

배연탈황 공정 중 DSI 공법의 탈황효율 향상을 위한 전산 유체 역학적 연구(I)

정진도[†] · 김장우* · 김병환** · 박영문***

호서대학교 환경공학과 · *호서대학교 디스플레이공학과 · **대영EMC · ***호서대학교 환경공학과 대학원

(2006년 11월 14일 접수, 2007년 1월 2일 채택)

Numerical Analysis for Improving of SOx Removal Efficiency in the DSI(Dry Sorbent Injection Technique) of FGD System(I)

Jin-Do Chung[†] · Jang-woo Kim* · Byung-hwan Kim** · Young-moon Park***

Department of Environmental Engineering, Hoseo University · *Department of Display Engineering, Hoseo University
Taeyoung EMC, Seoul, Korea · *Department of Environmental Engineering, Graduated School, Hoseo University

ABSTRACT : The aim of this study is to research applicable possibility of Dry Sorbent Injection Technique(DSI) in SOx removal process using Computational Fluid Dynamics(CFD) software package. It will be applied for 500MW in capacity coal-fired thermal power plant operated by South Korea N. Power Co., Ltd. The DSI process is adapted between a preheater and an EP process in the technological assembly. The numerical analysis performs in predicting and optimizing of DSI process's characteristics, which consists of structure of duct, position of injection nozzles, injection speed, and dispersion of sorbent. Computing results are shown that degree of sorbent dispersion depends on structure of duct and position of injection nozzles strongly. The highest dispersion efficiency was obtained when we set a Lobed-plate inside the duct and 6 injection nozzles on the duct(4 injection nozzles at the corners and 2 injection nozzles on upper and under walls as a rectangle duct shape). We also know that change of injection speed of sorbent doesn't have an large effect on the sorbent dispersion but it can effect to drop pressure.

Key Words : DSI, FGD, 2-phase Flow, CFD, Sorbent Dispersion

요약 : 본 연구의 목적은 대형 석탄 화력 발전소에 DSI(Dry Sorbent Injection)공법 적용 가능성에 대한 연구로서 전산유체역학(CFD; Computational Fluid Dynamics) 기법을 이용하여 N화력 S화력발전 본부에서 운용중인 500MW급 유연탄 발전시설의 보일러 후단에서 전기 집진기 전단까지 덕트 내의 배기가스에 대한 삼차원 유동장에 대한 전산 해석을 수행하였다. CFD상용코드를 이용하여 DSI공법 적용 전 기술적 방향을 제시하였는데 덕트의 형상, 탈황제 분사 위치, 분사 속도에 따른 탈황제의 관내 분산 특성에 대한 연구를 중점으로 하였다. 그 결과 DSI공법 적용에 관한 최적의 조건을 확립하였고 그 중 탈황제의 분산에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 덕트 형상임을 확인하였으며 이에 Lobed-plate라는 탈황제 분산판을 적용한 결과 덕트 내 탈황제의 고른 분산을 유도할 수 있었다.

주제어 : 건식탈황, 전산유체역학, 탈황제 분산

1. 서론

우리나라는 급격한 경제성장과 국민소득의 향상으로 편리하고 깨끗한 에너지에 대한 선호도가 증가하고 있으며 특히 전기 에너지 이용도는 날로 증가하는 추세이다. H전력공사 보고서에 따르면 1960년대 전력 생산량은 37만 kW이며 1990년대는 2,200만 kW로 증가하였고 2005년에는 342,000만 kW에 달하고 있다.¹⁾ 이러한 전기 에너지의 수요증가는 발전원에서 야기되는 환경오염 물질의 증가로 이어져 이로 인한 다양한 환경 피해가 늘어나고 있다. 특히, 석탄을 연료로 사용하는 화력 발전소는 심각한 대기오염물질 배출 원으로 질소산화물과 더불어 황산화물의 주 발생 원인으로 인식되고 있

다. 황산화물의 경우 선진국에서도 환경 규제치를 보다 강화하여 적극적인 환경보존 정책을 실행하고 있으며 우리나라의 경우도 1999년 이후 황산화물(SOx) 배출 규제를 한층 강화하고 있다. 국내 황산화물 배출 규제는 발전부문에서 특히 엄격하여 500 MW급 유연탄 발전소의 배출허용 기준이 기존 500 ppm에서 1999년 이후 150 ppm으로 강화되었다.

강화된 배출규제에 부합하기 위하여 화석연료를 사용하는 발전소에서는 유황이 적은 연료로 대체하거나 기존의 장치에 추가적인 배연 탈황 공정(FGD; Flue Gas Desulfurization)이 요구되는 실정이다. 현재 개발된 대부분의 배연 탈황 공정은 습식탈황공정과 건식탈황공정으로 나눌 수 있는데, 습식탈황 공정은 황산화물의 제거효율이 90% 이상으로 아주 높다는 장점을 가지고 있으나 공정설비에 많은 비용과 면적이 소요된다는 점과 폐수의 발생이 불가피하며 2차 처리 문제가 발생된다는 단점이 있고 건식 탈황공정의 하나인 DSI

[†] Corresponding author

E-mail: jdchung@office.hoseo.ac.kr

Tel: 041-548-3521

Fax: 041-540-5748

공법은 건조된 탈황제 입자를 황산화물이 발생하는 노(Furnace) 또는 황산화물이 배출되는 노 후반부에 투입하여 황산화물을 제거하는 방법으로 제거효율이 낮다는 단점이 있으나 설비의 개조가 용이하고 공정 설비비용이 저렴하다는 장점을 가지고 있다.

본 연구는 N화력 S화력발전소에서 운영 중인 500 MW급 유연탄 발전시설을 대상으로 배연탈황공정 중 DSI공법의 적용 가능성을 파악하기 위한 연구로서, 탈황제의 관내 고온 분산을 목표로 덕트 내부에 형성되는 배기가스의 삼차원 유동장에 대해 전산해석을 수행하여 DSI공정 적용 시 발생 가능한 문제점을 분석하였다.

그 결과 탈황제의 편 분산 및 짧은 체류시간으로 인한 탈황효율의 저하로 본 공정의 적용 시 황산화물의 제거 목표 효율을 만족하지 못할 것으로 예상되었다. 이를 해결하기 위해 압력 손실이 적으며 덕트 내 기류에 영향을 주어 탈황제의 덕트 내 고온 분산을 돕는 구조물인 Lobed-plate를 채용하였고 이 구조물의 적용에 앞서 최적의 조건 확립을 위하여 전산 유체 역학 기법을 이용하여 신뢰성 있는 설계 방향을 제시하고자 한다.

2. 이론해석

덕트 내 이상(기체-고체)의 존재 시 입자의 운동과 가스 속도의 변화에 관여하는 중요한 인자 중의 하나로 입자의 질량분율(M_p)이 있다.

$$M_p = \frac{m_p}{m_g + m_p} \quad (1)$$

입자의 질량 분율이 작은 경우($M_p < 0.1$) 입자의 운동은 가스유동에 의해 주된 영향을 받지만 가스 유동의 변화에는 거의 영향을 미치지 못한다. 반면에 입자의 질량 분율이 큰 경우($M_p > 0.1$)는 입자 운동은 가스유동에 영향을 받고 가스 유동 또한 입자에 의한 영향을 받게 된다.²⁾ 본 연구의 경우 덕트 내 흐르는 배기가스의 양이 탈황제의 유입양보다 현격하게 많으므로 탈황제는 가스의 유동에 변화에 영향을 미칠 수 없다. 따라서 탈황제의 분사방법의 변화를 통한 덕트 내 고온 분산은 불가능하므로 덕트 내 기류변화에 의한 탈황제의 분산을 고려해야 한다는 결론을 얻을 수 있었고 이에 발맞추어 Fig. 1과 같은 기하학적 형상의 Lobed-plate를 채용하였다.

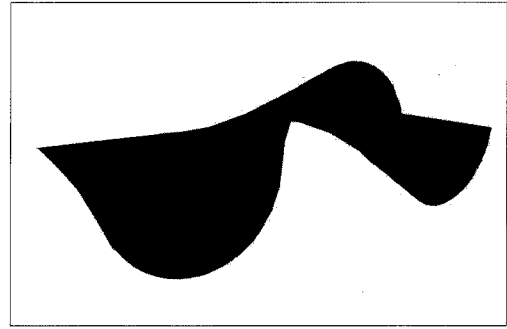


Fig. 1. Shape of Lobed-plate.

2.1. Lobed-plate

Lobed-plate는 초음속 기류에 연료를 혼합하여 원활한 연소 성능을 얻기 위해 스크램 제트 엔진 등에 적용이 검토되었던 것으로(SCRAM Jet; Supersonic Combustion Ram Jet) 시작한 직선으로 된 평판이며 길이 방향으로 진행할수록 일정한 주기곡선과 연결되어진 기하학적 형상으로 Fig. 1과 같다.

본 연구에서는 주기곡선의 마루와 골의 최대 길이를 0 m~3 m까지 0.5 m 간격으로 7가지 형태의 Lobed-plate에 대하여 수치해석을 수행 하였으며 각 형태별 압력손실 및 탈황제의 분산도를 분석하였다.

2.2. 탈황제 및 분사 노즐

탈황제(Calcium-hydroxide)에 대해서 화학적 반응은 고려하지 않고 물리적 분산 특성만을 관찰하였다. 연구에 적용될 탈황제의 입경분포는 4~7 μm 의 범위이지만 본 연구에서는 평균입경인 5 μm 탈황제를 입경으로 정하고 밀도는 400 kg/m^3 로 하였다. 또한 탈황제의 유입 양은 황산화물과 탈황제의 이론적 반응 몰비(1:1)를 이용하여 150 ppm으로 배출되는 황산화물을 환경부에서 정하고 있는 환경 규제치 보다 낮은 100 ppm까지 저감시키기 위한 필요 탈황제의 양을 산정하였다.³⁾ 연구 내용으로는 목표 효율과 경제성을 고려하여 SR비는 1.7로 고정하여, 각 노즐에서 유입되는 총 탈황제의 양은 0.61 kg/s 의 질량 유속으로 덕트 내 연속적으로 유입된다고 가정하였다.

Fig. 2는 사각 덕트 내에 Lobed-plate를 설치한 후 6개의 분사노즐에서 탈황제를 유입하는 개략도를 나타내었으며 설계 재원은 다음 Table 1과 같다.

탈황제의 덕트 내 분사 방법을 강한 기류에 탈황제 입자를 실어 덕트 내에 분사하는 방법으로 분사각도는 덕트 내 기류에 수직 방향이며 분사 속도는 5.1 m/s로 고정하였는데, 총

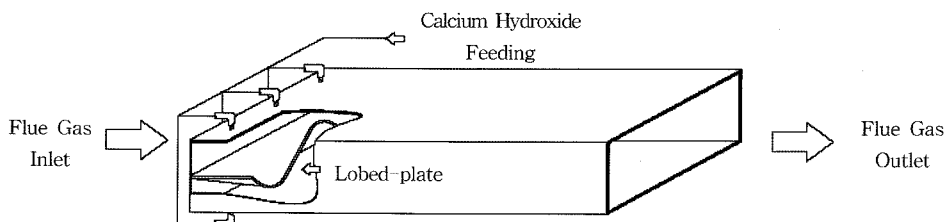


Fig. 2. General arrangement of assembled Duct.

Table 1. Specifications of the simplified applying Duct & Lobed-plate

Item	Parameter	Value
Duct	Height	3.7 m
	Wide	7.4 m
	Length	23 m
	Flow rate of Air	17.7 m/s
	Flow rate of Calcium-hydroxide	0.61 kg/s
Lobed-plate	Height	0~3 m
	Wide	3.7 m
	Length	3 m

0.61 kg/s의 탈황제가 각각 6개의 분사노즐에서 동일한 양으로 나오기 위한 계산 값이다. 탈황제의 분사위치 또한 중요한 실험변수 중 하나로 덕트 외벽 상단과 하단에서 Lobed-plate의 마루와 골이 최대 최소가 되는 6지점을 탈황제 분사 지점으로 선택하였다.

2.3. 덕 트

덕트는 Table 1과 같이 사각 직관으로 3.7 m 높이와 7.4 m 폭으로 구성되었으며 배기가스가 연속적으로 유입 되는 입구 초기에 Lobed-plate를 설치하여 덕트 내 이동 거리에 따른 탈황제 분산 경향성을 살펴볼 수 있도록 구성하였다.

3. 수치해석 방법

3.1. 기상(Gas Phase)

수치해석에는 범용 열·유체 해석 코드인 Fluent을 사용하였고 지배방정식은 Navier-Stokes 방정식에 기초를 두었으며 유동장의 점성계수는 표준 k-ε 모델을 사용하여 구하였다.

기상에서 운동량과 기타 물리량을 나타내는 일반 지배 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho\vec{u}\phi) = \nabla \cdot (\Gamma\nabla\phi) + S_\phi \quad (2)$$

식 (2)에서 왼쪽으로부터 비정상항, 유동항, 확산항 그리고 소멸·생성항을 각각 나타내며 ϕ는 단위 질량당 물리량을 표시한다. 또 ρ와 Γ는 밀도와 확산계수를 각각 나타낸다. (2)를 이용하여 3차원 직각 좌표에서 기체를 비압축성, 정상상태라는 조건을 가정하여 각 항에 표기된 계수를 정리하면 Table 2와 같다.

3.2. 분산상(Dispersed Phase)

유동장 내에 고체와 기체가 혼재된 이상유동(Two-phase flow)을 해석하는 방법에는 오일러인(Eulerian method)방법과 라그라지안(Lagrangian method)의 2가지 해석 방법이 가능하다. 라그라지안 방법은 입자의 궤적을 추적하여 연속상(기체)과 분산상(입자)이 상호간에 미치는 힘을 계산하는 방법이며, 오일러인 방법은 입자를 또 하나의 연속상으로 가정하여 이에 대한 지배방정식을 푸는 방법이다. 이 두가지 방법은 각각 다른 장단점을 가지고 비슷한 결과를 보여주지만 본 연구에서는 입자의 궤적 및 경계조건의 부여가 용이하며 컴퓨터의 계산용량에도 제약이 적은 라그라지안 방법을 사용하였다.

기체-고체 이상 유동장은 입자질량부하에 의하여 두 가지로 유동특성이 분류 되어 진다. 입자질량부하가 작은 유동인 경우에는 입자운동이 기체 유동장에 미치는 영향은 무시하여도 좋으며 입자만이 유동장의 영향을 받는다고 볼 수 있는 유동으로서 한 방향 결합유동(One way couple flow)이라고 불리고 입자질량부하가 큰 경우에는 입자운동이 기체 유동장에 미치는 영향이 강하여 상호간의 영향을 고려해 주어야 하므로 양 방향 결합유동(Two way couple flow)이라고 불린다. 본 연구에서는 입자 질량부하가 높지 않은 경우이므로 계산시간이 비교적 적게 소요되고 수치 안정성에도 영향을 적게 미치는 한 방향 결합유동을 계산하여 덕트 내 입자운동 및 분산 특성에 관한 일반적인 경향을 관찰 하였다.

이상과 같은 특성을 가지는 입자의 운동은 입자의 관성력, 유체 저항력, 중력 항들로 이루어진 입자운동방정식을 시간에 대하여 적분하여 입자의 속도 up를 구한 후, 그 속도를 다시 적분하여 구한다.

Table 2. Diffusion coefficient and term expression for 3-D rectangular coordinate⁴⁾

Name	Φ	ΓΦ	SΦ
Axial Velocity	\bar{u}	μ_{eff}	$\frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_{eff} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_{eff} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_{eff} \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} \right) - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x}$
Vertical Velocity	\bar{v}	μ_{eff}	$\frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_{eff} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_{eff} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_{eff} \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} \right) - \frac{\partial \bar{p}}{\partial y}$
Horizonal Velocity	\bar{w}	μ_{eff}	$\frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_{eff} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_{eff} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_{eff} \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} \right) - \frac{\partial \bar{p}}{\partial z}$
Turbulent Kinetic Energy	κ	$\frac{\mu_{eff}}{\delta_k}$	$G_{k1} - \rho\epsilon$
Dissipation Rate of κ	ε	$\frac{\mu_{eff}}{\delta_\epsilon}$	$\frac{\epsilon}{\kappa} (C_1 G_{\kappa 1} - C_2 \rho\epsilon)$

$$G_{\delta_{k1}} = 2\mu_1 \left[\left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{w}}{\partial z} \right)^2 \right] + \mu_1 \left[\left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right)^2 \right]$$

입자속도 계산 방정식

$$\frac{du_p}{dt} = F_d(u_p - u) + g_r \left(1 - \frac{\rho}{\rho_p}\right) + F_x \quad (3)$$

여기서 $F_d(u_p - u)$ 는 단위 입자질량에 작용하는 유체의 저항력을 의미하며, F_d 는 항력, F_x 는 외력을 나타낸다.

$$F_d = \frac{18\mu C_d Re_p}{\rho_p d_p^2 24} \quad (4)$$

여기서 u 는 유체속도, u_p 는 입자속도, ρ_p 는 입자밀도, d_p 는 입자직경, μ 는 기체 점성계수를 나타낸다. 입자와 유체간의 상대속도의 함수로 정의 되는 입자의 상대 레이놀즈수는 다음과 같이 정의된다.

$$Re_p = \frac{\rho d_p (u_p - u)}{\mu} \quad (5)$$

항력계수(drag coefficient) C_d 는 다음과 같이 정의되며

$$C_d = a_1 + \frac{a_2}{Re_p} + \frac{a_3}{Re_p^2} \quad (6)$$

계수 a_1, a_2, a_3 는 Moris와 Alexander⁵⁾의 실험식으로부터 주어 진 값이다.

입자의 궤적은 식 (3)을 적분하여 얻어진 x 축 방향 속도를 사용하여 다음 식으로부터 구한다.

$$\frac{dx}{dt} = u_p \quad (7)$$

위와 같은 방법으로 y 방향과 z 방향의 입자 궤적을 구할 수 있다.

3.3. 격자생성 및 경계조건

덕트 내부 유동 및 입자 분산의 예측을 통한 DSI공정 적용 가능성에 대한 연구를 수행하기 위하여 Fluent의 격자생성 프로그램인 Gambit V. 2.0을 이용하여 계산격자를 생성하였다.

Fig. 3은 계산영역 및 사용된 격자계중 Lobed-plate의 마루와 골의 높이가 3 m인 경우의 격자계로서 계산시간과 컴퓨터의 용량을 줄이기 위하여 Y축을 기준으로 각 형상이 대칭이라 가정하여 실제 계산영역의 1/2지역만 격자를 생성하였으며 격자 셀의 수는 7가지 경우에 한하여 약 100,000~150,000개 정도로 이루어져 있다. 입·출구 조건은 발전소의 현장 조건과 일치시켜 계산 오차를 줄이기 위해 입구유속 17.7 m/s, 출구 압력 경계조건 -10.235 pa로 입력하였다. 형상에 의한 역류(Reverse Flow)의 가능성을 배제하기 위하여 직관으로 덕트를 구성하였으며 벽면에는 미끄럼 방지조건(No slip boundary condition)을 사용하였다. 수분, 온도 및 화학적 반응의 영향은 계산시간의 단축과 컴퓨터 용량 부하를

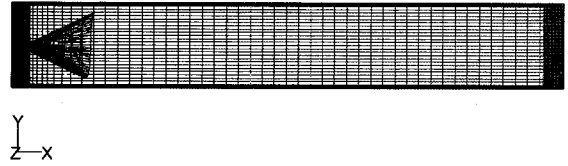


Fig. 3. Geometry of the duct applied Lobed-plate.

줄이기 위해서 계산에서 배제하여 탈황제의 물리적 분산 특성만을 고려하였다.

노즐로부터 분사되는 탈황제와 공기의 속도는 탈황제의 분산과는 개연성이 적은 것을 선택된 연구를 통하여 밝혔기에 운영인자를 고려하여 5 m/s의 속도로 유입된다고 가정하였다. 또한 각각의 분사 노즐 단면적은 0.01 m²며 총 6개의 노즐에서 균일한 속도와 일정비율(1%; 체적비율)로 덕트 내 탈황제의 유입이 이루어진다고 가정했다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 관내 탈황제 분산 성향

일반적으로 입자가 덕트 내 기류에 비해 소량일 경우 유동에 영향을 미치지 못하고 관내 유동에 휩쓸리는 것으로 알려져 있다. 따라서 덕트 상단에서 탈황제를 유입할 경우 유입되는 지점의 덕트면에 탈황제의 분산을 보일 뿐 덕트 중심부까지의 탈황제의 분산은 어렵다.

실제 본 연구의 결과로 나타난 Fig. 4는 덕트 내 Lobed-plate가 설치되지 않은 경우에 대한 결과로서 배기가스 흐름 방향의 수직단면에 대한 탈황제 체적비율을 나타내는 것이다. 그림과 같이 분사지점을 제외한 곳에서는 탈황제의 분산은 거의 이루어 지지 않았다.

4.2. Lobed-plate의 덕트 내 설치 및 높이에 따른 영향

Lobed-plate 끝단에서 나타나는 주기 곡선의 형상에서 마루와 골의 높이를 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 m의 7가지 형태로 구분하고 이에 따른 탈황제 분산도를 비교하였으며 그 중 높이가 3 m인 경우에 탈황제의 분산 특성을 Fig. 5에 나타내었다. 탈황제의 분산은 보이는 바와 같이 덕트 내를 Lobed-plate를 지난 후 기류에 회전력이 생기고 기류 내 입자도 그 영향을 받아 회전하며 덕트 내 분산이 이루어진다.

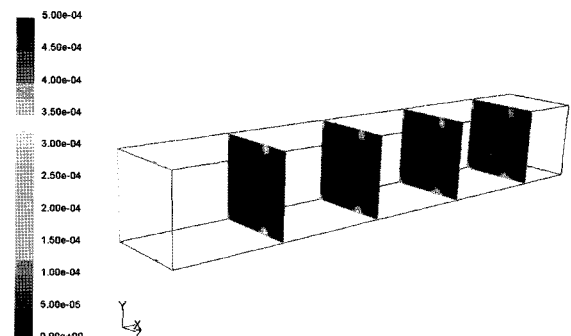


Fig. 4. Volume fraction of Calcium-hydroxide in the cross section.

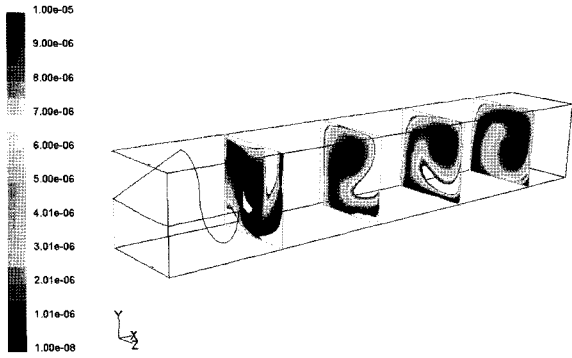


Fig. 5. Volume fraction of Calcium-hydroxide in the cross section applied Lobed-plate.

또한 유입된 탈황제의 분산은 Lobed-plate의 높이가 증가함에 따라 고른 분산경향성을 보였는데 높이가 높아질수록 덕트 내 기류 변화에 영향을 크게 미치는 것으로 판단된다. Lobed-plate의 마루와 골의 최대 높이에 따른 탈황제의 분산 형상은 다음 Fig. 6과 같다.

Lobed-plate의 높이에 따른 분산도를 비교하기 위하여 높이가 다른 Lobed-plate를 지난 배기가스가 20 m 진행했을 때 각각의 수직 단면적에서 나타나는 탈황제의 분산도에 대하여 비교하였다. Fig. 6에 도시된 그림에서 우측면은 대칭면으로 정하여 실제의 1/2만 표기된 것으로 수직 단면적에서 배기가스와 탈황제의 체적비율 중 탈황제가 최소 10⁻³%까지 존재

하는 면적을 도시하였다. 도시된 그림을 1:57의 스케일로 출력하여 수직단면적에서 탈황제가 존재하는 면적을 계산하여 각각의 경우에 대한 분산도를 결정하였으며, 그 결과를 다음과 같이 정리하였다.

$$V_f = \frac{A_c}{A_t} \times 100 \tag{8}$$

V_f : Volume Fraction of Calcium-hydroxide in the cross-section
 A_c : Counted Area of Calcium-hydroxide in the cross-section
 A_t : Counted Total Area of the cross-section

Table 3. Comparison of dispersion rate according to variable height of Lobed-plate

Height of Lobed plate(m)	location of observation(m)	Area of cross section(m ²)	Area of Sorbent(m ²)	Rate(%)
0.0	20	13.69	4.23	30.9
0.5			5.42	39.6
1.0			6.92	50.5
1.5			8.19	59.8
2.0			8.93	65.2
2.5			10.93	79.8
3.0			12.69	92.7

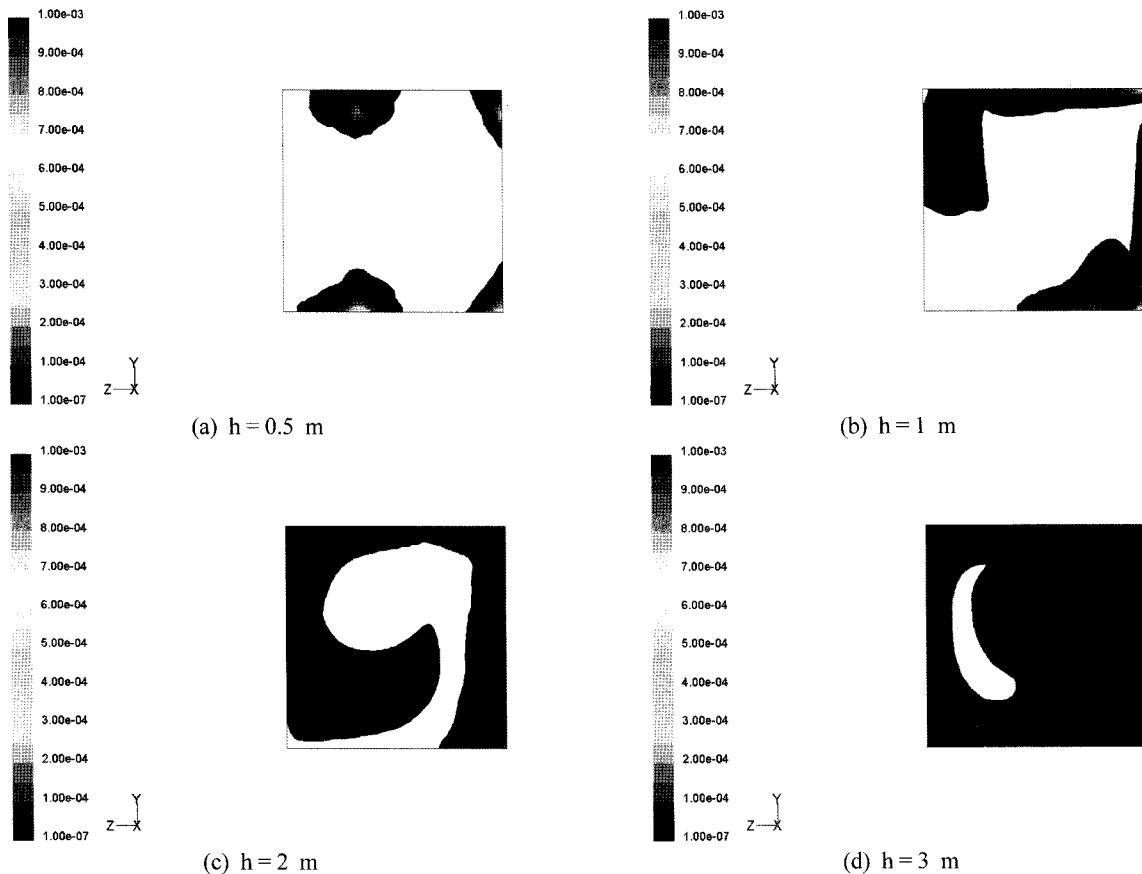


Fig. 6. Comparison with volume fraction of Calcium-hydroxide each case.

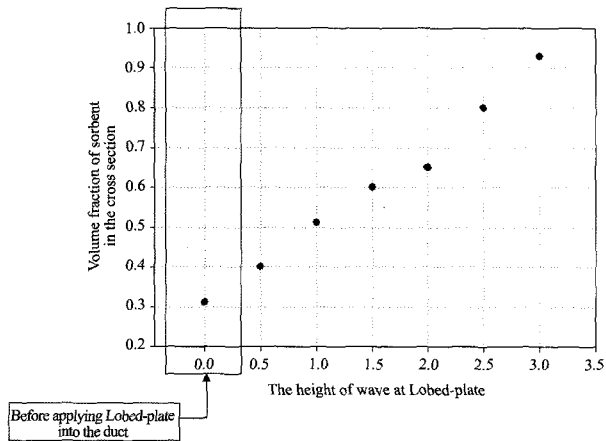
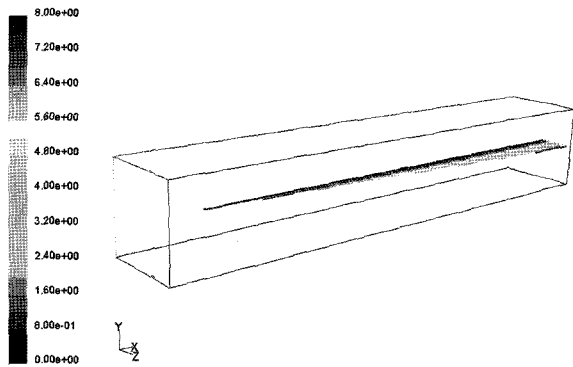


Fig. 7. Dispersion rate in the cross-section according to Height of wave at Lobed-plate.

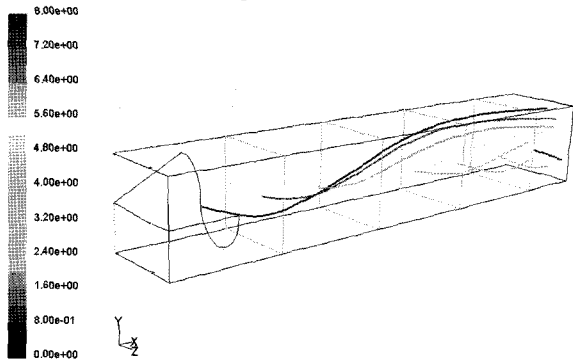
7가지 경우에 대한 수치 해석적 결과 Fig. 7과 같이 Lobed-plate 높이와 분산도는 직접적인 관계에 있으며 DSI공정 적용 시 탈황에 대한 목표 효율을 만족하기 위해서는 관내 형상의 변화를 통한 탈황제의 분산이 필요함을 밝혔으며 향후 채택될 예정이다.

4.4. 입자궤적

Fig. 8의 (a)는 Lobed-plate가 설치되지 않은 사각 덕트 내를 이동하는 입자의 궤적을 나타내고, Fig. 8의 (b)는 Lobed-



(a) The result of particle trajectory in case without Lobed-plate in the duct



(b) The result of particle trajectory in case within Lobed-plate in the duct

Fig. 8. Comparison with Particle trajectory.

plate가 설치된 후의 입자 궤적을 나타낸다. 두 그림은 같은 위치에서 시작된 입자의 궤적을 나타내는데 각각의 경우는 확연히 다른 입자궤적을 가짐을 알 수 있다. 이로써 Lobed-plate가 덕트 내 기류에 변화를 영향을 미치는 것을 확인 할 수 있으며 탈황제의 관내 분산에 영향을 주어 탈황 효율 향상에 도움을 줄 것으로 예상된다.

5. 결론

본 연구는 화력발전소에서 발생되는 황산화물의 저감을 위한 DSI공정 적용 가능성에 관한 연구로서, 본 공정을 적용 시 최적의 조건을 확립하기 위하여 덕트 내 압력손실과 탈황효율에 직접적인 연관인자인 탈황제의 분산도에 대하여 고찰하였는데, 유동특성 및 압력손실의 정확한 예측은 역학적 상사를 통해 만들어진 실험 장치를 이용한 실험결과가 최선이다. 하지만 장기간의 실험 수행 및 많은 제작비용이 요구되므로 보다 효과적인 해결방법이 필요시 된다. 따라서 본 연구에서는 이를 해결하기 위하여 전산 유체 역학적 기법을 통하여 DSI 공법 적용 시 가장 문제가 되는 압력손실과 탈황제의 분산 방법에 대한 여러 가지 수치 해석적 실험을 수행하여 목표에 부합하는 결과를 도출할 수 있었다.

1) DSI공정 적용 시 문제로 제기된 관내 탈황제의 고른 분산을 해결하기 위한 방법을 모색한 결과 탈황제의 분사 방법 및 분사 각도만을 통해 분사시킨 결과 관내 고른 분산은 불가능 했다.

2) 탈황제의 관내 고른 분산을 하기 위하여 덕트 내 기류 변화를 유도하는 Lobed-plate를 덕트 내에 설치하고 덕트 내 유동장을 관찰한 결과 목표 정도의 고른 분산을 유도할 수 있었으며, Lobed-plate 끝단 형상의 주기곡선의 마루와 골 사이 거리가 커질수록 덕트 내 탈황제의 분산도가 증가함을 알 수 있었다.

본 수치해석 결과를 바탕으로 최적 Lab-scale 실험 장비를 구성하기 위한 방향성을 제시하였으며 향후 화력발전 시설에 본 공정을 적용하기 위한 기초 연구로서 활용이 가능하다.

Nomenclatures

- Re Reynolds Number
- M_p Mss fraction
- ρ Density
- μ Viscosity
- w Wide of duct
- h Height of duct
- l Lenth of duct
- h_l Height of lobed plate
- V_f Volume Fraction of Calcium-hydroxide in the cross-section

A_c	Counted Area of Calcium-hydroxide in the cross-section
A_t	Counted Total Area of the cross-section
u_p	Particle Velocity of x direction
V_p	Particle Velocity of y direction
W_p	Particle Velocity of z direction
U	Velocity of x direction
V	Velocity of y direction
W	Velocity of z direction

사 사

본 연구는 2006년도 산업자원부 전력산업 연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국전력공사, “연간보고서,” 63~74(2005).
2. 김혁제, 송시홍, 박석호, “분사된 미분탄의 편중분포 방지를 위한 내부장치 최적화에 관한 수치 해석적 연구,” 대한기계학회논문집 B권, **24**(2), 270~279(2000).
3. Aurora, G., Jose, A. M., Angel, I., “Mechanistical and non-linear modeling approaches to in duct desulfurization,” *Chemical engineering and processing*, 709~715(2005).
4. 신미수, “산업용 보일러 시스템의 SNCR 공정과 집진·축열 장치 고도설계를 위한 수치해석,” 충남대학교, 46~52(2003).
5. Morsi, S. A. and Alexander, A. J., “An Investigation of Particle Trajectories in Two-Phase Flow Systems,” *J. Fluid Mech.*, **55**(2), 193~208(1972).
6. 박재만, 신창섭, “소석회를 사용한 In-line형 건식탈황공정의 최적화와 첨가제의 영향,” 한국산업안전학회지, **12**(2), 102~110(1997).
7. 조기철, 이승일, “국내 석회석의 탈황특성에 관한 연구,” 환경관리학회지, **9**(2), 257~264(2003).
8. Benny, KUAN., M. Philip, SCHWARZ., “Numeriacal Prediction of Dilute Particulate Flow in Horizontal and Vertical Ducts,” CSIRO in Conference, 755~763(2003).
9. Vuthaluru, H. B., Pareek, V. K., Vuthaluru, R., “Multi-phase flow simulation of a simplified coal pulveriser,” *Fuel Processing Technology*, 1195~1205(2005).
10. Masoud Rahimi., Abbas Khoshhal., Seyed Mehdi Shariati., “CFD modeling of a boiler's tubes rupture,” *Applied Thermal Engineering*, 2192~2200(2006).
11. Patanker, S. V., “Numerical heat transfer and fluid flow,” Mcgraw-hill book company(1980).
12. Hinze, J. O., “Turbulence,” Mcgraw-hill book company, New York(1980).