

ศักยภาพการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เทคโนโลยี ECOARC ในอุตสาหกรรมเหล็กชั้นกลางในประเทศไทย

ชนิษฐา เกิดพร¹ วรินทร์ หวังจิรนิรันดร์² และอัจฉริยา สุริยะวงศ์¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

²สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

¹kanittha.cu1@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบของการใช้เทคโนโลยีการผลิตเหล็กในด้านการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตเหล็กชั้นกลางของประเทศไทย โดยประเมินภาพเหตุการณ์ในอนาคต พ.ศ. 2554-2573 แบ่งกรณีศึกษาเป็น 2 กรณี คือ 1) กรณีอ้างอิงอยู่บนพื้นฐานของเทคโนโลยีในปัจจุบัน ได้แก่ เทคโนโลยีการหลอมด้วยเตาหลอมไฟฟ้า (EAF) 2) กรณีเปลี่ยนเทคโนโลยี นำเทคโนโลยี Ecological and Economical New Generation Arc Furnace (ECOARC) มาใช้แทนเทคโนโลยีในปัจจุบัน ผลการศึกษาสรุปได้ว่า 1) กรณีอ้างอิง พบว่า มีการใช้เชื้อเพลิงรวมทุกชนิดเชื้อเพลิง เท่ากับ 259.6 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe) ในปี พ.ศ. 2553 และเพิ่มขึ้นเป็น 558.4 ktoe ในปี พ.ศ. 2573 โดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.6 ต่อปี และปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1,770 พันตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ในปี พ.ศ. 2573 2) กรณีเปลี่ยนเทคโนโลยี พบว่า เทคโนโลยี ECOARC มีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงรวมเท่ากับ 407.8 ktoe ในปี พ.ศ. 2573 สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในเตาหลอมได้ 150.6 ktoe และปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 1,287 พันตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งลดลงคิดเป็นร้อยละ 27.28 ในปี พ.ศ. 2573 เมื่อพิจารณาต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) พบว่า เทคโนโลยี ECOARC มีค่าใช้จ่ายต่อการปล่อย CO₂ ลดลงอย่างต่อเนื่อง และมีค่าใช้จ่ายรายปีต่ำกว่าเมื่อเทียบกับภาพเหตุการณ์อ้างอิง ดังนั้นเทคโนโลยี ECOARC สามารถลดการปล่อย CO₂ ได้มากกว่าเทคโนโลยีในปัจจุบัน ส่งผลให้เมื่อราคาระบบคาร์บอนเครดิตสูงขึ้น สามารถลดต้นทุนการลดการปล่อย CO₂ ได้มากขึ้น

คำสืบค้น

อุตสาหกรรมเหล็กชั้นกลาง, การปล่อยก๊าซเรือนกระจก, การวิเคราะห์ภาพอนาคต, แบบจำลองบัญชีพลังงาน

POTENTIAL OF GREENHOUSE GAS EMISSION REDUCTION BY USING ECOARC TECHNOLOGY IN INTERMEDIATE STEEL INDUSTRY IN THAILAND

Kanittha Kerdporn¹, Weerin Wangjiraniran², Achariya Suriyawong¹

¹ *Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering,
Chulalongkorn University*

² *Energy Research Institute, Chulalongkorn University*

¹*kanittha.cu@gmail.com*

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate the impact of technology on energy consumption in intermediate steel industry in Thailand by assessing future events during 2011-2030. Case studies are divided into 2 parts—Part 1) Reference scenario on the basis of current technology which is Electric Arc Furnace Technology (EAF) and Part 2) Technological change scenario in which Ecological and Economic New Generation Arc Furnace (ECOARC) replaces the current technology. This study found that 1) in Part 1: Reference scenario, total fuel consumption is 259.6 ktoe in 2010 and will increase to 558.4 ktoe in 2030 (increase 3.6% per year in average). GHGs emission will be 1,770 thousand tons CO₂ equivalent in 2030. 2) in Part 2: Technological change, total fuel consumption of ECOARC will be 407.8 ktoe in 2030 which means that electricity consumption in furnace is reduced by 150.6 ktoe. GHGs emission will be 1,287 thousand tons CO₂ equivalent in 2030 (27.28 percent less than reference scenario). Besides, abatement cost of CO₂ emission in case of ECOARC is decreasing continuously year by year and annual cost is less compared to Reference scenario. Therefore, ECOARC can reduce CO₂ emission better than current technology which results in abatement cost reduction if carbon credit price increases.

KEYWORDS

Intermediate Steel Industries, Greenhouse Gas Emission, Scenario Analysis, Energy Accounting Model

1. บทนำ

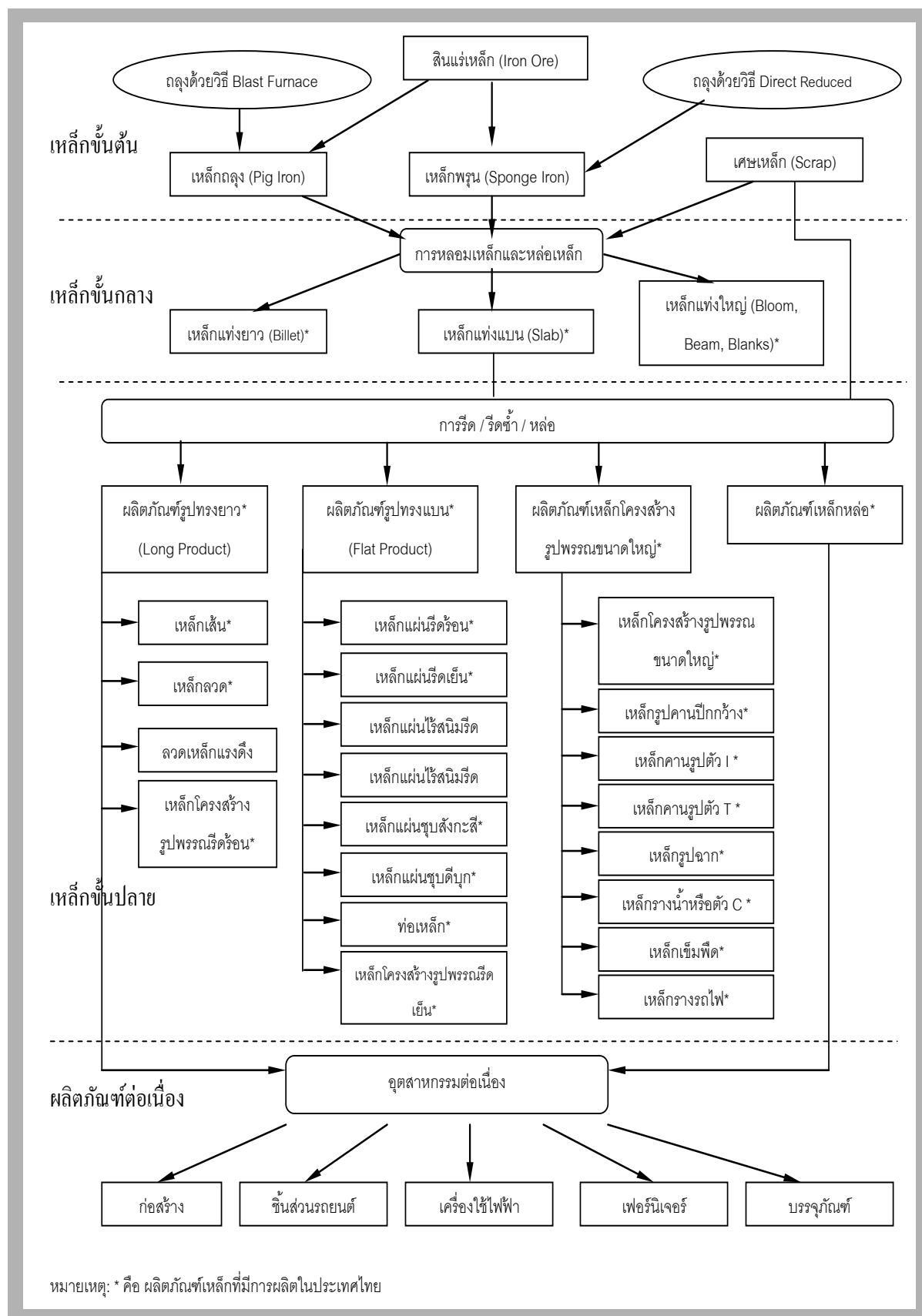
อุตสาหกรรมเหล็กจัดเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากมีการใช้เหล็กเป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมพื้นฐานต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ และอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น กระบวนการผลิตเหล็กเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานสูง และมีแนวโน้มการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นตามการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศไทย [1] ส่งผลให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตจัดอยู่ใน 5 อันดับแรก หรือคิดเป็นร้อยละ 15 ของภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยตามกรอบของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) [2] มีหลายการศึกษาเกี่ยวกับการลดการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็กซึ่งส่งผลต่อการลดก๊าซเรือนกระจก Wang *et al.*, 2007. ประเมินอุตสาหกรรมเหล็กของประเทศไทยปี พ.ศ. 2543-2573 โดยใช้แบบจำลองแผนทางเลือกพลังงานในระยะยาว (Long-range Energy Alternatives Planning System; LEAP) วิเคราะห์ปริมาณการลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ปริมาณการใช้พลังงานและเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตเหล็ก และพิจารณาเงินลงทุนที่ใช้ในการบำบัด พบว่า การปรับปรุงเทคโนโลยีที่ดีขึ้นส่งผลให้มีประสิทธิภาพของการใช้พลังงานที่ดีขึ้น และใช้เงินลงทุนในการบำบัดมลพิษทางอากาศต่ำลง [3] Hidalgo *et al.*, 2005. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุตสาหกรรมเหล็กในกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป 15 ประเทศ ประเทศสหภาพยุโรป 27 ประเทศ และในประเทศกลุ่มภาคผนวก B (Annex B) 35 ประเทศ ในปี พ.ศ. 2540-2573 โดยใช้แบบจำลอง Iron and Steel Industry Model (ISIM) เปรียบเทียบปริมาณความต้องการใช้เหล็ก การใช้พลังงาน เทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิตเหล็ก และการปล่อย CO_2 โดยการซื้อขายคาร์บอนเครดิต พบว่า ถ้ามีจำนวนประเทศในกลุ่มหลายประเทศราคาซื้อขายคาร์บอนจะมีราคาต่ำลง ทำให้สามารถลดต้นทุนในการลดการปล่อย CO_2 ลงได้ [4] Song *et al.*, 2007. ใช้แบบจำลอง LEAP ศึกษาการลด CO_2 โดยประเมินจากประสิทธิภาพของระบบด้วยกระบวนการใช้สารเคมีดูดซับ CO_2 และพิจารณาเงินลงทุนที่ใช้ในประเทศเกาหลี พบว่า เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถลดปริมาณ CO_2 ได้มากขึ้น และใช้เงินลงทุนในการลดปริมาณ CO_2 ต่ำ ในขณะที่เดียวกันถ้าเทคโนโลยีมีประสิทธิภาพต่ำลดปริมาณ CO_2 ได้น้อย ส่งผลให้ใช้เงินลงทุนในการลดปริมาณ CO_2 สูง [5] Yellishetty *et al.*, 2010. วิเคราะห์สมดุลการไหลมวลสารของวัสดุ (Material Flow Analysis; MFA) ในกระบวนการผลิตเหล็กทั่วโลก โดยวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานในกระบวนการผลิตเหล็ก และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่สิ่งแวดล้อม พบว่า การขนส่งเหล็กทางทะเลมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงถึงร้อยละ 10-15 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตเหล็กทั้งหมด [6] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาด้านการใช้พลังงานในประเทศไทย สิริทรรพ และคณะ., 2553. ศึกษาค่าดัชนีการเกิดคาร์บอน (Carbon Intensity) ในอุตสาหกรรมเหล็ก อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ และโรงไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยเก็บข้อมูลค่าดัชนีการเกิดคาร์บอน สัดส่วนการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิต เพื่อเสนอค่าดัชนีการเกิดคาร์บอนที่เหมาะสม ประเมินศักยภาพและแนวทางที่เหมาะสมในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก พบว่า ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการลดปริมาณการใช้คาร์บอน คือ ชนิดของเชื้อเพลิง และเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต และพบว่าในกระบวนการผลิตเหล็กชั้นกลางมีค่าดัชนีการเกิดคาร์บอนสูงกว่าการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น และมีการกำหนดเป้าหมายเพื่อลดปริมาณการใช้คาร์บอนลงในอนาคต [7] สิริลักษณ์ และคณะ., 2553 ศึกษาและกำหนดค่าดัชนีการเกิดคาร์บอนของอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าของประเทศไทย โดยศึกษาค่าความเข้มพลังงาน (Energy Intensity) ในกระบวนการผลิตเหล็กกล้าแต่ละขั้น เก็บข้อมูลจากโรงงาน 5 โรงงานครอบคลุมอุตสาหกรรมเหล็กชั้นกลางและอุตสาหกรรมเหล็กชั้นปลาย โดยเฉลี่ยข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลย้อนหลังเป็นเวลา 5 ปี นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2551 เพื่อวางแผนทางการลดค่าดัชนีการเกิดคาร์บอน พบว่า การผลิตเหล็กแท่งเล็ก เหล็กแท่งแบน และเหล็กแผ่นรีด

ร้อนชนิดมีวาม มีค่าดัชนีการเกิดคาร์บอน และความเข้มพลังงานสูงกว่าผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น และกำหนดมาตรการการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กขึ้น 2 มาตรการหลัก คือ 1. มาตรการในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน 2. มาตรการด้านเทคโนโลยีในกระบวนการผลิต [8]

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเหล็กชั้นกลางมีค่าความเข้มพลังงานสูงกว่าการผลิตในชั้นอื่น และเทคโนโลยีเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทั้งนี้กระบวนการผลิตเหล็กชั้นกลางของประเทศไทยในปัจจุบันยังขาดเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานได้ดีเทียบเท่าเทคโนโลยีที่มีการใช้งานในต่างประเทศ ดังนั้นเพื่อให้กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเหล็กชั้นกลางของประเทศไทยมีประสิทธิภาพสูงขึ้นในด้านการใช้พลังงาน และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก งานวิจัยนี้จึงประเมินผลกระทบของการใช้เทคโนโลยีการผลิตเหล็กในด้านการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเหล็กชั้นกลาง โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีอ้างอิงซึ่งอยู่บนพื้นฐานของเทคโนโลยีปัจจุบัน และกรณีเปลี่ยนเทคโนโลยี นำเทคโนโลยี Ecological and Economical New Generation Arc Furnace (ECOARC) มาใช้แทนเทคโนโลยีปัจจุบัน เพื่อลดการใช้พลังงาน และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยใช้แบบจำลองแผนทางเลือกพลังงานในระยะยาว (Long-rang Energy Alternatives Planning System; LEAP) ประเมินภาพเหตุการณ์ในอนาคตปี พ.ศ. 2554-2573 เพื่อช่วยในการวางแผนพัฒนาด้านการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทยให้เกิดประสิทธิภาพสูงขึ้น

2. โครงสร้างของอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทยในปัจจุบัน

โครงสร้างการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็ก แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนคือ เหล็กขั้นต้น เหล็กชั้นกลาง และเหล็กชั้นปลาย โดยที่อุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้นเป็นการนำวัตถุดิบ คือ สินแร่เหล็ก มาถลุงเป็นวัตถุดิบพื้นฐานเพื่อส่งต่อไปให้อุตสาหกรรมเหล็กชั้นกลางนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เหล็กชั้นกลาง จากนั้นอุตสาหกรรมเหล็กชั้นปลายจะนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จ ได้แก่ เหล็กเส้น เหล็กหลอด เหล็กแผ่น เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งในปัจจุบันอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทย ประกอบด้วย อุตสาหกรรมเหล็กชั้นกลาง และอุตสาหกรรมเหล็กชั้นปลายเท่านั้น โดยอุตสาหกรรมเหล็กชั้นกลางเป็นกระบวนการผลิตต้นทางที่สุดในประเทศไทย ปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานผลิตเหล็กชั้นกลางทั้งหมด 16 โรงงาน [9] โดยกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเหล็กชั้นกลางประกอบด้วยขั้นตอนการหลอมเหล็กซึ่งถือเป็นหัวใจหลักของกระบวนการนี้ โดยเตาหลอมที่ใช้กันอยู่ในประเทศไทยในปัจจุบัน ได้แก่ เทคโนโลยีการหลอมด้วยเตาหลอมไฟฟ้า (Electric Arc Furnace; EAF) ขั้นตอนการหลอมเริ่มจากการนำเศษเหล็กมาหลอมร่วมกับผลิตภัณฑ์เหล็กจากอุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้นที่นำเข้าจากต่างประเทศ และนำน้ำเหล็กที่ได้ไปหล่อเป็นผลิตภัณฑ์เหล็กชั้นกลาง การผลิตในขั้นตอนนี้ใช้ไฟฟ้าเป็นพลังงานหลัก และเป็นกระบวนการที่มีการใช้พลังงานมากที่สุด [10] จึงเป็นกระบวนการที่ได้รับความสนใจในการพัฒนาและลดพลังงานในการผลิต ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาศักยภาพการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมเหล็กชั้นกลางของประเทศไทย โดยนำเทคโนโลยี ECOARC เข้ามาใช้แทนเทคโนโลยีในปัจจุบัน ซึ่งเทคโนโลยี ECOARC เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีการถลุงเหล็กซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เตาหลอมไฟฟ้าลงได้ จากการนำความร้อนเหลือทิ้งจากก๊าซไอเสียที่เตาหลอมมาอุ่นเศษเหล็กที่กำลังป้อนเข้าเตาหลอม โดยระบบการอุ่นเศษเหล็กแบบเก่าแบบถังอุ่น (Bucket Preheating) มีข้อเสียในเรื่องของมลภาวะที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ และประสิทธิภาพในการนำความร้อนกลับมาใช้ ดังนั้นเทคโนโลยี ECOARC จึงเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจเพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว และการเพิ่มประสิทธิภาพการอุ่นเศษเหล็กให้ดียิ่งขึ้น ก่อให้เกิดการประหยัดพลังงานที่ดีขึ้นในกระบวนการหลอมด้วยเตาหลอมด้วยไฟฟ้า ซึ่งสามารถติดตั้งได้ทั้งโรงงานที่ก่อสร้างใหม่ หรือโรงงานที่ปรับปรุงต่อเติมกับโรงงานเดิมที่มีกระบวนการหลอมด้วยเตาหลอมด้วยไฟฟ้าอยู่แล้ว [11]



รูปที่ 1 โครงสร้างการผลิตของกระบวนการผลิตเหล็ก [12]

3. วิธีการศึกษา

การศึกษานี้ประเมินผลกระทบของการใช้เทคโนโลยีการผลิตเหล็กในด้านการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเหล็กชั้นกลาง โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กรณี คือ 1) กรณีอ้างอิง (Reference Scenario) อยู่บนพื้นฐานของเทคโนโลยีปัจจุบัน ได้แก่ เทคโนโลยีการหลอมด้วยเตาหลอมไฟฟ้า (Electric Arc Furnace; EAF) ที่มีการใช้ระบบการอุ่นเศษเหล็กแบบถังอุ่น (Bucket Preheating) ซึ่งอ้างอิงข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่มีอยู่ในปัจจุบัน 2) กรณีเปลี่ยนเทคโนโลยี (Technology Change Scenario) นำเทคโนโลยี ECOARC มาใช้แทนเทคโนโลยีในปัจจุบัน โดยการจำลองการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็กชั้นกลางของประเทศไทยถึงปี พ.ศ. 2573 ใช้ LEAP Model [13] เป็นเครื่องมือในการจำลองผล ซึ่ง LEAP Model เป็นโปรแกรมที่ใช้สร้างโมเดลด้านพลังงาน สามารถวิเคราะห์ทางเลือกแบบต่างๆ เพื่อกำหนดนโยบายด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้ LEAP Model ในการจำลองภาพเหตุการณ์ต่างๆ โดยการศึกษาเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลทั้งในอดีตและปัจจุบัน ศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่ออุตสาหกรรมเหล็กในอนาคต ได้แก่ สภาพเศรษฐกิจ ปริมาณทรัพยากรที่มีภายในประเทศ เทคโนโลยีที่ใช้ นโยบายของรัฐบาล แผนพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลกระทบ คือ เทคโนโลยีที่ใช้เนื่องจากประสิทธิภาพการผลิตที่สูงขึ้นจะส่งผลต่อการใช้พลังงานที่คุ้มค่ามากขึ้นและปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมน้อยลง งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลพื้นฐานเป็นปี พ.ศ. 2553 เนื่องจากเป็นข้อมูลที่มีความครบถ้วนสมบูรณ์ สามารถใช้จำลองภาพเหตุการณ์ในกรณีอ้างอิง ได้โดยตั้งสมมติฐานขึ้นจากข้อมูลในปัจจุบันว่าในอนาคตจะมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางใดในด้านปริมาณเชื้อเพลิงที่จำเป็นต้องใช้ และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนั้นกำหนดภาพเหตุการณ์กรณีเปลี่ยนเทคโนโลยี เพื่อเสนอแนวทางในการพัฒนาอุตสาหกรรมเหล็ก โดยพิจารณาถึงการจัดการด้านการใช้พลังงาน และลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งการคำนวณมลพิษที่เกิดจากกระบวนการผลิตเหล็กในอุตสาหกรรมเหล็กชั้นกลางของประเทศไทย คำนวณจากปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าเนื่องจากจากกระบวนการผลิตเหล็กชั้นกลางมีการใช้ไฟฟ้าเป็นพลังงานหลัก นอกจากนี้ยังคำนวณต้นทุนในการลดการปล่อย CO₂ ด้วย ซึ่งสมการการคำนวณต่างๆ แสดงดังนี้

3.1 การคำนวณค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้ไฟฟ้า (kgCO₂Eq.)

การคำนวณค่าการปล่อย CO₂ โดยใช้ค่าการปล่อย CO₂ จากการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย (Emission Factor) เท่ากับ 0.607 kgCO₂Eq./kWh [14] โดยสมการการคำนวณแสดงดังนี้

$$\text{สมการ } \text{CO}_2\text{Emission, Electricity} = \text{Electricity Consumption} \times \text{Emission Factor} \quad (1)$$

เมื่อ: $\text{CO}_2\text{Emission, Electricity} = \text{ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้ไฟฟ้า(kgCO}_2\text{)}$

$\text{Electricity Consumption} = \text{ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh)}$

$\text{Emission Factor} = \text{ค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย}$

3.2 การประมาณต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การคำนวณสามารถแบ่งต้นทุนเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) ต้นทุนในการลงทุน (Investment Cost) ได้แก่ ราคาค่าก่อสร้างระบบ 2) ต้นทุนในการดำเนินการและบำรุงรักษา (Operation and Maintenance Cost) ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ ค่าไฟฟ้า ค่าจ้างพนักงาน ค่าบำรุงรักษาระบบ และเนื่องจากข้อมูลต้นทุนทั้ง 2 ส่วนไม่ได้อยู่ในระดับเดียวกัน

กล่าวคือ ต้นทุนในการลงทุนจะจ่ายเฉพาะปีแรกของการก่อสร้างระบบนั้น ส่วนต้นทุนในการดำเนินการและบำรุงรักษาเป็นต้นทุนที่ต้องจ่ายทุกปีจึงไม่สามารถนำไปใช้ร่วมกันได้ ดังนั้นในการคำนวณจึงต้องกระจายต้นทุนในการลงทุนให้อยู่ในรูปของค่าใช้จ่ายรายปีตลอดอายุการใช้งานของระบบ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2), (3) และ (4) ตามลำดับ เมื่อรวมต้นทุนทั้งสองส่วนเข้าด้วยกัน จะได้ต้นทุนในการบำบัดมลพิษต่อปี ซึ่งการคำนวณต้นทุนในการศึกษาอ้างอิงข้อมูล จากแหล่งที่เกี่ยวข้องภายในประเทศไทย [9] แสดงดังตารางที่ 1 โดยมีค่าไฟฟ้า เท่ากับ 0.1 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลวัตต์ (USD/kW) [15] และได้กำหนดให้อัตราคิดลด (Discount Rate) อยู่ที่ 6%

$$\text{สมการ} \quad NPV = L_t / (1+r)^t, \quad NPV(i,n) = L_0 / (1+r)^0 + \dots + L_n / (1+r)^n \quad (2)$$

$$A_{t,r} = [1 - (1/(1+r)^n)]/r \quad (3)$$

$$EAC \text{ (Equivalent Annual Cost)} = NPV \text{ (Net Present Value)} / A_{t,r} \quad (4)$$

เมื่อ NPV (Net Present Value) คือ มูลค่าสุทธิในปีปัจจุบัน (มูลค่า)

EAC (Equivalent Annual Cost) คือ ค่าใช้จ่ายรายปี (มูลค่า/ปี)

L คือ ต้นทุนในการลงทุนทั้งหมด

t, n คือ อายุการใช้งานของระบบ

r คือ อัตราคิดลด

ตารางที่ 1 ต้นทุนในการลงทุน และต้นทุนในการดำเนินการและบำรุงรักษา [9]

เทคโนโลยี	Capital Cost (USD/Ton)	O&M (USD/Ton)
EAF	1.18	1.12
ECOARC	1.76	2.24

3.3 การคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่บำบัดได้

ปริมาณ CO₂ ที่บำบัดได้ คือผลต่างระหว่างปริมาณ CO₂ กรณีภาพเหตุการณ์อ้างอิงซึ่งอยู่บนพื้นฐานของเทคโนโลยีปัจจุบัน กับกรณีภาพเหตุการณ์กรณีนำเทคโนโลยี ECOARC มาใช้แทนเทคโนโลยีปัจจุบัน ดังสมการ (5)

ปริมาณ CO₂ ที่บำบัดได้ (น้ำหนัก CO₂/ปี) = ปริมาณ CO₂ กรณีพื้นฐาน - ปริมาณ CO₂ กรณีเปลี่ยนเทคโนโลยี (5)

3.4 การคำนวณต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วย

การคำนวณต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วย แสดงดังสมการ (6)

$$\text{ต้นทุนการจัดการมลพิษ (มูลค่า/น้ำหนัก CO}_2\text{)} = \frac{\text{ต้นทุนการในการลดการปล่อย CO}_2\text{ (มูลค่า/ปี)}}{\text{มลพิษที่บำบัดได้ (น้ำหนัก CO}_2\text{/ปี)}} \quad (6)$$

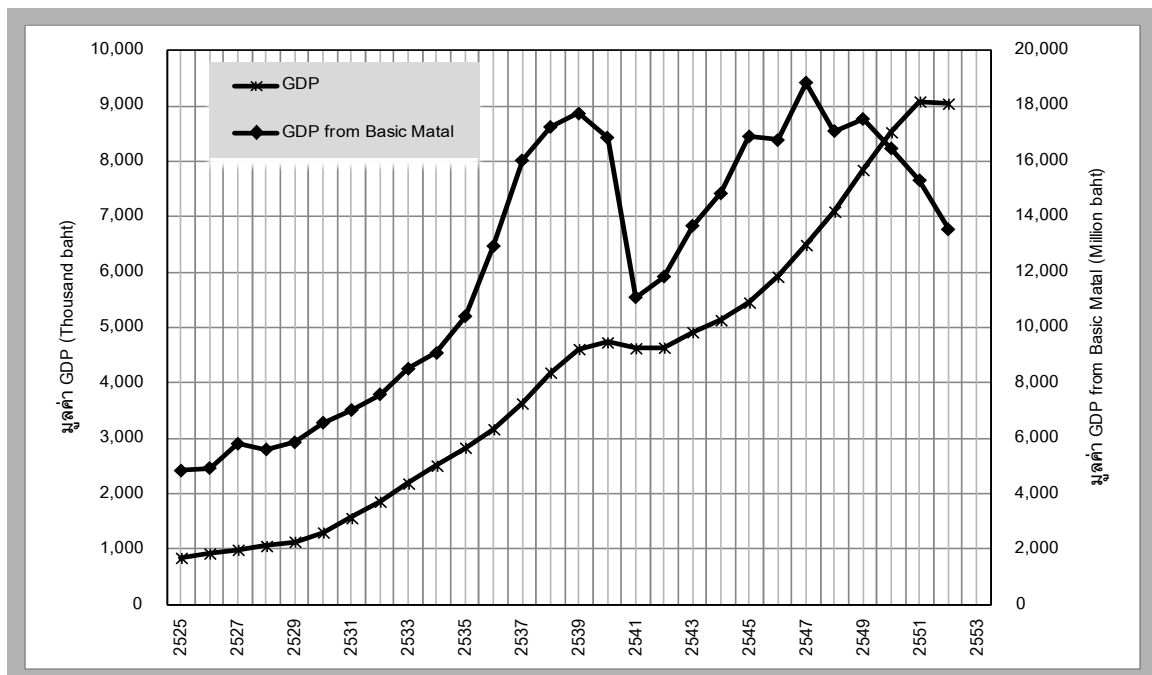
การกำหนดสมมติฐาน และจำลองภาพเหตุการณ์อ้างอิงใช้เอกสารเผยแพร่ที่เกี่ยวข้องภายในประเทศไทย ([16]-[18])

4. ผลการศึกษา และวิเคราะห์ผลการศึกษา

แบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 2 กรณีดังนี้ คือ 4.1 กรณีอ้างอิงอยู่บนพื้นฐานของเทคโนโลยีปัจจุบัน ได้แก่ เทคโนโลยีการหลอมด้วยเตาหลอมไฟฟ้า (EAF) ที่มีการใช้ระบบการอุ่นเศษเหล็กแบบถังอุ่น (Bucket Preheating) 4.2 กรณีเปลี่ยนเทคโนโลยีนำเทคโนโลยี ECOARC มาใช้แทนเทคโนโลยีในปัจจุบัน ผลการศึกษาสรุปรุได้ดังนี้

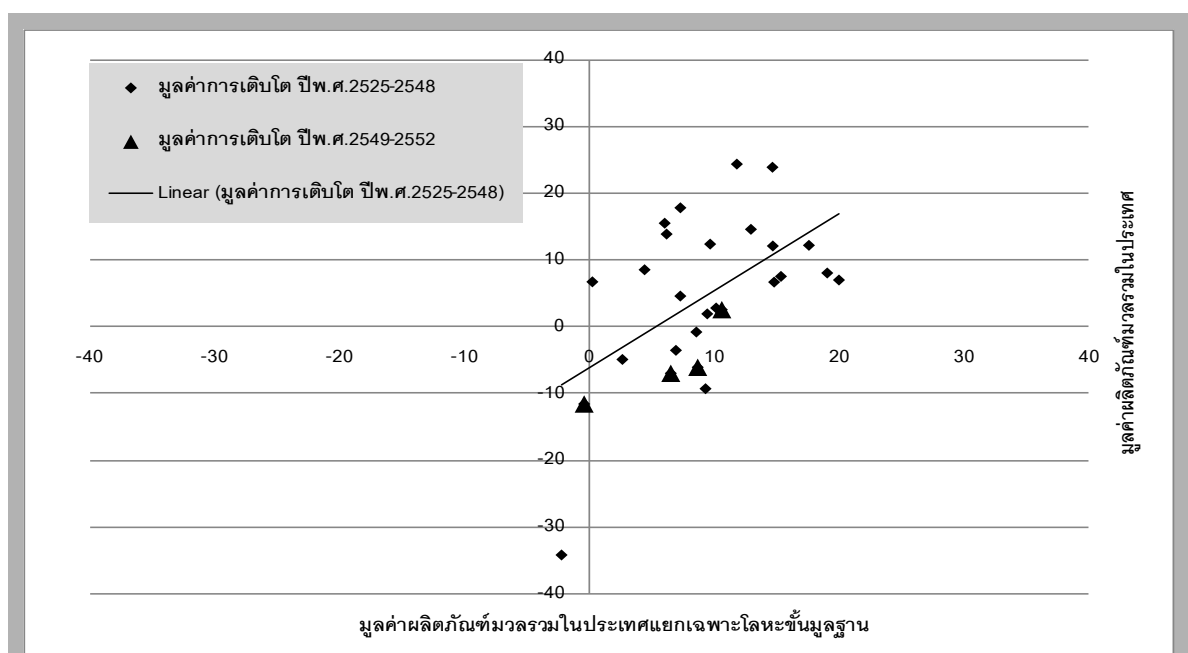
4.1 กรณีภาพเหตุการณ์อ้างอิง (Reference Scenario)

ในการศึกษาจำเป็นต้องมีการคาดการณ์การขยายตัวของอุตสาหกรรมเหล็กในอนาคต ซึ่งต้องมีหลักเกณฑ์ในการกำหนดทิศทางการเติบโตของอุตสาหกรรมเหล็ก ดังนั้นการวิจัยจึงมีแนวทางในการทำนายทิศทางดังกล่าวจากผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (Gross Domestic Product; GDP) ของอุตสาหกรรมเหล็ก [19] ประกอบกับประมาณการแนวโน้มเศรษฐกิจไทยเบื้องต้นฉบับเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2553 [20] และนำข้อมูลเหล่านี้มาจำลองภาพเหตุการณ์อ้างอิงขึ้น โดยกำหนดสมมติฐานได้ว่าการขยายตัวของอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทยเติบโตเป็นไปในทิศทางที่สอดคล้องกับภาวะเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศ ซึ่งจากรูปที่ 2 กล่าวได้ว่า เหล็กเป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมพื้นฐานของประเทศ ดังนั้นเมื่อเกิดภาวะเศรษฐกิจตกต่ำ ส่งผลให้การบริโภคผลิตภัณฑ์ดังกล่าวลดน้อยลง ซึ่งในระยะยาวพบว่า การเติบโตของอุตสาหกรรมเหล็กมีความผันผวนค่อนข้างสูงในบางช่วง เนื่องจากผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ ณ ราคาในปี พ.ศ. 2531 แยกเฉพาะโลหะขั้นมูลฐาน (GDP from Basic Metals) ถือเป็นตัวแทนของอุตสาหกรรมเหล็กโดยรวมเพียงอย่างเดียว ดังนั้นเมื่ออัตราความต้องการใช้เหล็กน้อยอันเนื่องมาจากภาวะเศรษฐกิจที่คงตัวหรือลดต่ำลง ส่งผลให้มูลค่าการซื้อขายเหล็กเพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมพื้นฐานลดน้อยลง นอกจากนี้พบว่า มูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศแยกเฉพาะโลหะขั้นมูลฐานช่วงปี พ.ศ. 2549-2552 มีมูลค่าลดลงมากกว่ามูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ เนื่องจากในช่วงปีดังกล่าวอุตสาหกรรมเหล็กมีการนำเข้าผลิตภัณฑ์เหล็กชั้นกลางมาใช้ในการกระบวนการผลิตสูงกว่าการใช้เหล็กที่ผลิตเองภายในประเทศ เนื่องจากราคาเหล็กในตลาดโลกที่ลดต่ำลง ส่งผลให้มูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศแยกเฉพาะโลหะขั้นมูลฐานช่วงปีดังกล่าวมีมูลค่าต่ำลง ซึ่งต่างจากมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศที่รวมถึงอุตสาหกรรมทั้งหมดของประเทศ ดังนั้นอัตราการเพิ่มขึ้น หรือลดลงของมูลค่าจะมีความผันผวนน้อยกว่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศแยกเฉพาะโลหะขั้นมูลฐาน อย่างไรก็ตาม สังเกตว่าทั้ง 2 กราฟเติบโตเป็นไปในทิศทางที่สอดคล้องกันตามภาวะเศรษฐกิจ แสดงดังรูปที่ 3 ดังนั้นในระยะยาวจึงสามารถใช้มูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ และมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศแยกเฉพาะโลหะขั้นมูลฐานเทียบกับประมาณการแนวโน้มเศรษฐกิจไทยเบื้องต้นเพื่อเป็นหลักเกณฑ์ในการกำหนดทิศทางของการเติบโตของอุตสาหกรรมเหล็ก



รูปที่ 2 ทิศทางของการเติบโตของอุตสาหกรรมเหล็ก

ดังนั้นจากค่าเฉลี่ยมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศแยกเฉพาะโลหะขั้นมูลฐานเทียบกับค่าเฉลี่ยมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศช่วงปี พ.ศ. 2549-2552 เท่ากับ 1.04/1.09 สามารถคาดการณ์ได้ว่าอุตสาหกรรมเหล็กเติบโตคิดเป็นร้อยละการเติบโตโดยเฉลี่ย ได้เท่ากับร้อยละ 0.95 ของการเติบโตของเศรษฐกิจประเทศ ดังนั้นสามารถคาดการณ์การเติบโตของอุตสาหกรรมเหล็กได้ โดยใช้วิธีการเทียบกับประมาณการแนวโน้มเศรษฐกิจไทย เบื้องต้นฉบับเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2553 และนำข้อมูลที่ได้มาจำลองภาพเหตุการณ์กรณีอ้างอิง ขึ้นโดยใช้โปรแกรม LEAP

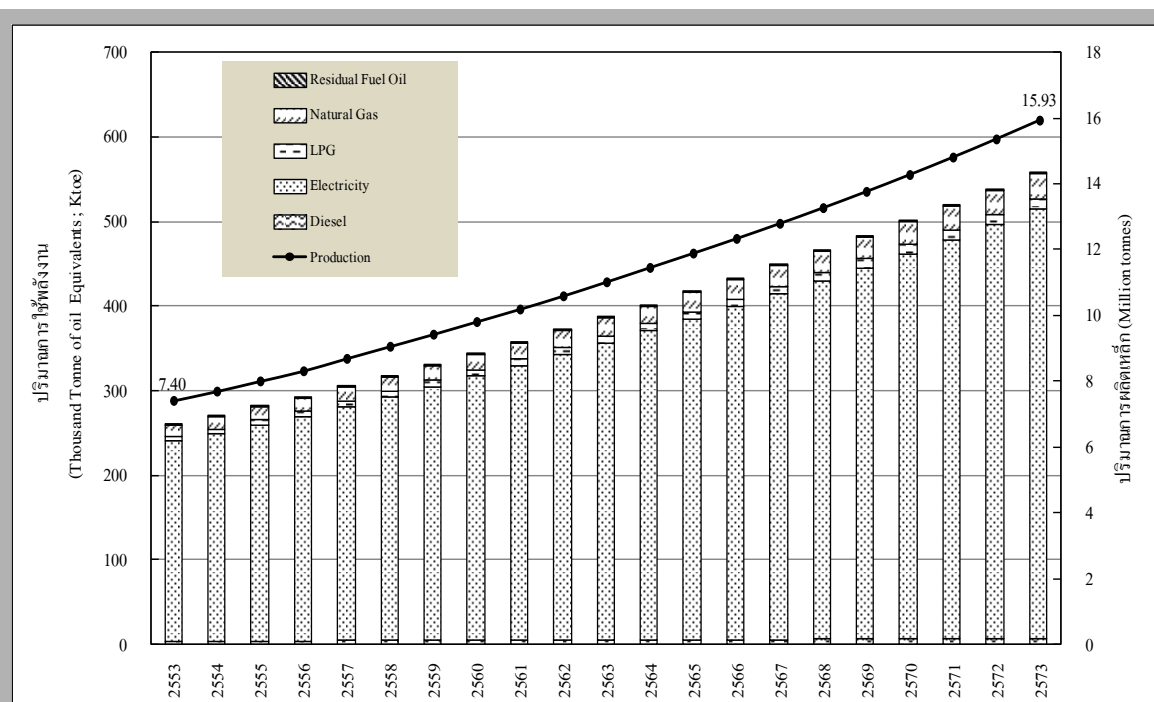


รูปที่ 3 ทิศทางการเติบโตของมูลค่า GDP เทียบกับมูลค่า GDP from Basic Metal ช่วงปี พ.ศ. 2525-2552

ดังนั้น สามารถคาดการณ์การขยายตัวของอุตสาหกรรมเหล็ก และคำนวณปริมาณความต้องการใช้เชื้อเพลิงในปีพ.ศ. 2553-2573 ได้ โดยพบว่า ในปี พ.ศ. 2553 อุตสาหกรรมเหล็กชั้นกลางมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงรวมทุกชนิดเชื้อเพลิง เท่ากับ 259.6 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe) และจะเห็นได้ว่ากระบวนการหลอมเหล็กด้วยเตาหลอมไฟฟ้ามีการใช้ พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุดเท่ากับ 236.9 ktoe แสดงดังตารางที่ 2 และรูปที่ 4 เมื่อคาดการณ์การขยายตัวของอุตสาหกรรม เหล็กในกรณีอ้างอิงปี พ.ศ. 2554-2573 และวิเคราะห์การเติบโตของอุตสาหกรรมเหล็กชั้นกลางตามกำลังการผลิต พบว่า ในปี พ.ศ. 2553 อุตสาหกรรมเหล็กชั้นกลางมีกำลังการผลิต เท่ากับ 7.40 ล้านตันต่อปี และเพิ่มขึ้นเป็น 15.93 ล้านตันต่อปี ในปี พ.ศ. 2573 ดังรูปที่ 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในปี พ.ศ. 2554-2573 จึงเพิ่มขึ้นตาม กำลังการผลิตโดยเพิ่มขึ้นเป็น 558.4 ktoe ในปี พ.ศ. 2573 โดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.6 ต่อปี

ตารางที่ 2 ความต้องการใช้เชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมเหล็กชั้นกลางแต่ละชนิดเชื้อเพลิง

ชนิดเชื้อเพลิง	หน่วย	ปีพ.ศ.						
		2553	2554	2555	2558	2563	2568	2573
Diesel	ktoe	2.7	2.8	2.9	3.3	4.0	4.8	5.7
Electricity	ktoe	236.9	245.7	255.6	289.2	352.3	424.4	509.5
LPG	ktoe	5.6	5.8	6.1	6.9	8.4	10.1	12.1
Natural Gas	ktoe	13.8	14.3	14.9	16.9	20.5	24.8	29.7
Residual Fuel Oil	ktoe	0.6	0.7	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4
Total	ktoe	259.6	269.3	280.2	317.0	386.1	465.2	558.4

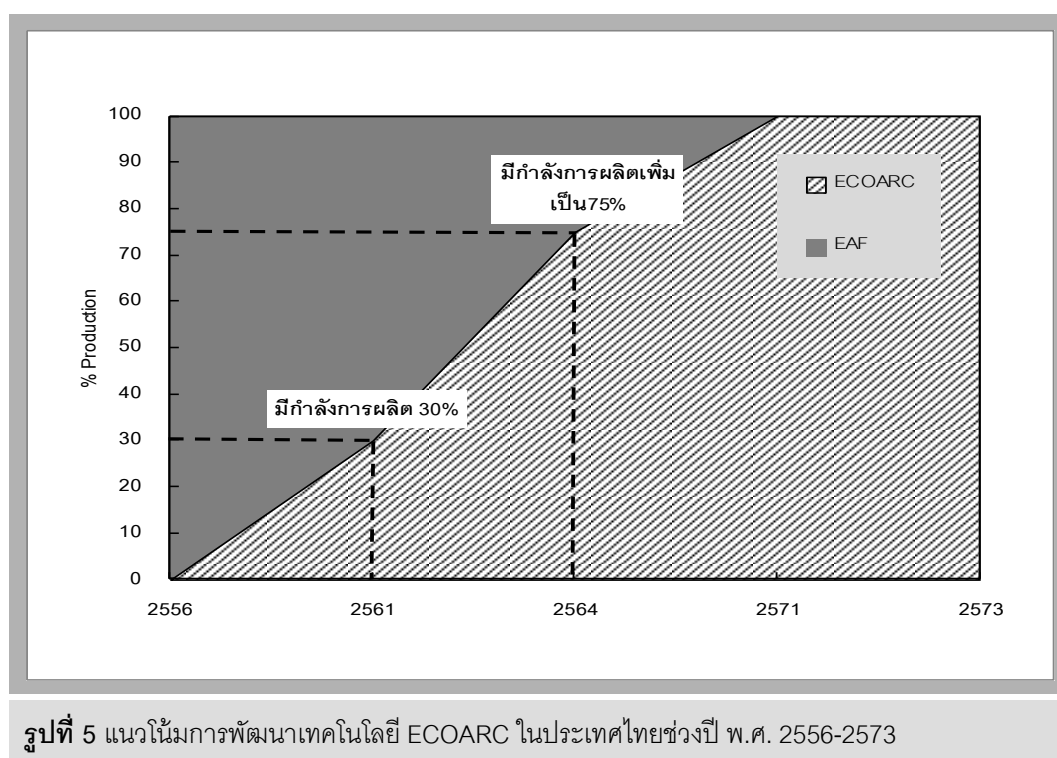


รูปที่ 4 การคาดการณ์การขยายตัวของอุตสาหกรรมเหล็กชั้นกลาง และการใช้พลังงานในปี พ.ศ.2553-2573

4.2 กรณีเปลี่ยนเทคโนโลยี (Technological Change Scenario)

จากที่กล่าวข้างต้นว่า กระบวนการหลอมเหล็กด้วยเตาหลอมไฟฟ้าในอุตสาหกรรมเหล็กชั้นกลางของประเทศไทยใช้ไฟฟ้าเป็นพลังงานหลัก ดังนั้นในงานวิจัยนี้เลือกนำเทคโนโลยี ECOARC ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการอุ่นเหล็กที่มีการใช้งานในต่างประเทศ เข้ามาใช้แทนเทคโนโลยีการหลอมด้วยเตาหลอมไฟฟ้าที่มีการใช้ระบบการอุ่นเศษเหล็กแบบถังอุ่น (Bucket Preheating) ในปัจจุบัน เพื่อศึกษาเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพของเทคโนโลยีในการลดการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเมื่อพิจารณาช่วงเวลาการพัฒนาของเทคโนโลยีจากต่างประเทศเทียบกับประเทศไทย พบว่าในปี พ.ศ. 2556 ประเทศไทยจะนำเทคโนโลยี ECOARC เข้ามาใช้ครั้งแรก [9] ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์ระยะเวลาการเติบโตของเทคโนโลยี ECOARC ในประเทศญี่ปุ่น ตั้งแต่เริ่มมีการใช้งานครั้งแรก จนถึงส่งออกเทคโนโลยี ECOARC สู่อื่นประเทศ [22] และนำมาพิจารณาการเติบโตของเทคโนโลยีให้เหมาะสมกับประเทศไทย โดยคิดจากร้อยละการเติบโตของการนำเทคโนโลยีนี้เข้ามาใช้งานครั้งแรกจนถึงระยะเวลาที่เทคโนโลยีเริ่มคงตัวและนำมาปรับใช้เปรียบเทียบศักยภาพที่สามารถเป็นไปได้สำหรับประเทศไทย พบว่า ประเทศญี่ปุ่นใช้เวลาทดสอบระบบและศึกษาเป็นระยะเวลา 5 ปี โดยเทคโนโลยีเริ่มมีการใช้งานมากขึ้นใช้ระยะเวลา 3-7 ปี ตามกำลังการผลิต จึงสามารถคาดการณ์ได้ว่าเทคโนโลยี ECOARC จะถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตเหล็กของประเทศไทยเพิ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2561-2564 เพื่อรองรับกับเศรษฐกิจที่กำลังจะเจริญเติบโตขึ้นในอนาคต แสดงดังรูปที่ 5

ดังนั้น เทคโนโลยี ECOARC เป็นเทคโนโลยีที่มีความน่าสนใจ และมีศักยภาพสูงที่จะนำเข้ามาใช้ในประเทศ ซึ่งมีแผนในการนำเทคโนโลยีนี้เข้ามาใช้ในประเทศไทยในอนาคต ในช่วงปีพ.ศ. 2556-2573 ซึ่งอยู่ในช่วงของการประเมินภาพเหตุการณ์ในงานวิจัยนี้ โดยสามารถติดตั้งเทคโนโลยี ECOARC ได้ทั้งโรงงานที่ก่อสร้างใหม่ หรือปรับปรุงต่อเติมกับโรงงานเดิมที่มีกระบวนการหลอมด้วยเตาอาร์คไฟฟ้าอยู่แล้ว และจากการศึกษาการเปลี่ยนเทคโนโลยี พบว่า เทคโนโลยี ECOARC มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 332.71 กิโลวัตต์ต่อตัน (kWh/Ton) แสดงดังตารางที่ 3

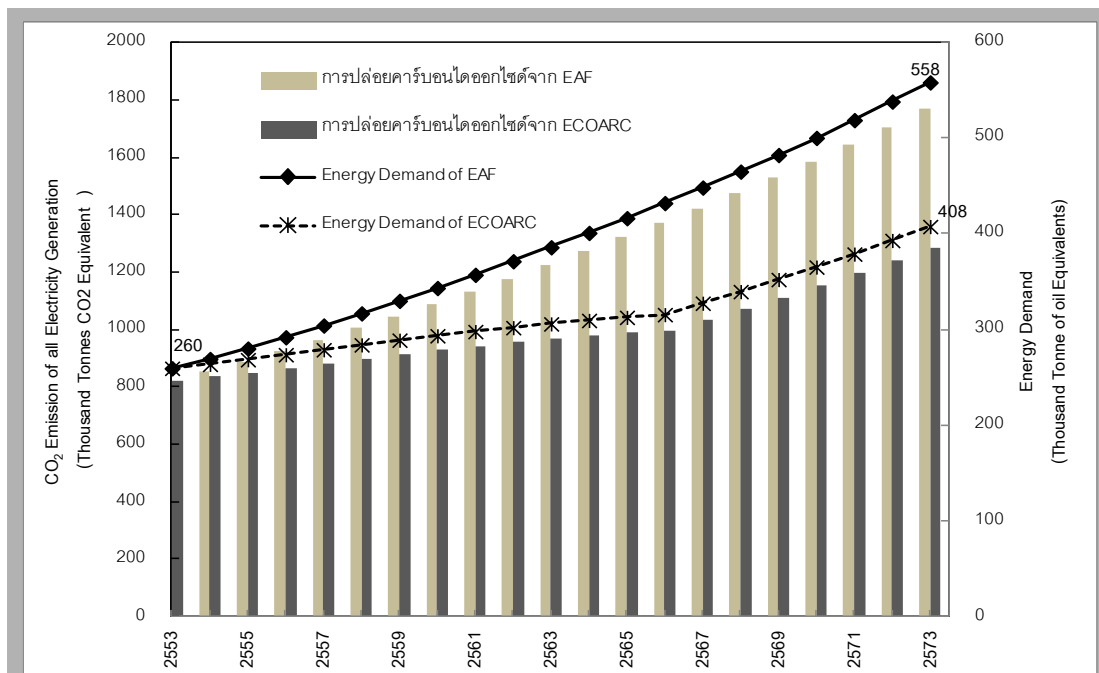


ตารางที่ 3 ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh/Ton) ในเตาหลอมเหล็กแต่ละเทคโนโลยี

Technologies	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh/Ton)
EAF	457.71
ECOARC	332.71

เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้พลังงานรวมของเทคโนโลยี พบว่า เทคโนโลยี ECOARC มีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงรวมทุกชนิดเชื้อเพลิงลดลงมีค่าเท่ากับ 407.8 ktoe ซึ่งการใช้พลังงานของเตาหลอมแบบปกติเท่ากับ 558.4 ktoe ในปี พ.ศ. 2573 แสดงดังรูปที่ 6 และเนื่องจากการใช้พลังงานในเตาหลอมเหล็กในกระบวนการผลิตเหล็กชั้นกลางของประเทศไทยมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด ดังนั้นเมื่อเปลี่ยนเทคโนโลยี พบว่า เทคโนโลยี ECOARC สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในเตาหลอมได้ 150.6 ktoe และเมื่อคำนวณค่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเหล็กชั้นกลางของประเทศไทย พบว่า เทคโนโลยี ECOARC มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 823 ในปี พ.ศ. 2553 และเพิ่มขึ้นเป็น 1,287 ในปี พ.ศ. 2573 หน่วยเป็นพันตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Thousand Tonnes CO₂ Equivalent) ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเทคโนโลยีเดิม แสดงดังรูปที่ 6

เมื่อพิจารณาการประเมินค่าใช้จ่ายรายปี (มูลค่า/ปี) ของทั้งเทคโนโลยีเดิมในปัจจุบัน และเทคโนโลยีใหม่ สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายรายปีจากการใช้เทคโนโลยีทั้งสอง พบว่ากรณีภาพเหตุการณ์อ้างอิงมีค่าใช้จ่ายรายปีอยู่ที่ 445 ล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี และในกรณีเปลี่ยนเทคโนโลยี (ECOARC) มีค่าใช้จ่ายรายปีอยู่ที่ 398 ล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี แสดงดังตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่า การเลือกใช้เทคโนโลยี ECOARC ในกระบวนการผลิตเหล็กชั้นกลางของประเทศไทย มีค่าใช้จ่ายรายปีต่ำกว่าการใช้เทคโนโลยีเดิม เนื่องจากเทคโนโลยีนี้มีประสิทธิภาพในการลดการปล่อย CO₂ จากการใช้ไฟฟ้าร้อยละ 27.28 ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีการใช้ไฟฟ้าเป็นเชื้อเพลิงหลักสูงถึงร้อยละ 90 ดังนั้นต้นทุนค่าไฟฟ้าจึงมีค่าสูง ส่งผลให้สามารถลดค่าใช้จ่ายจากการใช้ไฟฟ้าลง และคุ้มทุนในระยะเวลา 4 ปี นอกจากนี้เมื่อเปลี่ยนเทคโนโลยีสามารถลดการปล่อย CO₂ ได้สูงขึ้น ซึ่งจะสามารถลดต้นทุนด้านการลดการปล่อย CO₂ ได้สูงขึ้น ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ยังไม่ครอบคลุมถึงความเสี่ยงจากความผันผวนของอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ในการลงทุนขั้นต้น และการเปลี่ยนแปลงราคาไฟฟ้า



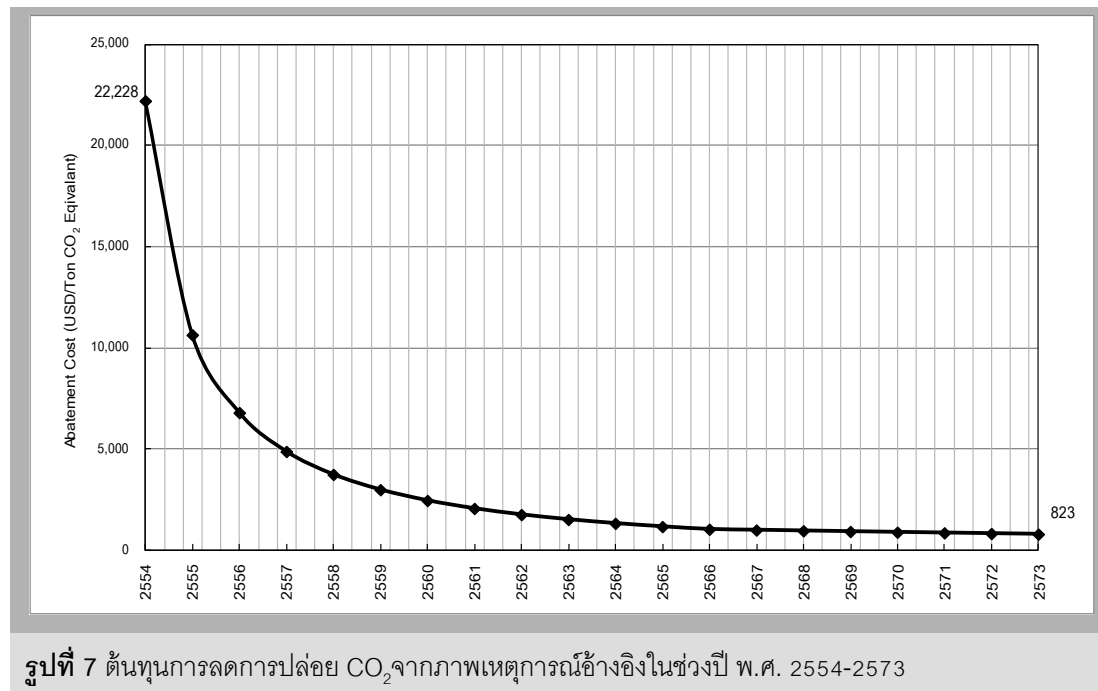
รูปที่ 6 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงาน และการปล่อย CO₂ จากการหลอมเหล็กในกระบวนการผลิตเหล็กชั้นกลางของ 2 เทคโนโลยี ในปี พ.ศ.2553-2573

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบปริมาณการปล่อย CO₂ ค่าใช้จ่ายรายปีของภาพเหตุการณ์ทางเลือกในปี พ.ศ. 2573 และมูลค่าสุทธิปี พ.ศ.2554; กำหนด 1 USD เท่ากับ 30 Baht

เทคโนโลยี	ปริมาณการปล่อย CO ₂ (Thousand Tones CO ₂ Equivalent)	ค่าใช้จ่ายรายปี (Million USD/Year)	มูลค่าสุทธิปี พ.ศ.2554 (Million USD)
EAF	1,770	445	286
ECOARC	1,287	398	301

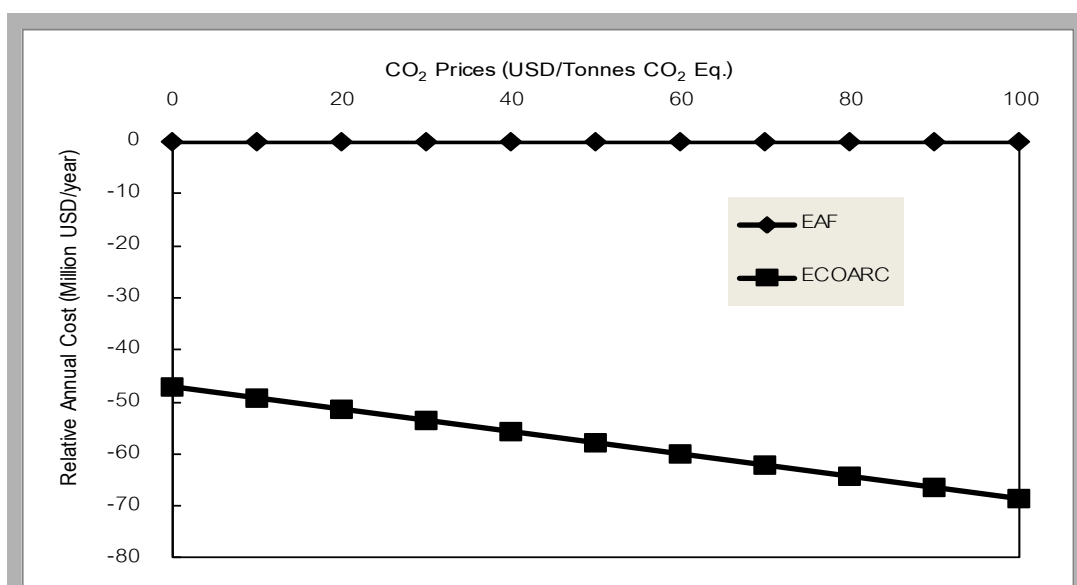
4.3 ต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การประเมินต้นทุนในการลดการปล่อย CO₂ ให้อยู่ในรูปของค่าใช้จ่ายรายปีตลอดอายุการใช้งานของเทคโนโลยี ทำให้ทราบถึงต้นทุนในการลดการปล่อย CO₂ ต่อหน่วยในปี พ.ศ. 2554-2573 แสดงดังรูปที่ 7 จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ต้นทุนการลดการปล่อย CO₂ ในปี พ.ศ. 2554-2573 จะมีค่าลดลง เนื่องจากการลดการปล่อย CO₂ ได้ดีขึ้น โดยเทคโนโลยี ECOARC จะมีต้นทุนในการลดการปล่อย CO₂ ต่อหน่วยในปี พ.ศ. 2573 ประมาณ 823 ดอลลาร์สหรัฐ ต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (USD/Ton CO₂ Eq.)



4.4 ต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อราคาคาร์บอนเครดิต

การประเมินต้นทุนในการลดการปล่อย CO₂ ให้อยู่ในรูปของค่าใช้จ่ายรายปีตลอดอายุการใช้งานของเทคโนโลยี และคำนวณราคาคาร์บอนเครดิตของค่าใช้จ่ายรายปีนั้น สามารถวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของภาพเหตุการณ์กรณีเปลี่ยนเทคโนโลยีได้ แสดงดังภาพที่ 8 ซึ่งพบว่า เทคโนโลยี ECOARC มีค่าใช้จ่ายรายปี (มูลค่า/ปี) ที่ต่ำกว่าเทคโนโลยีเดิมในปัจจุบัน (EAF) ดังนั้นเมื่อเทคโนโลยี ECOARC สามารถลดการปล่อย CO₂ ได้มากกว่าเทคโนโลยีในปัจจุบัน แสดงให้เห็นว่า เมื่อคิดราคาคาร์บอนเครดิตที่ราคาต่างๆ ส่งผลให้เมื่อราคาคาร์บอนเครดิตสูงขึ้น จะสามารถลดต้นทุนการลดการปล่อย CO₂ ได้มากขึ้น



รูปที่ 8 ต้นทุนเฉลี่ยต่อปีของภาพเหตุการณ์กรณีอ้างอิงเทียบกับภาพเหตุการณ์กรณีเปลี่ยนเทคโนโลยีที่มีศักยภาพในการลดการปล่อย CO₂

5. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้แบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 2 กรณี คือ 1) กรณีอ้างอิง อยู่บนพื้นฐานของเทคโนโลยีปัจจุบัน ได้แก่ เทคโนโลยีการหลอมด้วยเตาหลอมไฟฟ้า (EAF) 2) กรณีเปลี่ยนเทคโนโลยี นำเทคโนโลยี ECOARC มาใช้แทนเทคโนโลยีในปัจจุบัน การศึกษากรณีอ้างอิง พบว่า เทคโนโลยี EAF มีการใช้เชื้อเพลิงรวมทุกชนิดเชื้อเพลิง ช่วงปี พ.ศ. 2553-2573 โดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.6 ต่อปี และปล่อย GHGs เท่ากับ 1,770 Thousand Tonnes CO₂ Equivalent ในปี พ.ศ. 2573 ดังนั้นจากการศึกษากรณีที่ 2) กรณีเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี พบว่า เทคโนโลยี ECOARC ใช้เชื้อเพลิงรวมทุกชนิดเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.2 ต่อปี ดังนั้นถ้านำเทคโนโลยี ECOARC มาใช้จะสามารถลดการใช้ไฟฟ้าในเตาหลอมลงได้ประมาณร้อยละ 29.5 และลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คิดเป็นร้อยละ 27.28 ในปี พ.ศ. 2573 เมื่อพิจารณาต้นทุนในการลดการปล่อย CO₂ จากการใช้เทคโนโลยี พบว่า ภาพเหตุการณ์ในกรณีเปลี่ยนเทคโนโลยีมาใช้เทคโนโลยี ECOARC มีค่าใช้จ่ายรายปีอยู่ที่ 388 ล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี ซึ่งมีค่าใช้จ่ายรายปีต่ำกว่าการใช้เทคโนโลยีเดิม และสามารถลดการปลดปล่อย CO₂ ได้สูงขึ้น ดังนั้นเมื่อคำนวณราคาคาร์บอนเครดิตของค่าใช้จ่ายรายปีนั้น พบว่า เมื่อคิดราคาคาร์บอนเครดิตที่ราคาต่างๆ ส่งผลให้เมื่อราคาคาร์บอนเครดิตสูงขึ้น จะสามารถลดต้นทุนการลดการปล่อย CO₂ ได้มากขึ้นตามไปด้วย

บรรณานุกรม

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555. รายงานพลังงานของประเทศไทยปี 2554. [ออนไลน์] <http://www.dede.go.th>
- [2] การจัดประเภทอุตสาหกรรม ตามกิจการทางเศรษฐกิจ (ISIC) ฉบับ Revision 3 ค.ศ.1989 องค์การสหประชาชาติ
- [3] การไฟฟ้านครหลวง. อัตราค่าไฟฟ้าประเภทต่างๆ. [ออนไลน์] <http://www.mea.or.th/home/index.php?l=th>
- [4] ค่า Emission Factor สำหรับการใช้ไฟฟ้าค่าเฉลี่ยระหว่างปี ค.ศ.2007-2009 องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). [ออนไลน์] <http://www.tgo.or.th/>
- [5] ประมาณการแนวโน้มเศรษฐกิจไทย การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2010. [ออนไลน์] <http://www.egat.co.th>
- [6] ร่างเอกสารแนะนำเชิงเทคนิค โครงการจัดทำแผนแม่บทเพื่อการจัดการด้านการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็ก. 2555, สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย [ออนไลน์] <http://www.isit.or.th>
- [7] สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย, 2554. [ออนไลน์] <http://www.isit.or.th>
- [8] สิรินทรเทพ เต่าประยูร. 2553. การศึกษาค่า Carbon Intensity ของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ เหล็ก และอุตสาหกรรมพลังงาน (โรงไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล). [ออนไลน์] http://www.tgo.or.th/download/seminar/presentation/221110/Summary_JGSEE.pdf.
- [9] สิรินทิพย์ ประวิณานุสรณ์. 2549. การทดแทนกันของปัจจัยการผลิตและพลังงานของอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต คณะเศรษฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 11-14.
- [10] สิริลักษณ์ เจียรการ. 2553. การศึกษาและกำหนดค่า Carbon Intensity ของอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าของประเทศไทย. [ออนไลน์] http://www.tgo.or.th/download/seminar/presentation/221110/CarbonIntensity_KMUTT.pdf.
- [11] สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. [ออนไลน์] <http://www.nesdb.go.th>

- [12] ศูนย์บริการวิชาการเศรษฐศาสตร์. 2543. โครงสร้างอุตสาหกรรมเหล็ก. [ออนไลน์] www.thif-ta.com/thaifta/Portals/0/File/vol4Ch_7_steel.doc
- [13] Capacity and Production of Steel Products, 2010. Iron and Steel Institute of Thailand (isit)
- [14] Energy Consumption of Steel Production with EAF, 2008. Iron and Steel Institute of Thailand (isit)
- [15] Hidalgo, I., Szabo, L., Ciscar, J.C. and Soria, A. 2005. Technological prospects and CO₂ emission trading analyses in the iron and steel industry: A global model. Energy. 30, 583-610.
- [16] Long Range Alternative Energy Planning system. [available]. <http://www.energycommunity.org>
- [17] Song, H., Lee, S., Maken, S., Ahn, S., Park, J., Min, B. and Koh, W. 2007. Environmental and economic assessment of the chemical absorption process in Korea using the LEAP model. Energy Policy 35, 5109-5116.
- [18] The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. [available] <http://www.ipcc.ch>
- [19] Wang, K., Wang C., Lu, X. and Chen, J. 2007. Scenario analysis on CO₂ emissions reduction potential in China's iron and steel industry. Energy Policy 35, 2320-2335.
- [20] Yellishetty, M., Ranjith, P.G. and Tharumarajah, A. 2010. Iron ore and steel production trends and material flows in the world: Is this really sustainable. Resources, Conservation and Recycling. 54, 1084-1094.