

Hiện trạng & xu hướng nghiên cứu động cơ đốt trong sử dụng biogas

- Huỳnh Thanh Công
- Nguyễn Quốc Khánh

PTN trọng điểm Động cơ đốt trong ĐHQG-HCM, Trường ĐH Bách khoa, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 13 tháng 7 năm 2015, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 16 tháng 10 năm 2015)

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày tổng quan các nghiên cứu liên quan đến sản xuất, lưu trữ, ứng dụng khí sinh học Biogas hiện nay tại Việt Nam và trên thế giới. Các công nghệ ứng dụng trong việc tinh lọc, cải thiện chất lượng biogas đáp ứng việc sử dụng trên động cơ đốt trong được trình bày. Đặc tính kinh tế, kỹ thuật và môi trường của bốn loại hệ thống cung cấp nhiên liệu sử dụng biogas

Từ khóa: khí sinh học, động cơ biogas, lưu trữ, sử dụng biogas, năng lượng mới.

trên động cơ đốt trong khác nhau được phân tích nhằm đáp ứng ưu khuyết điểm của từng loại và tính khả thi khi ứng dụng thực tế của động cơ đốt trong dùng biogas. Các công nghệ hiện đại trong việc tinh lọc biogas cho sử dụng trên pin nhiên liệu và trên phương tiện giao thông công cộng (xe buýt, taxi) cũng được giới thiệu và tìm hiểu.

1. GIỚI THIỆU

Biogas là khí sinh học (thành phần gồm: CH_4 , CO_2 , H_2S ...) thu được từ sự phân hủy các chất hữu cơ trong môi trường thiếu không khí. Việc sử dụng khí Biogas phát triển rất nhanh trên khắp thế giới và tại Việt Nam, điều này đem lại lợi ích về môi trường và kinh tế [1,2,3]. Lượng CO_2 và các độc tố khác trong khí thải sẽ giảm đi đáng kể khi sử dụng biogas thay thế nhiên liệu hóa thạch. Ứng dụng nhiều nhất của Biogas vẫn là đun nấu, sưởi ấm và nhiên liệu thay thế cho động cơ đốt trong bởi trong biogas có chứa hàm lượng cao CH_4 [4,5].

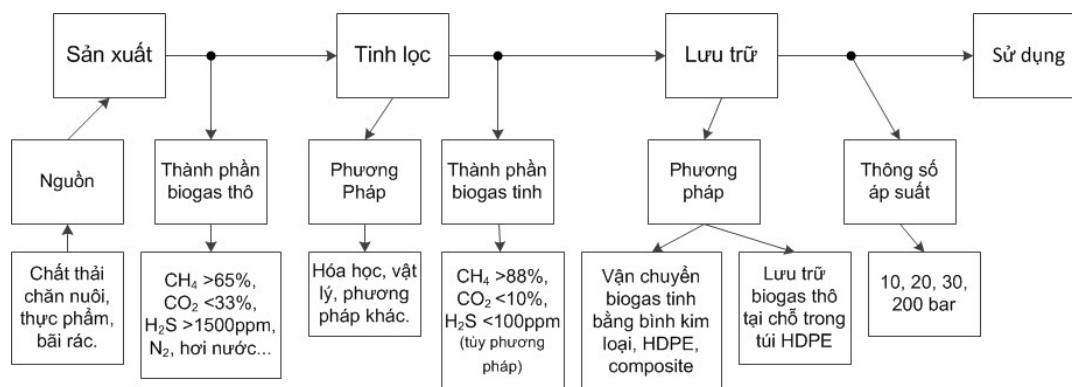
Tuy nhiên, tiềm năng của biogas chưa được tận dụng ở đó mà còn có thể ứng dụng trong phương tiện công cộng và pin nhiên liệu [1,2]. Chính vì lợi ích đó mà từ giữa thế kỷ 20 cho đến nay, nhiều quốc gia trên thế giới vẫn không ngừng đẩy mạnh việc nghiên cứu ứng dụng Biogas trong nhiều

lĩnh vực. Vì vậy, nhiều nghiên cứu về quá trình sản xuất, tinh lọc và lưu trữ đã được thực hiện [6,7,8]. Việc ứng dụng biogas sẽ là cách giải quyết tích cực cho vấn đề an ninh năng lượng và bảo vệ môi trường ở Việt Nam.

Đến ngày nay, biogas và những lợi ích của nó đã và đang dần khẳng định khả năng thế chỗ nhiên liệu hóa thạch trong tương lai. Trong bài báo này, tình hình nghiên cứu và sử dụng biogas trên động cơ đốt trong tại Việt Nam và trên thế giới sẽ được tập trung đánh giá tổng quan. Đồng thời, những xu hướng phát triển hiện tại và tương lai của lĩnh vực này sẽ được tổng hợp và phân tích.

2. SẢN XUẤT, TINH LỌC VÀ LƯU TRỮ BIOGAS

Biogas là kết quả của sự phân hủy các chất hữu cơ trong môi trường thiếu không khí.

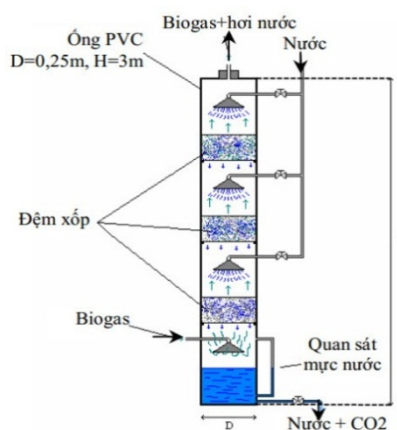


Hình 1. Sơ đồ tổng quát quá trình sản xuất, tinh lọc và lưu trữ [1,4,8,9]

Các chất hữu cơ có thể là thực vật (cây cối, rơm rạ...) hay động vật (xác sinh vật, các chất thải từ quá trình chế biến thực phẩm...), các chất thải từ quá trình chăn nuôi. Biogas chứa nhiều CH_4 (50-70%) và CO_2 (25-50%) và các tạp chất khác như H_2S [8]. Vì nguồn gốc của khí biogas rất khác nhau và chất lượng cũng không đồng đều do đó dẫn đến việc phải xem xét về quá trình sản xuất cũng như tinh lọc và lưu trữ biogas.

Trên thế giới, quá trình sản xuất biogas có quy mô rất lớn. Nguồn cung để sản xuất biogas từ các trang trại chăn nuôi hoặc các bãi rác sau đó được tập trung tại các nhà máy sản xuất biogas với sản lượng cao [6,7]. Tuy nhiên, tại Việt Nam để thực hiện được quy mô như vậy là một điều rất khó bởi điều kiện đầu tư không cho phép. Một số bài báo cho thấy [4,5] nguồn cung biogas chủ yếu vẫn chỉ từ các hộ gia đình có trang trại chăn nuôi nhỏ lẻ và khó tổng hợp với quy mô lớn.

Chất lượng biogas (nồng độ % CH_4 và CO_2 có sự chênh lệch khác biệt) tùy thuộc vào nguồn cung biogas. Việc đẩy mạnh công nghệ tinh lọc biogas là điều phải làm để có được chất lượng biogas ổn định theo ý muốn [6]. CO_2 trong biogas lọc bằng nước hoặc vôi là phương pháp đơn giản nhất (Hình 2) [8], H_2S được lọc bằng oxit sắt. Sau khi lọc, hàm lượng CH_4 tăng từ 69,33% - 88,09%, hàm lượng CO_2 giảm từ 20,63% - 8,3%, hàm lượng H_2S chỉ còn 0,23%.

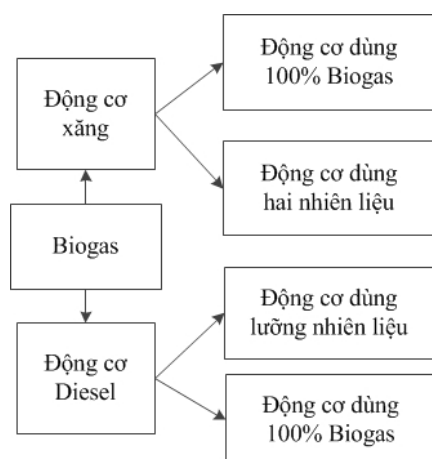


Hình 2. Lọc CO_2 bằng nước [8]

Biogas tinh lọc cần được nén và lưu trữ để phục vụ các yêu cầu khác nhau. Trên thế giới, biogas tinh lọc có chất lượng gần bằng khí tự nhiên được hòa vào hệ thống cung cấp khí của thành phố đến từng hộ dân, thậm chí tại các nước như Thụy Sĩ, Thụy Điển biogas được nén với áp suất cao để dùng rộng rãi cho phương tiện công cộng [1,2]. Bên cạnh đó, tại Đại học bách khoa Đà Nẵng [9] cũng có nghiên cứu bước đầu cho việc nén biogas để dùng cho xe cơ giới.

3. NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG BIOGAS

Việc nghiên cứu ứng dụng biogas trên động cơ đốt trong những năm qua tập trung các hướng ứng dụng chính được nêu ở Hình 3. Tài liệu tham khảo về nghiên cứu ứng dụng trong Bảng 1.



Hình 3. Sơ đồ tóm tắt các loại động cơ chuyển đổi sử dụng biogas [2,10,20,24]

Bảng 1: Tài liệu tham khảo của 4 hướng ứng dụng

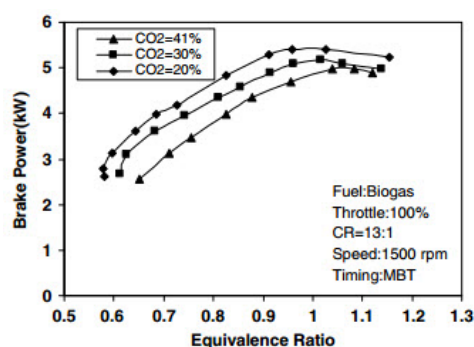
	Đặc tính công suất	Đặc tính tính sự cháy	Đặc tính khí thải	PP điều khiển
Động cơ xăng 100% biogas	[10],[14],[15],[16]	[14],[15],[16]	[10],[11],[12],[13],[14],[15],[16],[17]	[10],[11],[18]
Động cơ hai nhiên liệu	[2],[19]	[19]	[2],[19]	
Động cơ nhiên liệu kép	[20],[21],[22],[23],[28]	[22],[23],[3]	[20],[21],[22],[23]	[23]
Động cơ Diesel 100% biogas	[24],[25],[26],[27]	[24],[25]	[24],[25],[27]	[24],[25]

3.1. Động cơ xăng dùng 100% biogas

Khí biogas tại Việt Nam được nghiên cứu và chạy trên động cơ đánh lửa cưỡng bức trong một thời gian dài, chủ yếu dùng cho mục đích kéo máy phát điện tại trang trại. Một trong những nghiên cứu đầu tiên tại Đại học Đà Nẵng trên động cơ đánh lửa cưỡng bức kéo máy phát điện 2HP sử dụng bộ phụ kiện GA5 do nhóm nghiên

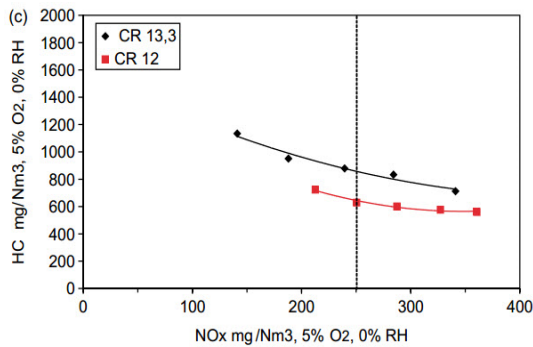
cứu của Bùi Văn Ga phát triển [10]. Ảnh hưởng của tỉ số nén đến tính năng của động cơ cũng được xem xét [11], trong đó tỉ số nén chỉ ảnh hưởng lớn tới áp suất cuối quá trình cháy mà không ảnh hưởng nhiều đến nhiệt độ hỗn hợp và đường cong tỏa nhiệt. Các thử nghiệm biogas trên xe gắn máy [12,13] cho thấy kết quả khả quan về mặt khí thải khi so với xăng, tuy nhiên những nghiên cứu này vẫn chưa áp dụng được trong thực tế.

Nghiên cứu động cơ đánh lửa cưỡng bức dùng 100% biogas trên thế giới có nhiều bước tiến về mặt đánh giá công suất, quá trình cháy, khí thải [14,15]. Một nghiên cứu về ảnh hưởng của nồng độ mê-tan đối với quá trình hoạt động của động cơ đánh lửa cưỡng bức khi đánh giá sự ảnh hưởng của việc giảm CO₂ đến công suất, khí thải, sự cháy tại tốc độ không đổi (Hình 4) [16].



Hình 4. Ảnh hưởng của nồng độ CO₂ tới công suất động cơ [16]

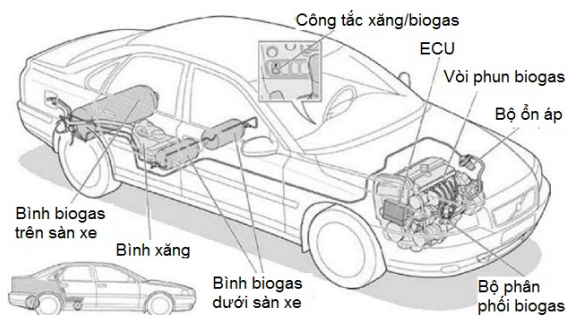
Một nghiên cứu khác về động cơ sử dụng 100% biogas với hai mức tỉ số nén là 12 và 13,3 [17]. Với mục tiêu đạt công suất ít nhất 36% và mức phát thải ít hơn quy định của Thụy Sĩ. Ở tỷ số nén 12.0 lượng khí thải thấp hơn khi ở tỷ số nén 13.3 (Hình 5). Ngoài ra, phương pháp chuyển đổi từ động cơ xăng sang sử dụng biogas cũng được đề cập tại nghiên cứu của Nindhia và đồng nghiệp [18], phương pháp cho thấy động cơ chuyển đổi hoạt động tốt và đạt thể tích tối đa như khi dùng xăng.



Hình 5. Ảnh hưởng của tỉ số nén đến khí thải [17]

3.2. Động cơ xăng dùng hai nhiên liệu

Tại một số nước phát triển, việc nghiên cứu và ứng dụng biogas trên động cơ xăng đã có nhiều những kết quả quan trọng. Nghiên cứu đưa ra hai phương án sử dụng biogas trên động cơ xăng đó là 100% khí biogas và biogas-xăng [19]. Nghiên cứu tiến hành kiểm nghiệm quá trình cháy nghèo và đặc tính phát thải của động cơ. Ngoài ra, Biogas sử dụng song song với xăng trên xe hơi được hãng volvo nghiên cứu từ lâu [2], khí Biogas chứa trong bình nén. Biogas và xăng được dùng độc lập trên xe và chuyển đổi qua lại giữa hai loại nhiên liệu với một nút bấm (Hình 6). Động cơ 2,4 lít của xe Volvo sử dụng khí nén biogas hoặc CNG có thể giúp đi thêm quãng đường hơn 200km và giảm mức thải CO₂ xuống 25% khi so với xăng. Chi phí cho xe sử dụng hai nhiên liệu rẻ hơn từ 20-60% so với xăng, 20-40% so với dầu.

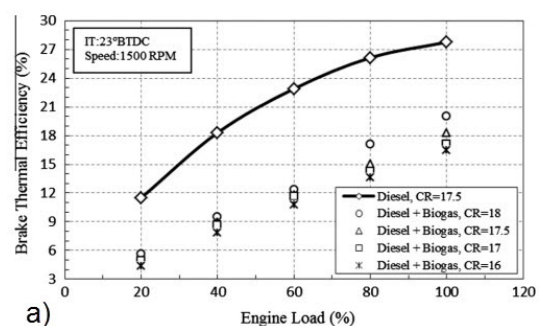


Hình 6. Mô hình xe hơi sử dụng hai nhiên liệu [2]

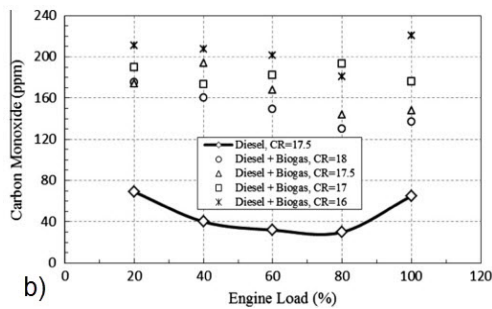
3.3. Động cơ Diesel dùng lưỡng nhiên liệu diesel - biogas.

Việc ứng dụng nhiên liệu biogas trên các động cơ đánh lửa cưỡng bức công suất nhỏ cho hiệu suất động cơ khá thấp. Để nâng cao hiệu suất động cơ, việc dùng động cơ sử dụng nhiên liệu là một trong những biện pháp khả thi. Đặc biệt là động cơ lưỡng nhiên liệu diesel-biogas. Nhóm nghiên cứu từ Đại học bách khoa Đà Nẵng đã có những công bố cho vấn đề này [20,21]. Ưu điểm của những nghiên cứu này là đã áp dụng thành công nhiên liệu kép trên động cơ diesel. Đồng thời, cũng đã có những nghiên cứu rõ ràng về ảnh hưởng tỉ số nén cũng như thành phần nhiên liệu kép đến quá trình cháy động cơ. Tuy nhiên, việc tối ưu tỉ lệ nhiên liệu giữa diesel-biogas tại các chế độ tải chưa được đề cập sâu, việc đáp ứng của động cơ còn chậm.

Liên quan đến độ bền của chi tiết động cơ, Tippayawong và cộng sự [22] đã kiểm nghiệm độ bền của động cơ nông nghiệp chạy lưỡng nhiên liệu biogas-diesel, tiến hành tại 1500 vòng/phút và trong 3500 giờ. Việc nghiên cứu ảnh hưởng của tỉ số nén đến công suất, quá trình cháy và khí thải của động cơ dùng hai nhiên liệu [23] được trình bày tại một thí nghiệm với động cơ diesel 3.5kW một xy lanh được chuyển đổi để chạy biogas-diesel. Tỉ số nén thay đổi lần lượt là 18; 17,5; 17 và 16, góc đánh lửa sớm tại 23 độ TĐCT. Hiệu suất nhiệt và lượng khí thải CO thể hiện trong Hình 7 a,b.



Hình 7.a. Hiệu suất nhiệt tại các tỉ số nén [23]



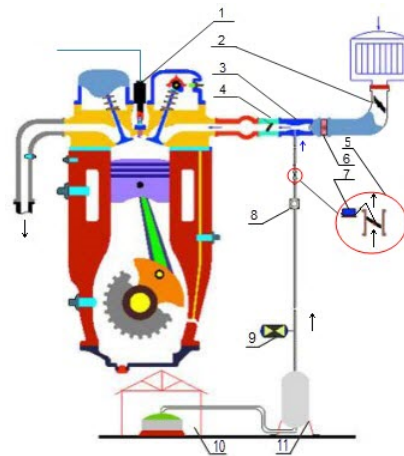
Hình 7.b. Hiệu suất nhiệt và lượng CO khi thay đổi tỉ số nén [23]

3.4. Động cơ Diesel dùng 100% biogas

Động cơ chạy lưỡng nhiên liệu tuy đem lại ứng dụng đa dạng về nhiên liệu nhưng đòi hỏi sự nghiên cứu sâu về thành phần tỉ lệ của nhiên liệu tham gia và những điều kiện khác tác động đến quá trình làm việc của động cơ. Do vậy, việc nghiên cứu và sử dụng 100% biogas trên động cơ diesel vẫn có những tiềm năng không nhỏ. Nguyễn Ngọc Dũng [24] cũng đưa ra những nghiên cứu về việc chuyển đổi động cơ diesel sang sử dụng 100% biogas và kết quả đem lại rất triển vọng. Trong đó, động cơ chuyển đổi là loại diesel 4 xylanh. Kết quả cho thấy động cơ hoạt động tốt với 64% CH₄ ở tỉ số nén 17. Ngoài ra, việc thiết kế bộ đánh lửa điều khiển bằng máy tính nhằm đáp ứng tốt hơn quá trình vận hành của động cơ diesel chạy 100% biogas điều chỉnh tốc độ động cơ tại 1500 vòng/phút cũng được Trần Đăng Long và cộng sự phát triển [25]. Trong đó, mô hình động cơ thí nghiệm được mô tả trong Hình 8.

Nghiên cứu của R. Chadra và cộng sự trên động cơ diesel chuyển đổi dùng CNG, biogas tinh lọc và biogas thô [26]. Góc đánh lửa sớm thay đổi tương ứng là 30°, 35°, 40° trước DCT. Công suất động cơ so với khi sử dụng diesel lần lượt giảm 31,8%, 35,6%, 46,3%. Một nghiên cứu khác do Siripornakarachai và Sucharitakul thực hiện việc chuyển đổi động cơ diesel trên xe buýt mục đích sử dụng biogas tại trang trại [27]. Động cơ chuyển đổi là Hino K-13CTI 13,000cc 24 van.

Công suất ra máy phát điện là 134,2 kW, khí thải CO và NO_x lần lượt là 1154 và 896ppm. Không chỉ chuyển đổi động cơ diesel cỡ lớn sang chạy biogas mà trên thế giới đã có những ứng dụng trên phương tiện công cộng [28] và các tính toán về mặt lợi ích kinh tế cũng được phân tích.

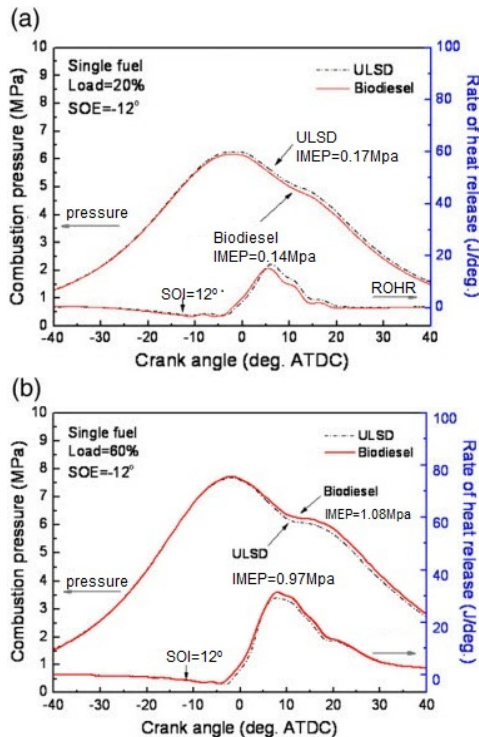


Hình 8. Mô hình phác họa động cơ thí nghiệm [24,25]

1. Bugi, 2. Bướm gió, 3. Bộ trộn, 4. Bướm ga, 5. Van biogas, 6. Cảm biến lưu lượng, 7. Mô-tơ bước, 8. Cảm biến lưu lượng biogas, 9. Solenoid, 10. Bể biogas, 11. Thùng chứa biogas.

4. XU HƯỚNG NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu ứng dụng của biogas đối với động cơ đốt trong đã đạt được nhiều kết quả quan trọng và ứng dụng vào đời sống điển hình là các phương tiện công cộng và phương tiện cá nhân. Tuy nhiên, việc nghiên cứu động cơ diesel hay xăng chạy 100% biogas vẫn sẽ không dừng lại ở đây. Đồng thời, việc nghiên cứu động cơ chạy nhiên liệu kép cũng sẽ có sự tham gia của nhiều loại nhiên liệu khác mà không dừng ở xăng hoặc diesel [29]. Điển hình là nghiên cứu của Chang Sik Lee khi kết hợp biogas – biodiesel trên động cơ diesel. Biểu đồ áp suất buồng cháy và đường cong tỏa nhiệt tại 20% và 60% tải thể hiện trên hình 10.



Hình 10 a,b. Biểu đồ áp suất buồng cháy và đường cong tỏa nhiệt tại 20% và 60% tải [29]

Kết quả cho thấy, đặc tính quá trình cháy nhiên liệu đơn đối với biodiesel và diesel cho ra các mô hình tương tự nhau ở các tải. Ở chế độ nhiên liệu kép, đỉnh áp suất và suất tỏa nhiệt của biogas-biodiesel thấp hơn một chút so với biogas-diesel ở tải thấp. Bhabani Prasanna Pattanaik và cộng sự [30] cũng có một nghiên cứu tương tự khi áp dụng biogas-biodiesel tuy nhiên biodiesel được sản xuất từ hạt Karanja.

Các nghiên cứu về việc kết hợp giữa biogas và hydro cũng cho những kết quả rất khả quan [31]. Một phân tích về hỗn hợp biogas-hydro được đưa vào trong buồng cháy cưỡng bức với tỉ lệ về thể tích của hydro là 15%. Nghiên cứu thiết lập mô hình mô phỏng hình thái học và ứng dụng sự liên kết giữa các mô hình đa chiều để dự đoán quá trình cháy được tạo ra. Mô hình cháy sẽ thể hiện sự không thuận nghịch và không đồng nhất của không gian cháy tại mỗi thành phần tỉ lệ của hydro.

Ứng dụng biogas làm pin nhiên liệu là một hướng đang phát triển mạnh trong những năm gần đây [32,33]. Pin nhiên liệu (SOFC) sử dụng nhiên liệu sinh học, thử nghiệm được tiến hành với hỗn hợp H_2/CO_2 tại đầu a-nốt. Các phản ứng xảy ra tại khoảng nhiệt độ 650-800 °C. Trong đó, hiệu suất đạt được và thải ra các chất trong giới hạn chấp nhận được. Thử nghiệm cho thấy khả năng ứng dụng biogas cho pin nhiên liệu để tạo ra điện năng.

Biogas và diesel được sử dụng trong động cơ HCCI [34]. Sự tồn tại của CO_2 làm cản trở sự gia tăng của đường cong tỏa nhiệt. Tuy nhiên, hiệu suất nhiệt gần với giá trị của động cơ diesel có thể đạt được với động cơ HCCI. Mức NO là 20 ppm và độ mờ khói nhỏ hơn 0,1 BSU. Mức HC là rất cao nhưng đã được hạ xuống khi nhiệt độ khí nạp nâng cao khoảng 80-135°C.

5. KẾT LUẬN

Nguồn cung chất thải cho việc sản xuất biogas rất dồi dào và phong phú. Công nghệ tinh lọc hiện tại là chưa đáp ứng được về mặt giá thành và mức độ hiệu quả. Quá trình lưu trữ, nhất là lưu trữ vận chuyển cũng gặp khó khăn bởi yêu cầu cao về công nghệ vật liệu.

Nhìn chung, ứng dụng biogas trên động cơ đốt trong đem lại tiềm năng lớn về kinh tế đồng thời khí thải phát ra cũng giảm đáng kể so với nhiên liệu hóa thạch. Trong thời gian tới, các nghiên cứu cần tập trung nâng cao công suất của động cơ dùng biogas. Bên cạnh đó, việc kết hợp biogas với các nhiên liệu khác để đạt hiệu quả tốt hơn khi chạy trên động cơ đốt trong cũng là một vấn đề cần được đầu tư nghiên cứu. Việc loại bỏ dần nhiên liệu hóa thạch và ứng dụng khí biogas đại trà trong đời sống là điều cần thiết. Ngoài ra, ứng dụng biogas làm pin nhiên liệu (FuelCell) và phương tiện cơ giới cũng đang phát triển trong thời gian tới.

Biogas engine, status & trends research

- **Huynh Thanh Cong**
- **Nguyen Quoc Khanh**

Key – Lab for internal combustion engine, Ho Chi Minh City University of Technology, Vietnam

ABSTRACT

This paper presents an overview of research related to the production, storage and application of Biogas currently in VietNam and the world. The application of technology to refine and improve quality to meet the use of biogas in internal combustion engines is presented. The characteristics of economic, technique and environmental of four different kinds fuel

supply system using biogas on combustion engine are analyzed to meet the advantages and disadvantages of each type and feasibility of practical application use of biogas combustion engine. The modern technology in refining biogas for use in fuel cells and on public transport (bus, taxi) are introduced and researched.

Keywords: *biogas, biogas engines, storage and use of biogas, renewable energy.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Sari Luostarinen, Argo Normak & Mats Edström, *Overview of Biogas Technology*, Baltic Forum for Innovative Technologies for Sustainable Manure Management, 2011.
- [2]. The National Society for Clean Air and Enviromental Protection, *Biogas as a road transport fuel*, England, 2006.
- [3]. Bùi Văn Ga và cộng sự, *So sánh hiệu quả kinh tế của các giải pháp cải tạo động cơ chạy bằng xăng dầu sang chạy bằng biogas*, Hội nghị khoa học Cơ học Thủy khí toàn quốc, 2010.
- [4]. Bùi Văn Ga và cộng sự, *Ứng dụng biogas trong sản xuất và đời sống ở nông thôn Việt Nam*, Hội Nghị Vật Lý Chất Rắn Và Khoa Học Vật Liệu Toàn Quốc Lần Thứ 6, 2009.
- [5]. Nguyễn Ngọc Dũng và cộng sự, *Nghiên cứu phát triển động cơ Biogas tại Việt Nam*, Tạp Chí Cơ Khí Việt Nam, số 4, 2013.
- [6]. E. S. Karapidakis, *Energy efficiency and environmental impact of biogas utilization in landfills*, International Journal of environmental Science and Technology, số 7(3), 599-608, 2010.
- [7]. Debabrata Barik, Sudhir Sah, *Biogas Production and Storage for Fueling Internal Combustion Engines*, International Journal of Emerging technology and Advanced Engineering, 2013.
- [8]. Ngô Văn Lành và cộng sự, *Tinh Luyện khí Biogas để chạy động cơ đốt trong*, Tạp chí KHCN, Đại học Đà Nẵng, số 127, 2007.
- [9]. Bùi Văn Ga và cộng sự, *Nghiên cứu quá trình nén Biogas làm nhiên liệu cho phương tiện vận chuyển cơ giới*, Hội nghị KHCH Thủy khí toàn quốc, 2010.
- [10]. Bùi Văn Ga và cộng sự, *Hệ thống cung cấp Biogas cho động cơ máy phát điện 2HP*, Tạp

- chí KH&CN Đại học Đà Nẵng, số 3 (20), 2007.
- [11].Trần Thanh Hải Tùng và cộng sự, *Nghiên cứu ảnh hưởng của tỉ số nén và thành phần nhiên liệu biogas đến quá trình cháy động cơ*, Hội nghị Cơ Học Thủy khí toàn quốc, 2012.
- [12].Bùi Văn Ga và cộng sự, *Sử dụng khí Biogas trên động cơ đốt trong cỡ nhỏ*, Hội nghị cơ học toàn quốc lần thứ 8, tập 3, 2007.
- [13].Bùi Văn Ga và cộng sự, *Thử nghiệm khí Biogas trên xe gắn máy*, Tạp chí KH&CN Đại học Đà Nẵng, số 1(18), 2008.
- [14].Omid Razbani, và cộng sự, *Literature review and road map for using biogas in internal combustion engines*, International Conference on Applied Energy, 2011.
- [15].Kirti Bhandari và cộng sự, *Performance and emission of natural gas fueled internal combustion engine: A review*, Journal of Scientific & Industrial Research, 2005.
- [16].E. Porpatham và cộng sự, *Investigation on the effect of concentration of methane in biogas when used as a fuel for a spark ignition engine*, Fuel, 2007.
- [17].Daniel Favrat, Anne Roubaud, *Improving performances of a lean burn cogeneration biogas engine equipped with combustion prechambers*, Fuel, 2005.
- [18].Tjokorda G. T. Nindhia và cộng sự, *Method on Conversion of Gasoline to Biogas Fueled Single Cylinder of Four Stroke Engine Of Electric Generator*, International Journal of Environmental Science and Development, 2013.
- [19].Rosli Abu Bakar, *A Technical Review of Compressed Natural Gas as an Alternative Fuel for Internal Combustion Engines*, American J. of Engineering and Applied Sciences, 2008.
- [20].Bùi Văn Ga và cộng sự, *Biogas Supplying System For Biogas-Diesel Dual fuel Engine*, Tạp chí KHCN, Đại học Đà Nẵng, Số 2(25), 2008.
- [21].Bùi Văn Ga và cộng sự, *Tự động điều chỉnh tốc độ động cơ tĩnh tại chạy bằng Biogas*, Hội nghị Khoa học Cơ học Thủy khí toàn quốc, 2008.
- [22].N. Tippayawong và cộng sự, *Durability of a small Agricultural Engine on Biogas/Diesel - Dual Fuel Operation*, Iranian Journal of Science & Technology, 2010.
- [23].Ujjwal K. Saha và cộng sự, *Effect of compression ratio on performance, combustion and emission characteristics of a dual fuel diesel engine run on raw biogas*, Energy Conversion and Management số 87, 1000–1009, 2014.
- [24].Nguyễn Ngọc Dũng, *A Study of Conversion Diesel Engine to Fully Biogas Engine with electronically controlled*, International Journal of earth Sciences and engineering, Volume 05, No. 06(01), 2012.
- [25].Võ Lê Hoài Phương và cộng sự, *Design and Development for a Biogas-fueled spark-ignition engine using computer-controlled engine management system for high-capacity electricity generation*, the^{2nd} international conference on automotive technology, engine and alternative fuels, 2012.
- [26].R. Chandra, V.K. Vijay, *Performance evaluation of a constant speed IC engine on CNG, methane enriched biogas and biogas*, Applied energy 88, 2011.
- [27].Sittiboon Siripornakarachai, Thawan Sucharitakul, *Modification and tuning of diesel bus engine for biogas electricity production*, Thailand, 2007.
- [28].Martine MOSTERT, *The economic and environmental feasibility of biogas buses in Liège*, BIVEC/GIBET Transport Research Day, 2013.

- [29].Seung Hyun Yoon, Chang Sik Lee, *Experimental investigation on the combustion and exhaust emission characteristics of biogas – biodiesel dual-fuel combustion in a CI engine*, Fuel, 2011.
- [30].Bhabani Prasanna Pattanaik và cộng sự, *Investigation on utilization of biogas & Karanja oil biodiesel in dual fuel mode in a single cylinder DI diesel engine*, International Journal of Energy and Environment, số 4, 279-290, 2013.
- [31].C.D. Rakopoulos, C.N. Michos, *Generation of combustion irreversibilities in a spark ignition engine under biogas–hydrogen mixtures fueling*, International Journal of hydrogen energy 34, 2009.
- [32].A. Lanzini và cộng sự, *Methane-free biogas for direct feeding of solid oxide fuel cells*, Journal of Power Sources, 195(1), 239-48, 2010.
- [33].A. Galvagno, *Biogas as hydrogen source for fuel cell applications*, International Journal of hydrogen energy 38, 2013.
- [34].A. Ramesh và cộng sự, *An experimental study of the biogas–diesel HCCI mode of engine operation*, Energy Conversion and Management số 51, 1347–1353, 2010.