

# ẢNH HƯỞNG CỦA KHÍ THẢI HỒI LƯU ĐẾN QUÁ TRÌNH CHÁY VÀ PHÁT THẢI Ô NHIỄM TRÊN ĐỘNG CƠ XE MÁY SỬ DỤNG XĂNG SINH HỌC

## THE EFFECTS OF EXHAUST GAS RECIRCULATION ON COMBUSTION AND POLLUTION EMISSIONS ON MOTORCYCLE ENGINES USING GASOHOL

Lê Minh Đức<sup>1</sup>\*, Nguyễn Quang Trung<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng

\*Tác giả liên hệ: minhducle@dut.udn.vn

(Nhận bài:12/6/2021; Chấp nhận đăng: 05/7/2021)

**Tóm tắt** - Bài báo trình bày kết quả mô phỏng quá trình cháy và phát thải NO<sub>x</sub> của động cơ xe máy Wave RSX 110cc sử dụng nhiên liệu xăng sinh học trong điều kiện được trang bị thêm hệ thống hồi lưu khí thải. Mô hình mô phỏng số 3D-CFD của động cơ 1 xylanh được xác lập và tính toán bằng phần mềm thương mại Ansys Fluent V15.0. Kết quả tính toán cho thấy, quá trình cháy của xăng sinh học trong động cơ cho công suất và phát thải NO<sub>x</sub> trong trường hợp có sử dụng hồi lưu khí thải là cải thiện hơn so với trường hợp không sử dụng hồi lưu khí thải. Tỷ lệ khí thải hồi lưu trong khoảng 10-15% và nhiệt độ khí thải hồi lưu trong khoảng 330-350K là phù hợp cho trường hợp động cơ sử dụng nhiên liệu xăng sinh học E15 - E20.

**Từ khóa** - ethanol; xăng; động cơ đánh lửa cưỡng bức; hồi lưu khí thải.

### 1. Giới thiệu

Dầu thô, than đá và khí đốt tự nhiên đã được khai thác nhằm đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng của con người [1]. Vấn đề cấp thiết hiện nay chính là an ninh năng lượng và ô nhiễm môi trường. Việc đốt cháy nhiên liệu hóa thạch là nguyên nhân góp phần lớn vào việc phát thải carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), là nguyên nhân trực tiếp gây ra hiện tượng nóng lên toàn cầu [2]. Nhiên liệu hóa thạch vẫn chiếm 80% tổng nguồn cung năng lượng trong khi nhiên liệu sinh học chỉ đóng góp 1% [3]. Do đó, các nghiên cứu hiện nay chủ yếu tập trung vào các nguồn năng lượng thay thế, hướng đến phát triển bền vững.

Các nhiên liệu thay thế chính được sử dụng cho đến nay là oxygenat (rượu, este, v.v.), dầu thực vật và các este của chúng, nhiên liệu thể khí (hydro, khí dầu mỏ hóa lỏng, v.v.). Ethanol đã thu hút sự chú ý trên toàn thế giới vì khả năng sử dụng nó làm nhiên liệu thay thế sử dụng trên ô tô [4]. Sử dụng ethanol làm nhiên liệu không phải là một khái niệm mới [5]. Việc sử dụng ethanol pha trộn với dầu diesel là một chủ đề nghiên cứu trong những năm 1980. Vào thời điểm đó, người ta đã chỉ ra rằng, hỗn hợp ethanol về mặt kỹ thuật được chấp nhận làm nhiên liệu cho các động cơ hiện có, nhưng giá thành sản xuất ethanol tương đối cao đã cản trở việc sử dụng với mục đích thương mại và khiến nó trở thành nhiên liệu dự phòng. Tuy nhiên, công nghệ đã trở nên thuận lợi hơn nhiều cho việc sản xuất ethanol và hiện nó có thể cạnh tranh với nhiên liệu từ dầu mỏ [6].

Ethanol là nhiên liệu xanh vì cây mía và các cây trồng tương tự có chức năng như một bể chứa CO<sub>2</sub>, do đó góp phần

**Abstract** - This paper presents simulation results of the combustion and NO<sub>x</sub> emissions of a Wave RSX 110cc motorcycle engine using gasohol fuel in the condition of equipped with an exhaust gas recirculation system. A 3D-CFD 1-cylinder engine model was established and calculated using a commercial software of Ansys Fluent V15.0. The results show that, the indicator work of biofuel combustion and NO<sub>x</sub> emissions in the case of using exhaust gas recirculation are better than those in the case of no exhaust gas recirculation. The rate and temperature of exhaust gas recirculation operated in the range of 10-15% and 330-350K, respectively, are highly recommended for the case of using E15 - E20.

**Key words** - ethanol; gasoline; spark ignition; Exhaust Gas Recirculation (EGR).

làm giảm khí nhà kính (CO<sub>2</sub>) [7]. Ngày nay, ethanol đã được sử dụng rộng rãi làm phụ gia nhiên liệu hoặc nhiên liệu thay thế trong động cơ đánh lửa cưỡng bức (SI) cũng như trong động cơ diesel vì nó là nhiên liệu đốt sạch, có trị số octan cao [8, 9]. Việc đốt cháy ethanol trong động cơ SI làm giảm lượng khí thải carbon monoxide (CO), hydrocarbon (HC), v.v., nhưng vẫn đề dặt ra là sự gia tăng trong phát thải NO<sub>x</sub>. Các cơ quan bảo vệ môi trường đã liệt kê NO<sub>x</sub> là một trong những chất ô nhiễm quan trọng có thể ảnh hưởng đến hệ hô hấp. Xu hướng sử dụng xăng sinh học (ethanol-xăng) đã tăng lên rất nhiều những năm gần đây, dẫn đến phát thải NO<sub>x</sub> có thể trở thành một rào cản đáng kể đối với việc mở rộng thị trường của loại nhiên liệu sinh học này.

Mục tiêu của nghiên cứu được trình bày ở bài báo là cung cấp kết quả về hiện trạng đốt cháy ethanol trong động cơ SI và đề xuất giải pháp kỹ thuật nhằm giảm phát thải NO<sub>x</sub> trên động cơ SI sử dụng ethanol. Nhiều tác giả đã nghiên cứu công nghệ sản xuất ethanol [3, 4, 10, 11, 12], cũng như việc sử dụng nó trong động cơ xăng [13-15]. Bên cạnh đó, cũng có nhiều công trình nghiên cứu đánh giá tác động đối với các loại nhiên liệu sinh học khác nhau đến phát thải NO<sub>x</sub> [16-20].

Trong quá trình phát triển của động cơ, kỹ thuật EGR (exhaust gas recirculation – hồi lưu khí thải) lần đầu tiên được áp dụng trong động cơ diesel nhằm hạn chế tốc độ hình thành NO<sub>x</sub> (sinh ra do nhiệt độ cao của quá trình cháy). Kỹ thuật này được thực hiện dựa trên nguyên lý giảm nhiệt độ buồng đốt nhờ sự pha loãng của khí nạp mới với một lượng khí thải nhất định (thông thường, khí thải

<sup>1</sup> The University of Danang - University of Science and Technology (Minh Duc Le, Quang Trung Nguyen)

được đưa trở lại đường nạp động cơ sau khi được làm mát). Hiện nay, các quốc gia trên thế giới đã ban hành các quy định nghiêm ngặt hơn về tiêu chuẩn phát thải và tiết kiệm nhiên liệu để định hướng nghiên cứu động cơ xăng theo xu hướng giảm kích thước buồng cháy và phát triển động cơ xăng tăng áp để giảm tiêu hao nhiên liệu và phát thải ô nhiễm môi trường [21-23]. Động cơ xăng tăng áp ngày càng trở nên phổ biến trên thị trường thế giới do tính nhỏ gọn và mật độ công suất cao. Tuy nhiên, cũng chính vì lợi thế này mà khi vận hành ở các chế độ tải cao, nhiệt độ quá trình cháy tăng cao có thể dẫn đến làm tăng lượng phát thải NOx. Để giảm phát thải NOx trên các động cơ xăng tăng áp này, kỹ thuật EGR cũng được đưa vào sử dụng phổ biến kết hợp với các kỹ thuật điều khiển chế độ làm việc khác của động cơ [24, 25].

Không giống như động cơ diesel, hệ số dư lượng không khí ( $\lambda$ ) có thể được nghiên cứu sử dụng trong động cơ xăng như một giải pháp để có thể giảm phát thải NOx một cách hiệu quả. Khí thải hồi lưu trong động cơ xăng được sử dụng chủ yếu để giảm tổn thất tiết lưu ở các chế độ tải cục bộ, do đó có thể giảm tiêu thụ nhiên liệu và giảm mức phát thải NOx [24]. Để có thể giữ nguyên mô-men xoắn và công suất đầu ra của động cơ sau khi đưa EGR vào buồng cháy, về lý thuyết thì cần phải tăng độ mở bướm ga động cơ để có thể gia tăng mật độ của khí nạp. Điều này dẫn đến có thể giảm tổn thất cho bơm và tăng khả năng tiết kiệm nhiên liệu so với khi không sử dụng EGR. Mặt khác, đối với các động cơ xăng sử dụng bộ xử lý khí thải 3 chức năng (TWC) thì nồng độ  $O_2$  trong khí thải rất thấp, nếu sử dụng kỹ thuật ERG thì sẽ gia tăng hiệu quả của việc giảm lượng phát thải NOx.

Đối với động cơ GDI thì nó được thiết kế để làm việc với hỗn hợp nghèo hoặc thậm chí "siêu nghèo". Tuy nhiên, không thể sử dụng bộ xúc tác 3 chức năng (TWC) thông thường để loại bỏ Nox. Do đó, phải sử dụng các kỹ thuật khác để giảm NOx trong quá trình cháy hoặc xử lý khí thải sau đó. Một trong số các biện pháp hiệu quả để loại bỏ NOx chính là sử dụng hồi lưu khí thải EGR. So với động cơ PFI, động cơ GDI yêu cầu tỷ lệ EGR cao mới có thể giảm được mức phát thải NOx tổng thể. Ngày nay, sử dụng EGR được coi là một phương pháp cơ bản để giảm phát thải NOx của động cơ GDI [26].

Trên động cơ xăng GPI sử dụng xăng sinh học, trong điều kiện không điều chỉnh hệ thống cung cấp nhiên liệu và hệ thống điều khiển, điều này sẽ dẫn đến hỗn hợp không khí - nhiên liệu nghèo tương tự như trường hợp động cơ GDI. Tuy nhiên, khi sử dụng hồi lưu khí thải, dòng khí thải hồi lưu EGR ở nhiệt độ cao được sử dụng trong động cơ sẽ sấy nóng khí nạp, do đó tăng chất lượng đốt cháy và hiệu suất nhiệt của động cơ được cải thiện. Nếu khí thải hồi lưu EGR được làm mát thì sẽ làm gia tăng mật độ khí nạp trong khi nó không làm giảm hệ số nạp của động cơ, qua đó có thể làm giảm phát thải NOx. Làm mát khí thải hồi lưu EGR là một công nghệ quan trọng cho phép các động cơ SI giảm kích thước và đáp ứng yêu cầu của thị trường hiện nay "công suất lớn, tiêu thụ ít" [27].

Các công trình nghiên cứu ở trên chưa chỉ ra một cách cụ thể ảnh hưởng của phát thải NOx trong mối tương quan với nhiệt độ EGR và thành phần tỷ lệ EGR trong khí nạp.

Chính vì vậy, bài báo này sẽ đưa ra sự so sánh quá trình cháy và phát thải NOx theo nhiệt độ của khí thải hồi lưu EGR. Ngoài ra, bài báo còn tập trung vào vấn đề làm rõ ảnh hưởng của xăng sinh học và tỷ lệ hồi lưu khí thải đến quá trình cháy và phát thải NOx trong động cơ xăng. Khi áp dụng kỹ thuật EGR, lượng khí nạp vào động cơ bao gồm không khí trong lành và khí thải hồi lưu. EGR (%) đại diện cho phần trăm của khí thải hồi lưu. Phần trăm khí thải hồi lưu được định nghĩa là tỷ lệ phần trăm khí thải hồi lưu trong tổng hỗn hợp khí nạp vào động cơ [28]. Trong đó,  $m_i = m_a + m_f + m_{EGR}$  là tổng lượng hỗn hợp nạp vào và  $m_{EGR}$  là khối lượng của khí thải hồi lưu EGR (sau đây gọi tắt là EGR).

$$EGR (\%) = (m_{EGR}/m_i \times 100) \quad (1-1)$$

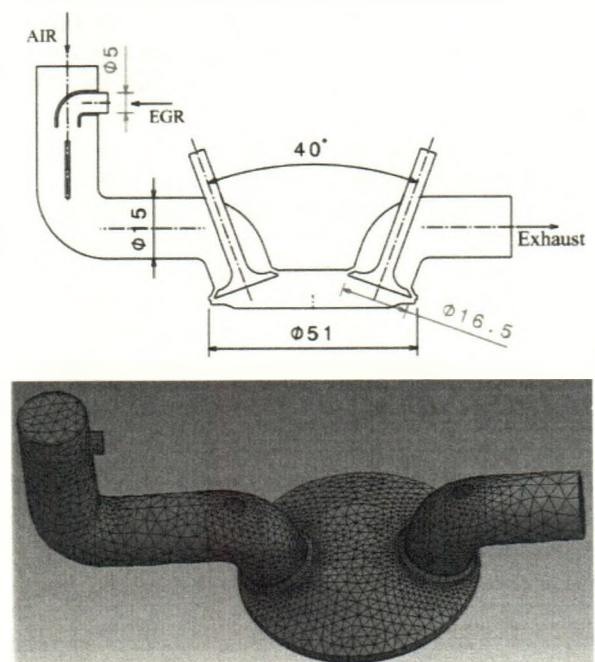
## 2. Thiết lập mô hình

### 2.1. Mô hình hình học

Động cơ Wave RSX 110cc (Bảng 1) được mô hình hóa bao gồm đường nạp (*fluid in valve 1 port, fluid in valve 1 ib, fluid layer cylinder*), đường thải (*fluid ex valve 1 port, fluid ex valve 1 ib, fluid ex valve 1 vlayer*), buồng cháy động cơ tích hợp giữa xilanh, piston và nắp máy (*fluid ch, fluid layer cylinder, fluid piston*) có hình dáng và thông số kỹ thuật như thể hiện trên Hình 1 và Bảng 2.

**Bảng 1.** Thông số kỹ thuật động cơ Wave RSX 110cc

Thông số	Giá trị
Số xilanh	1
Dung tích xilanh	109,2 cm <sup>3</sup>
Công suất cực đại	6,46kW/7.500 vòng/phút
Đường kính xilanh	50 mm
Hành trình piston	55,6 mm
Tỉ số nén	9,3:1
Hệ thống phân phối khí	2 valves, DOHC
Hệ thống nhiên liệu	Phun xăng điện tử EFI.



**Hình 1.** Mô hình hình học

**Bảng 2.** Thông tin lưới mô hình 3D-CFD

Domain	Nodes	Elements
fluid ch	6055	28659
fluid exvalve 1 port	6333	20169
fluid exvalve1 ib	2010	1560
fluid exvalve1 vlayer	960	640
fluid invalve 1 port	11053	35238
fluid invalve1 ib	2077	1612
fluid invalve1 vlayer	960	640
fluid layer cylinder	0	0
fluid piston	0	0
All Domains	29448	88518

## 2.2. Mô hình CFD

Mô hình CFD được xây dựng trên cơ sở kết hợp mô hình rối k- $\epsilon$  và mô hình chuyển hóa chất Species Transport để tính toán quá trình vận động, hòa trộn không khí-nhiên liệu của động cơ đánh lửa cưỡng bức. Độ tin cậy của mô hình mô phỏng số CFD đã được kiểm chứng bởi Bui [29].

### 2.2.1. Mô hình rối k- $\epsilon$

Mô hình rối k- $\epsilon$  gồm 2 phương trình xác định năng lượng rối k (2-3) và phương trình xác định độ phân tán động năng rối  $\epsilon$  (2-4) để đóng kín hệ phương trình trung bình thời gian của dòng gồm phương trình liên tục (2-1) và phương trình Navier-Stokes Reynolds (2-2):

- Phương trình liên tục dòng chảy chịu nén:

$$\frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (2-1)$$

- Phương trình Navier-Stokes Reynolds:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u'_i u'_j}) \quad (2-2)$$

- Phương trình xác định năng lượng rối k:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - \rho \epsilon \quad (2-3)$$

- Phương trình xác định độ phân tán động năng rối  $\epsilon$ :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (2-4)$$

Trong đó:  $u_i$  - vận tốc theo các phương;

$\rho$  - khối lượng riêng;

$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}$  - độ nhớt rối;

$E_{ij}$  - biến dạng trung bình của phần tử lưu chất.

Các hằng số hiệu chỉnh:  $C_\mu=0,09$ ;  $C_{1\epsilon}=1,44$ ;  $C_{2\epsilon}=1,92$ ;  $\sigma_k=1,00$ ;  $\sigma_\epsilon=1,30$ .

### 2.2.2. Mô hình Species Transport

Mô hình Species Transport dựa trên cơ sở phương trình thông lượng khuếch tán (2-5) để xác định tỉ lệ khối lượng cục bộ của môi chất  $Y_i$ .

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} Y_i) = -\nabla \cdot \vec{J}_i + R_i + S_i \quad (2-5)$$

Trong biểu thức (2-5),  $R_i$  là tỷ lệ của chất  $i$  trong sản phẩm sinh ra bởi phản ứng hóa học;  $S_i$  là tỷ lệ tạo ra bằng cách bổ sung từ giai đoạn phân tán cộng bất kỳ nguồn cung cấp khác;  $\vec{J}_i$  là thông lượng khuếch tán.

Trong dòng chảy tầng, thông lượng khuếch tán được tính xấp xỉ gần đúng:

$$\vec{J}_i = -\rho D_{i,m} \nabla Y_i \quad (2-6)$$

Với  $D_{i,m}$  là hệ số khuếch tán cho chất  $i$  trong hỗn hợp

Trong dòng chảy rối thông lượng khuếch tán được tính:

$$\vec{J}_i = -\left(\rho D_{i,m} + \frac{\mu_t}{S_{ct}}\right) \nabla Y_i \quad (2-7)$$

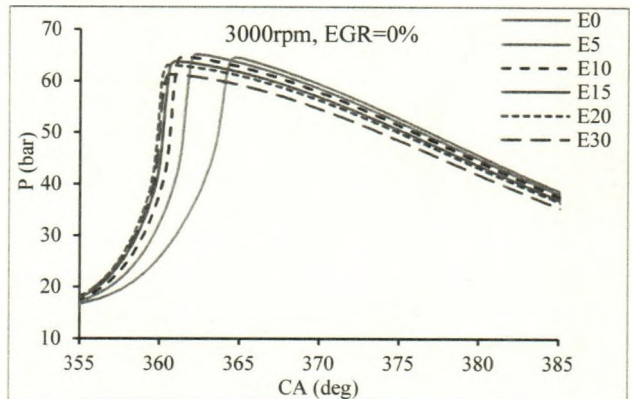
Với  $S_{ct}$  là số rối Schmidt ( $\frac{\mu_t}{\rho D_t}$ ),  $\mu_t$  là độ nhớt rối và  $D_t$  là hệ số khuếch tán rối, giá trị mặc định của  $S_{ct}=0,7$ .

Đối với dòng pha trộn nhiều thành phần, thông lượng khuếch tán làm enthalpy thay đổi một lượng  $\nabla \cdot [\sum_{i=1}^n h_i \vec{J}_i]$ .

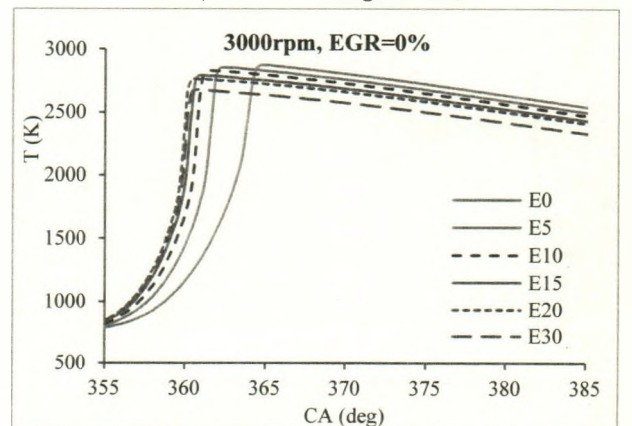
## 3. Kết quả

### 3.1. Ảnh hưởng của tỷ lệ ethanol đến quá trình cháy và phát thải Nox

Hình 2 và 3 thể hiện diễn biến áp suất và nhiệt độ môi chất trong quá trình cháy ứng với các nhiên liệu E0, E5, E10, E15, E20 và E30 trong trường hợp không hồi lưu khí thải (EGR=0%).

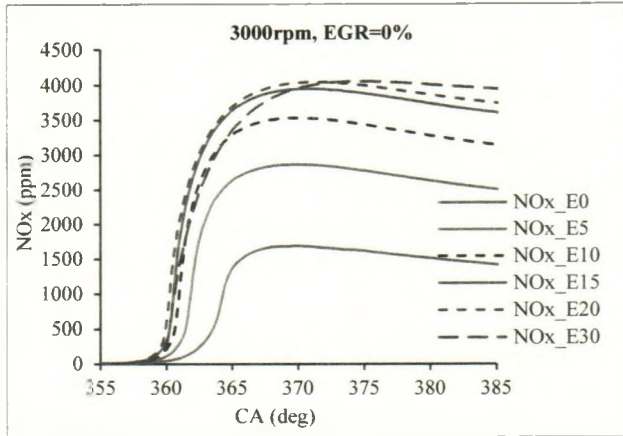


**Hình 2.** Diễn biến áp suất quá trình cháy ứng với các tỷ lệ ethanol trong nhiên liệu

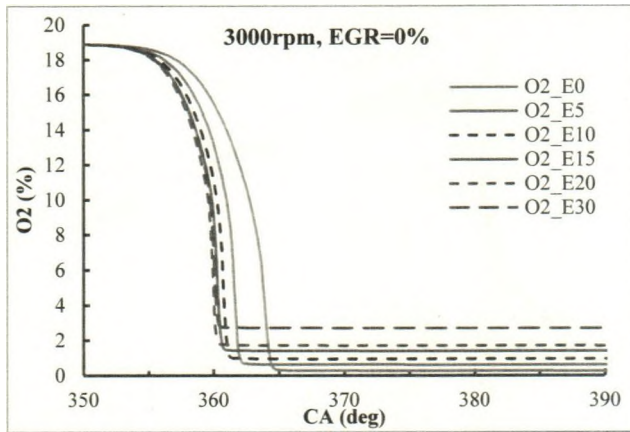


**Hình 3.** Diễn biến nhiệt độ quá trình cháy ứng với các tỷ lệ ethanol trong nhiên liệu

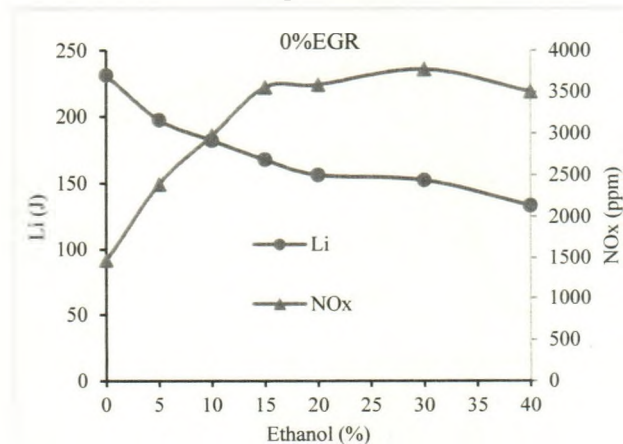
Kết quả cho thấy, tốc độ tăng áp suất trong giai đoạn cháy chính lớn nhất ứng với trường hợp động cơ sử dụng nhiên liệu E20; Áp suất cực đại đạt được cao nhất ứng với E10 và nhiệt độ cực đại cao nhất ứng với E0. Hình 4 và 5 cho thấy, càng tăng tỷ lệ ethanol trong nhiên liệu hỗn hợp xăng-ethanol càng làm dư thừa nồng độ O<sub>2</sub> vào cuối quá trình cháy dẫn đến phát thải NO<sub>x</sub> tăng lên. Hình 6 cho thấy, càng tăng tỷ lệ ethanol trong nhiên liệu hỗn hợp sẽ làm giảm công suất của động cơ và đồng thời làm tăng phát thải NO<sub>x</sub>.



Hình 4. Diễn biến phát thải NO<sub>x</sub> quá trình cháy ứng với các tỷ lệ ethanol trong nhiên liệu



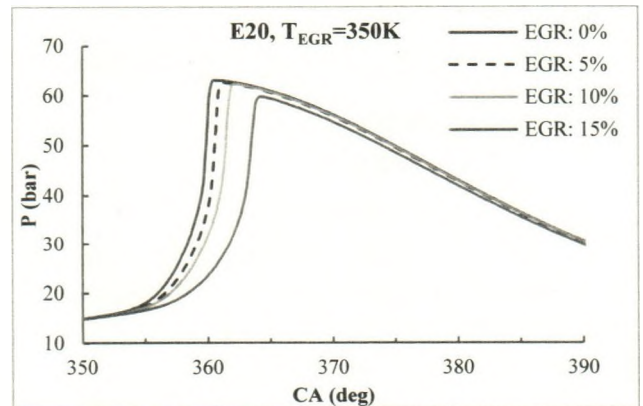
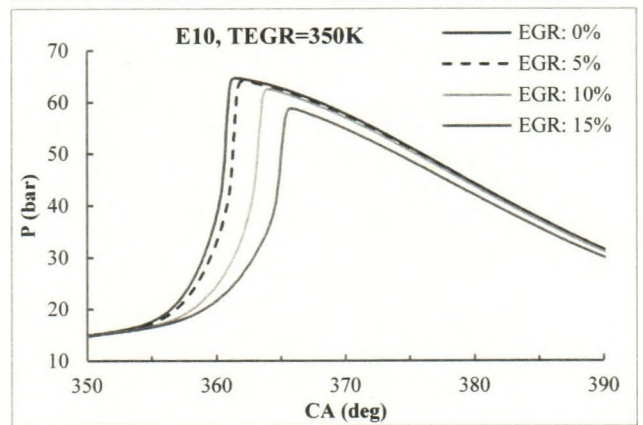
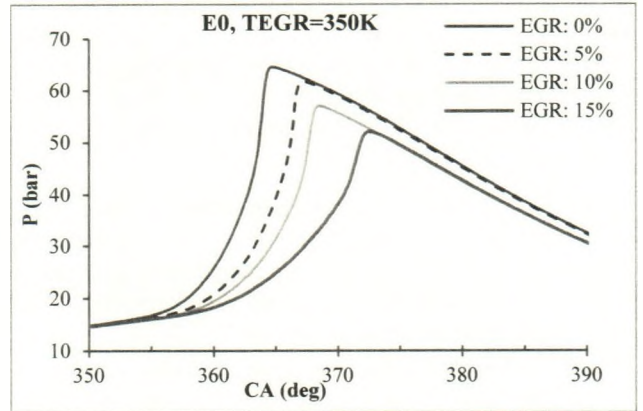
Hình 5. Diễn biến O<sub>2</sub> quá trình cháy ứng với các tỷ lệ ethanol trong nhiên liệu



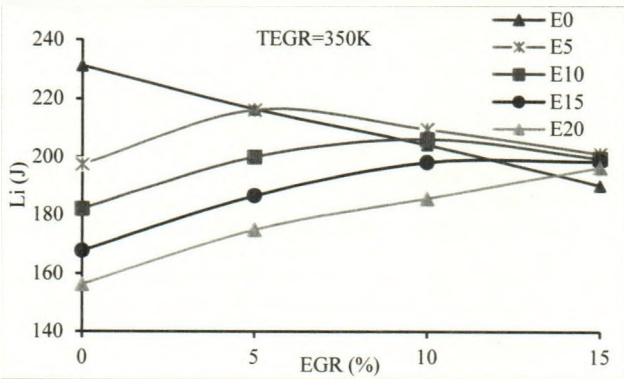
Hình 6. Công suất và mức phát thải NO<sub>x</sub> ứng với các tỷ lệ ethanol khác nhau

### 3.2. Ảnh hưởng của tỷ lệ EGR đến quá trình cháy và phát thải NO<sub>x</sub>

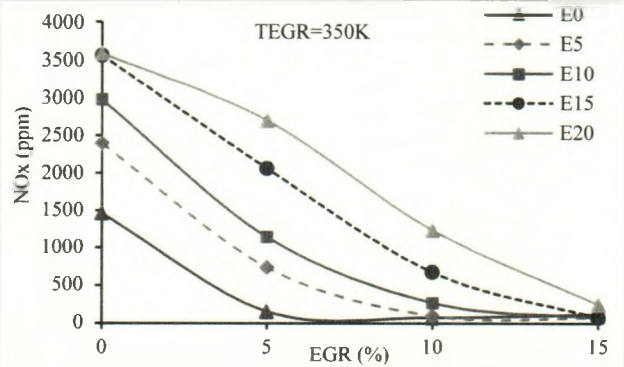
Hình 7, 8 và 9 lần lượt thể hiện ảnh hưởng của tỷ lệ EGR ở cùng điều kiện T<sub>EGR</sub>=350K tới diễn biến áp suất cháy, công suất và phát thải NO<sub>x</sub>. Đối với nhiên liệu E0, khi tăng tỷ lệ EGR trong khoảng 5 - 15%, áp suất cháy giảm nhanh do đó làm giảm công suất Li của động cơ trong khi giảm phát thải NO<sub>x</sub> là không đáng kể. Trong khi đối với các nhiên liệu E5, E10, E15 và E20, khi tăng tỷ lệ EGR trong khoảng 5 - 15%, tuy có làm giảm chút ít áp suất cháy cực đại P<sub>max</sub> nhưng lại có chiều hướng làm tăng công suất Li và giảm đáng kể phát thải NO<sub>x</sub>. Có thể thấy, tỷ lệ EGR= 5 - 15% có hiệu quả rõ rệt trong việc cải thiện công suất và giảm phát thải NO<sub>x</sub> cho động cơ sử dụng nhiên liệu hỗn hợp xăng-ethanol, nhất là đối với trường hợp nhiên liệu có tỷ lệ ethanol cao như E15 và E20.



Hình 7. Diễn biến áp suất quá trình cháy động cơ sử dụng nhiên liệu E0 ứng với các tỷ lệ EGR khác nhau

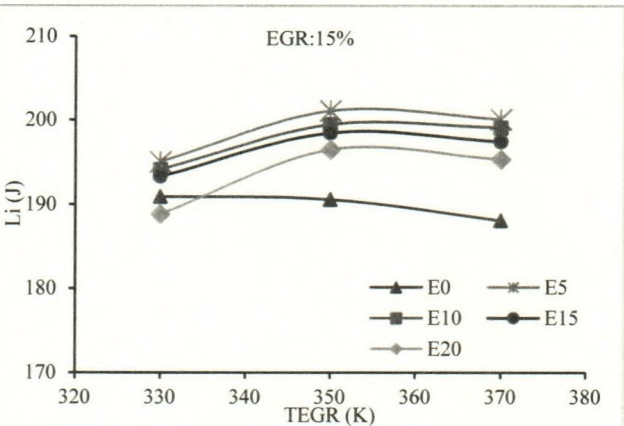


Hình 8. Công chi thị động cơ ứng với các tỷ lệ EGR khác nhau

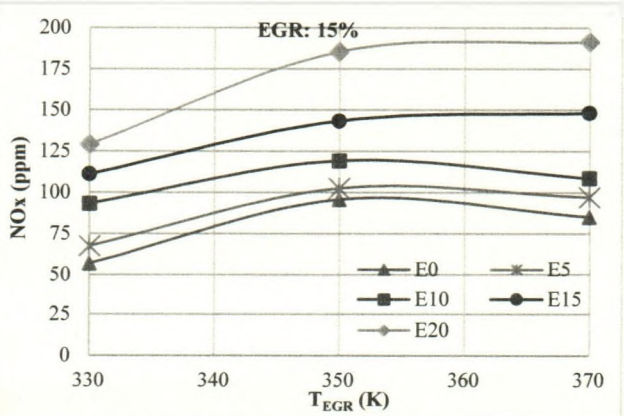


Hình 9. Mức phát thải NOx ứng với các tỷ lệ EGR khác nhau

3.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ EGR đến quá trình cháy và phát thải NOx



Hình 10. Công chi thị động cơ ứng với các tỷ lệ EGR khác nhau



Hình 11. Công chi thị động cơ ứng với các tỷ lệ EGR khác nhau

Hình 10 và 11 lần lượt thể hiện ảnh hưởng của nhiệt độ khí thải hồi lưu ( $T_{EGR}$ ) ở cùng điều kiện tỷ lệ EGR=15% tới công chi thị  $L_i$  và phát thải NOx. Kết quả cho thấy, ở nhiệt độ  $T_{EGR}=330K$ , động cơ có công chi thị  $L_i$  và phát thải NOx thấp hơn ở  $T_{EGR}=350K$  và  $T_{EGR}=370K$ . Xu hướng chung cho thấy, khi động cơ sử dụng nhiên liệu có tỷ lệ ethanol càng cao thì cần tăng  $T_{EGR}$  nhằm cải thiện khả năng bay hơi cho nhiên liệu. Tuy nhiên, trong trường hợp nhiên liệu E20, nếu tăng  $T_{EGR}$  quá mức (trên 370K) sẽ có nguy cơ làm tăng phát thải NOx và giảm đáng kể công chi thị  $L_i$ . Trong trường hợp động cơ sử dụng nhiên liệu E0, nếu tăng nhiệt độ EGR sẽ làm giảm đáng kể công chi thị  $L_i$  và có xu hướng làm tăng phát thải NOx.

4. Kết luận

Kết quả mô phỏng số trên động cơ Wave RSX 110cc cho thấy, sự ảnh hưởng có lợi của khí thải hồi lưu trong việc nâng cao tỷ lệ ethanol trong xăng sinh học và giảm phát thải NOx, cụ thể ở chế độ 100%BG và ở tốc độ 3000 rpm:

- Trường hợp không hồi lưu khí thải, càng tăng tỷ lệ ethanol trong nhiên liệu sẽ làm giảm công chi thị của động cơ, đồng thời làm tăng phát thải NOx;
- Trường hợp hồi lưu khí thải trong khoảng EGR=5-15%, động cơ sử dụng E5, E10, E15 và E20 đều cho công chi thị cao hơn so với trường hợp EGR=0%, đồng thời NOx giảm rõ rệt;
- Trường hợp hồi lưu khí thải ở mức EGR=15%, nhiệt độ khí thải hồi lưu trong khoảng 330-350K, động cơ có xu hướng tăng công chi thị nhưng đồng thời tăng Nox. Ngược lại, khi nhiệt độ khí thải tăng cao đạt 370K trở lên thì không những công chi thị giảm mà còn có xu hướng làm tăng phát thải NOx.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R. Chandra, H. Takeuchi, and T. Hasegawa, "Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: A review in context to second generation of biofuel production", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 1462-1476, 2012.
- [2] T. Abbasi and S. Abbasi, "Decarbonization of fossil fuels as a strategy to control global warming", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 1828-1834, 2011.
- [3] H. Azadi, S. de Jong, B. Derudder, P. De Maeyer, and F. Witlox, "Bitter sweet: How sustainable is bio-ethanol production in Brazil?", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 3599-3603, 2012.
- [4] A. Ganguly, P. Chatterjee, and A. Dey, "Studies on ethanol production from water hyacinth—A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 966-972, 2012.
- [5] H. O. Hardenberg and S. Morey, *Samuel Morey and his atmospheric engine*: SAE, 1992.
- [6] A. C. Hansen, Q. Zhang, and P. W. Lyne, "Ethanol-diesel fuel blends—a review", *Bioresource technology*, vol. 96, pp. 277-285, 2005.
- [7] M. V. Turdera, "Energy balance, forecasting of bioelectricity generation and greenhouse gas emission balance in the ethanol production at sugarcane mills in the state of Mato Grosso do Sul", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 19, pp. 582-588, 2013.
- [8] X. Pang, Y. Mu, J. Yuan, and H. He, "Carbonyls emission from ethanol-blended gasoline and biodiesel-ethanol-diesel used in engines", *Atmospheric Environment*, vol. 42, pp. 1349-1358, 2008.
- [9] C. Park, Y. Choi, C. Kim, S. Oh, G. Lim, and Y. Moriyoshi, "Performance and exhaust emission characteristics of a spark ignition engine using ethanol and ethanol-reformed gas", *Fuel*, vol. 89, pp.

- 2118-2125, 2010.
- [10] A. Amore and V. Faraco, "Đánh giá khả năng sử dụng nhiên liệu xăng sinh học e15 trên động cơ đốt trong", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 3286-3301, 2012.
- [11] V. Faraco and Y. Hadar, "The potential of lignocellulosic ethanol production in the Mediterranean Basin", *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 15, pp. 252-266, 2011.
- [12] C. Sorapipatana and S. Yoosin, "Life cycle cost of ethanol production from cassava in Thailand", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 1343-1349, 2011.
- [13] C. A. García, F. Manzini, and J. Islas, "Air emissions scenarios from ethanol as a gasoline oxygenate in Mexico City Metropolitan Area", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp. 3032-3040, 2010.
- [14] Bùi Văn Tấn, Nguyễn Việt Hải, "Đánh giá khả năng sử dụng nhiên liệu xăng sinh học E15 trên động cơ đốt trong", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, Số 7(128), pp. 61-65, 2018.
- [15] R. K. Niven, "Ethanol in gasoline: environmental impacts and sustainability review article", *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 9, pp. 535-555, 2005.
- [16] M. Arbab, H. Masjuki, M. Varman, M. Kalam, S. Imtenan, and H. Sajjad, "Fuel properties, engine performance and emission characteristic of common biodiesels as a renewable and sustainable source of fuel", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 22, pp. 133-147, 2013.
- [17] G. Dwivedi, S. Jain, and M. Sharma, "Impact analysis of biodiesel on engine performance—A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 4633-4641, 2011.
- [18] H. Saleh, "Effect of exhaust gas recirculation on diesel engine nitrogen oxide reduction operating with joboba methyl ester", *Renewable Energy*, vol. 34, pp. 2178-2186, 2009.
- [19] J. Sun, J. A. Caton, and T. J. Jacobs, "Oxides of nitrogen emissions from biodiesel-fuelled diesel engines", *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 36, pp. 677-695, 2010.
- [20] F. Tschanz, A. Amstutz, C. H. Onder, and L. Guzzella, "Feedback control of particulate matter and nitrogen oxide emissions in diesel engines", *Control engineering practice*, vol. 21, pp. 1809-1820, 2013.
- [21] D. H. Lee, J. S. Lee, and J. S. Park, "Effects of secondary combustion on efficiencies and emission reduction in the diesel engine exhaust heat recovery system", *Applied energy*, vol. 87, pp. 1716-1721, 2010.
- [22] G. Najafi, B. Ghobadian, T. Tavakoli, D. Buttsworth, T. Yusaf, and M. Faizollahnejad, "Performance and exhaust emissions of a gasoline engine with ethanol blended gasoline fuels using artificial neural network", *Applied energy*, vol. 86, pp. 630-639, 2009.
- [23] H. K. Suh, "Investigations of multiple injection strategies for the improvement of combustion and exhaust emissions characteristics in a low compression ratio (CR) engine", *Applied Energy*, vol. 88, pp. 5013-5019, 2011.
- [24] G. Fontana and E. Galloni, "Experimental analysis of a spark-ignition engine using exhaust gas recycle at WOT operation", *Applied Energy*, vol. 87, pp. 2187-2193, 2010.
- [25] S. Diana, V. Giglio, B. Iorio, and G. Police, "A strategy to improve the efficiency of stoichiometric spark ignition engines", *SAE Technical Paper 0148-7191*, 1996.
- [26] H. Blank, H. Dismon, M. W. Kochs, M. Sanders, and J. E. Golden, "EGR and air management for direct injection gasoline engines", *SAE Technical Paper 2002-01-0707*, 2002, <https://doi.org/10.4271/2002-01-0707>.
- [27] M. Kaiser, U. Krueger, R. Harris, and L. Cruff, "'Doing More with Less"—The Fuel Economy Benefits of Cooled EGR on a Direct Injected Spark Ignited Boosted Engine", *SAE Technical Paper 0148-7191*, 2010, <https://doi.org/10.4271/2010-01-0589>.
- [28] A. S. Ladommatos N, Zhao H, Hu Z, "The dilution, chemical and thermal effects of exhaust gas recirculation on diesel engine emission-part 4:effect of carbon dioxide and water vapour", *SAE paper 971660*, 1997, <https://doi.org/10.4271/971660>.
- [29] Bui, V.G., Tran, V.N., Nguyen, V.D. et al., "Octane number stratified mixture preparation by gasoline - ethanol dual injection in SI engines", *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 16, pp. 3021-3034, 2019.