

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA HỖN HỢP NHIÊN LIỆU DIESEL-AMONIAC TỚI TÍNH NĂNG KỸ THUẬT VÀ PHÁT THẢI ĐỘNG CƠ DIESEL

SIMULATION STUDY TO ASSESS THE IMPACT OF DIESEL-AMMONIAC FUEL
MIXTURE ON DIESEL ENGINE PERFORMANCE AND EMISSIONS

Nguyễn Văn Ninh¹, Nguyễn Thị Hiền^{1,2,*}, Nguyễn Tường Vi³

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

²Trường Cao đẳng nghề Công nghiệp Hà Nội

³Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp (Hà Nội)

*Email: hiennt@hnivc.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu mô phỏng đánh giá ảnh hưởng của hỗn hợp nhiên liệu diesel-amoniac đến tính năng kỹ thuật và phát thải của động cơ khi chuyển đổi động cơ diesel sang sử dụng lưỡng nhiên liệu diesel/amoniac. Động cơ diesel ban đầu là động cơ D4BB với hệ thống nhiên liệu diesel điều khiển cơ khí sử dụng trên xe tải Hyundai 1,25 tấn. Nhiên liệu được sử dụng với các tỉ lệ amoniac khác nhau trong hỗn hợp theo thể tích gồm D0 (diesel), DA5 (95%diesel-5%amoniac), DA10 (90%diesel-10%amoniac), DA20 (80%diesel-20%amoniac) ở chế độ 100% tải. Động cơ nghiên cứu được mô phỏng bằng phần mềm AVL Boost và hiệu chuẩn mô hình qua kết quả thử nghiệm trên băng thử với nhiên liệu D0. Kết quả nghiên cứu cho thấy với DA5, DA10, DA20 thì mô men giảm trung bình tương ứng là 2,01%, 6,93% và 12,71%. Suất tiêu hao nhiên liệu tăng trung bình tương ứng là 2,12%, 7,07% và 13,42%, phát thải CO giảm trung bình tương ứng là 23,19%, 27,30% và 29,32%, phát thải NO_x giảm trung bình tương ứng là 12,89%, 9,95% và 6,44%, phát thải Soot giảm trung bình tương ứng là 6,17%, 12,90% và 14,78%.

Từ khóa: Nhiên liệu kép diesel/amoniac; AVL Boost; Phát thải.

ABSTRACT

This paper presents the results of a simulation study to evaluate the impact of diesel-ammonia fuel mixture on engine performance and emissions when converting a diesel engine to use diesel/ammonia dual fuel. The original diesel engine was a D4BB engine with a mechanically controlled diesel fuel system used on a 1.25-ton Hyundai truck. The fuel used was different ammonia ratios in the mixture by volume including D0 (diesel), DA5 (95% diesel-5% ammonia), DA10 (90% diesel-10% ammonia), DA20 (80% diesel-20% ammonia) at 100% load. The research engine was simulated using AVL Boost software and the model was calibrated through test results on a test bench with D0 fuel. The research results show that for DA5, DA10, DA20, the average torque reduction is 2.01%, 6.93% and 12.71% respectively. The average fuel consumption increase is 2.12%, 7.07% and 13.42% respectively, the average CO emission reduction is 23.19%, 27.30% and 29.32% respectively, the average NO_x emission reduction is 12.89%, 9.95% and 6.44% respectively, the average Soot emission reduction is 6.17%, 12.90% and 14.78% respectively.

Keywords: Dual fuel diesel/ammonia; AVL Boost; Emissions.

1. GIỚI THIỆU

Các nhiên liệu thay thế được ưu tiên nghiên cứu sử dụng là các loại nhiên liệu có trữ lượng lớn và có thể sử dụng dễ dàng cho các động cơ đang tồn tại mà không cần thay đổi nhiều về kết cấu, đồng thời có mức độ ô nhiễm khí thải thấp [1, 2].

Amoniac (NH_3) có những tính năng hấp dẫn bổ sung để sử dụng làm nguồn năng lượng thay thế. NH_3 được xem là một giải pháp khả thi nhất cho cuộc khủng hoảng năng lượng. Do bản chất không có carbon nên NH_3 không tạo thành CO_2 hoặc tạo muội than trong suốt quá trình chuyển đổi hóa học. NH_3 có thể được sản xuất từ các nguồn tái tạo bằng phương pháp điện phân hoặc tổng hợp trạng thái rắn [3].

Tuy nhiên, khi chuyển đổi từ nhiên liệu diesel đơn thuần sang nhiên liệu kép diesel/amoniac do tính chất của amoniac và diesel là tương đối khác nhau động cơ đòi hỏi phải có sự nghiên cứu về tỉ lệ amoniac trong hỗn hợp diesel - amoniac để đảm bảo tính năng kỹ thuật ổn định và hiệu quả [4]. Do đó, nhóm tác giả đi sâu nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của các tỉ lệ amoniac trong hỗn hợp diesel-amoniac đến tính năng kỹ thuật và phát thải của động cơ ở chế độ toàn tải khi chuyển đổi động cơ diesel sang sử dụng lượng nhiên liệu diesel/amoniac (sau đây gọi tắt là nhiên liệu DA), kết quả này làm tài liệu tham khảo cho những nghiên cứu tiếp theo.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

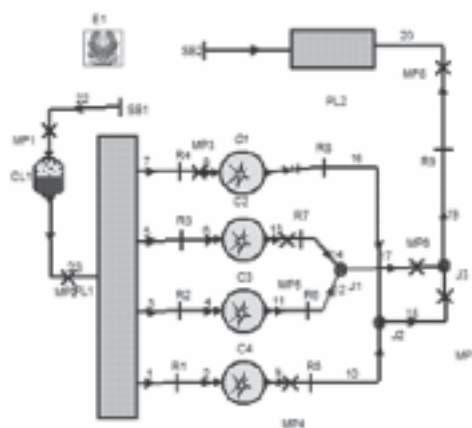
Nghiên cứu được thực hiện mô phỏng bằng phần mềm AVL-Boost trên động cơ D4BB có hệ thống nhiên liệu diesel điều khiển cơ khí truyền thống dùng loại bơm cao áp phân phối VE [5]. Mô phỏng với nhiên liệu diesel truyền

thống và hỗn hợp nhiên liệu diesel - amoniac. Nhóm tác giả thực hiện mô phỏng động cơ với các tỉ lệ amoniac chiếm 5%, 10%, 20% trong hỗn hợp nhiên liệu diesel-amoniac ở chế độ 100% tải. Sau khi có kết quả mô phỏng, tác giả phân tích công suất, mô men và nồng độ các thành phần phát thải của động cơ khi sử dụng lượng nhiên liệu diesel/amoniac nhằm làm rõ ảnh hưởng của tỉ lệ amoniac đến tính năng kỹ thuật và phát thải của động cơ lượng nhiên liệu diesel/amoniac. Đồng thời, nhóm tác giả đưa ra khuyến cáo về tỉ lệ amoniac phù hợp.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Xây dựng mô hình mô phỏng trên AVL-Boost

Dựa vào các thông số kỹ thuật của nhà sản xuất cũng như các thông số đo đạc trên thực tế, mô hình mô phỏng động cơ được xây dựng như thể hiện trên hình 1. Bằng phần mềm chuyên dùng mô phỏng động cơ đốt trong AVL-Boost [6].



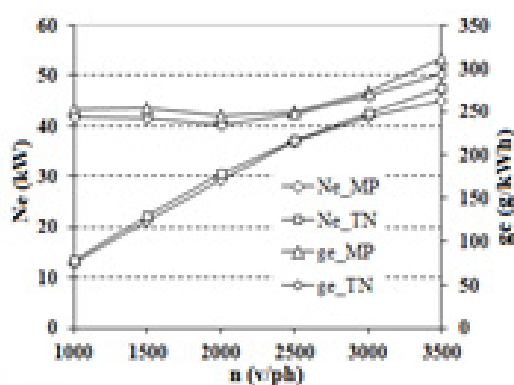
Hình 1. Mô hình động cơ D4BB trên AVL-Boost

3.2. Đánh giá độ tin cậy của mô hình

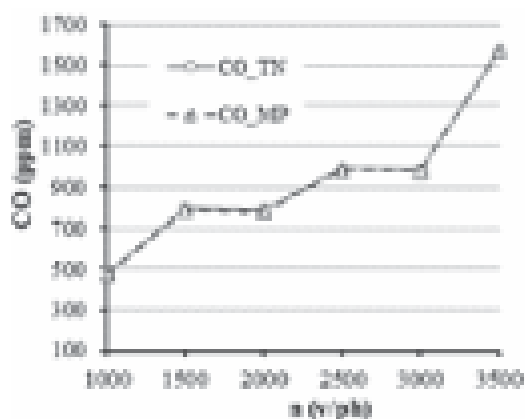
Để đảm bảo độ tin cậy của mô hình, động cơ diesel D4BB khi sử dụng diesel được

thử nghiệm trên băng thử. Kết quả thử nghiệm này được sử dụng để hiệu chuẩn mô hình động cơ. Sau khi mô hình động cơ được hiệu chuẩn, kết quả mô phỏng và thực nghiệm theo đường đặc tính ngoài động cơ được mang ra so sánh. Sai lệch trung bình giữa mô phỏng và thực nghiệm về công suất là 3,41%, suất tiêu hao nhiên liệu là 3,50% (Hình 2). Sai lệch giữa mô phỏng và thực nghiệm về phát thải CO, NO_x trung bình là 0,82%, 2,68% theo đường đặc tính ngoài (Hình 3 và 4).

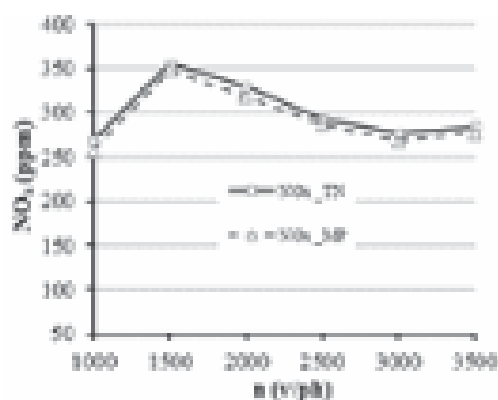
Kết quả này cho thấy sai lệch giữa mô phỏng và thực nghiệm <5%, mô hình đảm bảo độ tin cậy đáp ứng yêu cầu cho các nghiên cứu mô phỏng tiếp theo.



Hình 2. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm về công suất, suất tiêu thụ nhiên liệu



Hình 3. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm về phát thải CO



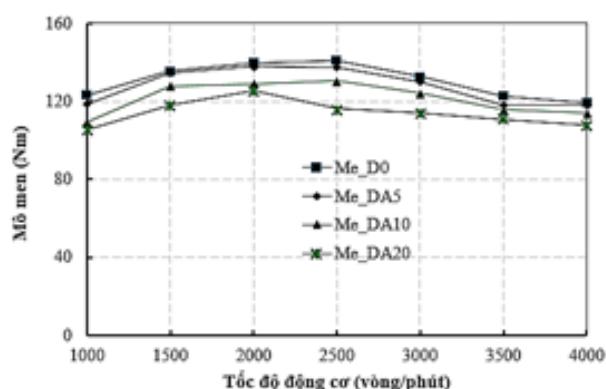
Hình 4. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm về phát thải NO_x

3.3. Ảnh hưởng của tỉ lệ amoniac tới tính năng kỹ thuật và phát thải của động cơ khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu diesel-amoniac

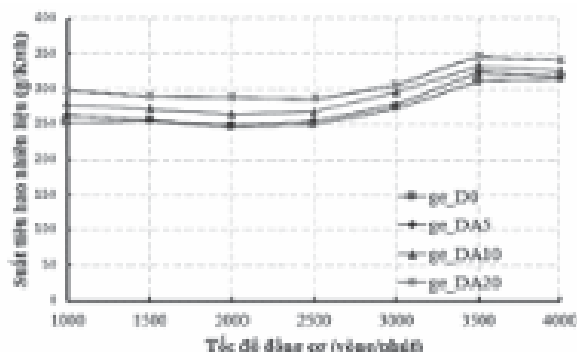
3.3.1. Kết quả tính toán mô phỏng tính năng kỹ thuật động cơ

Mômen của động cơ khi sử dụng nhiên liệu DA thay đổi như sau: Mômen động cơ lưỡng nhiên liệu DA với các tỉ lệ amoniac 5%, 10%, 20% giảm trung bình tương ứng là 2,01%, 6,93% và 12,71%. Qua đó, ta thấy càng tăng tỉ lệ amoniac thì mômen của động cơ càng giảm (Hình 5).

Amoniacc có nhiệt trị thấp hơn so với diesel, nó giải phóng ít năng lượng hơn khi đốt cháy. Điều này trực tiếp làm giảm công suất động cơ và do đó, giảm mômen. Ngoài ra, tốc độ cháy của amoniacc chậm hơn diesel, dẫn đến quá trình đốt cháy không hoàn toàn, đặc biệt là ở tốc độ động cơ cao. Điều này làm giảm hiệu suất động cơ và mômen.



Hình 5. Momen của động cơ khi sử dụng D0, DA5, DA10 và DA20



Hình 6. Suất tiêu thụ nhiên liệu khi sử dụng D0, DA5, DA10 và DA20

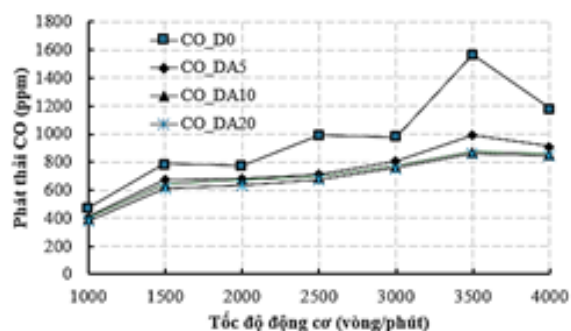
Suất tiêu hao nhiên liệu động cơ khi sử dụng nhiên liệu DA thay đổi như sau: Suất tiêu hao nhiên liệu động cơ lưỡng nhiên liệu DA với các tỉ lệ amoniac 5%, 10%, 20%, tăng trung bình tương ứng là 2,12%, 7,07% và 13,42%. Qua đó ta thấy, càng tăng tỉ lệ amoniac thì suất tiêu hao nhiên liệu động cơ càng tăng mạnh (Hình 6).

Ngoài những lý do làm giảm mômen, việc tăng tỉ lệ amoniac có thể làm thay đổi quá trình cháy trong buồng đốt, dẫn đến sự gia tăng tổn thất nhiệt hoặc giảm hiệu suất động cơ, từ đó làm tăng tiêu hao nhiên liệu.

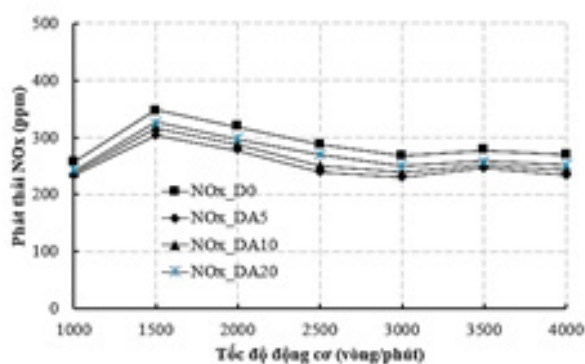
3.3.2. Kết quả tính toán mô phỏng phát thải động cơ

Kết quả tính toán phát thải CO khi sử dụng nhiên liệu DA thay đổi như sau: Phát thải CO của động cơ lưỡng nhiên liệu DA với các tỉ lệ amoniac 5%, 10%, 20% giảm trung bình tương ứng là 23,19%, 27,30% và 29,32%. Qua đó ta thấy, càng tăng tỉ lệ amoniac thì phát thải CO càng giảm mạnh (Hình 7).

Việc giảm phát thải CO là do khi tăng tỉ lệ amoniac trong hỗn hợp nhiên liệu diesel làm giảm lượng carbon vì amoniac không chứa carbon nên khi tăng tỉ lệ amoniac, lượng carbon từ diesel giảm. Hơn nữa, amoniac cải thiện trộn lẫn nhiên liệu, cháy hoàn chỉnh hơn, nên giảm CO trong phát thải.



Hình 7. Phát thải CO của động cơ khi sử dụng D0, DA5, DA10 và DA20

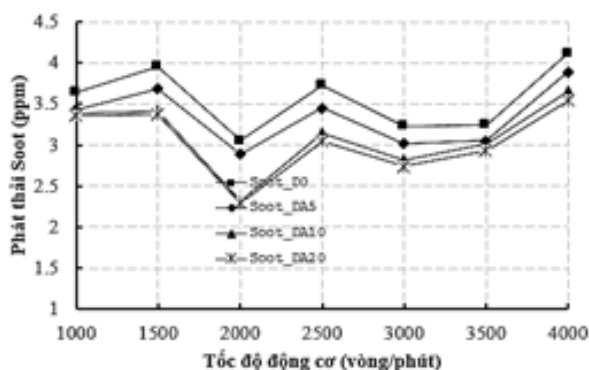


Hình 8. Phát thải NO_x của động cơ khi sử dụng D0, DA5, DA10 và DA20

Kết quả tính toán phát thải NO_x cho thấy khi sử dụng nhiên liệu DA thay đổi như sau: ➡

phát thải NO_x của động cơ lưỡng nhiên liệu DA với các tỉ lệ amoniac 5%, 10%, 20% giảm trung bình tương ứng là 12,89%, 9,95% và 6,44%. Qua đó ta thấy, càng tăng tỉ lệ amoniac NO_x vẫn giảm nhưng càng nhỏ theo tỉ lệ tăng amoniac (Hình 8).

Điều này có thể được giải thích bằng một số cơ chế. Amoniacc có khả năng làm giảm nhiệt độ buồng đốt do nhiệt dung riêng cao. Ngoài ra, amoniacc có thể tham gia vào các phản ứng hóa học khử NO_x , biến chúng thành nitơ (N_2) và nước (H_2O) ít độc hại hơn. Cuối cùng, sự thay đổi quá trình cháy do amoniacc cũng góp phần vào việc giảm phát thải NO_x . Tuy nhiên, cần lưu ý rằng hiệu quả giảm NO_x còn phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác như điều kiện vận hành động cơ và thiết kế buồng đốt.



Hình 9. Phát thải Soot của động cơ khi sử dụng D0, DA5, DA10 và DA20

Kết quả tính toán phát thải Soot khi sử dụng nhiên liệu DA thay đổi như sau: Phát thải Soot của động cơ lưỡng nhiên liệu DA với các tỉ lệ amoniacc 5%, 10%, 20% giảm trung bình tương ứng là 6,17%, 12,90% và 14,78%. Qua đó ta thấy, càng tăng tỉ lệ amoniacc thì phát thải Soot càng giảm (Hình 9).

Việc giảm phát thải soot là do khi tăng tỉ lệ amoniacc trong hỗn hợp nhiên liệu diesel làm giảm lượng carbon vì amoniacc không chứa

carbon nên khi tăng tỉ lệ amoniacc, lượng carbon từ diesel giảm, dẫn đến ít thành phần để tạo soot hơn. Hơn nữa, tăng cường tính oxy hóa do amoniacc có thể tạo ra các gốc tự do, giúp oxy hóa soot đã hình thành, giảm lượng soot phát thải.

3. KẾT LUẬN

Khi chuyển đổi động cơ diesel sang sử dụng lưỡng nhiên liệu diesel – amoniacc thì càng tăng tỉ lệ amoniacc, mômen động cơ và thành phần phát thải CO, Soot giảm theo tỉ lệ tăng amoniacc. Tuy nhiên, NO_x cũng giảm nhưng giảm càng nhỏ theo tỉ lệ tăng amoniacc, suất tiêu hao nhiên liệu tăng lên đáng kể.

Để đảm bảo mômen của động cơ giảm, tiêu hao nhiên liệu tăng không quá 5% mà vẫn cải thiện được các thành phần phát thải, nên chỉ thay thế 5% diesel bằng amoniacc. ❖

Ngày nhận bài: 20/3/2025

Ngày phản biện: 11/4/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Phạm Minh Tuấn (2008), “*Khí thải động cơ và ô nhiễm môi trường*”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [2]. Nguyễn Tường Vi, “*Ảnh hưởng của việc sử dụng LPG/diesel đến đặc tính phát thải của động cơ diesel*”. Tuyển tập Hội nghị Khoa học thường niên ĐHTL, 2020.
- [3]. Dimitriou P., Tsujimura T., “*A fully renewable and efficient backup power system with a hydrogen-biodiesel-fueled IC engine*”. Energy Procedia 2019;157:1305e19.
- [4]. Pavlos Dimitriou, Rahat Javaid, “*A review of ammonia as a compression ignition engine fuel*”. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Renewable Energy Research Center, 2-2-9.
- [5]. Nguyễn Tường Vi, Nguyễn Văn Ninh, “*Nghiên cứu mô phỏng lựa chọn góc phun sớm phù hợp khi chuyển đổi động cơ diesel sang sử dụng lưỡng nhiên liệu diesel/ethanol*”. Tạp chí Khoa học Công nghệ, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, tập 60, số 11, tháng 11/2024.
- [6]. AVL-List GmbH, Hans-List-Platz 1, A-8020 Graz (2009), “*BOOST v.2009 Users Guide & Theory*”. Austria.