วัฏจักรชีวิตของโครงสร้าง: ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
Life Cycles of Structures: Environmental Impacts

อรุษ เพชรเชิดชู[1]
Aruz Petcherdchoo[1]

บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อชี้ให้เห็นถึงความสำคัญในการพิจารณาปัญหาสิ่งแวดล้อมในขบวนการพิจารณาวัฏจักรชีวิตของโครงสร้าง ทั้งนี้เพราะปัญหาทางสิ่งแวดล้อมได้สะสมและเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว และอุตสาหกรรมการก่อสร้างเป็นสาเหตุหนึ่งของปัญหา ฉะนั้นจึงมีการเรียกร้องจากหลายๆ ฝ่ายให้ผู้ที่เกี่ยวข้องค้นหาแนวทางในการก่อสร้างแบบใหม่ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และสิ่งเหล่านี้ต่อมาก็ได้รับการตอบรับจากหลายๆ ฝ่ายเป็นอย่างดี เช่น การออกข้อแนะนำในการก่อสร้างอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่อย่างไรก็ตามสิ่งเหล่านี้ยังไม่สามารถครอบคลุมถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างได้ทั้งหมด เพราะว่าปัญหาเหล่านี้ไม่ได้เกิดขึ้นขณะที่ก่อสร้างเท่านั้น แต่ยังเกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งานโครงสร้าง ดังนั้นในการพิจารณาปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากโครงสร้างควรที่จะต้องกระทำตลอดอายุการใช้งานโครงสร้างเช่นกัน

คำสำคัญ: วัฏจักรชีวิต โครงสร้าง สิ่งแวดล้อม

Abstract

The objective of this paper is to indicate the importance of considering environmental problems in the process of life cycles of structures. This is because environmental problems have been drastically accumulating and growing, and the construction industry is supposed to be one of the key factors of those problems. Hence, there is a call from the socicty for the responsibility of the construction industry. Recently, several standards guiding for environment friendly construction are launched. Those standards mostly recommend considering the environmental impacts at the construction stage. However, this is not enough, because the environmental impacts can occur any time from the beginning to the end of service life. Hence, in order to consider environmental problem due to the structure construction the assessmant should be conducted over the structure longevity.

Keywords: Life Cycle, Structures, Environment

1. บทนำ

โครงสร้างส่วนใหญ่ได้รับการออกแบบโดยอาศัยความร่วมมือของสถาปนิกและวิศวกรในการผสมผสานความคิดต่างๆ ทางสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม ไม่ว่าจะเป็นความสวยงามและประโยชน์ใช้สอยต่างๆ เพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้าง ตัวอย่างเช่น สะพานพระราม 8 ที่ทั้งสามารถรองรับการใช้สอยและมีความสวยงาม โดยปราศจากเสาสะพานกลางแม่น้ำที่บดบังทัศนียภาพและยังเป็นอุปสรรคต่อการคมนาคม ในการออกแบบเหล่านี้หน้าที่หลักในการเลือกรูปแบบและวัสดุที่ใช้ในโครงสร้างส่วนใหญ่จะเป็นของวิศวกร โดยจะมีราคาค่าก่อสร้าง

[1] อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
Tel. 0 -2913-2500 Ext. 8620, E-mail: aruz.rm@gmail.com

รับเมื่อ 25 พฤศจิกายน 2553 ตอบรับเมื่อ 4 เมษายน 2554

และความเป็นไปได้ในการก่อสร้างเป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในการพิจารณา

แต่จากนี้ไปหน้าที่ของวิศวกรไม่ได้มีเพียงแต่การเลือกชนิดของโครงสร้างและวัสดุเท่านั้น วิศวกรยังต้องเข้าใจถึงสิ่งแวดล้อมและสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่อยู่รอบตัว โดยเฉพาะในช่วงที่อัตราการเพิ่มของประชากรสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้จะต้องมีการขยายขนาดของเมืองและการก่อสร้างสิ่งต่างๆ ตามมา ไม่ว่าจะเป็นอาคารที่อยู่อาศัยและโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ เช่น ถนน อุโมงค์ และสะพานต่างๆ เพื่อใช้ประโยชน์ในการติดต่อ สื่อสาร และขนส่ง รวมไปถึงการอำนวยความสะดวกแก่ประชาชนในการเดินทาง การก่อสร้างเหล่านี้ได้ส่งผลให้อุตสาหกรรมการก่อสร้างเป็นผู้บริโภควัสดุรายใหญ่ที่สุดในสังคม โดยจะเห็นได้จากปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ทั้งหมดจะเกี่ยวข้องกับการก่อสร้างประมาณ 40% [1] และแน่นอนว่าการใช้วัตถุดิบเหล่านี้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามมา ตัวอย่างเช่น ก๊าซคาร์บอนที่ปล่อยออกมาโดยประมาณ 78% จะมาจากการผลิตซีเมนต์ที่ใช้ในงานก่อสร้าง [2]

แม้ว่าการเพิ่มของจำนวนประชากรจะนำมาซึ่งการก่อสร้างโครงสร้างต่างๆ และทำให้เกิดผลกระทบต่างๆ ต่อสิ่งแวดล้อมตามมา แต่ก็จะปฏิเสธไม่ได้ว่าประชากรที่เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในเขตชุมชนเมืองนั้นเป็นกำลังสำคัญในการพัฒนาประเทศทั้งในด้านเศรษฐกิจและสังคม ดังเห็นได้จากการอ้างอิงของ Peris Mora [2] ว่าผลิตภัณฑ์มวลรวมประชาชาติ (GNP หรือ Gross National Product) จะมาจากชุมชนเมืองประมาณ 85% ในประเทศที่พัฒนาแล้ว 73% ในประเทศกำลังพัฒนา และ 55% ในประเทศล้าหลัง นอกจากนี้โครงสร้างต่างๆ ที่สร้างขึ้นนั้นล้วนเป็นปัจจัยในการพัฒนาประเทศและใช้รองรับการเจริญเติบโตของประชากร ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเพิ่มของประชากร อุตสาหกรรมการก่อสร้าง และปัญหาสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องกันอย่างชัดเจน ถึงแม้ว่าจะไม่มีงานวิจัยที่ยืนยันความสัมพันธ์นี้เป็นตัวเลขที่แน่นอน แต่ก็สามารถสรุปความสัมพันธ์จากข้อมูลต่างๆ ข้างต้น และแสดงดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ของการเพิ่มของประชากร การก่อสร้าง และปัญหาสิ่งแวดล้อม

จากข้อสังเกตข้างต้น จะเห็นได้ว่ารัฐจึงไม่อาจหยุดการก่อสร้างเพื่อเป็นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อม เพราะอาจจะทำให้เกิดผลกระทบต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ แต่ถ้าหากรัฐจะปล่อยไว้เช่นนี้ต่อไปโดยไม่ดำเนินการใดๆ เลย สังคมก็มิอาจจะยอมรับได้ ทางที่ดีก็คือ ควรสร้างความสมดุลระหว่างสิ่งแวดล้อมและการก่อสร้าง ไม่ว่าจะเป็นการสร้างหลักเกณฑ์ ข้อปฏิบัติ หรือแม้แต่การให้ความรู้เกี่ยวกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคมอันเนื่องมาจากการก่อสร้าง

สำหรับประเทศไทยแล้ว ผู้ที่เกี่ยวข้องในสังคมไม่ว่าจะเป็นประชาชน องค์กรทางสิ่งแวดล้อม หรือแม้กระทั่งบริษัทผู้ผลิตวัสดุก่อสร้างได้ตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากการก่อสร้างอย่างเป็นรูปธรรมมาได้ระยะหนึ่งแล้ว ตัวอย่างเช่น การจัดทำหลักเกณฑ์ในการประเมินอาคารสีเขียว โดยคณะกรรมการอาคารสีเขียว ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย [3] โดยมี

วัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมแนวความคิดในการก่อสร้างอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และเพื่อเป็นการชี้นำวิศวกรในการรักษาความสมดุลระหว่างการเจริญเติบโตของเมืองและมลภาวะต่างๆ ที่เกิดขึ้นตามมาให้เป็นไปตามมาตรฐานทางการก่อสร้างและสิ่งแวดล้อม

แต่อย่างไรก็ตาม การพิจารณาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากก่อสร้างอย่างเดียวนั้นยังไม่เพียงพอ เพราะการกระทำทุกอย่างตลอดอายุการใช้งานโครงสร้างสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นวิศวกรควรต้องคำนึงถึงการกระทำใดๆ ก็ตามที่เกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มการก่อสร้างเรื่อยไปจนถึงสิ้นสุดอายุการใช้งานโครงสร้าง หรืออีกนัยหนึ่งคือ วิศวกรควรจะต้องเข้าใจคำว่า วัฏจักรชีวิตของโครงสร้าง (Life Cycles of Structures) ในแนวทางสิ่งแวดล้อม เพื่อให้เข้าใจได้ดียิ่งขึ้น ในบทความนี้จะอธิบายถึงสิ่งเหล่านี้ และยกตัวอย่างประกอบในตอนท้าย

รูปที่ 2 วงจรชีวิตของผีเสื้อและโครงสร้าง

2. วัฏจักรชีวิตของโครงสร้าง

วัฏจักรชีวิตหรือวงจรชีวิต คือการกระทำหรือกิจกรรมต่างๆ ที่เป็นลำดับขั้นตอนต่อๆ กันไปเป็นระบบ โดยระหว่างขั้นตอนจะมีความสัมพันธ์ต่อกัน ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่การนำวัตถุดิบหรือทรัพยากรธรรมชาติมาเริ่มในการผลิตเรื่อยไปจนถึงการทำลายลงในขั้นสุดท้าย [2] ถ้าพูดถึงในแง่ของโครงสร้างแล้ว วัฏจักรชีวิตจะเริ่มตั้งแต่การออกแบบไปจนถึงการทำลายโครงสร้าง ถ้าจะเปรียบเทียบให้เห็นภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ให้สังเกตและเปรียบเทียบวัฏจักรชีวิตของผีเสื้อกับโครงสร้างในรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าผีเสื้อและโครงสร้างมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นลำดับขั้นเหมือนกัน แต่ว่าลักษณะรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงจะไม่เหมือนกัน และวัฏจักรชีวิตของโครงสร้างจะใช้เวลานานกว่าหลายปี

เป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่าขบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นในวัฏจักรชีวิตของโครงสร้างสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นถ้ามีการใช้คำว่า วัฏจักรชีวิตของโครงสร้าง ก็ควรต้องพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยเช่นกัน และการพิจารณาผลกระทบต่างๆ ในวัฏจักรชีวิตจะเรียกว่า Life Cycle Assessment (LCA) ซึ่งในบทความนี้จะให้คำนิยามว่าเป็น “การประเมินกิจกรรมตลอดอายุการใช้งาน” โดยจะหมายถึงการรวบรวมข้อมูลและประเมินสิ่งต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้าง เช่น การพิจารณาอายุการใช้งานของโครงสร้าง ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการกระทำต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการก่อสร้าง (Construction) การนำกลับมาใช้ใหม่ (Reuse) และการทำลาย (Demolition) ที่เกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งานโครงสร้าง เป็นต้น

ในทางปฏิบัติแล้ว การประเมินกิจกรรมตลอดอายุการใช้งานสามารถทำได้โดยการแยกการกระทำต่างๆ ต่อโครงสร้างเป็นหลายๆ ขั้นตอน เช่น การพิจารณาสถานที่ก่อสร้าง การออกแบบ การใช้ทรัพยากร การเปลี่ยนแปลงภูมิทัศน์ การเลือกใช้วัสดุก่อสร้างรวมไปถึงการบำรุงรักษา (Maintenance) ในระยะต่างๆ เป็นต้น หลังจากนั้นจึงทำการพิจารณากิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง แล้วจึงทำการประเมินประเภทผลกระทบ (Impact Category) ต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละกิจกรรม ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างที่ 1 ในตารางที่ 1 และ 2 [4] ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 แสดงผลการประเมินประเภทผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการบำรุงรักษาโครงสร้าคอนกรีตด้วยวิธีการปะซ่อม (Patch Repair) ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร ประเภทผลกระทบที่พิจารณามีอยู่ 3 ประเภท ซึ่งเกิดเนื่องจาก 5 กิจกรรมหลัก ส่วนตารางที่ 2 แสดงผลการประเมินประเภทผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการบำรุงรักษาโครงสร้างคอนกรีตด้วยวิธีการใช้สารทึบผิวคอนกรีต (Surface Treatment) ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร ประเภทผลกระทบที่พิจารณามีอยู่ 3 ประเภท ซึ่งเกิดจาก 4 กิจกรรมหลัก

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประเภทผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการบำรุงรักษาด้วยวิธีปะซ่อม [4]

กิจกรรม	ประเภทผลกระทบ (Impact Category)		
	พลังงานที่ใช้โดยประมาณ (MJ/m^2)	การก่อให้เกิดโลกร้อน ($g\ CO_2\ eq/m^2$)	การเกิดสภาวะกรด ($g\ SO_2\ eq/m^2$)
การสกัดผิวด้วยวิธี Hydro Jetting	677	84000	75
การทำความสะอาดเหล็กเสริมด้วยวิธี sand Blasting	296	22000	4
การเคลือบสารป้องกันที่ผิวเหล็กเสริม	35	1400	19
การปะคอนกรีตด้วยวิธี Shortcreting	59	4400	19
การขนส่ง (60 กม.)	127	10000	8
รวม	1194	122000	125

หลังจากที่ได้ผลการประเมินนี้แล้ว วิศวกรสามารถนำผลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ได้โดยใช้ข้อสรุปและเปรียบเทียบผลกระทบต่างๆ เพื่อที่จะทำการเลือกวิธีการบำรุงรักษาโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละสถานการณ์ที่มีข้อจำกัดต่างๆ กันไป เช่น ถ้าเปรียบเทียบประเภทผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเพียงอย่างเดียว จะเห็นได้ว่าวิธีการใช้สารทึบผิวคอนกรีตเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่า ทั้งนี้เพราะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า ไม่ว่าจะเป็นการพิจารณาในด้านพลังงานที่ใช้ การก่อให้เกิดโลกร้อน และการเกิดสภาวะกรด โดยถ้าเปรียบเทียบในเชิงตัวเลขแล้ว พบว่าพลังงานที่ใช้ระหว่างวิธีใช้สารทึบผิวคอนกรีตและวิธีปะซ่อมเป็นอัตราส่วนประมาณ 1:16 ส่วนการก่อให้เกิดโลกร้อนประมาณ 1:48 และการเกิดสภาวะกรดประมาณ 1:125

ตารางที่ 2 ผลการประเมินประเภทผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการบำรุงรักษาด้วยวิธีใช้สารทึบผิวคอนกรีต [4]

กิจกรรม	ประเภทผลกระทบ (Impact Category)		
	พลังงานที่ใช้โดยประมาณ (MJ/m^2)	การก่อให้เกิดโลกร้อน ($g\ CO_2\ eq/m^2$)	การเกิดสภาวะกรด ($g\ SO_2\ eq/m^2$)
การผลิตสารทึบผิว	47	295	0.5
การเตรียมผิวคอนกรีต	17	13	0.4
การขนส่ง (60 กม.) และ การใส่สารทึบผิว	12	80	0.1
การเสื่อมของสารทึบผิว	-	2171	-
รวม	76	2559	1

ตัวอย่างที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมประเภทการใช้พลังงานและการก่อให้เกิดโลกร้อนของโครงบ้านไม้ เหล็ก และคอนกรีตในรัฐมินเนียโปลิศ (เขตหนาว) และรัฐแอตแลนตา (เขตร้อน) ในประเทศสหรัฐอเมริกา [5] ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4

จากตารางที่ 3 จะพบว่าพลังงานที่ใช้ในบำรุงรักษาโครงบ้านไม้ เหล็กและคอนกรีตมีอัตราส่วนเท่ากับ 1:1:1 และในการทำลายมีอัตราส่วนโดยประมาณ 1:1:1.29

ตารางที่ 3 ผลการประเมินพลังงานที่ใช้ในการบำรุงรักษาและการทำลายโครงบ้านไม้ เหล็กและคอนกรีต เป็นเวลา 75 ปี ในรัฐมินเนียโปลิศและรัฐแอตแลนตา ประเทศสหรัฐอเมริกา [5]

กิจกรรม	พลังงานที่ใช้โดยประมาณ (GJ)			
	รัฐมินเนียโปลิศ		รัฐแอตแลนตา	
	โครงบ้านไม้	โครงบ้านเหล็ก	โครงบ้านไม้	โครงบ้านคอนกรีต
การบำรุงรักษา	73	73	110	110
การทำลาย	7	7	7	9
รวม	80	80	117	119

ตารางที่ 4 ผลการประเมินการก่อให้เกิดโลกร้อนในการผลิต ก่อสร้าง ทำลาย และบำรุงรักษาโครงบ้านไม้ เหล็กและคอนกรีตเป็นเวลา 75 ปี ในรัฐมินเนียโปลิศและรัฐแอตแลนตา ประเทศสหรัฐอเมริกา [5]

กิจกรรม	การก่อให้เกิดโลกร้อนเนื่องจากการปล่อยก๊าซคาร์บอน (ton)			
	รัฐมินเนียโปลิศ		รัฐแอตแลนตา	
	โครงบ้านไม้	โครงบ้านเหล็ก	โครงบ้านไม้	โครงบ้านคอนกรีต
การผลิตก่อสร้างและทำลาย	37.1	46.8	21.4	28
การบำรุงรักษา	3.4	3.4	4.1	4.1
อัตราส่วนการบำรุงรักษาต่อการผลิตก่อสร้างและทำลาย	1:10.9	1:13.8	1:5.2	1:6.8

จากตารางที่ 4 จะพบว่าการผลิต ก่อสร้างและทำลายจะมีผลทำให้เกิดโลกร้อนมากกว่าการบำรุงรักษาประมาณ 11-14 เท่าในรัฐมินเนียโปลิศและประมาณ 5-7 เท่าในรัฐแอตแลนตา ถ้าเปรียบเทียบระหว่างโครงบ้านไม้ เหล็ก และคอนกรีต พบว่าอัตราส่วนการก่อให้เกิดโลกร้อนเนื่องจากการผลิต ก่อสร้างและทำลายประมาณเท่ากับ 1:1.26:1.31 ส่วนในการบำรุงรักษาจะเป็น 1:1:1

ตารางที่ 5 พลังงานที่ใช้ในจุดต่อแบบเหล็กกับแบบวัสดุ ECC ของพื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก [6]

ประเภทของพลังงาน	อัตราส่วนพลังงานที่ใช้ระหว่างจุดต่อแบบเหล็กกับวัสดุ ECC
พลังงานที่ใช้ในการผลิตจุดต่อ	1:2
พลังงานที่ใช้ในการผลิตจุดต่อและบำรุงรักษา 60 ปี	1.8:1

ตัวอย่างที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการผลิตจุดต่อที่เป็นแบบเหล็กกับแบบวัสดุ ECC (Engineered Cementitious Composites) ของพื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังแสดงในตารางที่ 5 ถ้าพิจารณาเฉพาะการผลิตจุดต่อ จะพบว่าการใช้จุดต่อแบบเหล็กจะใช้พลังงานประมาณ 50% ของการใช้แบบ ECC แต่ถ้าพิจารณาพลังงานที่ใช้ในการผลิตจุดต่อและบำรุงรักษา 60 ปี จะพบว่าการใช้จุดต่อแบบเหล็กจะใช้พลังงานประมาณ 180% ของแบบ ECC หรืออีกนัยหนึ่งคือ การใช้จุดต่อแบบเหล็กจะใช้พลังงานในการผลิตน้อยกว่า ขณะที่การใช้จุดต่อแบบ ECC จะใช้พลังงานที่ใช้ในการผลิตจุดต่อและบำรุงรักษา 60 ปีน้อยกว่า จากตัวอย่างนี้ จะเห็นได้ว่าการพิจารณาวัฏจักรชีวิตของโครงสร้างสามารถแสดงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว นอกจากนี้ยังสะท้อนถึงประโยชน์ของการพิจารณาวัฏจักรชีวิตของโครงสร้าง

จากตัวอย่างข้างต้นเหล่านี้ มีข้อสังเกตเพิ่มเติมอยู่ 2 กรณี กรณีแรก คือในทางปฏิบัติแล้ว นอกจากผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมยังมีตัวแปรอื่นๆ ที่ใช้ร่วมในการพิจารณา เช่น ค่าวัสดุและค่าแรงต่างๆ เพราะสิ่งเหล่านี้จะมีผลต่อการในการเลือกขั้นตอนต่างๆ ที่ใช้กับโครงสร้าง ฉะนั้นวิศวกรควรพิจารณาสิ่งต่างๆ ที่มีอิทธิพลอย่างรอบคอบภายใต้ข้อมูลที่มีอยู่

กรณีที่สอง คือแม้ว่าในปัจจุบันนี้วิศวกรสามารถ

พิจารณาประเภทของผลกระทบในขั้นตอนต่างๆ ตลอดทั้งอายุการใช้งานดังที่แสดงในตัวอย่างข้างต้นได้นั้น แต่สิ่งเหล่านั้นยังไม่สามารถบ่งบอกได้ถึงผลกระทบที่ตามมาได้อย่างชัดเจน ไม่ว่าจะเป็นผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์หรือสัตว์ ผลที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมทั้งทางด้านน้ำหรืออากาศ ดังนั้นสิ่งเหล่านี้ยังต้องการการศึกษาและวิจัย เพื่อให้สามารถทำนายความสัมพันธ์ระหว่างประเภทของผลกระทบแต่ละชนิดและผลกระทบที่ตามมาได้อย่างชัดเจน

3. สรุป

โดยสรุปแล้ว ในงานโครงสร้างสมัยใหม่ วิศวกรควรจะต้องมีการคำนึงถึงคำว่า วัฏจักรชีวิตของโครงสร้าง (Life Cycles of Structures) ซึ่งเป็นการวางแผนในการทำกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งานโครงสร้างตั้งแต่การออกแบบ การก่อสร้าง การบำรุงรักษา และจนถึงการทำลาย จากนั้นจึงทำการประเมินประเภทผลกระทบ (Impact Category) ต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละกิจกรรม สุดท้ายจึงนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบและทำการเลือกกิจกรรมในขั้นตอนต่างๆ ที่ใช้กับโครงสร้าง ทั้งนี้การพิจารณาและตัดสินใจเลือกสิ่งต่างๆ ควรจะกระทำอย่างรอบคอบ เพราะว่ากิจกรรมเหล่านั้นมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นขบวนการที่ย้อนกลับไม่ได้

การพิจารณาประเภทของผลกระทบดังแสดงในบทความนี้ยังไม่สามารถบ่งบอกได้ถึงผลกระทบที่ตามมาต่อสิ่งมีชีวิตได้อย่างชัดเจน ฉะนั้นสิ่งเหล่านี้ยังต้องการการศึกษาและวิจัยจากนักวิจัยด้วยเช่นกัน

เป็นที่ทราบกันดีว่าการทำลายโครงสร้างที่หมดอายุแล้วทำการก่อสร้างใหม่นั้นจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการบำรุงรักษาอย่างมาก ฉะนั้นวิธีเหมาะสม คือหลีกเลี่ยงการทำลายโครงสร้างและสร้างใหม่โดยการบำรุงรักษาเพื่อยืดอายุการใช้งานให้นานที่สุด

การสร้างฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการพิจารณาวัฏจักรชีวิตของโครงสร้างให้เป็นระบบนั้นมีความต้องการข้อมูลต่างๆ อีกมาก ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลผลการประเมินประเภทผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการก่อสร้าง การบำรุงรักษา การใช้วัสดุใหม่ การทำลาย รวมทั้งผลกระทบที่ตามมาต่อสิ่งมีชีวิต ดังนั้นการศึกษาและวิจัยเพื่อให้ได้ข้อมูลเหล่านี้ยังเป็นที่ต้องการอยู่เช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

[1] D.W.S. Ho, S.L. Mak, and K.K., *Sagoe-Crentsil*, *Clean Concrete Construction: An Australian Perspective. Proc. of Concrete Tech. for a Sustainable Development in the 21st Century.* ed. by O.E. Gjorv and K. Sakai, E&FN Spon, London and New York, 2000, pp.236-245.

[2] E. Peris Mora, "Life Cycle, Sustainability and the Transcendent Quality of Building Material," *Building and Environment*, vol. 42, pp.1329-1334, 2007.

[3] ว.ส.ท. *เกณฑ์การประมาณความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย สำหรับการก่อสร้างและการปรับปรุงโครงการใหม่* สถาบันอาคารเขียว วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ และสมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2553.

[4] V. Arskog, S. Fossdal, and O.E. Gjorv, "Life-Cycle Assessment of Repair and Maintenance Systems for Concrete Structures," Int. *Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology,* Beijing. China. May 20-21, pp.193-200, 2004.

[5] B. Lippke, J. Wilson, J. Perez-Garcia, J. Bowyear, and J. Meil, "Life-Cycle Environmental Performance Renewable Building Materials," *Forest Products Journal*, vol. 54, no. 6, pp. 8-19, 2004.

[6] A. Kendall, A Dynamica, "Life Cycle Assessment Tool for Comparing Bridge Deck Design," Report No. CSS04-12. Center for Sustainable Systems. University of Michigan. 2004.