ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์	การจัดการวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีฐานกิจกรรม
ผู้เขียน	นางสาวเหมือนจิต แจ่มศิลป์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมพลังงาน)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ศ.ดร. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์	ประธานกรรมการ
ผศ.ดร. อารีย์ อัจฉริยวิริยะ	กรรมการ
รศ.ดร. นคร ทิพยาวงศ์	กรรมการ
ผศ.ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ์	กรรมการ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย โดยวิเคราะห์ครอบคลุมทั้งประเด็นทางด้านพลังงาน ด้านสิ่งแวดล้อม และความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีศึกษา คือ โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์จังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งมีกำลังการผลิตไฟฟ้า 500 กิโลวัตต์สูงสุด แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการศึกษา แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติคริสตัลไลน์และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอฟัส ในการประเมินผลทางด้านพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอาศัยเทคนิคของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ และการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์อาศัยเทคนิคของการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต ขอบเขตของวัฏจักรชีวิตที่พิจารณาประกอบด้วย ขั้นตอนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขั้นตอนการขนส่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากโรงงานผลิตไปยังโรงไฟฟ้า และขั้นตอนการดำเนินการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า ผลการวิเคราะห์ในประเด็นต่างๆ แสดงผลการคำนวณในเชิงตัวเลขต่อการผลิตกระแสไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ของไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบ ทั้งนี้ในขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลมีการพัฒนาวิธีการเก็บข้อมูลด้วยวิธีฐานกิจกรรม ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลที่เป็นระบบ ทำให้ข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องและครบถ้วนมากยิ่งขึ้น ซึ่งทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องยิ่งขึ้น

การวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตทางด้านพลังงานพิจารณาจากพลังงานที่ใช้ในการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบที่เกี่ยวข้อง และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบ โดยวิเคราะห์จากค่าระยะเวลาคืนทุนด้านพลังงานและค่าประสิทธิภาพในการผลิตพลังงาน โดยในงานวิจัยนี้ได้มีการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ และคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้เมื่อกำหนดให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปติดตั้งในพื้นที่ 4 จังหวัด ได้แก่ เชียงใหม่ กรุงเทพมหานคร อุบลราชธานี และสงขลา ผลการวิเคราะห์พบว่าระยะเวลาคืนทุนด้านพลังงานของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติคริสตัลไลน์มีค่าอยู่ในช่วง 1.63 – 1.77 ปี ขณะที่โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอฟัสมีค่าอยู่ในช่วง 0.58 – 0.63 ปี ซึ่งมีค่าน้อยกว่าโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติคริสตัลไลน์เนื่องจากมีการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่น้อยกว่า สำหรับค่าประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานพบว่าโรงไฟฟ้าชนิดฟิล์มบางอะมอฟัสให้ค่าที่ดีกว่า คือ อยู่ในช่วง 15.89 – 17.22 ขณะที่โรงไฟฟ้าชนิดมัลติคริสตัลไลน์ให้ค่าอยู่ในช่วง 14.14 – 15.35 ด้วยเหตุผลเดียวกัน คือ กระบวนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอฟัสใช้พลังงานที่น้อยกว่า ส่วนผลการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่ 4 จังหวัด พบว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่กรุงเทพมหานครมีค่าประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ดีที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนด้านพลังงานน้อยที่สุด เนื่องจากกรุงเทพมหานครมีค่าเฉลี่ยรังสีแสงอาทิตย์สูงที่สุด สำหรับการคำนวณค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดวัฏจักรชีวิต พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติคริสตัลไลน์ (อายุการใช้งาน 25 ปี) สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 4114.73 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อแผง และแผงชนิดฟิล์มบางอะมอฟัส (อายุการใช้งาน 10 ปี) สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 725.75 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อแผง

การวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงด้วยค่าการะทางสิ่งแวดล้อมที่คำนวณด้วยวิธี Numerical Environmental Total Standard (NETS) และวิธีที่คำนวณจากโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอฟัสมีค่าต่ำกว่าโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติคริสตัลไลน์ โดยผลการคำนวณจากวิธีการทั้ง 2 วิธีให้ผลในลักษณะเดียวกัน ทั้งนี้พบว่าโรงไฟฟ้าชนิดมัลติคริสตัลไลน์มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงเนื่องจากมีอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องมากกว่าและมีกระบวนการผลิตหลายขั้นตอนที่ซับซ้อนกว่า อย่างไรก็ดีพบว่าสาเหตุสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นไม่ได้เกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรง หรืออยู่ในขั้นตอนของการใช้พลังงานในระบบผลิตกระแสไฟฟ้า แต่ผลกระทบสูงสุดเกิดขึ้นจากการใช้วัสดุที่เป็นส่วนประกอบของแผง คือ กรอบที่ทำจากอลูมิเนียม ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบที่สำคัญ คือ การลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ ดังนั้นในการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงกระบวนการจึงควรมุ่งเน้นที่การปรับเปลี่ยนวัสดุดังกล่าว ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีกรอบอลูมิเนียมจะมีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด รองลงมา คือ การใช้กรอบที่ทำจากอลูมิเนียมที่สามารถนำกลับมาผ่าน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระบวนการผลิตใหม่ได้ทั้งหมด (100% Recycled Aluminum) ส่วนแผงที่ใช้กรอบอลูมิเนียมที่ไม่สามารถนำกลับมาผ่านกระบวนการผลิตใหม่ได้ (0% Recycled Aluminum) มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงที่สุด

การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์มีการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยพิจารณาทั้งในส่วนของต้นทุนภายในหรือต้นทุนเอกชน และต้นทุนภายนอกหรือต้นทุนความเสียหายด้านสิ่งแวดล้อม และคำนวณต้นทุนรวมที่เป็นผลรวมของต้นทุนทั้ง 2 ส่วน โดยในงานวิจัยนี้ได้มีการพัฒนาวิธีในการประเมินมูลค่าความเสียหายด้านสิ่งแวดล้อมที่เชื่อมโยงกับการประเมินค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต ผลการวิเคราะห์พบว่าต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตไม่รวมต้นทุนความเสียหายด้านสิ่งแวดล้อม ของโรงไฟฟ้าชนิดมัลติคริสตัลไลน์และชนิดฟิล์มบางอะมอฟัส มีค่าเท่ากับ 0.490 ดอลล่าร์สหรัฐต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง และ 0.639 ดอลล่าร์สหรัฐต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งโรงไฟฟ้าชนิดฟิล์มบางอะมอฟัสมีต้นทุนสูงกว่าเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานต่ำกว่าและมีอายุการใช้งานสั้นกว่า ในส่วนของการวิเคราะห์ต้นทุนความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวิธี NETS พบว่าโรงไฟฟ้าชนิดมัลติคริสตัลไลน์และชนิดฟิล์มบางอะมอฟัส มีต้นทุนความเสียหายเท่ากับ 0.0266 ดอลล่าร์สหรัฐต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง และ 0.0141 ดอลล่าร์สหรัฐต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง ตามลำดับ ขณะที่การวิเคราะห์ต้นทุนความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมจากโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro พบว่าโรงไฟฟ้าชนิดมัลติคริสตัลไลน์และชนิดฟิล์มบางอะมอฟัส มีต้นทุนความเสียหายเท่ากับ 3.9802 ดอลล่าร์สหรัฐต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง และ 2.6603 ดอลล่าร์สหรัฐต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง ตามลำดับ การวิเคราะห์ต้นทุนความเสียหายจากโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro ให้ค่าที่สูงกว่าวิธี NETS มาก เนื่องจากมีการพิจารณาครอบคลุมประเภทของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มากกว่าและมีสารหรือมลพิษในแต่ละประเภทมากกว่า จากการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธีให้ผลในแนวทางเดียวกัน เนื่องจากโรงไฟฟ้าชนิดมัลติคริสตัลไลน์มีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สูงกว่าโรงไฟฟ้าชนิดฟิล์มบางอะมอฟัส อย่างไรก็ดีสามารถสรุปได้ว่าโรงไฟฟ้าชนิดมัลติคริสตัลไลน์มีต้นทุนรวมที่ต่ำกว่าเมื่อพิจารณาเฉพาะต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ แต่ในกรณีที่พิจารณาเฉพาะต้นทุนความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม โรงไฟฟ้าชนิดฟิล์มบางอะมอฟัสมีค่าต่ำกว่าเนื่องจากมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า

ผลการพิจารณาวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์โดยครอบคลุมประเด็นทั้งทางด้านพลังงาน ด้านสิ่งแวดล้อม และด้านเศรษฐศาสตร์ สามารถสรุปได้ว่าโรงไฟฟ้าที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอฟัสมีค่าประสิทธิภาพทางด้านพลังงานและค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ดีกว่าโรงไฟฟ้าที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติคริสตัลไลน์ มีเพียงประเด็นของต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตที่มีค่าสูงกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Thesis Title Life Cycle Management of a Solar Cell Power Plant Using Activity - Based Approach

Author Ms. Muanjit Chamsilpa

Degree Doctor of Engineering (Energy Engineering)

Thesis Advisory Committee
Prof. Dr. Tanongkiat Kiatsiriroat Chairperson
Asst. Prof. Dr. Aree Archariyaviriya Member
Assoc. Prof. Dr. Nakorn Tippayawong Member
Asst. Prof. Dr. Wipawadee Wongsuwan Member

ABSTRACT

This study has overall goal to investigate the solar cell power plant in Thailand over its entire life cycle by integrated analysis of energy, environmental and economical issues. The solar cell power plant in this study is Mae Hong Son solar cell power plant with a capacity of 500 kWp. Two types of the solar cell modules, which are multicrystalline silicon (m-Si) and thin film amorphous silicon (a-Si), are analyzed and compared their results. Life cycle assessment or LCA technique is applied to assess the energy and environmental burdens. Life cycle cost or LCC technique is applied to evaluate economic burden. All of analytical results are reported per functional unit of electricity generation of 1 kWh. In life cycle boundary, there are three phases to be considered, the solar module manufacturing, transportation from manufacturer to the power plant and the operation of the power plant. In the data inventory step, Activity-based data collection model has been created to collect all data of the solar module processes for the more accurate data the more accurate results.

Life cycle energy analysis is focused on energy consumption for the solar module manufacturing and electricity generation from the module. Energy analytical results are explained by Energy Payback Time (EPBT) and Electricity Generated Efficiency (EGE). The power output model is developed and used to predict power output of the four selected cities in Thailand which are Chiang Mai, Bangkok, Ubonratchathani and Songkhla. The results are found that EPBT of the m-Si solar cell power plant is in a range of 1.63 – 1.77 years while the value of the a-Si module is in a range of 0.58 – 0.63 years. The EPBT of the a-Si module is less than that of the m-Si module due to it requires input energy less than the m-Si requires. For the EGE, the a-Si module also gives the better values of 15.89 – 17.22 while the m-Si module gives the values of 14.14-15.35 due to the same reason of energy input. When compare the four cities results, the module located at Bangkok gives the highest EGE and the lowest EPBT because the average solar radiation in Bangkok is highest. The average electricity generation for entire the modules life cycle of the m-Si (25 years) is 4114.73 kWh per module and the a-Si (10 years) is 725.75 kWh per module.

The environmental analytical results are shown in term of environmental load which are calculated from Numerical Environmental Total Standard (NETS) method and SimaPro software. In total environmental impact comparison, it is obviously showed that the a-Si solar cell power plant gives less negative environmental impacts than those of the m-Si power plant. Both of impact assessment methods, NETS method and SimaPro software, get the unanimity results. The m-Si power plant gives higher environmental impacts due to there are the more relative industries of the m-Si cell production. However, the main impacts do not occur in the direct module production and the direct energy consumption of the power plant electricity generation. Secondary input material, aluminum frame, is the main cause of natural resource depletion which is the most violent impact to environment. To get less negative environmental impacts, the improvement analysis should focus on material changes of the module frame. The improved analytical result is found that frameless module give the least environmental impacts when compare with 0% recycle aluminum and 100% recycle aluminum.

In economic analysis, life cycle costs of the solar cell power plant are identified. Internal costs or private costs are analyzed separate to the external costs and the total costs are final summarized. Furthermore, this study focuses on development of LCA-Externality evaluation model which can be applied to address the externality costs of the solar cell power plant. The results are found that the total cost throughout life cycle of the m-Si power plant and the a-Si power plant, excluding externality, are 0.490 US$/kWh and 0.639 US$/kWh, respectively. Cost of the a-Si power plant is higher than that of the m-Si because of its lower efficiency and lower lifespan. For LCA-NETS externality evaluation, the externality costs of the m-Si and the a-Si power plants are 0.0266 US$/kWh and 0.0141 US$/kWh, respectively. For LCA-SimaPro externality evaluation, the externality costs of the m-Si and the a-Si power plants are 3.9802 US$/kWh and 2.6603 US$/kWh, respectively. Externality analysis by LCA-SimPro gives much more externality cost value than that of LCA-NETS method due to its consideration covers more impact categories and more impact substances in each category. The m-Si solar cell power plant gives higher externality costs than those of the a-Si power plant due to the environmental impacts of the m-Si are higher. For final summary of the life cycle economic analysis, the m-Si solar cell power plant is better than the a-Si in case of economic cost consideration. In case of environmental concern or externality consideration, the a-Si solar cell power plant is better due to lower environmental impacts and lower environmental damage costs.

In final conclusion, the a-Si solar cell power plant is better than the m-Si solar cell power plant in energy efficiency and environmental impact issues while its life cycle cost is worse than cost of the m-Si.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved