

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA VIỆC BỔ SUNG NH₃ TỚI ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC VÀ PHÁT THẢI TRÊN ĐỘNG CƠ DIESEL

STUDY ON THE EFFECT OF THE ADDITION OF NH₃ ON THE PERFORMANCE AND EMISSIONS OF A DIESEL ENGINE

LÊ NGUYỄN QUỐC THÁI^{1,a}, TRỊNH XUÂN PHONG², HỒ HỮU CHÂN³

¹Trường Cao đẳng nghề Vĩnh Long,

²Trường Đại học Sư Phạm Kỹ thuật Nam Định,

³Trường Đại học Sư Phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

^a Tác giả liên hệ: thaioto2016@gmail.com

Nhận bài (Received): 11/02/2025; Phản biện (Reviewed): 05/3/2025; Chấp nhận (Accepted): 17/3/2025

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của tính năng kỹ thuật và diễn biến phát thải của động cơ diesel khi được bổ sung nhiên liệu NH₃. Phần mềm nghiên cứu là phần mềm AVL Boost. Động cơ nghiên cứu là động cơ diesel IVECO. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi bổ sung nhiên liệu NH₃ trên đường nạp thì tùy thuộc vào tỉ lệ khối lượng nhiên liệu diesel bị thay thế bởi NH₃ sẽ ảnh hưởng tới sự làm việc của động cơ. Tại tốc độ 1800 v/p chế độ công suất không đổi, phát thải soot giảm 81.25%, CO₂ giảm 59.1%. Tại tốc độ 1800 v/p chế độ công suất thay đổi, phát thải soot giảm 74.5%, CO₂ giảm 47.9%.

Từ khóa: NH₃, CO₂, soot, diễn biến phát thải, công suất, động cơ diesel.

ABSTRACT

This paper presents the results of the study on the effects of technical features and emission developments of diesel engines when supplemented with NH₃ fuel. The research software utilized is AVL Boost. The research engine is an IVECO diesel engine. The results of the study show that when adding NH₃ fuel on the intake line, depending on the proportion of diesel fuel replaced by NH₃, it will affect the operation of the engine. At a speed of 1800 v/p in constant power mode, soot emissions are reduced by 81.25%, CO₂ is reduced by 59.1%. At 1800 v/p variable power mode, soot emissions are reduced by 74.5%, CO₂ by 47.9%.

Keywords: NH₃, CO₂, soot, emissions, power, diesel engine

1. GIỚI THIỆU

Động cơ đốt trong đóng góp hơn 99% năng lượng cho giao thông vận tải toàn cầu, trong đó 95% năng lượng vận chuyển toàn cầu đến từ nhiên liệu dựa trên dầu mỏ. Tuy nhiên, đây cũng là nguồn phát thải khí nhà

kính lớn, là nguyên nhân gây biến đổi khí hậu. Để hạn chế phát thải các-bon ra môi trường thì thay thế nhiên liệu hóa thạch bằng nhiên liệu trung hòa các-bon hoặc không các-bon là vấn đề đã và đang được các nhà khoa học quan tâm [1].

Trong số nhiều lựa chọn đang được nghiên cứu, NH_3 có ưu điểm là tương đối thuận lợi trong việc triển khai sử dụng ở quy mô lớn. Hiện nay, NH_3 là một trong những hóa chất được tổng hợp nhiều nhất trên thế giới và đã có cơ sở hạ tầng được thiết lập tốt để sản xuất, xử lý và phân phối. NH_3 có thể được sản xuất từ cả nguồn hóa thạch và tái tạo. NH_3 có thể lưu trữ thuận tiện dưới dạng khí hoặc dạng lỏng ở áp suất thấp (khoảng 1 MPa) và nhiệt độ phòng (298°K). Các sản phẩm duy nhất của quá trình đốt cháy NH_3 là nước và nitơ [2]. Khí thải có thể chứa NH_3 chưa cháy hết, gây ô nhiễm môi trường và góp phần hình thành phát thải dạng hạt PM thứ cấp, gây ăn mòn chi tiết. Mặt khác, việc sử dụng NH_3 làm nhiên liệu trong động cơ đốt trong gặp thách thức do, tốc độ ngọn lửa thấp và nhiệt độ ngọn lửa đoạn nhiệt thấp hơn so với nhiên liệu diesel. Hơn nữa, nhiệt trị thấp của NH_3 thấp hơn khoảng 60% so với nhiên liệu diesel. Tuy nhiên, tỷ lệ không khí/nhiên liệu lý thuyết (A/F) của NH_3 thấp hơn đáng kể so với nhiên liệu hydrocarbon thông thường. Nói cách khác, có thể đốt cháy nhiều NH_3 hơn với cùng một lượng không khí. Do đó, lượng NH_3 lớn hơn có thể bù cho hàm lượng năng lượng ít hơn trên một đơn vị khối lượng [3].

Có một số các nghiên cứu về sử dụng nhiên liệu NH_3 cho động cơ đốt trong. Các nghiên cứu khẳng định: Khi sử dụng chu trình otto (SI) cho nhiên liệu ammoniac thì đang gặp một số vấn đề khó khăn nhất định, nguyên nhân là do tính năng đốt cháy kém cũng như phạm vi dễ cháy hẹp, nhiệt độ đánh lửa tối thiểu tương đối cao của nhiên liệu. Khi sử dụng chu trình diesel (CI) cho nhiên liệu ammoniac thì động cơ phải sử dụng tỉ số nén cao (từ 35:1 đến 100:1). Điều này là do chỉ số xe-tan của ammoniac thấp

[4]. Do đó nhiều nhà nghiên cứu quan tâm đến việc sử dụng ammoniac làm nhiên liệu bổ sung vào các nhiên liệu truyền thống. Với phương pháp này, ammoniac chỉ được cấp một tỉ lệ nhất định vào trong động cơ để hòa trộn với không khí và cháy cùng nhiên liệu chính là diesel.

Có thể thấy, chưa có nhiều công trình khoa học nghiên cứu về vấn đề sử dụng nhiên liệu NH_3 cho động cơ diesel cho nên các kết quả nghiên cứu còn ít. Trong khi đó, tại Việt Nam có một số lượng lớn các động cơ đang sử dụng nhiên liệu diesel. Trước việc nhiên liệu diesel ngày càng cạn kiệt, và phát thải khí nhà kính do nhiên liệu diesel gây ra thì việc thay thế một phần nhiên liệu diesel bằng nhiên liệu ammoniac có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cao vì vừa tận dụng được nguồn động cơ cũ trong khi không phải thay đổi nhiều về kết cấu.

Do đó, bài báo này nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của tính năng kỹ thuật và diễn biến phát thải của động cơ diesel khi được bổ sung nhiên liệu NH_3 trên động cơ IVECO được trang bị tại trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Vĩnh Long nhằm bổ sung cơ sở lý thuyết khoa học về vấn đề trên và đánh giá hiệu quả cũng như khó khăn khi thực hiện giải pháp này

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng và nhiên liệu nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là động cơ diesel IVECO, bốn kỳ, tăng áp tuabin khí xả, các xi lanh bố trí thẳng hàng, phun nhiên liệu trực tiếp, dùng bơm cao áp kiểu Bosch. Các thông số kỹ thuật của động cơ được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Các thông số kỹ thuật chính của động cơ IVECO [5]

TT	Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Số xi lanh	i	4	
2	Đường kính xi lanh	D	104	mm
3	Hành trình pít tông	S	115	mm
4	Tỷ số nén	ϵ	17	-
5	Công suất định mức	N_e	70	kW
6	Số vòng quay định mức	n_e	1800	vòng/phút
7	Suất tiêu hao nhiên liệu có ích	g_e	215	g/(kW.h)

Nhiên liệu nghiên cứu là nhiên liệu của nhiên liệu nghiên cứu dùng trong mô diesel và NH_3 . Tính chất vật lý và hóa học phòng được trình bày trong Bảng 2

Bảng 2. Thông số của nhiên liệu NH_3 và diesel [6]

STT	Thông số	Đơn vị	NH_3	diesel
1	Trị số octan	-	120	-
2	Trị số cê tan	-	-	40 - 55
3	Khối lượng riêng ở trạng thái lỏng	kg/m ³	602,8	832
4	Tỷ lệ không khí/nhiên liệu lý thuyết	kg/kg	6,05	14,32
5	Nhiệt trị thấp	MJ/kg	18,61	42,38
6	Nhiệt ẩn hóa hơi	kJ/kg	1370	232,4
7	Nhiệt độ tự bốc cháy	K	924	527 - 558

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Để nghiên cứu ảnh hưởng của việc cung cấp NH_3 vào đường nạp đến các đặc tính làm việc và phát thải của động cơ diesel IVECO, sử dụng phương pháp nghiên cứu mô phỏng bằng phần mềm AVL Boost. Theo phương án đã chọn, NH_3 được cấp vào đường ống nạp của động cơ. Do đó,

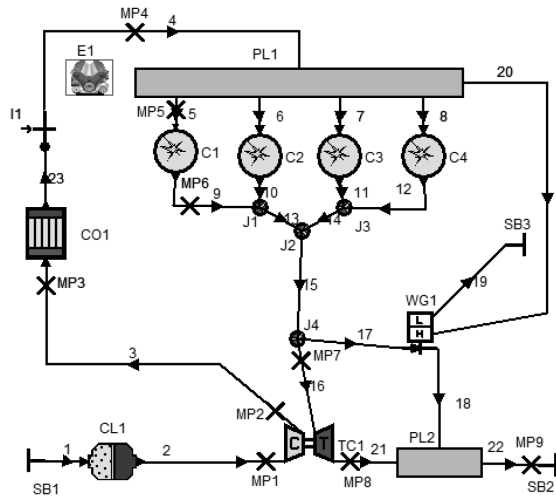
trên mô hình động cơ diesel- NH_3 có thêm phần tử vòi phun (II) để mô phỏng quá trình cung cấp NH_3 . Mô hình mô phỏng động cơ sử dụng lượng nhiên liệu được trình bày

Trong nghiên cứu có sử dụng các lý thuyết cơ bản và mô hình cháy, truyền nhiệt và phát thải được trình bày trong bảng 3

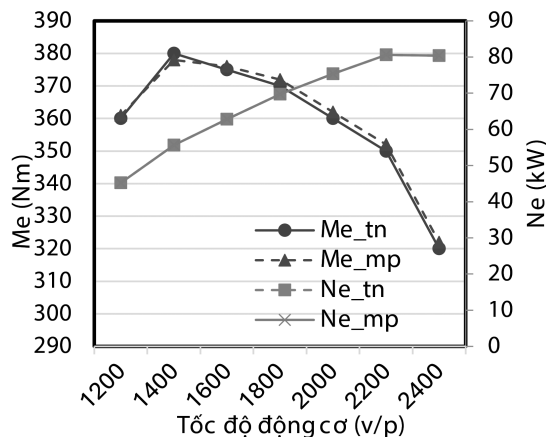
Bảng 3. Lý thuyết cơ bản và các mô hình sử dụng trong mô phỏng

STT	Lý thuyết cơ bản và mô hình	
1	Lý thuyết cơ bản	Phương trình nhiệt động học thứ nhất
3	Mô hình hỗn hợp môi chất	Hòa khí hình thành trong buồng đốt
4	Mô hình cháy	AVL MCC
5	Mô hình truyền nhiệt:	Mô hình Woschini

STT	Lý thuyết cơ bản và mô hình	
6	Mô hình phát thải NOx	Mô hình Zeldovich
7	Mô hình phát thải soot	Mô hình Schubiger và Hiroyasu
8	Mô hình phát thải CO	Mô hình Onorati
9	Mô hình phát thải HC	HC được qui đổi vào soot



Hình 1. Mô hình động cơ IVECO xây dựng trên phần mềm AVL-Boost.



Hình 2. Công suất N_e và suất tiêu thụ nhiên liệu g_e mô phỏng (MP) và thực nghiệm (TN) theo đặc tính ngoài của động cơ.

Kết quả mô phỏng về công suất và suất tiêu hao nhiên liệu được so sánh khi động cơ hoạt động theo đặc tính ngoài. Sai lệch về công suất là 0.9 %, sai lệch về momen là 3.34 % (Hình 2) cho thấy mô hình đảm bảo độ tin cậy đáp ứng yêu cầu cho các nghiên cứu mô phỏng tiếp theo.

Do nhiệt trị thấp của NH_3 và nhiên liệu diesel có giá trị khác nhau nên suất tiêu thụ nhiên liệu có ích tương đương g_{etd} của hỗn hợp nhiên liệu diesel- NH_3 được xác định theo công thức:

$$g_{etd} = \frac{G_D + G_{NH_3} \cdot \frac{Q_{NH_3}}{Q_D}}{N_e}$$

Trong đó: G_D – Lượng tiêu thụ nhiên liệu diesel, g/h;

G_{NH_3} – Lượng tiêu thụ NH_3 , g/h;

Q_D – Nhiệt trị thấp của nhiên liệu diesel, MJ/kg;

Q_{NH_3} – Nhiệt trị thấp của NH_3 , MJ/kg;

N_e – Công suất có ích động cơ, kW.

Trong nghiên cứu này, tỉ lệ thay thế NH_3 và diesel được tính theo phần trăm khối lượng nhiên liệu cung cấp

Tính toán mô phỏng động cơ khi chạy khi chạy lưỡng nhiên liệu diesel- NH_3 tại tốc độ 1800 vòng/phút với hai chế độ mô phỏng là:

+ Thay thế tỉ lệ năng lượng NH_3 và diesel sao cho công suất động cơ ở 1800 vòng/phút là không đổi

+ Tiêu thụ nhiên liệu diesel không đổi, tiêu thụ NH_3 thay đổi

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

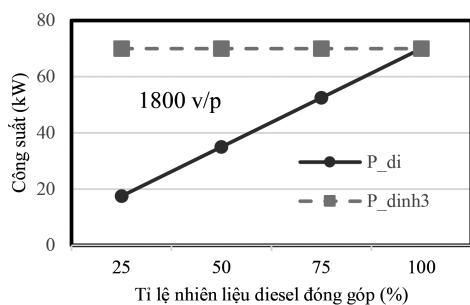
3.1. Thay thế tỉ lệ năng lượng NH_3 và diesel sao cho công suất động cơ ở 1800 vòng/phút là không đổi

Trong nghiên cứu mô phỏng này, lưu

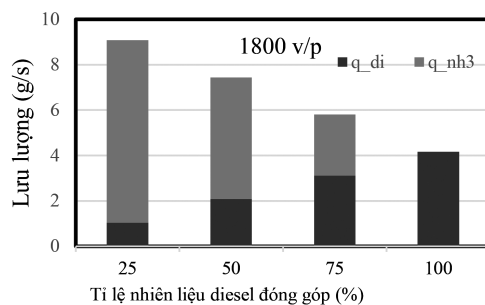
lượng nhiên liệu diesel và NH₃ sẽ thay đổi để đạt được công suất động cơ là không đổi.

Kết quả mô phỏng cho thấy, công suất động cơ có thể đạt giá trị cực đại với các tỷ lệ thay thế khác nhau của NH₃ cho dầu diesel, tỷ lệ năng lượng thay thế bằng NH₃ lần lượt là 88,5%, 72,0%, 53,9% tương ứng với các chế độ tải ban đầu khi chỉ sử dụng dầu diesel là 25%, 50%, 75% tải. Suất tiêu thụ nhiên liệu tương đương các trường hợp dùng hỗn hợp nhiên liệu diesel-NH₃ tăng 1,08 lần, 1,26 lần, 1,47 lần, 1,4 lần; phát

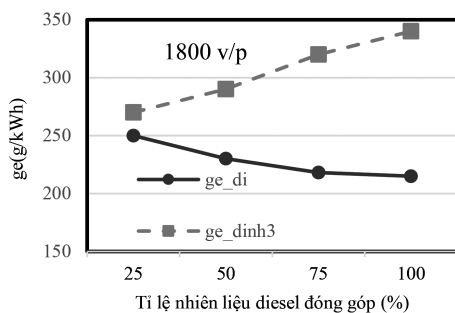
thải NO_x tăng 41,6%, 6,1% ở 25%, 75% tải và giảm 1,7% ở tỉ lệ thay thế 75% tải. Phát thải soot giảm 24 lần, 4.8 lần, 2 lần; phát thải CO giảm 1.6 lần, 1.25 lần, 1,13 lần; phát thải CO₂ giảm 2.75 lần, 1.8 lần, 1,38 lần tương ứng với các tỷ lệ thay thế NH₃ là 88,5%, 72,0%, 53,9%. Phát thải NO_x tăng khi tăng tỷ lệ NH₃ trong hỗn hợp nhiên liệu có thể do trong phân tử NH₃ có chứa thành phần nitơ. Phát thải soot, CO và CO₂ giảm do trong phân tử NH₃ không chứa thành phần carbon.



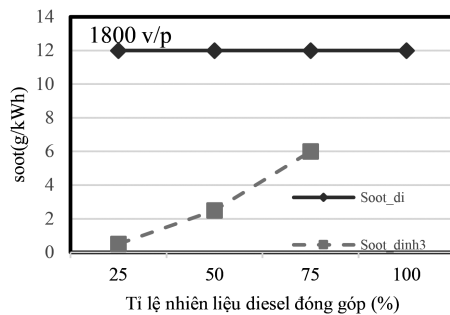
a. Diễn biến công suất động cơ



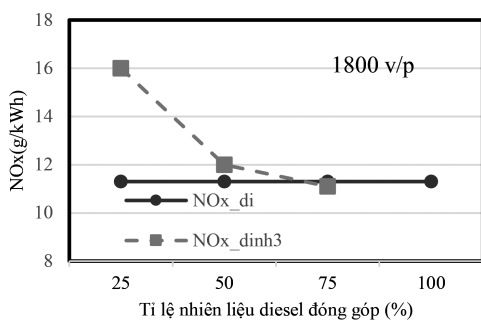
b. Lưu lượng diesel và NH₃ khi mô phỏng khi tại chế độ công suất không đổi



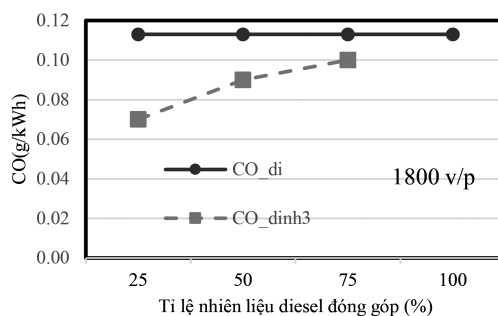
c. Diễn biến ge tại chế độ công suất không đổi



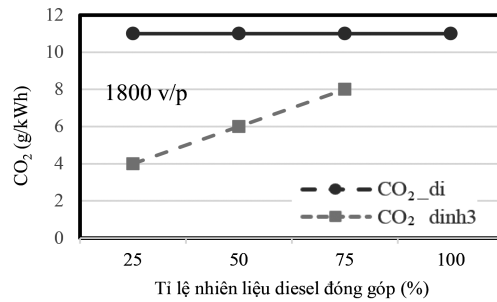
d. Diễn biến phát thải soot tại chế độ công suất không đổi



e. Diễn biến phát thải NO_x tại chế độ công suất không đổi

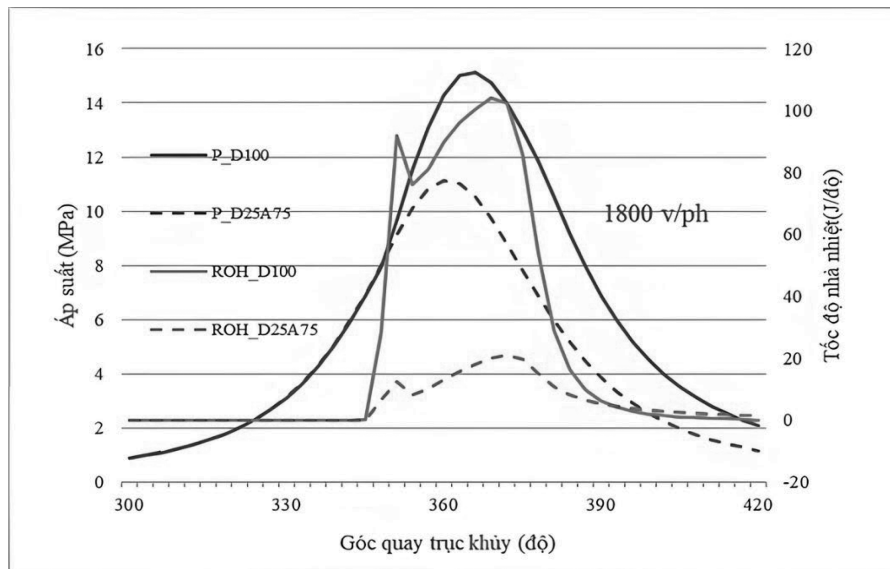


f. Diễn biến phát thải CO tại chế độ công suất không đổi

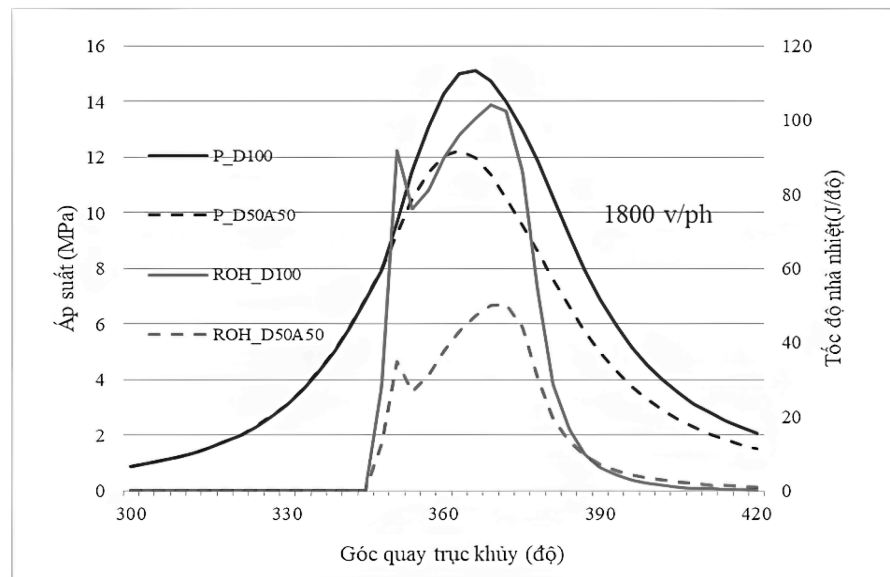


g. Diễn biến phát thải CO₂ tại chế độ công suất không đổi

Hình 3. Kết quả mô phỏng động cơ thay thế tỉ lệ năng lượng NH₃ và diesel sao cho công suất động cơ ở 1800 vòng/phút là không đổi



Hình 4. Diễn biến áp suất xi-lanh và nhiệt độ trong trường hợp D25A75



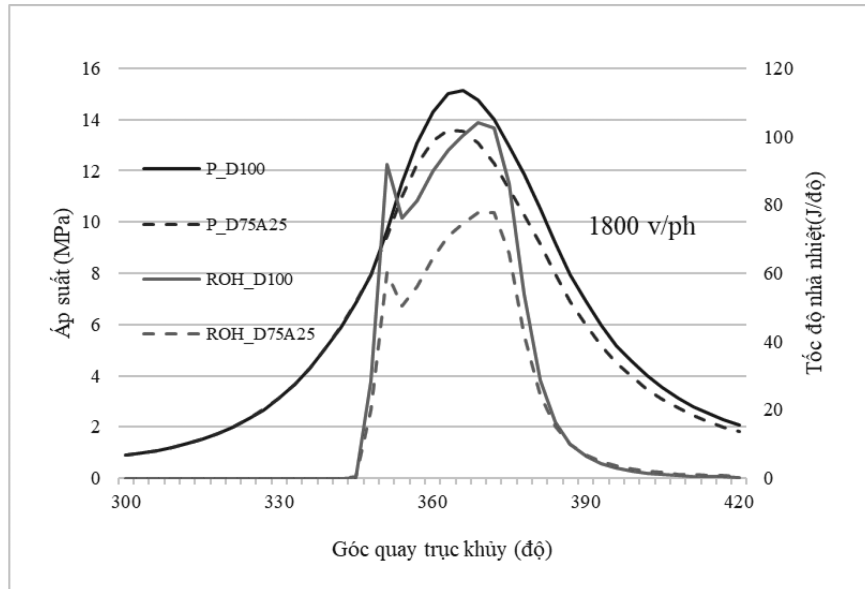
Hình 5. Diễn biến áp suất xi-lanh và nhiệt độ trong trường hợp D50A50

- Nhiệt độ và áp suất trong buồng đốt khi mô phỏng:

+ Tỷ lệ diesel thấp (D25A75) giảm áp suất cực đại nhưng duy trì công suất ổn

định nhờ giãn nở tăng.

+ Cháy NH_3 phụ thuộc vào nhiệt độ từ diesel, nhiệt độ cháy cao làm tăng CO , HC .



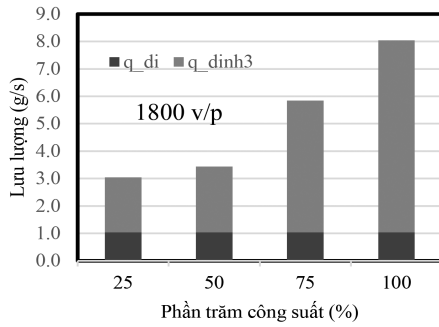
Hình 6. Diễn biến áp suất xi-lanh và nhiệt độ trong trường hợp D75A25

Các biểu đồ đã trình bày diễn biến áp suất xi lanh và tốc độ tỏa nhiệt trong trường hợp công suất động cơ không đổi với các tỉ lệ diesel và NH_3 khác nhau. Tất cả các trường hợp nhiên liệu kép được so sánh với trường hợp sử dụng nhiên liệu diesel 100%. Có thể nhận thấy tất cả các trường hợp đều tạo ra cùng một công suất động cơ mặc dù có sự khác biệt rõ ràng về pha đốt cháy và áp suất lớn nhất.

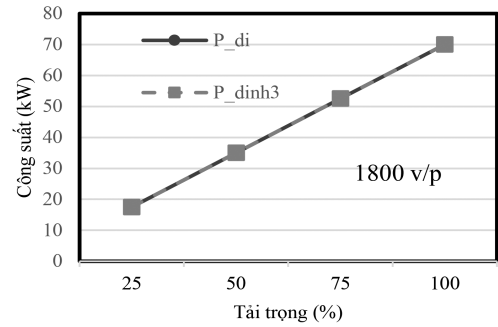
3.2. Tiêu thụ nhiên liệu diesel không đổi, tiêu thụ NH_3 thay đổi

Ở chế độ mô phỏng này, lưu lượng diesel được duy trì ở mức không đổi có thể tạo ra 25% công suất cực đại tại tốc độ 1800 v/phút (đảm bảo đủ lượng diesel đốt cháy để làm môi lửa đốt cháy NH_3). Sau đó, lưu lượng ammoniac được điều chỉnh

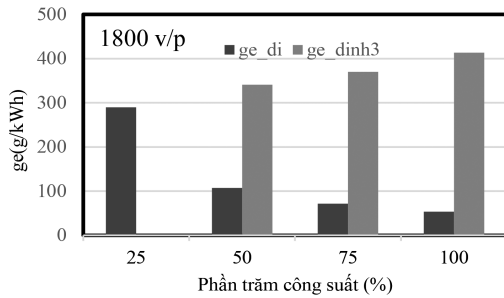
để kiểm soát công suất động cơ bằng với động cơ nguyên bản sử dụng thuần nhiên liệu diesel. Kết quả nghiên cứu cho thấy tỷ lệ năng lượng thay thế bằng NH_3 lần lượt là 65,8%, 69,7%, 82,2%, 87,1% tương ứng với chế độ tải 25%, 50%, 75%, 100%. Suất tiêu thụ nhiên liệu tương đương các trường hợp dùng hỗn hợp nhiên liệu diesel- NH_3 tăng 3.2 lần, 5.2 lần, 7.8 lần; phát thải CO_2 giảm 1,4 lần, 1,9 lần, 2.8 lần; phát thải CO giảm lần lượt 1.5%, 2%, 2% ; phát thải soot giảm lần lượt 2.6 lần, 4,7 lần, 6.3 lần tương ứng với các tỷ lệ thay thế NH_3 là 69.8%, 82.2%, 87.1%. Suất tiêu thụ nhiên liệu khi sử dụng hỗn hợp diesel- NH_3 cao hơn so với trường hợp chỉ sử dụng dầu diesel là do hiệu quả quá trình cháy của NH_3 thấp hơn so với dầu diesel.



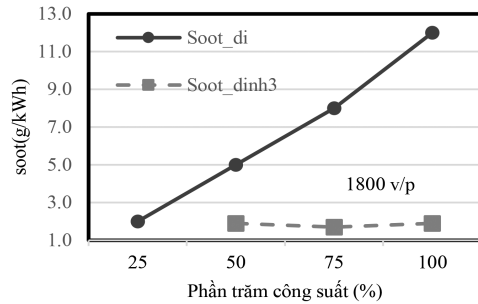
a. Lưu lượng diesel và NH₃ tại chế độ công suất thay đổi



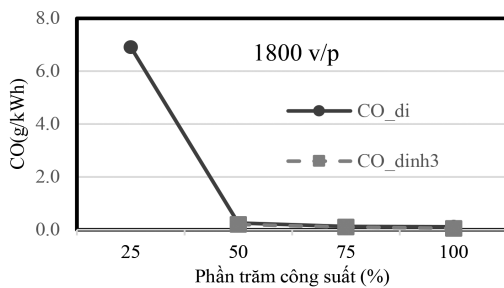
b. Đồ thị công suất động cơ thuần diesel và động cơ lưỡng nhiên liệu



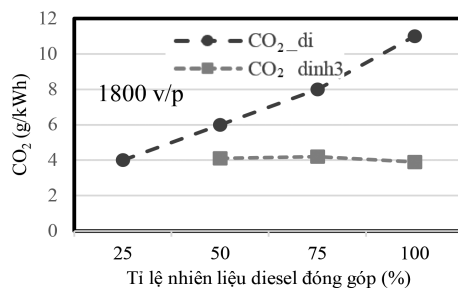
c. Diễn biến ge tại chế độ công suất thay đổi



d. Diễn biến soot tại chế độ công suất thay đổi

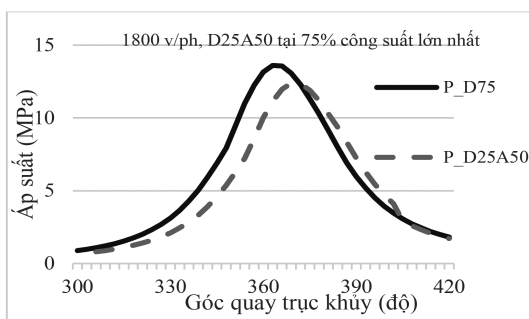


e. Diễn biến CO tại chế độ công suất thay đổi

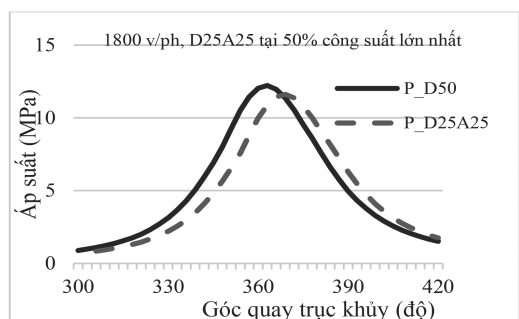


f. Diễn biến CO₂ tại chế độ công suất thay đổi

Hình 7. Kết quả mô phỏng tiêu thụ nhiên liệu diesel không đổi, tiêu thụ NH₃ thay đổi



a. Diễn biến áp suất tại D25A50 tại 50% công suất cực đại



b. Diễn biến áp suất tại D25A25 tại 75% công suất cực đại

Hình 8. Diễn biến áp suất mô phỏng tiêu thụ nhiên liệu diesel không đổi tiêu thụ NH₃ thay đổi.

Hình 6 trình bày diễn biến áp suất trong xi lanh trong các trường hợp động cơ diesel nguyên bản và động cơ sử dụng lưỡng nhiên liệu. Có thể nhận thấy quá trình đốt cháy nhiên liệu kép dẫn thời điểm cháy bị trễ hơn và giảm đáng kể áp nhiệt độ cháy và áp suất cháy. Nhiệt độ đốt cháy thấp hơn cũng có thể góp phần làm tăng lượng khí thải ammoniac. Tốc độ đốt cháy tổng thể cũng chậm hơn khi sử dụng ammoniac do tốc độ ngọn lửa chậm hơn, do đó đòi hỏi thời gian đốt cháy lâu hơn. Mặt khác, áp suất giãn nở cao hơn một chút đối với trường hợp nhiên liệu kép do quá trình đốt cháy ammoniac muộn.

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy khi bổ sung nhiên liệu NH_3 trên đường nạp thì tùy thuộc vào tỉ lệ khối lượng nhiên liệu diesel bị thay thế bởi NH_3 sẽ ảnh hưởng tới quá trình cháy của động cơ. Về cơ bản khi có nhiên liệu NH_3 tham gia quá trình cháy thì sẽ làm thời điểm cháy muộn hơn và dẫn

đến áp suất lớn nhất giảm hơn vì phần lớn quá trình đốt cháy diễn ra trong quá trình giãn nở.

Việc thay thế diesel bằng NH_3 sẽ làm giảm phát thải soot, phát thải khí nhà kính và đa dạng hóa nguồn nhiên liệu sử dụng, giảm sức ép lên nhiên liệu có nguồn gốc hóa thạch vì nhiên liệu có gốc các bon được thay thế bằng nhiên liệu không có gốc các bon.

- Tại tốc độ 1800 v/p, chế độ mô phỏng công suất không đổi. Phát thải soot giảm 81.25%, CO_2 giảm 59.1%

- Tại tốc độ 1800 v/p, chế độ mô phỏng công suất thay đổi, phát thải soot giảm 74.5%, CO_2 giảm 47.9%

Sử dụng nhiên liệu NH_3 thay thế cho nhiên liệu diesel nhằm giảm sự tiêu thụ nhiên liệu hóa thạch, giảm hiệu ứng nhà kính là một phương án khả thi. Tuy nhiên việc sử dụng NH_3 lại làm gia tăng phát thải khí NO_x .

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Kong, A. J. Reiter and S.-C, Combustion and emissions characteristics of compression-ignition engine using dual ammoniac-diesel fuel, Fuel, vol. 90, pp. 87-97, 2011.
- [2] O. Mathieu, E.L. Petersen, Experimental and modeling study on the hightemperature oxidation of ammonia and related nox chemistry, Combust. Flame, 2015.
- [3] G. Chehade, I. Dincer, Progress in green ammonia production as potential carbon-free fuel, Fuel, 2021.
- [4] Hu, Zhichao, Ammonia as Fuel for Future, Journal of Physics, 2023.
- [5] L. S. Lazio, Iveco daily repair manual, Torino, Italy: Samtizmsx internatonal, 2004.
- [6] Kong, A. J. Reiter and S-C, Demonstration of Compression-Ignition Engine Combustion Using Ammonia in Reducing Greenhouse Gas Emissions, Fuel, 2008.