

**NGHIÊN CỨU NÂNG CAO SỰ PHÂN BỐ ĐỀU
CỦA VẬN TỐC DÒNG KHÍ TRONG THIẾT BỊ LẮNG BỤI TĨNH ĐIỆN
BẰNG MÔ PHỎNG CFD**

Dương Ngọc Bích¹, Trương Văn Mến², Lê Thanh Quang³,
Phan Tấn Tài⁴, Trương Văn Lương⁵

*A RESEARCH OF THE IMPROVEMENT OF THE GAS VELOCITY DISTRIBUTION
IN ELECTROSTATIC PRECIPITATOR THROUGH CFD SIMULATION*

Duong Ngoc Bich¹, Truong Van Men², Le Thanh Quang³,
Phan Tan Tai⁴, Truong Van Luong⁵

Tóm tắt – Do những ưu điểm vượt trội nên thiết bị lọc bụi tĩnh điện (ESP) được sử dụng ngày càng rộng rãi trong các lĩnh vực khác nhau như nhiệt điện, sản xuất xi măng, vật liệu xây dựng, hóa chất, phân bón. Một trong những thông số quan trọng ảnh hưởng đến hiệu suất lọc bụi của các thiết bị ESP là tốc độ và sự phân bố vận tốc dòng khí trong buồng lắng. Bài báo trình bày kết quả ban đầu về nghiên cứu nâng cao sự phân bố đồng đều của vận tốc dòng khí trong buồng lắng của thiết bị ESP thông qua mô phỏng CFD (Computational Fluid Dynamics). Kết quả mô phỏng CFD cho thấy, việc bố trí tám phân tán dòng khí ở tại cửa vào buồng lắng sẽ giúp cho vận tốc dòng khí phân bố đồng đều hơn và hướng đi dòng khí ổn định hơn. Hơn nữa, tám phân tán cũng giúp dòng khí chuyển động ổn định hơn ở các lưu lượng khác nhau và kích thước của các

lỗ phân tán nhỏ sẽ giúp cải thiện tốt hơn sự phân bố vận tốc và hướng dòng chảy. Kết quả nghiên cứu làm tiền đề cho việc thiết kế tối ưu hệ thống ESP nhằm đạt hiệu suất lọc bụi cao.

Từ khóa: lọc bụi tĩnh điện, mô phỏng CFD, phân bố vận tốc.

Abstract – Electrostatic precipitators (ESP) have been widely used in different fields such as thermal power plants, cement plants, production of constructive materials, chemical industry, fertilizer production, ... due to their advantages over other dust collector systems. One of the parameters which influences on dust removing efficiency of the ESP devices is the speed and velocity distribution of the polluted gas in the collecting chamber. This paper presents the research results of improving the uniform distribution of the gas velocity in the collecting chamber of ESP using CFD (Computational Fluid Dynamics) simulation. The simulation results showed that as the dispersion plate was installed at the gas inlet of the collecting chamber the velocity distribution of gas flow was more uniform and its direction was more stable towards the outlet. In addition, the dispersion plate also improved the flow stability at different flow rates and the smaller hole diameter on the dispersion plate was better for the velocity distribution and direction in the flow. The research results provide an approach for optimum design of a ESP with high collection efficiency.

^{1,2,4} Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Trà Vinh

³ Khoa Công nghệ Động lực, Trường Đại học Công nghiệp TP.HCM, Việt Nam

⁵ Công ty TNHH TM & DV Cơ khí Vạn Lương
Ngày nhận bài: 02/7/2020; Ngày nhận kết quả bình duyệt: 30/11/2020; Ngày chấp nhận đăng: 29/01/2021
Email: ngocbich1184@tvu.edu.vn

^{1,2,4} School of Engineering and Technology, Tra Vinh University

³ Faculty of Automotive Engineering Technology, Industrial University of Ho Chi Minh City

⁵ Van Luong Mechanical Trading and Service Company Limited

Received date: 02nd July 2020; Revised date: 30th November 2020; Accepted date: 29th January 2021

Keywords: *CFD simulation, electrostatic precipitator, velocity distribution.*

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Lọc bụi tĩnh điện (ESP) là hệ thống lọc bụi nhằm loại bỏ các hạt bụi có kích thước siêu nhỏ (0,01 - 10 μm) dựa theo nguyên lý ion hóa và tách hết bụi ra khỏi dòng không khí bẩn khi chúng đi qua vùng có điện trường lớn. Các hạt bụi trong buồng lọc tĩnh điện được lắng dưới tác dụng của lực tĩnh điện. Hạt bụi khi đi qua điện trường mạnh sẽ bị ion hóa thành các phần tử ion âm chuyển động về phía cực dương và bám vào đó (Hình 1).

Các buồng lắng của thiết bị ESP thường là các silo có hình tháp tròn hay hình hộp chữ nhật bên trong có đặt các tấm điện cực thu (CE) và điện cực phát (DE) đặt song song nhau (Hình 2). DE được nối với điện cực âm có điện áp cao (có thể lên tới 120 kV) tạo điện trường rất mạnh làm cho DE luôn luôn ở trạng thái phóng điện. CE là những tấm hoặc những ống bằng kim loại được nối với điện cực dương và nối đất. Các hạt bụi nhiễm điện tiếp xúc với CE sẽ lập tức mất hết điện tích và bám kín vào bề mặt của tấm CE, tạo nên những mảng bụi lớn. Nếu lượng bụi bám trên tấm CE đủ dày thì nó sẽ được định kỳ tháo ra ngoài bằng hệ thống búa gõ, gõ vào tấm CE để tạo ra rung động mạnh (dùng phương pháp ướt, rửa bụi), làm cho bụi rơi vào trong khoang chứa bụi. Thiết bị ESP có các ưu điểm như là: hiệu suất lọc bụi cao lên đến 95%, xử lý hiệu quả bụi kích thước nhỏ (cỡ 0,1 μm), lưu lượng khí lớn từ 1.300 m³/h đến hơn 1.000.000 m³/h, làm việc trong môi trường áp suất và nhiệt độ cao (420 °C), tỉ lệ mất áp suất thấp (2,5 mbar), giảm công đoạn bảo dưỡng, bảo trì và giá thành hợp lý.

Hiệu suất lọc của thiết bị là một hàm phụ thuộc vào các yếu tố được thể hiện theo phương trình sau:

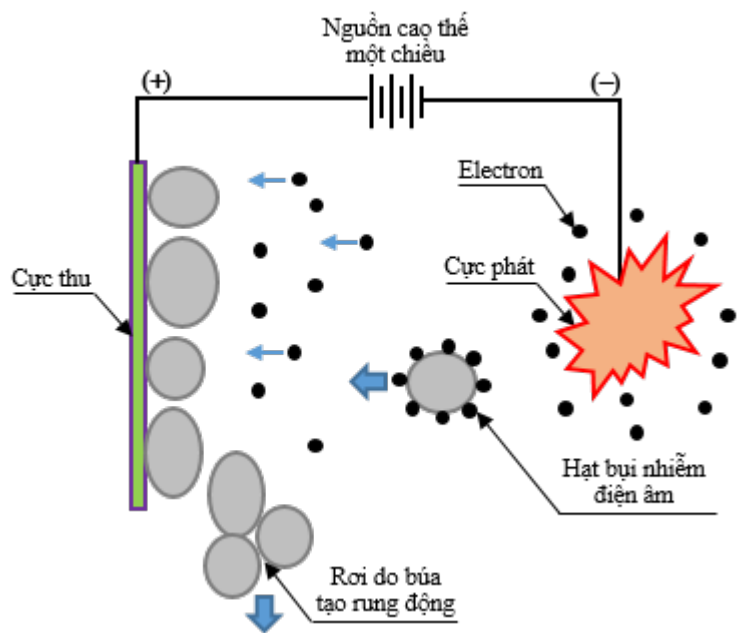
$$\eta = 1 - T(a, b, c, \delta, E, V) \quad (1)$$

Trong đó, T là tham số phụ thuộc vào các yếu tố: hằng số phụ thuộc vào đặc tính của môi trường khí (δ); cường độ điện trường giữa điện cực thu và điện cực phát (E); vận tốc của dòng khí bụi chuyển động trong thiết bị (V) và các

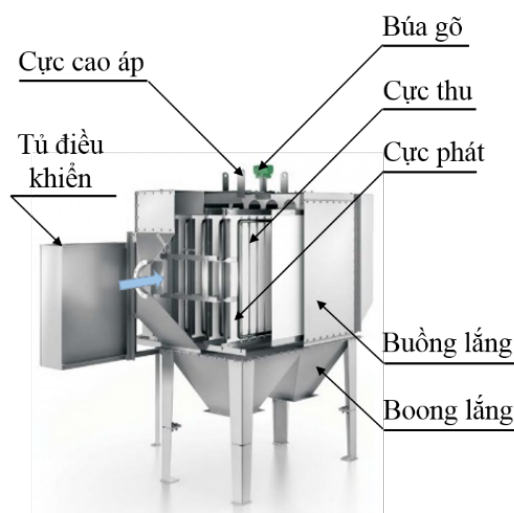
kích thước liên quan tới kết cấu tấm CE (a, b, c). Từ phương trình (1) cho thấy, vận tốc của dòng khí bụi chuyển động trong thiết bị (V) là một trong những thông số ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất lọc của thiết bị ESP. Do đó, một số nghiên cứu về sự liên quan giữa sự phân bố vận tốc của dòng khí trong buồng lắng và hiệu suất lọc của ESP được công bố trên các tạp chí trong và ngoài nước.

II. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

Thiết bị ESP đầu tiên được phát minh vào đầu thế kỷ XX bởi F.G. Cottrell. Thiết bị ESP của Cottrell được dùng để thu sương mù axit sulfuric và khói oxit chì dạng hạt phân tử kích thước 0,01 μm [1]. Sau hơn 100 năm ứng dụng thiết bị ESP vào các ngành công nghiệp khác nhau, năm 2007 một số công ti, văn phòng chính phủ và các viện đã thảo luận và quyết định ứng dụng công nghệ ESP vào xử lý thủy ngân trong khí thải của than [2], [3] và khí thải hạt phân tử (PM) như NO_x, SO₂, hay CO₂ (tác nhân gây ra hiệu ứng nhà kính) [4]. Tuy nhiên, khi lọc, nếu các hạt phân tử càng mịn thì hiệu suất thu hồi bụi của các thiết bị ESP càng giảm bởi vì sự giới hạn trong cơ chế sạc điện và trong sự tái kết hợp các hạt mịn [5], [6]. Hơn nữa, các thông số vận tốc, dòng và nhiệt độ khí trong buồng lắng đóng vai trò quan trọng trong hiệu suất lọc bụi của ESP [7]. Nếu vận tốc khí quá cao thì động lực học của phân tử lớn hơn lực tĩnh điện tạo ra ở bề mặt của CE và dẫn đến việc giảm hiệu suất thu hồi. Tương tự, nếu vận tốc cục bộ của dòng khí quá thấp thì bề mặt CE không được sử dụng đầy đủ làm cho điện thế của các hạt tích tụ ở ống dẫn khí vào và ra của ESP tăng, dẫn đến hiệu suất thu hồi giảm. Sự phân bố đồng đều của dòng khí cũng tác động trực tiếp đến khả năng lọc bụi tĩnh điện cũng như hiệu suất của ESP. Chính vì vậy, việc xây dựng một mô hình mô phỏng sự chuyển động của dòng khí trong ESP thông qua ứng dụng phần mềm động lực học chất lỏng (CFD) đã được một số nhà nghiên cứu thực hiện. Dharmendra Dekate [8] mô phỏng sự thay đổi tốc độ và nhiệt độ dòng khí vào và ra buồng lắng với các kích thước khác nhau. Kết quả mô phỏng cho thấy: chỉ 1 – 2% sự phân bố dòng thay đổi khi giảm tốc độ hoặc tăng nhiệt độ dòng khí vào nhưng gây ra mất áp suất



Hình 1: Sơ đồ nguyên lí hoạt động thiết bị lọc bụi bằng phương pháp tĩnh điện



Hình 2: Các bộ phận chính của thiết bị ESP loại nhỏ

thấp. Trong khi đó, nếu giảm kích thước buồng lắng thì sự phân bố dòng khí sẽ thay đổi 7 – 8% và sự mất áp suất không đổi. Trong một nghiên cứu khác, Maitelli et al. [9] mô phỏng dòng chảy tĩnh trong bánh công tác và stato của bơm li tâm hỗn hợp của hệ thống ESP bằng CFD. Jianjun Zhu so sánh kết quả dự đoán mô hình dòng chảy

khí trong bánh công tác động của ESP bằng CFD với thực nghiệm [10]. Hay trong nghiên cứu của Sayem et al., sự ảnh hưởng của đường kính cực phát và hình dạng của vách ngăn trong thiết bị lọc bụi tĩnh điện cho nhà máy điện nhiệt than cũng đã được đánh giá thông qua mô phỏng CFD [11]. Thông qua đó, hình dạng thích hợp nhất của vách ngăn cũng được nhóm nghiên cứu đề xuất. Tương tự, Haque et al. [12] cũng xây dựng mô hình mô phỏng dòng chảy trong thiết bị lọc bụi tĩnh điện cho nhà máy điện nhiệt. Kết quả mô phỏng phù hợp với thực nghiệm. Guo et al. [13] đã nghiên cứu sự ảnh hưởng của các thông số thiết kế lỗ khoan trên tấm phân tán lên hình dáng dòng chảy và sự giảm áp suất của dòng chảy thông qua mô phỏng CFD cho một lỗ khoan đơn. Tóm lại, CFD đã được xem như một công cụ hữu hiệu trong việc nghiên cứu sự thay đổi dòng lưu chất trong thiết bị lọc bụi tĩnh điện với kết quả mô phỏng phù hợp với thực nghiệm.

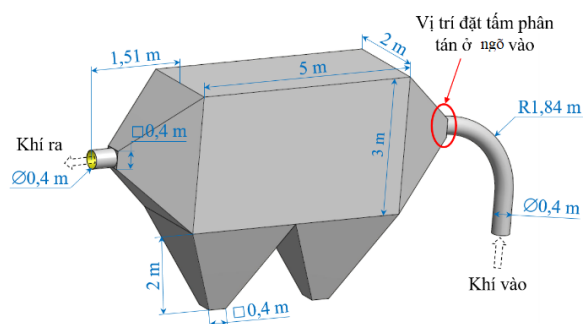
Ở Việt Nam, các nghiên cứu liên quan đến thực nghiệm và mô phỏng thiết bị ESP vẫn còn hạn chế. Trần Tuấn Anh và cộng sự thuộc Viện Kỹ thuật Thiết bị Điện thực hiện đề tài Nghiên cứu thiết kế chế tạo thiết bị tự động hóa cho hệ thống lọc bụi tĩnh điện năm 1999 [14]. Nhóm tác

giả thực hiện tính toán, thiết kế và thử nghiệm thành công bộ nguồn chỉnh lưu cao thế, bộ điều khiển điện trường, hệ thống rung gõ thu bụi và gia nhiệt. Một báo cáo khoa học khác của Phạm Giao Du và cộng sự nghiên cứu thiết kế, chế tạo thiết bị phụ tùng (bao gồm thiết bị lọc bụi tĩnh điện) thay thế cho công nghiệp xi măng lò quay 1,4 triệu tấn/năm [15]. Cả hai công trình nghiên cứu đều không đề cập đến ảnh hưởng lưu lượng dòng khí bụi cũng như sự phân bố đều dòng khí trong ESP. Mặc dù, đây là những thông số quan trọng ảnh hưởng đến hiệu suất của thiết bị. Trong giới hạn nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành nghiên cứu nâng cao sự phân bố đồng đều của vận tốc và hướng dòng lưu chất trong buồng lắng của thiết bị ESP thông qua xây dựng mô hình mô phỏng CFD được nghiên cứu và phát triển bởi hãng Autodesk. Mục đích là nhằm nâng cao hiệu suất lọc bụi của thiết bị ESP dựa trên tính chất của dòng chảy. Mô hình 3D được xây dựng dựa trên kích thước thực của một thiết bị ESP sử dụng trong thực tế. Các giả định ban đầu và điều kiện biên được xây dựng dựa trên điều kiện làm việc thực tế của thiết bị và tham khảo từ các mô hình nghiên cứu trước đây của các tác giả khác.

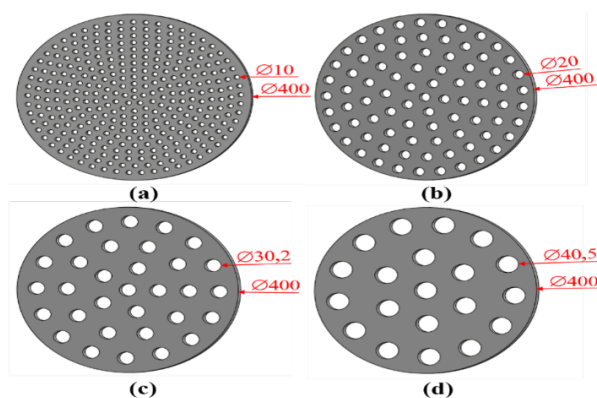
III. THIẾT KẾ MÔ PHỎNG VÀ MÔ HÌNH ESP

Để nghiên cứu về sự phân bố vận tốc và hướng của dòng khí trong buồng lắng của thiết bị ESP, các kích thước của mô hình được lựa chọn tương đương với kích thước thực tế của thiết bị ESP loại nhỏ như được thể hiện ở Hình 3. Buồng lắng có hình dạng của hình hộp chữ nhật với diện tích tiết diện buồng lọc là $3 \times 2 \text{ m}^2$. Ngõ vào và ra của thiết bị được kết nối với đường ống dẫn có đường kính 400 mm. Tầm phân tán $\Phi 400$ với các kích thước lỗ khác nhau ($\Phi 10, \Phi 20, \Phi 30, 2,$ và $\Phi 40,5$) (như thể hiện ở Hình 4) được bố trí tại ngõ vào dòng lưu chất. Số lượng lỗ phân tán dòng khí trên bề mặt sẽ thay khi thay đổi đường kính lỗ để có được tổng diện tích của các lỗ phân tán trên bề mặt là không đổi.

Mô hình 3D của thiết bị ESP được sử dụng để mô phỏng và phân tích bằng mô đun FLUENT Simulation trong phần mềm Inventor. Quá trình thực hiện mô phỏng sự phân bố vận tốc và hướng



Hình 3: Hình dạng và kích thước của mô hình mô phỏng thiết bị ESP loại nhỏ



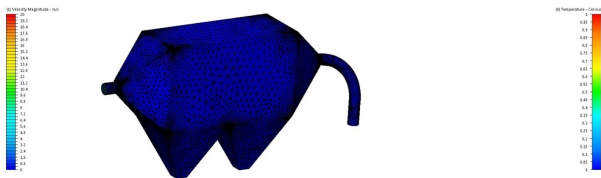
Hình 4: Hình dạng các tấm phân tán dòng khí
(a) $\Phi 10$, (b) $\Phi 20$, (c) $\Phi 30,2$, (d) $\Phi 40,5$

của dòng khí trong buồng lắng, chia lưới mô hình tác động đến độ chính xác của kết quả, tốc độ hồi quy cũng như thời gian xử lý của CPU. Do đó nhóm nghiên cứu cũng đã thực hiện việc đánh giá sự ảnh hưởng của kích thước lưới chia lên kết quả mô phỏng trong một trường hợp cụ thể (lưu lượng vào là $1.800 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, tấm phân tán có kích thước lỗ bằng 10 mm). Hình 5 thể hiện mô hình chia lưới cho thiết bị. Tổng số phần tử là 317.637; trong đó, phần thiết bị là 245.158 phần tử và phần khí di chuyển trong thiết bị là 72.479 phần tử. Khi tăng số phần tử nhiều hơn (giảm kích thước chia lưới), kết quả đạt được không có sự khác biệt. Trong khi đó, thời gian mô phỏng lại tăng lên đáng kể. Các giả thiết ban đầu và điều kiện biên được giả định như sau:

+ Giả thiết lưu chất di chuyển trong thiết bị có đặc tính như khí lí tưởng, chảy rối và không nén được. Trong đó, mô hình chảy rối dựa theo

- phương trình tiêu chuẩn k-epsilon [12].
- + Không khí được giả định là dòng khí chảy qua không có lẫn các hạt phân tử tạp chất và được mô hình hóa thành dòng đẳng nhiệt.
 - + Lưu lượng dòng khí vào buồng lắng được giả thiết không đổi theo thời gian và có nhiệt độ bằng nhiệt độ môi trường. Hướng vận tốc dòng khí vuông góc với tiết diện ngang của ngõ vào.
 - + Vận tốc lưu chất tiếp xúc với mặt thành trong của thiết bị bằng không (No slip condition).
 - + Áp suất tại ngõ ra bằng áp suất khí trời được chọn như điều kiện biên đầu ra của lưu chất.

Các thông số cài đặt cho quá trình mô phỏng trong nghiên cứu này được trình bày tóm tắt trong Bảng 1.



Hình 5: Mô hình chia lưới trong mô phỏng thiết bị ESP

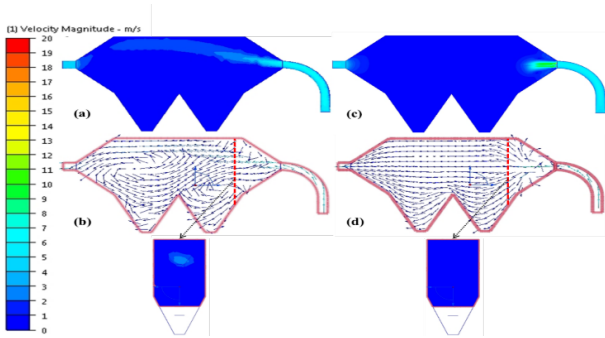
Bảng 1: Các thông số chính trong mô phỏng

Thông số	Giá trị
Lưu lượng dòng khí vào buồng lắng ($m^3.h^{-1}$)	900; 1.800; 2.700; 3.600
Nhiệt độ dòng khí vào ($^{\circ}C$)	25
Khối lượng riêng của không khí (kg/m^3)	1,185
Độ nhớt động lực học của dòng khí ($Pa.s$)	$1,831 \times 10^{-5}$
Mô hình dòng chảy	K-ε model
Áp suất dòng khí tại cửa ra (atm)	1,0

IV. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kết quả mô phỏng CFD thể hiện sự phân bố vận tốc của dòng khí trong buồng lắng ESP trong hai trường hợp: không có tấm phân tán (Hình 6 (a) và (b)) và có tấm phân tán (đường kính lỗ Φ10) bố trí ở ngõ vào buồng lắng (Hình 6 (c) và

(d)) với lưu lượng dòng khí $1.800\text{ m}^3.s^{-1}$. Kết quả mô phỏng này cho thấy, khi không có tấm phân tán, vận tốc dòng khí phân bố trong buồng lắng không đồng đều. Sự tập trung vận tốc cục bộ diễn ra ở phía trên buồng lắng (Hình 6 (a)). Trong khi đó, với tấm phân tán, vận tốc dòng khí phân bố đồng đều hơn rất nhiều. Vận tốc cục bộ chỉ tập trung ở vùng phía sau tấm phân tán với một khoảng cách nhỏ (Hình 6 (c)). Vì, vị trí này không có bố trí các tấm điện cực thu và điện cực phát nên sẽ không ảnh hưởng đến hiệu suất lọc bụi của thiết bị. Ngoài ra, khi so sánh hướng dòng khí di chuyển trong buồng lắng trong trường hợp có và không có tấm phân tán (Hình 6 (b) và 6 (d)), ta thấy hướng dòng khí được cải thiện một cách đáng kể. Sự hỗn loạn của hướng dòng khí phía sau tấm phân tán không còn xuất hiện. Điều này có lợi trong việc làm giảm sự xáo trộn lớp bụi bám trên các tấm thu bụi cũng như tái nhập bụi vào dòng khí ảnh hưởng đến hiệu suất thu bụi [16] – [19]. Hơn nữa, giá trị vận tốc trung bình sau khi qua tấm phân tán trong buồng lắng đạt được khoảng 1 m.s^{-1} , kết quả này phù hợp với một số nghiên cứu và thực nghiệm về vận tốc dòng khí tối ưu trong ESP [20] - [22].

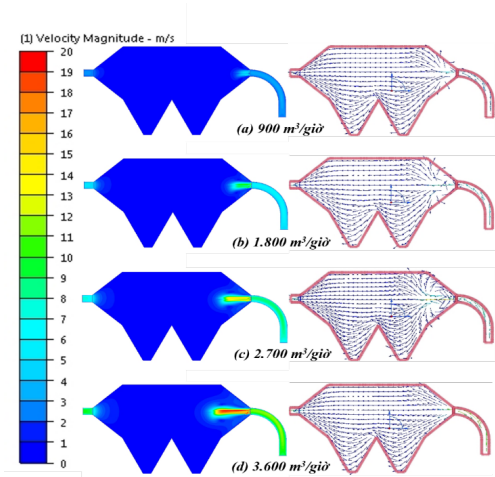


Hình 6: Sự phân bố vận tốc và hướng dòng trong buồng lắng của ESP không có tấm phân tán (a-b) và có tấm phân tán (c-d)

Hình 7 trình bày kết quả mô phỏng sự phân bố vận tốc dòng khí trong buồng lắng khi lưu lượng dòng khí vào thay đổi từ 900 đến $3.600\text{ m}^3.h^{-1}$. Kết quả thể hiện khi lưu lượng nhỏ, sự phân bố vận tốc ở khu vực gần cửa vào tốt hơn và hướng dòng chảy cũng ổn định hơn. Kết quả này phù hợp với phân tích của Haque et al. [23].

Tuy nhiên, khi sử dụng tấm phân tán, sự phân bố vận tốc và hướng dòng bị thay đổi không đáng kể khi lưu lượng tăng từ 900 đến 3.600 m³.h⁻¹. Điều này chứng tỏ, tấm phân tán sẽ giúp thiết bị làm việc tốt hơn khi lưu lượng khí vào thay đổi. Hiệu suất lọc bụi của ESP thường được biểu diễn bằng công thức Deutsch-Anderson như sau:

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{w_e.L}{U.d}\right) = 1 - \exp\left(-\frac{w_e.A}{Q}\right) \quad (2)$$



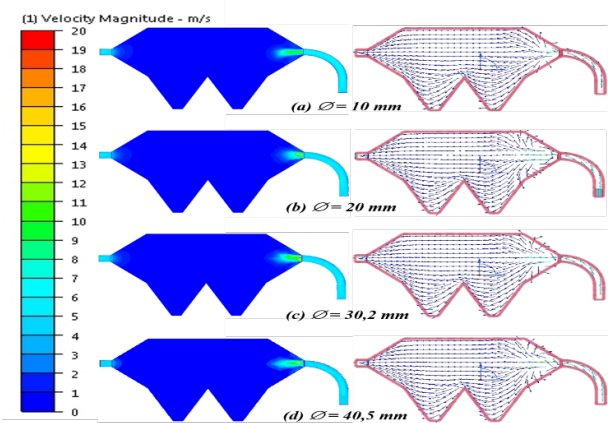
Hình 7: Ảnh hưởng của lưu lượng dòng khí vào lên sự phân bố vận tốc và hướng dòng trong buồng lắng có sử dụng tấm phân tán với đường kính lỗ Φ10

Trong đó:
η: hiệu suất của ESP;
w_e: vận tốc di chuyển của phân tử khí (cm.s⁻¹);
A: diện tích tấm CE (m²);
Q: lưu lượng thể tích của (m³.s⁻¹).

Từ công thức Deutsch-Anderson chúng ta thấy, khi lưu lượng Q tăng, hiệu suất của ESP giảm. Điều này là do vận tốc di chuyển của dòng khí và sự hỗn loạn của nó trong buồng lắng ESP tăng lên. Tuy nhiên, khi có tấm phân tán, sự phân bố vận tốc dòng khí trong buồng lắng đồng đều hơn. Do đó, hiệu suất của ESP sẽ được tăng lên.

Kết quả mô phỏng về sự ảnh hưởng của đường kính lỗ phân tán lên sự phân bố vận tốc và hướng dòng khí được trình bày ở Hình 8 với lưu lượng khí vào là 1.800 m³.h⁻¹ và tổng diện tích của các lỗ là không đổi. Kết quả cho thấy, khi đường

kính lỗ phân tán thay đổi từ 10 đến 40 mm, sự phân bố vận tốc và hướng dòng khí trong buồng lắng có sự thay đổi nhưng không quá nghiêm trọng. Khi tăng đường kính lỗ, sự tập trung vận tốc cục bộ và sự hỗn loạn dòng khí sau tấm phân tán tăng lên. Điều này có thể được giải thích là do khi tăng đường kính lỗ phân tán nhưng vẫn giữ nguyên tổng diện tích lỗ trên bề mặt nên số lượng lỗ ít hơn. Điều này dẫn đến khoảng cách giữa các lỗ phân tán cũng lớn hơn nên nó làm giảm sự phân tán dòng khí. Từ đó, nó gây ra sự tập trung vận tốc cục bộ sau tấm chắn cũng như có sự xáo trộn hướng dòng lớn hơn. Ngược lại, khi đường kính lỗ phân tán nhỏ nhưng do được bố trí gần nhau nên khả năng phân tán tốt hơn [24]. Điều đó chứng tỏ, việc tăng giá trị đường kính lỗ phân tán sẽ không có lợi cho sự phân bố vận tốc và hướng dòng trong buồng lắng. Tuy nhiên, việc giảm đường kính lỗ và tăng số lượng lỗ trên tấm phân tán sẽ dẫn đến chi phí cho quá trình chế tạo tấm phân tán.



Hình 8: Ảnh hưởng của đường kính lỗ trên tấm phân tán lên sự phân bố vận tốc và hướng dòng trong buồng lắng với lưu lượng khí vào là 1.800 m³.h⁻¹

V. KẾT LUẬN

Sự phân bố vận tốc và hướng dòng khí trong mô hình thiết bị ESP kích thước nhỏ được nghiên cứu thông qua mô phỏng bằng CED simulation. Kết quả mô phỏng cho thấy, sự phân bố vận tốc và hướng di chuyển của dòng khí trong buồng lắng được cải thiện đáng kể khi sử dụng tấm phân

tán tại cửa vào. Hơn nữa, tấm phân tán cũng giúp thiết bị có thể làm việc tốt hơn khi có sự thay đổi giá trị lưu lượng đầu vào. Hơn nữa, kích thước lỗ phân tán là một thông số quan trọng cần phải được tối ưu khi thiết kế tấm phân tán. Kết quả nghiên cứu bài báo làm tiền đề cho những nghiên cứu tiếp theo nhằm nâng cao hiệu suất lọc bụi của thiết bị thông qua việc sử dụng tấm phân tán. Nghiên cứu tiếp theo sẽ là tối ưu hóa các thông số của tấm phân tán và khảo sát sự tổn thất áp suất dòng khí khi qua tấm phân tán với sự kiểm chứng bằng thực nghiệm.

VI. LỜI CẢM ƠN

Tác giả gửi lời cảm ơn chân thành đến Công ty Cơ khí TNHH TM&DV Cơ khí Vạn Lượng đã hỗ trợ máy tính để chúng tôi hoàn thành kết quả mô phỏng. Tác giả cũng gửi lời cảm ơn chân thành đến các đồng nghiệp đã đóng góp ý kiến cho bài báo từ tháng 9/2019 đến tháng 3/2020.

THUẬT NGỮ
U = vận tốc dòng (m.s ⁻¹)
Q = lưu lượng thể tích của khí chia bởi diện tích mặt cắt ngang W.d (m ³ .s ⁻¹)
A= W.L là diện tích tấm CE (m ²)
W và L = chiều rộng và chiều dài của tấm CE (m)
d = khoảng cách giữa CE và DE (m)
w _e = vận tốc di chuyển của phân tử (cm.s ⁻¹)
KÍ TỰ HIỆN
ρ = Trọng lượng riêng khí (kg. m ⁻³)
β = Độ rỗng (%)
η = Hiệu suất lọc bụi (%)

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Cottrell FG. *Art of separating suspended particles from gaseous bodies*. US Patent 895729. 1908.

[2] Wang A, Song Q, Tu G, Wang H, Yue Y, Yao Q. Influence of flue gas cleaning system on characteristics of PM2.5 emission from coal-fired power plants. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2014; 1(1):4–12.

[3] Huang Y, Huang S, Zheng Q, Shen X, Wang S, Han P, et al. Recent progress of dry electrostatic precipitation for PM2.5 emission control from coal-Fired boilers. *International Journal of Plasma Environmental Science & Technology*. 2015; 9:69–126.

[4] Bandyopadhyay A, Mandal PK. Investigation on multiple benefits of wet ESP for emission control in an Indian coal fired thermal power plant. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2015; 17(2):421–31.

[5] Bayless DJ, Shi L, Kremer G, Stuart BJ, Reynolds J, Caine J. Membrane-Based Wet Electrostatic Precipitation. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2005; 55(6):784–91.

[6] Bologna A, Paur H-R, Seifert H, Waescher T, Woletz K. Novel wet electrostatic precipitator for collection of fine aerosol. *Journal of Electrostatics*. 2009; 67:150–153.

[7] Biao X. *CFD Numerical Simulation of ESP Airflow Distribution and Application of Flue Gas Distribution*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2009.

[8] Dekate D. Comparative study of Various Parameter of ESP by Using CFD. *International Journal of Engineering Research and General Science*. 2015; 3(3):266–274.

[9] Maitelli C, Bezerra V, Mata W. Simulation of flow in a centrifugal pump of ESP systems using computational fluid dynamics. *Brazilian Journal of Petroleum and Gas*. 2010; 4:1–9.

[10] Zhu J, Cuamatzi-Melendez R, Martinez Farfan JA, Zhu H, Zhang J, Zhang H-Q, editors. Flow Pattern Prediction in Electrical Submersible Pump (ESP) Under Gassy Flow Conditions Using Transient Multiphase CFD Methods With Visualization Experimental Validation. *ASME 2018 5th Joint US-European Fluids Engineering Division Summer Meeting*; 2018. V003T19A002.

[11] Sayem ASM, Khan MMK, Rasul MG, Hasan NMS. Fluid flow analysis in electrostatic precipitator of a coal fired power plant considering electrode with two different shape of baffles. *Mechanical Engineering Research Journal*. 2016; 10:47–50.

[12] Haque SME, Rasul MG, Deev AV, Khan MMK, Subaschandar N. Flow simulation in an electrostatic precipitator of a thermal power plant. *Applied Thermal Engineering*. 2009; 29(10):2037–2042.

[13] Guo BY, Hou QF, Yu AB, Li LF, Guo J. Numerical modelling of the gas flow through perforated plates. *Chemical Engineering Research and Design*. 2013; 91(3):403–408.

[14] Trần Tuấn Anh. *Nghiên cứu thiết kế chế tạo thiết bị tự động hóa cho hệ thống lọc bụi tĩnh điện*. Đề tài cấp Nhà nước. 1999.

[15] Phạm Giao Du. *Nghiên cứu thiết kế, chế tạo thiết bị phụ tùng thay thế cho công nghiệp xi măng lò quay 1,4 triệu tấn/năm*. Đề tài cấp nhà nước. 2005.

[16] Kiss I, Suda J, Kristóf G, István B. The turbulent transport process of charged dust particles in electrostatic precipitators. In *7th international Conference on Electrostatic Precipitation, Kyongju, Korea*. 1998:196–205.

[17] Haque SME, Rasul MG, Khan MMK, Deev AV, Sub-

- aschandar N. Influence of the inlet velocity profiles on the prediction of velocity distribution inside an electrostatic precipitator. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2009; 33(2):322–328.
- [18] Soldati A, Andreussi P, Banerjee S. Direct simulation of turbulent particle transport in electrostatic precipitators. *AIChE J*. 1993; 39(12):1910–1919.
- [19] Gajbhiye N, Eswaran V, Saha AK, Kumar A. Numerical calculation of particle collection efficiency in an electrostatic precipitator. *Sadhana*. 2015; 40(3):863–873.
- [20] Kabadi SJ, Hambarde MD. Flow optimization of electrostatic precipitator using non uniform porosity distribution screen. *International Journal of Current Engineering and Technology*. 2016; 5:68–74.
- [21] Power Sweden GE, Sweden AB. Relation Between Gas Velocity Profile and Apparent Migration Velocity in Electrostatic Precipitators. *International Journal of Plasma Environmental Science & Technology*. 2017; 11(1):104–111.
- [22] Triệu Quý Huy. *Nghiên cứu tạo trường vận tốc đều của dòng khí trong thiết bị lọc bụi tĩnh điện nhằm nâng cao hiệu suất lọc* [Luận án Tiến sĩ]. Viện Nghiên cứu Cơ khí. 2018.
- [23] Haque S, Rasul M, Deev A, Khan MM, Zhou J. *The influence of flow distribution on the performance improvement of electrostatic precipitator*; 2006.
- [24] Swaminathan, Mahalakshmi NV. Numerical Modelling of Flow through Perforated Plates Applied to Electrostatic Precipitator. *Journal of Applied Sciences*. 2010;10.