

## 탈질 설비 내 안내 깃의 기하학적 형상에 따른 공력 성능에 대한 전산 해석적 연구

이창식<sup>1</sup>, 김민규<sup>2</sup>, 안병희<sup>2</sup>, 정희택<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>(주)유신  
06252, 서울시 강남구 역삼로 4길 8  
<sup>2</sup>비에이치아이(주)  
52063, 경남 함안군 장백로 122  
<sup>3</sup>경상국립대학교 기계공학부  
52828, 경남 진주시 진주대로 501

(2022년 10월 20일 접수; 2022년 11월 2일 수정본 접수; 2022년 11월 4일 채택)

## A CFD Study on Aerodynamic Performances by Geometrical Configuration of Guide Vanes in a Denitrification Facility

Chang-Sik Lee<sup>1</sup>, Min-Kyu Kim<sup>2</sup>, Byung-Hee Ahn<sup>2</sup>, and Hee-Taeg Chung<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Yooshin Engineering Co.  
8, 4Gil, Yeoksam-ro, Gangnam-gu, Seoul, 06252, Republic of Korea  
<sup>2</sup>BHI Co.  
122, Jangback-ro, Haman, Gyeongnam, 52063, Republic of Korea  
<sup>3</sup>School of Mechanical Engineering, Gyeongsang National University  
501, Jinju-daero, Jinju, Gyeongnam, 52828, Republic of Korea

(Received for review October 20, 2022; Revision received November 2, 2022; Accepted November 4, 2022)

### 요 약

선택적 촉매환원 시스템 내 촉매 층 입구의 흐름 패턴은 탈질 설비의 성능에 영향을 미치는 주요한 특성 중 하나이다. 암모니아 주입 그리드와 촉매 층 사이의 곡확산부에는 유동 균일성을 개선하기 위해 안내 깃이 설치된다. 본 연구에서는 대형 석탄 화력 발전소의 선택적 촉매환원 시스템을 적용 대상으로 하여 안내 깃의 기하학적 구성이 탈질 설비의 공기역학적 특성에 미치는 영향을 조사하기 위해 수치 해석을 수행하였다. 해석할 유동장은 암모니아 주입구의 출구부터 촉매 층 출구까지의 유동이 흐르는 전 영역을 포함한다. 3차원 정상상태, 점성 유동장을 해석하기 위해 상용 소프트웨어인 ANSYS-Fluent을 사용하여 유동 특성에 맞는 적절한 난류 모델을 적용하였다. 유동장 내부의 속도 및 압력 강하의 루트 평균 제곱을 주요 성능 매개변수로 선택했다. 현재 운용 중인 설비와 비교하여 흐름 품질을 개선하기 위해 4가지 유형의 안내 깃이 제안되었다. 해석 결과, 4번째 형상이 유동 균일성과 압력 등 관점에서 가장 좋은 공력 성능을 나타내었다.

주제어 : 탈질 설비, 유동 균일성, 안내 깃, 전산 해석, 공력 성능

**Abstract :** The flow pattern at the inlet of the catalyst layer in a selective catalytic reduction (SCR) system is one of the key parameters influencing the performance of the denitrification process. In the curved diffusing parts between the ammonia injection grids and the catalyst layers, guide vanes are installed to improve flow uniformity. In the present study, a numerical simulation has been performed to investigate the effect of the geometrical configuration of the guide vanes on the aerodynamic characteristics of a denitrification facility. This application has been made to the existing SCR process in a large-scaled coal-fired power plant. The flow domain to be solved covers the whole region of the flow passages from the exit of the ammonia injection gun to the exit of the catalyst layers. ANSYS-Fluent was used to calculate the three-dimensional steady viscous flow fields with the proper turbulence model fitted to the flow characteristics. The root mean square of velocity and the pressure drop inside the

\* To whom correspondence should be addressed.  
E-mail: htchung@gnu.ac.kr; Tel: +82-55-772-1626; Fax: +82-55-772-1577

doi: 10.7464/ksct.2022.28.4.316 pISSN 1598-9712 eISSN 2288-0690

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

flow passages were chosen as the key performance parameters. Four types of guides vanes were proposed to improve the flow quality compared to the current configuration. The numerical results showed that the type 4 configuration was the most effective at improving the aerodynamic performance in terms of flow uniformity and pressure loss.

**Keywords :** DeNox facilities, Flow uniformity, Guide vane, Computational analysis, Aerodynamic performance

## 1. 서 론

석탄이나 천연가스와 같은 화석 연료로 전기를 생산하는 화력 발전소에는 연소 과정에서 질소산화물(NO<sub>x</sub>)이 발생한다. 대형 발전 시스템에서는 별도로 탈질 설비를 설치하는데 주로 선택적 촉매환원(Selective catalytic reduction, SCR) 시스템을 채택하고 있다.

SCR형 탈질 시스템에서 우수한 성능을 얻으려면 환원이 일어나는 촉매 층에 유입되는 암모니아와 질소산화물의 혼합가스의 유동 균일성이 중요하다. 이에 대한 유동 특성을 분석하기 위해 전산 해석 기법을 활용한 연구가 활발히 진행되고 있다.

Lee et al. [1]은 수치 모델링과 실험적 검증을 통해 설비의 제반 운전 조건이 유동 형태에 주는 영향에 대한 연구 결과를 발표하였다. Park et al. [2]은 석탄화력 발전소에 설치된 탈질 설비의 유동장을 해석하여 촉매 층에서의 유속 편차와 마모 등의 관점에서 유동의 분포도를 분석하였다. 암모니아와 질소산화물의 비율은 탈질 성능에 매우 중요하다. Liu et al. [3]은 암모니아 분사량을 조절하여 촉매 층에 유입되는 혼합가스의 비율을 개선하는데 전산해석 기법을 적용하였다. Hwang and Lee [4]는 촉매 층에 유입되는 혼합가스의 열유동 특성에 대해 수치 기법으로 분석하였다.

대용량의 석탄 화력 발전소는 공간의 제약으로 탈질 설비는 복잡한 구조를 가진다. 덕트의 형상도 다양하고 안내 깃도 촉매 층 입구 외에 배기가스가 유입되는 부분, 혼합가스의 재분배 등의 목적으로 여러 개가 설치된다. 이에 대해 다양한 주제로 연구가 진행되고 있다.

Mao et al. [5]은 수치 모사를 통해 벽 근처의 이차 유동을 개선하는 베인의 설치 각을 제시하였다. Park [6]은 암모니아 분사 장치 앞에 설치되는 곡관부의 덕트에 설치되는 안내 깃의 배열에 대해 전산 해석하였다. Zhu et al. [7]은 550 MW급 발전 시스템의 탈질 설비를 위한 유로의 최적화를 시도하였다. Bae et al. [8]은 국내에 운전되고 있는 탈질 설비의 안내 깃의 배열을 조정하여 공력 성능을 개선하는 연구를 수행하였다.

탈질 설비에서 촉매 층 입구 부근에는 공간의 제약과 환원 작용의 유속 문제로 암모니아 분사 장치와 촉매 층 사이에 유동의 굴절(turning)과 확산(diffusing)의 두 가지 역할을 하는 곡관형의 덕트가 설치된다.

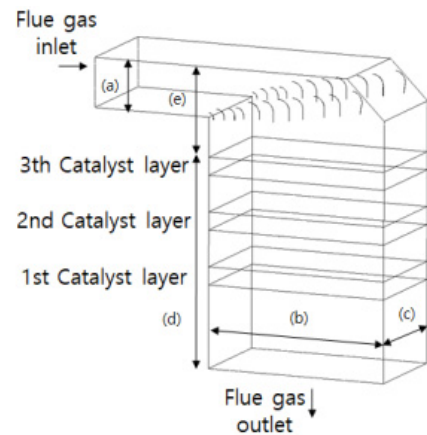
Ryu[9]는 이 유동 특성에 적합한 덕트 형상을 제시하고 적합한 베인의 각도와 개수를 제시하였다. Zhao et al. [10]은 유동 균일성을 극대화하는 가인드 베인의 배열 간격과 반경에 대한 공력학적 설계를 시도하였다. 본 연구의 저자들은 3가지 유형의 덕트 형상을 공력학적 관점에서 수치 해석 기법으로 수행하였다[11].

오래된 탈질 설비는 최근 설비에 비해 공력학적 관점에서 성능이 열악하다. 기존의 연구는 전체 설비의 재설계 위주의 연구가 대부분으로 현 설비에서 최소화의 변경으로 성능을 개선하려는 연구는 별로 없는 실정이다. 본 연구에서는 기존의 탈질 설비에서 덕트 형상 등 주요부는 그대로 두고 안내 깃만 교체하여 유동 균일성을 개선할 수 있을지에 대한 타당성을 수치기법으로 연구하고자 한다. 안내 깃의 공력 설계 인자 중 배열 간격, 베인의 반경, 배치 각 등 3가지 관점에서 수정된 형상을 제시하여 유동 균일성과 압력 손실 등 공력 성능에서 기존의 형상과 비교하고자 한다.

## 2. 해석 방법

### 2.1. 적용모델

본 연구의 적용 대상은 삼천포 화력발전소 3/4호기의 탈질 설비이다[11]. 곡관산부는 암모니아 분사 직후와 촉매 층 입구 사이에 설치된다. 유동장의 해석의 범위는 Figure 1과 배기가스의



**Figure 1.** Definition sketch of the flow fields in SCR system (Ref.[11]).

**Table 1.** Flow and geometric conditions (Ref.[11])

Descriptions	Value	Unit
Mean velocity	15.56	m/s
Temperature	640	K
Density	0.552	kg/m <sup>3</sup>
Mass flowrate	384.6	kg/s
Dimension	(a)	3.2 m
	(b)	11.8 m
	(c)	14 m
	(d)	13.5 m
	(e)	5.75 m

유입부에서 촉매 층 통과 후의 유출부까지이다. 이에 대한 유동 조건과 덕트의 형상 데이터는 Table 1과 같다[11]. 주 유동은 입구인 (a)가 3.2 m이고 출구인 (b)는 11.8 m로 확산비는 3.69이다. 이는 촉매 층의 환원에 적합하도록 혼합가스의 속도를  $4.3 \text{ m s}^{-1}$  이내로 유지할 수 있다. 폭(span)의 길이인 (c)는 14 m로 입구에서의 중횡비는 4.38이나 출구에서는 1.19이다. 설비 내에서는 압력은 대기압이고 온도는 640 K로 일정하다.

2.2. 안내 깃의 형상

탈질 설비에는 암모니아 분사 장치와 촉매 층 사이에 유동의 굴절(turning)과 확산(diffusing)이 일어나는 곡확산부에 안내 깃이 설치된다. 본 연구에서는 Figure 2와 같이 안내 깃의 형상 변수를 중심점( $x_0, y_0$ ), 배치각( $\theta$ ),  $i$ 번째 베인의 반경( $r_i$ ), 간격( $s_i$ ) 등 4개를 선정하였다. 본 연구에서는 덕트의 형상과 베인의 개수는 일정하게 두었다. 중심점은 다른 3 변수인 배치 각, 반경, 간격에 의해 결정된다. 따라서 독립적인 변수는 3개이다.

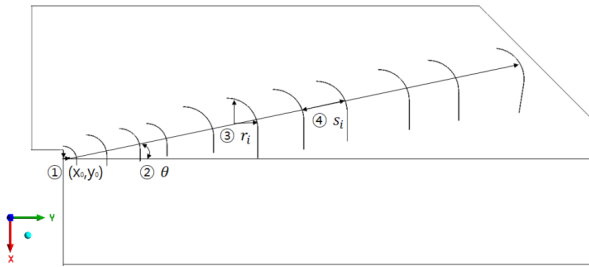


Figure 2. Definition of Geometric configuration parameters.

기존에 설치된 형상(type 1)는 Table 2와 Figure 3(a)와 같다. 베인은 11개이고, 각 베인은 반경과 간격이 불규칙하다. 배치 각, 반경, 간격 등 관점에서 다음과 같은 3가지 형상을 제안하였다.

두 번째 형상(type 2)은 베인의 배치 간격을 조절한 경우이다. 암모니아 노즐의 간격을 최적화하는 선행 연구[12]의 기법을 이용하여 유동 균일성을 최적화하도록 각 베인의 간격을 Figure 3(b)와 같이 수정하였다.

세 번째 형상(type 3)은 Zhao et al. [10]이 제시한 방법을 참조하여 아래의 Equation(1)을 이용하여 베인의 반경을 Figure 3(c)와 같이 결정하였다.

$$r_i = \frac{h}{n} \times i + r_0 \quad (1)$$

여기서,  $h$ 는 입구 덕트의 높이로 3.2 m이고,  $n$ 은 베인의 개수로 11이다.

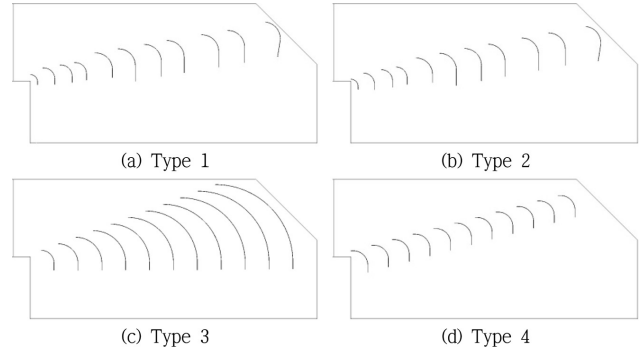


Figure 3. Geometric configuration of curved-diffusing parts.

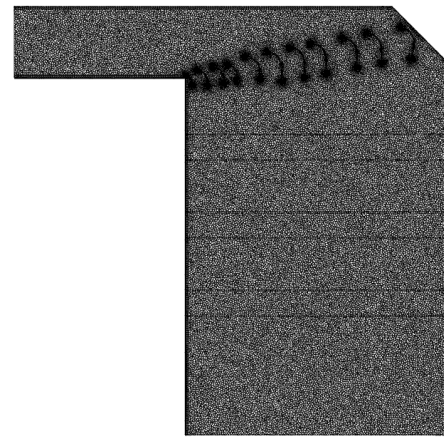


Figure 4. Computational grids of the entire flow field for type 1.

베인의 반경과 배치 간격이 일정하게 설계나 제작이 간편해진다. 유동 균일성 관점에서 배치 각을 조절하여 Table 2와 같은 네 번째 형상(type 4)을 결정하였다.

2.3. 유동장의 전산 해석 기법

유동 해석의 입구는 배기가스가 암모니아 주입 장치로 유입되는 부분이고 마지막 촉매 층을 통과 후가 유동장 출구가 된다. 입구와 출구의 압력 차이가 0.6 kPa 이내로 작고 최대 유속이  $30 \text{ m s}^{-1}$  이내이므로 비압축성으로 가정하였고 온도가 일정하므로 에너지 방정식은 무시된다.

난류 유동은 realizable k-ε 모델을 사용하였다. 계산 용량의 경감을 위해 촉매 층은 다공성 매질 모델(Porous media model)에 유속  $4.22 \text{ m s}^{-1}$ , 투과율 85%, 차압 140 Pa 등 현재 사용 중인 촉매의 물성 데이터를 사용하였다[12]. 유동 방정식의 해석은 상용 소프트웨어인 ANSYS-Fluent를 사용하였다[13]. 유동

Table 2. Geometric data

Type	1	2	3	4	Unit
Center point ( $x_0, y_0$ )	(34,0)	(223,0)	(260,450)	(250,100)	mm
Inclined angle ( $\theta$ )	10	10	20	15	°
Vane radius ( $r_i$ )	300~575	300~686	533~3200	600	mm
Pitch ( $s_i$ )	592~1420	610~1484	983	885	mm

장 입구에는 평균 속도인  $15.56 \text{ m s}^{-1}$ 로 유속이 조건으로 부여되었고, 출구에서는 전압을  $0 \text{ Pa}$ 로 일정하게 주었다.

Figure 4는 type 1의 유동 해석을 위한 계산 격자점을 나타낸 것이다. 벽면이나 익형 부근에서는 사각형을 그 외 영역에서는 삼각형을 채택하였다. 총 격자점 수는  $1.2 \times 10^7$ 개이고 계산의 최소 수직성은 0.20로 본 연구의 유동장과 같이 형상이 복잡한 3차원 점성 유동 해석에 무난하다.

본 해석 모델에 대해 저자들은 선행 연구[11]에서 공력 특성에 관해 전산해석을 하여 해석 기법의 타당성을 확인하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 유동장 비교

Figure 5는 입구에서 3단 촉매 층까지의 속도장을 중앙 단면(50% span)에서 비교한 결과이다. 평균 유속은 입구에서  $15.56 \text{ m s}^{-1}$ 이고 출구에서는  $4.22 \text{ m s}^{-1}$ 로 유동 확산비는 3.69이다. Figure 5(a)에서 보듯이 type 1은 대부분의 안내 깃 부근에서 와류가 발생한다. 피치 끝 부분에서는 후류 전 영역에서 긴 와류가 촉매 층 입구까지 계속된다. 전반적으로 유동의 형태가 불균일하다.

Figure 5(a)와 Figure 5(b)는 유동 형태가 거의 유사하여 type 2에서 시도한 베인의 배열 간격을 조절한 효과는 나타나지 않는다.

베인의 반경을 바깥쪽으로 증가시킨 type 3의 결과인 Figure 5(c)에서는 후반 덕트에서의 2차 유동이 사라진 것을 확인할 수 있다. 그러나 곡확산부의 상단에 보이는 반경 방향의 유동 가속은 추가적인 압력 손실의 가능성이 있다.

상단부 모든 베인의 반경과 배치 간격이 일정한 type 4의 경우는 불균일하게 설계된 type 1과 type 2보다 안내 깃 내부의 유동이 안정적이다.

#### 3.2. 유동 균일성

촉매 층으로 유입되는 혼합가스의 유동 분포는 촉매 층 내부에서의 환원 성능에 큰 영향을 준다. 촉매 층 입구 단면에 대한 정의는 Figure 6과 같다[11]. ①-②선은 벽면(0% span)에서의 피치 방향이고 ③-④선은 중앙 단면(또는 대칭면, 50% span)에서의 피치 방향이다. ①-③선은 피치 앞부분(즉, 덕트의 반경이 작은 쪽)에서의 폭(span)방향이고 ②-④선은 피치 끝 부분(즉, 덕트의 반경이 가장 큰 부분)에서의 폭 방향이다. 유동장은 x-y-z의 직교 좌표계를 사용하였다.

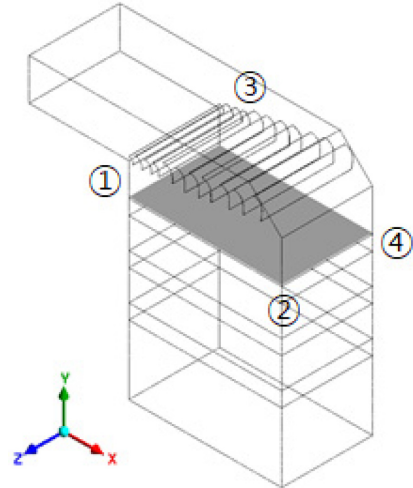


Figure 6. Definition of the plane at the inlet of catalyst layer (Ref.[11]).

촉매 층에 유입되는 유동의 분포 특성은 촉매 층 내부에서의 환원 성능에 영향을 준다. Equation (2)와 같이 유동 편차를 무차원 변수,  $V_{\%}^*$ 로 정의하여 Figure 7과와 같은 분포도를 얻었다.

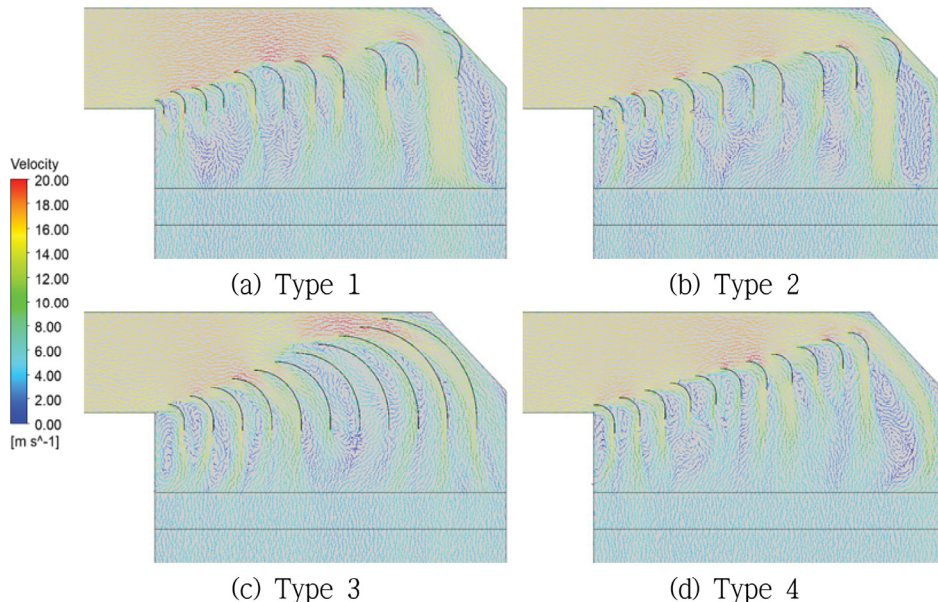


Figure 5. Comparison of velocity distribution around the curved-diffusing parts at the mid-span.

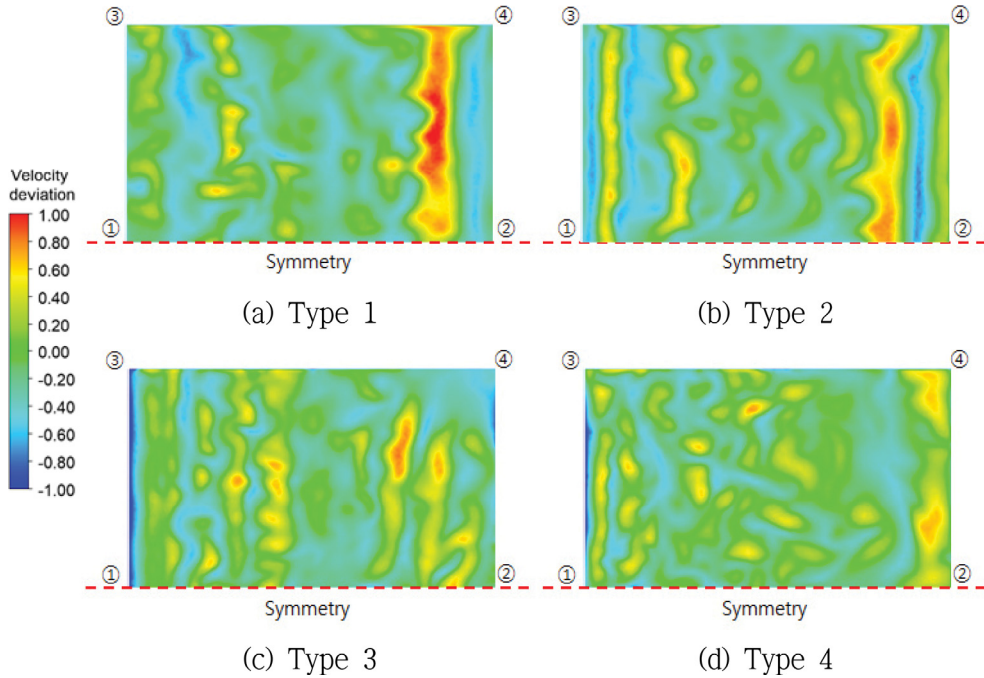


Figure 7. Comparison of velocity deviation at inlet of catalyst layer.

$$V_{\delta}^* = \frac{(v_{local}) - \bar{V}_{outlet}}{\bar{V}_{outlet}} \quad (2)$$

여기서  $v_{local}$ 은 각 지점에서 촉매 층으로 유입되는 수직 방향의 속도 성분이고  $\bar{V}_{outlet}$ 는 출구 평균 속도인  $4.22 \text{ m s}^{-1}$ 이다.

빨간 부분은 촉매 층으로 유입되는 혼합가스의 양이 평균보다 많고 파란 부분은 양이 평균 이하를 의미한다. 녹색 부분은 평균에 가까운 곳으로 유동이 균일함을 의미한다. Type 1이 다른 3가지에 비해서 유동의 불균일이 가장 심함을 알 수 있다. ②-④선 부근은 덕트의 반경이 큰 지역으로 Figure 5(a)에서 큰 와류가 발견된 곳이다. Figure 7(a)에서도 이 부근에서 유동 편차가 심함을 확인할 수 있다.

유동의 균일성 관점에서는 기존 형상에 2.2절의 방법으로 변경을 시도한 다른 3가지 형상이 유동 균일도가 향상되었음을 알 수 있다. Type 3과 type 4와 같이 배열 간격이 일정한 경우가 다른 2가지 형상에 비해 전 단면에서 비교적 균일한 유동 분포를 나타내었다. Figure 7의 결과에서 유동의 균일성 관점에서는 type 4가 가장 우수하다고 사료된다..

### 3.3. 압력 손실

압력에 대한 정보로부터 유동의 공력학적 특성을 추가로 얻을 수 있다.

유동장 내부의 특성을 압력 손실의 관점에서 분석하면 다음과 같다. Equation (3)과 같이 압력 손실 계수(pressure loss coefficient),  $K_{loss,local}$ 를 정의하면,

$$K_{loss,local} = \frac{P_{t,in} - P_{t,local}}{\frac{1}{2} \times \rho \times V_{in}^2} \quad (3)$$

여기서  $P_{t,in}$ 은 유동장 입구에서의 전압이고  $V_{in}$ 은 유동장 입구의 평균 속도이다.

중앙 단면(50% span)에서의 압력 손실 계수의 분포를 도시하면 Figure 8과 같다. 설비의 압력 손실은 입구와 출구에서의 전압 차이로 나타낼 수 있다. 출구에서는 압력이 일정하므로 입구에서의 압력이 압력 손실을 나타낸다. 촉매층에서의 압력 손실의 정도를 유추할 수 있다. 압력 손실은 비슷하다. 압력은 촉매층에서 속도의 변화로 급격히 변한다. Type 3과 type 4는 이러한 변화가 유동 방향으로 일정하나 type 1과 type 2는 바깥 쪽 및 내부에서 고속의 와류가 예상된다.

촉매 층 입구에서의 압력 손실의 편차를 Equation (4)으로 정의되는 압력 손실의 편차(pressure loss deviation),  $K_{\delta}^*$  관점에서 분석하면 Figure 9와 같다.

$$K_{\delta}^* = \frac{K_{loss,local} - \bar{K}_{loss}}{\bar{K}_{loss}} \quad (4)$$

여기서  $\bar{K}_{loss}$ 는 촉매 층 입구 단면에서의 압력손실계수의 평균값이다.

빨간 부분은 압력 손실의 편차가 큰 지점이고 청색은 편차가 작은 지점이며 0(영, zero)에 가까운 녹색 부근은 편차가 상대적으로 적음을 뜻한다. Figure 9의 압력 손실 편차 분포는 Figure 7의 유동 편차와도 모양이 유사하다. Type 4가 기존 형상인 type 1에 비해 비교적 압력 손실이 골고루 분포되어 있다.

### 3.4. 공력 성능의 비교

유동의 균일도는 평균제곱근오차(root mean square, RMS),  $V_{rms}$ 로 판단한다. 본 연구에서는 Equation (5)와 같이 질량 유량에 대한 가중치를 적용하였다.

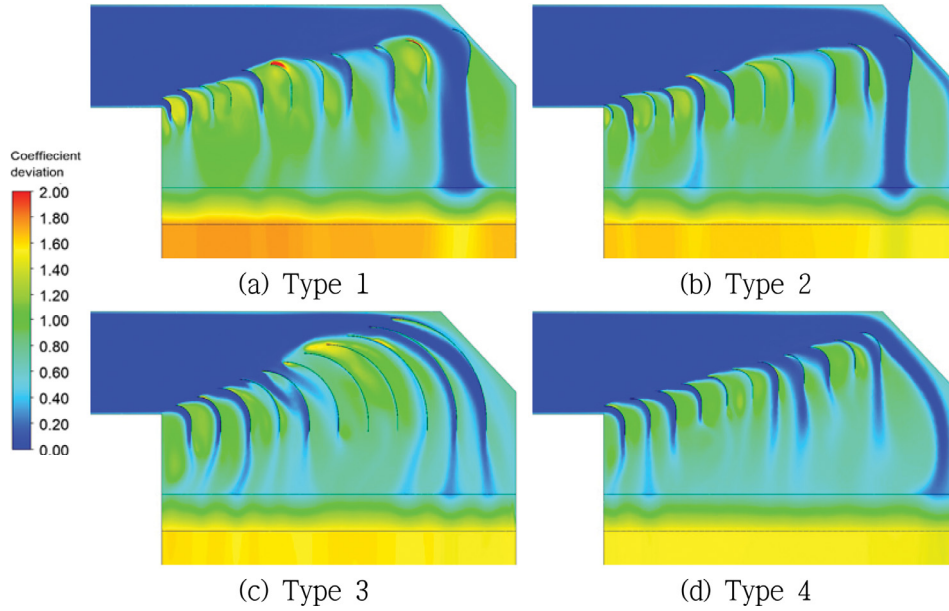


Figure 8. Comparison of pressure loss coefficient at mid span.

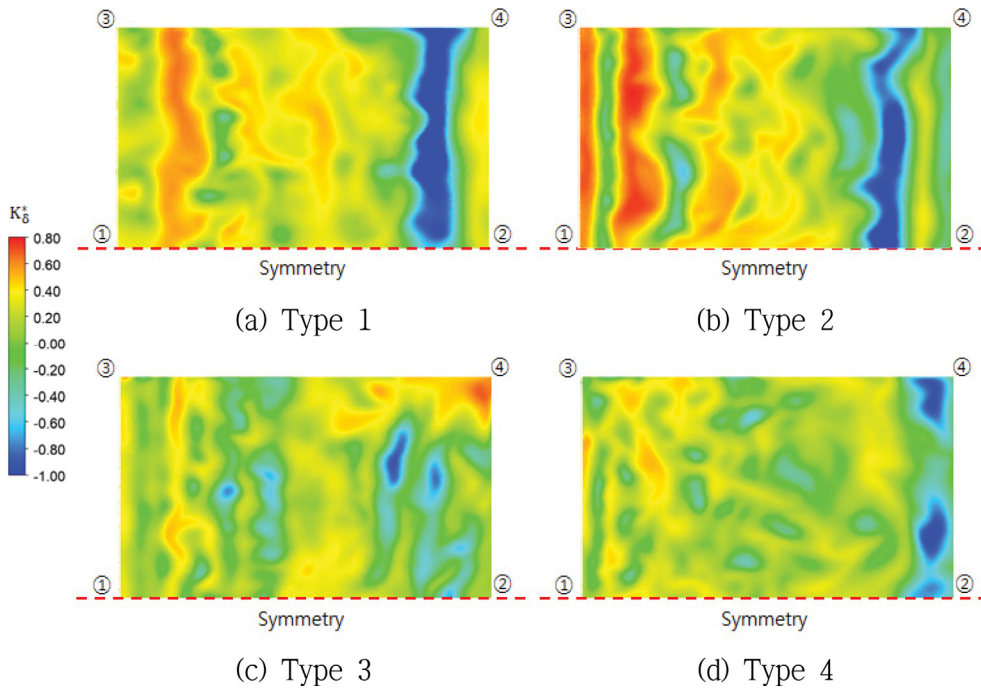


Figure 9. Comparison of pressure loss deviation at inlet of catalyst layer.

$$V_{rms} = \frac{1}{V_{outlet}} \sqrt{\sum_i \frac{(V_i - \bar{V}_{outlet})^2 dm_i}{\dot{m}}} \times 100[\%] \quad (5)$$

여기서  $V_i$ 는 각 지점에서 촉매 층으로 유입되는 수직 방향의 속도 성분의 크기이고  $\dot{m}_i$ 는 질속 유량이다.

압력 손실은 유동 구역간의 전압력의 평균값으로부터 산출하였다.  $\Delta P_1$ 은 곡확산부의 압력 손실이고  $\Delta P_2$ 는 촉매 층 내부에서의 압력 손실이다.

공력 성능의 비교로 촉매 층 입구에서의  $V_{rms}$ 와 유동장 내 압력 손실로 정리하면 Table 3과 같다.

유동 균일도인  $V_{rms}$ 가 개선된 정도를 기존의 형상인 type 1을 기준으로 비교하여 Equation (6)과 같이 정의하면 type 2는 7.7%, type 3는 23.0%, type 4는 30.0%로 type 3와 type 4가 type 2에 비해 2-3배 효과적이다.

$$I_p = (V_{rms,1} - V_{rms,i}) / V_{rms,1} \times 100[\%] \quad (6)$$

여기서  $I_p$ 는 개선도,  $V_{rms,1}$ 은 type 1의  $V_{rms}$ 이고  $V_{rms,i}$ 은 첫 번째 형상(type 1)의  $V_{rms}$ 이다.

Table 3에 나타난 바와 같이 압력 손실은 대부분 촉매 층 내부( $\Delta P_2$ )에서 발생한다. 곡확산부 내부의 압력 손실( $\Delta P_1$ )을

**Table 3.** Comparison of overall aerodynamic performances

Performance \ Type	type 1	type 2	type 3	type 4	Unit
Vrms	36.22	33.44	27.90	25.35	%
$\Delta P_1$	92	78	78	76	Pa
$\Delta P_2$	443	441	437	434	Pa
$\Delta P_{total}$	535	519	515	510	Pa

Equation (6)와 유사한 방법으로 3가지 형상에 대해 비교하면 압력 손실의 개선 효과가 15-17% 정도로 비슷하다.

Table 3의 결과를 종합하면 네번째 형상(type 4)이 유동 균일성과 압력 등 관점에서 가장 좋은 효과를 나타내었다.

#### 4. 결 론

대형 석탄 화력발전소의 SCR형 탈질 설비의 곽확산부에 설치된 안내 깃에 대해 4가지 형상을 공력 성능 관점에서 전산 해석 기법으로 비교하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

첫째, 압력 손실과 유동 균일성 등 공력 특성을 기준에 설치된 type 1과 비교할 때 type 2와 같이 안내 깃의 형상 변경 없이 배열만 재조정해도 공력 성능이 개선될 수 있다.

둘째, type 3의 경우 원호의 반경이 증가하는 배열 구조는 유동 균일성이 개선되는 효과는 보이나 곽확산부의 상단부에서 국부적으로 유동이 가속 현상이 발견되었다.

셋째, 배열 간격, 반경, 배치 각 등 3가지 관점에서 깃 간격과 반경이 일정한 type 4가 가장 우수하였다. 특히 유동 균일성은 30% 개선되었다.

전산 해석을 통해 기존 설비에 안내 깃의 교체만으로도 탈질 성능의 개선 가능성을 확인할 수 있었다.

#### 감 사

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(No.20181110100320).

#### References

- Lee, I. Y., Kim, D. W., Lee, J. B., and Yoo, K. O., "Reduced Scale Model Experiments and Numerical Simulation for Flow Uniformity in De-NOx SCR Reactor", *J. Korea Soc. Atmospheric Environ.*, **17**(4), pp. 347-354 (2001).
- Park, B. C., Park, S. J., and Jo, H. H., "Design Optimization of Guide Vane for Flow Unification in front of Selective Catalytic Reduction System", *KSME Conf.*, pp. 37-38 (2015).
- Liu, G., Cui, Y., Ji, J., Li, C., and Luo, K., "A Technical Method to Improve NOx/NH3 Mixing Ratio in SCR System and Its Engineering Applications", *J. Energy Inst.*, **92**(6), 1757-1764 (2019).
- Hwang, W. H., and Lee, K. G., "Mixer Design for Improving the Injection Uniformity of the Reduction Agent in SCR System," *J. Korea Soc. Comput. & Informat'n.*, **22**(1), 63-69 (2017).
- Mao, J., Jiang, X., Zhong, Y., Luo, Z., and Cen, K., "The Effect of Splitters Layout at Variable Cross-Section Inclined Flue on AIG Inlet Flow Field", *Zhejiang Daxue Xuebao(Gongxue Ban), J. Zhejiang Univ. (Eng. Sci.)*, **45**(8), 1453-1457 (2011).
- Park, B., "Design Optimization of Guide vane at 870 MW SCR Inlet Duct," *Master Thesis*, Yonsei University, Seoul (2015).
- Zhu, T., Li, D., Fang, Q., and Cheng, G., "Flow Field Optimization for SCR System of Coal-Fired Power Plant," *J. Chinese Soc. Power Eng.*, **35**(6), 481-488 (2015).
- Bae, S. W., Kim, M. K., Lee, C. S., and Chung, H. T., "Computational Simulation of the Aerodynamic Parameters in the Guide Vanes for DeNOx Facilities, *Proc. 11th NCFE Conf.*, Jeju (Aug. 2020).
- Ryu, C., "CFD Manual for Application to Facilities of Coal-Fired Power Plant," Doc. No.2015-Edu-02, KOEN (2016).
- Zhao, D., Sheng, H., and Zheng, W., "CFD Study on Selective Catalytic Reduction of 660MW Unit," *Int'l Conf. on Machinery. Materials and Computing Technology*, Hangzhou (Jan. 2016).
- Lee, C. S., Kim, M. G., and Chung, H. T., "Numerical Study on the Aerodynamic Characteristics inside Curved-Diffusing Parts of DeNOx Facilities in Coal-Fired Power Plant," *J. Compt. Fluids Eng.*, **25**(1), 13-19 (2020).
- Kim, M. G., Kim, B. S., and Chung, H. T., "Application of CFD to Design Procedure of Ammonia Injection System in DeNOx Facilities in a Coal-Fired Power Plant," *Clean Technol.*, **27**(1), 61-68 (2021).
- ANSYS, ANSYS FLUENT 2019 R1 User's Guide, ANSYS inc. (2019).