

공기조화 계산(5)

2) 집진설계

가. 에어 필터(air filter)의 성능

① 여과효율 η_f (%)

$$\eta_f = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100 = \left(1 - \frac{C_2}{C_1}\right) \times 100 \quad (2.1)$$

여기서, C_1, C_2 : 필터 입구측, 출구측의 진애농도(塵埃濃度)

여과효율은 제진효율(除塵效率), 진애포집율(塵埃捕集率), 오염제거율이라고도 한다.

효율의 측정법을 대별하면 중량법, 변색도법(變色度法)과 DOP법의 3방법이 있다. 또 중량법, 변색도법의 시험용 분체(粉體)에는 관동지방화산회토(關東地方火山灰土)의 토분, 기타의 분체를 사용해서 만든 인공분체(JIS Z 8901)와 대기중의 진애(塵埃)를 그대로 사용하는 대기진이 있으며, 전자는 일반적으로 중량법의 측정에, 후자는 변색도법의 측정에 사용한다.

중량법에서는 필터의 상하류의 분진중량(粉塵重量)(mg/m^3)을 측정하여 이것들을 식 (2.1)의 C_1, C_2 로 해서 효율을 구한다. 변색도법(discoloration method 또는 dust spot method)은 비색법(比色法)이라고도 하며, 미국의 연방기준국(NBS)에서 개발되었으므로 NBS법이라고도 한다.

이 방법은 상하류의 공기중의 분진을 별개의 2매의 여과지에 채집하여 이 2매의 여과지의 광투과량이 같도록, 상하류로부터 채집하는 공기량 Q_1, Q_2 를 조절하면 $Q_1 C_1 = Q_2 C_2$ 로 되므로, $C_2/C_1 = Q_1/Q_2$ 로 되고 Q_1, Q_2 를 측정해서 C_2/C_1 을 구하여, 이것을 식(2.1)에 대입해서 효율을 구한다.

DOP법은 DOP(di-octyl-phthalate)의 입자가 지름 $0.3\mu\text{m}$ (미트론)의 균일성이

보유되고 있으므로 이것을 시험분체로 해서 필터의 상하류의 입자수를 광산
난식(光散亂式) 진애계측기(塵埃計側器) (로이고식 등의 상명(商名)이 있음)로
측정하여 효율을 구한다.

위의 3방법의 측정 결과는 <표 5>와 같이 중량법에 의한 값이 가장 높고,
DOP에 의한 방법이 가장 낮게 되며, DOP법이 가장 엄격한 시험이 된다.

<표 5> 공기청정장치의 성능별 분류와 성능의 개요

성능별 분류	에어 필터의 형식	적응분진 (適應粉塵) 입자지름 (미크론)	적응 분진 농도 *1	압력 손실 (mmAq)	분진포집효율 (粉塵捕集效率)(%)			분진보 유용량 (奮進保 有容量) (g/m ³)
					중량 법	변색 도법	DOP 법	
저성능 필터(라 프필터)	자동경신형(自動更新 形)로울필터 멀티패널형필터 정기세정형(定期洗靜 形)패널필터 여재교환형(濾材交換 形)패널필터 정기세정형(定期洗靜 形)패널필터*2	5이상	중~대	3~20	70~90	15~40	5~10	500~ 2000
중성능 필터(1)	여재절입형(濾材折入 形)필터 다이프 베드형 필터	1이상	중	8~25	90~96	50~80	15~50	300~ 800
중성능 필터(2)	여재절입형(濾材折入 形)필터 다이프 베드형 필터 백필터	1이하	소	15~35	99 이상	80~95	50~80	70~250
고성능 필터	여재절입형(濾材折入 形)필터	1이하	소	25~50	NA*3	95 이상	90 이상	50~70
HEPA필 터	동상(同上)	1이하	소	25~30	NA	NA	99.97	

정전기식 공기청정장치	2단하전식정기세정형 (段荷電式定期洗靜形) 2단하전식여재집진형 (段荷電式濾材集塵形) 1단하전식여유전형(段荷電式濾誘電形)	1이하	소	8~10 10~20	99 이상	80~95 70~90	60~75	600~ 1400* ⁴
-------------	---	-----	---	---------------	----------	----------------	-------	----------------------------

*1 분진농도(粉塵濃度)는 대 : 0.4~7.0mg/m³, 중 : 0.1~0.6mg/m³, 소 : 0.3 mg/m³이하

*2 형돌점착식(衡突點着式)필터

*3 Not Applicable (적용할 수 없다)

*4 여재부(濾材部)의 집진보유용량(集塵保有容量)(g/m²)

② 미생물에 대한 여과효율

병원이나 식품공장 등에 있어서는 실내의 미생물(세균·바이러스·진균(眞菌) 등)의 농도가 대상으로 되며, 필터의 미생물에 대한 여과율이 문제로 되는데, 이것은 <표 6>과 같이 DOP측정에 의한 분진(粉塵)에 대한 효율보다 높게 된다. 또 HEPA필터의 세균에 대한 여과율과 HEPA필터면의 세균성장에 관해서는 문헌을 참조하기 바란다.

<표 6> 세균에 대한 여과효율

필터종류	중성능 No.85	고성능(1) No.95	고성능(2) 병원	HEPA
초기저항(mmAq)	6~11	9~14	10	23
OP효율(%)	45~55	65~75	95~98	99.97
세균에 대한 효율(%)	90~95	95~99	99 ⁺	99.99 ⁺

③ 분진보유용량(粉塵保有容量)(dust holding capacity)

필터의 공기저항이 최초의 1.5배로 될 때까지 필터면에서 포집된 진애량

(塵埃量)을 표시하며 여과면적당(濾過面積當)(g/m²), 또는 필터 1대당(g/대)으로 표시된다. 이것이 클수록 필터의 수명이 길게 된다. <표 5>와 같이 고성능인 것일수록 적게 된다.

④ 공기저항

필터에 포집되는 진애량(塵埃量)이 크게 될수록 공기저항이 증가한다. <표 5>의 압력 손실에 있어서 이 값의 초기 숫자는 대체로 초기의 것이고, 후기 숫자는 말기의 값이라고 보면 된다.

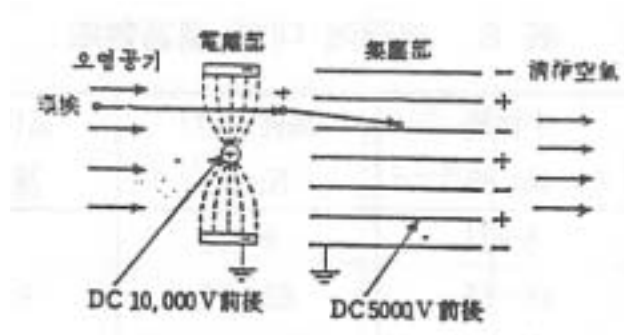
나. 필터의 종류와 응용

① 에어 필터를 그 여과의 메커니즘과 갱신의 방법에 따라 분류하면 <표 7>과 같이 된다.

<표 7> 에어 필터의 분류

제진(除塵)메커니즘에 의한 분류	정전기(전기집진기(電氣集塵器)) (electrostatic type)	진애(塵埃)를 함유하는 공기를 방전전역(放電電場)을 통해서 먼지에 대전시켜, 이 대전된 먼지를 양극판(陽極板)에 흡입해서 제거한다.
	건성여과식(乾性濾過式) (dry filtration type)	필터의 눈보다 큰 먼지를 걸러서 제거한다. 중성능 및 고성능은 대개 이 방식이다.
	점성식(點性式) (viscous impingement)	필터를 통과하는 기류가 여재(濾材) 사이를 지나갈 때 여재표면(유도포(油塗布))에 부착되어 제거된다.
보수관리면상(保守管理面上)의 분류	자동세정형(自動洗淨形)	연속해서 여재가 세정유(洗淨油)탱크를 통과하고, 여재는 제정되어서 재사용된다.
	자동경신형(自動更新形)	더러워진 부분의 여재(濾材)는 자동적으로 감겨진다.
	정기세정형(定期洗淨形)	여재(濾材)가 더러워지면 이것을 들어내어 세정하여 재사용한다.
	여재교환형(濾材交換形)	더러워진 여재(濾材)는 버리고 새것으로 교환한다.

	유닛교환형(交換形)	여재(濾材)가 더러워지면 유닛 자체를 교환한다.
--	------------	----------------------------



<그림 6> 전기집진기(電氣集塵器)의 집진원리(集塵原理)

<표 7>에 있는 전기집진기(電氣集塵器)(electric precipitator)는 일반적으로 에어 필터라고는 부르지 않으나, 본서(本書)에서는 편의상 에어 필터에 포함시킨다.

공조용(空調用)에 사용되는 전기집진기(電氣集塵器)는 대부분이 2단하전식(段荷電式)을 사용하고 있으며 이것은 <그림 6>과 같이, 제 1단의 전이부(電離部)에서 방전선(放電線)에 10~12kV의 직류전압을 주어서 방전하고 공기중의 분진(粉塵)을 (+)에 하전(荷電)한다 ((-)로 할 경우도 있다).

제 2단은 집진부이며, 여기서는 극판(極板)에 5~6kV의 직류전압이 걸려 있으며, (+)로 하전된 분진은 음극판(陰極板)에 집진된다. 이 집진판(集塵板)에 집진된 분진은 과거에는 온수로 세정해서 제거하였으나, 현재는 <표 8>의 ② 방식과 같이 집진판에서 덩어리로 된 분진을 그 하류에 설치한 필터로써 포집하는 형이 많다. 이 형식을 건식(乾式) 전기집진기(電氣集塵器)라고 한다.

② 일본에서 시판되고 있는 주된 필터를 여과거법(濾過去法)으로 분류하면 <표 8>과 같이 된다. 다음에 이러한 필터의 응용법을 기술한다.

③ <표 5>에 있는 라프 필터(저성능필터)는 패키지 공조기(空調機), 루옴쿨러, 팬 코일 유닛 등의 소형 유닛용에 사용되며, 또 프리 필터로서 많이 사용되고 있다. 프리 필터로는 빌딩용 등 대형공조기에는 <표 8>의 ⑥, ⑨ 등의 자동권취형(自動捲取形)이 많이 사용되며, 소형공조기에는 ⑩, ⑪, ⑳, ㉑ 등의 유닛형이 일반적으로 사용된다.

중성능필터는 빌딩관제법(管制法)의 규제(실내분진 $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ 이내)를 받고 있는 사무소 건물, 호텔, 기타 일반 건물에 많이 사용되고 있다. 설비비(設備費)가 허용될 때에는 <표 8>의 ② 자동경신형(自動更新形) 전기집진기들, 그 외는 ⑯ 등의 유닛형을 사용한다. 고성능필터는 병원의 청정구역, 제약공장 등 공지정화의 요구가 엄한 곳에 사용되며, 여기에는 ⑮, ⑯과 같은 유닛형이, 예산이 허용될 때는 ② 또는 ④의 전기집진기가 많이 사용된다.

HEPA필터는 High Efficiency Particular Air Filter의 약(略)이며, DOP 측정법에 의한 효율 99.97% 이상의 것으로서, <표 8>의 ⑰에 해당한다. HEPA필터는 클리인 루옴 또는 바이오 클리인 루옴 등 공기청정도가 가장 엄하게 요구되는 장소에 전용되고 있다.

가스흡수형은 <표 8>의 ㉓~㉗에 표시되었으며, 이것은 SO_2 의 제거에 효과가 있고, 어떤 것은 NO_2 의 제거에도 유효하다고 한다.

④ 중성능 이상의 필터는 여과율은 높으나 분진보유용량(粉塵保有容量)(DHC)이 적으므로 그앞에 프리 필터로서 DHC가 큰 라프 필터를 필히 설치한다. HEPA필터에 있어서는 프리 필터로서 라프 필터와 중성능필터의 2단으로 하는 것이 바람직하다. 프리 필터가 있을 때는 그 효율을 η_p , 메인 필터의 효율을 η_m 이라 하면, 그 총합 효율 η_T 는 다음 식으로 구해진다.

$$\eta_T = 1 - (1 - \eta_p)(1 - \eta_m) \quad (2.2)$$

<표 8> 각종 필터의 성능

정화 원리 (淨化 原理)	보수 방식 (保守 方式)	상품명	기구	적응 입경 (適應 粒徑)	적응함 진농도 (適應含 塵濃度) *	포집율 (捕集率) (%)	압력 손실 (壓力 損失) (mm Ag)
정전식 (靜電 式)	자동세 정(自動 洗淨)	1) 일렉트 로마틱	2단하전식으로서 집 진극판(集塵極板)을 회전시켜서 자동세정 한다.	1 μ 이 하	소(小)	85~90 변 색도법(變 色度法)	8.5
	자동경 신(自動 更新)	2) 로울오 트론 루 트롤에 어클리너	2단하전식(段荷電式) 집진극판부(集塵極板 部)에서 먼지를 응집 시켜서 먼지 포집부 (捕集部)의 유리섬유 또는 부직포제여재 (不織布製濾材)로 자 동적으로 권취(捲取) 한다.	1 μ 이 하	소(小)	90 변색 도법(變色 度法)	12
		3) FD 필 터	2단하전식(段荷電 式)(여재유전형(濾材 誘電形)) 여재(濾 材)(부직포)를 지그재 그로 사용하며 자동 경신(自動更新)	1 μ 이 하	소(小)	70 변색 도법(變色 度法)	10~20
	정기세 정(定期 洗淨)	4) 일렉트 로셀 루 프트필터 크리네야 에어클리 너	2단하전식(段荷電式), 집진극판(集塵極板)을 정기적으로 세정(洗 淨)	1 μ 이 하	소(小)	85~90 변 색도법(變 色度法)	8

	여재교환 (濾材交換)	5) 일렉트로 PL	1단하전식(段荷電式)(여재유전형(濾材誘電形)) 특수 여재사용(濾材使用). 여재(濾材)만 교환	1 μ 이하	소(小)	70 변색도법(變色度法)	3~20
여과식 (濾過式)	자동경신(自動更新)	6) 로울오마틱	특수가공한 유리여재를 사용해서 자동적으로 돌려 감는다.	1 μ 이상	대(大)	85 (중량법)	8.5~12.5
		7) VMC 필터	부직포여재(不織布濾材)를 지그재그로 사용해서 여과면을 넓게 하고, 여재를 자동경신(自動更新)	1 μ 이상	대(大)	85 (중량법)	10~16
	정기세정자동경신(定期洗淨自動更新)	8) 오토에어매트	특수여지(特殊濾紙)를 사용한 자동권취식(自動捲取式)	3 μ 이상	대(大)	90 (중량법)	5~20
	정기세정(定期洗淨)	9) 오토로울, FV형 로울필터, NS로울필터	부직포여재(不織布濾材)를 사용한 자동권취형(自動捲取形)이며, 들어내서 세정(洗淨)	1 μ 이상	중(中)	80 (중량법)	8~12
		10) 필레돈 에어필터	부직포여재(不織布濾材)의 유닛형, 들어내서 세정(洗淨)	1 μ 이상	중(中)	80 (중량법)	6~12
		11) 비닐스폰지 에어필터	스폰지상품의 유닛형 들어내서 세정(洗淨)	3 μ 이상	중(中)	80 (중량법)	8~15
		12) 에어매트 에어필터	여지(濾紙)를 pleat상으로 한 유닛형	1 μ 이상	중(中)	92 (중량법)	3~15
		13) 디이프배드	유리여재의 포켓형 유닛 필터	1 μ 이상	소(小)	85 변색도법(變色度法)	3~25

		14) NS 필터	면(綿)을 여재로 한 포켓형	1 μ 이상	소(小)	85 변색도법(變色度法)	3~15
	유닛교환(交換)	15) 드라이배그, 하이플로우	글래스파이버여재(濾材)를 사용하고 특수하게 취류(吹流)하는 형	1 μ 이상	소(小)	95 변색도법(變色度法)	3~25
		16) 에어로졸브 CP6, 다스트론 55, 바리셀 6	글래스면, 여재를 PLEAT상으로 접는다.	1 μ 이상	소(小)	60 변색도법(變色度法)	5~10
		16)' 에어로졸브 CP9, 다스트론 95, 바리셀 10	동상(同上)	1 μ 이상	소(小)	90 변색도법(變色度法)	15~30
		17) 아스트로셀, 아브소르트필터, 아트모스파팩트	특수가공 글래스여재를 PLEAT(주름)상으로 한 고성능필터	1 μ 이상	소(小)	99.97 (DOP)	25~50
충돌점착식(衝突粘着式)	자동세정(自動洗淨)	18) 멀티듀티, 멀티패널	Pleat 스크린 또는 와이어 스크린이 유막(油膜)을 형성, 자동회전세정(自動回轉洗淨)	3 μ 이상	대(大)	80~85 (중량법)	12
	정기세정(定期洗淨)	19) LP에어필터	와이어 스크린을 3각추상(角錐狀)으로 해서 적층(積層)한 유닛형	5 μ 이상	대(大)	70 (중량법)	3~12

		20) 그리이스 필터	와이어 스크린을 3각 추상(角錐狀)으로 해서 적층(積層)한 유닛형	5 μ 이상	대(大)	80 (중량법)	3~10
		21) 미니록	화학섬유(化學纖維)를 특수성형한 유닛형	3 μ 이상	중(中)	80 (중량법)	5~15
	여재교환 (濾材交換)	22) 레니에글래스	글래스여재를 사용한 유닛필터	3 μ 이상	중(中)	80 (중량법)	3~10
	가스제거제(除去劑)의 재생(再生)	23) 에어리커버리 W, 필터홀드	활성탄(活性炭) · 실리카 겔 등을 파장으로 접은 2매의 평행다공판간(平行多空板間)에 충전한 것. 충전제를 줄어내서 재생	농도 중~저농도	가스제거율 가스의 종류와 충전제에 따라 다르나, 활성탄일 때 SO ₂ 에 대하여 80~90%		5~10
	유닛 교환(交換)	24) 에어리커버리 P, 사이드 카본	활성탄(活性炭) · 실리카 겔 등을 평행다공판(平行多空板) 사이에 충전한 유닛형	저농도	활성탄일때 SOOsb1/2에 대하여 70~80%		5~10
	가스제거제(除去劑)의 재생(再生)	25) 아이클린수퍼 S, 에어클린 A	알칼리 또는 이산화망간 등을 부철포(不鐵布) 등에 함유시켜 여재(餘財)를 사용하는 권취형(卷取形), 여재(濾材)만 교환	저농도	SO ₂ 에 대하여 70~80%		4~10
	유닛 교환(交換)	26) 마이클린수퍼 S, 에어클린	알칼리 또는 이산화망간 등을 부철포(不鐵布) 등에 함유시킨 유닛형	저농도	SO ₂ 에 대하여 80%		4~10

		27) 캐필러리워셔	가스의 흡수에 적합한 용액을 여층(濾層)에 산수(散水)하는 여층산수형(濾層散水形)		가스흡수용액에 따라 다르다. SO ₂ 에 대하여 70~90%	20~100
--	--	------------	---	--	--	--------

다. 공기청정의 계산법

필터의 선정은 개략적으로는 2절 나항에서 기술한 바와 같은 기준으로 하면 되는데,

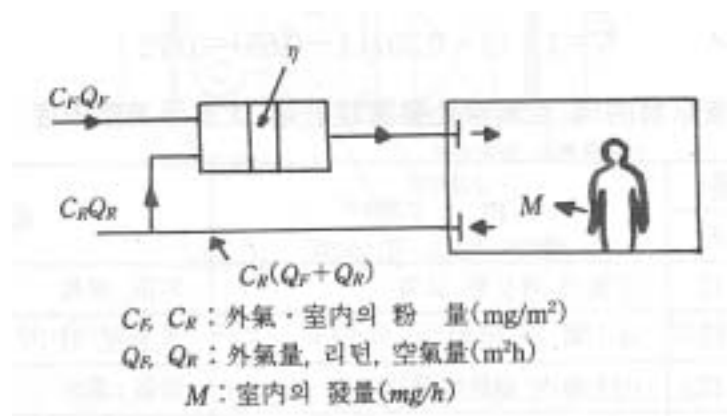
- ① 실내의 청정도가 특히 높게 요구될 때
- ② 실내의 인원밀도(人員密度)가 클 때
- ③ 외기(外氣)의 오염이 심할 때

등의 특수한 경우에는 다음과 같은 계산법으로 효율의 결정을 한다. 이것에 관해서는 공기청정장치설치기준(공기청정협회)이 정해져 있다.

① 우선 외기(外氣)의 오염조건을 결정한다. 신뢰할 수 있는 측정치가 있으면 이것을 사용하며, 없을 때는 <표 9>의 기준을 사용한다. 동경(東京) 이외의 지구에서는 <표 9>의 값을 참고로 하여 결정한다.

② 실내의 발생분진량(發生粉塵量)을 추정한다. 여기에는 다수의 자료가 있는데, 개산(概算)으로는 재실자(在室者) 1인당의 발진량(發塵量)으로서는 흡연이 많을 때 15mg/h, 보통의 흡연시 10mg/h, 흡연이 없을 때는 5mg/h으로 택한다.

③ 필터의 효율을 구하는 식은 다음과 같이 실내에서의 분진(粉塵)의 (+)와 (-)에 대하여 평형식(平衡式)을 세워 구한다.



<그림 7> 실내공기정화도

예로서 <그림 7>과 같이 가장 간단할 때를 구해 본다. 계통(系統)이 복잡하게 되어도 같은 방법으로 구할 수 있다. 필터 효율을 η 라고 하면 송풍공기로 공급되는 분진량(粉塵量)은 $(1-\eta) \times (C_F Q_F + C_R Q_R)$ [mg/h], 실내 발생량은 M [mg/h]이므로 실내의 분진량(粉塵量)을 같다고 하면

$$(1-\eta)(C_F Q_F + C_R Q_R) + M = C_R(Q_F + Q_R) \quad (2.3)$$

$$\therefore \eta = \frac{Q_F(C_F - C_R) + M}{C_F Q_F + C_R Q_R} \quad (2.4)$$

$$Q_F/(Q_F + Q_R) = k_F, M/Q = nm/Q$$

라고하면 (여기서, n : 인수(人數), m : 1인당 발진량(發塵量), $Q = Q_R + Q_F$),

$$\eta = \frac{k_F(C_F - C_R) + nm/Q}{k_F C_F + (1-k_F)C_R} \quad (2.5)$$

(예제) 동경도심의 사무소 건물에서 사무실 내의 분진량을 $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 하기 위한 필터의 효율을 구하여라. 단, 실내의 $n = 50$ 인, $Q = 5000\text{m}^3/\text{h}$, $k_F = 0.3$ 으로 하고, 흡연은 중정도로 한다.

(해) <표 9>에서 등급 4로 하고, $C_F = 0.25\text{mg}/\text{m}^3$, 흡연량으로서 $m = 10\text{mg}/\text{h}$ ·인으로 한다. 따라서 식 (2.5)에서

$$\eta = \frac{(0.3)(0.25 - 0.15) + 50 \cdot 10 / 5000}{0.3 \times 0.25 + 0.70 \times 0.15} = 0.722$$

변색도법(變色度法)에 의한 중성능필터의 효율은 50~80%이며, 그 중에서 73% 이상의 것을 택한다. 이때 프리 필터로서 라프 필터 효율(변색도법) 20%의 것을 사용하고, 메인 필터의 효율을 65%로 하면, 식 (2.2)로 다음과 같이 되며, 이것으로도 가능하다.

$$\eta_T = 1 - (1 - 0.20)(1 - 0.65) = 0.72$$

<표 9> 동경군내(東京郡內)의 공기정화장치설계용 대기정유진농도(大氣淨游塵濃度)(mg/m³)

등급	설계치		내 용	적용장소
	2.5%	5%		
1	0.16	0.13	공기가 깨끗한 교외	정전(町田), 청매(青梅)
2	0.19	0.15	교외	팔왕사(八王寺), 부중(府中), 입천(立川)
3	0.22	0.17	산수선내(山水線內)(상주지구(商住地區))	남곡(南谷), 황천(荒川)
4	0.25	0.19	상가(商家)	환내(丸內), 은좌(銀座), 신숙(新宿), 지대(池袋)
5	0.28	0.21	공기오염이 심한 도내(都內)	갈포(葛布), 강호천(江戸川)

(주) 위험율(危險率) 2.5%의 값은 상당히 엄밀한 설계를 할 때 사용한다.

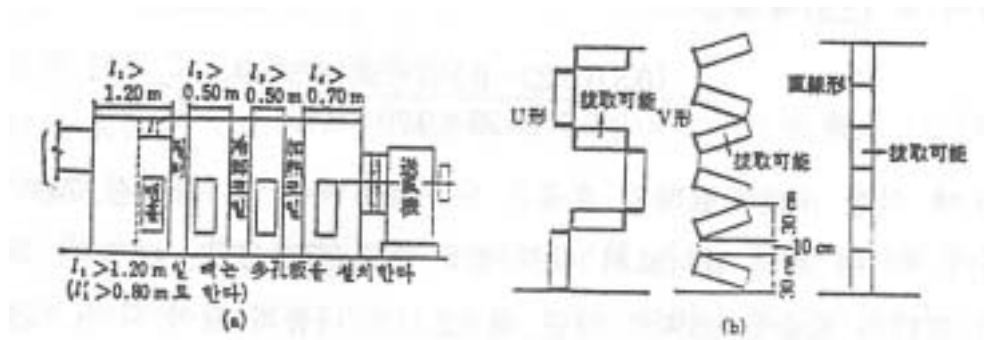
하루 중(9~18시)에만 운전할 때는 2.5%, 5%의 값에 각각 0.94, 0.96을 곱한 값으로 한다.

라. 필터의 설치

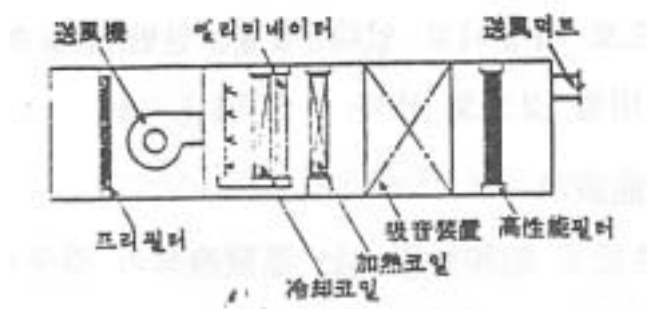
필터는 그 스페이스가 크므로 <그림 8> (a)와 같이 공조기(空調機) 내부에 설치되며, 반드시 전풍량(全風量)을 취급하도록 한다. 필터의 유지관리를 위해 필터 상류(上流)의 케이싱 내부에 사람이 들어갈 수 있도록 맨호울을 설치하며, 또 전후의 기기(機器)와의 간격을 50cm 이상으로 한다. 특히 로울형

의 필터로 사용할 때는 필터 전면에 해체(解體)와 반출(搬出)이 용이하도록 1.2m 이상의 스페이스를 두어야 한다. 유닛형의 것은 필터의 전면풍속을 1.5m/s 이하로 할 필요가 있으므로 <그림 8>(b)와 같이 지그재그로 설치한다.

전기집진기(電氣集塵器)는 고전압을 취급하는 관계상, 절대로 물방울이 침입되지 않게 한다. 이때 외기취입구(外氣取入口)의 루우버도 특히 우수(雨水)의 침입이 없게 해야 한다.



<그림 8> 필터배치법(配置法)



<그림 9> 병원용 필터 배치

난류식(亂流式) 클리인 룸이나, 병원의 청정구역(清淨區域)의 공조계통(空調系統)에서는 <그림 9>와 같이 취출구(吹出口) 직전에 메인 필터를 설치하고,

공조기(空調機)에는 프리 필터를 설치한다. 병원의 병실, 외래 등에서는 <그림 9>와 같이 메인 필터를 송풍기(送風機)의 토출구측(吐出口側)에 설치할 것이 추장(추장)되고 있다. 이것은 필터의 하류에서 공조기 내를 정압(正壓)으로 하여, 외부의 분진(粉塵)이 흡입되지 않도록 하기 위한 것이다.