

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA THỜI GIAN CHÁY HOÀN TOÀN NHIÊN LIỆU ĐẾN TÍNH NĂNG KỸ THUẬT VÀ PHÁT THẢI CỦA ĐỘNG CƠ XĂNG

EFFECT OF COMPLETE COMBUSTION TIMING ON PERFORMANCE AND EMISSIONS OF A GASOLINE ENGINE

Nguyễn Tiến Hán¹, Nguyễn Quang Huy^{1,*},
Trịnh Đắc Phong¹, Nguyễn Tiến Đạt¹

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2025.330>

TÓM TẮT

Bài báo trình bày nghiên cứu phân tích ảnh hưởng của thời gian cháy hoàn toàn nhiên liệu đến hiệu suất và phát thải của động cơ đốt trong. Kết quả cho thấy khoảng 60 - 65° góc quay trục khuỷu (°CA) là giai đoạn thời gian đốt cháy tối ưu, khi áp suất trong xi-lanh đạt cực đại ngay sau điểm chết trên (TDC), giúp cải thiện đáng kể công suất và mô-men xoắn. Cụ thể, trong khoảng này, mô-men xoắn đạt 22,7Nm, công suất 11,35kW, trong khi các thông số hiệu suất như IMEP và BMEP cũng đạt giá trị cao. Đồng thời, mức tiêu thụ nhiên liệu riêng (BSFC) giảm xuống mức thấp nhất. Về phát thải, nồng độ HC và NO_x giảm rõ rệt tại khoảng thời gian đốt cháy hoàn toàn nhiên liệu ở 80°C, trong khi CO có xu hướng tăng nhẹ khi thời gian đốt cháy hoàn toàn nhiên liệu vượt quá 80°C. Những kết quả này khẳng định vai trò quan trọng của việc tối ưu thời gian đốt cháy nhằm nâng cao hiệu suất động cơ và giảm phát thải. Nghiên cứu cũng mở ra hướng phát triển ứng dụng nhiên liệu thay thế và hệ thống điều khiển thông minh để tối ưu hóa quá trình đốt cháy trong điều kiện vận hành thực tế.

Từ khóa: Thời gian đốt cháy hoàn toàn nhiên liệu; hiệu suất động cơ; BSFC; IMEP; BMEP.

ABSTRACT

The paper presents a study analyzing the effect of combustion duration on the performance and emissions of an internal combustion engine. The results indicate that a crank angle duration of 60–65°C is the optimal combustion duration, when the in-cylinder pressure reaches its maximum just after top dead center (TDC), leading to significant improvements in power and torque. Specifically, within this range, torque reaches 22.7Nm and power 11.35kW, while performance indicators such as IMEP and BMEP also achieve high values. At the same time, the brake specific fuel consumption (BSFC) decreases to its lowest level. In terms of emissions, HC and NO_x concentrations are markedly reduced when complete combustion duration occurs at 80°C, whereas CO shows a slight increase once the combustion duration exceeds 80°C. These findings highlight the crucial role of optimizing combustion timing to enhance engine performance and reduce emissions. The study also suggests future directions for applying alternative fuels and intelligent control systems to optimize combustion under real operating conditions.

Keywords: Combustion duration; engine performance; BSFC; IMEP; BMEP.

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: huyng@ecs.edu.vn

Ngày nhận bài: 27/5/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 28/7/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/9/2025

1. GIỚI THIỆU

Trong những năm gần đây, vấn đề nâng cao hiệu suất cháy và giảm phát thải ô nhiễm từ động cơ đốt trong, đặc biệt là động cơ xăng, đã trở thành trọng tâm của nhiều

nghiên cứu trên thế giới. Các công trình tập trung chủ yếu vào việc tối ưu hóa quá trình cháy, điều khiển thời điểm đánh lửa, cải tiến buồng cháy, áp dụng công nghệ tăng áp, cũng như sử dụng nhiên liệu thay thế. Tuy nhiên, việc

xây dựng một mô hình mô phỏng để điều khiển khoảng thời gian đốt cháy hoàn toàn nhiên liệu vẫn còn nhiều hạn chế.

Theo SAE International, động cơ đốt trong vẫn có tiềm năng được sử dụng dài hạn nếu kết hợp với nhiên liệu sạch, hệ thống hybrid và các công nghệ hỗ trợ [1]. Các yếu tố ảnh hưởng tới quá trình đốt cháy hoàn toàn nhiên liệu đã được nhiều nhóm nghiên cứu và nhà khoa học quan tâm như nghiên cứu về mô hình hóa và tối ưu hóa quá trình cháy trong động cơ đốt trong, bao gồm xác định áp suất cực đại và điều khiển góc đánh lửa [2], mô hình hóa quá trình cháy trong động cơ, xây dựng phương trình dự báo áp suất cực đại [3], ảnh hưởng của một số yếu tố đến nồng độ khí thải của xe ô tô, ảnh hưởng của thời gian sử dụng và tính chất sử dụng của xe ô tô đến nồng độ khí thải của xe ô tô [4].

Gần đây, các công nghệ tăng áp như siêu nạp điện đang được tích cực nghiên cứu nhằm cải thiện hiệu suất và giảm khí thải. Những nghiên cứu này cho thấy việc tích hợp siêu nạp điện vào động cơ diesel tăng áp giúp cải thiện hiệu quả nhiên liệu và giảm phát thải [5], trong khi Liu nhấn mạnh việc điều khiển thông minh cho siêu nạp điện góp phần tối ưu hóa phản ứng quá độ của động cơ [6]. Ngoài ra, các nghiên cứu mô phỏng cũng chứng minh tiềm năng dự đoán chính xác hiệu suất động cơ khi có thêm siêu nạp điện bằng mô hình 1D [7]. Một hướng đi khác được Rogovyi đề xuất là sử dụng buồng xoáy trong siêu nạp nhằm cải thiện hiệu suất ở dải tốc độ thấp [8]. Zhu cho rằng việc sử dụng siêu nạp có thể mang lại hiệu quả nhiệt, giảm phát thải đáng kể, nhưng cần kiểm soát kỹ để tránh tăng lượng NO_x [9].

Về mặt nhiên liệu, nhiều nghiên cứu đã thử nghiệm các loại nhiên liệu thay thế nhằm giảm phát thải mà vẫn duy trì hiệu suất cao. Trong nghiên cứu [10, 11] đã chỉ ra rằng việc bổ sung hydro ảnh hưởng đến thời gian cháy và tăng tốc độ ngọn lửa. Khi trộn hydro vào nhiên liệu diesel giúp cải thiện đặc tính cháy và giảm đáng kể CO, HC và muội than. Trong khi đó, Zhao cùng các cộng sự nghiên cứu việc pha trộn diesel với alcohol và cho thấy hiệu quả rõ rệt trong việc giảm phát thải NO_x mà không làm giảm hiệu suất cháy [12]. Đặc biệt, trong lĩnh vực động cơ sử dụng hydro, Oikawa đã chứng minh rằng siêu nạp giúp cải thiện hiệu suất nhiệt và làm giảm phát thải trong động cơ đốt nghèo gần như không phát thải [13].

Các nghiên cứu từ [14-16] tập trung vào nghiên cứu ảnh hưởng của quá trình cháy đến hiệu suất và phát thải của động cơ. Các nghiên cứu cho thấy rằng việc điều chỉnh, đánh giá các thông số liên hệ giữa đặc tính cháy

với hiệu suất và phát thải, thời điểm cháy, thời gian cháy, và chu kỳ thời gian cháy phù hợp giúp cải thiện hiệu suất đốt cháy, tăng áp suất cực đại trong buồng đốt, đồng thời làm giảm đáng kể mức phát thải NO_x .

Từ tổng quan trên, có thể thấy rằng thời gian cháy hoàn toàn nhiên liệu là một tham số đóng vai trò then chốt trong việc điều khiển quá trình cháy hiệu quả. Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu liên quan đến các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình cháy, nhưng: Chưa có nhiều nghiên cứu tách biệt rõ ràng tác động của thời gian cháy hoàn toàn đến cả hai mặt: tính năng kỹ thuật và phát thải khí độc hại. Chính vì những lí do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm nghiên cứu một cách có hệ thống ảnh hưởng của thời gian cháy hoàn toàn nhiên liệu đến hiệu suất vận hành và phát thải của động cơ xăng, từ đó đề xuất các giải pháp điều chỉnh thông số vận hành nhằm đạt được sự tối ưu cả về kinh tế lẫn môi trường.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Thời gian cháy hoàn toàn nhiên liệu trong động cơ đốt trong có ảnh hưởng lớn đến hiệu suất nhiệt, công suất, tiêu hao nhiên liệu, và mức phát thải. Thời gian đốt cháy hoàn toàn nhiên liệu được tính bằng góc quay của trục khuỷu $\Delta\theta$ [17]:

$$\Delta\theta = 2p \cdot N \cdot t_c / 60 \quad (1)$$

Trong đó: N là tốc độ quay của trục khuỷu; t_c là thời gian đốt cháy được tính bằng:

$$t_c = (P \cdot V) / \Delta T \quad (2)$$

ΔT là mức tăng nhiệt độ (K); P là Áp suất (Pa); V là thể tích buồng đốt (m^3)

Tốc độ cháy được mô tả bởi phương trình Wiebe:

$$x_b = 1 - \exp[-a(\theta - \theta_0)^m / \Delta\theta] \quad (3)$$

Trong đó: x_b là Phần trăm nhiên liệu đã cháy; a, m là tham số kinh nghiệm (phụ thuộc vào nhiên liệu và động cơ); θ là góc quay trục khuỷu hiện tại (độ); θ_0 là góc đánh lửa (độ); $\Delta\theta$ là góc cháy hoàn toàn (độ).

Thời gian cháy quyết định cách mà áp suất trong buồng cháy thay đổi theo chu kỳ của động cơ, mà áp suất trong buồng cháy lại là yếu tố trực tiếp tác động đến công suất sinh ra của động cơ. Áp suất cực đại trong xi lanh được xác định theo công thức:

$$P_{\max} = P_0 \cdot (V_c / V_0)^\gamma \cdot \eta_b \quad (4)$$

Trong đó: P_0 là áp suất ban đầu trong buồng cháy (Pa); V_0 là thể tích buồng cháy tại thời điểm bắt đầu quá trình cháy (m^3); V_c là thể tích buồng cháy tại điểm chết trên (m^3); γ : Hệ số tỷ lệ nhiệt dung; η_b là hiệu suất cháy.

Áp suất tác động đến công suất động cơ thông qua áp suất trung bình hiệu dụng:

$$P_e = p_m \cdot V_H \cdot n \cdot z / 60 \tag{5}$$

Trong đó: P_e là công suất hiệu dụng (kW); p_m là áp suất trung bình hiệu dụng (Pa); V_H là thể tích công tác (m^3); n là tốc độ quay của trục khuỷu (vòng/phút); z là số xi lanh.

Sự hình thành NO_x được ước tính theo phương trình Zeldovich [18]:

$$[NO] = k \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \cdot [O_2] \cdot [N_2] \tag{6}$$

Trong đó: $[NO]$ là nồng độ NO_x (mol/m^3); k là hằng số phản ứng; E_a là năng lượng kích hoạt (J/mol); R là hằng số khí ($J/mol \cdot K$); T là nhiệt độ khí cháy (K); $[O_2] \cdot [N_2]$ là nồng độ oxy và nitơ (mol/m^3).

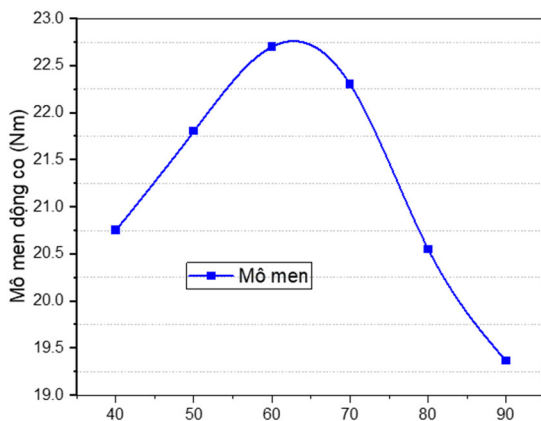
Thời gian cháy hoàn toàn nhiên liệu quyết định mức độ chuyển hóa năng lượng nhiên liệu thành công hữu ích. Hiệu suất nhiệt của động cơ xăng (chu trình Otto) được xác định:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r^{(\gamma-1)}} \tag{7}$$

Trong đó: η_t là hiệu suất nhiệt; r là tỷ số nén; γ là tỷ số nhiệt dung.

Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của thời gian cháy hoàn toàn nhiên liệu đến tính năng kỹ thuật và phát thải của động cơ xăng được xác định thông qua phương pháp mô phỏng sử dụng phần mềm AVL-boost.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

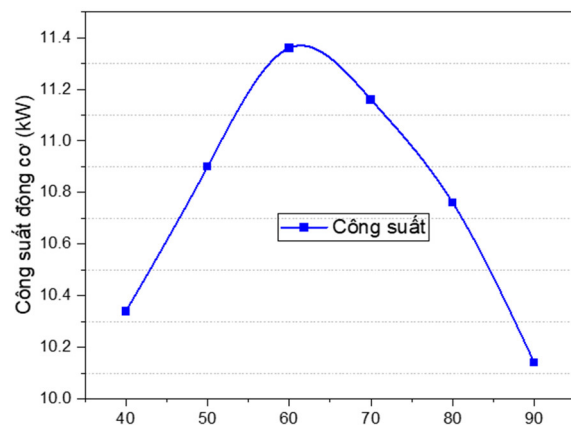


Hình 1. Ảnh hưởng của thời gian đốt cháy hoàn toàn nhiên liệu đến mô men xoắn

Kết quả nghiên cứu dựa trên chế độ động cơ làm việc toàn tải, bướm ga mở 100%, tốc độ động cơ 5000 vòng/phút, góc đánh lửa sớm là 15 độ trước điểm chết trên. Qua nghiên cứu thực nghiệm cho thấy, thời gian

đốt cháy hoàn toàn nhiên liệu có ảnh hưởng đáng kể đến các chỉ tiêu hiệu suất chính của động cơ, bao gồm mô men xoắn, công suất, áp suất trung bình hiệu dụng (IMEP, BMEP) và suất tiêu hao nhiên liệu (ISFC)... Sự thay đổi thời gian đốt cháy không chỉ tác động đến mức độ sinh công mà còn ảnh hưởng đến hiệu quả sử dụng nhiên liệu và đặc tính vận hành tổng thể của động cơ. Thời gian đốt cháy hoàn toàn nhiên liệu đóng vai trò vô cùng quan trọng trong việc xác định mô men xoắn của động cơ, bởi nó ảnh hưởng trực tiếp đến áp suất khí cháy trong buồng đốt.

Quan sát đồ thị, ta thấy mô men xoắn đạt giá trị cao nhất trong khoảng thời gian đốt cháy hoàn toàn nhiên liệu từ 60 đến 65 độ góc quay trục khuỷu ($^{\circ}CA$). Đây là khoảng thời gian tối ưu, nơi mà quá trình cháy diễn ra hiệu quả nhất, việc đốt cháy nhiên liệu hoàn thiện đúng thời điểm, khi piston gần điểm chết trên (TDC), tạo ra áp suất cực đại trong xi-lanh và lực đẩy lớn nhất. Điều này lý giải tại sao mô men xoắn đạt giá trị cao nhất ở khoảng 60 - 65 $^{\circ}CA$.

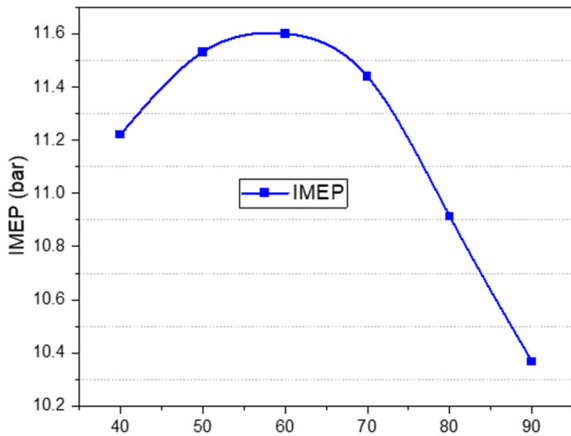


Hình 2. Ảnh hưởng của thời gian đốt cháy hoàn toàn nhiên liệu đến công suất hiệu dụng

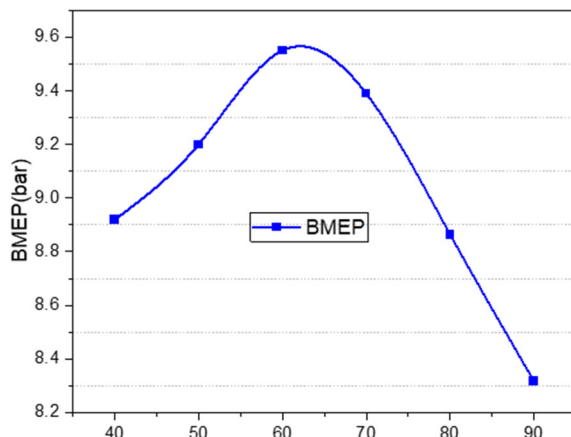
Trong giai đoạn từ 40 $^{\circ}$ đến 60 $^{\circ}$, công suất hiệu dụng tăng dần từ khoảng 10,4kW lên 11,3kW. Nguyên nhân là do sự kéo dài thời gian đốt cháy giúp hỗn hợp nhiên liệu và không khí cháy hoàn toàn hơn, tạo ra áp suất cao hơn trong buồng đốt. Áp suất này tác động mạnh mẽ hơn lên piston, làm tăng lực sinh công cơ học. Khi thời gian đốt cháy đạt khoảng 60 $^{\circ}$ - 65 $^{\circ}$, công suất hiệu dụng đạt cực đại ở mức 11,35kW.

Từ hình 3 có thể thấy rằng quá trình cháy trong khoảng này đạt được sự cân bằng giữa tốc độ cháy và mức độ hoàn thiện, đảm bảo hỗn hợp không khí - nhiên liệu được đốt cháy gần như hoàn toàn. Kết quả là áp suất cực đại xảy ra khi piston ở gần điểm chết trên (TDC), thời điểm mà lực đẩy của khí cháy được chuyển hóa hiệu quả

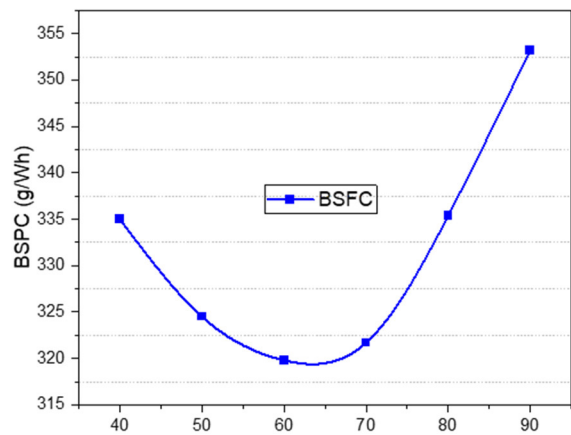
nhất thành công suất cơ học. Nếu áp suất cực đại xảy ra quá sớm (trước 60° CA), tổn thất áp suất ngược trong kỳ nén sẽ tăng, gây giảm hiệu quả sinh công. Ngược lại, nếu áp suất đỉnh xảy ra muộn hơn (sau 65° CA), năng lượng sinh ra không được sử dụng tối ưu, dẫn đến giảm công suất và tăng tổn thất nhiệt.



Hình 3. Ảnh hưởng của thời gian đốt cháy hoàn toàn nhiên liệu đến IMEP



Hình 4. Ảnh hưởng của thời gian đốt cháy hoàn toàn nhiên liệu đến BMEP

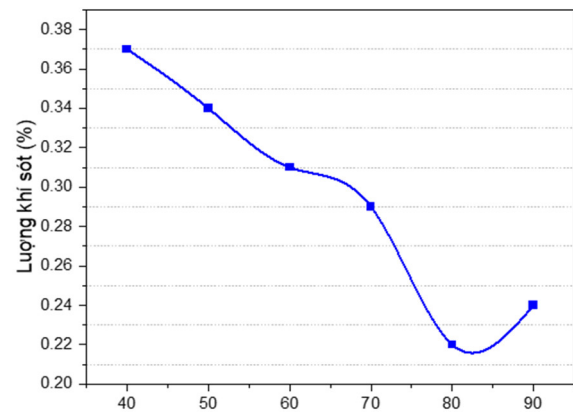


Hình 5. Ảnh hưởng của thời gian đốt cháy hoàn toàn nhiên liệu đến BSFC

Khi quá trình cháy diễn ra tối ưu và áp suất cực đại xuất hiện đúng thời điểm, giá trị của IMEP và BMEP sẽ tăng

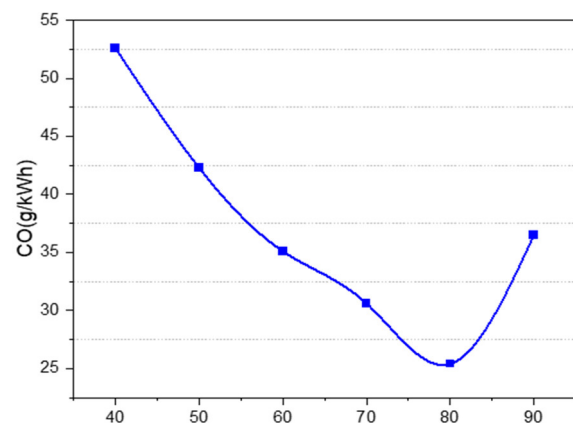
tương ứng. Trong khoảng 60 - 65° CA cũng được xem là tối ưu để BMEP đạt hiệu suất lớn nhất. Hình 4 thể hiện ảnh hưởng của thời gian cháy hoàn toàn đến áp suất trung bình hiệu dụng (BMEP, bar) của động cơ tại tốc độ 5000 vòng/phút. Kết quả cho thấy BMEP tăng dần khi thời gian cháy hoàn toàn tăng từ 40° đến khoảng 60°, đạt giá trị cực đại (~9,55bar). Sau thời điểm này, khi thời gian cháy tiếp tục tăng (> 60°), BMEP giảm dần.

Mục tiêu chung của tất cả các nghiên cứu là động cơ đạt hiệu suất cao, trong khi mức nhiên liệu thấp. Chính vì vậy việc đánh giá thời gian đốt cháy hoàn toàn đến BSFC là vô cùng cần thiết. Biểu đồ cho thấy, khi thời gian cháy hoàn toàn tăng từ 40° đến khoảng 60°, giá trị BSFC giảm dần từ 335g/kWh xuống mức thấp nhất khoảng 320g/kWh. Khoảng 60° - 65° được coi là giai đoạn mà quá trình cháy diễn ra hiệu quả nhất, giúp tối ưu hóa năng lượng sinh công và giảm tiêu hao nhiên liệu.



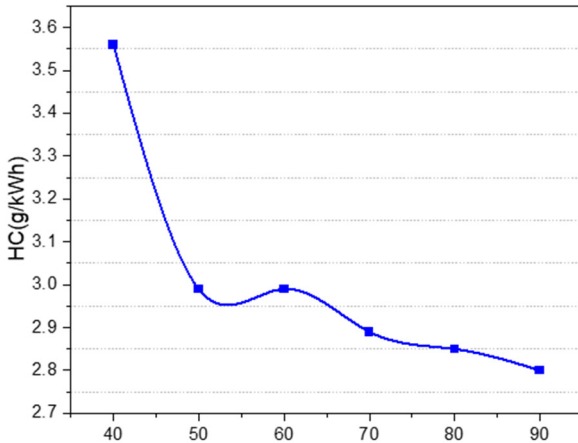
Hình 6. Ảnh hưởng của thời gian đốt cháy hoàn toàn nhiên liệu đến lượng khí sót

Trong khoảng 40° - 60°, lượng khí sót chỉ giảm nhẹ từ 0,3778 xuống 0,31, nhờ thời gian xả khí kéo dài hơn và áp suất trong buồng xả tăng lên, tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình thải khí. Đặc biệt, từ 60° - 80°, lượng khí sót tiếp tục giảm ổn định, đạt mức thấp nhất tại 80° với giá trị 0,22 khoảng thời gian mở van xả trong khoảng 80° là tối ưu.



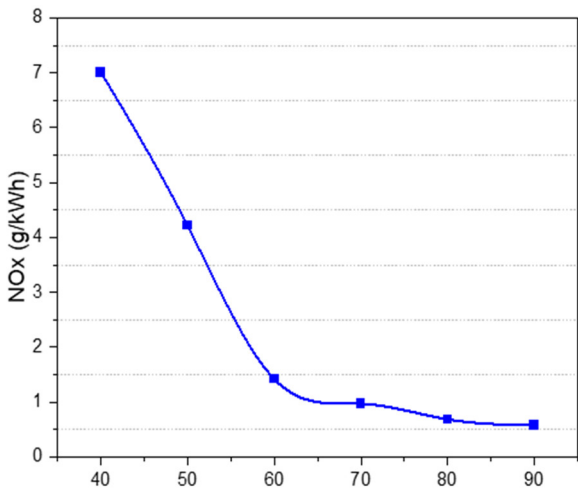
Hình 7. Ảnh hưởng của thời gian đốt cháy hoàn toàn nhiên liệu đến CO

Quan sát đồ thị hình 7, Khi thời gian cháy kéo dài từ 40° đến 75°, nồng độ CO giảm mạnh từ khoảng 52g/kWh xuống mức cực tiểu xấp xỉ 25g/kWh, vùng tối ưu để đạt mức phát thải CO thấp nhất nằm trong khoảng 70° - 80°, với giá trị cực tiểu khoảng 25g/kWh.



Hình 8. Ảnh hưởng của thời gian đốt cháy hoàn toàn nhiên liệu đến HC

Trái ngược với đồ thị CO, đồ thị của HC có xu hướng tổng thể là HC giảm khi thời gian cháy tăng, với vùng phát thải thấp nhất nằm từ 80° - 90°. Tuy nhiên, nếu xét đồng thời với các yếu tố khác (mô men cực đại ở 60° - 65° và CO cực tiểu ở 70° - 80°), thì điểm vận hành tối ưu cần được cân nhắc để đạt sự thỏa hiệp giữa hiệu suất động cơ và giảm phát thải ô nhiễm.



Hình 9. Ảnh hưởng của thời gian đốt cháy hoàn toàn nhiên liệu đến NO_x

Ngoài HC và CO, NO_x cũng là một trong những chất ô nhiễm không khí nguy hiểm, có tác động nghiêm trọng đến sức khỏe con người. Hình 9 cho thấy nồng độ phát thải NO_x (g/kWh) giảm mạnh khi khoảng thời gian đốt cháy hoàn toàn nhiên liệu (deg) tăng. Ở giai đoạn 40°, NO_x có giá trị rất cao, khoảng 7,0g/kWh, do lúc này quá trình

cháy diễn ra sớm, nhiệt độ và áp suất trong buồng cháy lớn, tạo điều kiện thuận lợi cho sự hình thành NO_x. Khi thời gian cháy tăng từ 40° đến 60°, NO_x giảm nhanh xuống còn khoảng 1,2g/kWh. Điều này là do nhiệt độ đỉnh trong buồng cháy giảm, khiến tốc độ phản ứng hình thành NO_x giảm mạnh. Từ 60° đến 90°, NO_x tiếp tục giảm nhưng với tốc độ chậm hơn, đạt giá trị cực tiểu khoảng 0,6g/kWh tại 90°. Điều này cho thấy khi quá trình cháy muộn, nhiệt độ và áp suất giảm đáng kể, sự hình thành NO_x gần như bị ức chế.

4. KẾT LUẬN

Phân tích kết quả cho thấy thời gian đốt cháy hoàn toàn tối ưu nằm trong khoảng 60 - 65° góc quay trục khuỷu (°CA), khi áp suất đỉnh đạt cực đại ngay sau điểm chết trên (TDC), tối đa hóa công suất và mô-men xoắn. Trong khoảng này, mô-men xoắn đạt 22,7Nm, công suất 11,35kW, trong khi các thông số hiệu suất như IMEP và BMEP cũng đạt giá trị cao. Đồng thời, mức tiêu thụ nhiên liệu riêng (BSFC) giảm xuống mức thấp nhất. Về phát thải, nồng độ HC và NO_x giảm rõ rệt tại thời điểm 80°CA, trong khi CO có xu hướng tăng nhẹ. Những kết quả này khẳng định vai trò quan trọng của việc tối ưu thời gian đốt cháy nhằm nâng cao hiệu suất động cơ và giảm phát thải. Khoảng thời gian 60 - 65°CA góc quay trục khuỷu (°CA) được coi là khoảng thời gian lý tưởng để đạt được công suất của động cơ, đảm bảo lượng phát thải là thấp nhất. Tuy lượng CO chưa thực sự tối ưu, nhưng tại 60° hầu hết các thông số về công suất đều đạt các giá trị tốt nhất. Kết quả nghiên cứu cho thấy thời gian đốt cháy hoàn toàn đóng vai trò quan trọng trong việc quyết định công suất và mức phát thải của động cơ, tạo cơ sở cho các nghiên cứu mở rộng trong tương lai cùng việc phát triển các mô hình mô phỏng tối ưu hóa hiệu quả đốt cháy kết hợp với thực nghiệm. Nghiên cứu cũng mở ra hướng phát triển ứng dụng nhiên liệu thay thế và hệ thống điều khiển thông minh để tối ưu hóa quá trình đốt cháy trong điều kiện vận hành thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. SAE International, "Combustion engines: An extended future," *SAE International*, 2022. [Online]. Available: <https://www.sae.org/news/2022/04/combustion-engines-extended-future>.
- [2]. Nguyễn Văn Hà, Đỗ Văn Duy, "Nghiên cứu mô hình hóa quá trình cháy trong động cơ đốt trong," *Tạp chí Khoa học và Công nghệ*.
- [3]. Nguyễn Văn Đước, Lê Anh Tuấn, "Nghiên cứu ảnh hưởng của thiết kế buồng đốt đến hiệu suất động cơ," *Tạp chí Cơ khí Việt Nam*.

- [4]. Nguyễn Văn Tụ, Chu Jiangwei, "Nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố đến nồng độ khí thải của xe ô tô", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp*, 1, 2016.
- [5]. S. Baek, H. Lee, K. Lee, "Fuel efficiency and exhaust characteristics of turbocharged diesel engine equipped with an electric supercharger," *Energy*, 214, 119049, 2021. doi: 10.1016/j.energy.2020.119049.
- [6]. Y. Liu, Y. Song, L. Leng, L. Shi, K. Deng, "Effects of control strategies of the electric supercharger on transient processes of a turbocharged diesel engine," *Energy*, 307, 132427, 2024. doi: 10.1016/j.energy.2024.132427.
- [7]. S. Baek, S. Woo, Y. Kim, K. Lee, "Prediction of turbocharged diesel engine performance equipped with an electric supercharger using 1D simulation," *Energy*, 185, 213-228, 2019. doi: 10.1016/j.energy.2019.07.060.
- [8]. A. Rogovyi, "Energy performances of the vortex chamber supercharger," *Energy*, 163, 52-60, 2018. doi: 10.1016/j.energy.2018.08.075.
- [9]. D. Zhu, et al., "Experimental study on combustion and emission characteristics of diesel engine with high supercharged condition," *Chemosphere*, 304, 135336, 2022. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.135336.
- [10]. Haroun A.K, Maher A.R., "A prediction study of the effect of hydrogen blending on the performance and pollutants emission of a four-stroke spark ignition engine," *International Journal of Hydrogen Energy*, 24, 4, 363-375, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0360-3199\(98\)00040-8](https://doi.org/10.1016/S0360-3199(98)00040-8).
- [11]. M. Vargün, A. Yapmaz, V. Kalender, I. T. Yılmaz, "Investigation of the effects of using hydrogen enriched fuel blends in a diesel engine on engine performance, combustion and exhaust emissions," *Int. J. Hydrogen Energy*, 97, 1399-1410, 2025. doi: 10.1016/j.ijhydene.2024.11.488.
- [12]. W. Zhao, J. Yan, S. Gao, T. H. Lee, X. Li, "The combustion and emission characteristics of a common-rail diesel engine fueled with diesel and higher alcohols blends with a high blend ratio," *Energy*, 261, Part B, 124972, 2022. doi: 10.1016/j.energy.2022.124972.
- [13]. M. Oikawa, et al., "Effect of supercharging on improving thermal efficiency and modifying combustion characteristics in lean-burn direct-injection near-zero-emission hydrogen engines," *Int. J. Hydrogen Energy*, 47, 2, 1319-1327, 2022. doi: 10.1016/j.ijhydene.2021.10.061.
- [14]. Jehad A, Yamin. A, Gupta. H.Nm, Bansal B.B., "The effect of combustion the performance and emission characteristics of propane-fueled 4-Stroke S.I. Engines," *Emirates Journal for Engineering Research*, 8 (1), 1-14, 2003.
- [15]. Yousufuddin Syed, "Effect of combustion duration on the operating and performance characteristics of a hydrogen-ethanol dual fueled engine: An Experimental analysis," *International journal of Advances on Automotive and technology*, 1, 1, 36-45, 2016.
- [16]. Fanhua Ma, Wang Yu. Junjun Wang, Shangfen Ding, Yefu Wangs, Shuli Zhao, "Effects of Combustion Phasing, Combustion duration and Their Cyclic Variations on Spark-Ignition Engine Efficiency," *Energy and Fuels*, 22, 3002-3028, 2008. doi: 10.1021/ef8003027
- [17]. J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1988.
- [18]. H. Hiroyasu, K. Saito, "Formation and reduction of nitrogen oxides in diesel engine combustion," *SAE Technical Paper Series*, 830160, 1983.

AUTHORS INFORMATION

**Nguyen Tien Han¹, Nguyen Quang Huy¹, Trinh Dac Phong¹,
Nguyen Tien Dat¹**

¹Hanoi University of Industry, Vietnam