

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA LƯU HUỖNH TRONG NHIÊN LIỆU VÀ TẢI ĐỘNG CƠ TỚI SỰ PHÁT THẢI HẠT CỦA ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU THUY

RESEARCHING EFFECTS OF SULFUR IN FUEL AND ENGINE LOAD ON PARTICLE EMISSION OF MARINE DIESEL ENGINE

LƯU QUANG HIỆU^{1*}, TÔ TRỌNG HIẾN¹, TRẦN THẾ NAM²

¹Khoa Máy tàu biển, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

²Phòng Khoa học - Công nghệ, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: luuquanghieu@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Sự phát thải hạt từ động cơ diesel tàu thủy ảnh hưởng tiêu cực tới môi trường và sức khỏe con người đặc biệt là khu vực cảng. Để hiểu rõ hơn về sự phát thải từ động cơ diesel tàu thủy, các mẫu hạt trong khí xả của động cơ diesel tàu biển được thu thập ở các chế độ tải và nhiên liệu có hàm lượng lưu huỳnh khác nhau bằng phin lọc quartz fiber filters và hệ thống lấy mẫu pha loãng một phần, sau đó được phân tích để đánh giá sự ảnh hưởng của nhiên liệu và chế độ tải tới sự phát thải hạt của động cơ. Kết quả cho thấy, sự phát thải hạt phụ thuộc vào hàm lượng lưu huỳnh trong nhiên liệu, và chế độ tải của động cơ. Khi hàm lượng lưu huỳnh trong nhiên liệu giảm từ 1.01% về 0,5% lượng phát thải hạt trong bình giảm từ 0,94 về 0,61 g/kW.h Khi động cơ khai thác ở chế độ tải thấp 15%, lượng phát thải hạt cao hơn gấp gần 2 lần ở chế độ tải cao. Ở chế độ tải 50 - 60% tải, lượng phát thải hạt là thấp nhất khoảng 0,51g/kW.h cho nhiên liệu 0,5% lưu huỳnh và 0,77g.kW/h cho nhiên liệu 1,01% lưu huỳnh.

Từ khóa: Phát thải dạng hạt, động cơ diesel, ô nhiễm dạng hạt, tải trọng động cơ, hàm lượng lưu huỳnh trong nhiên liệu.

Abstract

Particulate emissions from marine diesel engines negatively affect the environment and human health, especially in the port area. To more deeply understand the particle emission from marine diesel engines, particulate samples in the exhaust gases of marine diesel engines were collected at different fuels having different sulfur content and load modes by quartz fiber filters and a partial dilution sampling system. And then these samples were analyzed to evaluate the effects of fuel and load conditions on the engine's particulate emissions. The results show that the particulate

emission depends on the sulfur content in the fuel, and the engine load mode. When the sulfur content in the fuel is reduced from 1.01% to 0.5% the particulate emissions are reduced from 0.94 to 0.61g/kW.h. When the engine is operated at a low load (15%), the particulate emissions are higher nearly 2 times in high load mode. At 50-60% load, particulate emissions are the lowest about 0.51g/kW/h for 0.5% sulfur fuel and 0.77 g/kW.h for 1.01% sulfur fuel.

Keywords: Particulate emissions, marine diesel engines, particulate pollution, engine load, fuel sulphur content

1. Đặt vấn đề

Vận tải biển đóng một vai trò quan trọng trong việc vận chuyển hàng hoá. Theo ước tính, khối lượng hàng hoá vận chuyển bằng đường biển chiếm khoảng 85% tổng số hàng hoá chuyên chở quốc tế của tất cả các hình thức vận chuyển [1]. Hầu hết các tàu biển cỡ vừa và lớn đều sử dụng nhiên liệu nặng (HFO) do tính hiệu quả về kinh tế. Tuy nhiên, nhiên liệu HFO lại chứa nhiều tạp chất như lưu huỳnh (S), Vanadi (V), Niken (Ni),... điều này làm cho khí xả từ tàu biển trở nên nguy hại hơn với môi trường và sức khỏe con người [2]. Hoạt động của tàu biển (bao gồm cả tàu cá và tàu hàng) là một trong những nguồn nhân tạo đóng góp đáng kể vào sự ô nhiễm không khí. Việc phát thải NO_x, SO_x và các chất dạng hạt từ các tàu biển dẫn đến việc gây ô nhiễm không khí xung quanh ở các thành phố và vùng duyên hải trên khắp thế giới.

Trong khu vực cảng, tàu biển là một trong những nguồn phát thải lớn nhất [4] với lượng phát thải hạt (PM) đóng góp khoảng 9-15% tổng nồng độ hạt [5]. Các hạt thứ cấp có nguồn gốc từ oxit lưu huỳnh, oxit nitơ và các hạt sơ cấp do tàu phát ra trực tiếp như cacbon đen và các hạt gây ung thư khác có tác động xấu đến môi trường và sức khỏe con người [6]. Theo một số nghiên cứu, hạt PM2.5 phát thải từ các con tàu đã gây ra khoảng 60.000 ca tử vong sớm do tim phổi và ung thư phổi trên quy mô toàn cầu [7].

Mức độ phát thải hạt phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: Tải động cơ, thành phần nhiên liệu, dầu bôi trơn,... vì vậy hệ số phát thải dao động trong một phạm vi rộng từ 0,3 đến 10g/kWh [8]. Tuy nhiên, các kết quả trong các nghiên cứu trước đây cho kết quả không nhất quán về sự phụ thuộc của hàm lượng lưu huỳnh của nhiên liệu và chế độ tải của động cơ. Một số nghiên cứu chỉ ra rằng không có mối quan hệ rõ ràng nào giữa sự phát thải PM và hàm lượng lưu huỳnh trong nhiên liệu [9]. Trong khi đó một số nghiên cứu chỉ ra lượng phát thải PM có xu hướng tăng khi lượng lưu huỳnh tăng [10]. Các nghiên cứu ảnh hưởng của tải động cơ lên sự phát thải hạt, trước đây chủ yếu tập trung ở chế độ tải động cơ 70-85 % [11], đó là chế độ khai thác của động cơ khi tàu hành trình trên biển. Tuy nhiên, chưa có nhiều nghiên cứu về sự phát thải hạt của động cơ ở chế độ tải thấp và có sự thay đổi liên tục về chế độ làm việc, đây là những chế độ thường được sử dụng khi tàu ra, vào cảng.

Vì vậy, mục tiêu của bài báo này là làm rõ sự phát thải hạt ở những chế độ làm việc khác nhau với nhiên liệu có hàm lượng lưu huỳnh khác nhau. Trong quá trình thử nghiệm, các mẫu hạt được thu thập từ động cơ diesel tàu thủy ở các chế độ tải khác nhau từ 15–75 %, khi làm việc với hai loại nhiên liệu có thành phần lưu huỳnh lần lượt 0.5% và 1.01%. Đây là cơ sở để đưa ra những khuyến nghị phù hợp trong việc lựa chọn loại nhiên liệu, chế độ khai thác cũng như áp dụng biện pháp xử lý khí thải, nhằm đáp ứng những yêu cầu ngày càng khắt khe của Tổ chức Hàng hải Quốc tế IMO và các chính quyền cảng.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

Các mẫu hạt được thu thập từ khí xả của động cơ diesel tàu thủy trang bị tại phòng thí nghiệm Trường Đại học Hàng hải MGU, Liên bang Nga. Các thông số chính của động cơ được thể hiện trên Bảng 1.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật động cơ

Tên động cơ	8 DV136
Loại động cơ	4 kỳ, có tăng áp
Thể tích công tác của xy lanh	16,29 lít
Vòng quay ở chế độ toàn tải	500 vòng/phút
Áp suất chỉ thị bình quân	5,33 kg/cm ²
Đường kính xy lanh	24cm
Hành trình piston	36cm
Công suất có ích (N _e)	400

Hệ thống cung cấp nhiên liệu cho động cơ gồm 4 két chứa được hâm nóng riêng biệt cho phép có thể chuyển đổi giữa các loại nhiên liệu khác nhau trong quá trình làm việc. Động cơ được kết nối với một phan thủy lực, cho phép điều chỉnh đề động cơ hoạt động được ở các tải khác nhau từ 0 đến 80%.

Để đánh giá ảnh hưởng của lưu huỳnh trong nhiên liệu tới sự phát thải hạt của động cơ, nghiên cứu sử dụng nhiên liệu HFO có hàm lưu huỳnh 0,5% và 1,01%, các tính chất hoá-lý khác tương đồng nhau.



Hình 1. Hệ thống lấy mẫu khí thải

Trong thí nghiệm, các mẫu hạt được thu thập ở ba chế độ thử khác nhau cho mỗi loại nhiên liệu:

Chế độ 1 là quá trình giảm tải từ 50% về 0%, mục đích của quá trình này nhằm nghiên cứu sự phát thải hạt khi tàu vào cảng;

Chế độ thử nghiệm thứ 2 là quá trình tăng tải từ 0 đến 50% tải, nhằm nghiên cứu sự phát thải hạt khi tàu ra khỏi cảng;

Chế độ thử nghiệm thứ 3 là quá trình chạy ổn định ở các chế độ tải khác nhau (15%, 30%, 45%, 60%, 70%, 75%) nhằm nghiên cứu sự phát thải hạt của động cơ làm việc ổn định ở các chế độ tải khác nhau.

Để thu thập các mẫu hạt trong khí xả, nhóm tác giả đã sử dụng phin lọc Quartz Fiber Filters cùng hệ thống pha loãng 1 phần FPS_4000. Hệ số pha loãng được lựa chọn là 18:1 (18 lít không khí đã lọc sạch tạp chất với 1 lít khí xả). Trước khi tiến hành thí nghiệm, các phin lọc được sấy nóng ở nhiệt độ 80°C trong thời gian 12 giờ để loại bỏ hoàn toàn độ ẩm của phin lọc. Sau khi sấy xong, các phin lọc được cân bằng cân điện tử OHAUS PR423/E có độ chính xác 0,001g, việc đo khối lượng mỗi phin lọc được thực hiện ba lần đo, sau đó lấy giá trị trung bình. Các phin lọc sau khi cân xong được bảo quản trong hộp chuyên dụng cách ly hoàn toàn với môi trường để sẵn sàng lấy mẫu.

Ở các chế độ thử nghiệm, thời gian lấy mẫu là 30 phút đối với nhiên liệu có hàm lượng lưu huỳnh 1,01%,

đối với nhiên liệu có hàm lượng lưu huỳnh 0,5% thời gian lấy mẫu thí nghiệm là 45 phút. Sau khi lấy mẫu xong, các phin lọc được cất trong hộp chứa chuyên dụng để đưa về phòng thí nghiệm. Ở tại phòng thí nghiệm, các phin lọc này được sấy theo quy trình: Đầu tiên sấy ở nhiệt độ 120°C trong thời gian 6 giờ đồng hồ để loại bỏ các hợp chất hữu cơ trên phin lọc, sau đó là 80°C trong 12 giờ tiếp theo. Sau đó, các phin lọc này được đem cân lại để xác định khối lượng hạt rắn.

3. Kết quả và thảo luận

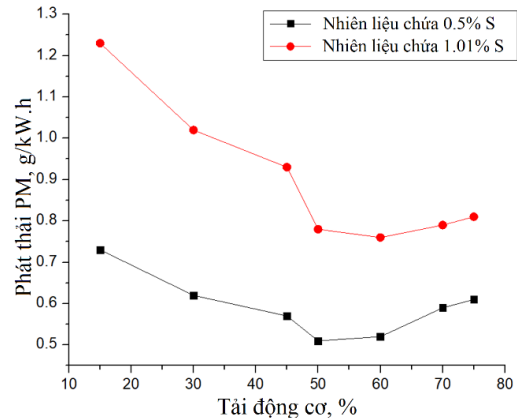
Nồng độ hạt PM trong khí xả của động cơ diesel tàu thủy 8DV136 khi chạy ở các chế độ tải khác nhau với hai loại nhiên liệu HFO có hàm lượng lưu huỳnh 0,5% và 1,01% được thể hiện ở trong Bảng 2 và Hình 2.

Bảng 2. Nồng độ phát thải hạt trong khí xả ở các chế độ tải khác nhau

Phần trăm lưu huỳnh trong nhiên liệu, %	Chế độ tải thử nghiệm, %	Sự phát thải PM, g/kW.h
0,5	Tăng từ 0 đến 50 %	0,92
	Giảm từ 50 đến 0 %	0,46
	15	0,73
	30	0,62
	45	0,57
	50	0,51
	60	0,52
	70	0,59
	75	0,61
1,01	Tăng từ 0 đến 50 %	1,42
	Giảm từ 50 đến 0 %	0,75
	15	1,23
	30	1,02
	45	0,93
	50	0,78
	60	0,76
	70	0,79
	75	0,81

Kết quả thí nghiệm cho thấy, khi giảm hàm lượng lưu huỳnh trong nhiên liệu từ 1,01% xuống 0,5% thì lượng hạt trong khí xả cũng giảm xuống ở các chế độ tải khác nhau. Cụ thể, ở chế độ 50% tải, khi động cơ sử dụng nhiên liệu HFO có hàm lượng lưu huỳnh 1,01% thì có hệ số phát thải là 0,78g/kW.h so với

0,57g/kW.h khi sử dụng nhiên liệu có hàm lượng lưu huỳnh là 0,5%. Điều này cho thấy, động cơ diesel tàu thủy có xu hướng phát thải hạt cao hơn khi sử dụng nhiên liệu có hàm lượng lưu huỳnh lớn hơn.



Hình 2. Phát thải PM ở các chế độ tải

Sự phát thải hạt của động cơ tăng khi hàm lượng lưu huỳnh trong nhiên liệu tăng có thể được giải thích là do lưu huỳnh trong nhiên liệu bị oxy hóa thành SO₂, một phần SO₃ và góp phần vào tổng lượng phát thải PM dưới dạng sunfat. Tỷ lệ chuyển hóa từ lưu huỳnh nhiên liệu thành sunphat có thể dao động trong khoảng rất lớn từ 1,2 đến 3,5%, phụ thuộc vào tải của động cơ [12].

Kết quả thí nghiệm trong Bảng 2 chỉ ra: Quá trình tăng tải động cơ từ 0 đến 50% cho lượng phát thải hạt lớn nhất 1,42g/kW.h đối với nhiên liệu HFO 1,01% S và 0,92g/kW.h đối với nhiên liệu HFO 0,5% S. Ngược lại, quá trình giảm tải từ 50 về 0% cho lượng phát thải hạt ít nhất trong các chế độ thử nghiệm.

Ở các chế độ tải ổn định của động cơ, kết quả thí nghiệm cho thấy một xu hướng phát thải tương đồng ở cả hai loại nhiên liệu (Bảng 2). Khi động cơ khai thác ở 15% tải, lượng phát thải hạt của động cơ lớn nhất (1,23g/kW.h đối với HFO 1,01% S và 0,73g/kW.h đối với HFO 0,5%). Sự phát thải hạt của động cơ có xu hướng giảm khi tăng tải động cơ từ 15% đến 60%, nhưng sau đó phát thải hạt tăng nhiều hơn khi tiếp tục tăng tải động cơ lên 70, 75%. Điều này cho thấy, động cơ có lượng phát thải hạt nhỏ nhất ở chế độ tải 50-60%. Xu hướng phát thải này phù hợp với kết quả của nghiên cứu khác [11, 13]. Như vậy, qua kết quả thí nghiệm cho thấy, khi điều chỉnh tải động cơ đến một chế độ phù hợp có thể giảm được lượng phát thải hạt của động cơ. Bên cạnh đó, giảm tải động cơ cũng là một trong những phương pháp giảm lượng tiêu hao nhiên liệu để tăng hiệu quả

khai thác tàu [14]. Điều này có nghĩa có thể chọn được một chế độ tải có thể mang lại lợi ích kinh tế và giảm thiểu được lượng phát thải hạt từ tàu biển.

Lượng phát thải hạt liên quan chặt chẽ đến tải động cơ. Việc giảm tải động cơ có thể dẫn đến tăng lượng phát thải PM do ở chế độ tải thấp làm tăng quá trình đốt cháy không hoàn toàn nhiên liệu. Việc giảm nhiệt độ khí thải khi tải động cơ thấp có thể dẫn đến việc tăng cường hình thành các hạt mới từ nhiên liệu chưa cháy và dầu bôi trơn. Các hợp chất này cũng có thể ngưng tụ trên các hạt hiện có làm tăng số lượng và kích thước hạt [14]. Các động cơ hàng hải nói chung được tối ưu hóa cho tải trong khoảng 75-90%, đây là phạm vi hoạt động điển hình cho các chuyến đi biển ngoài khơi. Tại các cảng, yêu cầu tải thấp để điều động và cập bến. Mặc dù ở trong các cảng lượng phát thải từ tàu chỉ chiếm một lượng từ 9-15% tổng lượng hạt trong môi trường, nhưng các hạt phát thải ra từ tàu biển lại có tác động tiêu cực đối với sức khỏe người dân ở các khu vực lân cận cảng [12].

Điều này cho thấy cần phải có những giải pháp xử lý khí thải phù hợp khi động cơ khai thác ở những chế độ tải khác nhau. Việc lựa chọn giải pháp phù hợp sẽ ngăn ngừa được ô nhiễm không khí, đặc biệt tại các khu vực cảng biển và vùng lân cận, đồng thời tăng hiệu quả khai thác đội tàu.

4. Kết luận

Lượng phát thải PM từ động cơ diesel tàu thủy phụ thuộc chặt chẽ vào hàm lượng lưu huỳnh trong nhiên liệu và tải động cơ. Khi hàm lượng lưu huỳnh trong nhiên liệu tăng làm cho lượng phát thải hạt tăng. Ở chế độ thấp tải 15% lượng phát thải hạt là lớn nhất trong dải thử nghiệm từ 15% đến 75%. Trong dải thử nghiệm này, ở chế độ 50%, 60% cho lượng phát thải hạt ít, bằng gần một nửa so với lượng phát thải ở chế độ tải 15%.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT21-22.10.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Eyring, V., Isaksen, I.S.A., Berntsen, T., Collins, W.J., Corbett, J.J., Endresen, O., Grainger, R.G., Moldanova, J., Schlager, H., Stevenson, D.S. (2010), *Transport impacts on atmosphere and climate: shipping*. Atmos. Environ. Vol.44(37), pp.4735-4771.
- [2] A. Petzold, J. Hasselbach, P. Lauer, R. Baumann, K. Franke, C. Gurk, H. Schlager, and E. Weingartner (2008), *Experimental studies on particle emissions from cruising ship, their characteristic properties, transformation and atmospheric lifetime*. Atmos. Chem. Phys., Vol.8, pp.2387-2403.
- [3] European Environment Agency (2014), *Specific CO₂ Emissions per Tonne-km and per Mode of Transport in Europe*, pp.1995-2011. EEA Web Team, Copenhagen (Denmark).
- [4] Natural Resources Defence Council (2014). *Clean By Design: Transportation*. Natural Resources Defence Agency, New York (USA).
- [5] Corbett, J.J., Fischbeck, P.S., Pandis, S.N. (1999), *Global nitrogen and sulfur inventories for oceangoing ships*. J. Geophys. Res.: Atmos. Vol.104 (D3), pp.3457-3470.
- [6] Endresen, Ø., Sørsgård, E., Sundet, J.K., Dalsøren, S.B., Isaksen, I.S.A., Berglen, T.F., Gravir, G. (2003), *Emission from international sea transportation and environmental impact*. J. Geophys. Res.: Atmos. 108 (D17), 4560.
- [7] Eyring, V., Isaksen, I.S.A., Berntsen, T., Collins, W.J., Corbett, J.J., Endresen, O., Grainger, R.G., Moldanova, J., Schlager, H., Stevenson, D.S. (2010), *Transport impacts on atmosphere and climate: shipping*. Atmos. Environ. Vol.44(37), pp.4735-4771.
- [8] Winnes H., Fridell E. (2010), *Emissions of NO_x and particles from manoeuvring ships, Transportation Re-search*, Part D. N 15, pp.204-211.
- [9] Beecken, J., Mellqvist, J., Salo, K., Ekholm, J., Jalkanen, J. P., Johansson, L., Litvinenko, V., Volodin, K. & Frank-kamenetsky, D. A. (2015), *Emission factors of SO₂, NO_x and particles from ships in Neva Bay from ground-based and helicopter-borne measurements and AIS-based modeling*. Atmospheric Chemistry and Physics, Vol.15, pp.5229-5241.
- [10] Alföldy, B., Lööv, J. B., Lagler (2013), *Measurements of air pollution emission factors for marine transportation in SECA*. Atmospheric Measurement Techniques. Vol.6, pp.1777-1791.

- [11] Kati Lehtoranta, Paivi Aakko-Saksa, Timo Murtonen, Hannu Vesala, Leonidas Ntziachristos, Topi Rönkkö, Panu Karjalainen, Niina Kuittinen, and Hilikka Timonen (2019), *Particulate Mass and Nonvolatile Particle Number Emissions from Marine Engines Using Low-Sulfur Fuels, Natural Gas, or crubbers*. Environ. Sci. Technol. Vol.53, pp.3315-3322.
- [12] Arto Sarvi, Jussi Lyyräinen, Jorma Jokiniemi, Ron Zevenhoven (2011), *Particulate emissions from large-scale medium-speed diesel engines: 2. Chemical composition*. Fuel Processing Technology. Vol.92, pp.2116-2122.
- [13] Mai Thế Trọng (2021), *Ảnh hưởng của việc giảm tốc độ tàu tới sự phát thải và tính kinh tế nhiên liệu của tàu*, Nội san khoa học Khoa Máy tàu biển.
- [14] Maria Zetterdahl (2016), *Particle Emissions from Ships*, Thesis for the degree of doctor of philosophy, Department of Shipping and Marine Technology Chalmers University of Technology Gothenburg, Sweden.

Ngày nhận bài:	24/3/2022
Ngày nhận bản sửa:	31/3/2022
Ngày duyệt đăng:	13/4/2022