

CƠ CHẾ TÀI CHÍNH THÚC ĐẨY TRIỂN KHAI DỰ ÁN THU GIỮ VÀ LƯU TRỮ CARBON QUY MÔ LỚN

Nguyễn Trung Khương¹, Nguyễn Anh Đức²

¹Trường Đại học Điện lực, Thành phố Hà Nội, 11307, Việt Nam

²Tập đoàn Công nghiệp - Năng lượng Quốc gia Việt Nam (PETROVIETNAM), Thành phố Hà Nội, 11110, Việt Nam

TỪ KHÓA

Thu hồi và lưu trữ carbon (CCS), cơ chế tài chính, trợ cấp vốn, tín dụng thuế, hợp đồng chênh lệch carbon (CCfD), hubs & clusters, Điều 6 Thỏa thuận Paris.

TÓM TẮT

Công nghệ thu hồi và lưu trữ carbon (CCS) đóng vai trò quan trọng để đạt được mục tiêu phát thải ròng bằng "0" vào năm 2050, đặc biệt đối với các ngành công nghiệp khó giảm phát thải. Tuy nhiên, chi phí đầu tư ban đầu và chi phí vận hành cao đang là rào cản đối với việc triển khai dự án CCS ở quy mô lớn. Từ kinh nghiệm của Mỹ, Liên minh châu Âu, Na Uy và khu vực ASEAN... nghiên cứu phân tích các cơ chế tài chính và khung chính sách hỗ trợ CCS, cho thấy tính khả thi kinh tế phụ thuộc vào mô hình "xếp chồng doanh thu" kết hợp các nguồn hỗ trợ vốn, tín dụng thuế và các công cụ giảm rủi ro thị trường như hợp đồng chênh lệch carbon. Đồng thời, việc phát triển mô hình cụm hạ tầng và mạng lưới dùng chung và tích hợp vào thị trường carbon quốc tế theo Điều 6 Thỏa thuận Paris là xu hướng tất yếu để tối ưu chi phí và huy động vốn. Kết quả nghiên cứu cung cấp bài học tham khảo về xây dựng chuỗi giá trị CCS bền vững dựa trên sự kết hợp giữa chính sách hỗ trợ của Chính phủ và các cơ chế thị trường.

1. Giới thiệu

Công nghệ thu hồi và lưu trữ carbon (CCS) được xem là một trong những giải pháp quan trọng để đạt được mục tiêu phát thải ròng bằng "0" vào giữa thế kỷ XXI, đặc biệt trong các ngành công nghiệp khó giảm phát thải như sản xuất xi măng, thép, hóa chất và lọc dầu. Theo Kịch bản Phát triển Bền vững của Cơ quan Năng lượng Quốc tế (IEA - International Energy Agency), CCS đóng góp khoảng 15% tổng lượng giảm phát thải toàn cầu [1]. Mặc dù số lượng dự án CCS toàn cầu đang tăng nhanh, Báo cáo Global CCS Institute cho thấy quy mô triển khai CCS toàn cầu cần tăng hơn 100 lần vào năm 2050 để đáp ứng các mục tiêu khí hậu [2].

Thách thức lớn nhất cản trở việc triển khai dự án CCS quy mô lớn là tính khả thi kinh tế của mô hình kinh doanh [3 - 5]. Các dự án CCS thường đòi hỏi chi phí đầu tư ban đầu (capital expenditure, CAPEX) và chi phí vận hành (operating expenditure, OPEX) lớn, trong khi hoạt động lưu trữ CO₂ đơn thuần không tạo ra doanh

thu trực tiếp mà phụ thuộc vào cơ chế định giá phát thải, hỗ trợ tài chính từ chính phủ, việc bán tín chỉ trên thị trường carbon tự nguyện, hoặc nguồn thu từ phí dịch vụ lưu trữ CO₂. Ngoài ra, các nhà đầu tư còn quan ngại về rủi ro liên chuỗi, do sự phụ thuộc lẫn nhau trong chuỗi giá trị CCS, khi sự cố ở một khâu đơn lẻ (thu hồi, vận chuyển hoặc lưu trữ) có thể làm dừng hoạt động của toàn bộ hệ thống. Vì vậy, nếu không có các chính sách và cơ chế tài chính rõ ràng để giảm bớt rủi ro, các doanh nghiệp sẽ gặp khó khăn trong việc đưa ra quyết định đầu tư [4].

Để giải quyết những rào cản này, các quốc gia đi đầu đang áp dụng đa dạng các công cụ tài chính và chính sách [2, 5]. Các cơ chế định giá carbon như thuế carbon và hệ thống giao dịch phát thải (emission trading system, ETS) đóng vai trò tạo động lực kinh tế căn bản [6]. Tại Mỹ, tín dụng thuế 45Q đã được tăng cường thông qua Đạo luật giảm lạm phát (inflation reduction act, IRA), cung cấp mức ưu đãi lên đến 85 USD/tấn CO₂ lưu trữ địa chất [7]. Tại châu Âu, các công cụ mới như hợp đồng chênh lệch carbon (carbon

Tác giả liên hệ: Email: khuongngtrung@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/2/2026; Ngày sửa chữa sau phản biện: 10 - 23/2/2026; Ngày duyệt đăng: 23/2/2026

Copyright © 2026. Đây là bài báo truy cập mở theo Giấy phép CC BY-NC-ND

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



contract for difference, CCfD) đang được triển khai để đảm bảo mức giá carbon cố định, giúp bù đắp khoảng cách chi phí và rủi ro biến động thị trường cho nhà đầu tư [6, 8].

Việc tham gia vào thị trường carbon toàn cầu, đặc biệt là thông qua Điều 6 của Thỏa thuận Paris, được kỳ vọng sẽ tạo điều kiện huy động dòng vốn quốc tế cho dự án CCS [3, 9]. Các cơ chế như kết quả giảm thiểu được chuyển giao quốc tế (internationally transferred mitigation outcome, ITMO) và các đơn vị lưu trữ carbon (carbon storage unit, CSU) đang được thảo luận để xây dựng một khung pháp lý minh bạch cho việc chuyển nhượng tín chỉ carbon xuyên biên giới [3, 9, 10]. Tại khu vực Đông Nam Á, việc tham gia vào thị trường carbon toàn cầu không chỉ giúp tiếp cận các nguồn tài chính khí hậu mà còn nâng cao năng lực cạnh tranh trong bối cảnh các rào cản kỹ thuật về carbon như cơ chế điều chỉnh biên giới carbon (carbon border adjustment mechanism, CBAM) của EU đang hình thành [7].

Bài báo này tập trung phân tích các công cụ tài chính nhằm thúc đẩy triển khai các dự án CCS quy mô lớn trên cơ sở kinh nghiệm từ các quốc gia tiên phong như Mỹ, Canada, Na Uy và Australia... Thông qua việc đánh giá các công cụ thị trường, nghiên cứu hướng tới việc xác định các điều kiện cần thiết để hình thành một hệ sinh thái CCS phát triển bền vững.

2. Cấu trúc chi phí và rủi ro tài chính của dự án CCS

Công nghệ CCS được xem là một công cụ quan trọng để đáp ứng các mục tiêu khí hậu toàn cầu và tham vọng phát thải ròng bằng "0". Tuy nhiên, việc triển khai CCS ở quy mô đủ lớn là một thách thức, đặc biệt từ góc độ tài chính [3, 6]. Không giống như các công nghệ năng lượng tái tạo tạo ra doanh thu thông qua việc bán sản phẩm như điện xanh, CCS chủ yếu cung cấp giải pháp để giảm thiểu biến đổi khí hậu. Do đó, hiệu quả đầu tư vào CCS cần được chứng minh thông qua giá trị tạo ra từ việc khử carbon. Mục tiêu này đòi hỏi phải huy động nguồn vốn lớn từ khu vực doanh nghiệp, đồng thời cần chính sách và các cơ chế tài chính hỗ trợ mạnh mẽ từ Chính phủ [1, 11].

2.1. Cấu trúc chi phí dự án CCS

CCS là một công nghệ giảm phát thải có chi phí cao, trong đó chi phí CAPEX và OPEX là các cấu phần chính. CAPEX có thể lên tới hàng tỷ USD đối với các dự án quy mô lớn, trong khi OPEX chủ yếu bao gồm chi phí vận hành, bảo trì và đặc biệt năng lượng cho quá trình thu hồi carbon [5, 12]. Cơ cấu chi phí dự án CCS thay đổi đáng kể tùy thuộc vào đặc điểm của dự án và các thành phần trong chuỗi giá trị [13].

- Chi phí thu hồi là phần chiếm tỷ trọng lớn trong tổng chi phí của dự án CCS. Chi phí này phụ thuộc vào nồng độ CO₂, áp suất riêng phần, công nghệ áp dụng, tỷ lệ thu hồi, chi phí năng lượng, vị trí nhà máy và quá trình tiền xử lý cần thiết. Chi phí thu hồi đối với các dòng CO₂ có nồng độ cao (dưới 30 USD/tấn CO₂), trong khi các dòng CO₂ có nồng độ thấp (như nhà máy điện) dao động từ 50 - 100 USD/tấn CO₂ [12]. Lợi thế kinh tế theo quy mô giúp giảm đáng kể chi phí thu hồi trên mỗi tấn CO₂ khi công suất dự án được mở rộng.

- Chi phí vận chuyển phụ thuộc vào khoảng cách, phương thức vận chuyển (đường ống, tàu, xe tải, sà lan), công suất vận hành và thông số kỹ thuật dòng CO₂ (áp suất, nhiệt độ) [13]. Cơ sở hạ tầng có quy mô phù hợp và lựa chọn phương pháp vận chuyển tối ưu có ý nghĩa quan trọng trong việc giảm chi phí.

- Chi phí lưu trữ bao gồm các chi phí liên quan đến việc khảo sát, đánh giá và lựa chọn địa điểm lưu trữ, cấp phép, hoạt động bơm ép CO₂ và giám sát sau khi bơm ép. Xác định các địa điểm lưu trữ có thể đòi hỏi chi phí đáng kể trước khi đạt được quyết định đầu tư cuối cùng [7].

Nhìn chung, công nghệ CCS có thể làm tăng đáng kể chi phí của các cơ sở nhà máy công nghiệp, thông thường dao động từ 30 - 45% đối với ngành sắt thép đến 110 - 125% đối với ngành xi măng và 40 - 110% đối với ngành sản xuất điện tùy thuộc vào loại nhiên liệu [5]. Trợ cấp tài chính có thể tác động đến chi phí vốn cho các dự án CCS lớn, đòi hỏi vốn đầu tư cao này. Hiệu ứng học tập (learning curve), tối ưu quy trình và mở rộng quy mô triển khai ước tính giảm 10 - 25% chi phí cho mỗi lần tăng gấp đôi công suất. Việc chia sẻ hạ tầng vận chuyển và lưu trữ thông qua mô hình cụm và mạng lưới dùng chung (hubs & clusters) có thể giúp giảm tới 45% chi phí vận chuyển so với các dự án tích hợp dọc độc lập [4].

2.2. Rủi ro tài chính

Đầu tư vào các dự án CCS tiềm ẩn nhiều rủi ro cần phải được giải quyết để dự án trở nên khả thi về mặt đầu tư, cụ thể như sau:

- Rủi ro thương mại và tài chính: Nguồn doanh thu không đủ và thiếu ổn định là rào cản cốt lõi của các dự án CCS [14]. Tính khả thi tài chính phụ thuộc lớn vào trợ cấp chính phủ và mức định giá CO₂ đủ cao [1], trong khi biến động thị trường về giá carbon, giá năng lượng và nhu cầu lưu trữ [4]. Bên cạnh áp lực chi phí CAPEX cao và đòn bẩy nợ lớn, doanh thu khó dự đoán và chi phí OPEX ảnh hưởng đến lợi nhuận kỳ vọng của nhà đầu tư. Ngoài ra, tình trạng gia tăng chi phí nguyên vật liệu và lãi suất cao trong những năm gần đây đã làm tăng chi phí vốn đầu tư và làm giảm giá trị của các ưu đãi thuế cố định như cơ chế 45Q tại Mỹ [13, 15].

- Rủi ro kỹ thuật và tích hợp: Mặc dù các công nghệ thành phần đã đạt mức độ trưởng thành, việc kết nối vận hành đồng bộ toàn chuỗi CCS vẫn gặp nhiều thách thức. Những sự cố vận hành tại mỗi khâu có thể ảnh hưởng đến toàn bộ chuỗi CCS. Ngoài ra, rủi ro rò rỉ CO₂ từ bể chứa địa chất vẫn hiện hữu, mặc dù rủi ro này được đánh giá ngày càng giảm.

- Rủi ro pháp lý và quy định: Khung pháp lý thiếu đồng bộ, cơ chế khuyến khích không ổn định và quy trình cấp phép kéo dài đang cản trở tiến độ triển khai CCS. Trách nhiệm pháp lý về lưu trữ dài hạn và quản lý địa điểm lưu trữ là những rủi ro đòi hỏi các điều khoản quy định pháp lý cụ thể [16]. Sự không rõ ràng trong khung pháp lý xung quanh quyền sở hữu CO₂ cũng là một rào cản [17].

- Rủi ro về nhận thức của cộng đồng: Mức độ chấp thuận của cộng đồng đối với CCS bị hạn chế bởi những hoài nghi về chi phí, độ an toàn kỹ thuật, tính bền vững của việc lưu trữ dài hạn, cùng lo ngại công nghệ này kéo dài sự phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch [3]. Thách thức này được nhìn nhận rõ nét hơn khi xem xét mối liên hệ lịch sử giữa CCS với tăng cường thu hồi dầu (enhanced oil recovery, EOR).

3. Các công cụ tài chính hỗ trợ đầu tư dự án CCS

Dự án CCS mang đặc trưng của hàng hóa công cộng tạo ra giá trị cho xã hội lớn hơn giá trị mà nhà đầu tư có thể thu hồi trực tiếp nên các khung chính sách tài chính đóng vai trò quan trọng trong việc điều chỉnh động lực đầu tư của doanh nghiệp phù hợp với mục tiêu khí hậu chung [4]. Các công cụ này hiện được chia thành nhiều nhóm khác nhau nhằm giải quyết các rào cản về chi phí CAPEX, OPEX và rủi ro thị trường [5].

3.1. Hỗ trợ tài chính trực tiếp và ưu đãi thuế

Đây là nhóm công cụ phổ biến nhất nhằm giảm bớt gánh nặng tài chính ban đầu cho các dự án thử nghiệm đầu tiên [5], cụ thể gồm:

- Trợ cấp vốn (capital grant) là hình thức phổ biến nhất để giảm bớt gánh nặng chi phí vốn đầu tư cực lớn. Tiêu biểu như dự án Quest (Canada) đã nhận được khoản trợ cấp khổng lồ lên tới 865 triệu CAD từ Chính phủ liên bang và bang Alberta; Dự án Petra Nova (Mỹ) cũng nhận được 167 triệu USD từ Bộ Năng lượng Mỹ (DOE); Dự án Northern Lights (Na Uy) nhận được 131 triệu EUR từ Quỹ kết nối châu Âu (CEF - Connecting Europe Facility) để phát triển hạ tầng vận chuyển và lưu trữ chung.

- Ưu đãi thuế (tax incentives): Ưu đãi thuế là công cụ tài chính quan trọng giúp thu hẹp khoảng cách chi phí khi mức định giá carbon chưa đủ hấp dẫn [1, 5], đồng thời nâng cao hiệu

quả đầu tư CCS khi kết hợp cùng các gói trợ cấp và tín dụng ưu đãi [5, 7]. Cơ chế này cho phép các công ty khấu trừ nghĩa vụ thuế trực tiếp các khoản chi phí hợp lệ hoặc cung cấp tín dụng cho mỗi tấn CO₂ được lưu trữ. Tiêu biểu, chính sách 45Q của Mỹ, được tăng cường bởi Đạo luật giảm lạm phát đã tăng tín dụng mỗi tấn CO₂ cao hơn, đồng thời bổ sung thanh toán trực tiếp và quyền chuyển nhượng [14, 18]. Tương tự, Canada đã sử dụng tín dụng thuế đầu tư (investment tax credit, ITC) với mức hoàn lại đạt 60% cho thiết bị thu hồi CO₂ trực tiếp từ không khí (direct air capture, DAC) và 50% cho các thiết bị thu hồi CO₂ khác, áp dụng từ năm 2022. Malaysia áp dụng mức trợ cấp thuế đầu tư (investment tax allowance, ITA) 100% trong 10 năm và miễn hoàn toàn thuế nhập khẩu, thuế bán hàng đối với các thiết bị CCS đến hết năm 2027 [7].

- Vốn vay ưu đãi: Vốn vay ưu đãi giúp các dự án CCS tiếp cận nguồn vốn chi phí thấp hơn thị trường, đóng vai trò giảm thiểu rủi ro cho các dự án vốn bị các ngân hàng thương mại hạn chế cho vay [4, 5]. Các tổ chức như Ngân hàng Thế giới (World Bank) và Ngân hàng Phát triển châu Á (ADB) cung cấp nhiều khoản vay lãi suất thấp để hỗ trợ các nước đang phát triển nâng cao năng lực thể chế và triển khai các dự án CCS thí điểm [4].

- Bảo lãnh Chính phủ là công cụ để giảm rủi ro tài chính, giúp nâng cao tính khả thi vay vốn cho các dự án CCS [1]. Bảo lãnh Chính phủ thường gồm bảo lãnh tín dụng [14], bảo lãnh bao tiêu [5] và bảo lãnh trách nhiệm dài hạn [4, 7].

3.2. Cơ chế thị trường carbon và tín chỉ carbon

Thị trường carbon tạo ra tín hiệu giá giúp chuyển đổi hoạt động giảm phát thải CO₂ thành doanh thu thực tế [1, 5].

3.2.1. Cơ chế thị trường carbon

Định giá carbon là một công cụ chính sách quan trọng để khuyến khích giảm phát thải bằng cách tính chi phí lượng khí thải CO₂ [4, 6]. Đối với công nghệ CCS, cơ chế này thiết lập tín hiệu giá cần thiết để thương mại hóa hoạt động lưu trữ CO₂, giúp bù đắp chi phí CAPEX và OPEX. Hai hình thức định giá carbon trực tiếp là thuế carbon và hệ thống giao dịch phát thải (ETS) [4, 5].

- Thuế carbon là cơ chế Chính phủ thiết lập một mức giá cố định trên mỗi tấn CO₂ tương đương (tCO₂-e) mà các doanh nghiệp phát thải phải chi trả. Công cụ này mang lại tính ổn định cao về chi phí carbon trong tương lai, giúp doanh nghiệp dễ dàng lập kế hoạch tài chính dài hạn cho các dự án CCS. Tuy nhiên, cơ chế này không kiểm soát trực tiếp được tổng lượng phát thải quốc gia. Tại Na Uy, việc áp dụng thuế carbon từ năm 1991 đối với hoạt động

dầu khí ngoài khơi với mức thuế cao hơn chi phí thu hồi và lưu trữ carbon đã trở thành động lực thúc đẩy dự án Sleipner [5].

- Hệ thống giao dịch phát thải (ETS) vận hành theo nguyên tắc trần và thị trường (cap-and-trade), ETS kiểm soát tổng lượng phát thải bằng việc phân bổ và cho phép mua bán hạn ngạch với giá do cung cầu quyết định. Việc tích hợp CCS vào hệ thống ETS là một cơ chế quan trọng để chuyển đổi mỗi tấn CO₂ thu gom và lưu trữ an toàn thành doanh thu, giúp các dự án cải thiện tính khả thi tài chính [14, 20]. Tuy nhiên, cơ chế này đòi hỏi khung pháp lý đồng bộ và hệ thống đo đạc, báo cáo và thẩm định (MRV) nghiêm ngặt để giám sát toàn chuỗi cung ứng và quy định trách nhiệm hoàn trả hạn ngạch nếu xảy ra rò rỉ địa chất [4].

3.2.2. Điều 6 Thỏa thuận Paris

Điều 6 của Thỏa thuận Paris thiết lập khuôn khổ pháp lý quan trọng để thúc đẩy sự hợp tác quốc tế thông qua các cơ chế thị trường và phi thị trường carbon nhằm đạt được các mục tiêu giảm phát thải toàn cầu. Điều 6 cho phép chuyển giao xuyên biên giới kết quả giảm nhẹ phát thải thông qua 3 trụ cột: hợp tác song phương (Điều 6.2), cơ chế thị trường tập trung toàn cầu (Điều 6.4) và các biện pháp phi thị trường (Điều 6.8) [9].

- Điều 6.2 cho phép các quốc gia tự nguyện trao đổi ITMOs thông qua các thỏa thuận song phương hoặc đa phương. Cơ chế này đòi hỏi khung kế toán minh bạch với cơ chế “điều chỉnh tương ứng” (corresponding adjustment) bắt buộc nhằm tránh tính trùng (double counting) và đảm bảo toàn vẹn môi trường [9]. Cơ chế tín chỉ chung (joint crediting mechanism, JCM) là mô hình điển hình do Nhật Bản khởi xướng nhằm cung cấp hỗ trợ tài chính theo dự án và chuyển giao công nghệ cho doanh nghiệp tại các quốc gia đối tác. Dự án CCS có thể tạo ra ITMOs khi CO₂ được thu hồi ở một quốc gia và lưu trữ tại một quốc gia khác có thể mạnh về địa chất, giúp tối ưu hóa chi phí giảm phát thải toàn cầu [3]. Nhật Bản hiện đang đi đầu trong việc tích hợp CCS vào JCM thông qua các thỏa thuận với các nước ASEAN như Indonesia, Malaysia, Việt Nam [3, 4].

- Điều 6.4 là cơ chế tập trung toàn cầu do Liên hợp quốc giám sát để kế thừa cơ chế phát triển sạch (clean development mechanism, CDM) của Nghị định thư Kyoto. Điều 6.4 phát hành tín chỉ carbon dựa trên các phương pháp luận chuẩn hóa. Tính đến năm 2024, cơ chế Điều 6.4 vẫn chưa hoạt động đầy đủ do chưa đạt được thỏa thuận về các quy tắc chi tiết tại COP28 [3, 9]. Cơ chế này có tiềm năng thúc đẩy sự phát triển CCS bằng cách cho phép trao đổi giảm phát thải từ các sáng kiến CCS [3]. Tuy nhiên, việc triển khai CCS trong cơ chế này phải đối mặt với những thách thức

tương tự như cơ chế CDM và thị trường carbon tự nguyện về tính khả thi của dự án đối với nhiều ứng dụng. Cơ quan giám sát Điều 6.4 hiện đang xây dựng các phương pháp luận cụ thể cho các hoạt động loại bỏ carbon, bao gồm các công nghệ dựa trên giải pháp kỹ thuật kết hợp lưu trữ địa chất như thu hồi carbon trực tiếp từ không khí (direct air capture and storage, DACS) và năng lượng sinh học kết hợp CCS (bioenergy with carbon capture and storage, BECCS) [3, 19].

- Điều 6.8 quy định cơ chế hợp tác phi thị trường, thông qua các công cụ như viện trợ phát triển, tài trợ cho công tác thích ứng khí hậu hoặc sử dụng chính sách thuế để đạt được mục tiêu giảm phát thải [1].

3.2.3. Tín chỉ carbon

Mỗi tín chỉ carbon tương đương với một tấn CO₂ giảm thiểu hoặc loại bỏ đã được thẩm định và có thể được giao dịch. Đối với CCS, tín chỉ carbon tạo ra giá trị tiền tệ cho kết quả giảm phát thải và cải thiện tính khả thi kinh tế. Tín chỉ carbon được coi là rất quan trọng cho việc triển khai dự án, đặc biệt tại các quốc gia thiếu hụt nguồn tài trợ công. Các tín chỉ này có thể được lưu hành trong thị trường carbon tuân thủ hoặc thị trường carbon tự nguyện (VCM) [14]. Một số cơ chế khu vực đã đưa CCS vào áp dụng như hệ thống bù trừ phát thải Alberta (AEOS) và Tiêu chuẩn nhiên liệu carbon thấp (LCFS) của California. Các chương trình tự nguyện như VCS (verified carbon standard) của Verra và Puro.earth đang xây dựng các phương pháp luận, bao gồm DACS và BECCS. Sáng kiến CCS+ đang tích cực phát triển các phương pháp luận cho các dự án CCS theo VCS [20].

Tuy nhiên, giá tín chỉ hiện còn quá thấp để thúc đẩy triển khai các dự án CCS quy mô lớn [3, 12]. Quy mô thị trường VCM còn nhỏ so với quy mô đầu tư CCS cần thiết. Ngoài ra, trong lịch sử đã thể hiện sự hạn chế trong việc tài trợ cho các dự án trong lĩnh vực dầu khí và ưu tiên những dự án mang lại lợi ích đồng thời về xã hội và môi trường [14]. Thị trường VCM có xu hướng ưu tiên tín chỉ loại bỏ carbon hơn tín chỉ giảm phát thải từ các nguồn điểm phát thải hóa thạch. Hơn nữa, các dự án nhận được trợ cấp có thể gặp khó khăn trong việc đáp ứng tiêu chí “tính bổ sung”.

3.2.4. Đơn vị lưu trữ carbon

Đơn vị lưu trữ carbon (CSU) là đơn vị tương ứng với một tấn CO₂ được xác minh đã lưu trữ vĩnh viễn. Khác với đơn vị giảm phát thải [6, 21], CSU tạo ra một tín hiệu giá cụ thể cho việc lưu trữ CO₂, qua đó khuyến khích các doanh nghiệp đầu tư lưu trữ và hỗ trợ giao dịch giữa các bên thu hồi và lưu trữ [14]. CSU đang được

nghiên cứu như một cơ chế theo Điều 6, theo đó Chính phủ có thể bắt buộc các công ty sản xuất và nhập khẩu nhiên liệu hóa thạch phải thu hồi và lưu trữ CO₂ tương ứng với lượng carbon có trong sản phẩm bán ra thị trường [6, 9]. CSU đồng thời là công cụ để các doanh nghiệp chứng minh việc hoàn thành nghĩa vụ, từ đó thúc đẩy việc xây dựng các hubs & clusters [9].

Bên cạnh đó, việc áp dụng các cơ chế thị trường carbon đòi hỏi phải có sự điều chỉnh tương ứng giữa các quốc gia để tránh tình trùng kết quả giảm phát thải, đảm bảo tính chuẩn xác và minh bạch cho các nỗ lực bảo vệ khí hậu [6, 9].

3.3. Các công cụ giảm thiểu rủi ro doanh thu

Để đảm bảo dòng tiền ổn định trong dài hạn, các quốc gia đang thử nghiệm những mô hình mới [5, 11], tiêu biểu như:

- Hợp đồng chênh lệch carbon: Đây là công cụ cam kết một mức “giá thực hiện” cố định cho mỗi tấn CO₂ được giảm thiểu [8]. Chính phủ sẽ chi trả phần chênh lệch nếu giá thị trường carbon thấp hơn mức này, giúp nhà đầu tư tránh được rủi ro biến động giá carbon [5]. Hà Lan và Vương quốc Anh hiện đang dẫn đầu trong việc áp dụng mô hình này [7, 8].

- Mô hình tài sản hạ tầng chịu điều tiết (regulated asset base, RAB): Thường áp dụng cho hạ tầng vận chuyển và lưu trữ dùng chung [5]. Theo mô hình này, doanh nghiệp vận hành hạ tầng được phép thu phí khách hàng ở mức đảm bảo thu hồi vốn đầu tư và có một mức lợi nhuận định trước, tương tự như cách quản lý lưới điện quốc gia [9].

3.4. Tài chính xanh và bền vững

Khi việc triển khai CCS được đẩy mạnh, các công cụ như trái phiếu xanh (green bonds) và khoản vay liên kết bền vững (sustainability-linked loan, SLL) đóng vai trò quan trọng trong huy động vốn dài hạn [3, 5]. Trái phiếu xanh được sử dụng để huy động vốn cho các dự án mang lại lợi ích môi trường và có chi phí huy động vốn thấp hơn so với hình thức vay nợ thông thường. Trong khi, khoản vay SLL gắn lãi suất với các chỉ số hiệu quả bền vững để khuyến khích người vay [22]. Điển hình, Hệ thống EU Taxonomy đã công nhận CCS là một hoạt động đáp ứng tiêu chí bền vững, cho phép các dự án tiếp cận nguồn vốn quy mô lớn từ các quỹ đầu tư ESG [1, 2].

Đối với ngành dầu khí hiện chịu áp lực kép giữa khử carbon và tối ưu hóa lợi nhuận, các công cụ này là kênh thu hút vốn thiết yếu phục vụ chuyển dịch năng lượng và triển khai công nghệ sạch. Một số công ty dầu khí quốc tế đã thành công trong việc sử dụng trái phiếu xanh và các khoản vay liên kết bền vững để

huy động vốn gắn liền với các mục tiêu ESG. Tuy nhiên, việc huy động tài chính xanh vẫn bị giám sát chặt chẽ nhằm ngăn ngừa rủi ro “tẩy xanh” (greenwashing), đặc biệt đối với các công ty có hoạt động phát thải cao (brown companies) [22]. Vì vậy, cần xây dựng các tiêu chuẩn minh bạch để công nhận các khoản đầu tư CCS xanh [1].

4. Kinh nghiệm triển khai từ các khu vực, quốc gia

CCS đóng vai trò then chốt trong quá trình chuyển dịch hệ thống năng lượng toàn cầu hướng tới mục tiêu phát thải ròng bằng “0”. Xu hướng triển khai công nghệ này hiện mở rộng ra ngoài các địa điểm truyền thống, với các cơ sở CCS thương mại hiện đang hoạt động tại 13 quốc gia và phát triển tại hơn 45 quốc gia. Việc triển khai thành công phụ thuộc vào mức độ hoàn thiện khung pháp lý nước sở tại. Dưới đây là chi tiết về các nghiên cứu điển hình tại một số quốc gia, khu vực.

4.1. Liên minh châu Âu

Hệ thống ETS của EU là thị trường carbon đầu tiên và lớn nhất thế giới về quy mô giao dịch [5]. Hệ thống này gồm 27 quốc gia thành viên EU, cùng với Iceland, Liechtenstein và Na Uy, bao gồm các hoạt động trong lĩnh vực năng lượng và công nghiệp. Hệ thống ETS của EU tích hợp toàn bộ chuỗi giá trị CCS, công nhận CO₂ được thu hồi và lưu trữ an toàn là “không phát thải”. Hệ thống được sửa đổi vào năm 2023 đã nâng mục tiêu giảm phát thải 62% khí nhà kính vào năm 2030 so với mức năm 2005 và mở rộng lĩnh vực được áp dụng. Tín hiệu giá carbon từ hệ thống ETS tạo ra là một yếu tố thúc đẩy sự quan tâm đến CCS [6]. EU hiện hỗ trợ triển khai dự án CCS thông qua nhiều cơ chế tài trợ như:

- Quỹ đổi mới (innovation fund, IF): cung cấp các khoản tài trợ khoảng 40 tỷ EUR trong giai đoạn 2020 - 2030 dành cho việc triển khai các công nghệ phát thải carbon thấp; đến năm 2024, khoảng 26 dự án liên quan đến CCUS đã nhận được sự hỗ trợ tài chính [5, 6].

- Cơ chế kết nối châu Âu (connecting Europe facility, CEF): hỗ trợ các dự án cơ sở hạ tầng năng lượng, ưu tiên các dự án vận chuyển và lưu trữ CO₂ xuyên biên giới; đã đưa Northern Lights vào danh sách các dự án quan tâm chung (projects of common interest, PCI) vào năm 2022 và nhận tài trợ từ năm 2024.

- Công cụ phục hồi và khả năng chống chịu (recovery and resilience facility, RRF) là trụ cột của gói NextGenerationEU với quy mô khoảng 650 tỷ EUR, để giúp các quốc gia EU phục hồi sau đại dịch COVID-19 và tăng cường khả năng chống chịu thông qua chuyển đổi xanh và chuyển đổi số đến năm 2026. RRF tài trợ cho các dự án CCS để hiện thực hóa cam kết trung hòa khí hậu.

- Quỹ chuyển đổi công bằng (just transition fund, JTF) là một trong 3 trụ cột của cơ chế chuyển đổi công bằng của EU, đóng vai trò hỗ trợ các vùng và ngành công nghiệp đang đối mặt với những thách thức kinh tế - xã hội nghiêm trọng trong lộ trình tiến tới trung hòa khí hậu vào năm 2050. Trong giai đoạn 2021 - 2027, quỹ có tổng ngân sách là 19,32 tỷ EUR [23].

- Chương trình Horizon Europe (The Horizon Europe) là chương trình tài trợ nghiên cứu và đổi mới sáng tạo quy mô 95,5 tỷ EUR, đóng vai trò trụ cột tài chính quan trọng để thúc đẩy các công nghệ CCS và nâng cao năng lực cạnh tranh ngành công nghiệp của EU [6, 23].

Bên cạnh các công cụ tài chính, vận chuyển và lưu trữ CO₂ xuyên biên giới hiện là một trong những vấn đề cần giải quyết tại EU trong bối cảnh năng lực lưu trữ địa chất phân bố không đồng đều giữa các quốc gia. Điều này thúc đẩy việc hình thành các thỏa thuận song phương giữa các quốc gia thành viên và Na Uy [4, 7]. Ngoài ra, sự chấp nhận của cộng đồng đối với CCS cũng khác nhau đáng kể giữa các quốc gia. Theo khuôn khổ pháp lý của EU, trách nhiệm đối với các địa điểm lưu trữ sẽ chuyển giao cho nhà nước sau thời hạn tối thiểu 20 năm đóng mỏ nếu đáp ứng các tiêu chí an toàn.

4.2. Mỹ

Mỹ hiện dẫn đầu thế giới về công suất CCS vận hành thương mại [5, 16]. Giai đoạn phát triển ban đầu được thúc đẩy bởi các dự án thí điểm do Chính phủ hỗ trợ, phần lớn tại các nhà máy xử lý khí tự nhiên kết hợp sử dụng CO₂ cho EOR [6].

Tín dụng thuế 45Q là một trong những cơ chế hỗ trợ quan trọng, được thiết lập năm 2008, sửa đổi năm 2018 và tiếp tục củng cố hơn nữa bởi Đạo luật giảm lạm phát (IRA) năm 2022. IRA đã tăng mức ưu đãi lên 85 USD/tấn CO₂ lưu trữ địa chất và 60 USD/tấn CO₂ sử dụng cho EOR và 180 USD/tấn CO₂ thu hồi trực tiếp từ không khí (DAC) [14, 16]. IRA cũng cho phép thanh toán trực tiếp và chuyển nhượng tín dụng, giúp chính sách hỗ trợ trở nên dễ tiếp cận hơn. Theo Luật Cơ sở hạ tầng lưỡng đảng (bipartisan infrastructure law, BIL) ban hành năm 2021, Bộ Năng lượng Mỹ đã nhận được 12 tỷ USD để hỗ trợ các sáng kiến CCS và DAC [7]. Ngoài ra, các chính sách hỗ trợ đang được thực hiện ở cấp tiểu bang như Tiêu chuẩn nhiên liệu carbon thấp (LCFS) của California và nhiều sáng kiến khác nhau ở Texas và Louisiana cũng góp phần thúc đẩy đầu tư [4, 16].

Các dự án đáng chú ý của Mỹ gồm dự án Petra Nova (cải tạo nhà máy điện than để thu hồi CO₂ sử dụng cho EOR) và dự án CCS công nghiệp Illinois (thu hồi CO₂ từ sản xuất ethanol để lưu trữ địa

chất) [17]. Mặc dù có sự hỗ trợ về chính sách, việc triển khai CCS vẫn gặp các rào cản như chi phí CAPEX và OPEX cao, áp lực lạm phát gia tăng, thiếu các biện pháp hỗ trợ cho các lĩnh vực khó giảm phát thải, quy trình cấp phép giằng co ép CO₂ loại VI (Class VI) kéo dài [16] và hạ tầng vận chuyển còn hạn chế.

4.3. Na Uy

Na Uy là một trong những quốc gia tiên phong trong lĩnh vực CCS với kinh nghiệm triển khai các dự án thương mại đầu tiên vào giữa những năm 1990, tiêu biểu là dự án Sleipner (1996) và dự án Snøhvit (2008), đều thu hồi CO₂ từ quá trình xử lý khí tự nhiên và lưu trữ địa chất [17]. Na Uy tập trung phát triển lưu trữ ngoài khơi ở Biển Bắc, với tiềm năng lưu trữ trên thềm lục địa ước tính đạt 70 GtCO₂.

Thuế carbon được áp dụng từ năm 1991 là động lực chính trong chiến lược khí hậu của nước này, đã thúc đẩy việc triển khai dự án CCS tại Sleipner và Snøhvit [9]. Sự hỗ trợ của Chính phủ cũng được chuyển qua các doanh nghiệp nhà nước như Equinor và cơ quan điều phối Gassnova là những doanh nghiệp tham gia vào phát triển dự án CCS. Hiện tại, quốc gia này đang triển khai dự án Longship là chuỗi giá trị CCS tích hợp khép kín để xử lý CO₂ thu hồi từ các cơ sở công nghiệp trong nước (sản xuất xi măng, các nhà máy chuyển đổi chất thải thành năng lượng) kết hợp với hạ tầng vận chuyển và lưu trữ dùng chung được quản lý bởi liên doanh Northern Lights. Mô hình này hướng tới việc tiếp nhận CO₂ từ nhiều nguồn thu hồi carbon và từ nhiều quốc gia.

Na Uy là quốc gia có mức độ ủng hộ cộng đồng đối với CCS cao hàng đầu châu Âu. Mặc dù Na Uy có khung pháp lý và quy định hoàn thiện về CCS, nhưng vận chuyển CO₂ xuyên biên giới vẫn là một rào cản pháp lý. Hiện, Na Uy cũng tham gia vào các cơ chế tài trợ của EU như Quỹ đổi mới và Cơ chế kết nối châu Âu [5].

4.4. Australia

Australia có tiềm năng lớn về CCS với các dự án đáng chú ý như CCS Gorgon và CCS Moomba cùng hệ thống pháp lý và chính sách cho CCS đã được xây dựng gần 2 thập kỷ [4, 9, 21]. Các cơ chế hỗ trợ gồm Quỹ giảm phát thải cho phép dự án CCS tạo ra các đơn vị tín chỉ carbon Australia (Australian carbon credit unit, ACCU) và Cơ chế tự vệ (Safeguard Mechanism) thiết lập trần phát thải cho các cơ sở quy mô lớn [7, 20]. Chính phủ đã cung cấp nguồn tài trợ, gồm Chương trình Công nghệ và trung tâm CCUS (CCUS hubs and technologies program). Bang Victoria và Tây Australia đã ban hành quy định riêng tạo điều kiện thuận lợi cho các dự án CCS cụ thể [24].

Quyền sở hữu không gian lưu trữ địa chất trên đất liền thuộc sở hữu của tiểu bang. Việc đóng cửa địa điểm lưu trữ cần được phê duyệt và trách nhiệm pháp lý dài hạn có thể được chuyển giao cho Chính phủ sau khi các hoạt động bơm ép, cô lập kết thúc, tùy thuộc vào các điều kiện nhất định. Tài chính công là một trong các yếu tố then chốt thúc đẩy việc triển khai CCS tại Australia. Australia cũng tăng cường hợp tác song phương với Nhật Bản, Singapore, Indonesia và Hàn Quốc để thúc đẩy phát triển công nghệ sạch, trong đó có CCS [4, 7].

4.5. Canada

Từ năm 2014, với việc đưa vào vận hành dự án Boundary Dam, Canada xác lập là một trong các quốc gia đi đầu trong triển khai dự án CCS thương mại quy mô lớn, hướng tới mục tiêu giảm tối thiểu 15 triệu tấn CO₂/năm bằng công nghệ CCS vào năm 2030 [13, 14, 24]. Chính phủ hỗ trợ triển khai CCS ở cấp liên bang và cấp tiểu bang, tập trung tài trợ cho các dự án trình diễn và thương mại. Các chính sách liên bang quan trọng bao gồm Tín dụng thuế đầu tư hoàn lại (ITC) cho dự án CCUS áp dụng từ năm 2022 - 2030 (60% cho DAC, 50% cho thiết bị thu hồi, 37,5% cho thiết bị vận chuyển và lưu trữ); Chương trình đổi mới năng lượng tài trợ R&D và nghiên cứu FEED; Quỹ tăng trưởng Canada (CGF) và cơ chế CCfD nhằm đảm bảo tính ổn định về giá cho doanh nghiệp tư nhân [5, 7, 14]. Tiểu bang Alberta cũng cung cấp các chương trình hỗ trợ hấp dẫn thông qua Quỹ thu hồi và lưu trữ carbon Alberta và Quỹ đổi mới công nghệ và giảm phát thải (TIER) cho phép các dự án tạo ra tín chỉ carbon [20]. Các dự án tiêu biểu gồm Boundary Dam, Quest và Hệ thống đường trung chuyển carbon Alberta (ACTL) [5].

Khung pháp lý cho CCS đã được Canada xây dựng từ hơn một thập kỷ. Tại Alberta, quyền sở hữu không gian lưu trữ địa chất thuộc quản lý của bang, trong khi Chính phủ chịu trách nhiệm và nghĩa vụ lâu dài sau khi dự án kết thúc [4, 24]. Canada cũng đóng vai trò đồng tài trợ trong sáng kiến thử thách quản lý carbon (carbon management challenge).

4.6. Nhật Bản

Nhật Bản xác định CCS là một giải pháp giảm nhẹ phát thải quan trọng trong Đóng góp do quốc gia tự quyết định (NDC) [9], đồng thời tích cực thúc đẩy các sáng kiến CCS của các công ty trong và ngoài nước, đặc biệt tại khu vực ASEAN. Tập đoàn dầu khí, khí đốt và kim loại quốc gia Nhật Bản (JOGMEC) hỗ trợ tài chính cho các dự án CCS, bao gồm cả vận chuyển và lưu trữ xuyên biên giới. Lộ trình dài hạn về CCS của Nhật Bản đặt ra mục tiêu vận hành cơ sở CCS thương mại đầu tiên vào năm 2030, dự kiến thu hồi 6 - 12

triệu tấn CO₂/năm vào năm 2030 và tăng lên 120 - 140 triệu tấn CO₂/năm vào năm 2050 [4, 5]. Nhật Bản hiện có dự án CCS trình diễn thu hồi và lưu trữ carbon Tomakomai với công suất khoảng 0,1 triệu tấn/năm [12].

Về công cụ thị trường, Nhật Bản đang vận hành hệ thống tín chỉ carbon nội địa J-Credit và tích cực mở rộng cơ chế JCM để thúc đẩy hợp tác triển khai các dự án CCS với các quốc gia đối tác. Trong khuôn khổ JCM, Nhật Bản đang hoàn thiện các phương pháp luận chuyên biệt cho CCS, bao gồm các hướng dẫn kỹ thuật về quan trắc phát hiện rò rỉ CO₂ và thiết lập cơ chế dự phòng tín chỉ (credit reserve) nhằm quản lý rủi ro đảo ngược phát thải [20]. Nhật Bản cũng đang nghiên cứu công nghệ DAC và phát triển các phương pháp liên quan. Ngoài ra, quốc gia này đang tăng cường quan hệ hợp tác song phương với Australia, Singapore, Indonesia, Malaysia, Việt Nam và Hàn Quốc để thúc đẩy CCS [7].

4.7. Khu vực ASEAN

Khu vực ASEAN từng bước chuyển dịch từ giai đoạn nghiên cứu tiềm năng sang xây dựng khung pháp lý và triển khai hạ tầng CCS. Indonesia hiện là quốc gia dẫn đầu khu vực khi trở thành nước đầu tiên ban hành khung pháp lý toàn diện thông qua Quy định số 2/2023 của Bộ Năng lượng và Tài nguyên khoáng sản và Quy định số 14/2024 của Tổng thống. Những quy định này không chỉ cho phép triển khai CCS mà còn thiết lập các tiêu chuẩn cho vận chuyển carbon xuyên biên giới, đồng thời cho phép các nhà vận hành thu phí lưu trữ và tham gia thị trường carbon.

Malaysia thúc đẩy phát triển các trung tâm lưu trữ CO₂ khu vực, tiêu biểu là bang Sarawak đã ban hành Quy tắc đất đai (lưu trữ carbon) năm 2022, tạo tiền đề cho việc triển khai các dự án quy mô lớn như Kasawari CCS. Chiến lược dài hạn của Malaysia tập trung vào việc hình thành các cụm công nghiệp và hub lưu trữ khu vực nhằm tận dụng lợi thế chi phí lưu trữ tại khu vực Đông Nam Á ước tính thấp hơn khoảng 65% so với mức trung bình toàn cầu [4]. Chính phủ Malaysia đã áp dụng các ưu đãi thuế hấp dẫn, bao gồm trợ cấp thuế đầu tư (ITA) 100% trong 10 năm và miễn thuế nhập khẩu thiết bị và thuế bán hàng đối với thiết bị CCS cho đến năm 2027, nhằm cải thiện tính khả thi về mặt thương mại và giảm thiểu rủi ro đầu tư cho các doanh nghiệp.

Ngược lại, do hạn chế về điều kiện địa chất để lưu trữ tại chỗ, Singapore định vị là một trung tâm tài chính và kết nối công nghệ và dịch vụ chuỗi giá trị CCS. Kinh nghiệm của Singapore cho thấy việc áp dụng mức thuế carbon cao và có lộ trình tăng rõ rệt (dự kiến đạt 50 - 80 SGD/tấn vào năm 2030) là động lực kinh tế thúc đẩy các doanh nghiệp đầu tư vào công nghệ thu hồi carbon thay vì

chi trả thuế carbon [4]. Việc Singapore ký kết Ý định thư (Letter of Intent, LOI) với Indonesia và sáng kiến thành lập liên minh S-Hub là minh chứng cho mô hình hợp tác đa phương để hình thành chuỗi CCS xuyên biên giới trong khu vực.

Thái Lan cũng đang tích cực điều chỉnh luật pháp để tích hợp CCS vào lộ trình phát thải ròng bằng “0” vào năm 2065 và triển khai dự án Arthit CCS tại vịnh Thái Lan.

5. Kết luận

Thu hồi và lưu trữ carbon (CCS) là giải pháp công nghệ nhằm hiện thực hóa mục tiêu phát thải ròng bằng “0” vào năm 2050, đặc biệt đối với các ngành công nghiệp khó giảm phát thải. Tuy nhiên, khác với các dự án năng lượng tái tạo tạo ra dòng tiền thương mại trực tiếp, dự án CCS có đặc điểm của hàng hóa công ích với chi phí CAPEX và OPEX lớn, đồng thời đối mặt với rủi ro liên chuỗi giá trị CCS và thị trường tiêu thụ CO₂. Thông qua việc phân tích khung chính sách, cơ chế tài chính hỗ trợ CCS và thực tiễn tại các khu vực điển hình (Mỹ, EU, Na Uy, Canada, Nhật Bản và ASEAN), nghiên cứu cho thấy việc thương mại hóa thành công CCS quy mô lớn không thể chỉ dựa vào một chính sách đơn lẻ mà phụ thuộc vào việc thiết lập một hệ sinh thái thể chế và tài chính đồng bộ, kết hợp giữa vai trò định hướng của Nhà nước, chia sẻ rủi ro từ nguồn vốn công và các cơ chế tạo doanh thu từ thị trường carbon.

Từ bài học thực tiễn quốc tế, nghiên cứu rút ra 4 hàm ý cốt lõi có giá trị tham khảo cho việc xây dựng cơ chế phát triển chuỗi giá trị CCS bền vững gồm:

Thiết lập cơ chế xếp chồng chính sách và nguồn doanh thu: Một dự án CCS cần nhiều lớp hỗ trợ tài chính theo từng giai đoạn vòng đời. Ở giai đoạn đầu, nguồn vốn công (tài trợ không hoàn lại, vốn vay ưu đãi, bảo lãnh tín dụng) đóng vai trò quyết định để giúp dự án vượt qua giai đoạn triển khai xây dựng dự án. Trong giai đoạn vận hành dài hạn, các chính sách ưu đãi thuế (như cơ chế tín dụng) kết hợp cùng công cụ giảm thiểu rủi ro giá như Hợp đồng chênh lệch carbon (CCfD) đóng vai trò quan trọng trong việc bảo đảm tính ổn định của dòng tiền và cải thiện khả năng vay vốn.

Chuyển dịch sang mô hình cụm hạ tầng và mạng lưới dùng chung (hubs & clusters): Thay vì các mô hình tích hợp chuỗi đơn lẻ, việc phát triển các trung tâm thu hồi - lưu trữ tập trung và tách bạch các khâu thu hồi, vận chuyển và lưu trữ là xu thế tất yếu. Mô hình này giúp tối ưu hóa chi phí vận chuyển và lưu trữ địa chất nhờ lợi thế kinh tế theo quy mô, đồng thời mở ra cơ hội tiếp cận cho các doanh nghiệp phát thải quy mô vừa và nhỏ. Đối với các quốc gia đang phát triển, việc tận dụng hạ tầng dầu khí hiện hữu và các

mỏ cạn kiệt là giải pháp chiến lược để giảm vốn đầu tư ban đầu và rút ngắn thời gian triển khai.

Hoàn thiện khung pháp lý về trách nhiệm dài hạn và chuẩn hóa MRV: Khung pháp lý rõ ràng được ví như “giấy phép vận hành” của dự án CCS. Nhà nước cần sớm ban hành quy định cấp phép lưu trữ, cơ chế chuyển giao trách nhiệm giám sát và quản lý địa điểm lưu trữ cho cơ quan quản lý nhà nước sau thời hạn đóng mỏ hợp lý, đồng thời xây dựng hệ thống MRV theo chuẩn quốc tế. Sự minh bạch pháp lý và các cam kết an toàn địa chất là cơ sở căn bản để tạo dựng sự chấp thuận của xã hội và thu hút nguồn vốn tín dụng xanh, trái phiếu bền vững.

Chủ động hội nhập thị trường carbon quốc tế: Việc kết nối khung kỹ thuật CCS với các cơ chế hợp tác song phương (Điều 6.2) và thị trường đa phương (Điều 6.4) mở ra cơ hội tiếp cận nguồn vốn khí hậu và chuyển giao công nghệ tiên tiến. Bên cạnh đó, việc tham gia các cơ chế như JCM sẽ giúp các quốc gia có tiềm năng địa chất trở thành các trung tâm dịch vụ lưu trữ carbon trong khu vực, vừa tạo nguồn thu vừa giảm áp lực từ các rào cản thương mại carbon như CBAM.

Tài liệu tham khảo

- [1] Global CCS Institute, *Unlocking private finance for CCS: Thought leadership report*, 2021.
- [2] Global CCS Institute, “Global Status of CCS 2024 - Collaborating for a net-zero future”, 15/10/2024. [Online]. Available: <https://policycommons.net/artifacts/17367612/global-status-of-ccs-2024-collaborating-for-a-net-zero-future/18256381/>.
- [3] Bassam Fattouh, Hasan Muslemani, Andrea Maino, and Paul Zakkour, “The role of carbon markets in enabling carbon capture and storage (CCS)”. [Online]. Available: <https://www.oxfordenergy.org/publications/the-role-of-carbon-markets-in-enabling-carbon-capture-and-storage-ccs/>.
- [4] Global CCS Institute, *Comprehensive CCUS research report: Storage, value chain, policy & regulation and financing*, 2024.
- [5] IEA, “CCUS policies and business models: Building a commercial market”, 26/11/2023. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/ccus-policies-and-business-models-building-a-commercial-market>.
- [6] Bassam Fattouh, “Carbon capture, utilization and storage (CCUS): Barriers, enabling frameworks and prospects for climate change”, *A Quarterly Journal for Debating Energy Issues and Policies*, Issue 130, 2022.

- [7] Global CCS Institute, "CCS policy, legal and regulatory review", 11/2024. [Online]. Available: https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2025/08/PLR-Review-Report_15-November.pdf.
- [8] Toby Lockwood, "Designing carbon contract for difference incentives to drive the deployment of carbon capture and storage in Europe", *Elsevier*, 2024. DOI: 10.2139/ssrn.5389447.
- [9] Paul Zakkour, Greg Cook, and Andrew Howard, "Integrating CCS in international cooperation and carbon markets under Article 6 of the Paris Agreement", 18/1/2023. [Online]. Available: <https://ieaghg.org/publications/integrating-ccs-in-international-cooperation-and-carbon-markets-under-article-6-of-the-paris-agreement/>.
- [10] Andrew Long, *International CCS growth driven by Article 6 of the Paris Agreement: Summary of IEAGHG Technical Report 2023-01 (IEA/CON/21/275)*, 2023.
- [11] Energy Transitions Commission, "Carbon capture, utilisation and storage in the energy transition: Vital but limited", 7/2022. [Online]. Available: <https://www.energy-transitions.org/publications/carbon-capture-use-storage-vital-but-limited/>.
- [12] Enobong Hanson, Chukwuebuka Nwakile, and Victor Oluwafolajimi Hammed, "Carbon capture, utilization, and storage (CCUS) technologies: Evaluating the effectiveness of advanced CCUS solutions for reducing CO₂ emissions", *Results in Surfaces and Interfaces*, Volume 18, 2025. DOI: 10.1016/j.rsurfi.2024.100381.
- [13] Hugh Barlow, Shahrzad S.M. Shahi, and David T. Kearns, "Advancements in CCS technologies and costs", 1/2025. [Online]. Available: <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2025/08/Advancements-in-CCS-Technologies-and-Costs-Report-2.pdf>.
- [14] Bassam Fattouh, Hasan Muslemani, and Raeid Jewad, "Capture carbon, capture value: An overview of CCS business models". [Online]. Available: <https://www.oxfordenergy.org/publications/capture-carbon-capture-value-an-overview-of-ccs-business-models/>.
- [15] Global CCS Institute, "Global status of CCS 2025". [Online]. Available: <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2025/10/Global-Status-of-CCS-2025-report-9-October.pdf>.
- [16] EFI Foundation, "Unlocking private capital for carbon capture and storage in industry and power", 14/4/2025. [Online]. Available: <https://efifoundation.org/foundation-reports/analysis/unlocking-private-capital-for-ccs/>.
- [17] Sara Yasemi, Yasin Khalili, Ali Sanati, and Mohammadreza Bagheri, "Carbon capture and storage: Application in the oil and gas industry", *Sustainability*, Volume 15, 2023. DOI: 10.3390/su151914486.
- [18] Shigeru Kimura, Kikuko Shinchii, and Ulysses Coulmas, "Study on the potential for promoting carbon dioxide capture, utilisation, and storage (CCUS) in ASEAN Countries Vol. II", 30/3/2022. [Online]. Available: <https://www.eria.org/research/study-on-the-potential-for-promoting-carbon-dioxide-capture-utilisation-and-storage-ccus-in-asean-countries-vol-ii>.
- [19] Global CCS Institute, "COP29 Half-Time: CCS developments in international climate change policy", 17/7/2024. [Online]. Available: <https://www.globalccsinstitute.com/publications/cop29-half-time-ccs-developments-in-international-climate-change-policy/>.
- [20] Mitsubishi Research Institute, *Handbook for CCS carbon credits - Workshop report of "Global carbon market and CCS: Towards ASEAN decarbonization"*, 2023.
- [21] Paul Zakkour and Wolfgang Heidug, "A mechanism for CCS in the Post-Paris Era", *King Abdullah Petroleum Studies and Research Center (KAPSARC)*, 2019. DOI: 10.30573/KS--2019-DP52.
- [22] Yetunde Adebayo, Augusta Heavens U. Ikevuje, Jephta Kwakye Mensah, and Andrew Esiri, "Green financing in the oil and gas industry: Unlocking investments for energy sustainability", *Finance & Accounting Research Journal*, Volume 6, Issue 10, pp. 1788 - 1817, 2024. DOI: 10.51594/farj.v6i10.1622.
- [23] Mathilde Blanchard, Chrysosgi Kostoula, and Andrea Rausa, "From proposals to reality: How EU funds can help jump-start CCS projects", 22/2/2024. [Online]. Available: <https://www.globalccsinstitute.com/publications/from-proposals-to-reality-how-eu-funds-can-help-jump-start-ccs-projects/>.
- [24] International Energy Agency, "Legal and regulatory frameworks for CCUS", 25/7/2022. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/legal-and-regulatory-frameworks-for-ccus>.
- [25] Hugh Barlow and Shahrzad S.M. Shahi, "State of the art: CCS technologies 2024", 8/2024. [Online]. Available: https://ureaknowhow.com/wp-content/uploads/2024/09/CCS-Technologies-Compendium-2024-08-16-1_Compress.pdf.
- [26] IEA, "The role of carbon credits in scaling up innovative clean energy technologies", 15/4/2024. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/the-role-of-carbon-credits-in-scaling-up-innovative-clean-energy-technologies>.

FINANCIAL MECHANISMS TO ACCELERATE LARGE-SCALE CARBON CAPTURE AND STORAGE PROJECT DEPLOYMENT

Nguyen Trung Khuong¹, Nguyen Anh Duc²

¹Electric Power University, Ha Noi, 11307, Vietnam

²Vietnam National Industry - Energy Group (PETROVIETNAM), Ha Noi, 11110, Vietnam

KEY WORDS

Carbon Capture and Storage (CCS), financial mechanisms, capital grant, tax credit, Carbon Contracts for Difference (CCfD), Hubs & Clusters, Article 6 of the Paris Agreement.

ABSTRACT

Carbon Capture and Storage (CCS) technology plays a pivotal role in achieving Net-Zero emissions by 2050, particularly for hard-to-abate industrial sectors. However, economic barriers arising from massive Capital Expenditures (CAPEX) and Operating Expenses (OPEX) remain the most significant challenges to large-scale deployment. This paper analyzes financial mechanisms and policy frameworks supporting CCS, drawing on international experiences from the United States, the European Union, Norway, and the ASEAN region. The research indicates that to ensure economic viability, it is essential to establish “revenue stacking” models that combine capital subsidies, tax credits (such as the U.S. 45Q), and market de-risking instruments like Carbon Contracts for Difference. Furthermore, transitioning to shared infrastructure models (Hubs & Clusters) and integrating into international carbon markets under Article 6 of the Paris Agreement are inevitable trends to optimize costs and unlock investment flows. The findings provide lessons for building a sustainable CCS ecosystem through close coordination between government support and market-based mechanisms.

Corresponding author: Email: khuongngtrung@epu.edu.vn

Received: 10/2/2026; Revised: 10 - 23/2/2026; Accepted date: 23/2/2026

This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)
