

MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM ĐỘNG CƠ XE GẮN MÁY CHẠY BẰNG XĂNG - HHO

SIMULATION AND EXPERIMENTAL STUDY ON MOTORCYCLE ENGINE FUELED WITH HHO ENRICHED GASOLINE

Bùi Văn Hùng¹, Hồ Trần Ngọc Anh¹, Phạm Văn Quang², Bùi Thị Minh Tú³, Trương Lê Bích Trâm³

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng; bvhung@ute.udn.vn

²Trường Đại học Đông Á Đà Nẵng

³Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; bmttu@dut.udn.vn

⁴Đại học Đà Nẵng; tlbtram@ac.udn.vn

Tóm tắt - Khi bổ sung HHO vào xăng thì hiệu quả quá trình cháy được cải thiện dẫn đến tăng áp suất và nhiệt độ cực đại, giảm phát thải CO và HC nhưng tăng phát thải NOx. Khi giảm góc đánh lửa sớm thì nồng độ CO tăng nhẹ trong khi đó nồng độ NOx giảm rất mạnh. Khi bổ sung 10% HHO vào xăng thì góc đánh lửa sớm tối ưu giảm 5°TK so với khi chạy bằng xăng. Ứng với góc đánh lửa sớm tối ưu thì khi động cơ chạy bằng xăng bổ sung 10% HHO, công chu trình tăng 7% và nồng độ NOx tăng 12% so với khi chạy bằng xăng. Đường cong biến thiên nồng độ CO, NOx theo tốc độ động cơ theo thực nghiệm có độ dốc thấp hơn đường cong mô phỏng tương ứng. Có thể điều chỉnh góc đánh lửa sớm khi động cơ chạy bằng xăng bổ sung HHO để đảm bảo đạt được mức tăng công suất hợp lý nhưng không làm tăng mức độ phát thải các chất ô nhiễm so với khi chạy bằng xăng.

Từ khóa - Năng lượng tái tạo; hydroxy; ô nhiễm không khí; động cơ đánh lửa cưỡng bức.

Abstract - When adding HHO to gasoline, the combustion efficiency is improved, leading to an increase in maximum pressure and temperature, reducing CO and HC emissions but increasing NOx. When reducing the advance ignition angle, the concentration of CO increases slightly while the concentration of NOx sharply decreases. When adding 10% HHO to gasoline, the optimal advance ignition angle is reduced by 5°CA compared to gasoline fuelling mode. With the optimal advance ignition angle, when adding 10% HHO to gasoline the indicative engine work cycle increases by 7% and the concentration of NOx increases by 12% compared to gasoline operation. The experimental curves of variation CO, NOx according to engine speed has a lower slope than the corresponding simulation curves. The advance ignition angle of the gasoline-HHO engine can be adjusted to ensure a reasonable increase in power output but does not increase the level of pollutant emissions as compared to gasoline fuelling mode.

Key words - Renewable energy; hydroxy; air pollution; SI engine

1. Giới thiệu

Xe gắn máy là phương tiện giao thông cá nhân chủ yếu ở nước ta hiện nay. Trong quá trình vận hành, phần lớn thời gian xe gắn máy hoạt động ở chế độ tải thấp, chạy trong thành phố nên phanh, dừng liên tục. Trong những điều kiện như vậy, hiệu quả quá trình cháy thấp và phát sinh ô nhiễm cao. Để cải thiện tính năng công tác của động cơ chúng ta có thể bổ sung HHO vào xăng.

HHO là hỗn hợp khí gồm H₂ và O₂ theo tỉ lệ 2:1. Trong điều kiện áp suất khí trời và hệ số tương đương $\phi=1$, HHO cháy khi nhiệt độ đạt 570°C. Năng lượng cần thiết để đánh lửa hỗn hợp này là 20 μ J. HHO có thể được sản xuất bởi quá trình điện phân nước. Nó có thể được sử dụng kết hợp với nhiên liệu truyền thống trong động cơ đốt trong để cải thiện hiệu quả tổng thể và giảm khí thải [1-2]. HHO được sản xuất theo yêu cầu sử dụng của động cơ, không lưu trữ. Bình điện phân tạo khí HHO hoạt động khi động cơ khởi động và dừng khi tắt động cơ. Vì bình sinh khí HHO nhỏ gọn, nó có thể được tích hợp trên xe hoặc trên các động cơ tĩnh tại. Do giới hạn cháy của H₂ rất rộng nên có thể điều chỉnh hệ số tương đương thay vì thay đổi lưu lượng hỗn hợp để đạt được momen động cơ mong muốn [3]. Đây là một giải pháp hữu hiệu nhằm giảm suất tiêu hao nhiên liệu và phát thải ô nhiễm khi động cơ hoạt động ở chế độ tải thấp.

So sánh ảnh hưởng của HHO và H₂ bổ sung vào xăng đến hiệu suất của động cơ được trình bày trong [4-5]. Các tác giả kết luận rằng, hỗn hợp nhiên liệu xăng - HHO thể hiện các tính năng gần như tương tự như hỗn hợp xăng-H₂, thậm chí còn tốt hơn. So với hỗn hợp xăng-H₂, hỗn hợp xăng - HHO cải thiện hiệu suất nhiệt tốt hơn, đặc biệt là duy trì quá trình cháy ổn định khi động cơ hoạt động với

hỗn hợp nghèo. Mặt khác, khí HHO chứa đủ oxy để đốt cháy hoàn toàn hydro, do đó không cần không khí cung cấp cho nhiên liệu này. Trong khi đó, trong trường hợp H₂, nhiên liệu phải được đốt bằng O₂ từ không khí trong hỗn hợp với N₂. Do đó, công chu trình của động cơ chạy bằng hỗn hợp xăng - HHO tăng so với khi chạy bằng hỗn hợp xăng-H₂ trong cùng điều kiện [4]. Nhờ hỗn hợp cháy hoàn toàn, lượng khí thải CO và HC của động cơ chạy bằng hỗn hợp xăng - HHO giảm so với hỗn hợp xăng-H₂.

Arjun et al. [6] nhận thấy rằng, khi bổ sung khí HHO vào xăng, công suất có ích tăng từ 2% đến 5,7% và hiệu suất nhiệt tăng từ 10,26% đến 34,9%. Ngoài ra, mức giảm phát thải CO và HC trung bình lần lượt là 18% và 14%. Dhananjay et al. [7] đã thực hiện một nghiên cứu thử nghiệm cung cấp bổ sung HHO vào xăng trên động cơ đánh lửa cưỡng bức 4 kỳ. Các tác giả thấy rằng, khi bổ sung HHO, công suất động cơ tăng khoảng 5,7%, Hiệu suất nhiệt tăng khoảng 5% và giảm phát thải chất ô nhiễm CO, HC. Musmar và cộng sự. [8] đã thực hiện thử nghiệm bổ sung HHO vào xăng trên động cơ Honda GX200 và thấy rằng NO_x giảm khoảng 50%, CO đã giảm khoảng 20% và mức tiêu thụ nhiên liệu giảm từ 20% đến 30% so với khi chạy bằng xăng. Rimkus et al. nhận thấy, khi bổ sung khí HHO vào nhiên liệu thông thường, hiệu suất chỉ thị của động cơ thay đổi không đáng kể; tuy nhiên, nồng độ CO và HC trong khí thải cũng như bồ hóng giảm đi rõ rệt [9].

Những kết quả trên khác với kết quả của Chetan et al. [10] và Kale et al. [11]. Các tác giả này nhận thấy, mức độ phát thải CO và HC giảm nhưng phát thải NO_x tăng khi cung cấp bổ sung HHO vào xăng. Những nghiên cứu mới đây về ảnh hưởng của hydrogen bổ sung vào biogas cũng

cho kết quả tương tự. Công chi thị chu trình của động cơ tăng, phát thải CO, HC giảm [12-14]. Hiệu quả bổ sung HHO vào biogas cũng tương tự như khi bổ sung HHO vào xăng [15-17]. Nói chung, việc thêm hydrogen hay HHO vào bất kỳ nhiên liệu nào cũng giúp cải thiện quá trình cháy. Tuy nhiên, còn có sự khác biệt về xu hướng phát thải NO_x khi bổ sung HHO vào nhiên liệu truyền thống. Một số tác giả kết luận NO_x tăng khi bổ sung HHO vào xăng nhưng một số tác giả khác cho rằng nồng độ NO_x giảm khi động cơ chạy bằng hỗn hợp xăng - HHO so với khi chạy bằng xăng.

Hydrogen hay HHO có giới hạn cháy rất rộng vì thế hệ thống cung cấp nhiên liệu cần được thiết kế đặc biệt để tránh hiện tượng nổ ngược trên đường nạp [18-20].

Ý tưởng của nghiên cứu này là sử dụng năng lượng tái sinh của xe gắn máy chạy trong điều kiện giao thông đô thị để điện phân HHO cung cấp bổ sung cho động cơ nhằm tăng hiệu quả quá trình cháy của động cơ trong điều kiện thường xuyên chạy ở chế độ tải thấp nhưng cần momen lớn. Xe gắn máy sẽ trang bị một phanh tái sinh điện [21]. Trong quá trình phanh, năng lượng điện sẽ tích lũy trong accu để điện phân nước sản xuất HHO cung cấp cho động cơ. Vì thế năng lượng do HHO mang vào động cơ không lớn nhưng nó giúp cải thiện quá trình cháy. Trong nghiên cứu này nhóm tác giả tập trung phân tích ảnh hưởng của HHO đến phát thải ô nhiễm của động cơ xe gắn máy.

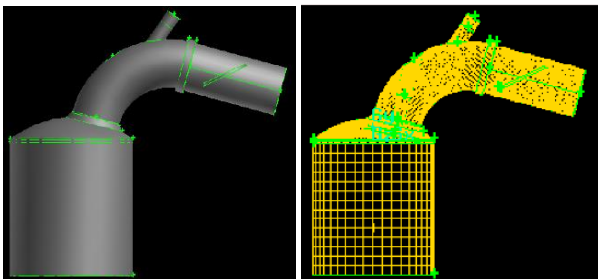
2. Phương pháp và trang thiết bị nghiên cứu

2.1. Mô phỏng

Mô phỏng được thực hiện trên động cơ xe gắn máy Wave RSX FI 110cc có các thông số kỹ thuật cơ bản giới thiệu trên Bảng 1. Hình 1 giới thiệu không gian tính toán của động cơ gồm xi lanh, buồng cháy và đường nạp. Hệ thống phun xăng được giữ nguyên. HHO được cung cấp vào động cơ thông qua vòi phun bổ sung lắp trước vòi phun xăng.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật động cơ xe Honda Wave RSX FI 110

Đường kính xi lanh (mm)	50
Hành trình piston (mm)	55,6
Dung tích xi lanh (cm ³)	109,2
Tỉ số nén	9,3:1
Công suất cực đại (kW)/tại tốc độ (vòng/phút)	6,46/7500



Hình 1. Mô hình 3D không gian tính toán và chia lưới

Lưới động được áp dụng trong không gian xi lanh động cơ. Các không gian còn lại được áp dụng lưới cố định. Sau khi kết thúc quá trình nạp, không gian đường nạp được ngắt khỏi hệ thống (deactivated) để tiết kiệm thời gian tính toán. Quá trình tính toán được bắt đầu từ đầu kỳ nạp đến cuối kỳ giãn nở. Các thông số đầu vào gồm áp suất, nhiệt độ không khí vào đường nạp; áp suất, nhiệt độ và thành phần HHO;

lưu lượng, tốc độ, nhiệt độ của nhiên liệu xăng.

Trong nghiên cứu mô phỏng này tính toán được thực hiện theo chu trình lý thuyết với giả định các quá trình bất đầu và kết thúc tại các điểm chết trên và điểm chết dưới. Quá trình chảy rối của hỗn hợp khí được mô phỏng bằng mô hình k-ε. Quá trình hình thành các chất chính trong sản phẩm cháy được xác định theo cân bằng nhiệt động hóa học, riêng nồng độ NO_x được xác định theo động học phản ứng.

Trên thực tế tốc độ hình thành NO_x bé hơn nhiều so với những chất khác trong sản phẩm cháy. Tốc độ này phụ thuộc mạnh vào nhiệt độ thường được biểu diễn bằng cơ chế Zeldovich mở rộng như sau:



Trong đó, k_i là hằng số tốc độ phản ứng theo chiều thuận và k_{-i} là hằng số tốc độ phản ứng theo chiều ngược.

Hydroxy (HHO) là hỗn hợp chứa 2/3 thể tích H₂ và 1/3 thể tích O₂. Hàm lượng HHO trong nhiên liệu được tính bằng tỉ lệ thể tích HHO trong tổng thể tích của hỗn hợp HHO và xăng. Hydrogen có nhiệt độ cháy đoạn nhiệt cao, tốc độ cháy lớn và có thể cháy với hỗn hợp rất nghèo. Tuy nhiên, nhiệt trị thấp tính theo thể tích chỉ 10,8 MJ/m³, thấp hơn nhiều so với nhiệt trị thấp của methane là 35,8 MJ/m³. Trong điều kiện tiêu chuẩn, để cháy hoàn toàn 1m³ hydrogen chỉ cần 0,5m³ oxygen. Như vậy, với cùng một thể tích xy lanh động cơ cho trước, hydrogen chiếm thể tích lớn hơn hơi xăng nhưng do nhiệt trị thể tích của hydrogen thấp nên nhiệt lượng cung cấp cho động cơ nên năng lượng hydrogen mang vào động cơ không chênh lệch nhiều so với khi chạy bằng xăng.

Do HHO có chứa sẵn oxygen đủ để đốt cháy hoàn toàn lượng hydrogen nên chỉ cần lượng không khí đủ để đốt cháy xăng. Cùng một thể tích xi lanh cho trước, phần oxygen cần thiết để đốt cháy hydrogen không lấy từ không khí nên không kèm theo khí trơ N₂. Do đó, lượng nhiên liệu tổng thể cung cấp cho động cơ tăng nên năng lượng của hỗn hợp nhiên liệu mang vào động cơ tăng.

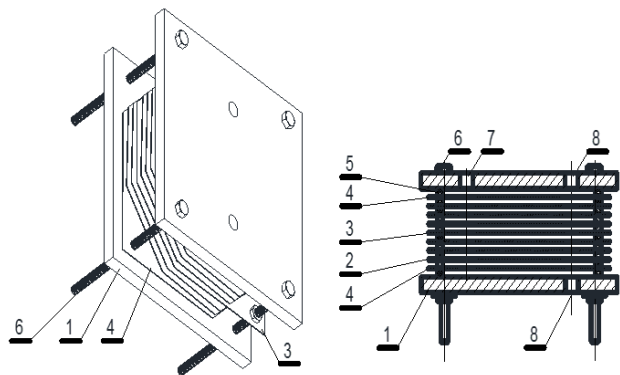
Mô phỏng được thực hiện nhờ phần mềm ANSYS Fluent V15.0. Quá trình phun nhiên liệu được thực hiện nhờ mô hình 2 dòng (2 streams). Quá trình cháy được tính toán nhờ mô hình hòa trộn trước từng phần (Partially Premixed). Kết quả mô hình cháy cho chúng ta thành phần các chất trong hỗn hợp cháy, bao gồm CO, ở trạng thái cân bằng nhiệt động học. Với nồng độ O, H và OH cho bởi mô hình cháy, chúng ta có thể xác định được tốc độ phản ứng hình thành NO_x theo cơ chế Zeldovich từ đó tính toán được nồng độ của chất ô nhiễm này trong khí thải.

2.2. Thiết bị nghiên cứu

2.2.1. Bình sinh khí HHO

Bình sinh khí HHO kiểu khô có nhiều ưu điểm nổi trội hơn so với bình sinh khí kiểu ướt. Bình sinh khí kiểu khô

có hiệu suất cao, lượng nhiệt sinh ra thấp nên ít tổn thất nhiệt, có kích thước nhỏ gọn dễ bố trí trên thiết bị vận chuyển như xe máy. Mặt khác, bình sinh khí kiểu khô có điểm tiếp xúc với điện cực không bị ăn mòn, ít tổn chi phí bảo trì hơn so với bình sinh khí kiểu ướt, nên trong thiết kế này nhóm tác giả chọn phương án thiết kế bình sinh khí HHO kiểu khô. Các bản cực và điện cực được làm bằng thép không gỉ (Hình 2).



Hình 2. Cấu tạo bình sinh khí HHO

1- Mặt bình; 2- Tấm điện cực trung gian; 3- Tấm điện cực dương; 4- Tấm điện cực âm; 5- Đệm cao su; 6- Vít cố định; 7- Đầu vào dung dịch điện phân; 8- Đầu ra khí HHO

Các tấm bản cực càng gần nhau, tốc độ sản xuất khí càng lớn. Tuy nhiên, có một giới hạn thực tế, vì các bong bóng khí hình thành giữa các bản cực phải dễ dàng thoát ra và nổi lên trên bề mặt. Vì vậy, khoảng cách tối ưu được chọn là 3mm.

Diện tích tấm bản cực càng lớn, năng suất sản xuất khí càng cao. Mỗi mặt của mỗi bản cực có diện tích từ 13 đến 25 cm² trên mỗi ampe dòng điện chạy qua được các chuyên gia đánh giá là tối ưu. Để bảo đảm công suất sinh khí HHO và không gian lắp đặt trên xe máy, theo tính toán chúng tôi thiết kế các bản cực có kích thước 120x120mm.

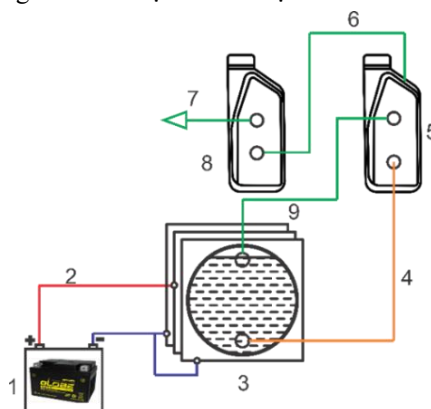
Bề mặt của các bản cực có ảnh hưởng lớn đến tốc độ sản xuất khí. Tốc độ sản xuất khí được cải thiện đáng kể nếu cả hai mặt của mỗi tấm bản cực được chà nhám theo kiểu chéo nhau (điều này tạo ra diện tích bề mặt tăng lên với hàng ngàn đỉnh cực nhỏ giúp bong bóng hình thành và rời khỏi các tấm). Các bản cực sau đó được lắp ráp và ngâm trong dung dịch điện phân trong khoảng ba ngày. Điều này tạo ra một lớp phủ màu trắng bảo vệ trên bề mặt của các tấm giúp tăng cường điện phân. Các tấm sau đó được rửa sạch bằng nước cất và được nạp lại bằng dung dịch điện phân mới.

Điện áp chuẩn của điện phân nước là 1,23V. Do đó, để tối ưu hóa hiệu suất quá trình điện phân nước, giảm tổn thất nhiệt, bình sinh khí được thiết kế 8 ngăn, gồm có 9 bản cực, 2 tấm điện cực âm nằm ngoài cùng, 1 tấm điện cực dương nằm chính giữa, 6 tấm điện cực trung gian nằm giữa các tấm điện cực âm và tấm điện cực dương tạo nên 8 ngăn. Điện áp được điều khiển bằng bộ điều chỉnh độ rộng xung PWM sao cho điện áp đặt trên mỗi ngăn từ 1,5-2V.

Thực nghiệm cho thấy, KOH và NaOH là hai chất điện phân tốt nhất. KOH hiệu quả cao hơn NaOH và có ưu điểm là giữ điện cực sạch. Tuy nhiên, chất này có nhược điểm là ít thông dụng và dễ gây nguy hiểm khi sử dụng. Do đó,

NaOH được lựa chọn làm chất điện phân. NaOH có nhược điểm gây ăn mòn điện cực. Nồng độ chất điện phân trong nước vừa phải giúp gia tốc phản ứng tách nước thành H₂ và O₂, giảm năng lượng cần thiết cho quá trình điện phân. Tuy nhiên, khi nồng độ chất điện phân quá cao thì năng lượng cần thiết để sản sinh HHO gia tăng do mật độ chất điện phân bão hòa, ngăn cản sự dịch chuyển của các ion. Nồng độ NaOH được sử dụng trong dung dịch điện phân 18% là phù hợp.

Hình 3 giới thiệu hệ thống cung cấp HHO cho động cơ gồm bình sinh khí HHO (3) được cấp điện bằng bình ắc quy 12V-6A (1) nguyên bản của xe gắn máy qua dây dẫn điện (2). Bình chứa dung dịch điện phân NaOH 18% (5) cung cấp dung dịch điện phân vào bình điện phân qua ống dẫn dung dịch điện phân (4). Khí HHO sinh ra được chuyển về bình chứa dung dịch điện phân qua ống dẫn HHO (9). Sau đó khí HHO được tiếp tục dẫn về bình chứa HHO (8) bằng ống dẫn (6). Cuối cùng khí HHO được cung cấp đến động cơ qua ống dẫn khí được đấu nối tại đầu ra HHO (7).



Hình 3. Sơ đồ hệ thống sinh khí HHO

1- Bình ắc quy; 2- Dây dẫn điện; 3- Bình sinh khí HHO; 4- Ống dẫn dung dịch điện phân; 5- Bình chứa dung dịch điện phân; 6- Ống dẫn khí HHO; 7- Đầu ra HHO; 8- Bình chứa HHO; 9- Ống dẫn khí HHO



Hình 4. Lắp đặt bình sinh khí HHO kiểu khô

Hệ thống sản xuất HHO được đặt trong cốp nhựa chứa hành lý cố định phía đuôi xe, các ống nối mềm dẫn khí HHO, dung dịch điện phân và dây điện được đấu nối và luồn phía trong áo nhựa thân xe (Hình 4). Đồng hồ hiển thị điện áp và cường độ dòng điện được lắp đặt bên cạnh đồng hồ công tơ mét của xe.

Công tắc ON-OFF hệ thống sinh khí HHO và bộ điều chế độ rộng xung PWM được lắp đặt gần ổ khóa của xe, thuận tiện cho việc tắt/mở và điều khiển bộ sinh khí HHO. Lưu lượng kế để được lắp đặt bên cạnh núm điều chỉnh của bộ PWM để dễ quan sát lưu lượng khí HHO sinh ra. Trước khi được cung cấp vào đường nạp động cơ, khí HHO đi qua bộ chống cháy ngược.

2.2.2. Thiết bị phân tích khí thải

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả dùng máy phân tích khí MGT 5 để phân tích khí thải (Hình 5). Đây là thiết bị phân tích khí xả động cơ đánh lửa cưỡng bức của Đức được Cục Đăng kiểm cho phép sử dụng ở Việt Nam để kiểm tra phát thải của phương tiện giao thông cơ giới.

Máy có thể phân tích các khí CO, HC, NO_x, CO₂, O₂ và chỉ số lambda trong khí thải động cơ chạy bằng các nhiên liệu CNG, LPG và xăng. Máy được kết nối với máy tính qua cổng USB để hiển thị kết quả. Tốc độ động cơ được đo bằng cảm biến xung điện kẹp vào dây cao áp của nến đánh lửa.

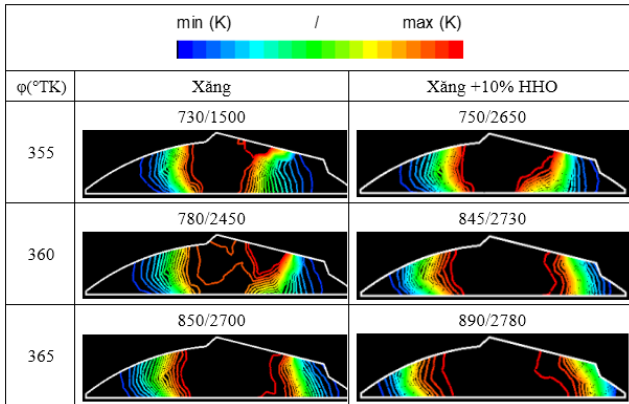


Hình 5. Thiết bị kiểm tra khí xả động cơ xăng MGT 5

3. Kết quả và bình luận

3.1. Ảnh hưởng của thành phần HHO đến công chỉ thị

Hình 6 so sánh sự phát triển màng lửa khi động cơ chạy bằng xăng và bằng xăng bổ sung 10% HHO với hệ số tương đương $\phi=1$, ở tốc độ $n=6000$ vòng/phút và góc đánh lửa sớm cố định ở $\phi_s=20^\circ\text{TK}$. Chúng ta thấy tại cùng một vị trí góc quay trục khuỷu, nhiệt độ cực đại trong sản phẩm cháy đều tăng khi bổ sung HHO vào xăng. Chênh lệch nhiệt độ cực đại giảm dần vào cuối quá trình cháy. Khi bổ sung HHO vào xăng tốc độ tiêu thụ nhiên liệu tăng, do đó thể tích vùng hỗn hợp đã cháy tăng, dẫn đến nhiệt độ của sản phẩm cháy lớn hơn so với khi động cơ chạy bằng xăng.

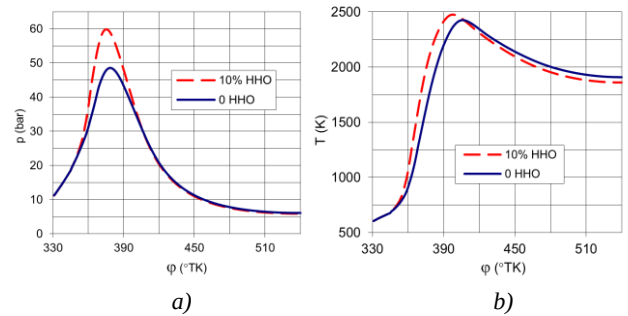


Hình 6. So sánh sự phát triển màng lửa khi động cơ chạy bằng xăng và bằng xăng bổ sung 10% HHO ($n=6000$ vòng/phút, $\phi=1$, $\phi_s=20^\circ\text{TK}$)

Hình 7a giới thiệu biến thiên áp suất trong xi lanh động cơ theo góc quay trục khuỷu khi động cơ chạy bằng xăng và khi chạy bằng xăng bổ sung 10% HHO với $\phi=1$ ở tốc độ 6000 vòng/phút và góc đánh lửa sớm cố định ở 15°TK . Chúng ta thấy, khi bổ sung HHO vào xăng áp suất cực đại trong xi lanh tăng. Điều này có thể được giải thích do HHO làm tăng tốc độ cháy do đó đỉnh đường cong áp suất dịch về gần ĐCT hơn. Mặt khác, do tốc độ cháy tăng nên hỗn hợp cháy diễn ra hoàn toàn làm tăng hiệu suất sử dụng nhiệt. Cùng chế độ công tác của động cơ, áp suất cực đại tăng

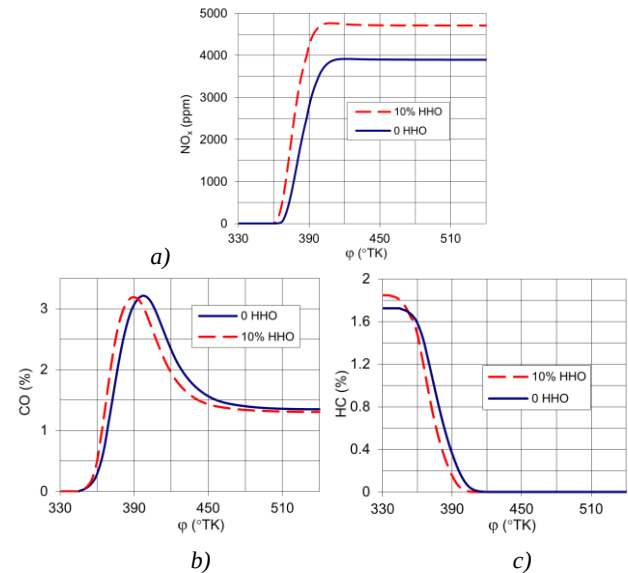
khoảng 10 bar khi pha 10% HHO vào xăng. Tuy nhiên, do áp suất đạt gần ĐCT nên tăng tổn thất công trong kỳ nén, công chỉ thị chu trình vì thế không tỉ lệ với áp suất cực đại.

Hình 7b giới thiệu biến thiên nhiệt độ hỗn hợp cháy trong xi lanh theo góc quay trục khuỷu khi động cơ chạy bằng xăng và xăng pha 10% HHO với cùng điều kiện vận hành đã mô tả ở Hình 7a. Do tốc độ cháy tăng khi pha HHO vào xăng nên nhiệt độ bắt đầu tăng sớm hơn và điểm cực đại của nhiệt độ đạt được gần ĐCT hơn. Do quá trình cháy kết thúc sớm hơn nên nhiệt độ của sản phẩm cháy trên đường dẫn nở khi pha HHO vào xăng thấp hơn khi chạy bằng xăng.



Hình 7. Ảnh hưởng của HHO đến biến thiên áp suất (a) và nhiệt độ (b) theo góc quay trục khuỷu ($n=6000$ vòng/phút, $\phi=1$, $\phi_s=15^\circ\text{TK}$)

Sự gia tăng tốc độ tỏa nhiệt và nhiệt độ cháy là nguyên nhân chính của sự gia tăng nồng độ NO_x trong khí thải theo cơ chế Zeldovich. Hình 8a trình bày ảnh hưởng của thành phần HHO trong hỗn hợp nhiên liệu đến biến thiên nồng độ NO_x trong hỗn hợp cháy. Kết quả cho thấy, với cùng điều kiện vận hành và góc đánh lửa sớm cố định, nồng độ NO_x tăng khoảng 25% khi pha 10% HHO vào xăng.



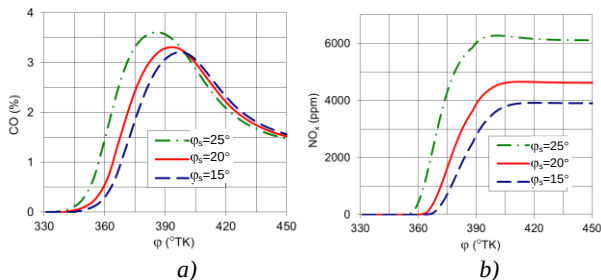
Hình 8. Ảnh hưởng của HHO đến biến thiên nồng độ NO_x (a), CO (b) và HC (c) theo góc quay trục khuỷu ($n=6000$ vòng/phút, $\phi=1$, $\phi_s=15^\circ\text{TK}$)

Nồng độ của CO, HC được xác định dựa trên tính toán cân bằng nhiệt động hóa học của hệ phương trình phản ứng cháy nhiên liệu hydrocarbon. Tùy thuộc vào nhiệt độ cháy, áp suất trong xi lanh và thành phần hỗn hợp ta nhận được kết quả thành phần các chất ô nhiễm này trong khí thải.

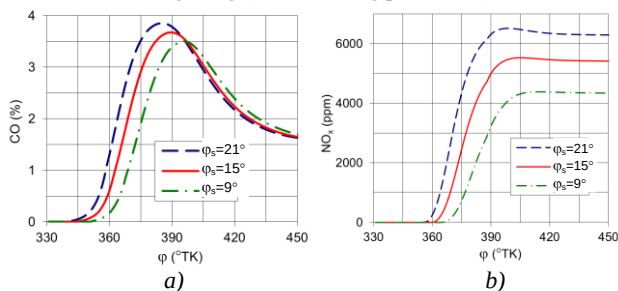
Hình 8b cho thấy, khi bổ sung 10% HHO vào xăng thì đỉnh đường cong CO dịch về phía ĐCT nhưng nồng độ CO trong khí thải hầu như không khác biệt so với nồng độ của nó khi động cơ chạy bằng xăng. Hình 8c biểu diễn biến thiên nồng độ HC theo góc quay trục khuỷu. Chúng ta thấy cùng góc đánh lửa sớm 15°TK cho trước, quá trình cháy trong trường hợp động cơ chạy bằng xăng bổ sung HHO kết thúc sớm hơn khi chạy bằng xăng. Kết quả này cũng cho thấy, tốc độ tiêu thụ nhiên liệu tăng khi bổ sung HHO thể hiện bằng đường cong HC dốc hơn khi bổ sung 10% HHO vào xăng.

3.2. Ảnh hưởng của góc đánh lửa sớm

Các kết quả nghiên cứu trên cho thấy, HHO ảnh hưởng đến quá trình cháy và phát thải ô nhiễm thông qua sự gia tăng tốc độ cháy. Do đó, để đảm bảo cho động cơ hoạt động hiệu quả khi bổ sung HHO vào xăng chúng ta phải giảm góc đánh lửa sớm. Hình 9a và Hình 9b thể hiện ảnh hưởng của góc đánh lửa sớm đến biến thiên CO và NO_x trong trường hợp động cơ chạy bằng xăng ở tốc độ 6000 vòng/phút với $\phi=1$. Chúng ta thấy, khi tăng góc đánh lửa sớm thì đỉnh đường cong CO dịch về phía ĐCT, nồng độ cực đại của CO tăng nhưng nồng độ của nó trong khí thải giảm nhẹ. Điều này là do khi tăng góc đánh lửa sớm thì nhiệt độ hỗn hợp cháy tăng làm tăng tốc độ phản ứng sinh CO nhưng cũng chính do nhiệt độ cao, tốc độ cháy CO diễn ra mạnh hơn làm giảm nồng độ của nó trong khí thải. Trong khi đó nồng độ NO_x phụ thuộc mạnh vào nhiệt độ nên việc tăng góc đánh lửa sớm kéo theo sự gia tăng nồng độ NO_x trong hỗn hợp cháy. Hình 9b cho thấy, nồng độ NO_x tăng gần 50% khi góc đánh lửa sớm tăng từ 15°TK lên 25°TK.



Hình 9. Ảnh hưởng của góc đánh lửa sớm đến biến thiên nồng độ CO (a), NO_x (b) theo góc quay trục khuỷu khi động cơ chạy bằng xăng ($n=6000$ vòng/phút, $\phi=1$)

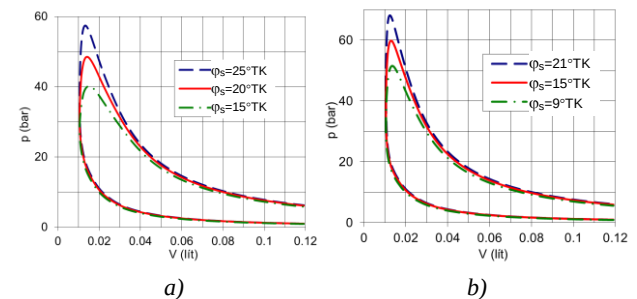


Hình 10. Ảnh hưởng của góc đánh lửa sớm đến biến thiên nồng độ CO (a), NO_x (b) theo góc quay trục khuỷu khi động cơ chạy bằng xăng bổ sung 10% HHO ($n=6000$ vòng/phút, $\phi=1$)

Ảnh hưởng của góc đánh lửa sớm đến biến thiên CO và NO_x theo góc quay trục khuỷu trong trường hợp động cơ chạy bằng xăng bổ sung 10% HHO cũng tương tự như trường hợp chạy bằng xăng. Các Hình 10a và Hình 10b cho

thấy, phạm vi biến thiên của CO và NO_x khi góc đánh lửa sớm thay đổi từ 9°TK đến 21°TK trong trường hợp động cơ chạy bằng xăng bổ sung 10% HHO xấp xỉ với phạm vi biến thiên của chúng khi động cơ chạy bằng xăng với góc đánh lửa sớm biến thiên từ 15°TK đến 25°TK.

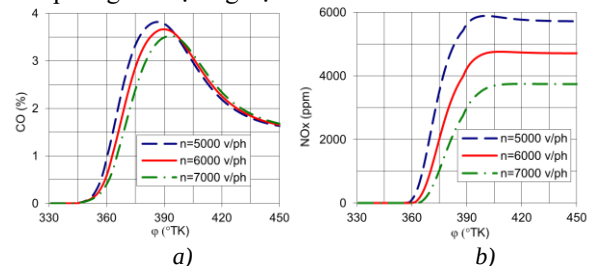
Hình 11a và Hình 11b giới thiệu ảnh hưởng của góc đánh lửa sớm đến đồ thị công của động cơ khi chạy bằng xăng và bằng xăng bổ sung 10% HHO ở tốc độ 6000 vòng/phút với hệ số tương đương $\phi=1$. Trong trường hợp động cơ chạy bằng xăng, công chỉ thị chu trình của động cơ đạt được 104, 121 và 113 J/ct tương ứng với góc đánh lửa sớm 15, 20 và 25°TK. Trong trường hợp động cơ chạy bằng xăng pha 10% HHO, công chỉ thị chu trình đạt 111, 129 và 121 J/ct tương ứng với góc đánh lửa sớm 9, 15 và 21°TK. Như vậy có thể thấy, góc đánh lửa sớm tối ưu của động cơ ở tốc độ 6000 vòng/phút là 20°TK khi chạy bằng xăng và 15°TK khi chạy bằng xăng bổ sung 10% HHO. Tương ứng với góc đánh lửa sớm tối ưu này thì nồng độ NO_x trong khí thải của động cơ khi chạy bằng xăng là 4700ppm và khi chạy bằng xăng bổ sung 10% HHO là 5300ppm. Nồng độ CO trong cả hai trường hợp tương đương nhau, khoảng 1,5%. Như vậy, khi bổ sung 10% HHO vào xăng, công chỉ thị chu trình tăng 7% nhưng đồng thời phát thải NO_x cũng tăng 12%.



Hình 11. Ảnh hưởng của góc đánh lửa sớm đến đồ thị công khi động cơ chạy bằng xăng (a) và bằng xăng bổ sung 10% HHO (b) ($n=6000$ vòng/phút, $\phi=1$)

3.3. So sánh mô phỏng và thực nghiệm

Trong phần này, nhóm tác giả so sánh biến thiên nồng độ CO và NO_x trong khí thải theo tốc độ động cơ cho bởi mô phỏng và thực nghiệm.

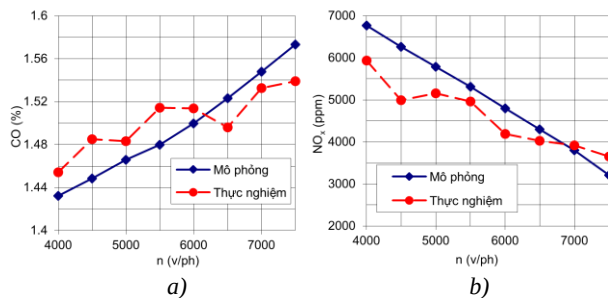


Hình 12. Ảnh hưởng của tốc độ động cơ đến biến thiên nồng độ CO (a) và NO_x (b) theo góc quay trục khuỷu khi động cơ chạy bằng xăng bổ sung 10% HHO ($\phi=1$, $\phi_s=15^\circ$ TK)

Hình 12a cho thấy, ứng với góc đánh lửa sớm cho trước, khi tăng tốc độ động cơ thì nồng độ cực đại của CO giảm nhưng nồng độ của nó trong khí thải tăng nhẹ. Tác động của việc tăng tốc độ động cơ đến CO khi cố định góc đánh lửa sớm cũng như tác động của việc giảm góc đánh lửa sớm khi cố định tốc độ động cơ đã trình bày ở phần trên.

Hình 12b trình bày ảnh hưởng của tốc độ động cơ đến biến thiên nồng độ NO_x theo góc quay trục khuỷu. Chúng ta thấy, khi tăng tốc độ động cơ thì nồng độ NO_x giảm. Điều này có thể giải thích do đỉnh đường cong nhiệt độ dịch ra xa ĐCT khi tăng tốc độ động cơ nhưng giữ nguyên góc đánh lửa sớm khiến cho nhiệt độ hỗn hợp cháy giảm.

Hình 13a so sánh biến thiên nồng độ CO theo tốc độ động cơ chạy bằng xăng bổ sung 10% HHO với $\phi=1$ và $\phi_s=15^\circ\text{TK}$ cho bởi mô phỏng và thực nghiệm. Chúng ta thấy, khi hệ số tương đương và góc đánh lửa sớm cố định thì nồng độ CO theo mô phỏng chỉ tăng nhẹ theo tốc độ động cơ. Nồng độ CO cho bởi thực nghiệm cao hơn giá trị cho bởi mô phỏng ở vùng tốc độ thấp nhưng thấp hơn ở vùng tốc độ cao. Điều này là do quá trình cháy thực tế không diễn ra hoàn toàn như trong tính toán. Mặt khác, góc đánh lửa sớm của động cơ thực tế thay đổi trong khi góc đánh lửa sớm trong tính toán mô phỏng là cố định. Khi tăng tốc độ động cơ thì góc đánh lửa sớm thực tế tăng làm giảm nồng độ CO trong khí thải. Đường cong biến thiên nồng độ CO thực tế theo tốc độ động cơ vì thế ít dốc hơn đường cong nồng độ CO cho bởi mô phỏng.



Hình 13. So sánh mô phỏng và thực nghiệm biến thiên nồng độ CO (a) và NO_x (b) theo tốc độ động cơ khi động cơ chạy bằng xăng bổ sung 10% HHO ($\phi=1$, $\phi_s=15^\circ\text{TK}$ khi mô phỏng)

Hình 13b so sánh biến thiên nồng độ NO_x theo tốc độ động cơ cho bởi mô phỏng và thực nghiệm. Chúng ta thấy, nồng độ NO_x cho thực nghiệm ở phần lớn dải tốc độ đều thấp hơn nồng độ NO_x cho bởi mô phỏng. Điều này có thể được giải thích do nhiệt độ quá trình cháy thực tế thấp hơn nhiệt độ cháy tính toán vì quá trình cháy thực tế không diễn ra lý tưởng như lý thuyết. Mặt khác, góc đánh lửa sớm trong thực tế tăng theo tốc độ động cơ làm tăng nồng độ NO_x trong khí trong tính toán chúng ta giả định góc đánh lửa sớm $\phi_s=15^\circ\text{TK}$ không thay đổi.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu trên đây cho phép nhóm tác giả rút ra được những kết luận sau:

- Khi bổ sung HHO vào xăng thì hiệu quả quá trình cháy được cải thiện dẫn đến tăng áp suất và nhiệt độ cực đại, làm giảm phát thải CO và HC do quá trình cháy diễn ra hoàn toàn hơn. Tuy nhiên HHO làm tăng phát thải NO_x . Khi bổ sung 10% HHO vào xăng thì nồng độ NO_x tăng 25%.

- Khi giảm góc đánh lửa sớm thì nồng độ CO tăng nhẹ trong khi đó nồng độ NO_x giảm rất mạnh. Khi bổ sung 10% HHO vào xăng thì góc đánh lửa sớm tối ưu giảm 5°TK . Khi điều chỉnh góc đánh lửa sớm tối ưu thì khi động cơ chạy bằng xăng bổ sung 10% HHO công suất chỉ thị chu trình tăng 7% và nồng độ NO_x tăng 12% so với khi

chạy bằng xăng.

- Khi tăng tốc độ động cơ thì nồng độ NO_x trong khí thải giảm trong khi nồng độ CO tăng nhẹ. Đường cong biến thiên nồng độ CO, NO_x theo tốc độ động cơ theo thực nghiệm có độ dốc thấp hơn đường cong mô phỏng tương ứng là do quá trình cháy thực tế không diễn ra hoàn toàn lý tưởng và do góc đánh lửa sớm thực tế tăng theo tốc độ động cơ.

- Có thể điều chỉnh góc đánh lửa sớm khi động cơ chạy bằng xăng bổ sung HHO để đảm bảo đạt được mức tăng công suất hợp lý nhưng không làm tăng mức độ phát thải các chất ô nhiễm so với khi chạy bằng xăng.

Lời cảm ơn: Các tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng đã hỗ trợ kinh phí để nghiên cứu công trình này thông qua đề tài nghiên cứu khoa học “*Thiết kế, chế tạo mô hình xe gắn máy sinh thái chạy bằng điện và nhiên liệu khí*”, mã số: T2019-06-123.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Rajasekaran T., Duraiswamy K., Bharathiraja M. et al.: *Characteristics of engine at various speed conditions by mixing of HHO with gasoline and LPG*. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol. 10, No. 1, pp. 46-51, January 2015.
- [2] Changwei Ji and Wang, S.: *Combustion and emissions performance of a hybrid hydrogen-gasoline engine at idle and lean conditions*. International Journal of Hydrogen Energy, Volume 35, Issue 1, January 2010, Pages 346-355. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.10.074>
- [3] S. Wang, C. Ji, B. Zhang, X. Liu: *Realizing the part load control of a hydrogen-blended gasoline engine at the wide open throttle condition*. Int. J. Hydrogen Energy, Volume 39, Issue 14, 5 May 2014, Pages 7428-7436. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.03.024>
- [4] S. Wang, C. Ji, J. Zhang, B. Zhang: *Comparison of the performance of a spark-ignited gasoline engine blended with hydrogen and hydrogen-oxygen mixtures*. Energy, Volume 36, Issue 10, October 2011, Pages 5832-5837. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.08.042>
- [5] S. Wang, C. Ji, J. Zhang, B. Zhang: *Improving the performance of a gasoline engine with the addition of hydrogen-oxygen mixtures*. Int. J. Hydrogen Energy, Volume 36, Issue 17, August 2011, Pages 11164-11173. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.05.138>
- [6] T.B. Arjun, K.P. Atul, P. Ajay et al.: *A review on analysis of HHO gas in IC engines*. Materials Today Proceedings, Volume 11, Part 3, 2019, Pages 1117-1129. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.12.046>
- [7] Dhananjay Babariya, Jay Oza, Bhavin Hirani et al.: *An Experimental Analysis of S.I Engine Performance with HHO as a Fuel*. International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET), ISSN: 2321-7308, Volume: 04 Issue: 04, Apr-2015, pp. 608-614.
- [8] Sa'ed A. Musmar, Ammar A. Al-Rousan: *Effect of HHO gas on combustion emissions in gasoline engines*. Fuel, Volume 90, Issue 10, October 2011, Pages 3066-3070. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.05.013>
- [9] Alfredas Rimkus, Jonas Matijošius, Marijonas Bogdevičius et al.: *An investigation of the efficiency of using O2 and H2 (hydroxide gas-HHO) gas additives in a CI engine operating on diesel fuel and biodiesel*. Energy, Volume 152, 1 June 2018, pp. 640-651. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.087>
- [10] Chetan N. Patel, Prof. Maulik A. Modi, Dr. Tushar M. Patel: *An Experimental Analysis of IC Engine by Using Hydrogen Blend*. International Journal of Recent Trends in Engineering & Research (IJRTER) Volume 02, Issue 04; April-2016, ISSN: 2455-1457, pp. 453-462.
- [11] K. A. Kale and M. R. Dahake: *The Effect of HHO and Biodiesel Blends on Performance and Emission of Diesel Engine-A Review*. International Journal of Current Engineering and Technology, e-ISSN 2277-4106, p-ISSN 2347-5161, 20 June 2016, Special Issue-5 (June 2016), pp. 1-9. <http://Dx.Doi.Org/10.14741/Ijcet/22774106/spl.5.6.2016.1>
- [12] Bùi Văn Ga, Nguyễn Văn Đông, Bùi Văn Tấn, Nguyễn Quang Trung: *Ảnh hưởng của thành phần H2 làm giàu biogas đến tính năng công tác và mức độ phát thải ô nhiễm của động cơ dual fuel biogas-*

- diesel. *Tuyển tập công trình Hội nghị Cơ học Thủy khí Toàn quốc lần thứ 20*, Cần Thơ, 27-29 tháng 7 năm 2017, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Tp. HCM, 2018, pp. 238-245.
- [13] Bui Van Ga, Tran Van Nam, Bui Thi Minh Tu, Nguyen Quang Trung: Numerical simulation studies on performance, soot and NOx emissions of dual-fuel engine fuelled with hydrogen enriched biogas mixtures. *IET Renewable Power Generation*: Volume 12, Issue 10, (2018), pp. 1111-1118, DOI: 10.1049/iet-rpg.2017.0559.
- [14] Bùi Văn Ga, Cao Xuân Tuấn, Phạm Quốc Thái, Lê Minh Tiến, Nguyễn Văn Đông: Ảnh hưởng của thành phần hydrogen làm giàu biogas đến công chu trình và phát thải NOx của động cơ đánh lửa cưỡng bức. *Tuyển tập Công trình Hội nghị khoa học Cơ học Thủy khí toàn quốc lần thứ 21*, Quinhon 19-21/7/2018, pp. 175-184.
- [15] Bùi Văn Ga, Bùi Thị Minh Tú, Trương Lê Bích Trâm, Võ Như Tùng, Đỗ Xuân Huy: Cải thiện quá trình cháy động cơ chạy bằng biogas nghèo nhờ cung cấp bổ sung hydroxyl (HHO). *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, Vol. 17, No. 1.1, 2019, pp. 35-41.
- [16] Bùi Văn Ga, Trần Thanh Hải Tùng, Lê Minh Tiến, Bùi Thị Minh Tú, Đặng Văn Nghĩa, Tôn Nguyễn Thành Sang: Tính năng kỹ thuật và phát thải ô nhiễm động cơ phun biogas-HHO trên đường nạp. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, Vol.18, No1, 2020, pp. 43-48.
- [17] Bui Van Ga, Bui Thi Minh Tu, Nguyen Van Dong, Bui Van Hung: Analysis of combustion and NOx formation in a SI engine fueled with HHO enriched biogas. *Environmental Engineering and Management Journal*, May 2020, Vol. 19, No. 5, 317-327.
- [18] Trần Văn Nam, Bùi Văn Ga, Phan Minh Đức, Bùi Thị Minh Tú: Cung cấp nhiên liệu biogas-hydrogen cho động cơ đánh lửa cưỡng bức kéo máy phát điện trong hệ thống năng lượng tái tạo hybrid. *Tuyển tập Công trình Hội nghị khoa học Cơ học Thủy khí toàn quốc lần thứ 21*, Quinhon 19-21/7/2018, pp. 448-458.
- [19] Bui Van Ga, Bui Thi Minh Tu, Truong Le Bích Trâm, Bui Van Hung: Technique of Biogas-HHO Gas Supply for SI Engine. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol. 8 Issue 05, May-2019, pp. 669-674.
- [20] Bùi Văn Ga, Võ Anh Vũ, Bùi Thị Minh Tú, Bùi Văn Hùng, Trương Lê Bích Trâm, Phạm Văn Quang: Kiểm soát tỉ lệ không khí/nhiên liệu của động cơ đánh lửa cưỡng bức chạy bằng biogas nghèo pha HHO. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ-Đại học Đà Nẵng*, Vol. 17, No. 3, 2019.
- [21] Trần Thanh Hải Tùng, Bùi Văn Ga, Võ Anh Vũ, Bùi Văn Tấn: Xe gắn máy sinh thái. *Tuyển tập Công trình Hội nghị khoa học Cơ học Thủy khí toàn quốc lần thứ 21*, Quinhon 19-21/7/2018, pp. 894-906.

(BBT nhận bài: 10/6/2020, hoàn tất thủ tục phản biện: 07/7/2020)