

Đánh giá ảnh hưởng tỷ lệ hòa trộn của biodiesel từ dầu hạt cao su đến tính năng động cơ diesel Kubota RT125 bằng mô phỏng

Nguyễn Lê Duy Khải, Nguyễn Quang Trãi

Tóm tắt — Bài báo nghiên cứu công suất và khí thải của động cơ diesel Kubota RT125 khi sử dụng biodiesel. Nhiên liệu này được chế tạo từ dầu hạt cao su với các tỷ lệ hòa trộn thay đổi B0, B5, B10 và B20, với chế độ tải 50%, 80% và 100%. Nghiên cứu được thực hiện ở các chế độ vòng quay 1600 vòng/phút (rpm – Revolution Per Minute), 2000 rpm và 2400 rpm. Kết quả mô phỏng bằng phần mềm KIVA-3V cho thấy khi thay đổi từ diesel (B0) sang biodiesel (B5, B10, B20) công suất động cơ không thay đổi nhiều, nhưng lượng bồ hóng phát thải giảm đáng kể trong khi NOx gia tăng.

Từ khóa - Động cơ Kubota RT125, mô phỏng, KIVA 3V, biodiesel dầu hạt cao su

1 GIỚI THIỆU

Theo thống kê của Hiệp hội Cao su Việt Nam, năm 2015 Việt Nam có 600.000 hecta cao su đang cho thu hoạch với sản lượng khoảng 1.017.000 tấn. Với sản lượng này, tương ứng mỗi năm sẽ có khoảng 180.000 tấn hạt cao su. Dầu từ hạt cao su (Rubber Seed Oil - RSO) đang là nguồn nguyên liệu để sản xuất nhiên liệu biodiesel ở các nước Ấn Độ, Malaysia, Indonesia [1-3] và được báo cáo trong một số công trình nghiên cứu của Việt Nam [4-6]. Các kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng biodiesel thu được từ RSO có những tính chất tương đồng với nhiên liệu diesel truyền thống và

Bài báo này được gửi vào ngày 10 tháng 06 năm 2017 và được chấp nhận đăng vào ngày 10 tháng 09 năm 2017.

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG Tp. HCM trong khuôn khổ Đề tài mã số T-KTGT-2016-117

Nguyễn Lê Duy Khải, Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM (email: khainguyen@hcmut.edu.vn)

Nguyễn Quang Trãi, Công ty TNHH Ô tô Mitsubishi Việt Nam

thỏa các tiêu chuẩn của nhiên liệu biodiesel [7].

Nhằm đánh giá khả năng hoạt động của động cơ diesel khi sử dụng RSO mà không cần cải tạo lại động cơ, các tác giả đã tiến hành mô phỏng quá trình cháy trên động cơ Kubota RT125 khi sử dụng nhiên liệu biodiesel từ RSO với các tỷ lệ hòa trộn khác nhau, trong các điều kiện tải và số vòng quay khác nhau. Kết quả thu được góp phần định hướng cho việc thay thế dần nhiên liệu diesel bởi biodiesel theo “Đề án phát triển nhiên liệu sinh học đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2025” [8] để nhiên liệu sinh học đạt sản lượng 1,8 triệu tấn, đáp ứng 5% nhu cầu xăng dầu của cả nước vào năm 2025.

2 CÁC ĐIỀU KIỆN MÔ PHỎNG

2.1 Mô hình toán mô phỏng

KIVA-3V là phần mềm mô phỏng động lực học lưu chất mã nguồn mở, do các nhà khoa học thuộc Phòng thí nghiệm Quốc gia Los Alamos, Hoa Kỳ phát triển [9], được dùng phổ biến trên thế giới cho mô phỏng quá trình cháy động cơ đốt trong. Dòng chảy rối được mô phỏng bằng mô hình RNG k-ε cải tiến [10] Các mô hình chính trong KIVA 3V là mô hình phân rã tia phun Wave breakup [11], mô hình cháy trễ Shell [12], mô hình cháy chính Abraham [13], mô hình hình thành NOx Zel'dovich [14], mô hình hình thành và ô xy hóa bồ hóng Foster [15].

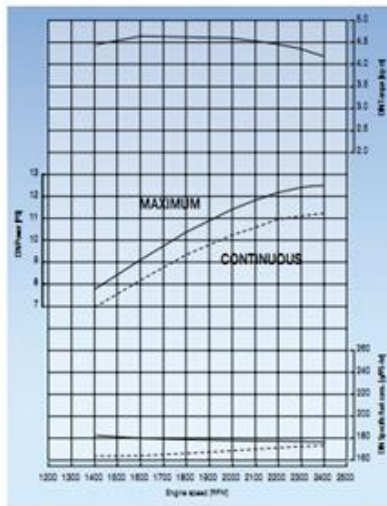
2.2 Tạo lưới và thông số mô phỏng

Động cơ mô phỏng là động cơ Kubota một xylanh RT125 đang được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như nông nghiệp, xây dựng, phát điện... Các thông số kỹ thuật chính của động cơ được trình bày trong Hình 1 và Bảng 1.

KUBOTA HORIZONTAL WATER-COOLED DIESEL ENGINES



RT100DI / RT125DI / RT125DI-ES / RT140 DI-ES



RT125DI

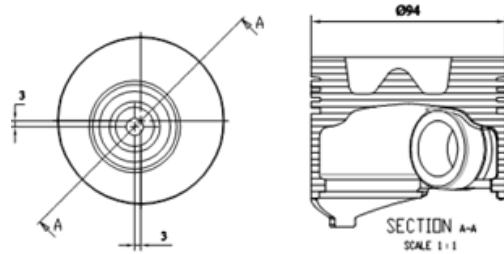
Hình 1. Động cơ Kubota RT 125

Bảng 1. Thông số động cơ Kubota RT 125

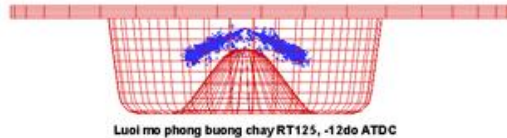
Thông số	Giá trị
Kiểu	Diesel, phun trực tiếp
Số xy lanh	1
Đường kính piston	94 mm
Hành trình piston	96 mm
Dung tích	666 cm ³
Tỷ số nén	18:1
Công suất max	8.1/2400 (kW/rpm)
Hệ thống xupap	1 nạp, 1 thải
Thời điểm đóng xupap nạp	-135°ATDC
Thời điểm mở xupap thải	130°ATDC
Kiểu kim phun	Bosch CPI
Số lỗ tia x góc phun	4 x 140°
Áp suất phun	220 bar
Thời điểm phun	-14°ATDC

(ATDC: After Top Dead Center – Sau Điểm chết trên)

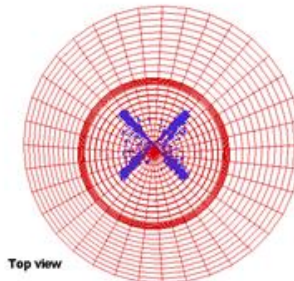
Động cơ RT125 có buồng cháy trực tiếp dạng ω đặt lệch tâm (Hình 2). Để gia tăng độ chính xác mô phỏng, mô hình buồng cháy lệch tâm được tái tạo với 24 ô theo phương hướng kính, 36 ô theo phương tiếp tuyến, 29 ô theo phương dọc trục (Hình 3), với tổng cộng 21420 ô tính toán.



Hình 2. Mặt cắt ngang piston RT125



Lưới mô phỏng buồng cháy RT125, -12đo ATDC



Top view

Hình 3. Lưới mô phỏng buồng cháy động cơ RT125 tại thời điểm -12°ATDC với các tia phun

Việc mô phỏng được tiến hành cho bốn loại nhiên liệu khác nhau: DO (100% diesel), B5 (5% RSO + 95% diesel), B10 và B20. Với mỗi loại nhiên liệu, tiến hành mô phỏng ở ba chế độ tải 50%, 80% và 100%. Ở mỗi chế độ tải, số vòng quay động cơ lần lượt thay đổi là 1600rpm, 2000rpm và 2400rpm.

Dầu hạt cao su RSO được tổng hợp tại Phòng thí nghiệm Trọng điểm ĐHQG-HCM Công nghệ Hoá học và Dầu khí theo phương pháp hai giai đoạn [16], sau đó gửi Trung tâm Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3 xác định các thông số kỹ thuật chính (Bảng 2). Các thông số này được sử dụng làm thông số đầu vào cho quá trình mô phỏng các

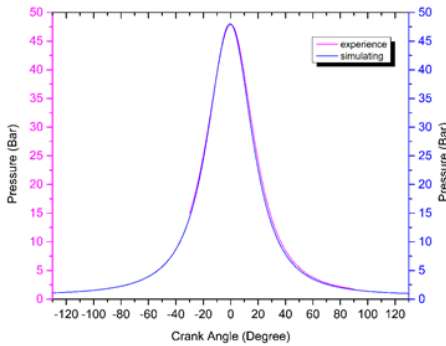
hỗn hợp B5, B10, B20.

Bảng 2. Thông số nhiên liệu mô phỏng

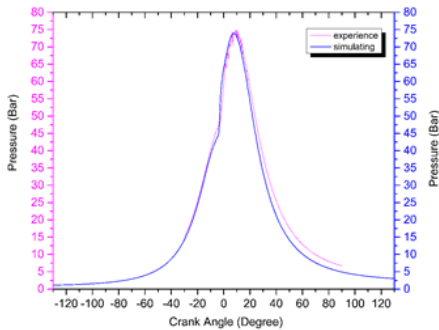
Thông số	DO	B5	B10	B20
Khối lượng riêng tại 30°C (g/cm ³)	0,808	0,812	0,815	0,822
Độ nhớt động học tại 40°C (mm ² /s)	2,745	3,030	3,089	3,280
Trị số cetan	53,8	53,42	53,23	53,04
Nhiệt lượng (MJ/kg)	47,78	45,45	44,65	43,14

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Bước đầu tiên trong quá trình mô phỏng là phải kiểm tra độ chính xác của các thông số đầu vào, thể hiện qua các đồ thị áp suất buồng cháy mô phỏng và thực nghiệm. Hình 4 và Hình 5 so sánh biến thiên áp suất trong buồng cháy động cơ lần lượt khi không phun nhiên liệu và có phun nhiên liệu diesel ở số vòng quay 2000 rpm. Kết quả cho thấy sự tương đồng rất tốt của hai đường cong áp suất không cháy và có cháy giữa mô phỏng và thực nghiệm. Điều này chứng tỏ bộ thông số mô phỏng đáng tin cậy.

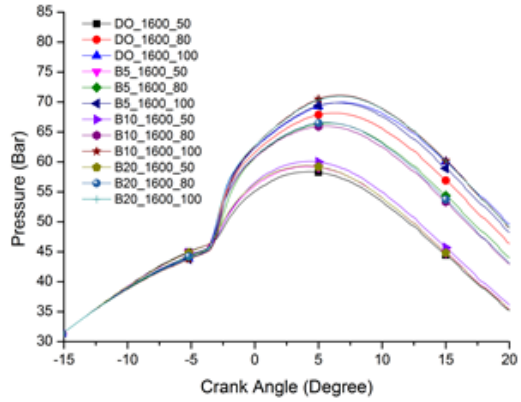


Hình 4. So sánh áp suất buồng cháy khi mô phỏng và thực nghiệm, không phun nhiên liệu

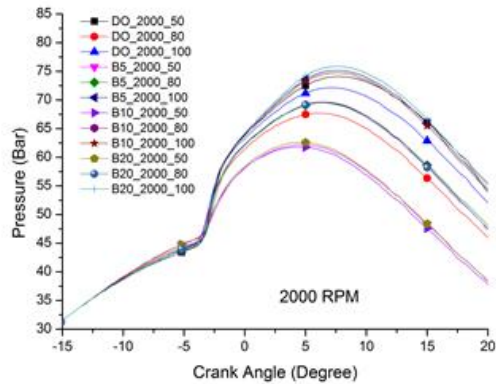


Hình 5. So sánh áp suất buồng cháy khi mô phỏng và thực nghiệm, có phun nhiên liệu

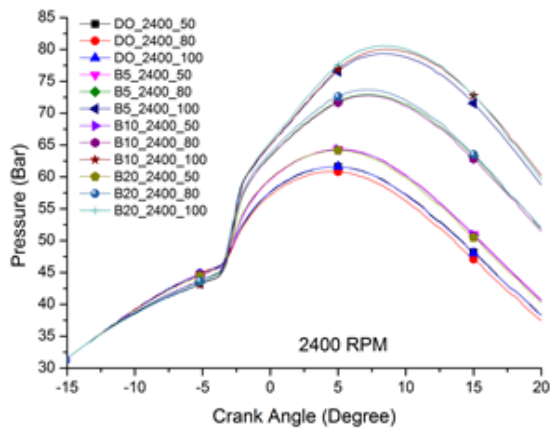
Hình 6 trình bày biến thiên áp suất trung bình trong xy lanh theo góc quay trục khuỷu khi sử dụng DO, B5, B10, B20 ở các chế độ tải lần lượt là 50%, 80%, 100% nhưng giữ nguyên số vòng quay là 1600 rpm. Tương tự ở Hình 7, số vòng quay là 2000 rpm và Hình 8 là 2400 rpm.



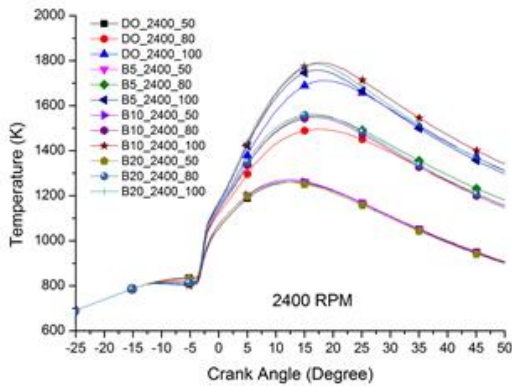
Hình 6. So sánh áp suất buồng cháy ở 1600rpm



Hình 7. So sánh áp suất buồng cháy ở 2000rpm



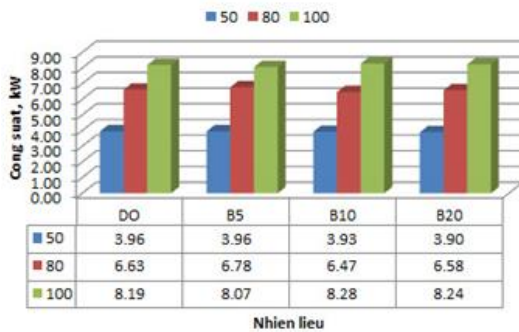
Hình 8. So sánh áp suất buồng cháy ở 2400rpm



Hình 9. So sánh nhiệt độ buồng cháy ở 2400rpm

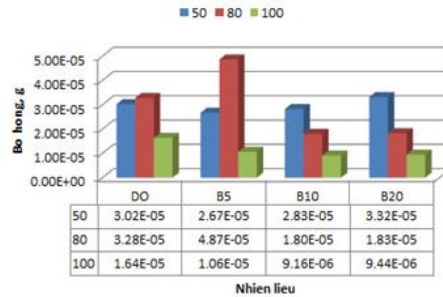
Ở từng chế độ tải và tốc độ động cơ tương ứng, áp suất buồng cháy khi sử dụng nhiên liệu RSO có xu hướng cao hơn so với khi sử dụng nhiên liệu DO. Ngoài ra, thành phần oxy có sẵn trong nhiên liệu RSO cũng giúp cải thiện quá trình cháy, làm tăng áp suất buồng cháy cũng như nhiệt độ buồng cháy (Hình 9). Tuy nhiên điều này lại làm tăng phát thải NOx trong khí thải do NOx rất nhạy cảm với nhiệt độ.

Hình 10 thể hiện lượng phát thải NOx ở số vòng quay động cơ đạt công suất cao nhất là 2400 rpm, với các chế độ tải lần lượt 50%, 80% và 100%. Do nhiệt độ trong quá trình cháy của RSO cao hơn nên ở tất cả các chế độ, đặc biệt là khi tải cao, lượng phát thải NOx của nhiên liệu biodiesel đều cao hơn nhiên liệu truyền thống.



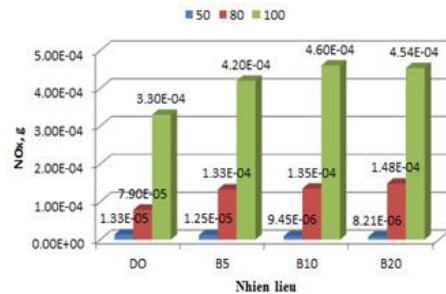
Hình 10. So sánh phát thải NOx ở 2400rpm

Tuy nhiên, các bất lợi về NOx được bù đắp bởi lượng phát thải bồ hóng giảm đáng kể khi sử dụng nhiên liệu có pha trộn RSO. Hình 11 thể hiện lượng phát thải bồ hóng của các loại nhiên liệu ở số vòng quay 2400 rpm. Lượng bồ hóng giảm đáng kể ở chế độ đầy tải của động cơ.



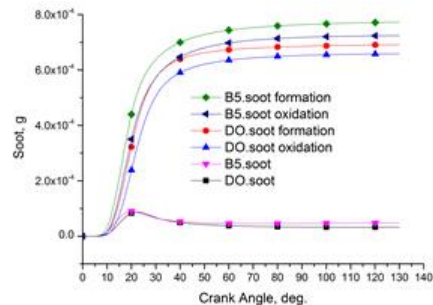
Hình 11. So sánh phát thải bồ hóng ở 2400rpm

Đặc biệt có thể thấy ở chế độ 80% tải, khi sử dụng B5 lượng bồ hóng tăng đột biến so với DO. Để hiểu rõ, Hình 12 thể hiện sự biến đổi bồ hóng theo góc quay trục khuỷu bên trong buồng cháy của nhiên liệu DO và B5. Bồ hóng phát thải là hiệu số của bồ hóng hình thành và bồ hóng bị đốt cháy trong buồng cháy. Trong trường hợp B5, do nhiệt độ buồng cháy cao hơn so với DO nên lượng bồ hóng hình thành và oxy hóa đều cao hơn. Tuy nhiên, hiệu của hai quá trình này lại lớn hơn, kết quả là bồ hóng phát thải của B5 cao hơn.



Hình 12. Biến đổi bồ hóng trường hợp DO và B5 ở 80% tải, 2400 rpm

Hình 13 so sánh công suất của động cơ khi sử dụng các loại nhiên liệu tại 2400 rpm, với các chế độ tải 50%, 80% và 100%. Do nhiệt lượng của hỗn hợp RSO nhỏ hơn DO nên công suất động cơ có thay đổi nhưng không đáng kể



Hình 13. So sánh công suất ở 2400rpm

4 KẾT LUẬN

Bằng mô phỏng đã đánh giá được các thông số về áp suất buồng cháy, nhiệt độ buồng cháy, công suất động cơ và các thành phần khí thải khi thay đổi nhiên liệu diesel bằng hỗn hợp biodiesel từ dầu hạt cao su (RSO). Kết quả mô phỏng được tóm tắt như sau:

Khi sử dụng nhiên liệu RSO, công suất của động cơ có thay đổi nhưng không nhiều.

Về đặc tính khí thải, ở hầu hết các tốc độ động cơ và chế độ tải, các mẫu nhiên liệu RSO đều có mức phát thải NO_x cao hơn nhiên liệu DO, do áp suất và nhiệt độ buồng cháy khi sử dụng nhiên liệu RSO cao hơn DO. Tuy nhiên do quá trình cháy của nhiên liệu RSO diễn ra tốt hơn nên lượng bồ hóng trong khí thải thấp hơn nhiên liệu DO.

Xét tổng thể về công suất và khí thải, hai mẫu nhiên liệu B5 và B10 có ưu điểm hơn so với mẫu nhiên liệu B20 về đặc tính phát thải NO_x, trong khi các đặc tính khác gần như tương đương.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. A.S. Ramadhas et al., *Biodiesel production from high free fatty acid rubber seed oil*. Fuel, Vol. 84, pp. 335–340, (2005).
- [2]. D.F. Melvin Jose et al. A multi-variant approach to optimize process parameters for biodiesel extraction from rubber seed oil. *Applied Energy*, Vol. 88, pp. 2056–2063, (2011).
- [3]. M. Morshed et al. *Rubber seed oil as a potential source for biodiesel production in Bangladesh* Fuel, Vol. 90, pp. 2981–2986, (2011).
- [4]. Nguyễn Văn Đạt và cộng sự. Biodiesel production from rubber seed oil. *Tạp chí khoa học*, số 21a, tr. 105–113, (2012).
- [5]. Nguyễn Ngọc Hạnh và cộng sự. Tổng hợp biodiesel từ dầu hạt cao su, *Tạp chí Hóa học*, tập 49, số 2ABC, tr. 111–115, (2011).
- [6]. Lê Duy Hùng. Nghiên cứu các tính chất đặc trưng và khả năng sử dụng RSO Việt Nam với vai trò nguyên liệu sản xuất biodiesel, Luận văn thạc sĩ, Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG Tp. HCM, Việt Nam, (2011).
- [7]. A.S. Ramadhas et al. *Performance and emission evaluation of a diesel engine fueled with methyl esters of rubber seed oil*. Renewable Energy, Vol. 30, (2005).
- [8]. *Quyết định số 177/2007/QĐ-TTG của Thủ tướng Chính phủ : Về việc phê duyệt “Đề án phát triển nhiên liệu sinh học đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2025” ngày 20/11/2007*
- [9]. A. A. Amsden. *KIVA-3V: A Block-Structured KIVA program for Engines with Vertical or Canted Valves*. Los Alamos National Laboratory report LA-13313-MS (1997).
- [10]. Z. Han and R. D. Reitz. *Turbulence Modeling of Internal Combustion Engines Using RNG $k - \epsilon$ models*. Combustion Science and Technology, Vol. 106, pp 267-295, (1995).
- [11]. A. B. Liu, D. Mather, and R. D. Reitz. *Modeling the Effects of Drop Drag and Breakup on Fuel Sprays*. SAE paper No. 930072, (1993).
- [12]. S. C. Kong, Z. Han, and R. D. Reitz. *The Development and Application of a Diesel Ignition and Combustion Model for Multidimensional Engine Simulation*. SAE paper No. 950278, (1995).
- [13]. J. Abraham, F. V. Bracco, and R. D. Reitz. *Comparison of Computed and Measured Premixed Charged Engine Combustion*. Combustion and Flame, Vol. 60, pp 309-322, (1985).
- [14]. Zel'dovich, Y.B. *The Oxidation of Nitrogen in Combustion and Explosions*. Acta Physicochimica USSR, Vol. 21, (1946).
- [15]. Khai, Nguyen Le Duy, N.W. Sung, S.S. Lee, H.S. Kim. Effects of Split Injection, Oxygen Enriched Air and Heavy EGR on Soot Emissions in a Diesel Engine. *International Journal of Automotive Technology*, Vol.12, No. 3, (2011).
- [16]. Nguyễn Hồng Hải. Nghiên cứu đặc tính quá trình cháy động cơ diesel 1 xy lạnh phun trực tiếp sử dụng nhiên liệu biodiesel sản xuất bằng phương pháp siêu tới hạn. Luận văn thạc sĩ, Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG Tp. HCM, (2016).



Nguyễn Lê Duy Khai tốt nghiệp Kỹ sư Cơ khí Ô tô tại Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG Tp. HCM (1989), Thạc sĩ truyền nhiệt và Năng lượng học tại Ecole Centrale de Lyon, Pháp (2004), Tiến sĩ Hệ thống năng lượng tại

Sungkyunkwan University, Hàn Quốc (2009), hiện là giảng viên bộ môn Ô tô – Máy động lực, khoa Kỹ thuật Giao thông, Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG Tp. HCM.

Các hướng nghiên cứu chính là mô phỏng quá trình cháy của động cơ diesel và biodiesel, mô phỏng động lực học ô tô truyền thống, ô tô hybrid, ô tô điện.



Nguyễn Quang Trãi tốt nghiệp Kỹ sư ngành Cơ Khí Ô Tô trường Đại Học Giao Thông Vận Tải TP HCM năm 2013. Anh hiện đang là Chuyên Viên Huấn Luyện tại Phòng Huấn Luyện và Phát Triển Sản Phẩm, công ty

TNHH Ô Tô Mitsubishi Việt Nam. Hướng nghiên cứu của Nguyễn Quang Trãi hiện nay là sự truyền nhiệt trong quá trình cháy của động cơ sử dụng các nhiên liệu sinh học, bên cạnh đó là công nghệ xe hybrid cắm sạc (PHEV) và xe điện (EV).

Evaluate the effect of mixing ratio of biodiesel from rubber seed oil on the performance of the Kubota RT125 diesel engine by simulation

Nguyen Le Duy Khai, Nguyen Quang Trai

Abstract - This paper investigates the power and emissions of Kubota RT125 diesel engines using biodiesel. It derived from rubber seed oil with variable mixing ratios of B0, B5, B10 and B20, with loading modes of 50%, 80%, 100%. This research was studied at velocity of 1600 rpm, 2000 rpm and 2400 rpm (revolution per minute). Simulation results from KIVA-3V software show that when the change from diesel (B0) to biodiesel (B5, B10, B20) the engine power does not change much, the amount of soot emission decreases dramatically while NO_x increase, overall B20 fuel has the most similar results to diesel.

Keywords - *Kubota RT125 diesel engine, simulation, KIVA 3V, biodiesel from rubber seed oil.*