

## 저공해 스토커형 도시폐기물 소각로 설계를 위한 열유동 수치해석 연구

전 영 남<sup>\*</sup> · 송 형 운 · 김 미 환  
<sup>\*</sup>조선대학교 환경공학부 · 조선대학교 환경공학부 대학원  
(2002년 1월 25일 접수; 2002년 6월 17일 채택)

## The Study of Numerical Simulation on the Thermal Flow Performance for the Design of Low Emission Stoker Type Municipal Waste Incinerator

Young-Nam Chun<sup>\*</sup>, Hyoung-Oon Song and Mi-Hwan Kim

<sup>\*</sup>Dept. of Environmental Engineering, Chosun University, Kwangju 501-759, Korea  
Dept. of Environmental Engineering, Graduate School, Chosun University, Kwangju 501-759, Korea  
(Manuscript received 25 January, 2002; accepted 17 June, 2002)

A Numerical simulation on the thermal flow performance was carried out to propose the incinerator type for the domestic refuses and to investigate the design factor and operating conditions. The SSTI(Standard Stoker Type Incinerator) proposed in this study was modified from the type with central flow. It has the characteristics of good mixing between refuse and hot combustion gas in primary combustion chamber and between unburned gas inflowing and secondary air jet in secondary chamber.

By predictive results, the SSTI was no recirculation zone in secondary chamber so that mixing time was increased with high residence time. It has good characteristics of combustion and low emission. Parametric screening studies have been understood with phenomenon of combustion in incinerator.

Key words : Stoker, Incinerator, Combustion, Numerical simulation, Thermal flow

### 1. 서 론

현대사회가 다변화되면서 도시 폐기물의 양이 증가하여 폐기물 처리는 이제 심각한 사회문제가 되었다. 이에 폐기물을 감량화시키고 폐열도 이용할 수 있는 소각처리에 대한 관심이 증대되면서 도시 폐기물 처리에 소각이 차지하는 비중이 점차 증가되는 추세에 있다. 하지만 소각로에 주입되는 연료의 성상이 균일하지 못해 폐기물의 불완전 연소에 의한 유해 중간생성물들의 발생이 논란이 되고 있어 이를 제어하기 위해 소각로내 폐기물의 연소과정에서 공기의 혼합률을 높이고 고온영역에서의 체류시간을 증가시키는 등의 저공해 소각을 위한 많

은 연구가 진행되어 왔다.

Ravichandran과 Gouldin<sup>1)</sup>은 수치적 방법으로 화격자식 소각로에 대해 냉간유동 수치모사를 수행하여 2차 연소용 공기의 주입이 노내 혼합율을 증진시킴을 보였다. Nasserzadeh 등<sup>2)</sup>은 영국의 Sheffield시의 도시 폐기물 소각로를 대상으로 기존의 소각로 형상을 변경한 여러 가지 모델들을 수치적 방법으로 모사하여 연소효율 및 열전달율이 향상된 모델을 제시하였다. 국내의 경우는 신 등<sup>3)</sup>이 파일로트 플랜트에서 수치적, 실험적 연구를 통해 소각로의 저공해화를 위한 연구를 수행하였다. 하지만 국내에 설치 가동중인 대부분의 도시 폐기물 소각로의 경우 외국기술에 의존하고 있는 상황인데 국내 폐기물 소각에 직접 적용한 경우 운전이 많은 어려움이 있으므로 국내 자체 기술에 의한 저공해 스토커형 도시 폐기물 소각로 개발이 필요한 실정이다. 이에 김<sup>4)</sup> 등은 도시 폐기물 소각로 구조 및 성능 평가 기

Corresponding Author : Young-Nam Chun, Dept. of Environmental Engineering, Chosun University, Kwangju, 501-759, Korea  
Phone : +82-62-230-7156  
E-mail : ynchun@chosun.ac.kr

준을 마련하기 위하여 상용 코드를 이용하여 소각로내의 연소가스의 흐름, 체류시간, 온도분포등을 지표로 소각로 구조 및 성능의 특성을 분석하였고, 이<sup>5)</sup> 등은 향후 건설 예정인 상업용 소각로 연소실의 성능 예측 및 개선점을 찾기 위한 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 스토커형 도시 폐기물 소각로를 개발하기 위하여 수치모사를 통해 소각로 내의 열유동 특성을 파악하여 연소효율과 열전달율이 향상된 저공해·고효율 소각로 모델을 제안하였으며, 연소특성에 영향을 주는 변수에 대해 수치해석적 연구를 수행하였다.

## 2. 연구내용 및 방법

### 2.1. 소각로 연소실 구성

도시 폐기물 소각로의 연소실 설계에서 연소실 내부의 열유동 현상에 대한 충분한 이해를 바탕으로 최적 연소상황을 창출할 수 있는 조건을 찾아내기 위하여 단순화한 모형을 바탕으로 소각로내의 열유동 형태를 파악하는 것이 중요하다. 이에 소각로 연소실의 구성은 고수분 및 저발열량의 특성을 가진 국내 폐기물 특성에 맞도록 변형된 중간류식 스토커 소각로를 Fig. 1과 같이 제안하여 연구를 수행하였다. 또한 소각로내의 2차원적인 열유동 해석을 위하여 폭방향에 영향을 무시하고자 폭을 좁게 하였으며 수치해석을 위한 모델로 제안되어진 소각로를 기준 스토커형 소각로(SSTI : Standard Stoker Type Incinerator)라 하였다.

화격자는 건조영역(drying zone), 연소영역(burning zone), 후연소영역(after burning zone)으로 구분된 계단식 화격자이다. 2차 연소실은 오른쪽 상·하단에 굴곡을 주었는데 하단의 굴곡은 후연소부에서의 체류시간을 늘려주고 복사열전달을 증진시키며 상단의 굴곡은 2차연소실의 재순환영역을 제거하고 대류부 입구의 성층화를 줄이며 고속에 의한 분진이월을 방지하는 효과를 가져온다. 연소실로 공급되는 연소용 공기는 1차와 2차로 나뉘어 공급되며 1차 연소공기는 건조영역(MD), 주연소영역(MB1, MB2), 후연소영역(MA1, MA2)에 각각 한 개 또는 둘 이상의 부위로 나누어져 적절한 유량으로 주입된다. 그리고 2차공기는 건조부 상단(SA1), 후연소부 상단(SA2)과 2차연소실 굴곡부 우측벽면(SA3)의 각각 3곳에서 동일한 직경을 가진 원형 유입구를 통해 고속분사된다.

### 2.2. 수치해석 모델 및 방법

#### 2.2.1. 연소모델

연소모델은 고체 폐기물이 매우 빠르게 탈휘(de-

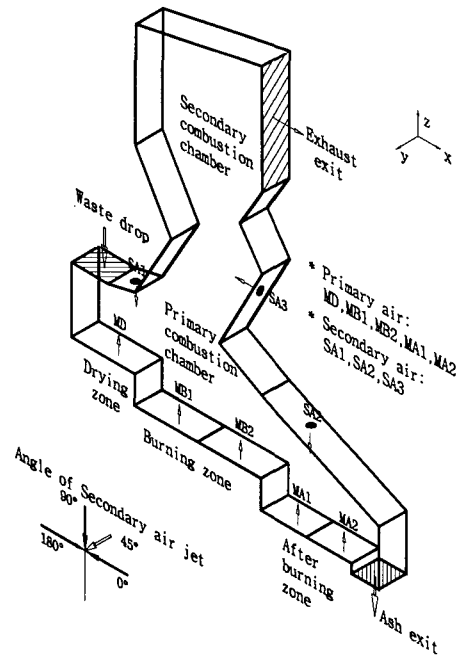
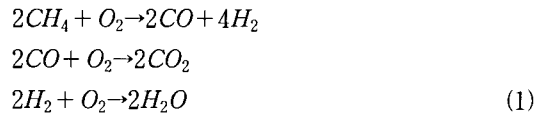


Fig. 1. Schematic of combustion chamber of SSTI.

volatilization)되어 대부분이 메탄가스로 전환되는 것으로 가정하고 2단계 3가지 반응(two-step three reaction)으로 이루어진 유한반응모델(finite-rate chemistry model)인 ESCRS(extended simple chemically-reacting system)를 사용하였다.



각각의 반응율( $w_i$ )은 Magnussen과 Hjertager<sup>6)</sup>가 제안한 반응모델을 이용하였으며 다음 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned}
 w_i = \text{minimum of } & \left| \rho A m_i \frac{\varepsilon}{k} \right., \\
 & \left. \rho A \frac{m_{ox}}{s} \frac{\varepsilon}{k}, \rho A \frac{m_{pr}}{1+s} \frac{\varepsilon}{k} \right|
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

여기서,  $\rho$ 는 시간평균 밀도,  $s$ 는 연료의 단위 질량당 화학양론적인 산화제의 요구량,  $m_i$ 는 각각  $CH_4$ ,  $CO$ ,  $H_2$ 의 질량분율,  $m_{ox}$ 는 산화제의 질량분율,  $m_{pr}$ 은 생성물의 질량분율이다.  $A$ 와  $A'$ 은 Lockwood<sup>7)</sup> 등이 제시한 경험상수로 4.0 이다. 화학종의 비열, 밀도, 온도는 CHEMKIN의 열역학 데이터를 이용하여 계산하였다.

Table 1. Expression of  $\Gamma_\phi$  and  $S_\phi$  for enthalpy and species mass fraction

$\phi$	$\Gamma_\phi$	$S_\phi$
$m_{CH_4}$	$\frac{\mu_{eff}}{\sigma_{CH_4}}$	$w_{CH_4}$
$m_{CO}$	$\frac{\mu_{eff}}{\sigma_{CO}}$	$w_{CO}$
$m_{H_2}$	$\frac{\mu_{eff}}{\sigma_{H_2}}$	$w_{H_2}$
$h$	$\frac{\mu_{eff}}{\sigma_h}$	$(m_{CH_4}H_{CH_4} + m_{CO}H_{CO} + m_{H_2}H_{H_2}) - S_{rad}^*$

$S_{rad}^*$  is in equation(7)  
 Constant in combustion models  
 $\sigma_{CH_4} = \sigma_{CO} = \sigma_{H_2} = \sigma_h = 0.9$

Table 1에는 ESCRS 연소모델을 사용하여 일반 지배방정식(9)를 계산할 경우의 변수들을 나타내었다. 평형 난류연소모델에서  $\Gamma_\phi$ 와  $S_\phi$ 는 각각  $\phi$ 에 대한 확산계수와 생성항이며  $\sigma$ 는 Schmidt수이다.

### 2.2.2. 복사모델

연소시 발생하는 연소 생성물 중  $CO_2$ ,  $H_2O$ 는 강한 흡수(absorber) 및 방사체(emitter)이지만 산란복사(scatter radiation)는 거의 없다. 또한  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2$ 는 흡수가 거의 없이 복사열전달이 이루어진다. 본 연구에서 사용한 Radiosity 복사모델은 Spalding<sup>8)</sup>에 의해 제안되어진 것으로 P-1 구조화 근사법(P-1 spherical-harmonics approximation)에서 복사강도(radiation intensity)가 RTEs(radiative transfer equations)에 사용된 것과 같다.

복사유속( $R$ )은 복사지배방정식인 식(3)에서 구한다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \frac{4}{3} (a+s) \frac{\partial R}{\partial x_i} \right] + 4a(E-R) = 0 \quad (3)$$

흡수계수(absorption coefficient;  $a$ )와 산란계수(scattering coefficient;  $s$ )는  $1.45 \text{ m}^{-1}$  와  $0 \text{ m}^{-1}$ 를 적용하였다. 또한  $E$ 는 흑체방사력(black-body emissive power)으로 식(4)와 같다.

$$E = \sigma T^4 \quad (4)$$

여기서,  $\sigma$ 는 Stefan-Boltzmann 상수 (즉,  $5.6678 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$ ) 이고,  $T$ 는 유체 절대온도이다.

정미복사 열유속(net radiative heat fluxes)은 다음 식(5)와 같다.

$$Q_{ri} = - \left[ \frac{4}{3} \frac{1}{(a+s)} \right] \frac{\partial R}{\partial x_i} \quad (5)$$

여기서,  $Q_{ri}$ 는  $i$  방향의 열유속 벡터이다.

복사 열전달에 의한 열손실을 고려하기 위해 에너지 방정식의 생성항에 아래 식(6)이 적용된다.

$$S_{rad} = - \frac{\partial Q_{ri}}{\partial x_i} \quad (6)$$

여기서,  $S_{rad}$ 는 단위 부피당 열원(volumetric energy source)이다.

따라서 생성항은 식(6)에 식(5)를 대입하여 정리하면 식(7)과 같다.

$$S_{rad} = 4a[R-E] \quad (7)$$

### 2.2.3. 국부 체류시간

성상이 불균일한 폐기물을 완전하게 소각하기 위해서는 소각로내에서의 국부체류시간(local residence time)은 중요하다. 국부체류시간은 일반 지배방정식(9)의 종속변수  $\phi$ 를 국부체류시간  $t$ 로 하고, 생성항  $S_\phi$ 는 식(8)과 같이하여 계산한다.

$$S_\phi = \Delta t \sum_j \dot{m}_{inj} = \frac{\rho Vol}{\sum_j \dot{m}_{inj}} \sum_j \dot{m}_{inj} = \rho Vol \quad (8)$$

여기서,  $Vol$ 은 셀의 체적,  $\dot{m}_{inj}$ 는  $j$ 면을 통하여 셀에 유입되는 질량 유량,  $\sum$ 는 모든 면에서의 합을 의미한다.

### 2.2.4. 수치해석방법

질량, 운동량, 에너지, 난류 에너지, 복사 열유속, 화학종 농도는 다음 식(9)와 같이 2차 편미분 지배방정식으로 일반화 된다.

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j \phi) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) + S_\phi \quad (9)$$

위 식에서  $\phi$ 는 일반적인 종속변수로서 속도성분 ( $u, v, w$ ), 압력 ( $p$ ), 엔탈피 ( $h$ ), 화학종의 질량분율 ( $m_{CH_4}, m_{O_2}, m_{CO_2}, m_{H_2O}, m_{CO}, m_{H_2}$ ) 및 난류 에너지 ( $k, \epsilon$ ), 온도 ( $T$ ), 복사열유속 ( $R$ ), 체류시간 ( $t$ )이다.

일반적인 2차 편미분 지배방정식의 해를 얻기 위해서는 검사체적에 기초한 유한차분법(control-volume based finite difference method)을 이용하여 선형적인 이산화방정식을 유도하였다. 이 방정식의 해는 line-by-line TDMA(tridiagonal matrix algorithm)에 의해 구하였으며 압력-속도의 상호연계 방법으로는 빠른 수렴을 위하여 SIMPLE(Semi-Implicit

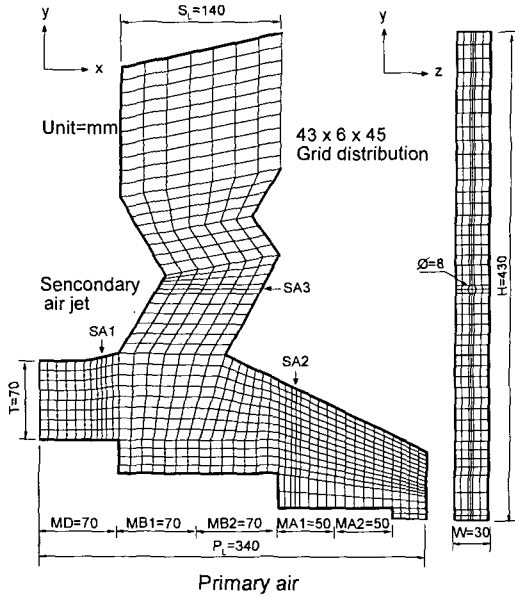


Fig. 2. Computational grid generation and physical dimensions.

Methods for Pressure-Linked Equation)에 의해 변형된 SIMPLEST 알고리즘을 사용하였고, 격자점 사이에서 임의의 함수값 보정은 Power-law Scheme에 의해 실행되었다. 소각로의 난류 수치모사를 위하여  $k-\epsilon$  모델을 사용하였다. 복사열유속의 계산시에는 대류항이 생략되며, 체류시간을 계산할 경우는 유체의 대류에만 관련되므로 확산항이 생략된다. 그리고 Fig. 2에 SSTI의 크기를 나타내었으며, 최적의 계산격자를 형성하고자 BFC 좌표계를 적용하였고 격자의 개수는 길이, 폭, 높이 방향으로 각각 43, 6, 45개이다.

### 2.2.5. 입구 경계조건

본 연구에서 주입 폐기물은 매우 빠르게 탈휘(devolatilization)되는 것으로 가정하고 광주광역에서 발생한 도시 폐기물의 저위발열량에 해당하는 메탄가스로 단순화하여 노내의 연소현상을 수치모사하였다.

Table 2는 소각로에 주입되는 연소공기의 입구 경계조건을 나타낸 것이다. Model R은 SSTI의 기준 운전조건이고 연소공기는 1차 공기와 2차 공기로 각각 72%와 28%로 나누어 연소실로 주입하였으며 1차 공기의 예열온도는 150°C이고 2차 공기는 20°C의 상온으로 주입하였다. 소각로 형상의 변화없이 소각시 연소와 저공해 특성에 영향을 주는 주요 변수를 연구변수로 선정하였다. Model A는 1차 공기비의 변화, Model B는 1차 공기 예열온도의 변화,

Table 2. Conditions of parametric screening study

Model	R	A	B	C	
Excess air	1.22	1.4	1.22	1.22	
Preheating temperature(°C)	PA	150	150	300	150
	SA	20	20	20	20
Air flowrate division of grate(%)	PD	16.6	16.6	16.6	16.6
	PB1	23.4	23.4	23.4	23.4
	PB2	23.4	23.4	23.4	23.4
	PA1	5.7	5.7	5.7	5.7
	PA2	2.9	2.9	2.9	2.9
Injection angle( $\theta$ )	SA1	90	90	90	45
	SA2	90	90	90	45
	SA3	0	0	0	0

Model C는 2차 공기 분사각의 변화를 나타낸 것이다. 1차 공기는 실제 화격자에서 분사되는 것으로 근사시키기 위해 화격자의 기공률(porosity)을 0.4로 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 기준 스토커형 소각로

수분을 다량 함유하고 그 성상이 복잡한 국내 쓰레기의 저공해 및 고효율 소각이 가능한 변형된 중간류식 소각로 형태인 SSTI를 모델로하여 연구를 수행하였다. 이 소각로는 계단식 화격자로 폐기물이 각 영역을 이동하면서 각단의 낙차에 의한 교반 및 혼합이 가능하여 건조와 연소가 촉진되어질 수 있다.

Fig. 3은 기준 스토커형 소각로 내의 속도벡터와 유선을 나타낸 것이다.

Fig. 3(a)의 속도벡터를 보면 2차 공기 주입구에서 분사된 공기는 고속으로 인한 큰 모우멘텀을 가지므로 연소실내 가연성 가스와 연소공기의 급격한 혼합이 된다. 1차 연소실에서 분사되는 2차 공기 SA1, SA2의 영향으로 건조영역과 후연소영역에서 발생한 저온의 미연가스들이 주연소영역에 고온의 주화염대를 통과하게 된다. 그리고 1차 연소실에 발생한 연소가스들은 2차 연소실의 높이방향 중심부분에서 분사되는 2차 공기 SA3에 의해 주유동이 좌측벽면으로 치우쳐서 흐르게 되므로 2차 연소실에서의 체류시간이 길어지게 되어 미연성분의 완전연소를 이룰 수 있다.

Fig. 3(b)는 유선을 나타낸 것이다. 2차 연소실에서는 재순환영역의 고찰이 대단히 중요하다. 재순환영역은 데드존에 의한 상대적인 고속부가 형성되기 때문에 연소가스들이 완전연소되기 위한 충분한 체

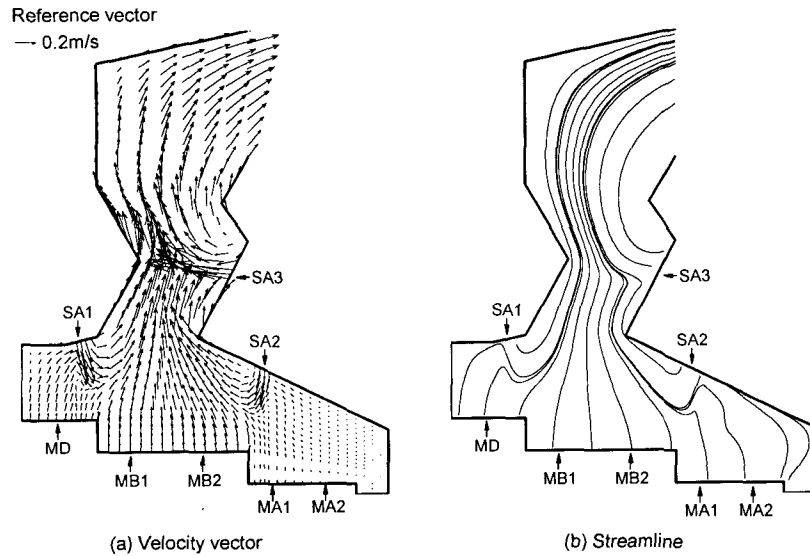


Fig. 3. Velocity vector and Streamline plot in combustion chamber.

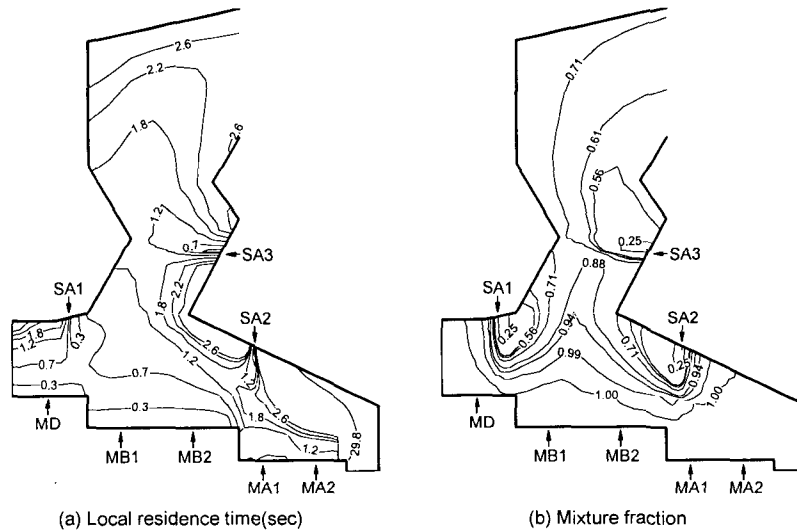


Fig. 4. Local residence time and mixture fraction contours in combustion chamber.

류시간을 얻을 수 없다. 본 소각로는 2차 공기인 SA3를 수평방향으로 분사함으로써 2차 연소실에 불필요한 재순환영역의 형성을 억제하여 연소가스에 체류시간을 늘려줌으로써 완전연소를 도모하게 된다.

Fig. 4는 국부 체류시간과 혼합율을 나타낸 것이다.

Fig. 4(a)는 소각로 내의 국부 체류시간을 나타낸 것으로 국부 체류시간은 식(8)의 생성항에서도 알 수 있듯이 미소체적에 대하여 질량유량으로 계산한 값이고 제어체적의 크기에 따라 값이 다소 변

하므로 절대값의 의미는 크지 않으나 SSTI의 국부 위치에 대한 체류시간 분포를 알 수 있다. 2차 연소실 측벽에 위치한 2차공기 SA3에 의해 1차 연소실에서 발생한 연소가스가 2차 연소실에서 체류하는 시간이 2초 이상을 유지하고 있으므로 국내 폐기물 관리법상의 우수연소방안<sup>9)</sup>으로 제시한 조건을 만족하고 있다. 이는 미연가스가 2차 연소실에 2차공기 SA3와 강하게 혼합되어 완전연소될 수 있는 시간적 여유를 가지게 되어 불완전 연소생성물의 발생을 저감할 수 있다.

Fig. 4(b)는 화격자에서 분사되는 연소가스와 2차

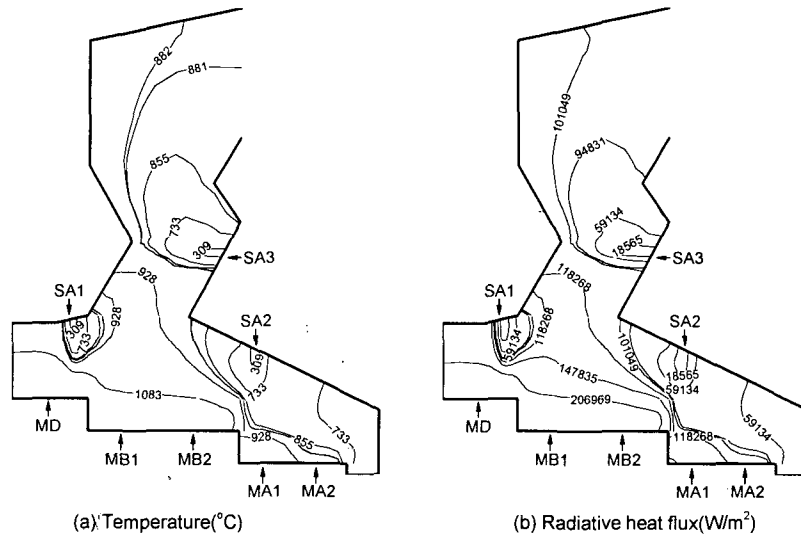


Fig. 5. Temperature and radiative heat flux contours in combustion chamber.

공기간의 혼합정도를 나타낸 것이다. 스토커형 소각로에서는 2차 공기의 분사로 인해 가연성가스와 연소공기간에 혼합을 촉진하며 연소가스의 흐름에 큰 영향을 주고 있다. SSTI는 2차 공기가 주연소영역의 주화염대와 2차 연소실 전반에 걸쳐 연소가스와 혼합이 크게 이루어지고 있어 안정된 연소가 진행될 것이다.

Fig. 5는 소각로내의 온도 분포와 복사열 전달에 의한 열플럭스를 나타낸 것이다.

Fig. 5(a)는 연소가스의 온도분포를 나타낸 것이다. 국내 폐기물은 수분의 함유량이 많아 건조시간이 필요하여 주연소영역이 화격자 후반부로 일반적으로 이동하게 된다. 하지만 본 연구에서 제안한 SSTI는 건조영역 상부에서 분사되는 SA1이 화격자 방향으로 수직으로 분사됨으로 주입 폐기물 깊숙히 침투하여 건조와 열분해를 촉진하며 계단식 화격자에 각 단의 낙차에 의해 주입 폐기물의 이송중 교반 및 혼합이 증대된다. 또한 주연소영역에 1차 공기를 집중해 줌으로써 연소시기가 앞당겨지므로 건조영역과 주연소영역 상부에 온도가 1000°C 이상으로 높게 유지된다. 2차 연소실 출구에서의 배기가스의 온도는 881°C로서 국내 폐기물 관리법상의 우수연소방안<sup>9)</sup>의 조건인 850°C 이상을 만족하고 있다. 2차 연소공기는 상온으로 주입되므로 2차 공기가 영향을 미치는 연소실부분이 냉각되고 있음을 알 수 있다. 2차 공기의 주입은 소각로 내의 주유동의 변화에 큰 영향을 미치고 또한 2차 연소실의 온도 유지에도 영향을 주고 있다.

Fig. 5(b)는 복사열 전달에 의한 열플럭스를 나타

낸 것으로 연소 생성물중 강한 방사체인 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O가 최대농도(Fig. 6참조)를 보이는 화격자면 상부에서 최대값을 가지며 2차 연소실로 갈수록 점차 감소한다. 1차 연소실은 주화염대에서 건조영역과 후연소영역으로 복사열전달이 지속적으로 이루어지고 2차 연소실 하단의 굴곡에 의해 복사열전달이 증진되어 고온을 유지하고 있다.

Fig. 6은 연소생성물인 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O의 농도를 나타낸 것이다.

연료 중의 가연성분인 탄소와 수소가 연소되어 생성되는 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O의 농도분포 형태는 거의 유사하다. SSTI는 소각로내에서 주입 폐기물과 연소 공기간의 활발한 혼합으로 연소상태가 안정적이므로 고른 농도분포를 보이고 있다. CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O가 주연소영역의 상부에서 최대 농도를 보이는 것은 화격자에 주입된 메탄가스가 화격자면에서 1차 반응하여 생성된 중간생성물이 SA1과 SA2에 의해 주연소영역의 상부에서 강하게 혼합되면서 2차 연소가 진행되기 때문이다.

### 3.2. 변수별 연구

#### 3.2.1. 1차 공기비 유속변화

Fig. 7은 1차 공기비를 m=1.22이에 m=1.4로 증가시켰을 때의 속도벡터와 국부 체류시간을 나타낸 것이다.

Fig. 7(a)의 Model 1의 속도벡터를 보면 1차 연소실의 건조영역과 후연소영역에서 발생한 저온의 미연가스는 1차 연소공기의 분사유속이 커서 건조영역과 후연소영역 상부에서 분사되는 2차 공기 SA1과 SA2가 가연성 가스와 주입공기간에 혼합에 미치

는 영향이 적다. 또한 2차 연소실로 유입되는 1차 연소실의 연소가스가 연소실 좌측벽면으로 강하게 치우쳐서 유입됨으로 인해 2차 연소실에서의 유동 분포가 불균일하다.

Fig. 7(b)는 Model 1의 소각로 내의 국부 체류시간을 나타낸 것으로 1차 공기비를 늘려준 결과 2차 연소실에 국부 체류시간이 1.4초정도를 보이고 있다. 이는 연소실내에서 미연가스가 완전연소될 수 있는 충분한 시간적 여유를 가지지 못함으로 인해 불완전 연소생성물의 발생이 높게 된다. 따라서 연소실 체적과 주입 폐기물량에 비례한 적절한 1차 공기비의 선정이 중요함을 알 수 있다.

### 3.2.2. 1차 공기 예열온도변화

Fig. 8은 1차 공기 예열온도를 150°C에서 300°C로 증가하였을 경우 소각로내의 온도와 CO<sub>2</sub>의 농도 분포를 나타낸 것이다.

Fig. 8(a)의 온도분포에서 알 수 있듯이 소각로내의 주입 유체의 온도를 증가시킴에 따라 유입되는 유체의 엔탈피가 증가되기 때문에 소각로 내의 온도가 약 20°C정도에 차이를 보이고 있다. Fig. 8(b)에서 보면 소각로내 엔탈피 증가로 연소가스의 연소성이 좋아짐으로 연소생성물인 CO<sub>2</sub>의 농도가 기준화염(Fig. 6(a) 참조)보다 0.2%정도 증가된 것을 알 수 있다. 하지만 1차 공기의 예열온도를 증가

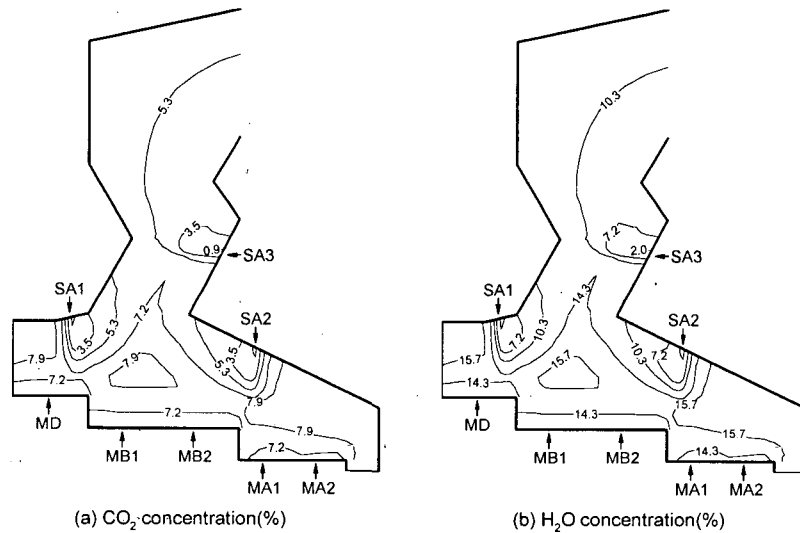


Fig. 6. CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O concentration contours in combustion chamber.

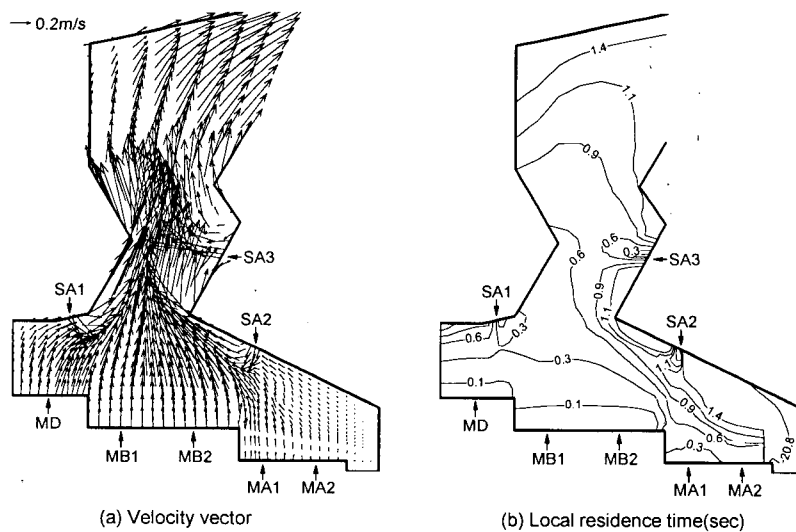


Fig. 7. Velocity vector and local residence time for changed injection velocity at primary air.

시켜줄수록 연소성은 개선됨으로 유리하지만 1차 공기의 예열온도를 증가시키기 위한 예열 비용의 문제가 있으므로 열교환기에서 배기가스에 폐열을 이용하는 방안을 모색하는 것이 중요하다.

3.2.3. 2차 공기 분사각 변화

2차 연소공기는 불완전 연소물질이 2차 연소실에서 연소를 촉진시키는 역할뿐만 아니라 연소실 내부의 유동형태를 크게 변화시키므로 미분입자의 아말방지, 화염높이의 적정유지, 연소가스 농도의 균일화등 연소실 내부의 연소상황을 제어하는 역할을 수행한다.

Fig. 9는 1차 연소실 상부의 2차 공기 SA1과

SA2가 주연소영역 방향으로 분사각을 45°로 변화시켰을 때의 속도벡터와 CO<sub>2</sub>의 농도를 나타낸 것이다.

Fig. 9(a)의 속도벡터를 보면 건조영역 상부에서 분사되는 2차 공기 SA1은 건조영역에 주입된 폐기물의 건조와 열분해를 촉진하지 못함으로 연소시기가 늦어져 미연가스의 발생량이 늘어나고 발생한 미연가스가 주연소영역의 왼쪽 상부로 흘러가므로 2차 연소에 의한 완전연소를 도모할 수 없다. 또한 2차 연소실 우측 측벽에 위치한 2차 공기 SA3의 분사각을 변화시키면 2차 연소실에 불필요한 재순환 영역이 형성되어 연소실 체적 감소로 고속부가 형

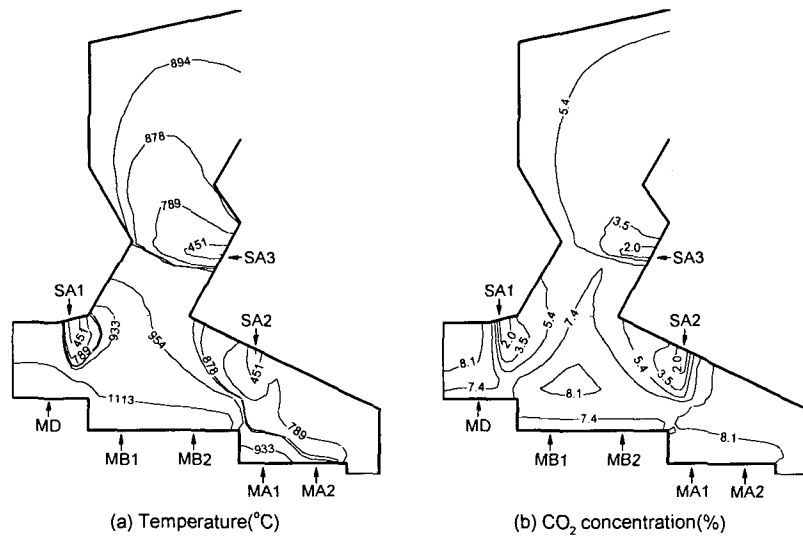


Fig. 8. Temperature and CO<sub>2</sub> concentration for changed injection temperature at primary air.

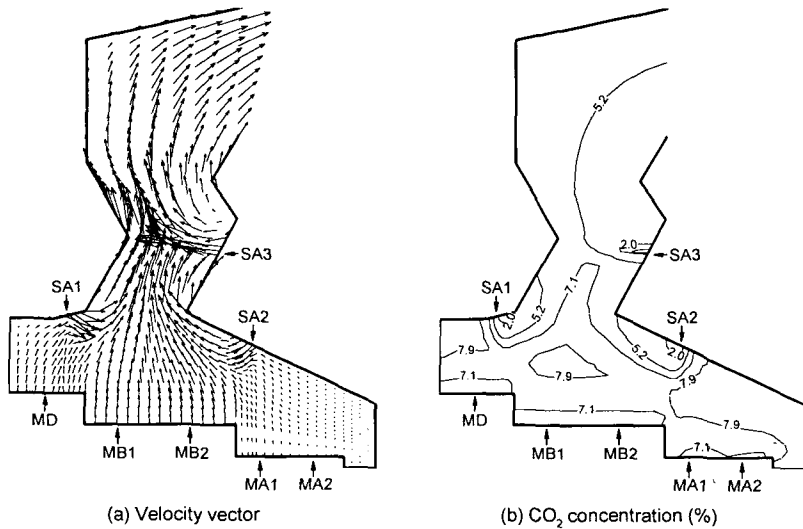


Fig. 9. Velocity vector and CO<sub>2</sub> concentration for changed injection angle at secondary air.



성되어 체류시간이 짧아진다<sup>10)</sup>.

Fig. 9(b)에 CO<sub>2</sub>의 농도분포를 보면 SSTI에 비해 조금 낮은 농도분포를 보이고 있다. 따라서 주입 폐기물을 효율적으로 연소하기 위해서는 2차 공기의 분사각을 최적으로 선정함으로써 연소효율을 극대화할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서 제안한 SSTI의 열유동 특성을 보면 건조영역과 후연소영역에서 발생한 저온의 미연가스들이 주연소영역 상부의 고온에 주화염대에서 2차 연소됨으로 연소효율이 증대되었다. 소각로 내에 설치한 굴곡과 2차 공기 SA3의 적절한 분사로 2차 연소실에 불필요한 재순환영역이 생성되지 않음으로 미연가스가 완전연소될 수 있는 충분한 체류시간이 유지되며 고온의 연소가스에 열전달율을 향상시켰다. 연소특성에 영향을 주는 주요 변수에 대해 수치해석적 연구를 수행한 결과는 다음과 같다.

첫째, 1차 공기비의 변화로 1차 연소실에 적정온도를 유지할 수 있으며 주입 폐기물량과 연소실 체적에 비례한 적정한 공기비의 선정이 고려되어야 한다.

둘째, 1차 공기의 예열온도를 상승시킴으로써 고수분 및 저발열량인 국내 폐기물의 경우에는 건조효율을 향상시켜 연소시기를 앞당길 수 있다.

셋째, 2차 공기 SA1과 SA2를 화격자방향으로 수직으로 분사하여 주입 폐기물의 건조와 열분해를 촉진하고 가연성가스와 연소공기간에 혼합을 극대화하며 SA3는 2차 연소실에 불필요한 재순환영역의 형성을 억제함으로써 연소효율이 증진된다.

#### 참 고 문 헌

- 1) Ravichandran, M. and F. C. Gouldin, 1992, Numerical simulation of incinerator overfire mixing, *Combusust. Sci. and Tech.*, 85, 165-185.
- 2) Nasserzadeh, V., J. Swithenbank, and B. Jones, 1991, Design optimization of a large municipal solid waste incinerator, *Waste Management*, 11, 249-261.
- 3) Shin, D., J. H. Choi, V. Nasserzadeh, S. Choi, and J. Swithenbank, 1999, Experimental measurements and computational modelling of a pilot scale incinerator, *J. of the Institute of Energy*, 72, 56-63.
- 4) 김삼권, 김재형, 권명희, 김기현, 김성환, 정상준, 정상구, 이경옥, 백영렬, 민병광, 1998, CFD에 의한 도시폐기물 소각로 유동 해석, *국립환경연구원보*, 20, 229-238.
- 5) 이진욱, 박병수, 윤용승, 서정대, 허일상, 1999, 상업용 소각로 연소실 성능예측을 위한 수치해석 연구, *한국연소학회지*, 4, 141-153.
- 6) Magnussen, B. F. and H. Hjertager, 1976, On mathematical modeling of turbulent combustion with Special Emphasis on Soot Formation and Combustion, 16th Symp. (Int.) on Comb., The Combustion Institute, Pittsburgh, 719-729pp.
- 7) Lockwood, F. C., A. P. Salooja, and S. A. Syed, 1978, A Prediction Method for Coal-Furnaces, *Comb. and Flame*, 38, 1-15.
- 8) Spalding, D. S., 1994, Proposal for a Diffusional Radiation Model, Unpublished technical memorandum, CHAM, London.
- 9) 환경부, 1998, 생활폐기물 소각시설 설치에 따른 기술지침.
- 10) 오현명, 2001, 스토커형 저공해 소각로 설계를 위한 비반응 유동해석에 관한 연구, *조선대학교 석사학위논문*.