

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA HỖN HỢP NHIÊN LIỆU 2,5 DIMETHYLFURAN - XĂNG TỚI CÁC TÍNH NĂNG KINH TẾ, KỸ THUẬT CỦA ĐỘNG CƠ

STUDY THE EFFECT OF 2,5 DIMETHYLFURAN - GASOLINE BLEND TO ECONOMIC AND TECHNICAL FEATURES OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Khổng Vũ Quảng¹, Nguyễn Duy Tiến^{1,*}, Đinh Xuân Thành²,
Đái Trinh Quý¹, Nguyễn Thế Trực¹, Lê Đăng Duy¹

TÓM TẮT

Hiện nay, ethanol sinh học đang là nhiên liệu thay thế chính cho xăng trong động cơ đánh lửa cưỡng bức. Tuy nhiên, gần đây 2,5-dimethylfuran (DMF) nổi lên như là một nguồn nhiên liệu thay thế đầy triển vọng khi mà hiệu suất của các phương pháp tổng hợp DMF từ sinh khối đang được cải thiện. Nội dung bài báo sẽ trình bày các kết quả nghiên cứu mô phỏng nhằm đánh giá ảnh hưởng của hỗn hợp nhiên liệu xăng - DMF với các tỷ lệ phối trộn DMF từ 20% đến 40% tới các tính năng kinh tế, kỹ thuật của động cơ trên phần mềm AVL-Boost trong hai trường hợp có và không có hiệu chỉnh góc đánh lửa sớm động cơ. Kết quả nghiên cứu cho thấy, công suất và hiệu suất nhiệt của động cơ có xu hướng giảm theo tỷ lệ DMF trong nhiên liệu với trường hợp nguyên bản khi không có sự điều chỉnh góc đánh lửa sớm của động cơ. Trong khi đó, các thông số này sẽ được cải thiện đáng kể khi có sự điều chỉnh góc đánh lửa sớm tối ưu theo tỷ lệ DMF trong hỗn hợp nhiên liệu cũng như chế độ làm việc của động cơ.

Từ khóa: Nhiên liệu thay thế, 2,5 Dimethylfuran, tính năng kinh tế - kỹ thuật.

ABSTRACT

Currently, bioethanol is the main alternative fuel for gasoline in spark ignition engines. However, recently 2,5-dimethylfuran (DMF) has emerged as a promising alternative fuel source as the performance of DMF synthesis methods from biomass is improving. The content of the paper will present the results of simulated research to assess the impact of gasoline-DMF blends with DMF mixing ratios from 20% to 40% on the economic and technical features of the engine by AVL-Boost in two cases with and without adjustment of ignition timing. Research results show that engine power and thermal efficiency tend to decrease according to the DMF ratio in the fuel in the original case when there is no adjustment of ignition timing. Meanwhile, these parameters will be significantly improved when the ignition timing is optimal in accordance with the DMF ratio in the fuel and working modes of engine.

Keywords: Alternative fuel, 2,5 Dimethylfuran, economic - technical features.

¹Viện Cơ khí động lực, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

²Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: tien.nguyenduy@hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 12/01/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 30/5/2020

Ngày chấp nhận đăng: 18/8/2020

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cùng với xu hướng phát triển kinh tế - xã hội là sự gia tăng về nhu cầu sử dụng nhiên liệu trong các ngành công nghiệp, nông nghiệp và giao thông vận tải. Trong khi đó nhiên liệu xăng và diesel có nguồn gốc hóa thạch ngày càng cạn kiệt trong tự nhiên. Nhằm giảm sự phụ thuộc vào nguồn nhiên liệu truyền thống, đảm bảo an ninh năng lượng, cũng như đáp ứng các yêu cầu giảm phát thải độc hại từ các phương tiện giao thông, một trong những giải pháp được nhiều quốc gia trong đó có Việt Nam lựa chọn đó là đa dạng hóa các nguồn nhiên liệu thay thế đặc biệt là các nhiên liệu có nguồn gốc sinh học (nhiên liệu sinh học).

Hiện nay, nhiên liệu sinh học được sử dụng cho động cơ đốt trong (ĐCĐT) khá đa dạng như các nhiên liệu chứa cồn (ethanol, butanol...), Biodiesel, Dimethyleste, 2,5 Dimethylfuran (DMF)... Trong đó, các nhiên liệu sinh học thường được sử dụng dưới dạng phối trộn thay thế một phần cho nhiên liệu xăng - diesel truyền thống như E5 (5% ethanol + 95% RON92), B5 (5% Biodiesel + 95% Diesel). Trong các nhiên liệu kể trên, ethanol và biodiesel đã được sử dụng khá rộng rãi. Trong khi đó DMF, nhiên liệu có gốc hữu cơ, là nhiên liệu có tiềm năng lớn thay thế cho nhiên liệu xăng - diesel truyền thống [1,2]. DMF có các tính chất hóa lý khá tương đồng với nhiên liệu xăng (độ nhớt, khối lượng riêng...). Bên cạnh đó DMF tồn tại ở dạng lỏng, có thể tan vô hạn trong xăng nên thuận tiện trong quá trình lưu trữ và phối trộn.

Sự có mặt của nguyên tố ôxy có độ phân cực cao trong phân tử DMF dẫn tới có nhiều sự khác biệt so với xăng. DMF có trị số ốcc tan cao hơn xăng (119 so với 90 ÷ 100) nên khi phối trộn với xăng sẽ làm tăng trị số ốcc tan của hỗn hợp nhiên liệu. Thành phần phân tử có ôxy cùng tỷ lệ H/C cao hơn xăng nên giảm phát thải CO, HC trong quá trình sử dụng. Hơn nữa, khả năng chống kích nổ cao cũng cho phép nâng cao tỷ số nén nhằm tăng hiệu suất nhiệt của động cơ [3].

Gần đây, một số nghiên cứu đã tập chung vào việc hoàn thiện quy trình sản xuất DMF. Tiêu biểu như Yong và cộng

sự đã hoàn thiện việc chuyển đổi đường fructose thành HMF (sản phẩm trung gian trong quá trình sản xuất DMF) trong hệ thống NHC-Cr/ionic. Kết quả cho thấy hiệu quả chuyển đổi từ fructose thành HMF có thể đạt được ít nhất 96% [4]. Để cải thiện hiệu quả chuyển đổi từ cellulose sang DMF, Li và cộng sự đã đề xuất cách thức chuyển đổi cellulose, nguồn nguyên liệu dồi dào với giá thành thấp, thành HMF thông qua quá trình lên men [6]. Các nghiên cứu thực nghiệm trên ĐCĐT cũng cho thấy các kết quả rất tích cực. Tiêu biểu như Ritchie Daniel đã nghiên cứu ảnh hưởng của tải trọng đến các chỉ tiêu kỹ thuật của động cơ khi sử dụng nhiên liệu DMF. Kết quả cho thấy DMF có tốc độ cháy cao hơn nhưng hiệu suất chỉ thị của động cơ giảm so với khi thử nghiệm với nhiên liệu xăng truyền thống. Nghiên cứu cũng cho thấy các tổn thất nhiệt trong động cơ khi sử dụng DMF cao hơn do sự tăng nhiệt độ trong quá trình cháy. Để cải thiện các chỉ tiêu kỹ thuật của động cơ thì cần thiết phải hiệu chỉnh giảm góc đánh lửa sớm so với khi sử dụng nhiên liệu xăng thông thường [3, 7].

Như vậy có thể thấy DMF là nhiên liệu thay thế đầy triển vọng trong tương lai gần. Để phát huy hiệu quả sử dụng cần phải có những điều chỉnh một số tham số làm việc của động cơ như góc đánh lửa sớm, tỷ số nén. Trong bài báo này DMF đóng vai trò là nhiên liệu thay thế một phần cho nhiên liệu xăng truyền thống. Nghiên cứu sẽ tập trung đánh giá ảnh hưởng của tỷ lệ DMF tới các tính năng kinh tế, kỹ thuật của động cơ trong hai trường hợp có và không có điều chỉnh góc đánh lửa sớm. Quá trình nghiên cứu được thực hiện trên đối tượng là động cơ xăng 1NZFE bằng phần mềm mô phỏng AVL-Boost.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng và nhiên liệu nghiên cứu

2.1.1. Nhiên liệu sử dụng

Nhiên liệu sử dụng trong quá trình nghiên cứu là hỗn hợp xăng - DMF với các tỷ lệ phối trộn DMF là 0% (RON 92), 20% (DM20), 30% (DM30) và 40% (DM40) theo thể tích. Các tính chất hóa lý cơ bản của xăng RON 92 và DMF được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Tính chất hóa lý của DMF và xăng RON 92

Tính chất	DMF	Xăng RON 92
Công thức phân tử	C ₆ H ₈ O	C ₂ -C ₁₄
Khối lượng phân tử (g/mol)	96,13	100-105
Hàm lượng oxi (%)	16,67	0
Hàm lượng hydro (%)	8,32	15,79
Hàm lượng cacbon (%)	75,01	84,21
Tỷ số không khí/nhiên liệu	10,72	14,5
Nhiệt trị thấp (MJ/kg)	33,7	42,9
Nhiệt trị thấp (MJ/lit)	31,5	35,0
Điểm sôi (°C)	92	27÷225
Chỉ số octane	119	92
Độ nhớt động học (cSt, 20 °C)	0,57	0,37 ÷ 0,44
Nhiệt độ tự cháy	286	420
Tỷ trọng (kg/m ³ , 20 °C)	889,7	744,6

Có thể nhận thấy, các đặc tính hóa lý của DMF khá tương đồng so với xăng RON92. Cụ thể, mật độ năng lượng của DMF (31,5 MJ/lit) khá gần với xăng (35 MJ/lit). DMF tồn tại ở dạng lỏng có điểm sôi khá cao (92°C) do vậy khá an toàn trong lưu trữ và vận chuyển. Ngoài ra DMF không hòa tan trong nước, điều này làm cho DMF ổn định trong việc lưu trữ và hạn chế gây ô nhiễm nguồn nước, đặc biệt là nguồn nước ngầm khi thất thoát ra ngoài.

2.1.2 Động cơ nghiên cứu

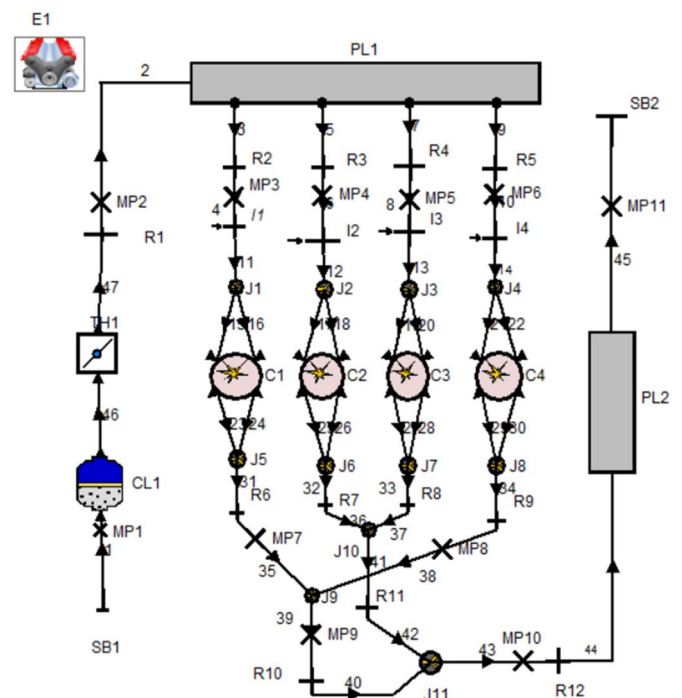
Động cơ 1NZFE được lựa chọn làm đối tượng nghiên cứu. Đây là động cơ xăng 4 kỳ, 4 xylanh, không tăng áp, sử dụng hệ thống phun xăng điện tử lắp trên xe Toyota Vios đang được sử dụng phổ biến ở Việt Nam. Các thông số kỹ thuật của động cơ được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Những thông số cơ bản của động cơ 1NZFE

Thông số	Giá trị
Hành trình piston (mm)	84,7
Đường kính xylanh (mm)	75
Dung tích công tác (lít)	1,497
Số xylanh (-)	4
Công suất định mức tại 6.000 v/ph (kW)	80
Mô men lớn nhất tại 4.200 v/ph (N.m)	141
Tỷ số nén (-)	10,5:1

2.2. Xây dựng mô hình động cơ 1NZFE trên AVL-Boost

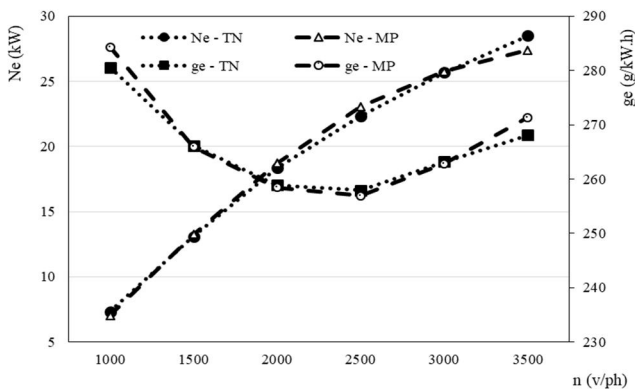
Trên cơ sở các thông số kết cấu của động cơ và các thông số kỹ thuật trong bảng 2, mô hình động cơ 1NZFE được xây dựng trên phần mềm AVL-Boost, như thể hiện trên hình 1.



Hình 1. Mô hình động cơ 1NZFE-Toyota trên AVL-Boost

Trong phần mềm AVL-Boost, mối tương quan giữa trạng thái đầu và cuối của quá trình cháy trong động cơ được tính toán dựa trên phương trình nhiệt động học thứ nhất. Vì động cơ 1NZFE-Toyota là động cơ xăng 4 kỳ không tăng áp và sử dụng hỗn hợp nhiên liệu xăng - DMF có tỷ lệ thay đổi, do vậy các mô hình tính toán trong AVL-Boost cho động cơ này được lựa chọn gồm: mô hình cháy Fractal; mô hình truyền nhiệt với hệ số truyền nhiệt tính theo Woschni 1978...

2.3. Đánh giá độ tin cậy của mô hình



Hình 2. So sánh công suất và suất tiêu thụ nhiên liệu giữa mô phỏng (MP) và thực nghiệm (TN) khi sử dụng xăng RON 92 ở 75% tải

Sau khi hoàn thành việc chọn mô hình, nhập dữ liệu, hiệu chỉnh và chạy mô phỏng mô hình động cơ 1NZFE-Toyota trên AVL-Boost, kết quả mô phỏng sẽ được so sánh với kết quả thực nghiệm nhằm đạt được độ tin cậy cần thiết. Trong nghiên cứu này, công suất và suất tiêu thụ nhiên liệu của động cơ là 2 thông số được lựa chọn và xác định ở chế độ 75% tải khi sử dụng xăng RON 92. Kết quả trên hình 2 cho thấy sai lệch giữa mô phỏng và thực nghiệm trên toàn dải đặc tính tốc độ là 0,26% đối với công suất và 0,29% đối với suất tiêu thụ nhiên liệu. Kết quả này cho thấy, mô hình xây dựng đảm bảo độ tin cậy cần thiết, như vậy có thể sử dụng mô hình này để thực hiện các bước nghiên cứu mô phỏng tiếp theo khi sử dụng hỗn hợp nhiên liệu xăng - DMF.

2.4. Chế độ mô phỏng

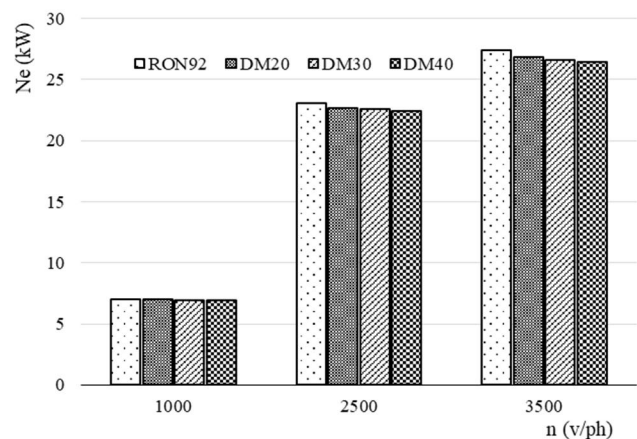
Để đánh giá ảnh hưởng của hỗn hợp nhiên liệu xăng - DMF tới các tính năng kinh tế - kỹ thuật của động cơ. Quá trình nghiên cứu được thực hiện ở đường đặc tính tốc độ (1000, 2500 và 3500v/ph) tại 75% tải (độ mở bướm ga) theo các bước sau:

- + Bước 1: Đánh giá ảnh hưởng của tỷ lệ DMF trong nhiên liệu tới các tính năng kinh tế, kỹ thuật của động cơ nguyên bản (hệ số dư lượng không khí $\lambda = 1$, không thay đổi các tham số điều chỉnh khác như tỷ số nén, góc đánh lửa sớm... của động cơ);
- + Bước 2: Xác định góc đánh lửa sớm tối ưu theo chế độ làm việc và tỷ lệ DMF trong nhiên liệu;
- + Bước 3: So sánh đánh giá tính năng kinh tế kỹ thuật của động cơ khi có sự hiệu chỉnh góc đánh lửa sớm tối ưu tương ứng với từng mẫu nhiên liệu.

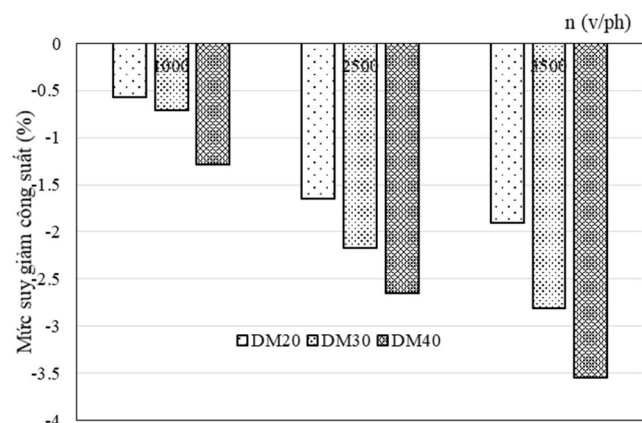
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của tỷ lệ DMF tới các tính năng kinh tế, kỹ thuật của động cơ với động cơ nguyên bản

Công suất của động cơ trong trường hợp nguyên bản (hệ số dư lượng không khí $\lambda = 1$, không hiệu chỉnh góc đánh lửa sớm) khi sử dụng các mẫu nhiên liệu được thể hiện trên hình 3. Kết quả mô phỏng cho thấy công suất động cơ có xu hướng giảm khi tăng tỷ lệ DMF trong nhiên liệu. Cụ thể, trung bình trên cả đường đặc tính công suất động cơ khi sử dụng DM20, DM30, DM40 lần lượt giảm 1,37%, 1,90% và 2,49% so với khi sử dụng xăng RON92. Mức suy giảm công suất theo tốc độ và tỷ lệ DMF trong nhiên liệu được thể hiện trên hình 4. Có thể nhận thấy mức độ suy giảm công suất tăng khi tăng tốc độ động cơ và tỷ lệ DMF trong nhiên liệu.

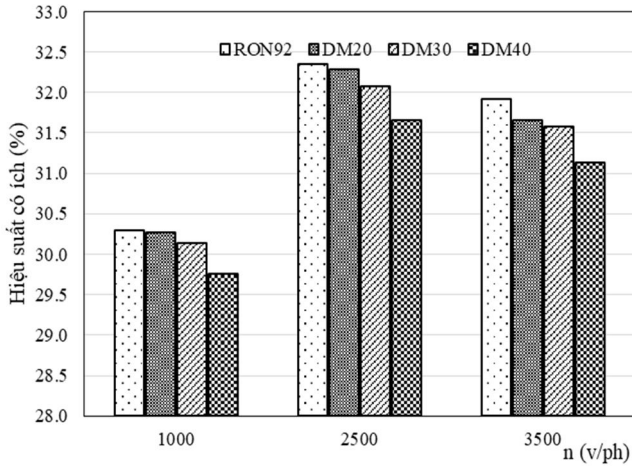


Hình 3. Công suất Ne tại chế độ 75% tải, $\lambda = 1$ ứng với 4 loại nhiên liệu



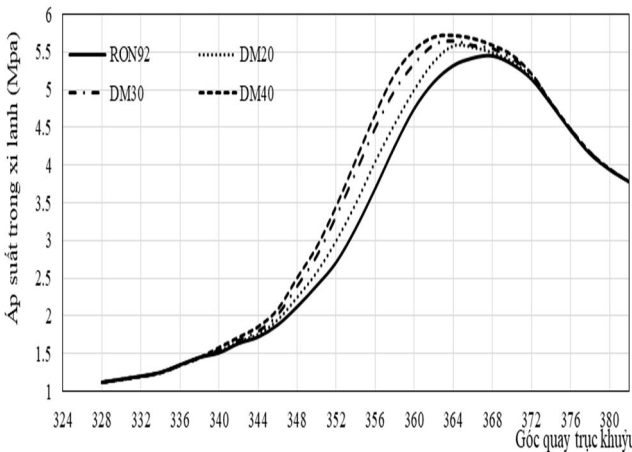
Hình 4. Mức suy giảm công suất tại chế độ 75% tải, $\lambda = 1$ ứng với 4 loại nhiên liệu

Hình 5 thể hiện sự thay đổi hiệu suất có ích của động cơ theo tốc độ ứng với các mẫu nhiên liệu. Kết quả cho thấy xu thế khá tương đồng với sự thay đổi của công suất, đó là hiệu suất có ích có xu hướng giảm khi tăng tỷ lệ DMF trong nhiên liệu. Mức độ suy giảm sẽ tăng khi tăng tốc độ của động cơ. Cụ thể, xét trung bình trên cả đặc tính mức suy giảm hiệu suất có ích của động cơ khi sử dụng các nhiên liệu sinh học lần lượt là 2,44% (DM20), 3,51% (DM30) và 4,65% (DM40) so với khi sử dụng xăng RON92.



Hình 5. Hiệu suất có ích tại chế độ 75% tải, λ = 1 ứng với 4 loại nhiên liệu

Sự suy giảm công suất và hiệu suất có ích của động cơ khi sử dụng các mẫu nhiên liệu sinh học có thể do đặc tính cháy của nhiên liệu. DMF có thời gian cháy trễ nhỏ hơn so với RON92 do đó khi tỷ lệ DMF trong nhiên liệu tăng sẽ làm điểm có áp suất cực đại trong xilanh động cơ bị dịch chuyển sang phải (hình 6), làm tăng công nén của động cơ. Chính vì vậy để tối ưu về mặt công suất thời điểm đánh lửa sớm tối ưu cũng cần dịch chỉnh theo xu hướng khi tăng tỷ lệ DMF thì cần hiệu chỉnh giảm góc đánh lửa sớm của động cơ.

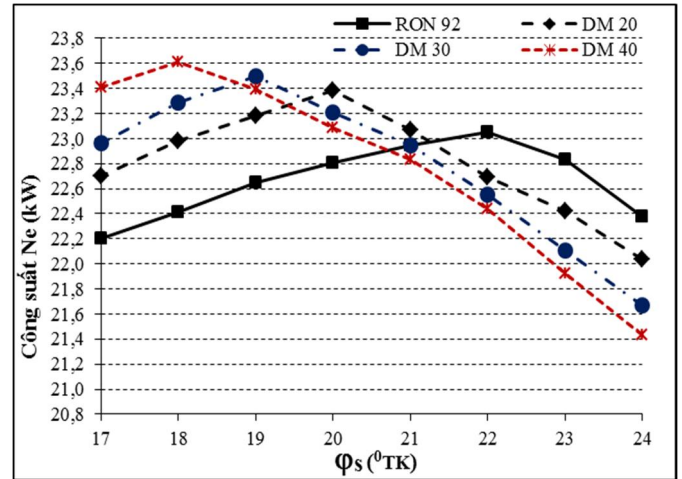


Hình 6. Diễn biến áp suất trong xylanh tại 75% tải, 3500v/ph, góc đánh lửa sớm $\phi_s = 25^\circ$

3.2. Xác định góc đánh lửa sớm tối ưu theo chế độ làm việc và tỷ lệ DMF trong nhiên liệu

Như trình bày trong mục 3.1 do nhiên liệu DMF có thời gian cháy trễ ngắn hơn RON92 do vậy khi tăng tỷ lệ DMF trong nhiên liệu mà không điều chỉnh góc đánh lửa sớm sẽ làm điểm áp suất cực đại trong xylanh diễn ra sớm hơn do đó làm tăng công nén dẫn tới làm giảm công suất và hiệu suất có ích của động cơ. Hình 7 thể hiện ảnh hưởng của góc đánh lửa sớm đến công suất động cơ với các mẫu nhiên liệu tại 75% tải, 2500v/ph. Kết quả cho thấy để tối ưu về mặt công suất thì góc đánh lửa sớm có xu hướng giảm khi tăng tỷ lệ DMF trong nhiên liệu. Cụ thể tại chế độ 75% tải, 2500v/ph, góc đánh lửa sớm tối ưu của động cơ của

RON92, DM20, DM30 và DM40 lần lượt là 22°, 20°, 19°, 18° góc quay trục khuỷu. Thực hiện khảo sát tương tự như vậy góc đánh lửa sớm tối ưu ứng với các mẫu nhiên liệu tại 1000v/ph và 3500v/ph được thể hiện trong bảng 3.



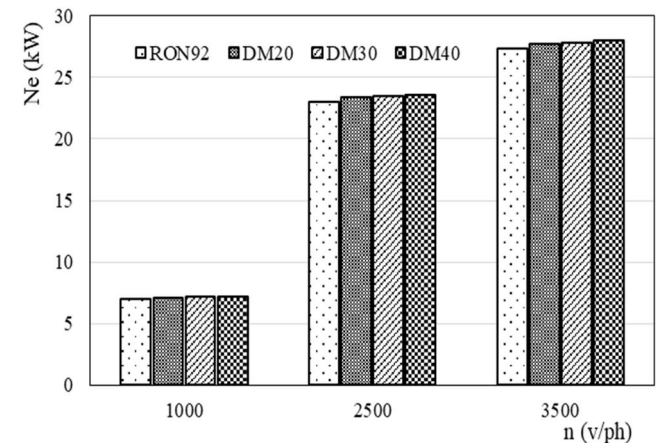
Hình 7. Ảnh hưởng của góc đánh lửa sớm đến công suất tại chế độ 75% tải, 2500v/ph ứng với 4 loại nhiên liệu

Bảng 3. Góc đánh lửa tối ưu của 4 loại nhiên liệu

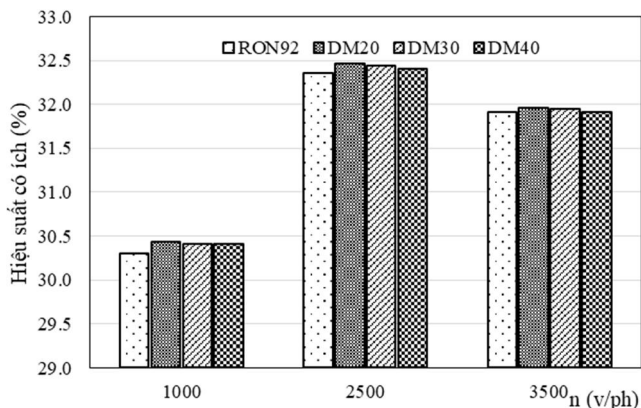
Vận tốc (v/ph)	RON 92	DM 20	DM 30	DM 40
1000	10	8	7	7
2500	22	20	19	18
3500	29	26	25	24

3.3. So sánh đánh giá các tính năng kinh tế - kỹ thuật của động cơ khi có hiệu chỉnh góc đánh lửa tối ưu

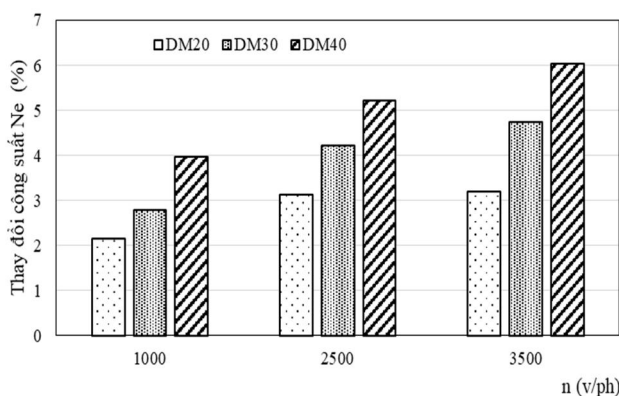
Sự thay đổi công suất và hiệu suất động cơ khi sử dụng với các mẫu nhiên liệu khi có sự hiệu chỉnh góc đánh lửa sớm (theo bảng 3) được thể hiện như trên hình 8 và 9. Có thể thấy công suất và hiệu suất có ích của động cơ tăng khi tăng tỷ lệ DMF trong nhiên liệu. Cụ thể trên cả đặc tính công suất trung bình tăng lần lượt từ 1,15%, 1,70% và 2,01% ứng với DM20, DM30 và DM40 so với khi sử dụng RON92. Hiệu suất có ích trung bình khi sử dụng RON92, DM20, DM30 và DM40 lần lượt là 31,52%, 31,62%, 31,60% và 31,58% (hình 9).



Hình 8. Công suất động cơ tại 75% tải, λ = 1, góc đánh lửa sớm tối ưu



Hình 9. Hiệu suất có ích của động cơ tại 75% tải, $\lambda = 1$, góc đánh lửa sớm tối ưu



Hình 10. Mức độ thay đổi công suất khi có và không có hiệu chỉnh góc đánh lửa sớm tối ưu

Hình 10 thể hiện mức độ thay đổi công suất (cũng như hiệu suất có ích) của động cơ ứng với các mẫu nhiên liệu sinh học sau khi có sự điều chỉnh góc đánh lửa sớm tối ưu. Có thể nhận thấy mức độ cải thiện tỷ lệ với tốc độ cũng như tỷ lệ DMF trong nhiên liệu. Xét trung bình trên cả đặc tính, công suất động cơ (cũng như hiệu suất có ích) lần lượt được cải thiện là 2,83%, 3,92% và 5,07% tương ứng với DM20, DM30 và DM40 sau khi có hiệu chỉnh tối ưu góc đánh lửa sớm của động cơ.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng thành công mô hình động cơ 1NZFE trên phần mềm AVL-Boost cũng như nghiên cứu mô phỏng đánh giá ảnh hưởng của tỷ lệ DMF tới các tính năng kỹ thuật của động cơ tại vị trí 75% tải, tốc độ 1000v/ph, 2500v/ph và 3500v/ph với $\lambda = 1$ trong hai trường hợp có và không có hiệu chỉnh góc đánh lửa sớm của động cơ. Kết quả mô phỏng cho thấy:

+ Trong trường hợp không có điều chỉnh góc đánh lửa sớm của động cơ (góc đánh lửa sớm ϕ_s là góc đánh lửa sớm nguyên bản của động cơ khi sử dụng nhiên liệu xăng thông thường) thì công suất và hiệu suất có ích của động cơ có xu hướng giảm nhẹ khi tăng tỷ lệ DMF trong nhiên liệu.

+ Trong khi đó, nếu góc đánh lửa sớm được hiệu chỉnh tối ưu tùy theo tỷ lệ DMF trong nhiên liệu cũng như chế độ

làm việc của động cơ thì công suất cũng như hiệu suất có ích của động cơ được cải thiện đáng kể. Cụ thể, xét trung bình trên cả đặc tính, công suất động cơ (cũng như hiệu suất có ích) lần lượt được cải thiện là 2,83%, 3,92% và 5,07% tương ứng với DM20, DM30 và DM40 so với khi sử dụng nhiên liệu RON92.

Từ các đánh giá nêu trên có thể thấy DMF là nhiên liệu rất có tiềm năng để thay thế một phần nhiên liệu xăng truyền thống. Tuy nhiên khi sử dụng hỗn hợp xăng - DMF có tỷ lệ phối trộn DMF cao thì cần phải điều chỉnh góc đánh lửa sớm để không làm suy giảm các tính năng kỹ thuật của động cơ.

LỜI CẢM ƠN

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn để tài cấp Bộ Giáo dục và Đào tạo B2018-BKA-59 đã hỗ trợ kinh phí để nhóm tác giả hoàn thành nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Hu L et al, 2011. *Pathways and mechanisms of liquid fuel 2,5-dimethylfuran from biomass*. Prog Chem 23:2079–84.
- [2]. Roman-Leshkov Y, Barrett CJ, Liu ZY, Dumesic JA., 2007. *Production of dimethylfura for liquid fuels from biomass-derived carbohydrates*. Nature 447:982–6.
- [3]. Ritchie Daniel et al, 2011. *Effect of spark timing and load on a DISI engine fuelled with 2,5-dimethylfuran*. Fuel 90, 449–458.
- [4]. Yong G, Zhang YG, Ying JY., 2008. *Efficient catalytic system for the selective production of 5-hydroxymethylfurfural from glucose and fructose*. Agnew Chem Int Ed 120:9485–8.
- [5]. Li CZ, Zhang ZH, Zhao ZK., 2009. *Direct conversion of glucose and cellulose to 5-hydroxymethylfurfural in ionic liquid under microwave irradiation*. Tetrahedron Lett 50:5403–5.
- [6]. Taehoon Han, 2019. *Strategies to Improve Efficiency and Emissions in Spark Ignition Engines*. A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy (Mechanical Engineering) in the University of Michigan 2019.

AUTHORS INFORMATION

**Khong Vu Quang¹, Nguyen Duy Tien¹, Dinh Xuan Thanh²,
Dai Trinh Quy¹, Nguyen The Truc¹, Le Dang Duy¹**

¹School of Transportation Engineering, Hanoi University of Science and Technology

²Hanoi University of Industry