

燃燒原理基礎

金鍾奭

(環境廳 大氣管理課長)

1. 연소원리기초 (Basic Principle of Combustion)

탄소계연료 연소에 필요한 기초적인 연소공정을 다루어 소각로공정의 이해를 촉구키로 하였다. 여기서 주로 다룬것은 연소효율증가에 필요한 기본적인 실체적인 사항을 생각한 후 연소시설에서 발생하는 매연방지문제를 검토하였다. 또 특히 소각로공정에 일반적으로 사용되는 火床 (Fuelbed) 의 가스성분과 온도분포 등을 살펴보고자 하였다.

(1) 연료와 연소

연료는 탄소와 수소를 그 주성분으로 하고 소량의 불순물로서 유기 또는 무기성분을 함유한다.

연료성분 내의 탄소 / 수소비 (C/H Atomic Ratio) 는 정상상태하에서 연료의 상태 즉 가스, 액체, 고체를 결정하게 된다.

연료중 탄소 / 수소비가 크면 클수록 완전연소에 이르게 된다. 완전연소에는 과잉공기의 공급이 필요하다.

< 표 1-1 > 은 각종 연료의 연소특성을 설명한 것이다. 이 표는 탄소 / 수소비에 따른 과잉공기비의 증가를 설명하고 있다.

탄소 / 수소비의 증가는 연료의 물리적구조 자체가 연료와 공기의 혼합도 또는 난류상태의 難易度의 증가를 뜻하므로 연소가 어려워짐을 뜻한다.

연소란 연료가 고온산화하여 탄산가스와 물로 산화되며 그 결과 수증기와 열을 발생하는 일종의 화학반응으로 정의된다. 이때 반응의 성질과 반응속도는 물리화학적 요인에 좌우된다.

(2) 연소효율 조건 (Essential Requirement for Efficient Combustion)

< 표 1-1 > 연료연소표 The Combustion of Mineral Fuels (Diagrammatic)

Type of Fuel	Combustible Constituents	Thermal Decomposition Products	Final Products of Complete Combustion	Theoretical %CO ₂ in Dry Products	Excess Air Required for Efficient Combustion %	Actual CO ₂ in Dry Products, % (Efficient Defensive)
1. Gaseous Fuels C/H=3:1	Carbon monoxide Hydrocarbon gases Hydrogen	C+H ₂ O	CO → CO ₂ H ₂ → H ₂ O	11-13	5 to 10	c 10
2. Oil Fuels C/H=6 to 7:1	Hydrocarbon	C+H ₂ O	CO → CO ₂ H ₂ → H ₂ O	15-16	10 to 20	c 13.5



연소를 반응공학적인 측면 (Theories of Chemical Reaction Kinetics) 으로 관찰해보자면, 화학반응이 일어나기 위해서는 반응을 일으킬 분자들 빠른 운동상태에 있는 이 활성화에너지라고 하는 최소 임계에너지와 동등 또는 이보다 큰 에너지를 가지고 반응을 일으킬 타분자와 충돌하여 반응을 완결하게 된다.

이와같은 반응을 위한 분자간 충돌은 보통 온도를 상승시켜 분자를 활성화시키므로써 이루어진다. 이때 반응속도는 온도에 따라 변하며 온도에 대한 반응속도 변화정도는 10~15°C 상승마다 2 배 정도로 증가된다.

실제로 화학반응이 일어나는 과정은 보통 화학방정식으로 표시된 것처럼 간단하게 이루어지지 않는 경우가 많다.

순수가스 반응을 살펴보면 반응이 완결되기 위해서는 높은 에너지 상태의 화학적으로 불안정한 중간체를 형성한 후 이들이 안정한 최종산물로 변함으로써 반응은 완결된다. 중간체는 보통 높은 에너지 상태에 있어 활성화 즉 반응성이 높고 존재기간이 짧다.

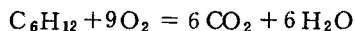
이들 중간체는 화학반응의 한 단계로서 형성되어 다음 단계에서 붕괴되게 된다. 중간체로는 결합손을 가지고 있는 경우가 많다. 예컨대 극성가스 (Diatomic Gas) 로서 H, O, 자유기로서 OH, H₂O, CHO, CH와 같이 쌍을 짓지않는 전자를 가진 경우 또는 유기물로서는 포름알데히드 (HCHO) 등을 들 수 있다. 순수가스의 반응과정은 반응촉진제 (Promoters, 보통 Catalysts) 또는 반응억제제 (Inhibitors) 에 의해서 촉진, 억제 또는 중지시킬 수 있다.

화학반응이 연쇄반응을 이루는 경우에는 결합손을 가진 중간체를 파괴 또는 소멸시킬 수 있는 물체 (용기의 표면) 가 반응에 매우 중요한 역할을 담당한다. 연소과정에서 보면 연소가스가 통과하여야 하는 용기 또는 각종 통로 표면의 특성과 정도에 산화반응이 크게 영향을 받는다는 것은 잘 알려진 사실이다.

예를들면 화실의 벽이 냉각되면 이 냉각된 벽이 활성화된 결합물을 다량 흡수하기 때문에 냉

각된 화실벽 근방에서는 연료연소반응이 정지되어 결과적으로 불완전연소된 매연 또는 검댕이 발생하여 화실벽에 퇴적하는 것이 좋은 예라고 볼 수 있다.

분자반응에 대한 확률적 견해에 입각해보면 3 개 이상의 분자가 동시에 충돌한다는 것은 확률적으로 그 가능성이 매우 낮다. 따라서 반응할 분자의 수가 많은 복잡한 반응은 몇개의 연쇄적인 단계적 반응으로 진행된다.



위의 반응이 한번에 완결된다면 핵산 (C₆H₁₂) 한 분자가 9 개의 산소와 동시에 충돌하여야 하며 이는 앞에서도 언급한 바와같이 불가능 함을 알 수 있다. 이 경우 전체반응이 완결에 필요한 반응속도는 단계별반응 (Elementary Intermediate Reaction) 속도에 좌우된다. 따라서 단계별 반응중 율속단계를 조절할 수 있는 활성화 엔타 생성이 필요하고 이 생성에 필요한 시간요인에 좌우된다.

그러나 탄적으로 볼때 화학반응에 필요한 시간은 물질이동 또는 열이동에 필요한 시간에 비하여 무시할 정도이기 때문에 실제 연소과정에서 연소속도를 좌우하는 것은 바로 물질 및 열이동이 좌우한다. 예컨대 탄소의 연소에서는 가스상태의 산소를 탄소 표면에 이동시켜주는 것 과 이들 접촉에 의해서 생성된 연소산물을 이 반응 표면에서 얼마나 빨리 제거하느냐에 좌우된다. 즉 반응속도보다는 이동속도에 전체반응속도가 좌우된다.

연소과정중 중요한 물리적요인은 산소의 공급속도, 공기연료 혼합속도, 혼합물의 가온정도, 분자확산, 액체의 분사 및 증발 등이 된다. 연소에서는 연료중 유기물이 일·이차 열분해를 통하여 간단한 탄화수소, 탄소, 수소, 일산화탄소 등으로 분해한 후, 최종적으로 탄산가스와 물을 형성한다.

(3) 연소공학의 실제 (Practical Consideration)

앞 절에서 유기물 연소의 연소효율을 증대시

키기 위해서 몇가지 연소에 필요한 조건들을 분석 검토한 바 있다.

실제에 있어서는 이들 기초적인 원리는 경험에 의해서 체계화되어 실용화되고 있으며 그 내용을 정리하면 아래와 같이 정리할 수 있다.

① 공기 / 연료의 적정비 (Correct Portioning of air and Fuel)

연소는 일종의 산화반응이며 완전연소에 이르게 하기 위해서는 연료성분인 탄소와 수소등 가연성분이 완전연소될 수 있도록 충분한 산소가 필요하다.

이때 필요한 산소를 얻기 위해서 공급하는 공기를 연소공기라 하며 <표 1-1>에서 보듯이 연료상태가 가스일때 과잉공기 (m = 실제공기)는 1, 액체일때는 이론공기 1.2~1.5고체일때는 1.5~2.0이다.

이와같이 연료자체가 공기와 쉽게 혼합될 수 있는 것이면 과잉공기율은 적게된다.

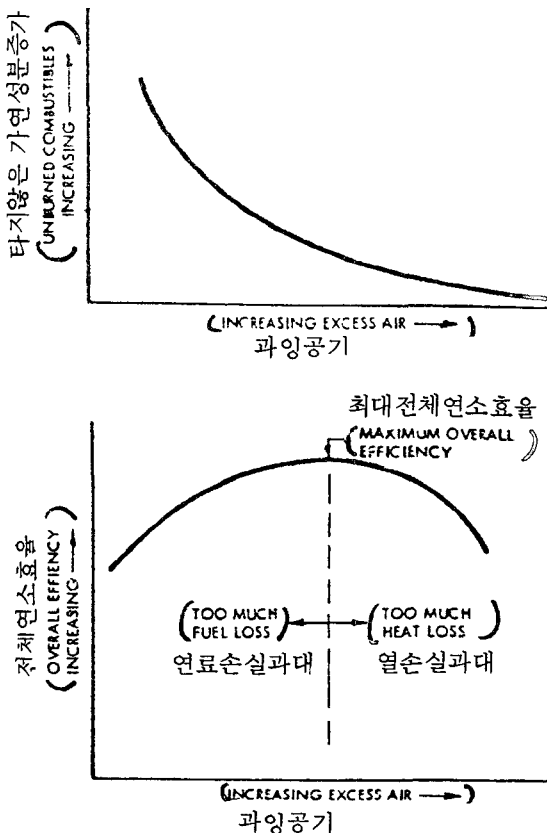
<그림 1-1>은 과잉공기와 연소효율을 설명한 것이다. 이는 연료의 상태가 같을때 과잉공기가 연소효율에 어떤 영향을 미치는 가를 설명한다. <그림 1-1>의 윗쪽은 미처 타지않은 가연성분과 과잉공기 관계를 아래쪽은 열효율과 과잉공기와의 관계를 설명하고 있다.

윗 그림에서 보면 과잉공기비가 증가되면 폐가스내 타지 않은 가연성분 즉 연료는 감소하여 연소효율이 증가함을 암시한다. 반면 아래 그림에서는 과잉공기비가 어느 한계치를 초과하면 열효율이 감소함을 나타낸다. 즉 과잉공기의 증가는 배연가스중 아직 타지않은 비연소연료의 연소를 증가시키는 효과를 일으키며 동시에 연소가스의 희석과 냉각을 유발한다. 따라서 연소장열손실과 폐가스 증가로 인한 열손실을 최소화 할 수 있는 점에서 과잉공기 공급을 조절하여야 하며, 이와같은 효과를 얻을 수 있는 과잉공기량을 공급했을때 열효율을 최대 열효율점 (Maximum Overall Thermal Efficiency)라고 한다. 따라서 실제로 이와같은 과잉공기량을 연소기 및 연료종류에 따라 결정하여야 한다.

② 연소온도

연소온도는 가급적이면 산화반응이 진행되기에 충분한 높은 온도여야 한다. 연소온도가 낮은 경우는 가연성가스나 증기가 매연의 원인이 되는 미세한 유리탄소로 분해하여 불완전연소의 원인이 되기도 한다.

보통의 燃燒裝置로서는 항상 不完全燃燒에 의한 손실이 있다. 실제로 발생한 熱量과, 燃料의 發熱量 H_n (kcal/kg 또는 kcal/Nm³)과의 比를 燃燒效率 η 이라고 부르고 있다. 따라서 發生 熱量은 ηH_n 이 된다. 이 熱量에 의해서 燃燒가스의 溫度가 상승되지만 이와 동시에 焔으로 부터, 輻射 등에 의해서 주위로 熱이 損失되므로, 이 損失熱과 發生熱과의 比를 σ 라고 할 때, 이 σ 의 값은 爐, 被熱物의 상태 및 燃料의 投入量 등에 따라서 넓은 범위에 걸쳐 여러가지의 값을 나타나게 된다. 그러므로 燃燒가스가 도달하는 溫



<그림 1-1> 과잉공기와 연소효율

度 t_g (°C) 는

$$t_g = \frac{\eta H_n (1 - \sigma) + c_f t_f + c_a t_a m L_o}{c_g \{ G_o + (m - 1) L_o \}}$$

단, c_f 는 燃料의 平均 比熱 (kcal/kg·°C 또는 kcal/Nm³·°C), c_a, c_g 는 空氣 및 燃燒가스의 平均 比熱 (kcal/Nm³·°C), t_f, t_a 는 燃燒 및 豫熱溫度 (°C) 이다. 이 식에서 $\eta=1, \sigma=0$ 일때,

t_g 는 이론적으로 도달할 수 있는 최고의 溫度가 되므로, 이것을 理論燃燒溫度 또는 理論溫度라고 부른다. 이것은 t_h (°C) 로 표시하면,

$$t_h = \frac{H_n + Q_p}{c_g \{ G_o + (m - 1) L_o \}}$$

이다. 단, $Q_p = c_f t_f + c_a t_a m L_o$ 이며 豫熱量이다. $m=1$ 때의 t_h 를 특히 理論最高溫度라고 부르기도 한다. *

環境廳 公告

□ 환경청고시제 85-8 호

환경보전법시행령 제 16 조의 2 의 규정에 의한 환경기술감리단의 기술감리 대상시설 및 신청절차를 다음과 같이 개정 고시한다.

1985년 8월 19일
환경청장

1. 환경기술 감리단의 기술감리 대상 배출시설 중 라. 폐수배출 시설란을 다음과 같이 한다.

구 분	감 리 대 상 시 설
라. 폐수배출시설	1. 1 일평균 폐수배출량 500㎏ 이상의 폐수배출시설. 단, 1 일 50 ㎏ 이상 배출하는 특정유해물질 배출시설 2. 동일 사업장내에서 오물청소법 제 15 조의 규정에 의한 오수정화 시설을 설치 운영하여야 하는 자가 분뇨와 생활하수를 수질오염 방지시설에서 처리하고자 할 때의 폐수 배출시설

부 칙

이 고시는 1985년 8월 20일부터 시행한다.

□ 환경청공고제 85-7 호

1985년도 환경오염방지기금운용요강을 다음과 같이 변경 공고한다.

1985년 8월 19일
환경청장

6. 용자대상자 선정 및 통보
○ 환경청장은 접수된 신청서를 검토, 접수순위에 따라 자금의 범위내에서 용자대상자 선정 및 용자금액을 결정한 후 이를 신청자와 용자은행에 통보한다.
7. 용자취급기관 및 용자절차
가. 용자취급기관 : 농업협동조합중앙회, 중소기업은행
나. 용자절차
○ 용자신청을 받은 용자은행은 우선 방지시설을 설치할 현장을 조사확인하고, 채권보전 등의 조치를 한 후 환경청장이 승인한 금액 범위내에서 대출한다.
8. 기금사용에 관한 사후관리등
가. 용자은행은 용자받은 기금을 사용목적에 적합하게 사용하였는지 여부에 관한 사후관리를 행한다.
나. 용자은행으로 부터 차주가 대출받은 시설자금의 대출원금은 거치기간 경과후 연 2회 균등분할 상환한다.