NGHIÊN CỨU SỰ HÌNH THÀNH CẶN LẮNG TRONG BUỒNG CHÁY VÀ SỰ SUY THOÁI CỦA DẦU BÔI TRƠN TRONG ĐỘNG CƠ DIESEL THỦY CỠ NHỎ SỬ DỤNG TRỰC TIẾP DẦU THỰC VẬT

RESEARCH ON DEPOSIT FORMATION IN COMBUSTION CHAMBER AND LUBRICANT DEGENERATION IN SMALL MARINE DIESEL ENGINES USING STRAIGHT VEGETABLE OILS

Phạm Văn Việt[1], Hoàng Anh Tuấn[2], Lương Công Nhớ[1], Trần Quang Vinh[3]
[1]Đại học Hàng Hải Việt Nam, [2]Đại học Giao thông vận Tải Thành phố Hồ Chí Minh,
[3]Đại học Bách Khoa Hà Nội

***Tóm tắt**: Sử dụng trực tiếp dầu thực vật (SVOs –Straight vegetabe oils) là một trong những hướng lựa chọn hàng đầu để thay thế cho nhiên liệu diesel truyền thống trong hiện đại hóa bền vững đội tàu cá ven bờ. Việc thương mại hóa SVO ở mức độ vừa phải chưa được triển khai rộng do thiếu các nghiên cứu về độ bền động cơ, sự suy thoái của dầu bôi trơn và các biện pháp hữu hiệu để giải quyết các tác động tiêu cực khi sử dụng trực tiếp SVOs trên động cơ diesel. Trong bài báo này, nghiên cứu thực nghiệm đánh giá tác động lâu dài của dầu Jatropha (JO) đến động cơ diesel cỡ nhỏ lai máy phát thông qua các thử nghiệm đánh giá độ bền động cơ trong thời gian hoạt động 300 giờ. Kết quả thử nghiệm cho thấy có sự gia tăng phát thải, sự thay đổi thành phần kim loại trong dầu bôi trơn và lượng cặn lắng cacbon hình thành trong buồng cháy của động cơ.*

***Từ khóa:** Dầu thực vật sử dụng trực tiếp, độ bền động cơ, sự suy thoái dầu bôi trơn, cặn lắng buồng cháy động cơ.*

***Chỉ số phân loại:** 2.1*

***Abstract:** Straight Vegetable Oils (SVOs) are promising alternatives to diesel fuel in sustainable modernization of artisan fishing vessels. Moderate commercialization of SVOs is yet to be realized due to lack of critical information on engine durability, lubricant degeneration, and effective methods to offset the adverse effect of directly using SVOs on diesel engines. In this paper, the experimental study evaluates the long term impacts of crude Jatropha oil (JO) on a small diesel engine generator through 300 hour durability tests. The testing results demonstrate the evolution of gaseous emissions, the trace metal element variations in lubricant, and the carbon deposit formation on engine components.*

***Keywords:** Straight vegetable oils, engine durability, lubricant degreration, combustion chamber deposits.*

***Classification number:** 2.1*

1. Giới thiệu

Sự phát triển nhanh của công nghệ động cơ diesel cùng với các quy định ngày càng nghiêm ngặt về phát thải đã cho thấy tầm quan trọng của việc tìm kiếm và phát triển các nguồn nhiên liệu thay thế nhằm giảm phát thải cũng như đảm bảo chi phi khai thác phù hợp cho đội tàu cá gần bờ ở các quốc gia đang phát triển, trong đó có Việt Nam. Trong tương lai gần có thể thấy rõ các nguồn nhiên liệu thay thế có mức độ phát thải thấp như: Khí tự nhiên hóa lỏng (LNG), khí sinh học (sinh khối-biogas), nhiên liệu sinh học như dầu thực vật dùng trực tiếp (SVOs) và nhiên liệu diesel sinh học (biodiesel). SVO đã được các nhà nghiên cứu trong và ngoài nước nghiên cứu rộng rãi trên các động cơ thủy cỡ nhỏ mà không phải sửa đổi đáng kể về kết cấu động cơ do có tính chất tương đương với dầu diesel. Các kết quả nghiên cứu cho thấy SVOs không tốn kém nhiều chi phí trong sản xuất, dễ dàng sử dụng và thân thiện với môi trường bởi hàm lượng phát thải cacbon thấp hơn so với sử dụng biodiesel. Việc sử dụng trực tiếp SVOs đã chứng minh hiệu suất động cơ đạt yêu cầu trong các thử nghiệm ngắn hạn [1 - 3], mặc dù hiệu suất nhiệt có ích của động cơ hoạt động với SVOs thấp hơn, trong khi đó suất tiêu hao nhiên liệu có ích cao hơn so với dùng dầu diesel. Các nghiên cứu với các động cơ sử dụng SVOs trong thời gian dài rất hạn chế và thường chỉ đưa ra các kết quả thử nghiệm về hiệu suất và lượng phát thải của động cơ. Pan [4] khi nghiên cứu trên động cơ diesel hoạt động 300 giờ với dầu JO đã chỉ ra rằng động cơ có lượng phát thải

CO, CO_2 cao hơn dầu diesel, trong khi đó phát thải NO_X thì thấp hơn. Kalam và Masjuki [5] khi nghiên cứu thực nghiệm với động cơ diesel dùng dầu cọ thô trong thời gian 100 giờ cho thấy việc hâm nóng dầu cọ thô sẽ làm giảm phát thải CO và HC nhưng phát thải NO_X tăng. Một nghiên cứu khác về độ bền của động cơ khi sử dụng dầu cọ thô với thời gian hoạt động lên đến 500 giờ [6] chỉ ra rằng các bộ phận bên trong động cơ bị hư hỏng sau khi sử dụng SVOs kéo dài, chẳng hạn như sự tích tụ cặn lắng trên vòi phun và vách buồng cháy, lượng phun nhiên liệu không đủ, các xéc măng bị ăn mòn, mặt gương xilanh bị xước và cặn bám trên các xupap dẫn đến kẹt xupap. Khi sử dụng dầu JO làm nhiên liệu thay thế cho dầu diesel trên động cơ hoạt động với thời gian 512 giờ, Agarwal và Dhar [7] thấy rằng tuổi thọ của dầu bôi trơn giảm xuống còn 400 giờ. Thành phần các nguyên tố kim loại trong dầu bôi trơn cũng được phát hiện trên các động cơ sử dụng SVOs, tuy nhiên việc sử dụng công nghệ quang phổ hấp thụ nguyên tử ngọn lửa (AAS) đã không phát hiện được Ca và một số kim loại khác trong bất cứ chất bôi trơn nào do giới hạn phát hiện của AAS. Trong nghiên cứu này thay vì dùng AAS, nhóm tác giả sử dụng quang phổ khối Plasma kết hợp (ICP-MS) để phát hiện tất cả các phân tử kim loại quan trọng trong chất bôi trơn sau khi thực hiện thử nghiệm độ bền trên động cơ sử dụng JO.

2. Phương pháp và thiết bị thử nghiệm

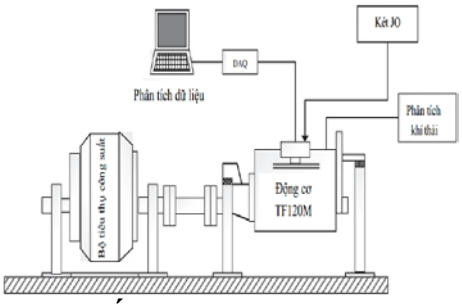
Động cơ diesel lai máy phát là động cơ Yanmar TF120M hoạt động liên tục 300 giờ ở chế độ 75% tải. Sơ đồ bố trí băng thử động cơ được mô tả trên hình 1. Thông số kỹ thuật của động cơ được trình bày trong bảng 1. JO được chọn làm nhiên liệu và được hâm nóng ở nhiệt độ 90^{o}C trong suốt thời gian tiến hành thử nghiệm độ bền động cơ, đặc tính kỹ thuật của JO được trình bày trong Bảng 2. Thiết bị phân tích khí thải Horoba MEXA-1600D được sử dụng để đo thành phần khí thải. Các trang thiết bị đo và phân tích đáp ứng tiêu chuẩn ISO-8178. Sau mỗi 100 giờ, động cơ được dừng hoạt động và tiến hành khảo sát, kiểm tra. Lượng cặn tích tụ trên vòi phun sẽ được lấy ra và vòi phun được vệ sinh để đảm bảo động cơ có thể hoạt động tốt trong lần thử nghiệm tiếp theo. Các mẫu dầu bôi trơn thu trực tiếp từ dầu bôi trơn dưới cacte. Thiết bị ICP-MS được sử dụng để xác định nồng độ kim loại và một số phi kim trong mẫu dầu bôi trơn với độ nhạy và độ chính xác rất cao lên đến phần triệu.

Bảng 1. *Thông số động cơ Yanmar TF120M.*

Mô tả	Thông số
Loại động cơ	Diesel, 4 kỳ, 4 xilanh, làm mát bằng nước, phun nhiên liệu trực tiếp
Dung tích xilanh	638,1 ml
Đường kính x Hành trình piston	92mm x 96mm
Tỷ số nén	17,7:1
Công suất tối đa	7,8 kW tại 2400 vòng/phút
Góc phun sớm	11,5 GQTK
Áp suất phun	200 kg/cm^3

Bảng 2. *Đặc tính kỹ thuật của dầu Jatropha (JO).*

Mô tả	Thông số	
Khối lượng riêng ở 15^{o}C	918	kg/m^3
Độ nhớt động học ở 40^{o}C	35,4	mm^2/s
Nhiệt độ chớp lửa	186	^{o}C
Thành phần nước	5	%
Cặn cacbon	0,3	%
Thành phần lưu huỳnh	0,02	%
Chỉ số axít	11	mg KOH/g
Số cetane	23	
Nhiệt trị thấp	33	MJ/kg



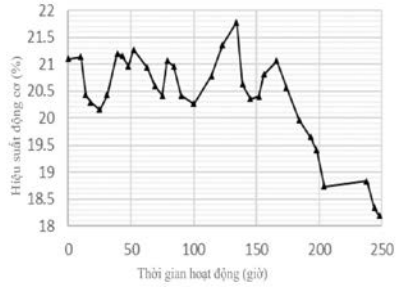
Hình 1. *Sơ đồ bố trí băng thử động cơ.*

3. Kết quả và thảo luận

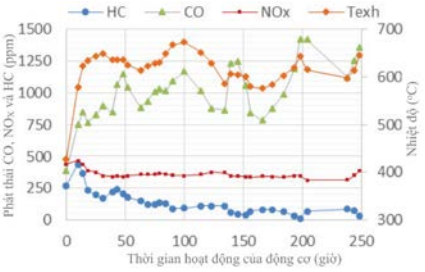
3.1. Tác động của cặn lắng cacbon nên đặc tính động cơ và phát thải

Hình 2 mô tả hiệu suất trung bình của động cơ theo thời gian hoạt động khi động cơ hoạt động với dầu JO trong suốt 250 giờ thử nghiệm. Kết quả thực nghiệm cho thấy hiệu suất của động cơ biến động trong khoảng 21,8% đến 18,2% trước khi bị hỏng, hiệu suất động cơ tăng lên từ 100 đến 200 giờ hoạt động và có xu hướng giảm sau 30 giờ tiếp theo. Xu hướng tăng và giảm hiệu suất

trên chủ yếu do sự hình thành cặn lắng cacbon trên đầu vòi phun, đỉnh piston và vách buồng cháy, điều này đã tác động xấu đến chất lượng phun nhiên liệu và quá trình cháy của động cơ. Cặn bám trên vòi phun sẽ làm thay đổi tính đối xứng của vòi phun, làm giảm lượng và chất lượng nhiên liệu được phun. Điều đó làm cho quá trình cháy không hoàn toàn và làm giảm hiệu suất động cơ, đồng thời gia tăng lượng phát thải độc hại ra môi trường. Độ nhớt cao của nhiên liệu JO làm cho kích thước của các hạt nhiên liệu lớn hơn và khó hòa trộn với không khí nạp hơn nên chất lượng quá trình cháy giảm xuống. Kết quả thực nghiệm cũng cho thấy bên cạnh hình thành cặn lắng cacbon, sự bay hơi của dầu bôi trơn cũng diễn ra sau 166 giờ hoạt động. Khi đó độ nhớt của dầu bôi trơn tăng lên đáng kể dẫn đến sự gia tăng ma sát giữa các bộ phận chuyển động tương đối trong động cơ, do đó hiệu suất động cơ giảm nhanh và hư hỏng sau 250 giờ.



Hình 2. *Hiệu suất động cơ trong thời gian hoạt động 250 giờ.*



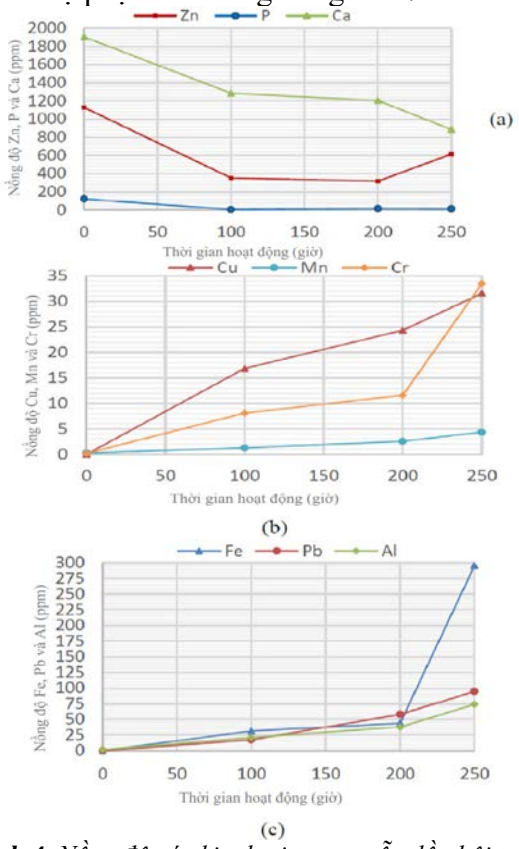
Hình 3. *Phát thải của động cơ thử nghiệm.*

Kết quả về phát thải CO, NO_X và HC của động cơ khi sử dụng nhiên liệu JO trong thời gian 250 giờ thể hiện trên hình 3. Đồng thời, đặc tính cháy của động cơ được thể hiện thông qua nhiệt độ khí xả động cơ. Nhiệt độ khí xả động cơ dao động trong khoảng từ 570^{o}C đến 670^{o}C. Cặn lắng cacbon xung quanh đầu vòi phun đã làm giảm tốc độ cháy, kéo dài quá trình cháy và giảm hiệu suất nhiệt. Do đó, năng lượng tạo ra từ nhiên liệu được phun vào buồng cháy sẽ thấp hơn và phần nhiên liệu không cháy hết sẽ kéo dài thời gian cháy trễ, cháy trên đường giãn nở dẫn đến nhiệt độ khí xả tăng cao. Phát thải HC tạo ra là do hỗn hợp hòa trộn không khí nạp và nhiên liệu không đồng nhất, nhiệt độ trong buồng cháy chưa đạt để đốt cháy hoàn toàn phần nhiên liệu được phun vào. Các vị trí trong buồng cháy như tại các xéc măng, mặt nấm xupap và gioăng kín khí trên nắp xilanh có khả năng dò lọt môi chất công tác, vì vậy tại các vị trí đó lượng phát thải HC được tìm thấy khá lớn. Nguyên nhân có thể do hỗn hợp môi chất không cháy bị ép vào những khe hở tại các vị trí trên trong quá trình nén và khi quá trình cháy diễn ra chúng sẽ cháy hoàn toàn hoặc một phần và quay ngược trở lại xilanh. Tuy nhiên, do sự hình thành cặn lắng cacbon dẫn đến thể tích các khe hở đó giảm xuống nên phát thải HC sẽ giảm. HC cũng bị oxi hóa trong quá trình xả, trong đó tốc độ oxi hóa phụ thuộc vào nhiệt độ khí xả. Sự kích hoạt quá trình oxi hóa bắt đầu xảy ra ở nhiệt độ 600^{o}C. Trong hình 3 cho thấy khi nhiệt độ khí xả trên 600^{o}C sự oxi hóa tăng cường và làm gia tăng mức phát thải CO, như vậy khi nhiệt độ khí xả càng tăng thì phát thải HC càng giảm.

3.2. Sự suy thoái của dầu bôi trơn

Các nguyên tố kim loại trong dầu bôi trơn được chia làm hai nhóm: Nhóm các nguyên tố phụ gia và nhóm các nguyên tố mài mòn tại các vị trí trong động cơ. Phụ gia là các nguyên tố hóa học tồn tại trong dầu bôi trơn nhằm đảm bảo các đặc tính bôi trơn và chúng sẽ bị tiêu hao trong quá trình động cơ hoạt động. Các mạt kim loại từ những bộ phận khác nhau trong động cơ như xéc măng, xilanh, được tích tụ trong dầu bôi trơn và làm sạch bề mặt của xéc măng. Hình 4a cho thấy nồng độ các chất phụ gia như Zn, Pt và Ca trong dầu bôi trơn. Zn và P tồn tại trong hợp chất dithiophotphat dialkyl kẽm (ZDDP), chúng được sử dụng để chống mài mòn và đồng thời đóng vai trò là chất chống oxi hóa. Ca được sử dụng làm chất tẩy rửa nhằm kiểm soát sự gỉ và tích tụ các chất dạng nhựa trong động cơ. Những nguyên tố đó ban đầu có hàm lượng cao, tuy nhiên nồng độ của chúng giảm dần theo thời gian khai thác của động cơ. Sự suy giảm nồng độ Zn và P làm suy giảm chức năng của ZDDP dẫn đến gia tăng

mài mòn tại các vị trí được bôi trơn trong động cơ. Tuy nhiên sau 200 giờ nồng độ Zn lại tăng lên rõ rệt, điều này là kết quả của sự suy giảm chức năng bôi trơn của dầu. Các mạt kim loại kẽm xuất hiện nhiều trong dầu bôi trơn là do sự gia tăng mài mòn tại các ổ đỡ và bộ phận làm bằng đồng thau.



Hình 4. *Nồng độ các kim loại trong mẫu dầu bôi trơn.*

Hình 4b và 4c thể hiện nồng độ các thành phần mạt kim loại bị mòn như Cu, Mn, Cr, Fe, Pb và Al trong dầu bôi trơn. Các phân tích hóa học thành phần nguyên tố kim loại đó đã cho thấy mức độ mài mòn của các bộ phận của động cơ trong quá trình thử nghiệm động cơ với nhiên liệu JO. Những phát hiện tương tự được chỉ ra trong các nghiên cứu của Agarwal và Dhar [7], khi họ sử dụng các nhiên liệu diesel sinh học khác trong các thử nghiệm. Nantha và Thundil Karuppa [8] cũng thu được các kết quả tương tự khi thử nghiệm động cơ với SVOs hoặc diesel sinh học. Những hư hỏng xuất hiện trong động cơ là kết quả của sự tích tụ cặn lắng cacbon dày nên trong xilanh động cơ cũng như sự nhiễm bẩn của dầu bôi trơn. Quan sát thực nghiệm cho thấy việc sử dụng trực tiếp nhiên liệu JO đã dẫn đến sự hình thành và tích tụ cặn lắng cacbon quá mức trên các bộ phận trong buồng cháy động cơ. Cặn lắng cacbon tích tụ trên đỉnh lõm của piston và bao phủ đầu vòi phun đã làm cho thể tích hữu dụng của phần đỉnh lõm piston và chức năng của vòi phun giảm đi rõ rệt. Độ nhớt và mức độ bão hòa của dầu JO làm cho các hạt nhiên liệu khó bị phân tán và bay hơi hơn dẫn đến tăng độ thâm nhập và giảm góc nón của chùm tia phun nên có nhiều hạt nhiên liệu đến va đập với vách buồng cháy. Do đó, sự hình thành cặn lắng cacbon trong buồng cháy động cơ chủ yếu là do tính chất hóa lý của dầu JO, các tính chất đó ảnh hưởng tới đặc tính phun và quá trình đốt cháy nhiên liệu.

4. Kết luận

Các thử nghiệm về độ bền động cơ khi sử dụng nhiên liệu JO đã cho thấy cặn lắng cacbon trong buồng cháy động cơ diesel là khá nghiêm trọng, chúng được gây ra bởi quá trình cháy không hoàn toàn và chất lượng cháy kém của nhiên liệu JO. Sự thoái hóa của dầu bôi trơn là kết quả của sự hư hỏng động cơ khi dùng nhiên liệu JO và điều đó cũng làm gia tăng mức độ hư hỏng của động cơ. Do đó, rất cần thiết phải điều chỉnh hệ thống phun nhiên liệu và có các hướng dẫn bảo dưỡng cho các động cơ sử dụng nhiên liệu SVOs ❑

Tài liệu tham khảo

[1] Chalatlon V., Mohon M.R., Dutta A., Kumar S., *Jatropha oil production and an experimental investigation of its use as an alternative fuel in a DI diesel engine*, Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels (2011), 2(5), pp. 76-85.

[2] Chauhan B., Kumar N., Cho H., *Performance and emission studies on an agriculture engine on neat Jatropha oil*, Journal of Mechanical Science and Technology (2010), 24(2), pp. 529-535

[3] Hebbal O., Reddy K., and Rajagopal K., *Performance characteristics of a diesel engine with deccan hemp oil*, Fuel (2006), 85(14-15), pp. 2187-2194.

[4] Pan S., Om R., Phol N., Chunhieng T., Shimizu Y., Yamamura Y., Oyama K., Uchiyama I., Nakamura A., Yamasaki T. *Performance and Durability Test of Diesel Engine Generator Using Hundred Percent of Jatropha Curcas L. Oil*. GMSARN International Journal (2011), 5(2), pp. 81-88.

[5] Kalam M., Masjuki H. *Emissions and deposit characteristics of a small diesel engine when operated on preheated crude palm oil*. Biomass and Bioenergy (2004), 27(3), pp. 289-297.

[6] Bari S., Yu C., Lim T. *Performance deterioration and durability issues while running a diesel engine with crude palm oil*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering (2002), 216(9), pp. 785 -792.

[7] Agarwal A., Dhar A. *Experimental Investigation of Preheated Jatropha Oil Fuelled Direct Injection Compression Ignition Engine—Part 2: Engine Durability and Effect on Lubricating Oil*, J. ASTM Int. (2010), 7(2), p.102415.

[8] Nantha G. K. and Thundil Karuppa R. R. *Effect of pongamia oil methyl ester–diesel blend on lubricating oil degradation of di compression ignition engine*, Fuel (2016), 165, pp. 105-114.

Ngày nhận bài: 18/12/2017
Ngày chuyển phản biện: 21/12/2017
Ngày hoàn thành sửa bài: 11/1/2018
Ngày chấp nhận đăng: 17/1/2018