

NÂNG CẤP HỆ THỐNG XỬ LÝ KHÍ THẢI TẠI CÁC NHÀ MÁY NHIỆT ĐIỆN THUỘC EVN

(UPGRADE AND RETROFIT OF FLUE GAS TREATMENT SYSTEMS AT EVN THERMAL POWER PLANTS)

Vũ Văn Khoa¹, Ngô Việt Thu², Nguyễn Hà Vũ³

¹Viện Nghiên cứu Cơ khí, 0913302818, khoavv@narime.gov.vn

²Viện Nghiên cứu Cơ khí, 0972347337, thuuv@narime.gov.vn

³Viện Nghiên cứu Cơ khí, 0775250717, vuinh@narime.gov.vn

TÓM TẮT: Bài báo trình bày nghiên cứu về hiện trạng phát thải và các giải pháp kỹ thuật nhằm nâng cấp hệ thống xử lý khí thải tại các nhà máy nhiệt điện thuộc Tập đoàn Điện lực Việt Nam (EVN). Nhiều nhà máy nhiệt điện than hiện hữu đang phát thải bụi, NOx và SO₂ vượt mức giới hạn cho phép theo quy chuẩn môi trường vừa được ban hành, cụ thể là QCVN 19:2024/BTNMT. Để đáp ứng các yêu cầu này, cần triển khai các giải pháp đồng bộ, bao gồm cải thiện hiệu suất hệ thống lọc bụi tĩnh điện (ESP), lắp đặt và nâng cấp hệ thống khử NOx chọn lọc bằng xúc tác (SCR) và nâng cấp hệ thống khử lưu huỳnh trong khói (FGD). Trên cơ sở phân tích cơ chế hình thành và kiểm soát các chất ô nhiễm, bài báo tập trung làm rõ hiệu quả xử lý của từng công nghệ và các yêu cầu kỹ thuật khi cải tạo, đồng thời xem xét những khó khăn, hư hỏng trong hệ thống hiện có. Kết quả nghiên cứu cho thấy việc nâng cấp ESP có thể tăng hiệu suất loại bỏ bụi lên khoảng 98–99,9%, lắp đặt và nâng cấp SCR giúp giảm nồng độ NOx xuống giới hạn cho phép, và cải tạo FGD giúp giảm nồng độ SO₂ xuống giới hạn cho phép đáp ứng quy định. Bài báo cũng trích dẫn các dự án thực tế tại một số nhà máy đang chuẩn bị được triển khai. Việc nâng cấp hệ thống xử lý khí thải không chỉ đảm bảo tuân thủ quy định pháp luật về môi trường mà còn góp phần giảm thiểu ô nhiễm, hướng tới vận hành bền vững các nhà máy nhiệt điện than.

Từ khóa: Xử lý khí thải; Nhà máy nhiệt điện; Khử NOx chọn lọc (SCR); Lọc bụi tĩnh điện (ESP); Khử SO₂ (FGD)

ABSTRACT: This paper presents a study on the emission status and technical solutions for upgrading flue gas treatment systems at thermal power plants operated by Vietnam Electricity (EVN). Many existing coal-fired power plants emit particulate matter (Bụi), NOx and SO₂ at levels exceeding current environmental regulation, notably QCVN 19:2024-BTNMT. To comply with these regulations, a comprehensive retrofit program is required, including improving the efficiency of electrostatic precipitators (ESP), installing and upgrading selective catalytic reduction (SCR) systems for NOx removal, and upgrading flue gas desulfurization (FGD) units for SO₂ control. Based on an analysis of the formation and control mechanisms of these pollutants, the paper clarifies the treatment efficiency and technical requirements of each technology when retrofitting, while also examining the issues and degradation present in existing systems. The results indicate that upgrading ESPs can raise Bụi removal efficiency to about 98–99.9%, installing SCR can reduce NOx concentrations to current regulation, and refurbishing FGD can bring SO₂ to current regulation, in line with regulatory limits. The paper cites real-world retrofit projects at some Thermal Power Plants, where these solutions are preparing for implementation. Upgrading flue gas treatment systems not only ensures compliance with environmental regulations but also mitigates pollution, contributing to the sustainable operation of coal-fired power plants.

Keywords: Flue gas treatment; Thermal power plant; Selective catalytic reduction; Electrostatic precipitator; Flue gas desulfurization

1. GIỚI THIỆU (INTRODUCTION)

Nhiệt điện than hiện vẫn chiếm tỷ trọng lớn trong hệ thống điện Việt Nam, đóng góp đáng kể vào đảm bảo an ninh năng lượng. Tuy nhiên, các nhà máy nhiệt điện than cũng là nguồn phát thải khí gây ô nhiễm quan trọng, bao gồm bụi (tro bay), các oxide nitơ (NOx) và sulfur dioxide (SOx). Các chất ô nhiễm này nếu không được xử lý hiệu quả sẽ ảnh hưởng xấu đến môi trường không khí xung quanh, gây ra các vấn đề về sức khỏe và môi trường như bụi PM 2.5, mưa axit và suy giảm chất lượng không khí. Trước yêu cầu bảo vệ môi trường ngày càng cao, Nhà nước đã ban hành quy chuẩn QCVN QCVN 19:2024/BTNMT về khí thải công nghiệp, từ đó tính toán quy định giới hạn nồng độ các chất ô nhiễm trong khí thải nhà máy nhiệt điện về bụi, NOx và SOx. Các nhà máy nhiệt điện thuộc EVN được xây dựng từ những giai đoạn trước, đa số chỉ trang bị một phần hệ thống xử lý khí thải cơ bản, hiện không đáp ứng được đầy đủ các giới hạn nêu trên. Chẳng hạn, tại Nhà máy nhiệt điện Quảng Ninh (4×300 MW vận hành từ 2012), dù đã lắp đặt lọc bụi tĩnh điện, đốt than theo chế độ ít NOx và hệ thống FGD, kết quả đo kiểm năm 2016 cho thấy nồng độ SO₂ tại ống khói các tổ máy vẫn dao động 420–450 mg/Nm³ (O₂ 6%), vượt quá mức cho phép theo quy định ở thời điểm đó 255 mg/Nm³. Tương tự, nồng độ NOx đo được sau lò hơi khoảng 1000 mg/Nm³, cao gấp gần 2 lần giới hạn quy chuẩn hiện hành do nhà máy chưa có hệ thống xử lý NOx sau đốt (SCR). Tình trạng quá tải và xuống cấp của hệ thống xử lý hiện hữu (ESP và FGD) cũng khiến hiệu quả xử lý bụi và SOx giảm sút theo thời gian. Trước thực trạng đó, việc cải tạo, nâng cấp hệ thống xử lý khí thải cho các nhà máy nhiệt điện than đang vận hành là hết sức cấp thiết, nhằm đảm bảo tuân thủ quy định pháp luật và giảm thiểu tác động ô nhiễm. Bài báo này tập trung làm rõ các giải pháp công nghệ khả thi để giảm phát thải bụi, NOx, SOx tại nguồn, bao gồm: (i) nâng cấp hệ thống lọc bụi tĩnh điện (ESP); (ii) lắp đặt và nâng cấp hệ thống khử NOx chọn lọc sử dụng xúc tác (SCR); (iii) cải tạo hệ thống khử SO₂ bằng đá vôi – thạch cao (FGD). Các nội dung được phân tích gồm cơ chế hoạt động, hiệu suất xử lý, yêu cầu thiết kế lắp đặt và ví dụ triển khai thực tế tại một số dự án nâng cấp như Quảng Ninh, Phả Lại, Uông Bí.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU (THEORETICAL BACKGROUND & METHODS)

Cơ sở lý thuyết về kiểm soát khí thải: Quá trình đốt than trong lò hơi nhiệt điện sinh ra các chất ô nhiễm chính là bụi, NOx và SOx. Bụi than chủ yếu hình thành từ khoáng vật không cháy hết trong nhiên liệu (tro bay), được đưa ra khỏi buồng đốt theo dòng khói. NOx hình thành từ hai cơ chế chính: (1) NOx “nhiên liệu” do oxy hóa nitơ trong nhiên liệu than, và (2) NOx “nhiệt” do oxy hóa nitơ trong không khí ở nhiệt độ cao. SO₂ sinh ra do oxy hóa lưu huỳnh có trong than trong quá trình cháy. Để kiểm soát các chất ô nhiễm này, nhà máy nhiệt điện than thường được trang bị ba hệ thống xử lý tương ứng: (a) bộ lọc bụi tĩnh điện (ESP) để loại bỏ hạt bụi trước khi khí thải ra ống khói; (b) hệ thống đốt hạn chế NOx (ví dụ: đốt theo tầng, sử dụng đầu đốt thấp NOx) và/hoặc hệ thống khử NOx chọn lọc (SCR/SNCR) để giảm NOx trong khí thải; (c) hệ thống khử lưu huỳnh bằng hấp thụ (FGD) để loại SOx khỏi khí thải bằng phương pháp hấp thụ hóa học (thường dùng sữa đá vôi hoặc nước). Mỗi hệ thống có nguyên lý hoạt động riêng: ESP sử dụng điện trường cao thể để tích điện và thu hồi các hạt bụi; SCR/SNCR sử dụng chất khử (NH₃ hoặc urê) và xúc tác để chuyển NOx thành N₂ và H₂O; FGD dùng chất hấp thụ (đá vôi/nước biển) để chuyển SO₂ thành muối sulfate (thạch cao).

Phương pháp nghiên cứu và đánh giá: Nghiên cứu này được thực hiện dựa trên thu thập số liệu vận hành thực tế tại các nhà máy, kết hợp với phân tích thiết kế kỹ thuật từ các dự án cải tạo chuẩn bị triển khai. Cụ thể, nhóm nghiên cứu đã xem xét dữ liệu quan trắc khí thải (nồng độ bụi, NOx,

SO₂) của một số nhà máy điện hình trước và sau nâng cấp, đồng thời khảo sát hiện trạng thiết bị xử lý khí thải tại chỗ. Ví dụ, các kết quả đo tại nhà máy Quảng Ninh năm 2016 được sử dụng để đánh giá hiệu quả FGD hiện hữu, cho thấy cần cải thiện hệ thống cấp đá vôi để nâng cao khả năng khử SO_x. Bên cạnh đó, các phương án công nghệ được phân tích dựa trên hồ sơ thiết kế và đề xuất thầu từ các dự án: phương án bố trí lắp đặt SCR (vị trí đặt thiết bị trên đường khói, tích hợp vào kết cấu hiện hữu), lắp đặt thêm tầng xúc tác dự phòng hay sử dụng xúc tác với hoạt tính cao, giải pháp cải tạo ESP (bổ sung điện cực, nâng cấp nguồn cấp điện, cải thiện hệ thống rũ bụi, sử dụng lọc bụi kiểu lai) và giải pháp nâng cấp FGD (thay vật liệu chống ăn mòn, cải thiện bơm tuần hoàn, hệ thống sục oxy hóa, tầng khử am, ...). Các tiêu chí đánh giá gồm: hiệu suất xử lý (% loại bỏ bụi, NO_x, SO_x), mức độ đáp ứng quy chuẩn sau cải tạo, và tính khả thi trong vận hành thực tế. Trên cơ sở đó, chúng tôi đề xuất bộ giải pháp đồng bộ và lộ trình triển khai cho các nhà máy của EVN.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1 Hiện trạng phát thải và thiết bị xử lý tại các nhà máy nhiệt điện EVN

Qua thu thập số liệu, đa số các nhà máy nhiệt điện đốt than hiện hữu của EVN đều có chung một số đặc điểm: sử dụng than antraxit trong nước (chứa khoảng 0,5–0,7% lưu huỳnh, 10–30% tro), lò hơi tầng tự nhiên hoặc tuần hoàn, công suất tổ máy 300 MW trở lên. Các nhà máy đưa vào vận hành trước năm 2010 thường chỉ được trang bị ESP để khử bụi và thiết bị khử SO_x hạn chế hoặc không có (một số nhà máy cũ như Phả Lại 1 không có FGD). Trong khi đó, các nhà máy mới hơn (Quảng Ninh, Hải Phòng, Uông Bí mở rộng, Phả Lại 2, ...) có đầu tư hệ thống FGD ướt và áp dụng đầu đốt thấp NO_x. Tuy nhiên, do hạn chế về công nghệ ban đầu và sự xuống cấp thiết bị, nồng độ phát thải đo được ở nhiều tổ máy vẫn vượt quy chuẩn khi vận hành ở phụ tải cao. Bảng 1 tóm tắt nồng độ khí thải điển hình so sánh với giới hạn QCVN 19:2024/ BTNMT.

Bảng 1. Quy định về phát thải tại một số nhà máy theo QCVN 19:2024/BTNMT

STT	Nhà máy Nhiệt điện	Thông số phát thải	Đơn vị	Thông số ban đầu		Theo QCVN 19:2024/BTNMT
				Thiết kế	Bảo hành	
1	Uông Bí 300MW	Bụi	mg/Nm ³	500	151	20
		NO _x	mg/Nm ³	Không có	1000	120
		SO _x	mg/Nm ³	500	347	120
2	Uông Bí 330MW	Bụi	mg/Nm ³	100	137	20
		NO _x	mg/Nm ³	Không có	878	120
		SO _x	mg/Nm ³	179	179	120
3	Nghị Sơn 1	Bụi	mg/Nm ³	90-100	170	≤ 30 (6)
		NO _x	mg/Nm ³	850	850	≤ 220 (6)
		SO _x	mg/Nm ³	425	425	≤ 220 (6)
4	Duyên Hải 1	Bụi	mg/Nm ³	100	100	≤ 20
		NO _x	mg/Nm ³	200	200	≤ 120
		SO _x	mg/Nm ³	271	271	≤ 120
5	Duyên Hải 3	Bụi	mg/Nm ³	100	100	≤ 20
		NO _x	mg/Nm ³	180	180	≤ 120
		SO _x	mg/Nm ³	300	300	≤ 120
6	Quảng Ninh	Bụi	mg/Nm ³	400	400	20
		NO _x	mg/Nm ³	1000	1000	120
		SO _x	mg/Nm ³	150	150	120

- **Bụi:** Nồng độ bụi sau ESP tại một số nhà máy cũ dao động 150–400 mg/Nm³ ở O₂ 6%, trong khi giới hạn cho phép cũ là 102 mg/Nm³. Nguyên nhân chủ yếu do hiệu suất lọc bụi suy giảm (ESP thiết kế cũ chỉ đạt ~98%, nay giảm còn ~90–95% do bám bụi và hỏng hóc).
- **NO_x:** Đối với lò hơi than phun chưa có SCR, nồng độ NO_x khói thải thường trong khoảng 600–1000 mg/Nm³ (6% O₂). Mặc dù các giải pháp tối ưu hóa cháy (điều chỉnh gió, nhiệt độ) và đầu đốt thấp NO_x có giúp giảm một phần, giá trị NO_x vẫn cao gấp 1,2–2 lần so với mức 510 mg/Nm³ theo QCVN.
- **SO₂:** Ở các nhà máy có FGD ướt, hiệu suất khử SO₂ ban đầu thiết kế ~90%. Tuy nhiên thực tế vận hành cho thấy nhiều hệ FGD chưa đạt hiệu quả tối ưu do hạn chế về nguồn cấp đá vôi hoặc ăn mòn thiết bị. Ví dụ, nhà máy Quảng Ninh sau 5 năm vận hành, nồng độ SO₂ vẫn ~420 mg/Nm³, chỉ đạt ~70% hiệu suất khử so với thiết kế, và vượt giới hạn 255 mg/Nm³ theo quy chuẩn cũ QCVN 22:2009/BTNMT. Các nhà máy không có FGD (hoặc FGD sự cố) thậm chí xả SO_x >1500 mg/Nm³, gây ô nhiễm nghiêm trọng.

Về tình trạng thiết bị, khảo sát cho thấy nhiều hệ thống xử lý bụi và khí đã bị xuống cấp: điện cực trong ESP bị mài mòn, cong vênh; hệ thống gõ rũ bụi bị kẹt; bộ cấp nguồn cao áp không ổn định khiến điện trường chỉ đạt 30–50 kV thay vì ~70 kV thiết kế. Hệ thống FGD thì chịu môi trường ăn mòn cao, dẫn đến các sự cố như: vật liệu lót chống ăn mòn trong tháp hấp thụ bị thủng, vòi phun bị tắc nghẽn, cánh khuấy vữa đá vôi gãy và bơm tuần hoàn mòn cánh. Những hư hỏng này làm giảm hiệu quả vận hành, tăng lượng phát thải thực tế so với thiết kế ban đầu.

3.2 Giải pháp nâng cấp hệ thống lọc bụi tĩnh điện (ESP)

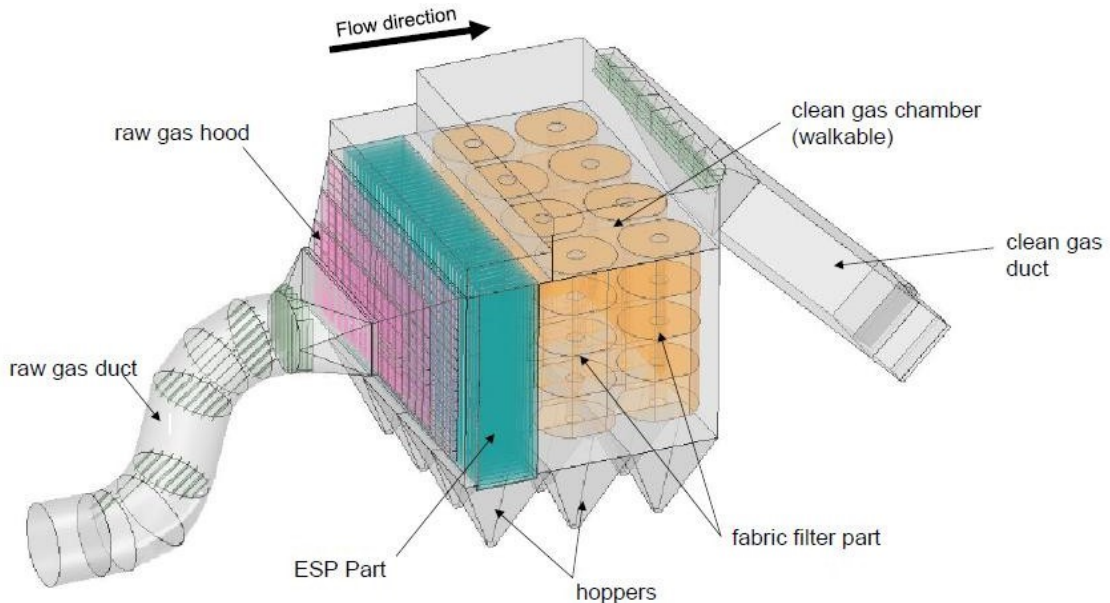
Để giảm nồng độ bụi xuống 20-30 mg/Nm³ theo quy chuẩn mới ban hành, mục tiêu đặt ra là nâng hiệu suất lọc bụi lên ít nhất ~99,5–99,9%. Giải pháp trước tiên là cải tạo các bộ lọc bụi tĩnh điện hiện có. Từ kinh nghiệm chuẩn bị dự án nâng cấp ESP tại một số nhà máy như Uông Bí và Phả Lại, các hạng mục cải tạo gồm: (i) **Thay thế và bổ sung điện cực:** thay các điện cực phóng và thu bụi đã hỏng, lắp bổ sung nếu thiếu để đảm bảo cường độ điện trường đồng đều. (ii) **Nâng cấp nguồn cấp điện cao áp:** sử dụng bộ nguồn cao áp điều khiển theo pha hoặc nguồn một chiều cao tần hiện đại, giúp duy trì điện áp ~70–75 kV ổn định, hạn chế hiện tượng phóng điện cục bộ. (iii) **Cải thiện hệ thống rũ bụi và thu hồi tro:** thay thế búa gõ rung, motor rung; lắp đặt thêm cảm biến giám sát độ dày bụi bám; sửa chữa hệ thống khí nén vận chuyển tro để tránh tắc nghẽn phễu chứa. (iv) **Bổ sung trường lọc bụi (nếu không gian cho phép):** một số thiết kế cũ chỉ có 3 trường lọc, hiệu suất chưa cao; do đó có thể bổ sung thêm 1 trường lọc nối tiếp để tăng diện tích lọc. Ví dụ, phương án cải tạo ESP tại Uông Bí (tổ máy 330 MW) yêu cầu đảm bảo có 4 trường/ESP và hiệu suất thu bụi tối thiểu 99,88%. Sau nâng cấp, nồng độ bụi hứa hẹn giảm còn ~50–100 mg/Nm³ kể cả khi một vài ngăn bị sự cố.

Ngoài cải tạo phần cứng, việc tối ưu vận hành ESP cũng được chú trọng: hiệu chỉnh quy trình rũ bụi (chu kỳ gõ và cường độ gõ) để tránh bụi cuốn lại, điều chỉnh phân bố dòng khói, duy trì nhiệt độ khí đầu vào ESP ở mức tối ưu (~130°C) để tăng hiệu quả. Tại nhà máy Phả Lại 2, với đề xuất các giải pháp trên, kỳ vọng giảm nồng độ bụi từ khoảng 200 mg/Nm³ xuống dưới 100 mg/Nm³ sau cải tạo.

Việc cải tạo ESP hiện có với các giải pháp ở trên thường chỉ có thể đưa nồng độ bụi xuống dưới 100 mg/Nm³, do đó cần có các công nghệ mới để có thể đưa về dưới 20 mg/Nm³, hiện nay có một số công nghệ như sau.

3.2.1 Công nghệ lọc bụi lai (hybrid filter)

Hệ thống lọc bụi lai kết hợp hai công nghệ: lọc bụi tĩnh điện (ESP) và lọc túi vải (FF) trong cùng một vỏ thiết bị. Phần đầu là ESP giúp loại bỏ bụi thô, còn phần sau là bộ lọc túi vải thu giữ các hạt bụi còn lại và bụi mịn với hiệu suất cao. Việc tích điện trước cho bụi cũng giúp tăng hiệu suất lọc của túi vải.



Hình 1. Cấu tạo hệ thống lọc bụi lai

Phần lọc bụi tĩnh điện

- Sử dụng điện cực phóng cố định, bền và ít hỏng hơn so với điện cực dây.
- Bản cực thu dài tới 5,5 m và cao tới 16 m, có cấu trúc cứng vững, đảm bảo hiệu suất tách bụi.
- Hệ thống rũ bụi bằng búa xoay cơ khí cho cả bản cực thu và điện cực phóng.
- Thiết kế đơn giản, thân thiện với bảo trì.

Phần lọc túi vải xung áp suất thấp

- Sử dụng khí nén áp suất thấp (<1 barg) để làm sạch túi lọc, giúp tiết kiệm năng lượng.
- Cơ chế làm sạch liên tục trực tuyến nhờ ống phân phối quay trên các túi lọc.
- Dễ lắp đặt, thay thế, phát hiện lỗi rách túi mà không cần tháo ống khí.
- Khoang sạch kín giúp bảo trì không bị ảnh hưởng bởi thời tiết.

Ưu điểm vượt trội

- Hiệu suất lọc bụi cực cao: Đáp ứng ổn định dưới 5 mg/Nm³, phù hợp với quy định mới nhất.
- Tổn thất áp suất thấp hơn so với túi vải truyền thống, nhờ nồng độ bụi đầu vào thấp và hiệu ứng điện tích.

- Vận tốc lọc cao hơn: Từ 4–20 cm/s, trong khi túi vải thông thường chỉ khoảng 1 cm/s → giảm diện tích lọc cần thiết.
- Khả năng tương thích cao: Không bị ảnh hưởng khi đốt các loại nhiên liệu khác nhau, không phụ thuộc điều kiện vận hành.
- Dễ chuyển đổi từ hệ ESP hiện hữu sang hệ thống lai mà không cần mở rộng không gian.

Hệ thống lọc bụi lai đã được triển khai thành công tại nhiều nhà máy ở trên thế giới chứng minh hiệu quả cao trong điều kiện vận hành khắc nghiệt và yêu cầu phát thải nghiêm ngặt.

3.2.2 Giải pháp điều chỉnh điều kiện khí thải (Flue Gas Conditioning - FGC)

FGC giúp tăng hiệu suất ESP bằng cách **giảm điện trở suất của tro bay** thông qua việc **phun SO₃ vào dòng khí thải**. SO₃ phản ứng với hơi nước tạo thành H₂SO₄, hình thành lớp màng dẫn điện mỏng bao quanh các hạt bụi, giúp ESP thu giữ bụi tốt hơn. Việc này đặc biệt quan trọng khi đốt than lưu huỳnh thấp – vốn sinh ra tro bay có điện trở suất cao, gây khó khăn cho ESP.

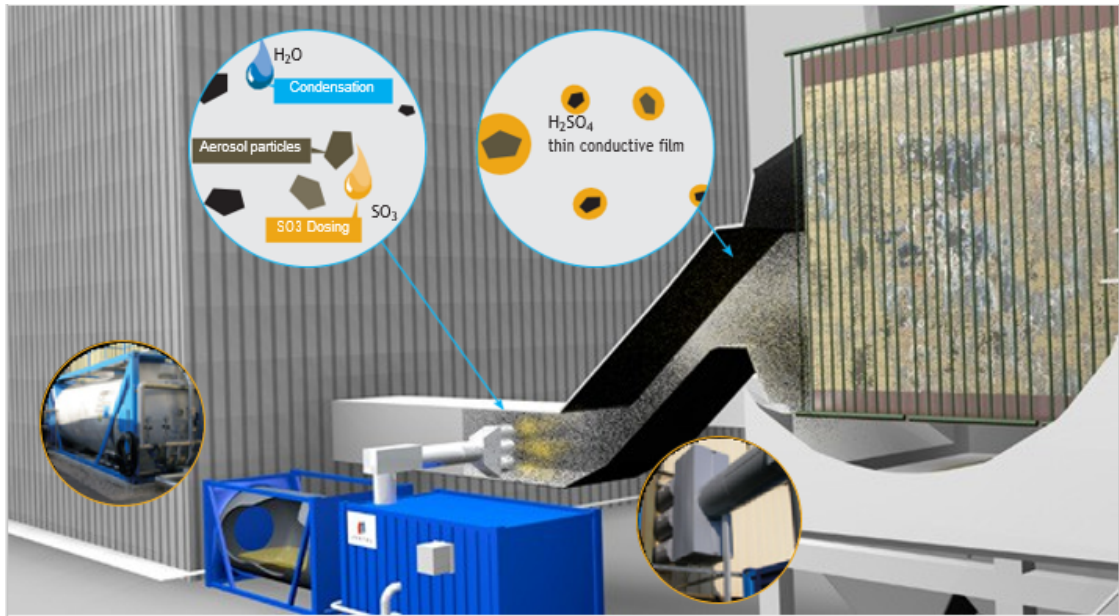
Lợi ích kỹ thuật và vận hành

- Giảm phát thải rắn: Giảm nồng độ bụi xuống < 20 mg/Nm³ trước khi vào FGD.
- Tăng độ trắng và giảm độ ẩm của thạch cao: Do giảm lượng bụi “carryover” vào hệ FGD.
- Loại bỏ hiệu ứng “back corona”: Giúp ESP hoạt động ổn định ở dòng điện định mức.
- Gia tăng tuổi thọ thiết bị: Nhờ giảm tải cho ESP và giảm bám cặn ở FGD.

Hệ thống thiết bị và lắp đặt

Hệ thống FGC gồm:

- Bộ chuyển đổi lưu huỳnh lỏng thành hỗn hợp khí SO₃/không khí (nhờ xúc tác TwinCat).
- Hệ thống phun vào ống khói (10–15 ppm SO₃).
- Lắp đặt sẵn trong container, thử nghiệm tại xưởng, dễ dàng triển khai tại hiện trường.
- Có thể lắp đặt khi nhà máy đang vận hành và thử nghiệm thuê trước khi mua.



Hình 2. Giải pháp FGC

Một nhà máy điện tại Đức có lượng bụi sau ESP > 240 mg/Nm³, gây bám cặn và giảm chất lượng thạch cao trong FGD. Sau khi lắp FGC, nồng độ bụi giảm xuống dưới 20 mg/Nm³, độ trắng thạch cao tăng từ < 70% lên > 80%, và hệ thống vận hành ổn định suốt 10 năm.

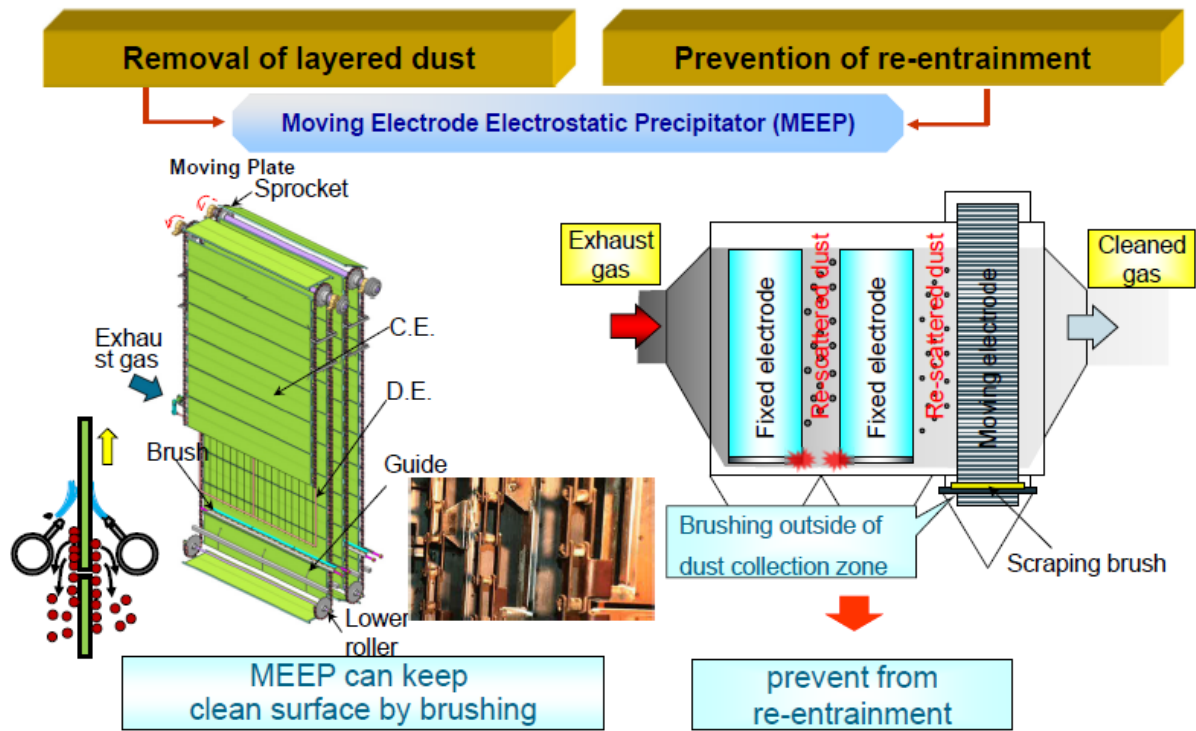
Giải pháp FGC của Pentol là phương pháp đáng tin cậy, chi phí thấp và hiệu quả cao, tương đương với việc lắp thêm một trường ESP nhưng không cần không gian lớn hay thay đổi hệ thống ống dẫn. Hệ thống giúp giảm chi phí xử lý, tăng khả năng bán thạch cao, và đảm bảo tuân thủ quy định phát thải.

3.2.3 Giải pháp sử dụng ESP điện cực di động (MEEP)

Than nội địa của Việt Nam tại nhiều nhà máy có đặc tính tro cao (>30%) và điện trở suất bụi rất cao, gây hiện tượng back corona (do điện trở tĩnh điện của bụi cao hơn, lực bám dính của bụi rất mạnh, do đó bụi trên điện cực thu không dễ rơi ra bằng cách gõ búa) làm giảm hiệu suất thiết bị lọc bụi tĩnh điện (ESP).

Ưu điểm của MEEP

- Hiệu quả thu bụi cao nhờ điện cực di động kết hợp chổi quét liên tục.
- Giảm tái phát tán bụi và hạn chế tối đa hiện tượng back corona.
- Thích hợp với bụi có điện trở suất cao – vốn là đặc trưng của than Việt Nam.
- Không yêu cầu mở rộng mặt bằng hệ thống – thuận tiện cho cải tạo.
- Duy trì bề mặt thu bụi sạch → tăng hiệu suất thu bụi ngay cả với tro nhiều và điện trở cao.



Hình 3. Giải pháp MEEP

3.3 Giải pháp lắp đặt hệ thống khử NO_x chọn lọc (SCR)

Đối với các nhà máy chưa có hệ thống De-NO_x sau đốt, việc lắp đặt SCR được xem là cần thiết để đáp ứng giới hạn NO_x 120-220 mg/Nm³. Hệ thống SCR sử dụng phản ứng khử chọn lọc NO_x bằng ammoniac (NH₃) dưới tác dụng của chất xúc tác. Để triển khai SCR tại nhà máy nhiệt điện hiện hữu, cần khảo sát vị trí lắp đặt phù hợp trên đường ống khói giữa lò hơi và ống khói. Có ba phương án thường được xem xét: (a) **High-Bụi SCR**: lắp đặt giữa economizer (bộ hâm nước) và air preheater (bộ sấy không khí đầu vào) – tức ngay sau lò, nơi nhiệt độ khí ~300–350°C và hàm lượng bụi còn cao; (b) **Low-Bụi SCR**: lắp sau bộ lọc bụi ESP, trước FGD – khí sạch bụi hơn nhưng nhiệt độ thấp hơn (150–200°C), có thể cần gia nhiệt lại; (c) **Tail-end SCR**: lắp sau FGD, ngay trước ống khói – khí rất sạch bụi nhưng nhiệt độ rất thấp (<100°C), phải có bộ gia nhiệt để đạt nhiệt độ hoạt động của xúc tác (~300°C). Trong dự án Quảng Ninh, phương án (a) đã được khuyến nghị do có nhiều ưu điểm hơn (tận dụng nhiệt độ sẵn có, không cần gia nhiệt bổ sung). Nhược điểm của high-Bụi SCR là xúc tác phải làm việc trong môi trường nhiều bụi, dễ bị bám bẩn; tuy nhiên, thiết kế hệ thống có thể khắc phục bằng cách lắp đặt bộ soot blower (thổi muội) hoặc sonic horn (sóng âm) định kỳ làm sạch bề mặt xúc tác. Một điều chỉnh kỹ thuật đáng chú ý tại dự án Uông Bí là phải cải tạo lại đường khói và bố trí lại bộ sấy không khí: cụ thể, đề xuất dời bộ sấy không khí xuống ~7,5 m để chèn thiết bị phản ứng SCR vào giữa, đồng thời bổ sung kết cấu khung đỡ độc lập cho module SCR bên cạnh lò hơi. Hệ thống cấp dung dịch NH₃ (hoặc urê) cũng được xây dựng mới: ví dụ, ở Phả Lại 2, một kho chứa ammonia dung tích hàng chục m³ được bố trí giữa khu ESP và nhà điều khiển, kèm theo hệ thống bơm định lượng và van phun để cung cấp NH₃ vào dòng khí.

Về hiệu quả xử lý, công nghệ SCR có khả năng khử 70–90% lượng NO_x. Trong trường hợp các nhà máy EVN, nồng độ NO_x đầu vào khoảng 600–1000 mg/Nm³, yêu cầu khử xuống ≤120-220 mg/Nm³ tương đương hiệu suất chỉ ~65-88% là đạt. Các dự án đã thiết kế thường chọn mức hiệu

suất 70% để dự phòng quá trình xúc tác suy giảm hoạt tính sau nhiều năm. Chất xúc tác SCR (phổ biến có 3 dạng là cấu trúc tổ ong/ tấm/ sóng bằng $V_2O_5-WO_3-TiO_2$) được thiết kế thành các tầng, dễ dàng tháo lắp để thay thế khi hết tuổi thọ (thường ~5–10 năm).

Một vấn đề cần lưu ý là kiểm soát hiện tượng “trượt ammonia” – tức NH_3 dư không phản ứng hết – thường phải giữ <3 ppm để tránh thoát ra môi trường hoặc gây phản ứng phụ tạo muối amon. Hệ thống điều khiển SCR do đó tích hợp chặt chẽ với DCS của nhà máy, tự động điều chỉnh lượng NH_3 phun theo tải lò và nồng độ NO_x đo được.

Đối với các nhà máy đã có sẵn hệ thống SCR, giải pháp đưa ra là có thể thay thế loại xúc tác với hoạt tính cao hơn hoặc lắp đặt thêm tầng xúc tác dự phòng để đáp ứng yêu cầu về phát thải.

3.4 Giải pháp nâng cấp hệ thống khử SO_2 (FGD)

Hầu hết các nhà máy nhiệt điện than của EVN áp dụng công nghệ FGD kiểu ướt sử dụng đá vôi (limestone gypsum process) để khử SO_2 . Phản ứng hóa học chính diễn ra trong tháp hấp thụ: $CaCO_3$ (trong đá vôi) + $SO_2 \rightarrow CaSO_3 + CO_2$, sau đó $CaSO_3$ bị oxy hóa thành $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (thạch cao). Hiệu suất khử SO_2 phụ thuộc vào nhiều yếu tố: tỷ lệ phối trộn đá vôi, thời gian lưu của khí trong tháp, diện tích tiếp xúc khí-lỏng (số tầng khay hoặc vòi phun) và tình trạng vận hành của thiết bị (bơm tuần hoàn, cánh khuấy, chất chống ăn mòn). Đối với các hệ FGD đã vận hành >5 năm, như trường hợp Quảng Ninh và Hải Phòng, việc cải tạo tập trung vào các nội dung: (i) **Phục hồi vật liệu chống ăn mòn:** Tại Quảng Ninh, lớp lót composite bảo vệ bên trong tháp hấp thụ đã bị ăn mòn thủng, phải phủ mới lớp bảo vệ chống axit nhằm ngăn rò rỉ dung dịch. (ii) **Thay thế phụ tùng xuống cấp:** các bơm tuần hoàn dung dịch, cánh khuấy khuấy bùn và tấm lắng đọng sương (mist eliminator) trên đỉnh tháp được thay thế hoặc sửa chữa nếu hiệu suất kém. (iii) **Bổ sung hoặc nâng cấp hệ thống cấp đá vôi:** đảm bảo công suất nghiền và cung cấp bùn đá vôi đủ lưu lượng và độ mịn. Ở Quảng Ninh, điều tra cho thấy hệ thống chuẩn bị đá vôi hiện tại chưa cung cấp đủ sửa vôi khi vận hành tải cao, làm giảm hiệu suất hấp thụ, do đó dự án nâng cấp đề xuất bổ sung máy nghiền đá vôi công suất 6 t/h và cải thiện hệ thống định lượng. (iv) **Nâng cấp vòi phun, hệ thống sục blower, sử dụng vành chặn khói theo tháp hấp thụ FGDplus** sử dụng các thiết bị tối ưu theo công nghệ mới để thay thế cho các thiết bị OEM, nâng cao tối ưu hóa các khu vực của hệ thống. (v) **Xây dựng thêm tháp hấp thụ (nếu cần):** với những nhà máy mở rộng công suất hoặc hệ thống cũ không đáp ứng, có thể xây thêm tháp FGD mới đặt song song. Ví dụ tại Phả Lại 2, dự án cải tạo đề xuất xây dựng bổ sung hai tháp FGD mới bên cạnh tháp hiện hữu để xử lý triệt để SO_2 cho cả hai tổ máy. Tháp mới thiết kế tương tự tháp cũ nhưng tối ưu hơn về vật liệu và đường kính, giúp giảm vận tốc khí qua tháp và kéo dài thời gian lưu.

Sau các giải pháp nâng cấp trên, hiệu suất khử SO_2 kỳ vọng đạt $\geq 95\%$, đưa nồng độ SO_2 trong khói giảm còn dưới 120-220 mg/Nm^3 . Ngoài ra, chất lượng phụ phẩm thạch cao cũng được cải thiện nhờ hệ thống hoạt động ổn định hơn, tạo cơ hội tái sử dụng thạch cao (ví dụ làm phụ gia xi măng hoặc vật liệu xây dựng) thay vì phải chôn lấp. Một khía cạnh khác là hệ thống xử lý nước thải FGD (nước sau khử lưu huỳnh thường chứa sulfate, rắn lơ lửng và kim loại nặng) cũng cần được hiệu chỉnh vận hành tốt, đảm bảo nước thải đạt tiêu chuẩn trước khi thải ra môi trường.

Ngoài ra, chúng ta có thể sử dụng bộ tách ẩm Mist eliminator được thiết kế chuyên biệt để sử dụng trong các hệ thống khử lưu huỳnh khói thải (FGD – Flue Gas Desulfurization).

Khối tách ẩm chuyên dụng được áp dụng trong các hệ thống FGD sử dụng vôi hoặc đá vôi để loại bỏ SO_2 trong khí thải. Trong quá trình này, các hợp chất như $CaSO_3$, $CaSO_4$ và cacbonat hình thành và dễ gây cáu cặn. Sự hiện diện của các phụ gia như magie, lưu huỳnh và DBA giúp giảm quá trình kết tủa, ngăn đóng cáu trên thiết bị, đặc biệt là khối tách ẩm.

Khối tách ẩm chuyên dụng gồm hai tầng:

- Tầng thứ nhất: Gọi là tách thô, có thiết kế mở để loại bỏ phần lớn nước.
- Tầng thứ hai: Hiệu quả cao hơn, thường vận hành khô hơn và được xịt rửa gián đoạn để vệ sinh.

Thiết kế tấm chắn chữ V đặc trưng với “móc thủy lực” nhằm chống tích tụ chất lỏng và giảm nguy cơ tắc nghẽn. CFD (Computational Fluid Dynamics) được sử dụng để tối ưu hướng dòng và phân tích áp suất.

Vật liệu và kiểu loại: có nhiều kiểu tách ẩm khác nhau

- Loại VIII: Thiết kế đa năng, phù hợp cho dòng khí ngang và đứng.
- Loại XII/XIV: Dùng cho dòng khí thẳng đứng, vận tốc cao.
- Loại XXVII: Chi phí thấp, hiệu quả cao, chuyên dùng polypropylene.
- Loại XXVIII: Tách ẩm nghiêng, kết hợp hiệu quả cao và áp suất thấp.

Các vật liệu sản xuất bao gồm: polypropylene (có/không pha thủy tinh), thép không gỉ, polysulfone và FRP, tùy theo nhiệt độ và tính chất khí thải.

Xịt rửa và chống cấu cặn: Mặc dù có thiết kế chống cặn, khối tách ẩm cần được rửa định kỳ. Các khuyến cáo gồm:

- Lưu lượng xịt: 2.5 m³/h/m²
- Khoảng cách vòi phun: 500 mm
- Áp suất xịt tối thiểu: 2 bar
- Tần suất rửa: 60 giây/giờ

Việc thiết kế phải đảm bảo nước có thể tiếp cận toàn bộ bề mặt tấm chắn chữ V.

Đo lường và đánh giá hiệu suất

Khối tách ẩm được đánh giá bằng công nghệ PDPA (Phase Doppler Particle Analyzer), sử dụng tia laser để đo kích thước và vận tốc giọt lỏng với độ chính xác cao (sai số ±10%). Kết quả PDPA được xác nhận thông qua nghiên cứu độc lập của EPRI.

3.5 Trích dẫn trường hợp điển hình:

Tổng hợp một số kết quả dự kiến sau khi thực hiện các giải pháp nâng cấp tại ba nhà máy nhiệt điện tiêu biểu:

- **Nhà máy NB Quảng Ninh (4×300MW):** Sau nâng cấp, nồng độ bụi ước tính giảm từ ~400 mg/Nm³ xuống <20 mg/Nm³; NO_x từ ~1000 mg/Nm³ xuống ~120 mg/Nm³; SO_x từ ~420 mg/Nm³ xuống <120 mg/Nm³.
- **Nhà máy NB Phả Lại 2 (2×300MW):** Kết quả sau cải tạo dự kiến bụi còn ~20 mg/Nm³, NO_x ~120 mg/Nm³, SO₂ ~120 mg/Nm³, đạt QCVN 19:2024/BTNMT.

- **Nhà máy NB Ung Bí (1×330MW + 1×300MW):** Kết quả sau cải tạo dự kiến bụi còn ~20 mg/Nm³, NO_x ~120 mg/Nm³, SO₂ ~120 mg/Nm³, đạt QCVN 19:2024/BTNMT.

Những ví dụ trên cho thấy việc áp dụng đồng bộ các công nghệ SCR, ESP và FGD cải tiến có thể giúp các nhà máy nhiệt điện than hiện hữu giảm phát thải về mức đáp ứng quy chuẩn môi trường. Mỗi nhà máy có thể có những điều kiện cụ thể khác nhau, tùy vào điều kiện cụ thể thực tế sẽ áp dụng các giải pháp khác nhau, song về tổng thể, bộ giải pháp kỹ thuật này là khả thi và cần được nhân rộng tại các cơ sở nhiệt điện khác của EVN.

4. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ (CONCLUSIONS)

Việc cải tạo, nâng cấp hệ thống xử lý khí thải tại các nhà máy nhiệt điện than của EVN là giải pháp bắt buộc nhằm đáp ứng các quy chuẩn môi trường hiện hành và giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường. Nghiên cứu cho thấy ba trụ cột công nghệ gồm lọc bụi tĩnh điện (ESP), khử NO_x chọn lọc xúc tác (SCR) và khử SO₂ bằng FGD có hiệu quả cao trong việc xử lý các chất ô nhiễm chính. Khi được thiết kế và vận hành đồng bộ, các hệ thống này có thể giảm nồng độ bụi, NO_x, SO₂ trong khói thải xuống dưới giới hạn QCVN 19:2024/BTNMT, đưa các nhà máy nhiệt điện than trở thành nguồn phát thải “hợp chuẩn”. Bài học kinh nghiệm cho thấy cần chú trọng khảo sát kỹ hiện trạng thiết bị để đề xuất giải pháp cải tạo phù hợp cho từng nhà máy, đồng thời chuẩn bị tốt các hạng mục phụ trợ (như kết cấu, đường ống, cấp điện-điều khiển, kho chứa hóa chất) khi tích hợp hệ thống mới vào dây chuyền hiện có. Ngoài ra, công tác vận hành và bảo dưỡng sau nâng cấp đóng vai trò quan trọng: các thiết bị ESP, SCR, FGD cần được giám sát, vệ sinh và bảo trì định kỳ để duy trì hiệu suất xử lý lâu dài, tránh lặp lại tình trạng xuống cấp như trước đây. Trong tương lai, EVN cần tiếp tục đầu tư và tranh thủ các hỗ trợ về tài chính, công nghệ nhằm hiện đại hóa hệ thống xử lý môi trường cho toàn bộ các nhà máy nhiệt điện than. Việc này không chỉ tuân thủ quy định pháp luật mà còn góp phần bảo vệ môi trường sống và thể hiện trách nhiệm của ngành điện đối với phát triển bền vững.

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

1. Zhong Qin, 2002. Coal-fired Flue Gas Desulfurization and Denitrification Technology and Project Example[M]. Beijing Chemical Industry Press.
2. Wu baohui, Cui Li, 2013.SCR Flue Gas Denitrification Control and Optimization in Thermal Power Plants[J]. Thermal Power Generation, 42(10):116-126.
3. Cao Zhiyong, Tan Chengjun, Li jianzhong, 2011. Experiment of Optimization Adjustment for Ammonia Injection of Selective Catalytic Reduction Flue Gas Denitration System in Coal-fired Boiler[J]. Electric Power,44(11):55-58.
4. Deng Yongqiang, Hu jiangjun, Deng Yonghua, 2004. Analysis of Main Influencing Factors of Selective Catalytic Reduction in High Dust Area[J]. Power EnvironmentalProtection, 20(3):28-30.
5. Aaron Larson, 2023, Understanding Selective Catalytic Reduction Systems and SCR Design Considerations.
6. Yingjun RUAN,2004. Analysis On The Fgd Technologies Applied In Thermal Power Plant In China (Environmental Engineering)
7. Radian International LLC, 1996. Electric Utility Engineer's FGD Manual.
8. Ashok Upadhyay, 2020. FGD TECHNOLOGY FOR THERMAL POWER.

9. Afshar-Mohajer, N., Thakker, Y., Wu, C.Y. and SorloaicaHickman, N., 2014. Influence of back electrostatic field on the collection efficiency of an electrostatic lunar dust collector. *Aerosol Air Qual. Res.* 14: 1333–1343.
10. Ando, H., Shiromaru, N. and Mochizuki, Y., 2011. Recent technology of moving electrode electrostatic precipitator. *Int. J. Plasma Environ. Sci. Technol.* 200: 130–134.
11. Zhao, H., He, Y. and Yao, Y. ,2018. Study on brush of moving electrode type electrostatic precipitator (MEEP). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 121: 052024.