

NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG NHIÊN LIỆU THAY THẾ TRÊN ĐỘNG CƠ DIESEL
RESEARCH ON UTILIZATION OF ALTERNATIVE FUELS IN CONVENTIONAL
DIESEL ENGINES

TRẦN THANH HẢI TÙNG¹, LÊ ANH TUẤN², PHẠM MINH TUẤN²

⁽¹⁾ *Khoa Cơ khí giao thông, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng*

⁽²⁾ *Viện Cơ khí động lực, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội*

Tóm tắt

Bài báo trình bày tổng hợp kết quả nghiên cứu sử dụng nhiên liệu sinh học biodiesel làm từ mỡ cá basa và nhiên liệu khí hóa lỏng LPG trên động cơ diesel truyền thống. Phục vụ cho mục đích này, 02 động cơ diesel D243 lắp trên máy kéo, tàu sông đã được đưa vào thực nghiệm nhằm đánh giá tác động của nhiên liệu sinh học biodiesel B5 đến tính năng và phát thải; đồng thời, động cơ Mazda WL được dùng làm đối tượng nghiên cứu sử dụng lưỡng nhiên liệu LPG và diesel. Kết quả nghiên cứu cho thấy nhiều ưu việt khi sử dụng các loại nhiên liệu thay thế này trên động cơ diesel nói chung và định hướng cho động cơ diesel dùng trên tàu du lịch ven biển nhằm giảm ô nhiễm môi trường nói riêng.

Từ khóa: Biodiesel, LPG, công suất, tiêu thụ nhiên liệu, phát thải.

Abstract

The paper presents summarized findings of utilization of biodiesel based cat-fish fat and liquefied petroleum gas (LPG) in conventional diesel engines. Targeting this, two diesel engines of tractors and fishing boats were used to assess effects of biodiesel B5 on engine performance and exhaust emissions; at the same time, Mazda engine WL was used as an object for the application of dual fuels (diesel and LPG) conversion. Results of the research show many advantages of these alternative fuels for diesel engines, in general, and towards for diesel engines used in sailing ships and coasting ships, in particular, in order to reduce exhaust emissions.

Keywords: Biodiesel, LPG, power, fuel consumption, exhaust emissions.

1. Mở đầu

Trước sức ép ngày càng lớn của việc cạn kiệt nhiên liệu, ô nhiễm môi trường và hiệu ứng nhà kính, các loại nhiên liệu thay thế cho nhiên liệu hóa thạch truyền thống sử dụng cho động cơ đốt trong như xăng và diesel đang được quan tâm và phát triển. Các loại nhiên liệu thay thế này có các nguồn gốc và được phân loại như sau:

Nguồn hóa thạch như: khí thiên nhiên nén CNG, khí thiên nhiên hóa lỏng LNG (liquefied natural gas), khí dầu mỏ hóa lỏng LPG (liquefied petroleum gas), khí lò ga...

Nguồn gốc sinh học như các loại nhiên liệu được chiết suất từ dầu hoặc tinh bột của các loại cây (cọ, dừa, hướng dương, jatropha, táo, mía, sắn, ngô...), mỡ động vật hay khí biogas sản xuất từ phế thải (rác thải, chất thải từ động vật,...). Trong các dạng nhiên liệu thay thế đó biodiesel dùng để thay thế cho diesel, còn bioethanol, biomethanol dùng để thay thế cho nhiên liệu xăng.

Thông thường, nhiên liệu thay thế nói chung có thể sử dụng trên động cơ ở dạng nguyên chất (100% nhiên liệu thay thế), hoặc ở dạng phối hợp, tức là một phần nhiên liệu thay thế kết hợp với nhiên liệu truyền thống. Ví dụ như hỗn hợp nhiên liệu B5 (5% bio-diesel, 95% diesel truyền thống), hỗn hợp nhiên liệu E5 (5% ethanol, 95% xăng),...

Sử dụng nhiên liệu thay thế, ngoài việc giải quyết vấn đề cạn kiệt nhiên liệu hóa thạch, tận dụng triệt để các nguồn năng lượng sẵn có trong thiên nhiên, nó còn tạo công ăn việc làm cho người dân, giải quyết phần nào vấn đề ô nhiễm môi trường. Ngoài ra, nếu có sự quy hoạch tốt về sử dụng đất thì việc sử dụng nhiên liệu thay thế, đặc biệt là nhiên liệu sinh học còn tạo động lực cho sự phát triển, giảm triệt để phát thải gây hiệu ứng nhà kính nhờ vòng khép kín CO₂ (cây hấp thụ khí CO₂ từ động cơ - trồng cây để sản xuất nhiên liệu sinh học cho động cơ).

Đối với động cơ diesel sử dụng trên tàu du lịch ven biển, việc nghiên cứu sử dụng nhiên liệu thay thế nói chung và nhiên liệu sinh học bio-diesel hay nhiên liệu khí hóa lỏng LPG nói riêng

là hết sức cần thiết nhằm cắt giảm tiêu thụ nhiên liệu hóa thạch, giảm phát thải chất độc hại và khí gây hiệu ứng nhà kính. Điều đó hòa nhập với xu thế thế giới cũng như đi đúng lộ trình phát triển bền vững mà Việt Nam đang hướng tới.

Bài báo này sẽ trình bày kết quả nghiên cứu sử dụng nhiên liệu sinh học bio-diesel B5 và khí hóa lỏng LPG trên động cơ diesel được thực hiện tại các phòng thí nghiệm động cơ đốt trong của Đại học Bách khoa Hà Nội và Đại học Bách khoa Đà Nẵng.

2. Nghiên cứu sử dụng BIODIESEL B5

2.1. Nhiên liệu biodiesel B5 làm từ mỡ cá

Nhiên liệu diesel sinh học gốc B100 có nguồn gốc từ mỡ cá được sản xuất theo qui trình công nghệ truyền thống, sử dụng xúc tác kiềm đồng thể, trên hệ thiết bị pilot công nghiệp của Viện Hóa học công nghiệp Việt Nam. Kết quả phân tích cho thấy mẫu diesel sinh học đạt chỉ tiêu chất lượng của Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 7717 - 07 về diesel sinh học gốc B100 [5],[6]. Nhiên liệu biodiesel B5 (5% biodiesel B100 và 95% diesel thị trường) có các chỉ tiêu được thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1. Các chỉ tiêu của nhiên liệu biodiesel B5

Chỉ tiêu	B5	B100 (TCVN 7717 :07)	Diesel (TCVN 5689 :2005)
Khối lượng riêng ở 15°C, kg/m ³	844.2	860 - 900	820 - 860
Điểm chớp cháy cốc kín, °C	77	130,0	55
Hàm lượng nước và cặn, % vol	0.007	0,050	0,002
Độ nhớt động học, 40°C, mm ² /s	3.91	1,9– 6,0	2 - 4,5
Tro sunphát, wt.%	0.0025	0,020	0,01
Lưu huỳnh, ppm	470	500	500/2500
Ăn mòn tấm đồng, 50°C, 3 giờ	1a	1	1
Số xê tan	54	47	46, min
Điểm vẫn đục, °C	-3	-	6, max
Cặn các bon, 100% sample, wt.%	0.0487	0,050	0.03
Nhiệt độ chưng cất 90%, °C	346	360	360

2.2. Phương pháp thử nghiệm

Thử nghiệm đánh giá ảnh hưởng của việc sử dụng nhiên liệu biodiesel B5 đến tính năng và phát thải của động cơ được thực hiện trên cơ sở đối chứng. Trong đó, nhiên liệu đối chứng là nhiên liệu diesel có sẵn trên thị trường. Các chế độ thử nghiệm đối chứng còn được tiến hành xen kẽ với quá trình thử nghiệm bền động cơ và thử nghiệm phương tiện trên đường cũng như thử nghiệm đường dài và thử nghiệm đại trà [9].

Đối tượng thử nghiệm bao gồm: 02 động cơ diesel 4 xilanh thẳng hàng D243 của Belarus được lắp trên thuyền đánh cá và tàu sông, 02 xe Ford Transit, trong đó xe mang biển số 29V-7464 dùng nhiên liệu diesel, xe còn lại với biển số 29V-7469 dùng nhiên liệu B5, 01 xe Isuzu Hilander sử dụng lần lượt nhiên liệu diesel đối với 5000 km chạy đường dài đầu tiên, 5000 km chạy đường dài tiếp theo sử dụng nhiên liệu B5.

Chế độ thử nghiệm đối chứng của động cơ thử nghiệm là các đường đặc tính tải và đặc tính tốc độ. Còn đối với ô tô thì chế độ đối chứng là điểm đo thực hiện trên các đường đặc tính kéo.

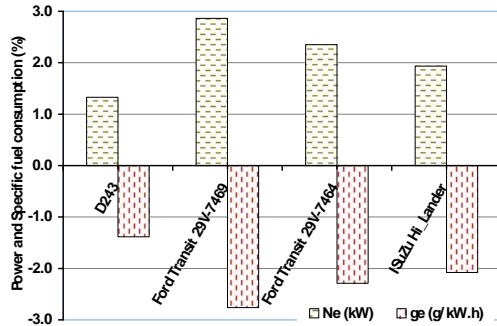
Ngoài ra, động cơ D243 còn được vận hành đối chứng theo chu trình thử nghiệm khí thải Châu Âu R49 (tiêu chuẩn Euro 2). Các ô tô thử nghiệm thì sử dụng chu trình thử nghiệm ECE15-05 của Châu Âu (tiêu chuẩn Euro 2).

Chúng tôi sử dụng 2 băng thử do Hãng AVL (Cộng hòa Áo) trang bị trong PTN Động cơ đốt trong, Đại học Bách khoa Hà Nội. Băng thử công suất APA204/8 lắp động cơ D243, băng thử động lực học ô tô CD 48" dùng để thử nghiệm 02 xe Ford Transit và xe Isuzu Highlander.

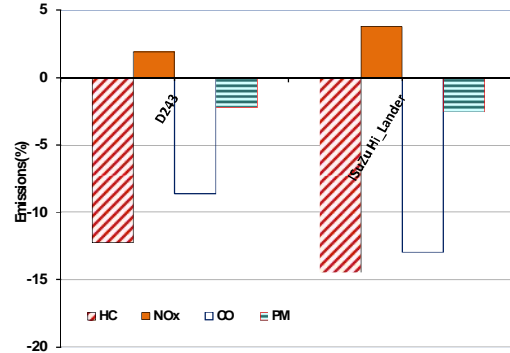
2.3. Đánh giá tác động của nhiên liệu biodiesel B5 đến tính năng và phát thải của động cơ

Kết quả thử nghiệm đối chứng nhiên liệu biodiesel có nguồn gốc mỡ cá basa trên động cơ D243 và các phương tiện được thể hiện ở hình 1 đối với các chỉ tiêu công suất và suất tiêu thụ nhiên liệu (tính theo phần trăm chênh lệch).

Qua đồ thị ta thấy với động cơ và xe chạy bằng nhiên liệu B5 thì công suất tăng (giá trị tăng cao nhất là 2,86% đối với xe Ford Transit 29V-7469 và 1,33% đối với động cơ D243) và suất tiêu thụ nhiên liệu đều giảm (xe Ford Transit 29V-7469 giảm 2,76%, còn động cơ D243 giảm 1,39%).



Hình 1. Kết quả thử nghiệm đối chứng về công suất và suất tiêu thụ nhiên liệu.



Hình 2. Kết quả thử nghiệm đối chứng theo chu trình ECE R49 và ECE 15-05.

Kết quả thử nghiệm này phù hợp với nhận định được trình bày trong các nghiên cứu của Soni S.Wirawan [7] và US EPA [8]. Theo đó, khi vận hành với nhiên liệu B5, công suất và suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ thay đổi trong một giới hạn nhỏ.

Kết quả thử nghiệm phát thải ô nhiễm theo tiêu chuẩn Euro2 đối với động cơ D243 (chu trình ECE R49), và đối với xe Isuzu_Hilander (chu trình ECE15-05) được thể hiện trên hình 2. Theo đó, các thành phần phát thải HC, CO, PM đều giảm (HC giảm tới 14,46%, CO giảm tới 12,94%, PM giảm 2,57%); phát thải NO_x của động cơ D243 tăng 1,93%, trong khi phát thải NO_x của xe Isuzu_Hilander tăng 3.80%.

Mặc dù nhiên liệu sinh học biodiesel B100 có nhiệt trị thấp hơn so với nhiên liệu diesel gốc hóa thạch, 5% trong hỗn hợp nhiên liệu biodiesel B5 không làm ảnh hưởng lớn đến nhiệt trị của nhiên liệu, nhưng do sự có mặt của oxy trong nhiên liệu đã cải thiện đáng kể hiệu quả của quá trình cháy nhờ việc tăng độ đồng nhất về oxy trong hỗn hợp nhiên liệu, không khí. Nhờ hiệu suất cháy tăng mà công suất của động cơ tăng lên, phát thải HC, CO và PM giảm. Tuy nhiên, nếu tỷ lệ biodiesel trong hỗn hợp nhiên liệu biodiesel và diesel truyền thống tăng, chênh lệch về nhiệt trị sẽ có ảnh hưởng làm cho công suất của động cơ giảm.

Phát thải NO_x của động cơ sử dụng nhiên liệu biodiesel B5 tăng lên đáng kể là hệ quả của quá trình cháy được cải thiện và nhiệt độ cháy tăng cao. Ngoài ra, nhờ chuyển động nhanh hơn của sóng áp suất trên đường ống nhiên liệu cao áp khi sử dụng nhiên liệu biodiesel B5 mà kim phun nhiên liệu được nâng lên sớm hơn làm cho thời điểm phun được dịch chuyển sớm lên so với khi sử dụng nhiên liệu truyền thống. Đây cũng là một yếu tố làm tăng nhiệt độ cháy và dẫn tới phát thải NO_x lớn.

3. Nghiên cứu sử dụng lưỡng nhiên liệu LPG và Diesel

Bảng 2. Tính chất nhiên liệu LPG và Diesel

Loại nhiên liệu	Diesel	LPG
Thành phần chính	86 C, 14H ₂	C ₃ H ₈ , C ₄ H ₁₀
Nhiệt trị thấp (MJ/kg)	42,5	46,1
Nhiệt độ bén lửa (°C)	250	400
Khối lượng không khí lý thuyết để đốt cháy (kg/kg)	14,5	15,5

3.1. Phương pháp thử nghiệm

Nhằm xác định khả năng cung cấp LPG cho động cơ Diesel, khi không thay đổi kết cấu buồng cháy của động cơ, chúng tôi sử dụng động cơ Mazda WL có tăng áp lắp trên ô tô việt dã

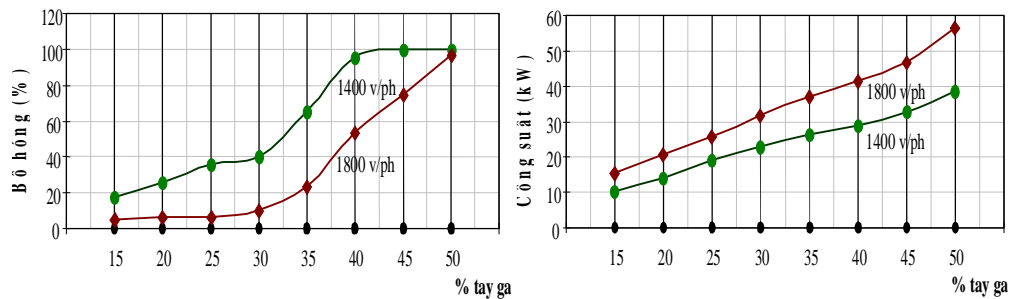
Mazda 4x4 làm đối tượng nghiên cứu. Động cơ có công suất 85KW, tốc độ định mức: 3500v/ph, tăng áp bằng tuốc bô, 4 xi lanh, tỷ số nén 19,8, Vh = 2,5 lít.

Các thiết bị đo sử dụng trong thí nghiệm bao gồm băng thử công suất APA 204/8, thiết bị quay phim buồng cháy Visioscope AVL 513D, bộ đo tiêu hao nhiên liệu lồng AVL 733, thiết bị đo độ khối AVL 439, bộ đo lưu lượng khí nạp, các cảm biến áp suất, nhiệt độ, lưu lượng khí LPG được đo bằng Blowby Meter AVL 442. Camera quay phim và cảm biến đo áp suất trong buồng cháy được lắp trên xi lanh thứ 4 và được hiển thị trên thiết bị chỉ thị AVL 620 và thiết bị Visioscope. Tất cả các dữ liệu thu được ghi lại trên máy tính và được xử lý bằng phần mềm chuyên dụng PUMA và Concerto [4]. Việc cấp LPG được điều chỉnh thông qua van tiết lưu, độc lập với cần ga.

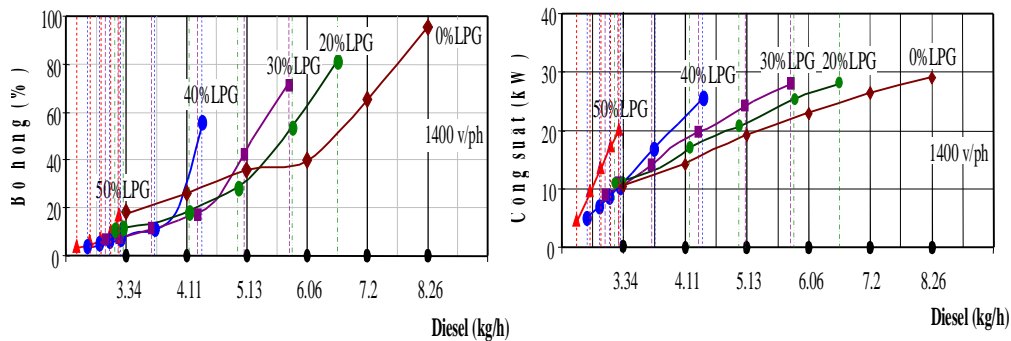
Các chế độ thử theo đường đặc tính tải của động cơ cho đến khi xảy ra hiện tượng kích nổ. Bộ đo lưu lượng khí dùng đo lưu lượng khí LPG cung cấp, áp suất cung cấp là 1,5 bar.

Thí nghiệm được thực hiện với tốc độ động cơ được chọn là 1400 v/ph, 1800v/ph và 3000v/ph. Các vị trí thanh răng cấp nhiên liệu diesel ứng với 15% đến 50% tương ứng là: 3,34kg/h đến 8,26kg/h. Lượng LPG được điều chỉnh thay đổi dần từ 4,49 kg/h đến 11,18kg/h. Góc phun sớm được điều chỉnh trong khoảng từ 13,1 đến 20,4 so với ĐCT.

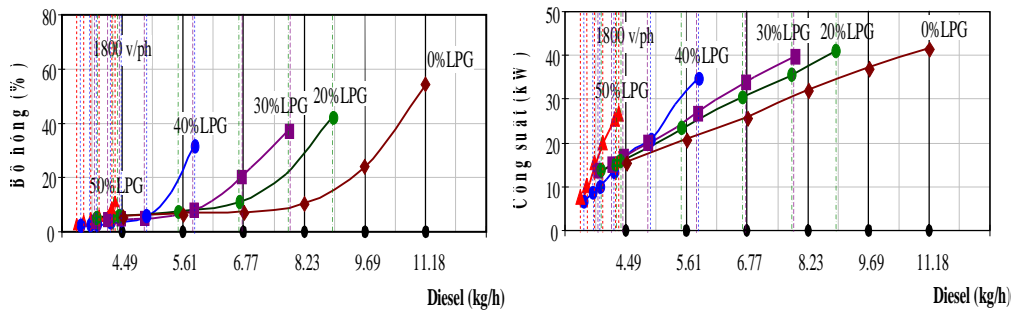
3.2. Đánh giá khả năng phát huy công suất và ô nhiễm của động cơ khi sử dụng lưỡng nhiên liệu LPG/Diesel



Hình 3 Biến thiên nồng độ bỏ hỏng và công suất động cơ theo đường đặc tính tải khi sử dụng 100% Diesel.

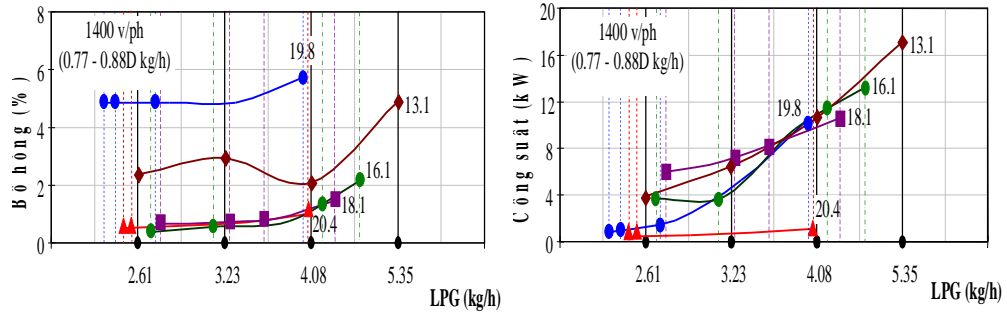


Hình 4 Nồng độ bỏ hỏng và công suất động cơ theo đặc tính tải ở tốc độ 1400 v/ph khi thay đổi tỷ lệ LPG trong thành phần hỗn hợp LPG-Diesel.

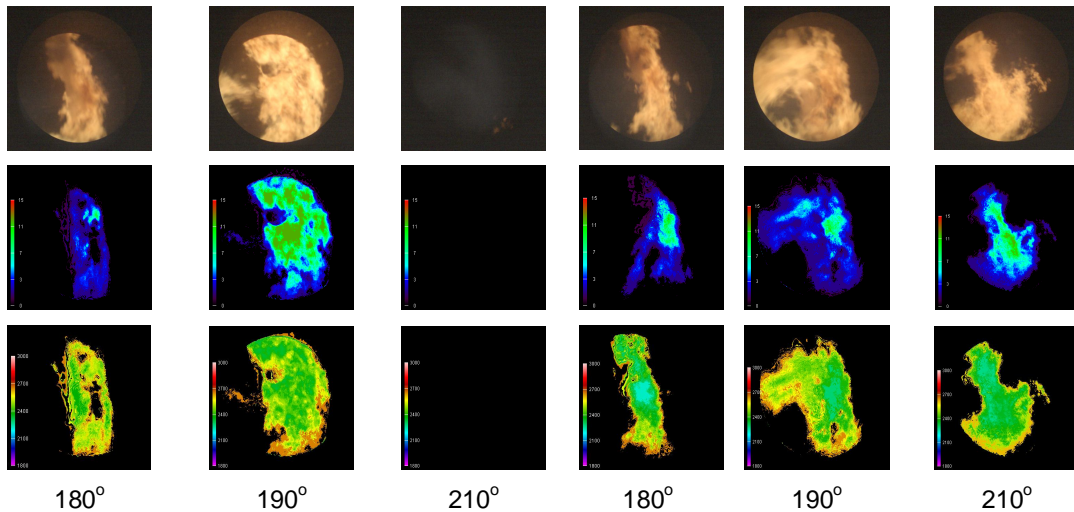


Hình 5 Nồng độ bỏ hống và công suất động cơ theo đặc tính tải ở tốc độ 1800 v/ph khi thay đổi tỷ lệ LPG trong thành phần hỗn hợp LPG-Diesel.

Để có kết quả đối chứng với khi dùng LPG, trước tiên động cơ được vận hành khi sử dụng 100% Diesel, tốc độ động cơ 1400 v/ph và 1800 v/ph. Vị trí tay ga được điều chỉnh đến khi có độ khói 100%. Kết quả trên hình 3 cho thấy theo đặc tính tải nồng độ bỏ hống tăng nhanh theo tải (vị trí tay ga) ở các vị trí tốc độ thử nghiệm. Tốc độ càng thấp, tải càng lớn thì nồng độ bỏ hống càng tăng nhanh.



Hình 6. Biến thiên nồng độ bỏ hống và công suất động cơ theo đường đặc tính tải ở tốc độ 1400 v/ph khi thay đổi góc phun sớm.



Hình 7 Diễn biến ngọn lửa, nồng độ bỏ hống và nhiệt độ ngọn lửa trong buồng cháy ngăn cách của động cơ Mazda khi cấp 3,5 kg/h Diesel (vị trí tay ga 25%) và 25

Hình 8 Diễn biến ngọn lửa, nồng độ bỏ hống và nhiệt độ ngọn lửa trong buồng cháy ngăn cách của động cơ Mazda khi cấp 6,0 kg/h Diesel ở tốc

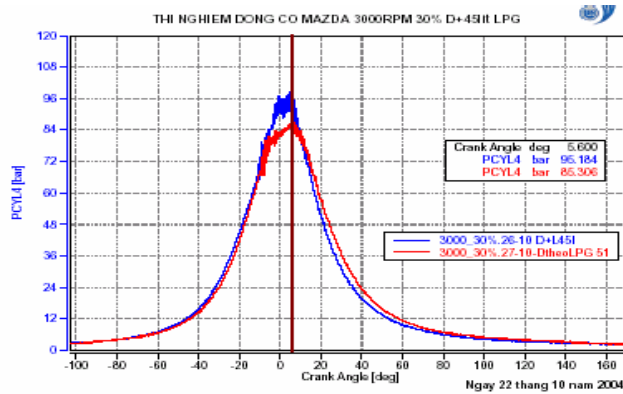
lít/ph LPG, tốc độ 1800v/ph, momen=121 N.m.

độ 1800v/ph, momen=121 N.m.

Thực nghiệm tiếp theo tiến hành thay đổi tỷ lệ của khối lượng LPG/Diesel cung cấp trong phạm vi từ 0 – 50% với các tốc độ 1400 v/ph và 1800 v/ph, kết quả thể hiện trên hình 4 và 5 cho thấy tăng tỷ lệ LPG nồng độ bồ hóng giảm từ 70% xuống còn 20%, tuy nhiên qua theo dõi bằng cảm biến kích nổ cho thấy mức độ kích nổ tăng lên, dẫn đến khả năng phát công suất lớn nhất giảm còn 12 – 35% so với khi dùng thuần túy Diesel. Việc bồ hóng giảm đáng kể chứng tỏ hỗn hợp cháy hòa trộn tốt hơn, tuy nhiên do tỷ số nén cao nên kích nổ có xu hướng xảy ra.

Khi điều chỉnh góc phun sớm để xem xét ảnh hưởng đến khả năng cung cấp LPG, kết quả cho thấy trên hình 6, khi giảm góc phun sớm từ 19.8 xuống 13.1 nồng độ bồ hóng giảm, công suất có khả năng tăng lên và cũng tăng khả năng cung cấp lượng LPG.

Hình 7 biểu diễn hình ảnh và kết quả phân tích ngọn lửa trong buồng cháy của xi lanh thứ 4 ở một số góc quay trục khuỷu khác nhau khi sử dụng hai loại nhiên liệu. Có thể thấy rằng quá trình cháy gần như kết thúc hoàn toàn ở góc quay 210°. Quá trình cháy đặc biệt mãnh liệt ở khoảng góc quay 190°. Giá trị áp suất cực đại đạt cao hơn (81 bar so với 71 bar) trong khi đó cùng điều kiện tải trọng khi sử dụng thuần túy nhiên liệu diesel (hình 8), quá trình cháy xảy ra muộn hơn và kéo dài. Điều này có thể giải thích do khả năng hòa trộn của khí LPG trong hỗn hợp cháy tốt hơn. Điều này cũng tương tự như khi chạy ở tốc độ 3000 v/ph. [4]



Hình 9. Diễn biến áp suất trong buồng cháy khi dùng LPG + diesel và dùng diesel ở tốc độ 3000v/ph và momen 51N.m.

Khi thí nghiệm cung cấp LPG cho động cơ đạt tốc độ 3000 v/ph với tải 51Nm, hiện tượng kích nổ xảy ra mãnh liệt, diễn biến áp suất thể hiện trên hình 9. Điều này có thể giải thích do áp suất cao, xuất hiện các trung tâm tự cháy ở các khu vực hỗn hợp cháy có tỷ lệ phù hợp dẫn đến hiện tượng kích nổ. Chính vì vậy chúng tôi đã không tiến hành các nội dung thực nghiệm tương tự như ở hai tốc độ 1400v/ph và 1800v/ph.

3.3. Nhận xét

Các nghiên cứu bước đầu tại phòng thí nghiệm động cơ và ô tô Đại học Đà Nẵng trên động cơ Mazda WL có thể rút ra một số nhận xét sau: Nồng độ bồ hóng của khí thải giảm rõ rệt khi sử dụng động cơ theo chu trình gazodiesel. Quá trình cháy xảy ra mãnh liệt hơn, do vậy đối với động cơ diesel khi sử dụng chu trình gazodiesel cần phải thay đổi góc phun sớm thích hợp. Tỷ lệ thành phần nhiên liệu trong hỗn hợp và tốc độ của động cơ có ảnh hưởng đến hiện tượng cháy kích nổ. Khi giảm góc phun sớm có thể cho phép tăng tỷ lệ LPG lên mà không xảy ra hiện tượng kích nổ.

Khi tỷ lệ phần năng lượng của LPG trong hỗn hợp cháy nhỏ hơn 10% thì động cơ có khả năng hoạt động bình thường mà không phải cải tiến kết cấu buồng cháy. Ở tỷ lệ lớn hơn, khi hoạt động ở chế độ tốc độ thấp và tải trung bình cho phép giảm đáng kể bồ hóng, tuy nhiên cần phải cải tiến kết cấu buồng cháy.

Khi chuyển từ động cơ diesel sang dùng chu trình gazodiesel để tăng khả năng sử dụng LPG mà không bị giới hạn hiện tượng kích nổ phải thực hiện một trong số các phương án sau: giảm tỷ số nén của động cơ và giảm góc phun sớm, hoặc cải tạo hệ thống cung cấp nhiên liệu phù

hợp với qui luật cung cấp diesel mỗi, để đơn giản hơn có thể thực hiện phương án hồi lưu khí thải [3].

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu trong phòng thí nghiệm cho thấy, khả năng áp dụng nhiên liệu Biodiesel hoặc kết hợp giữa LPG và Diesel (dual-fuel) trên động cơ Diesel lắp cho tàu cỡ nhỏ hoàn toàn có thể thực hiện nhằm giảm thiểu phát thải độc hại, đặc biệt là phát thải bồ hóng, bảo vệ môi trường du lịch. Tuy nhiên, để có thể triển khai sử dụng rộng rãi nhiên liệu thay thế cho loại phương tiện đặc thù này cần thiết phải có thêm những thử nghiệm quy mô trên hiện trường. Ngoài ra, chất lượng của nhiên liệu cần phải được đảm bảo theo các tiêu chuẩn hiện hành của Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R.G. Papagiannakis, D.T. Hountalas. *Combustion and exhaust emission characteristics of a dual fuel compression ignition engine operated with pilot Diesel fuel and natural gas*. Energy Conversion and Management (2004)
- [2] Chang Sik Lee, Ki Hyung Lee, Dae Sik Kim. *Experimental and numerical study on the combustion characteristics of partially premixed charge compression ignition engine with dual fuel*. Fuel 82 (2003) p 553–560.
- [3] Mohamed Y.E. Selim. *Effect of exhaust gas recirculation on some combustion characteristics of dual fuel engine*. Energy Conversion and Management 44 (2003) p 707–721
- [4] Trần Thanh Hải Tùng, Lê Minh Xuân. *Ảnh hưởng tỷ lệ hỗn hợp LPG-Diesel trong động cơ hai nhiên liệu*. HNKH 50 năm thành lập ĐHBK HN, 10.2006.
- [5] Le Anh Tuan, Vu Thi Thu Ha, et. al. (2009), *Experimental Findings of Biodiesel Fuels on Engines and on Transport Vehicles: A Case Study in Vietnam*, 15th Asia Pacific Automotive Engineering Conference, APAC 15, Hanoi.
- [6] Vu Thi Thu Ha, Le Anh Tuan, et. al. (2009), *Research on utilisation of biodiesel B5 based cat-fish oil in engines and transport vehicles*, Vietnam Chemical Journal, 47/2A, 235-240.
- [7] Soni S.Wirawan, et. al. (2008), *The Effect of Palm Biodiesel Fuel on the Performance and Emission of the Automotive Diesel Engine*. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript EE 07 005. Vol. X.
- [8] United States Environmental Protection Agency (2002), *A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions*, Draft Technical Report, EPA420-P-02-001.

Người phản biện: GS. TS. Lê Viết Lượng