

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG ĐẶC TÍNH DÒNG PHUN THAN VÀ AMONIAC TRONG BÉC ĐỐT XOÁY

NGUYỄN HOÀNG KHÔI^{1*}, NGUYỄN TIẾN ANH², TRẦN VĂN BẦY², PHẠM HẢI HƯNG²,
NGUYỄN THỊ TÂM THANH¹, NGUYỄN MINH CƯỜNG¹, NGÔ ÍCH SƠN^{2,3*}

¹ Khoa Công nghệ Nhiệt lạnh, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh

² Công ty TNHH Kỹ thuật cao CFDWAYS, Việt Nam

³ Trung tâm Kỹ thuật Quy trình Bền vững, Khoa Công nghệ Hóa học, Đại học Quốc gia Hankyong,
Tỉnh Gyeonggi, Thành phố Anseong, số 327 đường Jungang, 17579, Hàn Quốc

*Tác giả liên hệ: ngoichson@hknu.ac.kr, nguyenhoangkhoi@iuh.edu.vn

DOIs: <https://www.doi.org/10.46242/jstiuh.v79i1.5806>

Tóm tắt. Đòng đốt nhiên liệu than và Amoniac là giải pháp tiềm năng giảm phát thải CO₂ trong các nhà máy nhiệt điện than, tuy nhiên, công nghệ đòng đốt này còn mới mẻ tại Việt Nam. Nghiên cứu này đã sử dụng mô phỏng CFD bằng phần mềm STAR-CCM+ để phân tích đặc tính dòng phun và phân bố nồng độ NH₃ trong béc đốt xoáy, với tỷ lệ đòng đốt NH₃ là 10% theo công suất nhiệt. Chiều dài ống phun NH₃ được khảo sát tại các mức 0 m, 0,4 m, 0,8 m, 1,0 m và 1,2 m. Kết quả cho thấy vị trí ống phun ảnh hưởng đáng kể đến cấu trúc dòng phun và nồng độ NH₃. Tại 0,8 m, vùng hồi lưu trung tâm bắt đầu hình thành với chuẩn số xoáy 0,277. Ở vị trí 1,0 m, vùng hồi lưu ổn định và thể tích NH₃ thấp nhất (0,3165 m³), cho thấy khả năng duy trì điều kiện cháy ổn định. Khi tăng khoảng cách ống phun, thể tích vùng có nồng độ NH₃ cao giảm, góp phần tăng hiệu suất cháy và hạn chế NH₃ tồn tại ở vùng giàu oxy. Kết quả nghiên cứu là cơ sở kỹ thuật hữu ích cho thiết kế và vận hành béc đốt trong các hệ thống đòng đốt than với amoniac.

Từ khóa. Amoniac, đòng đốt than, nhà máy nhiệt điện, mô phỏng số, CFD, khí CO₂

Chữ viết tắt

CFD – Computational Fluid Dynamic

PC – Pulverized Coal

CFBC – Circulating Fluidized Bed Combustor

1. GIỚI THIỆU

Đảm bảo an ninh năng lượng và môi trường sống bền vững là vấn đề quan trọng và thách thức toàn cầu. Cho đến hiện tại, việc sử dụng nguồn nhiên liệu hóa thạch, như than đá, dầu mỏ, nhiên liệu khí vẫn là lựa chọn ưu tiên để sản xuất năng lượng của các quốc gia. Tuy nhiên, nguồn phát thải lớn khí nhà kính CO₂ từ quá trình sử dụng nhiên liệu hóa thạch là nguyên nhân chính gây hiện tượng nóng lên toàn cầu và biến đổi khí hậu. Theo thống kê năm 2020, thế giới sản xuất được 2125 GW từ khoảng 8500 nhà máy nhiệt điện than [1], và phát thải ra môi trường 14,8 Gt CO₂, chiếm 46,9% tổng lượng phát thải CO₂ toàn cầu [2]. Do đó tầm nhìn đến 2060, việc giảm phát thải CO₂ từ các nhà máy nhiệt điện than là vấn đề cấp thiết, hạn chế mức tăng nhiệt độ nhỏ hơn 1,5 °C, so với thời kỳ tiền công nghiệp [3].

Để đạt được mục tiêu này, nhiều công nghệ và kỹ thuật mới được nghiên cứu áp dụng, bao gồm sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo, năng lượng hạt nhân, hoặc chuyển đổi sử dụng nhiên liệu khác, và áp dụng công nghệ thu giữ CO₂ [3]. Trong phương pháp sử dụng các nguồn nhiên liệu khác, gốc không carbon để thay thế nhiên liệu hóa thạch, hydro (H₂) và amoniac (NH₃) là hai loại nhiên liệu tiềm năng được cân nhắc lựa chọn. Việc vận chuyển và lưu trữ nhiên liệu dạng lỏng H₂ vẫn còn mới mẻ do yêu cầu nhiệt độ hóa lỏng thấp (-253 °C, 1 atm), thì nhiên liệu NH₃ với nhiệt độ sôi thấp hơn (-33,4 °C, 1 atm) đã đang được sử dụng rộng rãi trong các nhà máy công nghiệp và nhà máy nhiệt điện để khử NO_x với cơ sở hạ tầng hoàn thiện [4]. Do đó, NH₃ đang được cân nhắc lựa chọn hơn để làm nhiên liệu đòng đốt với nguồn nhiên liệu hóa thạch trong các nhà máy nhiệt điện, sản xuất năng lượng hiện tại. Việc đốt cháy nhiên liệu NH₃ có ưu điểm không phát thải CO₂, chỉ phát sinh hơi nước và NO_x. Do đó, giải pháp đòng đốt NH₃ góp phần giảm lượng phát thải khí nhà kính CO₂, tuy nhiên, giải pháp này có thể gia tăng phát thải NO_x [3].

Các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm (quy mô phòng thí nghiệm hoặc pilot) đã và đang được tiến hành nhằm đánh giá các ảnh hưởng khi sử dụng nhiên liệu NH₃ trong các nhà máy nhiệt điện và nhà máy công nghiệp. Theo tập đoàn IHI, trong nhà máy nhiệt điện đốt than phun (PC) khi sử dụng nhiên liệu amoniac, phát thải NO giảm đáng kể bằng cách kiểm soát tốt tỉ số không khí – nhiên liệu và việc phun NH₃

[5]. Công bố gần đây, cho thấy việc sử dụng NH_3 để giảm phát thải CO_2 và NO cho các nhà máy nhiệt điện đốt than kiểu tầng sôi tuần hoàn cũng rất khả thi [1]. Bên cạnh đó, các nghiên cứu mô phỏng số cũng cho ra các hiểu biết tốt hơn về đặc tính quá trình cháy, mức CO_2 giảm thiểu, hiệu suất quá trình cháy khi sử dụng NH_3 [3], [5,6]. Tuy nhiên, cơ chế phản ứng phát sinh NO_x trong quá trình đồng đốt NH_3 vẫn còn là thách thức trong các nghiên cứu mô phỏng số. Tổng hợp các nghiên cứu gần đây về đốt kèm NH_3 trong các nhà máy nhiệt điện than trên thế giới cho thấy công nghệ đốt kèm NH_3 được triển khai sớm nhất ở Nhật Bản kể từ những năm 2019 -2020 tại hai công ty IHI và Mitsubishi [3], [7,8]. Công bố của nhóm tác giả Nagatani cùng cộng sự (tổ chức IHI engineering, Nhật Bản) cho thấy hiệu suất khi đồng đốt NH_3 và than có thể đạt tương tự trong trường hợp đốt hoàn toàn than, đồng thời lượng phát thải NO_x có thể giảm so với đốt than khi áp dụng phương pháp đốt phân cấp và thay đổi tỉ lệ cấp không khí [7]. Công bố khác sử dụng công cụ mô phỏng CFD được thực hiện bởi Zhang et al. (2020) cho thấy hình dạng ngọn lửa bị ảnh hưởng đáng kể bởi tỷ lệ đốt kèm NH_3 , khi tỷ lệ đốt kèm cao hơn 40%, ngọn lửa bị kéo dài quá mức dẫn đến dư NH_3 ở dòng khí ra, trong khi đó, tăng tỷ lệ đốt kèm từ 10% - 40%, lượng phát thải NO_x giảm dần, tuy nhiên, nếu tỷ lệ đốt kèm vượt quá 40%, lượng NO_x tăng mạnh [5].

Việt Nam hiện nay là một trong số các quốc gia có tỷ trọng về nhiệt điện than cao trên thế giới [9], để đạt được mục tiêu năng lượng cho phát triển kinh tế, công suất nhà máy nhiệt điện than không ngừng tăng cao đến trước năm 2030, cụ thể từ 20,056 GW (06/2019), tăng lên 47,600 GW (2025), và đạt mức 55,300 GW (2030) [10]. Hai công nghệ đốt chính tại các nhà máy nhiệt điện than tại Việt Nam, gồm có công nghệ đốt than phun (PC) và công nghệ đốt tầng sôi tuần hoàn (CFBC) [9]. Hiệu suất nhà máy nhiệt điện than tại Việt Nam dao động từ 32-41%, và có thể thấp hơn ở mức 23 – 26,38% do quá trình vận hành lâu năm [9]. Từ năm 2000, công nghệ trong nhà máy nhiệt điện than tại Việt Nam đã được nâng cấp để nâng cao hiệu suất cũng như giảm phát thải ô nhiễm ra môi trường, bao gồm áp dụng hệ thống khử NO_x , khử SO_x , hệ thống lọc bụi EPS [9]. Tuy nhiên cho đến nay, công nghệ thu hồi CO_2 vẫn chưa được áp dụng. Theo thống kê năm 2019, tổng lượng phát thải khí nhà kính CO_2 từ nhà máy nhiệt điện than tại Việt Nam là 136 triệu tấn, chiếm 88% quá trình sản xuất điện [11]. Do đó, vấn đề giảm phát thải CO_2 , hướng đến mục tiêu phát thải ròng bằng 0 theo cam kết tại COP26 đặt ra nhiều thách thức cần có lộ trình và công nghệ hiệu quả [12].

Theo quy hoạch điện VIII [13], Việt Nam đang đẩy nhanh quá trình sử dụng nguồn năng lượng tái tạo cũng như “xanh hóa” các nhà máy công nghiệp và nhà máy nhiệt điện sử dụng nhiên liệu hóa thạch. Tuy nhiên, công suất nhà máy nhiệt điện than không ngừng phát triển để đáp ứng nhu cầu năng lượng của sự phát triển. Trong năm 2022, công suất nhà máy nhiệt điện than đang hoạt động tại Việt Nam khoảng 24.000 MW. Ngoài ra, khoảng 6000 MW công suất điện than hiện đang được xây dựng và 8250 MW đã được cấp phép hoặc chấp thuận nhưng vẫn chưa khởi công [11]. Sử dụng nhiên liệu amoniac đồng đốt được đề xuất nghiên cứu áp dụng cho các nhà máy nhiệt điện than đã hoạt động được 20 năm, theo kế hoạch định hướng phát triển nhà máy nhiệt điện than, giai đoạn 2021-2030 [13]. Đến năm 2050, nhà máy nhiệt điện chuyên hoàn toàn sang sử dụng NH_3 hoặc nhiên liệu sinh khối [13].

Do đó, một số nghiên cứu điển hình gần đây về quá trình đồng đốt than cho nhà máy nhiệt điện tại Việt Nam đã được triển khai, như là mô phỏng CFD quá trình cháy trong nhà máy nhiệt điện Duyên Hải 1 (công nghệ than phun – PC) để đánh giá tỉ lệ đồng đốt, chế độ khí động trong lò [14]. Thêm vào đó, nghiên cứu mô phỏng cho nhà máy nhiệt điện Ninh Bình (công nghệ than phun – PC) chỉ ra rằng để ngọn lửa cháy tốt, nhiên liệu than cần có lượng chất bốc cao [15]. Những lợi ích kỹ thuật, kinh tế, môi trường, lợi ích xã hội, cũng như hạn chế về tính cạnh tranh giữa nhiên liệu sinh khối và than, giá bán điện, cơ chế đặc thù cho việc đồng đốt cũng được đề cập trong tài liệu [16], áp dụng cho nhà máy nhiệt điện than cụ thể ở Việt Nam.

Tuy nhiên, việc triển khai các nghiên cứu đồng đốt NH_3 với nhiên liệu than vẫn còn khá mới mẻ tại Việt Nam. Chính sách gần đây khuyến khích thúc đẩy các nghiên cứu ứng dụng công nghệ đồng đốt nhiên liệu amoniac [13]. Hiện có ít báo cáo về loại đầu đốt chuyên dụng cho việc đồng đốt amoniac/than, mặc dù đã có một số tiến bộ trong công nghệ đồng đốt than/amoniac. Do đó, cần thiết phải thiết kế một đầu đốt đặc biệt cho việc đồng đốt than/amoniac trong các ứng dụng tương lai [17].

Trong nghiên cứu này, một mô hình mô phỏng đánh giá quá trình hòa trộn của khí nhiên liệu amoniac và than được đề xuất trong một đầu đốt xoáy, sử dụng phần mềm mô phỏng STAR-CCM+. Béc đốt xoáy có một ống phun nhiên liệu amoniac được bố trí tại tâm béc đốt và vị trí phun nhiên liệu có thể điều chỉnh bằng cách tăng giảm chiều dài của ống phun. Phân bố vận tốc dòng phun và phân bố nồng độ nhiên liệu amoniac qua béc đốt được đánh giá tại các vị trí 0 m, 0,4 m, 0,8 m, 1,0 m, và 1,2 m. Thông qua việc đánh

giá ảnh hưởng của vị trí phun nhiên liệu amoniac, nhằm cung cấp các thông tin cần thiết để thiết kế, vận hành béc đốt nhiên liệu than và amoniac đồng thời trong các ứng dụng công nghiệp.

2. PHƯƠNG PHÁP

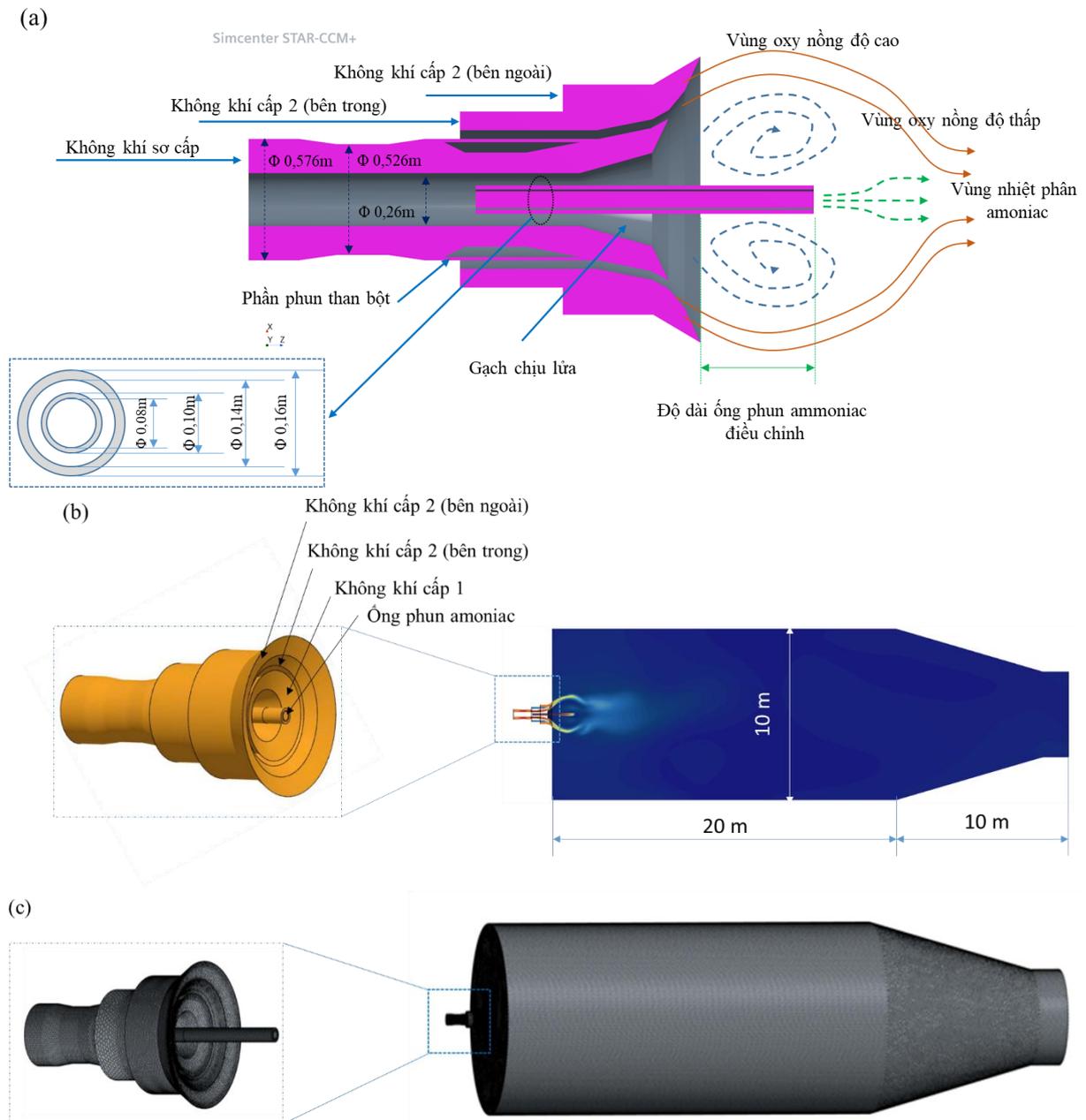
2.1. Mô hình toán học

Để đánh giá đặc tính đồng đốt của than và amoniac, một béc đốt xoáy được sử dụng làm miền mô phỏng trong nghiên cứu này. Phương pháp mô phỏng số được tiến hành trên phần mềm thương mại Simcenter STAR-CCM+. Hình học béc đốt được nhập trực tiếp vào phần mềm CFD, bản vẽ CAD từ STAR-CCM+, thông số chi tiết được minh họa trong Hình 1(a) bên dưới. Một ống phun nhiên liệu amoniac được bố trí tại tâm béc đốt và vị trí phun nhiên liệu có thể điều chỉnh bằng cách tăng giảm chiều dài của ống phun. Qua đó, phân bố vận tốc dòng phun và phân bố nồng độ nhiên liệu amoniac qua béc đốt được đánh giá tại các vị trí 0 m, 0,4 m, 0,8 m, 1,0 m, và 1,2 m. Một số mô hình toán và phương pháp mô phỏng số được trình bày trong Bảng 1 bên dưới. Dựa trên một số giả định như: (1) dòng chảy lưu chất có đặc điểm của lưu chất Newton, (2) môi trường liên tục bỏ qua các hạt nhỏ, (3) giả định Boussinesq trong đó ứng suất rối được thể hiện qua độ nhớt rối, khi đó độ nhớt của dòng thay đổi do đặc tính chảy rối, (4) dòng rối đẳng hướng với các thành phần rối theo mọi hướng như nhau, (5) giả sử không truyền nhiệt và phản ứng hóa học, (6) tính chất vật liệu ổn định và là hằng số.

Bảng 1. Mô tả mô hình toán học sử dụng trong mô phỏng CFD

Phương trình	Mô tả toán học	PT số
Bảo toàn khối lượng	$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0$ Trong đó ρ là khối lượng riêng của dòng, u là vector vận tốc, và t là thời gian.	(T1)
Cân bằng động lượng (PT Navier-Stokes)	$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u u) = -\nabla p + \nabla \cdot (\tau + \tau_t) + \rho g$ trong đó τ là ứng suất nhớt của dòng, τ_t là ứng suất rối của dòng g là gia tốc trọng lực ($=9.81 \text{ m/s}^2$)	(T2)
Năng lượng dòng rối phát sinh (k)	$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho k u) = \nabla \cdot \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right) + P_k - \rho \epsilon$	(T3)
Tốc độ tiêu tán dòng rối (ϵ)	$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \epsilon u) = \nabla \cdot \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \nabla \epsilon \right) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} P_k - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k}$ Trong đó $\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}$ là độ nhớt rối, P_k là nguồn sản xuất rối, và các hằng số là $C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3,$ $C_{1\epsilon} = \max\left(0.43, \frac{\eta}{5+\eta}\right),$ trong đó $\eta = \frac{Sk}{\epsilon}, C_{2\epsilon} = 1.9$	(T4)
Phương trình vận chuyển chất của các cấu tử	$\frac{\partial(\rho Y_i)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u Y_i) = \nabla \cdot \left(\left(\rho D_i + \frac{\mu_t}{Sc_t} \right) \nabla Y_i \right) + S_i$ Trong đó Y_i là thành phần khối lượng của chất $i,$ D_i là hệ số khuếch tán phân tử, Sc_t là số Schmidt rối (~ 0.7), và S_i là nguồn vật chất.	(T5)

Buồng đốt được mô phỏng bằng phương pháp thể tích hữu hạn với số lượng thể tích vi phân dạng đa giác (polyhedral) là 2,5 triệu phân tử. Trong đó, các vị trí có vận tốc cao được tách ra thành nhiều phân tử thể tích vi phân hơn nhằm nâng cao độ chính xác của mô phỏng CFD.



Hình 1. Cấu trúc của buồng đốt sử dụng trong mô phỏng trên phần mềm STAR CCM+ (a) sơ đồ mặt cắt, (b) mô hình 3D béc đốt và thông số buồng lửa, c) cấu trúc lưới

2.2. Điều kiện biên

Bảng 2 thể hiện các điều kiện vận hành trong nghiên cứu này. Công suất buồng lửa được thiết kế trong mô phỏng này là 15 MW nhiệt [17], với lưu lượng nhiên liệu than cấp là 286,8 kg/giờ. Đường kính buồng lửa được thiết kế là 10m, tổng chiều dài buồng lửa là 30m. Lưu lượng không khí sơ cấp là 8320,547 m³/giờ. Lưu lượng không khí thứ cấp trong và ngoài lần lượt là 2936,664 m³/giờ và 13214,987 m³/giờ. Tỷ lệ nhiên liệu amoniac đồng đốt được thiết lập là 10% (dựa vào công suất nhiệt đầu vào), tương ứng với lưu lượng amoniac nạp là 286,8 kg/giờ. Tỷ lệ amoniac đốt kèm được tính dựa vào nhiệt trị nhiên liệu và công suất nhiệt của buồng lửa, thể hiện ở công thức (1).

$$\beta (\%) = \frac{Q_N}{Q_{C+N}} \times 100 \quad (1)$$

Trong đó:

Q_N : Công suất nhiệt đầu vào của nhiên liệu amoniac, kW_{th}

Q_{C+N} : Tổng công suất nhiệt đồng đốt đầu vào nhiên liệu than và amoniac, kW_{th}

Bảng 2: Các điều kiện vận hành trong nghiên cứu

Các điều kiện vận hành	Đơn vị	Giá trị
Công suất buồng đốt	MW	15
Tỉ lệ NH ₃ (theo công suất nhiệt)	%	10
Lưu lượng NH ₃	kg/h	286,8
Lưu lượng than, kích thước hạt than < 100 μm	kg/h	2068,7
Lưu lượng không khí sơ cấp	m ³ /h	8320,547
Lưu lượng không khí thứ cấp trong	m ³ /h	2936,664
Lưu lượng không khí thứ cấp ngoài	m ³ /h	13214,987
Nhiệt trị thấp của than [17]	MJ/kg	23,49
Nhiệt trị thấp của NH ₃	MJ/kg	18,8

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của vị trí phun nhiên liệu đến đặc tính phân bố vận tốc dòng phun qua béc đốt xoáy

Ống phun nhiên liệu amoniac được bố trí tại tâm béc đốt và vị trí phun nhiên liệu có thể điều chỉnh bằng cách tăng giảm chiều dài của ống phun. Đặc tính dòng phun amoniac qua béc đốt được đánh giá tại các vị trí 0 m, 0,4 m, 0,8 m, 1,0 m, và 1,2 m. Khí động học của mỏ đốt xoáy được đặc trưng bởi độ xoáy S (không thứ nguyên), được thể hiện qua công thức (2).

$$S = \frac{G_\varphi}{RG_x} \quad (2)$$

Trong đó: G_φ là thông lượng mô-men động lượng theo hướng trục, kg.m²/s², G_x là thông lượng mô-men động lượng tuyến tính theo trục, kg/s², R là bán kính tại vị trí thoát ra của mỏ đốt, m.

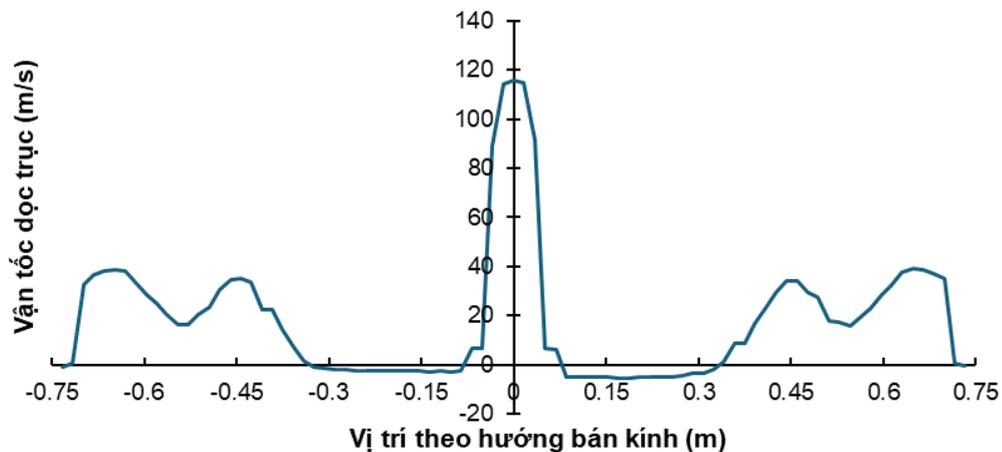
Tùy thuộc vào nhiên liệu đốt, đặc tính dòng có độ xoáy thấp sẽ ở một giá trị giới hạn, không xuất hiện dòng hồi lưu. Khi độ xoáy đạt đến giới hạn dưới, hình thành vùng hồi lưu trong dòng khí. Vùng hồi lưu này có tác dụng như khi có vật hãm ngọn lửa, khí nóng vận chuyển ngược dòng và có tác dụng ổn định ngọn lửa [18], [19]. Hình 2 thể hiện đặc tính dòng phun than và nhiên liệu amoniac qua béc đốt xoáy. Hình 3 trình bày giá trị chuẩn số xoáy của dòng phun nhiên liệu amoniac qua béc đốt. Kết quả chỉ ra, giá trị chuẩn số xoáy cao nhất (0,28) tại vị trí ống phun 0,2m. Khi tăng vị trí ống phun, chuẩn số xoáy có xu hướng giảm, nhưng không đáng kể, từ 0,28 (vị trí 0,2m) xuống 0,27 (tại vị trí 1,2m).



Hình 2. Phân bố vận tốc dòng phun và chuẩn số xoáy của dòng phun

Khoảng cách vị trí phun NH ₃ (m)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
Phân bố vận tốc (m/s)						
Chuẩn số xoáy	0,280	0,276	0,275	0,277	0,277	0,270

Hình 3. Phân bố vận tốc dòng phun và chuẩn số xoáy của dòng phun nhiên liệu amoniac

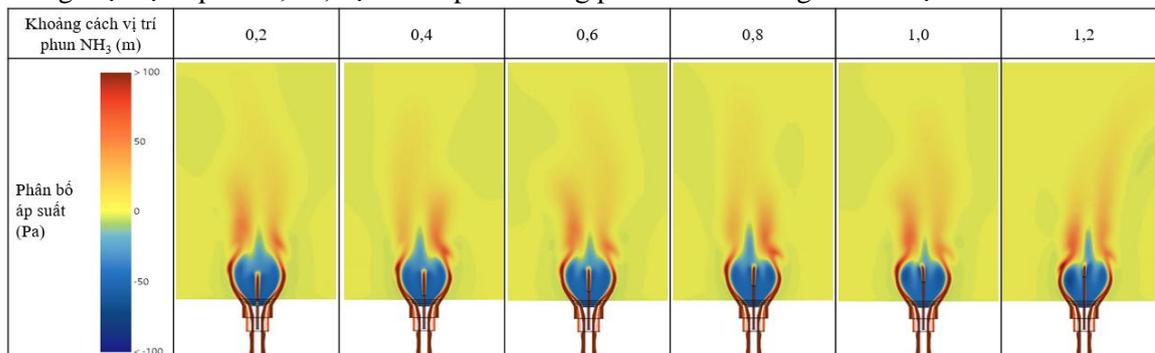


Hình 4. Vận tốc dọc trục qua béc phun tại các vị trí phun khác nhau

Vị trí ống phun nhiên liệu amoniac ảnh hưởng đáng kể đến phân bố vận tốc và nồng độ amoniac bên trong buồng lửa. Hình 4 cho thấy kết quả vận tốc dọc trục theo hướng bán kính béc đốt, vận tốc dọc trục cao nhất tại tâm của dòng phun. Vùng vận tốc dọc trục âm, chỉ ra rằng có xuất hiện dòng hướng ngược lại. Kết quả trong Hình 3 cũng cho thấy, tại vị trí vòi phun 0,8 m, bắt đầu xuất hiện vùng hồi lưu trung tâm, giá trị chuẩn số xoáy tại vị trí phun này đạt 0,277. Chuẩn số xoáy không thay đổi đáng kể khi thay đổi vị trí phun NH₃. Tuy nhiên, tại vị trí phun 1,0m, vùng xoáy hồi lưu trung tâm xuất hiện ổn định.

3.2. Ảnh hưởng của vị trí phun đến đặc tính phân bố áp suất trong béc đốt

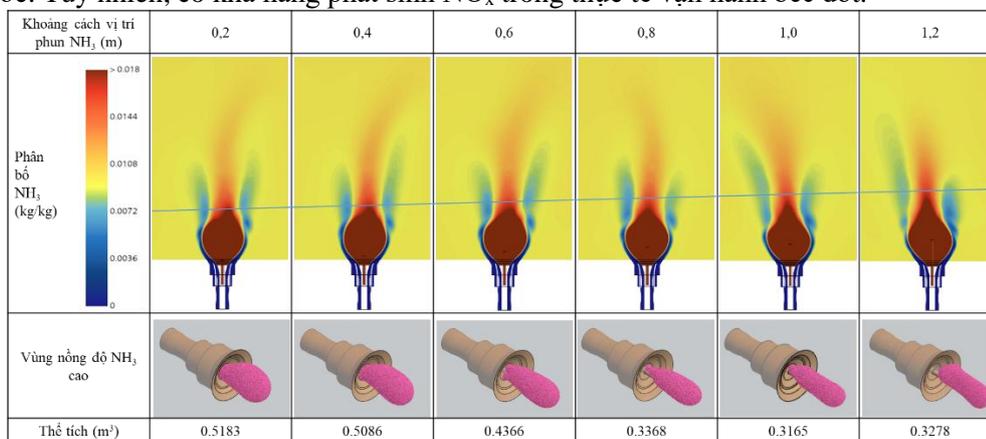
Dựa theo biểu đồ vận tốc dọc trục (Hình 4), dòng khí phun ra khỏi béc đốt bắt đầu có hình thành vùng hồi lưu trung tâm tại vị trí phun 0,8m. Hình 5 cho thấy kết quả phân bố áp suất không thay đổi đáng kể khi thay đổi vị trí phun NH₃. Vùng xoáy hồi lưu trung tâm có áp suất âm, điều này giúp duy trì nhiên liệu cháy kiệt bên trong. Tại vị trí phun 1,2m, đặc tính áp suất dòng phun có xu hướng mất ổn định.



Hình 5. Phân bố áp suất qua béc phun tại các vị trí phun khác nhau

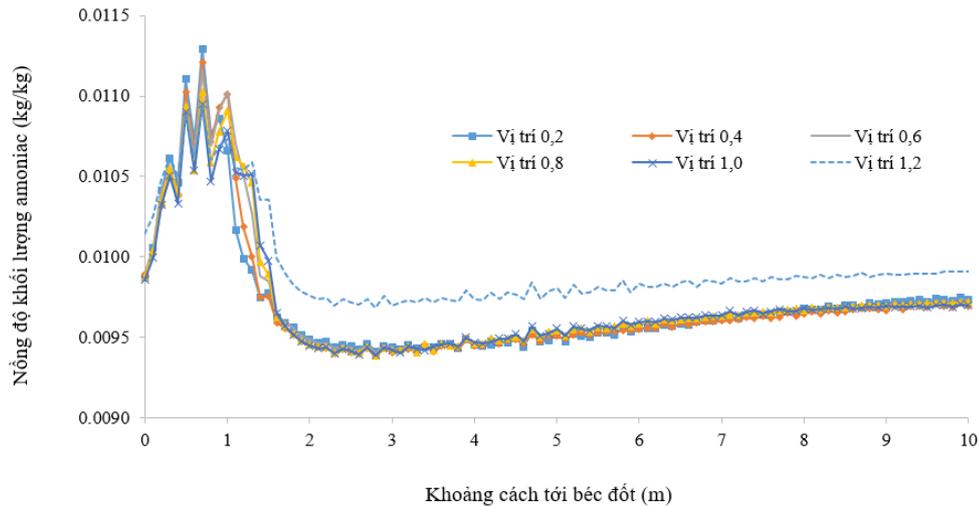
3.3. Ảnh hưởng của vị trí phun đến đặc tính phân bố nồng độ amoniac trong béc đốt

Ổng phun nhiên liệu amoniac được bố trí tại tâm béc đốt và vị trí phun nhiên liệu có thể điều chỉnh bằng cách tăng giảm chiều dài của ống phun. Phân bố vận tốc dòng phun và phân bố nồng độ nhiên liệu amoniac qua béc đốt được đánh giá tại các vị trí 0 m, 0,4 m, 0,8 m, 1,0 m, và 1,2 m. Kết quả mô phỏng được thể hiện trong Hình 6, cho thấy thay đổi chiều dài của ống phun nhiên liệu amoniac qua béc đốt có ảnh hưởng đáng kể đến đặc tính phân bố dòng phun, điều này dẫn đến hiệu quả cháy trong buồng lửa cũng bị ảnh hưởng. Thể tích vùng có nồng độ NH₃ cao giảm dần khi tăng khoảng cách vị trí phun NH₃ so với mỏ đốt, điều này góp phần tăng hiệu suất cháy bên trong buồng lửa. Khi tăng khoảng cách vị trí phun NH₃ so với mỏ đốt nhằm hạn chế nhiên liệu amoniac ở vùng có nồng độ oxy cao, nguyên nhân do vùng gần mỏ đốt sẽ đốt than trước. Tuy nhiên, có khả năng phát sinh NO_x trong thực tế vận hành béc đốt.



Hình 6. Phân bố nồng độ nhiên liệu amoniac qua béc phun tại các vị trí phun khác nhau

Hình 7 tổng hợp nồng độ khối lượng NH₃ với các vị trí phun NH₃ khác nhau. Mặc dù chuẩn số xoáy giảm dần với khoảng cách vị trí phun NH₃ tăng lên nhưng khi khảo sát vùng có nồng độ NH₃ cao thì xuất hiện thể tích nhỏ nhất tại vị trí 1,0 m.



Hình 7. Thể tích vùng nồng độ NH_3 bên trong buồng đốt với các khoảng cách vị trí phun NH_3 khác nhau

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, đặc tính dòng phun và phân bố nồng độ nhiên liệu amoniac khi đồng đốt trong béc đốt xoáy được khảo sát, sử dụng công cụ mô phỏng CFD, dùng phần mềm STAR-CCM+. Tỷ lệ nhiên liệu amoniac đồng đốt là 10% (dựa vào công suất nhiệt). Một béc đốt xoáy đồng đốt đồng thời amoniac và than được đề xuất. Ống phun amoniac được bố trí tại tâm béc đốt. Ảnh hưởng của vị trí ống phun được đánh giá qua thay đổi từ 0 m, 0,4 m, 0,8 m, 1,0 m, và 1,2 m. Kết quả cho thấy, vị trí ống phun nhiên liệu amoniac ảnh hưởng đáng kể đến đặc tính dòng phun và nồng độ amoniac bên trong buồng lửa. Tại vị trí vòi phun 0,8 m, bắt đầu xuất hiện vùng hồi lưu trung tâm, giá trị chuẩn số xoáy tại vị trí phun này đạt 0,277. Chuẩn số xoáy không thay đổi đáng kể khi thay đổi vị trí phun NH_3 . Tuy nhiên, tại vị trí phun 1,0m, vùng xoáy hồi lưu trung tâm xuất hiện ổn định, kết quả khảo sát thể tích amoniac ra khỏi béc đốt cũng cho thấy giá trị đạt thấp nhất ($0,3165 \text{ m}^3$) tại vị trí này. Kết quả chỉ ra cho thấy khi điều chỉnh vị trí vòi phun từ vị trí 1,0m này có thể tạo được điều kiện cháy ổn định. Tuy nhiên, giá trị của chuẩn số xoáy có thể thay đổi trong điều kiện có phản ứng, vì vậy cần đánh giá trong nghiên cứu tiếp theo.

Để ngọn lửa ổn định hơn, có thể tăng góc xoáy cho béc đốt. Thể tích vùng có nồng độ NH_3 cao giảm dần khi tăng khoảng cách vị trí phun NH_3 so với mỏ đốt, điều này góp phần tăng hiệu suất cháy bên trong buồng lửa. Đồng thời, khi tăng khoảng cách vị trí phun NH_3 so với mỏ đốt nhằm hạn chế nhiên liệu amoniac ở vùng có nồng độ oxy cao. Kết quả nghiên cứu là cơ sở công nghệ tham khảo cho thiết kế và vận hành các béc đốt nhiên liệu than đồng đốt với nhiên liệu amoniac trong công nghiệp.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh đã tài trợ cho nghiên cứu này qua đề tài cấp trường, mã số 24.1NL01, hợp đồng đề tài số 1383/QĐ-ĐHCN.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S.J. Kim, S.J. Park, S.H. Jo, H.K. Lee, S.J. Yoon, J.H. Moon, H.W. Ra, S.M. Yoon, J.G. Lee, and T.Y. Mun. Effects of ammonia co-firing ratios and injection positions in the coal–ammonia co-firing process in a circulating fluidized bed combustion test rig. *Energy* 2023;282:128953.
- [2] IEA. Global Energy Review: CO₂ Emissions in 2021 Global emissions rebound sharply to highest ever level 2022:1–14.
- [3] Ishihara S, Zhang J, Ito T. Numerical calculation with detailed chemistry of effect of ammonia co-firing on NO emissions in a coal-fired boiler. *Fuel* 2020;266:116924.
- [4] Wang X, Fan W, Chen J, Feng G, Zhang X. Experimental study on effects of air-staged strategy and NH₃ co-firing ratios on NO formation characteristics in ammonia / coal co-firing process. *Fuel* 2023;332:126217.
- [5] Zhang J, Ito T, Ishii H, Ishihara S, Fujimori T. Numerical investigation on ammonia co-firing in a pulverized coal combustion facility: Effect of ammonia co-firing ratio. *Fuel* 2020;267:117166.

- [6] Cardoso JS, Silva V, Chavando JAM, Eusébio D, Hall MJ. Numerical modelling of the coal phase-out through ammonia and biomass co-firing in a pilot-scale fluidized bed reactor. *Fuel Commun* 2022;10:100055.
- [7] Nagatani G, Ishii H, Ito T, Ohno E, Okuma Yoshitomo. Development of Co-Firing Method of Pulverized Coal and Ammonia to Reduce Greenhouse Gas Emissions. *IHI Eng Rev* 2020;53:1–10.
- [8] Yamashita T, Amari T, Urakata Y, Sumida T. Development of Ammonia Co-firing Technology for Coal-fired Boilers toward Decarbonized Society. *Mitsubishi Heavy Ind Tech Rev* 2020;59:2–7.
- [9] Trần Hoàng Anh, Trương An Hà, Ngô Thị Tố Nhiên. Chuyển dịch nhiệt điện than tại Việt Nam trong bối cảnh biến đổi khí hậu. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam*, 2022.
- [10] Tạ Anh Tuấn. Đánh giá các loại than sử dụng cho Nhà máy nhiệt điện, Tập đoàn điện lực Việt Nam, 2019.
- [11] Do TN, Burke PJ. Phasing out coal power in a developing country context: Insights from Vietnam. *Energy Policy* 2023;176:113512.
- [12] Government of Vietnam, Prime Minister’s Decision 896/QĐ/TTg Dated 26 July 2022 on National Strategy on Climate Change Hà Nội (2022).
- [13] Thủ tướng Chính phủ, Quyết định số 500/QĐ-TTg, Phê duyệt Quy hoạch phát triển điện lực quốc gia thời kỳ 2021 – 2030, tầm nhìn đến năm 2050, 15/05/2023.
- [14] Nguyễn Tiến Sáng, Lê Đức Dũng, Bùi Quốc Khánh, Nguyễn Hữu Linh. Mô phỏng số buồng đốt lò hơi than phun của NMNĐ Duyên Hải 1 khi đốt than á – Bitum trộn với Anthraxit nhằm nâng cao hiệu suất chấ. *Tạp chí Năng lượng Nhiệt* 2020:20–5.
- [15] Đỗ Văn Vang, Đoàn Thị Như Quỳnh. Ứng dụng mô phỏng số nghiên cứu quá trình cháy than trong lò hơi nhà máy nhiệt điện. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ* 2021;1:38–42.
- [16] An Ha Truong, Hoang Anh Tran MH-D. Phân tích chi phí – lợi ích của đồng đốt sinh khối với than: Trường hợp nhà máy nhiệt điện Ninh Bình. Vietnam Energy Association. *Biomass Development & Go Green*. 2016.
- [17] Ma L, Li K, Fang Q, Chen G, Zhang C. A novel swirl burner with coal co-firing ammonia: Effect of extension length of the dual-channel ammonia pipe on combustion and NOx formation. *Int J Hydrogen Energy* 2024;78:344–52.
- [18] Toufik B. Introductory Chapter: Swirling Flows and Flames. Intech, 11, 2019.
- [19] Farisco F, Castellanos L, Woisetschläger J, Sanz W. Numerical steady and transient evaluation of a confined swirl stabilized burner. *Int J Turbomachinery, Propuls Power* 2021;6.

NUMERICAL STUDY ON THE CO-INJECTION CHARACTERISTICS OF COAL AND AMMONIA IN A SWIRL BURNER

NGUYEN HOANG KHOI^{1*}, NGUYEN TIEN ANH², TRAN VAN BAY², PHAM HAI HUNG²,
NGUYEN THI TAM THANH¹, NGUYEN MINH CUONG¹, NGO ICH SON^{2,3*}

¹ Faculty of Heat and Refrigeration Engineering, Industrial University of Ho Chi Minh City

² CFDWAYS Engineering Limited Liability Company

³ Center of Sustainable Process Engineering (CoSPE), Department of Chemical Engineering, Hankyong National University, Gyeonggi-do, Anseong-si, Jungang-ro 327, 17579 Republic of Korea

*Corresponding author: ngoichson@hknu.ac.kr, nguyenhoangkhoi@iuh.edu.vn

Abstract. Co-firing NH₃ with coal is a promising solution for reducing CO₂ emissions, although it remains relatively new technology in Vietnam. This study employs CFD simulation using STAR-CCM+ software to perform the spray characteristics and NH₃ concentration distribution in a swirl burner, with a co-firing ratio of 10% NH₃, based on thermal input. The ammonia injection tube length was adjusted at five positions of 0 m, 0.4 m, 0.8 m, 1.0 m, and 1.2 m. Results show that the injector position significantly affects flow behaviors and NH₃ concentration. At 0.8 m, a central recirculation zone (CRZ) begins to form with a swirl number of 0.277. At 1.0 m, the CRZ becomes stable, and the lowest NH₃ concentration (0.3165 m³) is observed, indicating favorable conditions for stable combustion. Increasing the injector length reduces the volume of high NH₃ concentration regions, thereby improving combustion efficiency and limiting NH₃ presence in high-oxygen zones. These findings provide valuable technical insights for the design and operation of burners in coal–ammonia co-firing systems.

Keywords: Ammonia, coal co-firing, thermal power plants, numerical simulation, CFD, CO₂

Ngày nhận bài: 06/5/2025
Ngày nhận đăng: 01/07/2025