



Ảnh hưởng của hỗn hợp nhiên liệu 2,5-dimethylfuran-diesel tới hiệu suất và phát thải động cơ diesel

Effect of 2,5-dimethylfuran-diesel blends on the performance and emissions characteristics diesel engines

Lư Huệ Phước^{1,*}, Đoàn Văn Đồng^{1,2}, Nguyễn Danh Chấn¹

¹ Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

² Nhóm nghiên cứu BRIDGE, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

Từ khóa:

TÓM TẮT

2,5-dimethylfuran
DMF-diesel
Động cơ diesel
Phát thải

Bài báo này trình bày nghiên cứu ảnh hưởng của phối trộn 2,5-dimethylfuran (DMF) vào nhiên liệu diesel đến hiệu suất và phát thải của động cơ diesel. Đối tượng nghiên cứu là động cơ diesel hạng nặng Hyundai D6AC. Nhiên liệu nghiên cứu gồm diesel nguyên chất và các pha trộn DMF theo thể tích ở các tỷ lệ 10%, 20%, 30% tương ứng với DMF10, DMF20, DMF30. Quá trình mô phỏng được thực hiện bằng phần mềm AVL BOOST. Kết quả cho thấy khi tỷ lệ DMF tăng thì công suất giảm lần lượt 2,37%, 4,75%, 7,16% và mô men xoắn giảm 2,39%, 4,77%, 7,18%, đồng thời mức tiêu hao nhiên liệu tăng 2,22%, 4,71%, 7,38%. Ngoài ra, lượng phát thải CO giảm 9,05%, 15,82%, 19,90% và bồ hóng giảm 3,6%, 11,49%, 20,72%, trong khi NO_x tăng đáng kể lần lượt 46,39%, 92,88%, 140,25% tương ứng với các mức pha trộn DMF.

Keywords:

ABSTRACT

2,5-dimethylfuran
DMF-diesel
Diesel engine
Emissions

This paper investigates the effects of blending 2,5-dimethylfuran (DMF) with diesel fuel on the performance and emissions of a heavy-duty Hyundai D6AC diesel engine. The fuels studied include pure diesel and DMF-diesel blends with volumetric ratios of 10%, 20%, 30%, denoted as DMF10, DMF20, DMF30, respectively. Simulated using AVL BOOST software. The results indicate that increasing DMF content leads to reductions in engine power by 2.37%, 4.75%, 7.16%, and torque by 2.39%, 4.77%, 7.18%. Conversely, brake specific fuel consumption increases by 2.22%, 4.71%, 7.38%. In terms of emissions, CO decreases by 9.05%, 15.82%, 19.90%, and soot by 3.6%, 11.49%, 20.72%, while NO_x emissions increase significantly by 46.39%, 92.88%, 140.25%, corresponding to the DMF blending levels.

1. Đặt vấn đề

Sự cạn kiệt ngày càng gia tăng của các nguồn nhiên liệu hóa thạch, cùng với diễn biến đáng báo

động của hiện tượng nóng lên toàn cầu, đã nhấn mạnh tính cấp thiết của việc cách mạng hóa mạng lưới cung cấp năng lượng đặc biệt là trong lĩnh vực

* Lư Huệ Phước. Trường Đại học giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

Email: luphuoc76@gmail.com

<https://www.doi.org/10.55228/JTST140508>

Ngày nhận bài: 13/6/2025; Ngày nhận bài sửa: 31/08/2025; Ngày chấp nhận đăng: 10/09/2025

Ngày xuất bản trực tuyến: 15/9/2025

pISSN: 1859-4263; eISSN: 3030-4261

giao thông vận tải. Trong những năm gần đây, các nỗ lực nghiên cứu đã tập trung mạnh mẽ vào việc phát triển và khai thác các loại nhiên liệu thay thế có nguồn gốc từ sinh khối tái tạo. Trong số đó, nhiên liệu sinh học (NLSH) nổi lên như một thành phần then chốt trong lộ trình hướng tới các giải pháp năng lượng bền vững. Đặc biệt, ethanol được xem là một trong những NLSH được sử dụng rộng rãi nhất nhờ nguồn gốc tái tạo, chỉ số ốcs tan cao và các đặc tính cháy thuận lợi, khiến nó phù hợp với các động cơ đốt trong [1]. Tuy nhiên, ethanol vẫn tồn tại một số hạn chế đáng kể khi được sử dụng trong động cơ diesel. Cụ thể, ethanol có chỉ số xê tan thấp, tỷ trọng thấp và dễ hút ẩm từ môi trường, làm suy giảm tính ổn định trong lưu trữ và phân phối nhiên liệu. Ngoài ra, việc mở rộng sản xuất ethanol ở quy mô lớn là không thể do hạn chế về diện tích canh tác và ảnh hưởng an ninh lương thực [2].

Với những tiến bộ trong nghiên cứu NLSH, các nhiên liệu như 2,5-dimethylfuran (DMF) được xác định là ứng viên tiềm năng hơn trong động cơ diesel so với ethanol. DMF sở hữu một số đặc tính lý hóa vượt trội, bao gồm khả năng không tan trong nước, độ hòa tan cao trong nhiên liệu gốc hydrocacbon, mật độ năng lượng lớn hơn (30 MJ/L so với 26,9 MJ/L của ethanol), tỷ trọng cao hơn (889,7 kg/m³ với 789 kg/m³) và hàm lượng hydrocacbon cao hơn so với ethanol. Ngoài ra, nhiệt độ sôi cao (93°C so với 78,4°C) của DMF giúp giảm hiện tượng bay hơi trong quá trình vận chuyển và lưu trữ. Nhờ những ưu điểm này, DMF được xem là một giải pháp thay thế đầy hứa hẹn trong việc phát triển NLSH cho động cơ diesel [3].

Nhiều công trình nghiên cứu đã có những bước đột phá lớn trong việc điều chế DMF thông qua việc xúc tác có hiệu quả quá trình chuyển đổi glucose và fructose để tạo ra 5-hydroxymethylfurfural (HMF). Cellulose có thể chuyển đổi thành 5-chloromethylfurfural (CMF) qua quá trình thủy phân tạo ra DMF hiệu suất cao [4-7]. Hiện nay, nhiều bài báo nghiên cứu tập trung vào quá trình đốt cháy và phát thải của DMF khi sử dụng trong động cơ diesel. Công trình [8] đã trình bày nghiên cứu về phát thải từ hỗn hợp nhiên liệu DMF-diesel được sử dụng trong động cơ diesel, với trọng tâm nghiên cứu là phát thải bồ hóng và sự phân bố kích thước hạt. Kết quả nghiên cứu cho thấy, DMF có khả năng làm giảm phát thải bồ hóng từ động cơ diesel trong một số điều kiện vận hành nhất định, chủ yếu nhờ vào trị số xê tan và đặc

tính oxy hóa của DMF. Tuy nhiên, các nghiên cứu ở quy mô phòng thí nghiệm cũng chỉ ra rằng DMF có xu hướng hình thành các tiền chất bồ hóng thông qua sự tạo thành các gốc cyclopentadienyl vốn có thể trực tiếp tham gia vào quá trình phát triển các hợp chất thơm đa vòng (PAH). Việc giảm phát thải bồ hóng khi sử dụng hỗn hợp DMF-diesel trong động cơ diesel là kết quả của sự tương tác giữa nhiều yếu tố, bao gồm điều kiện vận hành, đặc tính cháy và các đặc tính lý hóa của nhiên liệu, cũng như phát thải bồ hóng được hình thành từ quá trình chuyển hóa nhiên liệu trong buồng cháy. Trong khi đó, công trình [9] đã nghiên cứu đặc tính nhiên liệu đến các đặc điểm của tia phun với hỗn hợp nhiên liệu thử nghiệm gồm DMF, n-butanol, diesel sinh học chiết xuất từ đậu nành và heptan-xăng. Bốn hỗn hợp pha trộn vào diesel nguyên chất với 20% hỗn hợp theo thể tích được gọi tên lần lượt là DMF20, BD13B7, NH13G7 và NH16DMF4. Các điều kiện thử nghiệm được thiết lập với áp suất được duy trì trong buồng cháy ở 5 MPa, áp suất phun được thiết lập ở 90 MPa, 120 MPa, 150 MPa và thời gian kim phun mở là 2,0 ms. Kết quả nghiên cứu cho thấy, đặc tính của các hỗn hợp nhiên liệu có ảnh hưởng đến chiều dài tin phun (STP), cụ thể ở 90 MPa, STP của BD13B7 và NH13G7 cao hơn DMF20 nguyên nhân là do độ nhớt động học của BD13B7 và NH13G7 cao và khối lượng riêng thấp làm tăng kích thước hạt nhiên liệu và tăng vận tốc phun. Trong khi đó STP của NH16DMF4 thấp hơn DMF20 là do khối lượng riêng và ẩn nhiệt hóa hơi của DMF cao hơn. Ở 150 MPa, STP của DMF20 cao nhất. Các hỗn hợp nhiên liệu cũng ảnh hưởng đến diện tích phân bố nhiên liệu trung bình tia phun (ASA), DMF20 có ASA lớn nhất là do độ nhớt động học DMF thấp giúp cải thiện quá trình phá vỡ tia phun và làm giảm lực cản nitơ trong quá trình phun. Ngoài ra, các hỗn hợp này cũng ảnh hưởng đến diện tích tia phun (SA), ở áp suất thấp DMF20 không mang lại hiệu quả rõ rệt trong việc cải thiện đặc tính phun, tuy nhiên khi áp suất tăng lên thì DMF20 lại rất thuận lợi, giúp cải thiện đáng kể sự phát triển không gian tia phun. Hơn nữa, các hỗn hợp này ảnh hưởng đến đường kính trung bình giọt nhiên liệu (SMD), giá trị đường kính trung bình của các hỗn hợp nằm trong khoảng 16,686 đến 18,148 μm. Trong đó SMD của BD13B7 thấp nhất, tiếp đến DMF20. Các tác giả tại công trình [10] đã nghiên cứu một cơ chế phản ứng cho hỗn hợp gồm

n-heptan/toluen/DMF và các PAH, bao gồm 78 loài và 190 phản ứng. Cơ chế này để dự đoán quá trình cháy và phát thải của động cơ diesel sử dụng hỗn hợp DMF-diesel. Trước tiên cơ chế phản ứng của DMF được rút gọn bằng các phương pháp giảm cơ chế phản ứng hóa học (DRGEP), phương pháp toán học để phân tích rút gọn hệ phương trình (CSP), phương pháp xác định phản ứng quan trọng (ROPA) và phương pháp phân tích độ nhạy theo nhiệt độ (TSA). Sau đó xây dựng tích hợp cơ chế rút gọn DMF với mô hình nhiên liệu diesel có xét đến quá trình hình thành PAH. Các cơ chế này tiếp tục được tối ưu hóa bằng cách hiệu chỉnh các hằng số tốc độ phản ứng, tạo thành cơ chế rút gọn hoàn chỉnh. Kết quả mô phỏng cho thấy, các dữ liệu về quá trình cháy và phát thải của động cơ diesel hoàn toàn phù hợp với thực nghiệm.

Ở Việt Nam, với điều kiện khí hậu ôn hòa rất thích hợp trồng trọt như lúa, sắn, ngô, mía là nguồn nguyên liệu dồi dào để sản xuất NLSH. Được sự quan tâm và chú trọng rất lớn của Chính Phủ đối với NLSH, tình hình nghiên cứu và sản xuất NLSH ở nước ta ngày càng phát triển. Cụ thể, Chính Phủ đã ban hành quyết định số: 177/2007/QĐ-TTg về việc phê duyệt đề án phát triển NLSH đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2025 [11]. Một số công trình nghiên cứu về DMF đã được thực hiện, kết quả của các nghiên cứu cho thấy nhiều mặt tích cực mà DMF mang lại. Công trình [12] đã nghiên cứu ảnh hưởng của hỗn hợp nhiên liệu 2,5-dimethylfuran-xăng tới các tính năng kinh tế, kỹ thuật của động cơ. Nghiên cứu được thực hiện bằng mô phỏng số trên động cơ 1NZ-FE, 4 kỳ, 4 xi lanh, nhiên liệu được sử dụng là DMF theo phần trăm thể tích tương ứng 20%, 30%, 40%. Kết quả nghiên cứu cho thấy, công suất động cơ giảm khi tỷ lệ DMF tăng, là do DMF có thời gian cháy trễ nhỏ hơn xăng làm áp suất cực đại trong xi lanh diễn ra sớm hơn làm tăng công suất nén của động cơ. Nếu thay đổi góc đánh lửa sớm thì công suất và hiệu suất tăng. Khi sử dụng nhiên liệu có tỷ lệ DMF cao thì cần phải điều chỉnh góc đánh lửa sớm để không làm hỏng động cơ cũng như các tính năng khác. Nghiên cứu đặc tính kỹ thuật và phát thải khi sử dụng DMF trên động cơ xăng [13]. Nghiên cứu trên động cơ 1NZ-FE, 4 kỳ, 4 xi lanh, nhiên liệu được sử dụng với phần trăm DMF theo thể tích là 10% đến 50%. Kết quả nghiên cứu cho thấy, lượng phát thải HC và CO giảm khi tăng lượng DMF

trong hỗn hợp nhiên liệu, ngược lại NO_x tăng. Suất tiêu hao nhiên liệu tăng dần khi DMF theo phần trăm thể tích càng lớn, công suất của động cơ giảm.

Tuy nhiên, hiện nay rất ít các công trình nghiên cứu chứng minh tính ưu việt của về diesel sinh học. Nguyên nhân chính là do sự hạn chế về công nghệ cũng như gặp khó khăn trong lựa chọn động cơ để nghiên cứu. Do vậy, bài báo này đã tập trung nghiên cứu mô phỏng số trên phần mềm AVL Boost và mô phỏng động cơ diesel sử dụng hỗn hợp DMF-diesel. Kết quả thu được để đánh giá ảnh hưởng của hỗn hợp nhiên liệu đến hiệu suất và phát thải của động cơ so với nhiên liệu diesel nguyên chất, cũng như làm tiền đề thực nghiệm trên động cơ diesel.

Cấu trúc phần còn lại của bài báo được tổ chức như sau. Phần 2 trình bày cụ thể về phương pháp thực hiện. Phần 3 là các kết quả mô phỏng và phân tích đánh giá qua nhiều trường hợp khác nhau. Cuối cùng, kết luận được tóm tắt tại phần 4.

2. Phương pháp thực hiện

2.1. Cơ sở lý thuyết tính toán mô phỏng quá trình cháy trong phần mềm AVL Boost

Quá trình cháy của nhiên liệu bên trong buồng đốt được áp dụng bằng phương pháp nghiên cứu cân bằng năng lượng, phương pháp này tuân thủ theo phương trình nhiệt động thứ nhất cho phép xác định diễn biến cháy ở điểm đầu và điểm cuối của quá trình cháy [14]:

$$\frac{d(m_c u)}{d\alpha} = -p_c \frac{dV}{d\alpha} + \frac{dQ_F}{d\alpha} - \sum \frac{dQ_w}{d\alpha} - h_{BB} \frac{dm_{BB}}{d\alpha} + \sum \frac{dm_i}{d\alpha} h_i - \sum \frac{dm_e}{d\alpha} h - q_{ev} f \frac{dm_{ev}}{dt} \quad (1)$$

Trong đó: $\frac{d(m_c u)}{d\alpha}$ là biến đổi nội năng bên trong xi lanh; $p_c \frac{dV}{d\alpha}$ công chu trình thực hiện; $\frac{dQ_F}{d\alpha}$ nhiệt lượng cấp vào (đốt cháy nhiên liệu); $\sum \frac{dQ_w}{d\alpha}$ tổn thất nhiệt qua vách; $h_{BB} \frac{dm_{BB}}{d\alpha}$ tổn thất nội năng do lọt khí; m_c khối lượng môi chất bên trong xi lanh; u nội năng của hệ; p_c áp suất bên trong xi lanh; V thể tích xi lanh; Q_F nhiệt lượng do nhiên liệu cung cấp; Q_w nhiệt lượng tổn thất qua vách; α góc quay trục khuỷu; h_{BB} trị số enthalpy; $\frac{dm_{BB}}{d\alpha}$ biến thiên khối lượng dòng chảy; dm_i khối lượng phần tử lưu lượng vào xi lanh; dm_e khối lượng phần tử lưu lượng ra khỏi xi lanh; h_i enthalpy

của khối lượng vào xi lanh; h_e enthalpy của khối lượng ra khỏi xi lanh; q_{ev} nhiệt hóa hơi của nhiên liệu; f phần tử của nhiệt hóa hơi khi nạp vào xi lanh; m_{ev} lượng nhiên liệu hóa hơi.

- Mô hình cháy:

Đối với động cơ diesel thì mô hình cháy Vibe 2-zone rất thích hợp để mô phỏng khi sử dụng hỗn hợp môi chất bên trong xi lanh. Mô hình cháy Vibe 2-zone chia buồng đốt thành hai vùng: vùng cháy và vùng chưa cháy thể hiện qua phương trình [14]:

$$\frac{dm_b u_b}{d\alpha} = -p_c \frac{dV_b}{d\alpha} + \frac{dQ_F}{d\alpha} - \sum \frac{dQ_{Wb}}{d\alpha} + h_u \frac{dm_b}{d\alpha} - h_{BB,b} \frac{dm_{BB,b}}{d\alpha} \quad (2)$$

$$\frac{dm_u u_u}{d\alpha} = -p_c \frac{dV_u}{d\alpha} - \sum \frac{dQ_{Wu}}{d\alpha} - h_u \frac{dm_B}{d\alpha} - h_{BB,u} \frac{dm_{BB,u}}{d\alpha} \quad (3)$$

Trong đó: b là vùng cháy; u là vùng chưa cháy; $h_u \frac{dm_b}{d\alpha}$ là dòng nhiệt từ vùng chưa cháy đến vùng cháy.

- Mô hình truyền nhiệt:

Sự truyền nhiệt đến thành buồng đốt tức là đầu xi lanh, piston, ống lót xi lanh được tính toán từ phương trình [14]:

$$Q_{wi} = A_i \cdot \alpha_w \cdot (T_c - T_{wi}) \quad (4)$$

Trong đó: Q_{wi} là nhiệt truyền cho thành; A_i là diện tích bề mặt; α_w là hệ số truyền nhiệt; T_c là nhiệt độ khí trong xi lanh; T_{wi} là nhiệt độ thành.

Hệ số truyền nhiệt (α_w) được tính bằng mô hình Woschni 1978 cho chu trình áp suất cao được tóm tắt như sau:

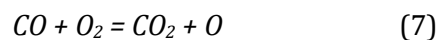
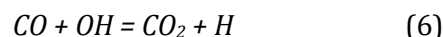
$$\alpha_w = 130 \cdot D^{-0,2} \cdot p_c^{0,8} \cdot T_c^{-0,53} \cdot \left[C_1 \cdot c_m + C_2 \cdot \frac{V_D \cdot T_{c,1}}{p_{c,1} \cdot V_{c,1}} \cdot (p_c - p_{c,o}) \right]^{0,8} \quad (5)$$

Trong đó: $C_1=2,28+0,308 \cdot cu/cm$; $C_2=0,00324$ cho động cơ DI; $C_2=0,00622$ cho động cơ IDI; $cu=(3,14 \cdot D \cdot nd)/60$ là tốc độ quay tròn; D là lỗ xi lanh; cm là tốc độ trung bình của piston; V_D là chuyển vị trên mỗi xi lanh; $p_{c,o}$ là áp suất xi lanh; $T_{c,1}$ là nhiệt độ trong xi lanh khi đóng van nạp; $p_{c,1}$ là áp suất trong xi lanh tại thời điểm đóng van nạp.

- Mô hình phát thải:

Cơ chế hình thành NO_x trong AVL Boost được thể hiện qua sáu phản ứng dựa trên cơ chế Zeldovich nổi tiếng [14].

CO hình thành từ các phản ứng [14]:



Tốc độ sau cùng để tạo thành CO:

$$r_{CO} = C_{const} \cdot (r_1 + r_2) \cdot (1 - \alpha) \quad (8)$$

Với: $\alpha = \frac{C_{CO,act}}{C_{CO,equ}}$

Bồ hống sinh ra dựa theo cơ chế Hiroyasu được xác định qua công thức [14]:

$$\frac{dm_s}{d_t} = \frac{dm_{s,f}}{d_t} - \frac{dm_{s,ox}}{d_t} \quad (9)$$

2.2. Động cơ nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là động cơ diesel Hyundai D6AC được lắp đặt phổ biến trên các dòng xe hạng nặng, là loại động cơ 4 kỳ, bố trí 6 xi lanh thẳng hàng, có trang bị tăng áp. Các thông số kỹ thuật của động cơ được trình bày cụ thể trong bảng 1 [15-16].

Bảng 1. Thông số động cơ diesel D6AC.

| Thông số kỹ thuật | Giá trị |
|------------------------|---------|
| Số xi lanh | 6 |
| Dung tích xi lanh (cc) | 11.149 |

| | |
|---|-------------|
| Đường kính xi lanh x Hành trình piston (mm) | 130 x 140 |
| Chiều dài thanh truyền (mm) | 220 |
| Tỷ số nén | 16,5 : 1 |
| Thứ tự nổ | 1-5-3-6-2-4 |
| Công suất định mức ở 2200 vg/ph (kW) | 250 |
| Mô men xoắn cực đại ở 1400 vg/ph (Kg.m) | 140 |

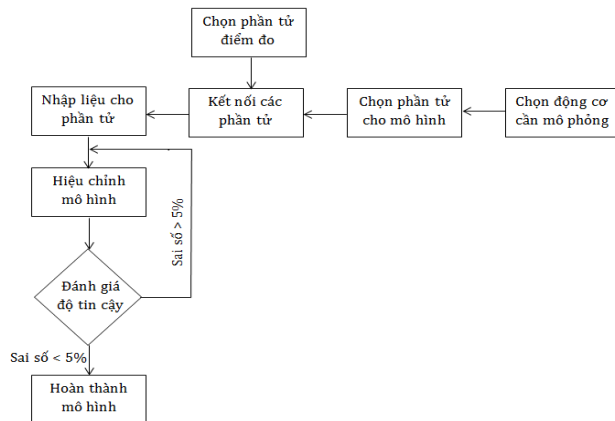
2.3. Nhiên liệu nghiên cứu

Trong mô hình mô phỏng, nhiên liệu được sử dụng gồm diesel nguyên chất và hỗn hợp nhiên liệu DMF-diesel với các tỷ lệ phối trộn DMF lần lượt là 10%, 20%, 30% theo phần trăm thể tích, với tên gọi tương ứng DMF10, DMF20, DMF30. Tính chất lý hóa và thành phần hóa học của nhiên liệu diesel và DMF được trình bày trong bảng 2 [17].

Bảng 2. Đặc tính nhiên liệu diesel và DMF.

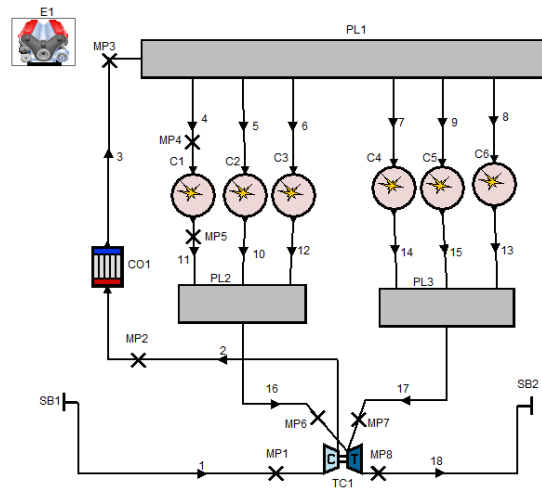
| Thông số | DMF | Diesel |
|--|---------------------------------|----------------------------------|
| Công thức phân tử | C ₆ H ₈ O | C ₁₀ -C ₂₅ |
| Trị số xê tan | 9 | 40-45 |
| Điểm sôi (°C) | 93 | 282-338 |
| Nhiệt trị thấp (MJ/kg) | 33,7 | 42,8 |
| Ẩn nhiệt hóa hơi (kJ/kg) | 389 | 270-301 |
| Nhiệt độ tự bốc cháy (°C) | 286 | 246 |
| Tỷ lệ A/F | 10,72 | 14,3 |
| Mật độ chất lỏng ở 20°C (kg/m ³) | 889,7 | 826 |
| Hàm lượng oxy (%) | 16,7 | - |
| Mật độ năng lượng (MJ/L) | 30 | 40,3 |
| Thông số | DMF | Diesel |

2.4. Xây dựng mô hình mô phỏng



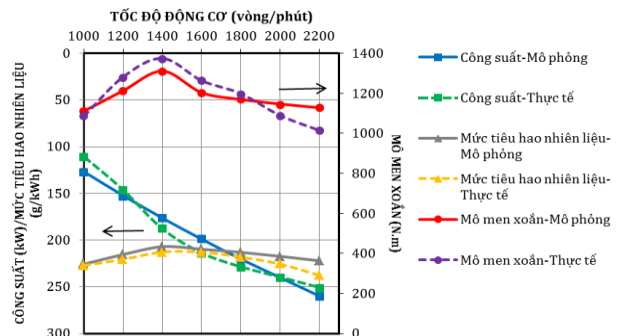
Hình 1. Xây dựng mô hình mô phỏng trong AVL Boost.

Mô hình mô phỏng động cơ diesel được xây dựng trong phần mềm AVL Boost dựa trên cấu hình động cơ thực tế, với các thông số kỹ thuật đầu vào được thu thập từ tài liệu do nhà sản xuất công bố. Quy trình thiết lập mô hình được minh họa trong hình 1. Các phần tử mô phỏng được lựa chọn phù hợp để đảm bảo mô hình phản ánh chính xác cấu trúc và nguyên lý làm việc của động cơ Hyundai D6AC, như thể hiện trong hình 2. Kết quả mô phỏng về hiệu suất và phát thải được so sánh với dữ liệu thực tế được công bố bởi nhà sản xuất nhằm đánh giá độ tin cậy của mô hình. Quá trình hiệu chỉnh được thực hiện lặp lại với các thông số mô phỏng quan trọng cho đến khi sai số giữa kết quả mô phỏng và dữ liệu thực tế nhỏ hơn 5%.



Hình 2. Mô hình động cơ diesel D6AC.

Kết quả mô phỏng ở hình 3 cho thấy, ở chế độ toàn tải, trên toàn dải tốc độ động cơ, công suất sai lệch 0,18%, mô men xoắn sai lệch 0,30%, mức tiêu hao nhiên liệu sai lệch 2,95% so với mô hình thực tế. Các sai lệch của các kết quả đều nhỏ hơn 5%, điều đó cho thấy mô hình tin cậy đáp ứng các yêu cầu cho các nghiên cứu mô phỏng tiếp theo.

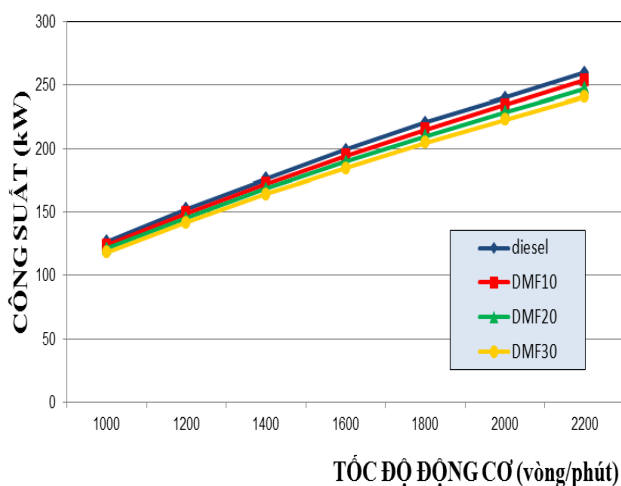


Hình 3. So sánh hiệu suất động cơ giữa mô phỏng và thực tế.

3. Kết quả nghiên cứu

Nghiên cứu tiến hành mô phỏng động cơ D6AC khi sử dụng nhiên liệu diesel và các phối trộn DMF-diesel, sử dụng mô hình một chiều trong AVL Boost. Tỷ lệ không khí/nhiên liệu trong cả hai trường hợp được giả định đồng nhất với hệ số dư lượng không khí $\lambda = 1$. Khác biệt duy nhất trong mô hình là tỷ lệ DMF pha trộn, trong khi các điều kiện đầu vào khác được giữ cố định. Mô phỏng được thực hiện tại 100% tải, tốc độ động cơ từ 1000 vòng/phút đến 2200 vòng/phút để so sánh hiệu suất và phát thải của động cơ.

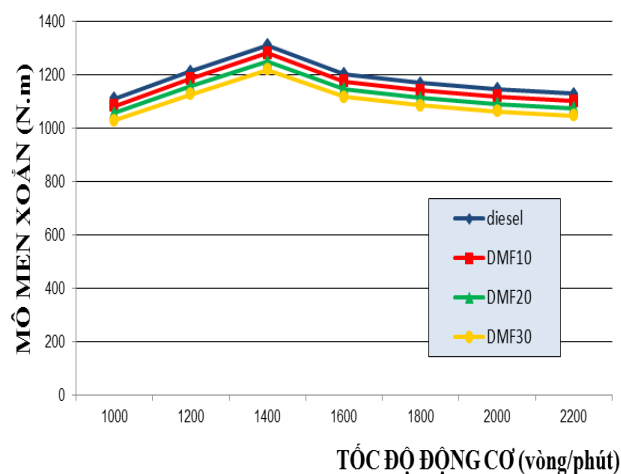
3.1. Ảnh hưởng của hỗn hợp nhiên liệu DMF-diesel tới hiệu suất của động cơ



Hình 4. Công suất động cơ khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu DMF-diesel ở 100% tải.

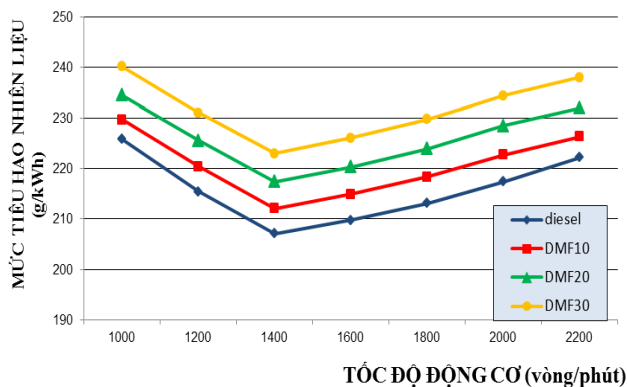
Theo kết quả trong đồ thị hình 4, công suất của động cơ giảm dần khi có sự hiện diện của DMF. Cụ thể, ứng với nhiên liệu DMF10, DMF20, DMF30 thì công suất động cơ giảm 2,37%, 4,75%, 7,16% so với nhiên liệu diesel nguyên chất. Điều này lý giải là do DMF có giá trị nhiệt trị thấp nhỏ hơn diesel, việc pha trộn DMF với diesel làm giảm nhiệt trị trung bình của hỗn hợp nhiên liệu. Hệ quả là tổng năng lượng tỏa ra trong mỗi chu trình cháy cũng suy giảm dẫn đến áp suất đỉnh trong buồng đốt và công cơ học giảm, mặc dù tỷ lệ hòa khí vẫn được duy trì ở mức lý tưởng. Mặt khác, trong DMF có chứa nguyên tử O_2 trong cấu trúc phân tử, khi được pha trộn vào diesel lượng oxy nội tại tăng lên ảnh hưởng đến tỷ lệ không khí/nhiên liệu hiệu dụng. Điều này khiến hỗn hợp trở nên giàu oxy nội tại, từ đó làm giảm mật độ năng lượng của vùng cháy và ảnh hưởng đến hiệu suất đốt cháy. Hơn nữa,

độ nhớt động học, mật độ năng lượng và nhiệt độ sôi của DMF thấp hơn diesel làm thay đổi quá trình phân bố nhiên liệu trong buồng cháy làm giảm công suất đầu ra.



Hình 5. Mô men xoắn động cơ khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu DMF-diesel ở 100% tải.

Đồ thị hình 5, trình bày mô men xoắn động cơ thay đổi khi có sự hiện diện của DMF, mô men xoắn giảm trung bình 2,39%, 4,77%, 7,18% ứng với mỗi hỗn hợp nhiên liệu DMF10, DMF20, DMF30. Vì công suất động cơ giảm nên mô men xoắn cũng giảm theo, điều này là hợp lý.

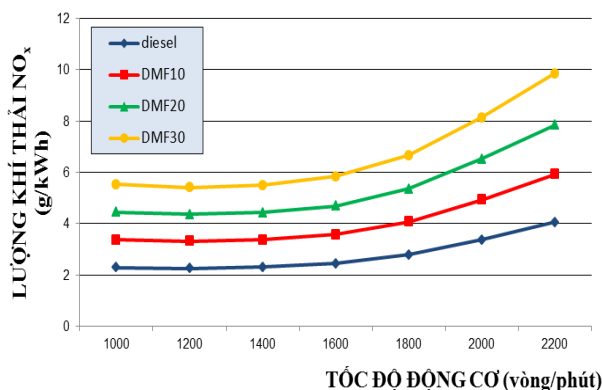


Hình 6. Mức tiêu hao nhiên liệu khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu DMF-diesel ở 100% tải.

Tương tự, hình 6 trình bày mức tiêu hao nhiên liệu của động cơ khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu DMF-diesel. Khi tăng tỷ lệ thay thế DMF thì mức tiêu hao nhiên liệu tăng tương ứng 2,22% (DMF10), 4,71% (DMF20), 7,38% (DMF30). Giải thích cho điều này là vì DMF có áp suất hơi cao hơn và nhiệt độ sôi thấp hơn diesel dẫn đến quá trình bay hơi sớm và không đồng đều trong buồng cháy. Sự không đồng nhất cục bộ của hỗn hợp không khí/nhiên liệu gây mất ổn định

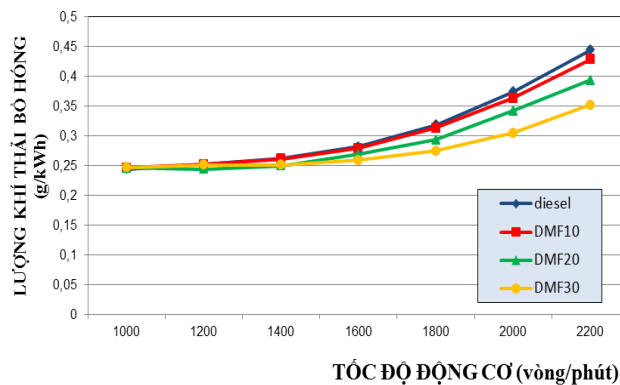
quá trình cháy, làm một phần nhiên liệu cháy không hoàn toàn, làm giảm hiệu suất cháy và tăng mức tiêu hao nhiên liệu. Bên cạnh đó, sự khác biệt về tính chất phản ứng và độ nhạy nhiệt độ giữa DMF và diesel làm chậm tiến trình cháy làm giảm hiệu suất nhiệt. Do sự khác biệt trong đặc tính bay hơi và cấu trúc phân tử, làm giảm hiệu quả truyền nhiệt có ích sang piston dẫn đến suy giảm hiệu suất chỉ thị, buộc phải tăng nhiên liệu để duy trì công suất đầu ra. Ngoài ra, khi công suất đầu ra giảm, tỷ lệ tổn thất ma sát trên tổng công suất tăng lên, gây suy giảm hiệu suất tổng thể và tiếp tục làm gia tăng mức tiêu hao nhiên liệu.

3.2. Ảnh hưởng của hỗn hợp nhiên liệu DMF-diesel tới hàm lượng phát thải của động cơ



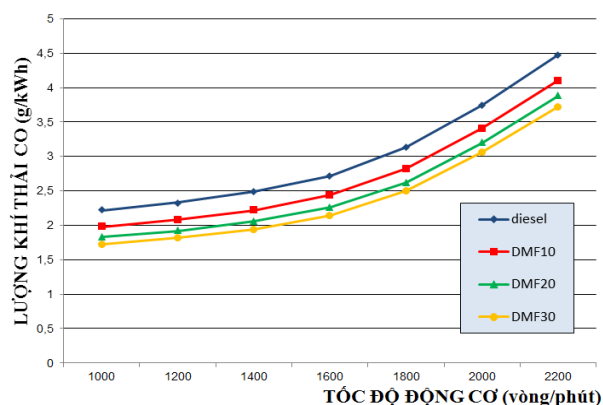
Hình 7. Phát thải NO_x ở 100% tải.

Phát thải NO_x sinh ra trong điều kiện hỗn hợp nhiên liệu và không khí quá nghèo, nhiệt độ khí nạp và quá trình đốt cháy cao làm tăng lượng phát thải NO_x. Trong hình 7, hàm lượng phát thải NO_x tăng cụ thể là 46,39%, 92,88%, 140,25% tương ứng với nhiên liệu DMF10, DMF20, DMF30. Nguyên nhân dẫn đến kết quả này là do DMF có chỉ số xê tan thấp và nhiệt trị cao, do đó quá trình cháy có xu hướng bắt đầu muộn hơn so với diesel, khiến phần lớn quá trình cháy diễn ra gần điểm chết trên, làm tăng nhiệt độ đỉnh trong buồng cháy, từ đó thúc đẩy cơ chế hình thành NO_x. Ngoài ra, DMF có đặc tính bay hơi tốt hơn diesel, giúp cải thiện khả năng hòa trộn nhiên liệu/không khí, dẫn đến quá trình cháy đồng đều và hoàn toàn hơn, làm mở rộng vùng nhiệt độ cao trong buồng cháy, tiếp tục tạo điều kiện thuận lợi cho sự gia tăng phát thải NO_x.



Hình 8. Phát thải bồ hóng ở 100% tải.

Bồ hóng là chất gây ô nhiễm đặc biệt trong khí thải động cơ diesel, quá trình cháy khuếch tán trong động cơ diesel rất thuận lợi cho sự hình thành bồ hóng. Tuy nhiên, với động cơ sử dụng hỗn hợp nhiên liệu DMF-diesel, lượng phát thải bồ hóng đã giảm do chỉ số xê tan của DMF thấp hơn diesel, sẽ kéo dài thời gian cháy trễ cho phép hỗn hợp nhiên liệu/không khí có thêm thời gian để hòa trộn trước khi quá trình cháy bắt đầu. Giai đoạn cháy trộn trước dài hơn giúp giảm các vùng cháy giàu nhiên liệu, từ đó hạn chế sự hình thành bồ hóng. Ngoài ra, trong thành phần hỗn hợp nhiên liệu DMF-diesel có phần tử oxy giúp quá trình oxy hóa bồ hóng diễn ra triệt để hơn. Bên cạnh đó, sức căng bề mặt và độ nhớt động học của DMF thấp hơn diesel cải thiện quá trình phun và tạo sương, giúp tăng cường sự đồng đều của hỗn hợp và giảm sự xuất hiện của các vùng nghèo oxy, vốn là điều kiện chính dẫn đến sự hình thành bồ hóng. Kết quả cho thấy trong hình 8, bồ hóng giảm trung bình 3,6% (DMF10), 11,49% (DMF20), 20,72% (DMF30).



Hình 9. Phát thải CO ở 100% tải.

Đối với phát thải CO, quá trình đốt cháy không hoàn toàn hỗn hợp nhiên liệu sẽ tạo ra CO. Khi động cơ sử dụng hỗn hợp nhiên liệu DMF-diesel phát thải CO sẽ giảm, nguyên nhân là do hàm lượng oxy có

trong hỗn hợp nhiên liệu làm giảm các vùng thiếu oxy trong buồng đốt, thúc đẩy quá trình cháy triệt để hơn dẫn đến giảm CO. Bên cạnh đó, hàm lượng thành phần hydrocarbon trong hỗn hợp nhiên liệu cũng thấp hơn so với diesel cũng góp phần làm giảm sự hình thành CO trong khí thải. Trong hình 9, lượng phát thải CO giảm trung bình 9,05%, 15,82%, 19,90% tương ứng với nhiên liệu DMF10, DMF20, DMF30.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy, khi bổ sung tỷ lệ DMF vào hỗn hợp nhiên liệu đã có sự ảnh hưởng nhất định tới hiệu suất và phát thải của động cơ diesel. Với hỗn hợp nhiên liệu DMF10, DMF20, DMF30 thì công suất, mô men xoắn động cơ giảm và suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ tăng. Mức thay đổi càng rõ rệt hơn khi hàm lượng DMF trong hỗn hợp càng lớn. Chất lượng khí thải ra ngoài môi trường đã được cải thiện thông qua kết quả của lượng phát thải CO và bồ hóng giảm khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu so với diesel. Mặt khác, lượng phát thải NO_x tăng. Để cải thiện các giá trị chưa phù hợp cho động cơ diesel khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu DMF-diesel cần nghiên cứu thêm một số chất phụ gia khác để phối trộn vào hỗn hợp nhiên liệu hoặc lựa chọn thời điểm phun của góc phun sớm cũng như áp suất phun hỗn hợp nhiên liệu vào bên trong buồng đốt phù hợp. Kết quả nghiên cứu thu được thông qua mô phỏng trên phần mềm máy tính, vì vậy trong các nghiên cứu tiếp theo nhóm tác giả sẽ tiến hành thực nghiệm nhằm đối chiếu và kiểm chứng độ chính xác của mô hình mô phỏng so với dữ liệu thực tế.

Đóng góp của các tác giả trong bài báo

Lư Huệ Phước: Phương pháp, quản lý dữ liệu, phân tích dữ liệu, nghiên cứu xây dựng mô hình mô phỏng, viết bản thảo gốc, biên soạn và viết bản thảo.

Đoàn Văn Đồng: xử lý dữ liệu, phân tích dữ liệu, xác minh, biên soạn và chỉnh sửa bản thảo. **Nguyễn Danh Chấn:** Quản lý dữ liệu, phân tích dữ liệu, xác minh.

Tuyên bố không xung đột lợi ích và cam kết bản quyền

Tác giả tuyên bố về sự không xuất hiện những xung đột tiềm ẩn từ nghiên cứu này, và cam kết bài báo chưa từng được công bố trước đây.

Chia sẻ dữ liệu theo yêu cầu

Dữ liệu sẽ không được cung cấp theo yêu cầu.

1st Lu Hue Phuoc*. *University of Transport Ho Chi Minh City*

2nd Doan Van Dong. *Big Data Research for Infrastructure and Green Engineering (BRIDGE), University of Transport Ho Chi Minh City*

3rd Nguyen Danh Chan. *University of Transport Ho Chi Minh City*

*Corresponding author: luphuoc76@gmail.com

Tài liệu tham khảo

- [1] N. Novia, E. Melwita, A.M. Jannah, S. Selpiana, Y. Yandriani, B.D. Afrah, and M. Rendana, "Current advances in bioethanol synthesis from lignocellulosic biomass: sustainable methods, technological developments, and challenges," *J.Umm Al-Qura Univ. Appl. Sci.*, pp. 1-18, 2025, doi:10.1007/s43994-025-00212-x.
- [2] R. El-Araby, "Biofuel production: exploring renewable energy solutions for a greener future," *Biotechnol Biofuels*, vol. 17, Art. no. 129, pp. 1-32, 2024, doi: 10.1186/s13068-024-02571-9.
- [3] H. Li, B. Jin, G. Li, and Y. Liu, "Experimental study on laminar burning characteristics of premixed 2,5-dimethylfuran/air mixtures at elevated pressures and temperatures," *ACS Omega*, vol. 8, no. 18, pp. 16428-16438, 2023, doi:10.1021/acsomega.3c01503.
- [4] D. Verma, R. Insyani, R.G. Kurniawan, H. Jo, L. Hakeem, and J. Kim, "ZrO₂-doped Cu-Pd alloy catalyst for the direct synthesis of 2,5-dimethylfuran from cellulose in sub- and supercritical methanol," *Chemical Engineering Journal*, vol. 496, Art. no. 153696, 2024, doi: 10.1016/j.cej.2024.153696.
- [5] Y. Liu, J. Long, Z. Huang, L. Chen, C. Wang, X. Zhang, and L. Ma, "Production of 5-hydroxymethylfurfural and 2,5-dimethylfuran from fructose using wine lees-derived C-SO₃H and Pt₅Fe₅/C catalyst," *Biomass and Bioenergy*, vol. 190, pp. 107405, 2024, doi: 10.1016/j.biombioe.2024.107405.
- [6] W. Wang, C. Wei, H. Wang, Z. He, L. Li, Y. Ma, N. Guo, and Z. Liu, "Boosting transformation of glucose and fructose to 5-hydroxymethylfurfural by a strategy of dual catalyst in biphasic solvent system with salt," *Industrial Crops and Products*, vol. 216, pp. 118702, 2024, doi: 10.1016/j.indcrop.2024.118702.
- [7] J.B. Moron, G.P.M. van Klink, and G.M. Gruter, "From rags to riches: Converting cellulose containing waste to 5-(chloromethyl)furfural (CMF)," *Waste Management Bulletin*, vol. 2, no. 3, pp. 58-68, 2024, doi: 10.1016/j.wmb.2024.06.006.

- [8] K. Alexandrino, "Comprehensive Review of the Impact of 2,5-Dimethylfuran and 2-Methylfuran on Soot Emissions: Experiments in Diesel Engines and at Laboratory-Scale," *Energy Fuels*, vol. 34, no. 6, pp. 6598–6623, 2020, doi: 10.1021/acs.energyfuels.0c00492.
- [9] P. Zhang, X. Su, H. Chen, L. Geng, and X. Zhao, "Assessing fuel properties effects of 2,5-dimethylfuran on microscopic and macroscopic characteristics of oxygenated fuel/diesel blends spray," *Scientific Reports*, vol. 10, no. 1427, pp. 1–12, 2020, doi: 10.1038/s41598-020-58119-y.
- [10] S. Li, W. Yu, C. Yang, M. Wei, and J. Liu, "A Novel Reduced Reaction Mechanism for Diesel/2,5-Dimethylfuran Engine Application," *Atmosphere*, vol. 14, no. 4, Art. no. 642, 2023, doi: 10.3390/atmos14040642.
- [11] Chính phủ nước CHXHCN Việt Nam, "Quyết định số 177/2007/QĐ-TTG ngày 20/11/2007 của Thủ tướng Chính phủ về việc phê duyệt Đề án phát triển nhiên liệu sinh học đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2025", Hà Nội, Việt Nam.
- [12] Khổng Vũ Quảng, Nguyễn Duy Tiến, Đinh Xuân Thành, Đái Trinh Quý, Nguyễn Thế Trục và Lê Đăng Duy, "Nghiên cứu ảnh hưởng của hỗn hợp nhiên liệu 2,5 dimethylfuran-xăng tới các tính năng kinh tế, kỹ thuật của động cơ," *Khoa học-Công nghệ*, vol. 56, no. 4, pp. 69-73, 2020.
- [13] Nguyễn Danh Chấn, "Nghiên cứu đặc tính kỹ thuật và phát thải khi sử dụng nhiên liệu dimethylfuran trên động cơ xăng," *Luận án Tiến Sĩ kỹ thuật*, Trường Đại học Giao thông vận tải TP. HCM, 2021.
- [14] "AVL BOOST User Manual & Theory Documentation," *AVL List GmbH*, Graz, Austria, 2020.
- [15] Hyundai Motor Co.,Ltd, "Parts Catalog for industrial use diesel engine D6A," 2011.
- [16] Hyundai Motor Co.,Ltd, "Hyundai Commercial Vehicle Specifications," 2008.
- [17] A.T. Hoang, A. Pandey, Z. Huang, R. Luque, K. Hoong Ng, A.M. Papadopoulos, W. Chen, S. Rajamohan, H. Hadiyanto, X.P. Nguyen, and V.V. Pham, "Catalyst-Based Synthesis of 2,5-Dimethylfuran from Carbohydrates as a Sustainable Biofuel Production Route," *ACS Sustainable Chem. Eng.*, vol. 10, pp. 3079–3115, 2022, doi: 10.1021/acssuschemeng.1c06363.