

## 축열식 촉매 산화(RCO) 반응의 성능 최적화를 위한 전산 해석

정유진<sup>1</sup>, 이재정<sup>2</sup>, 정종현<sup>3</sup>, 김진욱<sup>4</sup>, 손병현<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>씨이테크(주) 연구개발센터, <sup>2</sup>(주)유성 중앙연구소,

<sup>3</sup>대구한의대학교 보건학부, <sup>4</sup>한서대학교 환경공학과

### Numerical Calculations for the Optimal Performance of Regenerative Catalytic Oxidation(RCO)

Yu-Jin Jung<sup>1</sup>, Jae-Jeong Lee<sup>2</sup>, Jong-Hyeon Jung<sup>3</sup>,

Jin-Uk Kim<sup>4</sup> and Byung-Hyun Shon<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>C.E.Tech Co. Ltd., R&D Center

<sup>2</sup>Yoonsung Co. Ltd., R&D Center

<sup>3</sup>Faculty of Health Science, Daegu Haany University

<sup>4</sup>Dept of Environmental Engineering, Hanseo University

**요약** 본 논문에서는 RCO 반응기의 최적 조업 조건을 도출하고자 현재 조업 중인 RTO 반응기 촉매층의 압력분포, 유속분포, 유선장, 체류시간, 온도분포 등에 대하여 분석하였고 최적의 조업 조건을 도출하기 위한 전산유체해석을 수행하였다. 전산 해석 결과, 현재 조업 중인 반응기 촉매층의 축열재로 인한 압력손실은 크지 않은 것으로 나타났다. 세라믹 필터 이후 유속은 1.8~2.7 m/s로 특별한 편류없이 비교적 안정적 유속분포를 보이고 있었다. 기류분포를 좀 더 개선하려고 한다면 설비 내부에 플래넘과 촉매층 접촉 구간 연장 등의 방법을 고려할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 기류 안내판이나 다공판 부착 등의 방법은 큰 효과는 없을 것으로 나타났다.

**Abstract** The computational fluid dynamics was analyzed for the pressure distribution, stream velocity distribution, stream line field, retention time and temperature distribution which are applied to the catalyst layer in the RCO reactor to derive the optimum operating condition of the heat condensing type catalytic oxidation (RCO) reactor. The results from the computational analysis revealed that the pressure loss due to the ceramic honeycomb in the catalytic bed of the reactor which is operating currently is not significant and the stream velocity (1.8~2.7 m/s) after the ceramic filter is working in stability without big channeling. To improve the stream velocity distribution of the air stream, it is necessary to extension of the connecting range between the plenum and catalytic bed inside the facility. However, the method of attaching the air stream guide vane or the perforated plate inside the reactor was not so effective.

**Key Words** : RCO, CFD, flow distribution, channeling

### 1. 서론

축열식 촉매 산화 (Regenerative Catalytic Oxidation, RCO) 방식은 RCS (Regenerative Catalytic oxidation System)로 명명되기도 하는 일반적으로 악취성 물질의

제어에 사용되는 기술이다. 악취의 가장 큰 원인물질인 휘발성유기화합물 (Volatile Organic Compounds, VOCs)의 처리방식으로는 주로 흡착법과 연소법이 있으며, 연소법의 경우 직접연소법, 촉매산화연소법, 축열연소법으로 크게 구분할 수 있다. 이 중에서 RCO 방식은 축열연소법

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

\*교신저자 : 손병현(bhshon@hanseo.ac.kr)

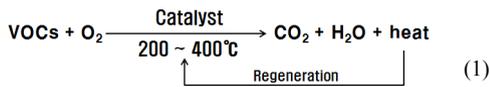
접수일 11년 07월 05일

수정일 (1차 11년 08월 19일, 2차 11년 10월 04일)

계재확정일 11년 11월 10일

(Regenerative Thermal Oxidation, RTO)과 촉매산화연소법의 장점을 조합한 방법이다.

RCO의 구조는 크게 bed 타입과 rotary 타입 두 가지로 구분할 수 있는데 일반적으로 bed 타입을 적용하고 있다. RCO는 VOCs(Volatile Organic Compounds) 등을 세라믹 축열재를 이용하여 가열한 후 촉매층을 통과시켜 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O로 분해시키는 설비로서 연소용 버너, 세라믹 축열재, 촉매, 연소실, 댐퍼 시스템으로 구성된다. 일반적으로 2 chamber 형태로 운영하면서 각 격실별로 순차적으로 교대운전을 통해 처리하며, 처리효율을 높이기 위해 격실을 1개 더 운영하는 3 chamber로 구성하기도 한다.



직접연소법 (Thermal Oxidation, TO)은 연소온도가 약 800~900℃인 반면, RCO 방식은 200~400℃로 연소온도가 낮아 연료소비량을 줄일 수 있고 thermal NOx의 생성을 억제할 수 있다는 특징을 가진다. 또한 산화처리 후 가스 연소 시 발생하는 열량을 열교환용 축열재를 사용하여 약 50~60%의 열을 회수할 수 있으므로 에너지 비용 절감 역시 가능한 기술로 평가받고 있다.

본 연구 대상이 촉매산화방식이므로 촉매의 관리(촉매의 내구성, 촉매독, 촉매층에서의 기류 균일도 등)가 매우 중요하다. 특히, 촉매의 성능이 보장된 상황에서는 촉매층으로 유입되는 처리가스의 기류 균일도가 반응 효율에 중요한 역할을 하게 된다. 그 이유는 촉매층으로 유입되는 처리가스의 유속 편차가 심하거나 편류 발생시에는 촉매층의 특정 구간으로 처리가스 유량이 집중됨에 따라 촉매의 부분 응집이 빨리 진행되고 촉매 담체의 표면적이 저하될 수 있기 때문이다.

이에, 본 연구에서는 CFD(Computational Fluid Dynamics)를 이용하여 3 chamber 형태의 RCO 반응기 내부 유동 특성을 모사하여 촉매층에서의 기류 균일도 여부를 확인하고, 유동 균일도 개선을 위한 구조 변경 인자 도출 및 처리 공정을 최적화할 수 있는 조업 조건인 압력분포, 유속분포, 온도 및 체류시간 등이 합리적인지 확인하고자 한다.

## 2. 전산해석

### 2.1 전산해석조건

#### 2.1.1 촉매층 및 축열재

현 전산유체 시뮬레이션 기술로는 촉매, 허니컴과 같은 복잡한 형상 구현 및 grid configuration이 어려우므로 porous media model을 이용하여 연속체로 모델링하고 다공성 물질로 가정하여 국부 유속에 대한 단위길이당 압력강하로 계산하였다. 이에 축열재를 통과하는 유동의 에너지 전달만 고려할 뿐 축열에 의한 heat recovery는 계산되지 않는다[1].

#### 2.1.2 버너로 연소

Species transport & Reacting Flows model을 이용하여 LNG의 연소 과정을 해석하였고, 버너 로내 연소시 고온현상을 더욱 사실적으로 모사하기 위해 복사열전달 효과를 고려하였다(P<sub>1</sub>-radiation model).

#### 2.1.3 시뮬레이션 모델

##### 1) 지배 방정식

유체의 유동에 대한 물리적인 특성을 나타내는 기본적인 법칙이 있다. 예를 들어, mass, momentum, energy conservation 등과 같은 법칙들이다. 정상 상태, 비압축성 기체라 가정할 때 일반적인 물리량의 수송 방정식을 다음과 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$\text{div}(\rho V\phi_i - \Gamma\phi_i \text{grad}\phi_i) = S\phi_i \quad (2)$$

여기에서 V는 속도벡터(velocity vector)이고  $\Gamma\phi_i$ 는 확산 계수(diffusion coefficient)이다. S $\phi_i$ 는 부력항(S<sub>buoyancy</sub>)을 제외한 비정상항, 압력구배 등을 포함한 모든 source term을 나타낸다.

##### 2) 난류모델

난류 모델에는 난류점성계수를 취급하는 방법에 따라 여러 가지 모델이 있는데, 본 연구에서는 Launder와 Spalding에 의해 제시된 Standard k-ε turbulence model을 사용하였다. 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[2]. 따라서 난류를 해석하기 위해 난류 모델을 도입하게 된다. 난류 모델 중 1974년 Launder와 Spalding에 의해 제시된 표준 k-ε 모델은 난류의 시간적으로 변동하는 속도가 시간 평균 속도와 변동분의 속도로 되어 있다는 가정에 Navier-Stokes 방정식을 시간 평균하여 속도 변동량의 상관항이 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[3].

표준 k-ε 난류 모델은 ‘난류 점성’을 난류 운동 에너지 k와 난류의 소산률 ε, 이 두 가지 변수로 표현한다.

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

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

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_k + G_b - \rho \epsilon \quad (4)$$

난류 소산률(ε) 방정식은 식 (4)와 같고 여기서 G<sub>k</sub>는 난류 생성항으로서 식 (5)와 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_1 \frac{\epsilon}{k} P - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (5)$$

$$G_k = \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (6)$$

### 3) 다공성매체 모델

대류가속도와 대류확산을 무시하면, porous media model은 Darcy’s law로 된다.

$$\Delta P = - \frac{\mu}{\alpha} \vec{v} \quad (7)$$

Porous region에서의 세 방향(x, y, z) 각각에 대한 압력강하는

$$\Delta p_x = \sum_{j=1}^3 \frac{\mu}{\alpha_{xj}} v_j \Delta n_x \quad (8)$$

$$\Delta p_y = \sum_{j=1}^3 \frac{\mu}{\alpha_{yj}} v_j \Delta n_y \quad (9)$$

$$\Delta p_z = \sum_{j=1}^3 \frac{\mu}{\alpha_{zj}} v_j \Delta n_z \quad (10)$$

## 2.2 수치해석 조건

### 2.2.1 수치해석 방법

본 연구에서는 상용 소프트웨어인 FLUENT를 사용하였고, 이는 난류 방정식들의 이산화 방법으로 유한체적법

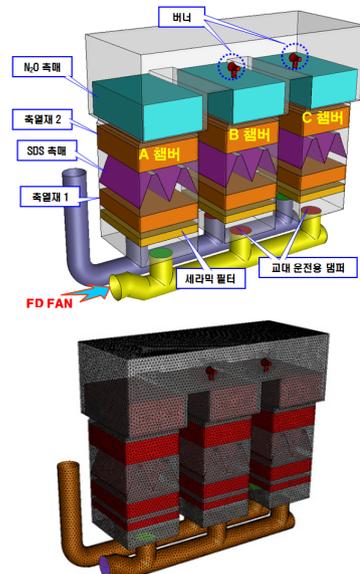
(finite-volume method)을 사용한다. 유한체적법은 적분 후에 이산화하기 때문에 항상 그 미소 영역내의 운동량 등의 출입을 고려하게 되어 보존 법칙을 확실하게 만족시키는 이산식을 얻을 수 있는 장점이 있다. 모든 수치 해석은 상류 차분 도식(upwind differencing scheme)을 이용하여 수행하였다. 상류 차분 도식은 대류항에 대해 인공적인 확산을 새롭게 추가시킨 것, 즉 수치확산(numerical diffusion)을 도입한 것으로 안정된 해를 구할 수 있다. 그리고 압력장을 구하기 위해 연속 방정식과 운동량 방정식을 조합시키는 방법으로 SIMPLE(Semi-Implicit Method Pressure-Linked Equations) 알고리즘을 사용하였다[4].

### 2.2.2 해석 모델 및 경계 조건

그림 1은 RCO 반응기의 수치해석을 위해 설계도면과 똑같은 형상으로 3차원 모형을 구현한 것이며 격자 형상(grid configuration) 모습도 함께 나타내었다. 수치 계산을 위한 제어체적 구성에 사용된 격자수는 1,113,538개이다.

본 시스템의 조업조건은 다음과 같으며, 이는 처리가 스량 대비하여 처리효율을 극대화시킬 수 있는 촉매계 설계와 관련된 조건이다.

- 1) 유량 : 49,000 Sm<sup>3</sup>/hr
- 2) 유입가스 온도 : 100~140℃
- 3) 촉매 반응 온도 : 550℃
- 4) 조업 압력 : 760 mmH<sub>2</sub>O
- 5) 촉매층 차압 : 200mmH<sub>2</sub>O



[그림 1] 3차원 모델링 제어체적(1,113,538 cells)

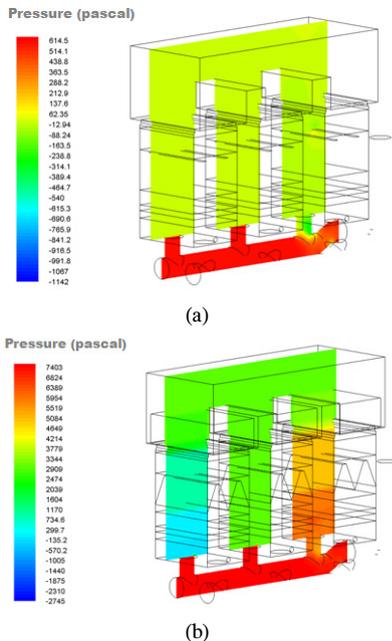
[Fig. 1] Control volume for 3D computational fluid dynamics(1,113,538 cells).

### 3. 결과 및 고찰

실제 조업 중인 본 연구 대상의 RCO 반응기는 3 chamber 구조이며, 첫 번째 chamber에서 두 번째 chamber로 배가스가 이동 중 유동의 불균일성을 개선하고자 본 연구를 수행하였다. 반응기 내부의 유동을 명확하게 확인하기 위해 반응기 내부에 촉매층과 축열재 설치 유무에 따른 유동 현상을 우선적으로 비교·분석하였다. 또한 촉매층으로 유입되는 기류 균일도를 평가하여 유속 편차 여부를 확인하고 균일도 향상을 위한 반응기 구조 개선에 대해서도 분석하였다.

#### 3.1 압력 분포

RCO 반응기 내부에 촉매층과 축열재를 설치하지 않은 경우(a), 반응기 내부에 특별한 압력손실이 없기 때문에 반응기 전·후단 차압이 적게 걸리는 것으로 나타났다. 그러나 RCO 반응기 내부에 촉매층과 축열재를 설치할 경우(b), 촉매층 및 축열재로 인해 압력손실이 크게 걸리고 있으며, 반응기 전·후단 차압 약 6,000~7,000 Pa 발생 하는 것으로 나타났다.

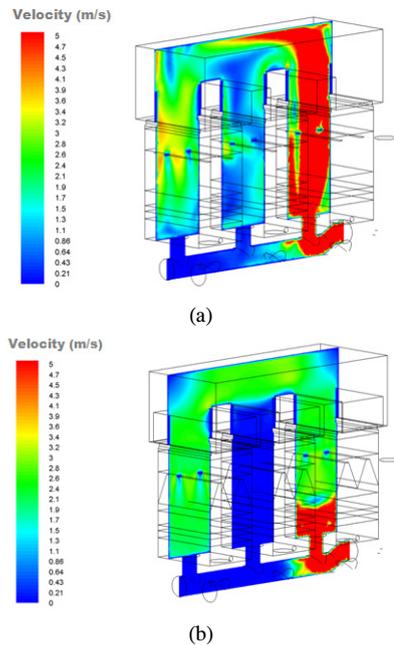


[그림 2] In-duct 위치에서의 압력 분포. (a) RCO 반응기 내부 촉매층 및 축열재 미설치 시, (b) RCO 반응기 내부 촉매층 및 축열재 설치 시.

[Fig. 2] Pressure distribution inside the duct. (a) without installing the catalyst layer and honeycomb inside the reactor, (b) installing the catalyst layer and honeycomb inside the reactor.

#### 3.2 유속 분포

RCO 반응기 내부에 촉매층과 축열재를 설치하지 않은 경우(a), 처리가스가 매우 빠른 속도로 반응기로 유입됨에 따라 반응기 내부 유속 편차가 매우 심하고 편류 발생하였으며 또한 2 번째 챔버에도 처리가스가 침투하는 것으로 해석되었다. 그러나 RCO 반응기 내부에 촉매층과 축열재를 설치할 경우(b), 세라믹 필터 이후부터는 약 1.8-2.7 m/s 사이의 안정적인 유속 분포를 보여 특별한 편류가 없음을 확인할 수 있었는데, 이는 촉매층과 축열재의 압력 완충 효과에 기인한 결과로 판단된다.

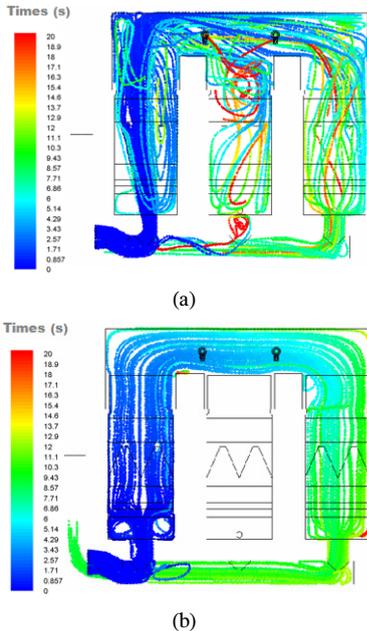


[그림 3] In-duct 위치에서의 유속 분포. (a) RCO 반응기 내부 촉매층 및 축열재 미설치 시, (b) RCO 반응기 내부 촉매층 및 축열재 설치 시.

[Fig. 3] Velocity distribution inside the duct. (a) without installing the catalyst layer and honeycomb inside the reactor, (b) installing the catalyst layer and honeycomb inside the reactor.

#### 3.3 체류시간

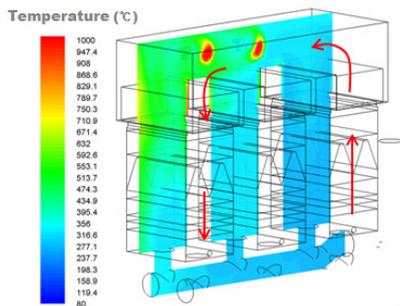
RCO 반응기 내부에 촉매층과 축열재를 설치하지 않은 경우(a), 처리가스가 매우 빠른 속도로 반응기를 통과하여 반응기 내부 전체 통과 시간이 8초 이내로 예측되었다. RCO 반응기 내부에 촉매층과 축열재를 설치할 경우(b), 반응기 내부 전체 통과 시간은 약 10초이었고 또한 버너 로의 플래넘 통과 시간은 약 3-4초 수준으로 나타나 고온 산화에 필요한 시간은 충분히 확보 가능할 것으로 예측되었다.



[그림 4] In-duct 위치에서의 체류 시간 분포. (a) 반응기 내부 촉매층 및 축열재 미설치 시, (b) RCO 반응기 내부 촉매층 및 축열재 설치 시.  
 [Fig. 4] Residence time distribution inside the duct. (a) without installing the catalyst layer and honeycomb inside the reactor, (b) installing the catalyst layer and honeycomb inside the reactor.

### 3.4 온도 분포

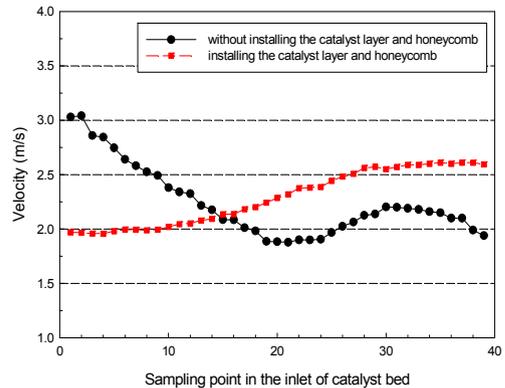
Porous media 내의 축열 현상에 대한 시뮬레이션이 불가능하여 초기 운전 시 상황을 모사한 것으로서, 첫 번째 챔버로 140℃의 처리가스가 유입되어 버너 로의 내부에서 약 500~600℃로 승온되어 두 번째 챔버로 넘어가고 있음을 확인할 수 있었다. 이후 교대 운전 시 축열체에 의한 예열 효과로 인해 두 번째 챔버 내의 상승 흐름시에도 각 촉매층의 최적 조업 온도 조건을 만족할 수 있을 것으로 판단된다.



[그림 5] In-duct 위치에서의 온도 분포  
 [Fig. 5] Temperature distribution inside the duct.

### 3.5 촉매층 상부 유입 속도

RCO 반응기 내부에 촉매층과 축열재를 설치하지 않은 경우, 촉매층 위치에서의 유속 편차가 매우 심함을 알 수 있었다. 그러나 RCO 반응기 내부에 촉매층과 축열재를 설치할 경우, 촉매층 상부 유입 속도 분포는 약 1.8-2.7 m/s 수준으로 평균 약 2.3 m/s 수준으로 비교적 안정적인 분포를 보이고 있음을 알 수 있다.



[그림 6] 촉매층 상부의 유입속도  
 [Fig. 6] Inlet velocity into the upper part of catalyst layer.

### 3.6 기류 균일도 평가

현재의 RCO 반응기 내부 구조 및 운전 조건에서 촉매층 상단으로 유입되는 기류의 유속 범위는 대부분 1.8-2.7 m/s 로 유지되고 있어 기류 균일도는 비교적 양호한 것으로 판단되나, 일부 유속값이 RMS(Root mean square) ±10% 범위에 다소 상회하고 있는 것으로 평가되었다. 현재 반응기에 사용되는 촉매제의 처리 효율을 극대화시키기 위해서는 촉매층으로 유입되는 기류 유속의 범위가 RMS ±10% 이내로 만족할 수 있어야 한다.

설비 내부의 기류 균일도가 처리효율을 좌우할 수 있는 SCR(Selective Catalytic Reduction)이나 RCO의 경우, 균일도 개선을 위해 기류 안내판(Guide vane)이나 다공판(Perforated plate)을 설치하게 된다. 이에 본 연구 대상 반응기의 기류 균일도를 좀 더 개선하기 위해서는 아래와 같이 3가지 방법을 고찰하였다.

#### 3.6.1 기류 안내판 설치

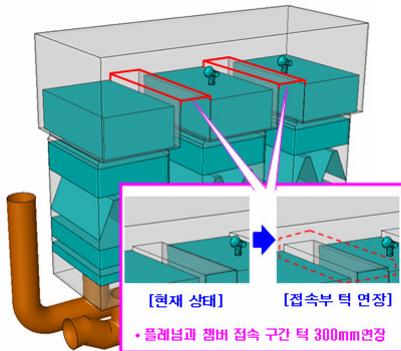
2-chamber 구조에서는 대칭형이므로 기류 안내판(guide vane) 설치가 용이하나, 현 시스템의 경우 3-chamber 구조이므로 교대 운전상황을 고려한다면 기류 안내판 설치 현실적으로 불가능할 것으로 판단된다.

### 3.6.2 다공판 설치

이 방법은 각 챔버와 플레넘 접속부에 다공판을 설치하는 것으로서, 모든 챔버가 교대운전하는 상황이므로 설치 공간이 충분하지 않다는 문제점이 있다. 또한 현재 설비의 운전조건에서도 층류 형상에 가까운 기류가 유동하고 있어 다공판을 추가로 설치한다면 오히려 촉매층에 도달하는 기류 편차가 더 커질 가능성을 배제할 수 없을 것으로 판단되므로 이 역시 현실적으로 적용은 불가능할 것으로 판단되었다.

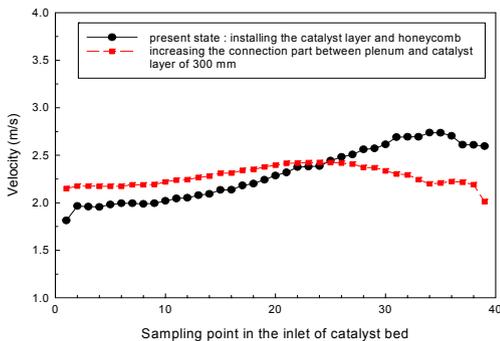
### 3.6.3 플레넘과 촉매층 접속 구간 턱의 연장

그림 7과 같이 플레넘과 촉매층 접속 구간의 턱을 연장하는 방법으로서, 기류가 방향 전환을 하는 구간을 연장하여 기류 균일도를 개선하고자 하였다.



[그림 7] 플레넘과 챔버 접속 구간 턱 연장부위에 대한 상세도

[Fig. 7] Detail drawing in connection part between plenum and catalyst layer.



[그림 8] 플레넘과 촉매층 접속 구간 턱 연장에 따른 속도 변화.

[Fig. 8] The effect of connection between plenum and catalyst layer on the velocity fluctuation in the reactor.

현 RCO 시스템에 적용할 경우 기류의 개선 여부에 대해 자세히 모사해 보았다. 그림 8에 나타내었듯이, 플레넘과 촉매층 접속 구간 턱을 300 mm 연장할 경우 기류의 속도 범위가 2.0~2.3 m/s(개선 전 유속분포는 1.8~2.7 m/s) 수준으로 유속 편차가 더욱 작아지면서 RMS ±10% 이내 분포하는 것을 확인할 수 있었다.

## 4. 결론

RCO 반응기의 촉매층에서의 기류 균일도 여부를 확인하고 처리 공정을 최적화할 수 있는 조업 조건에 대한 설계의 합리성을 검증하기 위해 수치 해석을 수행하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 촉매층 및 축열재로 인해 압력손실이 크게 걸리고 있음을 확인 할 수 있었고, 반응기 전/후단 차압 약 6000~7000 Pa(≈600~700 mmAq) 정도가 발생하는 것으로 나타났다.
2. 세라믹필터 이후부터의 반응기 내부 속도 분포는 약 1.8-2.7 m/s 사이의 안정적인 유속 분포를 보여 반응기 내부에 특별한 편류는 없음을 확인 할 수 있었는데, 이는 촉매층과 축열재의 압력 완충 효과에 기인한 결과로 판단된다.
3. 반응기 내부 전체 통과 시간은 약 10초 수준이었으며, 버너 로의 플레넘 통과 시간은 약 3~4초 수준으로 고온 산화에 필요한 체류 시간은 충분히 확보 가능할 것으로 예측되었다.
4. 첫 번째 챔버로 140℃의 처리가스가 유입되어 버너 로의 내부에서 약 500~600℃로 승온되어 두 번째 챔버로 넘어가며, 이후 교대 운전 시 축열재에 의한 예열 효과로 인해 두 번째 챔버내 상승 흐름시에도 각 촉매층의 최적의 조업 온도 조건을 만족할 수 있을 것으로 판단되었다.
5. 조업의 안정성을 향상시키기 위해 플레넘과 촉매층 접속구간의 턱의 높이를 300 mm 연장한 결과 속도 분포는 2.0~2.3 m/s로 기류 균일도가 크게 향상될 수 있음을 확인할 수 있었다.

## 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  
 $\varepsilon$  : 소산률  
 $G_k$  : 난류 생성항  
R : 잉여치  
 $G_b$  : 부력항  
 $\mu_t$  : 난류 점성 계수  
 $C_b, C_{\varepsilon 1}, C_{\varepsilon 2}, \sigma_k, \sigma_\varepsilon$  : 경험적 실험상수  
 $\rho$  : 밀도  
 $\Phi_i$  : 지배 방정식의 의존 변수  
g : 중력 가속도  
T : 온도(K)  
u : X방향 속도 성분  
v : Y방향 속도 성분  
w : Z방향 속도 성분

## References

- [1] L.K. Hjertager, B.H. Hjertager, T. Solberg, "CFD modeling of fast chemical reactions in turbulent liquid flows", Computer Aided Chemical Engineering, Vol. 9, pp. 159-164, 2001.
- [2] Yu-Jin Jung, "The Fundamental Study about Optimum Design of Natural Gravity Ventilator", Changwon University, master's thesis, 2001.
- [3] B. E. Launder and D. B. Spalding, "The numerical computation of turbulent flows", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 3, No. 2, pp. 269-289, 1974.
- [4] Patankar S.V., Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing Corp, 1980.
- [5] Jin-Uk Kim, Yu-Jin Jung, Jeong-Kun Yoo and Byung-Hyun Shon, "A Study on Numerical Calculations of Hybrid Air Pollution Control System Coupled with SDR and Bag Filter(II) - Structural Improvement", Journal of the Korea Academia- Industrial cooperation Society, Vol. 12, No. 2, pp. 985-992, 2011.

### 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>

산업환기기술, 대기오염제어기술, 대기오염모델링

### 이 재 정(Jae-Jeong Lee)

[정회원]



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

<관심분야>

유해가스처리, 산업폐기물처리, 환경정책

### 정 종 현(Jong-Hyeon Jung)

[정회원]



- 1999년 2월 : 부산대학교 환경공학(공학박사)
- 2008년 2월 : 대구한의대학교 보건학과(보건학박사)
- 1996년 3월~2011년 2월 : 서라벌대학 보건의료행정과 교수
- 2011년 3월 ~ 현재 : 대구한의대학교 보건학부 교수

<관심분야>

보건학, 환경공학, 예방의학, 문화재보존과학, 대기

김진욱(Jin-Uk Kim)

[준회원]



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

<관심분야>

유해가스처리, 산업폐기물처리

---

손병현(Byung-Hyun Shon)

[정회원]



- 1990년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학사)
- 1994년 2월 : 부산대학교 환경공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과 정교수

<관심분야>

대기오염제어(탈황 및 탈질), 폐기물처리, 이산화탄소 흡수