MÔ PHỎNG QUÁ TRÌNH CHÁY VIÊN NÉN NHIÊN LIỆU (RDF) TRONG KHÔNG KHÍ

REFUSE DERIVED FUEL (RDF) COMBUSTION IN ATMOSPHERIC CONDITIONS: A SIMULATION STUDY

Bùi Văn Ga[1], Hoàng Anh Tuấn[2], Lê Khắc Bình[3]*, Cao Xuân Tuấn[4], Võ Anh Vũ[1], Nguyễn Xuân Sơn[1], Võ Như Tùng[1]

[1]Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng, Việt Nam
[2]Trường Đại học Đông Á, Việt Nam
[3]Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh, Việt Nam
[4]Đại học Đà Nẵng, Việt Nam

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: khacbinhvute@yahoo.com

(Nhận bài / Received: 20/2/2024; Sửa bài / Revised: 05/4/2024; Chấp nhận đăng / Accepted: 08/4/2024)

Tóm tắt - Xử lý chất thải rắn thông qua viên nén nhiên liệu RDF cho phép thu hồi triệt để tài nguyên, nâng cao hiệu suất chuyển hóa năng lượng và giảm phát thải ô nhiễm môi trường. Mô phỏng quá trình cháy của viên RDF trong khí quyển cung cấp các thông tin cần thiết để thực hiện mô phỏng quá trình tạo syngas trong lò khí hóa. Khi hệ số không khí dư ER tăng thì nhiệt độ cực đại của ngọn lửa tăng. Nhiệt độ cực đại đạt 1110K, 1154K, 1227K và 1338K lần lượt tương ứng với ER 0,3; 0,45; 0,65 và 0,95. Khi ER giảm thì nồng độ các chất CO, CH_4, H_2 tăng lên dẫn đến tăng nhiệt trị syngas Q_{syn}. Khi ER=0,32 thì Qsyn thu được từ quá trình cháy RDF-Trấu, RDF-Chất thải rắn và RDF-Gỗ vụn lần lượt là 5,3; 5,5 và 5,9 MJ/kg.

Từ khóa – Syngas; Viên nén nhiên liệu RDF; Năng lượng tái tạo; Khí hóa biomass; Nhiệt trị syngas

Abstract - The treatment of solid waste through Refuse Derived Fuel (RDF) offers an appropriate solution to resource recovery, enhancing energy conversion efficiency, and mitigating environmental pollution emissions. Simulation of RDF combustion processes in the atmosphere provides crucial insights for modeling syngas generation in gasifiers. As the excess air coefficient (ER) increases, the maximum flame temperature also rises, reaching peaks of 1110K, 1154K, 1227K, and 1338K at ER values of 0.3; 0.45; 0.65 and 0.95, respectively. Conversely, a decrease in ER leads to elevated concentrations of CO, CH_4, and H_2, resulting in an augmented syngas heat value (Q_{syn}). At ER=0.32, the Qsyn values obtained from combustion of RDF-Rice Husk, RDF-Solid Waste, and RDF-Wood Chips are 5.3; 5.5 and 5.9 MJ/kg, respectively.

Key words – Syngas; Refuse Derived Fuel RDF; Renewable energy; Biomass gasification; Heat value of syngas

1. Giới thiệu

Xử lý chất thải rắn luôn là một vấn đề thách thức đối với hầu hết các quốc gia trên thế giới. Chôn lấp theo truyền thống là phương pháp xử lý chất thải phổ biến nhất. Tuy nhiên, giải pháp này bộc lộ một loạt nhược điểm như chiếm diện tích đất lớn [1], phát thải khí nhà kính (chủ yếu là CO_2 [2] và CH_4 [3]), phát nước rỉ rác, phát sinh mùi hôi, nguy cơ cháy/nổ hoặc lở đất, gây nguy hiểm cho cả môi trường và sức khỏe con người [4]. Ngoài ra, chôn lấp chất thải rắn gây lãng phí tài nguyên vì không thu hồi được những vật liệu có giá trị [5]. Ở nước ta, chôn lấp rác hiện vẫn là giải pháp chủ yếu hiện nay. Phần lớn các bãi chôn lấp rác đều đã trở nên quá tải. Đặc biệt là ở nông thôn, tỉ lệ chất thải rắn phát sinh từ sản xuất và sinh hoạt được xử lý chiếm tỉ trọng bé, gây ảnh hưởng lớn đến môi trường. Vì vậy, việc tìm kiếm một giải pháp xử lý triệt để rác có thể áp dụng bền vững là rất quan trọng. Theo luật Bảo vệ môi trường hiện hành, chất thải rắn phải được phân loại tại nguồn, tạo điều kiện để áp dụng các công nghệ mới trong việc xử lý rác ở các công đoạn tiếp theo.

Phương pháp đốt rác truyền thống hiệu suất thấp và đi kèm giải pháp xử lý khí thải phức tạp và tốn kém. Chuyển đổi phần dễ cháy của chất thải rắn đô thị thành RDF và sử dụng chúng làm nhiên liệu thay thế là một xu hướng mới trong xử lý chất thải rắn [6], [7]. Khái niệm RDF được phát triển vào khoảng đầu những năm 1970 [8]. Chuyển chất thải thành năng lượng thông qua RDF mang lại những lợi ích thiết thực: thúc đẩy phát triển nền kinh tế tuần hoàn, tiết kiệm quỹ đất, nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên và cho phép thay thế một phần nhiên liệu hóa thạch bằng năng lượng tái tạo [9]. Hơn nữa, nguồn chất thải luôn dồi dào và liên tục nên phụ thuộc vào nguồn nhập khẩu nhiên liệu [10]. Ngoài ra, khoảng 50% hàm lượng carbon trong chất thải sinh hoạt và sản xuất có nguồn gốc tái tạo [11] nên việc sử dụng năng lượng từ chất thải rắn góp phần giảm thiểu phát thải khí nhà kính [12], [13].

Trên thế giới RDF là nguồn chất đốt cung cấp năng lượng cho ngành xi măng. Tuy nhiên, đốt trực tiếp RDF có một số hạn chế như quá trình cháy không hoàn toàn dẫn đến hàm lượng CO cao, giảm nhiệt độ ngọn lửa, phát sinh các chất ô nhiễm… Khí hóa RDF là một giải pháp đầy hứa hẹn để loại bỏ các nhược điểm xảy ra khi đốt trực tiếp, từ đó nâng cao hiệu quả chuyển đổi năng lượng từ chất thải

[1] The University of Danang – University of Science and Technology, Vietnam (Bui Van Ga, Vo Anh Vu, Nguyen Xuan Son, Vo Nhu Tung)
[2] Dong A University, Vietnam (Hoang Anh Tuan)
[3] Vinh University of Education and Technology, Vietnam (Le Khac Binh)
[4] The University of Danang, Vietnam (Cao Xuan Tuan)

rắn [14], [15]. So với sinh khối nói chung, RDF từ chất thải rắn có nhiệt trị cao hơn do hàm lượng các nguyên tố dễ cháy như C và H lớn hơn [16]. Ngoài ra, độ ẩm trong nhiên liệu thải thấp hơn; do đó, việc sấy khô nguyên liệu trước khi các quá trình tiếp theo diễn ra tiêu tốn ít năng lượng hơn. Mặt khác, nhiệt độ nóng chảy của tro RDF thấp hơn một chút so với nhiệt độ nóng chảy của tro sinh khối [17],[18] nên không gây tắt lò trong quá trình chuyển đổi nhiệt hóa. Một số nghiên cứu đã được tiến hành để sử dụng RDF làm chất đốt cung cấp nhiệt cho các mục đích khác nhau [19], [20], [21]. Các nghiên cứu này chỉ ra rằng hàm lượng clo là một trong những mối quan tâm chính đối với nhiên liệu có nguồn gốc từ chất thải. Tạp chất này có thể gây ra sự ăn mòn hệ thống sử dụng nhiệt do sự bay hơi và ngưng tụ của clorua kiềm [20], [21].

Khí hóa RDF là giải pháp hữu hiệu để khắc phục những nhược điểm của việc đốt trực tiếp. Trong quá trình khí hóa, RDF được chuyển thành syngas gồm các thành phần chính CO_2, CO, H_2, CH_4, H2O và các loại khí hydrocarbon khác, hắc ín, hạt than và tro. Sau khi làm sạch, syngas có thể được sử dụng tiếp để sản xuất nhiên liệu hydrocarbon lỏng, hydro, metanol, amoniac hoặc làm nhiên liệu cho động cơ đốt trong [22]. Quá trình này cho hiệu suất thu hồi năng lượng cao hơn quá trình đốt trực tiếp với lượng phát thải thấp hơn [23]. Chất oxy hóa có thể là không khí, hơi nước, không khí được làm giàu oxy và carbon dioxide [24]. Các nghiên cứu về sản xuất khí tổng hợp trong các điều kiện nhiệt độ khác nhau chỉ ra rằng việc tăng nhiệt độ giúp cải thiện tốc độ phản ứng khí hóa và làm tăng hàm lượng hydro [25], [26]. Quá trình khí hóa diễn ra trong lò khí hóa. Đối với lò khí hóa kiểu hút xuống [27] có thể chia thành 4 khu vực khác nhau [28]: khu vực chứa RDF có nhiệt độ 373K-423K, khu vực nhiệt phân sơ cấp, khu vực nhiệt phân thứ cấp có nhiệt độ 423K-973K, khu vực cháy có nhiệt độ 973K-1773K và khu vực hoàn nguyên có nhiệt độ 1073K-1373K. Syngas chủ yếu hình thành ở khu vực hoàn nguyên. Thành phần của syngas có thể điều chỉnh bằng cách bổ sung hơi nước vào khu vực này [28].

Khí hóa là một quá trình phức tạp, có thể được thực hiện nhờ các phần mềm mô phỏng [28]. Ứng dụng phần mềm Ansys Fluent để nghiên cứu quá trình khí hóa được trình bày trong các công trình [27], [29]. So sánh kết quả mô phỏng và thực nghiệm khí hóa RDF trong lò khí hóa được trình bày trong [30], [31]. Trong các công trình này việc điều chỉnh hệ số không khí dư được thực hiện thông qua lưu lượng nhiên liệu và lưu lượng không khí cung cấp vào lò. Để nâng cao hiệu quả mô phỏng quá trình khí hóa trong lò, chúng ta cần có các thông tin cơ bản về quá trình cháy của viên nén nhiên liệu RDF. Các thông tin này hiện nay hầu như rất hiếm trong cơ sở dữ liệu khoa học đã được công bố.

Công trình này tập trung nghiên cứu mô phỏng quá trình cháy cơ bản của viên RDF trong điều kiện hỗn hợp giàu. Dạng hình học của ngọn lửa, phân bố nhiệt độ và nồng độ các chất trong sản phẩm cháy khi thay đổi hệ số không khí dư được phân tích. Quá trình cháy của ba loại RDF từ trấu, gỗ vụn và chất thải rắn được mô phỏng để so sánh. Kết quả nghiên cứu cơ bản này cung cấp thông tin cần thiết để thực hiện mô phỏng quá trình khí hóa trong lò khí hóa thực tế.

2. Phương pháp nghiên cứu

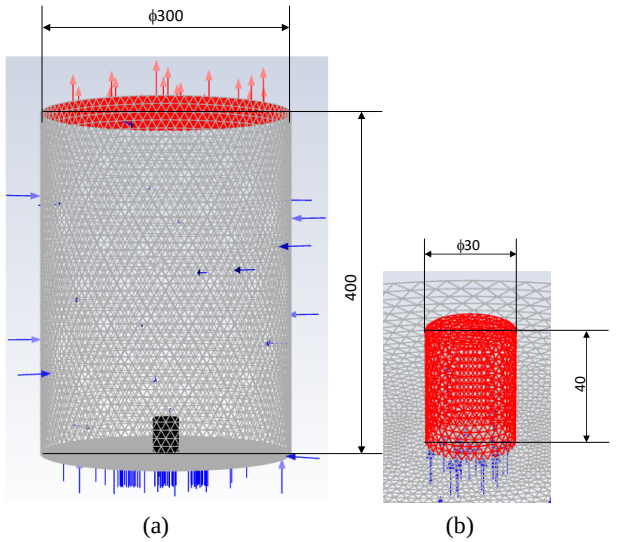
Mô phỏng quá trình cháy viên nén nhiên liệu được thực hiện nhờ phần mềm Ansys Fluent phiên bản 21R1. Nội dung công trình này tập trung nghiên cứu cơ bản quá trình cháy của viên nén nên cấu hình không gian tính toán gồm 1 viên nén hình trụ đường kính 30mm, chiều cao 40mm được đặt trong không gian tính toán là môi trường không khí có dạng hình trụ, đường kính và chiều cao gấp 10 lần kích thước viên nén (Hình 1). Không khí hút vào ở mặt dưới hình trụ và xung quanh không gian tính toán do lực trọng trường. Viên nén được giả định có kết cấu xốp trong đó chứa nhiên liệu có thành phần cho ở Bảng 1. Nhiên liệu đưa vào mô phỏng theo thành phần nguyên tố. Trên cơ sở thành phần này, nhóm tác giả tính toán được tỉ lệ không khí/nhiên liệu r trong điều kiện cháy hoàn toàn lý thuyết:

$$r = \frac{100}{23}\left(\frac{8x_C}{3} + 8x_H - x_O\right) \quad (1)$$

Trong đó, x_C, x_H, x_O là thành phần C, H, O trong nhiên liệu theo khối lượng (Bảng 1).

Bảng 1. *Thành phần nhiên liệu trong viên nén RDF*

Viên nén nhiên liệu	Thành phần nhiên liệu (% khối lượng)			
	C	H	O	N
RDF-Trấu	0,500	0,060	0,436	0,004
RDF-Chất thải rắn	0,570	0,061	0,350	0,019
RDF-Gỗ vụn	0,533	0,064	0,402	0,001



(a) (b)

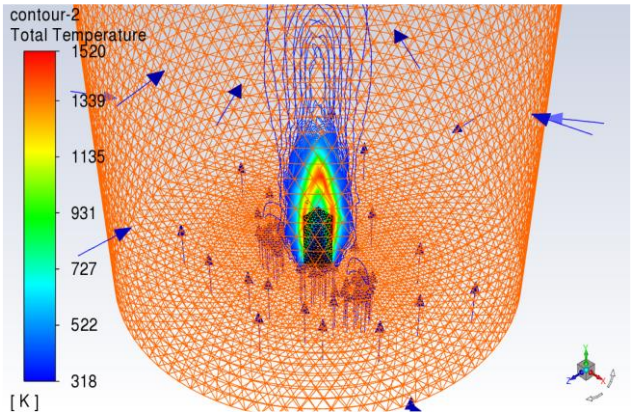
Hình 1. *Chia lưới không gian tính toán (a) và chia lưới viên nén RDF*

Trong nghiên cứu này mô hình rối k-ε và mô hình cháy Partially Premixed Combustion được lựa chọn. Trong không gian tính toán, không khí quanh viên nén có thông số diễn tiến quá trình cháy c=1, còn trong viên nén c=0. Khi bắt đầu mô phỏng, các giá trị này được gán nhờ công cụ Patch ở bảng Initialization. Thành phần hỗn hợp nhiên liệu-không khí f giả định được đưa vào giá trị ban đầu của viên nén. Từ đó, hệ số không khí dư ER được xác định:

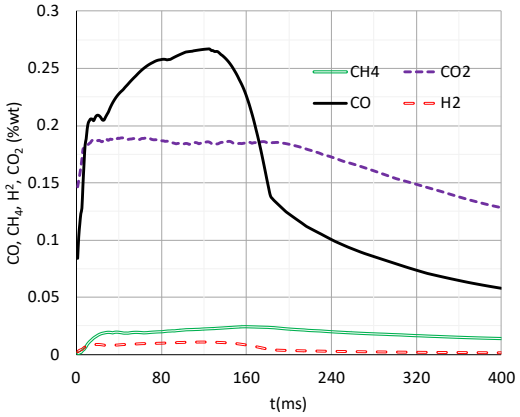
$$ER = \frac{fr}{1-f} \quad (2)$$

Hình 2a giới thiệu kết quả mô phỏng sự phân bố nhiệt độ khi cháy viên nén RDF của một trường hợp tiêu biểu. Kết quả trình bày đường đồng mức nhiệt độ trên mặt cắt ¼

viên RDF. Ngọn lửa có dạng hình côn tương tự như trường hợp phun nhiên liệu khí qua vòi phun có đường kính lỗ bằng đường kính viên nén. Phần tâm ngọn lửa có nhiệt độ thấp do giàu nhiên liệu. Phần ngoài ngọn lửa do hỗn hợp nghèo nên nhiệt độ cháy giảm. Nhiệt độ cháy cực đại đạt được tại vùng màng lửa nơi có thành phần hỗn hợp nhiên liệu-không khí tối ưu. Hình 2b giới thiệu biến thiên các chất trong màng lửa theo thời gian. Khi bắt đầu cháy, hơi nhiên liệu từ viên RDF thoát ra mạnh làm cho hỗn hợp giàu nên hàm lượng CO tăng mạnh. Sau khi đạt giá trị cực đại, nồng độ CO giảm xuống. Khi viên nén cháy hết thì nồng độ CO giảm nhanh. Nồng độ CH_4 và H_2 cũng biến thiên tương tự nhưng với giá trị nhỏ hơn nhiều. Đây là sự khác biệt giữa quá trình cháy RDF ngoài khí quyển so với khi khí hóa trong lò [30], [31]. Khi khí hóa trong lò thì nồng độ các chất trong syngas duy trì giá trị ổn định do nhiên liệu được cấp liên tục vào khu vực cháy.



(a)



(b)

Hình 2. *Phân bố nhiệt độ cháy RDF (a) và biến thiên nồng độ các chất trong ngọn lửa RDF theo thời gian (b) (RDF-Chất thải rắn, ER=0,35)*

Trong nghiên cứu này, các thông số quá trình cháy được xác định gồm giá trị cực đại của nhiệt độ và nồng độ các chất trong sản phẩm cháy tại từng thời điểm. Trên cơ sở thành phần khối lượng của các chất trong sản phẩm cháy, chúng ta tính toán được nhiệt trị của syngas theo biểu thức:

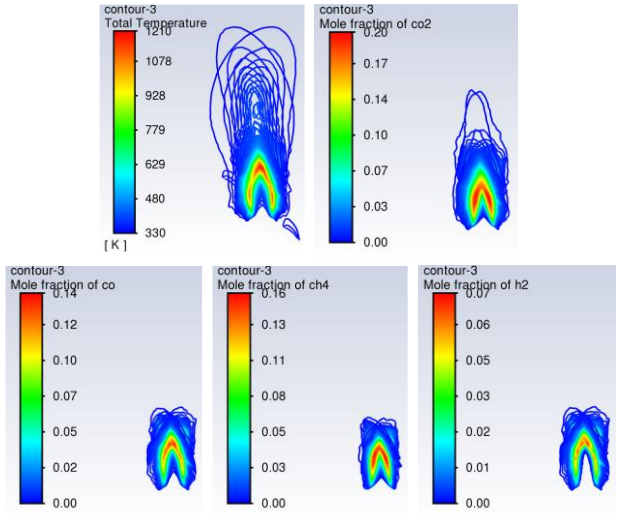
$$Q_{syn}=10,16x_{CO} + 49,853x_{CH4} + 120,087x_{H2} \text{ (MJ/kg)} \quad (3)$$

Trong đó, x_{CO}, x_{CH4} và x_{H2} là thành phần theo khối lượng (g/g) của CO, CH_4 và H_2 trong sản phẩm cháy.

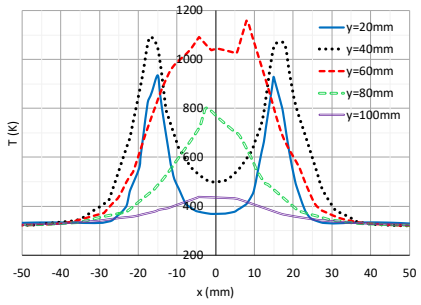
3. Kết quả và bình luận

3.1. Phân bố nhiệt độ và nồng độ trong ngọn lửa RDF

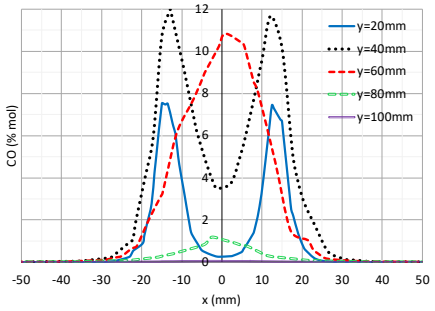
Hình 3 giới thiệu đường đồng mức nhiệt độ, nồng độ CO, CO_2, CH_4 và H_2 của ngọn lửa RDF-gỗ vụn. Chúng ta thấy, vùng nhiệt độ cao tập trung ở khu vực màng lửa. Đây cũng là nơi tập trung nồng độ các chất trong sản phẩm quá trình cháy. Trong điều kiện hỗn hợp giàu, quá trình cháy diễn ra không hoàn toàn nên C và H không chuyển hóa hoàn toàn thành CO_2 và H_2O. Kết quả trên cho thấy, trong sản phẩm cháy có chứa các chất cháy được CO, CH_4 và H_2. Nồng độ của chúng được xác định dựa trên cân bằng nhiệt động học phản ứng. Trong điều kiện cháy ổn định ngọn lửa RDF-gỗ vụn, nồng độ mol cực đại của CO, CH_4 và H_2 theo thứ tự tương ứng 14%, 16% và 7%.



Hình 3. *Đường đồng mức nhiệt độ, nồng độ CO_2, CO, CH_4 và H_2 của ngọn lửa RDF-gỗ vụn trên mặt cắt xy và yz khi cháy ổn định (ER=0,3)*



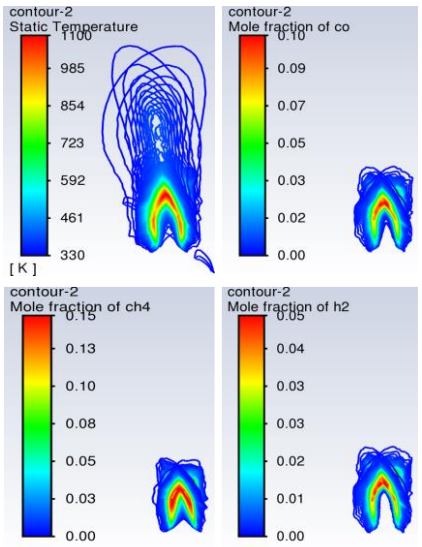
(a)



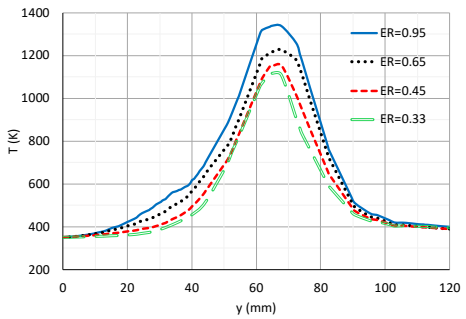
(b)

Hình 4. *Biến thiên nhiệt độ T (a) và nồng độ mol CO (b) theo phương ngang x của ngọn lửa RDF-Gỗ vụn (ER=0,3)*

Hình 4a cho thấy, nhiệt độ cao tập trung cao ở khu vực màng lửa. Trong quá trình cháy, oxy từ không khí khuếch tán vào hơi nhiên liệu bốc ra từ viên RDF nên màng lửa nằm ngoài rìa viên RDF. Khi y<40 (chiều cao của viên RDF) thì đường cong T(x) có 2 đỉnh ương ứng với vị trí màng lửa bên trái và bên phải viên nén. Khi y>60, đường cong T(x) chỉ còn một đỉnh. Nhiệt độ màng lửa cao nhất khi y nằm trong khoảng 40mm đến 60mm. Điều này có thể giải thích khi được nung nóng thì hơi nhiên liệu từ viên nén RDF dịch chuyển lên phía trên (do lực trọng trường) tạo nên tia nhiên liệu. Bên trong tia phun thì hỗn hợp đậm, bên ngoài tia phun thì hỗn hợp loãng, không cháy được. Khu vực này có thể xem là khu vực hòa trộn đồng đều giữa hơi nhiên liệu bốc ra từ viên nén RDF và không khí. Khi y>60mm, nhiệt độ khí giảm nhanh do không khí khuếch tán nhanh chóng vào sản phẩm cháy.



(a)



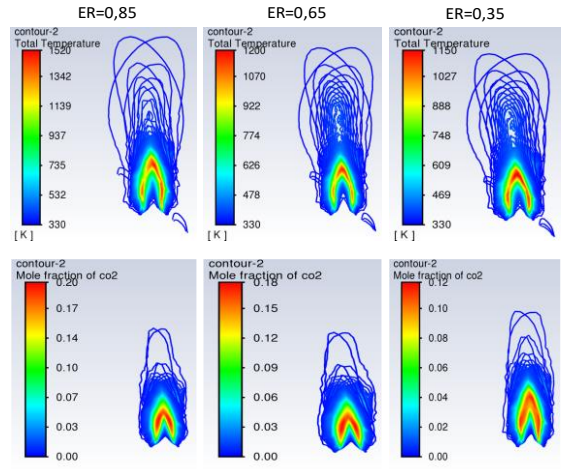
(b)

Hình 5. *Đường đồng mức nhiệt độ T, nồng độ CO, CH_4 và H_2 với ER=0,3 (a) và ảnh hưởng của ER đến biến thiên nhiệt độ theo phương đứng y (RDF-Trấu)*

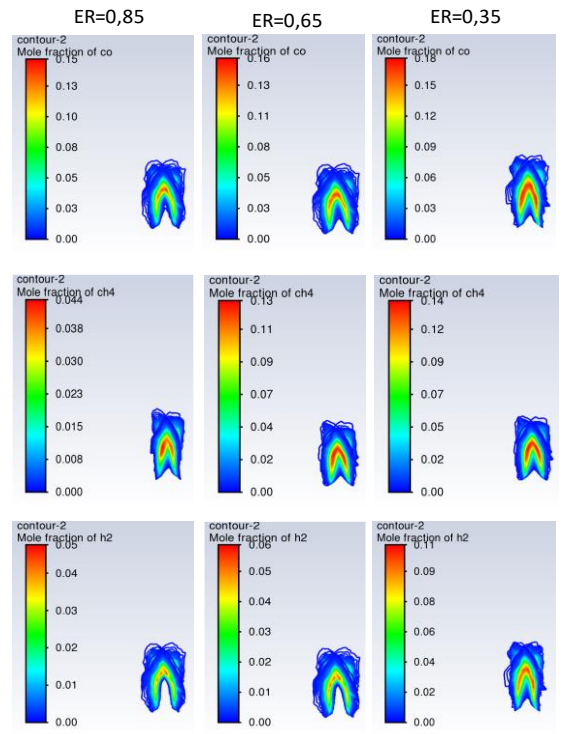
Qui luật biến thiên nồng độ CO theo phương ngang x và theo phương đứng y tương tự như qui luật biến thiên nhiệt độ ngọn lửa. Điều này cho thấy quá trình sản sinh CO diễn ra chủ yếu ở khu vực màng lửa. Sau khi sinh ra, CO khuếch tán nhanh chóng vào không khí xung quanh nên nồng độ CO ngoài rìa ngọn lửa giảm về 0.

Qui luật biến thiên nhiệt độ và nồng độ các chất trong sản phẩm cháy của viên nén RDF-Trấu tương tự như trường hợp cháy của viên nén RDF-Gỗ vụn (Hình 5a). Cùng một giá trị hệ số không khí dư ER=0,3 nhiệt độ cực đại cũng như nồng độ cực đại của các chất CO, CH_4, H_2 trong trường hợp RDF-Trấu đều nhỏ hơn giá trị tương ứng của trường hợp RDF-Gỗ vụn (Hình 4a). Khi hệ số không khí dư tăng thì quá trình cháy diễn ra hoàn toàn hơn, dẫn đến nhiệt độ ngọn lửa tăng. Hình 5b biểu diễn biến thiên nhiệt độ theo chiều cao y ứng với các hệ số không khí dư khác nhau. Chúng ta thấy nhiệt độ cực đại của ngọn lửa đạt 1110K, 1154K, 1227K và 1338K lần lượt tương ứng với ER 0,3, 0,45, 0,65 và 0,95. Kết quả Hình 5b cũng cho thấy, chiều cao đỉnh ngọn lửa giảm nhẹ khi tăng độ đậm đặc của hỗn hợp. Khi hệ số không khí dư tăng từ 0,33 đến 0,95 thì đỉnh ngọn lửa tăng từ 65mm lên 68mm.

3.2. Ảnh hưởng của ER đến sản phẩm cháy RDF



(a)

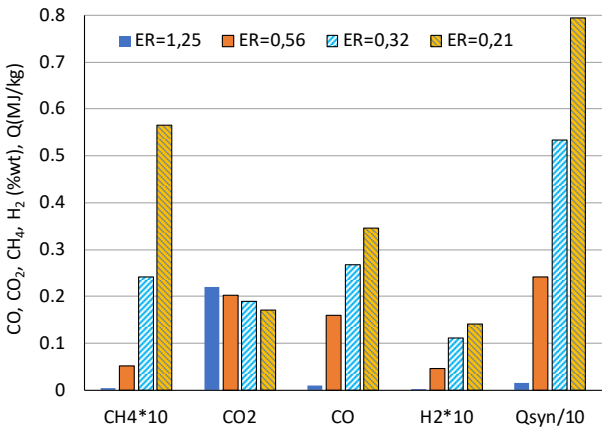


(b)

Hình 6. *Ảnh hưởng của hệ số không khí dư ER đến đường đồng mức nhiệt độ T và CO_2 (a) và đường đồng mức nồng độ mol CO, CH_4, H_2 (b) (RDF-Chất thải rắn)*

Hình 6 giới thiệu ảnh hưởng của hệ số không khí dư ER đến sự phân bố nhiệt độ và nồng độ các chất trong sản phẩm cháy RDF-Chất thải rắn. Khi ER giảm, nghĩa là khi tăng độ đậm đặc của hỗn hợp thì nhiệt độ cháy giảm do diễn ra quá trình cháy không hoàn toàn. Do đó, một bộ phận C trong nhiên liệu không bị oxy hóa hoàn toàn thành CO_2 mà chuyển thành CO. Nồng độ CO_2 trong sản phẩm cháy cùng với nhiệt độ cháy giảm khi giảm ER (Hình 6a). Tuy nhiên, để thu được hàm lượng cao các chất cháy được trong syngas thì phải giảm hệ số không khí dư ER. Hình 6b cho thấy nồng độ CO, CH_4 và H_2 tăng khí ER giảm. Mức độ gia tăng khi đốt cháy RDF ngoài khí quyển thấp hơn khi cháy trong lò khí hóa. Điều này có thể giải thích là do trong lò khí hóa ER được giữ ổn định trong toàn bộ khu vực cháy và hoàn nguyên còn trong ngọn lửa, khu vực ổn định ER là màng lửa rất mỏng. Do đó, các chất sinh ra từ phản ứng trong màng lửa nhanh chóng khuếch tán ra bên ngoài làm nồng độ của chúng giảm nhanh.

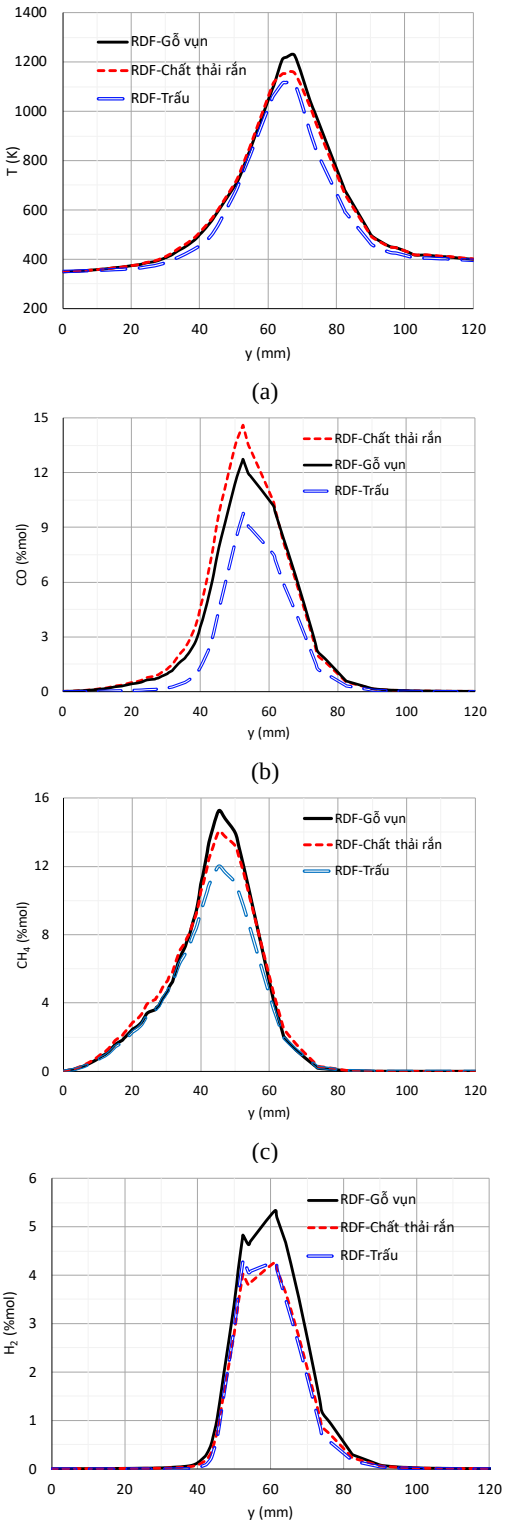
Hình 7 so sánh cụ thể ảnh hưởng của ER đến thành phần khối lượng các chất trong sản phẩm cháy RDF và nhiệt trị syngas. Thành phần các chất được xác định là giá trị cao nhất của chúng trong không gian tính toán. Do thành phần các chất cháy được đều tăng khi giảm ER nên nhiệt trị của syngas thu được cũng tăng khi giảm ER. Nhiệt trị syngas được tính dựa trên thành phần cực đại của các chất nên nó là giá trị lớn nhất có thể đạt được trong điều kiện cháy xác định. Giá trị cụ thể của Q_{syn} là 0,15; 2,41; 5,34 và 7,94 theo thứ tự tương ứng với hệ số không khí dư ER là 1,25; 0,56; 0,32 và 0,21. Các giá trị này nhỏ hơn so với nhiệt trị syngas tương ứng nhận được từ khí hóa RDF trong lò [30], [31]. Lý do như giải thích ở trên, đó là do khi cháy trong không khí, các chất sinh ra trong màng lửa nhanh chóng khuếch tán ra môi trường xung quanh.



Hình 7. *Ảnh hưởng của ER đến thành phần CH_4, CO_2, CO, H_2 và nhiệt trị syngas (RDF-Chất thải rắn)*

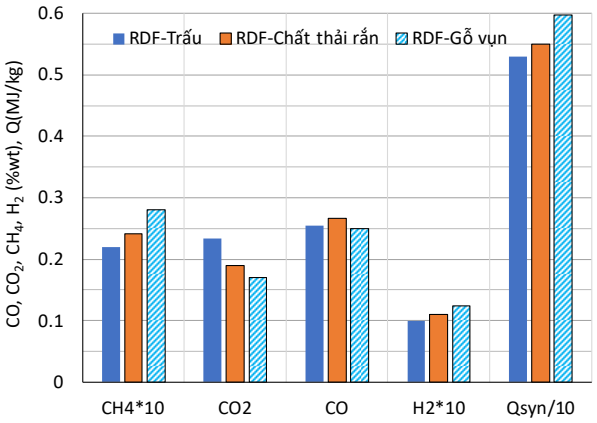
3.3. So sánh quá trình cháy RDF các loại biomass khác nhau

Hình 8 so sánh biến thiên các thông số quá trình cháy theo chiều cao ngọn lửa quá trình cháy RDF-Trấu, RDF-Chất thải rắn, RDF-Gỗ vụn với ER=0,45. Theo Bảng 1 thì thành phần C và H trong RDF-Trấu đều thấp hơn các giá trị tương ứng của RDF-Gỗ vụn và RDF-Chất thải rắn. Do vậy, nhiệt độ cực đại của quá trình cháy RDF-Trấu thấp nhất trong 3 loại RDF sử dụng trong mô phỏng (Hình 8a). Thành phần C trong RDF-Chất thải rắn cao nhất trong 3 loại RDF nên nồng độ CO trong syngas RDF-Chất thải rắn cao hơn các giá trị tương ứng của RDF-Gỗ vụn và RDF-Trấu. Do hàm lượng H trong RDF-Gỗ cao hơn giá trị tương ứng trong RDF-Chất thải rắn và RDF-Trấu nên hàm lượng CH_4 và hàm lượng H_2 trong syngas của RDF-Gỗ cao nhất trong 3 loại RDF khảo sát.

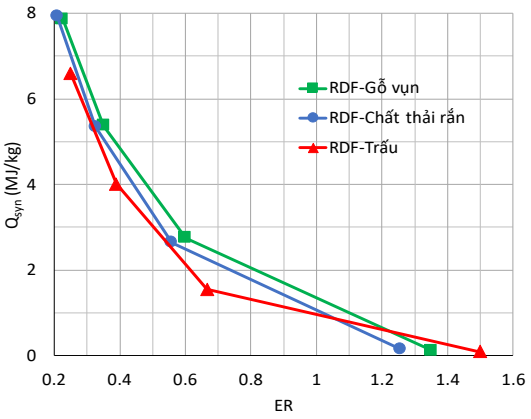


Hình 8. *So sánh biến thiên nhiệt độ T (a), nồng độ CO (b), nồng độ CH_4 (c) và nồng độ H_2 (d) theo chiều cao ngọn lửa của các RDF biomass khác nhau (ER=0,45)*

Hình 9 so sánh giá trị cực đại của nồng độ các chất trong sản phẩm cháy của RDF-Trấu, RDF-Chất thải rắn, RDF-Gỗ vụn với ER=0,32. Trong 3 loại RDF này thì nồng độ H_2 và CH_4 trong ngọn lửa RDF-Gỗ vụn đạt giá trị cao nhất còn nồng độ các chất này trong ngọn lửa RDF trấu là thấp nhất. Bảng 1 cho thấy, thành phần C và H trong RDF- Trấu đều thấp hơn thành phần tương ứng của các RDF còn lại nên thành phần các chất cháy được trong khí ga thu được của nó thấp nhất dẫn đến nhiệt trị syngas của RDF-Trấu thấp nhất trong 3 loại RDF sử dụng trong tính toán mô phỏng. Thành phần C trong RDF-Gỗ vụn thấp hơn nhưng thành phần H cao hơn các thành phần tương ứng trong RDF-Chất thải rắn. Do nhiệt trị của CO thấp hơn rất nhiều nhiệt trị của H_2 và CH_4 nên nhiệt trị của syngas từ RDF-Gỗ vụn cao hơn nhiệt trị syngas từ RDF-Chất thải rắn. Cụ thể, nhiệt trị của syngas thu được từ khí cháy của RDF-Trấu, RDF-Chất thải rắn và RDF-Gỗ vụn lần lượt là 5,3; 5,5 và 5,9 MJ/kg.



Hình 9. *So sánh nồng độ các chất và nhiệt trị syngas thu được quá trình cháy RDF-Trấu, RDF-Chất thải rắn, RDF-Gỗ vụn với ER=0,32*



Hình 10. *So sánh biến thiên nhiệt trị syngas theo ER thu được từ quá trình cháy RDF-Trấu, RDF-Chất thải rắn và RDF-Gỗ vụn*

Hình 10 so sánh biến thiên nhiệt trị syngas thu được từ quá trình khí hóa RDF-Trấu, RDF-Chất thải rắn và RDF-Gỗ vụn. Ta thấy nhiệt trị syngas trong cả 3 trường hợp giảm nhanh khi tăng ER. Khi ER>1 thì nhiệt trị syngas không đáng kể vì nhiên liệu trong RDF hầu như cháy hoàn toàn. Ứng với tất cả các giá trị ER, nhiệt trị syngas từ RDF-Gỗ vụn cao nhất rồi đến nhiệt trị syngas từ RDF-Chất thải rắn. Nhiệt trị RDF-Trấu luôn có giá trị thấp nhất trong cả 3 loại RDF khảo sát.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu trên đây cho phép rút ra được những kết luận sau:

Quá trình cháy viên nén nhiên liệu RDF sinh ra ngọn lửa khuếch tán hình côn, các chất cháy được chủ yếu sinh ra trong khu vực màng lửa. Chiều cao đỉnh ngọn lửa tăng nhẹ khi tăng hệ số không khí dư của hỗn hợp. Khi hệ số không khí dư tăng từ 0,33 đến 0,95 thì đỉnh ngọn lửa tăng từ 65mm lên 68mm.

Khi hệ số không khí dư tăng thì nhiệt độ cực đại của ngọn lửa tăng. Nhiệt độ cực đại đạt 1110K, 1154K, 1227K và 1338K lần lượt tương ứng với ER 0,3; 0,45; 0,65 và 0,95.

Khi hệ số không khí dư giảm thì nồng độ các chất CO, CH_4, H_2 tăng dẫn đến tăng nhiệt trị syngas. Giá trị cụ thể của Q_{syn} là 0,15; 2,41; 5,34 và 7,94 theo thứ tự tương ứng với hệ số không khí dư ER là 1,25; 0,56; 0,32 và 0,21.

Hàm lượng C trong RDF ảnh hưởng đến nồng độ CO còn hàm lượng H trong RDF ảnh hưởng đến nồng độ CH_4, H_2 trong syngas. Khi ER=0,32 thì nhiệt trị syngas thu được từ quá trình cháy RDF-Trấu, RDF-Chất thải rắn và RDF-Gỗ vụn lần lượt là 5,3; 5,5 và 5,9 MJ/kg

Có thể ước tính nhiệt trị của syngas thu được từ khí hóa RDF bằng mô phỏng quá trình cháy RDF trong khí quyển để đơn giản hóa quá trình mô phỏng cũng như thực nghiệm trong lò khí hóa.

Lời cảm ơn: Công trình này được thực hiện nhờ tài trợ của Bộ Giáo dục và Đào tạo thông qua đề tài *"Bộ điều khiển thông minh cho động cơ sử dụng nhiên liệu khí linh hoạt trong hệ thống năng lượng tái tạo lai"*, Mã số: B2024.DNA.12

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] E. Chalermcharoenrat, K. Laohalidanond, and S. Kerdsuwan, "Optimization of combustion behavior and producer gas quality from reclaimed landfill through highly densify RDF-gasification". *Energy Procedia*, vol. 79, pp. 321-326, 2015. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.496

[2] H. Rezaei, F. Y. Panah, C. J. Lim, and S. Sokhansanj. "Pelletization of refuse-derived fuel with varying compositions of plastic, paper, organic and wood". *Sustainability*, vol. 12, pp. 46-45, 2020. https://doi.org/10.3390/su12114645.

[3] M. Kara. "Environmental and economic advantages associated with the use of RDF in cement kilns". *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 68, pp. 21–28, 2012. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.011.

[4] M. R. Boni, A. Chiavola, and S. Sbaffoni, "Pretreated waste landfilling: relation between leachate characteristics and mechanical behaviour". *Waste Management*, vol. 26, pp. 1156–1165, 2006. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.01.001.

[5] Z. Xu, A. Elomri, S. Pokharel, Q. Zhang, X. Ming, and W. Liu, "Global reverse supply chain design for solid waste recycling under uncertainties and carbon emission constraint". *Waste Manage*, vol. 64, pp. 358–370, 2017.

[6] P. M. Tung, B. V. Ga, and T. T. Son. "Experimental study of RDF production from solid waste". *In Proceedings of the 24th National Coference in Fluid Machanic*, Natural Science and Technology Publishing House, ISBN: 978-604-357-045-8, 2021, pp. 595-604.

[7] S. Aluri, A. Syed, D. W. Flick, J. D. Muzzy, C. Sievers, and P. K. Agrawal. "Pyrolysis and gasification studies of model refuse derived fuel (RDF) using thermogravimetric analysis". *Fuel Process Technol*, vol. 179, pp. 154-66, 2018. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.06.010

[8] K. Daugherty. *An Identification of Potential Binding Agents for*

Densified Fuel Preparation from Municipal Solid Waste: Phase 1. Final report, *Argonne National Labm, A national laboratory of the U.S. Department of Energy Managed*, 01-10-1986.

[9] A. S. Akdag, A. Atimtay, and F.D. Sanin, "Comparison of fuel value and combustion characteristics of two different RDF samples". *Waste Manag*, vol. 47, pp. 217–224, 2016. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.08.037

[10] D. T. Pio, L. A. C. Tarelho, A. M. A. Tavares, M. A. A. Matos, and V. Silva, "Co-gasification of refused derived fuel and biomass in a pilot-scale bubbling fluidized bed reactor". *Energy Conversion and Management*. vol. 206, pp. 1-12, 2020. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112476.

[11] L. Lombardi, E. Carnevale, and A. Corti, "A review of technologies and performances of thermal treatment systems for energy recovery from waste". *Waste Manag*, vol. 37, pp. 26–44, 2015. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.11.010

[12] R. Luque and J. G. Speight. *"Gasification and synthetic liquid fuel production*", Woodhead Publishing Series in Energy. 2015, pp. 241-275.

[13] G. Genon and E. Brizio. "Perspectives and limits for cement kilns as a destination for RDF*". Waste management (New York, NY*), vol. 28, no. 11, pp. 2375-2385, 2008.

[14] P. Sharma, P. Sheth, and B. N. Mohapatra. "Waste-to-Energy: Issues, challenges, and opportunities for RDF utilization in Indian cement industry". *In Proceedings of the 7th International Conference on Advances in Energy Research, Springer Proceedings in Energy*. pp. 891-900, 2020.

[15] M. Materazzi, P. Lettieri, R. Taylor, and C. Chapman. "Performance analysis of RDF gasification in a two stage fluidized bed–plasma process*". Waste Management*, vol. 47, pp. 256-266, 2016.

[16] A. Smolinski, K. Wojtacha-Rychter, and M. Krol et al. "Co-gasification of refuse-derived fuels and bituminous coal with oxygen/steam blend to hydrogen rich gas". *Energy*, vol 254, pp. 1-14, 2022. https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124210

[17] I. Gülsaç, Y. Çetin, B. Engin, P. Aksoy, H. Karatas, and A. Sarıoglan. "Termochemical conversion behaviour of different biomass feedstock: pyrolysis and gasification". *J Turk Chem Soc Sec A: Chemistry*, vol. 3, no. 3, pp. 731-746, 2016. https://doi.org/10.18596/jotcsa.287307. e731.

[18] M. Nowak, S. Stelmach, and M. Sajdak. "Significant waste properties in terms of applicability in the power industry". *Environment Protection Engineering*, vol. 45, No. 4, pp 75-85, 2019. https://doi.org/10.5277/epe190406.

[19] G. Piao, S. Aono, M. Kondoh, and R. Yamazaki. "Combustion test of refuse derived fuel in a Fluidized bed". *Waste Management*, vol. 20, pp. 443–447, 2000.

[20] C. Velis, S. Wagland, P. Longhurst, B. Robson, K. Sinfield, and S. Wise, et al. "Solid recovered fuel: influence of waste stream composition and processing on chlorine content and fuel quality". *Environmental Science & Technology*, vol. 46, no. 3, pp. 1923–1931, 2012.

[21] X.E. Guo, X.L. Yang, H. Li, C.Z. Wu, Y. Chen, and F. Li, et al. "Release of hydrogen chloride from combustibles in municipal solid waste". *Environmental Science & Technology*, vol. 35, no. 10, pp. 2001–2005, 2001.

[22] A. K. Dalai, N. Batta, I. Eswaramoorthi, and G.J. Schoenau, "Gasification of refuse derived fuel in a fixed bed reactor for syngas production", *Waste Management*, vol. 29, pp. 252-258, 2009. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.02.009

[23] S. Galvagno, G. Casciaro, S. Casu, M. Martino, C. Mingazzini, A. Russo, and S. Portofino, "Steam gasification of tyre waste, poplar, and refuse-derived fuel: a comparative analysis", *Waste Management*, vol. 29, pp. 678-689, 2009. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.06.003

[24] M. Baranowski, H. Pawlak-Kruczek, and M. Frydel. "Effect of gasifying agents and calcium oxide on gasification of low-rank coal and wastes". *Transactions of the institute of fluid-flow machinery*; no. 137, pp. 141-155, 2017.

[25] M. Saidi, M. H. Gohari, and A. T. Ramezani. "Hydrogen production from waste gasification followed by membrane filtration: a review". *Environmental Chemistry Letters*, vol. 18, pp. 1529-1556, 2020. https://doi.org/10.1007/s10311-020-01030-9.

[26] G. Chen, I. A. Jamro, S. R. Samo, T. Wenga, H. A. Baloch, B. Yan, and W. Ma. "Hydrogen-rich syngas production from municipal solid waste gasification through the application of central composite design: an optimization study". *International Association for Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 58, pp. 33260-33273, 2020. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.09.118

[27] B. V. Ga, B. T. M. Tu, T. T. H. Tung, and P. D. Long. "Simulation of RDF gasification in a downdraft gasifier". *Proceedings of the 24th National Coference in Fluid Machanic., Natural Science and Technology Publishing House*, ISBN: 978-604-357-045-8, 2021, pp. 120-134.

[28] S. Prateek, S. Subhadip, P. N. Sheth, and B. N. Mohapatra. "Multizone model of a refused derived fuel gasification: A thermodynamic Semi-empirical approach". *Energy Conversion and Management*, vol. 260, pp. 115621-115633. 2022. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115621

[29] B.V. Ga, N.V. Dong, T.L.B. Tram, and H.N. Thanh. "Comparison of gasification efficiency of solid waste in agriculture production". *Proceedings of the 24th National Coference in Fluid Machanic, Natural Science and Technology Publishing House*, ISBN: 978-604-357-045-8, 2021, pp. 135-147.

[30] N. T. T. Xuan, B. T. M. Tu, and B. V. Ga. "Simulation and experimental study of refuse-derived fuel gasification in an updraft gasifier". *International Journal of Renewable Energy Development*, vol. 12, no. 3, pp. 601-614. 2023. https://doi.org/10.14710/ijred.2023.53994

[31] B. V. Ga *et al.*, "Simultaion and experimental study of RDF gasification". *The University of Danang - Journal of Science and Technology*, vol. 21, no. 2, pp. 78-83, 2023.