

การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการผลิตก๊าซ เชื้อเพลิงจากถ่านหินเพื่ออุตสาหกรรมเซรามิกใน จังหวัดลำปาง

สรอรรถ ศรีสุข และ จิตติศักดิ์ บุญปราโมทย์

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*Email: soraat.s@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินนำเข้าเกรดบิทูมินัส (ถ่านหินอินโดนีเซีย) เพื่อใช้ทดแทนก๊าซแอลพีจีสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกแห่งหนึ่งในจังหวัดลำปาง ซึ่งโดยปกติจะต้องใช้ก๊าซแอลพีจีวันละประมาณ 3,000 กิโลกรัม คิดเป็นค่าความร้อนประมาณ 35,400,000 กิโลแคลอรี หากใช้ราคาจำหน่ายก๊าซแอลพีจีสำหรับภาคอุตสาหกรรม ณ เดือนเมษายน พ.ศ. 2557 ที่ราคา กิโลกรัมละ 30.13 บาท จะมีต้นทุนค่าเชื้อเพลิงวันละ 90,390 บาท เมื่อนำถ่านหินนำเข้าเกรดบิทูมินัสจากประเทศอินโดนีเซียที่ราคารวมค่าขนส่งถึงจังหวัดลำปางอยู่ที่ต้นละ 3,000 บาท มาแปรรูปเป็นก๊าซเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนประมาณ 35,400,000 กิโลแคลอรี จะต้องใช้ถ่านหินวันละประมาณ 16,200 กิโลกรัม คิดเป็นต้นทุนค่าเชื้อเพลิงวันละ 48,600 บาท ดังนั้นสามารถประหยัดค่าเชื้อเพลิงได้วันละประมาณ 41,790 บาท (คิดเป็นร้อยละ 46.23 ของต้นทุนค่าเชื้อเพลิง)

ผลการศึกษาพบว่า จะได้อัตราผลตอบแทนภายในในโครงการอยู่ที่ร้อยละ 14.88 และมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิของโครงการที่อัตราดอกเบี้ยร้อยละ 8 อยู่ที่ประมาณ 9.44 ล้านบาท โดยจะสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาประมาณ 5 ปี จากการประเมินอายุโครงการ 10 ปี ซึ่งสรุปได้ว่า มีความเป็นไปได้ในการใช้ถ่านหินนำเข้าจากประเทศอินโดนีเซีย มาผลิตเป็นก๊าซเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกในจังหวัดลำปาง

คำสืบค้น

ก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหิน, ก๊าซแอลพีจี, เซรามิก

PRE-FEASIBILITY STUDY OF COAL GASIFICATION FOR CERAMIC INDUSTRY IN LAMPANG

Soraat Srisukh and Thitisak Boonpramote

*¹Department of Mining and Petroleum Engineering, Faculty of Engineering,
Chulalongkorn University*

**Email: soraat.s@hotmail.com*

ABSTRACT

This research has an objective to study a pre-feasibility of coal gasification from imported bituminous coal for substituting Liquefied Petroleum Gas (LPG) which is used in ceramic industry in Lampang province. The consumption of fuel around 3,000 kilograms per day or it needs the heating value around 35,400,000 kilocalories per day. At the spot price on April 2014, if LPG price for industry production is 30.13 baht per kilogram, the cost of fuel is 90,390 baht per day. Imported bituminous coal from Indonesia around 3,000 baht per ton (the spot price on April 2014 including transportation cost to Lampang) was used to be a fuel of gasification process. It has to use coal around 16,200 kilograms per day for produced the heating value around 35,400,000 kilocalories per day. So the cost of syngas fuel is 48,600 baht per day. It can save the fuel cost around 41,790 baht per day. (around 46.23%)

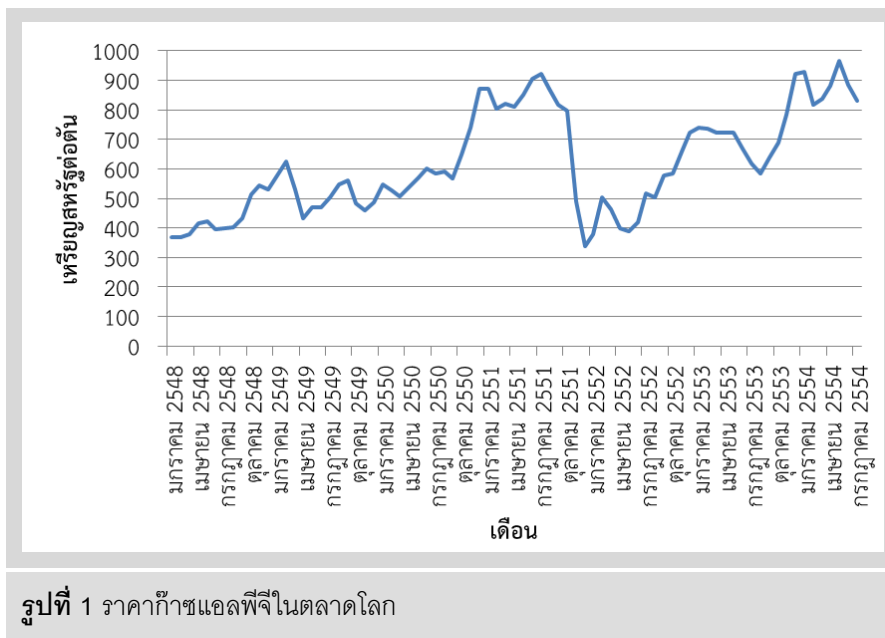
The result indicates that the Internal Rate of Return is 14.88% and the Net Present Value at 8% discount rate is 9.44 million baht that can payback the investment around 5 years which had estimated overview project in 10 years. Finally, using coal gasification for substituting LPG which is used in ceramic industry in Lampang province is possible.

KEYWORDS

Coal gasification, LPG, Ceramic

1. บทนำ

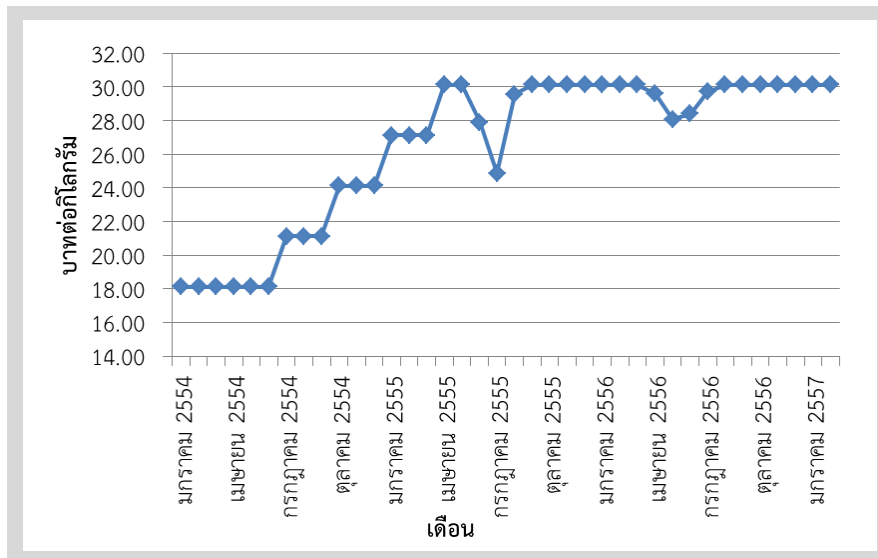
อุตสาหกรรมเซรามิกในจังหวัดลำปางมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีความต้องการที่เพิ่มขึ้นอย่างมากจากตลาดในประเทศและต่างประเทศ ทำให้มีการลงทุนผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการมากขึ้น ดังนั้นจึงมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการผลิตเรื่อยมา เช่น จากเดิมใช้เตามังกร (เตาเผายาวปัจจุบันเรียกกันว่าเตาอุโมงค์) ซึ่งเผาได้ปริมาณน้อย ก็เปลี่ยนเป็นการใช้เตาเผาแบบต่อเนื่อง (Continuous kiln) เพื่อที่จะเผาให้ได้ในปริมาณเพิ่มมากขึ้น โดยในการเผาเซรามิกนั้น มีรูปแบบการใช้เชื้อเพลิงอยู่หลายประเภท สำหรับจังหวัดลำปางนิยมใช้ก๊าซแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงหลักในการเผา เนื่องจากให้ค่าความร้อนสูง จัดหาและจัดเก็บได้ง่าย ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน ซึ่งผลจากการที่ราคาก๊าซแอลพีจีในตลาดโลกมีแนวโน้มการปรับตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังรายละเอียดตามรูปที่ 1 ประกอบกับการอ่อนตัวลงของค่าเงินบาท และนโยบายการลอยตัวราคาก๊าซแอลพีจีของรัฐบาล มีผลทำให้ต้นทุนการผลิตเซรามิกโดยใช้ก๊าซแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย



ราคาจำหน่ายก๊าซแอลพีจีสำหรับภาคอุตสาหกรรมที่ใช้ในปัจจุบันนั้น เป็นไปตามมติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ ครั้งที่ 2/2556 (ครั้งที่ 145) เมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม 2556 ซึ่งมีมติให้ราคาก๊าซแอลพีจีที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมอยู่ที่ 30.13 บาทต่อกิโลกรัม โดยยังคงให้ตรึงราคานี้ในปัจจุบัน หลังจากที่มีการปรับตัวเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในระยะ 3 ปีที่ผ่านมา ดังรายละเอียดตามรูปที่ 2 ทั้งนี้ จากข้อมูลการให้สัมภาษณ์ของนายวงศ์ชัย ศรีไทย อุปนายกสมาคมเซรามิกลำปาง เมื่อวันที่ 20 มีนาคม พ.ศ. 2555 เปิดเผยว่า ผลจากการปรับขึ้นราคาจำหน่ายก๊าซแอลพีจีสำหรับภาคอุตสาหกรรม มีผลกระทบให้ต้นทุนพลังงานในการผลิตเซรามิกในจังหวัดลำปางมีค่าประมาณร้อยละ 50 ของมูลค่าต้นทุนการผลิตทั้งหมด ซึ่งเป็นต้นทุนที่ค่อนข้างสูง ดังนั้น หากสามารถหาแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงชนิดอื่นที่มีราคาต่ำกว่ามาใช้ทดแทนได้ ก็จะสามารถลดต้นทุนในการผลิตและช่วยเพิ่มโอกาสในการแข่งขันในตลาดได้อีกด้วย

ในการศึกษานี้ เลือกรูปแบบการใช้ก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินมาใช้ทดแทนก๊าซแอลพีจี เนื่องจากอุตสาหกรรมถ่านหินได้ถูกพัฒนาทั้งทางด้านเทคโนโลยีและปรับปรุงคุณภาพมาอย่างต่อเนื่อง มีราคาถูกและมีการเปลี่ยนแปลงของราคาค่อนข้างต่ำ ตลอดจนสามารถจัดหาได้ค่อนข้างแน่นอน เพราะมีแหล่งผลิตและจำหน่ายกระจายอยู่ตามภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลก ทำให้มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศที่เป็นผู้นำทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม เช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และจีน

เป็นต้น โดยการศึกษาขึ้นเป็นการรวบรวมข้อมูลทางด้านเทคโนโลยีและราคา แล้วนำข้อมูลที่ได้มาสร้างแบบจำลองการเกิดก๊าซเชื้อเพลิงและแบบจำลองทางการเงิน เพื่อประกอบการตัดสินใจในการวิเคราะห์มูลค่าและความคุ้มค่าของการลงทุนในเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อให้ทราบถึงการลงทุนในกระบวนการแปรสภาพถ่านหินให้กลายเป็นก๊าซเชื้อเพลิงเพื่อใช้ทดแทนการใช้ก๊าซแอลพีจีนั้น เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานและมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่เป็นสำคัญ อีกทั้งเพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการพิจารณาตัดสินใจลงทุนสำหรับผู้สนใจต่อไป



รูปที่ 2 ราคาก๊าซแอลพีจีในภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทย

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถ่านหิน

ในธรรมชาติ ชากพืชและสาหร่ายที่ทับถมกันในทะเลสาบหรือหนองน้ำที่มีสภาพเป็นน้ำจืดหรือน้ำกร่อยนั้นจะถูกย่อยสลายโดยปฏิกิริยาเคมี เกิดการทับถมกันมากขึ้นและเมื่อมีการทรุดตัวของแผ่นดินหรือระดับน้ำในบริเวณนั้นสูงขึ้น ชากพืชจะจมลงใต้ระดับน้ำ แล้วถูกปิดทับด้วยตะกอนหินดินทรายที่ถูกพัดพามากับน้ำ เกิดเป็นวัฏจักรของการสะสมตัวเป็นชั้น ต่อมาเมื่อตะกอนมีปริมาณมากขึ้น ชากพืชเหล่านั้นจะถูกบีบอัดและได้รับอิทธิพลของความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากการทับถมตัวของตะกอนที่ปิดทับ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากชากพืชเหล่านั้นกลายเป็นถ่านหินชนิดต่างๆ ขึ้นมา

สำหรับถ่านหินในเชิงการค้า สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ถ่านหินคุณภาพสูงที่มีความแข็งแรงสูง (Hard Coal) เนื่องจากมีปริมาณส่วนประกอบของคาร์บอนสูง ได้แก่ แอนทราไซต์และบิทูมินัส มีค่าความร้อนประมาณ 6,000-7,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ส่วนอีกกลุ่มหนึ่ง คือ ถ่านหินคุณภาพต่ำ (Low Rank Coal) ได้แก่ ซับบิทูมินัสและลิกไนต์ มีค่าความร้อนประมาณ 4,000-6,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ทั้งนี้ ลิกไนต์เป็นถ่านหินที่มีคุณภาพต่ำที่สุด ทำให้ไม่มีความคุ้มค่าต่อการขนส่งในทางการค้าระยะทางไกล จึงไม่ถูกใช้ในการค้าขายถ่านหินระหว่างประเทศ โดยถ่านหินคุณภาพสูงมักถูกใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการความร้อนสูง เช่น อุตสาหกรรมถลุงเหล็ก ทำให้ถูกเรียกว่า ถ่านหินเกรดโลหะกรรม (Metallurgical Coal) ซึ่งสามารถนำไปปรับปรุงเพิ่มคุณภาพให้เป็นถ่านโค้ก (Coking Coal) ต่อไปได้ ส่วนถ่านหินคุณภาพต่ำมักถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมที่ใช้หม้อน้ำ (Boiler) เพื่อผลิตไอน้ำ จึงถูกเรียกว่า ถ่านหินเกรดความร้อน (Thermal Coal) หรือถ่านหินเกรดหม้อไอน้ำ (Steam Coal)

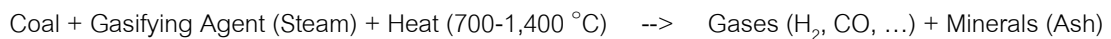
2.2 เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดด้วยการแปรสภาพถ่านหินให้กลายเป็นก๊าซ

การแปรสภาพถ่านหินให้กลายเป็นก๊าซเชื้อเพลิง เกิดจากการสันดาปแบบไม่สมบูรณ์ โดยการทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเชื้อเพลิงแข็งกับอากาศ (หรือออกซิเจน) บางส่วน ผลิตภัณฑ์ของการแปรสภาพให้กลายเป็นก๊าซส่วนใหญ่ประกอบด้วย ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีสารประกอบบางตัวที่จัดว่าเป็นสารปนเปื้อนอีกเล็กน้อย ได้แก่ น้ำมันทาร์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และแอมโมเนีย เป็นต้น จะเห็นว่า ก๊าซที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซ CO และ H_2 เรียกว่า ก๊าซเชื้อเพลิง (Fuel Gas) หรือ Synthetic Gas (Syn Gas) โดยมีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเกิด Devolatilization (Pyrolysis, Thermal Decomposition)



ขั้นตอนที่ 2 การเกิด Gasification (Char Combustion)



สำหรับระบบการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินนั้น ขึ้นอยู่กับการเลือกชนิดของเครื่องเตาปฏิกรณ์และการออกแบบให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน ในการศึกษาี้เลือกใช้เครื่องเตาปฏิกรณ์ประเภท Moving-Bed เนื่องจากมีราคาถูกที่สุด และมีประสิทธิภาพในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เหมาะแก่การใช้งานสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกในจังหวัดลำปางที่ส่วนใหญ่เป็นโรงงานขนาดเล็กถึงขนาดกลาง อีกทั้งในปัจจุบันมีการศึกษาการใช้งานเครื่องเตาปฏิกรณ์ประเภทนี้อยู่แล้วในพื้นที่จังหวัดลำปาง แต่วัตถุดิบที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงคือชีวมวล เช่น ชังอ้อย ชังข้าวโพด เป็นต้น ซึ่งจะทำให้ผู้ประกอบการในพื้นที่มีความคุ้นเคยและเข้าใจระบบการทำงานเป็นอย่างดี

3. การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน

ข้อมูลต่างๆที่ใช้ในการศึกษาี้ เป็นข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมเซรามิกในจังหวัดลำปาง รวมทั้งข้อมูลอ้างอิงจากผลการศึกษาและข้อมูลความเป็นจริงในสถานการณ์ปัจจุบัน โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

3.1 การคัดเลือกเชื้อเพลิงที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษาี้ เลือกใช้ถ่านหินนำเข้าจากประเทศอินโดนีเซียเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหิน เนื่องจากมีคุณภาพดี ให้ค่าความร้อนสูง มีปริมาณเถ้าและค่าความชื้นต่ำกว่าถ่านหินในประเทศไทย ตลอดจนระยะทางในการขนส่งถ่านหินใกล้กว่าถ่านหินจากแหล่งอื่นที่มีการค้าขายในตลาดสากล โดยมีคุณสมบัติของถ่านหินตามตารางที่ 1

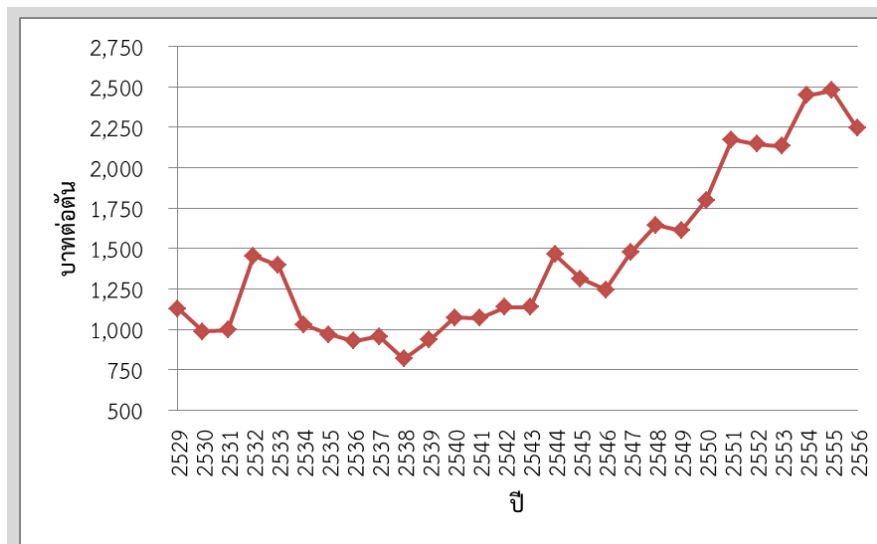
ตารางที่ 1 คุณสมบัติถ่านหินนำเข้าจากประเทศอินโดนีเซีย

คุณสมบัติ	ถ่านหินจากประเทศอินโดนีเซีย
ค่าความร้อน (Gross Calorific Value)	5,500 kcal/kg
ค่าความชื้น (Moisture)	9.43 %
ปริมาณเถ้า (Ash)	13.99 %
ปริมาณสารระเหย (Volatile matter)	29.79 %
ปริมาณคาร์บอนคงที่ (Fixed carbon)	46.79 %
ปริมาณคาร์บอน (Carbon)	58.96 %
ปริมาณไฮโดรเจน (Hydrogen)	4.16 %
ปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen)	1.02 %
ปริมาณซัลเฟอร์ (Sulphur)	0.56 %
ปริมาณออกซิเจน (Oxygen)	11.88 %

จากข้อมูลของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน พบว่าราคาถ่านหินนำเข้าของประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2529 จนถึงปัจจุบัน มีการปรับตัวเพิ่มขึ้นในอัตราที่ต่ำ ดังรายละเอียดตามรูปที่ 3 ซึ่งเป็นไปตามกลไกของราคาตลาดโลก โดยราคาถ่านหินเฉลี่ยตลอดทั้งปี พ.ศ. 2556 อยู่ที่ราคา 2,244.61 บาทต่อตัน ดังนั้นในการศึกษานี้จึงใช้ราคาถ่านหินนำเข้าเฉลี่ย 6 ปีย้อนหลังที่ราคา 2,270 บาทต่อตัน (เนื่องจากมีแนวโน้มของราคาแกว่งตัวในวงแคบ) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์โครงการ

สำหรับการขนส่งถ่านหินนำเข้าจากประเทศอินโดนีเซียมายังจังหวัดลำปางนั้น จะใช้รถบรรทุกพ่วง ขนถ่านหินจากพื้นที่จุดเก็บกองที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เนื่องจากเป็นจุดที่อยู่ใกล้ที่สุด ซึ่งมีระยะทางจากจังหวัดลำปางประมาณ 500 กิโลเมตร โดยมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งประมาณเที่ยวละ 700 – 750 บาทต่อตัน (จากการสอบถามผู้ประกอบการขนส่งที่จังหวัดลำปาง) ทำให้สรุปได้ว่า ราคาถ่านหินนำเข้าจากประเทศอินโดนีเซียรวมค่าขนส่งถึงจังหวัดลำปางแล้วอยู่ที่ประมาณ 3,000 บาทต่อตัน (ราคาถ่านหิน 2,270 บาทต่อตัน และค่าขนส่งจากท่าเรือที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยามาจังหวัดลำปางอยู่ที่ 730 บาทต่อตัน)

สำหรับราคาก๊าซแอลพีจีที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์โครงการนั้น ใช้ราคาจำหน่ายในตลาดปัจจุบัน ณ เดือนเมษายน พ.ศ. 2557 ที่จำหน่ายสำหรับการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมที่ราคา 30.13 บาทต่อกิโลกรัม

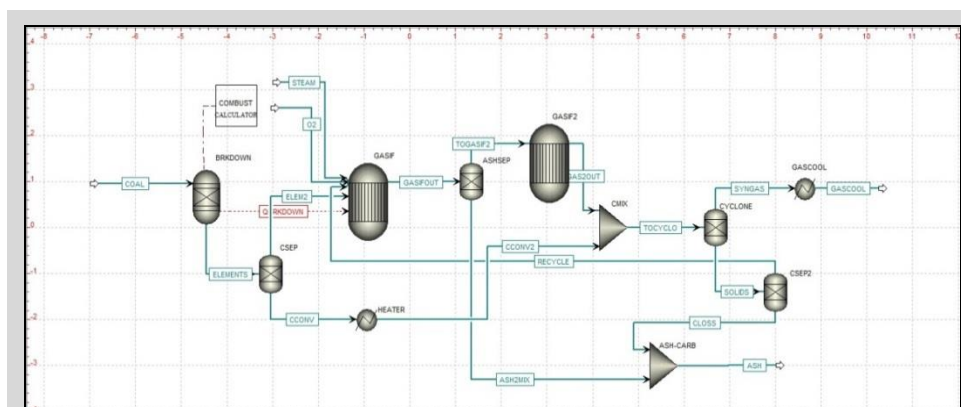


รูปที่ 3 ราคาถ่านหินนำเข้าเฉลี่ยของประเทศไทย

3.2 การคำนวณต้นทุนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหิน

ในการศึกษานี้เลือกใช้เครื่องเตาปฏิกรณ์สำหรับผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบ Moving-Bed เนื่องจากระบบการทำงานไม่ซับซ้อน มีต้นทุนราคาเครื่องจักรต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับเครื่องเตาปฏิกรณ์ชนิดอื่น อีกทั้งยังสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการเตรียมวัตถุดิบเพื่อป้อนเข้าเครื่องเตาปฏิกรณ์ เพราะขนาดมาตรฐานของถ่านหินที่ขายกันในตลาด สามารถป้อนเข้าสู่เครื่องเตาปฏิกรณ์ได้โดยตรง ซึ่งเหมาะสมในการใช้งานสำหรับกลุ่มโรงงานเซรามิกในลำปางที่ส่วนใหญ่เป็นโรงงานขนาดเล็กจนถึงโรงงานขนาดกลาง ซึ่งมีเงินทุนจำกัด ทั้งนี้ การนำก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ไปใช้งานสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกนั้นจะต้องมีค่าใช้จ่ายสำหรับระบบการกำจัดทาร์และก๊าซเจือปนออกจากก๊าซเชื้อเพลิงก่อน มิเช่นนั้นจะทำให้มีผลต่อชิ้นงานในการเผาเซรามิกได้

ทั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์โปรแกรม ASPEN Plus จากภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับใช้ในการจำลองกระบวนการเกิดก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหิน ทำให้ทราบถึงปริมาณและคุณสมบัติต่างๆ ของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณถ่านหินที่ต้องการใช้ต่อไป โดยมีแบบจำลองกระบวนการเกิดก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินดังรายละเอียดตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 แบบจำลองการเกิดก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินด้วยโปรแกรม ASPEN Plus

จากการรวบรวมข้อมูลและสอบถามเจ้าหน้าที่ของศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกและสมาคมเครื่องปั้นดินเผา ลำปางพบว่า โรงงานเซรามิกในจังหวัดลำปางส่วนใหญ่เป็นโรงงานเซรามิกขนาดเล็กจนถึงขนาดกลาง กระจายตัวอยู่ในอำเภอเมืองลำปางและอำเภอเกาะคาเป็นส่วนใหญ่ มีปริมาณการใช้ก๊าซแอลพีจีต่อวันตั้งแต่ 100 – 5,000 กิโลกรัมต่อโรงงาน ดังนั้น ในการศึกษานี้จึงเลือกศึกษาในกรณีที่มีปริมาณการใช้ก๊าซแอลพีจี 3,000 กิโลกรัมต่อวัน และกำหนดให้จำนวนวันทำงานต่อปีเท่ากับ 330 วัน โดยกำหนดขนาดของเตาปฏิกรณ์จะต้องสามารถผลิตก๊าซเชื้อเพลิงให้ได้เฉลี่ย 3,000 กิโลกรัมต่อวัน และมีปริมาณการป้อนถ่านหิน 550 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีจำนวนชั่วโมงทำงานประมาณ 12 ชั่วโมงต่อวัน ดังนั้นจะได้ผลการจำลองการเกิดก๊าซจากถ่านหินโดยใช้โปรแกรม ASPEN Plus ดังแสดงตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลจากแบบจำลองการเกิดก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหิน

คุณสมบัติของก๊าซเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้น	ถ่านหินนำเข้าจากประเทศอินโดนีเซีย
อุณหภูมิ (Temperature)	1,185.40 °C
ความดัน (Pressure)	7.9 bar
ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น (Total flow)	5,439.20 kg/hr
Gas LHV	221.29 kcal/kg

จากตารางที่ 2 ทำให้ทราบว่าปริมาณการใช้ถ่านหินจำนวน 550 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะสามารถผลิตก๊าซเชื้อเพลิงได้ 5,439.20 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือคิดเป็นถ่านหินปริมาณ 1 กิโลกรัม จะผลิตก๊าซเชื้อเพลิงได้ 9.89 กิโลกรัม และเมื่อพิจารณาจากค่าความร้อน (LHV) ของก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้เท่ากับ 221.29 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ดังนั้นจะสามารถผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินที่มีค่าความร้อนเท่ากับ 2,188.44 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ในขณะที่ค่าความร้อนมาตรฐานของก๊าซแอลพีจีอยู่ที่ประมาณ 11,800 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งหากจะให้ได้ค่าความร้อนที่เท่ากัน จะต้องใช้ถ่านหินจำนวน 5.39 กิโลกรัมมาผลิตเป็นก๊าซเชื้อเพลิง

3.3 ผลการเปลี่ยนมาใช้ก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหิน

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น สามารถเปรียบเทียบต้นทุนของก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหิน (คิดเฉพาะต้นทุนเชื้อเพลิง) กับก๊าซแอลพีจี ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ถ่านหิน 5.39 กก.} \times 3.00 \text{ บาทต่อกิโลกรัม} &= \text{ก๊าซแอลพีจี 1 กก.} \times 30.13 \text{ บาทต่อกิโลกรัม} \\
 \text{ก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหิน 16.18 บาทต่อกิโลกรัม} &= \text{ก๊าซแอลพีจี 30.13 บาทต่อกิโลกรัม}
 \end{aligned}$$

สรุปได้ว่า ราคาก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินมีค่าเท่ากับ 16.18 บาทต่อกิโลกรัม หรือราคาก๊าซแอลพีจีสูงกว่าราคาก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินคิดเป็นร้อยละ 53.70

โดยปริมาณถ่านหินที่ต้องการใช้สำหรับผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่มีความต้องการใช้งานต่อวันอยู่ที่ 3,000 กิโลกรัม มีปริมาณเท่ากับ 16,200 กิโลกรัม ดังนั้น หากผู้ประกอบการเปลี่ยนมาใช้ก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหิน ก็จะสามารถลดต้นทุนค่าเชื้อเพลิงได้ประมาณปีละ 13.79 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 46.23 ต่อปี ดังรายละเอียดสรุปตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการเปลี่ยนมาใช้ก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินทดแทนก๊าซแอลพีจี

รายการ	หน่วย	จำนวน หน่วย	ค่าใช้จ่าย ต่อหน่วย	เป็นเงิน (ล้านบาท)	หมายเหตุ
1 การใช้แอลพีจี					
1.1 การใช้ต่อวัน	กิโลกรัม	3,000			
1.2 การใช้ต่อปี	กิโลกรัม	990,000	30.13	29.83	330 วัน
2 การใช้ถ่านหินผลิตก๊าซ					
2.1 ต้นทุนถ่านหินต่อวัน	กิโลกรัม	16,200			
2.2 ต้นทุนถ่านหินต่อปี	กิโลกรัม	5,346,000	3.00	16.04	330 วัน
ดังนั้นใน 1 ปีสามารถลดต้นทุนค่าเชื้อเพลิงได้				13.79	
คิดเป็นร้อยละ				46.23	

3.4 การประเมินกระแสเงินสดของโครงการ

ค่าใช้จ่ายในการลงทุนการก่อสร้างและติดตั้งเครื่องเตาปฏิกรณ์ผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินที่นำมาใช้ในการศึกษานั้น อ้างอิงจากรายงานฉบับสมบูรณ์เรื่องโครงการจัดทำแผนการพัฒนาแหล่งแร่ถ่านหินของประเทศไทย (โดยใช้เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดที่เหมาะสม), 2552 โดยคิดอัตราเงินเฟ้อจนถึงปัจจุบันที่อัตราร้อยละ 15 (ข้อมูลอ้างอิงจากสำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า กระทรวงพาณิชย์) สรุปได้ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนก่อสร้างระบบผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหิน

รายการ	งบประมาณ (บาท)
1. ค่าที่ดิน	1,000,000
2. ค่าก่อสร้างอาคาร	2,830,000
3. ค่าระบบขนถ่ายและป้อนถ่านหิน	3,450,000
4. ค่าเครื่องเตาปฏิกรณ์	6,900,000
5. ค่าระบบทำความสะอาดก๊าซเชื้อเพลิง	2,760,000
6. ค่าระบบกำจัดเถ้าลอยและน้ำมันทาร์	1,150,000
7. ค่าระบบไฟฟ้าและเครื่องกล	2,760,000
8. ค่าแรงติดตั้งอุปกรณ์	2,300,000
9. ค่าระบบบริหารจัดการ	1,200,000
10. เงินทุนหมุนเวียน	2,500,000
11. เงินสำรองฉุกเฉิน	1,150,000
รวมจำนวนทั้งสิ้น	28,000,000

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่อปีของโครงการ ซึ่งในการคำนวณจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าใช้จ่ายในแต่ละปีให้เป็นไปตามอัตราเงินเฟ้อร้อยละ 5 ต่อปี และค่าเสื่อมราคาคิดด้วยวิธีเส้นตรง สรุปได้ตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่อปีของโครงการ

รายการ	งบประมาณต่อปี (บาท)
1. ค่าสาธารณูปโภคและบำรุงรักษาระบบ	600,000
2. ค่าเก็บกองแร่และดูแลรักษาถ่านหิน	1,200,000
3. ค่าใช้จ่ายด้านสังคมและชื้ออนามัย	500,000
4. ค่าใช้จ่ายก่อนดำเนินงาน	115,000
5. ค่าเสื่อมราคาต่อปี	1,815,200
6. ค่าแรง 10 คน (คิดอัตราเงินเฟ้อร้อยละ 5 ต่อปี)	2,100,000
รวมจำนวนทั้งสิ้น	6,435,200

จากตารางที่ 4 และ 5 สามารถคำนวณหากระแสเงินสดสะสมรายปีได้ผลตามตารางที่ 6 โดยเกิดจากการนำกระแสเงินสดรับรายปีที่เกิดขึ้นหักออกจากค่าใช้จ่ายในการลงทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ภายใต้เงื่อนไขดังนี้

- (1) ราคาถ่านหินเท่ากับ 3,000 บาทต่อตัน และราคาก๊าซแอลพีจีเท่ากับ 30.13 บาทต่อกิโลกรัม ตลอดอายุโครงการ 10 ปี
- (2) สัดส่วนเงินกู้ต่อเงินลงทุนเท่ากับร้อยละ 50 โดยอัตราดอกเบี้ยเงินกู้เท่ากับร้อยละ 8 และอัตราภาษีเท่ากับ ร้อยละ 30

ตารางที่ 6 กระแสเงินสดสะสมในแต่ละปีของโครงการ

ปีที่ดำเนินโครงการ	กระแสเงินสดสุทธิรายปี (บาท)
0	-28,000,000
1	-22,505,390
2	-17,009,555
3	-11,516,354
4	-6,029,838
5	-554,262
6	4,905,908
7	10,345,980
8	15,761,030
9	21,145,888
10	28,245,123
รวมจำนวนทั้งสิ้น	22,788,530

ทั้งนี้ กระแสเงินสดรับรายปีที่เกิดขึ้น เกิดจากค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้เนื่องจากการเปลี่ยนมาใช้ก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินแทนการใช้ก๊าซแอลพีจี หักออกด้วยค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน เงินกู้ ดอกเบี้ยเงินกู้และภาษี และกระแสเงินสดสุทธิรายปี เกิดจากการนำกระแสเงินสดรับที่เกิดขึ้นในแต่ละปี หักออกจากค่าใช้จ่ายในการลงทุน ซึ่งผลที่ได้ สามารถนำไปคำนวณหามูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (Net Present Value : NPV) อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return : IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback period : PB) ต่อไป

4. ผลการศึกษา

จากการวิเคราะห์ต้นทุน และผลจากการเปลี่ยนมาใช้ก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินนำ เมื่อนำมาคำนวณเพื่อหาเกณฑ์ความเหมาะสมและความเป็นไปได้ในการตัดสินใจลงทุนดำเนินการ โดยใช้อัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลดเท่ากับร้อยละ 8 จะได้ผลการศึกษาเป็น 2 ส่วน ดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ด้านการเงิน (Financial analysis)

ผลจากการวิเคราะห์กระแสเงินสดสะสมรายปีของโครงการ นำมาคำนวณหามูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) และระยะเวลาคืนทุน (PB) ซึ่งได้ผลตามตารางที่ 7 ดังนี้

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ทางการเงินของโครงการ

รายการ	ผลการศึกษา
1. มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (NPV)	9.44 ล้านบาท
2. อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR)	14.88%
3. ระยะเวลาคืนทุน (PB)	ประมาณ 5 ปี

ผลจากตารางที่ 7 สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

(1) มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (NPV) คือการคำนวณหาผลรวมมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิโครงการ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการวัดว่าจะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าหรือไม่ โดยโครงการนี้ค่าเท่ากับ 9.44 ล้านบาท ซึ่งมีค่ามากกว่าศูนย์ แสดงว่าการลงทุนในโครงการนี้ให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าต่อการลงทุน

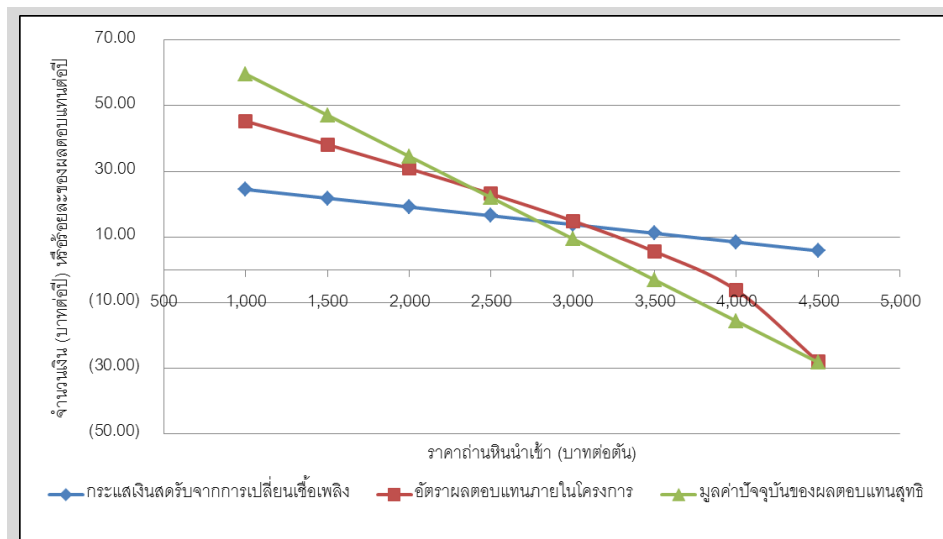
(2) อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) คืออัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสผลตอบแทนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุน หรืออัตราที่ทำให้ค่า NPV เท่ากับศูนย์ โดยโครงการนี้มีค่าเท่ากับร้อยละ 14.88 เมื่อนำมาเทียบกับอัตราคิดลดที่กำหนดไว้คือร้อยละ 8 นั้นมีค่ามากกว่า แสดงว่าการลงทุนในโครงการนี้ให้ผลตอบแทนมากกว่า จึงคุ้มค่าต่อการลงทุน

(3) ระยะเวลาคืนทุน (PB) คือ ระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิของโครงการมีค่าเท่ากับมูลค่าการลงทุนในโครงการนั้น โดยการพิจารณาระยะเวลาจำนวนปีที่จะได้รับผลตอบแทนคุ้มกับเงินลงทุน ซึ่งโครงการนี้มีค่าประมาณ 5 ปี จากอายุโครงการที่ประเมินไว้ทั้งสิ้น 10 ปี แสดงว่าการลงทุนในโครงการนี้คุ้มค่าต่อการลงทุน

4.2 ผลการวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลง (Sensitivity analysis)

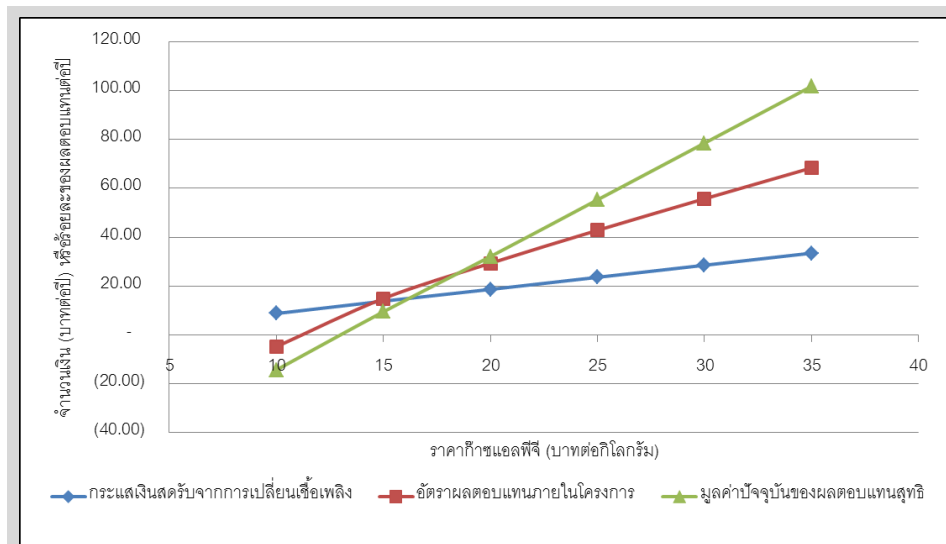
การวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เป็นการวิเคราะห์เพื่อลดความเสี่ยง หรือลดขอบเขตของความไม่แน่นอนจากการเปลี่ยนแปลงของผลตอบแทน ซึ่งส่งผลต่อการตัดสินใจในการลงทุนนั้น โดยทำให้ทราบว่าต้นทุนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงรายรับและรายจ่ายที่เกิดจากการดำเนินงานสามารถเปลี่ยนแปลงได้มากน้อยเพียงใด จึงจะทำให้การดำเนินงานของโครงการเป็นไปตามเกณฑ์ของการตัดสินใจลงทุน

ในการศึกษานี้ ได้ทำการวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของราคาก๊าซถ่านหินนำเข้าจากประเทศอินโดนีเซีย ได้ผลตามรูปที่ 5 พบว่า ราคาก๊าซถ่านหินนำเข้าจะสามารถปรับตัวสูงขึ้นได้ไม่เกิน 3,500 บาทต่อตัน เนื่องจากอัตราผลตอบแทนภายในโครงการควรมีค่าไม่น้อยกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ในปัจจุบัน (Minimum lending rate) ที่ร้อยละ 8 ซึ่งที่ราคาก๊าซถ่านหินนำเข้า 3,300 บาทต่อตัน จะได้อัตราผลตอบแทนภายในโครงการร้อยละ 9.46 แต่เมื่อราคาก๊าซถ่านหินนำเข้าปรับตัวเพิ่มขึ้นมากกว่า 4,500 บาทต่อตัน จะทำให้ไม่สามารถคำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายในโครงการได้ เนื่องจากมูลค่าผลตอบแทนสุทธิของโครงการติดลบ ทำให้ไม่มีความน่าสนใจในการลงทุน



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของราคาก๊าซถ่านหินนำเข้า

สำหรับการศึกษาความไวของโครงการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของราคาก๊าซแอลพีจีสำหรับการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมนั้น ได้ผลตามรูปที่ 6 พบว่า ราคาก๊าซแอลพีจีสามารถปรับตัวลดลงได้จนถึงราคาประมาณ 28.50 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งจะได้อัตราผลตอบแทนภายในโครงการร้อยละ 9.42 โดยถ้าราคาก๊าซแอลพีจีมีการปรับตัวลงต่ำกว่านี้จะทำให้โครงการไม่คุ้มค่าแก่การลงทุน และไม่มีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ แต่เมื่อราคาก๊าซแอลพีจีต่ำกว่า 5 บาทต่อกิโลกรัม จะไม่สามารถคำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายในโครงการได้ เนื่องจากมูลค่าผลตอบแทนสุทธิของโครงการติดลบ ทำให้ไม่มีความน่าสนใจในการลงทุน



รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความไหวตัวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของราคาแก๊สแอลพีจีสำหรับการใช้งานในภาคอุตสาหกรรม

5. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นในการใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหินมาทดแทนแก๊สแอลพีจีเพื่ออุตสาหกรรมเซรามิกในจังหวัดลำปาง โดยศึกษาและเก็บข้อมูลด้านเทคนิคและการเงินจากผู้ประกอบการ เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง และผลการศึกษาต่างๆ โดยมีรูปแบบเป็นการจำลองการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหินนำเข้าจากประเทศอินโดนีเซีย มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนประมาณ 28 ล้านบาท เมื่อทำการวิเคราะห์ให้ทราบถึงผลตอบแทนการลงทุนของโครงการนั้น โดยคำนวณจากอายุโครงการเป็นระยะเวลา 10 ปี ให้อัตราคิดลดอ้างอิงกับอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ระยะยาวของธนาคารพาณิชย์ทั่วไป ในอัตราดอกเบี้ยสำหรับลูกค้ารายย่อยชั้นดี (Minimum retail rate) ปัจจุบันอยู่ที่ร้อยละ 8 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 ผลการศึกษาด้านการเงิน

เป็นโครงการที่มีความคุ้มค่าต่อการลงทุน และมีความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์ที่อัตราคิดลดร้อยละ 8 เนื่องจากผลการวิเคราะห์โครงการด้วยเครื่องมือทางการเงินตามที่ได้กล่าวมา เป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่กำหนด

5.2 ผลการศึกษาความไหวตัวต่อการเปลี่ยนแปลง

ในการศึกษาได้กำหนดปัจจัยที่มีผลต่อความเปลี่ยนแปลงไว้ 3 ปัจจัย คือ มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) และระยะเวลาคืนทุน (PB) ซึ่งสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.2.1 การเปลี่ยนแปลงของราคาถ่านหินนำเข้าจากประเทศอินโดนีเซีย

ราคาถ่านหินนำเข้ารวมค่าขนส่งถึงจังหวัดลำปางจะสามารถปรับตัวเพิ่มขึ้นได้ไม่เกินราคา 3,300 บาทต่อตัน โดยอัตราผลตอบแทนภายในโครงการควรมีค่าไม่น้อยกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ในปัจจุบัน (Minimum lending rate) ที่อัตรา ร้อยละ 8 ซึ่งราคาถ่านหินนำเข้าประมาณ 3,300 บาทต่อตัน จะได้อัตราผลตอบแทนภายในโครงการเท่ากับร้อยละ 9.46 ทำให้โครงการนี้ยังคงมีความคุ้มค่าและมีความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์

5.2.2 การเปลี่ยนแปลงของราคาแก๊สแอลพีจีในภาคอุตสาหกรรม

ราคาแก๊สแอลพีจีสามารถปรับตัวลดลงได้ไม่ต่ำกว่าราคา 28.50 บาทต่อกิโกรัม ซึ่งที่ราคานี้จะทำให้ได้อัตราผลตอบแทนภายในโครงการมีค่าเท่ากับร้อยละ 9.42 โดยอัตราผลตอบแทนภายในโครงการควรมีค่าไม่น้อยกว่าอัตรา

ดอกเบี้ยเงินกู้ในปัจจุบัน (Minimum lending rate) ที่อัตราร้อยละ 8 ดังนั้น ถ้าราคาก๊าซแอลพีจีมีการปรับตัวลงต่ำกว่านี้ จะทำให้โครงการไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน และไม่มีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหินมาทดแทนการใช้ก๊าซแอลพีจี ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตเซรามิกในจังหวัดลำปางนั้น สามารถทำการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมต่อไปได้อีก โดยพิจารณาในกรณีความเป็นไปได้ในการใช้ถ่านหินนำเข้าจากแหล่งถ่านหินในประเทศพม่าหรือประเทศลาว เป็นต้น ซึ่งมีราคาถูกกว่าถ่านหินนำเข้าจากประเทศอินโดนีเซีย อีกทั้งยังมีค่าขนส่งที่ถูกลงกว่ามาก หรือพิจารณาขอรับการสนับสนุนจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน เพื่อเป็นการเพิ่มเติมข้อมูลให้หลากหลาย รอบด้านและครอบคลุมมากยิ่งขึ้น สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการประกอบการตัดสินใจลงทุนต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.จิตติศักดิ์ บุญปราโมทย์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้เสียสละเวลาให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนให้คำแนะนำและแนวคิดต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยอย่างยิ่ง รวมทั้งขอขอบพระคุณ บิดา มารดาของข้าพเจ้า เพื่อนๆ และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือ เป็นกำลังใจและให้คำแนะนำด้วยดีมาโดยตลอด

บรรณานุกรม

- [1] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กระทรวงพลังงาน, รายงานฉบับสมบูรณ์ เรื่อง การศึกษาความเหมาะสมการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหิน. วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- [2] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, แผนปฏิบัติการประจำปี 2554 การจัดทำฐานข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน. กองศูนย์ข้อมูลเชื้อเพลิง ฝ่ายจัดการเชื้อเพลิง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2554.
- [3] กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, รายงานฉบับสมบูรณ์ เรื่อง โครงการจัดทำแผนการพัฒนาแหล่งแร่ถ่านหินของประเทศไทย (โดยใช้เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดที่เหมาะสม). ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- [4] กรุงเทพธุรกิจ. (2556). วิฤติเชรามิกล้ำปางจ่อเปิดกิจการ 30 ราย [Online]. แหล่งที่มา : <http://www.nstda.or.th/news/14194-mtec> [8 ธันวาคม 2556]
- [5] จรินทร์ ชลไพศาล, สถานการณ์ถ่านหินนำเข้าปี 2553 และแนวโน้มปี 2554, กลุ่มวิเคราะห์สถานการณ์เศรษฐกิจ., สำนักเศรษฐกิจและความร่วมมือระหว่างประเทศ., กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2554.
- [6] วงศ์ชัย ศรีไทย. 2555 อุปนายกสมาคมเครื่องปั้นดินเผาจังหวัดลำปาง. สัมภาษณ์ [Online]. แหล่งที่มา : http://www.matichon.co.th/news_detail.php?newsid=1332210437&grpid=03&catid=03 [25 มีนาคม 2555]
- [7] ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก, กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, (2554). สถานการณ์อุตสาหกรรมเซรามิก ของประเทศไทย [Online] แหล่งที่มา : <http://ceramiccenter.dip.go.th/> [8 พฤษภาคม 2556]
- [8] ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก, กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, (2557). กว่าจะมาเป็นเซรามิก[Online] แหล่งที่มา : <http://ceramiccenter.dip.go.th/> [8 พฤษภาคม 2556]
- [9] สิงห์คำ อายะฐ. 11 เมษายน 2556. วิศวกรชำนาญการ ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกลำปาง. สัมภาษณ์.
- [10] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, กระทรวงพลังงาน, (2557). ข้อมูลพลังงาน [Online] แหล่งที่มา : <http://www.eppo.go.th/> [15 มีนาคม 2557]
- [11] Argus/Coalindo. (2557). Indonesian Coal Index Report [Online] Available from : <http://www.argusmedia.com/Coal/Argus-Coalindo-Indonesian-Coal-Index-Report> [29 March 2557]
- [12] Mandar Kulkarni and Rajive Ganguli. "Moving bed gasification of low rank Alaska coal." Journal of Combustion, 2012. Volume 2012, Article ID 918754
- [13] Rajeev Joapur and Anil K.Rajvanshi. "Sugarcane leaf-bagasse gasifiers for industrial heating applications." Nimbkar Agricultural Research Institute (NARI), Maharashtra, India. 1997.
- [14] Rajul Nayak and Raju K. Mewada. Simulation of coal gasification process using ASPEN Plus. Institute of technology, Nirma university. 2011.