



大氣汚染 防止技術 原理 및 機器 (Ⅲ)

金 鍾 奭

〈環境廳 大氣管理課長·技術士〉

Ⅲ. 排氣가스의 냉각

大氣汚染防止機器를 設計할 때 設計者 또는 運轉者가 꼭 알아야할 重要 사항중 하나는 排氣가스의 溫度이다. 排氣가스의 溫度는 防止機器의 材質 汚染原과 防止機器를 연결하는 管路 (Duct work)의 크기, 送風機크기 및 防止機器의 種類를 결정하거나 선택하는 關鍵이 되기 때문이다. 排氣가스 溫度가 너무높아 처리가 곤란할 때에는 이를 防止機器에 流入시키기 前에 처리에 알맞은 溫度로 낮추어 처리하도록 하여야 한다. 이와같은 目的으로 高溫의 排氣가스를 防止機器 流入前에 냉각할 때 몇가지 방법이 있는데 이들 방법을 사용하여 처리가스를 냉각하면 처리가스(排氣가스)성분이 변하는 경우가 있으며 처리가스의 마찰손실과 처리량을 增加시킨다. 大氣汚染防止技術에서 흔히 使用되는 처리가스 냉각방법은 희석공기사용법, 냉각수사용법, 자연대류및 방열방법(Natural Convection and Radiation)으로 大別할 수 있다. 이외에도 特別한 施設에 대해서는 강제통풍 열교환기가 사용되는 경우도 있다. 공기희석법은 高溫의 排氣가스에 低溫의 空氣를 희석하여 처리가스를 필요한 범위의 溫度로 하기 때문에 결과적으로 처리가스의 양이 크게 增加하게 된다. 자연대류및 방열냉각방법이란 처리가스와 大氣와의 溫度差에 의한 자연적인 대류및 放熱(Radiation) 效果를 利用하여 管路內에 처리가스가 냉각되도록 하는 방법이며 이 방법에서는 단위시간내에 필요

한 溫度에 達하기 爲해선 이에 비례하는 熱傳導面이 必要하다. 냉각수에 의한 냉각방법은 물의 증발열, 즉 물이 증발할 때 주위열을 흡수하는 현상을 이용하는 것으로 이는 高溫의 처리가스로 물을 살수(Spray)시켜 증발되도록 하면 살수된 물이 증발하면서 처리가스내에 열을 흡수하여 처리가스온도를 저온으로 조절할 수 있도록 한 것이다. 강제통풍을 사용한 열교환기 使用방법은 냉매(Cooling fluid)를 使用하여 냉각된 냉매가 간접적으로 고온의 처리가스와 접촉하여 처리가스의 열을 흡수하는 방법으로 냉장고의 원리와 같다. 여기서는 이들 방법과 원리에 대해서 또 실예를 가지고 좀더 상세하게 하나 하나 살펴보기로 하자.

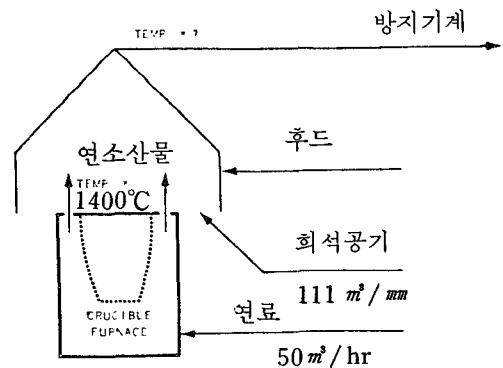
1. 희석공기 냉각법

(Dilution with Ambient air)

空氣를 使用하여 高溫가스를 희석冷却하는 것이 가장 간단한 냉각방법이다. 大氣汚染 防止技術에서 使用할 수 있는 集塵機는 어느 것이나 高溫排氣가스에 對하여는 그 最大性能을 발휘할 수 없어 처리코자 하는 排氣가스의 溫度를 제한하지 않으면 안된다. 따라서 汚染原에서 排出되는 排氣가스의 溫度와 량을 알수 있으면 주어진 溫度로 이 처리가스온도를 냉각하는데 필요한 희석공기량도 쉽게 계산할 수 있으며 이렇게 계산된 희석공기를 온도와 량이 알려진 排氣가스와 혼합시키면 원하는 溫度의 冷却된 가스를 얻게 되므로 방지기체처리로 쉽게 목

적을 달할 수 있다. 實際 이러한 방법을 使用할 때는 첫째, 汚染原으로 부터 발생되는 오염물질(粉塵)을 포집이동시키는데 필요한 공기의 량과 온도를 정확하게 산출하여야 하며 다음엔 汚染原 排出特性을 정확히 파악하여 排出汚染物質을 운반하는 排氣가스를 원하는 온도까지 냉각시키는데 필요한 정확한 공기(大氣)량을 산출하여야 한다. 이렇게하여 얻어진 저온의 회석된 排氣가스가 처리가스량이 되며 이 처리가스량은 大氣汚染防止시설의 규모를 결정하는데 최종적으로 제공되어야 한다. 회석공기방법에 따라 처리가스를 취급하는 防止機器 流入口에는 온도를 모니터할 수 있는 간단한 溫度計를 최소한 設置하여 처리가스溫度가 갑자기 變動하여 발생할 수 있는 성능상의 문제, 특히 고온처리가스의 갑작스런 流入에 따른 防止機의 損傷 내지 파괴를 방지할 수 있어야 하며 필요에 따라서는 이와 같은 溫度모니터를 工程시 燃料供給의 제어 및 회석공기 유입량조절장치와 인터록시켜 사용함으로써 확장 사용할 수 있도록 함도 고려하여야 한다. 高溫排氣가스의 空氣稀釋方法은 보통 熱處理施設中 가열도와 같이 高溫汚染物質이 汚染原으로부터 주변 大氣中으로 바로 擴散移動해 나가는 汚染原 即 汚染物質의 포집에 후드 등 局所排氣施設이 必要한 工程에서 排出되는 排氣가스를 처리하는데 가장 흔히 사용된다. 보통 加熱爐 및 용융도가니 등에서 排出擴散되는 汚染物質을 포집하기 위해서 후드를 사용할 때에는 후드내에 오염원에서 발생되는 오염물질을 포집할 때 오염물질의 발생속도 보다는 후드의 포집력이 조금 커야 오염물질이 후드에서 溢流하지 않고 100% 흡입되게 된다. 이때에는 오염원에서 발생하는 汚染物質과 함께 주위 공기도 따라 유입되므로 오염원에서 발생하는 排氣가스는 후드에 유입되면서 회석냉각되어 지며 대부분의 경우 후드를 통해서 들어오는 처리가스의 온도는 방지기계의 성능에 영향을 미치는 최대溫度인 250℃ 이하가 되어 더이상의 회석공기로 추가회석하지 않고 그대로 방지기계에 유입처리할 수 있다. 공기냉각 회석방법에서는 高溫排氣가

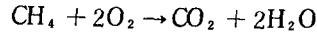
스량이 小量일 때 오염원에서 곧 발생하여 확산 회석되는 오염물질을 후드내로 100%포집하기 위해서 필요한 흡입공기만으로 처리가스를 원하는 온도에 까지 냉각치 못하는 경우, 추가적으로 좀더 많은 공기를 흡입하여야 할 경우가 발생하여 이런경우라도 汚染原의 排氣가스가 적을 경우에는 다른 어떤 방법보다 경제적인 利點이 있다. 다량의 汚染原排氣가스를 원하는 溫度까지 냉각하게 되면 공기회석법에 의한 냉각처리 가스는 방지시설(管路와 防止機器)를 터무니 없이 크게 하는 결과가 될 수 있다. 따라서 이러한 문제가 있을 때는 경제적으로 최소의 비용을 들여 을 최대의 회석방법을 얻을 수 있도록 사전에 방법간의 장단점을 충분히 검토하여야 한다. 다음의 高爐가스에는 공기회석 냉각방법 사용시 혼합처리가스 온도를 결정하는 방법과 이렇게 결정된 처리가스온도를 얻기위해서 회석에 필요한 공기량을 산출하는 방법에 대해 구체적인 실례로 검토하여 보자. <그림 1>은 황동재생공장에서 사용하는 크르시블도가니(Crucible)와 대기오염 방지에 필요한 국소배기시설을 나타낸 것이다. 크르시블도가니의 황동을 용해하기 위하여 시간당 천연가스를 50 m³/hr을 과잉공기비 20%로 연소시킨다. 이때 이 크르시블도가니에서 발생하는 배기가스는 최대온도가 1500℃에 이른다.



<그림 1> 크르시블도가니 회석냉각

이렇게 높은온도의 배기가스를 효과적으로 처리하기 위해서는 우선 선택된 방지시설의 최적성을 발휘할 수 있는 溫度의 범위로 처리가스(배기가스+냉각회석공기)온도를 조절하여야 한다. <그림 1>에서 보듯이 크르시블도가니에서 발생하는 배기가스를 방지시설로 이동시키기 위해서 먼저 천개후드를 사용하여 크르시블도가니(오염원)에서 발생하는 배기가스를 포집한다. 이때 그림에서 보듯이 천개후드가 배기가스를 포집하기 위해서 천개후드 자체가 흡인력이 있어야 하며 이 흡인력때문에 배기가스외에 주위공기가 후드내로 동시에 흡입되어 후드및 管路를 거치는 동안 배기가스와 흡입된 공기가 혼합되어 배기가스는 처리가스로 변한다. 이때 배기가스는 흡입된 주위공기가 저온이기 때문에 흡입공기에 의하여 냉각되게 된다. 따라서 여기서는 우선 후드의 흡인력에 의하여 흡입된 공기가 배기가스를 어느정도 냉각시킬 수 있는가 또 이때 결과적으로 생기는 처리가스온도는 몇도나될까, 이온도면 방지기계의 성능이 정상적일수 있을까등을 알아보자. 이 문제를 다루기 위해선 배기가스의 량과 온도, 흡인력에 의하여 후드내로 배기가스와 함께 흡입된 공기량과 온도를 알아야하며 이들 量간에 열평형관계를 검토하면 처리가스량과 온도를 알 수 있어 필요한 시설의 크기와 적당한 방지기계를 선정, 설계할 수 있다. 이를 위해서 우선 배기가스의 량과 열량

(엔탈피) 관계를 알아야 한다. 크르시블도가니에서 배출되는 배기가스량과 열량은 천연가스연소에 따른 연소계산으로 얻을 수 있으며 엔탈피관계는 연소계산에서 얻은 배기가스조성별 엔탈피표(또는 선도)를 참고하여 얻을 수 있다. 천연가스를 완전연소 할때 배기가스조성은 아래 화학량산식에서 구한다. 천연가스는 100% 메탄으로 한다.



메탄 1 m³의 중량은 $\frac{16(kg)}{22.4(m^3)} = 0.71 kg / m^3$ 이므로 본 크르시블도가니에 분당 사용량 0.833 m³ / min ($\frac{50 m^3}{60min}$)을 20% 과잉공기로 완전연소 하였을 경우 배기가스조성별 발생량은 쉽게 구할 수 있다. 즉 메탄 1 몰(16 kg)을 완전 연소하면 CO₂ 1몰이 생성되므로 메탄 1 m³ 완전연소하면 1.96 kg(= $\frac{44 kg}{22.4 m^3}$)의 CO₂가 생성된다. 따라서 메탄 0.833 m³ / min을 완전 연소시키면 1.63 kg / min의 CO₂가 발생한다. 수분도 마찬가지로 원리에 의하여 메탄 0.833 m³ / min을 완전연소시키면 1.33 kg / min의 H₂O가 생성된다. 배기가스중에는 연소시 공급된 공기로 인한 질소와 과잉공기로 공급된 공기중 산소가 배기가스중 배출되며 이중 질소는 이론공기중 질소와 과잉공기중 질소의 총합으로 나타난다. 이론공기중의 질소량은 메탄 1 m³ 연소

<표-1> 천연가스연소시 배가스조성과 엔탈피

m ³ /min의 천연가스 연소 배기가스		크르시블도가니 실제가동시배가스	배가스조성별 엔탈피 K cal / kg	배가스조성별 열량 (K cal / min)
연소가스조성	배가스량 kg / min	Wi(=배기량) kg / min	1400 °C의 hi	Qi
CO ₂	1.96	1.64	384	630
H ₂ O	1.6	1.33	732.2	975.9
N ₂	10	9.56(= 14. × 0.77)	374	3575.4
O ₂	0.57	0.47	345.5	164
계		11.77		5345.3

* 위 <표-1>의 배가스조성별 엔탈피는 엔탈피표에서 찾는다.

* 질소는 완전연소 필요공기량과 과잉공기량의 합에 0.77배 한 것이며, 산소는 과잉공기량의 0.23배한 것이다.

시 위 량논식에 의하면 9.56 kg씩 발생되며 과잉공기중의 질소량은 과잉공기량의 0.77 (Wt %) 산소량은 0.23 (Wt %)가 되므로 이 량을 구하면 된다. 량논식에 따라서 메탄 1 몰 연소에 필요한 산소량은 2 몰이기 때문에 메탄 0.833 m³/min 의 완전연소공기량은 12.42 kg / min

{ = 2 × ($\frac{32}{22.4}$) ($\frac{1}{0.23}$) (0.833) } 이므로 이 중질소량은 9.56 kg/min (= 12.42 × 0.77), 산소량은 완전연소에 완전소모되면 0 이되나 20 % 과잉공기가 있으므로 이 크르시블도가니의 조성별 배기가스량은 <표-1>과 같이 처리할 수 있다.

이제까지 얻은 자료는 크르시블도가니에 천연가스 0.83 m³/min 을 과잉공기 20 %로 연소할 때 생성되는 배기가스량이다. 따라서 본 예를 해결하기 위해서는 후드를 流入되는 흡인공기량에 대하여도 이와같은 온도와 열량을 분석하고 이를 크르시블도가니로에서 생성발생된 배기가스와 혼합된 가스 즉 처리가스에 대한 <표-1>의 조성별 가스량과 열량관계를 구한다. 처리가스는 흡인된 공기의 산소와 질소량만 추가되므로 <표-1>에서 산소와 질소량에 차이가 난다. 후드로 흡입되는 유입공기는 38 ℃로 111 m³/min씩 유입된다. 우선 후드유입공기의 엔탈피관계를 검토해보자. 본 예에서 발생가스나 공기의 표준상태를 16 ℃로 보고 있기 때문에 38 ℃의 공기에 대한 엔탈피를 얻기 위해선 먼저 38 ℃에서의 공기의 밀도를 알아야 한다. 38 ℃의 공기의 밀도를 d₃₈ 이라 하면

$$d_{38} = 1.3 \text{ kg/m}^3 \times \frac{273 + 16}{273 + 38} = 1.25 \text{ kg/m}^3$$

h₃₈ = 5.34 Kcal/kg (38 ℃의 엔탈피 선도에서 찾음)

$$V_{38} = 111 \times 1.25 = 138.75$$

(후드유입 공기총량 38 ℃)

따라서 후드유입공기가 갖고 있는 공기의 총열량 Q₃₈ 은

$$Q_{38} = 5.34 (\text{Kcal/kg}) \times 138.75 \text{ kg/min} = 740.925 \text{ Kcal/min}$$

이제 혼합가스 즉 처리가스의 조성별량과 열량을 아래와 같이 구할 수 있다.

처리가스총량

$$\Sigma Vi = 11.77 \text{ kg/min} + 138.75 \text{ kg/min} = 150.52 \text{ kg/min}$$

처리가스총열량

$$\Sigma hi = 5345.3 \text{ Kcal/min} + 740.93 \text{ Kcal/min} = 6086.23 \text{ Kcal/min}$$

처리가스엔탈피

$$\Sigma hi = \frac{6086.23 \text{ Kcal/kg}}{150.52 \text{ kg/min}} = 40.44 \text{ Kcal/kg}$$

혼합처리가스 온도를 얻기 위해 뒷식에서 계산한 처리가스 엔탈피(40.44 Kcal/kg)에 대한 온도를 엔탈피표를 보고 찾는다. 만약에 표에(40.44 Kcal/kg)이 나와 있지 않으면 이 엔탈피를 포함할 수 있는 범위를 정하는 두개의 엔탈피를 정하고 이에 해당하는 온도를 찾아 이를 사용하여 외삽법에 의한 엔탈피 40.44 Kcal/kg에 대한 온도를 구한다. 엔탈피 40.44 (Kcal

<표-2> 가스와 엔탈피

Temp, °F	CO ₂	N ₂	H ₂ O ^a	O ₂	Air
100	5.8	6.4	17.8	8.8	9.6
150	17.6	20.6	40.3	19.8	21.6
200	29.3	34.8	62.7	30.9	33.6
250	40.3	47.7	85.5	42.1	45.7
300	51.3	59.8	108.2	53.4	57.8
350 (177 ℃)	63.1 (35.1)	73.3 (40.8)	131.3 (73)	64.8 (36)	70.0 (38.9)
400 (204 ℃)	74.9 (41.7)	84.9 (47.2)	154.3 (85.8)	76.2 (42.4)	82.1 (45.7)

/kg)를 <표-2> 가스별 엔탈피를 구하여 개별적으로 열량을 계산한다. 이를 처리가스 조성별로 정리하면 <표-3>과 같다. <표-3>에서 O₂와 N₂의량은 배기gas와 회석공기중의 그것은 합한 것임으로

$$O_2 \text{의량} = 138.75 \text{kg/min} \times 0.23 = 31.9 \text{kg/min}$$

$$N_2 \text{의량} = 138.75 \text{kg/min} \times 0.77 = 106.8 \text{kg/min}$$

이 된다.

<표-3>을 참고로 하여 처리가스의 177℃와 204℃의 엔탈피를 구하면 각각 아래와 같다.

$$h_{177} = \frac{6069.4 \text{Kcal/kg}}{151.75 \text{Kcal/min}} = 39.99 \text{Kcal/kg}$$

$$h_{204} = \frac{7049.5 \text{Kcal/kg}}{151.75 \text{kg/min}} = 46.45 \text{Kcal/kg}$$

이 된다.

따라서 혼합된 처리가스의 온도는 177℃와 204℃ 사이에 있다. 따라서 외삽법에 의한 온

<표-3> 천연가스조성과 엔탈피

조성	W _i (kg/min)	h _i (Kcal/kg)		열량(Q=h _i ×W _i) Kcal/kg	
		177℃	204℃	177℃	204℃
CO ₂	1.64	35.1	41.7	57.6	68.4
H ₂ O	1.33	73	85.8	97	114.1
N ₂	116.4	40.8	47.2	4749.1	5494.1
O ₂	32.38	36	42.4	1165.7	1372.9
계	151.75			6069.4	7049.5

* N₂와 O₂는 연소생성물 중의 N₂와 O₂(표-1의 것)과 유입공기중의 N₂와 O₂의 합임.

도를 구하려면 먼저 이 처리가스의 온도 1℃변화에 엔탈피변화량을 구하면,

엔탈피 변화에 대한 온도변화

$$= \frac{204-177}{7049.5-6069.4} = 0.028 \text{℃/Kcal}$$

엔탈피 40.44Kcal/kg 온도증가량=

$$0.028(40.44 - 39.99) = 0.012 \text{℃}$$

따라서 처리가스의 온도는 177℃ + 0.012℃가 된다. 즉 처리가스의 온도는 177℃임으로 이 처리가스를 처리하기 위한 방지시설은 내구온도가 177℃ 정도여야 최적성능을 발휘할 수 있으며 대부분의 방지기계는 이정도 온도에서 정상가동이 가능하므로 더이상의 회석냉각 공기는 필요하지 않다.

<다음호에 계속>

□ 토막소식 □

● 연료회수장치 ●

大阪商船 三井船船은 선박내에서 발생하는 폐유의 1/3을 연료로 재이용할 수 있는 연료회수장치를 실용화하였다.

선박에서의 폐유처리는 가장 큰 문제가 되고 있으며 소각처분 이외의 방법이 없기 때문에 동사에서는 폐유의 선박내 처리합리화책으로 可燃分을 회수하여 선박의 보일러 연료로 이용하는 기술을 개발하고 實船실험을 개시하였다.

선내에서는 주기관, 보조기관 등의 연료유, 운활유로부터 나오는 폐유는 월간 5~8톤 정도가 발생하며 이의 처리가 가장 문제가 되었다. 그러므로 동사에서는 폐유로부터 재생장치를 이용하여 가연분을 회수, 보일러의 연료로 이용함으로써 에너지절약 뿐 아니라 선내작업을 경감시키는 효과를 거둘 수 있다.

會員入會案内

環境保全法 第61條의 規定에 依據設立된 本協會는 定款의 定한바에 따라 아래와 같이 會員入會를 권장하오니 아직도 參與하지 않고있는 방지시설업체 또는 배출업체는 빠짐없이 自己 參與하여 주시기 바랍니다.

● 會員의 資格

- 가. 環境管理技師會員: 國家技術資格을 취득한 環境管理技師 1, 2 級 資格證所持有者.
- 나. 排出業체會員: 環境保全法 第15條의 規定에 依拠 排出施設 設置許可를 받은者
- 다. 防止施設業會員: 環境保全法 第47條의 規定에 依拠 防止施設業의 登錄을 한者.
- 라. 産業廢棄物處理業會員: 環境保全法 第50條의 規定에 依拠 廢棄物處理業許可를 받은者.
- 마. 環境保全關聯事業會員: 防止機器類(防止藥品包含) 製造 및 販賣業者와 建設業조경等 其他 環境保全에 關聯된 事業체 또는 團體로서 理事會의 同意를 받은者.
- 바. 特別會員: 本會發展에 현저한 공헌을한 個人 또는 團體로서 理事會의 同意를 받은者.
- 사. 名譽會員: 社會指導層 人事.

● 會員의 惠澤

- 가. 協會의 事業에서 얻은 調查研究 및 技術開發 結果를 利用 또는 活用할수있음.
- 나. 技術相談 提供
- 다. 海外 技術情報 提供
- 라. 技術教育 無料受講
- 마. 施工 設計, 研究調查 分析 評價 實費提供
- 바. 刊行物(環境保全協會報) 等 無料配付.

● 入會節次

協會 所定樣式의 入會願書를 提出하여 (入會費와 年會費를 同時納付하여야함) 理事會의 同意를 받음으로서 入會됨.

● 會 費

區 分	入 會 費	年 會 費	區 分	入 會 費	年 會 費
특별會員	10,000	15,000	防止施設業會員(上)	200,000	300,000
환경관리기사회원	2,000	4,500	" (下)	100,000	150,000
排出業체會員(1種)	100,000	150,000	産業廢棄物處理業會員	100,000	150,000
" (2種)	50,000	75,000	環境保全關聯事業會員	100,000	150,000
" (3種)	30,000	45,000			

● 入會願書 接受處

- 서울: 本會事務局(中區小公洞111) 753-7640, 753-7669
- 京畿: 京畿道支部事務局(水原商工會議所內) 6-1175
- 江原: 江原道支部事務局(春川商工會議所內) 52-4321
- 忠北: 忠北道支部事務局(淸州商工會議所內) 3-0023
- 忠南: 忠南道支部事務局(大田商工會議所內) 253-9826
- 慶北: 慶北道支部事務局(大邱商工會議所內) 776-3585
- 慶南: 慶南道支部事務局(馬山商工會議所內) 6-4221~5
- 全北: 全北道支部事務局(全州商工會議所內) 6-3011~5
- 全南: 全南道支部事務局(光州商工會議所內) 2-6284~7
- 釜山: 釜山支部事務局(釜山商工會議所內) 463-7801~5
- 濟州: 濟州道支部事務局(濟州商工會議所內) 3-2164
- 仁川: 仁川支部事務局(仁川商工會議所內) 75-1840

社 團 法 人 環 境 保 全 協 會