

## 폐기물의 안전처리를 위한 구동화격자 소각로내의 공기유동 현상

김성중\*, 이동호\*, 송한조\*\*

\*인천대안전공학과 \*\*인천대폐기물처리연구센터

### 1. 서론

폐기물의 처리방법으로는 매립, 소각, 재활용 등이 있으며, 이 중 자원으로 재활용하는 방법이 가장 바람직하다. 그러나 모든 폐기물을 자원으로 재활용 할 수 없을 뿐 아니라, 사업장에서 발생하는 폐기물 특히 병원폐기물의 경우 재활용이 거의 불가능하고, 위생적 처리가 어려우므로 소각에 의하여 위생적이고, 안전하게 처리하는 방안이 가장 적합하다. 소각방식은 처리대상 폐기물의 종류와 처리량 등에 따라서 화격자식, 유동상식, 로터리킬른식, 분무식소각로식 등으로 분류된다.

이중 화격자소각로<sup>1)</sup>는 폐기물을 화격자위에 펼쳐놓고 소각하는 방식으로 건설이 용이하고 저발열량을 가진 폐기물은 물론 고발열량을 가진 폐기물까지 폭 넓게 고품폐기물을 소각할 수 있다는 장점이 있다. 또 화격자 소각로는 다른 방식에 비하여 많은 폐기물량을 처리할 수 있어 대형소각로에 많이 이용된다. 국내에서 폐기물처리에는 일반적으로 화격자방식이 많이 사용되고 있다.

소각에 대한 최근의 연구는 연소실 내의 연소과정을 조절하는 방법으로 폐기물을 효과적으로 연소시키고 공해물질의 방출을 최대한 억제하는데 방안 중점을 두고 있다. 폐기물 연소 제어는 폐기물을 효율적으로 연소시키고 공해를 유발하는 유기화합물을 급속히 파괴할 수 있도록 적절한 체류시간과 온도를 유지하여 완전연소를 이루게 하는 것이다. 이를 위해서는 연소실의 형상이나 공기주입방법, 폐기물의 특성과 주입량변화, 설계조건과 운전조건의 변화에 따른 체류시간, 난류와 산소, 각 부위의 온도등 연소상황에 영향을 미칠 수 있는 인자와 이들이 연소상황에 어떤 영향을 끼치는지에 대한 규명이 필수적이다.

기존의 연구방법으로는 실험실에서의 측정뿐만 아니라 실험적, 수치적 방법을 통한 다양한 접근이 이루어지고 있으나, 결국 연소실내에서의 혼합과 반응을 살펴보는 것이 공통적인 목표라 할 수 있다.

본 연구에는 연소상황에 영향을 주는 여러 인자중 공기 주입에 따른 노내의 유동장 변화를 고찰할 수 있는 방법으로 냉간유동실험을 통하여 노내 혼합을 실험값과 모사값의 비교를 통하여 연소특성을 규명하였다.

## 2. 이 론

### 가. 냉간 유동실험

소각로 연소실에서 최적연소를 위한 연구방법으로는 실제 소각로에서의 실험이 가장 정확하지만 지속적인 실측 및 여러 인자변화의 어려운 점이 있다. 한편 축소모형의 실험적인 방법은 결과가 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있으나, 측정범위의 제한이 있고 정량적인 분석이 어려우므로 수치적인 연구방법과 상호보완적으로 쓰이고 있다. 수치적인 방법에서는 난류유동과 반응모델의 한계가 있으나 전체 유동장에서 물리적인 값들을 확인할 수 있고 정량적인 인자화가 가능하다. 실험적, 수치적 방법은 온도의 고려여부에 따라 크게 냉간 유동(cold flow)과 열간 유동(hot flow)으로 나눌 수 있다. 또한 형상에 있어서는 연소실에 대한 2차원 모델링과 3차원 모델링으로 나누며, 필요에 따라 곡류동 세부적인 형상에 대해서도 연구가 이루어지고 있다.

냉간유동실험에 대한 예로 Bohn<sup>2)</sup>, Bette<sup>3)</sup> 등은 3차원 단순축소모형을 이용하여 유동장과 2차공기 주입의 영향에 대해 연구하였고, Heist<sup>4)</sup> 등은 연소실의 굴곡부분에 발생하는 재순환영역을 실험 및 수치적 분석을 통한 실플랜트로의 적용에 대해 연구를 하였다. Santos<sup>5)</sup>는 연소실 화격자 상단의 온도 및 가스조성을 측정하여 폐기물의 연소상황을 정리하였고, Nasserzadeh<sup>6)</sup>는 수치적인 연구로 연소실의 형상변경과 2차 공기 주입개선으로 연소실의 체류시간을 증가시켜 효율을 개선하기 위한 열간 유동의 수치해석을 수행하였다.

### 나. 상용 유동장 프로그램

상용유동장 프로그램은 소각로의 최적인 형상과 운영조건의 중요성이 인식됨에 따라 각광을 받기 시작하였다. 현재 사용되고 있는 상용유동장 프로그램은 Fluent<sup>7)</sup>, Flow3D<sup>8)</sup>, Phoenix<sup>9)</sup>, FIDAP<sup>10)</sup> 등이 있다. 본 연구에서 사용된 Fluent는 유한차분법으로 만들어진 프로그램으로서 이를 이용하여 우수한 효과를 얻은 예로는 1984년 캐나다에서 발족된 NITEP<sup>11)</sup>(National Incinerator Testing and Evaluation Program)에 의하여 수행된 퀘벡(Quebec)시의 예로 기존의 소각로의 문제점을 개선하기 위하여 소각로의 형상을 바꾸는데, 유동장 프로그램을 이용하였다. 소각로 형상수정은 유해물질 방출감소와 열회수율의 증가를 위하여 수행되었다. 이를 위하여 NITEP는 기존 소각로의 유동장모사결과를 근거로 목적에 알맞은 최적의 노형상을 제안하였다. 소각로에 대한 유동장 모사를 통하여 개량전의 노에 대한 평가는 다음과 같다. 첫째, 상단의 화격자에 있는 복사영역만이 유효하게 사용되고, 둘째 2차 연소실로 가는 좁은 출구(water arch)로 인해 가스의 속도가 빨라져 주연소화격자와 후연소화격자에서 생성된 분진의 많은 양이 보일러로 유입되고 있으며, 셋째 보일러 주입구에서의 빠른 가스속도는 보일러 주입구 하단부분의 과도한 부식을 일으키는 주요인자로 작용하며, 넷째 2차 연소

실의 빠른 가스속도와 보조연료 공급실(auxiliary oil chamber)의 존재로 말미암아 배가스의 체류시간이 적고, 다섯째 보일러 스크린과 화염의 직접적인 접촉이 추측되었다. 이상과 같은 근거로 개량후의 형상은 다음과 같다. 첫째, 연소실 앞뒤에서 굴곡(bull-nose)을 가하여 노안에서 가스 혼합이 최대가 되도록 하였다.

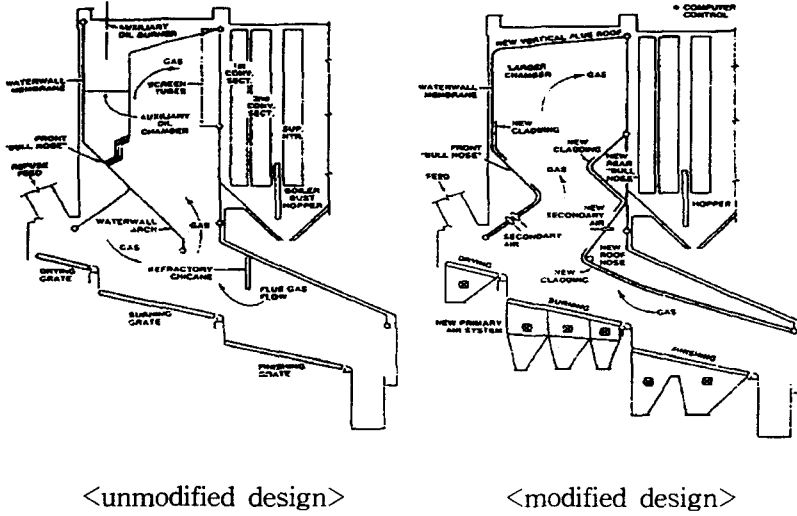


Fig.1 The case of improving incinerator in Quebec

둘째, 수냉아치(water-wall arch)가 제거되어 2차 연소실에서의 가스속도를 느리게 하고 보일러 주입구에서의 가스분포를 개선하였다. 셋째, 보조연료 공급실을 제거하여 노의 용적이 30%정도 증가하여 가스체류시간을 증가시켰다. 위 예에서 개량전후의 실험을 통하여 노형상 수정 후 분진의 방출이 현저하게 감소하였고, 다이옥신의 경우 개량된 후의 측정치가 개량전보다 40~100배의 감소를 보였다.<sup>11)</sup>

### 3. 실험

#### 가. 소각로내 냉간유동 실험

본 실험은 c사의 구동화격자 소각로 24t/d의 중형규모의 소각로를 대상으로 실험을 수행하였으며, 우선적으로 소각로내 압입송풍기(Forced Draft Fan) damper 개폐율에 따른 유속의 변화와 특성을 확인하기 위하여 총 25단중 5, 9, 12, 17, 20, 22단의 중앙부분에서 유속을 실측하였다. Fig.2는 압입송풍기(Forced Draft Fan)의 damper 개폐율의 변화에 따른 1차 연소실의 속도변화를 나타낸다. 압입송풍기(Forced Draft Fan) daper 개폐율의 증가에 따라 유속의 변화를 확인할 수 있으며, 25%에서 50%로 증가시 유속과 유량의 변화는 압입송풍기(Forced Draft Fan) damper 개폐율에 민감하게 반응하였으며, 75% 100% 조건에서는 유량과 유속의 변화가 크게 나타나지 않는 것으로 나타났다.

Fig.3는 압입송풍기 개폐율에 따른 양쪽벽면의 유속변화를 나타낸다. 양쪽벽면

에서의 유속은 압입송풍기(Forced Draft Fan)damper의 개폐율이 25%, 50%, 100%의 변화에 따라 유속이 증가하는 경향을 나타냈으며, 75% 개폐율 조건에서는 불규칙한 유속의 변화를 나타냈다.

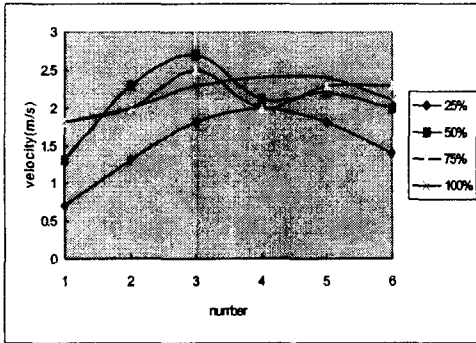


Fig.2 The flow velocity profile according to the damper opening ratio of forced draft fan

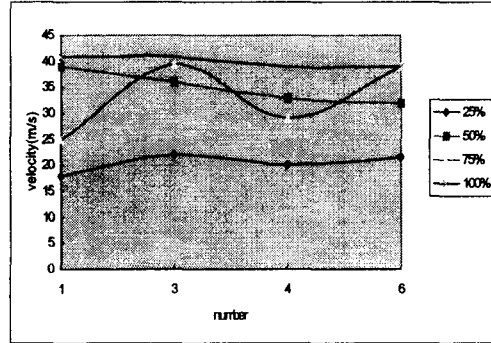


Fig.3 The flow velocity profile according to the damper opening ratio of forced draft fan at the right side section

#### 나. 실험치와 결과치의 비교

실험치는 소각로 내부에 유속계를 착용하고 들어가 소각로의 25단을 A(1단), B(9단), C(17단), D(22단) 4구역의 중단면 방향(배가스 출구방향)으로 나누어 위치에 따라 유속을 측정하였다. 모사치는 실험치의 유량값에 근접한 모사 유량값을 설정하기 위하여 실험대상 연소실을 모사하여 공기를 임의로 주입한 후, 모사에 사용된 압입송풍기의 압력을 변환하여 실험치의 유량값에 근접한 값을 선정하는 방법을 사용하였다. 이 때의 속도profile을 비교한 것은 figure4, 5, 6, 7과 같다.

가) A지점은 화격자 25단중 1단의 위치이며 배가스 출구쪽인 중단면(x)방향으로, 소각로 내에서 가장 상측에 위치한 지점으로 x의 5번부터 7번까지가 1차 연소실 출구에 연결되는 지점으로 공기의 유속이 빠른 지역이다. 이는 출구쪽의 단면적이 1차 연소실보다 적기 때문이다. Fig.4에서 모사치와 실험치를 비교해보면, 모사치의 경우에는 x방향으로 유속이 점점 증가하여, 출구의 위치인 5, 6번 지역에서 빠른 유속을 보이고 있다. 반면, 실험치에서는 1, 2번은 화격자 상단에서 직접 올라오는 유속에 의한 영향을 받는 지역이므로 모사치와 상이하며, 모사치는 5, 6번에서 빠른 속도를 보이는데 비하여 실험치에서는 3번에서부터 증가하기 시작하여 4, 5번 즉, 출구로 꺾이는 지점에서 가장 빠른 속도를 보여주고 있다.

나) Fig.5의 B지점은 화격자 25단중 9단의 위치에서 출구쪽 방향인 중단면(x) 방향에 해당되는 지점으로, Fig.4와 마찬가지로 x방향 1, 2번은 화격자 상단과 양쪽 벽면에서의 빠른 유속에 의한 영향을 받는 지역이므로 모사치와의 다른 유동 형태를 나타내고 있다. 한편, 모사치와 실험치는 비슷한 유형의 유동 형태를 나타

내고 있으나, A지역과 마찬가지로 모사치는 출구의 후반부지역인 5번지점부터 유속이 저하되는 반면, 실험치는 4번지점에서부터 유속이 저하되고 있음을 보여 준다. 이는 B지점의 앞쪽과 벽면에서 합쳐진 공기의 유속흐름이 출구쪽으로 빠른 유선을 그리며 A지역으로 합류하기 때문인 것으로 보인다.

다) Fig.6의 C지점은 화격자 25단중 17단이며, Fig.7의 D지점은 화격자 25단중 아랫부분인 22단 지점의 종단면 유속을 나타낸다. C는 x의 1, 2, 3번이, D는 x의 1, 2번 지역이 화격자 상단과 양쪽벽면의 빠른 유속에 직접적인 영향을 받는 지역이므로, 노즐에 의한 직접적인 영향을 받지 않는 지역인 C의 4, 5, 6번을, D의 3,4번 지점의 유속을 비교해 보았다. C와 D 종단면의 유속은 모사치와 실험치가 비슷한 경향을 보이고 있으며, 유속이 감소하는 것을 보면 하단부에서 퍼지지 않고, 양쪽벽면에서 나온 공기와 화격자 하단에서 올라온 공기의 혼합이 원활하게 이루어져 상단부의 B의 유선과 결합하여 출구쪽으로 빠져나간다는 것을 알 수 있다. 이는 연소시에 주연소단 후미와 후연소단에서 원활한 연소효과를 기대해 볼 수 있음을 의미한다

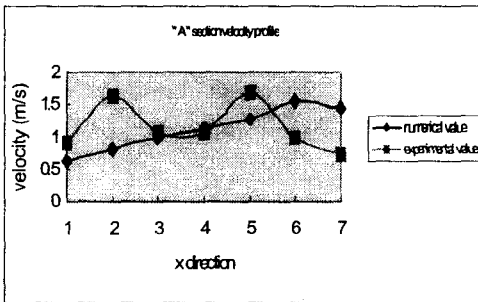


Fig.4 "A" section velocity profile

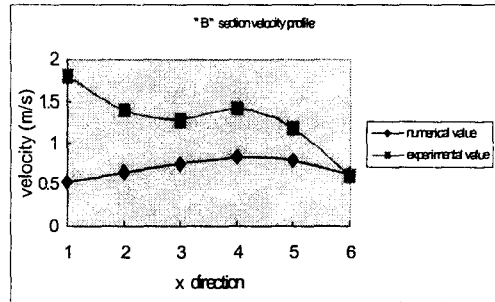


Fig.5 "B" section velocity profile

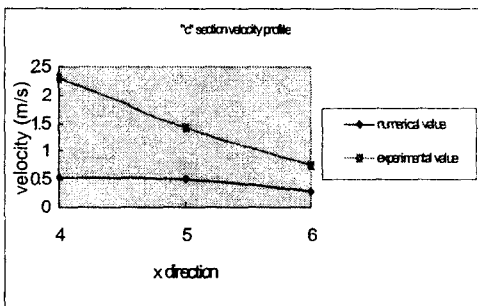


Fig.6 "C" section velocity profile

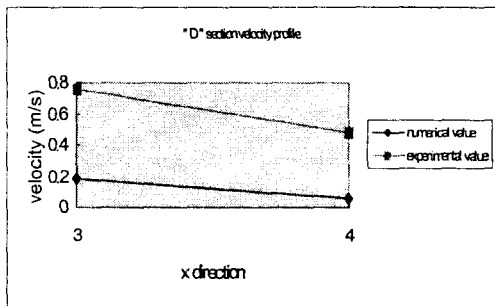


Fig.7 "D" section velocity profile

#### 4. 결론

(1) F.D.Fan의 개폐율이 25%, 50%일 때의 유량과 유속의 변화가 개폐율에 민감하게 반응하나, 75%, 100%일 때는 유량과 유속의 변화가 크게 나타나지 않는 것으로 나타났다.

(2) 실험치와 모사치의 비교를 종합해보면, 유속의 흐름과 혼합형태가 비슷한 유형을 나타내고 있으나, 부분적으로 모사치와 실험치가 다른 부분이 존재한다. 특히, 전단부의 속도profile은 상이한 반면 중간부분의 속도profile은 대부분 일치하는 형태를 띠고 있다. 이는 전단부가 화격자와 양쪽벽면 노즐에 직접적인 영향을 받아 실험치와 모사치가 다른 것으로 판단된다. 이 결과는 폐기물의 안전적 처리를 위해 국내에 사용되고 있는 소각시설의 향후 연구와 소각로 운영조건 수립에 도움을 줄 것으로 생각된다.

## 참고 문헌

- 1) Calvin R. runner, P.E., D.E.E, "Handbook of incineration systems" McGraw-hill, pp.13, pp.4, pp.13, pp.23, 1991.
- 2) T.J. Bohn, "Stromungsuntersuchungen am modell der MVA-Hamm nach Vorgabe von MAB-LENTJES am 15.05.1991," Essen Univ., Germany, 1991
- 3) M.Bette, W.G. Schuetzenduebel et al. " The Achievement of 'Good Combustion' by Improvement of Secondary Air Injection at the Montgomery County Waste to Energy Facility", National Waste Processing Conference Proceeding ASME, PP.163-170, 1994
- 4) D.K. Heist et al., "Experimental and Numerical Study of An Incinerator and Furnace Related Flow", 25th symp. comb., 1994.
- 5) A.M. Santos, "Study of a MSW Incinerator : Overall Operation and On-site Measurement over the Grate", STEV Project, Report, Report no. FBT-91/14, Royal Institute Publishing Company, Sweden.
- 6) V.Nesserzadeh et al., "Three-Dimensional Modeling of The Coventry MSW Incinerator Using Computational Fluid Dynamics and Experimental Data", Trans IChemE, 1993
- 7) Anon, "Fluent User's Manual", version 3.0, Create.x Inc., Hanover, 1990
- 8) Anon, "Flow3D User Guide" Release 3.2, AEA Industrial Technology, 1992
- 9) Anon, "Manual for phoenics" CHAM of North America, Inc., 1990
- 10) Anon, "Manual for FIDAP" Fluid Dynamics International., 1990
- 11) "National Incinerator Testing and Evaluation Program" : Environmental Characterization of Mass Burning Incinerator Technology at Quebec City Summery Report Canada, 1998.