# คาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกระบวนการผลิตภาชนะพลาสติกประเภทโพลีโพรพิลีน สีขาว ขนาด 22 ออนซ์ พิมพ์ลวดลาย กรณีศึกษา อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์พลาสติก

# Carbon Footprint from the production of plastic cup polypropylene white size 22 oz printed. A case study of plastic packaging industry

**สุวัสส์ แพ่งธีระสุขมัย[*], ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล, ปริญญ์ บุญกนิษฐ, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ**
suwat.tat@gmail.com, natworapol@yahoo.com, pboonkanit@gmail.com, saharat_w@hotmail.com
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์ เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

**บทคัดย่อ**
บทความนี้เป็นการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตภาชนะพลาสติกโพลีโพรพิลีน สีขาว พิมพ์ลวดลาย ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ กรณีศึกษาอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์พลาสติกตัวอย่างแห่งหนึ่งในประเทศไทยซึ่งใช้เครื่องมือ “คาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์” ทำการประเมินผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา โดยข้อมูลจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ พลังงาน และกระบวนการผลิต ตั้งแต่เดือน มกราคม–ธันวาคม 2555 ในการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศต่อ 1 หน่วยผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาพบว่า ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกระบวนการผลิตภาชนะพลาสติกกรณีศึกษามีปริมาณเท่ากับ 0.3440 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า($KgCo_2e$) โดยแบ่งเป็นปริมาณก๊าซเรือนกระจกในส่วนของการได้มาซึ่งวัตถุดิบ มีค่าเท่ากับ 0.006 $KgCo_2e$ และส่วนของการผลิต มีค่าเท่ากับ 0.3376 $KgCo_2e$ โดยหลังจากการนำเสนอแนวทางปรับปรุงกระบวนการผลิตทำให้มีค่าลดลงเท่ากับ 0.3131 $KgCo_2e$ ซึ่งในการวิเคราะห์จากการศึกษาในครั้งนี้ จะสามารถนำไปพัฒนากระบวนการผลิต เพื่อลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น ทำให้อุตสาหกรรมการผลิตเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและนำมาซึ่งความยั่งยืนต่อไป

This article is a study of Greenhouse gases emission from the production of Polypropylene (PP) Plastic white cup General printed size 22 oz. The study is a case study from one of the plastic packaging manufacturer in Thailand using “Carbon Footprint for Product (CFP)”as a quantify methodology. The data of Greenhouse gases released into the atmosphere per 1 unit of product including raw materials acquisition, energy, and production are collected during from January - December 2012. The result has shown that Greenhouse gases emission caused by the Product case study is equal to 0.3440 kilograms of carbon dioxide equivalent ($KgCo_2e$) which comprise of 0.0064 $KgCo_2e$ for material acquisition and 0.3376 $KgCo_2e$ for production. After presented the proposal to improve the manufacturing process to decrease equal to 0.3131 $KgCo_2e$.The amount of Carbon dioxide gases emission from this analysis can lead to a sustainable development process which is not only reducing the amount of Greenhouse gases but also leverage the manufacturing industry and the environment to become more sustain.

**คำสำคัญ(Key word):** ก๊าซเรือนกระจก; ภาชนะบรรจุภัณฑ์; โพลีโพรพิลีน; คาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์; กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

[*] สุวัสส์ แพ่งธีระสุขมัย



RMUTT Conf on Sustainable Industrial Management Engineering

## 1. บทนำ (Introduction)

อุตสาหกรรมการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกนับเป็นอุตสาหกรรมปลายน้ำของกลุ่มปิโตรเคมี โดยกระบวนการผลิตจะมีการใช้เม็ดพลาสติก หรือ ใส่สารเคมีเติมแต่งผ่านการผสมและทำการหลอมเพื่อเตรียมนำเข้ากระบวนการขึ้นรูป เพื่อให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ได้เหมาะสมแก่การใช้งานต่อไป เช่น การฉีด (Injection) การรีดหรือดึง (Extrusion) การเป่า (Blow) เป็นต้น หลังจากผ่านกระบวนการขึ้นรูปแล้ว ชิ้นงานพลาสติกจะแข็งตัวคงรูปเมื่ออุณหภูมิชิ้นงานพลาสติกต่ำลง ดังนั้นจึงมีการหล่อเย็นชิ้นงาน จากนั้นจะเป็นขั้นตอนในการตกแต่งชิ้นงานให้สมบูรณ์ เช่น การตัดแต่ง การพ่นสี การขัดเงาหรือเคลือบ การพิมพ์ลาย เป็นต้น ถือว่าเป็นการสิ้นสุดการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก และจะทำการบรรจุเพื่อจัดส่งจำหน่ายให้แก่ลูกค้า [6]

ปัจจุบันกระแสของผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco Product) กำลังได้รับความสนใจ เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองความต้องการด้านการใช้งานแล้วยังสามารถช่วยลดผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย การพัฒนาตลาดผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศเศรษฐกิจส่วนหนึ่งมาจากการสร้างแนวคิดจากการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ การลดการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต การลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติในทุกขั้นตอนของธุรกิจ การลงทุนใช้เทคโนโลยีที่ช่วยประหยัดพลังงาน การแบ่งสัดส่วนของรายได้ของผู้ประกอบการเพื่อนำไปดูแลสิ่งแวดล้อม และการออกตราสัญลักษณ์ หรือ ฉลากเพื่อรับรองสินค้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งถือเป็นตัวผลักดันที่สำคัญที่จะรักษาสิ่งแวดล้อมและสร้างคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น [5] สำหรับประเทศไทย องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์กรมหาชน) และสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย ได้ร่วมกันพัฒนาระบบฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์กับสินค้าอุปโภคบริโภค โดยฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์จะทำให้ผู้บริโภคได้ทราบปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การกระจายสินค้า การใช้งาน และการกำจัดซากหลังการใช้งาน ซึ่งฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์จะแสดงในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($Co_2$eq.) [2] ซึ่งแนวทางในการเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์นั้นต้องมีกำลังการผลิตในปริมาณที่มากและเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นไปได้ในการพัฒนากระบวนการผลิต

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญของปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิต โดยทำการศึกษาและเลือกผลิตภัณฑ์ภาชนะพลาสติกโพลีโพรพิลีน สีขาว พิมพ์ลวดลาย ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ ซึ่งมีปริมาณกำลังการผลิตมากพอที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์เพื่อแสดงถึงปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยมลพิษและนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง ถือเป็นการส่งเสริมให้อุตสาหกรรมภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกเป็นอุตสาหกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและเกิดความยั่งยืนต่อไป

## 2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

### 2.1 ข้อมูลจากกระบวนการผลิต

ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์จากการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน สีขาว ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ พิมพ์ลวดลาย ตั้งแต่เดือน มกราคม ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2555 เป็นระยะเวลาทั้งหมด 12 เดือน โดยข้อมูลที่รวบรวมนั้นประกอบไปด้วย ข้อมูลของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ทรัพยากรช่วยผลิต พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ของเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิต รวมถึงชนิดของยานพาหนะ และระยะทางในการขนส่งวัตถุดิบของผู้ส่งมอบจากโรงงานผลิตวัตถุดิบมายังโรงงานอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์

### 2.2 การกำหนดขอบเขต

พิจารณาขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา ในรูปแบบธุรกิจสู่ธุรกิจ (Business-to-Business, B2B) ซึ่งจะพิจารณาในด้านของการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิต

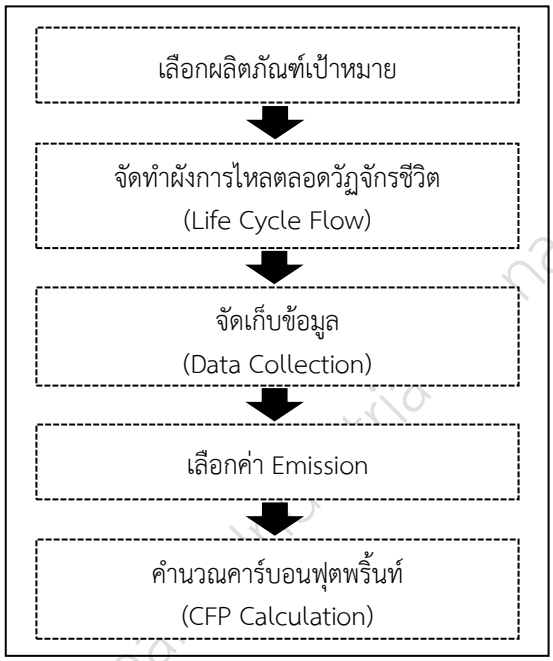
RMUTP 2nd Sustainable Industrial Management Engineering

**2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก**

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์เพื่อแสดงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนสีขาวกรณีศึกษา ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์มีการใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นข้อมูลทุติยภูมิจากตารางคู่มือการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์ เล่มที่ 3 ฉบับวันที่ 19 มิถุนายน 2555 และฉบับวันที่ 2 มกราคม 2556 ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์กรมหาชน)

**2.4 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์**

ขั้นตอนในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 1




**ภาพที่ 1** ขั้นตอนในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ [1]

2.4.1 สมการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

$$\text{GHG emissions} = \sum (\text{activity}_i \times \text{GHG emission factor}_i) \quad [1]$$

GHG Emissions [kg] คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากช่วงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ที่อยู่ในขอบเขตที่ศึกษา

$\text{Activity}_i$ คือ ข้อมูลปริมาณการใช้วัตถุดิบ และทรัพยากรที่ใช้ในกิจกรรม หรือกระบวนการผลิต ในแต่ละช่วงของวัฏจักรชีวิตที่สอดคล้องกับขอบเขตของการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

$\text{GHG Emission Factor}_i$ คือ ค่าศักยภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะมีค่าแตกต่างกันไป ขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ และชนิดของพลังงานที่ใช้ในกิจกรรม หรือกระบวนการผลิต [1]

ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์ สามารถแบ่งการประเมินได้ 2 ส่วนดังนี้

RMUTP & PTI 2nd Sustainable Industria... nagement Engineering

2.4.2 การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัตถุดิบ
ประเมินจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการได้มาและการใช้ประโยชน์ วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร ซึ่งมีสมการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ ดังต่อไปนี้

ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ ต่อหน่วย (Function unit)
= ผลรวมของปริมาณที่เก็บรวบรวมได้ / ปริมาณยอดการผลิตในปีที่เก็บรวบรวม

2.4.3 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง
ประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิต โดยใช้ข้อมูลบัญชีรายการ การขนส่ง วัตถุดิบ พลังงาน ซึ่งมีสมการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง ดังต่อไปนี้

ภาระการขนส่งบรรทุกขาไป (tkm)
= (ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ต่อหน่วย (Function unit) × สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตและเผาไหม้เชื้อเพลิง) / 1000
ภาระการขนส่งบรรทุกขากลับ (km)
= ภาระการขนส่งบรรทุกขาไป (tkm) / น้ำหนักภาระของยานพาหนะในการขนส่ง

**3. ผลการวิจัย (Results)**
การรวบรวมข้อมูลและทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนสีขาวกรณีศึกษาสามารถแสดงปริมาณการใช้วัตถุดิบต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ และปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 : การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการได้มาซึ่งวัตถุดิบจากกระบวนการผลิตภาชนะพลาสติกโพลีโพรพิลีนสีขาว ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ พิมพ์ลวดลาย ขึ้นรูปด้วยกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

| การได้มาซึ่งวัตถุดิบ | ปริมาณที่ใช้ ต่อ 1 หน่วยผลิตภัณฑ์ (Kg) | GHG Emission Factor ($kgCo_2e/Kg$) | ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (kgCo2e) |
|---|---|---|---|
| เม็ดพลาสติกโพลีโพรพิลีนสีใส | 0.0027 | 1.7562 | 0.0047 |
| เม็ดพลาสติกโพลีโพรพิลีนสีขาว | 0.0003 | 1.3621 | 0.0004 |
| หมึกพิมพ์ | 0.0001 | 2.5000 | 0.0001 |
| อะซีโตน | 0.0000 | 2.2804 | 0.0000 |
| ถุงพลาสติกบรรจุภาชนะ | 0.0002 | 6.0593 | 0.0010 |
| กล่องกระดาษบรรจุภาชนะ | 0.0001 | 0.8260 | 0.0001 |
| เทปกาวใสปิดผนึกปากถุง | 0.0000 | 1.9372 | 0.0000 |
| เทปกาวใสปิดผนึกปากกล่อง | 0.0000 | 1.9372 | 0.0000 |
| ฉลากแสดงรหัสสินค้า | 0.0000 | 0.5100 | 0.0000 |
| | | ผลรวม | 0.0064 |

หมายเหตุ : อ้างอิงค่า GHG Emission Factor จาก จากคู่มือการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ ฉบับที่ 4 และตารางแสดงค่า Emission Factor ฉบับวันที่ 19 มิถุนายน 2555 และฉบับวันที่ 2 มกราคม 2556

RMUTP & FTI 2nd Sustainable Industrial Management Engineering

จากตารางที่ 1 พบว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการได้มาซึ่งวัตถุดิบ ปัจจัยหลักที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ เม็ดพลาสติกโพลีโพรพิลีนใส มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดเท่ากับ 0.0047 $KgCo_2e$ ซึ่งผลรวมของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการได้มาซึ่งวัตถุดิบจากกระบวนการผลิตภาชนะพลาสติกโพลีโพรพิลีน กรณีศึกษา ขึ้นรูปด้วยกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง เท่ากับ 0.0064 $KgCo_2e$

และการประเมินปริมาณการใช้พลังงาน ทรัพยากรช่วยผลิต การซ่อมบำรุง เศษของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการ และปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 : การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตจากกระบวนการผลิตภาชนะพลาสติกโพลีโพรพิลีน ขาว ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ พิมพ์ลายทั่วไป ขึ้นรูปด้วยกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง ต่อ 1 หน่วยผลิตภัณฑ์

| การผลิต | ปริมาณที่ใช้ ต่อ 1 หน่วยผลิตภัณฑ์ (Kg) | GHG Emission Factor ($kgCo_2e/Kg$) | ปริมาณก๊าซเรือนกระจก ($kgCo2e$) |
|---|---|---|---|
| ไฟฟ้าเทอร์โมฟอร์มมิ่ง | 0.2005 | 0.6093 | 0.1222 |
| ไฟฟ้าเครื่องพิมพ์ลาย | 0.1796 | 0.6093 | 0.1094 |
| ไฟฟ้าแสงสว่าง | 0.0008 | 0.6093 | 0.0005 |
| ไฟฟ้าน้ำหล่อเย็น | 0.0813 | 0.6093 | 0.0495 |
| ไฟฟ้าปรับอากาศ | 0.0043 | 0.6093 | 0.0026 |
| ไฟฟ้าลมอัด | 0.0813 | 0.6093 | 0.0495 |
| ไฟฟ้าขนส่งวัตถุดิบภายใน | 0.0014 | 0.6093 | 0.0009 |
| แอลกอฮอล์(เครื่องพิมพ์ลาย) | 0.0000 | 1.2381 | 0.0000 |
| แอลกอฮอล์(เทอร์โมฟอร์มมิ่ง) | 0.0000 | 1.2381 | 0.0000 |
| แผ่นสกรีน(อะลูมิเนียม) | 0.0000 | 3.2231 | 0.0000 |
| โซดาแอช | 0.0000 | 1.3015 | 0.0000 |
| กรดฟอสฟอริค | 0.0000 | 1.4067 | 0.0000 |
| จารบี | 0.0009 | 1.0547 | 0.0009 |
| เศษผ้า | 0.0000 | 2.1100 | 0.0000 |
| สเปรย์น้ำมัน | 0.0000 | 0.8319 | 0.0000 |
| น้ำมันหล่อลื่น | 0.0000 | 0.8319 | 0.0000 |
| ถ้วยเปื้อนน้ำมัน(ของเสีย) | 0.0000 | 0.0000 | ขายหน้าโรงงาน |
| เม็ดพลาสติกรีไซเคิลบดปนเปื้อน(ของเสีย) | 0.0000 | 0.0000 | ขายหน้าโรงงาน |
| ก้อนพลาสติก(ของเสีย) | 0.0000 | 0.0000 | ขายหน้าโรงงาน |
| แผ่นสกรีนที่ใช้แล้ว(ของเสีย) | 0.0000 | 0.0000 | ขายหน้าโรงงาน |
| แกนกระดาษม้วนเล็ก(ของเสีย) | 0.0000 | 0.0000 | ขายหน้าโรงงาน |
| แกนกระดาษม้วนใหญ่(ของเสีย) | 0.0000 | 0.0000 | ขายหน้าโรงงาน |
| เศษฉลากแสดงรหัสสินค้า(ของเสีย) | 0.0000 | 0.0000 | ขายหน้าโรงงาน |
| เศษจารบี(ของเสีย) | 0.0009 | 2.3200 | 0.0020 |
| เศษผ้าปนเปื้อน(ของเสีย) | 0.0000 | 2.0000 | 0.0000 |
| น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว(ของเสีย) | 0.0000 | 2.3200 | 0.0000 |
| กระป๋องสเปรย์(ของเสีย) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| | | ผลรวม | 0.3376 |

หมายเหตุ : อ้างอิงค่า GHG Emission Factor จาก จากคู่มือการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ ฉบับที่ 4 และตารางแสดงค่า Emission Factor ฉบับวันที่ 19 มิถุนายน 2555 และฉบับวันที่ 2 มกราคม 2556

RMUTP & IIT 2nd Sustainable Industrial Management Engineering

จากตารางที่ 2 พบว่า ปัจจัยหลักของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนการผลิตภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกกรณีศึกษา คือ ไฟฟ้าจากเครื่องจักรเทอร์โมฟอร์มมิ่ง ไฟฟ้าจากการพิมพ์ลาย ไฟฟ้าจากระบบน้ำหล่อเย็น และไฟฟ้าจากระบบลมอัด มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.1222, 0.1094, 0.0495 $KgCo_2e$ ตามลำดับ ปริมาณผลรวมของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิต เท่ากับ 0.3376 $KgCo_2$ โดยการประเมินปริมาณการปล่อยปลดก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิต สามารถแสดงในตารางที่ 3 และตารางที่ 4

ตารางที่ 3: การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งของการได้มาซึ่งวัตถุดิบจากกระบวนการผลิตภาชนะพลาสติกโพลีโพรพิลีน ขาว ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ พิมพ์ลายทั่วไป ขึ้นรูปด้วยกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

| การได้มาซึ่งวัตถุดิบ | ปริมาณที่ใช้ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (Kg) | ชนิดยานพาหนะ | ระยะทางการขนส่ง | GHG Emission Factor ($kgCo_2e$/Kg) ขาเที่ยวไป (100%) | GHG Emission Factor ($kgCo_2e$/Kg) ขาเที่ยวกลับ (0%) | ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อย (kgCo2e) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| เม็ดพลาสติกโพลีโพรพิลีนสีใส | 0.0027 | รถบรรทุก 6 ล้อ | 34.00 | 0.0610 | 0.4892 | 0.0000 |
| เม็ดพลาสติกโพลีโพรพิลีนสีขาว | 0.0003 | รถบรรทุก 6 ล้อ | 120.00 | 0.0610 | 0.4892 | 0.0000 |
| หมึกพิมพ์ | 0.0001 | รถบรรทุก 4 ล้อ | 60.00 | 0.1402 | 0.3111 | 0.0000 |
| อะซีโตน | 0.0000 | รถบรรทุก 4 ล้อ | 25.00 | 0.1402 | 0.3111 | 0.0000 |
| ถุงพลาสติกบรรจุภาชนะ | 0.0002 | รถบรรทุก 6 ล้อ | 300.00 | 0.0610 | 0.4892 | 0.0000 |
| กล่องกระดาษบรรจุภาชนะ | 0.0001 | รถบรรทุก 6 ล้อ | 120.00 | 0.0610 | 0.4892 | 0.0000 |
| เทปกาวใสปิดผนึกปากถุง | 0.0000 | รถบรรทุก 4 ล้อ | 96.00 | 0.1402 | 0.3111 | 0.0000 |
| เทปกาวใสปิดผนึกปากกล่อง | 0.0000 | รถบรรทุก 4 ล้อ | 282.00 | 0.1402 | 0.3111 | 0.0000 |
| ฉลากแสดงรหัสสินค้า | 0.0000 | รถบรรทุก 4 ล้อ | 60.00 | 0.1402 | 0.3111 | 0.0000 |
| | | | | | ผลรวม | 0.0000 |

หมายเหตุ : อ้างอิงค่า GHG Emission Factor จาก จากคู่มือการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ ฉบับที่ 4 และตารางแสดงค่า Emission Factor ฉบับวันที่ 2 มกราคม 2556

จากตารางที่ 3 พบว่า ปัจจัยที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ การขนส่งวัตถุดิบเม็ดพลาสติกโพลีโพรพิลีนใสด้วยระยะทาง 34.00 กิโลเมตร ใช้ยานพาหนะรถกระบะบรรทุก 6 ล้อในการนำส่งวัตถุดิบมายังโรงงานอุตสาหกรรมกรณีศึกษา มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เท่ากับ 0.0000 $KgCo_2e$

ตารางที่ 4 : การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งช่วงของการผลิตจากกระบวนการผลิตภาชนะพลาสติกโพลีโพรพิลีนขาว ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ พิมพ์ลายทั่วไป ขึ้นรูปด้วยกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

| การผลิต | ปริมาณที่ใช้ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (Kg) | ชนิดยานพาหนะ | ระยะทางการขนส่ง | GHG Emission Factor ($kgCo_2e$/Kg) ขาเที่ยวไป (100%) | GHG Emission Factor ($kgCo_2e$/Kg) ขาเที่ยวกลับ (0%) | ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อย (kgCo2e) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| แอลกอฮอล์(เครื่องพิมพ์ลาย) | 0.0000 | รถบรรทุก 4 ล้อ | 173.88 | 0.1402 | 0.3111 | 0.0000 |
| แอลกอฮอล์(เทอร์โมฟอร์มมิ่ง) | 0.0000 | รถบรรทุก 4 ล้อ | 173.88 | 0.1402 | 0.3111 | 0.0000 |
| แผ่นสกรีน(อะลูมิเนียม) | 0.0000 | รถบรรทุก 4 ล้อ | 182.00 | 0.1402 | 0.3111 | 0.0000 |
| โซดาแอช | 0.0000 | รถบรรทุก 4 ล้อ | 175.00 | 0.1402 | 0.3111 | 0.0000 |
| กรดฟอสฟอริค | 0.0000 | รถบรรทุก 4 ล้อ | 158.00 | 0.1402 | 0.3111 | 0.0000 |
| จารบี | 0.0009 | รถบรรทุก 4 ล้อ | 154.08 | 0.1402 | 0.3111 | 0.0000 |
| เศษผ้า | 0.0000 | รถบรรทุก 4 ล้อ | 24.60 | 0.1402 | 0.3111 | 0.0000 |
| สเปรย์น้ำมัน | 0.0000 | รถบรรทุก 4 ล้อ | 30.30 | 0.1402 | 0.3111 | 0.0000 |
| น้ำมันหล่อลื่น | 0.0000 | รถบรรทุก 4 ล้อ | 23.30 | 0.1402 | 0.3111 | 0.0000 |
| ถ้วยเปื้อนน้ำมัน(ของเสีย) | 0.0000 | - | - | - | - | 0.0000 |
| เม็ดพลาสติกรีไซเคิลบดปนเปื้อน | 0.0000 | - | - | - | - | 0.0000 |
| ก้อนพลาสติก (ของเสีย) | 0.0000 | - | - | - | - | 0.0000 |
| แผ่นสกรีนที่ใช้แล้ว(ของเสีย) | 0.0000 | - | - | - | - | 0.0000 |
| แกนกระดาษม้วนเล็ก(ของเสีย) | 0.0000 | - | - | - | - | 0.0000 |
| แกนกระดาษม้วนใหญ่(ของเสีย) | 0.0000 | - | - | - | - | 0.0000 |
| เศษฉลากแสดงรหัสสินค้า(ของเสีย) | 0.0000 | - | - | - | - | 0.0000 |

RMUTP Journal of Industrial Management and Sustainable Engineering

| การผลิต | ปริมาณที่ใช้ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (Kg) | ชนิดยานพาหนะ | ระยะทางการขนส่ง | GHG Emission Factor ($kgCo_2e/Kg$) ขาเที่ยวไป (100%) | GHG Emission Factor ($kgCo_2e/Kg$) ขาเที่ยวกลับ (0%) | ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อย (kgCo2e) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| เศษจารบี(ของเสีย) | 0.0009 | รถบรรทุก 6 ล้อ | 235.00 | 0.0610 | 0.4892 | 0.0000 |
| เศษผ้าปนเปื้อน (ของเสีย) | 0.0000 | รถบรรทุก 6 ล้อ | 235.00 | 0.0610 | 0.4892 | 0.0000 |
| น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว (ของเสีย) | 0.0000 | รถบรรทุก 6 ล้อ | 235.00 | 0.0610 | 0.4892 | 0.0000 |
| กระป๋องสเปรย์(ของเสีย) | 0.0000 | รถบรรทุก 6 ล้อ | 235.00 | 0.0610 | 0.4892 | 0.0000 |
| | | | | | ผลรวม | 0.0000 |

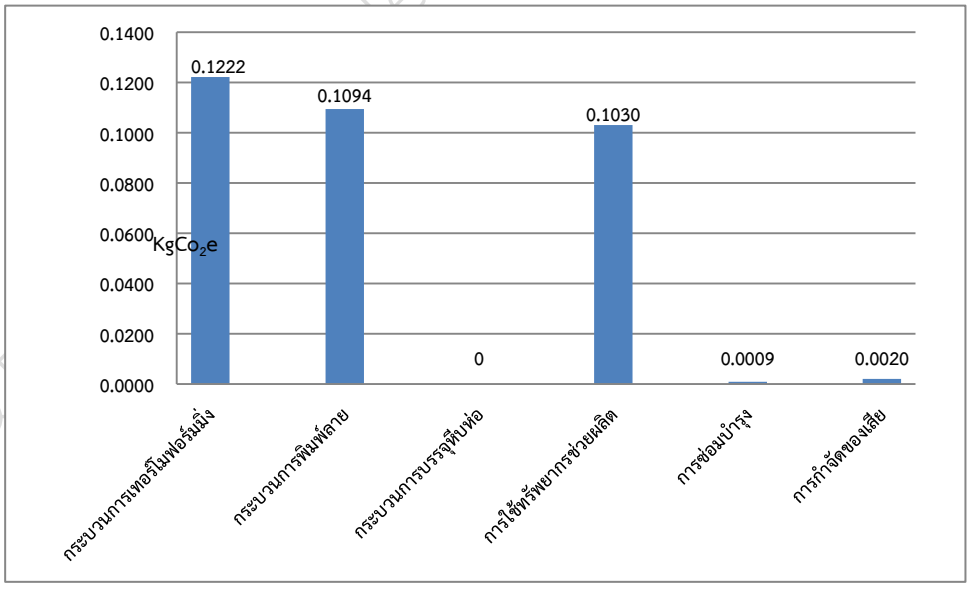
หมายเหตุ : อ้างอิงค่า GHG Emission Factor จาก จากคู่มือการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ ฉบับที่ 4 และตารางแสดงค่า Emission Factor ฉบับวันที่ 2 มกราคม 2556

จากตารางที่ 4 พบว่าปัจจัยการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ การขนส่งจารบี ซึ่งเป็นวัสดุช่วยผลิต ในกระบวนการด้วยระยะทาง 154.08 กิโลเมตร ใช้ยานพาหนะรถกระบะบรรทุก 4 ล้อในการนำส่งวัตถุดิบมายังโรงงานอุตสาหกรรมกรณีศึกษา มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เท่ากับ 0.0000 $KgCo_2e$

**4. อภิปรายผล (Discussion)**

การพิจารณาปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาจากกระบวนการผลิตซึ่งสามารถแสดงถึงปัจจัยในแต่ละส่วนเพื่อหาจุดที่มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด (Hotspot) จากกระบวนการผลิตได้และนำไปสู่การนำเสนอแนวทางที่มีความเป็นไปได้ที่จะทำให้กระบวนการผลิตมีการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง

จากข้อมูลในตารางที่ 3 ซึ่งเป็นการแสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการกระบวนการผลิต ซึ่งประกอบกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง กระบวนการพิมพ์ลายบรรจุภัณฑ์ กระบวนการบรรจุหีบห่อ การใช้ทรัพยากรช่วยผลิต การซ่อมบำรุง และการกำจัดของเสีย ซึ่งกระบวนการต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น สามารถแสดงเป็นปริมาณการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกของบรรจุภัณฑ์พลาสติกกรณีศึกษาต่อ 1 หน่วย ได้ดังภาพที่ 2




**ภาพที่ 2** แสดงการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิต ต่อ 1 หน่วยผลิตภัณฑ์

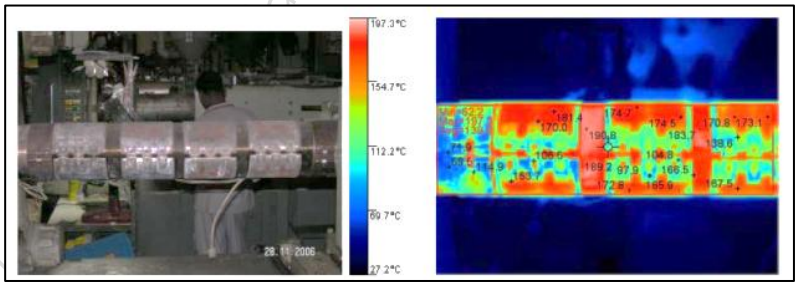
จากภาพที่ 2 พบว่า ปัจจัยในการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ กระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง มีปริมาณเท่ากับ 0.1222 $KgCo_2e$ รองลงมาคือกระบวนการพิมพ์ลายของภาชนะบรรจุภัณฑ์กรณีศึกษาและการใช้ทรัพยากรช่วยผลิต

เท่ากับ 0.1094 และ 0.1030 $KgCo_2e$ ตามลำดับ ส่วนที่เหลืออีกสามส่วนคือ กระบวนการบรรจุหีบห่อ มีปริมาณเท่ากับศูนย์ เนื่องจากขั้นตอนนี้ไม่มีการใช้พลังงานหรือเชื้อเพลิงทำให้เกิดการสันดาปและปล่อยก๊าซเรือนกระจก การซ่อม

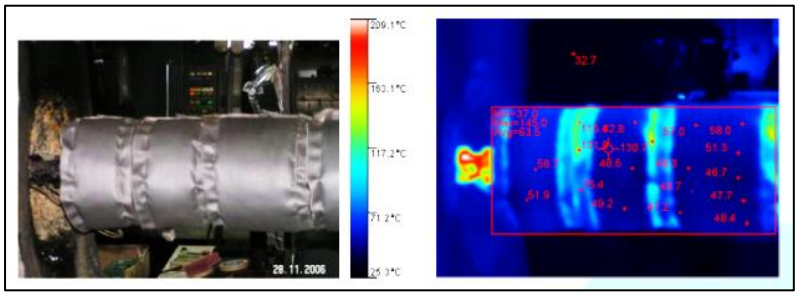
บำรุงมีเพียงทรัพยากรช่วยผลิตในช่วงที่ต้องบำรุงรักษาเครื่องจักรเท่านั้น จึงทำให้มีค่าเท่ากับ 0.0009 $KgCo_2e$ และการกำจัดของเสียมีปริมาณการปลดล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.0020 $KgCo_2e$ ซึ่งของเสียที่เกิดขึ้นนั้นสามารถแบ่งได้เป็นสามส่วน คือ ส่วนแรกเกิดจากการขนส่งของเสียด้วยยานพาหนะเพื่อนำไปฝังกลบที่แหล่งกำจัดในระยะทางที่แตกต่างกัน ส่วนที่สองของเสียโดยส่วนใหญ่จะถูกขายหน้าโรงงานเพื่อนำไปรีไซเคิลเป็นวัตถุดิบต่อไป และส่วนที่สาม ของเสียบางส่วนสามารถนำกลับมารีไซเคิลภายในโรงงานอุตสาหกรรมได้

จากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกกรณีศึกษา จากภาพที่ 2 พบว่ากระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่งมีการปลดล่อยก๊าซเรือนกระมากที่สุด ปัจจัยหลักมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งซึ่งในการขึ้นรูปด้วยวิธีการเทอร์โมฟอร์มมิ่งเป็นกระบวนการที่มีการหลอมเหลวเม็ดพลาสติกโพลีโพรพิลีนและฉีดเป็นแผ่นพลาสติกก่อนที่จะนำเข้าสู่การอัดลมร้อนเพื่อเปลี่ยนรูปร่างแผ่นพลาสติก ซึ่งมีการใช้พลังงานจำนวนมากตามภาระกำลังของเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่ง จึงส่งผลให้มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานไฟฟ้าจากระบบต่างๆของกระบวนการ

ในการพิจารณาจึงหาแนวทางเพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่ง โดยนำเสนอการใช้ฉนวนป้องกันความร้อนสำหรับเครื่องขึ้นรูปพลาสติกซึ่งถูกออกแบบมาใช้สำหรับหุ้มฮีทเตอร์ของเครื่องฉีดแผ่นพลาสติก มีส่วนสำคัญในการช่วยในด้านอนุรักษ์พลังงานและช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานค่าไฟฟ้า เนื่องจากการสูญเสียความร้อนลดลงหรือหมดไป ลดความร้อนบริเวณเครื่องจักร สะดวกต่อการบำรุงรักษา ซึ่งจะสามารถช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ถึง 20% - 50% [3] จากการพิจารณาเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่ง ท่อหลอมละลายเม็ดพลาสติกเป็นส่วนที่ใช้พลังงานมากที่สุด ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการนำฉนวนไปหุ้มส่วนของฮีทเตอร์เครื่องฉีดพลาสติก ซึ่งผลก่อนทำการปรับปรุงและหลังทำการปรับปรุงสามารถแสดงดังภาพที่ 3 และภาพที่ 4




**ภาพที่ 3** ภาพถ่ายอุณหภูมิของกระบอกหลอมเหลวเม็ดพลาสติกก่อนติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อน [4]




**ภาพที่ 4** ภาพถ่ายอุณหภูมิของกระบอกหลอมละลายเม็ดพลาสติกหลังติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อน [4]

จากภาพที่ 3 พบว่า เมื่อกระบอกหลอมเหลวเม็ดพลาสติกมีการทำงานในขณะที่ไม่มีการหุ้มฉนวนป้องกันความร้อนนั้น โดยบริเวณรอบของกระบอกดังกล่าวมีความร้อนที่แผ่ออกมา ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนและสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า ฮีทเตอร์มีการทำงานมากขึ้นเพื่อให้เกิดความร้อนในการหลวมเหลวเม็ดพลาสติกบริเวณภายในกระบอก โดยเมื่อนำเสนอให้มีการติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อนที่แผ่ออกมาจากกระบอกหลอมเหลวเม็ดพลาสติกทำให้มีอุณหภูมิที่เกิดขึ้นโดยรอบลดลง ดังภาพ 4 ซึ่งหากนำแนวทางดังกล่าวมาพิจารณาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องฉีดพลาสติกของกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่งจะสามารถลดลงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยจากตารางที่ 2 ปริมาณการพลังงานไฟฟ้าของเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งในการผลิตภาชนะพลาสติกกรณีศึกษา 1 หน่วย เท่ากับ 0.2005 กิโลกรัม จะลดลงเหลือเท่ากับ 0.1604 กิโลกรัม ส่งผลทำให้มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกเทอร์โมฟอร์มมิ่งจากเดิมเท่ากับ 0.1222 $KgCo_2e$ ลดลงเหลือเท่ากับ 0.0977 $KgCo_2e$

## 5. สรุปผล (Conclusion)

จากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับการผลิตภาชนะพลาสติกโพลีโพรพิลีน สีขาว ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ พิมพ์ลวดลายขึ้นรูปแบบเทอร์โมฟอร์มมิ่ง ดังภาพที่ 5 สามารถสรุปปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ได้ดังตารางที่ 6

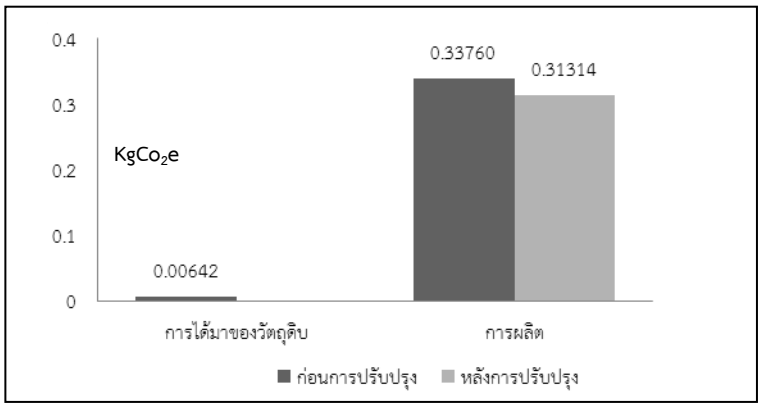
**ภาพที่ 5** ภาชนะพลาสติกโพลีโพรพิลีน ขาว ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ พิมพ์ลายทั่วไป

ตารางที่ 6 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อ 1 หน่วยผลิตภัณฑ์ ของภาชนะพลาสติกโพลีโพรพิลีนสีขาว ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ พิมพ์ลวดลาย

| ช่วงวัฏจักรชีวิต | การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการได้มาและการใช้ประโยชน์ วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร ($Kg\ Co_2e$) | การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่ง วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร ($Kg\ Co_2e$) | ผลรวม ($Kg\ Co_2e$) | สัดส่วน |
|---|---|---|---|---|
| การได้มาของวัตถุดิบ | 0.00640 | 0.00002 | 0.00642 | 1.87 |
| การผลิต | 0.33756 | 0.00005 | 0.33760 | 98.13 |
| รวม | 0.34395 | 0.00007 | 0.34402 | 100.00 |

จากตารางที่ 6 ผลรวมของปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของภาชนะพลาสติกกรณีศึกษาเท่ากับ 0.34402 $KgCo_2e$ โดยแบ่งเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนของการได้มาซึ่งวัตถุดิบ มีปริมาณเท่ากับ 0.00642 $KgCo_2e$ และการผลิตมีปริมาณเท่ากับ 0.33760 $KgCo_2e$ จากนั้นได้นำเสนอแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยการใช้ฉนวนหุ้มความร้อนเพื่อลด

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่ง ทำให้ปริมาณผลรวมการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตลดลงเหลือเท่ากับ 0.31314 $KgCo_2e$ ดังภาพที่ 6




**ภาพที่ 6** แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกก่อนและหลังนำแนวทางมาปรับปรุงกระบวนการผลิต ต่อ 1 หน่วยผลิตภัณฑ์

จากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกกรณีศึกษาและนำเสนอแนวทางการปรับปรุงสามารถลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด เพื่ออุตสาหกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและเกิดความยั่งยืนต่อไปในอนาคต

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือและความกรุณาจากผู้มีพระคุณหลายท่าน ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล ดร.ปริญญ์ บุญกนิษฐ ผศ.สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ อาจารย์ประจำหลักสูตรปริญญาโท สาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่กรุณาให้คำปรึกษา รวมทั้งคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาในครั้งนี้ รวมถึงการสละเวลาในการแก้ไขปัญหาต่างๆตลอดจนตรวจแก้ไขงานวิจัยจนเรียบร้อยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คุณ สุชาดา ดุลยประพันธ์ ผู้จัดการฝ่ายคุณภาพผลิตภัณฑ์ และ คุณณฤมล เหล่าถาวร ผู้ประสานงานด้านข้อมูลของโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกตัวอย่างที่ได้สนับสนุนในการศึกษาครั้งนี้

## 7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

[1] พรพิมล บุญคุ้ม, 2553 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ใครว่าไกลตัว. Technology Knowledge, October-November 2010, Vol.37 No.213: 92.

[2] สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. (2551). ฉลากคาร์บอน ( Carbon Label), 1 สิงหาคม 2551, จากเว็บไซต์ http://www.oknation.net

[3] ฉนวนป้องกันความร้อนสำหรับเครื่องฉีดพลาสติก (2551), จากเว็บไซต์ http://www.energysolutions.co.th

[4] มาตรการหุ้มฉนวนชุด Electrical Heater เครื่องฉีดพลาสติก Nissei 360T (2555), 28 กรกฎาคม พ.ศ. 2555 จากเว็บไซต์ http://www.energysavingtechnology.blogspot.com

[5] สำนักงานส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ ณ เมืองมิลาน, 2554. โอกาสของผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในอิตาลี, 1.
[6] กระทรวงพลังงาน, 2554 การจำแนกและจัดกลุ่มอุตสาหกรรมพลาสติก. เอกสารเผยแพร่ โครงการศึกษาการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก, 5.

RMUTP & FTI 2nd Sustainable Industrial Management Engineering