

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ĐẶC TÍNH EXERGY VÀ PHÁT THẢI CỦA ĐỘNG CƠ LỬNG NHIÊN LIỆU DIESEL-CNG

AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF EXERGETIC PERFORMANCE AND EMISSION CHARACTERISTICS OF DIESEL-CNG DUAL FUEL ENGINE

Hoàng Đình Long^{1*}, Đinh Xuân Thành²

TÓM TẮT

Trước nguy cơ cạn kiệt nguồn nhiên liệu hóa thạch truyền thống và tình trạng ô nhiễm môi trường từ khí thải của động cơ diesel, việc nghiên cứu sử dụng lưỡng nhiên liệu diesel - khí thiên nhiên nén (CNG) trên động cơ diesel hiện hành đã được quan tâm từ lâu. Vấn đề là cần đánh giá xem động cơ có đảm bảo tính năng làm việc khi chuyển sang sử dụng lưỡng nhiên liệu Diesel-CNG (D-CNG) hay không. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm đánh giá tính năng kinh tế, kĩ thuật của động cơ diesel hiện hành khi sử dụng lưỡng nhiên liệu D-CNG dựa trên phân tích hiệu suất exergy và đặc điểm phát thải của động cơ. Với mục đích này, động cơ Kubota SKD80 được hoán cải để thực nghiệm sử dụng lưỡng nhiên liệu D-CNG với nhiên liệu CNG được cấp vào đường nạp và nhiên liệu diesel được phun mới. Kết quả phân tích hiệu suất exergy của động cơ ở các chế độ tải khác nhau cho thấy khi sử dụng CNG, hiệu suất exergy của động cơ tăng và tổn thất và tiêu hao exergy giảm, phát thải khói giảm đáng kể.

Từ khóa: Exergy, phân tích hiệu suất exergy, động cơ lưỡng nhiên liệu D-CNG.

ABSTRACT

Facing the risk of fossil fuel depletion and environmental pollution from diesel engine exhaust, the study of using diesel-compressed natural gas (CNG) dual fuel on current diesel engines has long been of interest. The problem is whether the engine can ensure performance when switching to using D-CNG dual-fuel or not. This paper presents the results of an experimental study to evaluate the econo-technical characteristics of the current diesel engine when using D-CNG dual-fuel based on the analysis of engine exergy efficiency and emission characteristics. For this purpose, a Kubota SKD80 engine was converted to experimentally study the use of D-CNG dual fuel with CNG fuel being fed into the intake manifold and diesel being pilot fuel. The results of the analysis of the engine's exergy performance at different load conditions show that when using CNG, the exergy efficiency of the engine increases, the exergy loss and exergy destruction are reduced, and smoke emissions are significantly reduced.

Keywords: Exergy, exergy analysis, D-CNG dual-fuel engine.

¹Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

²Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: long.hoangdinh@hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 28/02/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 30/3/2022

Ngày chấp nhận đăng: 25/4/2022

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sự gia tăng nhanh số lượng các phương tiện và thiết bị động lực trang bị động cơ diesel sử dụng nhiên liệu diesel

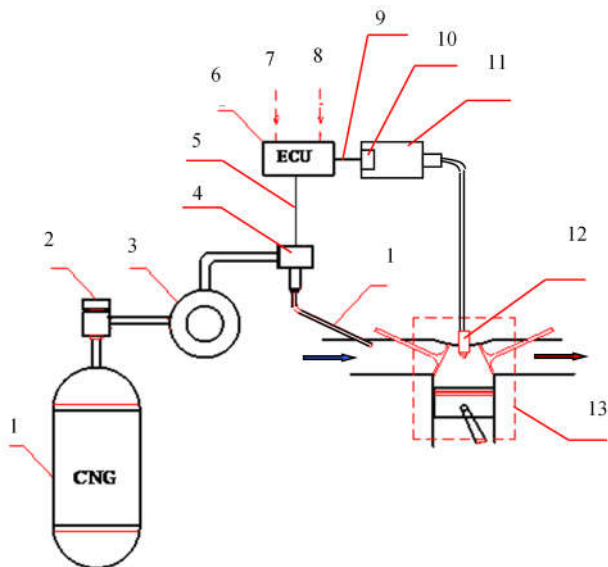
gốc hóa thạch đang gây cạn kiệt nhanh nguồn nhiên liệu này và gây ô nhiễm môi trường do phát thải nhiều các chất độc hại như CO, HC, NO_x và khói bụi (PM) [1]. Để khắc phục tình trạng này, việc nghiên cứu sử dụng nhiên liệu thay thế có trữ lượng lớn và phát thải độc hại thấp như khí thiên nhiên nén (CNG) trên động cơ diesel đang rất được quan tâm [2-4]. CNG rất khó tự cháy nên để sử dụng trong động cơ diesel, CNG thường được sử dụng phối hợp với nhiên liệu diesel ở dạng lưỡng nhiên liệu D-CNG (D-CNG), trong đó diesel được phun mới vào hỗn hợp không khí - CNG để khởi tạo quá trình cháy [4-6]. Trong động cơ lưỡng nhiên liệu D-CNG chuyển đổi từ động cơ diesel hiện hành, CNG thường được cung cấp vào đường nạp để tạo hỗn hợp trước với không khí, còn nhiên liệu diesel vẫn được phun trực tiếp như ở động cơ nguyên thủy nhưng lượng cấp chu trình được điều chỉnh giảm [4]. Đặc tính làm việc và phát thải của động cơ lưỡng nhiên liệu D-CNG bị ảnh hưởng rất lớn bởi các thông số của động cơ và đặc điểm cung cấp lưỡng nhiên liệu [5]. Nói chung, phát thải NO_x và soot của động cơ D-CNG giảm đáng kể so với động cơ thuần nhiên liệu diesel ở cùng chế độ tải trong khi hiệu suất có ích của động cơ được cải thiện ở hầu hết các chế độ làm việc [4, 5]. Tuy nhiên, một số nghiên cứu cho thấy ở tải nhỏ, phát thải CO và HC của động cơ D-CNG lại cao hơn và hiệu suất lại thấp hơn so với động cơ thuần diesel [7, 8]. Cho nên, để đánh giá hiệu quả sử dụng D-CNG làm nhiên liệu thay thế trên động cơ diesel hiện hành, cần nghiên cứu đánh giá đặc tính làm việc và phát thải cũng như tổn thất bên trong của động cơ khi sử dụng lưỡng nhiên liệu này. Điều này có thể thực hiện tốt nhất thông qua nghiên cứu thực nghiệm phân tích đặc điểm tiêu hao exergy của động cơ. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm đánh giá hiệu suất có ích, hiệu suất exergy và đặc điểm phát thải của động cơ khi chuyển sang sử dụng lưỡng nhiên liệu D-CNG. Việc nghiên cứu được thực hiện trong phòng thí nghiệm trên động cơ diesel 1 xi lanh Kubota-SKD80 làm mát bằng nước kiểu đối lưu tự nhiên. Kết quả nghiên cứu sẽ làm cơ sở để đưa ra giải pháp sử dụng hiệu quả CNG trên động cơ diesel hiện hành góp phần giảm ô nhiễm môi trường.

2. TRANG THIẾT BỊ VÀ QUY TRÌNH THÍ NGHIỆM

2.1. Hệ thống cung cấp lưỡng nhiên liệu D-CNG

Hình 1 thể hiện sơ đồ hệ thống cung cấp lưỡng nhiên liệu D-CNG trên động cơ thí nghiệm Kubota SKD80. Động

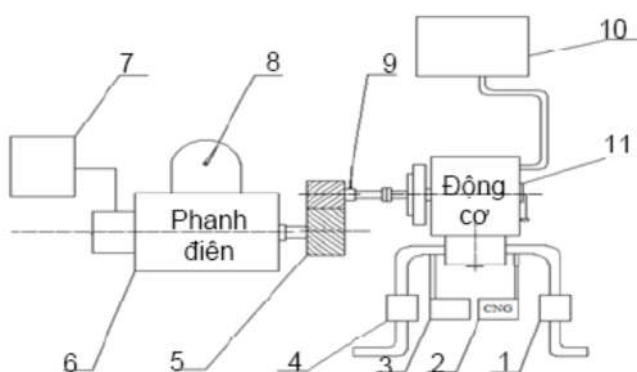
cơ có dung tích 0,465 lít, S/D = 84/84 (mm), công suất thiết kế 5,15kW (7ml) ở 2200v/p, mô men cực đại đạt 26,5Nm ở 1800v/p, dải tốc độ làm việc 1500 - 2200v/p. Động cơ sử dụng bơm nhiên liệu cao áp cơ khí kiểu Bosch cùng bộ điều tốc cơ khí nhiều chế độ. Để chuyển sang sử dụng lưỡng nhiên liệu D-CNG, động cơ được trang bị thêm hệ thống phun CNG vào đường nạp và được thay bộ điều tốc cơ khí bằng bộ điều khiển điện tử ECU. ECU điều khiển cả lượng phun CNG và lượng phun diesel theo chế độ làm việc của động cơ. ECU cho phép kết nối với máy tính để điều khiển lượng phun CNG và diesel cho mỗi chu trình theo ý muốn.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống cung cấp D-CNG

1. Bình CNG; 2. Van khí; 3. Van giảm áp; 4. Vòi phun CNG; 5. Dây tín hiệu điều khiển vòi phun; 6. ECU; 7, 8. Tín hiệu cảm biến tay ga và cảm biến tốc độ; 9, 10. Dây tín hiệu và mô tơ điều khiển bơm cao áp; 11. Bơm cao áp; 12. Vòi phun diesel; 13. Động cơ thí nghiệm.

2.2. Hệ thống băng thử và thiết bị đo



Hình 2. Sơ đồ lắp đặt động cơ và băng thử

1. Ống nạp; 2. Hệ thống cấp CNG; 3. Thiết bị phân tích khí thải; 4. Ống thải; 5. Hộp giảm tốc; 6. Phanh điện; 7. Cơ cấu chỉnh tải; 8. Cân mô men; 9. Cảm biến tốc độ; 10. Thùng nhiên liệu D; 11. Cảm biến tay ga

Hình 2 thể hiện cụm băng thử - động cơ và các hệ thống trang thiết bị phục vụ thí nghiệm gồm: cụm phanh điện và đồng hồ đo lực phanh, hộp giảm tốc, dụng cụ đo tiêu hao nhiên liệu diesel, lưu lượng và nhiệt độ khí nạp, lưu

lượng và nhiệt độ nước làm mát ra vào động cơ từ két đối lưu, hệ thống cung cấp khí CNG, các cảm biến và thiết bị phân tích khí thải.

Hàm lượng CO, CO₂, HC và NO_x được đo bằng các thiết bị phân tích khí Disgas-4000 và Heshbon HG-520. Độ chính xác của thiết bị khi đo CO là 0,01%, CO₂ - 0,1%, HC - 1ppm. Độ khối được đo nhờ thiết bị Heshbon HD-410 với thang đo 0% - 100%, độ chính xác 1%. Lưu lượng khí nạp được đo nhờ sử dụng tấm tiết lưu, lưu lượng và nhiệt độ nước đối lưu bằng các cảm biến lưu lượng và cảm biến nhiệt độ.

2.3. Quy trình thí nghiệm

Thí nghiệm được thực hiện ở tốc độ động cơ 2200v/p. Trước tiên, cần đo công suất và mô men của động cơ nguyên thủy ở toàn tải. Sau đó tháo bỏ điều tốc cơ khí, lắp hệ thống cung cấp CNG, motor bước kéo thanh răng bơm cao áp và ECU kết nối máy tính lên động cơ. Tiếp theo, tiến hành thí nghiệm với đơn nhiên liệu diesel, điều chỉnh góc xoay motor bước sao cho công suất và tốc độ động cơ ở toàn tải và không tải phù hợp với số liệu đo trên động cơ nguyên bản chưa thay đổi gì.

Tiếp nữa, ở mỗi chế độ làm việc từ không tải đến toàn tải, lượng cấp diesel được điều chỉnh giảm dần qua giao diện ECU trên máy tính, đồng thời lượng cấp CNG được điều chỉnh tăng dần để bù vào sao cho mô men động cơ không thay đổi cho đến khi đạt được tỉ lệ cấp CNG hợp lý ở chế độ công suất đó. Tỉ lệ CNG hợp lý là tỉ lệ CNG lớn nhất không xảy ra kích nổ trong khi phát thải CO, HC không cao.

Việc đo tiêu thụ nhiên liệu diesel của động cơ khi chạy với đơn nhiên liệu diesel và khi chạy lưỡng nhiên liệu D-CNG ở cùng chế độ tải sẽ xác định được lượng giảm diesel khi chạy D-CNG so với khi chạy đơn nhiên liệu diesel. Lượng tiêu thụ CNG khi chạy lưỡng nhiên liệu D-CNG được xác định gần đúng là:

$$\text{Tiêu hao CNG} = \text{Lượng giảm diesel} \times \frac{\text{Nhiệt trị D}}{\text{Nhiệt trị CNG}}$$

Tỉ lệ CNG thay thế ở mỗi chế độ tải được xác định bằng tỉ lệ giảm lượng cấp diesel khi sử dụng D-CNG so với khi sử dụng đơn nhiên liệu diesel. Động cơ D-CNG thường có hàm lượng phát thải HC lớn hơn nhiều so với động cơ sử dụng đơn nhiên liệu diesel; ở tải càng nhỏ thì phát thải HC càng lớn; ở tải nhỏ khi tăng tỉ lệ CNG thay thế lên trên 50% thì hàm lượng phát thải HC có thể tăng gấp nhiều lần [9]. Chính vì vậy, tỉ lệ CNG thay thế được điều chỉnh bằng 0 ở không tải, tức là sử dụng chỉ đơn nhiên liệu diesel; ở toàn tải, tỉ lệ CNG thay thế là tỉ lệ CNG lớn nhất cho phép về mặt kích nổ; ở các chế độ khác, tỉ lệ CNG được chọn đảm bảo HC không lớn hơn giới hạn đặt ra

3. TÍNH TOÁN CÂN BẰNG NHIỆT VÀ EXERGY

3.1. Tính toán cân bằng nhiệt

$$Q_0 = Q_e + Q_{th} + Q_{lm} + (Q_{kc} + Q_{ci})$$

Q_{kc} tính từ phản ứng cháy CO, HC trong khí thải.

Q_{ci} là nhiệt tỏa ra môi trường từ mặt ngoài động cơ, tính gần đúng bằng 5% (Q₀).

Q_e nhiệt ứng với công suất có ích;

$$\text{Hiệu suất có ích: } \eta_e = Q_e/Q_0 \tag{1}$$

$$\text{Nhiệt tổn thất: } Q_{tt} = Q_{th} + (Q_{lm} + Q_{kc} + Q_{cl}) \tag{2}$$

3.2. Tính toán Exergy

Exergy là phần năng lượng sẵn có có thể sử dụng được, trong động cơ nhiệt nó là phần năng lượng nhiệt tối đa có thể biến đổi thành công cơ học.

$$E_{\Sigma} = E_w + E_{kt} + E_{lm} + E_{tiêu hao} \tag{3}$$

Trong đó: E_{Σ} bằng exergy của nhiên liệu, được xác định theo Verma [9]

$$E_{\Sigma} = E_{nl} = Q_H \times \left\{ 1,0401 + 0,1728 \left(\frac{H}{C} \right) + 0,0432 \left(\frac{O}{C} \right) + 0,2169 \left(\frac{S}{C} \right) \times \left[1 - 2,0628 \left(\frac{H}{C} \right) \right] \right\} \tag{4}$$

với Q_H là nhiệt trị thấp của nhiên liệu; C, H, O, S là thành phần khối lượng của C, H, O, S trong nhiên liệu;

$E_w = Ne$ là công suất có ích.

E_{kt} là exergy của khí thải:

$$E_{kt} = E_{kt,phasic} + E_{kt,chemic}$$

$$E_{kt,phasic} = n_{kt} \sum_{k=1}^j y_k M_k [(h_k - h_{k0}) - T_0 (S_k - S_{k0})] + n_{H_2O} (h_{H_2O} - h_{H_2O0}) - T_0 (S_{H_2O} - S_{H_2O0}) \tag{5}$$

$$E_{kt,chemic} = n_{kt} \sum_{i=1}^j y_i e_i + n_{H_2O} e_{H_2O} \tag{6}$$

$E_{lm} = Q_{lm}(1 - T_0/T_m)$ là exergy của nhiệt tổn thất cho nước làm mát và môi trường xung quanh; n_{kt} , n_{H_2O} là lưu lượng mol của khí thải và hơi nước; y_i , y_k là thành phần thể tích khí thải; h_k , h_{k0} , S_k , S_{k0} là entanpi và entropi của khí thải ở nhiệt độ đang xét và ở nhiệt độ môi trường, M_k là phân tử lượng của thành phần khí k; T_0 , T_m là nhiệt độ môi trường và nhiệt độ trung bình của vật truyền nhiệt (nước làm mát, mặt ngoài động cơ); e_i , e_{H_2O} là exergy hóa năng của các thành phần khí thải và của hơi nước.

Hiệu suất exergy: $\varepsilon = E_w/E_{\Sigma}$

Exergy tiêu hao trong động cơ:

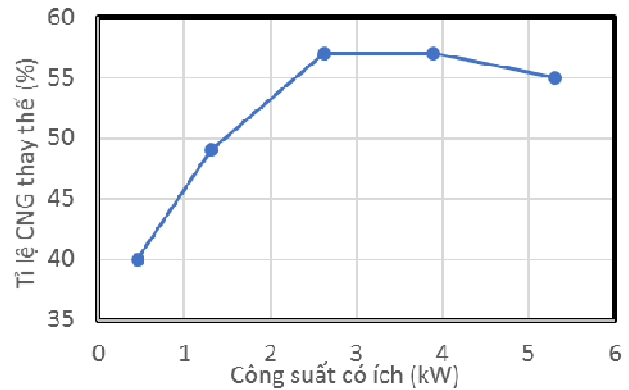
$$E_{tiêu hao} = E_{\Sigma} - (E_w + E_{kt} + E_{lm})$$

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

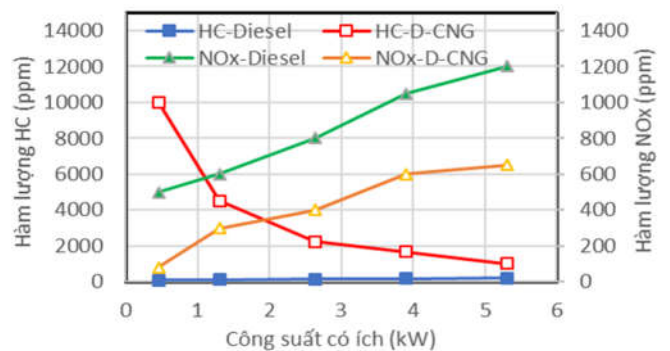
Thí nghiệm được thực hiện ở tốc độ động cơ 2200v/p, tải tăng dần từ nhỏ đến cực đại. Ở mỗi chế độ tải (công suất Ne), động cơ được điều chỉnh cung cấp nhiên liệu ở 2 chế độ, chế độ thứ nhất là thuần diesel, tiến hành đo các thông số làm việc và phát thải của động cơ; sau đó điều chỉnh giảm nhiên liệu diesel và tăng CNG sao cho tốc độ và mô men không đổi cho đến khi chớm xuất hiện kích nổ hoặc HC không tăng quá lớn (tức là lượng CNG thay thế lớn nhất), cũng thực hiện đo các thông số làm việc và phát thải của động cơ như trường hợp chạy động cơ thuần diesel. Từ các số liệu thí nghiệm sẽ tính toán được tỉ lệ CNG thay thế, hiệu suất có ích, hiệu suất exergy, tổn thất nhiệt, tổn thất

exergy và tiêu hao exergy, từ đó đánh giá được tính năng động cơ khi chạy lưỡng nhiên liệu D-CNG so với khi chạy thuần diesel (D). Kết quả nghiên cứu được thể hiện trên các đồ thị hình 3 đến 9.

Đồ thị hình 3 thể hiện tỉ lệ CNG thay thế tối ưu ở các chế độ tải. Ở tải nhỏ tỉ lệ CNG bị hạn chế bởi phát thải HC, còn ở tải lớn thì bị hạn chế bởi kích nổ.



Hình 3. Tỉ lệ CNG thay thế

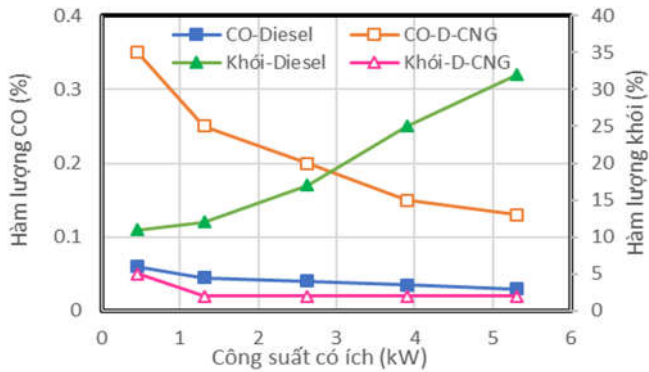


Hình 4. Hàm lượng phát thải HC và NO_x

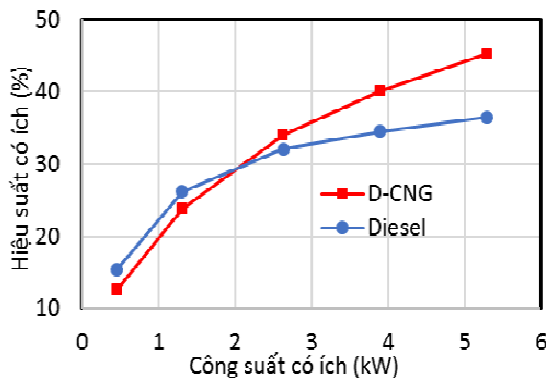
Các đồ thị hình 4 và 5 thể hiện đặc điểm phát thải HC, NO_x, CO và khói ở các chế độ tải của động cơ chạy lưỡng nhiên liệu D-CNG so với khi chạy thuần diesel. Có thể thấy phát thải khói và NO_x trong động cơ lưỡng nhiên liệu D-CNG thấp hơn đáng kể so với động cơ chạy thuần nhiên liệu diesel, đặc biệt là phát thải khói trong khi phát thải CO và HC thì lại cao hơn. Tăng tải thì CO, HC giảm trong khi NO_x tăng. Ở tải nhỏ động cơ chạy D-CNG có phát thải HC lớn hơn rất nhiều so với động cơ chạy thuần nhiên liệu diesel nên cần giảm tỉ lệ CNG thay thế ở tải nhỏ, và đặc biệt là ở không tải thì không nên sử dụng CNG vì ở tải nhỏ quá trình cháy chỉ thực hiện được ở các vùng có nhiên liệu diesel trong xi lanh còn CNG ở các vùng xa chùm tia diesel sẽ không cháy được do hỗn hợp không khí - CNG nhạt màng lửa không lan tràn tới được. Tăng tải thì điều kiện cháy tốt hơn nên CO và HC giảm nhưng nhiệt độ lại tăng nên NO_x tăng. Việc sử dụng CNG làm giảm không khí nạp nên nhiệt độ cháy và ôxi giảm so với động cơ chạy thuần nhiên liệu diesel nên NO_x ở động cơ D-CNG thấp hơn.

Đồ thị hình 6 thể hiện hiệu suất có ích của động cơ D-CNG so với động cơ chạy thuần nhiên liệu diesel. Có thể thấy sử dụng lưỡng nhiên liệu D-CNG giúp cải thiện hiệu

suất động cơ ở tải cao, hiệu suất đạt 45,35% so với 36,5% ở động cơ thuần diesel do CNG có đặc tính cháy tốt giúp tăng khuếch tán và cháy kiệt khi thành phần CNG trong hỗn hợp đủ lớn. Tuy nhiên, ở tải nhỏ do CNG nhạt khó cháy kiệt nên hiệu suất thấp hơn của động cơ thuần diesel.

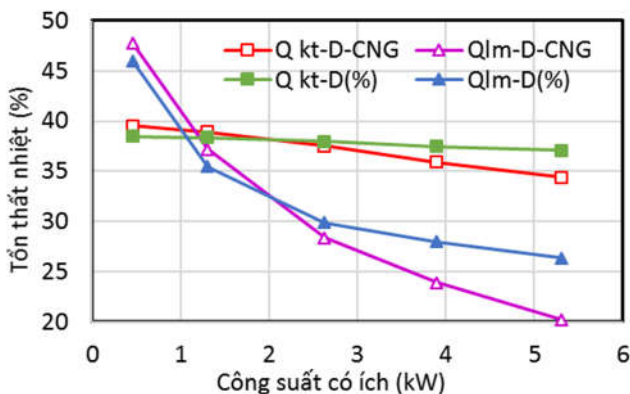


Hình 5. Hàm lượng phát thải CO và khí



Hình 6. Hiệu suất có ích

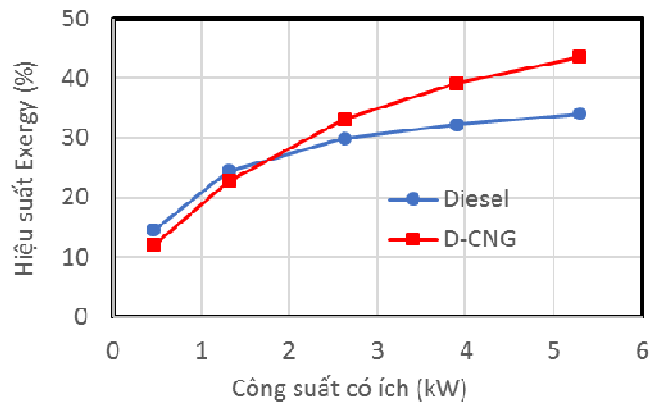
Đồ thị hình 7 chỉ ra tổn thất nhiệt cho khí thải và cho nước làm mát ra môi trường $Q_{kt-D-CNG}$, $Q_{lm-D-CNG}$ của động cơ D-CNG thấp hơn so với động cơ thuần diesel Q_{kt-D} , Q_{lm-D} ở tải cao do quá trình cháy và giãn nở triệt để hơn. Tuy nhiên ở tải thấp thì tổn thất nhiệt của động cơ D-CNG lại cao hơn của động cơ thuần diesel. Tăng tải thì tỉ lệ nhiệt tổn thất giảm.



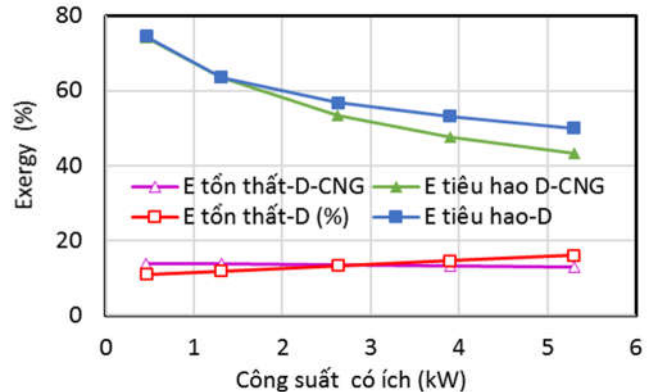
Hình 7. Nhiệt khí thải và nhiệt truyền ra môi trường

Đồ thị hình 8 thể hiện hiệu suất exergy của động cơ D-CNG so với động cơ chạy thuần nhiên liệu diesel. Có thể thấy, tương tự như hiệu suất có ích, sử dụng lượng nhiên

liệu D-CNG giúp cải thiện hiệu suất exergy của động cơ ở tải cao, hiệu suất exergy đạt 43,6% so với 34% ở động cơ thuần diesel nhưng ở tải nhỏ hiệu suất exergy của động cơ D-CNG cũng thấp hơn của động cơ thuần diesel.



Hình 8. Hiệu suất exergy



Hình 9. Exergy tổn thất và exergy tiêu hao

Đồ thị hình 9 thể hiện exergy tiêu hao (phần năng lượng mất đi không thể sử dụng được) và exergy tổn thất (phần năng lượng tổn thất ra môi trường nhưng nếu sử dụng các biện pháp thu hồi thì có thể sử dụng được) của động cơ D-CNG so với động cơ thuần diesel. Các đồ thị cho thấy exergy tiêu hao của động cơ do tính không thuận nghịch và tổn thất bên trong của động cơ khá lớn, chiếm tỉ lệ 80% - 43,4% tổng exergy đưa vào theo nhiên liệu. Exergy tổn thất cho khí thải và nước làm mát ra ngoài chỉ chiếm tỉ lệ 13% - 16%. Tải càng nhỏ thì exergy tiêu hao càng lớn, động cơ D-CNG có exergy tiêu hao nhỏ hơn so với động cơ thuần diesel ở mọi chế độ tải, ở toàn tải exergy tiêu hao của động cơ D-CNG là 43,4% so với 49,9% của động cơ thuần diesel. Exergy tổn thất của động cơ D-CNG nhỏ hơn của động cơ thuần diesel ở tải lớn nhưng lớn hơn ở tải nhỏ.

5. KẾT LUẬN

Bài báo này đã trình bày nghiên cứu trang bị hệ thống cung cấp nhiên liệu và chuyển đổi thành công một động cơ diesel 1 xi lanh Kubota sang sử dụng lượng nhiên liệu D-CNG. Từ kết quả nghiên cứu thực nghiệm có thể rút ra một số kết luận sau:

- Tỉ lệ CNG thay thế tối đa bị hạn chế bởi phát thải HC ở tải nhỏ và kích nổ ở tải lớn;

- Hiệu suất có ích và hiệu suất exergy của động cơ D-CNG tăng theo tải nhanh hơn của động cơ thuần diesel. Ở tải lớn hiệu suất có ích và hiệu suất exergy của động cơ D-CNG lớn hơn của động cơ thuần diesel nhưng ở tải nhỏ thì nhỏ hơn.

- Tổn thất nhiệt của động cơ khá lớn nhưng chỉ có một phần nhỏ có thể thu hồi để sử dụng được (exergy tổn thất).

- Tổn thất nhiệt và tổn thất exergy của động cơ D-CNG nhỏ hơn của động cơ thuần diesel ở tải lớn nhưng nhỏ hơn ở tải nhỏ.

Exergy tiêu hao của động cơ D-CNG nhỏ hơn của động cơ thuần diesel.

[7]. Jie Liu, et al., 2013. *Effects of pilot fuel quantity on the emissions characteristics of a CNG/diesel dual fuel engine with optimized pilot injection timing*. Applied Energy, Vol.110, pp.201-206.

[8]. Chia-fon Lee, et. al., 2020. *An optical investigation of substitution rates on natural gas/diesel dual-fuel combustion in a diesel engine*. Applied Energy, Vol. 261, 114455.

[9]. Hoang Dinh Long, 2016. *Research on hydrocarbon emission characteristics of D-CNG dual-fuel engine by modeling method*. The Vietnam Journal Mechanical Engineering, vol 9, pp. 87-92, ISSN 0866-7056.

[10]. Saket Verma, et al., 2017. *A comparative exergetic performance and emission analysis of pilot diesel dual-fuel engine with biogas, CNG and hydrogen as main fuels*. Energy Conversion and Management, Vol. 151, p.764–777.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Ibrahim Aslan Resitoglu, et. al., 2015. *The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems*. Clean Technologies and Environmental Policy, Vol.17, pp.15-27.

[2]. Mark Finley, 2013. *BP Statistical Review of World Energy*. bp.com/statisticalreview.

[3]. Kirti Bhandari, et al., 2005. *Performance and emissions of natural gas fuelled internal combustion engine: A review*. Journal of Scientific and Industrial Research, Vol.64, pp.333-338.

[4]. Lounici, et al, 2014. *Towards improvement of natural gas-diesel dual fuel mode: An experimental investigation on performance and exhaust emissions*. Energy, Vol.64, pp.200-211.

[5]. Sahoo B.B, N. Sahoo, U.K. Saha, 2009. *Effect of engine parameters and type of gaseous fuel on the performance of dual-fuel gas diesel engines - A critical review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.13, pp.1151-1184.

[6]. Semin, R. A. Bakar, A.R. Ismail, 2009. *Green Engines Development Using Compressed Natural Gas as an Alternative Fuel: A Review*. American Journal of Environmental Sciences, Vol.5, pp.371-381.

AUTHORS INFORMATION

Hoang Dinh Long¹, Dinh Xuan Thanh²

¹Hanoi University of Science and Technology

²Hanoi University of Industry