

TIỀM NĂNG CUNG CẤP NGUYÊN LIỆU CỦA VIỆT NAM CHO SẢN XUẤT NHIÊN LIỆU HÀNG KHÔNG BỀN VỮNG HVO/SAF

Văn Đình Sơn Thọ

Trường Hóa và Khoa học Sự sống - Đại học Bách khoa Hà Nội

Email: tho.vandinhson@hust.edu.vn

<https://doi.org/10.47800/PVSI.2024.05-07>

Tóm tắt

Tổ chức Hàng không Dân dụng Quốc tế (ICAO) đang thúc đẩy sử dụng nhiên liệu hàng không bền vững (SAF) để giảm khí thải CO₂, thông qua Chương trình bù đắp và giảm thiểu carbon của hàng không quốc tế (CORSIA) với mục tiêu bắt đầu giảm phát thải từ năm 2027. Trong số các công nghệ sản xuất SAF, HVO (tinh chế dầu thực vật, dầu thải, mỡ bằng quá trình hydrodeoxygen hóa) đã được thương mại hóa trên toàn thế giới vì sử dụng nguyên liệu là các phụ phẩm, giúp giảm 80% lượng khí CO₂ mà không làm thay đổi mục đích sử dụng đất để trồng cây nguyên liệu.

Việt Nam có tiềm năng lớn trong việc cung cấp nguyên liệu bền vững cho sản xuất SAF, chủ yếu từ mỡ cá - phụ phẩm xuất khẩu cá tra và dầu ăn đã qua sử dụng (UCO) – phụ phẩm chế biến thực phẩm, đặc biệt nếu áp dụng các biện pháp để tăng hiệu quả thu gom. Trong năm 2023, Việt Nam đã xuất khẩu khoảng 120.000 tấn mỡ cá và 50.000 tấn dầu ăn đã qua sử dụng cho các doanh nghiệp sản xuất SAF như Neste và Diamond Green Diesel. Bài báo giới thiệu các công nghệ sản xuất SAF và phân tích các yếu tố cho thấy tiềm năng cung cấp nguyên liệu của Việt Nam cho thị trường quốc tế để sản xuất nhiên liệu hàng không bền vững bằng công nghệ HVO.

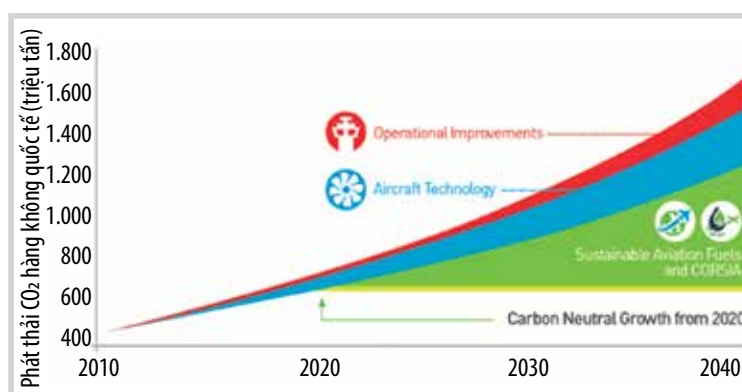
Từ khóa: HVO, HEFA, nhiên liệu hàng không bền vững, dầu ăn đã qua sử dụng, mỡ cá.

1. Giới thiệu

Theo Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi khí hậu, ngành hàng không chiếm khoảng 2% tổng phát thải khí nhà kính toàn cầu. Để giải quyết vấn đề này, Tổ chức Hàng không Dân dụng Quốc tế (ICAO) đã công bố chiến lược giảm thiểu phát thải gồm 4 giải pháp chính: Phát triển công nghệ mới, nâng cao hiệu quả vận hành, sử dụng nhiên liệu hàng không bền vững và áp dụng tín chỉ carbon để bù trừ phát thải (Hình 1). Từ năm 2020, các kế hoạch giảm thiểu phát thải khí nhà kính bắt đầu được triển khai, trong đó việc sử dụng SAF được xem là giải pháp quan trọng để giảm thiểu phát thải của ngành hàng không [1].

SAF được sản xuất từ các nguồn nguyên liệu bền vững và tái tạo như: dầu ăn thải, phụ phẩm nông lâm nghiệp, rác thải sinh hoạt hoặc thức

ăn thừa... SAF có thể trộn với nhiên liệu hàng không gốc khoáng theo các tỷ lệ khác nhau, góp phần giảm thiểu phát thải khí nhà kính. Để quản lý và thúc đẩy việc sử dụng SAF, ICAO đã khởi động chương trình giảm nhẹ và bù trừ phát thải khí nhà kính của hàng không quốc tế (CORSIA), với yêu cầu bắt buộc kiểm toán khí nhà kính đối với các hãng hàng không tại quốc gia thành viên. Dự kiến đến năm 2025, sẽ có 129 quốc gia tham gia CORSIA [2] và được triển khai theo 2 giai đoạn chính. Giai đoạn thử nghiệm SAF được thực hiện từ năm 2021 - 2026 dựa trên cơ chế tự nguyện tham gia của các quốc gia. Từ năm 2027, chương trình chuyển sang giai đoạn bắt



Hình 1. Kế hoạch giảm thiểu phát thải CO₂ của ICAO.



Ngày nhận bài: 9/10/2024.

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 9 - 16/10/2024.

Ngày bài báo được duyệt đăng: 16/10/2024.

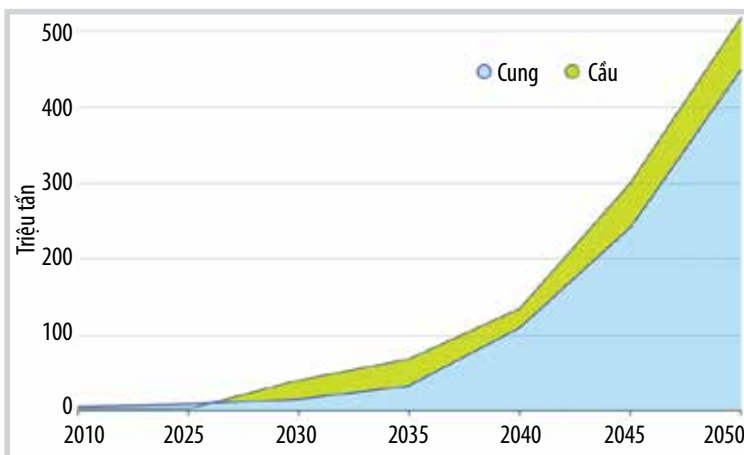
buộc sử dụng SAF với lộ trình tăng dần trách nhiệm bù đắp phát thải: Các hãng hàng không phải bù đắp phát thải theo tăng trưởng trung bình ngành (2027 - 2029); sau đó tăng lên 20% (2030 - 2032) và đạt 70% trong giai đoạn 2033 - 2035.

Tại khu vực Đông Nam Á, Singapore, Thái Lan, Indonesia, Malaysia, Philippines đã tham gia CORSIA. Mặc dù chưa cam kết tham gia, Việt Nam đã có bước tiến quan trọng khi Cục Hàng không Việt Nam ký Quyết định số 1820/QĐ-CHK ngày 31/7/2024 thành lập tổ công tác chuyển đổi năng lượng xanh và đánh giá việc tham gia CORSIA, sử dụng SAF. Ngày 27/5/2024, chuyến bay từ Singapore đến Hà Nội đã sử dụng SAF do Neste cung cấp. Ngày 17/10/2024, Công ty CP Nhiên liệu bay Petrolimex đã cung cấp SAF cho 2 chuyến bay của Vietjet từ TP. Hồ Chí Minh đi Melbourne (VJ081) và Incheon (VJ860).

EU đã công bố lộ trình bắt buộc sử dụng SAF với tỷ lệ pha trộn tối thiểu 2% từ năm 2025, sau đó tăng lên 6% vào năm 2030 và 20% vào năm 2035 [3]. Nhiều quốc gia châu Á đã công bố kế hoạch sử dụng SAF. Trong đó, Nhật Bản đặt mục tiêu cung cấp 10% nhiên liệu SAF cho các chuyến bay nội địa trong giai đoạn 2025 - 2030.

Các quốc gia châu Á đang tích cực triển khai kế hoạch sử dụng SAF. Thai Airways dự kiến pha trộn 2% SAF vào năm 2025 và sau đó tăng lên 60% vào năm 2050. Ấn Độ đặt mục tiêu sử dụng 1% SAF vào năm 2025 với nhu cầu 150 triệu lít. Trung Quốc công bố kế hoạch thử nghiệm 50.000 tấn SAF cho các chuyến bay quốc tế vào năm 2025 [4]. Theo Cơ quan Bảo vệ Môi trường của Mỹ (EPA), sản lượng tiêu thụ SAF đã tăng từ 19,3 triệu lít (2021) lên 59,8 triệu lít (2022) và 99,5 triệu lít (2023) [5]. Dự báo toàn cầu [6] (Hình 2) cho thấy từ năm 2027, sản lượng và cung cầu SAF sẽ tăng mạnh, với nhu cầu luôn vượt cung và đạt khoảng 30 triệu tấn vào năm 2030, sau đó tiếp tục tăng trong các năm tiếp theo.

Sản lượng tiêu thụ nhiên liệu hàng không gốc khoáng của khu vực Đông Nam Á trong năm 2019 đạt 22,5 triệu tấn, chiếm 7% tổng tiêu thụ nhiên liệu hàng không toàn cầu. Thái Lan dẫn



Hình 2. Nhu cầu SAF từ năm 2020 - 2050 (triệu tấn).

đầu khu vực với 5,48 tấn, tiếp theo là Singapore (5,05 triệu tấn), Indonesia (5 triệu tấn), Malaysia (3,22 triệu tấn), Việt Nam (2,17 triệu tấn) và Philippines (2,01 triệu tấn). Indonesia đã ban hành quy định bắt buộc sử dụng SAF vào năm 2025, với tỷ lệ pha trộn là 5% và Singapore quy định tỷ lệ pha trộn 1% vào năm 2026 [7], trong khi các quốc gia khác trong khu vực chưa có quy định bắt buộc.

1.1. Các công nghệ sản xuất nhiên liệu SAF

Các công nghệ chính để sản xuất SAF bao gồm:

- Quá trình HVO (hydrogenation of vegetable oil) hay HEFA (hydroprocessed esters and fatty acid) là công nghệ sản xuất SAF từ chất béo của dầu ăn hoặc mỡ động thực vật. Quá trình này gồm 2 giai đoạn chính: chuyển hóa (hydrodeoxy hóa và hydrocracking bề gãy mạch hydrocarbon thành dạng mạch thẳng) và tinh chế thành nhiên liệu lỏng. Sản phẩm cuối cùng là HEFA-SPK (synthesized paraffinic kerosene), có thể pha trộn 50% vào nhiên liệu hàng không gốc khoáng theo ASTM D7566 - Phụ lục 2.

- Quá trình Fischer-Tropsch sản xuất SAF (FT-SPK) được thực hiện thông qua 3 giai đoạn: khí hóa sinh khối để tổng hợp khí CO và H₂, sau đó chuyển hóa thành nhiên liệu lỏng thông qua các phản ứng hóa học và cuối cùng là tinh chế để thu được sản phẩm FT-SPK. Sản phẩm này có thể pha trộn đến 50% với nhiên liệu hàng không gốc khoáng theo tiêu chuẩn ASTM D7566 - Phụ lục 1.

- Công nghệ ATJ-SPK (alcohol to jet) sản xuất SAF thông qua 3 giai đoạn: lên men đường, tinh bột hoặc cellulose thành rượu (ethanol, butanol, methanol); chuyển hóa qua các quá trình dehydrate hóa, oligome hóa, hydro hóa; và cuối cùng là chưng cất thành hỗn hợp hydrocarbon có nhiệt độ sôi khác nhau. Sản phẩm này có thể pha trộn đến 50% với nhiên liệu khoáng theo tiêu chuẩn ASTM D7566 - Phụ lục 5.

- Công nghệ SIP/DSHC (synthesized isoparaffin/direct sugars to hydrocarbon) sử dụng quá trình sinh học để chuyển hóa đường thành farnese (C₁₅H₂₄), sau đó chuyển hóa thành

C₁₅H₃₂, và có thể pha trộn 10% với nhiên liệu hàng không gốc khoáng theo ASTM D7566 - Phụ lục 3.

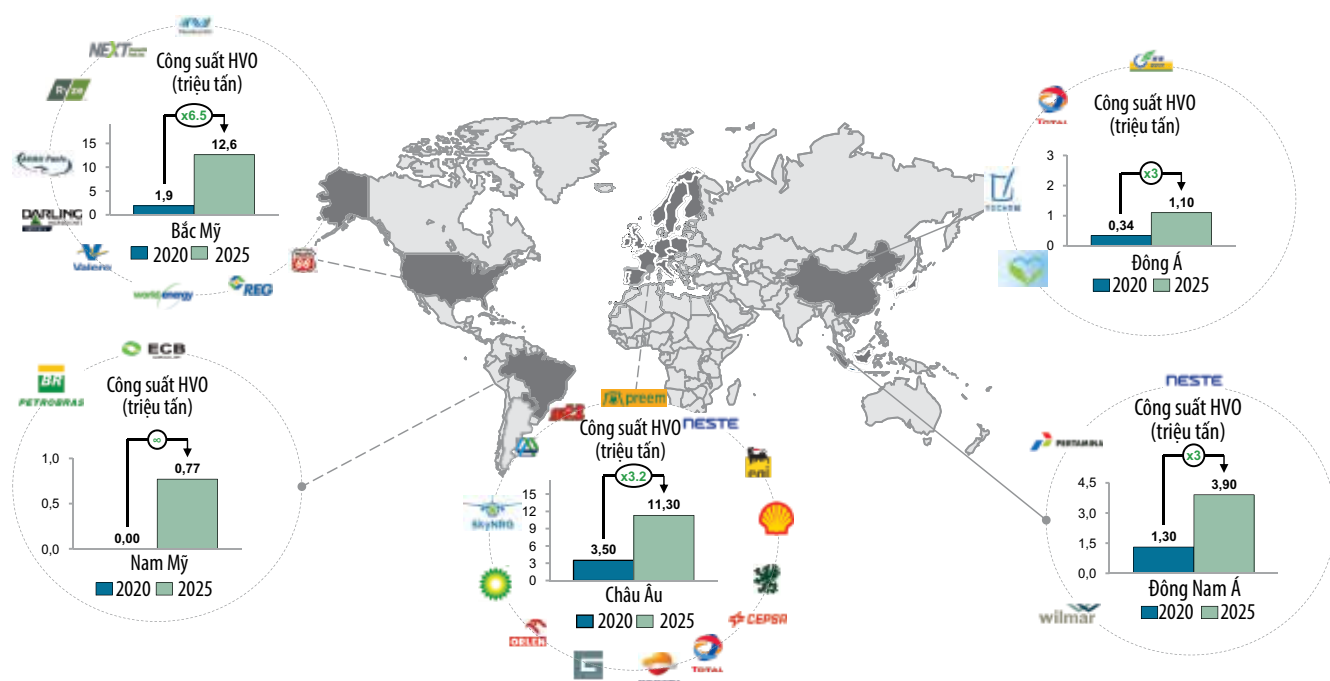
Neste, doanh nghiệp đầu tiên sản xuất SAF bằng công nghệ HVO, chiếm hơn 50% thị phần toàn cầu với 3 nhà máy tại Hà Lan, Phần Lan và Singapore, tổng công suất ước đạt 2,5 triệu tấn/năm. Tại châu Âu, ENI đã đưa vào vận hành nhà máy sản xuất SAF bằng công nghệ HVO với công suất 1,2 triệu tấn/năm ở Venice (Italy), trong khi Total đã đưa vào hoạt động nhà máy có công suất 500.000 tấn/năm tại La Mede (Pháp). Tại Mỹ, Renewable Energy Group (REG) và Diamond Green Diesel đã mở rộng công suất từ 750.000 tấn/năm lên 800.000 tấn/năm, trở thành nhà sản xuất SAF bằng công nghệ HVO lớn nhất nước Mỹ [8].

Theo Hình 3, thị trường sản xuất HVO đang thu hút các doanh nghiệp lớn như: Neste, Total S.A., AltAir Fuels, Eni, Renewable Energy Group, Preem, SkyNRG, St1, Equinor, ConocoPhillips, Petrobras... Dự kiến đến năm 2025, sản lượng SAF sản xuất bằng công nghệ HVO sẽ tăng mạnh ở các khu vực: Châu Âu tăng từ 3,5 triệu tấn (2020) lên 11,3 triệu tấn; Bắc Mỹ tăng từ 1,9 triệu tấn (2020) lên 12,6 triệu tấn. Tại châu Á, khu vực Đông Nam Á sẽ tăng từ 1,3 triệu tấn (2020) lên 3,9 triệu tấn (2025) với sự tham gia của Neste, Willmar và Petramina, trong khi đó khu vực Đông Á sẽ tăng từ 340.000 tấn (2020) lên 1,1 triệu tấn vào năm 2025 với sự tham gia của Total, Y2Chem. Khu vực Nam Mỹ dự kiến sẽ sản xuất 770.000 tấn HVO vào năm 2025 [9].

Ngoài công nghệ HVO, có 2 công nghệ sản xuất mới là FT-SAF và ATJ-SAF. Công nghệ FT-SAF được DG Fuel

triển khai tại dự án ở bang Louisiana (Mỹ) với công suất 600.000 tấn/năm [10]. Nhà máy đầu tiên sản xuất SAF sử dụng công nghệ ATJ-SAF do LanzaJet xây dựng tại bang Georgia (Mỹ) với công suất 4,5 triệu lít, được đưa vào vận hành thương mại trong năm 2024 [11].

Theo nghiên cứu của Jane [12], công nghệ HVO đạt mức độ hoàn thiện cao nhất (9/10) do có nhiều nhà máy đang vận hành, trong khi công nghệ FT và ATJ chỉ đạt 6/10, còn công nghệ SIP chưa được đánh giá do chưa có nhà máy sử dụng công nghệ này đưa vào vận hành thương mại. Bảng 1 so sánh chi phí đầu tư của các công nghệ sản xuất SAF với công suất khoảng 230 triệu lít/năm. Công nghệ HVO có chi phí đầu tư thấp nhất với 0,65 USD/lít công suất với tổng vốn đầu tư 150 triệu USD, hiệu suất cao nhất đạt 0,9 tấn sản phẩm/tấn nguyên liệu và giá thành sản xuất từ 0,95 - 1,88 USD/lít. Công nghệ FT có tổng vốn đầu tư cao nhất là 635 triệu USD do đó chi phí đầu tư/công suất cao. Công nghệ FT có tỷ lệ sản phẩm/nguyên liệu thấp nhất và chi phí sản xuất cao. Công nghệ ATJ sử dụng nguyên liệu từ đường có chi phí đầu tư 385 triệu USD cho nhà máy công suất 230 triệu lít và chi phí sản xuất trung bình 0,91 - 1,63 USD/lít. Công nghệ SIP có chi phí đầu tư/công suất là 5.29 USD/lít và cao nhất trong các công nghệ. Kết quả cho thấy, công nghệ HVO đang được nhiều quốc gia lựa chọn nhờ ưu thế về chi phí đầu tư và sản xuất thấp, mức độ hoàn thiện công nghệ cao, cùng khả năng sử dụng đa dạng nguyên liệu đầu vào.



Hình 3. Dự báo sản lượng HVO/SAF đến năm 2025 [9].

Bảng 1. So sánh chi phí đầu tư của các quá trình sản xuất SAF (Tinh toán được quy đổi theo tỷ giá trung bình năm 2023 là 1 USD = 0,922 EUR)

Quá trình	Mức độ hoàn thiện của công nghệ	Hiệu suất tạo ra sản phẩm	Đầu tư năm 2019	Công suất	Chi phí đầu tư/công suất	Chi phí sản xuất trung bình
	[12]	[13]	[13]	[13]	[13]	[13]
		tấn/tấn	triệu USD	triệu lít	USD/lít	USD/lít
HVO	9	0,9	150	230	0,65	0,95 - 1,18
FT (Forest residue)	6	0,12	635	230	2,76	1,45 - 2,03
ATJ (sugar)	6	0,47	385	230	1,67	0,91 - 1,63
SIP	-	0,33	270	51	5,92	1,90

Bảng 2. So sánh phát thải khí nhà kính của các quá trình sản xuất SAF

Nguyên liệu	Quá trình	Phát thải khí nhà kính trực tiếp (gCO ₂ tương đương/MJ)	Phát thải khí nhà kính liên quan đến sử dụng đất (gCO ₂ tương đương/MJ)	Tổng phát thải khí nhà kính (gCO ₂ tương đương/MJ)	Mức độ giảm phát thải khí nhà kính so với nhiên liệu khoáng (%)	Rủi ro về nguyên liệu	Nguồn
Dầu đậu nành	HVO	40,4	24,5	64,9	25	Có	[12]
Dầu cọ	HVO	36,5	231	NA		Có	[13]
Dầu ăn đã qua sử dụng	HVO	13,9	NA	13,9	84	Không	[12]
Mỡ động vật	HVO	22,5	NA	22,5	74	Không	[12]
Phụ phẩm lâm nghiệp	FT	7,7	NA	7,7	91	Không	[12]
Phụ phẩm nông nghiệp	FT	8,3	NA	8,3	90	Không	[12]
Đường mía	ATJ	24,0	7,3	31,3	64	Có	[12]
Rỉ đường	SIP	47,0	NA	47,0	46	Không	[12]
Nhiên liệu gốc khoáng				87,0			

1.2. Phát thải khí nhà kính của SAF

Đánh giá cường độ phát thải khí nhà kính của nhiên liệu cần dựa trên chu trình vòng đời sản phẩm (life cycle assesment). Theo CORSIA, nhiên liệu gốc khoáng có mức phát thải 87 gCO₂ tương đương/MJ, tính từ quá trình khai thác, vận chuyển đến sử dụng. Đối với nhiên liệu sinh học, việc đánh giá cần tính đến cả phát thải trực tiếp từ chuỗi sản xuất (bao gồm canh tác, sản xuất, phân phối và vận chuyển) và phát thải gián tiếp do chuyển đổi mục đích sử dụng đất sang trồng cây nguyên liệu. Bảng 2 so sánh phát thải khí nhà kính của các quá trình sản xuất SAF, phản ánh sự khác biệt về mức độ canh tác và cơ giới hóa.

Phân tích phát thải khí nhà kính cho thấy SAF từ dầu cọ có mức phát thải cao hơn cả nhiên liệu hóa thạch do tác động của chuyển đổi đất, khiến một số nước châu Âu không khuyến khích sử dụng. Việc sử dụng dầu cọ và đậu nành tiềm ẩn rủi ro khi phải cạnh tranh với nguồn cung nguyên liệu sản xuất dầu ăn và diesel sinh học. Nguyên liệu từ chất thải như dầu ăn đã qua sử dụng và mỡ động vật giúp giảm phát thải tương ứng là 84% và 74% so với nhiên liệu khoáng. Công nghệ FT sử dụng phụ phẩm nông lâm nghiệp có thể giảm phát thải đến 90 - 91% so với nhiên liệu khoáng, trong khi công nghệ ATJ và SIP giảm phát thải lần lượt 64% và 46%.

Hiện nay, trong số các loại nhiên liệu hàng không bền

vững, chỉ có sản phẩm HVO-SAF được giao dịch trên thị trường quốc tế. Sản phẩm HVO được chia thành 3 nhóm dựa trên nguồn nguyên liệu và mức độ giảm phát thải CO₂: HVO-I được sản xuất từ nguồn thực phẩm (giảm phát thải CO₂ tối thiểu 65%); HVO-II được sản xuất từ dầu ăn thải và cặn chế biến dầu cọ (giảm phát thải CO₂ tối thiểu 85%); HVO-III được sản xuất từ mỡ động vật (giảm phát thải CO₂ tối thiểu 80%).

Theo số liệu của Argus, giá FOB của HVO-I tăng mạnh từ 1.337 USD/tấn (2020) lên 1.962 USD/tấn (2021); trong khi đó giá HVO-II tăng từ 1.779 USD/tấn lên 2.342 USD/tấn, còn giá HVO-III tăng từ 1.668 USD/tấn lên 2.156 USD/tấn. Trong giai đoạn từ tháng 3 - 8/2022, giá HVO-II dao động từ 3.100 - 3.500 USD/tấn, sau đó giảm xuống 2.342 USD/tấn trong năm 2023 [14].

Việc xác minh nguồn gốc của nguyên liệu có vai trò quan trọng trong chuỗi sản xuất SAF, cho phép kiểm kê đầy đủ phát thải khí nhà kính trong toàn bộ quá trình sản xuất và xác định chính xác định mức phát thải của sản phẩm.

2. Chuỗi cung ứng nguyên liệu sản xuất HVO/SAF

Công nghệ HVO cho phép sử dụng nhiều nguồn nguyên liệu là các loại dầu thực vật, mỡ động vật từ nguồn chế biến, từ phụ phẩm như dầu ăn thải và mỡ động vật... và được chia làm 3 loại.

- Nhiên liệu sinh học thế hệ 1 sử dụng nguyên liệu dầu hạt cải, đậu nành hoặc đậu cọ và mỡ động vật. Các nguyên liệu này có nguồn gốc ngũ cốc (crop based) hoặc động vật. Khi sử dụng làm nguyên liệu sẽ cho các sản phẩm có tiềm năng giảm phát thải khí nhà kính từ 25 - 50%.

- Nhiên liệu sinh học tiên tiến sử dụng nguyên liệu dầu ăn thải, phụ phẩm trong quá trình chế biến đậu cọ, mỡ động vật không sử dụng cho mục đích thực phẩm. Các nguyên liệu này có nguồn gốc chất thải hoặc phụ phẩm của các quá trình sản xuất khác (waste based). Khi sử dụng nhóm nguyên liệu waste-based sẽ tạo ra sản phẩm có tiềm năng giảm 70 - 80% phát thải khí nhà kính.

- Nhiên liệu sinh học thế hệ hai sử dụng chất thải hữu cơ, rác thải sinh hoạt, cặn hoặc tảo (algae). Sử dụng các loại nguyên liệu này thì nhiên liệu có mức độ giảm phát thải là 200%.

Chỉ thị về Năng lượng tái tạo (REDII) của EU đã thiết lập khung chính sách thúc đẩy sản xuất và sử dụng năng lượng sinh học tiên tiến, phản ánh xu hướng chuyển dịch từ nhiên liệu hóa thạch sang nhiên liệu sinh học, với ưu tiên sử dụng nhiên liệu sinh học tiên tiến để hạn chế thay đổi mục đích sử dụng đất. Châu Âu đã sử dụng đa dạng nguồn nguyên liệu sản xuất nhiên liệu sinh học, bao gồm 6,2 triệu tấn dầu hạt cải, 4,3 triệu tấn đậu nành đã qua sử dụng, 1,5 triệu tấn đậu cọ, 0,75 triệu tấn dầu đậu nành và 0,95 triệu tấn mỡ động thực vật [15]. Tuy nhiên, EU không khuyến khích sử dụng đậu cọ và dầu hạt cải do ảnh hưởng đến việc chuyển đổi đất rừng sang đất canh tác tại khu vực Đông Nam Á. Thay vào đó, EU ưu tiên sử dụng đậu nành đã qua sử dụng và mỡ động vật, đồng thời áp dụng chính sách double count, tính gấp đôi nhiệt trị cho nhiên liệu sinh học tiên tiến trong lĩnh vực giao thông vận tải.

Theo số liệu của S&P Global Commodity (Hình 4) [16], Trung Quốc đứng số 1 thế giới về xuất khẩu đậu nành đã qua sử dụng với sản lượng trên 1,1 triệu tấn. Tiếp theo là Malaysia (468.000 tấn), Indonesia (460.000 tấn) và Mỹ (339.000 tấn). Đáng chú ý, Indonesia và Malaysia, dù là nước sản xuất đậu cọ lớn, vẫn tích cực thu gom đậu nành đã qua sử dụng để xuất khẩu. Về nhập khẩu, các thị trường tiêu thụ chính là Hà Lan và Tây Ban Nha

ở châu Âu, cùng với Singapore (830.000 tấn), Malaysia (96.000 tấn), Hàn Quốc (5.000 tấn) ở châu Á. Trung Quốc xuất khẩu đậu nành đã qua sử dụng đến nhiều thị trường, bao gồm Tây Ban Nha, Hà Lan, Đức và Italy ở châu Âu và các nước châu Á như Singapore (205.497 tấn) và Malaysia. S&P Global Commodity [17] cho biết hiện nay toàn thế giới đang thu gom khoảng 14 triệu tấn đậu nành đã qua sử dụng và dự báo đến năm 2030 sẽ đạt khoảng 30 triệu tấn, trong đó riêng châu Âu cần 6,1 - 6,5 triệu tấn đậu nành đã qua sử dụng để sản xuất nhiên liệu sinh học [18].

Hiện nay các nước trong khu vực châu Á đang tiến hành thu gom đậu nành đã qua sử dụng để sản xuất nhiên liệu sinh học. Bảng 3 là số liệu được ước tính từ số liệu thu gom đậu nành sau sử dụng của các quốc gia trong khu vực châu Á [19]. Số liệu cho thấy việc thu gom đậu nành đã qua sử dụng trực tiếp tại hộ gia đình là khó khăn và thậm chí các quốc gia phát triển như Nhật Bản và Hàn Quốc tỷ lệ thu gom còn thấp. Indonesia và Malaysia có tỷ lệ thu gom từ các hộ gia đình cao hơn. Tỷ lệ thu gom cao tại các nhóm khách hàng là các nhà hàng, khách sạn, các công ty sản xuất mì gói do đậu nành đã qua sử dụng có sản lượng lớn và tập trung. Số liệu cho thấy sản lượng thu gom đậu nành đã qua sử dụng tại Trung Quốc là khoảng 3 - 4 triệu tấn, Ấn Độ thu gom khoảng 200.000 - 300.000 tấn, Nhật Bản thu gom khoảng 70.000 - 122.000 tấn, Indonesia thu gom khoảng 182.000 - 266.000 tấn/năm, Malaysia khoảng 48.000 - 71.000 tấn, Hàn Quốc lượng thu gom khoảng 88.000 - 107.000 tấn.

Cường độ phát thải khí nhà kính của SAF phụ thuộc vào nguồn gốc nguyên liệu sản xuất, do đó việc truy xuất nguồn gốc và xác minh tính bền vững của nguyên liệu là yếu tố quan trọng trong quá trình thu gom và vận chuyển. Theo Chỉ thị RED II của châu Âu, các đơn vị cung cấp nhiên liệu sinh học phải có chứng nhận nhiên liệu sinh học bền vững (ISCC). Được phát triển từ năm 2006 và thường xuyên cập



Hình 4. Xuất nhập khẩu đậu nành đã qua sử dụng của toàn thế giới năm 2021.

Bảng 3. Sản lượng dầu ăn đã qua sử dụng thu gom theo các nhóm khách hàng tại một số nước châu Á

Quốc gia	Hộ gia đình		Nhà hàng		Chế biến thực phẩm		Tổng
	Tỷ lệ thu gom (%)	Nghìn tấn	Tỷ lệ thu gom (%)	Nghìn tấn	Tỷ lệ thu gom (%)	Nghìn tấn	Nghìn tấn
Trung Quốc	0	0	60 - 80	2.676 - 3.569	70 - 90	410 - 528	3.086 - 4.097
Ấn Độ	0 - 1	0 - 2	5 - 10	58 - 116	40 - 50	166 - 208	224 - 326
Nhật Bản	3 - 5	3 - 5	20 - 40	43 - 87	40 - 50	24 - 30	70 - 122
Indonesia	5 - 10	26 - 51	20 - 30	66 - 100	70 - 90	90 - 115	182 - 266
Malaysia	12 - 20	21 - 35	30 - 40	16 - 22	70 - 90	11 - 14	48 - 71
Hàn Quốc	20 - 25	3 - 4	80 - 95	63 - 75	70 - 90	22 - 28	88 - 107

Bảng 4. Sản lượng và khả năng thu hồi dầu ăn đã qua sử dụng theo nhóm khách hàng

Nhóm khách hàng	Dân cư	Khách sạn	Sản xuất mì ăn liền	Sản xuất snack	Tổng
Sản lượng (tấn)	100.000	126.000	34.000	29.000	289.000
Giá định tỷ lệ thu gom	0%	100%	100%	100%	189.000
Giá định tỷ lệ thu gom	0%	50%	50%	50%	94.500

nhật theo điều kiện thị trường và yêu cầu pháp lý, ISCC là chứng nhận từ bên thứ ba về sự tuân thủ thị trường nhiên liệu sinh học châu Âu. Chứng nhận này thẩm tra toàn bộ chuỗi giá trị sản xuất, xác thực khả năng truy xuất nguồn gốc, chứng minh sự tuân thủ tiêu chí bền vững quốc tế, đồng thời thể hiện cam kết với phát triển kinh tế tuần hoàn và giảm phát thải.

3. Tiềm năng nguyên liệu sản xuất SAF bằng công nghệ HVO tại Việt Nam

3.1. Về nguồn nguyên liệu

Việt Nam không có lợi thế về nguồn nguyên liệu truyền thống cho sản xuất nhiên liệu sinh học, do dầu dừa từ Bến Tre (sản lượng khoảng 10.000 tấn/năm) có mạch carbon C₁₂ không phù hợp; dầu điều không chứa triglyceride cần thiết cho quá trình HVO.

Theo thông tin từ Hiệp hội Chế biến và Xuất nhập khẩu Thủy sản Việt Nam (VASEP), Việt Nam có tiềm năng lớn từ phụ phẩm ngành thủy sản với tổng công suất thiết kế đạt 1,5 triệu tấn nguyên liệu/năm, tập trung chủ yếu ở Đồng bằng sông Cửu Long. Sản lượng cá tra trong giai đoạn 2013 - 2023 dao động từ 1,1 - 1,6 triệu tấn [20], với hàm lượng mỡ thu hồi khoảng 17% tương đương 180.000 tấn/năm. Thực tế cho thấy sản lượng mỡ cá tăng từ 167.000 tấn (2020) lên 177.000 tấn (2022), với lượng xuất khẩu ổn định khoảng 84.000 tấn. Với đặc tính là nguồn nguyên liệu từ phụ phẩm chế biến đang được các quốc gia ưu tiên sử dụng trong sản xuất nhiên liệu sinh học tiên tiến.

Theo Bộ Công Thương, mức tiêu thụ dầu ăn tại Việt Nam sẽ tăng từ 9 - 10 kg/người/năm hiện nay khoảng 18,5 - 19 kg/người/năm trong tương lai, với tổng sản lượng tiêu thụ dự kiến đạt 1,5 triệu tấn năm 2025 [21].

Mặc dù phải nhập khẩu dầu thô làm nguyên liệu sản xuất, dầu ăn sau khi sử dụng lại trở thành nguồn nguyên liệu tiềm năng cho sản xuất nhiên liệu sinh học tiên tiến. Theo nghiên cứu của Margarida tỷ lệ dầu ăn đã qua sử dụng tạo ra chiếm khoảng 32% tổng lượng dầu tiêu thụ của quốc gia [22]. Với dự báo tiêu thụ khoảng 1,5 triệu tấn dầu ăn, tiềm năng dầu ăn đã qua sử dụng của Việt Nam có thể đạt khoảng 500.000 tấn/năm.

Cũng như các quốc gia tại khu vực châu Á, Việt Nam có tiềm năng thu gom dầu ăn đã qua sử dụng từ 3 nhóm chính là các nhà hàng khách sạn, doanh nghiệp sản xuất mì ăn liền và đồ ăn nhẹ (snack). Theo nghiên cứu của Kristiana [19], khoảng 10% lượng dầu tiêu thụ sẽ trở thành dầu ăn đã qua sử dụng từ khu vực dân cư. Với quy mô dân số xấp xỉ 100 triệu người và mức tiêu thụ khoảng 10 kg/người/năm, ước tính lượng dầu ăn đã qua sử dụng từ hộ gia đình có thể đạt khoảng 100.000 tấn/năm. Tuy nhiên, việc thu gom dầu ăn đã qua sử dụng của từng hộ gia đình gặp nhiều khó khăn.

Theo thông tin từ Hiệp hội Dầu ăn Việt Nam, các doanh nghiệp chiếm 35% thị phần tiêu thụ dầu ăn, trong đó nhà hàng và quán ăn chiếm 75%. Với tỷ lệ thu hồi khoảng 32%, sản lượng thu gom dầu ăn đã qua sử dụng có thể đạt đến 126.000 tấn/năm. Năm 2021 và 2022 Việt Nam tiêu thụ khoảng 8,5 tỷ gói mì [23]. Dựa trên định mức 4 g dầu ăn đã qua sử dụng/gói mì và 0,29 kg dầu ăn đã qua sử dụng/người/năm từ các doanh nghiệp sản xuất snack và mì gói [21], ước tính có thể thu hồi 34.000 tấn dầu ăn đã qua sử dụng từ sản xuất mì gói và khoảng 29.000 tấn/năm từ sản xuất snack.

Bảng 4 thể hiện sản lượng dầu ăn đã qua sử dụng hình thành từ các nhóm khách hàng tại Việt Nam. Với khu vực

dân cư, do khó khăn trong thu gom nên tỷ lệ thu hồi được coi là 0%. Trong kịch bản tỷ lệ thu gom dầu ăn đã qua sử dụng từ nhà hàng và khách sạn đạt 100%, sản lượng có thể đạt ~190.000 tấn/năm; với kịch bản tỷ lệ thu gom chỉ đạt 50%, sản lượng này ước đạt 94.500 tấn/năm. Dự báo này được tính toán trên cơ sở thực tế năm 2023, khi sản lượng thu gom dầu ăn đã qua sử dụng tại Việt Nam đạt trên 50.000 tấn, dù mới chỉ tập trung triển khai thu gom tại TP. Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh.

Việc thu gom và xuất khẩu mỡ cá có ưu điểm vượt trội về tính minh bạch và khả năng truy xuất nguồn gốc, nhờ vào định hướng xuất khẩu của các trang trại cá và nhà máy chế biến tại Việt Nam. Quy trình, tài liệu và hệ thống thu gom, phân phối rõ ràng tạo điều kiện thuận lợi cho việc đánh giá và cấp chứng chỉ ISCC. Nhờ định hướng xuất khẩu, các đơn vị thu gom đã dần hoàn thiện hệ thống theo tiêu chuẩn quốc tế và đã được cấp chứng chỉ ISCC cho cả 2 loại nguyên liệu mỡ cá và dầu ăn đã qua sử dụng.

3.2. Tiêu chuẩn nguyên liệu cho nhà máy sản xuất SAF bằng công nghệ HVO

Quá trình sản xuất SAF bằng công nghệ HVO có thể sử dụng nhiều loại nguyên liệu chứa chất béo hoặc acid béo như: Dầu thực vật, mỡ bò và dầu ăn đã qua sử dụng... Ngoài ra, các phụ phẩm từ quá trình sản xuất dầu thực vật,

dầu thu hồi từ đất tẩy trắng và sản phẩm chưng cất acid béo cũng có thể được sử dụng. Quá trình HVO sản xuất SAF trải qua 2 giai đoạn: Bảo hòa các liên kết đôi trong mạch hydrocarbon và sau đó loại nguyên tử oxy thông qua các phản ứng hydrodeoxy hóa, decarboxyl hóa và decarbonyl hóa. Các phản ứng này được thực hiện ở nhiệt độ 300 - 400°C với áp suất hydro từ 3 - 10 Mpa, sử dụng các xúc tác như Ni-Mo/Al₂O₃, Co-Mo/Al₂O₃ Pt/zeolite hoặc Pd/zeolite, tuy nhiên các xúc tác này dễ bị ngộ độc và giảm hoạt tính trong quá trình chuyển hóa hóa học.

Tiêu chuẩn nguyên liệu cho quá trình HVO được thể hiện ở Bảng 5. Yêu cầu kỹ thuật về nguyên liệu của các công nghệ sản xuất khác nhau chủ yếu ở hàm lượng acid tự do (FFA), có thể dao động từ 5% đến 95% tùy công nghệ. Khả năng chấp nhận FFA cao giúp đa dạng hóa được nguồn nguyên liệu đầu vào cho quá trình sản xuất. Ngoài FFA, các công nghệ đều có yêu cầu chung về thông số kỹ thuật trong nguyên liệu như hàm lượng nước phải thấp hơn 500 ppm hoặc 700 ppm, chất không hòa tan từ 100 - 500 ppm, chất không xà phòng hóa nhỏ hơn 1%, hàm lượng N trong khoảng 50 - 300 ppm, hàm lượng Cl tổng và polyethylene phải dưới 50 ppm. Đặc biệt quan trọng là kiểm soát hàm lượng phosphor dưới 3 ppm và kim loại tự do nhỏ hơn 10 ppm, vì thông số này ảnh hưởng trực tiếp đến hoạt tính và tuổi thọ của xúc tác trong quá trình chuyển hóa hóa học [24].

Bảng 5. Tiêu chuẩn nguyên liệu của các công ty công nghệ

Thành phần	Đơn vị	Công nghệ A	Công nghệ B	Công nghệ C	Công nghệ D
Hàm lượng acid tự do	%	< 5	< 20	< 20	< 5
Hàm lượng nước	%	< 500	< 500	< 700	< 500
Chất không hòa tan	ppm	< 500	< 500	< 100	< 500
Chất không xà phòng hóa	%	KPH	< 1	< 1	KPH
Hàm lượng phosphor	ppm	< 3	< 3	< 2	< 3
Hàm lượng kim loại tổng	ppm	< 10	< 5	< 5	< 10
Hàm lượng nitrogen	ppm	< 50	< 350	< 100	< 350
Hàm lượng lưu huỳnh	ppm	< 100	< 250	< 30	< 100
Hàm lượng chlorine tổng	ppm	< 10	< 50	< 5	< 50
Hàm lượng polyethylene (max)	ppm			< 50	

Bảng 6. Chỉ tiêu kỹ thuật tiêu biểu của nguyên liệu thô

Chỉ tiêu kỹ thuật	Đơn vị	Dầu cọ thô	PFDA	UCO	Mỡ động vật
Hàm lượng acid tự do (FFA)	%	< 6	> 85	1 - 10	2 - 35
Hàm lượng phosphor	ppm	15 - 30	< 5	< 20	50 - 1.000
Hàm lượng kim loại tổng	ppm	20 - 60	< 10	< 50	200 - 2.000
Hàm lượng nitrogen	ppm	10 - 20	< 10	5 - 15	50 - 15.00
Hàm lượng lưu huỳnh	ppm	< 10	< 10	10 - 100	20 - 200
Hàm lượng chlorine tổng	ppm	< 15	< 10	20 - 100	50 - 500
Hàm lượng polyethylene	ppm	-	-	0 - 200	0 - 1.000

Bảng 7. Chỉ tiêu chất lượng mỡ cá của một số nhà máy sản xuất trong nước

	Yêu cầu	Nhà máy I	Nhà máy II	Nhà máy III
Acid tự do (FFA %)	≤ 5	1,13	< 3	≤ 5
Hàm lượng nước và tạp chất (M&U %)	≤ 2	0,209	< 1	0,2
Chỉ số iodine (g I ₂ /100g)	≥ 60	65,4	> 60	≤ 75
Hàm lượng lưu huỳnh (ppm)	≤ 50			≤ 20
Chỉ số xà phòng hóa (mg KOH/g)	-	195,5	210	
Chỉ số peroxide (meq/kg)	-	0,338	5	

Bảng 8. Thông số kỹ thuật của dầu ăn đã qua sử dụng

Tính chất	Yêu cầu	Việt Nam
Acid FFA (%)	≤ 5	3,91
Hàm lượng nước và tạp chất (%)	≤ 2	1,5
Chỉ số iodine (g I ₂ /100g)	≥ 60	64
Chỉ số không xà phòng hóa (%)	≤ 1	0,3
Hàm lượng lưu huỳnh (ppm)	≤ 50	45

Bảng 6 cho thấy chất lượng của 5 nguồn nguyên liệu chính trong sản xuất HVO gồm: Dầu ăn, dầu cọ thô, dầu ăn đã qua sử dụng, mỡ động vật và PFAD. Dầu cọ thô, thu được từ quá trình sản xuất và xử lý sơ bộ dầu cọ, có hàm lượng acid tự do 6%, với hàm lượng phosphor và kim loại cao hơn tiêu chuẩn đầu vào, trong khi các hàm lượng N, S, Cl, PE đạt tiêu chuẩn. PFAD, được tách ra từ quá trình chưng cất, có đặc trưng là hàm lượng FFA cao nhưng các thông số cơ bản đều đáp ứng chuẩn đầu vào. Dầu ăn đã qua sử dụng có tính chất dao động tùy nguồn gốc, với hàm lượng FFA dao động từ 1 - 10% và các chỉ tiêu khác cao hơn yêu cầu (trừ hàm lượng N và Cl). Mỡ động vật có các chỉ số biến đổi trong khoảng rộng và thường cao hơn yêu cầu tiêu chuẩn.

Do sự đa dạng về chất lượng nguyên liệu đầu vào, các nhà máy đều phải thực hiện công đoạn tiền xử lý để đáp ứng tiêu chuẩn cho quá trình HVO. Quy trình này tập trung vào việc loại bỏ các tạp chất như: phosphor, kim loại, polyethylene, hợp chất nitrogen, lưu huỳnh và các thành phần chứa chlorine. Quá trình tiền xử lý cơ bản bao gồm 2 bước: Xử lý bằng acid để tách phospholipid, kim loại và khoáng, sau đó là quá trình sử dụng các chất hấp phụ để làm sạch sâu hơn. Với các nguyên liệu có chất lượng càng thấp, quy trình tiền xử lý càng trở nên phức tạp.

3.3. Tiêu chuẩn chất lượng của nguồn nguyên liệu trong nước

Kết quả khảo sát tại các đơn vị chế biến thủy sản (Bảng 7) cho thấy chất lượng mỡ cá trong nước đáp ứng được các yêu cầu về nguyên liệu thô như: FFA tối đa 5%, nước và tạp chất 2%, chỉ số không xà phòng hóa 1%, chỉ số iodine 60

gI₂/100g và hàm lượng lưu huỳnh 50 ppm. Do đó, mỡ cá có thể được sử dụng trực tiếp làm nguyên liệu sản xuất HVO mà không cần qua công đoạn tiền xử lý. Khảo sát thị trường cho thấy có 2 doanh nghiệp nước ngoài đang thu mua mỡ cá tại Việt Nam là Diamond Green Diesel và Neste, với sản lượng xuất khẩu tăng đáng kể từ 41.000 tấn năm 2022 lên 120.000 tấn năm 2023. Mỡ cá được xuất khẩu theo 2 hình thức chính là hàng rời với giá FOB dao động từ 1.100 - 1.380 USD/tấn và container mềm với giá từ 1.250 - 1.500 USD/tấn trong năm 2023.

Tính chất của dầu ăn đã qua sử dụng và chất lượng sản phẩm HVO chịu ảnh hưởng trực tiếp từ thành phần hóa học của dầu ăn ban đầu, trong đó độ dài mạch acid béo ảnh hưởng đến nhiệt độ đông đặc. Trong quá trình sử dụng, dầu ăn trải qua quá trình biến đổi hóa học như: oxy hóa, thủy phân và trùng hợp... khiến tính chất thay đổi so với ban đầu, đặc biệt là hàm lượng acid béo tự do.

Sự hiện diện của nước trong dầu ăn đã qua sử dụng còn thúc đẩy phản ứng thủy phân tiếp diễn trong quá trình thu gom, tồn chứa và vận chuyển. Theo Bảng 8, tiêu chuẩn dầu ăn đã qua sử dụng xuất khẩu yêu cầu: FFA < 5%, hàm lượng nước và tạp chất < 2%, chỉ số không xà phòng hóa < 1%, chỉ số iodine ≥ 60 và hàm lượng lưu huỳnh < 50 ppm. So sánh với chỉ tiêu của đơn vị thu gom trong nước cho thấy dầu ăn đã qua sử dụng Việt Nam mới đạt yêu cầu nguyên liệu thô xuất khẩu và cần được xử lý thêm để đáp ứng tiêu chuẩn kỹ thuật cho quá trình sản xuất HVO.

Thị trường thu gom và xuất khẩu dầu ăn đã qua sử dụng tại Việt Nam đã có sự phát triển đáng kể trong những năm gần đây. Sản lượng thu gom tăng mạnh từ 17.000 tấn (2020 - 2021) lên 47.500 tấn (2022) và đạt khoảng 50.000 tấn (2023). Xuất khẩu dầu ăn đã qua sử dụng của Việt Nam được thực hiện chủ yếu theo phương thức container mềm, chỉ có một số chuyến xuất hàng rời. Giá FOB qua các năm biến động từ 800 USD/tấn (2020), lên 1.000 - 1.400 USD/tấn (2021), 1.200 - 1.600 USD/tấn (2022), sau giảm xuống dưới 1.000 USD/tấn trong năm 2023.

4. Kết luận

Việc sử dụng nhiên liệu hàng không bền vững SAF đang trở thành yêu cầu bắt buộc nhằm giảm phát thải CO₂ trong ngành hàng không, với nhu cầu dự kiến tăng mạnh từ 72.000 tấn năm 2023 lên 30 triệu tấn vào năm 2030. Trong đó, công nghệ HVO được ưu tiên trong sản xuất SAF nhờ khả năng giảm tới 80% phát thải khí nhà kính và tận dụng được nguyên liệu từ chất thải hoặc phụ phẩm ngành chế biến. Đối với nhà máy HVO công suất 230 triệu lít, chi phí đầu tư ước tính khoảng 0,65 USD/tấn công suất và chi phí sản xuất từ 0,95 - 1,18 USD/lít.

Việt Nam có lợi thế về nguồn nguyên liệu cho sản xuất SAF từ phụ phẩm ngành chế biến cá da trơn và dầu ăn đã qua sử dụng. Khu vực đồng bằng sông Cửu Long cung cấp trên 100.000 tấn mỡ cá mỗi năm, với ưu điểm có nguồn gốc rõ ràng, khả năng truy vết cao và thuận lợi cho việc cấp chứng chỉ ISCC. Nhờ đạt tiêu chuẩn nguyên liệu HVO, mỡ cá có giá xuất khẩu cao, với sản lượng năm 2023 đạt 120.000 tấn. Trong khi đó, dầu ăn đã qua sử dụng của Việt Nam có tiềm năng lên đến 290.000 tấn, nhưng hiện mới thu gom được 17%. Do chất lượng chưa đạt tiêu chuẩn nguyên liệu HVO, dầu ăn đã qua sử dụng đang có giá xuất khẩu thấp hơn mỡ cá, với sản lượng năm 2023 đạt 50.000 tấn.

Dựa trên nguồn cung nguyên liệu từ chất thải bền vững bao gồm mỡ cá và dầu ăn đã qua sử dụng, với khả năng thu gom có thể đạt 200.000 tấn nguyên liệu mỗi năm, Việt Nam có đủ tiềm năng để phát triển nhà máy sản xuất nhiên liệu sinh học tiên tiến SAF-HVO.

Tài liệu tham khảo

- [1] ICAO Secretariat, "Introduction to the ICAO basket of measures to mitigate climate change, Chapter IV: Climate change mitigation: Technology and operations". [Online]. Available: https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2019/ENVReport2019_pg111-115.pdf.
- [2] ICAO Environment, "CORSIA States for Chapter 3 State Pairs", 2024. [Online]. Available: <https://www.icao.int/environmental-protection/corsia/pages/state-pairs.aspx>.
- [3] European Union, "Regulation (EU) 2023/2405 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 on ensuring a level playing field for sustainable air transport", 2023. [Online]. Available: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302405.
- [4] KPMG, "Is Asia Pacific a game changer for the global SAF industry?" 2023. [Online]. Available: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/sg/pdf/2024/05/is-asia-pacific-a-game-changer-for-the-global-saf-industry.pdf>.
- [5] U.S Department of Energy, "Alternative fuels data center", 2024. [Online]. Available: <https://afdc.energy.gov/fuels/sustainable-aviation-fuel>.
- [6] World Economic Forum, "Dataset adapted from "Clean skies for tomorrow"".
- [7] Alba Canovas, Alex Ehrenhaus, Arianna Baldo, Carina Wessels, Carolina Grassi, Mariana Tracastro, Onofre Andrade, Otavio Cavalett, Pratima Gangopadhyay, Robert Boyd, and Sharmine Tan, "Sustainable feedstock assessment for sustainable aviation fuel production in Southeast ASEAN", *The Roundtable on Sustainable Biomaterials*, 2024.
- [8] GREENEA, "New players join the HVO game". [Online]. Available: <https://greenea.com/en/publication/new-players-join-the-hvo-game/>.
- [9] GREENEA, *Horizone 2030*, "Which investments will see the light in the biofuel industry?", 2021. [Online]. Available: <https://www.greenea.com/wp-content/uploads/2021/01/Greenea-Horizon-2030-Which-investments-will-see-the-light-in-the-biofuel-industry-1.pdf>.
- [10] Hydrocarbon Processing, "Scaling up SAF production with Fischer Tropsch technology", 2024. [Online]. Available: <https://www.hydrocarbonprocessing.com/news/2024/04/scaling-up-saf-production-with-fischer-tropsch-technology>.
- [11] SAF Inverstor, "Project: LanzaJet freedom pines, georgia, USA", 2022. [Online]. Available: <https://www.safinvestor.com/project/141923/lanzajet-freedom-pines-georgia-usa/>.
- [12] Jane O'Malley, Nikita Pavlenko, and Yi Hyun Kim, "Meeting the SAF grand challenge: Current and future measures to increase U.S. Sustainable aviation fuel production capacity", *International Council on Clean Transportation*, 2023.
- [13] Nikita Pavlenko, Stephanie Searle, and Adam Christensen, "The cost of supporting alternative jet fuels in the Eupean Union", *International Council on Clean Transportation*, 2019.
- [14] Amsterdam-Rotterdam-Antwerp, "Argus biofuels daily international market prices and commentary", 2023.
- [15] Gain, USDA, "Biofuels annual", 2023.

[16] S&P Global, "Demand heats up for Asia's used cooking oil, 2022". [Online]. Available: <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/blogs/agriculture/072922-sustainable-aviation-fuel-used-cooking-oil-uco-methyl-ester>.

[17] S&P Global, "Global UCO supply to double by 2030 as US, EU policies drive Asian supply", 2023. [Online]. Available: <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/agriculture/100423-global-uco-supply-to-double-by-2030-as-us-eu-policies-drive-asian-supply>.

[18] Anouk van Grinsven, Emiel van den Toorn, Reinier van der Veen, and Bettina Kampman, "Used Cooking Oil (UCO) as biofuel feedstock in the EU", 2020. [Online]. Available: <https://cedelft.eu/publications/used-cooking-oil-uco-as-biofuel-feedstock-in-the-eu>.

[19] Tenny Kristiana, Chelsea Baldino, and Stephanie Searle, "An estimate of current collection and potential collection of used cooking oil from major Asian exporting countries", *International Council on Clean Transportation, Working paper 13 February 2022*.

[20] Hiệp hội chế biến và xuất nhập khẩu thủy sản Việt Nam, "Năm 2022, sản lượng cá tra toàn cầu có thể giảm

4,6%, nguyên nhân chủ yếu từ Việt Nam", 2022. [Online]. Available: <https://vasep.com.Việt-Nam/san-pham-xuat-khau/ca-tra/thi-truong-the-gioi/nam-2022-san-luong-ca-tra-toan-cau-co-the-giam-4-6-nguyen-nhan-chu-yeu-tu-viet-nam-23677.html>.

[21] Statista, "Production volume of refined vegetable oil in Vietnam from 2015 to 2022", 2024. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/1115232/vietnam-refined-vegetable-oil-production-volume>.

[22] Margarida Ribau Teixeira, Ricardo Nogueira, and Luís Miguel Nune, "Quantitative assessment of the valorisation of used cooking oils in 23 countries", *Waste Management*, Volume 78, pp. 611 - 620, 2018.

[23] Statista, "Demand for instant noodles in Vietnam 2014-2022", 2024. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/1110859/vietnam-serving-demand-for-instant-noodles/>.

[24] Veronique Gibon, Wim De Greyt, Jan De Kock, and Marc Kellens, "Requirements and solutions for the pretreatment of HVO feedstocks", 2022. [Online]. Available: <https://advancedbiofuelsusa.info/requirements-and-solutions-for-pretreatment-of-hvo-feedstocks/>.

VIETNAM'S FEEDSTOCK SUPPLY POTENTIAL FOR SUSTAINABLE AVIATION FUEL HVO/SAF

Van Dinh Son Tho

School of Chemistry and Life Sciences - Hanoi University of Science and Technology

Email: tho.vandinhson@hust.edu.vn

Summary

The International Civil Aviation Organization (ICAO) is advancing the adoption of sustainable aviation fuel (SAF) to mitigate CO₂ emissions through the Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), targeting a start to emissions reductions by 2027. Among SAF production technologies, hydrogenated vegetable oil (HVO), which refines vegetable oils, waste oils, and fats via hydrodeoxygenation, has been commercialized worldwide. This approach uses by-products as feedstock, achieving up to an 80% reduction in CO₂ emissions without altering land use for feedstock cultivation.

Vietnam has potential to sustainably supply feedstock for SAF production, primarily from fish fat - a by-product of pangasius export, and used cooking oil (UCO) - a by-product of food processing. This potential can be further enhanced with improvements in collection efficiency. In 2023, Vietnam exported approximately 120,000 tons of fish fat and 50,000 tons of used cooking oil to SAF producers such as Neste and Diamond Green Diesel.

This paper introduces SAF production technologies and analyzes the factors indicating Vietnam's feedstock supply potential for the international market in sustainable aviation fuel production using HVO technology.

Key words: Hydrogenated vegetable oil (HVO), hydro-processed esters and fatty acid (HEFA), sustainable aviation fuel (SAF), used-cooking oil (UCO), fish fat.