

슬러지 유동층 소각로의 프리보드 내 가스 혼합 및 반응 특성에 대한 실험 및 해석적 연구

김영민* · 신동훈** · 황승식**

Experimental and Numerical Study on the Gas Mixing and Reaction in the Freeboard of a Fluidized Bed Incinerator for Sludge Treatment

Youngmin Kim, Donghoon Shin and Seung-Sik Hwang

ABSTRACT

The present study investigates the combustion phenomena in a sludge incinerator using experimental and numerical method. The temperature and gas concentration were measured at 33 points during operation of the incinerator in order to assess the mixing and combustion characteristics. Numerical simulation was also carried out using a commercial CFD code. Simplified inlet conditions were introduced in order to predict the bulk solid combustion and the diffusion of the volatile matter released by pyrolysis of sludge. The experimental results showed that the combustion process is extremely inhomogeneous. Large variations were observed in the temperature and gas concentrations in the freeboard of the incinerator due to poor mixing performance between the air and the combustibles, which is caused by massive and bulk generation of volatile matter by fast pyrolysis of sludge particles. The boundary condition of the CFD simulation was found effective in predicting the poor mixing and combustion performance of the reactor.

Key Words : Sludge, Incineration, Combustion, CFD, Waste

1. 서론

최근 폐기물 소각 처리는 폐기물의 부피와 질량을 최소화 하고 폐열을 회수할 수 있어 점차 증가되는 추세이다. 하지만 소각과정에서 배출되는 불완전 연소 가스와 2차 오염 물질의 발생 등의 문제점들이 있기 때문에 이에 대한 적절한 대책이 필요한 실정이다.

본 연구는 슬러지 유동층 소각로의 기초적인 소각 기술 향상 및 소각로 설계와 제작 기술의 확보를 위하여 소각로의 연소 과정을 실험과 컴퓨터를 이용한 전산해석을 통해 고찰 하고자 한다. 연소실내에서는 휘발분의 연소, 3차원 유동, 대류 및 복사 열전달 등의 복잡한 현상이 나타나게 된다. 따라서 이러한 현상에 대한 이해를 전산해석을 통해 설계에 반영하는 것이 필수적이라 할 수 있다. 최근 전산유체역학 기법의 발달로 이러한 현상에 대해서는 비교적 정확하게

해석할 수 있는 수학적 모델이 정립되었다고는 하나 경계조건의 설정, 복잡한 연소과정의 단순화 등의 처리과정에서 불가피한 오차 등을 포함하게 된다[1]. 소각 시스템의 연소실 현상에 관한 전산해석 연구는 비교적 적은 편이지만 영국과 독일의 대학[2-4]이나 소각 관련 원본 기술을 소유한 관련 회사들의 연구 사례[5-7]가 있고 일본의 경우[8]에도 다양한 연구가 산업계에서 이루어지고 있다. 국내에서도 폐기물 소각로 플랜트 실험을 통한 연소실 해석 모델 설정에 관한 연구, 화학반응을 고려한 스토커 식 소각로의 3차원 모사연구 등의 관련 연구들이 진행되고 있다 [9-14].

이러한 배경에서 본 연구는 연소로내의 폐기물 연소현상에 대해 적절한 가정을 통하여 휘발된 기체상 연료가 혼합 및 연소되는 과정을 해석하고자 한다. 폐기물의 가연분은 탄소와 수소로 이루어진 것으로 가정하여 연료의 연소과정을 다성분/다단반응으로 설정하여 탈휘발, 일산화탄소의 생성 및 연이은 이산화탄소로의 연소 반응 등을 모델링에 포함시킴으로써 해석 결과의 적정성을 높이고자 하였다. 또한 연소의 결과로 연소실은 고온 환경이 되며, 이러한 상황

* 국민대학교 대학원 기계공학과

** 국민대학교 기계시스템공학부

† 연락처자, d.shin@kookmin.ac.kr

하에서 난류유동과 함께 수반되는 열전달 및 공해물질인 NOx의 생성을 해석함으로써 소각로의 열적 특성과 공해 배출 특성을 현실적으로 예측하고자 하였다. 또한, 운영중인 슬러지 플랜트에서 위치별 온도 및 가스조성을 측정하여 전산해석과 비교 검토하였다.

2. 연구방법

2.1. 실험

Table 1은 실험시 투입한 폐기물의 성상을 나타낸다. 주 폐기물은 제지슬러지로서 낮은 발열량으로 인하여 고발열량의 폐수지를 혼소함으로써 유동층 연소에 적합한 발열량으로 투입하였다. Fig. 1은 실험에 사용한 소각로의 형상이다. 위와 같은 형상의 소각로에서 각각의 Level에 따른 위치별 연소가스의 온도와 화학종의 농도를 측정한다. 사용된 측정기기는 온도측정은 흡인형 고온계(suction pyrometer, k-type)를 이용하였고, 화학종의 농도는 가스분석기인

Table 1. Waste characteristic

| | | | | | |
|--------------------|---------------|----------------|-------------|-------|-------|
| Waste input | Paper sludge | 328 ton/day | | | |
| | Polymer waste | 125 ton/day | | | |
| | Sum | 453 ton/day | | | |
| LHV | Paper sludge | 468.9 kcal/kg | | | |
| | Polymer waste | 2182.9 kcal/kg | | | |
| | Average | 942 kcal/kg | | | |
| Proximate analysis | Water | Ash | Combustible | | |
| | 54.7% | 16.5% | 28.8% | | |
| Ultimate analysis | C | H | O | N | S |
| | 14.46% | 1.84% | 12.2% | 0.33% | 0.07% |

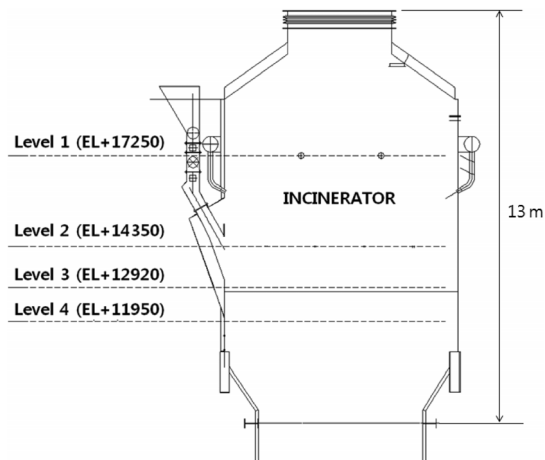


Fig. 1. Shape of Incinerator.

Testo 330 기기를 이용하였다. Fig. 2에서 Fig. 5까지는 각 Level별 측정위치를 보여준다. 측정위치별 측정값으로 각 Level 단면의 평균과 표준편차를 측정하였다.

폐기물 소각로의 불규칙한 연소조건 변화의 특성으로 인하여 일정한 자료를 얻는 것이 불가능한 관계로 각 측정점에서 일정시간 측정하여 평균값을 취하였으며, 표준편차는 한 측정점에서의 시간에 따른 변화의 표준편차가 아닌 각 Level에서의 평균값들의 표준편차를 의미한다. 이 평균값과 표준편차값은 전산해석결과의 값들과 비교하여 본 연구에서 적용할 전산해석 경계조건의 타당성을 평가하고자 한다.

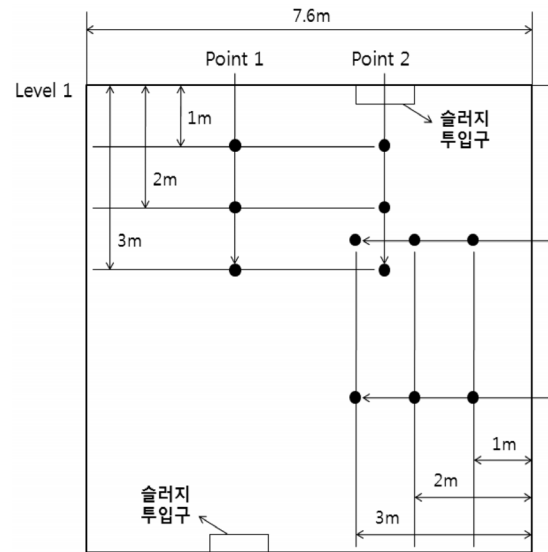


Fig. 2. Level 1 measurement points.

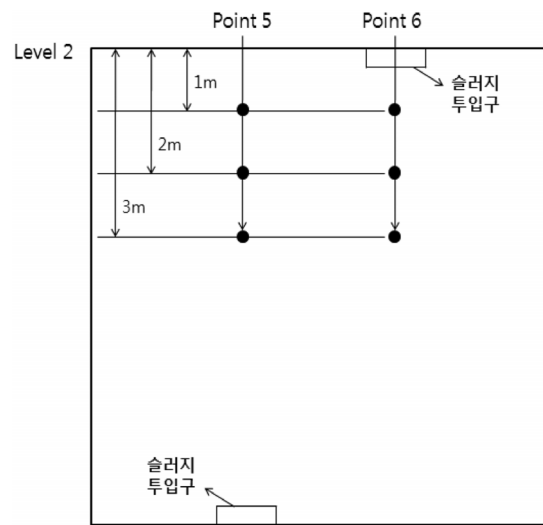


Fig. 3. Level 2 measurement points.

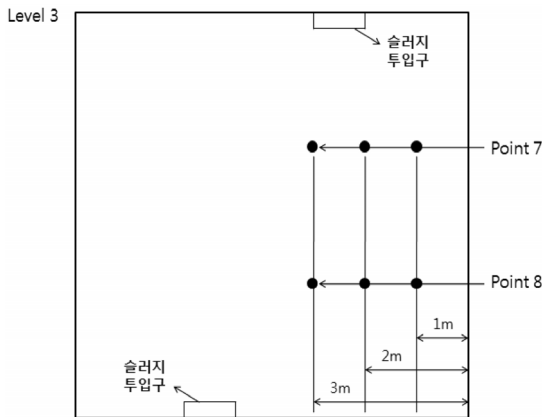


Fig. 4. Level 3 measurement points.

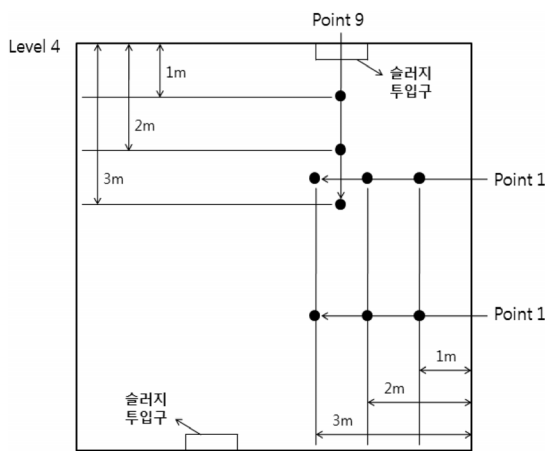


Fig. 5. Level 4 measurement points.

2.2. 전산해석

실험적 연구와 병행하여 소각로 내의 연소과정을 상용 CFD 코드인 FLUENT 6.3을 이용한 3차원 전산 해석을 수행하여 비교하였다.

Fig. 6은 소각로 형상을 모델링 한 것으로써 Fig. 1의 소각로 도면에서의 유동층 상부 연소실의 형상을 대상으로 모델링을 수행했다. 유동층에서 좌 연소 및 일부 휘발분 연소반응에 의해 발생한 가스가 유입되는 Inlet과 연소가 완료된 가스가 빠져나가는 Outlet, 그리고 완전 연소를 도모하기 위한 2차 공기 입구를 설정해주었다.

Fig. 7에 나타난 바와 같이, 유동층 위에 스프레더로 분산되는 슬러지는 수분을 함유하는 고체 연료 덩어리로서, 그 크기는 수 cm에서 수십 cm에 이른다. 각 연료 덩어리는 유동층 및 연소가스와 열전달을 발생시키며 수분증발 → 탈휘발 → 좌 연소의 과정을 거친다. 슬러지의 밀도가 유동층의 밀도보다 작은 편이므로 유동층 상부에서 유동하며 반응하게 되는데

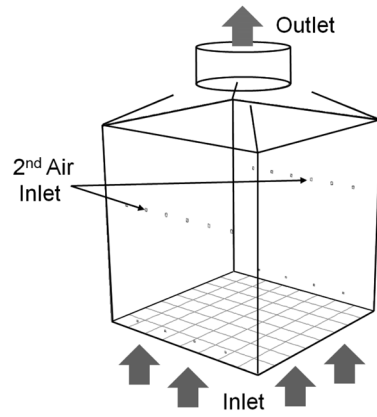


Fig. 6. Modeling of Incinerator.

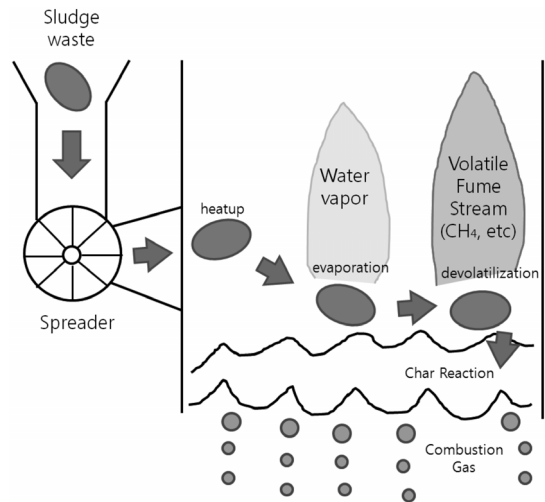


Fig. 7. Concept of combustion process.

탈휘발한 휘발분은 유동층 상단의 프리보드(Free board)로 이동하게 된다. 이 과정에서 휘발분은 급격한 탈휘발과정에 의해 공기와 혼합되지 못하고 휘발분 구름을 발생시켜 프리보드에서 확산 연소의 형태로 연소된다. 이에 따라 본 연구에서는 탈휘발한 휘발분이 좌 연소가스와 함께 진입하는 inlet 1(Fig. 8)과 유동층 연소가스만 진입하는 inlet 2(Fig. 9)로 구분하여 프리보드에서의 좌 연소가 미리 진행된 확산연소현상을 모사하였다. Inlet 1,2의 경계조건을 설정은 연소실 열정산을 통해 전체 연소 에너지 입열을 계산하고, 출열은 수분증발에너지(35%), 유동층 가열에너지(41%), 프리보드 발열에너지(24%)로 설정하였다. 이는 유동층의 온도가 실제 운전온도인 700℃가 되도록 열정산을 통해 에너지 배분을 한 것이며, 이중 프리보드 발열에너지는 휘발분의 연소열로 치환하여 휘발분(CH₄) 투입량을 계산하였다. 이러한 계산과정을 통해 Table 2의 inlet 1,2의 경계조건에 적용하였다.

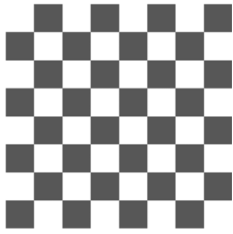


Fig. 8. inlet 1.

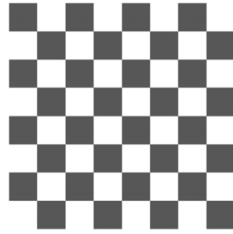


Fig. 9. inlet 2.

Table 2. Inlet boundary conditions

| | | Inlet 1 | Inlet 2 | 2nd Air Inlet |
|------------------------|------------------|---------|---------|---------------|
| Velocity (m/s) | | 0.987 | 0.9825 | 16.7 |
| Temperature (°C) | | 700 | 700 | 80 |
| Gas composition (wt.%) | CH ₄ | 0.03 | 0 | 0 |
| | O ₂ | 0 | 0.208 | 0.233 |
| | CO ₂ | 0.1 | 0.1284 | 0 |
| | H ₂ O | 0.3 | 0.0713 | 0 |
| | N ₂ | 0.57 | 0.5923 | 0.767 |

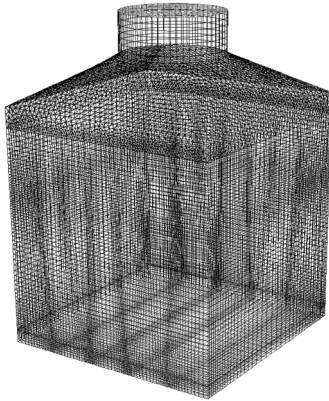
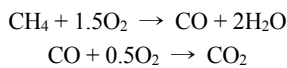


Fig. 10. Grid.

Fig. 10은 CFD 해석을 위한 격자이다. Gambit을 사용하여 약 27만개의 volume mesh를 구성하여 전산해석을 진행하였다. 난류 해석 모델은 RNG k-ε 모델을 사용하였고, 복사 열전달은 P1 모델을 사용해서 해석을 수행하였다. 해석에 사용된 연소반응식은 다음과 같은 2단 반응이다.



연소 현상은 Finite-Rate/Eddy-Dissipation 모델을 사용하여 해석을 진행하였다. Finite-Rate모델에 사용된 반응속도 계산식은 다음과 같다.

$$k_{f,r} = A_r e^{-E_r/RT}$$

Table 3. Reaction rate constants

| Reaction | A _r (1/sec) | E _r (J/kgmol) |
|---|--------------------------|--------------------------|
| CH ₄ + 1.5O ₂ → O+2H ₂ O | 5.012 × 10 ¹¹ | 2 × 10 ⁸ |
| CO + 0.5O ₂ → CO ₂ | 2.239 × 10 ¹² | 1.7 × 10 ⁸ |

A_r은 pre-exponential factor로 절대 온도와 화학반응 속도 사이의 관계를 표현하는 지수이고, E_r은 activation energy로 반응을 일으키는데 필요한 최소한의 에너지로서, 이 계수들은 Table 3에 나타내었다.

NOx 반응모델은 Thermal NOx, Prompt NOx 모델과 더불어 Fuel NOx 모델을 사용하였다. Fuel NOx는 휘발분인 CH₄에 포함된 것으로 설정하였고, Table 1의 원소분석결과를 바탕으로 휘발분 유량 (0.245 kg/s) 대비 연료에 포함된 N의 유량(0.0175 kg/s) 비율은 7%로 계상하였다. 연료에 포함된 N은 HCN의 형태로 전환하는 것으로 가정하였다.

3. 연구 결과

3.1. 실험 결과

Table 4~7은 소각로 측정 위치별 온도와 화학종의 농도를 측정된 값과 Level 별 평균 및 표준편차를 나타낸다.

Table 4에 나타난 프리보드에서 가장 높은 위치인 Level 1에서 평균온도는 1007°C에 편차 48.3°C, O₂의 평균 농도는 6.36% 편차 1.04%로 다른 Level에 비해 비교적 일정하게 측정되었다. CO의 농도는 평균 866.5 ppm 으로 다른 level에 비해 낮게 측정되었다. 이리

Table 4. Measured data at Level 1 of the freeboard

| Point NO. | Probe insert | Temp (°C) | O ₂ (%) | CO (ppm) | NOx (ppm) |
|--------------------|--------------|-----------|--------------------|----------|-----------|
| 1 | 3 m | 1060 | 5.51 | 842 | 139 |
| | 2 m | 970 | 5.81 | 1121 | 152 |
| | 1 m | 980 | - | - | - |
| 2 | 3 m | 972 | 5.95 | 747 | 101 |
| | 2 m | 987 | 6.57 | 875 | 108 |
| | 1 m | 975 | - | - | - |
| 3 | 3 m | 1070 | 5.84 | 2010 | 150 |
| | 2 m | 1100 | 5.18 | 1192 | 155 |
| | 1 m | 1045 | 5.95 | 1088 | 159 |
| 4 | 3 m | 995 | 6.9 | 422 | 188 |
| | 2 m | 973 | 8.73 | 61 | 167 |
| | 1 m | 955 | 7.19 | 307 | 104 |
| Average | | 1007 | 6.36 | 866.5 | 142.3 |
| Standard deviation | | 48.3 | 1.04 | 547.9 | 29.16 |

한 결과는 2차 공기 투입 이후에 연소가 추가적으로 진행된 상태라고 볼 수 있다. 그러나 CO의 농도가 여전히 높다는 것은 불완전 연소가 상당히 발생하고 있으며 2차 공기의 최적화에 따른 연소 성능 증대가 필요한 것으로 판단된다.

Table 5의 2차 공기 투입 이전인 Level 2에서의 O₂ 평균 농도는 6.45%에 편차는 6.29%로 측정되었고, CO의 평균 농도는 1078 ppm, 편차는 1704 ppm으로 연소의 불균일성이 심각함을 보여준다. 이는 2차 공기의 연료 혼합 능력이 하부에 미치지 못하는 것을 보여주는 결과이다. 같은 Level에서도 측정위치에 따라 산소농도가 0.47%에서 12.9%까지 분포하는 등, 크게 다른 이유는 폐기물의 연소가 유동층 위치에 따라 크게 다르다는 것을 증명하는 것이며, 전산화석 수행시 이러한 심각한 불균일성을 고려해야 적절한 해석결과를 획득할 수 있음을 보여준다.

Table 6에 나타난 Level 3에서의 O₂의 평균농도는 2.36%, CO의 평균농도는 3108.5 ppm으로 폐기물에서 발생하는 연소가스와 산소의 연소반응에서 산소가 부족한 불완전연소의 형태를 보여준다. 산소농도 분포는 0.47%에서 4.45%까지 넓게 분포하는 것은 유동층 위치별 연소가스의 조성이 크게 다를 수 있다. 이에, 2차 공기의 적절한 활용이 필요함을 확인할 수 있다.

Table 7의 Level 4에서는 유동층에 가까운 영역으로서, 수분 증발과 탈휘발 과정이 활발하고 연소실 내 많은 분진과 휘발분이 발생하는 부분이기 때문에 연소 가스 농도 측정이 불가능하였고 온도만 측정하였다. 평균온도는 910℃로 가장 낮게 나타났으며 표준편차는 79.4℃로 가장 높게 나타났는데 그 원인으로 탈휘발 후 휘발분과 공기의 확산화염의 초기단계에서 연소의 불균일성이 큰 것에 기인하는 것으로 사료된다.

Table 4~7의 결과에서 보듯, 소각로내의 위치별 온도와 화학종 농도의 편차가 있는 것으로 나타나 있다.

Table 5. Measured data at Level 2 of the freeboard

| Point NO. | Probe insert | Temp (°C) | O ₂ (%) | CO (ppm) | NOx (ppm) |
|--------------------|--------------|-----------|--------------------|----------|-----------|
| 5 | 3 m | 975 | 12.9 | 55 | 275 |
| | 2 m | 965 | 12.4 | 22 | 255 |
| | 1 m | 995 | 11.19 | 39 | 263 |
| 6 | 3 m | 985 | 0.49 | - | 128 |
| | 2 m | 1110 | 1.25 | 1312 | 161 |
| | 1 m | 960 | 0.47 | 3962 | 154 |
| Average | | 998.3 | 6.45 | 1078 | 206 |
| Standard deviation | | 56.18 | 6.29 | 1704 | 65.15 |

Table 6. Measured data at Level 3 of the freeboard

| Point NO. | Probe insert | Temp (°C) | O ₂ (%) | CO (ppm) | NOx (ppm) |
|--------------------|--------------|-----------|--------------------|----------|-----------|
| 7 | 3 m | 988 | 2.28 | 4714 | 94 |
| | 2 m | 941 | 1.03 | - | 80 |
| | 1 m | 878 | 0.47 | 3621 | 108 |
| 8 | 3 m | 900 | 4.45 | 1359 | 91 |
| | 2 m | 960 | 3.55 | 2740 | 121 |
| | 1 m | 860 | - | - | - |
| Average | | 921.2 | 2.36 | 3108.5 | 98.8 |
| Standard deviation | | 49.84 | 1.67 | 1418.5 | 15.93 |

Table 7. Measured data at Level 4 of the freeboard

| Point NO. | Probe insert | Temp. (°C) |
|--------------------|--------------|------------|
| 9 | 3 m | 920 |
| | 2 m | 950 |
| | 1 m | 955 |
| 10 | 3 m | 950 |
| | 2 m | 990 |
| | 1 m | 990 |
| 11 | 3 m | 760 |
| | 2 m | 838 |
| | 1 m | 842 |
| Average | | 910.5 |
| Standard deviation | | 79.4 |

이러한 결과는 소각로 내에서 연소의 혼합이 제대로 이루어지지 않는 것을 나타내고 있다. 또한 2차 공기 분사 위치의 최적화를 통해 설비의 성능 향상 가능성이 있음을 시사한다.

3.2. 전산화석 결과

Fig. 11에서 Fig. 12까지는 연소가스의 흐름을 벡터 형태와 궤적선도 형태로 보여준다. 연소가스는 유동층에서 낮은 속도로 올라오다가 2차 공기와 혼합된 후에 연소실 출구로 배출된다. 2차 공기가 연소로 중앙부분까지 침투하나 유속이 16.7 m/s로 낮은 관개로 활발한 혼합성능을 보이지 않고 있으며, 2차 공기 노즐 옆의 영역은 하부에서 올라온 연소가스가 그대로 통과하여 상부로 올라가는 것을 확인할 수 있다. 이에 따라 출구에서의 불완전 연소 물질의 농도가 높게 나타날 수 있음을 예측할 수 있다.

Fig. 13에서는 CO의 농도분포를 확인할 수 있다. 연소중간생성물인 CO의 농도분포를 통해 연소의 완결성을 파악할 수 있다. 유동층의 불완전 연소에 의해 상승한 휘발분이 주변 가스와 반응을 일으키고 2

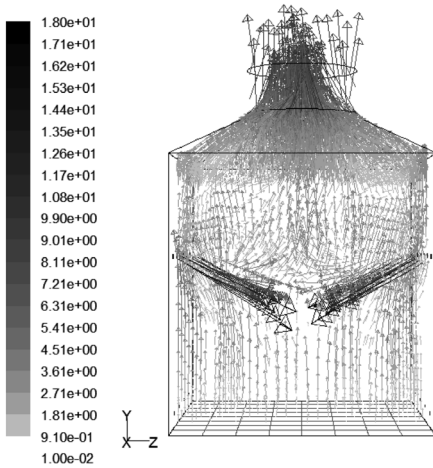


Fig. 11. Velocity vector (m/s).

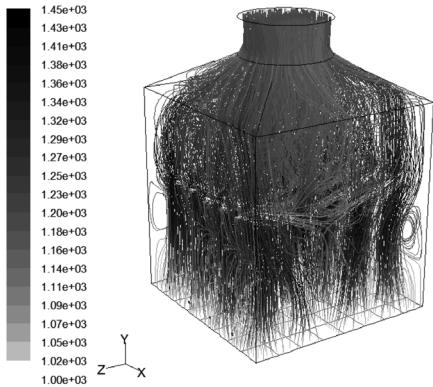


Fig. 12. Flow pattern of combustion gas.

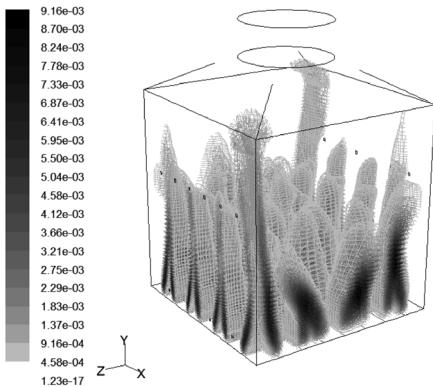


Fig. 13. CO concentration distribution.

차 공기와 만나면서 활발히 연소가 진행되는 것을 희망하였지만 CO의 농도는 2차 공기 투입 이후에도 높은 농도 수준을 유지하여 연소실 상부에 도달한다. 이는 2차 공기의 투입에 의한 혼합성능이 저조하여 발생하는 현상으로 2차 공기 노즐의 배치 및 유속이 적절하지 못함을 보여준다. Table 8에 나타난 Level 1

Table 8. Comparison of CFD results with the experiment

| | | Temp. (°C) | | O ₂ (%) | | CO (ppm) | | NO _x (ppm) | |
|---------|-----------|------------|-------|--------------------|------|----------|------|-----------------------|-------|
| | | CFD | Exp. | CFD | Exp. | CFD | Exp. | CFD | Exp. |
| Level 1 | Avg. | 949 | 1007 | 6.4 | 6.36 | 49.8 | 866 | 195 | 142 |
| | Std. Dev. | 47.9 | 48.3 | 1.22 | 1.04 | 260 | 547 | 22.3 | 29.16 |
| | | | | | | | | | |
| Level 2 | Avg. | 999 | 998.3 | 7.04 | 6.45 | 556 | 1078 | 177 | 206 |
| | Std. Dev. | 77 | 56.18 | 2.95 | 6.29 | 893 | 1704 | 45.1 | 65.2 |
| | | | | | | | | | |
| Level 3 | Avg. | 959 | 921.2 | 9 | 2.36 | 913 | 3108 | 127 | 98.8 |
| | Std. Dev. | 95.4 | 49.8 | 4.38 | 1.67 | 1520 | 1418 | 57.2 | 15.9 |
| | | | | | | | | | |
| Level 4 | Avg. | 882 | 910.5 | 12 | - | 1802 | - | 41 | - |
| | Std. Dev. | 118.5 | 79.4 | 7.22 | - | 2474 | - | 59 | - |
| | | | | | | | | | |

에서의 전산해석에 의한 CO 농도는 실험값에 비해 낮게 나타나고 있지만, Level이 낮아짐에 따라 CO 농도의 평균 및 표준편차가 증가하는 경향이 유사하게 나타나는 것은 본 연구에서 적용한 inlet 1과 inlet 2의 2가지 격자형 경계조건의 사용이 의미가 있었음을 보이는 결과이다.

Fig. 14에서 연소실내의 불균일한 온도분포를 확인할 수 있다. inlet 1을 통해 유입되는 휘발분은 inlet 2를 통해 유입되는 여분의 연소 공기와 확산에 의해 반응하면서 격자 형태의 고온 영역을 형성하여 상승하다가 2차 연소 공기를 만나면서 혼합 및 완전 연소에 의한 온도 균일화를 기대하였지만, 2차 공기의 혼합성능이 미진하여 완전연소 및 완전혼합에 미치지 못함을 알 수 있다. Table 8에 나타난 Level 별 온도 평균값 및 표준편차의 추이는 실험값과 유사한 것을 확인할 수 있다. 유동층에서 올라온 휘발분은 2차 공기를 만나면서 추가적으로 연소하여 2차 공기 투입 이후에 고온 영역을 형성하고 있다.

Fig. 15는 NO_x 농도 분포를 나타낸다. 일반적으로 연소과정에서 Fuel NO_x 및 Thermal NO_x가 발생하는데, 산소가 부족한 유동층 영역에서는 NO_x의 발생이 적지만 휘발분과 CO의 연소반응이 진행되는 프리보드에서는 고온이 형성되고 2차 공기에 의해 산소가 충분히 공급됨에 따라 NO_x의 발생이 증가하게 된다. inlet 1,2로 구분되어 유입되는 연소 가스는 격자 형태의 확산화염형태를 발생시키는 관계로 그에 따라 유사한 형태의 높은 NO_x 영역이 형성된다. 그 이후 2차 공기와 혼합하면서 전반적으로 온도가 올라가며 NO_x 농도가 비교적 균일화되고 또한 증가함을 확인할 수 있다. 특히 연소가스가 2차 공기와 만나면

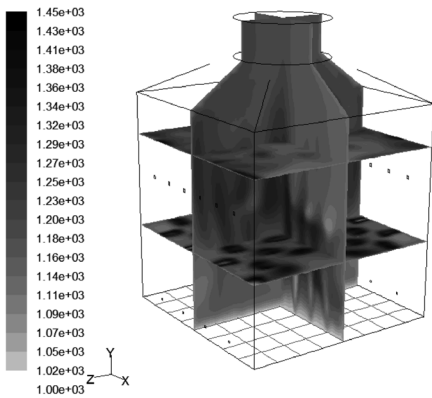


Fig. 14. Temperature distribution (K).

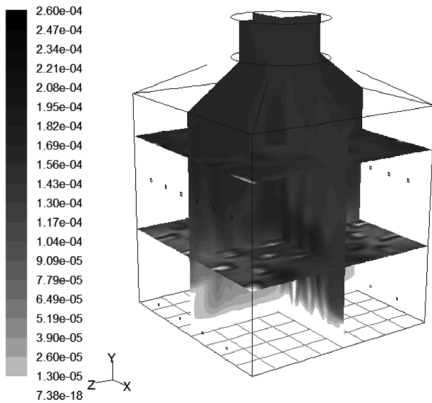


Fig. 15. NOx concentration distribution.

서 추가적으로 반응함에 따른 고온영역의 형성으로 2차 공기 투입 이후에 NOx 발생이 높아짐을 확인할 수 있다. Table 8의 NOx 평균 및 표준편차는 측정포인트 개수의 부족, 시간에 따른 큰 변동성 등의 현상에서의 측정상 어려움에도 불구하고 유사한 값을 보이고 있는데, 이는 본 연구에서 적용한 inlet 1,2의 경계조건이 유동층에서의 폐기물 연소현상 해석에 유용할 수 있음을 보여주는 것으로 사료된다.

4. 결론

슬러지 유동층 소각로의 연소과정을 실험과 CFD를 사용하여 분석해 보았다. 유동층에서의 슬러지 연소의 불균일성을 2중 격자형 경계조건으로 모델링하였으며, 실험과 전산해석의 결과값과 그들의 상호비교를 통해 연소실내의 연소특성을 확인할 수 있었다. 실험과 전산해석에서 공히 프리보드내 CO농도가 높게 나타나는 것은 유동층에서 폐기물의 불균일한 연소와 낮은 유속의 2차 공기의 영향이 완전연소를 도모하기에는 부족하다는 것을 확인 할 수 있었고, 연소실내 연소의 혼합을 촉진하는 2차 공기 투입의 최적화

가 필요함을 알 수 있었다. 실험과 전산해석의 결과값이 정확하게 일치하지는 않았지만 연소과정의 경향에 대해서는 비교적 유사한 결과를 도출하였다. 슬러지 유동층 소각로의 불균일한 연소현상을 CFD로 모사하기 위한 방법으로 프리보드 입구 경계조건을 격자형으로 하고, 휘발분이 투입되는 부분과 투입되지 않는 부분으로 구분하여 경계조건을 설정하는 방법을 제시하였으며 유동층 소각로의 경계조건으로 적절함을 확인하였다.

후기

본 연구는 국민대학교 교내연구 지원사업(2010년) 및 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원(No. 20114 010100070)으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 이진욱, 박병수, 서정대, 허일상, 2차 공기 분사 특성에 따른 소각로 연소실 유동장 변화 고찰, 제18회 KOSCO SYMPOSIUM 논문집, 1999, pp. 125-135
- [2] V. Nasserzadeh, J. Swithenbank and B. Jones, Effect of High Speed Secondary Air Jets on the Overall Performance of Large MSW Incinerator with a Vertical Shaft, *Combust. Sci. and Tech*, Vol. 92, 1993, pp. 389-422
- [3] V. Nasserzadeh, J. Swithenbank, C. Schofield, D. W. Scott and A. Loader, Effects of High Speed Secondary Air Jets and Internal Baffles on the Gas Residence Time in Large Municipal Incinerators, *Environmental progress*, Vol. 13, No. 2, 1994, pp. 124-133
- [4] T. Klasen and K. Goner, Numerical Simulation and Optimisation of a Large Municipal Solid Waste Incinerator Plant, *The 2nd Int. Symp. on Incineration and Flue Gas Treatment Technologies*, 4-6 July, Sheffield, UK, 1999
- [5] O. Riccius, A. Walther and B. Stoffel, Design of Waste Incinerators Utilising CFD, *The 2nd Int. Symp. on Incineration and Flue Gas Treatment Technologies*, 4-6 July, Sheffield, UK, 1999
- [6] M. Perilleux, G. Creten, K. Peeters, J. Kumel, K. Gömer, Optimisation of Boiler Design for the Largest MSW Incineration Unit in Belgium and Experience with the "SEGHERS-IBB PRISM", as Improvement for Boiler Performance, *The 3rd Int. Symp. on Incineration and Flue Gas Treatment Technologies*, 2-4 July, Brussels, Belgium, 2001

- [7] O. H. Madsen, S. binner and K. Jorgensen, Modern Design Technologies for Thermal Optimisation and Pollutant Control in MSW Incinerator Plants, The 1st Int. Symp. on Incineration and Flue Gas Treatment Technologies, 7-8 July, Sheffield, UK, 1997
- [8] Y. Kori and R. Takeya, Cross Jet Mixing and Its Effects on Combustion Performance in MSW Incinerators with Natural Gas Reburning, The 3rd Int. Symp. on Incineration and Flue Gas Treatment Technologies, 2-4 July, Brussels, Belgium, 2001
- [9] S. Kim, D. Shin and S. Choi, Comparative Evaluation of Municipal Solid Waste Incinerator Designs by Flow Simulation, Combust. and Flame, Vol. 106, 1996, pp. 241-251
- [10] D. Shin. C. Ryu and S. Choi, Computational Fluid Dynamics Evaluation of Good Combustion Performance in Waste Incinerator, J. of the Air and Waste Management Association, Vol. 48, 1998, pp. 345-351
- [11] C. Ryu and S. Choi, "Design Consideration for the Cross jet Air Mixing in the MSW Incinerators", Int. Journer of Energy Research, Vol. 21, 1997, pp. 695-706
- [12] C. Ryu and S. Choi, 3D Simulation on jet Air Mixing in the Municipal Solid Waste Incinerators, Combust. Sci. and Tech, Vol. 119, 1996, pp. 155-170
- [13] 박병수, 이진옥, 서정대, 강승균, 도시 폐기물 소각로 파일럿 플랜트 실험을 통한 연소실 해석 모델 설정 및 결과 고찰 한국폐기물학회 춘계 학술대회, 대전, 1999, pp. 131-136
- [14] 권순우, 이종협, 화학반응을 고려한 스토키식 소각로의 3차원 모사연구, 한국화학공학회 논문집, Vol. 36, No. 3, 1998, pp. 353-363

접수일 : 2011. 08. 02
심사완료일 : 2012. 01. 06