

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM CẢI THIỆN CHẤT LƯỢNG SYNGAS TỪ KHÍ HÓA RDF SINH KHỐI VỚI CHẤT OXY HÓA LÀ KHÔNG KHÍ BỔ SUNG OXY

EXPERIMENTAL STUDY ON IMPROVING SYNGAS QUALITY FROM RDF BIOMASS USING OXY-ENRICHED AIR AS OXIDANT

Phùng Minh Tùng*, Lê Khắc Thịnh, Phạm Văn Quý, Võ Thành Vũ, Hoàng Văn Việt

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng, Việt Nam¹

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

(Nhận bài / Received: 22/3/2024; Sửa bài / Revised: 03/6/2024; Chấp nhận đăng / Accepted: 04/6/2024)

Tóm tắt - Khi tăng hàm lượng oxy trong không khí làm chất oxy hóa cho lò khí hóa RDF sinh khối thì nhiệt độ cực đại của lò khí hóa và nhiệt trị syngas thu được tăng, giúp cải thiện quá trình khí hóa và chất lượng syngas. Nghiên cứu thực nghiệm này tập trung vào việc nghiên cứu cải thiện chất lượng khí syngas bằng cách làm giàu khí Oxy vào không khí cấp cho lò khí hóa kiểu hút xuống. Khi làm giàu khí oxy, nhiệt độ cực đại của lò tăng lên đến 1020°C nhưng không làm thay đổi vị trí các vùng phản ứng. Tổng thành phần các chất khí cháy trong syngas là 41%, 61%, 67% và 73% khi chất oxy hóa là không khí được làm giàu bởi 0%, 10%, 20% và 30% oxy. Khí hóa sinh khối với chất oxy hóa là không khí được làm giàu bằng khí oxy giúp nâng cao chất lượng syngas, tạo điều kiện ứng dụng nhiên liệu tái tạo này trên các động cơ đốt trong.

Từ khóa - Năng lượng tái tạo; RDF; Syngas; Khí hóa; Nhiệt trị thấp

1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây, thế giới đang đối mặt với sự gia tăng nhanh chóng nhiệt độ do phát thải các khí nhà kính. Để đảm bảo mức tăng nhiệt độ bầu khí quyển không quá 2°C so với thời kỳ tiền công nghiệp theo thỏa thuận Paris 2015 thì lượng phát thải ròng CO₂ hàng năm trên toàn cầu phải giảm xuống mức bằng 0 hoặc âm ròng vào năm 2050. Vào cuối năm 2021, tại Hội nghị thường niên về chống biến đổi khí hậu lần thứ 26, các quốc gia đã đề ra chiến lược Net-Zero. Tại hội nghị này, Việt Nam cũng cam kết giảm phát thải CO₂ đạt mục tiêu Net-Zero vào năm 2050 [1]. Để đạt được mục tiêu này, cắt giảm phát thải CO₂ cần đến nỗ lực toàn cầu. Việc sử dụng năng lượng tái tạo thay cho năng lượng hóa thạch là giải pháp không thể trì hoãn.

Việt Nam là nước nông nghiệp nên có nhiều tiềm năng về năng lượng sinh khối. Các chất thải rắn hữu cơ trong sinh hoạt và sản xuất ở nông thôn được chế biến thành viên nén nhiên liệu RDF. Từ đó, RDF được chuyển thành khí tổng hợp syngas thông qua lò khí hóa. Phương pháp khí hóa có thể giảm 70% trọng lượng và 90% thể tích chất thải rắn, giảm phát thải khí nhà kính, tiết kiệm diện tích đất chôn lấp [2].

Có nhiều công nghệ khí hóa hiện nay đang được áp dụng rộng rãi trong công nghiệp, tuy nhiên mỗi công nghệ đều có ưu, nhược điểm, khác nhau về công nghệ chế tạo và

Abstract - Increasing the oxy content in the air as an oxidizing agent during RDF biomass gasification enhances both the maximum temperature of the gasification furnace and the heat value of the resulting syngas, thereby improving the gasification process and syngas quality. This experimental study focuses on investigating the improvement of syngas quality by enriching the oxy content in the air supplied to the downdraft gasification furnace. Enriching the air with oxy raises the maximum temperature of the furnace to 1020°C without altering the reaction zones. The overall composition of combustible gases in syngas is 41%, 61%, 67%, and 73% when the oxidizing agent is air enriched with 0%, 10%, 20%, and 30% oxy, respectively. Gasification of biomass with oxy-enriched air enhances the quality of syngas, facilitating the application of this renewable fuel in internal combustion engines.

Key words - Renewable energy; RDF; Syngas; Gasification; Lower heating value

loại nhiên liệu sử dụng. Lò khí hóa tầng cố định là kiểu lò có vị trí các vùng phản ứng xác định (vùng sấy, vùng nhiệt phân, vùng oxy hóa (cháy), vùng khử (tạo khí)). Loại lò khí hóa tầng cố định này có 3 kiểu: lò hút xuống (downdraft), lò hút lên (updraft) và lò hút chéo (crossdraft). Khác với lò khí hóa tầng cố định, thiết bị khí hóa tầng sôi không có vùng phản ứng riêng biệt và quá trình làm khô, nhiệt phân và khí hóa xảy ra đồng thời trong quá trình trộn. Chúng phức tạp và sử dụng hệ thống điều khiển đắt tiền. Vì vậy thiết bị khí hóa tầng sôi thường áp dụng với lò có quy mô kích thước lớn.

Trong phạm vi sử dụng có quy mô nhỏ, loại lò khí hóa tầng cố định có nhiều ưu điểm hơn: có kết cấu đơn giản, dễ chế tạo, giá thành rẻ và vận hành đơn giản. Hơn nữa, đối với lò khí hóa tầng cố định thì loại downdraft có dòng khí thoát ra đi qua vùng nhiệt độ cao giúp làm giảm lượng hắc ín trong syngas. Do đó, loại lò này cho ra khí syngas có chất lượng tốt nhất, phù hợp để làm nhiên liệu cho động cơ đốt trong kéo máy phát điện có công suất dưới 10 kW [3]. Vì vậy, trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng loại lò khí hóa tầng cố định kiểu downdraft.

Viên nén sinh khối có thành phần từ rác thải của quá trình hoạt động nông lâm nghiệp được sử dụng trong nghiên cứu thực nghiệm này. Thành phần, kích thước đồng nhất và độ ẩm khoảng 10%. Thông số cụ thể của viên nén

¹ The University of Danang – University of Technology and Education, Vietnam (Phung Minh Tung, Le Khắc Thịnh, Phạm Văn Quý, Võ Thành Vũ, Hoàng Văn Việt)

được thể hiện ở Hình 1 và Bảng 2.

Về ứng dụng của khí tổng hợp trong động cơ đốt trong, các nghiên cứu gần đây cho thấy, cần lưu ý hai vấn đề liên quan đến tạp chất trong khí tổng hợp và hiện tượng giảm công suất động cơ do nhiệt trị của nhiên liệu thấp. So với việc ứng dụng khí tổng hợp trên tuabin khí, việc sử dụng nhiên liệu này trong động cơ đốt trong phù hợp hơn do yêu cầu về mức độ tạp chất trong nhiên liệu khí tổng hợp ít nghiêm ngặt hơn. Trong số các loại tạp chất, hắc ín chứa trong khí tổng hợp là trở ngại lớn nhất đối với động cơ. Đối với động cơ đốt trong cỡ nhỏ, việc sử dụng lò khí hóa tầng cố định kết hợp với điều kiện vận hành ở nhiệt độ phản ứng cao và độ ẩm thấp là một phương án nhằm hạn chế được lượng hắc ín [4-5], thích hợp với mô hình dùng để thực nghiệm sản xuất syngas [6].

Syngas là khí tổng hợp bao gồm các chất có giá trị sinh nhiệt như H_2 , CO , CH_4 , còn lại là các tạp chất như N_2 , H_2O , CO_2 và các chất vi lượng như H_2S , NH_3 , HCN , HCl , thủy ngân,... Thông thường trong syngas có đến một nửa là các khí trơ. Nếu sử dụng hơi nước hoặc O_2 làm chất oxy hóa thì nhiệt trị trung bình của syngas khoảng từ $10 MJ/Nm^3$ đến $30 MJ/Nm^3$. Trong khi đó, nếu chỉ dùng không khí làm chất oxy hóa thì nhiệt trị syngas nằm trong khoảng $4-7 MJ/Nm^3$ [7]. Thành phần thể tích của syngas khi sử dụng không khí làm chất oxy hóa thường là 18-20% H_2 , 18-20% CO , 2% CH_4 , 11-13% CO_2 , một lượng H_2O và phần còn lại là N_2 [8]. Thành phần N_2 trong syngas chiếm đến 50% làm cho nhiệt trị syngas rất thấp và ảnh hưởng đến việc vận hành động cơ đốt trong. Vì vậy, khi sử dụng syngas làm nhiên liệu thì công suất động cơ giảm một phần là do giảm hệ số nạp và một phần khác là vì nhiệt trị nhiên liệu thấp [9]. Khi sử dụng syngas trên động cơ đánh lửa cưỡng bức, mức sụt giảm công suất có thể lên tới 50%, trong đó giảm do nhiệt trị nhiên liệu lên đến 30% [9]. Để khắc phục vấn đề này, có thể bổ sung vào syngas bằng các loại nhiên liệu nhiệt trị cao hơn như H_2 hay biogas [10]. Tuy nhiên, giải pháp kỹ thuật này không loại trừ được các chất khí trơ trong syngas để cải thiện nhiệt trị nhiên liệu. Thành phần N_2 trong syngas chiếm trên 50% làm cho nhiệt trị syngas rất thấp và ảnh hưởng đến khả năng vận hành động cơ.

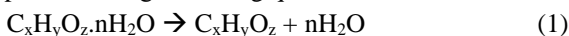
Trong nghiên cứu này sẽ trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm nâng cao thành phần các chất khí cháy CH_4 , CO , H_2 trong syngas nhờ sử dụng chất oxy hóa là không khí có bổ sung oxy cho lò khí hóa kiểu hút xuống.

2. Phương pháp nghiên cứu

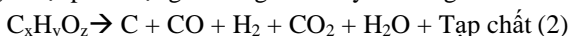
2.1. Nghiên cứu lý thuyết

Các quá trình xảy ra trong lò khí hóa được mô tả như sau:

Quá trình sấy: Biomass thô được làm khô dưới tác động của nhiệt từ quá trình đốt cháy. Vùng làm khô đặt trên vùng nhiệt phân. Phương trình tổng quát:

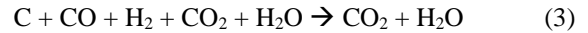


Quá trình nhiệt phân: Biomass được oxy hóa ở nhiệt độ cao tạo thành than và các khí CO , H_2 , CO_2 , H_2O và tạp chất. Vùng nhiệt phân đặt giữa tầng đốt cháy và vùng làm khô.



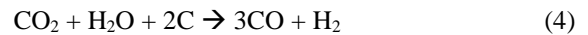
Sau quá trình nhiệt phân thành phần chủ yếu là than (Carbon) cùng hệ thống khí, hơi nước ($CO + H_2 + CO_2 + H_2O$) và những tạp chất khác như H_2S .

Quá trình đốt cháy: Hỗn hợp khí và than từ quá trình nhiệt phân được đốt cháy với oxy từ không khí, tạo ra CO_2 , H_2O và khí tạp chất N_2 (được làm sạch sau đó).



Phần không cháy hết (C) sẽ được đưa đến tầng nén phía dưới.

Quá trình sinh khí: CO_2 và H_2O từ quá trình đốt cháy được điều chế lại thành khí đốt cháy CO và H_2 trong tầng sinh khí qua than nóng (của quá trình nhiệt phân).

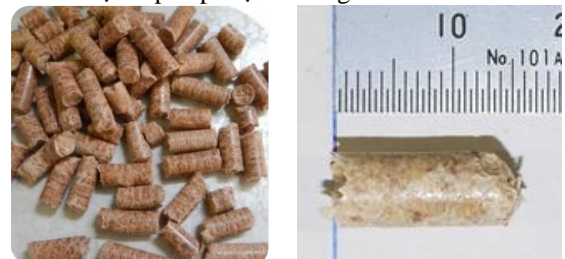


Sau khi đi qua lò khí hóa, hỗn hợp khí thu được gồm các khí đốt $CO + H_2$ được làm sạch tạp chất và làm nguội trước khi chuyển đến động cơ phát điện. Quá trình sinh khí được tự động hoàn toàn và có các phản ứng hóa học cụ thể được trình bày ở Bảng 1 [11].

Bảng 1. Các phản ứng trong lò khí hóa

Giai đoạn	Phản ứng	Số phản ứng/ loại phản ứng	Nhiệt phản ứng (KJ/Kmol)
Sấy	$C_xH_yO_z.nH_2O \rightarrow C_xH_yO_z + nH_2O$	Đề hydro hóa (1)	<0
Nhiệt phân	$C_xH_yO_z \rightarrow C + H_2 + CO$	Nhiệt phân (2)	<0
	$C_xH_yO_z \rightarrow C_nH_mO_p$	Nhiệt phân (3)	<0
Đốt cháy	$2C + O_2 \rightarrow 2CO$	Oxy hóa một phần (4)	+110,700
	$C + O_2 \rightarrow CO_2$	Oxy hóa CO (5)	+283,000
	$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$	Oxy hóa hoàn toàn (6)	+393,790
	$C_xH_yO_z \rightarrow CO_2 + H_2O$	Oxy hóa hoàn toàn (7)	>>0
	$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$	Oxy hóa H_2 (8)	+241,820
	$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$	Oxy hóa khử H_2O / CO (9)	+41,170
	$CO_2 + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$	Oxy hóa khử metan (10)	+206,300
Sinh khí	$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$	Oxy hóa khử sinh khí hóa (11)	-131,400
	$C + CO_2 \rightarrow 2CO$	Oxy hóa khử sinh khí CO (12)	-172,580
	$CO_2 + H_2 \rightarrow CO + H_2O$	Oxy hóa khử sinh khí CO (13)	-41,170
	$C + H_2 \rightarrow CH_4$	Oxy hóa khử sinh khí CH_4 (14)	+74,900

Viên RDF gỗ có hình dạng trụ, với đường kính trung bình là 10 mm và chiều dài trong khoảng từ 10 mm đến 15 mm như Hình 1. Trong nghiên cứu thực nghiệm này các viên nén được sắp xếp một cách ngẫu nhiên.

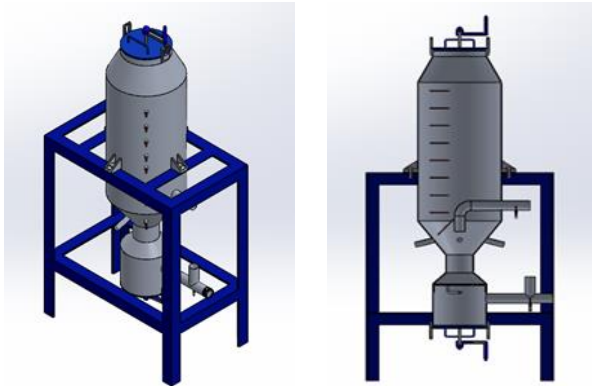


Hình 1. Hình ảnh viên nén RDF gỗ

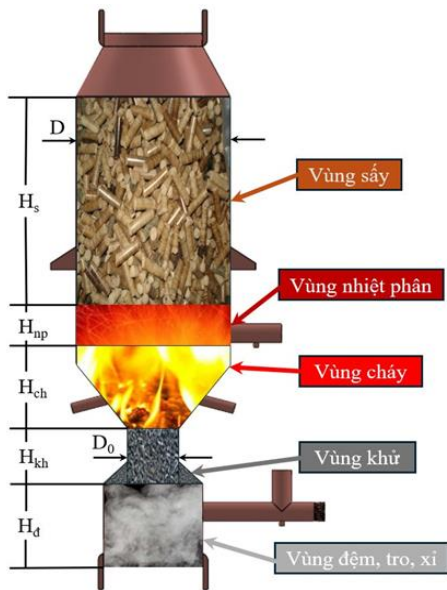
Bảng 2. Thành phần của viên nén RDF gỗ

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

Nghiên cứu được thực hiện mô phỏng bằng phần mềm 3D Solidworks với loại lò khí hóa tầng cố định kiểu downdraft có các kích thước thiết kế như sau: Vùng hoàn nguyên có đường kính 150mm, cao 150mm, vùng cháy dạng phễu có chiều cao 150mm.



Hình 2. Mô phỏng lò khí hóa bằng phần mềm Solidworks



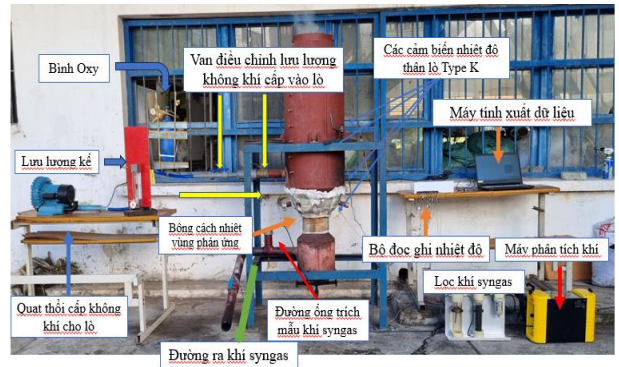
Hình 3. Vị trí các tầng của lò khí hóa

Bảng 3. Kích thước cơ bản

Kí hiệu	Tên	Giá trị	Đơn vị
D	Đường kính lò	450	mm
D _o	Đường kính thốt	150	mm
H _s	Chiều cao vùng sấy	655	mm
H _{np}	Chiều cao vùng nhiệt phân	150	mm
H _{ch}	Chiều cao vùng cháy	187	mm
H _{kh}	Chiều cao vùng khử	168,34	mm
H _d	Chiều cao vùng đệm, tro xỉ	250	mm

3. Nghiên cứu thực nghiệm

3.1. Thiết bị thực nghiệm



Hình 4. Bố trí hệ thống thực nghiệm lò khí hóa kiểu hút xuống

Hình 4 giới thiệu toàn bộ thiết bị thực nghiệm sản xuất syngas bằng lò kiểu downdraft. Lò khí hóa được thiết kế với kích thước phù hợp cho việc thực nghiệm. Chất oxy hóa được đưa vào tâm lò thông qua quạt thổi, có thể là không khí tự nhiên hoặc oxy bổ sung từ bình khí nén. Để giám sát nhiệt độ, các cảm biến nhiệt độ được lắp đặt dọc và cách đều trên thân lò khí hóa.



Hình 5. Cảm biến nhiệt độ tâm vùng cháy

Hình 5 giới thiệu cảm biến nhiệt độ tâm vùng cháy với các thông số như Bảng 4.

Bảng 4. Thông số kỹ thuật cảm biến nhiệt độ

Chiều dài	300mm
Đường kính	11mm
Tín hiệu đầu ra (analog)	4-20mA
Bộ nguồn	24V DC
Phạm vi đo	0 ⁰ -1200 ⁰ C
Loại cảm biến	Integrated Temperature Transmitter
Nhà sản xuất	Tianjin U-ideal Instrument Co., Ltd

- Máy phân tích khí:



Hình 6. Máy phân tích khí

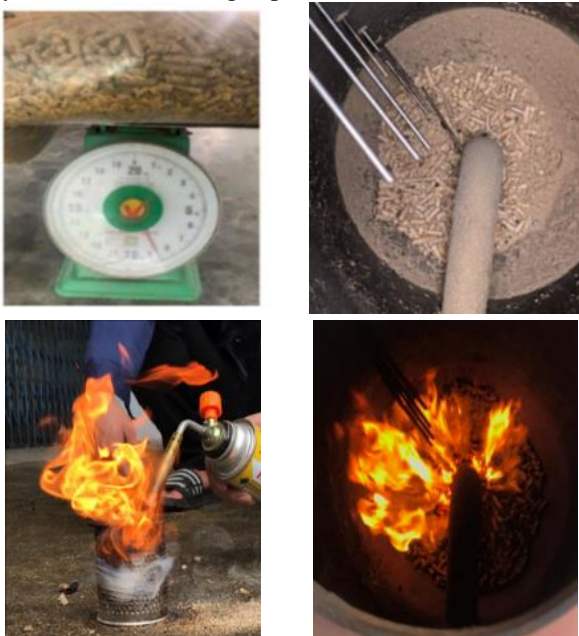
Syngas có chứa các khí cháy là CO, CO₂, CH₄, H₂ và còn lại là N₂. Trong thí nghiệm này, nhóm nghiên cứu sử dụng máy đo Gasboard-3100P với các thông số tại Bảng 5.

Bảng 5. Bảng thông số máy phân tích khí

Bộ nguồn	Pin bên trong Li-ion, nguồn điện sạc ngoài 12,6V
Độ lặp lại	$\leq 1\%$
Kiểu màn hình hiển thị	Màn hình LCD
Sai số	CO/CO ₂ /CH ₄ /H ₂ /O ₂ /C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄ /C _n H _m : $\pm 1\%$ F.S.; O ₂ /H ₂ : $\pm 2\%$ F.S.
Điều kiện khí mẫu	Không hấp ẩm, không có bụi và không có nước
Thời gian phản hồi	T90 < 15S (NDIR)
Lưu lượng khí lấy mẫu	(0.7~1.2) L/min
Áp suất khí đầu vào	(2~50) Kpa
Các chất đo	CO/CO ₂ /CH ₄ /H ₂ /O ₂ /C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄ /C _n H _m : NDIR; H ₂ : TCD; O ₂ : ECD;
Công trao đổi	RS-485/RS-232
Khí	CO/CO ₂ /CH ₄ /H ₂ /O ₂ /C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄ /C _n H _m */tính giá trị nhiệt lượng
Giới hạn đo	CO/CO ₂ /CH ₄ /H ₂ : (0~100)% O ₂ : (0~25)%; C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄ /C _n H _m : (0~10)% (không bắt buộc)

3.2. Quy trình thực nghiệm

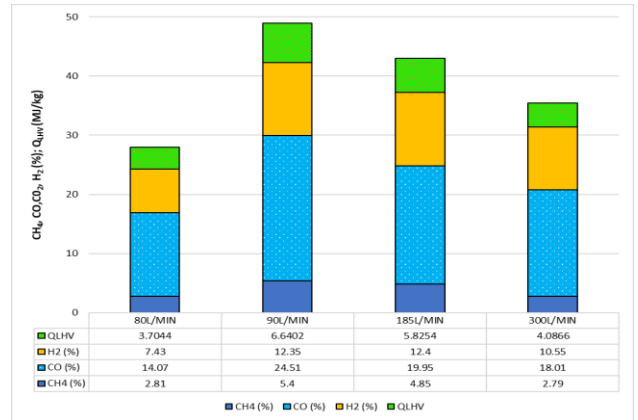
Trước tiên, đổ một lượng RDF vừa đến miệng của đường cấp khí chính (khoảng 5 kg), sau đó tiến hành môi lửa. Đốt khoảng 0,2 kg RDF để làm lớp môi và cho vào lò để khởi động lò. Quạt thổi cấp khí được điều chỉnh với lưu lượng lớn để nhiệt độ vùng khí tăng nhanh khiến các viên nén môi dễ dàng cháy lan ra. Quan sát nhiệt độ lò thông qua các cảm biến nhiệt độ. Khi đạt trên 150°C có thể đổ đầy RDF vào lò và đóng nắp lò.

**Hình 7. Quá trình khởi động lò**

Sau khi đóng nắp lò từ 10 đến 15 phút, quan sát các cảm biến nhiệt độ gắn quanh thân lò để điều chỉnh quạt thổi và van cấp khí đến lưu lượng phù hợp với yêu cầu của thí nghiệm. Quan sát cho đến khi syngas thoát ra ổn định và thông qua máy phân tích khí để xác định thành phần syngas ổn định thì bắt đầu tiến hành lấy số liệu và lấy khí. Khí syngas thu được sẽ được nạp vào vào túi chứa khí có thể tích xác định.

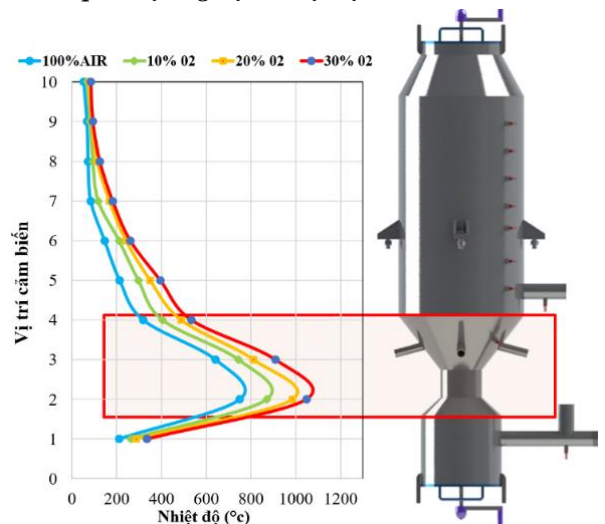
4. Kết quả và bình luận.

4.1. So sánh thành phần khí syngas với chất oxy hóa là không khí với các dải lưu lượng khác nhau

**Hình 8. So sánh thành phần khí syngas ứng với lưu lượng không khí cố định lần lượt là 80, 90, 185, 300 L/min**

Hình 8 giới thiệu so sánh thành phần khí syngas ứng với lưu lượng không khí cố định lần lượt là 80, 90, 185, 300 L/min. Từ đồ thị trên ta thấy, đối với mức lưu lượng không khí 90 L/min thì nồng độ các chất CO, CH₄, H₂ lần lượt là 24,51%, 5,4%, 12,35% cao hơn các trường hợp còn lại. Do đó, với mức lưu lượng không khí 90 L/min thu được syngas với giá trị tốt nhất với 42,26% tổng thành phần khí cháy và nhiệt trị 6,6402 MJ/kg. Tuy nhiên, tỷ lệ này vẫn còn thấp, chưa đạt tới 50%. Vì vậy, để có thể sử dụng cho động cơ đốt trong mà không làm giảm đáng kể công suất của động cơ, cần phải nâng cao tỷ lệ khí cháy trong syngas. Bổ sung oxy vào làm chất oxy hóa là phương án có thể nâng cao thành phần khí cháy trong syngas. Phần thực nghiệm sau đây trình bày kết quả thu được khi bổ sung oxy vào không khí với mức 0%, 10%, 20% và 30%.

4.2. Kết quả thực nghiệm nhiệt độ thân lò khí hóa

**Hình 9. Kết quả thực nghiệm nhiệt độ thân lò khí hóa ở các điều kiện khí hóa khác nhau**

Hình 9 giới thiệu kết quả dải nhiệt độ thân lò. Thực nghiệm được thực hiện tại 10 vị trí đo cách nhau 100mm từ ghi lò khí hóa. Nhiệt độ cực đại lò khí hóa đạt được ngay tại vị trí của miệng đường ống cấp khí và không thay đổi vị trí. Nhiệt độ cực đại đạt trên 1000°C khi chất oxy hóa là

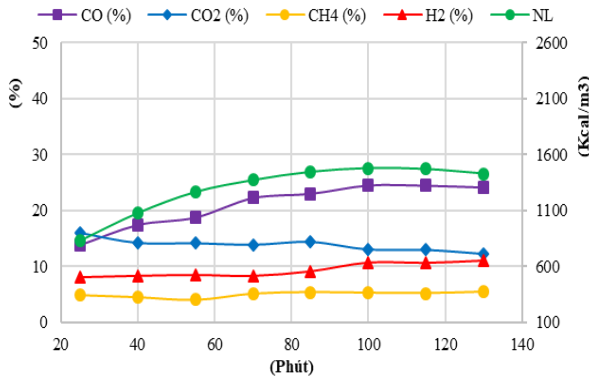
không khí được bổ sung 30% oxy với lưu lượng không khí cố định 90 L/min.

4.3. So sánh kết quả thực nghiệm

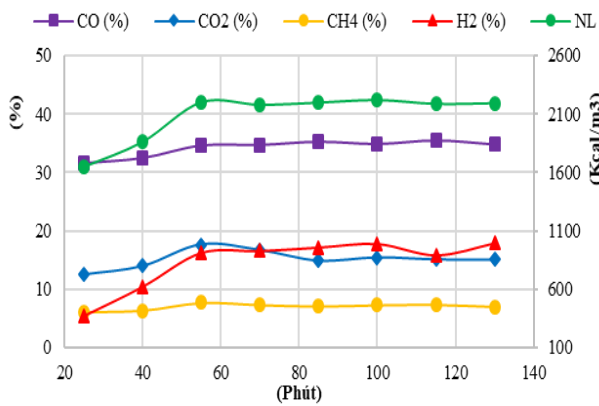
Trường hợp khi khí khóa với chất oxy hóa hoàn toàn là không khí, tổng thành phần các khí cháy như CO, CH₄, H₂ chiếm tỷ lệ thấp, khoảng 41%.

Khi tăng hàm lượng oxy trong chất oxy hóa lần lượt là 10%, 20%, 30% dẫn đến nồng độ/thành phần khí N₂ giảm, nhiệt độ các vùng phản ứng tăng nhiệt độ khu vực hoàn nguyên tăng ảnh hưởng tích cực đến quá trình khí hóa làm tăng tổng nồng độ các khí cháy lần lượt là 61%, 67% và 73% dẫn đến tăng nhiệt trị syngas.

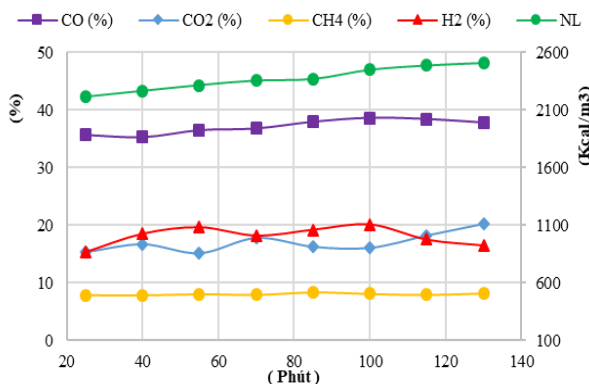
Lưu lượng không khí cấp vào lò được giữ ở mức cố định là 90 L/min. Kết quả thực nghiệm là giá trị trung bình của 06 lần thí nghiệm đối với mỗi trường hợp.



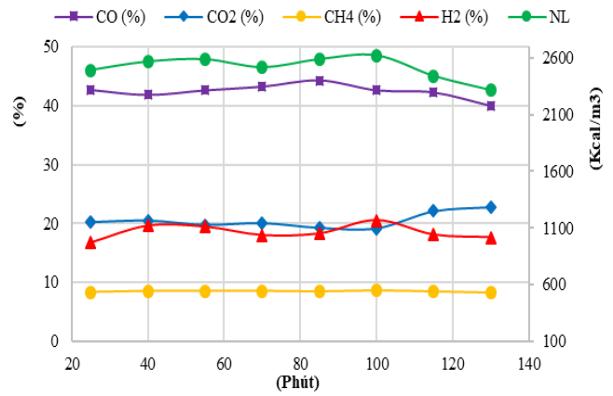
Hình 10. Thành phần syngas khi khí hóa với chất oxy hóa hoàn toàn là không khí



Hình 11. Thành phần syngas khi bổ sung 10% oxy

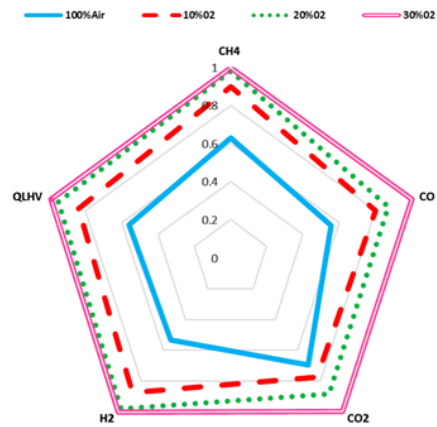


Hình 12. Thành phần syngas khi bổ sung 20% oxy



Hình 13. Thành phần syngas khi bổ sung 30% oxy

Hình 14 biểu diễn tổng quát các giá trị syngas thu được từ khí hóa viên nén sinh khối với chất oxy hóa là không khí và không khí được bổ sung bởi lần lượt là 10%, 20%, 30% oxy. Chúng ta thấy khi tăng hàm lượng O₂ làm giàu không khí thì thành phần các khí cháy được CO, H₂, CH₄ trong syngas đều tăng dẫn đến tăng nhiệt trị của nhiên liệu. Nhiệt trị nhiên liệu tăng lần lượt là 40%, 50% và 55% tương ứng với không khí được làm giàu bởi 10%, 20%, 30% oxy so với khi sử dụng chất oxy hóa là không khí. Điều này giúp nâng cao chất lượng syngas, tạo điều kiện ứng dụng nhiên liệu tái tạo này trên các động cơ kéo máy phát điện.



Hình 14. Đồ thị radar biểu diễn thành phần và nhiệt trị của syngas khi chất oxy hóa là không khí và không khí được bổ sung lần lượt 10, 20, 30% oxy

Bảng 6. Thành phần các chất khí cháy và nhiệt trị ở từng trường hợp

	CH ₄	CO	CO ₂	H ₂	QLHV
100%Air	5,4	24,51	15,91	10,98	6,2034
10%O₂	7,71	35,52	17,65	17,97	9,3156
20%O₂	8,42	38,63	20,21	20,11	10,55
30%O₂	8,58	44,26	22,85	20,53	11,008
Hệ số	8,6	44,3	22,9	20,55	11,1

5. Kết luận

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

- Khi chất oxy hóa là không khí với lưu lượng 90 L/min, thành phần các chất khí cháy và nhiệt trị đạt được giá trị lớn nhất là 42,26% và 6,6402 MJ/kg.

- Kết quả đo được nhiệt độ lớn nhất của lò khí hóa tăng từ 750°C đến dưới 1100°C, khi chất oxy hóa là không khí được bổ sung bởi 0%, 10%, 20% và 30% oxy.

- Vị trí các vùng phản ứng và vị trí đạt nhiệt độ cực đại lò khí hóa không phụ thuộc vào hàm lượng oxy pha vào không khí làm chất oxy hóa.

- Sử dụng O₂ bổ sung vào không khí làm chất oxy hóa thì CH₄, CO, H₂ đều tăng, tỷ lệ này chiếm khoảng 41%, 61%, 67%, 73% khi không khí được làm giàu bởi 0%, 10%, 20%, 30% oxy.

- Nhiệt trị syngas tăng 40%, 50% và 55% khi không khí được làm giàu bởi 10%, 20%, 30% O₂ so với khi sử dụng chất oxy hóa là không khí.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] VNA/VNS, "Viet Nam strives to achieve 'net zero' by 2050, with international support: PM", *Viet Nam News*, November 02, 2021. [Online]. Available: <https://vietnamnews.vn/environment/1071075/viet-nam-strives-to-achieve-net-zero-by-2050-withinternational-support-pm.html> [Accessed 20/3/2024].
- [2] U. Arena, "Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review", *Waste Management*, vol. 32, no. 4, pp. 625- 639, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.025>
- [3] P. M. Tung, B. V. Ga, T. T. Son, and H. T. A. Ngoc, "Effect of the air supply location of a gasifier on composition and heating value of syngas", *The University of Danang - Journal of Science and Technology*, vol. 20, no. 10.2, pp. 6-11, 2022.
- [4] T. B. Reed and A. Das, *Handbook of biomass downdraft gasifier engine systems*. A Product of the Solar Technical Information Program, 1988.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] F. Mariantonietta, V. Magi, and A. Viggiano, "Internal combustion engines powered by syngas: A review", *Applied Energy*, vol. 276, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115415>
- [8] C. D. Rakopoulos and C. N. Michos, "Development and validation of a multizone combustion model for performance and nitric oxide formation in syngas fueled spark ignition engine", *Energy Conversion and Management*, vol. 49, no. 10, pp. 2924-2938, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.02.011>
- [9] A. Pradhan, P. Baredar, and A. Kumar, "Syngas as an alternative fuel used in internal combustion engines: A review", *Journal of Pure and Applied Science & Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 51–66, 2015.
- [10] B. V. Ga, V. T. Hung, B. T. M. Tu, T. L. B. Tram, and N. T. T. Xuan, "Characteristics of Biogas-Hydrogen Engines in a Hybrid Renewable Energy System", *International Energy Journal*, vol. 21, no. 4, pp. 467-480, 2021.
- [11] J. B. Jones and G. A. Hawkins, *Engineering Thermodynamics*, 2nd edition. NJ: Wiley, 1986.