การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของการเกิดขยะจากกรณีศึกษากระบวนการผลิตรถจักรยานยนต์ในประเทศไทย

Eco-efficiency evaluation on motorcycle production waste; Case study of motorcycle production plant in Thailand

ธาราทิพย์ ไชยสมคุณ*[1)] และ จงรักษ์ ผลประเสริฐ[2)]

Taratip Chaisomkoon*[1)] and Chongrak Pholprasert[2)]

[1)]สาขาวิศวกรรมศาสตร์และการจัดการเชิงธุรกิจ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12120

[2)]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

อาเซียนนับเป็นกลุ่มประเทศที่มีปริมาณการใช้รถจักรยานยนต์ในหมู่ประชากรอยู่ในระดับสูง ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตขนาดใหญ่ในระดับอาเซียนและ ระดับโลก ของเสียจากกระบวนการผลิตรถจักรยานยนต์เป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ก่อให้เกิดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม สุขภาพอนามัยของมนุษย์ และผลกระทบทางเศรษฐกิจ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ จากดัชนีชี้วัดด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม ที่เกิดขึ้นจากขยะของกระบวนการผลิตรถจักรยานยนต์ โดยใช้กรณีศึกษาจากโรงงานผลิตรถจักรยานยนต์แห่งหนึ่งในประเทศไทยซึ่งมีกำลังการผลิตรถจักรยานยนต์ประมาณ 5 แสนคันต่อปี จากการศึกษาข้อมูลการเกิดของเสียในปี 2010 ถึง ปี 2014 พบว่าชนิดของเสียปริมาณเฉลี่ย 2,416 ตันต่อปีจำแนกเป็น 5 กลุ่มชนิดและมีปริมาณของเสียคิดเป็นสัดส่วนโดยน้ำหนักดังนี้ เศษเหล็ก 58% เศษกระดาษลัง 16% เศษอลูมิเนียม 11% เศษพลาสติก 10% และเศษไม้พาเลท 5% ตามลำดับ ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจจากของเสียทั้ง 5 กลุ่มชนิดโดยค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน 1.08×10^{-4} Baht per kg CO_2 eq*CC. ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศวิทยา 5.53×10^{-3} Baht/PAF*m2yr*CC และสภาวะความเป็นพิษต่อมนุษย์ 1.41×10^{-3} Baht/DALY*CC ตามลำดับ และพบว่าหากมีการนำวัตถุดิบหมุนเวียนมาใช้ในกระบวนการผลิตมากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะวัตถุดิบกลุ่มโลหะซึ่งเป็นวัตถุดิบหลัก หรืออาจกล่าวได้ว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมลดลงจากการใช้วัตถุดิบหมุนเวียนและการลดการเกิดขยะ ทั้งนี้วิธีการในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม ได้เสนอแนะไว้ดังนี้ การเพิ่มทักษะของผู้ปฏิบัติงาน การพัฒนาแม่พิมพ์โลหะ การประยุกต์ใช้โฟมโลหะ และเทคโนโลยีภาพพิมพ์สามมิติ

คำสำคัญ: จักรยานยนต์ ผลกระทบสิ่งแวดล้อม ประสิทธิภาพนิเวศเศรษฐกิจ

---

* ธาราทิพย์ ไชยสมคุณ

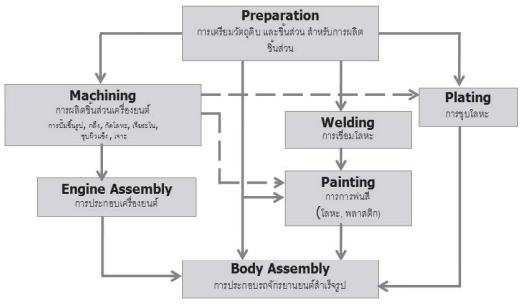
Abstract

Motorcycle production in South-cast Asia is on the increasing trend and Thailand is considered to be one of the largest production hubs. However, waste generation from motorcycle production can have both economic and environmental impacts which could result in negative effects on human health and ecology. This study evaluated the eco-efficiency and greenhouse gas emissions from solid wastes generated from a motorcycle production plant in Thailand using the SimaPro7 program. Iron scrap was found to be the main waste component comprising about 58%, followed by paper cardboard-16%, aluminum scrap-11%, plastics-10% and wood pallet-5%. The eco-efficiency of greenhouse gas emissions were found 1.08×10^{-4} Baht per kg CO_2 eq*CC of motorcycle unit; the eco-efficiency of eco-toxicity was found to be 5.53×10^{-3} Baht/PAF*m^2yr*CC. of motorcycle unit and the eco-efficiency of was 1.41×10^{-3} Baht/DALY*CC of motorcycle unit. These impacts were found to be more than the case when apply virgin materials without waste recycling were used in motorcycle production. Due to less of quantity of waste generation and better waste management measures, the eco-efficiency of this motorcycle production plant was found to be on the increasing trend. Methods to reduce environmental impacts from motorcycle industry are suggested such as: increasing the worker's skills in the motorcycle production, developing molding forms and utilizing more metal foams or 3D printing technology in motorcycle production.

Keywords: Motorcycle Production, Environmental impact, Eco-efficiency

1. บทนำ

อาเซียนนับเป็นกลุ่มประเทศที่มีปริมาณการใช้รถจักรยานยนต์ในหมู่ประชากรอยู่ในระดับสูงด้วยเหตุผล 2 ประการที่สำคัญทั้งเรื่องความไม่พร้อมของระบบขนส่งมวลชนในแต่ละประเทศรวมถึงประชากรส่วนใหญ่ในภูมิภาคนี้ยังคงมีรายได้อยู่ในระดับต่ำทำให้รถจักรยานยนต์กลายมาเป็นยานพาหนะในการคมนาคมที่สำคัญของคนส่วนใหญ่ในภูมิภาค อุตสาหกรรมการผลิตรถจักรยานยนต์จึงก้าวขึ้นมามีบทบาทสำคัญในหลายประเทศในกลุ่มอาเซียนส่งผลทำให้อาเซียนกลายเป็นฐานการผลิตรถจักรยานยนต์ที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก ประเทศไทยมีขนาดการผลิตใหญ่เป็นอันดับ 3 ของอาเซียนและอันดับ 14 ของโลก ในปี 2010 จึงอาจกล่าวได้ว่าประเทศไทยเป็นฐานการผลิตรถจักรยานยนต์ที่สำคัญแห่งหนึ่งทั้งในระดับภูมิภาค และระดับโลก [1] การผลิตรถจักรยานยนต์ประกอบไปด้วยหลายขั้นตอนดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงแผนผังกระบวนการผลิตรถจักรยานยนต์

ปัญหาเรื่องกากของเสียจากภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยพบว่าปัจจุบัน (ปี 2557) มีปริมาณทั้งหมดประมาณมากกว่าปีละ 27 ล้านตัน โดยเป็นของเสียที่ไม่เป็นอันตรายปริมาณปีละ 23.4 ล้านตันซึ่งส่วนนี้ยังไม่ก่อปัญหาให้กับประเทศเพราะส่วนใหญ่นำกลับไปใช้ใหม่ได้ สำหรับกากของเสียจากภาคอุตสาหกรรมที่เป็นอันตรายพบว่า เกิดจากอุตสาหกรรมยานยนต์และ

อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ถึงประมาณ 10,000 ตันต่อปี[2] ปริมาณของเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ประมาณ 1.4 ล้านตันต่อปีคิดเป็น 5% ของของเสียจากอุตสาหกรรมทั้งหมดในประเทศ[3] และของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตก็เป็นส่วนหนึ่งของผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จากผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมจากขยะ (solid waste) ที่เกิดจากการผลิตรถจักรยานยนต์ โดยทำการศึกษาจากโรงงานผลิตรถจักรยานยนต์แห่งหนึ่งในประเทศไทยที่มีกำลังการผลิตประมาณ 5 แสนคันต่อปี การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นด้วยโปรแกรม SimaPro7 โดยประเมินผลกระทบจากวัตถุดิบขาเข้าผลกระทบจากการจัดการของเสียขั้นสุดท้ายคือการนำของเสียที่เกิดขึ้นไปรีไซเคิล และการฝังกลบ โดยสามารถหาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (IPCC GWP 100a) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศวิทยา(Ecotoxicity) และผลกระทบด้านสุขภาพอนามัยจากค่าสภาวะความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human toxicity) การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้ประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency) ของกระบวนการผลิตรถจักรยานยนต์เทียบกับรายได้สุทธิจากการดำเนินธุรกิจ ซึ่งมีผลกระทบสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้การศึกษาการเกิดของเสียจากกระบวนการผลิตรถจักรยานยนต์ยังไม่เป็นที่แพร่หลายดังเช่นรถยนต์ จึงทำให้ไม่มีข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบ โดยประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัยนี้ก็เพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้หาแนวทางในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม รวมถึงการออกแบบผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศน์ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ต่อไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 การให้นิยามถึงเป้าหมายและขอบเขต (Defining the purpose and scope of study)

2.1.1 เป้าหมายของงานวิจัย

(1) ชนิด และ ปริมาณ ของเสียจากกระบวนผลิตรถจักรยานยนต์

(2) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้วัตถุดิบและของเสียจากกระบวนการผลิตรถจักรยานยนต์ หรือ Cradle to Grave ที่ยกเว้นกระบวนการผลิตและการขนส่ง

(3) ผลกระทบต่อเศรษฐกิจจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากของเสียจากกระบวนการผลิตรถจักรยานยนต์

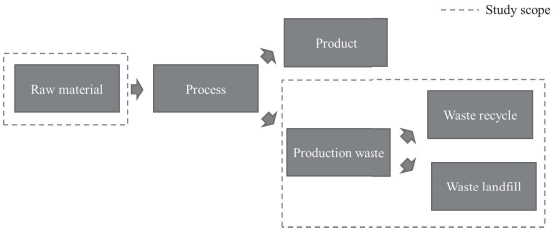
2.1.2 ขอบเขตการวิจัย

(1) ของเสียในงานวิจัยนี้หมายถึง ขยะที่เกิดจากกระบวนการผลิตและเป็นของเสียประเภทของแข็งเท่านั้น (Solid waste) ไม่รวมของเสียที่เป็นผลิตภัณฑ์หรือชิ้นส่วนที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานการผลิต

(2) ข้อมูลในการวิจัยนี้เป็นข้อมูลจากกรณีศึกษาที่ 5 ปีปฏิทิน เริ่มจากปี 2010 ถึง ปี 2014

(3) การประเมินผลกระทบเฉพาะที่เกิดจากวัตถุดิบขาเข้า และของเสียขาออกเท่านั้น ไม่รวมผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการผลิตและผลกระทบจากผลิตภัณฑ์ดังรูปที่ 2

(4) กำหนด functional unit เทียบในหน่วยขนาดของจักรยานยนต์ (ซีซี)



รูปที่ 2 ขอบเขตการวิจัย

2.2 การวิเคราะห์รายการ (Inventory analysis)

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์สามารถแบ่งข้อมูลเป็นหัวข้อหลักๆตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาโดยรวบรวมข้อมูลเป็นระยะเวลา 5 ปี เริ่มจากปี 2010 ถึง ปี 2014 ดังต่อไปนี้

2.2.1 ข้อมูลขั้นตอนกระบวนการผลิต

โดยลำดับกระบวนการผลิตเพื่อจะได้ทราบว่ามีการใช้ชนิดวัตถุดิบ และชนิดของเสีย ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนและกระบวนใด

2.2.2 ข้อมูลเชิงปริมาณ

จากวัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัยข้อมูลที่จำเป็นต้องเก็บจากกรณีตัวอย่างมีดังต่อไปนี้

(1) ข้อมูลชนิด และปริมาณ วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตรถจักรยานยนต์

(2) ข้อมูลชนิด และปริมาณ ของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตรถจักรยานยนต์

(3) ข้อมูลจำนวนผลิตภัณฑ์รถจักรยานยนต์

(4) ข้อมูลกำลังเครื่องยนต์รถจักรยานยนต์

(5) ข้อมูลรายได้จากการดำเนินธุรกิจ (ข้อมูลส่วนนี้จะไม่นำเสนอแยก แต่จะนำแสดงในรูปแบบผลจากการวิเคราะห์เท่านั้น เนื่องจากเป็นข้อมูลความลับที่ผู้ให้ข้อมูลแจ้งกับผู้วิจัยไว้ก่อนให้ข้อมูล)

2.2.3 การวิเคราะห์จัดประเภทข้อมูลตามตามเป้าหมายและขอบเขตของงานวิจัย

วิเคราะห์ และจัดกลุ่มข้อมูลให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และขอบเขตการศึกษา รวมถึงเพื่อนำไปประเมินเพื่อหาทดสอบสมมติฐาน

2.3 การประเมินผลกระทบ (Impact assessment)

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม สุขภาพอนามัย โดยโปรแกรม SimaPro7 ดังรูปที่ 3 ซึ่งเป็นหนึ่งใน Software ที่เป็นที่นิยมในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ซึ่งโปรแกรมประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ (1) ฐานข้อมูลบัญชีรายการ และ [2] ข้อมูลในการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยทั้ง 2 ส่วนได้มีการบันทึกข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องไว้จำนวนมาก ขณะที่ผู้ที่นำโปรแกรมไปใช้งานไม่สามารถเพิ่มเติมหรือเปลี่ยนแปลงแก้ไขใดๆ ได้ การคำนวณในโปรแกรม SimaPro อาศัยหลักการของ Environmental Design of Industrial Products หรือ EDIP

การประเมินในขอบเขตของการวิจัย โดยประเมินผลกระทบที่เกิดจากวัตถุดิบขาเข้าสำหรับการผลิตและผลกระทบจากการจัดการของเสีย ซึ่งผลรวมของผลกระทบจากทั้งสองแหล่งจะเป็นผลกระทบทั้งหมดของแต่ละวัสดุ ตามสมการ (1)

$$\text{Total impact} = a + b + c \quad (1)$$

โดยกำหนดให้แต่ละตัวแปรมีความหมายดังนี้

a คือ วัตถุดิบขาเข้าสำหรับการผลิต

b คือ การจัดการของเสียโดยวิธีรีไซเคิล

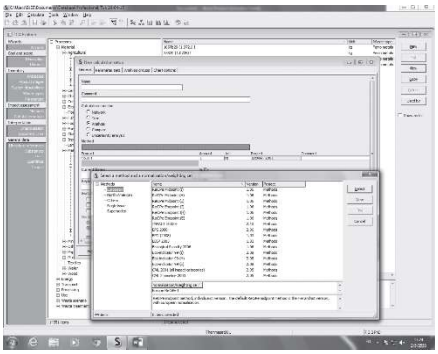
c คือ การจัดการของเสียโดยวิธีฝังกลบ

โดยผู้วิจัยเลือกหมวดหมู่ผลกระทบ (Impact category) ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการวิจัย ดังนี้

ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในช่วง100 ปี (IPCC GWP 100a) โดย method: IPCC 2007 GWP 100a V1.02 มีหน่วยเป็น kg CO_2 eq (kilogram carbon dioxide equivalent)[4]

ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศวิทยา (Ecotoxicity) โดย method: Eco-indicator 99 (I) V2.08 / Europe EI 99 I/I มีหน่วยเป็น PAF*m2yr (PAF= Potentially Affected Fraction) หรือ กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจากความสามารถในการทำให้โลกร้อนเมื่อเทียบในรูปปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์[5]

สภาวะความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human toxicity) โดย method: ReCiPe Endpoint (I) V1.06 / World ReCiPe I/I มีหน่วยเป็น DALY (Disability adjusted life years; this means different disability caused by diseases are weighted) หรือ ความเป็นพิษจากสารพิษที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ที่ส่งผลก่อให้เกิดโรค ทุพลภาพ และเสียชีวิต[6]



รูปที่ 3 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยโปรแกรม SimaPro7

2.4 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

งานวิจัยนี้นำหลักการของประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency) เป็นวิธีการที่เหมาะสมกับภาคธุรกิจ เนื่องจากเป็นการสร้างความสมดุลระหว่างความเจริญก้าวหน้าทางธุรกิจ (การเพิ่มผลกำไรให้กับองค์กร) และการรักษาระบบนิเวศโดยการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมไปพร้อมๆ กัน นอกจากนี้ ยังเป็นดัชนีชี้วัดความสัมพันธ์ด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมที่มุ่งไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน อันเป็นเป้าหมายโดยรวมของนานาประเทศในระยะยาวต่อไป[7] คิดได้จาก

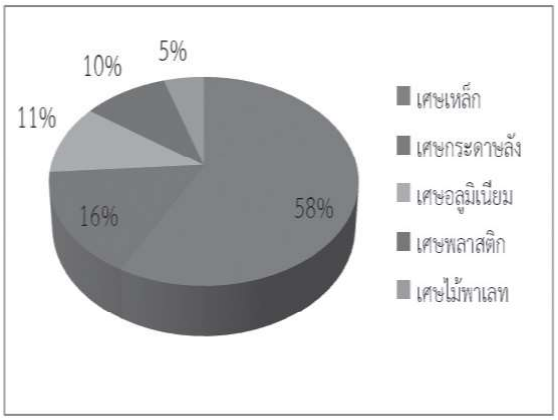
$$\text{Eco-efficiency} = \text{Net income/Impact*} \qquad (2)$$

หน่วยเป็นบาทต่อหน่วยของผลกระทบ

* Impact หมายถึง GWP 100a, Ecotoxicity, Human Toxicity

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

จากการรวบรวมของเสียจากกระบวนการผลิตรถจักรยานยนต์ของกรณีศึกษานี้โดยเก็บรวบรวมข้อมูลในปี 2010 ถึง 2014 เป็นระยะเวลา 5 ปี พบว่าของเสียที่เกิดขึ้นและเกี่ยวข้องมีทั้งหมด 5 ชนิด ดังรูปที่ 4 และตารางที่ 1



รูปที่ 4 สัดส่วนการเกิดของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตรถจักรยานยนต์จากกรณีศึกษาโรงงานประกอบรถจักรยานยนต์ในประเทศไทย

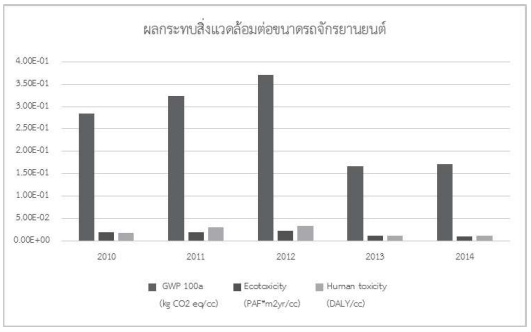
ตารางที่ 1 อัตราส่วนของเสียกับปริมาณรถจักรยานยนต์และการเปรียบเทียบอัตราส่วนของเสียกับขนาดของรถจักรยานยนต์ จากปี 2010 ถึงปี 2014

ปี	จำนวนรถจักรยานยนต์ที่ผลิต (คัน)	ขนาดของจักรยานยนต์ที่ผลิต (ซีซี)	ปริมาณของเสีย (ตัน)	อัตราส่วนปริมาณของเสียต่อปริมาณรถจักรยานยนต์ที่ผลิต(หน่วย: กิโลกรัมต่อคัน)	อัตราส่วนปริมาณของเสียต่อขนาดของรถจักรยานยนต์ (หน่วย: กิโลกรัมต่อซีซี)
2010	705,201	84,624,173	3,164	4.49	0.037
2011	660,097	79,211,688	2,715	4.11	0.034
2012	712,901	85,548,096	3,195	4.48	0.037
2013	402,108	48,252,965	1,659	4.13	0.034
2014	344,746	41,369,544	1,345	3.90	0.033

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมเทียบกับปริมาณการผลิตรถจักรยานยนต์และขนาดจักรยานยนต์จะเห็นได้ว่าแนวโน้มทั้งผลกระทบต่อปริมาณการผลิตรถจักรยานยนต์และขนาดรถจักรยานยนต์เพิ่มขึ้นจากปี 2010 ถึง ปี 2012 ลดลงตามลำดับในปี 2013 และปี 2014 ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มของปริมาณการผลิตรถจักรยานยนต์

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมกับปริมาณการผลิตรถจักรยานยนต์และขนาดรถจักรยานยนต์จากของเสียทุกชนิด

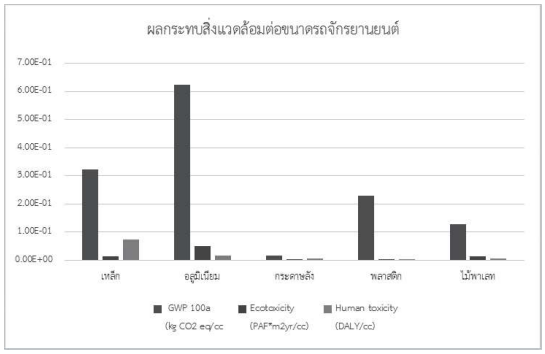
ดัชนีผลกระทบ	2010	2011	2012	2013	2014	เฉลี่ย
GWP 100a (kg CO2 eq/unit)	3.41E+01	3.89E+01	4.44E+01	2.01E+01	2.06E+01	3.16E+01
GWP 100a (kg CO2 eq/cc)	2.84E-01	3.24E-01	3.70E-01	1.67E-01	1.72E-01	2.64E-01
Ecotoxicity (PAF*m2yr/Unit)	2.21E+00	2.36E+00	2.60E+00	1.27E+00	1.19E+00	1.93E+00
Ecotoxicity (PAF*m2yr/cc)	1.84E-02	1.97E-02	2.16E-02	1.06E-02	9.91E-03	1.61E-02
Human toxicity (DALY/unit)	2.18E+00	3.53E+00	4.00E+00	1.29E+00	1.39E+00	2.48E+00
Human toxicity (DALY/cc)	1.82E-02	2.94E-02	3.34E-02	1.08E-02	1.16E-02	2.07E-02



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมกับขนาดรถจักรยานยนต์จากทุกของเสียทุกชนิดจากปี 2010 ถึงปี 2014

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมกับปริมาณการผลิตรถจักรยานยนต์และขนาดรถจักรยานยนต์จากของเสียแต่ละชนิด

ผลกระทบ/ชนิด	หน่วย	เหล็ก	อลูมิเนียม	กระดาษลัง	พลาสติก	ไม้พาเลท	เฉลี่ย
GWP 100a	(kg CO_2 eq/unit)	3.87E+01	7.47E+01	1.83E+00	2.75E+01	1.54E+01	3.16E+01
	(kg CO_2 eq/cc)	3.23E-01	6.23E-01	1.52E-02	2.29E-01	1.28E-01	2.64E-01
Ecotoxicity	(PAF*m^2yr/Unit)	1.70E+00	6.10E+00	3.22E-02	2.59E-01	1.54E+00	1.93E+00
	(PAF*m^2yr/cc)	1.42E-02	5.08E-02	2.68E-04	2.16E-03	1.28E-02	1.61E-02
Human toxicity	(DALY/unit)	1.70E+00	6.10E+00	3.22E-02	2.59E-01	1.54E+00	1.93E+00
	(DALY/cc)	7.39E-02	1.70E-02	5.15E-03	2.04E-03	5.15E-03	2.07E-02



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมกับขนาดรถจักรยานยนต์จากของเสียแต่ละชนิด

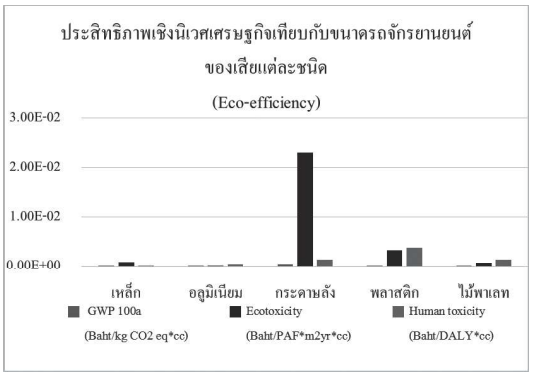
ประสิทธิภาพนิเวศเศรษฐกิจได้จากการนำผลการดำเนินงานจากรายได้สุทธิเทียบกับค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการดำเนินงาน พบว่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของทุกค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมมีแนวโน้มดีขึ้นจากปี 2010 ถึง ปี 2014 และสอดคล้องกับค่าผลกระทบ คือหากของเสียประเภทใดมีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่ำจะมีประประสิทธิภาพนิเวศเศรษฐกิจสูง และจากผลข้างต้นเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 3 ค่าผลกระทบและพบว่า อลูมิเนียมและเหล็กมีค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจต่ำสุดดังแสดงในตารางที่ 4 และตารางที่ 5

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจการเกิดของเสียกับปริมาณการผลิตรถจักรยานยนต์และขนาดของรถจักรยานยนต์

ดัชนีผลกระทบ	Unit	2010	2011	2012	2013	2014	เฉลี่ย
GWP	Baht/kg CO_2 eq*unit	1.21E-02	1.15E-02	8.79E-03	1.68E-02	1.53E-02	1.29E-02
	Baht/kg CO_2 eq*cc	1.01E-01	9.58E-05	7.32E-05	1.40E-01	1.28E-01	1.08E-01
Ecotoxic	Baht/PAF*m^2yr *unit	6.65E-01	6.29E-01	4.97E-01	8.19E-01	7.10E-01	6.64E-01
	Baht/PAF*m^2yr*cc	5.54E-03	5.24E-03	4.14E-03	6.83E-03	5.91E-03	5.53E-03
Human Toxicity	Baht/DALY*unit	8.93E-02	1.06E-01	6.69E-02	2.96E-01	2.86E-01	1.69E-01
	Baht/DALY*cc	7.44E-04	8.85E-04	5.57E-04	2.47E-03	2.38E-03	1.41E-03

ชนิด	เหล็ก	อลูมิเนียม	กระดาษลัง	พลาสติก	ไม้พาเลท	เฉลี่ย
GWP 100a (Baht/kg CO2 eq*unit)	4.12E-03	1.49E-03	4.84E-02	4.05E-03	6.46E-03	1.29E-02
GWP 100a (Baht/kg CO2 eq*cc)	3.44E-05	1.24E-05	4.03E-04	3.38E-05	5.38E-05	1.08E-04
Ecotoxicity (Baht/PAF*m2yr*unit)	8.82E-02	1.81E-02	2.76E+00	3.78E-01	7.22E-02	6.64E-01
Ecotoxicity (Baht/PAF*m2yr*cc)	7.35E-04	1.51E-04	2.30E-02	3.15E-03	6.02E-04	5.53E-03
Human toxicity (Baht/DALY*unit)	1.69E-02	5.41E-02	1.61E-01	4.52E-01	1.61E-01	1.69E-01
Human toxicity (Baht/DALY*cc)	1.41E-04	4.51E-04	1.34E-03	3.77E-03	1.34E-03	1.41E-03

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจการเกิดของเสียกับขนาดของรถจักรยานยนต์โดยเฉลี่ยของแต่ละชนิดของเสีย



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจการเกิดของเสียกับขนาดของรถจักรยานยนต์โดยเฉลี่ยจากปี 2010 ถึง ปี 2014 ของเสียแต่ละชนิด

4. สรุป

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบอัตราส่วนของเสียกับปริมาณรถจักรยานยนต์ และการเปรียบเทียบอัตราส่วนของเสียกับขนาดของรถจักรยานยนต์ จากปี 2010 ถึงปี 2014 พบว่าปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตรถจักรยานยนต์ในแต่ละปีแปรผันกับปริมารการผลิตรถจักรยานยนต์ จากแนวโน้มการผลิตที่ลดลงจะเห็นได้ว่าปริมาณการเกิดของเสียทั้ง 5 ชนิด มีปริมาณลดลงเช่นกัน

ผลกระทบรวมในทุกค่ามีแนวโน้มลดลงตามลำดับจากปี 2010 ถึงปี 2014 พบอลูมิเนียมและเหล็กมีค่าผลกระทบสูงเป็น 2 อันดับแรก ทั้งผลกระทบศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในช่วง 100 ปี (IPCC GWP 100a) ผลกระทบความเป็นพิษต่อระบบนิเวศวิทยา (Ecotoxicity) และผลกระทบสภาวะความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human toxicity) ซึ่งก็สัมพันธ์กับปริมาณการใช้วัตถุดิบและปริมาณการเกิดของเสีย สาเหตุที่เหล็กและอลูมิเนียมมีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงนั้นเนื่องจากมีสัดส่วนการใช้วัตถุดิบสูง และจะเห็นได้ว่าอลูมิเนียมถึงจะมีสัดส่วนการใช้วัตถุดิบและการเกิดของเสียน้อยกว่าเหล็กแต่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า ส่วนการที่แนวโน้มของผลกระทบสิ่งแวดล้อมลดลงเนื่องจากโรงงานกรณีตัวอย่างมีการจัดการของเสียที่ดีขึ้น มีการนำหลักการ 3 Rs มาประยุกต์ใช้ (ลดการใช้ การใช้ซ้ำ นำกลับมาใช้ใหม่ในโรงงาน) การปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดการเกิดของเสีย การประชาสัมพันธ์ให้ความรู้ในการคัดแยกขยะตั้งแต่ต้นทาง และนโยบายการมุ่งสู่การไม่มีขยะฝังกลบ หากนำของเสียมาใช้ใหม่เป็นวัตถุดิบทดแทน (Recycled material) และจากปริมาณที่เกิดขึ้นมาทดแทนวัตถุดิบใหม่ หรือ วัตถุดิบบริสุทธิ (Virgin material) จะเห็นได้ว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมลดลง ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าหากเพิ่มสัดส่วนการใช้วัตถุดิบ Recycle ในการผลิตรถจักรยานยนต์ให้มากขึ้นนั้นจะทำให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมลดลง โดยเฉพาะจากเหล็กและจากอลูมิเนียม

การศึกษาผลกระทบด้านเศรษฐกิจพบว่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency) โดยพิจารณาตามผลกระทบที่เกิดขึ้นในภาพรวมมีแนวโน้มที่สูงขึ้นจากปี 2010 ถึง 2014 ตามลำดับ และประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency) ของเสียแต่ละชนิดพบว่ากระดาษลังเป็นของเสียที่มีประสิทธิภาพเชิงนิเวศน์เศษกิจสูงที่สุดจากทั้ง 5 ชนิดของเสีย ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของเศษอลูมิเนียมต่ำสุดจากสาเหตุผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของเศษอลูมิเนียมสูง หากเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจการเกิดของเสียกับปริมาณการผลิตรถจักรยานยนต์และขนาดของรถจักรยานยนต์แนวโน้มดีขึ้นจากปี 2010 ถึง ปี 2014

จากผลวิจัยพบว่าของเสียอลูมิเนียมและเหล็กทำให้เกิดผลกระทบสูงสุดต่อศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในช่วง 100 ปี ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศวิทยา และสภาวะความเป็นพิษต่อมนุษย์ รวมถึงประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ แนวทางการลดผลกระทบจากของเสียอลูมิเนียม และเหล็กสามารถทำได้โดย เพิ่มศักยภาพของพนักงานในกระบวนการผลิต พัฒนารูปแบบของแม่พิมพ์โลหะเพื่อให้เหมาะสม และเพิ่มสัดส่วนการนำวัตถุดิบทดแทน (Recycled material) มาใช้ในกระบวนการผลิตรถจักรยานยนต์ให้มากขึ้น การนำเทคโนโลยีการพิมพ์3มิติ (3D Printing) มาประยุกต์ใช้ซึ่งจะเปลี่ยนชิ้นส่วนต่างๆจากโลหะให้เป็นพลาสติกเอบีเอสแทน หรือใช้วัสดุทดแทนโลหะคือโฟมโลหะ (Metal foam) ที่ มีเนื้อโลหะอยู่ประมาณ 5-25% [8] รายละเอียดของแต่ละวิธีในการลดผลกระทบดังกล่าวจะได้ทำการศึกษาต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณพระคุณครอบครัวของข้าพเจ้าที่สนับสนุนเรื่องการศึกษามาโดยตลอด คณะอาจารย์ที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้โดยเฉพาะโดยเฉพาะอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำวิจัยนี้ที่ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางข้อคิด การแก้ไขปัญหา และกำลังใจในการทำวิจัย และโรงงานประกอบรถจักรยานยนต์กรณีศึกษาที่อนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับในการทำวิจัย และหวังว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ศูนย์วิจัยกสิกรไทย (2553). อุตสาหกรรมรถจักรยานยนต์ หลังการเปิดเสรีอาเซียน. แหล่งที่มา http://www.bangkokbiznews.com, เข้าดูเมื่อวันที่ 30/09/2557.

[2] โครงการพัฒนาการจัดการกากอุตสาหกรรม (2557). แหล่งที่มา http://induswaste.coml, เข้าดูเมื่อวันที่ 30 เมษายน 2558.

[3] ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล. แนวทางการจัดทำบัญชีของเสียอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ที่สามารถรีไซเคิลเป็นแหล่งพลังงานทดแทน, งานสัมมนาเรื่องร่างบัญชีรายชื่อวัสดุเหลือใช้และของเสียครัวเรือนและอุตสาหกรรมที่เป็นแหล่งพลังงานทดแทน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จังหวัดกรุงเทพฯ 2555.

[4] - [6] Earth shift (2011). SimaPro Impact Assessment Methods, Vermont, USA, URL: http://www.earthshift.com, access on 28/03/2015.

[7] เครือข่ายการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจไทย (2552). ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน, แหล่งที่มา http://www2.mtec.or.th, เข้าดูเมื่อวันที่ 10/04/2558.

[8] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (2557). สาระน่ารู้, รู้จักโฟมโลหะ, แหล่งที่มา https://www.mtec.or.th, เข้าดูเมื่อวันที่ 10/04/2558.