NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG TRÊN AVL BOOST TÍNH NĂNG CỦA ĐỘNG CƠ XE MÁY KHI BỔ SUNG KHÍ HHO VÀO ĐƯỜNG NẠP

PGS.TS. LÊ ANH TUẤN
KS. TRIỆU TIẾN CHUẨN
KS. NGUYỄN ĐỨC KHÁNH
Trường Đại học Bách khoa Hà Nội
ThS. CAO VĂN TÀI
Trường Cao đẳng Nghề Nha Trang

Tóm tắt: *Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu bổ sung khí HHO (hỗn hợp của hai khí H_2 và O_2 có được từ quá trình điện phân nước, với tỉ lệ theo thể tích là 2:1) vào đường nạp của động cơ xe máy với sự hỗ trợ của phần mềm mô phỏng AVL BOOST. Kết quả mô phỏng cho thấy ảnh hưởng của lượng khí HHO bổ sung đến đặc tính cháy, công suất cũng như phát thải của động cơ. Thời gian cháy trễ và cháy nhanh giảm, tốc độ tăng áp suất cũng như công suất động cơ tăng lên. Phát thải NOx giảm trong khi HC và CO tăng khi bổ sung HHO. Nếu giữ nguyên công suất động cơ ở 1,97 kW (ở tốc độ vòng quay động cơ 3000 v/ph và $\lambda \approx 0,95$) trước và sau khi bổ sung khí HHO, thì có thể tiết kiệm được 12,08% lượng xăng khi bổ sung 4 lít/phút HHO, nồng độ NOx tăng gấp 2,4 lần, trong khi CO giảm 97,97%, HC giảm 46,98% so với khi sử dụng xăng.*

Từ khoá: Động cơ xe máy, khí HHO, AVL BOOST

Abstract: *This paper presents simulation results of HHO gas (a mixture of H_2 and O_2 in a ratio 2:1 by volume – produced by the water electrolysis) addition into intake manifold of a motorcycle engine with the support of AVL BOOST software. The simulation results indicate the effects of HHO gas addition on combustion characteristics, engine power and emissions. Ignition delay and combustion duration are shortened, cylinder pressure rise rate and engine power are increased. NOx emission are reduced, however CO and HC emissions are increased with the grow of HHO content. If engine power is kept constant at 1,97 kW (at 3000 rpm engine speed and lambda equal to 0,95) fuel consumption will be saved about 12,08% when adding 4 liters/min HHO gas. The NOx emission concentration surges 2,4 times, while CO and HC emissions decrease 97,97% and 46,98% in compare with using gasoline.*

Keywords: Motorcycle engine, HHO gas, AVL BOOST

1. Mở đầu

Hiện nay rất nhiều nước trên thế giới đã bắt đầu sử dụng nhiên liệu thay thế để giảm bớt gánh nặng cho xăng dầu và tăng tính kinh tế. Trong đó, hydro được xem như nhiên liệu của tương lai vì có nhiệt trị lớn, quá trình cháy sạch, khí thải chủ yếu là nước. Sử dụng hydro làm nhiên liệu thay thế có thể giải quyết được hai vấn đề mà khi sử dụng nhiên liệu hoá thạch gặp phải là nguồn cung cấp cũng như phát thải ô nhiễm. Hydro ứng dụng trên ô tô ở hai dạng chính: sử dụng cho pin nhiên liệu (fuel cell) và cho động cơ đốt trong. Việc bổ sung khí hydro vào đường nạp của động cơ đốt trong đã được bắt đầu nghiên cứu từ những năm đầu thập niên 70 của thế kỷ trước và đã cho thấy được nhiều ưu điểm cả về tính năng kỹ thuật cũng như kinh tế [1]. Khi sử dụng hỗn hợp xăng – khí hydro đã cho thấy quá trình cháy được cải thiện, tốc độ cháy tăng lên, thời gian cháy trễ và cháy nhanh giảm [2]

Khí HHO là hỗn hợp của H_2 và O_2 với tỉ lệ theo thể tích là 2:1–là sản phẩm của quá trình điện phân nước, được Yull Brown nghiên cứu sử dụng từ tháng 3 năm 1978 [3]. Khí HHO có thành phần chính là H_2, vì vậy đặc tính cháy giống với H_2. Tuy nhiên, do có O_2 trong hỗn hợp nên khí HHO có khả năng cháy trong môi trường yếm khí. Vì vậy, HHO cũng được sử dụng như một phụ gia nhiên liệu trên động cơ đốt trong bằng cách bổ sung vào đường nạp. Những kết quả nghiên cứu đã cho thấy khi bổ sung HHO vào đường nạp động cơ thì suất tiêu hao nhiên liệu giảm [4], công suất, mô men động cơ được cải thiện, hiệu suất nhiệt tăng, thời gian cháy nhanh giảm. HC và CO giảm trong khi NOx tăng lên. Đặc biệt khi làm việc ở điều kiện tải nhẹ và hỗn hợp nghèo thì những ảnh hưởng của lượng HHO bổ sung là rất đáng kể [5,6].

Bảng 1. Đặc tính của nhiên liệu

Đặc tính	Xăng	Hydro
Mô hình phân tử	C_8H_{18}	H_2
Khối lượng phân tử (g/mol)	107- 114	2,02
Khối lượng riêng (kg/m^3)	721-785	0,0838
Hệ số Δ/P	14,6	34,3
Năng lượng đánh lửa (mJ)	0,24	0,02
Nhiệt độ tự cháy (K)	533-733	858
Tốc độ cháy (cm/s)	41,5	237
Nhiệt trị thấp (MJ/kg)	44	120
RON	92- 98	130
Khoảng dập tắt mũi lửa (cm)	0,2	0,064

Với những ưu điểm như vậy, khí HHO ngày càng được ứng dụng rộng rãi hơn. Tuy nhiên, hầu hết các nghiên cứu được áp dụng trong trường hợp hỗn hợp nhạt. Vì vậy, trong bài báo này chúng tôi xin trình bày về ảnh hưởng của khí HHO đến đặc tính làm việc của động cơ trong điều kiện hỗn hợp đậm với sự hỗ trợ của phần mềm AVL Boost.

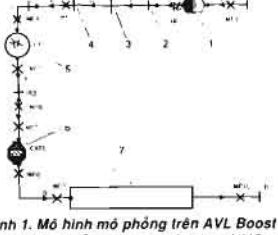
2. Xây dựng mô hình mô phỏng

2.1. Xây dựng mô hình

Bảng 2. Thông số kỹ thuật động cơ xe máy

Kiểu động cơ	Đánh lửa cưỡng bức
Số xylanh	1
Đường kính xylanh	50 mm
Hành trình piston	49,5 mm
Dung tích xylanh	97 cm^3
Tỉ số nén	9:1
Góc đánh lửa sớm	-12°TK

Từ những phần tử trong phần mềm, ta có thể xây dựng được mô hình động cơ xe máy trên AVL Boost sử dụng hỗn hợp nhiên liệu xăng–khí HHO như hình 1 với các thông số kỹ thuật của động cơ như trong bảng 2.



Hình 1. Mô hình mô phỏng trên AVL Boost

1. lọc khí; 2. cản dòng, 3. vòi phun HHO; 4. vòi phun xăng; 5. xylanh; 6. bộ xúc tác; 7. bình ổn áp (tiêu âm)

2.2. Mô hình cháy

Mô hình cháy Fractal là một trong những mô hình cháy thông dụng nhất để mô phỏng quá trình cháy rối trong động cơ đánh lửa cưỡng bức. Mô hình cháy mô tả tác động vật lý của việc hình thành màng lửa rối phân lớp đến hiện tượng xoáy tự do theo lý thuyết fractal [7,8,9]. Phương trình đặc trưng của mô hình cháy Fractal là phương trình mô tả tốc độ của quá trình cháy

$$\left(\frac{dm_b}{dt}\right)_{overall} = (1-w_2)\left(\frac{dm_b}{dt}\right)_{fractals} + w_2\left(\frac{dm_b}{dt}\right)_{w-c}$$

2.3. Mô hình hình thành phát thải

a) Phát thải NOx

Bảng 3. Chuỗi phản ứng hình thành NOx. Hệ số tốc độ của mô hình k =AT ^B EXP (- E/T)

TT	Phản ứng	Phản ứng thuận			Phản ứng nghịch		
		A (cm³/mol.s)	B (-)	E (cal/mol.K)	A (cm³/mol.s)	B (-)	E (cal/mol.K)
1	$N_2+O=NO+N$	4.93×10^{13}	0.0472	-75.59	1.6×10^{13}	0	0
2	$O_2+N=NO+O$	1.48×10^{9}	1.5	-3.58	1.25×10^{9}	0.82	37.95
3	$OH+N=NO+H$	4.72×10^{11}	0	0	9.76×10^{10}	-0.232	-80.84
4	$N_2O+O=NO+NO$	4.58×10^{13}	0	-25.1	7.09×10^{13}	0.08	-56.99
5	$O_2+N_2=N_2O+O$	2.25×10^{12}	0.025	102.5	3.82×10^{12}	0	3.1

Mô hình hình thành phát thải NOx trong phần mềm AVL Boost được dựa trên mô hình động lực học phản ứng được phát triển bởi Pattas và Hafner [10]. Sự hình thành của NOx được tính toán theo thông số nhập đầu vào như tốc độ động cơ, nhiên liệu cũng như áp suất, nhiệt độ, hệ số dư lượng không khí λ, thể tích và khối lượng, thời gian cháy cũng như số vùng cháy. Mô hình sử dụng 6 phản ứng của chuỗi Zeldovich với các hệ số tốc độ được trình bày trong bảng 3. Quá trình tính toán được bắt đầu lúc thời điểm cháy bắt đầu. Mặc dù trong khí thải NOx của động cơ xăng, NO chiếm phần lớn (90-98%) tuy nhiên việc tính toán N_2O cũng không thể bỏ qua. Lượng N_2O sinh ra có mối quan hệ như sau:

$$\frac{N_2O}{N_2\sqrt{O_2}} = 1.1802.10^{-6}T_1^{0.6125}exp\left[\frac{-18.71}{RT}\right]$$

Tốc độ hình thành NO được tính toán theo công thức sau:

$$\frac{d[NO]}{dt} = 2(1-\alpha^2)\left[\frac{R_{1\alpha}}{1+\alpha K_2} + \frac{R_{4\alpha}}{1+K_4}\right]\frac{p}{RT}$$

b) Phát thải CO

CO là sản phẩm cháy thiếu O_2, chủ yếu sinh ra từ quá trình cháy các hydrocacbon không hoàn toàn. Vì thế để tính toán CO có thể dựa trên các phản ứng sau [11]:

$CO + OH \rightarrow CO_2 + H$

$CO_2 + O \rightarrow CO + O_2$

Và tốc độ phản ứng tạo thành CO được tính theo công thức:

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

trong đó $[CO]_e$ là hàm lượng cân bằng của CO, các giá trị R_1 và R_2 được tính theo công thức:

$$R_1 = k_1^- [CO]_e[OH]_e = 6.76.\ 10^{10}\ exp(T/1102)$$

$$R_2 = k_2^- [CO]_e[O_2]_e = 2.5.10^{12}\ exp(-24055/T)$$

c) Phát thải HC

Phát thải HC là những hydrocacbon chưa cháy hết, có thể hình thành từ nhiều nguyên nhân và có thể xác định thông qua những yếu tố sau [12]:

- Tỉ lệ khí nạp lọt qua khe hở và không cháy được vì màng lửa bị dập tắt.
- Hiệu ứng cháy sát vách.
- Hơi nhiên liệu cùng màng dầu bôi trơn bám lên mặt gương xylanh trong kỳ nạp và kỳ nén.
- Hiện tượng cháy không hoàn toàn hoặc bỏ lửa khi chất lượng cháy kém.
- Hơi nhiên liệu trong đường ống xả.

Khi đó tốc độ hình thành HC được tính như sau [11]:

$$\frac{d[HC]}{dt} = -c_{HC}A_{HC}e^{-E_{HC}/RT_{gas}}[HC]^a[O_2]^b$$

với $A_{HC} = 7{,}7 \times 10^9$ ((m³/mol)$^{a+b-1}$/s)

$E_{HC} = 156222$ (J/mol)

$R = 8314$ (J/mol K)

$T_{gas} = (T_{gas} + T_{cyl.wall})/2$

[HC] và $[O_2]$ là mật độ của HC và O_2 (mol/m³)

c_{HC} là hằng số điều chỉnh tốc độ phản ứng tuỳ thuộc từng chế độ, từng loại động cơ

a,b là các hằng số mũ, thường bằng 1

2.4. Chế độ mô phỏng

Tiến hành mô phỏng và đánh giá ảnh hưởng của việc bổ sung 2 và 4 lít/phút khí HHO (2 HHO và 4 HHO) đến đặc tính làm việc cũng như phát thải của động cơ xe máy khi làm việc ở chế độ hỗn hợp đậm (λ từ 0,8 ÷ 1) với tốc độ động cơ giữ nguyên ở giá trị

3000 vòng/phút, bướm ga mở hoàn toàn. Sau khi bổ sung HHO vào đường nạp, thì hệ số dư lượng không khí λ được tính lại như sau:

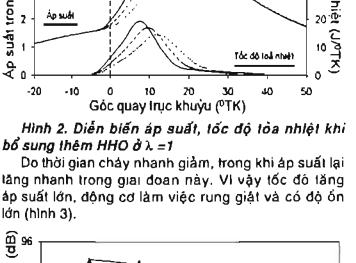
$$\lambda = \frac{m_{không\ khí}}{m_{xăng} \cdot A/F_{xăng} + m_{HHO} \cdot A/F_{HHO}}$$

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đặc tính cháy

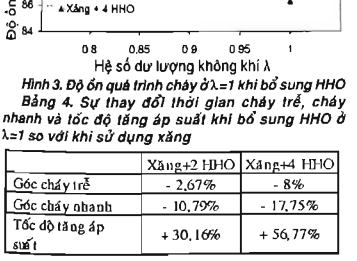
Hình 2 thể hiện diễn biến áp suất và tốc độ toả nhiệt trong xylanh động cơ từ -20°TK trước điểm chết trên (ĐCT) đến 50°TK khi bổ sung 2 và 4 lít/phút HHO ở λ = 1.

Do khí Hydro có tốc độ cháy rất nhanh nên khi bổ sung thêm HHO vào đường nạp động cơ sẽ dẫn đến tốc độ toả nhiệt lớn, thời điểm đạt giá trị cực đại sớm hơn. Điều này cũng làm cho thời gian cháy trễ, thời gian cháy nhanh giảm. Ngoài ra do sóng áp suất của quá trình cháy lớn nên giá trị cực đại của áp suất trong xylanh cũng sẽ lớn hơn so với khi sử dụng xăng.



Hình 2. Diễn biến áp suất, tốc độ tỏa nhiệt khi bổ sung thêm HHO ở λ =1

Do thời gian cháy nhanh giảm, trong khi áp suất lại tăng nhanh trong giai đoạn này. Vì vậy tốc độ tăng áp suất lớn, động cơ làm việc rung giật và có độ ồn lớn (hình 3).

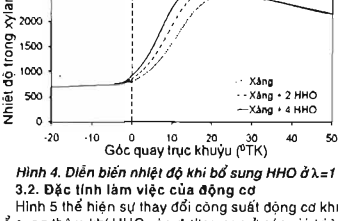


Hình 3. Độ ồn quá trình cháy ở λ=1 khi bổ sung HHO

Bảng 4. Sự thay đổi thời gian cháy trễ, cháy nhanh và tốc độ tăng áp suất khi bổ sung HHO ở λ=1 so với khi sử dụng xăng

	Xăng+2 HHO	Xăng+4 HHO
Góc cháy trễ	- 2,67%	- 8%
Góc cháy nhanh	- 10,79%	- 17,75%
Tốc độ tăng áp suất	+ 30,16%	+ 56,77%

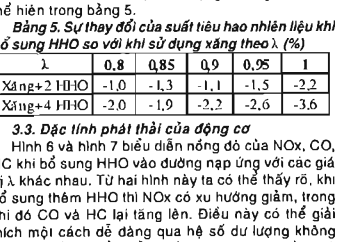
Hình 4 biểu diễn nhiệt độ trong xylanh theo góc quay trục khuỷu khi bổ sung thêm khí HHO. Vì hydro cháy rất nhanh, dẫn đến khả năng cháy rớt giảm, vì vậy nhiệt độ ở cuối quá trình cháy giãn nở và quá trình thải sẽ giảm xuống.



Hình 4. Diễn biến nhiệt độ khi bổ sung HHO ở λ=1

3.2. Đặc tính làm việc của động cơ

Hình 5 thể hiện sự thay đổi công suất động cơ khi bổ sung thêm khí HHO vào đường nạp ở các giá trị λ khác nhau. Ta có thể thấy rõ công suất động cơ tăng lên khi bổ sung HHO vào đường nạp vì khi đó điểm kết thúc quá trình cháy nhanh tiến gần đến vùng "tối ưu" của động cơ xăng (10-15°TK sau ĐCT).



Hình 5. Công suất động cơ khi bổ sung HHO

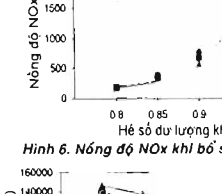
Từ đồ thị công suất, ta có thể dễ dàng tính toán được suất tiêu hao nhiên liệu. Khi bổ sung thêm HHO thì suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ sẽ giảm, được thể hiện trong bảng 5.

Bảng 5. Sự thay đổi của suất tiêu hao nhiên liệu khi bổ sung HHO so với khi sử dụng xăng theo λ (%)

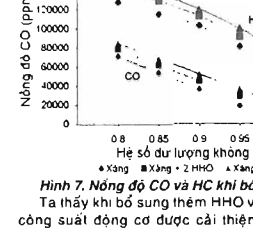
λ	0,8	0,85	0,9	0,95	1
Xăng+2 HHO	-1,0	-1,3	-1,1	-1,5	-2,2
Xăng+4 HHO	-2,0	-1,9	-2,2	-2,6	-3,6

3.3. Đặc tính phát thải của động cơ

Hình 6 và hình 7 biểu diễn nồng độ của NOx, CO, HC khi bổ sung HHO vào đường nạp ứng với các giá trị λ khác nhau. Từ hai hình này ta có thể thấy rõ, khi bổ sung thêm HHO thì NOx có xu hướng giảm, trong khi đó CO và HC lại tăng lên. Điều này có thể giải thích một cách dễ dàng qua hệ số dư lượng không khí λ và đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa nồng độ phát thải độc hại của động cơ xăng theo λ. Khi ta bổ sung HHO vào đường nạp, do lượng khí HHO chiếm chỗ, dẫn đến lượng không khí nạp vào giảm vì vậy hệ số dư lượng không khí λ giảm. Theo đồ thị nồng độ khí thải λ của động cơ xăng ta thấy ở những điểm bên trái giá trị λ = 1 thì khi λ giảm, nồng độ NOx giảm, CO và HC tăng lên.



Hình 6. Nồng độ NOx khi bổ sung thêm HHO



Hình 7. Nồng độ CO và HC khi bổ sung thêm HHO

Ta thấy khi bổ sung thêm HHO vào đường nạp thì công suất động cơ được cải thiện. NOx giảm, tuy nhiên CO và HC lại tăng lên. Khi công suất tăng quá giá trị công suất định mức, tốc độ vòng quay tăng có thể ảnh hưởng đến tính đồng lực học, độ bền cũng như tuổi thọ của động cơ. Vì vậy ta phải giảm công suất động cơ xuống thấp hơn giá trị định mức bằng cách giảm lượng xăng cung cấp. Giả sử ta muốn giữ công suất ở giá trị toàn tải khi sử dụng xăng (1,97 kW khi $\lambda \approx 0,95$) mà vẫn bổ sung 2 và 4 lít/phút HHO, ta có thể giảm được lượng xăng, giảm được nồng độ CO và HC. Tuy nhiên lúc đó NOx lại tăng (bảng 6).

Bảng 6. Sự thay đổi lượng nhiên liệu xăng, NOx, CO, HC khi giữ nguyên công suất ở 1,97 kW (%)

Bổ sung	Xăng	NOx	CO	HC
2 HHO	- 8,72	+ 100	- 97,54	- 36,02
4 HHO	- 12,08	+ 140	- 97,97	- 46,98

4. Kết luận

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu khả năng bổ sung khí HHO cho động cơ xe máy trên phần mềm mô phỏng AVL Boost. Kết quả nghiên cứu đã cho thấy, khi bổ sung thêm HHO vào đường nạp động cơ đánh lửa cưỡng bức mà vẫn giữ nguyên lượng xăng thì tốc độ cháy tăng lên, thời gian cháy trễ, cháy nhanh giảm, tốc độ tăng áp suất cao, dẫn đến độ ồn lớn. Công suất động cơ được cải thiện, NOx có chiều hướng giảm trong khi CO và HC lại tăng lên. Tuy nhiên công suất tăng quá giá trị định mức có thể ảnh hưởng đến độ bền, khả năng động lực học của động cơ.

Nếu điều chỉnh giảm bớt lượng xăng cung cấp phù hợp với lưu lượng khí HHO bổ sung để công suất động cơ không đổi thì ta có thể thu được một số lợi ích về mặt nhiên liệu cũng như về môi trường. Kết quả mô phỏng đã cho thấy khi giữ nguyên công suất ở giá trị định mức, nếu bổ sung thêm khí HHO với lưu lượng là 2 và 4 lít/phút thì ta có thể giảm 8,72% và 12,08% lượng xăng. Lúc đó nồng độ phát thải NOx sẽ tăng lên gấp 2 và 2,4 lần. Trong khi CO giảm 97,54% và 97,97% còn HC giảm 36,02% và 46,98%.

Mặc dù theo dự đoán lượng công suất được lợi khi bổ sung thêm HHO không đủ cung cấp năng lượng cho quá trình sản xuất khí [6], tuy nhiên với những ưu điểm như trên thì HHO cũng có thể coi là nguồn nhiên liệu của tương lai. Vì vậy cần quan tâm đến việc điều chỉnh góc đánh lửa sớm, lượng nhiên liệu phù hợp ứng với mỗi lưu lượng khí HHO bổ sung để đảm bảo động cơ làm việc đạt hiệu quả cao nhất và phát thải độc hại giảm thiểu đến mức tối đa ❑

Tài liệu tham khảo

[1]. John Houseman, Frank W. Hoehn; "A two-charge engine concept: hydrogen enrichment"; SAE Paper No. 1974-02-01.

[2]. Changwei Ji, et al; "Simulation Study on combustion characteristics of a Spark Ignition Engine fueled with Gasoline-Hydrogen fuel mixture"; SAE Paper No. 2009-24-0093.

[3]. Yull Brown; "US patent number 4,081,656"; March 28, 1978.

[4]. Ammar A. Al-Rousan; "Reduction of fuel consumption in gasoline engines by introducing HHO gas into intake manifold"; International Journal of Hydrogen Energy, Volume 35, Issue 23, Pages 12930-12935, 2010.

[5]. Radu Chiriac, et al; "Effects of Gasoline-Air enrichment with HRG gas on efficiency and emissions of a SI engine", SAE Paper No. 2006-01-3431.

[6]. T.D' Andrea, et al; "Investigating combustion enhancement and emissions reduction with the addition of $2H_2+O_2$ to a SI Engine"; SAE Paper No. 2003-32-0011.

[7]. F. Bozza, et al; "Application of a Quasi-Dimensional Combustion Model to the Development of a High-EGR VVT SI Engine", SAE Paper No. 2005-24-070.

[8]. F. Bozza, et al; "A Theoretical Comparison of Various VVA Systems for Performance and Emission Improvements of SI-Engines"; SAE Paper No. 2001-01-0670.

[9]. G. L. North, et al; "The Fractal Nature of Premixed Turbulent Flames"; Combustion Science and Technology, Volume 72, Pages 215-232, 1990.

[10]. Pattas K, Hafner G; "Stickoxidbildung bei der ottomotorischen Verbrennung"; MTZ Nr. 12, 397-404, 1973.

[11]. A. Onorati, et al; "1D Unsteady Flows with Chemical Reactions in the Exhaust Duct-System of S.I. Engines: Predictions and Experiments"; SAE Paper No. 2001-01-0939.

[12]. G. D'Errico, et al; "Modeling the Pollutant Emissions from a S.I. Engine"; SAE Paper No. 2002-01-0006.