

Nghiên cứu ảnh hưởng của hỗn hợp nhiên liệu diesel-ethanol-biodiesel với tỷ lệ cồn ethanol lớn tới tính năng kỹ thuật và phát thải của động cơ diesel

Effect of High Ethanol Content Diesel-Ethanol-Biodiesel Blends on Performance and Emissions of a Diesel Engine

Phạm Hữu Tuyền^{1*}, Phạm Minh Tuấn¹, Nguyễn Văn Ninh^{1,2}

¹Trường Đại học Bách khoa Hà Nội - Số 1 Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

²Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên - Dân Tiến, Khoái Châu, Hưng Yên, Việt Nam

Đến Tòa soạn: 26-01-2020; chấp nhận đăng: 25-09-2020

Tóm tắt

Nghiên cứu sử dụng nhiên liệu diesel sinh học (biodiesel) và ethanol sinh học cho động cơ đốt trong là vấn đề cấp thiết nhằm giải quyết vấn đề thiếu hụt nguồn nhiên liệu khoáng và ô nhiễm môi trường. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu mô phỏng tính năng kỹ thuật và phát thải của động cơ diesel 4 xy-lanh Hyundai D4BB khi sử dụng hỗn hợp diesel-ethanol-biodiesel có tỷ lệ ethanol lớn. Mô hình động cơ được hiệu chuẩn bằng thực nghiệm trên băng thử với nhiên liệu diesel khoáng. Kết quả cho thấy khi sử dụng hỗn hợp DE10B5 (85% diesel-10% ethanol-5% biodiesel), DE30B5 (65% diesel-30% ethanol-5% biodiesel), DE50B5 (45% diesel-50% ethanol-5% biodiesel), theo đường đặc tính ngoài công suất động cơ giảm và suất tiêu hao nhiên liệu tăng so với khi sử dụng diesel. Trong khi đó, hàm lượng phát thải CO, NOx, muội than trong khí thải đều giảm ở các chế độ làm việc của động cơ.

Từ khóa: Nhiên liệu sinh học, hỗn hợp diesel-ethanol-biodiesel, khí thải, động cơ diesel

Abstract

Research on using biodiesel and bioethanol for an internal combustion engine is necessary to solve the shortage of mineral fuels and environmental pollution. This paper presents the results of simulating the engine performance and emissions of a Hyundai D4BB 4-cylinder diesel engine when using high ethanol content diesel-ethanol-biodiesel blends. The model of engine fueled by fossil diesel was calibrated and validated by experiment which was carried out on engine test benches. The result shows that, when using blends including DE10B5 (85% diesel-10% ethanol-5% biodiesel), DE30B5 (65% diesel-30% ethanol-5% biodiesel), DE50B5 (45% diesel-50% ethanol-5% biodiesel), engine power decreases and fuel consumption increases at full load whereas the concentration of CO, NOx, soot emissions decreases at all operation loads as compared to that when using fossil diesel.

Keywords: biofuel, diesel-ethanol-biodiesel blends, emissions, diesel engine

1. Đặt vấn đề

Hiện nay nguồn nhiên liệu hóa thạch đang dần cạn kiệt và ô nhiễm môi trường từ khí thải động cơ đốt trong ngày càng tăng nên việc tìm kiếm và ứng dụng các loại nhiên liệu thay thế sử dụng cho động cơ đốt trong, đặc biệt là nhiên liệu sinh học, là xu hướng chung của nhiều nước trên thế giới. Nhiên liệu sinh học, trong đó phổ biến nhất là diesel sinh học (biodiesel) và ethanol sinh học (bioethanol), có nguồn gốc từ động, thực vật là nhiên liệu có khả năng tái tạo và thân thiện với môi trường. Do biodiesel có tính chất tương tự với diesel khoáng và ethanol tương tự xăng khoáng nên thông thường biodiesel được phối trộn với diesel khoáng sử dụng trên động cơ diesel, còn ethanol phối trộn với xăng khoáng sử dụng trên động cơ xăng. Bên cạnh đó, một số nghiên cứu bước đầu đã phối trộn ethanol với diesel khoáng và

biodiesel làm nhiên liệu cho động cơ diesel. Suhan Park nghiên cứu thuộc tính của hỗn hợp nhiên liệu diesel-ethanol-biodiesel [1] cho thấy biodiesel đóng vai trò như chất phụ gia chống tách pha, tăng độ bền và tăng trị số Xê-tan của hỗn hợp. T. Krishnaswamy nghiên cứu hỗn hợp 85% diesel-15% ethanol, 80% diesel-10% ethanol-10% biodiesel và 65% diesel-15% ethanol-20% biodiesel [2] thấy rằng các hỗn hợp này có độ nhớt tương tự như diesel và có độ bền tách pha tốt hơn hỗn hợp diesel-ethanol. Thử nghiệm các hỗn hợp nhiên liệu này trên động cơ diesel 4 xy-lanh có lắp bộ xử lý xúc tác ô-xy hóa cho thấy suất tiêu hao nhiên liệu tăng khoảng 5% do nhiệt trị hỗn hợp giảm, tuy nhiên hiệu suất nhiệt không thay đổi, phát thải độ khói giảm mạnh, tới khoảng 20%, NO giảm khoảng 5% ở chế độ tải lớn, trong khi HC và CO có xu hướng tăng nhẹ. Nadir Yilmaz thử nghiệm với tỷ lệ phối trộn cao hơn, 45% biodiesel - 10% ethanol - 45% diesel và 40% biodiesel - 20% ethanol - 40% diesel trên động cơ diesel 2 xy-lanh, phun trực tiếp tại cùng chế độ tải [3] cho thấy suất tiêu hao nhiên liệu

* Địa chỉ liên hệ: Tel.: (+84) 346504599

Email: tuyen.phamhuu@hust.edu.vn

tăng khoảng 25%, phát thải HC và CO tăng mạnh ở chế độ tải nhẹ nhưng tăng ít ở tải lớn, trong khi NO giảm trung bình khoảng 25% khi tăng nồng độ ethanol trong hỗn hợp. Như vậy hỗn hợp diesel-ethanol-biodiesel có thể là giải pháp tốt để giảm NO, tuy nhiên chất lượng khí thải nói chung phụ thuộc nhiều vào chế độ làm việc của động cơ và tỷ lệ trộn ethanol. Ở Việt Nam, nghiên cứu và sử dụng các loại nhiên liệu có nguồn gốc sinh học thân thiện với môi trường cũng đã được quan tâm. Năm 2007, Chính phủ đã phê duyệt Đề án phát triển nhiên liệu sinh học đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2025 [4]. Theo đó, nhiên liệu sinh học sẽ đáp ứng 1% nhu cầu xăng dầu quốc gia vào năm 2015 và 5% vào năm 2025. Với thế mạnh lớn về cây sắn nên Việt Nam có khả năng đảm bảo đủ nguồn nguyên liệu cho các nhà máy sản xuất cồn ethanol nhiên liệu [5]. Tuy nhiên đối với diesel sinh học hiện chưa đạt được nhiều kết quả như mong muốn do việc phát triển vùng nguyên liệu đòi hỏi thời gian cũng như khó khăn trong nghiên cứu lựa chọn công nghệ, thiết bị phù hợp [6]. Do vậy, việc phối trộn ethanol với diesel khoáng sẽ tăng khả năng sử dụng nhiên liệu sinh học thay thế cho nhiên liệu khoáng. Bài báo này đánh giá ảnh hưởng của hỗn hợp nhiên liệu diesel-ethanol, diesel-ethanol-biodiesel tới tính năng kỹ thuật và phát thải của động cơ diesel đang lưu hành ở Việt Nam.

2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện theo phương pháp tính toán mô phỏng bằng phần mềm AVL Boost, mô hình được kiểm chứng bằng thực nghiệm trên băng thử động cơ tại Trung tâm nghiên cứu Động cơ, nhiên liệu và khí thải thuộc Viện Cơ khí động lực, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

2.1. Cơ sở lý thuyết tính toán trong phần mềm AVL Boost

Trong phần mềm AVL Boost mô hình động cơ diesel được xây dựng và tính toán thông qua các mô hình chính sau: Mô hình nhiệt động, mô hình cháy, mô hình truyền nhiệt, mô hình hình thành phát thải.

- Mô hình nhiệt động

Trạng thái nhiệt động của môi chất công tác trong xy-lanh động cơ được xác định trên cơ sở cân bằng năng lượng trong xy-lanh động cơ [7].

Theo phương trình nhiệt động học thứ nhất, ta có:

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

Trong đó, m_c là khối lượng môi chất bên trong xy-lanh, u là nội năng, p_c là áp suất bên trong xy-lanh, V là thể tích xy-lanh, Q_F là nhiệt lượng của nhiên liệu

cung cấp, Q_w là nhiệt lượng tổn thất cho thành vách, h_{BB} là enthalpy của khí lọt, m_{BB} là lượng khí lọt, m_i là lượng khí đi vào xy-lanh, h_i là enthalpy của khí đi vào xy-lanh, m_e là lượng khí đi ra khỏi xy-lanh, h_e là enthalpy của khí đi ra xy-lanh, q_{ev} là nhiệt bay hơi của nhiên liệu, f là phần nhiệt bay hơi của môi chất, m_{ev} là lượng nhiên liệu bay hơi, α là góc quay trục khuỷu.

Biến thiên về khối lượng môi chất trong xy-lanh được tính bằng tổng khối lượng môi chất đi vào trừ khối lượng đi ra khỏi xy-lanh

$$\frac{dm_c}{d\alpha} = \sum \frac{dm_i}{d\alpha} - \sum \frac{dm_e}{d\alpha} - \frac{dm_{BB}}{d\alpha} + \frac{dm_{ev}}{dt}$$

Kết hợp cùng với phương trình trạng thái:

$$p_c = \frac{1}{V} m_c R_0 T_c$$

giải được phương trình nhiệt động để xác định áp suất và nhiệt độ trong xy-lanh động cơ.

- Mô hình cháy

Quá trình cháy trong động cơ diesel được chia thành bốn giai đoạn: cháy trễ, cháy nhanh, cháy chính và cháy rớt [8]. Tuy nhiên, nhiệt lượng tỏa ra trong quá trình cháy chủ yếu trong giai đoạn cháy nhanh và cháy chính nên quá trình cháy được mô tả như sau [7,9,10]:

$$\frac{dQ_{total}}{d\alpha} = \frac{dQ_{PMC}}{d\alpha} + \frac{dQ_{MCC}}{d\alpha}$$

- Mô hình truyền nhiệt

Quá trình truyền nhiệt từ trong buồng cháy qua thành xy-lanh, piston, nắp máy ra ngoài được tính toán dựa vào phương trình truyền nhiệt sau.

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

Hệ số truyền nhiệt thường được xác định theo mô hình Woschni [7, 11].

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

- Mô hình hình thành phát thải

Mô hình tính toán phát thải NOx

Phát thải NOx được tính toán dựa trên các phản ứng của chuỗi Zeldovich [7, 12]

Mô hình tính toán phát thải CO

Tốc độ phản ứng tạo thành CO được tính theo công thức [7]:

$$\frac{d[CO]}{dt} = (R_1 + R_2) \left(1 - \frac{[CO]}{[CO]_e} \right)$$

Mô hình tính toán phát thải muội than (soot)

Tốc độ gia tăng khối lượng muội than là hiệu số của tốc độ hình thành và tốc độ ô-xy hóa muội than [13]:

$$\frac{dm_s}{dt} = \frac{dm_{s,f}}{dt} - \frac{dm_{s,ox}}{dt}$$

Mô hình nhiên liệu

Nhiên liệu được xác định thông qua các tính chất lý, hóa, nhiệt và được định nghĩa theo các phương trình sau đây [7]:

$$\frac{C_p}{R} = a_1 + a_2T + a_3T^2 + a_4T^3 + a_5T^4$$

$$\frac{H^0}{RT} = a_1 + \frac{a_2}{2}T + \frac{a_3}{3}T^2 + \frac{a_4}{4}T^3 + \frac{a_5}{5}T^4 + \frac{a_6}{T}$$

$\frac{S^0}{RT} = a_1 \ln T + a_2T + \frac{a_3}{2}T^2 + \frac{a_4}{3}T^3 + \frac{a_5}{4}T^4 + a_7$
 với c_p là nhiệt dung riêng đẳng áp; H^0 và S^0 là entanpy và entropy; a_1 đến a_7 là các hằng số được xác định riêng cho mỗi loại nhiên liệu.

2.2. Nhiên liệu nghiên cứu

Nhiên liệu nghiên cứu là hỗn hợp diesel khoảng, ethanol và biodiesel gồm các hỗn hợp 85% diesel-10% ethanol-5% biodiesel (DE10B5), 65% diesel-30% ethanol-5% biodiesel (DE30B5), 45% diesel-50% ethanol-5% biodiesel (DE50B5). Tại Việt Nam chưa có nguồn nguyên liệu đủ lớn để đáp ứng yêu cầu sản xuất biodiesel nhiên liệu, trong khi nguyên liệu để chế biến ethanol lại khá dồi dào. Do vậy, nghiên cứu này chỉ sử dụng 5% biodiesel với vai trò như phụ gia trong hỗn hợp, còn ethanol được sử dụng với tỷ lệ lớn để phát huy tiềm năng về sản xuất ethanol nhiên liệu.

Một số tính chất cơ bản của nhiên liệu trước khi phối trộn thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1. Thông số các tính chất lý hóa của các nhiên liệu [14,15]:

Các chỉ tiêu	Diesel	Ethanol	Biodiesel từ dầu cọ
Tỷ trọng ở 15°C (kg/m³)	837	789	869
Độ nhớt động học ở 40°C, mm²/s	3.14	-	4.1
Trị số Xê-tan	53	-	65
Trị số Ôc tan	-	110	-
Nhiệt trị (MJ/kg)	43	26.8	39.9
Hàm lượng lưu huỳnh, % khối lượng	0.05	-	0.004

2.3. Động cơ nghiên cứu

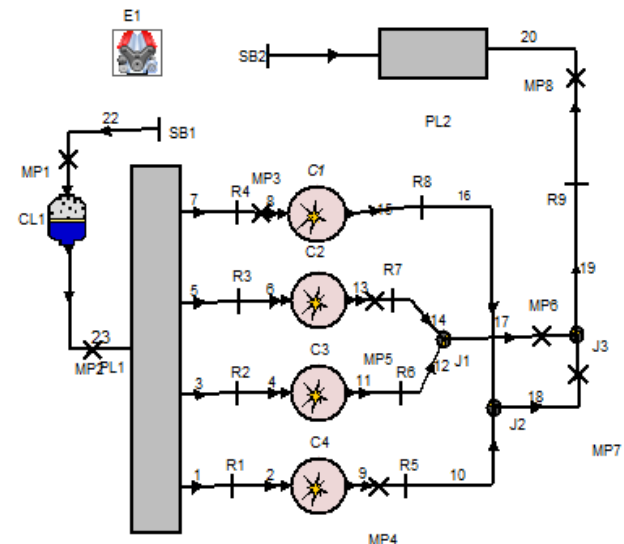
Động cơ nghiên cứu là động cơ diesel Hyundai D4BB. Đây là động cơ diesel 4 xy-lanh thẳng hàng được sử dụng khá phổ biến trên xe tải Hyundai 1.25 tấn đang lưu hành ở Việt Nam. Thông số kỹ thuật cơ bản của động cơ D4BB được trình bày ở Bảng 2.

Bảng 2. Thông số kỹ thuật động cơ diesel D4BB

Thông số kỹ thuật	Giá trị
Kiểu động cơ	Diesel, 4 xy-lanh, thẳng hàng, không tăng áp
Thứ tự nổ	1-3-4-2
Thể tích công tác (lít)	2.607
Đường kính xy-lanh (mm) x Hành trình piston (mm)	91.1x100
Công suất định mức/tốc độ động cơ (kW/v/ph)	59/4000
Mômen lớn nhất/tốc độ động cơ (Nm/v/ph)	165/2200
Tỷ số nén	22
Kiểu hệ thống nhiên liệu	Cơ khí truyền thống

2.4. Xây dựng và hiệu chuẩn mô hình động cơ

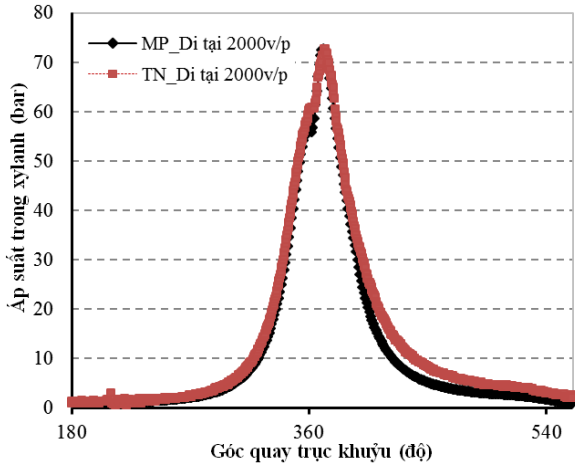
Với cơ sở lý thuyết tính toán như trên, mô hình động cơ diesel hyundai D4BB được xây dựng trên phần mềm mô phỏng AVL Boost (Hình 1).



Hình 1. Mô hình động cơ D4BB

Để đảm bảo độ tin cậy của mô hình, động cơ diesel D4BB khi sử dụng diesel được thử nghiệm trên băng thử với các trang thiết bị chuyên dụng gồm phanh điện APA 100, các thiết bị đo áp suất xy-lanh, tốc độ động cơ... Kết quả thử nghiệm được sử dụng để hiệu chuẩn mô hình động cơ. Sau khi mô hình động cơ được hiệu chuẩn, kết quả mô phỏng và thực

thực nghiệm ở các chế độ làm việc khác nhau được so sánh. Ở chế độ toàn tải, tốc độ 2000 v/ph, sai lệch về công suất là 4.41%, suất tiêu hao nhiên liệu là 4.23%, diễn biến áp suất trong xy-lanh theo góc quay trục khuỷu phù hợp với nhau (Hình 2). Kết quả này cho thấy mô hình đảm bảo độ tin cậy đáp ứng yêu cầu cho các nghiên cứu mô phỏng tiếp theo.



Hình 2. Diễn biến áp suất trong xy-lanh mô phỏng (MP) và thực nghiệm (TN)

3. Nghiên cứu tính năng kỹ thuật và phát thải động cơ diesel D4BB sử dụng hỗn hợp nhiên liệu diesel-ethanol-biodiesel

3.1. Chế độ mô phỏng

Động cơ được mô phỏng ở các chế độ làm việc như sau:

- Theo đường đặc tính ngoài: chế độ tải 100%, tốc độ từ 1000 v/ph đến 3500 v/ph
- Theo đường đặc tính tải: chế độ tương ứng với 25%, 50%, 75% tải (mômen) khi sử dụng diesel và 100% ga tại tốc độ 2000 v/ph.

3.2. Kết quả mô phỏng tính năng kỹ thuật và phát thải động cơ

- *Kết quả tính toán tính năng kỹ thuật động cơ*

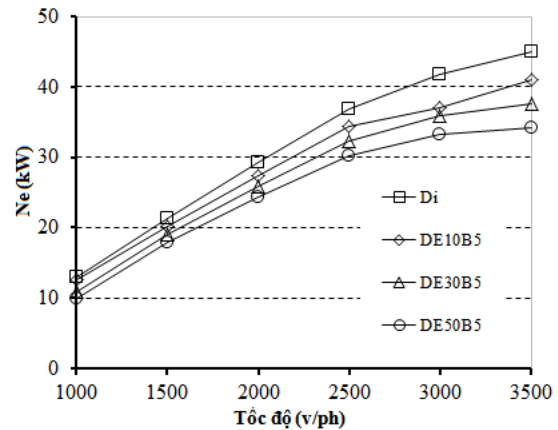
Công suất động cơ ở chế độ 100% tải với các hỗn hợp nhiên liệu được tính toán tại các tốc độ khác nhau theo đường đặc tính ngoài (Hình 3). Công suất động cơ lớn nhất tại từng tốc độ đạt được khi sử dụng nhiên liệu diesel. Tỷ lệ ethanol trong nhiên liệu tăng lên có xu hướng làm giảm công suất động cơ. Trung bình trên toàn dải tốc độ, khi sử dụng DE10B5, DE30B5, DE50B5 công suất động cơ giảm tương ứng 6.88%, 13.40%, 19.77% so với khi sử dụng diesel. Sự giảm công suất này gây ra bởi ethanol có nhiệt trị nhỏ hơn đáng kể so với diesel (27 MJ/kg so với 45.8 MJ/kg) nên khi tăng tỷ lệ ethanol thì nhiệt trị của hỗn hợp giảm xuống dẫn tới giảm công suất. Suất tiêu hao nhiên liệu khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu tăng lên

(Hình 4) phù hợp với sự giảm công suất động cơ. Với hỗn hợp DE10B5, DE30B5, DE50B5, trung bình suất tiêu hao nhiên liệu tăng tương ứng 6.56%, 12.37%, 19.73%.

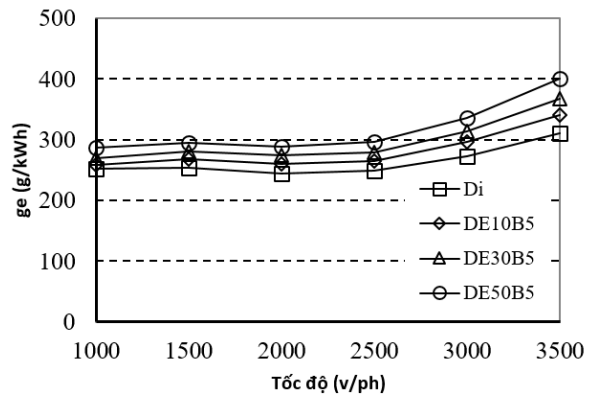
Tương tự, theo đặc tính tải tại 2000 vòng/phút, suất tiêu hao nhiên liệu tăng trung bình là 6.85%, 12.33%, 18.42% với DE10B5, DE30B5, DE50B5 (Hình 5).

- *Kết quả tính toán phát thải*

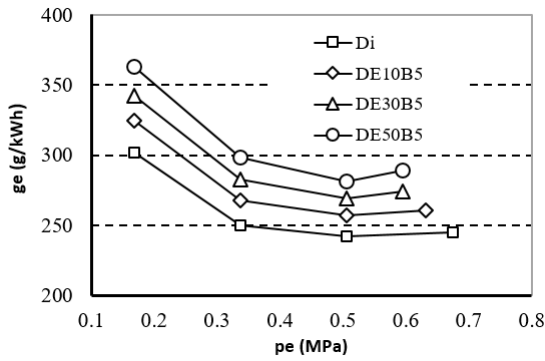
Khi sử dụng nhiên liệu hỗn hợp diesel-ethanol-biodiesel, thành phần CO trong khí thải có xu hướng giảm. Tăng tỷ lệ ethanol trong hỗn hợp, mức giảm CO càng lớn. So với diesel, hỗn hợp DE10B5, DE30B5, DE50B5 giảm CO trung bình tương ứng 37.04%, 53.29%, 65.87% theo đường đặc tính ngoài (Hình 6) và 21.9%, 31.15%, 39.45% trung bình theo đường đặc tính tải (Hình 7). Hàm lượng ô-xy có trong ethanol và biodiesel làm lượm khoảng 34.7% and 8.4%. Diesel phối trộn ethanol và biodiesel được bổ sung thêm ô-xy làm giảm các vùng thiếu ô-xy trong buồng cháy, thúc đẩy quá trình hoàn toàn hơn dẫn tới lượng CO trong khí thải giảm. Bên cạnh đó, hàm lượng thành phần C trong nhiên liệu hỗn hợp cũng thấp hơn so với diesel cũng góp phần giảm sự hình thành CO trong khí thải.



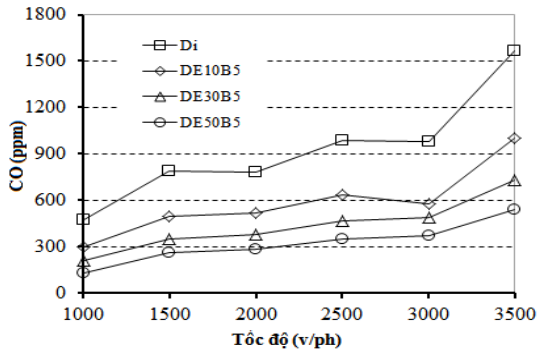
Hình 3. Công suất động cơ tại 100% tải



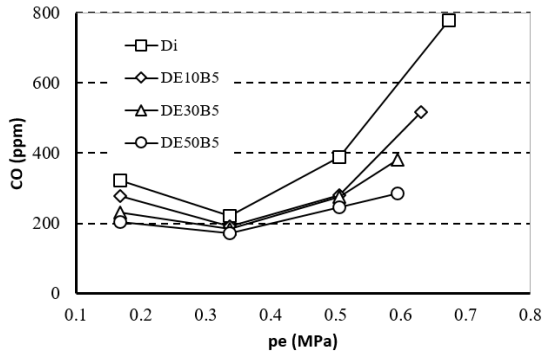
Hình 4. Suất tiêu hao nhiên liệu động cơ tại 100% tải



Hình 5. Suất tiêu hao nhiên liệu tại 2000 v/ph

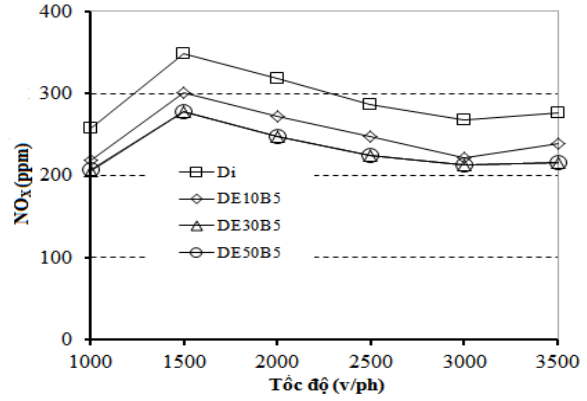


Hình 6. Hàm lượng CO tại 100% tải

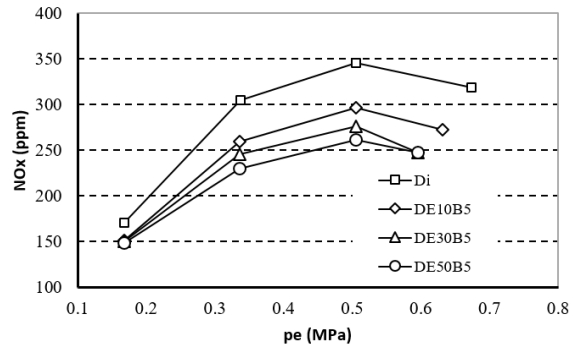


Hình 7. Hàm lượng CO tại 2000 v/ph

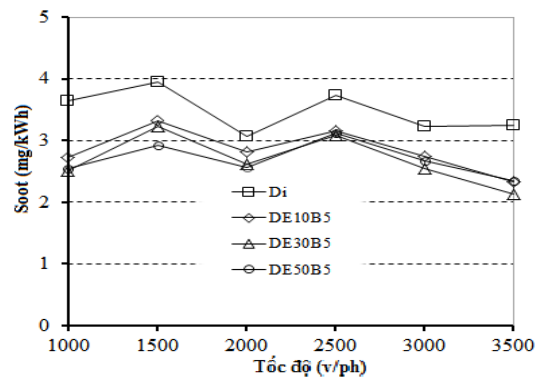
Hàm lượng NO_x khi sử dụng DE10B5, DE30B5, DE50B5 đều giảm so với nhiên liệu diesel khoảng. Cụ thể theo đường đặc tính ngoài hàm lượng NO_x lần lượt giảm trung bình 14.63%, 21.21%, 21.13% của DE10B5, DE30B5, DE50B5 so với diesel (Hình 8). Tương tự theo đặc tính tải tại 2000 v/ph, hàm lượng NO_x giảm trung bình 13.75%, 18.42% và 21.03% (Hình 9). Sự hình thành NO_x phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ cực đại của quá trình cháy và lượng ô-xy sẵn có trong môi chất cháy. Mặc dù hàm lượng ô-xy cao hơn, tuy nhiên hỗn hợp DE10B5, DE30B5, DE50B5 có trị số Xê-tan thấp hơn diesel nên thời gian cháy trễ kéo dài, cùng với nhiệt trị thấp hơn làm giảm nhiệt độ cực đại trong chu trình tới lượng NO_x giảm.



Hình 8. Hàm lượng NO_x tại 100% tải

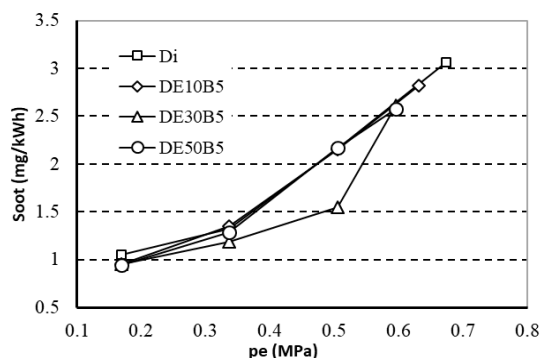


Hình 9. Hàm lượng NO_x tại 2000 v/ph



Hình 10. Hàm lượng soot tại 100% tải

Hàm lượng muội than (soot) giảm đáng kể khi sử dụng DE10B5, DE30B5, DE50B5 trung bình trên toàn dải tốc độ theo đường đặc tính ngoài mức giảm tương ứng là 17.91%, 22.80%, 22.15% (Hình 10). Tương tự theo đặc tính tải tại 2000 v/ph hàm lượng soot giảm lần lượt 3.94%, 15.65%, 7.12% (Hình 11). Điều này được giải thích bởi lượng ô-xy sẵn có trong nhiên liệu đã làm giảm những vùng hỗn hợp giàu, thiếu ô-xy, đồng thời nhiên liệu DE10B5, DE30B5, DE50B5 có tỷ lệ C/H nhỏ hơn so với diesel thông thường dẫn tới giảm sự hình thành muội than.



Hình 11. Hàm lượng soot tại 2000 v/ph

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu mô phỏng đã đánh giá được ảnh hưởng của hỗn hợp nhiên liệu có tỷ lệ ethanol lớn tới tính năng kỹ thuật và phát thải động cơ diesel đang lưu hành ở Việt Nam. Với hỗn hợp DE10B5, DE30B5, DE50B5, công suất động cơ có xu hướng giảm và suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ tăng. Mức độ thay đổi càng rõ rệt khi tăng tỷ lệ ethanol trong hỗn hợp. Chất lượng khí thải được cải thiện thể hiện qua kết quả giảm các thành phần CO, NO_x và muội than khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu so với diesel. Các kết quả bước đầu đã cho thấy ưu điểm của việc phối trộn ethanol với diesel khoáng và biodiesel, góp phần thúc đẩy sử dụng ethanol làm nhiên liệu cho phương tiện giao thông nói riêng và động cơ đốt trong nói chung.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa Hà Nội (HUST) trong đề tài mã số T2018-PC-041.

Tài liệu tham khảo

[1] Su Han Park, Se Hun Kim, Chang Sik Lee, Mixing stability and spray behavior characteristics of diesel-ethanol-methyl ester blended fuels in a common-rail diesel injection system, *Energy Fuels*, Vol 23 (2009) 5228–5235

[2] T. Krishnaswamy, N. Shenbaga Vinayaga Moorthi, Performance evaluation of diesel engine with oxygenated biofuel blends. *ARPN Journal of*

Engineering and Applied Sciences, Vol. 7, No.1 (2012), ISSN 1819-6608,

[3] Nadir Yilmaz, Comparative analysis of biodiesel-ethanol-diesel and biodiesel-methanol -diesel blends in a diesel engine. *Energy*, Vol 40 (2012) 210-213

[4] Quyết định số 177/2007/QĐ-TTg về việc phê duyệt đề án phát triển nhiên liệu sinh học đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2025

[5] <http://khcncongthuong.vn/tin-tuc/t1892/tiem-nang-phat-trien-san-xuat-nhien-lieu-sinh-hoc-o-viet-nam.html>

[6] Hồ Sĩ Thoảng, Thách thức và triển vọng đối với nhiên liệu trong tương lai – Góc nhìn từ Việt Nam. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ* 50 (6) (2012) 899-922

[7] AVL Boost Theory, version 2011

[8] Phạm Minh Tuấn, Lý thuyết động cơ đốt trong. NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2008

[9] Chmela, F., Orthaber. G, Rate of heat release prediction for direct injection diesel engines based on purely mixing controlled combustion. *SAE Paper* 1999-01-0186 (1999)

[10] P.A. Lakshminarayanan, Yogesh V.Aghav, Modelling Diesel Combustion. Springer, 2010

[11] Woschni, G., A Universally Applicable Equation for the Instantaneous Heat Transfer Coefficient in Internal Combustion Engines, *SAE* 670931 (1967)

[12] Pattas K., Häfner G., Stickoxidbildung bei der ottomotorischen Verbrennung. *MTZ* Nr. 12 (1973) 397-404

[13] Schubiger R.A., Boulouchos K., Eberle M.K., Rußbildung und Oxidation bei der dieselmotorischen Verbrennung. *MTZ* 5/2002 (2002) 342-353

[14] Đinh Thị Ngo, Nguyễn Khánh Diệu Hồng, Nhiên liệu sạch và các quá trình xử lý trong hóa dầu. NXB Khoa học và kỹ thuật, 2008

[15] Vu Nguyen Hoang, Ha Thi Thu Vu, et al. Esterification of Waste Fatty Acid from Palm Oil Refining Process into Biodiesel by Heterogeneous Catalysis: Fuel Properties of B10, B20 Blends. *International Journal of Renewable Energy and Environmental Engineering* ISSN 2348-0157, Vol. 01, No. 01 (2013).