

NGHIÊN CỨU XỬ LÝ KHÍ SO₂ TRONG KHÍ THẢI Lò ĐỐT CÔNG NGHIỆP BẰNG PHƯƠNG PHÁP BÁN KHÔ

TS. Phạm Văn Hải, ThS. Ngô Quốc Khánh, KS. Trần Huy Toàn
Viện Nghiên cứu KHKT Bảo hộ lao động

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

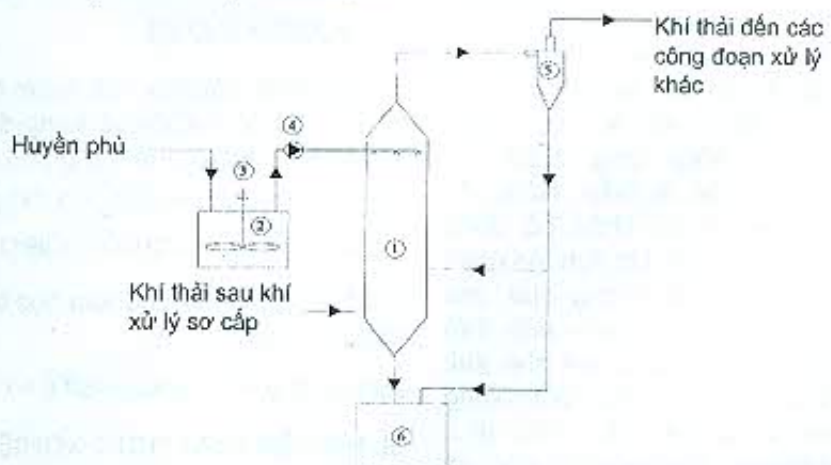
Từ nhiều năm nay, khí SO₂ phát sinh từ các lò đốt công nghiệp được coi là nguồn ô nhiễm luôn được lưu tâm trong công nghiệp, và được coi là tác nhân gây ra hiện tượng mưa axit, phá hủy các công trình xây dựng. Dựa vào sản phẩm sau quá trình xử lý, ta có thể phân ra làm 3 phương pháp xử lý như sau: Phương pháp khô, phương pháp ướt và phương pháp bán khô. Trong các phương pháp này thì phương pháp ướt được sử dụng nhiều nhất do nó có nhiều ưu điểm như hiệu quả cao, dễ vận hành, có thể làm việc liên tục...; Tuy nhiên, phương pháp này vẫn còn tồn tại một số nhược điểm như sử dụng nhiều năng lượng và nguyên liệu; đòi hỏi hệ thống xử lý nước thải sau khi xử lý; dễ đóng cặn trên đường ống cấp dung dịch nếu sử dụng chất kiềm như vôi làm vật liệu hấp thụ.

Bên cạnh đó, do mục tiêu phát triển bền vững, tiết kiệm năng lượng và nguyên, nhiên vật liệu nên phương pháp bán

khô và khô đã dành được nhiều sự quan tâm của các nhà quản lý cũng như kỹ thuật. Tuy vậy, trong hai phương pháp này thì phương pháp bán khô được nghiên cứu nhiều hơn do phương pháp này có những ưu điểm như hiệu suất cao, trở lực thấp, hoạt động liên tục, có thể xử lý khí thải có lẫn bụi....

II. TỔNG QUAN

Về nguyên lý thì phương pháp bán khô tương tự như phương pháp ướt, tuy nhiên do dòng khí thải từ các lò đốt có nhiệt thừa khá cao nên lượng nhiệt này được lợi dụng nhằm bay hơi lượng hơi nước nên sản phẩm sau khi xử lý không phải là nước thải mà là các hạt chất rắn. Huyền phù được phun vào tháp xử lý thông qua hệ vòi phun, các hạt huyền phù này sẽ tương tác với pha khí và SO₂ sẽ bị hấp thụ vào trong huyền phù, sau đó dưới tác dụng của nhiệt thừa trong khí thải sẽ làm bay hơi nước trong các hạt huyền phù. Sơ đồ nguyên lý chung của phương pháp bán khô có thể được mô tả như hình 1:



Hình 1. Sơ đồ công nghệ chung xử lý SO₂ bằng phương pháp bán khô.
1: Tháp hấp thụ SO₂; 2: Thùng chứa huyền phù; 3: Cánh khuấy; 4: Bơm huyền phù; 5: cyclon thu bụi; 6: Thùng chứa chất rắn.

Kết quả nghiên cứu KHCN

- Tháp hấp thụ SO₂ thường là tháp rộng

- Huyền phù thường được sử dụng là Ca(OH)₂, NaOH... tuy nhiên Ca(OH)₂ được dùng nhiều nhất do tính kinh tế và hiệu suất xử lý SO₂ có thể chấp nhận được.

Theo nghiên cứu của tác giả Xiaoxun Ma và cộng sự [3] thì cơ chế hấp thụ SO₂ bằng huyền phù Ca(OH)₂ bao gồm 4 bước: Khuếch tán SO₂ từ pha khí tới bề mặt của hạt huyền phù; Hấp thụ SO₂ trong hạt huyền phù; Phản ứng giữa SO₂ và Ca(OH)₂; Bay hơi nước từ hạt huyền phù.

• **Bước 1: Khuếch tán SO₂ từ pha khí tới bề mặt của hạt huyền phù**

Quá trình khuếch tán này phụ thuộc vào chế độ dòng chảy trong tháp xử lý SO₂, kích thước hạt huyền phù, nồng độ chất rắn trong huyền phù, mức độ tương tác trong tháp xử lý... Dựa trên một số giải thiết như: Các hạt huyền phù là hình cầu; Không có phản ứng trong giai đoạn này; Bỏ qua ảnh hưởng của độ pH trên bề mặt hạt; Với phun làm việc ổn định; Ảnh hưởng hiệu ứng nhiệt do khuếch tán là thấp; Nồng độ pha khí được phân bố đồng đều; Quá trình khuếch tán giảm theo dòng đi xuống của pha lỏng và là một hàm của thời gian khi tiếp xúc với pha khí; Quá trình hấp thụ SO₂ trong nước là hấp thụ vật lý... Amitava Bandyopadhyay và cộng sự [4] đã đưa ra phương trình mô tả tốc độ khuếch tán

của SO₂ từ trong pha khí vào pha nước như sau:

$$R_1 = 2.36 D_{af} D Re^{\frac{1}{2}} Sc^{\frac{1}{3}} C_{\infty} \times \left(D Re^{\frac{1}{2}} Sc^{\frac{1}{3}} + \frac{C'}{C_{\infty}} D' (5.32 \sum_{n=1}^{\infty} \exp\left(-\frac{4\pi^2 n^2 D' t}{D_{af}^2}\right)) \right) \times \left(1 - \frac{D Re^{\frac{1}{2}} Sc^{\frac{1}{3}} + \frac{C'}{C_{\infty}} D' (5.32 \sum_{n=1}^{\infty} \exp\left(-\frac{4\pi^2 n^2 D' t}{D_{af}^2}\right))}{D Re^{\frac{1}{2}} Sc^{\frac{1}{3}} + \frac{RT D_A}{HM_w} D' (5.32 \sum_{n=1}^{\infty} \exp\left(-\frac{4\pi^2 n^2 D' t}{D_{af}^2}\right))} \right) \quad (1)$$

Trong đó R1: Tốc độ khuếch tán (kg/s)

D_{af}: Đường kính của hạt huyền phù *j* (m)

D: Hệ số khuếch tán của SO₂ trong pha khí (m²/s)

D': Hệ số khuếch tán của SO₂ trong pha lỏng (m²/s)

Re: Chuẩn số Renold

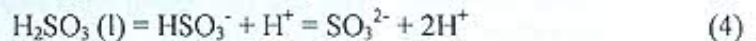
Sc: Chuẩn số Schmidt

C_∞: Nồng độ SO₂ trong pha khí (kg/m³)

C': Nồng độ SO₂ ban đầu trong pha lỏng (kg/m³)

t: Thời gian tiếp xúc (s)

• **Bước 2: Hấp thụ SO₂ trong hạt huyền phù**



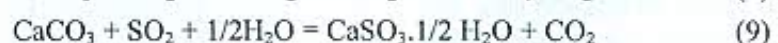
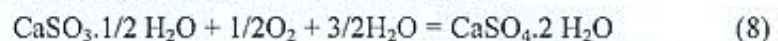
• **Bước 3: Phản ứng giữa SO₂ và Ca(OH)₂**



• **Bước 4: Bay hơi nước từ hạt huyền phù**



Bên cạnh việc bay hơi nước từ hạt huyền phù, Nếu trong pha huyền phù có CaCO₃ và trong dòng khí có dư O₂ và SO₂ thì còn có thể xảy ra các phản ứng phụ như sau:



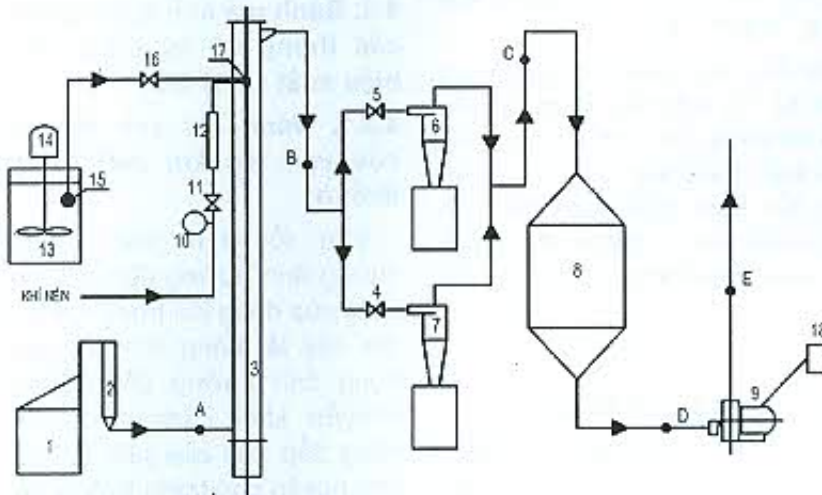
Tổng hợp phản ứng hóa học ta có phản ứng tổng quát của quá trình như sau:



III. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

Để đánh giá, nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số kỹ thuật bao gồm: Vận tốc, áp lực vòi phun và nồng độ huyền phù lên hiệu

xuất xử lý SO₂ bằng phương pháp bán khô, nhóm thực hiện đề tài đã lựa chọn, tính toán và xây dựng sơ đồ giá thí nghiệm với dòng huyền phù và khí thải đi ngược chiều như hình 2:



Hình 2. Sơ đồ giá thí nghiệm xử lý SO₂ bằng phương pháp bán khô.

1: Lò đốt; 2: Buồng khuấy trộn; 3: Thiết bị xử lý; 4, 5: Van; 6, 7: Xyclon; 8: Thiết bị lọc bụi túi vải; 9: Máy thổi khí; 10: Van điều chỉnh áp lực; 11: Van; 12: Lưu tốc kế; 13: Thùng chứa huyền phù; 14: Động cơ khuấy; 15: Bơm huyền phù; 16: Van; 17: Vòi phun huyền phù; 18: Máy biến tần.

3.1. Các thiết bị chính trong giá thí nghiệm:

- Lò đốt than: Kích thước trong là D300x500; W_{max}: 9kg/h
- Buồng hòa trộn khí: Kích thước D300x500
- Vòi phun: Vòi phun khí nén có đường kính vòi phun là 3mm, năng suất phun tối đa của vòi phun là 2kg/h.
- Thiết bị xử lý SO₂: Kích thước D150X1500; Q_{max}= 260 m³/h
- Thiết bị xử lý bụi: Gồm 2 Xyclon có đường kính D80; Thiết bị lọc bụi túi vải kích thước 500x500x800
- Máy thổi khí: Lưu lượng: Q= 200 m³/h; Áp lực: 7000mm H₂O
- Bơm cấp huyền phù: N_{max}: 56 l/h; Áp lực: 5 mH₂O
- Thùng khuấy trộn dung dịch: Kích thước D500x500; Động cơ khuấy N=1,1kW; Tốc độ vòng quay: 20-30 vòng/phút

3.2. Mô tả giá thí nghiệm:

Khí thải từ lò đốt công nghiệp được mô phỏng thông qua lò đốt than (1), sau đó sẽ đi qua buồng khuấy trộn (2), ở đây sẽ có các chất ô nhiễm và nhiệt độ sẽ được điều chỉnh cho phù hợp với điều kiện đầu vào ban đầu. Khí thải sau khi đạt giá trị phù hợp sẽ đi từ dưới lên qua thiết bị xử lý SO₂ (3). Huyền phù Ca(OH)₂

được chứa trong thùng chứa (12) được bơm lên vòi phun (17) nhờ bơm huyền phù (15) và được điều chỉnh lưu lượng thông qua van (16). Khí nén được cung cấp từ máy nén khí đi qua van điều áp (10) và lưu tốc kế (11) trước khi đi vào vòi phun. Huyền phù được phun từ trên xuống và đi ngược chiều với dòng khí trong thiết bị xử lý. Tại đây xảy ra các quá trình xử lý SO₂, sau đó dòng khí thải đi qua hệ thống tách bụi, chất rắn bao gồm 2 xyclon (7) và thiết bị lọc bụi túi vải (8). Dòng khí thải sau khi được tách bụi và chất rắn sẽ đi qua máy thổi khí (9) và đi ra ngoài theo đường ống. Máy thổi khí được điều chỉnh và kiểm soát bởi máy biến tần (18).

3.3. Trang thiết bị đo đặc sử dụng trong giá thí nghiệm

Các thông số trong hệ thống thí nghiệm sẽ được đo đặc thông qua các thiết bị sau:

- Lưu lượng dòng khí thải được xác định thông qua vi áp kế ALNOR AXD 550 và thiết bị đo vận tốc gió Testo 445.
- Nhiệt độ dòng khí thải cũng được xác định tại 4 vị trí theo sơ đồ thí nghiệm A, B, C và D bằng thiết bị đo khí thải trong lò GTH1300 Digital Thermal meter và TESTO 350 XL.
- Tổn thất áp suất qua thiết bị xử lý SO₂, xyclon và lọc bụi túi vải được xác định bằng áp kế chữ U.
- Nồng độ khí thải có chứa SO₂ được xác định tại 4 điểm A, B, C và D theo sơ đồ thí

Kết quả nghiên cứu KHCN

nghiệm thông qua hai thiết bị đo nhanh là Drager MSI Pro2, TESTO 350 XL và 01 thiết bị phân tích trong phòng thí nghiệm là 300 UV-VIS.

- Ngoài ra các khí còn lại như CO₂, CO, NO_x cũng được xác định tại 4 vị trí trên thông qua thiết bị TESTO 350 XL.

- Hàm lượng bụi: Nồng độ bụi tại đầu vào (Điểm A) và đầu ra (Điểm D) được xác định thông qua bộ lấy mẫu bụi trong đường ống với bơm Casella. Ngoài ra, Đề tài cũng xác định lượng bụi ở đáy thiết bị xử lý và đáy cyclon để biết được lượng bụi thứ cấp sinh ra. Bên cạnh đó, đề tài cũng tiến hành phân tích dải kích thước hạt chất rắn trong dung dịch huyền phù và hạt bụi thu được sau thiết bị xử lý bằng thiết bị Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer LA-950.

IV. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

4.1. Kết quả đo đặc vận tốc và trở lực qua thiết bị xử lý

Các chế độ về vận tốc và lưu lượng dòng khí thải được kiểm soát và điều chỉnh nhờ máy biến tần được đo đạc và thể hiện như bảng 1.

Bảng 1. Mối quan hệ giữa tần số và vận tốc/lưu lượng, trở lực

| Tần số (Hz) | V _{K,KL} (kg/m ² /s) | Q _K (kg/h) | ΔP | | |
|-------------|--|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | | | ΔP _{AB} (mmH ₂ O) | ΔP _{Bc} (mmH ₂ O) | ΔP _{CD} (mmH ₂ O) |
| 20 | 0.90 | 57.42 | 20 | 64 | 60 |
| 30 | 1.42 | 90.23 | 30 | 72 | 70 |
| 40 | 2.00 | 131.24 | 50 | 130 | 110 |
| 50 | 2.58 | 164.05 | 70 | 200 | 170 |

4.2. Số liệu thí nghiệm

Kết quả thí nghiệm với 3 thông số kỹ thuật Vận tốc (V_{K,KL}), áp lực vòi phun (p_K) và nồng độ huyền phù (C_{Ca(OH)₂}) được thể hiện như trong bảng 2.

Sử dụng phần mềm Modde 5.0 để xử lý số liệu thực nghiệm ta xây dựng được phương trình hồi qui mô tả thực nghiệm như sau:

$$\eta_{SO_2} = -948C_{Ca(OH)_2}^2 - 26,5V_{K,KL}^2 - 3560p_K^2 + 35C_{Ca(OH)_2}V_{K,KL} + 405,4C_{Ca(OH)_2} + 104,8V_{K,KL} + 1240,4p_K - 175,68 \quad (11)$$

Từ phương trình hồi qui mô tả mối quan hệ giữa các thông số kỹ thuật với hiệu suất xử lý SO₂ trong khí thải lò đốt công nghiệp bằng phương pháp bán khô ta có thể thấy: Quá trình xử lý SO₂ tốt nhất tại nồng độ dung dịch huyền phù là 0,25 kg/kg; vận tốc khí thải theo khối lượng trong thiết bị xử lý là 2,00 kg/m²/s, và áp lực

vòi phun là 0,17 MPa, tại đây, hiệu suất xử lý SO₂ đạt giá trị cao nhất khoảng 95,1 %.

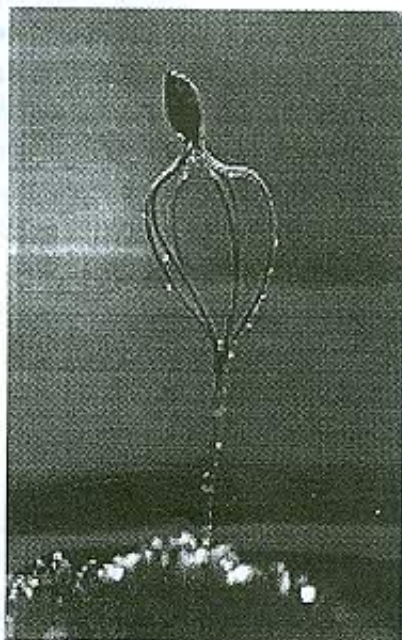
4.3. Đánh giá ảnh hưởng của các thông số kỹ thuật đến hiệu suất xử lý SO₂

4.3.1. Đánh giá ảnh hưởng của vận tốc khí thải trong thiết bị

Vận tốc khí thải không những ảnh hưởng đến chế độ chảy của dòng khí trong thiết bị mà đây là thông số rất quan trọng ảnh hưởng đến hệ số chuyển khối cũng như khả năng tiếp xúc của pha khí và pha huyền phù trong thiết bị xử lý SO₂.

Ảnh hưởng của vận tốc khí thải lên hiệu suất xử lý SO₂ trong khí thải lò đốt công nghiệp bằng phương pháp bán khô được thể hiện như hình 3.

Khi vận tốc theo khối lượng là 1,42 kg/m²/s tương ứng với



chế độ chảy quá độ ($Re = 8000$) thì hiệu suất thấp, trong khi ở chế độ chảy rối ($Re = 11680$) trong tháp thì hiệu suất lại tăng. Nhưng khi vận tốc khối lượng trong tháp là $2,58 \text{ kg/m}^2/\text{s}$ ($Re = 14600$) thì hiệu suất lại giảm do các hạt dung dịch khi vừa ra khỏi vòi phun đã bị cuốn ra ngoài theo dòng khí và không đủ thời gian phản ứng với SO_2 trong thiết bị xử lý.

Bảng 2. Bảng số liệu kết quả thí nghiệm

| Chế độ | V_{K_KL} ($\text{kg/m}^2/\text{s}$) | $C_{\text{Ca(OH)}_2}$ (kg/kg) | P_K (MP_a) | η_{SO_2} (%) |
|--------|---|---|----------------------------|-----------------------------|
| 1 | 1,42 | 0,10 | 0,1 | 40.90 |
| 2 | | | 0,15 | 60.25 |
| 3 | | | 0,2 | 57.59 |
| 4 | | 0,20 | 0,1 | 62.86 |
| 5 | | | 0,15 | 76.76 |
| 6 | | | 0,2 | 78.65 |
| 7 | | 0,30 | 0,1 | 61.44 |
| 8 | | | 0,15 | 81.09 |
| 9 | | | 0,2 | 75.57 |
| 10 | 2,00 | 0,10 | 0,1 | 57.71 |
| 11 | | | 0,15 | 74.82 |
| 12 | | | 0,2 | 73.05 |
| 13 | | 0,20 | 0,1 | 72.54 |
| 14 | | | 0,15 | 88.60 |
| 15 | | | 0,2 | 88.70 |
| 16 | | 0,30 | 0,1 | 68.18 |
| 17 | | | 0,15 | 89.82 |
| 18 | | | 0,2 | 92.24 |
| 19 | 2,58 | 0,10 | 0,1 | 44.35 |
| 20 | | | 0,15 | 65.80 |
| 21 | | | 0,2 | 74.49 |
| 22 | | 0,20 | 0,1 | 66.91 |
| 23 | | | 0,15 | 86.30 |
| 24 | | | 0,2 | 84.44 |
| 25 | | 0,30 | 0,1 | 62.27 |
| 26 | | | 0,15 | 85.67 |
| 27 | | | 0,2 | 85.61 |

4.3.2. Đánh giá ảnh hưởng của nồng độ huyền phù

Nồng độ huyền phù ảnh hưởng đến lượng Ca(OH)_2 hữu dụng tham gia phản ứng với SO_2 trong khí thải, bên cạnh đó nó cũng ảnh hưởng đến mật độ hạt huyền phù xử lý và độ chuyển khối khí pha khí và pha huyền phù tương tác với nhau trong thiết bị.

Ảnh hưởng của nồng độ huyền phù lên hiệu suất xử lý SO_2 trong khí thải lò đốt công nghiệp bằng phương pháp bán khô được thể hiện như hình 4.

Khi nồng độ dung dịch càng tăng thì hiệu suất xử lý SO_2 cũng tăng lên. Tuy nhiên, khi nồng độ dung dịch tăng từ 0,20 đến 0,30 kg/kg thì hiệu suất xử lý SO_2 tăng lên không đáng kể do lượng SO_2 đã phản ứng bão hòa với Ca(OH)_2 . Khi nồng độ tăng lên thì nồng độ chất hấp thụ Ca(OH)_2 trong các hạt dung dịch sẽ tăng lên và làm tăng hiệu quả phản ứng và tăng hiệu suất xử lý SO_2 .

4.3.3. Đánh giá ảnh hưởng của áp lực vòi phun

Áp lực vòi phun là một trong những thông số ảnh hưởng đến kích thước hạt huyền phù, vận tốc hạt huyền phù từ vòi phun, đây là những thông số có ảnh hưởng đến hệ số chuyển khối, tốc độ chuyển khối và bề mặt tương tác giữa pha khí và huyền phù (hình 5).

Khi áp lực vòi phun tăng lên thì kích thước của các hạt dung dịch huyền phù sẽ giảm đi và nó làm tăng diện tích bề mặt

Kết quả nghiên cứu KHCN

riêng của các hạt dung dịch. Do vậy khi áp lực vòi phun tăng lên làm diện tích bề mặt của các hạt dung dịch tăng lên sẽ làm tăng khả năng xử lý SO₂ trong khí thải. Tuy nhiên, khi áp lực vòi phun tăng lên thì các hạt chất lỏng lại dễ dàng bị cuốn đi và không tham gia phản ứng xử lý SO₂ trong tháp và làm hiệu suất xử lý SO₂ giảm.

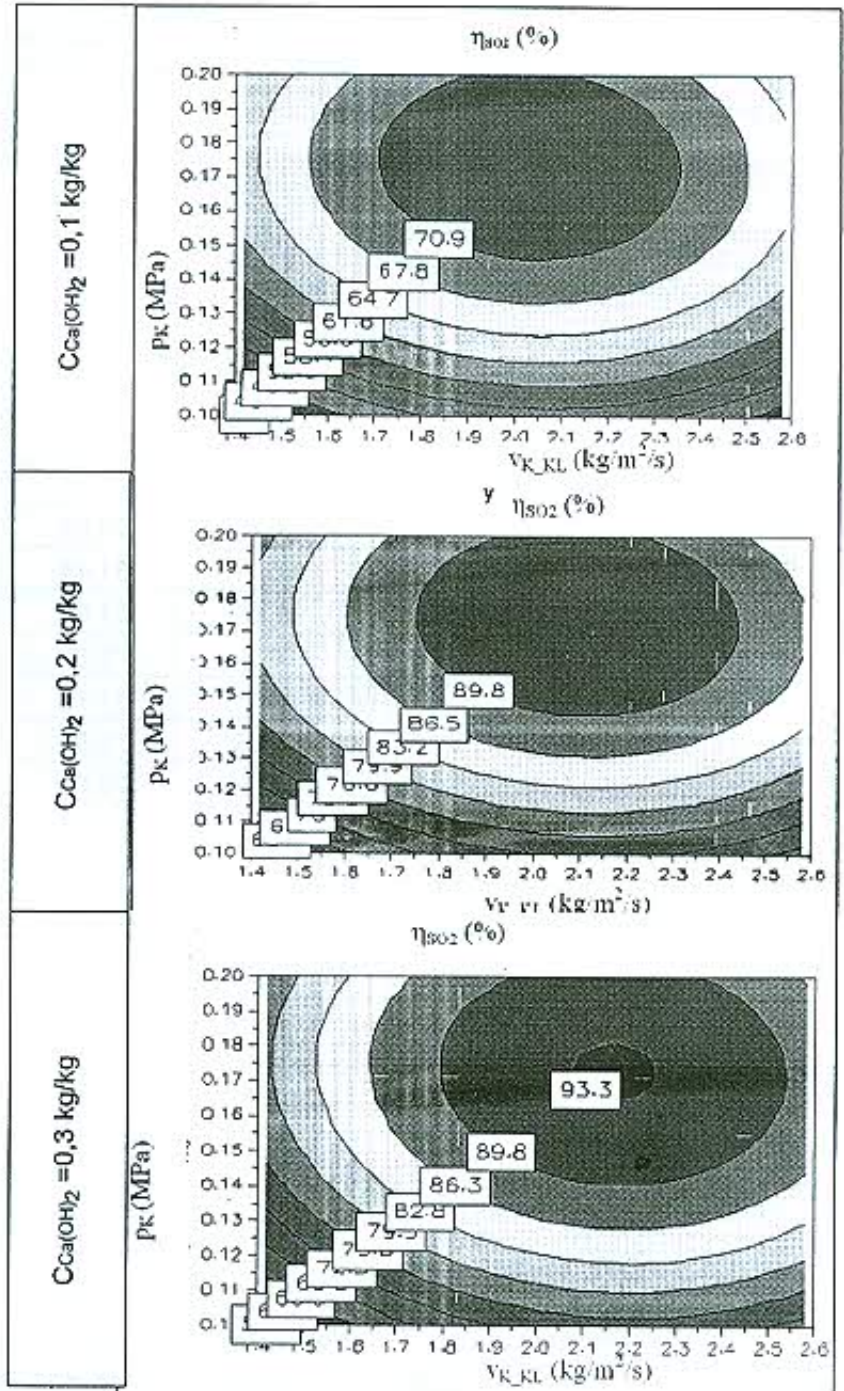
Kết luận

Phương trình mô tả mối quan hệ giữa hiệu suất xử lý SO₂ vào một số thông số kỹ thuật được mô tả như công thức (12).

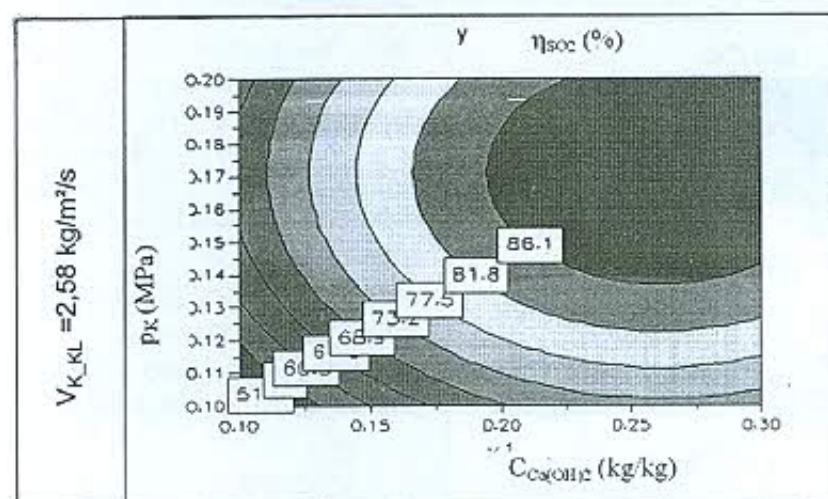
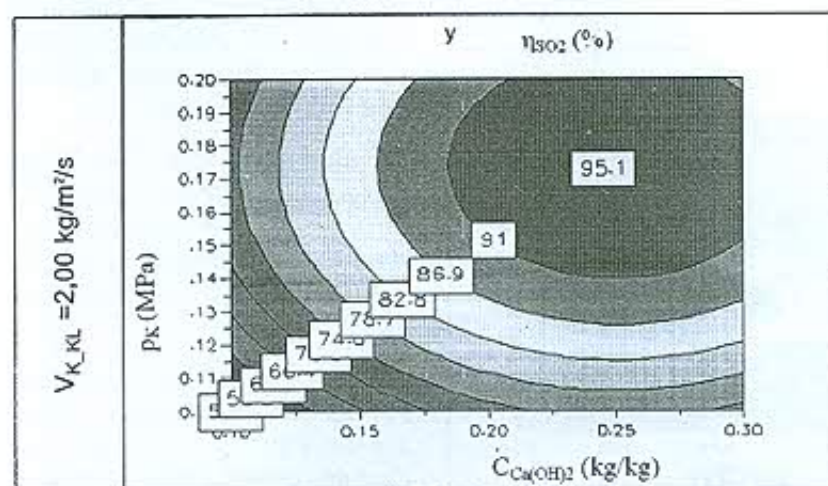
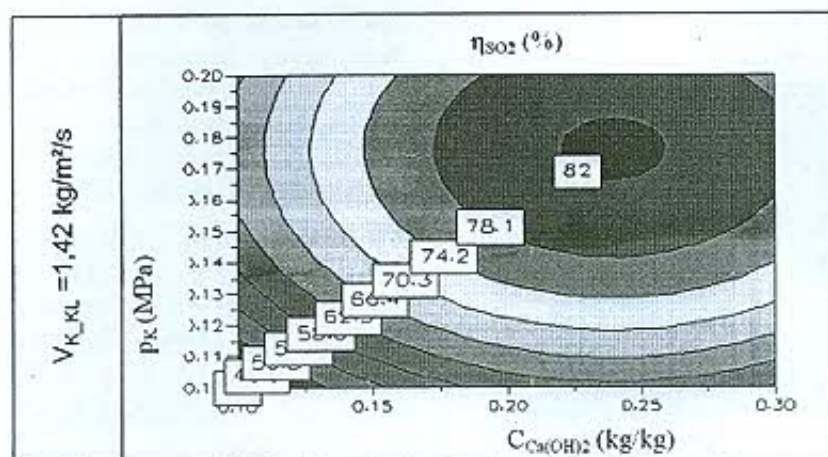
Căn cứ vào phương trình hồi qui thì chế độ vận hành tối ưu của thiết bị xử lý SO₂ bằng phương pháp bán khô là: Vận tốc khí: 2,0 kg/m²/s; Nồng độ huyền phù: 0,25 kg/kg; Áp lực vòi phun: 0,17MPa, khi đó hiệu suất xử lý SO₂ có thể đạt 95,1%. Tại chế độ này nồng độ SO₂ thấp nhất trong khí thải lò đốt công nghiệp sau khi xử lý bằng phương pháp bán khô và thải ra ngoài môi trường đạt 56 ppm (tương đương 158 mg/m³) thấp hơn giá trị cho phép trong QCVN 19:2009/BTNMT là 500 mg/m³ đối với cơ sở sản xuất, chế biến, kinh doanh, dịch vụ công nghiệp hoạt động kể từ ngày 16 tháng 01 năm 2007 và các cơ sở sản xuất, chế biến, kinh doanh, dịch vụ công nghiệp với thời gian áp dụng kể từ ngày 01 tháng 01 năm 2015.

Mặc dù kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng phương pháp bán

$$\eta = -948 C_{Ca(OH)_2}^2 - 26,5 v_{K,KL}^2 - 3568 p_K^2 + 35 C_{Ca(OH)_2} v_{K,KL} + 405,4 C_{Ca(OH)_2} + 104,6 v_{K,KL} + 1240,4 p_K - 175,68 \quad (12)$$



Hình 3. Ảnh hưởng của vận tốc khí thải lên hiệu quả xử lý SO₂



Hình 4. Ảnh hưởng của nồng độ huyền phù lên hiệu quả xử lý SO_2

khô là một phương pháp có nhiều hứa hẹn, tuy nhiên vẫn còn tồn tại một số vấn đề sau:

- Điều khiển vòi phun là một quá trình phức tạp, căn cứ vào nhiệt độ đầu vào và đầu ra của khí thải mà điều chỉnh lưu lượng huyền phù phun vào thiết bị xử lý.

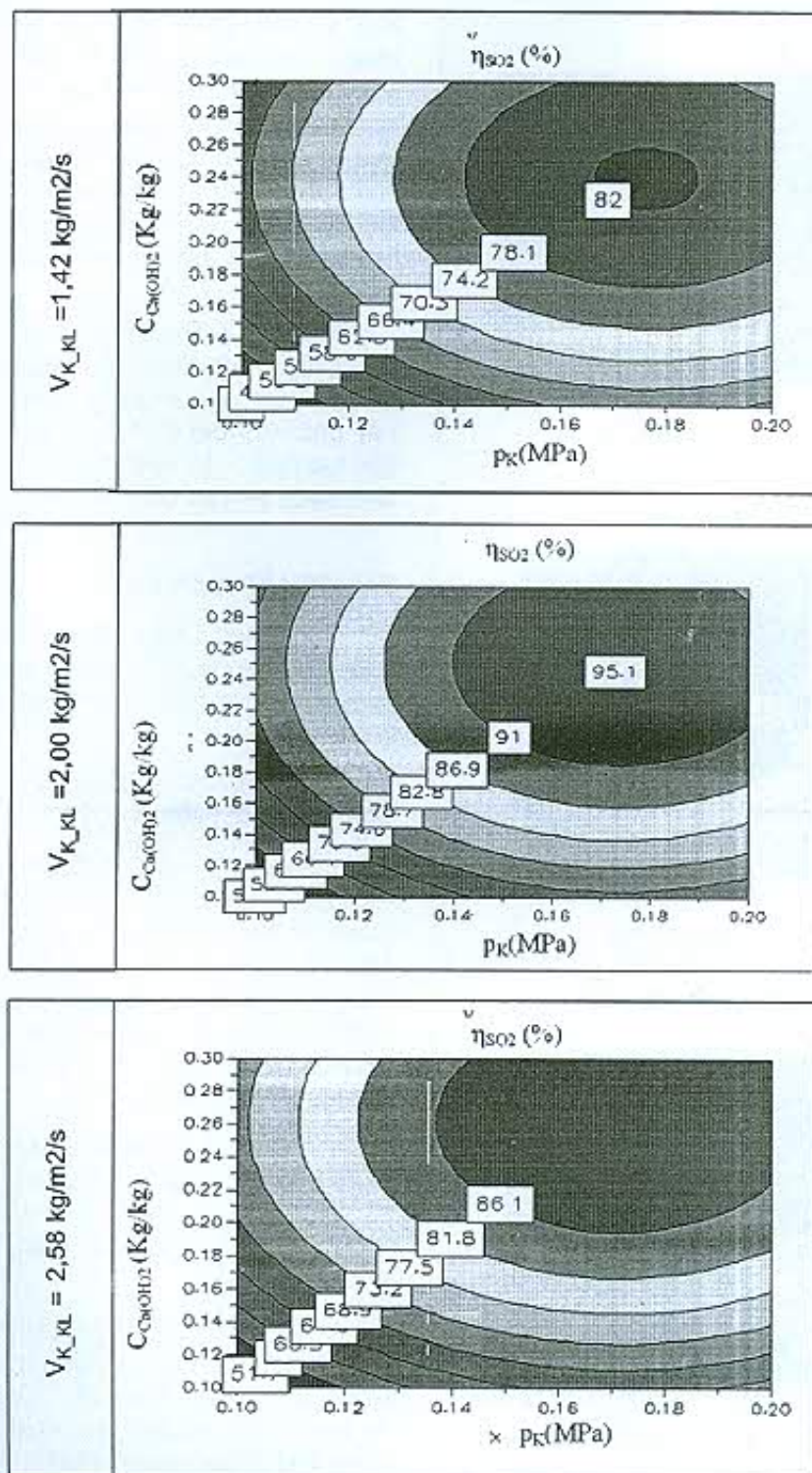
- Huyền phù $Ca(OH)_2$ rất dễ đóng cặn trong điều kiện nhiệt độ cao, do vậy phương pháp này phù hợp qui trình làm việc liên tục hoặc cần phải được vệ sinh sạch sẽ sau khi làm việc.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trần Ngọc Chấn, Ô nhiễm không khí và xử lý khí thải, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, 2001.
- [2]. Trần Văn Phú, Kỹ thuật sấy, Nhà xuất bản Giáo dục, 2008.
- [3]. Xiaoxun Ma, Takao Kaneko, Tsutomu Tashimo, Tadashi Yoshida, Kunio Kato, Use of limes for SO_2 removal from fuel gas in the semidry FGD process with powder-particle spouted bed, Chemical Engineering Science, 2000.
- [4]. Amitava Bandyopadhyay, Manindra N. Biswas, Modeling of scrubbing in spray towers, Science of total Environment, 2007.
- [5]. G. Krammer, Ch. Brunner, J. Khinast, C. Stadinger, Reaction of $Ca(OH)_2$ with SO_2 at low temperature, Industrial Chemical Engineering, 1997.

[6]. Peter Dybdahl Hede, Poul

Kết quả nghiên cứu KHCN



Hình 5. Ảnh hưởng của áp lực vòi phun lên hiệu quả xử lý SO_2

Bach, Anker D. Jensen, *Two-fluid spray atomization and pneumatic nozzles for fluid bed coating/agglomeration purpose: A review*, Chemical Engineering Science, 2008.

[7]. H.H.Hausner, H.W.Antes, G.D.Smith(Eds.), *Modern Developments in Powder Metallurgy*, Metal Powder Industries Federation, Princeton, N.J., 1981.

[8]. United states Environmental Protection Agency, *Air pollution control technology fact sheet*, EPA – 452/F-03-034, 2000.

[9]. Gutierrez Ortiz, F.J, Ollero P, *A pilot plant technical assessment of an advanced In-duct Desulfurization process*, Journal of Hazard Material, 2001.

[10]. Gutierrez Ortiz, F.J, Ollero P, *Fuel gas Desulfurization in an advanced In-duct Desulfurization process*, Journal of Hazard Material, 2003.

[11]. Yuegui Zhou, etc., *Study on a Novel Semidry Flue Gas Desulfurization with Multifluid Alkaline Spray Generator*, Industrial and Engineering Chemistry Research, 2005.

[12]. Xiayun Lui, etc, *Simultaneous Removal of SO_2 and Small Particles in a Multistage Spouted Fluidized Tower*, Energy Fuel, 2006.