

Thesis Title Development of Life Cycle Environmental Impact Assessment Model by Endpoint Analysis

Author Ms. Chantima Rewlay-ngoen

Degree Doctor of Engineering (Energy Engineering)

Thesis Advisory Committee

Asst. Prof. Dr. Sate Sampattagul	Advisor
Prof. Dr. Tanongkiat Kiatsiriroat	Co-advisor
Asst. Prof. Dr. Patiroop Pholchan	Co-advisor
Dr. Natanee Vorayos	Co-advisor

ABSTRACT

Life cycle impact assessment models according to ISO 14042 are proposed to examine the product system from an environmental perspective using characterization and weighting factors developed for Thailand. The characterization is classified into two approaches: midpoint and endpoint (damage). Impact assessment systems based on endpoint damage have been brought to international attention in recent years to improve the transparency and the reliability of life cycle impact assessments. The damage of category endpoints caused by the emission of substances has to be quantified and used to construct this system because these assessments will be the fundamentals of methodology. It is important to involve the latest and most detailed knowledge based on natural science in the assessment of endpoint levels. The results of damage functions will be integrated into the level of safeguard subjects and a single index based on social sciences such as economics.

Therefore, the objective of this study is to develop the environmental impact assessment model using characterization factor and weighting approaches. The characterization factors related to global warming, human toxicity, ecotoxicity, eutrophication, and acidification impact categories and amount of damage differ depending on environmental with cover subjects of safeguard are human health, social assets, biodiversity and primary production. Weighting factors determined the amount of willingness-to-pay to avoid a unit quantity of damage on every safeguard subject.

This study derived new characterization factors of global warming for 63 greenhouse gases that quantify the impact of an emission change on human health, social assets, and primary production damage. For human health damage, the Disability Adjusted Life Years (DALYs) per unit emission related to malaria, diarrhea, cardiovascular diseases, malnutrition, and natural disaster were quantified. For social assets damage, the economic loss of agricultural production (Baht) including rice and soybean per unit emission was calculated. Finally, for primary production damage, the Net Primary Production (NPP) per unit of emission related to forest areas at any location in the world was quantified. It was found that the midpoint approach was similar to other LCIA methods, while the endpoint factor for human health damage by carbon dioxide (CO₂) is 0.55 DALY per kton of emission, social damage is 6.39×10^{-6} Baht per kton of emission, and primary production damage is 49.81 kg per kton of emission.

The effect of chemical substances on human and biodiversity health damage were based on the multi-media box type fate and exposure model via the IMPACT 2002 model, with the model adapted to Thailand. Human health damage factors are expressed in terms of DALY per kg of emission. The development method includes four steps: fate analysis, exposure analysis, potency, and severity analysis. This study derived new damage factors of 144 chemical substances that quantify the impact of an emission change on human health damage. It was found that the characterization factors for human health damage range from 1.0×10^{-6} to 1.3×10^3 DALY per kg emitted. For biodiversity damage factors, expressed in terms of the expected increase

in number of extinct species (EINES) per kg of emission, damage ranges from 1.0×10^{-14} to 2.8×10^{-1} EINES per kilogram emitted.

The eutrophication effects on social assets are based on fate analysis, damage assessment, and impact assessment of water areas in Thailand. Social damage factors are expressed in terms of Baht per kg of emission. This study derived new damage factors of seven eutrophying substances, which range from 0.14 to 175 Baht/kg of substances.

Finally, the endpoint effects of acidification indicated that it will definitely and seriously destroy the growth rate of plants, which is shown in terms of the value of NPP per kg of emission, and damage to buildings can be shown via the maintenance social assets cost (Baht) per kg of emission. It was found that the characterization factors for primary production damage range from 0.02 to 3.71 kg per kg of emission, while social assets damage ranges from 0.79 to 134.63 Baht per kg of emission.

Contingent Valuation Method (CVM) technique was used to estimate the amount of willingness-to-pay to decrease environmental problems for every safeguard subject. The main study included two main groups: group1 were experts in economics, environment, science, and LCA, and group2 were from various backgrounds and categories. This study was a face-to-face survey conducted with the interviewees using a single-bounded question, close-ended survey. Questionnaires were put forward using the four starting bids of 100, 200, 500, and 1,000 Baht per year per individual and data was collected over all the sub-regions of Thailand, with a total of 418 samples. The estimation used the conditional probit model, based on Random Utility Maximum (RUM). Total value of willingness to pay to decrease human health, social assets, biodiversity, and primary production damage was 857, 836, 787, and 809 Baht per unit of safeguard subjects: DALY, Baht, EINES, and kg, respectively.

The results of this study can identify the major environmental impact aspects of power production from five types of power plant: coal-fired, natural gas-based on combined-cycle and thermal power, hydro, and solar, used to evaluate different environmental loads caused by power generation. The environmental cost of power

plants was found to be in the range of 4.54E-14 – 178.90 Baht/kWh. It is clear that the impact potentials, damage, and integrated emissions affect the unit of cost.

Keywords: impact assessment model, endpoint damage, electricity power plant, life cycle assessment, weighting

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์

การพัฒนาแบบจำลองการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอด
วัฏจักรชีวิตโดยการวิเคราะห์ผลกระทบปลายทาง

ผู้เขียน

นางสาวจันทิมา รวีลาวยเงิน

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมพลังงาน)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ. ดร. เสริมฐ์ ตัมภัตตะกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

ศ. ดร. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ผศ. ดร. ปฎิรูป ผลจันทร์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

อ. ดร. ณัฐนี วรรณยศ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บทคัดย่อ

แบบจำลองการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ตามอนุกรม ISO 14042 คือการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยใช้ค่า Characterization และค่าการให้น้ำหนักความสำคัญค่า Characterization มี 2 รูปแบบคือ ค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมชั้นกลาง (Midpoint Factor) และปลายทาง (Endpoint Factor) หรือเรียกว่าค่าความเสียหาย (Damage Factor) ปัจจุบันการพัฒนาแบบจำลองการประเมินผลกระทบปลายทางได้รับความสนใจในระดับนานาชาติเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากแนวทางการพัฒนาแบบจำลองใช้องค์ความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ โดยผลการการศึกษาสามารถจัดกลุ่มความเสียหาย และให้น้ำหนักความสำคัญของกลุ่มความเสียหาย แปลงค่าความเสียหายให้อยู่ในรูปของเงินได้

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยได้พัฒนาค่า Characterization และการให้น้ำหนักความสำคัญ โดยพัฒนาผลกระทบชั้นกลางทั้งหมด 5 กลุ่มได้แก่ ภาวะโลกร้อน ความเป็นพิษในมนุษย์ ความเป็นพิษในระบบนิเวศ การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (Eutrophication)

และการเกิดฝนกรด โดยครอบคลุมค่าความเสียหาย 4 ด้าน ได้แก่ สุขภาพอนามัยของมนุษย์ สินทรัพย์ทางสังคม ความหลากหลายทางชีวภาพ และปริมาณผลผลิตปฐมภูมิ ขึ้นกับผลกระทบชั้นกลางในกลุ่มนั้นๆ นำเทคนิคการสอบถามความเต็มใจจ่ายเพื่อให้เจ้าหน้าที่ความสำคัญของความเสียหายทั้ง 4 ด้าน และแปลงข้อมูลเหล่านั้นให้อยู่ในหน่วยของบาท

ค่า Characterization Factor ของการเกิดภาวะโลกร้อน ครอบคลุม 63 สารที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน โดยแสดงความสัมพันธ์ค่ามลสาร(Emission) ที่เพิ่มขึ้นและส่งผลต่อค่าความเสียหายด้านสุขภาพ ด้านสินทรัพย์ทางสังคม และปริมาณผลผลิตปฐมภูมิ ด้านสุขภาพแสดงในหน่วยการสูญเสียสุขภาพที่ดี (Disability Adjusted Life Year) ต่อ มลสาร ที่ส่งผลให้เกิดโรคมะเร็ง ท้องร่วง โรคระบบหัวใจและหลอดเลือด ขาดสารอาหาร และภัยพิบัติทางธรรมชาติ การสูญเสียสินทรัพย์ทางสังคมแสดงในหน่วยของเงิน (บาท) ต่อปริมาณข้าว และถั่วเหลือง ที่ลดลง ต่อมลภาวะ ที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ส่วนการสูญเสียปริมาณผลผลิตปฐมภูมิ (Net Primary Production) แสดงในหน่วย NPP ต่อ มลสาร ที่ส่งผลให้ผลผลิตปฐมภูมิของป่าไม้ลดลง ผลการศึกษาพบว่าค่าผลกระทบชั้นกลางมีค่าใกล้เคียงกับแบบจำลองการประเมินผลกระทบวิธีอื่น เช่น LIME ส่วนผลกระทบปลายทางหากพิจารณาเฉพาะค่าคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) พบว่าด้านสุขภาพมีค่าความเสียหาย 0.55 DALY/kton สินทรัพย์ทางสังคมเท่ากับ 6.39 บาท/kton และปริมาณผลผลิตปฐมภูมิเท่ากับ 49.81 $\text{kg}_{\text{NPP}}/\text{kton}$

หากมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้รับสัมผัสสารเคมี (Chemical Substances) จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อสุขภาพ และความหลากหลายทางชีวภาพ การศึกษาครั้งนี้ใช้แบบจำลอง IMPACT 2002 พิจารณาการแพร่กระจายและรับสัมผัสสารพิษ ภายได้ข้อมูลพื้นฐานของคนไทย ความเสียหายต่อสุขภาพแสดงในหน่วยของ DALY ต่อค่ามลสารสารเคมี ส่วนความหลากหลายทางชีวภาพ แสดงในหน่วยจำนวนสปีชีส์ที่คาดว่าจะสูญพันธุ์เพิ่มขึ้น (Expected Increase in Number of Extinct Species: EINES) ต่อค่ามลสารสารเคมี ผลการศึกษาพบว่า Characterization Factor ที่ส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์ อยู่ระหว่าง 1.0×10^{-6} ถึง 1.3×10^3 DALY/kg emission ส่วน Characterization Factor ที่ส่งผลต่อความหลากหลายทางชีวภาพ อยู่ระหว่าง 1.0×10^{-14} ถึง 2.8×10^{-1} EINES/kg emission

การเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในแหล่งน้ำส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ คิดเป็นมูลค่าความเสียหาย บาทต่อมลสารที่ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในแหล่งน้ำ โดยแบบจำลองพิจารณา ค่าการแพร่กระจาย ค่าความเสียหาย และการประเมินค่าผลกระทบที่ต่อสินทรัพย์ทางสังคม โดยค่าความเสียหายที่ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในแหล่งน้ำอยู่ระหว่าง 0.14 ถึง 175 บาทต่อ กิโลกรัมของมลสารที่ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในแหล่งน้ำ

การเกิดฝนกรดสามารถทำลายการเจริญเติบโตของพืช แสดงในหน่วย NPP ต่อมลสารที่ก่อให้เกิดความเป็นกรด และทำให้สิ่งปลูกสร้างผุกร่อน ทำให้ต้องสูญเสียเงินในการบำรุงรักษา แสดงในหน่วย บาทต่อมลสารที่ก่อให้เกิดความเป็นกรด โดยค่า Characterization Factor สำหรับการสูญเสียปริมาณผลผลิตปฐมภูมิ อยู่ระหว่าง 3.78×10^{-4} ถึง $3.71 \text{ kg}_{\text{NPP}}$ ต่อมลสารที่ก่อให้เกิดความเป็นกรด และ Characterization Factor สำหรับการสูญเสียสินทรัพย์ทางสังคม อยู่ระหว่าง 0.03 ถึง 321.53 บาท ต่อมลสารที่ก่อให้เกิดความเป็นกรด

การพิจารณาค่าการให้น้ำหนักความสำคัญ ใช้วิธีการประเมินค่าโดยการสัมภาษณ์ประชาชน โดยตรง เพื่อสอบถามความเต็มใจจ่ายเพื่อลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ในความเสียหาย 4 ด้าน แบ่งผู้ตอบแบบสอบถามออกเป็น 2 กลุ่มหลักคือ กลุ่มผู้เชี่ยวชาญ และกลุ่มประชาชนทั่วไป โดยใช้วิธีการสัมภาษณ์โดยตรง คำถามเป็นคำถามปลายปิด กำหนดบิต (Bids) ทั้งหมด 4 บิต ได้แก่ 100, 200, 500 และ 1,000 บาทต่อปีต่อคนต่อด้านความเสียหาย โดยมีผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด 418 คน ครอบคลุมทุกพื้นที่ในประเทศไทย โดยค่าความเต็มใจจ่ายเพื่อลดผลกระทบ 4 ด้าน คือ ด้านสุขภาพ ด้านการสูญเสียสินทรัพย์ทางสังคม ด้านความหลากหลายทางชีวภาพ และด้านปริมาณผลผลิตปฐมภูมิ เท่ากับ 857, 839, 787 และ 809 บาทต่อหน่วยค่าความเสียหาย ได้แก่ DALY, Baht, EINES, kg ตามลำดับ

โดยผลการศึกษานำไปใช้หาค่าความเสียหายของโรงไฟฟ้าในประเทศไทย 5 ประเภท ได้แก่ โรงไฟฟ้าถ่านหิน โรงไฟฟ้าก๊าซธรรมชาติ 2 ประเภทคือ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน และโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ และโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าต้นทุนสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าในประเทศไทยอยู่ระหว่าง $4.54\text{E}-14$ – 178.90 Baht/kWh .

คำสำคัญ: แบบจำลองการประเมินผลกระทบ ผลกระทบปลายทาง โรงไฟฟ้า การประเมินวัฏจักรชีวิต การให้น้ำหนักความสำคัญ