

การผลิตเชื้อเพลิงเหลวด้วยกระบวนการฟิสเชอร์โทรป

Liquid Fuel Production by Fischer-Tropsch Process

นงนอร์ หัสโรศ และ สมบัติ ทิมกรทรัพย์

บทคัดย่อ

ปัญหาของเชื้อเพลิงจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมมีแนวโน้มจะหมดไปจากโลกในอีกไม่นาน ทำให้จำเป็นต้องทำการศึกษาและวิจัยเพื่อหาเชื้อเพลิงทางเลือกใหม่ที่เหมาะสม กระบวนการฟิสเชอร์โทรปเป็นกระบวนการหนึ่งที่น่าสนใจในการแปลงเชื้อเพลิงจากสถานะก๊าซให้เป็นของเหลว และสามารถแปลงเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวในทางอ้อมได้ บทความวิชาการนี้มุ่งเน้นการนำเสนอภาพกว้างของกระบวนการฟิสเชอร์โทรป เพื่อใช้ผลิตเชื้อเพลิงทางเลือกใหม่และการนำไปประยุกต์ใช้งาน

คำสำคัญ: เชื้อเพลิง, ฟิสเชอร์โทรป, ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

Abstract

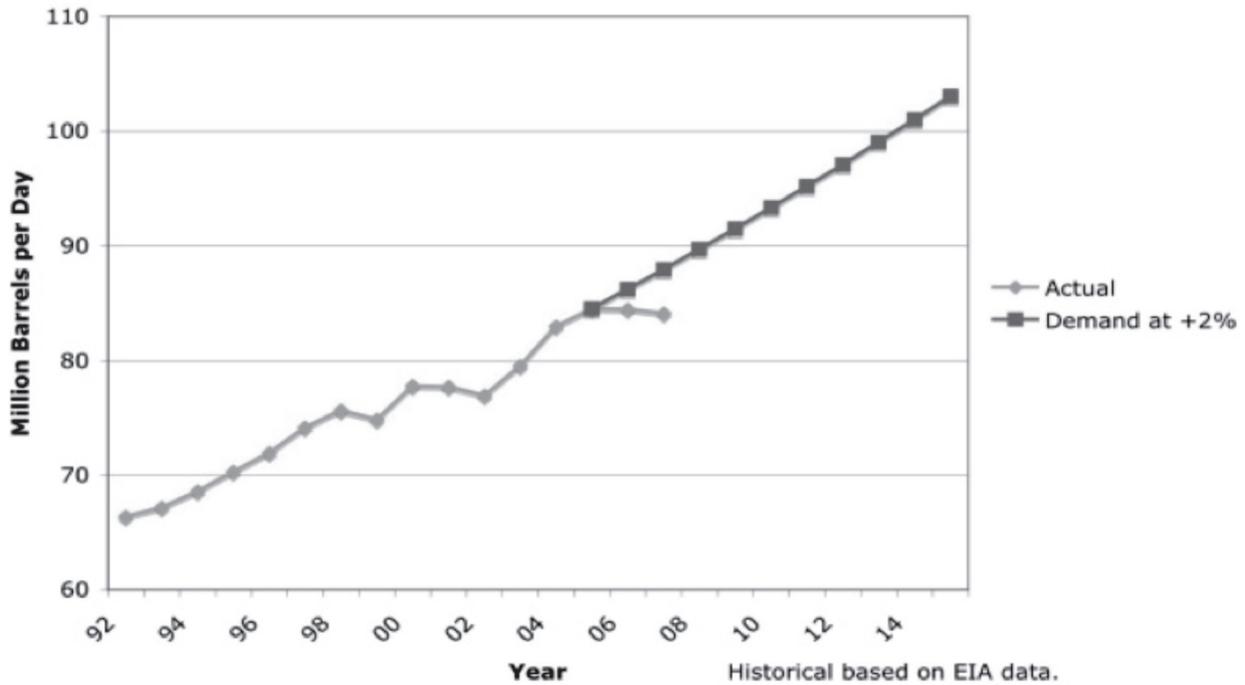
The problem of the tendency of Petroleum product to be depletion in the near future results of research for finding some appropriate alternative fuels for future utilization. Fischer-Tropsch Process is one of the interesting processes for converting gaseous fuel to liquid fuel. And certainly, the conversion of solid fuel to liquid fuel can be done indirectly. This article aims to present an over view of the Fischer-Tropsch Process and its application.

Keywords: fuel, Fischer-Tropsch, petroleum product

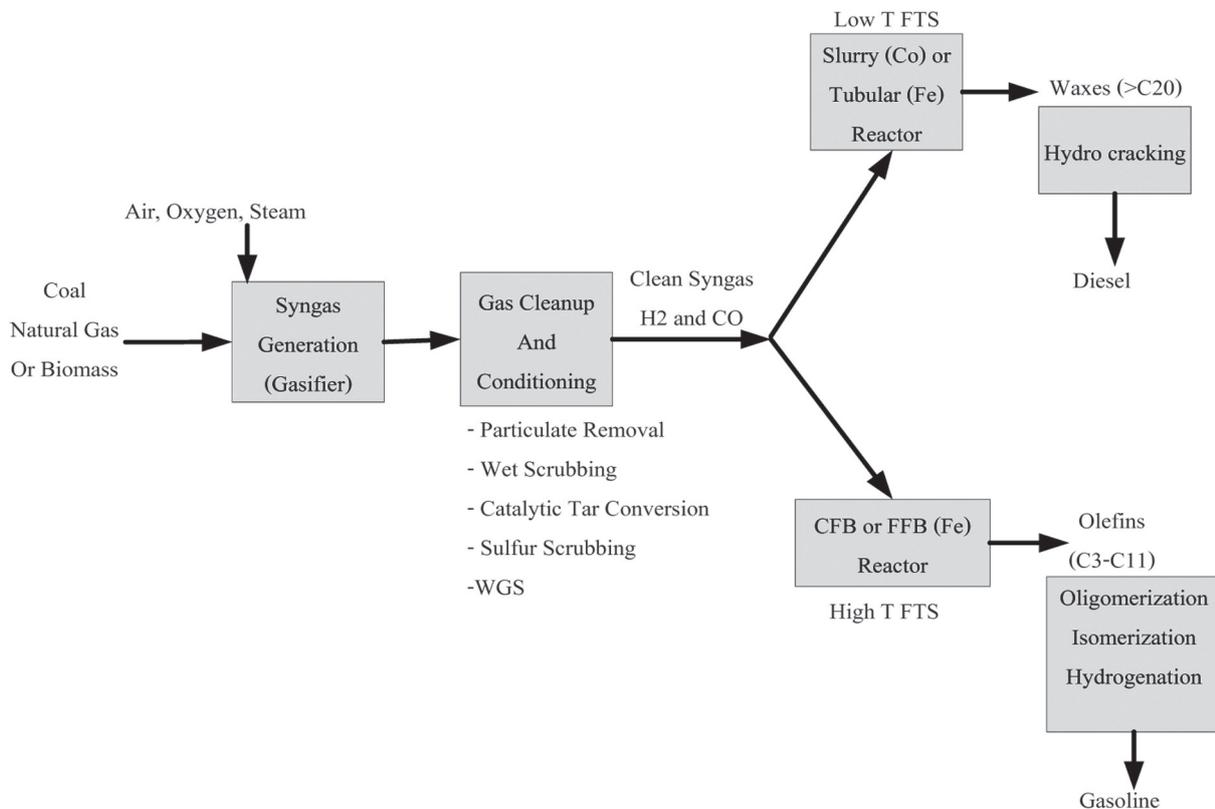
ความนำ

ในปัจจุบันทั่วโลกมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับกำลังการผลิตน้ำมันทั่วโลกที่เพิ่มสูงขึ้นทุกปี ดังแสดงในภาพที่ 1

ส่งผลให้ปริมาณน้ำมันลดปิโตรเลียมสำรองลงอย่างรวดเร็ว เป็นที่ทราบกันว่า เชื้อเพลิงจากฟอสซิล กำลังจะหมดไปจากโลกในอีกไม่กี่ปีข้างหน้า หลายประเทศทั่วโลกจึงเร่งพัฒนาเทคโนโลยีเชื้อเพลิงทางเลือกใหม่ที่สะอาด เพื่อลดการพึ่งพาน้ำมันปิโตรเลียมลง



ภาพ 1 แสดงอัตราการการผลิตน้ำมันของโลก
ที่มา: Our finite world, 2007



CFB: circulating fluid bed reactors (Synthol reactors)

FFB: fixed fluid bed reactors known as Sasol Advanced Synthol reactors

ภาพ 2 แสดงกระบวนการผลิตโดยทั่วไปของการสังเคราะห์ฟิสเชอร์โทรป

Note from. Eduardo Falabella Souza-Aguiar, Sirlei Sebastião Alves de Sousa, Fernando Barbosa de Oliveira, 2009.

ประเทศพัฒนาแล้วทั่วโลก เช่น สหรัฐอเมริกา เยอรมนี อังกฤษ และญี่ปุ่น กำลังให้ความสนใจกับการพัฒนาเชื้อเพลิงทางเลือกขึ้นมาใช้งานแทนที่น้ำมันดิบ งานวิจัยเพื่อสังเคราะห์เชื้อเพลิงประเภทใหม่จากวัตถุดิบต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย นั่นคือ การสังเคราะห์ฟิสเซอร์โทรป (Fischer-Tropsch Synthesis--FTS) บนตัวเร่งปฏิกิริยา โลหะทรานซิชันของแข็ง เช่น เหล็ก (Fe) หรือโคบอลต์ (Co) และเปลี่ยนสภาพกลายเป็นเชื้อเพลิงเหลว โดยวัตถุดิบหรือสารตั้งต้นแบ่งเป็นสามชนิดคือ วัตถุดิบที่ใช้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงจะเรียกว่า GTL (Gas to Liquid) วัตถุดิบที่ใช้เป็นชีวมวล เชื้อเพลิงที่ผลิตได้เรียกว่า BTL (Biomass to Liquid) และถ้าวัตถุดิบที่ใช้เป็นถ่านหิน เชื้อเพลิงที่ผลิตได้เรียกว่า CTL (Coal to Liquid) (นวดล เหล่าศิริพจน์, 2550)

เชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิดนี้มีข้อได้เปรียบกว่าเชื้อเพลิงทางเลือกใหม่ประเภทอื่น เพราะไม่จำเป็นต้องทำการเปลี่ยนแปลงระบบการใช้เชื้อเพลิง ระบบเครื่องยนต์ ระบบขนส่ง และระบบจ่ายน้ำมัน เนื่องจากมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงทางเลือกใหม่ประเภทอื่น เช่น ไฮโดรเจนและแก๊สธรรมชาติอัด (CNG) จำเป็นต้องทำการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้ใช้งานจริง และมีอายุการใช้งานนานเท่าเดิม ซึ่งค่าอุปกรณ์ปรับแต่งยานยนต์เพื่อให้ใช้แก๊สธรรมชาติอัดได้ยังมีราคาสูงและไม่คุ้มค่ากับการลงทุน หลายกรณียังไม่สามารถใช้อย่างแพร่หลายได้ (รักษิต ลูติพัฒน์พงศ์, 2007)

ผลิตภัณฑ์หลักของการสังเคราะห์ฟิสเซอร์โทรปคือ ดีเซลสังเคราะห์ที่สามารถนำมาใช้แทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ได้ บทความนี้จะนำเสนอขั้นตอนของกระบวนการสังเคราะห์ฟิสเซอร์โทรป และข้อได้เปรียบของการนำกระบวนการสังเคราะห์ฟิสเซอร์โทรป GTL มาใช้ในการผลิตน้ำมันสังเคราะห์

การสังเคราะห์ฟิสเซอร์โทรป

หมายถึง การสังเคราะห์สารประเภทไฮโดรคาร์บอน โอลิฟิน พาราฟิน และผลิตภัณฑ์ที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ด้วยปฏิกิริยาคายความร้อน ปัจจัยที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย อุณหภูมิที่ใช้ทำ

ปฏิกิริยา สัดส่วนการป้อนของสารตั้งต้น แก๊สสังเคราะห์ (Syngas, H_2/CO) ความดันที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ชนิดและองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา กระบวนการสังเคราะห์ฟิสเซอร์โทรปประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก คือ

- การเตรียมแก๊สสังเคราะห์ (syngas generation)
- การทำแก๊สให้บริสุทธิ์ (gas purification)
- การสังเคราะห์ฟิสเซอร์โทรป (FT synthesis)
- การปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (product Upgrading)

ภาพ 2 แสดงอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาของการสังเคราะห์ฟิสเซอร์โทรปมีสองช่วงคือ อุณหภูมิต่ำระหว่าง 200-240 °C และอุณหภูมิสูงระหว่าง 300-350 °C และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือโลหะทรานซิชัน เช่น เหล็ก (Fe) และโคบอลต์ (Co)

สารตั้งต้นประกอบด้วยแก๊สธรรมชาติ วัสดุชีวมวล และถ่านหิน กระบวนการเตรียมสารตั้งต้นที่เหมาะสมสำหรับสารตั้งต้นประเภทแก๊สธรรมชาติคือ ออกไซด์เทอมอลรีฟอร์มมิ่ง (Auto-thermal Reforming) หรือ ออกไซด์เทอมอลรีฟอร์มมิ่งร่วมกับ สตีมีรีฟอร์มมิ่ง (Steam Reforming) เนื่องจากให้สัดส่วนของสารตั้งต้น H_2/CO ที่เหมาะสมและควรลงทุนกับระบบแยกอากาศมากกว่าการใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเทอร์บูลาร์ (Tubular Reactor) หรือสตีมีเทนรีฟอร์มมิ่ง (Steam Methane Reforming-SMR)

หากใช้ถ่านหินเป็นสารตั้งต้นในการเตรียมสารตั้งต้นจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิสูงในการแยกแก๊ส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของผลิตภัณฑ์ (FT Products) ที่ต้องการ โดยใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเป็นสองช่วง ดังกล่าวข้างต้น และที่สำคัญต้องรักษาอุณหภูมิของ FTS ให้ต่ำกว่า 400 °C เพื่อให้เกิดมีเทนในปริมาณน้อยที่สุด นอกจากนี้ถ้าใช้โคบอลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิที่เหมาะสมคือช่วงอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากจะผลิตแว็กซ์ (Waxes) ในปริมาณมาก แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงจะผลิตมีเทนออกมา ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ แก๊สโซลีน (Gasoline) และ โอลิฟิน (Olefins)

หากต้องการผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนปริมาณมาก ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือเหล็ก และใช้ถึงปฏิกรณ์ประเภทฟลิวอิดเบด (Fixed Fluid bed Reactor) ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง ในทางตรงกันข้าม ถ้าต้องการผลิตภัณฑ์น้ำมันดีเซลสังเคราะห์ปริมาณมาก ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือโคบอลต์ และใช้ถึงปฏิกรณ์ประเภทแขวนลอย (Slurry Reactor)

ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการไม่ว่าชนิดใดก็ตามต้องให้ความดันระหว่าง 10-40 bars (145-580 psi) สิ่งที่สำคัญคือการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นขั้นตอนสุดท้าย เนื่องจากเป็นขั้นตอนแยกผลิตภัณฑ์โดยทั่วไป หมายรวมถึง กระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง (Hydro-treating) กระบวนการไฮโดรแครกกิง (Hydro-cracking) และ กระบวนการไฮโดรไอโซเมอไรเซชัน (Hydro-isomerization)

ประเภทของวัตถุดิบสำหรับการสังเคราะห์ฟิสเซอร์โทรป

สารตั้งต้นของการสังเคราะห์ฟิสเซอร์โทรป แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ GTL BTL และ CTL ซึ่งแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1

GTL เป็นกระบวนการผลิตน้ำมันสังเคราะห์จากก๊าซธรรมชาติ โดยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นสารตั้งต้นผ่านกระบวนการฟิสเซอร์โทรปเพื่อแปลงเป็นเชื้อเพลิงเหลว และปรับปรุงคุณภาพของเหลวให้เป็นน้ำมันสังเคราะห์ ดังแสดงในภาพที่ 3 ปัจจุบันมีผู้ที่สามารถผลิตน้ำมันสังเคราะห์ได้หลายราย เช่น SMDS (Shell Middle Distillation Synthesis) ของซาซอล-เชพรอด ของอังกฤษ และ GTL ของคอบโนโคฟิลลิปส์ ซึ่งผลผลิตและผลิตภัณฑ์พลอยได้จะแตกต่างกันไปตามแต่ละเทคนิคของผู้ผลิตดังแสดงในตารางที่ 2

ตาราง 1

วัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ GTL BTL และ CTL

กระบวนการ	วัตถุดิบ	ผลิตภัณฑ์
GTL	ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหินชีวมวล	เนฟธา น้ำมันดีเซล และสารเคมีต่างๆ
BTL	ฟีน ถ่าน หน้ำ กระดาษ ขยะมูลฝอย กลบ ขนอ้อย	น้ำมันดีเซล เมทานอล แอมโมเนีย ไฮโดรเจน และสารเคมีต่างๆ
CTL	ถ่านหิน	เชื้อเพลิง เมทานอล แอมโมเนีย กำมะถัน และสารเคมีต่างๆ

ตาราง 2

ผลผลิตและผลิตภัณฑ์พลอยได้จากขั้นตอนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์

Product	Shell	Sasol	Chevron	ConocoPhillips
Primary products	BAU ♦ Mogas ♦ ULS Gasoil ♦ Industrial Gasoil ♦ LPG ♦ Naphtha ♦ Kerosene ♦ Heavy Fuel Oil ♦ Base Oil	BAU ♦ Mogas ♦ Diesel Co-Products: ♦ LPG ♦ Naphtha ♦ Kerosene ♦ Light Fuel Oil ♦ Residual Fuel	BAU ♦ Diesel Co-Products: ♦ Heavy residual Oil ♦ Coke	BAU ♦ Gasoline ♦ Diesel Co-Products: ♦ Heavy residual Oil ♦ Coke
Primary products	SMDS ♦ LPG ♦ Naphtha & Condensate	SPD ♦ Diesel Co-products: ♦ Naphtha ♦ LPG	GTL ♦ FT Diesel ♦ FT ♦ Naphtha (no significant)	
By-products	♦ Gasoil ♦ Base Oils ♦ n-Paraffin		♦ Methanol	

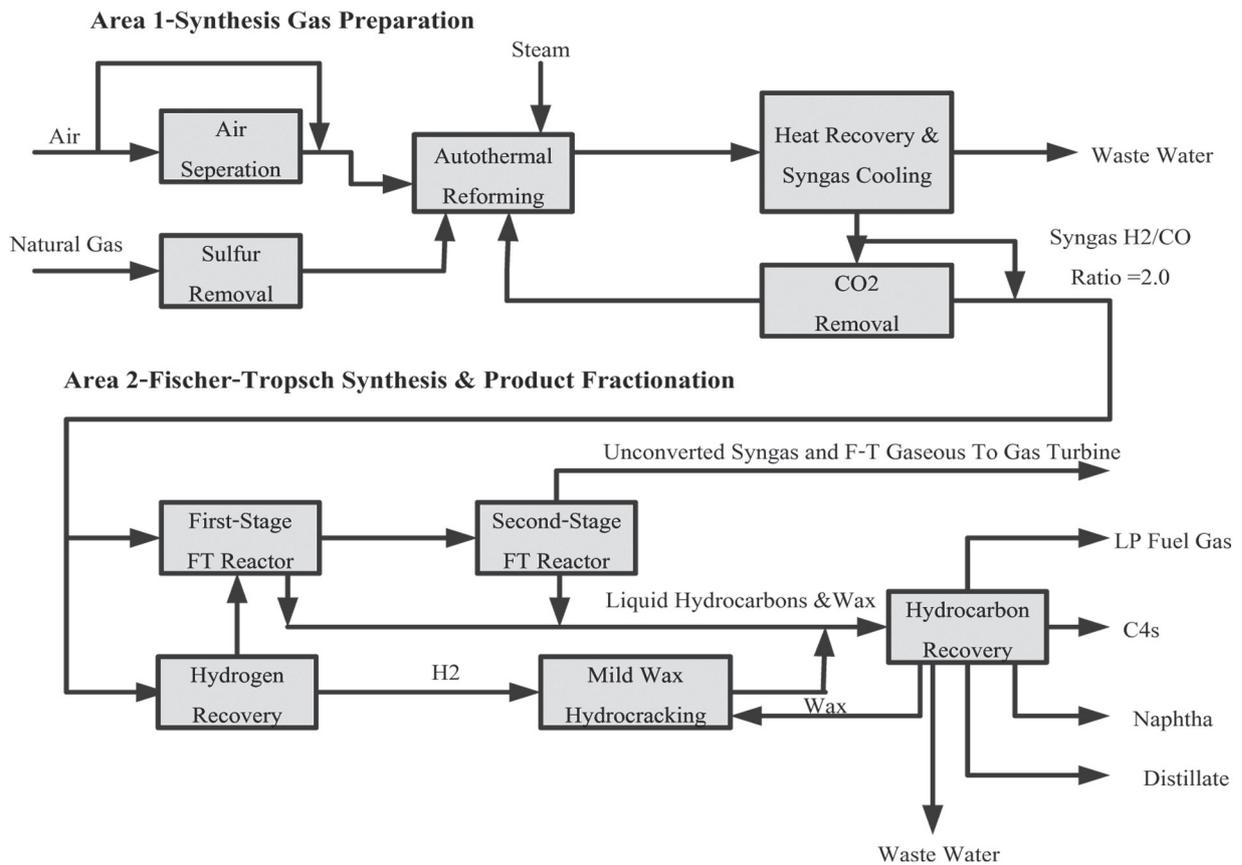
(ที่มา: ญัฐภัทร ศิริพรหมพันธุ์ ธิรายุ ปิ่นทอง นฤทธิ์ หล่อประดิษฐ์ สิทธิ ชัยศรี อิศระ หนูหล่อ, 2552)

จะเห็นได้ว่าน้ำมันดีเซลสังเคราะห์ที่ได้จากก๊าซธรรมชาติจะไม่ปล่อยกำมะถัน ไนโตรเจน และ อะโรมาติก จึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าน้ำมันดีเซลที่ได้มาจากการกลั่นปิโตรเลียม ดังแสดงในตารางที่ 3 เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซล (Compression Ignition) มีประสิทธิภาพ

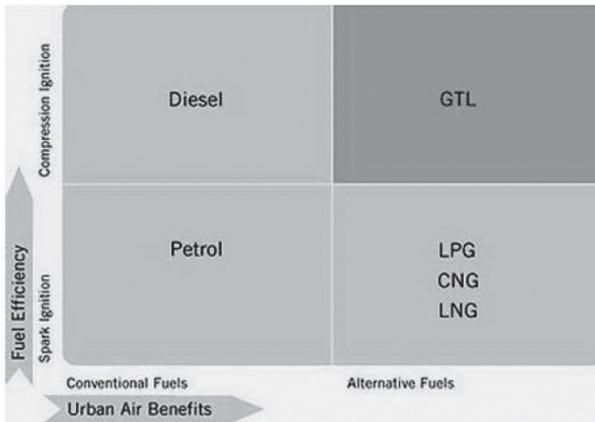
ในการแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกลได้ดีกว่า เครื่องยนต์เบนซิน (Spark Ignition) เมื่อใช้ GTL ซึ่งเป็น เชื้อเพลิงที่มีความสะอาดและใกล้เคียงกับก๊าซธรรมชาติ ทำให้การใช้ GTL มีความได้เปรียบกว่าการใช้ระบบ CNG หรือ LPG ในภาคขนส่งดังแสดงในภาพที่ 4

BTL คือการเปลี่ยนชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงเหลว

โดยผ่านกระบวนการฟิสเชอร์โทรป ดังแสดงในภาพที่ 5 น้ำมันดีเซล สารเคมี น้ำมันดีเซลที่ได้จากกระบวนการนี้ สามารถนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลที่ได้จากการกลั่น ปิโตรเลียม ซึ่งจะช่วยลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากประเทศไทยมีผลผลิตทางการเกษตรมาก จึงมี ศักยภาพเพียงพอที่จะนำมาใช้ ผลิต BTL ได้จำนวนมาก

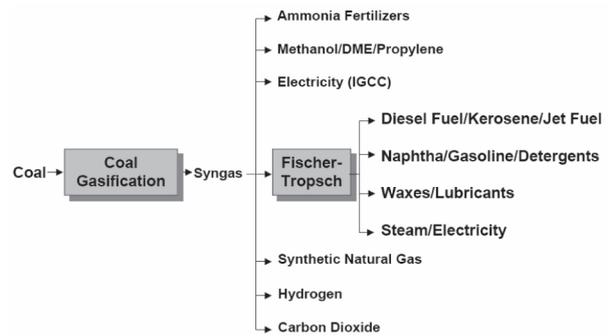


ภาพ 3 แสดงกระบวนการผลิตโดยทั่วไปของการสังเคราะห์ ฟิสเชอร์โทรป โดยใช้แก๊ส ธรรมชาติ เป็นสารตั้งต้น Note from. Design/Economics of a Once-Through Natural Gas Fischer-Tropsch Plant With Power Co-Production, by Choi, G. N. Kramer, S. J. Tam, S. S. 2009, Retrieved from <http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/97/97cl/choi.pdf>



ภาพ 5 สมรรถนะและมลภาวะ

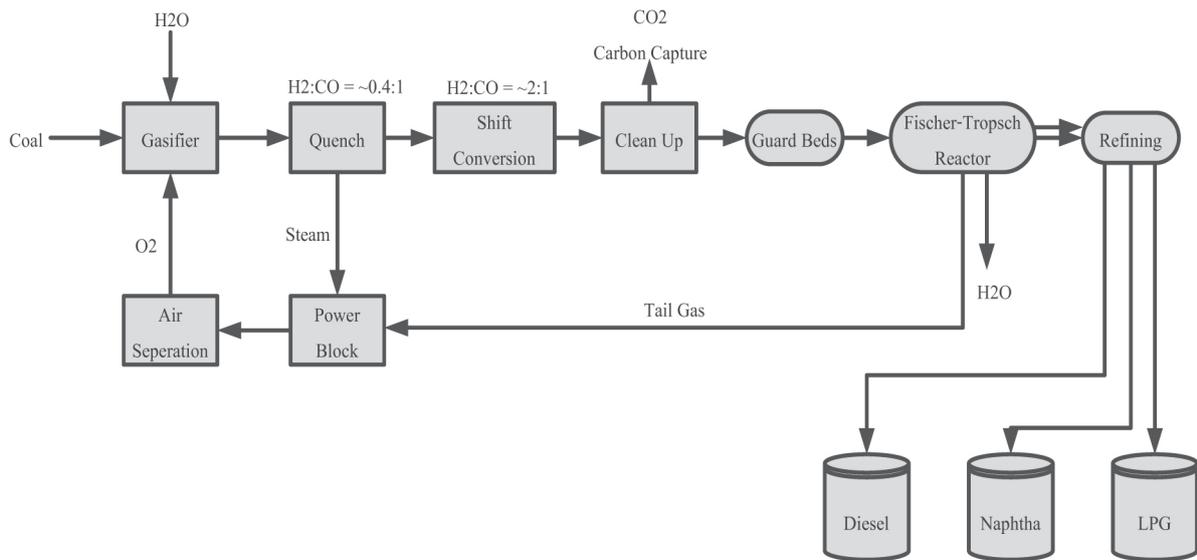
ที่มา. จาก Fischer-Tropsch diesel โดย ญัฐภัทร ศิริพรหมพันธุ์ ธิราญ ปิ่นทอง นฤทธิ์ หล่อประดิษฐ์ สิทธิ ชัยศรี และ อิศระ หนูหล่อ, 2552, กระทรวงพลังงาน



ภาพ 6 แสดงแผนภาพขั้นตอนการเปลี่ยนถ่านหินเป็นสารตั้งต้นผ่านกระบวนการฟิสเชอร์โทรป

Note from. *Coal Gasification & Fischer-Tropsch*. Indiana Center for Coal Technology Research by Brian H. Bowen, Marty W. Irwin, 2006, The Energy Center at Discovery Park, Purdue University

Coal to Liquids Process (CTL)



ภาพ 7 แสดงกระบวนการฟิสเชอร์โทรปโดยใช้ถ่านหินเป็นสารตั้งต้น CTL

Note from. *Fischer Tropsch Catalyst Test on Coal-Derived Synthesis Gas*. by Syntroleum, 2012, Retrieved from <http://www.syntroleum.com/pdf/White%20Paper%20Text%20Eastman.pdf>

ตาราง 3

ส่วนประกอบของน้ำมันดีเซลสังเคราะห์ที่ได้จาก GTL ของ Sasol Chevron

H/C ratio	สูงกว่าน้ำมัน
ความหนาแน่น	0.78 kg/l
พลังงาน	47.1 MJ/kg
Cetane Number	มากกว่า 70
Sulfur	ต่ำกว่า 5 ppm
Lubricity	ASTMD 6078

(ที่มา: อนุรักษ์ ศิริพรหมพันธุ์ ธิราชู ปิ่นทอง นฤทธิ์ หล่อประดิษฐ์ สิทธิ ชัยศรี อิศระ หนูหล่อ, 2552)

CTL เป็นการเปลี่ยนถ่านหินให้เป็นของเหลว โดยผ่านกระบวนการฟิสเซอร์โทรป ดังแสดงในภาพที่ 6-7 ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงที่มีต้นทุนต่ำ แต่มีจุดด้อยในด้านมลพิษตัวอย่างเช่น ประเทศจีนซึ่งมีแหล่งถ่านหินอยู่จำนวนมาก แต่ขาดแคลนก๊าซธรรมชาติและน้ำมันเชื้อเพลิง ประกอบกับในช่วง 25 ปีที่ผ่านมา การเติบโตของ GDP ของประเทศเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกับการบริโภคพลังงานที่สูงขึ้น ถ่านหินจึงยังเป็นแหล่งพลังงานที่มีความสำคัญ

การนำถ่านหินมาใช้โดยตรงก่อให้เกิดปัญหาการเกิดฝนกรดจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และอนุภาคฝุ่นละอองในอากาศสูง ดังนั้น การนำเทคโนโลยี CTL มาใช้เพื่อแปลงถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงและก๊าซ สามารถนำไปเป็นวัตถุดิบใช้ต่อเนื่องในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีได้ด้วย เนื่องจากก๊าซที่ได้จากถ่านหินอันประกอบด้วย

เอทิลีน (Ethylene) โพรเพน (Propane) บิวเทน (Butane) และและสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีอะตอมคาร์บอนมากกว่า 5 (C5+) ซึ่งการเปลี่ยนถ่านหินเป็นของเหลว (CTL) จะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับการเปลี่ยนก๊าซธรรมชาติให้เป็นของเหลว (GTL) เพียงแต่จะแตกต่างกันที่ถ่านหินจะต้องถูกนำไปเปลี่ยนรูปให้อยู่ในรูปของก๊าซโดยการเผาแบบไม่สมบูรณ์ก่อน (Gasification) หลังจากนั้นจึงจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของเหลว (Liquefaction) อีกครั้ง โดยผ่านกระบวนการฟิสเซอร์โทรป ของเหลวที่ได้จะมีลักษณะคล้ายน้ำมันดิบซึ่งสามารถนำไปกลั่นได้

สรุป

ประเทศไทยมีปริมาณการสำรองน้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหินค่อนข้างจำกัด ปริมาณการนำเข้าน้ำมันดิบในปี พ.ศ. 2554 อยู่ที่ระดับ 0.794 ล้านบาร์เรล ลดลงจากปี พ.ศ. 2553 ร้อยละ 2.7 โดยมีปริมาณการบริโภคน้ำมันอยู่ที่ 0.674 ล้านบาร์เรลต่อวัน เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2553 เพียงเล็กน้อย เนื่องจากการเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้พลังงานไปสู่พลังงานทางเลือกเช่น ก๊าซธรรมชาติ แก๊สโซฮอลล์ และไบโอดีเซล เป็นต้น อย่างไรก็ตามพลังงานภายในประเทศจะมีไม่เพียงพอ กับความต้องการในอนาคต เนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิงจากฟอสซิลมีแนวโน้มจะหมดไปในเร็ววัน และที่สำคัญประเทศไทยมีแหล่งก๊าซธรรมชาติและน้ำมันปิโตรเลียม น้อย ไม่เพียงพอต่อการใช้ในประเทศ ดังนั้นจึงควรเร่งพัฒนาการผลิตน้ำมันสังเคราะห์มาใช้ในเชิงพาณิชย์ให้มากขึ้น



เอกสารอ้างอิง

- ณัฐภัทร ศิริพรหมพันธุ์ ติราญ ปิ่นทอง นฤทธิ หล่อประดิษฐ์ สิทธิ ชัยศรี และอิสระ หนูหล่อ. (2552) Fischer-Tropsch diesel โครงการจัดทำระบบฐานข้อมูลพลังงานเพื่อการวิเคราะห์และวางแผนยุทธศาสตร์พลังงานของประเทศ สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ร่วมกับ สำนักนโยบายและแผนยุทธศาสตร์ สำนักปลัดกระทรวงพลังงาน กระทรวงพลังงาน.
- นวดล เหล่าศิริพจน์. (2550). เชื้อเพลิงทางเลือกใหม่... ทดแทนน้ำมันในภาคขนส่ง หนังสือพิมพ์โพสทูเดย์ ฉบับวันที่ 7 สิงหาคม พ.ศ. 2550
- รักษิต จูติพัฒน์พงศ์. (2007). น้ำมันดีเซลสังเคราะห์: พลังงานทางเลือกในภาคขนส่ง? งานวิจัยระบบอิเล็กทรอนิกส์ยานยนต์, หน่วยปฏิบัติการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC).
- Brian H. Bowen, Marty W. Irwin. (2006). *Coal Gasification & Fischer-Tropsch*. Indiana Center for Coal Technology Research, The Energy Center at Discovery Park, Purdue University, Potter Engineering Center, 500 Central Drive West Lafayette, IN 47907-2022.
- Eduardo Falabella Souza-Aguiar, Sirlei Sebastião Alves de Sousa, Fernando Barbosa de Oliveira. (2009). *BTL: A solution to increase energy efficiency in the Brazilian alcohol business*. Retrieved from <http://www.worldenergy.org/documents/p001357.pdf>
- Choi, G. N. Kramer, S. J. Tam, S. S. (2009). *Design/Economics of a Once-Through Natural Gas Fischer-Tropsch Plant With Power Co-Production*. Retrieved from <http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/97/97cl/choi.pdf>
- Our finite world. (2007). Peak Oil Overview-June 2007, What does world oil production look like?. Retrieved from <http://ourfiniteworld.com/2007/06/19/peak-oil-overview-june-2007/>
- Syntroleum (2009). Fischer Tropsch Catalyst Test on Coal-Derived Synthesis Gas. Retrieved from <http://www.syntroleum.com/pdf/White%20Paper%20Text%20Eastman.pdf>

