

Ảnh hưởng hồi lưu khí thải đến công suất và khí thải động cơ diesel Vikyno RV125-2

- Nguyễn Lê Duy Khải¹
- Nguyễn Minh Trí²

¹ Khoa Kỹ thuật Giao thông, Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM

² Công ty TNHH Robert Bosch Việt Nam

(Bài nhận ngày 13 tháng 7 năm 2015, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 16 tháng 10 năm 2015)

TÓM TẮT

Bài báo trình bày nghiên cứu ảnh hưởng hồi lưu khí thải (EGR) đến công suất và khí thải trên động cơ diesel phun trực tiếp, buồng cháy thống nhất VIKYNO RV125-2 bằng phần mềm mô phỏng KIVA-3V. Trong nghiên cứu này, động cơ được khảo sát ở

chế độ 80% tải, 2400 vòng/phút, với hồi lưu khí thải thay đổi từ 0% đến 40%. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, khi sử dụng 20% EGR công suất động cơ giảm 3,16%, trong khi cả bồ hóng và NOx đều giảm, lần lượt là 12,11% và 67,1%.

Từ khóa: Hồi lưu khí thải, động cơ diesel RV125-2, mô phỏng, KIVA 3V

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Công ty Trách nhiệm hữu hạn Động cơ và Máy nông nghiệp Miền Nam là một trong những công ty trong nước đã sản xuất động cơ diesel có công suất từ 10 mã lực đến 24 mã lực dùng cho nông nghiệp, trong đó có động cơ VIKYNO RV125-2. Tuy nhiên, động cơ vẫn cần phải cải thiện để đáp ứng được yêu cầu khí thải nhằm mục tiêu xuất khẩu. Một trong những giải pháp xử lý “bên trong động cơ” được biết đến từ lâu trên thế giới là áp dụng hồi lưu khí thải (Exhaust Gas Recirculation – EGR) nhằm giảm thiểu NOx, một trong những chất thải nguy hại chính của động cơ diesel.

Trong bài báo này, các tác giả đã sử dụng phương pháp mô phỏng với phần mềm KIVA-3V để nghiên cứu ảnh hưởng của EGR đến công suất và khí thải động cơ Vikyno RV125-2, từ đó đề xuất nồng độ EGR phù hợp nhất.

2. PHƯƠNG PHÁP SỐ

Việc nghiên cứu ảnh hưởng của EGR trên động cơ diesel Vikyno RV125-2 được thực hiện bằng phần mềm mô phỏng CFD ba chiều KIVA-3V, là chương trình mô phỏng mã nguồn mở được phát triển bởi Phòng thí nghiệm Quốc gia Los Alamos (Hoa Kỳ) [1]. Đây là phần mềm chuyên dùng trong động cơ đốt trong, dựa trên các phương trình bảo toàn và chuyển hóa về nhiệt, khối lượng và mô men giữa các pha khí trong xy lanh để dự đoán dòng chảy phức tạp của hỗn hợp nhiên liệu không khí khi nạp vào buồng cháy. Dòng chảy rối được mô phỏng bằng mô hình Re-Normalisation Group (RNG) k-ε cải tiến, được phát triển bởi Han và Reitz, 1995 [2]. Mô hình xé tơi tia phun Wave Breakup được phát triển bởi Liu et al. [3]. Mô hình cháy trễ Shell [4], mô hình cháy chính theo thời gian đặc trưng của

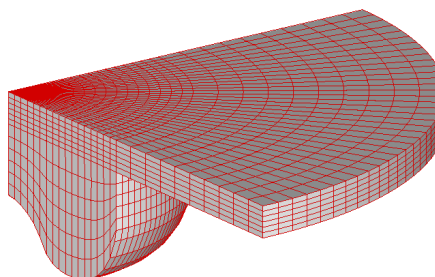
Abraham et al. [5] áp dụng cho quá trình cháy của nhiên liệu. Khí thải được tính toán dựa trên mô hình Zeldovich cho quá trình hình thành NOx (Y.B.Zel'dovich, 1946, [6]) và mô hình bồ hóng 8 bước của Foster (N.L.D.Khai; N.Sung, 2011, [7]) cho quá trình hình thành, ô xy hóa bồ hóng.

Bảng 1 trình bày các thông số chính của động cơ VIKYNO RV125-2.

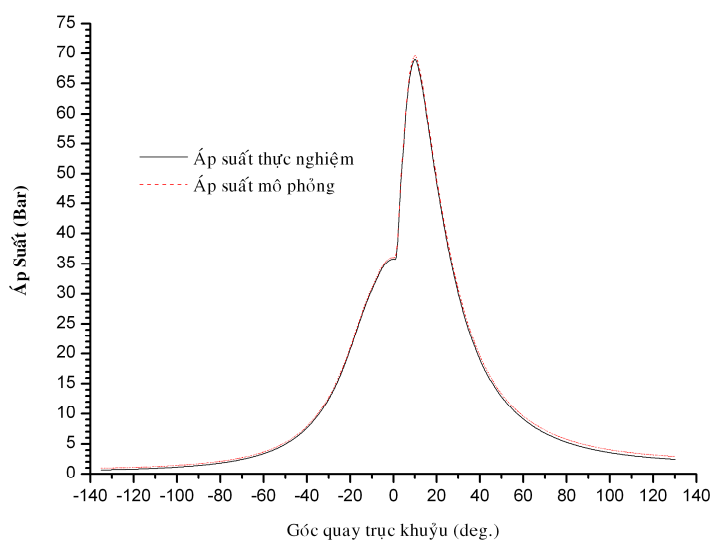
Bảng 1. Thông số động cơ 1 xy lanh Vykino RV125-2

Thông số	Giá trị
Nhiên liệu	Diesel
Số xy lanh	1
Đường kính x Hành trình piston	94 x 90 mm
Dung tích	624 cm ³
Tỷ số nén	18:1
Số lượng xú páp	1 nạp, 1 thải
Kiểu xy lanh	Uớt
Hệ thống phối khí	DOHC
Thời điểm phối khí	
Thời điểm xú páp nạp đóng	45o sau điểm chết dưới
Thời điểm xú páp xả mở	50o trước điểm chết dưới
Kim phun	
Kiểu kim phun	Bosch CP1
Số lỗ tia x diện tích	4 x 0,2867e-4 cm ²
Khối lượng phun/góc quay	0,0274g/15 độ

Từ thông số hình học của buồng cháy, mô hình lưới mô phỏng được xây dựng với tổng cộng 24037 ô tính toán (Hình 1). Thời gian trung bình hoàn tất một lần mô phỏng là khoảng hai giờ trên máy vi tính trang bị vi xử lý Intel Core2 Duo E7400@2,8GHz. Dựa trên số liệu thực nghiệm tiến hành tại Phòng thí nghiệm Trọng điểm Động cơ đốt trong, các thông số đầu vào của phần mềm được hiệu chỉnh sao cho kết quả mô phỏng gần đúng nhất với thực nghiệm. Hình 2 giới thiệu đường cong áp suất theo mô phỏng và thực nghiệm ở chế độ 80% tải, 2400 vòng/phút, cho thấy kết quả khá tốt. Sau đó, bộ thông số này được giữ nguyên, tiến hành chạy mô phỏng ở tốc độ 2400 vòng/phút và 80% tải với sự thay đổi EGR theo thể tích là 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%.

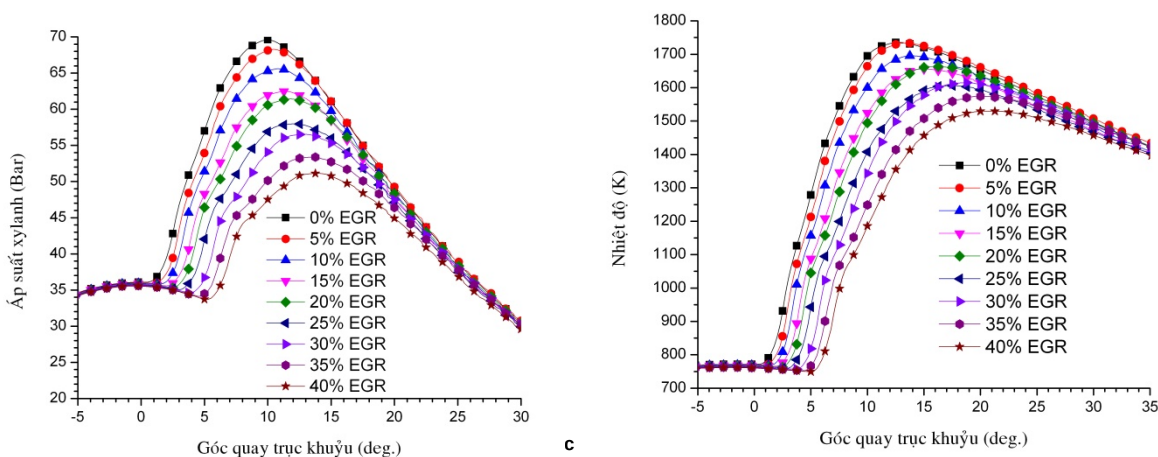


Hình 1. Mô hình lưới buồng cháy Vykino RV125-2 khi piston ở điểm chết trên



Hình 2. Giá trị áp suất thực nghiệm và mô phỏng ở chế độ 80% tải và tốc độ 2400 vòng/phút

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN



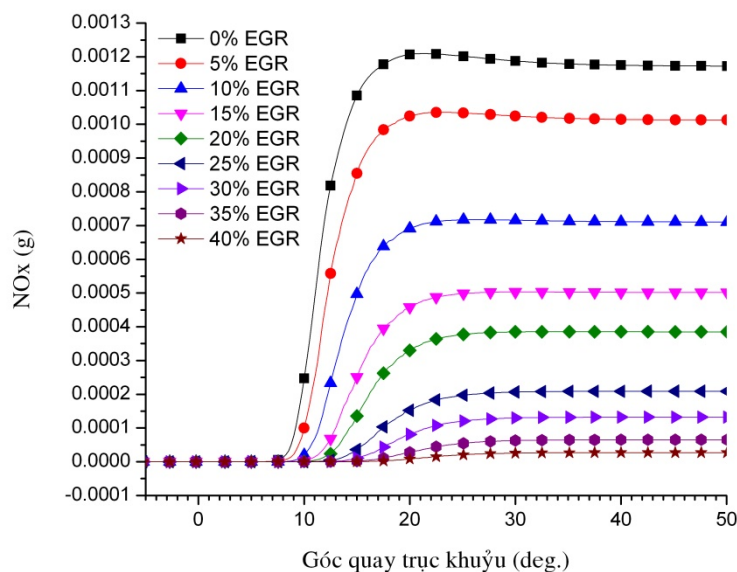
Hình 3. Biến thiên áp suất và nhiệt độ theo góc quay trục khuỷu với tỉ lệ % EGR khác nhau

Khi thay đổi nồng độ EGR từ 0% (không sử dụng EGR) đến nồng độ tối đa trong nghiên cứu này là 40%, áp suất và nhiệt độ trung bình trong buồng cháy thay đổi đáng kể (Hình 3) theo hướng khi nồng độ EGR tăng lên, áp suất và nhiệt độ giảm. Lý do chính là khi sử dụng EGR, sẽ có một

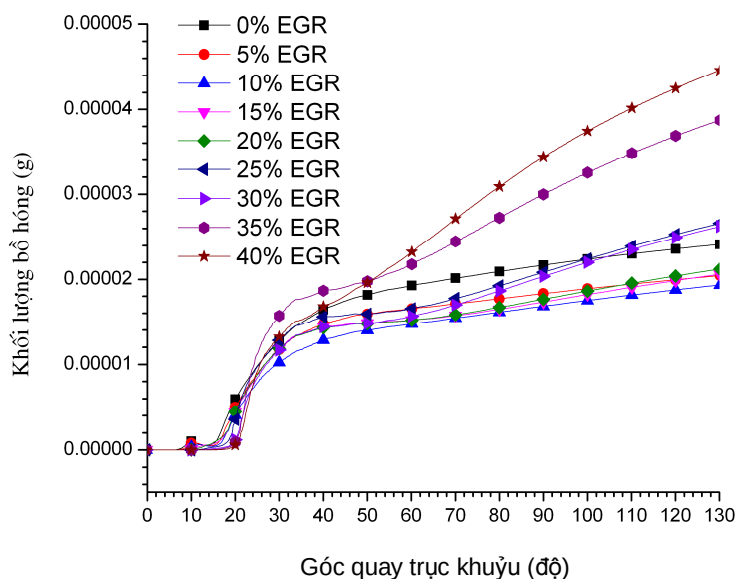
lượng CO₂, H₂O và các khí khác có trong khí thải quay trở lại buồng cháy chiếm một phần thể tích khí nạp, làm giảm lượng oxy nạp vào (hiệu ứng pha loãng). Lượng oxy bị giảm sẽ làm chậm quá trình cháy của động cơ, kéo theo tăng thời gian cháy trễ. Điều này có thể nhận thấy trên

Hình 3. Do thời điểm bắt đầu cháy ngày càng rời xa điểm chết trên, quá trình cháy kém mãnh liệt, kết hợp với việc pít tông đi xuống khiến thể tích gia tăng, hậu quả là cả áp suất và nhiệt độ đều

giảm. Bên cạnh đó, sự tồn tại H₂O và CO₂ là những chất có nhiệt dung riêng cao hơn không khí sẽ hấp thụ nhiều nhiệt hơn, khiến nhiệt độ trong buồng cháy giảm (hiệu ứng nhiệt).



Hình 4. Biến thiên NOx theo góc quay trục khuỷu với tỉ lệ % EGR khác nhau



Hình 5. Biến thiên bổ hống theo góc quay trục khuỷu với tỉ lệ % EGR khác nhau

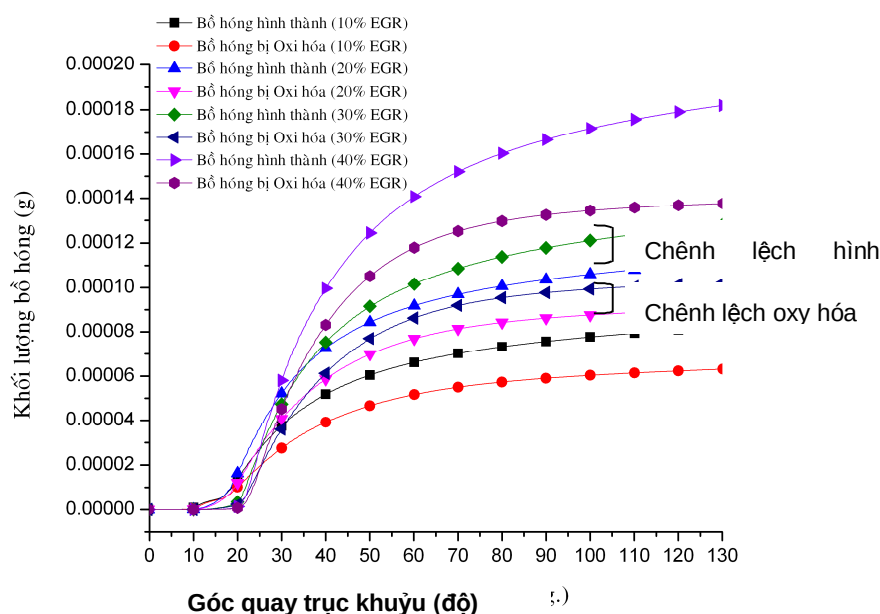
Yếu tố quan trọng nhất góp phần vào giảm NOx của EGR là giảm nhiệt độ đỉnh của ngọn lửa động cơ Diesel, vì lý thuyết đã chỉ rõ NOx chỉ hình thành mạnh liệt khi nhiệt độ trên 2000K. Hình 4 thể hiện mối quan hệ giữa NOx sinh ra và góc quay trục khuỷu với các nồng độ NOx khác nhau. Rõ ràng khi tăng nồng độ EGR, nhiệt độ ngọn lửa giảm thì NOx giảm đáng kể. Cụ thể, với 40% EGR kéo giảm đến 97% NOx phát thải, từ $1,17 \times 10^{-3} \text{g}$ khi không có EGR xuống $0,027 \times 10^{-3} \text{g}$.

Lợi ích phát thải NOx của EGR đi kèm với một chi phí nhất định: Sự gia tăng bồ hóng, HC và khí thải CO, giảm kinh tế nhiên liệu, khả năng mài mòn động cơ và các vấn đề độ bền. Khi tăng EGR lên 40% thì bồ hóng phát thải cũng tăng theo 84%, từ $2,4 \times 10^{-5} \text{g}$ (0% EGR) lên $4,4 \times 10^{-5} \text{g}$ (Hình 5). Nguyên nhân chính là nhiệt độ giảm khiến quá trình ô xy hóa bồ hóng diễn ra

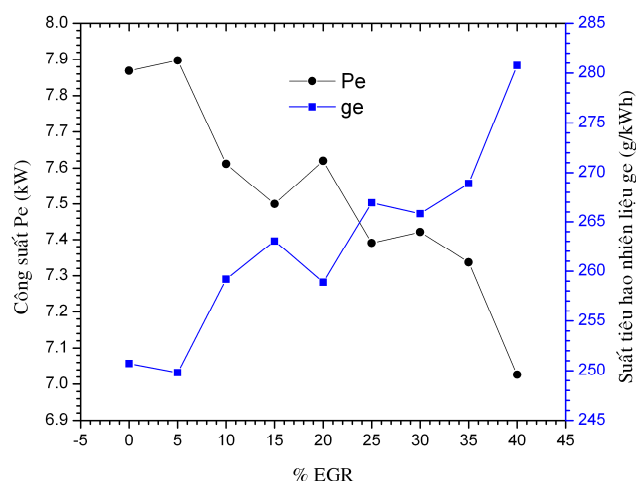
kém hơn. Tuy nhiên, với nồng độ EGR phù hợp (dưới 20% trong nghiên cứu này) lại xuất hiện xu hướng khá thú vị là giảm bồ hóng.

Để giải thích vấn đề này, cần xem xét cả bồ hóng hình thành và ô xy hóa (Hình 6), vì bồ hóng phát thải là hiệu số của hai quá trình trên. So sánh hai nồng độ EGR 20% và 30%, ta thấy sự chênh lệch bồ hóng hình thành trong trường hợp này cao hơn sự chênh lệch bồ hóng ô xy hóa. Hệ quả là bồ hóng phát thải của 30% EGR sẽ cao hơn 20% EGR.

Do áp suất trong xy lanh giảm, có thể dự đoán sự suy giảm của công suất động cơ. Kết quả mô phỏng chỉ ra, khi tăng nồng độ EGR lên 40%, công suất động cơ giảm 10,7% (Hình 7). Nếu chỉ dùng 20% EGR, công suất giảm 3,16%. Bảng 2 thống kê các giá trị NOx, bồ hóng và công suất động cơ theo % EGR khác nhau.



Hình 6. Biến thiên bồ hóng theo góc quay trục khuỷu với tỉ lệ % EGR khác nhau



Hình 7. Thay đổi công suất và suất tiêu hao nhiên liệu với tỉ lệ % EGR khác nhau

Bảng 2. Mối quan hệ giữa bồ hóng, NOx và công suất với tỉ lệ % EGR khác nhau

	Bồ hóng		NOx		Công suất	
	Khối lượng (g)	Thay đổi (%)	Khối lượng (g)	Thay đổi (%)	Kw	Thay đổi (%)
0% EGR	2,41E-05	-	1,17E-03	-	7,86	-
5% EGR	2,04E-05	-15,32	1,01E-03	-13,68	7,89	+0,36
10% EGR	1,94E-05	-19,92	7,10E-04	-39,28	7,61	-3,27
15% EGR	2,06E-05	-14,67	5,01E-04	-57,13	7,50	-4,68
20% EGR	2,12E-05	-12,11	3,84E-04	-67,10	7,62	-3,16
25% EGR	2,66E-05	+10,19	2,08E-04	-82,15	7,39	-6,08
30% EGR	2,62E-05	+8,65	1,32E-04	-88,70	7,42	-5,69
35% EGR	3,87E-05	+60,38	6,51E-05	-94,43	7,33	-6,76
40% EGR	4,46E-05	+84,78	2,70E-05	-97,69	7,02	-10,70

4. KẾT LUẬN

Khi sử dụng EGR trên động cơ Diesel phun trực tiếp nói chung và động cơ nghiên cứu nói riêng sẽ giúp giảm được lượng NOx phát thải, nhưng tăng bồ hóng và một phần nào đó sẽ giảm công suất động cơ cũng như tăng suất tiêu hao nhiên liệu. Nếu sử dụng EGR hợp lý sẽ đem lại hiệu quả phát thải tốt và ít ảnh hưởng đến công

suất cũng như suất tiêu hao nhiên liệu. Trên động cơ nghiên cứu VIKYNO RV125-2 ta thấy khi sử dụng 20% EGR thì công suất chỉ giảm 3,16%, còn lượng phát thải bồ hóng sẽ giảm 12,11 %, đặc biệt lượng phát thải NOx giảm rất đáng kể tới 67,1%.

Influence of exhaust gas recirculation on performance and emissions of diesel engine Vikyno RV125-2

- Nguyen Le Duy Khai ¹
- Nguyen Minh Tri ²

¹ Faculty of Transportation Engineering, HCMUT, VNU-HCM

² Robert Bosch Vietnam Ltd.

ABSTRACT

This paper presents a research on the influence of exhaust gas recirculation (EGR) on performance and emissions of direct injection diesel engine VIKYNO RV125-2 using three-dimensional CFD code KIVA-3V. In this study, the engine runs at 2400 rpm,

80% nominal load, and EGR concentration is changed from 0% to 40%. Research results indicate that with 20% EGR, the engine power is reduced 3,16%, while the concentrations of both NO_x and soot are reduced 12,11% and 67,1%, respectively.

Keywords: EGR, diesel engine RV125-2, simulation, KIVA-3V

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. A. A. Amsden, *KIVA-3V release 2 improvements to KIVA-3V*, Los Alamos LA-UR-99-915, 1999.
- [2]. 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.
- [3]. 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.
- [4]. 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.
- [5]. 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.
- [6]. Zel'dovich, Y.B., 1946. *The Oxidation of Nitrogen in Combustion and Explosions*. Acta Physiochimica USSR, Vol. 21.
- [7]. Khai, N.L.D, 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