

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC PHƯƠNG PHÁP CUNG CẤP CNG ĐẾN TÍNH NĂNG KỸ THUẬT VÀ PHÁT THẢI CỦA ĐỘNG CƠ CNG ĐƯỢC CHUYỂN ĐỔI TỪ ĐỘNG CƠ PHUN XĂNG ĐIỆN TỬ

THE STUDY OF THE EFFECTS OF CNG SUPPLY METHODS ON TECHNICAL FEATURES AND EMISSION OF CNG ENGINE CONVERTED FROM ELECTRONIC FUEL INJECTION ENGINE

Vũ Quang Huy

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Thủy lợi

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu mô phỏng ảnh hưởng của các phương pháp cung cấp khí thiên nhiên nén CNG đến đặc tính kỹ thuật và phát thải của động cơ CNG được chuyển đổi từ động cơ phun xăng điện tử kiểu INZ-FE do hãng Toyota sản xuất. Kết quả cho thấy, động cơ phun xăng khi chuyển sang sử dụng CNG cấp vào đường nạp (cả khi dùng bộ trộn và khi phun điện tử) và không thay đổi kết cấu cũng như góc đánh lửa sớm thì công suất giảm nhiều nhưng hàm lượng phát thải, suất tiêu hao nhiên liệu được cải thiện đáng kể so với động cơ xăng nguyên thủy.

Sử dụng phương pháp phun CNG điều khiển điện tử thì hàm lượng phát thải CO và HC thấp hơn so với động cơ CNG sử dụng bộ hòa trộn trong khi phát thải NO_x cao hơn. Tuy nhiên mức chênh lệch hàm lượng phát thải giữa hai phương pháp cấp CNG không nhiều, chỉ từ 5% ÷ 6%.

Từ khóa: Khí thiên nhiên nén (CNG); Động cơ CNG.

ABSTRACT

This article presents the results of simulation research on the effects of CNG compressed natural gas supply methods on the technical characteristics and emissions of CNG engines converted from INZ-FE electronic fuel injection engines manufactured by Toyota. The results show that when the fuel injection engine switches to using CNG supplied to the intake manifold (both when using the mixer and when using electronic injection) and does not change the structure or ignition advance angle, the power is greatly reduced, but emissions and fuel consumption are significantly improved compared to the original gasoline engine.

Using the electronically controlled CNG injection method, CO and HC emissions are lower than those of CNG engines using a mixer, while NO_x emissions are higher. However, the difference in emission content between the two CNG supply methods is not much, only 5% ÷ 6%.

Keywords: Compressed natural gas (CNG); CNG engine.

1. GIỚI THIỆU

Khí thiên nhiên là nhiên liệu thay thế có tiềm năng lớn. Khí thiên nhiên có thành phần chính là methane (70-90%) cộng thêm một số các hydrocacbon và các tạp chất khác. Do đó, sử dụng khí thiên nhiên làm nhiên liệu rất tốt cho động cơ đốt trong đốt cháy cưỡng bức. Khí thiên nhiên có tỷ lệ C/H nhỏ hơn so với xăng và diesel nên phát thải CO và CO₂ thấp hơn. Mặt khác, khí thiên nhiên có giới hạn thành phần hỗn hợp cháy được rộng hơn các loại carburhydro khác nên động cơ cháy tốt hơn và có thể làm việc với hỗn hợp nghèo hơn. Nhiệt độ màng lửa của hỗn hợp thấp nên nồng độ NO_x trong sản phẩm cháy cũng thấp. Nhiên liệu có thể được lưu giữ ở dạng khí thiên nhiên nén (CNG) để cung cấp cho động cơ của các phương tiện vận tải [1, 2]. Bài báo này tập trung vào nghiên cứu làm rõ ảnh hưởng của các phương pháp cung cấp CNG đến tính năng kỹ thuật và phát thải của động cơ, nghiên cứu được thực hiện trên động cơ 1NZ-FE phun xăng điện tử do Toyota sản xuất.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu được thực hiện mô phỏng bằng phần mềm AVL-Boost trên động cơ Toyota Vios 1NZ-FE sử dụng nhiên liệu xăng truyền thống và nhiên liệu khí thiên nhiên nén (CNG) được cung cấp bằng hai cách: Một là từ một bộ hòa trộn bố trí trên đường nạp và hai là sử dụng hệ thống điều khiển điện tử phun vào đường nạp động cơ [3, 4]. Sau đó công suất, mô men, tiêu thụ nhiên liệu và phát thải của động cơ được so sánh với hai phương pháp trên để đưa ra nhận xét.

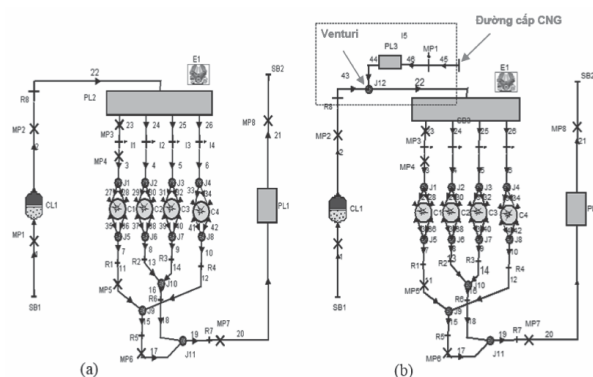
Bảng 1. Thông số cơ bản của động cơ Toyota Vios 1NZ-FE

Thông số	Ký hiệu	Giá trị
Hành trình piston/Đường kính (mm)	S/D	84,7/75
Số xy lanh	i	4
Công suất định mức (kW)	N _e	80
Mô men cực đại ở n = 4200 v/ph (Nm)	M _{e max}	140
Số vòng quay định mức (v/ph)	n _{dm}	6000
Tỷ số nén	ε	10,5:1

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 [3, 4].



(a) Mô hình mô phỏng động cơ phun xăng và phun CNG

(b) Mô hình mô phỏng động cơ cung cấp CNG bằng bộ hòa trộn kiểu ống Venturi

Hình 1. Mô hình động cơ 1NZ-FE trên AVL-Boost

3.2. Đánh giá độ tin cậy của mô hình

Bảng 1 thể hiện so sánh kết quả tính toán mô phỏng công suất và suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ ở đường đặc tính ngoài với số liệu thực nghiệm. Đồ thị cho thấy sự sai lệch lớn nhất giữa công suất tính toán và số liệu đo là 7,8% tại tốc độ 4000v/ph và sai lệch trung bình 2,0% trên toàn dải tốc độ của động cơ. Suất tiêu thụ nhiên liệu mô phỏng có sai lệch lớn nhất 2,4% so với thực và sai lệch trung bình 0,1% trên toàn dải tốc độ.

Bảng 1. So sánh kết quả tính toán mô phỏng công suất và suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ ở đường đặc tính ngoài với số liệu thực nghiệm

Tốc độ động cơ (v/ph)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	TB
N_e – thực nghiệm (kW)	7.1	12.5	20.0	28.2	35.0	41.1	46.4	53.0	
N_e – mô phỏng (kW)	7.5	12.8	19.1	27.0	36.9	44.4	50.0	52.1	
Sai lệch (%)	5.2	2.5	-4.7	-4.2	5.5	7.9	7.8	-1.7	2.0
g_e – thực nghiệm (kW.h)	362.7	306.3	272.0	254.7	245.6	256.9	279.7	281.0	
g_e – mô phỏng (kW.h)	355.6	300.3	271.8	258.1	251.4	253.9	282.5	285.0	
Sai lệch (%)	-2.0	-2.0	-0.1	1.3	2.4	-1.2	1.0	1.4	0.1

3.3. Đánh giá tính năng kinh tế, kỹ thuật và phát thải của động cơ 1NZ-FE khi chuyển sang sử dụng nhiên liệu CNG

Việc nghiên cứu mô phỏng đánh giá tính năng kinh tế, kỹ thuật và phát thải của động cơ 1NZ-FE khi sử dụng nhiên liệu CNG được thực hiện qua việc so sánh kết quả tính toán mô phỏng các thông số công suất, suất tiêu hao nhiên liệu và phát thải của động cơ khi sử dụng CNG được cung cấp bởi hệ thống phun và bởi bộ hòa trộn kiểu ống Venturi so với khi sử dụng xăng.

- Công suất: Bảng 2 so sánh công suất của động cơ ở chế độ toàn tải từ tốc độ 1000v/ph ÷ 4000v/ph khi sử dụng xăng RON 92, CNG phun vào cửa nạp và CNG được cung cấp bởi bộ hòa trộn kiểu ống Venturi. Có thể thấy trên toàn dải tốc độ, công suất của động cơ khi sử dụng CNG đều thấp hơn so với khi sử dụng xăng. Trong đó, phương pháp phun CNG cho công suất thấp khoảng 4,8% ÷ 16,3%, trung bình 16,2% so với khi sử dụng xăng trong khi phương pháp sử dụng bộ hòa trộn kiểu ống Venturi cho công suất thấp hơn khoảng 21,1% ÷ 26,7%, trung bình 20,7% so với khi sử dụng xăng.

Bảng 2. So sánh công suất mô phỏng khi sử dụng xăng và CNG ở các tốc độ

Tốc độ động cơ (v/ph)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	TB
Xăng RON 92 (kW)	7.5	12.8	19.1	27.0	36.9	44.4	50.0	52.1	
CNG-trộn (kW)	5.6	9.8	14.9	21.3	27.0	33.4	38.8	41.2	
Chênh lệch (%)	-25.2	-23.3	-21.7	-21.1	-26.7	-24.7	-22.4	-21.0	-20.7
CNG-phun (kW)	4.8	10.7	16.9	23.0	30.8	36.9	41.8	43.2	
Chênh lệch (%)	-35.9	-16.4	-11.3	-14.8	-16.6	-17.0	-16.4	-17.1	-16.2

- Suất tiêu hao nhiên liệu: Trên Bảng 3 so sánh suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ ở chế độ toàn tải từ tốc độ 1000v/ph ÷ 4500v/ph khi sử dụng xăng RON 92, CNG phun vào cửa nạp và CNG được cung cấp bởi bộ hòa trộn kiểu ống Venturi. Đồ thị cho thấy, suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ được cải thiện rõ rệt khi sử dụng nhiên liệu CNG so với nhiên

liệu xăng. Mức giảm tiêu hao nhiên liệu trung bình khoảng 7,2% khi sử dụng phun CNG và giảm 3,9% khi sử dụng bộ hòa trộn so với khi sử dụng xăng. Do CNG có nhiệt trị khối lượng cao hơn xăng nên công suất sinh ra tính trên một đơn vị khối lượng nhiên liệu tiêu thụ cao hơn.

Bảng 3. So sánh suất tiêu hao nhiên liệu mô phỏng khi sử dụng xăng và CNG ở các tốc độ

Tốc độ động cơ (v/ph)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	TB
Xăng RON 92 (g/kW.h)	355.6	300.3	271.8	258.1	251.4	253.9	282.5	285.0	
CNG-trộn (g/kW.h)	354	301.0	264.2	244.7	236.3	240.8	258.7	263.0	
Chênh lệch (%)	-0.3	0.2	-2.8	-5.2	-6.0	-5.1	-8.4	-7.7	-3.9
CNG-phun (g/kW.h)	356	295.3	252.3	235.5	228.3	232.86	239.1	242.0	
Chênh lệch (%)	0.3	-1.7	-7.2	-8.7	-9.2	-8.3	-15.3	-15.1	-7.2



- Phát thải CO: Đồ thị trên Bảng 4 cho thấy, hàm lượng phát thải CO của động cơ khi sử dụng CNG giảm trung bình đến 76,2% và 77,4% trên toàn dải tốc độ tương ứng với trộn và phun CNG. Vì nhiên liệu CNG (thành phần chính là CH_4) có tỷ lệ C/H nhỏ hơn so với xăng (thành phần chính gần với C_8H_{18}) với cấu trúc

đơn giản hơn, hỗn hợp cháy đồng nhất hơn và cháy kiệt hơn nên phát thải CO của động cơ khi sử dụng CNG thấp hơn nhiều so với khi sử dụng xăng. Động cơ phun CNG phát thải CO thấp hơn không nhiều so với động cơ CNG sử dụng bộ hòa trộn, mức chênh lệch trung bình dưới 5%.

Bảng 4. So sánh nồng độ phát thải CO khi sử dụng xăng và CNG ở các tốc độ

Tốc độ động cơ (v/ph)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	TB
Xăng RON 92 (ppm)	5372.1	5976.2	6729.0	7052.0	7263.6	7356.1	7694.4	7865.0	
CNG-trộn (ppm)	1209.3	872.4	731.9	854.8	854.8	958.1	1072.2	1178.0	
Chênh lệch (%)	-77.5	-85.4	-89.1	-87.9	-88.2	-87.0	-86.1	-85.0	-76.2
CNG-phun (ppm)	1168.4	854.8	675.2	710.1	710.1	801.0	885.2	1184.0	
Chênh lệch (%)	-78.3	-85.7	-90.0	-89.9	-90.2	-89.1	-88.5	-84.9	-77.4

- Phát thải HC: Bảng 5 cho thấy động cơ khi sử dụng CNG có hàm lượng phát thải HC giảm nhiều so với khi sử dụng xăng trên toàn dải tốc độ của động cơ, giảm trung bình đến 81,1% đối với bộ trộn và 81,4% với phun CNG trên toàn dải tốc độ và giảm lớn nhất đến 92,5% ở tốc độ 3000v/ph. Khi sử dụng CNG, phát thải HC giảm mạnh như vậy là do hỗn hợp CNG-không khí đồng nhất hơn so với hỗn hợp xăng-không khí nên cháy kiệt hơn. Thêm nữa,

nhiên liệu CNG có tỷ số C/H nhỏ hơn so với nhiên liệu xăng trong khi phát thải HC cùng được tính quy về hàm lượng C_3H_8 nên hàm lượng phát thải HC của động cơ khi sử dụng CNG sẽ thấp hơn nhiều so với khi sử dụng nhiên liệu xăng. Động cơ phun CNG phát thải HC thấp hơn không đáng kể so với động cơ CNG sử dụng bộ hòa trộn. Mức chênh lệch lớn nhất khoảng 5%.

Bảng 5. So sánh phát thải HC khi sử dụng xăng và CNG ở các tốc độ

Tốc độ động cơ (v/ph)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	TB
Xăng RON 92 (ppm)	1295.7	1433.0	1600.6	1805.3	1922.5	1922.5	1901.3	1900.0	
CNG-trộn (ppm)	137.4	137.4	137.4	137.4	144.6	155.5	171.6	170.0	
Chênh lệch (%)	-89.4	-90.4	-91.4	-92.4	-92.5	-91.9	-91.0	-91.1	-81.1
CNG-phun (ppm)	132.2	132.2	132.2	140.8	140.8	148.0	164.8	162.0	
Chênh lệch (%)	-89.8	-90.8	-91.7	-92.2	-92.7	-92.3	-91.3	-91.5	-81.4

- Phát thải NO_x : Bảng 6 cho thấy hàm lượng phát thải NO_x giảm đáng kể khi sử dụng nhiên liệu CNG so với khi sử dụng xăng, mức giảm trung bình trên 50%. Điều này được giải thích do nhiệt độ cháy của CNG thấp hơn xăng,

do đó làm giảm nhiệt độ quá trình cháy dẫn tới phát thải NO_x giảm. Động cơ phun CNG phát thải NO_x cao hơn một chút so với động cơ CNG sử dụng bộ hòa trộn, mức chênh lệch trung bình khoảng 6%.

Bảng 6. So sánh phát thải NO_x khi sử dụng xăng và CNG ở các tốc độ

Tốc độ động cơ (v/ph)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	TB
Xăng RON 92 (ppm)	1,802.9	1,891.5	2,282.6	2,980.9	3,759.6	4,272.1	4,346.4	4,457.0	
CNG-trộn (ppm)	520.8	874.7	1,199.8	1,419.0	1,472.4	1,499.7	1,499.7	170.0	
Chênh lệch (%)	-71.1	-53.8	-47.4	-52.4	-60.8	-64.9	-65.5	-96.2	-56.9
CNG-phun (ppm)	606.6	900.9	1,209.8	1,430.2	1,515.9	1,604.3	1,654.7	1,712.0	
Chênh lệch (%)	-66.4	-52.4	-47.0	-52.0	-59.7	-62.4	-61.9	-61.6	-51.5

4. KẾT LUẬN

Động cơ phun xăng khi chuyển sang sử dụng CNG cấp vào đường nạp và không thay đổi kết cấu cũng như góc đánh lửa sớm của động cơ thì công suất giảm nhiều nhưng hàm lượng phát thải được cải thiện đáng kể so với động cơ xăng nguyên thủy. Suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ CNG cũng được cải thiện so với động cơ xăng nguyên thủy.

Động cơ phun CNG có hàm lượng phát thải CO và HC thấp hơn so với động cơ CNG sử dụng bộ hòa trộn trong khi phát thải NO_x cao hơn. Tuy nhiên, mức chênh lệch hàm lượng phát thải giữa hai phương pháp cấp CNG không nhiều, chỉ từ 5% ÷ 6%. ❖

Ngày nhận bài: 28/10/2023

Ngày phản biện: 10/11/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. H. Knapp (1990), *Knowledge of thermodynamic properties for natural gas processing*, Gas Separation & Purification 4 (3), pp 123-136.
- [2]. Mahmood Farzaneh-Gord, Mahdi Deymi-Dashtebayaz, Hamid Reza Rahbari (2011), *Studying effects of storage types on performance of CNG filling stations*, Journal of Natural Gas Science and Engineering 3 (1), pp 334-340.
- [3]. Nguyễn Thành Trung, 2019; *Luận án Tiến sĩ kỹ thuật*, Đại học Bách Khoa Hà Nội.
- [4]. AVL GmbH (2001), *Singer cylinder research engine 5402*, Austria.

