร่ ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบมีค่าประมาณเท่ากับ 12.00% ต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าของระบบดังกล่าวอยู่ที่ 4.41 บาทต่อ kW-hr หากพิจารณานำเอาความร้อนที่เหลือทิ้งมาใช้ในการอบผลิตผลทางการเกษตรเช่นเดียวกับระบบกังหันไอน้ำ พบว่า ต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าจะลดลงถึงแม้มีการลงทุนสร้างและติดตั้งเครื่องอบเพิ่มเติม ทั้งนี้ หากนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ร้อยละ 30 เพื่ออบผลิตผลทางจึงจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าใกล้เคียงกับราคารับซื้อของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

อย่างไรก็ตาม ชั่วโมงการทำงานของโรงไฟฟ้ามีผลต่อราคาต้นทุนของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ หากลดเวลาทำงานเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ 5,694 ชั่วโมง (Plant Factor 65%) พบว่า

ต้นทุนผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงไม้โตเร็วขนาดกำลังผลิตไฟฟ้า 50 kWe ที่ใช้ระยะเวลาการปลูก 3 ปี มีต้นทุนเพิ่มขึ้นเป็น 6.56 บาท/kWh ซึ่งพบว่ามีต้นทุนเพิ่มขึ้น 14.48% เพื่อให้ต้นทุนกระแสไฟฟ้าใกล้เคียงกับราคาซื้อขายจะต้องมีส่วนการนำความร้อนทิ้งไปใช้ประโยชน์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 65

ดังนั้นหากต้องการนำระบบผลิตกระแสไฟฟ้าชุมชนจากระบบต้นกำลังกังหันไอน้ำหรือแก๊สซิฟิเคชัน มาใช้งานอย่างคุ้มค่า ชุมชนต้องมีการวางแผนและจัดการป่าที่ดี และต้องวางแผนให้มีการนำความร้อนที่ได้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ให้มากที่สุด

- ในส่วนสุดท้ายของการศึกษาโครงการวิจัยนี้จะดำเนินการศึกษาถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในการดำเนินการจัดสร้างระบบ โดยอาศัยการประเมินวัฏจักรชีวิต เป็นเครื่องมือในการศึกษาค่าผลกระทบที่เกิดขึ้น ซึ่งจะดำเนินการศึกษาในทุกขั้นตอนการผลิต ตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะปลูก การแปรรูป การอบไล่ความชื้น การผลิตไอน้ำ จนถึงกระบวนการผลิตไฟฟ้า ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวนอกจากจะทำให้ทราบถึงค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ไม้โตเร็ว แล้วยังสามารถเปรียบเทียบค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการ ทำให้เห็นแนวทางของการแก้ไขปัญหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น และลดผลของปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง ซึ่งก็พบว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นทางด้านสิ่งแวดล้อมเมื่อดำเนินการวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรมการสมดุลมวล สมดุลพลังงาน ประกอบกับโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro ทำให้ทราบค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปล่อยมลพิษในกลุ่มของมลพิษที่ก่อให้เกิดปัญหาด้านภาวะโลกร้อน (Global Warming) ภาวะฝนกรด (Rain Acidification) ฝุ่นละออง (Winter Smog) หมอกควันเคมี (Photochemical Smog) และการเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำ (Eutrophication) รวมถึงสัดส่วนการใช้พลังงานต่อการผลิตกระแสไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งพบว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดขึ้นเกิดในกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงถ่านเป็นร้อยละไม่น้อยกว่า 95 ของผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งทางตรงและทางอ้อมกับกระแสไฟฟ้าจากระบบสายส่ง พบว่าการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยไม้โตเร็วจะมีการปล่อยมลพิษมากกว่า ยกเว้นในส่วนของผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนเนื่องจากการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยไม้โตเร็วจะมีการปลูกพืชหมุนเวียน ซึ่งสามารถดูดซับส่วนของก๊าซเรือนกระจกไปใช้ประโยชน์ได้ แต่หากมีก็จะสามารถลดผลกระทบที่เกิดขึ้นได้ ทั้งนี้เนื่องจากระบบที่ใช้เป็นระบบขนาดเล็กมีประสิทธิภาพต่ำทำให้ต้องมีการเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก ทำให้มีการปล่อยมลพิษออกมามากตาม แต่ทั้งนี้หากมีการนำความร้อนทิ้งที่ปล่อยออกจากชุดกังหันไปใช้ประโยชน์ในการทดแทนการใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น ถั่วลิสง หรือการบ่มยาสูบ ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าถึงแม้จะมีการนำความร้อนทิ้งจากการผลิตไฟฟ้าโดยไม้โตเร็วไปใช้ประโยชน์เพียงร้อยละ 40 ก็จะทำให้ปริมาณ

มลพิษสุทธิที่เกิดขึ้นลดลงเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้กระแสไฟฟ้าจากสายส่งร่วมกับการใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการอบแห้ง จากผลการดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าไม้โตเร็วสามารถเป็นอีกหนึ่งทางเลือกของพลังงานทดแทนที่นอกจากจะมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าแล้ว ยังช่วยลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไฟฟ้า แสดงให้เห็นว่าระดับชุมชนระบบผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดชุมชนจากไม้โตเร็ว เป็นระบบที่เป็นไปได้ทั้งทางเทคโนโลยี และทางการเงิน ระบบควรใช้ไม้กระถินยักษ์เป็นเชื้อเพลิง และหากจะพิจารณาใช้ระบบกังหันไอน้ำในการผลิตกระแสไฟฟ้า ต้องพิจารณาการนำเอาไอน้ำที่เหลือมาใช้ให้เป็นประโยชน์ร่วมด้วย ระบบจึงจะคุ้มค่าต่อการลงทุน ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ พลังงานจากไม้โตเร็ว ก็น่าจะเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจในการผลิตไฟฟ้าชุมชน แต่กลุ่มชุมชนจะต้องอาศัยความรู้ ความสามารถในการวางแผน และจัดการไม่เฉพาะในส่วนของเทคโนโลยี แต่ในลักษณะมองภาพองค์รวม ทั้งในส่วนของ การเพาะปลูก การตัดและแปรรูปไม้ การผลิตไอน้ำและกระแสไฟฟ้าตลอดจนถึงการพิจารณานำเอาไอน้ำและความร้อนที่เหลือใช้มาอย่างเป็นระบบที่มีความสัมพันธ์กันอย่างต่อเนื่อง

Summary

National Research Council of Thailand

Title

Feasibility Study of Community-Scale Electricity Generation from Fast-Growth Wood Energy

Researchers and Affiliation

Nat Vorayos Tanongkiat Kiatsiriroat

Nakorn Tipayawong Natanee Vorayos

Department of Mechanical Engineering ,
Faculty of Engineering, Chiang Mai University

Nattawud Dussadee

Department of Agronomy,
Faculty Of Agricultural Production, Maejo University

Churat Thararux

Farm Mechanics, Mechanical Technology Department,
Rajamangala University of Technology Lanna, Northern Campus

Atipoang Nuntaphan

Mae Moh Training Center,
Electricity Generating Authority of Thailand, Lampang

Duration

September 2006 to August 2007, 1 year

Background/ Research problem

One of the importance measures to cope with the problem of energy shortage is to promote and support the use of renewable energy in electricity power generation. Biomass from fast-growth

wood from energy plantation, therefore, becomes one of the best choice in terms of alternative sources of power generation due to number of reasons, one of which arises from the fact that it does not compose of heavy element which eventually contribute to the increase of pollutants from the energy conversion processes. Additionally, woodfuel plantation in appropriate rotation not only helps to cope with carbondioxide toting up in the earth atmosphere but also help to generate extra income to agriculturists. However, in spite of the fact that there are existing data on species of fast-growth wood and electricity generating from biomass available for researchers, ambiguity still persists and feasibility studies for the whole systems are not adequate and clear especially for the community-sized system which is suitable for the small agricultural village in Thailand. These communities with the need of reliable energy sources are found throughout the country.

Research Objectives

These investigation has been carried out to seek if it is feasible to generate electricity in the small community by using fast-growth wood. Multiple factors are taken into accounts, for examples, wood species, nursery, cultivation, harvesting, relating management, wood drying, electricity generating technologies which focus on steam rankine cycle in which power generating is achieved by steam turbine. The results of this work eventually suggest appropriate species, cultivation patterns for energy plantation, technology and its operations and enviromental effects for community-scale electricity generation with the power at most 50 kW using woodfuel from plantation as a source of energy. The results are also compared with those from community-scale electricity generation using gasification technology from exisiting literatures. The report also includes the electricity unit cost and its life cycle assessment, mainly from the steam rankine system over parameters: size in power generating, cultivation and harvesting, and opportunity for combined heat and power utilities.

Measures

- Study for the appropriate species and the cultivation patterns through exisiting literatures, expert opinions, and also suitable area surveys
- Determine the appropriate approach to manage the woodfuel plantation for electrical power generating
- Build and test small and high-pressure water-tube steam boiler suitable for generating 25 kW of electricity which can be commissioned into community. Relating fuel feeding process, steam generation process, emissions are studied along with the design and construction of the

boiler by using woodfuel available in the area such as *Leucaena Leucocephala* and *Acacia mangium Willd*

- Build the insulated 3.5x3.5x2.5 m wood dryer using LPG or woodfuel as energy source for circulating hot water and hot air. Calculation will reveal the equivalent amount of exhaust which might be used as alternative heating source for wood dryer
- Research for information on existing and suitable steam turbine and its performance
- Research for information on gasification system from existing literatures. Information retrieved includes classification and performance to be compared with Rankine steam system.
- Comparative study on electricity unit cost and environment effect from the systems.

Results

Analyses from this research work will provide the results in four parts

- Suitable species and cultivation patterns of fast-growth wood for energy plantation: Investigation on existing research work reveals that the most suitable wood species for energy plantation should be able to yield the fuel mass quickly and contain high heating value. Possibilities are reported among *Acacia auriculiformis Cunn*, *Azadirachta excelsa (Jack) Jacobs*, *Eucalyptus camaldulensis Dehn.*, *Cassia siamea Lam.*, *Leucaena Leucocephala* and *Acacia mangium Willd*, for instances. These species can grow in a fast rate and their yields are high. Their heating value is acceptable. However, one of species selection criteria depends on their geographical preference, ability to adapt into soil, water, and weather conditions, measure for nursery, and its values other than being woodfuel. From the obtained data with sufficient confirmation from multiple sources, 2 to 3 year *Leucaena Leucocephala* with the cultivation pattern of 0.6x0.6 to 1x1 m is pointed out as the most suitable for woodfuel plantation among all selected species. Its yield is about 15.84-17.92 ton/Rai. Its high heating value is as high as 15.9 MJ/kg. There are sources reporting otherwise but those are not well confirmed. Cultivation of this species is possible throughout every parts of the country and need relatively low cares. More advantage of the species to be used as feedstuff is also eminent to reduce the waste from the whole process and add more revenue for the powerplant which, in return, reflects the unit price of the electricity.
- Pattern of plantation and relating management: To be able to produce sufficient biomass from woodfuel for community-sized 25-50 kW of electricity, plantation of single species is

possible. Analysis focuses on the plantation of *Leucaena Leucocephala*. The lowest unit cost of energy is reached when maximum yield is achieved. It is confirmed that yield of 3-year *Leucaena Leucocephala* from the 1x1m spacing plot is as high as 18 ton/ Rai. The plantation has to be prepared for 3 years until woodfuel height is approximately 4.5 m but its diameter should be small enough to be cut by small (hence, inexpensive) machinery. 12 plots of 48 Rai each are to be committed. Cultivation of each plot is to be completed within 3 months. After 3 years each plot will be cut down and into small pieces as woodlog or woodchip as feedstock to the energy conversion system. Trees are expected to grow back within three years. By then, the harvesting rotation repeats.

16 MJ/kg of heating value will be attained if the moisture content of woodfuel is reduced down to 40%db which is possible by drying process. The process of moisture reduction is tested by using the designed dryer built by the investigators. Test runs reveals that the dryer uses 9 hour to reduce the moisture of 1066 kg of woodfuel from 60%db down to 40%db. The weight is then down to 967 kg with the 22.03 kW of heat rate is spent. About 1934 kg of dried wood can be dried from 2132 kg of green wood, daily. The testing of the drying system is carried out using LPG as heat source for the sake of simplicity; however, heat from exhaust gas from the power system should be used, instead. The solar drying of wood is also suggested to be done along with drying from heat recovery system throughout the year to store sufficient supply of wood for the autumn season.

- Technologies in comparison: In spite of the fact that investigation is conducted on both steam and gasification systems which bear different advantages and disadvantages. Focus is primarily on rankine steam system as the main objective of this work as, for the small community size, it is not too complicated and relatively simple for training. However, small boiler with high working pressure and compatible steam turbine might not be easily found in the market. Small and high-pressure boiler is then designed and constructed. Performance test runs confirmed the designed capacity. With 150 kg/hr of wood fed to the boiler and 18-20 bar of operating pressure, 35.5 boiler horsepower is achieved and higher than previously anticipated with the highest boiler efficiency of 82.77%. At this rate, the boiler matches its potential to produce 25 kWe. NO_x , SO_2 , and particulate matters are measured to be 188 ppm, 58 ppm, and 77 mg/m^3 . These levels are well under the standard values issued by the ministry of industry.

3 Parameters are studied in the analyses for selecting suitable systems: generating power, cultivation patterns which influence on yield, and percentage of heat recovery for binary uses such as agriculture product drying. With no such heat recovery, gasification system poses lower electricity unit cost than rankine steam system as low as 4.41 baht/ kWhr. This is due to higher plant efficiency and, then, less area for plantation. For the steam system, applicable small one-stage steam turbine is required. Unfortunately, its efficiency is relatively low, leaving much of available heat to be utilized. Analysis for steam system shows that 50kWe system is favorable than 25 kWe system. It requires small steam boiler at 20-22 bar of working pressure with the capacity of 1000 kg/hr and consumes 300 kg/hr of woodlog. Plant efficiency is relatively low at 7.21%. The unit cost of electricity is 5.61 baht/ kWhr without heat recovery for additional agriculture product drying. Eventhough, the produced electricity can be sold to PEA but, considering the adder price given, economic feasibility is not met. However, heat available from the system is substantial such that, if the plantation is built as Combined Heat and Power (CHP) Plant, economical feasibility is possible and, at some degree, preferable. For abovementioned 50 kWe system, if 35% of heat is recovered by extra dryers and used for the drying of agriculture products which might be available in the area, this community-scaled dendro powerplant starts to be economically feasible.

However, the potential of heat reclaim for agricultural drying in gasification system is also promising. For 50 kWe downdraft gasification system with all woodfuel set up similar to the steam system, it consumes 121.95 kg/hr of woodlog which requires an area of 235 Rai for woodfuel plantation. Powerplant efficiency is approximated to be at 12.00% based on existing literatures. The unit cost of electricity is then at 4.41 baht/kWhr. The recovering of 30% of heat from such system bring additional benefit to the powerplant, i.e. the unit cost of produced electricity is then comparable with the PEA tariff and existing adder for the biomass system.

In conclusion for both system, since the efficiency of each system is low due to the small size, the community-scaled electricity generation needs not only well-organized planning and woodfuel plantation but also the heat recovered management to bring most of the benefit out of the selected system.

However, plant factor affects the unit cost of the electricity produced from the system. If the plant factor of 90% is not met, for example, only 65% is reached, the unit cost

then increases 14.48% to be at 6.56 Baht/kWhr without heat utilization for the Rankine steam system. At least as much as 65% of heat has to be recovered for agriculture product drying in order to be feasible to operate the powerplant.

- **Environmental Effects:** This part of the research is suggested by the life cycle assessment (LCA) method. Studies on each involving process are in focus beginning with plantation, wood preparation, wood drying, steam generation, and electricification. LCA analysis shows all environmental effects from each process in the life cycle of electricity power generation from fast-growth wood, thereby, they reveal measures to manage all effects and optimize the processes. Using mass balance, energy balance and SIGMA PRO program, effects of global warming, rain acidification, winter smog, photochemical smog, eutrophication are studied. More than 95% of the environmental damage results from the combustion in the steam generation process. Based on life cycle analysis, more effects are generated from woodfuel direct combustion in small and high-pressure boiler than those from conventional large powerplants due to the fact that it has low efficiency and it has to burn more fuel; therefore, the system releases more pollutants. However, community-scale electricity generation from fast-growth wood energy helps to reduce global warming problem as woodfuel is taken from plantation in rotation where it helps to absorb some of the greenhouse gas. However, if existing heat rejected at the condenser is reclaimed to be used in agricultural product's drying such as longan and tobacco, such system gains an edge over conventional powerplant. 40% of heat recovery can bring this small Rankine system comparable to those conventional electricification and agricultural product drying.

This study shows that the electrification in community scale can be feasible in terms of technology and finance if some specific measures has taken into account. It suggests that *Leucaena Leucocephala* is probable species to be used as the feedstock to the system. However, if Rankine steam system is the technology of choice for community scale, it is necessary to make use of condenser rejected heat to secure the financial feasibility. In addition to that, community members who own the powerplant should be well prepared in terms of technical understanding, operation planning and management to secure the stability of the powerplant in throughout its life cycle.