การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ กรณีศึกษา กระบวนการผลิตคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์

ชาลิสา ผลเกิด[1*]

[1]สาขาวิชาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
[*]chalisa.pk1994@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการเกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์เพื่อทดแทนมวลรวมหยาบร้อยละ 20 และเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตคอนกรีตทั่วไปและของกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์ ปริมาณ 1 m^3 ที่ใช้สำหรับการเทพื้น ตามแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) อาศัยหลัก Life Cycle Assessment (LCA) โดยประเมินแบบ Business-to-Business (B2B) เริ่มตั้งแต่ 1. การได้มาซึ่งวัตถุดิบที่ระยะทาง 1,5,15และ 30 km มีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 0.4052 ,2.0258 ,6.0775 ,12.1551 $kgCO_2e$ ตามลำดับ 2. กระบวนการผลิตคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์และกระบวนการผลิตคอนกรีตทั่วไปมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 558.3382 $kgCO_2e$ และ 371.5643 $kgCO_2e$ ตามลำดับ และ 3. การขนส่งคอนกรีตไปยังจุดหมายที่ระยะทาง1,5,15 และ 30 กิโลเมตร มีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 0.2078 ,1.0389 ,3.1167 ,6.2334 $kgCO_2e$ เท่ากับคอนกรีตทั่วไป สำหรับการหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คำนวณในส่วนของการผลิตเท่านั้น ซึ่งในการผลิตคอนกรีต 1 m^3 ใช้น้ำ 200 ลิตร เท่ากับการผลิตคอนกรีตทั่วไป สำหรับการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ควรศึกษาประเภทขยะพลาสติกชนิดอื่นๆเพิ่มเติมและการใช้พลังงานทดแทนต่างๆเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ควรประเมินค่า Green Water Footprint และ Gray Water Footprint เพื่อให้ครอบคลุมข้อมูลการใช้น้ำทั้งหมดเพื่อหาแนวทางการลดปริมาณการใช้น้ำและนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพริ้นท์ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ พลาสติกเบกกาไลท์

Carbon and Water Footprints Assessment
Case Study : Bakelite plastic-mixed concrete production process

Chalisa Pholkoed[1]
1. Engineering Law and Inspection. Faculty of Engineering . Ramkhamhaeng University
* Assoc. Prof.Dr. Seree Tuprakay
Email ; chalisa.pk1994@gmail.com

Abstract

This research is quantitative research with the objective of carbon footprint and water footprint of the Bakelite plastic-mixed concrete to replace the coarse aggregate of 20% and compare the amount of carbon footprint and water footprint of the production process General concrete and concrete mixed with plastic Bakelite Volume of 1 cubic meter used for pouring the floor. In accordance with the guidelines of the Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public organization). Based on the Life Cycle Assessment (LCA) principle. Business-to-Business (B2B), starting from 1. The acquisition of raw materials at distances 1,5,15 and 30 km has a carbon footprint of 0.4052, 2.0258, 6.0775, 12.1551 kgCO_2e, Respectively, 2. The production process of Bakelite plastic mixed concrete and general concrete production process has carbon footprint equal to 558.3382 kgCO_2e and 371.5643 kgCO_2e, Respectively. And 3. Transporting concrete to destinations at distances of 1,5,15 and 30 km has a carbon footprint of 0.2078, 1.0389, 3.1167, 6.2334 kgCO_2e equal to general concrete. For the determination of the water footprint calculated In the production of 1 cubic meter of concrete, use 200 liter of water equal to the production of general concrete . For carbon footprint reduction, Should study other types of plastics and the use of alternative energy to reduce the use of additional electrical energy. For the evaluation of water footprint , Should study Green Water Footprint and Gray Water Footprint should be evaluated to cover all water use data in order to find ways to reduce water use and wastewater renovation.

Keywords: Carbon Footprint. Water Footprint. Bakelite plastic.

1. บทนำ

ปัจจุบันภาวะโลกร้อน(global warming)เป็นปัญหาที่ทั่วโลกให้ความสำคัญเนื่องจากก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตบนโลก โดยสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการประกอบกิจการต่างๆของมนุษย์ที่เพิ่มมากขึ้นร่วมกับการแข่งขันทางเศรษฐกิจที่สูงขึ้น ทำให้มีการใช้ทรัพยากรเพื่อเพิ่มผลผลิตและปล่อยของเสียมากขึ้น ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศมากเกินไปส่งผลให้อุณหภูมิโลกเพิ่มสูงขึ้น

ซึ่งอุตสาหกรรมการก่อสร้างเป็นอุตสาหกรรมหลักที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากโดยเฉพาะในส่วนของวัสดุก่อสร้าง ในแต่ละปีทั่วโลกมีการผลิตคอนกรีตนับพันๆ ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งต้องใช้ทรัพยากรปริมาณมหาศาล ไม่ว่าจะเป็นหิน ดิน ทราย และปูนซีเมนต์ ล้วนก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นสาเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจกที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนถูกปล่อยออกมาด้วย โดยในการผลิตปูนซีเมนต์ 1 เมตริกตันหรือ 1 พันกิโลกรัม จะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปล่อยออกมาราว 1 เมตริกตันเช่นกัน โดยจะมาจากการผสมซีเมนต์ และการหลอมรวมสารเคมีต่างๆ ที่เป็นส่วนผสม ทำให้เกิดแนวคิดเพื่อปรับลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยอาศัยหลักการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ซึ่งเป็นแนวทางการบริหารจัดการให้อุตสาหกรรมภาคการผลิตต่างๆหาแนวทางเพื่อลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการผลิตผลิตภัณฑ์ และหลักการประเมินวอเตอร์ฟรุตพริ้นท์เพื่อเป็นแนวทางในการบริหารจัดการเพื่อลดความสิ้นเปลืองของทรัพยากรน้ำและมลพิษทางน้ำ

คาร์บอนฟุตพรินท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จึงจัดเป็นตัวชี้วัดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ ในปัจจุบันถือเป็นเครื่องมือที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้เพื่อประเมินมาตรฐานด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม จากกรณีศึกษาเรื่องการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของ กระบวนการผลิตคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์ เป็นวิธีแสดงข้อมูลปริมาณการเกิดก๊าซเรือนกระจกและปริมาณการใช้น้ำจากกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการบริหารจัดการและแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตคอนกรีต

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1. เพื่อศึกษาปริมาณการเกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์

2.2. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการเกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตคอนกรีตและคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์

3. สมมุติฐานของการวิจัย

กระบวนการผลิตคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมีปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิตมากกว่ากระบวนการผลิตคอนกรีตทั่วไป

4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

4.1 รูปแบบงานวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์คอนกรีตและคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์ โดยการนำข้อมูลทุติยภูมิจากงานวิจัยของนพกร อุสาหะนันท์,2560 มาเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์และประเมินการเกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของคอนกรีตและคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์

4.2 ขอบเขตของการวิจัย

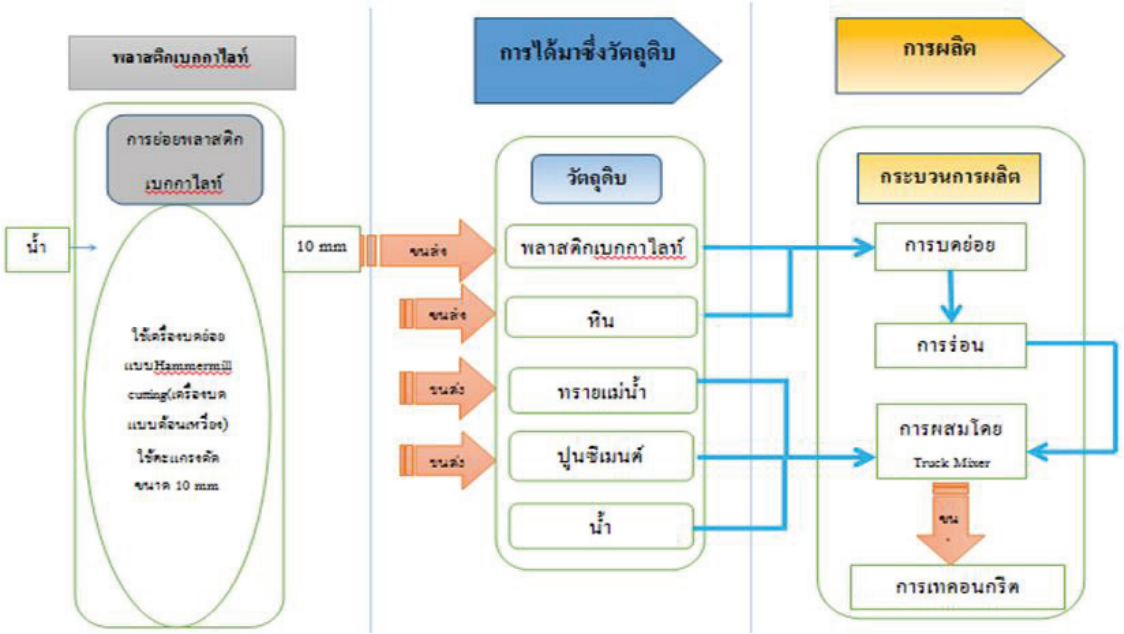
4.2.1. ศึกษากระบวนการการได้มาซึ่งวัตถุดิบ ขั้นตอนการผลิตจนถึงขั้นตอนการขนส่งคอนกรีตไปยังจุดหมายของคอนกรีตผสมเบกกาไลท์ โดยใช้เบกกาไลท์ทดแทนมวลหยาบ ร้อยละ 20 ของมวลรวมหยาบทั้งหมด

4.2.2. ศึกษาการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของคอนกรีตผสมเบกกาไลท์เพื่อทดแทนมวลรวมหยาบกับคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมพลาสติกเบกกาไลท์ ปริมาณ 1 m^3 หรือ 1คิว (2.4ตัน) ใช้สำหรับการเทพื้น

4.2.3. คำนวณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในกระบวนการผลิตคอนกรีตและคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์รายงานในรูปแบบของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2e$) พิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ ขั้นตอนการผลิต และการขนส่งคอนกรีตไปยังจุดหมายที่ระยะทาง 1,5,15 และ30 กิโลเมตร ตามลำดับ

4.3 **วิธีการเก็บข้อมูล**

4.3.1. ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลกิจกรรมขั้นตอนการผลิตและน้ำหนักวัสดุที่ใช้ผลิตคอนกรีตและคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์

สรุปปริมาณวัสดุและทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์และคอนกรีตทั่วไป

ลำดับที่	วัสดุ/ทรัพยากรที่ใช้	ปริมาณ		หน่วย
		คอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์	คอนกรีตทั่วไป	
1	ปูน	380	380	กิโลกรัม
2	หิน	842.4	1060	กิโลกรัม
3	ทราบ	740	740	กิโลกรัม
4	พลาสติกเบกกาไลท์	101.40	-	กิโลกรัม
5	น้ำ	200	200	ลิตร

4.3.2. เก็บรวบรวมค่าเฟคเตอร์เพื่อคำนวณปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของคอนกรีต

4.3.3. นำข้อมูลกิจกรรมมาคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและปริมาณการใช้น้ำเริ่มจากขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ ขั้นตอนตอนการผลิตจนถึงขั้นตอนการขนส่งคอนกรีตไปยังจุดหมาย ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LIFE CIRCLE ASESSMENT) โดยใช้ข้อมูลการใช้พลังงานเชื้อเพลิง ใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักร การขนส่ง และปริมาณน้ำที่ใช้มาคำนวณ

อ้างอิงวิธีการคำนวณ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามหลักการ IPCC (2006) ดังรายละเอียดในสมการที่ (1)

$$GHG = Activity\ Data \times Emission\ Factor \qquad (1)$$

โดยที่

GHG (Greenhouse Gases) หมายถึง ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

Activity Data หมายถึง ข้อมูลการใช้พลังงาน เชื้อเพลิง หรือวัตถุดิบที่ใช้ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม

Emission Factor (EF) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ข้อมูลอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจก(Emission Factor) จากการได้มาของวัสดุ

ลำดับที่	วัสดุ/ทรัพยากรที่ใช้	ค่าEF($kgCO_2e$)	แหล่งข้อมูลEF
1	ไฟฟ้าเครื่องบดย่อย	0.5813	TGO Guidebook (พ.ย.58) ไฟฟ้า (สำนักงาน)
2	ไฟฟ้าเครื่องร่อนตะแกรง		
3	ไฟฟ้าเครื่องชั่งน้ำหนัก		
4	ปูนซีเมนต์	0.5400	LECB-TGO
5	หิน	0.0044	Ecoinvent2.0,IPCC2007 GWP100a:Gravel,crushed,at mine/CH U
6	ทราย	0.0037	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a
7	พลาสติกเบกกาไลท์	1.8391	ThaiNational LCI Database, TIISMTEC-NSTDA(with TGO electricity 2014)
8	น้ำประปา	0.8006	ThaiNational LCI Database, TIISMTEC-NSTDA(with TGO electricity 2014)

ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2)

$$WFblue = \frac{CWUblue}{Y} \quad (2)$$

โดยที่

WFblue หมายถึง บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิต(น้ำประปา)

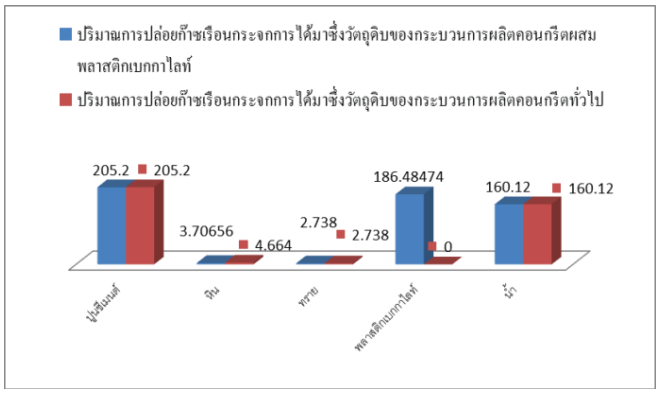
CWUblue หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตจากแหล่งน้ำธรรมชาติ น้ำชลประทาน (ลิตร)

Y หมายถึง ปริมาณผลผลิตต่อหนึ่งครั้ง

4.3.3. คำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมออกมาในรูปของน้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgC0_2$ e)

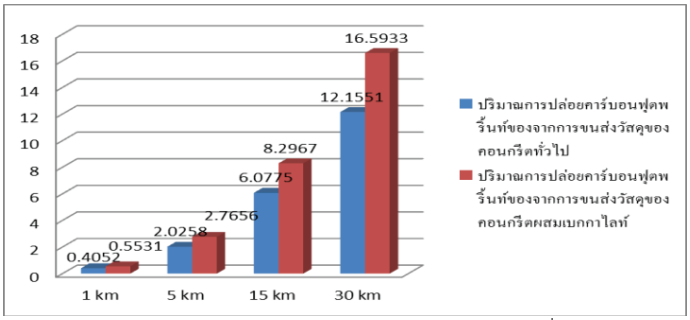
5. ผลการวิจัย

5.1. ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุที่ใช้ผลิตคอนกรีตทั่วไปและคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์



จากกราฟเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกการได้มาซึ่งวัตถุดิบของกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์และคอนกรีตทั่วไปจากส่วนของวัสดุแสดงให้เห็นว่า ปูนซีเมนต์ เป็นวัสดุที่ก่อให้เกิดปริมาณก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดและพลาสติกเบกกาไลท์รองลงมา

5.2. ปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการขนส่งวัสดุของคอนกรีตผสมเบกกาไลท์และคอนกรีตทั่วไปที่ระยะต่างๆ



จากกราฟจะเห็นได้ว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งวัสดุที่ใช้ผลิตคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์ที่ระยะต่างๆ มีปริมาณก๊าซเรือนกระจกมากกว่าการขนส่งวัสดุที่ใช้ผลิตคอนกรีตทั่วไป 36.51 %

ตารางที่ 1 สรุปปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งคอนกรีต 1 ลูกบาศ์กเมตร (คอนกรีต 1 ลูกบาศ์กเมตร เท่ากับ 2.4 ตัน)

สิ่งนำออกจากกิจกรรม (1)	น้ำหนักบรรทุก (ton) (2)	ระยะทางขนส่ง (กิโลเมตร) (3)	ประเภทยานพาหนะที่ใช้ขนส่ง (4)	น้ำหนักบรรทุกสูงสุดของยานพาหนะ (ton) (5)	ค่า EF		ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgC0_2$ e) (8)
					เทียบไป ($kgC0_2$ e) (6)	เทียบกลับ ($kgC0_2$ e) (7)	
วัสดุ							
คอนกรีต	2.4	1	รถบรรทุกซีเมนต์ชนิดโม่ 10ล้อ	16	0.0471	0.6316	0.2078
	2.4	5		16	0.0471	0.6316	1.0389
	2.4	15		16	0.0471	0.6316	3.1167
	2.4	30		16	0.0471	0.6316	6.2334

หมายเหตุ* (8) = [(2) x (3) x (6)] + [((2)/(5)) x (3) x (7)]

6. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาหัวข้อการศึกษาสมบัติเชิงกลและการเสนอแนะแนวทางที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานของคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์โดยการตรวจสอบมาตรฐานและข้อกำหนดตามกฎหมาย ได้เลือกนำกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์เพื่อทดแทนมวลรวมหยาบร้อยละ 20 นำมาศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์มีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการได้มาซึ่งวัตถุดิบเท่ากับ 558.3382 $kgCO_2e$ และการได้มาซึ่งวัตถุดิบของคอนกรีตทั่วไปเท่ากับ 371.5643 $kgCO_2e$ โดยพิจารณาเปรียบเทียบการได้มาซึ่งวัตถุดิบผลิตคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์มีการปล่อยก๊าซเรื่อยกระจกมากกว่าการได้มาซึ่งวัตถุดิบผลิตคอนกรีตทั่วไป 50.27 % เนื่องจากพลาสติกเบกกาไลท์มีค่าการปล่อยก๊าซเรื่อนกระจกมากกว่าหิน ส่วนในด้านการขนส่งที่ระยะทาง 1,5,15และ 30 กิโลเมตรพบว่าการขนส่งวัตถุดิบผลิตคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์มีการปล่อยก๊าซเรื่อยกระจกมากกว่ากระบวนการผลิตคอนกรีตทั่วไป 36.51 % ทำให้โดยรวมกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่ากระบวนการผลิตคอนกรีตทั่วไป ในส่วนการหาปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์คอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์ ประเมินเริ่มตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบถึงกระบวนการผลิตไม่ได้รวมถึงน้ำเสียที่เกิดขึ้นซึ่งในการผลิตคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตรใช้น้ำ 200 ลิตรเท่ากัน

7. ข้อเสนอแนะ

1.ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ควรประเมินแบบ Business to Consumer : B2C และค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ควรประเมินค่า Green Water Footprint และ Gray Water Footprint เพิ่มเติมด้วย

2.ควรมีการศึกษาขยะอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ เพิ่มเติมเพื่อทำการเปรียบเทียบ

3.งานวิจัยนี้เป็นการชี้นำแนวทางของการนำขยะอุตสาหกรรมมาใช้ผลิตคอนกรีตเพื่อหาแนวทางในการลดขยะอุตสาหกรรม

4. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของการใช้พลังงานทดแทน เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า

5. ด้านการขนส่ง ควรเลือกใช้เชื้อเพลิงทดแทน เช่น การใช้ไบโอดีเซล

6. ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการนำน้ำเสียที่เกิดขึ้นกลับมาใช้ใหม่

8.กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ก็ด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.เสรีย์ ตู้ประกาย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันท์ภัสร อินยิ้ม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย เป็นอย่างสูง คณะกรรมการสอบที่กรุณาให้คำแนะนำเป็นแนวทางในการทำการค้นคว้าอิสระให้สำเร็จ ตลอดจนคณาจารย์ประจำหลักสูตรทุกท่านที่ได้ให้แนวทาง ความรู้เพื่อประกอบการค้นว้าอิสระนี้จนกระทั่งสำเร็จด้วยดี

นอกจากนี้ผู้ค้นคว้าขอขอบคุณเพื่อนร่วมรุ่นหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร-มหาบัณฑิตทุกท่าน ที่ได้ช่วยเหลือด้านต่าง ๆ ตลอดมาในการดำเนินการศึกษาค้นคว้าอิสระจนสำเร็จลุล่วงอย่างดี

9. เอกสารอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม.(2549) **คู่มือมาตรฐานการกำกับดูแลโรงงานผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ**. กรุงเทพฯ สำนักโรงงานอุตสาหกรรมรายสาขา 3

ขนิษฐา มีวาสนา. (2560). **การศึกษาเปรียบเทียบวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของยางพาราแผ่นที่ผลิตในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้,** นครราชสีมา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

นพกร อุสาหะนันท์. (2560) **การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและการเสนอแนะแนวทางที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานของคอนกรีตผสมพลาสติกเบกกาไลท์โดยการตรวจสอบตามมาตรฐานและข้อกำหนดตามกฎหมาย.** ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

นินนาท พรหมจินดา. (2561). **การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ กรณีศึกษา กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงขยะอัดแท่งจากชีวมวลทางการเกษตร.** วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ธารทิพย์ เศรษฐชาญวิทย์. (2558) **การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง.** ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาพัฒนาสังคมและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

สถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย.(2019**) แนวทางการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์.** ค้นเมือ 7 ธันวาคม 2562 จาก https://weis.fti.or.th/การประเมินฟุตพริ้นท์-footprint

สำนักวิจัยและพัฒนางานทางกรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม (2559) **รายงานสรุปผลการศึกษาสำหรับผู้บริหารโครงการพัฒนาระบบคำนวณรอยเท้าคาร์บอนจากการก่อสร้างและบำรุงทางหลวง** กรุงเทพ ฯ บริษัทอินฟราพลัส จำกัด

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2012-2020) **ฉลากคาร์บอนและคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร** . ค้นเมื่อ 7 ธันวาคม 2562 จาก http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/home/home.pnc

อรวิกา ศรีทอง. (2559) การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าว ในเขตจ.สุพรรณบุรี **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี,** 2559 (ฉบับที่ 1), 23-32.