

## Aspen plus를 이용한 산업폐기물 소각로의 배가스 처리 공정 모사

이주호<sup>1</sup>, 정문헌<sup>1</sup>, 권영현<sup>1</sup>, 이강우<sup>2</sup>, 손병현<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>한서대학교 환경공학과, <sup>2</sup>(주) 유성 중앙 연구소

### Simulation of the flue gas treatment processes of an industrial-waste incinerator using Aspen plus

Ju-Ho Lee<sup>1</sup>, Moon-Hun Jung<sup>1</sup>, Young-Hyun Kwon<sup>1</sup>, Gang-Woo Lee<sup>2</sup>  
and Byung-Hyun Shon<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Engineering, Hanseo university

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

**요 약** 최근 들어 지속적인 폐기물 발생량의 증가와 화석 연료 고갈 문제를 해결하기 위해 폐기물을 이용한 열에너지 회수에 대한 관심이 증가 하고 있다. 에너지 회수를 위한 폐기물 처리공정으로 소각이 가장 많이 이용되고 있으나 소각 시 발생하는 대기오염물질을 처리하기 위한 공정 설계 및 설치비용이 많이 소요된다. 본 연구에서는 화학공정을 모사하는 software인 Aspen plus를 이용하여 실제 산업폐기물 소각로와 배가스처리 공정을 모사해 보았다. 소각공정은 폐기물 연소를 위한 1차 연소와 2차 연소, urea를 이용하여 NO<sub>x</sub>를 환원시키는 SNCR공정과 연소시 발생하는 에너지 회수를 위한 스팀 생산 공정으로 구성되어 있다. 연소시 발생하는 산성가스(HCl, SO<sub>2</sub>)를 제거하기위하여 슬러리 상태의 Ca(OH)<sub>2</sub>를 주입하였으며 산성가스 중화시 생성되는 부산물과 ash는 bag filter에서 제거하는 것으로 모사 하였다. 모사결과는 실제 산업폐기물 소각로의 배가스 처리 효율과 비교적 잘 일치하였으며 또한 장래 배가스 처리 시스템의 효율을 예측하는데도 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

**Abstract** The interest on the recovery of thermal energy using the waste has been rising to solve the problems of continuous increase of waste generation and the depletion of the fossil fuel recently. The incineration has been used most popularly as a treatment process of the waste for the energy recovery. However, it is expected that incineration and design cost will increase in the treatment of air contaminant emitted from incinerator. This research has simulated the actual incinerator and the flue gas treatment system using the Aspen plus which is the software to simulate the chemical process. The incineration process is composed of the 1st and 2nd combustor to burn the waste, SNCR process to reduce the NO<sub>x</sub> using the urea, and the steam generation process to save the energy during incineration. The Ca(OH)<sub>2</sub> slurry was used as an acid gas (HCl, SO<sub>2</sub>) treatment materials and the removal efficiency for the products from the neutralization of acid gas in SDA and combustion ash was simulated at the bag filter. The simulation result has been corresponded with the treatment efficiency of emitted gas from the actual industrial waste incinerator and it is presumed to be used to forecast the efficiencies of flue gas treatment system in the future.

**Key Words** : Aspen plus, Incineration, Industrial waste, Flue gas

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

\*교신저자 : 손병현(bhshon@hanseo.ac.kr)

접수일 09년 09월 16일

수정일 (1차 09년 10월 14일, 2차 09년 11월 01일)

게재확정일 09년 11월 12일

### 1. 서론

최근 화석에너지의 비용 증가 및 환경 규제의 강화로 신·재생에너지의 개발 및 보급의 문제가 이슈화 됨에 따라 바이오에너지, 풍력 에너지, 폐기물 에너지에 대한 관심이 증가되고 있다. 이 중 폐기물 에너지는 잠재 가치가 가장 크고 경제적으로 타 에너지원에 비해 우위에 있어 현시점에서 가장 유망한 에너지원이라고 평가되고 있다[1,2]. 2007년 우리나라의 생활폐기물 발생량은 2006년에 비해 3.1% 증가하였으며 이 중 지정폐기물은 13.5%로 그 발생량은 점진적으로 증가하는 추세를 보이고 있다 [3]. 폐기물 처리 방법 중 매립 처리비율이 계속해서 감소하고 있으며 소각에 의한 처리 비율이 점진적으로 증가하는 추세에 있다. 따라서 효율적인 폐기물 소각과 대기 오염물질(SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, HCl, CO, HF, dioxin 등) 제거를 위한 공정의 선택이 매우 중요시 되고 있다. 그러나 배가스 처리 공정이 복잡하고 또한 특정 오염물질의 선택성 등을 고려해야 하므로 최적의 공정을 선택하기란 단순하지가 않고 많은 비용 및 시간이 필요하다. 그러므로 이러한 비용 및 시간을 줄이고 공정선택의 위험요소를 제거하기 위해서는 반드시 공정 모사 프로그램이 필요하다.

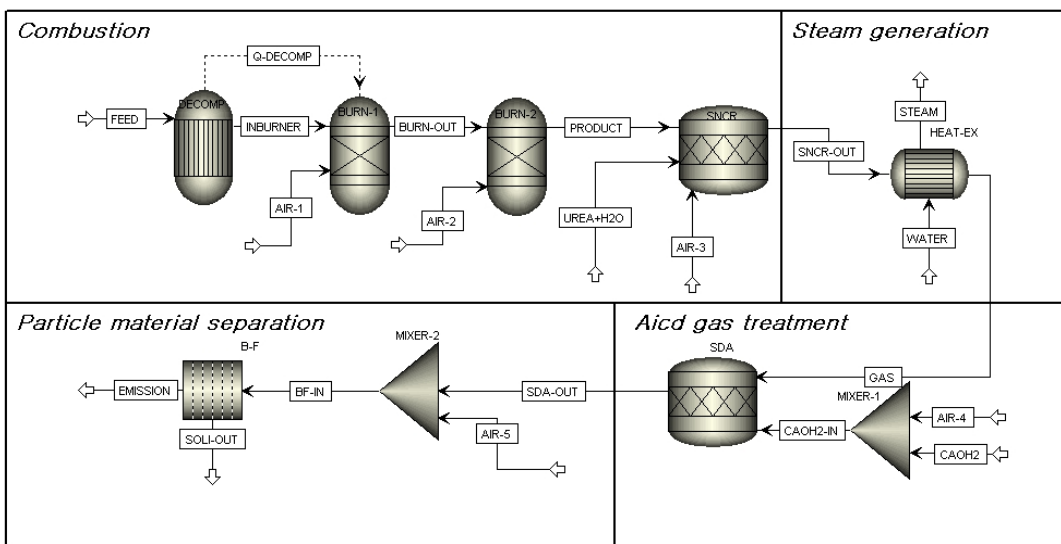
공정 모사는 실제 공정을 조업하지 않고도 실제 plant에 주입되는 원료, 운전 온도, 압력 등 각종 운전 조건을 이용하여 비교적 짧은 시간과 적은 비용으로 실제 공정을 모사 할 수 있고, 실제 plant에서 실험을 할 수 없거나 특정 공정의 한 부분을 변수로 정하여 테스트 할 수 있다는 장점이 있어 현재 많이 이용되고 있다[4,5].

많은 화학공정을 모사 할 수 있는 software로는 Aspen plus, PRO/II, HYSYS, ChemCAD 등이 있으며, 이 중 Aspen plus는 1,500개 이상의 순수 성분에 대한 데이터베이스가 내장 되어 있고 다양한 열역학 모델과 단위조작장치를 모사할 수 있는 모듈이 내장 되어 폐기물 소각처리의 단위 및 복합 공정 모사에 매우 적합하다고 판단된다[6].

본 연구에서는 현재 조업되고 있는 A폐기물 처리업체의 소각로 및 배가스 처리 공정(SNCR, SDA, B/F 등)에 대하여 모사를 한 후 실제 소각로의 설계값 및 오염물질 배출농도를 비교함으로써 본 모사의 유용성을 검증해 보고자 한다.

### 2. 소각 공정

A폐기물 처리 업체 소각로의 처리용량은 1일 95 ton 으로서, 주요한 공정은 연소 부분, 스팀 생산 부분, 유해가스 처리 부분, 입자상 물질 분리 부분으로 구성 되어 있으며 그림 1은 소각장의 주요한 공정을 Aspen plus flowsheet로 나타낸 것이다. 소각로에서 주로 처리하는 폐기물(모사-1)은 폐합성수지류, 폐합성고무류, 폐합성섬유류, 폐유류, 폐유기용제류, 폐종이/천 등이며 조성은 각각 약 30%, 10%, 26%, 5%, 15%, 10%로 구성되어 있다. 표 1은 폐기물의 원소분석, 삼성분 분석, 발열량을 폐기물 조성비에 따른 평균값을 나타내었으며, 이 값을 이용하여 공정모사를 수행 하였다. 또한 공정을 비교하기 위



[그림 1] 폐기물 소각 처리 공정의 배가스 처리 시스템에 대한 flowsheet

하여 폐합성 고무류(모사-1)와 폐합성 섬유류(모사-2)의 조성비가 100%라는 가정하에 동일한 조건으로 공정모사를 실시하였다. Aspen plus는 반응기의 역할에 따라 선택할 수 있는 약 60 종의 block 반응기에서 다른 반응기로 연결해주는 material heat·work stream으로 구성 되어 있으며 공정모사에 이용된 block 설명은 다음 표 2에 나타내었다.

**[표 1]** 폐기물의 물리·화학적 특성

Proximate analysis(wt%)			
	average	sample1	sample2
Moisture	11.86	0.5	7.46
Volatiles	75.02	73.65	67.98
Fixed carbon	10.23	17.81	15.49
Ash	14.75	8.54	16.53
LHV(kcal/kg)	5,522	9,086	4,122
Ultimate analysis(wt%)			
Carbon	58.74	77.65	45.40
Hydrogen	7.73	9.97	5.75
Nitrogen	2.01	1.74	6.46
Chlorine	1.66	1.38	0.11
Sulphur	0.52	0.36	1.08
Oxygen	14.59	0.36	24.67
Ash	14.75	8.54	8.54

## 2.1 연소 부분

폐기물 조각 공정은 연소를 하기 위한 3개의 block(DECOP, BURN-1, BURN-2)과 NO<sub>x</sub>을 제거하기 위한 1개의 block(SNCR)로 구성되어 있다.

### 2.1.1 연소

BURN-1(RGibbs)반응기는 Gibbs의 자유에너지를 최

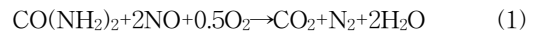
소화하여 화학적 평형을 이루는 반응기로서 1차공기와 함께 연소가 이루어진다. 그러나 구성 물질의 불균일한 폐기물의 특성상 BURN-1 반응기에서 Gibbs의 자유에너지를 직접 계산 할 수 없기 때문에 DECOMP(RYield) 반응기를 통과시킴으로써 폐기물을 구성하는 원소들로 분해되어 Gibbs의 자유에너지를 계산할 수 있고, 분해시 발생하는 열은 다시 BURN-1 block으로 보내져 1차 주입공기와 연소하게 된다. 이렇게 생성된 물질들은 BURN-2 block에서 2차 공기와 반응하여 CO를 CO<sub>2</sub>로 연소 시킨다.

### 2.1.2 NO<sub>x</sub> 제거

SNCR은 촉매를 사용하지 않고 환원제로 NH<sub>3</sub> 또는 urea(CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>)를 이용하여 NO<sub>x</sub>을 제어하는 기술로 적절한 난류의 혼합과 약 850~1000℃의 온도 범위에서 NO<sub>x</sub>를 N<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O로 환원하는 공정이다. 반응온도가 최적의 온도 보다 낮을 경우 NO<sub>x</sub>의 제거 효율 감소 및 NH<sub>3</sub> slip이 발생되고 최적온도 보다 높을 경우 NH<sub>3</sub>가 NO로 산화 되어 NO<sub>x</sub>제거 효율 저하 및 환원제 이용률이 감소하게 된다.

NO<sub>x</sub>의 생성 및 제거는 많은 변수 즉, NSR(Normalized Stoichiometric Ratio), temperature window, 공기비, 로의 구조, 노즐, 소각로 형상 등을 고려해야 되지만 본 연구에서는 Soutudeh -Gharebaagh의 연구결과와 기존의 운영데이터를 통해 화공양론 conversion을 이용하였다[6-9].

본 모사에서는 40%의 urea용액과 물을 혼합하여 양론적으로 필요한 urea 농도를 계산한 후 반응기에 주입하였으며 NO<sub>x</sub>의 제거는 RStoic 반응기에서 다음의 화학양론식 (1)을 이용하여 계산하였다.



**[표 2]** Aspen block 설명

Block(name)	Description	phenomena
RYield(DECOP)	Non-stoichiometrical reactor based on know yield distribution	Combustion
RGibbs(BURN-1)	Rigorous reactor and multiphase equilibrium based on Gibbs free energy minimization	Combustion
RCSTR(BURN-2)	Rigorous continuous stirred tank reactor with rate-controlled reaction based on known kinetics	Combustion
RStoic(SNCR, SDA)	Stoichiometrical reactor based on know fractional conversion	NO, SO <sub>2</sub> , HCl reduction
HeaX(HEAT-EX)	Heat exchanger(boiler)	Steam generation
Mixer(MIXER-1,2)	Use Mixer to combine streams into one stream	Combine streams
FabFI(B-F)	The filter bags work in parallel to separate solid particles from a gas stream	Solid separation

### 2.1.3 CO 산화

CO산화는 Adams Bradley 등[10]이 제안한 kinetic 변수를 이용하였으며, BURN-2에서 다음과 같은 식 (2)에 의해 CO 산화가 이루어진다.



CO 산화의 메커니즘은 다음 식 (3)과 같다.

$$-r_{CO} = \frac{d[CO]}{dt} = k[CO]^a [O_2]^b \quad (3)$$

$$k = A \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (4)$$

$$\frac{d[CO]}{dt} = A[CO]^a [O_2]^b \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (5)$$

식 (5)에서 [CO], [O<sub>2</sub>]는 각각의 CO, O<sub>2</sub> 몰분율을 나타내며, A는 지수앞 인자, E<sub>a</sub>는 활성화 에너지, R은 기체상수, T는 가스 절대온도, 그리고 a, b는 상수를 의미한다.

CO의 산화되는 비율은 국부적인 가스온도에 영향을 받는다는 가정 하에 다음 표 3의 kinetic변수를 이용하였다[10].

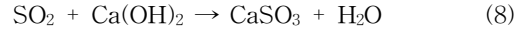
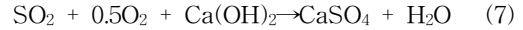
[표 3] CO 산화에 대한 kinetics 변수

변수	T<1150K	T>1150K
A	2.61E+12	6.25E+6
E <sub>a</sub>	45,566	15,968
a	1.0	1.0
b	0.25	0.25

## 2.2 오염물질 제거

### 2.2.1 산성가스 제거

SDA는 폐수의 발생이 없으며 제거율이나 운전비용 및 설치 면에서 습식처리에 비해 경제적이다. 슬러리 상태의 Ca(OH)<sub>2</sub> 분무에 의해 가스상/액상 및 고상 화학 반응으로 산성가스(SO<sub>2</sub>, HCl 등)가 제거되며 Ca(OH)<sub>2</sub>에 의한 CO<sub>2</sub>, HF의 제거량은 매우 적기 때문에 고려하지 않았다. RStoic 반응기에서 산성가스의 제거는 화학양론을 이용해 계산하였으며, 화학 반응식은 다음과 같다[11].



### 2.2.2 입자상물질 제거

일반적으로 SDA는 Ca(OH)<sub>2</sub> 슬러리를 분사함으로써 SO<sub>2</sub>, HCl 제거 시 많은 양의 부산물(CaSO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub>, CaCl<sub>2</sub>)을 발생시킨다. 이 부산물과 다른 입자상물질을 제거 하기 위해 bag filter를 연계하여 사용한다[4]. Bag filter의 모사에서는 탈진을 위한 최대 압력 강하와 입경 분포를 이용하여 모사하였으며, 본 연구에서 사용한 입경 분포는 표 4와 같다.

[표 4] 폐기물 ash의 입경분포(μm)

Interval	Lower limit	Upper limit	weight fraction
1	0	1	0.1
2	1	2	0.1
3	2	4	0.2
4	4	8	0.2
5	8	16	0.2
6	16	32	0.2

## 3. 결과 및 고찰

폐기물의 물리 화학적(삼성분석, 원소분석, 입경분포 등) 조성 및 각종 조업변수를 바탕으로 소각공정을 모사하였다. 표 5는 공정의 흐름에 따른 각 물질의 농도변화를 나타낸 것이다. 산성가스 처리 하는 공정에서 발생하는 부산물인 CaSO<sub>4</sub>, CaCl<sub>2</sub>, CaSO<sub>3</sub>는 고형화 되어 SDA에서 일부 제거되지만 본 연구에서는 ash와 동일한 입경 분포를 갖는다는 가정 하에 bag filter에서 제거 되는 것으로 모사하였다.

NO<sub>x</sub>의 제거는 내화벽의 높이, 반응 온도, 요소의 액적의 궤적 등의 요인으로 인해 65.3%에서 87%이상의 효율을 나타 낼 수 있으나 대상의 A소각업체의 SNCR의 운영 조건에 따라 화학양론을 이용한 계산을 하였다[12]. SDA에서 Ca(OH)<sub>2</sub>를 흡수제로 사용하는 경우 HCl, HF, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> 등의 산성가스가 흡착제거 되지만 HF와 CO<sub>2</sub>의 경우 반응의 비중이 적어 고려하지 않았다. 일반적으로 온도 130℃~170℃범위에서 HCl과 SO<sub>2</sub>의 제거율은 60.9%~

[표 5] Aspen plus stream 구성

	FEED	BURN1-OUT	PRODUCT	SNCR-OUT	SDA-OUT	SOLI-OUT	EMISSION
Temperature(℃)	25	1207.75	911.73	878.18	112.59	98.29	98.29
Pressure(bar)	1.01	1.01	1.96	1.01	1.01	4.87	4.87
Stream(kg/hr)							
H <sub>2</sub> O	-	2864.87	2864.89	3547.42	4522.74	-	4522.74
N <sub>2</sub>	-	36047.62	51997.98	52168.58	52963.73	-	54389.13
O <sub>2</sub>	-	5302.69	10131.72	10178.49	10449.29	-	10941.14
NO	-	40.97	10.85	2.17	2.17	-	2.17
SO <sub>2</sub>	-	35.8	31.73	31.73	3.17	-	3.17
Cl <sub>2</sub>	-	0.01	0.07	0.07	0.07	-	0.07
HCl	-	59.55	59.49	59.49	0.59	-	0.59
CO	-	0.06	<0.01	<0.01	<0.01	-	<0.01
CaSO <sub>4</sub>	-	-	-	-	30.34	30.31	0.03
CaCl <sub>2</sub>	-	-	-	-	104.19	104.10	0.09
CaSO <sub>3</sub>	-	-	-	-	26.77	26.75	0.02
Ash	-	514.61	514.61	514.61	514.61	499.64	14.97
Waste	3958.3	-	-	-	-	-	-

[표 6] 폐기물 소각로의 측정값과 모사값의 비교

구분	CO(kg/hr)	HCl(kg/hr)	SO <sub>2</sub> (kg/hr)	NO <sub>x</sub> (kg/hr)	ash(kg/hr)	steam(m <sup>3</sup> /day)	
측정	최대값	2.34	0.66	3.88	6.84	0.64	14
	최소값	0.35	N.D	3.17	4.56	0.37	10
	평균값	1.37	0.48	3.45	5.67	0.48	12.5
모사	모사-1	1.24	0.59	3.17	2.17	14.97	13
	모사-2	7.48	0.59	2.82	208.34	9.79	-
	모사-3	0.02	0.04	8.10	6.66	18.94	-

99%로 온도가 낮아질수록 제거효율이 좋아지는 것으로 알려져 있다[13,14]. 이 외에도 오염물질과 소석회의 몰비인 MER(Moral Equivalence Ratio)과 소각장 운영데이터를 이용하여 모사하였다.

$$MER = \frac{Ca(OH)_2 \text{ mole}}{(HCl + SO_2) \text{ mole}} \quad (9)$$

다음 표 6는 Aspen plus의 simulation 데이터[모사-1]와 실제 소각로의 운영데이터 중 연돌에서 배출되는 오염물질의 농도를 4회 측정하여 최대값과 최소값 및 평균값을 비교하여 나타낸 것이다.

HCl과 SO<sub>2</sub>는 실제 측정 결과와 비교하여 거의 유사한 값이 나왔으나 NO<sub>x</sub>와 CO의 경우에는 약간의 오차를 보였다. 이는 모사에 사용한 자료와 실제 소각로에 유입되는 산업폐기물의 성상(발열량 등) 및 조업 조건(공기비 등)의 변동에 기인하는 것으로 판단된다. 차후 NO<sub>x</sub>생성 및 제거에 대한 reaction kinetic의 개선을 통해 개선 될 것으로 사료된다. Ash의 경우 가장 큰 오차를 보였는데 이는 A폐기물 처리업체의 실제 소각로에서는 2차연소실

과 폐열보일러 사이에 일종의 중력침강실 형태의 제진시설을 설치하여 조대한 입자의 폐열보일러로의 유입을 차단하는 시설을 두었으나 본 모사에서는 이를 고려하지 않았으며 또한 SDA에서 HCl과 SO<sub>2</sub>의 제거 시 발생하는 고히물입자(CaSO<sub>4</sub>, CaSO<sub>3</sub>, CaCl<sub>2</sub> 등) 중 일부는 SDA 내부에서 제거되지만 본 모사에서는 이를 고려하지 않아 생긴 오차라고 사료된다. 이는 향후 ash의 실제 입경분포 분석, 2차 연소실과 폐열보일러사이의 제진시설 및 SDA의 제진 특성에 대한 특성을 모사시 고려하면 개선 될 수 있을 것이라고 판단된다. A소각장의 스팀 생산은 폐기물의 조성 및 투입량이 매우 유동적이며 발생하는 스팀량도 유동적이나 일반적으로 평균 10 m<sup>3</sup>/day가 생산된다. 설계데이터로 스팀의 발생량을 예측한 결과 13 m<sup>3</sup>/day로 나타나 실제의 조업값과 유사한 결과를 얻었다. 설계와 모사-3은 실제 조업중인 소각로에서 진행되고 있지는 않지만 두 가지 경우를 가정하여 모사한 예이다. 설계의 경우 높은 NO<sub>x</sub>의 발생을 관찰할 수 있는데 이는 폐합성고무류의 높은 발열량으로 인해 로내 온도가 1,300℃ 이상으로 유지되어 다량의 thermal NO<sub>x</sub>가 발생한 것으로 판단된다. 모사-3(폐합성 섬유류)는 원료 자체의 황함량이

높아 SO<sub>2</sub>의 배출량이 증가한 것으로 판단되며 이와 같이 투입 되는 폐기물의 조성비나 조건의 변경 될 경우 사전에 모델링을 함으로써 공정 중화제나 환원제 투입, 투입 폐기물의 투입 조성비 조절을 통해 효율적인 공정 운영을 할 수 있을 것이라 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 산업단지에서 발생하는 폐기물 처리 소각로에 대하여 폐기물의 물리·화학적 조성, 소각로 설계 데이터 및 조업데이터를 바탕으로 소각 공정 및 배가스 처리장치에 대하여 Aspen plus를 이용하여 모사해 보았으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 실제 소각로의 HCl, SO<sub>2</sub>의 평균 배출농도는 각각 0.48kg/hr와 3.45kg/hr이었으며, 모사 결과값인 0.59kg/hr, 3.17kg/hr과 유사한 값을 얻었다. 또한 대상 소각로의 실제 스팀생산량과 모사 결과값은 각각 12.5m<sup>3</sup>/day와 13m<sup>3</sup>/day로 나타나 유사한 결과를 얻었다. 그러나 CO와 NO<sub>x</sub>의 경우 배출농도와 모사값 사이에 약간의 오차가 발생하였는데 이는 모사에 사용한 폐기물 조성과 실제 소각로에서 소각되는 산업폐기물의 조성 차이에 기인한 발열량과 과잉공기비 차이 때문으로 판단된다.
2. 본 모사는 실제 소각로에서 배출되는 오염물질 농도를 확인해 볼 수 있으며 또한 소각로의 조업 변수가 달라질 경우 실제 소각로를 조업하지 않고도 배출오염물질의 종류와 농도를 예측해 볼 수 있으므로 매우 유용한 수단이라고 여겨진다.

#### 참고문헌

[1] 손병현, 이주호, 정문현, 김민철, 고주현, 박홍석, 이강우, “산업단지에서 배출되는 폐 유기성 슬러지의 열적 특성-제지업 및 음식료업을 중심으로-”, 한국산학기술학회논문지, 9(5), 1359-1367, 2008.

[2] 김민철, 이강우, 이만식, 손병현, “화학제품제조업에서 배출되는 폐 유기성슬러지의 열적 특성” 한국산학기술학회논문지, 9(6), 1745-1753, 2008.

[3] 환경부 “2008 환경백서”.

[4] 조정호 “Aspen plus를 이용한 화학공정의 모사”, 2001.

[5] Silvano Cimini, Marina Prisciandaro, Diego Barba, “Simulation of a waste incineration process with flue-gas cleaning and heat recovery sections using

Aspen Plus”, Waste Management, 171-175(25) 2005.

[6] E. Jannelli, M. Minutillo, “Simulation of the flue gas cleaning system of an RDF incineration power plant”, Waste management, 27, 684-690, 2007.

[7] Aspen Plus User Guide, Aspen Technology.

[8] 신미수, 김혜숙, 장동순, “산업용 보일러의 질소산화물 제어를 위한 SNCR 적용 연구”, 대한환경공학회지, 286~292, 2005.

[9] Soutudeh-Gharebaagh, R., Legros, R., Chaouki, J., Paris, J., “Simulation of circulating fluidized bed reactors using ASPEN PLUS”, Fuel, 327-337(4), 1998.

[10] Adams Bradley, R., Cremer Marc, A., Wang Dave, H., “Modeling non-equilibrium CO oxidation in combustion systems”, International Mechanical Engineering Congress & Exposition 5-10, 2000.

[11] 박기호, 김병환, 이의신 “반건식 세정법에 의한 소각 배가스처리 실증 플랜트 운전” 대한폐기물학회지 제22권, 제 7호, 161-171 2001.

[12] 이각로, 엄태인, 채종성, 민동예, 문승현, 현주수 “상용소각로에서 SNCR를 이용한 NO<sub>x</sub> 제거를 위한 수치해석적 연구” 한밭대학교 환경공학과, 한국에너지기술 연구원.

[13] 배병훈, 최금찬, 임경택 “반건식-백필터에 의한 소각 배가스 중의 HCl, SO<sub>x</sub> 제거(I)” 대한환경공학회지, 1279-1288, 19, 1997.

[14] M. Tayyeb javed, Naseem Irfan, B.M. Gibbs, “Control of combustion-generated nitrogen oxides by selective non-catalytic reduction” Journal of Environmental Management, 251-289(83), 2007.

이 주 호(Ju-Ho Lee)

[정회원]



- 2008년 2월 : 한서대학교 환경공학과 (공학사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과 석사과정

<관심분야>

유해가스처리, 산업폐기물처리

**정 문 현(Moon-Heon Jeong)**

[정회원]



- 2008년 2월 : 한서대학교 환경공학과 (공학사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과 석사과정

<관심분야>

유해가스처리, 산업폐기물처리

**손 병 현(Byung-hyun Shon)**

[정회원]



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

<관심분야>

대기오염제어(탈황 및 탈질), 폐기물처리, 이산화탄소 흡수, 대기화학

**권 영 현(Young-Hyun Kwon)**

[정회원]



- 2008년 2월 : 한서대학교 환경공학과 (공학사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과 석사과정

<관심분야>

유해가스처리, 산업폐기물처리

**이 강 우(Gang-woo Lee)**

[정회원]



- 1995년 8월 : 부산대학교 환경공학과 (공학석사)
- 2002년 8월 : 부산대학교 환경공학과 (공학박사)
- 2004년 7월 ~ 현재 : (주) 유성중앙연구소 소장

<관심분야>

산업폐기물처리, 소각로 해석 및 설계, 유해가스처리