

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ NHIỆT PHÂN CHUYỂN HÓA RÁC THẢI NHỰA THÀNH NHIÊN LIỆU LỎNG

Phan Minh Quốc Bình^{1,2}, Dương Chí Trung², Lê Văn Long², Mai Thị Quỳnh Châu²

¹Viện Dầu khí Việt Nam (VPI)

²Trường Đại học Dầu khí Việt Nam (PVU)

Email: trungdc@pvu.edu.vn

<https://doi.org/10.47800/PVSI.2025.02-07>

Tóm tắt

Ô nhiễm rác thải nhựa ngày càng trở nên nghiêm trọng ở Việt Nam, đặc biệt tại khu vực miền Nam nơi phát sinh lượng rác thải nhựa lớn nhất cả nước. Mặc dù tỷ lệ thu gom rác sinh hoạt cao, khoảng 90% tại mỗi tỉnh, song việc phân loại rác tại nguồn hầu như chưa được thực hiện. Nhựa có giá trị được thu mua tự phát để tái chế, phần còn lại chủ yếu là nhựa hỗn hợp chất lượng thấp, chiếm 5 - 8% khối lượng rác thường được xử lý bằng phương pháp chôn lấp. Dự án nghiên cứu đã phân tích thực trạng rác thải nhựa tại Việt Nam, khảo sát tuyến đường đi của rác thải nhựa tại các tỉnh miền Nam và so sánh các công nghệ xử lý hiện có. Kết quả cho thấy: tái chế cơ học giúp sử dụng lại vật liệu nhưng bị giới hạn bởi chất lượng rác; tái chế bằng nhiệt phân và khí hóa có thể chuyển hóa nhựa hỗn hợp thành nhiên liệu lỏng, olefin hoặc khí tổng hợp, mang lại giá trị cao hơn.

Dựa trên các tiêu chí kỹ thuật và kinh tế, công nghệ nhiệt phân được lựa chọn cho dự án nhờ tính khả thi cao, rủi ro vận hành thấp và dễ mở rộng quy mô, phù hợp với điều kiện Việt Nam hiện nay. Về địa điểm, nhóm nghiên cứu đề xuất triển khai tại một số khu xử lý chất thải tập trung ở Đông Nam Bộ - nơi có nguồn rác, hạ tầng sẵn có và chính sách hỗ trợ, đồng thời thảo luận các thách thức khi triển khai dự án.

Từ khóa: Rác thải nhựa, nhiệt phân, khí hóa, tái chế nhựa, nhiên liệu từ rác, Đông Nam Bộ.

1. Giới thiệu

Ô nhiễm do rác thải nhựa đã và đang là thách thức lớn trên toàn cầu và tại Việt Nam. Trung bình mỗi năm, Việt Nam thải ra khoảng 2,8 - 3,1 triệu tấn rác nhựa, nhưng phần lớn chưa được tái chế hiệu quả, gây lãng phí gần 3 tỷ USD mỗi năm [1]. Việt Nam được xếp vào nhóm quốc gia thải nhiều rác nhựa, với mức phát sinh nhựa bình quân đầu người cao hơn trung bình thế giới. Thực trạng này cho thấy sự cấp thiết phải có giải pháp xử lý rác nhựa hiệu quả nhằm giảm thiểu ô nhiễm môi trường và tận dụng nguồn tài nguyên nhựa phế liệu.

Khu vực miền Nam Việt Nam, đặc biệt các tỉnh Đông Nam Bộ, hiện đang đối mặt với lượng chất thải rắn sinh hoạt khổng lồ. Tổng lượng rác sinh hoạt cả nước ước khoảng 68 nghìn tấn/ngày, riêng vùng Đông Nam Bộ chiếm khoảng 17 nghìn tấn/ngày. Thành phố Hồ Chí Minh dẫn đầu với khoảng 10.000 tấn/ngày. Nhựa chiếm khoảng

10% khối lượng rác sinh hoạt, tương đương hơn 1.000 tấn nhựa thải mỗi ngày tại miền Nam. Các đô thị công nghiệp lân cận như Bình Dương, Đồng Nai cũng thải ra hàng nghìn tấn rác mỗi ngày. Tuy nhiên, tỷ lệ thu gom xử lý rác ở các địa phương này cũng đạt mức rất cao (thường 95 - 100% ở đô thị) nên phần lớn rác - bao gồm rác nhựa - đều được thu gom về các khu xử lý tập trung, ít thất thoát trực tiếp ra môi trường [2].

Do chưa có phân loại rác tại nguồn, rác nhựa được thu gom theo hai dòng chính: (1) Nhựa giá trị cao (nhựa sạch như vỏ chai PET, nhựa cứng...) được thu mua để bán cho các nhà máy tái chế cơ học; (2) Nhựa giá trị thấp (nhựa bẩn, lẫn tạp như túi nylon, hộp xốp, nhựa đã lão hóa, PVC,...) không được thu gom tận dụng mà lẫn trong rác sinh hoạt và đi vào bãi rác. Lượng nhựa "thất thoát" này ước chiếm khoảng 5 - 8% khối lượng rác sinh hoạt đầu vào mỗi ngày. Đây chính là nguồn nhựa phế liệu chất lượng thấp đang bị chôn lấp lãng phí, có thể thu hồi làm nguyên liệu đầu vào cho các công nghệ chuyển hóa hóa học.

Mặt khác, các bãi chôn lấp rác tập trung ở miền Nam đang dần quá tải. Quá trình chôn lấp kéo dài, các thành



Ngày nhận bài: 12/3/2025.

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 12/3 - 5/4/2025.

Ngày bài báo được duyệt đăng: 5/4/2025.

phần hữu cơ phân hủy nhanh hơn khiến tỷ lệ nhựa trong khối rác tồn đọng tăng dần theo thời gian, có thể đạt 60 - 70% sau khoảng 6 tháng. Nhựa tồn dư với khối lượng lớn tiềm ẩn nguy cơ ô nhiễm môi trường đất, nước nghiêm trọng nếu không được xử lý kịp thời. Thực trạng này đòi hỏi những giải pháp công nghệ mang tính đột phá nhằm xử lý triệt để lượng nhựa hỗn hợp khó tái chế, giảm gánh nặng cho các bãi rác và tận dụng nguồn phế liệu nhựa.

Nhận thức được tính cấp bách của vấn đề, nước ta đã ban hành nhiều chính sách quan trọng trong giai đoạn 2023 - 2024. Đặc biệt, quy định mở rộng trách nhiệm của nhà sản xuất và nhà nhập khẩu (extended producer responsibility - EPR) đối với tái chế, xử lý chất thải xuyên suốt vòng đời đã chính thức có hiệu lực từ ngày 1/1/2024. Theo Nghị định số 08/2022/NĐ-CP ngày 10/1/2022 của Chính phủ, nhà sản xuất khi đưa sản phẩm ra thị trường Việt Nam phải thực hiện trách nhiệm tái chế sản phẩm, bao bì đó theo tỷ lệ, quy cách tái chế bắt buộc. Nghị định số 05/2025/NĐ-CP ngày 6/1/2025 của Chính phủ đã mở rộng phạm vi áp dụng và thống nhất ngưỡng miễn trừ cho cả nhà sản xuất và nhà nhập khẩu. Chính sách EPR được kỳ vọng sẽ thúc đẩy nhà sản xuất tìm cách giảm lượng rác thải ra môi trường, tăng khả năng tái chế và tái sử dụng các bao bì đóng gói.

Song song với EPR, quy định phân loại rác tại nguồn cũng đã được ban hành. Theo Luật Bảo vệ môi trường 2020 (Điều 75 và 79), từ ngày 1/1/2025, tất cả hộ gia đình, cá nhân, cơ quan, tổ chức phát sinh chất thải rắn sinh hoạt (CTRS) đều bắt buộc phải phân loại chất thải rắn sinh hoạt tại nguồn, đánh dấu sự chuyển biến căn bản trong cách tiếp cận quản lý rác thải từ nguồn phát.

Trong những năm gần đây, vấn đề quản lý rác thải nhựa tại Việt Nam đã nhận được nhiều sự quan tâm từ cả cộng đồng nghiên cứu và các cơ quan quản lý. Một số nghiên cứu mới đã được thực hiện nhằm đánh giá và đề xuất các giải pháp xử lý rác thải nhựa hiệu quả, đáp ứng yêu cầu về phát triển bền vững và bảo vệ môi trường.

Báo cáo của WWF Việt Nam (2023) lần đầu tiên cung cấp các số liệu định lượng chi tiết về lượng rác thải nhựa phát sinh từ lĩnh vực thương mại điện tử, đồng thời đề xuất các giải pháp can thiệp cụ thể như thúc đẩy sử dụng bao bì thân thiện với môi trường, phân loại rác tại nguồn và xây dựng các chuỗi thu gom - tái chế riêng biệt cho lĩnh vực này [3]. Tương tự, một báo cáo của Ngân hàng Thế giới năm 2023 đã phân tích chi tiết chuỗi giá trị nhựa tại Việt Nam, xác định các điểm nghẽn trong hệ thống thu gom, phân loại và tái chế. Báo cáo này khuyến nghị các ưu tiên

đầu tư, điều chỉnh chính sách và đẩy mạnh hợp tác công tư nhằm cải thiện quản lý rác thải nhựa, đặc biệt tại các đô thị lớn và vùng ven biển [4].

Dự án "Nguồn phát thải, nơi tích tụ và các giải pháp nhằm giảm thiểu tác động của rác thải nhựa đến cộng đồng ven biển ở Việt Nam" tập trung khảo sát thực địa, phân tích dòng chảy rác thải nhựa từ đất liền ra biển, và xây dựng các mô hình giảm thiểu rác thải nhựa tại cộng đồng ven biển, góp phần cung cấp dữ liệu thực tiễn quan trọng và các đề xuất giảm thiểu rác thải nhựa đại dương [5]. Ngoài ra, nghiên cứu của PGS. TS. Phùng Chí Sỹ (2024) nhấn mạnh vai trò của các giải pháp phát triển kinh tế tuần hoàn, như hoàn thiện hệ thống pháp lý, ứng dụng công nghệ tái chế tiên tiến, xây dựng các công cụ hỗ trợ kinh tế và nâng cao nhận thức cộng đồng, nhằm thúc đẩy quản lý chất thải nhựa hiệu quả và bền vững [6].

Tổng thể, các nghiên cứu và chính sách gần đây tại Việt Nam đều hướng tới mục tiêu quản lý bền vững, giảm thiểu thất thoát nhựa ra môi trường, tận dụng tối đa nguồn tài nguyên nhựa phế liệu thông qua đổi mới công nghệ và mô hình kinh tế tuần hoàn - đây cũng là xu hướng chung của thế giới hiện nay.

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm khảo sát hiện trạng quản lý rác thải nhựa tại các tỉnh miền Nam, đồng thời đánh giá các công nghệ xử lý rác nhựa tiềm năng, trong đó tập trung vào công nghệ nhiệt phân và khí hóa, từ đó đề xuất hướng công nghệ hiệu quả và địa điểm phù hợp để xây dựng nhà máy xử lý rác thải nhựa thành các sản phẩm có giá trị như nhiên liệu lỏng, olefin hoặc khí tổng hợp.

2. Phương pháp nghiên cứu

Khảo sát thực địa: Nhóm tác giả đã khảo sát thực tế công tác thu gom, phân loại và xử lý rác sinh hoạt tại 10 tỉnh/thành khu vực phía Nam (TP. Hồ Chí Minh, Bà Rịa - Vũng Tàu, Đồng Nai, Bình Dương, Long An, Bến Tre, Kiên Giang, Bình Phước, Tây Ninh, Cần Thơ). Thông tin thu thập gồm: khối lượng và thành phần rác thải nhựa phát sinh; mô hình thu gom, tái chế nhựa; tình trạng các bãi chôn lấp và nhà máy xử lý chất thải. Đồng thời, nhóm tác giả đã làm việc với các đơn vị thu gom, xử lý rác thải địa phương để tìm hiểu tuyến đường đi của rác thải nhựa, tỷ lệ nhựa được tái chế, chôn lấp cũng như những khó khăn, thuận lợi trong quản lý rác nhựa. Kết quả khảo sát hiện trạng được sử dụng để xác định các vấn đề tồn tại và làm cơ sở đề xuất giải pháp.

Nghiên cứu công nghệ: Xuất phát từ hiện trạng thu thập được qua quá trình khảo sát thực địa, nhóm tác giả

tiếp tục nghiên cứu các công nghệ xử lý chất thải nhựa đang được áp dụng trên thế giới và Việt Nam, gồm: tái chế cơ học, tái chế hóa học trong đó tập trung vào các quá trình tiềm năng nhiệt phân, khí hóa và đốt rác thu hồi năng lượng.

Đánh giá lựa chọn công nghệ: Dựa trên kết quả nghiên cứu, 2 phương án công nghệ chuyên biệt được xem xét sâu cho dự án là nhiệt phân và khí hóa. Nhóm tác giả xây dựng bộ tiêu chí đánh giá định tính và định lượng, gồm: mức độ trưởng thành của công nghệ; khả năng xử lý nhựa hỗn hợp lẫn tạp; giá trị và tính hữu ích của sản phẩm đầu ra; yêu cầu hạ tầng kỹ thuật đi kèm; mức độ an toàn và thân thiện môi trường; chi phí đầu tư và vận hành; hiệu quả tài chính (IRR, NPV); khả năng mở rộng trong tương lai... Mỗi tiêu chí được cho điểm cho từng công nghệ dựa trên tổng quan tài liệu và kinh nghiệm chuyên gia. Tổng điểm đánh giá dùng để xếp hạng mức độ phù hợp của 2 phương án.

Đề xuất địa điểm xây dựng: Song song với lựa chọn công nghệ, nhóm nghiên cứu khảo sát và thu thập dữ liệu về các khu xử lý chất thải và khu công nghiệp tại một số tỉnh miền Nam để đề xuất địa điểm xây dựng nhà máy. Tiêu chí lựa chọn địa điểm gồm: gần nguồn rác nhựa ở Đồng Nam Bộ; có hạ tầng giao thông thuận tiện; diện tích đủ lớn; xa khu dân cư nhằm đảm bảo an toàn môi trường và có hành lang pháp lý thuận lợi được phép xử lý chất thải, có ưu đãi đầu tư về đất đai, thuế... Các địa điểm được chấm điểm và so sánh để đưa ra danh sách các phương án khả thi, sau đó đề xuất địa điểm tối ưu và các phương án dự phòng.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hiện trạng quản lý rác thải nhựa tại miền Nam

Kết quả khảo sát cho thấy lượng rác thải nhựa phát sinh ở miền Nam rất lớn, tập trung chủ yếu tại vùng kinh tế trọng điểm Đông Nam Bộ. Năm 2021, tổng lượng nhựa thải của 6 tỉnh/thành Đông Nam Bộ ước khoảng 1.837 tấn/ngày, chiếm 64% lượng nhựa thải cả nước. Trong đó, Tp. Hồ Chí Minh cao nhất với ~1.490 tấn/ngày, Đồng Nai với 297 tấn/ngày. Tỉnh Tây Ninh dân số ít hơn nhưng cũng phát sinh hàng chục tấn nhựa mỗi ngày. Tỷ lệ thu gom rác sinh hoạt ở đô thị các địa phương này đạt 95 - 100%, ở nông thôn đạt 50 - 75%, trung bình toàn tỉnh > 80% đồng nghĩa phần lớn rác thải đều được thu gom về khu xử lý tập trung chứ không bị xả bừa bãi [2].

Tuy nhiên, do hạn chế trong phân loại, lượng nhựa tái chế được thu gom theo kênh phi chính thức khá lớn. Ở hầu hết địa phương, người dân nghèo và các cơ sở thu mua phế liệu: vỏ chai nhựa, thùng nhựa, phế liệu nhựa

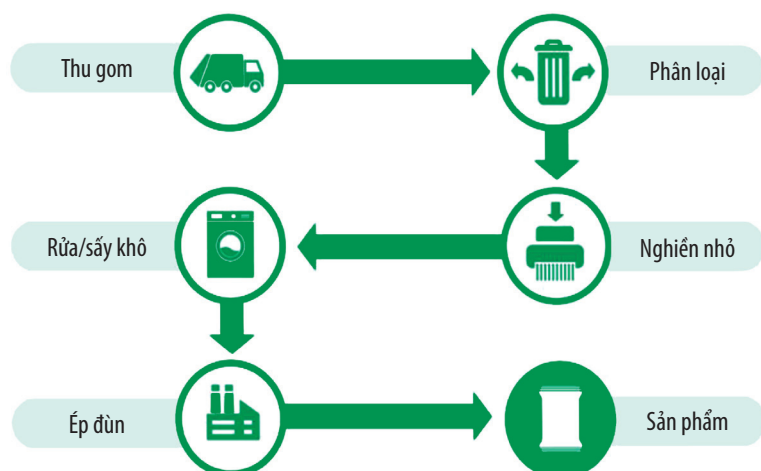
có giá trị để bán cho nhà máy tái chế cơ học. Hoạt động này diễn ra tự phát giúp tận dụng nhựa tái sử dụng được, nhưng cũng khiến nhựa còn lại trong rác chủ yếu là loại khó tái chế gồm các loại nhựa bẩn, lẫn nhiều tạp chất. Theo ước tính, tỷ lệ nhựa trong rác sinh hoạt đưa vào bãi chôn lấp chỉ còn khoảng 5 - 8% khối lượng rác. Con số này tương đương 900 tấn nhựa mỗi ngày bị chôn lấp trên cả nước - là nguồn tài nguyên lớn có thể thu hồi. Thực tế tại các nhà máy xử lý rác, nhựa chiếm tỷ lệ không cao trong rác đầu vào, nhưng tích lũy dần theo thời gian chôn lấp. Sau vài tháng, phần hữu cơ phân hủy khiến nhựa nổi lên chiếm tới 60 - 70% khối lượng rác tồn đọng. Điều này lý giải vì sao rác thải nhựa đang là vấn đề nổi cộm ở các bãi rác lâu năm.

Mặt khác, khảo sát cũng ghi nhận những chuyển biến tích cực gần đây. Trước áp lực rác thải, một số doanh nghiệp tư nhân đã đầu tư dây chuyền phân loại và tái chế rác nhựa tại chỗ. Chẳng hạn, ở Tp. Hồ Chí Minh, Đồng Nai xuất hiện các cơ sở xử lý rác trung gian, phân tách rác nhựa ra khỏi rác hỗn hợp để tái chế hoặc cung cấp cho nhà máy nhựa. Các dây chuyền này có thể thu hồi > 90% lượng nhựa có trong rác sinh hoạt đầu vào. Nhờ đó, nguồn nhựa nguyên liệu cho dự án tiềm năng có thể được đảm bảo ổn định. Để vận hành nhà máy lâu dài, nhóm nghiên cứu khuyến nghị chỉ nên sử dụng khoảng 30 - 35% lượng nhựa có thể thu hồi làm nguyên liệu - tương đương 250 - 300 tấn nhựa/ngày cho công suất nhà máy để xuất. Mức khai thác này vừa đủ đáp ứng vận hành, vừa để lại dư địa an toàn để bù đắp khi nguồn nhựa biến động, đồng thời phần nhựa còn lại vẫn do các đơn vị tái chế cơ học xử lý. Như vậy, có thể phối hợp hài hòa giữa mô hình tái chế truyền thống và công nghệ mới để tận dụng tối đa rác nhựa.

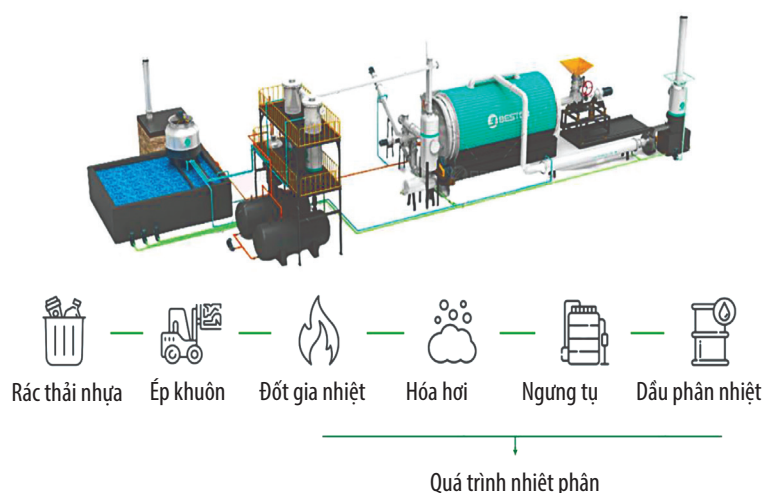
Tóm lại, các tỉnh miền Nam mỗi ngày thải ra lượng nhựa phế liệu rất lớn. Hệ thống thu gom hiện tại tương đối hiệu quả, nhưng khâu phân loại - tái chế còn nhiều hạn chế, dẫn đến tỷ lệ tái chế thực tế thấp và một lượng lớn nhựa vẫn bị chôn lấp lãng phí. Thực trạng này đòi hỏi áp dụng các công nghệ xử lý nhựa tiên tiến có khả năng xử lý hiệu quả nhựa hỗn hợp, đồng thời phù hợp với điều kiện hạ tầng và kinh tế địa phương.

3.2. So sánh và lựa chọn công nghệ xử lý rác nhựa

Mỗi phương pháp xử lý rác nhựa đều có ưu nhược điểm riêng, dưới đây thể hiện quy trình chung của các phương pháp tái chế chính đang áp dụng phổ biến hiện nay như tái chế cơ học (Hình 1), nhiệt phân (Hình 2) và khí hóa (Hình 3).



Hình 1. Quy trình tái chế nhựa cơ học. Nguồn: Amcor Company [7].

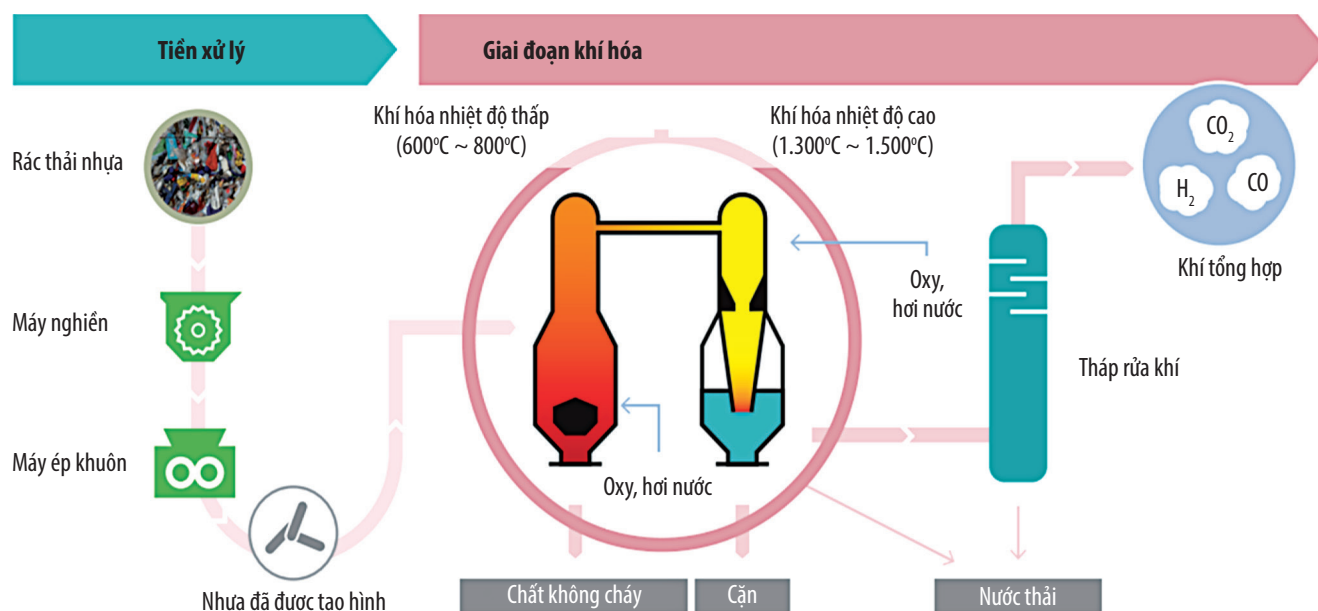


Hình 2. Quy trình xử lý rác thải nhựa bằng phương pháp nhiệt phân. Nguồn: Công nghệ Beston Group [9].

Trong quy trình tái chế cơ học, hạt nhựa tái sinh được sản xuất từ nhựa thải. Nhựa thải được phân loại nhằm loại bỏ tạp chất trước khi được nghiền thành các mảnh nhỏ, rửa sạch và sấy khô. Sau đó nhựa được nung chảy và tạo hạt, trong quá trình này nhà sản xuất có thể pha màu, trộn phụ gia thêm để tạo thành hạt nhựa tái sinh dùng làm nguyên liệu sản xuất nhựa.

Đối với quy trình nhiệt phân rác thải nhựa tiêu biểu (Hình 2), hỗn hợp nhựa thải được cho vào thiết bị phản ứng nhiệt phân ở điều kiện yếm khí, nhiệt độ khoảng 500°C, có thể bổ sung xúc tác. Ở điều kiện này, nhựa thải sẽ được phân hủy thành 3 sản phẩm chính, trong đó sản phẩm lỏng sau khi được ngưng tụ là dầu nhiệt phân, sản phẩm khí không ngưng tụ được xử lý tách tạp chất làm khí nhiên liệu, có thành phần chính trong khoảng $C_1 - C_4$, thành phần cuối cùng được gọi là than đen, có thành phần chủ yếu là carbon và tro. Dầu nhiệt phân nếu được tiếp tục đi qua tháp chưng cất sẽ thu được các phân đoạn naphtha đến fuel oil, sau đó có thể tiếp tục được xử lý bằng các quá trình hydrotreating hay no hóa để tạo thành các loại nhiên liệu cuối cùng tương tự nhà máy lọc dầu [8].

Phương pháp khí hóa rác thải nhựa thải (Hình 3) được áp dụng với mục đích chính là xử lý chất thải rắn sinh hoạt tạo thành khí để đốt. Tuy nhiên, có thể ứng dụng phương pháp



Hình 3. Quy trình xử lý rác thải nhựa bằng phương pháp khí hóa. Nguồn: Công nghệ EUP [11].

này để xử lý rác thải nhựa nhằm mục đích tạo ra sản phẩm trung gian cung cấp cho các nhà máy sản xuất methanol, ammonia. Quá trình khí hóa là quá trình chuyển hóa nguyên liệu thành khí tổng hợp với thành phần gồm có CO_2 , CO , H_2 , CH_4 và các khí hydrocarbon nhẹ [10]. Quá trình khí hóa được thực hiện tại điều kiện nhiệt độ cao và sự có mặt của oxy, nhờ vào điều kiện vận hành khắc nghiệt nên quá trình khí hóa có thể sử dụng được đa dạng các loại nguyên liệu mà các quá trình tái chế vật lý không xử lý được. Khí hóa gồm 4 bước chính: sấy, nhiệt phân, đốt kết hợp bề mặt và cuối cùng là quá trình khử.

Do các công nghệ trên đều có ưu nhược điểm riêng, nhóm tác giả đã so sánh theo các tiêu chí về nguyên liệu, sản phẩm, yêu cầu kỹ thuật, chi phí, tác động môi trường, dưới đây là các phân tích về công nghệ theo một số yếu tố định lượng và định tính chính:

Về nguyên liệu: Trong các quy trình trên, tái chế cơ học là phương pháp ưu tiên để tái sử dụng vật liệu nhựa, giúp tiết kiệm nguyên liệu và năng lượng so với sản xuất nhựa mới. Tuy nhiên phương pháp này đòi hỏi nguồn rác nhựa đầu vào phải sạch, phân loại theo chủng loại được quy định, nên chỉ áp dụng hiệu quả với các loại nhựa có giá trị, tinh khiết và được thu gom tốt. Đối với những loại nhựa bẩn, lẫn nhiều tạp chất - vốn chiếm tỷ trọng lớn trong rác thải sinh hoạt - rất khó tái chế cơ học. Bên cạnh đó, chi phí tái chế cơ học nhựa lẫn tạp chất cao hơn so với các lựa chọn khác do cần đầu tư cho khâu phân loại, vệ sinh nguyên liệu. Do vậy, quy trình tái chế cơ học tuy quan trọng nhưng không thể xử lý toàn bộ lượng nhựa thải.

Yêu cầu kỹ thuật và vận hành: Tái chế cơ học vận hành đơn giản, không đòi hỏi công nghệ cao nhưng yêu cầu nhiều công đoạn thủ công như phân loại, rửa sạch, nghiền, tạo hạt. Quá trình nhiệt phân thực hiện ở điều kiện kỵ khí ở khoảng 500°C , có thể thực hiện ở áp suất thường, thiết bị chính là lò phản ứng quay dạng mẻ hoặc liên tục và hệ thống ngưng tụ, vận hành tương đối đơn giản. Điều này giúp giảm rủi ro an toàn và dễ kiểm soát hơn; nhân sự vận hành chỉ cần trình độ trung bình. Khí hóa xảy ra ở nhiệt độ khá cao, thường trên 800°C và dưới áp suất cao, đòi hỏi vật liệu chịu nhiệt đặc biệt và hệ điều khiển chính xác [10]. Vận hành khí hóa phức tạp, tiềm ẩn rủi ro cháy nổ nếu rò rỉ khí cháy, cần hệ thống xử lý khí độc đồng bộ; do đó đòi hỏi nhân sự kỹ thuật trình độ cao và kinh nghiệm vận hành tốt. Công nghệ đốt phát điện đã thương mại hóa lâu năm, nguyên lý lò hơi đốt rác tương tự lò nhiệt điện than nhưng nhiên liệu rác có độ ẩm và tính không đồng nhất cao. Lò đốt hiện đại đòi hỏi hệ thống kiểm soát quá trình cháy và hệ thống xử lý khí

thải rất phức tạp, vận hành đòi hỏi trình độ tương đương ngành điện - nhiệt.

Chi phí đầu tư và vận hành: Đầu tư, tái chế cơ học thường có chi phí thấp nhất trên mỗi tấn công suất do thiết bị đơn giản nhưng tổng vốn lại phụ thuộc nhiều vào quy mô phân loại và thu gom. Nhiệt phân có chi phí đầu tư khá thấp trong các công nghệ tái chế hóa học: thiết bị gọn nhẹ, sẵn có từ nhiều nhà cung cấp từ Trung Quốc, Ấn Độ, EU và cả trong nước. Ước tính suất đầu tư nhà máy nhiệt phân thương mại từ 2 - 4 triệu USD hoặc cao hơn cho công suất 50 tấn/ngày tùy mức tự động hóa, thấp hơn đáng kể so với khí hóa. Nhờ thiết kế module hóa, thời gian xây dựng dự án nhiệt phân khá nhanh trong khoảng 12 - 18 tháng. Khí hóa có chi phí đầu tư rất cao: lò khí hóa và hệ thống làm sạch, sử dụng khí chiếm vốn lớn - suất đầu tư có thể gấp hơn 3 lần so với nhiệt phân cùng công suất. Thời gian triển khai khí hóa dài do phải thiết kế, chế tạo thiết bị đặc thù; rủi ro chậm tiến độ và đội vốn cao, khó kêu gọi đầu tư khi chưa có dự án tương tự trong nước và chỉ có thể thực hiện ở nơi đã có sẵn cơ sở hạ tầng cho vận chuyển, sử dụng khí sản phẩm. Đốt rác phát điện có chi phí đầu tư cao, do bao gồm lò đốt, nồi hơi, turbine phát điện và hệ xử lý khí thải hoàn chỉnh. Suất đầu tư các nhà máy đốt rác phát điện cao hơn nhiệt phân nhưng có thể thấp hơn khí hóa nếu cùng xử lý rác nhựa sạch, do công nghệ đốt đã phổ biến hơn. Tái chế cơ học tốn chi phí nhân công phân loại, rửa sạch, năng lượng xay, đùn nhựa; nhiệt phân và khí hóa tốn chi phí năng lượng gia nhiệt hoặc cũng có thể tận dụng lấy nhiệt từ dòng khí sản phẩm, chi phí xử lý nước thải, khí thải, chi phí bảo trì các thiết bị chịu nhiệt cao. Đốt rác phát điện có chi phí vận hành lớn cho nhiên liệu hỗ trợ như dầu đốt kèm khi rác ẩm, hóa chất xử lý khí thải, nhân công vận hành nhà máy điện... nhưng các nhà máy này thường được trợ giá qua phí xử lý rác và bán điện.

Hiệu quả kinh tế: Do tạo ra sản phẩm giá trị cao hơn, nhiệt phân và khí hóa tiềm năng mang lại doanh thu tốt hơn so với điện rác. Tuy nhiên hiệu quả lợi nhuận phụ thuộc lớn vào chi phí đầu tư và quy mô. Tái chế cơ học có chi phí đầu tư thấp nhưng sản phẩm hạt nhựa tái sinh giá trị không cao và thị trường biến động, lợi nhuận biên mỏng, thường chỉ khả thi nhờ chi phí nguyên liệu thấp khi nhựa phế liệu được thu gom rẻ hoặc miễn phí. Nhiệt phân nhựa có thể sinh lợi ở quy mô vừa trong khoảng 50 - 300 tấn/ngày. Trên thế giới, nhà máy nhiệt phân ở công suất 100 tấn/ngày thường đạt $\text{IRR} > 15\%$, thời gian hoàn vốn khoảng 5 - 7 năm. Tính toán cho thấy dự án nhiệt phân 100.000 tấn/năm tại Việt Nam có IRR nội tại $15,9\%$, cao hơn mức tối thiểu yêu cầu 13% , NPV dương 3,8 triệu USD

và thời gian hoàn vốn 6,4 năm. Trong khi đó, dự án khí hóa cùng quy mô do vốn đầu tư lớn và vận hành phức tạp nên thường có IRR rất thấp dưới 10% hoặc âm, thời gian hoàn vốn trên 10 năm. Trường hợp điển hình tại 1 dự án khí hóa 100 tấn/ngày tại châu Âu chỉ đạt IRR 6%, NPV âm 178 triệu USD - hoàn toàn không khả thi. Tính toán phân tích về kinh tế tại Việt Nam cũng cho thấy dự án khí hóa 300 tấn/ngày khó đạt mức sinh lời tối thiểu do chi phí cao và nhiều rủi ro kinh tế. Đối với đốt rác phát điện, hiệu quả tài chính thường thấp nếu chỉ dựa vào bán điện khi IRR có thể dưới 10%, nhưng có thể được cải thiện nhờ nguồn thu từ phí xử lý rác của địa phương. Nhìn chung, nhiệt phân được đánh giá có lợi thế kinh tế nổi trội trong xử lý rác nhựa phân tán hiện nay, trong khi khí hóa và đốt rác chỉ phù hợp khi có quy mô lớn hoặc hỗ trợ tài chính đáng kể.

Trong bối cảnh thực trạng rác thải nhựa khu vực phía Nam chủ yếu là nhựa hỗn hợp, bẩn, khó tái chế, các công nghệ nhiệt phân và khí hóa là giải pháp tiềm năng giúp chuyển hóa rác nhựa thành các sản phẩm hữu ích là nhiên

liệu lỏng hoặc làm nguyên liệu cho hóa dầu. Kết quả đánh giá cho thấy cả hai công nghệ này đều đáp ứng mục tiêu xử lý triệt để rác nhựa và hướng tới nền kinh tế tuần hoàn. Tuy nhiên, cần lựa chọn công nghệ phù hợp nhất với điều kiện thực tế. Bảng 1 tóm tắt so sánh chính giữa nhiệt phân và khí hóa dựa trên các tiêu chí đã đặt [12].

Bảng 1 cho thấy công nghệ nhiệt phân có nhiều ưu thế hơn so với khí hóa trong bối cảnh hiện nay của Việt Nam. Cụ thể, về nguyên liệu, nhiệt phân phù hợp với rác nhựa chưa được phân loại tốt, có thể chấp nhận nhựa lẫn tạp chất vừa phải, trong khi khí hóa đòi hỏi nguyên liệu nhựa rất sạch. Về quy mô và sản phẩm, nhiệt phân cho ra nhiên liệu lỏng có thể sử dụng hoặc bán trực tiếp, hiệu quả ngay ở quy mô vừa và nhỏ. Ngược lại, khí hóa tạo ra syngas muốn sử dụng hiệu quả cần quy mô lớn và tích hợp nhiều khâu, không linh hoạt cho dự án nhỏ. Về vận hành, nhiệt phân đơn giản và an toàn hơn, phù hợp với năng lực nhân sự trong nước, trong khi khí hóa phức tạp dễ gặp rủi ro.

Bảng 1. So sánh công nghệ nhiệt phân và khí hóa rác thải nhựa cho dự án

Tiêu chí	Nhiệt phân	Khí hóa
Nguyên liệu đầu vào	Chấp nhận nhựa lẫn tạp chất ở mức nhất định. Có thể cần loại bỏ một số tạp chất gây hại (PVC, kim loại) trước khi phản ứng.	Đòi hỏi nguyên liệu rất sạch - cần tiền xử lý loại bỏ hầu hết tạp chất, sấy khô triệt để. Cần nhựa đồng nhất hơn để vận hành ổn định ở nhiệt độ cao.
Sản phẩm đầu ra	Dầu nhiệt phân có thể dùng làm nhiên liệu thay thế như đốt lò, máy phát điện hoặc nâng cấp thành xăng, diesel; khí nhiệt phân giàu hydrocarbon nhẹ có thể đốt thu nhiệt; than carbon có rất nhiều ứng dụng như làm chất hấp phụ, điện cực, phụ gia sử dụng trong sản xuất lốp xe. Sản phẩm lỏng dễ lưu trữ, vận chuyển; giá trị thị trường cao; dầu thường có giá trên 10 triệu VNĐ/tấn.	Khí tổng hợp cần sử dụng ngay như đốt phát điện hoặc qua bước tổng hợp nhiên liệu/hóa chất. Có thể sản xuất methanol, nhiên liệu lỏng hoặc H ₂ nhưng đòi hỏi chuỗi thiết bị quy mô lớn, phức tạp. Sản phẩm khí tổng hợp khó lưu trữ, chỉ phù hợp cho dự án quy mô rất lớn liên thông với nhà máy điện hoặc lọc hóa dầu, những nơi có sẵn cơ sở hạ tầng vận chuyển và sử dụng khí tổng hợp.
Quy mô vận hành	Hiệu quả ở quy mô vừa và nhỏ. Công suất một lò nhiệt phân phổ biến 10 - 50 tấn/ngày; có thể thiết kế dạng module, lắp ghép mở rộng linh hoạt theo nhu cầu. Đã có nhiều dự án < 100 tấn/ngày triển khai thành công trên thế giới.	Chỉ hiệu quả ở quy mô rất lớn do cần tính kinh tế cho chuỗi thiết bị xử lý khí và tổng hợp. Công suất lò khí hóa thường > 100 tấn/ngày; khó chia nhỏ module độc lập, công suất gần như cố định theo thiết kế ban đầu. Không phù hợp quy mô nhỏ lẻ, phân tán.
Vận hành và an toàn	Công nghệ vận hành khá đơn giản: phản ứng ở áp suất thường hoặc áp suất thấp; nhiệt độ khoảng 500°C thiết bị chủ yếu là lò phản ứng kín và thiết bị ngưng tụ. Rủi ro an toàn thấp, dễ kiểm soát hơn. Yêu cầu nhân sự vận hành trình độ vừa phải.	Vận hành phức tạp: Nhiệt độ rất cao ($\geq 800^{\circ}\text{C}$) và có áp suất, đòi hỏi vật liệu chịu nhiệt tốt, điều khiển chính xác. Tiềm ẩn rủi ro cháy nổ nếu rò rỉ khí cháy; cần hệ thống xử lý khí độc. Đòi hỏi nhân sự kỹ thuật cao, kinh nghiệm vận hành.
Chi phí đầu tư	Chi phí thấp hơn: Công nghệ nhiệt phân thương mại tương đối phổ biến, nhiều nhà cung cấp từ Trung Quốc, Ấn Độ, EU và cả Việt Nam. Thiết bị đơn giản nên suất đầu tư thấp - ước tính từ 2 - 4 triệu USD cho 50 tấn/ngày, phụ thuộc mức tự động hóa. Thời gian xây dựng nhanh từ 12 - 18 tháng do có sẵn thiết kế module.	Chi phí rất cao: Lò khí hóa và hệ thống xử lý khí chiếm vốn đầu tư lớn - suất đầu tư có thể gấp 2 - 3 lần nhiệt phân cho cùng công suất. Thời gian triển khai dài (≥ 24 tháng) do phải thiết kế, chế tạo thiết bị đặc thù; rủi ro chậm tiến độ và đội vốn. Khó kêu gọi đầu tư khi chưa có dự án tương tự trong nước và rất ít các dự án ở nước ngoài, tính minh chứng thấp.
Hiệu quả kinh tế	Đã có nhiều nghiên cứu và dự án cho thấy nhiệt phân nhựa có thể sinh lợi ở quy mô vừa (50 - 300 tấn/ngày). Trên thế giới, nhà máy nhiệt phân nhựa 100 tấn/ngày thường đạt IRR > 15%, thời gian hoàn vốn khoảng từ 5 - 7 năm.	Do vốn đầu tư lớn và vận hành phức tạp, dự án khí hóa quy mô tương đương thường có IRR rất thấp (< 10%) hoặc âm, thời gian hoàn vốn > 10 năm. Trường hợp điển hình: dự án khí hóa 100 tấn/ngày tại châu Âu có IRR khoảng 6%, NPV âm 178 triệu USD - không khả thi. Tại Việt Nam, mô phỏng cho thấy dự án khí hóa 300 tấn/ngày khó đạt mức sinh lời tối thiểu với IRR yêu cầu trên 13% do chi phí quá cao, rủi ro lỗ vốn.
Tác động môi trường	Phát sinh khí thải từ lò gia nhiệt và đốt khí không ngưng tụ (pygas), có thể sinh dioxin nếu chứa PVC, nước thải nhiễm dầu có chỉ số COD và BOD cao, cần có hệ thống xử lý triệt để các khí thải và nước thải phát sinh.	Phát sinh khí thải cần phải xử lý tương tự quy trình nhiệt phân.

Trên cơ sở phân tích trên, nhóm tác giả đề xuất lựa chọn công nghệ nhiệt phân để thực hiện dự án chuyển hóa rác thải nhựa tại miền Nam. Đây là công nghệ phù hợp nhất khi xét tổng hòa các yếu tố kỹ thuật, kinh tế và tính khả thi triển khai trong nước. Trong tương lai dài hạn, khi lượng rác nhựa tăng lên đủ lớn và điều kiện kỹ thuật cho phép, có thể xem xét bổ sung công nghệ khí hóa tại tổ hợp quy mô lớn (ví dụ tích hợp với nhà máy lọc hóa dầu) để tận dụng triệt để khí tổng hợp. Nhưng trong giai đoạn hiện tại, nhiệt phân là lựa chọn tối ưu để khởi động mô hình chuyển hóa rác thải nhựa tại Việt Nam.

Hình 4 minh họa sơ đồ dây chuyền công nghệ nhiệt phân chất thải nhựa điển hình của hãng Doing, một trong những nhà cung cấp phổ biến tại Trung Quốc. Nhựa thải sau tiền xử lý được cấp vào lò phản ứng nhiệt phân và đun nóng bởi hệ thống gia nhiệt sử dụng toàn bộ phần khí nhiên liệu thu hồi. Hỗn hợp dầu khí sinh ra được làm nguội qua hệ thống ngưng tụ để tách thành dầu nhiệt phân và khí không ngưng. Dầu lỏng thu vào bồn chứa để sử dụng làm nhiên liệu hoặc tiếp tục chưng cất; khí không ngưng được qua thiết bị lọc bụi, bồn chứa cao áp rồi quay lại sử dụng với vai trò nhiên liệu giúp gia nhiệt thiết bị phản ứng. Carbon đen và các chất rắn còn lại được thu hồi qua hệ thống xả. Toàn bộ quá trình vận hành kín, khí thải qua xử lý đạt tiêu chuẩn môi trường.

3.3. Đánh giá rủi ro môi trường của công nghệ nhiệt phân

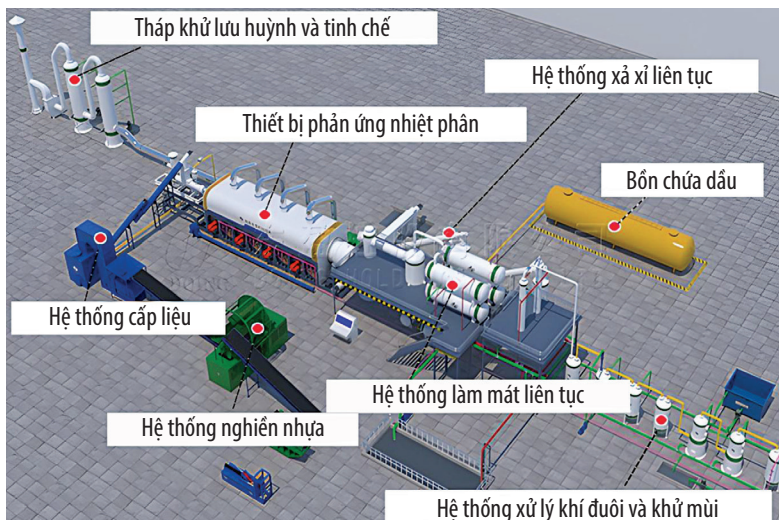
Công nghệ nhiệt phân rác thải nhựa nếu được đầu tư và vận hành đúng quy trình có thể đảm bảo an toàn môi trường cao. Theo khảo sát thực tế của nhóm tác giả tại các cơ sở nhiệt phân cao su, nhựa phế thải ở Việt Nam cho thấy với cơ sở đầu tư đầy đủ hệ thống xử lý môi trường, gồm hệ thống xử lý khí thải, nước thải, chất thải rắn hiện đại cùng quy trình quan trắc định kỳ đều vận hành ổn định, đạt các tiêu chuẩn môi trường như tại Công ty cổ phần năng lượng tái tạo DVA. Trong khi đó, các cơ sở nhiệt phân trái phép hoặc đầu tư sơ sài không có hệ thống xử lý khí thải gây ô nhiễm nghiêm trọng, bị người dân phản ánh và xử lý bởi cơ quan chức năng. Đối với dự án thí điểm, yêu cầu bắt buộc là lựa chọn nhà cung cấp công nghệ uy tín, đảm bảo thiết bị có tích hợp hệ thống

xử lý khí thải, nước thải đạt chuẩn, đồng thời xây dựng quy trình vận hành chuẩn và đào tạo nhân sự vận hành có kỹ năng.

Về các rủi ro môi trường cụ thể, quá trình nhiệt phân nếu không kiểm soát tốt có thể gây một số tác động sau:

Khí thải phát sinh dioxin/furan: Dioxin thường sinh ra khi đốt cháy chất thải chứa clo ở 300 - 500°C có oxy, đối với lò nhiệt phân vận hành yếm khí nên ít tạo dioxin hơn. Tuy nhiên, khí không ngưng tụ là sản phẩm từ quá trình nhiệt phân thường được đốt để thu hồi năng lượng, nếu đốt ở nhiệt độ không đủ cao và không có hệ thống xử lý khí thải phù hợp thì vẫn có nguy cơ hình thành một lượng nhỏ dioxin/furan hoặc các khí acid thoát ra môi trường. Do đó, cần đảm bảo buồng đốt khí phải duy trì ở nhiệt độ cao trên 850°C và có thiết bị hấp phụ/phân hủy dioxin ở ống khói tương tự lò đốt rác. Ngoài dioxin, khí thải từ quá trình đốt có thể chứa các tạp chất có hại khác như NO_x , CO, bụi than mịn... nên bắt buộc trang bị đầy đủ hệ thống xử lý khí thải gồm lọc bụi tĩnh điện, hấp thụ xử lý SO_x , quy trình khử xúc tác chọn lọc SCR khử NO_x , hấp phụ than hoạt tính khử dioxin tương tự tiêu chuẩn cho nhà máy đốt rác phát điện. Một điểm cần lưu ý là nguyên liệu nhựa cần được loại bỏ tối đa hàm lượng PVC để giảm nguồn hình thành dioxin và ăn mòn thiết bị. Khảo sát thực tế cho thấy đối với nhà máy trang bị và thực hiện đầy đủ các quy trình trên, khí thải sau xử lý đạt quy chuẩn Việt Nam và lượng tạp chất độc hại, trong đó có dioxin, phát thải nằm dưới ngưỡng cho phép.

- Nước thải và chất thải rắn: Nước thải chủ yếu phát sinh từ hệ thống ngưng tụ bằng nước làm mát tuần hoàn và phần nước tách từ dầu. Thành phần nước thải có thể chứa dầu, cặn carbon mịn và hợp chất hữu cơ hòa tan, các dự án nhiệt phân cần thiết kế hệ thống xử lý nước thải cục bộ tại nhà máy trước khi xả ra hệ thống xử lý chung của các khu công nghiệp. Chất thải rắn của nhà máy gồm than với thành phần chủ yếu là carbon và lượng nhỏ tro bụi từ hệ thống khí thải. Than carbon có thể tận dụng làm nguyên



Hình 4. Sơ đồ dây chuyền nhiệt phân rác thải nhựa. Nguồn: Công nghệ Doing [13].

liệu đầu vào cho ngành sản xuất carbon đen, sản xuất lốp xe, sản xuất vật liệu xây dựng, hoặc làm nhiên liệu đốt lò.

Như vậy, công nghệ nhiệt phân có thể vận hành an toàn, đảm bảo các tiêu chí môi trường nếu tuân thủ đúng quy trình và trang bị đầy đủ hệ thống xử lý tạp chất nguy hại.

3.4. Đề xuất địa điểm xây dựng nhà máy

Việc chọn địa điểm xây dựng nhà máy có ý nghĩa quan trọng, quyết định hiệu quả vận hành và chi phí lâu dài. Dựa trên khảo sát, nhóm nghiên cứu tập trung xem xét các khu vực thuộc vùng Đông Nam Bộ - nơi có nguồn rác nhựa dồi dào và hạ tầng công nghiệp phát triển. Tiến hành sơ tuyển hơn 15 địa điểm tiềm năng gồm các khu xử lý chất thải tập trung hiện hữu như Khu xử lý chất thải Tóc Tiên ở TP. Hồ Chí Minh, Khu Quang Trung ở Đồng Nai, Khu liên hợp xử lý rắn Nam Bình Dương, một số khu xử lý tại Tây Ninh, Long An... và một số khu công nghiệp có thể tiếp nhận dự án như Khu công nghiệp Đất Đỏ, TP. Hồ Chí Minh; Khu công nghiệp Dầu Giây, Giang Điền - Đồng Nai, Khu công nghiệp Bàu Bàng, Bắc Tân Uyên - TP. Hồ Chí Minh...

Các địa điểm được đánh giá theo thang điểm 100 dựa trên các tiêu chí: Nguồn nguyên liệu gần nơi phát sinh nhiều rác nhựa, hạ tầng - giao thông sẵn có và thuận lợi với đường cho xe rác, điện, nước, xử lý nước thải, cảng...; mặt bằng diện tích đất khả dụng, khả năng mở rộng; khoảng cách an toàn của nhà máy với yêu cầu cần xa khu dân cư, không ảnh hưởng môi trường; chính sách, quy hoạch, pháp lý cho phép xử lý rác, ưu đãi đầu tư. Kết quả phân loại thành 3 nhóm địa điểm: Nhóm 1, phù hợp nhất, có duy nhất khu xử lý chất thải Tóc Tiên TP. Hồ Chí Minh; Nhóm 2, phương án tốt tiếp theo, gồm khu xử lý Quang Trung, Đồng Nai, khu liên hợp Nam Bình Dương, TP. Hồ Chí Minh và một số khu xử lý tại Trảng Bom, Đồng Nai; Phú Giáo, TP. Hồ Chí Minh; Nhóm 3, kém phù hợp, chủ yếu là các khu công nghiệp không chuyên xử lý rác, do xa nguồn rác hoặc hạn chế về pháp lý.

Trong đó, khu xử lý chất thải Tóc Tiên TP. Hồ Chí Minh được xếp hạng cao nhờ hội tụ nhiều lợi thế, thuận tiện kết nối qua Quốc lộ 51. Nguồn rác đầu vào cho dự án rất dồi dào. Ngoài khoảng 300 tấn nhựa/ngày phát sinh tại Bà Rịa - Vũng Tàu và phụ cận, khu này còn có thể tiếp nhận rác từ TP. Hồ Chí Minh, tỉnh Đồng Nai đều trong bán kính 80 km. Về hạ tầng, khu vực này đã có sẵn đường giao thông cho xe chở rác, trạm điện, cấp nước, hệ thống xử lý nước rỉ rác và các dự án xử lý khác đang hoạt động, giúp dự án mới tiết kiệm đáng kể chi phí đầu tư hạ tầng. Do nằm trong quy hoạch xử lý chất thải của tỉnh, dự án xây dựng

tại đây có thể được cấp phép và hưởng các ưu đãi đầu tư dành cho lĩnh vực tái chế chất thải như miễn/giảm tiền thuê đất, hỗ trợ thủ tục pháp lý. Những lợi thế này các khu công nghiệp thông thường không có, khiến phương án xây dựng nhà máy trong khu công nghiệp kém hấp dẫn hơn về tài chính.

Về hiện trạng môi trường khu vực Tóc Tiên, do đây là nơi tập trung nhiều cơ sở xử lý chất thải, khu vực xung quanh đã chịu một số ảnh hưởng nhất định, thực tế trong quá khứ đã ghi nhận các sự cố môi trường xảy ra tại đây, chẳng hạn cuối năm 2022 đã xảy ra sự cố vỡ bờ làm tràn nước thải ra ngoài. Những sự cố này cho thấy nguy cơ tác động môi trường tại khu vực Tóc Tiên nếu công tác quản lý vận hành các nhà máy không đảm bảo. Do đó, khi triển khai dự án nhiệt phân tại đây, cần đặc biệt lưu ý đến hệ thống phòng ngừa rủi ro và ứng phó sự cố môi trường. Thiết kế nhà máy phải có đầy đủ các hạng mục bảo vệ môi trường: hồ chứa nước thải an toàn, hệ thống quan trắc và cảnh báo rò rỉ hóa chất, quy trình ứng phó sự cố chất thải nguy hại, đảm bảo không để xảy ra sự cố đáng tiếc như từng xảy ra. Việc xây dựng thêm nhà máy nhiệt phân trong khu sẽ không làm biến động lớn thêm nếu dự án tuân thủ nghiêm ngặt các quy chuẩn xả thải. Đồng thời, dự án thí điểm sẽ được cơ quan chức năng giám sát chặt chẽ - qua đó nâng cao mặt bằng quản lý môi trường cho toàn khu.

Từ những phân tích trên, nhóm tác giả đề xuất lựa chọn khu xử lý chất thải Tóc Tiên làm địa điểm triển khai dự án thí điểm. Trong trường hợp khu vực này không khả thi do quỹ đất hoặc thay đổi quy hoạch, các phương án dự phòng gồm khu Quang Trung, Đồng Nai hoặc khu Nam Bình Dương, TP. Hồ Chí Minh vốn cũng là những khu xử lý chất thải lớn của vùng Đông Nam Bộ và đáp ứng phần lớn tiêu chí đề ra.

Dựa trên đánh giá khả năng thu gom rác thải nhựa ở mục hiện trạng, nghiên cứu đề xuất quy mô công suất xử lý là 275 tấn/ngày, tương đương 100.000 tấn/năm. Nguồn cung cấp nguyên liệu với công suất trên được đánh giá là khả thi thông qua việc kết hợp thu mua từ các khu xử lý chất thải rắn tập trung, nơi loại nhựa này tồn đọng nhiều và bổ sung từ mạng lưới các cơ sở thu mua phế liệu, với tiềm năng mở rộng thông qua việc phát triển mô hình phân loại tại nguồn trong tương lai. Nguồn nguyên liệu dự kiến bao gồm 240 tấn/ngày từ các khu xử lý chất thải rắn sinh hoạt và 35 tấn/ngày từ các cơ sở thu mua phế liệu. Với công suất này, dự án có thể đạt hiệu quả kinh tế tối ưu, đồng thời đáp ứng được khả năng cung cấp nguyên liệu ổn định từ thị trường.

Nghiên cứu đã xem xét 4 phương án cấu hình công nghệ nhiệt phân: Phương án 1 là nhiệt phân sản xuất 165 tấn/ngày dầu nhiệt phân; Phương án 2a là nhiệt phân sản xuất 115 tấn/ngày dầu FO và 32 tấn/ngày dầu DO; Phương án 2b là nhiệt phân sản xuất 65 tấn/ngày dầu FO và 96 tấn/ngày dầu DO và phương án 2c là nhiệt phân sản xuất 15 tấn/ngày dầu FO và 96 tấn/ngày dầu DO.

Phương án 1 chỉ sử dụng công nghệ nhiệt phân cơ bản, tập trung vào việc sản xuất dầu FO-R với quy trình đơn giản, chi phí đầu tư thấp và hiệu quả kinh tế cao. Trong khi đó, các phương án 2a - 2c bổ sung thêm các cụm công nghệ nâng cao chất lượng sản phẩm như cụm chưng cất dầu nhiệt phân thành dầu DO, cụm sản xuất hydrogen, cụm hydrotreating và cụm xử lý lưu huỳnh. Các phương án này có chi phí đầu tư cao hơn nhưng tạo ra sản phẩm DO có giá trị cao hơn.

Xét về hiệu quả kinh tế, phân tích cho thấy phương án nhiệt phân 1 đạt các chỉ số tài chính khả quan IRR khoảng 16%, cao hơn IRR tối thiểu cần đạt là 13%, thời gian hoàn vốn dự kiến 6,4 năm - tức có thể thu hút đầu tư, còn phương án khí hóa khó đảm bảo lợi nhuận kỳ vọng.

3.5. Thách thức và kiến nghị khi triển khai dự án

Về nguồn nguyên liệu: Dự án có lợi thế lớn khi nguồn rác thải các loại nhựa cuối vòng đời tái chế, cao su hiện cung lớn hơn cầu do hệ thống tái chế còn hạn chế. Thay vì đơn vị chủ quản, chủ đầu tư tự xây dựng hệ thống thu gom cổng kênh và kém hiệu quả, dự án nên mua nguyên liệu từ các đầu mối tư nhân có giấy phép kinh doanh thu gom rác thải. Việc ký hợp đồng dài hạn với 2 - 3 đơn vị thu gom lớn sẽ đảm bảo nguồn cung ổn định, đồng thời dự án nên vận hành ở mức 70 - 80% công suất để có dự phòng khi nguồn rác biến động.

Về nhân lực: Được giải quyết thông qua đào tạo thực tế tại chỗ ở các đơn vị trong nước. Kỹ sư và công nhân có thể được gửi đào tạo thực địa tại các nhà máy hiện có ở Việt Nam có chức năng tương tự như nhà máy tái chế hóa học, lọc dầu hoặc hóa chất. Đồng thời lựa chọn nhà cung cấp công nghệ có dịch vụ đào tạo và hỗ trợ vận hành 6 - 12 tháng đầu, kết hợp xây dựng quy trình vận hành tiêu chuẩn chi tiết để đảm bảo vận hành an toàn.

Hành lang pháp lý hiện tại tạo cơ hội tích cực cho dự án. Chính sách EPR có hiệu lực từ 1/1/2024 tạo nguồn tài chính từ các doanh nghiệp nhựa thông qua Quỹ Bảo vệ môi trường Việt Nam để hỗ trợ tái chế. QCVN 19:2024/BTNMT về khí thải công nghiệp có hiệu lực từ 1/7/2025 đưa ra tiêu chuẩn thống nhất, tạo khung pháp lý rõ ràng.

Dự án cần hoàn thiện đánh giá tác động môi trường theo quy chuẩn mới và duy trì minh bạch với cộng đồng thông qua việc công bố báo cáo đánh giá tác động môi trường và mời đại diện cộng đồng giám sát định kỳ.

Về hỗ trợ tài chính, sự phối hợp với chính quyền địa phương là then chốt thông qua các chính sách ưu đãi như giá thuê đất thấp trong 5 - 7 năm đầu, thuế môi trường ưu đãi trong giai đoạn khởi động và đơn giản hóa thủ tục hành chính. Với nguồn nguyên liệu dồi dào, chính sách EPR hỗ trợ và quy chuẩn pháp lý hoàn thiện, dự án nhiệt phân rác thải nhựa có tiềm năng thành công cao tại Việt Nam nếu được triển khai đúng cách và có sự phối hợp chặt chẽ giữa các bên liên quan.

4. Kết luận

Ô nhiễm rác thải nhựa đang đặt ra thách thức cấp bách về môi trường, đòi hỏi các giải pháp công nghệ hiệu quả và bền vững. Thông qua việc kết hợp khảo sát thực tiễn và đánh giá khoa học, nghiên cứu này đã đề xuất hướng đi phù hợp cho bài toán rác thải nhựa ở miền Nam Việt Nam. Trên cơ sở phân tích hiện trạng, nhóm tác giả khuyến nghị áp dụng công nghệ nhiệt phân để chuyển hóa nhựa khó tái chế thành nhiên liệu lỏng và khí, nhờ những ưu việt về kỹ thuật và kinh tế trong điều kiện Việt Nam. Các địa điểm tiềm năng được đề xuất để triển khai dự án thí điểm, tận dụng lợi thế vùng nguyên liệu và hạ tầng sẵn có, đồng thời dễ mở rộng nếu thành công. Kết quả nghiên cứu là cơ sở giúp các cơ quan quản lý và doanh nghiệp định hướng đầu tư vào công nghệ mới, góp phần giảm ô nhiễm nhựa và thúc đẩy kinh tế tuần hoàn trong ngành công nghiệp dầu khí cũng như trên phạm vi quốc gia. Trong giai đoạn tiếp theo, nhóm tác giả kiến nghị sớm triển khai dự án thí điểm quy mô 275 tấn/ngày tại một trong các địa điểm ở khu xử lý chất thải tập trung Tóc Tiên, TP. Hồ Chí Minh; khu Quang Trung, tỉnh Đồng Nai hoặc khu Nam Bình Dương, TP. Hồ Chí Minh, kết hợp chương trình giám sát - tối ưu hóa vận hành. Đồng thời, cần xây dựng cơ chế chính sách hỗ trợ ưu đãi tín dụng, mặt bằng... để dự án sớm trở thành hiện thực, mang lại lợi ích môi trường - kinh tế thiết thực.

Tài liệu tham khảo

- [1] World Bank, "Hướng tới một Lộ trình quốc gia về nhựa dùng một lần tại Việt Nam", 2022.
- [2] Trường Đại học Dầu khí Việt Nam, "Báo cáo tổng kết đề tài Nghiên cứu ứng dụng công nghệ xử lý chuyển hóa rác thải nhựa thành nhiên liệu lỏng và olefin hoặc khí tổng hợp", 2024.

- [3] WWF Việt Nam, “*Báo cáo chất thải nhựa bao bì từ thương mại điện tử tại Việt Nam 2023*”, 2023.
- [4] World Bank, “*Phân tích về ô nhiễm rác thải nhựa tại Việt Nam*”, 2022.
- [5] Khánh Chi, “Giải pháp quản lý rác thải nhựa, hướng đến phát triển bền vững”, *Tạp chí Tài chính*, 2024.
- [6] Phùng Chí Sỹ và Phùng Anh Đức, “Một số giải pháp thúc đẩy phát triển mô hình kinh tế tuần hoàn trong quản lý chất thải tại Việt Nam”, *Tạp chí Môi trường*, 2025.
- [7] Amcor, “Chemical recycling for flexible packaging in Europe”, 15/2/2023. [Online]. Available: <https://www.amcor.com/insights/educational-resources/chemical-recycling-flexible-plastic-packaging>.
- [8] Shafferina Dayana Anuar Sharuddin, Faisal Abnisa, Wan Mohd Ashri Wan Daud, and Mohamed Kheireddine Aroua, “A review on pyrolysis of plastic wastes”, *Energy Conversion and Management*, Volume 115, pp. 308 - 326, 2016. DOI: 10.1016/J.ENCONMAN.2016.02.037.
- [9] Beston Group, “Plastic pyrolysis plant”. [Online]. Available: <https://www.bestongroup.com/plastic-pyrolysis-plant/>.
- [10] Lizhuo Peng, Senlin Dong, Jie Yang, Junyuan Gou, Lan Shao, Liping Ma, Rui Nie, Junjie Shi, Yalei Du, Yongqing Liu, and Changye Han, “Industrial solid waste as oxygen carrier in chemical looping gasification technology: A review”, *Journal of the Energy Institute*, Volume 116, 2024. DOI: 10.1016/J.JOEI.2024.101694.
- [11] JGC Group, “Waste plastics chemical recycling by gasification”. [Online]. Available: https://www.jgc.com/en/media/pdf/catalog_02.pdf.
- [12] Tihomir Tomić, Iva Slatina, and Daniel R. Schneider, “Techno-economic review of pyrolysis and gasification plants for thermochemical recovery of plastic waste and economic viability assessment of small-scale implementation”, *Clean Technologies and Environmental Policy*, Volume 26, Issue 1, pp. 171 - 195, 2024, DOI: 10.1007/s10098-023-02648-3.
- [13] Doing Holdings, “Full continuous pyrolysis plant”. [Online]. Available: https://english.doinggroup.com/products/henan_doing_continuous_pyrolysis_plant/.

RESEARCH ON APPLICATION OF PYROLYSIS TECHNOLOGY TO CONVERT PLASTIC WASTE INTO LIQUID FUEL

Phan Minh Quoc Binh^{1,2}, Duong Chi Trung², Le Van Long², Mai Thi Quynh Chau²

¹Vietnam Petroleum Institute (VPI)

²Petrovietnam University (PVU)

Email: trungdc@pvu.edu.vn

Summary

Plastic waste pollution has become increasingly severe in Vietnam, particularly in the Southern region, which generates the country's largest amount of plastic waste. Although the rate of municipal waste collection is high, about 90% in each province, source separation is virtually not implemented. Valuable plastics are informally collected for recycling, while the remainder - comprising predominantly low-quality mixed plastics, accounting for 5 - 8% of waste by weight - ends up in landfills. The research analyzed the status of plastic waste in Vietnam, surveyed the waste plastic flow in southern provinces, and compared existing treatment technologies. Results show that mechanical recycling helps reuse materials but is limited by feedstock quality; meanwhile, pyrolysis and gasification can convert mixed plastics into liquid fuels, olefins, or synthesis gas, providing higher value.

Based on technical and economic criteria, pyrolysis technology was selected for the project due to its high feasibility, low operational risk, and scalability, making it suitable for Vietnam's current conditions. Regarding implementation sites, the research team proposed several centralized waste treatment zones in the Southeast region - areas characterized by abundant waste sources, existing infrastructure, and investment support policies - and discussed the challenges associated with project deployment.

Key words: Plastic waste, pyrolysis, gasification, plastic recycling, waste-to-fuel, Southeast region.