

Đánh giá sự phân bố và nồng độ PAHs trong phát thải của máy phát điện động cơ diesel

• **Tôn Nữ Thanh Phương**

• **Lê Xuân Vĩnh**

• **Tô Thị Hiền**

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM

• **Takenaka Norimichi**

Trường Đại học Phủ Osaka, Nhật Bản

(Bài nhận ngày 20 tháng 03 năm 2013, nhận đăng ngày 20 tháng 1 năm 2014)

TÓM TẮT

Nghiên cứu thực hiện việc đo đạc và đánh giá hệ số phát thải PAHs từ máy phát điện. Việc khảo sát thực hiện ở chế độ không tải trên động cơ máy phát điện LAUNTOP LDG 3600CLE sử dụng nhiên liệu diesel thương phẩm 0,05S. Kết quả cho thấy nồng độ trung bình PAHs trong pha khí

và pha hạt từ phát thải của nhiên liệu lần lượt là 180,12; 3,90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Các hợp chất có nồng độ cao trong phát thải ở pha khí là Naph, Ace; trong pha hạt là Phe, Flu, Pyr. Phát thải bụi PM và hệ số phát thải PAHs của động cơ lần lượt là 338,43 mg/m^3 , 7133,46 mg/L .

Từ khóa: hợp chất hữu cơ thơm đa vòng, phát thải của nhiên liệu diesel, máy phát điện diesel.

MỞ ĐẦU

PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) là nhóm hợp chất hydrocarbon thơm đa vòng có nguồn gốc chủ yếu từ quá trình cháy không hoàn toàn các hợp chất hữu cơ như nhiên liệu hóa thạch, gỗ, than đá... Do đặc trưng nguồn phát thải, PAHs trong không khí có nguồn gốc chủ yếu từ quá trình đốt cháy nhiên liệu hóa thạch của các động cơ đốt trong của các phương tiện giao thông. Bên cạnh đó, phát thải của các phương tiện giao thông còn bao gồm các hợp chất ô nhiễm khác như khí CO, SO₂, NO_x, hợp chất C_xH_y.... Hiện nay, tại Việt Nam có rất nhiều nghiên cứu về phát thải khí CO, SO₂, NO_x và hợp chất C_xH_y từ động cơ đốt trong và các phương pháp giảm thiểu chúng tại nguồn. Tuy nhiên, các hợp chất PAHs, nhóm chất có khả năng gây ung thư cho con người ở hàm lượng nhỏ, rất ít được

quan tâm tại Việt Nam và hầu như chưa có một nghiên cứu về PAHs từ phát thải của động cơ đốt trong. Trong khi đó, tại Việt Nam những năm gần đây, cùng với sự tăng trưởng của nền kinh tế, mức độ tiêu thụ các loại nhiên liệu hoá thạch như xăng, dầu, than đá phục vụ cho nhu cầu năng lượng, công nghiệp và hoạt động giao thông tăng lên mạnh mẽ. Điều này góp phần làm nghiêm trọng thêm vấn đề ô nhiễm không khí ở Việt Nam. Vì vậy, việc nghiên cứu và xác định mức độ phát thải PAHs từ các loại nguồn thải tới lượng PAHs trong không khí để phục vụ cho công tác quản lý chất lượng không khí ở nước ta nói chung và về PAHs nói riêng đã thực sự trở thành một nhu cầu bức xúc. Do đó, đề tài “Đánh giá sự phân bố và nồng độ PAHs trong phát thải của máy phát điện động cơ Diesel” được thực

hiện. Mục tiêu của nghiên cứu là đánh giá đặc trưng phân bố của PAHs trong khí thải và hệ số

THỰC NGHIỆM

Mô hình lấy mẫu PAHs

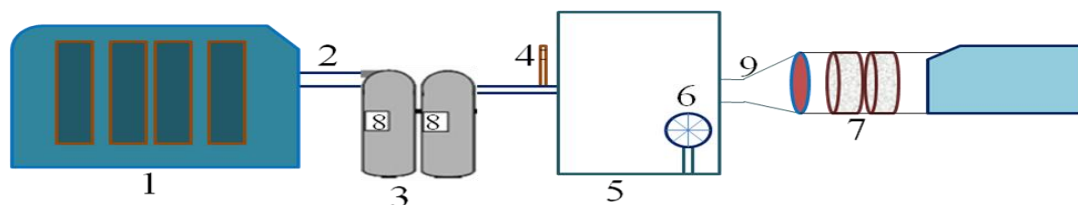
Để đánh giá sự phân bố PAHs trong pha khí và pha hạt từ khí thải của máy phát điện diesel và hệ số phát thải PAHs của động cơ, nghiên cứu thiết lập mô hình lấy mẫu PAHs trực tiếp từ khí thải của máy phát điện (Hình 1). Trong quá trình

phát thải PAHs của máy phát điện động cơ diesel.

khảo sát, máy phát điện diesel LAUNTOP LDG3600CLE chạy ở chế độ không tải, các thông số kỹ thuật của máy phát điện được trình bày trong Bảng 1. Nhiên liệu diesel sử dụng trong nghiên cứu này là nhiên liệu diesel thương phẩm 0,5% S.

Bảng 1. các thông số kỹ thuật của máy phát điện LAUNTOP LDG3600CLE

Loại:	4 kỳ, 1 xy lạnh, nằm ngang.
Công suất định mức (mã lực/vòng/phút):	3
Nhiên liệu	dầu diesel
Suất tiêu thụ nhiên liệu (mL/mã lực/giờ):	400 mL/kW/h
Hệ thống đốt nhiên liệu:	phun trực tiếp
Tốc độ động cơ (vòng/ phút):	3000



Hình 1. Mô hình lấy mẫu PAHs từ phát thải máy phát điện diesel

- [1]: Máy phát điện
- [2]: ống dẫn khí thải
- [3]: Hệ thống làm lạnh
- [4]: Nhiệt kế
- [5]: Thùng chứa khí thải
- [6]: Quạt máy
- [7]: Máy lấy bụi tổng
- [8]: Bơm chìm lifetech 350
- [9]: ống nhựa PVC Ø 15 cm

Lấy mẫu PAHs

Chuẩn bị giấy lọc: giấy lọc sợi thủy tinh GA 100 (đường kính giấy lọc là 110 mm, kích thước lỗ là 0,1 µm do hãng ADVANTEC MFS, Inc sản xuất) được nung ở nhiệt độ 450°C trong thời gian 8 giờ để loại bỏ các chất hữu cơ. Sau đó, giấy lọc được bọc trong giấy nhôm và đặt vào bình hút ẩm trong 48 giờ. Sau khi hút ẩm, đem cân giấy lọc để xác định khối lượng.

Xử lý PUF (polyurethane foam): PUF được làm sạch bằng chiết soxhlet trong dung môi n-

hexane chứa 5% diethyl ether trong 16 giờ. Sau đó, PUF được làm khô trong bình hút ẩm ở nhiệt độ phòng. Sau khi khô, PUF được bọc trong giấy nhôm và được bảo quản trong bình hút ẩm [2].

Sử dụng nhiên liệu chạy máy phát điện ở điều kiện không tải trong 15 phút để động cơ hoạt động ổn định. Tiến hành châm nước đá vào hệ thống làm lạnh, đá được thêm liên tục cho đến khi khí thải trong ống dẫn khí có nhiệt độ nhỏ hơn 52°C (để tránh sự giải hấp của các PAHs) thì

tiến hành dẫn khí thải vào thùng chứa khí. Sau 15 phút phối trộn, tiến hành lấy mẫu PAHs bằng máy lấy bụi tổng SIBATA HV – 500F, các PAHs phân bố trên pha hạt được giữ bằng giấy lọc và các PAHs phân bố trên pha khí được hấp phụ trên PUF, vận tốc lấy mẫu là 200 L/ph, thời gian lấy mẫu là 5 phút, thí nghiệm được lặp lại 3 lần.

Chiết tách và phân tích PAHs

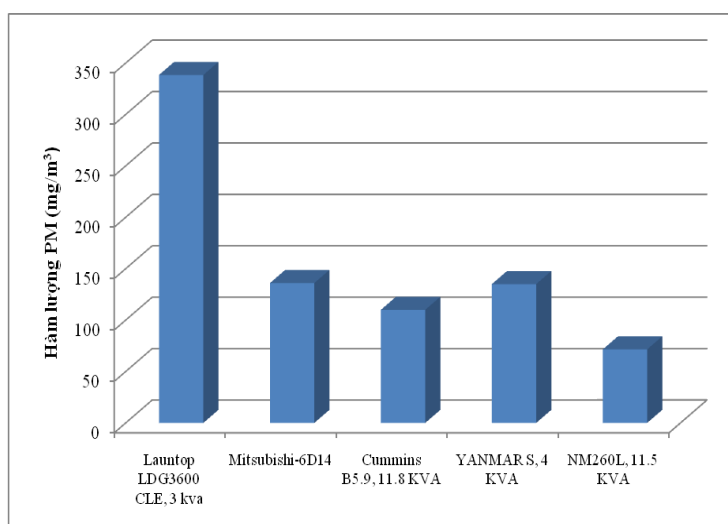
Sau khi lấy mẫu, mẫu giấy lọc được gấp đôi, bọc trong giấy nhôm để tránh quang hóa và được hút ẩm ở nhiệt độ phòng trong 48 giờ. Sau đó, giấy lọc được cân trên cân điện tử để xác định khối lượng bụi thu được. Sau khi xác định khối lượng bụi, giấy lọc được gói trong giấy nhôm và bảo quản ở nhiệt độ -4°C cho đến khi chiết tách. Đối với PUF, sau khi lấy mẫu PUF được bọc trong giấy nhôm riêng để tránh quang hóa và được bảo quản ở nhiệt độ -4°C cho đến khi chiết soxhlet (thời gian bảo quản không quá 4 ngày để tránh sự phân hủy các PAHs [2]).

Chiết tách PAHs trên pha hạt: Các PAHs trên giấy lọc được chiết bằng cách đánh siêu âm trong dung môi dichloromethane, làm sạch bằng chiết SPE. Dung dịch sau khi chiết sẽ được cô đặc và

hòa tan trong 1 mL methanol và phân tích bằng máy HPLC đầu dò huỳnh quang.

Chiết tách PAHs trên pha khí: Các PAHs được hấp phụ trên PUF được chiết soxhlet bằng dung môi *n*-hexane chứa 5% diethyl ether trong 16 giờ. Dung dịch sau khi chiết sẽ được cô đặc và hòa tan trong 1 mL methanol và phân tích bằng máy HPLC đầu dò huỳnh quang.

Trong phát thải của động cơ có khoảng 100 hợp chất PAHs [1]. Tuy nhiên, nghiên cứu chỉ tập trung nghiên cứu vào 15 PAH (có từ 2 – 6 vòng benzene) như Naphthalene (Naph), Acenaphthene (Ace), Fluorene (Flu), Phenanthrene (Phe), Anthracene (AnT), Fluoranthene (Fluo), Pyrene (Pyr), Benzo[*a*]anthracene (BaA), Chrysene (Chr), Benzo[*b*]fluoranthene (BbF), Benzo[*k*]fluoranthene (BkF), Benzo[*a*]pyrene (BaP), Dibenz[*a,h*]anthracene (DahA), Benzo[*g,h,i*]perylene (BghiP), và Indeno[*1,2,3-cd*]pyrene (InP). Những PAHs này được chọn vì chúng được Ủy ban Bảo vệ sức khỏe con người Hoa Kỳ (US ASTDR) liệt kê vào nhóm có khả năng gây ung thư cho con người [3].



Hình 2. Hàm lượng bụi PM trong phát thải của các động cơ

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

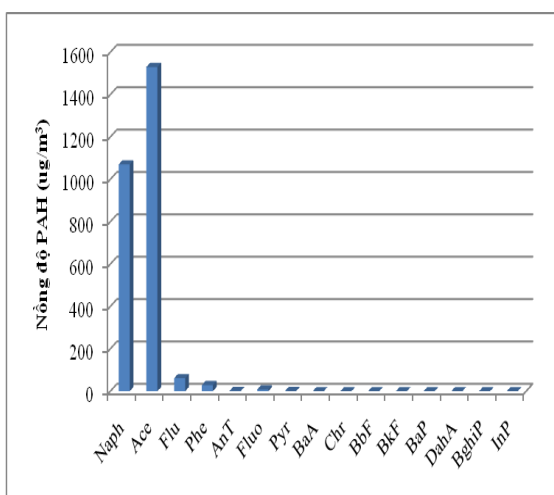
Phát thải bụi tổng của nhiên liệu

Bụi từ phát thải động cơ (emission of particulate matter – ký hiệu là bụi PM) gồm 3 dạng chính: bồ hóng, các hạt sulfate được hình thành trong suốt quá trình cháy và các hydrocarbon nặng có nguồn gốc từ nhiên liệu hoặc được hình thành trong quá trình cháy dính bám trên bồ hóng [7]. Bụi từ phát thải của nhiên liệu trên máy phát điện diesel được giữ bởi giấy lọc sợi thủy tinh GA – 100 (ADVANTEC MFS, Inc). Hàm lượng bụi trong phát thải được xác định dựa vào khối lượng của giấy lọc trước và sau khi lấy mẫu. Hàm lượng bụi PM trong phát thải của động cơ diesel là 338,43 mg/m³ khí thải. So với phát thải bụi của các loại động cơ khác, kết quả cho thấy phát thải bụi tổng của động cơ đang nghiên cứu cao gấp 2,5 lần so với động cơ Mitsubishi – 6D14 (PM = 136 mg/m³) [4]; 3,1 lần so với động cơ Cummins B5.9 (PM = 110 mg/m³) [5], 4,7 lần so với động cơ NM260L (PM = 71,5 mg/m³) [8]. Sự khác biệt trong phát thải bụi của các loại động cơ phụ thuộc vào nhiều yếu tố như tính chất và thành phần hóa học của nhiên liệu; loại, tải trọng, tuổi thọ và bộ chuyển hóa xúc

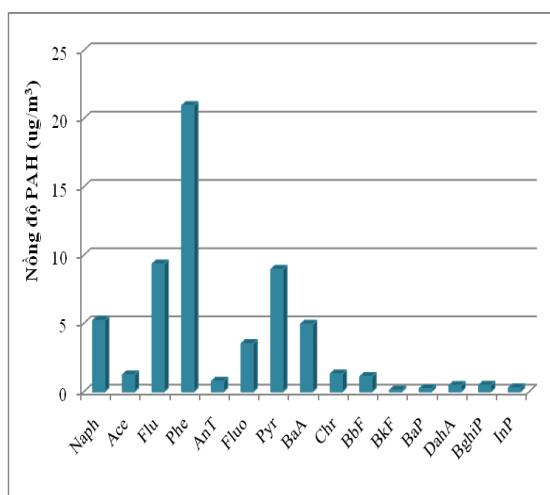
tác khí thải của động cơ. Trong các yếu tố, khi thực hiện các thử nghiệm tải trọng động cơ có ảnh hưởng lớn đến hàm lượng bụi trong phát thải của động cơ.

Nồng độ và sự phân bố của PAHs trong phát thải của nhiên liệu

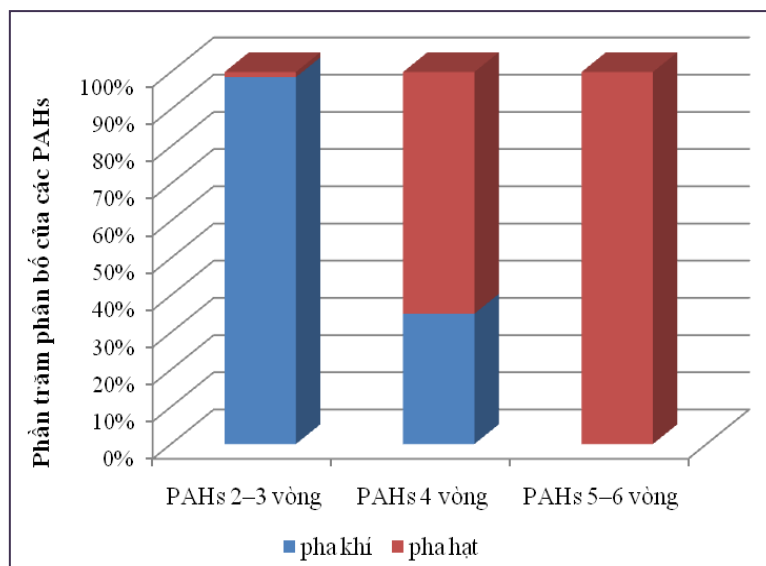
Nồng độ trung bình của PAHs trong pha khí từ phát thải của nhiên liệu diesel là 180,12 µg/m³. Kết quả cho thấy các hợp chất có nồng độ cao trong phát thải ở pha khí là Naph, Ace (chiếm hơn 90% tổng nồng độ PAHs) (Hình 3a). Những PAHs có kích thước lớn hơn (các PAHs 4 vòng) có nồng độ thấp trong phát thải là Flu, Phe, AnT, Fluo và Pyr (chiếm ít hơn 10% tổng phát thải). Những PAHs 5 – 6 vòng không phát hiện trong phát thải PAHs ở pha khí. Nồng độ trung bình PAHs trong pha hạt từ phát thải của nhiên liệu diesel là 3,90 µg/m³ (dao động từ 0,20 – 20,93 µg/m³). Kết quả cho thấy 15 PAHs nghiên cứu đều được tìm thấy trong phát thải pha hạt của các nhiên liệu thử nghiệm. Các hợp chất có nồng độ cao trong phát thải pha hạt là Phe, Flu, Pyr (chiếm hơn 70% tổng nồng độ PAHs) (Hình 3b).



Hình 3a. Nồng độ của các PAHs trong pha khí



Hình 3b. Nồng độ của các PAHs trong pha hạt



Hình 4. Sự phân bố của các PAHs trong phát thải pha khí và pha hạt của nhiên liệu

Khi so sánh nồng độ PAHs trong phát thải pha khí và pha hạt của các nhiên liệu ta nhận thấy nồng độ PAHs trong phát thải pha khí lớn hơn nhiều lần so với phát thải pha hạt. Cụ thể là, nồng độ PAHs trong pha khí so với PAHs pha hạt gấp 46,1 lần.

Để đánh giá sự phân bố PAHs trong phát thải của nhiên liệu, PAHs được chia thành 3 nhóm dựa vào số vòng trong cấu trúc phân tử của chúng: nhóm 2 – 3 vòng (Nhóm PAHs có khối lượng phân tử thấp – low molecular weights viết tắt là LMW– PAHs) gồm Naph, Ace, Flu, Phe, AnT; nhóm 4 vòng (nhóm PAHs có khối lượng phân tử trung bình – middle molecular weights viết tắt là MMW– PAHs) gồm Fluo, Pyr, Chr, BaA và nhóm PAHs 5 – 6 vòng (nhóm PAHs có khối lượng phân tử lớn– high molecular weights viết tắt là HMW– PAHs) gồm BbF, BkF, BaP, BghiP, DahA, InP. Sự phân bố PAHs theo số vòng trong phát thải của nhiên liệu được thể hiện trong Hình 4. Trong phát thải pha khí phần lớn là các LMW– PAHs (chiếm hơn 99,6%), các MMW– PAHs chiếm tỷ lệ rất nhỏ (ít hơn 0,4%) và các HMW– PAHs thì không được tìm thấy.

Trong phát thải pha hạt, sự phân bố của các LMW– PAHs vẫn chiếm ưu thế, chiếm khoảng 60% tổng nồng độ PAHs trong pha hạt. Ngược lại, tỷ lệ phân bố các MMW– PAHs và các HMW– PAHs tăng lên đáng kể trong pha hạt. Điển hình là, tỷ lệ MMW– PAHs chiếm hơn 25% tổng nồng độ PAHs trong pha hạt và HMW– PAHs chiếm khoảng 5%. Sự khác biệt trong phân bố PAHs từ phát thải pha hạt và pha khí của nhiên liệu có thể được giải thích như sau: các PAHs 2 – 3 vòng có áp suất bay hơi (từ 5×10^{-6} đến $8,2 \times 10^{-2}$ mmHg) lớn hơn các PAHs 4 vòng (áp suất bay hơi từ $5,59 \times 10^{-11}$ đến $2,5 \times 10^{-6}$ mmHg) và các PAHs 5 – 6 vòng (áp suất bay hơi từ 10^{-11} đến $5,6 \times 10^{-9}$ mmHg). Ngoài ra, những PAHs 2 – 3 vòng có cấu trúc phân tử đơn giản, khối lượng phân tử nhỏ do đó chúng tồn tại ở dạng hơi và đóng góp một tỷ lệ lớn trong phát thải PAHs ở pha khí. Ngược lại, các PAHs 5 – 6 vòng có khối lượng phân tử lớn, cấu trúc phân tử phức tạp và áp suất bay hơi thấp nên chúng liên kết, dính bám trên các hạt bụi và hầu như không bay hơi nên chỉ tồn tại trong phát thải pha hạt của nhiên liệu [9]. Các PAHs 4 vòng được tìm thấy

trong cả phát thải pha khí và pha hạt tuy nhiên phân bố chủ yếu trong pha hạt. Đây là những PAHs có khối lượng phân tử trung bình, cấu trúc phân tử khá phức tạp gồm 4 vòng benzene do đó chúng dễ dàng liên kết với các hạt bụi và đóng góp một tỷ lệ lớn trong phát thải PAHs ở pha hạt. Tuy nhiên, các PAHs này có áp suất bay hơi tương đối lớn ($2,5 \times 10^{-6} - 6,8 \times 10^{-4}$ mmHg) nên một lượng nhỏ PAHs này bay hơi, ngưng tụ và tồn tại trong các sol khí [1]. Do đó, chúng đóng góp một lượng nhỏ trong phát thải PAHs ở pha khí.

Đánh giá hệ số phát thải PAHs của nhiên liệu

Hệ số phát thải PAHs của nhiên liệu (μgL^{-1}) (PAHs emission factor - ký hiệu là EF_{PAHs}) được định nghĩa là lượng PAHs sinh ra khi một đơn vị thể tích nhiên liệu bị đốt cháy trong một đơn vị thời gian [6] và được tính theo công thức (*).

$$EF_{\text{PAHs}} = \frac{\sum C_{\text{PAHs}} \times V}{P} \times 1000 \quad (*)$$

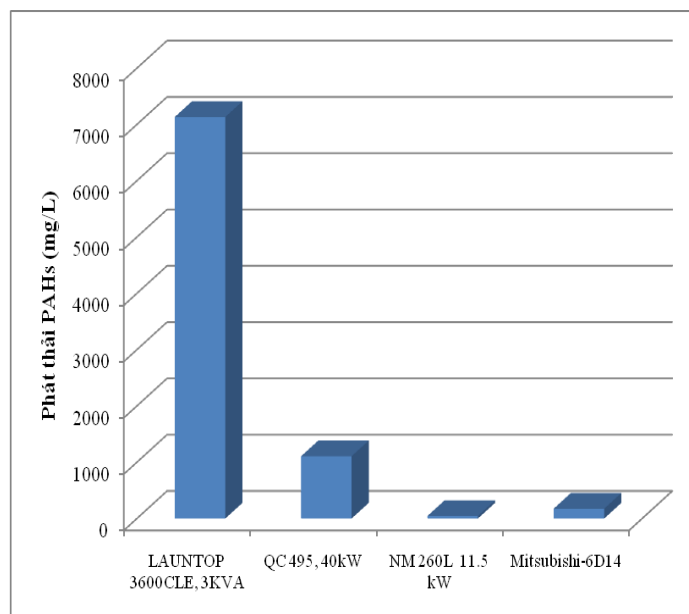
Trong đó: C_{PAHs} : nồng độ PAHs trong phát thải ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

V: tốc độ lấy mẫu khí ($\text{m}^3/\text{phút}$)

P: suất tiêu thụ nhiên liệu của động cơ ($\text{mL}/\text{phút}$)

Hệ số phát thải là một thông số quan trọng để đánh giá và so sánh mức độ phát thải chất ô nhiễm từ quá trình đốt nhiên liệu. Do đó, nghiên cứu tiến hành tính và so sánh hệ số phát thải PAHs của nhiên liệu với các nghiên cứu khác, kết quả được trình bày trong Hình 5. Hệ số phát thải PAHs của nhiên liệu diesel thương phẩm 0,05S sử dụng trên động cơ máy phát điện sử dụng trong nghiên cứu này là 7133.46 mg/L. So với hệ

số phát thải PAHs của nhiên liệu diesel được sử dụng trên các loại động cơ khác, kết quả cho thấy hệ số phát thải PAHs của nhiên liệu diesel trên động cơ đang nghiên cứu cao gấp 40,8 lần so với nhiên liệu diesel chạy trên động cơ Mitsubishi – 6D14 ($EF_{\text{PAHs}} = 175$ mg/L) [4]; 6,4 lần so với nhiên liệu diesel chạy trên động cơ QC 495 ($EF_{\text{PAHs}} = 175$ mg/L) [6]; 160,3 lần so với nhiên liệu diesel chạy trên động cơ NM260L ($EF_{\text{PAHs}} = 44,5$ mg/L) [8]. Sự khác biệt trong hệ số phát thải PAHs của nhiên liệu diesel trên các loại động cơ phụ thuộc vào nhiều yếu tố như tính chất và thành phần hóa học của nhiên liệu diesel (mỗi quốc gia có tiêu chuẩn về chất lượng nhiên liệu diesel là khác nhau); loại, tải trọng, tuổi thọ và bộ chuyển hóa xúc tác khí thải của động cơ. Trong các yếu tố trên, tải trọng động cơ khi tiến hành các thử nghiệm có ảnh hưởng lớn đến hàm lượng bụi trong phát thải của động cơ nhất. Trong nghiên cứu này, động cơ Launtop LDG 3600 CLE, 3 KVA sử dụng chế độ không tải khi thực hiện các thí nghiệm nhưng hệ số phát thải PAHs và bụi của nhiên liệu lại cao hơn rất nhiều so với các loại động cơ khác có công suất cao hơn và thí nghiệm chạy ở điều kiện có tải. Điều này chứng tỏ động cơ và nhiên liệu diesel đang sử dụng phát thải nhiều chất ô nhiễm hơn. Do đó, trong tương lai cần có những nghiên cứu về bộ chuyển hóa xúc tác xử lý PAHs trong khí thải động cơ trước khi thải ra môi trường và cần có những chính sách nâng cao chất lượng nhiên liệu diesel như giảm hàm lượng lưu huỳnh, hàm lượng các chất hữu cơ...



Hình 5. Hệ số phát thải PAHs của nhiên liệu diesel trên các loại động cơ

KẾT LUẬN

Nghiên cứu tiến hành đo đặc nồng độ, đánh giá sự phân bố của PAHs trong phát thải và hệ số phát thải PAHs của nhiên liệu diesel trên động cơ máy phát điện LAUNTOP 3600CLE hoạt động ở chế độ không tải. Thông qua kết quả phân tích, những kết luận được rút ra như sau:

Nồng độ trung bình PAHs trong pha khí từ phát thải của nhiên liệu là $180,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Các hợp chất có nồng độ cao trong phát thải ở pha khí là Naph, Ace (chiếm hơn 90% tổng nồng độ PAHs trong phát thải).

Nồng độ trung bình PAHs trong pha hạt từ phát thải của nhiên liệu là $3,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Các hợp chất có nồng độ cao trong phát thải pha hạt là Phe, Flu, Pyr (chiếm hơn 60% tổng nồng độ PAHs).

Xét về sự phân bố của PAHs theo số vòng benzene, kết quả cho thấy các PAHs 2 – 3 vòng phân bố chủ yếu trên pha khí (chiếm 99,6%, chỉ 0,4% trên pha hạt); các PAHs 4 vòng phân bố chủ yếu trên pha hạt (hơn 60% phân bố trên pha hạt và khoảng 36% trên pha khí) và các PAHs 5 – 6 vòng chỉ phân bố trên pha hạt.

Phát thải bụi PM và hệ số phát thải PAHs của động cơ lần lượt là $338,43 \text{ mg}/\text{m}^3$; $7133,46 \text{ mg}/\text{L}$. Kết quả cho thấy hệ số phát thải PAHs và phát thải bụi của nhiên liệu diesel chạy trên động cơ Launtop LDG 3600 CLE đang nghiên cứu cao hơn rất nhiều so với hệ số phát thải PAHs và phát thải bụi của nhiên liệu diesel chạy trên các loại động cơ khác.

Characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons emissions of diesel fuel from diesel generator

• **Ton Nu Thanh Phuong**

• **Le Xuan Vinh**

• **To Thi Hien**

University of Science, VietNam Nation University –HCMC

• **Takenaka Norimichi**

Osaka Prefecture University, Japan

ABSTRACT

This study evaluated PM and total PAHs emission factor from the exhaust of diesel fuel on diesel generator. The testing was performed under an idling state. The result showed that concentration of PAHs in gas phase and particle phase was 180.12; 3.90

µg/m³, respectively. The PAHs compound in gas phase emission were mostly Naph, Ace; in particle phase emission were mostly Phe, Flu, Pyr. Emission factor of PM and PAHs were respectively 338.43 mg/m³, 7133.46 mg/L.

Keywords: *polycyclic aromatic compounds, diesel fuel, diesel exhaust emission.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [2]. R. Abrantes, J.V. Assunção, C.R. Pesquero, Emission of polycyclic aromatic hydrocarbons from light-duty diesel vehicles exhaust, *Atmospheric Environment*, 38, 1631-1640 (2004).
- [3]. USEP Agency, Compendium Method TO-13A "Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Ambient Air Using Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)", Center for Environmental Research Information (1999).
- [4]. ATSDR, Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons, U.S. Department of Health and Human Services, USA (1995).
- [5]. Y.C. Lin, C.H. Tsai, C.R. Yang, C.H.J. Wu, T.Y. Wu, G.P. Chang-Chien, Effects on aerosol size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons from the heavy-duty diesel generator fueled with feedstock palm-biodiesel blends, *Atmospheric Environment*, 42, 6679-6688 (2008).
- [6]. Y.C. Lin, C.F. Lee, T. Fang, Characterization of particle size distribution from diesel engines fueled with palm-biodiesel blends and paraffinic fuel blends, *Atmospheric Environment*, 42, 1133-1143 (2008).
- [7]. Y.C. Lin, W.J. Lee, H.C. Hou, PAH emissions and energy efficiency of palm-biodiesel blends fueled on diesel generator, *Atmospheric Environment*, 40, 3930-3940 (2006).
- [8]. M.M. Maricq, Chemical characterization of particulate emissions from diesel engines: A review, *Journal of Aerosol Science*, 38, 1079-1118 (2007).
- [9]. J.H. Tsai, S.J. Chen, K.L. Huang, Y.C. Lin, W.J. Lee, C.C. Lin, W.Y. Lin, PM carbon,

- and PAH emissions from a diesel generator fuelled with soy-biodiesel blends, *Journal of Hazardous Materials*, 179, 237-243 9 (2010).
- [10].Zielinska., Sagebiel., Arnott., Rogers., Kelly., Wagner., Lighty., Sarofim, Palmer, Phase and Size Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Diesel and Gasoline Vehicle Emissions, *Environmental Science & Technology*, 38, 2557-2567 (2004).