

# THIẾT KẾ, CHẾ TẠO VÀ VẬN HÀNH HỆ THỐNG KHỬ KHÍ $NO_x$ TRONG DÂY CHUYỀN SẢN XUẤT XI MĂNG Ở VIỆT NAM

## DESIGN, MANUFACTURE AND OPERATION OF $NO_x$ DEODORIZATION SYSTEM IN CEMENT PRODUCTION CHAIN IN VIET NAM

TS. Vũ Văn Khoa, Lê Ngọc Lan, Phạm Xuân Trường, Nguyễn Đăng Định  
Viện Nghiên cứu Cơ khí

### TÓM TẮT

*Bài báo trình bày về nghiên cứu, thiết kế, chế tạo và đưa vào vận hành hệ thống khử khí  $NO_x$  trong dây chuyền sản xuất xi măng ở Việt Nam.*

*Trong quá trình sản xuất xi măng, khi nhiên liệu bị đốt cháy, chất ô nhiễm phát ra trong khí thải, một trong các chất ô nhiễm chính là  $NO_x$  khi phát thải ra,  $NO_x$  phản ứng với các thành phần có ở bầu khí quyển để tạo ra ô-zôn ( $O_3$ ). Ngoài ra, một sản phẩm khác tạo ra trong quá trình đốt cháy, chẳng hạn như Axit Ni-tơ-ric ( $HNO_3$ ) phản ứng với các chất trong không khí tạo ra hiện tượng mưa A-xit, điều đó ảnh hưởng đến con người, cây cối và các loại động vật trong khu vực bị ô nhiễm.*

*Để giảm phát thải khí  $NO_x$  trong dây chuyền sản xuất xi măng có nhiều phương pháp. Tuy nhiên, công nghệ xử lý không khí lần  $NO_x$  bằng xúc tác có lựa chọn (SNCR) có nhiều ưu điểm.*

*Nhóm nghiên cứu của Viện Nghiên cứu Cơ khí thực hiện nghiên cứu, thiết kế chế tạo và đưa vào vận hành hệ thống khử khí  $NO_x$  bằng công nghệ SNCR tại dây chuyền sản xuất xi măng ở Việt Nam.*

**Từ khóa:** *Vận hành hệ thống khử khí  $NO_x$  trong dây chuyền sản xuất xi măng.*

### ABSTRACT

*This article shows research, design, manufacture and operation to  $NO_x$  Deodorization System in Cement Production Chain in Vietnam. In cement production process, combustible flaming causes air pollution. One of polluted substance is  $NO_x$ . When emitted,  $NO_x$  contact with substance in terrestrial atmosphere to create  $O_3$ . In addition, there are other substances during flaming. For instance,  $HNO_3$  contact with substances in atmosphere which causes acid rain. Acid rain has negative effect to human life, plants and animals in concerned areas. There are many methods to reduce  $NO_x$  in cement production chain. However, a new  $NO_x$  processing technology called Selective non-catalytic reduction (SNCR) has many advantages. Our research group from NARIME implement research, design, manufacture and put SNCR technology into operation in cement production chain in Vietnam.*

**Keywords:** *Operation to  $NO_x$  Deodorization System in Cement Production Chain.*

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Theo Quyết định số 432/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt Chiến lược Phát triển bền vững Việt Nam giai đoạn 2011-2020; Theo qui chuẩn kỹ thuật quốc gia QCVN 23:2009/BTNMT về khí thải công nghiệp sản xuất xi măng [TL 1], lượng Ôxít-Nitơ ( $\text{NO}_x$ ) thoát ra ngoài không khí cho phép không được vượt quá  $800\text{mg}/\text{Nm}^3$ , ở nhiệt độ  $25^\circ\text{C}$ . Ngoài ra, hiện tại Việt Nam đã và đang hội nhập ngày càng sâu rộng với thế giới và là một nước thành viên của Liên hợp quốc đã ký các công ước quốc tế về giảm phát thải. Do vậy, trong tương lai gần, Việt Nam sẽ phải tuân thủ các qui định về lượng phát thải, trong đó có qui định về lượng chất phát thải trong các dây chuyền sản xuất xi măng.

Hiện tại, có một số phương pháp để giảm phát thải khí  $\text{NO}_x$  trong các dây chuyền sản xuất xi măng, ví dụ như: Thiết kế cải tạo hệ thống điều hoà khí khói ở khu vực máy nghiền liệu, tháp điều hoà, tháp trao đổi nhiệt, vôi đốt, công nghệ xử lý khí xúc tác có lựa chọn (SCR), công nghệ xử lý khí không xúc tác có lựa chọn (SNCR).v.v. [TL 2] trong đó công nghệ SNCR là kỹ thuật căn bản để giảm phát thải khí  $\text{NO}_x$  trong các dây chuyền sản xuất xi măng đã được hầu hết các nước ở khu vực châu Âu sử dụng.

Nhóm nghiên cứu thuộc Viện Nghiên cứu Cơ khí đã áp dụng thành công một hệ thống khử khí  $\text{NO}_x$  cho 2 dây chuyền sản xuất xi măng của Công ty Xi măng Nghi Sơn.

## 2. GIỚI THIỆU CÔNG NGHỆ XỬ LÝ KHÍ $\text{NO}_x$ TRONG DÂY CHUYỀN SẢN XUẤT XI MĂNG (SNCR).

Trong công nghệ sản xuất xi măng, đòi hỏi cần các điều kiện nhiệt độ và mức độ ô xi

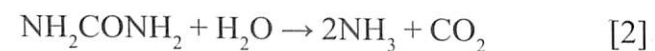
hoá ở mức rất cao, trong quá trình đó sinh ra một lượng khí  $\text{NO}_x$  rất lớn tính trên đơn vị clanhke sản xuất ra. Lượng khí  $\text{NO}_x$  nếu không được xử lý trước khi thải ra ngoài sẽ ảnh hưởng rất lớn đến môi trường và điều kiện sống xung quanh.

### 2.1. Công nghệ xử lý khí $\text{NO}_x$ dùng xúc tác có lựa chọn SNCR

Công nghệ xử lý khí không xúc tác có lựa chọn (SNCR) áp dụng trong dây chuyền sản xuất xi măng hiện tại là công nghệ phun dung dịch A-mô-ni-ắc ( $\text{NH}_3$ ) hoặc U-rê ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ). Phản ứng của A-mô-ni-ắc ( $\text{NH}_3$ ) hoặc U-rê với khí  $\text{NO}_x$  tạo thành hơi nước ( $\text{H}_2\text{O}$ ) và khí Ni-tơ ( $\text{N}_2$ ). Khi sử dụng A-mô-ni-ắc, dung dịch được phun trực tiếp vào trong đường ống ở một vài vị trí và cao độ mà tại đó nhiệt độ khí khói xấp xỉ từ  $900^\circ - 1000^\circ\text{C}$ . Phản ứng xảy ra theo phương trình sau:



Khi sử dụng dung dịch U-rê, vị trí đặt vòi phun cũng tương tự như phun dung dịch A-Mô-Ni-Ắc, và công nghệ sử dụng dung dịch U-rê đơn giản và an toàn hơn. Phản ứng xảy ra theo như phương trình [2] dưới đây:

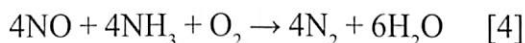


Trong quá trình phun dung dịch  $\text{NH}_3$  hoặc U-rê, trong khí khói xuất hiện a-mô-ni-ắc, số lượng A-mô-ni-ắc có thể giảm thông qua quá trình điều chỉnh, nhưng không thể loại bỏ hết được. Ở nhiệt độ cao, A-mô-ni-ắc tạo ra gốc  $\text{NH}_2$ , đó là kết quả phản ứng giữa A-mô-ni-ắc với gốc Hy-đrô-xin và gốc Ô-xy-gen mà các gốc phân tử tự do này được tạo ra trong dòng khí nóng bởi các phản ứng khác nhau. Gốc phân tử tự do  $\text{NH}_2$  chuyển đổi thành phần Mô-nô-xit Ni-tơ thành phân tử Ni-tơ theo

phản ứng [3] dưới đây:



Phương trình phản ứng tổng quát của A-mô-ni-ác trong khí khói như ở phương trình [4] dưới đây:



Việc khử khí NO<sub>x</sub> bằng A-mô-ni-ác hoặc U-rê dựa trên rất nhiều phản ứng riêng phần, cân bằng phản ứng hoá học được quyết định bởi nhiệt độ và nồng độ của chất phản ứng. Do vậy, với lượng phun theo lý thuyết hoá học lượng pháp, quan hệ giữa A-mô-ni-ác và NO<sub>x</sub>, NO không thể loại bỏ hết được. Hơn nữa một vài chất khử tạo ra NH<sub>3</sub> từ các phản ứng.

Với một tỉ lệ khử Mô-nô-xit Ni-tơ lớn nhất dẫn tới hạ thấp lượng phát thải NH<sub>3</sub> và NO<sub>x</sub>, nhiệt độ phản ứng nằm trong khoảng 950 – 1050 °C. Do vậy, trong thiết kế bố trí đặt vòi phun cần có sự khảo sát đo và tính toán nhiệt độ để tính toán vị trí đặt vòi phun tại điểm gần nhất với nhiệt độ phản ứng tối ưu.

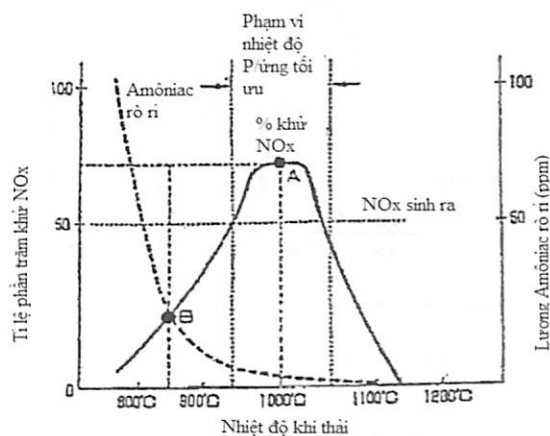
## 2.2. Các yếu tố chính ảnh hưởng đến phản ứng khử Ôxít Nitơ

### + Nhiệt độ khí

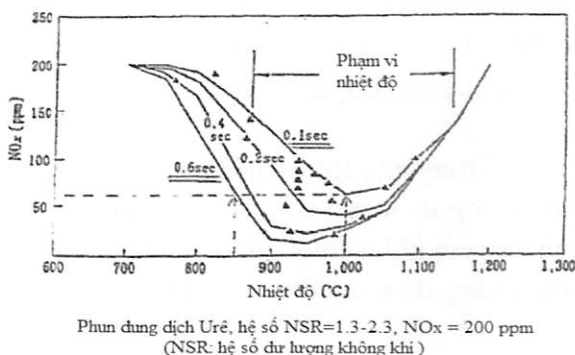
Sự tương quan giữa nhiệt độ khí thải và khả năng khử NO<sub>x</sub> được chỉ ra ở hình 1. Nhiệt độ khí tối ưu cho quá trình này nằm trong khoảng 950 ~ 1.050 °C, nhiệt độ mà ở đó quá trình phản ứng khử NO<sub>x</sub> được quan sát là 800 °C ~ 1.150 °C. Phạm vi dao động nhiệt độ tối ưu nằm trong khoảng hẹp và điều đó trở nên quan trọng để cung cấp lượng dung dịch urê tương ứng với phạm vi nhiệt độ đó.

### + Thời gian phản ứng:

Như chỉ ra ở Hình 2, nhiệt độ khí càng thấp thì thời gian phản ứng càng kéo dài. Với ví dụ rằng, nhiệt độ khí là 1.000°C, yêu cầu thời gian phản ứng là hơn 0.2 giây và ở nhiệt độ 850°C, thì thời gian phản ứng là hơn 0.6 giây.



Hình 1. Quan hệ giữa nhiệt độ khí và tỉ lệ khử NO<sub>x</sub>

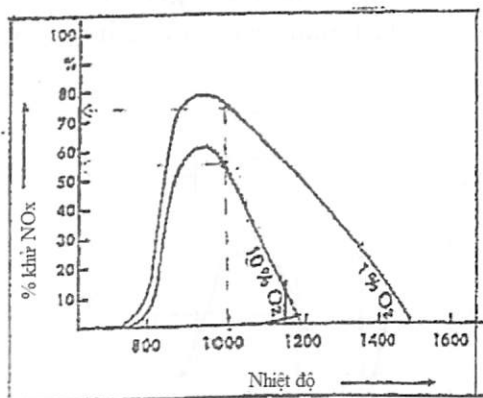


Hình 2. Quan hệ nhiệt độ khí so với tỉ lệ khử NO<sub>x</sub>

### + Hàm lượng ôxy:

Như chỉ ra ở phương trình [4], ôxy là cần thiết cho phản ứng xảy ra. Tuy nhiên, như được chỉ ra ở Hình 4, trong trường hợp hàm lượng ôxy cao hơn 10% so sánh với trường hợp hàm lượng ôxy cao hơn 1% so với yêu cầu thì mức độ khử NO<sub>x</sub> ở trường hợp hàm lượng ôxy cao hơn 10% so với yêu cầu nhỏ hơn với trường

hợp 1%. Theo kinh nghiệm qua khảo sát, hàm lượng oxy tại vị trí phun dung dịch urê từ 2 ~ 5% và cần nhắc đến vận hành lò quay mà ảnh hưởng vận hành lò quay đến hàm lượng oxy là tương đối nhỏ.



Hình 3. Hàm lượng oxy so với mức độ khí NO<sub>x</sub>

+ *Nồng độ của dung dịch urê:*

Đối với nồng độ dung dịch urê, kết quả của phép thử so sánh nhanh giữa nồng độ 40% và 20% cho thấy ở nồng độ dung dịch urê 20% có kết quả khử NO<sub>x</sub> tốt hơn.

Trong phương pháp khử NO<sub>x</sub> bằng cách phun dung dịch urê thì yếu tố hòa trộn dung dịch này với khí là một nhân tố quan trọng hơn so với nồng độ dung dịch chất khử.

### 3. THIẾT KẾ, CHẾ TẠO VÀ ĐƯA VÀO VẬN HÀNH HỆ THỐNG XỬ LÝ KHÍ NO<sub>x</sub> CHO NHÀ MÁY XI MĂNG NGHI SƠN

Dây chuyền công nghệ do nhóm nghiên cứu thuộc Viện Nghiên cứu Cơ khí thiết kế đã triển khai áp dụng cho Nhà máy Xi măng Nghi Sơn, sử dụng công nghệ SNCR sử dụng urê chất khử. Do vậy, trong bài báo này, tác giả tập trung vào giới thiệu và phân tích hệ thống SNCR sử dụng chất khử là U-rê và kết quả đạt được khi áp dụng vào nhà máy xi măng Nghi Sơn.

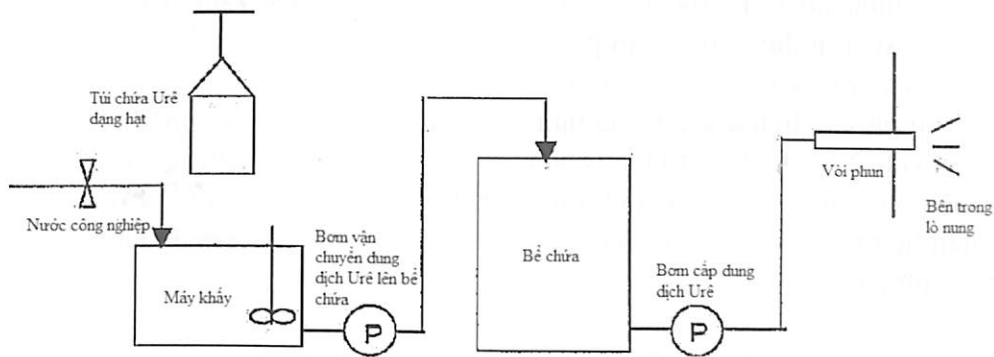
### 3.1. Các thông số chính dây chuyền sản xuất xi măng tại Công ty Xi măng Nghi Sơn

Nhà máy Xi măng Nghi Sơn hiện tại có 2 dây chuyền sản xuất xi măng, dây chuyền thứ 1 và thứ 2 có công suất lần lượt 1,8 triệu tấn/năm, và 2,15 triệu tấn/năm [TL 6]. Công nghệ sản xuất của cả hai dây chuyền là công nghệ xi măng lò quay kiểu khô có tháp trao đổi nhiệt. Theo qui định của Châu Âu, thông thường với công nghệ xi măng lò quay kiểu khô có tháp trao đổi nhiệt thì lượng khí NO<sub>x</sub> phát thải ra cho phép khoảng 1,8 kg/ tấn Clanhke [TL 5], với chỉ tiêu như vậy, trung bình mỗi năm nhà máy xi măng Nghi Sơn chỉ được phép thải ra môi trường nhỏ hơn 4.860 tấn khí NO<sub>x</sub> (9000 tấn Clanhke/ngày x 300 ngày/ năm x 1.8 kg/ tấn clanhke).

Theo thực tế đo được tại ống khói đầu ra tháp trao đổi nhiệt khi chưa đưa vào sử dụng hệ thống khử NO<sub>x</sub> thì lưu lượng khí thoát ra ở dây chuyền 1 và 2 tương ứng là 615.960 Nm<sup>3</sup>/h, và 558.540 Nm<sup>3</sup>/h, tương ứng với nồng độ khí NO<sub>x</sub> chưa xử lý đo được từ thiết bị phân tích khí là 1130ppm (2124mg/Nm<sup>3</sup>) và 875 ppm (1645 mg/Nm<sup>3</sup>), với số lượng đo đạc tại Nhà máy. Như vậy, mỗi năm nhà máy xi măng Nghi Sơn phát thải ra ngoài vào khoảng 16.037 tấn khí NO<sub>x</sub>, gấp 3.3 lần qui định cho phép của Châu Âu.

### 3.2. Xây dựng hệ thống xử lý khí NO<sub>x</sub> cho dây chuyền sản xuất xi măng

Trước thực trạng phát thải như vậy, và cùng với quyết tâm theo đuổi mục tiêu mà Công ty Xi măng Nghi Sơn đã cam kết với Chính phủ Việt Nam về phát triển bền vững. Công ty Xi măng Nghi Sơn đã chọn đối tác là Viện Nghiên cứu Cơ khí thực hiện dự án thiết bị khử NO<sub>x</sub>, đây là lần đầu tiên một đơn vị sản xuất xi măng thực hiện đầu tư một hệ thống công nghệ khử khí NO<sub>x</sub> ở Việt Nam.



Hình 4. Sơ đồ công nghệ hệ thống khử  $NO_x$

Độ hòa tan và nồng độ dung dịch urê được thể hiện trong Bảng 1. Nồng độ của dung dịch là 34%, ở nhiệt độ nước 20°C. Đặc biệt, trong mùa đông, do nhiệt độ giảm cần phải chú ý đến hiện tượng kết tủa của urê. Nồng độ dung dịch urê được qui định là 29%.

Bảng 1. Độ hòa tan và nồng độ của dung dịch Urê:

Nhiệt độ nước (°C)	0	10	20	30	40	50
Độ hòa tan trong nước (g/100g)	40.0	45.7	51.9	57.2	62.3	67.2
Nồng độ của dung dịch (% trọng lượng)	29	31	34	36	38	40

### 3.3. Tính toán, thiết kế chế tạo, lắp đặt và vận hành hệ thống thiết bị

Căn cứ vào các thông số về lưu lượng khí thải, hàm lượng khí  $NO_x$  có trong khí thải của Nhà máy Xi măng Nghi Sơn, nhóm nghiên cứu đã tính toán, thiết kế, chế tạo hệ thống thiết bị và lắp đặt khảo nghiệm, đồng thời đưa vào hoạt động (trong giới hạn bài báo, chúng tôi không thể đưa hết các tài liệu trên vào). Dưới đây, là một số hình ảnh của hệ thống thiết bị trên:



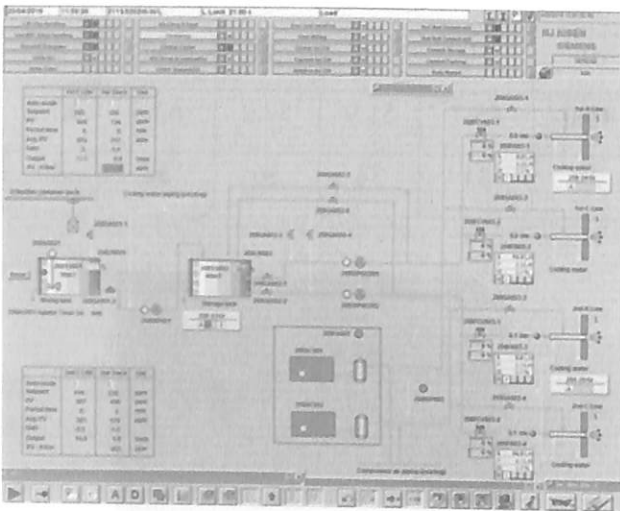
Hình 6. Cụm điều khiển vòi phun ở K-line & C-line.



Hình 5. Khu vực bể chứa và bể khuấy

Mỗi vòi phun đặt ở K-line và C-line được điều khiển bởi cụm điều khiển vòi phun, quá trình điều khiển lưu lượng tại mỗi vòi phun được thực hiện từ phòng điều khiển trung tâm. Tuỳ theo nồng độ khí NO<sub>x</sub> đo được từ máy phân tích khí, tín hiệu này được xử lý bằng chương trình điều khiển hệ thống NO<sub>x</sub>, từ đó tính toán lưu lượng phun phù hợp.

Hệ thống thiết bị xử lý khí NO<sub>x</sub> được điều khiển bằng chương trình cài đặt trên màn hình tại phòng điều khiển trung tâm. Trong suốt quá trình vận hành chạy thử, hệ thống công nghệ đều được theo dõi, điều chỉnh và kiểm soát. Hình 7 dưới đây thể hiện hiển thị trên màn hình máy tính của chương trình điều khiển hệ thống xử lý khí NO<sub>x</sub>.



Hình 7. Chương trình điều khiển hệ thống xử lý khí NO<sub>x</sub> thể hiện trên màn hình máy tính ở trung tâm điều hành

**4. KẾT QUẢ ĐẠT ĐƯỢC CỦA DÂY CHUYỀN CÔNG NGHỆ XỬ LÝ KHÍ NO<sub>x</sub> TẠI NHÀ MÁY XI MĂNG NGHI SƠN**

Sau nhiều tháng vận hành, điều chỉnh kết quả hệ thống khử khí thải NO<sub>x</sub> đã được kiểm tra các thông số của khí thải kết quả dưới đây:

Bảng 2. Hiệu quả khử NO<sub>x</sub> tại dây chuyền 2 (khi phun ở cả K-line & C-line):

15/04/2016											
Time	Kiln feed (t/h)	Spray vol (l/min)	K-line NO <sub>x</sub> (ppm)	O <sub>2</sub> (%)	C-line NO <sub>x</sub> (ppm)	O <sub>2</sub> (%)	Stack gas Vol (Nm <sup>3</sup> /hr)	Stack NO <sub>x</sub> (ppm)	O <sub>2</sub> (%)	Conversion (O <sub>2</sub> +8%)	NO <sub>x</sub> reduction (ppm)
No spray	8:00-10:00	0	875	5.00	630	1.98	370,670	490	7.48	471	
K-line		401.4	800	4.45	134	2.15	370,670	265	7.40	253	218
C-line	11:30-16:30	22.58									

Số liệu ở bảng 2 là kết quả thu được sau khi phun ở cả K-line & C-line của dây chuyền 1.

Từ bảng trên cho thấy, khi không phun dung dịch urê và K-line và C-line thì nồng độ khí NO<sub>x</sub> đo được tại ống khói là 875 ppm (~ 1645 mg/Nm<sup>3</sup>). Sau khi phun dung dịch U rê thì lượng phát thải NO<sub>x</sub> đo được tại ống khói là 253 ppm (~ 476 mg/Nm<sup>3</sup>) ở điều kiện hệ số dư lượng không khí (O<sub>2</sub>) là 8%, mức phát thải này nhỏ hơn mức qui định theo qui chuẩn Việt Nam: QCVN 23: 2009/BTNMT (800 mg/Nm<sup>3</sup>).

Kết quả khử NO<sub>x</sub> khi phun đồng thời vào cả 2 dây chuyền:

Bảng 3. Bảng kết quả xử lý khí của cả hai dây chuyền sau khi hiệu chỉnh các tham số vận hành của hệ thống khử NO<sub>x</sub>:

Kiln	Exhausted gas at stack					Evaluation
	Target		Achievement			
	NO <sub>x</sub> (ppm)	O <sub>2</sub> (%)	NO <sub>x</sub> (ppm)	O <sub>2</sub> (%)	Spraying volume (l/min)	
#1	380	8.0	374	8.0	38.8	Satisfaction
#2			253		22.6	Satisfaction

Từ Bảng kết quả 2 và hình 3 cho thấy rằng, khi cho hệ thống khử khí NO<sub>x</sub> phun đồng thời vào cả 2 dây chuyền sản xuất và sau khi hiệu chỉnh các thông số hệ thống, thì nồng độ khí đo được tại ống khói của 2 dây chuyền đều thấp hơn giới hạn cho phép đạt theo tiêu chuẩn: QCVN 23:2009/BTNMT.

## 5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Đây chuyên công nghệ khử khí  $\text{NO}_x$  sử dụng phương pháp không xúc tác có lựa chọn (SNCR) cho nhà máy xi măng Nghi Sơn, do Viện Nghiên cứu Cơ khí thiết kế đạt được yêu cầu phát thải theo Qui chuẩn phát thải hiện tại của Việt Nam.

Đây là lần đầu tiên một đơn vị nghiên cứu trong nước đã tiến hành nghiên cứu, thiết kế và đưa vào vận hành thành công một dây chuyền công nghệ xử lý khí áp dụng trong lĩnh vực sản xuất xi măng.

Từ kết quả thành công của hệ thống khử  $\text{NO}_x$  ở nhà máy xi măng Nghi Sơn, Viện Nghiên cứu Cơ khí đề nghị Chính phủ triển khai áp dụng hàng loạt cho các dây chuyền sản xuất xi măng trong nước, cũng như sử dụng công nghệ này cho các lĩnh vực khác như: Nhiệt điện, xử lý rác thải...v.v.

Để đạt hiệu quả khử khí  $\text{NO}_x$  cao nhất trong các dây chuyền sản xuất xi măng, ngoài tham khảo các số liệu vận hành thực tế của các nhà máy, cần phải tính toán khí động học (CFD) xảy ra ở khu vực bố trí vòi phun. Do vậy, để triển khai tiếp các dự án khử khí  $\text{NO}_x$  sau này cần áp dụng các phần mềm tính toán chuyên dụng về khí động học để mô phỏng trường nhiệt độ và tính chất dòng khí ở các khu vực bố trí đặt vòi phun. ❖

Ngày nhận bài: 15/11/2018

Ngày phản biện: 20/11/2018

### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Qui chuẩn kỹ thuật quốc gia QCVN 23:2009/BTNMT về khí thải công nghiệp sản xuất xi măng.
- [2]. Handbook for Designing Cement Plant. S P Deolalkar, BS Publications.
- [3]. SNCR  $\text{NO}_x$  at U.S Cement Plants. Paper A.A Linero, P.E.
- [4]. SNCR Process – Best Available Technology for  $\text{NO}_x$  Reduction in Waste To Energy Plants. Mehldau & Steinfath Umwelttechnik GmbH.
- [5]. High – efficiency SNCR injection systems. Dr. Ullrich Speer, Global Division Leader (Environmental Division) at Lechler GmbH.
- [6]. Bản vẽ dây chuyền 1 và 2 của Nhà máy Xi măng Nghi Sơn.