

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยใช้ LCA เป็นเครื่องมือในการจัดการหลออดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้แล้ว Environmental Impact Evaluation Using LCA Tool for Spent-Fluorescent Waste Management

ปัญญพัชรกร บุญพร้อม¹ และนุรักษ์ กฤษดานุรักษ์²

Punpaphatporn Bunprom and Nurak Grisadanurak

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้จัดทำทั้งแบบเชิงนโยบายและเชิงเทคนิค โดยในส่วนของเชิงนโยบายพบว่ามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ได้ดำเนินการจัดการเข้าร่วมโครงการเรียกคืนซากหลอดฟลูออเรสเซนต์กับกรมควบคุมมลพิษโดยในส่วนนี้สามารถครอบคลุมได้เพียง 28% และในส่วนเชิงเทคนิคได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารปรอทโดยใช้ปริมาณสารโซเดียมซัลไฟด์ในอัตรา 1 เท่า และ 2 เท่า โดยปริมาณสารปรอทที่ใช้ในการทดลองมีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 10 mg/l พบว่าการใช้สารโซเดียมซัลไฟด์ 1 เท่า มีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารปรอทได้มากกว่า 96% จากผลการทดลองที่ได้นำไปทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการกำจัดหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบรีไซเคิลและแบบไม่รีไซเคิล ซึ่งหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้แล้วจัดเป็นของเสียอันตราย เนื่องจากมีส่วนผสมของสารปรอท โดยเทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต จะทำให้ได้ทราบค่าเชิงปริมาณและแสดงให้เห็นถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ ของการกำจัดซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ เช่น ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ การใช้เชื้อเพลิงจากซากพืช-สัตว์ และการหายใจรับสารอนินทรีย์ เป็นต้น ขอบเขตการศึกษาของวัฏจักรชีวิตของซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ จะศึกษาเฉพาะส่วนการกำจัดหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้งหมดอายุจากการใช้งานแล้วเท่านั้น ผลจากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยใช้โปรแกรม Sima Pro 7.1 วิธี Eco-indicator 99 พบว่า การกำจัดซากหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบรีไซเคิลมีผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อระบบนิเวศในปริมาณที่ลดลงจากค่า 9×10^{-3} PDF/m²/year เหลือ -1.8×10^8 PDF/m²/year

คำสำคัญ: หลอดฟลูออเรสเซนต์ สารปรอท การประเมินวัฏจักรชีวิต

¹ อาจารย์ คณะสาธารณสุขศาสตร์และเทคโนโลยีสุขภาพ วิทยาลัยนครราชสีมา วิทยาการกรุงเทพ
Instructor, Faculty of Public Health and Health Technology, Nakhon Ratchasima College

² รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
Associate Professor, Faculty of Chemical Engineering, Thammasat University

Abstract

This research investigated the spent fluorescent management in both policy planning and technical technique. This work has been done using Thammasat University as a sample model. The university has signed waste management cooperation with Pollution Control Department to revoke and recycle spent fluorescents in a standard process. Approximately 28% of spent fluorescents could be taken care. For the technical issue, mercury vapor (one of the hazardous materials in spent fluorescents) was treated using sodium sulfide at the ratio of 1:1 and 2:1. Initial concentration of mercury was set at 10 mg/l. It was found that sodium sulfide solution with ratio of 1:1 performed the best mercury removal of more than 96%. This result was then used to evaluate the environmental impacts of both recycle and non-recycle fluorescent disposal processes using LCA tool. Sima Pro 7.1 with the Eco-indicator 99 method was used. It was found that the spent fluorescents management with solidification and glass recycle system could reduce environmental impact of ecosystem from 9×10^{-3} PDF/m²/year to -1.8×10^8 PDF/m²/year.

Keywords: Spent-fluorescent, mercury, LCA

1. บทนำ

หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้แล้วจัดเป็นของเสียอันตราย เนื่องจากมีส่วนผสมของปรอทซึ่งเป็นสารอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยส่วนใหญ่ซากหลอดฟลูออเรสเซนต์จะถูกทิ้งปะปนกับขยะมูลฝอยทั่วไป ซากหลอดฟลูออเรสเซนต์เก่าที่เสื่อมสภาพหรือการผ่านการใช้งานแล้วจะถูกทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อมมีปริมาณถึง 20,400 ตันต่อปี (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) ซึ่งปัญหาหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้แล้วนั้น มีแนวโน้มที่จะขยายตัวสูงขึ้นตามจำนวนประชากรที่เพิ่มสูงขึ้น รวมไปถึงการเจริญเติบโตของธุรกิจและอุตสาหกรรมต่างๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการหามาตรการมาจัดการกับปัญหาอย่างเหมาะสมเพราะหากปล่อยทิ้งไว้ก็จะส่งผลกระทบต่อชีวิตของประชาชน รวมไปถึงสภาพแวดล้อม โดยส่วนรวมในภาคอุตสาหกรรมหน่วยงานของรัฐมีการกำหนดแนวทางในการบริหารจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมโดยการลดการเกิดกากอุตสาหกรรมในกระบวนการผลิต การใช้ประโยชน์จากกากอุตสาหกรรม และการนำกากของเสียมาผลิตเป็นวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ใหม่

จากการที่กลุ่มประเทศสหภาพยุโรป (EU) และญี่ปุ่นได้นำเรื่องสิ่งแวดล้อมเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของการค้า ทำให้แนวโน้มของตลาดโลกเป็นไปในทิศทางของตลาดเพื่อสิ่งแวดล้อม (Green Market) กลุ่มประเทศสหภาพยุโรป (EU) ได้ออกมาตรการที่ไม่ใช่มาตรการทางภาษีอากร (Non-Tariff Barrier : NTB) เช่นระเบียบว่าด้วยการจัดการเศษเหลือทิ้งจากผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (WEEE) และระเบียบว่าด้วยการห้ามใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (RoHS) ซึ่งระเบียบทั้งสองเป็นระเบียบข้อบังคับที่มีพื้นฐานอยู่บนการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและการลดปริมาณหรือลดการใช้สารอันตรายในผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์จากมาตรการดังกล่าวมีผลทำให้การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ซึ่งเป็นวิธีการประเมินปัญหาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

โดยเน้นผลเชิงปริมาณ ซึ่งเกี่ยวข้องตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ การปรับปรุงกระบวนการผลิตหรือเพิ่มทางเลือกในการผลิต เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ได้มีบทบาทที่สำคัญมากขึ้นในภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA) จะช่วยวิเคราะห์และสร้างความมั่นใจในการเลือกสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แนวคิดนี้คำนึงถึงผลกระทบต่อระบบนิเวศและสุขภาพ ตลอดทั้งวงจรผลิตภัณฑ์ ครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่งและการจำหน่าย การนำมาใช้งาน การกำจัดหลังหมดอายุการใช้งาน การประเมินด้วยเครื่องมือนี้ ในแง่ของผู้ผลิตสามารถปรับปรุง เปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตหรือผลิตภัณฑ์ให้มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและพลังงานในการผลิตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดของเสียน้อยที่สุดหรือไม่มีเลย ซึ่งเป็นการลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด ในขณะเดียวกันเมื่อผู้ซื้อทราบข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ก็จะสามารถเลือกซื้อผลิตภัณฑ์และบริการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อผู้ผลิตได้รับแรงผลักดันจากผู้บริโภคก็จะทำให้เกิดกระบวนการพัฒนาด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง

กรมควบคุมมลพิษได้ศึกษาและสำรวจสถานการณ์ซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทย โดยความร่วมมือจากรัฐบาลญี่ปุ่น และองค์การส่งเสริมการค้าต่างประเทศของญี่ปุ่น หรือ JETRO เป็นผู้ประสานงานหลัก และให้การสนับสนุนการศึกษาของโครงการ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจข้อมูลด้านปริมาณและการจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทย และวิเคราะห์ความคุ้มค่าในเชิงธุรกิจในการดำเนินกิจการรีไซเคิลซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทย เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาของกรมควบคุมมลพิษ ในการวางแผนทางส่งเสริมให้มีการเก็บรวบรวมซากหลอดฟลูออเรสเซนต์จากบ้านเรือนและสถานประกอบการต่างๆ เพื่อนำไปรีไซเคิลหรือกำจัดอย่างเหมาะสมโดยมุ่งเน้นให้มีการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่า และลดปริมาณของเสียที่ต้องนำไปกำจัดโดยการฝังกลบ ทั้งนี้ ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายควบคุมการจัดการของเสียอันตรายจากชุมชนโดยเฉพาะและยังไม่มีหน่วยงานใดกำกับดูแลในเรื่องนี้อย่างชัดเจน

ปัจจุบันประเทศไทยมีการกำจัดหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบรีไซเคิลโดยความร่วมมือของบริษัท โตชิบา ไลต์ติ้ง จำกัด และบริษัทฟิลิปอิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด ถึงแม้จะเป็นปริมาณที่ไม่มากเท่ากับการนำไปฝังกลบแต่การกำจัดแบบรีไซเคิลมีข้อดีตรงที่เป็นการกำจัดที่ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและคนงานที่ทำหน้าที่ในการกำจัดหลอดฟลูออเรสเซนต์เพราะเป็นการทำงานในระบบปิด และยังสามารถนำเศษแก้วกลับไปใช้ประโยชน์ได้อีกเป็นการประหยัดทรัพยากรธรรมชาติและพลังงานซึ่งเป็นการช่วยลดภาวะโลกร้อนอีกทางหนึ่ง หากหลอดฟลูออเรสเซนต์ไม่ได้รับการกำจัดอย่างถูกวิธีจะเกิดผลกระทบจากความเป็นพิษของปรอท โดยสารประกอบปรอทที่เป็นพิษร้ายแรงคือสารประกอบอินทรีย์ โดยเฉพาะปรอทที่อยู่ในรูปเมทิล (Methyl) และเอทิล (Ethyl) จะมีความเป็นพิษมากที่สุด เพราะสารเหล่านี้จะทำลายระบบประสาทส่วนกลางได้ รองลงมาได้แก่ปรอทในรูปโลหะ และที่มีความเป็นพิษน้อยที่สุด ได้แก่ ปรอทในรูปของสารประกอบอินทรีย์ โรคที่รู้จักกันเป็นอย่างดีเกี่ยวกับปรอท คือโรคมินามาตะ

จากข้อมูลทีกล่าวนมาข้างต้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการวางแผนการจัดการมลพิษในแหล่งชุมชนให้มีประสิทธิผล หากได้มีการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมก็เป็น

ประโยชน์ในการรักษาสภาพแวดล้อม เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการในด้านการควบคุมอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบขยะอันตราย

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อเสนอแนวทางการจัดการของเสียอันตรายประเภทหลุมฝังกลบขยะอันตรายจากการใช้งาน
2. เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในวัฏจักรชีวิตระหว่างการทำลายซากหลุมฝังกลบขยะอันตรายแบบรีไซเคิลและไม่รีไซเคิล เพื่อเป็นดัชนีทางด้านสิ่งแวดล้อม

3. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (2547) ได้ให้ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ว่าคือกระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Production Life Cycle) ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่/การแปรรูปและการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

พงษ์วิภา หล่อสมบูรณ์ และคณะ (2547) ได้จัดทำคู่มือการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ จัดทำขึ้นเพื่อช่วยให้นักวิจัย ผู้ประกอบการ และผู้สนใจ สามารถศึกษาและจัดทำ การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ได้ด้วยตนเอง โดยเรียบเรียงจากอนุกรมมาตรฐาน ISO 1404 คู่มือการทำ LCA ของโครงการด้านสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติ (UNEP) และประสบการณ์ทำ LCA ของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย

Lanouctc (1977) อ้างถึงใน ขนิษฐา ทวีถาวรสวัสดิ์ (2539) ได้กล่าวถึงการตกตะกอนปรอทโดยใช้โซเดียมซัลไฟด์ เพื่อให้เกิดการตกตะกอนในรูปของตะกอนซัลไฟด์ โดยนำน้ำเสียมาปรับพีเอชให้อยู่ระหว่าง 5-6 ด้วยกรดซัลฟูริก จากนั้นเติมโซเดียมซัลไฟด์ให้มีปริมาณมากเกินไปพอจะเกิดตะกอนซัลไฟด์ขึ้น แยกออกจากสารละลายโดยการกรอง วิธีนี้สามารถกำจัดปรอทออกจากน้ำเสียได้ดี โดยมีความเข้มข้นของปรอทเหลืออยู่ในน้ำที่ผ่านการบำบัดประมาณ 10-20 ไมโครกรัม/ลิตร

Findlay และ Ronald (1979) ศึกษาการกำจัดปรอทออกจากตัวกลางที่เป็นน้ำด้วยวิธีการตกตะกอนปรอทซัลไฟด์ โดยการปรับพีเอชของสารละลายให้อยู่ในช่วงระหว่าง 7-13 แต่พบว่าพีเอชที่เหมาะสมคือ 9-12 และเติมโซเดียมโพลีซัลไฟด์และโซเดียมซัลไฟด์ในปริมาณที่เพียงพอในการที่จะรวมตัวกับปรอทแล้วเกิดเป็นปรอทซัลไฟด์ จากการทดลองพบว่าปฏิกิริยาการเกิดปรอทซัลไฟด์ขึ้นกับพีเอชและจำนวนของซัลไฟด์ไอออนที่มากเกินไปพอ ตะกอนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจะถูกแยกออกทันทีด้วยวิธีการกรองเพื่อป้องกันสารละลายของปรอทซัลไฟด์ในสารละลาย

Diet และ Kuhn (1989) ศึกษาวิธีการตกตะกอนโลหะปรอทด้วยกระบวนการแยกสลายด้วยไฟฟ้า โดยมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ประกอบด้วยเมอร์คิวรัสคลอไรด์ กรดซัลฟูริก และคลอไรด์

ใช้เหล็ก เงิน นิกเกิล ทองแดง แคดเมียม อลูมิเนียม สังกะสี ดีบุก หรืออัลลอยด์ของโลหะเหล่านี้เป็นแคโทด แอโนดและแคโทดมีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 300 แอมแปร์ต่อตารางเมตรเนื่องจากโลหะที่ใช้เป็นแผ่นกว้าง ค่านี้จะหมายถึงพื้นที่ทั้งหมดซึ่งรวมจากกระบวนการแยกสลายด้วยไฟฟ้าทำให้เกิดคลอรีนที่แอโนด คลอรีนนี้จะทำปฏิกิริยาทันทีกับเมอร์คิวรีคลอไรด์แล้วเกิดเป็นเมอร์คิวรีคลอไรด์ ซึ่งเมอร์คิวรีคลอไรด์นี้จะถูกรีดิวซ์ที่แคโทดกลายเป็นโลหะปรอท

Polcaro (1995) ได้นำการศึกษาโดยใช้วิธีโวลแทมเมตรี (Voltammetry) ในการทำให้เกิดการพอกพูนของปรอทที่ขั้วไฟฟ้า เนื่องจากวิธีนี้สามารถทำให้ได้โลหะกลับคืนมาในรูปบริสุทธิ์ จึงเป็นเทคนิคที่น่าสนใจในการบำบัดน้ำเสีย ในการกำจัดปรอทออกจากสารละลายกรดซัลฟริกเข้มข้น และทำหน้าที่เป็นตัวนำพาไอออนในสารละลายที่ดี และใช้ขั้วไฟฟ้าคาโบลือมเป็นตัวเป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิงจากผลการทดลองพบว่าสามารถกำจัดปรอทได้โดยง่าย เนื่องจากปรอทจะมารวมตัวกันอยู่บริเวณด้านล่างของขั้วไฟฟ้าวิธีนี้สามารถกำจัดปรอทที่อยู่ในสารละลายกรดซัลฟริกเข้มข้นซึ่งมีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ให้เหลือ 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร

4. วิธีการศึกษา

แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. การจัดทำรูปแบบเชิงนโยบาย คือ จัดทำแบบสอบถามเพื่อทำการสำรวจรวบรวมข้อมูลพื้นฐานปริมาณการทิ้งและวิธีการกำจัดของเสีย ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว โดยพื้นที่ศึกษาคือมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดปรอท โดยการตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์ อาศัยตัวแปรพีเอชที่เหมาะสมโดยศึกษาในช่วงพีเอช 7-9 และปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่ใช้
3. วิเคราะห์ผลกระทบวัฏจักรชีวิตด้วยวิธีการ LCA โดยใช้โปรแกรม Sima Pro 7.1 (Pre Consultants) วิธี Eco-indicator 99

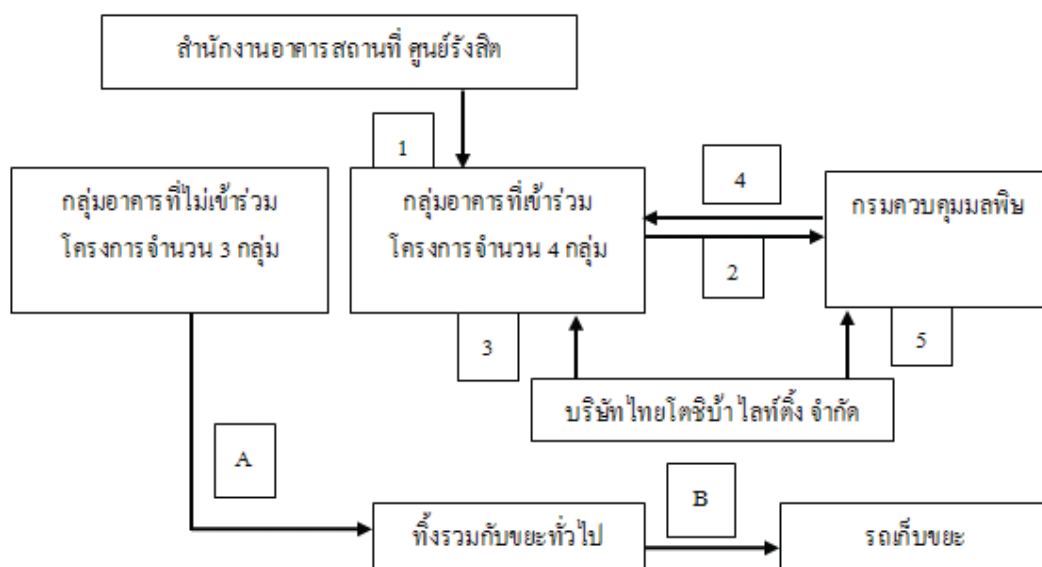
5. ผลการศึกษาวิจัยและข้อวิจารณ์

การสำรวจระบบการจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์

รูปที่ 1 แสดงการไหลของซากหลอดฟลูออเรสเซนต์และแผนการรับข้อมูลของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ซึ่งได้เข้าร่วมโครงการกับทางสำนักงานกลางมหาวิทยาลัย โดยเริ่มจากสำนักงานอาคารและสถานที่มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต เก็บรวบรวมซากหลอดฟลูออเรสเซนต์จากอาคารและสถานที่

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (มธ.) ศูนย์รังสิต เก็บรวบรวมซากหลอดฟลูออเรสเซนต์จากคณะ/หน่วยงานที่เข้าร่วมโครงการ [เส้นที่ 1] และเมื่อเก็บของเสียแล้วทางกรมควบคุมมลพิษจะแจ้งกำหนดการนัดหมายวันที่เข้าจัดเก็บ [เส้นที่ 2] บริษัทไทยโตชิบาไลท์ติ้ง จำกัด จะเข้ามาเก็บซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยดำเนินการปีละ 2 ครั้ง [เส้นที่ 3] ซึ่งเจ้าหน้าที่ของ มธ. ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลและเก็บสำเนาใบกำกับการขนส่งไว้ 1 ชุด [เส้นที่ 4] ขณะที่บริษัทไทยโตชิบาไลท์ติ้ง เก็บสำเนาใบกำกับการขนส่งไว้ 1 ชุด [เส้นที่ 5] ขณะที่บางหน่วยงานในมหาวิทยาลัยยัง

ไม่ได้เข้าร่วมกิจกรรม โดยผู้ที่ดูแลการจัดซากหลอดฟลูออเรสเซนต์แต่ละกลุ่มอาคารจะนำซากหลอดทั้งหมดไปทิ้งรวมกับขยะทั่วไป จากนั้น รถกำจัดขยะจะมารับขยะทั้งหมดไปกำจัดต่อ โดยคณะ/หน่วยงานที่ได้เข้าร่วมโครงการมีดังนี้ กลุ่มอาคารสุุศาสตร์/โรงพยาบาล (ยกเว้นหอพักแพทย์และพยาบาล) กลุ่มอาคารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กลุ่มอาคารเพื่อการสวัสดิการ กลุ่มอาคารศูนย์กีฬา สำนักงานจัดการทรัพยากรสิน สถาบันเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ศึกษา สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิริธร และโรงเรียนประถมศึกษา มธ. การประเมินซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่เกิดขึ้นจริงนั้นได้ใช้ข้อมูลอ้างอิงจากรายงานเรื่องโครงการนำร่องเพื่อการรีไซเคิลหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทยของกรมควบคุมมลพิษ จากตารางที่ 1 พบว่าซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่เกิดขึ้นภายใน มธ. มีจำนวนประมาณ 5,651 หลอด/ปี (โดยหลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 หลอดมีอายุการใช้งาน 3 ปี) และซากหลอดที่เก็บได้จากผู้เข้าร่วมกิจกรรมมีเพียง 1,600 หลอด หรือคิดเป็นร้อยละ 28 ของซากหลอดที่ได้จากการประเมิน



รูปที่ 1 ลักษณะการไหลของซากหลอดและข้อมูลการเก็บรวบรวมซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ของ มธ.

ตารางที่ 1 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
(ข้อมูลปัจจุบัน ณ เดือนพฤศจิกายน 2550)

การเข้าร่วมโครงการ	จำนวนกลุ่มอาคาร	ซากหลอดที่ส่งไปกำจัดอย่างถูกวิธี (หลอด)	ซากหลอดที่ได้จากการประเมิน	% ซากหลอด	
				ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง
เข้าร่วม	4	1,600	5,651	28	-
ไม่เข้าร่วม	3	-		-	100

จากแบบสอบถามที่ส่งไปตามคณะและหน่วยงานต่างๆ ภายใน มธ. จำนวน 25 ชุด แบบสอบถามที่ส่งไปนั้นได้รับกลับคืนมา 21 ชุด หรือ คิดเป็นร้อยละ 80 โดยข้อมูลที่ใช้ในแบบสอบถามมี 4 ส่วน ดังนี้ 1. ข้อมูลทั่วไปของสถานที่ 2. ข้อมูลการใช้หลอดฯ ภายในอาคาร 3. ข้อมูลการจัดการหลอดฯ ที่หมดอายุจากการใช้งานและ 4. ของเสียอันตรายที่เกิดขึ้นภายในอาคารจากผลของแบบสอบถามที่ได้รับพบว่า จำนวนคณะ/หน่วยงานที่ส่งหลอดฟลูออเรสเซนต์ไปที่ส่วนกลาง (กำจัดแบบ recycle) มีจำนวน 1,600 หลอด/ปี โดยการทำจัดนั้นทำโดยนำซากหลอดที่ยังคงสภาพสมบูรณ์ใส่ในกล่องที่เป็นบรรจุภัณฑ์เดิม แล้วรวบรวมไว้ในสถานที่ที่พิกุลผอยหรือถ้าคณะ/หน่วยงานใดไม่มีสถานที่เก็บก็จะนำไปฝากไว้ให้หน่วยงานอาคารและสถานที่เป็นผู้จัดเก็บ เพื่อรอให้บริษัทโตชิบาโลโก้ตั้ง จำกัด มารับไปกำจัดต่อไป

จากข้อมูลตัวเลขการทิ้งไปกำจัดที่ส่วนกลาง (สำนักงานอาคารและสถานที่ ศูนย์รังสิต) มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการประเมินซากหลอดประมาณ 3.5 เท่า ที่เป็นเช่นนี้เพราะเกิดจากระหว่างการขนเก็บซากหลอดมีการแตกหักของหลอดบางส่วนเนื่องจากบางคนเพ่งมีการเปิดใช้ห้องเรียนจึงไม่เห็นความสำคัญที่จะต้องหาสถานที่จัดเก็บซากหลอดเป็นการเฉพาะ นอกจากนี้ผู้ที่มีหน้าที่ในการจัดเก็บและทิ้งซากหลอดซึ่งส่วนใหญ่เป็นแม่บ้านคณะหรือคณาจารย์ทั่วไป ต่างไม่ทราบว่าซากหลอดดังกล่าวจัดเป็นขยะอันตรายที่จะต้องมีการแยกทิ้งเพื่อนำไปกำจัดอย่างถูกวิธี และซากหลอดที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือเกิดจากอาคารหอพักซึ่งคนที่อยู่ในหอพักจะนำมาทิ้งที่ถังขยะรวมโดยไม่ไดแยกทิ้งหรือนำไปรวมกันไว้เพื่อส่งต่อให้หน่วยงานกลาง

ทั้งนี้ ข้อมูลตัวเลขการนำหลอดฟลูออเรสเซนต์ไปกำจัดของ มธ. ไม่ได้นำไปใช้ในการวิเคราะห์ LCA เพียงแต่ต้องการแสดงให้เห็นว่า มธ. มีการจัดการของเสียอันตรายประเภทหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบไหนและปริมาณเท่าใด

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดปรอทโดยการตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์

ในการทดลองจะหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอน คือ ระดับพีเอช และปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ น้ำเสียที่นำมาตกตะกอนมีความเข้มข้นของปรอทประมาณ 10.31 มิลลิกรัม/ลิตร (ค่าความ

เข้มข้นของปรอทของหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36W จำนวน 1 หลอด) โดยทดลองที่ระดับพีเอช 7-9 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับพีเอช ส่วนปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่เหมาะสมจะทดลองที่ปริมาณ 1 และ 2 เท่าของปริมาณที่คำนวณได้ตามทฤษฎี และวิเคราะห์ปริมาณปรอทโดยใช้ AAS ในการวิเคราะห์พบว่าการตกตะกอนที่ระดับพีเอช 7-9 และปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 1 และ 2 เท่าของปริมาณที่คำนวณได้ตามทฤษฎี ให้ผลดังนี้

(1) ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 1 เท่า (1:1) ของปริมาณที่คำนวณได้ตามทฤษฎี ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าความเข้มข้นของปรอทที่ระดับพีเอช 8 และ 9 (0.3534 มิลลิกรัม/ลิตร) ไม่แตกต่างกัน แต่จะแตกต่างกับพีเอช 7 (0.4855 มิลลิกรัม/ลิตร) ซึ่งความเข้มข้นของปรอทที่ระดับพีเอช 7 สูงกว่าระดับพีเอช 8 และ 9

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นของปรอทในสารละลายภายหลังการตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์เมื่อระดับโซเดียมซัลไฟด์ปริมาณ 1 เท่า (1: 1)

พีเอช	ความเข้มข้นของปรอท ในสารละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)
	Na ₂ S 1 เท่า (1:1)
7	0.4885
8	0.3534
9	0.3534

(2) ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 2 เท่า (1: 2) ของปริมาณที่คำนวณได้ตามทฤษฎี ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าความเข้มข้นของปรอทที่ระดับพีเอช 7, 8 และ 9 (0.4950, 0.3534 และ 0.4259 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) มีค่าใกล้เคียงกัน โดยระดับพีเอช 8 มีค่าความเข้มข้นของปรอทต่ำสุด

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นของปรอทในสารละลายภายหลังการตกตะกอนด้วยโซเดียมซัลไฟด์เมื่อระดับโซเดียมซัลไฟด์ปริมาณ 2 เท่า (1: 2)

พีเอช	ความเข้มข้นของปรอท ในสารละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)
	Na ₂ S 2 เท่า (1: 2)
7	0.4950
8	0.3534
9	0.4259

ผลการตกตะกอนปรอทด้วยโซเดียมซัลไฟด์ปริมาณต่างๆ พบว่าทำให้ความเข้มข้นของปรอทในสารละลายลดลงได้ โดยความเข้มข้นของปรอทแตกต่างกันไปตามปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่ใช้ จากตารางที่ 2 และ 3 พบว่า ที่ระดับพีเอชต่างๆ มีผลต่อการตกตะกอนโดยที่ระดับพีเอช 7 และ 9 ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 1 และ 2 เท่าความเข้มข้นของปรอทมีค่าไม่แตกต่างกัน ส่วนที่ระดับพีเอช 8 ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 1 เท่ามีความเข้มข้นของปรอทต่ำกว่าปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 2 เท่า



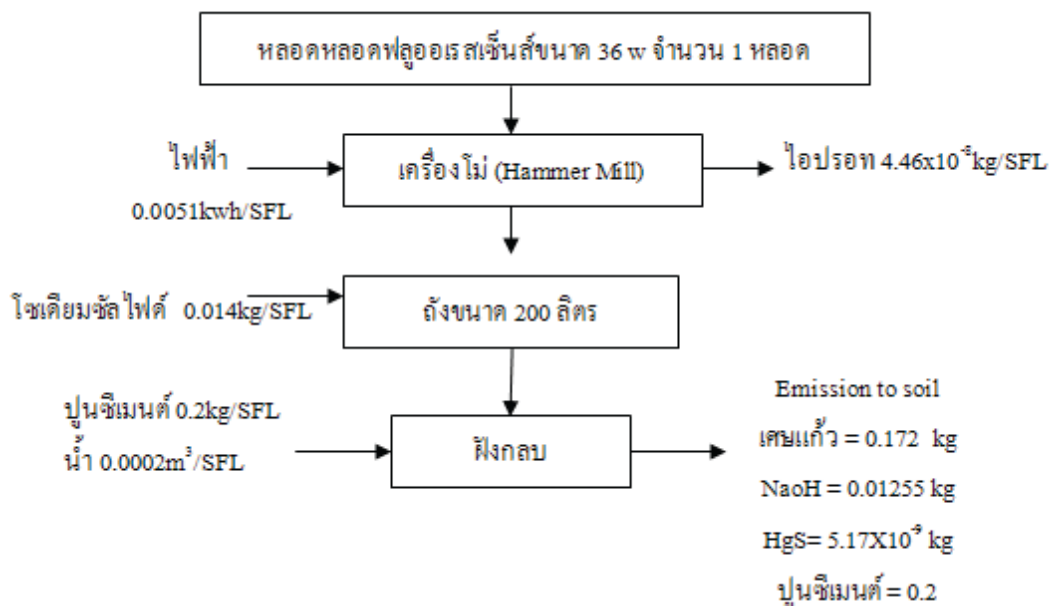
จากสมการจะเห็นได้ว่าปรอทไอออนจะทำปฏิกิริยาโซเดียมซัลไฟด์ด้วยอัตราส่วน 1: 1 และเกิดเป็นตะกอนปรอทซัลไฟด์ เมื่อเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ 1 เท่า จะทำปฏิกิริยาพอดี ดังสมการด้วยอัตราส่วน 1: 1 ส่งผลให้มีความเข้มข้นของปรอทเหลืออยู่น้อย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ 2 เท่า ก็ให้ผลไม่แตกต่างจากเมื่อใช้ 1 เท่า เพราะปรอทไอออนทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ 1 เท่า เท่านั้น จึงทำให้สารละลายมีโซเดียมซัลไฟด์ไอออนมากขึ้นจากค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดว่าน้ำทิ้งที่มีปริมาณซัลไฟด์ คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ต้องไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/ลิตร ถ้ามีสูงกว่านี้ต้องทำการบำบัดซัลไฟด์ก่อนปล่อยน้ำทิ้ง ดังนั้นการใช้โซเดียมซัลไฟด์ 1 เท่า จึงเหมาะสมในการตกตะกอนมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาถึงสมดุลแล้วจึงไม่มีการเพิ่มปัจจัยของโซเดียมซัลไฟด์ในผลการตกตะกอน การกำจัดสารปรอทด้วยการตกตะกอนด้วยสารโซเดียมซัลไฟด์เป็นวิธีการที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมเป็นผู้กำหนดเพราะสารโซเดียมซัลไฟด์เมื่อไปทำปฏิกิริยากับปรอทจะทำให้ความเป็นพิษของปรอทลดลง

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 1 เท่า ของปริมาณที่คำนวณได้ตามทฤษฎีและระดับพีเอช 7 มีค่าความเข้มข้นของปรอทมากกว่าระดับพีเอช 8 และ 9 ส่วนระดับพีเอช 8 และ 9 มีค่าความเข้มข้นของปรอทใกล้เคียงกัน แต่เมื่อคำนึงถึงต้นทุนพีเอช 8 จึงเหมาะสมกว่า พีเอช 9 เพราะประหยัดต้นทุนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการปรับพีเอชมากกว่า ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนปรอทด้วยโซเดียมซัลไฟด์ คือ ระดับพีเอช 8 และปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 1 เท่า

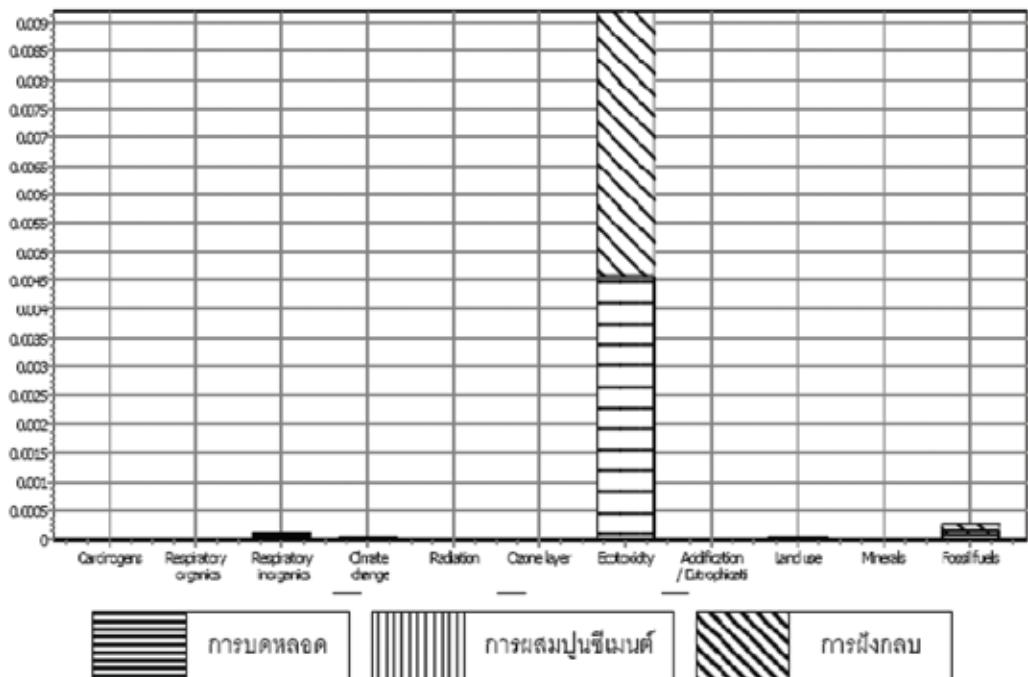
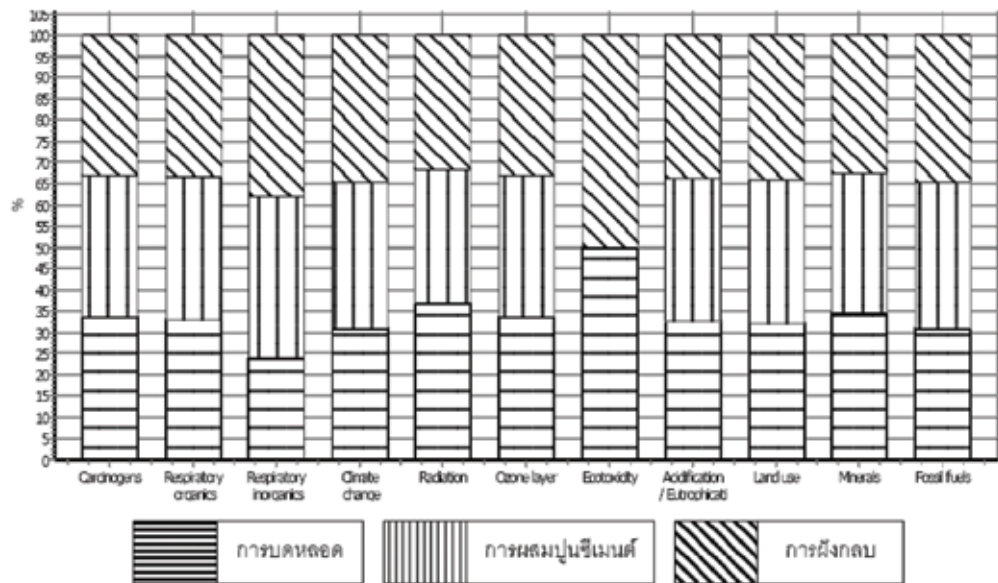
การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมวัฏจักรชีวิตโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Sima Pro 7.1

การวิเคราะห์ผลกระทบวัฏจักรชีวิตได้ใช้ข้อมูลจากการกำจัดหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบรีไซเคิลและไม่รีไซเคิล (Witoon, 2005) โดยการวิจัยในครั้งนี้ได้ใช้ตัวชี้วัดแบบ Eco-indicator 99 ซึ่งมีการวิเคราะห์การปลดปล่อยสารก่อมะเร็ง สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มีผลต่อการหายใจ สภาวะการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก การแผ่รังสีระดับไอโซน ผลต่อระบบนิเวศ ค่าความเป็นกรด การใช้ทรัพยากรดิน การใช้แร่ธาตุ และการใช้เชื้อเพลิงซากพืช-สัตว์ (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547) การจำกัดแบบไม่รีไซเคิลมีการใช้วัตถุดิบและพลังงานดังนี้คือ หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 w

จำนวน 1 หลอด ใช้พลังงานไฟฟ้า 0.0051 kwh/SFL โซเดียมซัลไฟด์ 0.014 kg/SFL ปูนซีเมนต์ 0.2 kg/SFL และน้ำ 0.002 m³/SFL ส่วนการกำจัดแบบรีไซเคิลมีการใช้วัตถุดิบและพลังงาน ดังนี้คือ หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 w จำนวน 1 หลอด ใช้พลังงานไฟฟ้า 0.00361 kwh/SFL โซเดียมซัลไฟด์ 0.019 kg/SFL ปูนซีเมนต์ 0.028 kg/SFL และน้ำ 0.000208 m³/SFL สำหรับรูปที่ 2 แสดงกระบวนการกำจัดหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบไม่รีไซเคิล ประกอบด้วย 3 กระบวนการคือ 1) การบดหลอด 2) การผสมปูนซีเมนต์ 3) การฝังกลบ ซึ่งจะเห็นได้ว่าในภาพรวมมีการกระจายตัวของไอปรอท และมีการปล่อยทิ้งของสารปรอทซัลไฟด์ลงสู่ดินพร้อมกับการทำฝังกลบ โดยทุกกระบวนการมีผลกระทบในสัดส่วนที่เท่าเทียมกัน ยกเว้นผลกระทบด้าน Ecotoxicity สำหรับการผสมปูนซีเมนต์ที่มีผลน้อยมาก อย่างไรก็ตามผลกระทบที่มากที่สุดอยู่ที่ Ecotoxicity โดยจะเห็นได้ว่า ในรูปที่ 3 มีการปลดปล่อยสูงสุด (9×10^{-3} PDF/m²/year) เทียบกับค่าการใช้เชื้อเพลิงซากพืช-สัตว์ (2.5×10^{-4} MJ Energy Surplus) จากข้อมูลที่แสดงมีค่า Ecotoxicity มากที่สุดเพราะมีผลกระทบต่อระบบนิเวศทั้งทางอากาศที่เกิดจากการกระจายตัวของไอปรอท และทางดินที่เกิดจากการฝังกลบปรอทซัลไฟด์เมื่อทำเป็นก้อนแข็ง

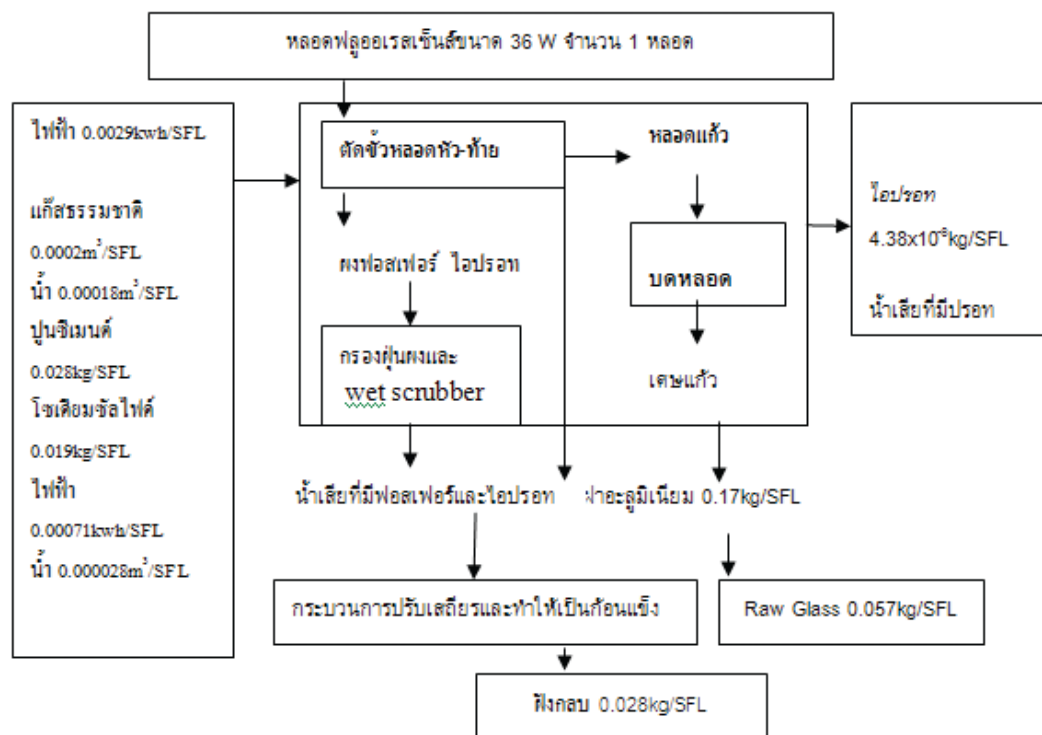


รูปที่ 2 กระบวนการกำจัดหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบไม่รีไซเคิล
(โปรแกรม sima pro 7.1)

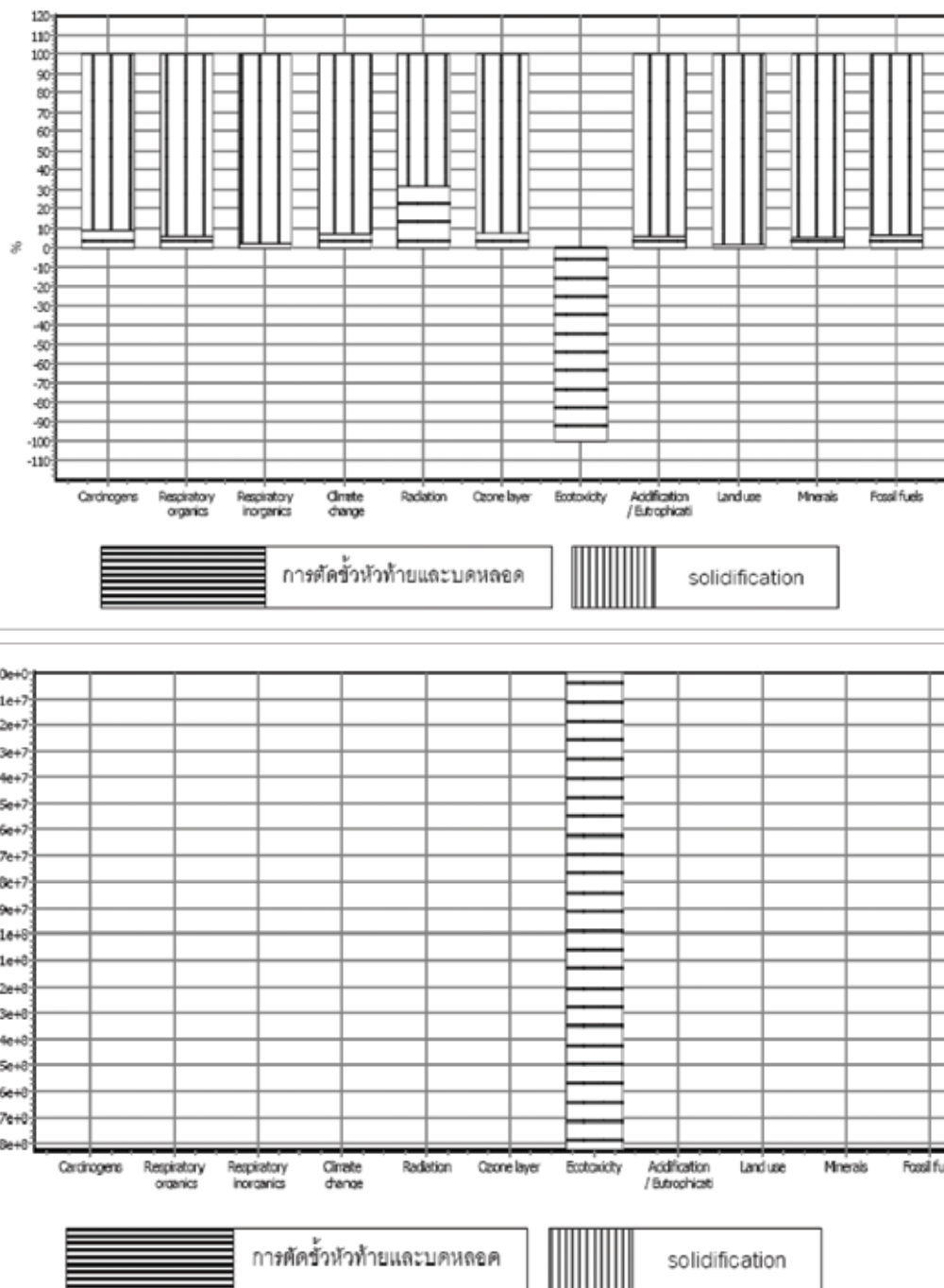


รูปที่ 3 ผลการประเมิน LCA สำหรับการกำจัดหลอมฟลูออเรสเซนต์แบบไมรีไซเคิล

ในทางกลับกันสำหรับกระบวนการรีไซเคิลที่สามารถนำเศษแก้วกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกครั้ง โดยมีโครงร่างกระบวนการแสดงตาม รูปที่ 4 ซึ่งจะพบว่าการปลดปล่อยของเสียยังคงมีไอปรอทซึ่งไอปรอทจะถูกนำไปบำบัดต่อ แต่ระบบการรีไซเคิลจะทำให้การปล่อยของเสียสู่ดินน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด หากพิจารณาการรีไซเคิลเป็น 2 กระบวนการคือ 1) การตัดชิ้นหัวท้ายและบดหลอด 2) Solidification จะพบว่า Solidification มีการส่งผลกระทบต่อทุกด้าน ยกเว้นความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (Ecotoxicity) แสดงตามรูปที่ 5 ขณะที่การตัดชิ้นหัวท้ายและบดหลอดมีผลเสียต่อทุกด้านแต่ในอัตราส่วนที่ต่ำกว่าการทำ Solidification แต่จะให้ผลที่ดีในด้าน Ecotoxicity (สังเกตจากค่าที่แสดงในกราฟเป็นค่าติดลบ; -1×10^8 PDF/m²/year) ทั้งนี้จะเกิดจากการนำเศษแก้วที่มีปริมาณมากกลับมาใช้ใหม่ เป็นการลดการใช้ปูนซีเมนต์เพื่อการทำเป็นก้อนแข็งและการฝังกลบลงได้ แสดงให้เห็นได้ว่าการจัดการรีไซเคิลสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะ Ecotoxicity ได้มากถึง 10^{11} เท่าจากเดิม การนำเศษแก้วกลับมาใช้ใหม่เป็นการลดการนำเศษแก้วไปฝังกลบซึ่งถือว่าเป็นการลดมลพิษที่จะเกิดทางดินและแหล่งน้ำใต้ดินจึงถือได้ว่าเป็นการลดด้านที่ Ecotoxicity ผลการประเมินเชิงตัวเลขในแต่ละผลกระทบที่ปรากฏจะเป็นสิ่งสนับสนุนเพื่อให้เกิดแนวทางการพัฒนาทางด้านการป้องกันระบบสิ่งแวดล้อมมากขึ้นในอนาคต



รูปที่ 4 กระบวนการกำจัดหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบรีไซเคิล (โปรแกรม sima pro 7.1)



รูปที่ 5 ผลการประเมิน LCA สำหรับการกำจัดหลอมฟลูออเรสเซนต์แบบรีไซเคิล
(โปรแกรม sima pro 7.1)

6. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

1. การจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต มีร้อยละ 28 ที่มีการกำจัดอย่างถูกต้อง ดังนั้นควรมีการแนะนำให้คณะ/หน่วยงานอื่นๆ ที่ยังไม่ได้เข้าร่วมโครงการ ให้เข้าร่วมโครงการกับทางสำนักงานอาคารและสถานที่

2. ไบปรอทสามารถถูกกำจัดได้โดยวิธีการตกตะกอนปรอทด้วยโซเดียมซัลไฟด์ โดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอน คือ ระดับพีเอช 8 และปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 1 เท่า (1:1) ซึ่งสามารถกำจัดปรอทได้มากกว่า 96 % ข้อเสนอแนะควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยควรมีการเพิ่มค่าพีเอช จาก 7-9 เป็น 7-12 เพื่อจะศึกษาว่าถ้าปฏิกิริยาที่เป็นต่างมากขึ้นจะช่วยให้การตกตะกอนเพิ่มขึ้นด้วยหรือไม่

3. การประเมินผลกระทบวัฏจักรชีวิตโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Sima Pro สามารถสรุปได้ว่าการจัดการแบบรีไซเคิลสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะด้าน Ecotoxicity ได้มากถึง 10^{11} เท่า เนื่องจากการนำเศษแก้วที่มีปริมาณมากกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งเป็นการลดการใช้ปูนซีเมนต์เพื่อการทำเป็นก้อนแข็งและการฝังกลบลงได้จึงเป็นการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ข้อเสนอแนะควรมีการศึกษาเพิ่มเติมตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การจำหน่ายและการนำมาใช้งาน เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

4. กระบวนการรีไซเคิลโดยการนำเศษแก้วมาเป็นวัตถุดิบหมุนเวียนใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นการลดปริมาณการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตอีกด้วย

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. 2547. การสำรวจการทิ้งซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ การสำรวจการทิ้งซากโทรศัพท์มือถือ ถ่านไฟฉาย และหลอดฟลูออเรสเซนต์. กรุงเทพมหานคร.

กรมควบคุมมลพิษ. 2527. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการนำร่องเพื่อการรีไซเคิลหลอดฟลูออ-เรสเซนต์ในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร.

กรมควบคุมมลพิษ. 2545. **ปรอท**. กรุงเทพมหานคร.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2546. **ของเสียอันตราย**. กรุงเทพมหานคร.

ชนิษฐา ทวีถาวรสวัสดิ์. 2539. การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีไอดีโดยวิธีการตกตะกอนผลึกทางเคมี. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร

พงษ์วิภา หล่อสมบุญ. 2547. **มาตรฐานเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14000**. กรุงเทพมหานคร
ปริญญาภรณ์ ชาติการุณ . 2548. โรงงานรีไซเคิลฟิลิปป์แปรงซากหลอดไฟเป็นวัตถุดิบใหม่ถึง 80%. กรุงเทพมหานคร: 65-69

มัลลิกา ปัญญาคะโพ. 2549. **การจัดการของเสียอันตราย**. นครปฐม.

- สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2547. **คู่มือการจัดทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ภายใต้โครงการการจัดทำฐานข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม** กรุงเทพมหานคร.
- สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. 2549. **คู่มือการฝึกอบรมการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์และการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ**. กรุงเทพมหานคร
- Findlay, D.M. and Ronald, A.N. 1979. Treatment of Mercury Contaminated Aqueous Media. U.S. Patent No.4,147,626, Apr.3
- Raposo, C., Windmoller, C., and Junior, W. 2003. Mercury Speciation in Fluorescent Lamp by Thermal Release Analysis. Cidade Universitaria .Brazil.
- Pre'Consultants. 2001. AD Amersfoot Netherlands . SimaPro Manual Book.
- Apisitpuvakul, W., Piumsomboon, P., Watts, D. J., and Koetsinchai, W. 2005. LCA of Spent Fluorescent Lamp in Thailand at Various Rates of Recycling. Masters thesis. Environmental and hazardous waste management program, Chulalongkorn University.
- Hofstetter, P. 1998. Perspectives in Life Cycle Impact Assessment. Swiss Federal Institute of Technology, Zurich.1998.