

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH ẢNH HƯỞNG CỦA TÁC NHÂN ĐẾN CHẤT LƯỢNG CỦA SẢN PHẨM KHÍ TRÊN MÔ HÌNH KHÍ HÓA KIỂU NGƯỢC CHIỀU

LÊ ĐÌNH NHẬT HOÀI, BUI TRUNG THÀNH

*Khoa CN Nhiệt Lạnh, Trường ĐHCN Tp.HCM
ledinhnhathoai@iuh.edu.vn; buitrungthanh@iuh.edu.vn*

Tóm tắt. Hiệu suất nhiệt của quá trình khí hóa phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trong đó tác nhân khí hóa là một trong những yếu tố chính ảnh hưởng đến chất lượng và nhiệt trị của sản phẩm khí (syngas). Nghiên cứu này được tác giả thực hiện bằng phương pháp thực nghiệm nhằm xác định ảnh hưởng của tác nhân đến chất lượng và nhiệt trị của syngas. Nghiên cứu đã thực hiện thay đổi tỷ lệ oxy và hơi nước trong không khí khi cung cấp cho buồng phản ứng khí hóa. Mô hình thực nghiệm khí hóa nguyên liệu trấu và than đá là kiểu lò phản ứng kiểu ngược chiều, môi lửa ở trên (Top Lift Updraft – TLUD). Kết quả thực nghiệm cho thấy, khi dùng không khí làm tác nhân ở tỷ lệ ER = 0,25 thì sản phẩm khí syngas có nhiệt trị cao nhất (3835 kJ/Nm³). Khi tăng nồng độ oxy trong tác nhân lên 70% thì chất lượng khí tăng lên đáng kể (nhiệt trị syngas là 8646 kJ/Nm³), nhưng đòi hỏi hệ thống phải có cụm cấp oxy bổ sung. Việc bổ sung hơi nước có làm tăng nhiệt trị sản phẩm khí, nhưng không đáng kể (tăng thêm 0,28% khi tỷ số S/A (steam/air) từ 0 đến 7. Thực nghiệm cũng cho thấy, với tỷ số S/A = 0,5 thì chất lượng sản phẩm khí là tốt nhất.

Keywords: khí hóa, khí hóa than, khí hóa trấu, lò đốt khí hóa kiểu ngược, tác nhân khí hóa, thành phần khí tổng hợp.

EXPERIMENTAL RESEARCH TO DETERMINE THE AFFECT OF AGENT TO THE QUALITY OF SYNGAS ON UPDRAFT GASIFIER MODEL.

LE DINH NHAT HOAI, BUI TRUNG THANH

*Faculty Of Heat and Refrigeration Engineering, Industrial University Of Ho Chi Minh City
ledinhnhathoai@iuh.edu.vn; buitrungthanh@iuh.edu.vn*

Abstract. The thermal performance of the gasification process depends on many factors, in which gasification agent is one of the major factors affecting the quality and heat value of syngas. This research uses the empirical method to determine the effect of the gasification agent on the quality and heat value of the syngas when changing the composition of oxygen and steam. Experimental model of gasification using rice husk and coal materials with type of Top Lift UpDraft gasifier (TLUD). The results show that when using the air as an agent, at the equivalent ratio (ER) of about 0.25, the gas product produces the highest calorific value (3835 kJ/Nm³). As the oxygen concentration increases by 70% in the agent, the heat value increases considerably (8646 kJ/Nm³), but requires a pure oxygen supply. The addition of steam increased the calorific value of the gas product, but was negligible (an increase of 0.28% as the S/A ratio went from 0 to 7). The experiment also showed that with the ratio of S/A = 0.5, the quality of gas products is the best.

Keywords: coal gasification, rice husk gasification, gasification, gasification agents, synthesis gas, updraft gasifier, syngas.

1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Công nghệ khí hóa nguyên liệu sinh khối đã được nghiên cứu và ứng dụng tại nhiều nước trên thế giới từ thế kỷ 17. Tại Việt Nam, công nghệ khí hóa than gỗ cũng đã được ứng dụng để chạy máy phát điện, xe tải, xe khách...trong điều kiện nhiên liệu xăng, dầu trở nên khan hiếm do Việt Nam bị cấm vận. Những năm gần đây, công nghệ này lại tiếp tục được các nhà khoa học nghiên cứu chuyên sâu hơn, nhằm nâng cao hiệu suất khí hóa, nâng cao nhiệt trị và mở rộng phạm vi ứng dụng công nghệ.

Phạm vi bài báo được tác giả trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm xác định ảnh hưởng của các loại tác nhân khí hóa gồm không khí, oxy, hơi nước đối với quá trình khí hóa nguyên liệu trấu và than đá loại bituminous. Nghiên cứu này nhằm đánh giá sự thay đổi các thành phần khí cháy và nhiệt trị sản phẩm khí hóa khi thay đổi tỷ lệ thành phần tác nhân khí hóa. Kết quả nghiên cứu của tác giả nhằm bổ sung về lý thuyết và thực tiễn của công nghệ khí hóa nhằm góp phần cải thiện hiệu quả sử dụng công nghệ, tiến tới phát triển hệ thống thiết bị khí hóa phục vụ cho sản xuất trong thực tiễn.

2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Nguyên lý khí hóa

Khí hóa là một quá trình chuyển đổi các vật liệu carbon hóa hữu cơ dạng rắn sang dạng khí thành carbon monoxide, hydro và carbon dioxide còn được gọi là khí tổng hợp (gọi tắt là Syngas). Trong toàn bộ quá trình khí hóa sẽ xảy ra giai đoạn nhiệt phân và giai đoạn hoàn nguyên, kết quả là sinh ra sản phẩm khí có thể cháy được. Quá trình khí hóa và cháy là hai quá trình nhiệt hóa có liên quan chặt chẽ với nhau, nhưng có sự khác. Trong khí hóa là quá trình chuyển hóa năng của nguyên liệu biomass thành hóa năng của sản phẩm khí, từ đó có thể làm nhiên liệu hóa học và khi đốt thì sinh nhiệt; còn Cháy là quá trình oxy hóa nhanh của một vật liệu trong quá trình tỏa nhiệt hóa học. Các phản ứng xảy ra trong quá trình khí hóa trình bày trong bảng 1 [1]. Trong quá trình khí hóa, hơi nước và oxy có thể được thêm vào thiết bị khí hóa để nâng cao chất lượng sản phẩm khí. Hơi nước được đưa thêm vào để thúc đẩy phản ứng R2 tạo thêm khí CO và H₂ cho hỗn hợp sản phẩm khí của quá trình khí hóa. Đây là phản ứng thu nhiệt mạnh và sẽ giảm nhiệt độ của toàn bộ vùng khí hóa. Oxy được đưa thêm vào sẽ thúc đẩy các phản ứng oxy hóa R5, R6, R7 xảy ra mãnh liệt do đó nhiệt độ của thiết bị khí hóa tăng cao dẫn đến việc tăng tốc độ của các phản ứng hóa học trong thiết bị khí hóa.

Bảng 1. Các phản ứng trong quá trình khí hóa

STT	Loại phản ứng	Công thức phản ứng	Nhiệt lượng (kJ/kmol)
R1 (Phản ứng Boudouard)	Phản ứng với carbon	$C + CO_2 \rightleftharpoons 2CO$	+ 172
R2 (Phản ứng với hơi nước)		$C + H_2O \rightleftharpoons CO + H_2$	+ 131
R3 (Phản ứng tạo metan)		$C + 2H_2 \rightleftharpoons CH_4$	- 74,8
R4		$C + 0,5O_2 \rightarrow CO$	- 111
R5	Phản ứng oxy hóa	$C + O_2 \rightarrow CO_2$	- 394
R6		$CO + 0,5O_2 \rightarrow CO_2$	- 284
R7		$CH_4 + 2O_2 \rightleftharpoons CO_2 + 2H_2O$	- 803
R8		$H_2 + 0,5O_2 \rightarrow H_2O$	- 242
R9	Phản ứng chuyển hóa hơi nước	$CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$	- 41,2
R10	Phản ứng tạo methane	$2CO + 2H_2 \rightarrow CH_4 + CO_2$	- 247
R11		$CO + 3H_2 \rightleftharpoons CH_4 + H_2O$	- 206
R14		$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$	- 165
R12	Phản ứng tái tạo với hơi nước (định nghĩa lại vì có O ₂)	$CH_4 + H_2O \rightleftharpoons CO + 3H_2$	+ 206

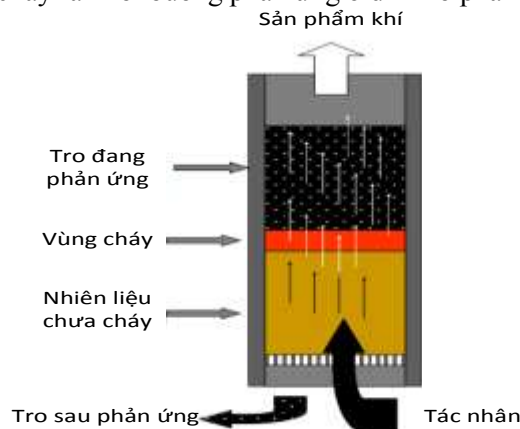
Kết quả của quá trình khí hóa là tạo ra được sản phẩm khí cháy được gồm: CO, H₂ và CH₄, khi thực hiện đốt cháy các khí này sẽ sinh nhiệt phục vụ cho sấy, bảo quản nông sản, nung gốm... hoặc thể sử dụng các khí (syngas) làm nguyên liệu để tổng hợp thành các hợp chất hóa học phục vụ cho các mục đích khác.

2.2 Các phương pháp khí hóa

Về phương pháp khí hóa được chia làm hai dạng chính là khí hóa với nguyên liệu ở trạng thái tĩnh (tầng cố định (fixed bed) và khí hóa lớp nguyên liệu ở dạng di động (moving bed) trong quá trình khí hóa. Cụ thể thì gồm 2 phương pháp chính:

- Phương pháp khí hóa với nguyên liệu ở trạng thái tĩnh gồm có kiểu thuận chiều (downdraft); kiểu ngược chiều (updraft) và kiểu thổi ngang (crossdraft).
- Phương pháp khí hóa với nguyên liệu ở trạng thái di động gồm có kiểu tầng sôi (fluidized) và kiểu khí động (entrained bed).

Trong nghiên cứu này, tác giả thực hiện trên mô hình khí hóa kiểu ngược chiều (mồi lửa phía trên - TLUD), nguyên liệu được cấp từ trên xuống còn dòng tác nhân được cấp từ phía dưới lên. Sản phẩm dạng khí của quá trình khí hóa được lấy ra khỏi buồng phản ứng ở đỉnh lò phản ứng.



Hình 1. Nguyên lý hoạt động của mô hình khí hóa kiểu ngược chiều TLUD

2.3 Tính toán nhiệt trị của nguyên liệu và sản phẩm khí

Quá trình thực nghiệm được thực hiện trên hai loại nguyên liệu khác nhau là trấu và than đá (loại bituminous). Thành phần hóa học của hai nguyên liệu này trong bảng 2, trạng thái của than và trấu khi phân tích ở trạng thái không khí khô (airdry)

Bảng 2. Thành phần hóa học của trấu và than bituminous (%), trạng thái không khí khô [2], [3]:

Thành phần	C	H	O	N	S	A	W
Trấu	37,1	4,1	31,6	0,36	0,05	17,7	9,09
Than bituminous	80,0	5,54	6,0	1,0	0,58	3,88	3,0

Theo công thức của D.I Mendêlêép, có thể tính được nhiệt trị cao và nhiệt trị thấp của trấu và than đá ở trạng thái không khí khô như sau [4]

$$Q_{c-trấu} = 33858.C + 125400.H - 10868.(O - S) = 14273,9 \left(\frac{kJ}{kg} \right) \quad (1)$$

$$Q_{th-trấu} = Q_{c-trấu} - 2500.(9.H + W) = 13124,1 \left(\frac{kJ}{kg} \right) = 1312,4 \left(\frac{MJ}{m^3} \right) \quad (2)$$

$$Q_{c-than} = 33858.C + 125400.H - 10868.(O - S) = 33444,5 \left(\frac{kJ}{kg} \right) \quad (3)$$

$$Q_{th-than} = Q_{c-than} - 2500.(9.H + W) = 32123 \left(\frac{kJ}{kg} \right) = 27770,3 \left(\frac{MJ}{m^3} \right) \quad (4)$$

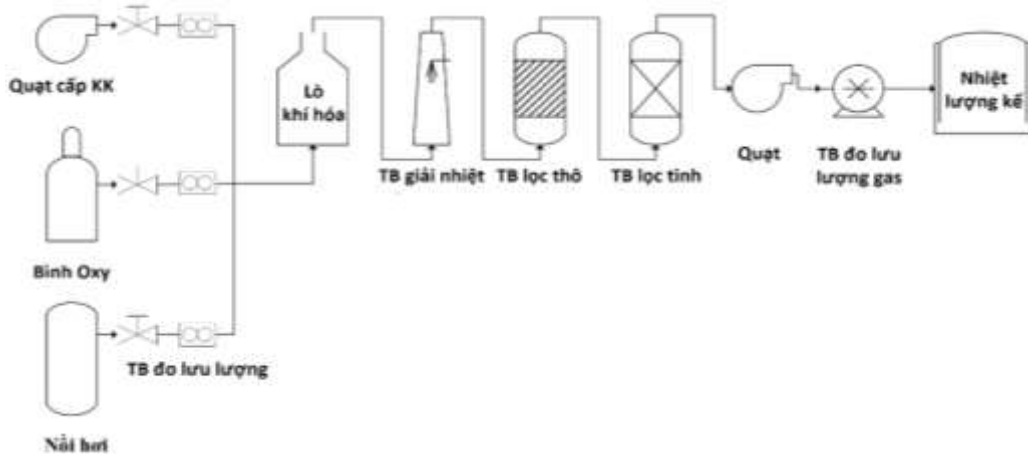
Thành phần của syngas sinh ra phụ thuộc vào tác nhân, nguyên liệu khí hóa và các phụ gia hỗ trợ phản ứng nếu có, nhưng chủ yếu là các khí H₂, O₂, N₂, CO, CO₂, CH₄. Trong đó chỉ có H₂, CO, CH₄ là các khí cháy được và sinh ra nhiệt lượng tương ứng là 10785, 12635, 35880 (kJ/m³). Công thức tính nhiệt

trị của syngas được tính theo [4]:

$$Q_{\text{syngas}} = 10785. [H_2] + 12635. [CO] + 35880. [CH_4] \quad \left(\frac{kJ}{m^3}\right) \quad (5)$$

2.4 Sơ đồ bố trí thí nghiệm

Hệ thống thực nghiệm được bố trí theo hình 2, tác nhân cung cấp cho thực nghiệm khí hóa gồm không khí, oxy tinh khiết và hơi nước (hơi bão hòa khô ở áp suất 5 bar, tương ứng với 151,8°C).



Hình 2. Sơ đồ bố trí thiết bị thí nghiệm



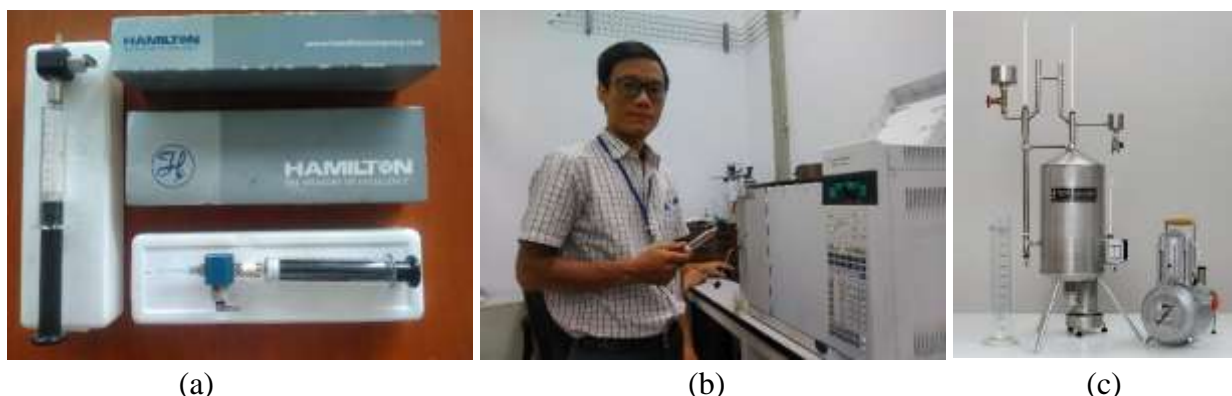
Hình 3. Tác giả và mô hình thí nghiệm khí hóa

Tiến trình phản ứng và hình thành sản phẩm khí syngas được biểu diễn trên hình 1. Sản phẩm khí hóa sau buồng phản ứng được đi qua thiết bị giải nhiệt; qua thiết bị lọc thô; qua thiết bị lọc tinh; sau đó qua quạt hút; thiết bị đo lưu lượng kế và đi vào nhiệt lượng kế (hình 2).

2.5 Dụng cụ đo

Các tác nhân cấp vào lò đốt khí hóa được điều chỉnh và kiểm soát lưu lượng bằng van và các thiết bị đo. Sản phẩm khí sinh ra sau khi được làm mát, tách bụi qua thiết bị lọc, sau đó được đưa vào thiết bị đo lưu lượng gas và đi vào nhiệt lượng kế (calorimeter) Junkers-Boys T136D. Sản phẩm khí syngas còn

được phân tích thành phần khí bằng máy sắc ký (gas chromatograph) Agilent 7890A để xác định thành phần khí cháy trong sản phẩm khí ngay sau khi làm thực nghiệm.



Hình 4. Một số thiết bị hỗ trợ thực nghiệm

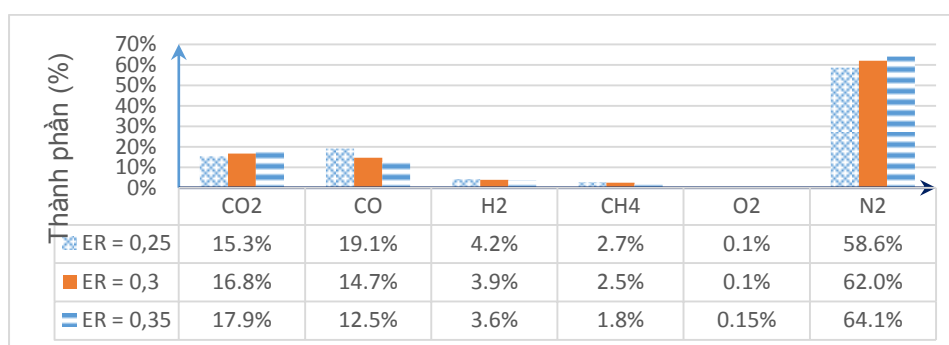
- (a) Ống nghiệm chuyên dụng chứa syngas
- (b) Tác giả bên máy sắc ký Agilent 7890A
- (c) Nhiệt lượng kế T136D, thiết bị đo lưu lượng syngas

2.6 Phương pháp thực hiện và lấy mẫu phân tích

Mẫu lấy phân tích được thực hiện theo trình tự như sau: Thực hiện cân và nạp nguyên liệu trấu, than vào buồng phản ứng; khởi động buồng phản ứng; chờ đến khi có dấu hiệu xuất hiện gas ở cửa thoát gas; tiến hành điều chỉnh lượng tác nhân cấp vào buồng đốt theo chế độ vận hành (đã được xác định trước); thực hiện lấy mẫu syngas vào ống nghiệm chuyên dụng và gửi mẫu phân tích bằng máy sắc ký (kết quả phân tích thực hiện trong ngày). Thời điểm lấy mẫu ngay sau khi kết thúc giai đoạn môi lửa cho buồng phản ứng, khoảng từ 7 ÷ 10 phút. Vị trí lấy mẫu sản phẩm khí ngay sau bộ lọc tinh. Trong quá trình thực nghiệm, luôn phải ghi chép các số liệu tại thiết bị đo lưu lượng syngas và nhiệt lượng kế.

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Hình 5 biểu diễn ảnh hưởng của lưu lượng không khí làm tác nhân khí hóa đến thành phần khí trong syngas, khi thực nghiệm đốt trấu khí hóa. Thực nghiệm cho kết quả, khi sử dụng không khí làm tác nhân khí hóa thì nồng độ khí CO cao hơn so với thành phần khí cháy khác trong syngas.



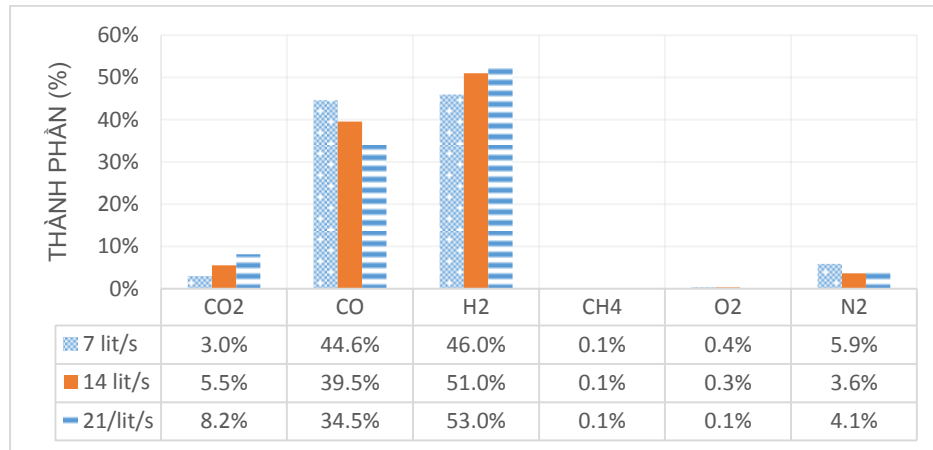
Hình 5. Đồ thị ảnh hưởng của lưu lượng không khí đến thành phần syngas khi thực nghiệm khí hóa trấu

Kết quả thực nghiệm trên cũng cho thấy, khi cấp không khí ở tỷ lệ cân bằng ER (Equivalence Ratio) ER= 0,25 cho chất lượng syngas tốt nhất trong phạm vi khảo sát (được thể hiện qua giá trị nồng độ các khí cháy cao và nhiệt trị lên tới 3835 kJ/m³).

Theo nghiên cứu của tác giả [5], tỷ lệ lý tưởng của các thành phần sản phẩm khí, khi sử dụng không khí làm tác nhân là 30% CO, 15% H₂ và 55%N₂. Nếu dùng oxy tinh khiết thì tỷ lệ này là 66% CO và 34%

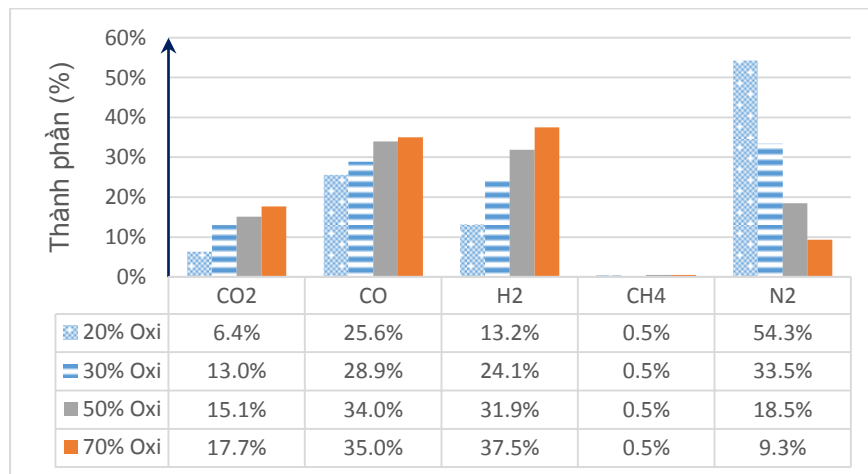
H₂ (tính theo thể tích).

Hình 6, biểu diễn quan hệ ảnh hưởng của lưu lượng hơi nước đến thành phần syngas khí thực nghiệm khí hóa than đá bituminous. Theo phản ứng khí – nước trong quá trình khí hóa, lượng khí CO₂ tăng lên khi thêm hơi nước vào tác nhân khí hóa, trong khi đó nồng độ khí metan thì hầu như không đổi (~0,1%). Thí nghiệm bổ sung hơi nước vào khí tươi làm tác nhân khí hóa được thực hiện với các mức lưu lượng: 7 lít/s, 14 lít/s và 21 lít/s. Trong thực nghiệm này cũng đã xác định khi tăng nồng độ hơi nước vào tác nhân khí hóa đã làm suy giảm thành phần khí N₂, điều này được giải thích hơi nước đã làm tăng hàm lượng H₂, dẫn đến làm giảm hàm lượng N₂ trong sản phẩm khí.



Hình 6. Đồ thị ảnh hưởng của lưu lượng hơi nước đến thành phần syngas khí thực nghiệm khí hóa than đá

Đồ thị tại hình 7 biểu diễn kết quả thực nghiệm xác định ảnh hưởng của nồng độ Oxy trong tác nhân khí cấp vào buồng phản ứng đến thành phần sản phẩm syngas đối với thực nghiệm khí hóa than đá. Kết quả thực nghiệm cho thấy, nồng độ oxy trong tác nhân càng cao thì càng làm giảm hàm lượng Nitơ trong tác nhân và trong sản phẩm khí, dẫn đến làm nhiệt trị khí tổng hợp càng được nâng cao.



Hình 7. Đồ thị ảnh hưởng của nồng độ oxy trong tác nhân đến thành phần syngas khí thực nghiệm khí hóa than đá

Một vấn đề được tác giả lưu ý, trong quá trình thực nghiệm, vận tốc tác nhân khí qua bề mặt nguyên liệu trấu không nên lớn hơn 0,3 m/s, với than đá là 0,7 m/s. Nếu vận tốc khí lớn sẽ làm tăng nhiệt độ buồng phản ứng khí hóa và làm bay tro, nhất là đối với lò phản ứng kiểu TLUD.

4 KẾT LUẬN

Có thể nhận thấy rằng, thành phần syngas thay đổi nhiều khi thay đổi tỷ lệ (ER) cho trường hợp sử

dụng không khí làm tác nhân khí hóa.

Trong điều kiện nghiên cứu, khi sử dụng hơi nước bổ sung vào không khí làm tác nhân cung cấp cho buồng phản ứng khí hóa không gây ảnh hưởng nhiều đến nhiệt trị sản phẩm khí (chỉ tăng thêm 0,28%) khi tỷ số S/A (Steam/Air) từ 0 ÷ 7.

Thành phần sản phẩm khí hoá khi cấp hơi nước bổ sung hoặc cấp oxy bổ sung vào không khí làm tác nhân khí hóa thì cao hơn so với khi dùng thuần không khí làm tác nhân, nhưng hệ thống khí hóa này phải được trang bị thêm thiết bị sản xuất hơi nước hoặc thiết bị cung cấp oxy bổ sung.

Việc lựa chọn loại tác nhân cho quá trình khí hóa phụ thuộc vào chất lượng sản phẩm khí tổng hợp (syngas) mong muốn. Nếu sử dụng hệ thống khí hóa sản xuất khí syngas và ứng dụng để đốt tạo nhiệt, nên dùng không khí làm tác nhân. Nếu hơi nước có sẵn thì có thể trộn lẫn hơi nước với không khí để sản phẩm syngas cho nhiệt trị cao hơn. Nếu muốn thu khí tổng hợp làm nguyên liệu để tổng hợp hóa học thì nên dùng oxy làm tác nhân.

5 LỜI CẢM ƠN

Tác giả cảm ơn Trường Đại học Công nghiệp TPHCM đã cấp kinh phí thực hiện đề tài IUH.KNL 09/15: “*Nghiên cứu thực nghiệm xác định ảnh hưởng của tác nhân đến chất lượng của sản phẩm khí trên mô hình khí hóa kiểu ngược chiều*”.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Prabir Basu, *Biomass Gasification and Pyrolysis-Practical Design and Theory*, Elsevier, 2010.
- [2]. Nguyễn Thanh Quang, Hoàng An Quốc, Đặng Trung Thông, *Nghiên cứu khí hóa trấu lớp cố định nhằm sản xuất điện năng*, Tạp chí Năng lượng Nhiệt, số 102 ra tháng 11/2011.
- [3]. Nguyễn Thanh Quang, Đặng Thế Hùng, *Nghiên cứu chế tạo hệ thống hóa khí than tầng cố định ngược chiều*, Tạp chí Khoa học & Công nghệ Nhiệt, số 77 ra tháng 9/2007.
- [4]. Trần Gia Mỹ, *Kỹ thuật cháy*, Nhà XB Khoa học & Kỹ thuật, 2005.
- [5]. Lê Công Cát, *Nghiên cứu thử nghiệm khí hóa than antraxit để cung cấp nhiệt cho động cơ cabuaretor trên xe ô tô*, Tạp chí Năng lượng Nhiệt số 102, ra tháng 11/2011.
- [6]. Le Duc Dung, Takayuki Takarada, *Catalytic steam reforming tar in fluidized bed gasifier*, Journal of Science and Technology Technical Universities, ISSN:0868- 3980 Vol 80 P.124- 128, 2011.

Ngày nhận bài: 16/01/2018

Ngày chấp nhận đăng: 24/04/2018