

선회식 연소로에서 최적 공기 주입을 위한 공기분배실 수치해석

김민철¹, 손병현², 이재정¹, 박흥석^{3*}

¹(주)유성 중앙연구소, ²한서대학교 인프라시스템학과, ³울산대학교 건설환경공학부

Numerical Analysis of Air Distribution Chamber for the Optimal Air Injection in a Cyclone-based Combustor

Min-Choul Kim¹, Byung-Hyun Shon², Jae-Jeong Lee¹, Hung-Suck Park^{3*}

¹R&D Center, Yoosung Co.,Ltd.

²Department of Infrastructure System, Hanseo University

³Department of Civil & Environmental Engineering, University of Ulsan

요약 본 연구에서는 선회식 연소로에 적용되는 연소공기 분배 챔버의 최적 설계를 위해 전산유체역학(CFD)을 이용하여 연소공기 분배 챔버 내부 유속 분포, 압력 분포에 대한 3차원 모사를 진행하였고 챔버 포트의 유량 배분량과 연소공기 주입 위치별 압력손실을 예측하였다. F.D. fan에서 분배 챔버로 25,000 m³/hr의 유량조건, 댐퍼 100% 개방상태에서 운전하였을 때 연소공기 분배 챔버에 84.7 mmAq, 공기 분배용 포트에 12.2 mmAq, 그리고 연소로 외벽에 154 mmAq의 압력손실이 모사 결과로 나타났고, 각 부분에 나타난 전체 압력손실은 250 mmAq으로 계산되었다. 이 압력손실을 극복할 수 있는 팬을 선정하여 연소공기 주입공정에 설계하여 적용해야 함을 알 수 있었다. 본 시스템에 대한 연소공기 분배챔버를 3가지 형태로 설계하여 모사하였고 유속장 분석 결과 유속 폭이 20~25 m/s로 나타나 편류가 적고, 1차 연소공기의 60.7%를 연소로 하단부에 공급하는 직관 형태의 연소공기 챔버(Type D)가 균일한 개구면 유속을 유지시킬 수 있는 연소공기 분배 챔버임을 확인하였으며, 폐기물의 건조와 연소조건 향상에 필요한 연소공기의 분배 안정성에 도움이 되는 것으로 나타났다.

Abstract In order to design the optimal combustion air distribution chamber applied to the air-cooling combustor, this study was undertaken to predict three-dimensional simulation of the flow rate distribution and pressure distribution within the chamber, and the flow rate distribution by chamber port. An F.D. fan supply combustion air of 25,000 m³/hr and fully open damper (100%) resulted in 250 mmAq pressure to the chamber, chamber port and outside wall of the combustor. Thus, we determined that the combustor should be designed to overcome the pressure loss by selecting a suitable F.D. fan. Subsequently, combustor operation was simulated by applying varying distribution chambers of combustion air. We observed that the square shaped chamber (Type D), which has less channeling flow, with flow velocity ranging from 20~25 m/s and supplies 60.7% combustion air to the bottom section of combustor, is able to sustain uniform velocity at the open surface of the chamber. These results clearly indicate that the Type D chamber contributes distribution stability of the combustion air to improve both the drying efficiency and combustion condition of waste.

Keywords : Computational Fluid Dynamics, Velocity Distribution, Pressure Distribution, 1st Combustion Air, Combustion Air Chamber

본 논문은 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 21DPRB-C161883-01).

*Corresponding Author : Hung-Suck Park(Univ. of Ulsan)

email: parkhs@ulsan.ac.kr

Received April 2, 2021

Revised May 12, 2021

Accepted July 2, 2021

Published July 31, 2021

1. 서론

산업폐기물 중 자원으로서 활용 가치가 있는 물질을 폐자원이라고 할 때, 폐자원을 에너지화하기 위한 기술로는 크게 소각(연소)과 열분해 및 가스화로 구분할 수 있다. 이중 소각(연소)은 고형물질을 열에너지로 회수하는 기술로써 열분해, 가스화 그리고 산화를 거치는 과정을 가지며, 가장 범용적으로 활용되고 있다.

일반적으로 소각기술은 스토커식, 유동상식 및 로타리 킬른으로 크게 분류할 수 있으나, 최근에는 선회방식의 연소기술도 적용되고 있다. 이와 같은 기술은 폐기물처리, 감량화, 안정화 및 에너지화 등 다양한 열적처리분야에 널리 사용되고 있다[1].

소각(연소) 처리방법은 액상, 고상, 그리고 반고상의 다양한 성상을 가진 폐기물에 적용할 수 있어 여러 산업 부분에서 가장 많이 이용되고 있는 방법이다. 또한 폐기물의 조성 및 연소조건에 따라 다양한 형태의 혼합물질(고상, 반고상)도 소각이 가능하여 광범위하게 적용될 수 있으며, 연소효율, 설치비용 개선을 위한 요소기술 개발이 진행되고 있다.

그러나 기존 소각설비의 안정적 운영에 있어서 연소실 단열용 내화벽돌 축조로 인해 로의 본체를 키우게 되거나, 설치된 단열구조의 축열로 인해 소모되는 에너지의 량도 증가하게 되며, 미연분의 완전연소를 위해 접촉효율을 증가시키도록 연소실 용적을 크게 제작해야 하는 문제점 등이 있다.

이에 본 연구에서는 기존 폐기물 처리를 주목적으로 하는 소각로가 가진 문제점을 해결하기 위해 선회방식 연소로 시스템의 설계인자를 전산유체역학을 이용하여 도출하고자 하였다. 이를 위해 선회방식의 연소로를 FLUNET을 이용하여 연소로에 공급되는 연소공기의 분배에 대해 속도 분포, 압력분포 등 내부유동 특성을 파악하였다. 그 결과를 해석하여 최적의 연소공기 주입조건을 유지할 수 있는 연소공기 분배채버를 설계 및 제작하는데 필요한 인자를 도출하고 그 유용성을 확인하고자 하였다.

2. 수치해석 내용

전산유체역학이란 유체 유동을 지배하는 미분방정식들을 컴퓨터를 이용해 수치해석하는 학문분야로서 경제성, 시간절약, 완전한 정보의 제공, 실제조건에 대한 해

석, 이상조건에 대한 해석 등 기존의 실험을 통한 유동해석보다 많은 장점을 가지고 있다. 유동의 해석이 복잡한 이유는 유동의 운동자체가 심한 비선형을 가지며 난류, 캐비테이션, 이상유동, 자유유동, 화학반응 등을 포함하기 때문이다[2,3].

2.1 기초방정식

유체의 유동에 대한 물리적인 특성을 나타내는 기본적인 법칙이 있다. 예를 들어 질량, 운동량, 에너지 보존 등과 같은 법칙들이다. 정상 상태, 비압축성 기체라 가정할 때 일반적인 물리량의 수송 방정식을 다음과 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$\text{div}(\rho V\phi_i - \Gamma\phi_i \text{grad}\phi_i) = S\phi_i \quad (1)$$

여기에서 V 는 속도 벡터(velocity vector)이고 $\Gamma\phi_i$ 는 확산계수이다. $S\phi_i$ 는 부력항(Buoyancy)을 제외한 비정상항, 압력구배 등을 포함한 모든 요소항을 나타낸다[4].

2.2 난류모델

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[5].

따라서 난류를 해석하기 위해 난류 모델을 도입하게 된다. 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 난류의 소산률 ϵ , 이 두 가지 변수로 표현한다.

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

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

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_k + G_b - \rho \epsilon \quad (3)$$

난류 소산률(ϵ) 방정식은 식 (4)과 같고 여기서 G_k 는 난류 생성항으로서 식 (5)과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_k} \right] + C_1 \frac{\epsilon}{k} P - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (4)$$

$$G_k = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (5)$$

2.3 수치해석 조건

2.3.1 수치해석 방법

본 연구에서는 수치해석 프로그램인 FLUENT를 이용하여 모사하였고, 수치해석에는 난류 방정식들의 이산화 방법으로 유한체적법(finite-volume method)을 사용하였으며, 실험에 근거한 반실험식으로 혼합길이모델, RSM모델, ASM모델과 비교했을 때 열/유동해석에 가장 광범위하게 사용되고 있는 표준 $k-\epsilon$ 난류 모델을 적용하였다. 그리고 모든 수치해석은 상류차분 도식(upwind differencing scheme)을 이용하여 수행하였으며, 압력장을 구하기 위해 연속 방정식과 운동량 방정식을 조합시키는 방법으로 SIMPLE(Semi Implicit Method Pressure-Linked Equations) 알고리즘을 사용하였다 [7].

2.3.2 해석모델 및 경계조건

선회류 연소방식의 연소시스템은 원통형태이며 Fig. 1과 같이 챔버가 구성되어 연소공기가 필요한 지점에 공급될 수 있도록 설계하였다. 연소공기 공급 챔버는 총 6개의 포트가 되어 있어 Fig. 2에서 볼 수 있는 바와 같이 연소로 하단부에서 상단부까지 6개로 분리하여 연소공기를 주입하여 완전연소를 유도하고 불완전연소로 인한 CO 발생을 억제하는 효과도 얻을 수 있게 설계하였다 [8,9].

또한 챔버 포트는 크기를 주입영역별로 P1 (W160*H300, 17.4%), P2 (W200*H330, 23.9%), P3 (W200*H330, 23.9%), P4 (W200*H330, 23.9%), P5 (W100*H150, 5.4%), P6 (W100*H150, 5.4%)로 적용하였다.

1차 연소공기(P3~P6)는 주연소용 공기로서 대상 폐기물의 건조, 연소조건을 향상을 위하여 예열하여 공급하고, 2차 연소공기(P1~P2)는 불완전 연소물질의 완전연소, 연소로 출구온도 과다 상승방지를 위해 주입할 수 있도록 구성하여 연소공기 분배용 챔버의 수치해석을 위해 설계도면과 똑같은 형상으로 3차원 모형을 구현하였으며, 격자 형상(Grid configuration) 모습을 나타내었다.

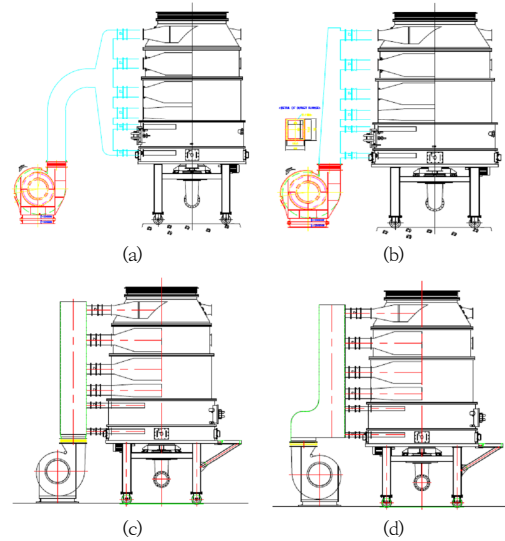


Fig. 1. Chamber configuration for type A~D. (a) Type A, (b) Type B, (c) Type C, (d) Type D

Table 1. Operating conditions

Item	Unit	Condition
SRF	ton/hr	3.3
L.H.V	kcal/kg	5,845
Excess air ratio	-	2.1
Flow rate	Sm ³ /hr	49,840

본 연소공기 분배용 챔버의 연소공기 유입조건은 고회회 연료제품(5,845 kcal/kg)를 연료를 전용보일러에 3.3 ton/hr 투입할 때 필요한 유량인 49,840 Sm³/hr 을 기준으로 각 챔버당 25,000 Sm³/hr 씩 공급하도록 하였으며, 댐퍼 개도율에 따른 마찰의 영향을 배제하기 위해 배관별 댐퍼는 100% 개방조건으로 적용하였다.

연소로에 주입되는 연소공기는 재질 및 화력자 냉각용 연소공기[P5, P6], 1차 연소공기[P3, P4] 그리고 2차 연소공기[P1, P2]로 나뉘어 주입한다.

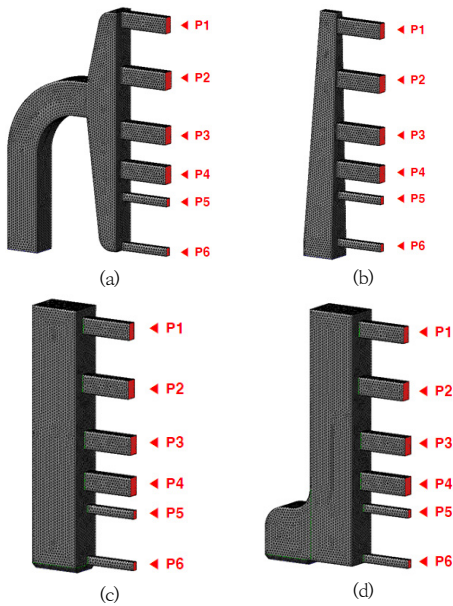


Fig. 2. Control volume for 3D computational fluid dynamics.
 (a) Type A (652,501 cells), (b) Type B (568,250 cells),
 (c) Type C (615,234 cells), (d) Type D (627,056 cells)

연소용 공기 공급용 챔버 형상별 유량분배 수준을 모사하여 연소공기 투입조건에 안정성을 높힐 수 있는 형태 설계를 위해 공기가 인입되는 위치와 챔버형태를 설계하여 모사하였다.

가장 일반적인 분배챔버 형태로 연소공기를 균일하게 분배하기 위해 챔버 중앙에서 연소공기를 투입하는 Type A, 챔버 하단부의 1차 연소공기를 공급을 용이하게 할 수 있도록 상단부로 갈수록 줄어들어 드는 형태로 설계된 Type B, 팬과 연결되어 설치공간이 적고 제작의 용이성이 있는 직사각헤더로 구성되어 있는 형태인 Type C, 그리고 직사각형 헤더 형태의 챔버구조에 F.D. fan 방향을 고려하여 챔버유입부 공간을 확보한 형태인 Type D로 설계하여 3차원 수치해석을 위한 제어 공간으로 구성하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 연소공기 분배용 챔버 형태의 선정

연소로의 효율적인 운영 및 최적의 연소조건을 확보하기 위해서 연소공기의 배분은 중요한 부분으로, 1차 연소공기는 주연소용 공기로서 대상물의 건조와 연소조건

향상을 위하여 예열하여 공급되며, 2차 연소공기는 불완전 연소물질의 완전연소, 연소로 출구온도 과다 상승방지를 위해 주입하게 된다[10].

연소로에서 원료의 발열량과 1차 연소공기 비는 연소로 내 CO제어 등 연소조건에 영향을 주는 요소로서 투입 폐기물의 발열량이 4,500 kcal/kg 까지는 80% 정도의 1차 연소공기를 주입하여 폐기물과 화격자 사이에 구석구석 연소공기를 주입하여 연소시킬 수 있도록 하여야 하며, 5,500kcal/kg 이상이 되는 경우 1차 연소공기를 60% 정도 주입시 연소조건을 확보하는데 효과적이기 때문에 해당조건을 만족하는 연소공기 분배용 챔버형태를 설계하여 운영하는 것이 필요하다[11,12].

3.1.1 연소공기 분배용 챔버의 유속예측

Fig. 3은 포크형태로 챔버 중앙부로 연소공기가 인입되어 분산되는 방식으로 F.D. fan을 이용하여 25,000 m³/hr의 유량으로 연소공기를 공급할 때 챔버 내의 유속분포를 나타낸 것이다. 연소용 공기가 챔버 P2, P3 지점쪽으로 유속장이 나타나 유입되어 챔버 내 층만효과를 가지기 때문에 챔버 P2, P3의 중앙쪽으로 유속증가가 집중됨을 볼 수 있다.

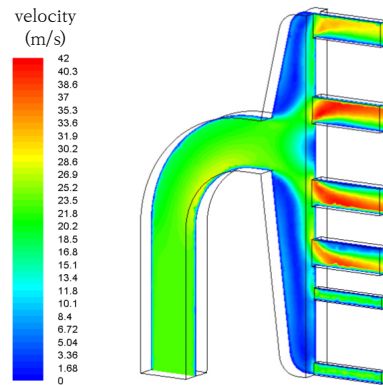


Fig. 3. Velocity fields of chamber for Type A.

연소공기가 중앙부에서 주입되어 주입위치 P2에서는 연소공기가 상향으로 공급됨에 따라 포트 상부방향으로 치우친 유속증가가 편류형태로 나타나고, P3는 중앙부 아랫방향으로 유입되어 유속증가가 국부로 치우쳐 있어 편류가 형성되는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 4에서는 연소공기 분배기의 상단부쪽으로 갈수록 챔버 크기가 줄어드는 사각뿔대 챔버형태에 대한 유

속분포를 해석한 것으로서, P1~P4 포트에서 유속편차가 0~42 m/s로 나타나 포트 내 편류가 확인되었고, 연소로 내 외벽케이싱으로 유입될 때 구부이송으로 이어져 연소로 외벽냉각뿐만 아니라 균일한 연소공기 공급에 영향을 줄 수 있을 것으로 보였다.

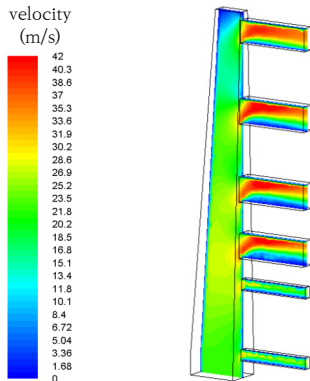


Fig. 4. Velocity fields of chamber for Type B.

Table 2에 나타난 Type B의 유량 분포에서 알 수 있는 바와 같이 2차 연소공기로 주입되는 P1, P2의 유량은 46.2%로 1차 연소공기가 53.8%로 60% 기준에 비해 낮은 량으로 공급하게 되어 건조·가스화시 불완전연소를 일으키거나 P3, P4 지점의 연소로 외벽을 냉각을 하는데 부족할 수 있는 것으로 확인되었다.

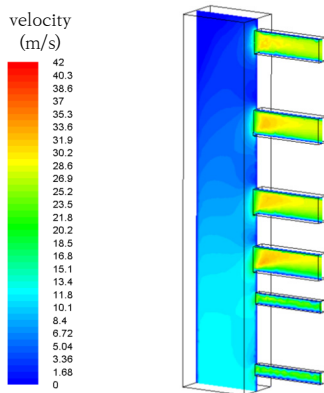


Fig. 5. Velocity fields of chamber for Type C.

Type C 챔버의 경우 챔버 충만 후 P1~P6의 포트내에 유속폭은 20~25 m/s로 나타나, 최대 42 m/s까지 유속 폭이 형성되는 Type A, B에 비해 챔버 내 유속분포도가 안정적인 것으로 보여 연소공기 공급이 안정적으로

진행될 것으로 보였다.

Fig. 6과 Table. 2에서는 연소로 냉각 및 연소공기 공급을 위해 투입하는 연소공기량에 대해 챔버 포트 위치별 비교값을 나타낸 것으로서, 여기서 Type C의 챔버에서는 1차 연소공기로서 57.5%를 하단부에 공급하고, Type B, C의 챔버에는 각각 55.5%, 53.8%만큼 주입되는 것으로 예측되어 Type C가 투입된 연료를 건조하고 주연소공기로서 주입에 보다 효과적인 형태인 것으로 판단된다.

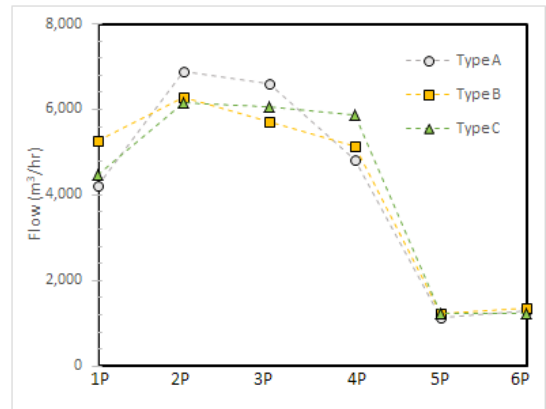


Fig. 6. Comparison of flow rate or ports by type A~C.

Table 2. Flow rate & ratio of ports by type A~C

Sort	Type A		Type B		Type C	
	Flow (m³/hr)	Ratio (%)	Flow (m³/hr)	Ratio (%)	Flow (m³/hr)	Ratio (%)
P1	4,234	16.9	5,280	21.1	4,470	17.9
P2	6,900	27.6	6,280	25.1	6,165	24.7
P3	6,610	26.5	5,710	22.8	6,057	24.2
P4	4,810	19.2	5,138	20.6	5,860	23.4
P5	1,150	4.6	1,224	4.9	1,224	4.9
P6	1,296	5.2	1,368	5.5	1,224	4.9
Total	25,000	100	25,000	100	25,000	100

3.1.2 연소공기 분배챔버의 압력예측

연소공기 분배챔버의 유속예측시 유속의 안정성을 가지고 있는 Type C의 챔버를 대상으로 압력장을 분석하여 Fig. 7에 도식하였다. 챔버 내부에 25,000 m³/hr 유량이 지속적으로 유입되었을 때 챔버 전체공간은 압력충만상태로 다소 높은 압력인 831 Pa (84.7 mmAq)으로 나타났고, 각 분지관은 120Pa (12.2 mmAq)의 압력이 걸리는 것을 확인할 수 있었고, Fig. 8에서 보는 바와 같

이 연소로 외벽유로에 걸리는 압력은 최대 1,542 Pa (154 mmAq) 수준의 압력손실이 걸리고 있는 것으로 예측되었다.

따라서, 연소공기가 F.D. fan으로부터 공급된 후 연소 공기 챔버와 포트를 지나 연소기 내부를 통과하는데 총 250 mmAq 수준의 압력손실이 걸리는 것으로 예측됨에 따라 F.D. fan의 송풍기 정압은 예측된 압력손실을 극복할 수 있는 수준이어야 할 것으로 판단된다.

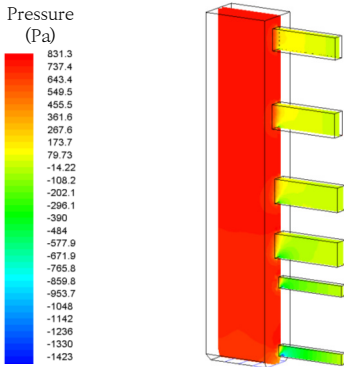


Fig. 7 . Pressure fields of chamber for Type C

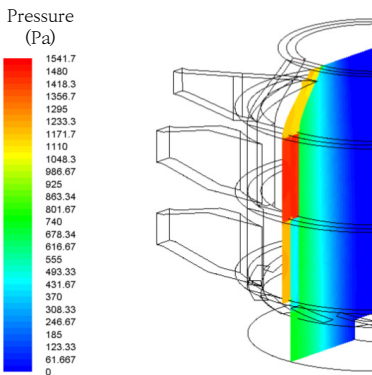


Fig. 8. Pressure fields of outer case for Incinerator.

3.2 F.D fan 연결방식의 선정

연소공기 투입챔버는 F.D. 팬의 방향에 따라 주입되는 연소공기의 투입플래넵 형태가 달라지게 되고이로인해 챔버 내 연소공기가 충전한 뒤 분배포트에서 주입되는 연소공기흐름과 분배량이 변하게 된다. 이는 연소공기 주입안정성에 영향을 주게 되므로 팬 연결방향에 따라 불규칙적으로 투입되어 불안정한 연소조건으로 이어질 수

있기 때문에 보다 나은 조건을 도출하기 위해 Fig. 9에 제시한 F.D. fan의 플래넵 형태를 적용하여 연소공기 챔버 내 유속변화를 분석하였다.

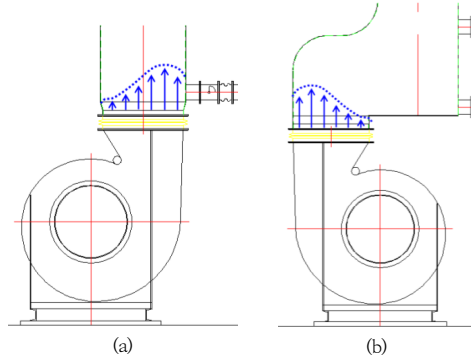


Fig. 9. Flow pattern of F.D. fan by type C & D.

3.2.1 F.D. fan 연결시 유속예측

F.D. fan에서 발생하는 플래넵 형태는 팬의 케이스 벽면을 타고 투입되는 흐름으로 실제 팬에서 발생하는 유체흐름과 같은 조건을 적용하여 챔버내 유속을 예측한 결과 Fig. 10에서는 챔버 유입부에서 유속이 27 m/s로 유입되어 P6, P5, P4 포트까지 이동할 때 13 m/s까지 유속이 변화되는 과정에서 하단부 유속이 높게 형성되었으며, P6에서는 최대 40 m/s에서 20 m/s까지 속도 변화가 보이는 등 유속의 편차가 많은 것으로 예측되었고, 특히 P6의 유속장이 파동형태를 띄며 유속 증가지점이 증가되고 있는 것으로 예측되었고 유량도 기존 4.6~4.9%에서 7.3%로 크게 증가된 것을 확인하였다.

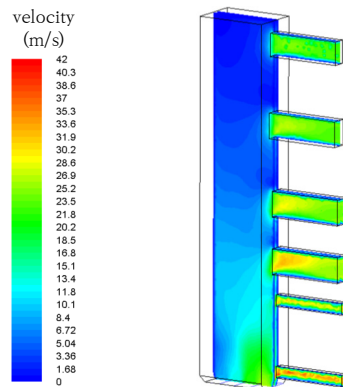


Fig. 10. Velocity fields of chamber for Type C (fan).

그리고, Fig. 11에서는 F.D. fan의 방향을 바꾸어 플레넘 방향을 변경한 후 챔버내 유입시 유속 및 압력변화를 감쇄할 수 있는 공간을 반영한 Type D에서 모사한 결과 Fig. 11에서는 챔버유입부에서는 동일한 속도로 투입된 후 챔버중심에서 유속이 10 m/s 이하로 내려간 후 각 포트에서 25 m/s 전후의 속도로 큰 편차없이 이동하는 점을 보았을 때 Type C에 비해 속도 변화가 적고 챔버 내 유입시 공간을 반영했을 때 층만효과를 가진 후 각 포트에 투입되는 것으로 판단되었다.

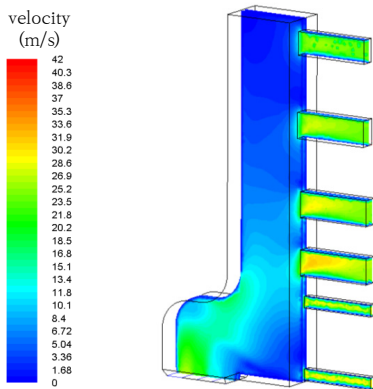


Fig. 11. Velocity fields of chamber for Type D(fan).

Fig. 12와 Table. 3에서는 fan의 연소공기 투입방향을 180도 전환하여 적용했을 때 챔버 포트 P1에서 P6까지 주입되는 연소공기량과 비교상태를 도식하고 있으며, 연소공기의 배분에 있어도 1차 연소공기로 투입되는 공

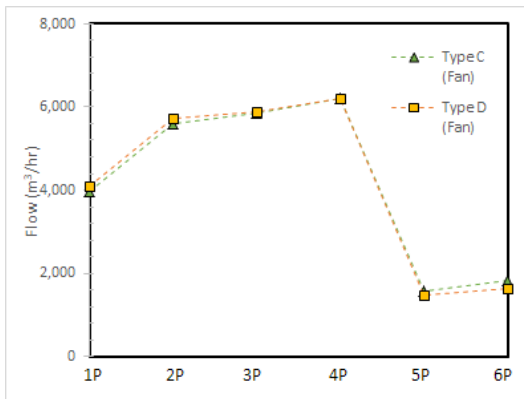


Fig. 12. Comparison of flow rate or ports by type C, D.

기의 유량은 61.7%와 60.7%로 비슷하게 주입되고 있으나, 주연소용 공기로서 대상물의 건조, 연소조건을 안정적으로 공급하는데 있어서 유속의 변화가 크지 않은 Type D의 형태를 적용하는 것이 주연소공기를 주입되는 데에 보다 효과적인 형태인 것으로 판단된다.

Table 3. Flow rate & ratio of ports by type C, D

Sort	Type C (fan)		Type D (fan)	
	Flow (m³/hr)	Ratio (%)	Flow (m³/hr)	Ratio (%)
P1	3,970	15.9	4,109	16.4
P2	5,590	22.4	5,722	22.9
P3	5,842	23.4	5,873	23.5
P4	6,202	24.8	6,197	24.8
P5	1,558	6.2	1,472	5.9
P6	1,838	7.3	1,627	6.5
합계	25,000	100	25,000	100

4. 결론

본 연구에서는 선회방식 연소로에 적용되는 연소공기 분배챔버에 대해 속도와 압력분포를 예측하여 챔버에서 연소공기가 분배되는 조건을 확인하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 직관형태의 Type C 챔버는 편류형성 상태 및 압력 층만 상태를 보았을 때 유속폭은 20~25 m/s로 나타나 편류가 적고 1차 연소공기 60%에 가장 가까운 57.5%를 하단부에 공급하는 것으로 보아 가장 적합한 연소공기 챔버 형태인 것으로 평가되었다.
2. Type C와 D에 연소공기 F.D. fan의 방향에 따라 플레넘을 달리했을 때 유량의 투입량은 61.7%와 60.7%로 동일한 수준이나, Type D가 유속의 편류폭이 적어 전체 주입포트별 안정성을 확보하여 공급할 수 있는 것으로 나타났다.
3. 연소공기 주입챔버 내 압력손실은 약 최대 831 Pa (84.7 mmAq)으로, 각 분기관은 최대 120Pa (12.2 mmAq) 나타났고, 연소로 외곽유로에서 최대 1,542pa (154mmAq) 수준의 압력손실이 걸리고 있어 F.D. fan은 250 mmAq 이상의 압력손실을 극복할 수 있는 수준이어야 할 것으로 보인다.
4. 본 연구 결과로 균일한 개구면 유속을 유지시킬 수 있는 방법을 검증 및 제시함으로써 연소로에 공급

되는 연소공기의 분배안정성을 가지는 챔버선회에 도움이 될 수 있을 것이라 기대한다. 그러나 최적의 챔버를 도출하기 위해서는 각 개구부의 댐퍼를 조절함에 따른 와류현상, 연소로 내의 I.D. fan 가동에 따른 챔버 내 기류거동현상에 대해서도 추가적인 연구가 필요하다.

Nomenclatures

- V : 속도 벡터
- Γ_{ϕ_i} : 확산 계수
- S_{ϕ_i} : 부력항을 제외한 비정상항, 압력구배 등을 포함한 모든 요소항
- k : 난류 운동 에너지
- ϵ : 소산률
- G_k : 난류 생성항
- G_b : 부력항
- μ_t : 난류 점성 계수
- $C\mu, C\epsilon_1, C\epsilon_2, \sigma_k, \sigma\epsilon$: 경험적 실험상수
- ρ : 밀도
- Φ_i : 지배 방정식의 의존 변수
- g : 중력 가속도
- u, v, w : X, Y, Z방향 속도 성분

References

[1] M. C. Kim, J. J. Lee, G. W. Lee, J. W. Kim, B. H. Shon, "A Numerical Calculation for the Optimum Operation of Cyclone-based Combustion System", J. the Korea Academia-industrial cooperation Society, Vol.12, No.2, pp.1005-1012, 2011. UCI: G704-001653.2011.12.2.032

[2] B. H. Shon, G. W. Lee, "Improvement of Working Surroundings in the Industrial Waste Incinerator", J. the Korea Academia-industrial cooperation Society, Vol.7, No.3, pp.431-439, 2006.

[3] Y. J. Jung, "The Fundamental Study about Optimum Design of Natural Gravity Ventilator", Chang-Won

[4] J. H. Jung, S. W. Lee, S. M. Lee, B. H. shon, J. H. Lee, Y. J. Jung, "Improvement of Capturing Velocity in the Fume Hood using Computational Fluid Dynamics(I) - Uniform flow", The Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol 14. No. 2, pp.962-969, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.2.962>

[5] Yu-Jin Jung, "The Fundamental Study about Optimum Design of Natural Gravity Ventilator", Changwon University, master's thesis, 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. University, a Master's thesis, 2001.

[7] H.K.Versteeg, W.Malalasekera, "An Introduction to Computational Fluid Dynamics", Longman Scientific & Technical, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-85056-4>

[8] Patankar S.V., Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing Corp, 1980.

[9] J. Jeong, C. N. Kim, Y. M. Jo, "A Numerical Study on the Combustion Characteristics for Stoker Type Incinerator with Various Injection Type of Secondary Air", Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.15, No.10, pp.835-842, 2003. UCI : G704-000168.2003.15.10.010

[10] Jong-chan Kim, Jeong-im Lee, "Comparative Analysis of Waste Incineration Methods and its Application to Kyonggi-do", Gyeong-gi Province Research on Public Health and the Environment 1999.

[11] Tae-in Ohm, Kum-Bae Lee, "An Experimental and Computational Study for Secondary Air Effects on the Fluid Flow in a Stoker Incinerator", J. Korean Society of Environmental Engineers, Vol.19, No.1, pp.73-88, 1997.

[12] Seong-Jin Lee, "Study on the Optimization System of Harmful Gas treatment from Medical Waste Incinerator", Korea Polytechnic University, Ph.D's thesis, 2008.

김민철(Min-Choul Kim)

[정회원]



- 2003년 2월 : 동아대학교 환경공학과(공학사)
- 2005년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학석사)
- 2011년 8월 : 울산대학교 건설환경공학부(공학박사 수료)
- 2005년 2월 ~ 현재 : (주) 유성 중앙연구소 수석연구원

<관심분야>

산업폐기물처리, 소각로 해석 및 설계, 매립기술

손 병 현(Byung-Hyun Shon)

[정회원]



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

<관심분야>

대기오염제어, 폐기물처리, 이산화탄소 흡수

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) 유성 중앙연구소 연구소장

<관심분야>

유해가스처리, 산업폐기물처리, 환경정책

박 흥 석(Hung-Suck Park)

[정회원]



- 1984년 2월 : 서울시립대학교 환경공학과(공학사)
- 1986년 2월 : 한국과학기술원 토목공학과(공학석사)
- 1990년 2월 : 한국과학기술원 토목공학과(공학박사)
- 1993년 3월 ~ 현재 : 울산대학교 건설환경공학부 정교수

<관심분야>

산업폐기물 에너지 자원화, 생태산업단지, LCA