

NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN VỀ BUỒNG CHÁY THỂ TÍCH KHÔNG ĐỔI

OVERVIEW OF CONSTANT VOLUME COMBUSTION CHAMBER

Nguyễn Phi Trường^{1,2,*}, Nguyễn Tuấn Nghĩa¹,
Trần Đăng Quốc², Lê Anh Tuấn²

TÓM TẮT

Nhu cầu nâng cao hiệu suất, giảm ô nhiễm môi trường đối với động cơ nhiệt nói chung và động cơ đốt trong nói riêng đang là mối quan tâm rất lớn của các nhà khoa học trên thế giới. Giải pháp cơ bản đáp ứng được yêu cầu trên đó là nghiên cứu quá trình cháy ở một buồng cháy có thể tích không đổi (Constant volume combustion chamber - CVCC). Bài báo này đề cập đến việc mô phỏng chế tạo CVCC và những ứng dụng của buồng cháy thể tích không đổi đến việc nghiên cứu đối với những nhiên liệu khác nhau như: sử dụng nhiên liệu diesel, ethanol và diesel sinh học, xăng và n-butan, nhiên liệu công nghiệp CPG (Compressor Producer Gas), dầu cọ nguyên chất và dầu diesel, nhiên liệu ethanol trộn với xăng. Từ các kết quả đó có thể làm cơ sở để định hướng thiết kế mô phỏng cũng như chế tạo tại điều kiện ở Việt Nam.

Từ khóa: CVCC, nhiên liệu thay thế, cửa sổ quang học, CPG.

ABSTRACT

The need to improve efficiency, reduce environmental pollution for general heat engines and internal combustion engines in particular is of great concern to scientists around the world. The basic solution that meets the above requirements is to study the combustion process in a constant volume combustion chamber (CVCC). This paper deals with simulating the manufacture of constant volume combustion chambers (CVCC) and the applications of constant volume combustion to research on different fuels such as: diesel fuel, ethanol and biodiesel, gasoline and n-butane, Compressor Producer Gas industry (CPG), pure palm oil and diesel fuel, ethanol fuel mixed with gasoline. These results can serve as the basis for designing simulation as well as manufacturing conditions in Vietnam.

Keywords: CVCC, alternative fuels, optical window, CPG.

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email: truongnp7@gmail.com

Ngày nhận bài: 05/9/2018

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 05/11/2018

Ngày chấp nhận đăng: 25/02/2019

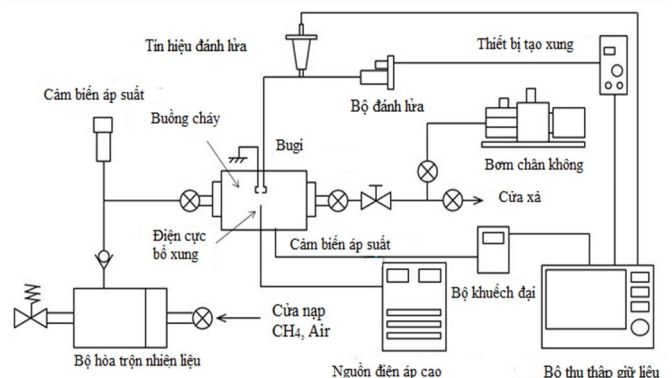
1. GIỚI THIỆU CHUNG

Buồng cháy có thể tích không đổi (Constant volume combustion chamber - CVCC) là buồng cháy thông suốt và trong suốt, dễ dàng quan sát quá trình hình thành hỗn hợp

và cháy của hỗn hợp không khí - nhiên liệu, dễ dàng điều khiển các thông số áp suất, nhiệt độ bên trong buồng cháy. Từ đó, dễ dàng điều chỉnh quá trình hình thành hỗn hợp và cháy của hỗn hợp để nâng cao hiệu suất và giảm khí thải độc hại ra ngoài môi trường.

Nghiên cứu tổng quan về hệ thống CVCC sẽ là bước đi đầu tiên hướng đến một thể hệ động cơ mới đạt được hiệu suất nhiệt cao và giảm tối thiểu khí thải độc hại đồng thời thỏa mãn được những tiêu chuẩn ngặt nghèo của khí thải.

Hệ thống CVCC có thể thực hiện rất nhiều các nghiên cứu về cháy theo định hướng khác nhau đối với nhiên liệu cháy cưỡng bức và tự bốc cháy. Các định hướng nghiên cứu có thể kể đến như: tỷ lệ giữa nhiên liệu - không khí, điều kiện (nhiệt độ, áp suất, góc đánh lửa) để xảy ra phản ứng ô xi hóa nhiên liệu... Về cơ bản hệ thống CVCC được cấu thành gồm tối thiểu các bộ phận như hình 1 bao gồm: Bộ thu thập giữ liệu, nguồn cấp điện áp cao, bộ hòa trộn nhiên liệu, cửa nạp CH₄, Air, cảm biến áp suất, buồng cháy, điện cực bổ xung, bugi, bộ đánh lửa, bơm chân không, cửa xả, thiết bị tạo xung, cảm biến áp suất, tín hiệu đánh lửa, bộ thu thập giữ liệu.



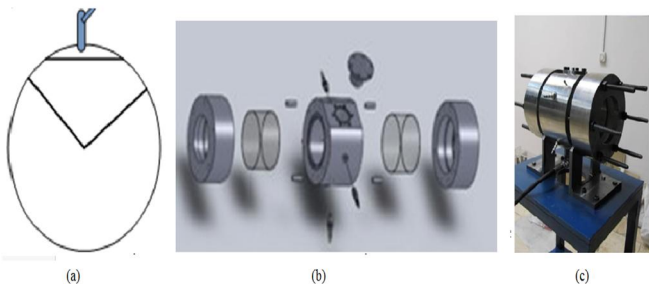
Hình 1. Sơ đồ hệ thống CVCC

2. NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO BUỒNG CHÁY CVCC

Alireza Hajjalimohammadi và các cộng sự đã sử dụng phần mềm Ansys 12.0 để thiết kế một buồng cháy có thể tích không đổi với kích thước cụ thể của buồng cháy là Ø13cmxL13cm, đường kính và chiều dày của kính thạch anh quan sát lần lượt là 16cm và 8cm, vật liệu chế tạo thân

buồng cháy là thép không gỉ 316. Buồng cháy có thể chịu được áp suất lên đến 100 bar. Với hai cửa sổ này sẽ có một nguồn sáng laser chiếu qua kết hợp hệ thống camera đặc biệt để quan sát sự phát triển của màng lửa [1].

Sơ đồ của buồng cháy được thiết kế chế tạo và sau khi sản xuất buồng cháy (hình 2).



Hình 2. (a) Sơ đồ của vòi phun và vị trí bugi; (b) bản vẽ lắp của CVCC; (c) Buồng đốt thể tích không đổi sau khi chế tạo

Quá trình đốt cháy diễn ra trong thời gian ngắn nên cửa sổ thạch anh và buồng cháy được xem xét để phân tích ứng suất, chuyển vị (bảng 1, 2).

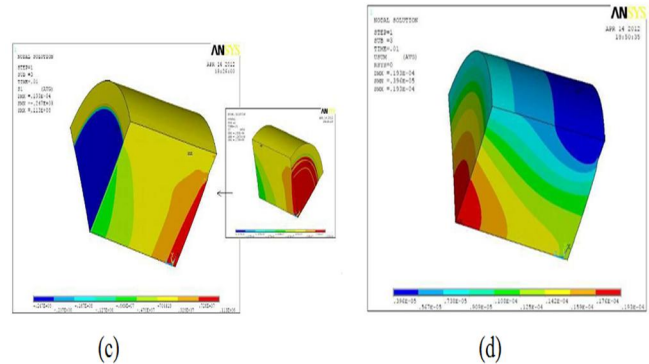
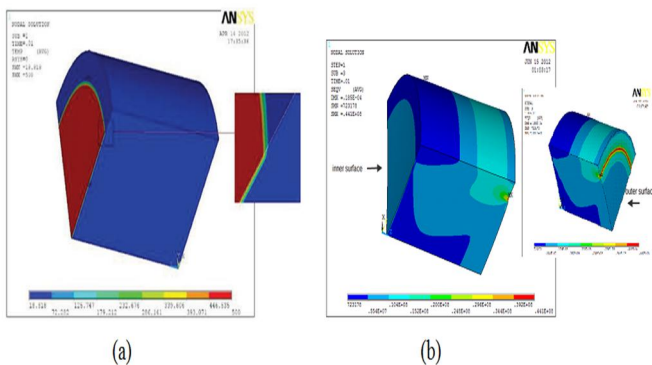
Bảng 1. Đặc tính của vật liệu làm kính quan sát

Khối lượng riêng	2200 kg/m ³
Mô đun đàn hồi	72 GPa
Hệ số Poisson	0,17
Giới hạn bền uốn	52,4 MPa
Dẫn nhiệt	1,46 W/mK
Hệ số giãn nở nhiệt	5,4.10 ⁻⁷ 1/K
Nhiệt dung riêng	700 J/K.kg

Bảng 2. Ứng suất cực đại và chuyển vị lớn nhất của cửa sổ thạch anh trên cơ sở tiêu chuẩn Rankine và Von Mises

Chiều dày (mm)	Von Mises (MPa)	Rankine (MPa)	Chuyển vị (μm)
60	53,8	24,1	23,8
70	47,7	24,1	20,3
80	44,1	24,1	18,5

Sử dụng phần mềm Ansys 12.0 ta tính được các thông số vật liệu của buồng cháy như: Ứng suất cực đại, chuyển vị lớn nhất, phân bố nhiệt trung bình trên CVCC (hình 3).

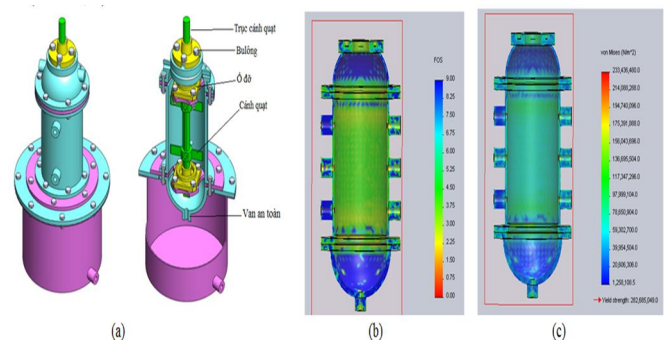


Hình 3. a) Phân bố nhiệt độ trung bình; b) Ứng suất Von Mises của cửa sổ thạch anh có chiều dày 80mm; c) Ứng suất Rankine của cửa sổ thạch anh; d) Chuyển vị của cửa sổ thạch anh.

Sau khi chế tạo được buồng đốt, buồng đốt được thử nghiệm với áp suất cao và phun trực tiếp dạng khí với áp lực 100 bar. Kết quả kiểm tra hệ thống đạt yêu cầu chế tạo. Nó chứng minh rằng phương pháp phần tử hữu hạn thành công trong việc mô phỏng buồng cháy CVCC.

Nhóm nghiên cứu của Prathan Srichai sử dụng phần mềm mô phỏng Solidworks Simulation và CAE tiến hành phân tích, thiết kế và chế tạo CVCC có cửa sổ quang học được thiết kế với độ an toàn cao, hệ thống hòa trộn bên ngoài để giả lập thành không khí (hòa trộn hỗn hợp khí O₂ và N₂) bao gồm: Common-rail, bộ điều chỉnh nhiệt độ và áp suất, hệ thống van an toàn, hệ thống phun khí C₂H₂ [2].

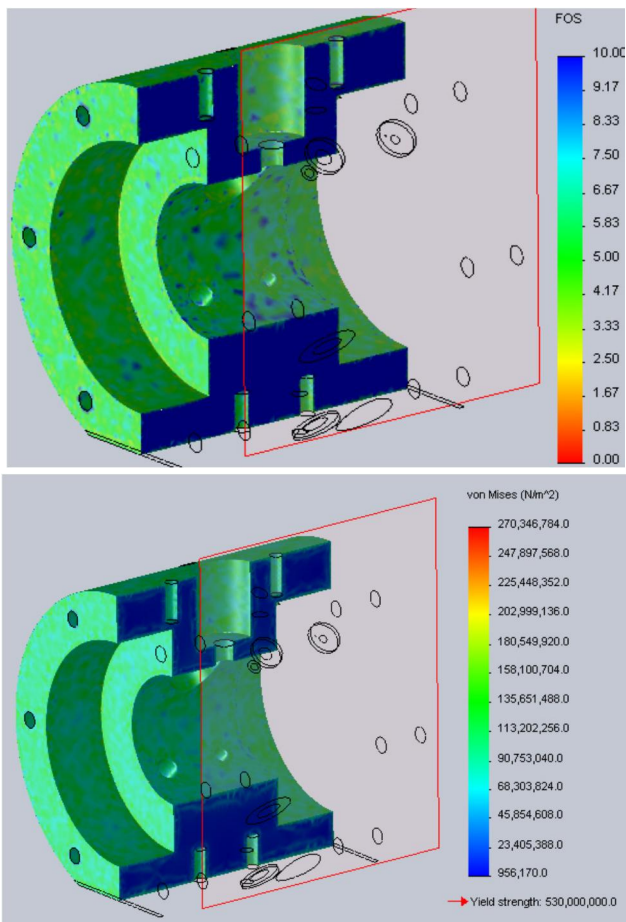
Sử dụng phần mềm mô phỏng solidworks 2012 để mô phỏng điều kiện làm việc bên trong buồng trộn hỗn hợp và CVCC. Áp suất bên trong là 25 bar nhiệt độ bề mặt tiếp xúc là 1300°C (Nhiệt độ bên trong của hỗn hợp khí). Các phần của buồng hòa trộn được liên kết với nhau bằng các bulông chịu lực. Vật liệu thép SS1035 được sử dụng để làm vật liệu chính chế tạo buồng hòa trộn với các thông số ứng suất uốn là 340MPa và ứng suất kéo là 620MPa. Bề dày của buồng là 14 mm (hình 4).



Hình 4. (a) Hình dạng bên ngoài và bên trong của thiết bị hòa trộn nhiên liệu; (b) Hệ số an toàn của bể trộn; (c) Ứng suất Von mises của thiết bị hòa trộn

Điều kiện biên mô phỏng được chọn lựa như trên thực tế, với cơ sở chia lưới là 4 mm. Áp suất hỗn hợp hòa trộn trước là 70 bar, lớn hơn áp suất tính toán. Trong khi mô phỏng, một số thành phần coi là cố định như bulông ở giữa

CVCC, giá đỡ quạt hòa trộn, cảm biến áp suất phun và các van hút xả. Vật liệu chế tạo là thép carbon trung bình S45C với ứng suất uốn và ứng suất kéo lần lượt là 340MPa và 602MPa (hình 5). Đường kính và độ dày của cửa sổ quang học khi mô phỏng là 100mm và 35mm với góc vát là 1mm. Với áp suất hỗn hợp bên trong là 70 bar thì buồng cháy CVCC được đảm bảo đủ bền.



Hình 5. Hệ số an toàn của CVCC và ứng suất Von mises của CVCC

Kết quả xác định được độ dày tường, vật liệu, hình dạng và vị trí cho các công cụ thiết bị để chịu được áp lực cao trong buồng đốt và thiết bị hòa trộn. Xác định được giới hạn nghèo của hỗn hợp và ảnh hưởng của áp suất phun nhiên liệu đến khả năng bắt cháy của hỗn hợp là mạnh hơn so với hỗn hợp được hòa trộn sẵn từ bên ngoài ở cùng điều kiện nhiệt độ môi trường.

3. MỘT SỐ ỨNG DỤNG CỦA BUỒNG CHÁY CVCC

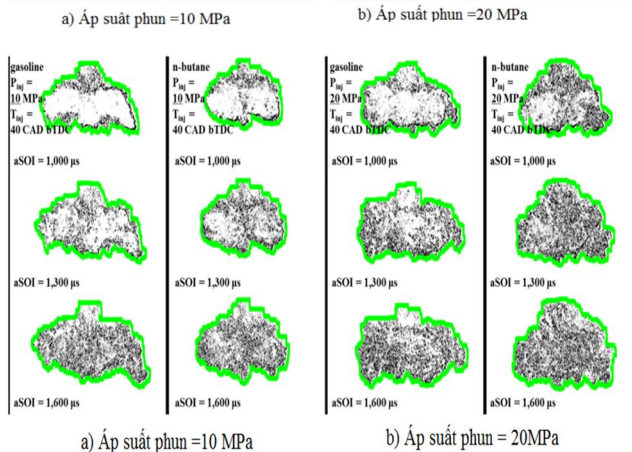
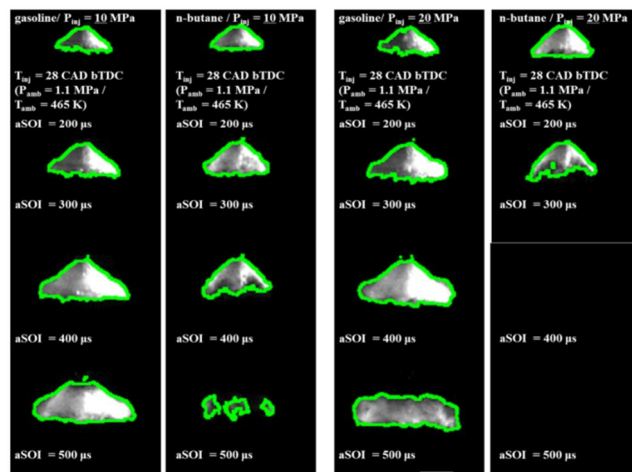
3.1. Nghiên cứu, sử dụng nhiên liệu diesel, ethanol và diesel sinh học

Ronnachart Munsin và nhóm nghiên cứu tiến hành nghiên cứu mô phỏng đối với ba loại nhiên liệu được hòa trộn từ bên ngoài: diesel, ethanol và diesel sinh học. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng vật liệu làm cửa dẫn ánh sáng laser có thể chịu được áp suất cao, hình dạng buồng cháy thể tích không đổi phù hợp với thể tích buồng cháy động cơ tự bốc cháy có tỷ số nén thay đổi từ $\epsilon = 16 \div 28$ [3]. Các nghiên cứu được thực hiện bằng phương pháp mô phỏng ở điều kiện

hiệt độ thấp, áp suất nhiên liệu đã được phun vào buồng cháy với áp suất 35 Mpa. Kết quả cho thấy khi sử dụng hệ thống common-rail và buồng cháy thể tích không đổi (CVCC) sẽ đánh giá được ảnh hưởng của nhiệt độ nhiên liệu diesel đến đặc tính của hệ thống phun nhiên liệu và quá trình cháy ở điều kiện khởi động lạnh. Khi nhiệt độ nhiên liệu diesel ở điều kiện lạnh thì thời gian phun sẽ dài hơn so với khi nhiệt độ nhiên liệu diesel được sấy nóng lên, nguyên nhân làm cho thời gian phun kéo dài là do độ nhớt động học của nhiên liệu cao khi nhiệt độ giảm.

3.2. Nghiên cứu, sử dụng nhiên liệu xăng và n-butan

Nghiên cứu của nhóm Choongsik Bae cũng được tiến hành đối với hỗn hợp nghèo với hai nhiên liệu xăng và n-butan [4]. Điều kiện thí nghiệm để cháy ổn định đối với hai loại nhiên liệu xăng và n-butan được thiết lập khác nhau về góc đánh lửa, áp suất phun và thời gian phun. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng không giống như xăng, n-butan lập tức bốc hơi ngay khi bắt đầu phun nhiên liệu và kết thúc bốc hơi khi kết thúc phun. So với xăng, cấu trúc của n-butan đã bị bẻ gãy về phía đầu trực phun và sự bẻ gãy đó càng lớn khi áp suất phun được tăng lên. Phun nhiên liệu n-butan cho thấy tỉ lệ bay hơi cao hơn vì áp suất hơi nước cao hơn, nhưng cấu trúc phun đã bị phân rã (hình 6).



Hình 6. Hình ảnh tia phun của xăng và n-butan tại 28°CAD bTDC [$P_{amb}=1,1$ Mpa/ $T_{amb}=465$ K] từ Mie-scattering và hình ảnh tia phun của xăng và n-butan tại 40°CAD bTDC [$P_{amb}=0,7$ Mpa/ $T_{amb}=426$ K] từ Schlieren

3.3. Nghiên cứu, sử dụng khí công nghiệp CPG (Compressor Producer Gas)

Đặc tính cháy và tối ưu hóa CPG trong buồng cháy thể tích không đổi được Z.A. Zainal và các cộng sự nghiên cứu và đánh giá [5]. MIF = 0 (tối thiểu); MIF = 25% (Trung bình) và MIF = 50% (Tối đa) như bảng 3, 4.

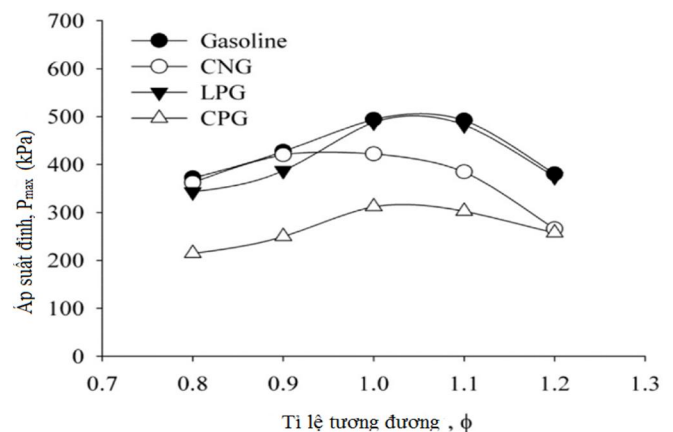
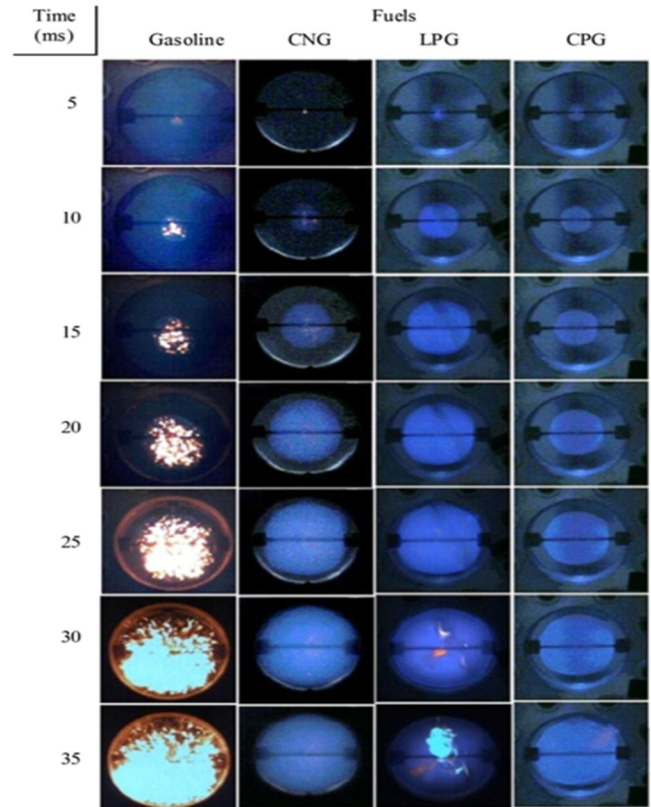
Bảng 3. Thời gian phun yêu cầu đối với CNG, LPG và CPG khi MIF = 0%

Tỉ lệ tương đương		AFR	Khối lượng nhiên liệu (mg)	Khối lượng không khí (mg)	Áp suất khí yêu cầu (kPa)	Áp suất nhiên liệu yêu cầu (kPa)	Thời gian phun (ms)
CNG	0,8	21,50	24,9	529	165	10,70	108
	0,9	19,11	24,9	470	147	10,70	105
	1,0	17,20	24,9	423	132	10,70	102
	1,1	15,64	24,9	385	120	10,70	100
	1,2	14,33	24,9	353	110	10,70	98
LPG	0,8	21,25	24,9	529	165	3,92	78
	0,9	18,89	24,9	470	147	3,92	76
	1,0	17,00	24,9	423	132	3,92	73
	1,1	15,45	24,9	385	120	3,92	72
	1,2	14,17	24,9	353	110	3,92	70
CPG	0,8	1,40	378	529	165	110,89	557
	0,9	1,24	378	470	147	110,89	555
	1,0	1,12	378	423	132	110,89	542
	1,1	1,02	378	385	120	110,89	540
	1,2	0,93	378	353	110	110,89	534

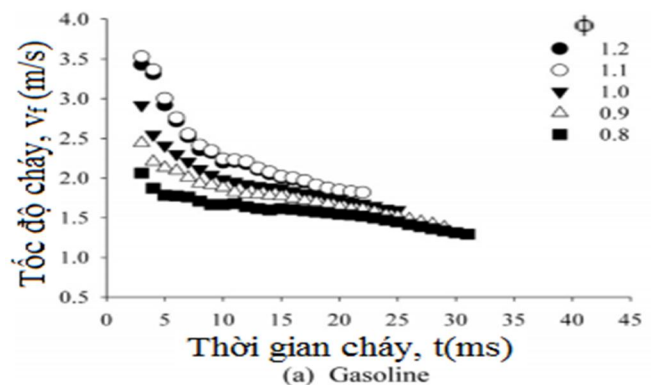
Bảng 4. Thời gian phun yêu cầu đối với CNG, LPG và CPG khi MIF = 25% và 50%

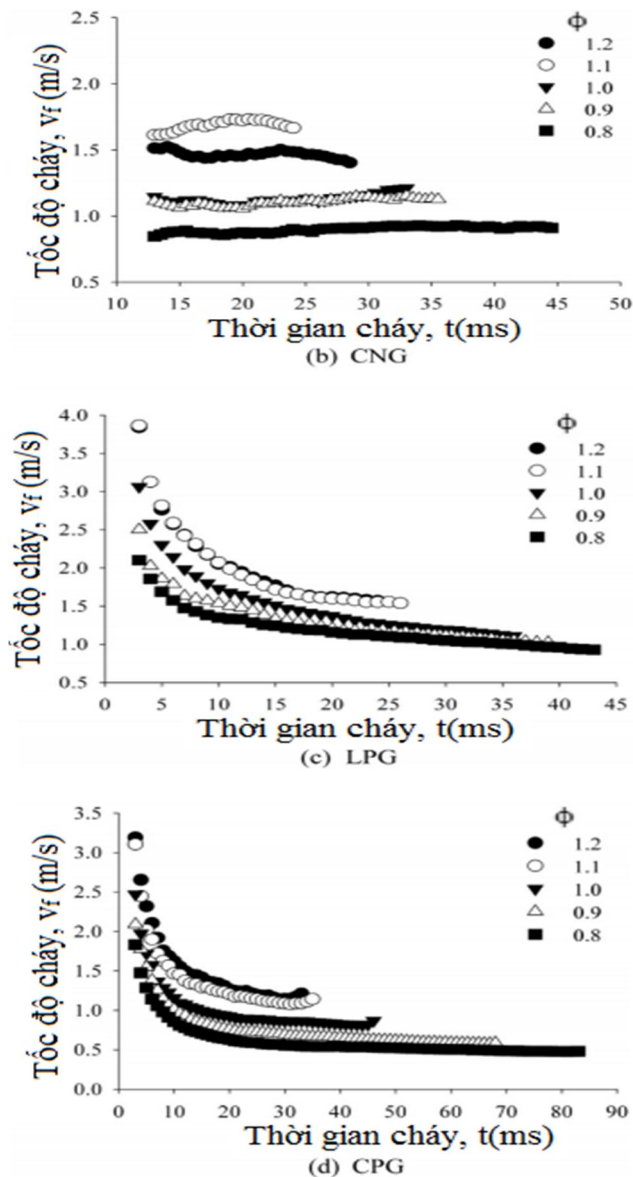
Tỉ lệ tương đương		AFR	Khối lượng nhiên liệu (mg)	Khối lượng không khí (mg)	Áp suất khí yêu cầu (kPa)	Áp suất CPG yêu cầu (kPa)	Thời gian phun (ms)
MIF = 25%	0,9	1,24	472	588	183,4	138,61	740
	1,0	1,12	472	529	165,1	138,61	732
	1,1	1,02	472	481	150,0	138,61	703
MIF = 50%	0,9	1,24	567	705	220	166,33	950
	1,0	1,12	567	635	198	166,33	865
	1,1	1,02	567	577	180	166,33	850

Phân tích phương sai được tiến hành với độ tin cậy của các giá trị thí nghiệm là 0,9775 và 0,9875, cho tốc độ lan tràn ngọn lửa và áp suất đỉnh tương ứng. Từ các thí nghiệm, tốc độ lan tràn của ngọn lửa và áp suất đỉnh của CPG tìm thấy là 3,15 m/s và 312,09 kPa tương ứng. Chúng thấp hơn so với xăng, LPG và CNG. Phân tích tối ưu hóa cho thấy áp suất đỉnh của CPG có thể so sánh với xăng và tốc độ của ngọn lửa đạt tối đa ở $\phi = 1,1$ và MIF = 35% (hình 7, 8).



Hình 7. Hình ảnh cháy của Gasoline, CNG, LPG và CPG ở tỉ lệ tương đương là 1,1 ($m_b = 385\text{mg}$) và áp suất đỉnh của Gasoline, CNG, LPG và CPG ở tỉ lệ tương đương từ 0,8 đến 1,2





Hình 8. Tốc độ lan truyền màng lửa của (a) Gasoline, (b) CNG, (c) LPG và (d) E0 ở các tỉ lệ khác nhau từ 0,8 đến 1,2

3.4. Nghiên cứu, sử dụng với dầu cọ nguyên chất và dầu diesel

Nhóm Mr.Karn Romphol, Kanit Wattanavichien nghiên cứu về đặc tính phun và cháy của dầu cọ trong buồng cháy CVCC [6]. Với điều kiện thực nghiệm ổn định như áp suất khí quyển và trường hợp phun vào, ảnh hưởng của phần trăm dầu cọ nguyên chất với dầu diesel và áp suất phun vào buồng cháy và cấu trúc ngọn lửa đã được thí nghiệm sử dụng photo diode và ICCD camera. Nghiên cứu chỉ ra rằng, với tỉ lệ phần trăm cao của dầu cọ trong hỗn hợp thì thời gian cháy trễ ngắn hơn và thời kỳ cháy ngắn hơn so với nhiên liệu diesel. Vùng nhiệt độ cháy cao của dầu cọ là trên 2400K vẫn nhỏ hơn của dầu diesel. Bỏ hóng trong khí thải của dầu cọ nhiều hơn so với khí thải của nhiên liệu diesel và nó sẽ giảm khi tăng tỉ lệ % dầu cọ lên. Tuy nhiên, với 100% dầu cọ thì bỏ hóng là rất nhỏ.

3.5. Nghiên cứu sử dụng với nhiên liệu ethanol trộn với xăng

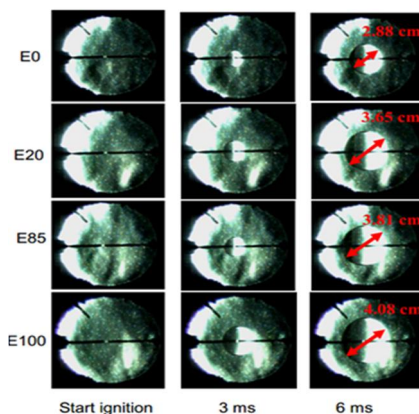
Chinda Chareonphonphanich và Prathan Srichai tiến hành nghiên cứu quá trình cháy của ethanol trộn với xăng với các tỉ lệ khác nhau [7]. Từ xăng nguyên chất, E20, E85 và E100 (bảng 5).

Bảng 5. Đặc điểm của xăng, ethanol và điều kiện thí nghiệm

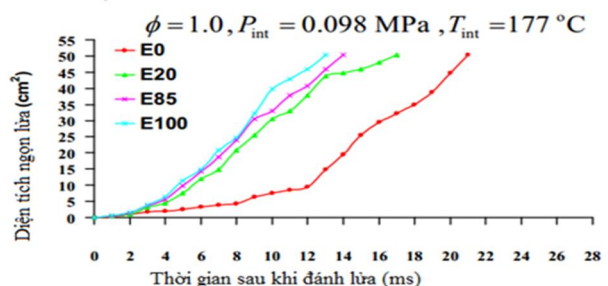
Đặc tính	E0 (Gasoline)	E100 (Ethanol)
Trọng lượng phân tử	114,8	46,07
RVP (kPa)	62,6	16
Giá trị nhiệt trị thấp (kJ/kg)	44,000	26,900
Nhiệt hóa hơi (kJ/kg)	305	840
Tỉ lệ A/F lý tưởng	14,6	9

Nhiên liệu	E0, E20, E85 và E100
Tỉ lệ tương đương	0,8; 1,0; 1,2 và 1,4
Nhiệt độ thí nghiệm	177 và 197°C
Áp suất thí nghiệm	0,098 và 0,147 MPa

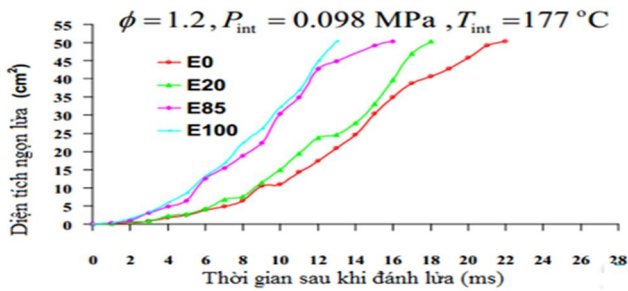
Hình ảnh ngọn lửa trong buồng cháy được ghi lại bằng công nghệ Schlieren với camera tốc độ cao. Kết quả thí nghiệm cho thấy. Phần trăm của ethanol lớn hơn cho tốc độ lan truyền nhanh hơn và áp suất cao hơn. Áp suất cháy của E100 là 0.873MPa lớn hơn so với E85, E20, E0. Độ trễ giảm hơn khi tăng tỉ lệ % của ethanol. Thời gian cháy của E100 là 13ms nhỏ hơn so với E85, E20 và E0. Thời gian cháy của hỗn hợp tương đương tỉ lệ 1,0 là thấp hơn so với tỉ lệ 0,8, 1,2 và 1,4 (hình 9).



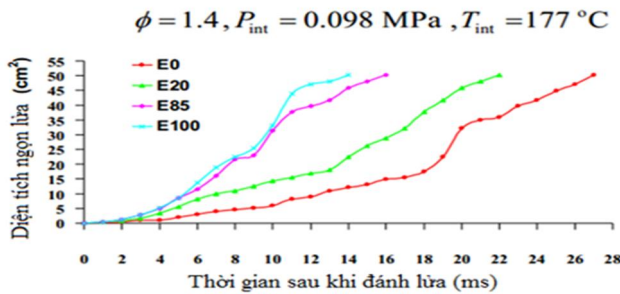
(a)



(b)



(c)



(d)

Hình 9. (a). Hình ảnh ngọn lửa lan tràn của nhiên liệu trong điều kiện áp suất 0,098Mpa, nhiệt độ 177 C^o tỉ lệ tương đương 1.0; (b). Hình ảnh ngọn lửa của mỗi nhiên liệu ở $\phi=1.0$; (c). Hình ảnh ngọn lửa của mỗi nhiên liệu ở $\phi=1.2$; (d). Hình ảnh ngọn lửa của mỗi nhiên liệu ở $\phi=1.4$.

4. KẾT LUẬN

Sử dụng các phần mềm mô phỏng Solidworks 2012 và phần mềm Ansys 12.0 có thể thiết kế và chế tạo thành công buồng cháy thể tích không đổi (CVCC), để phục vụ quá trình nghiên cứu cơ bản về quá trình hình thành hỗn hợp và cháy của các loại nhiên liệu trong động cơ đốt trong.

Buồng cháy thể tích không đổi được sử dụng để nghiên cứu với nhiều loại nhiên liệu khác nhau như: Ảnh hưởng của nhiệt độ nhiên liệu diesel đến đặc tính của hệ thống phun nhiên liệu và quá trình cháy ở điều kiện khởi động lạnh. Nghiên cứu tia phun của xăng và n-butan. Đặc tính cháy và tối ưu hóa CPG. Nghiên cứu về đặc tính phun và cháy của dầu cọ. Nghiên cứu áp suất và thời gian cháy của nhiên liệu ethanol trộn với xăng với các tỉ lệ khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Alireza Hajjalimohammadi. *Design And Manufacturing of A Constant Volume Test Combustion Chamber For Jet And Flame Visualization of CNG Direct Injection*, Applied Mechanics and Materials Vols. 217-2192543 (2012).
- [2]. Prathan Srichai, *Design Concept of Biodiesel Direct Injection Constant Volume Combustion Chamber*, The 3rd TSME International Conference on Mechanical Engineering October 2012, Chiang Rai.
- [3]. Ronnachart Munsin, Bodin Chung Lim Shing, Khansorn Phunpheeranurak, Thanisorn Phongphankasem, Yossapong Laoonual*, Sumrerng Jugjai and Somchai Chanchaona, AEC 2013. *Design of Constant Volume Combustion Chamber (CVCC) with Pre-Combustion*, The 4th TSME International Conference on Mechanical Engineering, 16-18 October 2013.
- [4]. Jinyoung Jung, Sangjae Park, Choongsik Bae*. 2016. *Combustion characteristics of gasoline and n-butane under lean stratified mixture conditions in a spray-guided direct injection spark ignition engine*.
- [5]. S.N. Soid, Z.A. Zainal* 1 July 2014. *Combustion characteristics and optimization of CPG (compressed producer gas) in a constant volume combustion chamber*.
- [6]. Mr.Karn Romphol, Kanit Wattanavichien. 2012. *Macroscopic spray characteristics of palm oil-diesel blends in a constant volume combustion chamber*. Vol. 71, November 2012.
- [7]. Prathan Srichai, *Flame Propagation of Bio-Ethanol in a constant volume combustion chamber*. 2009 SAE international.