

燃燒原理基礎

金鍾奭

〈環境廳 大氣管理課長〉

③ 연소시간

연소시간은 연소불꽃이 냉표면과 접촉하여 냉각되기 전에 연소반응이 완결될 수 있도록 하기에 충분한 시간을 뜻하며 화실의 경우는 화실의 용적 (Volume) 에 좌우된다. 보통 가연성가스나 증기물질이 화실에서 완전연소되기에 필요한 시간은 수 초 (Few seconds) 가 소요된다.

④ 난류 (Turbulence)

앞서 말한바와 같이 연료와 공기는 밀접한 접촉이 필요하며 이와같은 밀접한 접촉은 난류혼합의 도가 높으면 높을수록 잘 이루어진다.

이상 4 가지 조건은 연소공학에서 연소효율을 증가시키기 위해 가장 중요시 다루는 기본적인 요인으로 연소공학에서는 이를 3 T (Temperature, Time, Tubulent) 라고 한다. 이상의 조건을 충족시킬때 연소는 완전연소에 이르고 매연발생은 전혀 없게 된다.

실제로 이 3 T는 각종 연소시설의 설계에도 충분히 고려되어야 하며 연소시설의 운전자도 언제나 이점을 유지하여 운전하지 않으면 안된다.

(4) 매연 생성과 특성 (Formation and nature of smoke)

매연은 불완전연소결과로 대부분 산업시설에서 배출되는 매연의 고분자 탄화수소 또는 타르증기가 가열공정중 생성 발생되는데 기인한다.

도시가스의 경우는 제품과정에서 탈 - 성분과 유황성분을 정제하기 때문에 완전 연소되기 쉽고 황산화물의 배출도 거의 없게 된다.

액체연료를 연소할때는 화실내에서 효과적으

로 가능한 한 미세하게 분무되도록하여 3T를 만족시켜 완전연소에 이르게 한다.

고체연료 특히 유연탄의 경우는 이들 연료성분중 증발분 (Volatile) 에 의해서 유발된다. 이들 고체연료가 저온에서 가열되면 이들 성분중 증발분 (탈 및 고분자탄화수소) 이 건류되어 나온다. 이렇게 건류된 증발분이 공기와 충분히 혼합되지 않은 채 저온이 계속 유지되면 이들은 브라운타르증류 (Brown tar distillation) 과정에서 매연으로 변한다.

보통 탄소와 수소가 풍부한 탄화수소가 저온으로 가열되는 경우는 보다 저분자상태의 탄화수소와 유리탄소로 크래킹 (Cracking) 되어 매연이 발생된다.

석탄 연소시 연소온도가 700℃~800℃ 정도에 이르면 이와같은 크래킹에 의한 매연 발생없이 완전연소가 진행된다.

탄화수소의 경우 다음 순서는 매연발생이 쉬운 차례대로 나타낸 것이다.

- n - 파라핀 >> 이소파라핀 >> 사이클로파라핀 >> 올레핀 >> 환상올레핀 >> 디올레핀
- 알켄 >> n - 알킬벤젠

즉, 분자내의 탄소골격이 안정된 경우는 매연발생이 감소한다. 그리고 분자내의 탄소 보다는 수소가 보다 쉽게 유지될 수 있는 구조물 일수록 매연발생 확률이 높아진다.

석탄 연소시 온도가 높아지면 석탄으로 부터 건류되는 증발물의 성분은 보다 저분자의 탄화수소와 일산화탄소가 되므로 쉽게 완전연소에 이

르게 된다.

고체연료 성분중 증발분이 많으면 많을수록 이들로부터 증발생성되는 가연성 증발물질의 분자구조는 복잡해지고 정상조건에서도 잘 연소되지 않는 가연성증발물이 발생하여 매연을 유발하게 된다. 따라서 유기성분이 많은 고품폐기물의 연소는 다량의 매연을 발생하는 경향이 높다. 그 래 이들 고품폐기물의 연소에는 연소공기의 공급 등에 특별한 관심을 경주하여야 한다.

매연 즉 유리탄소가 연소과정중 발생하면 응축 (Coagulation) 과정을 통하여 응집하고 배연내 무수황산의 작용으로 이들은 비교적 입경이 큰 粗大입자가 된다.

매연이 증가할 경우 배기가스성분을 분석해보면 CO, H₂, CH₄ 등의 저분자 가연성분도 또한 동시에 증가한다.

즉 가연성분은 어떤 주어진 비율로 발생한다는 점을 알 수 있다. 따라서 이들 성분중에서 어떤 한 성분을 배기가스에서 측정하여 연소과정에서 발생한 전체 가연성가스의 양을 역으로 추정할 수 있다. 예컨대 대형보일러 폐가스 성분분석 결과를 종합해보면 가연성분의 60~80 %는 CO 고, 수소는 탄소의 1/3 정도임을 쉽게 알 수 있었다. 따라서 배기가스중 CO의 양을 측정하여 그 양이 가급적 적게 배출되도록 하면 기타 탄화수소나 수소의 배출량은 상대적으로 감소시킬 수 있다. 연소시설의 정상가동시 폐가스 중에 수소나 CO가 0.1 % 포함되어 배출되면 0.4 %정도의 열손실이 수반되는 한편 폐가스중 메탄 (CH₄) 이 0.1 % 함유된 경우 수반되는 열손실은 약 15 %에 상당한다.

폐가스중 매연 또는 가연성분은 연료투입시마다 증가하는 경우가 있다.

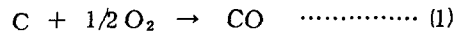
이런 경향은 수동식보일러에서 더욱 현저하다. 따라서 이 경우 연료의 투입을 비교적 자주 소량씩 하는 것이 양호한 연소효율을 얻을 수 있다. 이런 목적으로 설계된 기계로는 Mechanical Etocking 방법이 있다. 따라서 연료의 투입과 운전방법이 면밀히 검토 설계되어야 매연발생을 방지하고, 연소효율을 증가시키기 위해서는 조

심스런 운전방법의 습득이 바람직하다.

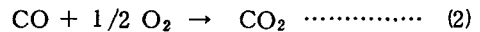
(5) 연소상연소 (Combustion in fuel bed)

연소상연소에서는 물리적요인이 무엇보다 중요하다. 연소상연소에서 연소효율은 연소상의 구조와 침투성 (Structure and Permeability of bed)에 영향을 미치는 각종 변수에 크게 좌우된다. 이들 물리적요인중 특히 여기서 생각하여야 할 것은 표면수분 (Surface Moisture), 입도 (Particle size), 미세성분량 (Amount of feine porticle), 연료상공격 (Fuel bed porosity), 공기공급속도와 연소상내 공급공기가 압력손실에 미치는 영향 등이다.

쓰레기는 그 체적밀도가 크고 열량이 비교적 낮은 연료로서 이와같은 연료를 연소시킬때 채널현상없이 공급공기를 균일하게 공급하기 위해서는 연료상 (Fuel bed) 의 두께가 두텁게 하여야 하며, 화격자는 비교적 높은 저항을 가진 것을 사용하여야 한다. 이상적인 연소상연소라 함은 화상중 연료가 열분해를 통해서 가연성 가스와 잔존탄소로 분해되고 이렇게 생성된 가연성가스는 노내공간 (Surface Space)으로 이동하여 노내공간에 공급되는 상급기 (Over fire air)와 혼합 기상연소를 유효케 이끄르는 반면 잔존 탄소는 연소상내로 공급되고 있는 일차공기와 반응하여 일산화탄소를 생성하도록 되어야 한다. 이때 잔존탄소가 일차공기와 반응하여 일산화탄소를 형성하는 과정은 아래 화학반응식에 의한다.

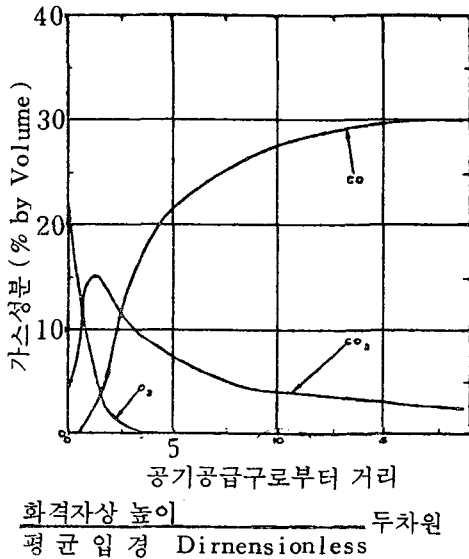


이 반응은 연료 (잔존탄소) 표면에서 일어나는 특이반응 (Heterogenesis reaction)으로 이 반응을 효과적으로 진행시키기 위해서 충분한 넓이의 반응표면이 필요하다. 이 과정에서 발생한 CO는 연료상 공격을 통하여 이동하면서 균일가스상연소 (homogensis gas phase combustion)에 이르며, 이때 연소반응은 아래 화학반응식으로 표시한다.



이상 2 개 반응의 반응속도는 매우 신속하기

때문에 공급산소의 소모속도도 매우 빨라진다. 아래 <그림 1-2>는 연소상 (코크연소상) 내에서 가스소모속도를 도식 설명한 것이다. 그림에서 보면 균일한 층상고온고체연료상 내로 공기가 통과해갈 때 산소소모속도는 매우 빨라 공기 공급구로부터 평균입경의 1.1/2 내지 2 1/2 거리에 달하면 산소는 이미 완전 소진되게 된다.



<그림 1-2> 코크 연소상내 가스성분변화

이점 즉 산소가 소멸된 지점에서의 가스성분을 조사하면 약 16%의 탄산가스 (CO₂)와 6~7%의 CO가 생성된다. 이때 연료표면에서 반응은 아래와 같은 화학양식에 따르며 이때 반응은 다단계반응을 취한다.



위 가스화반응에 의해서 연료상 내의 탄소중 상당량이 제거되어 가연성가스가 된다. 이때 생긴 (CO)는 노 공간대로 공급되는 이차공기에 의해서 완전연소되어야만 한다. 식 (3)에 따른 반응은 흡열반응이기 때문에 반응이 진행되면서 연소상으로부터 열을 흡수하여 연소상온도를 저하시키고 마침내는 반응속도를 늦추는 결과를 유발한다. 이에 반하여 식 (1), (2)에 의한 반응은 발열반응으로 식 (2)에 의한 반응의 발열량은 식

(1)에 의한 반응의 발열량보다 약 2.5cm가 더 크다.

식 (1), (2) 반응의 진행속도는 연소상내 표면적 / 공격 (Surface to avoid within the bed) 비에 크게 좌우되기 때문에 이것이 최대열발생량 (Maximum rate of heat release)과 연료상내 온도분포 (The temperature distribution within the bed)에 영향을 미치게 된다. 연료상내 온도분포는 또한 불순물질 (Mineral impurities)의 증기화, 회분용융과 크랑커형성의 지표로서 매우 중요하다.

고체연료상에서 이렇게 발생하는 가스량은 화격자를 통해서 공급되는 일차공기 공급량과 온도의 함수이다. 실제로 일차공기는 과도한 입자상물질이나 종이등이 비산되지 않는 범위로 제한된다. 이와같은 반응은 2~3층의 연소상 입자층 투과력 정도로 충분하지만 실제적으로 균일층진연소상 (Uniformly-peaked bed)을 유지하기 위해서 또 가스채널현상, 분리, 열점 (Hot Spot) 및 불균형소각을 피하기 위해서 실제로 요구되는 연소상의 두께는 이보다는 훨씬 두터워져야 한다.

이와같은 연소상은 결과적으로 가스발생의 효과를 양호하게 하며 연소장에서 발생된 가스는 위에서 언급한 것과 같이 완전하게 연소된 것은 아니기 때문에 이차공기의 공급 및 이들과의 효율적인 혼합을 통하여 완전연소에 이르게 된다. 여기서 이차공기라 함은 증기분해산물 (Volatilized decomposition product) 분해연소에 필요한 공기량 이외의 것을 뜻한다.

때때로 소각로에서는 조절되지 않은 상당량의 이차공기가 최종 연소단계에 폭기형식으로 공급된다. 그러나 이와같은 공기공급방법은 사실상 바람직한 것이 못되기 때문에 최근 개발된 소각로에서는 연소상에서 발생하는 가스상물질과 직접 신속하게 혼합되도록 하고 있기 때문에 상급공기의 공급이 종전 방법과 달리 독립적으로 조절되게 하는 경향이 높다. *

<“환경오염개선의 편익추정기법에 관한 고찰”은 지면관계로 다음호에 연재합니다.>