

NEU
HUMG

2025

ISBN: 978-604-76-3277-0



9 786047 632770

SÁCH KHÔNG BÁN

Quản lý, khai thác và sử dụng hiệu quả bền vững Tài nguyên trong nền kinh tế hội nhập

HỘI THẢO KHOA HỌC QUỐC GIA



TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT ĐẠI HỌC KINH TẾ QUỐC DÂN

HỘI THẢO KHOA HỌC QUỐC GIA

Quản lý, khai thác và sử dụng hiệu quả bền vững
Tài nguyên trong nền kinh tế hội nhập

LẦN THỨ 2

2025



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI



TUYỂN TẬP HỘI THẢO KHOA HỌC QUỐC GIA

QUẢN LÝ, KHAI THÁC VÀ SỬ DỤNG HIỆU QUẢ BỀN VỮNG
TÀI NGUYÊN THIÊN NHIÊN TRONG NỀN KINH TẾ HỘI NHẬP
LẦN THỨ 2

Hà Nội, 12/2025

NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI



TUYỂN TẬP HỘI THẢO KHOA HỌC QUỐC GIA
QUẢN LÝ, KHAI THÁC VÀ SỬ DỤNG HIỆU QUẢ BỀN VỮNG
TÀI NGUYÊN THIÊN NHIÊN TRONG NỀN KINH TẾ HỘI NHẬP – LẦN THỨ 2



BAN KHOA HỌC

1. GS.TS Trần Thanh Hải, HUMG
2. PGS.TS Nguyễn Thế Vinh, HUMG
3. PGS.TS Lê Quang Duyên, HUMG
4. PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, HUMG
5. PGS.TS Ngô Thị Phương Thảo, NEU
6. TS. Nguyễn Thị Lan Anh, NEU
7. PGS.TS Lê Minh Thông, HUMG
8. PGS.TS Đỗ Văn Bình, HUMG
9. PGS.TS Lê Đức Tình, HUMG
10. PGS.TS Lê Ngọc Ánh, HUMG
11. TS. Tô Xuân Bản, HUMG

BAN BIÊN TẬP

1. PGS.TS Tống Thị Thanh Hương, HUMG
2. TS Nguyễn Khắc Long, HUMG
3. TS Nguyễn Tiến Hưng, HUMG
4. PGS.TS Nguyễn Anh Tuấn, HUMG
5. PGS.TS Nguyễn Văn Thịnh, HUMG
6. PGS.TS Lê Ngọc Ánh, HUMG
7. TS. Công Ngọc Thắng, HUMG
8. TS. Trần Danh Hùng, HUMG
9. TS. Nguyễn Tiến Hùng, HUMG
10. TS. Nguyễn Thanh Lâm, NEU
11. TS. Nguyễn Trần Tuấn, NEU
12. TS. Nguyễn Thị Lan Anh, NEU
13. TS. Phan Thị Hồng, HUMG
14. TS. Phạm Trung Kiên, HUMG
15. ThS. Nguyễn Văn Thành, HUMG
16. ThS. Trương Văn Từ, HUMG
17. ThS. Nguyễn Duy Mười, HUMG
18. ThS. Bùi Thị Ngân, HUMG
19. ThS. Nguyễn Thanh Tuấn, HUMG



TUYỂN TẬP HỘI THẢO KHOA HỌC QUỐC GIA
QUẢN LÝ, KHAI THÁC VÀ SỬ DỤNG HIỆU QUẢ BỀN VỮNG
TÀI NGUYÊN THIÊN NHIÊN TRONG NỀN KINH TẾ HỘI NHẬP – LẦN THỨ 2



Mục lục

The erosion and accretion at Day River mouth, Vietnam. <i>Ban Xuan To¹</i>	1
Mô hình hệ sinh thái số hóa toàn diện cho ngành than Việt Nam – Từ sản xuất đến tiêu thụ, <i>Nguyen Duc Thang^{1,*}, Nguyen Thi Huong¹</i>	15
Tối ưu hóa nứt vỉa thủy lực cho giếng khí-condensate trong điều kiện áp suất cao nhiệt độ cao (HPHT), <i>Trương Văn Từ^{1,*}, Nguyễn Khắc Long¹</i>	23
Ứng dụng công nghệ số vào việc nghiên cứu và sản xuất năng lượng xanh và năng lượng tái tạo, <i>Nguyễn Thị Hải Yến¹</i>	31
Tác động của năng lượng xanh và chuyển đổi số đến năng lực cạnh tranh quốc gia: Phân tích dữ liệu bảng giai đoạn 2010 – 2024, <i>Nghiêm Xuân Khoát¹, Dang Thị Minh Hien²</i>	37
Phát triển du lịch địa chất tại các công viên địa chất toàn cầu ở Việt Nam: Thực trạng và giải pháp, <i>Lê Minh Thống^{1,*}</i>	46
Chuyển đổi số trong quản lý và giám sát hoạt động khoáng sản bằng công nghệ WebGis, áp dụng cho tỉnh Lai Châu, <i>Trương Xuân Bình^{1,*}, Phạm An Cường¹, Nguyễn Thị Hải Yến¹, Phạm Văn Đồng¹</i>	52
Phân vùng triển vọng dầu khí theo phương pháp gradient chuẩn hóa toàn phần tài liệu trọng lực khu vực biển Đông Nam Việt Nam, <i>Trần Tuấn Dương^{1,2,*}, Nguyễn Phương Nam¹</i>	60
Hiệu quả của phương pháp địa vật lý lỗ khoan trong đánh giá, thăm dò quặng urani vùng trũng Nông Sơn, phục vụ phát triển điện hạt nhân ở Việt Nam, <i>Nguyễn Văn Tuyên^{1,*}, Lê Khánh Phôn², Trần Danh Hùng³</i>	72
Công nghệ BESS trong hệ thống năng lượng tái tạo: đánh giá tổng quan về kinh tế, kỹ thuật và một số bài học kinh nghiệm từ thế giới, <i>Lê Xuân Thành^{1,*}</i>	82
Quản lý nguồn tài nguyên đất xây dựng và nước dưới đất phục vụ phát triển công trình ngầm đô thị Hà Nội, <i>Nguyễn Thị Nụ^{1,*}, Bùi Trường Sơn¹</i>	91
Tài nguyên và phát triển bền vững: Vai trò của chính sách công trong nền kinh tế thị trường định hướng xã hội chủ nghĩa, <i>Võ Thị Hồng Hạnh^{1,*}</i>	99
Tổng quan về sự tham gia của cộng đồng trong thực hiện Hiệp định đối tác tự nguyện Việt Nam – Liên minh Châu Âu về thực thi Luật lâm nghiệp, quản trị rừng và thương mại lâm sản, <i>Nguyễn Thị Thu Giang¹, Ngô Thị Phương Thảo², Nguyễn Hữu Dũng²</i>	105
Giải pháp kiểm soát bụi trong khai thác khoáng sản tại Việt Nam – Hiện trạng, thách thức và hướng phát triển bền vững, <i>Nguyễn Văn Thành^{1,*}, Nguyễn Trần Tuấn¹, Doãn Thị Trâm¹, Tô Hữu Toàn¹, Lê Văn Nam¹</i>	114
Công nghệ đốt rác phát điện (WTE) ở Việt Nam : Thực trạng, thách thức và bài học kinh nghiệm từ khu vực và thế giới, <i>Lê Xuân Thành¹</i>	120
Nội hàm và cấu trúc của tài nguyên dữ liệu tài nguyên: Nền tảng cho chuyển dịch tư duy trong khai thác và quản lý tài nguyên, <i>Nguyễn Văn Hải^{1,*}</i>	131
Năng lượng tái tạo cho phát triển kinh tế và xu hướng chuyển dịch năng lượng ở Việt Nam, <i>Nguyễn Văn Thịnh^{1,*}, Lê Đức Vinh¹</i>	140
Năng lượng xanh trong chiến lược phát triển bền vững: Từ xu thế quốc tế đến thực tiễn Việt Nam, <i>Trình Quốc Hưng^{1,*}</i>	149
Nghiên cứu nâng cao độ tin cậy của thiết bị hoàn thiện giếng khí tại mỏ Thiên Ứng thông qua thiết kế ống khai thác và lựa chọn vật liệu tích hợp, <i>Lê Đức Vinh¹, Trương Văn Từ^{1,*}, Nguyễn Khắc Long¹</i>	153
Nghiên cứu giải pháp tháo nước, tháo khí Mêtan trong các mỏ than hầm lò vùng Quảng Ninh nhằm đảm bảo an toàn lao động và môi trường sinh thái, <i>Nguyễn Trần Tuấn^{1,*}</i>	160
Chuyển đổi số trong quản lý tài nguyên tại Việt Nam, <i>Trần Đăng Khoa^{1,*}</i>	167
Kinh tế số và chuyển đổi số trong quản trị tài nguyên: Mô hình tác động đến hiệu quả sử dụng tài nguyên công, <i>Nghiêm Xuân Khoát[*]</i>	175



TUYỂN TẬP HỘI THẢO KHOA HỌC QUỐC GIA
QUẢN LÝ, KHAI THÁC VÀ SỬ DỤNG HIỆU QUẢ BỀN VỮNG
TÀI NGUYÊN THIÊN NHIÊN TRONG NỀN KINH TẾ HỘI NHẬP – LẦN THỨ 2



Quản lý và sử dụng hợp lý Puzolan Đắc Nông phục vụ xây dựng công trình, <i>Bùi Trường Sơn^{1,*}, Vũ Bá Thao²</i>	186
Tích hợp các yếu tố môi trường, xã hội và quản trị - ESG trong quản lý toà nhà trên thế giới và bài học cho Việt Nam, <i>Nguyễn Thị Tùng Phương^{1,*}, Mai Công Quyền²</i>	191
Kinh nghiệm phát triển thị trường bất động sản gắn với thúc đẩy phát triển kinh tế bền vững: trường hợp Úc và Hàn Quốc, <i>Nguyễn Thị Lan Anh^{1,*}, Dương Văn Bảy¹, Nguyễn Thị Hồng Vân¹</i>	200
Thích ứng với Thẻ Vàng IUU của Liên minh châu Âu: Sinh kế hộ gia đình thủy sản và chiến lược ứng phó của Hàn Quốc và Philippines, <i>Nguyễn Thị Lan Anh^{1,*}, Mai Công Quyền²</i>	205
Tổng quan về chính sách liên quan đến tích tụ, tập trung đất nông nghiệp tại Việt Nam, <i>Trần Mai Hương^{1,*}, Nguyễn Thắng Trung¹</i>	209
Hợp tác năng lượng Việt nam – Nga: động thái biến đổi và lựa chọn chiến lược, <i>Ngô Thị Phương Thảo^{1,*}</i>	219
Tích tụ và tập trung đất cho sản xuất nông nghiệp bền vững ở vùng Đồng bằng sông Hồng, <i>Trần Mai Hương^{1,*}</i>	227
Ảnh hưởng của diễn biến giá dầu thô quốc tế và các yếu tố nội sinh của thị trường dầu thô Việt Nam, <i>Nguyễn Duy Khánh^{1,*}, Lê Thị Lan Anh¹, Đỗ Đức Anh¹, Phan Thị Quỳnh Anh¹, Nguyễn Ngọc Linh¹</i>	237
Các yếu tố tác động đến ý định mua nông sản của người tiêu dùng thông qua livestream tại Việt Nam, <i>Đỗ Thanh An¹, Nghiêm Bá Khánh Linh¹, Nguyễn Thị Minh Ngọc¹, Phạm Mai Hương^{1,*}</i>	245
Chính sách giá điện năng lượng tái tạo: bối cảnh hiện tại và đề xuất cho Việt Nam, <i>Nguyễn Như Trang^{1,*}, Đặng Phi Trường², Hoàng Mạnh Hùng³</i>	255
Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến hành vi tham gia bảo vệ rừng của cộng đồng dân cư tại phường Tô Hiệu, tỉnh Sơn La, <i>Phương Lê Ngọc Linh^{1,*}</i>	262
Tâm lý trong hoạt động đầu tư bất động sản của nhà đầu tư cá nhân tại Việt Nam, <i>Hoàng Thị Thúy Quỳnh^{1,*}, Bùi Phương Linh¹, Trịnh Phương Uyên¹, Triệu Thu Trang¹, Phạm Nguyễn Mai Anh¹</i>	268
Chuyển dịch cơ cấu kinh tế tỉnh Bình Dương theo hướng tăng trưởng xanh – thực trạng và giải pháp, <i>Võ Thị Hòa Loan^{1,*}</i>	275
Công nghệ đốt kèm amoniac trong các nhà máy điện than: Hiện trạng, thách thức và triển vọng giảm phát thải CO ₂ , <i>Lê Quang Duyên^{1,*}, Nguyễn Văn Thành¹, Nguyễn Quốc Nam²</i>	281
Wood - Based Phase Change Materials: A Sustainable Solution for Energy Efficiency and Resource Management, <i>Le Duc Tho¹, Nguyen Thi Thanh Bao², Tran Ngoc Tuan¹, Nguyen Khac Long¹, Nguyen Van Thanh¹, Truong Van Tu¹, Le Quang Duyen¹, Tong Thi Thanh Huong^{1,*}</i>	290



Công nghệ đốt kèm amoniac trong các nhà máy điện than: Hiện trạng, thách thức và triển vọng giảm phát thải CO₂

Lê Quang Duyên^{1*}, Nguyễn Văn Thành¹, Nguyễn Quốc Nam²

¹ Trường Đại học Mỏ - Địa chất

² Tổng công ty thăm dò khai thác dầu khí PVEP

Tóm tắt

Trong bối cảnh các quốc gia trên thế giới cam kết giảm phát thải khí nhà kính và hướng tới mục tiêu trung hòa carbon, ngành điện than – hiện vẫn chiếm tỷ trọng lớn trong cơ cấu cung cấp điện toàn cầu – đang chịu áp lực lớn trong việc cắt giảm phát thải CO₂. Công nghệ đốt kèm amoniac (NH₃ co-firing) trong các nhà máy điện than nổi lên như một giải pháp chuyển tiếp tiềm năng, cho phép giảm phát thải CO₂ đáng kể mà không cần loại bỏ hoàn toàn hạ tầng điện than hiện hữu. Amoniac, với vai trò là một nhiên liệu không chứa carbon và có khả năng lưu trữ – vận chuyển thuận lợi, được xem là vật mang hydro hiệu quả trong hệ thống năng lượng tương lai.

Bài báo này tổng quan một cách có hệ thống các nghiên cứu và kết quả thực nghiệm liên quan đến công nghệ đốt kèm amoniac trong các lò hơi đốt than. Trước hết, các đặc tính nhiệt – hóa của amoniac có ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình cháy, bao gồm nhiệt trị thấp, nhiệt độ tự bốc cháy cao và tốc độ cháy chậm, được phân tích nhằm làm rõ những thách thức khi áp dụng trong môi trường lò hơi truyền thống. Tiếp theo, bài báo trình bày các cấu hình đốt kèm amoniac khác nhau, từ phun trực tiếp vào buồng đốt, sử dụng burner riêng cho NH₃, đến các chiến lược đốt phân tầng, cùng với ảnh hưởng của tỷ lệ đốt kèm đến hiệu suất lò hơi và độ ổn định ngọn lửa.

Các đặc điểm phát thải cũng được phân tích chi tiết, trong đó nhấn mạnh sự gia tăng tiềm tàng của NO_x, N₂O và hiện tượng NH₃ slip, cũng như vai trò của các công nghệ kiểm soát khí thải như burner low-NO_x, SCR và SNCR. Bên cạnh đó, bài báo tổng hợp các đánh giá kinh tế – kỹ thuật, so sánh chi phí và hiệu quả giảm phát thải của đốt kèm amoniac với các giải pháp khác như CCS hoặc chuyển đổi nhiên liệu hoàn toàn.

Cuối cùng, các dự án trình diễn tiêu biểu tại Nhật Bản, Hàn Quốc và châu Âu được xem xét nhằm rút ra bài học kinh nghiệm, xác định các thách thức còn tồn tại và khoảng trống nghiên cứu. Bài báo kết luận rằng đốt kèm amoniac có tiềm năng trở thành một giải pháp quan trọng trong lộ trình giảm phát thải của điện than, đặc biệt đối với các quốc gia đang phát triển, đồng thời đề xuất các hướng nghiên cứu và triển khai trong tương lai, trong đó có khu vực Đông Nam Á và Việt Nam.

Từ khóa: Nhiệt điện, Than ; Amoniac

1. Đặt vấn đề

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu và yêu cầu cắt giảm phát thải khí nhà kính ngày càng trở nên cấp bách, ngành điện than – mặc dù đóng vai trò quan trọng trong đảm bảo an ninh năng lượng tại nhiều quốc gia – đang đối mặt với áp lực lớn về môi trường. Việc thay thế hoàn toàn điện than trong ngắn hạn gặp nhiều rào cản về kinh tế, kỹ thuật và an ninh cung ứng. Do đó, các giải pháp chuyển tiếp nhằm giảm phát thải CO₂ trong các nhà máy điện than hiện hữu được xem là hướng tiếp cận khả thi. Trong số đó, công nghệ đốt kèm amoniac (NH₃ co-firing) nổi lên như một giải pháp tiềm năng, cho phép giảm đáng kể phát thải CO₂ nhờ sử dụng nhiên liệu không chứa carbon mà không cần loại bỏ hoàn toàn hạ tầng hiện có.

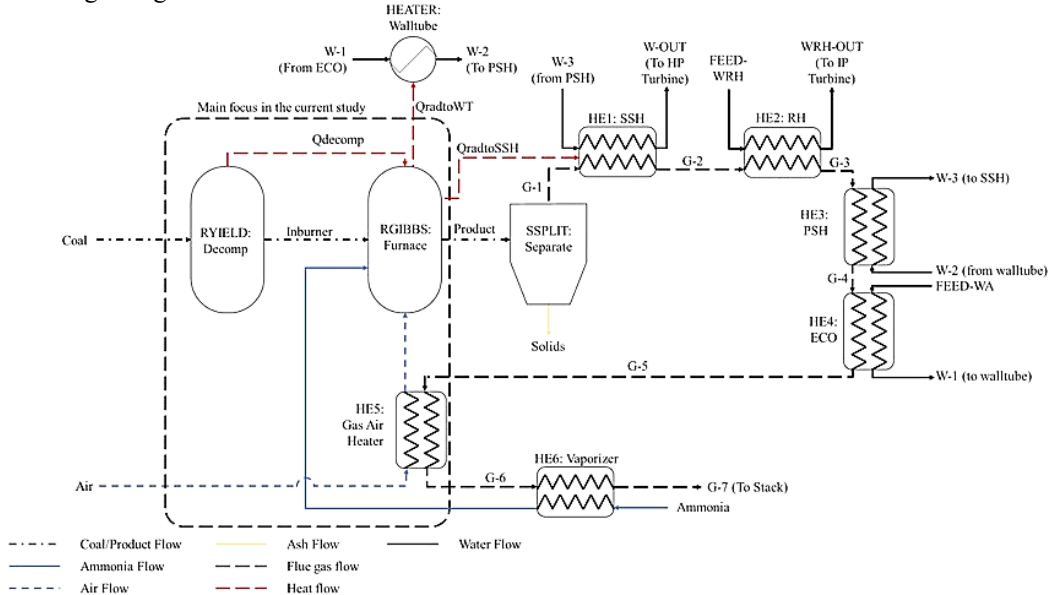
Tuy nhiên, việc áp dụng công nghệ đốt kèm amoniac vẫn tồn tại nhiều vấn đề khoa học và kỹ thuật chưa được giải quyết triệt để. Đặc tính cháy bất lợi của amoniac như nhiệt trị thấp, nhiệt độ tự bốc cháy cao và tốc độ phản ứng cháy chậm gây khó khăn cho việc ổn định ngọn lửa trong lò hơi đốt than. Bên cạnh đó, sự gia tăng phát thải NO_x, N₂O và hiện tượng NH₃ slip trong quá trình đốt kèm vẫn là thách thức lớn về môi trường. Ngoài ra, các nghiên cứu hiện nay còn phân tán, chủ yếu tập trung vào quy mô thí nghiệm hoặc trình diễn, thiếu các đánh giá tổng hợp về hiệu suất lò, tác động môi trường, chi phí cải hoán và khả năng triển khai trên quy mô công nghiệp, đặc biệt tại các quốc gia đang phát triển..

Trên cơ sở đó, nghiên cứu này đã tiến hành tổng hợp, phân tích có hệ thống các công trình khoa học, báo cáo kỹ thuật và kết quả trình diễn liên quan đến công nghệ đốt kèm amoniac trong nhà máy điện than. Các nội dung chính bao gồm: phân tích đặc tính nhiệt – hóa và động học cháy của amoniac; tổng quan các cấu hình đốt kèm và tỷ lệ phối trộn amoniac – than; đánh giá ảnh hưởng của amoniac đến hiệu suất lò hơi, độ ổn định cháy và đặc tính tro xỉ; tổng hợp các kết quả đo đạc phát thải và các biện pháp kiểm soát khí thải; đồng thời xem xét các phân tích kinh tế – kỹ thuật và chuỗi cung ứng amoniac.

* Tác giả liên hệ

Email: lequangduyen@humg.edu.vn

Kết quả nghiên cứu cho thấy đốt kèm amoniac có thể giúp giảm đáng kể phát thải CO₂ từ các nhà máy điện than, với mức giảm tỷ lệ thuận với tỷ lệ amoniac sử dụng. Các nghiên cứu và dự án trình diễn cho thấy việc đốt kèm ở mức 5–20% năng lượng là khả thi với những cải tiến kỹ thuật hạn chế, trong khi các tỷ lệ cao hơn đòi hỏi tối ưu hóa burner và hệ thống kiểm soát khí thải. Đồng thời, nghiên cứu cũng chỉ ra rằng kiểm soát NO_x và NH₃ slip là yếu tố then chốt quyết định tính bền vững của công nghệ. Những kết quả này khẳng định tiềm năng của đốt kèm amoniac như một giải pháp chuyển tiếp quan trọng trong lộ trình giảm phát thải của điện than, đồng thời làm rõ các hướng nghiên cứu và triển khai cần tiếp tục được ưu tiên trong thời gian tới.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống đốt kèm than với Amoniac

2. Các tính chất vật lý và hóa học của amoniac liên quan đến quá trình đốt hỗn hợp

2.1. Tính chất nhiệt – hóa của NH₃

Amoniacc là hợp chất vô cơ đơn giản, gồm một nguyên tử nitơ và ba nguyên tử hydro, có liên kết N–H bền vững. Do không chứa nguyên tử carbon, quá trình cháy lý tưởng của NH₃ không sinh CO₂, sản phẩm cháy chủ yếu là N₂ và H₂O. Tuy nhiên, sự có mặt của nitơ trong phân tử NH₃ khiến quá trình cháy dễ phát sinh các hợp chất nitơ oxit (NO_x, N₂O). Về mặt nhiệt – hóa, NH₃ có:

- Nhiệt trị thấp hơn đáng kể so với nhiên liệu hydrocarbon,
- Nhiệt độ tự bốc cháy cao,
- Nhiệt độ ngọn lửa đoạn nhiệt thấp hơn,
- Phản ứng cháy phụ thuộc mạnh vào điều kiện nhiệt độ và tỷ lệ không khí dư.

Những đặc điểm này làm cho NH₃ khó cháy hơn, đặc biệt trong điều kiện đồng đốt với than trong lò hơi công nghiệp.

2.2. Đặc tính cháy của NH₃

2.2.1. Nhiệt trị thấp, nhiệt độ tự bốc cháy cao

Nhiệt trị thấp (LHV) của NH₃ vào khoảng 18,6 MJ/kg, chỉ bằng:

- ~50% so với than đá điển hình,
- ~40–45% so với khí tự nhiên,
- ~35% so với hydro (theo khối lượng).

Bên cạnh đó, nhiệt độ tự bốc cháy của NH₃ (~650 °C) cao hơn đáng kể so với than và khí tự nhiên.

Điều này dẫn đến:

- Yêu cầu nhiệt độ buồng đốt cao hơn để duy trì phản ứng cháy,
- Khó khăn trong giai đoạn khởi động và ổn định ngọn lửa,
- Phụ thuộc lớn vào nhiên liệu môi (than, dầu, hoặc hydro).

Trong hệ đồng đốt, than đóng vai trò quan trọng trong việc cung cấp nhiệt ban đầu và duy trì môi trường nhiệt độ cao cần thiết cho quá trình oxy hóa NH₃.

2.2.2. Tốc độ cháy thấp, khó bắt lửa

NH₃ có tốc độ lan truyền ngọn lửa (laminar flame speed) rất thấp, chỉ khoảng 0,07–0,1 m/s trong điều

kiện khí quyển, thấp hơn nhiều so với: Khí tự nhiên ($\sim 0,35\text{--}0,45\text{ m/s}$) và Hydro ($>2\text{ m/s}$). Hệ quả là:

- Ngọn lửa NH_3 kém ổn định,
- Dễ bị dập tắt khi có dao động dòng chảy,
- Yêu cầu thiết kế burner đặc biệt (tăng xoáy, cháy phân tầng).

Trong đồng đốt than – NH_3 , vùng cháy than có vai trò “neo ngọn lửa”, tạo điều kiện cho NH_3 cháy hoàn toàn hơn.

2.3. So sánh NH_3 với than, khí tự nhiên và hydro

So sánh cho thấy NH_3 có lợi thế lớn về phát thải carbon nhưng bất lợi rõ rệt về đặc tính cháy, đặc biệt khi so với hydro và khí tự nhiên.

Bảng 1. Đặc tính cháy của các thành phần trong lò đốt

Đặc tính	Than	Khí tự nhiên	Hydro	Amoniac
Hàm lượng C	Cao	Cao	Không	Không
Nhiệt trị thấp (MJ/kg)	20–30	~ 50	~ 120	$\sim 18,6$
Tốc độ cháy	Trung bình	Cao	Rất cao	Rất thấp
Nhiệt độ tự bốc cháy	Trung bình	Thấp	Thấp	Cao
Phát thải CO_2	Cao	Trung bình	0	0
Nguy cơ NO_x	Trung bình	Trung bình	Thấp	Cao

2.4. Động học phản ứng cháy của NH_3

Quá trình cháy của NH_3 diễn ra thông qua chuỗi phản ứng phức tạp, bao gồm các gốc trung gian như NH_2 , NH , N , H và O . Phản ứng phân hủy ban đầu của NH_3 : $\text{NH}_3 \rightarrow \text{NH}_2 + \text{H}$ là bước giới hạn tốc độ, đòi hỏi năng lượng kích hoạt cao.

Động học cháy của NH_3 :

- Nhạy cảm mạnh với nhiệt độ,
- Phụ thuộc lớn vào nồng độ các gốc OH và O ,
- Được tăng cường đáng kể khi đồng đốt với hydro hoặc nhiên liệu giàu hydro.

Trong hệ đồng đốt với than, các gốc tự do sinh ra từ quá trình oxy hóa chất bốc của than góp phần thúc đẩy chuỗi phản ứng cháy của NH_3 .

2.5. Hình thành NO_x và N_2O trong quá trình đốt NH_3

Khác với nhiên liệu hydrocarbon, NH_3 là nguồn nitơ nhiên liệu (fuel-N), do đó cơ chế hình thành NO_x chủ yếu là fuel- NO_x , thay vì thermal- NO_x .

Các con đường chính gồm:

- Oxy hóa các gốc NH , NH_2 tạo NO ,
- Phản ứng cạnh tranh tạo N_2 (mong muốn),
- Hình thành N_2O ở vùng nhiệt độ trung bình ($800\text{--}1100\text{ }^\circ\text{C}$).

Hàm lượng NO_x phát thải phụ thuộc mạnh vào:

- Nhiệt độ ngọn lửa,
- Tỷ lệ không khí dư,
- Mức độ cháy phân tầng.

Các chiến lược kiểm soát bao gồm:

- Cháy phân cấp (staged combustion),
- Low- NO_x burner,
- Kết hợp SCR/SNCR, trong đó NH_3 có thể đồng thời đóng vai trò nhiên liệu và tác nhân khử.

3. Các khái niệm và cấu hình đốt hỗn hợp trong lò hơi đốt than

Đốt hỗn hợp được hiểu là quá trình đưa đồng thời hai hoặc nhiều loại nhiên liệu vào buồng đốt của lò hơi, trong đó than vẫn giữ vai trò nhiên liệu nền (base fuel), còn nhiên liệu thứ cấp được bổ sung theo tỷ lệ xác định (theo khối lượng, thể tích hoặc năng lượng).

Mục tiêu chính của đốt hỗn hợp bao gồm:

- Giảm phát thải CO_2 và các chất ô nhiễm,
- Duy trì hoặc nâng cao hiệu suất lò hơi,
- Tận dụng thiết bị hiện hữu, hạn chế đầu tư mới,
- Tăng tính linh hoạt vận hành và an ninh năng lượng.

Trong bối cảnh chuyển dịch năng lượng, đốt hỗn hợp được xem là giải pháp “cầu nối” giữa nhiệt điện than truyền thống và các hệ thống phát điện carbon thấp.

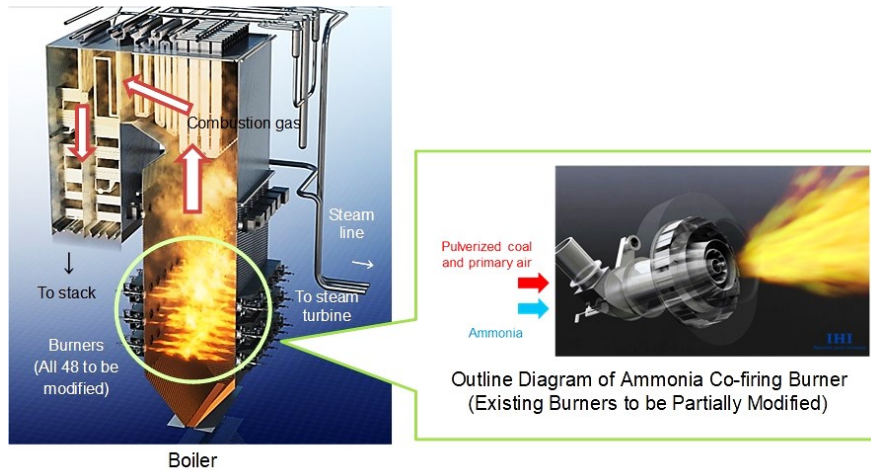
3.1. Đốt hỗn hợp đồng cấp liệu (Direct co-firing)

Trong cấu hình này, nhiên liệu thứ cấp được trộn trực tiếp với than trước khi cấp vào lò hơi.
 Áp dụng chủ yếu với sinh khối rắn nghiền mịn,
 Ít thay đổi kết cấu lò hơi,
 Chi phí đầu tư thấp,
 Hạn chế về tỷ lệ nhiên liệu thay thế (thường <10–15% năng lượng).
 Cấu hình này không phù hợp với NH_3 hoặc H_2 do khác biệt trạng thái và đặc tính cháy.

3.2. Đốt hỗn hợp qua burner riêng (Indirect / Separate burner co-firing)

Nhiên liệu thứ cấp được cấp vào buồng đốt thông qua burner độc lập, tách biệt với hệ cấp than.

- Phù hợp với NH_3 , khí tự nhiên và hydro,
- Dễ kiểm soát tỷ lệ nhiên liệu,
- Tăng độ ổn định ngọn lửa,
- Cho phép nâng tỷ lệ đồng đốt lên 20–50% năng lượng.



Hình 2. Sơ đồ tổng thể của lò hơi và các đầu đốt (burner) được cải tiến

Đây là cấu hình phổ biến nhất trong các nghiên cứu và dự án trình diễn đốt than – NH_3 .

3.3. Đốt hỗn hợp phân vùng trong buồng đốt (Staged co-firing)

Trong cấu hình này, nhiên liệu được cấp vào các vùng cháy khác nhau theo chiều cao lò hơi:

- Vùng đáy: than + một phần nhiên liệu môi,
- Vùng trung gian: NH_3 hoặc khí thứ cấp,
- Vùng trên: cấp không khí hoàn thiện

cháy.

Ưu điểm:

- Kiểm soát NO_x hiệu quả,
- Tối ưu phân bố nhiệt,
- Giảm NH_3 slip.

Cấu hình này thường kết hợp với low- NO_x burner và over-fire air (OFA).

3.4. Đốt hỗn hợp kết hợp tiền xử lý nhiên liệu

Bao gồm các phương án:

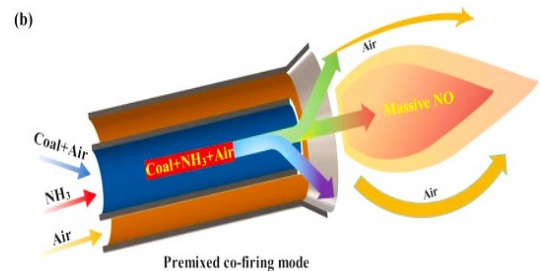
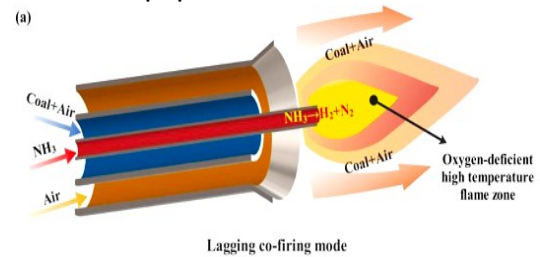
- Cracking $\text{NH}_3 \rightarrow \text{H}_2 + \text{N}_2$ trước khi đốt,
- Khí hóa sinh khối/than rồi đồng đốt khí tổng hợp,

Cấu hình này sẽ

- Nâng cao tính ổn định ngọn lửa,
- Giảm NO_x và NH_3 slip,
- Tăng chi phí đầu tư và độ phức tạp.

Đặc tính đốt cháy và hiệu suất lò hơi

Việc bổ sung amoniac vào quá trình đốt than làm thay đổi đáng kể đặc tính cháy, phân bố nhiệt và hiệu suất tổng thể của lò hơi. Những thay đổi này xuất phát từ các đặc tính nhiệt–hóa và động học cháy đặc thù của NH_3 , đồng thời phụ thuộc mạnh vào cấu hình burner, tỷ lệ đồng đốt và chế độ vận hành.



Hình 3. Sơ đồ trộn khí trước khi đốt

4. Đặc tính đốt cháy và hiệu suất lò hơi khi đồng đốt NH_3 -than

4.1. Ảnh hưởng của NH_3 đến ổn định ngọn lửa

NH_3 là nhiên liệu có tốc độ cháy thấp và khả năng bắt lửa kém, do đó việc đưa NH_3 vào buồng đốt than có xu hướng làm suy giảm độ ổn định của ngọn lửa, đặc biệt tại vùng đầu burner.

Các quan sát chính cho thấy:

- Ở tỷ lệ NH_3 thấp (<10–15% theo năng lượng), ngọn lửa than vẫn chiếm ưu thế, đóng vai trò môi cháy và neo ngọn lửa; ảnh hưởng đến ổn định cháy là không đáng kể.
- Khi tỷ lệ NH_3 tăng lên 20–30%, xuất hiện hiện tượng kéo dài ngọn lửa, dao động cục bộ và tăng nguy cơ tắt lửa ở tải thấp.
- Trên 40–50% NH_3 , nếu không có cải tiến burner (tăng swirl, staged combustion hoặc đồng đốt với H_2), ngọn lửa trở nên kém ổn định và khó duy trì ở chế độ vận hành linh hoạt.

Trong các thí nghiệm pilot và vận hành trình diễn, việc sử dụng burner riêng cho NH_3 và phân vùng cháy theo chiều cao lò đã chứng minh hiệu quả rõ rệt trong việc cải thiện ổn định ngọn lửa.

4.2. Ảnh hưởng đến nhiệt độ buồng đốt

Việc đồng đốt NH_3 làm thay đổi phân bố nhiệt độ trong buồng đốt do:

- Nhiệt trị thấp hơn của NH_3 ,
- Nhiệt độ ngọn lửa đoạn nhiệt của NH_3 thấp hơn so với than,
- Tốc độ phản ứng cháy chậm hơn.

Các kết quả thực nghiệm cho thấy:

- Nhiệt độ cực đại vùng burner có xu hướng giảm nhẹ (20–100 °C) khi tăng tỷ lệ NH_3 .
- Phân bố nhiệt trở nên đều hơn theo chiều cao buồng đốt, đặc biệt khi NH_3 được cấp ở các burner trung gian.
- Ở tỷ lệ NH_3 cao, vùng nhiệt độ cao dịch chuyển lên phía trên, làm thay đổi tải nhiệt lên các bề mặt truyền nhiệt.
- Sự suy giảm nhiệt độ cục bộ có thể ảnh hưởng đến:
 - Mức độ cháy kiệt của than,
 - Hiệu quả khử NO_x trong các vùng cháy phân tầng,
 - Điều kiện làm việc của dàn quá nhiệt và tái nhiệt.

4.3. Ảnh hưởng đến hiệu suất lò hơi

Hiệu suất lò hơi chịu tác động tổng hợp từ:

- Mức độ cháy hoàn toàn của nhiên liệu,
- Phân bố nhiệt hợp lý trong buồng đốt,
- Tổn thất nhiệt do khí thải và cháy không hoàn toàn.

Kết quả so sánh cho thấy:

- Ở tỷ lệ $\text{NH}_3 \leq 20\%$, hiệu suất lò hơi gần như không thay đổi đáng kể so với chế độ đốt than thuần, nếu hệ thống burner được tối ưu.
- Ở tỷ lệ NH_3 30–50%, hiệu suất có thể giảm nhẹ (0,5–2%) do tăng tổn thất cháy không hoàn toàn và thay đổi phân bố nhiệt.
- Việc tối ưu hệ số không khí dư và bố trí OFA giúp hạn chế suy giảm hiệu suất.

Trong vận hành thực tế, nhiều nhà máy ghi nhận rằng hiệu suất lò có thể được duy trì nếu điều khiển cháy được hiệu chỉnh phù hợp với đặc tính của NH_3 .

4.4. Vấn đề cháy không hoàn toàn và NH_3 slip

Cháy không hoàn toàn của NH_3 dẫn đến hiện tượng NH_3 slip, tức NH_3 chưa phản ứng hoàn toàn thoát ra theo dòng khí thải.

Các nguyên nhân chính gồm:

- Nhiệt độ vùng cháy không đủ cao,
- Thời gian lưu khí ngắn,
- Phân bố không khí và nhiên liệu không đồng đều.

NH_3 slip gây ra nhiều hệ quả bất lợi:

- Phát thải mùi khó chịu,
- Hình thành muối amoni (NH_4HSO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) trên bề mặt trao đổi nhiệt,
- Gia tăng nguy cơ tắc nghẽn và ăn mòn ở các thiết bị phía sau lò (air preheater, SCR).

Các giải pháp kiểm soát đã được chứng minh hiệu quả bao gồm:

- Cháy phân tầng hợp lý,

- Duy trì nhiệt độ vùng NH_3 đủ cao,
- Phối hợp chặt chẽ giữa cấp NH_3 và hệ SCR/SNCR.

4.5. Ảnh hưởng đến tro, xỉ và ăn mòn thiết bị

Việc bổ sung NH_3 không làm tăng trực tiếp lượng tro do NH_3 không chứa khoáng. Tuy nhiên, các ảnh hưởng gián tiếp cần lưu ý:

Thay đổi nhiệt độ và môi trường oxy hóa–khử có thể ảnh hưởng đến đặc tính nóng chảy của tro than.

NH_3 slip kết hợp với SO_3 tạo muối amoni, gây đóng cặn và ăn mòn nhiệt độ thấp.

Sự hiện diện của hơi nước tăng lên có thể thúc đẩy ăn mòn một số hợp kim ở vùng nhiệt độ trung gian.

Trong các thử nghiệm pilot và vận hành thực tế, hiện tượng xỉ bám không tăng đáng kể ở tỷ lệ NH_3 thấp–trung bình, nhưng cần giám sát chặt chẽ khi nâng tỷ lệ đồng đốt.

4.6. So sánh kết quả thí nghiệm, pilot và vận hành thực tế

Bảng 2. So sánh kết quả thí nghiệm, pilot và vận hành thực tế

Cấp độ	Đặc điểm chính	Kết luận rút ra
Thí nghiệm (lab-scale)	Kiểm soát tốt điều kiện, dễ quan sát động học cháy	Xác định cơ chế cháy, NO_x , NH_3 slip
Pilot-scale	Mô phỏng gần thực tế, đánh giá burner	Xác nhận khả năng ổn định cháy đến ~30–50% NH_3
Vận hành thực tế	Điều kiện phức tạp, ràng buộc thiết bị	Khả thi thương mại ở tỷ lệ NH_3 trung bình, cần tối ưu điều khiển

5. Đặc điểm phát thải và tác động môi trường khi đồng đốt NH_3 –than

Việc đồng đốt amoniac với than trong lò hơi làm thay đổi đáng kể đặc tính phát thải so với chế độ đốt than truyền thống. Các thay đổi này không chỉ liên quan đến khí nhà kính mà còn ảnh hưởng đến chất lượng không khí cục bộ, hệ sinh thái và tuổi thọ thiết bị. Phần này phân tích có hệ thống các loại phát thải chính và tác động môi trường tương ứng.

5.1. Phát thải CO_2 và ý nghĩa giảm phát thải carbon

Do NH_3 không chứa carbon, việc thay thế một phần than bằng NH_3 dẫn đến giảm phát thải CO_2 gần như tuyến tính theo tỷ lệ năng lượng NH_3 trong hỗn hợp đốt. Các kết quả thí nghiệm và vận hành trình diễn cho thấy:

- Đồng đốt 10–20% NH_3 giúp giảm tương ứng 10–20% phát thải CO_2 tại ống khói.
- Ở mức 30–50% NH_3 , tiềm năng giảm CO_2 là rất đáng kể, đặc biệt với các tổ máy than công suất lớn.

Tuy nhiên, đánh giá môi trường đầy đủ cần xét đến phát thải vòng đời của NH_3 , trong đó NH_3 xanh (sản xuất từ điện tái tạo) mới thực sự mang lại lợi ích carbon ròng.

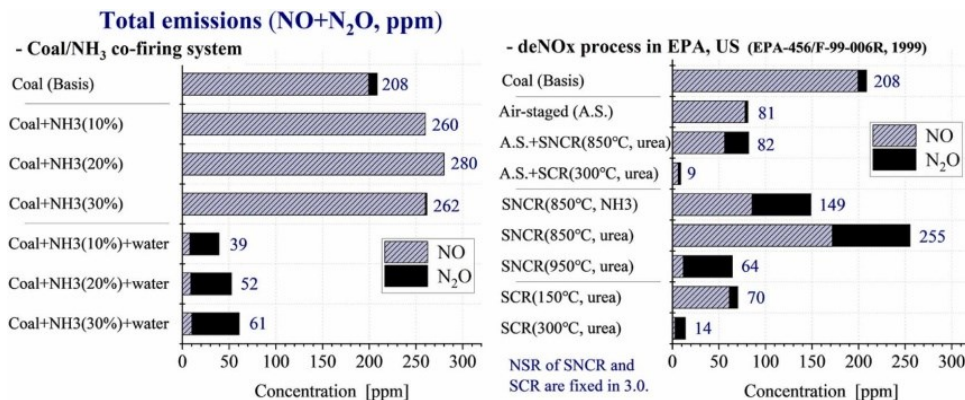
5.2. Phát thải NO_x và cơ chế hình thành

Khác với nhiên liệu hydrocarbon, NH_3 là nguồn nitơ nhiên liệu, do đó phát thải NO_x chủ yếu xuất phát từ cơ chế fuel- NO_x . Khi đồng đốt NH_3 –than:

- Ở nhiệt độ cao và dư oxy, các gốc NH , NH_2 dễ bị oxy hóa tạo NO .
- Ở vùng cháy phân tầng hoặc thiếu oxy, phản ứng cạnh tranh tạo N_2 có thể chiếm ưu thế.

Quan sát thực nghiệm cho thấy: NO_x có xu hướng tăng khi nâng tỷ lệ NH_3 nếu không có biện pháp kiểm soát.

Việc áp dụng low- NO_x burner, cháy phân tầng và over-fire air (OFA) giúp giảm đáng kể NO_x ngay trong buồng đốt.



Hình 4. Đặc điểm phát thải No_x trong đốt kèm NH_3

5.3. Phát thải N_2O – khí nhà kính tiềm ẩn

N_2O là khí nhà kính có tiềm năng làm nóng toàn cầu cao, có thể hình thành trong quá trình đốt NH_3 ở vùng nhiệt độ trung bình ($\approx 800\text{--}1100\text{ }^\circ\text{C}$).

Các đặc điểm đáng chú ý:

- Hàm lượng N_2O thường thấp trong lò hơi than phun do nhiệt độ cao,
- Có xu hướng tăng trong các cấu hình nhiệt độ thấp hoặc thời gian lưu dài,
- Tỷ lệ NH_3 cao làm gia tăng nguy cơ hình thành N_2O nếu phân bố nhiệt không hợp lý.

Việc kiểm soát nhiệt độ và tránh các vùng cháy “nguội” là yếu tố then chốt để hạn chế phát thải N_2O .

5.4. NH_3 slip và tác động môi trường thứ cấp

NH_3 slip là một trong những thách thức môi trường lớn nhất khi đốt NH_3 . NH_3 dư trong khí thải có thể:

- Gây mùi khó chịu, ảnh hưởng chất lượng không khí xung quanh nhà máy,
- Tham gia phản ứng tạo aerosol amoni ($PM_{2.5}$ thứ cấp) trong khí quyển,
- Kết hợp với SO_3 tạo muối amoni gây bám dính và ăn mòn thiết bị.

Trong các hệ thống có SCR/SNCR, NH_3 slip từ buồng đốt cần được kiểm soát chặt chẽ để tránh cộng hưởng NH_3 dư ở hạ lưu.

5.5. Phát thải SO_x , bụi và kim loại nặng

NH_3 không chứa lưu huỳnh và kim loại, do đó:

- Phát thải SO_2/SO_3 phụ thuộc chủ yếu vào hàm lượng S trong than,
- Tổng lượng tro bay không tăng do NH_3 không sinh tro.

Tuy nhiên, NH_3 slip có thể làm:

- Thay đổi tính chất bề mặt của hạt bụi,
- Ảnh hưởng đến hiệu suất thu bụi của ESP hoặc baghouse,
- Gia tăng nguy cơ đóng cặn ở bộ sấy không khí.

Bảng 3. Tác động môi trường tổng hợp và so sánh các cấp độ nghiên cứu

Khía cạnh	Thí nghiệm	Pilot	Vận hành thực tế
Giảm CO_2	Rõ ràng	Xác nhận	Phụ thuộc tỷ lệ NH_3
NO_x	Biến động lớn	Có thể kiểm soát	Cần SCR/SNCR
N_2O	Quan sát được	Thấp	Rất thấp (PC boiler)
NH_3 slip	Dễ phát sinh	Kiểm soát được	Yếu tố rủi ro chính
Tác động môi trường	Định tính	Bán định lượng	Đánh giá toàn diện

6. Kết quả và thảo luận

Các kết quả phân tích cho thấy đồng đốt NH_3 với than trong lò hơi là khả thi về mặt kỹ thuật và có tiềm năng giảm phát thải CO_2 rõ rệt, đặc biệt khi tận dụng hạ tầng nhiệt điện than hiện hữu. NH_3 , với đặc tính không chứa carbon, giúp giảm CO_2 theo tỷ lệ năng lượng thay thế; tuy nhiên, các đặc tính cháy bất lợi (nhiệt trị thấp, tốc độ cháy chậm, nhiệt độ tự bốc cháy cao) đòi hỏi thiết kế burner và chiến lược vận hành phù hợp.

Ở mức đồng đốt thấp–trung bình ($\leq 20\text{--}30\%$), ổn định ngọn lửa và hiệu suất lò hơi có thể được duy trì nếu áp dụng burner riêng, cháy phân tầng và điều khiển không khí tối ưu. Khi tăng tỷ lệ NH_3 , các thách thức nổi bật là NO_x , N_2O và NH_3 slip, cùng với thay đổi phân bố nhiệt và tải nhiệt lên bề mặt truyền nhiệt. Các biện pháp kỹ thuật như low- NO_x burner, OFA, SCR/SNCR cho thấy hiệu quả rõ rệt trong kiểm soát phát thải, song cần được tích hợp đồng bộ ngay từ khâu thiết kế – retrofit.

So sánh giữa thí nghiệm – pilot – vận hành thực tế cho thấy xu hướng nhất quán về mặt cơ chế, đồng thời khẳng định vai trò quyết định của thiết kế burner, phân vùng cháy và điều khiển vận hành trong việc hiện thực hóa lợi ích môi trường mà không đánh đổi hiệu suất và độ tin cậy.

Trong bối cảnh mục tiêu trung hòa carbon, NH_3 co-firing đóng vai trò giải pháp chuyển tiếp (bridging solution) quan trọng. Thay vì đóng cửa sớm các nhà máy than – gây rủi ro “tài sản mắc kẹt” và áp lực an ninh năng lượng – đồng đốt NH_3 cho phép giảm phát thải từng bước, linh hoạt theo khả năng cung ứng nhiên liệu và mức đầu tư.

NH_3 còn mang ý nghĩa liên kết các hệ năng lượng: từ sản xuất điện tái tạo (tạo NH_3 xanh), lưu trữ – vận chuyển năng lượng quy mô lớn, đến phát điện nền ổn định. Khi kết hợp với CCUS hoặc chuyển dần sang đốt NH_3/H_2 hàm lượng cao, các tổ máy than hiện hữu có thể được “tái định vị” trong hệ thống điện carbon thấp tương lai. Tuy nhiên, lợi ích môi trường ròng chỉ thực sự đạt được khi chuỗi cung ứng NH_3 xanh được triển khai ở quy mô thương mại.

Định hướng nghiên cứu và ứng dụng trong tương lai tại Việt Nam:

Việt Nam, với hệ thống nhiệt điện than chiếm tỷ trọng lớn trong sản lượng điện, đang đối mặt áp lực giảm phát thải carbon mà không làm suy giảm an ninh năng lượng. Đồng đốt amoniac – đặc biệt NH_3

xanh (sản xuất từ điện tái tạo) – có thể trở thành giải pháp chuyển tiếp quan trọng giúp giảm CO₂ từng bước. Trước hết, cần xác định lộ trình tỷ lệ đồng đốt phù hợp cho các tổ máy than hiện hữu tại Việt Nam. Các nghiên cứu và thí điểm nên bắt đầu với tỷ lệ NH₃ thấp–trung bình (10–30% theo năng lượng) để đảm bảo ổn định ngọn lửa, hiệu suất lò hơi và kiểm soát NO_x/NH₃ slip hiệu quả.

Kỹ thuật then chốt bao gồm thiết kế burner chuyên dụng, chiến lược cháy phân tầng (staged combustion) và hệ thống Kiểm soát NO_x tiên tiến (low-NO_x burner kết hợp OFA, SCR/SNCR). Đồng thời Việt Nam cần phát triển mô hình mô phỏng CFD đa quy mô phù hợp với điều kiện than bản địa để tối ưu hệ thống cháy và phân bố nhiệt. Một hướng nghiên cứu quan trọng khác là pha trộn NH₃–H₂ hoặc tiền xử lý NH₃ để nâng cao tính ổn định ngọn lửa và giảm NH₃ slip.

Về cơ sở hạ tầng, cần chuẩn bị chuỗi cung ứng NH₃ xanh trong nước, kết nối sản xuất NH₃ với các nguồn năng lượng tái tạo (gió, mặt trời) và lưu trữ vận chuyển an toàn. Chính sách và cơ chế khuyến khích - như tín chỉ carbon, thuế phát thải, hỗ trợ đầu tư retrofit — sẽ thúc đẩy triển khai công nghệ này. Hệ thống kiểm định an toàn, tiêu chuẩn kỹ thuật cho NH₃ trong lò hơi cũng cần được xây dựng.

Tóm lại, ở Việt Nam, NH₃ co-firing nên phát triển theo lộ trình có kiểm soát: nghiên cứu mô phỏng – thử nghiệm pilot – triển khai thương mại, song song với xây dựng nguồn NH₃ xanh và khung chính sách phù hợp, nhằm cân bằng giữa giảm phát thải, hiệu quả vận hành và an toàn năng lượng quốc gia.

Tài liệu tham khảo

- Valera-Medina, A., Xiao, H., Owen-Jones, M., David, W.I.F., Bowen, P.J. (2018). Ammonia for power. *Progress in Energy and Combustion Science*, 69, 63–102.
- Kobayashi, H., Hayakawa, A., Somarathne, K.D.K.A., Okafor, E.C. (2019). Science and technology of ammonia combustion. *Proceedings of the Combustion Institute*, 37(1), 109–133.
- Hayakawa, A., Goto, T., Mimoto, R., Kudo, T., Kobayashi, H. (2017). Laminar burning velocity and Markstein length of ammonia/air flames. *Fuel*, 199, 398–406.
- Okafor, E.C., Hayakawa, A., Somarathne, K.D.K.A., Kobayashi, H. (2018). Stability and mission characteristics of ammonia/air premixed flames. *Fuel*, 234, 100–112.
- Li, J., Huang, H., Kobayashi, N., He, Z., Nagai, Y. (2015). Study on combustion characteristics of ammonia. *Energy*, 93, 1422–1429.
- Somarathne, K.D.K.A., Hayakawa, A., Kobayashi, H. (2020). Numerical study of ammonia co-firing in coal-fired power plants. *Energy*, 199, 117447.
- Kurata, O., Iki, N., Matsunuma, T. (2015). Performances of ammonia–coal co-firing in a commercial boiler. *Fuel*, 159, 860–869.
- Glarborg, P., Miller, J.A., Ruscic, B., Klippenstein, S.J. (2018). Modeling nitrogen chemistry in combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*, 67, 31–68.
- Konnov, A.A. (2015). Detailed reaction mechanism for ammonia combustion. *Combustion and Flame*, 162(2), 375–387.
- Duynslaegher, C., Jeanmart, H., Vandooren, J. (2011). NO formation in ammonia flames. *Combustion and Flame*, 158(2), 261–274.
- Miller, J.A., Bowman, C.T. (1989). Mechanism and modeling of nitrogen chemistry in combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*, 15(4), 287–338.
- Lyon, R.K. (1975). Thermal DeNO_x process. *Chemical Engineering Progress*, 71, 61–65.
- Turns, S.R. (2012). An Introduction to Combustion: Concepts and Applications. *McGraw-Hill*.
- JERA Co., Inc. (2020–2023). Ammonia Co-firing Demonstration at Hekinan Thermal Power Station. *Technical Reports, Japan*.
- IHI Corporation (2021). Development of ammonia combustion technology for coal-fired boilers. *IHI Technical Review*.
- Mitsubishi Power (2022). Ammonia firing and co-firing technologies for decarbonizing thermal power. *Technical White Paper*.
- KEPCO – Doosan Heavy Industries (2021). Ammonia co-firing roadmap in South Korea. *Technical Report*.
- IEA (2021). Ammonia Technology Roadmap – Towards more sustainable nitrogen production. *International Energy Agency*.
- IEA (2022). The Role of Ammonia in Clean Energy Transitions.
- IRENA (2022). Innovation Outlook: Renewable Ammonia.
- World Energy Council (2021). Hydrogen and Ammonia in the Energy Transition.
- Zamfirescu, C., Dincer, I. (2009). Using ammonia as a sustainable fuel. *Journal of Power Sources*, 185(1), 459–465.
- Smith, C., Hill, A.K., Torrente-Murciano, L. (2020). Current and future role of Haber–Bosch ammonia in a carbon-free energy landscape. *Energy & Environmental Science*, 13, 331–344.

ABSTRACT

Ammonia Co-Firing Technology in Coal-Fired Power Plants: Current Status, Challenges, and CO₂ Emission Reduction Prospects

Lê Quang Duyên^{1,*}, Nguyễn Văn Thành¹ Nguyễn Quốc Nam².

¹ *Hanoi University of Mining and Geology*

² *Petrovietnam Exploration Production Corporation (PVEP)*

In the context of global commitments to reduce greenhouse gas emissions and achieve carbon neutrality, the coal-fired power sector—still accounting for a significant share of electricity generation worldwide—is facing increasing pressure to substantially cut CO₂ emissions. Ammonia co-firing (NH₃ co-firing) in coal-fired power plants has emerged as a promising transitional solution, enabling significant CO₂ emission reductions without the need to completely phase out existing coal power infrastructure. As a carbon-free fuel with favorable storage and transport characteristics, ammonia is also regarded as an effective hydrogen carrier in future energy systems.

This paper provides a systematic review of research activities and experimental results related to ammonia co-firing technology in coal-fired boilers. First, the thermochemical properties of ammonia that directly affect the combustion process—such as its low heating value, high auto-ignition temperature, and low flame speed—are analyzed to clarify the challenges associated with its application in conventional boiler environments. Subsequently, various ammonia co-firing configurations are presented, including direct injection into the combustion chamber, the use of dedicated NH₃ burners, and staged combustion strategies, together with an assessment of how the co-firing ratio influences boiler efficiency and flame stability.

Emission characteristics are examined in detail, with particular emphasis on the potential increase in NO_x and N₂O emissions and the issue of NH₃ slip, as well as the role of emission control technologies such as low-NO_x burners, selective catalytic reduction (SCR), and selective non-catalytic reduction (SNCR). In addition, the paper synthesizes techno-economic assessments, comparing the costs and emission reduction effectiveness of ammonia co-firing with alternative solutions such as carbon capture and storage (CCS) and full fuel switching.

Finally, representative demonstration projects in Japan, South Korea, and Europe are reviewed to draw lessons learned, identify remaining technical challenges, and highlight research gaps. The paper concludes that ammonia co-firing has the potential to become a key option in the decarbonization pathway of coal-fired power generation, particularly for developing countries, and proposes future research and deployment directions, including in Southeast Asia and Vietnam.

Keywords: Thermal Power, Coal; Ammonia