

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP.HCM**

NGUYỄN VĂN LÀNH

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ
ĐẾN SẢN PHẨM KHÍ VÀ THAN TRONG THIẾT BỊ
HÓA KHÍ TRÁU TẠI VIỆT NAM**

Chuyên ngành: Kỹ thuật Cơ khí

Mã ngành : 9 52 01 03

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

TP. HỒ CHÍ MINH – NĂM 2022

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP.HCM**

NGUYỄN VĂN LÀNH

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ
ĐẾN SẢN PHẨM KHÍ VÀ THAN TRONG THIẾT BỊ
HÓA KHÍ TRÁU TẠI VIỆT NAM**

**Chuyên ngành : Kỹ thuật Cơ khí
Mã ngành : 9 52 01 03**

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

**Người hướng dẫn khoa học: PGS. TS. NGUYỄN HUY BÍCH
TS. BÙI NGỌC HÙNG**

TP. HỒ CHÍ MINH – NĂM 2022

MỞ ĐẦU

1. Sự cần thiết của vấn đề nghiên cứu

Trong những năm gần đây, thế giới đặc biệt quan tâm và đang phải đối mặt với sự cạn kiệt của nhiên liệu hóa thạch và vấn đề nóng lên của trái đất. Theo Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi Khí hậu (IPCC), như tình hình hiện nay thì nhiệt độ bề mặt Trái Đất sẽ có thể tăng 1,1 đến 6,4°C trong suốt thế kỷ XXI. Hậu quả nghiêm trọng của việc nóng lên của trái đất là làm tan băng dẫn đến mực nước biển dâng, đe dọa nghiêm trọng các quốc gia ven biển vì ngập. Một trong những giải pháp giảm tình trạng nóng lên của trái đất là việc tăng cường khai thác và sử dụng các dạng năng lượng thay thế năng lượng hóa thạch nhằm trung hòa và không làm tăng CO₂ như: Năng lượng gió, năng lượng mặt trời, năng lượng sinh khối. Hiện nay trên quy mô toàn cầu, sinh khối là nguồn năng lượng lớn thứ tư, chiếm tới 14 - 15% tổng năng lượng tiêu thụ của thế giới. Theo tính toán của Viện Năng lượng Việt Nam, tổng nguồn sinh khối vào khoảng 118 triệu tấn/năm tương đương 80,7 triệu tấn dầu, gấp 2 lần tổng lượng khai thác dầu khí của Việt Nam. Sinh khối là một trong những nguồn năng lượng thay thế năng lượng hóa thạch có triển vọng và nguồn cung cấp dồi dào dưới dạng thể rắn là chủ yếu. Điều này hạn chế rất lớn trong khai thác và sử dụng sinh khối. Vì vậy, nghiên cứu hóa khí sinh khối để sản xuất khí tổng hợp và than sinh học là việc làm cần thiết.

2. Mục tiêu nghiên cứu

Nghiên cứu sự ảnh hưởng một số thông số công nghệ của quá trình hóa khí kiểu dòng khí đi xuống (downdraft) đối với trấu tại vùng Đồng bằng Sông Cửu Long (ĐBSCL), Việt Nam đến sản phẩm khí tổng hợp (syngas) và than sinh học (biochar).

3. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng của nghiên cứu này là hệ thống hóa khí sinh khối kiểu dòng khí đi xuống, nhiên liệu sử dụng để hóa khí là trấu của giống lúa IR 50404 ở vùng ĐBSCL.

4. Giới hạn của đề tài

Nghiên cứu được thực hiện trên hệ thống hóa khí trấu quy mô nông hộ với hai thông số công nghệ chính là hệ số không khí cấp ER và nhiệt độ vùng khử T₂.

5. Phương pháp nghiên cứu

Luận án sử dụng phương pháp nghiên cứu tổng quan, nghiên cứu lý thuyết và nghiên cứu thực nghiệm hệ thống hóa khí trấu. Ngoài ra luận án còn sử dụng phương pháp qui hoạch thực nghiệm nhằm tìm các giá trị hợp lý của các thông số công nghệ để thu được sản phẩm khí tổng hợp và than sinh học phù hợp nhất khi hóa khí trấu theo kiểu dòng khí đi xuống.

6. Nội dung nghiên cứu

- Nghiên cứu tổng quan những vấn đề liên quan đến năng lượng, sinh khối, hệ thống hóa khí, các thông số công nghệ, khí tổng hợp và than sinh học.
- Thực nghiệm xác định các thông số lý hóa của trấu.
- Nghiên cứu lý thuyết xây dựng hệ phương trình từ phương trình tổng quát hóa khí trấu gồm: các phương trình cân bằng khối lượng của nguyên tố C, H₂ và O₂; phương trình cân bằng phản ứng tạo khí CH₄ và phương trình cân bằng phản ứng chuyển H₂O; phương trình cân bằng năng lượng từ phương trình tổng quát.
- Giải hệ phương trình phi tuyến tính để xác định các thành phần khí tổng hợp và lượng than sinh học bằng ngôn ngữ lập trình Python.
- Tính toán, thiết kế và chế tạo hệ thống hóa khí trấu; thực nghiệm kiểm chứng mô

hình toán mô tả quá trình hóa khí trấu trong thiết bị hóa khí dòng khí đi xuống; thực nghiệm tìm các giá trị hợp lý của các thông số công nghệ để thu được sản phẩm khí tổng hợp và than sinh học phù hợp nhất; đánh giá sơ bộ chất lượng của than sinh học thông qua thực nghiệm tác động của than sinh học đến sự sinh trưởng và phát triển của cây trồng.

7. Điểm mới và đóng góp của luận án

- Đã xác định được các thành phần lý hóa của trấu IR 50404 gồm: Khối lượng thể tích, ẩm độ, nhiệt trị, chất bốc, carbon cố định, độ tro và phần trăm các nguyên tố carbon, hydro, oxy, nitơ và lưu huỳnh.
- Đã xác định được công thức hóa học tổng quát của trấu IR 50404, xây dựng được phương trình cân bằng phản ứng hóa học tổng quát của quá trình hóa khí trấu IR 50404.
- Đã xây dựng được hệ phương trình phi tuyến gồm 6 phương trình và 6 ẩn số. Đây chính là mô hình toán học biểu diễn quá trình hóa khí trấu kiểu cân bằng hóa học giả định các phản ứng của hệ đạt cân bằng mà không bị ảnh hưởng bởi hình dạng và kích thước của thiết bị. Ngôn ngữ lập trình Python được sử dụng để lập trình và giải hệ phương trình nêu trên.
- Đã thực nghiệm để kiểm chứng bài toán lý thuyết và xây dựng phương trình dự đoán các sản phẩm thu được như: lượng than sinh học, phần trăm các khí CO, H₂ và CH₄.

CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN

1.1 Giới thiệu đối tượng nghiên cứu và các khái niệm

1.1.1 Trấu

Trấu là lớp vỏ ngoài cùng của hạt lúa và được tách ra trong quá trình xay xát. Một kilogram lúa khi xay xát cho ra khoảng 200g – 230g trấu, chiếm khoảng 20 - 23% tổng khối lượng hạt lúa, còn lại khoảng 77 – 80% là thành phần gạo, cám và mầm. Trấu sau khi xay xát thông thường có ẩm độ từ 8 – 12 %, nhiệt trị của trấu khoảng 12,6 - 16,5 MJ/kg, để đốt cháy hoàn toàn 1 kg trấu cần 4,3 – 4,7 kg không khí. Trấu được sử dụng trong nghiên cứu là của giống lúa IR 50404 được trồng nhiều nhất ở ĐBSCL hiện nay.

1.1.2 Hóa khí

Hóa khí sinh khối là quá trình đốt cháy không hoàn toàn của sinh khối, là kết quả sản phẩm của các loại khí dễ cháy bao gồm carbon monoxide (CO), hydrogen (H₂) và khí methane (CH₄). Hỗn hợp này được gọi là khí tổng hợp (syngas), khí tổng hợp này có thể được sử dụng để chạy động cơ đốt trong phát điện hay có thể đốt trực tiếp cho nhu cầu sử dụng nhiệt như đun nấu, sấy hoặc lò hơi.

1.1.3 Công nghệ hóa khí

Về tổng thể chia thành 3 công nghệ: hóa khí cuốn theo dòng (*entrained flow*), hóa khí theo tầng (*moving bed*) và hóa khí tầng sôi (*fluidized bed*). Với công nghệ hóa khí theo tầng chia thành 3 loại: hệ thống hóa khí có dòng khí đi lên (*updraft*), hệ thống hóa khí có dòng khí đi xuống (*downdraft*) và hệ thống hóa khí có dòng khí đi chéo (*crossdraft*). Trong nghiên cứu này sử dụng loại hệ thống hóa khí có dòng khí đi xuống vì loại này có lượng hắc ín thấp < 1%, phù hợp với nhiên liệu trấu có độ đồng nhất cao và ẩm độ thấp.

1.2 Tổng quan về hệ thống hóa khí sinh khối trong và ngoài nước

Các nghiên cứu trong và ngoài nước chỉ ra rằng việc lựa chọn phương pháp hóa khí phù hợp với từng loại nhiên liệu, năng suất và quy mô là vô cùng quan trọng. Các nghiên cứu về hóa khí sinh khối trong nước chủ yếu là nghiên cứu thực nghiệm, chưa có nghiên

cứu nào liên quan đến xây dựng hệ phương trình hóa khí trấu và giải hệ phương trình nhằm dự đoán các sản phẩm của quá trình hóa khí trấu tại Việt Nam. Các nghiên cứu ngoài nước đã công bố gần như đầy đủ về cấu tạo của các hệ thống hóa khí và đặc biệt là hóa khí kiểu dòng khí đi xuống. Vì vậy, trong những năm gần đây các nhà khoa học đặc biệt quan tâm đến nghiên cứu các thông số công nghệ của hệ thống hóa khí.

1.3 Tổng quan về thông số công nghệ của hệ thống hóa khí

Raúl và cộng sự (2018) đã tổng hợp các công bố liên quan đến hóa khí trên các tạp chí thuộc danh mục ISI từ 2007 đến 2018 có hơn 4600 công bố, số lượng công bố trung bình hàng năm giai đoạn năm 2007 là 200 bài và tăng dần đến năm 2018 là 300 bài.

Các công bố về hóa khí trước đây có đề cập đến cấu tạo các kiểu hệ thống hóa khí. Tuy nhiên, các nghiên cứu trong những năm gần đây có xu hướng nghiên cứu về ứng dụng công nghệ số để mô phỏng hay giải các bài toán hóa – nhiệt phức tạp xảy ra trong quá trình hóa khí hoặc các nghiên cứu thông số công nghệ như: ẩm độ, nhiệt độ, lượng không khí cấp, loại nhiên liệu, kích thước của nhiên liệu,... ảnh hưởng đến sản phẩm và hiệu suất của quá trình hóa khí.

1.3.1 Cấu tạo hệ thống hóa khí

Zhongqing Ma và các cộng sự (2012) đã nghiên cứu thiết bị hóa khí dòng khí đi xuống có buồng phản ứng dạng hình trụ không cổ thắt, đường kính tại các vùng sấy, nhiệt phân, oxy hóa và khử bằng nhau. Bên trong buồng phản ứng có lắp đặt thêm cánh khuấy nhằm giúp cho việc di chuyển nhiên liệu thuận lợi hơn và quá trình hóa khí được diễn ra liên tục. Có 2 vị trí cấp khí vào buồng phản ứng tại vùng sấy và vùng oxy hóa, dòng khí di chuyển xuống xuyên qua vùng khử trước khi đi ra ngoài. Kết quả khảo nghiệm với dăm củi, tác giả đã xác định được các thông số làm việc chính và thông số tối ưu như sau: khí tổng hợp đạt $500 \text{ Nm}^3/\text{h}$ và lượng than sinh học là 60 kg/h ; nhiệt độ vùng oxy hóa đạt 900°C nhờ vào dòng khí thứ cấp cấp vào vùng oxy hóa của hệ thống. Nhiệt trị khí tổng hợp tương đối ổn định, nhiệt trị cao nhất đạt $5,28 \text{ MJ/Nm}^3$ và trung bình $4,7 \text{ MJ/Nm}^3$.

Lina Montuori và các cộng sự (2015) đã nghiên cứu ảnh hưởng của kích thước cổ thắt đến quá trình hóa khí của thiết bị hóa khí kiểu dòng khí đi xuống. Nhóm tác giả đã khảo nghiệm với 2 kích thước đường kính cổ thắt là 70mm và 100mm với viên gỗ nén, lượng không khí cấp là $ER = 0,2$ và $0,4$. Kết quả xác định được đường kính cổ thắt là thông số quan trọng có tác động đến sản lượng khí tổng hợp và hiệu suất hóa khí. Hiệu suất hóa khí tăng từ 14% lên 21% khi tăng đường kính cổ thắt từ 70mm lên 100mm.

1.3.2 Ẩm độ nhiên liệu

Antonopoulos và cộng sự (2012) đã nghiên cứu hóa khí thân cây ô liu (Olive wood), cây cỏ lau (miscanthus) và cây cardoon (họ cây Atisô) trên mô hình hóa khí kiểu dòng khí đi xuống. Nhóm tác giả đã kết luận khi ẩm độ của nguyên liệu tăng thì nhiệt trị của khí tổng hợp thu được giảm.

Plis và Wilk (2011) đã thí nghiệm viên gỗ nén ở các mức ẩm độ 7% và 13%, nhận được kết quả như sau: Thành phần khí H_2 , CO và CH_4 đều giảm khi ẩm độ đầu vào của nhiên liệu cao hơn.

Như vậy, ẩm độ của nhiên liệu hóa khí có ảnh hưởng đến hệ số chuyển đổi năng lượng, hiệu suất thiết bị, nhiệt trị và thành phần khí tổng hợp,...

1.3.3 Kích thước nhiên liệu

Kích thước nhiên liệu sinh khối có vai trò đáng kể trong quá trình hóa khí. Kích thước hạt nhỏ thì tổng diện tích tiếp xúc của các hạt với tác nhân hóa khí tăng lên do đó độ hoạt

tính tăng lên, tốc độ phản ứng trong quá trình hóa khí tăng. Tuy nhiên nếu kích thước hạt quá nhỏ thì sức cản sẽ tăng lên, dễ gây tắc lò làm cản trở quá trình hóa khí.

Kích cỡ nhiên liệu có thể chấp nhận được tùy thuộc vào phạm vi của hệ thống được thiết kế. Thông thường, các hệ thống hóa khí gỗ vận hành với những khối gỗ hoặc vỏ bào gỗ có kích thước từ $8 \times 4 \times 4$ cm đến $1 \times 0,5 \times 0,5$ cm. Hệ thống hóa khí than được vận hành với những miếng than có kích thước từ $1 \times 1 \times 1$ cm đến $3 \times 3 \times 3$ cm. Hệ thống tăng sôi có thể vận hành với nhiên liệu có kích thước với đường kính từ 0,1 đến 20 mm.

1.3.4 Nhiệt độ hệ thống

Chao Gai và cộng sự (2012) đã nghiên cứu thực nghiệm nhiệt độ tại 5 vị trí trong buồng phản ứng: vùng sấy; vùng nhiệt phân; vùng oxy hóa và vùng khử đã cho kết quả như sau: Khi lượng không khí cấp ER tăng từ 0,18 đến 0,41 thì nhiệt độ tại các vùng tăng, điều này có thể kết luận là do các phản ứng cháy tăng khi lượng không khí cấp nhiều hơn. Tuy nhiên, nhiệt trị của khí tổng hợp đạt cao nhất LHV = $5,39 \text{ MJ/Nm}^3$ khi ER = 0,32 và nhiệt độ vùng khử khoảng 900°C .

Michel Rudy và cộng sự (2011) đã nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ ($815\text{--}880^\circ\text{C}$) đến sản lượng và các thành phần của khí tổng hợp và các loại hắc ín của hệ thống hóa khí tăng sôi sử dụng sắt magiê silicat ($(\text{Mg},\text{Fe})_2\text{SiO}_4$) làm chất xúc tác. Kết quả nghiên cứu cho thấy sản lượng của hắc ín, than, thành phần CO, CO_2 và CH_4 giảm khi nhiệt độ giảm, trong khi đó H_2 tăng. Tại 880°C , thành phần CO là 24,35% và H_2 là 45,89%.

Zhao và cộng sự (2009) thực nghiệm hóa khí trấu trên thiết bị hóa khí kiểu ngang dòng với nhiệt độ từ $700\text{--}1000^\circ\text{C}$, kết quả được trình bày như sau: Khi nhiệt độ tăng từ 700°C đến 900°C thì hàm lượng khí CO giảm, trong khi đó hàm lượng khí CO_2 và H_2 tăng. Điều này có nghĩa là phản ứng nước – khí giữa CO và H_2O chiếm ưu thế hơn, hay chúng ta có thể dễ dàng nhận thấy tỷ lệ H_2/CO tăng và tỉ lệ CO/CO_2 giảm khi nhiệt độ tăng. Tuy nhiên, khi nhiệt độ hơn 900°C thì hàm lượng khí CO và H_2 tăng vượt bậc, trong khi đó hàm lượng khí CO_2 rất ít.

1.3.5 Hệ số không khí cấp ER

Chao Gai và cộng sự (2012) khảo nghiệm trên hệ thống hóa khí thân cây bắp kiểu dòng khí đi xuống tại các hệ số không khí cấp ER = 0,18; 0,21; 0,24; 0,28; 0,32; 0,36 và 0,41. Tác giả đã xác định được thành phần các khí CO, H_2 và CH_4 tăng khi hệ số không khí cấp ER = 0,18 đến ER = 0,32 và giảm khi hệ số không khí cấp ER > 0,32. Nhiệt trị của khí tổng hợp đạt cao nhất khi ER = 0,32 là LHV = $5,39 \text{ MJ/Nm}^3$, sản lượng khí tổng hợp thu được $2,14 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ với hiệu suất hóa khí đạt 67,26%.

Hayati Olgun và cộng sự (2011) đã khảo nghiệm hệ thống hóa khí gỗ dăm kiểu dòng khí đi xuống với hệ số không khí cấp ER = 0,2 đến 0,5 nhằm đánh giá nhiệt trị của khí tổng hợp và các khí thành phần. Kết quả khảo nghiệm cho thấy nhiệt trị của khí tổng hợp đạt cực đại LHV = $5,5 \text{ MJ/Nm}^3$ khi ER = 0,35 khi đó phần trăm của khí CO = 24%; H_2 = 13,5% và CH_4 = 3,5%.

Son Young Il và cộng sự (2011) đã thí nghiệm tối ưu hóa trong hệ thống hóa khí dòng khí đi xuống, nhiên liệu hóa khí là gỗ. Sản phẩm khí tổng hợp dùng để chạy phát điện. Nhiệt độ hóa khí từ $700\text{--}1000^\circ\text{C}$, tỉ số không khí tương đương là ER = 0,3 – 0,35. Nhiệt trị thấp thu được là $1100\text{--}1200 \text{ kcal/Nm}^3$, hiệu suất gas lạnh là 69 – 72%.

Makwana J. P. và cộng sự (2015) nghiên cứu hóa khí trấu trên hệ thống hóa khí tăng sôi dùng dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) làm vật truyền nhiệt. Nhiệt độ $750\text{--}850^\circ\text{C}$, tốc độ cấp liệu 25 – 31,3 kg/h và ER = 0,3 – 0,38. Kết quả nghiên cứu được về hiệu suất chuyển đổi carbon (CCE) là 91%, và khi ER tăng thì CCE giảm.

Hussein và cộng sự (2014) đã nghiên cứu hóa khí trấu trên bếp khí hóa Belonio. $ER = 0,2 - 0,4$, tốc độ hóa khí riêng $SGR = 85 \text{ kg/m}^2\text{h}$; chất lượng than sinh học được đánh giá thông qua độ pH, chất bốc, carbon cố định, và thành phần tro. Khi ER tăng thì SGR , chất bốc và biochar giảm, carbon cố định và pH tăng. Thu được sản lượng biochar khoảng 26% tại $ER = 0,29$.

Nhận xét:

Qua kết quả phân tích một số công trình nghiên cứu về thông số công nghệ: cấu tạo hệ thống hóa khí, ẩm độ, kích thước của nhiên liệu, nhiệt độ hệ thống, hệ số không khí cấp,... có ảnh hưởng đến kết quả hóa khí bao gồm: thành phần khí tổng hợp CO , CH_4 , H_2 , hệ số chuyển đổi năng lượng, thành phần than thu được,...

Các nghiên cứu trước đây về kỹ thuật hóa khí tập trung vào việc nâng cao chất lượng khí tổng hợp và hệ số chuyển đổi năng lượng (Zhao Y., Sun S. et al. 2009).

Nhìn chung, các nghiên cứu về thông số công nghệ nhiệt độ buồng phản ứng dao động từ $700 - 1000^\circ\text{C}$ và hệ số không khí cấp vào hệ thống hóa khí từ 0,2 đến 0,4 là rất phổ biến. Nhằm sử dụng hiệu quả năng lượng sinh khối cùng với bảo vệ môi trường và phát triển nông nghiệp bền vững, một số nghiên cứu về hóa khí gần đây quan tâm đồng thời hai sản phẩm là khí tổng hợp và than sinh học (Kate and Chaurasia 2018, Yao Zhiyi 2018, Wang, Jiang et al. 2020). Tuy nhiên, đây chỉ là những nghiên cứu thực nghiệm xác định lượng than sinh học và thành phần khí tổng hợp, chưa thấy công bố liên quan đến nghiên cứu 2 thông số công nghệ là nhiệt độ vùng khử và hệ số không khí cấp ảnh hưởng đến sản phẩm khí tổng hợp và than sinh học trong hệ thống hóa khí kiểu dòng khí đi xuống.

1.4 Than sinh học

Than sinh học là thuật ngữ dùng để chỉ các bon đen hay biochar, nó đang được nhiều nhà khoa học trên thế giới ví như là “vàng đen” cho ngành nông nghiệp.

1.4.1 Đặc tính của than sinh học

Mỗi loại than sinh học được sản xuất từ các loại vật liệu và điều kiện sản xuất khác nhau sẽ có đặc tính khác nhau về độ pH, điện tích bề mặt riêng, khả năng trao đổi cation.

1.4.2 Phương pháp sản xuất than sinh học

Than sinh học được sản xuất bằng các phương pháp phổ biến sau: Nhiệt phân liên tục, nhiệt phân gián đoạn, hóa khí,... (Stefan và các cộng sự 2014, Mausam và cộng sự).

Sản xuất than sinh học bằng phương pháp nhiệt phân: Wen-Tien Tsai và cộng sự đã công bố kết quả sản xuất than sinh học ở nhiệt độ $400 - 900^\circ\text{C}$. Blasi C D và cộng sự (1999) đã công bố kết quả nghiên cứu sản xuất than sinh học của trấu ở nhiệt độ 580°C có thành phần C (carbon) là 51,52%. Maiti và cộng sự (2006) cho rằng than sinh học của trấu từ 350°C đến 650°C chủ yếu là C (65,9% đến 69,3%). Theeba và cộng sự (2012) kết luận than sinh học từ trấu tại 550°C đến 600°C cũng chủ yếu là C (77,9%).

Sản xuất than sinh học bằng phương pháp hóa khí: Yao Zhiyi và cộng sự (2018) đã sử dụng công nghệ hóa khí sinh khối tăng cố định kiểu dòng khí đi xuống để sản xuất đồng thời khí tổng hợp và than sinh học. Kết quả nghiên cứu cho thấy nhiệt trị của khí tổng hợp giảm từ $6,15 \text{ MJ/Nm}^3$ đến $3,60 \text{ MJ/Nm}^3$ và lượng than sinh học giảm từ 22% đến 14% khi hệ số không khí cấp ER tăng từ 0,1 đến 0,6; nhiệt độ buồng phản ứng đạt 920°C khi hệ số không khí cấp $ER = 0,35$. Wajeha Tauqir và cộng sự (2019) đã công bố kết quả nghiên cứu trên hệ thống hóa khí gỗ và mùn cưa theo công nghệ tăng cố định kiểu dòng khí đi xuống nhiệt độ vùng khử $800 - 1100^\circ\text{C}$ và hệ số không khí cấp từ $ER = 0,1 - 0,5$. Kết quả nghiên cứu cho thấy tại nhiệt độ 789°C , hệ số không khí cấp $ER = 0,254$, ẩm

độ vật liệu 10,05% thu được khí tổng hợp có nhiệt trị 5,669 MJ/Nm³ và lượng than sinh học giảm khi lượng không khí cấp tăng hoặc khi nhiệt độ vùng khử tăng.

Than sinh học có thể được sản xuất theo nhiều phương pháp khác nhau, mỗi phương pháp đều có những ưu và nhược điểm riêng. Sản xuất than sinh học theo phương pháp nhiệt phân ở nhiệt độ 300 – 600°C có tỷ lệ thu hồi than sinh học cao, tuy nhiên phân khí sinh ra trong quá trình nhiệt phân không được sử dụng làm thất thoát một lượng nhiệt và ô nhiễm môi trường. Phương pháp hóa khí để sản xuất đồng thời khí tổng hợp và than sinh học sẽ hạn chế thất thoát nhiệt và ô nhiễm môi trường hơn, tuy nhiên tỷ lệ thu hồi than sinh học thấp.

1.4.3 Lợi ích của than sinh học trong nông nghiệp

Bón than sinh học vào đất làm tăng đáng kể sự sinh trưởng, phát triển và năng suất cây trồng. Than sinh học không những cải thiện hàm lượng dinh dưỡng dễ tiêu mà còn tăng cả khả năng giữ dinh dưỡng và nước trong đất do các yếu tố này được hấp thụ vào trong các khoảng trống của than sinh học. Cung cấp các nguyên tố có lợi cho quá trình sinh trưởng và phát triển của cây trồng, tăng cường và cải thiện tính chất lý hóa của đất, tạo điều kiện thuận lợi kích thích cho vi sinh vật có lợi phát triển.

Islam Shaon và cộng sự (2018) đã thực nghiệm trồng bắp trên đất có bón than sinh học từ trấu với tỉ lệ 0; 1,5; 3; 5 và 7 tấn/ha. Nhóm tác giả đã kết luận có sự khác biệt rõ rệt về đường kính thân cây bắp ứng với tỉ lệ bón than sinh học vào đất, thân cây bắp có đường kính lớn hơn ứng với tỉ lệ bón than nhiều hơn.

Theeba Manickam và cộng sự (2015) đã nghiên cứu sử dụng than sinh học từ trấu bón vào đất phèn và đất cát trồng lúa và bắp tại Malaysia. Kết quả sau 2 mùa vụ cho thấy than sinh học có tác động rõ rệt đến năng suất của cây trồng, đất có bón than sinh học theo tỉ lệ 2% và 5% có năng suất cao hơn đất không bón than sinh học, trong đó năng suất cao nhất đạt được đối với đất được bón 5% than sinh học.

Than sinh học vào đất sẽ hấp thụ các chất ô nhiễm như kim loại và thuốc trừ sâu ngấm vào đất. Than sinh học có thành phần chủ yếu là carbon, nên khả năng ngấm nước là rất tốt, 1 kg than sinh học sau khi nhúng vào nước có thể hút 400 gram nước. Ngoài tính hút nước thì than sinh học được xem là “ngân hàng dự trữ nước”. Nếu chúng ta mang 1.400 gram than sinh học vừa nhúng nước để ngoài không khí với thời gian là 7 ngày thì khối lượng của than sinh học là 1.350 gram.

Nhận xét:

Than sinh học được sản xuất bằng nhiều phương pháp khác nhau trong đó có phương pháp hóa khí. Than sinh học từ trấu có thể được sản xuất ở nhiệt độ 900°C. Than sinh học hoàn toàn có lợi trong sản xuất nông nghiệp kể cả than sinh học được sản xuất từ trấu.

1.5 Mô hình mô phỏng quá trình hóa khí

1.5.1 Mô hình động lực học lưu chất tính toán - CFD

Patel và cộng sự đã sử dụng mô hình CFD để mô phỏng, phân tích đặc tính một số thông số công nghệ xảy ra bên trong hệ thống hóa khí kiểu dòng khí đi xuống. Nhóm tác giả đã mô phỏng phân bố nhiệt độ, vận tốc dòng khí và thành phần các khí được hình thành tại buồng phản ứng.

Pandey và cộng sự đã sử dụng mô hình CFD để phân tích quá trình làm việc của hệ thống khí hóa kiểu dòng khí đi xuống. Tác giả đã dự đoán được sự phân bố của các thành phần khí và nhiệt độ bên trong lò phản ứng ứng với hệ số không khí cấp ER = 0,25 đến

ER = 0,6. Điều này rất có ý nghĩa cho việc nghiên cứu thực nghiệm trên hệ thống hóa khí kiểu dòng khí đi xuống.

Như vậy, ưu điểm của mô hình CFD là có thể dự đoán thành phần khí, nhiệt độ phản ứng và nhiệt trị của khí tổng hợp. Ngoài ra mô hình CFD còn phân tích được vận tốc của dòng khí và áp suất. Tuy nhiên, nhược điểm của mô hình là cần thiết lập chính xác các quá trình thủy động lực học vùng khảo sát, cũng như các điều kiện bên ngoài.

1.5.2 Mô hình động học (Kinetic models)

El-Shafay và cộng sự (2020) đã xây dựng mô hình động học 1 chiều để mô phỏng quá trình hóa khí mật của trên thiết bị hóa khí tầng sôi, nhiệt độ nghiên cứu 600, 700, 800 và 900°C, hệ số không khí cấp ER = 0,15 ÷ 0,5. Kết quả tác giả đã đánh giá được nhiệt trị của khí tổng hợp và các thành phần khí như CO, H₂, CH₄ và đánh giá được hiệu suất chuyển đổi năng lượng của mô hình đã xây dựng.

Như vậy, mô hình động học cung cấp thông tin cần thiết về cơ chế động học để mô tả sự chuyển đổi trong quá trình khí hóa sinh khối, điều này rất quan trọng trong việc thiết kế, đánh giá và cải tiến thiết bị khí hóa.

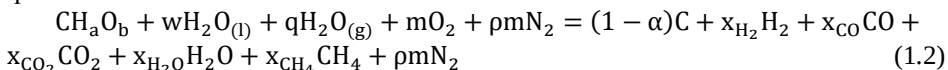
1.5.3 Mô hình cân bằng nhiệt động lực học (Thermodynamic equilibrium models)

Loha Chanchal và cộng sự (2011) đã sử dụng mô hình cân bằng nhiệt động lực học để dự đoán thành phần khí tổng hợp của sinh khối gồm: trấu, bã mía, rơm trên hệ thống khí hóa tầng sôi. Tác giả xác định công thức tổng quát của sinh khối là CH_xO_y. Phương trình tổng quát được lập như sau:



Kết quả nghiên cứu, nhóm tác giả đã xác định được phần trăm các khí CO, H₂ và CH₄ ở mức nhiệt độ từ 650 – 800°C. Đặc biệt, nghiên cứu không đề cập đến các thành phần khác như: than, hắc ín,...

Emanuele Azzzone và cộng sự (2012) đã sử dụng mô hình cân bằng nhiệt động lực học để dự đoán các thành phần sản phẩm trên hệ thống hóa khí sinh khối (cây bắp, cây hướng dương, cây cải dầu) kiểu dòng khí đi xuống. Tác giả xây dựng phương trình tổng quát như sau:

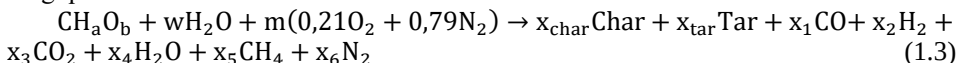


So sánh với kết quả thực nghiệm cho thấy mô hình là phù hợp và có thể được sử dụng để dự đoán thành phần và nhiệt trị của khí tổng hợp trong hệ thống hóa khí sinh khối.

Tuy nhiên, trong nghiên cứu này tác giả xác định thành phần C không tham gia phản ứng tạo khí tổng hợp bằng công thức thực nghiệm: $1 - \alpha = 1 - \delta_c$ là số mol của C không tham gia phản ứng.

Trong đó: $\delta_c = 0,32 + 0,82(1 - e^{\frac{-\varphi}{0,229}})$ là giá trị thực nghiệm phụ thuộc vào hệ số không khí cấp vào hệ thống hóa khí (φ).

Anthony Anukam và cộng sự (2014) dùng mô hình cân bằng nhiệt động lực học để dự đoán các thành phần của khí tổng hợp trong hệ thống hóa khí kiểu dòng khí đi xuống với sinh khối là bã mía với các ẩm độ khác nhau. Nhóm tác giả đã xây dựng phương trình tổng quát:



Khi giải mô hình toán, nhóm tác giả đã giả thiết các giá trị x_{char} , x_{tar} và x_5 .

Nhận xét:

Công thức hóa học tổng quát của sinh khối thường được sử dụng là CH_aO_b đối với sinh khối có hàm lượng nitrogen và sulfur < 1%. Kết quả nghiên cứu tổng quan cho thấy chưa có tác giả nào sử dụng mô hình cân bằng nhiệt động lực học để giải bài toán lý thuyết để xác định lượng carbon không tham gia phản ứng, mà chỉ sử dụng các công thức thực nghiệm hoặc đưa ra các giả thiết để xác định lượng carbon còn lại sau hóa khí sinh khối.

1.6 Cơ sở lựa chọn hướng nghiên cứu

Hiện nay các nghiên cứu về cấu tạo và nguyên lý hóa khí ít được thực hiện vì các công trình trước đây đã nêu ra hầu hết các nguyên lý cơ bản của quá trình hóa khí. Các nghiên cứu được quan tâm nhiều hiện nay là nghiên cứu về công nghệ hóa khí. Vì vậy, tác giả lựa chọn hướng nghiên cứu về công nghệ của quá trình hóa khí.

Các nghiên cứu trong và ngoài nước hiện nay chủ yếu tập trung nâng cao hiệu suất và chất lượng của khí tổng hợp mà không quan tâm đến thành phần than sinh học thu được sau khi hóa khí. Khí tổng hợp khi sử dụng để phát điện có chi phí sản xuất điện cao, vẫn đề làm sạch khí để chạy động cơ phát điện rất phức tạp và tốn kém, nước thải trong quá trình lọc khí nếu không được xử lý đúng cách sẽ ảnh hưởng rất lớn đến môi trường. Vì vậy, cần lựa chọn giải pháp sử dụng khí tổng hợp hợp lý như đốt trực tiếp cho nhu cầu đun nấu, hoặc sấy nông sản,... tại Việt Nam. Than sinh học đóng vai trò quan trọng trong việc ứng dụng làm phân hữu cơ bón vào đất nhằm giúp đất tăng độ xốp, giữ nước và chất dinh dưỡng và hạn chế khí CH_4 thoát ra môi trường..

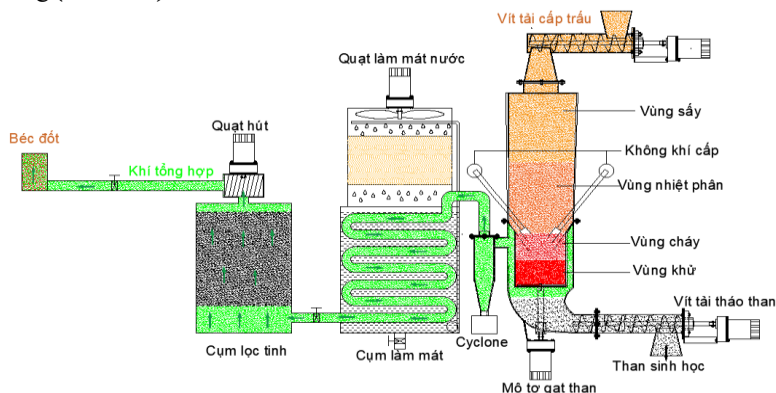
Vì vậy, tác giả sẽ nghiên cứu hai thông số là lượng không khí cấp và nhiệt độ vùng khử để đánh giá ảnh hưởng đến thành phần khí tổng hợp và than sinh học từ trấu của ĐBSCL bằng thiết bị hóa khí kiểu dòng khí đi xuống.

CHƯƠNG 2

ĐỐI TƯỢNG, PHƯƠNG PHÁP VÀ PHƯƠNG TIỆN NGHIÊN CỨU

2.1 Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng của nghiên cứu này là hệ thống hóa khí sinh khối tầng cố định kiểu dòng khí đi xuống (Hình 2.1).



Hình 2.1 Hệ thống hóa khí trấu dùng để thực nghiệm

Vật liệu sử dụng trong nghiên cứu này là trấu của giống lúa IR 50404 vụ Đông Xuân, thu được từ các nhà máy xay xát tại tỉnh Đồng Tháp. Giống lúa IR 50404 là giống được trồng chủ yếu và chiếm tỷ trọng lớn trong sản xuất lúa gạo tại vùng ĐBSCL nên cũng là giống lúa có lượng trấu hàng năm lớn nhất trong vùng.

2.2 Phương pháp xác định các thông số lý hóa của trấu

- **Xác định khối lượng thể tích của trấu:** $\rho_{tr} = \frac{m_{tr}}{v_0}$ (kg/m^3), trong đó: ρ_{tr} : Khối lượng thể tích (kg/m^3), m_{tr} : Khối lượng trấu (kg), v_0 : Thể tích lon chứa trấu (m^3).

- **Xác định ẩm độ:** Ẩm độ trấu xác định theo tiêu chuẩn ASTM: E871 – 82.

$W = \frac{(m_i - m_f)}{(m_i - m_c)} \times 100$, trong đó: W : Ẩm độ (%), m_i : Khối lượng ban đầu gồm trấu tươi và lọ (g), m_c : Khối lượng lọ (g), m_f : Khối lượng cuối cùng gồm trấu khô và lọ (g)

- **Phân tích xác định các thành phần:** Phương pháp phân tích xác định thành phần tro (Ash) được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM: E1755 với thiết bị nung nhiệt độ cao (High temperature furnace). Phương pháp phân tích xác định chất bốc (Volatile Matter) và carbon cố định (Fixed Carbon) được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM: E872 – 82 với thiết bị lò nung ống đứng (Vertical Electric Tube Furnace).

- **Phân tích xác định các nguyên tố C, H, O, N và S:** Theo tiêu chuẩn ASTM: D5373 với thiết bị phân tích thành phần nguyên tố (Elementar Vario EL III, Varain Inc).

- **Xác định nhiệt trị của trấu:** Theo tiêu chuẩn ASTM: E711 với thiết bị bom nhiệt lượng (A bomb calorimeter).

- **Xác định nhiệt trị của khí tổng hợp:** Xác định bằng công thức sau (Prabir Basu 2010, La Villetta, Costa et al. 2017): $LHV_{syngas} = x_{CH_4} LHV_{CH_4} + x_{CO} LHV_{CO} + x_{H_2} LHV_{H_2}$

Trong đó: x_{CH_4} , x_{CO} , x_{H_2} lần lượt là phần trăm của khí CH_4 , CO và H_2 .

$$LHV_{CH_4} = 35,88 \text{ (MJ/Nm}^3\text{)} = 35,88 \times 239 = 8575,32 \text{ (kcal/Nm}^3\text{)}$$

$$LHV_{CO} = 12,63 \text{ (MJ/Nm}^3\text{)} = 12,63 \times 239 = 3018,57 \text{ (kcal/Nm}^3\text{)}$$

$$LHV_{H_2} = 10,78 \text{ (MJ/Nm}^3\text{)} = 10,78 \times 239 = 2576,42 \text{ (kcal/Nm}^3\text{)}$$

2.3 Phương pháp xây dựng mô hình toán hóa khí trấu

Mô hình cân bằng nhiệt động lực học được sử dụng, đây là mô hình chỉ liên quan đến các phản ứng mà không liên quan đến cấu tạo, hình dáng của thiết bị.

- Phương pháp lập phương trình tổng quát: trước tiên xác định công thức hóa học tổng quát của trấu, xác định tác nhân hóa khí, xác định các sản phẩm của hóa khí:

+ Công thức hóa học tổng quát của trấu được xác định trên cơ sở phân tích các thành phần lý hóa của trấu (Gagliano Antonio, 2016; Aydin và cộng sự, 2017).

+ Tác nhân hóa khí phải là không khí có tỉ lệ N/O = 79/21.

+ Sản phẩm của quá trình hóa khí gồm khí tổng hợp và than sinh học.

- Phương pháp lập hệ phương trình:

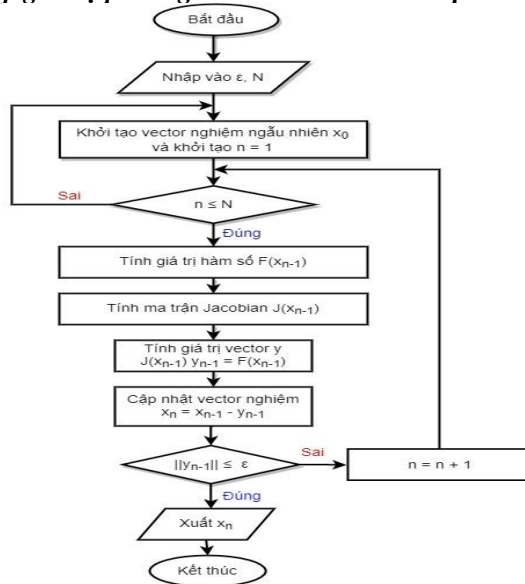
+ Điều kiện cân bằng khối lượng của phương trình tổng quát, lập 03 phương trình: phương trình cân bằng khối lượng của carbon, phương trình cân bằng khối lượng của hydro và phương trình cân bằng khối lượng của oxy (Lim and Lee, 2014; Luque R. and Speight J. G, 2015).

+ Điều kiện cân bằng nhiệt động, lập 02 phương trình: Phương trình cân bằng phản ứng tạo khí mê tan và phương trình cân bằng phản ứng chuyển nước (Janajreh I. and Al Shrah M, 2013; Ma Jing, 2019).

+ Điều kiện cân bằng năng lượng lập 01 phương trình cân bằng năng lượng của phương trình phản ứng hóa học tổng quát (Sheth P. N. and Babu B. V. 2009).

2.4 Phương pháp giải hệ phương trình của mô hình toán

2.4.1 Phương pháp giải hệ phương trình theo Newton - Raphson



Hình 2.2 Lưu đồ thuật toán của phương pháp Newton Raphson

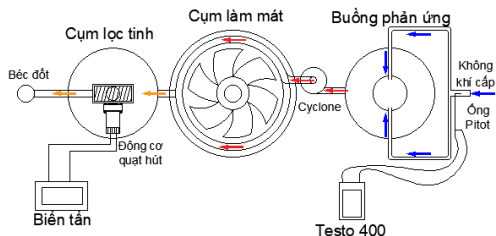
Phương pháp Newton – Raphson là một cách để nhanh chóng tìm ra một xấp xỉ tốt cho nghiệm nguyên của một hàm có giá trị thực $f(x) = 0$. Phương pháp này được rất nhiều tác giả sử dụng để giải hệ phương trình mô tả quá trình hóa khí (Jarungthammachote and Dutta 2007, Loha Chanchal, Chatterjee Pradip K. et al. 2011, Aydin, Yucel et al. 2017).

2.4.2 Ngôn ngữ lập trình giải hệ phương trình theo Newton - Raphson

Python là một ngôn ngữ lập trình bậc cao cho các mục đích lập trình đa năng, do Guido van Rossum tạo ra và lần đầu ra mắt vào năm 1991. Python được thiết kế với ưu điểm là cấu trúc câu lệnh đơn giản và thư viện dữ liệu lớn. Trong nghiên cứu này, ngôn ngữ lập trình Python được sử dụng để xây dựng chương trình tính toán và giải hệ phương trình theo phương pháp Newton – Raphson.

2.5 Phương pháp điều khiển thông số công nghệ và thu thập số liệu thực nghiệm

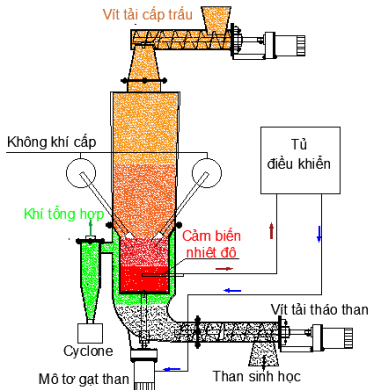
2.5.1 Điều khiển lưu lượng không khí cấp. Căn cứ vào lượng không khí lý thuyết và hệ số không khí cấp ER để tính lượng không khí thực cần thiết cho quá trình hóa khí.



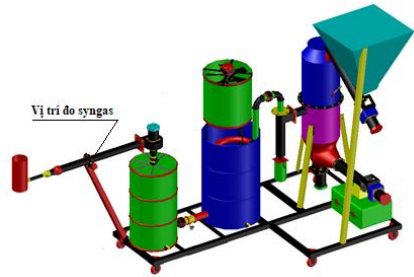
Hình 2.3 Sơ đồ bố trí thiết bị đo lường và điều khiển lượng không khí cấp

Nhằm điều khiển lưu lượng không khí cấp đạt yêu cầu khi thực nghiệm, sử dụng biến tần để điều khiển số vòng quay động cơ của quạt hút không khí cấp. Lưu lượng không khí cấp được đo lường bằng thiết bị Testo 400.

2.5.2 Điều khiển nhiệt độ vùng khử T_2 . Cảm biến nhiệt độ nhận tín hiệu và truyền về tủ điều khiển, tủ điều khiển tiếp nhận tín hiệu và căn cứ vào nhiệt độ cài đặt để xử lý tín hiệu điều khiển tốc độ quay cánh gạt làm dịch chuyển than qua vùng khử từ đó làm cho nhiệt độ của vùng khử đạt yêu cầu khi thực nghiệm (Hình 2.4).



Hình 2.4 Sơ đồ bố trí thiết bị đo lường và điều khiển nhiệt độ T_2



Hình 2.5 Biểu diễn vị trí đo các thành phần khí

Nhiệt kế dùng trong nghiên cứu này là loại nhiệt kế kỹ thuật số kênh đôi 6802 II với đầu dò cảm biến cặp nhiệt điện 2K của Ω thang đo từ 0 đến 1300°C độ chính xác 1°C.

2.5.3 Thu thập số liệu thành phần khí

Các thành phần khí được thu thập và xác định bằng thiết bị Gasboard 3100P.

Vị trí đo khí tổng hợp được lựa chọn sau khi khí tổng hợp di chuyển qua bộ lọc than hoạt tính, điều này có nghĩa là khí đã được làm mát và lọc sạch các tạp chất (Hình 2.5).

2.5.4 Phân tích và so sánh hai tổ hợp số liệu

Để so sánh hai tổ hợp số liệu, độ lệch chuẩn của phần dư (*Root Mean Square Error: RMSE*) được sử dụng, giá trị RMSE được tính theo công thức.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_e - y_m)^2}{n}}, \text{ trong đó: } n: \text{ tổng số các giá trị, } y_e: \text{ giá trị thực nghiệm,}$$

y_m : giá trị lý thuyết. Giá trị RMSE càng thấp thì hai tổ hợp giá trị có sự sai khác càng thấp, giá trị RMSE nhỏ hơn 5 được xem là mô hình lý thuyết phù hợp với thực nghiệm.

2.6 Phương tiện nghiên cứu

- Thiết bị xác định ẩm độ của trấu : Dùng thiết bị phân tích ẩm AND MX-50
- Thiết bị xác định độ tro của trấu: Lò nung FURNACE 48000
- Cân điện tử 4 số - Model: CX 301
- Nhiệt kế và đầu dò - Model 6802 II - 2K - Ω
- Thiết bị phân tích nguyên tố - Vario EL III.
- Thiết bị đo lưu lượng không khí cấp - Testo 400.
- Thiết bị phân tích khí tổng hợp (syngas) - GASBOARD 3100P.

CHƯƠNG 3

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

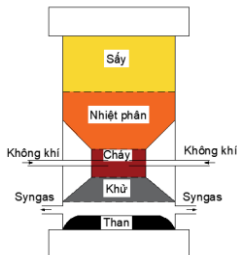
3.1 Kết quả xác định các thông số lý hóa của trấu IR 50404.

Bảng 3.1 Kết quả phân tích thông số lý hóa của trấu IR 50404

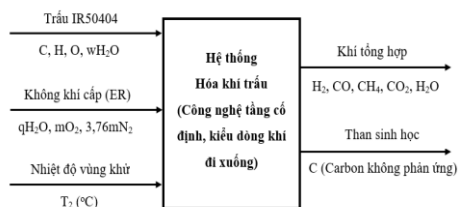
<i>Thông số</i>	<i>Giá trị</i>
Khối lượng thể tích (kg/m ³)	100,42 ± 1,49
Nhiệt trị (MJ/kg)	15,55 ± 0,46
<i>Phân tích nguyên tố (%)</i>	
C	41,26 ± 0,46
H	4,75 ± 0,16
O	35,46 ± 0,68
N	0,48 ± 0,05
S	0,01 ± 0,005
Khác	18,04 ± 0,28
<i>Phân tích thành phần (%)</i>	
Chất bốc	58,28 ± 0,34
Carbon cố định	13,98 ± 0,32
Ẩm độ	9,99 ± 0,76
Tro	17,71 ± 0,37

3.2 Xây dựng và giải mô hình toán hóa khí trấu

3.2.1 Mô hình hóa khí trấu



Hình 3.1 Mô hình buồng phản ứng của hệ thống hóa khí trấu



Hình 3.2 Hộp đen mô tả quá trình hóa khí trấu

Từ mô hình hóa khí trấu kiểu dòng khí đi xuống nêu trên, phương trình tổng quát được xây dựng với các giả thiết và điều kiện như sau:

- + Trấu có độ đồng nhất về tính chất lý hóa.
- + Không khí cung cấp vào hệ thống hóa khí trấu là không khí có tỉ lệ khí nitơ/oxy là 79/21; nhiệt độ 25°C; ẩm độ tương đối 75%; áp suất 1 atm.
- + Giả sử trong quá trình thí nghiệm không khí cấp có cùng nhiệt độ, ẩm độ và áp suất.
- + Các phản ứng xảy ra trong hệ thống hóa khí trấu ở điều kiện cân bằng nhiệt động lực học (Jarungtham và cộng sự, 2007; Azzone và cộng sự, 2012).
- + Tất cả các khí trong các phương trình phản ứng được xem là khí lý tưởng (Loha và cộng sự, 2011).

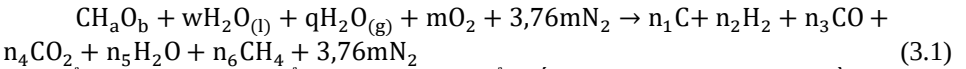
+ Nitơ không tham gia vào bất kỳ phản ứng hóa học nào bên trong hệ thống (Azzone và cộng sự, 2012).

+ Sản phẩm của hệ thống hóa khí trâu là các khí: H_2 , CO_2 , H_2O , CH_4 , CO , N_2 và than sinh học (C) (Nsamba Hussein Kisiki, Hale Sarah E. et al. 2014);

+ Trong thiết bị hóa khí kiểu dòng khí đi xuống hàm lượng hắc ín là rất thấp $<1 \text{ g/Nm}^3$ (Prabir Basu 2010). Vì vậy, giả thiết hắc ín không hình thành trong quá trình hóa khí.

3.2.2 Xây dựng mô hình toán hóa khí trâu

Từ các kết quả nghiên cứu, phân tích ở phần tổng quan và kết quả phân tích thành phần nguyên tố của trâu tại mục 3.1, kế thừa (Jarungthammachote và cộng sự, 2007; Loha và cộng sự, 2011; Azzone và cộng sự, 2012; Anukam và cộng sự, 2014; Aydin và cộng sự 2017) tác giả sử dụng phương trình tổng quát hóa khí trâu kiểu dòng khí đi xuống như sau:



Để giải phương trình tổng quát (3.1) có 6 ẩn số $n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6$, cần phải lập được hệ gồm 6 phương trình, các phương trình được lập như sau:

- 03 phương trình cân bằng khối lượng: phương trình cân bằng khối lượng của carbon, phương trình cân bằng khối lượng hydrogen và phương trình cân bằng khối lượng của oxygen:

$$+ \text{Phương trình cân bằng cacbon: } n_1 + n_3 + n_4 + n_6 = 1 \quad (3.2)$$

$$+ \text{Phương trình cân bằng hydrogen: } 2n_2 + 2n_5 + 4n_6 = a + 2(w+q) \quad (3.3)$$

$$+ \text{Phương trình cân bằng oxygen: } n_3 + 2n_4 + n_5 = b + w + q + 2m \quad (3.4)$$

- 02 phương trình cân bằng nhiệt động: Giả thiết tất cả các phản ứng đều ở trạng thái cân bằng nhiệt động lực học. Phương trình cân bằng nhiệt động phản ứng tạo khí mê tan và phương trình cân bằng nhiệt động phản ứng chuyển nước.

$$+ \text{Phản ứng tạo khí mê tan (Methane formation): } C + 2H_2 \rightleftharpoons CH_4 \quad (3.5)$$

$$\text{Phản ứng Boudouard: } C + CO_2 \rightleftharpoons 2CO \quad (3.6)$$

$$\text{Phản ứng Nước – khí: } C + H_2O \rightleftharpoons CO + H_2 \quad (3.7)$$

Phương trình (3.6) và (3.7) có thể được viết thành:

$$+ \text{Phản ứng chuyển nước (water – gas shift reaction): } CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2 \quad (3.8)$$

Giả thiết các khí được tạo ra là khí lý tưởng và các phản ứng xảy ra ở áp suất khí quyển. Từ hai phương trình phản ứng (3.5) và (3.8), xác định:

$$+ \text{Hệ số cân bằng cho phản ứng (3.5) là: } K_1 = \exp \left[-\frac{\Delta G_T^0}{RT} \right] = \frac{n_6}{(n_2)^2} \quad (3.9)$$

ΔG_T^0 là hàm Gibbs tiêu chuẩn; $R = 8,314 \text{ kJ/kmolK}$ là hằng số khí lý tưởng.

T là nhiệt độ của vùng phản ứng.

$$+ \text{Hệ số cân bằng cho phản ứng (3.8) là: } K_2 = \exp \left[-\frac{\Delta G_T^0}{RT} \right] = \frac{n_2 n_4}{n_3 n_5} \quad (3.10)$$

- 01 phương trình cân bằng năng lượng của hệ thống. Giả thiết quá trình hóa khí là quá trình đoạn nhiệt. Ta có, phương trình cân bằng năng lượng cho quá trình hóa khí như sau:

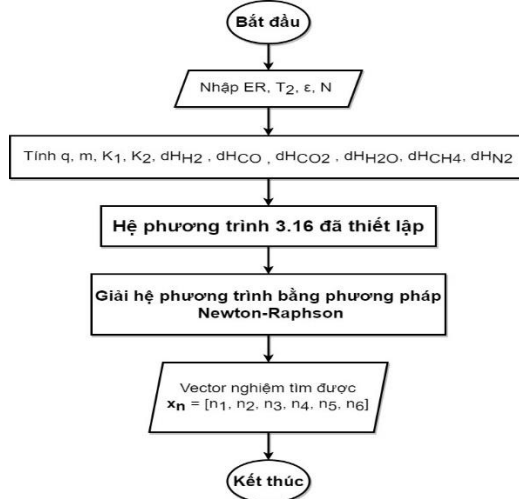
$$H_{f\text{trau}}^0 + w(H_{fH_2O(l)}^0 + H_{(k)}^0) + q(H_{fH_2O(k)}^0 + H_{(k)}^0) + mH_{fO_2}^0 + 3,76mH_{fN_2}^0 = n_1H_{fC}^0 + n_2H_{fH_2}^0 + n_3H_{fCO}^0 + n_4H_{fCO_2}^0 + n_5H_{fH_2O(k)}^0 + n_6H_{fCH_4}^0 + 3,76mH_{fN_2}^0 + \Delta T(n_1C_{PC} + n_2C_{PH_2} + n_3C_{PCO} + n_4C_{PCO_2} + n_5C_{PH_2O} + n_6C_{PCH_4} + 3,76mC_{PN_2}) \quad (3.11)$$

Ở điều kiện tiêu chuẩn thì: $H_{fC}^0, H_{fH_2}^0, H_{fN_2}^0, H_{fO_2}^0 = 0$

Trong đó: $dH_{\text{trau}} = 367291 \text{ kJ/kmol}$, $dH_{\text{H}_2\text{O(l)}} = -285830 \text{ kJ/kmol}$, $dH_{\text{H}_2\text{O(k)}} = -241818 \text{ kJ/kmol}$; q và m tính được khi biết T_2 , (trong nghiên cứu này tác giả lựa chọn lượng không khí cấp có 5 mức như sau: $ER = 0,2; 0,25; 0,3; 0,35$ và $0,4$);

K_1 và K_2 tính được khi biết T_2 ; dH_C , dH_{H_2} , dH_{CO} , dH_{CO_2} , dH_{N_2} , dH_{CH_4} tính được khi biết T_2 , (trong nghiên cứu này tác giả lựa chọn nhiệt độ vùng khử ở 4 mức như sau: $T_2 = 750^\circ\text{C}; 800^\circ\text{C}; 850^\circ\text{C}$ và 900°C)

- Lưu đồ thuật toán giải hệ phương trình hóa khí trấu



Hình 3.3 Lưu đồ thuật toán giải hệ phương trình theo phương pháp Newton Raphson

Giải hệ phương trình: Chương trình được thực thi với từng giá trị sau:

- + Có 4 mức nhiệt độ T_2 ($^\circ\text{C}$) = $750 \div 900$ là 750; 800; 850 và 900.
- + Có 5 giá trị $ER = 0,2 \div 0,4$ là 0,2; 0,25; 0,3; 0,35 và 0,4.
- + epsilon (sai số) của mỗi lần chạy chương trình = 10^{-4}
- + N (số lượng vòng lặp giới hạn của mỗi lần chạy) là 10.000.

Như vậy, với 4 mức nhiệt độ và 5 giá trị ER khác nhau, chương trình sẽ giải 20 trường hợp, mỗi trường hợp thực hiện lặp lại 10 lần. Vì vậy, ta có tổng cộng 200 bộ nghiệm.

Giải hệ phương trình với nhiệt độ $T_2 = 750^\circ\text{C}$ và $ER = 0,2$; Chương trình thực hiện phép giải và kết quả thu được 10 bộ nghiệm (Bảng 3.2).

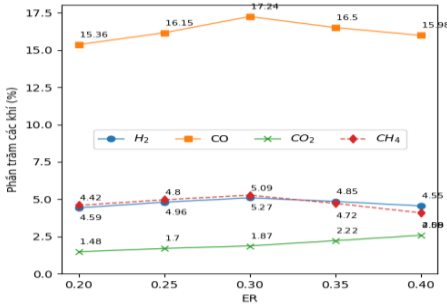
Bảng 3.2 Kết quả giải hệ phương trình với $T_2 = 750^\circ\text{C}$ và $ER = 0,2$

Lần giải	C	H ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	CH ₄
1	0,695	0,065	0,212	0,018	0,324	0,065
2	0,715	0,066	0,208	0,021	0,329	0,063
3	0,689	0,059	0,218	0,021	0,325	0,061
4	0,705	0,058	0,212	0,022	0,327	0,061
5	0,701	0,062	0,207	0,021	0,328	0,064
6	0,693	0,057	0,211	0,019	0,326	0,063
7	0,702	0,063	0,217	0,022	0,324	0,065
8	0,698	0,062	0,209	0,021	0,327	0,061
9	0,685	0,06	0,216	0,021	0,325	0,067
10	0,708	0,059	0,213	0,019	0,326	0,064
Trung bình	0,699	0,061	0,212	0,021	0,326	0,063
Tỷ lệ	35,67%	4,42%	15,36%	1,48%	23,59%	4,59%

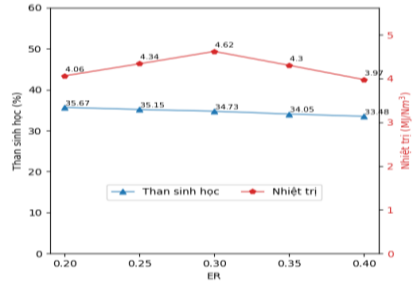
Từ giá trị của 10 bộ nghiệm, tính được phần trăm (%) của các khí H_2 , CO , CO_2 , CH_4 theo thể tích và phần trăm của lượng C theo khối lượng.

Tương tự như giải hệ phương trình với $T_2 = 750^\circ C$ và $ER = 0,2$; giải hệ phương trình với $T_2 = 750^\circ C$ và $ER = 0,25$; $0,3$; $0,35$ và $0,4$ được thực hiện.

- Kết quả giải hệ phương trình khi $T_2 = 750^\circ C$ và $ER = 0,2 \div 0,4$



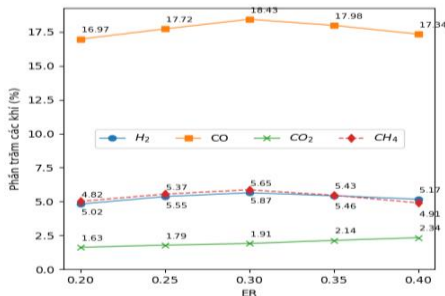
Hình 3.4 Thành phần khí tổng hợp khi $T_2 = 750^\circ C$



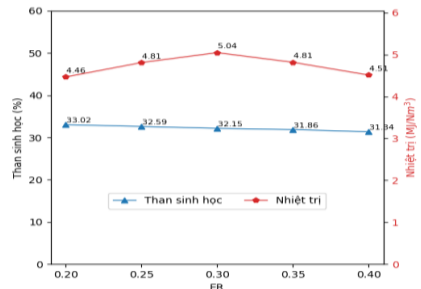
Hình 3.5 Thành phần than sinh học và nhiệt trị khi $T_2 = 750^\circ C$

Đồ thị (Hình 3.4) cho thấy khi thay đổi ER thì thành phần (%) các khí thay đổi, giá trị các thành phần khí tổng hợp thu được cực đại khi $ER = 0,3$ với $CO = 17,24\%$, $CH_4 = 5,27\%$ và $H_2 = 5,09\%$; Hình 3.5 biểu diễn nhiệt trị khí tổng hợp và lượng than sinh học khi $T_2 = 750^\circ C$. Nhiệt trị khí tổng hợp đạt cực đại tại $ER = 0,3$ có giá trị là $LHV = 4,62 MJ/Nm^3$, bên cạnh đó khi tăng lượng không khí cấp thì hàm lượng than sinh học giảm từ $35,67\%$ tại $ER = 0,2$ xuống $33,48\%$ khi $ER = 0,4$.

- Kết quả giải hệ phương trình khi $T_2 = 800^\circ C$ và $ER = 0,2 \div 0,4$



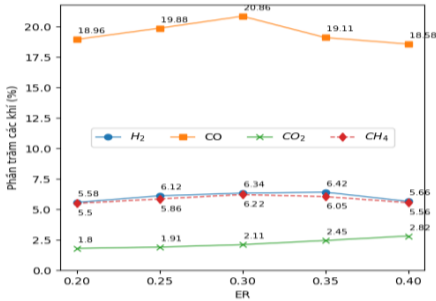
Hình 3.6 Thành phần khí tổng hợp khi $T_2 = 800^\circ C$



Hình 3.7 Thành phần than sinh học và nhiệt trị khi $T_2 = 800^\circ C$

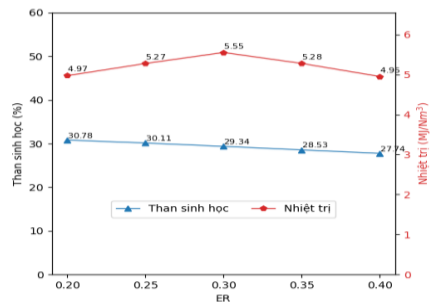
Nhận xét đồ thị (Hình 3.6) như sau: khi ER tăng từ 0,2 đến 0,4 thì giá trị khí CO_2 tăng, điều này tương tự như kết quả giải hệ phương trình khi $T_2 = 750^\circ C$. Lượng khí tổng hợp đạt cực đại khi $ER = 0,3$ với thành phần các khí chủ yếu là $CO = 18,43\%$, $CH_4 = 5,87\%$ và $H_2 = 5,65\%$. Hình 3.7 biểu diễn nhiệt trị khí tổng hợp đạt cực đại là $LHV = 5,04 MJ/Nm^3$ tăng 9,19% so với giá trị nhiệt trị khi $T_2 = 750^\circ C$. Ngược lại, hàm lượng than sinh học giảm từ $33,02\%$ đến $31,34\%$ khi ER tăng từ 0,2 đến 0,4.

- Kết quả giải hệ phương trình khi $T_2 = 850^\circ\text{C}$ và $ER = 0,2 \div 0,4$



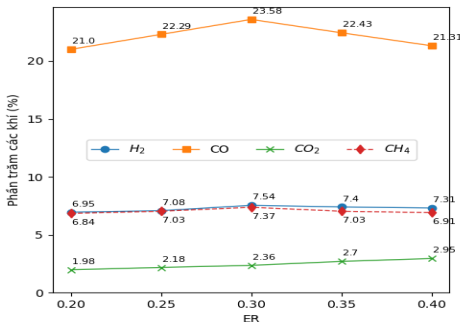
Hình 3.8 Thành phần khí tổng hợp khi $T_2 = 850^\circ\text{C}$

Khi nhiệt độ $T_2 = 850^\circ\text{C}$ hàm lượng khí tổng hợp cũng đạt cực đại tại $ER = 0,3$ với các giá trị tương ứng $CO = 20,86\%$, $CH_4 = 6,22\%$ và $H_2 = 6,34\%$. Giá trị cực đại của nhiệt trị là $LHV = 5,55 \text{ MJ/Nm}^3$ lớn hơn 10% so với giá trị cực đại khi $T_2 = 800^\circ\text{C}$. Bên cạnh đó, lượng than sinh học tiếp tục giảm từ 30,78% khi $ER = 0,2$ xuống còn 27,74% khi $ER = 0,4$.



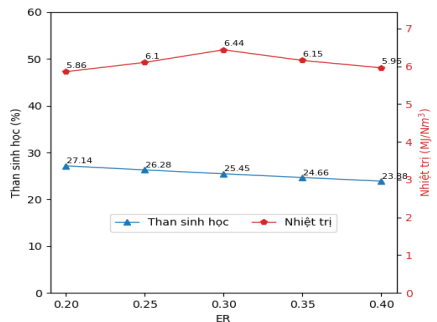
Hình 3.9 Thành phần biochar C và nhiệt trị khi $T_2 = 850^\circ\text{C}$

- Kết quả giải hệ phương trình khi $T_2 = 900^\circ\text{C}$ và $ER = 0,2 \div 0,4$



Hình 3.10 Thành phần khí tổng hợp khi $T_2 = 900^\circ\text{C}$

Khi nhiệt độ $T_2 = 900^\circ\text{C}$ thành phần các khí tiếp tục tăng và giá trị khí tổng hợp đạt cực đại tại mức $ER = 0,3$ với các giá trị các khí thành phần là $CO = 23,58\%$, $CH_4 = 7,37\%$ và $H_2 = 7,54\%$. Tại nhiệt độ $T_2 = 900^\circ\text{C}$ lượng than sinh học giảm đáng kể, từ 27,14 % tại $ER = 0,2$ xuống còn 23,88% khi $ER = 0,4$; so với $T_2 = 850^\circ\text{C}$ thì lượng than sinh học giảm trung bình là 13%. Bên cạnh đó nhiệt trị khí tổng hợp đạt cực đại $LHV = 6,44 \text{ MJ/Nm}^3$ tăng 20% so với nhiệt trị cực đại ở nhiệt độ $T_2 = 850^\circ\text{C}$.



Hình 3.11 Thành phần biochar C và nhiệt trị khi $T_2 = 900^\circ\text{C}$

- So sánh kết quả mô hình với một số nghiên cứu khác

So sánh kết quả mô hình lý thuyết với công bố của tác giả (Zhongqing Ma và cộng sự, 2015) hóa khí trâu bằng hệ thống hóa khí kiểu dòng khí đi xuống khi $ER = 0,211$ với kết quả giải mô hình toán tại $ER = 0,2$ và nhiệt độ $T_2 = 750^\circ\text{C}$. Than sinh học và khí tổng hợp của mô hình là 35,67% và 49,43%, so sánh với kết quả nhóm tác giả công bố là

31,39% và 50,85%. Như vậy, lượng than sinh học của mô hình cao hơn 4,28% và khí tổng hợp thấp hơn 1,42% so với kết quả công bố của nhóm tác giả.

So sánh về chất lượng khí tổng hợp bằng nhiệt trị, cho thấy nhiệt trị khí tổng hợp của mô hình là 4,04 MJ/Nm³ so với nhiệt trị khí tổng hợp của tác giả (Zhongqing Ma và cộng sự, 2015) là 4,44 MJ/Nm³ và tác giả (Chao Gai và cộng sự, 2012) là 4,43 MJ/Nm³. Như vậy, nhiệt trị khí tổng hợp của mô hình thấp hơn khoảng 4% so với nhiệt trị của các công bố.

Ngoài ra, so sánh chi tiết các thành phần khí tổng hợp của mô hình với các công bố của (Sang Jun Yoon và cộng sự, 109) tại nhiệt độ 750°C và 800°C cho thấy thành phần các khí tổng hợp và nhiệt trị của mô hình đều thấp hơn so với công bố tương ứng là 8,1% và 6,8%.

- Kiểm tra mô hình toán với một số nghiên cứu khác

Quá trình kiểm tra được tiến hành với các sinh khối khác nhau như: Bã mía, dăm gỗ, cây bắp và trấu. Bảng 3.3 kết quả so sánh khí tổng hợp của các công bố với mô hình cho thấy RMSE của hai bộ số liệu thực nghiệm đã công bố và mô hình không có sự khác biệt, điều này cho thấy mô hình toán biểu diễn quá trình hóa khí được xây dựng có độ tin cậy.

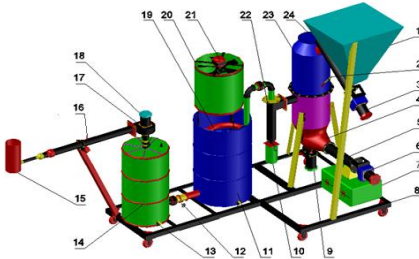
Bảng 3.3 Kết quả so sánh thực nghiệm đã công bố với mô hình

Tác giả	Thực nghiệm				Mô hình				RMSE
	CO (%)	H ₂ (%)	CH ₄ (%)	LHV (MJ/m ³)	CO (%)	H ₂ (%)	CH ₄ (%)	LHV (MJ/m ³)	
Erlich C. và cộng sự	23,30	9,90	2,80	5,00	20,40	6,80	3,10	4,40	4,249
Son Y. I. và cộng sự	15,90	16,50	2,10	4,60	15,30	11,60	3,20	4,31	4,977
Ma Z. Q. và cộng sự	16,90	11,80	2,90	4,44	16,20	7,20	4,50	4,41	4,744
Enrico B. và cộng sự	20,04	7,97	0,69	3,96	18,60	5,80	2,30	3,78	2,765
Chao G. và cộng sự	19,00	12,80	4,00	5,80	18,40	9,50	4,80	5,04	3,386

3.3 Kết quả thực nghiệm hệ thống hóa khí trấu

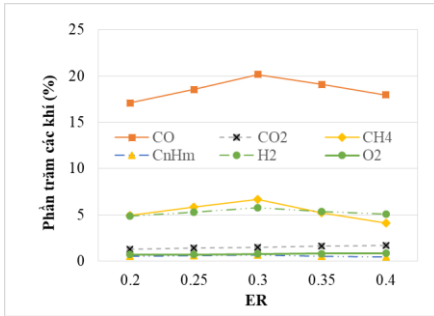
3.3.1 Kết quả tính toán, thiết kế và chế tạo hệ thống hóa khí trấu

Để thực nghiệm kiểm chứng kết quả nghiên cứu lý thuyết, một mô hình hệ thống hóa khí trấu quy mô nông hộ được tính toán, thiết kế và chế tạo hoàn chỉnh.

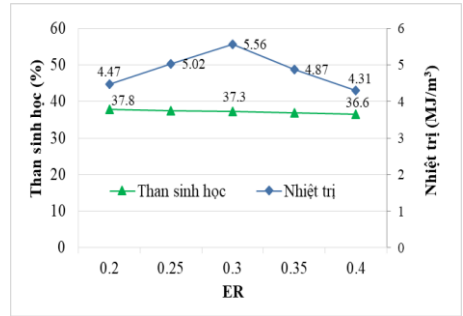


Hình 3.12 Hệ thống hóa khí trấu đã thiết kế và chế tạo hoàn chỉnh

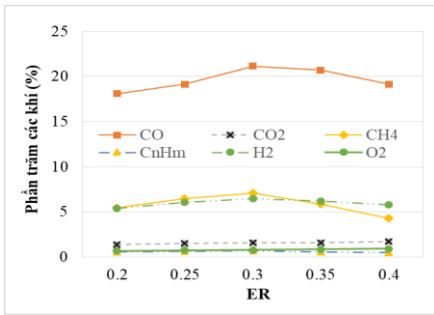
3.3.2 Thực nghiệm ảnh hưởng các thông số công nghệ đến sản phẩm hóa khí



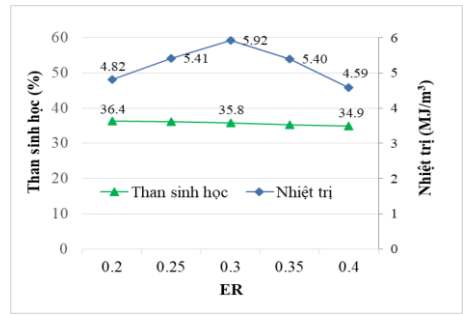
Hình 3.13 Thành phần các khí tổng hợp khi $T_2 = 750^\circ\text{C}$



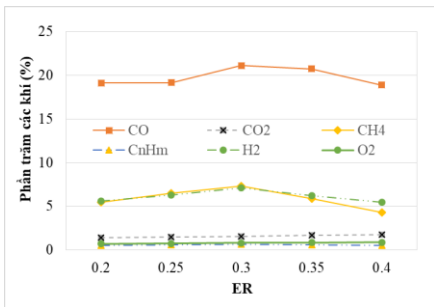
Hình 3.14 Nhiệt trị và lượng than sinh học khi $T_2 = 750^\circ\text{C}$



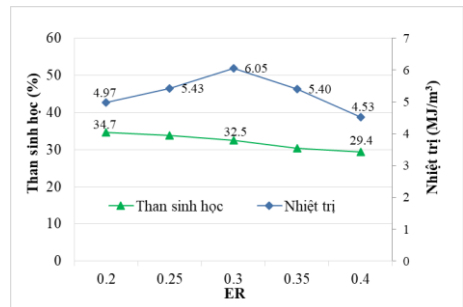
Hình 3.15 Thành phần các khí tổng hợp khi $T_2 = 800^\circ\text{C}$



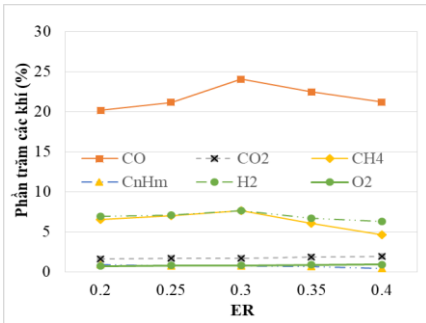
Hình 3.16 Nhiệt trị và lượng than sinh học khi $T_2 = 800^\circ\text{C}$



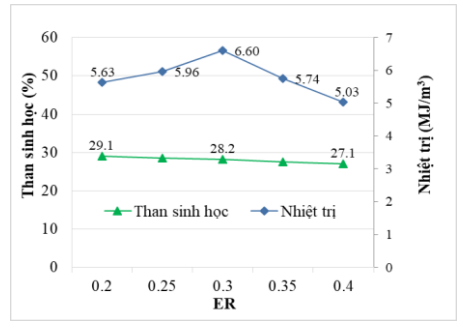
Hình 3.17 Thành phần các khí tổng hợp khi $T_2 = 850^\circ\text{C}$



Hình 3.18 Nhiệt trị và lượng than sinh học khi $T_2 = 850^\circ\text{C}$



Hình 3.19 Thành phần các khí tổng hợp khi $T_2 = 900^\circ\text{C}$



Hình 3.20 Nhiệt trị và lượng than sinh học khi $T_2 = 900^\circ\text{C}$

Nhận xét chung về kết quả thực nghiệm:

Từ kết quả thực nghiệm cho thấy nhiệt trị khí tổng hợp khí cùng nhiệt độ hóa khí sẽ bị ảnh hưởng bởi lượng không khí cấp, khi $ER = 0,2 \div 0,3$ thì nhiệt trị khí tổng hợp tăng, khi $ER = 0,3 \div 0,4$ thì nhiệt trị khí tổng hợp giảm, khí tổng hợp đạt cực đại khi $ER = 0,3$. Khi nhiệt độ vùng khử tăng từ 750°C đến 800°C thì nhiệt trị trung bình của khí tổng hợp tăng 7,93%, khi nhiệt độ tăng từ 800°C đến 850°C thì nhiệt trị trung bình của khí tổng hợp tăng không đáng kể và khi nhiệt độ tăng từ 850°C đến 900°C thì nhiệt trị của khí tổng hợp tăng 9,74%.

Hàm lượng than sinh học từ kết quả thực nghiệm cho thấy tại 4 mức nhiệt độ đều có quy luật giống nhau, lượng than sinh học giảm khi hệ số không khí cấp tăng từ 0,2 đến 0,4 hoặc khi nhiệt độ tăng từ 750°C đến 900°C .

Tại 4 mức nhiệt độ là 750°C , 800°C , 850°C ; 900°C và hệ số không khí cấp $ER = 0,3$, lượng than sinh học thu được là 37,3%, 35,8%, 32,5% và 28,2%, so sánh với công bố của Wen-Tien Tsai và cộng sự là 34,8%, 33,9%, 33,5% và 33%; giá trị căn bậc hai sai số bình phương trung bình $RMSE = 2,9$ cho thấy giữa thực nghiệm và công bố của tác giả là không có sự khác biệt lớn.

3.4 Kết quả kiểm chứng mô hình toán và xây dựng phương trình hồi quy

3.4.1 Kiểm chứng mô hình toán

Căn cứ để đánh giá mức độ phù hợp của mô hình toán lý thuyết là dựa vào độ lệch chuẩn của phần dư ($RMSE$) của hai tập hợp kết quả cùng điều kiện giữa thực nghiệm và lý thuyết. Nếu $RMSE \leq 5$ thì mô hình toán lý thuyết được xem là phù hợp. Độ lệch chuẩn của phần dư giữa lý thuyết và thực nghiệm là $RMSE = 1,642$; $1,882$; $1,445$ và $1,345$ tương ứng với nhiệt độ $T_2 = 750^\circ\text{C}$; $T_2 = 800^\circ\text{C}$; $T_2 = 850^\circ\text{C}$; $T_2 = 900^\circ\text{C}$. Vì vậy, căn cứ vào độ lệch chuẩn có thể khẳng định mô hình lý thuyết hóa khí trâu kiêu dòng khí đi xuống đã xây dựng là phù hợp và có độ chính xác cao.

<i>ER</i>	<i>Thực nghiệm (%)</i>					<i>Mô hình (%)</i>					<i>RMSE</i>
	Biochar	CO	CO ₂	H ₂	CH ₄	Biochar	CO	CO ₂	H ₂	CH ₄	
0,2	36,40	18,12	1,42	5,40	5,44	33,02	16,97	1,63	4,82	5,02	1,631
0,25	36,10	19,16	1,54	6,10	6,49	32,59	17,72	1,79	5,37	5,55	1,782
0,3	35,80	21,17	1,59	6,50	7,10	32,15	18,43	1,91	5,65	5,87	2,153
0,35	35,20	20,74	1,62	6,20	5,89	31,86	17,98	2,14	5,43	5,46	1,991
0,4	34,90	19,18	1,74	5,80	4,30	31,34	17,34	2,34	5,17	4,91	1,854
										Average	1,882

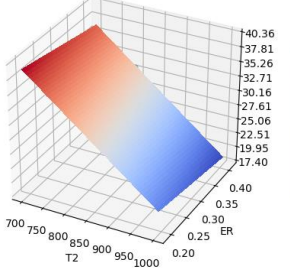
ER	Thực nghiệm (%)					Mô hình (%)					RMSE
	Biochar	CO	CO ₂	H ₂	CH ₄	Biochar	CO	CO ₂	H ₂	CH ₄	
0,2	34,70	19,12	1,44	5,60	5,45	30,78	18,96	1,80	5,58	5,50	1,762
0,25	33,80	19,16	1,47	6,30	6,50	30,11	19,88	1,91	6,12	5,86	1,719
0,3	32,50	21,11	1,59	7,10	7,30	29,34	20,86	2,11	6,34	6,22	1,553
0,35	30,30	20,74	1,67	6,20	5,90	28,53	19,11	2,45	6,42	6,05	1,137
0,4	29,40	18,87	1,75	5,50	4,32	27,74	18,58	2,82	5,66	5,56	1,053
										Average	1,445

ER	Thực nghiệm (%)					Mô hình (%)					RMSE
	Biochar	CO	CO ₂	H ₂	CH ₄	Biochar	CO	CO ₂	H ₂	CH ₄	
0,2	29,10	20,15	1,63	6,92	6,53	27,14	21,00	1,98	6,95	6,84	0,978
0,25	28,60	21,16	1,69	7,10	7,02	26,28	22,29	2,18	7,08	7,03	1,175
0,3	28,20	24,02	1,70	7,69	7,62	25,45	23,58	2,36	7,54	7,37	1,287
0,35	27,50	22,45	1,88	6,74	6,08	24,66	22,43	2,70	7,40	7,03	1,420
0,4	27,10	21,18	1,98	6,30	4,66	23,88	21,31	2,95	7,31	6,91	1,866
										Average	1,345

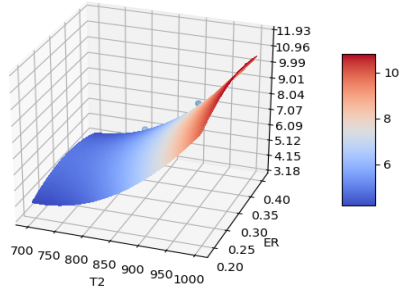
3.4.2 Xây dựng các phương trình hồi quy

Phương trình hồi quy theo phương pháp bình phương nhỏ nhất để dự đoán mối quan hệ của các sản phẩm hóa khí trâu như C, H₂, CO và CH₄ với nhiệt độ vùng khử T₂ và hệ số không khí cấp ER.

The n1 representation and The approximate function

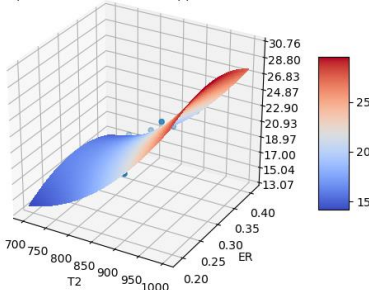


Hình 3.21 Đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa C với T₂ và ER



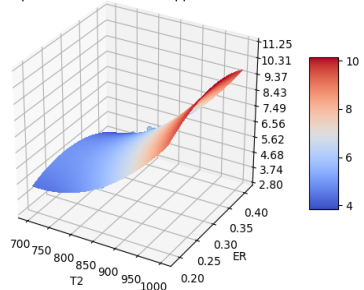
Hình 3.22 Đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa H₂ với T₂ và ER

The n3 representation and The approximate function



Hình 3.23 Đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa CO với T₂ và ER

The n6 representation and The approximate function



Hình 3.24 Đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa CH₄ với T₂ và ER

Phương trình dự đoán mối quan hệ giữa lượng Carbon Y_C, Hydrogen Y_{H2}, Carbon monoxide Y_{CO} và Methane Y_{CH4} với T₂ và ER

$$Y_C = 84,174 - 0,061.T_2 - 12,684.ER \text{ với } R^2 = 0,98 \text{ (Hình 3.21)}$$

$$Y_{H_2} = 35,569 - 0,099.T_2 + 28,439.ER - 55,721.ER^2 \text{ với } R^2 = 0,98 \text{ (Hình 3.22)}$$

$$Y_{CO} = 50,124 - 0,153.T_2 + 109,009.ER - 152,271.ER^2 \text{ với } R^2 = 0,97 \text{ (Hình 3.23)}$$

$$Y_{CH_4} = 30,952 - 0,083.T_2 + 23,750.ER - 66,529.ER^2 \text{ với } R^2 = 0,97 \text{ (Hình 3.24)}$$

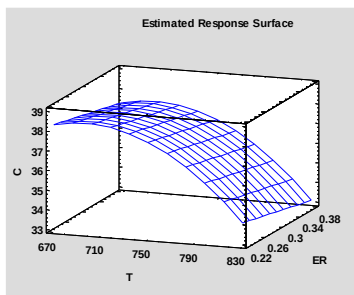
3.5 Kết quả thực nghiệm xác định chế độ hóa khí trâu phù hợp

- Phương trình mô tả ảnh hưởng của nhiệt độ vùng khử T₂ (°C) và hệ số không khí cấp ER đến lượng carbon thu được C (%).

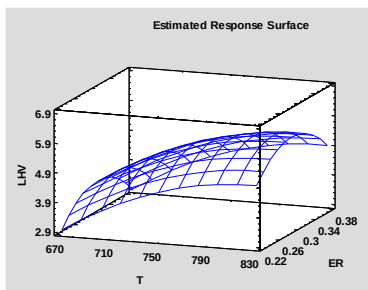
$C = -82,4 + 0,35.T_2 - 5,68.ER - 0,0002513.T_2^2$, đồ thị biểu diễn mối quan hệ của ER và T₂ đến lượng carbon C (Hình 3.25)

- Phương trình mô tả ảnh hưởng của nhiệt độ vùng khử T₂ (°C) và hệ số không khí cấp ER đến nhiệt trị hỗn hợp khí (MJ/m³).

$LHV = -63,73 + 0,136.T_2 + 90,24.ER - 150,4.ER^2$, đồ thị biểu diễn mối quan hệ của ER và T₂ đến nhiệt trị LHV (Hình 3.26).



Hình 3.25 Đồ thị biểu diễn mối quan hệ C – ER – T_2



Hình 3.26 Đồ thị biểu diễn mối quan hệ LHV – ER – T_2

Chỉ tiêu phù hợp về lượng than sinh học thu được và nhiệt trị của ga là chỉ tiêu đồng thời lượng than thu được lớn nhất và nhiệt trị cao nhất.

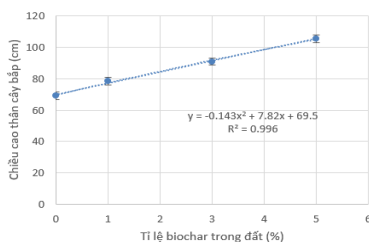
+ Thông số tối ưu: khi $T_2 = 745$ ($^{\circ}\text{C}$) và ER = 0,29

+ Chỉ tiêu tối ưu: $\text{LHV}_{\max} = 5,35$ (MJ/Nm^3) và $C_{\max} = 37,5$ (%).

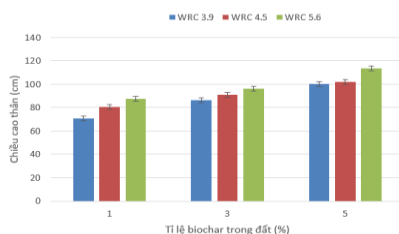
3.6 Kết quả đánh giá sơ bộ chất lượng than sinh học

Kết quả thực nghiệm cho thấy tại lượng không khí cấp khi ER = 0,2 và nhiệt độ vùng khử $T_2 = 750^{\circ}\text{C}$ thì lượng than sinh học thu được là lớn nhất 37,8%. Tuy nhiên, thực nghiệm lượng chứa nước đạt nhỏ nhất 3,9 ml/gram. Ngược lại, tại lượng không khí cấp khi ER = 0,4 và nhiệt độ vùng khử $T_2 = 900^{\circ}\text{C}$ thì lượng than sinh học thu được là nhỏ nhất 27,1%. Tuy nhiên, thực nghiệm lượng chứa nước đạt lớn nhất 5,6 ml/gram.

Kết quả thí nghiệm cho thấy chiều dài của thân và rễ cây bắp tăng khi tăng tỉ lệ than sinh học trong đất (Hình 3.27), điều này cho thấy khả năng giữ nước của than sinh học có ảnh hưởng đến sự phát triển của cây bắp là rõ rệt (Islam Shaon Md Jahidul 2018). Trong thí nghiệm này, chiều cao cây bắp sau 35 ngày khi trồng trong chậu chỉ chứa đất đạt 70 cm, trong khi đó chiều cao của thân cây bắp ở các chậu có tỉ lệ than sinh học 1%, 3% và 5% lần lượt là 80 cm, 93 cm và 107 cm.



Hình 3.27 Chiều cao của bắp ứng với tỉ lệ than sinh học trong đất



Hình 3.28 Chiều cao bắp ứng với lượng chứa nước và tỉ lệ của than sinh học

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

- Luận án đã xác định các thông số lý hóa của trấu IR 50404, công thức hóa học tổng quát của trấu, thành phần của tác nhân cấp vào hệ thống hóa khí, các thành phần sản phẩm hóa khí, phương trình tổng quát hóa khí trấu, xây dựng các phương trình cân bằng khối lượng của các nguyên tố C, H_2 và O_2 , phương trình cân bằng phản ứng tạo khí CH_4 và

phương trình cân bằng phản ứng chuyển H_2O , phương trình cân bằng năng lượng từ phương trình tổng quát.

- Đã xây dựng mô hình toán học và giải mô hình toán bằng ngôn ngữ lập trình Python nhằm dự đoán được các thành phần khí tổng hợp và hàm lượng than sinh học khi thay đổi 2 thông số công nghệ là lượng không khí cấp và nhiệt độ vùng khừ.

- Đã chế tạo hoàn thiện hệ thống hóa khí trấu để thực nghiệm kiểm chứng kết quả nghiên cứu lý thuyết.

- Kết quả thực nghiệm đã cho thấy một số quy luật biến đổi chung giữa giải mô hình toán học và thực nghiệm là hoàn toàn phù hợp như: Khi nhiệt độ tăng lên thì lượng than sinh học thu được từ kết quả thực nghiệm cũng như lý thuyết đều giảm; Bên cạnh đó, tại cùng một mức nhiệt độ vùng khừ nếu tăng lượng không khí cấp khi $ER = 0,2 \div 0,4$ thì lượng than sinh học cũng giảm, tuy nhiên hàm lượng khí tổng hợp tăng khi $ER = 0,2 \div 0,3$ và hàm lượng khí tổng hợp giảm khi $ER = 0,3 \div 0,4$.

- So sánh kết quả mô hình toán học và thực nghiệm cho thấy hàm lượng than sinh học và thành phần khí tổng hợp của mô hình toán thấp hơn nghiên cứu thực nghiệm. Độ lệch chuẩn của phần dư RMSE của hai tổ hợp số liệu tương ứng ở các mức nhiệt độ vùng khừ $T_2 = 750^\circ C, 800^\circ C, 850^\circ C$ và $900^\circ C$ lần lượt là 1,642; 1,882; 1,445 và 1,345. Giá trị này chỉ ra rằng sự khác biệt giữa mô hình toán và thực nghiệm ở tất cả các trường hợp đều không có ý nghĩa, vì vậy mô hình toán đã xây dựng là phù hợp.

- Từ kết quả kiểm chứng lý thuyết phù hợp với số liệu thực nghiệm, luận án cũng đã xây dựng các phương trình dự đoán phần trăm các khí H_2 , CO và CH_4 và than sinh học (C) với nhiệt độ vùng khừ T_2 và lượng không khí cấp ER .

Phương trình biểu diễn mối quan hệ giữa Y_{H_2} , Y_{CO} , Y_{CH_4} và Y_C với T_2 và ER như sau:

$$Y_{H_2} = 35,569 - 0,099.T_2 + 28,439.ER - 55,721.ER^2 \text{ với } R^2 = 0,98$$

$$Y_{CO} = 50,124 - 0,153.T_2 + 109,009.ER - 152,271.ER^2 \text{ với } R^2 = 0,97$$

$$Y_{CH_4} = 30,952 - 0,083.T_2 + 23,750.ER - 66,529.ER^2 \text{ với } R^2 = 0,97$$

$$Y_C = 84,174 - 0,061.T_2 - 12,684.ER \text{ với } R^2 = 0,98$$

- Kết quả quy hoạch thực nghiệm để đánh giá khả năng làm việc phù hợp của hệ thống hóa khí trấu kiểu dòng khí đi xuống cũng được thực hiện. Kết quả giải bài toán đa mục tiêu đã xác định được các thông số và chỉ tiêu phù hợp như sau:

- + Thông số phù hợp: khi $T_2 = 745 (^\circ C)$ và $ER = 0,29$

- + Chỉ tiêu phù hợp: $LHV_{\max} = 5,53 (MJ/Nm^3)$ và $C_{\max} = 37,5 (\%)$.

- Việc đánh giá tác động của than sinh học đến với cây trồng cũng được thực hiện. Thông qua thực nghiệm đã chỉ ra rằng chất lượng than sinh học phụ thuộc vào nhiệt độ vùng khừ và lượng không khí cấp. Đồng thời, sự sinh trưởng và phát triển của cây bắp trong 35 ngày trồng thí nghiệm có sự ảnh hưởng của than sinh học là rất rõ ràng.

2. Kiến nghị

Luận án đã giải quyết được mục tiêu đề ra với kết quả nghiên cứu phù hợp và tin cậy cao. Tuy nhiên để hoàn thiện thì thành phần than sinh học cần được nghiên cứu đầy đủ hơn. Trong luận án, than sinh học mới được khảo sát về khối lượng và đánh giá tác động đến sinh trưởng cây bắp trong một vụ trồng. Để đánh giá đầy đủ và khoa học hơn cần phải tiếp tục thực hiện các nghiên cứu về than sinh học như: Diện tích bề mặt, độ pH, khả năng trao đổi Cation (CEC – Cation Exchange Capacity).

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ ĐÃ CÔNG BỐ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

1. Nguyen Van Lanh, Nguyen Huy Bich, Bui Ngoc Hung and Nguyen Nam Quyen, "*Performance of Household Rice Husk Downdraft Gasifier in Vietnam: Modeling and experiment*," International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, Vol. 11 (2021) No. 5, pp. 1958-1963, (*Tạp chí Scopus ISSN 2088-5334*). <http://dx.doi.org/10.18517/ijaseit.11.5.16160>.
2. Lanh N V, Bich N H, Quyen N N, Hung B N and Preston T R. "*Water retention capacity of biochar and its effect on growth of maize*". Livestock Research for Rural Development. Volume 31, Article #95; 2019 (*Tạp chí Scopus ISSN 0121-3784*). www.lrrd.org/lrrd31/6/lanh31095.html
3. Lanh N V, Bich N H, Quyen N N, Hung B N and Preston T R. "*A study on designing, manufacturing and testing a household rice husk gasifier*". Livestock Research for Rural Development. Volume 30, Article #35; 2018 (*Tạp chí Scopus ISSN 0121-3784*). www.lrrd.org/lrrd30/2/lanh30035.html
4. Nguyen Huy Bich, Nguyen Van Lanh, Bui Ngoc Hung. "*The Composition of Syngas and Biochar Produced by Gasifier from Viet Nam Rice Husk*". International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, Vol. 7 (2017) No. 6, p. 2258-2263. (*Tạp chí Scopus ISSN 2088-5334*). <http://dx.doi.org/10.18517/ijaseit.7.6.2623>
5. Lanh N V, Bich N H, Hung B N, Khang D N and Preston T R. "*Effect of the air-flow on the production of syngas, tar and biochar using rice husk and sawdust as feedstock in an updraft gasifier stove*". Livestock Research for Rural Development. Volume 28, Article #71. 2016 (*Tạp chí Scopus ISSN 0121-3784*). <http://www.lrrd.org/lrrd28/5/lanh28071.html>
6. Nguyễn Văn Lành, Nguyễn Huy Bích, Bùi Ngọc Hùng. "*Năng lượng sinh khối và thực trạng phát triển hóa khí sinh khối tại Việt Nam*". Hội nghị Khoa học và Công nghệ về Cơ khí lần thứ IV. 2015, trang 659 – 665. (ISBN 978-604-73-3690-6).