

KỸ THUẬT - CÔNG NGHỆ**ẢNH HƯỞNG CỦA TÍNH CHẤT NHIÊN LIỆU DIESEL SINH HỌC ĐIỀU CHẾ TỪ DẦU HẠT CAO SU ĐẾN GIAI ĐOẠN CHÁY TRỄ****NGÔ HOÀNG LONG¹, TRƯƠNG HOÀNG TUẤN², NGUYỄN THÀNH CÔNG²,
NGUYỄN HỒNG HẢI^{2*}****Tóm tắt**

Đặc tính vận hành và khí thải khi sử dụng nhiên liệu diesel sinh học trong động cơ diesel bị ảnh hưởng nhiều bởi giai đoạn cháy trễ và quá trình cháy. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của tính chất nhiên liệu diesel sinh học được sản xuất bằng cách điều chế từ dầu hạt cao su thông qua phản ứng transester hóa hai giai đoạn đến thời gian cháy trễ và quá trình cháy. Kết quả cho thấy quá trình cháy của nhiên liệu diesel sinh học diễn ra sớm hơn và giai đoạn cháy trễ ngắn hơn so với nhiên liệu diesel. Trị số cetan và thành phần axit béo của nhiên liệu diesel sinh học là những yếu tố chính trong quá trình đốt cháy sớm hơn và giai đoạn cháy trễ càng ngắn. Ngoài ra, do nhiệt trị và độ nhớt cao hơn của dầu diesel sinh học dẫn đến tốc độ giải phóng nhiệt sớm và cao hơn so với nhiên liệu diesel.

Từ khóa: *Giai đoạn cháy trễ, quá trình cháy, dầu hạt cao su, diesel sinh học.*

Abstract

When using biodiesel instead of diesel in diesel engines, performance, and emission characteristics are greatly affected by the ignition delay and combustion process. This paper presents research results on the effect of biodiesel properties produced from rubber seed oil through a two-step transesterification reaction on ignition delay and combustion process. The results show that the start of ignition of biodiesel takes place earlier and the ignition delay is shorter than that of diesel fuel. The cetane number and fatty acid composition of biodiesel are key factors in earlier and shorter ignition delay. In addition, due to the higher heating value and viscosity of biodiesel, the heat release rate is also earlier and higher than that of diesel fuel.

Keywords: *Ignition delay, combustion process, rubber seed oil, biodiesel.*

1. Mở đầu

Quá trình cháy của động cơ diesel bao gồm các hiện tượng đặc biệt phức tạp ảnh

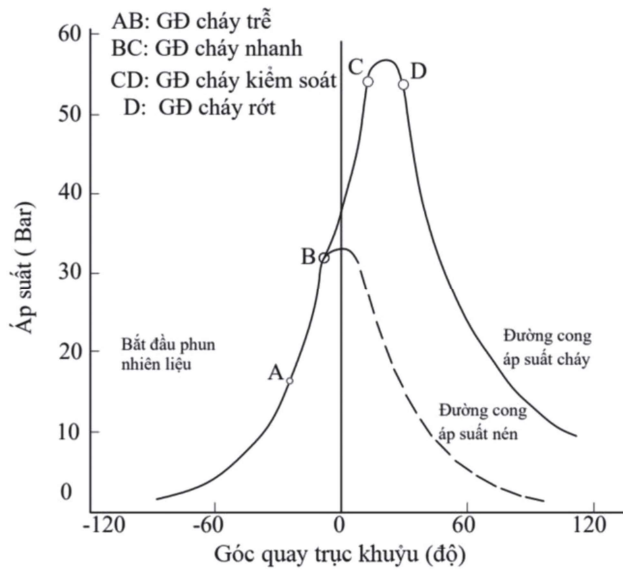
hưởng đến hiệu quả quá trình cháy như quá trình nguyên tử hóa và bay hơi nhiên liệu, hòa trộn nhiên liệu không khí xung quanh, tự bốc cháy, ô-xy hóa, nhiễu loạn do không khí và tia nhiên liệu gây ra, tương tác của tia nhiên liệu với thành xi-lanh, sự truyền nhiệt giữa nhiên liệu và khí xung quanh, giữa khí

¹Trường Trung cấp Kỹ thuật Miền Trung

²Trường Đại học Cửu Long

*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Nguyễn Hồng Hải (Email: hai.nguyenhoang82@gmail.com)

cháy và thành xi-lanh, v.v.(Shahabuddin et al, 2013). Giai đoạn cháy trễ của động cơ diesel (ID) được định nghĩa là thời gian hoặc góc quay giữa thời điểm bắt đầu phun nhiên liệu (SOI) và thời điểm bắt cháy (SOC). Quá trình phun bắt đầu tính từ khi kim phun nhấc khỏi bệ và nhiên liệu bắt đầu phun vào buồng cháy. Thời điểm bắt đầu quá trình cháy được xác định gián tiếp bằng cách sử dụng phân tích đồ thị đặc tính tỏa nhiệt của quá trình cháy. Một số nghiên cứu xác định SOC là tại vị trí góc quay trục khuỷu nơi đạt được 10% tổng năng lượng giải phóng hoặc tại vị trí góc quay có sự thay đổi độ dốc của biên dạng đường cong áp suất xi-lanh (Ferguson et al, 2015). Giai đoạn cháy trễ rất quan trọng để kiểm soát chặt chẽ hiệu suất nhiệt và khí thải của động cơ. Khoảng thời gian trễ này bao gồm (a) độ trễ vật lý, trong đó xảy ra quá trình nguyên tử hóa, hóa hơi và hòa trộn nhiên liệu không bị, trong giai đoạn này nhiên liệu được phun thành các giọt nhỏ sau đó bay hơi và hòa trộn với không khí xung quanh, một lượng nhỏ nhiên liệu đã tham gia vào ngọn lửa phản ứng, nhưng quá trình cháy chưa diễn ra. Khoảng thời gian này được tính từ khi bắt đầu phun nhiên liệu vào buồng đốt đến điểm mà đường cong áp suất tách khỏi đường cong nén. Thời gian của giai đoạn này phụ thuộc vào một số yếu tố như: Quá trình ô-xy hóa diễn ra nhanh hay chậm, nhiệt độ không khí, kích thước các hạt nhiên liệu được phun vào và tốc độ hòa trộn của nhiên liệu với không khí. Giai đoạn cháy nhanh hoặc cháy không kiểm soát (BC): Trong giai đoạn này, một phần hỗn hợp đã được phun vào xi-lanh trong giai đoạn cháy trễ sẽ tự động bốc cháy và bắt đầu cháy dưới dạng hỗn hợp nhiên liệu hòa trộn trước. Trong giai đoạn này áp suất trong buồng cháy tăng nhanh, tốc độ và mức độ tăng áp suất phụ thuộc vào lượng nhiên liệu tham gia vào quá trình cháy có trong buồng đốt, do đó phụ thuộc vào độ dài



Hình 1: Các giai đoạn của quá trình cháy

Quá trình cháy trong động cơ cháy nén có thể được chia thành ba phần chính, như thể hiện trong Hình 1. Giai đoạn cháy trễ (AB), giai đoạn này còn được gọi là giai đoạn chuẩn bị, trong giai đoạn này nhiên liệu được phun thành các giọt nhỏ sau đó bay hơi và hòa trộn với không khí xung quanh, một lượng nhỏ nhiên liệu đã tham gia vào ngọn lửa phản ứng, nhưng quá trình cháy chưa diễn ra. Khoảng thời gian này được tính từ khi bắt đầu phun nhiên liệu vào buồng đốt đến điểm mà đường cong áp suất tách khỏi đường cong nén. Thời gian của giai đoạn này phụ thuộc vào một số yếu tố như: Quá trình ô-xy hóa diễn ra nhanh hay chậm, nhiệt độ không khí, kích thước các hạt nhiên liệu được phun vào và tốc độ hòa trộn của nhiên liệu với không khí. Giai đoạn cháy nhanh hoặc cháy không kiểm soát (BC): Trong giai đoạn này, một phần hỗn hợp đã được phun vào xi-lanh trong giai đoạn cháy trễ sẽ tự động bốc cháy và bắt đầu cháy dưới dạng hỗn hợp nhiên liệu hòa trộn trước. Trong giai đoạn này áp suất trong buồng cháy tăng nhanh, tốc độ và mức độ tăng áp suất phụ thuộc vào lượng nhiên liệu tham gia vào quá trình cháy có trong buồng đốt, do đó phụ thuộc vào độ dài

của thời gian cháy trễ. Quá trình đốt cháy có kiểm soát (CD): Quá trình đốt cháy phần lớn được kiểm soát bởi tốc độ hòa trộn của nhiên liệu với không khí nóng và được nén trong xi-lanh. Khi pít-tông di chuyển xuống điểm chết dưới, sự giãn nở nhanh chóng làm giảm nhiệt độ trong buồng cháy dẫn đến tốc độ phản ứng cháy giảm đáng kể và có thể gần đạt đến trạng thái cân bằng hóa học (Ban-Weiss et al, 2007).

Đã có nhiều nghiên cứu về diesel sinh học trong thời gian gần đây. Những nghiên cứu này khám phá không chỉ ảnh hưởng của thời gian phun nhiên liệu đến thời gian cháy trễ mà còn cả các đặc tính của nhiên liệu diesel sinh học. Khả năng chịu nén thấp hơn của nhiên liệu sinh học so với nhiên liệu diesel dẫn đến việc bắt đầu phun sớm hơn và điều này cũng làm cho quá trình cháy diễn ra sớm hơn. Thông thường, phun sớm dẫn đến nhiệt độ đốt cháy cao hơn, mặc dù thời gian đốt cháy hỗn hợp hòa trộn trước giảm do giai đoạn cháy trễ ngắn hơn (Lakshminarayanan et al, 2010). Thời điểm bắt đầu phun nhiên liệu là một đặc tính quan trọng vì nó ảnh hưởng đến đặc tính cháy, nhiệt độ khí thải và nồng độ khí thải của động cơ. Giai đoạn cháy trễ được chi phối bởi chỉ số cetane (CN), chỉ số cetane dùng để đánh giá tính tự bùng cháy của nhiên liệu, trong điều kiện áp suất buồng cháy càng cao thì nhiệt độ tự cháy càng thấp nhiên liệu và ô-xy trong hỗn hợp khí càng tăng, vì số lần va chạm giữa các nguyên tử của hỗn hợp khí càng tăng, dẫn tới hỗn hợp không khí và nhiên liệu càng dễ cháy.

Trong các báo cáo cho thấy nhiên liệu diesel sinh học bắt đầu cháy sớm hơn so với nhiên liệu diesel, dẫn đến thời gian cháy trễ ngắn hơn. Trong nghiên cứu của Canakci và đồng nghiệp về so sánh thời gian cháy trễ của nhiên liệu diesel sinh học được điều chế từ hạt đậu nành chỉ ra rằng thời gian cháy trễ của nhiên liệu sinh học diễn ra sớm hơn 3.4° so với thời

gian cháy trễ của nhiên liệu diesel (Canakci et al, 2003). Tác giả giải thích rằng điều này là do các metyl este của axit béo là oleic và linoleic có trong nhiên liệu diesel sinh học phân tách thành các hợp chất nhỏ hơn khi đi vào buồng đốt dẫn đến góc phun cao hơn và do đó quá trình cháy diễn ra sớm hơn. Tác giả cũng nhận thấy rằng thời gian cháy trễ giảm khi tải tăng lên, điều này có thể là do nhiệt độ đốt cháy cao hơn ở mức tải cao. Trong các nghiên cứu khác, người ta đã chỉ ra rằng sự hiện diện của hàm lượng ô-xy trong nhiên liệu diesel sinh học cũng dẫn đến thời gian trễ ngắn hơn (Lapuerta et al. 2008).

Nghiên cứu này phân tích sự ảnh hưởng của tính chất nhiên liệu diesel sinh học được điều chế từ dầu hạt cao su bằng phương pháp chuyển hóa ester xúc tác qua hai giai đoạn lên thời gian cháy trễ được so sánh với nhiên liệu diesel. Dựa vào các tính chất của hai mẫu nhiên liệu diesel sinh học (B100C) và diesel (DO) như: Tỷ trọng, độ nhớt, nhiệt trị, chỉ số cetane, để làm cơ sở phân tích đặc tính quá trình cháy và đặc tính tỏa nhiệt của từng mẫu nhiên liệu trong động cơ Kubota 01 xi-lanh RT125DI được kết nối với băng thử điện công suất 38 kW.

2. Thiết lập thí nghiệm và điều chế nhiên liệu

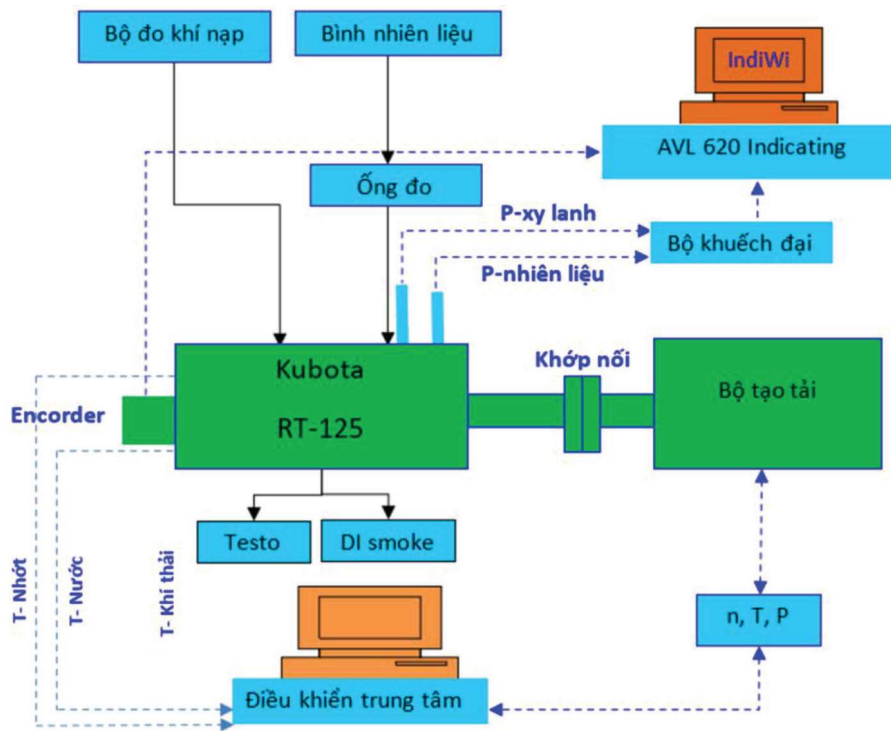
2.1 Thiết bị thử nghiệm

Thí nghiệm được thực hiện trên giường thử nghiệm động cơ 1 xi-lanh. Hình 2 cho thấy sơ đồ kết nối các thiết bị thử nghiệm. Động cơ được trang bị cảm biến nhiệt độ dầu bôi trơn, nhiệt độ nước làm mát, nhiệt độ khí nạp, nhiệt độ khí thải nhằm xác định điều kiện thử ổn định, nâng cao độ tin cậy của kết quả thử.

Động cơ Kubota RT 125 DI Plus có các thông số như bảng 1. Động cơ này được trang bị hệ thống phun nhiên liệu trực tiếp, buồng đốt kiểu ‘ ω ’. Đầu vòi có 4 lỗ phun. Động cơ được kết nối với bộ điều khiển tải điện để đo

công suất, mô-men xoắn và điều khiển tốc độ. Áp suất trong buồng đốt và áp suất nhiên liệu được đo bằng Bộ chuyển đổi áp suất thạch anh AVL GU21C và Bộ chuyển đổi áp suất thạch anh AVL QL61D. Cảm biến áp suất buồng đốt được gắn trực tiếp vào buồng đốt và được làm mát bằng không khí, cảm biến áp suất nhiên liệu được gắn trên đường nhiên liệu phía trước kim phun. Một đĩa thạch anh trong AVL Quartz Micromodule chuyển đổi áp suất thành

tín hiệu điện (Q). Tín hiệu Q được truyền bởi Micromodule thạch anh AVL được cung cấp qua đầu nối điện trở kháng cao và cáp đồng trục tới bộ khuếch đại điện tích để chuyển đổi thành tín hiệu điện áp, tín hiệu này tỷ lệ thuận với áp suất buồng đốt và áp suất đường ống nhiên liệu. Bộ khuếch đại kết nối với đồng hồ đo AVL 620 để xác định áp suất vòi phun và độ nâng cũng như tính toán tốc độ giải phóng nhiệt (ROHR) dựa trên áp suất buồng cháy.



Bảng. 2 Tính chất nhiên liệu

Bảng 1: Thông số kỹ thuật động cơ thử nghiệm

Thông số	Giá trị
Đường kính (mm) x Hành trình (mm)	94 x 96
Dung tích xy lanh (lít)	0,666
Công suất cực đại/số vòng hp/ (vòng/phút)	12,5/2400
Mô-men cực đại/số vòng kg-m/ (vòng/phút)	4,7/1600

Thông số	Giá trị
Tỷ số nén	18:1
Hệ thống nhiên liệu	Phun trực tiếp
Áp suất phun (bar)	220

2.2 Quy trình thử nghiệm

Trước khi đo kết quả thử nghiệm, động cơ được khởi động và chạy ở chế độ không tải 15 đến 20 phút để đưa động cơ về chế độ hoạt động ổn định tại nhiệt độ nước làm mát

65°C. Trong quá trình thử nghiệm thời điểm phun nhiên liệu được giữ nguyên. Nhiệt độ thử nghiệm là nhiệt độ phòng vào khoảng 30°C ± 2°C. Đo ở tốc độ 1600 vòng/phút bằng cách điều khiển Dynamometer giữ nguyên tốc độ và tải tại 700kpa. Với mỗi chế độ đo thì xác định suất tiêu hao nhiên liệu bằng ống thủy tinh định mức 50 ml. Đối với mỗi mẫu nhiên liệu ở tốc độ 1600 vòng/phút và tải cụ thể tiến hành đo 3 lần, ghi chép lại số liệu và lấy giá trị trung bình.

2.3 Nhiên liệu thí nghiệm

Hạt cao su được thu hái từ các cánh đồng cao su ở tỉnh Bình Phước, Việt Nam. Sau đó, hạt cao su được ép để tạo thành dầu hạt cao su. Điều chế dầu diesel sinh học từ dầu hạt cao su (RSO) bằng phương pháp chuyển hóa este hóa hai bước. Ở bước đầu tiên của phản ứng, RSO cùng với metanol và H₂SO₄ được trộn hoàn toàn và khuấy ở nhiệt độ 40°C cho quá trình este hóa trong 2 giờ. Sau khi kết thúc phản ứng, quá trình tách diễn ra để loại bỏ metanol dư, tác nhân axit và tạp chất. Sau đó, quá trình tinh chế được thực hiện bằng nước ở nhiệt độ 60°C để đưa giá trị pH của RSO biến tính về mức khoảng từ 5 đến 6. Bước thứ hai của phản ứng có xúc tác kiềm được thực hiện trong các điều kiện sau: (i) tỷ lệ giữa metanol

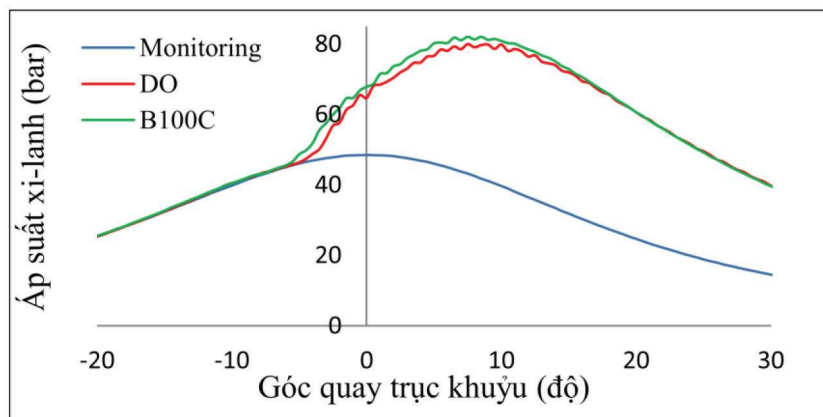
và dầu là 8,04:1; (ii) hàm lượng chất xúc tác kali là 1,23% trọng lượng dầu; (iii) nhiệt độ của phản ứng là 59,9°C; (iv) thời gian phản ứng là 2 giờ. Quy trình tách thứ hai được sử dụng để loại bỏ glycerol, metanol dư và chất xúc tác kali. Sau đó, lớp trên được trải qua quá trình tinh chế bằng nước để thu được sản phẩm dầu diesel sinh học. Bảng 2 thể hiện đặc tính nhiên liệu của 2 loại nhiên liệu được thử nghiệm trong nghiên cứu này bao gồm: diesel (DO) và diesel sinh học (B100C).

Bảng. 2 Tính chất nhiên liệu

Tính chất nhiên liệu	DO	B100	Tiêu chuẩn thử nghiệm
Tỷ trọng tại 20°C [g/cm ³]	0,829	0,8864	ASTM D1298
Độ nhớt động học tại 40°C [mm ² ·s ⁻¹]	2,95	7,47	ASTM D445
Điểm chớp cháy [°C]	68	190	ASTM D56
Nhiệt trị [MJ·kg ⁻¹]	45,85	39,56	ASTM D4737-10
Trị số cetane	49	51	ASTM D613

3. Kết quả và thảo luận

3.1 Đặc tính quá trình cháy nhiên liệu diesel sinh học



Hình 3: Áp suất buồng cháy

Thời điểm bắt đầu cháy được xác định mà tại đó tốc độ giải phóng nhiệt biểu kiến thay đổi từ âm sang dương. Thời điểm bắt đầu

phun được định nghĩa là góc quay mà tại đó kim của vòi nâng lên 5% tổng hành trình dịch chuyển. Khoảng thời gian giữa thời điểm bắt

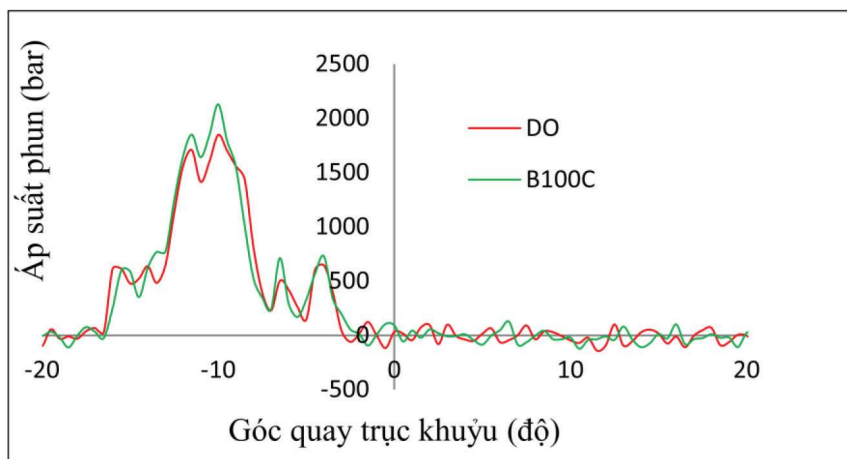
đầu phun và thời điểm bắt đầu đốt cháy được gọi là giai đoạn cháy trễ.

Sự thay đổi áp suất xi-lanh theo góc quay trục khuỷu của mẫu nhiên liệu diesel sinh học và diesel được đưa ra trong Hình 3. Hình 3 cho thấy đường cong áp suất của nhiên liệu diesel sinh học tách khỏi đường cong nén là ở 7° sau điểm chết trên và nhiên liệu diesel là 6° trước điểm chết trên, kết quả cũng chỉ ra rằng đỉnh đường cong áp suất xi-lanh cực đại của nhiên liệu diesel sinh học cao hơn dầu diesel tại tốc độ và tải được thí nghiệm. Điều này được giải thích là do giai đoạn cháy trễ của nhiên liệu diesel sinh học ngắn hơn và quá trình cháy trong giai đoạn cháy nhanh và cháy có kiểm soát diễn ra mãnh liệt hơn. Nguyên nhân dẫn đến xu hướng đường cong áp suất xi-lanh cực đại của nhiên liệu diesel sinh học cao hơn so với nhiên liệu diesel là do giai đoạn cháy trễ của nhiên liệu diesel sinh học ngắn hơn so với nhiên liệu diesel, quá trình đốt cháy bắt đầu sớm hơn đối với nhiên liệu diesel. Do đó, áp suất xi-lanh cực đại của nhiên liệu diesel đạt được giá trị thấp hơn khi pít-tông dịch chuyển xuống trong hành trình giãn nở. Tuy nhiên, áp suất xi-lanh trong giai đoạn cháy rớt đối với diesel sinh học thấp hơn một chút so với diesel. Điều này là do sự có mặt của thành phần ô-xy trong diesel sinh học là để đảm bảo hiệu suất

cháy cao hơn trong giai đoạn cháy nhanh, nhưng đối với nhiên liệu diesel vẫn tiếp tục cháy trong giai đoạn cháy rớt do tốc độ cháy chậm. Khi sử dụng nhiên liệu diesel sinh học cho động cơ diesel, đảm bảo rằng đỉnh của đường cong áp suất nằm sau điểm chết trên. Ngược lại, nếu đường cong áp suất cực đại gần hoặc trước điểm chết trên sẽ gây ra tiếng gõ mạnh cho động cơ và ảnh hưởng đến độ bền của động cơ.

3.2 Tốc độ tỏa nhiệt của nhiên liệu diesel sinh học

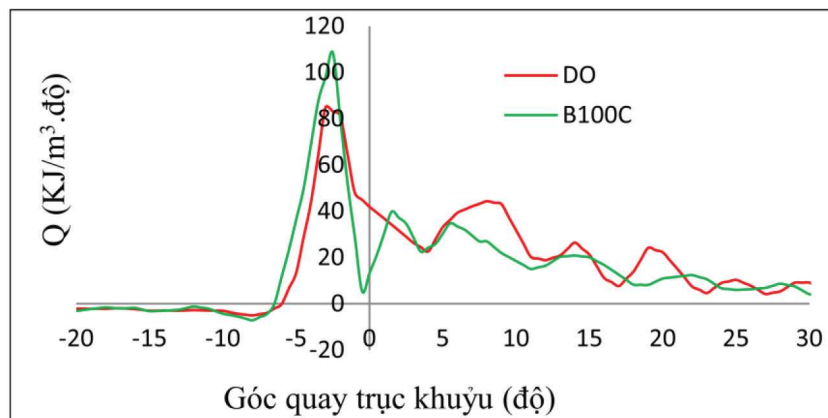
Như đã đề cập ở trên, thời gian cháy trễ của nhiên liệu diesel sinh học ngắn hơn so với nhiên liệu diesel. Điều này được giải thích là do khả năng chịu nén của nhiên liệu diesel sinh học thấp hơn so với nhiên liệu diesel. Hình 4 chỉ ra rằng thời điểm kim phun mở và nhiên liệu được phun vào buồng cháy của nhiên liệu diesel sinh học có phần nhanh hơn và áp suất cao hơn so với nhiên liệu diesel. Điều này là do dầu diesel sinh học có độ nhớt cao hơn nên khả năng chịu nén kém hơn, một nguyên nhân khác là do các metyl este của axit béo có trong nhiên liệu diesel sinh học phân tách thành các hợp chất nhỏ hơn và nhẹ hơn khi đi vào buồng cháy dẫn đến quá trình cháy diễn ra sớm hơn. Hình 5 minh họa tốc độ tỏa nhiệt (ROHR) của nhiên liệu diesel sinh học so với dầu diesel thông thường.



Hình 4: Áp suất phun nhiên liệu

Kết quả cho thấy ROHR của diesel sinh học xuất hiện sớm hơn và đỉnh hay ROHR trong giai đoạn cháy nhanh cao hơn so với diesel. Điều này là do ảnh hưởng bởi một phần nhiên liệu được phun vào trước để hình thành nên các trung tâm tự cháy đầu tiên sớm, nên hỗn hợp hòa khí nhiên liệu diesel sinh học cháy một cách mãnh liệt và giải phóng ra một lượng nhiệt lớn hơn so. Một lý do khác cho

kết quả này là sự có mặt của thành phần ô-xy trong nhiên liệu diesel sinh học giúp cho quá trình cháy diễn ra mãnh liệt để tạo ra lượng nhiệt tỏa ra cao hơn so với nhiên liệu diesel. Ở giai đoạn cháy rớt ROHR của diesel sinh học dao động nhẹ, ngược lại ở diesel dao động lớn hơn. Điều này là do giai đoạn cháy rớt nhiên liệu diesel vẫn tiếp tục cháy với lượng lớn hơn so với nhiên liệu diesel sinh học.



Hình 5: So sánh đường cong tỏa nhiệt

4. Kết luận

So sánh thời gian cháy trễ, sự thay đổi đường cong áp suất xi-lanh và tốc độ tỏa nhiệt của nhiên liệu diesel sinh học được điều chế từ dầu hạt cao su với chỉ số cetane cao hơn, độ nhớt và khả năng chịu nén so với nhiên liệu diesel. Nghiên cứu này rút ra một số kết luận như sau:

Nhiên liệu biodiesel sản xuất dầu hạt cao su bằng phương pháp chuyên hóa este hai giai đoạn đã được thử nghiệm thành công trên động cơ Kubota RT125 và ảnh hưởng tính chất của nhiên liệu diesel sinh học đến thời gian cháy trễ, đặc tính quá trình cháy mà không cần bất kỳ sự điều chỉnh hay thay đổi nào của động cơ nguyên bản.

Thời gian cháy trễ của nhiên liệu diesel sinh học ngắn hơn là do khả năng chịu nén

thấp hơn, độ nhớt và trị số cetane cao hơn so với nhiên liệu diesel.

Áp suất cực đại trong xi-lanh của nhiên liệu diesel sinh học cao hơn so với nhiên liệu diesel do giai đoạn cháy trễ ngắn hơn và thành phần ô-xy có trong nhiên liệu diesel sinh học giúp cho quá trình cháy tốt hơn.

Các metyl este của axit béo có trong nhiên liệu diesel sinh học phân tách thành các hợp chất nhỏ hơn và nhẹ hơn khi đi vào buồng cháy dẫn đến quá trình cháy diễn ra sớm hơn. Sự có mặt của thành phần ô-xy trong nhiên liệu diesel sinh học giúp cho quá trình cháy diễn ra mãnh liệt để tạo ra lượng nhiệt tỏa ra cao hơn so với nhiên liệu diesel.

Nhiệt trị cao hơn của diesel sinh học đảm bảo tốc độ tỏa nhiệt của diesel sinh học cao hơn so với nhiên liệu diesel.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Shahabuddin, M., A. M. Liaquat, H. H. Masjuki, M. A. Kalam, and M. Mofijur: *Ignition delay, combustion and emission characteristics of diesel engine fueled with biodiesel*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 21, 2013. 623-632.
- [2] Ferguson, Colin R., and Allan T. Kirkpatrick. *Internal combustion engines: applied thermosciences*. John Wiley & Sons, 2015. 219-222
- [3] Ban-Weiss, George A., J. Y. Chen, Bruce A. Buchholz, and Robert W. Dibble: *A numerical investigation into the anomalous slight NOx increase when burning biodiesel; a new (old) theory*, Fuel processing technology 88, no. 7 (2007): 659-667.
- [4] Lakshminarayanan, P, A. Yogesh V. Aghav: *Modelling Diesel Combustion. Ignition Delay in a Diesel Engine*, Springer .2009. 59-78.
- [5] Canakci M, Van Gerpen JH. *Comparison of engine performance and emissions for petroleum diesel fuel, yellow grease biodiesel, and soybean oil biodiesel*. Transactions of the ASAE 2003;46:937–944.
- [6] Lapuerta, Magin, Octavio Armas, and Jose Rodriguez-Fernandez. *Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions*, Progress in energy and combustion science 34, no. 2. 2008. 198-223.

Ngày nhận bài: 21/05/2023

Ngày gửi phản biện: 26/05/2023

Ngày duyệt đăng: 11/06/2023