

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG SỬ DỤNG KHÍ GIÀU NI TƠ (NEA) GIẢM PHÁT THẢI NO_x CHO ĐỘNG CƠ DIESEL

SIMULATION STUDY ON NO_x REDUCTION VIA NITROGEN ENRICHED AIR (NEA) ON DIESEL ENGINES

Phạm Văn Đoàn¹, Bùi Văn Chinh^{1*},
Nguyễn Đức Khánh²

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu giảm phát thải NO_x trên động cơ diesel bằng phương pháp sử dụng hỗn hợp khí giàu ni tơ (NEA). Khí giàu ni tơ (NEA-Nitrogen Enriched Air) được tạo ra bằng cách cung cấp vào động cơ qua một vòi phun khí ni tơ trên đường nạp. Lưu lượng khí ni tơ phun vào đường nạp được điều chỉnh để có thể đạt được tỷ lệ khối lượng của ni tơ bổ sung trong không khí nạp lên tới 20%. Kết quả nghiên cứu cho thấy, sử dụng khí giàu ni tơ có khả năng giảm thiểu phát thải độc hại NO_x trong khi đó công suất của động cơ được cải thiện với tỷ lệ NEA phù hợp, phát thải CO giảm và phát thải dạng hạt thay đổi không đáng kể.

Từ khóa: phát thải động cơ diesel, giảm thiểu NO_x , NEA.

ABSTRACT

This paper presents the study results of NO_x reduction on diesel engine by mean of providing nitrogen enriched air (NEA) method. NEA provided to the engine by a nitrogen injector which is placed on intake manifold. The mass flow of nitrogen injected to intake air was controlled to archive proportion of nitrogen in intake air greater than 20% by mass. The results show that NEA could decrease NO_x emission; CO emission was decreased and soot emission was constant, while as the brake power of the engine improved slightly.

Keywords: diesel emission, NO_x reduction, EGR, NEA.

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email: chinhbv@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 01/6/2018

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/7/2018

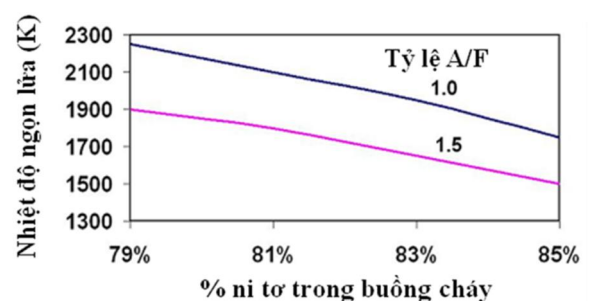
Ngày chấp nhận đăng: 25/10/2018

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Phát thải ô xit ni tơ (NO_x) là một trong những thành phần phát thải độc hại chính của động cơ diesel, đặc biệt trên động cơ diesel tăng áp bởi nó là kết quả của sự dư thừa hàm lượng oxy và nhiệt độ quá trình cháy cao. Trên thế giới có nhiều công nghệ giảm NO_x đã và đang được nghiên cứu và phát triển. Luân hồi khí thải (EGR - Exhaust Gas Recirculation) được biết đến là một biện pháp hữu hiệu để giảm sự hình thành NO_x trên động cơ diesel. Về nguyên tắc, khí thải sau khi ra khỏi động cơ được trích một phần trở

lại đường nạp và hòa trộn với khí nạp trước khi vào động cơ. Khí luân hồi bao gồm chủ yếu ô xit các bon (CO_2), ni tơ (N_2) và hơi nước sẽ được đưa trở lại xy lanh để làm loãng hỗn hợp cháy và giảm nồng độ oxy trong buồng cháy. Ngoài ra, nhiệt dung riêng của khí luân hồi lớn hơn rất nhiều so với không khí nạp nên khí luân hồi làm tăng nhiệt dung riêng của khí nạp, do đó sẽ làm giảm độ tăng nhiệt độ trong động cơ với cùng lượng nhiệt giải phóng của quá trình cháy trong buồng cháy. Luân hồi khí thải một biện pháp kinh tế giảm thiểu phát thải NO_x , tuy nhiên có nhiều hạn chế như làm tăng hàm lượng phát thải dạng hạt (PM) và khói đen, đặc biệt là ở chế độ tải lớn [2, 3], làm giảm chất lượng dầu bôi trơn [4] và nhiều khả năng gây mài mòn piston, xy lanh, giảm độ bền của động cơ [5-7].

Ngoài biện pháp luân hồi khí thải, còn có một số giải pháp đã được nghiên cứu không những giảm thiểu NO_x mà còn khắc phục được những nhược điểm còn tồn tại của phương pháp này. Các nghiên cứu cho thấy hàm lượng oxy trong khí nạp là yếu tố ảnh hưởng lớn nhất tới hình thành phát thải NO_x trong động cơ [8-11].

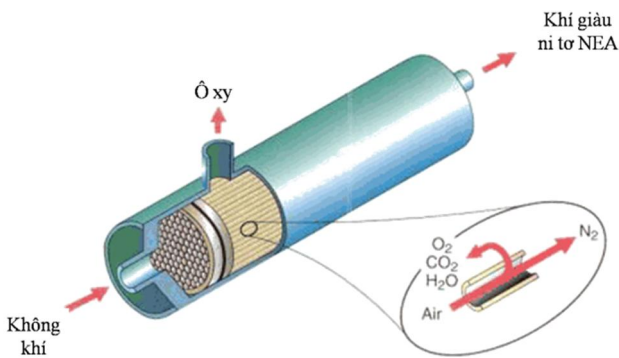


Hình 1. Quan hệ giữa nhiệt độ ngọn lửa và nồng độ ni tơ [12]

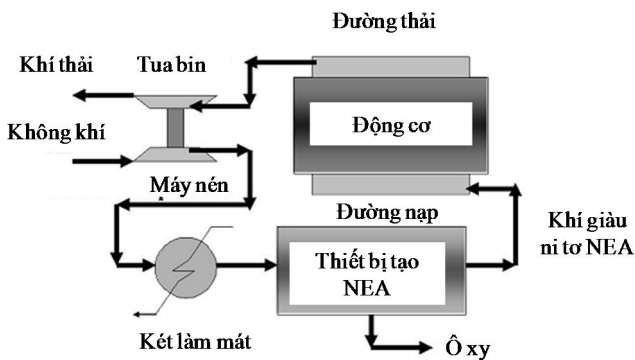
Ảnh hưởng của hàm lượng oxy (hay hàm lượng ni tơ) trong khí nạp đến nhiệt độ đoạn nhiệt của ngọn lửa đã được thử nghiệm bởi Olikara và Borman [12]. Hình 1 thể hiện quan hệ nhiệt độ đoạn nhiệt với hàm lượng ni tơ trong buồng cháy. Đồ thị cho thấy nhiệt độ giảm khi hàm lượng ni tơ trong khí nạp tăng lên ở cùng một tỷ lệ A/F. Khi hàm lượng oxy giảm từ 21% xuống 17% về thể tích hay hàm lượng ni tơ tăng từ 79% đến 83% thì nhiệt độ lý thuyết của ngọn lửa giảm khoảng 250°K. Nghiên cứu giảm

lượng oxy hay tăng lượng ni tơ trong khí nạp để giảm nhiệt độ quá trình cháy sẽ làm giảm lượng NO_x hình thành trong buồng cháy. Việc cung cấp khí nạp với hàm lượng oxy thấp, hay còn gọi là khí giàu ni tơ NEA (Nitrogen Enriched Air) có thể thay thế được biện pháp truyền thống EGR với nhiều hạn chế. Biện pháp sử dụng khí NEA có nhiều ưu điểm như: Khí nạp sạch, không có các chất dạng hạt; Không ảnh hưởng tới tuổi thọ hay độ bền của động cơ; Nhiệt độ khí nạp thấp, tăng được lượng môi chất nạp; Hỗn hợp đồng nhất, động cơ làm việc ổn định hơn; Cần có thiết bị tách không khí đặc biệt lắp trên đường nạp, gây tổn thất về lưu lượng và áp suất.

Có nhiều nghiên cứu tạo khí NEA để cung cấp cho động cơ, trong đó điển hình là nghiên cứu của Nemser và cộng sự [13]. Nguyên lý hoạt động cơ bản và kết cấu của màng tách khí được thể hiện trên hình 2. Màng tách khí dạng ống lồng có thể hoạt động ở độ chênh lệch áp suất khá nhỏ và có khả năng tạo tỷ lệ khí lớn hơn các phương pháp tạo khí ni tơ khác.



Hình 2. Nguyên lý làm việc của bộ tạo NEA



Hình 3. Động cơ diesel tăng áp trang bị bộ tạo NEA

Khi không khí có áp suất cao đi qua ống, sự chênh lệch áp suất bên trong và bên ngoài ống làm cho một phần oxy được ưu tiên đi qua thành ống (bề mặt bên ngoài thành ống là lớp perfluoropolymer) ra ngoài môi trường còn ni tơ bị chặn lại và di chuyển dọc theo ống đến đầu ra của thiết bị. Đầu ra của thiết bị là không khí được làm giàu ni tơ. Bộ tạo khí NEA có thể lắp trực tiếp trên đường nạp để cung cấp khí cho động cơ tùy theo các chế độ làm việc.

Hình 3 thể hiện sơ đồ nguyên lý động cơ diesel tăng áp bằng tua bin khí thải có trang bị thiết bị tạo khí giàu ni tơ.

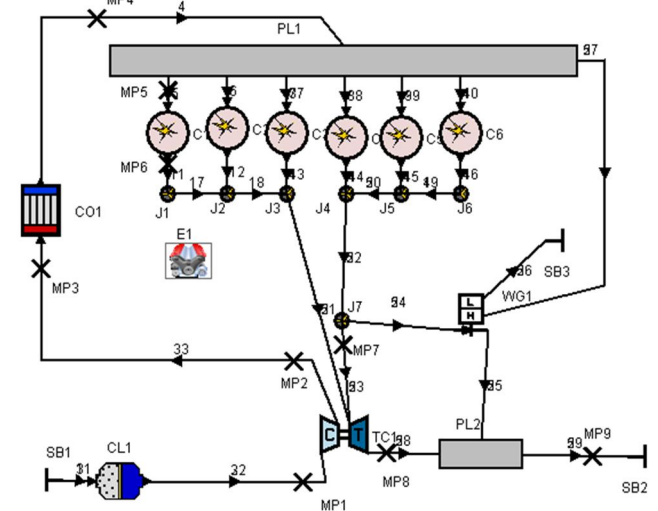
Khí tăng áp ra khỏi máy nén sẽ được làm mát qua két làm mát trung gian trước khi đi qua thiết bị tạo NEA. Áp suất của khí tăng áp sau két làm mát quyết định đến tỷ lệ khí ni tơ trước khi đi vào động cơ.

Để làm rõ hơn ưu việt của phương pháp sử dụng khí NEA nhằm giảm thiểu NO_x trên động cơ diesel tăng áp, trong nghiên cứu này, mô hình tính toán một chiều giảm thiểu phát thải NO_x của động cơ diesel tăng áp bằng hai phương pháp NEA được thực hiện. Mô hình tính toán được xây dựng trên phần mềm mô phỏng một chiều AVL Boost. Phần mềm cho phép tính toán mô phỏng được chu trình làm việc của động cơ cũng như tính toán được các thành phần phát thải độc hại. Kết quả nghiên cứu đánh giá được ảnh hưởng của phương pháp NEA tới các thông số kỹ thuật và phát thải độc hại của động cơ, nhất là phát thải NO_x và soot.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Xây dựng mô hình mô phỏng

Đối tượng nghiên cứu là động cơ diesel D1146Ti, tăng áp bằng tua bin máy nén, lắp trên xe bus. Các thông số cơ bản của động cơ thể hiện trong bảng 1. Dựa trên các thông số kỹ thuật của nhà sản xuất cũng như các thông số đo đạc trên động cơ thực tế. Mô hình một chiều của động cơ D1146Ti được xây dựng trên AVL Boost như thể hiện trên hình 4.



Hình 4. Mô hình 1 chiều động cơ D1146Ti

Bảng 1. Các thông số cơ bản của động cơ

TT	Thông số	Đơn vị
1	Tên	D1146Ti
2	Số xy lạnh (-)	6
3	Kiểu (-)	Cháy do nén
4	DxS (mm)	111x139
6	Công suất định mức/tốc độ (kW/v/ph)	154/2200
7	Mô men lớn nhất/tốc độ (Nm/v/ph)	880/1600
8	Tỷ số nén	16,8

2.2. Mô hình cháy

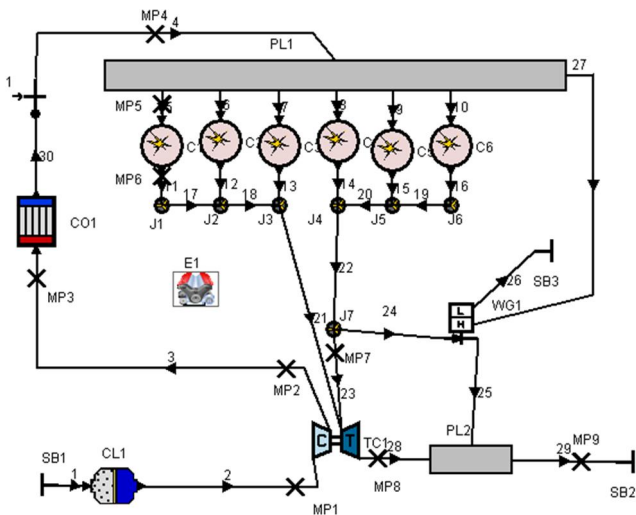
Mô hình tính toán phát thải độc hại của động cơ sử dụng trong nghiên cứu này là mô hình AVL MCC. Mô hình MCC có thể dự đoán được tốc độ tỏa nhiệt và tính toán được các thành phần phát thải độc hại chính của động cơ diesel như NO_x , bồ hóng (soot) và mônô xít cacbon (CO). Mô hình yêu cầu các thông số kết cấu và thông số làm việc như số lỗ kim phun, đường kính lỗ phun và áp suất phun.

2.3. Quy trình thực hiện

Nghiên cứu được thực hiện theo quy trình sau đây:

- Xây dựng mô hình động cơ D1146Ti nguyên bản, tiến hành đánh giá độ chính xác bằng cách so sánh một số kết quả tính toán mô phỏng với kết quả đo đạc và tiến hành những hiệu chỉnh để mô hình đạt được độ tin cậy cần thiết.

- Tiến hành điều chỉnh lại kết cấu đường nạp của động cơ sau khi kiểm nghiệm để có được mô hình giảm phát thải như thể hiện trên hình 5.



Hình 5. Mô hình động cơ có vòi phun ni tơ

Hình 6 thể hiện mô hình động cơ sử dụng biện pháp giảm NO_x bằng cách sử dụng khí NEA. Để đơn giản, khí NEA được tạo ra bằng cách bố trí 1 vòi phun khí ni tơ (I - Injector) vào đường nạp để hòa trộn với không khí trước khi đi vào động cơ.

- Tiến hành mô phỏng quá trình làm việc của động cơ khi trang bị hệ thống NEA ở chế độ tốc độ 1600 và 2200 v/ph, 75% tải. Lượng khí ni tơ phun vào đường nạp được điều chỉnh ở các lưu lượng khác nhau để chiếm chỗ một phần khí nạp. Thông số chung để đánh giá tỷ lệ NEA phun vào đường nạp là α (%) - hệ số tỷ lệ.

$$\alpha = \frac{m_{N_2}}{m_{kk}} \cdot 100\% = \frac{m_{N_2}}{m_{MP4}} \cdot 100\%$$

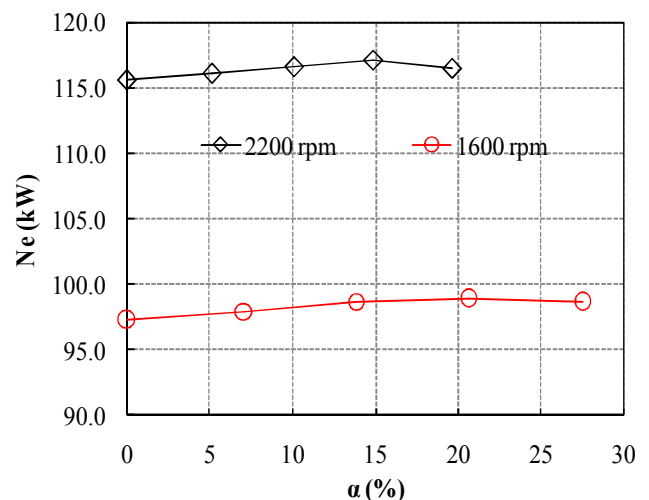
Trong đó: m_{N_2} là lưu lượng khối lượng khí ni tơ phun bổ sung vào đường nạp; m_{MP4} là lưu lượng khối lượng khí nạp mới đo ngay phía trước cổ góp chung của 6 xylanh.

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đánh giá độ tin cậy của mô hình

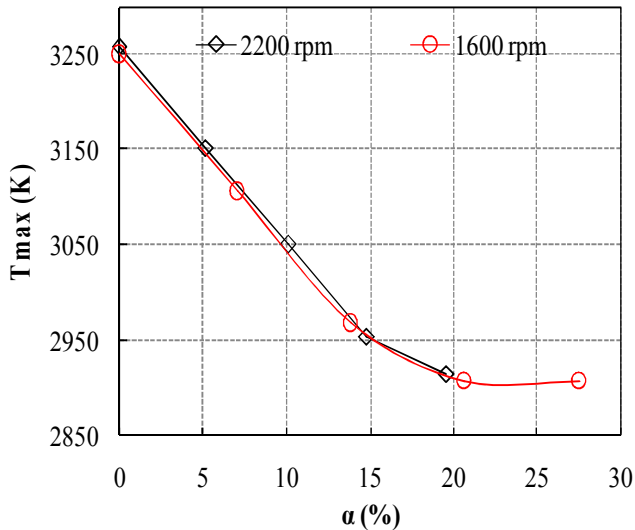
Độ tin cậy của mô hình được đánh giá bằng cách so sánh kết quả mô phỏng và thí nghiệm công suất có ích ở các đường đặc tính tốc độ của động cơ nguyên bản. Kết quả mô phỏng thu được công suất có giá trị sai lệch lớn nhất -4,9% tại tốc độ 2200 v/ph, 50% tải và sai lệch trung bình -0,2% trên toàn dải tốc độ của động cơ. Kết quả kiểm nghiệm mô hình cháy được thể hiện qua các đồ thị so sánh các thành phần phát thải độc hại của động cơ (NO_x , Soot và CO) giữa mô phỏng và thí nghiệm tại chế độ 75% tải, tốc độ 1600 và 2200 v/ph. Nhìn chung, giữa kết quả mô phỏng và thí nghiệm có sự sai lệch nằm trong giới hạn cho phép. Sai lệch lớn nhất là 8,5% đối với phát thải CO ở tốc độ 2200 v/ph. Như vậy có thể sử dụng mô hình này để thực hiện các tính toán nghiên cứu khác trên động cơ.

3.2. Ảnh hưởng tới công suất và phát thải độc hại của động cơ

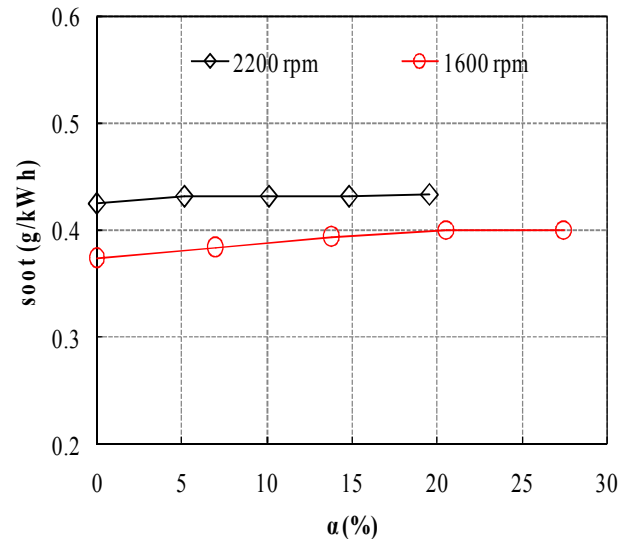


Hình 6. Diễn biến công suất có ích theo tỷ lệ α ở 2200 v/ph và 1600 v/ph

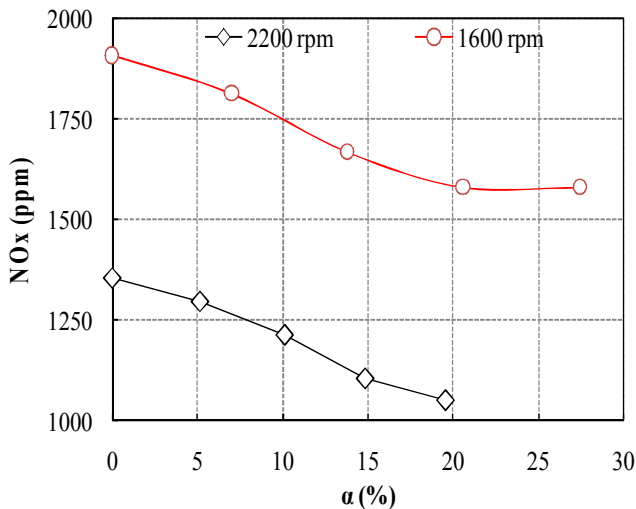
Hình 6 thể hiện diễn biến công suất có ích của động cơ theo tỷ lệ tỷ lệ α ở chế độ tốc độ 1600 và 2200 v/ph, 75% tải. Kết quả cho thấy, khi sử dụng NEA, công suất của động cơ có xu hướng cải thiện một chút. Cụ thể là khi tăng tỷ lệ α thì công suất động cơ tăng khoảng 1,7% ($\alpha = 20\%$) ở tốc độ 1600 v/ph và 1,4% ($\alpha = 15\%$) ở tốc độ 2200 vòng/phút. Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng tỷ lệ α , công suất bị giảm xuống do ni tơ như là một khí trơ làm tăng nhiệt dung riêng của môi chất (khoảng 1/2 so với CO_2), đồng thời lượng oxy giảm mạnh làm thay đổi cấu trúc của ngọn lửa cháy và thời gian cháy. Sự thay đổi nhiệt dung riêng của môi chất cũng như sự suy giảm hàm lượng oxy làm giảm nhiệt độ cháy như thể hiện trên hình 7. Khi tăng α đến 17% thì nhiệt độ cực đại trong buồng cháy giảm 320K ở tốc độ 1600 và 2200 v/ph. Điều này không những ảnh hưởng tới công suất của động cơ mà còn ảnh hưởng mạnh tới diễn biến các thành phần phát thải độc hại, đặc biệt là phát thải NO_x , khi mà nhiệt độ cháy là yếu tố chính hình thành phát thải độc hại này.



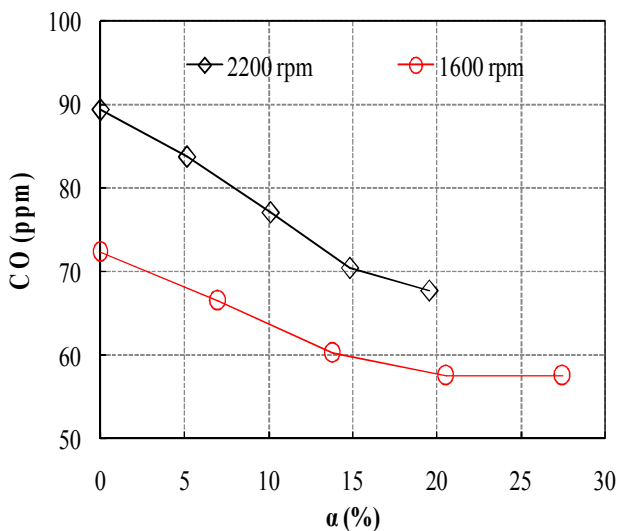
Hình 7. Diễn biến nhiệt độ lớn nhất trong buồng cháy theo tỷ lệ α ở 2200 v/ph và 1600 v/ph



Hình 10. Diễn biến phát thải soot theo tỷ lệ α ở 2200 v/ph và 1600 v/ph



Hình 8. Diễn biến phát thải NO_x theo tỷ lệ α ở 2200 v/ph và 1600 v/ph



Hình 9. Diễn biến phát thải CO theo tỷ lệ α ở 2200 v/ph và 1600 v/ph

Hình 8 thể hiện diễn biến của phát thải NO_x theo tỷ lệ α . Kết quả cho thấy phương pháp NEA có khả năng giảm thiểu NO_x với tỷ lệ $\alpha < 15\%$. Phát thải NO_x giảm khoảng 14,5% (ở 1600 v/ph) và 15,5% (ở 2200 v/ph). So với phát thải NO_x , ảnh hưởng của tỷ lệ α tới phát thải CO và soot thì có xu hướng ngược lại. Hình 9 cho thấy diễn biến của phát thải CO theo tỷ lệ α , khi tăng tỷ lệ α phát thải CO có xu hướng giảm xuống khi sử dụng NEA. Điều này có thể được lý giải là lượng ni tơ phun vào đường nạp chỉ có ảnh hưởng chiếm chỗ của không khí nạp mà không ảnh hưởng tới nhiệt độ khí nạp nên mức độ suy giảm hàm lượng ôxy trong khí nạp nhỏ. Đồng thời, môi chất nạp đồng đều hơn nên giảm thiểu được các vùng cháy thiếu ôxy cục bộ khi sử dụng NEA với tỷ lệ α nhỏ ($< 20\%$) dẫn tới giảm phát thải CO. Kết quả cho thấy, với α lên tới 17%, phát thải CO giảm 20,5% và 24,2% tương ứng ở tốc độ 1600 và 2200 v/ph khi sử dụng NEA. Hình 10 thể hiện diễn biến của phát thải soot theo tỷ lệ α . Đồ thị cho thấy sử dụng NEA gần như không gây ảnh hưởng tới hình thành phát thải soot nguyên nhân là do khí nạp sạch và đồng đều hơn khi sử dụng NEA nên không làm tăng khả năng hình thành phát thải soot.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu giảm phát thải NO_x bằng phương pháp sử dụng khí giàu ni tơ NEA được thực hiện bằng công cụ mô phỏng một chiều. Các kết quả nghiên cứu có thể được tóm tắt như sau:

- Sử dụng NEA có thể cải thiện được công suất của động cơ với tỷ lệ ni tơ phù hợp.
- Khả năng giảm thiểu phát thải NO_x của phương pháp NEA với tỷ lệ $\alpha < 17\%$ có thể lên tới hơn 15%.
- Hai thành phần phát thải CO có xu hướng giảm và soot tăng rất ít khi sử dụng NEA.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Hitoshi Yokomura, Susumu Kohketsu and Koji Mori, 2005. "EGR System in a Turbocharged and Intercooled Heavy-Duty Diesel Engine – Expansion of EGR Area with Venturi EGR System". Mitsubishi Technical Review.
- [2]. Ladommatos, N., R. Balian, R. Horrocks, and L. Cooper, 1996. "The Effect of Exhaust Gas Recirculation on Soot Formation in a High-Speed Direct-Injection Diesel Engine". SAE Paper 960841.
- [3]. Kreso, A.M., J.H. Johnson, L.D. Gratz, S.T. Bagley, and D.G. Leddy, 1998. "A Study of the Effects of Exhaust Gas Recirculation on Heavy-Duty Diesel Engine Emissions". SAE Paper 981422.
- [4]. Leet, J.A., A. Matheaus, and D. Dickey, 1998. "EGR's Effect on Oil Degradation and Intake System Performance". SAE Paper 980179.
- [5]. Dennis, A.J., C.P. Garner, and D.H.C. Taylor, 1999. "The Effect of EGR on Diesel Engine Wear". SAE Paper 1999-01-0839.
- [6]. Nagai, T., H. Endo, H. Nakamura, and H. Yano, 1983. "Soot and Valve Train Wear in Passenger Car Diesel Engine". SAE Paper 831757.
- [7]. Nagaki, H., and K. Korematsu, 1995. "Effect of Sulfur Dioxide in Recirculated Exhaust Gas on Wear within Diesel Engines". JSME Int'l J., Series B, Vol. 38, No. 3, pp. 465-474, .
- [8]. Plee, S.L., T. Ahmad, and J.P. Myers, 1981. "Flame Temperature Correlation for the Effects of Exhaust Gas Recirculation on Diesel Particulate and NOx Emissions". SAE Paper 811195.
- [9]. Röpke, S., G.W. Schweimer, and T.S. Strauss, 1995. "NOx Formation in Diesel Engines for Various Fuels and Intake Gases". SAE Paper 950213.
- [10]. Lapuerta, M., J.M. Salavert, and C. Doménech, 1995. "Modeling and Experimental Study about the Effect of Exhaust Gas Recirculation on Diesel Engine Combustion and Emissions". SAE Paper 950216.
- [11]. Li, J., J.O. Chae, S.B. Park, H.J. Paik, J.K. Park, Y.S. Jeong, S.M. Lee, and Y.J. Choi, 1997. "Effect of Intake Composition on Combustion and Emission Characteristics of DI Diesel Engine at High Intake Pressure". SAE Paper 970322.
- [12]. Olikara, C., and G.L. Borman, 1975. "A Computer Program for Calculating Properties of Equilibrium Combustion Products with Some Application to IC Engines". SAE Paper 750468.
- [13]. Poola, R.B., K.C. Stork, R. Sekar, K. Callaghan, and S. Nemser, 1998. "Variable Air Composition with Polymer Membrane - A New Low Emissions Tool". SAE Paper 980178.