

NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH CHÁY HCCI KHI SỬ DỤNG HỆ THỐNG LUÂN HỒI KHÍ THẢI

STUDY ON HOMOGENOUS CHARGE COMPRESSION IGNITION (HCCI)
BY USING EXHAUST GAS RECIRCULATION SYSTEM

Khương Thị Hà^{1*}, Nguyễn Cao Văn¹,
Văn Đăng Cương², Bùi Văn Chinh²

TÓM TẮT

Nghiên cứu chuyển đổi động cơ diesel truyền thống sang hoạt động theo nguyên lý cháy do nén hỗn hợp đồng nhất (HCCI) trên cơ sở động cơ nghiên cứu là động cơ diesel 1 xy lanh BD178FE đã qua sử dụng, không tăng áp, làm mát bằng không khí, tỷ số nén 20. Động cơ này chuyển đổi sang quá trình cháy HCCI tại tỷ số nén 15,4, có tỷ lệ luân hồi thay đổi từ 10 ÷ 30%, khoảng chia 5%, chế độ tốc độ từ 1200vg/ph đến 2400vg/ph với khoảng chia 400vg/ph và các chế độ tải: 10%, 20%, 30% và 50% tương ứng với mô men có giá trị lần lượt là: 1,24Nm; 2,48Nm; 3,72Nm và 6,2Nm. Kết quả là động cơ HCCI hoạt động ổn định tại chế độ nghiên cứu với mô men có ích tương đương với động cơ diesel nguyên bản tuy nhiên quá trình cháy diễn ra sớm trước điểm chết trên. Tăng dần tỷ lệ khí luân hồi quá sẽ giảm được hiện tượng cháy quá sớm và cháy khuếch tán tại ngọn lửa nóng.

Từ khóa: Cháy do nén hỗn hợp đồng nhất, luân hồi khí thải, thời điểm bắt đầu cháy.

ABSTRACT

Studying the conversion from traditional diesel engine to engine operating on fire principle due to Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) based on research of single cylinder diesel engine BD178FE which is used, non-turbocharged, air-cooled, and has a compression ratio of 20. This engine converts to HCCI combustion process at a compression ratio of 15.4, it has a 10 ÷ 30% change Exhaust Gas Recirculation (EGR), rate with 5% division, speed mode from 1200rpm to 2400rpm with division of 400rpm and load modes 10%, 20%, 30% and 50%, which corresponds to a torque of 1.24Nm; 2.48Nm; 3.72Nm and 6.2Nm. The results show that, the HCCI engine operates stably in the research mode with useful torque and is equivalent to the original diesel engine, but the combustion occurs early before the dead point. Gradually increasing the rate of EGR will reduce premature burning and diffuse burning in hot flames.

Keywords: HCCI, EGR, SOC.

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Giao thông Vận tải

²Khoa Công nghệ Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: khuongha82@gmail.com

Ngày nhận bài: 03/8/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/9/2020

Ngày chấp nhận đăng: 21/10/2020

1. GIỚI THIỆU

Động cơ đốt trong truyền thống đã đóng góp một phần đáng kể cho sự phát triển kinh tế xã hội của loài người, là

một phần không thể thiếu trong công nghiệp, nông nghiệp, giao thông vận tải và trong cuộc sống hàng ngày. Lợi ích của động cơ đốt trong mang lại rất lớn nhưng những nhược điểm của nó cũng gây nhiều tác hại cho xã hội và cho con người, nhất là vấn đề khí thải và nâng cao hiệu suất để tiết kiệm nhiên liệu. Hiện nay có hai loại động cơ tiêu biểu là động cơ xăng và động cơ diesel. Một trong các công nghệ mới hiện nay là nghiên cứu thiết lập động cơ hoạt động theo nguyên lý cháy HCCI, động cơ hoạt động theo nguyên lý này lần đầu tiên được giới khoa học thừa nhận là công trình nghiên cứu về mô hình cháy CAI (Control auto ignition - Cháy có điều khiển) được thực hiện bởi Onishi [4] và Noguchi [3] trong năm 1979. Sau công trình đầu tiên của Onishi và Noguchi, đã bùng nổ một xu hướng nghiên cứu và phát triển động cơ sử dụng mô hình cháy này, điển hình là của hãng Honda với động cơ CAI đầu tiên được sản xuất và lắp trên ô tô, động cơ xe máy ARC 2 kỳ. Đến giữa thập niên 90, những nghiên cứu đã bắt đầu có hệ thống hơn và tập trung vào khả năng ứng dụng mô hình cháy HCCI cho động cơ diesel trên ô tô. Các nghiên cứu trên toàn thế giới về động cơ cháy do nén hỗn hợp đồng nhất (HCCI - Homogeneous compression charge ignition) được cho là sẽ khắc phục các nhược điểm của động cơ truyền thống với các ưu thế: phát thải NO_x và PM thấp (Động cơ HCCI giảm NO_x do giảm nhiệt độ cháy so với động cơ nguyên bản và cháy với nhiều tâm cháy phân bố đồng đều trong không gian buồng cháy nên cháy sạch, giảm PM), hiệu suất nhiệt tương đương động cơ phun xăng trực tiếp, có khả năng sử dụng đa dạng các loại nhiên liệu thay thế. Dưới đây là một vài nghiên cứu về động cơ HCCI trên thế giới:

Cũng nghiên cứu việc hình thành HCCI bằng cách phun nhiên liệu rất sớm và phun đa điểm, Suyin Gan và các cộng sự [6] đã tiến hành thử nghiệm trên động cơ diesel. Ngoài ra nhóm nghiên cứu thuộc trường đại học Nottingham Malaysia Campus cũng thử nghiệm với góc phun rất muộn. Các thông số điều khiển động cơ hoạt động theo nguyên lý HCCI là các thông số cơ bản của vòi phun, áp suất phun, các thông số hình học của đỉnh piston, tỷ số nén, nhiệt độ khí nạp, nhiệt độ khí luân hồi và quá trình trao đổi khí hoặc tăng áp. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số

này đến quá trình cháy và khí thải cho thấy khả năng điều khiển và mở rộng dải làm việc cho động cơ HCCI bằng cách phun nhiều lần.

Ngoài các nhiên liệu truyền thống, các nhà nghiên cứu về động cơ HCCI cũng sử dụng các loại nhiên liệu thay thế khác như DME, hydro, khí sinh học [7],... Can Cinar [1] và các cộng sự đã nghiên cứu ảnh hưởng của tỷ lệ diethyl ether (DEE) đến quá trình cháy và khí thải của động cơ 1 xy lanh phun nhiên liệu trực tiếp hoạt động theo nguyên lý HCCI. Các thí nghiệm đã được tiến hành ở tốc độ 2200v/ph và 19N.m, lượng DEE được điều khiển bởi ECU và được phun vào đường ống nạp nhờ bơm áp suất thấp. Tỷ lệ nhiên liệu diesel trên DEE thay đổi từ 0 - 40%, lượng DEE hòa trộn trước ở đường ống nạp được tính dựa trên tỷ lệ nhiệt lượng DEE trên tổng nhiệt lượng của nhiên liệu tỏa ra trong quá trình cháy. Kết quả thực nghiệm cho thấy khi tỷ lệ DEE là 10% quá trình cháy vẫn ổn định, còn tại 40% DEE bắt đầu xảy ra hiện tượng cháy kích nổ, NO_x và bồ hóng đồng thời giảm đến 19,4% và 76,1%, nhiệt độ khí thải giảm 23,8%, còn CO và HC tăng.

S. Swami Nathan [5] đã nghiên cứu thử nghiệm việc sử dụng lượng nhiên liệu diesel và khí sinh học cho động cơ HCCI, việc điều khiển quá trình cháy thông qua nhiệt độ khí nạp và lượng nhiên liệu diesel phun trên đường nạp để điều khiển thời điểm cháy. Trong khí sinh học có CO₂, khí này là giảm tốc độ tỏa nhiệt của nhiên liệu diesel dùng trên động cơ HCCI. Thông thường khi sử dụng khí sinh học sẽ làm giảm hiệu suất nhiệt đối với cả hai loại động cơ truyền thống là xăng và diesel, nhưng kết quả thí nghiệm trong nghiên cứu này lại cho thấy động cơ HCCI sử dụng nhiên liệu khí sinh học thì hiệu suất nhiệt cao nhất là 50%, gần bằng với động cơ diesel. Bên cạnh đó lượng NO chỉ còn 20ppm và độ khói là 0,1 HSU ở tất cả các chế độ thử nghiệm. HC ở mức độ rất cao, tuy nhiên có thể giảm xuống khi nhiệt độ khí nạp tăng lên nhờ tận dụng nhiệt khí xả để sấy nóng. Nghiên cứu này cho thấy việc sử dụng khí sinh học cho động cơ HCCI là hoàn toàn khả thi.

Tuy nhiên, vẫn đang còn nhiều vấn đề cần phải giải quyết đối với động cơ HCCI như: không thể điều khiển một cách trực tiếp quá trình cháy, phát thải CO và HC cao, cũng như là vùng làm việc tập trung ở tải nhỏ [2, 8]. Vấn đề điều khiển thời điểm tự cháy trên động cơ HCCI không đơn giản như trên động cơ xăng và diesel, cần đảm bảo tính chất của hỗn hợp sao cho thời điểm cháy bắt đầu ở gần điểm chết trên. Trên động cơ xăng, một phần hỗn hợp nhiên liệu-không khí bám trong các khe kẽ, khi piston đi xuống, thành phần này sẽ được đốt cháy do nhiệt độ cao (lớn hơn 2500K). Tuy nhiên, trên động cơ HCCI, nhiệt độ cháy rất thấp (nhỏ hơn 1800K), nên phần hỗn hợp này không được phân huỷ, phát thải CO và HC cao. Tại tải nhỏ, giá trị nhiệt độ lớn nhất rất nhỏ (chỉ khoảng 1200K), không đủ để CO chuyển hoá thành CO₂, vì vậy quá trình tự cháy khó khăn hơn. Trong khi tại tải lớn, do hỗn hợp được cháy cùng một thời điểm, tốc độ tỏa nhiệt diễn ra rất nhanh, tốc độ tăng áp suất lớn, gây ảnh hưởng xấu đến động cơ. Vùng làm việc của động cơ HCCI bị giới hạn bởi hai yếu tố: không cháy và

kích nổ, tại tốc độ cao, hỗn hợp khó tự cháy hơn do không đủ thời gian để phản ứng.

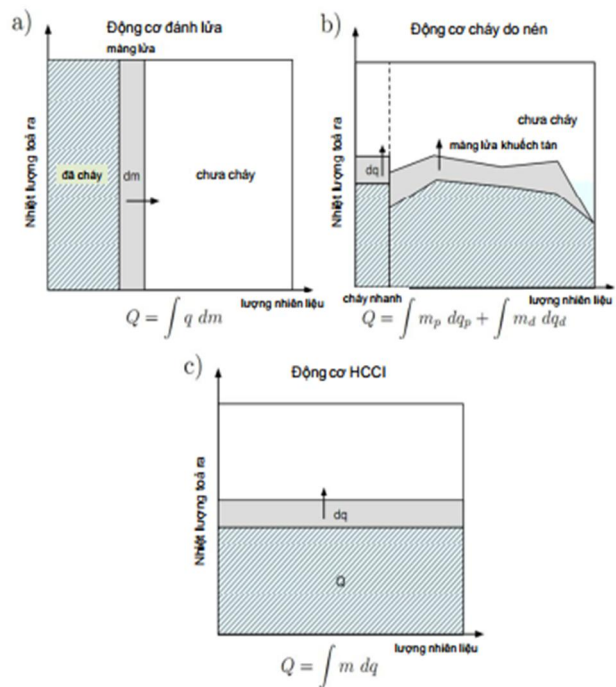
Trong nghiên cứu này trình bày phương pháp chuyển đổi động cơ diesel truyền thống sang hoạt động theo quá trình cháy HCCI thông qua giải pháp luân hồi khí thải với mong muốn thiết lập được quá trình cháy HCCI cho động cơ truyền thống mà không phải thay đổi gì về kết cấu của động cơ nguyên bản.

2. NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH CHÁY HCCI THÔNG QUA GIẢI PHÁP LUÂN HỒI KHÍ THẢI

2.1. Cơ sở lý thuyết

Trên động cơ đánh lửa, quá trình cháy diễn ra thông qua quá trình đánh lửa của bugi, màng lửa từ bugi sẽ lan tràn khắp buồng cháy. Phần hỗn hợp chưa cháy được ngăn cách với phần đã cháy thông qua màng lửa. Tổng nhiệt lượng tỏa ra trong động cơ đánh lửa được tính như sau:

$$Q = \int_{\text{mix}} q dm \tag{1}$$



Hình 1. Nhiệt lượng của các loại động cơ

Trong đó: q là nhiệt lượng trên một đơn vị khối lượng hỗn hợp nhiên liệu/không khí và dm là phần khối lượng của màng lửa cháy (hình 1a).

Trên động cơ diesel, nhiên liệu được phun trực tiếp vào khí có nhiệt độ cao sau quá trình nén. Một lượng nhỏ hỗn hợp đạt được điều kiện tự cháy giống như quá trình cháy HCCI, trong khi đó một lượng lớn nhiên liệu còn lại sẽ cháy khuếch tán sau khi quá trình cháy đầu tiên diễn ra. Vì vậy, trên động cơ diesel, quá trình tỏa nhiệt chia làm hai giai đoạn là kết quả của quá trình cháy nhanh và cháy khuếch tán:

$$Q = \int_{\text{premix}} m_p dq_p + \int_{\text{dif}} m_d dq_d \tag{2}$$

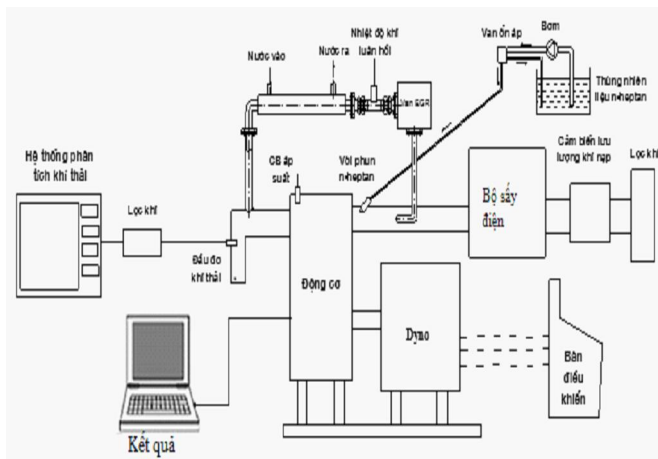
Trong đó: m_p và dq_p lần lượt là khối lượng và nhiệt lượng của hỗn hợp trong quá trình cháy nhanh (premixed); m_d và dq_d là khối lượng và nhiệt lượng của hỗn hợp trong mỗi vùng của quá trình cháy khuếch tán (diffusion) (hình 1b). Giá trị nhiệt lượng toả ra phụ thuộc vào độ đậm nhạt (λ) của mỗi vùng đó, vì vậy khi cháy, mỗi vùng có lượng nhiệt toả ra khác nhau.

Trên động cơ HCII do quá trình cháy diễn ra gần như đồng thời, không có hiện tượng lan tràn màng lửa, vì vậy tổng lượng nhiệt toả ra được tính bằng tổng nhiệt lượng các vùng dq từ quá trình cháy hỗn hợp trong xylanh với khối lượng mỗi vùng là m (hình 1c):

$$Q = \int_{mix} mdq \tag{3}$$

Tuy nhiên trên thực tế, do hỗn hợp không hoàn toàn đồng nhất nên quá trình cháy có thể một phần giống với quá trình cháy khuếch tán trên động cơ diesel.

2.2. Giải pháp luân hồi khí thải



Hình 2. Sơ đồ bố trí hệ thống luân hồi khí thải trên động cơ thí nghiệm

Khí luân hồi sau khi làm mát được đưa lại đường ống nạp kết hợp với không khí đã được sấy nóng và nhiên liệu n-heptan phun trước cửa nạp, hòa trộn và đưa vào xy lanh của động cơ, không phải thay đổi gì về kết cấu của động cơ nguyên bản, kết quả đo được sẽ là áp suất, các thành phần khí thải do đó trong nội dung nghiên cứu này sử dụng phần mềm Matlab để tính toán tốc độ tăng áp suất, tốc độ tỏa nhiệt, thời điểm bắt đầu cháy của động cơ nhằm khảo sát quá trình cháy HCII.

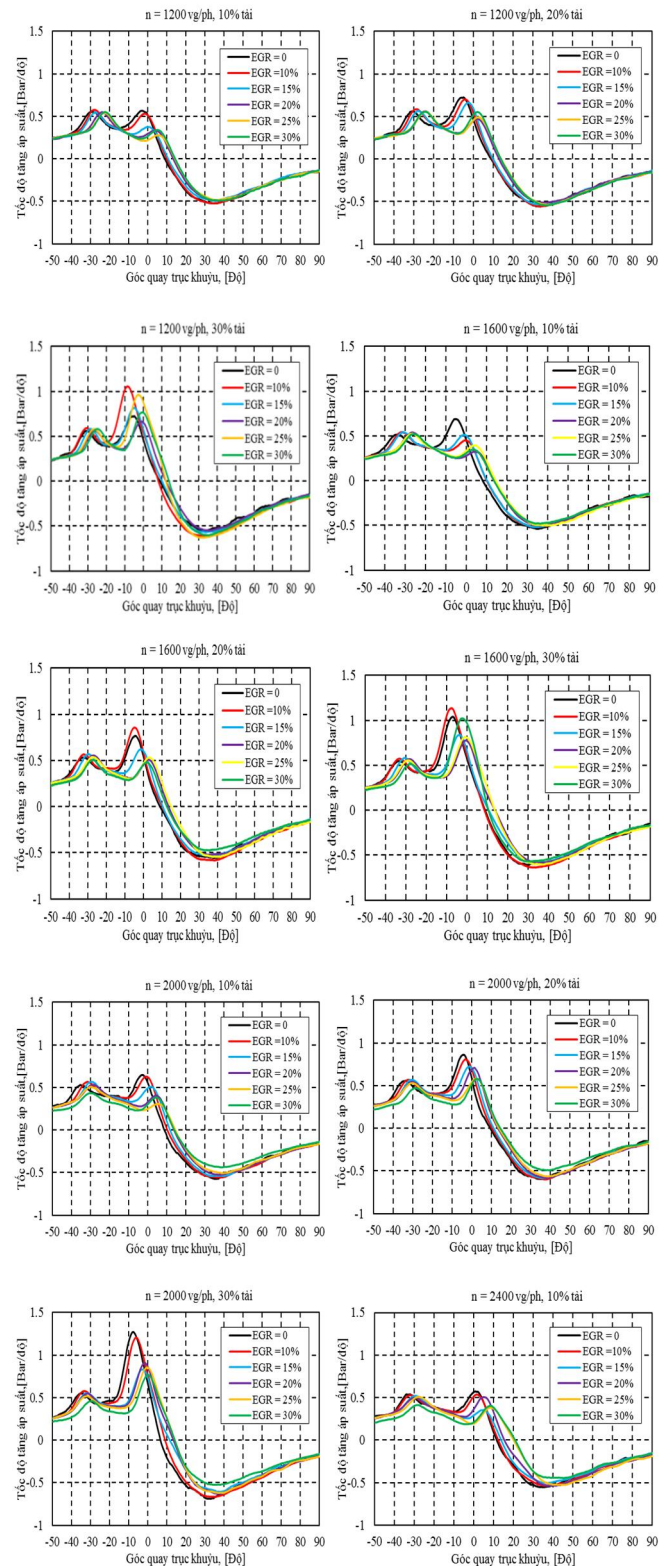
2.3. Đối tượng nghiên cứu

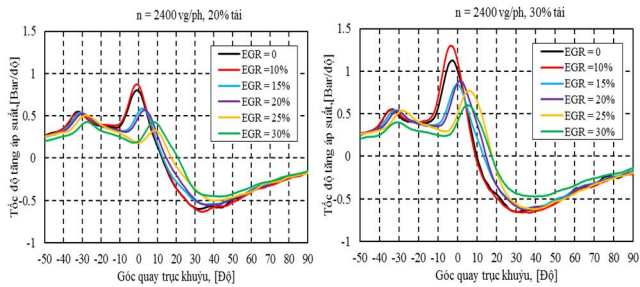
Động cơ nghiên cứu là động cơ diesel 1 xy lanh BD178FE đã qua sử dụng, không tăng áp, làm mát bằng không khí, tỷ số nén 20, có mô men lớn nhất là 12,4N.m tại 2000vg/ph.

Động cơ này chuyển đổi sang quá trình cháy HCII tại tỷ số nén 15,4, có tỷ lệ luân hồi thay đổi từ 10 ÷ 30%, khoảng chia 5%, chế độ tốc độ từ 1200vg/ph đến 2400vg/ph với khoảng chia 400 vg/ph và các chế độ tải: 10%, 20%, 30% và 50% tương ứng với mô men có giá trị lần lượt là: 1,24N.m; 2,48N.m; 3,72N.m và 6,2N.m, động cơ HCII có mô men có ích tương đương với động cơ diesel nguyên bản.

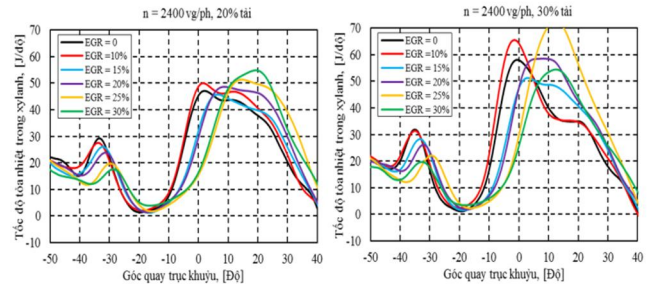
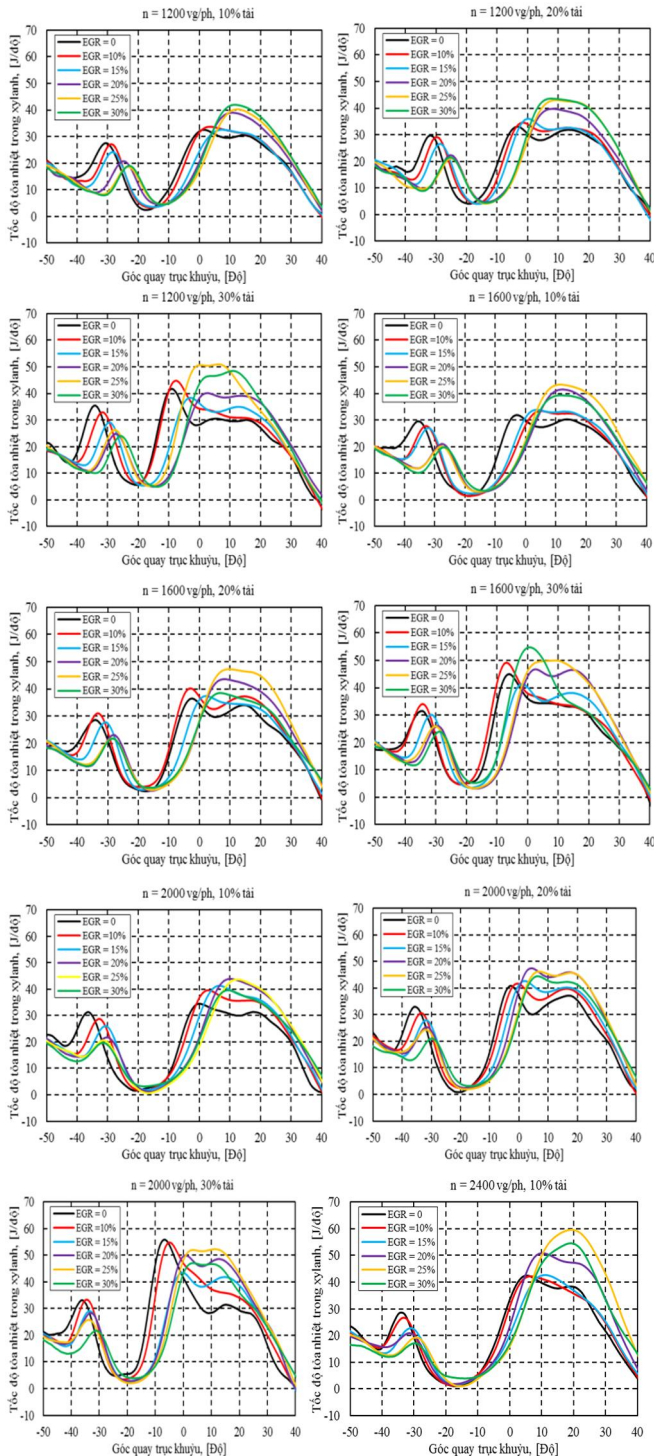
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Trên hình 3 thể hiện tốc độ tăng áp suất của động cơ HCII, khi thay đổi tỷ lệ luân hồi tại các chế độ tải từ 10 ÷ 30, tốc độ 1200 ÷ 2400vg/ph động cơ HCII làm việc ổn định, không xuất hiện cháy “kích nổ”, giá trị lớn nhất chỉ là 1,2bar/độ GQTK, động cơ làm việc êm.





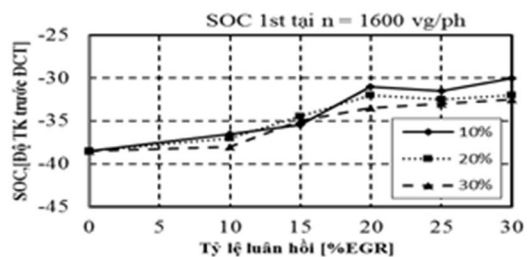
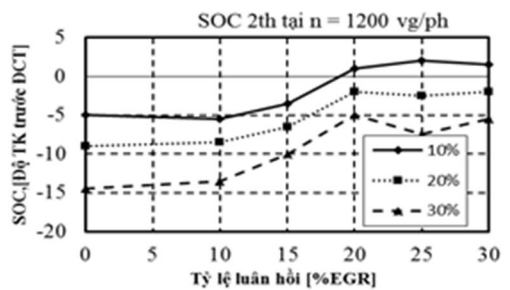
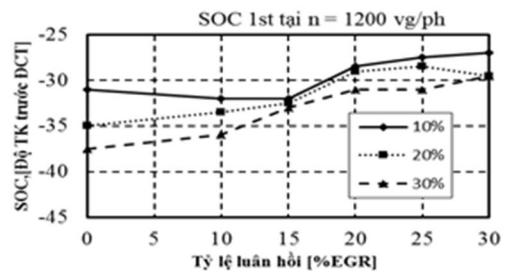
Hình 3. Tốc độ tăng áp suất của động cơ HCCI

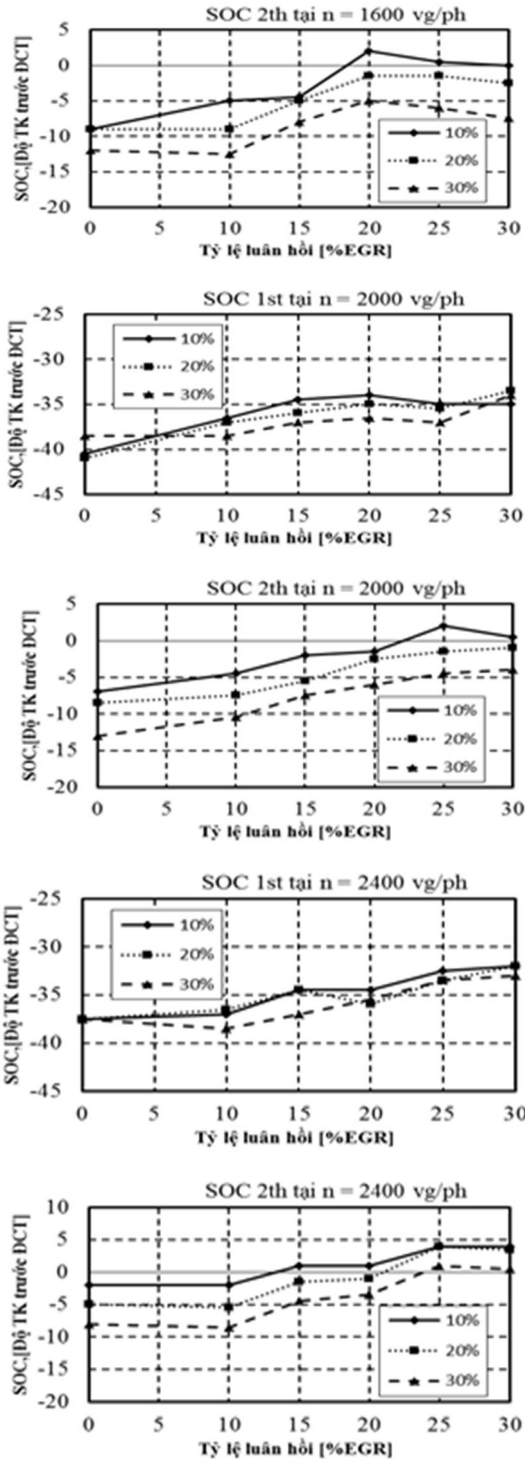


Hình 4. Tốc độ tỏa nhiệt của động cơ HCCI

Tốc độ tỏa nhiệt của động cơ HCCI được thể hiện trên hình 4 cho thấy khi thay đổi tỷ lệ luân hồi động cơ chuyển đổi đã hình thành quá trình cháy HCCI do tốc độ tỏa nhiệt đã có hình thành ngọn lửa lạnh và ngọn lửa nóng theo đúng lý thuyết về quá trình cháy HCCI, tuy nhiên giai đoạn sau của ngọn lửa nóng vẫn còn có xu hướng cháy khuếch tán tại các tỷ lệ luân hồi nhỏ là do quá trình cháy diễn ra sớm trước điểm chết trên, do đó cần điều chỉnh tỷ lệ luân hồi phù hợp với chế độ làm việc của động cơ nhằm giảm hiện tượng cháy quá sớm trước điểm chết trên.

Thời điểm bắt đầu cháy của động cơ HCCI được thể hiện qua hình 5 bao gồm SOC1 - Start of combustion 1 là thời điểm xuất hiện ngọn lửa lạnh và SOC2- Start of combustion 2 là thời điểm xuất hiện ngọn lửa nóng, kết quả trên cho thấy tại các chế độ tải và tốc độ nghiên cứu khi tỷ lệ luân hồi nhỏ thời điểm bắt đầu cháy đều quá sớm, tăng dần tỷ lệ luân hồi thì thời điểm bắt đầu cháy muộn dần.





Hình 5. Thời điểm bắt đầu cháy của động cơ HCCI

4. KẾT LUẬN

Khi sử dụng luân hồi khí thải tại chế độ nghiên cứu động cơ diesel truyền thống đã được chuyển đổi sang quá trình cháy HCCI, động cơ này hoạt động ổn định với mô men có ích tương đương với động cơ diesel nguyên bản tuy nhiên quá trình cháy diễn ra sớm trước điểm chết trên.

Tăng dần tỷ lệ khí luân hồi quá sẽ giảm được hiện tượng cháy quá sớm và cháy khuếch tán tại ngọn lửa nóng.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giao thông vận tải trong đề tài mã số DT203070

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Can Cinar, Özer Can, Fatih Sahin, H. Serdar Yucesu, 2010. *Effects of premixed diethyl ether (DEE) on combustion and exhaust emissions in a HCCI-DI diesel engine*. Applied Thermal Engineering, (30), pp360–365.
- [2]. P Moulali, T H Prasad, B D Prasad, 2019. *Influence of EGR and Inlet Temperature on Combustion and Emission Characteristics of HCCI Engine with Micro Algae Oil*. Journal of Scientific & Industrial Research Vol. 78, pp. 317-322
- [3]. Noguchi, M., Tanaka., et al, 1979. *A study on gasoline engine combustion by observation on intermediate reactive products during combustion*. SAE paper 790840. .
- [4]. O. Onishi, S., et al, 1979. *Active thermo-atmosphere combustion (ATAC) - A new combustion process for internal combustion engines*. SAE, paper 790507.
- [5]. S. Swami Nathan, J.M. Mallikarjuna, A. Ramesh, 2010. *An experimental study of the biogas–diesel HCCI mode of engine operation*. Energy Conversion and Management 51, 1347–1353.
- [6]. Suyin Gan, Hoon Kiat Ng, Kar Mun Pang, 2011. *Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) combustion: Implementation and effects on pollutants in direct injection diesel engines*. Applied Energy 88, 559–5.
- [7]. Toshio Shudo, Yosuke Shima, Tatsuya Fujii, 2009. *Production of dimethyl ether and hydrogen by methanol reforming for an HCCI engine system with waste heat recovery - Continuous control of fuel ignitability and utilization of exhaust gas heat*. International journal of hydrogen energy 34 7638 – 7647.
- [8]. Tuan Le Anh, Vinh Nguyen Duy, Ha Khuong Thi, Hoi Nguyen Xa, 2018. *Experimental Investigation on Establishing the HCCI Process Fueled by N-Heptane in a Direct Injection Diesel Engine at Different Compression Ratios*. Sustainability 2018, Volume 10, Issue 11, 3878

AUTHORS INFORMATION

Khuong Thi Ha¹, Nguyen Cao Van¹, Nguyen Van Cuong², Bui Van Chinh²

¹Faculty of Mechanical Engineering, University of Transport and Communications

²Faculty of Automobile Technology, Hanoi University of Industry