

Nghiên cứu đặc tính làm việc và phát thải của động cơ xăng khi chuyển sang sử dụng nhiên liệu ammonia (NH_3)

■ **ThS. VŨ XUÂN DẬU; ThS. BÙI QUỐC HUY**

Trường Cao đẳng Cơ điện Phú Thọ

■ **TS. PHẠM VĂN GIANG**

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

■ **TS. TRỊNH XUÂN PHONG^(*)**

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Nam Định

Email: ^(*)txphong@nute.edu.vn

TÓM TẮT: Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu mô phỏng đánh giá tính kinh tế và phát thải khi sử dụng nhiên liệu ammonia thay thế cho nhiên liệu xăng trên động cơ 1NZ-FE sử dụng phần mềm AVL Boost. Động cơ không thay đổi kết cấu mà chỉ thay hệ thống phun xăng trên đường ống nạp bằng hệ thống phun ammonia. Việc nghiên cứu đánh giá được thực hiện bằng cách so sánh công suất, diễn biến quá trình cháy và phát thải khi cung cấp khối lượng nhiên liệu là như nhau tại tốc độ cho mô-men lớn nhất là 4.200 v/p. Kết quả nghiên cứu cho thấy, khi sử dụng nhiên liệu ammonia thì công suất giảm 28%; áp suất buồng đốt, tốc độ cháy thấp, hơn so với nhiên liệu xăng. Về phát thải, động cơ sử dụng nhiên liệu ammonia không có phát thải CO_2 , phát thải HC giảm 97,5%, phát thải NO_x tăng 223% so với nhiên liệu xăng.

TỪ KHÓA: Nhiên liệu ammonia, đặc tính làm việc, đặc tính phát thải, mô hình hóa động cơ.

ABSTRACT: This article presents the results of a simulation study evaluating the economics and emissions when using ammonia fuel to replace gasoline fuel on the 1NZ-FE engine using AVL Boost software. The engine has not changed its structure but only replaced the fuel injection system on the intake manifold with an ammonia injection system. The research and evaluation are carried out by comparing the capacity, combustion process, and emissions when providing the same amount of fuel at the maximum torque speed of 4,200 rpm. Research results show that when using ammonia fuel, the capacity is reduced by 28% and the combustion chamber pressure and burning speed are lower than with gasoline fuel. Regarding emissions, engines using ammonia fuel do not emit CO_2 , HC emissions decrease by 97.5% and NO_x emissions increase by 223% compared to gasoline fuel.

KEYWORDS: Ammonia fuel, working characteristics, emission characteristics, engine modeling.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nhiên liệu xăng từ lâu đã được biết đến là loại nhiên liệu có mật độ năng lượng cao; dễ vận chuyển, bảo quản và sử dụng. Tuy nhiên, quá trình đốt cháy xăng thải ra CO_2 và các chất phát thải độc hại khác. Điều này gây ra hiệu ứng nhà kính cũng như ô nhiễm môi trường. Để giảm phát thải CO_2 từ phương tiện giao thông, có hai phương án chính đó là sử dụng động cơ điện và sử dụng động cơ đốt trong mà nhiên liệu không có gốc carbon. Đối với nhiên liệu không carbon thì ammonia và hydro hiện đang là hai loại nhiên liệu đang được nhiều nhà khoa học quan tâm [1].

Đối với hai loại nhiên liệu trên, nhiên liệu hydro vẫn còn đang gặp nhiều khó khăn cho việc sản xuất, lưu trữ và vận chuyển. Trong khi đó, ammonia là một loại khí có thể dễ dàng hóa lỏng và do đó dễ dàng vận chuyển trong các thùng chứa cách nhiệt. Áp suất lưu trữ (0,8 MPa) cũng thấp hơn nhiều so với áp suất cần thiết cho hydro (lên đến 70 MPa) [2]. Vì những lý do này, ammonia đã được xem xét như một loại nhiên liệu ứng dụng trên động cơ đốt trong khả thi hơn hydro. Tuy nhiên, nhiên liệu ammonia lại có một số nhược điểm hơn so với hydro là: Nhiệt độ tự cháy cao, tốc độ cháy thấp, giới hạn cháy hẹp, nhiệt hóa hơi cao, ăn mòn kim loại và độc hại [3].

Việc sử dụng ammonia cho động cơ đốt trong cũng đã và đang được nghiên cứu. Các nghiên cứu hướng tới việc sử dụng nhiên liệu ammonia làm việc ở dạng đơn nhiên liệu hoặc kết hợp với một loại nhiên liệu khác. Khi phân tích tính chất vật lý và hóa học của ammonia, nhiệt trị và vận tốc lan tràn màng lửa của ammonia lớn hơn so với nhiên liệu hydrocarbon thông thường lần lượt là 40% và 20%. Phạm vi dễ cháy hẹp và nhiệt độ đánh lửa tối thiểu tương đối cao cũng là các tính chất đặc trưng của loại nhiên liệu này.

Nghiên cứu khi sử dụng nhiên liệu ammonia kết hợp với diesel thì kết quả cho thấy: Tốc độ đốt cháy thấp khiến động cơ gặp khó khăn trong việc vận hành, đặc biệt là

trong điều kiện vận hành tải thấp và tốc độ cao. Quá trình đốt cháy ammonia trong động cơ cháy do nén có thể phức tạp hơn bởi để tự cháy ammonia thì động cơ phải sử dụng tỉ số nén cao (từ 35:1 đến 100:1). Điều này là do chỉ số cetan của ammonia thấp [4]. Khi sử dụng làm nhiên liệu cho động cơ cháy do tia lửa điện, với chỉ số ốc-tan cao, nhiên liệu ammonia sẽ không phải quan tâm đến vấn đề tiếng gõ động cơ. Tuy nhiên, cần phải có thêm nhiên liệu để thúc đẩy quá trình cháy khi đó động cơ mới làm việc ổn định. Trong nghiên cứu của Grannell [5], 50% ammonia đã được thêm vào hỗn hợp xăng/ammonia để cung cấp nhiên liệu cho động cơ SI. Kết quả khẳng định, động cơ đạt được hiệu suất cao. Đối với việc sử dụng đơn nhiên liệu ammonia cho động cơ đốt trong 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... [6].

Tại Việt Nam có một số lượng lớn các động cơ đang sử dụng nhiên liệu xăng. Khi nguồn nhiên liệu xăng bị cạn kiệt, việc chuyển đổi các loại động cơ này sang sử dụng nhiên liệu ammonia có ý nghĩa khoa học cao vì tận dụng được nguồn động cơ cũ không phải thay đổi nhiều về kết cấu. Chính vì vậy, bài báo sẽ nghiên cứu mô phỏng động cơ sử dụng nhiên liệu xăng sang sử dụng nhiên liệu ammonia để đánh giá ảnh hưởng của tính năng kỹ thuật, diễn biến quá trình cháy cũng như phát thải khi thực hiện chuyển đổi này. Kết quả nghiên cứu sẽ góp phần trong việc nghiên cứu đánh giá khả năng chuyển đổi nhiên liệu cho các động cơ xăng thế hệ cũ cũng như ứng dụng nhiên liệu ammonia cho tương lai.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Động cơ nghiên cứu và nhiên liệu

Động cơ nghiên cứu là động cơ 1NZ-FE, thông số kỹ thuật được trình bày trong *Bảng 2.1*. Nhiên liệu sử dụng trong mô phỏng là nhiên liệu ammonia. Tính chất cơ bản của loại nhiên liệu này được trình bày trong *Bảng 2.2*.

Bảng 2.1. Thông số kỹ thuật của động cơ 1NZ-FE

TT	Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Hành trình piston	S	77	mm
2	Đường kính xi-lanh	D	81	mm
3	Số xi-lanh	i	4	-
4	Suất tiêu hao nhiên liệu	g_e	224	g/kWh
5	Dung tích	Vh	1,587	lít
7	Mô-men lớn nhất	Me_{max}	142/6.000	Nm- rpm
8	Tỷ số nén	ϵ	10.3	-
9	Góc mở sớm xu-pap nạp	φ_1	24,5°	-
10	Góc đóng muộn xu-pap nạp	φ_4	55,5°	-
11	Góc mở sớm xu-pap thải	φ_4	54°	-
12	Góc đóng muộn xu-pap thải	φ_4	26°	-

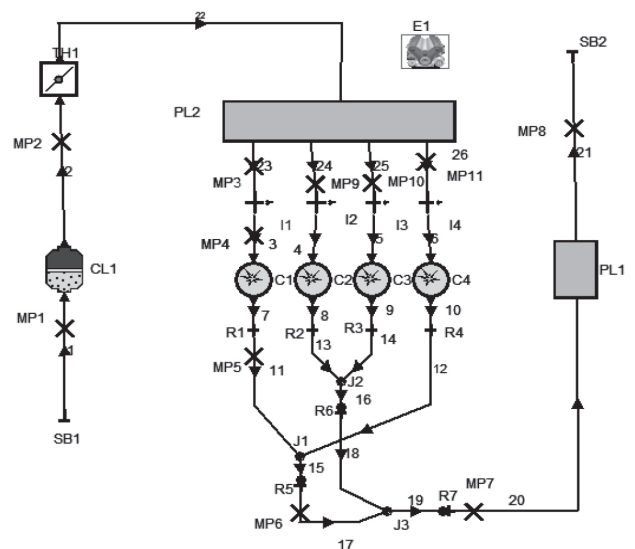
Bảng 2.2. Một số tính chất của ammonia

Nhiên liệu	AMMONIA
Nhiệt độ sôi: 1 atm (°C)	-33,4
Nhiệt độ ngưng tụ ở 25°C (atm)	9,90
Nhiệt trị thấp LHV (MJ/kg)	18,6
Giới hạn cháy (tỉ lệ tương đương)	0,63-1,40
Nhiệt độ ngọn lửa (°C)	1.800
Tốc độ cháy lớn nhất (m/s)	0,07
Nhiệt độ đánh lửa tự cháy lớn nhất (°C)	650

2.2. Nghiên cứu mô phỏng

Trong nghiên cứu mô phỏng, chọn lựa mô hình cháy có vai trò vô cùng quan trọng vì nó quyết định đến tính chính xác của kết quả mô phỏng. Theo khuyến cáo của Boost, với nhiên liệu ammonia, chọn mô hình cháy là mô hình Fractal. Đây là mô hình cháy được xây dựng để nghiên cứu về quá trình cháy ở động cơ cháy cưỡng bức được sử dụng để dự đoán tốc độ giải phóng nhiệt cho động cơ có khoảng thời gian hòa trộn dài (có thể coi là hỗn hợp đồng nhất). Do đó, có thể xét đến ảnh hưởng của các thông số như: Hình dạng buồng cháy, vị trí và thời gian đánh lửa, thành phần của khí nạp (khí sót, khí xả luân hồi, bay hơi của nhiên liệu), chuyển động và cường độ xoáy của dòng khí nạp, tốc độ lan truyền của màng lửa ở bên trong buồng cháy của động cơ đốt trong, độ dày của màng lửa [7]. *Hình 2.1* trình bày mô hình động cơ xăng 4 xi-lanh sử dụng nhiên liệu ammonia được xây dựng trên phần mềm AVL Boost. Các lý thuyết và mô hình được trình bày trong *Bảng 2.3*.

SB1, SB2 - Điều kiện biên; CL1 - Bầu lọc; TH1 - Cụm bướm ga; I1 - Vòi phun xăng hoặc vòi phun NH_3 ; PL2 - Cụm ống hút áp; C1 đến C4 - Xi-lanh; PL1 - Bình tiêu âm; MP - Các điểm đo; E1 - Động cơ.



Hình 2.1: Mô hình động cơ 1NZ-FE sử dụng nhiên liệu NH_3

Bảng 2.3. Các lý thuyết và mô hình dành trong mô phỏng

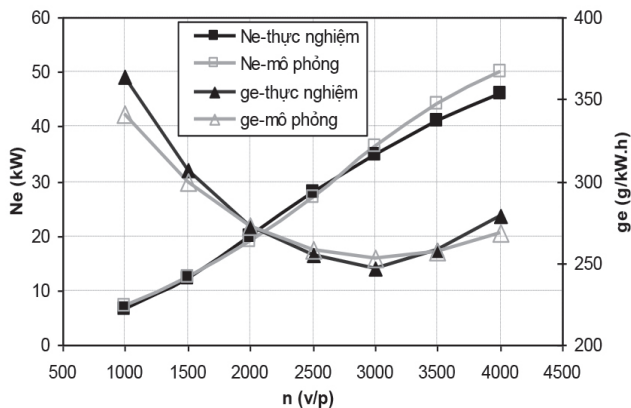
TT	Lý thuyết và mô hình	Động cơ nghiên cứu
1	Lý thuyết cơ bản	Phương trình nhiệt động học thứ nhất
2	Mô hình hỗn hợp môi chất	Hòa khí hình thành ngoài buồng đốt
3	Mô hình cháy	AVL Fractal
4	Mô hình truyền nhiệt	Mô hình Woschini
5	Mô hình phát thải NOx	Mô hình Zeldovich
6	Mô hình phát thải CO ₂	Mô hình Onorati
7	Mô hình phát thải HC	AVL Fractal

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Để đánh giá tính kỹ thuật và phát thải của động cơ 1NZ-FE khi sử dụng ammonia, có thể so sánh các chỉ số như công suất, phát thải của động cơ cũng như diễn biến quá trình cháy trong xi-lanh (diễn biến áp suất, nhiệt độ và tốc độ nhả nhiệt) khi cung cấp cùng một lượng nhiên liệu đưa vào với các điều kiện biên là hệ số dư lượng không khí $\lambda = 1$ và góc đánh lửa sớm là 26 độ trước điểm chết trên tại tốc độ cho mô-men lớn nhất là 4.200 v/p.

3.1. Đánh giá tính chính xác của mô hình

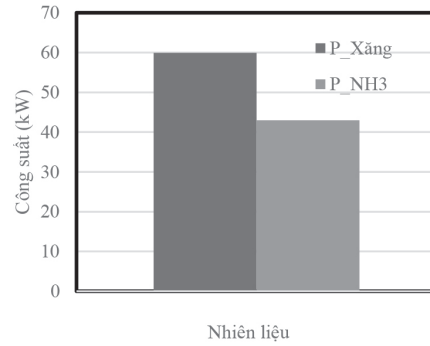
Hình 3.1 trình bày diễn biến công suất và suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ 1NZ-FE tại đặc tính ngoài. Sai số của động cơ nguyên bản và mô phỏng nhỏ hơn 5% vì thế có thể coi các thiết lập cơ khí trong mô hình của động cơ xăng đảm bảo độ tin cậy để xây dựng mô hình cho một loại nhiên liệu khác có cùng mô hình cháy.



Hình 3.1: Đồ thị đánh giá tính chính xác của mô hình

3.2. Công suất khi sử dụng nhiên liệu khác nhau

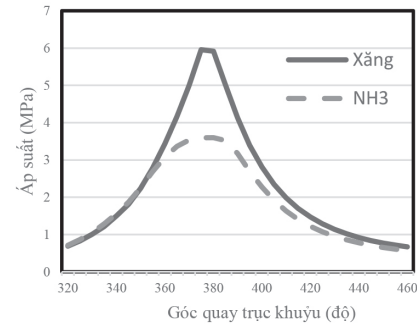
Hình 3.2 trình bày sự chênh lệch công suất của động cơ khi sử dụng hai loại nhiên liệu. Có thể nhận thấy, khi chuyển đổi động cơ từ sử dụng nhiên liệu xăng sang sử dụng nhiên liệu ammonia, công suất của động cơ bị giảm đi 28%. Điều này là do nhiệt trị của nhiên liệu ammonia nhỏ hơn so với xăng.



Hình 3.2: Diễn biến công suất

3.3. Diễn biến áp suất trong buồng đốt

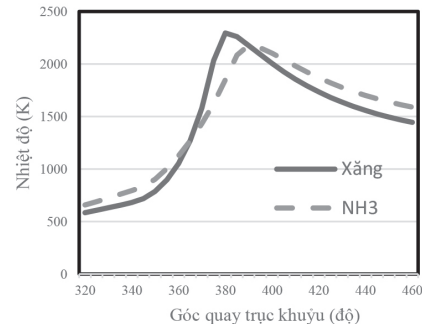
Hình 3.3 trình bày diễn biến áp suất trong buồng đốt khi sử dụng hai loại nhiên liệu. Có thể nhận thấy, với nhiên liệu ammonia, áp suất lớn nhất đạt 3 MPa còn của xăng là 6 MPa. Như vậy, động cơ ammonia sẽ khó xảy ra hiện tượng kích nổ hơn động cơ xăng.



Hình 3.3: Diễn biến áp suất buồng đốt

3.4. Diễn biến nhiệt độ trong buồng đốt

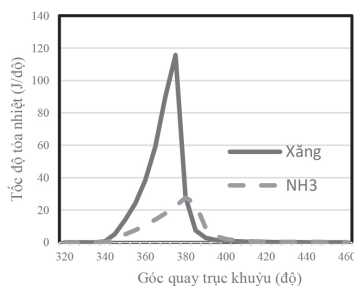
Hình 3.4 trình bày diễn biến nhiệt độ trong buồng đốt khi sử dụng hai loại nhiên liệu. Có thể nhận thấy nhiệt độ trong buồng đốt của hai nhiên liệu là khá tương đồng. Tuy nhiên, diễn biến quá trình cháy của nhiên liệu ammonia là chậm hơn so với nhiên liệu xăng.



Hình 3.4: Diễn biến nhiệt độ

3.5. Tốc độ nhả nhiệt trong buồng đốt

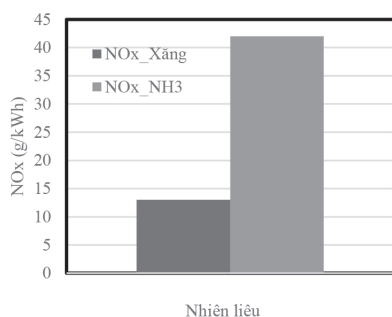
Hình 3.5 trình bày diễn biến tốc độ nhả nhiệt khi sử dụng hai loại nhiên liệu. Có thể thấy tốc độ nhả nhiệt của nhiên liệu ammonia chậm hơn rất nhiều so với nhiên liệu xăng, do đó hiệu suất nhiệt của động cơ ammonia sẽ nhỏ hơn hiệu suất nhiệt của xăng, tức là công suất sẽ nhỏ hơn.



Hình 3.5: Tốc độ nhả nhiệt

3.6. Diễn biến phát thải NO_x

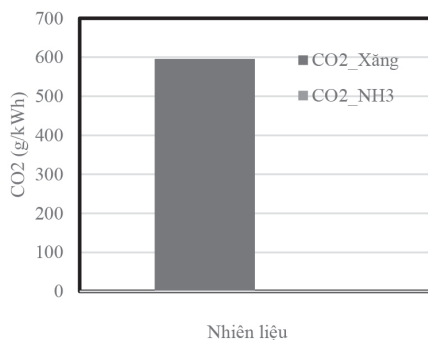
Hình 3.6 trình bày diễn biến phát thải NO_x khi sử dụng hai loại nhiên liệu. Có thể nhận thấy: NO_x trên động cơ sử dụng nhiên liệu ammonia lớn hơn 223% so với động cơ xăng. Điều này có thể giải thích như sau: Theo lý thuyết, sản phẩm cháy nhiên liệu ammonia là N_2 và H_2O . Tuy nhiên, khi cháy ở nhiệt độ cao, mật độ N_2 lớn và điều kiện không lý tưởng thì sản phẩm cháy sẽ có thêm NO_x .



Hình 3.6: Diễn biến phát thải NO_x

3.7. Diễn biến phát thải CO_2

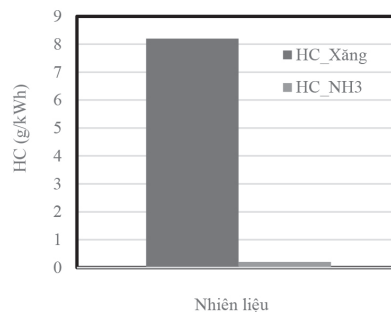
Hình 3.7 trình bày diễn biến phát thải CO_2 khi sử dụng hai loại nhiên liệu. Có thể nhận thấy: Phát thải CO_2 không có trên động cơ sử dụng nhiên liệu ammonia. Điều này là do nhiên liệu đốt cháy là loại nhiên liệu không có gốc carbon. Đây chính là ưu điểm lớn nhất khi sử dụng loại nhiên liệu này.



Hình 3.7: Diễn biến phát thải CO_2

3.8. Diễn biến phát thải HC

Hình 3.8 trình bày diễn biến phát thải HC khi sử dụng hai loại nhiên liệu. Có thể nhận thấy: Phát thải HC của động cơ ammonia nhỏ hơn 97,5% lần so với động cơ xăng. Mặc dù theo lý thuyết là động cơ ammonia không có nhiên liệu có nguồn gốc carbon nhưng lượng HC có trong khí thải có thể là do quá trình đốt cháy dầu bôi trơn của động cơ.



Hình 3.8: Diễn biến phát thải HC

4. KẾT LUẬN

Với các kết quả nghiên cứu mô phỏng nêu trên, có thể kết luận rằng: Trước nguy cơ nguồn nhiên liệu hóa thạch ngày càng cạn kiệt, việc sử dụng nhiên liệu ammonia để thay thế cho nhiên liệu xăng truyền thống là điều khả thi. Khi chuyển đổi động cơ xăng 1NZ-FE sang sử dụng nhiên liệu ammonia thì công suất giảm 28%, không còn phát thải CO_2 , phát thải HC giảm 97,5%, tuy nhiên phát thải NO_x tăng 223%. Nếu trang bị các công nghệ xử lý NO_x hiện đại như SCR (xử lý NO_x bằng xúc tác trên đường thải) thì sẽ giải quyết được bài toán về sự thiếu hụt nguồn nhiên liệu trong tương lai.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Tawalbeh, Muhammad, et al. (2022), *Ammonia: A versatile candidate for the use in energy storage systems*, Renewable Energy, 194, pp.955-977.
- [2]. Reiter, Aaron J and Kong, Song-Charng (2011), *Combustion and emissions characteristics of compression-ignition engine using dual ammonia-diesel fuel*, Fuel. 90(1), pp.87-97.
- [3]. Berwal, Pragya, Kumar, Sudarshan and Khandelwal, Bhupendra (2021), *A comprehensive review on synthesis, chemical kinetics and practical application of ammonia as future fuel for combustion*, Journal of the Energy Institute, 99, pp.273-298.
- [4]. Cardoso, João Sousa, et al. (2021), *Ammonia as an energy vector: Current and future prospects for low-carbon fuel applications in internal combustion engines*, Journal of Cleaner Production, 296, p.126562.
- [5]. Grannell, Shawn M, et al. (2006), *The operating features of a stoichiometric, ammonia and gasoline dual fueled spark ignition engine*, ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, pp.15-27.
- [6]. da Rocha, Rodolfo Cavaliere, Costa, Mário and Bai, Xue-Song (2019), *Chemical kinetic modelling of ammonia/hydrogen/air ignition, premixed flame propagation and NO emission*, Fuel. 246, pp.24-33.
- [7]. Boost, AVL (2011), *AVL Boost Combustion Model*, Austria.

Ngày nhận bài: 10/5/2024

Ngày nhận bài sửa: 24/5/2024

Ngày chấp nhận đăng: 05/6/2024