JKSCI

한국컴퓨터정보학회논문지
Journal of The Korea Society of Computer and Information
Vol. 28 No. 1, pp. 121-127, January 2023
https://doi.org/10.9708/jksci.2023.28.01.121

SCR facility design for the selective catalyst performance of mixed gas

Woohyeon Hwang*, Kyung-Ok Lee**

*Professor, School of Robot & Automation Engineering, Dongyang Mirae University, Seoul, Korea
**Professor, Dept. of Bio. & Chem. Eng., Gyeonggi University of Science and Technology, Gyeonggi-do, Korea

[Abstract]

In this study, the design conditions and CFD analysis results are compared and reviewed in SCR that can optimally reduce nitrogen compounds. To this end, it was analyzed and compared using CFD to see if the design criteria were satisfied for the shell and tube areas of the boiler. In the SCR system, the analysis area is the gas/air heat exchanger on the shell side, and eight tubes of the gas/air heat exchanger on the tube side. Through CFD analysis, the gas velocity distribution on the primary catalyst side of the SCR system was designed to be 2.4%, and the NH3/NOx molar ratio distribution was 3.7%, which satisfied the design criteria. In addition, the uniformity of the temperature distribution was confirmed and the required condition of 260°C or higher was satisfied. The angle of the gas entering the catalyst met the design conditions at 2.9 degrees, and the pressure loss that occurred also satisfied the design requirements. Through this CFD analysis, it was confirmed that it was designed and operated by satisfying the design conditions required for each area.

▸ **Key words**: CFD(computational fluid dynamics), SCR(selective catalytic reduction), Industrial Boiler, APH(Air Preheater), AIG(Ammonia injection grid)

[요 약]

본 연구에서는 질소화합물을 최적으로 줄일 수 있는 SCR에서 설계 조건과 CFD 해석 결과를 비교해 검토하고자 한다. 이를 위해 보일러의 쉘과 튜브 영역에 대해 설계 기준을 만족하고 있는지 CFD을 이용하여 해석하고 비교하였다. SCR 시스템에서 해석영역은 쉘 측은 가스·공기 열교환기 입구에서 출구까지이고, 튜브 측은 가스·공기 열교환기의 8개 튜브로 설정하였다. CFD 해석을 통해 SCR 시스템의 1차 촉매 면에서 가스의 속도 분포는 2.7%로 설계되었고, NH3/NOx 몰비 분포는 3.7%로 설계 기준을 만족하였다. 또한, 온도 분포의 균일성을 확인하였고 요구 조건인 260°C 이상을 만족하였다. 촉매에 유입되는 가스의 각도는 2.9도로 설계 조건을 충족하였고, 그리고 발생하는 압력손실도 설계 요구조건을 만족하였다. 이러한 CFD 해석을 통해 각 영역별로 요구되는 설계조건을 만족하여 설계되어 최적으로 운전되고 있음을 확인하였다.

▸ **주제어**: 전산유체역학(CFD), 선택적촉매환원(SCR), 산업용 보일러, 공기예열기(APH), 암모니아 주입격자(AIG)

• First Author: Woohyeon Hwang, Corresponding Author: Kyung-Ok Lee
*Woohyeon Hwang (priwoo@naver.com), School of Robot & Automation Engineering, Dongyang Mirae University
**Kyung-Ok Lee (kolee@gtec.ac.kr), Dept. of Bio. & Chem. Eng., Gyeonggi University of Science and Technology
• Received: 2022. 12. 20, Revised: 2023. 01. 05, Accepted: 2023. 01. 10.

Copyright © 2023 The Korea Society of Computer and Information
http://www.ksci.re.kr pISSN:1598-849X | eISSN:2383-9945

I. Introduction

화력발전소에서 발생하는 질소산화물을 줄이기 위한 기술을 살펴보면, 연소할 때 연료에 포함된 질소의 성분을 제거하는데 기술적으로 경제적으로 부적합하다. 또한 연소에서 질소 성분의 생성을 줄이는 방법은 연소의 조건을 변경하거나 연소 방법을 변경하는데, 연소 조건 변경으로 제거하는 방법은 비용이 적게 들지만 큰 감소 효과는 없고, 연소 방법 변경에 의한 방법은 연소 설비의 구조를 변경하거나 설계를 전면적으로 바꾸어 질소산화물의 배출을 억제하는 방법이다. 이러한 목적을 이루기 위해 SCR(선택적 촉매환원; Selective Catalytic Reduction)은 NOx(질소산화물) 배출량을 줄이는 유망한 기술이고, 연소 후 배출되는 가스 중의 질소산화물을 제거하는 습식법과 건식법이 있다. 건식법은 질소산화물을 제거하기 위해 흡수•산화용액을 사용하지 않아서 투자•유지 비용이 저렴하고 특히 공정이 단순해 폐수를 처리할 필요가 없는 장점이 있지만, 분진에 영향이 크고 비반응물이 유출될 가능성이 있으며 암모니아를 장기간 다량으로 사용해야 하는 단점이 있다.

본 연구에서는 이러한 질소산화물을 줄이기 위한 탈질설비(SCR) 성능에 영향을 미치는 주요 요소를 결정하고자 한다. 또한 산업용 보일러 내부에서 배기가스와 암모니아 가스의 열 및 유동 특성을 통하여 최적의 운전을 할 수 있는 촉매 면에서 속도 분포, NH3/NOx 몰비 분포, 온도 분포, 촉매로 유입되는 가스 각도, 절탄기(Economizer)의 압력 강하와 공기 토출구의 평균 온도를 계산하여 최적의 운전이 되도록 연구를 진행하고자 한다.

II. Related Works and Purpose

산업용 보일러에서 전산유체역학(CFD; Computational Fluid Dynamics) 해석을 통해 배기가스 중에 대기오염물질을 줄이기 위한 설비의 형상과 설치 위치를 최적화하여 현장에서 오염물질 줄이거나 효율을 향상할 수 있는 다양한 CFD 결과를 제시하고 실제 검증하는 방안을 제시하고 있다.

SCR 탈질 시스템의 열악한 유동 성능 문제를 해결하기 위해 정적 혼합기가 유동장에 미치는 영향을 연구하기 위해 두 개의 정적 혼합기가 선택하여, 두 정적 혼합기가 서로 다른 조건에서 탈질 성능을 효과적으로 향상할 수 있음을 보여주었다[1]. 확산 연소방식의 디젤엔진에서 발생하는 질소화합물 등을 줄이기 위해 Urea-SCR이 활용되고 있는데, 운행 건설기계에서 질소화합물 저감장치인 SDPF(SCR diesel particulate filter) 시스템의 저감 성능 최적화를 위하여 믹서 설계에 따른 유동 특성을 파악하였다[2]. 요소를 이용한 NOx의 SCR을 위해 촉매 변환기와 결합된 혼합 챔버로 구성된 전산 유체 역학 모델이 개발하였고, 혼합 챔버 출구의 불균일성으로 인한 NH3 농도의 방사형 변화는 SCR의 전체 성능에 큰 영향을 미치지 않았으며, 온도, NO:NO2 비율 및 입구 속도의 영향을 조사하였다[3].

SCR 설비에서 암모니아 주입관 주변의 혼합기의 형상과 설치 위치를 최적화하여 환원 촉매층의 전단에서 암모니아의 농도를 균일하게 유지하였고, 이를 산업 현장에 적용하여 환원제의 효용을 높였다[4]. 또한 보일러 내의 덕트와 안내깃을 설계하여 흡수탑으로 배기가스가 균일하게 들어갈 수 있도록 압력손실을 감소하고 탈황 효율을 높여 대기오염 물질을 줄이는 연구를 다양하게 수행하였다[5]. 배연탈황 설비에서 배기가스 관련 설비의 유동을 해석하여 난류 유동장과 연소 유동 문제를 해결하고자 하였다. 압력손실을 작게 발생하도록 하며 배기가스가 적정 속도로 균일하게 유동하도록 보일러 부하와 최대 정격유량의 보일러 부하에서 안내깃 등을 해석하였다. 배기가스 계통에 설계를 변경하여 배연탈황 설비에서 유속과 유선을 균일하게 유동하게 하며 압력손실을 줄이므로 배연탈황 효율을 향상했다[6, 7].

화력발전소 탈질설비의 축소한 모형에서 가스의 유동과 농도 균일화를 위해서 가이드 베인과 혼합장치의 최적화를 연구하였으며 촉매층 전단에서 유동속도 및 농도에 대한 최적화를 검증하였다[8]. 또한 촉매 전단에서의 환원제의 유동 균일도에 따른 NOx 저감 효율을 파악하기 위해 다양한 설계 변수를 선정하여 촉매 전단에서의 암모니아의 유동 및 농도 균일도와 NOx 저감 효율에 대해 CFD 해석을 수행하였다[9]. 또한 가스들의 혼합과 촉매전단의 유동균일화를 위해 유속과 농도의 균일도를 만족시키는 설계안을 CFD를 이용하여 도출하였고 요구되는 균일도를 만족시키는 안내깃의 각도, 높이, 간격과 정적 혼합기 위치와 개수, 간격, 유동 거리 등을 검토하였다[10].

암모니아와 배기 흐름의 혼합을 촉진하기 위한 정적 혼합기의 위치와 두 종의 부피 비율이 혼합 품질에 미치는 영향을 조사하여, 정적 혼합기가 암모니아 주입 지점 가까이에 배치되거나 더 많은 암모니아가 주입되는 경우 파이프 출구에서 더욱 균일한 암모니아 분포가 달성될 수 있음을 보여주었다[11].

CFD 해석을 위해 STAR-CCM+를 적용하여 보일러의 탈질(De-NOx)을 위해 두 개의 선택적 촉매 환원 반응기를

개발하였고, 유동장 분포, 기체 입사각 및 온도 분포는 SCR 반응기 형태에 크게 영향을 받으며, 암모니아 믹서를 장착하지 않고도 암모니아 농도의 기술 지표를 충족할 수 있다는 SCR 반응기에 대한 기술적 지표를 제안하였다[12].

화격자 보일러 기반의 저질소 연소방식이 보일러 온도 필드와 연도 가스 성분 및 NOx에 미치는 영향을 연구한 결과는 복합 연소 기술이 보일러 효율을 크게 향상하고 배출구에서 NOx 농도를 감소시킬 수 있음을 보여주었다. 보일러의 미분탄 공급율은 20m/s, 미분탄 비율은 20%로 설정했을 때 보일러 NOx 배출량이 최적의 상태에 도달할 수 있음을 보여주고 있다[13].

본 연구는 산업용 보일러의 쉘과 튜브 영역에 대해 SCR에서 설계 기준인 촉매에 유입되는 가스의 속도 분포 및 각도, 온도 분포, NH3/NOx 몰비 분포를 만족하고 있는지 CFD로 해석하여 검토한다. 이를 통해 SCR에서 질소화합물을 최적으로 줄일 수 있는 설계 조건과 CFD 해석 결과를 비교하여 검증하고자 한다.

III. Analysis boundary in SCR system

1. Geometry scope

Fig. 1은 DeNOX 시스템에 대한 CFD 분석 범위와 분석에 포함된 액세서리를 보여주고 있다.

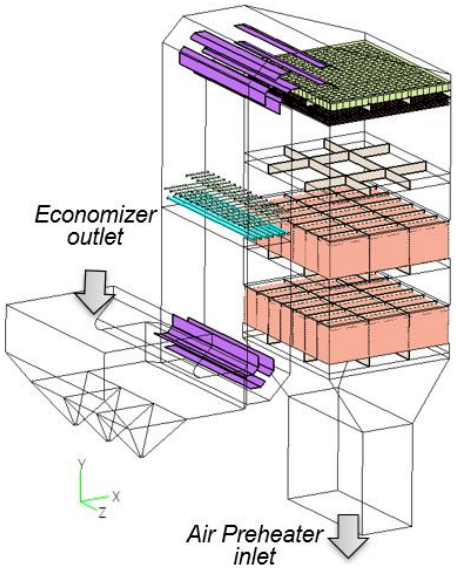

Fig. 1. Analysis section from Economizer outlet to APH inlet.

절탄기 출구와 희석 암모니아 가스 입구의 경계 조건은 고정된 일반 질량 흐름 조건을 적용하고 APH(Air Preheater) 입구는 고정 압력 조건을 적용한다.

Table 1. Scope of analysis and accessory

Scope of Analysis	Accessory
Ecomonizer outlet	Ammonia injection grid
SCR with Gas/Air Heat Exchanger	Static mixer Gas/Air heat exchanger
APH inlet	Catalyst layer

2. Applied assumptions for the analysis

SCR 시스템에서 연도 가스와 암모니아 가스의 열 흐름 현상을 예측하기 위해 다음과 같은 가정을 적용한다.

가스는 정상 상태의 비압축성 뉴턴 유체이며 가스의 열 및 수송 특성은 밀도에 대한 이상 기체 법칙과 점도에 대한 혼합물 Sutherland 법칙에 따라 결정한다. 연도 가스 입구의 단면적에 걸쳐 균일한 흐름, 구성, 속도 및 온도를 갖는 연도 가스로 가정한다. 촉매 모듈을 시뮬레이션하기 위해 다공성 매체 모델도 적용하고, 연소가스가 통과할 때 발생하는 압력손실은 촉매 제조사에서 제공한 데이터를 적용하며, 미끄럼 방지 경계 조건은 가스 흐름에 대한 벽 경계 조건에 적용한다.

본 연구에서 해석 구간은 Fig. 1과 같이 쉘 측은 가스•공기 열교환기 입구에서 출구까지이고, 튜브 측은 가스•공기 열교환기의 8개 튜브로 설정하고, 유동 해석을 위해 해석영역을 CFD-VisCART V2017을 사용하여 계산 격자를 생성하였다.

IV. The Analysis Method and Results

1. Analysis physical models

SCR 시스템에서 CFD 해석을 위한 가스와 공기 열교환기 시스템에 물리적 모델들을 적용하였다. 압력장에 대해 SIMPLEC 방식을 채택하고 각 방정식의 대류 항에 대해 1차 역풍 차분 방식을 채택하였다.

압력 보정을 위한 방정식은 AMG(Algebraic Multigrid) 솔버에 의해 계산되며 연립방정식의 해는 CGS+Pre를 사용하여 계산한다. 종속 및 보조 변수의 완화는 솔루션 절차의 발산을 방지하기 위해 반복에서 반복으로 변수의 변경을 제한하는 데 사용된다.

각 층의 SCR 촉매는 Mitsubishi Hitachi Power Systems, Ltd.에서 제조한 TiO2 기반 촉매이고, 선택된

촉매가 설치된 SCR 반응기는 기술 요구 사항을 충족하도록 설계한다.

2단계 촉매층을 통과할 때 발생하는 압력 손실은 Dirty Catalyst에서 계산되고, SCR 반응기에 설치된 2단 촉매층을 통과하는 기체의 열유동 현상을 수식 1과 같은 다공성 매질 모델을 적용하여 분석하였다.

$$-\frac{\Delta P}{L}=\frac{\varepsilon\mu}{K}u \quad (1)$$

여기서 P, L, ρ, ε, μ 및 K는 각각 압력, 길이, 유체 밀도, 다공성, 유체 점도 및 투과성이다.

2. Governing equations and analysis models

배기가스 계통과 흡수탑 내부의 유동, 압력분포 등을 해석하기 위하여 운동량 보존방정식(수식 2), 에너지 보존방정식(수식 4), 표준 k-ϵ 난류 모델(수식 5) 등을 CFD 모사와 해석에 적용하였다[5]. CFD 계산영역을 임의 모양의 셀로 나누고 셀의 중심에 압력과 속도의 성분을 모두 저장하는 셀 중심의 유한체적법을 수치해석에서 사용하였다.

(1) 운동량 보존방정식

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\vec{v})+\nabla\cdot(\rho\vec{v}\vec{v})=-\nabla p+\nabla\cdot(\bar{\bar{\tau}})+\rho\vec{g_i}+\vec{F} \quad (2)$$

여기서 p는 정압, μ는 점도, g_i는 중력가속도, F는 다공매체모델과 관련한 생성항이고 응력텐서는 다음과 같다.

$$\bar{\bar{\tau}}=\mu\left[(\nabla\vec{v}+\nabla\vec{v}^{T})-\frac{2}{3}\nabla\cdot\vec{v}I\right] \quad (3)$$

(2) 에너지 보존방정식

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E)+\nabla\cdot(\vec{v}(\rho E+p))= \quad (4)$$
$$\nabla\cdot\left(k_{eff}\nabla T-\sum_j h_j\vec{J_j}+(\bar{\bar{\tau}}_{eff}\cdot\vec{v})\right)$$

각각 엔탈피 h, 열전도도 k, j 화학종의 확산 플럭스 J를 나타낸다.

(3) 난류모델

난류 운동에너지는 운동량 방정식으로 유도하고, 반면에 난류 소산율 ε는 물리적 타당성과 수학적 개념에서 상사성을 이용해 구한다.

• 난류 운동에너지 k

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right]+ \quad (5)$$
$$G_k+G_b-\rho\epsilon-Y_M+S_k$$

• 난류 소산율 ε

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i\epsilon)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon}\right)\frac{\partial\epsilon}{\partial x_j}\right]+ \quad (6)$$
$$C_{1\epsilon}\frac{\epsilon}{k}(G_k+C_{3\epsilon}G_b)-C_{2\epsilon}\rho\frac{\epsilon^2}{k}+S_\epsilon$$

각각은 $C_\mu=0.09$, $C_{\epsilon1}=1.44$, $C_{\epsilon2}=1.92$, $\sigma_k=1.0$, $\sigma_\epsilon=1.3$, $\mu_t=\rho C_\mu k^2/\epsilon$이다.

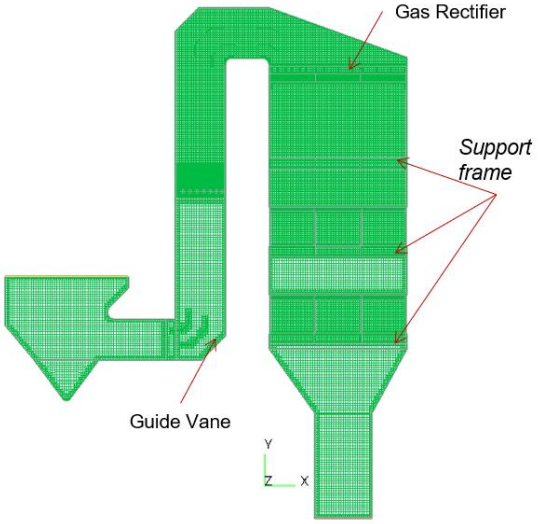

Fig. 2. CFD grid for the flue gas analysis.

절탄기 출구에서 APH 입구까지의 연도 가스 흐름 분석을 위해 분석 영역이 구조화되지 않은 적응형 데카르트 메시 격자로 생성하고, 그리드는 가이드 베인, 정적 혼합기, AIG 및 큰 흐름 변동이 있는 가스 정류기를 둘러싸는 데 초점을 맞추도록 조정한다.

3. CFD Analysis Results

Fig. 3과 같은 SCR에서 CFD 해석은 쉘 측은 가스 유입구에서 가스 배출구까지이고 튜브 측은 공기입구에서 출구까지이다. 쉘 분석 영역은 가스•공기 열교환기 입구에서 출구까지이고, 튜브 분석 영역은 가스•공기 열교환기의 111개 튜브 중 8개 튜브로 설정한다.

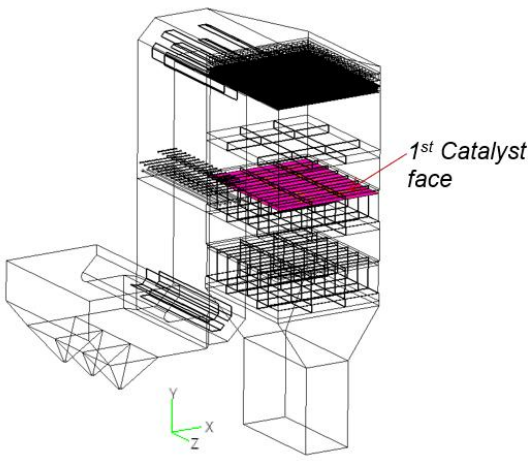

Fig. 3. 1st Catalyst face for CFD analysis.

3.1 Gas velocity distribution

Fig. 3의 가스 속도 분포 1차 촉매 면에서의 RMS가 10% 미만이 되도록 설계해야 한다. 이 구간에서 CFD 해석으로 계산된 속도 크기의 RMS는 2.7%이다. 따라서 1차 촉매 면에서의 가스 속도 분포에 대한 설계 기준을 만족한다. Fig. 4와 같이 속도 크기의 RMS를 계산하기 위해 속도를 수집하는 테스트 포인트는 1,155개이다.

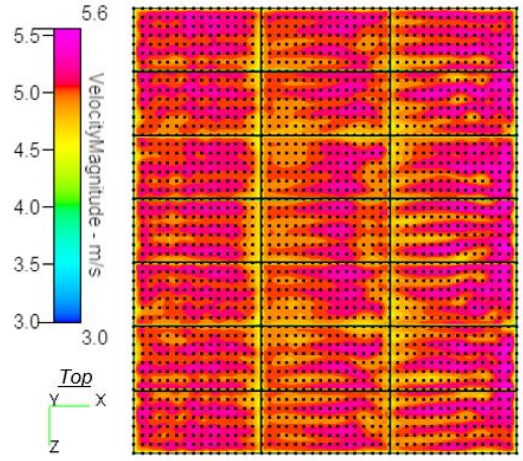

Fig. 4. Gas velocity distribution for the flue gas analysis.

Fig. 5. Velocity at tube side of the flue gas.

3.2 NH3/NOx molar ratio distribution

Fig. 6의 NH3/NOx 몰비 분포 첫 번째 촉매 면의 RMS가 5% 미만이 되도록 설계해야 한다. 이 구간에서 CFD 분석으로 계산한 NH3/NOx 몰비의 RMS는 3.7%이며, 1차 촉매 면에서의 설계 기준을 충족한다. Fig. 5와 같이 NH3/NOx 몰비에서 추출한 체크 포인트는 1,691개이다.

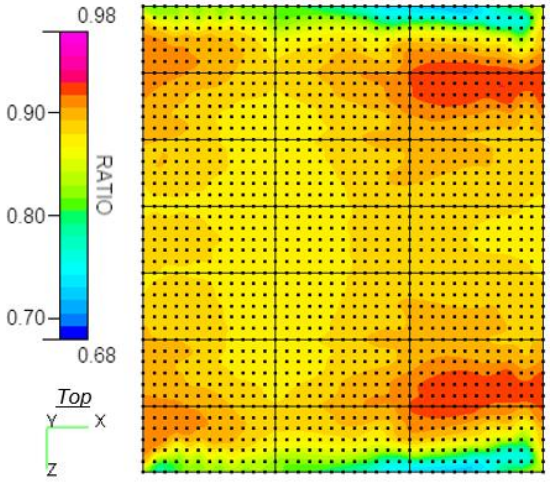

Fig. 6. NH3/Nox molar ratio distribution for the flue gas analysis.

3.3 Temperature distribution

Fig. 7의 첫 번째 촉매 면의 온도 분포를 보여주고, 온도 분포에 대한 설계 기준은 이 구간의 모든 온도가 평균 온도의 ±10℃를 초과하지 않아야 한다. 이 구간에서 CFD 해석으로 계산된 온도 분포는 다음 표와 같은 설계 기준을 만족한다. 온도 분포의 균일성을 확인하기 위해 이 구간의 1,591개 시험점으로 온도 값을 추출하여 확인하였다. 또한 Fig. 7과 같이 공기 토출구의 평균 온도를 계산하여 요구조건인 260℃ 이상의 설계 조건을 만족하였다.

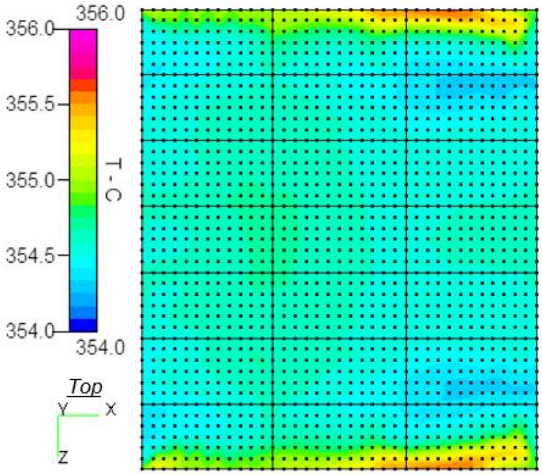

Fig. 7. Temperature distribution for the flue gas analysis.

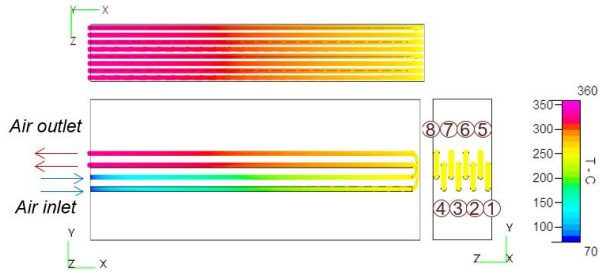

Fig. 8. Temperature at tube side for the flue gas.

3.4 Gas angles flowing into catalyst

촉매에 유입되는 가스의 각도는 1차 촉매 면의 수직으로부터 3도 이내로 설계할 필요가 있다. 이 구간에서 촉매로 유입되는 기체의 최대 각도는 2.9도로 계산되고, SCR 시스템은 촉매에 들어가는 가스의 각도에 대한 설계 조건을 충족한다. 수직으로부터의 최대 각도는 이 구간의 1,155개의 체크 포인트에서 계산된다.

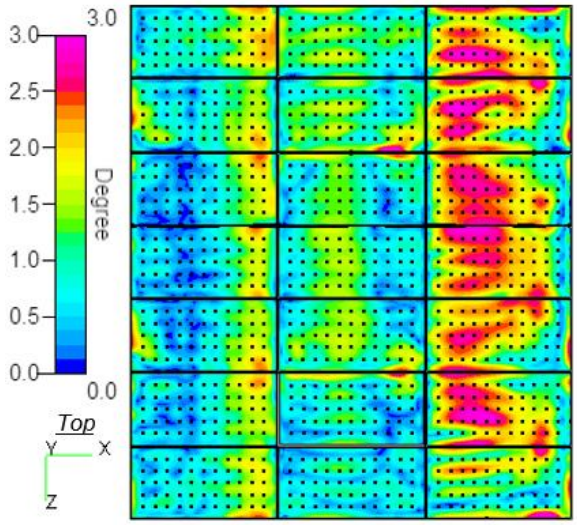

Fig. 9. Gas angles flowing into catalyst for the flue gas analysis.

3.5 Pressure loss through SCR system

Fig. 10은 연소가스가 BMCR 조건에서 SCR 시스템을 통과할 때 발생하는 압력손실을 계산하여, 튜브 측면의 입구와 출구 사이의 평균 압력 손실과 그리고 가스가 입구의 법선 방향으로만 균일하게 흐를 때 쉘 측면의 입구와 출구 사이의 평균 압력손실이 설계 요구 조건을 만족하였다.

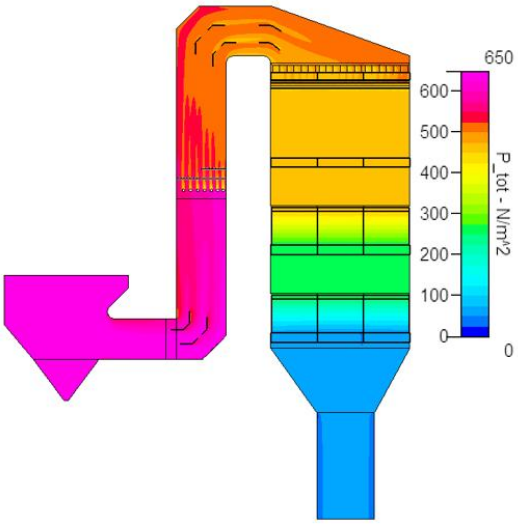

Fig. 10. Pressure loss when the flue gass passes through SCR system.

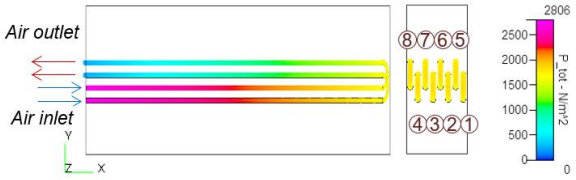

Fig. 11. Total Pressure at Tube side of SCR system.

V. Conclusions

본 연구에서는 보일러의 SCR 시스템 설계에 대해서 상용 CFD-ACE+를 사용하여 전산유체역학으로 수치해석을 수행하여 각각의 결과를 얻었다. SCR 시스템에서 열유동 해석을 수행하여 첫 번째 촉매 면에서 속도분포는 2.4%, NH3/NOx 몰비분포는 3.7%, 촉매로 유입되는 가스 각도는 2.9도로 각각의 설계 요구 조건을 충족하고 있음을 확인하였다. 또한 절탄기 출구/APH 입구 플랜지의 압력 강하도 50mmH_2O를 만족하고, 공기 토출구의 평균 온도가 260℃ 이상이어야 한다는 설계 조건을 만족하고 있음을 검토하였다. 이를 통해 SCR 시스템의 설계 조건을 만족하여 설계되어 정상적으로 최적의 상태에서 운전되고 있음을 검증하였다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by Dongyang Mirae Univ. Research Grant.

REFERENCES

[1] P. Zhanzhou, C. Ranjing, and C. Yue, "Performance Analysis and Optimization for Static Mixer of SCR Denitration System under Different Arrangements," ENERGIES, V.15, No.23, pp.8977-8977, November 2022, DOI: 10.3390/en15238977

[2] Y. Jeong, G. Park, M. Kim, and S. Lee, “A Study on the Flow Uniformity Characteristics of the Mixer Structure in the SDPF System Using CFD,” Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 29, No. 3, pp. 275-282, March 2021. DOI: 10.7467/KSAE.2021.29.3.275

[3] S. Dammalapati, P. Aghalayam, and N. Kaisare, "Modeling the Effect of Nonuniformities from Urea Injection on SCR Performance Using CFD," Industrial & engineering chemistry research, Vol.58 No.44, 20247-20258, October 2019, DOI: 10.1021/acs.iecr.9b04149

[4] W. Hwang, and K. Lee, “Mixer design for improving the injection uniformity of the reduction agent in SCR system,” Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 22, No. 1, pp. 63-69, January 2017. DOI: 10.9708/jksci.2017.22.01.063

[5] W. Hwang, and K. Lee, “Design of gas suspension absorber to improve desulfurization efficiency,” Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 25, No. 2, pp. 189-195, February 2020. DOI: 10.9708/jksci.2020.25.02.189

[6] W. Hwang, and K. Lee, “Computational Fluid Dynamic Analysis for Improving the Efficiency of Desulfurization System for the Wet Flue Gas,” Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 19, No. 2, pp. 161~171, February 2014. DOI: 10.9708/jksci.2014.19.2.161

[7] W. Hwang, K. Lee, and Y. Cho, “Optimization of the Design of Large Ducts with the Space Constraint in 500MW Power Plant,” Journal of Environmental Sciences., Vol. 18, No. 7, pp. 755~765, July 2009. DOI: 10.5322/JES.2009.18.7.755

[8] J.S. Ha, and T.K. Kim, "A Study on the Flow and Concentration Uniformity before the Catalyst Layer of a SCR De-NOx System," Journal of Nakdonggang environmental research institute, V.15, No.1, pp.262-270, June 2011.

[9] M. Song, S. Kang, S. Lee, Y. Kang, and Y. Cho, "A Numerical study on the NOx Reduction Rate Depending on the Flow Uniformity Index of NH_3 in front of the Catalytic Converter," Procd. of the Korean Society Of Automotive Engineers, pp.354-360, May 2013.

[10] H. Um, G. Kim, D. Kim, K. Kim, and J. Kim, Numerical Analysis for the Flow Uniformity in the LP-SCR Reactor, Proceedings of The Korean Society Of Combustion SYMPOSIUM, p.61-63, December 2015.

[11] T. Xinna, X. Youhong, Z. Peilin, Z. Wenping, C. Zhenhao, and Z. Wei, "Study on the mixing performance of static mixers in selective catalytic reduction(SCR) systems," J. of marine engineering and technology, V.14 No.2, pp.57-60, November 2015, DOI: 10.1080/20464177.2015.1096615

[12] Y. Yang, J. Li and H. He, “Research and proposal on selective catalytic reduction reactor optimization for industrial boiler,” J. of the Air & Waste Management Association, V.68, pp.737-754, May 2018, DOI: 10.1080/10962247.2017.1370399

[13] X. Guo,J. Fan,H. Bai,Z. Zhang,D. Bi,J. Dong,J. Zhang,Z. Zhu,J. Zhang and J. Yuzz “A numerical investigation of NOx concentration at the outlet of a coal-fired chain grate boiler,” Energy Sources, Part A, Published online, November 2019, DOI: 10.1080/15567036.2019.1687616

Authors

Woohyeon Hwang received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Chemical Engineering from Ajou Univ., KAIST, and Seoul National Univ., Korea, at 1988, 1990 and 1997, respectively. Prof. Hwang joined the faculty of the School of Robot and Automation Engineering at Dongyang Mirae University, Seoul, Korea, in 1995. He is currently an Professor in the School and interested in smart factory, industrial robot and process automation.

Kyung-Ok Lee received the B.S., and M.S. degrees in Chemical Engineering from Busan National Univ., KAIST in Korea at 1989 and 1991, respectively, and completed Ph.D. course at Kanazawa Univ. in Japan at 1999. Prof. Lee joined the faculty of the Department of Bio. and Chemical Engineering at Gyeonggi University of Science and Technology, Gyeonggi-do, Korea, in 2000. She is currently an Professor in the Department and interested in Computational Fluid Dynamics and its application.