ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย

พงศ์ปิติ เดชะศิริ [1], อัจฉริยา สุริยะวงค์ [2] และ วีรินทร์ หวังจิรนิรันดร์ [3]

[1]สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[2]ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[3]สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[1]p_crops@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย โดยจำแนกประเภทของอุตสาหกรรมสิ่งทอตามชนิดของผลิตภัณฑ์หลัก วิเคราะห์ค่าดัชนีการเกิดคาร์บอน (Carbon Intensity; CI) ซึ่งเป็นดัชนีที่ใช้วิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานใน 2 ลักษณะ ได้แก่ การเปรียบเทียบเชิงมูลค่าและการเปรียบเทียบเชิงกายภาพ ผลการศึกษาพบว่า ค่า CI ของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทยมีค่าสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบเชิงมูลค่ากับต่างประเทศ และการเปรียบเทียบค่า CI เชิงกายภาพของโรงงานควบคุมอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย แสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ย CI เท่ากับ 2.89, 4.71 และ 3.61 tCO_2eq/ตัน ได้แก่ โรงงานควบคุมอุตสาหกรรมการปั่นด้าย ทอผ้า และตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ ตามลำดับ สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก ซึ่งมีขนาดกำลังการผลิตผลิตภัณฑ์ต่ำ การเพิ่มประสิทธิภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานบนพื้นฐานปริมาณ การผลิตผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้น จะส่งผลให้ค่า CI ลดลง และการปรับปรุงเครื่องจักรและเทคโนโลยีให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ผลการศึกษาพบว่า สามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ 154,733 tCO_2eq หรือคิดเป็นร้อยละ 6.34 ของโรงงานควบคุมปี พ.ศ. 2550 เครื่องจักรและเทคโนโลยีที่มีศักยภาพลดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้การพลังงานมากที่สุด ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้า คอมเพรสเซอร์ และหม้อต้มน้ำ คิดเป็นร้อยละ 63, 31 และ 7 ตามลำดับ การพิจารณาศักยภาพการลดก๊าซเรือนของโรงงานควบคุมอุตสาหกรรมสิ่งทอ เมื่อขยายผลการศึกษาสู่ภาพรวมข้อมูลกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมสิ่งทอประเทศไทย จะสามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ 332,719 tCO_2eq ในปี พ.ศ. 2550

คำสืบค้น

ก๊าซเรือนกระจก, ค่าดัชนีการเกิดคาร์บอน, ประสิทธิภาพเครื่องจักร, พลังงาน, อุตสาหกรรมสิ่งทอ

Potential on Energy-Related Greenhouse Gas Mitigation of Textile Industry in Thailand

Phongpiti Dechasiri[1], Achariya Suriyawong[2] and Weerin Wangjiraniran[3]

[1] *Inter-Department of Environmental Science, Graduated School, Chulalongkorn University*

[2] *Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University*

[3] *Energy Research Institute, Chulalongkorn*

[1]*p_crops@hotmail.com*

ABSTRACT

This study investigated the potential of energy-related greenhouse gas (GHG) mitigation from Thailand textile industries at difference by classification of textile production. This study evaluated Carbon Intensity (CI) in two terms, (1) comparison of GHG emission based on value-added (CO_2eq/value-added) and (2) physical production. The results showed that GHG emission based on value-added (kgCO_2eq/USD) of Thailand textile industries is the highest (0.31 kgCO_2eq) when comparing. When comparing GHG emission based on physical production (CO_2eq/production) of Thailand designated factories, average CI are 2.89, 4.71 and 3.61 (kgCO_2eq/kg) for spinning, weaving and finishing process designated factories, respectively. For small and medium scale industrial, these results showed that increasing of equipment efficiency influence to decreasing of CI value. Improvement of machine, the result showed that the GHG emission can reduce 154,733 tCO_2eq (6.34%) of designated factories in 2007. The potential of reducing GHG emission came from electric motor, compressor and boiler (63, 31 and 7%, respectively). From this study, GHG emission of overall Thailand textile industry can be calculated, 332,719 tCO_2eq in 2007.

KEYWORDS

greenhouse gas, carbon intensity, machine efficiency, energy, textile industry.

1. บทนำ

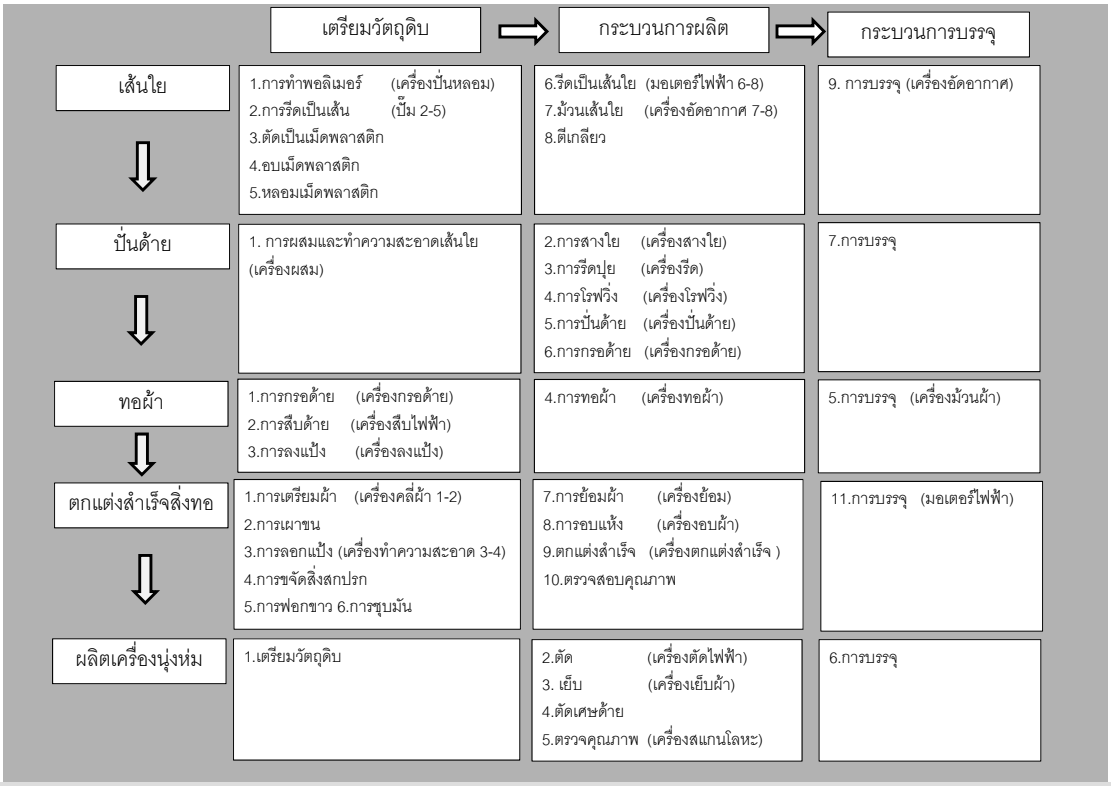
ปัจจุบันอุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลักของประเทศไทยที่สร้างรายได้ให้แก่ประเทศกว่าปีละหลายล้านบาท และเมื่อพิจารณาจากมูลค่าการส่งออกถูกจัดให้อยู่ในอันดับที่ 17 ของโลก ส่งผลให้เกิดการจ้างงานมากกว่าล้านคนต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 20 ของการจ้างงานในภาคส่วนอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย ประกอบด้วย 3 กลุ่มอุตสาหกรรม ได้แก่ 1) อุตสาหกรรมต้นน้ำ (Upstream) ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมเริ่มต้นของการผลิตสิ่งทอ ลักษณะของผลิตภัณฑ์จะเป็นเส้นใย ซึ่งมีทั้งเส้นใยจากพืชและเส้นใยสังเคราะห์ อุตสาหกรรมนี้ใช้เงินทุนและเทคโนโลยีสูง 2) อุตสาหกรรมกลางน้ำ (Intermediate stream) เป็นอุตสาหกรรมต่อเนื่องจากอุตสาหกรรมต้นน้ำ ลักษณะของผลิตภัณฑ์จะเป็นเส้นด้าย ผ้าถัก ผ้าทอ และการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ อุตสาหกรรมนี้ใช้เงินทุนและเทคโนโลยีสูงเช่นเดียวกับอุตสาหกรรมต้นน้ำ และ 3) อุตสาหกรรมปลายน้ำ (Downstream) ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมขั้นสุดท้ายของการผลิตสิ่งทอก่อนที่จะจำหน่ายให้แก่ผู้บริโภค ลักษณะผลิตภัณฑ์จะเป็น เครื่องนุ่งห่มสำเร็จรูป อุตสาหกรรมนี้ใช้เงินทุนไม่สูงและเทคโนโลยีเป็นเพียงส่วนช่วยเคลื่อนย้ายวัตถุและสิ่งของให้เร็วขึ้น แต่พึ่งพาแรงงานเป็นปัจจัยหลัก [1] อุตสาหกรรมสิ่งทอจัดเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานค่อนข้างสูง เพื่อลดต้นทุนการผลิตของอุตสาหกรรม การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานจึงเป็นสิ่งจำเป็นและยังส่งผลให้ สามารถลดก๊าซเรือนกระจก ซึ่งสอดคล้องกับแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี [2] ปัจจุบันมีหลายการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (International Energy Agency; IEA, 2009) ศึกษาศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกจากการพัฒนาเทคโนโลยีในอุตสาหกรรม พบว่า การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักรและเทคโนโลยีมีผลต่อศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานมากที่สุด โดยมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 40 ของศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด [3] Aranda-Uson *et al*., 2012. วิเคราะห์การใช้พลังงานของภาคอุตสาหกรรมในประเทศสเปน พบว่า อุตสาหกรรมสิ่งทอ ได้แก่ กระบวนการปั่นด้าย (Spinning) และการทอผ้า (Weaving) ใช้พลังงานจากไฟฟ้ามากที่สุดในอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยคอมเพรสเซอร์ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 36 ของเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต [4] Hong *et al.,* 2010. ศึกษาศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอประเทศไต้หวัน โดยทำการรวบรวมข้อมูลการประหยัดพลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมจำนวน 303 โรงงาน จากระบบอีดีเอส (the on-line Energy Declaration System; EDS) ปี พ.ศ. 2551 พบว่า มาตรการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ สามารถลดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานได้ 143,669 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO_2eq) โดยลดการใช้พลังงานจากหม้อต้มน้ำ (boiler) การควบคุมกระบวนการผลิต (process control) และระบบปรับอากาศ (air conditioning systems) คิดเป็นร้อยละ 38, 28 และ12 ของศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ตามลำดับ [5] สำหรับประเทศไทยมีหลายการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมสิ่งทอ พิศิษฎ์, 2548. ศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนต้นน้ำ โดยใช้ดัชนีดิวีเซีย (Divisia Index) วิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพพลังงาน โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มพลังงานและการเปลี่ยนแปลงมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า อุตสาหกรรมเส้นใยสังเคราะห์ อุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยไนลอนและอุตสาหกรรมผลิตด้าย ควรทำการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานมากที่สุด เนื่องจากทำให้ภาพรวมของอุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนต้นน้ำขาดประสิทธิภาพพลังงาน [6] ภูมิพัฒน์, 2548. ศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนกลางน้ำ โดยการประยุกต์ดัชนีดิวีเซีย พบว่า อุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนกลางน้ำโดยรวมยังขาดประสิทธิภาพพลังงาน ยกเว้นอุตสาหกรรมถักผ้าและอุตสาหกรรมฟอกย้อมผ้าถัก อุตสาหกรรมที่ทำให้ความเข้มพลังงานโดยรวมในอุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนกลางน้ำเพิ่มสูงขึ้น คือ อุตสาหกรรมทอผ้าและอุตสาหกรรมย้อมพิมพ์ โดยสาเหตุหลักของการเพิ่มขึ้นของค่าความเข้มพลังงานเกิดจากมูลค่าผลผลิตที่ลดต่ำลง ในขณะที่การใช้พลังงานคงที่ [7] การศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย โดยทั่วไปมักวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานจากปริมาณการผลิตและการใช้

พลังงาน โดยตรวจติดตามการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆและประเมินรูปแบบการใช้พลังงาน แต่ทั้งนี้ยังขาดการศึกษาในส่วนของการลดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน ซึ่งส่งผลต่อการกำหนดเป้าหมายในการใช้พลังงานและการอนุรักษ์พลังงานในอนาคตของประเทศไทย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย โดยจำแนกประเภทอุตสาหกรรมสิ่งทอจากชนิดผลิตภัณฑ์หลักตามการจัดประเภทของกรมโรงงานอุตสาหกรรม [8] ดังต่อไปนี้ อุตสาหกรรมสิ่งทอต้นน้ำ ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตเส้นใย อุตสาหกรรมสิ่งทอกลางน้ำ ได้แก่ อุตสาหกรรมการปั่นด้าย ทอผ้า ถักผ้า ฟอกย้อม พิมพ์ และตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ และอุตสาหกรรมปลายน้ำ ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องนุ่งห่มต่าง ๆ วิเคราะห์ค่าดัชนีการเกิดคาร์บอน (Carbon Intensity; CI) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบเชิงมูลค่าและการเปรียบเทียบเชิงกายภาพ เพื่อให้สะท้อนประสิทธิภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานและค่าดัชนีการเกิดคาร์บอนมากที่สุด และทำการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักรและเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย ภายใต้สมมติฐานที่กำหนดให้ทุกโรงงานทำการนำเครื่องจักรและเทคโนโลยีประสิทธิภาพสูงมาใช้อย่างเต็มศักยภาพ เพื่อทำให้ ทราบถึงศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย

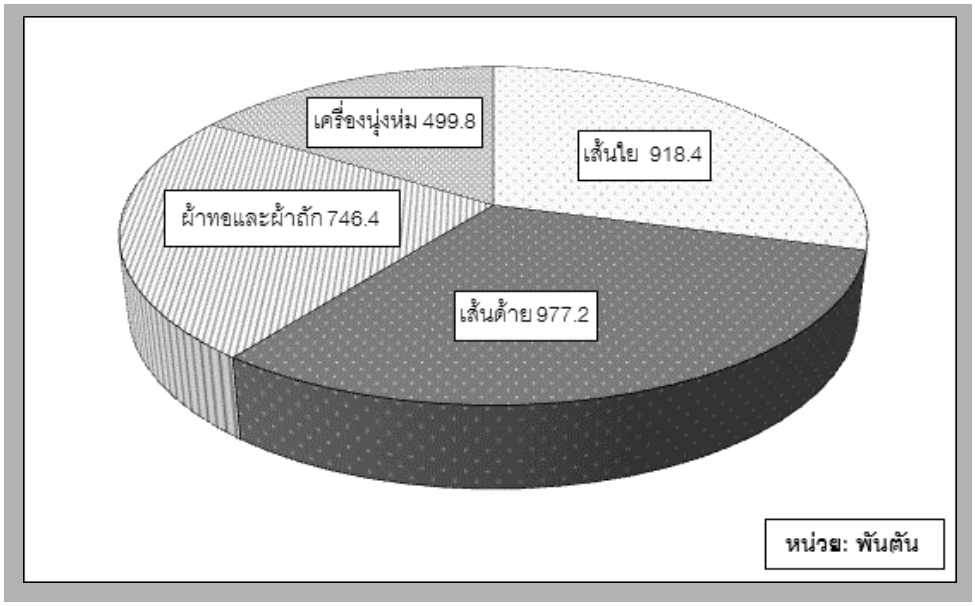
2. โครงสร้างของอุตสาหกรรมสิ่งทอ

อุตสาหกรรมสิ่งทอของประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมที่มีลักษณะโครงสร้างของกระบวนการผลิตเป็นแบบครบวงจร และมีความหลากหลายในแต่ละกระบวนการผลิต จึงทำให้ยากต่อการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูล งานวิจัยนี้จึงได้แบ่งขั้นตอนกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทยออกเป็นผังภาพทั้งหมด 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ 2) ขั้นตอนกระบวนการผลิต และ 3) ขั้นตอนกระบวนการบรรจุ ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีความสัมพันธ์ ของกระบวนการผลิตและเครื่องจักรหลักที่ใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งทอประเทศไทย ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังกระบวนการผลิตและเครื่องจักรหลักที่ใช้พลังงานของอุตสาหกรรมสิ่งทอประเทศไทย

ในปี พ.ศ. 2554 อุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทยมีปริมาณผลิตภัณฑ์รวมทั้งสิ้นประมาณ 3 ล้านตัน ผลิตภัณฑ์ที่มีสัดส่วนปริมาณการผลิตมากที่สุด ได้แก่ เส้นด้าย เส้นใย ผ้าทอ และเครื่องนุ่งห่ม ตามลำดับ และคิดเป็นมูลค่าการส่งออกรวมทั้งสิ้น 251,900 ล้านบาท โดยมีสัดส่วนการขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.5 เทียบกับปี พ.ศ. 2553 ที่ 245,679 ล้านบาท [9] เนื่องจากมูลค่าต่อหน่วยโดยเฉลี่ยของแต่ละผลิตภัณฑ์มีการขยายตัวเพิ่มขึ้นมากกว่าอัตราการขยายตัวของปริมาณการส่งออก โดยมูลค่าเฉลี่ยต่อหน่วยรวมของการส่งออกในปี พ.ศ. 2554 มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 17.7 และการแข็งตัวของค่าเงินบาทในปี พ.ศ. 2554 ที่แข็งตัวขึ้นจากปี พ.ศ. 2553 ถึงร้อยละ 4 ดังแสดงในรูปที่ 2 และตารางที่ 1 ตามลำดับ



รูปที่ 2 ปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทยปี พ.ศ. 2554

ที่มา: สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, 2555

ตารางที่ 1 มูลค่าการส่งออกอุตสาหกรรมสิ่งทอ ปี พ.ศ. 2554

ประเภท	มูลค่าการส่งออก (ล้านบาท)	อัตราการขยายตัว 2554/2553
1. **อุตสาหกรรมสิ่งทอต้นน้ำ**		
เส้นใย (Fiber)	25,288	27.6
2. **อุตสาหกรรมสิ่งทอกลางน้ำ**		
2.1 **เส้นด้าย** (Yarn)	38,485	23.9
2.2 **ผ้าผืน** (Fabric)	48,218	27.6
3. **อุตสาหกรรมสิ่งทอปลายน้ำ**		
3.1 **เครื่องนุ่งห่ม** (Clothing)	99,742	19.1
3.2 **เคหะสิ่งทอ** (Home textile)	9,704	7.5
3.3 **สิ่งทอเทคนิค** (Technic textile)	12,472	17.8
3.4 **สิ่งทออื่นๆ** (Other)	17,991	3.6

ที่มา: สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, 2555

3. วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต และคำนวณค่าดัชนีการเกิดคาร์บอน ดังต่อไปนี้

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษานี้จะพิจารณาจากข้อมูลของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และทำการเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิจากการสำรวจโดยตรง โดยพิจารณาคัดเลือกโรงงานควบคุมตามกลุ่มผลิตภัณฑ์หลักที่มีการใช้พลังงานในเกณฑ์สูง และทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ ได้แก่ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณผลิตภัณฑ์ เครื่องจักรและเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิต

3.2 การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน

วิธีการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน พิจารณาจากคู่มือแนวทางการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกตามกรอบ IPCC (2006) [10] สำหรับการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกให้อยู่ในหน่วยตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และผลรวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของเชื้อเพลิงแต่ละประเภท ดังแสดงในสมการ (1-3) ตามลำดับ

$$Emissions_{GHG,\,fuel} = Fuel\ consumption_{GHG,\,fuel} \times Emission\ \ factor_{GHG,\,fuel} \quad (1)$$

$$Emission_{\,eq,\,fuel} = Emission_{\,GHG,\,fuel} \times GWP \quad (2)$$

$$Emissions_{\,eq} = \sum_{fuel} Emissions_{\,eq,\,fuel} \quad (3)$$

เมื่อ $Emissions_{GHG,\,fuel}$ คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเชื้อเพลิงแต่ละประเภท (kg GHG)

$Fuel\ consumption_{GHG,\,fuel}$ คือ ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงแต่ละประเภท (TJ)

$Emission\ factor_{GHG,\,fuel}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเชื้อเพลิงแต่ละประเภท (kg GHG/TJ) จากคู่มือ IPCC 2006, ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าประเทศไทย (0.607 $kgCO_2eq/kWh$) [11]

$Emission_{\,eq,\,fuel}$ คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเชื้อเพลิงแต่ละประเภทในหน่วยตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO_2eq)

GWP คือ ค่าศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดเทียบกับศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Global Warming Potential)

$Emissions_{\,eq}$ คือ ผลรวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของเชื้อเพลิงแต่ละประเภท (tCO_2eq)

3.3 ค่าดัชนีการเกิดคาร์บอน

การศึกษานี้ใช้ค่าดัชนีการเกิดคาร์บอนใน 2 ลักษณะ ได้แก่ การเปรียบเทียบเชิงมูลค่า ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของมูลค่าการผลิตผลิตภัณฑ์ ($kgCO_2eq/USD$) โดยใช้มูลค่าเพิ่มผลิตภัณฑ์ ณ ราคาคงที่ ปี พ.ศ. 2548 [12] และการเปรียบเทียบเชิงกายภาพ ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละกระบวนการผลิต ($kgCO_2eq/kg$) ดังแสดงในสมการที่ (4) และ (5) ตามลำดับ

$$CI_v = \frac{Emission_{eq}}{Value\ \ Added} \tag{4}$$

$$CI_{p,i} = \frac{Emission_{eq}}{P_i} \tag{5}$$

เมื่อ CI_v คือ ค่าดัชนีการเกิดคาร์บอนเชิงมูลค่าของอุตสาหกรรมสิ่งทอ ($kgCO_2eq/USD$)

$CI_{p,i}$ คือ ค่าดัชนีการเกิดคาร์บอนเชิงกายภาพของโรงงานควบคุมอุตสาหกรรมสิ่งทอแต่ละแห่ง ($kgCO_2eq/kg$)

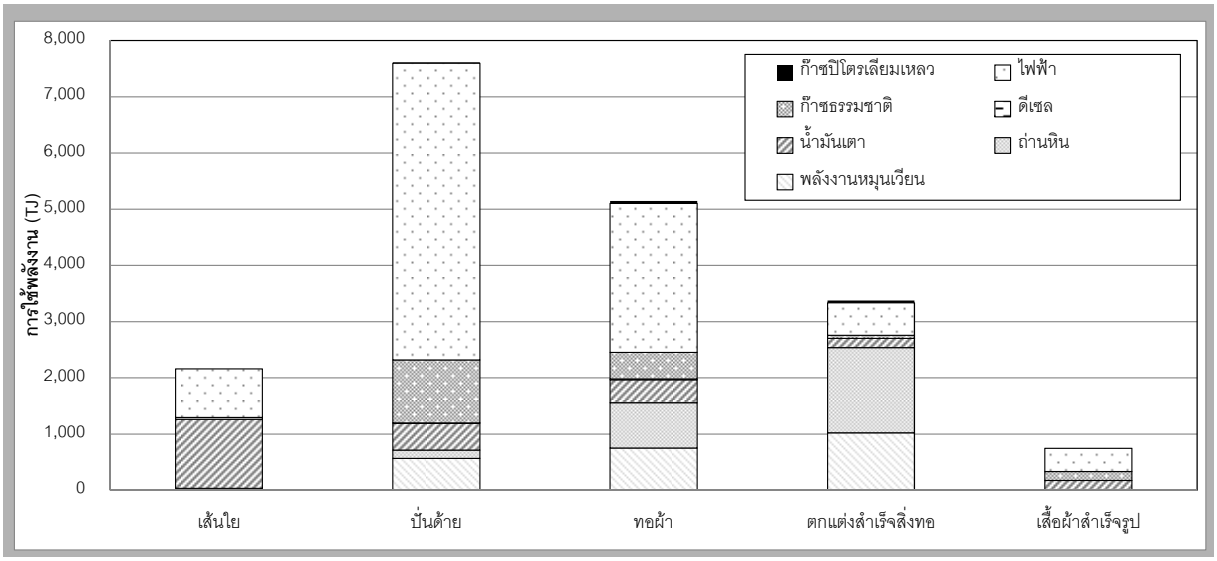
Value Added คือ มูลค่าเพิ่มผลิตภัณฑ์ ณ ราคาคงที่ ปี พ.ศ. 2548 (USD)

P_i คือ ปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ของโรงงานควบคุมแต่ละแห่ง (ตันผลิตภัณฑ์)

4. ผลการศึกษา

4.1 การใช้พลังงานของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย

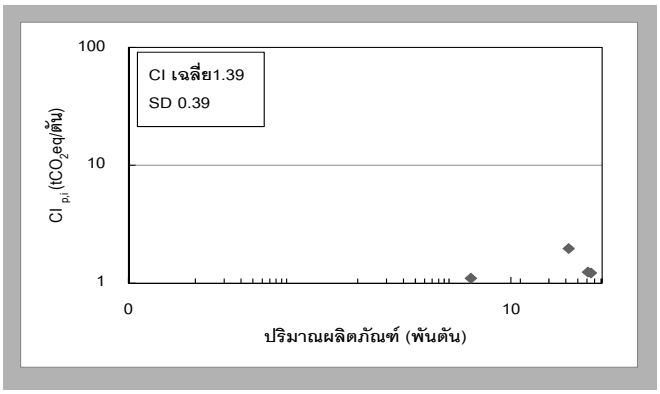
ในปี พ.ศ. 2550 โรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทยจำนวน 4,416 โรงงาน มีการใช้พลังงานทั้งหมด 36,034 TJ เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานของโรงงานควบคุมอุตสาหกรรมสิ่งทอ พบว่า โรงงานควบคุมจำนวน 114 โรงงาน มีสัดส่วนการใช้พลังงานประมาณร้อยละ 51 ของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย สามารถจำแนกกลุ่มตามผลิตภัณฑ์หลักและการใช้พลังงานตามประเภทเชื้อเพลิงของโรงงานควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยกลุ่มโรงงานควบคุมอุตสาหกรรมสิ่งทอกลางน้ำมีการใช้พลังงานมากที่สุด ได้แก่ อุตสาหกรรมปั่นด้าย ทอผ้า และตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ ตามลำดับ และพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต



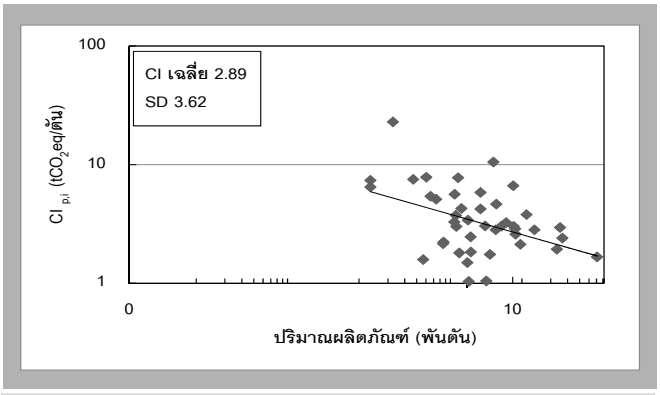
รูปที่ 3 การใช้พลังงานของเชื้อเพลิงแต่ละประเภทของโรงงานควบคุมอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย

4.2 การเปรียบเทียบค่าดัชนีการเกิดคาร์บอนของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย

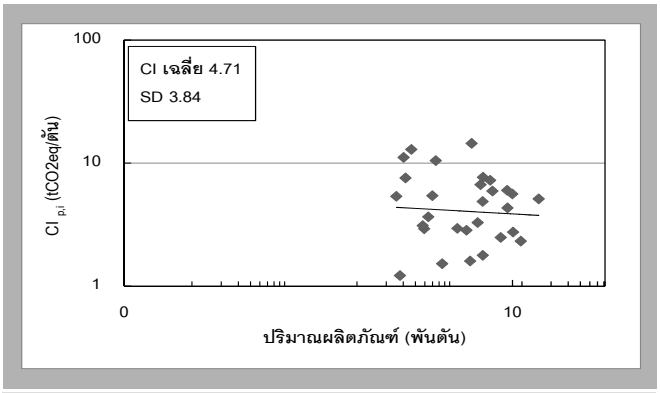
การเปรียบเทียบค่า $CI_{p,i}$ ของโรงงานควบคุมอุตสาหกรรมสิ่งทอประเทศไทยจำแนกตามผลิตภัณฑ์หลัก ดังแสดงในรูปที่ 4(ก) - 4(จ)



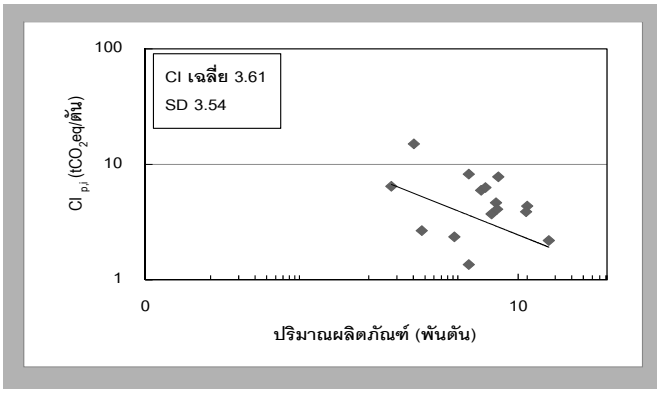
(ก) โรงงานควบคุมอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใย



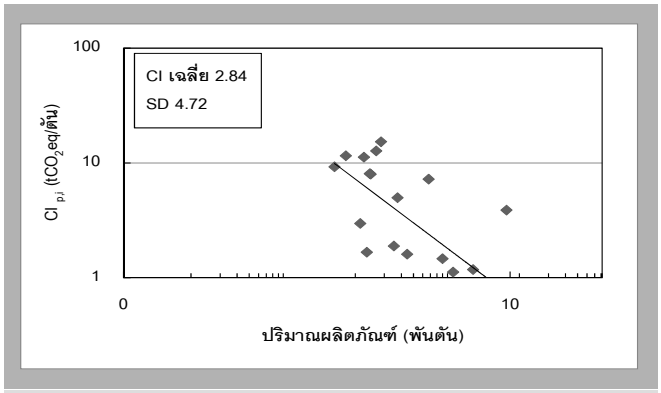
(ข) โรงงานควบคุมอุตสาหกรรมการปั่นด้าย



(ค) โรงงานควบคุมอุตสาหกรรมการทอผ้า



(ง) โรงงานควบคุมการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ



(จ) โรงงานควบคุมการผลิตเครื่องแต่งกาย

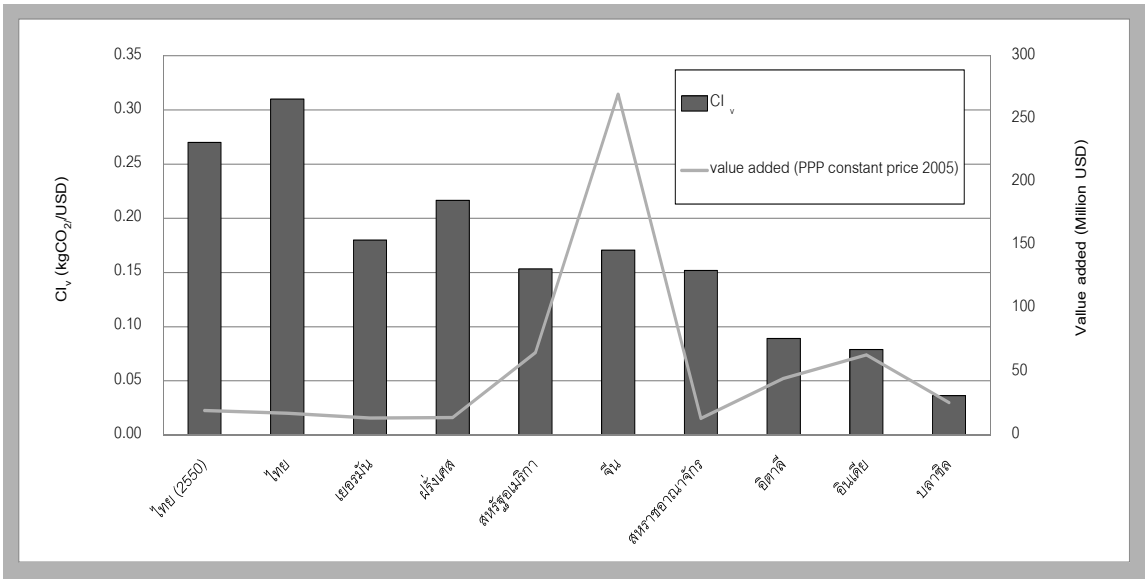
รูปที่ 4 ค่า $CI_{p,i}$ ของโรงงานควบคุมอุตสาหกรรมสิ่งทอ

จากรูปที่ 4 แนวโน้มภาพรวมของแต่ละผลิตภัณฑ์จากการศึกษาค่า $CI_{p,i}$ โดยจำแนกตามผลิตภัณฑ์หลักของโรงงานควบคุมอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย พบว่า โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ซึ่งขนาดกำลังการผลิตสูงจะมีแนวโน้มค่า $CI_{p,i}$ ต่ำกว่าโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก ซึ่งขนาดกำลังการผลิตต่ำ แสดงให้เห็นว่า

โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มีประสิทธิภาพสูงกว่าโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก จึงมีผลต่อค่า $CI_{p,i}$ จากการใช้พลังงาน เนื่องจากการสำรวจโรงงานโดยตรง พบว่า โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ได้มีการดำเนินมาตรการต่างๆและปรับปรุงพัฒนาระบบบริหารจัดการ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการผลิตอย่างต่อเนื่อง หากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็กเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการผลิตให้สูงขึ้น จะสามารถทำให้ค่า $CI_{p,i}$ ลดลงได้ โดยเส้นค่าเฉลี่ยสามารถพิจารณาแนวโน้มค่า $CI_{p,i}$ รายผลิตภัณฑ์ได้ดังต่อไปนี้ อุตสาหกรรมต้นน้ำ ได้แก่ โรงงานควบคุมอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยแนวโน้มค่า $CI_{p,i}$ ต่ำ เนื่องจากโรงงานควบคุมทั้งหมดเป็นโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มีกำลังการผลิตสูง การใช้พลังงานส่วนใหญ่มาจากการใช้น้ำมันเตา อุตสาหกรรมกลางน้ำ ได้แก่ โรงงานควบคุมอุตสาหกรรมการปั่นด้าย ทอผ้า และตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ แนวโน้มค่า $CI_{p,i}$ สูง ทั้งนี้เนื่องจากกลุ่มอุตสาหกรรมเหล่านี้ประกอบด้วยโรงงานอุตสาหกรรมที่มีขนาดกำลังการผลิตที่แตกต่างกันมาก ตั้งแต่โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็ก การใช้พลังงานส่วนใหญ่มาจากการใช้ไฟฟ้า ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยมีค่าสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเชื้อเพลิงประเภทอื่น อุตสาหกรรมปลายน้ำ ได้แก่ โรงงานควบคุมอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องนุ่งห่มแนวโน้มค่า $CI_{p,i}$ ไม่สูงมาก โรงงานควบคุมส่วนใหญ่เป็นโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก มีกำลังการผลิตและการใช้พลังงานต่ำ เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้แรงงานเป็นปัจจัยหลักในการผลิต นอกจากนี้บางโรงงานมีการผลิตผลิตภัณฑ์หลายชนิด จึงทำให้มีความแตกต่างของปริมาณการผลิต ซึ่งเห็นได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ส่วนใหญ่ที่มีค่าสูงมาก ยกเว้นอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยที่โรงงานควบคุมส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมต้นน้ำมีการผลิตเฉพาะเส้นใยสังเคราะห์ จึงมีค่า SD ต่ำ

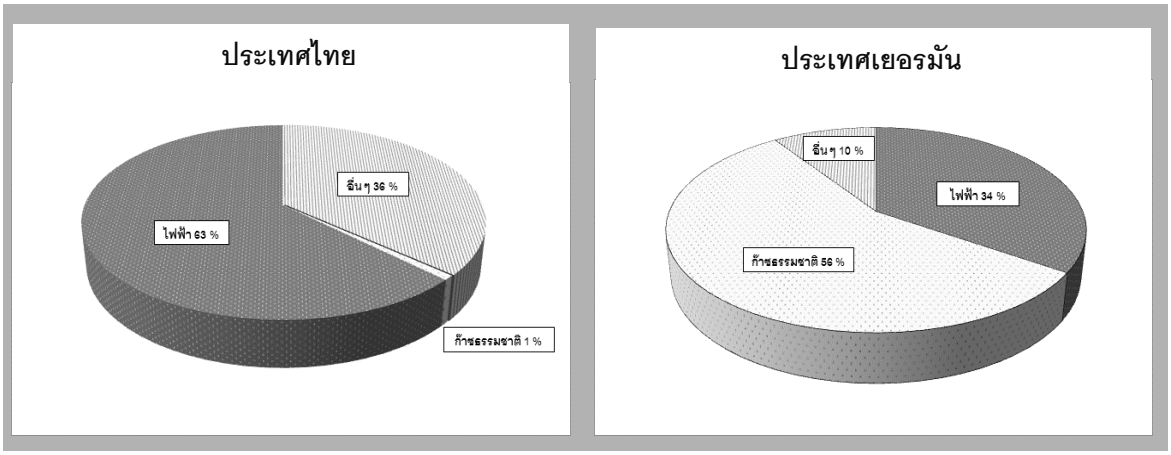
4.3 การเปรียบเทียบค่าดัชนีการเกิดคาร์บอนของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทยกับต่างประเทศ

งานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบค่า CI_{y} ของข้อมูลกิจกรรมอุตสาหกรรมสิ่งทอประเทศไทยกับต่างประเทศ โดยการเปรียบเทียบเชิงมูลค่า และใช้ข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของแต่ละประเทศในปี พ.ศ. 2548 [13] ซึ่งจะทำการพิจารณาเปรียบเทียบข้อมูลของอุตสาหกรรมสิ่งทอประเทศไทยกับต่างประเทศเพียงบางประเทศที่มีข้อมูลรองรับเท่านั้น โดยจะนำเสนอข้อมูลในภาพรวมของอุตสาหกรรมสิ่งทอ เนื่องจากโครงสร้างกระบวนการผลิตและชนิดผลิตภัณฑ์ของอุตสาหกรรมสิ่งทอในแต่ละประเทศมีความหลากหลายและแตกต่างกันมาก ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ค่า CI_v ของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทยเปรียบเทียบกับต่างประเทศปี พ.ศ. 2548

ซึ่งพบว่า ปี พ.ศ. 2548 ประเทศไทยมีค่า CI_v สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับต่างประเทศที่พิจารณาในงานวิจัยนี้ ถึงแม้ในปี พ.ศ. 2550 จะมีแนวโน้มที่ลดลง แต่ก็ยังสูงกว่าประเทศอื่นๆ เนื่องจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทยการใช้พลังงานส่วนใหญ่มาจากไฟฟ้าร้อยละ 63 [14] แต่ในต่างประเทศ เช่น ประเทศเยอรมันการใช้พลังงานส่วนใหญ่มาจากก๊าซธรรมชาติร้อยละ 56 [15] ดังแสดงในรูปที่ 6 ถึงแม้ความเข้มพลังงานของอุตสาหกรรมสิ่งทอประเทศไทยและเยอรมันแตกต่างกันไม่มากนัก ประมาณ 2.5 และ 2.1 TJ/USD ตามลำดับ แต่สัดส่วนการใช้พลังงานจำแนกตามประเภทเชื้อเพลิงส่วนใหญ่มีความแตกต่างกัน ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้ามีค่าสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของก๊าซธรรมชาติที่ต่ำที่สุด จึงทำให้ค่า CI_v ของอุตสาหกรรมสิ่งทอประเทศไทยสูงกว่าเยอรมัน

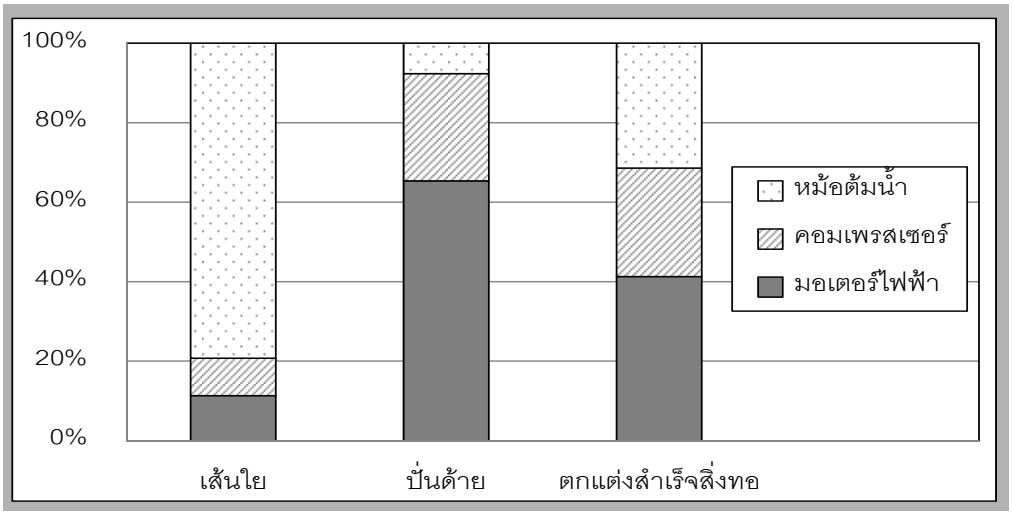


รูปที่ 6 สัดส่วนการใช้พลังงานจำแนกตามประเภทเชื้อเพลิงของอุตสาหกรรมสิ่งทอประเทศไทยและเยอรมัน

หมายเหตุ: อื่นๆ ได้แก่ น้ำมันเตาและถ่านหิน

4.4 ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจก

จากการสำรวจโรงงานควบคุมอุตสาหกรรมสิ่งทอตัวอย่าง พบว่า เครื่องจักรและเทคโนโลยีพื้นฐานที่ใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้า คอมเพรสเซอร์ และหม้อต้มน้ำ โดยมีสัดส่วนการใช้พลังงานของเครื่องจักรและเทคโนโลยีดังต่อไปนี้ อุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยใช้พลังงานจากหม้อต้มน้ำประเภทน้ำมันเตามากที่สุด ในขณะที่อุตสาหกรรมปั่นด้ายและตกแต่งสำเร็จสิ่งทอใช้พลังงานจากมอเตอร์ไฟฟ้ามากที่สุด ประมาณ ร้อยละ 80, 65 และ 40 ของเครื่องจักรที่ใช้พลังงานในโรงงาน ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 7 การศึกษานี้จึงพิจารณาศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของเครื่องจักรและเทคโนโลยีดังกล่าว ภายใต้สมมติฐานการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักรและเทคโนโลยีให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุดดังต่อไปนี้ การปรับปรุงประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า จะพิจารณาให้เท่ากับค่าเฉลี่ยของมอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงที่สุด ซึ่งเพิ่มการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drives; VSD) พิจารณาจากปัจจัยสำคัญ 3 ประการ คือ ขนาด มาตรฐานการออกแบบ (Class) และโหลดการใช้งานตามพิกัดการทำงาน [16] หม้อต้มน้ำ พิจารณาจากชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้และโหลดการใช้งาน ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของหม้อต้มน้ำ โดยทำการปรับปรุงประสิทธิภาพให้มีค่าเท่ากับประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุดของหม้อต้มน้ำชนิดนั้นๆ [17] คอมเพรสเซอร์เป็นเทคโนโลยี ของส่วนประกอบในเครื่องทำความเย็นที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานในกระบวนการทำความเย็นมากที่สุด ดังนั้นกรณีนี้จะเน้นพิจารณาการปรับปรุงประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ โดยการทำงานของคอมเพรสเซอร์อยู่บนพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นหลัก [18] จึงพิจารณาปรับปรุงให้เท่ากับประสิทธิภาพมอเตอร์ไฟฟ้าที่ดีที่สุด การใช้งานในปัจจุบันและการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุดของเครื่องจักรและเทคโนโลยีแต่ละชนิดที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปได้โดยสังเขป และสามารถนำมาคำนวณและวิเคราะห์ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน โดยการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักรและเทคโนโลยีให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 7 สัดส่วนของเครื่องจักรและเทคโนโลยีที่ใช้พลังงานของโรงงานที่ทำการสำรวจ

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพเฉลี่ยของเทคโนโลยีปัจจุบันและประสิทธิภาพสูงสำหรับเครื่องจักรพื้นฐาน

เครื่องจักรพื้นฐาน	การใช้งานปัจจุบัน		การปรับปรุงประสิทธิภาพ	
	เทคโนโลยี	ประสิทธิภาพ	เทคโนโลยี	ประสิทธิภาพ
มอเตอร์ไฟฟ้า	แบบมาตรฐาน IE 1	ร้อยละ 72-91 (1-100 kW)	แบบมาตรฐาน IE 2	ร้อยละ 82-95 (1-100 kW)
			แบบมาตรฐาน IE 3	ร้อยละ 84-96 (1-100 kW)
			แบบมาตรฐาน IE 3 + VSD	ร้อยละ 92-98 (1-100 kW)
หม้อต้มน้ำ	แบบมาตรฐาน ใช้น้ำมันเตา	ร้อยละ 85.2	หม้อต้มน้ำ ประสิทธิภาพสูง	ร้อยละ 89.6

ที่มา: IEA, 2011

ตารางที่ 3 ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกจากการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักรและเทคโนโลยี

สาขาอุตสาหกรรม จำแนกตามผลิตภัณฑ์หลัก	ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจก	พิจารณาศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกรายเครื่องจักร		
		มอเตอร์ไฟฟ้า (%)	คอมเพรสเซอร์ (%)	หม้อต้มน้ำ (%)
	tCO_2eq			
เส้นใย	10,849	3,580 (33%)	5,316 (49%)	1,952 (18%)
ปั่นด้าย	119,682	80,186 (67%)	33,511 (28%)	5,984 (5%)
ตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ	24,202	13,069 (54%)	8,470 (35%)	2,662 (11%)
รวม	154,733	96,836 (63%)	47,298 (31%)	10,599 (7%)

จากตารางที่ 3 พบว่า การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักรและเทคโนโลยีให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด จะทำให้มีศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน 154,733 tCO_2eq หรือคิดเป็นร้อยละ 6.34 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานในโรงงานควบคุมอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยสามารถลดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของเครื่องจักรและเทคโนโลยี ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้า คอมเพรสเซอร์ และหม้อต้มน้ำร้อยละ 63, 31 และ 7 ของศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานมากที่สุด ตามลำดับ เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่ใน ปัจจุบันของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย ส่วนใหญ่ยังอยู่ภายใต้ระดับมาตรฐานของมาตรฐานการออกแบบ (Standard class: IE1)

โดยมีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 72-91 ในขณะที่มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (Premium class: IE3-IE4) จะมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 83-97 ตามขนาดและพิกัดการใช้งาน ซึ่งยังถือว่ามีประสิทธิภาพต่ำกว่ามอเตอร์ไฟฟ้าที่ดีที่สุดอยู่มาก ส่วนหม้อต้มน้ำแบบมาตรฐานใช้น้ำมันเตาที่ใช้งานในปัจจุบัน ส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากประสิทธิภาพสูงสุดมากนัก โดยมีประสิทธิภาพเฉลี่ยประมาณร้อยละ 85.2 ในขณะที่หม้อต้มน้ำแบบมาตรฐานใช้น้ำมันเตาประสิทธิภาพสูงมีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 89.2 ดังนั้นมอเตอร์ไฟฟ้าจึงเป็นเครื่องจักรและเทคโนโลยีที่มีศักยภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานมากที่สุด

5. สรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย โดยจำแนกประเภทของอุตสาหกรรมสิ่งทอตามชนิดของผลิตภัณฑ์ เมื่อวิเคราะห์ค่า CI_v เปรียบเทียบเชิงมูลค่าของอุตสาหกรรมสิ่งทอประเทศไทยกับต่างประเทศ และค่า $CI_{p,I}$ เปรียบเทียบเชิงกายภาพของโรงงานควบคุมอุตสาหกรรมสิ่งทอประเทศไทย ผลแสดงให้เห็นว่า ค่า CI_v ของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทยสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับต่างประเทศ ซึ่งถูกพิจารณา ในงานวิจัยนี้ เนื่องจากการใช้พลังงานส่วนใหญ่ของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทยมาจากพลังงานไฟฟ้า แต่การใช้พลังงานส่วนใหญ่ของต่างประเทศมาจากก๊าซธรรมชาติ ถึงแม้ความเข้มพลังงานไม่แตกต่างกัน แต่สัดส่วนการใช้พลังงาน จำแนกตามประเภทเชื้อเพลิงและค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีความแตกต่างกันมาก จึงทำให้ค่า CI_v ของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทยสูงกว่าต่างประเทศ ซึ่งมีความสอดคล้องกับการวิเคราะห์ค่า $CI_{p,I}$ ของโรงงานควบคุมอุตสาหกรรมสิ่งทอประเทศไทย โดยอุตสาหกรรมกลางน้ำ ได้แก่ โรงงานควบคุมอุตสาหกรรมปั่นด้าย ทอผ้า และตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ แนวโน้มค่า $CI_{p,i}$ สูง เมื่อเปรียบเทียบกับอุตสาหกรรมต้นน้ำและปลายน้ำ เนื่องจากกลุ่มอุตสาหกรรมเหล่านี้ประกอบด้วยโรงงานที่มีขนาดกำลังการผลิตที่แตกต่างกันมาก ตั้งแต่โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็ก การใช้พลังงานส่วนใหญ่มาจากการใช้ไฟฟ้า แต่อุตสาหกรรมต้นน้ำ ได้แก่ โรงงานควบคุมอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใย เป็นโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มีขนาดกำลังการผลิตผลิตภัณฑ์สูง การใช้พลังงานส่วนใหญ่มาจากการใช้น้ำมันเตา และอุตสาหกรรมปลายน้ำ ได้แก่ โรงงานควบคุมอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องนุ่งห่ม ส่วนใหญ่เป็นโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กมีขนาดกำลังการผลิตผลิตภัณฑ์และการใช้พลังงานต่ำ เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้แรงงานเป็นปัจจัยหลักในการผลิต แนวโน้มภาพรวมของแต่ละผลิตภัณฑ์ แสดงให้เห็นว่า หากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็กเพิ่มประสิทธิภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานบนพื้นฐานปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้น จะสามารถทำให้ค่า $CI_{p,i}$ มีแนวโน้มลดลง ดังนั้นสัดส่วนการใช้พลังงานจำแนกตามประเภทเชื้อเพลิงและขนาดกำลังการผลิตผลิตภัณฑ์ของโรงงานอุตสาหกรรม จึงมีผลต่อค่า $CI_{p,i}$ นอกจากนี้การปรับปรุงเครื่องจักรและเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตของโรงงานควบคุมอุตสาหกรรมสิ่งทอให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด สามารถทำให้ทราบถึงศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย แต่อย่างไรก็ดีควรมีมาตรการในการติดตามตรวจวัดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของแต่ละโรงงานโดยตรง เพื่อเป็นการเพิ่มศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทยต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับเงินทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

บรรณานุกรม

[1] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2547. “คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ”. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: www2.diw.go.th/safety/pdf/คู่มืออนุรักษ์พลังงาน (5 ธันวาคม 2553).

[2] กระทรวงพลังงาน. 2554. “แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-2573)”. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.eppo.go.th/ccep/download/NEEP2030_FINAL.pdf (5 มีนาคม 2556).

[3] International Energy Agency (IEA), “Industry overview”, in *Energy Technology Transitions for Industry*, Paris, France, 2009, ch.1, pp. 29 - 46.

[4] Aranda-Uson, A., Ferreira, G., Mainar-Toledo, M.D., Scarpellini, S., Sastresa, E.L., “Energy consumption analysis of Spanish food and drink, textile, chemaical and non-metallic mineral products sectors”, Energy, vol. 42, pp. 477-485, April, 2012.

[5] Hong, G.B., Su, T.L., Lee, J.D., Hsu, T.C., Chen, H.W., “Energy conservation potential in Taiwanese textile industry”, Energy Policy, vol. 38, pp. 7048-7053, july, year 2010.

[6] พิศิษฏ์ จารุมณีโรจน์, “การศึกษาประสิทธิภาพพลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนต้นน้ำ”, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2548.

[7] ภูมิพัฒน์ กุลทรัพย์อรุชา, “การศึกษาประสิทธิภาพพลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนกลางน้ำ: การประยุกต์ดัชนีดิวีเซีย”, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2548.

[8] กรมโรงงานอุตสาหกรรม, “คู่มือการกำกับดูแลโรงงานอุตสาหกรรมพิมพ์ผ้า”, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย: ดี เอ็ม พริ้นติ้ง, 2551.

[9] สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, “สถิติสิ่งทอไทย 2554/2555”, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย: อาร์ตแอนด์พาร์ท อัพเดต, 2555.

[10] The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), “Stationary combustion”, in *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 2006, vol.2 Energy, ch. 2, pp. 2.1 – 2.47.

[11] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). 2553. “รายงานสรุปผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย ประจำปี 2553”. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: www.tgo.or.th (25 ธันวาคม 2554)

[12] The World Bank. 2010. “Textiles and clothing (% of value added in manufacturing)”. Available: http://data. worldbank.org/indicator/NV.MNF.TXTL.ZS.UN (2012, October 15)

[13] International Energy Agency (IEA). 2010. “CO_2 Emissions from fuel combusion”. Available: http://www.iea.org (2012, December 20)

[14] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, “รายงานพลังงานของประเทศไทยปี 2554”, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย: สหมิตรพริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, 2555.

[15] Martinez, C.I.P., “Energy use and energy efficiency development in the German and Colombian textile industries”, Energy for Sustainable Development, vol. 14, pp. 94-103, February, year 2010.

[16] International Energy Agency (IEA), “Electric motor-driven system and application” in *Energy Efficiency Policy Opportunity for Electric Motor Driven System,* Paris, France, 2011, ch.2, pp. 20 - 27.

[17] International Energy Agency (IEA), “Industrial combustion boilers”, Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP), France, Paris, Technology Brief, I01, May 2011.

[18] T. Hideaki, K. Tomoki, T. Minoru, N. Ryusuke, “Development of High-Efficiency Centrifugal Compressor for Turbo Chiller”, Engineering review, vol. 42, No. 2, 2009.