

ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘ ẨM VIÊN NÉN NHIÊN LIỆU SINH KHỐI ĐẾN NHIỆT ĐỘ VÀ HIỆU SUẤT Lò KHÍ HÓA

EFFECT OF COMPRESSED PELLET MOISTURE CONTENT ON THE TEMPERATURE DISTRIBUTION AND EFFICIENCY OF THE DOWNDRAFT GASIFIER

Phùng Minh Tùng^{1*}, Bùi Văn Ga², Trần Thanh Sơn², Tống Duy Quốc¹, Hoàng Hồ Ngọc Hạnh³

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng, Việt Nam

²Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng, Việt Nam

³Đại học Đà Nẵng, Việt Nam

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: pmtung@ute.udn.vn

(Nhận bài / Received: 13/01/2023; Sửa bài / Revised: 27/2/2023; Chấp nhận đăng / Accepted: 03/3/2023)

Tóm tắt - Trong xu hướng tìm kiếm nguồn năng lượng tái tạo thay thế cho nguồn năng lượng hóa thạch truyền thống, viên nén sinh khối có nguồn gốc từ phụ phế phẩm nông lâm nghiệp là nguồn nhiên liệu có nhiều ưu điểm vượt trội. Bằng lò khí hóa kiểu hút xuống, viên nén sinh khối tạo ra khí tổng hợp có thể sử dụng cho động cơ đốt trong cỡ nhỏ có công suất từ 5kW đến 10kW. Nhằm giảm thiểu chi phí sản xuất viên nén sinh khối và nâng cao hiệu quả của lò khí hóa, viên nén được thử nghiệm hóa khí với các độ ẩm khác nhau từ 1% đến 15% nhằm tìm ra các thông số tối ưu cho hệ thống khí hóa. Kết quả thí nghiệm chỉ ra rằng, độ ẩm sinh khối ở mức 11,66% hệ thống đạt hiệu suất cao nhất với hiệu suất chuyển đổi khí đạt 55,8% và hiệu suất chuyển hóa carbon đạt 70%.

Từ khóa - Nhiên liệu sinh khối; viên nén; độ ẩm; lò khí hóa kiểu hút xuống; hiệu suất

1. Đặt vấn đề

Việc chuyển hóa rác thải, đặc biệt là các phụ phế phẩm của quá trình sản xuất hoạt động nông lâm nghiệp thành điện cũng đã được bắt đầu nghiên cứu ứng dụng ở nước ta. Hiện nay có ba phương pháp sản xuất điện từ rác thải. Bao gồm: Đốt rác trực tiếp tạo hơi nước làm quay tuabin máy phát điện; Ủ rác để lấy khí sinh học (biogas) chạy máy phát điện là những phương pháp truyền thống đã được sử dụng phổ biến; Cuối cùng là sản xuất viên nén sinh khối hay RDF (Refuse Derived Fuel) để tạo khí tổng hợp (syngas) chạy động cơ đốt trong phát điện. Đối với hai phương án đầu có các nhược điểm như tỉ lệ rác thải rắn cần phải xử lý lớn, tốn kém nhiều chi phí, và chưa được giải quyết triệt để. Phương pháp cuối cùng là tạo ra viên nén sinh khối, khí hóa thành syngas để chạy máy phát điện đang là phương án có nhiều ưu điểm vượt trội [1]. Phương pháp này giảm 70% khối lượng và 90% thể tích chất rắn, dễ dàng lưu trữ vận chuyển tăng tính đồng nhất, giảm phát thải khí nhà kính, tiết kiệm đất bãi chôn lấp [2]. Hiện nay, trên thế giới sử dụng hai công nghệ khí hóa sinh khối, chính là công nghệ khí hóa tầng cố định và công nghệ khí hóa tầng sôi, các công nghệ khí hóa này đều được áp dụng rộng rãi trong công nghiệp, tuy nhiên mỗi công nghệ có những đặc điểm riêng về mặt yêu cầu về công nghệ chế tạo, nhiên liệu sử dụng. Đối với lò khí hóa tầng cố định, ba dạng lò được dùng phổ biến trong thực tế gồm [3]:

Abstract - In the tendency to seek alternative fuels for fossil fuels, waste product of agroforestry is a meaningful choice. By the downdraft gasifier, the biomass compressed pellets generate combustible gases through the gasifier system to run small SI-ICE (Spark Ignition Internal Combustion Engine) from 5kW to 10kW. In order to minimize the cost of producing sawdust/biomass pellets and improve the efficiency of the system, biomass pellets were tested in gasification with different moisture content from 1% to 15%, in order to find the optimal parameters for the system. Experimental results obtained biomass moisture content at 11.66%, the system achieves the highest efficiency with 55.8% cold gas efficiency and 70% carbon conversion efficiency.

Key words - Biomass; compressed pellet; moisture content; downdraft gasifier; efficiency

- Lò có dòng khí đi từ dưới lên

Đây là loại lò cổ điển và đơn giản nhất. Không khí được đưa vào buồng hoá khí từ đáy của lò và đi ngược chiều với dòng nhiên liệu trong lò. Các hạt nguyên liệu cháy chủ yếu ở phần đáy buồng đốt. Lò loại này được phân định rõ ràng từng vùng: Vùng cháy, vùng khử và vùng nhiệt phân. Gas được đưa ra ngoài ở vị trí cao hơn. Tro hình thành từ quá trình cháy nhiên liệu rắn sẽ được lấy ra ngoài từ đáy của buồng đốt hoá khí. Kiểu lò này có ưu điểm là đơn giản, hiệu suất cao, thích hợp với nhiều loại vật liệu. Nhược điểm chính là trong quá trình nhiệt phân hoá chất, hắc ín, các loại dầu được sinh ra và trở thành một phần của khí gas. Hạn chế này ảnh hưởng rất lớn đến việc ứng dụng của khí hóa ngược chiều.

- Lò có dòng khí đi từ trên xuống

Đối với loại lò đốt loại này nhiên liệu rắn được nạp tại đỉnh buồng đốt, không khí được đưa từ trên xuống còn gas được lấy ra ở đáy lò. Loại lò đốt khí hoá này có hạn chế với các loại nhiên liệu rắn có độ ẩm cao, hàm lượng tro cao. Khí syngas sẽ được lấy từ phía đáy buồng đốt, như vậy nguyên liệu sinh khí và dòng gas hình thành từ quá trình cháy không hoàn toàn sẽ di chuyển cùng hướng. Kiểu lò này có ưu điểm là syngas có ít tạp chất, nhiên liệu sạch phù hợp để sử dụng cho động cơ đốt trong. Tuy nhiên, lò kiểu hút xuống sử dụng hạn chế ở một số loại nhiên liệu và so với khí hóa ngược chiều thì hiệu suất khí hóa thấp hơn.

¹ The University of Danang - University of Technology and Education, Vietnam (Phung Minh Tung, Tong Duy Quoc)

² The University of Danang - University of Science and Technology, Vietnam (Bui Van Ga, Tran Thanh Son)

³ The University of Danang, Vietnam (Hoang Ho Ngoc Hanh)

- Lò có hai vùng cháy, dòng khí đi ngang

Loại lò này còn gọi là (lò dòng chéo) bao gồm hai vùng phản ứng. Vùng sấy khô nguyên liệu, vùng carbon hóa nhiệt độ thấp và cracking gas xảy ra ở vùng cao hơn trong khi đó phản ứng hóa khí ở vùng thấp hơn. Loại buồng đốt này có nhiệt độ khí hóa rất cao (khoảng 1500°C và có thể cao hơn nữa). Do nhiệt độ vùng oxy hóa cao nên loại lò này cần lưu ý đến vấn đề vật liệu chế tạo buồng đốt. Ưu điểm nổi bật của kiểu lò này là hiệu suất cao, gọn nhẹ. Tuy nhiên, lò hút ngang không phù hợp với nhiên liệu có nhiều tro.

Trong các thiết bị khí hóa tầng cố định thì lò hút xuống có nhiều lợi thế hơn so với các lò khác. Do dòng nhiên liệu và dòng khí hút ra cùng chiều nên khí syngas đi qua vùng nhiệt độ cao, chính điều này làm cho hàm lượng tạp chất trong nhiên liệu rất thấp. Nhờ vậy, thiết bị loại của lò khí hóa kiểu hút xuống đơn giản hơn và thích hơn cho nhiều ứng dụng thực tiễn [4]. Mặc dù, nó có ít tính linh hoạt với các loại nhiên liệu và kích thước viên sinh khối, nhưng đây là công nghệ thích cho các ứng dụng quy mô nhỏ [5].

Việc sử dụng lò khí hóa với dòng khí đi xuống, độ ẩm thấp và điều chỉnh cho nhiệt độ cháy cao là giải pháp để hạn chế các vấn đề do dầu hắc trong nhiên liệu gây ra, phù hợp với mô hình dùng để thực nghiệm sản xuất syngas làm nhiên liệu cho động cơ đốt trong cỡ nhỏ [3, 6].

Sản xuất rác thải sinh hoạt thành viên nén sinh khối hay RDF qua một số công đoạn cơ học: Phân loại, cắt rác, sấy, nghiền, ép đùn. Các nghiên cứu gần đây cho thấy có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng của viên nén [7]. Các yếu tố này bao gồm cả quá trình sản xuất lẫn tính chất vật liệu. Các yếu tố liên quan đến quá trình chế tạo bao gồm nhiệt độ, áp suất nén, thời gian nén, dạng hình học viên nén. Trong đó, công đoạn sấy để đưa về độ ẩm mong muốn tiêu tốn một nguồn năng lượng đáng kể. Hơn nữa, độ ẩm của viên nén ảnh hưởng đến nhiệt độ của lò khí hóa, quá trình hóa khí và hiệu suất của lò khí hóa [8], do đó việc thí nghiệm viên nén sinh khối với nhiều độ ẩm khác nhau và tìm ra thông số tối ưu là cần thiết.



Hình 1. Hình ảnh và kích thước viên nén (đơn vị mm)

Bảng 1. Thông số và thành phần của viên nén sử dụng (Tính theo % khối lượng) theo JIS M8812 và JIS M8813

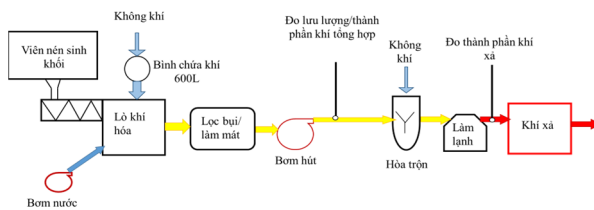
C (khô, không tro)	50,02
H	6,43
N	0,09
S	0,09
O	43,37
Tro	0,3
Nhiệt trị thấp (LHV)	15,37 MJ/kg

Từ những phân tích nêu trên, thí nghiệm được tiến hành

với lò khí hóa kiểu hút xuống và sử dụng nhiên liệu là viên nén sinh khối (Hình 1) có thành phần như Bảng 1 [9] với độ ẩm thay đổi, viên nén sử dụng trong thí nghiệm theo chuẩn JIS (Japan Industrial Standard). Hình dạng và kích thước viên nén được thể hiện ở Hình 1.

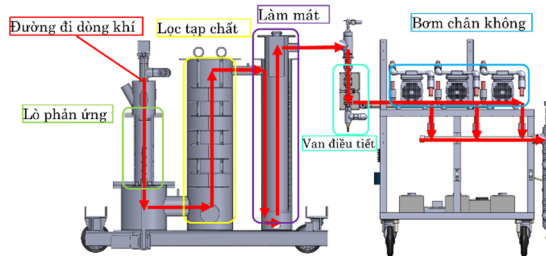
2. Hệ thống và các thiết bị thí nghiệm

2.1. Sơ đồ thí nghiệm



Hình 2. Sơ đồ hệ thống khí hóa

Hình 2 thể hiện sơ đồ hệ thống khí hóa kiểu hút xuống với hệ thống cung cấp nhiên liệu liên tục thông qua trục vít. Lượng nhiên liệu cấp vào được kiểm soát thông qua các cảm biến. Hệ thống khí hóa để sản xuất syngas cung cấp cho động cơ đốt trong cỡ nhỏ (dưới 10kW) được bố trí liên hoàn như Hình 3 và Hình 4.

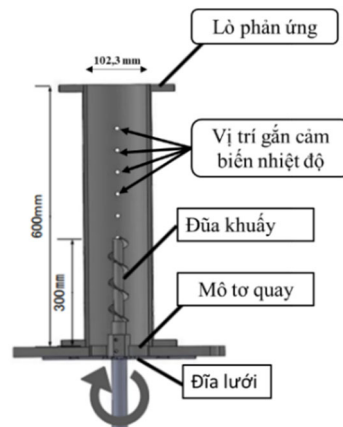


Hình 3. Hệ thống cung cấp nhiên liệu, lò khí hóa, cột lọc tạp chất và làm mát



Hình 4. Hình ảnh thực tế của hệ thống

2.2. Lò phản ứng

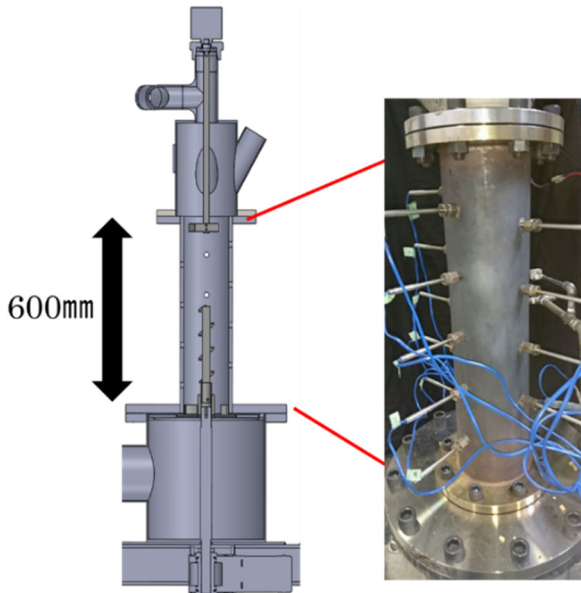


Hình 5. Kích thước lò phản ứng và vị trí các thiết bị

Lò phản ứng được sử dụng trong hệ thống là lò dạng ống có đường kính trong 102,3 mm, chiều cao 600mm được làm bằng thép SUS304 không gỉ. Phần đáy lò được đổ đầy than hoạt tính để hấp thụ các tạp chất trong syngas [10]. Ở vị trí trung tâm của lò được bố trí một trục vít để trộn đều nhiên liệu, đảm bảo viên nén khí rót xuống và tham gia phản ứng đồng đều. Ở thành lò phản ứng được thiết kế để gắn các que đo cảm biến nhiệt độ dọc theo thân lò nhằm kiểm tra nhiệt độ lò khí hóa như Hình 5 và Hình 6 minh họa.

2.3. Các thiết bị thí nghiệm

Nhờ bơm hút chân không được đặt ngay phía bình làm mát như sơ đồ Hình 2, không khí trước khi được cấp vào lò khí hóa được luân chuyển qua bình chứa có dung tích 600 lít nhằm mục đích ổn định lưu lượng cấp vào lò thông qua các van ổn định lưu lượng. Lưu lượng không khí cấp vào lò được kiểm soát thông qua một lưu lượng kế và các van bi cầu. Trong thí nghiệm này, lưu lượng không khí được cố định là 100L/min cho tất cả các trường hợp viên nén có độ ẩm khác nhau. Nhiệt độ thân lò được đo bằng cảm biến nhiệt điện trở loại K đường kính que 6,4 mm chiều dài 200 mm và giới hạn nhiệt độ đo được từ 0°C đến 1200°C được gắn quanh thân lò và cách đều nhau khoảng 100 mm như Hình 6 minh họa. Dữ liệu nhiệt độ được thiết lập lấy thông số 5 giây/lần. Kết quả thể hiện là giá trị trung bình trong thời gian bắt đầu thí nghiệm



Hình 6. Vị trí gắn cảm biến nhiệt độ thân lò

2.4. Cách thức tiến hành thí nghiệm

Các viên nén với từng độ ẩm khác nhau theo yêu cầu của thí nghiệm được chuẩn bị ở thùng phía trên của lò phản ứng và được đưa vào lò thông qua hệ thống trục vít. Không khí trước khi được cấp vào lò thông qua bơm hút chân không như sơ đồ Hình 1. Sau khi tiến hành mỗi lần và chờ cho các thông số: Lưu lượng không khí, nhiệt độ thân lò, tốc độ cấp liệu và thành phần khí syngas ổn định khoảng một giờ đồng hồ thì bắt đầu lấy mẫu và tính toán hiệu suất. Máy phân tích khí Agilent (490 Micro GC, TCD, Ar carrier) được sử dụng để phân tích thành phần khí syngas có thông số kỹ thuật như Bảng 2.

Bảng 2. Thông số kỹ thuật máy phân tích khí

Tên thiết bị	Agilent Technologies
Mã thiết bị	490 Micro GC
Nguồn điện vào	AC90~130V 50/60 Hz
Môi trường hoạt động	0~50°C
Kích thước máy	150(W) × 300(D) × 280(H) mm
Khối lượng máy	5,2 kg
Dung tích mẫu	1~10 μ l
Khí mẫu	5~40°C, 0~100 kPa
Carrier gas	He, N ₂ , Ar
Thời gian lấy mẫu	600s
Detector	μ TCD

2.5. Tính toán

Độ ẩm của viên nén (MC):

$$MC = \frac{w - w_0}{w} \times 100 \quad (1)$$

Độ ẩm của viên nén sinh khối MC [11] được tính theo công thức (1) trong đó W[g] là khối lượng viên nén trước khi sấy và W₀ [g] là khối lượng viên nén sau khi sấy.

Hiệu quả của lò khí hóa được đánh giá qua hai thông số hiệu suất khí hóa (E_{CG}) và hiệu suất chuyển đổi Carbon (E_{CC}) [13] được thể hiện ở công thức số (2) và (3). Hiệu suất khí hóa cho biết được nhiệt trị của khí syngas tạo ra so với nhiệt trị của viên nén sinh khối cấp vào và từ đó có thể đánh giá được tính kinh tế của lò khí hóa.

Hiệu suất khí hóa E_{CG}:

$$E_{CG} = J_{\text{prod}} / J_{\text{pellet}} * 100 \quad (2)$$

Hiệu suất khí hóa của hệ thống E_{CG} [12] được tính theo công thức (2), trong đó J_{prod} [kJ/s] là nhiệt trị của khí syngas [kJ/s] theo thời gian, J_{pellet} [kJ/s] là nhiệt trị của viên nén sử dụng theo thời gian.

Hiệu suất chuyển đổi carbon của lò khí hóa thể hiện hiệu quả hóa khí của lò và chỉ ra được lượng tro còn sót lại trong trong lò cần phải xử lý và thời gian cần phải vệ sinh, bảo trì lò khí hóa.

Hiệu suất chuyển đổi carbon:

$$E_{CC} = MC_{\text{prod}} / (RC_{\text{pellet}} / 100 * M_{\text{inlet pellet}}) * 100 \quad (3)$$

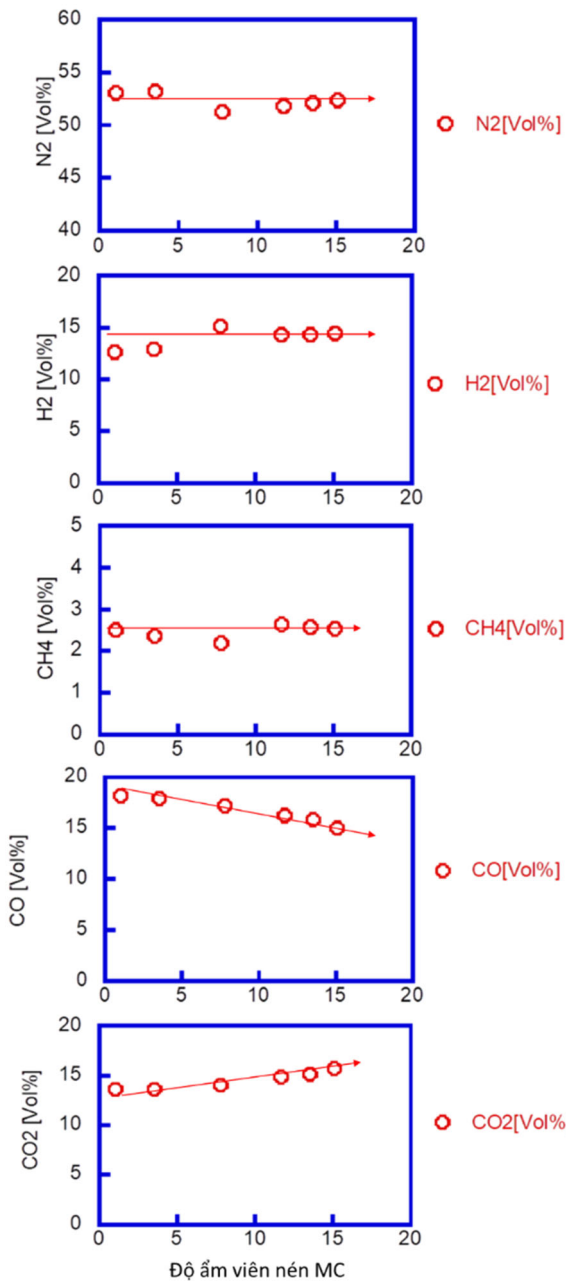
Hiệu suất chuyển đổi carbon E_{CC} [12] của hệ thống được tính ở công thức (3), trong đó M_{c prod} [g/s] là khối lượng carbon có trong khí syngas theo thời gian, RC_{Pellet} [%] tỉ lệ thành phần carbon có trong viên nén được cấp vào và M_{inlet pellet} [g/s] khối lượng viên nén cấp vào lò theo thời gian.

3. Kết quả và thảo luận

Thí nghiệm khí hóa được tiến hành lần lượt với 6 loại viên nén có độ ẩm đầu với vào từ 1% đến 15%. Các viên nén có giá trị độ ẩm lớn hơn 15% không phù hợp với loại lò khí hóa kiểu hút xuống tạo syngas để sử dụng cho động cơ đốt trong nên không đưa vào thực nghiệm trong nghiên cứu này. Các thí nghiệm được tiến hành tối thiểu 05 lần cho một giá trị độ ẩm và kết quả thể hiện trong bài báo được lấy theo giá trị trung bình. Lưu lượng không khí cấp vào cố định ở mức 100L/min. Máy phân tích thành phần khí

syngas sẽ cho biết các kết quả theo phần trăm (%) thể tích bao gồm: N₂, H₂, CH₄, CO và CO₂ là các loại khí chính có mặt trong syngas.

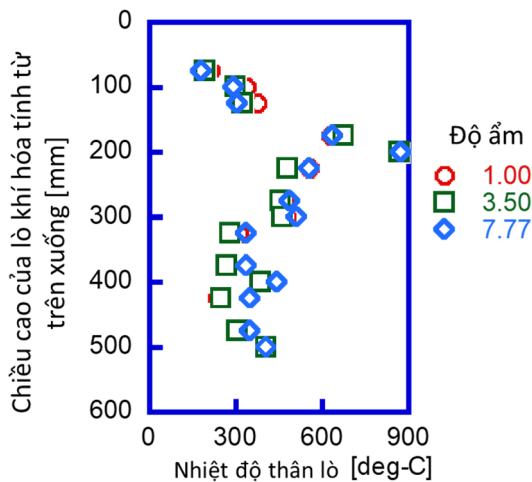
Từ Hình 7 cho thấy, khi độ ẩm viên nén tăng lên thành phần N₂, H₂ và CH₄ thay đổi không đáng kể nhưng hàm lượng CO (chất cháy chính trong syngas) giảm đi rõ rệt. Đối với khí CO₂ thì ngược lại, có xu hướng tăng tỷ lệ thuận với độ ẩm viên nén.



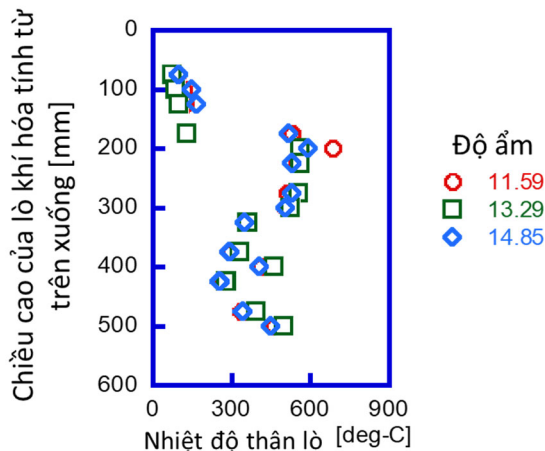
Hình 7. Ảnh hưởng của độ ẩm viên nén đến thành phần các khí có mặt trong syngas (tính theo % thể tích)

Trong điều kiện độ ẩm MC của viên nén dưới 7%, nhiệt độ cực đại của lò phản ứng ít thay đổi và đạt giá trị 900°C (Hình 8). Nhưng khi độ ẩm viên nén tăng lên từ 7% đến 15%, nhiệt độ cực đại của thân lò khí hóa đã giảm xuống còn 600°C (Hình 9). Điều này có thể hiểu khi độ ẩm viên nén tăng, viên nén sẽ khó cháy hơn dẫn đến nhiệt độ phản ứng trong lò giảm xuống. Nhưng trong tất cả các thí

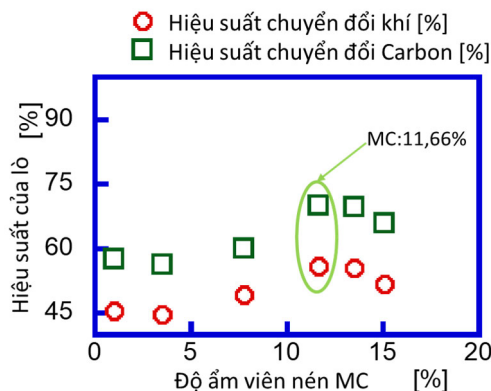
nghiệm với độ ẩm viên nén nhỏ hơn 15% vị trí phản ứng thể hiện qua nhiệt độ cực đại của lò là không thay đổi, đều tại vị trí 200mm tính từ đỉnh lò khí hóa.



Hình 8. Phân bố nhiệt độ thân lò phản ứng khi sử dụng viên nén có độ ẩm lần lượt là 1%; 3,5% và 7,77%



Hình 9. Phân bố nhiệt độ thân lò phản ứng khi sử dụng viên nén có độ ẩm lần lượt là 11,59%; 13,29% và 14,85%



Hình 10. Ảnh hưởng của độ ẩm viên nén đến hiệu suất của lò khí hóa

Hình 10 thể hiện hiệu suất chuyển đổi khí và hiệu suất chuyển đổi carbon của lò khí hóa tăng dần khi tăng độ ẩm viên nén từ 1% đến 11.66% sau đó bắt đầu giảm. Sự gia tăng độ ẩm của viên nén làm cho tốc độ phản ứng và nhiệt

độ phản ứng giảm, kéo theo nồng độ CO giảm và nồng độ CO₂ tăng lên, dẫn đến hiệu suất của lò giảm.

4. Kết luận

Từ các kết quả thí nghiệm trên đây cho phép rút ra được các kết luận sau:

- Khi độ ẩm viên nén tăng từ 1% đến 15% thì nhiệt độ cực đại của thân lò giảm từ 900°C xuống 700°C.

- Vị trí các vùng phản ứng trong lò khí hóa kiểu hút xuống không phụ thuộc vào độ ẩm của viên nén.

- Khi độ ẩm sinh khối ở mức 11,66% thì lò khí hóa đạt hiệu suất cao nhất với hiệu suất chuyển đổi khí đạt 55,8% và hiệu suất chuyển đổi carbon là 70%.

Lời cảm ơn: Tác giả Phùng Minh Tùng được tài trợ bởi Chương trình học bổng đào tạo thạc sĩ, tiến sĩ trong nước của Quỹ Đổi mới sáng tạo Vingroup (VINIF), mã số VINIF.2022.TS141.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. Fiore, V. Magi, and A. Viggiano, "Internal combustion engines powered by syngas: A review", *Applied Energy*, vol. 276, pp. 115415, 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115415.
- [2] P. M. Tung, B. V. Ga, and T. T. Son, "Experimental study on RDF production from solid waste", *Viet Nam conference fluid mechanics 24th*, 2021.
- [3] T. B. Reed and A. Das, *Handbook of biomass downdraft gasifier engine systems*. A Product of the Solar Technical Information Program, 1988.
- [4] B. V. Ga, B. T. M. Tu, T. T. H. Tung, and P. D. Long, "Gasification simulation of refuse derived fuel RDF in a downdraft gasifier", *Viet Nam conference fluid mechanics 24th*, 2021.
- [5] C. Diyoke, N. Gao, M. Aneke, M. Wang, and C. Wu, "Modelling of down-draft gasification of biomass – An integrated pyrolysis, combustion and reduction process", *Applied Thermal Engineering*, vol. 142, pp. 444 - 456, 2018, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.06.079.
- [6] T. T. Son, "A study on the design, manufacture and gasification of a furnace used for research". *The University of Danang - Journal of Science and Technology*, vol. 5, no. 78, pp. 87-90, 2014.
- [7] B. V. Ga, T. L. B. Tram, and N. T. T. Xuan, "The impact of syngas obtained from gasifying various types of biomass on the combustion characteristics of spark ignition engines", *Viet Nam conference fluid mechanics 25th*, 2022.
- [8] P. M. Tung, B. V. Ga, and T. T. Son, "Experimental Study of Biomass RDF Gasification Through a Downdraft Gasifier", *Viet Nam conference fluid mechanics 25th*, 2022.
- [9] R. F. Naryanto *et al.*, "The Effect of Moisture Content on the Tar Characteristic of Wood Pellet Feedstock in a Downdraft Gasifier", *Applied Sciences*, vol. 10, no. 8, pp. 2760, 2020, doi: 10.3390/app10082760.
- [10] S. W. Han *et al.*, "Gasification characteristics of waste plastics (SRF) in a bubbling fluidized bed: Use of activated carbon and olivine for tar removal and the effect of steam/carbon ratio", *Fuel*, vol. 314, 2022, doi: 10.1016/j.fuel.2021.123102.
- [11] J. Kotowicz, A. Sobolewski, and T. Iluk, "Energetic analysis of a system integrated with biomass gasification", *Energy*, vol. 52, pp. 265-278, 2013, doi: 10.1016/j.energy.2013.02.048.
- [12] W.-H. Chen, C.-J. Chen, C.-I. Hung, C.-H. Shen, and H.-W. Hsu, "A comparison of gasification phenomena among raw biomass, torrefied biomass and coal in an entrained-flow reactor", *Applied Energy*, vol. 112, pp. 421-430, 2013, doi: 10.1016/j.apenergy.2013.01.034