

# 대기오염 방지시설 중 前處理施設의 원리와

## 적용대상 배출시설에 대하여

이 한 원  
(원주환경지청 · 지도과)

### I. 前處理施設(Pre-Treatment)의 종류와 특성

前處理施設은 설치업소에 따라 그 특성에 약간의 차이는 있으나, 크게 乳化式과 磁化式 그리고 완전연소를 위한 보조장치로 구분할 수 있는데 그 종류별 구조 및 원리는 다음과 같다.

#### 가. 磁化式(Magnetic Field Processor)

연료油가 통과하는 배관에 자석을 부착하여 이 자석에서 발생하는 磁界를 연료유에 가함으로서 磁化된 연료유가 버너에서 분사될 때 쉽게 微細化되도록 하는 것으로서 永久磁石式과 電磁式이 있는데 그 구조는 다음 그림 1과 같다.

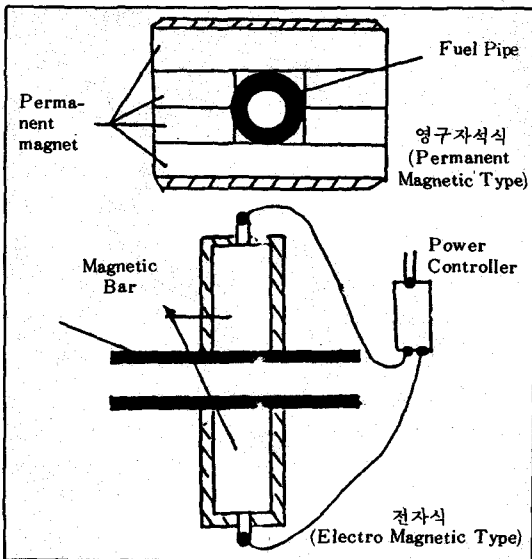


그림 1. 磁化式前處理施設(Magnetic field processor)

#### (1) 원리

연료유가 연소시설에서 噴射될 때 微細化 되기 위한 연료유의 磁化원리는, 연료유(특히, 중유)는 탄화수소의 C/H비가 높고 복잡한 고분자

화합물이며 이들 분자간의 電子的인 인력은 磁場의 영향을 받으므로 연료유중의 CH原子群은 외부의 磁場에 의하여 인력이 약해지고 油粒子가 연료유의 流動으로 쉽게 분산 微細化 하는데 중요한 因子는 磁界密度와 流体의 운동이라고 할 수 있다.

연료유중 중유의 적정磁界 1800 Gauss(Gauss: 磁束密度의 CGS 電磁單位 즉 1G=1maxwell/cm<sup>2</sup>, maxwell은 磁束의 CGS 電子單位임)는 석유류에서 공통이지만 연료유중 CH群의 磁化率은 연료의 종류에 따라 적정磁界가 존재한다고 볼 수 있으며 磁界密度는 1400~1800 Gauss가 연료에 효과가 있다고 한다. 연료유의 磁化流速이 없거나 진동이 심하거나, 脈動流가 있을 때 또는 유속 변화가 많을 경우 磁化상태가 소멸된다. 또한 자석의 磁界密度와 배관심(配管芯)의 磁界密度에는 다소의 차이가 있어 磁芯과 配管芯이 일치하지 않는 경우 관내의 磁界分布가 균일하지 못하므로 磁芯을 영구적으로 유지시킬 필요가 있다. 자석이 유효磁界場이 되기 위해서는 배관의 직경이 50mm정도 이어야 한다.

#### (2) 磁化 방법

연료를 磁化시키는 방법은 연료유가 통과하는 배관의 종류에 따라 低磁界法과 中磁界法으로 구분하거나 磁界附與방법에 따라 永久磁石式과 電磁式으로 구분할 수도 있다.

低磁界法은 연료유를 鋼管에 통과시키는 방법으로, 磁力線이 鋼管을 통하여 N극에서 S극으로 이동하여 유체에 磁化상태가 되도록 鋼管이 磁力를 만들며 대개 5~수백 Gauss의 범위인 낮은 磁界密度 범위를 갖고 있으나 鋼管의 외경과 두께에 따라 연료의 磁化가 좌우되므로 연료를 적정磁界로 유지하는 것이 곤란하다.

中磁界法은 연료유를 鋼管 고무관 등 非磁性管에 통과시켜 磁界附與를 양호하게 하는 방법으로 대개 1000Gauss 이상으로 연료유를 磁化시키는데 효과가 있으며 품질관리가 용이하다.

한편, 永久磁石式은 이미 1700Gauss 이상의 磁界密度를 갖고 있는 자석을 연료유의 배관에 부착시켜 磁界를 부여하는 방법으로 電磁式에 비하여 설치 후 별도의 조작이 불필요하다. 電磁式은 연료유 배관에 부착된 磁性體에 전류를 통과시켜 磁界場의 電位를 상승시킴으로서 연료유에 磁界를 부여하는 방법으로, 설치후 전류의 변화에 따라 이를 조정할 경우가 있으며 磁界密度를 일정하게 유지하는데 주의가 필요하다.

(3) 대기오염 저감효과

연소실내에서 微細化된 연료의 연소는 연료 입자의 공기접촉 표면적을 넓게하여 낮은 O<sub>2</sub> 조건에서도 연소가 가능하고 연소속도가 증대하며 화염(火焰)은 짧아지고 화염온도는 상승한다.

실험보고에 의하면 O<sub>2</sub> 농도가 30% 내외로 감소하고 보일러 효율은 10Ton/Hr. 이하에서 2.24%, 10~30Ton/Hr.에서 1.05%, 30Ton/Hr. 이상에서는 0.42% 상승하여 보일러 용량이 작을수록 그 효율의 향상과 연료절약이 기대 된다고 한다.

카본(C) 과의 연소반응으로 CO의 발생을 억제하여 매연이 30%감소하고 NO<sub>2</sub>는 약간 변화

가 있다고하나, NO<sub>2</sub>의 경우에는 연소온도가 상승하여 실제농도는 오히려 증가하게 된다. 또한 SO<sub>x</sub>의 경우는 磁界密度와 무관하므로 이러한 磁化式에 의한 공해방지는 매연이외의 오염물질에 대해서는 효과가 없을 것으로 판단된다.

(4) 적용대상 배출시설

磁化式 前處理施設은 연소효율의 향상에 의한 연료절약 효과에 그 설치의의가 있고 또한 연료의 완전연소를 촉진하여 연소생성물(매연 분진)의 발생을 저감시키게 되며 특히 열공급시설의 경우 용량이 작을수록 연소효율의 향상과 연료절약이 기대되므로 이러한 시설은 소규모의 열공급시설에서 배출되는 오염물질(분진)의 처리를 위해서만 설치, 운영하여야 할 것이다.

나. 乳化式(Fuel Emulsifier)

연료유와 물을 혼합하여 乳化油(Emulsion)로 제조한 후 연소시설내에 미세입자로 분사하여 외부 고온에 의한 水粒子의 폭발로 乳化油가 더욱 미세화되도록 하는 것으로, 乳化油 제조 방식에 따라 機械的방법, 化學的방법 및 超音波방법으로 구분한다. 乳化式의 일반적인 구조는 그림 2와 같다.

磁化式과 乳化式은 연료油的 미세화에 의한 공기접촉 표면적의 증가로 완전연소를 도모하는 것이다.

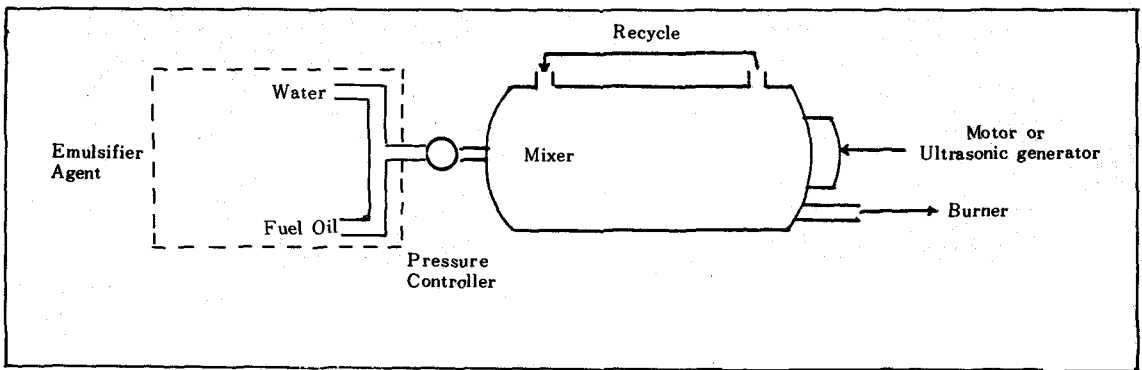


그림 2. 乳化式前處理施設(Fuel Emulsifier)

(1) 원리

乳化式은 연료油에 다른 종류의 액체(물)를 혼합한 乳狀의 Emulsion을 연료로 사용하는 방

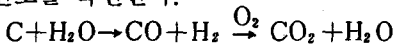
법으로, 연료油를 연소실에 도입하기 전에 물과 물 이외의 乳化劑를 첨가하여 혼합시켜 「연료유+물」의 乳化油를 만든다. 乳化油는 연료油

중에 미세한 水滴을 함유한 油中水滴型(w/o형 : water in oil)과 水中에 미세한 油滴을 함유한 水中油滴型(o/w형 : oil in water)의 2가지 형으로 구분하는데, 乳化油의 연소원리는 물리적 작용과 화학적 작용으로 나눌 수 있다.

○ 물리적 작용 : 연료유는 일반적으로 油中水滴型으로, 油中에懸濁되어 있는 물의 입자는 10 $\mu$ 이하의 직경이고 물과의 혼합비율은 10~30V% 정도이다.

연소시설에 분무된 油滴中에 함유되어 있는 水滴은 외표면의 油가 연소함과 동시에 가열되어 沸点에 도달하면 잇달아 폭발적으로 기화하여 외표면의 油를 비산시켜 油滴은 더욱 미세화되어 공기와 접촉표면적이 증대하여 급속히 완전연소되고 화염(火焰) 온도는 균일하게 된다. 이때 添加水의 증발에 따른 潛熱로 인해 화염온도가 저하하는 냉각작용이 일어난다. 이와 같은 乳化油의 연소과정은 Putting (수증기가 비교적 약하게 噴出하는 현상)→Micro Explosion(미세한 입자발산)→Disruption(순간적으로 동시에 油滴이 분할)으로 요약할 수 있다.

○ 화학적 작용 : 탄소는 물과 함께 아래와 같이 반응(水性가스반응)하여 未燃炭素의 화학적 연소를 촉진한다.



乳化油연소의 경우 물리적 작용이 화학적 작용보다 크다고 생각된다. 乳化油의 2차 미세화(Di-sruption)와 관계있는 연료의 沸点의 경우  $C_8$  이하인 低沸点연료는 2차미세화가 일어나지 않으므로 低과잉공기에 의한 연소와 Energy 절약 효과 등을 고려할 때 등유( $C_9 \sim C_{13}$ ), 경유( $C_{11} \sim C_{19}$ ) 및 중유( $C_{18}$  이상) 등을 乳化油로 사용하는 것이 바람직하다. 또한 乳化油의 2가지 형태인 油中水滴型(w/o형)과 水中油滴型(o/w형) 중 중질유에 대해서는 w/o형 쪽이, 등유는 o/w형이 양호하며 공업적 연료와 저공해를 목적으로 하는 중유·원유의 Emulsion에는 주로 w/o형을 채택하고 있다. 乳化油에서 입자의 크기와 분포는 비뉴톤(Non-Newton) 점성을 변화시켜 Pump의 移送性, 噴霧性에도 영향을 주므로 이와 관계있는 油水혼합율이 중요하다. 油

中에懸濁하는 水滴의 크기가 지나치게 작으면 주위의 油를 튀기는 힘이 충분하지 않게 되고 반면에 水滴이 너무 커지면 물의 잠열을 가져오므로 水滴의 크기는 3~10 $\mu$ m정도가 좋다. 첨가되는 물의 첨가율은 연료유에 대하여 10~30% 정도로 혼합후 연소시설에 분무 연소하는데 이때의 분무입경은 대략 30~100 $\mu$ m가 된다.

### (2) 乳化방법

乳化油의 제조방법은 화학적방법, 기계적 방법 및 초음파방법으로 구분되는데 이중 주로 사용하고 있는 화학적 방법은 계면활성제를 첨가하여 乳化油의 표면장력을 감소시키는 방법으로, 중유에는 Asphaltan이란 천연의 유화제를 함유하고 있으나 경유는 그렇지 못하다. 乳化油에 사용하는 유화제는 연소殘渣가 남지않는 비이온계 계면활성제를 주성분으로 하고 각종의 첨가제(방청제, 연소촉진제 등)를 함유하고 있다. 유화제의 사용에 따른 利點은 연소입자가 대단히 작아 연소효과를 높이고 입자가 균일하게 되며 장기간 油水分離가 일어나지 않는 것이다. 그러나 유화제는 사용시 안전해야하며 중금속 등 유해물질이 함유되지 않고 입자의 균일성을 장기간 유지하여야 하며 연소시 2차 공해물질이 발생하지 않고 연소시설에 악영향을 주어서도 안된다.

### (3) 대기오염 저감효과

乳化油가 연소실에서 2차 미세화로 연료와 공기의 접촉면적을 증가시켜 과잉공기량이 감소하며 물의 급속한 증발시 탄소입자와 水性가스반응이 진행되어 분진(검댕)이 감소될 수 있다. 未燃炭素分과 灰分으로 되어 있는 분진(검댕) 중 乳化油의 연소에 의해서 감소되는 것은 未燃炭素分으로, 분진의 저감은 40~50% 까지 가능하다고 한다. 또한 微粒子가 빠른 속도로 火焰고온부를 통과하여 分布연소에 가까워지고 수증기의 증발잠열에 의한 냉각효과와 局部高温을 없애 온도를 균일하게 함으로써  $NO_x$ 를 감소시킬 수 있다. 이때 Thermal  $NO_x$ 와 Fuel  $NO_x$  중 주로 감소하는 것은 Thermal  $NO_x$ 로, 20~30%의 저감효과가 있으나 연소가 활발히 진행되어 오히려  $NO_x$ 가 생성되어 저감효과를

상실하는 경우도 있다. CO는 水注入率이 증가하여도 약간 감소하는 경우가 있으나 저감효과는 별로 없으며, SO<sub>2</sub>는 약간 저감시킬 수가 있다.

연료절약효과는 연소 가스의 체류시간이 길어지고, 短焰연소와 미연소연료의 감소로 열효율을 상승시켜 공기비는 10%감소, 연료는 2% 정도의 절약이 기대된다고 알려져 있다.

(4) 적용대상 배출시설

乳化式 前處理施設은 磁化式 前處理施設에 비해 오염물질의 저감 효과가 비교적 높은 것으로 (분진의 경우 4~50%까지 저감 가능) 나타나 있으며 특히 가스상 오염물질인 SO<sub>x</sub> 및 NO<sub>x</sub>의 저감에도 약간의 효과가 있는 것으로 알려져 있으나, 이 시설 역시 연소효율 향상에 의한 연료 절약 효과에 그 설치의미가 있는 것이므로 원료에 의해 오염물질이 발생할 수 있는 용해시설, 열처리시설 등을 제외한 열공급시설에서 배출되는 오염물질의 처리를 위하여만 설치 운영하여야 할 것으로 생각된다.

다. 기타 완전연소 보조장치(Ancillary Combustion Aids).

완전연소를 촉진하기 위한 장치로서 완전연소 촉진장치(Complete Combustion Devices) 및 炉内압 조절장치(Draft Controller), 공기비 자동 조절장치(O<sub>2</sub> Trimming System) 등의 장치가 있는데, 이러한 연소보조장치들은 연소실에 3차공기의 공급·공기덴퍼의 절약 연료의 물분해 등에 의하여 연소실에서 연소되는 연료가 완전연소될 수 있도록 연소분위기를 조성해 주어 대기오염물질의 배출을 저감시키고자 하는 장치들이지만, 이들 장치의 특성을 고려해 볼 때 단지 연소 조건의 개선에 의한 완전연소와 副次的으로 연료절약을 도모할 수는 있어도 대기오염물질의 배출을 근본적으로 저감시킬 수 있는 공해방지시설이라고 단정하기에는 그 기능과 효과가 이 모호하다고 思料된다.

II. 향후 연구과제 및 관리대책

이들 前處理施設의 설치 운영상에서 검토할 과제로는

첫째, 설치하고자 하는 배출업소에서 방지시설에 대한 충분한 지식이나 사전검토를 토대로 이를 선택하여 운영하여야 할 것이며,

둘째, 선정된 전처리시설에 대한 원리나 특성을 정확히 파악한 후에 설치·유지·관리를 하여야만 정확한 방지효과(처리효과)를 얻을 수 있다.

셋째, 磁化式 및 乳化式 前處理施設은 연소효율의 향상에 의한 연료 절약효과에 그 설치의의가 있고 환경보전법 시행규칙 제5조 별표4에 규정된 일반적인 방지시설들에 비하여 동등 또는 그 이상의 대기오염 방지효율을 기대하기는 어렵다.

네째, 연소보조장치는 연소장치의 적정 O<sub>2</sub>량, 또는 恒壓등을 유지하기 위한 시설로서 연소조건만을 맞춰주는 이러한 장치 또는 시설들도 대기오염방지시설에 포함하고 있는 바 이와 유사한 다른 형태의 장치 또는 시설들이 남용될 우려가 있다.

다섯째, 현행 환경 보전법상에는 배출시설별 방지시설의 설치 제한 규정이 없으나, 이러한 전처리 시설은 그 원리상 연료 연소에 의해서만 오염물질이 발생하는 열공급 시설에만 효과가 있으므로 이에 한정하여 설치 운영하여야 할 것이다.

따라서, 상기와 같은 연구 과제들을 해결하기 위한 방법의 일환으로 이들 전처리 시설에 대한 성능 및 구조 기준에 관한 사항을 환경청 고시 제86-17호를 통하여 고시하였으나 무엇보다 시급한 것은 이들 전처리 시설에 대한 종류별 설치대상 배출시설을 지정하는 등의 표준화 작업과, 전처리 시설의 처리 효율을 극대화 시키기 위한 운영상의 기준을 마련하는 일이라 생각된다.

- 참고문헌 -

「대기오염 방지시설 성능 및 구조 기준에 관한 연구(I)」

최 덕일의, 국립 환경연구원: 1984.