

# 반건식 반응기와 백필터를 결합한 하이브리드 대기오염제어 시스템의 수치해석적 연구(II) -구조개선을 중심으로

김진욱<sup>1</sup>, 정유진<sup>2</sup>, 유정근<sup>3</sup>, 손병현<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한서대학교 환경공학과, <sup>2</sup>씨이테크 연구개발센터 컨설팅팀, <sup>3</sup>한서대학교 화학공학과

## A Study on Numerical Calculations of Hybrid Air Pollution Control System Coupled with SDR and Bag Filter(II) -Structural Improvement

Jin-Uk Kim<sup>1</sup>, Yu-Jin Jung<sup>2</sup>, Jeong-Kun Yoo<sup>3</sup> and Byung-Hyun Shon<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Env. Eng., Hanseo Univeresity, <sup>2</sup>C. E. Tech R&D Center, Consulting Team

<sup>3</sup>Dept. of Chem. Eng., Hanseo Univeresity

**요 약** 복합 후처리장치의 최적 모델 개발을 위해 반응기 내부 유동 특성 및 유량 분배 수준 등과 관련지어 3차원 전산유체역학(CFD)을 수행하였다. 백필터의 각 격실별로 유량 분배가 크게 차이가 발생해 반건식 반응기(SDR)에 편류현상이 발생할 것으로 예측되어 백필터에 균등한 유량 분배를 위한 구조 개선이 시급한 것으로 나타났다. 이를 위해, 장치에 3가지 수정·보완(플래넘 구조 개선, 풍도 오리피스 설치, 복수의 흡인 덕트 설치)이 이루어졌다. 이 중에서 플래넘 구조 개선, 풍도 오리피스 설치가 가장 합리적인 것으로 판단된다. 본 해석을 이용하여 수정 보완한 배가스 복합 후처리장치는, 반건식 반응기와 백필터 처리부가 일체화되어 있어 장치가 콤팩트하고 설치면적이 적으며 운영 및 관리가 매우 편리할 것으로 판단된다.

**Abstract** The 3D computational fluid dynamics (CFD) was performed in relation to the internal fluid characteristics and flow distribution for the development of the most optimal model in the complex post-disposal device. As it is expected that a channeling (drift) would be made by the semi-dry reactor due to the large difference in the flow distribution by the compartment in the bag filter, a structural improvement should be urgently made for more uniformed flow distribution in the bag filter. Three types of modifications such as i) changing the plenum shape, ii) orifice install in the exit part of cleaned gas, iii) increasing the plenum number were established. From the results of computational fluid dynamics, it was revealed that the changing of plenum shape and orifice install in the exit part of cleaned gas was more reasonable than the increasing the plenum number because of the difficulties of retrofit. The complex post-disposal device, modified and supplemented with this analysis, integrated the semi-dry reactor and the bag filter in a single body, so it follows that the improvement can make the device compact, save the installation area, save the operation fee, and management more convenient.

**Key Words** : CFD, SDR, Bag filter, Velocity field

### 1. 서론

황산화물, 염화수소 등 산성가스는 알칼리성의 석회석

(CaCO<sub>3</sub>), 소석회[Ca(OH)<sub>2</sub>]와 같은 칼슘계나 수산화나트륨으로 중화시켜 제거하는 방법이 많이 이용된다. 건식(흡수)법은 연소 배가스에 알칼리성 분말을 분사하여 염

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신 연구개발사업의 연구비지원(과제번호 08지역기술혁신B-03)에 의해 수행되었습니다.

\*교신저자: 손병현(bhshon@hanseo.ac.kr)

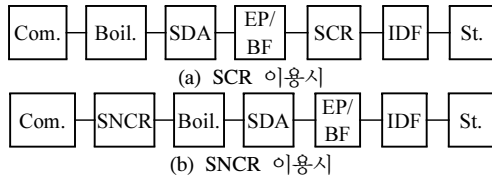
접수일 10년 12월 21일

수정일 11년 01월 20일

게재확정일 11년 02월 10일

화칼슘 등으로 반응시켜 증화하고 그 생성물을 집진기에서 고체상태로 먼지와 함께 포집하여 제거하는 방법으로서 염화수소 50-70%, 황산화물 30-60% 정도의 제거효율을 갖는다. 반건식 알칼리흡수법은 연소 배가스에 알칼리 용액 및 슬러리를 분사시켜 흡수시키며 반응생성물은 건조상태로 배출시켜 제거하는 방법으로서, 제거효율은 염화수소 약 90%, 황산화물 약 70% 정도로 건식법에 비하여 상당히 높다. 습식 알칼리세정법은 충전탑, 살수세정탑, 벤츨리세정탑에서 수산화나트륨 수용액을 분무하여 배가스 온도를 냉각시키고 배가스와 접촉시켜 유해산성 가스를 제거한다. 제거효율은 염화수소 약 95%, 황산화물 약 90%로 매우 높은 편이다.

건식법의 경우 경제성은 우수하지만 오염물질 제거효율이 낮아 그 적용이 제한을 받으며, 오염물질 제거효율 측면에서는 습식법이 우수하지만 폐수처리 문제와 장치의 부식 같은 문제가 있다. 그러나 반건식법은 산성가스의 제거효율 뿐만 아니라 폐수의 발생이 없고 장치의 부식 및 백연현상이 거의 없다는 장점을 가지고 있다. 또한 배출가스 흐름의 상부에 활성탄 등 흡착제를 분무하여 질소산화물, 다이옥신류, 중금속류의 제거에도 효과를 기대할 수 있어 다양한 오염물질이 배출되는 폐기물소각처리의 방지시설로 적합한 것으로 평가되고 있다[1,2]. 한편, 배출가스 내에는 중금속류, 플라이애쉬(fly ash) 및 먼지 등의 입자상 오염물질이 다량 함유되어 있어 이러한 입자상 오염물질을 제거하기 위해 백필터가 많이 사용되고 있다[2].



Com. : 연소기, Boil. : 보일러, EP : 전기집진기, IDF : 유인송풍기, BF : 백필터, SDA : 반건식 흡수탑, St. : 굴뚝, SNCR : 선택적비축매환원법

[그림 1] 소각설비 배가스 처리 시스템의 일반적 구성.

현재 대부분의 산업현장에서 조업중인 대기오염 제어 설비의 구성은 그림 1과 같이 단일 방지시설이 직렬로 나열되는 방식이다. 그러나 이러한 개개의 방지시설은 그 자체적으로는 효율이 높고 많은 장점을 가지고 있지만 설비의 전체적인 규모가 커지고 설치비가 많이 소요되며 설치시 많은 면적을 차지한다. 또한 용량의 부하 변동에 쉽게 대처하지 못하고 관리에 많은 인력이 필요하다는 단점을 갖고 있다.

이에 반건식 흡수탑과 백필터 및 다이옥신 처리장치를 1개의 장치로 일체화할 수 있다면 각각의 단일 설비의 설치에 따른 문제점들을 해결할 수 있을 뿐만 아니라 운전 부하 변동에 따른 대응도 용이할 것으로 판단된다[3]. 그러나 각각의 방지 시설이 최적의 처리 효율을 가지기 위한 제한적 조건이 처리 효율에 있어서 매우 중요한 역할을 하기 때문에 각각의 설비들이 일체화되었을 때 이러한 제한적 조건들이 충분히 만족될 수 있는지에 대한 구조적 검토가 반드시 선행되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 여러 가지 단일 대기오염제어 설비들을 결합하여 복합화 할 경우 발생 가능한 문제들을 확인하기 위해, 개념설계 단계의 복합 후처리장치 전반에 걸친 전산해석을 수행한 결과 여러 가지 문제점이 발견되었다[4]. 이러한 문제점을 극복하기 위해 세부적인 부분에 대한 추가적인 전산해석을 수행하였다. 이를 바탕으로 최적 반응 조건을 유지할 수 있는 복합 후처리장치의 상세 설계 및 제작에 반영하고 그 유용성을 확인하고자 하였다.

## 2. 수치해석내용

### 2.1 지배방정식

유체의 유동에 대한 물리적인 특성을 나타내는 기본적인 법칙은 질량, 운동량 및 에너지 보존 법칙들이다. 정상상태, 비압축성 기체라 가정할 때 일반적인 물리량의 수송방정식은 다음과 같다[5].

$$\text{div}(V\Phi_i - \Gamma_{\Phi_i} \text{grad}\Phi_i) = S_{\Phi_i} \quad (1)$$

여기에서  $V$ 는 속도벡터(velocity vector)이고  $\Gamma_{\Phi_i}$ 는 확산 계수(diffusion coefficient)이다.  $S_{\Phi_i}$ 는 부력항( $S_{\text{buoyancy}}$ )을 제외한 비정상항, 압력구배 등을 포함한 모든 source term을 나타낸다. 위 수송방정식에서 질량 보존 차원에서 물리량  $\Phi_i$ 에 밀도  $\rho$ 를 대입하면 연속방정식, 속도장에 있어서 물리량  $\Phi_i$ 에  $\rho u_i$ 를 대입하면 운동량 방정식, 그리고 만약 에너지를 수송한다면 물리량  $\Phi_i$ 에  $\rho c_p T$ 를 대입하면 에너지 방정식으로 나타낼 수 있다. 또한 중력을 고려해야 한다. 이는 운동량에 체적력(=중력)인  $\rho g$ 를 추가함으로써 다음과 같이 부력항을 나타낼 수 있다.

$$-\rho\beta g\theta = -\rho\beta g(T - T_0) \quad (2)$$

식 (1)에 (2)식을 추가하면 식 (3)이 된다.

$$\text{div}(\mathbf{V}\Phi_i - \Gamma_{\Phi_i} \text{grad}\Phi_i) = S_{\Phi_i} + S_{\text{buoyancy}} \quad (3)$$

## 2.2 난류 모델

난류 유동은 매우 불규칙하고, 비정상 3차원 거동을 하므로 난류 유동과 관련된 유동 현상을 수치적으로 정확하게 예측하거나 설명하기는 어려워 레이놀즈수가 큰 유동에서 발생하는 난류의 물리량 수송방정식인 Navier-Stokes 방정식을 직접 풀 수는 없다[5]. 따라서 난류를 해석하기 위해 난류 모델을 도입하게 된다. 난류 모델은 난류 운동을 크게 난류 강도를 나타내는 속도 스케일과 난류 크기를 나타내는 길이 스케일, 두 가지 특성량으로 표현된다. 난류 모델은 난류 점성 계수( $\mu_t$ )를 취급하는 방법에 따라 여러 가지로 나눌 수 있는데 이러한 난류 모델 중 1974년 Launder와 Spalding에 의해 제시된 표준 k- $\epsilon$  모델은 난류의 시간적으로 변동하는 속도가 시간 평균 속도와 변동분의 속도로 되어 있다는 가정하에 Navier-Stokes 방정식을 시간 평균하여 속도 변동량의 상관항이 응력 형태(Re 응력항 = 난류 점성 계수 $\times$  속도 구배)인 레이놀즈 응력항을 도출해 내고, 이는 분자점성에 의해 발생하는 전단 응력과 같은 형태로 난류를 가장 잘 표현하는 모델이라 할 수 있다[6].

표준 k- $\epsilon$  난류 모델은 ‘난류 점성’을 난류 운동 에너지(k)와 난류 소산률( $\epsilon$ )로 표현하면 식 (4)와 같다.

$$\mu_t = \frac{C_{\mu} \rho k^2}{\epsilon} \quad (4)$$

난류 점성 계수를 구하기 위해서는 난류 운동 에너지와 소산률을 알아야 하며, 난류 운동 에너지 방정식은 식 (5)와 같다.

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

또한 난류 소산률 방정식은 식 (6)과 같고 여기에서  $G_k$ 는 난류 생성항으로서 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \epsilon) &= \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_{\epsilon}} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right) + C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{\epsilon 3} G_b) \\ &\quad - C_{\epsilon 2} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \end{aligned} \quad (6)$$

$$G_k = \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (7)$$

## 2.3 수치해석 조건

### 2.3.1 수치해석 방법

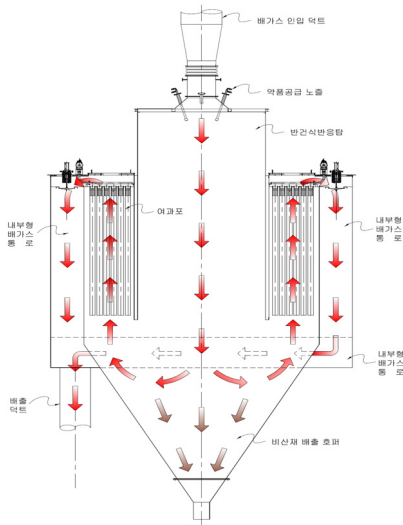
본 연구에서는 상용 소프트웨어인 FLUENT를 사용하였고, 이는 난류 방정식들의 이산화 방법으로 유한체적법(finite-volume method)을 사용한다. 유한체적법은 적분 후에 이산화하기 때문에 항상 그 미소 영역내의 운동량 등의 출입을 고려하게 되어 보존 법칙을 확실하게 만족시키는 이산식을 얻을 수 있는 장점이 있다. 모든 수치해석은 상류 차분 도식(upwind differencing scheme)을 이용하여 수행하였다. 상류 차분 도식은 대류항에 대해 인공적인 확산을 새롭게 부가시킨 것, 즉 수치확산(numerical diffusion)을 도입한 것으로 안정된 해를 구할 수 있다. 그리고 압력장을 구하기 위해 연속 방정식과 운동량 방정식을 조합시키는 방법으로 SIMPLE(Semi-Implicit Method Pressure-Linked Equations) 알고리즘을 사용하였다[5].

또한 수렴성을 좋게 하기 위해 하향 이완법(under-relaxation)을 사용하였다. 대수방정식의 반복해를 얻는 과정에서 반복과 반복 사이에 종속변수값의 변화를 느리게 하거나, 빠르게 하는 것이 필요한 경우가 있다. 변수들의 변화를 느리게 할 경우를 하향 이완이라 한다. 이 방법은 비선형성이 강한 문제를 반복 계산에 의하여 푸는 경우 발산을 막기 위하여 종종 사용된다. 수치해석에 필요한 기본 방정식이 비선형이므로 반복에 의한 해의 수렴이 필요하다. 반복 계산시 종속변수들의 수렴정도를 점검하기 위하여 잉여치(Residual : R)를 체크하면서 잉여치가  $10^{-3}$ 이하에 도달하면 수렴된 것으로 간주하였다[5].

$$\max |\phi^{n+1} - \phi^n| \leq 10^{-3} \quad (8)$$

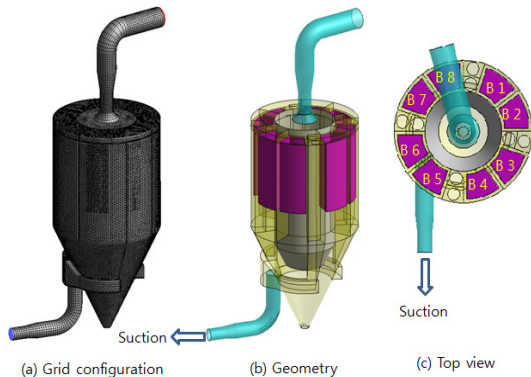
### 2.3.2 해석 모델 및 경계 조건

그림 2는 pilot plant 복합 후처리장치로서 원통 형태이며 처리용량은 1.25 ton/hr이다. 복합후처리장치의 내부는 반건식 반응탑이고 장치의 외부는 8개의 격실로 구분된 백필터로 구성되어 있으며, 배가스 유량은 22,900 Sm<sup>3</sup>/hr, 수산화나트륨 분무량은 713 L/hr이다. 배가스의 흐름은 반건식 반응탑에서 가스상 오염물질이 제거되고 백필터에서 입자상 오염물질(먼지, 염, 활성탄 분말, 다이옥신 등)이 제거된 후 복합 후처리장치의 하부 비산재 배출 호퍼 외부에 있는 내부형 배가스 통로를 통해 대기로 방출된다.



[그림 2] 복합 후처리장치의 개념도

그림 2에 나타난 복합 후처리장치의 수치해석을 위해 그림 3과 같이 3차원 모델링을 구현하였고 수치 계산을 위한 제어체적 구성에 사용된 격자수는 총 1,032,000개이다. 백필터는 실제 공극을 구현하는 것이 불가능하므로 porous jump model을 이용하여 다공성 물질로 가정하고 국부 유속에 대한 단위 면적당 압력강하를 계산하였다.



[그림 3] 수치해석을 위한 복합 후처리장치의 그리드와 입체도

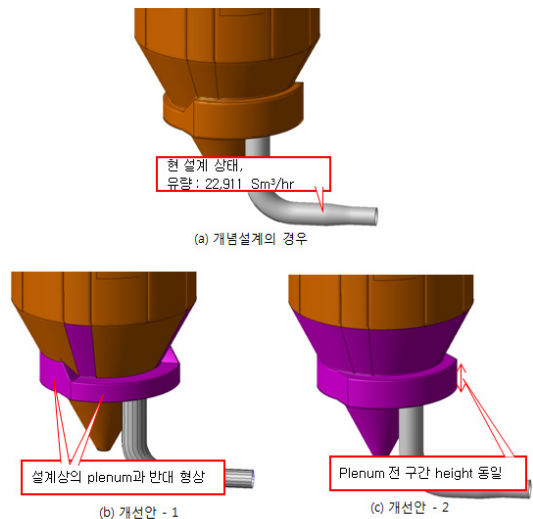
### 3. 결과 및 고찰

반전식 반응탑에 대한 1차 수치해석 결과, 반응기 내부에서의 편류 발생이 가장 큰 문제점으로 나타났다. 이에 따른 문제점으로는 i)배가스와 액적의 혼합 상태 불량, ii)기류편중구간에 액적의 과다집중 및 build-up에 의한

scale 생성, iii)주변 사영역이 발생하여 부상기류 형성되고 미소 액적 일부도 사영역에 갇혀 다시 부상함에 따라 build-up 가능성, iv)충분한 체류시간 확보가 어려워 기화 특성을 저하시킬 우려 등이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 편류의 생성을 억제할 수 있는 구조 개선을 통해 배가스와 액적의 혼합 상태 및 기화 특성의 개선이 시급한 것으로 나타났으며[4,7], 구체적인 개선에 대한 방법 및 유동해석 특징은 다음과 같다.

#### 3.1 플래넘 구조 개선

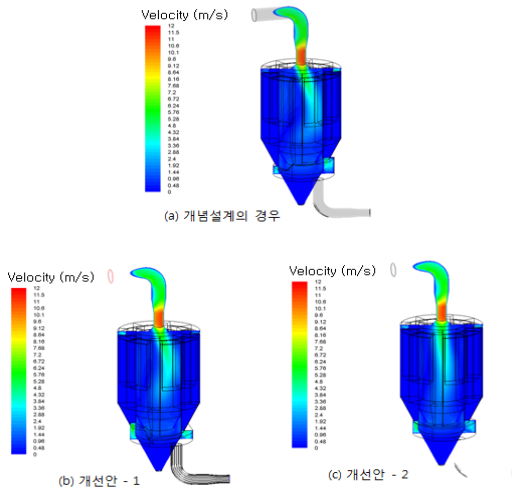
복합 후처리장치의 개념설계 단계에 대한 1차 수치해석 결과[4] 플래넘 구조의 개선을 필요로 하였다. 즉, 개념설계상의 플래넘 구조는 suction이 아닌 blow 상태에서 유량 분배를 유도하는 형상이므로 플래넘의 구조 변경을 통해 유량의 흐름이 어떻게 변하는지 확인해 보고자 하였다. 그림 4에 나타낸 바와 같이 현 개념설계상태 그림 4(a)는 유인송풍기에 가까운 배기관의 크기를 크게 하였으나 그림 4(b) 개선안-1의 경우는 현 개념설계 상태와 반대형상으로 흡인 덕트와 가까운 플래넘의 단면적을 줄이고 먼 쪽 플래넘의 단면적을 확장시키는 방법에 대해 유동해석을 수행해 보았으며, 그림 4(c) 개선안-2의 경우는 모든 플래넘의 단면적을 동일하게 조정한 후 수치해석을 수행하였다.



[그림 4] 플래넘의 구조 개선 형상

그림 5는 플래넘의 구조 개선에 따른 속도장 분포 특성을 나타낸 것이다. 그림 5에 나타내었듯이, 개념설계 단계 그림 5(a)와 개선안-1 그림 5(b)에서는 배가스가 직접 유입되는 구조이므로 강한 유입에 따른 편류가 발생

하고 편류는 suction에 가까운 쪽으로 편향이 이루어짐을 확인할 수 있다. 그러나 개선안-2 그림 5(c)에서는 어느 정도 편류가 개선됨을 알 수 있지만 배가스가 아무런 구조적 방해없이 반응기로 유입되므로 여전히 반응기 내부에 약간의 편류가 형성되어 액적 혼합 특성이 저하될 가능성은 있을 것으로 나타났다. 하지만 편류가 발생하더라도 플래넘의 압력 충만 효과로 인하여 반응기 중앙으로 형성되기 때문에 편류가 한쪽으로 편향됨에 따라 반대편에 사영역이 발생하여 기류가 부상하는 문제는 해소 가능할 것으로 예측된다. 또한 각 격실로 분배되는 유량 또한 대부분 균등하게 유입됨에 따라 기존 설비의 유량 분배 불균형에 따른 여러 가지 문제도 해결될 것으로 예측되었다.



[그림 5] 플래넘의 구조 개선에 따른 속도장 분포.

[표 1] 플래넘의 구조 개선에 따른 격실별 유량 변동

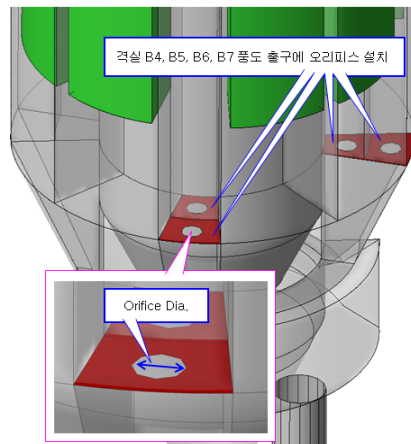
| 격실 | 질량유속(kg/s) |       |       |
|----|------------|-------|-------|
|    | 개념설계       | 개선안-1 | 개선안-2 |
| B1 | 0.60       | 1.31  | 0.96  |
| B2 | 0.53       | 1.27  | 0.93  |
| B3 | 0.58       | 1.27  | 0.92  |
| B4 | 1.33       | 0.57  | 0.97  |
| B5 | 1.43       | 0.67  | 1.02  |
| B6 | 1.23       | 0.66  | 0.97  |
| B7 | 1.50       | 0.58  | 1.01  |
| B8 | 0.48       | 1.25  | 0.88  |

표 1은 플래넘의 구조 개선에 따른 격실별 유량 변동 특성을 나타낸 것이다. 표 1에서 볼 수 있듯이, 개념설계와 개선안-1에서는 백필터 각 격실별로 유량 분배가 크게 차이나 플래넘 크기가 큰 쪽의 격실로 유량 편중되며 타

격실에 비해 약 2-2.5배 이상 차이가 남을 확인할 수 있다. 그러나 개선안-2의 경우 대부분의 격실에 유사한 수준의 유량이 유입되고 있어 유량 불균형 문제가 상당히 해소됨을 알 수 있다.

### 3.2 풍도 오리피스 설치

편류의 생성을 억제할 수 있는 2번째 구조 개선 방법은 풍도에 오리피스를 설치하는 것이다. 이는 1차 개념설계 단계에 대한 유동해석 결과에서 나타난 유량이 집중적으로 편중되는 백필터의 격실(B4, B5, B6, B7) 풍도 출구에 오리피스를 설치하여  $\Delta P$ 를 증가시켜 유량을 감소시키고자 하는 것으로서 그림 6, 풍도의 입구에는 댐퍼가 설치되는 구간이므로 출구에 오리피스를 설치하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 이에 풍도 출구에 설치할 오리피스의 직경(개선안-1 : 450mm, 개선안-2 : 375mm, 개선안-3 : 300mm)을 변화시키면서 수치해석을 수행하여 유량분배 특성 개선에 대해 확인해 보았다.



[그림 6] 격실의 풍도에 오리피스 설치

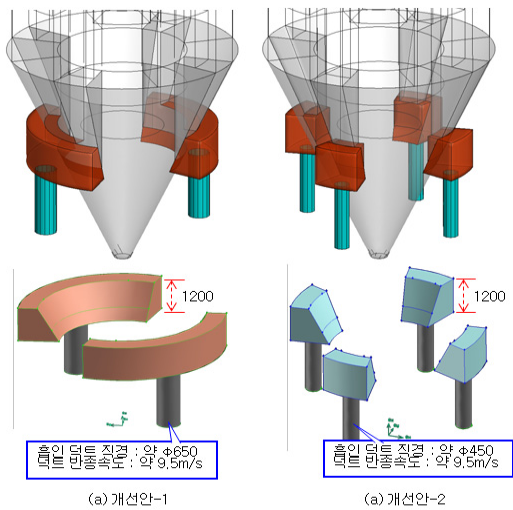
표 2는 유량 편중 격실의 풍도에 오리피스 설치 후에 각 격실별 유량의 변동 특성을 나타낸 것이다. 표 2에서 알 수 있듯이, 개선안-1의 경우 여전히 suction에 가까운 B4, B5, B6, B7 격실로 유량이 집중되는 경향이 있으며, 개선안-2의 경우 각 격실로의 유량 분배 정도가 많이 개선되어 비교적 균등한 유량으로 분배되어 유입되고 있는 것으로 판단된다. 개선안-3의 경우 격실별로 유량 분배 정도가 개선안-2와 크게 차이가 나지 않으나 오리피스 직경이 적어  $\Delta P$  증가로 오히려 suction에서 먼 격실로의 유입 유량이 많은 것으로 예측되었다.

[표 2] 풍도 오리피스 설치에 따른 격실별 유량 변동

| 격실 | 질량유속(kg/s) |       |       |       |
|----|------------|-------|-------|-------|
|    | 개념 설계      | 개선안-1 | 개선안-2 | 개선안-3 |
| B1 | 0.60       | 0.78  | 0.94  | 1.18  |
| B2 | 0.53       | 0.69  | 0.82  | 1.03  |
| B3 | 0.58       | 0.75  | 0.90  | 1.16  |
| B4 | 1.33       | 1.16  | 1.03  | 0.78  |
| B5 | 1.43       | 1.19  | 1.04  | 0.82  |
| B6 | 1.23       | 1.15  | 1.01  | 0.81  |
| B7 | 1.50       | 1.23  | 1.06  | 0.79  |
| B8 | 0.48       | 0.66  | 0.79  | 1.01  |

### 3.3 복수 흡인 덕트 설치

3번째 구조 개선 방법은 그림 7과 같이 동일한 처리 유량에 대해 여러 개의 흡인 덕트를 설치하여 격실별 균등한 유량 분배를 실현하고자 하는 것으로서 2개 및 4개의 복수 흡인 덕트 설치 시 유량 분배 특성에 대하여 예측해 보았다.



[그림 7] 복수 흡인 덕트 설치. (a) 2개의 플레넘, (b) 4개의 플레넘.

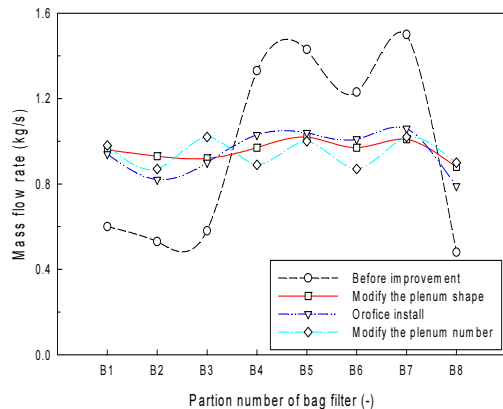
그림 7에서 볼 수 있듯이, 개선안-1은 2개의 흡인 덕트로 구성되어 플레넘 1개당 4개의 격실을 연결하는 것이고 개선안-2는 4개의 흡인 덕트로 구성되어 플레넘 1개당 2개의 격실을 연결하는 방식이다. 수치해석 결과, 표 3에서 제시한 것과 같이 개선안-1과 개선안-2 모두 각 격실별로 매우 균등한 유량으로 분배되어 유입되고 있는 것으로 예측되었다. 각 격실별로 흡인 덕트 및 플레넘을 분배 설치하면 유량 분배 균일도가 크게 향상될 수 있을 것으로 판단된다.

[표 3] 플레넘의 구조 개선에 따른 격실별 유량 변동

| 격실 | 질량유속(kg/s) |       |       |
|----|------------|-------|-------|
|    | 개념설계       | 개선안-1 | 개선안-2 |
| B1 | 0.60       | 0.98  | 0.96  |
| B2 | 0.53       | 0.87  | 0.86  |
| B3 | 0.58       | 1.02  | 0.97  |
| B4 | 1.33       | 0.89  | 0.86  |
| B5 | 1.43       | 1.00  | 0.96  |
| B6 | 1.23       | 0.87  | 0.86  |
| B7 | 1.50       | 1.02  | 0.96  |
| B8 | 0.48       | 0.90  | 0.86  |

### 3.4 최적의 개선

위에서 설명한 3가지 개선에 대한 결과는 그림 8과 같다. 그림 8에서 볼 수 있듯이, 3가지 개선 방법 모두 반건식 흡수탑 및 백필터 격실별 유량 분배가 상당히 안정적으로 이루어짐을 확인할 수 있었지만 흡인 덕트의 수를 증가시키는 방법은 새로운 설비에는 가능하지만 이미 운전중인 설비의 retrofit에는 어려움이 따를 것으로 예상되므로 가장 합리적인 방법은 플레넘의 모양을 수정하는 것과 풍도에 오리피스를 설치하여 압력차에 의한 속도조절로 유량을 균등히 분배하는 방법이 바람직할 것으로 판단된다.



[그림 8] 3가지 개선방법에 대한 비교

## 4. 결론

복합 후처리장치의 최적 모델 개발을 위해 장치 내부의 유동 특성 및 유량 분배 수준 등에 대해 1차 수치해석을 수행한 결과 많은 문제점들이 제기되었다. 이를 해결

하기 위해 복합 후처리장치에 여러 가지 설비를 수정·보완하였고 이를 확인하기 위해 추가적인 2차 수치해석을 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- 1차 수치해석결과 백필터 각 격실별로 유량 분배가 크게(흡인 덕트 가까운 위치의 격실이 먼 위치의 격실보다 약 2.5배 이상 큼) 차이가 났다. 이에, 백필터 전단인 반건식 반응탑에 유입된 기류가 초기에 suction쪽으로 크게 편중되어 사영역이 발생해 부상 기류가 형성되는 등 기류 흐름이 불량한 것으로 예측되었다.
- 1차 수치해석 결과 제기된 문제를 해결하기 위해 복합 후처리장치에 3가지 수정·보완(플래넘 구조 개선, 풍도 오리피스 설치, 복수의 흡인 덕트 설치)이 이루어졌다. 플래넘 구조 개선의 경우 플래넘의 모든 단면적을 동일하게 조정할 경우에 편류와 유량변동 특성이 개선되었으며, 풍도에 오리피스를 설치하는 경우 오리피스의 직경은 375 mm일때 최적의 유량 분배 특성을 보였다. 또한 복수의흡인 덕트를 설치할 경우에서는 2개와 4개 모두 유량분배가 안정적으로 이루어지지만 설비의 단순화를 위해서는 2개의 흡인 덕트를 설치하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 위에서 제시한 3가지 개선 방법 모두 반건식 흡수탑 및 백필터 격실별 유량 분배가 상당히 안정적이고 효과적인 방법이지만 가장 합리적인 방법은 플래넘의 모양을 수정하는 것과 풍도에 오리피스를 설치하여 압력차에 의한 속도조절로 유량을 균등히 분배하는 방법이 바람직할 것으로 판단된다.

$\Phi_i$  : 지배 방정식의 의존 변수  
 $g$  : 중력 가속도  
 $u, v, w$  : X, Y, Z방향 속도 성분

## 참고문헌

- [1] 장정국, 이재근, 이기호, 전해수, “도시폐기물 소각 공정에서 다이옥신류 저감방안에 관한 연구”, 한국폐기물학회지, 11(4), pp. 630-644, 1994.
- [2] 박영욱, 손재익, “폐기물 소각 배가스 제어기술(II)”, 한국폐기물학회지, 11(3), pp. 475-487, 1994.
- [3] 채재우, 박영수, 김지완, 탁선재, 곽용환, “선회식 공간분할 연소시스템에 관한 연구”, 한국폐기물자원순환학회(구 한국폐기물학회) 춘계학술연구회발표논문집, pp. 109-112, 2003.
- [4] 권영현, 김진욱, 정유진, 김민철, 이재정, 이강우, 손병현, “반건식 반응기와 백필터를 결합한 하이브리드 대기오염제어시스템의 수치해석적 연구(I)”, 한국산화기술학회논문지, 11(11), pp. 4656-4663, 2010.
- [5] 정유진, “자연환기 벤틸레이터 최적화 설계에 관한 기초 연구”, 창원대학교 공학석사학위논문, 2001.
- [6] B. E. Launder and D. B. Spalding, “The numerical computation of turbulent flows”, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 3(2), pp. 269-289, 1974.
- [7] 정유진, 하현철, 김태형, 유근중, “열원이 존재하는 작업장내 기류 및 온도장 예측”, 한국산업위생학회지, 11(1), pp.190-205, 2001.

## Nomenclatures

$V$  : 속도 벡터  
 $\Gamma_{\Phi_i}$  : 확산 계수  
 $S_{\Phi_i}$  : 부력항을 제외한 비정상항, 압력구배 등을 포함한 모든 source term  
 $k$  : 난류 운동 에너지  
 $\epsilon$  : 소산률  
 $G_k$  : 난류 생성항  
 $R$  : 잉여치  
 $G_b$  : 부력항  
 $\mu_t$  : 난류 점성 계수  
 $C_{1b}, C_{\epsilon 1}, C_{\epsilon 2}, \sigma_k, \sigma_\epsilon$  : 경험적 실험상수  
 $\rho$  : 밀도

김진욱(Jin-Uk Kim)

[준회원]



- 2010년 2월 : 한서대학교 환경공학과 (공학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과 석사과정

<관심분야>  
 유해가스처리, 산업폐기물처리



**정 유 진**(Yu-Jin Jung)

[정회원]



- 2000년 2월 : 창원대학교 환경공학(공학사)
- 2002년 2월 : 창원대학교 환경공학(공학석사)
- 2002년 9월 ~ 2010년 3월 : 크린에어테크놀로지(주)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 씨이테크(주) 컨설팅 수석연구원

<관심분야>

산업환경기술, 대기오염제어기술, 대기오염모델링

---

**유 정 근**(Jeong-Gunn Yoo)

[정회원]



- 1987년 2월 : 고려대학교 화학공학(공학석사)
- 1991년 2월 : 고려대학교 화학공학(공학박사)
- 1994년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 화학공학과 정교수

<관심분야>

자원회수, 무기공업화학

---

**손 병 현**(Byung-Hyun Shon)

[정회원]



- 1994년 2월 : 부산대학교 환경공학(공학석사)
- 1997년 2월 : 부산대학교 환경공학(공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과 정교수

<관심분야>

대기오염제어(탈황 및 탈질), 폐기물처리, 이산화탄소 흡수

---