

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG ẢNH HƯỞNG CỦA GÓC ĐÁNH LỬA SỚM KHI DÙNG KHÍ CNG THAY THẾ CHO NHIÊN LIỆU XĂNG

RESEARCH FOR SIMULATION OF EFFECTS OF EARLY IGNITION ANGLE WHEN USING CNG AS A SUBSTITUTE FOR GASOLINE FUEL

Đào Hưng, Nguyễn Ngọc Sang

Khoa Điện tử, Trường Đại học Kinh tế Kỹ thuật Công nghiệp

TÓM TẮT

Bài báo này dùng phần mềm AVL-Boost để mô phỏng những ảnh hưởng của việc chuyển đổi động cơ đang sử dụng nhiên liệu xăng sang sử dụng nhiên liệu khí CNG. Cụ thể, bài báo nghiên cứu những thay đổi góc đánh lửa sớm của động cơ khi sử dụng nhiên liệu khí CNG cho động cơ xăng bằng phương pháp phun trực tiếp vào đường nạp. Mô hình mô phỏng thử nghiệm trên động cơ Toyota-5A, mọi thông số về kết cấu của động cơ được giữ nguyên bản. Kết quả nghiên cứu mô phỏng cho thấy, khi thay đổi góc đánh lửa sớm, công suất và tiêu hao nhiên liệu của động cơ sử dụng CNG được cải thiện đến 6%, nhưng phát thải HC và NOx tăng mạnh liệt; HC tăng 185% và NOx tăng 25%. Từ nghiên cứu mô phỏng trên đưa ra được những khuyến cáo cho nhà sản xuất cũng như người sử dụng được những thay đổi khi sử dụng nhiên liệu khí CNG cho động cơ xăng.

Từ khóa: Khí CNG; Suất tiêu hao nhiên liệu; Công suất; Mô phỏng.

ABSTRACT

This article uses the AVL-Boost software to simulate the effects of converting a gasoline engine to a compressed natural gas (CNG) fuel system. Specifically, the study investigates changes in the early ignition angle of the engine when using CNG fuel with both the direct injection method. The simulation model was tested on a Toyota-5A engine, and all structural parameters of the engine were kept the same. The simulation results show that when the early ignition angle is changed, the power and fuel consumption of the CNG engine are improved by 6%, but HC and NOx emissions increase significantly; HC increases by 185% and NOx increases by 25%. The simulation study provides recommendations for manufacturers and users on the changes that should be made when using CNG as a fuel for gasoline engines.

Keywords: CNG gas; Emission; Wattage; Simulation.



1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mức tiêu thụ nhiên liệu ngày càng tăng, đặc biệt là nhiên liệu hóa thạch truyền thống, xăng và dầu diesel, điều này đang gây nguy cơ cạn kiệt nhanh nguồn nhiên liệu truyền thống [1] và ô nhiễm môi trường trầm trọng do phát thải độc hại của động cơ [2]. Tình trạng thiếu nhiên liệu và ô nhiễm môi trường do khí thải động cơ đang ở mức báo động [3]. Do đó, vấn đề đặt ra là cần nghiên cứu và sử dụng các loại nhiên liệu thay thế có mức độ phát thải độc hại thấp để giảm ô nhiễm môi trường và giảm phụ thuộc vào nhiên liệu truyền thống. Khí thiên nhiên nén CNG là một nhiên liệu đáp ứng được các yêu cầu trên nên rất có tiềm năng. Việc chế tạo hay mua các động cơ CNG mới rất tốn kém, trong khi các loại động cơ xăng thì đang tồn tại rất nhiều. Do đó, việc nghiên cứu cơ sở khoa học của việc sử dụng nhiên liệu thay thế [4] và nhiên liệu khí thiên nhiên [5] là vấn đề cấp thiết trên thế giới. Khí CNG [6] có nhiều ưu điểm nhất là về phát thải.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT CỦA PHẦN MỀM AVL-BOOST

2.1. Mô hình hỗn hợp nhiên liệu

Sử dụng phần mềm AVL-Boost mô phỏng [7]. Các thông số của động cơ được thiết lập trong bước này. Số phần tử trong một mô hình Species gồm: nhiên liệu, O_2 , N_2 , CO_2 , H_2O , CO và H_2 . AVL-Boost đã xây dựng mô hình hoá học và đặc tính nhiệt động học của các phần tử Species trên hai cơ sở dữ liệu là `avlchembrnd.inp` và `bst_therm` [7].

2.2. Mô hình cháy

Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình cháy: hình dạng buồng cháy; vị trí và thời gian

đánh lửa; thành phần của khí nạp.

Tốc độ cháy của khối lượng nhiên liệu được tính theo phương trình 1:

$$\frac{dm_b}{dt} = \rho_u A_T S_L = \rho_u \left(\frac{A_T}{A_L} \right) A_L S_L \quad (1)$$

Tốc độ cháy sát vách có thể được miêu tả bằng sự suy giảm theo hàm mũ:

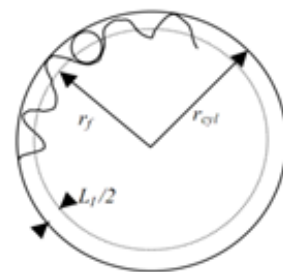
$$\left(\frac{dm_b}{dt} \right)_{wall-combustion} = \frac{m - m_b}{\tau} \quad (2)$$

Tốc độ cháy tổng thể rút ra như một giá trị trung bình của hai tốc độ cháy.

$$\left(\frac{dm_b}{dt} \right)_{overall} = (1 - w_2) \left(\frac{dm_b}{dt} \right)_{fractals} + w_2 \left(\frac{dm_b}{dt} \right)_{wall-combustion} \quad (3)$$

Sự chuyển tiếp giữa ba mô hình cháy dần dần bắt đầu khi trải qua khoảng thời gian chuyển tiếp t_{tr} , xác định tia lửa đầu tiên tới thành xy-lanh:

$$r_f = \frac{(m - mb)_{tr}}{(\rho_u A_T S_L)_{tr}} \quad (4)$$



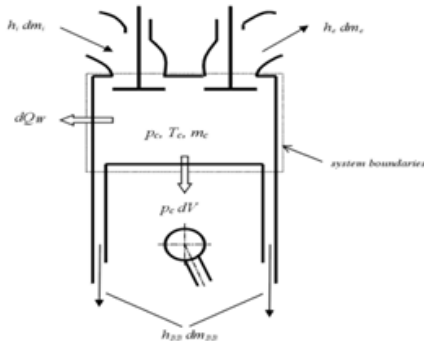
Hình 1. Hiện tượng cháy sát vách

$$\tau = \frac{(m - m_b)_{tr}}{(\rho_u A_T S_L)_{tr}} \quad (5)$$

Giá trị τ được giữ cho phù hợp trong suốt quá trình cháy sát vách sau đó. Độ đậm

w_2 tăng dần theo thời gian, phụ thuộc vào khối lượng không cháy tức thời ($m-m_b$).

2.3. Mô hình truyền nhiệt



Hình 2. Sự trao đổi nhiệt

Sự trao đổi nhiệt của xy-lanh ở quá trình áp suất cao trên hình 2.

Theo Định luật nhiệt động học 1 [8].

$$\frac{d(m_{cyl}.u)}{d\alpha} = -p_{cyl} \cdot \frac{dV}{d\alpha} + \frac{dQ_F}{d\alpha} - \sum \frac{dQ_W}{d\alpha} - h_{BB} \cdot \frac{dm_{BB}}{d\alpha} \quad (6)$$

Tổn thất nhiệt vách hay quá trình truyền nhiệt từ trong buồng cháy qua thành vách được tính theo công thức:

$$Q_{wi} = A_i \alpha_w (T_{cyl} - T_{wi}) \quad (7)$$

Hệ số truyền nhiệt tính theo mô hình Woschni 1978 [8]. Các mô hình toán nói trên kết hợp với mô hình nhiên liệu và mô hình cháy cho phép xác định được đặc điểm trao đổi nhiệt.

3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG ĐỘNG CƠ TOYOTA-5A

3.1. Giao diện của AVL Boost [7]

3.2. Các phần tử của chương trình

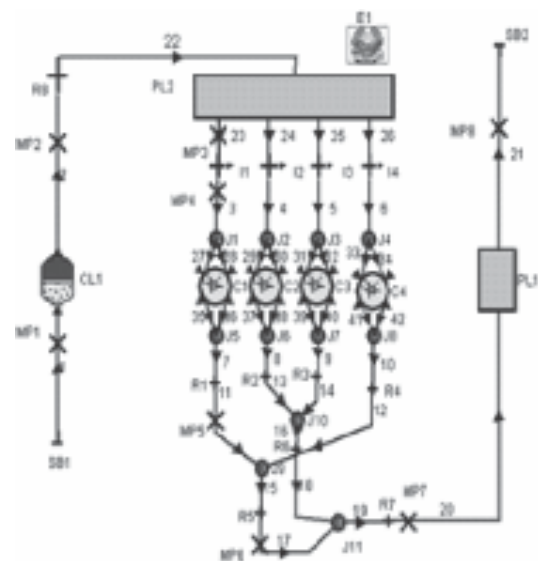
Phần tử xy-lanh; phần tử bình ổn áp; các phần tử nạp; phần tử ống; các phần tử gắn.

3.3. Thiết lập mô hình động cơ Toyota-5A trên AVL Boost

– Thiết lập mô hình: Định nghĩa các phần tử rồi kết nối chúng với nhau.

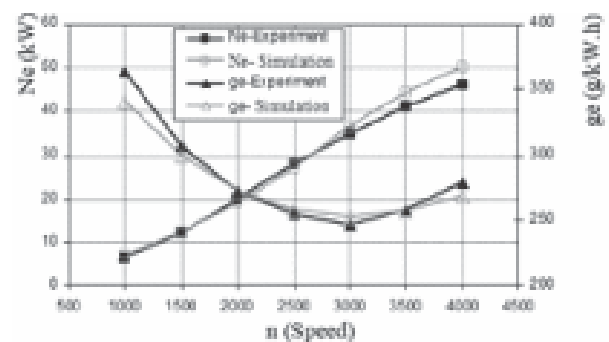
– Lựa chọn thuật toán và nhập các dữ liệu điều kiện biên, điều kiện đầu vào.

– Chạy mô hình và xuất ra kết quả.



Hình 3. Mô hình mô phỏng cung cấp khí CNG bằng phương pháp phun

Sau khi thiết lập được mô hình trên phần mềm, ta đi đánh giá độ tin cậy của mô hình.



Hình 4. So sánh kết quả mô phỏng và thực nghiệm

Đồ thị cho thấy sự sai lệch lớn nhất giữa công suất tính toán và số liệu đo thực nghiệm là 7,3% tại tốc độ 4000v/p, sai lệch trung bình 4,4%. Suất tiêu thụ nhiên liệu mô phỏng có sai lệch lớn nhất 5,2% so với thực và sai lệch trung bình 3,16%.

Với sai lệch nhỏ hơn 5% nên mô hình động cơ xây dựng ở trên đảm bảo độ tin cậy và sử dụng để tính toán mô phỏng các thông số làm việc của động cơ khi sử dụng xăng.

3.4. Góc đánh lửa sớm tối ưu của động cơ CNG

Góc đánh lửa sớm ảnh hưởng đến các chỉ tiêu kinh tế, kỹ thuật và phát thải [8, 9]. Mỗi loại nhiên liệu đều góc đánh lửa sớm thích hợp đảm bảo động cơ làm việc tối ưu. Do đó, góc đánh lửa sớm cần được nghiên cứu điều chỉnh để đảm bảo tối ưu ở các chế độ tốc độ của động cơ khi thay đổi loại nhiên liệu sử dụng.

3.4.1. Ảnh hưởng góc đánh lửa sớm đến đặc điểm làm việc của động cơ

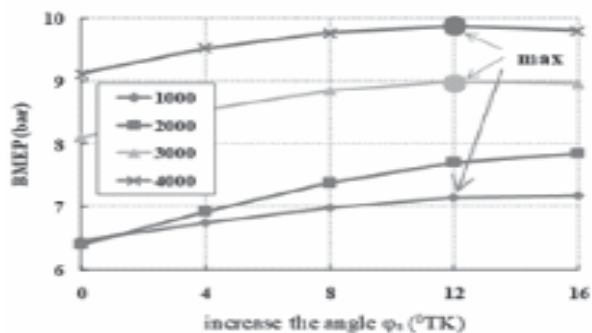
Tăng góc đánh lửa sớm 4° , 8° , 12° và 16° so với góc sớm nguyên bản (φ_s) và tiến hành tính toán mô phỏng áp suất có ích trung bình BMEP, từ đó xác định được góc đánh lửa sớm φ_s mà BMEP đạt lớn nhất tại mỗi tốc độ và đảm bảo chỉ số Octan RON tối thiểu yêu cầu nhỏ hơn trị số Octan RON = 120 của CNG.

Góc đánh lửa sớm của động cơ Toyota-5A nguyên bản φ_s toàn tải ở tốc độ 1000v/p, 2000v/p, 3000v/p và 4000v/p là -10° , 0° , 8° và 16° .

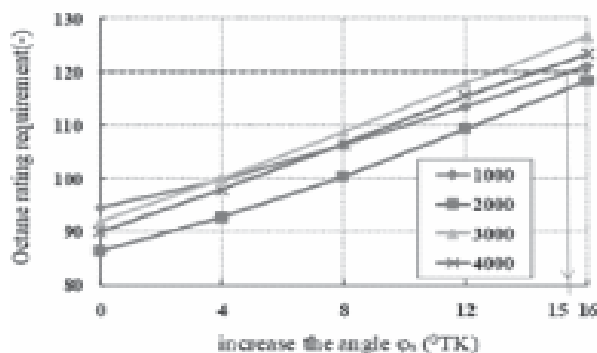
3.4.1.1. Ảnh hưởng của góc đánh lửa sớm đến BMEP

Ở hình 5, càng tăng góc φ_s thì chỉ số Octan RON càng tăng và vượt quá giá trị 120

ở các tốc độ 1000, 3000 và 4000v/p. Trong khi đó, ở tốc độ 2000v/p, BMEP tăng lên khi tăng φ_s và vẫn có xu hướng tiếp tục tăng. Ở tốc độ 1000, 3000 và 4000v/p, BMEP tăng và đạt giá trị cực đại ứng với độ tăng góc đánh lửa sớm 12° , sau đó giảm khi φ_s tiếp tục tăng.



Hình 5. Sự thay đổi BMEP theo góc đánh lửa sớm



Hình 6. Chỉ số Octan yêu cầu theo góc đánh lửa sớm

– Tốc độ 1000, 3000 và 4000v/p: BMEP đạt lớn nhất khi tăng góc đánh lửa sớm 12° so với góc nguyên bản.

– Tốc độ 2000v/p: BMEP đạt lớn nhất tại góc đánh lửa sớm 16° , để đảm bảo chỉ số Octan tối thiểu yêu cầu nhỏ hơn giá trị giới hạn.

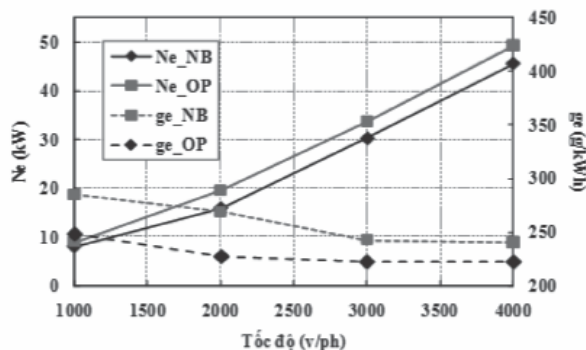
3.4.1.2 Ảnh hưởng của góc đánh lửa sớm đến công suất, tiêu hao nhiên liệu và phát thải của động cơ

Kết quả mô phỏng công suất, suất tiêu

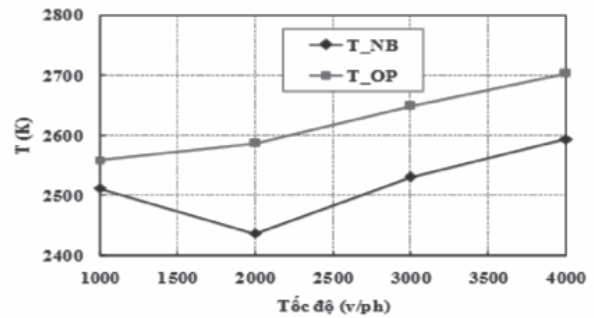
hao nhiên liệu và phát thải độc hại của động cơ sử dụng CNG ở chế độ toàn tải, tốc độ 4000v/p khi thay đổi góc đánh lửa sớm ϕ_s theo hướng tăng dần so với nguyên bản đến giá trị tăng 12° có BMEP lớn nhất khi tăng góc đánh lửa sớm ϕ_s thì công suất và suất tiêu hao nhiên liệu được cải thiện, phát thải CO cải thiện ít, trong khi hàm lượng phát thải HC và NOx tăng cao.

Cụ thể, khi tăng góc đánh lửa sớm thêm lần lượt 4° , 8° và 12° của động cơ khi sử dụng xăng thì công suất tăng tương ứng là 3,1%, 5,7% và 6,4%. Suất tiêu hao nhiên liệu giảm, phát thải CO chỉ giảm tối đa 3,2%, HC tăng lần lượt là 61,8%, 110,9% và 176,4%, NOx tăng mạnh lần lượt là 9,7%, 15,8% và 18,0%.

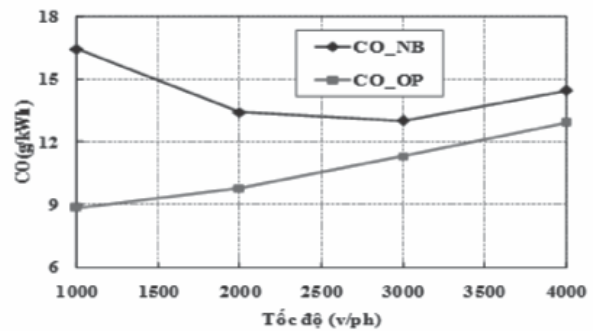
Hình 7 cho thấy trên toàn dải tốc độ 1000-4000v/p, công suất và suất tiêu hao nhiên liệu ở góc đánh lửa sớm có BMEP lớn nhất cải thiện được 5%-8% và trung bình khoảng 6%. Lý do là quá trình cháy chính dịch về gần điểm chết trên làm nhiệt độ cao nhất của khí thể tăng khoảng 100°K (hình 8), áp suất tăng và quá trình giãn nở sinh công của khí cháy hiệu quả hơn.



Hình 7. So sánh Ne và ge ở góc đánh lửa sớm nguyên bản và góc đánh lửa sớm cho BMEP lớn nhất

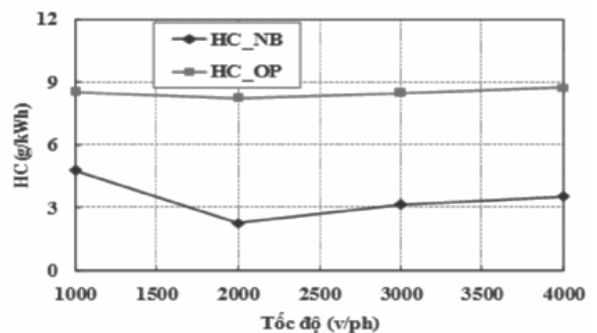


Hình 8. So sánh nhiệt độ khí thể cực đại trong xy-lanh ở góc đánh lửa sớm nguyên bản và góc đánh lửa sớm cho BMEP lớn nhất

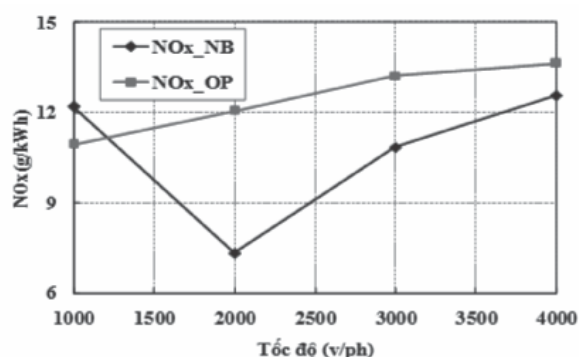


Hình 9. So sánh phát thải CO ở góc đánh lửa sớm nguyên bản và góc đánh lửa sớm cho BMEP lớn nhất

Hình 9 cho thấy phát thải CO cải thiện trung bình khoảng 20% và khoảng 10% ở tốc độ 3000-4000v/p. Hình 10 cho thấy phát thải HC tăng khoảng 185%, ở hình 11 chỉ ra phát thải NOx tăng khoảng 25%.



Hình 10. So sánh phát thải HC ở góc đánh lửa sớm nguyên bản và góc đánh lửa sớm cho BMEP lớn nhất



Hình 11. So sánh phát thải NOx ở góc đánh lửa sớm nguyên bản và góc đánh lửa sớm cho BMEP lớn nhất

3.4.2. Xác định góc đánh lửa sớm tối ưu của động cơ sử dụng CNG

Khi tăng góc đánh lửa sớm đến góc đánh lửa sớm có BMEP lớn nhất (tăng 12° ở tốc độ 1000v/p, 3000v/p và 4000v/p và 16° ở tốc độ 2000v/p) cho kết quả như sau:

+ Công suất và suất tiêu hao nhiên liệu được cải thiện đến 6,5%, CO cải thiện đến 10%;

+ Phát thải HC tăng 185%, NOx tăng 25%.

Muốn phát thải HC và NOx không tăng nhiều quá thì chỉ nên tăng góc đánh lửa sớm khoảng 4°. Khi đó công suất và suất tiêu hao nhiên liệu cải thiện được khoảng 3%, HC tăng gần 62% và NOx tăng gần 10%. Tuy nhiên, ở mức điều chỉnh tăng góc đánh lửa 4°, CO cải thiện được 1,5%.

4. KẾT LUẬN

– Khi điều chỉnh tăng góc đánh lửa sớm so với nguyên bản, công suất và tiêu hao nhiên liệu của động cơ sử dụng CNG được cải thiện đến 6% nhưng phát thải HC tăng 185% và NOx tăng 25%.

– Sử dụng phương pháp phun CNG vào đường nạp cho kết quả ổn định. Tuy nhiên, cần nghiên cứu thực nghiệm trang bị các hệ thống này và khảo nghiệm đánh giá tính năng làm việc của động cơ trong điều kiện thực tế để đề xuất ứng dụng phương pháp cấp CNG hợp lý cho từng loại động cơ, đảm bảo hài hòa các chỉ tiêu kinh tế, kỹ thuật và phát thải của động cơ chuyển đổi. ♦

Ngày nhận bài: 25/4/2023

Ngày phản biện: 16/5/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Shahriar Shafiee, Erkan Topal (2009); *When will fossil fuel reserves be diminished?*. Energy Policy, Volume 37, Issue 1, pp, 181-189.
- [2]. J,A, Paravantis, D,A, Georgakellos (2007); *Trends in energy consumption and carbon dioxide emissions of passenger cars and buses*. Technological Forecasting and Social Change, Volume 74, Issue 5, pp, 682-707.
- [3]. M, Pourkhesalian Ali, Amir H, Shamekhi, Farhad Salimi (2010); *Alternative fuel and gasoline in an SI engine – A comparative study of performance and emissions characteristics*, Fuel 89, Issue 5, pp, 1056-1063.
- [4]. Le Anh Tuan, et,al, (2009); *Experimental Findings of Biodiesel Fuels on Engines and on Transport Vehicles: A Case Study in Vietnam*. Asia Pacific Automotive Conference APAC15.
- [5]. Porpatham E, et,al, (2008); *Investigation on the effect of concentration of methane in biogas when, used as a fuel for a spark ignition engine*. Fuel 87(8-9), pp, 1651-1659.
- [6]. Michael S,Graboski, et,al, (1997); *Effect of fuel composition and altitude on regulated emissions from lean-burn, closed-loop-controlled natural gas engine*. SAE paper 971707.
- [7]. Theory AVL BOOST version 2020,1.
- [8]. Nguyen Tat Tien (2000); *“The principle of internal combustion engine”* by Education Publishing House.
- [9]. Heywood JB (1988); *Internal combustion engine fundamentals*, McGraw-Hill.