

NGHIÊN CỨU THÔNG SỐ TỶ LỆ LUÂN HỒI KHÍ THẢI ẢNH HƯỞNG ĐẾN ĐẶC TÍNH PHÁT THẢI CỦA ĐỘNG CƠ CHÁY BẰNG NÉN VỚI NHIÊN LIỆU XĂNG, (GCI – GASOLINE COMPRESSION IGNITION)

STUDY ON THE PARAMETERS OF EXHAUST GAS RECIRCULATION AFFECTING THE EMISSION CHARACTERISTICS OF GASOLINE COMPRESSION IGNITION (GCI) ENGINES

ThS. Vũ Thị Phượng

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế Kỹ thuật Công nghiệp

TÓM TẮT

Mức độ ô nhiễm do khí thải từ động cơ đốt trong ngày càng được giới hạn bởi các yêu cầu tiêu chuẩn khí thải nghiêm ngặt hơn. Phát thải ở động cơ đốt trong có thể được điều khiển bởi nhiều thông số khác nhau, trong đó có luân hồi khí thải. Bài báo này khảo sát ảnh hưởng của luân hồi khí thải kết hợp với chế độ phun kép nhiên liệu đến đặc tính phát thải của động cơ cháy, do nén nhiên liệu sử dụng xăng. Kết quả thí nghiệm cho thấy, với việc điều khiển chế độ phun hợp lý và tỉ lệ luân hồi khí thải phù hợp sẽ làm giảm mức phát thải của động cơ: NO_x, HC, CO.

Từ khóa: Phát thải; Luân hồi khí thải; Phun kép; Cháy do nén.

ABSTRACT

The level of pollution caused by exhaust emissions from internal combustion engines is increasingly being restricted by stricter emission standards. Emissions in an Internal combustion engine can be controlled by a variety of parameters, including Exhaust Gas Recirculation (EGR). In this work, the effect of EGR combined with split injection strategy on the emission characteristics of a Gasoline Compression Ignition (GCI) engine fuelled gasoline were investigated. Experimental results show that, with reasonable control of injection mode and appropriate exhaust gas recycling rate, it will reduce NO_x, HC and CO emissions.

Keywords: Emissions; Exhaust gas recirculation; Split injection; Gasoline Compression Ignition. 

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Gần đây, mô hình cháy ở nhiệt độ thấp (Low Temperature Combustion – LTC) được nghiên cứu ứng dụng trong động cơ đốt trong nhằm hướng đến mục tiêu giảm phát thải độc hại của khí thải ra môi trường. Có thể kể đến một số mô hình cháy điển hình như cháy hỗn hợp đồng nhất (HCCI - Homogeneous Charge Compression Ignition), cháy do nén hỗn hợp hòa trộn trước một phần (GPPC - Gasoline Partially Premixed Combustion). Động cơ xăng cháy do nén (GCI – Gasoline Compression Ignition) là tên gọi khác của động cơ GPPC, loại động cơ này có ưu điểm nổi bật so với động cơ xăng truyền thống là nâng cao được tỉ số nén tương đương với tỉ số nén ở động cơ Diesel truyền thống. Do đó, động cơ GCI nâng cao được hiệu suất và công suất đồng thời giảm được suất tiêu hao nhiên liệu cũng như các thành phần phát thải độc hại như bồ hóng, NO_x ...[1].

Cháy do nén hỗn hợp xăng hòa trộn trước một phần (GPPC) đã được nghiên cứu phát triển trong những năm gần đây. Mô hình cháy GPPC đã khắc phục được những hạn chế về giới hạn tải tối đa ở động cơ HCCI cũng như giảm được thành phần độc hại HC và CO trong khí thải [2]. Những nghiên cứu gần đây cho thấy rằng, đặc tính cháy và đặc tính phát thải của động cơ GCI có thể được điều khiển bởi thay đổi tỉ lệ luân hồi khí thải kết hợp với chiến lược phun nhiên liệu nhiều giai đoạn [5]. Thời gian hòa trộn một phần, trước khi cháy, làm tăng tỉ lệ hỗn hợp nghèo dẫn đến sự hình thành bồ hóng thấp hơn [3]. Bên cạnh đó, do việc sử dụng tỉ lệ hỗn hợp nhiên liệu nghèo làm giảm nhiệt độ ngọn lửa và do đó làm giảm sự hình thành NO_x trong khí thải [4].

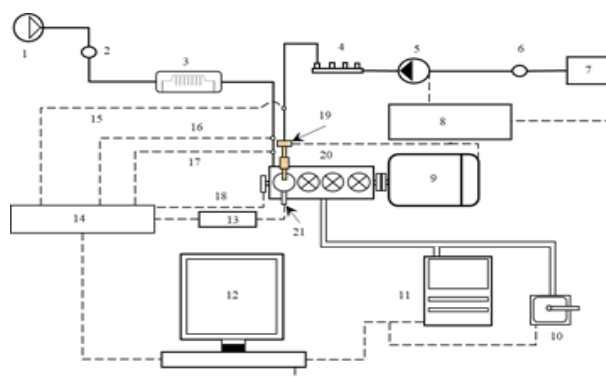
Bài báo này tập trung nghiên cứu khảo sát ảnh hưởng của tỉ lệ luân hồi khí thải và thời điểm phun chính nhiên liệu xăng tại các thời

điểm tương ứng vị trí góc quay trục khuỷu với -6 CAD (Crank Angle Degree - Góc quay trục khuỷu) ATDC (After Top Dead Center - Sau điểm chết trên). Qua đó làm rõ hơn tỉ lệ luân hồi khí thải cũng như thời điểm phun chính tối ưu nhất ảnh hưởng đến đặc tính cháy và đặc tính phát thải của động cơ GCI.

2. CƠ SỞ XÂY DỰNG MÔ HÌNH THÍ NGHIỆM

2.1. Động cơ thí nghiệm

Các thí nghiệm được thực hiện trong một xy lanh của động cơ được sửa đổi từ động cơ nguyên bản bốn xy lanh cháy bằng nén (PSA-DW10) với dung tích mỗi xy lanh 0,499 l và tỷ số nén 16,0 sử dụng hệ thống phun nhiên liệu cao áp Common Rail. Động cơ thử nghiệm trên băng thử được kiểm soát trực tiếp bởi động cơ điện để duy trì tốc độ động cơ không đổi (Hình 1). Một số thông số cơ bản của động cơ thí nghiệm: Đường kính xy lanh x hành trình Piston: 85 (mm) x 88 (mm); Thể tích công tác 1 xy lanh 499 (cc); Tỷ số nén $\epsilon = 16$; Phun nhiên liệu: Common Rail.



Hình 1. Sơ đồ bố trí thí nghiệm:

- 1- Máy nén khí; 2- Đo lưu lượng khí; 3- Bình gia nhiệt khí;
- 4- Common rail; 5- Bơm nhiên liệu; 6- Đo lưu lượng nhiên liệu;
- 7- Bình chứa nhiên liệu; 8- Điều khiển lượng phun; 9- Động cơ điện;
- 10- Đo độ khô; 11- Tủ phân tích khí thải; 12- Máy tính; 13- Bộ khuếch đại;
- 14- Bộ ghi dữ liệu; 15- Tín hiệu áp suất phun; 16- Tín hiệu nhiệt độ khí nạp;
- 17- Tín hiệu áp suất nạp; 18- Tín hiệu tốc độ quay động cơ; 19- Vòi phun nhiên liệu; 20- Động cơ thí nghiệm;
- 21- Đầu đo áp suất.

2.2. Nhiên liệu và điều kiện thí nghiệm

Trong nghiên cứu này, nhiên liệu xăng được phun vào buồng cháy với hệ thống nhiên liệu Common Rail với áp suất phun 400 bar. Nhiên liệu được phun làm hai giai đoạn, thời điểm phun mỗi được cố định ở -35 CAD ATDC, thời điểm phun chính được khảo sát ở -6 CAD ATDC. Tỷ lệ về khối lượng giữa lần phun mỗi và phun chính là 30%/70%. Khí nạp được cấp bởi máy nén khí và được gia nhiệt nhờ bộ sấy nóng khí nạp. Nhiệt độ khí nạp được duy trì ở mức 165°C, áp suất khí nạp duy trì ở 1bar. Nhiệt độ nước làm mát động cơ 90°C. Điều kiện thí nghiệm, vận hành động cơ được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 1. Điều kiện vận hành động cơ thí nghiệm:

STT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	Nhiệt độ khí nạp	165	°C
2	Áp suất khí nạp	1	Bar
3	Áp suất phun	400	Bar
4	Chế độ phun	Phun kép	
5	Tỷ lệ giữa 2 lần phun	30/70	% Khối lượng
6	Thời điểm phun lần đầu	-35	CAD ATDC
7	Tốc độ quay động cơ	1500	Vòng / phút
8	IMEP	4,5	Bar
5	Nhiên liệu thử nghiệm	Xăng	

Quá trình luân hồi khí thải (EGR-Exhaust Gas Recirculation) được thay thế bằng cách sử dụng khí N₂, được điều khiển bằng đồng hồ đo lưu lượng.

2.3. Phân tích quá trình cháy

Áp suất đầu vào lấy giá trị trung bình

của 100 chu kỳ tín hiệu áp suất xy lanh tại một điểm vận hành nhất định. Áp suất xy lanh trung bình được sử dụng để tính tốc độ giải phóng nhiệt. Tốc độ giải phóng nhiệt được xác định từ dữ liệu áp suất xy lanh trung bình:

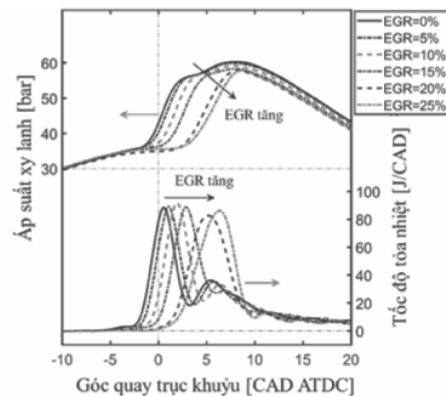
$$\frac{dQ}{d\alpha} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \cdot p \cdot dV + \frac{\gamma}{\gamma-1} \cdot V \cdot dp$$

Với: Q lượng nhiệt tỏa ra, γ -Tỷ lệ nhiệt dung riêng ($\gamma = C_p/C_v$), p -Áp suất tức thời trong xy lanh, V -Thể tích buồng đốt tức thời và α - Góc quay.

3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của luân hồi khí thải đến thông số cơ bản của quá trình cháy động cơ GCI

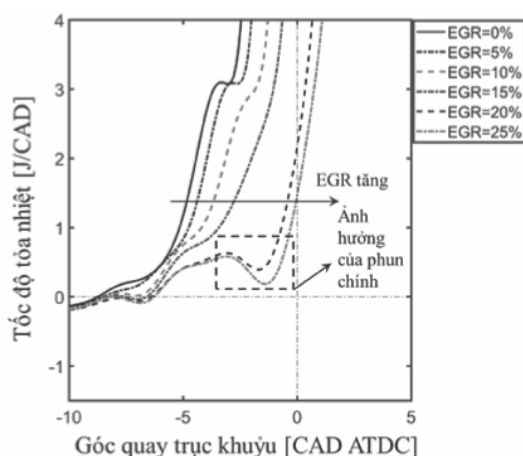
Như thể hiện trong Hình 2, diễn biến của áp suất trong xy lanh và tốc độ tỏa nhiệt liên quan đến thời điểm phun nhiên liệu thứ hai gần điểm chết trên -6 CAD ATDC, thời điểm phun này đã được chọn để xác thực tiềm năng của EGR. Việc bổ sung EGR làm giảm nồng độ oxy có sẵn cho quá trình đốt cháy, tăng nhiệt dung riêng của hỗn hợp khí trong xy lanh và làm chậm quá trình tự cháy của hòa khí [5].



Hình 2. Ảnh hưởng của mức EGR đến áp suất trong xy lanh và tốc độ tỏa nhiệt của quá trình cháy nén với nhiên liệu xăng.



Với việc tăng tỷ lệ EGR lên tới 25%, quá trình bắt đầu đốt cháy bị trì hoãn mạnh, áp suất tối đa giảm và giá trị cực đại của tốc độ giải phóng nhiệt giảm nhẹ khi tổng lượng nhiên liệu được đưa vào qua hai lần phun tự động bốc cháy ở cùng một lúc. Với quá trình cháy không sử dụng luân hồi khí thải, thì pha cháy thể hiện trên đường cong tốc độ tỏa nhiệt bao gồm 2 phần rõ rệt: Pha cháy thứ nhất của hỗn hợp hòa trộn trước và pha cháy thứ hai của quá trình cháy khuếch tán. Khi tăng tỷ lệ EGR, pha cháy chỉ còn thể hiện của pha cháy duy nhất, điều này cho thấy quá trình trì hoãn cháy của quá trình phun môi và cháy đồng thời hỗn hợp của 2 lần phun.

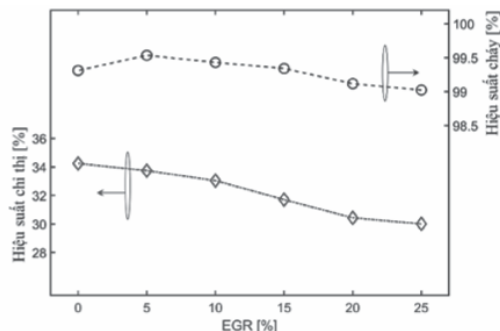


Hình 3. Ảnh hưởng EGR tới đặc tính tỏa nhiệt

Thể hiện tốc độ giải phóng nhiệt, đặc trưng bởi ngọn lửa lạnh phát sinh từ quá trình phun môi, với các mức tỷ lệ luân hồi khác nhau, được thể hiện trên Hình 3. Quá trình trì hoãn cháy của hỗn hợp hình thành bởi giai đoạn phun môi, khi tăng tỷ lệ EGR từ 0 đến 25%. Khi tăng tỷ lệ luân hồi khí thải lên, đường tỏa nhiệt có độ dốc càng giảm dần và dịch chuyển sang phải. Điều này cho thấy khi tăng tỷ lệ luân hồi khí thải xem như làm giảm tốc độ oxy hóa nhiên liệu.

Ngoài ra, sự phát triển cháy có thể thấy được ảnh hưởng của tia phun của giai đoạn

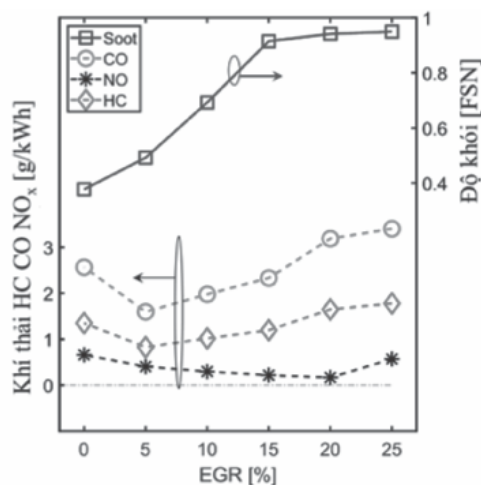
phun chính đến quá trình bắt đầu cháy, thể hiện ở vùng được khoanh trên hình 3, khi tia phun hấp thụ nhiệt lượng của vùng hỗn hợp của giai đoạn phun môi hình thành, làm cho quá trình đình trệ cháy chung tăng lên.



Hình 4. Ảnh hưởng luân hồi khí thải đến các thông số cơ bản của quá trình cháy

Hình 4, khảo sát sự thay đổi của một số thông số chính như hiệu suất chỉ thị, hiệu suất cháy khi thay đổi tỷ lệ luân hồi khí thải từ 0 đến 25%. Khi tăng tỷ lệ luân hồi khí thải, các thông số hiệu suất chỉ thị cũng như hiệu suất nhiệt đều có xu hướng giảm. Tốc độ giảm càng nhanh khi tỷ lệ luân hồi khí thải càng lớn ở mức 20-25%.

3.2. Ảnh hưởng của tỉ lệ luân hồi khí thải đến phát thải của động cơ GCI



Hình 5. Ảnh hưởng EGR đến phát thải động cơ

Ảnh hưởng của tỉ lệ luân hồi khí thải thay đổi từ 0 đến 20%, tương ứng với các thời điểm phun chính - 6 CAD ATDC được chỉ ra trên Hình 5. Kết quả cho thấy, khi tăng tỉ lệ luân hồi khí thải, lượng NO_x giảm đi đáng kể. Nguyên nhân chính của sự giảm này là do nồng độ ô xy trong hòa khí giảm, làm cho nhiệt độ cháy giảm. Do đó, nhân tố tỉ lệ luân hồi khí thải có thể kiểm soát hàm lượng phát thải NO_x , thành phần khá khó xử lý trên đường thải của động cơ đốt trong.

Hàm lượng phát thải CO và HC có xu hướng tăng khi tăng tỉ lệ luân hồi khí thải. Ban đầu, hàm lượng HC và CO có xu hướng giảm xuống và đạt giá trị nhỏ nhất tương ứng với tỉ lệ luân hồi khí thải khoảng 10%.

Từ Hình 5 cũng cho thấy, thành phần bỏ hống trong khí thải đều tăng lên khi tăng tỉ lệ luân hồi khí thải.

4. KẾT LUẬN

Đối với động cơ xăng cháy do nén, để điều khiển các thông số của quá trình cháy cũng như các thành phần phát thải độc hại có thể sử dụng tỉ lệ luân hồi khí thải. Khi tăng tỉ lệ luân hồi khí thải, sẽ làm giảm nồng độ ô xy trong hòa khí, dẫn đến làm giảm tốc độ phản ứng cháy.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này nhận được giúp đỡ từ TS. Nguyễn Tùng Lâm, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Giao thông vận tải và TS. Ngô Văn Thanh, Khoa Cơ khí và động lực, Trường Đại học Điện lực. ❖

Ngày nhận bài: 26/4/2023

Ngày phản biện: 22/5/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Duan, X., Liu, J., Yuan, Z., Guo, G., Liu, Q., Tang, Q., Deng, B., & Guan, J. (2018). *Experimental investigation of the effects of injection strategies on cycle-to-cycle variations of a DISI engine fueled with ethanol and gasoline blend*. Energy, 165, 455–470
- [2]. Gharehghani, A. (2019). *Load limits of an HCCI engine fueled with natural gas, ethanol, and methanol*. Fuel, 239, 1001–1014.
- [3]. Zhong, W., Pachiannan, T., Li, Z., Qian, Y., Zhang, Y., Wang, Q., He, Z., & Lu, X. (2019). *Combustion and emission characteristics of gasoline/hydrogenated catalytic biodiesel blends in gasoline compression ignition engines under different loads of double injection strategies*. Applied Energy, 251, 113296.
- [4]. Zhou, Y., Hariharan, D., Yang, R., Mamalis, S., & Lawler, B., . (2019). *A predictive 0-D HCCI combustion model for ethanol, natural gas, gasoline, and primary reference fuel blends*. Fuel, 237, 658–675.
- [5]. Solaka, H., Tuner, M., Johansson, B., (2013). *Analysis of Surrogate Fuels Effect on Ignition delay and Low Temperature Reaction during Partially Premixed Combustion*. SAE Technical Papers.