

큐벡시 스토커 소각로 2차원 非反應 流動場 수치해석

박지영 · 송은영* · 장동순

충남대학교 환경공학과

*(株)CIES, CFD 技術支援

A Numerical Study of the 2-D Cold Flow for a Qubec City Stoker Incinerator

Ji Young Park, Eun Young Song* and Dong Soon Jang

Department of Environmental Engineering Chungnam National University

*CLES(Computer Integrated Engineering System) CFD consultant

요 약

수치해석 方法에 의해 큐벡시의 스토커 소각로 유동장을 분석하였다. 수치모사의 변수는 큐벡시의 스토커 소각로를 중심으로 한 5가지 내부 형상, 1차공기 속도, 2차공기 속도 및 주입각, 출구면적을 고려하였다. 검사체적에 기초한 Patankar의 유한차분 方法을 사용한 본 논문에서는 power-law scheme과 SIMPLEX 알고리즘을 사용했으며 난류 유동은 표준 k-ε 모델을 이용했다. 소각로 유동장 분석을 위해서 재순환 영역의 크기, 난류 점성계수 및 이차공기의 질량분율 분포, 압력강하를 계산했다. 계산 결과는 물리적 의미에 잘 맞게 나타났으며, 큐벡시의 스토커 소각로가 다른 내부 형상의 소각로에 비해 상부에 강한 난류를 가진 재순환 영역을 형성하였다.

Abstract—A series of parametric investigations are performed in order to resolve the flow characteristic of a Qubec city stoker incinerator. The parameters considered in this study are five internal configurations of the Quebec city stoker itself and its modified ones, primary air velocity, the injection velocity and angle of the secondary air, and the reduction of the stoker exit area. A control-volume based finite-difference method by Patankar together with the power-law scheme is employed for discretization. The resolution of the pressure-velocity coupling is made by the use of SIMPLEX algorithm. The standard, two equation, k-ε model is incorporated for the closure of turbulence. The size of recirculation region, turbulent viscosity, the mass fraction of the secondary air and pressure drop are calculated in order to analyze the characteristics of flow field. The results are physically acceptable and discussed in detail. The flow field of the Qubec city stoker shows the strong recirculation zone together with the high turbulence intensity over the upper part of the incinerator.

1. 서 론

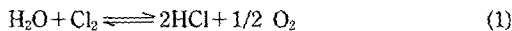
도시 및 산업 폐기물에 대한 소각 처리 방법은 매립할 폐기물량의 감소와 에너지 재생산이라는 사회적 요구와 잘 부합되어 폐기물 처리의 有望한 方法으로 각광받아 왔으며 이러한 傾向은 향후 일정 기간 동안 지속되리라 판단된다. 그러나 폐기물의 소각 처리에는 高度 연소 기술이 불가피하게 요구되는데, 이는 폐기물 성상 불

균일에 의한 낮은 연소 효율과 공해 물질(N, S, Cl, ash)을 함유한 연료의 소각에 따른 이차 대기오염 문제이다. 특히 後者は 사회적으로 민감한 사안으로서, 적절한 대기오염제어 장비나 원천 제어 기술에 의한 소각이 이루어지지 않을 때에는 심각한 공해 저항을 유발할 가능성을 배제할 수 없다.

이와 같은 論旨에서 고효율, 저 공해 소각로의 설계는 매우 중요하며 본 논문에서는 이러한 목적을 달성하기

위한 연구의 일환으로 수치해석적 방법을 이용하여 스토커 소각로의 내부 형상 및 운전 조건 변화에 따른 비반응 유동장을 분석하였다. 수치모사에 의해 난류 반응 시스템 설계 및 운전 조건을 설정하는 방법은 실험에 대한 보완 도구로써 사용되는 유용한 방법이긴 하나 소각로 분야에서는 그 예가 많지 않다. 로타리 킬른 분야에서는 엄 등^{1,2,3)}과 장과 Acharya⁴⁾가 일련의 연구를 통하여 제반 설계 및 운전 변수에 따른 난류 유동 및 난류 반응 문제를 다루었다. 국내의 스토커 소각로에 대한 연구로서는 '93년도 대한기계학회 추계학술대회에서 도시 폐기물 소각 처리를 위한 스토커 소각로 워샷이 개최되어 김⁵⁾외에 多數의 論文이 발표되었다. 김은 연구에서 스토커 소각로에 대한 기술 현상 분석과 아울러 실험과 상용코드를 이용한 수치해석 결과를 제시했다. 외국의 스토커 소각로에 대한 연구로는 Ravichandran과 Gouldin⁶⁾이 비반응 유동장에 대해 이차공기가 소각로 내부 유동에 미치는 영향을 조사하였다. 이들은 商用의 유한차분방법 Phoenics 코드와 有限要素方法에 의한 FIDAP 코드를 각각 사용하였다. 한편 Nasserzadeh 등은 역시 商用의 Fluent 코드를 사용한 일련의 연구^{7,8)}를 통하여 스토커 소각로의 3차원 난류반응장 문제를 수치해석하여 소각로내의 체류시간 증진과 소각 처리 효율 문제등을 심도있게 分析하였다.

高度 수치해석에 의한 소각로 시스템의 분석이 보일러 연소로 등 다른 分野에 비해 미약한 것은 이 분야의 짧은 연원과 다른 시스템에 비해 소각 시스템이 훨씬 복잡하다는데 이유가 있다. 즉, 연료의 불균일한 성상과 조성, 스토커 소각로 내의 복잡한 형상, 고상 폐기물의 이동 및 열분해 등이 관계된다. 구체적으로 언급하면 스토커 소각로에서 일어나는 현상은 일반 미분 석탄 보일러 등과 같이 多相, 3차원 난류 반응에 복사가 관여하는 시스템이고, 소각로 화격자의 이동과 폐기물의 'mass burning'에 따른 건조, 가스화, 연소 등 매우 복잡한 양상을 띤다. 이러한 복잡함 때문에 종래의 전통적인 소각처리 方法은 多量の 剩餘空氣 투여에 의한 완전연소를 유도하는 비효율적인 方法이었다. 그러나 이러한 전통적인 소각 전략은 염소를 함유한 폐기물(例, PVC)의 소각처리에는 부적합하다. 그 이유는 파인 공기의 투입시에 아래와 같은 Deacon 반응¹⁰⁾에 의해 연소 生成物로 나타나는 HCl이 훨씬 惡性인 Cl₂로 열역학적 평형 상태가 이동하기 때문이다.



위 식에서 Cl₂는 HCl 등에 비해 스크러빙에 의한 제거가 훨씬 어렵고 부식성이 매우 강한 물질로서 생성이 억제되어야 한다. 소각처리 기술의 고도화를 위해서는

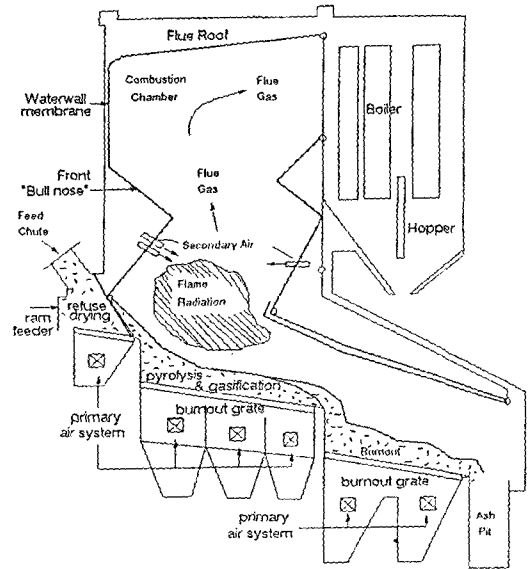


Fig. 1. Schematic of city furnace for municipal waste incineration.

연소와 마찬가지로 'Turbulence', 'Residence Time', 'Temperature'로 주어지는 3' T'가 중요하다. 좀 더 구체적으로 언급하면 'Turbulence'는 전체적인 流動 패턴과 함께 소각로내의 混合 효과를 결정하는 중요 인자이고, 'Residence Time'은 특히 긴 반응시간이 요구되는 濃度가 희박한 이차대기오염 물질 제거에 중요하다. 이러한 소각로 설계에 필요한 중요 인자의 정량적인 분석을 위해서는 소각로내의 난류 유동에 대한 실험적/수치해석적인 연구가 수행되어야 한다.

이러한 스토커 소각로에 대한 연구로서 본 논문에서는, 높이 10 m, 폭 3 m의 캐나다 큐백市의 도시 폐기물 소각로^{9,11)} (Fig. 1)의 비반응 유동장을 수치해석하였다. 큐백市의 소각로를 대상 시스템으로 선택한 이유는 이 소각로가 연소실 변경 사례로 잘 알려진 境遇일 뿐만 아니라 소각로의 내부 형상이 여러 종류의 소각로로 쉽게 변경이 가능하여 이 큐백시의 소각로를 기준으로 하여 다양한 내부 형상을 가진 소각로에 대한 수치모사가 가능하기 때문이다⁹⁾. Fig. 1에 나타난 큐백市 소각로는 3개의 공간 차폐물을 가지는 특이한 내부 형상을 나타내고 있는데, 이는 내부 공간 변화에 의한 유동장 변화, 난류 강도 증진, 체류시간 조절 등을 그 목적으로 하고 있다¹¹⁾. 구체적으로 언급하면 오른쪽 하단의 공간 차폐물은 화격자쪽에서의 복사열 반사(radiation reflection)을 최대화하기 위해 설치하였으며 오른쪽 상부의 공간차폐물은 상층 공기의 선화를 줄이고 보일러 입구 즉 연소로 출구에서의 혼합 효과를 높혀 성층화 현상을

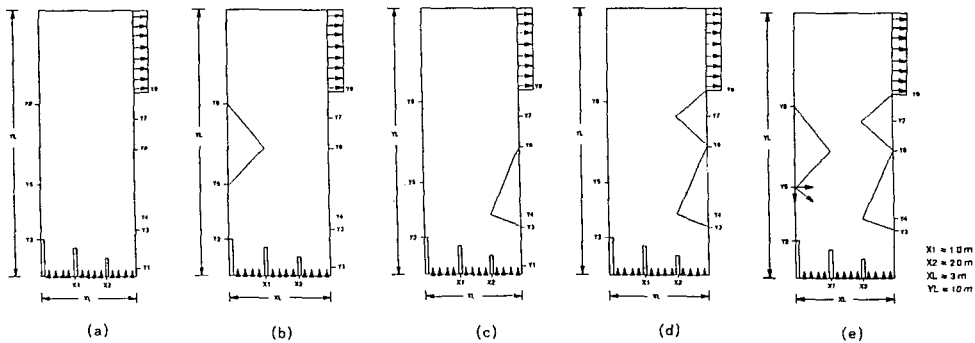


Fig. 2. Various internal configuration of a stoker incinerator : a) no blockage, b) left blockage, c) right blockage, d) right, top and bottom blockage, e) left blockage and right, top and bottom blockage.

줄이는데 그 목적이 있다⁹⁾. 한편 이차공기 투입에 의한 화염 형성은(Fig. 1 참조) 고형 폐기물 상부에 형성됐는데, 이는 고형 폐기물 加熱이 복사에 의해 이루어지고 流動 가열 효과는 제어되고 있음을 나타낸다. 침강된 분진등의 다시 'pick up'되는 유동 속도가 10 ft/s임을 감안할 때에 폐기물 상부의 직접적인 유동 감소는 비산 분진의 생성을 원천적으로 감소시킬 수 있는 고무적인 방법으로 판단되며 이와 유사한 분진 生成 제어기술의 예가 로타리 킬른 소각로에서도 제시된 바 있다¹⁾.

본 연구에서는 화격 床에서의 고형 폐기물의 이동이나 열분해 과정, 화격자 상에서 일차 공기의 유동 등에 대한 모델은 배제하고 일차 공기와 휘발 가스가 혼합된 기체가 일정한 속도로 화격자 위로 분출됨을 가정하였다. 이러한 單純 가정의 理由는 첫째, 화격자 床에서의 복잡한 모형(porous media에서 열/물질 전달)에 대한 모델 정립 및 수치해석이 쉽지 않고 둘째, 도시 폐기물 등의 공업 분석에서 고정 탄소에 비해 휘발분이 차지하는 비중이 매우 높아 volatile-off 가스의 氣相 연소 반응이 중요시되며 셋째, 폐기물 소각 후에 발생하는 2차 대기오염 물질 즉, SOx, NOx, CO, UHC(Unburned Hydrocarbon), Cl₂, Phosgene, 다이옥신 등에 대한 효과적인 처리 및 제어가 좀 더 중요한 문제로 대두되고 있기 때문이다. 이러한 2차 대기오염 물질의 제어를 위해 OFA(overfined air)방법이나 스토커 소각로 내부 형상 변화에 따른 난류 혼합 강도나 체류시간 증진 등의 방법이 다양하게 시도되고 있는데, 이것이 열분해 휘발 기체에 대한 2차 연소의 중요성을 나타내는 예이다.

본 논문에서 고려한 수치모사 변수는 소각로의 5가지 내부 형상, 일차 주입공기의 양, 일/이차 주입 공기의 비, 출구면적 변화이며 이에 따른 유동 양상 변화 즉, 재순환 영역의 크기, 난류강도 및 압력강하를 파악했다. 본 연구에서 Fig. 1에 나타난 큐백市的 스토커 소각로를 기준으로 변형시킨 소각로의 5가지 내부 형상을 Fig. 2에

나타내었다. Fig. 2에 나타난 다양한 스토커 소각로 내부 형상은 여러 문헌에 나타난 소각로를 近似하여 나타낸 것이다. 그러므로 위의 소각로 모양에 대한 수치해석은 다양한 소각로 유동 양상의 典型을 파악하는데 도움이 되리라 판단된다^{5,9,11,12,13)}.

2. 수학적 모델 및 해법

2차원 난류 유동에 대한 유동장을 해석하기 위한 일반 종속 변수에 대한 지배 방정식은 단위체적당 시간에 따른 일반종속변수 의 변화량이 유동 및 확산 束(flux)의 divergence와 단위체적당 생성량의 습으로 나타낸다.

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} = -\vec{\nabla} \cdot (\rho\vec{u}\phi - \Gamma\vec{\nabla}\phi) + S \tag{2}$$

위 식에서 ρ, \vec{u} 는 밀도와 속도 벡터이고 Γ와 S는 ϕ에 대응되는 난류 확산계수와 생성항이다. 일반 종속 변수 ϕ는 x 방향의 속도 u, y 방향의 속도 v, 압력 p를 나타내며, 난류 모델로 표준 k-ε 모델을 사용한 본 논문의 경우에 ϕ는 단위 질량당의 난류 에너지 k와 그의 소산율 ε을 포함한다. 한편 이차 공기에 의한 혼합 정도를 가시화하기 위한 이차공기질량분율(f)은 보존 스칼라량으로 임의의 공간 한 점에서 아래와 같이 정의된다.

$$f = \frac{\text{이차공기의 질량}}{\text{일차공기의 질량} + \text{이차공기의 질량}} \tag{3}$$

Table 1에서는 일반종속변수 ϕ에 대한 확산계수 Γ와 생성항 S를 각각 나타내었다.

본 논문에서 사용한 수치해석은 Patankar¹⁴⁾ 방법을 사용하였으며 간략하게 아래에 정리하였다. 식 (2)는 검사체적에 기초한 유한차분방법(control-volume based finite difference method)과 power-law scheme을 사용하여 이산화하였다. 운동량 방정식에 나타나는 압력과

Table 1. Turbulent Diffusion and Source Term Expressions for General Dependent Variable ϕ .

Variable	Name	Γ_ϕ	S_ϕ
U	horizontal velocity	μ_t	$\frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_t \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_t \frac{\partial v}{\partial x} \right) - \frac{\partial p}{\partial x}$
V	vertical velocity	μ_t	$\frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_t \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_t \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{\partial p}{\partial y}$
k	turbulent kinetic energy	$\frac{\mu_t}{\sigma_k}$	$G_k - \rho \epsilon$
ϵ	dissipation rate of k	$\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon}$	$C_1 C_k \frac{\epsilon}{K} - C_2 \frac{\epsilon^2}{K}$
f	mixture fraction	$\frac{\mu_t}{\sigma_f}$	—

$$C_k = \mu_t \left[2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right]$$

Constants in Turbulence Model

$$C_1 = 1.44, C_2 = 1.92, C_\mu = 0.09, \sigma_k = 0.9, \sigma_\epsilon = 1.22$$

속도의 연계는 *SIMPLEC* (*SIMPLE Consistent*) 알고리즘¹⁵⁾을 사용하였다. *SIMPLEC* 알고리즘은 *SIMPLE* (*Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations*) 알고리즘의 발전/변형된 형태의 하나로서, *SIMPLER* (*SIMPLE Revised*)¹⁴⁾와 함께 널리 사용되고 있다. *SIMPLER*는 메모리 용량의 문제 때문에 스테이션이나 대형기종이 아닌 p.c. 486 등에서 사용하기는 문제점이 있기 때문에 본 연구에서는 *SIMPLER* 알고리즘을 *SIMPLEC*로 변형하여 사용하였다. 이와 같은 배경에 따른 알고리즘 문제를 아래에 간단히 설명한다. *SIMPLE*은 압력을 가정하여 운동 방정식의 속도를 얻는다. 이렇게 얻어진 속도장 보정은 연속방정식 (*continuity of mass*)을 만족하는 속도장을 구함으로써 정확하게 구할 수 있다. 그러나 압력보정의 경우에는 압력보정 관계식에서 여러항을 생략함으로써 압력값이 부정확하고 수렴을 위한 반복계산 횟수가 증가하는 단점이 있다. *SIMPLER*는 이러한 결점을 보완하기 위해 압력방정식을 별도로 유도해 解를 구하는 방법을 사용한다. 그러므로 *SIMPLER*는 정확하기는 하나 1회 반복계산(one-iteration)에 소요되는 시간이 길고 별도의 메모리 용량이 크게 요구되는 단점이 있다¹⁶⁾. 이와 같은 *SIMPLE*과 *SIMPLER*를 정충한 것이 *SIMPLEC*로서 *SIMPLEC*는 별도의 압력방정식을 풀지 않는 대신에 압력보정식 유도 과정의 오차를 줄이는 방법을 사용한다. 이산화방정식에 대한 解는 *Thomas* 알고리즘을 사용하였다.

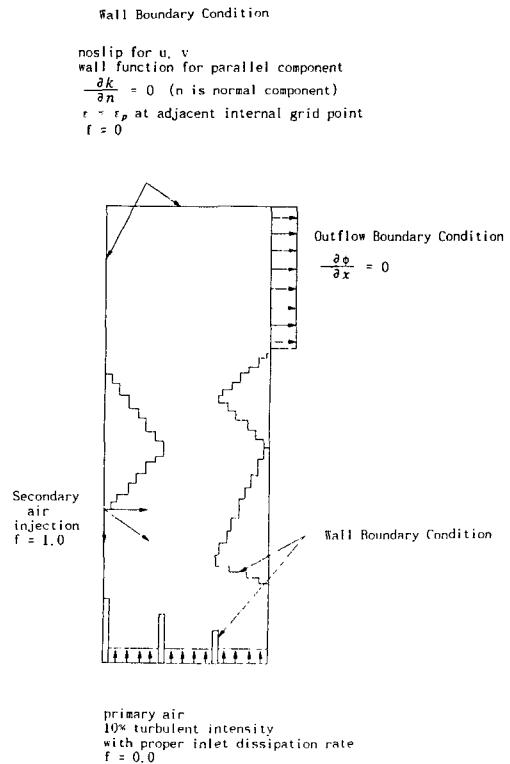


Fig. 3. Boundary condition and staircase grid setup for complex geometry.

위에서 이미 언급한대로 본 논문에서는 표준 k-ε 난류 모델을 사용하였다. 이 모델에서 난류계수 μ_t 는 아래의 Prandtl-Kolmogorov 관계식에 의해 얻어진다.

$$\mu_t = \frac{C_u \rho k^2}{\epsilon} \quad (4)$$

복잡한 내부 모형에 대한 근사를 위해서 본 연구에서는 계단식으로 경계면을 설정하였으며 벽면에서는 no-slip 조건과 필요한 벽면 함수를 사용하였다. 출구에서는 'outflow' 경계조건을 사용하였으며, 입구에서 난류 강도는 10%를 가정하여 난류 에너지의 입구 조건으로 가정하였다(Fig. 3 참조). 기타 자세한 것은 다른 문헌에 상세히 기술하였다¹⁷⁾.

3. 계산 결과 및 토론

Fig. 2는 높이 10 m, 넓이 3 m의 다양한 소각로 내부 형상 변화에 따른 유동 변화를 파악하기 위해 공간 차폐 구조물을 사용한 소각로의 다양한 내부 형상을 나타낸다. Fig. 2의 (a)-(e)는 소각로 주입구의 형상을 세 부분으로 나누어 주입 공기가 일정 거리 동안 일정 방향으로 운동하게 하였다. 이는 화격자 상을 이동하는 폐기물의 경사진 모양을 近似하게 나타내기 위한 것이다. Fig. 2에서 (e)는 큐백시의 소각로의 실제 모양과 유사한 형상이다.

수치해석은 pc 486으로 계산하였으며 이완화 인자 (relaxation factor)는 0.2로 하여 반복 계산 5000회 이

상을 수행하였다. 수렴에 대한 판정은 流動場의 중요 지점에서의 속도 변수들의 값이 일정 반복 계산을 하는 동안 변화하지 않고, 질량 결손(mass source)을 나타내는 변수가 일관성 있게 감소하는 것으로 판단하였다. 위에서 언급한 중요 지점이란 유동의 主流를 따라 가면서 출구쪽으로의 몇개의 지점을 의미하며 본 연구에서는 主方向인 y방향의 속도 v를 점검하였다. 재순환 영역에서의 속도 변수를 수렴 판정의 'indicator'로 사용하는 것은 이 지역에서의 속도값이 때로는 매우 작고 불안정하게 변화하므로 적합치 않은 경우가 있어서 제외하였다.

Fig. 4는 Fig. 2의 각 소각로 형상에 대해 일차공기 주입시 수직 방향의 속도 5 m/s, 이차공기 주입이 없을 경우 속도 벡터장을 나타낸다. 소각로 내부에 차폐물이 전혀 없는 (a)의 경우에는 유동이 비교적 단순하게 출구쪽으로 빠져나가고 왼쪽 상부에 약간의 재순환 영역이 생겼다. (b), (c), (d) 각각의 경우도 왼쪽 상부에 모두 비슷한 크기의 재순환 영역이 생겼는데, (e)의 경우에서 재순환영역의 크기 및 강도가 가장 크게 나타났다. (e)는 왼쪽에 1개, 오른쪽 상부에 하나씩 총 3개의 차폐물이 있는 경우로서 차폐물 사이를 지나는 빠른 流速과 오른쪽 상부 차폐물 윗쪽에서의 전단력 그리고 차폐물을 빠져나간 후에 위쪽 상부에서의 압력 증가 등이 강한 재순환 형성에 기여한 것으로 판단된다. 소각로 상단의 재순환 영역 형성은 후연소로의 役割을 함으로써 체류 시간을 변환시키고 오염물질의 완전 연소를 유도하는 전략적인 잇점을 기대할 수 있다. 그러나 最近에 김¹⁸⁾은

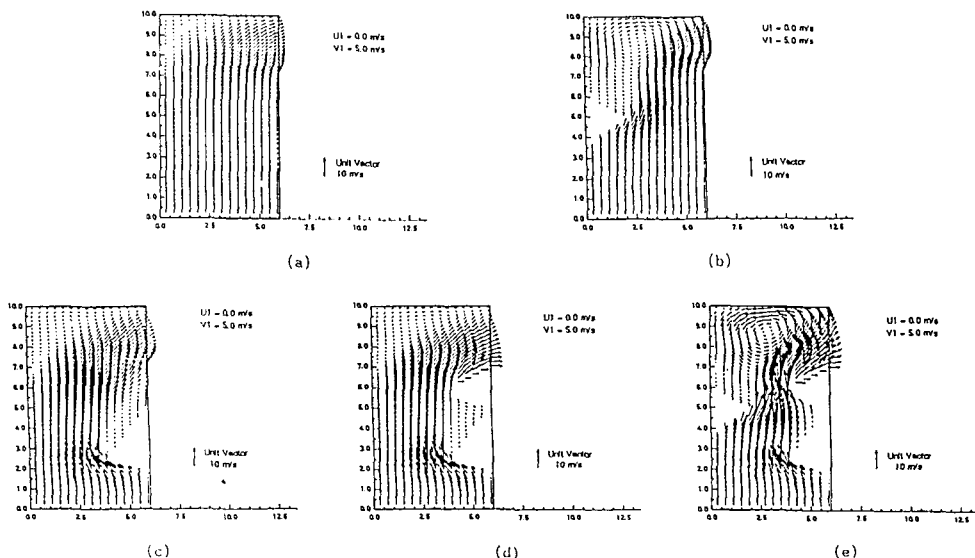


Fig. 4. Velocity vector plots for various internal shapers of (a)-(e) in Fig. 2 : u1=0.0 m/s, v1=5.0 m/s.

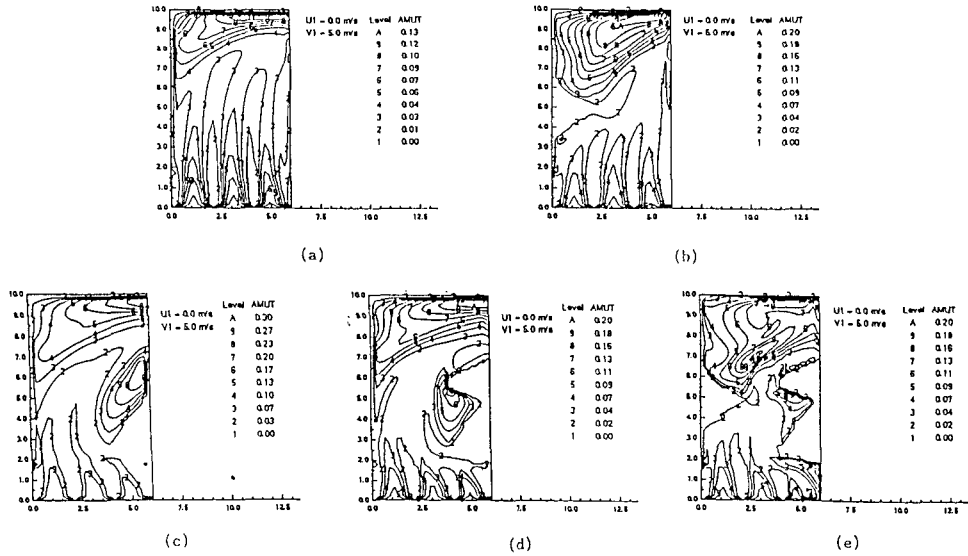


Fig. 5. Turbulent viscosity contour plots of stoker type (a)-(b) in Fig. 2 for the case of $u_1=0.0$ m/s, $v_1=5.0$ m/s.

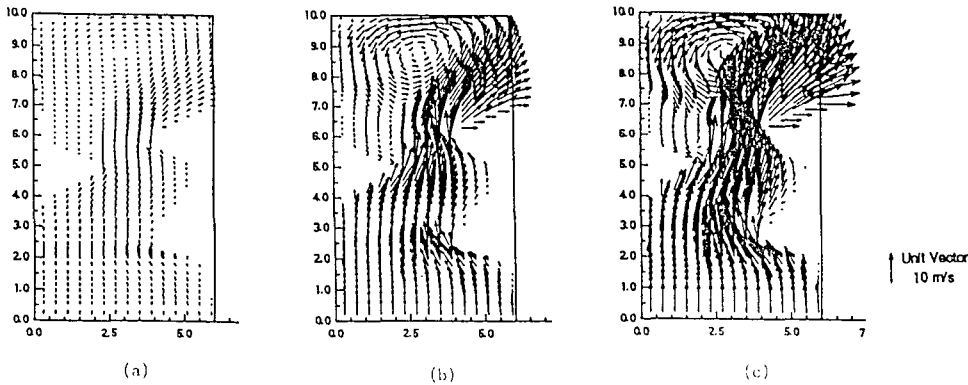


Fig. 6. Velocity vector plots as a function of primary(undergrate) air inlet velocity : (a) $v_1=1.0$ m/s, (b) $v_1=5.0$ m/s, (c) $v_1=10.0$ m/s.

기술현황 분석을 토대로 재순환 영역의 형성이 유동의 주류와 재순환되는 흐름이 교차하는 곳에서 강하고 빠른 유동이 형성되어 출구로 나가는 분진 등의 체류시간을 줄인다는 점을 강조하였다. 재순환 형성에 따른 이러한 여러 문제에 대한 長短點에 대한 평가를 위해서는 재순환 영역의 크기 및 재순환되는 물질의 양 등에 대한 보다 정량적인 분석이 선행되어야 할 것으로 판단된다.

Fig.5는 Fig.2의 각 소각로 형상에 대한 난류점성계수의 등점성도선을 나타낸다. 모든 경우에 대해 공통적으로 재순환 영역 부근과 출구쪽에서, 그리고 (e)는 재순환 유동과 좌우 차폐물 사이를 빠져나가는 유동의 교차 부근에서도 난류 점성 계수가 높게 나타났다. 재순환 영역에서 높은 난류 강도가 나타나는 현상은 다른

문헌에 보고된 사실과 일치한다¹⁸⁾.

Fig.6은 Fig.2의 소각로 형상 (e)에 대해 입구의 수직 유입 속도 변화에 따른 속도 벡터장의 변화를 비교하고 있다. 속도가 (a) 1 m/s, (b) 5 m/s, (c) 10 m/s일 때의 기본 유동의 형태는 서로 유사하나 단지 유동 강도에서 차이를 나타내고 있다.

Fig.7은 Fig.2의 소각로 형상 (e)에 대해 1차 공기의 수직 방향의 유입속도가 5 m/s일 때 좌측 차폐물 밑에서 주입한 2차 공기의 등질량분율선도를 나타낸다. (a)와 (b)는 2차 공기의 수직 방향의 속도가 -20 m/s일 때 각각 일차공기 유량의 20%, 50%에 해당하는 2차공기 주입시 등질량분율선으로서 50%의 경우에 20%의 경우보다 약간 넓은 혼합 상태를 보이며, 2차 공기 주입구

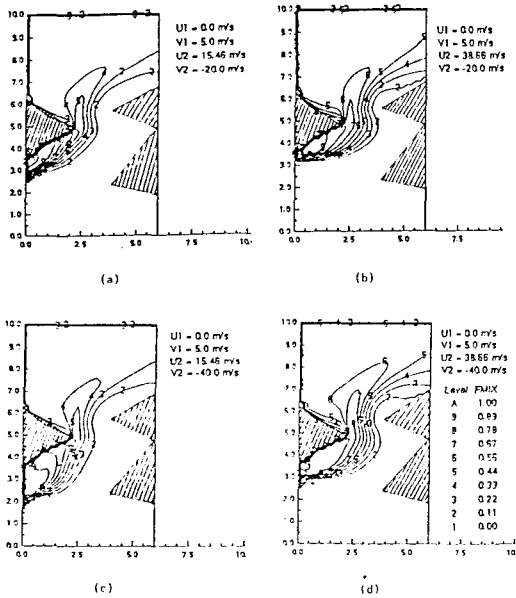


Fig. 7. Contour lines of mixture fraction for the different injection condition of the secondary air.
(a) the amount of secondary air=20%. $u_2=15.46$ m/s, $v_2=-20.0$ m/s, (b) the amount of secondary air=20%. $u_2=38.66$ m/s, $v_2=-20.0$ m/s, (c) the amount of secondary air=20%. $u_2=15.46$ m/s, $v_2=-40.0$ m/s, (d) the amount of secondary air=20%. $u_2=38.66$ m/s, $v_2=-20.0$ m/s

부근에서 높고 좌우 차폐물 사이를 빠져나가는 중심부 쪽에서 50~70% 사이의 질량분율을 보이고 그 위로는 점점 작아진다. (c)와 (d)는 각각 (a)와 (b)에 대해 2차 수직 유입 속도를 -40 m/s로 바꿨을 때인데 약간 더 넓어진 혼합 범위를 볼 수 있다. 이차공기의 혼합 비율에서 지적할 수 있는 사항은 이차공기의 량에 따라서 일차공기와 일정한 혼합 효과를 달성할 수 있으나 고품 폐기물이 존재하는 부근에 큰 流動 변화는 나타나지 않았다. Fig. 8의 (a)와 (b)는 이차공기 20%와 50%에 해당하는 경우의 유선도를 각각 나타낸다. 이때 수직 주입속도는 둘 다 -40 m/s이고 수평방향의 속도는 15.46 m/s와 38.66 m/s이다. Fig. 8의 (a)의 경우가 (b)에 비해 이차공기 주입부에서 큰 재순환 영역을 형성했는데 이는 주입각 차이에 기인한 것으로 보인다. Fig. 2의 각 소각로 형태에 대해 압력강하를 조사한 결과 각각, (a) 0.77 mmH₂O, (b) 4.98 mmH₂O, (c) 2.677 mmH₂O, (d) 2.77 mmH₂O, (e) 15.05 mmH₂O로서 내부형상 (e)의 압력강하가 가장 크게 나타났는데 이는 내부 구조의 복잡함에 따른 예상된 결과이다. 위의 압력강하에 대한 계산 방법은 입구와 출구에서 각각 면적 효과를 고려한

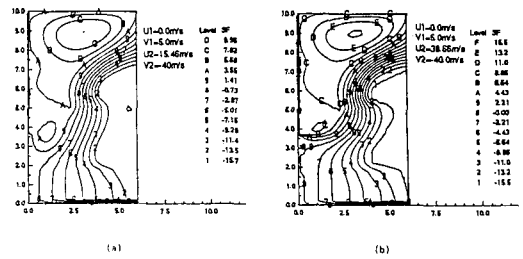


Fig. 8. Stream line plots for the different injection condition of the secondary air.
(a) the amount of secondary air=20%. $u_2=15.46$ m/s, $v_2=-20.0$ m/s, (b) the amount of secondary air=20%. $u_2=38.66$ m/s, $v_2=-20.0$ m/s

평균 압력 차이로 나타내었다. 각각 일차공기의 20%, 50%로 이차공기를 주입한 Fig. 7의 (a), (b)의 경우에는 압력강하가 각각 (a) 21.65 mmH₂O, (b) 33.63 mmH₂O로 나타났는데 이러한 증가는 2차 공기 주입으로 인한 유동 속도 증가에 기인하는 것으로 판단된다. 이러한 현상은 출구 면적을 줄였을 때에도 나타났다. 보통 중형 이상의 소각로에서 대기 오염 제어 장치를 포함한 압력강하가 20~100 mmH₂O인 점을 감안할 때 위의 결과는 타당한 범위에 있다고 사려된다¹⁹⁾.

4. 결 론

높이 10 m, 폭 3 m의 2차원 스토커 소각로의 다양한 내부 형상 및 출구면적, 일/이차공기 양의 비 등 여러 변수에 대한 내부 유동 연구로서 재순환 영역의 형성, 난류강도, 그리고 이차공기의 질량분율 등을 조사하였다. 재순환 영역의 형성, 난류강도, 압력강하 등의 수치 해석 결과는 경험적인 사실과 잘 일치하였다. 수치 해석 결과 3개의 공간 차폐물이 있는 큐백市的 소각로가 재순환 영역의 형성과 난류강도에서 제일 두드러졌다. 일차공기의 속도 변화는 조사된 범위 내에서 유동의 기본 양상에 큰 변화를 주지 못했고 압력강하는 소각로 내부 형상이 복잡할수록 크게 나타났으며 이차공기는 큰 영향을 주었다.

참고문헌

1. 엄태인, 장동순, 채재우, S. Acharya: “로타리 킬른 소각로 고도 설계를 위한 연구I: 3차원 로타리 킬른 난류장 수치모사”, 한국폐기물학회지 2(2), pp.9 (1992).
2. 엄태인, 장동순, 채재우: “로타리 킬른 소각로 고도 설계를 위한 연구III: Dow Chemical 소각로 운전

- 변수 심층 수치분석”, 한국폐기물학회지 **10**(1), pp.9 (1993).
3. 엄태인, 장동순, 채재우: “로타리 킬른 소각로 고도 설계를 위한 연구III: 3차원 CCl₄/CH₄ 기상 난류반응 모델”, 한국에너지공학회지 **2**(1) pp.54 (1993).
 4. Jang, Dong-Soon and S. Acharya: “Two-Dimensional Modeling in a Kiln”, AIChE National Spring Meeting, New Orelans, March 6 (1988).
 5. Ravichandran, M and F. c. Gouldin: “Numerical Simulation of Incinerator Overfire Mixing”, Combust. Sci. and Tech., **85**, pp.165 (1992).
 6. 김승기, “소각로 내 열유동 계산과 실험”, 대한기계학회 '93년도 추계학술대회 논문집(II) pp. 527 (1993).
 7. Nasserzadeh V., Swithenbank, J., Scott, D. and B. Jones, “Design Optimization of a Large Municipal Solid Waste Incinerator”, Waste Management, **11**, pp. 249 (1991).
 8. Nasserzadeh V., Swithenbank J., and Jones, B., “Three-dimensional Modeling of a Municipal Solid Waste Incinerator”, Journal of the Institute of Energy, **64**, pp.165 (1991).
 9. EPA Report, “Municipal Waste Combustion Assessment-Technical Basis for Good Combustion Practice” EPA-600/8-89-063 (1989).
 10. Jones, A., Bliss, H. and Walker, C.: “Rates of Hydrogen Chloride Oxidation”, AIChE Journal, **12**, pp. 260 (1966).
 11. Finkelstein, A.: “An Overview of Environment Canadas' National Incinerator Testing and Evaluation Program(NITEP)”, Munical Waste Combustion, pp. 1 (1991).
 12. Abbasi, H. A.: “Development of Natural Gas Injection Technology for NOx Reduction for Municipal Waste Combustors”, Municipal Waste Combustion, pp. 165 (1991).
 13. 최상민, 김성중: “도시폐기물 소각로 설계 기술 자립을 지원하기 위한 선진 기술 분석과 비교 평가”, 한국과학기술원 기계공학과 저공해 소각로 보고서 GIA-0010.00 (1993).
 14. Patankar, S. V. “Numerical Heat Transfer and Fluid Flow”, Hemisphere Publishing Corporation, New York (1980).
 15. Van Doormaal, J. P. and G. D. Raithby, “Enhancements of the SIMPLE Method for Prediction Incompressible Fluid Flows”, Numerical Heat Transfer, **7**, pp. 147 (1984).
 16. Jang, Dong-Soon, Jeltl, R. and Acharya, S., “Comparison of PISO, SIMPLER and SIMPLEC Algorithms for the Treatment of the Pressure-Velocity Coupling in Steady Flow Problems”, Numerical Heat Transfer, **10**, pp. 209 (1986).
 17. 박지영: “열유체 수치해석에 의한 환경/에너지 시스템 고도 설계 연구: 큐백市 스토커 소각로 流動場, 고효율 촉상 유입식 싸이클론, 일차 침전조”, 충남대학교 환경공학과 석사학위 논문, (1994(예정)).
 18. Jang, Dong-Soon, “Numerical Calculation of Reattachment Length in Axi-Symmetric Sudden Expansion Flows”, Fluids Engineering, Hemisphere Publishing Coop. New York pp. 143 (1991).
 19. 박주량, 김인배, “폐기물 처리 개론”, 신광문화사, p.72 (1991).