

TIỀM NĂNG SỬ DỤNG CO₂ TẠI VIỆT NAM: HƯỚNG ĐI MỚI CHO PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG VÀ KINH TẾ TUẦN HOÀN

Huỳnh Minh Thuận, Phan Minh Tuấn, Nguyễn Long Vũ

Viện Dầu khí Việt Nam (VPI)

Email: thuanhm.pvpro@vpi.pvn.vn

<https://doi.org/10.47800/PVSI.2025.05-05>

Tóm tắt

Để thực hiện mục tiêu phát thải ròng bằng “0” vào năm 2050, việc khai thác tiềm năng sử dụng CO₂ đang trở thành hướng đi quan trọng trong chiến lược phát triển bền vững và kinh tế tuần hoàn. Thay vì chỉ xem CO₂ là chất thải, nhiều lĩnh vực tại Việt Nam như sản xuất phân bón, hóa chất, vật liệu xây dựng và gia tăng thu hồi dầu đang từng bước chuyển hóa CO₂ thành nguồn nguyên liệu đầu vào có giá trị.

Bài viết phân tích tiềm năng ứng dụng CO₂ trên thế giới và định hướng tại Việt Nam, từ góc độ quy mô thị trường, công nghệ đến phát triển chuỗi giá trị. Từ đó, đề xuất các giải pháp nhằm phát triển công nghệ thu giữ và sử dụng carbon (CCU), tận dụng nguồn CO₂ công nghiệp như một loại tài nguyên mới trong chuyển đổi xanh và giảm phát thải dài hạn.

Từ khóa: Thu hồi và sử dụng CO₂, net-zero, xu hướng phát triển xanh, CCU.

1. Giới thiệu

Theo số liệu từ Global Carbon Budget 2025, thế giới đã phát thải khoảng 37,8 tỷ tấn CO₂ trong năm 2024 từ nhiên liệu hóa thạch và công nghiệp (bao gồm hấp thụ carbon hóa xi măng), tăng 1,1% so với năm 2023, tiếp tục thiết lập mức cao kỷ lục mới [1]. Cơ quan Năng lượng Quốc tế (IEA) cũng xác nhận con số tương đương là 37,8 tỷ tấn CO₂ phát thải liên quan đến năng lượng trong năm 2024 [2]. Khi tính cả phát thải từ thay đổi sử dụng đất (như phá rừng), tổng phát thải CO₂ toàn cầu đạt 42,4 tỷ tấn trong năm 2024 [1].

Trung Quốc, Mỹ, Ấn Độ và Liên minh châu Âu (EU), Nga, Indonesia, Brazil và Nhật Bản là 8 nền kinh tế phát thải lớn nhất thế giới, chiếm 66,2% tổng phát thải khí nhà kính toàn cầu [3]. Trong năm 2024, Trung Quốc chiếm 31,7% tổng phát thải toàn cầu (12,3 tỷ tấn CO₂), Mỹ chiếm 12,7% (4,9 tỷ tấn CO₂), Ấn Độ chiếm 8,3% (3,2 tỷ tấn CO₂), và EU chiếm 6,3% (2,4 tỷ tấn CO₂) [1].

Đáng chú ý, trong số các khu vực lớn, chỉ có EU và Nhật Bản giảm phát thải trong năm 2024 (lần lượt là -1,8% và -2,8%), trong khi Ấn Độ ghi nhận mức tăng phát thải

lớn nhất với 164,8 triệu tấn CO₂ tương đương (+3,9%) [3]. Mức phát thải của các nền kinh tế đang phát triển tiếp tục tăng nhanh do nhu cầu năng lượng và công nghiệp hóa gia tăng, trong khi các nước phát triển dần giảm phát thải nhờ áp dụng công nghệ sạch và chính sách kiểm soát carbon. Tuy nhiên, 35 quốc gia đã giảm phát thải đáng kể trong khi vẫn tăng trưởng kinh tế trong thập kỷ 2015 - 2024, chiếm 27% tổng phát thải toàn cầu [1].

Tại Việt Nam, lượng phát thải CO₂ đang tăng nhanh chóng cùng với tốc độ phát triển kinh tế. Theo dữ liệu từ Our World in Data, năm 2024, lượng phát thải CO₂ bình quân đầu người đạt 3,67 tấn, tăng hơn 6% so với năm 2023 (3,46 tấn/người). Tổng lượng phát thải CO₂ của cả nước trong năm 2024 cũng lên tới gần 371 triệu tấn [3], chủ yếu đến từ ngành năng lượng và các lĩnh vực khác như công nghiệp nặng, giao thông. Những con số này cho thấy Việt Nam đang đối mặt với áp lực lớn trong quá trình chuyển dịch sang mô hình phát triển xanh và phát thải thấp. Diễn biến hiện trạng phát thải CO₂ tại các quốc gia trên thế giới năm 2024 và lượng phát thải CO₂ của Việt Nam giai đoạn 2012 - 2024 được thể hiện cụ thể trong Hình 1 và Hình 2.

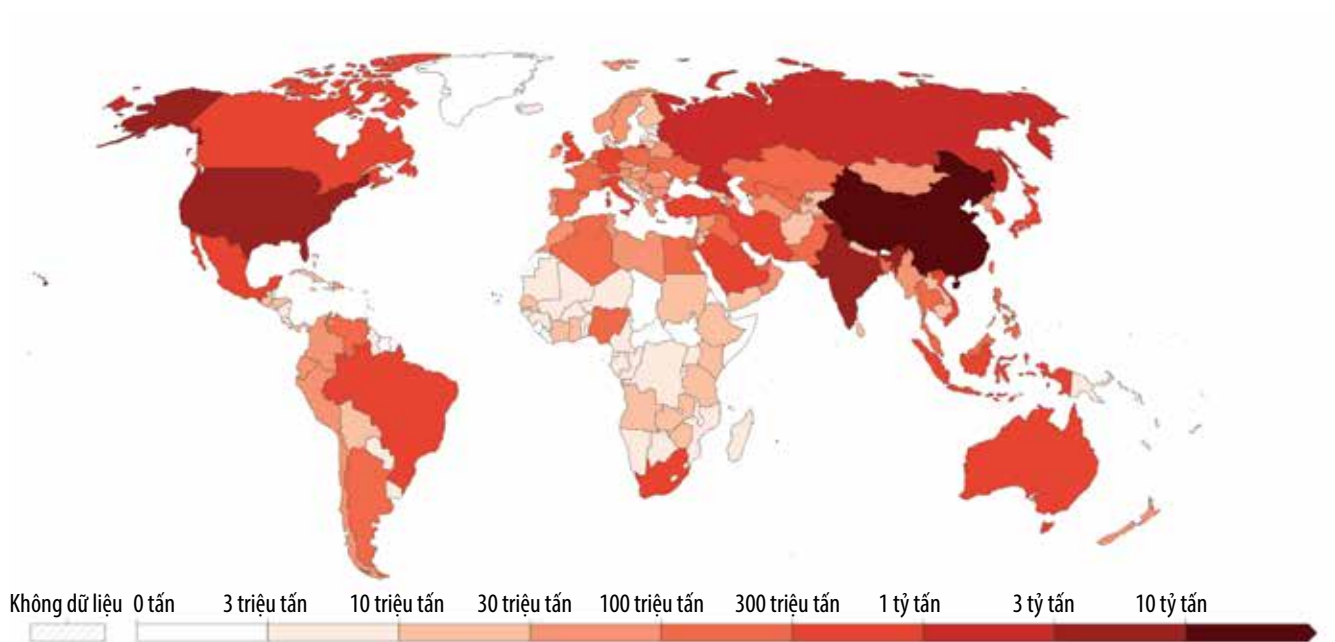
Hiện nay, công nghệ thu hồi, sử dụng và lưu trữ carbon (CCUS) đang được coi là giải pháp quan trọng trong chiến lược giảm phát thải khí nhà kính. CCUS không chỉ giúp giảm lượng khí CO₂ thải vào khí quyển mà còn mở ra cơ hội để tận dụng CO₂ như một tài nguyên có giá trị, góp



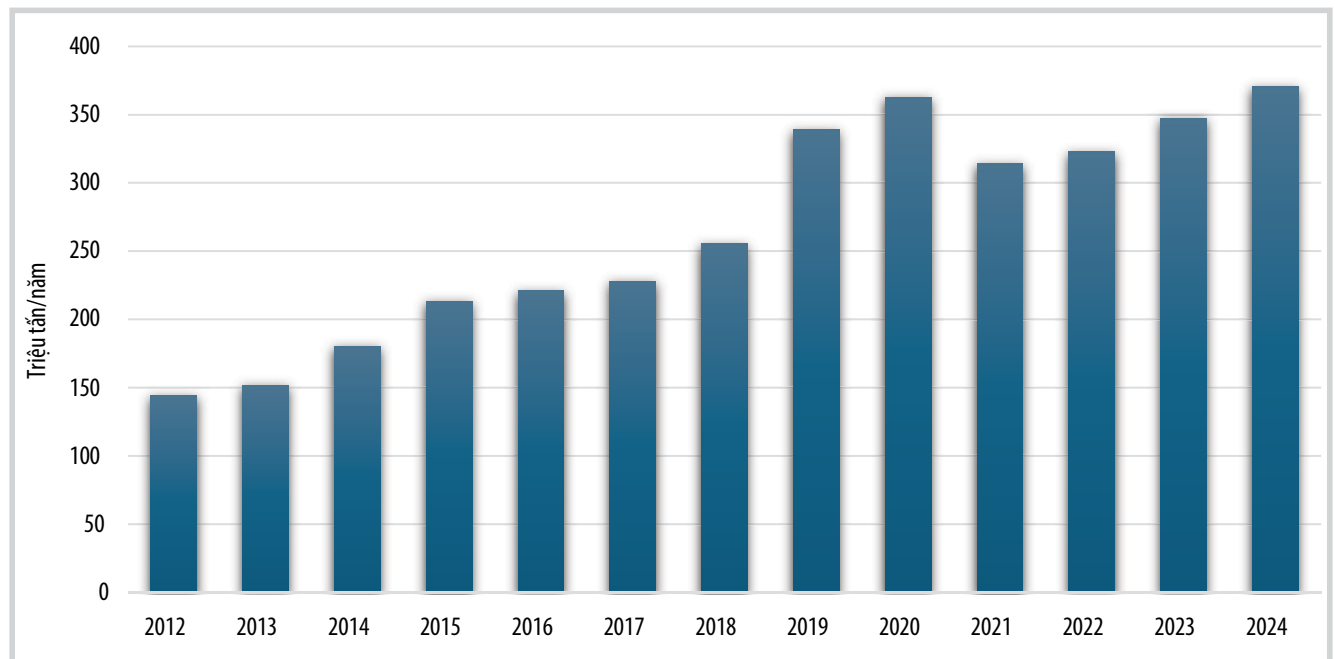
Ngày nhận bài: 7/5/2025

Ngày đánh giá và sửa chữa: 7/5 - 24/10/2025

Ngày duyệt đăng: 24/10/2025



Hình 1. Hiện trạng phát thải CO₂ tại các quốc gia trên thế giới [4].



Hình 2. Thực trạng phát thải CO₂ tại Việt Nam trong giai đoạn 2012 - 2024 [4].

phần vào mô hình kinh tế tuần hoàn. Đặc biệt, với tiềm năng lưu trữ CO₂ lớn tại các mỏ dầu khí ngoài khơi, Việt Nam có cơ hội phát triển các dự án CCUS quy mô lớn, vừa đáp ứng mục tiêu giảm phát thải, vừa thúc đẩy phát triển kinh tế bền vững.

Bài viết này phân tích tiềm năng sử dụng CO₂ tại Việt Nam, thông qua việc đánh giá thực trạng phát thải, khả năng thu hồi, cơ hội ứng dụng và các thách thức liên quan. Từ đó đề xuất các định hướng và kiến nghị cụ thể để thúc đẩy sự phát triển của công nghệ CCU tại Việt Nam,

góp phần vào mục tiêu phát triển bền vững và xây dựng nền kinh tế carbon thấp của quốc gia.

2. Tổng quan về công nghệ sử dụng CO₂

2.1. Khái niệm cơ bản về CO₂, CCU và CCS

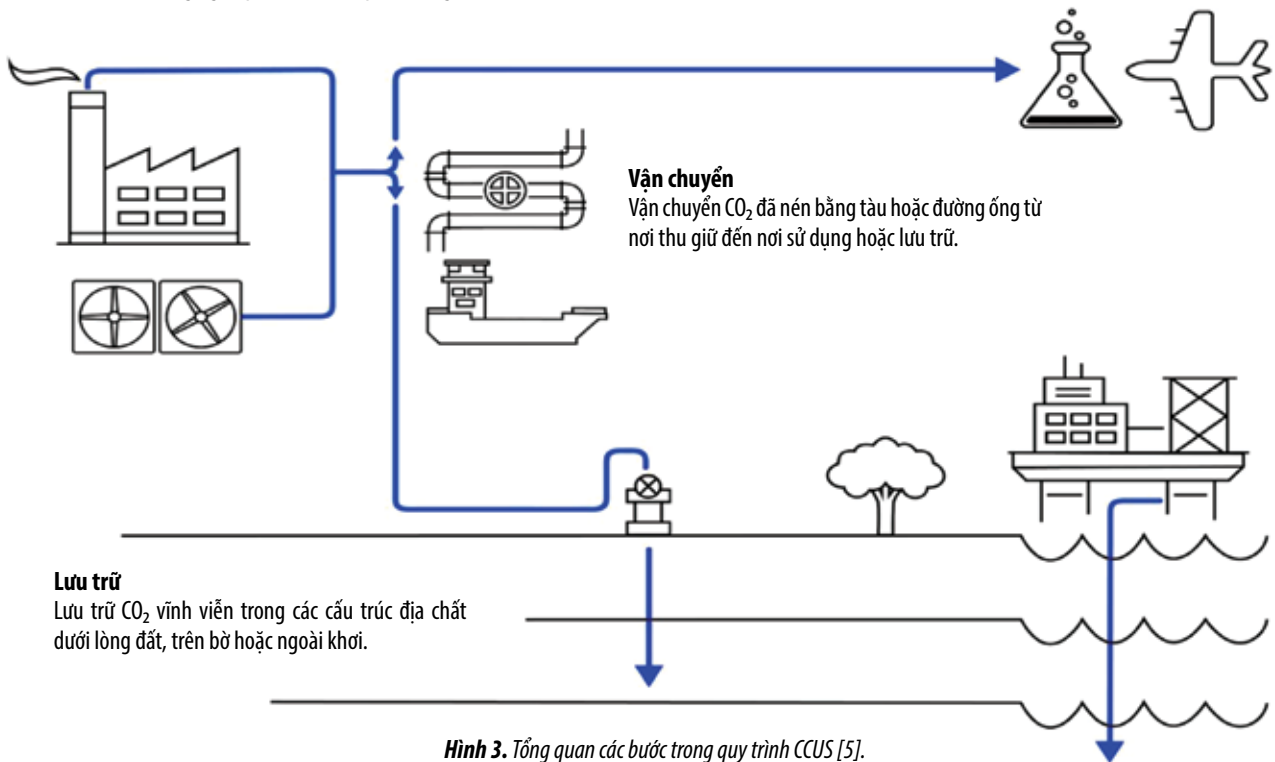
Carbon dioxide (CO₂) là khí nhà kính chính gây ra hiệu ứng nóng lên toàn cầu, chủ yếu phát sinh từ hoạt động đốt nhiên liệu hóa thạch trong công nghiệp và giao thông vận tải. Thu hồi và sử dụng carbon (carbon capture and utilization - CCU) là quá trình thu giữ CO₂ từ các nguồn

Thu giữ

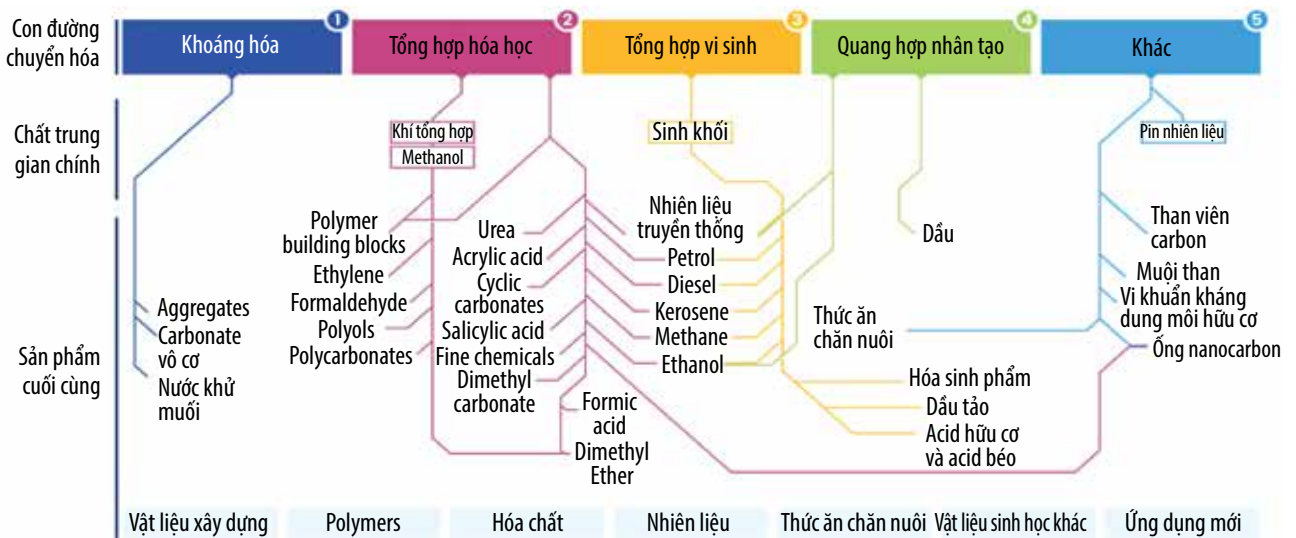
Thu giữ CO₂ từ các nhà máy điện sử dụng nhiên liệu hóa thạch hoặc sinh khối, từ các cơ sở công nghiệp, hoặc trực tiếp từ không khí.

Sử dụng

Sử dụng CO₂ đã thu giữ làm đầu vào hoặc nguyên liệu để tạo ra sản phẩm hoặc dịch vụ.



Hình 3. Tổng quan các bước trong quy trình CCUS [5].



Hình 4. Tổng quan các sản phẩm CCU [6].

phát thải và chuyển hóa thành các sản phẩm có giá trị, trong khi thu hồi và lưu trữ carbon (carbon capture and storage - CCS) là quá trình thu giữ CO₂ và lưu trữ vĩnh viễn dưới lòng đất. CCUS là thuật ngữ tổng hợp bao gồm cả thu giữ, sử dụng và lưu trữ carbon.

Điểm khác biệt chính giữa CCU và CCS là mục đích cuối cùng của CO₂ sau khi được thu giữ. Trong hệ thống CCU, CO₂ được xem như một nguyên liệu đầu vào để sản

xuất các sản phẩm có giá trị kinh tế. Trong khi CCS chỉ tập trung vào việc lưu trữ CO₂ nhằm giảm thiểu việc phát thải khí nhà kính. CCUS kết hợp cả 2 phương pháp, tạo ra một giải pháp toàn diện hơn để giảm phát thải khí nhà kính và tận dụng CO₂ như một tài nguyên. Quy trình tổng thể của CCUS, bao gồm các giai đoạn thu giữ, vận chuyển, lưu trữ và tái sử dụng CO₂, được trình bày trong Hình 3.

2.2. Các công nghệ và ứng dụng sử dụng CO₂ phổ biến

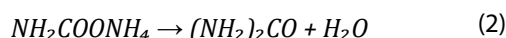
Sau khi được thu giữ từ các nguồn công nghiệp hoặc trực tiếp từ không khí, CO₂ được chuyển hóa thành nhiên liệu tổng hợp, hóa chất hoặc vật liệu xây dựng thông qua các quy trình công nghệ khác nhau. Việc ứng dụng CCU không chỉ giúp giảm phát thải CO₂ mà còn thúc đẩy nền kinh tế tuần hoàn bằng cách tái sử dụng carbon trong sản xuất. Danh mục các hướng chuyển hoá và các loại sản phẩm được mô tả rõ hơn trong Hình 4.

Sản xuất hóa chất từ CO₂

Ngành công nghiệp hóa chất góp phần đáng kể vào lượng phát thải CO₂ toàn cầu, chiếm khoảng 3% tổng lượng phát thải. Tuy nhiên, những công nghệ đổi mới đã mở ra khả năng sử dụng CO₂ như nguồn nguyên liệu đầu vào để sản xuất hóa chất giá trị, tạo nên nền kinh tế carbon tuần hoàn [7]. Urea là một trong số các sản phẩm hóa chất phổ biến thu được từ CO₂.

Phần lớn sản lượng urea trên thế giới hiện nay được sử dụng trong nông nghiệp làm phân bón cung cấp đạm cho cây trồng. Tuy nhiên, ứng dụng của urea không chỉ giới hạn ở lĩnh vực nông nghiệp mà còn được xem là nguyên liệu cơ bản quan trọng trong sản xuất vật liệu, đặc biệt là nhựa urea-formaldehyde và nhựa urea-melamine-formaldehyde.

Về mặt công nghệ, urea được tổng hợp từ ammonia và CO₂, đây là một trong những quy trình sản xuất hóa chất quy mô lớn nhất toàn cầu. Quá trình này gồm 2 giai đoạn chính: (i) ammonia phản ứng với CO₂ tạo thành ammonia carbamat; (ii) hợp chất trung gian này tiếp tục phân hủy tạo ra urea và nước.



Công nghệ điện phân CO₂

Điện phân CO₂ được xem là một trong những hướng tiếp cận đầy tiềm năng để sản xuất hóa chất. Công nghệ này sử dụng dòng điện để khử CO₂ trong buồng điện phân, tạo ra carbon monoxide (CO) - chất trung gian quan trọng để sản xuất syngas (hỗn hợp CO và H₂), nguồn nguyên liệu cho nhiều quá trình hóa học. Ngoài ra, điện phân đồng thời CO₂ và H₂O cho phép sản xuất trực tiếp methanol hoặc ethylene ngay trong cùng một hệ thống. Quá trình điện phân này mang lại hiệu quả cao hơn và linh hoạt hơn so với các phương pháp truyền thống.

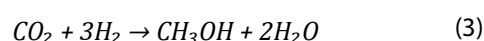
Sản xuất polymer và polyurethane

Dự án Carbon2Polymer minh họa một tiếp cận đổi mới trong sử dụng CO₂ để sản xuất hóa chất. Dự án triển khai phản ứng nhiều giai đoạn để tổng hợp toluene-2,4-diisocyanate (TDI), tiền chất polymer cao cấp trong sản xuất polyurethane, mà không dùng phosgene.

Thay vì sử dụng các chất độc hại, hướng phản ứng thay thế bao gồm chuyển đổi amine thơm với urea và alcohol, hoặc trực tiếp dùng CO₂. Cách tiếp cận này không chỉ an toàn môi trường mà còn giúp giảm phát thải khí nhà kính [8].

Sản xuất methanol

Methanol thường được sản xuất từ syngas truyền thống, thường được tạo ra thông qua quá trình reforming hơi nước của methane từ khí tự nhiên. Một hướng thay thế bền vững hơn là sản xuất methanol bằng cách hydrogen hóa CO₂, như được thể hiện trong phương trình 3. Đây là một trong những phương pháp CCU được quan tâm và nghiên cứu nhiều nhất để sản xuất nhiên liệu và hóa chất nền tảng hiện nay. Công nghệ hydrogen hóa CO₂ không chỉ cho phép chuyển hóa CO₂ thành methanol mà còn có thể được sử dụng như một hệ thống lưu trữ cho các nguồn năng lượng tái tạo như năng lượng mặt trời và gió - hoặc làm nguyên liệu cho hóa học bền vững. Phản ứng này có hiệu suất năng lượng cao và tỏa nhiệt, nhưng yêu cầu lượng lớn hydrogen, nhấn mạnh nhu cầu về hydrogen xanh cho quá trình này [9].



Tăng cường thu hồi dầu (CO₂-EOR)

CO₂-EOR là kỹ thuật được áp dụng rộng rãi nhằm tăng sản lượng dầu từ các mỏ đã suy giảm, đồng thời là hình thức lưu giữ CO₂ dưới lòng đất. Khi được bơm vào tầng chứa dầu, CO₂ làm giảm độ nhớt của dầu, giúp dễ dàng khai thác hơn. Trung bình, cứ mỗi thùng dầu khai thác từ quy trình này, có thể lưu giữ được 0,19 tấn CO₂. Tuy nhiên, việc kiểm soát sự di chuyển của CO₂ trong các tầng chứa dầu không đồng nhất vẫn là thách thức. Giải pháp gần đây là sử dụng hỗn hợp hạt nano và chất hoạt động bề mặt, để tối ưu hóa sự phân bố CO₂ và điều chỉnh độ linh động trong tầng chứa dầu, giúp thu hồi hiệu quả hơn [10].

Vật liệu xây dựng xanh

Ngành xây dựng chiếm đến 20% lượng phát thải CO₂ toàn cầu năm 2021 [11]. Tích hợp CO₂ vào vật liệu xây dựng là giải pháp tiềm năng, vừa giảm thiểu phát thải,

vừa tăng độ bền vật liệu. Phản ứng carbonate hóa giữa CO_2 và các hợp chất như $\text{Ca}(\text{OH})_2$ hoặc $\text{Mg}(\text{OH})_2$ tạo ra khoáng carbonate như CaCO_3 , MgCO_3 - đóng vai trò vật liệu xây dựng bền vững, đồng thời có khả năng lưu trữ carbon lâu dài. Quá trình này có thể áp dụng cho nhiều nguồn nguyên liệu, kể cả các phế thải công nghiệp [12].

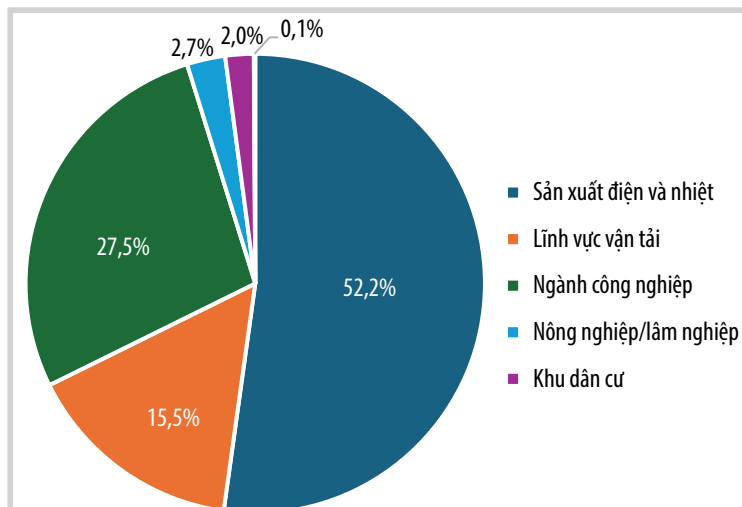
Chuyển hóa CO_2 thành nhiên liệu, vật liệu, thực phẩm

Một trong những hướng nghiên cứu mới nhất trong sử dụng CO_2 là chuyển hóa CO_2 thành nhiều sản phẩm, bao gồm nhiên liệu bền vững và thực phẩm. Các nhà khoa học tại Massachusetts Institute of Technology và Harvard đã phát triển quy trình chuyển CO_2 thành formate (muối acid formic) dùng cho pin nhiên liệu - một dạng nhiên liệu an toàn, dễ vận chuyển, bền [13]. Trong lĩnh vực thực phẩm, nhiều doanh nghiệp như Solar Foods [14], Air Protein [15], Econutri [16] đã phát triển công nghệ chuyển CO_2 thành protein, tinh bột và các chất dinh dưỡng, sử dụng vi khuẩn hoặc hydrogen thu được từ điện phân nước. Các sản phẩm này được đánh giá là bền vững, tiết kiệm nguồn tài nguyên và không phụ thuộc vào nông nghiệp truyền thống.

3. Nguồn phát thải và thu hồi CO_2 tại Việt Nam

3.1. Các nguồn phát thải lớn

Cơ cấu phát thải khí nhà kính phân theo các lĩnh vực kinh tế - xã hội được trình bày ở Hình 5 [17]. Nhóm phát thải lớn nhất là sản xuất điện và nhiệt, chiếm 52%, phản ánh sự phụ thuộc đáng kể vào các nguồn năng lượng hóa thạch trong quá trình phát điện và cung cấp nhiệt. Đứng thứ hai là lĩnh vực công nghiệp với 27,5%, bao gồm các ngành sản xuất tiêu thụ năng lượng lớn như thép, xi măng, lọc - hóa dầu và hóa chất. Giao thông vận tải đóng góp 15,5%, chủ yếu từ việc đốt nhiên liệu trong vận tải đường bộ, hàng không và đường biển. Các lĩnh vực còn lại chiếm tỷ trọng nhỏ hơn: nông nghiệp và lâm nghiệp chiếm 2,7%, sử dụng cho khu vực dân cư đóng góp 2,0%, và nhóm khác chỉ chiếm 0,1%.



Hình 5. Các nguồn phát thải tại Việt Nam.

Tổng thể, có thể thấy phát thải tập trung chủ yếu ở các ngành tiêu thụ năng lượng lớn, đặc biệt là sản xuất điện và công nghiệp, qua đó nhấn mạnh ưu tiên cần thiết cho chuyển dịch năng lượng (sử dụng năng lượng tái tạo, nhiên liệu xanh/sạch), tăng hiệu quả sử dụng năng lượng và triển khai các giải pháp giảm phát thải sâu như CCUS.

3.2. Các dự án thu hồi CO_2 tại Việt Nam

Việt Nam được đánh giá có tiềm năng lớn về lưu trữ CO_2 , đặc biệt tại các mỏ dầu - khí cạn đã kiệt ngoài khơi, tập trung chủ yếu tại các bể Sông Hồng, Cửu Long và Nam Côn Sơn, với tổng khả năng lưu trữ ước tính lên tới khoảng 71 tỷ tấn CO_2 [18]. Đây là con số lớn, phản ánh tiềm năng đáng kể của Việt Nam trong việc phát triển các dự án CCUS quy mô lớn. Dưới đây là một số dự án CCS đã nghiên cứu và thực hiện:

Hệ thống thu hồi CO_2 tại các nhà máy đạm

Tại Nhà máy Đạm Phú Mỹ hệ thống thu hồi CO_2 được xây dựng nhằm tận dụng lượng CO_2 phát sinh từ khí thải của dây chuyền sản xuất ammonia. Hệ thống có công suất khoảng 240 tấn CO_2 /ngày với độ tinh khiết đến 99%, giúp bổ sung nguồn CO_2 cho quá trình tổng hợp urea và góp phần nâng công suất nhà máy thêm khoảng 60.000 tấn urea mỗi năm. Bên cạnh hiệu quả môi trường với mức giảm phát thải ước tính khoảng 40.000 tấn CO_2 /năm, hệ thống còn mang lại giá trị kinh tế đáng kể thông qua tối ưu hóa nguyên liệu và nâng cao hiệu suất vận hành. Tương tự, tại Nhà máy Đạm Cà Mau, hệ thống này thu hồi khoảng 100 tấn CO_2 /ngày đạt tiêu chuẩn thực phẩm, vừa phục vụ cho quy trình tổng hợp urea, vừa cung cấp cho các ngành công nghiệp khác như thực phẩm, đồ uống và y tế. Ước tính, giá trị kinh tế từ nguồn CO_2 thu hồi này đạt khoảng 3 - 4 triệu USD mỗi năm [19].

Dự án thử nghiệm tăng cường thu hồi dầu bằng CO_2 tại mỏ Rạng Đông

Năm 2011, Việt Nam trở thành quốc gia đầu tiên ở Đông Nam Á thực hiện thành công thử nghiệm bơm CO_2 phục vụ gia tăng hệ số thu hồi dầu (CO_2 -EOR) tại giếng N-02P, thuộc tầng chứa dầu Miocene dưới của mỏ Rạng Đông

(Lô 15-2, bể Cửu Long). Thử nghiệm “huff ‘n’ puff” được thực hiện từ ngày 19/5/2011 đến 6/6/2011 với sự hợp tác giữa Petrovietnam, Japan Oil, Gas and Metals National Corporation (JOGMEC) và Japan Vietnam Petroleum Company (JVPC). Kết quả cho thấy sản lượng khai thác tăng từ khoảng 950 thùng/ngày lên 1.500 thùng/ngày, chứng minh hiệu quả kỹ thuật khả quan của phương pháp CO₂-EOR trong điều kiện mỏ dầu ngoài khơi Việt Nam [20].

Dự án thu hồi và sản xuất khí CO₂ hóa lỏng từ lò hơi của DDG

Công ty CP Đầu tư Công nghiệp Xuất nhập khẩu Đồng Dương (DDG) triển khai dự án thu hồi và sản xuất CO₂ hóa lỏng từ khói lò hơi tại Khu công nghiệp Mỹ Xuân A (Bà Rịa - Vũng Tàu), phục vụ giảm phát thải cho Nhà máy Heineken Việt Nam. CO₂ thu hồi đạt chuẩn công nghiệp, được ứng dụng trong thực phẩm, phòng cháy chữa cháy, y học và công nghiệp. Dự án có công suất thiết kế 80 tấn CO₂ lỏng/ngày, mang lại doanh thu ước tính 45 tỷ đồng và lợi nhuận khoảng 10 tỷ đồng mỗi năm [21].

Ngoài các dự án tiêu biểu đã được công bố, các hoạt động phát triển công nghệ CCUS tại Việt Nam đang bước vào giai đoạn chuẩn bị và thí điểm, với định hướng chiến lược rõ ràng từ các doanh nghiệp lớn như Tổng công ty Thăm dò và Khai thác Dầu khí (PVEP) và Tập đoàn Công nghiệp - Năng lượng Quốc gia Việt Nam (Petrovietnam). PVEP đặt mục tiêu trở thành doanh nghiệp tiên phong trong lĩnh vực CCS/CCUS, với kế hoạch triển khai pilot dự án chôn lấp CO₂ tại Dự án PM3-CAA, Malaysia cùng với Nhà điều hành Hibiscus với mục tiêu thực hiện bơm ép CO₂ đầu tiên vào năm 2028 [22]. Song song, Petrovietnam

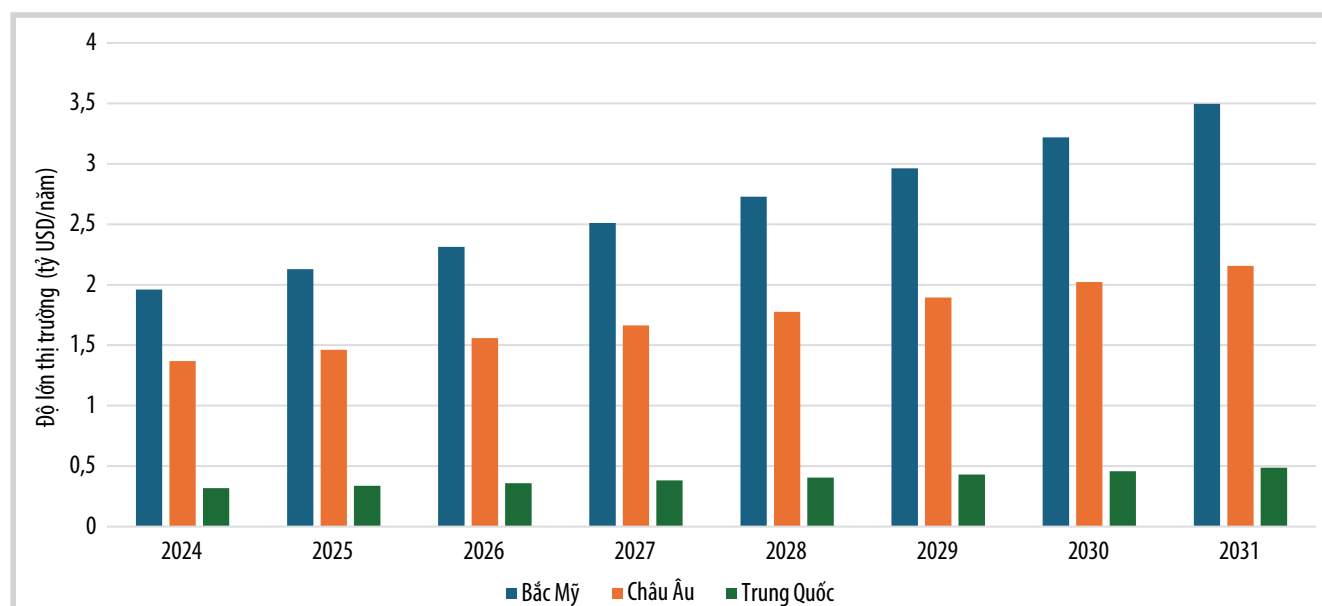
phối hợp với Black & Veatch đánh giá cơ hội triển khai công nghệ thu hồi CO₂ tại 3 nhà máy nhiệt điện than lớn ở Việt Nam, góp phần vào lộ trình giảm phát thải carbon cấp quốc gia [23]. Ở lĩnh vực giải pháp dựa vào thiên nhiên, Ecotree Việt Nam xúc tiến dự án tín chỉ carbon thông qua mô hình trồng rừng quy mô lớn, góp phần hấp thụ CO₂ và xây dựng nền tảng cho thị trường carbon nội địa [24]. Những bước đi này cho thấy tiềm năng phát triển mạnh mẽ của CCUS tại Việt Nam trong thập kỷ tới, với sự kết hợp giữa công nghệ hiện đại và giải pháp sinh thái.

4. Tiềm năng sử dụng CO₂ trên thế giới và Việt Nam

4.1. Thế giới

Hiện nay, 2 lĩnh vực sử dụng CO₂ lớn nhất trên thế giới là tăng cường thu hồi dầu (EOR) và sản xuất urea, chiếm phần lớn trong tổng số khoảng 250 triệu tấn CO₂ được sử dụng mỗi năm [25]. Ngoài ra, ngành công nghiệp thực phẩm và đồ uống cũng tiêu thụ đáng kể CO₂ thu hồi, chủ yếu sử dụng trong quá trình cacbonate hóa để sản xuất nước ngọt và các sản phẩm có gas [26].

Năm 2024, quy mô thị trường công nghệ CCU toàn cầu ước đạt 4,6 tỷ USD, phản ánh nhu cầu ngày càng tăng đối với các giải pháp tái sử dụng CO₂. Dự báo trong giai đoạn 2025 - 2031, thị trường này sẽ duy trì tốc độ tăng trưởng kép hàng năm (CAGR) khoảng 7,5%, cho thấy tiềm năng mở rộng mạnh mẽ của các sản phẩm và công nghệ CCU trong tương lai gần. Hình 6 minh họa quy mô thị trường (market size) ở các khu vực trọng điểm trên thế giới [27].



Hình 6. Dự báo thị trường CCU tại các khu vực lớn trên thế giới.

Bắc Mỹ

Tính đến nay, Bắc Mỹ có khoảng 10 dự án CCU đã và đang vận hành với quy mô lên đến hàng chục triệu USD, cho thấy sự chủ động và quy mô đầu tư lớn trong lĩnh vực này [28]. Bên cạnh đó, chính phủ Mỹ cũng triển khai nhiều cơ chế hỗ trợ mạnh mẽ, bao gồm các khoản vay có thể tài trợ lên đến 80% chi phí cho các dự án CCU. Hiện nay, Mỹ cũng là quốc gia dẫn đầu thế giới về quy mô triển khai CO₂-EOR, với sản lượng dầu tăng thêm đạt khoảng 245 nghìn thùng/ngày (năm 2022) từ 139 dự án bơm ép CO₂ [29].

Châu Âu

Sự tăng trưởng tại châu Âu được thúc đẩy bởi các quy định nghiêm ngặt về phát thải, cam kết phát triển bền vững từ doanh nghiệp và đổi mới công nghệ. Khu vực này đang tích cực tích hợp CCU với sản xuất hydrogen như một phần trong chiến lược chuyển đổi sang nền kinh tế hydrogen. Nhiều công ty châu Âu cũng đang đẩy mạnh ứng dụng CO₂ thu hồi trong sản xuất nhiên liệu tổng hợp, nhựa và vật liệu xây dựng [29].

Châu Á - Thái Bình Dương

Đà tăng trưởng này được thúc đẩy bởi quá trình công nghiệp hóa nhanh, sự hỗ trợ ngày càng lớn từ chính phủ cho công nghệ năng lượng sạch và mở rộng ứng dụng CO₂ trong nhiều ngành công nghiệp để tiếp cận phù hợp hơn với xu hướng chuyển dịch năng lượng.

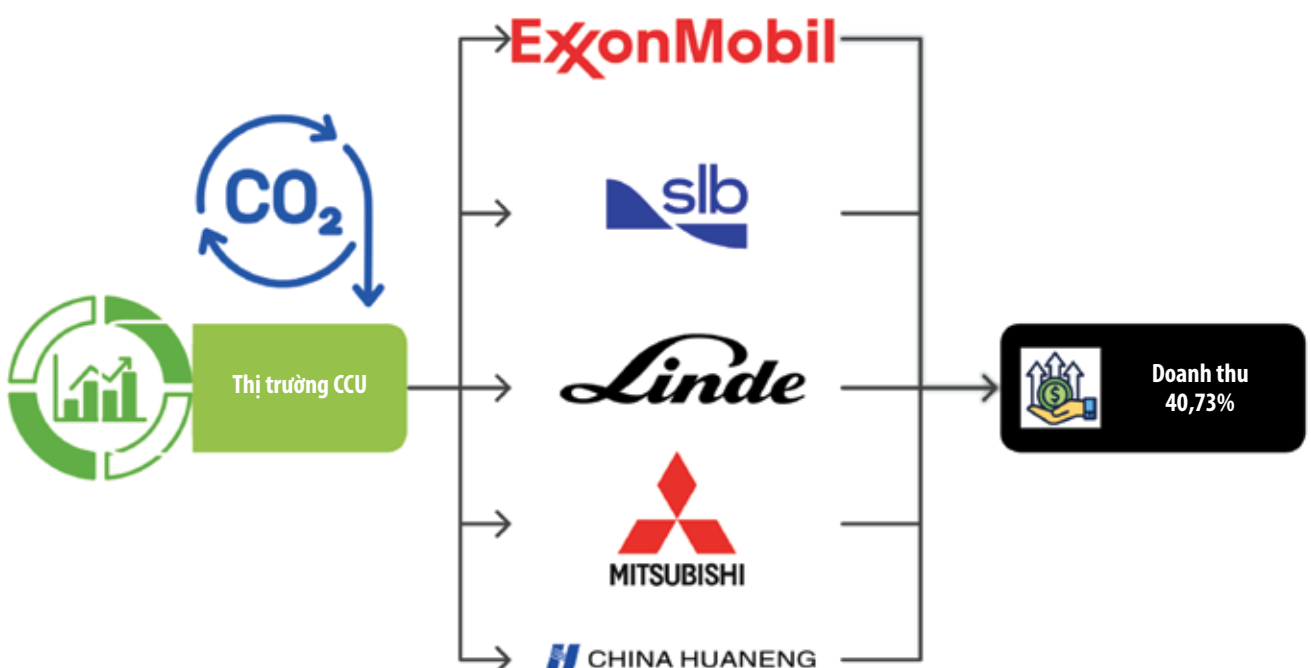
Các quốc gia như Trung Quốc, Ấn Độ đang tích cực triển khai công nghệ CCU như một giải pháp kép: vừa giảm dấu chân carbon, vừa duy trì tăng trưởng công nghiệp. Đáng chú ý, khu vực này đang chứng kiến sự gia tăng mạnh mẽ trong việc ứng dụng CO₂ để sản xuất polymer sinh học và vật liệu gốc carbon, tạo tiền đề cho phát triển bền vững trong khu vực. Về cơ cấu thành phần, thị trường CCU được chi phối bởi 5 tập đoàn lớn như Exxon Mobil, SLB, Linde, Mitsubishi và China Huaneng (Hình 7) [29].

4.2. Việt Nam

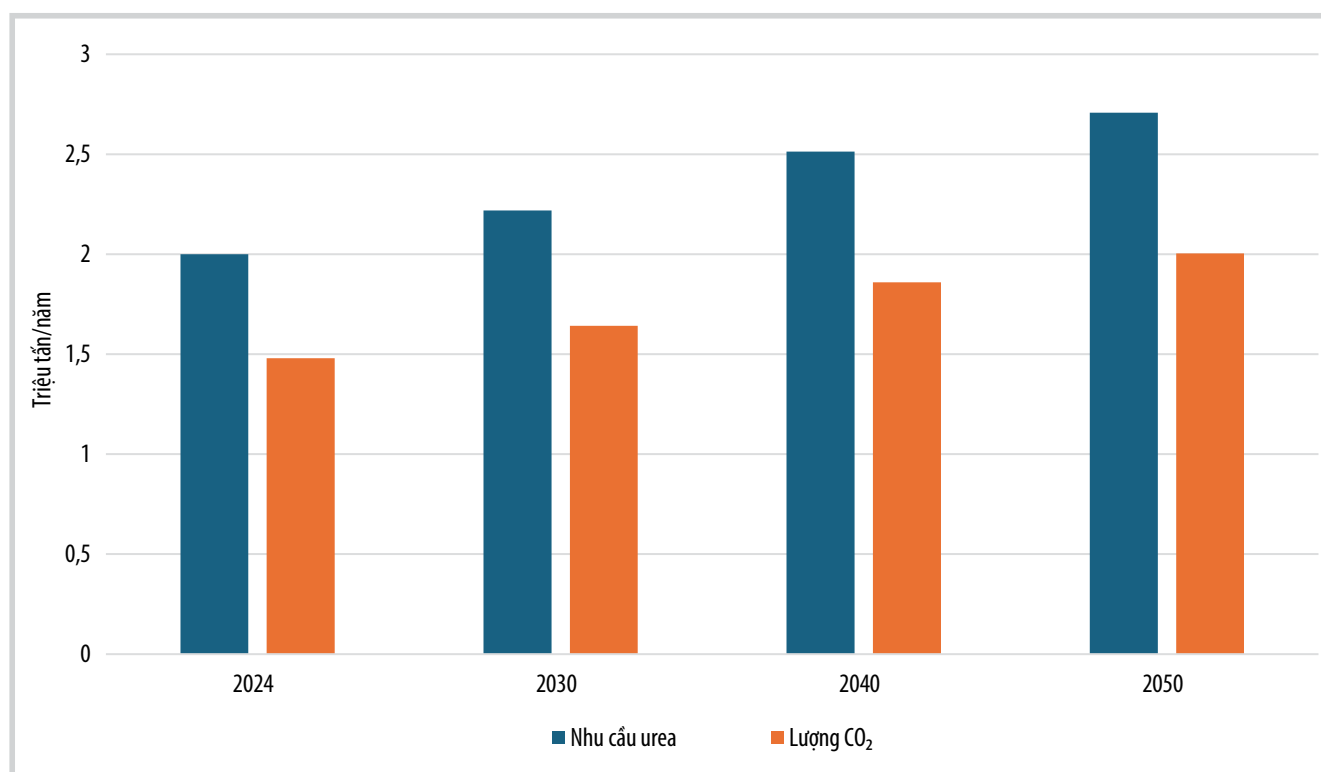
Việt Nam dự kiến sẽ triển khai chính thức thị trường carbon vào năm 2029, sau giai đoạn thí điểm từ 2025 đến 2028. Thị trường này sẽ cho phép giao dịch hạn ngạch phát thải khí nhà kính và tín chỉ carbon đã được chứng nhận, phù hợp với Điều 6.2 của Thỏa thuận Paris, qua đó mở rộng khả năng chuyển nhượng tín chỉ quốc tế và thu hút đầu tư nước ngoài [30].

Theo dự báo của Bộ Nông nghiệp và Môi trường, thị trường carbon có thể mang lại khoảng 300 triệu USD mỗi năm nhờ các dự án trong lĩnh vực lâm nghiệp - mở ra cơ hội lớn cho các dự án CCU có thể chứng minh hiệu quả giảm phát thải một cách rõ ràng và định lượng [31].

Tại Việt Nam, tiềm năng sử dụng CO₂ tập trung chủ yếu ở một số lĩnh vực công nghiệp trọng điểm như sản xuất phân bón, khai thác dầu khí và vật liệu xây dựng. Mỗi



Hình 7. Thị phần của 5 công ty lớn nhất trong lĩnh vực CCU hiện nay.



Hình 8. Dự báo nhu cầu urea tại Việt Nam đến 2050.

lĩnh vực này đều mở ra những cơ hội riêng biệt để thu hồi và tái sử dụng khí CO₂. Petrovietnam cùng các đơn vị thành viên đang tiên phong trong việc nghiên cứu và triển khai công nghệ CCU, thể hiện rõ cam kết ngày càng mạnh mẽ của Việt Nam đối với phát triển công nghiệp theo hướng phát thải thấp và bền vững [32].

Ứng dụng CO₂ trong ngành công nghiệp hóa dầu và phân bón tại Việt Nam

Hóa dầu và phân bón là lĩnh vực tiên phong trong ứng dụng công nghệ sử dụng CO₂ tại Việt Nam, với nhiều mô hình triển khai quy mô lớn và hiệu quả rõ rệt. Trong năm 2024, công suất sản xuất urea trong nước ước đạt khoảng 2,6 triệu tấn, chủ yếu đến từ 4 nhà máy sản xuất lớn gồm Nhà máy Đạm Cà Mau, Đạm Phú Mỹ, Đạm Ninh Bình và Đạm Hà Bắc, trong khi nhu cầu tiêu thụ trong nước khoảng 2 triệu tấn [33]. Theo dự báo, tốc độ tăng trưởng kép hàng năm (CAGR) của nhu cầu urea sẽ duy trì ở mức khiêm tốn, lần lượt đạt 1,5 - 2% giai đoạn 2025 - 2030, 1 - 1,5% từ 2030 - 2040 và 0,5 - 1% trong giai đoạn 2040 - 2050 [34]. Dự báo nhu cầu urea tại Việt Nam và lượng CO₂ cần thiết cho sản xuất urea được trình bày ở Hình 8.

Ứng dụng CO₂ trong thu hồi dầu tăng cường (CO₂-EOR)

Một ứng dụng tiềm năng khác của CO₂ tại Việt Nam là công nghệ tăng cường thu hồi dầu (EOR), thông qua bơm

ép CO₂ vào các mỏ để tăng hiệu suất khai thác và đồng thời lưu trữ CO₂ dưới lòng đất.

Dự án thí điểm EOR ngoài khơi là một trong những bước đi quan trọng hợp tác giữa Việt Nam và Nhật Bản, triển khai tại mỏ Rạng Đông [35]. Dự án gồm 2 giai đoạn: giai đoạn 1 (2007 - 2010) - nghiên cứu khả thi về tiềm năng EOR bằng CO₂; giai đoạn 2 (2011 - 2014) - triển khai thí điểm trên thực địa nhằm xác minh hiệu quả thu hồi dầu.

Các đối tác tham gia gồm JOGMEC và JX-NOEX (thuộc Tập đoàn JX Nippon). Các thí nghiệm trong phòng thí nghiệm cho thấy kết quả khả quan: phương pháp bơm ép CO₂ giúp tăng hệ số thu hồi gấp 2,2 lần so với bơm ép nước, khi CO₂ và dầu thô tạo thành pha đồng thể trong điều kiện vừa. Ngoài ra, trên thế giới đã triển khai nhiều dự án CO₂-EOR quy mô lớn, tiêu biểu là Weyburn-Midale (Canada), sử dụng CO₂ thu hồi từ Great Plains Synfuels và bơm qua đường ống 328 km vào các mỏ dầu từ đầu thập niên 2000 [36] và Al Reyadah/ADNOC CCUS (UAE), thu khoảng 800 nghìn tấn CO₂/năm từ Emirates Steel để bơm vào các mỏ dầu trên đất liền của ADNOC [37].

Tích hợp CO₂ trong sản xuất vật liệu xây dựng xanh

Ngành xây dựng tại Việt Nam đang mở ra một hướng đi tiềm năng cho việc sử dụng CO₂, đặc biệt thông qua phát triển và ứng dụng các loại vật liệu xây dựng thân

Bảng 1. Dự báo nhu cầu các sản phẩm từ CO₂ và tiềm năng sử dụng CO₂ tại Việt Nam năm 2030 và 2050

Sản phẩm	Nhu cầu sản phẩm từ CO ₂ (triệu tấn)		Tiềm năng sử dụng CO ₂ (triệu tấn)	
	2030	2050	2030	2050
Urea	2,22	2,71	1,64	2,00
Methanol	0,00	0,08	0,00	0,11
Ethanol	0,00	0,06	0,00	0,11
Gasoline	0,00	1,10	0,00	3,48
Diesel	0,00	1,78	0,00	5,60
Kerosene/Jet	0,00	0,58	0,00	1,66
SNG	0,00	1,64	0,00	4,42
Olefins	0,00	1,56	0,00	5,01
Polycarbonate	0,00	0,05	0,00	0,02
Polyurethane	0,00	0,06	0,00	0,02
PET nhựa	0,00	0,20	0,00	0,04
Xi măng	0,00	38,44	0,00	1,92
Bê tông	0,00	80,43	0,00	4,02
Tổng cộng	2,66	129,56	1,94	29,02

thiện với môi trường có khả năng hấp thụ hoặc tích hợp khí CO₂ được thu giữ.

Bê tông carbon là bơm CO₂ vào bê tông trong quá trình sản xuất, tạo thành calcium carbonate (CaCO₃), giúp lưu trữ 5 - 10 kg CO₂/m³ bê tông và tăng cường độ bền. Với sản lượng bê tông khoảng 120 triệu m³/năm [38], Việt Nam có thể giảm thêm 0,6 - 1,2 triệu tấn CO₂/năm. Nguồn tro xỉ dồi dào (15 triệu tấn/năm từ nhiệt điện than) cũng hỗ trợ sản xuất bê tông carbon, giảm phụ thuộc vào nguyên liệu mới.

Cơ hội phát triển chuỗi giá trị CCU/CCUS tại Việt Nam

Việt Nam đã xác định được nhiều khu vực tiềm năng để xây dựng và triển khai các chuỗi giá trị CCUS theo vùng địa lý:

- Miền Bắc: Có khả năng thu giữ CO₂ từ các ngành công nghiệp thép và nhiệt điện
- Bắc Trung Bộ: Có thể thu giữ khí CO₂ từ ngành thép, điện và các mỏ khí như Báo Vàng, Kèn Bầu, Cá Voi Xanh.
- Đông Nam Bộ: Tập trung nhiều cơ sở hóa dầu và nhà máy điện - là nguồn phát thải CO₂ lớn.
- Đồng bằng sông Cửu Long: Có thể thu giữ CO₂ từ các nhà máy điện và các mỏ khí Lô B, 48/95 và 52/97, với khả năng lưu trữ tại tầng nước mặn trong khu vực nội địa.

Tổng trữ lượng lưu trữ CO₂ tiềm năng tại Việt Nam được ước tính rất lớn, gồm khoảng 39 tỷ tấn tại bể Sông Hồng, 10 tỷ tấn tại bể Cửu Long và 22 tỷ tấn tại bể Nam Côn Sơn [39].

Lượng CO₂ thu giữ tại các địa điểm trên không chỉ được lưu trữ trong các mỏ dầu khí đã cạn kiệt mà còn có tiềm năng chuyển hóa thành các sản phẩm có giá trị cao. Quá trình này không chỉ mở ra cơ hội kinh tế mà còn góp phần giảm thiểu đáng kể lượng CO₂ phát thải ra môi trường.

Tiềm năng sử dụng CO₂ tại Việt Nam đến năm 2050

Mặc dù các sản phẩm được tổng hợp từ CO₂ có nhiều tiềm năng, nhưng tại Việt Nam hiện nay - ngoại trừ urea (sử dụng CO₂ thu hồi từ khí thiên nhiên) - các sản phẩm còn lại vẫn chưa được thương mại hóa và chưa mang lại hiệu quả kinh tế. Dự kiến đến trước năm 2030, các sản phẩm từ CO₂ cũng khó có thể triển khai, do công nghệ vẫn đang ở giai đoạn nghiên cứu ở quy mô pilot hoặc thí điểm. Vì vậy, tiềm năng sử dụng CO₂ cho các sản phẩm mới giai đoạn đến 2030 có thể được xem là gần như bằng “0”.

Để ước lượng tiềm năng phát triển và ứng dụng các sản phẩm này cho giai đoạn tiếp theo, nhóm tác giả đề xuất lộ trình triển khai thí điểm và áp dụng như sau: (i) Đến năm 2040: Khi công nghệ ngày càng hoàn thiện hơn, các quy định về bảo vệ môi trường trở nên nghiêm ngặt hơn và thị trường cho các sản phẩm từ CO₂ phát triển, tỷ lệ sản phẩm từ CO₂ dự kiến sẽ đạt khoảng 5% tổng nhu cầu; (ii) Đến năm 2050: Với sự hoàn thiện của công nghệ, cùng với việc áp dụng rộng rãi các chính sách như thuế carbon và các tiêu chuẩn môi trường, sản phẩm từ CO₂ có thể chiếm tới 10% tổng nhu cầu thị trường của sản phẩm.

Với lộ trình được đề xuất như vậy, nhu cầu sản phẩm có thể sản xuất từ CO₂ (CO₂-based products) đến 2030 và 2050 được trình bày ở Bảng 2. Song song với đó là nhu cầu của khí CO₂ cho các ứng dụng tương ứng. Cụ thể, đến 2050, nhu cầu sản phẩm thu được từ CO₂ lớn nhất là ngành xi măng, bê tông với 38 và 80 triệu tấn sản phẩm trên năm, tiếp theo là nhóm nhiên liệu mới/nhiên liệu tái tạo như SNG, dầu, xăng và các loại olefins (từ 1 - 2 triệu tấn/năm). Trên cơ sở đó, tiềm năng sử dụng CO₂ cũng được ước tính dựa trên cân bằng vật chất của từng quy trình sản xuất. Cụ thể, nhu cầu CO₂ cho sản xuất nhiên liệu tái tạo là cao nhất ước đạt khoảng 2 - 6 triệu tấn CO₂/năm, trong khi xi măng và bê tông cần khoảng 2 - 4 triệu tấn/năm. Về tổng thể, tổng ước lượng tiềm năng sử dụng CO₂ đến năm 2050 được tính khoảng 29 triệu tấn/năm.

5. Kết luận và kiến nghị

Xu hướng phát triển công nghệ thu giữ và sử dụng CO₂ (CCU) đang ngày càng được quan tâm như một giải pháp kép: giảm phát thải khí nhà kính và tạo ra giá trị kinh tế mới. Nhiều quốc gia phát triển đã và đang đầu tư mạnh mẽ vào CCU, xem đây là một phần không thể thiếu trong chiến lược trung hòa carbon. Các công nghệ chuyển hóa CO₂ thành sản phẩm có giá trị như methanol, nhựa sinh học, protein, hoặc sử dụng trong sản xuất bê tông xanh, đang từng bước thương mại hóa và mở ra các thị trường mới. Thị trường CCU toàn cầu năm 2024 được ước tính đạt 4,6 tỷ USD và dự kiến sẽ tăng trưởng với tốc độ 7,5% mỗi năm trong giai đoạn 2025 - 2031. Các khu vực như Bắc Mỹ, châu Âu và châu Á - Thái Bình Dương đang dẫn đầu về quy mô đầu tư và tốc độ phát triển, trong đó châu Á nổi lên như một trung tâm tăng trưởng mới nhờ sự hỗ trợ chính sách và quá trình công nghiệp hóa nhanh.

Việt Nam đang đối mặt với nhiều thách thức trong quá trình chuyển dịch sang nền kinh tế phát thải thấp, trong đó phát thải CO₂ từ các ngành công nghiệp trọng điểm là vấn đề cấp bách. Tuy nhiên, CO₂ không chỉ là một chất thải gây ô nhiễm mà còn có thể trở thành nguồn nguyên liệu giá trị nếu được khai thác hợp lý. Việc sử dụng CO₂ trong các lĩnh vực như sản xuất vật liệu xây dựng, nhiên liệu tổng hợp, vật liệu, hóa chất và nông nghiệp công nghệ cao đang mở ra những cơ hội mới, góp phần thúc đẩy phát triển kinh tế tuần hoàn và bền vững. Một số đề xuất tiếp theo cần xem xét ở Việt Nam:

- Phát triển cụm công nghiệp sử dụng CO₂ tập trung;
- Đánh giá khả năng thu giữ CO₂ tại các nhà máy phát thải lớn, sử dụng cho mục đích tăng cường thu hồi dầu (CO₂-EOR);

- Ưu đãi đầu tư cho công nghệ sử dụng CO₂;
- Thí điểm mô hình kinh tế tuần hoàn CO₂ trong ngành phân bón, nhiên liệu, vật liệu và hóa chất, vật liệu xây dựng;
- Gắn sử dụng CO₂ với thị trường carbon nội địa;
- Xây dựng chiến lược quốc gia về sử dụng CO₂ tái chế.

Tài liệu tham khảo

- [1] Pierre Friedlingstein, "Global carbon project: Briefing on key messages Global carbon budget 2025", 2025. [Online]. Available: <https://globalcarbonbudget.org/>.
- [2] International Energy Agency, "Global energy review 2025: CO₂ emissions", 2025. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2025/co2-emissions>.
- [3] Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), "GHG emissions of all world countries", 2024. [Online]. Available: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2024.
- [4] Our World in Data, "Vietnam: CO₂ country profile", 2025. [Online] Available: <https://ourworldindata.org/co2/country/vietnam>.
- [5] IEA, "About CCUS", 2021. [Online] Available: <https://www.iea.org/reports/about-ccus>.
- [6] OGCI, "Carbon capture and utilization as a decarbonization lever", 2024. [Online]. Available: <https://www.ogci.com/wp-content/uploads/2024/05/CCU-Report-vf.pdf>.
- [7] Ian Hayton, "Decarbonizing the chemical industry: The role of CO₂ electrolysis", 2024. [Online]. Available: <https://www.cleantech.com/decarbonizing-the-chemical-industry-the-role-of-co2-electrolysis/>.
- [8] Christine Hussong, Jens Langanke, and Walter Leitner, "Electrochemical CO₂ reduction - From fundamental electrocatalysis toward integrated reaction engineering", *Chemie Ingenieur Technik*, Volume 92, Issue 10, pp. 1482 - 1488, 2020. DOI: 10.1002/cite.202000031.
- [9] Pauline Ruiz, Pia Skoczinski, Achim Raschka, Nicolas Hark, and Michael Carus, "Carbon dioxide (CO₂) as feedstock for chemicals, advanced fuels, polymers, proteins and minerals", *Renewable Carbon Publications*, 2023. DOI: 10.52548/HKBS8158.

- [10] Fatima Maria Ahmad, "CO₂ utilization: A look ahead", 2017. [Online]. Available: <https://www.c2es.org/document/co2-utilization-a-look-ahead/>.
- [11] Mengpin Ge, Johannes Friedrich and Leandro Vigna, "Where do emissions come from? 4 charts explain greenhouse gas emissions by countries and sectors", 2020. [Online]. Available: <https://www.wri.org/insights/4-charts-explain-greenhouse-gas-emissions-countries-and-sectors>.
- [12] Carbonfuture, "Carbonated building materials", 2024. [Online]. Available: <https://www.carbonfuture.earth/cdr-insight-technologies/carbonated-building-materials>.
- [13] David L. Chandler, "Engineers develop an efficient process to make fuel from carbon dioxide", 2023. [Online]. Available: <https://news.mit.edu/2023/engineers-develop-efficient-fuel-process-carbon-dioxide-1030>.
- [14] Petya Trendafilova, "Scientists can now reuse CO₂ to make meat", 2023. [Online]. Available: <https://carbonherald.com/scientists-can-now-reuse-co2-to-make-meat/>.
- [15] Air Protein. [Online]. Available: <https://www.airprotein.com/air-protein>.
- [16] Food & Beyond, "The future of food: CO₂ as a key ingredient in protein production", 2024. [Online]. Available: <https://foodandbeyond.eu/food-for-thought/the-future-of-food-co2-as-a-key-ingredient-in-protein-production/>.
- [17] International Energy Agency (IEA), "How much CO₂ does Viet Nam emit?", 2024. [Online]. Available: <https://www.iea.org/countries/viet-nam/emissions>.
- [18] Asean Centre For Energy, "ASEAN CCS deployment framework and roadmap", 2024. [Online]. Available: <https://aseanenergy.org/wp-content/uploads/2024/09/ASEAN-CCS-Deployment-Framework-and-Roadmap.pdf>.
- [19] Vietcap, "*Phân bón Cà Mau và hành trình bền bỉ hướng đến mục tiêu trung hòa carbon*", 2024.
- [20] Yoshiaki Ueda, Tadao Uchiyama, Yohei Kawahara, Atushi Hatakeyama, Yusuke Fujita, Le Ngoc Son, Hiroshi Okabe, Yusaku Konishi, Sunao Takagi, Aiko Nishizaki, and Hiroshi Mitsuishi, "CO₂-EOR huff'n'puff pilot test in Rang Dong oilfield, offshore Vietnam", *Journal of the Japanese Association for Petroleum Technology*, Volume 78, Issue 2, pp.188 - 196, 2013. DOI: 10.3720/japt.78.188.
- [21] DDG, "*DDG được cấp giấy Chứng nhận đầu tư dự án thu hồi và sản xuất khí CO₂*", 2023.
- [22] PVEP, "*PVEP với lộ trình thu hồi và lưu trữ CO₂*", 2024.
- [23] Black & Veatch, "Black & Veatch to identify carbon capture opportunities in Vietnam", 2024. [Online]. Available: <https://www.bv.com/news/black-and-veatch-to-identify-carbon-capture-opportunities-in-vietnam>
- [24] Ecotree, "*Thành phố Hồ Chí Minh: Công bố dự án Giảm thiểu carbon dioxide CO₂*", 2024.
- [25] Oil and Gas Climate Initiative (OGCI), "Carbon capture and utilization as a decarbonization lever", 2024. [Online]. Available: <https://www.ogci.com/wp-content/uploads/2024/05/CCU-Report-vf.pdf>.
- [26] Precedence Research, "Carbon dioxide utilization market size, share, and trends 2025 to 2034", 2024. [Online]. Available: <https://www.precedenceresearch.com/carbon-dioxide-utilization-market>.
- [27] OpenPR, "Carbon capture and utilisation (CCU) research: Rate CAGR of 7.47% during the forecast period", 2025. [Online]. Available: <https://www.openpr.com/news/3948052/carbon-capture-and-utilisation-ccu-research-rate-cagr>.
- [28] CO₂ Value Europe, "CCU projects", 2024. [Online]. Available: <https://database.co2value.eu/>.
- [29] Advanced Resources International, "An update of enhanced oil production totals and CO₂ supplies for active CO₂-EOR projects in the U.S. as of end-of-year 2022". [Online]. Available: <https://adv-res.com/pdf/2022-CO2-EOR-Survey-Brochure-FINAL-FEB-26-2024.pdf>.
- [30] Theodora Stankova, "Vietnam approves carbon market development plan", 2024. [Online]. Available: <https://carbonherald.com/vietnam-approves-carbon-market-development-plan/>.
- [31] Reccessary, "*Vietnam carbon market's opportunities and challenges*", 2024.
- [32] PVN, "*Petrovietnam chủ động triển khai xây dựng chiến lược lưu trữ carbon*", 2023.
- [33] Kirin Capital, "Báo cáo thị trường phân bón Việt Nam 2024". [Online]. Available: <https://kirincapital.vn/wp-content/uploads/2024/11/BAO-CAO-NGANH-PHAN-BON-2024.pdf>.
- [34] News Central Asia, "Urea report", 2025. [Online]. Available: <https://www.newscentralasia.net/2025/03/24/urea-report/>.

[35] Yohei Kawahara, and Atsushi Hatakeyama, "Offshore CO₂-EOR pilot project in Vietnam", 2016. [Online]. Available: <https://fossil.energy.gov/archives/csIf/sites/default/files/documents/tokyo2016/Kawahara-VietnamEORProject-Workshop-Session1-Tokyo1016.pdf>.

[36] Scottish Carbon Capture & Storage (SCCS), University of Edinburgh, "Weyburn-Midale CO₂ project details", 2013. [Online]. Available: <https://www.geos.ed.ac.uk/sccs/project-info/864>.

[37] Zawya, "MENA's first carbon capture utilisation & storage (CCUS) project now on stream", 2016.

[38] Statista, "Annual cement production volume in Vietnam from 2014 to 2023", 2025. [Online] Available: <https://www.statista.com/statistics/1036114/vietnam-annual-cement-production-volume/>.

[39] VPI, "Potentials for development of CCUS & hydrogen value chains in Vietnam", 2024. [Online]. Available: <https://www.jccp.or.jp/international/conference>.

THE POTENTIAL OF CO₂ UTILIZATION IN VIETNAM: A NEW PATHWAY FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND CIRCULAR ECONOMY

Huynh Minh Thuan, Phan Minh Tuan, Nguyen Long Vu

Vietnam Petroleum Institute (VPI)

Email: thuanhm.pvpro@vpi.pvn.vn

Summary

In the context of Vietnam's commitment to achieving net-zero emissions by 2050, the utilization of CO₂ is becoming an important direction in the strategy for sustainable development and circular economy. Instead of treating CO₂ solely as a waste, many sectors in Vietnam, including fertilizer production, chemicals, construction materials, and oil recovery, are gradually converting CO₂ into valuable raw materials. This article focuses on analyzing the global potential of CO₂ applications and their relevance for Vietnam, from the perspectives of market scale, technology and value chains. It also proposes solutions to promote the development of CCU (carbon capture and utilization) technologies, positioning industrial CO₂ as a new resource to support the green transition and long-term emission reduction.

Key words: Carbon capture and utilization (CCU), net-zero, green development trends.