



大氣汚染 防止技術 原理 및 機器 (IV)

金 鍾 奭

〈環境廳 大氣管理課長·技術士〉

2. 水冷却法(Water Quenching)

처리하여야 할 排氣가스가 多量일 때, 空氣 희석법을 사용하면 처리가스량이 크게 증가하므로 防止機器의 規模가 커진다. 이러한 경우에는 증발잠열이 큰 물을 利用하면 좋다. 이는 高溫가스에 물을 살수(spray)하여 증발시키면 물이 증발하면서 高溫가스내 熱을 吸收하므로 高溫가스가 냉각된다. 이와같은 냉각방법중 代表的인 것은 Water Quenching 방법이 있다. 效果的인 Water Quenching이 이루어지기 위해서는 Water Quench가 실시되는 부문에서 排가스 速度는 150~210 m/min. 가 되어야 하며, 이때 排가스가 通過하는 通路斷面에 均一하게 물방울이 살수되어야 한다. 만약 여과집진기처럼 수분이 함유된 처리가스를 처리할 수 없는 방지시설을 사용하여야 할 때에는 처리가스내에 수분 함량을 가급적 減少시키기 위해서 Quenching 후에 수분을 제거하여야 한다. Quenching 후 수분을 제거하는 방법으로는 처리가스 통로에 際却板(Eliminator Plate)을 설치 使用할 수 있으나, 이로 인한 壓力損失과 유지관리비(부식)가 많이 所要된다. 이때 수분을 가급적 減少시키기 위해서 Quenching 시설과 집진기와의 거리(통로)를 가급적이면 멀게하는 것도 하나의 方法이다.

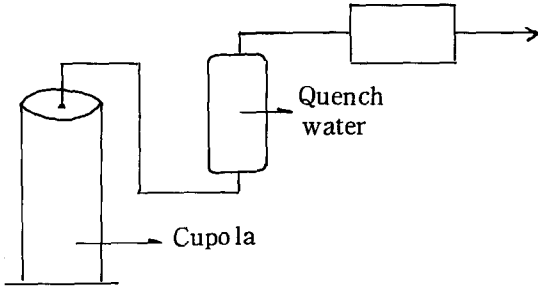
Quenching 시 살수를 위한 분사압력은 一般的으로 3.5~10.5 kg/cm² 사이의 壓力을 택하며 噴射壓力을 약 28kg/cm²까지 올리면 회수하여야 할 수증기량이 적어져 편리하다.

Water Quenching을 거쳐 冷却된 處理가스(冷排가스)내에 水蒸氣가 存在하면 뒤에 使用하는 防止設施의 種類에 따라 이를 제거하여야 하며 이의 제거를 위해선 水蒸氣 회수기가 별도로 使用되어야 한다.

處理가스내에 부식성 성분이 함유된 경우는 회수기의 재질이 耐蝕性인 것이어야 한다. 큐-폴라(Cupola)처럼 排氣가스 溫度가 高溫인 경우는 Water Quenching室과 큐-폴라 사이의 排가스 通路는 耐熱劑 처리를 하거나 또는 스테인레스가 흔히 使用된다. 處理된 排가스 即 處理가스의 溫度는 Quenching 室에서 빼앗긴 熱의 量으로 결정된다. 따라서 이 熱量을 調節하기 위해선 살수실내에서 蒸發할 수 있는 물방울의 양을 조절하여야 한다.

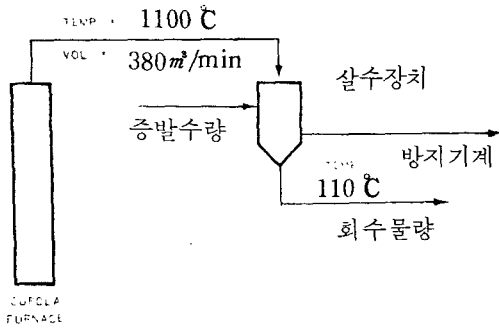
Quenching 室內 살수량의 調節은 Quenching 室을 通過한 處理가스 溫度를 측정하는 서머커플(Thermocouple)이 살수노즐에 물을 供給하는 솔레노이드 밸브(Solenoid Valve)를 溫度에 따라 제어하도록 하면, 쉽게 원하는 溫度를 얻을 수 있다. 이외에 제 2의 콘트롤러(Controller)를 처리가스 통로 側路(by-pass)에 設置하여 Quenching 室을 거쳐 나오는 處理가스 溫度가 高溫일 때 側路로 통과하도록 하는 비상용 콘트롤러로 防止機器를 保護할 수 있다. Water Quench 냉각방법은 다른 냉각방법에 비하여 간단하며 그 規模가 적어진다. <그림 2>는 큐-폴라 排가스를 Water Quench하여 냉각한 것을 설명한 것이다. 이것은 排氣관을 조금 확장하여 그

곳에 살수노즐과 Thermer Couple 을 설치하여 處理가스 溫度에 따라 살수량을 조절하여 냉각되도록 한 것에 불과하다. 가격도 다른 排가스 냉각장치 보다는 훨씬 低價이므로 이에 대한 충분한 이해가 필요하다.



〈그림 2〉 큐-폴라 排가스 냉각

排가스 수증기 냉각법을 좀더 구체적으로 〈그림 3〉의 조건을 가지고 검토해 본다. 큐-폴라에서 排出되는 溫度 1100 ℃의 排가스 380 m³/min 을 Water Quench 를 거쳐 110 ℃로 냉각 처리코저 한다. 이때 필요한 살수(Spray Water)량을 구하고 필요한 조건들을 검토해 보자. 이 문제를 풀기 위해서 먼저 排가스와 處理가스로 부터 냉각하여야 할 열량을 산출한 후 이열량을 흡수할 수 있는 증발물의 양을 구하여야 한다. 따라서 이 문제는 다음 순서에 의해 설명된다.



〈그림 3〉 큐-폴라 냉각실 예

가. 필요 냉각량

필요 냉각량을 얻기 위해서 1,100 ℃ 排가스의 엔탈피와 냉각된 110 ℃ 처리가스의 엔탈피를 각각 구하여 그 차를 구하면 이때 생기는 엔탈피

차가 필요 냉각량이 된다. 排가스 및 처리가스의 엔탈피는 각각 공기와 같다고 가정하고 $C_p m \Delta t$ 을 사용하여 각각 구한다.

공기 엔탈피는 $C_p m \Delta t$ 로 구한다. C_p 는 공기의 정압비열로서 〈그림 4〉에서 찾을 수 있다. 공기 온도에 따른 정압비열은 그림에서 27 번점을 찾고 주어진 온도와 직선 연결하여 만난 C_p 점의 수치를 읽으면 된다. 따라서 1,100 ℃와 110 ℃의 C_p 는 각각 0.29와 0.26을 얻게된다. 따라서 1,100 ℃ 및 110 ℃ 공기의 엔탈피 h 는 각각 아래와 같다.

$$h_{1100} \text{ (1100 ℃의 엔탈피)}$$

$$= (0.29 \text{ Kcal/kg} \cdot \text{℃}) \times (1 \text{ kg}) (1100 - 16) \text{ ℃}$$

$$= 314.4 \text{ Kcal/kg}$$

$$h_{110} \text{ (110 ℃의 엔탈피)}$$

$$= (0.26 \text{ Kcal/(kg} \cdot \text{℃)}) \times (1 \text{ kg}) (110 - 16) \text{ ℃}$$

$$= 24.4 \text{ Kcal/kg}$$

온도가 1100 ℃인 排가스 380 m³/min의 중량은

$$(1.3 \text{ kg/m}^3) \times \left(\frac{273 + 110}{273 + 1100} \right) \times 380 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$= 137 \text{ kg/min}$$

이므로 냉각으로 제거하여야 할 엔탈피 총량은

$$(137 \text{ kg/min}) \times (314.4 - 24.4) \text{ Kcal/min}$$

$$= 39,730 \text{ Kcal/min}$$

이 된다. 39,730 Kcal/min의 열량이 바로 1100 ℃ 배기가스를 110 ℃ 배기가스로 냉각하기 위해서 냉각제거하여야 할 열량이 된다.

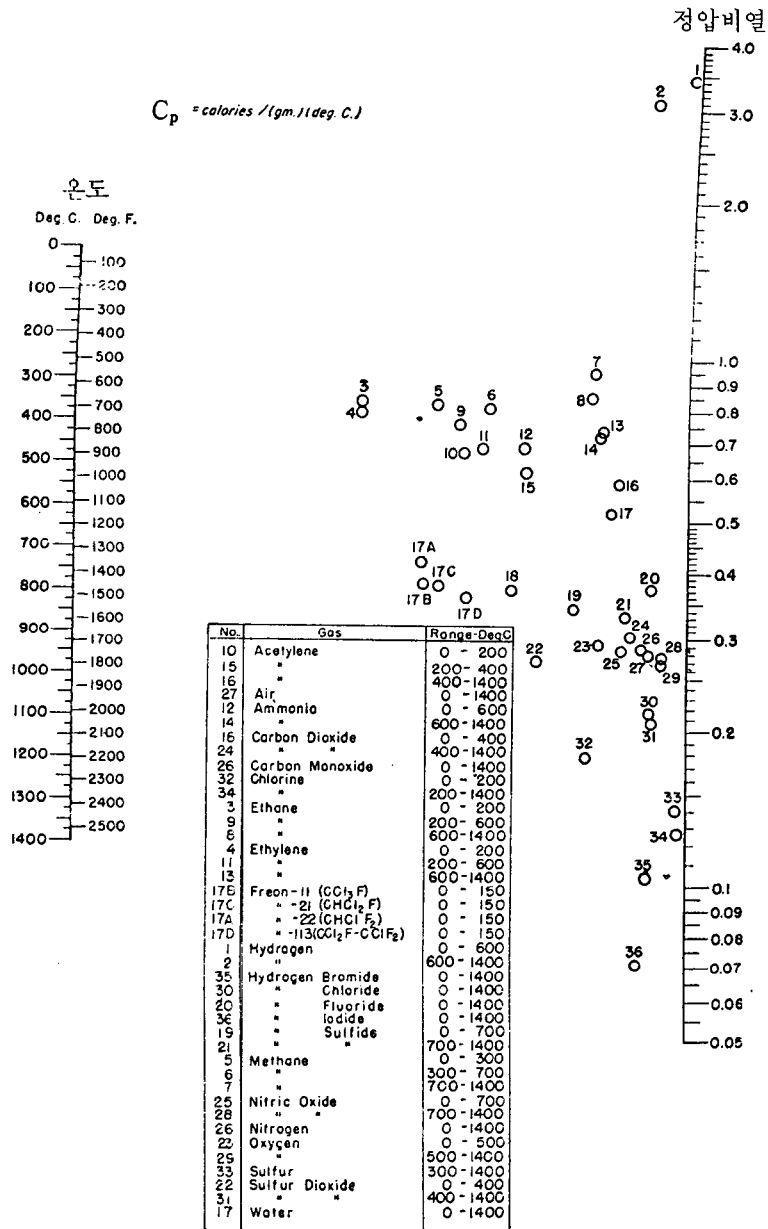
나. 排가스를 1100 ℃-110 ℃로 냉각시키기 위하여 증발시켜야 할 물의 양

물 1 kg 증발시 필요한 흡수열량(증발잠열)을 구하여 이 증발잠열로 가에서 구한 냉각시켜야 할 열량을 나누면 1100 ℃ 排가스를 110 ℃ 처리가스로 만들기 위하여 Quench 室에서 증발시켜야 할 물의 양을 얻는다. Quench 室內의 물의 증발잠열은 16 ℃의 물이 Quench 室內에 살수되어 110 ℃의 수증기가 된다고 가정하고 110 ℃ 수증기의 엔탈피와 16 ℃ 물의 엔탈피 차를 구하면 16 ℃의 물이 110 ℃의 수증기가 되는데 필요한 열량이 된다. Quench 室內 살수압력을 1 atm. 으로 하고 필요한 증발잠열을 Q, 110 ℃ 1 atm

수증기 엔탈피를 $h_g(110^\circ\text{C}, 1\text{ atm})$. 16°C 물의 엔탈피를 $h_f(16^\circ)$ 라 하면 아래와 같이 증발잠열

Q를 구할 수 있다.

$$Q = h_g(110^\circ\text{C}, 1\text{ atm}) - h_f(16^\circ\text{C})$$



Specific heats (C_p) of gases at 1 atm. pressure.

〈그림 4〉 가스정압비열

h_g 는 계산으로 할 수 있으나 일반적으로 <표-6>의 과열증기표를 찾으면 쉽게 구할 수 있다.
 $h_f = C_p m \Delta t$ 로 구할 수 있다.

물의 $C_p \approx 1 \text{ Kcal/kg/}^\circ\text{C}$ 로, $m = 1 \text{ kg}$,
 $\Delta t = (16 - 0)^\circ\text{C}$ 로 보면
 $h_f = (1 \text{ Kcal/kg/}^\circ\text{C})(1 \text{ kg})(16^\circ\text{C}) = 16 \text{ Kcal}$ 가
 되며 h_g 는 <표-6>에서 646.5 Kcal/kg 이 되므로
 16 $^\circ\text{C}$ 물 1 kg이 110 $^\circ\text{C}$ 수증기 1 kg이 되기 위하

여 필요로 하는 증발잠열 Q는

$$Q = 646.5 \text{ Kcal/kg} - 16 \text{ Kcal/kg} = 630.5 \text{ Kcal/kg}$$

이 된다. 따라서 110 $^\circ\text{C}$ 의 배가스 380 m^3/min 은 110 $^\circ\text{C}$ 로 냉각시키기 위해서 Quench 室内에 살수하여야 할 물의 양은

$$\frac{39,730 \text{ Kcal/min}}{630.5 \text{ Kcal/kg}} = 63 \text{ kg/min}$$
 이 된다.

<표-6> 過熱蒸汽表

壓力 kg/cm ² 絕對溫度 °C	溫度 °C															
	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170			
0.04 28.64	37.97 619.4 2.056 1	39.15 623.9 2.069 9	40.34 628.5 2.083 4	41.52 633.0 2.096 4	42.70 637.6 2.109 0	43.88 642.1 2.121 4	45.06 646.6 2.133 4	46.23 651.2 2.145 1	47.41 655.7 2.156 6	48.59 660.3 2.167 7	49.77 664.9 2.178 7	50.95 669.5 2.189 4	52.12 674.0 2.199 8			
0.05 32.55	30.37 619.3 2.031 3	31.31 623.9 2.045 2	32.26 628.4 2.058 6	33.21 633.0 2.071 7	34.15 637.5 2.084 4	35.10 642.1 2.096 7	36.04 646.6 2.108 7	36.98 651.2 2.120 5	37.93 655.7 2.131 9	38.87 660.3 2.143 1	39.81 664.9 2.154 0	40.76 669.4 2.164 7	41.70 674.0 2.175 2			
0.06 35.82	25.30 619.2 2.011 0	26.09 623.8 2.024 5	26.88 628.4 2.038 4	27.67 632.9 2.051 5	28.46 637.5 2.064 2	29.24 642.0 2.076 6	30.03 646.6 2.088 6	30.82 651.1 2.100 3	31.60 655.7 2.111 8	32.39 660.3 2.123 0	33.17 664.8 2.133 9	33.96 669.4 2.144 6	34.75 674.0 2.155 1			
0.08 41.16	18.96 619.1 1.978 9	19.55 623.7 1.992 9	20.15 628.3 2.006 5	20.74 632.8 2.019 6	21.33 637.4 2.032 3	21.93 642.0 2.044 7	22.52 646.5 2.056 8	23.11 651.1 2.068 5	23.70 655.7 2.080 0	24.29 660.2 2.091 2	24.88 664.8 2.102 1	25.47 669.4 2.112 9	26.06 674.0 2.123 3			
0.10 45.45	15.16 618.9 1.953 9	15.64 623.6 1.968 0	16.11 628.2 1.981 6	16.59 632.8 1.994 8	17.05 637.3 2.007 6	17.54 641.9 2.020 0	18.01 646.5 2.032 1	18.48 651.0 2.043 8	18.95 655.6 2.055 3	19.43 660.0 2.066 5	19.90 664.6 2.077 5	20.37 669.2 2.088 2	20.84 673.8 2.099 7			
0.20 59.66		7.795 622.9 1.890 1	8.036 627.7 1.904 0	8.277 632.3 1.917 4	8.516 637.0 1.930 4	8.754 641.6 1.942 9	8.992 646.2 1.955 1	9.230 650.8 1.967 0	9.467 655.4 1.978 5	9.704 660.0 1.989 8	9.941 664.6 2.000 8	10.18 669.2 2.011 6	10.41 673.8 2.022 1			
0.30 68.67			5.345 627.1 1.858 0	5.506 631.9 1.871 7	5.667 636.6 1.884 8	5.827 641.3 1.897 5	5.987 645.9 1.909 8	6.146 650.5 1.921 8	6.305 655.2 1.933 4	6.464 659.8 1.944 7	6.622 664.4 1.955 8	6.780 669.0 1.966 6	6.938 673.6 1.977 2			
0.40 75.41				4.121 631.4 1.838 9	4.242 636.2 1.852 2	4.364 640.9 1.865 1	4.484 645.6 1.877 5	4.604 650.3 1.889 6	4.724 655.0 1.901 2	4.843 659.6 1.912 6	4.962 664.2 1.923 7	5.081 668.9 1.934 6	5.200 673.5 1.945 2			
0.50 80.86					3.388 635.8 1.826 8	3.486 640.6 1.839 8	3.583 645.3 1.852 3	3.679 650.1 1.864 4	3.775 654.7 1.876 2	3.871 659.4 1.887 7	3.967 664.1 1.898 8	4.062 668.7 1.909 7	4.157 673.4 1.920 3			
0.60 85.45					2.818 635.4 1.805 8	2.900 640.3 1.819 0	2.982 645.1 1.831 6	3.062 649.8 1.843 9	3.143 654.5 1.855 7	3.223 659.2 1.867 2	3.303 663.9 1.878 4	3.383 668.6 1.889 3	3.462 673.2 1.900 0			
0.70 89.45					2.411 635.1 1.788 0	2.482 639.9 1.801 3	2.552 644.8 1.814 0	2.622 649.6 1.826 4	2.691 654.3 1.838 3	2.760 659.0 1.849 9	2.829 663.7 1.861 1	2.897 668.4 1.872 1	2.966 673.1 1.882 8			
0.80 92.59						2.168 639.6 1.785 8	2.230 644.5 1.798 7	2.291 649.3 1.811 1	2.352 654.1 1.823 1	2.413 658.8 1.834 8	2.473 663.6 1.846 1	2.533 668.3 1.857 1	2.593 673.0 1.867 8			
0.90 96.18						1.924 639.3 1.772 1	1.980 644.2 1.785 1	2.034 649.1 1.797 6	2.089 653.9 1.809 7	2.143 658.6 1.821 4	2.196 663.4 1.832 8	2.250 668.1 1.843 8	2.303 672.8 1.854 6			
1.0 99.09						1.729 638.9 1.759 8	1.779 643.9 1.772 9	1.829 648.8 1.785 5	1.878 653.6 1.797 6	1.927 658.4 1.809 4	2.023 663.2 1.820 8	2.072 667.9 1.831 9	2.121 672.7 1.842 7			
1.5 110.8								1.212 647.5 1.738 2	1.215 652.5 1.750 7	1.218 657.4 1.762 8	1.311 662.3 1.774 4	1.344 667.1 1.785 8	1.376 671.9 1.796 7			
2.0 119.6								0.902 8 645.2 1.703 8	0.928 5 651.3 1.716 7	0.953 9 656.4 1.729 1	0.979 0 661.4 1.741 0	1.004 666.3 1.752 6	1.029 671.2 1.763 7			
3.0 132.9										0.629 4 654.3 1.680 2	0.646 8 659.5 1.692 8	0.663 9 664.6 1.704 8	0.680 9 669.7 1.716 3			

0.1 m³/kg, f: kcal/kg, or kcal/kg °K

다. 110℃ 수증기의 용량

1100℃ 배가스에 16℃ 물 63kg/min을 살수하면 이는 증발하여 110℃ 수증기가 된다. 이 수증기의 용량(부피)는 다음과 같다.

$$\frac{63}{18} \left(\frac{273 + 110}{273 + 16} \right) \times 22.4 = 103.9 \text{ m}^3/\text{min}$$

라. Quench室에서 배기되는 총처리가스량

Quench室에서 배기되는 총처리가스량은 큐-플라에서 배출되는 1100℃ 온도의 380m³/min이 110℃로 냉각된 것과 이를 냉각시키기 위해서 살수 발생시킨 수증기량의 합이다.

$$\begin{aligned} \text{큐-플라 배가스} &= 380 \text{ m}^3 \left(\frac{273 + 110^\circ}{273 + 110^\circ} \right) \\ &= 106 \text{ m}^3/\text{min} \end{aligned}$$

$$\text{수증기량} = 103.9 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\text{총량} = 209.9 \text{ m}^3/\text{min}$$

따라서 방지기계로 처리하여야 할 배가스 총량은 209.9m³/min(110℃)가 된다.

마. 기타 유의사항

위에서 얻은 냉각 살수량은 증발되어야 할 물의 양만을 나타낸 것이다. 실제로 Quench室內로 살수된 물방울은 100% 증발되지 않으므로 살수량을 계산에서 얻은 양보다는 많게 하여야 한다. 따라서 살수에 필요한 펌프나 Spray시설을 좀더 크게 하여야 한다. 살수량을 결정하는데는 냉각에 필요한 온도차, 살수노즐의 Quench室內에 위치 또 Quench室과 방지기기와의 거리등을 참고하여 결정한다.

<다음호에 계속>

제 2 회 환경보전 사진현상 공모

환경보전을 위한 새로운 인식과 모든 국민의 참여를 촉구하기 위하여 아래와 같이 사진작품을 공모하오니 많은 응모 바랍니다.

-아 래-

응모 부문	응모 대상	응모요령 (규격)	응 모 내 용	시 상	
				입 선 구 분	상 금
사진	제한 없음	흑백 및 컬러 사진으로 11×14 이상(필름제출 관필요)	<ul style="list-style-type: none"> •오염방지수법사례 •방지시설 설치가동상태 •오물수거 처리 •생태계파괴 훼손및 복원등 •공기, 물, 농경지의 오염실태 •오물의 방류방치 •쓰레기의 적체 •기타 국민을 계도할수있는내용 	금상 1점	50만원
				은상 2점	30만원
				동상 5점	15만원
				입상 42점	2만원
				참가상200점	5천원

- 응 모 마 감 : 1984년 4월 30일
 - 당선작발표 : 1984년 5월 10일
 - 유 의 사 항 : •배경및 내용은 국내에 한함 •접수 제한없음 •작품및 원판첨부
•작품 뒷면에 제목, 작가이름, 주소, 성별기입 •입선된 작품은 반환치 않음
 - ※(관련 본협회 귀속, 낙선작은 '84년 6월 1일~6월 7일 기간에 반출해야하며 경과시 파손, 분실에대한 책임은 지지않음)
 - 접 수 처 : 환경보전협회 총무과
 - ※ 기타 문의는 접수처로 문의바람
- 서울특별시 중구 소공동 111번지 대한상공회의소 105호실(753-7640, 753-7669)

사단 법인 환경보전협회

환 경 보 전 협 회