

## CFD를 활용한 산성가스 처리공정용 흡수탑 가스분산성 향상 연구

이지현<sup>†</sup> · 심성보\*

한전 전력연구원, 미래기술연구소  
305-760 대전시 유성구 문지로 65  
\*북일고등학교

330-992 충남 천안시 동남구 단대로 69

(2014년 1월 15일 접수, 2014년 2월 28일 수정본 접수, 2014년 3월 3일 채택)

## Analysis of the Gas Feed Distribution at the Gas Sweetening Absorber Using CFD

Ji Hyun Lee<sup>†</sup> and Sung-Bo Shim\*

Future Technology Research Center, KEPCO Research Institute, 65 Munji-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-760, Korea

\*Bugil Academy, 69 Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan, Chungnam 330-992, Korea

(Received 15 January 2014; Received in revised form 28 February 2014; accepted 3 March 2014)

### 요 약

산성가스 처리를 위한 흡수탑의 설계에 있어 탑 내부로 투입되는 가스의 분산성 향상은 흡수탑에서 산성가스의 제거율 향상 및 탑의 높이를 낮출 수 있으므로 전체 공정의 투자비를 저감할 수 있는 매우 중요한 연구 분야이다. 특히 최근 온실가스 저감의 한 방안으로 국내외에서 활발하게 개발 중인 습식 이산화탄소 포집기술의 경우 대규모 산성가스 처리가 요구됨에 따라 흡수탑 내 가스 분산성을 향상시킬 수 있는 연구의 필요성이 더욱 증대되고 있다. 본 연구에서는 관련하여 현재 한국중부발전 보령화력본부에 설치된 10 MW급 연소 후 습식 이산화탄소 포집플랜트 기본설계 자료를 바탕으로 배가스 투입 시 흡수탑 내 가스의 분산성을 향상시킬 수 있는 다양한 방안을 도출하고 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics)을 활용하여 각각의 경우에 있어서 분산성에 대한 효과를 분석하였다. 가스 분산성 향상을 위해 본 연구에서 도출된 3가지 방안(splash plate, 나선형 가스라인 및 U-tube 적용)에 대한 정량적·정성적 분석 결과 흡수탑 내부에 계단형 U-tube를 설치하는 경우 탑 내부에 아무런 분산장치가 없는 경우 대비 흡수탑 내 가스의 분산성이 약 30% 증가되는 반면 분산장치 설치에 따른 차압의 증가는 기존 대비 10% 수준으로 크지 않아서 가스 분산성 향상을 위한 우수한 방안으로 평가되었다.

**Abstract** – Regarding the design of the gas sweetening absorber, the gas distribution analysis for the increase of the sour gas removal and reduction of the tower height is very important research topics. Recently, regarding the CO<sub>2</sub> capture technology which is a promising option for the reduction of the greenhouse gas (GHG), the need for the gas distribution improvement is increased as the gas treating capacity increases. In this paper, we have investigated the sour gas distribution in the absorber using CFD (Computational Fluid Dynamics) based on 10 MW post-combustion CO<sub>2</sub> capture plant installed in Boryeong power station, Korea Midland Power company. For this purpose, we suggested the three possible technology options (splash plate, spiral gas line and U-tube) for the gas distribution enhancement and compared the effect of the each cases. The result showed that the U-tube installed in the absorber increase the gas distribution about 30% compared to the base case, while the delta P increasement was about 10%. From these results, it was found that the U-tube installation is an effective technology option for the gas distribution enhancement in the gas sweetening absorber.

Key words: Chemical Absorption, CFD, Gas Distribution, Absorber, Sour Gas Treating

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

E-mail: leejha@kepri.re.kr

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.

## 1. 서론

온실가스 저감을 위한 다양한 방안으로 CCS(Carbon Capture & Sequestration)이 제시되고 있으며 국제적으로 대규모 실증이 계획 중에 있다. CO<sub>2</sub> 포집기술은 크게 연소후(Post-combustion), 연소전(Pre-combustion) 및 순산소 연소(Oxyfuel combustion)로 분류할 수 있는데 이중 기존 석탄화력발전소에서 배출되는 배가스 중의 CO<sub>2</sub>를 포집하는 기술은 연소후 기술에 해당이 된다. 연소후 기술에는 아민 화합물 혹은 암모니아 계열의 액상 흡수제를 사용하는 방법, 유동층 하에서 고체흡수제를 이용하는 방법 그리고 분리막을 활용한 막분리법등이 포함된다. 이러한 다양한 CO<sub>2</sub> 포집 방법 중 아민흡수제를 이용한 화학 흡수법은 발전 배가스와 같이 CO<sub>2</sub>의 농도가 10~20% 수준인 저농도 가스 처리에 적합하며 상업적으로 이미 오랜 기간 활용되어 기술의 신뢰도가 확보되었을 뿐만 아니라 기존 화력발전소에 적용이 용이하다는 장점이 있기 때문에 향후 화력발전소 적용에 있어 가장 적합한 기술로 평가되고 있다[1].

이에 따라 연소후 CO<sub>2</sub> 포집기술은 국내외로 Pilot 단계(수 MW~수십 MW 규모)에서 실증 규모(100 MW급 이상)까지 전 세계적으로 활발하게 진행이 되고 있다. 노르웨이의 몽스타드에서는 14 MW급 규모(연간 100,000톤)의 이산화탄소를 포집할 수 있는 세계에서 가장 넓은 면적의 CO<sub>2</sub> 포집 Test center(TCM, Test Center Mongstad)가 2012년 5월 준공이 되어 현재 운용 중에 있으며[2], 미국 Southern Company는 일본 미쯔비시중공업(MHI)의 CO<sub>2</sub> 흡수기술을 도입하여 알라바마주 Plant Barry에 25 MW급 습식 CO<sub>2</sub> 포집플랜트를 완공하였다[3]. 또한 캐나다 Boundary dam power plant에는 현재 110 MW급 규모의 세계 최대 용량의 연소 후 CO<sub>2</sub> 포집 플랜트가 2014년 시운전을 목표로 건설 중인데 본 플랜트에서 포집된 고순도 CO<sub>2</sub>는 이후 EOR(Enhanced Oil Recovery) 등으로의 활용이 계획되어 있다[4]. 국내에서도 연소 후 CO<sub>2</sub> 포집기술 개발과 관련하여 대규모 시험설비가 건설 중에 있는데 습식아민 흡수제를 활용한 0.1 MW급 및 10 MW급 CO<sub>2</sub> 포집 파일럿 플랜트가 한국중부발전 보령화력본부에 설치되어 현재 운전 중에 있다[5].

상기 제시된 바와 같이 현재 건설 중인 연소 후 CO<sub>2</sub> 포집플랜트는 Pilot 단계(노르웨이, 미국 및 한국 등)에서 실증 규모(캐나다)까지 진행이 되고 있는 상황이다. 또한 Pilot plant 규모의 성능시험 진행에 맞추어 향후 수백 MW급 실증 플랜트로의 격상을 위한 연구도 동시에 진행 중인데 그 중 하나가 공정 격상에 따른 흡수탑 내 투입되는 가스 분산성 향상과 관련한 연구이다.

통상 흡수탑 설계에 있어서 흡수탑의 직경은 투입되는 가스의 유량에 비례하기 때문에 가스 처리 용량이 증가될수록 흡수탑의 직경은 비례적으로 증가하게 된다. SIEMENS(2009)에서 제시된 연구결과에 따르면 수 백 MW급 이상 상용급 공정으로의 격상시 흡수탑의 직경은 최대 20 m까지 증가되는 것으로 예측하고 있다[6], (Fig. 1). 이렇게 공정 격상에 따라 흡수탑의 직경이 증가하게 될 경우 흡수탑으로 투입되는 배가스의 분산성이 크게 저하될 가능성이 있으며 이는 흡수탑에서 CO<sub>2</sub> 제거율 저하를 유발할 수 있다. 또한 흡수탑에서 CO<sub>2</sub> 제거율의 저하를 보상하기 위해 공정 설계 시 흡수탑의 높이를 높여야 하며 이는 결국 전체 투자비의 증가를 야기한다. 따라서 산성가스 처리를 위한 흡수탑에서의 가스 분산성 극대화는 투자비 및 설비의 성능 측면에서 매우 중요한 항목이라고 할 수 있다.

이러한 가스 분산성 향상연구를 위해 많은 이론적, 실험적 방법이

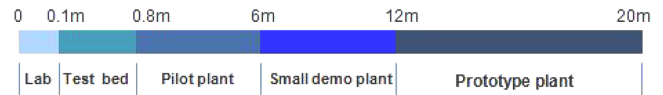


Fig. 1. Process scale vs. Absorber diameter.

진행되고 있다. 그 중 전산유체 역학(Computational Fluid Dynamics)을 활용한 분석 방법은 설비 설치 전 다양한 설계 옵션에 따른 효과를 정량적·정성적으로 예측할 수 있으므로 많은 연구 분야에서 활용이 되고 있다[7,8]. 이와 관련하여 본 연구에서는 한국중부발전 보령화력 본부에 설치된 10 MW급 연소후 습식 이산화탄소 포집플랜트의 기본설계 자료를 바탕으로 흡수탑 내 가스분산성을 향상시킬 수 있는 다양한 방안을 도출하고 전산유체역학을 활용하여 각 경우별 효과를 정량적으로 비교함으로써 산성가스 처리용 흡수탑 내 가스 분산성 향상을 위한 최적의 방안을 도출하고자 하였다.

## 2. 분석방법

### 2-1. 분석 절차

CFD를 활용한 흡수탑 내부 가스분산성 향상연구를 위한 절차는 다음과 같다(Fig. 2) 먼저 대상이 되는 공정(한국중부발전 보령화력 본부 10 MW급 CO<sub>2</sub> 포집 플랜트)의 기본 설계자료 검토를 통해 유동 분석을 위한 분석범위를 결정하고 운전조건을 입수하였다. 이를 바탕으로 CFD 분석을 위한 격자 생성(Meshing) 작업을 실시하고 기본 공정하에서 유동 분포 분석을 수행하였다. 기본 공정하에서 확인된 가스 분산성의 문제점을 바탕으로 분산성 향상을 위한 복수의 개선안을 도출한 후, 도출된 의견을 반영하여 개선안 적용에 따른 흡수탑 내부의 가스 분산성을 분석하고 기본 공정 결과와 상호 비교하여 개선안의 성능을 정량적으로 분석하고자 하였다.

### 2-2. 분석 방법

본 논문에서 이산화탄소등의 산성가스 처리용 흡수탑 내부 가스 분산성 향상을 위한 CFD 해석은 Fluent社에서 제공되는 Fluent V 14.5를 기반으로 하였다 [9]. 본 논문에서 관심 있는 해석 영역은 불규칙하게 충전된 비정형 충전물 계산의 한계를 고려하여 흡수탑 바닥에서 충전물 설치위치 바로 직전까지로 한정하여 분석하였다(Fig. 3). 또한 흡수탑의 격자 생성(Meshing) 작업은 Ansys Meshing을 활용하였다. Ansys Meshing을 통해 최종 생성된 격자(Mesh)는 30만 개 수준으로 만들어 격자의 치밀도에 따른 오차를 최소화 하였다. 내부 유동은 투입되는 가스의 속도가 충분히 높은 상태로, 난류(Turbulent flow)의 간단한 판단 기준이 되는 레이놀즈 넘버가 수 만 이상의 난류 영역에 속하기 때문에 전체 계산은 적합한 난류 모델을 적용하여 계산하였다. 유동 해석에 있어 계산시간을 단축하고 컴퓨

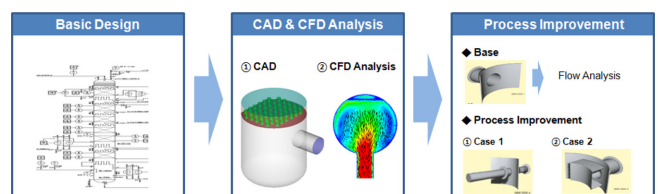


Fig. 2. Procedures of the CFD analysis.

터 메모리 사용량을 최소화하기 위하여 최종결과에 큰 영향을 주지 못하는 인자에 대하여서는 다음과 같은 가정을 설정하였다.

가) 반응 무시 : 반응이 유동에 미치는 영향은 제외함.

나) 물성 일정 : 반응에 따른 흡수탑 내 밀도/점도 변화 무시

다) 난류 가정 적용 : standard k-epsilon model 적용

난류 모델을 풀기위한 방법으로 FLUENT/CFX에서는 standard k-epsilon model, RNG k-epsilon model, Shear stress transport k-omega model 등을 포함하는 다양한 방법 등이 지원이 되나 model의 건전성과 계산시간을 고려하여 본 논문에서는 일반적인 난류 모델 solver인 standard k-epsilon model을 사용하였다.

흡수탑 내부 가스 유동 해석을 위한 standard k-epsilon model에서 standard transport equation은 식 1~2와 같다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\rho k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + P_k + P_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \\ \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\rho \epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (P_k + C_{3\epsilon} P_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $k$ 는 turbulent kinetic energy,  $\epsilon$ 는 rate of dissipation이다.

Turbulent (or eddy) viscosity,  $\mu_t$ 는 다음과 같이 위의 식에서 도출된  $k$ 와  $\epsilon$ 를 통해 다음의 식 3에 의해 계산이 된다.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (3)$$

$k$  생성도,  $P_k$ 는 다음과 같다.

$$P_k = -\rho u'_i u'_j \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (4)$$

$$P_k = \mu_t S^2 \quad (5)$$

$S$ 는 mean rate-of-strain tensor modulus이며 다음과 같이 정의된다.

$$S = \sqrt{2 S_{ij} S_{ij}} \quad (6)$$

$P_b$ 는 부력의 효과로 다음과 같이 정의된다.

$$P_b = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_i} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (7)$$

여기서  $Pr_i$ 는 난류 Prandtl 수,  $g_i$ 는  $i$  방향의 중력항이다. Thermal expansion 상수  $\beta$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\beta = \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (8)$$

이때 본 유동 계산을 위해 사용되는 model constant는 다음과 같다.

$$C_{1\epsilon} = 1.44, C_{2\epsilon} = 1.92, C_{3\epsilon} = -0.33, C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3, Pr_t = 0.85$$

상기 계산에 있어서 source term은 없는 것으로 가정하였으며, compressibility의 영향은 미미하므로 기타 model constant는 다음과 같이 설정하였다.

$$S_k = 0, S_\epsilon = 0, Y_M = 0$$

상기 제시된 모델을 계산한 후 분석대상인 흡수탑의 단면을 여러

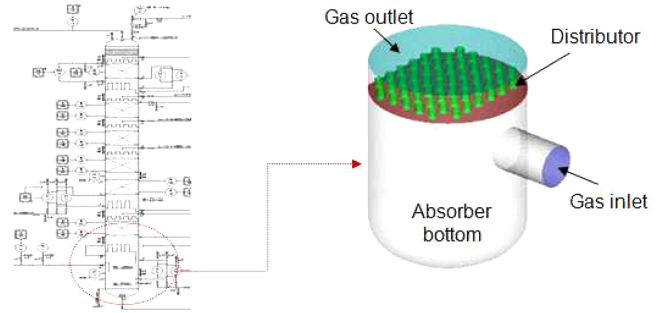


Fig. 3. Absorber configuration based on Absorber design.

방향에서 잘라 각각의 유동 pattern을 velocity component(속도 크기, 축 방향 속도, 접선방향 속도)로 구별하여 분석하였다. 또한 x/y/z 단면에 대하여 streamline과 velocity contour를 plot하여 각각의 경우에 대해 흡수탑 내부 유동 및 상대 속도 등의 정량적인 비교가 가능하도록 하였다.

### 2-3. 속도 크기 편차 분석

흡수탑 내부에서 가스의 분산성은 각 위치에서의 속도 크기(velocity magnitude)에 의존하게 된다. 이에 가스 분산성 향상을 위한 다양한 경우에 대해 그 효과를 정량적으로 비교하기 위하여 Fig. 3에서 제시된 흡수탑 가스 출구 단면(실제로는 흡수탑 최하단 충전층으로 투입되는 단면)에서의 속도크기 편차를 다음의 식 (9)와 같이 계산하고, 이를 바탕으로 기존 대비 가스 분산성 향상도를 평가하였다.

$$CoV = \frac{\sigma}{V_{ave}} = \frac{\sqrt{(V - V_{ave})^2}}{V_{ave}} \quad (9)$$

여기서  $\sigma$ 는 속도크기 편차,  $V_{ave}$ 는 흡수탑 가스출구 단면에서의 속도크기 평균,  $V$ 는 흡수탑 단면에서 각 포인트에서의 속도 크기이다.

### 2-4. 분석대상

#### 2-4-1. Geometry

본 논문에서 흡수탑 내부 유동 분석을 위한 대상 플랜트는 현재 한국중부발전 보령화력본부에 설치된 10 MW급 습식 CO<sub>2</sub> 포집플



Fig. 4. Photos of 10 MW CO<sub>2</sub> capture plant located at Boryeong thermal power station.

Table 1. Design & Operating conditions of the CO<sub>2</sub> capture pilot plant

Conditions		Unit	Figures
geometry	absorber diameter	m	3.3
	height from the absorber bottom to the lower level of 1 <sup>st</sup> packed bed	m	3.0
	gas inlet diameter	m	0.9
	distance from the absorber bottom	m	2.1
feed gas condition	flow rate	kg/h	38.2
		m <sup>3</sup> /h	35,000
	temperature	°C	40.0
	density	kg/m <sup>3</sup>	1.030

랜트에 설치된 흡수탑의 설계자료를 활용하였다. 상기 플랜트는 2013년에 5월 보령화력본부에 설치된 것으로 하루 200톤의 이산화탄소를 처리할 수 있으며 규모로는 2013년 현재 아시아 최대 규모이다(Fig. 4).

#### 2-4-2. 주요 운전조건

상기 10 MW급 습식 CO<sub>2</sub> 포집 플랜트 기본 설계자료에 제시된 배가스(보령화력본부 8호기 탈황공정 출구 배가스 중 일부가 분기되어 흡수탑 하단으로 투입)의 주요 운전조건 및 플랜트 설비 용량 자료는 Table 1과 같다. 본 연구에서는 상기 운전조건 및 용량자료를 바탕으로 하여 다양한 조건하에서의 유동분석을 수행하였다.

#### 2-4-3. 분석 Case

본 연구에서는 흡수탑 내부로 투입되는 배가스의 분산성 분석과 관련하여 총 4가지의 경우에 대하여 분석을 수행하였다.

Fig. 5(a)에 제시된 것은 일반적인 가스 투입라인 방식으로 흡수탑 하단에서 투입되는 배가스가 흡수탑 내부에 아무런 추가의 분산판 없이 바로 흡수탑 내부로 투입이 되는 경우이다. 이는 플랜트 설계 및 건설이 용이한 장점이 있으나 설비 용량이 수 m 이상으로 커질 경우 투입되는 가스의 대부분이 가스 투입위치 반대편의 흡수탑 벽면을 통해 흡수탑 상단으로 이동할 가능성이 높아 전체적인 가스 분산성이 저하될 가능성이 높다.

Fig. 5(b)는 흡수탑 내부에 splash plate를 설치하여 흡수탑으로 투입되는 배가스가 일차로 splash plate와 만나서 분산이 된 후 흡수탑 내부로 투입이 되도록 하는 방식이다. 이는 스위스의 Sulzer 社 등 관련 업체에서 많은 플랜트에 활용 중인 형태인데 이러한 형태의 plate 설치를 통해 흡수탑 내부 가스의 분산성은 향상이 될 수 있으나 투입되는 배가스가 splash plate와 바로 만나면서 차압이 증가되기 때문에 배가스를 흡수탑 내부로 투입하기 위한 송풍기의 용량이 증대되어 관련 운전비용이 증대될 가능성이 있다.

Fig. 5(c)는 Fig. 5(b)와 같이 Plate 등과의 직접 접촉을 통한 분산 방식 적용 시 발생할 수 있는 차압 증가 우려를 고려하여 나선형 형태의 가스라인을 흡수탑 내부에 구성하여 가스의 분산성을 향상시키는 것을 특징으로 한다. 흡수탑 내부에 설치된 나선형 형태의 가스라인을 설치하여 투입되는 가스가 흡수탑 내부로 나선형 형태로 투입되도록 유도하여 탑 내부에서 가스의 분산성 향상 및 체류시간 증가를 유도하였다.

마지막으로 Fig. 5(d)는 흡수탑 내부에 길고 좁은 형태의 U-tube를 계단식으로 구성하여 흡수탑으로 투입되는 가스가 상기 U-tube와 만나서 흡수탑 내부로 분산이 되도록 하였다. 이는 가스의 분산성을 향

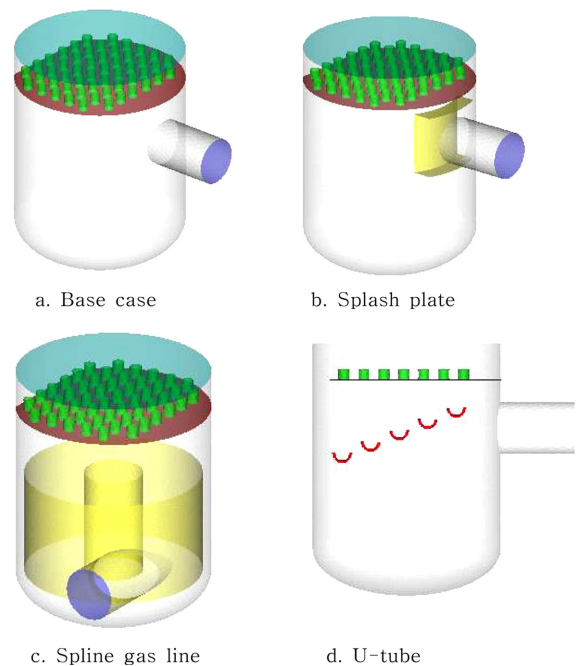


Fig. 5. Various configurations considered in the CFD analysis.

상시키면서도 splash plate 적용 대비 차압의 증가폭이 크지 않다는 장점이 있다.

이 외에 흡수탑 바닥면 중앙에 가스 주입 튜브를 위치하는 것도 검토되었으나, 상기 설계를 위해서는 하부에 설치되는 가스 투입라인을 고려하여 전체 흡수탑을 지면에서 높게 설치해야 하는데 이는 전체 흡수탑 하중 고려 시 현실적으로 적용이 어려운 것으로 판단이 되었다. 이에 흡수탑 바닥면 중앙에 가스 주입 튜브를 설치하는 경우는 본 연구에서 고려하지 않았다.

### 3. 분석 결과

#### 3-1. 속도분포 분석

상기 제시된 경우에 대한 내부 유동분석 결과는 다음의 Fig. 6에 제시하였다. 흡수탑 하단에서 투입되는 배가스가 아무런 분산판 없이 바로 흡수탑 내부로 투입이 되는 경우(Fig. 6(a)) 앞서 예측된 바와 같이 투입가스가 벽면에 도달한 후 벽을 타고 상승하는 흐름이 강하게 나타나는 반면 흡수탑 중앙부분으로의 유동은 다소 약한 것을 확인할 수 있어서 가스의 분산성이 떨어지는 것으로 분석되었다.

내부에 splash plate를 설치한 경우(Fig. 6(b))에는 기존 공정대비



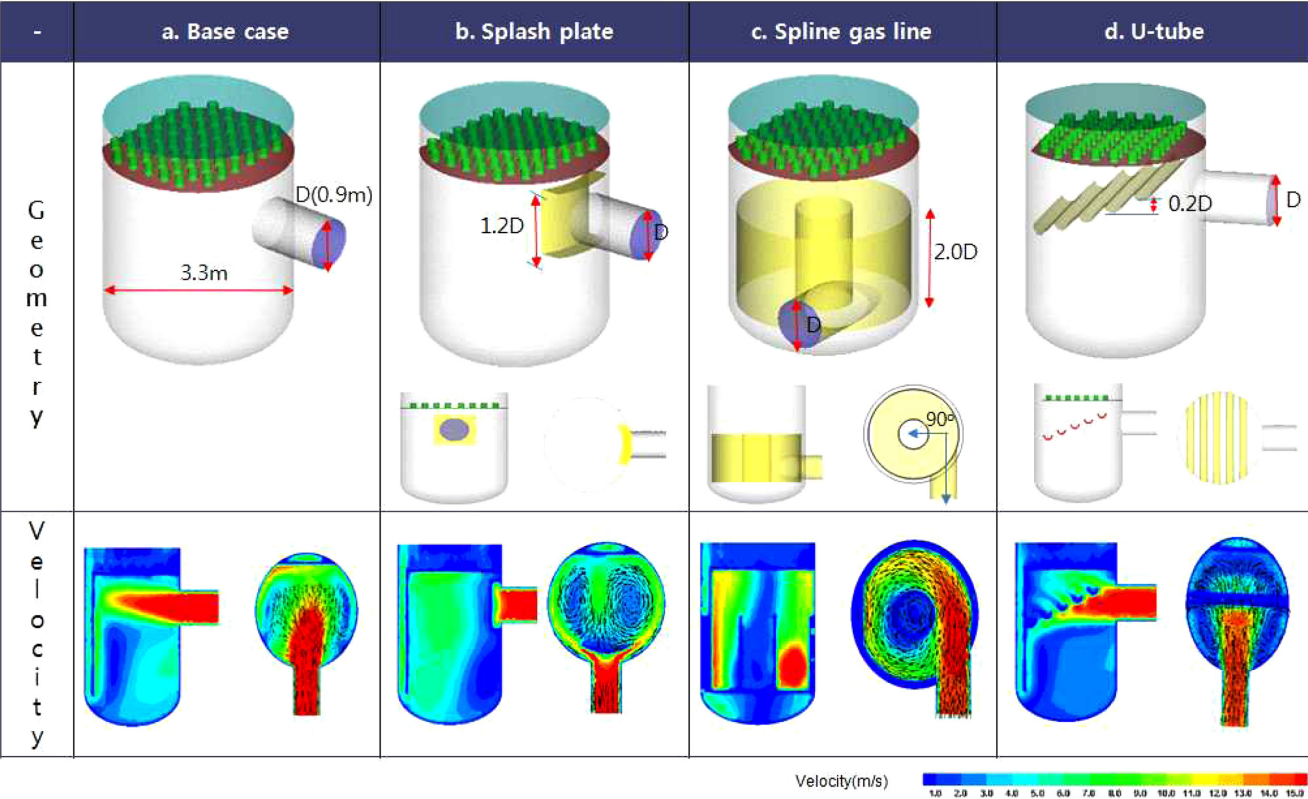


Fig. 6. Velocity contour plot of each cases.

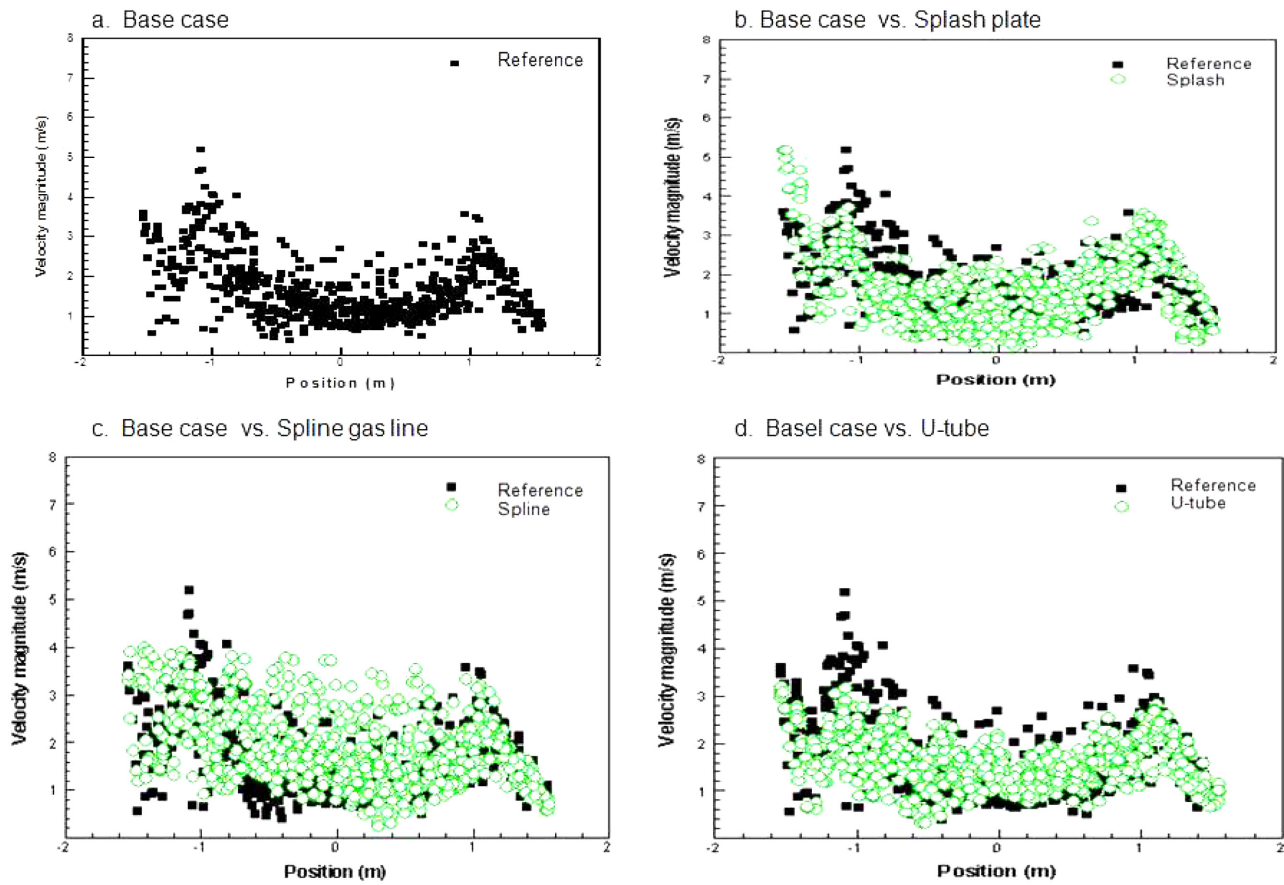


Fig. 7. Velocity profiles of each cases.

기체 분산성이 향상됨을 확인할 수 있다. 또한 내부 나선형 형태의 가스라인 설치를 통한 와류생성을 유도한 경우(Fig. 6(c))에도 흡수탑 내부의 와류 유도에 따라 기체 분산성이 향상됨을 속도 분포를 통해서 확인할 수 있다.

마지막으로 흡수탑 내부에 계단식 U-tube가 설치된 경우(Fig. 6(d))에도 투입되는 가스가 흡수탑 내부에 설치된 U-tube와의 접촉 후 바로 최하단 충전층으로 방향이 전환되면서 전체적인 분산성이 향상되는 것을 확인할 수 있다.

보다 정확한 분석을 위해 흡수탑 가스 출구 단면(실제로는 흡수탑 최하단 충전층으로 투입되는 단면)에서의 속도분포를 기존 공정과 비교하여 Fig. 7에 제시하였다. 분석 결과 기존 공정(Fig. 7(a))의 경우 앞서 제시된 바와 같이 벽면 부근(-1.5~-1 m)에서 투입되는 가스의 속도가 높아지는 것을 확인할 수 있다. 그리고 내부 나선형 형태의 가스라인을 설치한 경우와(Fig. 7(c)) 비교한 그림은 전체적으로 모든 범위에서 속도 편차가 높게 나타나서 큰 기존 공정대비 큰 차이는 없는 것으로 판단되었다. 반면에 내부에 계단형 U-tube를 설치한 경우(Fig. 7(d))에는 기존 공정대비 모든 범위에서 속도 편차가 낮은 것으로 분석되어 상기와 같은 분산판 설치 시 내부 분산성이 향상될 것으로 예측할 수 있다.

### 3-2. 가스 분산성 정량 분석

3-1의 속도 분포분석에 이어서 흡수탑 내부의 가스분산성을 정량적으로 분석하기 위하여 흡수탑 가스 출구 단면(실제로는 흡수탑 최하단 충전층으로 투입되는 단면)에서 외부로 배출되는 가스의 속도 크기 분포에 대한 편차를 2-3절의 식 9를 활용하여 계산하고 base case와 상대 비교하였다(Table 2).

흡수탑 내부에 아무런 분산판이 없는 base case의 경우 흡수탑 상부 단면에서 계산된 가스 속도의 크기 편차를 1.00으로 하였을 때 splash plate, 내부 나선형 형태의 가스라인을 설치한 경우에는 각각 0.97, 0.94로 다소 개선된 것으로 분석되었다. 이에 비교하여 흡수탑 내부에 계단형 U-tube를 설치한 경우에는 Base case 대비 약 30%가 향상된(0.73) 속도 크기 편차를 보여서 분산성이 기존 대비 크게 향상된 것을 확인할 수 있다.

이와 함께 가스 분산성 향상을 위한 분산판 설치에 따른 가스 투입 전후의 차압을 분석한 결과 splash plate 및 내부 나선형 형태의 가스라인을 설치한 경우에는 내부에 아무런 분산판이 없는 base case 대비 각각 45, 73% 이상 차압이 증가하였으나 내부에 U-tube를 설치한 경우에는 기존 base case 대비 약 13% 정도의 낮은 차압 증가가 예상되었다.

상기 제시된 3가지 case에 대한 다양한 분석결과 흡수탑 내부로 투입되는 가스의 분산성 향상을 위해서 계단형 U-tube를 설치하는 것이 분산성 및 차압 증가 측면에서 매우 효과적이라고 할 수 있다. 본 논문에서 제시된 분석결과를 바탕으로 한국중부발전 보령화력본부에

설치된 10 MW급 CO<sub>2</sub> 포집 플랜트에는 계단형 U-tube가 적용되었으며 2014년 2월 현재 성공적으로 운영 중에 있다.

## 4. 결 론

산성가스 처리를 위한 흡수탑의 설계에 있어 탑 내부로 투입되는 가스의 분산성 향상은 흡수탑에서 산성가스의 제거율 향상 및 탑의 높이를 낮출 수 있으므로 전체 공정의 투자비를 저감할 수 있는 매우 중요한 연구 분야이다. 특히 최근 온실가스 저감의 한 방안으로 국내외에서 활발하게 개발 중인 습식 이산화탄소 포집기술의 경우 대규모 산성가스 처리가 요구됨에 따라 흡수탑 내 가스 분산성을 향상시킬 수 있는 연구의 필요성이 더욱 증대되고 있다. 본 연구에서는 관련하여 전산유체역학을 활용하여 대용량 배가스 처리를 위한 흡수탑의 가스분산성을 향상시킬 수 있는 다양한 방안을 제시하고 각 경우에 다양한 유동 분석을 통해서 최적의 방안을 제시하였다. 흡수탑 내 가스 분산성 향상을 위한 다양한 방안(splash plate, 내부 나선형 형태의 가스라인 및 계단형 U-tube)에 대하여 CFD를 활용한 유동 분석 결과 계단형 U-tube 설치 시 가스 분산성이 내부에 아무런 분산판이 없는 경우와 비교하여 약 30% 증가되는 반면 차압의 증가는 10% 수준으로 크지 않아서 가스 분산성 향상을 위한 우수한 방안으로 평가되었다.

## Nomenclatures

$C_{1,\varepsilon}$	: constant in Eq. (2)
$C_{2,\varepsilon}$	: constant in Eq. (2)
$C_{3,\varepsilon}$	: constant in Eq. (2)
$g_i$	: component of the gravitational vector in the i-th direction
$P_b$	: generation of turbulence kinetic energy due to buoyancy
$P_k$	: generation of turbulence kinetic energy due to the mean velocity gradient
$Pr_t$	: turbulent Prandtl number for energy
$k$	: turbulence kinetic energy [ $m^2/s^2$ ]
$S$	: modulus of the mean rate-of-strain tensor
$S_k$	: user-defined source terms
$S_e$	: user-defined source terms
$t$	: time
$u_i$	: gas phase velocity of species i [m/s]
$V$	: gas velocity [m/s]
$V_{ave}$	: average gas velocity [m/s]
$Y_m$	: contribution of the fluctuating dilatation in compressible turbulence to the overall dissipation rate

## Greek Letters

$\varepsilon$	: turbulence dissipation rate [ $m^2/s^3$ ]
$\beta$	: coefficient of thermal expansion
$\sigma$	: standard deviation of the gas velocity magnitude
$\sigma_k$	: turbulent Prandtl numbers for k
$\rho$	: gas density [ $kg/m^3$ ]
$\mu$	: molecular viscosity of the gas phase [ $kg/m \cdot s$ ]
$\mu_t$	: turbulent viscosity [ $kg/m \cdot s$ ]

Table 2. Relative gas distribution at the Gas outlet

Case	Velocity at the gas outlet (m/s)	Relative gas distribution	Delta P
Base case	1.67	1.00	1.00
Splash plate	1.60	0.97	1.45
Spline gas line	1.98	0.94	1.73
U-tube	1.59	0.73	1.13

## References

1. Rao, A. B. and Rubin, E. S., "A Technical, Economic and Environmental Assessment of Amine-based CO<sub>2</sub> capture Technology for Power plant Greenhouse Gas Control," *Environ. Sci. Technol.*, **36**, 4467-4473(2005).
2. <http://www.tcmda.com/en>.
3. <http://www.mhi.co.jp/en/news/story/1209141573.html>.
4. [http://sequestration.mit.edu/tools/projects/boundary\\_dam.html](http://sequestration.mit.edu/tools/projects/boundary_dam.html)
5. Lee, J. H., Kwak, N.-S., Lee, I. Y., Jang, K. R., Jang, S. G., Lee, K. J., Han, G. S., Oh, D.-H. and Shim, J.-G., "Test Bed Studies with Highly Efficient Amine CO<sub>2</sub> Solvent (KoSol-4)," *Korean Chem. Eng. Res.(HWAHAK KONGHAK)*, **51**(2), 267-271(2013).
6. Frank, C., Hermann, K., Ulrich, M., Jan-Erik, R. and Rainer, Q., "Advanced 800+MW Steam Power Plants and Future CCS Options," *Coal-Gen Europe*, Poland(2009).
7. Rahimi, M., Kakekhani A. and Alsairafi A. A., "Experimental and Computational Fluid Dynamic (CFD) Studies on Mixing Characteristics of a Modified Helical Ribbon Impeller," *Korean J. Chem. Eng.*, **27**(4), 1150-1158(2010).
8. Rahimi, M. R., Azizi, N. and Hosseini, S. H., "CFD Study of Hydrodynamic Behavior of a Vibrating Fluidized Bed Using Kinetic-frictional Stress model of Granular Flow," *Korean J. Chem. Eng.*, **30**(3), 761-770(2013).
9. FLUENT/CFX V14.5, ANSYS, INC.