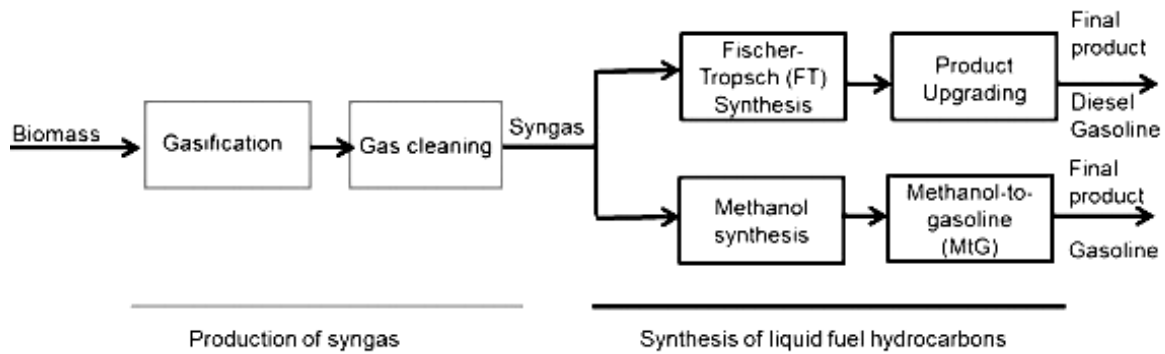


บทที่ 24 รายละเอียดข้อมูลเชื้อเพลิงชีวภาพประเภท น้ำมันดีเซลสังเคราะห์ (Synthetic diesel)

1. ข้อมูลทั่วไป

เชื้อเพลิงจากการเปลี่ยนชีวมวลเป็นของเหลว (Biomass-To-Liquid: BTL) เป็นเชื้อเพลิงที่สามารถผลิตได้มาจากพืชโดยผ่านกระบวนการปฏิกิริยาทางเคมีฟิชเชอร์ทรอปช์ (Fischer-Tropsch Synthesis) ของเหลวที่ได้จะมีน้ำมันดีเซล เมทานอล แอมโมเนีย ไฮโดรเจน สารเคมีต่างๆ น้ำมันดีเซลที่ได้จากกระบวนการนี้สามารถนำไปผสมเข้ากับน้ำมันดีเซลที่ได้จากปิโตรเคมี ^[1]

Biomass-To-Liquid: BTL เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนซึ่งประกอบไปด้วยกระบวนการย่อยหลายขั้นตอน แสดงดังภาพที่ 1. กระบวนการนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนย่อยคือ (1) การผลิตก๊าซสังเคราะห์ (Syngas) เปลี่ยนจากชีวมวลให้เป็นก๊าซและ (2) การสังเคราะห์เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนเหลวจากก๊าซสังเคราะห์



ภาพที่ 1 กระบวนการสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวจากชีวมวล ^[1]

ก๊าซสังเคราะห์ผลิตได้ตามสมการ (1-1) ส่วนใหญ่ประกอบด้วยก๊าซ H₂ CO CO₂ CH₄ และสารปนเปื้อนบางชนิด (อนุภาค สารควบแน่น สารประกอบอัลคาไลน์, H₂S, HCl, NH₃ และ HCN) ซึ่งต้องกำจัดออกก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการสังเคราะห์ ตัวบ่งชี้หลักของคุณภาพของการผลิตก๊าซสังเคราะห์ คืออัตราส่วนของ H₂ / CO ซึ่งอยู่ระหว่าง 0.6 ถึง 0.8 ในกรณีใช้ระบบ Entrained-flow และระหว่าง 0.6 ถึง 2 สำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไธซ์เบด (Fluidized bed)

การสังเคราะห์ไฮโดรคาร์บอนเหลวจากก๊าซสังเคราะห์โดยผ่านปฏิกิริยาฟิชเชอร์ทรอปช์ หรือกระบวนการการเปลี่ยนเมทานอลเป็นก๊าซโซลีน ทั้งสองกรณีมีสมการในการสังเคราะห์เหมือนกัน คือสมการ (1-2)



ตารางที่ 1 ค่าเปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซต่างๆ ของน้ำมันดีเซลธรรมดาและน้ำมันดีเซลสังเคราะห์^[5]

Diesel	HC	CO	NO _x	PM	CO ₂
Conventional diesel	0.346	1.584	5.373	0.120	643.75
Fisher-Tropch diesel	0.198	0.968	4.607	0.104	611.49

ตารางที่ 2 ชื่อทางการค้าของน้ำมันดีเซลสังเคราะห์ตามบริษัทผู้ผลิต^[8]

Company	Trade name
เชลล์ เอ็มดีเอส	เพียวร่าดีเซล

2. กระบวนการสังเคราะห์^[2,3,4,5]

การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลทำได้โดยผ่านกระบวนการฟิชเชอร์ทรอปซ์ซึ่งเกิดจากการปฏิกิริยาของก๊าซสังเคราะห์ (H₂ และ CO) ที่ได้จากกระบวนการเปลี่ยนชีวมวล เช่น ลิกโนเซลลูโลสให้เป็นก๊าซ (Gasification)

สำหรับกระบวนการฟิชเชอร์ทรอปซ์นั้นเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีการเปลี่ยนก๊าซให้เป็นของเหลว ซึ่งจะต้องผ่านกระบวนการหลักทั้งหมด 3 กระบวนการ คือ

2.1 กระบวนการผลิตก๊าซสังเคราะห์ (Syngas manufacturing) เป็นกระบวนการที่นำสารชีวมวล (Biomass) ไปผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งก๊าซสังเคราะห์ (H₂ + CO)

2.2 กระบวนการฟิชเชอร์ทรอปซ์ (Fischer-Tropsch Synthesis)

2.3 กระบวนการแยกและปรับปรุงผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้น้ำมันสังเคราะห์ที่มีความบริสุทธิ์สูง (Product Purification and Product Grade-Up) จะมีกระบวนการย่อยทั้งหมด 2 กระบวนการ คือ

2.3.1 กระบวนการแยก (Product recovery) เป็นกระบวนการที่แยกน้ำออกจากระบบ แยกก๊าซมีเทนเข้าสู่กระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำ และเข้าสู่ปฏิกิริยาฟิชเชอร์ทรอปซ์เพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์

2.3.2 กระบวนการปรับปรุงผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้น้ำมันสังเคราะห์ (Product grade-up) หลังจากกระบวนการแยกแล้ว จะเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายมากขึ้น ซึ่งมีทั้งหมด 5 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการแคร็กกิง (Hydrocracking) เป็นกระบวนการแตกตัวจากการเพิ่มความดันของก๊าซไฮโดรเจนโดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้สายโซ่ของไฮโดรคาร์บอนบริสุทธิ์ ปราศจากกำมะถันและไนโตรเจน

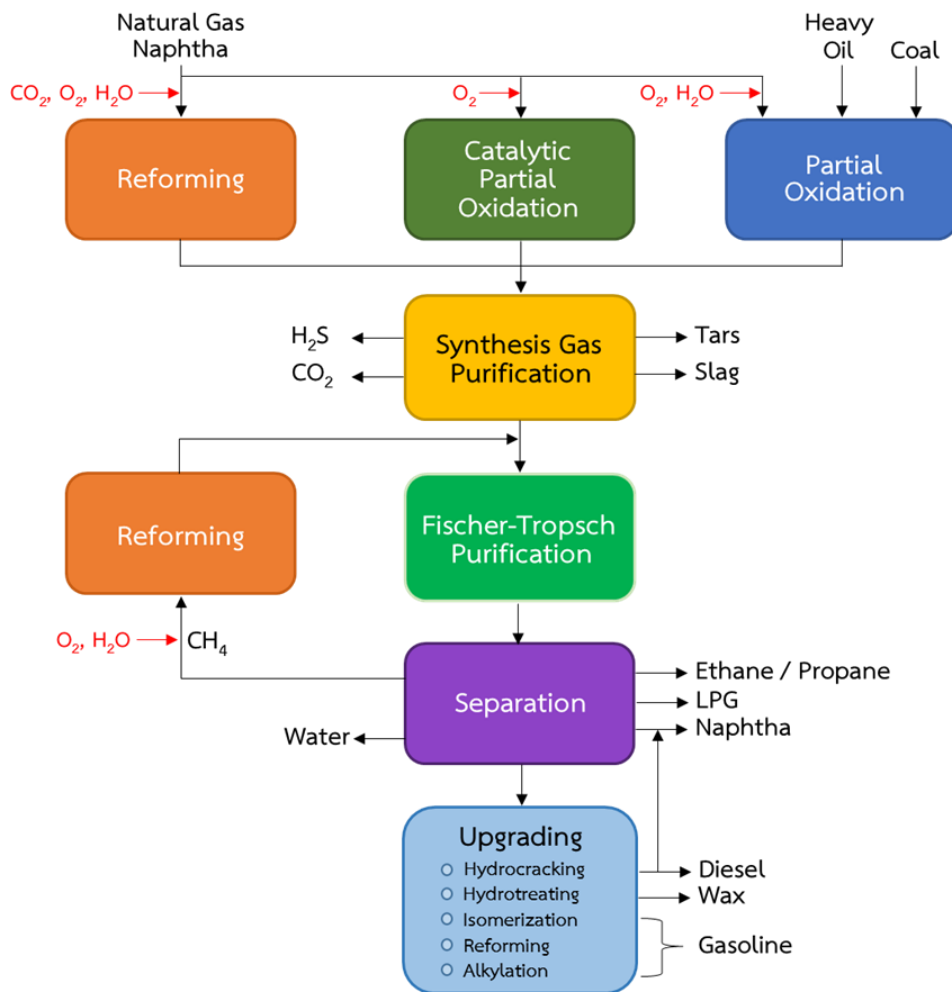
ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการไฮโดรทรีตติง (Hydrotreating) เป็นกระบวนการที่ดึงซัลเฟอร์และไนโตรเจนออกจากระบบ เพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ก๊าซโซลีน น้ำมันเจ็ท และน้ำมันดีเซล

ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการไอโซเมอไรเซชัน (Isomerization) เป็นกระบวนการเปลี่ยนโครงสร้างของไฮโดรคาร์บอนให้มีค่าออกเทนสูงขึ้น โดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยา

ขั้นตอนที่ 4 กระบวนการคะตะไลติกรีฟอร์มมิ่ง (Catalytic Reforming) เป็นกระบวนการเปลี่ยนสภาพไฮโดรคาร์บอนโดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยา

ขั้นตอนที่ 5 กระบวนการอัลคิลเลชัน (Alkylation) เป็นการรวมตัวกันของไอโซบิวเทน (Isobutane) กับโอเลฟิน (Olefins) เพื่อให้ได้ไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว

ซึ่งทั้ง 5 ขั้นตอนดังกล่าวจะได้ผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายมากขึ้น เช่น แนพธา (Naphtha) ก๊าซโซลีน (Gasoline) น้ำมันดีเซล (Diesel) หรือไข (Wax)

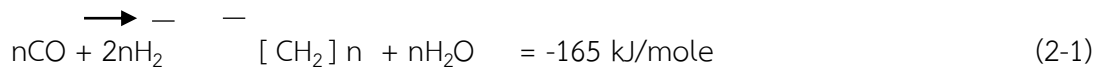


ภาพที่ 2 กระบวนการผลิตสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยปฏิกิริยาฟิชเชอร์ทรอปซ์ [3]

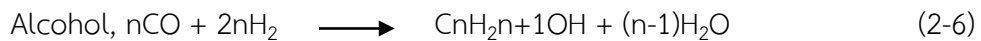
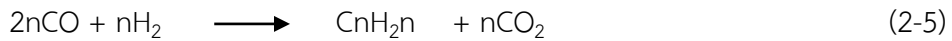
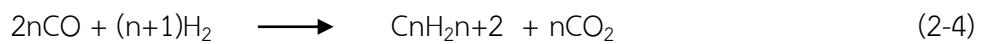
สำหรับปฏิกิริยาฟิชเชอร์ทรอปซ์ (Fischer-Tropsch Reaction) เป็นปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation) ของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide : CO) บนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา และเกิดปฏิกิริยาการต่อสายโซ่ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ ทั้งที่เป็นพาราฟินหรือพาราฟิน (Paraffin) และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนพาราฟินหรือโอเลฟิน (Olefins) สำหรับสารประกอบโอเลฟินจะไม่เสถียรในปฏิกิริยา ดังนั้นจึงเกิดการดูดซับบนพื้นผิวและภายในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา (Re-Adsorption) เป็นจำนวนหลายรอบ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันแบบทุติยภูมิ (Secondary Hydrogenation มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

บทที่ 24 น้ำมันดีเซลสังเคราะห์ (Synthetic diesel)

Reaction) และคายซับเป็นผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวประเภทพาราฟิน ทั้งนี้ปฏิกิริยาฟิชเชอร์ทรอปซ์เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนจากการดำเนินปฏิกิริยาในสภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทต่าง ๆ และน้ำสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2-1)



ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาฟิชเชอร์ทรอปซ์ นอกจากพาราฟิน อาจเกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงอื่นๆ เช่น โอลิฟินและแอลกอฮอล์ดังสมการ (2-2) ถึง (2-6)



ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาฟิชเชอร์ทรอปซ์

สำหรับขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาฟิชเชอร์ทรอปซ์บนตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous Catalyst) เป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการไฮโดรจีเนชัน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว ซึ่งขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยามีทั้งหมด 6 ขั้นตอน คือ (Adesina, 1996)

ขั้นตอนที่ 1 การดูดซับสารตั้งต้น (Reactant Adsorption)

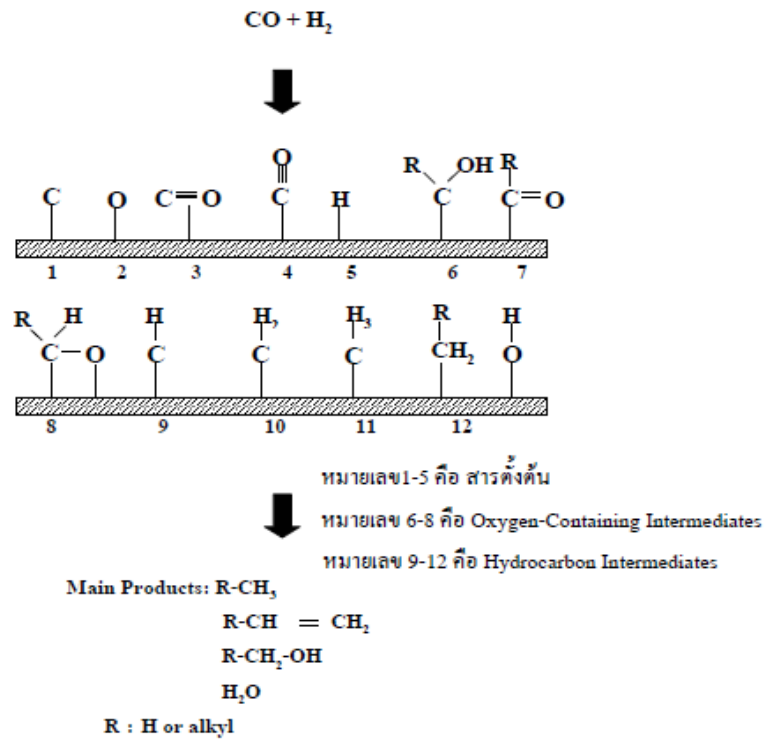
ขั้นตอนที่ 2 การเริ่มการต่อสายโซ่ (Chain Initiation)

ขั้นตอนที่ 3 การเติบโตของสายโซ่ (Chain Growth)

ขั้นตอนที่ 4 การหยุดการต่อสายโซ่ (Chain Termination)

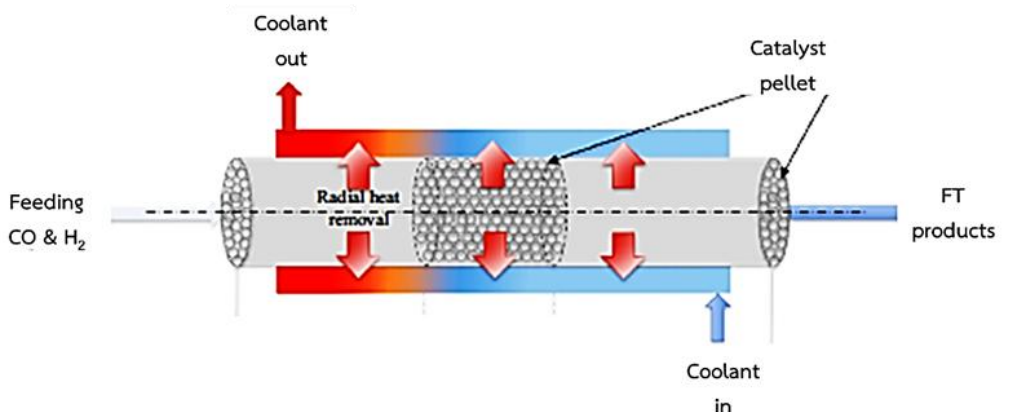
ขั้นตอนที่ 5 การคายซับของผลิตภัณฑ์ (Product Desorption)

ขั้นตอนที่ 6 การดูดซับสารตั้งต้นและการเกิดปฏิกิริยาการต่อสายโซ่อีกครั้ง (Re-Adsorption and Further Reaction) โดยการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนต่างๆ สามารถแสดงได้ในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การดูดซับทางเคมีในการกระบวนการฟิชเชอร์ทรอปช์ ^[10]

ทั้งนี้การเลือกเกิดผลิตภัณฑ์โดยทั่วไปประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซอีเทน (C_2H_4) ก๊าซแอลพีจี ($\text{C}_3\text{-C}_4$) ก๊าซโซลีน ($\text{C}_5\text{-C}_{12}$) ดีเซล ($\text{C}_{13}\text{-C}_{22}$) และไข ($> \text{C}_{23}$) แต่อย่างไรก็ดี การเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ และสภาวะที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา เช่น อุณหภูมิ ความดัน และช่วงเวลา que ดำเนินปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์



ภาพที่ 4 กระบวนการสังเคราะห์ฟิชเชอร์ทรอปช์บนเครื่องปฏิกรณ์ชนิดเบดนิ่ง (Fixed bed reactor) ^[9]

3. บริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่าย

3.1 บริษัทผู้ผลิต Synthetic diesel

3.1.1 ภายในประเทศไทย ไม่พบผู้ผลิต Synthetic diesel ภายในประเทศ

3.1.2 ต่างประเทศ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รายชื่อบริษัทผู้ผลิต Synthetic diesel ในต่างประเทศ^[7]

Manufacturers	Address	Contact	Country	Website
Shevron	6001 Bollinger Canyon Road San Ramon, CA 94583,	+1 925-842-1000	USA	www.chevron.com
Statoil	Forusbeen 50, 4035 Stavanger	+47 51 99 00 00	Norway	www.statoil.com
Texaco	425 Dobbs Ferry Rd, White plains, New York	+1 914-684-0130	USA	www.texaco.com
Conoco	3305 N 14th St, Ponca City, Oklahoma	+1 580-767-1711	USA	www.conoco.com
Shell	Menara Shell No. 211 Jalan Tun Sambanthen 50470 Kuala Lumpur	-	Malaysia	www.shell.com
Petro SA	151 Frans Conradie Drive, Parow, Cape Town	+27 21 929 3000	South Africa	www.petrosa.co.za
Shell	PT Shell Indonesia Talavera Office Park, 22 nd - 26 th Floor Jl. TB Simatupang Kav. 22 – 26 Jakarta	+6221 75924700	Indonesia	www.shell.co.id
Exxon Mobil	5420 N MacArthur Blvd, Irving, Texas	+1 972-580-7664	USA	www.exxon.com

3.2 บริษัทผู้จัดจำหน่าย Synthetic diesel

3.2.1 ภายในประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายชื่อบริษัทผู้จัดจำหน่าย Synthetic diesel ภายในประเทศ

บริษัทผู้จัดจำหน่าย	ที่อยู่	เบอร์โทร	ประเทศ	เว็บไซต์
บริษัท เอสโซ่ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)	3195/17-29 ถนนพระราม 4 แขวงคลองตัน เขตคลองเตย กทม	02- 2624000	ไทย	www.esso.co.th
บริษัท เชลล์แห่ง ประเทศไทย จำกัด	10 ถนน สุนทรโกษา แขวง คลองเตย เขต คลองเตย กทม	02- 262 6000	ไทย	www.shell.co.th

3.2.2 ต่างประเทศ แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 รายชื่อบริษัทผู้จัดจำหน่าย Synthetic diesel ในต่างประเทศ ^[7]

Manufacturers	Address	Contact	Country	Website
Chevron	6001 Bollinger Canyon Road San Ramon, CA 94583	+1 925-842- 1000	USA	www.chevron.co m
Statoil	Forusbeen 50, 4035 Stavanger	+47 51 99 00 00	Norway	www.statoil.com
Texaco	425 Dobbs Ferry Rd, White plains, New York	+1 914-684- 0130	USA	www.texaco.com
Conoco	3305 N 14th St, Ponca City, Oklahoma	+1 580-767- 1711	USA	www.conoco.com
Shell	Menara Shell No. 211 Jalan Tun Sambanthan 50470 Kuala Lumpur	-	Malaysia	www.shell.com
Petro SA	151 Frans Conradie Drive, Parow, Cape Town	+27 21 929 3000	South Africa	www.petrosa.co.z a
Shell	PT Shell Indonesia Talavera Office Park, 22nd - 26th Floor Jl. TB Simatupang Kav. 22 – 26 Jakarta	+6221 75924700	Indonesia	www.shell.co.id

Manufacturers	Address	Contact	Country	Website
Exxon Mobil	5420 N MacArthur Blvd, Irving, Texas	+1 972-580- 7664	USA	www.exxon.com

4. การประยุกต์ใช้ Synthetic diesel ในอุตสาหกรรม

น้ำมันดีเซลสังเคราะห์มีการนำไปใช้งานคล้ายกับน้ำมันดีเซลทั่วไป คือ ใช้ในยานยนต์เครื่องยนต์ดีเซลและใช้ในเครื่องจักรกลโรงงาน แสดงคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันดีเซลดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันดีเซลที่ใช้งานต่างกัน ^[5]

Properties	ASTM	Unit	100% FT diesel	Diesel Fuel for Vehicle Tests	Fuel Requirements from Engine Manufacturer
Flash Point	D93	°C	72	-	legal limit
Cloud Point	D2500	°C	3	-	max not above lowest ambient temperature
Water & Sediment	D1796	%	<0.02	-	0.1 max
Carbon Residue	D524	wt%	0.02	-	1.05 max
Ash	D482	wt%	<0.001	-	0.02 max
Distillation	D86	°C	210	175	282 max 360 max
IBP			260	213	
10%			300	268	
50%			331	332	
90%			338	363	
FBP					
Kinematic Viscosity	D445	cSt@40 °C	3.57	3.57	1.4 min, 20.0 max
Sulfur	D129	wt%	< 0.05	-	3 wt% max
Sulfur	D5453	ppm	<5**	-	-
Sulfur	D4294	wt%	-	0.01	-

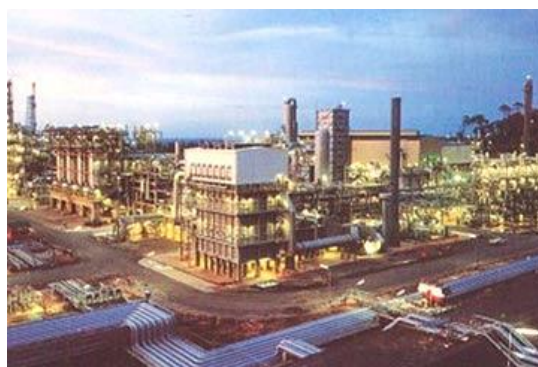
Properties	ASTM	Unit	100% FT diesel	Diesel Fuel for Vehicle Tests	Fuel Requirements from Engine Manufacturer
Corrosion, 50°C for 3 hours	D130	-	1A	1A	no. 3 max
Cetane number	D613	-	>74	-	40 min
Cetane index	D4737	-	-	53.7	-
Density 15 °C	D4052/ D1298	Sp. Gravity	0.7845	0.8337	-
API Gravity @ 15.6 °C	D287	°API	54	-	30 min, 45 max
Pour Point	D97	°C	0	-9	6° min below ambient Temperature
SFC Aromatics MonoDiPoly	D5186	wt%	0.1 0.1 0.1	-	-
FIA Aromatic Olefins Saturate	D1319	vol%	0.1 0.1 99.8	-	35 max
Gum Content	D381	mg/100ml	0.2	-	10 max
Aromatics	-	Mass%	-	18.1	-
Lubricity SLBOCLE	D6078	grams	1700	-	3100 min
Lubricity HFRR	D6079	micron	420/540/5 70	-	380 max
Carbon/Hydrogen Carbon Hydrogen	D5291	Mass%	84.91 14.97 0.67	-	-

Properties	ASTM	Unit	100% FT diesel	Diesel Fuel for Vehicle Tests	Fuel Requirements from Engine Manufacturer
Nitrogen Residual -Oxygen (by diff)			-1.09 negligible		
Heat of Combustion Gross net	D240	Btu/gal	132,600 123,600	136,400 127,900	-

5. ความรู้และข่าวสารใหม่ๆ ^[1,8]

Gonzalez M.I. และคณะ (2011) ได้ศึกษาการนำชีวมวลลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulosic Biomass) มาผลิตก๊าซสังเคราะห์เพื่อผลิตเชื้อเพลิงเหลวไฮโดรคาร์บอนสำหรับภาคขนส่งด้วยกระบวนการฟิชเชอร์ทรอปช์ (Fischer-Tropsch Synthesis) จากการวิจัยพบว่า ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเคมีโดยรวมจากชีวมวลสำหรับสังเคราะห์เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนเหลวช่วง C₅ - C₂₀ อยู่ที่ร้อยละ 25.8 - 46.5 สำหรับประสิทธิภาพการใช้คาร์บอนสำหรับสังเคราะห์เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนเหลวช่วง C₅ - C₂₀ อยู่ที่ร้อยละ 18.6 ถึง 33.5 อย่างไรก็ตาม ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนเหลวสังเคราะห์ถูกคำนวณบนพื้นฐานของประสิทธิภาพที่ได้จากการผลิต ซึ่งอยู่ในช่วง 21-34 ยูโรต่อกิกะจูล โดยค่าต้นทุนการผลิตเหล่านี้จะลดลงเหลือ 18-28 ยูโรต่อกิกะจูล เมื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดการลงทุนในระยะกลาง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับมาตรการที่เหมาะสม หากราคาน้ำมันดิบกับชีวมวลแตกต่างกันมากถึง 20 ยูโรต่อกิกะจูล การผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนเหลวอาจแข่งขันกับผลิตปิโตรเลียมได้

บริษัท เซลล์ (ประเทศมาเลเซีย) ได้ดำเนินการผลิตน้ำมันดีเซลสังเคราะห์ ด้วยเครื่องปฏิกรณ์เบดนิ่งที่กำลังในการผลิต 12500 บาร์เรลต่อวัน ภายใต้ชื่อ เซลล์ เอ็มดีเอส และขายภายใต้ชื่อทางการค้า เพียวราตีเซล



ภาพที่ 5 โรงงานผลิตเชื้อเพลิงสังเคราะห์ SMDS บริษัท เซลล์ ประเทศมาเลเซีย ^[8]

ในประเทศญี่ปุ่นนั้นได้มีการสร้างโรงงานต้นแบบขนาดเล็ก และทดสอบการผลิตที่ฮอกไกโด และในอนาคตอันใกล้ นี้ จะมีโรงงานต้นแบบสำหรับการผลิตน้ำมันสังเคราะห์ ที่มีกำลังในการผลิต 500 บาร์เรลต่อวัน ในจังหวัดนิงาตะ ซึ่งเป็นโรงงานที่เกิดจากความร่วมมือของบริษัทยักษ์ใหญ่ 6 แห่งของญี่ปุ่น และใช้เงินลงทุนถึง 3.6 หมื่นล้านเยน



ภาพที่ 6 โรงงานต้นแบบการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากแก๊สธรรมชาติ ณ เกาะฮอกไกโด ประเทศญี่ปุ่น^[8]

เอกสารอ้างอิง

- [1] Gonzalez, M. I., Kraushaar-Czarnetzki, B., & Schaub, G. (2011). Process comparison of biomass-to-liquid (BtL) routes Fischer–Tropsch synthesis and methanol to gasoline. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1(4), 229-243.
- [2] Schulz, H., Beck, K. and Erich, E. (1988). “Mechanism of the Fischer–Tropsch process.” *Proceedings of a Symposium on the Production of Fuels and Chemicals from Natural Gas*. New Zealand : Auckland, (457–471).
- [3] สุภาพร ผลิตสกุล. (2554). การสังเคราะห์เชื้อเพลิงฟิชเชอร์–โทรปส์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก–โคบอลต์บนตัวรองรับซิลิกาซีโรเจล. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [4] Dry, M. (1990). “The Fischer–Tropsch process–commercial aspects.” *Catalysis Today*. Vol.6 No.3 : 183–206.
- [5] Paul Norton, Keith Vertin and Brent Bailey, *Emissions from Trucks using Fischer-Tropsch Diesel Fuel*, 1998
- [6] <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.458.3054&rep=rep1&type=pdf> standard FT diesel
- [7] http://www.cogeneration.net/synthetic_diesel.htm
- [8] <http://www.vcharkarn.com/varticle/37452>
- [9] Chabot, G., Guilet, R., Cognet, P., & Gourdon, C. (2015). A mathematical modeling of catalytic milli-fixed bed reactor for Fischer–Tropsch synthesis: Influence of tube diameter on Fischer Tropsch selectivity and thermal behavior. *Chemical Engineering Science*, 127, 72-83.

- [10] หัสณัยน์ สุขธัญญาวัฒน์. (2550). ไฮโดรจีเนชันก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยารูทีเนียม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.