เปลี่ยนความท้าทายเป็นโอกาสสำหรับเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืน
(Sustainable Aviation Fuel: SAF)

เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืน

การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ 19 - NAC2024
28 มีนาคม 2567
ห้อง CC-403 อาคาร 14 (CC)

ดร. ขจรศักดิ์ เฟื่องนวกิจ
ผู้อำนวยการกลุ่มวิจัยการเร่งปฏิกิริยาและการคำนวณระดับนาโน
NANOTEC, NSTDA

Copyright @ 2024 NANOTEC, NSTDA

Outline

ความสำคัญของน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืน หรือ SAF

น้ำมันเชื้อเพลิง SAF คืออะไร มีบทบาทในการลดการปลดปล่อย CO_2 ในภาคธุรกิจการบินอย่างไร

Technology Landscape

เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง SAF มีอะไรบ้าง แต่ละเทคโนโลยีมีประสิทธิภาพอย่างไร

สถานการณ์น้ำมันเชื้อเพลิง SAF ทั่วโลก และในไทย ณ ปัจจุบัน

ผู้ผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง SAF รายใหญ่ และการนำไปใช้ในเชิงพานิชย์ ทั่วโลกและในไทย

งานวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต SAF ของ NANOTEC

การพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิต SAF และการสร้างความร่วมมือกับภาครัฐและเอกชน

Copyright @ 2024 NANOTEC, NSTDA

ความสำคัญของน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืน หรือ SAF

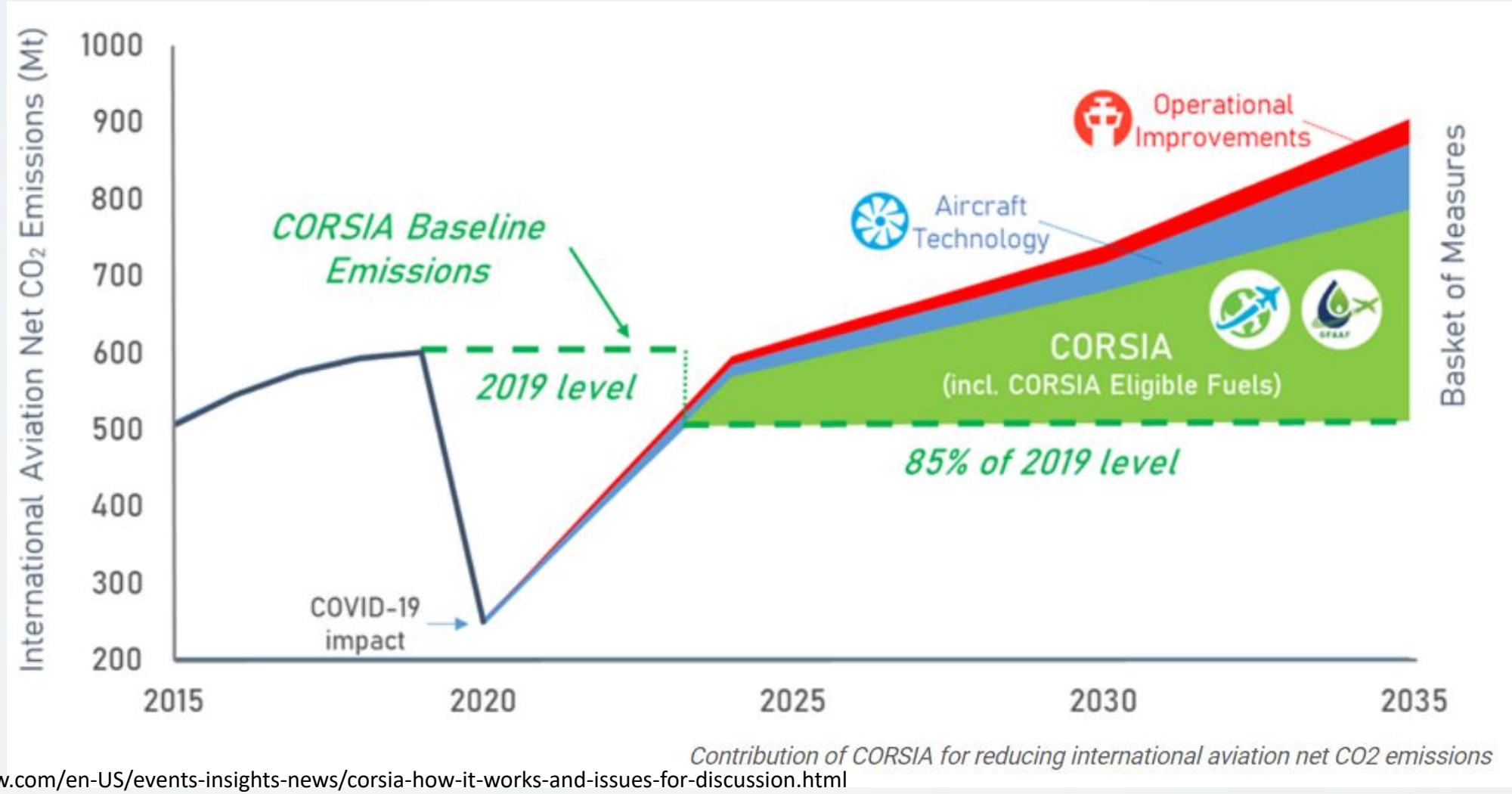
น้ำมันเชื้อเพลิง SAF คืออะไร มีบทบาทในการลดการปลดปล่อย CO_2 ในภาคธุรกิจการบินอย่างไร

Copyright @ 2024 NANOTEC, NSTDA

CO_2 Emissions in Aviation Sector

ตลาดเชื้อเพลิงการบินทั่วโลก ณ ปี 2022 มีมูลค่าประมาณ 198.7 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ และ โตต่อเนื่อง

ในปี 2019 ภาคธุรกิจการบิน มีการปล่อย CO_2 มากถึง 600 Mt ซึ่งถือเป็นค่าอ้างอิงที่หลังจากนี้ ภาคธุรกิจการบินจะต้องลดการปล่อย CO_2 ให้ต่ำลงกว่าเดิม



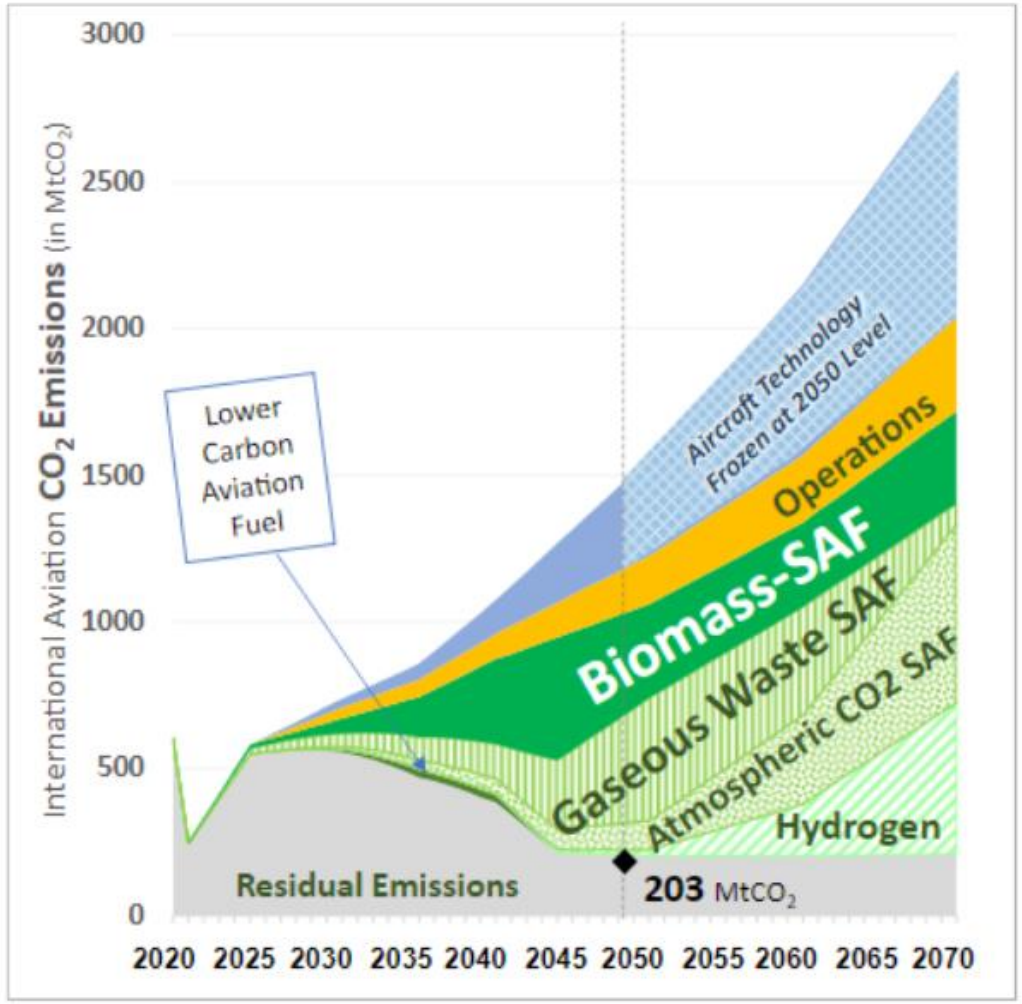
Contribution of CORSIA for reducing international aviation net CO2 emissions

Ref. https://www.bclplaw.com/en-US/events-insights-news/corsia-how-it-works-and-issues-for-discussion.html
https://unitingaviation.com/news/environment/an-update-on-our-efforts-to-achieve-global-aviations-net-zero-carbon-emission-goals/

Copyright @ 2024 NANOTEC, NSTDA

CO_2 Emissions in Aviation Sector

ในปี 2019 ภาคธุรกิจการบิน มีการปล่อย CO_2 มากถึง 600 Mt ซึ่งถือเป็นค่าอ้างอิงที่หลังจากนี้ ภาคธุรกิจการบินจะต้องลดการปล่อย CO_2 ให้ต่ำลงกว่าเดิม



Contributions from Fuels (in green) towards decarbonization of the sector

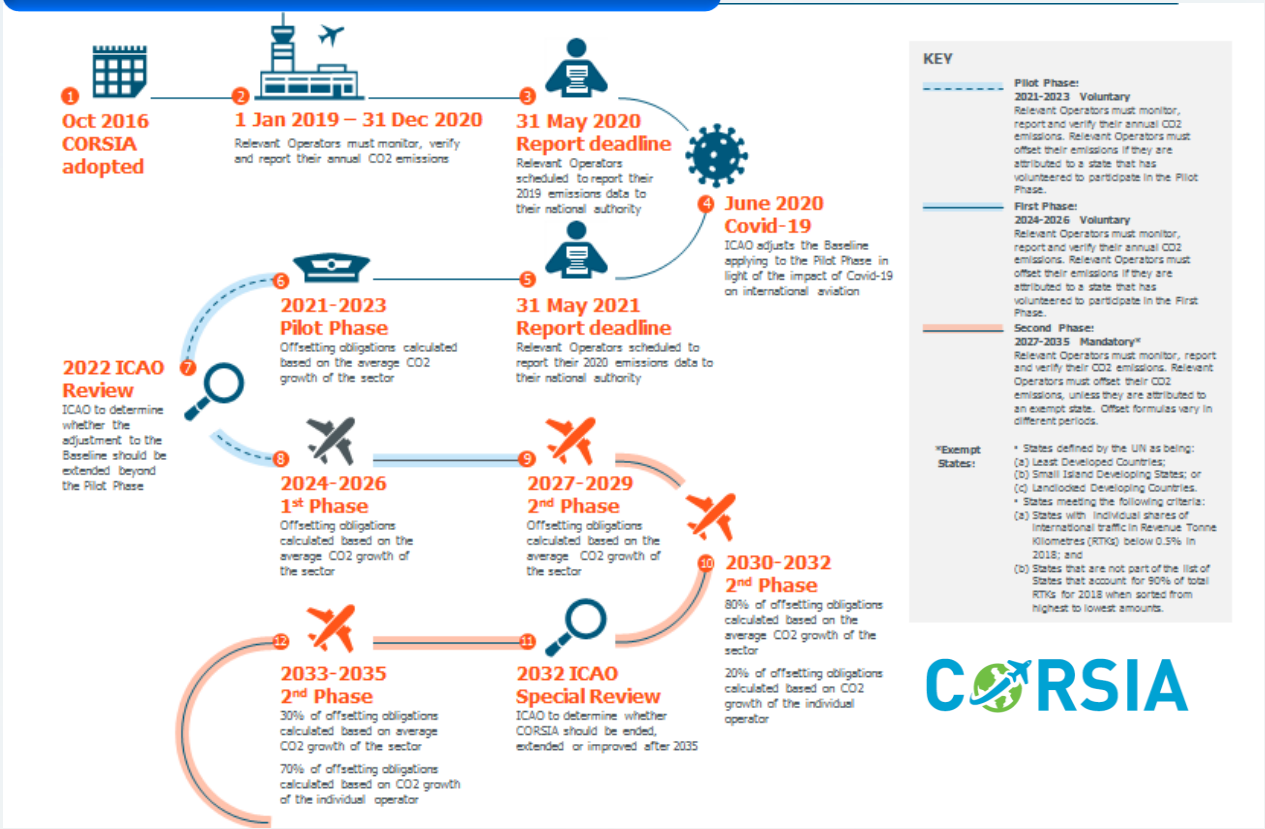
Ref. https://www.bclplaw.com/en-US/events-insights-news/corsia-how-it-works-and-issues-for-discussion.html
https://unitingaviation.com/news/environment/an-update-on-our-efforts-to-achieve-global-aviations-net-zero-carbon-emission-goals/

Copyright @ 2024 NANOTEC, NSTDA

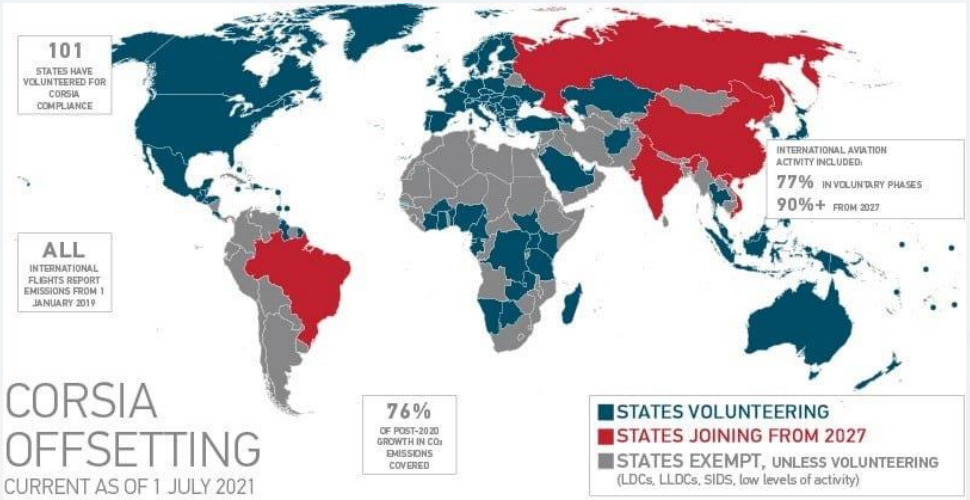
Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)

COSIA เป็นโครงการที่ได้รับการรับรองอย่างเป็นทางการในการประชุม ICAO ในปี 2016 ดำเนินการเป็นชุดเฟส ตามที่ระบุไว้ในแผนงานด้านล่าง

CORSIA roadmap – key dates



อุตสาหกรรมการบินประเทศไทยอยู่ภายใต้ภาระผูกพันในการชดเชยคาร์บอนภายใต้พระราชบัญญัติการชดเชยคาร์บอนและโครงการลดคาร์บอนสำหรับการบินระหว่างประเทศ (CORSIA) ตั้งแต่เดือนมกราคม 2564 (2021)



อุตสาหกรรมการบินทั่วโลกและในไทยจึงไม่มีทางเลือกอื่นนอกจากเปลี่ยนมาใช้ SAF เป็นกลยุทธ์หลักในการลดการปล่อยคาร์บอน เชื้อเพลิงที่สะอาดกว่าเป็นทางเลือกสำหรับการบิน เนื่องจากมีส่วนช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ต่ำ เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงเครื่องบินฟอสซิลทั่วไป

ปัจจุบัน 2024 มี 126 ประเทศที่เข้าร่วม CORSIS โดยประเทศที่เพิ่มมาคือ Antigua and Barbuda, Bahrain, Ecuador, Kuwait, Samoa, Seychelles, Sierra Leone, Solomon Islands, Mauritius, Malawi, Haiti

https://www.bclplaw.com/en-US/events-insights-news/corsia-how-it-works-and-issues-for-discussion.html, https://carboncredits.com/what-is-corsia-all-the-important-things-you-must-know/

Copyright @ 2024 NANOTEC, NSTDA

Conventional Aviation Fuels vs Sustainable Aviation Fuel

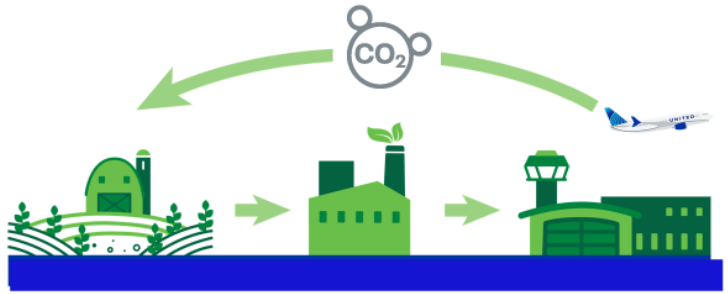
Conventional jet fuel
Releases new carbon into the atmosphere

Extract
Crude oil is extracted from the ground

Refine
Crude is refined into jet fuel, a carbon intensive process

Consume
Finished jet fuel is used to fly aircraft

Sustainable aviation fuel
Emits up to 85% less carbon on a lifecycle basis



Process feedstock
Renewable materials are collected as SAF feedstock

Refine
Feedstock is converted to fuel through processes using as much renewable energy as possible

Consume
Finished product is tested to prove identical to jet fuel and used to fly aircraft

วัตถุดิบในการผลิต SAF ที่องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (International Civil Aviation Organization, ICAO) แนะนำ

Wastes

ของเหลือทิ้ง ไม่สามารถใช้ซ้ำในกระบวนการเดิมได้

By-products

ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการ ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

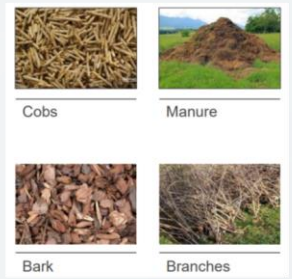
Residues

Processing residues

ของเหลือทิ้ง ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต

Agricultural and forestry residues

ของเหลือทิ้ง ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเก็บเกี่ยว



Feedstock เหล่านี้ มีการดูดซับก๊าซ CO_2 ไว้ส่วนหนึ่ง เมื่อนำมาผลิต SAF ซึ่งลดการปล่อย CO_2 จากการเผาไหม้ โดย CO_2 ดังกล่าว จะถูกดูดซับกลับไปด้วย feedstock อีก ทำให้ SAF เป็นกลางทางคาร์บอนเกือบสมบูรณ์ ในระยะยาวจะทำให้เกิด Carbon Neutrality ได้

https://crreport.united.com/environmental-sustainability/road-to-net-zero

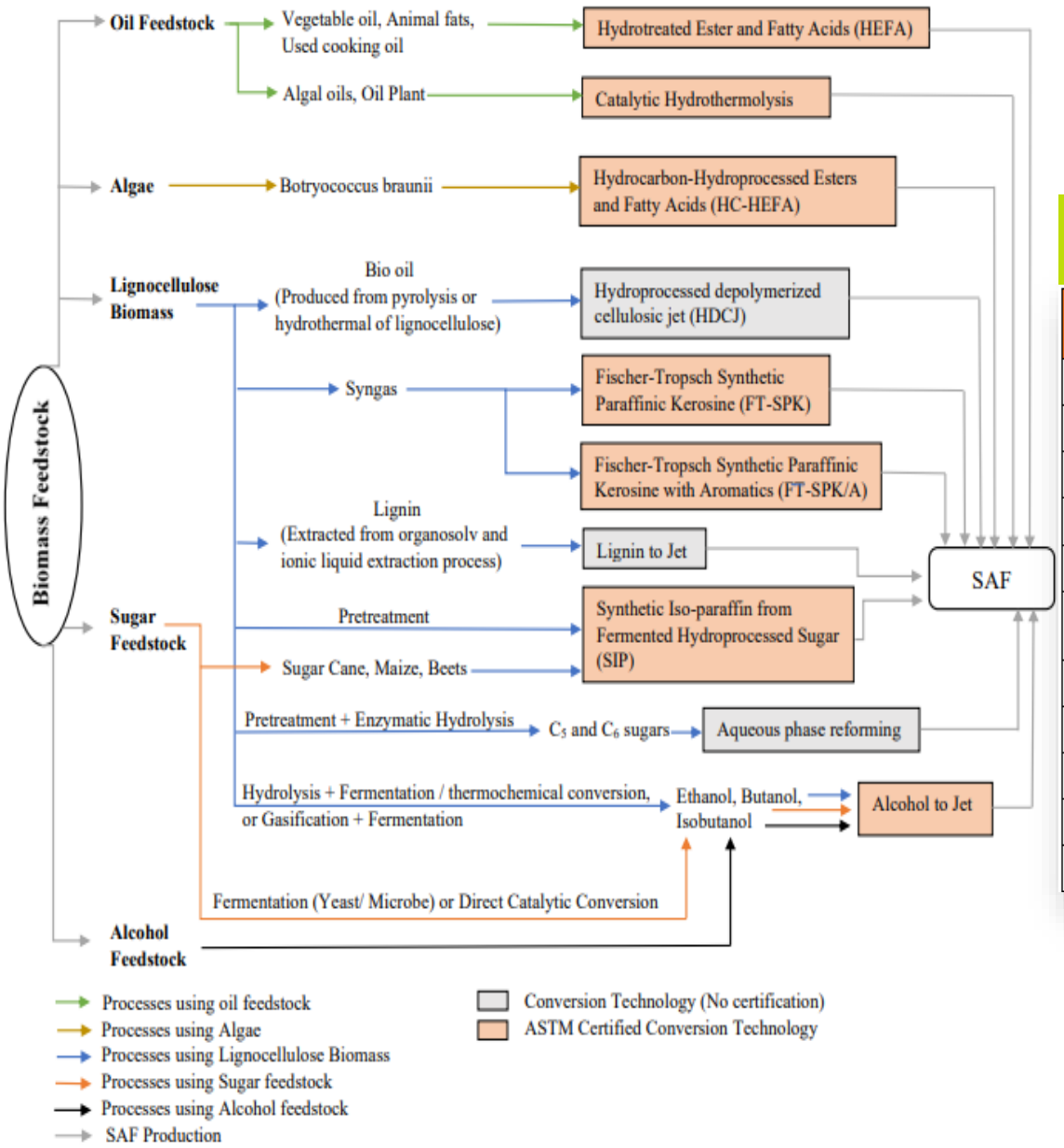
Copyright @ 2024 NANOTEC, NSTDA

Technology Landscape

เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง SAF มีอะไรบ้าง แต่ละเทคโนโลยีมีประสิทธิภาพอย่างไร

Copyright @ 2024 NANOTEC, NSTDA

เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต SAF หรือ SAF Pathway



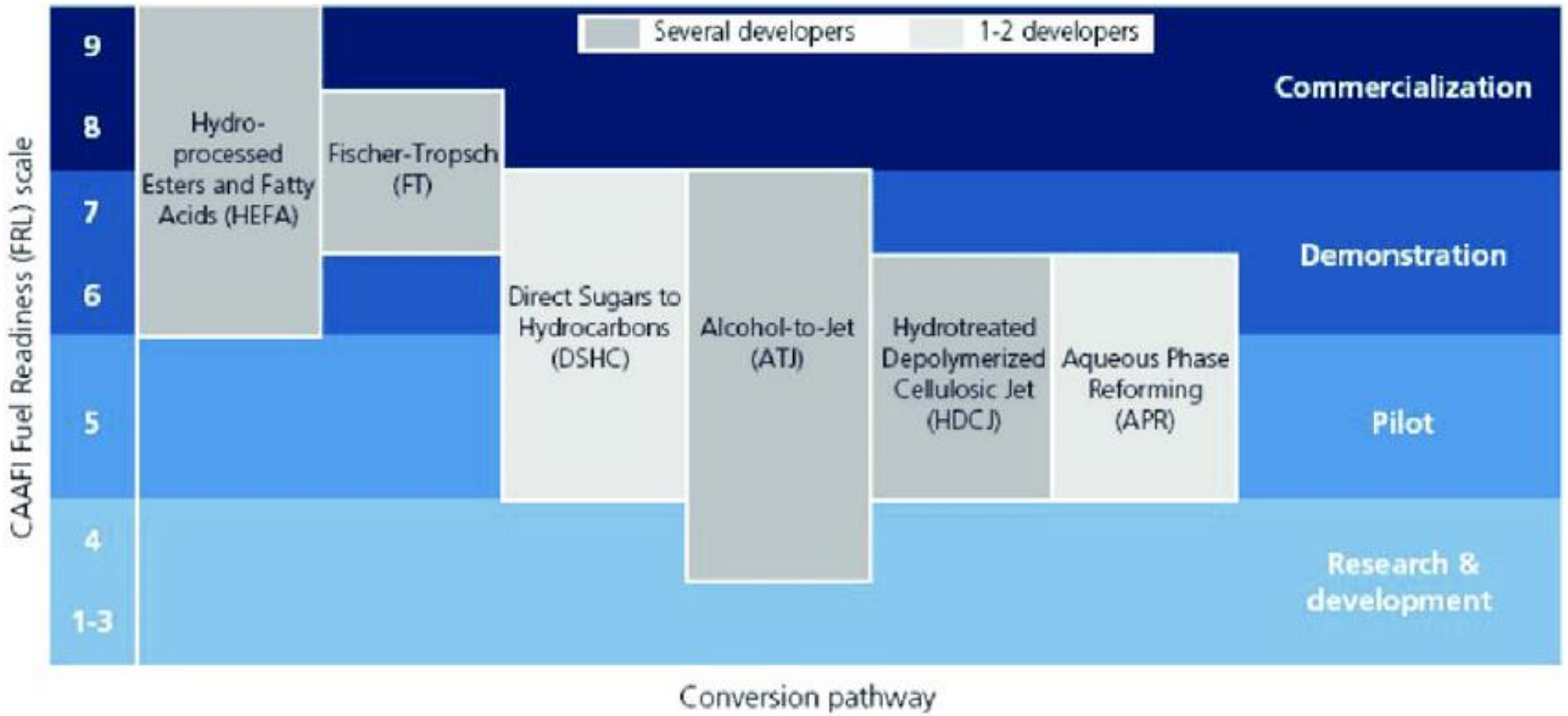
เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต SAF หรือ SAF Pathway ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบตั้งต้น

ASTM certified SAF Pathway

ASTM reference	Conversion process	Abbreviation	Possible Feedstocks	Maximum Blend Ratio
ASTM D7566 Annex 1	Fischer-Tropsch hydroprocessed synthesized paraffinic kerosene	FT	Coal, natural gas, biomass	50%
ASTM D7566 Annex 2	Synthesized paraffinic kerosene from hydroprocessed esters and fatty acids	HEFA	Bio-oils, animal fat, recycled oils	50%
ASTM D7566 Annex 3	Synthesized iso-paraffin from hydroprocessed fermented sugars	SIP	Biomass used for sugar production	10%
ASTM D7566 Annex 4	Synthesized kerosene with aromatics derived by alkylation of light aromatics from non-petroleum sources	FT-SKA	Coal, natural gas, biomass	50%
ASTM D7566 Annex 5	Alcohol to jet synthetic paraffinic kerosene	ATJ-SPK	Biomass from ethanol, isobutanol or isobutane	50%
ASTM D7566 Annex 6	Catalytic hydrothermolysis jet fuel	CHJ	Triglycerides such as soybean oil, jatropha oil, camelina oil, carinata oil, and tung oil	50%
ASTM D7566 Annex 7	Synthesized paraffinic kerosene from hydrocarbon—hydroprocessed esters and fatty acids	HC HERE—SPK	Algae	10%
ASTM 07566 Annex 8	ATJ derivative starting with the mixed alcohols	ATJ-SKA		
ASTM 01655 AnnexA 1	co-hydroprocessing of esters and fatty acids in a conventional petroleum refinery	co-processed HEFA	Fats, oils, and greases (FOG) co-processed with petroleum	5%
ASTM 01655 Annex A1	co-hydroprocessing of Fischer-Tropsch hydrocarbons in a conventional petroleum refinery	co-processed FT	Fischer-Tropsch hydrocarbons co-processed with petroleum	5%
ASTM D1655 Annex A1	co-hydroprocessing of biomass	co-processed biomass		5%

Copyright @ 2024 NANOTEC, NSTDA

ความพร้อมทางด้านเทคโนโลยี



Copyright @ 2024 NANOTEC, NSTDA

สถานการณ์น้ำมันเชื้อเพลิง SAF ทั่วโลก ณ ปัจจุบัน ทั่วโลกและในไทย

ผู้ผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง SAF รายใหญ่ และการนำไปใช้ในเชิงพานิชย์ ทั่วโลกและในไทย

Copyright @ 2024 NANOTEC, NSTDA

ผู้นำด้านการผลิต SAF ตามเทคโนโลยี

Conversion pathways	Feedstock	Year of approval	Producers
Fischer-Tropsch synthesis of Synthetic Paraffinic Kerosene (FT-SPK)	Municipal solid waste (MSW), Forestry wastes, natural gas, coal	2009	Shell
Hydroprocessing of esters and fatty acids (HEFA)	Triglyceride-based feedstocks like vegetable oil, algae, waste oil, animal fat	2011	Honeywell, Neste Oil
Hydroprocessing of Fermented sugars to Synthetic Isoparaffins (HFS-SIP)	Cellulose, Starch, carbohydrates	2014	Total, Amyris
Fischer-Tropsch synthesis of SPK with aromatics (FT-SPK/A)	MSW, agricultural waste, natural gas, forestry waste, cool, energy crops	2015	Shell, Sasol
Alcohol-to-Jet synthesis of SPK using isobutanol and ethanol (ATJ-SPK)	Cellulose, agricultural waste, starch, carbohydrates	2016 2018	Gevo (Isobutanol) LanzaTech, Byogy (ethanol)
Catalytic hydrothermolysis jet fuel (CHJ)	Triglyceride-based feedstocks	2020	Applied research associates (ARA), Euglena
Hydroprocessing of high hydrogen content hydrocarbons, esters, and fatty acids to SPK (HC-HEFA-SPK)	Oils found in biologically derived hydrocarbons like algae	2020	IRI corporation

Copyright @ 2024 NANOTEC, NSTDA

ความท้าทายทางด้าน Feedstock

แม้ปัจจุบัน เทคโนโลยี HEFA จะมีความพร้อมมากที่สุด แต่น้ำมันใช้แล้วหรือไขมันสัตว์ ที่ใช้ในการผลิต SAF จะไม่ตอบสนองต่อความต้องการทั่วทั้งอุตสาหกรรม เนื่องจากมีอุปทานจำกัด หากอุตสาหกรรม SAF ขยายตัว วัตถุดิบเพิ่มเติมที่มาพร้อมกับเทคโนโลยีการแปลงที่แตกต่างกันจะต้องถูกนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์เพื่อเพิ่มอุปทานให้กับอุตสาหกรรมต่อไป

	Today's commercial SAF	**2nd generation SAF**		**3rd generation SAF**
	Currently used feedstock	**Short-Term**	**Medium-Term**	**Long-Term**
Feedstock	Waste fats, oils and greases	Alcohols (ethanol)	Biomass and biogenic waste sources (e.g., MSW[Footnote 2])	Non-food crops, Captured CO_2 and clean hydrogen
Conversion Pathways	**HEFA** Hydroprocessed esters and fatty acids (HEFA) is a mature, commercially available technology.	**Alcohol-to-jet (ATJ)** Pathway that converts commercially available alcohols (e.g., ethanol) to SAF.	**Thermochemical conversion pathways**[Footnote 3] Biomass feedstock removes greater amounts of carbon from the atmosphere during growth and harvesting, and municipal solid waste (MSW) feedstock is diverted from the landfill where it would otherwise emit more GHGs like methane. These lower-carbon feedstock can be converted to SAF but will take more time to build the facilities to commercially supply the market.	Cellulosic crops and captured CO_2, with clean hydrogen, (called power-to-liquids), could one day result in carbon-negative SAF because of the amount of carbon removed from the atmosphere that is embodied in the feedstock exceeds the amount emitted during production and combustion.

https://crreport.united.com/environmental-sustainability/road-to-net-zero

Copyright @ 2024 NANOTEC, NSTDA

ความท้าทายทางด้าน Feedstock

แม้ปัจจุบัน เทคโนโลยี HEFA จะมีความพร้อมมากที่สุด แต่น้ำมันใช้แล้วหรือไขมันสัตว์ ที่ใช้ในการผลิต SAF จะไม่ตอบสนองต่อความต้องการทั่วทั้งอุตสาหกรรม เนื่องจากมีอุปทานจำกัด หากอุตสาหกรรม SAF ขยายตัว วัตถุดิบเพิ่มเติมที่มาพร้อมกับเทคโนโลยีการแปลงที่แตกต่างกันจะต้องถูกนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์เพื่อเพิ่มอุปทานให้กับอุตสาหกรรมต่อไป

@ การบริหารจัดการวัตถุดิบในประเทศ/นำเข้า
ปริมาณวัตถุดิบไม่เพียงพอ (ล้น)
ต้นทุนราคาวัตถุดิบแพง (ถูก)

@ ปลดล๊อค Palm oil feedstock → RSPO !?

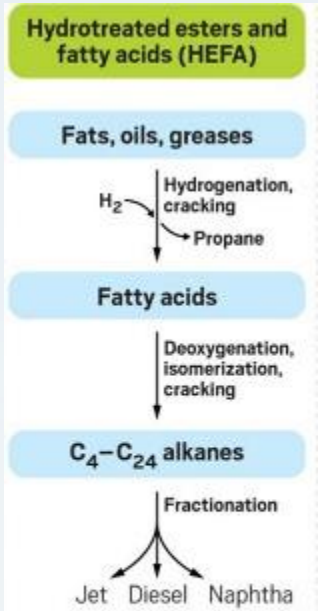
@ Ethanol → Food security!

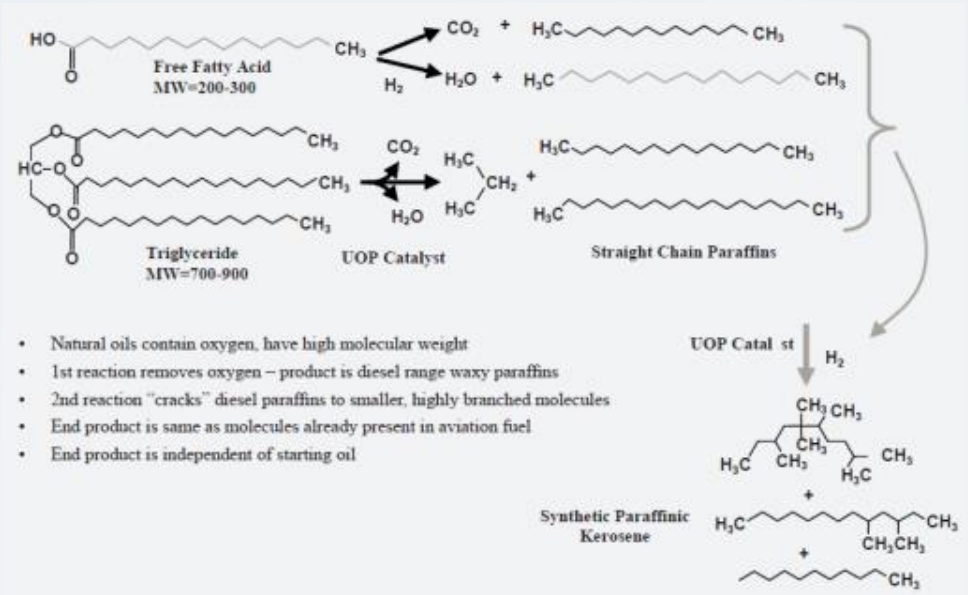
@ นโยบายด้าน SAF ของประเทศที่ชัดเจนในทุกมิติ

https://crreport.united.com/environmental-sustainability/road-to-net-zero

Copyright @ 2024 NANOTEC, NSTDA

HEFA-SPK conversion pathway by Neste and Honeywell UOP





- Natural oils contain oxygen, have high molecular weight
- 1st reaction removes oxygen – product is diesel range waxy paraffins
- 2nd reaction "cracks" diesel paraffins to smaller, highly branched molecules
- End product is same as molecules already present in aviation fuel
- End product is independent of starting oil

Properties	*Jet A-1 specification*	*Honeywell SAF Bio-synthetic paraffinic kerosene (bio-SPK) made from camelina*	*50/50 Blend of camelina bio-SPK & Jet A-1*
Flash point, °C	Min 38	45	46
Freeze point, °C	Max -47	-57	-57
Net heat of combustion, MJ/kg	Min 42.8	43.9	43.6
Thermal stability (JFTOT) • Filter pressure differential, mm Hg • Tube deposit rating (visual)	 Max 25 Max 3	 0.0 1	 0.0 1
Aromatics, % volume	Max 22	<0.3	8.5
Sulfur, % mass	Max 0.3	<0.001	0.05

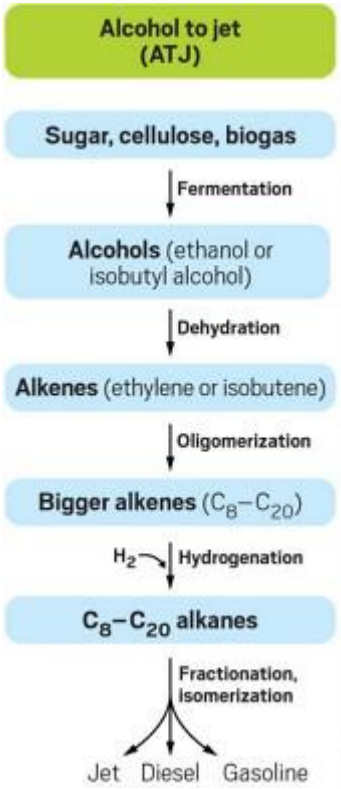
SAF Production capacity of up to 500,000 tons/a

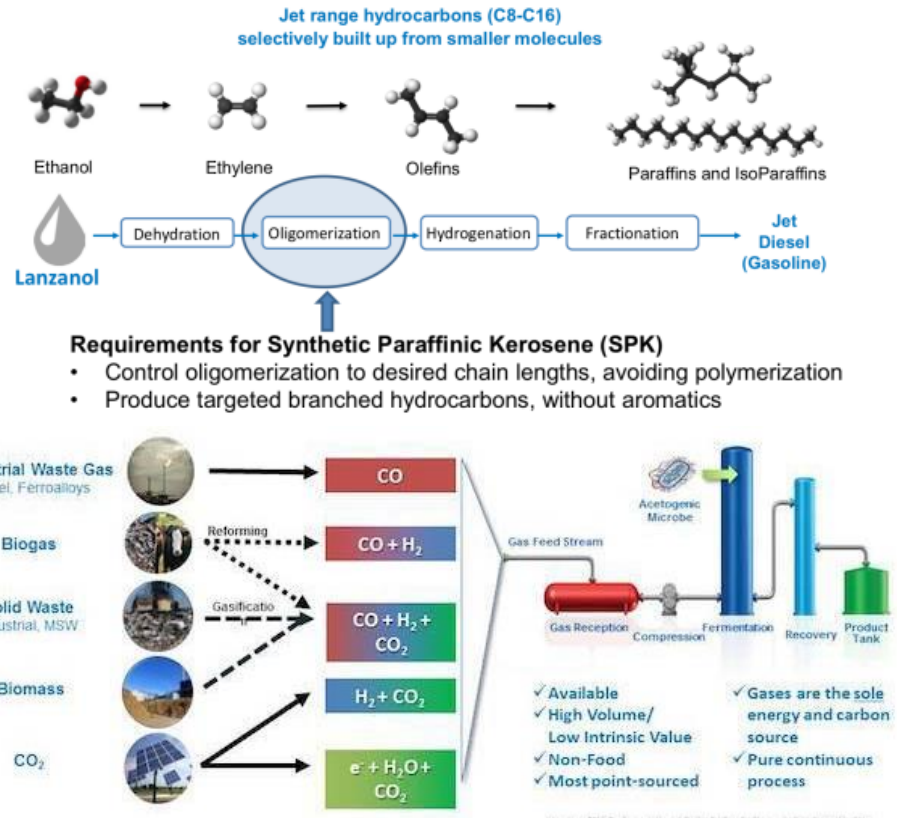
Rotterdam, Netherlands

29 April 2021

https://www.aviationpros.com/ground-handling/article/53097697/renewable-fuels-role-in-green-aviation,
https://pmt.honeywell.com/content/dam/pmt/en/documents/document-lists/brochure/UOP-Sustainable-Aviation-Fuel.pdf

ATJ conversion pathway (*ASTM D7566 Annex A5*) by LanzaTech





ปี 2018

LanzaTech มีการลงนามวิจัยกับองค์การบริหารการบินแห่งชาติ (Federal Aviation Administration, FAA) รวมถึง OEM เพื่อผสม ATJ-SPK 50% จากเดิม 30% ของเครื่องบินและเครื่องยนต์ ในการตรวจสอบเพื่อยืนยันว่า ATJ-SPK ตรงตามคุณสมบัติที่เหมาะสมตามวัตถุประสงค์ทั้งหมดที่กำหนดโดย ASTM D4054

ATJ-SPK production capacity of 4,000 gallons

Chicago, United States

29 April 2021

https://www.greencarcongress.com/2011/12/faa-20111201.html, https://www.greencarcongress.com/2018/06/20180612-pnnl.html

Copyright @ 2024 NANOTEC, NSTDA

ภาคเอกชน และ สายการบินต่างๆ กับการขับเคลื่อน SAF

โรลส์-รอยซ์ ทดสอบนำเชื้อเพลิง SAF กับเครื่องยนต์อากาศยานพลเรือนทุกชนิดที่ และได้ยืนยันว่าการใช้ SAF แบบ 100% ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ นี่คือก้าวสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมการบิน เราหวังว่าความสำเร็จจากการทดสอบเหล่านี้จะเป็นการเพิ่มความเชื่อมั่นทางเทคนิคสำหรับผู้ที่กำลังมองหาแนวทางการลงทุนในการผลิต SAF 100 เปอร์เซ็นต์ ให้เดินหน้าต่อไป".

Petronas Dagangan Berhad (PDB) และ Malaysia Airlines จัดเที่ยวบินปฐมฤกษ์ โดยใช้เชื้อเพลิง SAF เที่ยวบิน MH7979 เครื่องบินแอร์บัส 330-200 ออกจากสนามบินอัมสเตอร์ดัม สคิปโฮล มากัวลาลัมเปอร์ โดยใช้ส่วนผสมผสมระหว่าง SAF ประมาณ 38% ของน้ำมันเครื่องบินดั้งเดิม

กลุ่มบางจาก ร่วมทุน BSGF ผลิตและจำหน่ายน้ำมันเชื้อเพลิง SAF จากน้ำมันพืชใช้แล้ว ตั้งเป้ากำลังการผลิต 1 ล้านลิตรต่อวัน

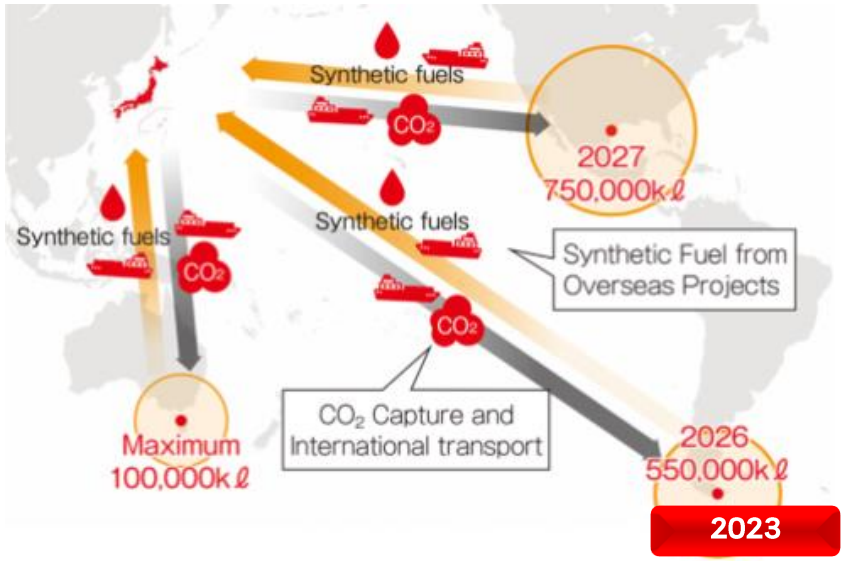
Copyright @ 2024 NANOTEC, NSTDA

ภาคเอกชน และ สายการบินต่างๆ กับการขับเคลื่อน SAF

OR จับมือ การบินไทย ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง SAF สำหรับเที่ยวบินนำร่องของการบินไทย

Kühne + Nagel เสนอตัวเลือกผสมเชื้อเพลิง SAF 50% ให้กับลูกค้าที่มีเป้าหมายในการลดคาร์บอน

DHL จับมือกับ Neste ใช้ SAF กว่า 800 ล้านลิตร กับเที่ยวบินของ DHL 1,000 เที่ยวต่อปี ในเส้นทางบินจากเมืองซินซินนาติ สหรัฐอเมริกา ไปยังเมืองไลพ์ซิก เยอรมนี ด้วยเครื่องบินโบอิ้ง 777 บินได้ระยะเวลาประมาณ 12 ปี นับเป็นการใช้เชื้อเพลิง SAF 100% ซึ่งเทียบเท่ากับเที่ยวบินระยะไกล 12,000 เที่ยวบินที่ลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นศูนย์ (Carbon Neutral Long-haul Flights)



องค์กร New Energy and Industrial Technology Development (NEDO) สนับสนุน 29.2 พันล้านบาท เพื่อโครงการ Idemitsu Kosen ผลักดันให้ญี่ปุ่นใช้เชื้อเพลิง SAF อย่างน้อง 10% ในเที่ยวบินระหว่างประเทศ และสร้างห่วงโซ่อุปทาน SAF แบบพาณิชแห่งแรกของญี่ปุ่น ในปี 2027

https://www.thaisharp.net/pr-dht-saf/

Copyright @ 2024 NANOTEC, NSTDA

งานวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต SAF ของ NANOTEC และ เครือข่าย

การพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาและระบบที่ใช้ในการผลิต SAF และการสร้างความร่วมมือกับภาครัฐและเอกชน

พัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการผลิต SAF

NANOTEC a member of NSTDA

HEFA

- Variety of oil feed study
- Co-processing of oil–biomass feedstocks
- High-precision catalyst
- Low H2 pressure operation
- Pre-pilot flow reactor

Sugar to Jet

- C6, C5 sugar

Alcohol to jet

- Methanol / Ethanol

+ ความร่วมมือภาคเอกชน +

Copyright @ 2024 NANOTEC, NSTDA

พัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการผลิต SAF ด้วยเทคโนโลยี *HEFA*

วัตถุดิบ	ตัวเร่งปฏิกิริยา	ผลิตภัณฑ์หลัก	ร้อยละผลได้
Palm oil	CoP/porous carbon	SAF and green diesel	76
Palm oil	Ni/SAPO-11	SAF	80
Palm oil	Ni_2P/SAPO-11	SAF and green diesel	80
FAMEs	Co/Ni/SAPO-11	Green diesel	89
FAMEs	Ni/SAPO-11, Co/SAPO-11	SAF	61
FAMEs	Ni/nano sheet-ZSM-5	SAF and green diesel	>95%
FAMEs	Ni/meso-SAPO-11	SAF	>80
Palm kernel oil	Ni-MoS_2/y-Al_2O_3 catalysts	SAF and green diesel	>90%
Oleic acid	Cu_3P/SiO_2	Dodecylbenzene (fuel additive)	46
Oleic	MoS_2/TiO_2	Green diesel	83
Coconut oil	NiCo/SAPO-11	SAF	87
p-cresol	Pt/MoO_{3-x}	Toluene (fuel additive)	58
Chicken fat	Ni/Al_2O_3	Green diesel	>75
n-hexadecane	Ni/two dimensional SAPO-11	SAF and green diesel	>80

Nanoparticles for Hydrodeoxygenation of Oleic Acid and Photodegradation of Carbonaceous Deposits. ACS Applied Nano Materials, 5(3), 3632-3642. [3] Kaewmeesri, R., Nonkumwong, J., Kiatkittipong, W., Laosiripojana, N., & Faungnawakij, K. (2021). Deoxygenations of palm oil-derived methyl esters over mono-And bimetallic NiCo catalysts. Journal of Environmental Chemical Engineering, 9(2), 105128. [4] Kaewmeesri, R., Nonkumwong, J., Witoon, T., Laosiripojana, N., & Faungnawakij, K. (2020). Effect of Water and Glycerol in Deoxygenation of Coconut Oil over Bimetallic NiCo/SAPO-11 Nanocatalyst under N2 Atmosphere. Nanomaterials, 10(12), 2548. [5] Itthibenchapong, V., Chakthranont, P., Sattayanon, C., Butburee, T., Faungnawakij, K., & Namuangruk, S. (2021). Understanding the promoter effect of bifunctional (Pt, Ni, Cu)- MoO3-x/TiO2 catalysts for the hydrodeoxygenation of p-cresol: A combined DFT and experimental study. Applied Surface Science, 547, 149170. [6] Kochaputi, N., Khemthong, P., Kasamechonchung, P., Butburee, T., Limphirat, W., Poo-arporn, Y., Kuboon, S., Faungnawakij, K. & Kongmark, C. (2022). Roles of supports on reducibility and activities of Cu3P catalysts for deoxygenation of oleic acid: In situ XRD and XAS studies. Molecular Catalysis, 523, 111425., Itthibenchapong, V., Srifa, A., Kaewmeesri, R., Kidkhunthod, P., & Faungnawakij, K. (2017). Deoxygenation of palm kernel oil to jet fuel-like hydrocarbons using Ni-MoS2/γ-Al2O3 catalysts. Energy conversion and management, 134, 188-196.

Copyright @ 2024 NANOTEC, NSTDA

ทีมวิจัยพัฒนาและทีมธุรกิจ

ดร. ขจรศักดิ์ เฟื่องนวกิจ
(นักวิจัยอาวุโส)
Kajornsak@nanotec.or.th

ดร. พงษ์ธนวัฒน์ เข็มทอง
(นักวิจัยอาวุโส)

ดร. วรนุช อิทธิเบญจพงศ์
(นักวิจัยอาวุโส)

ดร. รุ่งนภา แก้วมีศรี
(นักวิจัย)

ดร. โชติธัช สรรพิทักษ์เสรี
(นักวิจัย)

น.ส. สุฑารัตน์ ทองรัดแก้ว
(ผู้ช่วยวิจัย)

นาย ปวัน บุญยัง
(ผู้ช่วยนักวิจัย)

นาย ณัฐพงศ์ บุญศรีสด
(ผู้ช่วยวิจัย)

น.ส. ณัฏฐิพร วณิชธนานนท์
(นักวิเคราะห์อาวุโส)

น.ส. กวิศา ชัยพจนา
(นักวิเคราะห์)

Copyright @ 2024 NANOTEC, NSTDA