

CÁC KHÓ KHĂN CỦA CÔNG NGHỆ HCCI TRÊN ĐỘNG CƠ ĐỐT TRONG

TECHNICAL DIFFICULTY OF HCCI INTERNAL COMBUSTION ENGINE: A REVIEW

Nguyễn Minh Thắng^{1,2,*},
Phạm Minh Hiếu², Lê Đăng Duy¹

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.41>

TÓM TẮT

Trong những năm gần đây, vấn đề phát thải và tiêu hao nhiên liệu của động cơ đốt trong đang là một vấn đề nóng hổi thu hút sự quan tâm nghiên cứu của các nhà khoa học trên toàn thế giới. Một trong những công nghệ được nghiên cứu phát triển là sử dụng hỗn hợp cháy đồng nhất (HCCI). Đã có nhiều nghiên cứu của các nhà khoa học cũng như các công ty công nghệ lớn trên thế giới về vấn đề này, tuy nhiên công nghệ HCCI ở Việt Nam vẫn còn là một khái niệm tương đối mới mẻ. Vì vậy, bài báo này sẽ tổng hợp các công trình nghiên cứu về HCCI đã được công bố để làm tiền đề nghiên cứu và phát triển công nghệ HCCI ở nước ta.

Từ khóa: HCCI; động cơ đốt trong; khí thải độc hại.

ABSTRACT

In recent years, the issue of emission and fuel consumption of internal combustion engines is a hot issue attracting the research attention of scientists around the world. One of the technologies researched and developed is the use of homogeneous combustion mixtures (HCCI). There have been many studies by scientists as well as large technology companies in the world on this issue, but HCCI technology in Vietnam is still a relatively new concept. Therefore, this article will summarize the published research works on HCCI as a premise for research and development of HCCI technology in our country.

Keywords: HCCI; internal combustion engine; toxic emissions.

¹Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

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

*Email: Thang.NMNC5191002@sis.hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/5/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/8/2022

Ngày chấp nhận đăng: 27/10/2022

1. GIỚI THIỆU CHUNG

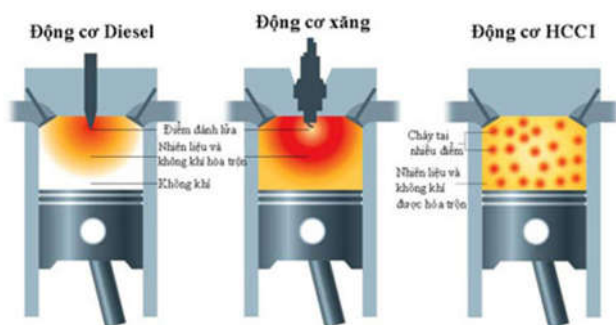
Bất chấp viễn cảnh bùng nổ mạnh mẽ của xe điện như hiện nay, động cơ diesel vẫn được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực vận tải có tải trọng lớn, giao thông công cộng, phương tiện đường thủy, sản xuất điện quy mô nhỏ và phát điện tại các vùng sâu vùng xa. Điều này có được là bởi những lợi thế đáng kể của động cơ diesel như có mô-men xoắn cao hơn, tiết kiệm nhiên liệu hơn cũng như có hiệu suất nhiệt cao. Hơn thế nữa, nhiên liệu diesel có chi phí thấp và lượng khí thải dựa trên các-bon thấp hơn các loại nhiên liệu có nguồn gốc hóa thạch khác. Tuy nhiên, các

động cơ diesel phải đối mặt với những thách thức về phát thải như NO_x và phát thải ô nhiễm dạng hạt (PM) gây ô nhiễm môi trường, ảnh hưởng lớn đến sức khỏe của con người [1]. Edling và các đồng nghiệp [2] đã phát hiện ra rằng PM chứa sắt, kẽm, vanadi và niken có ảnh hưởng trực tiếp đến hệ thống phổi và tim mạch, gây ra các biến đổi trong nhịp tim và dẫn đến sự hình thành các rối loạn nhịp tim có thể dẫn đến tử vong. Các hạt siêu mịn ($< 100\text{nm}$) có trong PM có khả năng gây viêm, bằng cách làm tổn thương biểu mô và gây ức chế thực bào. Quá trình hình thành hỗn hợp không đồng nhất là một trong những nhân tố làm gia tăng phát thải và tiêu hao nhiên liệu trong động cơ diesel. Quá trình này có nguyên nhân chủ yếu do thời gian hòa trộn ngắn của nhiên liệu với không khí và đặc tính phun nhiên liệu kém. Quá trình cháy do nén hỗn hợp đồng nhất (HCCI) là một giải pháp đầy hứa hẹn để giải quyết những vấn đề của quá trình hình thành hỗn hợp không đồng nhất và do đó làm giảm các thành phần phát thải độc hại trong động cơ diesel. Mặt khác, ở nhiều quốc gia, tiêu chuẩn phát thải của động cơ diesel ngày càng nghiêm ngặt đang buộc các nhà sản xuất động cơ (OEM) tập trung vào hướng tới các công nghệ giảm phát thải [3]. Để đáp ứng được các tiêu chuẩn khí thải trong tương lai, các nhà nghiên cứu hiện đang tập trung vào công nghệ hình thành hỗn hợp và đốt cháy trong xi-lanh như cháy ở nhiệt độ thấp, cháy do nén hỗn hợp đồng nhất và luân hồi khí thải (EGR). Trong động cơ HCCI, quá trình đốt cháy xảy ra ở mức nhiệt độ thấp nên có thể giảm được lượng phát thải NO_x và có thể giảm sự hình thành PM vì λ thấp. Phát thải PM chủ yếu hình thành khi bắt đầu đốt cháy trong vùng giàu hỗn hợp không đồng nhất, tuy nhiên, trong công nghệ HCCI, vì hỗn hợp đồng nhất nên không có vùng không đồng nhất cho sự hình thành của PM. Mặc dù có rất nhiều ưu điểm nhưng công nghệ HCCI cũng phải đối mặt với những trở ngại đáng kể bao gồm khó kiểm soát quá trình cháy, tăng áp suất đột ngột trong quá trình cháy, khó khăn khi khởi động lạnh và lượng khí thải HC, CO cao. Do đó, một số nghiên cứu đã được thực hiện để đánh giá các rào cản đối với công nghệ HCCI và đã đưa ra được các giải pháp khả thi để giải quyết các vấn đề đó. Ở nước ta hiện nay, đã có một số công trình nghiên cứu về công nghệ này tuy nhiên công nghệ HCCI vẫn là một công nghệ mới ở Việt Nam. Bài báo này sẽ

đưa ra các nghiên cứu điển hình về HCCI trên thế giới và ở trong nước nhằm định hướng cho các nghiên cứu về công nghệ này ở nước ta trong tương lai.

2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA ĐỘNG CƠ SỬ DỤNG HCCI

Quá trình cháy HCCI được coi là cải tiến hơn so với quá trình cháy của động cơ diesel truyền thống, nó có khả năng làm giảm phát thải PM và NO_x mà không ảnh hưởng xấu đến hiệu suất sử dụng nhiên liệu của động cơ [4]. HCCI là một công nghệ tiên tiến cung cấp những ưu điểm của cả động cơ đánh lửa bằng tia lửa điện (SI) và động cơ cháy do nén (CI). Trong động cơ CI, quá trình đốt cháy là kết quả của quá trình hóa hơi của nhiên liệu được phun vào cuối quá trình nén, trong khi ở động cơ SI thông thường, quá trình đốt cháy được kích hoạt bằng tia lửa điện. Trong động cơ HCCI, việc hòa trộn trước hỗn hợp nhiên liệu - không khí và nén nó với áp suất cao được thực hiện để hỗn hợp đồng nhất có thể tự cháy. Quá trình có kết quả là phát thải NO_x và PM gần như bằng không, trong khi vẫn mang lại hiệu suất tương tự như động cơ CI thông thường. HCCI cho phép đốt cháy hỗn hợp rất nghèo, dẫn đến nhiệt độ cháy thấp trực tiếp làm giảm điều kiện để tạo ra NO_x . So với quá trình cháy của động cơ CI thông thường, hỗn hợp được hòa trộn đều, do đó lượng phát thải PM sẽ giảm mạnh. Động cơ HCCI khó vận hành được ở nhiệt độ thấp hoặc khi khởi động lạnh do khi đó quá trình hòa trộn để tạo hỗn hợp đồng nhất sẽ khó khăn hơn. Hơn nữa, rất khó để kiểm soát tốc độ cháy ở chế độ tải cao, vì không có phương pháp trực tiếp để kiểm soát quá trình cháy một cách chính xác. Do đó, chế độ SI hoặc CI có thể được sử dụng cho một nửa vùng hoạt động của động cơ HCCI và phần còn lại sẽ hoạt động ở chế độ HCCI. Để thực hiện quá trình đốt cháy HCCI của động cơ diesel, các phương pháp cần phải được đưa ra để kiểm soát việc chuẩn bị hỗn hợp và nhiệt độ trong quá trình đốt cháy. Tốc độ hình thành hỗn hợp của không khí và nhiên liệu có thể được kiểm soát bằng áp suất phun nhiên liệu cực cao sử dụng hệ thống phân phối và phun nhiên liệu trực tiếp (CRDi) cũng như thay đổi đường kính của vòi phun và thiết kế buồng đốt. Thời gian cháy trễ sẽ được kéo dài bằng cách sử dụng tỷ lệ tuần hoàn khí thải cao (EGR) hoặc thay đổi tỷ số nén. Sự khác biệt giữa động cơ HCCI và động cơ SI, CI truyền thống được thể hiện trên hình 1. Các khó khăn khi phát triển công nghệ HCCI sẽ được trình bày cụ thể ở mục tiếp theo.



Hình 1. So sánh giữa động cơ HCCI và các động cơ truyền thống

3. CÁC KHÓ KHĂN KHI NGHIÊN CỨU VỀ HCCI

3.1. Điều khiển quá trình cháy

Trong các động cơ thông thường, quá trình cháy được điều khiển bởi thời điểm đánh lửa và phun nhiên liệu tương ứng với động cơ SI và CI. Trong trường hợp của động cơ HCCI, thời điểm cháy của hỗn hợp nhiên liệu và không khí đồng nhất đóng một vai trò cực kỳ quan trọng. Quá trình này xảy ra đồng thời và tự phát tại một số điểm. Kiểm soát chính xác thời điểm cháy là một thách thức lớn và liên quan đến một loạt các điều kiện vận hành của động cơ [5]. Động cơ HCCI không thể kiểm soát trực tiếp quá trình cháy, vì vậy điều khiển quá trình cháy trong động cơ HCCI là khó khăn đầu tiên khi nghiên cứu về công nghệ này.

3.2. Vùng làm việc còn hẹp

Một hạn chế đáng kể nữa của động cơ HCCI là nó chỉ hoạt động hiệu quả ở một số vùng làm việc của động cơ. Rào cản này có nguyên nhân chủ yếu do đặc tính tự cháy của nhiên liệu và kết cấu hình học của buồng cháy động cơ. Ở các mức tải thấp, việc tự cháy của hỗn hợp gặp nhiều bất lợi do năng lượng được giải phóng trong mỗi chu trình công tác thấp, điều này gây khó khăn cho việc duy trì nhiệt độ cao ở trong buồng cháy, dẫn đến khó khăn cho việc tự cháy. Ở tải cao, tốc độ tỏa nhiệt trở nên rất cao với hơn một nửa lượng hỗn hợp đồng nhất bị đốt cháy trước khi piston đạt đến điểm chết trên. Những điều kiện như vậy có thể dễ gây ra hiện tượng kích nổ cũng như khiến phát thải NO_x cao hơn do áp suất và nhiệt độ trong buồng cháy tăng đột ngột [6].

3.3. Chuẩn bị hỗn hợp đồng nhất

Mức độ đồng nhất của hỗn hợp nhiên liệu không khí là một thông số quan trọng để kiểm soát chính xác và hiệu quả hiện tượng cháy bên trong xylanh [7]. Do nhiên liệu diesel có độ bay hơi thấp [8], nên rất khó để làm bốc hơi nhiên liệu. Hơn thế nữa, thời gian của các chu kỳ nhiệt động lực học trong quá trình công tác của động cơ là rất nhỏ (tính theo mili giây). Vì vậy, thời gian dành cho việc chuẩn bị hỗn hợp cũng sẽ rất nhỏ [9]. Do đó, tỷ lệ đồng nhất của hỗn hợp chỉ có thể được cải thiện với việc gia tăng thời gian hòa trộn. Việc đạt được một hỗn hợp đồng nhất là rất quan trọng bởi nó sẽ cải thiện quá trình cháy, từ đó giúp tiết kiệm nhiên liệu và giảm phát thải.

3.4. Phát thải HC và CO tăng

Trong động cơ HCCI, mức phát thải HC tăng mạnh do có sự hình thành hỗn hợp cháy nghèo và góc trùng điệp của pha phối khí lớn [10]. Ngoài ra, do động cơ HCCI có nhiệt độ cháy thấp nên các thiết bị xử lý khí thải được lắp ở đường thải cũng có thể không có đủ nhiệt độ để xử lý HC, CO thành CO_2 và hơi nước [11]. Thông thường, sự hình thành khí thải HC và CO tăng lên nếu việc chuẩn bị hỗn hợp nạp có tỷ lệ A/F khác so với A/F lý thuyết. Nếu tỷ lệ A/F nhỏ thì quá trình cháy sẽ diễn ra dễ dàng hơn, nếu tỷ lệ này lớn thì quá trình cháy diễn ra không hoàn toàn dẫn đến hàm lượng HC và CO tăng cao [12].

3.5. Khả năng khởi động lạnh kém

Khởi động lạnh là một hạn chế lớn khác của động cơ HCCI. Trong quá trình khởi động động cơ, quá trình truyền nhiệt sẽ chỉ diễn ra từ hỗn hợp môi chất nạp tới thành của xi lanh. Nếu hỗn hợp không khí và nhiên liệu không được gia nhiệt ở đường nạp thì sẽ rất khó để khởi động động cơ HCCI do nhiệt độ của hỗn hợp không đủ lớn để tự cháy. Phát thải trong quá trình khởi động lạnh cũng là một vấn đề cần phải quan tâm. Bielaczyc, Merksiz và Pielecha [13, 14] đã nghiên cứu đánh giá lượng khí thải trong điều kiện khởi động nóng và lạnh. Kết quả của họ cho thấy lượng khí thải CO và HC trong một phút đầu tiên lớn hơn 40% lượng khí thải phát ra trong ba phút đầu tiên của quá trình khởi động lạnh và lượng khí thải PM thậm chí còn lớn hơn 50%. Hơn thế nữa, vấn đề khởi động lạnh không chỉ ảnh hưởng đến lượng khí thải mà còn tạo ra các vấn đề như quá trình cháy không ổn định và kích nổ trong động cơ HCCI.

4. CÁC NGHIÊN CỨU TIÊU BIỂU VỀ HCCI

Để giải quyết các vấn đề trên, nhiều công trình khoa học của các nhà nghiên cứu trên toàn thế giới đã tiến hành khảo sát và nghiên cứu nhằm đưa ra các công nghệ giúp hạn chế các nhược điểm và phát huy các mặt mạnh của động cơ HCCI. Dưới đây là một số nghiên cứu tiêu biểu về công nghệ HCCI trên thế giới.

4.1. Điều khiển quá trình cháy

Quá trình cháy trong động cơ HCCI có thể được kiểm soát bằng cách kiểm soát các đặc tính khác nhau của hỗn hợp như nhiệt độ, áp suất và thành phần hỗn hợp nạp vào trong xy lanh. Tác giả Kyeonghyeon Lee cùng cộng sự đã tiến hành nghiên cứu nhằm điều khiển quá trình cháy trong động cơ HCCI sử dụng nhiên liệu xăng. Bằng cách kết hợp các phương pháp bao gồm luân hồi khí thải và điều chỉnh phun nhiên liệu, nhóm nghiên cứu đã thành công mở rộng vùng làm việc của động cơ cũng như đã điều khiển được quá trình cháy của động cơ HCCI sử dụng nhiên liệu xăng [15]. Pranab Das cùng nhóm nghiên cứu đến từ Ấn Độ đã sử dụng kỹ thuật phun kép để phun nhiên liệu vào xy lanh nhằm điều khiển quá trình cháy của động cơ HCCI. Kết quả cho thấy lượng giảm đến 76% của phát thải NO_x và 40% độ mờ của khí thải khi sử dụng tỷ lệ hòa trộn trước 80% kết hợp với 30% EGR. Khi tỷ lệ hòa trộn trước được tăng lên, có sự cải thiện về công suất và suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ cũng như phát thải CO và HC [16].

4.2. Cải thiện vùng làm việc của HCCI bằng phương pháp giảm tỷ số nén

Hạ thấp tỷ số nén là cách dễ nhất để kiểm soát quá trình cháy trong động cơ HCCI. Bằng cách này, thời điểm bắt đầu cháy sẽ muộn hơn, giúp cho quá trình cháy có thể xảy ra sau ĐCT [17]. Do quá trình cháy bắt đầu muộn, tốc độ tỏa nhiệt giảm dẫn đến sẽ giảm được hiện tượng kích nổ. Peng và các cộng sự đã nghiên cứu trên động cơ có tỷ số nén thay đổi có một xilanh với nhiên liệu n-heptane để xác định ảnh hưởng của tỷ số nén đến quá trình đốt cháy HCCI. Kết quả cho thấy xu hướng kích nổ của động cơ giảm khi giảm

tỷ số nén và áp suất có ích trung bình (IMEP) được cải thiện từ 2,7 lên 3,5bar [18]. Kimura và các cộng sự đã cải thiện đáng kể về hiệu suất động cơ bằng cách giảm tỷ số nén từ 18:1 xuống 16:1 và đạt được kết quả tốt ở điều kiện tải cao [19]. Ngoài lợi ích của việc nâng cao hiệu suất, các nghiên cứu tương tự cũng cho thấy mức giảm khí thải đáng kể khi giảm tỷ số nén. Kết quả thực nghiệm của tác giả Laguitton cho thấy rằng lượng phát thải NO_x và muội than đã giảm do hiện tượng đốt cháy ở nhiệt độ thấp trong động cơ HCCI bằng cách giảm tỷ số nén từ 18,4:1 xuống 16,1:1 [20]. Do đó, việc hạ thấp tỷ số nén của động cơ HCCI đã chứng tỏ việc cải thiện hiệu suất và phát thải của động cơ.

4.3. Phương pháp tăng nhiệt độ khí nạp

Các nhà nghiên cứu nhận thấy rằng quá trình cháy và phát thải của động cơ HCCI bị ảnh hưởng bởi sự thay đổi của nhiệt độ khí nạp. Các nghiên cứu cho thấy sấy nóng khí nạp sẽ làm giảm cháy trễ và do đó có thể kiểm soát được thời điểm cháy [21]. Tác giả Lu và các cộng sự trong nghiên cứu của họ đã quan sát mối quan hệ giữa hai thông số này và kết luận rằng với nhiệt độ khí nạp cao hơn, thời điểm cháy muộn hơn sẽ dẫn đến sự hòa trộn không khí với nhiên liệu tốt hơn [22]. Có hai phương pháp đã được nghiên cứu để sấy nóng khí nạp, một cách sử dụng nguồn sấy nóng riêng và cách thứ hai là thông qua luân hồi khí thải (EGR). Sử dụng điện để (dây mayso) để sấy nóng khí nạp là cách thuận tiện nhất mặc dù nó làm gia tăng độ phức tạp và giá thành của hệ thống [21, 23]. Mặt khác, công nghệ EGR có thể được sử dụng để tăng nhiệt độ khí nạp [24, 25]. Gowthaman và cộng sự đã tiến hành thử nghiệm trên động cơ HCCI để nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ đầu vào của khí nạp trong khoảng từ 90°C đến 150°C để phân tích ảnh hưởng đến hiệu suất động cơ và phát thải. Kết quả cho thấy rằng lượng khí thải CO và HC giảm khi nhiệt độ khí nạp tăng lên. Ở mức tải thấp, lượng khí thải HC không bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ của khí nạp [26]. Một nghiên cứu khác cho thấy sự gia tăng NO_x khi nhiệt độ khí nạp tăng từ 35°C lên 80°C [27]. Hơn thế nữa, sự hình thành muội than sẽ giảm khi nhiệt độ khí nạp trong động cơ HCCI giảm [28].

4.4. Giảm thiểu phát thải HC và CO

Trong động cơ HCCI, vì quá trình đốt cháy xảy ra ở nhiệt độ thấp hơn so với động cơ diesel thông thường, các thiết bị xử lý khí thải sẽ không thể chuyển HC và CO thành hơi nước và CO_2 tương ứng do không đủ nhiệt độ để hoạt động hiệu quả. Tuy nhiên, một số phương pháp khác bao gồm thay đổi hình dạng đỉnh pít-tông, tăng áp suất phun như được thảo luận dưới đây đã được nghiên cứu để kiểm soát lượng khí thải độc hại này từ động cơ HCCI. Hình dạng và sự rối xoáy của buồng cháy có ảnh hưởng lớn đến hiệu suất và đặc tính phát thải của động cơ HCCI [29, 30]. Một số nghiên cứu đã được thực hiện với các công cụ mô phỏng để đưa ra được kết cấu của đỉnh pít-tông nhằm đạt được hiệu suất cháy và phát thải tốt hơn của động cơ HCCI. Các nghiên cứu của Boyarski, Cao và Goryntsev [31, 32, 33] đã kết luận trong công trình của họ rằng hình dạng của pít-tông cùng với xoáy có ảnh hưởng tích cực đến khí thải và

tiết kiệm nhiên liệu của động cơ HCCI. Mặt khác, áp suất phun càng cao sẽ càng tốt khi hòa trộn nhiên liệu với không khí, đặc biệt là khi sử dụng lỗ phun nhỏ hơn [34]. Việc tăng áp suất phun tạo ra dạng phun thích hợp và dẫn đến quá trình đốt cháy tốt hơn và giảm lượng khí thải [35].

4.5. Phương pháp sử dụng lưỡng nhiên liệu

Đã có rất nhiều nghiên cứu đã được thực hiện dựa trên định hướng sử dụng lưỡng nhiên liệu như biogas-diesel [36, 37], H₂-diesel [38, 39, 40], khí đốt tự nhiên-diesel [41] để thu được hỗn hợp đồng nhất cho các đặc tính khí thải và hiệu suất tốt hơn so với động cơ diesel thông thường. Shim, Park và Bae đã tiến hành một nghiên cứu về lưỡng nhiên liệu cho động cơ diesel 1 xylanh sử dụng nhiên liệu khí nén tự nhiên kết hợp với diesel ở chế độ HCCI. Kết quả cho thấy lượng khí thải HC và CO giảm lần lượt là 31,5% và 35,5% với sự kết hợp của van tiết lưu và EGR. Kết quả cũng cho thấy lượng giảm lên đến 20% với khí thải CO₂ so với động cơ diesel thông thường [42]. Rosha, Dhir và Mohapatra đã nghiên cứu về ảnh hưởng khi sử dụng nhiên liệu khí tới các đặc tính hoạt động của động cơ với chế độ lưỡng nhiên liệu. Động cơ nghiên cứu sử dụng H₂ tạo ra lượng khí thải carbon thấp do H₂ không chứa các nguyên tử carbon trong đó [43, 44]. Kết quả chỉ rõ sự giảm của các phát thải CO, CO₂ và HC nhưng có sự gia tăng nhẹ phát thải NO_x [43, 45]. Chen, He và Zhong đã nghiên cứu và kết luận rằng động cơ sử dụng khí tự nhiên kết hợp với H₂ có thể tăng hiệu suất nhiệt và làm giảm lượng khí thải HC, CO và PM [46]. Yilmaz và Gumus đã thực hiện thử nghiệm trên động cơ diesel nhiều xi-lanh và chứng minh rằng việc tăng cường hydro làm tăng hiệu suất nhiệt và giảm lượng khí thải [47]. Nghiên cứu của tác giả Paykani đã làm giảm lượng khí thải NO_x, CO và HC và tăng hiệu suất nhiệt ở tải trung bình của động cơ sử dụng lưỡng nhiên liệu bằng cách nạp không khí được sấy nóng trước bằng EGR vào xi lanh [48].

4.6. Ảnh hưởng của các phương pháp trên tới động cơ HCCI

Các phương pháp nêu trên đã được nghiên cứu, ứng dụng trong động cơ HCCI để cải thiện các tính năng kinh tế kỹ thuật và phát thải của động cơ này. Dưới đây là bảng tổng hợp các giải pháp nhằm giải quyết các vấn đề trong động cơ HCCI.

Bảng 1. Tác dụng của các phương pháp công nghệ sử dụng trên động cơ HCCI

Công nghệ \ Ứng dụng	Điều khiển quá trình cháy	Mở rộng vùng làm việc	Tăng khả năng khởi động lạnh	Giảm phát thải HC và CO
Luân hồi khí thải	x		x	
Tăng nhiệt độ khí nạp	x			
Giảm tỷ số nén	x			
Sử dụng nhiên liệu thay thế, lưỡng nhiên liệu	x			x
Điều chỉnh thời điểm cháy		x		

Tăng áp khí nạp		x		
Vòi phun phụ			x	
Thay đổi kết cấu đỉnh piston và áp suất phun				x
Sử dụng nhiên liệu có chỉ số Xetan thấp				x
Tăng áp suất phun				x

Qua tổng hợp trên ta có thể thấy được để động cơ HCCI có thể hoạt động một cách ổn định, ta cần phải kết hợp nhiều công nghệ với nhau nhằm hạn chế yếu điểm và phát huy các ưu điểm của động cơ HCCI. Cụ thể, phương pháp sử dụng nhiên liệu thay thế ví dụ như ethanol hoặc methanol kết hợp với phương pháp luân hồi khí thải và sấy nóng đường nạp là một hướng nghiên cứu khả thi của động cơ HCCI.

5. KẾT LUẬN

Từ các nghiên cứu về công nghệ HCCI được nêu ra ở trên, bên cạnh những khó khăn về mặt kỹ thuật cần phải vượt qua trong quá trình nghiên cứu phát triển, ta có thể thấy công nghệ này rất có triển vọng trong việc giảm phát thải, nâng cao hiệu suất nhiệt của động cơ cũng như tiết kiệm nhiên liệu tiêu thụ. Bài báo này đã tổng hợp ra các nghiên cứu điển hình về công nghệ HCCI ở nước ngoài nhằm định hướng, làm tiền đề cho các nghiên cứu về HCCI ở Việt Nam trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Wu H.W., R.H. Wang, D.J. Ou, Y.C. Chen, T.Y. Chen, 2011. *Reduction of Smoke and Nitrogen Oxides of a Partial HCCI Engine Using Premixed Gasoline and Ethanol with air*. Applied Energy 88 (11): 3882–3890.
- [2]. Edling C, Axelsson O., 1984. *Risk factors of coronary heart disease among personnel in a bus company*. Int Arch Occup Environ Health, 54, 181–183.
- [3]. Hoekman S. K., C. Robbins, 2012. *Review of the Effects of Biodiesel on NO_x Emissions*. Fuel Processing Technology 96: 237–249.
- [4]. Zhao F, Asmus T, Assanis DN, Dec JE, Eng JA, Najt M., 2003. *Homogeneous charge compression ignition (HCCI) engines: key research and development issues*. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers Inc.
- [5]. Angelos J., M. Puignou, M. Andreae, W. Cheng, W. Green, M. Singer, 2008. *Detailed Chemical Kinetic Simulations of Homogeneous Charge Compression Ignition Engine Transients*. International Journal of Engine Research 9 (2): 149–164.
- [6]. Yao M., Z. Zheng, H. Liu, 2009. *Progress and Recent Trends in Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) Engines*. Progress in Energy and Combustion Science 35 (5): 398–437. doi:10.1016/j.pecs.2009.05.001.
- [7]. Chintala V., K. A. Subramanian, 2014b. *Hydrogen Energy Share Improvement Along with NO_x (Oxides of Nitrogen) Emission Reduction in a Hydrogen Dual-Fuel Compression Ignition Engine Using Water Injection*. Energy Conversion and Management 83: 249–259. doi:10.1016/j.enconman.2014.03.075.

- [8]. Ra Y., R. D. Reitz, J. McFarlane, C. S. Daw, 2009. *Effects of Fuel Physical Properties on Diesel Engine Combustion Using Diesel and bio-Diesel Fuels*. SAE International Journal of Fuels and Lubricants 1 (1): 703–718.
- [9]. Ra Y., R. D. Reitz, J. McFarlane, C. S. Daw., 2009. *Effects of Fuel Physical Properties on Diesel Engine Combustion Using Diesel and bio-Diesel Fuels*. SAE International Journal of Fuels and Lubricants 1 (1): 703–718.
- [10]. Kraft M., P. Maigaard, F. Mauss, M. Christensen, B. Johansson, 2000. *Investigation of Combustion Emissions in a Homogeneous Charge Compression Injection Engine: Measurements and a new Computational Model*. Proceedings of the Combustion Institute 28 (1): 1195–1201.
- [11]. Chintala V., K. A. Subramanian, 2016b. *Experimental Investigation of Hydrogen Energy Share Improvement in a Compression Ignition Engine Using Water Injection and Compression Ratio Reduction*. Energy Conversion and Management 108: 106–119. doi:10.1016/j.enconman.2015.10.069.
- [12]. Heywood J.B., 1988. *Internal Combustion Engines Fundamentals*. McGraw-Hill, Inc.
- [13]. Bielaczyc P., J. Merksiz, J. Pielecha, 2001a. *A Method of Reducing the Exhaust Emissions from DI Diesel Engines by the Introduction of a Fuel Cut Off System During Cold Start*. SAE Technical Paper.
- [14]. Bielaczyc P., J. Merksiz, J. Pielecha, 2001b. *Investigation of Exhaust Emissions from DI Diesel Engine During Cold and Warm Start*. SAE Technical Paper.
- [15]. Kyeonghyeon Lee, Seokwon Cho, Namho Kim, Kyoungdoug Min, 2015. *A study on combustion control and operating range expansion of gasoline HCCI*. Energy 91, paper 1038–1048.
- [16]. Pranab Das, P.M.V. Subbarao, J.P. Subrahmanyam, 2015. *Control of combustion process in an HCCI-DI combustion engine using dual injection strategy with EGR*. Fuel.
- [17]. Chintala V., K. A. Subramanian, 2015b. *Experimental Investigations on Effect of Different Compression Ratios on Enhancement of Maximum Hydrogen Energy Share in a Compression Ignition Engine Under Dual-Fuel Mode*. Energy 87: 448–462. doi:10.1016/j.energy.2015.05.014.
- [18]. Peng Z., Y. Cui, L. Shi, K. Deng, 2005. *Characteristics of Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) Combustion and Emissions of n-Heptane*. Combustion Science and Technology 177 (11): 2113–2150.
- [19]. Kimura S., O. Aoki, H. Ogawa, S. Muranaka, Y. Enomoto, 1999. *New Combustion Concept for Ultra-Clean and High-Efficiency Small DI diesel Engines*. SAE Technical Paper.
- [20]. Laguitton O., C. Crua, T. Cowell, M. R. Heikal, M. R. Gold, 2007. *The Effect of Compression Ratio on Exhaust Emissions From a PCCI Diesel Engine*. Energy Conversion and Management 48 (11): 2918–2924. doi:10.1016/j.enconman.2007.07.016.
- [21]. Antunes J. G., R. Mikalsen, A. Roskilly, 2008. *An Investigation of Hydrogen-Fuelled HCCI Engine Performance and Operation*. International Journal of Hydrogen Energy 33 (20): 5823–5828.
- [22]. Lü X.C., W. Chen, Z. Huang, 2005. *A Fundamental Study on the Control of the HCCI Combustion and Emissions by Fuel Design Concept Combined with Controllable EGR. Part 2. Effect of Operating Conditions and EGR on HCCI Combustion*. Fuel 84 (9): 1084–1092.
- [23]. Jun D., K. Ishii, N. Iida. 2003. *Autoignition and Combustion of Natural gas in a 4 Stroke HCCI Engine*. JSME International Journal Series B Fluids and Thermal Engineering 46 (1): 60–67.
- [24]. Nathan S. S., J. Mallikarjuna, A. Ramesh, 2010. *An Experimental Study of the Biogas Diesel HCCI Mode of Engine Operation*. Energy Conversion and Management 51 (7): 1347–1353.
- [25]. Peucheret S., M. Wyszyski, R. Lehrle, S. Golunski, H. Xu, 2005. *Use of Catalytic Reforming to aid Natural gas HCCI Combustion in Engines: Experimental and Modelling Results of Open-Loop Fuel Reforming*. International Journal of Hydrogen Energy 30 (15): 1583–1594.
- [26]. Gowthaman S., A. P. Sathiyagnanam, 2018. *Analysis the Optimum Inlet air Temperature for Controlling Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) Engine*. Alexandria Engineering Journal 57 (4): 2209–2214.
- [27]. Akagawa H., T. Miyamoto, A. Harada, S. Sasaki, N. Shimazaki, T. Hashizume, K. Tsujimura, 1999. *Approaches to Solve Problems of the Premixed Lean Diesel Combustion*. SAE Technical Paper.
- [28]. Choi D., P. C. Miles, H. Yun, R. D. Reitz, 2005. *A Parametric Study of low-Temperature, Late-Injection Combustion in a HSDI Diesel Engine*. JSME International Journal Series B Fluids and Thermal Engineering 48 (4): 656–664.
- [29]. Christensen M., B. Johansson, A. Hultqvist, 2002. *The Effect of Combustion Chamber Geometry on HCCI Operation*. SAE Technical Paper.
- [30]. Vressner A., A. Hultqvist, B. Johansson, 2007. *Study on Combustion Chamber Geometry Effects in an HCCI Engine Using High-Speed Cycle-Resolved Chemiluminescence Imaging*. SAE Technical Paper.
- [31]. Boyarski N. J., R. D. Reitz, 2006. *Premixed Compression Ignition (PCI) Combustion with Modeling-Generated Piston Bowl Geometry in a Diesel Engine*. SAE Technical Paper.
- [32]. Cao L., A. Bhave, H. Su, S. Mosbach, M. Kraft, A. Dris, R. M. McDavid, 2009. *Influence of Injection Timing and Piston Bowl Geometry on PCCI Combustion and Emissions*. SAE International Journal of Engines 2 (2009- 01-1102): 1019–1033.
- [33]. Goryntsev D., 2008. *Large Eddy Simulation of the Flow and Mixing Field in an Internal Combustion Engine*. Technische Universität.
- [34]. Okude K., K. Mori, S. Shiino, T. Moriya, 2004. *Premixed Compression Ignition (PCI) Combustion for Simultaneous Reduction of NO_x and Soot in Diesel Engine*. SAE Technical Paper.
- [35]. Suzuki T., T. Kakegawa, K. Hikino, A. Obata, 1997. *Development of Diesel Combustion for Commercial Vehicles*. SAE Technical Paper.
- [36]. Qian Y., S. Sun, D. Ju, X. Shan, X. Lu, 2017. *Review of the State-of-the-art of Biogas Combustion Mechanisms and Applications in Internal Combustion Engines*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 69: 50–58. doi:10.1016/j.rser.2016.11.059.
- [37]. Feroskhan M., S. Ismail, M. G. Reddy, A. Sai Teja, 2018. *Effects of Charge Preheating on the Performance of a Biogas-Diesel Dual Fuel CI Engine*. Engineering Science and Technology, an International Journal 21 (3): 330–337. doi:10.1016/j.jestch.2018.04.001.
- [38]. Chintala V., K. A. Subramanian, 2014b. *Hydrogen Energy Share Improvement Along with NO_x (Oxides of Nitrogen) Emission Reduction in a Hydrogen Dual-Fuel Compression Ignition Engine Using Water Injection*. Energy Conversion and Management 83: 249–259. doi:10.1016/j.enconman.2014.03.075.
- [39]. Dimitriou P., M. Kumar, T. Tsujimura, Y. Suzuki, 2018. *Combustion and Emission Characteristics of a Hydrogen-Diesel Dual-Fuel Engine*. International Journal of Hydrogen Energy 43 (29): 13605–13617. doi:10.1016/j.ijhydene.2018.05.062.
- [40]. Kumar M., T. Tsujimura, Y. Suzuki, 2018b. *NO_x Model Development and Validation with Diesel and Hydrogen/Diesel Dual-Fuel System on Diesel Engine*. Energy 145: 496–506. doi:10.1016/j.energy.2017.12.148.

- [41]. Zheng J., J. Wang, Z. Zhao, D. Wang, Z. Huang, 2019. *Effect of Equivalence Ratio on Combustion and Emissions of a Dual-Fuel Natural gas Engine Ignited with Diesel*. *Applied Thermal Engineering* 146: 738–751. doi:10.1016/j.applthermaleng.2018.10.045
- [42]. Shim E., H. Park, C. Bae, 2018. *Intake air Strategy for low HC and CO Emissions in Dual-Fuel (CNG-Diesel) Premixed Charge Compression Ignition Engine*. *Applied Energy* 225: 1068–1077. doi:10.1016/j.apenergy.2018.05.060.
- [43]. Rosha P., A. Dhir, S. K. Mohapatra, 2018. *Influence of Gaseous Fuel Induction on the Various Engine Characteristics of a Dual Fuel Compression Ignition Engine: A Review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82: 3333–3349. doi:10.1016/j.rser.2017.10.055.
- [44]. Chintala V., K. A. Subramanian, 2016b. *Experimental Investigation of Hydrogen Energy Share Improvement in a Compression Ignition Engine Using Water Injection and Compression Ratio Reduction*. *Energy Conversion and Management* 108: 106–119. doi:10.1016/j.enconman.2015.10.069.
- [45]. Chintala V., K. A. Subramanian, 2016a. *CFD Analysis on Effect of Localized in-Cylinder Temperature on Nitric Oxide (NO) Emission in a Compression Ignition Engine Under Hydrogen-Diesel Dual-Fuel Mode*. *Energy* 116 (Part 1): 470–488. doi:10.1016/j.energy.2016.09.133.
- [46]. Chen H., J. He, X. Zhong, 2018. *Engine Combustion and Emission Fuelled with Natural gas: A Review*. *Journal of the Energy Institute*. doi:10.1016/j.joei.2018.06.005.
- [47]. Yilmaz I. T., M. Gumus, 2018. *Effects of Hydrogen Addition to the Intake air on Performance and Emissions of Common Rail Diesel Engine*. *Energy* 142: 1104–1113. doi:10.1016/j.energy.2017.10.018.
- [48]. Paykani A., R. K. Saray, M. Shervani-Tabar, A. Mohammadi-Kousha, 2012. *Effect of Exhaust gas Recirculation and Intake pre-Heating on Performance and Emission Characteristics of Dual Fuel Engines at Part Loads*. *Journal of Central South University* 19 (5): 1346–1352.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Minh Thang^{1,2}, Pham Minh Hieu², Le Dang Duy¹

¹ Hanoi University of Science and Technology

² Faculty of Automobile Technology, Hanoi University of Industry