

# การประยุกต์ใช้ Carrying Capacity ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

## Application of Carrying Capacity in Life Cycle Assessment Methodology

หาญพล พึ่งรัมย์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12121

### บทคัดย่อ

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment; LCA) เป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิตหรือการบริการ ซึ่งจะเป็นการรวบรวมปริมาณสารขาเข้าและปริมาณสารขาออกพร้อมทั้งประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ ขั้นตอนการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment; LCIA) เป็นขั้นตอนหนึ่งในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะประกอบไปด้วยขั้นตอนย่อยอีก 4 ขั้นตอนได้แก่ การจำแนกประเภท (Classification) การกำหนดบทบาท (Characterization) การเทียบหน่วย (Normalization) และการให้น้ำหนักแต่ละประเภท (Weighting) แต่วิธีการเทียบหน่วยโดยวิธีการแบบต่างๆ ไปมักจะพิจารณาเฉพาะปริมาณมลพิษที่สนใจที่ถูกปลดปล่อยออกมาทั้งหมดต่อช่วงเวลาและสถานที่ที่กำหนดโดยมิได้พิจารณาในเรื่องของความสามารถในการรองรับมลพิษของสารแต่ละชนิดในแต่ละพื้นที่แต่อย่างใด ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการนำทฤษฎี Carrying Capacity มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ซึ่งเรียกว่า ค่าผลกระทบ (Impact index) เพื่อให้มีผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมมากกว่าการประเมินแบบเดิม

**คำสำคัญ :** การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ การเทียบหน่วย การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ Carrying Capacity

## Abstract

Life Cycle Assessment is one of tools that quantifies the inputs and outputs, and evaluates the potential environmental impacts during the entire life cycle of a product, process and/or service. The life cycle impact assessment is one of the life cycle assessment phases. In the life cycle impact assessment, there are 4 steps; classification, characterization, normalization and weighting. The normalization step considers normally the total of emission of pollutants within period of time and specific area. This research focuses on a normalization step by integrating the carrying capacity concept into normalization step and compares the conventional LCIA method with the proposed method so called impact index. The proposed method indicated that the carrying capacity concept render a new perspective method on the environmental impacts of a product system.

**Keyword :** Life cycle assessment, Normalization, Life cycle impact assessment, Carrying capacity.

## 1. บทนำ

ปัญหาสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันได้ทวีความรุนแรงมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อให้เพียงพอหรือสนองตอบความต้องการของมนุษย์มลพิษที่เกิดจากการผลิตก็จะเพิ่มขึ้นอย่างมากดังนั้นจึงได้มีงานวิจัยและพัฒนาแนวความคิดในเรื่องของการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตอันเกิดเนื่องมาจากการผลิตผลิตภัณฑ์ กระบวนการหรือการบริการ การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์จึงเป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่ใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยพิจารณาจากปริมาณสารขาเข้าและปริมาณสารขาออกที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ ตลอดทั้งวัฏจักรชีวิต [1] นอกจากนี้ยังสามารถประเมินหาจุดด้อยของการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อใช้ในการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Ecodesign) เพื่อลดปัญหาของการเกิดมลพิษที่ตรงจุด โดยที่การประเมินผลกระทบนี้จะพิจารณาตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ การขนส่ง การ

ใช้งานผลิตภัณฑ์และการจัดการซากผลิตภัณฑ์ หลังจากใช้งานแล้วจึงกล่าวได้ว่าเป็นการพิจารณาทั้งวงจรชีวิตของการผลิตผลิตภัณฑ์

องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Organization for Standardization) [2] ได้ระบุไว้ว่าในการประเมินวัฏจักรชีวิตประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนหลักได้แก่การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and scope definition) การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Inventory Analysis) การประเมินผลกระทบต่อวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment) และการแปลผล (Interpretation)

ในขั้นตอนการประเมินผลกระทบต่อวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCIA) มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์จากข้อมูลการใช้ทรัพยากรต่างๆ และการปลดปล่อยของเสียที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม ขั้นตอนนี้ประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนได้แก่ การจำแนกประเภท การกำหนด

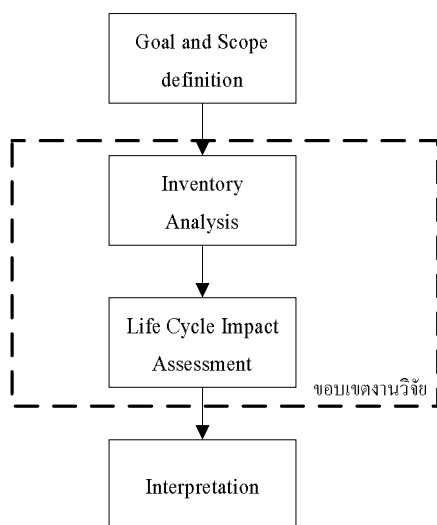
บทบาท การเทียบหน่วยและการให้น้ำหนักแต่ละประเภท แม้ว่าองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน [3] ระบุไว้ว่าขั้นตอนการเทียบหน่วยและการให้น้ำหนักแต่ละประเภทเป็นเพียงขั้นตอนทางเลือกซึ่งจะนำมาพิจารณาหรือไม่ก็ได้ อย่างไรก็ตามยังคงมีงานวิจัยจำนวนมากที่พิจารณาทั้งสองขั้นตอนนี้เพื่อให้ได้ผลการประเมินที่เหมาะสมยิ่งขึ้น

ข้อจำกัดของวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตมีหลายประเด็นเช่น การละเลยการพิจารณาเรื่องของเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม [3] การละเลยการพิจารณา Threshold Limit Value [2] เป็นต้น ซึ่งโดยปกติแล้ว ธรรมชาติในแต่ละพื้นที่จะมีความสามารถในการรองรับมลพิษหรือความสามารถในการฟื้นตัวด้วยตัวมันเองที่แตกต่างกันออกไป และได้มีการศึกษาและงานวิจัยของ International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) [4] เพื่อวิเคราะห์และประเมินปริมาณการตกสะสมของกรด (Acid deposition) ที่

เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ที่ตั้งอยู่ในทวีปยุโรปและเอเชีย ทำให้งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำทฤษฎีความสามารถในการรองรับมลพิษของแต่ละพื้นที่มาประยุกต์ใช้กับงานทางด้าน การประเมินวัฏจักรชีวิต

## 2. วิธีการ

การประเมินวัฏจักรชีวิตแบบทั่วไปมักพิจารณาเฉพาะปริมาณสารขาเข้าและปริมาณสารขาออกสะสมตลอดทั้งวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์และยังไม่ได้พิจารณาในเรื่องของความสามารถในการรองรับปริมาณมลพิษในแต่ละพื้นที่ ดังนั้นขอบเขตของงานวิจัยจะเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีทางด้านสิ่งแวดล้อมไปจนถึงการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แสดงดังรูปที่ 1 โดยละขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตและการแปลผล



รูปที่ 1 ขอบเขตการวิจัย

## 2.1 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

ปริมาณสารขาเข้าและปริมาณสารขาออกในแต่ละช่วงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งต่อหนึ่งหน่วยการทำงาน (Functional unit; fu) ถูกนำมารวบรวมแสดงดังตารางที่ 1

### 2.2 การกำหนดบทบาท

ตัวแปรทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการถูกนำมาวิเคราะห์ในขั้นตอนการจำแนกประเภทเพื่อจัดกลุ่มที่เกี่ยวข้อง

กับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเช่น ตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน (Global warming) ตัวแปรที่ก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ (Acidification) หรือปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี (Eutrophication) เป็นต้น แต่ในงานวิจัยนี้จะขอกล่าวเฉพาะการเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ และปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีเท่านั้น โดยที่ขั้นตอนการกำหนดบทบาทซึ่งแสดงถึงศักยภาพในการทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละกลุ่มคำนวณได้ดังสมการที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลปริมาณสารเข้าออกต่อหน่วยการทำงาน

	Raw material acquisition	Manufacturing	Distribution	Use	End of Life	Total
CO <sub>2</sub> (kg/fu)	168000	50300	4100	779000	-3400	998000
CO (kg/fu)	840	10	60	130	-20	1020
NO <sub>x</sub> (kg/fu)	510	200	60	2900	-40	3630
SO <sub>2</sub> (kg/fu)	780	440	10	4140	-10	5360
CFC11 (kg/fu)	0	30	0	180	320	530
CFC12 (kg/fu)	0	0	0	20	60	80

$$CI = Load \times eqv \quad (1)$$

เมื่อ

CI คือศักยภาพที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกลุ่มต่างๆ

Load คือตัวแปรทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการ หรือ ภาระทางสิ่งแวดล้อม

eqv คือ แฟกเตอร์ equivalency หรือแฟกเตอร์เทียบเท่า

### 2.3 การเทียบหน่วยกับข้อมูลอ้างอิง

ในการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบทั่วไปนั้น ศักยภาพที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการกำหนดบทบาทจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณการปลดปล่อยมลพิษทั้งหมดทั้งประเทศ ดังสมการที่ 2 ซึ่งปริมาณการปลดปล่อยซัลเฟอร์ได-

ออกไซด์เทียบเท่าและฟอสเฟตเทียบเท่าของทั้งประเทศสาธารณรัฐเกาหลีประมาณ  $2.65 \times 10^{12}$  gSO<sub>2</sub>eq/yr และ  $4.18 \times 10^{11}$  gPO<sub>4</sub>eq/yr [5] ตามลำดับ ซึ่งในการคำนวณตามสมการที่ 2 ไม่ได้พิจารณาถึงความสามารถในการรองรับมลพิษของแต่ละภูมิภาคในประเทศนั้นๆ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาสภาพที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับความสามารถในการรองรับมลพิษของแต่ละพื้นที่โดยอาศัยแบบจำลองการตกตะกอนดังสมการที่ 3 ซึ่ง Phungrassami [6] ได้ศึกษาวิธีการประเมินเวลาตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้ทำการสมมุติว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้เป็นตัวอย่างในการวิจัยนี้มีเวลาตลอดวัฏจักรชีวิต 13 ปี

$$NI = \frac{CI}{N_{ref}} \quad (2)$$

เมื่อ

NI คือ ผลการเทียบหน่วย

$N_{ref}$  คือ ปริมาณการปล่อยมลพิษทั้งหมดในหนึ่งหน่วยเวลาในพื้นที่ที่กำหนด

$$I = \frac{\sum_{l=area} A_l \times \frac{CI \times k}{T \times CL_l}}{\sum_{l=area} A_l} \quad (3)$$

เมื่อ

I (Impact index) คือค่าผลกระทบ

$A_l$  คือพื้นที่ในแต่ละเซลล์ l ที่พิจารณา

k คือสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสารในแต่ละเซลล์

$CL_l$  คือปริมาณของมวลสารที่พื้นที่ l สามารถรองรับได้

T คือเวลาตลอดวัฏจักรชีวิต

ผลกระทบของมลพิษที่ถูกปลดปล่อยอันเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์สามารถถูกประเมินโดยแบบจำลองนี้โดยสมมุติให้การตกตะกอนเฉลี่ยเท่ากันหมดทั่วพื้นที่ที่พิจารณา และปริมาณของการตกตะกอนในแต่ละพื้นที่และปริมาณมลพิษที่แต่ละพื้นที่จะรองรับได้ ซึ่งในที่นี้ Park และ Shim [7] ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความสามารถในการรองรับมลพิษซัลเฟอร์และไนโตรเจนของทั้งประเทศสาธารณรัฐเกาหลี

### 3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

#### 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างทฤษฎี Carrying Capacity และ LCA

เนื่องจากการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ไม่ได้พิจารณาถึงความสามารถในการรองรับมลพิษในแต่ละพื้นที่ ดังนั้นหากมีการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แบบการเทียบหน่วยอาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ผลดังแสดงในรูปที่ 2 หากสมมุติว่าพื้นที่ได้รูปของรูป A และรูป B เท่ากันซึ่งอุปมาเปรียบได้กับปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวัฏจักรของผลิตภัณฑ์สองชนิดที่เท่ากัน แต่ขอบเขตของผลิตภัณฑ์ (System boundary) ทั้งสองตั้งอยู่บนพื้นที่ที่มีความสามารถรองรับมลพิษที่แตกต่างกัน หากพิจารณาจากรูปจะเห็นได้ว่ารูป B ควรมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่รุนแรงกว่ารูป A เพราะปริมาณการปลดปล่อยมลพิษในช่วงเวลาหนึ่งเกินความสามารถของพื้นที่ในการรองรับมลพิษที่ปล่อยออกมา จากรูปนี้จึงแสดงให้เห็นได้ชัดเจนว่าการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจำเป็นต้องมีการพิจารณาเรื่องความสามารถในการรองรับมลพิษในแต่ละพื้นที่รองรับ

นอกจากนี้ยังต้องมีการพิจารณาในเรื่องของอัตราการปลดปล่อยมลพิษในแต่ละช่วงเวลาด้วย [6]

### 3.2 การเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการเทียบหน่วย (Normalization impact) และ Impact index

ตารางที่ 2 แสดงถึงความแตกต่างของสมการที่เกี่ยวข้องในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งในวิธีแบบทั่วไปของการเทียบหน่วยจะได้ผลการประเมินซึ่งมีหน่วยเป็น yr/pe-fu yr/pe หรือ yr เป็นต้น โดยปกติการเปรียบเทียบนี้ทำโดยการเทียบกับปริมาณมลพิษทั้งหมดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่กำหนดหรือเทียบต่อจำนวนประชากร 1 คนว่าเป็นต้นเหตุในการเกิดผลกระทบมากน้อยเพียงใดในช่วงเวลาที่กำหนด [8] ซึ่งวิธีการนี้ยังคงซึ่งปัญหาในเรื่องของหน่วยของการเทียบหน่วย [1] แต่วิธี Impact index จะไม่มีหน่วยที่ได้จากการประเมินผลกระทบ ซึ่งวิธีการนี้เป็นการกำหนดปริมาณของผลกระทบในพื้นที่ที่สนใจทั้งหมด โดยเปรียบเทียบสัดส่วนกับปริมาณของสารมลพิษต่อปริมาณของความสามารถในการรองรับมลพิษนั้นๆ ในแต่ละพื้นที่

### 3.3 การประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยประยุกต์ทฤษฎี Carrying Capacity

ศักยภาพที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกลุ่มต่างๆ กำหนดจากสมการที่ 1 แสดงได้ดังรูปที่ 3 จากรูปนี้สามารถวิเคราะห์ผลโดยประมาณได้ว่าการปลดปล่อยมลพิษที่ส่งผลต่อการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีเกิดขึ้นในขั้นตอนการใช้ (Use) มากที่สุดและในทำนองเดียวกันการปลดปล่อยมลพิษที่ทำให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำเกิดขึ้นในขั้นตอนการใช้ (Use) มากที่สุดเช่นเดียวกัน และเมื่อพิจารณาเพื่อเทียบหน่วยตามสมการที่ 2 พบว่าการเกิดความเป็นกรดในดินและ

แหล่งน้ำส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งจะกล่าวได้ว่าการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำเมื่อเทียบกับปริมาณการปล่อยซัลเฟอร์ทั้งปีของทั้งประเทศมากกว่าการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีเมื่อเทียบกับปริมาณการปล่อยฟอสเฟตทั้งปีของทั้งประเทศ

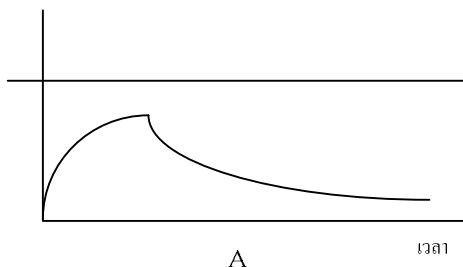
หากพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Impact index แสดงดังรูปที่ 5 ได้ผลแนวโน้มเช่นเดียวกับวิธีการเทียบหน่วย แต่การอธิบายผลจะแตกต่างกันซึ่งหากค่าของผลกระทบนี้เข้าใกล้ 1 จะแสดงถึงการปลดปล่อยมลพิษของผลิตภัณฑ์ตัวนี้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากโดยพิจารณาร่วมกับความสามารถที่จะรองรับมลพิษของแต่ละพื้นที่ที่พิจารณา ซึ่งทำให้การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมีความสมเหตุสมผลมากยิ่งขึ้น

แต่อย่างไรก็ตามในการพิจารณาผลกระทบโดย Impact index พบว่าในการคำนวณจะต้องทราบปริมาณการตกตะกอน ซึ่งต้องอาศัยหลักการของการกระจายมลพิษไปสู่ชั้นบรรยากาศ และต้องอาศัยข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาเป็นจำนวนมากแบบจำลองโปรแกรม RAINS Model (The Regional Air Pollution INFORMATION and Simulation) และ GAINS Model (Greenhouse Gas and Air Pollution INTERactions and Synergies) สามารถประเมินปริมาณการตกตะกอนของซัลเฟอร์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ในเขตทวีปยุโรปและเอเชียได้ แต่อย่างไรก็ตามในการคำนวณผลกระทบต้องทราบปริมาณมลพิษที่แต่ละพื้นที่สามารถรองรับได้ซึ่งมีงานวิจัยที่ได้พยายามคำนวณหาปริมาณมลพิษในแต่ละพื้นที่ไว้เช่น Posch [9] ได้ประเมินปริมาณซัลเฟอร์

ที่แต่ละพื้นที่ต่างๆ ในทวีปยุโรปสามารถรองรับได้ โดยแบ่งพื้นที่พิจารณาออกเป็นเซลล์ซึ่งมีขนาดพื้นที่เซลล์ละ 150\*150 ตารางกิโลเมตร และในแต่ละพื้นที่เซลล์มีค่าปริมาณมลพิษที่สามารถรองรับได้แตกต่างกัน หรือจาร์ทส์น [10] ได้ศึกษาปริมาณมลพิษสูงสุดของซัลเฟอร์ที่ประเทศไทยสามารถรองรับได้ ซึ่งสามารถเฉลี่ยปริมาณความสามารถในการรองรับปริมาณซัลเฟอร์ได้ ถึงแม้ว่าวิธีการ Impact index จะต้องอาศัยข้อมูลจำนวนมากเพื่อให้ครอบคลุมกับ

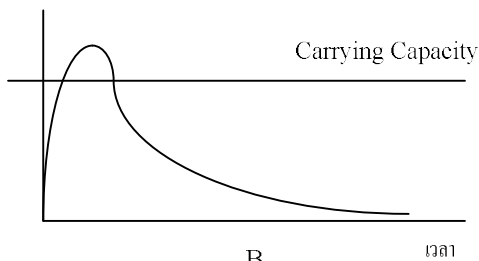
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทุกๆ กลุ่มตามวิธีการของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ แต่หากพิจารณาเฉพาะผลกระทบกลุ่มหลักๆ ดังเช่นในหลายๆ ประเทศนิยมใช้กันเช่นการเกิดภาวะโลกร้อนหรือการเกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำเท่านั้น ในการประเมินผลกระทบเฉพาะกลุ่มโดยวิธีการ Impact index ดังกล่าวไว้ข้างต้น น่าจะเป็นทางเลือกที่ดีกว่าวิธีการเทียบหน่วยทั่วไป

ปริมาณสารต่อหน่วยเวลา



A

ปริมาณสารต่อหน่วยเวลา

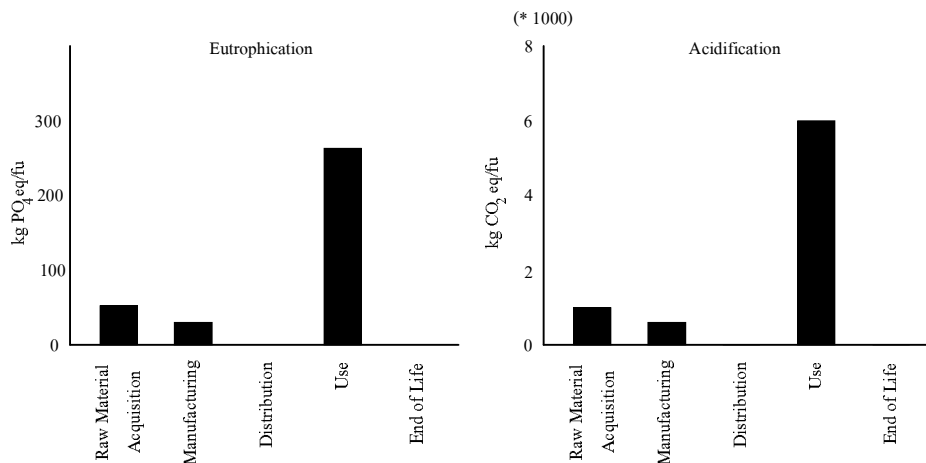


B

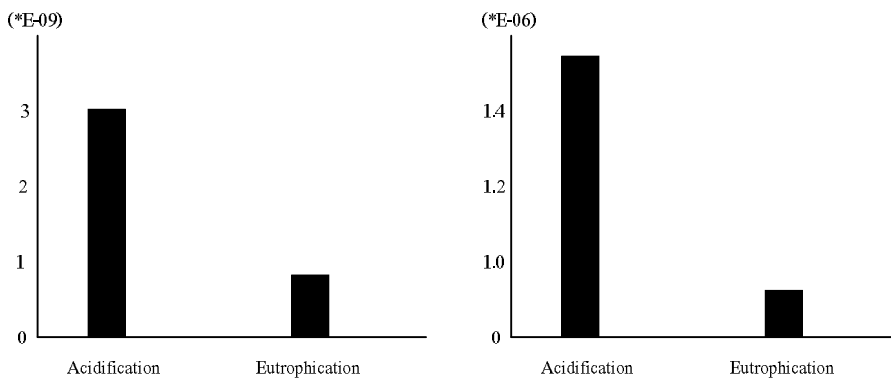
รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารต่อหน่วยเวลากับ Carrying Capacity

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบวิธีการจากการเทียบหน่วยและ Impact index

วิธีการ	สมการ	หน่วย
การเทียบหน่วยอ้างอิง (Normalization impact)	$NI = \frac{CI}{N_{ref}}$	yr/pe หรือ yr
Impact index	$I = \frac{\sum_{l=area} A_l \times \frac{CI \times k}{T \times CL_l}}{\sum_{l=area} A_l}$	ไม่มีหน่วย



รูปที่ 3 ผลที่ได้จากการกำหนดบทบาท



รูปที่ 4 ผลที่ได้จากการเทียบหน่วย

รูปที่ 5 ผลที่ได้จาก Impact index

#### 4. บทสรุป

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์โดยใช้วิธีทั่วไปในขั้นตอนการเทียบหน่วยอ้างอิง โดยปกติข้อมูลอ้างอิงคือปริมาณมลพิษในแต่ละประเทศหรือแต่ละภูมิภาคได้ปลดปล่อยออกมาในช่วงเวลาหนึ่งปีหรือปริมาณมลพิษที่ต้องการจะลดลงในปีเป้าหมาย ซึ่งในการคำนวณโดยใช้ข้อมูลอ้างอิงโดยวิธีทั่วไปนี้ไม่ได้พิจารณาผลของความสามารถในการรองรับมลพิษในแต่ละพื้นที่ ดังนั้นด้วยวิธีการนำทฤษฎี Carrying Capacity เข้ามาประยุกต์ใช้แทนที่ในขั้นตอนการเทียบหน่วยอ้างอิงจะทำให้การ

ประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์สมเหตุสมผลมากยิ่งขึ้น เพราะปริมาณการปลดปล่อยมลพิษที่เท่ากันแต่พื้นที่ที่รองรับมลพิษต่างกันย่อมต้องมีความแตกต่างในเรื่องผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่อย่างไรก็ตามในการประยุกต์ใช้ทฤษฎีนี้จำเป็นต้องทราบข้อมูลที่สำคัญอยู่ 2 ประการคือปริมาณการตกตะกอนของมลพิษซึ่งต้องอาศัยข้อมูลการกระจายตัวของมลพิษและปริมาณความสามารถในการรองรับมลพิษของแต่ละพื้นที่ที่ต้องการพิจารณา ดังนั้นหากประเทศไทยต้องการนำวิธีการนี้



มาประยุกต์ใช้เพื่อคำนวณหา Impact index จึงจำเป็นต้องมีข้อมูลสำคัญทั้งสองอย่างนี้ก่อน

## 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Lee, K.M., and Inaba, A., Life Cycle Assessment; Best Practices of ISO14040 series, APEC, 2004.
- [2] ISO14042, ISO14042:2000: Environment Management-Life Cycle Assessment-Life Cycle Impact Assessment, 2000.
- [3] ISO14040, ISO14040:2006: Environment Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework, 2006.
- [4] International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), The RAINS Model of Air Pollution: General Overview, Available from: <http://www.iiasa.ac.at>.
- [5] Kim, I. and Hur, T., An Attempt to Measure Green Productivity, Available from: [http://www.apo-tokyo.org/gp/manila\\_conf02/resource\\_papers/narrative/tak\\_hur.pdf](http://www.apo-tokyo.org/gp/manila_conf02/resource_papers/narrative/tak_hur.pdf).
- [6] Phungrassami, H., Jeounggun, P., Chun, Y.Y. and Lee, K.M., Time Estimation Methodologies in Time-load LCA, Korean Society of Environmental Engineers, Vol. 29(4), 2007.
- [7] Park, S.U. and Shim, J.M., Estimation of Critical Loads of Sulfur and Nitrogen for the Korean Ecosystem, School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Available from: [http://ces.snu.ac.kr/activities/journal2.1/parksu\\_3.pdf](http://ces.snu.ac.kr/activities/journal2.1/parksu_3.pdf).
- [8] Posch, M., Smet, P.A.M., Hettelingh, J.P. and Downing, R.J., Calculation and Mapping of Critical Thresholds in Europe Status Report 1999. Available from: <http://www.mnp.nl/bibliotheek/rapporten/259101009.pdf>.
- [9] สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, คู่มือการจัดการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ภายใต้โครงการ การจัดทำฐานข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตปูนซีเมนต์และเหล็กกล้า เพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม, 2547.
- [10] จารุทัศน์ มลิินทะเล, การศึกษาค่าภาวะวิกฤติสูงสุดของซัลเฟอร์ในประเทศไทย, วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544.