

혼합촉진장치 적용시 유동장 변화에 의한 탈황효율 연구

정진도[†] · 김장우* · 서문준**

A Study on the Desulfurization Efficiency as a Variation of Flow Field Applied a Mixing Enhancement Apparatus

J. D. Chung, J. W. Kim and J. SeomMun

Key Words: mixing enhancement(혼합촉진장치), SR(양론비), FGD : Flue Gas Desulfurization(배연탈황), Labeled-plate(안장모양), Step-plate(계단모양)

Abstract

This paper has designed a mixing enhancement apparatus called Lobed-plate and Step-plate and comparatively calculated desulfurization efficiency of when its shape was changed. The parameters used at this time were the shape, SR ratio and the number of nozzles of the mixing enhancement apparatus and comparatively analyzed desulfurization efficiency according to these parameters. As a result, the Step-plate appeared as more highly by around 4% than Lobed-plate in desulfurization efficiency according to the shape of the mixing promotion apparatus, and when the desulfurization efficiency as a SR ratio is considered, it appeared highly by an average of 5% when the SR ratio is 3 rather than 2. As a result of comparing desulfurization efficiency by fixing the SR ratio and setting the number of nozzles as 4 pieces and 6 pieces, there was no big change in desulfurization efficiency when the SR ratio is 2, but it could be confirmed to improve by around 5% when the SR ratio is 3 when time passed 8 seconds.

1. 서 론

급격한 경제성장을 이룬 우리나라는 경제성장과 국민 소득의 향상으로 편리하고 깨끗한 에너지에 대한 선호도가 증가하고 있으며 특히 전기 에너지 이용도는 날로 증가하는 추세이고 에너지의 수요증가는 발전원에서 야기되는 환경오염 물질의 증가로 이어졌다.

특히, 석탄을 연료로 사용하는 화력 발전소는 심각한 대기오염물질 배출원으로 황산화물의 주 발생 원인으로 인식 되고 있다. 황산화물을 제거하기 위해서는 배연탈

황공정(FGD : Flue gas desulfurization)이 필요하다⁽¹⁾.

배연탈황은 화석연료 중에 포함되어 있는 유황분이 연소되어 발생한 배기가스 중의 황산화물을 화학적 또는 물리적인 방법으로 제거하고 처리된 가스를 배출하는 기술의 총칭이며 황산화물의 제거 방법에 따라 여러 가지 공정으로 분류하고 있다⁽²⁾.

배연탈황 공정은 크게 습식 공정과 건식 공정으로 구분된다. 습식 공정은 물, 알칼리성 용액 또는 슬러리를 이용하여 기상의 황산화물을 흡수하고 알칼리 성분과 반응시키는 공정으로서 기존의 배연탈황에 주로 사용되고 있는 방법이다. 이 공정은 반응율이 높고, 황산화물 및 먼지의 동시 제거가 가능하다는 장점이 있지만 2차 오염물질인 폐수를 발생시키고, 폐가스 처리 시 재가열이 필요하며 장치의 부식이 심할 뿐만 아니라 설비비용이 상대적으로 비싸다. 이에 비하여 건식 공정은 습식 공정에 비하여 황산화물 제거효율이 낮다는 단점이 있

(2010년 09월 27일 접수~2010년 12월 08일 심사완료, 2010년 12월 15일 게재확정)

[†]호서대학교 그린에너지반도체공학과

^{**}호서대학교 대학원 반도체디스플레이공학과

[†]호서대학교 환경공학과

E-mail : jdchung@hoseo.edu

TEL : (041)540-5374 FAX : (041)540-5394

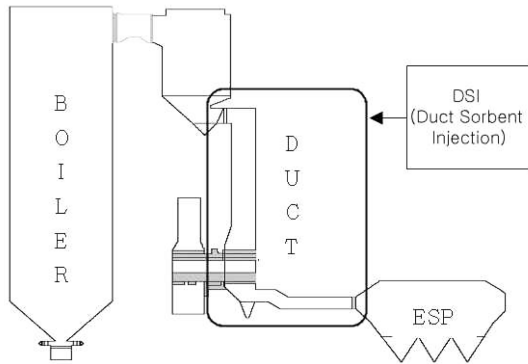


Fig. 1 Schematic diagram of duct sorbent injection process

으나 2차 오염물이 발생되지 않으며 설비의 개조가 용이하고 낮은 설치비 및 운전비 등의 장점을 가지고 있다⁽³⁻⁴⁾.

하지만 건식공정에서 황산화물과 탈황제의 낮은 집착율과 짧은 반응시간으로 비교적 낮은 탈황효율을 보이고 있는데 본 연구에서는 이를 해결하기 위하여 반응기 내의 기류와 탈황제와의 혼합을 촉진시키는 혼합촉진장치를 고안하여 탈황제의 최적 혼합을 유도하는 형상을 수치해석적으로 접근하여 실제 설계시 기초자료로 제공하고자 한다.

2. 수치해석

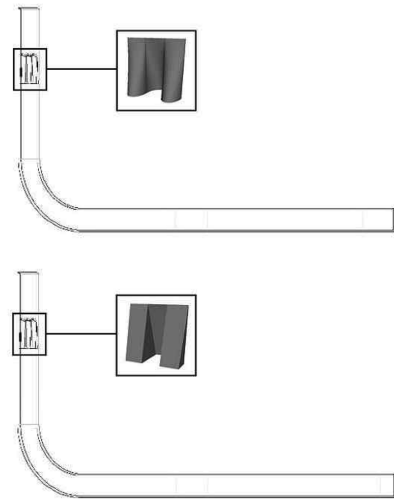
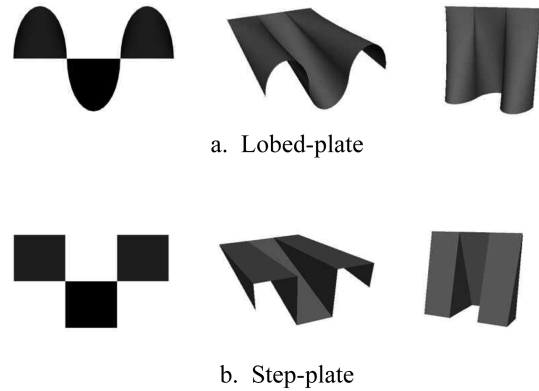
2.1 혼합촉진장치

탈황효율을 높이기 위한 기구로서 덕트형상 반응기 내 기류의 유동장에 변화를 일으켜 주는 혼합촉진장치를 고안하였다. 혼합촉진장치는 직선으로 된 평판이며 길이 방향으로 진행할수록 일정한 주기곡선과 연결되어진 기하학적 형상을 보이고 있으며, 그 형상을 물결모양과 계단모양으로 만들어 각각의 형상에 따른 탈황효율을 분석하여 탈황제의 혼합률을 높일 수 있는 최적의 형상을 도출할 수 있다면 DSI공정에 적용 시 보다 높은 탈황효율을 기대할 수 있을 것이다⁽⁵⁻⁶⁾.

2.2 경계조건 및 수치해석 기법

수치해석에 적용될 덕트의 형상은 국내 N화력 S발전본부의 사각 덕트를 모델로 하였다.

덕트 내부에 흐르는 기류의 유속은 0.5 m/s로 고정하여 소석회와 SO₂의 반응이 최대 6초 이상 반응할 수 있



c. Apply in the reactor

Fig. 2 Mixing enhancement

도록 높이 1.8 m, 길이 3 m로 설정하여 덕트의 유효길이가 4.5 m이상 되도록 하였다. 혼합촉진장치의 형상과 SR비, 노즐 개수의 변화에 따른 탈황효율을 분석하기 위해서 Fig. 3와 같이 격자를 구성하였고, 격자 계산은 CFD solver인 FLUENT 6.0S/W를 사용하였다. 계산에 적용된 경계 조건은 덕트 입구(inlet)에서 기류가 0.5 m/s로 일정하게 유입되고 유입된 기류는 덕트를 따라 출구(outlet)로 배출된다. 이때 소석회 분사조건은 0.35 m/s로 일정하며, 화학적 양론비인 SR(Stoichiometric Ratio)가 2(23.2 kg)와 3(34.8 kg)의 소석회가 4, 6개의 분사구를 통해서 연속적으로 분사된다고 모델화하였다.

3차원 지배방정식은 Navier-Stokes방정식에 기초를 두고, 유동장의 점성계수는 표준 k-ε모델을 사용하여

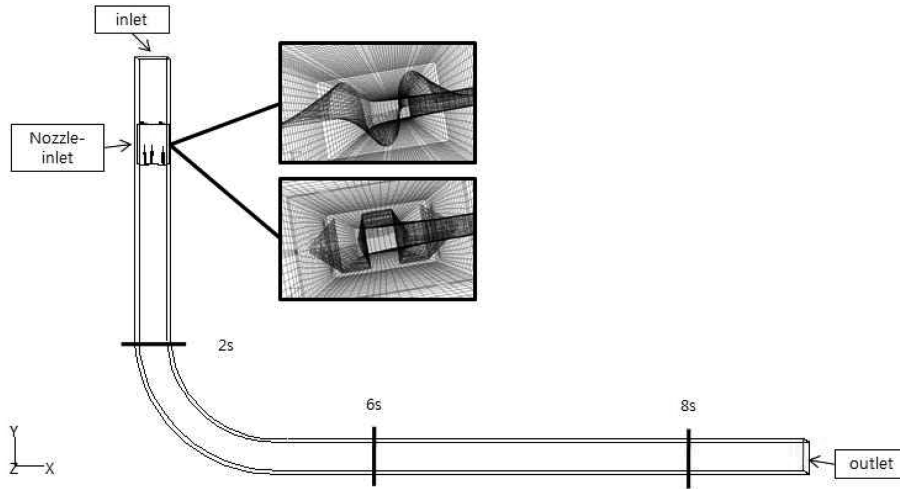


Fig. 3 Mesh

구했다. 기체의 유동에 대한 일반 지배방정식은 다음과 같다⁽⁷⁾.

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} \cdot \nabla(\rho\vec{u}\phi) = \nabla \cdot (\Gamma\nabla\phi) + S_\phi \quad (1)$$

식 (1)에서 각 항은 왼쪽부터 비정상, 유동, 확산항, 소멸, 생성항을 각각 나타내며 ϕ 는 단위 질량당 물리량을 표시하며, ρ 은 밀도를 Γ 은 확산계수를 나타낸다. 온도를 고려한 해석은 본 연구에서 적용되지 않았고, 입자에 관한 지배방정식은 운동량만을 고려하였다. 또한, 정상상태에서의 입자와 유체간의 항력과 중력만을 고려하여 입자의 운동방정식을 유도하였고⁽⁸⁻⁹⁾ 난류에서 평균을 취할 때 나타나는 요동 상관 관계항을 처리하기 위한 입자의 확산모델을 사용하였다⁽¹⁰⁾.

3. 결과 및 고찰

Lobed-plate와 Step-plate를 이용한 탈황제의 분산 성능을 검증하기 위해 2개의 덕트 부품을 제작하여 Lobed-plate와 Step-plate의 탈황효율을 SR비와 노즐개수에 따라 비교분석 하였다.

Lobed-plate와 Step-plate탈황효율을 분석한 그래프가 Fig. 4, Fig. 5이다.

그림에서 알 수 있듯이 Step-plate를 적용한 경우 탈황효율이 Lobed-plate보다 약 4% 가량 향상되는 것을 볼 수 있었다. 이는 기류가 Step-plate의 각도를 지닌 부분을 지나면서 Lobed-plate보다 더 많은 와류를 발생시켜 소석회의 혼합이 촉진되어 탈황효율이 증가한 것으로

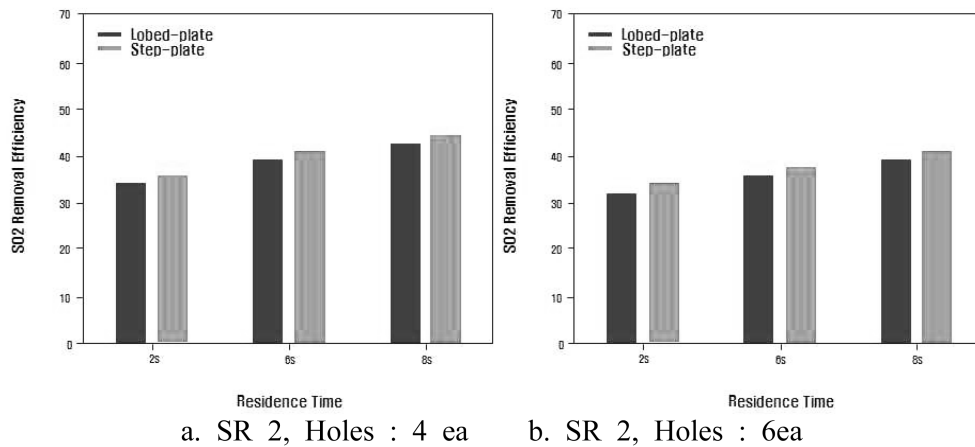


Fig. 4 Comparison of SO₂ removal efficiency with lobed-plate and step-plate (SR 2)

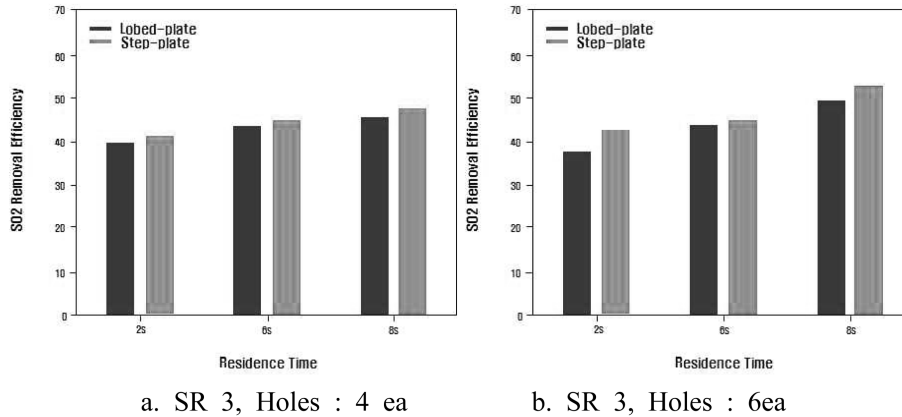


Fig. 5 Comparison of SO₂ removal efficiency with lobed-plate and step-plate (SR 3)

판단된다.

또한, SR비가 2일 때 보다 SR비가 3일 때 4~9% 향상된 것을 볼 수 있는데 이는 체류시간이 2초, 6초, 8초로 증가할수록 8%, 4%, 2.3%로 증가하는 것을 볼 수 있었다. 여기서 SR비의 변화는 혼합 초반부에서 영향을 많이 끼친다는 것을 알 수 있으며 이는 정진도와 김장우⁽¹⁰⁾의 연구와 동일한 결과를 보이고 이며, 일치한 경향을 나타내는 것으로 보아 매우 타당성이 있어 보인다.

노즐의 개수에 따른 탈황효율을 보면 큰 변화는 없지만 SR비가 2일 때 4개의 노즐이 6개의 노즐보다 탈황효율이 1~2% 정도 높게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 이는 6개의 노즐에서 나오는 기류가 와류를 발달시키는 데 방해하고 있는 것으로 판단된다. 그리고 SR비가 3일 때는 8초 일 때 약 5%가량 향상된 것을 볼 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 DSI공정의 낮은 접촉율과 짧은 반응 시간을 개선하기 위하여 혼합촉진장치를 고안하고, 혼합촉진장치의 형상을 달리하여 기류와 탈황제와의 최적의 혼합을 유도하고 SR비를 다르게 적용하여 나타난 변화와 노즐의 개수에 따른 변화를 비교, 분석하였다.

1) 혼합촉진장치의 형상에 따른 탈황효율에서는 Step-plate가 Lobed-plate보다 약 4% 가량 높게 나타났다. 이는 Step-plate가 직각으로 된 형상이 와류의 생성 및 발달을 증가시켜서 덕트내 기류와 소석회의 혼합을 촉진시키기 때문인 것으로 판단된다.

2) SR비에 따른 탈황효율을 보면 SR비가 3일 때 2일 때 보다 평균 5% 높게 나타났다. 또한, 체류시간이 2초, 6초, 8초로 증가할수록 8%, 4%, 2.3%로 증가하는 것을 볼 수 있었는데 이는 SR비가 높아졌을 때 초기에 기류와 소석회의 혼합이 활발이 이루어진다는 것을 판단할 수 있다.

3) SR비를 고정하고 노즐의 갯수를 4개와 6개로 하여 탈황효율을 비교해 본 결과 SR비가 2일 때는 탈황효율에 큰 변화가 없었으며, SR비가 3일 때는 8초가 되었을 때 약 5%가량 향상된 것을 볼 수 있었다. 이는 노즐의 개수가 4개 이상일 때 탈황효율에 더 이상 미치는 영향이 크지 않다는 것으로 판단할 수 있다.

후 기

본 연구는 호서대학교 교내연구비(2009-0053)의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 홍진표, “배연탈황 기술 현황 및 개발방향”, 기계저널, Vol. 40 No. 7, 2000, pp. 40~44.
- (2) 손환호, “화력발전소 배연탈황설비 및 기술에 관한 연구”, 진주산업대학원, 2005, pp. 2~10.
- (3) Jin-do Chung, Jang-woo Kim, Byung-hwan Kim and Young-moon Park, “Numerical analysis for improving of SO_x removal efficiency in the DSI(Dry Sorbent

- Injection Technology) of FGD system(1)", Korea Society of Environmental Engineers, Vol. 29 No. 1, 2007, pp. 47~53.
- (4) Paul S. Nolan, "Flue Gas Desulfurization Technologies for Coal-Fired Power Plants", Coal-Tech 2000 International Conference, 2000.
- (5) 박재만, 신창섭, "소석회를 사용한 In-duct형 건식탈황공정의 최적화와 첨가제의 영향", 한국산업안전학회지, Vol. 12 No. 2, 1997, pp. 102~110.
- (6) Energy and Environmental research corporation, "Global approach for enhanced mass transfer effects in duct flue gas desulfurization processes", DOE report No. DOE/PC/88873-T6, 1988.
- (7) Rice, R. M., Bond, G. A., "Flue gas desulfurization by in-duct dry scrubbing using calcium hydroxide", AIChE J, Vol. 36 No. 2, 1990, pp. 473-477.
- (8) G. Aurora, A. M. Jose and I. Angel, "Mechanistic and non-linear modeling approaches to in duct desulfurization", Chemical engineering and processing, 2005, pp.709~715.
- (9) C. Crowe, M. Sommerfield, and Tutaka Tsuji, "Multiphase flows with droplets and particles", CRC Press, 1998.
- (10) 정진도 김장우, Vortex에 의한 DSI공정 중 혼합효율 향상에 관한 연구, 한국액체미립화학회지, Vol. 14 No. 1, 2009.