

열 오염원의 후드 설계

— Design of Hooding for Hot Processes —

禹 宗 秀*
Woo, Chong Soo

머 리 말

필자가 몇차례의 Seminar에 참가 강사로 초빙되어 느낀점은 상상외로 우리 환경 및 산업위생 기술인들이 국소배기 및 후드 설계, 방지시설 설계 Duct 설계 및 자재 절감 개념이 상당히 취약함을 알고 저으기 놀랐습니다.

특히 가장 기본이 되는 배출량 산정 조차 몰라 영업간부가 배출업소에 가서 슬며시 Fan 용량을 훑쳐 보는 기막힌 현실에 아연실색 했습니다. 체면을 중시하는 동양사회에서 본인의 심정은 얼마나 고통스러웠겠습니까?

이는 외부적으로는 일본을 비롯한 선진국 저급기술자들에 의해 우리 한반도 기술자에게는 KNOW-HOW라는 미명아래 철저한 기술 봉쇄 정책을 당하며 내부로는 우리 선학들의 주먹구구식 경험 Engineering에 의존해야 했던 사실을 우리는 정확하게 직시하지 않으면 안되겠습니다.

이는 산업구조가 단순했을시 억지로 가동되었던 현실로 급속도로 발전하는 현시점에서는 바늘끝같은 Engineering과 자재절감만이 기업의 승패를 가름할 뿐입니다. Engineering에 KNOW-HOW란 있을 수 없습니다.

이제 우리도 산 국소배기량 산출과 후드를 설계하는 기법을 알아야 합니다.

상기 기술은 절대로 특정 전문가의 KNOW

-HOW가 아닙니다. 환경 및 산업위생 기술인의 필수적인 기본 기술입니다. 고도의 환경기술은 결코 선진국의 전유물이 아닙니다. 21세기를 맞이하는 투지의 한국 환경 및 산업위생 기술인의 기본자세일 뿐입니다. 금세기 전투력은 막바로 GREEN ROUND와 연결된 환경 및 산업위생 기술력이라는 현실적 사실을 우리는 주시해야 합니다.

각종 생산공정에서 발생하는 유해가스, 증기, 분진, 고열 등은 일차적으로 근로자의 건강과 작업능률에 악영향을 미치는 요인이 많으며 이들의 유해한 요인이 대기오염을 유발시키며 이들중에는 광화학 반응을 일으켜 제2차 오염물질을 생성하는 경우가 많습니다. 작업환경개선 및 환경오염방지를 위한 여러가지 공학적 대책이 강구되고 있으나 그 가운데에서도 제강용 아크로, 전로, 코우크스로 등 각 공장에서 기본이 되는 열 오염원의 배출량 산정 및 후드 설계 기법을 평소 흔히 적용되는 각종 시설의 예를 들어 검토하고자 합니다.

1. 개 요

제강용 아크로, 전로, 코우크스로 등 열원 상승기류와 함께 배출되는 유해물질을 포집할 때는 기류의 열부력상승에 의해 오염물질을 피동적으로 포집하기 때문에 통상 천개형 후드(CANOPY HOOD)가 이용된다. 기류교환이

* 大氣管理技術士. 環境管理公團技術委員

없는 작업장내에서의 열부력 상승기류는 약 20도의 각도를 이루면서 상승한다.

또 천개형 후드는 포집거리에 따라 통상 1m 이내를 LOW CANOPY HOOD로, 그 이상을 HIGH CANOPY HOOD로 분류하며, 각각 예문을 들어 풀어헤 보고자 한다.

2. 원형고위치 천개형 후드 (CIRCULAR HIGH CANOPY HOOD)

2.1 장입시 가스배출량 산정

통상 전기로의 오염물질을 포집할 때는 원료 장입시 및 출탕시 열 오염원의 상승기류와 함께 열전도 및 복사에 의한 주위공기의 열부력 상승량을 함께 고려하지 않으면 안된다. 기류 교환이 없는 작업장내에서의 열부력 상승기류는 Hemeon의 경험식에 의거 열오염원 가상점으로 부터 약 20도의 각도를 이루면서 상승하므로 이 오염물질을 피동적으로 포집하기 위해서는 주로 High-canopy Hood가 이용된다. 이때 후드 표면상에서의 열상승기류 직경은 대략적으로 아래와 같다<그림 1. 참조>.

$$D_c = 0.5X_i^{0.88}$$

여기서,

D_c : 후드표면의 열상승기류 직경

$X_i = y + z$: 열 오염원 가상점으로부터 후드까지 거리(ft)

y : 열 오염원으로부터 후드까지의 거리(ft)

z : 열 오염원 표면으로부터 가상점까지 거리(ft)

z 는 아래와 같이 산정한다.

$$z = (2D_s)^{1.136}$$

D_s : 열 오염원 직경(ft)

열상승기류속도 산정은 아래의 식을 이용한다.

$$V_i = 8(A_s)^{0.33} \frac{(\Delta t)^{0.42}}{X_i^{0.25}}$$

여기서,

V_i : 후드표면의 열상승기류 속도(fpm)

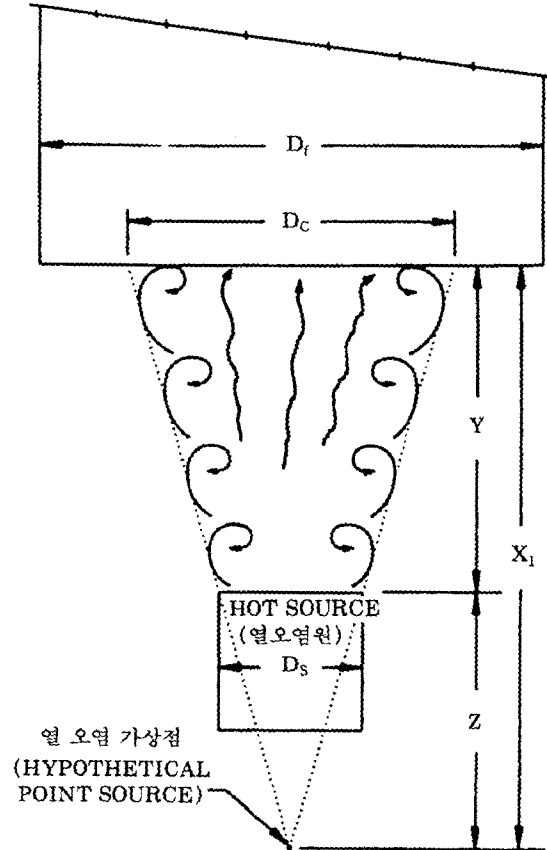


그림 1. 후드표면의 열상승 기류 직경

* 열상승 기류속도는 수평표면에 대한 열전달계수와 15%의 안전계수를 적용하여 산정됨.

A_s : 열 오염원 표면적(ft²)

Δt : 열오염원과 대기온도차(°F)

X_i : $y + z$ 열 오염원 가상점부터 후드까지 거리(ft)

후드의 직경은 완전한 포집을 위해 열상승기류 직경보다 커야 한다. 따라서 후드의 직경은 $D_i = D_c + 8.0y$ 로 산정한다. 장입시 총배출량은 다음식으로 산정한다.

$$V_i = V_i A_c + V_i (A_i - A_c)$$

여기서,

V_i : 후드에서의 총포집량(cfm)

V_f : 후드에서의 열상승 기류속도(fpm)
 A_c : 열상승 기류직경에 의한 후드 표면적(ft²)

V_r : 종속기류 상승속도(fpm)

* 통상 100내지 200fpm으로 설정한다.

(특별한 상황을 제외하고는 100fpm 이하로는 적용하지 않으며 납흡인 경우는 작업자의 건강보호를 위해 완전포집을 해야 하므로 20fpm 정도로 설정한다).

(예제1) 용융금속온도가 2,848°F(1,620°C)이며, 직경이 10'(3,048φ)인 전기로가 있다. 전기로부터 27'(8,230mm)상공의 위치에 원형천개형후드(High canopy hood)를 설치하여 열원의 상승기류와 함께 배출되는 오염물질을 포집하여 처리하고자 한다. 후드의 직경 및 열상승기류량을 구하라. 주위온도는 80°F(27°C)이다.

(풀이) HEMEON(1955)의 산정방식을 이용하여 열오염원의 가상점 X_c 를 구하기 위해 z 를 구하면, 그림 2.에서 D_s 가 10ft일 때 z 는 30ft이다.

$$\therefore X_i = z + y$$

$$X_i = 27 + 30 = 57\text{ft}$$

후드 표면의 열상승기류 직경

$$D_c = 0.5X_c^{0.88}$$

$$D_c = 0.5(57)^{0.88} = 17.5\text{ft}$$

열상승기류에 의한 후드표면적은

$$A_c = \frac{\pi}{4} D_c^2$$

$$A_c = (0.7854)(17.5)^2 = 241\text{ft}^2$$

따라서 후드의 직경은 완전한 포집을 위해 열상승기류 직경보다 커야 하므로

$$D_f = D_c + 0.8$$

$$D_f = 17.5 + (0.8)(27) = 39.1\text{ft}$$

따라서 후드의 직경은 :39.1'(12,000φ)로 설계한다.

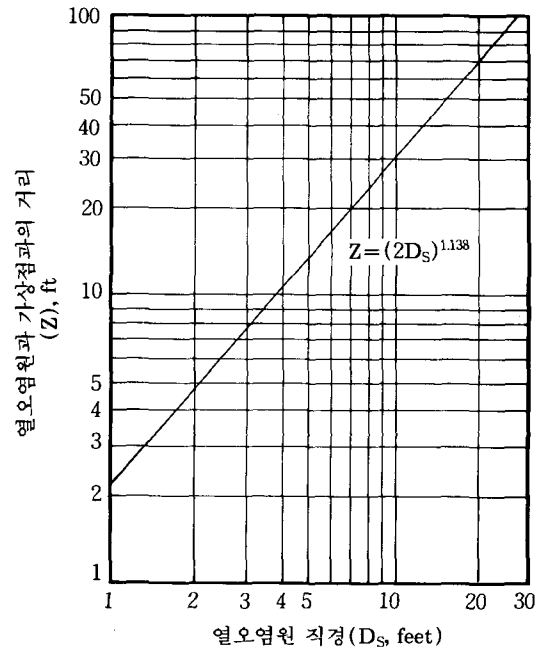


그림 2. 도표에 의한 Z값 산정

후드표면적은

$$A_f = \frac{\pi}{4} (D_f)^2 \text{에서}$$

$$A_f = (0.7854)(39.1)^2 = 1,200\text{ft}^2$$

후드면에서의 상승기류속도는

$$V_f = 8(A_s)^{0.33} \frac{(\Delta t)^{0.42}}{X_c^{0.25}}$$

$$= 8(78.5)^{0.33} \frac{(2,868)^{0.42}}{(57)^{0.25}}$$

$$= 377\text{fpm}$$

따라서, 총 배출량 산정은

$$V_f = V_r A_c + 100(A_f - A_c)$$

$$= (377)(241) + (100)(1,200 - 241)$$

$$= 90,828\text{cfm}$$

$$= 5,290\text{m}^3/\text{min}$$

따라서, 배출량 설계는 이유를 두어 5,500m³/min으로 설계한다.

2.2 용해시 가스배출량 산정

용해기 및 산화기에 발생하는 먼지는 노측면

에 설치된 수냉의 흡인덕트로 직접 흡인하는 방법으로 원료장입시와 출탕시는 포집할 수 없다.

풍량 자체는 Canopy hood에 의한 장입시 배출량과 비교해 보면 매우 소량이나 이상고온가스가 흡인되어 Bag filter에 트러블이 발생하

는 것을 방지하기 위해 주송풍기와 By-pass 연결하여 냉풍댐퍼에서 냉풍을 도입하도록 배려하는 것이 통례이다. 직인시 배출량은 <그림 3.>, <그림 4.>와 같이 직인덕트를 By-pass로 연결하여 대략적으로 용해톤당 80Sm³/min으로 산정할 수 있다.

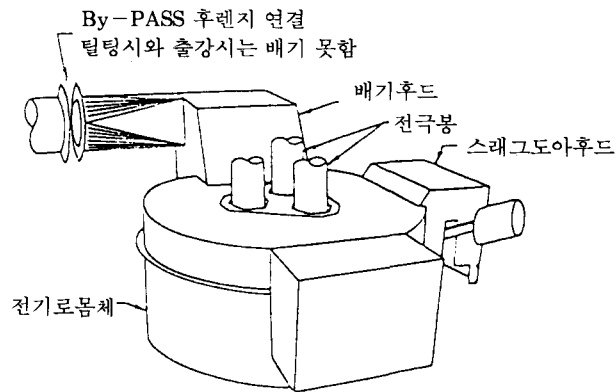


그림 3. 전기로의 용해시 포집방법

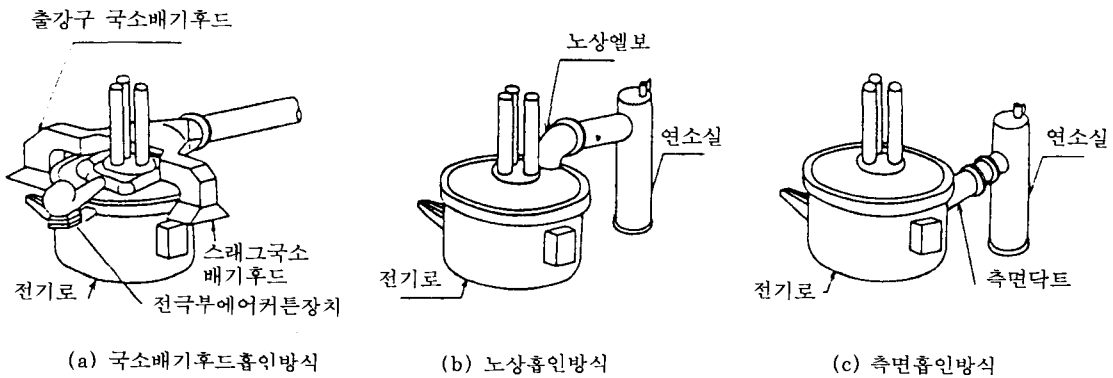


그림 4. 각종 포집방법

2.3 밀폐방법

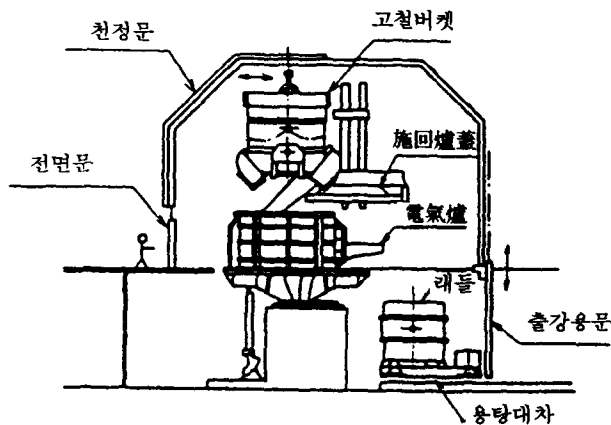
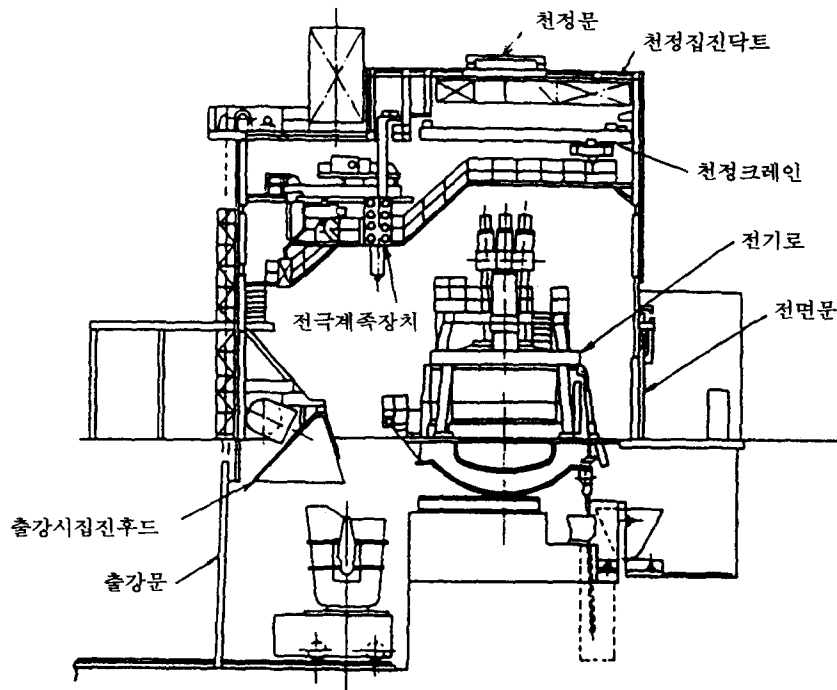
통상 전기로에서 발생되는 먼지는 천정까지 확산되며 이를 포집하기 위해서는 대용량의 집진설비를 설치하여야 하며 더욱이 110dB에 이르는 굉장한 소음이 발생되므로 여기에 대응하여 전기로 전체를 밀폐시키는 방법이 최근 활

발하게 개발되고 있다. <그림 5.>는 전기로 전체를 밀폐시키는 방법의 예로 집진용량도 20~30%의 절감효과를 가져오며, 소음도 대폭 줄어들어 1m 정도 떨어진 곳에서 약 15dB로서 통상적인 언어전달이 가능한 동시에 주위작업 환경이 현저하게 개선될 수 있는 장점 때문에

점점 전기로 전체를 밀폐시키는 공장이 늘어나고 있는 추세이다.

제어장치는 각 작업공정에 따른 해당 문을 순차적으로 개폐시켜 일시 충격부하를 감소시켜 주도록 조정한다. 이때의 배출량산정은 각 개폐구중 최대치를 적용하여 개구시의 면속이

2m/sec 정도의 부압을 주어 산정하면 먼지의 작업장 비산을 충분히 제어할 수 있다. 더욱이 장입, 용해, 산화 및 출강공정에 따른 해당되는 문이 순차적 제어(Sequence control)를 하며, 작업에 지장이 없는한 최소한의 규격을 선정하므로써 집진용량을 절감시킬 수 있다.



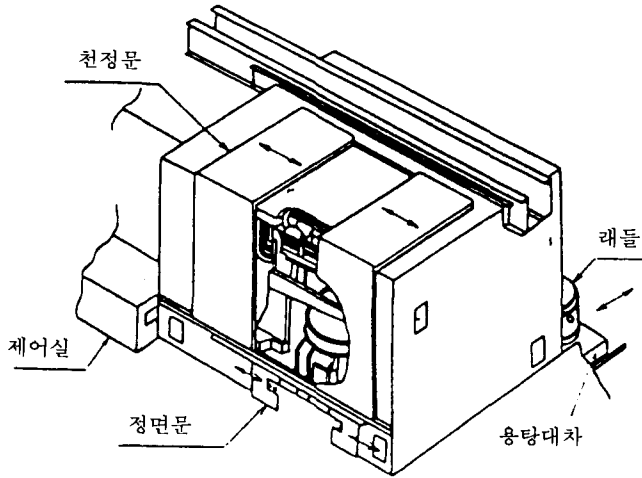


그림 5. 전기로 전체를 밀폐시키는 방법

(예제2) 용융금속온도가 880°F(471°C)이며 직경 4ft인 아연 용해로가 있다. 용해로로부터 10ft 상공의 위치에 원형 천개형 후드를 설치하여 열원의 상승기류와 함께 배출되는 유해물질을 초비하고자 한다. 후드의 직경 및 열상승 기류량을 구하라. 주변온도는 80°F(27°C)이다.

(풀이) HEMEON(1955)의 산정방정식을 이용하여 예제2의 수치를 대입하여 풀면

-열오염원의 가상중심점

$$X_f = Z + y = 11 + 10[\because Z = (2 \times 4)^{1.138} = 11] \\ = 21\text{ft}$$

-후드의 상승기류 직경

$$D_c = 0.5 \times X_c^{0.88} \\ = 0.5 \times (21)^{0.88} \\ = 7.3\text{ft}$$

$$A_c = \frac{\pi}{4} D_c^2 \\ = (0.785)(7.3)^2 = 42\text{ft}^2$$

-후드의 직경

$$D_f = D_c + 0.8y \\ 7.3 + 0.8 \times 10 = 15.33\text{ft}$$

$$A_f = \frac{\pi}{4} (D_f)^2 \\ = (0.785)(15.33)^2 = 185\text{ft}^2$$

-상승기류속도

$$V_f = \frac{8(A_s)^{0.33}(\Delta t)^{0.42}}{X_c^{0.25}} = \frac{(8)(12.57)^{0.33}(800)^{0.42}}{(21)^{0.25}} \\ = 143\text{fpm}$$

-총상승기류량

$$Q_f = V_f A_c + V_f (A_f - A_c) \\ = (143)(42) + (100)(185 - 42) \\ = 20,300\text{cfm} \\ \approx 575\text{m}^3/\text{min}$$

(예제3) 위와 같은 조건에서 HOOD까지 거리가 6'(1830m/m)일 때 HOOD SIZE 및 배출량을 구하라.

$$X_f = Z + Y = 11 + 6 = 17\text{feet}$$

$$D_c = 0.5X_f^{0.88} = 0.5(17)^{0.88} = 6.1\text{feet}$$

$$A_c = \frac{\pi}{4} (D_c)^2 = (0.785)(6.1)^2 = 29.2\text{ft}^2$$

$$D_f = (6.1) + (0.8)(6) = 10.9\text{ft}$$

$$A_f = \frac{\pi}{4} (D_f)^2 = (0.785)(10.9)^2 = 93.7\text{ft}^2$$

$$V_f = \frac{8(A_s)^{1/3}(\Delta t)^{5/12}}{X_f^{1/4}} = \frac{(8)(12.57)^{1/3}(800)^{5/12}}{(17)^{1/4}}$$

$$\begin{aligned}
 &=149\text{fpm} \\
 V_i &=V_i A_c + 100(A_f - A_c) \\
 &=(149)(29.2) + (100)(93.7 - 29.2) \\
 &=10800\text{cfm}(305\text{m}^3/\text{min})
 \end{aligned}$$

(예제4) 규격이 2.5'×4'인 장방형 납조가 있다. 후드의 높이는 나조로부터 8'의 거리에 있을 때 후드 규격 및 배출량을 산정하라.(납조 표면의 용탕 온도는 700°F이며 대기온도는 80°F이다.)

(풀이)

$$\begin{aligned}
 Z &=(2.5 \times 2)^{1.138} = 6.2' \\
 X_f &=Z + Y = 6.2 + 8 = 14.2' \\
 D_c &=0.5X_f^{0.88} = 0.5(14.2)^{0.88} = 5.2'
 \end{aligned}$$

장방형 길이는 단변길이에 준하여 설계

$$\begin{aligned}
 D_c &=(4)(5.2 - 2.5) = 6.7' \\
 A_c &=(5.2)(6.7) = 35\text{ft}^2
 \end{aligned}$$

Hood Size는

$$\begin{aligned}
 W &=(5.2) + (0.8)(8) = 11.6' \\
 L &=(6.7)(0.8)(8) = 13.1' \\
 A_f &=(11.6)(13.1) = 152\text{ft}^2 \\
 V_i &= \frac{8(A_s)^{1/3}(\Delta t)^{5/12}}{X_f^{1/4}} = \frac{(8)(10)^{1/3}(620)^{5/12}}{(14.2)^{1/4}}
 \end{aligned}$$

$$=130\text{fpm}$$

Total Volume는

$$\begin{aligned}
 V_i &=V_i A_c + V_f(A_f - A_c) \\
 &=(130)(35) + (200)(152 - 35) \\
 &=28000\text{cfm}(293\text{m}^3/\text{min})
 \end{aligned}$$

*납 FUME은 인체에 유해한 바 작업자 보호를 위해 완전하게 포집해야 하므로 종속도를 200fpm으로 선정한다.

3. 저위치 천개형 후드(Low CANOPY HOOD)

저위치 천개형 후드는 통상 열오염원과 후드의 거리, 혹은 열오염원의 직경이 3ft이하일 경우 사용되며, 이 경우 후드의 상승기류 직경이

나 횡단면은 대략 오염원의 직경이나 횡단면의 길이와 같으며, 후드의 직경이나 횡단면의 길이는 열오염의 횡단면의 길이보다 1ft 정도 길게 선정한다.

원형 저위치 천개형 후드(Circular Low-Canopy Hood)의 열상승기류량은

$$Q_t = 4.7(D_f)^{2.33}(\Delta t)^{0.42} \text{로 산정한다.}$$

$$Q_t = \text{총 열상승기류량(cfm)}$$

$$D_f = \text{후드의 직경(ft)}$$

$$\Delta t = \text{열오염원과 주변온도차(°F)}$$

장방형 저위치 천개형 후드(Rectangular Low-Canopy Hood)의 열상승기류량(cfm)은

$$\frac{Q_t}{L} = 6.2(b)^{1.33}(\Delta t)^{0.42}$$

$$\text{따라서, } Q_t = 6.2 \times b^{1.33} \times \Delta t^{0.42} \times L$$

$$L = \text{장방형 HOOD의 길이(ft)}$$

$$b = \text{장방형 후드의 폭(ft)}$$

(예제5) 용융금속온도가 2350°F인 황동후락스 및 스톱용 래들(LADLE)이 있다. 래들의 직경이 20inch(1.6ft)이며, 용융금속 표면으로부터 24inch위에 원형천개형 후드를 설치하여 열원의 상승기류와 함께 배출되는 유해물질을 포집하고자 한다. 후드의 직경 및 열상승기류량을 구하라. 주변온도는 80°F이다.

(풀이) 열온도차 $t = 2,350 - 80 = 2,270(°F)$

후드의 직경은 열오염원보다 1ft 길게 선정하므로

$$D_f = 1.67 + 1.0 = 2.67\text{ft}$$

총 열상승기류량은

$$\begin{aligned}
 Q_t &= 4.7(D_f)^{2.33}(\Delta t)^{0.42} = 4.7(2.67)^{2.33}(2,270)^{0.42} \\
 &= 1,150\text{cfm} \div 33\text{m}^3/\text{min}
 \end{aligned}$$

(예제6) 아연 다이캐스팅을 위한 용융금속온도가 820°F인 장방형 용해아연홀딩로가 있다. 이로의 폭과 길이는 각각 2ft 및 3ft이며 홀딩로로부터

30inch위에 장방형 저위치 천개형 후드를 설치하여 열상승기류와 함께 배출되는 유해물질을 포집하고자 한다. 후드의 치수 및 열상승기류량을 구하라. 주변온도는 90°F이다.

(풀이) 후드의 폭과 길이는 열오염원보다 각각 1ft 길게 산정하므로

후드의 치수=3ft×4ft

열온도차 $t=820-90=730^{\circ}\text{F}$

총 열상승기류량은

$$\frac{Q_t}{L} = 6.2(b)^{1.33}(t)^{0.42}$$

$$\frac{Q_t}{4} = 6.2(3)^{1.33}(730)^{0.42}$$

$$\frac{Q_t}{4} = 430(\text{cfm}/\text{ft})$$

$$Q_t = 430 \times 4 = 1,720(\text{cfm}) \div 48.7\text{m}^3/\text{min}$$

4. 천개형 후드(CANOPY HOOD)의 설계

4.1 알루미늄압연후드

그림 6.은 금속판의 냉간압 연기에 설계한 CANOPY후드이다. 냉간압연의 경우 로라의 마찰열로 인하여 다량의 열기와 윤활유의 Mist가 발생하게 된다.

따라서 공기(Mist포함)의 흐름, 기계의 구조와 작업성을 고려하여 예도와 같은 CANOPY형 HOOD를 설계할 수 있다.

이런 종류의 기계는 일반적으로 대형이며 오염물질 발생원이 한정되어 있지 않은 경우가 많으므로 자연히 HOOD가 대형으로 되는 경우가 많고 따라서 배출량도 많아지게 된다.

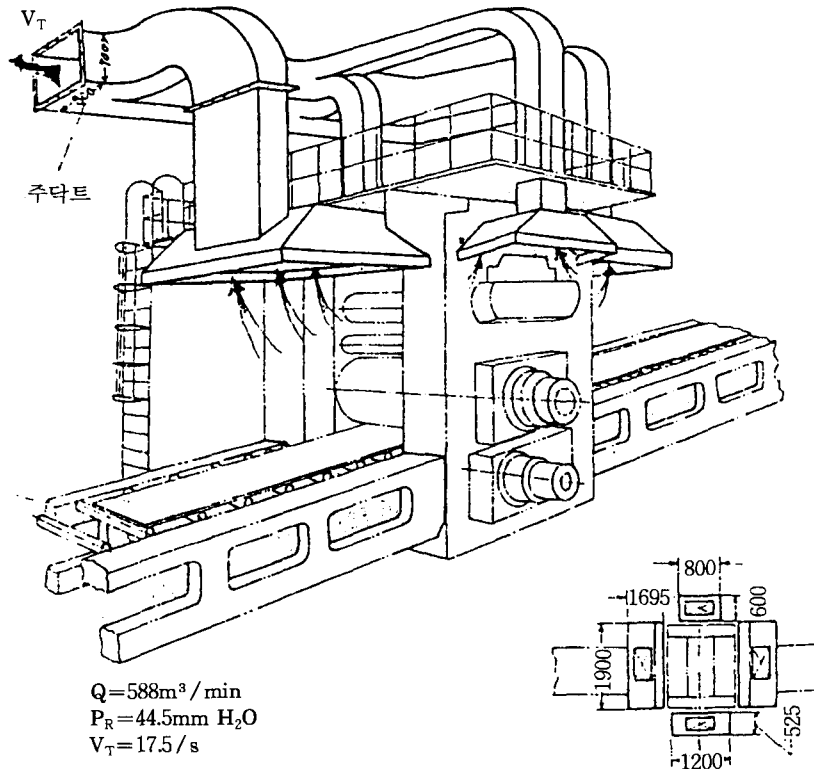


그림 6. 혼합용 더블 캐노피형

예도에 표시된 배출량(Q)= $588\text{m}^3/\text{min}$, 압력손실(P_R)= $44.5\text{mmH}_2\text{O}$ 는 Main duct에 걸리는 전배출량, 전압력손실이다. 또 예도의 각 후드개구면은 작업에 지장이 없는 한 폭이 넓은 프랜지를 설계하여 배기효과를 향상시킬 수 있다.

4.2 혼합용 더블 CANOPY HOOD

Mixing 작업에 사용된 레시버식, 더블캐노피 후드의 실예인데, 이 형식은 적절한 설계를 얻지 못하면 실패하는 예가 많다.

이것은 후드내에서 발생한 증기, 분진 등이 한차례 열상승 기류를 타고 내측 각추부까지

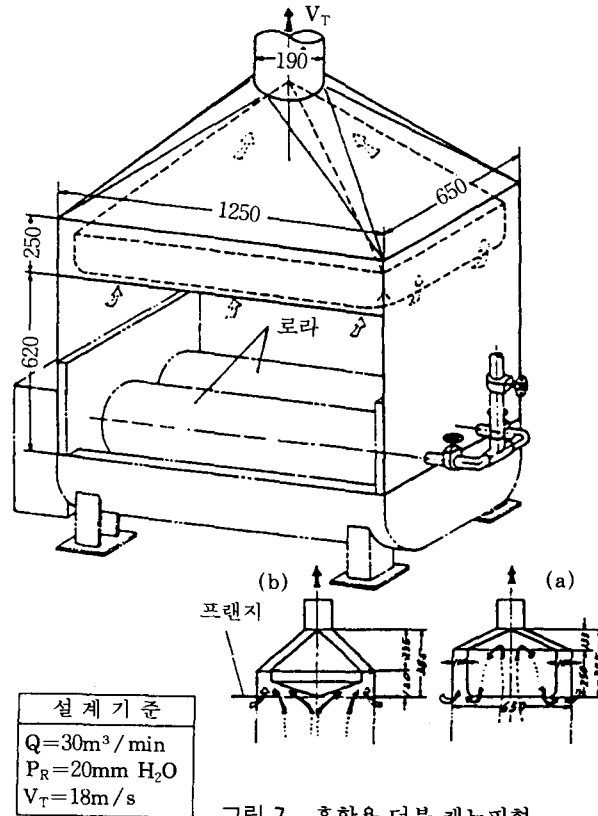


그림 7. 혼합용 더블 캐노피형

상승하여 각추면을 따라서 하강하고, 후드 주변에 설치된 슬롯상 개구부를 따라서 흡입되는 구조((a)의 그림참조)이기 때문에 발생한 증기, 분진등의 양이나 농도가 클 경우에는 슬롯에 의한 배기효과가 충분치 못하여 후드 외부로 누출하는 경우가 있기 때문이다.

따라서 슬롯트부 및 내측 각추부의 치수 형태는 매우 주의하지 않으면 안된다. 공기가 흐르는 점에서 보면 그림(b)에서와 같은 형상의 더블캐노피형후드를 고려해야 한다. 이 그림에서 상향부분의 삼각추의 부분을 생략하면, 제

작은 쉬우나 압력손실은 다소 많아진다.

4.3 레시버식 CANOPY HOOD

이것은 양철통의 밑주변을 동시에 여러개를 납땜할 때에 이용되는 후드의 예이다. 작업방법으로는 작업대위에 설치된 용융 납땜조내에 양철통의 밑주변을 침적시켜 건 본체를 차례로 회전시키면서 납땜작업을 연속적으로 하도록 하였다. 납땜 작업에는 열상승기류가 발생되므로 레시버식·캐노피형 후드가 적합하다.

후드를 받치고 있는 앵글(그림에서는 좌우 2

개)의 사이는 전면에 걸쳐 차단막을 설치하고 후드 후면에서의 유입공기를 차단시키도록 가능하다면 양측면에도 적당한 형상의 측벽을 설치하든가 가소성의 차단막을 설치하는 편이 좋다.

또한 후드내에 적당한 편류판을 설치하여 개구면 전체에 걸쳐 일정하게 흡입기류가 발생하도록 강구하여야 한다.

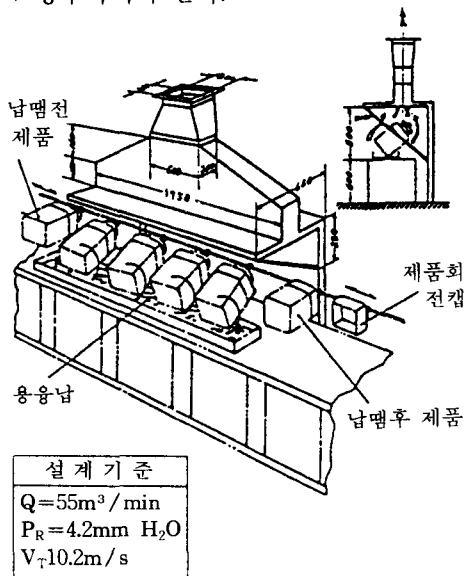
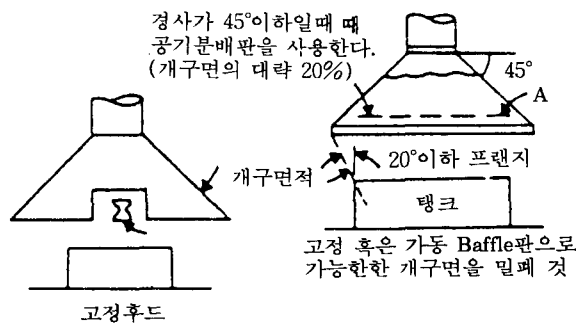
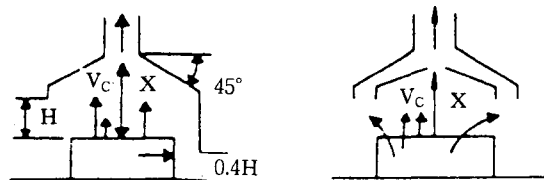


그림 8. 레시버식 캐노피형



4.4 CANOPY HOOD의 설치기법

일반적으로 CANOPY 후드는 대형의 배출 설비등에 넓게 설치하는 경우가 대부분이므로 자연히 대형화되는 경우가 많다. 따라서 Main 설비의 정기적인 정비(Maintenance)시 해체 조립등 작업을 병행하지 않으면 안되는 경우가 많으므로 번거로움을 줄이기 위해 Hood자체를 가동식으로 설치하는 경우가 많다.

4.4.1 상하가동식 CANOPY 후드

그림 좌하의 경우와 같이 회전 JIG CRANE의 소재 투입시와 작업시 HOOD가 상하승강할 수 있도록 설계된 것으로 이때의 배출량산정은 후드가 올라왔을 때의 풍량을 기준하여 산정한다.

4.4.2 좌우회전가동식 CANOPY 후드

그림 오른쪽 아래의 경우와 같이 HOOD자체를 Rotating Unit를 중심으로 좌우 회전할 수 있게 설계하므로써 정기적인 기계정비시 HOOD의 해체·조립 등 번거로움을 줄일 수 있다.

이외에 배기효과를 향상시키기 위해 공기분배판(Air Distributors)을 채택하는 방법(원

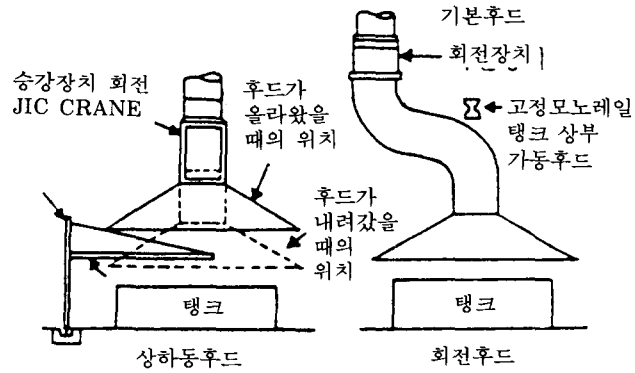


그림 9. CANOPY HOOD 설치예

쪽 위 및 오른쪽 위)과 고정 혹은 가동식 Baffle판을 설치하는 방법(오른쪽 가운데) 등이 고려될 수 있다.

그림 왼쪽 가운데는 배출량을 줄이기 위해

CANOPY HOOD를 낮게 설치하고 후드중앙부를 관통하는 모노레일을 설치하여 소재투입시 편리하게 설치된 CANOPY HOOD의 예이다.