함습공기를 이용한 고발열량 도시폐기물 소각로의 효율적 운전을 위한 수치 해석적 연구

A Numerical Study for Effective Operation of MSW Incinerator for Waste of High Heating Value by the Addition of Moisture Air

신미수 · 신나라 · 장동순[†]

Mi-Soo Shin · Na-ra Shin · Dong-soon Jang[†]

충남대학교 환경공학과

Department of Environmental Engineering, Chungnam National University

(2012년 3월 22일 접수, 2013년 2월 13일 채택)

Abstract : Stoker type incinerator is one of the most popular one used as municipal solid waste (MSW) incineration because, in general, it is quite suitable for large capacity and need no preprocessing facility. Nowadays, however, since the combustible portion of incoming MSW increases together with the decrease of the moisture content due to prohibition of directly burying food waste in landfill, the heating value of waste is remarkably increasing in comparison with the early stage of incinerator installation. Consequently, the increased heating value in incinerator operation causes a number of serious problems such as reduction of waste amount to be burned due to the boiler heat capacity together with the significant NO generation in high temperature environment. Therefore, in this study, a series of numerical simulation have been made as parameters of waste amount and the fraction of moisture in air stream in order to investigate optimal operating condition for the resolution of the problems associated with the high heating value of waste mentioned above. In specific, a detailed turbulent reaction flow field calculation with NO model was made for the full scale incinerator of D city. To this end, the injection method of moisturized air as oxidizer was intensively reviewed by the addition of moisture water amount from 10% and 20%. The calculation result, in general, showed that the reduction of maximum flame temperature appears consistently due to the combined effects of the increased specific heat of combustion air and vaporization heat by the addition of water moisture. As a consequence, the generation of NOx concentration was substantially reduced. Further, for the case of 20% moisture amount stream, the afterburner region is quite appropriate in temperature range for the operation of SNCR. This suggests the SNCR facility can be considered for reoperation, which is not in service at all due to the increased heating value of MSW.

Key Words : MSW (Municipal Solid Waste), Stoker Incinerator, High Heating Value, Numerical Study

요약 : 도시폐기물 소각로는 일반적으로 전처리 설비가 필요 없고 대용량에 적합한 스토크타입의 소각로를 많이 사용하고 있다. 그러나 음식물 쓰레기의 직매립 금지 등에 따라 반입폐기물의 가연분이 증가하고 수분함량이 감소되어 폐기물의 발열량이 소각로 설치 초기에 비해 매우 증가하고 있는 실정이다. 이에 소각로 열부하의 증가에 따라 소각량 감소와 가동률 저하 등 소각로 운영에 어려움을 겪고 있다. 본 연구는 D시의 소각로를 대상으로 하여 소각량과 함습공기 양 등 중요 변수에 따른 NO 모델을 포함한 난류반응 유동에 대한 일련의 전산해석을 수행하여 기초 자료를 축적하고 그것을 바탕으로 최근 도시 폐기물의 고 발열량화에 따른 문제점 및 해결방안에 대한 연구를 수행하였다. 이에 따라 운전조건 등을 최적화하여 기존의 운전시설의 활용을 극대화 하고자 하였다. 폐기물의 소각량을 저감하지 않고 고발열량화의 문제를 해결할 수 있는 실질적인 방법으로 연소용 공기에 수분의 양을 10%와 20%로 증가시키며 가습공기를 주입하는 방안을 검토하였다. 그 결과 연소공기의 비열 증가와 상변화 등에 의하여 최대 화염온도의 감소가 발생하여 전반적인 소각로 내부의 온도가 낮아지는 것으로 나타났으며 그에 따라 NOx 발생량이 실질적으로 감소되는 것으로 나타났다. 특히 가습공기 20%주입시 기존에 설치되어 있는 SNCR 설비의 환원제 주입구 위치가 대부분 SNCR 반응에 적합한 온도 영역으로 나타나서 현재 고발열량 문제로 전혀 가동하지 못하고 있는 SNCR 설비의 재가동을 고려해 볼 수 있을 것으로 판단된다.

주제어 : 도시폐기물, 스토크소각로, 고발열량, 수치해석

1. 서론

우리나라에 본격적인 대형 도시 쓰레기 소각로가 설치된 것은 1987년에 150 t/d 용량 1기가 목동에 건설된 것이 최초이다. 소각로의 형식상 유동층 소각로나 스토크 소각로 등 여러 가지 방법이 있다. 유동층 소각로의 경우 기동, 정지가 용이하고 고수분 폐기물 등의 소각도 가능한 장점이 있으나, 쓰레기의 투입 사이즈에 제한과 배기가스와 재처리에 완전을 기하기 위해서 대형화가 요망되는 것 등의 이유로

도시폐기물 소각의 경우 스토크 소각로의 채용이 압도적으로 많이 차지하고 있다.

하지만 대형 생활폐기물 소각시설에 2005년부터 음식물폐기물 직매립 금지제도가 시행됨에 따라 반입폐기물 가연성분 함량은 증가되고 수분함량은 감소되면서 반입 폐기물의 발열량 증가시켜 초기 설계시에 고려했던 소각로 열 부하를 훨씬 초과하여 소각로 열부하 증가에 따른 소각량 감소와 가동률을 저하 등의 문제로 소각운영에 어려움을 겪고 있다. 특히 고발열량화에 따라 질소산화물을 제어하는데

[†] Corresponding author E-mail: p_dsjang@cnu.ac.kr Tel: 042-821-6677 Fax: 042-823-8362

Fig. 1. Schematic diagram of a full-scale stoker incinerator and calculation domain

어 초기에 주로 사용하던 SNCR 방법을 전혀 사용하지 못하고, 운전비용이 많이 드는 SCR 방법을 사용하고 있는 실정이다.

소각기술은 소각자체 기술뿐만 아니라 2차 오염 물질 저감 기술 및 소각열 이용 기술 등 복합적인 요인이 있으므로 외국의 설계 기술에만 의존하지 않고 우리나라 실정에 알맞은 소각시스템에 대한 연구 개발이 필요하다 할 수 있다.

본 연구에서는 D시의 소각로를 대상으로 하여 내부 열유동에 대한 전산해석을 수행하여 기초 자료를 축적하고 그것을 바탕으로 최근 도시 폐기물의 고 발열량화에 따른 문제점 및 해결방안에 대한 연구를 수행하고, 부수적인 운전조건을 최적화하여 기존의 운전시설의 효용성 점검을 수행하였다. Fig. 1에 연구 대상이 되는 스토커 소각로의 도식도를 나타내었다.

2. 수치해석적 연구 방법

2.1. 일반 지배방정식

일반적인 지배방정식은 식 (1)과 같으며 이 때 종속변수 ϕ 는 단위질량당의 물리량을, S_ϕ 는 질량, 엔탈피, 운동량의 생성향을 나타낸다.¹⁾

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u} \phi) = \nabla \cdot (\Gamma \nabla \phi) + S_\phi \quad (1)$$

unsteady convection diffusion source

위 식을 이산화시킨 방정식은 검사체적에 기초한 Patanker의 방법을 사용하여 TDMA로 해석하였으며 압력, 속도 연계는 SIMPLEC 알고리즘을 사용하였다.

2.2. 난류 유동모델 및 난류 반응모델

연소로내 난류 유동장을 해석하기 위하여 속도 성분 u, v, w 에 대해 순간 운동방정식을 시간 평균한 값을 이용하였고, $k-\epsilon$ 난류모델을 적용하였으며, 난류점성계수 μ_t 는 아래 식 (2)와 같은 Prandtl-Kolmogorov관계식에 의해 단위 질량당의 난류에너지 k 와 난류에너지 소산율 ϵ 을 이용하여 표현하였다.²⁾

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

본 연구에 사용된 난류반응 모델은 eddy breakup 모델로서, 이는 화학반응이 매우 빠른 유동장 내의 전체반응속도(연소속도)는 난류 혼합에 의해 지배되므로 결국 연소속도는 난류혼합속도와 같고, 난류반응속도는 eddy의 붕괴속도와 비례한다는 것이다.³⁾

NOx의 생성 및 제거를 위한 SNCR 반응의 고려를 위하여 Thermal NOx생성에 대한 모델링이 필요한데 아래의 Zeldovich 메카니즘에 의해 생성됨을 가정하였다.^{4,5)}

위의 3가지 반응을 고려한 NO의 생성은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{d[NO]}{dt} = 0 = K_1[O][N_2] - K_2[N][O_2] - K_3[N][OH] - K_{-1}[NO][N] + K_{-2}[NO][O] + K_{-3}[NO][H] \quad (6)$$

여기에 N의 산화를 위한 활성화 에너지는 작기 때문에 거의 정상상태 가정이 가능하므로, 위의 가정을 적용하여 식을 다시 정리하며 NO의 생성률은 아래와 같다.

$$R_{NO} = A - [NO] + \frac{A \frac{C}{D}}{[NO] + \frac{C}{D}} - [NO]^2 \frac{B}{[NO] + \frac{C}{D}} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} A &= K_1[O][N_2] \\ B &= K_{-2}[O] - K_3[OH] \\ C &= K_2[O_2] + K_3[OH] \\ D &= K_{-1} \end{aligned}$$

선택적 비촉매 환원법에 따라 아래 식 (8)처럼 850~1,050 °C 사이에서 암모니아와 반응하여 NO가 제거된다고 가정하였다.

3. 연구결과 및 토론

본 연구는 연구실에서 Partankar그룹의 알고리즘¹⁾에 기초

하여 직접 개발한 In-house 코드와 상용코드를 병행 활용하여 수치해석을 수행하였으며 우선 상용코드를 활용하여 대형 스토커 소각로의 3차원 형상을 모사하여 발열량, 쓰레기 일일 처리량, 캐스타블의 높이 등의 주요 변수에 따른 온도장 유동장 그리고 NO의 발생 농도를 수치 해석하였다. 연료는 폐기물 베드에서 기체로 기화되어 주입되는 것을 가정하였고 발열량에 맞추어 주입 연료량을 결정하였다. 또한 산업용 보일러에 대한 일부 결과는 직접 개발한 In-house 코드의 활용을 병행하여 일부 운전변수에 대한 연구를 수행하였다.

D시에 설치된 소각로 1호기는 1998년에 완공된 것으로 그 당시 우리나라의 도시쓰레기의 평균 발열량인 약 1,500~2,000 kcal/kg 정도에서 원활한 운전이 가능하도록 설계된 것이다. 이후 2005년에 2호기를 완공하여 운전 중에 있다. 그러나 2000년대 초반에 비해 2010년 기준으로 4개월 평균 발열량은 3,200 kcal/kg 정도로 거의 2배 가까이 증가하였으며, 하루 소각량은 188톤/일에서 163톤/일로 13% 정도 감소하였다. 위의 조건으로 가정하여 2호기 소각로의 온도장을 계산하였다. 현재는 고온으로 인하여 질소산화물을 저감하는데 SNCR을 전혀 사용하지 못하고 SCR 방법을 사용하고 있는데 운전조건 등의 변화를 통하여 SNCR의 활용 가능성을 타진해 보고자 한다.

고발열량에 대한 2호기 소각로의 수치해석에 앞서 이전의 연소실에 대한 실험 자료가 존재하는 소각로 1호기의 저발열량 운전 조건 및 운전 자료(캐스타블 높이 8 m, 발열량 1,700 kcal/kg, 쓰레기 처리량 188톤/일, 평균배기 가스량 41,500 Nm³/hr, 출구온도 963 °C, NO 농도 200 ppm)를 기준으로 수치해석을 수행하고 운전 자료로부터 수치 해석한 결과와의 비교를 통하여 우선적으로 코드 및 사용한 모델에 대한 검증을 수행하였다. 위의 조건에 대하여 환원제로 암모니아의 주입이 없는 상태에서 온도장, 속도장 그리고 NO 농도에 대한 계산을 수행하였다. Fig. 2에 속도분포, 온도분포,

Fig. 2. Calculation results of MSW incinerator with low heating value.

NO 농도분포를 나타내었다. 결과를 살펴보면 출구의 평균 유속은 약 3 m/s로 나타났으며, 출구의 평균 온도는 941℃, 출구의 평균 NO농도는 약 225 ppm으로 나타났다. 이는 1호기 운전 초기의 발열량 및 운전조건을 기준으로 수행한 결과로 위에 제시된 1호기의 운전 자료와 비교해 볼때 출구온도의 경우 실험결과는 963℃이고 수치해석 결과는 941℃로 나타났고, 출구에서의 평균 NO농도는 각각 200 ppm과 225 ppm으로 다소 높게 산출되었지만 비교적 유사한 결과를 나타내어 사용된 알고리즘 및 모델에 대한 검증이 성공적으로 이루어져 이후의 변화된 운전변수에 대한 해석도 신뢰성을 가질 것으로 판단된다.

Fig. 2에 나타난 결과와 같이 소각로의 중간 이후 높이에 온도분포가 NOx 제어를 위한 SNCR 반응에 적합한 온도를 나타내고 있어서 이전의 저발열량 쓰레기에 경우 NOx 제어에 SNCR 방법이 유용하게 활용되었다. 그러나 점차 쓰레기의 고발열량화에 따라 소각로 내부온도가 급격히 증가하면서 현재에는 SNCR 방법을 전혀 사용하지 못하고 이후 공정에서 SCR 방법을 활용하고 있는 실정이다. 물론 NOx 저감효율은 SNCR에 비해서 좋지만 촉매비용 등을 감안한 처리비용이 증가하고 있는 실정이다.

D시의 소각로는 2000년도 초반(1,700~2,000 kcal/kg)에 비해 2010년 기준으로 4계절 평균 발열량은 3,200 kcal/kg 정도로 약 60% 이상 증가하였으며, 하루 소각량은 188톤/일에서 163톤/일로 13% 정도 감소하였다. 발열량과 소각량을 위의 조건으로 가정하고 2차 공기를 주입위치에서 주입하여 Fig. 3에 2호기 소각로의 계산 결과를 나타내었다. 출구에서의 평균온도는 1,285℃로 나타났으며 속도분포는 소각로 내부의 전반적인 온도상승에 따라 배기가스가 증가함에 따라 속도도 증가한 것으로 나타났다. 이 경우 출구 영역까지 SNCR 반응의 환원제 주입의 상한 온도를 상회하는 높은 온도를 나타내고 있어서 SNCR 반응이 실질적으로 가능하지 않음을 시사하여 주고 있다. 만일 배기가스 유속이 4 m/s

이고 SNCR의 화학반응에 요구되는 최대시간인 0.5초라면 SNCR 반응이 일어나기 위해서는 최소 2.0 m의 거리가 요구되므로 충분한 체류시간을 확보하기 위해서는 적어도 출구로부터 3 m 이상 떨어진 곳에서 환원제 분사가 이루어져야 한다. 이는 현재 실제 현장에서 SNCR을 적용하지 못하는 이유이기도 하다. 고발열량의 경우 환원제를 주입하지 않았을 때 출구에서의 NO 평균농도는 약 1,188 ppm을 나타내어 온도 상승에 따라 NOx의 생성도 매우 증가된 것을 확인할 수 있다.

그러므로 실제로 현장에서 SNCR 반응을 적용하기 위해서는 현재의 소각량을 대폭 줄이거나 온도를 현저히 낮출 수 있는 운전 방법이 요구된다고 할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 시도의 일환으로 현재 보일러와 같은 산업용 연소장치에서 활용되는 연소용 공기에 수분을 첨가한 가습 공기 주입을 고려해 보고자 한다. 이런 방법은 이미 산업용 보일러 등에서는 활용되고 있는 방법으로 연소공기에서 수분이 첨가 되면 연소공기의 비열 증가와 상변화 등에 의하여 최대 화염온도의 감소가 발생하고 화염영역에서 온도의 감소에 따라 NOx 발생량이 실질적으로 감소되는 원리이다. 전반적인 연소효율에 영향을 주지 않는 한도 내에서 가습공기의 현열감소나 잠열의 변화 효과를 NOx 저감에 활용하고자 하는 것이다.^{6,7)}

우선적으로 Fig. 4에서는 발열량의 증가를 감안하여 소각량을 현재의 60%로 저감시킨후 수치해석을 수행하였다. 결과에 나타난 바와 같이 소각로 내부의 온도가 현저히 감소한 것을 볼 수 있으며 그에 따라 온도에 영향을 받는 NO의 생성농도도 감소하였다. 출구에서의 평균 온도는 약 1,041℃로 나타나 원래 소각량을 소각한 경우의 Fig. 3에 비해 약 240℃ 정도 낮아진 것으로 나타났으며 이는 SNCR 방법을 적용하기 적절한 온도 범위에 해당된다. 출구에서 NO 평균농도는 약 605 ppm 정도로 Fig. 3에 비해 약 50% 정도 줄어든 것으로 나타났다.

Fig. 3. Calculation results of MSW with high heating value.

Fig. 4. Calculation results with 60% amount of MSW input.

Fig. 5. Calculation results with 60% amount of MSW input and NH_3 injection as reducing agent.

Fig. 6. Schematic diagram of industrial boiler.

Fig. 5는 Fig. 4의 조건에 SNCR 방법을 적용하여 환원제를 주입하여 해석한 결과이다. 환원제 주입에 따라 소각로 내부 온도분포는 Fig. 4에 비하여 감소하였으며 출구에서의 평균온도는 918°C 로 나타났고, 출구에서의 NO 평균농도는 336 ppm으로 환원제 주입에 따라 NO의 농도가 약 44% 정도 감소한 것으로 나타났다.

그러나 현실적으로 도시마다 처리해야 할 일정량의 폐기물이 있기 때문에 소각량을 갑자기 줄이는 것은 바람직하지 않으므로 가습공기 주입에 대한 해석을 수행해 보았다. 소각로의 결과에 앞서 직접 만든 in-house 코드를 이용하여 산업용 보일러에 가습 공기를 주입하여 좋은 효과를 도출한 결과를 Fig. 7과 8에 나타내었다. 계산에 사용된 산업용 보일러

Fig. 7. Temperature distribution of boiler with change of moisture contents of air.

Fig. 8. NO concentration of boiler with change of moisture contents of air.

의 도식도는 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 7과 8은 가슴공기 주입량에 따른 온도분포와 NO 생성농도 분포를 나타낸 결과이다. Fig. 7은 연소로 내부의 온도분포를 나타낸 결과인데 연소용 공기에 수분함량이 증가할수록 수분에 의한 열량 손실로 인하여 연소로 내부의 온도가 가시적으로 감소하는 것을 볼 수 있다. Fig. 8은 연소로 내부의 NO 생성농도 분포를 나타낸 결과인데 thermal NOx의 생성은 매우 큰 활성화 에너지가 요구되므로 NO 발생량은 고온에서의 온도 변화에 매우 민감하다. 그러므로 당연히 상대적으로 최대 화염온도가 높고 화염길이가 긴 Fig. 7(a)의 경우에 NO생성 농도도 가장 높게 나타났고 수분 주입량을 각각 2, 4, 6, 8, 10%로 증가시킨 경우 출구농도 역시 122.4 ppm, 107.4 ppm, 94 ppm, 81.8 ppm, 70.5 ppm으로 출구온도 감소에 따라 일관성 있게 감소되는 것을 확인할 수 있다.

이러한 산업용 보일러에 대한 사전 연구결과를 바탕으로 도시폐기물 소각로에 가슴공기 주입을 적용해 보았다. Fig. 9는 스토커 소각로의 연소용 공기에 10% 수분을 혼합하여 주

입한 경우의 온도장과 NO 생성농도 분포이다. 속도분포는 연소용 공기만 주입한 경우와 큰 차이 없이 유사하게 나타났다. 온도 분포를 살펴보면 가슴공기를 주입한 경우 전체적인 온도가 감소한 것을 볼 수 있다. 출구의 평균 온도를 비교해 보면 수분을 함유하지 않은 Fig. 3과 비교하여 약 145 °C 낮아져 약 1140 °C 정도로 나타났다. 이는 SNCR 반응이 일어나기에 다소 높은 온도에 해당된다. 출구에서 NO 평균 농도는 약 620 ppm 정도로 나타났다. 이는 가슴공기를 주입하지 않은 경우에 비하여 약 48% 저감된 양이다. 전체적인 분포 경향을 살펴보면 소각량을 감소시킨 경우 스토커의 화격자 부분에 고농도가 형성되고 화격자 부분에서 떨어질수록 농도가 급격히 감소되는 경향을 보였는데 가슴공기를 주입한 경우 화격자 부분부터 농도가 감소되어 출구부분까지 비교적 고른 NO농도분포를 보이는 것을 볼 수 있다.

Fig. 10은 SNCR 반응에 적합한 온도 범위를 형성하기 위하여 연소용 공기에 수분을 증가시켜 20% 수분을 혼합하여 주입한 결과이다. 온도분포를 살펴보면 출구에서의 평균 온도는 약 1,012 °C 정도로 SNCR 반응이 가능한 온도영역으

Fig. 9. Calculation results with 100% amount of MSW input and moisture air (air 90% + moisture 10%).

Fig. 10. Calculation results with 100% amount of MSW input and moisture air (air 80% + moisture 20%).

Fig. 11. Calculation results with 100% amount of MSW input and moisture air (air 80% + moisture 20%) with NH_3 injection as reducing agent.

Fig. 12. Calculation results with 100% amount of MSW input and 2nd moisture air (air 70% + moisture 30%) with NH_3 injection as reducing agent.

Table 1. A summary of calculation results at exit of incinerator

Calculation condition	Exit temp. of incinerator ($^{\circ}\text{C}$)	Exit NO conc. of incinerator (ppm)
100% incineration of MSW (high heating value)	1320	1188
60% incineration of MSW	1041	605
60% incineration of MSW + reduction agent injection (NH_3)	918	396
100% incineration of MSW + 0% moisture air	1140	623
100% incineration of MSW + 20% moisture air	1012	386
100% incineration of MSW + 20% moisture air + reduction agent injection (NH_3)	904	236
100% incineration of MSW + 30% moisture air (only secondary air) + reduction agent injection (NH_3)	884	328

로 나타났다. 출구에서의 NO 평균농도는 386 ppm 정도로 나타났다. 이는 폐기물 소각량을 40% 저감시킨 경우의 출구온도와 유사한 온도로 소각량의 감소 없이 운전할 수 있는 가능성을 보여준 결과로 판단된다. 또한 환원제 주입구의 위치가 대부분 SNCR 반응에 적합한 온도 영역이므로 SNCR 설비의 재가동 고려해 볼 수 있을 것으로 판단된다. 그래서 SNCR 설비의 재가동을 가정하여 환원제를 주입한 후의 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 해석 결과로부터 출구의 평균온도는 904°C 로 나타났으며, 출구에서의 NO 평균농도는 약 236 ppm으로 환원제를 주입하지 않은 경우에 비하여 약 39%의 저감률을 나타냈다.

위의 다양한 운전변수에 대한 출구에서의 평균 계산 결과값을 Table 1에 정리하여 나타내었다.

소각로에서 1차공기는 고체상 폐기물 연소에 기여하고, 2차 공기는 불완전연소를 억제하고 기체상 연소반응의 연소 효율을 높이기 위해 공급되므로 2차 공기에 의한 thermal NO_x 의 생성이 크다. 그래서 1, 2차 공기에 주입했던 수분을 2차 공기에만 수분함량을 증가시켜 30% 첨가하여 주입해 보았다. 결과는 Fig. 12에 나타내었는데 1차 공기에 수분을 공급하지 않았기 때문에 Fig. 11과 비교하여 하부 부분의 온도가 상대적으로 감소가 적어서 하부부분의 NO농도가 높

게 나타난 것을 볼 수 있으며, 2차 공기에 20% 보다 10% 증가시킨 30%의 수분을 주입하여 출구에서의 평균 온도는 오히려 감소된 885°C 를 나타내었다. 그러나 전체적으로는 수분 주입량이 감소하였기 때문에 소각로 내부의 전체적인 온도는 다소 증가하여 생성된 NO 농도가 증가함에 따라 출구에서의 NO 평균농도는 Fig. 11보다 증가한 약 328 ppm을 나타내었다. 향후 2차공기의 수분함량 비와 주입위치 등에 대한 세부적인 변수연구가 더 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 D시의 소각로를 대상으로 최근 도시 폐기물의 고 발열량화에 따른 문제점 및 해결방안에 대한 연구를 수행하고, 부수적인 운전조건을 최적화하여 기존의 운전시설의 활용을 극대화 하기 위한 연구이다.

실험 데이터와의 비교를 통하여 사용한 모델에 대한 검증을 비교적 성공적으로 수행하였으며 다양한 실험 변수에 의한 계산 결과값도 물리적으로 의미 있는 값을 나타냈다. 폐기물의 소각량을 저감하지 않고 고발열량화의 문제를 해결할 수 있는 실질적인 방법으로 연소용 공기에 수분의 양을

10%와 20%로 증가시키며 가습공기를 주입하는 방안을 검토하였다. 그 결과 연소공기의 비열 증가와 상변화 등에 의하여 최대 화염온도의 감소가 발생하여 전반적인 소각로 내부의 온도가 낮아지는 것으로 나타났으며 그에 따라 NO_x 발생량이 실질적으로 감소되는 것으로 나타났다. 특히 가습공기 20% 주입시 기존에 설치되어 있는 SNCR 설비의 환원제 주입구 위치가 대부분 SNCR 반응에 적합한 온도 영역으로 나타나서 현재 고발열량 문제로 전혀 가동하지 못하고 있는 SNCR 설비의 재가동을 고려해 볼 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 대전 녹색환경지원센터에서 시행한 환경기술 연구개발 사업(2010)의 연구비 지원과 환경부의 폐기물에너지화·자원화 전문인력양성사업의 지원에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

KSEE

참고문헌

1. Patankar, S. V., Numerical heat transfer and fluid flow, McGraw-Hill Company(1980).
2. Hinze, J. O., Turbulence, McGraw-Hill Company(1956).
3. Magnussen, B. F. and Hjertager, B. H., "On mathematical modeling of turbulence combustion with special emphasis on soot formation and combustion," sixteenth symposium on combustion institute, Pittsburgh, pp. 719~729(1977).
4. Brouwer, J., Heap, M. P., Pershing, D. W. and Smith, P. J., "A model for prediction of selective non-catalytic reduction of nitrogen oxides by ammonia, urea, and cyanuric acid with mixing limitations in the presence of CO," 26th International Symposium on Combustion, Combustion Institute(1998).
5. William, H. Sun, "Selective non-catalytic NO_x reduction process for Korean utility and industrial boilers and cement kiln," ICIPEC, pp. 377~388(2002).
6. Shin, M. S., "Numerical and Experimental study on the mixing enhancement of reduction material in SNCR system," ICIPEC, pp. 829~840(2002).
7. Shin, M. S., Kim, H. S. and Jang, D. S., "Numerical study on the SNCR application of space-limited industrial boiler," *Appl. Thermal Engin.*, **27**, 2850~2857(2007).