การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินเพื่อใช้กับเตาเผาเหล็ก

Life Cycle Assessment of Coal Gasification for Reheating Furnace

วิภาศรี เรืองเนตร[1,*], พงษ์ธร จรัญญากรณ์[1] และ ณัฐเดช เฟื่องวรวงศ์[1]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330
[*]ผู้ติดต่อ: E-mail: smartmai@hotmail.com, โทรศัพท์: 08-4354-0550, โทรสาร: 0-2252-2889

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมเหล็กเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานสูงและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมค่อนข้างมาก เตาเผาเหล็ก (Reheating furnace) เป็นหนึ่งในอุปกรณ์สำคัญในกระบวนการผลิตเหล็ก เตาเผาเหล็กส่วนใหญ่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีราคาสูงและมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา กระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อทดแทนการใช้น้ำมันเตา แต่กระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อม

บทความนี้นำเสนอผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินเพื่อใช้กับเตาเผาเหล็ก ซึ่งทำการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินสำหรับเตาเผาเหล็กในประเทศไทย ซึ่งจะทำให้ทราบค่าเชิงปริมาณและแสดงให้เห็นถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่าง ๆ โดยมีขอบเขตการศึกษาตั้งแต่ขั้นตอนการจัดหาวัตถุดิบ ขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบไปยังโรงงาน ขั้นตอนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง และขั้นตอนของการนำก๊าซเชื้อเพลิงไปใช้กับเตาเผาเหล็ก โดยมีการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานและทรัพยากรในแต่ละขั้นตอน เพื่อใช้ในการทำบัญชีรายการสารเข้าและออกของระบบสำหรับวิเคราะห์ข้อมูล จากผลการศึกษาพบว่าขั้นตอนการนำก๊าซเชื้อเพลิงไปใช้กับเตาเผาเหล็กเป็นขั้นตอนที่มีปริมาณการใช้พลังงานมากที่สุด และเป็นขั้นตอนที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาสูงถึง 2,922.81 กรัม และขั้นตอนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดคือขั้นตอนการจัดหาวัตถุดิบ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงถึง 70.9% เมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนอื่นๆ

คำหลัก: ถ่านหิน, ก๊าซเชื้อเพลิง, การประเมินวัฏจักรชีวิต

Abstract

Steel industry is an industry with high energy consumption and environmental impact. Reheating furnace is one of important facility in the process of steel production. Most of the reheating furnaces consume fuel oil which is high price and constantly changing. The coal gasification process is an alternative that can be applied as a substitute of fuel oil. However, this process causes adverse effects on the environment both directly and indirectly.

This paper presents the result of life cycle assessment (LCA) of coal gasification for reheating furnace. The study estimates the environment impact throughout the life cycle of coal gasification for reheating furnace in Thailand. This yields quantitative data and show the impact on environment in various aspects. The scope of LCA study included raw material acquisition process, coal transportation process, gasification process, and fuel gas combustion for reheating furnace process. The data collection includes energy and resource flow of all the inputs and outputs at each process for an inventory list and analysis. From the assessment, fuel gas combustion for reheating furnace process is the highest energy consumption of the cycle. Moreover, this process emitted 2,922.81 grams of carbon dioxide (CO_2) that larger than any other processes. The raw material acquisition process causes the highest environmental impact up to 70.9% comparing to the other processes.

***Keywords**:* Coal, Gasification, Life cycle assessment

1. บทนำ (Introduction)

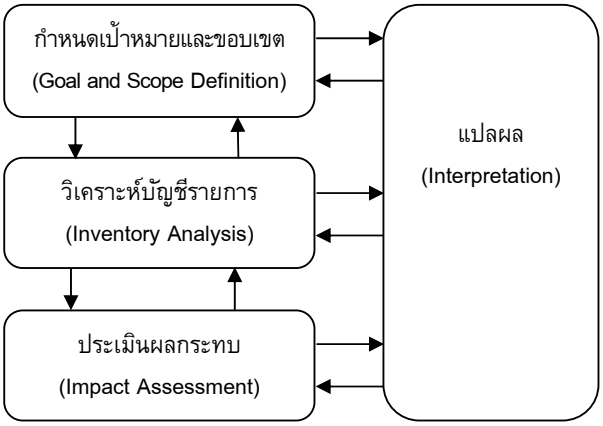
อุตสาหกรรมเหล็กเป็นอุตสาหกรรมหลักที่มีความจำเป็นสำหรับต่อยอดอุตสาหกรรมอื่นๆ ทำให้เหล็กเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความต้องการสูง ในกระบวนการผลิตเหล็ก มีความจำเป็นต้องใช้พลังงานในปริมาณมาก ดังนั้นเมื่อความต้องการเหล็กเพิ่มสูงขึ้น ความต้องการพลังงานจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ในกระบวนการผลิตเหล็กนั้นเตาเผาเหล็ก (Reheating Furnace) เป็นหนึ่งในอุปกรณ์สำคัญที่มีปริมาณการใช้พลังงานสูงมาก เมื่อมีปริมาณการใช้พลังงานสูง ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการจัดหาเชื้อเพลิงจึงสูงขึ้นตามไปด้วยส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเหล็กสูงขึ้น ปัจจุบันเชื้อเพลิงที่ใช้กับเตาเผาเหล็กในประเทศไทยนั้นมีทั้งน้ำมันเตาและก๊าซธรรมชาติ สำหรับโรงงานเหล็กที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติอาจจะยังไม่มีปัญหามากนัก แต่สำหรับโรงงานที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงจะได้รับผลกระทบอย่างมาก เนื่องจากน้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงที่มีราคาสูงและมีราคาที่ไม่แน่นอน ทำให้โรงงานไม่สามารถควบคุมต้นทุนการผลิตได้ จึงทำให้ผู้ที่เกี่ยวข้องพยายามหาวิธีที่จะเปลี่ยนจากการใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงไปเป็นอย่างอื่นแทน

การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินจึงเป็นทางเลือกหนึ่ง เนื่องจากถ่านหินมีราคาถูก มีค่าพลังงานความร้อนสูง อีกทั้งยังจัดหาได้ง่าย แต่เนื่องจากถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงที่อาจส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม งานวิจัยชิ้นนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินตลอดจนการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาเหล็ก โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment: LCA) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์

2. วิธีการศึกษา (Methodology)

ศึกษาโดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment, LCA) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบ (เชิงปริมาณ) ต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินเพื่อใช้กับเตาเผาเหล็ก โดยพิจารณาตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to grave) หมายถึง เริ่มต้นพิจารณาตั้งแต่กระบวนแรกที่ได้มาซึ่งถ่านหินที่เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง จนกระทั่งถึงขั้นตอนสุดท้ายที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง นั่นคือการนำก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเตาเผาเหล็ก โดยพิจารณาครอบคลุมถึงกระบวนการผลิตและกิจกรรมที่เกี่ยวเนื่องกันในรูปของวัตถุดิบที่ใช้ พลังงานที่ใช้ และผลผลิตที่ได้จากกระบวนการต่างๆ โดยดำเนินการตามขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตในอนุกรมมาตรฐาน ISO14040 ซึ่งมี 4 ขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 1 [1]



รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต

2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition)

2.1.1 การกำหนดเป้าหมาย (Goal)

เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินเพื่อใช้กับเตาเผาเหล็ก ขนาด 50 ตันต่อชั่วโมง อันจะนำไปเป็นข้อมูลในการพิจารณาประกอบการตัดสินใจว่ากระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากน้อยเพียงใด

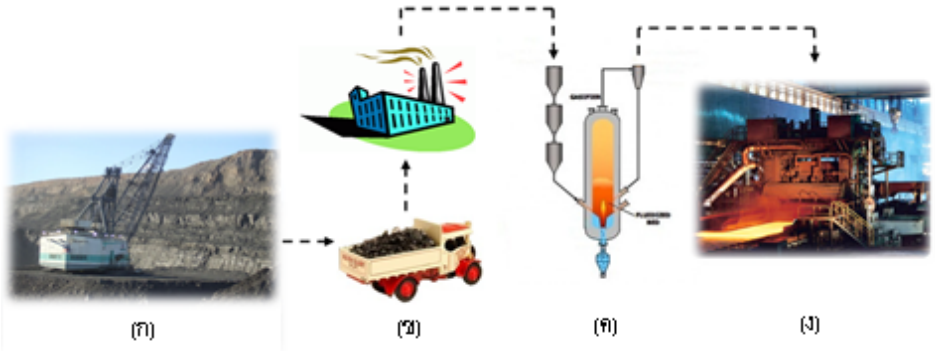
2.1.2 การกำหนดขอบเขตการศึกษา (Scope)

ศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบเชิงปริมาณของการใช้พลังงาน ที่มีต่อผลผลิตและมลพิษที่เกิดขึ้นในหนึ่งหน่วยหน้าที่การใช้งาน (Functional unit) ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2

หน่วยหน้าที่การใช้งาน หมายถึง การพิจารณาในเชิงของปริมาณการใช้พลังงานต่อผลผลิตตลอดกระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินเพื่อนำไปใช้กับเตาเผาเหล็กขนาด 50 ตันต่อชั่วโมง โดยมีขั้นตอนย่อยทั้งหมด 4 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 2 เริ่มต้นตั้งแต่ขั้นตอนการจัดหาวัตถุดิบซึ่งหมายถึงกระบวนการทำเหมืองถ่านหิน ขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบ (ถ่านหิน) ไปยังโรงงาน ขั้นตอนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง และขั้นตอนสุดท้ายการนำก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเตาเผาเหล็ก

2.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Inventory Analysis)

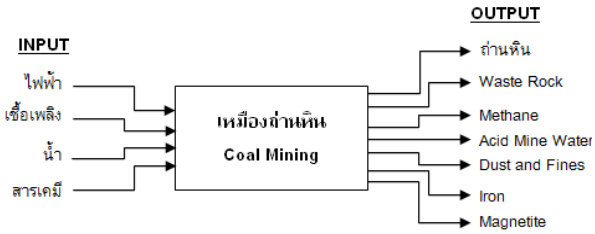
บัญชีรายการ (Inventory list) คือ ข้อมูลบัญชีรายการที่แสดงปริมาณสารขาเข้า (Input) เช่น ทรัพยากร และพลังงาน เป็นต้น และสารขาออก (Output) เช่น ผลิตภัณฑ์ by product และมลพิษ ในแต่ละขั้นตอน แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ โดยแหล่งที่มาของข้อมูลดังกล่าวสามารถแบ่งได้เป็นสองประเภท ประเภทแรกข้อมูลปฐมภูมิ คือข้อมูลที่ได้มาจากการสัมภาษณ์บุคคลที่เกี่ยวข้อง และประเภทที่สองข้อมูลทุติยภูมิ คือข้อมูลพื้นฐานทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนต่าง ๆในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งมีการจัดเก็บไปแล้วโดยบุคคลหรือหน่วยงานอื่นเพื่อจุดประสงค์บางประการ โดยมีรายละเอียดการเก็บรวบรวมข้อมูลแบ่งตามขั้นตอนต่างๆดังนี้



รูปที่ 2 แสดงหน่วยหน้าที่การใช้งาน ประกอบด้วย (ก) ขั้นตอนการจัดหาวัตถุดิบ (การทำเหมืองถ่านหิน) (ข) ขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบไปยังโรงงาน (ค) ขั้นตอนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (ง) ขั้นตอนการนำก๊าซเชื้อเพลิงไปใช้กับเตาเผาเหล็ก

ขั้นตอนที่ 1 การจัดหาวัตถุดิบ (การทำเหมืองถ่านหิน, Coal mining)

ถ่านหินบิทูมินัส (Bituminous coal) เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้มาจากการทำเหมืองถ่านหินแบบเหมืองเปิด (Surface Mining) ซึ่งข้อมูลการใช้พลังงานจากการทำเหมืองถ่านหินที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้ได้มาจาก Energy and Environmental Profile of the U.S. Mining Industry [2] แบ่งเป็นพลังงานจากการใช้ไฟฟ้า สารเคมี น้ำ และเชื้อเพลิงดังแสดงในรูปที่ 3 และข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการทำเหมืองถ่านหินได้มาจาก IPCC [2]



รูปที่ 3 แสดงสารขาเข้า (input) และสารขาออก (output) ในขั้นตอนการจัดหาวัตถุดิบ

ขั้นตอนที่ 2 การขนส่งวัตถุดิบ (Transportation)

ในขั้นตอนนี้จะพิจารณาการขนส่งถ่านหินจากท่าเรือแหลมฉบัง[3] สู่โรงงานตัวอย่างในจังหวัดสมุทรปราการ รวมระยะทางทั้งหมดประมาณ 102 กิโลเมตร ใช้รถบรรทุกซึ่งใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในการขนส่ง โดยบรรทุกน้ำหนักไม่เกิน 15 ตัน/เที่ยว และมีอัตราการใช้เชื้อเพลิง 2 กิโลเมตรต่อลิตร ดังนั้นพลังงานและมลพิษที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบจึงเป็นผลรวมระหว่างพลังงานและมลพิษที่เกิดจากการผลิตน้ำมันดีเซล กับพลังงานและมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลในรถบรรทุก โดยข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณได้มาจาก GREET Model และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [4]

ขั้นตอนที่ 3 การผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification)

กระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหิน (Coal gasification process) เป็นกระบวนการออกซิเดชั่นถ่านหินเพียงบางส่วน มีสารขาเข้า (input) และสารขาออก (Output) ดังแสดงในรูปที่ 3 เมื่อถ่านหินทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนหรืออากาศและไอน้ำภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง จะให้ก๊าซเชื้อเพลิง (Fuel gas) เป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งมีส่วนประกอบหลักเป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ในการทำบัญชีรายการของขั้นตอนนี้ ใช้ข้อมูลจากงานวิจัยของ Southeast Universiity [5] ซึ่งใช้ถ่านหินบิทูมินัส (Bituminous coal) เป็นตัวอย่างในการทดลอง โดยถ่านหินมีค่าพลังงานความร้อน เท่ากับ 21.45 เมกะจูลต่อกิโลกรัม อัตราการป้อนถ่านหิน (Coal feed rate) เท่ากับ 7.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราการไหลของอากาศ (Air flow rate) เท่ากับ 15.6 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ที่สภาวะปกติ และ อัตราส่วนระหว่างไอน้ำต่อถ่านหิน (steam/coal ratio) เท่ากับ 0.38

รูปที่ 4 แสดงสารขาเข้า (input) และสารขาออก (output) ในขั้นตอนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง

ขั้นตอนที่ 4 การนำก๊าซเชื้อเพลิงไปใช้กับเตาเผาเหล็ก (Fuel gas for reheating furnace)

นำก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้ามาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนแก่เตาเผาเหล็กแทนการใช้น้ำมันเตา โดยมีพลังงานที่ใช้ต่อผลผลิตของเตาเผาเหล็กเท่ากับ 1,042 เมกะจูลต่อตัน สำหรับปริมาณก๊าซเรือนกระจก (CO_2, N_2O, CH_4) ที่ปล่อยออกมาจากขั้นตอนนี้ สามารถคำนวณได้จาก (IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [2])

$$\text{Emission} = \sum(EF_{abc} \times \text{Activity}_{abc}) \quad (1)$$

โดย

EF = Emission Factor (Kg/TJ)

Activity = Energy Input (TJ)

a = Fuel type

b = Sector-activity

c = Technology type

2.3 การประเมินผลกระทบ (Impact assessment)

นำข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการมาจำแนกจัดกลุ่ม (Classification) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในด้านต่างๆเช่น สภาวะโลกร้อน (Global Warming) การสูญเสียโอโซน (Ozone layer Depletion) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (Ecotoxicity) และความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human toxicity) หลังจากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการกำหนดบทบาทของผลกระทบ(Characterization) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ต้องนำค่ากำหนดบทบาท (Characterization factor) อันเป็นตัวแทนการบอกปริมาณของผลกระทบในแต่ละประเภท มาคูณกับข้อมูลจากการวิเคราะห์บัญชีรายการเพื่อแสดงถึงความรุนแรงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้น และเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการแปลผลการประเมินวัฏจักรชีวิตในขั้นตอนถัดไป

ในการศึกษาครั้งนี้จะศึกษาผลกระทบเกี่ยวกับสภาวะโลกร้อนเท่านั้น โดยมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องคือก๊าซเรือนกระจกอันได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และมีเทน (CH_4) และใช้ค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (Global warming potential, GWP) เป็นค่ากำหนดบทบาท

2.4 การแปลผล (Interpretation)

การแปลผลการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นกระบวนการสุดท้ายของการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยนำผลการศึกษาจากทั้ง 3 กระบวนการก่อนหน้ามาวิเคราะห์เพื่อหาข้อสรุปและสาเหตุของปัญหา อันจะนำไปเป็นแนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการนั้นๆต่อไป

3. ผลการศึกษา (Results)

3.1 ผลการประเมินค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Impact Assessment)

จากผลการศึกษาปริมาณพลังงานที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินเพื่อใช้กับเตาเผาเหล็กดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 พบว่า ขั้นตอนการนำก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ไปใช้กับเตาเผาเหล็กมีปริมาณการใช้พลังงานมากที่สุด แต่มีข้อสังเกตบางประการพบว่า พลังงานที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 อาจแปรผันได้ตามระยะทางในการขนส่งถ่านหินสู่โรงงาน

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณสารขาเข้าหรือพลังงานที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินเพื่อใช้กับเตาเผาเหล็กขนาด 50 ตันต่อชั่วโมง

ขั้นตอนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหิน	พลังงานที่ใช้
ขั้นตอนที่ 1	4.135 MJ
ขั้นตอนที่ 2	9.79 MJ
ขั้นตอนที่ 3	1517.373 MJ
ขั้นตอนที่ 4	52100 MJ

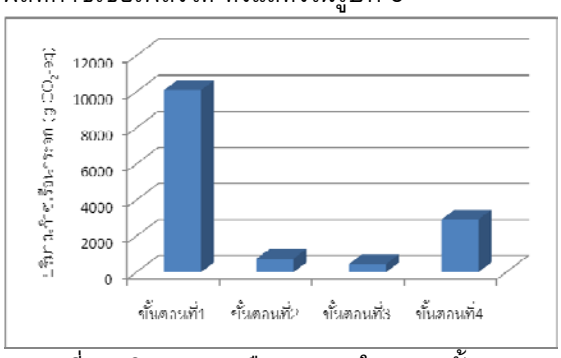
ข้อมูลในตารางที่ 2 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกอันประกอบด้วย CO_2, CH_4, N_2O ที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานในปริมาณดังแสดงในตารางที่ 1 จากการศึกษาพบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยออกมามากที่สุดในทุกขั้นตอน และขั้นตอนที่มีปริมาณก๊าซเรือนกระจกปลดปล่อยออกมามากที่สุดคือขั้นตอนการนำก๊าซเชื้อเพลิงไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเตาเผาเหล็ก

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณสารขาออกหรือปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกมาจากแต่ละขั้นตอน

GHG	CO_2 (g)	CH_4 (g)	N_2O (g)
ขั้นตอนที่ 1	0	480.603	0
ขั้นตอนที่ 2	730.396	0.806	0.00215
ขั้นตอนที่ 3	103.802	16.605	0
ขั้นตอนที่ 4	2,922.81	0.0521	0.00521

แต่เนื่องจากก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดมีศักยภาพในการทำให้โลกร้อนไม่เท่ากัน จึงจำเป็นต้องกำหนดให้ค่าดูดกลืนความร้อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นมาตรฐานเปรียบเทียบ ซึ่งสามารถแสดง

ศักยภาพในการทำให้โลกร้อนจากขั้นตอนต่างๆในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงได้ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขั้นตอน

จากรูปที่ 5 พบว่าขั้นตอนการจัดหาวัตถุดิบ (การทำเหมืองถ่านหิน) เป็นขั้นตอนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยมีค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อนเท่ากับ 10092.66 g CO_2-eq

3.2 การตีความและประเมินเพื่อปรับปรุง (Interpretation)

ผลการประเมินชี้ให้เห็นว่าขั้นตอนสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดคือขั้นตอนการจัดหาวัตถุดิบ ดังนั้นแนวทางในการลดผลกระทบและมลพิษที่เกิดขึ้นจึงควรมุ่งเน้นไปที่การลดการใช้พลังงานในการทำเหมืองถ่านหินเนื่องจากการใช้พลังงานในขั้นตอนนี้จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดในวัฏจักรที่พิจารณา

4. สรุป (Conclusions)

จากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินเพื่อใช้กับเตาเผาเหล็ก พบว่าการจัดหาวัตถุดิบหรือการทำเหมืองถ่านหิน ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมถึง 70.9 % เมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนอื่นๆ ดังนั้นการลดก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินเพื่อใช้กับเตาเผาเหล็กจึงควรมุ่งเน้นไปที่กระบวนการทำเหมืองแร่มากที่สุด

5. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] กรมโรงงานอุตสาหกรรม และ มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย (2551). *LCA: เครื่องมือสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์สีเขียว "กรณีศึกษาอุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ อุตสาหกรรมโลหะที่มิใช่เหล็ก"*, กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม

[2] IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, (Revised 1996). Reference Manual.

[3] บริษัท เอ็นเนอร์ยี่ เอิร์ธ จำกัด (มหาชน). *สรุปข้อสนเทศ,* กรุงเทพฯ

[4] จักรภพ นาคฤทธิ์ (2546). *การศึกษาเปรียบเทียบวัฏจักรพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตระหว่างการใช้ดีเซลผสมเอทานอลชนิด 95% และ 99.5% ในภาคการขนส่งของประเทศไทย,* จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[5] Feng Duan, Baosheng Jin, Yaji Huang, Bin Li, Yiming Wu and Mingyao Zhang (2010). Results of Bituminous Coal Gasification upon Exposure to a Pressurized Pilot-Plant Circulating Fluidized-Bed (CFB) Reactor, *Energy fuel article,* 2010, 24, pp.3150-3158.