

소각로에서의 연소가스 체류시간

The residence time of gas in an incinerator

김 성 준*
Kim, Sung-Joon

Abstract

The change of flue gas residence time with the location of air inlet in an incinerator is analysed. An independent numerical variable is the location of air inlet and dependant is the residence time of flue gas. The mean value of turbulence energy in a primary combustion chamber is also analysed. The flow field and the distribution of turbulence energy are investigated to evaluate their influence on the residence time of flue gas and the turbulence energy. As the position of secondary air inlet approaches to the top of primary combustion chamber, the residence time of gas and the turbulence energy become longer and larger respectively

키워드 : 소각로, 체류시간, 공기입구위치, 난류운동에너지
Keywords : *Incinerator, Residence time, Position of air inlet, Turbulence energy*

1. 서론

인구 증가 및 생활수준의 향상, 생활양식의 변화로 폐기물의 발생량이 크게 증가하였다. 폐기물은 일상생활이나 산업 활동의 결과로 발생하는 음식물 쓰레기를 비롯하여 폐종이류, 폐목재류, 폐섬유류, 폐건축자재, 폐합성수지 등 쓸모없거나 경제적 가치가 낮은 물질을 가리킨다. 이러한 폐기물을 적절히 관리하고 처리하지 않으면 수질오염, 대기오염 및 토양 오염을 일으켜 환경의 질이 심각하게 훼손된다. 소비생활의 확대로 플라스틱과 같은 포장 폐기물과 종이 사용량 등이 증가하면서 가연성 폐기물이 점차적으로 증가하고 있는 것이 특징이다. 폐기물을 처리하는 방법으로는 크게 재활용,

매립, 소각 그리고 기타 방법으로 나눌 수 있다. 소각에 의한 처리 방법은 폐기물의 감량화와 동시에 소각 시 발생하는 열을 이용할 수 있으며 처리 속도가 매우 빠르고 안정적인 장점을 가지고 있다.

따라서 가연성 도시 쓰레기를 안전하게 처리하는 매우 효율적인 방법이다. 최근에는 이 소각처리에 의해 발생하는 대기 오염 물질을 줄이는데 관심이 모아지고 있다. 연소 현상에 의해 발생하는 공해 물질, 그리고 여러 가지 물질이 복합된 연소가스의 방출을 제어하는 장치들이 개발되고는 있지만 근본적인 해결책은 공해 물질 자체를 소멸시키거나 그 생성을 최소화하는 데 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 적절한 소각 처리의 관리와 소각로의 연소 기술 개발이 절실히 필요하다고 하겠다.

소형 소각로는 폐기물을 소각하는 1차 연소실과 미연소 가스를 버너를 이용하여 재연소 시키는 2차 연소실, 그리고 연소 배출가스와 분진(재)을 분

* 강원대학교 기계의용공학과 교수, 공학박사, 교신저자

리시키는 집진장치 사이클론으로 나눌 수 있다[1]. 일반적으로 소각로에서 발생하는 공해물질을 억제하기 위해서는 사전방지, 소각로에서의 최적연소, 그리고 후처리 등 세 단계로 이루어질 수 있으며 [2], 전통적으로 소각로내의 최적연소 조건은 3T, 체류시간(Time), 난류(Turbulence), 온도(Temperature)의 개념으로 표현되어진다[3].

한편 소각로에 대한 설계 및 운전 기준인 환경부의 폐기물관리법 시행규칙[4]에 의하면 소각능력 200kg/hr 미만의 일반 소각 시설에 대해 배출가스 온도는 800℃ 이상, 연소가스 적정 체류시간은 0.5초 이상을 요구하고 있다. 본 연구는 3T 중 체류시간의 관점에서 연구를 진행하였다.

2. 지배방정식 및 경계조건

본 연구에서 연구 대상으로 하고 있는 소각로(그림 1)은 수평 화격자식 소각능력 30kg/hr의 소형 소각로이다. 본 소각로는 1차 연소실과 2차 연소실로 구성되어 있으며 1차 연소실에서 완전 연소되지 못한 미연 가스를 2차 연소실에서 완전 연소시키는 구조로 되어있다. 소각로 내부 연소가스 유동을 정상상태의 비압축성 난류 유동으로 취급하여 연속방정식, 운동량방정식 그리고 온도를 종속변수로 하는 에너지방정식을 소각로 내부의 3차원 유동현상을 묘사하는 지배방정식으로 사용하였다.

연소용 공기량은 11.57Nm³/kg으로 소각대상 폐기물의 화학적 조성 데이터를[5] 기준으로 하여 이론 연소공기량에다 과잉공기비 2.4를 곱하여 산출하였다. 과잉공기비 2.4는 2.0에서 2.5의 범위에서 폐기물 구분에 따라 결정하도록 제안되어있다[6]. 연소용 공기는 화격자 아래에서 공급되는 1차 공기와 쓰레기 위에서 공급되는 2차 공기로 공기량을 반분하여 공급하였다. 1차 및 2차 공기 입구에서의 공기 온도는 섭씨 20도로 하였으며 연소용 1차 공기 입구는 1차 연소실 하부로 하여 소각로 축 방향으로 공급되도록 하였다.

2차 공기 입구는 1차 연소실의 측면 상단부에 있으며 출구 반대편에서 접선방향으로 공급되며 1차 연소실에 선회류를 형성하게 된다. 2차 공기는 축방향 속도성분은 갖지 않으며 단지 접선 방향의 속도 값만 갖도록 하였다. 2차 공기의 입구 위치를 5 단계로 나누어 입구 위치를 바꾸면서 연소실 내부의 유동장 변화를 관찰하였다. 수치해석의 독립변수는 2차 공기의 수직방향 주입 위치이며 종속변수는 1차 연소실의 연소가스 체류시간과 난류 운동에너지 분포로 하였다.

3. 수치 해석 방법

소각로 내부의 유동장을 수치 해석하기 위해서 범용 해석 코드인 PHOENICS[7]를 사용하였다. 수치해석용 격자망 구성은 PHOENICS에서 제공되는 VR-Editor를 사용하여 구성하였다. 구성된 계산 격자망은 x, y, z 방향으로 각각 20x20x60 총 24,000개의 계산세포를 가지고 있다. 구성된 격자망은 그림 2에 도시되어 있으며 하부의 원통부분이 1차 연소실이고 상부의 원통부분은 2차 연소실이다. 2차 연소실에 연소가스의 출구가 접선방향으로 붙어있다.

지배방정식을 차별화하는 기법으로는 계산시간과 수치계산의 안정성 확보를 고려하여 1차 정확도의 Hybrid법을 사용하고 차별식 풀이방법으로 압력장은 홀필드(whole field) 방법을 사용하고 다른 종속변수에 대해서는 슬랩 바이 슬랩(slab by slab) 방법을 적용하였다[8].

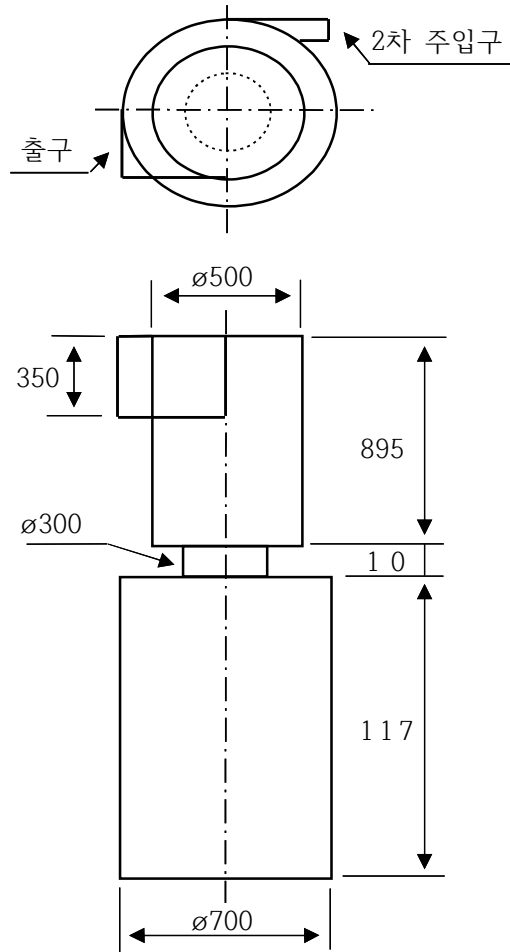


그림 1 소각로의 규격

본 연구에서 사용한 난류 모델은 Harlow와 Nakayama가 제안하고 수많은 실험과 검증을 통하여 그 유용성이 비교적 잘 입증된 $k-\epsilon$ 모델을 사용하였다[9]. 수치 해석의 수렴 조건은 질량 유동량의 1000 분의 1인 질량 잔류값을 수치계산의 수렴조건으로 사용하였다. 반복계산횟수 3000 정도에서 수렴 해를 구할 수 있었으며 계산시간은 약 30분정도이었다. 수치해석결과를 관찰하여 2차 공기의 수직방향 위치가 체류시간에 미치는 영향을 분석하였다. 체류시간은 1차 연소실 축 방향 길이를 1차 연소실 내부의 축 방향 속도 평균값으로 나눈 것으로 정의하였다.

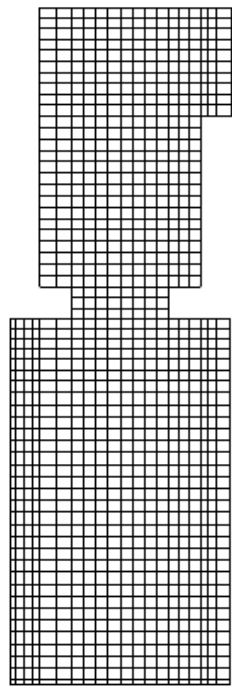


그림 2 소각로 중심축에서의 격자망

4. 수치해석 결과 및 고찰

소각로 평면도를 그림 3에 나타내었으며 A-A 단면과 B-B 단면을 정의하고 있다. A-A 단면은 2차 공기 입구 및 연소가스 출구와 수직의 단면이고 B-B 단면은 입구와 출구에 평행한 수직 단면이다. 그림 4는 2차공기의 입구 위치를 보여주고 있다.

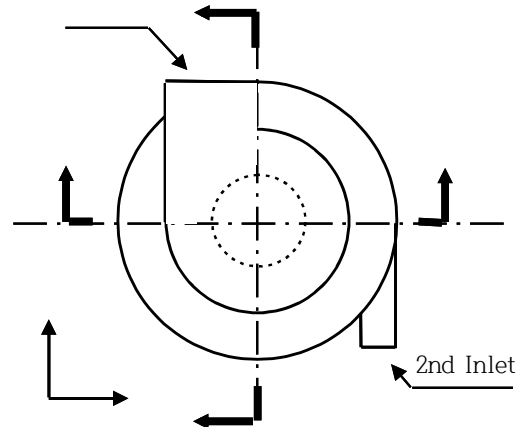


그림 3 소각로의 A-A and B-B 단면

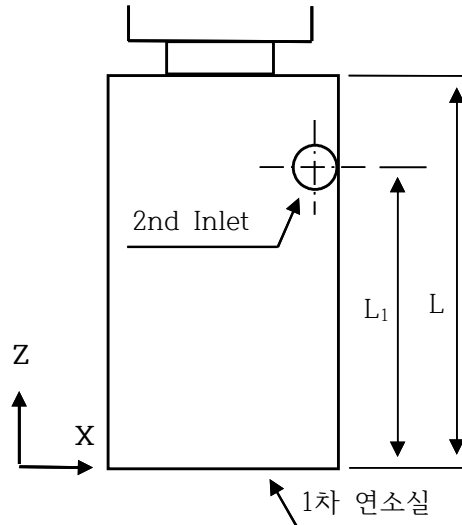


그림 4 2차공기입구의 위치

2차 공기 입구 위치 즉 L_1/L 이 0.975일 때 소각로 축 방향과 수직 단면에서의 속도 분포를 그림 5에 도시하였다.

그림 6은 2차 공기 입구 위치에 따른 1차 연소실 내부 축 방향 속도의 평균값 변화를 도시한 것이다. 공기입구위치가 바뀌면서 축 방향 속도 값이 매우 심하게 바뀔 수 있어 2차 공기 입구 위치가 1차 연소실 내부 유동에 지대한 영향을 미치고 있음을 분명히 확인 할 수 있다. 2차 공기 입구 위치와 1차 연소실 내부 연소가스 체류 시간 사이의 관계를 그림 7에 도시하였다. 2차 공기 입구의 위치가 1차 연소실의 상단 쪽으로 갈수록 체류 시간이 길어짐을 볼 수 있으며 그 변화가 매우 크며

2차 공기 주입구의 위치 변화로 연소가스의 연소실안 체류시간을 많게는 3~4배까지 연장 시킬 수 있음을 볼 수 있었다. 따라서 소각로 설계 시 공기 주입구 위치 설계가 소각로의 열효율을 고려할 때 매우 중요함을 확인 할 수 있었다.

1차 연소실 내부 난류 운동에너지의 변화를 그림 8에 도시하였다. 난류 운동에너지의 크기는 연소실 내부 혼합 작용의 강도를 나타내는 척도로 2차 공기 입구 위치에 따라 큰 변화는 없었으나 1차 연소실 중간 위치에 2차 공기 입구가 있을 때 난류 운동에너지가 가장 작게 되고 1차 연소실 상단이나 하단에 가깝게 2차 공기 입구가 위치할수록 그 값이 커짐을 확인 할 수 있었다. 이에 관한 연구는 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

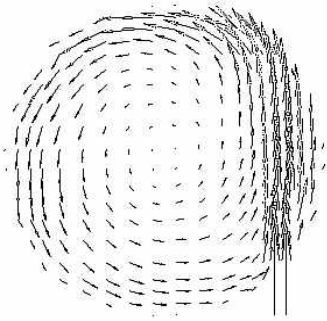


그림 5 X-Y 면에서의 속도분포 (Z/L=0.975)

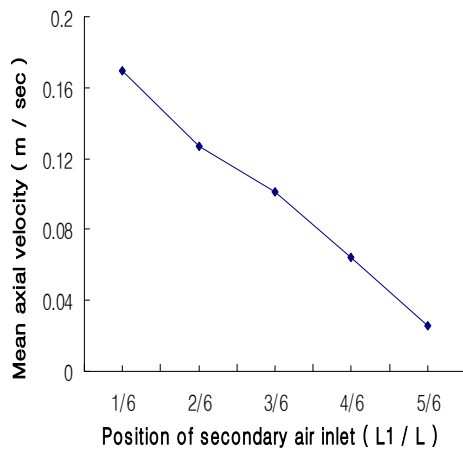


그림 6 2차 공기입구 위치 변화와 연소가스 축 방향 평균 속도 변화

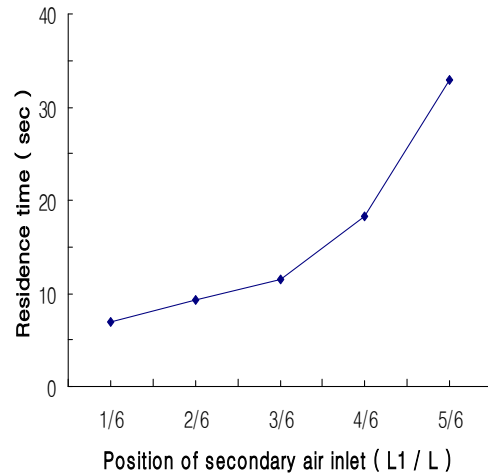


그림 7 2차 공기 위치 변화와 연소가스 체류시간 변화

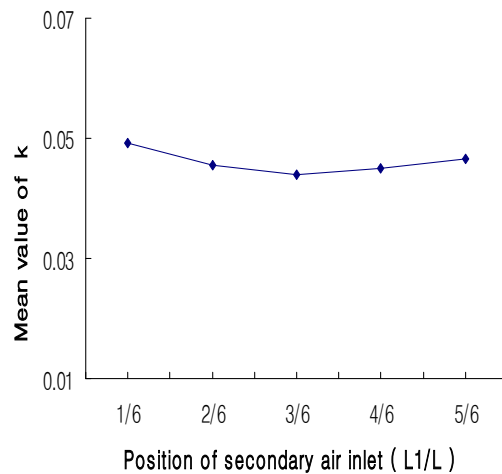


그림 8 2차 공기입구 위치 변화와 난류에너지 변화

5. 결론

가연성 폐기물을 소형 소각로를 이용하여 연소시키는 과정에서 불완전 연소로 인한 대기오염 물질의 방출은 심각한 사회 문제가 되고 있다. 따라서 공해 물질 배출 저감을 위한 연소실내 연소가스의 적정 체류 시간 확보는 필수적인 설계 및 운전 요건이다.

본 연구에서는 2차 공기의 입구 위치를 소각로의 축 방향으로 변화시키며 입구 위치가 연소가스의 체류시간에 미치는 영향에 대하여 분석하였다.

수치해석의 결과를 분석하여 볼 때 2차 공기 입구 위치가 1차 연소실 상부에 가까울수록 1차 연소실 내부의 연소가스 체류시간이 증가하는 것으로 확인되었고 그 변화량도 매우 커서 입구 위치가 연소실 내부 유동에 지대한 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다. 이것은 2차 공기가 1차 연소실에 강력한 텀블링 유동을 형성하기 때문이다.

또한 연소실내에서의 난류 평균 운동에너지는 2차 공기 입구가 1차 연소실 측면 가운데 있을 때 가장 작았으며 공기 입구가 연소실 상단 또는 하단에 가까이 갈수록 그 값이 커졌다. 따라서 2차 공기 입구 위치가 1차 연소실 상단에 있을 때 체류시간과 난류 운동 에너지 크기에 긍정적 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

참 고 문 헌

- [1] 김종원, 손재익, “소형 고체폐기물 소각로” *Energy R&D*, Vol.16, No.4, 1994.
- [2] 김승기, 신동훈, 류창국, 최상민, “소각로내 열 유동의 계산과 실험”, *한국 폐기물 학회지*, 제11권, 제4호, pp.545-555, 1994.
- [3] 김승기, 김성중, 최상민, “소각로 및 폐열회수 보일러 플랜트설계”, *대한 기계 학회지*, 제34권, 제12호, pp.940-944, 1994.
- [4] 환경부 폐기물관리법 시행규칙 중 개정령, 2001. 1.
- [5] (주) 삼호 보일러, 삼호보일러 소각로 설계자료
- [6] 環境管理公團,廢棄物燒却處理實務, 環境管理公團資料集7, 1993.
- [7] Spalding, D. B., TR100 - A Guide to the PHOENICS Input Language, PHOENICS, pp.2.17~2.22, 2008.
- [8] Spalding, D. B., TR100 - A Guide to the PHOENICS Input Language, CHAM, pp.1.1-1.7, 2008.
- [9] Harlow, F. H. and Nakayama, P. I., Transport of turbulence energy decay rate LA-3854, Los Alamos Science Lab., U. of California, USA, 1968.