

중간류식 폐기물 소각로 연소실의 최적형상 설계를 위한 유동해석

이진욱* · 김성배** · 윤용승** · 김현진*** · 허일상****
(2000년 8월 14일 접수)

Flow Analysis for the Geometry Optimization of Combustion Chamber of Central Flow Type Waste Incinerator

Jin Wook Lee, Seong Bae Kim, Yongseung Yun, Hyun Jin Kim and Il Sang Huh

Key Words: Incinerator(소각로), Combustion Chamber(연소실), Geometrical Modification(기하학적 형상 변화), Recirculation Zone(재순환영역), Mixing(혼합).

Abstract

Computational study has been performed to observe the flow characteristics of combustion chamber for geometrical modification in municipal solid waste incinerator. A series of geometrical modification has been carried out as an attempt to reduce the size of recirculation zone, to obtain uniform flow field in the secondary combustion chamber and to improve the mixing of combustion gas. Two dimensional non-reacting turbulent flow has been studied as the first step to get such goals and the result of design optimization is presented. In addition, three dimensional non-reacting and reacting flow analyses were performed to verify the validity of two dimensional approach.

1. 서론

최근 들어 소각에 의한 폐기물의 처리비율은 1997년 7.1%에서 2001년에는 20%까지 증가할 예정일 정도로 지속적인 증가추세에 있다. 그런데 소각에 의한 폐기물의 처리는 폐기물 연소의 특성상 각종 공해물질들을 방출하게 된다. 이 공해물질을 효과적으로 파괴하기 위해서는 연소가스와 연소용 공기 및 소각로의 각 부분에서 발생한 불균일한 조성의 연소가스가 서로 고온의 분위기에서 효과적으로 혼합되고 충분한 체류시간을 갖도록 연소실을 설계하고 폐기물 조성 변화 등에 적절히 대응하여 운전하여야 한다. 특히 다이옥신류 등의 독성물질들은 안정연소를 토대로 이른바

우수연소조건인 3T, 즉 온도(Temperature), 체류시간(Time) 및 혼합(Turbulence)을 적절히 유지하여 연소효율을 높이면 그 발생이 억제될 수 있는 것으로 보고되고 있다.⁽¹⁾ 이중 연소가스의 체류시간에 대하여 현행 환경관련 법규에서는 연소가스의 체류시간의 계산에 2차 연소실(2차 공기의 최종 분사위치로부터 내화재가 끝나는 위치까지)의 체적을 이용하고 있다. 반면에 대부분 소각로의 2차 연소실 상부에서 발생하는 재순환영역(recirculation zone)은 화염 안정화에는 도움이 되지 않을 것으로 판단되는 반면에 연소실의 체적을 감소시키는 역할을 하여 연소가스의 실질적인 체류시간(effective residence time)을 줄이는 역할을 하고 있으며, 이에 환경산업 분야에서는 데드존(dead zone)으로 불리고 있다. 또한 국부적으로 연소가스의 속도가 빠르거나 한쪽 방향으로 치우치는 유동장이 형성될 경우에는 비산재의 영향으로 인한 침식, 부식 또는 슬래깅 등의 좋지 않은 영향을 미칠 수 있다. 따라서 연소실 형상 및 운

* 회원, ATEs(주)

E-mail : jwlee@ates.co.kr

TEL : (02)3661-6411 ~ 3 FAX : (02)3664-7251

** 고등기술연구원

*** 대우중공업(주)

**** (주)대우

진조건의 측면에서 최적 조건은 2차 연소실에서 재순환영역이 없고 균일한 유동이며 혼합이 잘 되는 유동 패턴이 형성되는 조건이라고 판단된다. 이중 혼합은 2차 공기 분사 방법에서의 의존성이 크며, 재순환영역을 최소화하고 균일한 유동장을 형성한다는 측면에서는 연소실의 형상이 최적으로 설계되는 것이 매우 중요하다. 이를 위해서는 연소실 각 부분의 형상이 유동에 미치는 영향을 파악하는 것이 선행되어야 하며, 국내외적으로 비교적 많은 연구가 수행되어 왔다.^(2~5)

본 연구에서는 국내에서 가장 많이 운전되고 있는 중간류식 소각로의 각 부분의 형상을 변화시켜 가면서 그에 따른 유동 특성의 변화를 파악하고 이를 이용하여 최적의 유동 특성을 갖는 연소실의 형상 설계를 위한 방향을 제시하는 것을 목적으로 하였다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 2차 공기분사방법을 적절히 설정하는 연구^(6,7)들이 수행되었지만, 본 연구에서는 연소실의 형상 변화에 따른 유동 특성의 개선에 중점을 맞추었으므로 2차 공기를 분사하지 않는 경우에 대한 해석을 수행하였다. 이는 소각로 운전시 2차 공기를 분사하지 않는 경우가 존재할 뿐만 아니라, 2차 공기가 분사될 때에도 약 20% 정도인 2차 공기 분사만으로 연소실 내부의 유동 특성을 제어하기에는 한계가 있기 때문이다. 즉, 2차 공기 무분사시 균일한 유동장을 형성시키는 연소실 형상을 구한 후에, 유동장의 균일성을 파괴하지 않는 2차 공기 분사 방법을 선정하는 것이 보다 적절한 설계방안이라고 판단되었기 때문이다.

본 연구에서는 전·후벽 및 상부벽의 형상 변경에 대한 다양한 2차원 유동해석을 수행하여 최적의 연소실 형상을 결정하고, 이에 대하여 3차원 비반응 및 반응 유동해석을 수행하여 2차원 가정의 타당성을 입증하고, 최종적으로는 2차 공기 무분사 조건에서의 최적의 연소실 형상 설계를 위한 설계 개념을 제시하고자 시도하였다.

2. 소각로 해석을 위한 수치적 모델

일반적으로 폐기물 소각로의 경우에는 선회(swirl)같은 복잡한 물리적 현상이 존재하지 않으며 하부에서 연소가스가 상승하는 비교적 단순한 유동장이 형성되므로, 연소실 내부의 유동 자체는 연소반응에 크게 영향을 받지 않을 것으로 판

단된다. 또한 대부분의 소각로 연소실은 일정한 폭을 가지는 2차원적 형상이므로 본 연구에서는 2차원 비반응 유동장으로 해석하여, 해석시간을 줄이고 많은 형상의 변화를 시도하였다.

일반적인 유동장의 지배 방정식을 일반형인 텐서 형식으로 나타내면 다음과 같다.⁽⁸⁾

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \phi) = \frac{\partial}{\partial x_i}(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_i}) + S_\phi \quad (1)$$

위 식에서 ϕ 는 해석하고자 하는 종속 변수로서 각 방향의 속도성분(u, v, w), 난류운동에너지(k) 및 난류운동에너지소산율(ϵ)을, 그리고 ρ 와 Γ_ϕ 는 밀도와 확산계수를 각각 나타낸다. 본 연구에서는 이상의 식의 해를 구하기 위한 난류 모델로서 표준 $k-\epsilon$ 모델을 사용하였다. 격자의 형태는 다양한 연소실 형상의 변화가 용이하도록 정렬 격자와 비정렬 격자를 연소실 형상에 따라 적절히 병용하였으며 정렬 격자일 때는 상용 코드인 Fluent/V4.4를 비정렬 격자일 때는 Fluent/uns를 각각 사용하였다. 이 두 가지 방법을 동일한 형상에 적용하여 본 결과 그 차이는 무시될 수 있는 것으로 판단되었다.

연소실의 각 부분이 유동에 미치는 영향을 파악하고 최적 유동장을 형성시키는 형상을 결정하기 위해서, 상업용 소각로 개발 과제(환경부 G-7 과제, 과제명 : 도시쓰레기 상용화 소각시스템 개발)를 통하여 수행된 수차례의 파일럿 플랜트 운전 경험과 이를 통하여 정립된 설계 개념을 이용하여 선정된 예비 설계 연소실⁽²⁾의 형상 및 운전 조건을 기준으로 전산해석을 수행하였다. 우선 연소반응이 동반되는 경우에도 비반응 유동장과 비교하여 속도의 차이는 있지만 유동 패턴은 거의 유사할 것으로 판단하여 비반응유동장(cold flow)에 대한 수치해석을 수행하였으며, 이후 연소반응을 동반하는 유동장 해석결과와의 비교를 통하여 반응의 유무에 따라 유동 패턴의 차이가 크지 않음을 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 예비 설계 연소실내의 유동 특성

Table 1은 상업용 소각로 개발 과정에서의 파

Table 1 Distribution of flow rate for each hopper

	Hop. 1	Hop. 2	Hop. 3	Hop. 4	Hop. 5
1차 공기 분배 비율 (%)	16.8	33.7	43.8	5.0	0.7
경계면 속도 (m/sec)	0.49	0.78	0.92	0.098	0.013

일룻 플랜트 운전 경험을 토대로 초기 운전조건으로 결정된 호퍼(hopper)별 1차 공기 분배조건으로서, 본 연구에서도 이 조건을 이용하여 유동해석을 수행하였다. 호퍼로부터 노즐이나 슬릿(slit)을 통하여 분사된 공기가 폐기물 층을 통과하면서 균일해지는 물리적 현상을 고려하여, 호퍼별로는 Table 1의 비율에 따라 유량을 분배하되, 각 호퍼에 해당하는 면적 내에서는 균일한 속도(uniform velocity)를 지나는 것으로 가정하였다. 본 연구에서는 50톤/일 소각 처리용량을 갖춘 소각로의 설계조건인 총 공기량 8044Nm³/hr를 이용하였는데, 이때의 바닥면에서의 유속을 Table 1에 나타내었다. 입구 총 유량의 변화에 따른 유동 패턴의 변화는 거의 관찰되지 않았는데, 이는 유동장이 충분히 난류인 영역에서는 동일 기하학적 형상에서 레이놀즈수(Reynolds number)의 넓은 범위에서 유동특성이 크게 변하지 않는다는 유체역학적 이론과 일치하는 것이다.

Fig. 1(a)는 상업용 소각로 개발 과정에서 설계된 연소실의 개략도로서, 선행연구⁽²⁾에서 해석되었고 본 연구에서는 기본 형상으로 이용되었다. Fig. 1(b)는 비반응 유동장을 해석한 결과를 나타내고 있는데, 2차 연소실에서의 유동이 전체적으로 후벽(후측) 쪽으로 치우쳤고 전벽(좌측) 쪽에는 전체에 걸쳐 비교적 큰 재순환영역이 형성됨을 관찰할 수 있다. 이것은 출구가 후벽면 쪽에 위치하고 있고, 폐기물 투입구 위쪽에 위치한 모서리가 2차 연소실로 들어가는 유동을 후벽면 쪽으로 치우치게 하고 있기 때문이다. 이러한 유동의 편향성과 큰 재순환영역은 유동이 진행되는 영역을 감소시키는 역할을 하므로 유해물질을 저감시킬 수 있는 충분한 체류시간을 확보하기 위해서는 보완이 필요한 것으로 판단되었다.

하지만 소각 플랜트의 경우 전벽부에 폐기물 투입시설이 설치되는 특성상 출구의 위치를 변화시키는 것은 현실적으로 어려우므로 연소실 출구를 제외한 부분에서 유동의 편향성을 줄일 수 있

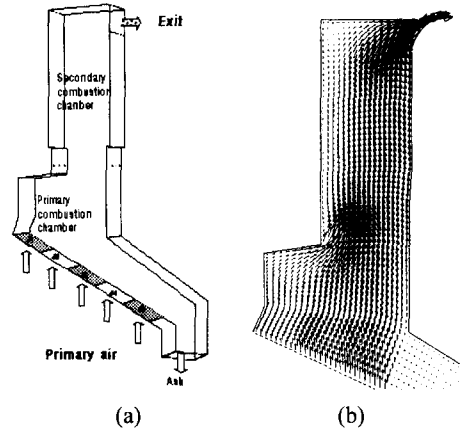


Fig. 1 (a) Schematic of a typical incinerator and (b) velocity vector plot for the cold flow analysis

도록 연소실의 형상을 변화시켜야 한다. 우선 유동의 박리(separation)가 발생하여 재순환영역이 시작되는 투입구 상부와 2차 연소실의 상부가 변화되고 유동이 후벽 쪽으로 치우쳤던 것을 보완하기 위해서 후벽의 형상이 변화되어야 할 것으로 보인다.

이러한 판단에 근거하여 전벽면의 형상 변화, 후벽면의 형상 변화 그리고 상부의 형상 변화에 대한 유동장 변화를 각각 고찰하였고, 이들을 조합해서 해석해 보는 등 총 28 가지로 형상을 변화시키면서 2차원 비반응 유동장에 대한 전산해석을 수행하였다. 그 결과 각 부분의 형상 변화가 유동에 미치는 영향을 파악할 수 있었으며, 각 형상 변화에 따라 소각로 설계자들에게는 데드존(dead zone)이라 불리는 재순환영역의 크기, 그리고 속도의 균일성 등에 대한 상대적 우열을 판단하여 이들을 조합한 최적의 연소실 형상을 제시하였다. 또 최적 형상에 대한 3차원 비반응 및 반응 유동해석을 통하여, 2차원 비반응 해석 결과의 검증을 시도하였다.

3.2 전벽면 형상변화의 영향

전벽면의 형상에 대해서는 유동이 치우치고 재순환영역이 발생하는 주요한 원인 중의 하나인 투입구 위쪽의 모서리의 형상을 변화시켜 가면서 내부 유동장의 변화 특성을 살펴보았다. 주로 건조부에서 발생한 가스가 상승하다가 투입구 상부에 부딪혀서 2차 연소실 중앙부로 이동하게 되

고, 이것이 유동의 치우침과 재순환영역을 발생시키는 것이다. Fig. 2(a)는 이러한 모서리를 완화시켜서 연소가스가 모서리를 완만히 돌아가게 한 것이다. 이것은 모서리에서의 유동의 박리를 막아 재순환영역의 크기를 대폭 줄이고 유동을 전체적으로 균일하게 만들었다. 그러나 이러한 형상의 경우 1차 연소실과 2차 연소실의 경계로 간주되는 목의 면적이 넓어짐에 따라 건조부, 주연소부 및 후연소부에서 상승하는 서로 성분이 다른 기체들간의 충분한 혼합이 이루어져야 하는 특성에는 불리한 역할을 하게 된다. 반대로 Fig. 2(b)는 전벽부에 모서리를 돌출시켜 혼합 성능을 높이려 한 것이다. 이와 같은 형상의 변화는 목면적의 감소로 인하여 혼합 효과를 분명히 향상시킬 것으로 기대되지만 유동이 지나치게 후벽 쪽으로 치우치고 재순환영역의 크기를 상당히 증가시키는 결과를 초래하였다. 이러한 형상은 일부 병류식 연소실에서 볼 수 있는 형상으로서 투입구 상부의 모서리가 혼합에는 좋은 영향을 미치지만 재순환영역을 확대시킴으로써 실질적인 체류시간을 줄이는 효과를 가져온다.

그런데, 여기서 이 두 가지의 형상만을 고려해 보면, 혼합 성능은 2차 공기에 의해서 증가시키는 방안이 바람직하므로, 유동을 균일하게 하고 재순환영역의 크기를 줄이기 위해서는 모서리를 완화시키는 방법이 효율적이라고 판단된다. 모서리를 완화시키는 방법으로서 몇 가지의 추가 수

치해석을 수행하여 보았지만, 이 부분이 투입구의 상부이므로 다양한 변형이 어렵고, 보다 중요한 것은 모서리의 크기 및 각도라고 판단된다. 따라서 Fig. 2(a)와 같은 방식을 채택하되 혼합 성능을 고려하여 목 부분의 면적이 넓어지지 않도록 모서리의 크기를 보다 작게 변형하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

3.3 후벽면 형상변화의 영향

후벽면의 형상 변화는 유동의 치우침을 막고 혼합을 증가시키기 위해 연소실 내부 방향으로 돌출시키는 것이 바람직하다고 판단되었다. Fig. 3(a)는 출구 쪽으로 치우친 유동의 방향을 바로잡기 위해 2차 연소실에 돌출부를 만든 것이다. 그 결과 2차 연소실 입구에서 유동의 방향은 어느 정도 좋아졌지만 돌출부 바로 위로 또 다른 재순환영역이 발생하였고 중압부에 강한 속도 영역이 존재하는 불균일한 유동이 되어 이점을 찾아볼 수 없는 형상이라고 판단된다. 반면에 Fig. 3(b)는 돌출부를 2차 연소실 입구에 설치하여 투입구 상부 모서리와 위치를 같이하고, 돌출부의 경사를 완만하게 한 경우이다. 돌출부를 Fig. 3(b)와 같이 완만히 한다면 유동의 급격한 변화를 방지할 수 있음과 동시에 재순환영역의 크기도 줄어드는 경향을 보였다.

이렇게 2차 연소실 입구에 돌출부를 설치하면 전체 유동에 큰 영향을 끼치지 않고 혼합을 증가

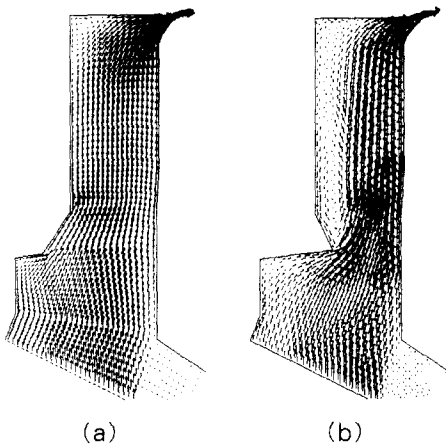


Fig. 2 Velocity vector plots for the front wall modification

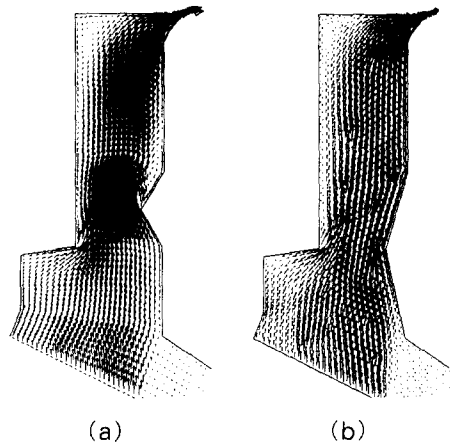


Fig. 3 Velocity vector plots for the rear wall modification

시킬 수 있을 것으로 보인다. 다만 돌출부 이후에는 영역이 확대되는 형상이므로 유동이 다소 후벽면 쪽으로 치우치는 경향이 있는데 이것은 앞서 언급한 전벽쪽의 모서리의 완화와 병행하면 해소될 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 후벽의 형상변화는 혼합 효과를 기대할 수 없었던 기존의 형상을 보완하기 위하여 돌출부를 설치하는 것이 바람직한 것으로 보이며, 그 경사를 완만하게 하여 또 다른 재순환영역이 발생하는 것을 막으면서 설치하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

3.4 상부 형상변화의 영향

이상의 결과에서 연소실 상부면과 전벽면이 수직으로 된 경우에는 상당히 큰 재순환영역이 존재하는 것을 관찰할 수 있었다. 이것은 출구의 위치가 후벽면에 위치하고 있는 점과 투입구 위쪽의 모서리 때문에 전체적인 유동이 후벽면 쪽으로 치우치는 것에 기인한다. 하지만 전벽과 후벽만의 형상변화를 통하여 이러한 원인들의 완전한 개선은 현실적으로 어려움을 지니고 있어서 상부 측의 형상의 개선을 병행하여 재순환영역의 크기를 줄이고 출구에서도 연소가스가 균일하게 빠져나가는 방법을 고려해 보고자 하였다.

Fig. 4(a)는 상부를 기울인 연소실에 대한 유동 해석 결과를 나타내고 있다. 이것은 국내에서 상업용으로 운전되고 있는 다른 연소실의 형상에서도 볼 수 있는 것으로 연소실 내부의 체적 중에서 재순환영역이 차지하는 영역을 상당히 줄임과 동시에 출구로 나가는 유동의 방향 변화를 완만하게 한 것이다. 따라서 상부의 형상의 변화에 따른 체적의 변화를 보완한다면 재순환영역의 감소로 인하여 연소실의 실질적 체적의 증가와 같은 효과를 낼 것으로 판단된다. Fig. 4(b)는 상부의 모서리를 완화시키는 방법으로 변화시킨 것인데, 거의 유사한 효과를 내며, 전체적인 유동 특성도 Fig. 4(a)와 유사한 결과를 보였다.

3.5 형상변화의 조합

이상에서 각 부분의 형상 변화에 따른 유동의 특성을 살펴보았다. 따라서 이를 이용하여 각 부분의 형상 변화를 조합하여, 각각의 영향이 서로 어떤 영향을 미치는지 알아보고, 이를 최적의 형상 도출에 이용할 필요가 있다.

우선 Fig. 5(a)는 앞에서 언급되었던 형상의 변

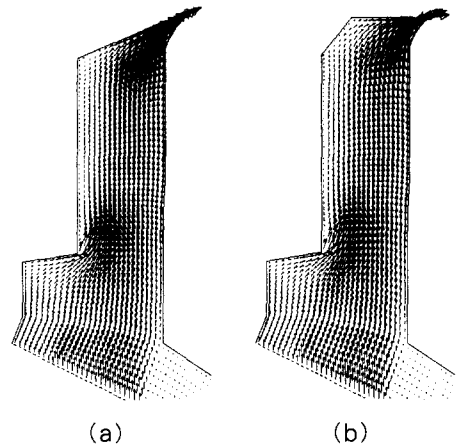


Fig. 4 Velocity vector plots for the upper wall modification

형 중에 전벽면과 후벽면을 돌출시킨 형상들을 조합한 것인데, 이것은 마치 기존의 병류식 연소로와 비슷하게 보인다. 각각의 결과에서 이미 예견되었듯이 혼합성능은 우수할 것처럼 보이지만 유동이 매우 고르지 못하고 재순환영역이 크게 나타나는 등 불합리한 점이 많다. 이에 비해 Fig. 5(b)는 전벽의 모서리 부분과 후벽의 돌출부를 같은 높이에 위치시킴으로써 유동의 편향성을 줄일 수 있음을 관찰할 수 있었다. 또, 각 부분의 형상 변화에서 예견되었듯이 재순환영역이 현저히 줄었고 2차 연소실 내에서는 균일한 속도를 가지는 비교적 편향되지 않는 유동장을 얻을 수 있었다. 또한 이러한 형상에서는 목 부분의 면적을 조절함에 따라 2차 연소실 입구에서의 혼합 성능의 향상을 기대할 수 있을 것으로 판단되는데, 이것은 2차 연소실 입구에 수축부와 확대부가 존재하는 형상으로서 수축부를 통과하면서 혼합된 유동이 확대부에서 균일한 유동으로 변하는 효과이다. 다시 말해 이 형상의 주요한 점은 전벽의 모서리와 후벽의 돌출부를 같은 높이에 위치시켜서 수축부의 효과를 낸 것이라고 할 수 있다.

이외에도 여러 가지 전 후벽면의 형상변화를 조합하여 해석해 보았는데, 각 부분의 형상 변화의 영향이 그 형상들이 조합된 경우에서도 잘 보이고 있었으며, 이상의 결과에서 특히 후벽면의 돌출부 위치가 중요한 역할을 하는 것으로 판단되었다.

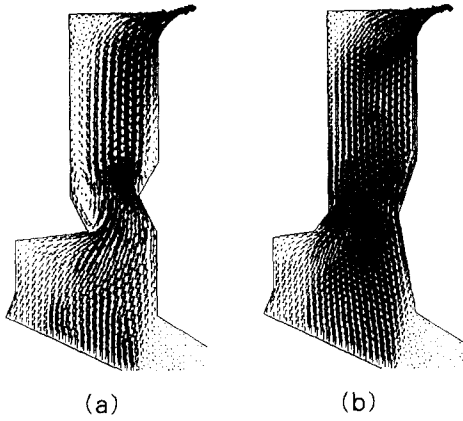


Fig. 5 Velocity vector plots for the combined modification

3.6 최적 형상 변화의 조합

본 연구의 목적인 폐기물 소각로 연소실 형상의 설계 방향을 제시하기 위하여 상기에서 수행된 각 부분의 형상 변화들 중에서 바람직한 것들을 조합하여 최선의 형상을 제시하고자 하였다.

Fig. 6(a)는 유동에 좋은 영향을 미치는 형상들을 조합한 형상이다. 기존의 예비설계 형상에서 관찰되던 재순환영역의 크기가 대폭 줄었으며, 2차 연소실의 유동의 편향성이 줄고 속도분포가 균일하면서도 수축 및 확대의 특성상 혼합 성능의 향상도 상당히 기대되는 것으로 보인다. Fig. 6(b)는 최적 형상에 대한 3차원 비반응 유동해석 결과인데, 2차원 해석 결과와 유동의 특성이 매우 유사한 것으로 보아 3차원의 연소실 형상에서 폭 방향으로의 영향을 일단 무시하여 2차원적으로 모사한 본 연구의 가정이 적절하였다고 판단할 수 있었다.

Fig. 7(a)와 (b)는 연소실의 연소반응이 유동 패턴에는 큰 영향을 미치지 못할 것이라는 본 연구의 초기 가정에 대한 타당성을 입증하고, 또한 향후 연구의 방향을 설정하기 위하여, 지금까지 수행한 결과 중 최적 형상에 대하여 연소반응을 포함한 3차원 유동해석 결과를 나타내고 있다.

연소반응을 동반하는 유동장의 해석을 수행하기 위하여서는 선행연구⁽²⁾와 동일한 방법론을 적용하였는데, 이를 요약하면 다음과 같다. 연소실 내 화격자상에서 폐기물의 연소반응은 폐기물의 가연분을 CxHyOz의 형태로 가정하고 2단 연소반

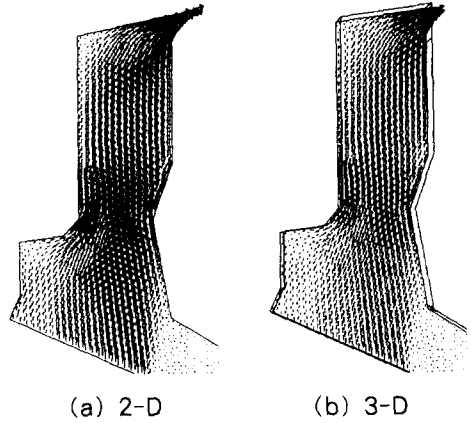
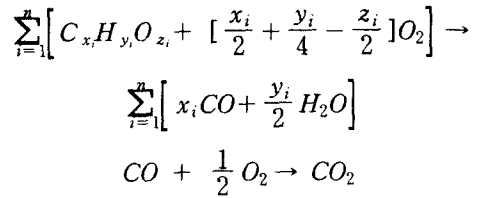


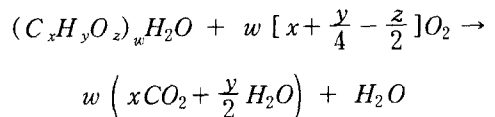
Fig. 6 Velocity vector plots (a) for the optimal geometry and (b) for 3 dimensional analysis

응으로 모델링하였다. 즉,



여기서, 다수개의 CxHyOz의 형태로 가정한 이 유는 고체상의 폐기물의 가연분에서 분리되는 물질이 다양할 것으로 판단되었기 때문이다. 본 연구에서는 연소성이 뛰어난 물질 및 화격자상에서 연소되는 일부 고정탄소를 동시에 포함하는 물질 한가지와, 연소성이 좋지 않은 물질 한가지를 각각 대표한다는 의미에서 2개의 물질로 분류하였다. 그러나 수많은 물질의 원소 구성을 확인할 수는 없기에 2개의 물질의 성분은 동일하게 설정하였으며, 대신 연소반응의 반응계수(turbulent mixing rate constant 및 chemical kinetics rate constant)를 다르게 설정하였다.

폐기물내 수분은 반응속도가 아주 빠른 가상의 반응으로 처리하여 건조부 및 주연소부 상단에서 건조하는 것으로 모델화하였다.^(3,4) 즉,



여기서, w는 수분 1몰을 증발시키는데 필요한 가연성분의 몰수로서, 가연분의 연소에 따른 발

열량이 수분을 증발시킨다는 개념을 하나로 처리하여, 전체적으로는 발열 또는 흡열이 없이 아주 빠른 속도로 반응이 진행되게 설정하였다.

Fig. 7(a)에 보여진 속도 벡터로부터, 재순환영역의 특성이나 유동의 균일성 등으로 표현되는 유동 패턴은 Fig. 6(b)의 3차원 비반응 유동 해석 결과 및 Fig. 6(a)에 보여진 2차원 유동 해석 결과와도 상당히 유사하였다. 이에 본 연구에서 수행된 2차원 비반응 해석의 결과가 3차원 유동 패턴을 분석하기 위한 단순화된 방법론임에도 불구하고 비교적 적절한함을 알 수 있었다.

복잡한 성상을 가지는 폐기물에 대하여 연소모델을 설정하는 점에는 여러 가지 어려움이 있는데, 특히 고체 폐기물이 화격자상에서 연소하는 특성상 모델링 기법에는 한계가 존재한다. 본 연구에 적용된 방법의 적절성을 입증하기 위하여 파일럿 플랜트의 실험 결과와 비교하였었는데,⁽⁹⁾ 소각로 측정의 한계상 비교는 온도장에 국한되었으나, 정성적 경향은 비교적 일치함을 알 수 있었다. 또한 정량적 경향에 대해서는 연소 모델의 계수 및 가연분의 위치별 발생량을 조정함으로써 상당히 잘 일치하는 결과를 얻을 수 있었기에⁽⁹⁾ 유사 플랜트의 설계에는 무난히 적용할 수 있을 것으로 판단하고 본 연구에 적용하였다. 그리고 다른 형상의 소각로에 대해서도 제한적으로는 적용될 수 있을 것으로 예측되지만, 이를 위해서는 추가의 연구가 따라야 할 것으로 판단된다.

Fig. 7(b)는 연소실 내부의 온도장인데 선행연구⁽²⁾ 및 실제 소각로 연소실에서 관찰되는 온도 분포와 수평 및 수직 방향으로의 정성적 변화에서 매우 유사한 특성을 지닌다. 따라서 매우 복잡한 거동을 하는 고체 폐기물을 포함한 소각로 내부에 대하여, 상기에 언급한 폐기물 연소반응 모델 기법 및 가정은 본 연구와 같이 유동 패턴의 분석이 주목적인 경우에 온도장의 영향을 포함하기 위한 방법론으로서 비교적 적절한 접근 방법인 것으로 판단된다.

현재 국내의 소각로, 특히 50톤/일 처리용량 이상의 대형 소각로의 설계는 대부분 외국 기술 도입에 의존되고 있다. 또한 핵심 기본 설계 업무 중의 하나로서 연소실 내부의 유동 특성과 밀접한 관련이 있는 연소실의 형상 설계 및 2차 공기 노즐 설계(위치, 노즐 크기 및 유량 분배 등) 등에 대한 소각로 제작업체의 관심 및 연구는 아주

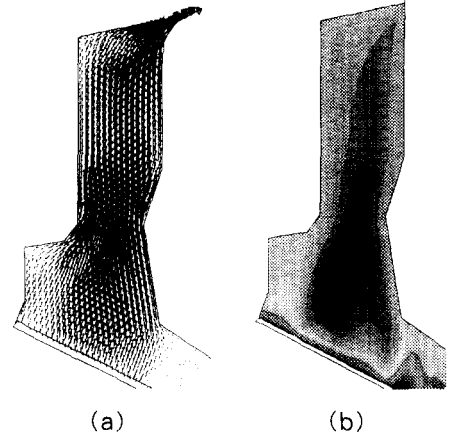


Fig. 7 Velocity vector and temperature contour plots for 3 dimensional reacting flow

미약한 실정이다. 이와 같은 현실을 고려할 때, 본 연구는 향후 소각로 설계기술의 국내 자립 및 공해물질을 저감시킬 수 있는 설계 및 운전 조건 확보를 위한 추가적인 연구의 기초 자료로서의 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 연소실 각 부분의 형상이 유동에 미치는 영향에 대한 분석을 통하여 소각로 연소실에서 요구되는 유동의 특징, 즉 재순환영역의 감소, 혼합의 증가 및 2차 연소실에서의 균일한 속도 분포를 가지는 유동장을 확보하기 위한 기하학적 형상 최적 설계를 위한 방향을 제시하고자 하였다. 수치해석 결과의 분석을 통하여 연소실의 성능 향상에 유리한 유동장을 확보하기 위한 개념을 확보할 수 있었으며, 형상 변화에 따른 유동 패턴 변화를 요약하면 다음과 같다.

(1) 전벽의 폐기물 투입구 상부의 모서리를 완화시켰을 때는 재순환영역이 줄고 유동의 편향성이 줄었다.

(2) 후벽에 위치한 돌출부는 혼합의 효과를 증대시키고, 유동의 편향성을 줄이는데, 전벽의 모서리와 같은 위치에 폭이 넓고 완만한 돌출부를 설치했을 때 연소실의 유동이 바람직한 특성을 가진다.

(3) 상부 전벽의 모서리를 완화시키거나, 후벽 방향으로 경사를 준 형상은 전체 유동에 큰 변화

를 주지 않으면서도 재순환영역을 줄인다.

(4) 3차원 반응 유동의 해석 결과 2차원 비반응 유동해석 결과와 비교하여 유동 패턴이 매우 유사한 점으로 판단하여, 상대적으로 해석이 쉬운 비반응 유동장 해석 방법이 기본설계에 실용적으로 활용될 수 있는 비교적 적절한 방법론이라고 판단되었다.

후 기

본 연구는 환경부에서 지원하고 국립환경연구원 총괄주관 및 대우중공업(주)과 (주)대우가 주관기관으로 참여하고 있는 G-7 "도시 쓰레기 상용화 소각시스템 개발" 과제의 일환으로 수행되었습니다. 관계자 여러분들께 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) 김삼권, 1999, "도시폐기물 소각시설 다이옥신 저감을 위한 단계적 기술전략," 첨단환경기술 9월호, pp. 2~13.
- (2) 이진욱, 박병수, 윤용승, 서정대, 허일상, 1999, "상업용 소각로 연소실 성능예측을 위한 수치해석 연구," 한국연소학회지 제4권, 제1호, pp. 141~153.
- (3) Nasserzadeh, V. and Swithenbank, J., 1991, "Design Optimization of a Large Municipal Solid

Waste Incinerator," *Waste Management*, Vol. 11, pp. 249~261.

- (4) Riccius, O. and Chapman, P. J., 1997, "Application of CFD in Waste Incinerators," Fluent User Group Meeting, Frankfurt, Germany.
- (5) Madsen, O. H., Binner, S. and Jorgensen, K., 1997, "Modern Design Technologies for Thermal Optimization and Pollutant Control in MSW Incinerator Plants," *1st Int. Conf. on Incineration and Flue Gas Treatment Technologies*, Sheffield Univ., U.K.
- (6) Ryu, C. K. and Choi, S. M., 1996, "3-Dimensional Simulation of Air Mixig in the MSW Incinerators," *Combust. Sci. and Tech.* Vol. 119, pp. 155~170.
- (7) Nasserzadeh, V. and Swithenbank, J., 1993, "Effect of High Speed Secondary Air Jets on the Overall Performance Of A Large MSW Incinerator With A Vertical Shaft," *Combust. Sci. and Tech.*, Vol. 92, pp. 389~422.
- (8) Pantankar, S. V., 1980, *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, Hemisphere publishing, Washington.
- (9) 서인준, 강승균, 길상인, 윤용승, 이진욱 등, 1999, "저공해 소각기술 : 도시폐기물 소각로 화격자 개발," 환경부 G-7 보고서, 제 2차년도 년차 보고서.