

반건식 반응기와 백필터를 결합한 하이브리드 대기오염제어 시스템의 수치해석적 연구(I)

권영현¹, 김진욱¹, 정유진², 김민철³, 이재정³, 이강우³, 손병현^{1*}
¹한서대학교 환경공학과, ²씨이테크 연구개발센터 컨설팅팀, ³(주)유성 중앙연구소

A Study on Numerical Calculations of Hybrid Air Pollution Control System Coupled with SDR and Bag Filter

Young-Hyun Kwon¹, Jin-Uk Kim¹, Yu-Jin Jung², Min-Choul Kim³,
Jae-Jeong Lee³, Gang-Woo Lee³ and Byung-Hyun Shon^{1*}

¹Department of Env. Eng., Hanseo Univeresity

²C.E. Tech R&D Center, Consulting Team

³Yoonsung Co. Ltd., R&D Center

요약 본 연구에서는 복합 후처리장치의 최적 모델 개발을 위해 반응기 내부 유동 특성 및 유량 분배 수준, 공기 연령, 체류시간 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. 또한 SDR의 유입구 구조 변경을 통해 반응기 내부의 속도장과 체류시간 분포 특성을 개선할 수 있는 것으로 나타났다. 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 In this study, the 3D computational fluid dynamics (CFD) was performed in relation to the internal fluid characteristics, flow distribution, air mean ages, and residence time 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. In addition, it showed the possibility that the velocity field and distribution characteristics of the residence time could be improved through a modification to inlet structure of the spray dryer reactor. 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, the installation area, the operation fee, and management more convenient.

Key Words : CFD, SDR, Bag filter, Velocity field, Residence time, Stream lines

1. 서론

대규모 소각시설이나 화력발전소의 보일러 등에서 연소 시 발생하는 먼지 및 대기오염물질은 염화수소(HCl), 황산화물(SOx), 질소산화물(NOx), 불화수소(HF), 중금속

(Cd, Pb, Hg 등)과 다이옥신 등이 있다. 유해 산성가스 제거설비에는 건식, 반건식 및 습식 등이 있는데 경제적 측면에서는 건식법이 우수하지만 효율이 낮아 그 적용이 제한을 받으며, 오염물질 제거효율 측면에서는 습식법이 우수하지만 폐수처리 문제와 장치의 부식 같은 문제가

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

*교신저자 : 손병현(bhshon@hanseo.ac.kr)

접수일 10년 10월 04일

수정일 10년 10월 30일

게재확정일 10년 11월 19일

있다. 그러나 반건식법은 산성가스의 높은 제거효율 뿐만 아니라 폐수의 발생이 없고 장치의 부식 및 백연현상이 거의 없다는 장점을 가지고 있다. 반건식법은 배출가스에 알칼리성(수산화나트륨, 소석회, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 등) 용액이나 슬러리를 분사하여 고온의 배출가스가 알칼리성 물질과 접촉하도록 함으로써, 가스 내의 산성물질을 알칼리성 물질로 흡수 및 중화시키는 방식이다. 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]. 그러나 이러한 단일 방지시설은 그 자체적으로는 효율적이지만 별도로 설치되어 설비의 전체적인 규모, 설치비 및 많은 면적을 차지할 뿐만 아니라 용량에 따른 크기를 쉽게 변화시킬 수 없다는 문제점이 있으며, 운영 및 관리하는데 많은 인력이 필요하다는 단점을 갖고 있다.

이에 반건식 반응탑과 백필터를 일체화할 수 있다면 개별 설치에 따른 문제점들이 해결 가능할 뿐만 아니라 운전 부하 변동에 따른 대응도 용이할 것으로 판단된다. 각각의 방지 시설이 최적의 처리 효율을 가지기 위한 제한적 조건, 즉 반건식 반응탑의 경우 처리가스의 유입구 형상에 따른 유동 형태, 체류 시간 등이 있고, 백필터의 경우 여과 속도, 격실별 유량 분배(off-line type), 처리가스의 유입 특성 등이 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 복합 후처리장치에 대한 전산해석을 수행하여 반응기 내부 유동 특성 및 유량 분배, 공기연령, 체류시간 등에 대한 예측 결과를 바탕으로 최적의 반응 조건을 유지할 수 있는 복합 후처리장치를 설계 및 제작하는데 반영하고 그 유용성을 확인하고자 하였다.

2. 수치해석내용

전산유체역학이란 유체 유동을 지배하는 미분방정식들을 컴퓨터를 이용해 수치해석하는 학문분야로서 비선형편미분방정식의 근사해를 구하는 것이 주된 목적이다. 전산유체역학의 장점은 경제성, 시간절감, 완전한 정보의 제공, 실제조건에 대한 해석, 이상조건에 대한 해석 등 기존의 실험으로 인한 유동해석보다 많은 장점을 가지고 있다. 유동의

해석이 고체의 해석보다 복잡한 이유는 유동의 운동 자체가 심한 비선형성을 가지며 난류, 캐비테이션, 이상유동, 자유유동, 화학반응 등을 포함하기 때문이다[3,4].

2.1 지배방정식

유체의 유동에 대한 물리적인 특성을 나타내는 기본적인 법칙은 질량, 운동량, 에너지 보존 법칙들이다. 정상상태, 비압축성 기체라 가정할 때 일반적인 물리량의 수송방정식을 다음과 같은 형태로 나타낼 수 있다[4].

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

V 는 속도 벡터(velocity vector)이고 Γ_{Φ_i} 는 확산 계수(diffusion coefficient)이다. S_{Φ_i} 는 부력항(S_{buoyancy})을 제외한 비정상항, 압력구배 등을 포함한 모든 source term을 나타낸다. 위 수송방정식에서 질량 보존 차원에서 물리량 Φ_i 에 밀도 ρ 를 대입하면 연속방정식이 된다. 속도장에 있어서 물리량 Φ_i 에 ρu_i 를 대입하면 운동량 방정식이 된다. 만약 에너지를 수송한다면 물리량 Φ_i 에 $\rho c_p T$ 를 대입하면 에너지 방정식으로 나타낼 수 있다. 또한 중력을 고려하여야 한다. 이는 운동량에 체적력(= -중력)인 ρg 를 추가함으로써 다음과 같은 부력항을 나타낼 수 있다.

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

식 (1)에 (2)식을 추가하면 다음과 같다.

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

2.2 난류 모델

난류 유동은 매우 불규칙하고, 비정상 3차원 거동을 하므로 난류 유동과 관련된 유동 현상을 수치적으로 정확하게 예측하거나 설명하기는 어려워 고 레이놀즈수 유동에서 발생하는 난류의 물리량 수송방정식인 Navier-Stokes 방정식을 직접 풀 수는 없다[4]. 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(μ_t)를 취급하는 방법에 따라 여러 가지로 나눌 수 있는데 이러한 난류 모델 중 1974년 Launder와 Spalding에 의해 제시된 표준 k-ε 모델은 난류의 시간적으로 변동하는 속도가 시간 평균 속도와 변동분의 속도로 되어 있다는 가정하에 Navier-Stokes 방정식을 시간 평균하여 속도 변동량의 상

관항이 응력 형태(Re 응력항 = 난류 점성 계수× 속도 구배)인 레이놀즈 응력항을 도출해 내고, 이는 분자점성에 의해 발생하는 전단 응력과 같은 형태로 난류를 가장 잘 표현하는 모델이라 할 수 있다[5].

표준 k-ε 난류 모델은 ‘난류 점성’을 두 가지 변수인 난류 운동 에너지(k)와 난류의 소산률(ε)로 표현한다.

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

난류 점성 계수를 구하기 위해서는 난류 에너지와 소산률을 알아야 한다. 난류 운동 에너지(k) 방정식은,

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

난류 방정식 소산률(ε) 방정식은 식 (6)과 같고 여기서 G_k는 난류 생성항으로서 식 (7)과 같다.

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

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

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. 중심 차분 도식(central differencing scheme)은 대류항이 클 경우 불합리한 해를 가져 오게 되고 반복 계산을 하게 되는 경우에는 해가 발산하는 원인이 된다. 이에 반해 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[4].

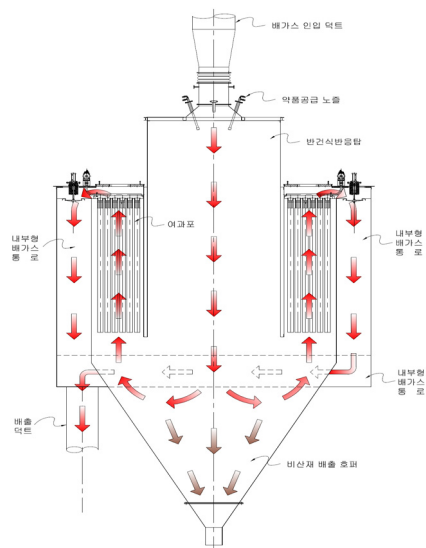
또한 수렴성을 좋게 하기 위해 하향 이완법(under-relaxation)을 사용하였다. 대수방정식의 반복해를 얻는 과정에서 반복과 반복 사이에 종속변수값의 변화를 느리게 하거나, 빠르게 하는 것이 필요한 경우가 있다. 변수들의 변화를 느리게 할 경우를 하향 이완이라 한다. 이 방법은 비선형성이 강한 문제를 반복 계산에 의하여 푸는 경우 발산을 막기 위하여 종종 사용된다.

수치해석에 필요한 기본 방정식이 비선형이므로 반복에 의한 해의 수렴이 필요하다. 반복 계산시 종속변수들의 수렴정도를 점검하기 위하여 잉여치(Residual : R), R 값을 체크하면서 잉여치가 10⁻³이하에 도달하면 수렴된 것으로 간주하였다[4].

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

2.3.2 해석 모델 및 경계 조건

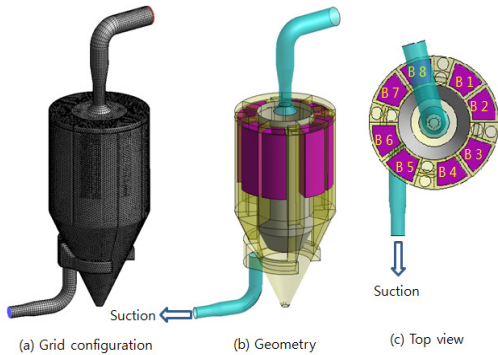
그림 1은 pilot plant 복합 후처리장치로서 원통 형태이며 처리용량은 1.25 ton/hr이다. 복합후처리장치의 내부는 반건식 반응탑이고 장치의 외부는 8개의 격실로 구분된 백필터로 구성되어 있으며, 배가스 유량은 22,900 sm³/hr, 수산화나트륨 분무량은 713 L/hr이다. 배가스의 흐름은 그림 1에 나타낸 바와 같이 반건식 반응탑에서 가스상 오염물질이 제거되고 백필터에서 입자상 오염물질(먼지, 염, 활성탄 분말, 다이옥신 등)이 제거된 후 복합 후처리 장치의 하부 비산재 배출 호퍼 외부에 있는 내부형 배가스 통로를 통해 대기로 방출된다.



[그림 1] 복합 후처리장치의 개념도

그림 1에 나타난 복합 후처리장치에 대한 수치해석을 위해 그림 2와 같이 설계 도면과 똑같은 형상으로 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 단위면적당 압력강하를 계산하였다.

전산 수치해석은 백필터의 모든 격실 댐퍼를 개방한 상태의 on-line 운전 방식으로 1차 해석을 수행하였다. 이는 각 격실별로 기류 분배 정도를 검토하기 위한 것으로서 on-line 운전상에서 비교적 균등하게 분배되는 구조가 되어야만 off-line 운전상에서도 탈진 격실의 잉여 유량이 타 격실로 균등하게 분배될 수 있기 때문이다. 모든 격실의 댐퍼를 개방한 상태의 on-line 운전시 각 격실별 기류 분배 정도를 검토하고 또한 반건식 반응탑 내부의 기류 분포, 체류 시간, 액적 거동 등의 유동 특성을 예측하여 설비 구조 설계의 적정성 여부를 우선 판단하고자 하였다.



[그림 2] 수치해석을 위한 복합 후처리장치의 그리드와 입체도

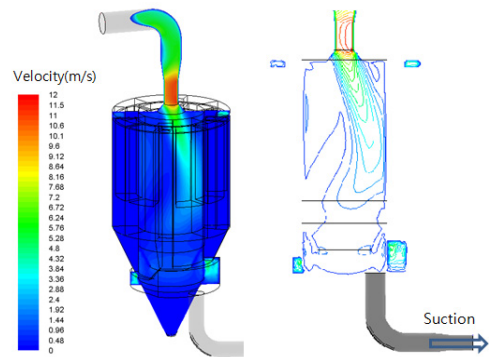
3. 결과 및 고찰

3.1 속도장(Velocity fields)

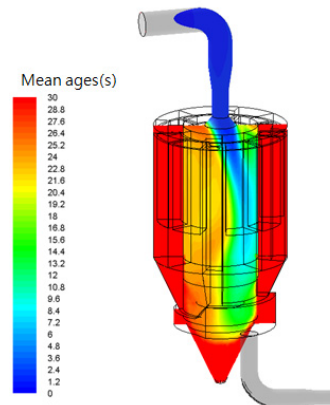
그림 3은 배가스 유량 22,900 sm^3/hr , 알칼리 수용액 분무량 713 L/hr의 조건에서 반건식 반응탑의 내부 유동 해석 결과, suction에 가까운 쪽으로 기류가 편향되고 반응기 내부에 편류가 형성되는 것을 알 수 있었다. 편류가 발생할 경우 반대편으로 사영역(dead-zone)이 형성되어 반응기로부터 빠르게 유입되는 주 기류(main stream)와 사영역에 의한 부상 기류에 의해 배가스와 액적의 혼합 상태가 불량해질 수 있음을 예상할 수 있다.

3.2 공기 연령 (Air mean ages)

그림 4는 복합 후처리장치의 공기 연령을 나타낸 것으로서, 반응기 내부 편류 형성 지역의 공기연령은 낮은 반면 그 외 구간은 상대적으로 높아 그만큼 기류가 정체되고 있음을 알 수 있었다. 또한 백필터 구간은 공기연령 매우 높았는데, 이는 백필터 차압에 의한 느린 여과속도에 기인한 결과이며 정상적인 현상이라고 볼 수 있다. 속도장 결과에 확인하였듯이 공기연령 예측 결과에서도 반응기 내부 편류에 의한 공기 정체 현상이 뚜렷하게 확인되었다.



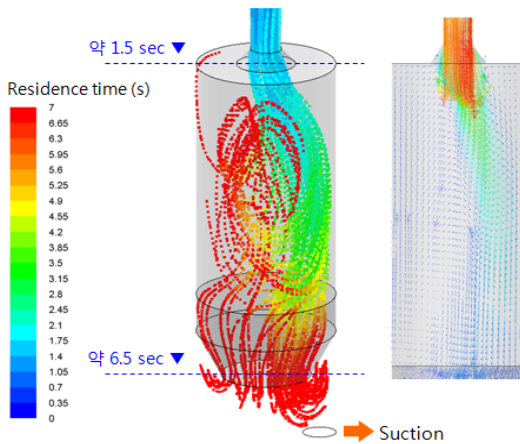
[그림 3] SDR에 대한 속도장



[그림 4] SDR과 백필터에 대한 공기 연령

3.3 체류시간(Residence time)

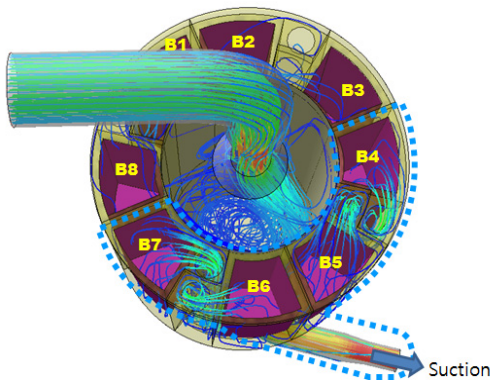
그림 5는 반건식 반응탑에 대한 체류 시간을 해석한 것으로서, 반응기 유입구부터 출구까지 체류 시간은 약 4.5~5 초 정도로 확인되었으며 반응기의 편류가 형성되는 구간을 제외한 다른 지역은 와류의 형성에 기인하여 체류 시간은 약 7 초 이상으로 긴 체류시간을 가지는 것으로 나타났다.



[그림 5] SDR에 대한 체류 시간

3.4 유선장(Stream lines)

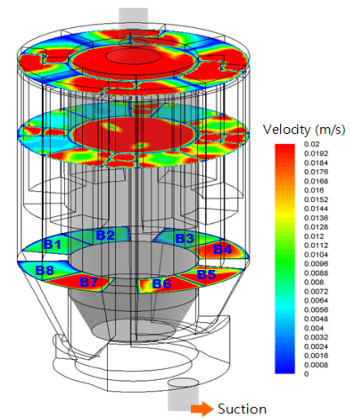
그림 6은 반건식 반응탑과 백필터에 대한 유선장을 나타낸 것으로서, 반건식 반응탑으로 기류 유입시 suction 덕트 위치에 가까운 방향으로 기류가 편류되어 4개의 격실(B4, B5, B6, B7)에 기류가 편중되는 경향이 있음을 확인할 수 있다.



[그림 6] SDR과 백필터에 대한 유선장

3.5 유량 분배(Flowrate distribution)

그림 7은 백필터에 대한 유입 및 여과, 배출 속도에 대한 해석 결과를 나타낸 것으로서, 조업이 진행됨에 따라 suction 덕트에 인접한 B5와 B6 격실의 압력강하가 증가하여도 suction 덕트에서 먼 격실의 유량은 증가하지 않아 격실별 유입 속도 및 여과속도가 차이남을 확인할 수 있었고 표 1에서 알 수 있듯이 격실별 유량분배불균형은 약 2.5배 이상으로 나타났다.



[그림 7] 백필터에 대한 유량 분배도

[표 1] 격실별 유량 변동

격실	질량 유량(kg/s)	격실	질량 유량(kg/s)
B1	0.60	B5	1.43
B2	0.53	B6	1.23
B3	0.58	B7	1.50
B4	1.33	B8	0.48

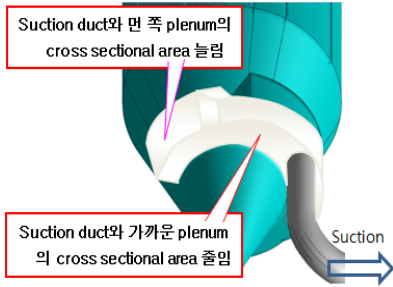
3.6 수치해석에 따른 시스템의 개선

반건식 반응탑 내부에서의 편류 발생에 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 기화특성을 저하시킬 우려도 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 편류의 생성을 억제할 수 있는 구조 개선을 통해 배가스와 액적의 혼합 상태 및 기화 특성을 개선할 수 있을 것으로 판단된다. 백필터의 경우, i)유량 편중 격실 백필터의 분진 부하 가중으로 차압 증가 및 백필터의 파손 가능성, ii)off-line 운전시 suction에 가까운 격실의 분진 부하 가중 문제, iii)유량 편중 격실의 초층 형성을 방해하여 미세 분진의 제진효율이 감소할 가능성, iv)반건식 반응탑에서 미반응 액적 다량 유입으로 브릿지 현상 심화 가능성이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 각 격실별 균등한 유량 분배를 위한 구조 개선이 시급한 것으로 판단된다[6].

3.6.1 Suction 덕트관 Plenum 구조 변경

수치해석 전 복합 후처리장치의 plenum 구조를 반대로 조정할 필요가 있다. 즉, 현행의 plenum 구조는

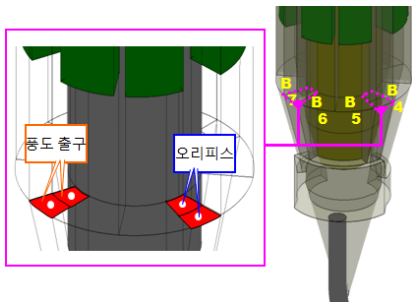
suction이 아닌 blow 상태에서 유량 분배를 유도하는 형상이므로, 그림 8과 같이 suction 덕트와 가까운 plenum의 단면적을 줄이고, 먼 쪽 plenum의 단면적을 증가해야 할 것으로 판단된다.



[그림 8] Suction 덕트관 plenum 구조 변경

3.6.2 오리피스 설치

유량이 집중적으로 편중되는 백필터의 격실(B4, B5, B6, B7) 풍도 출구에 오리피스를 설치하여 ΔP 를 증가시켜 유량을 감소시키고자 하는 것으로서, 풍도의 입구에는 댐퍼가 설치되는 구간이므로 출구에 오리피스를 설치하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.



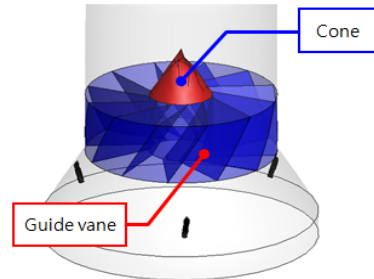
[그림 9] 유량 편중 격실의 풍도에 오리피스 설치

3.6.3 믹서 설치

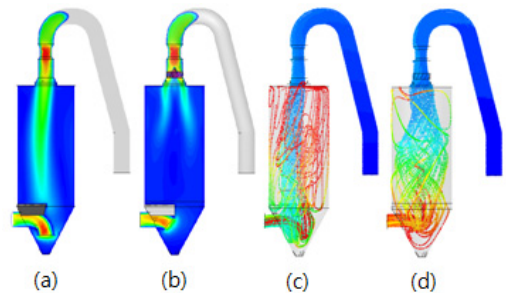
이는 액적의 혼합 및 기화 특성을 촉진시키기 위한 방법으로 반건식 반응탑 유입구에 가이드 베인을 설치하여 인위적 와류 형성을 유도하여 유입 기류의 직진 흐름을 방해하여 기류 정체 영역이 없이 체류 시간 연장이 가능할 것으로 판단된다. 즉, 체류시간을 확보하되, 공기연령은 낮게 유지시킬 수 있을 것으로 판단된다.

그림 10은 반건식 반응탑 입구에 믹서를 설치한 모습을 나타낸 것이며, 그림 11은 믹서 설치 후 속도장과 체류시간의 개선을 나타낸 사례이다. 그림 11에서 알 수 있듯이, 믹서 설치 후 속도장이 균일하게 분포되어 편류의 개선을 확인할 수 있었다. 또한 그림 11(d)에서 볼 수 있

듯이 체류시간도 분포가 어느 정도 균일하게 개선됨을 볼 수 있고 사영역이 많이 줄어들었음을 확인할 수 있다.



[그림 10] SDR 입구의 구조변경을 위한 믹서(Cone + Guide vane) 설치



[그림 11] SDR에 믹서(Cone+Guide vane) 설치에 따른 속도장 및 체류시간 개선. (a) 설치 전 속도장, (b) 설치 후 속도장, (c) 설치 전 체류시간, (d) 설치 후 체류시간

4. 결론

본 연구는 복합 후처리장치의 최적 모델 개발을 위해 반응기 내부 유동 특성 및 유량 분배 수준, 공기연령, 체류시간 등에 대해 3차원 전산유체해석을 수행하였으며, 결과는 다음과 같다.

1. 백필터 각 격실별로 유량 분배가 크게(흡인 덕트 가까운 위치의 격실이 먼 위치의 격실보다 약 2.5배 이상 큼) 차이가 있다. 이에, 백필터 전단인 반건식 반응탑에 유입된 기류가 초기에 suction쪽으로 크게 편중되어 사영역이 발생해 부상기류가 형성되는 등 기류 흐름이 불량한 것으로 예측되었다.
2. 우선 백필터의 균등한 유량 분배가 실현된다면 반건식 반응탑 유입 기류 역시 편류는 해소될 것으로 판단되므로, 균등한 유량 분배를 위한 구조 개선이 가장 시급하다.
3. 향후, 본 연구에서 적용한 전산유체해석기법을 활

용하여 구조 개선에 대한 설계인자를 도출하고 반응기 내부 액적 거동 및 증발률까지 예측하여 반응기 구조를 최적화한다면 복합 후처리장치의 높은 처리 성능을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

Nomenclatures

- V : 속도 벡터
- Γ_{oi} : 확산 계수
- S_{oi} : 부력항을 제외한 비정상항, 압력구배 등을 포함한 모든 source term
- k : 난류 운동 에너지
- ε : 소산률
- G_k : 난류 생성항
- R : 잉여치
- G_b : 부력항
- μ_t : 난류 점성 계수
- $C_{\mu}, C_{\varepsilon 1}, C_{\varepsilon 2}, \sigma_k, \sigma_{\varepsilon}$: 경험적 실험상수
- ρ : 밀도
- Φ_i : 지배 방정식의 의존 변수
- g : 중력 가속도
- u, v, w : X, Y, Z방향 속도 성분

참고문헌

- [1] 장정국, 이제근, 이기호, 전해수, “도시폐기물 소각 공정에서 다이옥신류 저감방안에 관한 연구”, 한국폐기물학회지, 11(4), pp. 630-644, 1994.
- [2] 박영옥, 손재익, “폐기물 소각 배가스 제어기술(II)”, 한국폐기물학회지, 11(3), pp. 475-487, 1994.
- [3] 손병현, 이강우, “산업폐기물 소각플랜트의 작업환경 개선”, 한국산학기술학회논문지, 7(3), pp. 431-439, 2006.
- [4] 정유진, “자연환기 벤틸레이터 최적화 설계에 관한 기초 연구”, 창원대학교 공학석사학위논문, 2001.
- [5] 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.
- [6] 정유진, 하현철, 김태형, 유근종, "열원이 존재하는 작업장내 기류 및 온도장 예측", 한국산업위생학회지, 11(1), pp.190-205, 2001.

권 영 현(Young-Hyun Kwon)

[준회원]



- 2009년 2월 : 한서대학교 환경공학과 (공학사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과 (석사과정)

<관심분야>
유해가스처리, 산업폐기물처리

김 진 옥(Jin-Uk Kim)

[준회원]



- 2010년 2월 : 한서대학교 환경공학과 (공학사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과 (석사과정)

<관심분야>
유해가스처리, 산업폐기물처리

정 유 진(Yu-Jin Jung)

[정회원]



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

<관심분야>
산업환기기술, 대기오염제어기술

김민철(Min-Choul Kim)

[정회원]



- 2003년 2월 : 동아대학교 환경공학(공학사)
- 2005년 2월 : 부산대학교 환경공학(공학석사)
- 2005년 2월 ~ 현재 : (주) 유성중앙연구소 선임연구원

<관심분야>

산업폐기물처리, 소각로 해석 및 설계

손병현(Byung-Hyun Shon)

[정회원]



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

<관심분야>

대기오염제어(탈황 및 탈질), 폐기물처리, 이산화탄소 흡수, 대기화학

이재정(Jae-Jeong Lee)

[정회원]



- 1996년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학사)
- 1998년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학석사)
- 2003년 8월 : 부산대학교 환경공학과(공학박사)
- 2008년 2월 ~ 현재 : (주) 유성중앙연구소 연구실장

<관심분야>

유해가스처리, 산업폐기물처리, 환경정책

이강우(Gang-woo Lee)

[정회원]



- 1995년 8월 : 부산대학교 환경공학과 (공학석사)
- 2002년 8월 : 부산대학교 환경공학과 (공학박사)
- 2004년 7월 ~ 현재 : (주) 유성중앙연구소 소장

<관심분야>

산업폐기물처리, 소각로 해석 및 설계, 유해가스처리