

행정간행물등록번호

38045-67030-67-9901

대기오염방지시설 설계실무편람

발 간 사

어려운 경제여건속에서도 지역의 환경보전을 위해 지원과 협조를 아끼지 아니하신 관계기관, 기업, 시민단체, 시민 모든분들께 마음으로부터의 감사를 드립니다.

‘80년대 하수도나 다름없던 금호강에 물고기가 살아나 낚시꾼이 물리는 등 수질이 획기적으로 개선되었고 아황산가스를 포함한 대기오염도 많이 낮아졌습시다만 아직 안심할 수준은 아닙니다.

우리청에서는 ‘98.8월부터 우리청을 직접 방문하는 배출시설을 설치하고자 하는자 또는 방지시설을 설계·시공하고자 하는자에게 「배출시설설치허가 민원안내관」을 설치하여 배출시설 및 방지시설설계요령 등을 직접 안내하여 왔습시다만 방문객의 수가 한정되어 있어 그 효과가 충분치 못하였습니다.

보다 많은 환경관련 종사자에게 큰 도움을 주고자 우리청이 그동안 축적해온 기술과 경험 등을 바탕으로 금번 「대기오염방지시설 설계실무편람」을 발간·배포 하게 되었습니다.

이책은 대기오염방지시설을 설계시 반드시 필요한 설계인자와 검토인자를 수록 하였으며, 또한 배출시설 및 방지시설설계사례를 수록하였으므로 환경업무에 종사하는 모든 사람과 일선기관에서 허가 또는 기술지도점검을 담당하는 공무원에게도 큰 도움이 될 것으로 기대합니다.

미흡한 점이 있다면 지속적으로 보완 할 수 있도록 좋은 의견, 지적이 있으시기 바랍니다.

끝으로 바쁜일과중에서도 이책의 발간에 감수를 맡아 수고해주신 계명대학교의 이성호교수님과 방지시설설계사례 자료를 제공해주신 이지역 방지시설업 등록업체인 (주)대산엔지니어링, 범우엔지니어링(주), (주)동방엔지니어링, (주)신세계환경, 신화환경(주), (주)태영엔지니어링, 포스코개발(주)에게 깊이 감사드립니다.

아울러 관련자료수집에서부터 마지막 정리까지 헌신적인 노력을 기울인 관리과 손동훈계장등 직원들께도 감사드립니다.

1999. 7.

대구지방환경관리청장

차례

제1장 후드설계 및 배출가스량 산정

I. 후드설계시 고려사항	15
II. 후드의 형태별 배출가스량 산정방법	16
III. 포착속도(제어속도)	18
IV. 개방처리조의 후드설계 및 배출가스량 산정	23
V. Push-pull후드	36
VI. 열오염원의 후드설계	39
VII. 도장시설의 후드설계 및 배출가스량 산정	46
VIII. 탈사시설에서의 배출가스량 산정	51

제2장 덕트의 설계

I. 개요	55
II. 덕트내 이송속도의 결정	57
III. 덕트직경계산	58
IV. 압력손실의 산정	58

제3장 대기오염방지시설설계

I. 원심력집진시설	75
II. 여과집진시설	81
III. 흡착에 의한 시설	100
IV. 열교환시설(수냉식)	106
V. 악취농도 산정	123
VI. 촉매연소에 의한 시설	127
VII. 흡수에 의한 시설	134
VIII. 전기집진시설	158

제4장 방지시설의 선정 및 유지관리

I. 방지시설의 선정	165
II. 방지시설의 유지관리	171

제5장 배출시설별 방지시설 설계사례

I. 도금시설	187
II. 분체도장시설	200
III. 액상분사도장시설	212
IV. 다림질(텐터)시설	224
V. 탈사시설	239
VI. 기모시설	250
VII. B-C유 보일러	261
VIII. 산처리시설	276
IX. 고무제품제조시설	289
X. 혼타시설	304
XI. 연마시설	314
XII. 전착도장시설	323
XIII. 불소제조시설	338
XIV. 도시쓰레기소각시설	351
XV. 금속의 표면처리시설중 산처리시설	371
XVI. 금속제품제조시설	382
XVII. 용해로	413
XVIII. 고로	427
XIX. 전기로	447

제6장 방지시설설치면제사례

I. 금속제품제조가공시설	469
1. 도가니로	469
2. 소결로	471
3. 소려로	473
4. 소둔로	475

5. 열풍로	477
6. 균질로	478
7. 가열로	479
8. 표면경화시설	480
9. 산화·환원시설	482
10. 도장시설	483
11. 건조시설	485
 II. 산업용화학제품제조·가공시설	487
1. 저장시설	487
2. 용융·용해시설	490
3. 가열시설(열매체가열포함)	491
4. 건조시설	493
5. 반응시설(분해, 중합, 축합, 산화, 환원, 중화, 합성시설 포함.)	494
6. 혼합시설	496
7. 정제시설	498
8. 농축시설	501
9. 방사시설	502
10. 분쇄시설(습식제외)	504
11. 선별시설(습식제외)	505
12. 포장시설	506
13. 회수시설	507
14. 성형시설	509
 III. 기타 화학제품제조·가공시설	510
1. 저장시설	510
2. 용융·용해시설	512
3. 혼합시설	513
4. 농축시설	514
5. 정제시설	515
6. 발효시설	517
7. 성형시설	518

8. 건조시설	519
9. 포장시설	521
IV. 고무 및 플라스틱제품제조·가공시설	522
1. 용융·용해시설	522
2. 성형시설(압출 및 사출 포함)	523
3. 가황시설	524
4. 분쇄시설(습식제외)	525
5. 접착시설	526
6. 경화·압착시설	527
V. 석유정제 기타 석유 및 석탄제품제조시설	529
1. 담금질시설(코크스제조시설에 한함)	529
2. 가열시설	530
3. 정제시설	532
4. 탈황시설	533
5. 개질시설	534
VI. 비금속광물제품제조·가공시설	535
1. 소성시설	535
2. 냉각시설(서냉시설포함)	536
3. 혼합시설(습식제외)	537
4. 계량시설	538
5. 용융·용해시설	539
6. 포장시설	540
7. 도장시설	541
8. 건조시설	542
VII. 가죽제품제조·가공시설	
1. 저장시설	543
2. 건조시설	544

VIII. 목재 및 나무제품제조·가공시설	
1. 접착제 혼합시설	545
2. 도포시설	546
3. 건조시설	547
4. 압착시설	548
IX. 담배제품제조·가공시설	550
1. 습정시설	550
2. 침향시설	550
3. 순환식조화시설	551
X. 식료품제조·가공시설 및 이와 유사한 시설	
1. 발효시설	553
2. 증류시설	555
3. 분쇄시설	556
4. 혼합시설	557
5. 산·알카리처리시설	559
6. 추출시설	560
7. 농축시설	562
8. 증자시설(훈증시설 포함)	563
9. 자숙시설	564
10. 건조시설	565

[부 록]

I. 단위환산표	569
II. 연료별 발열량 및 이론 연소량	579
III. 기체연료 특성	580
IV. 기체연료 연소의 조성	581
V. 악취·유해가스연소특성	582
VI. 고체연료 특성	584
VII. 공기의 성질	585
VIII. 무기물질의 상태정수	586
IX. 유기물질의 상태정수	589
X. 주요 악취물질의 물리·화학적 특성	596
XI. 악취물질의 농도와 취기강도의 관계	597

표 차 례

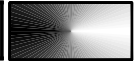
<표1-1> 일반적으로 사용되는 포착 또는 제어속도의 개략치	18
<표1-2> 발생원과 후드형태에 따른 포착속도	19
<표1-3> 제어풍속	20
<표1-4> 잠재성 유해정도의 결정	26
<표1-5> 가스화, 증발율, 미스트화율 결정	26
<표1-6> 금속도금 및 표면처리공정에서의 발생가스	27
<표1-7> 기류교환이 없는 작업장내의 각종처리조에 대한 최소포착속도 ...	31
<표1-8> 측면배기후드에서 탱크의 폭장비에 따른 최소포착속도	32
<표1-9> 표준공정에서의 최소포착속도	33
<표1-10> 분사방식 및 분무표면에 따른 과잉분무백분율	47
<표1-11> 형태별 배출가스량의 산정	51
<표2-1> 먼지종류별 반송속도	57
<표2-2> 공기의 성질	60
<표2-3> 속도변화에 따른 속도압-표준공기	61
<표2-4> 장방형 직관에 대한 상당직경 환산표	63
<표2-5> 곡관의 반경비와 압력손실계수	65
<표2-6> 관경과 중심반경에 따른 상당길이	66
<표2-7> 장단면비와 반경비에 따른 압력손실계수	67
<표2-8> 원형합류관의 압력손실계수	68
<표2-9> 원형확대관의 압력손실계수	69
<표2-10> 원형축소관의 압력손실계수	70
<표2-11> Weather cap의 $\frac{h}{d}$ 와 압력계수	71
<표3-1> 원심력집진시설의 종류별 특성	77
<표3-2> Cyclone설계치수비	78
<표3-3> Cyclone의 입경별 집진효율	79
<표3-4> 송풍기의 효율	80
<표3-5> 먼지의 겉보기비중	87

<표3-6> 여재종류별 특성	94
<표3-7> 합성섬유명칭	95
<표3-8> 물질명별 변수값	96
<표3-9> 집진기의 설치용도 보정치에 대한 변수값	96
<표3-10> 먼지의 입도보정치에 대한 변수값	97
<표3-11> 먼지의 농도보정치에 대한 변수값	97
<표3-12> 최대여과속도(진동식, 역기류식)	98
<표3-13> 최대여과속도(충격분출식)	98
<표3-14> 활성탄 수명계산에 필요한 상수	102
<표3-15> 각종흡착제의 물리적 성질	105
<표3-16> 각종원료에 대한 활성탄의 성질	105
<표3-17> Weber-Fechner식의 고유상수	125
<표3-18> 도시 혹은 공장지대에서 생기는 악취물질의 최소 감지값과 발생원 ..	126
<표3-19> 충전재계수 $F(a/\epsilon^3)(m^{-1})$	137
<표3-20> 정수 $\alpha, \beta, v, \phi, \eta$ 의 값	139
<표3-21> 확산계수와 슈미트수(25℃와 1기압의 대기에서)	139
<표3-22> 확산계수와 슈미트수(20℃의 액체에서)	140
<표3-23> 충전물에 대한 실험정수 α, β	141
<표3-24> 가스흡수장치비교표	144
<표3-25> 물의 점도	147
<표3-26> 분자용 산출에 사용되는 원자용	148
<표3-27> 분자용	148
<표3-28> 충전물의 특성	151
<표4-1> 각종집진장치특성 및 적용범위	166
<표4-2> 주요배출시설의 적용방지시설과 배출오염물질	168
<표4-3> 여과집진시설의 각부분별 정기점검주기와 수리소요시간	177
<표4-4> 세정집진장치의 수명과 유지관리기간	180

그 림 차 례

[그림1-1] 후드형태별 배출량 산정	16
[그림1-2] 개방처리조의 후드종류 I	24
[그림1-3] 개방처리조의 후드종류 II	25
[그림1-4] 탱크 폭장비상세그림	32
[그림1-5] Push-pull후드	36
[그림1-6] Push 노즐 plenum 압력	38
[그림1-7] 후드표면의 열상승기류 직경	40
[그림1-8] 전기로의 용해시 포집방법	41
[그림1-9] 반사로의 구조	43
[그림1-10] Flash-off시간에 따른 유기용제 증발곡선	48
[그림2-1] 표준공기의 속도와 속도압과의 관계	59
[그림2-2] Reynold수와 마찰계수와의 관계	60
[그림2-3] 합류관의 약도	68
[그림2-4] 원형확대관의 약도	69
[그림2-5] 원형축소관의 약도	70
[그림2-6] Weater cap이 붙은 원형배기구	71
[그림3-1] Cyclone형태와 치수비	78
[그림3-2] Cyclone설계치수비(선회권형)	79
[그림3-3] 각종 충전재에 따른 기체부하율 압력손실비교	136
[그림3-4] 액상확산계수를 구하는 그래프	150
[그림3-5] H_2O-NH_3 의 헨리정수(m)	153
[그림3-6] H_2O-HCl 의 헨리정수(m)	154
[그림3-7] H_2O-Cl_2 의 헨리정수(m)	155
[그림3-8] H_2O-HF 의 헨리정수(m)	156
[그림3-9] H_2O-SO_2 의 헨리정수(m)	157
[그림4-1] 배출시설별 입도분포	171
[그림4-2] 방지시설의 운전과 유지관리체계	172
[그림4-3] 전기집진시설유지관리체계	176

제1장 후드설계 및 배출가스량 산정



제1장 후드설계 및 배출가스량 산정

I. 후드설계시 고려사항

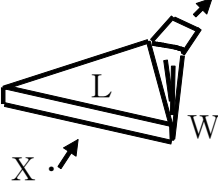
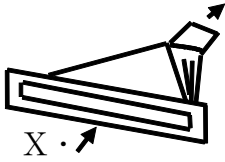
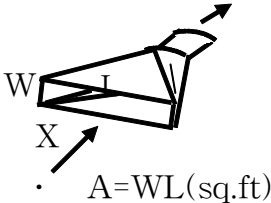
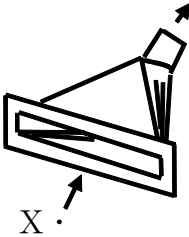
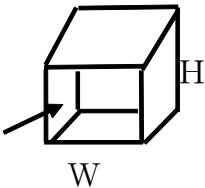
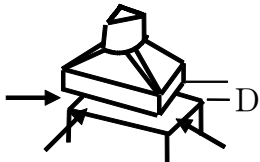
후드(hood)라는 것은 대기오염물질배출시설에서 배출되는 오염물질이 근처의 공간으로 비산되는 것을 방지하기 위해 비산범위내의 오염공기를 배출원에서 직접 포집하기 위한 국소배기장치의 입구부를 말한다.

후드설계시 고려해야할 사항은 다음과 같다.

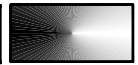
후드설계시 고려사항

구 분	고 려 사 항
배출원을 중심으로	<ul style="list-style-type: none"> - 오염물질의 배출농도와 배출허용기준농도과약 - 배출원의 온도와 작업장의 온도 - 오염물질의 비산속도와 횡단기류속도(작업장내의 공기흐름속도) - 작업방법과 공간활용범위 등 주위상태 - 오염물질 mist, fume, vaper상태로 배출되어 냉각응축되는지 등의 특성
후드를 중심으로	<ul style="list-style-type: none"> - 최소의 배기량으로 최대의 흡인효과를 발휘할 것. - 발생원에 가깝게, 개구부위를 적게할 것. - 작업자의 호흡영역은 보호할 것. - 후드개구면에서의 면속도분포를 일정하게 할 것(70%범위내) - 외형을 보기좋게, 압력손실을 적게할 것.

II. 후드의 형태별 배출가스량 산정방법

후드의 형태	개요	중형비율 (W/L)	배출량 산정
	slot (슬롯트 형)	0.2 or less	$Q=3.7LVX$
	flanged slot (프랜지 슬롯트형)	0.2 or less	$Q=2.6LVX$
	plain opening (편평개구형)	0.2 or greater and round	$Q=V(10X^2+A)$
	flanged opening (프랜지 개구형)	0.2 or greater and round	$Q=0.75V(10X^2+A)$
	booth (밀폐형)	to suit work	$Q=VA=VWH$
	canopy (천정형)	to suit work	$Q=1.4PVD$ P=perimeter (오염원둘레) D=height above work(포집거리)

[그림1-1] 후드형태별 배출량 산정



후드의 형태	개요	종횡비율 (W/L)	배출량 산정
	plain multiple slot opening 2 or more slots (복수스롯트형)	0.2 or greater	$Q=V(10X^2+A)$
	flanged multiple slot opening 2 or more slots (프랜지복수개구형)	0.2 or greater	$Q=0.75V(10X^2+A)$

[그림1-1 계속]

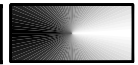
III. 포착속도(제어속도 : capture velocity)

배출원으로 배출되는 오염물질을 비산한계점 범위내의 어떤점에서 포착하여 후드로 몰아넣기 위하여 필요한 최소의 속도를 포착속도 또는 제어속도라 하고 그점을 포착점이라고 한다.

포위형 또는 부스형에서는 포착점을 후드의 개구면에 놓아야 하므로 이때는 포착속도가 개구면속도가 된다.

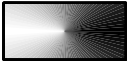
<표1-1> 일반적으로 사용되는 포착 또는 제어속도의 개략치

유해물질의 발생상태	공 정 예	포착 또는 제어속도
움직이지 않는 공기중에 실제 상거의 속도가 없는 상태로 유해물질이 발생하는 경우	용기의 액면으로부터 발생하는 가스, 증기, 흠 등	0.25~0.5m/sec
비교적 조용한 대기중에 낮은 속도로 유해물질이 비산하는 경우	booth식 hood에 있어서의 분무 도장작업, 간헐적인 용기 충전 작업, 낮은 속도의 콘베이어 작업, 도금작업, 용접작업, 산 세척작업	0.5~1.0m/sec
빠른 공기 이동이 있는 작업 장소에 활발히 유해물질이 비산하는 경우	booth식 hood에 있어서의 분무 도장작업, 함침(dipping) 도장 작업, 콘베이어의 낙하구 분쇄 작업, 파쇄기	1.0~2.5m/sec
대단히 빠른 공기 이동이 있는 작업장소에 아주 빠른 속도로 유해물질이 비산하는 경우	연삭작업, 분무작업, 텀블링 작업, 블라스트작업	2.5~10.0m/sec



<표1-2> 발생원과 후드형태에 따른 포착속도

No.	발 생 원	후드 형태	포착속도(m/s)	포착면
1	sand blast roon	포위박스형	0.3~0.5	개구면
	sand blast table	부스형	1.0	개구면
2	포장작업(종이포장대)	부스형	0.5	개구면
	포장작업(마대포장대)	부스형	1.0	개구면
3	저장투입	포위카바형	0.8~1.0	개구면
4	병세척	부스형(건물)	0.8~1.3	개구면
5	콘베이어이송	포위카바형	0.8~1.0	개구면
6	단조(수동)	부스형(건물)	1.0	개구면
7	주물사스크린(회전)	포위카바형	1.0	개구면
	주물사스크린(진동)	포위카바형	2.0	개구면
8	shake out	부스형(chamber)	1.0	개구면
	shake out(냉각된 주물)	포집그리드형	1.3	격자면
	shake out(뜨거운 주물)	포집그리드형	3.0	격자면
9	AI용해로	레시바캐노피형	0.8	개구면
	동용해로	레시바캐노피형	1.0~1.3	개구면
	도가니로	레시바캐노피형	1.0	개구면
	전기로	레시바캐노피형	2.0	개구면
10	용탕주입	포집스룻트루바형	2.0	개구면
11	바켈엘리베이터	포집박스형	2.5	개구면
12	디스크연마기	포집그리드	1.0~2.0	격자면
	평면연마기	포집스룻트형	7.5	발생원
13	주방가스렌지	레시바캐노피형	0.5~0.8	개구면
14	분무도장	부스형(건물)	0.5~1.0	개구면
15	고무카렌다	포집장방형	0.5	개구면
16	탈지탱크	포집스룻트형	0.3~0.5	발생원
	침적탱크	부스형(chamber)	0.8	개구면
	산세척탱크	포집스룻트형	0.4~0.5	발생원
	도금탱크	포집스룻트형	0.4~0.5	발생원
	탕세탱크	레시바캐노피형	0.4~0.5	발생원
17	전기용접	레시바캐노피형	0.5~1.0	발생원
	전기용접	부스형(건물)	0.5	개구면
18	혼합기	포위카바형	0.5~1.0	개구면



<표1-3> 제어풍속(노동부고시90-45호)

① 유기용제에 대한 제어풍속

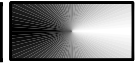
후드의 형식		제어풍속(m/s)
포위식 후드		0.4
외부식 후드	측방흡인형	0.5
	하방흡인형	0.5
	상방흡인형	1.0

② 회전체를 가지는 기계와 관련있는 특정이외 먼지 발생원에 대한 제어풍속

후드의 형식		제어풍속(m/s)
포위식 후드		0.7
외부식 후드	측방흡인형	1.0
	하방흡인형	1.0
	상방흡인형	1.2

③ 회전체를 가지는 기계에 관련있는 특정 먼지 발생원에 대한 제어풍속

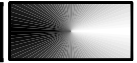
후드의 설치방법	제어풍속(m/s)
회전체를 갖는 기계전체를 포위하는 방법	0.5
회전체의 회전에 의하여 생기는 분진의 비산 방향을 후드의 개구면으로 덮는 방법	5.0
회전체만을 싸는 방법	5.0



④ 특정먼지 발생원에 대한 제어풍속

특정먼지발생원	제어풍속(m/s)			
	포 위 식 후드인때	외부식 후드인때		
		측 방 흡인형	하 방 흡인형	상 방 흡인형
1. 동력을 사용하여 옥내에서 암석 또는 광물을 재단하는 장소	0.7	1.0	1.0	-
2. 동력을 사용하여 옥내에서 암석 또는 광물을 조각, 마무리하는 장소	0.7	1.0	1.0	1.2
3. 연마재를 분사하여 옥내에서 암석, 광물 또는 주물을 연마하거나 조각하는 작업 장소	1.0	-	-	-
4. 연마재 및 동력을 사용하여 옥내에서 암석, 광물 또는 금속을 연마 주물 또는 추출하거나 금속을 재단하는 작업장소	0.7	1.0	1.0	1.2
5. 옥내에서 시멘트, 티타늄, 분말상의 광석, 탄소원료, 탄소제품, 알미늄 또는 산화 티타늄을 포장하는 작업장소	0.7	1.0	1.0	1.2
6. 옥내에서 분말상의 광석, 탄소원료 또는 그 물질을 함유한 물질을 혼합, 혼입 또는 살포하는 작업장소	0.7	1.0	1.0	1.2
7. 유리 또는 접량을 제조하는 공정, 도자기, 내화물, 형상토제품 또는 연마재를 제조하는 공정, 탄소제품을 제조하는 공정중 옥내에서 원료를 혼합하는 작업장소	0.7	1.0	1.0	-
8. 내화벽돌 또는 타일을 제조하는 공정중 동력을 사용하여 옥내에서 원료를 성형하는 작업장소	0.7	1.0	1.0	1.2

특정먼지발생원	제어풍속(m/s)			
	포 위 식 후드인때	외부식 후드인때		
		측 방 흡인형	하 방 흡인형	상 방 흡인형
9. 옥내에서 수지식 용융분사기를 이용하지 아니하고 금속을 용융 분사하는 작업 장소	0.7	1.0	1.0	1.2
10. 동력을 사용하여 옥내에서 암석, 광물, 탄소원료 또는 알미늄을 파쇄, 분쇄하는 작업장소	0.7	1.0	-	1.2
11. 동력을 사용하여 옥내에서 암석, 광물, 탄소 원료 또는 알미늄박을 체질하는 작업장소	0.7	-	-	-
12. 도자기, 내화물, 형상토제품 또는 연마재를 제조하는 공정, 탄소제품을 제조하는 공정에서 동력을 사용하여 옥내에서 반제품 또는 제품을 다듬질하는 작업 장소중 압축공기에 의하여 먼지가 확산 되는 장소	0.7	1.0	1.0	-
13. 도자기, 내화물, 형상토제품 또는 연마재를 제조하는 공정, 탄소제품을 제조하는 공정에서 동력을 사용하여 옥내에서 반제품 또는 제품을 다듬질하는 작업장소 중 압축공기에 의하여 먼지가 확산되는 장소이외의 장소	0.7	1.0	1.0	1.2
14. 주형을 사용하여 주물을 제조하는 공정에서 옥내에서 주형을 해체하거나 분해장치를 이용하여 사형을 부수거나 사락하는 장소	0.7	1.3	1.3	-
15. 사형을 사용하여 주물을 제조하는 공정에서 옥내의 수동식 공구를 제외한 동력에 의하여 주물사를 재생하는 장소	0.7	-	-	-
16. 사형을 사용하여 주물을 제조하는 공정에서 옥내의 수동식 공구를 제외한 동력에 의하여 주물사를 섞는 장소	0.7	1.0	1.0	1.2



IV. 개방처리조의 후드설계 및 배출가스량 산정

1. 후드의 선택

개방처리조의 후드는 일반적으로 밀폐형 후드(enclosing hood), 측방후드(lateral hood) 및 천정형후드(canopy hood) 등이 있으며, 최신자동공정에는 대부분 밀폐형 후드가 사용되고 있으며, 유량은 개구부면적에 포집속도를 곱하여 얻을 수 있다.

2. 후드선택요령(slot hood를 중심으로)

개방탱크의 폭(W)	후드의 선택
500mm(20")이하	편흡입후드(slot on one side)
500~900mm(20~36")	가급적양편후드(slot on both side)
900~1,200mm(36~48")	반드시양편후드(slot on both side)
1,200mm(48")이상	push-pull hood나 밀폐형후드 push-pull hood는 통상 3,000m/m이내의 W에서 사용되며, 밀폐형후드가 가장 좋다.

주1) 탱크는 가급적 단변을 폭(W)으로, 장변을 길이(L)로 설계하고 탱크의 W/L비가 2.0을 넘긴 탱크를 가로질러 환기시키는 것은 바람직하지 못하다.

주2) 탱크의 길이(L)가 1,800m/m(6ft)를 넘는 경우는 가급적 복수흡입구를 설치하고, 탱크의 길이가 3,000m/m(10ft)를 넘는 경우 반드시 복수흡입구를 설치하여야 한다.

주3) 탱크의 폭(W)은 일반적으로 후드가 흡입할 수 있는 유효거리를 의미하며 slot hood의 최대흡인 거리는 60m/m(2ft)로 보고 있다.

주4) 탱크용액은 최소한 탱크상단부에서 150m/m(6")이하에서 작업해야한다.

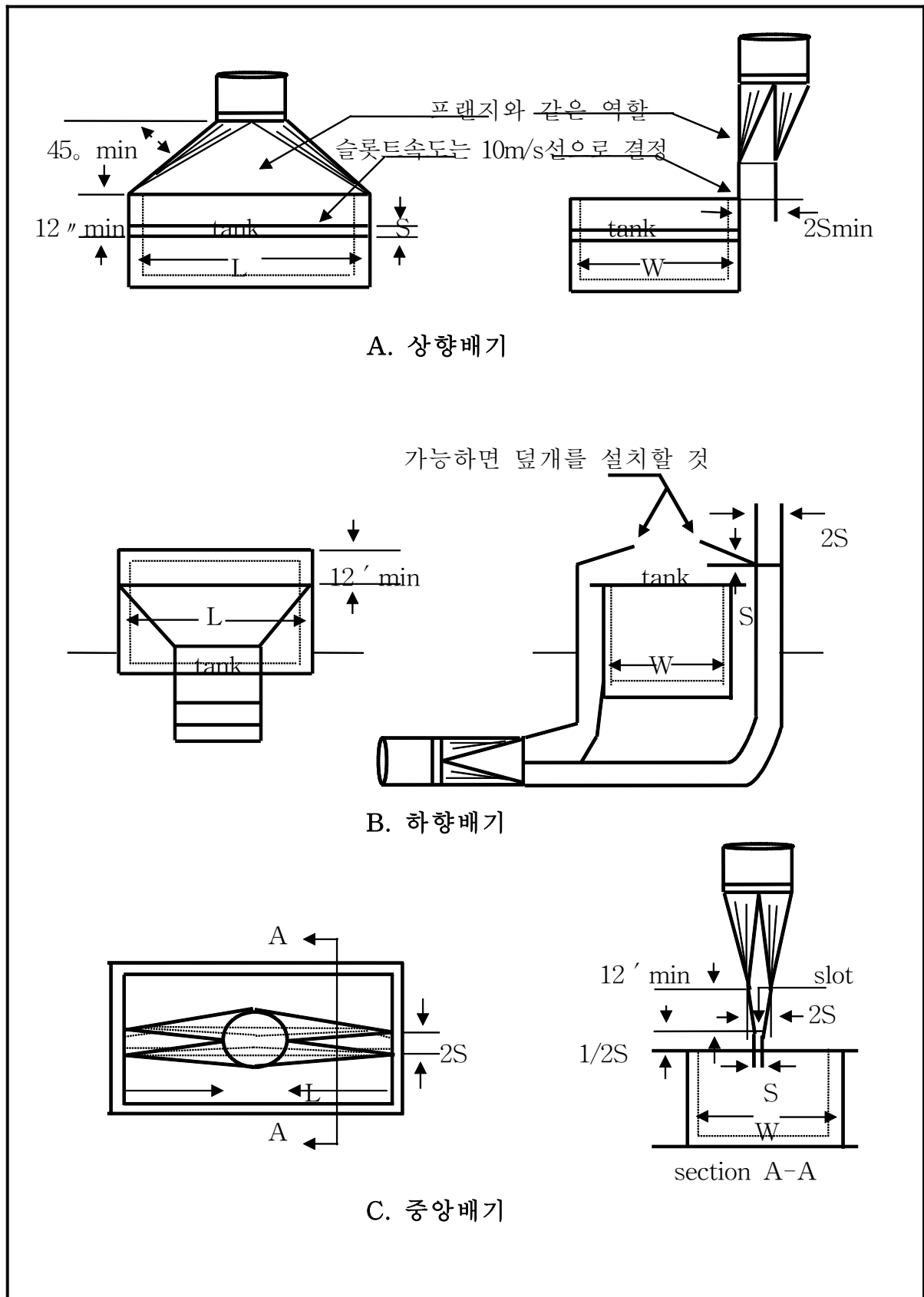
주5) 닥트내의 속도는 증기, 가스, 연기일 경우 5~10m/sec(300~600m/min)이고, fume의 경우는 10~12.7m/sec(600~760m/min)으로 한다.

주6) 유입손실은 $1.78 \times \text{slot속도} + \text{닥트유입손실}$

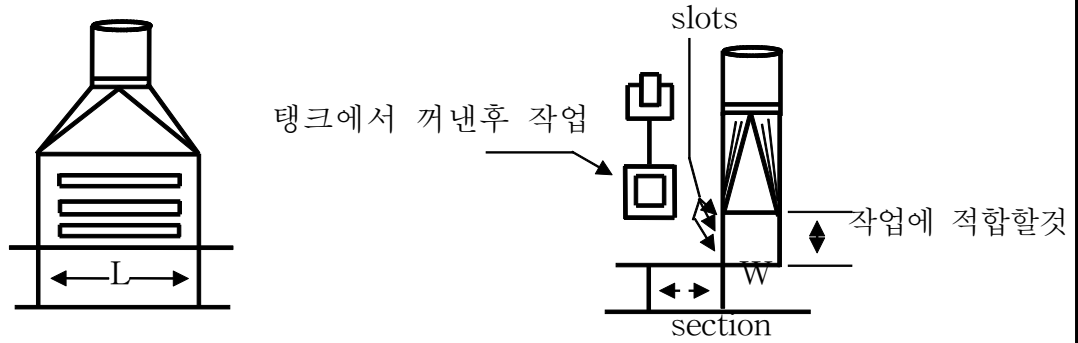
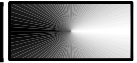
$$* \text{속도압} = \left(\frac{V_1}{4005} \right)^2 = \left(\frac{V_2}{4.043} \right)^2 \quad V_1 = \text{유속(fpm)}, \quad V_2 = \text{유속(m/sec)}$$

주7) 최대 plenum속도는 slot속도의 1/2로 한다.

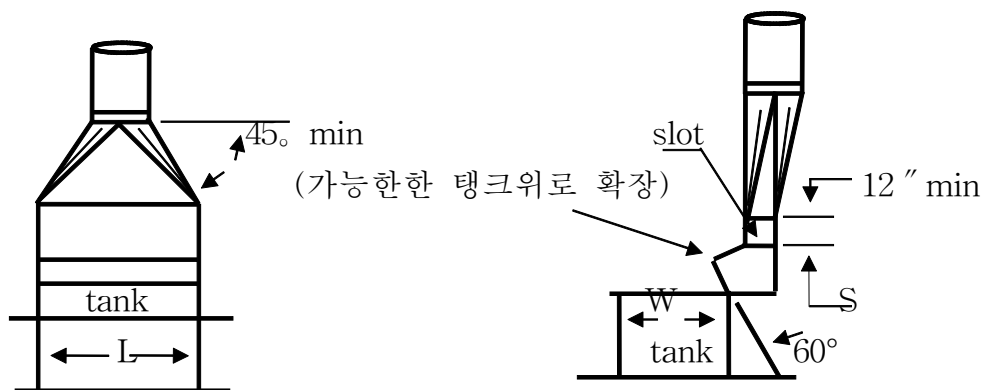
주8) slot유입속도는 10m/sec(600m/min)로 한다.



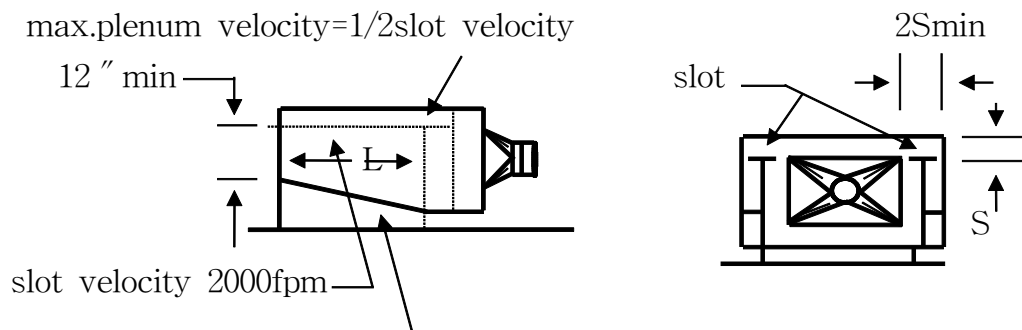
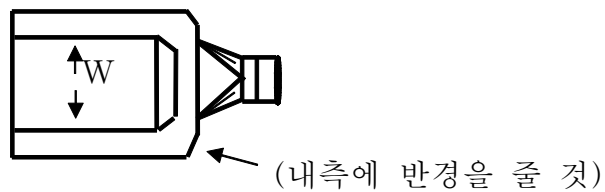
[그림1-2] 개방처리조의 후드종류 I



D. 피클링조



E. 준-측면 흡입조



F. 종단흡입조

[그림1-3] 개방처리조의 후드종류 II

3. 개방처리조의 배출량 산정

상부개방형 조에서의 배출가스량 산정은 후드의 형태와 잠재성 유해등급에 의하여 산정되어진다.

1) 잠재성 유해등급의 결정

상부개방형 조에서 횡단방해 기류가 없고 적절하게 잘 분배된 공기에서의 배출가스량을 산정하는데는 잠재성 유해등급이 사용되는데 이 잠재성 유해등급은 Industrial ventilation에 있는 서한도 TLV(threshold limit values)에 의한 <표1-4>와 용제건조시간 등에 의해 <표1-5>에 의하여 결정된다.

이러한 잠재성 유해등급은 16등급으로 구분되는데, A, B, C, D에 각각 4등급으로 나누어진다.

<표1-4> 잠재성 유해정도의 결정

잠재성 유해정도	유해정도(TLV기준)		인화점(℃)
	가스와 증기(ppm)	액적(mg/m ³)	
A	0~10	0~0.1	-
B	11~100	0.11~1.0	37이하
C	101~500	1.1~10	38~93
D	500이상	10이상	94이상

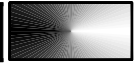
<표1-5> 가스화, 증발율, 미스트화율의 결정

등급	용액의 온도(℃)	비점과 액온과의 차(℃)	상대적증발량* (100%증발에 걸리는 시간)	가스화**
1	94이상	0~11	빠름 0~3hr	높음
2	66~93	12~27	중간 3~12hr	중간
3	35~65	28~55	느림 12~50hr	낮음
4	34이하	56이상	정지 50hr이상	없음

* 비교 건조시간은 5시간이하-빠름, 5~15시간-중간, 15~75시간-느림, 75시간이상-정지

** 가스화는 화학적 또는 전기화학적 작용에 의한 것으로 탱크에 사용되는 재료와 용액에 따라 변화한다.

- 1) 탱크에서 매시간마다의 작업총량
- 2) 탱크에서 용액의 농도
- 3) 탱크에서 용액의 온도
- 4) 탱크에서 전기화학적 작업에 사용되는 통상 밀도에 따라 가스화율이 증가하는 경향이 있다.

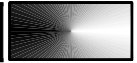


<표1-6> 금속도금 및 표면처리공정에서의 발생가스

공정 process	형태 type	주	처리액의 성분 (13)	대기중에 방출되는 성분	등급 (12)	사용온도 (℃)
표면처리 (surface treatment)	알루미늄 양극처리	1	크롬산-황산	크롬산mist	A ₁	35~26
	알루미늄 양극처리		황산	황산mist	B ₁	15~26
	흑 염		농알칼리액 산화물	알칼리mist 및 증기	C ₁	126~176
	본데라이징		비등수	증기	D _{2, 1} (14)	60~100
	화학적 착색		none	none	D ₄	21~32
	녹(scale)제거	2	질산, 황산, 불산	산mist, HF가스, 증기	B _{2, 1} (14)	21~65
	에보놀	3	농알칼리액 산화물	알칼리mist, 증기	C ₁	126~176
	양극처리		수산화 암모늄	NH ₃ 가스, 증기	B ₃	60
	경질 알루미늄 코팅		황산	황산mist	B ₁	48~82
	경질 알루미늄 코팅	4	크롬산-황산	크롬산mist	A ₁	48~82
	제탈(jetal)		농알칼리액 산화물	알칼리mist, 증기	C ₁	126~176
	마그코트(magcote)		수산화나트륨	알칼리mist, 증기	C _{3, 2} (14)	40~100
	마그네슘pre-dye dip		수산화암모늄-초산암모늄	NH ₃ 가스, 증기	B ₃	32~82
엣칭 (etching)	알루미늄	6	수산화나트륨-소다회-인산나트륨	알칼리mist, 증기	C ₁	71~82
	구리		염산	HCl가스	A ₂	21~32
	구리		none	none	D ₄	21
산침지 (acid dipping)	알루미늄 광택침지	1	인산, 질산	NO ₂ 가스	A ₁	93
	알루미늄 광택침지		질산, 황산	NO ₂ 가스, 산mist	A _{2, 1} (14)	21~32
	카드뮴 광택침지		none	none	D ₄	21
	구리 광택침지		질산, 황산	NO ₂ 가스, 산mist	A _{2, 1} (14)	21~32
	구리 반광택침지	2	황산	산mist	B ₂	21
	구리 합금광택침지		질산, 황산	NO ₂ 가스, 산mist	A _{2, 1} (14)	21~32
	구리 무광택침지	3	질산, 황산	NO ₂ 가스, 산mist	A _{2, 1} (14)	21~32
	마그네슘침지		크롬산	산mist, 증기	A ₂	88~100
	마그네슘침지	4	질산, 황산	NO ₂ 가스, 산mist	A _{2, 1} (14)	21~32
	모넬(monel)침지		질산, 황산	NO ₂ 가스, 산mist	A _{2, 1} (14)	21~32
	니켈및니켈합금침지	5	질산, 황산	NO ₂ 가스, 산mist	A _{2, 1} (14)	21~32
	은 침지		질산	NO ₂ 가스	A ₁	21~32
	은 침지	6	황산	황산mist	B ₂	21~32
	아연및아연합금침지		크롬산, 염산	HCl가스(HCl이 아연을 침식할 경우)	A _{4, 3} (14)	21~32

<표1-6 계속>

공 정 process	형 태 type	주	처리액의 성분 (13)	대기중에 방출되는 성분	등 급 (12)	사용온도 (℃)
산 세 (pickling)	알루미늄	8	질산	NO ₂ 가스	A ₂	21~32
	알루미늄		크롬 산, 황산	산 mist	A ₃	60
	알루미늄		수산화나트륨	알칼리 mist	C ₁	60
	주철		불산-질산	HF-NO ₂ 가스	A _{2, 1}	21~32
	구리		황산	산 mist, 증기	B _{3, 2} (14)	51~80
	구리		none	none	D ₄	21~80
	듀랄루민		불화나트륨, 황산	HF가스, 산 mist	A ₃	21
	인코넬(inconel)		황산	황산 mist, 증기	B ₂	71~82
	인 코 넬		질산, 불산	NO ₂ 가스, HF가스, 증기	A ₁	65~74
	철 및 강		염산	HCl가스	A ₂	21
	철 및 강		황산	황산 mist, 증기	B ₁	21~80
	마그네슘		크롬 산-황산, 질산	NO ₂ 가스, 산mist, 증기	A ₂	21~71
	모넬(monel)및니켈		염산	HCl가스, 증기	A ₂	82
	모넬 및 니켈		황산	황산 mist, 증기	B ₁	71~88
	니켈 은		황산	산 mist, 증기	B _{3,2} (14)	21~60
	은		시아나트륨	시아나화물 mist	C ₃	21~99
	스테인레스강		질산, 불산	NO ₂ , HF가스	A ₂	51~82
	스테인레스강		염산	HCl가스	A ₂	54~60
	스테인레스강		황산	황산 mist, 증기	B ₁	82
	면역성 스테인레스강		질산	NO ₂ 가스	A ₂	21~48
	불활성 스테인레스강		질산	NO ₂ 가스	A ₂	21~48
금속세척 (metal cleaning)	알칼리세척	11	알칼리나트륨염	알칼리mist, 증기	C _{2, 1} (14)	71~90
	탈지		3염화에틸렌-4염화에틸렌	3염화에틸렌-4염화에틸렌증기	B(15)	188~250
	유화세척		석유 콜-타르용제	석유-콜타르증기	B _{3, 2} (14)	21~60
	유화세척		염소화HC(hydro carbon)	염소화HC증기	(16)	21~60
전해연마 (electro- polishing)	알루미늄	17	황산, 불산	산mist, HF가스, 증기	A ₂	60~93
	황동, 청동	17	인산	산 mist	B ₃	20
	구리	17	인산	산 mist	B ₃	20
	철	17	황산, 염산, 과염소산	산 mist, HCl가스, 증기	A ₂	20~80
	모넬(monel)	17	황산	산 mist, 증기	B ₂	30~71
	니켈	17	황산	산 mist, 증기	B ₂	30~71
	스테인레스강	17	황산, 불산, 크롬산	산 mist, HF가스, 증기	A _{2, 1} (14)	21~149
	강	17	황산, 염산, 과염소산	산 mist, HCl가스, 증기	A ₂	20~80



<표1-6 계속>

공 정 process	형 태 type	주	처리액의 성분 (13)	대기중에 방출되는 성 분	등 급 (12)	사용온 도 (℃)
스트라이크 용 액 (strike- solutions)	구리 은 목니켈 (wood's nikel)		시안화염 시안화염 염화니켈	시안화물 mist 시안화물 mist HCl가스, 염화물mist	C ₂ C ₂ A ₂	21~32 21~32 21~32
무전해도금 (electroless plating)	구리 니켈	18	포름 알데히드 수산화 암모늄	포름 알데히드가스 NH ₃ 가스	A ₁ B ₁	24 88
알 칼 리 전해도금 (electro- plating alkaline)	백금 주석 아연	3	인산암모늄, 암모니아가 스 주석산 나트륨 none	NH ₃ 가스 주석염 mist, 증기 none	B ₂ C ₃ D ₄	70~95 60~77 77~82
붕불산염 전해도금 (electro- plating fluoborate)	카드뮴 구리 인듐 납 납주석 합금 니켈 주석 아연		붕불화염 붕불화염 붕불화염 붕불화 납-붕불화 산 붕불화 납-붕불산 붕불화 동 붕불화 주석, 붕불산 붕불화염	붕불화염 mist, 증기 붕불화염 mist, 증기 붕불화염 mist, 증기 붕불화염 mist, HF가스 붕불화염 mist 붕불화염 mist 붕불화염 mist 붕불화염 mist, 증기	C ₃ , 2(14) C ₃ , 2(14) C ₃ , 2(14) A ₃ C ₃ , 2(14) C ₃ , 2(14) C ₃ , 2(14) C ₃ , 2(14)	21~77 21~77 21~77 21~32 21~38 38~77 21~38 21~77
시안산염 전해도금 (electro- plating cyanide)	황동, 청동 광택아연 카드뮴 구리 구리 인듐 은 주석, 아연합금 화이트합금(가짜은) 아연	19.20 20 20 20.21 20.22 20 20 20.23 20.24	시안화염, 수산화암모늄 시안화염, 수산화나트륨 none none 시안화염, 수산화나트륨 시안화염, 수산화나트륨 none 시안화염, 수산화칼륨 시안화염, 석산나트륨 시안화염, 수산화나트륨	시안화물 mist, NH ₃ 가스 시안화물, 알칼리mist none none 시안화물, 알칼리 mist, 증기 시안화물, 알칼리 mist, 증기 none 시안화물, 알칼리 mist, 증기 시안화물, 알칼리 mist, 증기	B ₃ C ₃ D ₄ D ₄ C ₂ C ₃ D ₄ C ₃ , 2(14) C ₃ C ₃ , 2(22)	16~38 21~49 21~38 21~71 43~71 21~49 22~49 49~60 49~66 21~49

<표1-6 계속>

공정 process	형태 type	주	처리액의 성분 (13)	대기중에 방출되는 성분	등급 (12)	사용온도 (℃)
산성 전해 도금 (electro plating acid)	크롬		크롬산	크롬산 mist	A ₁	32~60
	구리	25	구리 황산염, 황산	황산 mist	B _{4,3} (14)(33)	21~49
	인듐	27	none	none	D ₄	21~49
	인듐	28,29	설��파민산, 설��파민산염	설��파민산 mist	C ₃	21~32
	철		염화염, 염산	염산 mist, 증기	A ₂	88~99
	철	27	none	none	D ₄	21~49
	니켈	3	불화암모늄, 불산	불산 mist	A ₃	39
	니켈 및 흑니켈	27,30	none	none	C ₄ (34)	21~66
	니켈	24,27	니켈 황산염	니켈 황산염 mist	B ₂	21~32
	니켈	28,29	니켈 설��파민산염	설��파민산 mist	C ₃	24~71
	파라듐	30	none	none	D ₄	21~49
	로듐	27,32	none	none	D ₄	21~49
	주석		주석 할로젠화물	할로젠화물 mist	C ₂	21~32
	주석	27	none	none	D ₄	21~49
	아연		염화 아연	염화 아연 mist	B ₃	24~49
	아연	27	none	none	D ₄	21~49

주1) 알루미늄상, 마그네슘상, 마그네슘 염색set, 마그네슘 전기분해염색, 마그네슘 알칼리성 중크롬산
침액, 전기분해 알루미늄도색

주2) 전해연마전의 스테인레스강

주3) 마그네슘 존재하에

주4) 또한 manodysz, dow-12

주5) 알루미늄 존재하에

주6) 희미한 마무리(dull finish)

주7) 염화 제2철(전해)조

주8) 중크롬산 나트륨, 황산(전해)조와 황화철, 황산(전해)조

주9) 녹(scale)제거

주10) 녹(scale)분해

주11) 침액과 전해세정

주12) 일반적인 작업조건에 의한 방출속도 <표1-5>와 잠재적 유해성 <표1-4>에 기초한 <표1-6>의 이용에
의해 나타내어진 등급, 높은 온도, 교반상태 및 기타조건은 오염물질 방출량을 증가 시킨다.

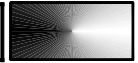
주13) H₂가스는 대부분의 조에서 방출된다.

주14) 높은 등급은 사용온도 범위에서 높은 온도에 해당한다.

주15) 증기탈지기에서는 작업공정에 따라 결정된다.

주16) 등급은 HC(탄화수소)의 성질에 의해 결정된다.

주17) 수소화 비소(AsH₃)는 금속 또는 연마조에서 비소의 존재하에 방출되어진다.



- 주18) 알칼리(전해조)
 주19) 카드뮴 브론즈
 주20) 시안화수소 가스(HCN)는 전해조 표면의 공기중 CO₂의 산성작용에 의해 방출된다.
 주21) 보통의 시안화물 전해조
 주22) 보통의 시안화물 전해조를 제외한 것
 주23) albaloy, sek white, bon white(구리·주석·아연의 합금)
 주24) 불용성의 양극을 사용할 경우
 주25) 32℃ 초과
 주26) 묽은 유기산 전해조
 주27) 황산염 전해조
 주28) sulfamate조
 주29) 요동이 있는 공기
 주30) 염화물 전해조
 주31) 아질산염 전해조
 주32) 인산염 전해조
 주33) 공기요동과 45amps/ft²이상의 전류밀도에 의해 60℃ 이상의 온도로 조작되는 전해조는 높은 방출속도를 가질 수 있다.
 주34) 국소배기통풍은 증기와 수증기를 조절하는데 적합하다.

2) 배출가스량 산정

“1)잠재성 유해등급의 결정”에 의해 결정된 유해등급과 방해물이 없는 곳에서의 후드에 따른 최소포착속도는 다음표 <표1-7>과 같다.

<표1-7>에 의해 구해진 값에 탱크의 표면적(개구면적)을 곱하여 배출가스량을 구한다.

<표1-7> 기류교환이 없는 작업장내의 각종 처리조에 대한 최소 포착속도(m/min)

구 분 (표1-4, 표1-5 참조)	포위형 후드		측면배기 (그림 1-1, 1-2 참조)	캐노피 후드	
	일면개구	이면개구		삼면개구	사면개구
A ₁ , A ₂ (주1)	30.5	45.7	45.7	사용안함	사용안함
A ₃ (주1), B ₂ 및 C ₁	22.9	30.5	30.5	38.1	53.3
B ₃ , C ₂ , D ₁	19.8	27.4	22.9	30.5	45.7
A ₄ (주1) D ₃ , D ₂	15.2	22.9	15.2	22.9	38.1
B ₄ , C ₄ , D ₃ , D ₄	- 일반 실내 환기 요구량				

주) 잠재성 유해등급이 A일 때는 캐노피 후드를 사용하지 말 것.

상기 <표1-7>에서 측면 배기 후드는 폭장비(W/L)에 따라서 최소포착속도를 다음표 <표1-8>에서 결정한 다음, 여기에 탱크 표면적(개구면적)을 곱하여 배출가스량을 산정한다.

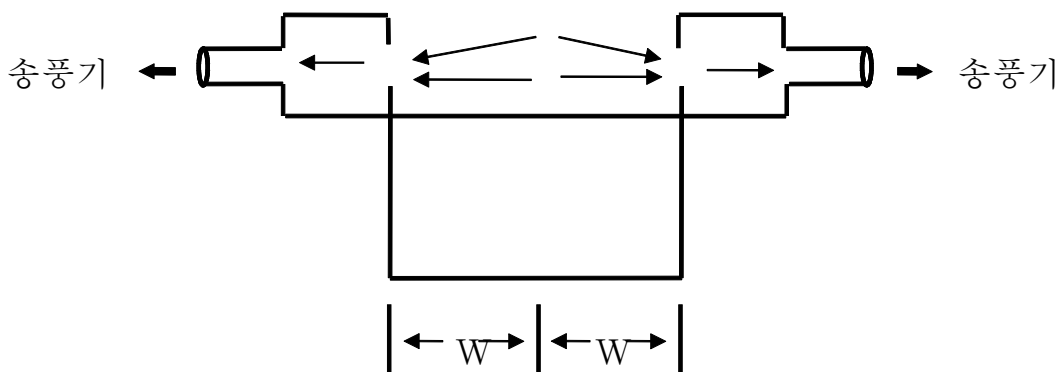
다음표<표1-8>는 탱크의 폭장비(W/L)에 따른 최소포착속도를 나타낸 것이다.

<표1-8> 측면배기후드에서 탱크의 폭장비에 따른 최소포착속도

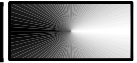
필요한 최소 포착속도 (표1-7으로부터)	폭장비(W/L)에 따른 최소포착속도를 유지하기 위한 속도(m/min)				
	0.0~0.09	0.1~0.24	0.25~0.49	0.5~0.99	1.0~2.0 (주2)
벽 또는 방지판이 있는 곳의 후드(주1 참조) 그림1-1 A, C, 그림1-2D, E 참조					
15.2	15.2	18.3	22.9	27.4	30.5
22.9	22.9	27.4	33.5	39.6	45.7
30.5	30.5	38.1	45.7	53.3	61.0
45.7	45.7	57.9	68.6	[76.2] 주3	[76.2] 주3
독립탱크에서의 후드(주1 참조), 그림1-1,B, 그림1-2,F 참조					
15.2	22.9	27.4	30.5	33.5	38.1
22.9	33.5	39.6	45.7	51.8	57.9
30.5	45.7	53.3	61.0	68.6	76.2
45.7	68.6	[76.2] 주3	[76.2] 주3	[76.2] 주3	[76.2] 주3

주1) 탱크의 중앙선 또는 양쪽 측면에 설치되는 후드에서 폭장비(=W/L비)를 계산할 때는 W/2를 사용한다.

주2) 팔호안의 값은 폭장비율에서 45.7m/min의 포착속도로 관리할 수 없기 때문에 포집을 위한 충분한 값은 76.2m/min이다.



[그림1-4] 탱크 폭장비상세그림



4. 표준공정에서의 최소포착속도

다음 <표1-9>은 장애물이 없는 탱크에서 표준공정에서의 최소포착속도를 나타낸다.

<표1-9> 표준공정에서의 최소포착속도($\text{m}^3/\text{min} \cdot \text{m}^2$)

공 정		오염물질	유해 정도	오염물질의 방 출	측면배기포착속도 (그림4-1참조)	방지시설 여 부
알루미늄 양극처리		크롬산, 황산	A	1	45.7	O
알루미늄광택 dip		질산+황산	A	1	45.7	O
		질산+인산	A	1	45.7	O
크롬도금		크롬산	A	1	45.7	O
동스트라이크		시안산 mist	C	2	22.9	O
금속세척		알칼리 mist	C	1	30.5	O
고온수(통풍구가 바람직한 경우)	무비등	수증기	D	2	15.2	
	비 등		D	1	22.9*	
스트립핑	동	알칼리, 시안산 mist	C	2	22.9*	O
	니 켈	NO ₂ 가스	A	1	45.7	O
피 클 링	강 철	염산	A	2	45.7	O
	강 철	황산	B	1	30.5	O
염 용 액	본데라이징과 파커라이징	수증기	D	2	15.2*	
	무 비 등	수증기	D	2	15.2*	
	비 등		D	1	22.9*	
염탕(용해된 상태)		알칼리 mist	D	1	30.5	O

주) 수증기의 완전한 포집이 요구되는 곳에서는 한 단위 높은 단계로 설계한다.

5. 도금조에서의 배출가스 농도

다음 자료는 기 제출된 금속표면시설(도금시설)의 환경기술감리서류('88년, '89년)중 배출가스 농도를 발췌하여 적정농도를 선정한 것임.

도금조의 종류	배출가스의 종류	배출가스농도
크롬도금조	크롬산 mist	20mg/Nm ³ 이상
니켈도금조	황산니켈 mist	40mg/Nm ³ 이상
산 세 조	HCl 가스	50ppm이상
산 세 조	H ₂ SO ₄ mist	10mg/Nm ³ 이상
알칼리탈지조	알칼리 mist	20mg/Nm ³ 이상
	알칼리 mist	30mg/Nm ³ 이상
청화동도금조	시안화합물 mist	40mg/Nm ³ 이상
황산동도금조	황산 mist	20mg/Nm ³ 이상
	알칼리 mist	20mg/Nm ³ 이상
아연도금조	시안화합물 mist	40mg/Nm ³ 이상
주석도금조	주석나트륨 mist	30mg/Nm ³ 이상
금·은도금조	시안화합물 mist	30mg/Nm ³ 이상

단, 배출가스농도는 사용약품의 농도, 작업상태 등에 의하여 변할 수 있다.

6. 오염물질 총 배출량의 산정 및 혼합배출가스농도

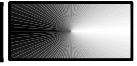
① 오염물질 총배출량의 산정

- 도금공정별 배출시설의 배출가스량의 산정방법(단위시설별 배출오염물질과 배출 가스량 산정)에 의하여 배출가스량이 계산되었으나 실제로 각 배출 시설의 배기가스 온도가 상이하여 주관(main duct)에 유입·혼합 되었을 경우, 온도 변화에 의한 배출가스량 변동이 크므로 덕트설계시에 각 배출시설별 배기가스온도를 표시하고 다음 식에 의하여 총배출가스량을 계산한다.

- 혼합점의 온도

$$t' = \frac{Q_1 t_1 + Q_2 t_2 + \cdots + Q_n t_n}{Q_1 + Q_2 + \cdots + Q_n} \quad \text{.....(식1-1)}$$

여기서, t'=혼합점의 온도(℃)



$Q_1, Q_2, \dots, Q_n =$ 발생원별 배출가스량($m^3/\text{분}$)

$t_1, t_2, \dots, t_n =$ 발생원별 배출가스온도($^{\circ}C$)

○ 혼합점에서의 배출가스량

$$Q' = Q_1' + Q_2' + \dots + Q_n' \dots \dots \dots (\text{식1-2})$$

여기서, $Q_1' = Q_1 \times (273 + t') / (273 + t_1)$

$$Q_2' = Q_2 \times (273 + t') / (273 + t_2)$$

:

:

:

$$Q_n' = Q_n \times (273 + t') / (273 + t_n)$$

$Q' =$ 혼합점에서의 배출가스량

$Q_1', Q_2' \dots \dots Q_n' =$ 발생원별 혼합점 온도보정후 배출가스량($m^3/\text{분}$)

② 혼합점의 배출가스농도

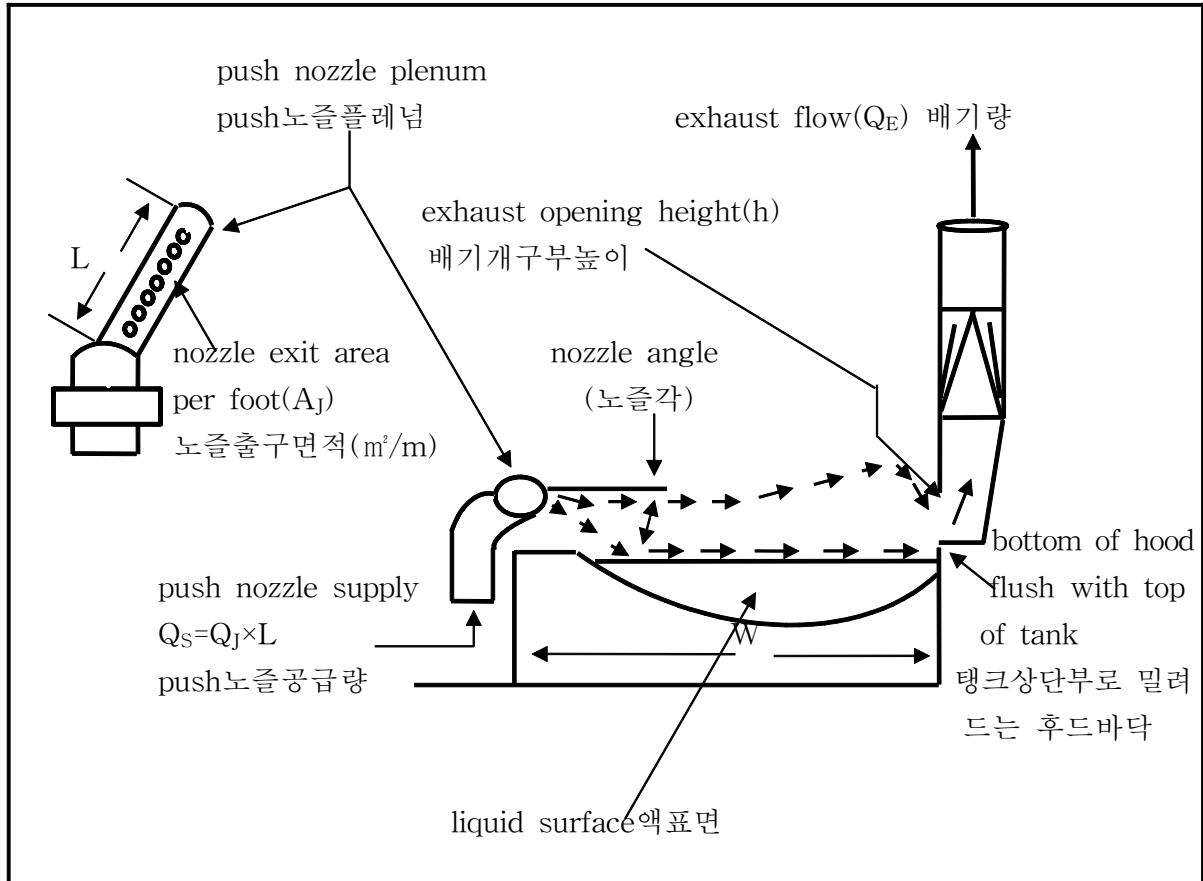
$$C_m = \frac{Q_1' C_1 + Q_2' C_2 + \dots + Q_n' C_n}{Q_1' + Q_2' + \dots + Q_n'} \dots \dots \dots (\text{식1-3})$$

여기서, $C_m =$ 혼합점에서의 배출가스농도

$C_1, C_2, \dots, C_n =$ 발생원별 동일 배출가스농도

V. Push-pull후드

push-pull후드는 오염물질 배출시설 표면에 air curtain을 쳐서 오염물질이 확산되는 것을 방지하여 Push측 후드로 흡입처리하는 system으로 폭(W)이 3,000mm (10ft)까지 주로 사용된다



[그림1-5] push-pull후드

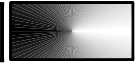
push-pull통풍에서 push노즐은 오염된 공기를 탱크표면을 가로질러 배기후드 쪽으로 밀어준다. 이런 push노즐의 효율은 노즐공급공기량(Q_J)과 노즐출구속도(V_J)의 관계에 의하여 좌우된다.

도금탱크 또는 기타 상부개방형조에 push jet가 사용되는 경우 단위 길이당 push 공급공기량은 다음식 (식1-4)에 의하여 결정된다.

$$Q_J = 40.9 \sqrt{A_J} \dots \dots \dots (\text{식1-4})$$

여기서, Q_J =push 노즐공급공기량 $\text{m}^3/\text{min}/\text{m}$ (push 노즐 plenum길이)

A_J =push 노즐출구면적 m^2/m ((push 노즐 plenum의 길이)



push 공급량 산정에 윗식(1-4)를 이용할 경우, 일차적으로 push 노즐설계가 이루어지고 난후 노즐출구면적(A_J)이 결정된다.

총 push 노즐공급공기량은 다음식(식1-5)에 의하여 구한다.

$$Q_S = Q_J \times L \dots \dots \dots (\text{식1-5})$$

여기서, Q_S =총 push 노즐공급공기량 m^3/min

L =push 노즐 plenum의 길이 m

push 노즐 plenum 단면은 원형, 직사각형 또는 정사각형으로 하고, push 노즐의 크기는 $1/8''$ (3.175mm)~ $1/4''$ (6.35mm)의 수평 슬롯(slot) 또는 $1/4''$ (6.35mm)의 드릴 구멍으로, 노즐간격은 드릴구멍의 3~8배 간격으로 한다.

총 노즐 출구면적은 plenum으로부터의 공기량이 노즐에 고르게 분배되게 하기 위하여 plenum 횡단면적의 33%를 초과해서는 안된다.

push 노즐의 설치방법은 용액면과의 사이를 최소화하기 위하여 상부개방형조의 가장 자리에 가장 가깝게 설치하고 용기표면에 공기 분사효과를 유지하기 위하여 최대 20° 하향되게 노즐축을 설치하여 노즐과 탱크사이에 완벽한 밀폐가 이루어 지도록 한다.

배기량(Q_E)은 push 공급 공기량을 포집하기에 충분한 $22.9\text{m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ (용기표면적)으로 한다.

배기후드의 개구부 높이(h)는 후드에서 push 노즐까지 거리의 0.14배이고, 다수의 슬롯(slot)를 설치할 경우는 $0.14W$ 높이 내에서 설치하여야 하며 후드의 위치는 후드와 용기사이의 간격이 없도록 용기끝에 설치하여야 한다.

폭이 넓은 용기 8' 이상(2.44m) 또는 $22.9\text{m}/\text{min}$ 이상의 횡풍이 존재할 때는 push and/or pull량을 증가시켜야 하고, 또한 주위의 여러가지 효과를 감안하여 $\pm 20\%$ 의 유량을 조정하여 설계하여야 한다.

1. 폭이 10' (3.048m)이하인 상부개방형 조에 대한 push-pull후드

push-pull후드 설계지침에 의한 push-pull설계

노즐개구부 - $1/8'' \sim 1/4''$ 슬롯트($0.32 \sim 0.64\text{cm}$) 또는 $1/4''$ (0.64cm)구경으로 $3/4'' \sim 2''$ ($1.9 \sim 5.1\text{cm}$)간격으로 한다.

push 노즐 plenum - 원형, 구형(직사각형) 또는 정사각형plenum 횡단면의 면적은 적어도 총 노즐면적의 3배이어야 한다.

노즐각 - $0^\circ \sim 20^\circ$ 하향

push 노즐 공급량 - $Q_J 40.9 \sqrt{A_J} \text{m}^3/\text{min}/\text{m}$ (노즐 plenum의 길이)

배기량 - $Q_E = 22.9 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ (탱크표면적)

배기배구부 높이 - $h = 0.14 \times W$

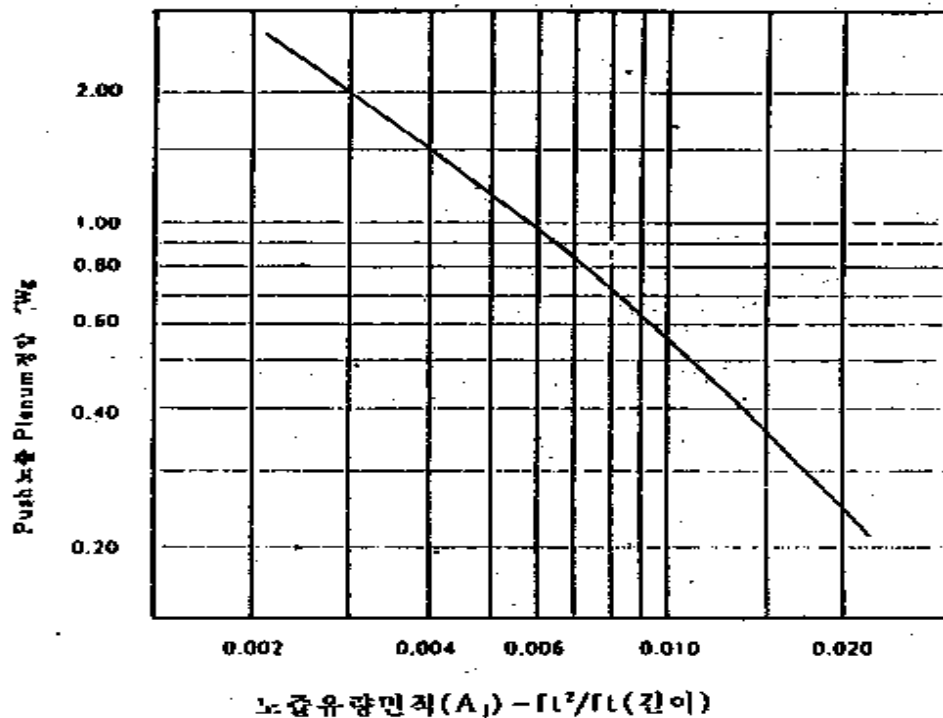
탱크 치수 - L = 탱크의 길이

W = 탱크의 폭

설계순서 : 일차적으로 노즐 개구부를 선택하고 push노즐 공급량을 계산한다.

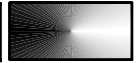
2. push 노즐 plenum의 압력

다음 [그림1-6]은 노즐출구면적에 대한 push 노즐 plenum에서의 압력을 나타낸 것이다.



push 노즐공급량 = $40.9 \sqrt{A_j} \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ (1/8" ~ 1/4" 폭 slot 또는 1/4" 직경구멍의 3.8배 간격의 노즐에 의한 길이)

[그림1-6] push 노즐 plenum압력



VI. 열 오염원의 후드 설계

1. 개요

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 없는 작업장내에서의 열부력 상승기류는 약20도의 각도를 이루면서 상승한다.

또 천개형 후드는 포집거리에 따라 통상 1m이내를 low canopy hood로, 그 이상을 high canopy hood로 분류한다.

2. 원형 고위치 천개형 후드(circular high canopy hood)

1) 장입시 가스배출량 산정

통상 전기로의 오염물질을 포집할 때는 원료장입시 및 출탕시 열 오염원의 상승기류와 함께 열전도 및 복사에 의한 주위공기의 열부력 상승량을 함께 고려하지 않으면 안된다. 기류교환이 없는 작업장내에서의 열부력 상승기류는 hemeon의 경험식에 의거 열오염원 가상점으로부터 약 20도의 각도를 이루면서 상승하므로 이 오염물질을 피동적으로 포집하기 위해서는 주로 high canopy hood가 이용된다. 이때 후드 표면 상에서의 열상승기류 직경은 대략적으로 아래와 같다[그림1-7 참조]

$$D_C = 0.5X_f^{0.88}$$

여기서, D_C = 후드표면의 열상승기류 직경

$X_f = y+z$ = 열오염원 가상점으로부터 후드까지 거리(ft)

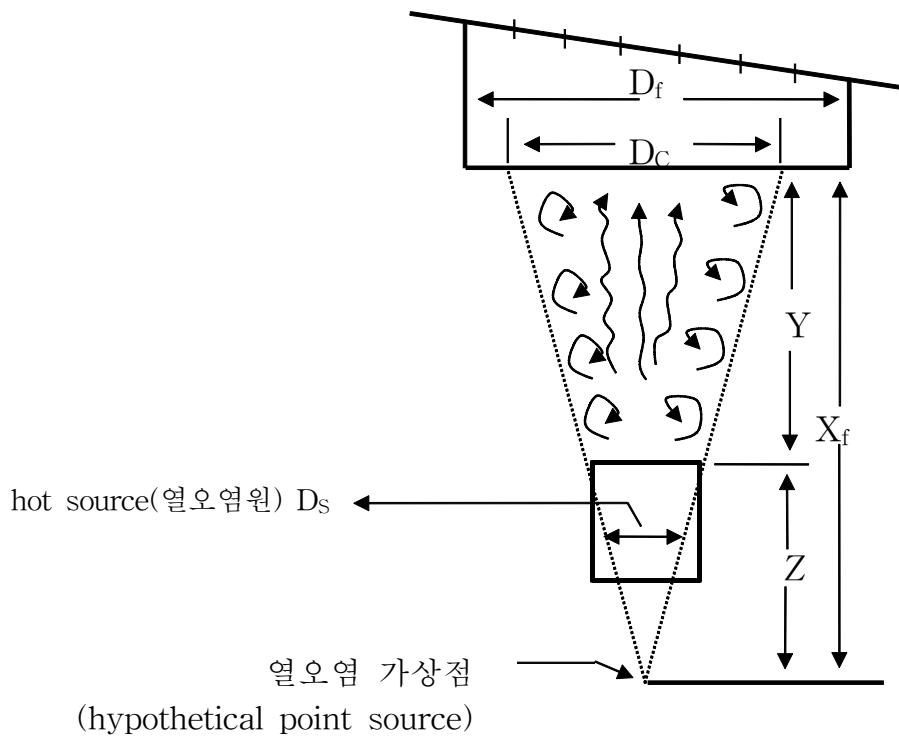
y : 열오염원으로부터 후드까지의 거리(ft)

z : 열오염원 표면으로부터 가상점까지 거리(ft)

z 는 아래와 같이 산정한다.

$$z = (2D_S)^{1.138}$$

D_S : 열오염원 직경(ft)



[그림1-7] 후드표면의 열상승기류 직경

열상승기류속도 산정은 아래의 식을 이용한다.

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

여기서, V_f : 후드표면의 열상승기류 속도(fpm)

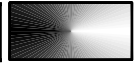
*열상승 기류속도는 수평표면에 대한 열전달계수와 15%의 안전계수를 적용하여 산정됨.

A_s : 열오염원 표면적(ft^2)

Δt : 열오염원과 대기온도차($^{\circ}\text{F}$)

X_f : $y+z$ 열오염원 가상점부터 후드까지 거리(ft)

후드의 직경은 완전한 포집을 위해 열상승기류 직경보다 커야 한다. 따라서 후드의 직경은 $D_f(\text{ft}) = D_c + 0.8y$ 로 산정한다.



장입시 총 가스 배출량 산정은 다음 식으로 한다.

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

여기서, V_t : 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.

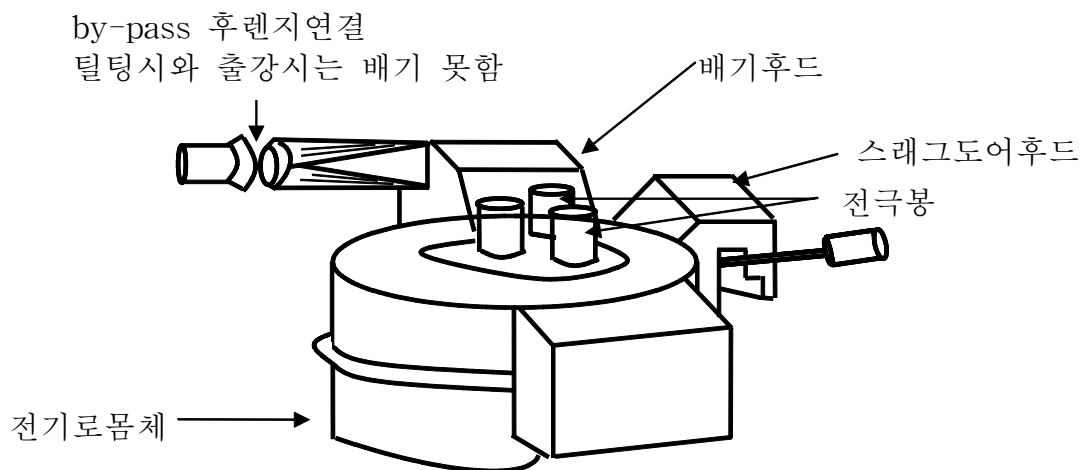
(특별한 상황을 제외하고는 100fpm이하로는 적용하지 않으며 납흡인 경우는 작업자의 건강보호를 위해 완전포집을 해야 하므로 200fpm정도로 설정한다.)

2) 용해시 가스배출량 산정

용해기 및 산화기에 발생하는 먼지는 로측면에 설치된 수냉의 흡인덕트로 직접 흡인하는 방법으로 원료장입시와 출탕시는 포집할 수 없다.

풍량 자체는 canopy hood에 의한 장입시 배출량과 비교해 보면 매우 소량이나 이상 고온가스가 흡인되어 bg filter에 트러블이 발생하는 것을 방지하기 위해 주송풍기와 by-pass 연결하여 냉풍댐퍼에서 냉풍을 도입하도록 배려하는 것이 통례이다.

직인시 배출량은 [그림1-8]과 같이 직인덕트를 by-pass로 연결하여 대략적으로 용해톤당 70Sm³/min으로 산정할 수 있다.



[그림1-8] 전기로의 용해시 포집방법

3. 저위치 천개형 후드(low canopy hood)

1) 저위치 천개형 후드는 통상 열오염원과 후드의 거리, 혹은 열오염원의 직경이 3ft 이하일 경우 사용되며, 이 경우 후드의 상승기류 직경이나 횡단면은 대략 오염원의 직경이나 횡단면의 길이와 같으며, 후드의 직경이나 횡단면의 길이는 열오염의 횡단면의 길이보다 1ft정도 길게 선정한다.

2) 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 = 총 열상승기류량(cfm)

D_f = 후드의 직경(ft)

Δt = 열오염원과 주변온도차(°F)

3) 장방형 저위치 천개형 후드(rectangular low canopy hood)의 열상승기류량(cfm)은

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

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

L = 장방형 hood의 길이(ft)

b = 장방형 후드의 폭(ft)

4. 반사로(reverberatory furnace)

1) 개 요

반사로(reverberatory furnaces)는 다량의 용탕을 한번에 낼 수 있고 성분조정이 용이하며 저탄소의 용탕을 얻을 수 있고, 출탕온도의 조정이 용이하다는 등의 이점이 있으며 유도로 등에 비해 설비비, 유지관리비도 적으므로 칠드로울, 가단주철등의 용해로 또는 큐폴라와의 2중용해의 용탕을 유지 보유할 수 있는 목적으로도 이용되고 있다.

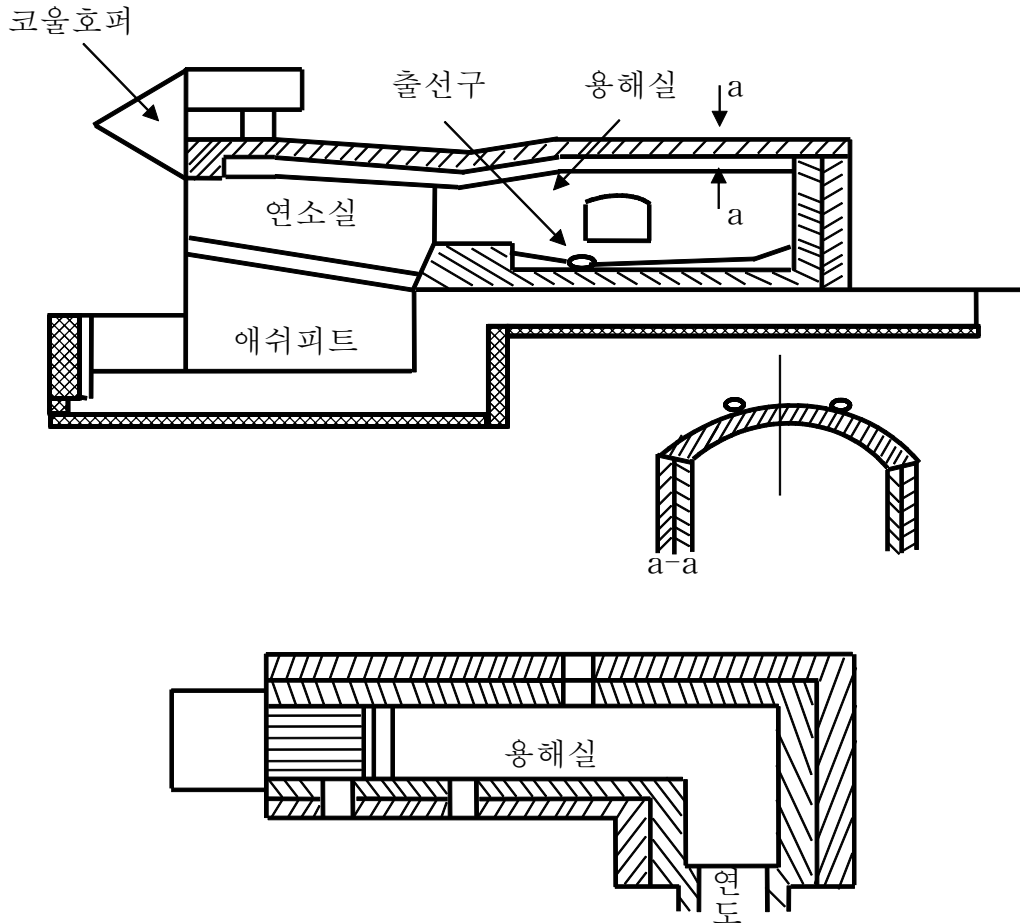
로의 구조는 본질적으로 평로와 동일하나 가열은 일단에서만 행하여지고 화염은 천정을 따라서 용해실에 들어가며 장입물이나 용탕은 이 복사열과 직접 화염에 의하여 용해된다.

로는 장방형으로서 300~350mm정도 깊이의 용탕저류부가 있으며 출탕구는 측벽에 설치되어 있고 측벽은 내화벽돌, 로바닥은 보통 규사로 라이닝되어 있다.

로의 용해능력은 1회의 용해량으로 불리는데 15~40톤정도가 가장 많으며, 연료는 미분탄, 중유 등이 사용된다.

Al합금주물의 경우 소규모 공장이 많으므로 일반적으로 도가니로가 사용되고 있으나, 다량의 용량을 필요로 할 때에는 반사로가 많이 사용된다.

반사로의 구조와 외형은 [그림1-9]와 같다.



[그림1-9] 반사로의 구조

반사로는 알미늄 및 아연 등의 2차 용해에 주로 사용되어지고 있으며 fluxing 방법에 차이는 있으나 분진의 90~95%가 1미크론 이하의 미세분진으로 평균입경은 0.7미크론이며 2미크론을 초과하는 입경의 분진은 거의 없다고 볼 수 있다. 일반적으로 배연가스는 별도 처리후 배기한다.

(예1) 용탕면적 2' 3" × 11' 3" (690×3,430)이며

용탕온도 1,350°F(대기온도 80°F)인 알루미늄 반사로의 배출량 및 hood size를 계산하라.

용탕에서 hood까지의 높이는 2' 6" 이다.

(해) $Q(\text{cfm}) = 5.4(A)(m)^{1/3}(\Delta t)^{5/12}$ 에서

Q : 필요한 배기량(cfm)

A : hood의 개구면적(ft²) : 3.75' × 13.75' (각각 1.5' 및 2.5' 여유를 두어)

m : 투입구의 용탕폭(ft)

Δt : 용탕의 표면온도(hot surface)와 주위 온도(ambient air)의 차(°F)

$$Q = 5.4 \times (3.75 \times 13.75) \times (2.25)^{1/3} \times (1,350 - 80)^{5/12} = 7,170 \text{ cfm}$$

위에서 계산된 풍량은 열에 의한 상승기류를 수용할 수 있는 최소한의 배기량 이므로 기류를 고려한 여분의 추가가 있어야 한다. 즉, 기화성이 있는 fluxing작업을 할 경우에는 위의 계산된 풍량에 25%정도를 가산하여야 한다. 따라서 Q=9,000cfm이 된다. 따라서 9,000cfm(260m³/min)

- hood sizing
- hood surface velocity 2m/sec
- hood 면적결정

$$A = \frac{260}{60 \times 2 \text{ m/s}} = 2.16 \text{ m}^2$$

$$\text{hood sizing} = 1,450^W \times 1,450^L$$

- 자연대류로 열오염원에서부터의 열전달

$$H' = \frac{h_c A_s \Delta t}{60}$$

H' = 열오염원에서 자연 대류에 의한 열전달율(btu/min)

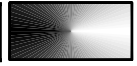
hc : 열전달계수(btu/hr/ft²/°F)

As : 열오염원 면적(ft²)

Δt : 열 온도차(°F)

$$h_c = 0.38(\Delta t)^{1.25}$$

$$H' = \frac{0.38 A_s (\Delta t)^{1.25}}{60} = \frac{(0.38)(2.25)(11.25)(1,350 - 80)^{1.25}}{60} = 1,210 \text{ btu/min}$$



- 후드입구의 온도

$$q = WC_P \Delta t \quad C_P : \text{정압비열}$$

공기비 체적 $W = 13.8 \text{ ft}^3/\text{lb}$

$$t = \frac{(1,210)(13.8)}{(9,000)(0.24)} \quad t = \frac{w' \cdot H'}{(q)(C_P)}$$

- 후드입구 온도 = $80 + 7.7 = 87.7^\circ\text{F} (31^\circ\text{C})$

VII. 도장시설의 후드설계 및 배출가스량 산정

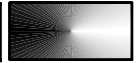
1. 배출가스량

구 분	배출가스량(Q)산정	덕트유속	페인트거름용필터	비 고
자동분무도장실 (auto spray paint booth)	$30.5\text{m}^3/\text{min} \cdot$ 분무실면적 m^2	5~15m/sec	$30.5 \sim 152.5\text{m}^3/\text{min}$ $\cdot \text{filterm}^2$	분무실의 W×H (개구부면적)가 14 m^2 이상일 경우 $Q=15.25\text{m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ 을 적용해도 무방함
무공기분무도장실 (airless spray paint booth)	$18.3\text{m}^3/\text{min} \cdot$ 분무실면적 m^2	5~15m/sec	$30.5 \sim 152.5\text{m}^3/\text{min}$ $\cdot \text{filterm}^2$	
부스내의 작업 (work in booth)	$30.5\text{m}^3/\text{min} \cdot$ 분무실면적 m^2	5~15m/sec	$30.5 \sim 152.5\text{m}^3/\text{min}$ $\cdot \text{filterm}^2$	
부스밖의 작업 (work outside booth)	$30.5 \sim 45.75\text{m}^3/\text{min} \cdot$ 분무실면적 m^2			

* 자동분무도장실에서의 표면포집속도는 개방분무실이나 폐쇄분무실이나 충분한 포집을 위해 100~200 ft/min(0.5~1m/sec)범위내에서 설정한다.

2. 분사식 페인트 부쓰에서의 대기오염물질

- 1) 분사식 페인트 부쓰의 배출오염물질은 먼지와 유기용제로 구분된다. 먼지는 미세한 피복입자로 여과처리를 하지 않을 경우 대략 $23\text{mg}/\text{m}^3$ (0.01grain/scf) 정도로 배출된다.
이의 처리대책으로는 arresting 필터나 water curtain식의 집진기가 통상 사용된다.
- 2) 유기용제에 의한 배출농도는 100~200ppm으로 매우 다양하다. 왜냐하면 공정에 따라 유기용제 사용량이 일일 1lb이하에서 3,000lb이상으로 천차 만별이며 분사방 식 및 분사표면에 따라서 과잉분사율이 현격하게 차이가 나며 각 유기용제의 종류에 따른 flash-off시간에 따른 증발율이 각각 다르기 때문이다.



<표1-10> 분사방식 및 분무표면에 따른 과잉 분무 백분율

분 무 방 식	평 표 면	책상다리 표면	세 장 표 면
air atomization	50	85	90
airless	20 to 25	90	90
electrostatic	5		
dise	5	5 to 10	5 to 10
airless	20	30	30
air-atomized	25	35	35

3) 아래 예문은 대기오염 제어기준에 의거 표면도장시설에서의 유기용제에 의한 배출 농도를 예시했다.

특히 flash-off time의 증가에 따른 각종 유기용제의 부쓰내 휘발량에 유의하기를 바란다.

(예1) 콘베어화된 air-atomized 전기 분무식 부쓰에서 일일 환원성 알키드에나멜 페인트를 15gallons(순수에나멜 4겔런 및 톨루엔(신너)10겔런)이 평판에 분사되며 2분간 도장 후 건조실로 이송된다.

알키드에나멜의 휘발분은 53%(중량비)

53%(체적비)

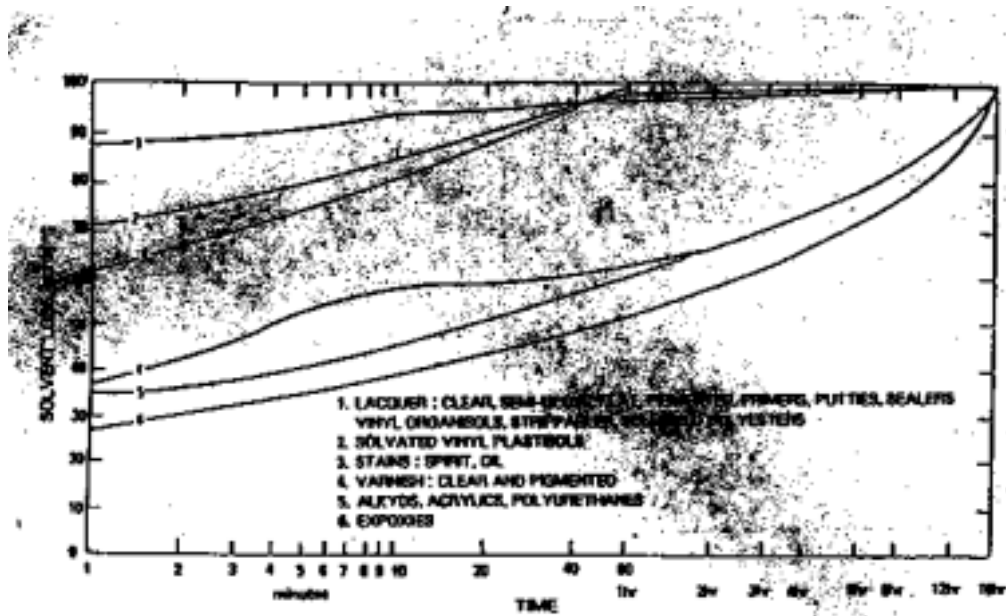
무 계 : 9.7lb/gal

희석안된 페인트의 유기용제는 xylene 58%(체적비)이며 포화지방족 탄화수소는 42%(체적비)이다

톨루엔 신너 : 7.2lb/gal일 때

① 분사실과 건조실에서의 유기용제 방출량을 구하라.

② L.A 환경보전법 66조를 고려하여 분사실에서의 오염농도를 평가하라.



[그림1-10] flash-off 시간에 따른 유기용제 증발 곡선

(해) 1) 분사실 및 건조실에서의 유기용제 발생량 총 유기용제 분무량은

$$S=(G)(\rho_1)(V)+T(\rho_2)$$

S = 유기용제 분사량 lb/day

$$V : \text{휘발량} = \frac{\%(\text{휘발분중량비})}{100}$$

G : 희석전 페인트 분무량 : gal/day

ρ_1 : 희석전 페인트의 밀도 : lb/gal

T : 첨가신너량 gal/day

ρ_2 : 신너의 밀도 lb/day

$$S = (5)(9.7)(0.53)+(10)(7.2) = 25.6+72 = 97.6\text{lb/day}$$

페인트 부쓰 및 flash off 지역에서의 유기용제 발생량은

$$E = (S)(M)+(S)(1-M)F \text{로 구할 수 있다.}$$

* 유기용제 분사량 lb/day

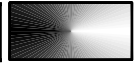
$$M = \text{과잉분사량} = \frac{\% \text{과잉분무}}{100}$$

$$F = \text{flash off} = \frac{\% \text{flash-off}}{100}$$

<표1-10>에서 air atomized 전기 분무로 평면판 일때 과잉 분사율은 25%이며

[그림1-10] 에서 flash off 2분후의 유기용제 손실율은 36%이므로

$$E=(97.6)(0.25)+(97.6)(1-0.25)(0.36)=50.8\text{lb/day}$$



건조실에서의 유기용제 발생량은

$$\begin{aligned} \text{건조실 발생량} &= \text{유기용제 분무량} - \text{도장실 및 flash off 지역에서의 발생량인바} \\ &= 97.6 - 50.7 = 46.8 \text{ lb/day} \end{aligned}$$

2) L.A환경보전법 66조에 의한 광화학반응성 평가 회석전 페인트로부터의

$$\text{유기용제량} = (\text{gal/day 회석전 페인트})(\text{휘발성량 : 체적비})$$

$$= (5)(0.5) = 2.5 \text{ gal/day}$$

$$\text{포화탄화수소} = (2.5)(0.42) = 1.05 \text{ gal/day}$$

$$\text{xylene} = 2.5(0.58) = 1.45 \text{ gal/day}$$

$$\text{톨루엔(첨가분)} = 10.00 \text{ gal/day}$$

$$\text{합 계} = 12.50 \text{ gal/day}$$

혼합 유기용제의 성분조성(체적비)

$$\text{포화 탄화수소} = \frac{1.05}{12.50} \times 100 = 8.40\%$$

$$\text{크실렌} = \frac{1.45}{12.50} \times 100 = 11.60\%$$

$$\text{톨루엔} = \frac{10.00}{12.50} \times 100 = 80.00\%$$

$$\text{합 계} \quad \quad \quad 100.00\%$$

종합하여 평가하면 상기와 같은 유기용제를 사용할 경우는 아래와 같은 이유로 광화학반응성으로 분류된다.

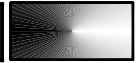
- ① 크시렌이 rule 66K-2의 허용치인 8%(체적비)를 초과할 시
- ② 톨루엔이 rule 66K-3의 허용치인 20%(체적비)를 초과할 시
- ③ 광화학 반응성 유기용제의 총 백분율(체적비)가 rule 66K에서 허용하는 20%를 초과하는 경우이다.

따라서 광화학반응성으로 분류되므로 페인트 부쓰에서의 유기용제 발생량을 rule 66K 대책에 의거 40lb/day를 초과하지 않아야 할 것이다.

상기 계산에서 페인트 부쓰에서의 발생량은 50.8lb/day로 rule 66의 허용치를 초과하므로 발생량을 40lb/day이하로 감소시키든지 도장시설 자체를 비광화학반응성방식으로 대체해야 될것이다.

예제에서 건조실에서의 발생량도 rule 66의 허용치를 초과하는바 도장실과 같은 방법으로 대책을 강구해야 할것이다.

참고문헌 : air pollution engineering manual의 부록 “Appendix a” 참조 요망

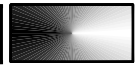


VIII. 탈사시설에서의 배출가스량 산정

<표1-11> 형태별 배출가스량의 산정

구 분	배출가스량(Q)산정	비 고
room인 경우	<ul style="list-style-type: none"> ○ 하향배기시 $18.3 \sim 30.5 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ ○ 철재연소재사용시 $7.6 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ 	
rotary table식인 경우	<ul style="list-style-type: none"> ○ 모든 개구부를 통한 $61 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ 	
cabinet형일 경우	<ul style="list-style-type: none"> ○ 분당 환기량을 20회로 산정하며, 모든 개구부를 통한 $150 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ 	

제2장 덕트의 설계



제2장 덕트의 설계

I. 개 요

덕트(duct)는 오염된 공기를 오염원으로부터 방지시설까지 또는 방지시설로부터 최종배출구까지 운반하는 도관으로 일반적으로 주관(main duct)과 분지관(branch duct)으로 구성된다.

후드에 직접 연결되는 duct가 분지관으로 1개 또는 그이상이 연결되어 방지시설로 오염된 공기를 운반해준다.

일반적으로 간단한 배기시스템이든 복잡한 배기시스템이든 모든 배기시스템은 공통적으로 후드, 덕트, 피팅류 및 배기팬을 사용하고 있다. 복합시스템(complex system)이란 몇개의 단순시스템(simple system)을 하나의 공통덕트로 연결시켜 정열한 것이다.

공통덕트(common duct)란 배기시스템의 주관(main duct)이며, 이러한 주관에 각 단순시스템의 주관(submain duct)들이 연결되어져 있고, 여기에 다시 지관(branch duct)들이 연결되어져 있다.

duct의 설계는

첫째, 운전제어가 적정한 배기후드를 설계하고, 배기후드의 설계유량(design flow rate)를 결정한다.

둘째, 최소덕트속도(minimum duct velocity)를 결정한다.

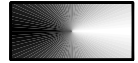
- 이송덕트들이 미립자물질을 배기하므로 이송덕트내의 침강을 방지하기 위하여는 덕트내에 최소이송속도(minimum transport velocity)가 유지되어야 함.
- 증기와 가스 및 비응축성의 흙에 대한 덕트 속도는 중요한 것이 아니다.

세째, 설계유량을 최소덕트속도로 나누어 분지덕트의 크기를 결정한다. 실제의 덕트 속도가 최소덕트속도보다 커지도록 내경이 약간 작은 덕트를 선정한다.

네째, 계통도를 사용하여 필요한 덕트의 각부분과 피팅류 및 엘보류에 대한 설계 길이(design length)를 결정한다. 설계길이란 덕트를 따라가는 중심선거리(centerline distance)이며, 엘보우의 반지름은 무시한 길이이다.

다섯째, 배기시스템에 대한 압력손실을 계산한다. 마찰작용이나 피팅류에 의한 압력손실은 속도압방법(velocity pressure method)이나 등거리방법(equivalent length method)을 이용하여 계산할 수 있다. 이때 속도압방법이 더 많이 사용되고 있으며 그 이유는 다음과 같다.

- 속도압방법을 사용하는 편이 더 신속하며, 후드의 유입손실과 같은 모든 손실들이 동일한 기준에 의하여 계산된다.
- 정압평형법(balanced method)으로 덕트를 설계하므로 분지덕트의 크기를 신속하게 재계산할 수 있는 잇점이 있다.



II. 덕트내 이송속도의 결정

후드에서 흡인한 먼지의 대상은 입경이 0.1 μ m 정도의 것에서부터 수mm의 것까지 있다. 그종류는 다양하여 이 먼지들이 덕트내에 퇴적되지 않고 방지시설까지 운반되어야 한다.

먼지를 운반하는 속도를 반송속도라 하며, 먼지의 성질과 배관상태에 따라 다르다. 비중이 무거운 금속성 먼지등과 물에 젖은 먼지의 반송속도는 빠르게 해주어야 하고, 가벼운 먼지는 반대로 늦어도 무방하다.

대부분의 도금공정에서 발생하는 오염물질인 mist는 액체의 분산 또는 가스상태로부터의 응축에 의하여 형성되어지는 액체 입자상 물질이며 mist의 크기는 0.01~10.0 μ m 인데, 이와같은 mist를 이송하는데 필요한 속도는 <표2-1>에 의하여 10m/sec~25m/sec로 결정할 수 있다.

<표2-1> 먼지종류별 반송속도

오염물	예	반송속도 (m/sec)
가스, 증기, 흙 및 극히 가벼운 먼지	각종 가스, 증기, 산화아연, 산화알루미늄의 흙, 목분 및 숯	10
가벼운 건조먼지	원사, 삼베부스러기, 곡분, 베이클라이트(합성수지)분	15
일반공업먼지	털, 나무부스러기, 샌드블라스트발생먼지, 글라인더작업발생먼지	20
무거운 먼지	납분, 주조탈사먼지, 선반작업발생먼지	25
무겁고 비교적 큰 젖은 먼지	젖은 납분, 젖은 주조작업발생먼지	25이상

III. 덕트직경계산

덕트의 직경은 배출가스량과 이송속도를 감안하여 산정한다.

$$A = \frac{Q}{V \times 60}$$

$$D = \left(\frac{\pi A}{4} \right)^{1/2}$$

여기서, A=관의 단면적(m²) Q=배출가스량(m³/min)
 V=덕트내 유속(m/sec) D=덕트직경(m)

IV. 압력손실의 산정

압력손실은 후드에서 흡입된 배기가스가 방지시설을 통하여 외부로 방출되는 동안에 기류가 가지고 있는 기계적 에너지가 덕트 내벽면의 마찰 또는 덕트 내벽면의 상태와 관의 모양(곡관, 관수축, 관확대 등)에 의해 발생하는 손실을 총칭한다.

방지시설에서 다루는 송풍관 내의 기류는 일반적으로 난류로서 압력손실은 속도의 제곱에 비례한다. 즉, 속도압에 비례한다. 속도압은 다음과 같이 정의된다.

$$P_v = \frac{r \cdot V^2}{2g} \dots\dots\dots(\text{식2-1})$$

표준공기의 유속과 속도압과의 관계는 그림[2-1]과 같다.

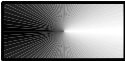
1. 원형 직관의 압력손실(식에 의한 방법)

$$\Delta P = 4f \cdot \frac{\ell}{D} \cdot \frac{r \cdot V^2}{2g} = 4f \cdot \frac{\ell}{D} \cdot P_v$$

f = 마찰계수[그림4-2]
 ℓ = 관의 길이(m) D = 관의 직경(m)

여기서, g = 중력가속도(m/sec²)
 r = 공기의 밀도(kg/m³)
 V = 유속(m/sec)
 ΔP = 압력손실(mm · Aq)
 P_v = 속도압<표2-3>

여기서, 마찰계수는 Reynold수의 함수로 나타내며, [그림2-2]는 이런 관계를 나타낸 것이다.



참고로, $Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$

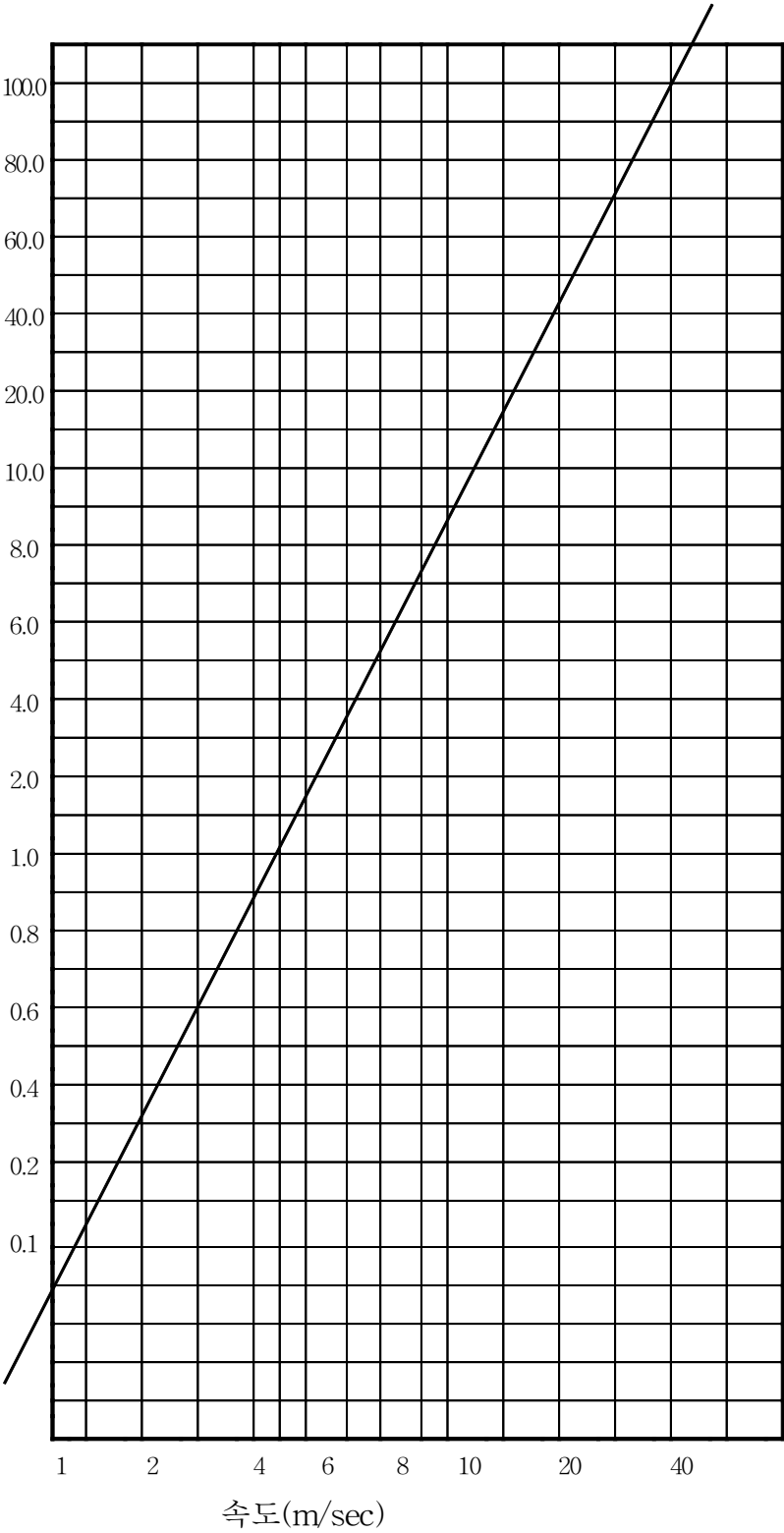
Re = Reynold수(-)

ν = 동점성계수(m²/sec)

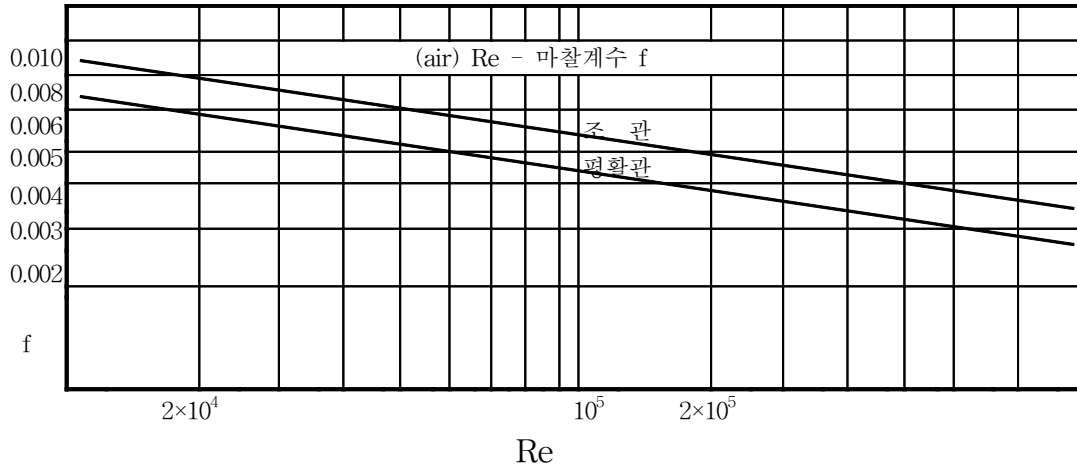
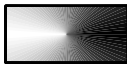
V = 속도(m²/sec)

D = 직경(m)

속도압
(mmH₂O)



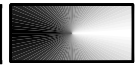
[그림2-1] 표준공기의 속도와 속도압과의 관계



[그림2-2] Reynold수와 마찰계수와의 관계

<표2-2> 공기의 성질

온도 T (°C)	밀도 r(kg/m³)	비열 C _p (kcal/kg · °C)	점성계수 μ(kg · sec/m²)	동점성계수 ν(m²/sec)
-100	1.984	0.241	1.21×10 ⁻⁶	0.0598×10 ⁻⁴
-50	1.533	0.240	1.49×10 ⁻⁶	0.0953×10 ⁻⁴
-20	1.348	0.240	1.65×10 ⁻⁶	0.120×10 ⁻⁴
0	1.251	0.240	1.76×10 ⁻⁶	0.138×10 ⁻⁴
20	1.166	0.240	1.86×10 ⁻⁶	0.156×10 ⁻⁴
40	1.091	0.241	1.95×10 ⁻⁶	0.175×10 ⁻⁴
60	1.026	0.241	2.05×10 ⁻⁶	0.196×10 ⁻⁴
80	0.968	0.241	2.14×10 ⁻⁶	0.217×10 ⁻⁴
100	0.916	0.242	2.23×10 ⁻⁶	0.239×10 ⁻⁴
120	0.869	0.242	2.32×10 ⁻⁶	0.262×10 ⁻⁴
140	0.827	0.243	2.40×10 ⁻⁶	0.285×10 ⁻⁴
160	0.789	0.243	2.48×10 ⁻⁶	0.308×10 ⁻⁴
180	0.754	0.244	2.56×10 ⁻⁶	0.333×10 ⁻⁴
200	0.722	0.245	2.64×10 ⁻⁶	0.359×10 ⁻⁴
250	0.652	0.247	2.83×10 ⁻⁶	0.426×10 ⁻⁴
300	0.596	0.250	3.01×10 ⁻⁶	0.495×10 ⁻⁴
350	0.548	0.253	3.18×10 ⁻⁶	0.569×10 ⁻⁴
400	0.508	0.255	3.34×10 ⁻⁶	0.645×10 ⁻⁴
500	0.442	0.261	3.65×10 ⁻⁶	0.810×10 ⁻⁴
600	0.391	0.267	3.94×10 ⁻⁶	0.988×10 ⁻⁴
800	0.319	0.276	4.47×10 ⁻⁶	1.37×10 ⁻⁴
1,000	0.265	0.285	4.94×10 ⁻⁶	1.83×10 ⁻⁴
1,200	0.232	0.293	5.38×10 ⁻⁶	2.27×10 ⁻⁴
1,400	0.204	0.302	5.79×10 ⁻⁶	2.78×10 ⁻⁴
1,600	0.183	0.312	6.17×10 ⁻⁶	3.31×10 ⁻⁴



<표2-3> 속도변화에 따른 속도압-표준공기

V=0.043√VP				V=속도(m/sec)				VP=속도압(mmH ₂ O)			
VP	V	VP	V	VP	V	VP	V	VP	V	VP	V
0.1	1.28	5.1	9.13	11.0	13.41	61.0	31.58	111.0	42.59	161.0	51.30
0.2	1.81	5.2	9.22	12.0	14.00	62.0	31.83	112.0	42.79	162.0	51.46
0.3	2.21	5.3	9.31	13.0	14.58	63.0	32.09	113.0	42.98	163.0	51.62
0.4	2.56	5.4	9.39	14.0	15.13	64.0	32.34	114.0	43.17	164.0	51.77
0.5	2.86	5.5	9.48	15.0	15.66	65.0	32.59	115.0	43.35	165.0	51.93
0.6	3.13	5.6	9.57	16.0	16.17	66.0	32.84	116.0	43.54	166.0	52.09
0.7	3.38	5.7	9.65	17.0	16.67	67.0	33.09	117.0	43.73	167.0	52.24
0.8	3.62	5.8	9.74	18.0	17.15	68.0	33.34	118.0	43.92	168.0	52.40
0.9	3.84	5.9	9.82	19.0	17.62	69.0	33.58	119.0	44.10	169.0	52.56
1.0	4.04	6.0	9.90	20.0	18.08	70.0	33.82	120.0	44.29	170.0	52.71
1.1	4.24	6.1	9.99	21.0	18.53	71.0	34.07	121.0	44.47	171.0	52.87
1.2	4.43	6.2	10.07	22.0	18.96	72.0	34.30	122.0	44.65	172.0	53.02
1.3	4.61	6.3	10.15	23.0	19.39	73.0	34.54	123.0	44.84	173.0	53.18
1.4	4.78	6.4	10.23	24.0	19.81	74.0	34.78	124.0	45.02	174.0	53.33
1.5	4.95	6.5	10.31	25.0	20.21	75.0	35.01	125.0	45.20	175.0	53.48
1.6	5.11	6.6	10.39	26.0	20.61	76.0	35.24	126.0	45.38	176.0	53.63
1.7	5.27	6.7	10.46	27.0	21.01	77.0	35.48	127.0	45.56	177.0	53.79
1.8	5.42	6.8	10.54	28.0	21.39	78.0	35.71	128.0	45.74	178.0	53.94
1.9	5.57	6.9	10.62	29.0	21.77	79.0	35.93	129.0	45.92	179.0	54.09
2.0	5.72	7.0	10.70	30.0	22.14	80.0	36.16	130.0	46.10	180.0	54.24
2.1	5.86	7.1	10.77	31.0	22.51	81.0	36.39	131.0	46.27	181.0	54.39
2.2	6.00	7.2	10.85	32.0	22.87	82.0	36.61	132.0	46.45	182.0	54.54
2.3	6.13	7.3	10.92	33.0	23.22	83.0	36.83	133.0	46.62	183.0	54.69
2.4	6.26	7.4	11.00	34.0	23.57	84.0	37.05	134.0	46.80	184.0	54.84
2.5	6.39	7.5	11.07	35.0	23.92	85.0	37.27	135.0	46.97	185.0	54.99
2.6	6.52	7.6	11.15	36.0	24.26	86.0	37.49	136.0	47.15	186.0	55.14
2.7	6.64	7.7	11.22	37.0	24.59	87.0	37.71	137.0	47.32	187.0	55.28
2.8	6.76	7.8	11.29	38.0	24.92	88.0	37.93	138.0	47.49	188.0	55.43
2.9	6.88	7.9	11.36	39.0	25.25	89.0	38.14	139.0	47.66	189.0	55.58
3.0	7.00	8.0	11.43	40.0	25.57	90.0	38.35	140.0	47.84	190.0	55.73
3.1	7.12	8.1	11.51	41.0	25.89	91.0	38.57	141.0	48.01	200.0	57.17
3.2	7.23	8.2	11.58	42.0	26.20	92.0	38.78	142.0	48.18	210.0	58.59
3.3	7.34	8.3	11.65	43.0	26.51	93.0	38.99	143.0	48.35	220.0	59.96
3.4	7.45	8.4	11.72	44.0	26.82	94.0	39.20	144.0	48.51	230.0	61.31
3.5	7.56	8.5	11.79	45.0	27.12	95.0	39.40	145.0	48.68	240.0	62.63
3.6	7.67	8.6	11.86	46.0	27.42	96.0	39.61	146.0	48.85	250.0	63.92
3.7	7.78	8.7	11.92	47.0	27.72	97.0	39.82	147.0	49.02	260.0	65.19
3.8	7.88	8.8	11.99	48.0	28.01	98.0	40.02	148.0	49.18	270.0	66.43
3.9	7.98	8.9	12.06	49.0	28.30	99.0	40.23	149.0	49.35	280.0	67.65
4.0	8.09	9.0	12.13	50.0	28.59	100.0	40.43	150.0	49.51	290.0	68.85
4.1	8.19	9.1	12.20	51.0	28.87	101.0	40.63	151.0	49.68	300.0	70.02
4.2	8.29	9.2	12.26	52.0	29.15	102.0	40.83	152.0	49.84	310.0	71.18
4.3	8.38	9.3	12.33	53.0	29.43	103.0	41.03	153.0	50.01	320.0	72.32
4.4	8.48	9.4	12.40	54.0	29.71	104.0	41.23	154.0	50.17	330.0	73.44
4.5	8.58	9.5	12.46	55.0	29.98	105.0	41.43	155.0	50.33	340.0	74.55
4.6	8.67	9.6	12.53	56.0	30.25	106.0	41.62	156.0	50.49	350.0	75.63
4.7	8.76	9.7	12.59	57.0	30.52	107.0	41.82	157.0	50.66	360.0	76.71
4.8	8.86	9.8	12.66	58.0	30.79	108.0	42.01	158.0	50.82	370.0	77.77
4.9	8.95	9.9	12.72	59.0	31.05	109.0	42.21	159.0	50.98	380.0	78.81
5.0	9.04	10.0	12.78	60.0	31.32	110.0	42.40	160.0	51.14	390.0	79.84

2. 장방형 직관의 압력손실

덕트가 원관이 아닐 때는 상당직경을 구하여 원관의 계산법을 쓰면 좋다. 이 상당 직경은 동수력반경과는 다른 것이며 동일 유량, 동일 관길이에 대해 같은 압력손실을 표시하는 원관의 직경이다. 제일 많이 사용되는 장방형단면인 경우를 생각하면 다음과 같이 된다.

1) 동일 유량이므로

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 U_C = ab U_S \quad \therefore U_S / U_C = \pi / D^2 / (4ab) \dots\dots\dots (식2-2)$$

2) 동일 관길이로 동일압력손실이므로

$$\Delta P = \lambda_C \frac{r}{2g} \frac{U_C^2 L}{D} \cdot \frac{L}{D} = \lambda_S \frac{r}{2g} \frac{U_S^2}{2ab} \frac{L(a+b)}{2ab}$$

$$\therefore \frac{\lambda_C}{\lambda_S} = \frac{D(a+b)}{2ab} \frac{U_S^2}{U_C^2} \dots\dots\dots (식2-3)$$

단, 여기서 장방형에 대해서는 직경으로써 동수력반경의 4배를 쓰고 있다. 즉

$$\frac{4ab}{2(a+b)} = \frac{2ab}{a+b} = 4 \times (\text{동수력반경}) \text{이다.}$$

3) 관마찰계수는 레이놀즈수의 (-1/4)승에 비례하여(난류영역)

$$\frac{\lambda_C}{\lambda_S} = \left(\frac{D U_C (a+b)}{2ab U_S} \right)^{-1/4} = \left(\frac{2ab U_S}{D(a+b) U_C} \right)^{1/4} \dots\dots\dots (식2-4)$$

로 된다. 여기서 Q=유량, D=원관직경, a,b=장방형의 이변의 길이, U=유속, ΔP=압력손실, r=유체비중량, L=관길이, λ=마찰계수, 첨자c,s=각각 원통, 장방형관을 나타낸다.

위의 세개의 식에서 λ_C/λ_S와 U_S/U_C를 없애면

$$\left(\frac{2ab}{D(a+b)} \right)^{5/4} = (U_S / U_C)^{7/4} = \left(\frac{\pi}{4} \right)^{7/4} \frac{D^{14/4}}{(ab)^{7/4}}$$

$$\therefore D = \frac{2 (ab)^{12/19}}{\pi^{7/19} (a+b)^{5/19}} = 1.32 \frac{(ab)^{12/19}}{(a+b)^{5/19}} \dots\dots\dots (2-5)$$

를 얻는다. 이것이 상당직경이다. 혹은 다음 식과 같은 값을 사용하는 일도 있다.

$$D' = 1.30 \sqrt[8]{\frac{(ab)^5}{(a+b)^2}} \dots\dots\dots (2-6)$$

이 후자의 값 D'는 전자의 D와 근사한 값이며 계산이 약산 용이하다고 할 수 있다.

장방형 직관의 압력손실은 장방형 관의 상당직경<표2-4>를 구한 다음, 원형직관 압력 손실 계산과 같은 방법으로 압력손실을 계산한다.

다음식은 상당직경을 구하는 공식이다.

$$D_{eq}=1.3\times \sqrt[8]{\frac{(AB)^5}{(A+B)^2}}=1.3\times \frac{(A\times B)^{0.625}}{(A+B)^{0.25}}$$

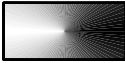
여기서, Deq = 상당 직경(m)

A = 장방형 닥트의 가로(m)

B = 장방형 닥트의 세로(m)

<표2-4> 장방형 직관에 대한 상당직경 환산표

a°\b°	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5	15.0	15.5	16.0
3.0	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.7	4.9	5.1	5.2	5.3	5.5	5.6	5.7	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0
3.5	4.1	4.3	4.6	4.8	5.0	5.2	5.3	5.5	5.7	5.8	6.0	6.1	6.3	6.4	6.5	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.5	7.6	7.7
4.0	4.4	4.6	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1	6.3	6.4	6.6	6.7	6.9	7.0	7.2	7.3	7.4	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.2	8.3
4.5	4.6	4.9	5.2	5.4	5.7	5.9	6.1	6.3	6.5	6.7	6.9	7.0	7.2	7.4	7.5	7.7	7.8	7.9	8.1	8.2	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8
5.0	4.9	5.2	5.5	5.7	6.0	6.2	6.4	6.7	6.9	7.1	7.3	7.4	7.6	7.8	8.0	8.1	8.3	8.4	8.6	8.7	8.9	9.0	9.1	9.3	9.4
5.5	5.1	5.4	5.7	6.0	6.3	6.5	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	8.2	8.4	8.6	8.7	8.9	9.0	9.2	9.3	9.5	9.6	9.8	9.9



<표2-4계속> 장방형 지관에 대한 상당직경 환산표(계속)

a	b	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0	30.0	32.0	34.0	36.0	38.0	40.0	42.0	44.0	46.0	48.0	50.0	54.0	58.0	62.0	66.0	70.0	74.0	78.0	82.0	86.0	90.0											
6.0	6.6																																																			
7.0	7.1	7.7																																																		
8.0	7.6	8.2	8.7																																																	
9.0	8.0	8.7	9.3	9.8																																																
10.0	8.4	9.1	9.8	10.4	10.9																																															
11.0	8.8	9.5	10.2	10.9	11.5	12.0																																														
12.0	9.1	9.9	10.7	11.3	12.0	12.6	13.1																																													
13.0	9.5	10.3	11.1	11.8	12.4	13.1	13.7	14.2																																												
14.0	9.8	10.7	11.5	12.2	12.9	13.5	14.2	14.7	15.3																																											
15.0	10.1	11.0	11.8	12.6	13.3	14.0	14.6	15.3	15.8	16.4																																										
16.0	10.4	11.3	12.1	13.0	13.7	14.4	15.1	15.7	16.4	16.9	17.5																																									
17.0	10.7	11.6	12.5	13.4	14.1	14.9	15.6	16.2	16.8	17.4	18.0	18.6																																								
18.0	11.0	11.9	12.9	13.7	14.5	15.3	16.0	16.7	17.3	17.9	18.5	19.1	19.7																																							
19.0	11.2	12.2	13.2	14.1	14.9	15.7	16.4	17.1	17.8	18.4	19.0	19.6	20.2	20.8																																						
20.0	11.5	12.5	13.5	14.4	15.2	16.0	16.8	17.5	18.2	18.9	19.5	20.1	20.7	21.3	21.9																																					
22.0	12.0	13.0	14.1	15.0	15.9	16.8	17.6	18.3	19.1	19.8	20.4	21.1	21.7	22.3	22.9	23.4																																				
24.0	12.4	13.5	14.6	15.6	16.5	17.4	18.3	19.1	19.9	20.6	21.3	22.0	22.7	23.3	23.9	24.5	25.1	25.7																																		
26.0	12.8	14.0	15.1	16.2	17.1	18.1	19.0	19.8	20.6	21.4	22.1	22.8	23.5	24.2	24.9	25.6	26.3	26.9	27.5	28.1																																
28.0	13.2	14.5	15.6	16.7	17.7	18.7	19.6	20.5	21.3	22.1	22.8	23.5	24.2	25.0	25.7	26.4	27.1	27.8	28.5	29.2	29.9																															
30.0	13.6	14.9	16.1	17.2	18.3	19.3	20.2	21.1	22.0	22.8	23.5	24.2	25.0	25.7	26.4	27.1	27.8	28.5	29.2	29.9	30.6	31.3																														
32.0	14.0	15.3	16.5	17.7	18.8	19.8	20.8	21.7	22.6	23.4	24.2	25.0	25.7	26.4	27.1	27.8	28.5	29.2	29.9	30.6	31.3	32.0	32.7																													
34.0	14.4	15.7	17.0	18.2	19.3	20.3	21.2	22.1	23.0	23.8	24.6	25.4	26.2	26.9	27.6	28.3	29.0	29.7	30.4	31.1	31.8	32.5	33.2	33.9																												
36.0	14.7	16.1	17.4	18.6	19.8	20.9	21.9	22.8	23.7	24.5	25.3	26.1	26.9	27.6	28.3	29.0	29.7	30.4	31.1	31.8	32.5	33.2	33.9	34.6	35.3	36.0																										
38.0	15.0	16.5	17.8	19.0	20.2	21.3	22.3	23.2	24.1	25.0	25.8	26.6	27.3	28.0	28.7	29.4	30.1	30.8	31.5	32.2	32.9	33.6	34.3	35.0	35.7	36.4	37.1	37.8	38.5	39.2	39.9	40.6	41.3	42.0	42.7	43.4	44.1	44.8	45.5	46.2	46.9	47.6	48.3	49.0	49.7	50.4						
40.0	15.3	16.8	18.1	19.3	20.5	21.6	22.6	23.5	24.4	25.3	26.1	26.9	27.6	28.3	29.0	29.7	30.4	31.1	31.8	32.5	33.2	33.9	34.6	35.3	36.0	36.7	37.4	38.1	38.8	39.5	40.2	40.9	41.6	42.3	43.0	43.7	44.4	45.1	45.8	46.5	47.2	47.9	48.6	49.3	50.0	50.7	51.4					
42.0	15.6	17.1	18.5	19.7	21.0	22.1	23.1	24.0	25.0	25.9	26.7	27.5	28.2	28.9	29.6	30.3	31.0	31.7	32.4	33.1	33.8	34.5	35.2	35.9	36.6	37.3	38.0	38.7	39.4	40.1	40.8	41.5	42.2	42.9	43.6	44.3	45.0	45.7	46.4	47.1	47.8	48.5	49.2	49.9	50.6	51.3	52.0					
44.0	15.9	17.5	18.9	20.2	21.5	22.6	23.5	24.4	25.3	26.2	27.0	27.7	28.4	29.1	29.8	30.5	31.2	31.9	32.6	33.3	34.0	34.7	35.4	36.1	36.8	37.5	38.2	38.9	39.6	40.3	41.0	41.7	42.4	43.1	43.8	44.5	45.2	45.9	46.6	47.3	48.0	48.7	49.4	50.1	50.8	51.5	52.2					
46.0	16.2	17.8	19.3	20.6	21.9	23.0	24.0	25.0	26.0	26.9	27.7	28.4	29.1	29.8	30.5	31.2	31.9	32.6	33.3	34.0	34.7	35.4	36.1	36.8	37.5	38.2	38.9	39.6	40.3	41.0	41.7	42.4	43.1	43.8	44.5	45.2	45.9	46.6	47.3	48.0	48.7	49.4	50.1	50.8	51.5	52.2	52.9					
48.0	16.5	18.1	19.6	21.0	22.3	23.4	24.4	25.4	26.4	27.3	28.1	28.8	29.5	30.2	30.9	31.6	32.3	33.0	33.7	34.4	35.1	35.8	36.5	37.2	37.9	38.6	39.3	40.0	40.7	41.4	42.1	42.8	43.5	44.2	44.9	45.6	46.3	47.0	47.7	48.4	49.1	49.8	50.5	51.2	51.9	52.6	53.3					
50.0	16.8	18.4	19.9	21.3	22.6	23.7	24.7	25.7	26.7	27.6	28.4	29.1	29.8	30.5	31.2	31.9	32.6	33.3	34.0	34.7	35.4	36.1	36.8	37.5	38.2	38.9	39.6	40.3	41.0	41.7	42.4	43.1	43.8	44.5	45.2	45.9	46.6	47.3	48.0	48.7	49.4	50.1	50.8	51.5	52.2	52.9	53.6					
54.0	17.3	19.0	20.6	22.0	23.3	24.4	25.4	26.4	27.3	28.1	28.8	29.5	30.2	30.9	31.6	32.3	33.0	33.7	34.4	35.1	35.8	36.5	37.2	37.9	38.6	39.3	40.0	40.7	41.4	42.1	42.8	43.5	44.2	44.9	45.6	46.3	47.0	47.7	48.4	49.1	49.8	50.5	51.2	51.9	52.6	53.3	54.0					
58.0	17.8	19.5	21.2	22.6	23.9	25.0	26.0	26.9	27.8	28.5	29.2	29.9	30.6	31.3	32.0	32.7	33.4	34.1	34.8	35.5	36.2	36.9	37.6	38.3	39.0	39.7	40.4	41.1	41.8	42.5	43.2	43.9	44.6	45.3	46.0	46.7	47.4	48.1	48.8	49.5	50.2	50.9	51.6	52.3	53.0	53.7	54.4					
62.0	18.3	20.1	21.7	23.1	24.4	25.5	26.5	27.4	28.2	28.9	29.6	30.3	31.0	31.7	32.4	33.1	33.8	34.5	35.2	35.9	36.6	37.3	38.0	38.7	39.4	40.1	40.8	41.5	42.2	42.9	43.6	44.3	45.0	45.7	46.4	47.1	47.8	48.5	49.2	49.9	50.6	51.3	52.0	52.7	53.4	54.1	54.8					
66.0	18.8	20.6	22.2	23.6	24.9	26.0	27.0	27.8	28.5	29.2	29.9	30.6	31.3	32.0	32.7	33.4	34.1	34.8	35.5	36.2	36.9	37.6	38.3	39.0	39.7	40.4	41.1	41.8	42.5	43.2	43.9	44.6	45.3	46.0	46.7	47.4	48.1	48.8	49.5	50.2	50.9	51.6	52.3	53.0	53.7	54.4	55.1					
70.0	19.2	21.1	22.8	24.2	25.5	26.6	27.5	28.3	29.0	29.7	30.4	31.1	31.8	32.5	33.2	33.9	34.6	35.3	36.0	36.7	37.4	38.1	38.8	39.5	40.2	40.9	41.6	42.3	43.0	43.7	44.4	45.1	45.8	46.5	47.2	47.9	48.6	49.3	50.0	50.7	51.4	52.1	52.8	53.5	54.2	54.9	55.6					
74.0	19.6	21.6	23.3	24.7	26.0	27.1	28.0	28.7	29.4	30.1	30.8	31.5	32.2	32.9	33.6	34.3	35.0	35.7	36.4	37.1	37.8	38.5	39.2	39.9	40.6	41.3	42.0	42.7	43.4	44.1	44.8	45.5	46.2	46.9	47.6	48.3	49.0	49.7														

3. 곡관의 압력손실

곡관의 압력손실은 덕트의 크기, 모양, 속도, 관경과 곡률반경의 비(R/D), 그리고 곡관에 연결된 송풍관의 상태에 따라 달라지며, 원형곡관과 장방형곡관으로 나눌 수 있다.

1) 원형곡관의 압력손실

원형곡관의 압력손실은 곡관의 반경비에 따른 압력손실계수를 <표2-5>에서 구하여, 여기에 속도압을 곱하여 압력손실을 구하거나, 곡관에 대한 상당길이(equivalent length)를 구하여 원형직관의 압력손실로 구한다.

① 곡관의 반경비와 압력손실계수에 의한 압력손실 계산

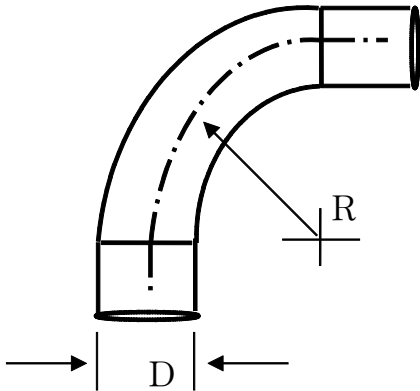
압력손실 ΔP와 압력손실계수ζ는 다음과 같은 관계가 있다. 곡관각 θ가

90°가 아니고 45°, 60°등일 때에는 90°곡관의 압력손실 ΔP에 $\frac{\theta}{90}$ 를 곱하면 구할 수 있다. 장방형 곡관의 압력손실 ΔP는 <표2-6>에 의하여 구해진다.

$$\zeta = \frac{\Delta P}{P_v} \qquad \therefore \Delta P = \zeta \times P_v$$

여기서, ζ=압력손실계수, P_v=속도압, ΔP=압력손실(mmH₂O)

<표2-5> 곡관의 반경비와 압력손실계수



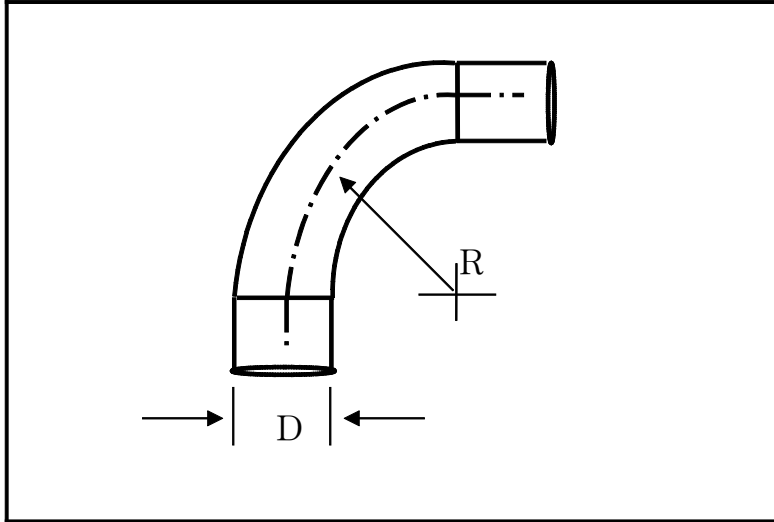
R/D	loss fraction of up
2.75	0.26
2.50	0.22
2.25	0.26
2.00	0.27
1.75	0.32
1.50	0.39
1.25	0.55

원형 elbows

② 상당 길이에 의한 압력손실

곡관에서 관경과 중심반경에 따른 상당길이(equivalent length)<표2-6>를 구하고, 이 길이에 대한 원형직관의 압력손실을 구하여 이 값을 원형곡관의 압력손실로 한다.

<표2-6>관경과 중심반경에 따른 상당길이(feet)



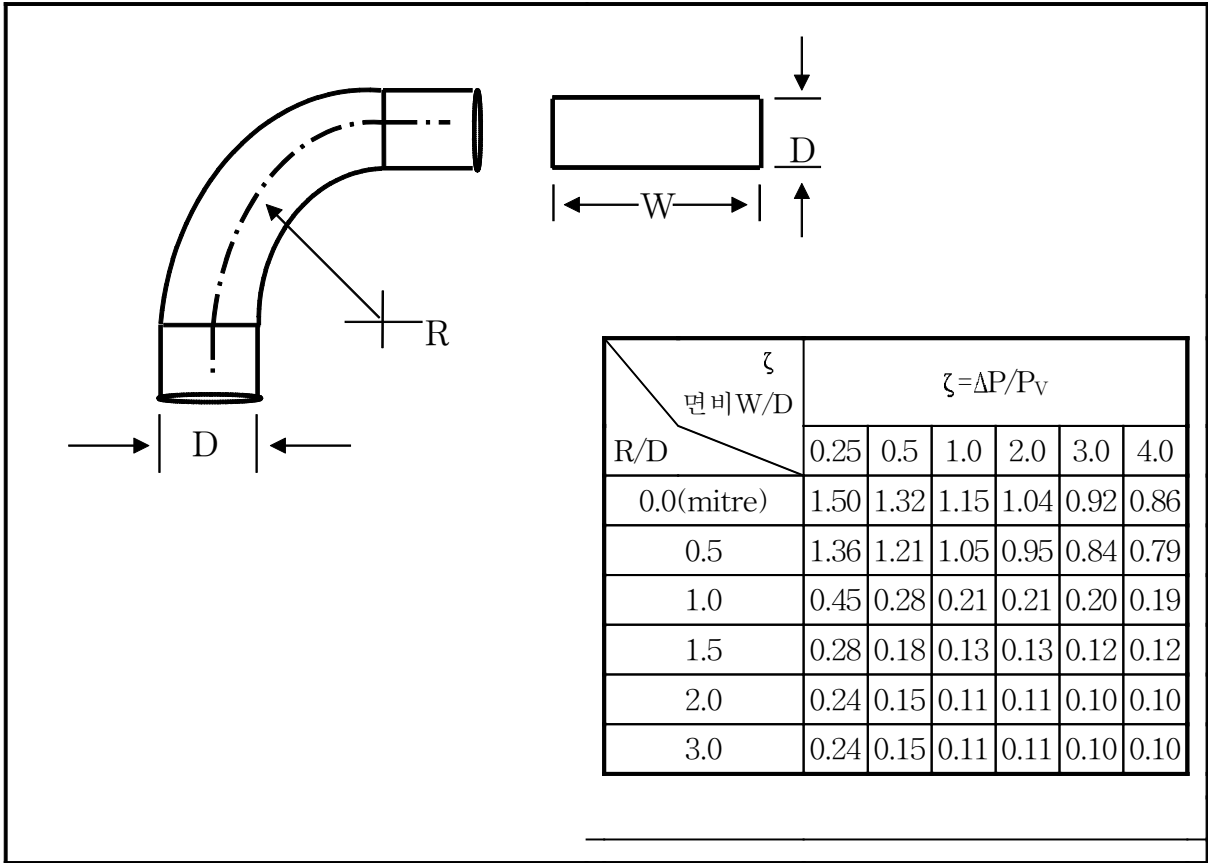
관경 D	90°elbow 중심반경(R)			60°elbow (90°elbow×0.67)			45°elbow (90°elbow×0.5)			30°elbow (90°elbow×0.33)		
	1.5D	2.0D	2.5D	1.5D	2.0D	2.5D	1.5D	2.0D	2.5D	1.5D	2.0D	2.5D
3"	5	3	3	3.35	2.0	2.0	2.5	1.5	1.5	1.67	1	1
4"	6	4	4	4	2.68	2.68	3	2	2	2	1.33	1.33
5"	9	6	5	6	4	3.33	4.5	3	2.5	3	2	1.67
6"	12	7	6	8	4.67	4	6	3.5	3	4	2.33	2
7"	13	9	7	8.67	6	4.67	6.5	4.5	3.5	4.33	3	2.33
8"	15	10	8	10	6.67	5.33	7.5	5	4	5	3.33	2.67
10"	20	14	11	13.33	9.33	7.33	10	7	5.5	6.67	4.67	3.67
12"	25	17	14	16.67	11.33	9.33	12.5	8.5	7	8.33	5.67	4.67
14"	30	21	17	20	14	11.33	15	10.5	8.5	10	7	5.67
16"	36	24	20	24	16	13.33	18	12	10	12	8	6.67
18"	41	28	23	27.33	18.67	15.33	20.5	14	11.5	13.67	9.33	7.67
20"	46	32	26	30.67	21.33	17.33	23	16	13	15.33	10.67	8.67
24"	57	40	32	38	26.67	21.33	28.5	20	16	19	13.33	10.67
30"	74	51	41	49.33	34	27.33	37	25.5	20.5	24.67	17	13.67
36"	93	64	52	62	42.67	34.67	46.5	32	26	31	21.33	17.33
40"	105	72	59	70	48	39.33	52.5	36	29.5	35	24	19.67
48"	130	89	73	86.67	59.33	48.67	65	44.5	36.5	43.33	29.67	24.33

3) 장방형 곡관의 압력손실

장방형 곡관의 압력손실은 면비(W/D)와 반경비(R/D)에 따른 압력손실계수를 <표2-7>에 의해 구하고 여기에 속도압을 곱하여 압력손실을 구한다.

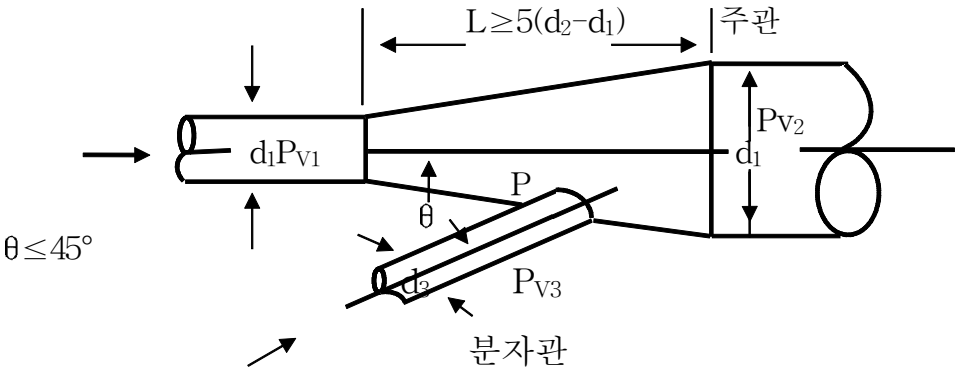
$$\Delta P = \zeta \times P_v$$

<표2-7> 장단면비와 반경비에 따른 압력손실 계수



4. 합류관의 압력손실

합류관에서 합류점 P부분의 압력손실은 다음표 <표2-8>에서 주관과 자관의 압력 손실계수를 구하고 ,이 계수에 속도압(P_v)를 곱하여 주관과 지관의 압력 손실(ΔP)를 구해 두 값을 합산한다.



[그림2-3] 합류관의 약도

<표2-8> 원형합류관의 압력손실계수

θ(각도)	지 덕 트	주 덕 트	θ(각도)	지 덕 트	주 덕 트
	$\zeta=\Delta P/P_{V2}$	$\zeta=\Delta P/P_{V1}$		$\zeta=\Delta P/P_{V2}$	$\zeta=\Delta P/P_{V1}$
10	0.06	0.2	40	0.25	0.2
15	0.09		45	0.28	
20	0.12		50	0.32	0.2
25	0.15		60	0.44	
30	0.18		90	1.00	0.7
35	0.21				

- 주관의 압력손실 : $\Delta P_1=\zeta\times P_{V1}$
- 지관의 압력손실 : $\Delta P_2=\zeta\times P_{V2}$
- 합류점의 압력손실 : $\Delta P=\Delta P_1+\Delta P_2$

5. 확대 · 축소관의 압력손실

1) 확대관의 압력손실

[그림2-4]와 같은 원형확대관의 압력손실(ΔP)과 정압회복량(PS_2-PS_1)은 다음 <표2-9>에 의하여 구한다.

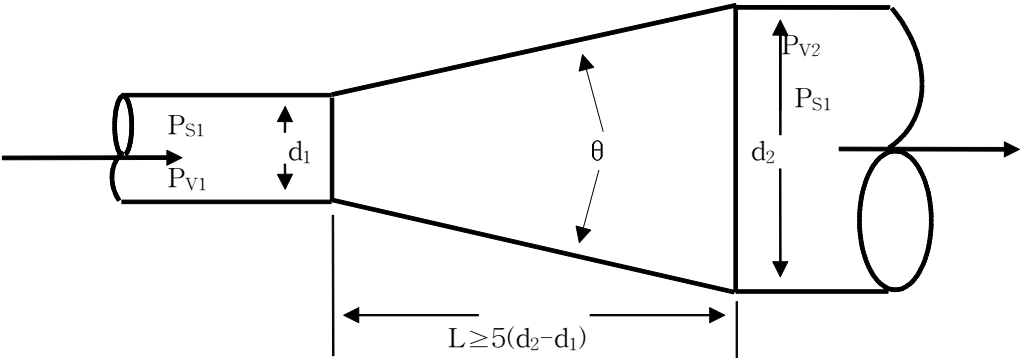
속도압차($P_{V1}-P_{V2}$)중의 일부는 압력손실이 되고 그 밖에는 정압회복량이 된다. 이를 수식화하면 다음과 같다.

$$P_{S1}-P_{S2} = (P_{V1}-P_{V2})-\zeta(P_{V1}-P_{V2}) \qquad \square \quad \zeta'=(1-\zeta)$$

$$\zeta' (P_{V1}-P_{V2})$$

여기서, P_{S2}=확대측의 정압(mmH₂O)

P_{S1}=유입부의 정압(mmH₂O)



[그림2-4] 원형확대관의 약도

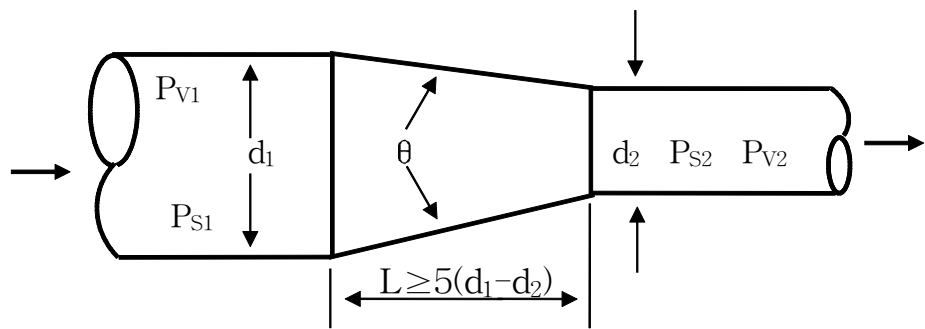
<표2-9> 원형확대관의 압력손실계수

각도(A°)	$\zeta = \frac{\Delta P}{P_{V1}-P_{V2}}$	$\zeta' = \frac{P_{S1}-P_{S2}}{P_{V1}-P_{V2}}$ (정압회복계수)
5	0.17	0.83
7	0.22	0.78
10	0.28	0.72
15	0.37	0.63
20	0.44	0.56
25	0.51	0.49
30	0.58	0.42
35	0.65	0.35
40	0.72	0.28
45	0.80	0.20
50	0.87	0.13
55	0.93	0.07
60이상	1.00	0.00

2) 축소관의 압력손실

[그림2-5]과 같은 원형축소관의 압력손실(ΔP)은 다음 <표2-10>에서 구한 압력 손실 계수에 속도압(P_V)를 곱하여 구한다.

$$\Delta P = \zeta (P_{V2} - P_{V1})$$
$$P_{S2} - P_{S1} = -(P_{V2} - P_{V1}) - \zeta (P_{V2} - P_{V1})$$



[그림2-5] 원형축소관의 약도

<표2-10> 원형축소관의 압력손실계수

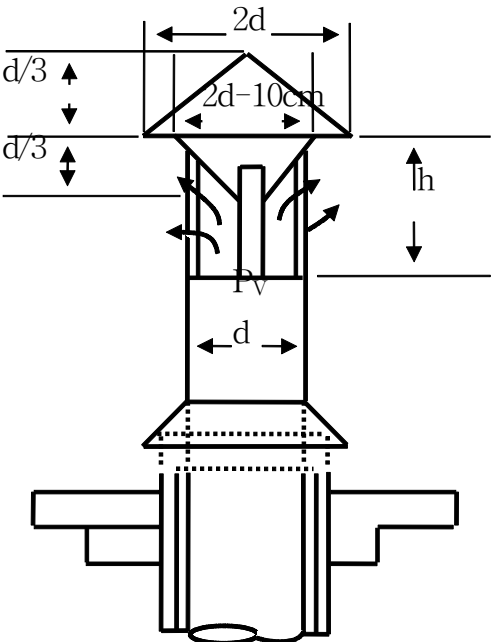
θ (도)	$\zeta = \Delta P / (P_{V2} - P_{V1})$
5	0.04
10	0.05
20	0.06
30	0.08
40	0.10
50	0.11
60	0.13
90	0.20
120	0.30

6. Weather cap의 압력손실

Weather cap이 붙은 원형배기구[그림2-6 참조]의 압력손실 ΔP 는 <표2-11>에서 구한다. <표2-11>의 ζ 에서 1을 뺀 것에 P_V 를 곱하여 얻은 값은 배출구에 있어서의 정압과 비슷하다.

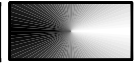
<표2-11> Weather cap의 $\frac{h}{d}$ 와 압력손실계수

h/d	$\zeta=\Delta P/P_V$
1.00	1.10
0.75	1.18
0.70	1.22
0.65	1.31
0.60	1.41
0.55	1.56
0.50	1.73
0.45	2.00



[그림2-6] Weather cap이 붙은 원형 배기구

제3장 대기오염방지시설의 설계



제3장 대기오염방지시설 설계

I. 원심력 집진시설

1. 방지시설 설계 및 검토인자

1) 형식 : multi cyclone 등

2) 규격 및 재질

- 규격
- 재질
- 수량
- unit cyclone
 - 규격
 - 재질
 - 수량
 - 유속
- unit cyclone 1ea당 처리용량 (q)
 - 외통의 규격 : 외경, 내경
 - 내통의 규격 : 외경, 내경
 - 유효단면적 (A) (m²)
 - 처리속도 (V) (m/sec)
 - q (m³/분) = $A \times V \times 60 \text{ sec/분}$
- unit cyclone 의 수량 (N)
 - $$N = \frac{Q}{q} = \frac{\text{처리가스량(m}^3\text{/분)}}{\text{unit cyclone 1ea당 처리용량(m}^3\text{/분)}}$$
 - unit cyclone 의 배열

- guide vane

- 재질
- 수량

3) 압력손실계산(ΔP)

$$\Delta P = \frac{30 \cdot A \sqrt{D}}{d^2 \sqrt{L+H}} = \frac{\gamma^a \cdot V^2}{2g}$$

A : unit cyclone 유효단면적

D : 외통의 내경

d : 내통의 외경

γ^a : 가스의 밀도

V : unit cyclone 가스유속

g : 중력가속도

4) 제거효율예측

$$\eta^t = \frac{1 - (1 - \frac{2\pi \times \rho \times V_x \times \delta_i^2}{9 \times \mu \times g \times D \times 10^{12}})^2}{1 - (\frac{d}{D})^2}$$

η : 먼지의 집진효율

ρ : 먼지밀도

V : 가스의 입구유속

δ_i : 먼지입자경

μ : 점성계수

D : unit cyclone 외경

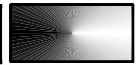
5) 총압력손실 계산

- 동압손실(ΔP)

$$Vp = \frac{\gamma V^2}{2g}$$

- 직관손실(p_1)

$$p_1 = \lambda \times \frac{1}{D} \times \frac{\gamma V^2}{2g}$$



- 곡관손실(Pc)

$$P_c = C \cdot V_p$$

- 총압력손실(Pt) = $V_p + p_1 + p_c + \Delta p + \text{여유율}$

6) fan

- 형식
- 용량(풍량)
- 풍압
- 동력

$$HP = \frac{Q \times Pt}{4500 \times \eta} \times \alpha$$

7) 부대시설

- 보온
- 측정대 및 측정공
- stack

2. 설계 및 검토시 참고사항

1) 원심력 집진시설의 종류별 특성

<표3-1> 원심력 집진시설의 종류별 특성

종 류	압력손실(mmH ₂ O)	내 열 온 도 (℃)
보통 싸이크론	25.4 ~ 76.2	370 ~ 540
고효율 싸이크론	76.2 ~ 152.4	370 ~ 540
멀티 싸이크론	76.2 ~ 152.4	370 ~ 540

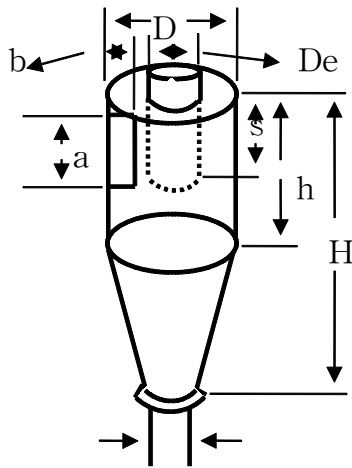
[참고문헌] Environmental engineer's handbook

2) cyclone 입구유속

cyclone 입구유속은 7~15 m/sec 또는 15~25 m/sec 등 여러 이론이 있으나 대체적으로 15 m/sec 안팎으로 결정하는 것이 가장 무난하다.

$$* \text{입구면적} = \text{처리풍량} / \text{입구유속}$$

3) cyclone 형태와 치수비



*단, 다른 형태의 치수로 설계하나
다음 사항은 준수할 것.

$$a \leq S$$

$$b \leq (D - De)/2$$

$$H \geq 3D$$

원추각 약 7~8도

$$De/D \text{ 약 } 0.4 \sim 0.5$$

$$H/De \text{ 약 } 8 \sim 10$$

$$S/De \text{ 약 } 1$$

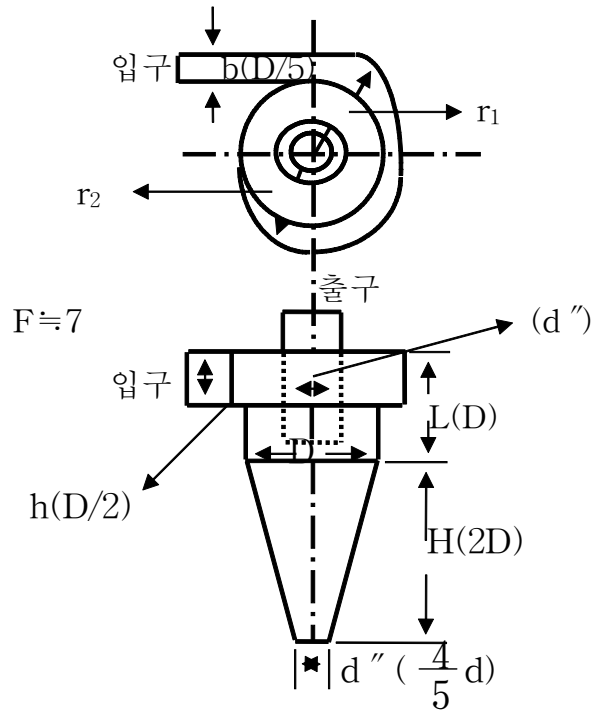
[그림3-1] cyclone 형태와 치수비

4) cyclone 설계치수비 (접선 유입식)

<표3-2> cyclone 설계치수비

용어	명칭	고효율		shepherd and lapple	일반용	
		stairmand	swift		swift	peterson
D	외통경	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
a	입구높이 Ka	0.5	0.44	0.5	0.5	0.583
b	입구폭 Kb	0.2	0.21	0.25	0.25	0.208
s	내통경삽입길이 Ks	0.5	0.5	0.625	0.6	0.583
De	내통경 kDe	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
h	원주길이 kh	1.5	1.4	2.0	1.75	1.333
H	총높이 kH	4.0	3.9	4.0	3.75	3.17
B	분진유출구경 kB	0.375	0.4	0.25	0.4	0.5

[참고문헌] 화학편람 991p



[그림3-2] cyclone설계치수비(선회권형)

5) multicyclone 의 설계

- 입구 단면적 : 외통 단면적 - (내통 단면적 + 가이드밴 단면적)
- 입구유속 : 15 m/sec 정도로 결정
- 단위unit의 처리풍량(m^3 /분/psc) : 입구유속(m/sec)×입구단면적(m^2)×60sec/분

$$\text{총unit수} : \frac{\text{총처리풍량 } m^3/\text{분}}{\text{unit처리풍량 } (m^3/\text{분}/psc)} = () \text{ 개}$$

제작 및 유지관리상 배열을 정하여 unit수를 약간씩 증감하여 결정

6) 입경별 cyclone의 집진효율

<표3-3> cyclone의 입경별 집진효율

평 균	0~5 μ	5~10 μ	10~20 μ	20~40 μ	>44 μ
일반싸이크론 65.3%	12%	33%	57%	82%	91%
고효율싸이크론 84.2%	40%	79%	92%	95%	97.5%

* B-C유 보일러에서 발생하는 먼지의 원심력집진시설에 대한 제거효율은 33.9%~66.6% 정도로 보고 되고 있다.

7) 송풍기의 선정

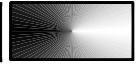
- 총압력손실 ΔPt 계산
duct, 집진기, 배출구, 풍동압 등
- 배출풍량 $Q \text{ m}^3/\text{분}$
- 송풍기 소요 축동력 산출

$$\text{축동력 HP} = \frac{Q_{\text{m}^3/\text{분}} \times \Delta Pt}{4,500 \times \eta} \times \text{여유율}(\alpha)$$

8) 송풍기의 형식에 대한 효율 및 여유율

<표3-4> 송풍기의 효율

송 풍 기 형 식	송풍기 효율(η)	여 유 율 (α)
다 익 형	0.40~0.77	1.15~1.25
터 보 형	0.65~0.80	1.10~1.50
평 판 형	0.60~0.77	1.15~1.25



II. 여과집진시설

1. 방지시설 설계 및 검토인자

1) 인입가스의 특성

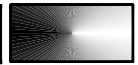
- 배출시설명
- 오염물질의 종류 (가스량, 온도포함)
- 오염물질 농도

2) 방지시설 설계근거

- 제작사양
 - 형식 : air pulse type 등
 - 규격 및 재질
 - 본체 외형규격, 재질
 - 여과포의 규격, 수량, 재질
- 설계조건
 - 용량 : m³/분
 - 온도
 - 오염물질의 종류
 - 요구처리 효율
- 본체의 설계계산 및 사양
 - 배출가스량(Q) : m³/분
 - 기준여과속도(Vf) : m/분
 - 필요여과면적(A) : $A = Q/V_f$
 - 단위bag규격 및 면적(a)
 - 단위bag수량(n) : $n = A/a$
- 제거효율의 예측
 - 입구농도(Ci)
 - 출구농도(Co)
 - 집진효율(η) = $\frac{C_i - C_o}{C_i} \times 100$ (%)

- 포집먼지량 예측
 - 포집먼지량 $P = Q (C_i - C_o)$
- 최종예상 배출농도
 - 오염물질량, 종류
 - 인입농도
 - 방지효율
 - 배출농도
- 압력손실의 계산
 - 여과집진시설의 압력손실 (P_B)
 - 동압손실 (V_p)
 - hood 유입손실 (H_i)
 - 직관압력손실 (P_l)
 - 곡관압력손실 (P_c)
 - 총압력손실 (ΔP_t) = $P_B + V_p + H_i + P_l + P_c + \text{여유압력손실 (mmAq)}$
- 송풍기 선정
 - 형식 : turbo fan 등
 - 처리풍량(Q) : $\text{m}^3/\text{분}$
 - 총압력손실(ΔP_t)
 - 송풍기효율(η) : 65% ~ 70%
 - 여유율(α) : 20%
 - 동력(HP)
$$\text{HP} = \frac{Q \times \Delta P_t}{6,120 \times \eta} \times \alpha \times 1.3 (\text{HP/Kw})$$

$$\text{HP} = \frac{Q \times \Delta P_t}{4500 \times \eta} \times \alpha$$
 - 재질 : SS41 등
 - 수량 : set
- 부대시설 설계사양 (규격, 수량)
 - manometer
 - rotary valve
 - testing hole
 - fan



2. 설계 및 검토시 참고사항

1) 처리능력

여과속도에 따라 다소 차이가 있으며, 보통 95%이상의 집진효율을 갖는다.

0.3 μ m이상의 먼지는 99.7%의 처리효율을 갖는다.

2) 여과속도 : 먼지의 입경 및 탈진방법에 따라 여과속도가 결정되며 다음과 같다.

- 진동탈진(쉐이킹)방법 : 1~3cm/sec (0.6~1.8m/분)
- 역기류탈진 : 0.5~1.5cm/sec (0.3~0.9m/분)
- 충격제트식(air jet) : 2.5~7.5cm/sec (1.5~4.5m/분)

3) 여포의 규격 및 수량, 재질선정

- 여포의 규격 : 보통길이는 1.5m~10m, 직경은 15cm~45cm가 많이 사용된다.
- 수량 : 총여과면적(풍량÷여과속도)을 구하여 단위여과포의 면적으로 나누어 결정
- 재질 : 배기가스의 온도 및 가스의 성상(산, 알칼리 및 점도, 정전특성, 부식성가스)에 따라 여포의 종류를 결정한다.

4) 압력손실

$$\Delta P = \Delta P_f + \Delta P_d = \text{무부하압손} + \text{부하압손} \cdots \cdots \text{mmH}_2\text{O}$$

$$\Delta P_f : \quad \zeta_o \frac{\mu \cdot U_s}{g_c} (\text{kg}_f/\text{m}^2) \cdots \cdots \text{mmH}_2\text{O}$$

$$\Delta P_f : \text{무부하 압손(mmAq)}$$

$$\zeta_o = \text{여과천에서의 저항} \left(\frac{1}{m} \right)$$

이것은 장섬유질 여과천의 조직에 따라 다음과 같다.

테릴렌사 $\zeta_o = 1.29 \times 10^7 \cdots \cdots$ 평직 단섬유

테릴렌사 $\zeta_o = 4.26 \times 10^7 \cdots \cdots$ 이중주자직 단섬유

비닐로사 $\zeta_o = 8.05 \times 10^6 \cdots \cdots$ 평직 단섬유

양모사 $\zeta_o = 2.12 \times 10^7 \cdots \cdots$ 평직 단섬유

엑스란사 $\zeta_o = 8.78 \times 10^7 \cdots \cdots$ 주자 평직 단섬유

엑스란사 $\zeta_o = 9.3 \times 10^7 \cdots \cdots$ 평직 단섬유

μ : gas의 점도($\text{kg}_m/\text{m} \cdot \text{sec}$)

U_s : 여과속도(m/sec)

g_c : 중력 환산 계수($\text{kg}_m \cdot \text{m}/\text{kg}_f \cdot \text{sec}^2$)

여기에서 μ 의 값 점도는 점성계수 \times 중력 환산계수를 인용한다.

[예] 표준공기의 경우 $1.758 \times 10^{-6} \times 9.8 = 1.72284 \times 10^{-5}$

이때의 단위는 ($\text{kg}_m/\text{m} \cdot \text{sec}$)

$$\Delta P_d = a \cdot (G_d/A) \cdot \frac{\mu \cdot U_s}{g_c} \dots\dots\dots (\text{mmH}_2\text{O})$$

a : 퇴적 dust층의 비저항(m/kg_m)

$(G_d/A) = m$

m : 퇴적 dust부하(kg_m/m^2)로서 $0.1(\text{kg}_m/\text{m}^2) \sim 1.0(\text{kg}_m/\text{m}^2)$ 범위에 있다.

$$a = \frac{180 \cdot (1 - \zeta_P)}{D_{PS}^2 \cdot \rho_P \cdot \zeta_P^3} \dots\dots\dots (\text{m}/\text{kg}_m)$$

ζ_P : 장 섬유유 의 경우(직포) 65%~80%

단 섬유유 의 경우(부직포) 80%~93%

D_{PS} : micron을 m단위로 환산

$n \cdot \text{micron} \times 10^{-6} \dots\dots\dots (\text{m})$

ρ_P : dust겉보기 비중(apparent specific gravity) $\dots\dots\dots (\text{kg}_m/\text{m}^3)$

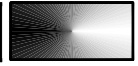
$$\Delta P = \Delta P_f + \Delta P_d \dots\dots\dots (\text{kg}_f/\text{m}^2) \dots\dots\dots \text{mmH}_2\text{O}$$

$$\Delta P_f \text{단위} : \frac{\frac{1}{m} \cdot \frac{\text{kg}_m}{m \cdot \text{sec}} \cdot \frac{m}{\text{sec}}}{\frac{\text{kg}_m \cdot m}{\text{kg}_f \cdot \text{sec}^2}} = \frac{\text{kg}_f}{\text{m}^2} \dots\dots\dots \text{mmAq} \dots\dots\dots \text{mmH}_2\text{O}$$

ΔP_d 단위 :

$$\frac{\frac{m}{\text{kg}_m} \cdot \frac{\text{kg}_m}{\text{m}^2} \cdot \frac{\text{kg}_m}{m \cdot \text{sec}} \cdot \frac{m}{\text{sec}}}{\frac{\text{kg}_m \cdot m}{\text{kg}_f \cdot \text{sec}^2}} = \frac{\text{kg}_f}{\text{m}^2} \dots\dots\dots \text{mmAq} \dots\dots\dots \text{mmH}_2\text{O}$$

$$\zeta_o \text{단위} : \frac{1}{m} \qquad a \text{단위} : \frac{m}{\text{kg}_m}$$



[계산예]

$$\zeta_o = 21,200,000(1/m)$$

$$U_s = 2.7/60 = 0.045(m/sec)$$

$$\mu = 1.86 \times 10^{-6} \times 9.8 = 1.8228 \times 10^{-5}(kg_m/m \cdot sec)$$

$$g_c = 9.8 kg_m \cdot m/kg_f \cdot sec^2$$

$$\alpha = \frac{180 \times (1 - 0.8)}{0.0000058^2 \times 1,600 \times 0.8^3} = 1,306,341,037 = 1.306341037 \times 10^9$$

즉 α 는 $10^9 \sim 10^{12}$ 범위에 있다고 한다.

$$D_{PS} : 5.8 \text{ micron}$$

$$\rho_p : 1,600 kg/m^3$$

$$\zeta_P : 0.8$$

$$\Delta P_f = 21,200,000 \times \frac{1.82 \times 10^{-5} \times 0.045}{9.8} = 1.771714286(mmAq)$$

$$\Delta P_d = \frac{1,306,341,037 \times 1 \times 1.82 \times 10^{-5} \times 0.045}{9.8} = 109.1727867(mmAq)$$

$$\Delta P = 1.772 + 109.173 = 110.945(mmAq)$$

결론 ΔP_f : 무부하 압손은 경미한 것이며 ΔP_d : 부하압손은 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

- 1) 경험에 따르면 무부하 압손이 1이상이면 여과속도가 과함을 인지할 수 있었다. 위 계산예에서 여과속도를 0.025m/sec로 변경하면 $\Delta P_f \approx 0.948(mmAq)$ 임을 알 수 있다.

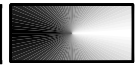
- 2) 부하압손이 계산상으로 100mmAq 이상이 되면 역시 사용시간이 단기에 이르고, 즉 수명이 1년 이상 될 수 없었다. 위 계산 예에서 여과속도가 낮아지면 여과면적 이 커지므로 먼지부하 m의 값이 떨어지며 부하압손이 낮아진다. 따라서 $m = 0.45 (kg_m/m^3)$ 때의 부하 압손은?

$$\Delta P_d = 130,634,037 \times 0.45 \times 1.82 \times 10^{-5} \times 0.025 / 9.8 \approx 2.73(mmAq) \text{로 나타난다.}$$

끝으로 분석적 설명을 가하면 분진부하 $1(kg_m/m^3)$ 를 $0.45(kg_m/m^3)$ 으로 하고, 여과 속도 역시 0.045m/sec를 0.025m/sec로 변경하면 ΔP_d 는 10mmAq 이하가 되며 사용 시간이 길게되는 것을 알 수 있었다.

(2년 이상 사용가)

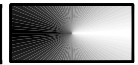
- ζ_O : 여과포에 공기만 통과시킬 때 저항계수 (-)
 μ : 공기 점성계수 ($\text{kg} \cdot \text{S}/\text{m}^2$)
 U_S : 여과속도(U 도 이에 준한다.) (m/sec)
 g_C : 중력환산 계수 ($\text{kg} \cdot \text{m}/\text{kg} \cdot \text{sec}^2$)
 \bar{a} : 누적먼지의 비저항(평균) (m/kg)
 ε_P : 여과포에 먼지가 부착했을 때의 걸보기 공간율(%) : 0.6

〈표3-5〉 먼지의 겉보기 비중(ρ_p)

명 칭(물질명)		겉보기비중(g/cc)			화학식	용도
영 문 명	국 문 명	자연스러운 상 태	다져진 상 태	유동 상태		
acrawaxc	합성로우	0.40	0.60	0.47	아구라왁스C (상품명)	페인트, 에나멜, 왁스, 전체제
acrawaxc atamised	합성로우(분쇄품)	0.24	0.34	0.28	아구라왁스C (상품명)	
alumina, powder	분말산화알루미늄	0.29	0.40	0.32	Al_2O_3	연마제, 감과, 내화관, 인조보석, 제도
alumina ore	분말산화알루미늄 원광	0.95	1.07	0.97	Al_2O_3 +불순물	
aluminum	알루미늄	0.99	1.20	1.03	Al	안료, 도료, 인쇄잉크, 테르밋용접, 칼라, 각 종색
aluminum flake	알루미늄 후렉크	0.42	0.55	0.45	Al	
aluminum sulfate groul	황산알루미늄분쇄품	0.97	1.23	1.03	Al_2SO_4	피를 다루는 지호, 정 수, 방수, 방화포
aluminum chloride, anhy	염화알루미늄무수	0.92	1.29	1.02	$AlCl_3$	촉매, 방부제, 양모당 제, 야금
ammonium chloride	염화암모늄	0.74	0.92	0.76	NH_4Cl (붕사)	건전지, 도금, 날염, 양츠, 비료, 의약
ammonium nitrate prilled	질산암모늄(소결품)	0.76	0.89	0.78	NH_4NO_3	화약, 비료, 살충제, 산화질소흡수제, 아연 화질소제조용 한제성 분, 불꽃, 폭약, 산화 제, 금속식각제
ammonium nitrate granalet	질산암모늄(조립품)	1.00	1.10	1.02	NH_4NO_3	
ammonium nitrate	질산암모늄	1.00	1.16	1.02	NH_4NO_3	
ammonium perchlorate	과염소산암모늄	0.79	1.05	0.86	NH_4ClO_4	
amm, phosphate, mono	인산이수소산암모늄(일염기성)	0.89	1.02	0.91	$(NH_4)H_2PO_4$	방화제, 성냥여진방지 제, 의약발효촉진
amm, phosphate, monodamp	인산이수소암모늄(습한것)	0.91	1.13	0.94	$(NH_4)H_2PO_4$	
amm, phosphate, di	인산수소이암모늄	0.89	1.02	0.90	$(NH_4)_2HPO_4$	의약, 불연화제, 여진 방지발효촉진, 용접
amm, phosphate, di	인산수소이암모늄	0.52	0.83	0.63	$(NH_2)_2HPO_4$	용제, 읍셋인쇄
ammonium sulfate	황산암모늄	0.95	1.10	0.97	$(NH_2)_2SO_4$ (유안)	비료, 암모니아수, 전 지충전인건제조, 아연 인철관, 납접부액방화 제, 양초심지운연제
ammonium sulfate	황산암모늄	0.92	1.15	0.98	$(NH_2)_2SO_4$ (유안)	
ammonium sulfate	황산암모늄	0.66	0.67	0.73	$(NH_2)_2SO_4$ (유안)	
arsenis	비소	1.78	2.10	1.83	As	의약, 야금, 연크라스의 경화제

<표3-5 계속>

명 칭 (물질명)		겉보기비중 (g/cc)			화학식	용도
영 문 명	국 문 명	자연스러운 상 태	다져진 상 태	유동 상태		
asbestos, short fiber	석면(단섬유)	0.28	0.45	0.34	Ca-Mg규산염	내화제, 스텐트, 절연제, 화학용여과판, 도료진제, 시멘트관진제
asbestos, long fiber	석면(장섬유)	0.15	0.24	0.18	Ca-Mg규산염	
asphalt, pellets	아스팔트(립)	0.57	0.68	0.38	천연탄화수소	도로포장, 루핑, 방수제
asphalt, powdered	아스팔트(분)	0.75	0.94	0.79	천연탄화수소	
barium carbonate	탄산바-륨	0.65	1.24	0.94	BaCO ₃	살균제, 광학유리, 벽용페인트, 정수용 주물용중자, 요업, 고무공업
barium carbonate	탄산바-륨	1.05	1.83	1.37	BaCO ₃	
barium stearate	스테아린산바륨	1.26	0.18	0.14	Ba(C ₁₈ H ₃₅ O ₂) ₂	방수제, 염비안정제, 윤활유, 축수진료
barytes ore ground	중정석(조쇄품)	2.18	2.54	2.23	BaSO ₄ (원광)	안료, 판지, 벽지, 고무제품, 르노로무, 인조상아, 유포충진제, 축전지, 용제
barytes ore powder	중정석(분말)	1.29	2.04	1.57	BaSO ₄ (원광)	
barytes ore crude	중정석(원광)	2.54	2.97	2.60	BaSO ₄ (원광)	고무, 프라스틱충진제, 시멘트공업, 안료, 내화물, 연마제(금강석, 샌드페파)
bauxite	보크사이트	1.07	1.45	1.16	Al ₂ O ₃ ·2H ₂ O+불순물	
borax	붕사	0.92	1.04	0.94	Na ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O	제조제, 토상소독제
calcite	방해석(카루사이트)	0.66	1.89	1.53	CaCO ₃ (원광)	페인트안료, 고무충진제, 도자기, 용제, 프라스틱충진제, 치마분, 의약(제산), 비료(산성토상중화용)
calcium carbonate	탄산칼슘	1.41	1.21	0.94	CaCO ₃ (원광)	
calcium carbonate	탄산칼슘	0.78	1.02	0.79	CaCO ₃ (원광)	
calcium carbonate	탄산칼슘	0.65	0.49	0.27	CaCO ₃ (원광)	
calcium chloride anhy	염화칼슘(무수)	0.29	1.00	0.89	CaCl ₂	냉동기의 부라인, 땀은것 대응, 노면방진, 의약, 콘크리트빙결방지, 건조, 석탄염(제조)
calcium chloride anhy	염화칼슘(무수)	0.84	1.02	0.87	CaCl ₂	
calcium hydroxide	수산화칼슘	0.49	0.70	0.55	Ca(OH) ₂ (석탄)	칠음, 시멘트, 도료, 가성소다, 의약, 양초, 소독제, 경질고무, 토상알카리화
calcium hdroxide	수산화칼슘	0.32	0.49	0.37	Ca(OH) ₂ (석탄)	
calcium oxide peddle	염화칼슘	1.08	1.23	1.10	CaO	석제, 소석회제조, 청정제, 의약
calcium phosphate mono	인산이수소칼슘	0.73	0.83	0.74	CaH ₄ (PO ₄) ₂ H ₂ O	페킹구파이다, 비료, 무기영양제
calcium phosphate mono	인산이수소칼슘	0.97	1.39	1.10	CaH ₄ (PO ₄) ₂ H ₂ O	
calcium phosphate di	인산수소칼슘	0.99	1.13	1.00	CaHPO ₄ ·2H ₂ O	의약, 치료용약품, 페킹, 파우더, 카라스제조, 비료, 무기영양제
calcium phosphate di	인산수소칼슘	1.23	1.60	1.32	CaHPO ₄ ·2H ₂ O	

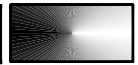


<표3-5 계속>

명 칭 (물질명)		겉보기비중 (g/cc)			화학식	용도
영 문 명	국 문 명	자연스러운 상 태	다져진 상 태	유동 상태		
calcium phoshphate fri	인산삼칼슘	0.31	0.42	0.34	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	요업, 마분, 가축사료영양제, 고무
carbon black	카본브레크	0.20	0.28	0.24	C^+	고무보강제, 인쇄잉크, 도안료연필, 카본지, 레코드판, 전선, 건전지
carbon black	카본브레크	0.36	0.44	0.37	C^+	
carbon black	카본브레크	0.065	0.078	0.068	C^+	
cellulose	섬유소	0.073	0.12	0.091	$(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$	투명시트, 열가소성, 인조혁대용세루로이드, 명반, 의약, 군청의 제조
cellulose acetate, flake	초산섬유소	0.34	0.42	0.36	$\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})(\text{OAC})_2$	
Cellulose acetate, flake	초산섬유소	0.074	0.13	0.097	$\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})(\text{OAC})_2$	
cellulose acetate powder	초산섬유소(분말)	0.37	0.44	0.39	$\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})(\text{OAC})_2$	도자기, 세멘트, 고무, 제지충진제 미분탄연료, 카바이트, 전극
cellulose acetate pellets	초산섬유소(펠렛)	0.70	0.83	0.73	$\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})(\text{OAC})_2$	
clay kaolin	크레이 (카오린)	0.42	0.62	0.49	$\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_3(\text{OH})_4$	
coal, anthracite	무연탄	0.76	0.92	0.65	$\text{C}+\text{HC}$ etc	연탄제조, gas발생, 야금
coal, bitumin dus	역청탄	0.79	1.00	0.83	$\text{C}+\text{HC}$ etc	
coal, powdered	역청탄(분말)	0.47	0.63	0.50	$\text{C}+\text{HC}$ etc	
capper sulfate	황산동	1.10	1.34	1.15	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	피혁, 살충, 안료, 전지, 동도금
diphenyl guantidine	지회닐 구아니팅	0.31	0.44	0.34	$\text{NHC}(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH})_2$	고무유화촉진제
fiber glass rouring	그라스화이버(조제품)	0.089	0.22	0.14		열절연제, 전기절연제
flour wheat	소맥분	0.55	0.74	0.62	전분+구르덴	식용, 전분호
fluorspat	형석	1.53	1.99	1.63	CaF_2 원광	안치문, 연, Al, 금, 은제련용, 불화수소,
glass butch	그라스	1.53	1.86	1.58	카라스와 화학약품의 (혼합품)	도자기, 인조수정석, 절연충진, 도료
glass flake	그라스(프레이크)	0.016	0.044	0.032	카라스화이버	
gypsum	석고	0.84	1.18	0.94	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	세멘트지경제, 농업용
gypsum	석고	0.63	1.12	0.83	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	
iron	철	3.72	4.28	3.79	Fe	안료
iron, powder	철(분말)	2.96	3.60	3.07	Fe	
iron, oxide black	산화철(흑)	2.59	3.46	2.81	Fe_3O_4	
iron, oxide black	산화철(흑)	0.44	0.73	0.55	Fe_3O_4	연마재, 고무, 세멘트, 와의 착색, 충탄
iron, oxide red	산화제이철(적)	0.94	1.45	1.11	Fe_2O_3 뽕가라	
lead shat	연(산탄)	6.72	7.38	6.80	Pb	

<표3-5 계속>

명 칭 (물질명)		겉보기비중 (g/cc)			화학식	용도
영 문 명	국 문 명	자연스러운 상 태	다져진 상 태	유동 상태		
limestone ground	석회석(조쇄품)	1.42	2.01	1.58	CaCO ₃ 원광	탄산칼슘과 동일 청량음료수, 내화성 페 인트, 중화비
limestone ground	석회석(조쇄품)	1.45	1.84	1.53	CaCO ₃ 원광	
limestone powdered	석회석(분말)	0.89	1.31	1.02	CaCO ₃ 원광	
magnesium carbonate	탄산마그네슘	0.092	0.18	0.14	MgCO ₃	절연제, 고무안료, 고급 그라스
magnesium hydroxide	수산화마그네슘	0.49	0.73	0.57	Mg(OH) ₂	사당정제, 의약, 치마분
magnesium oxide	산화마그네슘	0.12	0.19	0.15	MgO	의약, 열절연제, 파이프 피복, 내화물, 고무, 제 지, 그라스, 야금
magnesium oxide	산화마그네슘	0.71	1.13	0.87	MgO	
malt ground	맥아(분쇄품)	0.39	0.49	0.40	대맥	식품, 점성증가, 건전지 , 전극, 페인트
manganese dioxide	이산화망간	1.10	1.79	1.37	MnO ₂	산화제, 불꽃, 성냥, 야 금, 의약
MBT	MBT	0.37	0.50	0.40	C ₇ H ₅ NS ₂	천연 및 합성고무의 가류촉진제, 레오포렌 의 가류지간제
MBTS	MBTS	0.21	0.37	0.28	(C ₆ H ₄ NSCS) ₂	
mica ore	운모(원광)	0.44	0.68	0.53	KAl ete, 규산염	전기절연, 내열제
mica pufverized	운모(분쇄품)	0.58	0.81	0.65	KAl ete, 규산염	
mica, flake	운모(프레이크)	0.097	0.24	0.19	KAl ete, 규산염	
mylar film	폴리에틸렌테레후라쉬프 레진필름	0.013	0.036	0.028	MYLAR(상품명)	다크로테리렌, 마이 라
mylar chips	칩프	0.60	0.74	0.61	MYLAR(상품명)	
phenolic resin	후에노수지	0.34	0.49	0.39	후에노루후오트무알 테히드	
phosphate rock ground	후에스후에도르크(분쇄품)	1.03	1.58	1.21	Ca ₃ (PO ₄)+SiO ₂ 등	인산비료, 인산 및 인의 제조원료
phosphate rock lump	후에스후에도르크(고질)	1.16	1.48	1.21	Ca ₃ (PO ₄)+SiO ₂ 등	
pitch	핏치	0.57	0.95	0.71	역청질	아스팔트
pitch	핏치	0.29	0.45	0.34	역청질	
plaster of paris	소석고	0.65	1.13	0.84	CaSO ₄ , 1/2H ₂ O	벽용, 병, 세멘트, 도자 기, 야금, 페인트, 진료, 제지, 연마
plaster of paris	소석고	0.63	1.07	0.82	CaSO ₄ , 1/2H ₂ O	
polyethylene pellets	폴리에틸렌 펠렛트	0.53	0.60	0.55	[-CH ₂ · CH ₂ -] _n	합성수지, 성형, 코팅용
polyethylene granules	폴리에틸렌 입자	0.53	0.65	0.55	[-CH(C ₆ H ₅)CH ₂ -] _n	

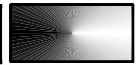


<표3-5 계속>

명 칭 (물질명)		겉보기비중 (g/cc)			화학식	용도
영 문 명	국 문 명	자연스러운 상 태	다져진 상 태	유동 상태		
polyvinyl chloride	포리비닐, 크로라이드	0.24	0.43	0.31	$[-CH_2CHCl-]_nPVC$	
polyvinyl chloride	포리비닐, 크로라이드	0.57	0.76	0.61	$[-CH_2CHCl-]_nPVC$	
portland cement	포트랜드 세멘트	1.00	1.60	1.23	$CaOSiO_2-Al_2O_3Fe_2O_3$	
potassium carb hyde	탄산카륨	1.18	1.39	1.21	$K_2CO_3 \cdot 1/2H_2O$	분석용시약, 고급그라스, 식품, 비료, 카리염류의 제조, 열처리제인공천염
potassium chloride	염화카륨	1.08	1.37	1.15	KCl 불순	
potassium chloride	염화카륨	0.99	1.21	1.03	KCl 공업용	
potassium permanganate	과망간산 카륨	1.39	1.60	1.42	$KMnO_4$	소독, 탈취살균, 산화, 방부, 표백
pyrites	황철광	2.24	2.87	2.39	FeS_2	아류산gas의 제조 (유산제조, 제지), 유황제련, 금·은·동의 회수, 제철원료
pyrites canadion	황철광 (캐나다인)	2.06	2.58	2.12	FeS_2	
pyrites, taiwan damp	황철광 (대만)	1.48	2.13	1.68	FeS_2	
pyrites, damp	황철광 (습한것)	1.97	2.55	2.10	FeS_2	
rubber crumb	고무가루	0.44	0.55	0.47	탄력성 있음	재생용
salt, crystals	염 (결정)	1.07	1.31	1.11	NaCl	식용, 식품 (저장), 염료, 야금, 한제, 의, 종이, 사진, 수약
salt, powdered	염 (분말)	0.99	1.31	1.07	NaCl	
salt, cake(sod, sulfate)	망초	1.58	2.05	1.68	Na_2SO_4 (불순물)	
salt, cake(sod, sulfate)	망초	1.11	1.42	1.21	Na_2SO_4 (불순물)	물컵, 판유리 및 창유리, 나트륨염류의 제조, 도자기의 수약, 제지용 펄프, 석면, 청정제 혼성물
salt, cake(sod, sulfate)	망초	1.48	1.74	1.53	Na_2SO_4 (불순물)	
salt, cake(sod, sulfate)	망초	1.03	1.39	1.13	Na_2SO_4	
Salt, Cake(sod, sulfate)	망초	1.18	1.60	1.13	Na_2SO_4	
sand(Flow Standard)	모래 (표준유동)	1.57	1.74	1.58	SiO_2 (불순)	30~60%의 휘발물 및 고정탄소를 포함
sand, damp	모래 (습한것)	0.99	1.47	1.15	SiO_2 (불순)	
shale ground	유암 (분쇄품)	1.34	1.69	1.42	석영, 운모 등	
sodium bicarbonate	중탄산나트륨	0.9	1.18	0.97	$NaHCO_3$ 중조	페킹 파우더, 탄산gas 발생제, 섬유세척, 소화제, 의약, 식품
sodium bicarbonate	중탄산나트륨	1.07	1.24	1.10	$NaHCO_3$ 중조	

<표3-5 계속>

명 칭(물질명)		겉보기비중(g/cc)			화학식	용도
영 문 명	국 문 명	자연스러운 상 태	다져진 상 태	유동 상태		
sodium bisulfite anhy	황산수소나트륨	1.10	1.36	1.15	NaHSO ₄ 무수	광물분해용용제 · 소독 · 유산대용 · 석면 · 유리 · 제지 · 색소공업 · 수산화나트륨, 탄산수소나트륨의 제조 · 합성수지 · 살충
sod carb anhy dense	탄산나트륨(무수)	0.97	1.23	1.02	Na ₂ CO ₃ 소다회	
sod carb anhy med	탄산나트륨(무수)	0.55	0.78	0.61	Na ₂ CO ₃ 소다회	
sod carb anht light	탄산나트륨(무수)	0.58	0.82	0.66	Na ₂ CO ₃ 소다회	
sodium cyanide	시아노화나트륨	0.60	0.71	0.61	NaCN, 청화소다	금속연마제 · 금은의 제련 · 도금 · 잉크 · 염색 · 페인트안료 · 방침 · 정착제 · 표백 · 제지의 염소제거
sod chromita anhy	크롬산나트륨(무수)	1.50	1.82	1.57	Na ₂ CrO ₄	
sod hydrosulfite	차아황산나트륨	1.05	1.28	1.10	Na ₂ S ₂ O ₂	
sodium hydroxide	수산화나트륨	1.15	1.36	1.18	NaOH가성소다	레이온 · 석유 · 식물유의 정제 · 제지 일반공업약품
sod hydroxide flake	수산화(후랙크)	0.74	1.00	0.81	NaOH가성소다	
sodium nitrate	질산나트륨	1.24	1.42	1.28	NaNO ₃ 처리초석	산화제 · 비료 · 염료 · 그라스 · 기포 분보일러용수처리 · 직물
sod, phos, mono, anhy	인산이수소나트륨(무수)	0.82	1.15	0.92	NaH ₂ PO ₄	
sod, phos, mono, hyd	인산이수소나트륨(무수)	0.87	1.13	0.92	NaH ₂ HPO ₄ H ₂ O	염료, 비료, 직물, 목재, 직물지
sod, phos di anhy	인산이수소나트륨	1.05	1.26	1.08	Na ₂ HPO ₄	
sod phos tri anhy	인산삼나트륨(무수)	0.89	1.07	0.94	Na ₃ PO ₄	물의 연화제 · 보일러 청정 · 직물지 · 세탁 · 사탕 · 제조
sod phos tri anhy	인산삼나트륨(무수)	0.97	1.29	1.05	Na ₃ PO ₄	
sod phos tri hyd	인산삼나트륨	0.90	1.05	0.92	Na ₃ PO ₄ 12H ₂ O	
sod sesqvicarbonate	세스키탄산나트륨	0.99	1.13	1.02	Na ₂ CO ₃ NaCO ₃ 2H ₂ O	크리닝 · 건의 정련
sod phos di anhy	인산수소이소나트륨	0.47	0.61	0.60	Na ₂ HPO ₄	
sodium silicate	규산나트륨	0.63	0.89	0.71	Na ₂ SiO ₃ 5H ₂ O	석면배합제 · 세멘트 급경제 · 수연화
sod sulfate hyd	황산나트륨(결정)	0.79	0.94	0.82	Na ₂ SO ₄ 10H ₂ O	망초
sod sulfate anhy	황산나트륨(무수)	0.99	1.29	1.05	Na ₂ SO ₄	그래프지 · 판지 · 유리의 제조 · 염료 · 석면의 처리 · 의약 · 냉동제
sod sulfate anhy	황산나트륨(무수)	1.36	1.73	1.44	Na ₂ SO ₄ (천연)	



<표3-5 계속>

명 칭 (물질명)		겉보기비중 (g/cc)			화학식	용 도
영 문 명	국 문 명	자연스러운 상 태	다져진 상 태	유통 상태		
sod tetrapyrophors anhy	비료인산나트륨(무수)	0.97	1.15	1.00	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7\text{TSP}$	수연화제 · 유화제 · 금속세척제 · 보일러수 처리제
sod tetrapyrophors anhy	비료인산나트륨(무수)	0.74	1.07	0.84	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7\text{TSP}$	
sod tetrapyrophors anhy	비료인산나트륨(무수)	0.65	0.92	0.73	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7\text{TSP}$	
starch corn	전분(옥수수)	0.53	0.69	0.57	탄수화물	식용 · 전분호
starch corn pearl	전분(옥수수입자)	0.68	0.86	0.71	탄수화물	
starch potato	전분(마령)	0.71	0.87	0.73	탄수화물	
starch special X	전분(스페샬X)	0.53	0.73	0.65	탄수화물	
sulfur	유황	0.58	0.82	0.66	S	제지 · 염료 · 화약 · 성냥 · 의약 · 소독살균 · 고무의 가류, 농약 · 표백 · 유산제조, 아연산 gas
sulfur	유황	0.73	0.97	0.78	S	
sulfur	유황	1.21	1.50	1.26	S	
super phosphate	과인산석회	0.94	1.20	0.97	인산-석회+석고	인산비료
super phosphate triple	과인산석회	0.86	1.07	0.90		
super phosphate triple	과인산석회	0.73	0.82	0.74		
talc	탈-크	0.61	0.86	0.68		고무 · 제지 · 화장품 · 의약 · 석면 · 기계유혼합 프라스틱증량
talc micro	탈-크	0.32	0.53	0.40		
talc	탈-크	0.16	0.24	0.19		면사호부 · 도료 · 도자기
tin	주석	3.62	4.12	3.66	Sn	환원제 · 가스제 · 염비 · 석면
titanium dioxide	산화티탄	0.45	0.74	0.57	TiO_2	도료인쇄잉크 · 화장품 · 고무 · 제지
tungsten carbide	텅스텐 카바이드	7.54	8.95	7.75	WC	동물사료 · 페인트
urea	요소	0.73	0.84	0.74	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	의약 · 세루로이드의 안정제, 요소수지 · 점착제비료 · 폭약의 안정제
urea	요소	0.76	0.89	0.78	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	
wood flour fine	목분	0.15	0.28	0.19		염비 그외 충전제
wood slivers	목편(Chip)	0.18	0.28	0.22		치프 보도

<표3-5 계속>

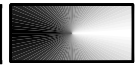
명 칭 (물질명)		겉보기비중 (g/cc)			화학식	용 도
영 문 명	국 문 명	자연스러운 상 태	다져진 상 태	유동 상태		
zinc	아연	2.98	3.62	3.10	Zn	건전지 · 인쇄 · 성형 · 환원제
zinc carbonate	탄산아연	0.40	0.57	0.45	ZnCO ₃	안료 · 도자기 · 방화제 · 화장품
zinc oxide	산화아연	0.40	0.57	0.45	ZnO (아연화)	페인트 · 안료 · 고무제조 촉진활성제 및 강화제 · 화장품 · 인쇄잉크 · 세루로이드
zinc oxide	산화아연	0.61	0.97	0.74	ZnO (아연화)	
zinc stearate	스테아린산아연	0.12	0.16	0.13	Zn (C ₁₈ H ₃₅ O ₂) ₂	의약 · 화장품 · 고무의 건조유효활제
zinc sulfate	황산아연	0.61	0.78	0.65	ZnSO ₄ ·H ₂ O	의약(토제) · 방부 · 락카 · 분말야금 · 티토늄의 제조 · 요업 · 페인트아연도금 · 소독제 · 정수 · 내화물지의 표백 · 아교 및 제라친

5) 여재의 종류

<표3-6> 여재종류별 특성

섬 유	처 리 온 도		내 산 성	내알칼리성	부식마멸성	상대 비용
	연속사용시	간헐사용시				
면	82	107	약함	좋음	대단히우수	2.0
폴리프로필렌	88	93	양호~우수	대단히좋음	우수함	1.5
양 모	93-102	121	대단히우수	약함	보통	3.0
나 일 론	93-107	121	양호	양호~우수	우수함	2.5
오 론	116	127	양호~우수	보통	양호	2.75
아 크 릴	127	137	양호	보통	양호	3.0
다 크 론	135	163	양호	양호	대단히양호	2.8
노 막 스	204	218	약함, 양호	양호~우수	우수함	8.0
테 프 론	204-232	260	불소이외에 대단히우수	우수(단, 불소 연소 및 알카 리용융물질에 는 약함)	보통	25.0
초자섬유	260	288	양호	양호	보통	6.0

자료 : 신대기오염방지기술. P231. 동화기술. 1985



〈표3-7〉 합성 섬유 명칭

합 성 섬 유	—	폴리비닐알콜사, 비니론, 창수비닐론, 니찌보오비닐론, 가네비안, 우울론
	—	폴리아미드사...나이론...동레나일론, 니찌레나일론, 듀폰나일론(미)
	—	폴리염화비닐리덴사...비닐리덴...사란, 크레할론
	—	폴리염화비닐사...염화비닐섬유...데빌론, 엔빌론, 크레할론S, 니프, 로오빌(불)
	—	폴리아크릴니트릴사...아크릴섬유...엑스란, 카네칼론, 본넬, 카시미론, 베슬론, 니틀론, 트랄론, 드랄론, 오울론(미), 다이 넬(미), 아크릴런(미)
	—	폴리에스텔사...에스텔섬유...동레테토론, 데이징테토론, 테리렐(영), 데이크론(미)
	—	폴리우레탄사.....도루론(서독), 라이클러(미)
	—	폴리에틸렌사.....하이잭스, 에틸론, 카네라이트, 파이렌E, 히랄론, 벨렉스, 플라틸론, 리이본700(미), 코오렌(영)
	—	폴리프로필렌사.....좌이렌, 메라클론(이), 리이본800
	—	폴리스텔사.....알질(미), 샤론(미)
	—	폴리테트라플루오로에틸렌사...테플론(미), 폴리프론
	—	폴리요소.....유릴론
	—	폴리시안화 비닐리덴사.....파아론, 데어벤(미)

6) 여과속도

여과속도를 계산하기 위하여〈표3-8〉, 〈표3-9〉, 〈표3-10〉, 〈표3-11〉에 의하여 하여 다음 내용을 각표에서 구한다.

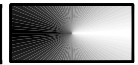
- ① dust 물질명별 보정치(A1) 〈표3-8〉
- ② 집진기 설치 용도 보정치(B1) 〈표3-9〉
- ③ 집진기 내부 온도 보정치(C1)
- ④ 먼지의 입도 보정치(D1) 〈표3-10〉
- ⑤ 먼지의 농도 보정치(E1) 〈표3-11〉

<표3-8>물질명별 변수값

A1	9.56	7.66	6.39	5.75	3.85
물 					

〈표3-9〉 집진기의 설치용도 보정치에 대한 변수 값

구 분	B1값
집진기의 경우	82
포집의 경우	70
증기 또는 반응물 동반 경우	58.1



<표3-10> 먼지의 입도 보정치에 대한 변수 값

구 분(μ)	D1값
먼지 입도 3이하	2.4
먼지 입도 3~10	2.68
먼지 입도 10~50	2.7
먼지 입도 50~100	3.3
먼지 입도 100~150	3.6
먼지 입도 150~200	3.8

<표3-11> 먼지의 농도 보정치에 대한 변수 값

구 분(g/m³)	E1값
먼지 농도 5g 이하	34
먼지 농도 5~10	38
먼지 농도 10~20	40
먼지 농도 20~40	42
먼지 농도 40~70	44
먼지 농도 70~90	45
먼지 농도 90~170	47
먼지 농도 170~240	48

○ 여과속도 $V_f = A \times B \times C \times D \times E$ (m/min)

$$\begin{aligned}
 & \left[\begin{aligned}
 A &= A_1 \times 60 \times 0.00785 (\text{m/min}) \\
 B &= (38 + B_1) / 2 / 60 \\
 C &= r_a' / r_a \quad (\text{Ratio}) \quad (r_a = \text{표준 공기 비중량 } 1.2 \text{ kg/m}^3) \\
 D &= D_1 / 3 \\
 E &= (E_1 / 38)^{-0.9}
 \end{aligned} \right.
 \end{aligned}$$

7) 진동식 또는 역기류식 여과집진기의 분진별 최대여과속도

<표3-12> 최대여과속도(진동식, 역기류식)

먼 지	최대여과속도 (m/min)
알미늄산화물, 탄소, 화학비료, 흑연, 철광석, 석회, 페인트	0.61
알미늄, 진흙, 코크스, 석탄, 코코아, 납산화물, 운모, 비누, 설탕, 활석	0.69
보오크사이트, 세라믹, 크롬광석, 장석, 밀가루, 라이타돌, 유리, 석고, 플라스틱	0.76
석면, 석회석, 석영, 규석	0.84
콜크, 곡물, 대리석, 굴껍데기	0.91~0.99
가죽, 종이 담배, 나무	1.07
* 상기 V값들은 먼지의 부하량, 먼지의 미세한 정도 및 기타 인자에 의존하여 보정 되어야 한다. - $1.132\text{g/m}^3 (40\text{g/ft}^3)$ 이상의 먼지부하량을 가질때는 10~15% 하향조정 - $0.14\text{g/m}^3 (5\text{g/ft}^3)$ 이하의 작은 먼지부하량을 가질때는 20% 상향조정 - $3\mu\text{m}$ 보다 작은 미세입자에 대해서는 약20% 하향 또는 상향조정	

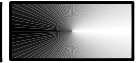
자료 : Danielson, 1973 : Turner등, 1987(a)

8) 충격분출식(pulse-jet)여과집진기에서의 먼지나 훈연(fumes)의 최대여과속도

<표3-13> 최대여과속도(충격분출식)

먼지 또는 훈연	최대여과속도V (m/min)
탄소, 흑연(graphite), 금속훈연, 비누, 합성세제, 산화아연	1.51~1.83
시멘트(원료), 저토(녹색), 플라스틱, 페인트, 색소, 녹말, 설탕, 목재가루, 아연	2.13~2.44
산화알루미늄, 시멘트(완제품), 점토(유리질), 석회, 석회석, 석고, 운모, 석영, 콩, 활석	2.74~3.35
코코아, 초콜렛, 밀가루, 곡물, 가죽먼지, 톱밥, 담배	3.66~4.28
*입자가 매우 작거나 부하가 크면 $0.3048\text{m/min}(1\text{ft/min})$ 속도로 감소한다.	

자료 : Danielson, 1973 : Theodore and Buonicore, 1976



9) 기타 설계시 고려사항

고 려 사 항	내 용
온도와 습도	여과재별로 처리할 수 있는 최대허용온도가 다르다. 한계온도 이상에서의 가동은 여과포를 급속히 퇴화시킨다. 저온은 산성가스를 응축시키고, 습윤먼지에 의해 여과재 표면이 막힐 수 있다. 습윤먼지는 분진퇴적함 위에 가교를 형성한다. 온도가 상승하면, 가스의 점도와 유량이 증가하며, 이로 인해 압력손실이 증가하게 된다.
기체의 화학적 성질	여과재에 따라 산이나 염기에 대한 내성이 다르다.
화재/폭발	어떤 여과재는 가연성이며, 어떤 먼지는 폭발성이다.
여과포의 배치	여과포의 배치는 여과집진기의 유지보수에 중요한 인자이다. 일직선으로 배치된 여과포는 밀집된 것보다 좋다. 여과포 사이에 걸려다닐 만한 공간을 확보하는 것도 매우 훌륭한 투자방법이다.
먼지취급	먼지제거속도(질량과 용적), 운송장치(압축공기튜브나 나선형 운송장치), 퇴적함의 기울기(먼지는 중력에 의해 떨어져야 한다)등이 고려되어야 한다.
송풍기의 위치	처리된 공기쪽에 위치한 송풍기(흡인 여과집진기)는 안전하게 유지되며, 후형날개형 송풍기는 효율적으로 이용될 수 있다. 그러나, 이와 같은 방법은 완전히 밀폐되고 견고한 구조물을 요구한다.

III. 흡착에 의한 시설

1. 방지시설설계 및 검토인자

1) 형식 : 횡류형 등

2) 방지시설의 효율

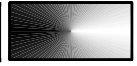
- 연결 배출시설 명칭
- 오염물질 종류 (가스량, 온도포함)
- 인입가스 농도 (가스량, 온도포함)
- 방지효율
- 배출가스 농도 (가스량, 온도포함)
- 배출허용기준

3) 규격 및 재질

- 본체규격
- 재질 : casing, stack, activated carbon

4) 부대시설

- 배기fan
 - 형식
 - 풍량
 - 정압
 - motor
 - 수량
- 배기damper
 - size
 - 재질
 - 수량



2. 방지시설 설계근거

1) 흡착탑 필요단면적(A)

- 공탐속도 : 0.5m/sec 이하

$$- A = \frac{\text{유입가스량}}{\text{공탐속도}} \quad (\text{m}^2)$$

2) 활성탄 비중 : g/cc

3) 활성탄 중량대비 흡착능력(비) (max로)

4) 필요 활성탄 무게(W)

- 체류시간 : 1 sec이상

- $W = \text{활성탄 필요 충전체적}(V)$

5) 활성탄 흡착층 두께(H)

- $H = \text{공탐속도} \times \text{체류시간}(\text{sec})$

6) 활성탄 교환주기

$$T(\text{hr}) = [(3.74 \times 10^5 \times S \times W / (e \times Q \times M \times G)]$$

* T=재생 및 교환주기(hr)

* e=흡착효율(70% = 0.7)

* Q=처리가스량(m³/분)

* M=피흡착성분의 평균분자량(g/mol)

* G=피흡착성분의 농도(ppm)

* S=활성탄 단위중량당의 흡착량(kg/kg-흡착제)

* W=활성탄의 총중량(kg)

$$T = \frac{1/4 \times 10^7 \times Wc \times (a + b t_{bp})}{C^{2/3} \times M \times Q}$$

T=활성탄 교체주기(min)

Wc=사용된 카본의 무게(kg)

a, b=각종 물질등급에 따른 실험계수(표 이용)

t_{bp} = 오염물질의 끓는점(°C)

C = 오염물질의 농도

M = 피흡착물질 분자량

Q = 배출가스량(m³/min)

<표3-14> 활성탄 수명 계산에 필요한 상수

물질명	끓는점 범위	a	계속, b	예
acetate	50to190	-0.050	0.0038	ethyl acetate, butyl acetate
alcohols	60to160	-0.46	0.0071	methanol, isopropanol, butanol
alkanes	20to200	0.095	0.0022	pentane, hexane, cyclohexane
alkylbenzenes	80to220	0.12	0.0024	benzene, toluene
amines	-10to220	0.037	0.0033	ethylamine, dipropylamines
ketones	50to220	0.034	0.0029	acetone, diisobutylketone
monochlorides	-30to250	0.032	0.0033	ethylchloride, 1-chlorobutanol
dichlorides	40to250	-0.092	0.0048	dichloromethane
trichlorides	60to200	-0.080	0.0056	chloroform, methyl chloroform
tetrachlorides	70to200	0.19	0.094	carbon tetrachloride, perchloroethylene

7) 흡착탑내 압력손실

- 흡착제에 의한 압력손실

$$\Delta Pa = 0.37 \times D \times (V/100)^{1.56} \text{ (inchAq)}$$

* D = 흡착제 두께 (inch)

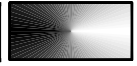
* V = 공탑속도 (0.5m/sec = 98.4ft/분)

$$\text{또는 } \Delta Pa \text{ (mmH}_2\text{O)} = 0.37 \times D \times \left(\frac{V}{30.5} \right)^{1.56}$$

ΔPa : 흡착층 압력손실(mmH₂O)

D : 흡착층의 높이(mm)

V : 흡착속도(m/분)



8) 송풍기 선정

- 형식 : turbo fan 등
- 처리풍량 : m³/분
- 전압 : mmAq
- 효율 : 65%
- 여유율 : 10~20% (α)
- 필요동력

$$HP = \frac{Q \times \Delta Pt}{4,500 \times \eta} \times 1.1 \text{ or } 1.2$$

[총압력손실(ΔPt)의 계산]

$$\Delta Pt = \text{흡착제에 의한 압력손실}(\Delta Pa) + \text{동압손실}(Vp) + \text{후드압력손실}(Hi) \\ + \text{직관압력손실}(Pi) + \text{곡관압력손실}(Pc) + \text{합류관 및 기타 압력손실}$$

9) 설계시 참고사항

- 처리능력
활성탄의 보지력에 따라 가스유형별 처리능력이 다르다.
- 활성탄등 흡착제와 가스상 오염물질의 처리가능성 여부 검토
 - 흡착제 종류 : 활성탄, 알루미나, 보오크사이트, 제오라이트, 마그네시아, 실리카겔 등이 있으나, 일반적으로 활성탄, 제오라이트, 실리카겔 등이 많이 사용됨.
 - 흡착제는 가스상 오염물질을 흡착하는데 있어 각 가스별 흡착능력이 있으므로 흡착가능한 가스인지 확인.
- 수량 : 흡착제의 충전량은 체류시간 1sec이상
- 활성탄의 break point 결정 (수명, 교체주기)
- 고온 다습한 경우 처리효율 재검토
- 압력손실의 산출 : 통과속도 및 충전제의 입경에 따라 산출

활성탄(activated carbon)

흡착제와 관련하여 ‘활성’이라는 말은 특수처리공정을 거쳐 향상된 내부 및 외부의 표면적을 의미한다. 모든 탄소함유물질은 활성탄으로 전환시킬 수 있다.

「코코넛」껍데기, 뼈, 나무, 석탄, 석유 「코-크」, 목질소(lignin), 갈탄(lignite), 등 모두가 활성탄의 원료로서 이용될 수 있다. 그러나, 대부분 산업용 활성탄은 역청탄(bituminous coal)에서 만들어진다.

활성탄은 탄소성 원료를 탈수 및 탄화시켜 제조한다. 활성화는 통제된 산화과정에서 완성되는데, 이 산화과정에서 이미 탄화된 물질은 산화성 가스의 존재하에 가열된다. 어떤 탄소에 대해서는, 탈수과정이 화학약품을 사용하여 이루어진다. 이상적인 원료는 균일한 기공분포와 활성화될때 높은 흡착성능을 갖는 다공구조를 가진다. 활성탄은 원료의 선택과 함께 활성화 과정을 제어함으로써 최종 사용에 맞게 제조된다.

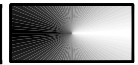
<표3-15>는 오염된 공기를 처리하는데 사용되는 각종 흡착제의 성질을 나타낸 것이다.

<표3-16>는 각종 활성탄의 성질을 제시한 것이다.

<표3-15>와 <표3-16>에서 보면, 가스에 적용되는 활성탄은 $800 \sim 1,200 \text{ m}^2/\text{g}$ 의 표면적을 가진다. 기공부피(pore volume)의 대부분을 차지하는 부위는 기공의 직경이 좁은 범위로, 보통 $4 \sim 30 \text{ \AA}$ ($\text{\AA} = 0.0001 \mu\text{m}$)범위에 분포된다.

몇가지 표준화된 실험이 활성탄의 특성을 밝힐때 사용된다.

사염화탄소의 수(carbon tetrachloride number)는 활성탄 성능검사의 중요 척도로써, 탄소가 CCl_4 에 포화된후 100g 활성탄당 흡착된 CCl_4 의 gram수 ($\text{g CCl}_4/100\text{g carbon}$)로 정의된다. 비슷한 방법으로, 요오드수(iodine number) ($\text{g I}_2/100\text{g carbon}$)는 흡착성능을 측정하는 또 다른 방법이다. 표면적은 등온흡착식 및 단일 피흡착물 분자로 채워 평균면적 등으로 계산된다.



<표3-15> 각종 흡착제의 물리적 성질

조 성	내부 다공률 (%)	외부 공극률 (%)	bulk 건조밀도 (lbm/m ³)	표면적 (m ² /g)
산처리된 진흙	30	40	35~55	100~300
활성 「알루미나」 와 「보오크사이트」	30~40	40~50	41~55	200~300
뼈	50~55	18~20	40	100
활 성 탄	55~75	35~40	10~30	600~1,400
aluminosilicate 분자체	45~55	35	41~44	600~700
fuller's earth (표 표 토)	50~55	40	30~40	130~250
산 화 철	22	37	90	20
「마그네시아」	75	45	25	200
「실리카겔」	70	40	25	320

출처 : Standen, A, 1963

<표3-16> 각종 원료에 대한 활성탄의 성질

원 료	I ₂ 수	분 자 수	CCl ₄ 수	「부탄」의 기공용적 cc/g	응 용
갈 탄	550	490	34	0.23	액상
역 청 탄	900/1,000	200/250	60	0.45	증기상/액상
원유 산성오니 「코-크」	1,150	180	59	0.46	증기상
코코넛	1,350	185	63	0.49	증기상
아역청탄	1,050	230	67	0.48	증기상
나 무	1,230	470	76	0.57	증기상/액상

출처 : Carubba 등, 1984

IV. 열교환시설(수냉식)

1. 설계조건(예)

- 1) 가스 발생량 : 170 m³/min
- 2) 가스 온도
 - 열교환기 입구온도 : 210 °C
 - 열교환기 출구온도 : 40 °C

2. 설계사양(예)

- 1) 배기가스 비열 : 벤젠이 함유된 배기가스의 비열($C_P=0.48\text{kcal/kg.}^\circ\text{C}$)

$$- R (\text{분자가스정수}) = \frac{848}{M} = \frac{848}{78} = 10.87 (\text{kg.m/kg.K})$$

$$- C_p (\text{정압비열}) = A \times R \times \frac{K}{K-1}$$

$$\circ A (\text{일의 열당량}) = 1 / 427 (\text{kcal/kg.m})$$

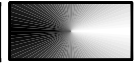
$$\circ K (\text{비열비}) = 1.4 (\text{2원자가 기준})$$

$$= \frac{1}{427} \times 10.87 \times \frac{1.4}{1.4-1} = 0.09 \text{kcal/kg.}^\circ\text{K}$$

$$- C_v (\text{정적비열}) = \frac{C_p}{K} = \frac{0.09 \text{kcal/kg.}^\circ\text{C}}{1.4} = 0.065 \text{kcal/kg.}^\circ\text{K}$$

$$(0.343 \text{kcal/kg.}^\circ\text{C})$$

* Chemical engineers' handbook. 5th edition p3-129, fig3-11에서 benzene의 $C_P=0.48\text{Kcal/kg.}^\circ\text{C}$



3. 냉각 전열량 : $Q \text{ (kcal/hr)} = G \times C (t_2 - t_1)$

1) 냉각 전열량 (Q) = $U \times A \times \Delta t_m$

- U (총괄전열계수) : $195.2 \sim 390.4 \text{ kcal/m}^2\cdot\text{hr}.\text{°C}$

* Chemical engineers' handbook. 5th edition p10-39, table10-10에서
 $U=40\sim80\text{b.t.u/°F.ft}^2\cdot\text{hr}$

- A (전열면적) : m^2

- Δt_m (대수평균온도차) : °C

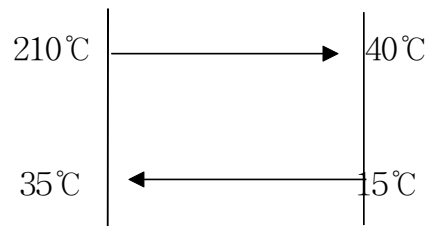
$$= (\Delta t_1 - \Delta t_2) \div \text{Ln} (\Delta t_1 - \Delta t_2)$$

$$= \frac{195-5}{\text{Ln}(195/5)}$$

$$= 51.862 \text{ °C}$$

$$\circ \Delta t_1 = 210 \text{ °C} - 15 \text{ °C} = 195 \text{ °C}$$

$$\circ \Delta t_2 = 40 \text{ °C} - 35 \text{ °C} = 5 \text{ °C}$$



2) 냉각전열량 (Q) = $G \times C (t_2 - t_1)$

$$= 170\text{m}^3/\text{min} \times 60\text{min/hr} \times 0.722\text{kg/m}^3 \times 0.343\text{kcal/kg}.\text{°C} \times (210-40\text{°C}) = 429,418\text{kcal/hr}$$

* 벤젠이 20ppm이므로 밀도는 fresh air의 밀도를 적용

$$\Rightarrow 200\text{°C에서의 air의 밀도} : 0.722\text{kg/m}^3$$

3) 전열면적 (A) = $Q \div (U \times \Delta t_m)$

$$= 429,418\text{kcal/hr} \div (195.2\text{kcal/m}^2\cdot\text{hr}.\text{°C} \times 51.862\text{°C})$$

$$= \frac{429,418}{10,123.46} = 42.42\text{m}^2$$

※ U (총괄전열계수) 산정

$$U_o = \frac{1}{(Do/Di h_{di}) + (Do/Di h_i) + (X_w/K_w)(Do/DL) + (1/h_o) + (1/h_{do})}$$

Do : 관의 바깥지름 : 0.3355 ft

Di : 관의 안지름 : 0.375 ft

h_{di} : 내관의 값 : 1000btu/ft².h.°F

h_i : 관내부의 값 : 335btu/ft².h.°F

X_w : 관벽의 두께 : 0.0198ft

K_w : 관벽의 열전도도 : 26btu/ft².h.°F

DL : 대수평균지름 : 0.3549ft

h_o : 관 외부의 값 : 500btu/ft².h.°F

h_{do} : 외관의 값 : 700btu/ft².h.°F

$$Di: \frac{4.206}{12} = 0.3355ft$$

$$Do: \frac{4.5}{12} = 0.375ft$$

$$X_w: \frac{0.237}{12} = 0.0198ft$$

$$DL: \frac{Do - Di}{\ln(Do/Di)} = \frac{0.375 - 0.3355}{\ln(0.375/0.3355)} = 0.3549ft$$

$$U_o = \frac{1}{0.375/0.3355 \times 1000 + 0.3355/0.375 \times 335 + 0.0198 \times 0.3355/26 + 0.3549 + 1/785 + 1/500}$$

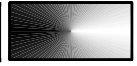
$$= 128.5 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{F}$$

$$= 128.5(\text{btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{F}) \times 5.679(\text{W/m}^2 \cdot \text{K})/(\text{btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{F}) \text{ 단위 환산}$$

$$= 729.75 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$= 729.75(\text{W/m}^2 \cdot \text{K}) \div 1.163((\text{W/m}^2 \cdot \text{K})/(\text{kcal/h} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C})) \text{ 단위 환산}$$

$$= 627.4 \text{ kcal/h} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}$$



4. 열교환기 내부 pipe 설계(예)

- 1) 개당면적 = $0.1\text{m} \times 3.14 \times 2.5\text{m} = 0.785\text{m}^2/\text{개}$
- 2) 필요수량 = $42.42\text{m}^2 \div 0.785\text{m}^2/\text{개} = 54\text{개}$ (설계시 60개)
- 3) 열교환tube(pipe)규격 : $\Phi 100 \times 2500$
- 4) 열교환tube(pipe)수량 : 6열 \times 10행 = 60개

[가스정수 R]

완전가스상태에서 P(압력), V(부피), T(온도)의 관계식을 구하기 위해서 먼저 온도가 일정할 때의 상태변화, 다음에 압력이 일정할 때의 상태변화를 연속적으로 생각하면, 처음에 온도 T_1 을 일정하게 해서 압력을 P_1 에서 P_2 까지 변화시키고 기기에 따라 비체적의 V_1 에서 V_2 로 변했다고 하면

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (1)$$

다음에 압력 P_2 를 일정하게 해서 온도가 T_1 에서 T_2 변화하고 기기에 따라 비체적이 V_2 에서 V_1 으로 변했다면

$$V_2 / V_1 = T_2 / T_1 \quad (2)$$

식(1)과 식(2)에서

$$P_1 V_1 / T_1 = P_2 V_2 / T_2 = PV/T = \text{일정} \quad (3)$$

이 되고 위식의 일정한 값을 R이란 기호로 표시하면

$$PV/T = R, \text{ 즉 } PV = RT \quad (4)$$

가스량에 대해서는

$$PV = GRT \quad (5)$$

위식의 정수 R을 가스정수(gas constant)라 하며 단위는 kg.m/kg.K 이며 이는 같은 온도, 같은압력, 같은체적내의 가스와 분자수는 가스의 종류에 관계없이 모두 같다고 하는 Avogadro의 법칙에 의해 표준상태(760mmHg, 0°C)에서의 분자량이 M 이라면

$$R = PV/GT = 1.0332 \times 10^4 \times 22.4 / M \times 273 = 848/M$$

$$\text{위 식에서 } RM \doteq 848 \doteq R \text{ kg.m/kmol.K}$$

5. 냉각타워 설계(예)

1) 냉각타워 용량

$$Q=429,418\text{Kcal/hr}=G\times C_P\times(T_2-T_1)$$

$$=170\text{m}^3/\text{min}\times 60\text{min/hr}\times 1\text{Kcal/kg}\cdot^\circ\text{C}(T_2-15)^\circ\text{C}$$

$$T_2-15=\frac{429,418\text{Kcal/hr}}{170\text{m}^3/\text{min}\times 60\text{min/hr}\times 1\text{Kcal/kg}\cdot^\circ\text{C}}$$

$$=42.1(^\circ\text{C})$$

$$\therefore T_2=42.1+15=57.1(^\circ\text{C})$$

2) 냉각타워 RT

- 세정액분사량이 $2\ell/\text{m}^3$ 일 경우

$$\text{RT}=\frac{170\text{m}^3/\text{min}\times 2\ell/\text{m}^3\times 60\text{min/hr}\times 1\text{Kcal/Nm}^3\cdot^\circ\text{C}\times (57.1-20)^\circ\text{C}}{3,900\text{Kcal/hr}}$$

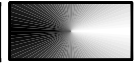
$$=220.2$$

6. 냉각탑의 사양(예)

1) 원형냉각탑(F.R.P round type cooling tower)

- 특징

- 본체구조 : casing과 하부수조는 견고한 F.R.P제품이므로 부식이 없고 주요 부품 또한 아연용융도금처리로 내식성과 내구성이 매우 우수함
- 열교환성능 : 열교환성이 우수한 고성능 충진재 및 고온용 경질 염화비닐을 사용함으로써 냉각탑의 성능이 가일층 향상됨.
- 저소음 고효율 : 송풍기전문회사에서 개발한 최신날개의 axial fan을 사용하므로 소음이 적으며 효율이 좋음
- 보수관리의 간편 : 철재 냉각탑에 비하여 매우 경량이며 조립식으로 구성되어 있어 설치 및 보수 유지가 간편함.
- 열전도율의 극소 : F.R.P제품으로 된 본체는 외부태양열의 전도율이 금속의 약 1/300이므로 외부열전도를 차단시켜줌.
- 경제성 : 양산(量産)체제로 생산함으로써 가격이 저가이고 설치장소의 제한을 비교적 받지않아 설치비가 절감됨



- 표준사양

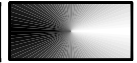
BCR-5~150

항목 \ 기종			BCR-5	BCR-10	BCR-20	BCR-30	BCR-40	BCR-50	BCR-60	BCR-80	BCR-100	BCR-125	BCR-150
냉각열량		Kcal/hr	19,500	39,000	78,000	117,000	156,000	195,000	234,000	312,000	390,000	487,500	585,000
순환수량		ℓ /min	65	130	260	390	520	650	780	1,040	1,300	1,625	1,950
외형 치수	높 이	mm	1,220	1,495	1,605	1,705	2,120	2,170	2,370	2,750	3,170	3,200	3,300
	직 경	φmm	750	870	1,050	1,380	1,560	1,760		2,100	2,770		3,200
송 풍 기	직 경	φmm	440	500	600	820		1,030		1,200	1,500		1,800
	풍 량	m ³ /min	48	82	150	230	280	350	420	560	700	870	1,050
	재 질		Al-plate							F.R.P			
전 동 기	동 력	HP-P	1/4~6		1/2~6	1~6		2~6		3~8		4~8	5~4
	전 원	Voltage	3φ220V/380V 60Hz										
	구 동 방 식		직 결 V-belt										
산 수 장 치	회전수	R.P.M	25		24	22	20		18		18		18
	노즐경	A	15		25	32	32		40		40		65
	수 량	EA	4		4	4	4		4		6		6
	재 질		폴리에스테르수지				Al-합금						
배 관	입·출구	A	40		50	65	80		100		125		150
	과수구	A	-		-	-	-		-		40		50
	배수구	A	25		25	25	25		25		25		40
	자동구	A	15		15	15	15		15		25		25
	수동구	A	-		-	-	-		-		25		25
비산방지판			none F.R.P										
중 량	자 중	kg	44	86	117	220	280	350	410	490	750	800	1,000
	운 전 중 량	kg	78	123	226	380	490	690	860	980	1,350	1,400	1,800

- 주) 1. 표준능력은 입구공기습구온도 : 27℃, 순환수입구온도 : 37℃, 출구온도 : 32℃ 일때는 1R/T는 3,900kcal/hr임
2. 상기치수는 일반 냉동기용으로 설계되어 있으며 입·출구 온도차 및 순환수량에 따라 달라짐.

BCR-180~1,000

BCR-180	BCR-200	BCR-250	BCR-300	BCR-350	BCR-400	BCR-500	BCR-600	BCR-700	BCR-800	BCR-1,000
702,000	780,000	975,000	1,170,000	1,365,000	1,560,000	1,950,000	2,340,000	2,730,000	3,120,000	3,900,000
2,340	2,600	3,250	3,900	4,550	5,200	6,500	7,800	9,100	10,400	13,000
3,350	3,250	3,380	3,550	3,830	4,240	4,640	4,730	5,000	5,130	5,200
3,300	3,500	4,100	4,550		5,400		6,600		7,480	
1,800		2,400	2,540		3,000		3,300		3,700	
1,200	1,320	1,750	2,200		2,600	3,300	3,900	4,200	5,000	5,400
F.R.P										
7.5-4		10-4			15-4		20-4		30-4	
3ϕ 220V/380V 60Hz										
V-belt										
18		16			15				14	
65		80							100	
6					8				10	
Al- 합금										
150		200			250				300	
50		80			100				100	
40		40			50				80	
25		40			50				80	
25		40			50				80	
F.R.P plate										
1,070	1,280	1,750	1,950	2,060	3,500	4,030	4,750	5,300	6,400	7,200
1,870	2,280	3,450	3,950	4,060	7,200	7,680	8,580	10,500	14,100	15,000



BCR-한계수량 선정표

BCR-5~80

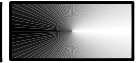
외기습구온도 : 27℃, 단위 : LPM

입구수온	출구수온	온도차	BCR-5	BCR-10	BCR-20	BCR-30	BCR-40	BCR-50	BCR-60	BCR-80
33℃	30℃	3℃	50	109	218	327	437	546	655	874
34℃	31℃	3℃	72	145	290	436	581	726	872	1,162
34℃	30℃	4℃	37	88	177	266	355	444	533	710
35℃	31℃	4℃	55	116	232	349	465	582	698	931
37℃	33℃	4℃	86	173	347	521	694	868	1,042	1,389
35℃	30℃	5℃	28	75	150	225	300	376	451	601
36℃	31℃	5℃	44	99	198	298	397	497	596	795
37℃	32℃	5℃	65	130	260	390	520	650	780	1,040
38℃	33℃	5℃	71	142	285	427	570	712	855	1,140
37.5℃	32℃	5.5℃	52	112	225	338	451	564	677	903
37℃	31℃	6℃	35	87	174	261	348	435	522	696
38℃	32℃	6℃	48	106	212	318	424	530	637	849
40℃	34℃	6℃	70	141	283	425	567	708	850	1,134
38.3℃	32℃	6.3℃	46	102	205	307	410	512	615	820
37℃	30℃	7℃	-	-	116	174	232	290	348	465
38℃	31℃	7℃	30	77	155	232	310	388	465	621
39℃	32℃	7℃	41	95	190	285	380	475	570	760
42℃	35℃	7℃	70	141	282	423	564	706	847	1,129
39℃	31℃	8℃	25	70	140	210	280	350	421	561
40℃	32℃	8℃	35	86	172	258	344	431	517	689
43℃	35℃	8℃	62	126	252	378	504	631	757	1,009
40℃	31℃	9℃	20	64	128	192	256	320	384	512
41℃	32℃	9℃	30	79	157	236	315	394	473	631
43℃	34℃	9℃	47	105	210	315	420	525	630	841
40℃	30℃	9℃	-	-	87	130	174	217	261	348
42℃	32℃	10℃	27	72	145	218	291	364	437	583
43℃	33℃	10℃	35	85	171	257	342	428	514	685
45℃	35℃	10℃	49	108	217	325	434	542	651	868
50℃	40℃	10℃	82	164	329	494	659	823	988	1,318
43℃	32℃	12℃	23	67	135	203	271	339	406	542
46℃	35℃	11℃	45	101	202	304	405	507	608	811
45℃	33℃	12℃	28	74	149	224	299	373	448	597
47℃	35℃	12℃	41	95	190	285	380	476	571	761
45℃	32℃	13℃	-	-	119	179	238	298	358	477
48℃	35℃	13℃	37	89	179	269	359	449	539	718
46℃	32℃	14℃	-	-	112	169	225	281	337	450
50℃	36℃	14℃	40	93	187	280	374	468	561	748
47℃	32℃	15℃	-	-	106	159	213	266	319	426
50℃	35℃	15℃	31	80	161	242	323	404	484	646
48℃	32℃	16℃	-	-	101	151	202	253	303	404
50℃	33℃	17℃	-	-	114	171	229	286	343	457
50℃	32℃	18℃	-	-	91	137	183	229	275	367

BCR-100~350

외기습구온도 : 27℃, 단위 : LPM

입구수온	출구수온	온도차	BCR-100	BCR-125	BCR-150	BCR-180	BCR-200	BCR-250	BCR-300	BCR-350
33℃	30℃	3℃	1,093	1,366	1,639	1,912	2,186	2,732	3,279	3,825
34℃	31℃	3℃	1,453	1,817	2,180	2,097	2,543	3,634	4,360	5,087
34℃	30℃	4℃	888	1,110	1,332	1,555	1,777	2,221	2,665	3,110
35℃	31℃	4℃	1,164	1,455	1,746	2,038	2,329	2,911	3,493	4,076
37℃	33℃	4℃	1,736	2,171	2,605	3,039	3,473	4,342	5,210	6,078
35℃	30℃	5℃	752	940	1,128	1,316	1,504	1,880	2,256	2,632
36℃	31℃	5℃	994	1,243	1,491	1,740	1,989	2,186	2,983	3,481
37℃	32℃	5℃	1,300	1,625	1,950	2,275	2,600	3,250	3,900	4,550
38℃	33℃	5℃	1,425	1,781	2,137	2,493	2,850	3,562	4,275	4,987
37.5℃	32℃	5.5℃	1,129	1,411	1,693	1,975	2,258	2,822	3,387	3,951
37℃	31℃	6℃	871	1,088	1,306	1,524	1,742	2,177	2,613	3,048
38℃	32℃	6℃	1,061	1,327	1,592	1,858	2,123	2,654	3,185	3,716
40℃	34℃	6℃	1,417	1,772	2,126	2,480	2,835	3,544	4,252	4,961
38.3℃	32℃	6.3℃	1,025	1,282	1,538	1,794	2,051	2,563	3,076	3,589
37℃	30℃	7℃	581	727	872	1,017	1,163	1,453	1,744	2,035
38℃	31℃	7℃	776	970	1,164	1,358	1,552	1,941	2,329	2,717
39℃	32℃	7℃	950	1,188	1,425	1,663	1,901	2,376	2,851	3,327
42℃	35℃	7℃	1,412	1,765	2,118	2,471	2,824	3,530	4,327	4,943
39℃	31℃	8℃	701	877	1,052	1,227	1,403	1,754	2,124	2,455
40℃	32℃	8℃	862	1,077	1,293	1,508	1,724	2,155	2,586	3,017
43℃	35℃	8℃	1,262	1,577	1,893	2,208	2,524	3,155	3,786	4,417
40℃	31℃	9℃	641	801	961	1,122	1,282	1,603	1,923	2,244
41℃	32℃	9℃	789	987	1,184	1,382	1,579	1,974	2,369	2,764
43℃	34℃	9℃	1,051	1,314	1,577	1,839	2,102	2,628	3,154	3,679
40℃	30℃	10℃	434	543	652	761	869	1,087	1,304	1,522
42℃	32℃	10℃	729	911	1,093	1,276	1,458	1,823	2,187	2,552
43℃	33℃	10℃	856	1,071	1,285	1,499	1,713	2,142	2,570	2,999
45℃	35℃	10℃	1,085	1,356	1,627	1,899	2,170	2,713	3,255	3,798
50℃	40℃	10℃	1,647	2,059	2,471	2,883	3,295	4,119	4,943	5,767
43℃	32℃	11℃	678	847	1,017	1,186	1,356	1,695	2,034	2,374
46℃	35℃	11℃	1,014	1,267	1,521	1,774	2,028	2,535	3,042	3,549
45℃	33℃	12℃	747	934	1,121	1,308	1,494	1,868	2,242	2,616
47℃	35℃	12℃	952	1,190	1,428	1,666	1,904	2,380	2,857	3,333
45℃	32℃	13℃	596	746	895	1,044	1,193	1,492	1,790	2,088
48℃	35℃	13℃	898	1,123	1,347	1,572	1,796	2,246	2,695	3,144
46℃	32℃	14℃	563	704	844	985	1,126	1,408	1,689	1,971
50℃	36℃	14℃	936	1,170	1,404	1,638	1,872	2,340	2,808	3,276
47℃	32℃	15℃	533	666	799	933	1,066	1,332	1,599	1,865
50℃	35℃	15℃	808	1,010	1,212	1,414	1,616	2,020	2,424	2,828
48℃	32℃	16℃	506	632	759	885	1,012	1,265	1,518	1,771
50℃	33℃	17℃	572	715	858	1,001	1,144	1,431	1,717	2,003
50℃	32℃	18℃	459	574	688	803	981	1,147	1,377	1,607



BCR-400~1,000

외기습구온도 : 27℃, 단위 : LPM

입구수온	출구수온	온도차	BCR-400	BCR-500	BCR-600	BCR-700	BCR-800	BCR-1,000
33	30	3	4,372	5,465	6,558	7,651	8,744	10,930
34	31	3	5,814	7,268	8,718	10,171	11,624	14,530
34	30	4	3,554	4,442	5,328	6,216	7,104	8,880
35	31	4	4,658	5,823	6,984	8,148	9,312	11,640
37	33	4	6,947	8,684	10,416	12,152	13,888	17,360
35	30	5	3,008	3,761	4,512	5,264	6,016	7,520
36	31	5	3,978	4,972	5,964	6,958	7,952	9,940
37	32	5	5,200	6,500	7,800	9,100	10,400	13,000
38	33	5	4,561	7,125	8,550	9,975	11,400	14,250
37.5	32	5.5	3,484	5,645	6,774	7,903	9,032	11,290
37	31	6	4,247	4,355	5,226	6,097	6,968	8,710
38	32	6	5,670	5,309	6,366	7,427	8,488	10,610
40	34	6	4,102	7,088	8,502	9,919	11,336	14,170
38.3	32	6.3	2,326	5,127	6,150	7,175	8,200	10,250
37	30	7	3,105	2,907	3,486	4,067	4,648	5,810
38	31	7	3,802	3,882	4,656	5,432	6,208	7,760
39	32	7	5,649	4,752	5,700	6,650	7,600	9,500
42	35	7	2,806	7,061	8,472	9,884	11,296	14,120
39	31	8	3,448	3,507	4,206	4,907	5,608	7,010
40	32	8	5,048	4,311	5,172	6,034	6,896	8,620
43	35	8	2,564	6,310	7,572	8,834	10,096	12,620
40	31	9	3,158	3,205	3,846	4,487	5,128	6,410
41	32	9	4,205	3,948	4,734	5,523	6,312	7,890
43	34	9	1,739	5,256	6,306	7,357	8,408	10,510
40	30	10	2,917	2,174	2,604	3,038	3,472	4,340
42	32	10	3,427	3,646	4,374	5,103	5,832	7,290
43	33	10	4,341	4,284	5,136	5,992	6,848	8,560
45	35	10	5,426	6,510	6,591	7,595	8,680	10,850
50	40	10	7,212	8,239	9,882	11,529	13,176	16,470
43	32	11	3,390	4,056	4,068	4,746	5,424	6,780
46	35	11	4,056	5,070	6,084	7,098	8,711	10,140
45	33	12	3,809	3,737	4,482	5,229	5,976	7,470
47	35	12	2,387	4,761	5,712	6,664	7,616	9,520
45	32	13	2,983	3,576	3,593	4,172	4,768	5,960
48	35	13	3,596	4,492	5,388	6,286	7,184	8,980
46	32	14	2,861	3,378	3,744	3,941	4,504	5,630
50	36	14	3,704	4,680	5,616	6,552	7,488	9,360
47	32	15	2,132	2,665	3,198	3,731	4,264	5,330
50	35	15	3,232	4,040	4,848	5,656	6,464	8,080
48	32	16	2,289	2,530	3,036	3,542	4,048	5,060
50	33	17	2,292	2,862	3,432	4,004	4,576	5,720
50	32	18	1,848	2,295	2,742	3,213	3,672	4,590

2) 직교류형 냉각탑(cross flow cooling tower)

- 특징

① 부식성

철골재는 아연용융 도금재를 사용하며 casing은 아연 도판재 또는 F.R.P를 사용함으로써 부식의 염려가 없음.

② 보수관리가 간편

조립식 구조로 되어 있어 간단하게 부분교체 및 청소용이

③ 수적비산의 방지

고성능의 eliminator가 부착되어 송풍기로 비산되는 수적이 거의 없음

④ 저소음의 구동방식

보수점검이 간편하고 고성능, 저소음의 Al합금 및 F.R.P fan과 V-belt 2단 감속기 부착

⑤ 정류식 louver

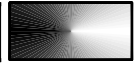
흡입공기의 정류작용으로 충전물의 효율을 상승시키며 물의 탑외비산 방지

⑥ 산수효율의 우수

상부수조에 걸리는 압력이 없을뿐만 아니라 산수효과가 좋아 효율이 우수

⑦ 대량의 하부수조

집배수구가 설치된 하부수조는 용량이 크므로 배관내의 공기의 유입이 없음



- 표준사양

FILM TYPE FILTER

CONTENTS MODEL	DIMENSION			PYPING					WEIGHT		fan			CIR WATER (ℓ/min)
	L (mm)	W (mm)	H (mm)	OUT-LET (A)	OVER Flow (A)	MAKE UP		DRAIN (A)	NET (kg)	OPER (kg)	A · V (m ³ /min)	DIA (Φmm)	MOTOr (KW)	
BSC-100	4,800	2,000	2,300	125	50	25	25	50	1,930	4,290	700	1,600	3.7	1,300
-125	4,800	2,200	2,300	125	50	25	25	50	1,970	4,560	830	1,600	3.7	1,625
-150	5,000	2,200	2,700	150	80	25	25	50	2,110	4,940	950	1,800	3.7	1,950
-175	5,000	2,400	2,700	150	80	25	25	50	2,330	5,420	1,150	1,800	5.5	2,275
-200	5,300	2,500	2,700	150	80	25	25	80	2,550	5,900	1,250	2,000	5.5	2,600
-225	5,600	2,800	2,700	200	80	32	32	80	2,820	6,800	1,320	2,200	7.5	2,925
-250	5,600	3,000	2,700	200	80	32	32	80	3,050	7,250	1,750	2,400	7.5	3,250
-300	6,400	3,000	3,100	200	100	50	50	80	3,940	8,950	2,200	2,400	7.5	3,900
-350	6,400	3,200	3,100	200	100	50	50	80	4,450	11,030	2,200	2,400	7.5	4,550
-400	7,500	4,000	3,100	250	125	50	50	100	4,950	12,070	2,600	3,100	11	5,200
-450	7,500	4,200	3,100	250	125	50	50	100	5,075	12,555	2,600	3,100	11	5,850
-500	7,500	4,400	3,100	250	125	50	50	100	5,200	13,040	3,750	3,100	11	6,500
-600	6,400	6,000	3,100	200×2	100×2	50×2	50×2	80×2	7,680	17,650	5,000	2,400×2	7.5×2	7,800
-700	6,400	6,400	3,100	200×2	100×2	50×2	50×2	80×2	8,600	21,760	5,000	2,400×2	7.5×2	9,100
-800	7,500	8,000	3,100	250×2	125×2	50×2	50×2	100×2	9,600	23,840	5,400	3,100×2	11×2	10,400
-1000	7,500	8,800	3,100	250×2	125×2	50×2	50×2	100×2	10,100	25,780	5,400	3,100×2	11×2	13,000

- inlet water temp : 37℃
- outlet water tmp : 32℃
- wet blub temp : 27℃
- R/T : 3,900kcal/hr

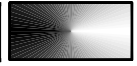
3) 직교류형 냉각탑(marary type cooling tower)

- 표준사양

WOOD TYUPE FILTER

t y p e CONTENTS	SPECIFICATION			DIMENSION(mm)				fan & MOTor	
	R/T	air VOLUME (m³/min)	WATER Flow (m³/hr)	H	W1	W2	L	DIA(φ)	HP
BCM-100	100	950	78	2,400	4,700	3,800	2,750	1,500	7.5
-150	150	1,425	117	2,400	6,000	4,800	2,750	1,800	10
-200	200	1,900	156	2,400	5,900	4,800	3,950	2,000	15
-250	250	2,380	195	2,700	6,500	5,300	3,950	2,400	15
-300	300	2,850	234	2,700	7,100	5,700	5,150	2,400	20
-350	350	3,325	273	2,700	6,850	5,650	5,150	2,700	20
-400	400	3,800	312	2,900	7,300	6,000	5,150	2,700	25
-450	450	4,280	351	3,200	7,700	6,400	5,150	3,100	30
-500	500	4,750	390	3,200	8,050	6,600	5,150	3,100	40
-550	550	5,230	429	3,700	8,450	7,000	5,150	3,500	40
-600	600	5,700	468	3,700	8,750	7,400	5,150	3,500	40
-650	650	6,200	507	3,900	8,950	7,500	5,150	3,660	40
-700	700	6,650	546	3,900	9,250	7,600	5,150	3,660	50
-750	750	7,130	585	3,900	9,100	7,600	6,400	4,100	50
-800	800	7,600	624	4,200	9,100	7,600	6,400	4,100	50
-850	850	8,080	663	4,200	9,450	7,900	6,400	4,300	50
-900	900	8,550	702	4,200	9,660	8,100	6,400	4,300	50
-950	950	9,030	741	4,200	9,900	8,300	6,400	4,500	60
-1000	1,000	9,500	780	4,400	10,200	8,500	6,400	4,500	60
-2000	2,000	1,900	1,560	4,400	10,100	8,400	12,500	4,500×2	60×2
-3000	3,000	2,850	2,340	4,400	10,100	8,400	18,600	4,500×3	60×3

· inlet water temp : 37℃ · outlet water temp : 32℃ · wet blub temp : 27℃



4) 항류형 냉각탑(counter flow cooling tower)

- 특징

① 고성능

냉각탑의 성능은 충진재와 산수장치로 결정되며, 충진재와 산수장치는 장기간 사용하면 변형되므로 특수재질을 사용하여 열교환계수를 상승시켜 고성능이 발휘되게함.

② 일정한 온도유지

열교환부가 냉각탑의 유효면적과 같으므로 수조내 물의 온도를 일정하게 유지시켜줌

③ 긴수명

물과 접촉하는 수명은 모두 PVC, F.R.P 또는 아연도금재를 사용하므로 수명이 매우 길다.

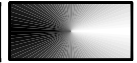
④ 외부의 열전도율이 적다

F.R.P제품의 casing은 태양열의 영향을 거의 받지 않으므로 냉각효율이 우수함.

- 표준사양

CONTENTS	SPECIFICATION		DIMENSION(mm)				WEIGHT		fan & MOTor	
MODEL	CAPACITY (kcal/hr×10 ³)	WATER (m ³ ×hr)	L	W	H	h	NET (kg)	OPER- (kg)	fan DIA (Φ mm)	MOTor (kW)
TCC-500	1,950	390	4,640	4,640	4,800	1,300	5,300	10,300	2,500	11
-600	2,340	468	4,640	4,640	4,800	1,300	5,500	10,750	3,150	15
-700	2,730	546	5,340	5,340	5,150	1,300	6,750	13,300	3,150	15
-800	3,120	624	5,690	5,690	5,250	1,300	7,450	14,750	3,150	19
-900	3,510	702	5,740	5,740	5,200	1,550	8,250	15,950	3,550	22
-1000	3,900	780	6,090	6,090	5,300	1,550	9,050	17,500	4,000	22
-1100	4,290	856	6,265	6,265	5,350	1,550	9,550	18,650	4,000	30
-1200	4,680	936	6,615	6,615	5,450	1,550	10,300	20,300	4,000	30
-1300	5,070	1,014	6,790	6,790	5,550	1,800	10,850	21,350	4,000	30
-1400	5,460	1,092	7,140	7,140	5,700	1,800	11,800	24,450	4,500	37
-1500	5,850	1,170	7,315	7,315	5,750	1,800	12,250	25,400	4,500	45
-1600	6,240	1,248	7,490	7,490	5,750	1,800	12,700	26,500	4,500	45
-1800	7,020	1,404	7,840	7,840	5,750	1,800	14,150	29,400	4,500	45
-2000	7,800	1,560	8,365	8,365	6,150	2,050	15,650	32,500	5,600	45
-2200	8,580	1,716	8,715	8,715	6,150	2,050	16,500	34,750	5,600	55
-2400	9,360	1,872	8,940	8,940	6,300	2,050	19,100	38,850	5,600	75
-2500	9,750	1,950	9,290	9,290	6,500	2,050	20,100	40,950	5,600	75
-2600	10,140	2,028	9,640	9,640	6,550	2,050	21,150	43,400	5,600	75
-2800	10,920	2,184	9,990	9,990	6,650	2,050	22,700	48,250	6,300	75
-3000	11,700	2,340	10,340	10,340	6,800	2,050	23,950	50,850	6,300	75

- inlet water temp : 37℃
- outlet water temp : 32℃
- wet blub temp : 27℃
- R/T : 3,900kcal/hr

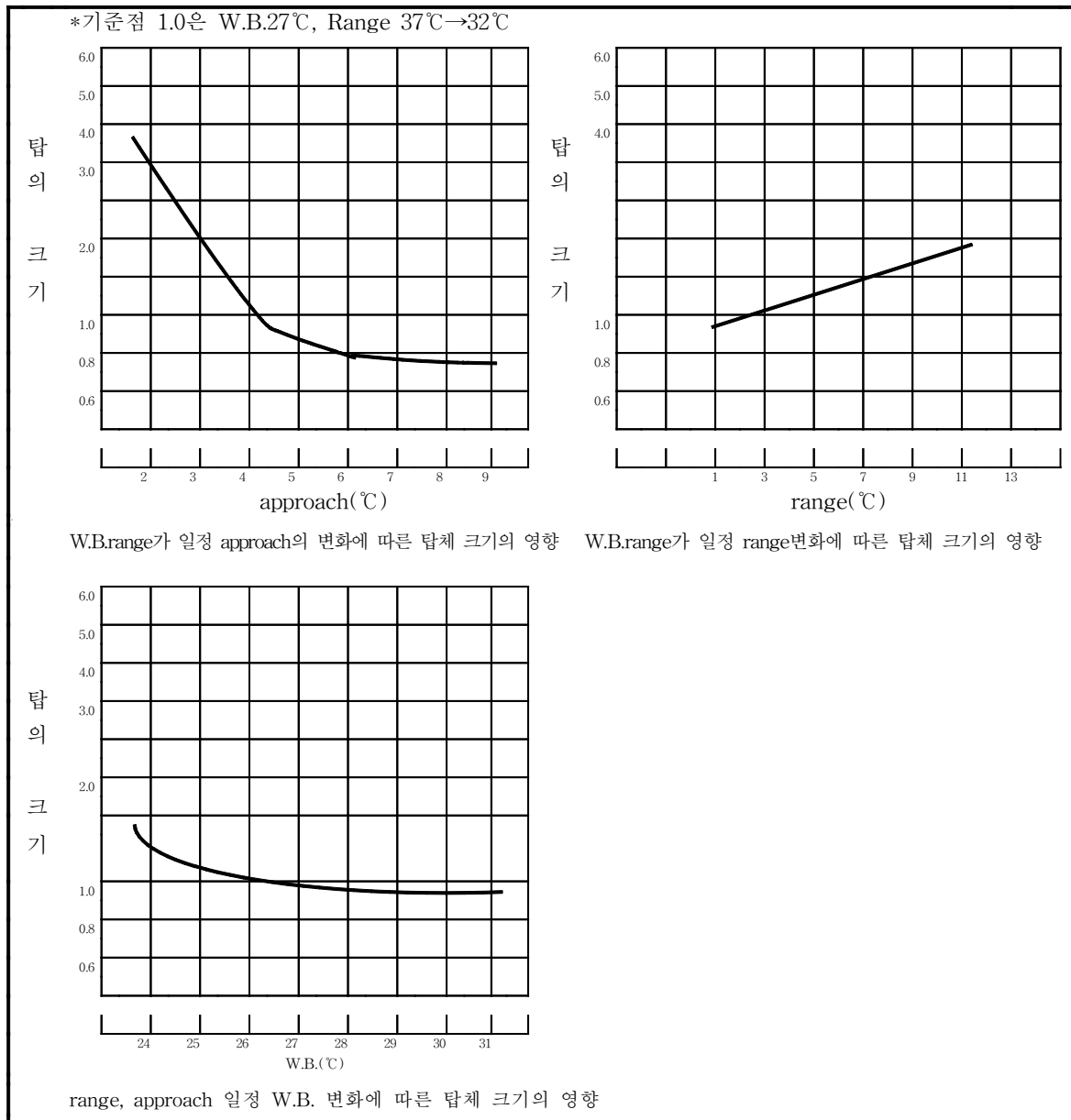


참고자료(reference data)

1. 냉각탑의 일반적 특성

- 1) 출구수온을 외기습구온도(W.B)이하로 선정할 수 없다.
- 2) 공기량이 많으면 탑체는 작게된다.(단, 송풍기동력은 증가한다.)
- 3) approach(냉각탑 출구수온-외기습구온도)가 크면 탑체는 작게 된다.
(단, approach 및 습구온도가 일정할 경우임)
- 4) range(냉각탑 입구온도-출구수온)가 적을 경우 탑체는 작게 된다.
(단, approach 및 습구온도가 일정할 경우임)

이상과 같이 approach, range, W.B는 냉각탑의 크기 즉 건설비용에 관계가 있다.
(단, 수량·풍량이 일정할 경우)아래 도표는 이러한 3요소가 냉각탑의 크기에 미치는 영향을 고려하여 나타내는 것으로 approach의 변화에 따라서 영향이 많은 것으로 분석된다



2. 보급수의 선정

- 1) 증발량(WE)m³/hr : 냉각탑에서 수온을 냉각하는 방법은 수온의 일부를 증발시켜 수온에서 발생하는 증발열을 포획하여 수온을 내린다. 여기서 물의 일부는 감량된다. 증발량은 아래와 같이 산출된다.

$$WE = \frac{(tw^1 - tw^2)}{600} \times L \times C \quad \& \quad \frac{Ht}{600}$$

WE : 증발량 m³/hr

HT : 냉각열량 kcal/hr

600 : 물의 증발잠열 kcal/hr

tw¹ : 입구수온 °C

tw² : 출구수온 °C

L : 순환수량 m³/hr

C : 물의 비열 1kcal/kg · °C

- 2) carry over량(WD) m³/hr : 송풍기에 의하여 발생하는 풍속으로 공기의 흐름에 의한 물의 비산이 발생되고 그 일부가 감량하게 된다. 이것을 carry over라 하고 탑의 구조양식, 탑체풍속에 따라 좌우되는 것으로 그 량이 적다. 통상 순환 수량의 0.15~0.3%정도가 된다.

- 3) blow down(WB) m³/hr : blow down은 순환수량의 일부의 방류를 말한다. blow down은 순환수가 반복 증발하게 되어 형성된 용해물이 조금도 제거되지 않고, gas 또는 고형물이 농축된 순환수가 부식성을 높이거나 혹은 scale을 형성함으로써 순환수의 일부를 나쁘게 한다.

blow down을 하는 경우 다음과 같은 방법으로 시작한다.

3-1 운전중에 drain valve를 약간 열어놓는다.

3-2 운전수위를 상부절정부까지 over flow한다.

3-3 하부구조의 청소를 하며 정기적으로 환수한다.

blow down양은 수질의 농축된 정도에 따라 다르나 공조용의 경우 일반적으로 0.3%정도가 필요량으로 분석된다.

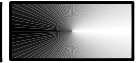
- 4) 보급수량 : $\Delta L = WE + WD + WB$

일반공조용의 경우 온도차는 5°C가 되므로 증발량은 순환수량의 0.84%가 된다.

따라서 전필요 보급수량은 1.44%가 되나 실제 순환수량의 2%정도로 볼 필요가 있다.

3. 내진설계 시공의 기본방침

냉각탑의 경우 건축 기준법에 수평진도는 지역계수의 1.0이상을 곱한 수치로 되어 있고 실제 냉각탑의 설계시공에 관해서는 좀더 큰 수치가 필요하다.



V. 악취농도 산정

1. 도장 booth로부터 용제 배출량 추정 산정

$$A = (1 - a + a \times b) \times c$$

A : 도장 booth로부터 배출 용제량 (g/min)

a : 도장효율

b : booth 내에서의 도막중 용제 증발율

c : spray 도료중의 용제 (g/min)

1) 계산 예 (산술적 산정)

$$a = 50\%$$

$$b = \text{도료중 희석제 농도}(\%) \times \text{도착효율}(\%)$$

(경화제 + 신너)

$$40 \times (1 - 0.5) = 20\%$$

$$c = \text{도료사용량}(\ell/\text{min}) \times \text{도료중 희석제 농도}(\%) \times \text{도료밀도}$$

$$= 0.5 \times 0.4 \times 0.94 \times 10^3 = 188 \text{ g/min}$$

$$A = (1 - 0.5 + 0.5 \times 0.2) \times 188 \text{ g/min} = 112.8 \text{ g/min}$$

- 배출농도

$$D = \frac{A \times 22.4}{Q \times M}$$

D = 배출농도 (ppm)

M = 주용제 분자량(톨루엔)

Q = 배출가스량 (m³/min)

A = 용제 배출량 (g/min)

$$= \frac{112.8 \times 22.4}{2,200 \times 92.13} = 12.46 \text{ ppm}$$

- 악취농도 산정

$$Y = K \log X + a \quad (\text{Weber - Fechner 식})$$

Y : 냄새 세기

K : 고유상수 (톨루엔 : 1.4)

X : 측정된 물질의 농도 (ppm)

a : 고유상수 (톨루엔 : 1.05)

$$Y = 1.4 \log 12.46 + 1.05 = 2.58 \text{도}$$

$$P = KS^n \text{ (정신학 물리적 지수법칙의 식)}$$

P : 냄새지수

K : 상수 (0.3 - 0.6)

S : 냄새의 농도

n : 실험상수 (0.15 - 0.8)

$$P = 0.5 \times (12.46)^{0.7} = 2.9 \text{도}$$

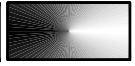
<표3-17> Weber - Fechner 식의 고유상수

	물 질 명	분 자 식	관측농도 (ppm)	Weber-Fechner식 상수		추정 냄새 세기
				k	a	
알 데 히 드	아세트알데히드	CH ₃ CHO	2.1	1.01	3.85	4.2
	아크로레인	C ₂ H ₃ CHO	0.39	1.51	3.30	2.7
	프로피온알데히드	C ₂ H ₅ CHO	0.58	1.01	3.86	3.6
	이소부틸알데히드	C ₃ H ₇ CHO	0.080			
	n-부틸알데히드	C ₃ H ₇ CHO	0.37	0.99	4.18	3.8
	이소발레르알데히드	C ₄ H ₉ CHO	0.088			
	n-발레르알데히드	C ₄ H ₉ CHO	0.13	1.36	5.28	4.1
지 방 산	포름산	HCCCH	0.94			
	아세트산	CH ₃ COOH	0.14	1.77	4.45	2.9
	프로피온산	C ₂ H ₅ COOH	0.087	1.46	5.03	3.5
	n-부티르산	C ₃ H ₇ COOH	0.0053	1.46	5.03	3.5
	n-펜타노익산	C ₄ H ₉ COOH	0.0018			
방 탄 화 학 족 수 소	벤젠	C ₆ H ₆	4.9			
	톨루엔	C ₆ H ₅ CH ₃	1.9	1.40	1.05	1.4
	스티렌	C ₆ H ₅ C ₂ H ₃	0.62	1.42	3.10	2.8
	에틸벤젠	C ₆ H ₅ C ₂ H ₅	0.061			
	m, p-크실렌	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	0.077	1.46	2.37	0.7
저 탄 화 수 급 소	메탄	CH ₄	158			
	아세틸렌	C ₂ H ₂	52			
	에틸렌	C ₂ H ₄	51			
	에탄	C ₂ H ₆	2.1			
	프로필렌	C ₃ H ₆	7.5			
	프로판	C ₃ H ₈	0.7			
질 화 합 소 물	암모니아	NH ₃	0.6	1.67	2.38	2.0
	트리메틸아민	(CH ₃) ₃ N	ND	0.901	4.56	
	시아나화수소	HCN	4.6			
	아세토니트릴	CH ₃ CN	0.03			
	아크릴로니트릴	C ₂ H ₃ CN	0.33			
기 타	일산화탄소	CO	960			
	이산화탄소	CO ₂	55,300			

* Weber - Fechner 식 $Y = K \log X + a$ 의 물질의 고유상수인 K와 a를 의미한다. 여기서 X는 측정된 물질의 농도(ppm)이므로 W-F 식으로부터 각 냄새성분의 취기기여강도를 산출할 수 있다.(이표의 마지막 항)

<표3-18> 도시 혹은 공장지대에서 생기는 악취물질의 최저 감지값과 발생원

화 합 물	감지값(ppm)	냄새종류	발생원의예
아황산가스	0.47		자동차, 화력발전소
황화수소	0.00047	부패한 계란냄새	
메틸메르캅탄	0.0021	자극적인 유황냄새	
황화이메틸	0.001	야채유황냄새	정유공장
벤젠	4.68	용제-신너	
톨루엔	2.14	나프탈렌-고무냄새	분뇨처리장
P-크실렌	0.47	단냄새	축산, 수산
스티렌	0.047	플라스틱-고무냄새	가공업
암모니아	46.8	자극성냄새	
디메틸아민	0.047	생선냄새	
메틸아민	0.021	자극성 생선냄새	
트리메틸아민	0.00021	자극성 생선냄새	화학공장
아닐린	1.0	자극성냄새	
아세트알데히드	0.21	곰팡이냄새	
아세트산(초산)	1.0	초산(신냄새)	
아크로레인	0.21	탄냄새, 자극성	
아크릴로니트릴	21.4	양파, 마늘냄새	
에틸아크릴레이트	0.00047	플라스틱타는냄새	
메틸메타아크릴레이트	0.21	자극성유황냄새	
염소	0.314	고추와같은 자극성	
페놀	0.047	의약품냄새	
아세톤	100.0	화학적 단냄새	
브롬	0.047	고추와 같은 자극성	
에탄올	10.0	단냄새	
메틸이소부틸케톤	0.47	단냄새	
디클로로메탄	214.0		
사염화탄소	100.0		
트리클로로에틸렌	21.4	용제	
퍼클로로에틸렌	4.68	용제	
이황화탄소	0.21	야채유황냄새	레이온공장
포름알데히드(포르말린)	1.0	자극성 건조냄새	의류



VI. 촉매연소에 의한 시설

1. 방지시설설계 및 검토인자

- 1) 형식 : 촉매식 탈취장치 등
- 2) 처리풍량 : $\text{m}^3/\text{분}$
- 3) 처리가스 온도 : $^{\circ}\text{C}$
- 4) 처리대상물질

2. 설계사양

- 1) 장치용량 : $\text{m}^3/\text{분}$
- 2) 형식
- 3) 장치개요
- 4) 촉매연소장치 본체
 - 형식
 - 처리가스 : $\text{m}^3/\text{분}$
 - 재질
 - 외부강판
 - 크기 (외형)

5) 촉매 엘레먼트

- 반응온도
- 코팅여부
- 무해화 여부
- model
- type
- 재질
- 표준size
- 사용온도
- 표준SV(l/hr) --- 공간속도

6) 전처리제

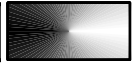
- model
- type
- 재질
- 표준size
- 사용온도
- 표준SV(l/hr)

7) 열교환기

- 형식
- 재질
- 효율 : 1차 열교환%, 2차 열교환%

8) 버너 (처리공기를 처리온도까지 가열하기위한 버너)

- 형식 : 예열버너
- 연료 : 천연가스
- model
- 최대용량 : kcal/hr



9) 공소운전 여부

배기처리를 장시간 연속운전시 전처리제의 효과가 떨어져 백금촉매가 제기능을 발휘하지 못하므로 정기적으로 공운전 행할 필요있음

- 운전온도
- 운전시간

10) 배기 fan

- 형식 : limit load fan 등
- 용량
- 수량

11) duct

- 규격
- 재질
- 수량

12) 배기처리온도조절기 설치여부

13) 부대시설

- 온도조절기
- 온도제어기
- 온도기록계
- 가스누출검지기
- 가스유량계
- 회전검지기
- 풍압스위치
- 가스압스위치

3. 설계시 참고사항

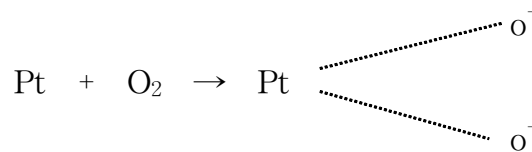
1) 촉매탈취의 원리 및 개론

- 촉매연소법은 백금성분을 촉매로 하여 상대적으로 낮은 300~400℃의 온도에서 VOC성분을 95~99% 정도의 우수한 처리효율로 무해화하며, energy cost가 적게들고, 열교환기의 crack문제의 우려가 없으며, thermal NO_x 및 CO와 같은 2차오염물질의 생성이 없음.

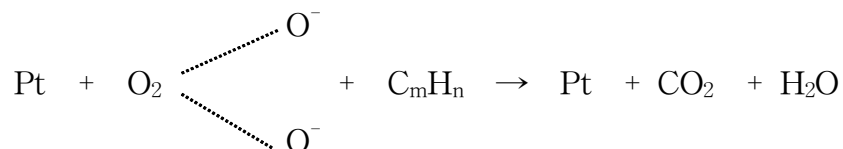
< 참 고 >

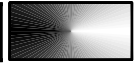
- 유기용제의 사용으로부터 배출되는 휘발성 유기화합물질(VOC)의 대부분은 C_xH_yO_z의 화학적 구조를 갖고 있다.
- 직접연소법 : 일반적으로 VOC성분들은 700~800℃에서 불로 태우면 무해화 되는데 이러한 방식의 탈취로를 직연식(DFI)이라고 하며, 항상 고온을 유지하여야 하므로 energy cost가 많이들고, 열교환기 edge(테두리)부분의 crack이 가끔 문제되며, 고온운전에 따른 thermal NO_x 및 CO의 발생과 같은 2차오염물질이 생성됨.

- 촉매역할을 하는 백금성분은 활성온도(300~400℃)에서 백금주변의 산소를 강력하게 끌어모아 일종의 고농도의 산소텐트를 형성하며, 산소원자가 다음과 같이 활성전하를 가지면서, 백금과 약한 공유결합을 하게된다.



이러한 상태에서 탄화수소와 같은 가연성의 분자가 유입되면 백금에 화학흡착된 활성전자를 보유한 산소와 반응하여 CO₂와 H₂O(수증기)로 완전산화하고 촉매의 표면으로부터 떨어져 나간다. 즉, 산소분자와 가연성 탄화수소성분이 [확산 → 흡착 → 표면반응 → 이탈]의 현상이 일어나며, 이것이 급격히 반복 반응의 형태로 나타난다.





- 촉매구성물질
 - base material : Ni - Cr 합금
 - 활성물질 : 백금(Pt)
 - 백금의 표준담지량 : 2g/l
 - 백금입자의 size : 평균 20Å
- 촉매입구 온도별 처리효율 : 촉매입구온도 350℃ 이상에서 100% 가깝게 처리된다.
- 촉매연소로의 system flow
 - oven으로부터 배가스는 열교환기로부터 열을 회수하여 320℃의 촉매연소 장치에 들어간다.
 - 버너에 의하여 필요한 촉매입구온도 $380 - 320 = 60^{\circ}\text{C}$ 를 보충
 - 촉매에서는 가연성 탄화수소의 산화발열에 50℃의 ΔT 가 발생하며, 촉매를 통과한 가스는 일반대기와 같은 깨끗한 공기가 된다.
 - 430℃의 열풍은 1차 열교환기에서 열회수가 되고, (열교환율 : 60%) 2차 열교환기에서도 열을 회수하여 20℃의 fresh air를 155℃로 승온하여 도장oven으로 공급함.
 - 촉매연소로 부터의 대기에서의 배출온도는 약 135℃수준임.

2) 촉매독 및 대책

- 촉매독 : 배기가스중에 유기실리콘(Si) 또는 유기인(P)성분이 포함되어 있을 경우, 이러한 성분들이 촉매에서 산화되어 SiO_2 와 P_2O_5 가 되면서 백금성분을 덮어버리는 현상이 일어나면서, 촉매의 처리효율을 떨어뜨린다.
- 대 책 : 촉매 전단에 전처리제를 듬으로써 촉매독성분이 촉매에 이르지 못하도록 만든다. 원리는 촉매독 성분이 전처리제에서 사전에 산화시키는 것이다.
전처리제를 사용하지 않은 경우보다 전처리제를 사용하는 경우가 촉매의 수명을 3~5배 연장시키는 효과를 얻을 수 있다.

- 촉매재생 : 수년간 사용하여 성능이 떨어진 촉매는 chemical cleaning에 의하여 원래의 상태로 성능을 회복시키는 것이 가능함.

3) 촉매의 수명 및 재생주기

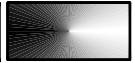
- 촉매로서의 백금은 자신은 화학적 성질에 변하지 않고 반응을 촉진시키는 역할을 하므로 소모성이 아님.
- 그러나 350~500℃의 고온에서 사용함에 따른 열적 기계적 열화로 약 10년 정도를 일반적 수명으로 보고 있다.
- 촉매재생주기 및 전처리제의 교환주기는 2년단위로 재생 및 교환을 추천하나 실제로는 3~4년 이상 단위로 하는 경우가 많은데, 촉매전·후단의 가스농도 분석결과 판정에 의해 연장한다.

4) 촉매탈취로 운전조작, 안전대책 및 보수

- 촉매maintenance plan (유지계획)
 - 촉매전후단의 가스농도 분석 및 검토 : 년1회 이상
 - 전처리제교체 및 촉매재생 : 매2년 1회
 - * 단, 가스농도 분석결과에 따라서 연장가능
 - carbon burning : 3개월에 1회 실시
 - 촉매에 쌓일 수 있는 tar성분의 제거를 위한 fresh air운전
 - 400℃ : 15분, 450℃ : 15분, 500℃ : 15분

5) 기타 참고사항

- 촉매량 선정의 적정성 : 촉매탈취로에서 촉매의량은 처리하고자하는 배기 가스의 풍량과 공간속도(SV)에 의하여 계산한다.



$$\text{공간속도}(1/hr) = \frac{\text{처리풍량}(Nm^3/hr)}{\text{촉매량}(m^3)}$$

공간속도는 gas flow의 촉매체적내에서의 체공시간의 역수이며, 이론적으로 가스성분이 백금성분에 0.01초만 접촉되더라도 순간적으로 산화되는 것으로 되어 있으나, 가스성분이 촉매를 통과하면서 백금과의 접촉확률을 감안하여 0.1초에 해당하는 촉매량을 사용하는 것이 좋은 조건이다.

- 전처리제의 base material로는 실리카 알루미나가 사용되며 그 표면에 실리카를 담지시킨 것으로서, 촉매독 성분은 산화가 되면서 흡착되어 촉매에까지 거의 도달되지 못한다.

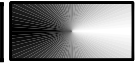
VII. 흡수에 의한시설

1. 방지시설설계 및 검토인자

- 1) 명 칭
- 2) 형 식 : 충전탑 등
- 3) 규 격 : $\Phi \times H$
- 4) 재 질
- 5) 공탑유속 : m/sec
- 6) 액가스비 : ℓ / m^3
- 7) demistor : $\Phi \times H \times lot's$
- 8) nozzle : $\ell / 분 \times ea$
- 9) sight hole : $\Phi \times lot's$
- 10) 충전탑일 경우 : packing의 종류, size

2. 설계조건

- 1) 처리가스량(Q) : $m^3 / 분$
- 2) 처리가스온도 : $^{\circ}C$



3. 본체의 설계 및 계산근거

1) 탑직경

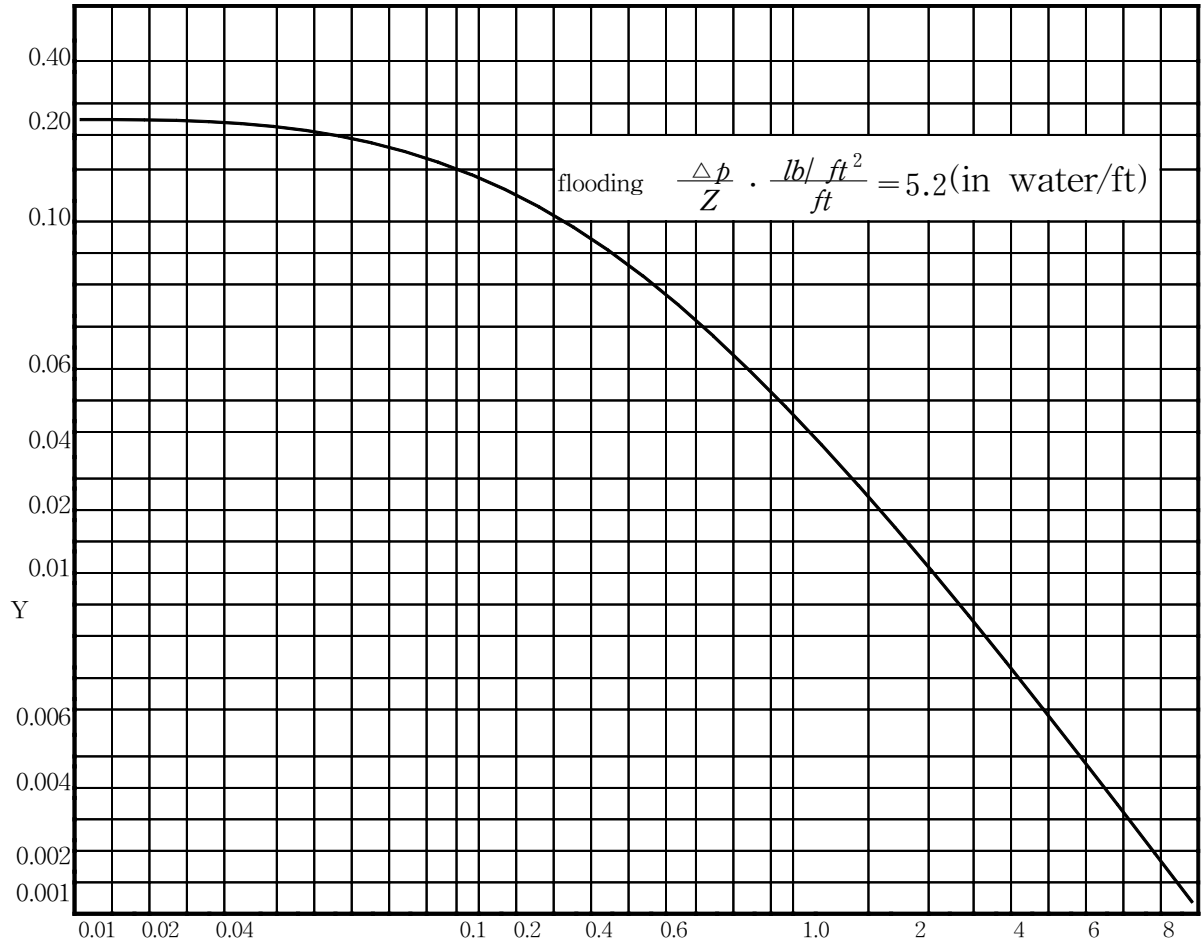
- 유입가스량(Q) : m³/분
- 처리가스량(V') : Q m³/분 × 60분/hr × 밀도 kg/m³ = kg/hr
- 용매유입량(L') : Q m³/분 × 60분/hr × 용매 kg/m³ = kg/hr
- 액가스비 : ℓ/m³
- 충전재 : 종류, 크기

① 다음식을 계산하여 [그림3-3]의 x축의 값을 구함

$$F' = \frac{L'}{V'} \times \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{0.5}$$

ρG : 배출가스밀도 (kg/m³)

ρL : 세정액 밀도 (kg/m³)



$$Y\text{축: } \frac{(G')^2 (\mu_L)^{0.2}}{G_C P_G P_L} \cdot \frac{\rho W}{\rho L} \quad X\text{축: } \frac{L'}{V'} \sqrt{\frac{P_G}{P_L}}$$

[그림3-3] 각종 충전재에 따른 기체부하율 압력손실비교

② ①에 의해 구해진 x축값에 의하여 [그림3-3]의 flooding곡선과 만나는 y축값을 구하고 다음식에 의하여 G'값을 구한다.

$$Y\text{축값 flooding } G' = \sqrt{\frac{K \times g \times \rho G \times \rho L}{F \times (\mu)^{0.2}}}$$

G' : 탑단면적당 배출가스량 (kg/sec.m²)

①에 의해 구해진 X축값에 의하여 [그림3-3]의 flooding곡선과 만나는 Y축값

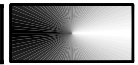
F : 충전재 계수 (m⁻¹)(a/ξ³) <표3-19>

μ : 세정액의 점도

g : 중력가속도

ρG : 가스밀도 kg/m³

ρL : 액밀도 kg/m³



<표3-19> 충전재 계수 $F(a/\epsilon^3)(m^{-1})$

충진재	호칭치수 (inch)		
	1	1 1/2	2
raschig ring ceramic	509	312	213
metal 1/32-in wall	377		
1/16-in wall	450	269	187
pall ring			
plastic	171	105	82
metal	157	92	66
intalox saddles	223	171	131
berl saddles	361	213	148

* 불규칙충전에 의한 충전계수

③ $G'f = G' \times 0.4 \sim 0.7$ (40 ~ 70%)

f : flooding point (익류점)

* 익류점의 40~70%를 곱해주는 이유는 익류점에서 탑을 운전할 경우 세정액이 배출가스에 의하여 익류하기 때문에 이것을 방지하기 위한 것임.

④ 탑단면적(A)의 결정

$$A = \frac{V'(kg/hr)}{G'f(kg/sec \cdot m^2) \times 3,600(sec/hr)} (m^2)$$

⑤ 탑내경의 결정

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} (m)$$

< 참 고 >

[flooding속도 구하는 식]

$$\ln \left[\frac{G_F^2 at (\mu L / \mu W)^{0.2}}{g_C \epsilon d^3 \rho_L \rho_G} \right] = -4 \left(\frac{L}{G} \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}} \right)$$

G_F : flooding속도(kg/m² · hr)at : 충전물비표면적(m²/m³)ρ_G, ρ_L : 기 · 액의 각밀도(kg/m³)μ_L, μ_W : 액 및 물의 각 점도(kg/m² · hr) 또는 (CP)G, L : 기 · 액의 각속도(kg · m/kg · hr²)g_C : 중력환산계수(kg · m/kg · hr²)

εd : 공간율[-]

2) 충전층의 높이산정

Z = 최고전달 단위수(NOG) × 총괄전달 단위높이(HOG)

① 총괄전달 단위높이(HOG)를 계산

$$HOG = HG + \left(m \frac{Gm}{Lm} \right) HL$$

$$HG = \frac{\alpha \cdot (G')^\beta}{(L')^\gamma} \times \left(\frac{\mu_G}{\rho_G D_G} \right)^{0.5}$$

$$HL = \Phi \left(\frac{L'}{\mu_L} \right)^\eta \times \left(\frac{\mu_L}{\rho_L D_L} \right)^{0.5}$$

HG : 기상전달 단위높이 (H.T.U)

HL : 액상전달 단위높이 (H.T.U)

m : 평형곡선의 기울기[그림3-5]~[그림3-9]참조

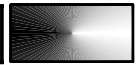
G_m : 가스의 공탑 몰속도 (kg-mol/m² · hr)L_m : 액체의 공탑 몰속도 (kg-mol/m² · hr)

α, β, γ, Φ, η : 충전재 계수<표3-20>

G' : 가스의 공탑질량속도 (kg/m² · hr)L' : 액체의 공탑질량속도 (kg/m² · hr)

$$\frac{\mu_G}{\rho_G D_G} = \text{가스상의 슈미트수} \langle \text{표3-21} \rangle$$

$$\frac{\mu_L}{\rho_L} = \text{액체상의 슈미트수} \langle \text{표3-22} \rangle$$

<표3-20> 정수 α , β , γ , ϕ , η 의 값

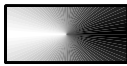
		H _G 추산식(식Ⅶ-4)의 정수					H _L 추산식(식Ⅶ-5)의 정수		
	호칭 치수 [in]	α	β	γ	적 용 범 위		Φ	η	적용 범위
					G	L			L
raschig rings	3/8	2.32	0.45	0.47	1,000~2,500	2,500~7,500	0.00182	0.46	2,000~ 75,000
	1	7.0	0.39	0.58	1,000~4,000	2,000~2,500	0.0100	0.22	
		6.41	0.32	0.51	1,000~3,000	2,500~22,500			
	1 1/2	17.30	0.38	0.66	1,000~3,500	2,500~7,500	0.0111	0.22	
		2.58	0.38	0.40	1,000~3,500	7,500~22,500			
2	3.82	0.41	0.45	1,000~4,000	2,500~22,500	0.0125	0.22		
berl saddles	1/2	32.40	0.30	0.74	1,000~3,500	2,500~7,500	0.00666	0.28	
		0.81	0.30	0.24	1,000~3,500	7,500~22,500			
	1	1.97	0.36	0.40	1,000~4,000	2,000~22,500	0.00588	0.28	
	1 1/2	5.05	0.32	0.45	1,000~5,000	2,000~22,500	0.00625	0.28	

주1) pall ring에 대해서는 raschig ring에 준하여 사용한다.

주2) α , ϕ 값은 미터단위일경우 0.3048을 곱하여 준 값을 사용한다.

<표3-21> 확산계수와 슈미트수(25℃와 1기압의 대기에서)

substance	D, cm ² /Sec	$\frac{\mu}{\rho D}$
ammonia	0.236	0.66
carbon dioxide	0.164	0.94
hydrogen	0.410	0.22
oxygen	0.206	0.75
water	0.256	0.60
carbon disulfide	0.107	1.45
methanol	0.159	0.97
benzene	0.088	1.76
toluene	0.084	1.84
xylene	0.071	2.18
hydrogen chloride	0.178	0.875
hydrogen fluoride	0.219	0.711
hydrogen sulfide	0.092	1.693
hydrogen chromiam	0.091	1.712
nitrogen dioxide	0.120	1.298

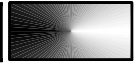


<표3-22> 확산계수와 슈미트 수(20℃의 액체에서)

Solute	$\frac{D \times 10^5}{(\text{cm}^2/\text{Sec}) \times 10^5}$	$\frac{\mu}{\rho D}$
O ₂	1.80	558
CO ₂	1.77	559
N ₂ O	1.51	665
NH ₃	1.76	570
Cl ₂	1.22	824
Br ₂	1.20	840
H ₂	5.13	196
N ₂	1.64	613
HCl	2.64	381
H ₂ S	1.41	712
H ₂ SO ₄	1.73	580
HNO ₃	2.60	390
acetic acid	0.88	1,140
methanol	1.28	785
sodium chloride	1.35	745
sodium hydroxide	1.51	665

② 총괄전달 단위수(NOG)의 계산

$$NOG = \ln \frac{1}{1-\eta} = 2.3 \times \log \frac{1}{1-\eta}$$



③ 충전층높이

$$Z = \text{NOG} \times \text{HOG}$$

3) 탑의 높이

충전층의 높이 + 액분사공간 + 배수분리기설치공간 + 가스유입공간을 고려하여 결정

4) 충전층의 압력손실

$$\Delta P/Z = \alpha \cdot 10^{\beta L/\rho_L} \times (G^2/\rho_G)$$

ΔP : 단위충전층 높이에 대한 압력손실 (kg/m^2)

Z : 충전층의 높이 (m)

G : 가스의 공탑질량속도 ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{hr}$)

L : 액체의 공탑질량속도 ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{hr}$)

ρ_G : 가스의 밀도 (kg/m^3)

ρ_L : 액체의 밀도 (kg/m^3)

α, β : 충전물에 대한 실험정수 (표3-23)

<표3-23> 충전물에 대한 실험정수 α, β

충 전 물	호칭치수 (in)	$\alpha \times 10^{-6}$	$\beta \times 10^{-2}$	충 전 물	호칭치수 (in)	$\alpha \times 10^{-6}$	$\beta \times 10^{-2}$
raschig ring (ceramic)	1	3.46	1.42	베를새들 (자 제)	1	1.73	0.967
	3/2	1.30	1.31		3/2	0.864	0.740
	2	1.21	0.967	인터록스새들 (ceramic)	1	1.34	0.910
raschig ring (금속제)	1	1.81	1.19		3/2	0.605	0.740
	3/2	1.25	1.14	pall ring (금속제)	1	0.648	0.853
	2	0.994	0.786		3/2	0.346	0.910
					2	0.259	0.683

5) 세정 pump의 용량

$$\text{물 분무량} : Q(\text{m}^3/\text{분}) \times \text{액가스비}(\ell/\text{m}^3) \times 10^{-3}(\text{m}^3/\ell) = \text{m}^3/\text{분}$$

6) 충전ring갯수

7) nozzle의 개수

4. duct설계 및 송풍기 선정

1) duct의 설계

- duct의 반송속도 : m/sec
- 배기 계통도 : 도면참조
- duct경 산출

$$D(m) = \sqrt{\frac{Q(\text{m}^3/\text{min}) \times 4}{\pi \times \text{반송속도}(\text{m}/\text{sec}) \times 60 \text{ sec} / \text{min}}}$$

2) 송풍기의 설계

- 형식 : turbo등
- 처리풍량(Q) : m³/분
- 풍압(P) : mmAq
- 효율(η) : %
- 동력(HP)

$$HP = \frac{Q \times P}{75 \times 60 \times \eta} \times 1.2$$

3) push fan : HP × m³/분 × 1식

* 총push노즐 공급량에 의해 push fan마력 결정

5. 총압력손실 계산

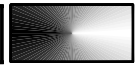
1) 후드유입에 대한 압력손실(P₁)

$$P_1(\text{mmAq}) = F \times P_v \times N$$

F : 압력손실계수

$$P_v(\text{동압}) = \frac{\rho V^2}{2g} \quad (g = 9.8)$$

N : 후드갯수

2) 직관에 의한 압력손실(P_2)

$$P_2 = \lambda \times \frac{L}{D} \times \frac{\rho V^2}{2g}$$

λ : 마찰계수

D : duct 구경

L : duct 길이

R : 기체밀도

V : duct유속 (m/sec)

g : 중력가속도 (9.8m/sec²)

3) 곡관에 의한 압력손실(P_3)

$$P_3 = \xi \times P_v \times N$$

ξ : 압력손실계수

P_v : mmAq

R/D : 레이놀즈 수

N : 곡관수

4) 합류관에 의한 압력손실(P_4)

$$P_4 = (P_1 + P_2) \times n$$

$$= [(\xi_1 \times P_v) + (\xi_2 \times P_v)] \times n$$

n : 합류관 수

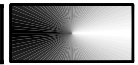
5) 총압력손실(P_T)

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + \text{충전층의 압력손실}$$

2. 설계시 참고사항

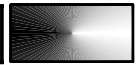
<표3-24> 가스 흡수장치 비교표

명 칭	개 요	장 치 특 성 (계획요령)	장 점	단 점
충진탑 (packed tower)	표면적이 큰 충전물의 표면에 물을 흐르게하여 가스를 저속으로 향류접촉시킨다.	<ul style="list-style-type: none"> 가스겉보기속도 0.3~1m/sec 급수량 15~20t/m² · hr 액기비 1~10ℓ/m³ 충진높이 2~5m 압력손실 50 mmAq/탑높이m 	<ul style="list-style-type: none"> 급수량이 적당하면, 효과는 거의 확실하다. 가스량변동에도, 비교적 적응성이 있다. 압력손실이 그렇게 크지않다. 	<ul style="list-style-type: none"> 가스유속이 높을 때와 flooding상태로 되면 조작 불능 흡수액에 고형분을 함유할 경우 흡수에 의한 침전물이 생길 경우는 눈막힘까지 일으킴.
spray탑 (분무실)	공탑내에 물을 분무하여 가스를 저속으로 접촉시킴	<ul style="list-style-type: none"> 가스겉보기속도 0.2~1.0m/sec 탑높이 5m이상이 적당 액기비 0.1~1ℓ/m³ 압력손실 2~20 mmAq 	<ul style="list-style-type: none"> 구조가 간단하다. 충진탑보다 값싸다. 압력손실이 작다. 흡수와 동시에 가스중의 먼지를 제거했을 때와 침전물이 생긴 흡수공정에 적합. 	<ul style="list-style-type: none"> 분무동력이 크다 분무시 눈막힘까지 일으키기 쉽다. 편류가 일어나기 쉽다. 분무액과 가스를 접촉시키기가 어렵다 효과 불확실함.
cyclone scrubber	흡수탑에 가스를 tangential에 도입해 탑내에 분무시키는 액과 접촉시킨다.	<ul style="list-style-type: none"> 입구가스속도 15~35m/sec 가스겉보기속도 1~3m/sec 액기비 0.5~5ℓ/m³ 압력손실 50~300mmAq 	<ul style="list-style-type: none"> 대용량의 가스를 처리할 수 있다. 비말동반량이 적다. 비교적 구조가 간단하다. 수용성인 가스에는 효과가 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> 싸이크론지름을 크게 할수록 효율이 저하한다. 분무노즐에 눈막힘까지 일어나기 쉽다. 높은 수압 필요
venturi scrubber	가스를 slot에 고속으로 흐르게 하여 소량의 물과 병류 혼합한다.	<ul style="list-style-type: none"> slot부 가스속도 30~100m/sec 액기비 0.3~1.2ℓ/m³ 압력손실 300~900 mmAq 	<ul style="list-style-type: none"> 소형이고 대용량인 가스를 처리할 수 있다. 흡수효율을 최량으로 대부분 평균상태에 도달한다. 	<ul style="list-style-type: none"> 수량이 많기 때문에 동력비가 비싸다. 가스량이 많을때는 불리하다.



명 칭	개 요	장 치 특 성 (계획요령)	장 점	단 점
hydro filter	탑내에 충전한 플라스틱 기구에 가스를 흐르게 해서 유동층 없이 액과 향류접촉한다.	<ul style="list-style-type: none"> o 가스속도 1~5m/sec o 액기비 1~10ℓ/m³ o 압력손실 60~80 mmAq/단 	<ul style="list-style-type: none"> o 탑이 소형화된 경량으로 동일처리량에서는 탑직경의 충전탑의 1/2 이하 충전물의 1/20 이하로 된다. o 탑내눈막힘을 일으키지 않는다. 따라서 dust를 함유할 경우에 적합하다. o 압력손실이 작다 	<ul style="list-style-type: none"> o 가스속도의 변동이 있을 경우 부적합. o 대량의 가스처리에는 충전탑보다 고가로 됨.
cascade탑	o strainer(선반)에 물을 점차 유하시켜 가스를 저속으로 향류접촉시킨다. 젖은 벽탑도 이 일종이다.	o 가스겉보기속도 1m/sec이하.	<ul style="list-style-type: none"> o 흡수효율은 충전탑과 분무탑의 중간이다. o flooding의 일어난이 느리다. 	o 충전탑보다는 효과는 약간 불확실하다.
유 수 식 난 류 형	기저부의 끝에 물을 가스와 난류상태로서 불어올려 수막과 shower를 형성 병류혼합한다	o 가스수면속도 30 m/sec내외 가수량에 의한 표준형이다.	<ul style="list-style-type: none"> o 흡수효율은 벤츄리 스크라바에 필적한다. o 소형이고 압력손실 작다. (100mmAq내외) 	<ul style="list-style-type: none"> o 벤츄리와 젯트스크라바와 똑같은 병류 때문에 고농도의 가스를 수세했을 때에 여러단시리즈가 필요하다. o 가스저항 50~100 mmAq
단 탑 (포종탑)	증류장치에 널리 사용된다. baffle cap선반의 응용이고 가스는 가느다란 slit로부터 수중에 분산된다.	<ul style="list-style-type: none"> o 액기비 0.3~5ℓ/m³ o 가스겉보기속도 0.3~1.0m/sec (단간격 40cm) o 압력손실100~200 (mmAq/단) 	<ul style="list-style-type: none"> o 비교적 소량의 액량으로 조작함 o 흡수속도가 비교적 느린 가스에 적합하다. 	<ul style="list-style-type: none"> o 가스량의 변동이 심할 경우는 조절할 수 있다. o 구조가 복잡하고 대형으로 되어 고가이다. o 흡수로서의 단효율은 10%정도이나 그것 이하이면 효율이 낮다.

명 칭	개 요	장 치 특 성 (계획요령)	장 점	단 점
단 탑 (젖은 선반)	다공판 또는 각자 상판의 선반만이고 가스속도를 높여서 파동상태이고 액과 향류접촉시킨다.	<ul style="list-style-type: none"> 공탑속도 3~6 m/sec 액기비 1.0~4.5 ℓ/m^3 압력손실 150~300mmAq 	<ul style="list-style-type: none"> compact한 대용량의 가스에 적합하다. 스케일이 부착함이 없다. 높은 효율이 얻어진다. 구조는 간단하다. 	<ul style="list-style-type: none"> 가스속도 변동시 부적합. 고성능 미스트비산 방지 장치 필요 내마모 재질 필요
원판회전식	원심력을 이용해서 수적을 고속으로 운동시킴과 동시에 기류를 회전시켜서 흡수를 시행한다.	<ul style="list-style-type: none"> 공탑속도 2~3 m/sec 액기비 0.5~5 ℓ/m^3 압력손실 50~130mmAq 	<ul style="list-style-type: none"> 압력손실 작다 소형화 가능 기액접촉면적 크다 	<ul style="list-style-type: none"> 고속가동으로 동력비 비쌈 탑경을 아주 크게 할 수 없음 비교적 고가임
기 포 탑	액 탱크의 저부에 가스분출노즐을 설치하여 가스를 미세 입자로서 액중에 분산시킨다.	<ul style="list-style-type: none"> 공탑가스속도 30~100m/hr (0.01~0.3m/sec) 가스압력손실 200~1500mmAq 	<ul style="list-style-type: none"> 액측 용기계수가 충전탑에서의 값의 몇배에 미치는 큰 값이어서 액상저항의 지배적인 계의 흡수에 적합. 구조가 간단하고, 내식재료에 의한 제작이 용이하다. 	<ul style="list-style-type: none"> 압력손실이 클수 있다. 대량의 가스처리에 적합
기포교반 탱크	기포탑에 교반장치를 설비한 탱크임.	<ul style="list-style-type: none"> 가스속도 100m/hr이하 - 터빈날개, 20m/hr이하 - 사다리형 날개 	<ul style="list-style-type: none"> 액측저항이 큰계의 흡수에 적합하다. 고체입자의 현탁액을 흡수율로 할때 아주 적합하다. 흡수효율이 높다. 	<ul style="list-style-type: none"> 압력손실 크다. 가스속도를 크게 할 수 없다.
액 막 식 흡 수 탑 (십자류 접촉장치)	망의 표면에 액막을 형성시켜 가스를 십자흐름에 통과 시킨다.	<ul style="list-style-type: none"> 공탑속도 10~15 m/sec 액기비 3~7 ℓ/m^3 압력손실 100~150mmAq (액막 12판 일 때) 	<ul style="list-style-type: none"> 압력손실 작다. 공탑속도가 크게 되기 때문에 장치가 소형화 될 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> 망표면에 액막을 균일하게 형성시킬 필요가 있다. 흡수에 의해 생긴 슬러지의 처리대책을 충분히 고려할 필요가 있다.



<표3-25> 물의 점도(centipoise, 0℃ ~ 100℃)

℃	η (CP)	℃	η (CP)	℃	η (CP)	℃	η (CP)
0	1.787	26	0.8705	52	0.5290	78	0.3638
1	1.728	27	0.8513	53	0.5204	79	0.3592
2	1.671	28	0.8327	54	0.5121	80	0.3547
3	1.618	29	0.8148	55	0.5040	81	0.3503
4	1.567	30	0.7975	56	0.4961	82	0.3460
5	1.519	31	0.7808	57	0.4884	83	0.3418
6	1.472	32	0.7647	58	0.4809	84	0.3377
7	1.428	33	0.7491	59	0.4736	85	0.3337
8	1.380	34	0.7340	60	0.4665	86	0.3297
9	1.346	35	0.7194	61	0.4596	87	0.3259
10	1.307	36	0.7052	62	0.4528	88	0.3221
11	1.271	37	0.6915	63	0.4462	89	0.3184
12	1.235	38	0.6783	64	0.4398	90	0.3147
13	1.202	39	0.6654	65	0.4335	91	0.3111
14	1.169	40	0.6529	66	0.4273	92	0.3076
15	1.139	41	0.6408	67	0.4213	93	0.3042
16	1.109	42	0.6291	68	0.4155	94	0.3008
17	1.081	43	0.6178	69	0.4098	95	0.2975
18	1.053	44	0.6067	70	0.4042	96	0.2942
19	1.057	45	0.5960	71	0.3987	97	0.2911
20	1.002	46	0.5856	72	0.3934	98	0.2879
21	0.9779	47	0.5755	73	0.3882	99	0.2848
22	0.9548	48	0.5656	74	0.3831	100	0.2818
23	0.9325	49	0.5561	75	0.3781		
24	0.9111	50	0.5468	76	0.3732		
25	0.8904	51	0.5378	77	0.3684		

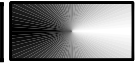
<표3-26> 분자용산출에 사용되는 원자용

원 소	원 자 용	원 소	원 자 용
C	14.8	As	30.5
H(화합물)	3.7	Bi	48.0
O(이중결합)	7.4	Br	27.0
(알데히드, 케톤)	7.4	Cr	27.4
(메칠에테르)	9.9	F	8.7
(메칠에스테르)	9.1	Ge	34.5
(고급에스테르, 고급에테르)	11.0	I	37.0
(알콜, 카르본산)	12.0	P	27.0
(N,P,S와의 결합)	8.3	S	25.6
N(제1아민, -NH ₂)	10.5	Si	32.0
(제2아민, -NH-)	12.0	Sn	42.3
(제3아민, -N-)	14.8	Ti	35.7
Cl(결합끝에 있을 때, R-Cl)	21.6	V	32.0
(결합 중간에 있을 때, R-CHCl-R)	24.6	Zn	20.4

<표3-27> 분자용⁺[CC/g-mole]

공기	29.9	CO	30.7	H ₂ O	18.9	NH ₃	25.8
O ₂	25.6	CO ₂	34.0	D ₂ O	20.0	Cl ₃	48.4
N ₂	31.2	SO ₂	44.8	NO	23.6	Br ₂	53.2
H ₂	14.2	H ₂ S	32.9	N ₂ O	36.4	I ₂	71.5

+ 이값 이외의 것은 원자용의 합산에 의하여 구한다.



6) 액상의 확산계수

액상의 확산계수는 식과 그래프에 의해 구할 수 있다.

- Wilke의 식

$$D = 7.4 \times 10^{-8} \frac{2.6 \times M^{12} \cdot T}{\mu V^{0.6}} \quad (\text{용매가 물인 경우})$$

$$= 1.1932 \times 10^{-7} \frac{(M)^{12} \cdot T}{\mu V^{0.6}}$$

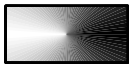
여기서, D : 확산계수 (cm²/sec)

M : 용매의 분자량

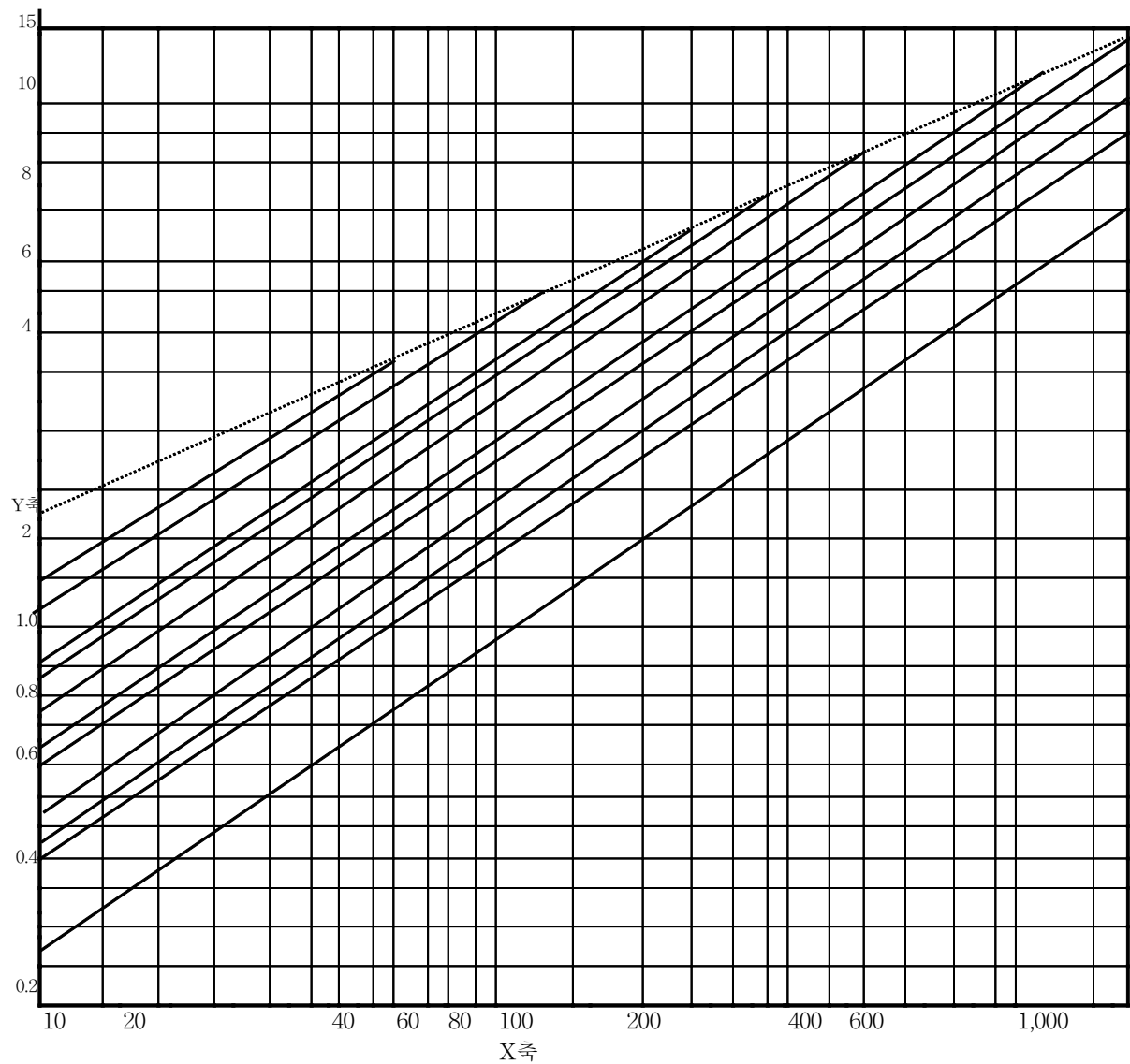
T : 절대온도 (°K)

μ : 용액의 점도 (C.P)

V : 용질의 분자용(cc/g-mole)



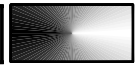
7) 그래프에 의한 확산계수



Y축 : $\frac{T}{D\mu} \times 10^{-7} (^{\circ}K)(\text{sec})/(\text{cm}^2)(C.P)$

X축 : 용질의 분자용(CC)/g-mole

[그림3-4] 액상확산계수를 구하는 그래프

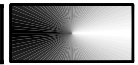


<표3-28> 충전물의 특성

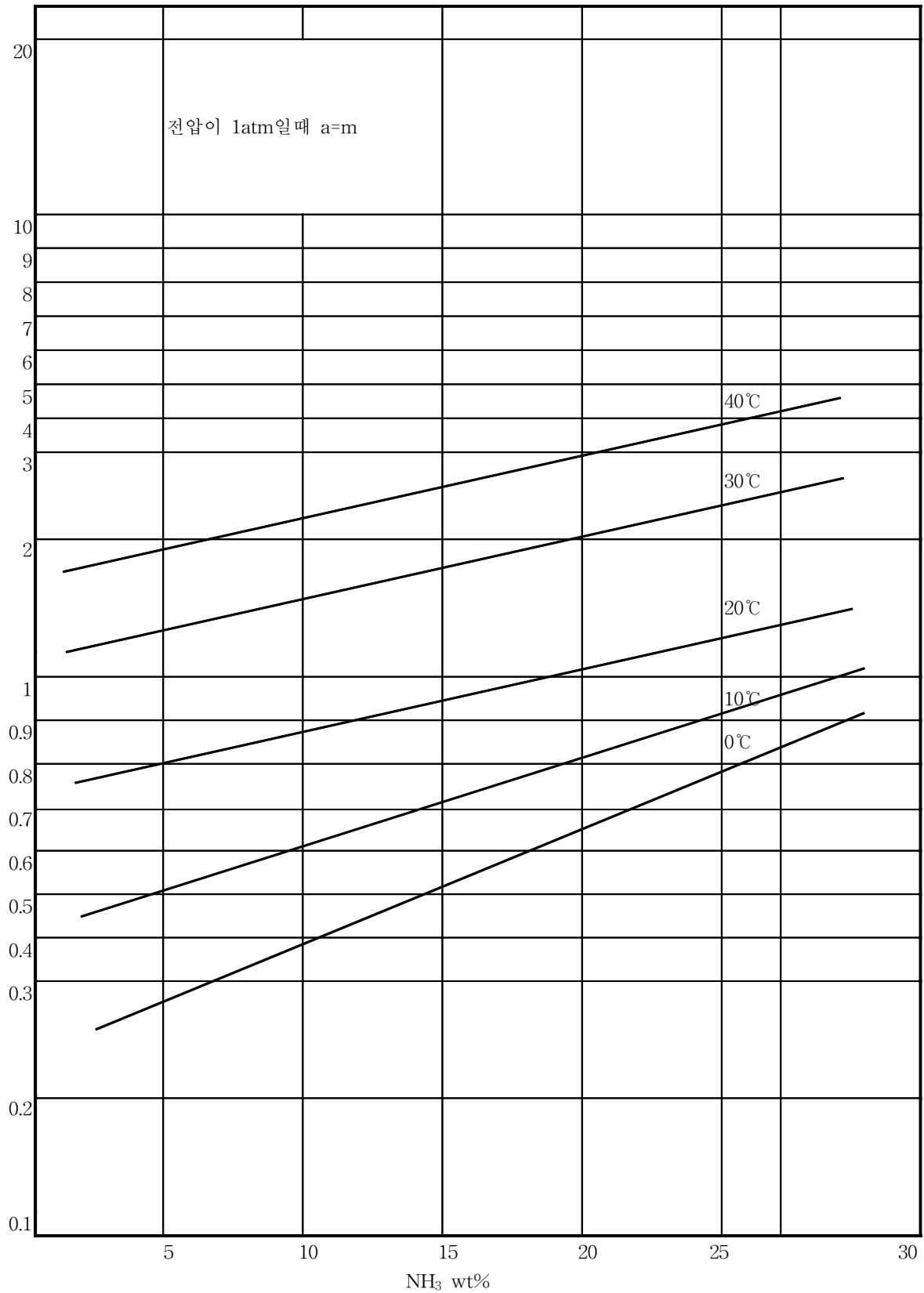
충전물	재 질	크기(공칭) Dp [in]	두께 [in]	충전개수 [개/m³]	충전밀도 [kg/m³]	표면적비 a_t [m²/m³]	공간율 ϵ_d [%]	packing factor [1/m]
raschig ring ¹⁾	자기재	1/4	1/32	3,110,000	737	787	73	1,620
		3/8	1/16	848,000	817	440	68	
		1/2	3/32	371,000	801	400	64	
		3/4	3/32	111,000	705	262	73	
		1	1/8	47,700	641	190	73	
		1 1/2	1/4	13,200	673	115	68	
		2	1/4	5,720	593	91.9	74	
		3	3/8	1,700	641	62.3	74	
	Carbon	1/4	1/16	3,000,000	737	696	55	9,080
		1/2	1/16	374,000	433	374	74	
		3/4	1/8	111,000	545	246	67	
		1	1/8	46,800	433	187	74	
		1 1/2	1/4	13,800	545	123	67	
		2	1/4	5,860	433	93.5	74	
		3	5/16	1,730	529	62.3	78	
	금속 (탄소강)	1/4	1/32	3,110,000	2,400	774	69	985
		1/2	1/32	417,000	1,230	420	84	
		1/2	1/16	388,000	2,110	387	73	
		3/4	1/32	120,000	881	274	88	
		3/4	1/16	113,000	1,600	236	78	
		1	1/32	50,900	641	206	92	
		1	1/16	47,500	1,170	186	85	
		1 1/2	1/16	14,800	801	135	90	
		2	1/16	6,360	609	103	92	
		3	1/16	1,870	401	67.6	95	
lessig ring ¹⁾	자기재	1	1/8	45,900	801	226	66	
		1 1/2	1/4	12,400	929	131	60	
		2	3/8	5,300	785	105	68	
	금속 (탄소강)	1/4	1/32	2,890,000	3,120	1,010	60	
		3/8	2/32	887,000	830	712	76	
		1/2	1/32	387,000	1,600	546	81	
		3/4	1/32	112,000	1,140	356	85	
		1	1/16	44,200	1,520	242	80	
		1 1/2	1/16	13,800	1,040	176	87	
		2	1/16	5,900	785	134	90	

<표3-28계속>

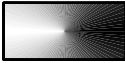
충전물	재 질	크기(공칭) Dp [in]	두께 [in]	충전개수 [개/m³]	충전밀도 [kg/m³]	표면적비 a _t [m²/m³]	공간율 ε _d [%]	packing factor [1/m]
pall ring ²⁾	자기재	2	1/4	5,790	609	95.1	74	
		3	3/8	1,730	641	65.6	74	
	금 속 (탄소강)	5/8	0.4mm	234,000	465	361	90.2	283
		1	0.8mm	50,900	513	207	93.8	147
		1 1/2	0.8mm	13,300	376	129	95.3	79
		2	1.6mm	6,360	352	102	96.4	59
	Polypro pylene	5/8		234,000	72.1	361	88	318
		1		50,900	72.1	207	90	170
		1 1/2		13,300	67.3	128	90.5	105
		2		6,360	67.3	102	91	82
berl saddle ¹⁾	자기재	1/4		3,990,000	897	899	60	
		1/2		572,000	865	466	63	1,250
		3/4		177,000	769	269	66	557
		1		77,700	721	249	69	361
		1 1/2		20,500	609	144	75	213
		2		8,830	641	105	72	148
saddle intalox ¹⁾	자기재	1/4		4,150,000	672	684	75	1,970
		1/2		731,000	545	623	78	870
		3/4		230,000	561	335	77	
		1		84,200	545	256	77.5	322
		1 1/2		25,000	481	195	81	170
		2		9,360	529	118	79	115
telleret ²⁾	Polypro pylene	S형		32,500	110	185	88	
		L형		3,900	90	102	89	



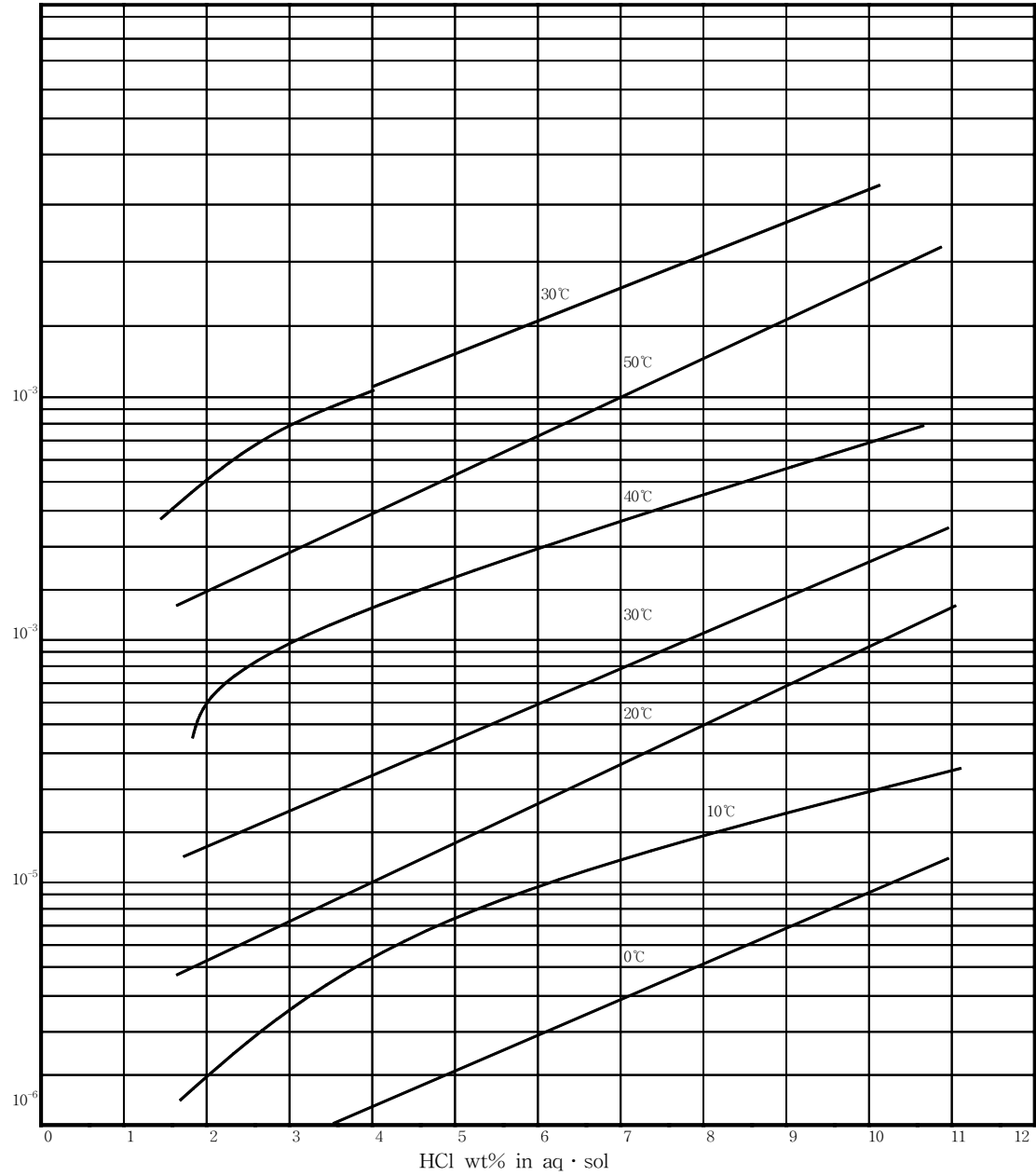
Y축 : (atm/mol fr.)



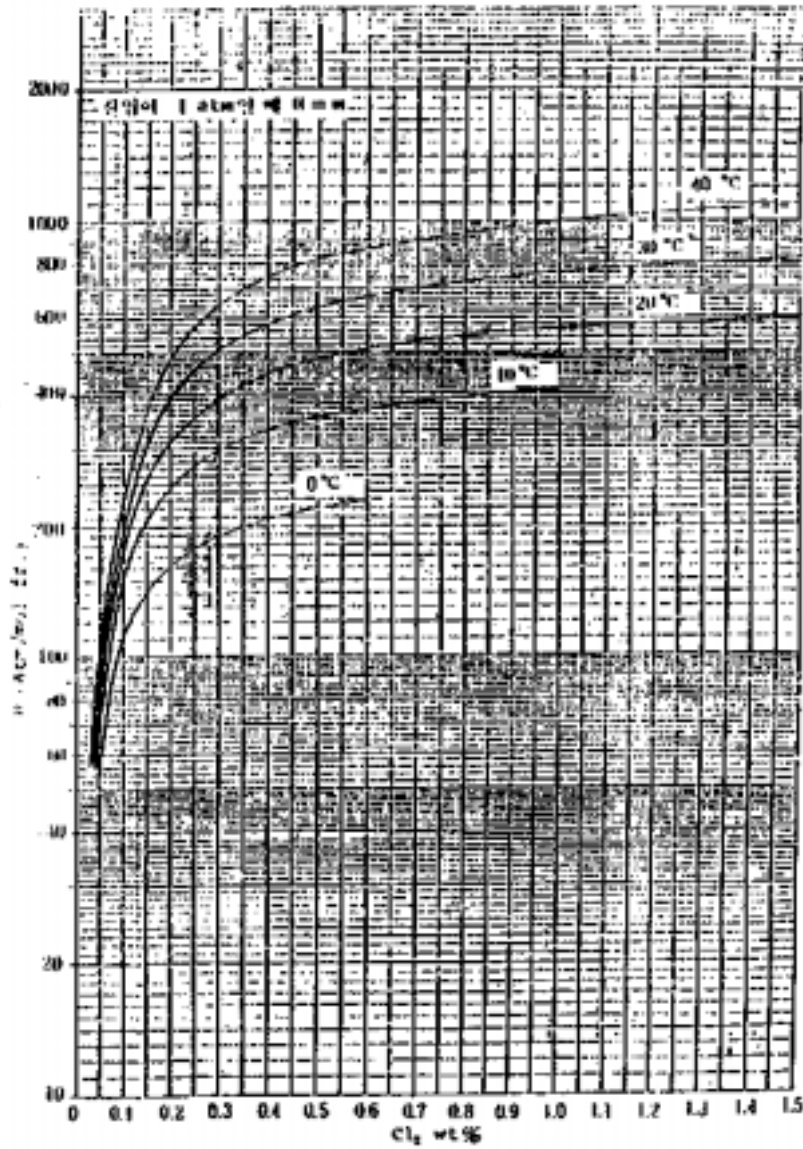
[그림3-5] H₂O-NH₃의 헨리정수(m)

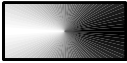


H(atm/mol fr)



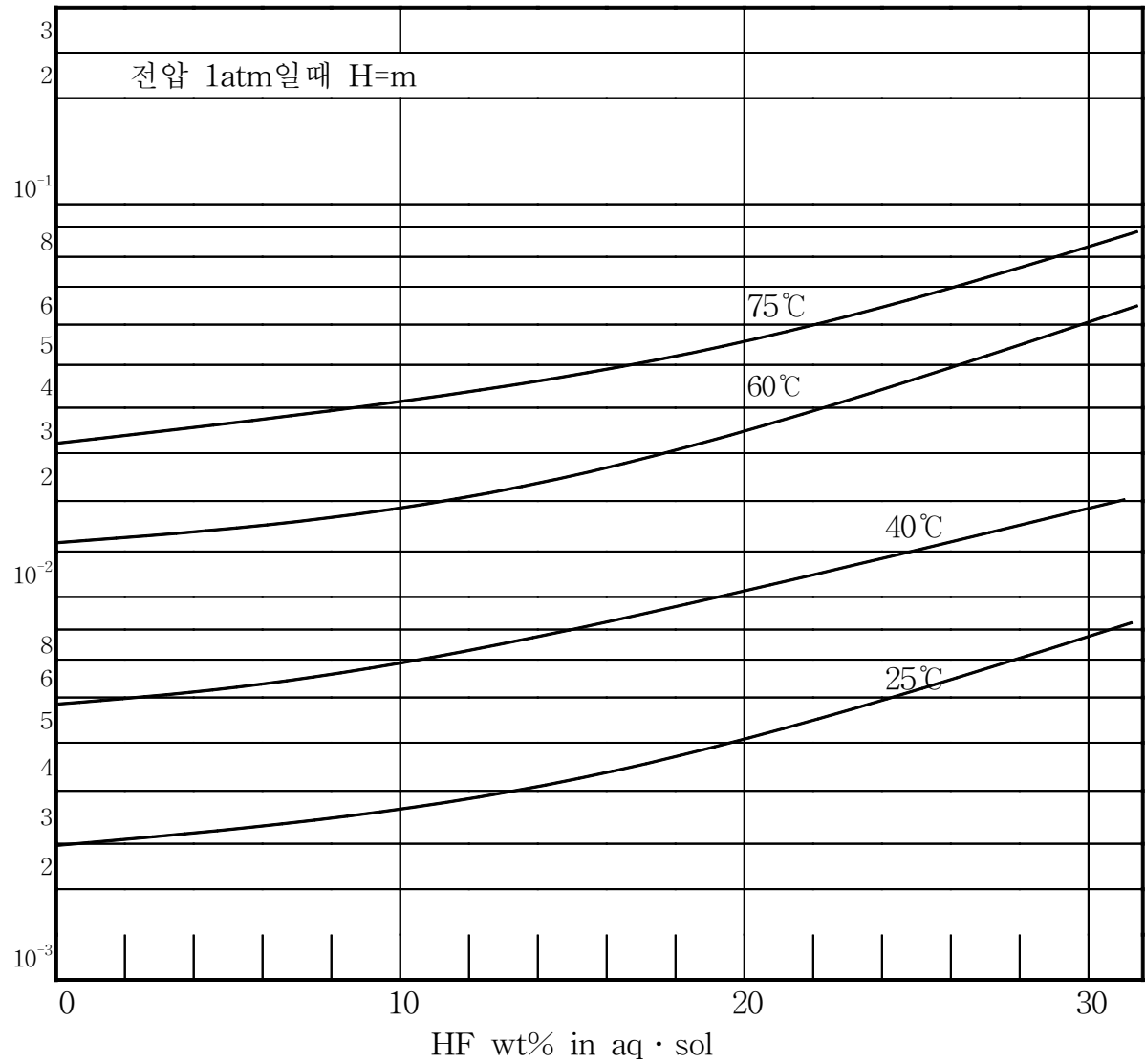
[그림3-6] H₂O-HCl의 헨리정수(m)

[그림3-7] $\text{H}_2\text{O}-\text{Cl}_2$ 의 헨리정수

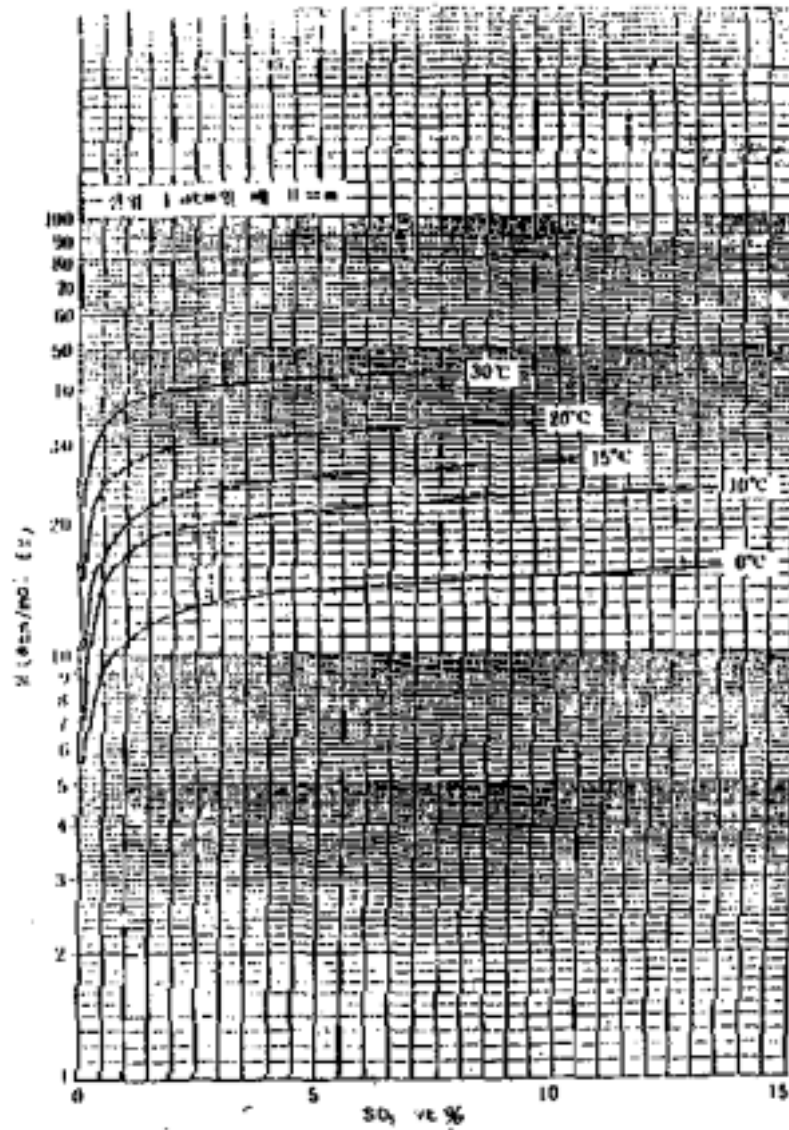


HF-H₂O계

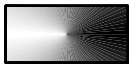
H(atm/mol fr)



[그림3-8] H₂O-HF의 헨리 정수(m)



[그림3-9] $\text{H}_2\text{O}-\text{SO}_2$ 의 헨리 정수



VIII. 전기집진시설

1. 방지시설의 설계

1) 형식 : 건식 또는 습식등

2) 처리가스량 : $\text{Sm}^3/\text{분}$

3) 가스온도 : $^{\circ}\text{C}$

4) 본체규격 : $W \times L \times H$ (유효부)

5) 본체재질

6) 이동속도 : m/sec

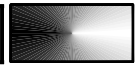
7) 집진극

- 재질
- 규격
- 수량

8) 탈진방법

9) 송풍기

- 형식
- 풍량
- 정압
- 모터동력
- 재질



10) 부대시설

- 측정대
- 측정공

2. 방지시설 설계계산 및 근거

1) 제작사양

- 방지시설의 형태
- 배출가스량 : $\text{m}^3/\text{분}$ (또는 $\text{Sm}^3/\text{분}$)
- 배출가스온도
- 오염물질농도

2) 본체의 설계계산 및 사양

- 가스량 : $\text{Sm}^3/\text{시}$
- 가스온도
- 인입가스의 압력 : mbar
- 노점 : $^{\circ}\text{C}$
- 인입가스의 농도
- 배출가스의 농도
- 효율
- 전장수 (No. of field per filter)
- 전장의 높이, 길이, 폭
- 집진판열수 (No. of gas passage)
- 집진판 간격 : mm
- filter active cross section : m^2
- 집진기내 처리가스속도 : m/sec
- 이동속도 : m/sec
- 비집진극 면적 (specific collection area)
- average retention time : sec
- high voltage field
- connected load of each rectifier : KVA

3) 집진면적 (collecting area) 산출

$$A = \frac{Q \times \ln \frac{1}{(1-\eta)}}{\omega}$$

A : 집진면적 (m²) ω : 이송속도 (m/sec)Q : 가스량 (m³/sec) η : 집진효율 (%)

$$\omega = \frac{1}{f} \ln \frac{1}{1-\eta} = \frac{1}{A/Q} \ln \frac{1}{1-\eta}$$

4) E.P size결정

- field height : mm
- active field height : mm
- 집진판 (C.E)규격 : $\Phi \times t \times H \times$ 단수
- projected collecting area per C.E pipe : m²
- AQ (단면적)

$$AQ = \frac{Q}{V} (\text{m}^2)$$

Q : 가스량 (m³/sec)

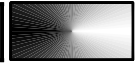
V : 가스유속 (m/sec)

○ 용량 = 단면적 \times 길이 = (m³)○ 체류시간 = $\frac{\text{용량}(\text{m}^3)}{\text{가스량}(\text{m}^3/\text{sec})} = (\text{sec})$

- 유효폭 (width)

$$w = \frac{\text{단면적}}{\text{높이}} (m)$$

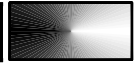
- 집진판 열수 (gas passage) = 폭 / 집진판 사이의 거리



3. 설계시 참고사항

항 목	설 계 범 위
가스흐름속도(m/sec)	처리가스량(m ³ /sec) / 가스통과 단면적(m ²) 0.9 ~ 2.4 m/sec 통상 1.37 m/sec 부근
집진면적(m ²)	$A = Q / 36 \times W \cdot \ln d_1 / d_2$ Q = 가스량 (m ³ /hr) W = 분진이동속도 (cm/sec) d ₁ = 입구분진함량(g/Sm ³) d ₂ = 출구분진함량(g/Sm ³) 분진이동속도범위 4.0~20.4cm/Sec
비집진면적(SCA) m ² /m ³ /hr	SCA = 총집진면적(m ²)/유입처리가스량(1,000m ³ /hr) 5.5m ² /1,000m ³ /hr ~ 43.7m ² /1,000m ³ /hr 통상 22m ² /1,000m ³ /hr 부근
형 상 비	형상비=집진관의 길이/집진관의 높이 범위 0.5~1.5이나 실제 1.3정도에서 운전
전 압, 전 류	전압(처리가스량에 따른) 1.77W/Am ³ /min~17.7W/Am ³ /min 전류(집진판면적에 따른) 53.8~753.5μA/m ²
압 력 손 실	10~20mmAq
효 율	99% 이상 $\eta = 1 - e(-AW/Q)$ A : 집진면적(m ²) W : 분진이동속도(m/sec) Q : 가스량 (m ³ /sec)
예상분진배출량	$d_2 = d_1(1 - \eta)$ d ₁ : 입구분진유입량(g/Sm ³) d ₂ : 출구분진유입량(g/Sm ³)
집진극간거리	23 ~ 38cm
단위대당 집진면적	500 ~ 8,000m ² /대

제4장 방z시설의 선정 및 유지관리



제4장 방지시설의 선정 및 유지관리

I. 방지시설의 선정

배출시설에서 오염물질이 다량 발생하고 특히 법에서 정하고 있는 배출허용 기준을 초과할 경우에는 반드시 방지시설을 설치해야 한다.

그러나 배출시설에서의 오염물질 배출양상이 다르고 방지시설의 종류와 적용 범위가 매우 다양하기 때문에 적절하고 효과적인 방지시설을 선정하기 위해서는 여러가지 사항을 고려하여야 한다.

일반적으로 방지시설을 선정함에는 다음과 같은 순서에 따르는 것이 좋다.

1. 설치목적과 처리대상물질의 명확화

방지시설을 설치하고자하는 목적이 무엇이며 어떤 오염물질을 얼마만큼 제거할 것인가를 검토

2. 형식 조사

목적을 달성할 수 있는 방지시설의 종류, 형식 등을 광범위하게 조사하고 최적 방지시설을 선정하기 위한 준비를 행한다.

이 경우 단순한 형식뿐만 아니라 그 특성, 용량, 소요동력, 재질, 가격 등 까지도 조사하는 것이 좋다.

3. 기초인자의 해석

2항에서 조사된 장치의 형식에 유량, 온도, 압력 등의 조작조건과 오염물질의 성상, 먼지의 경우에는 평균입경, 입도분포, 밀도, 마모성, 점착성, 부식성 등을 파악하고 장치의 성능에 미칠 영향을 충분히 검토한다.

4. 예비선정

설치목적에 적합하다고 생각되는 형식에 대한 조사와 선정시 고려해야 할 기초적 인자의 해석이 끝나면 이 자료에 근거하여 그 형식에 대한 예비적 선정을 행한다. 여기에는 각 형식마다 각각의 인자에 대하여 요구 조건이 충족되는가의 여부를 차례로 검토하고 확실하게 그 조건을 충족시키지 못하거나 결점을 쉽게 개선할 방법이 없는 형식을 우선 제외하고 나머지 것에 대하여 운전 데이터나 가격을 포함한 종합적인 특성을 비교·검토하여 가장 좋다고 생각되는 형식으로부터 차례로 수종을 선정한다.

5. 시험

위에서 선정된 형식에 대하여 될 수 있는 한 중요인자에 관한 시험을 하는 것이 바람직하며 되도록 실제 사용상태에 가까운 조건에서 시험을 하는 것이 좋다. 또 이와 같은 실제적 시험 외에도 개개 인자에 관하여 실험실적 시험에 의하여 자료가 얻어지는 수가 많기 때문에 되도록 이러한 시험을 행하는 것이 좋다.

6. 최종선정

상술한 시험결과에 따라서 장치비나, 운전비, 내용연수 등을 고려하여 최종적으로 가장 적합한 형식을 선정한다. 이상의 선정방법은 가장 일반적인 방지시설 선정 요인으로서 위 순서를 따르면 별로 경험이 없는 사람도 올바른 선정이 가능하다.

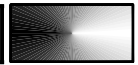
특히, 집진장치의 경우에는 중요한 선정인자로서 먼지의 입경과 집진효율 및 장치의 총경비이며, 일반적으로 합진기류 중에는 상당히 큰 입자가 포함되어 있는 경우도 있고 중력침강실이나 싸이크론 등에 의해서 조대입자를 제거하고 나머지의 미세입자는 백필터나 전기집진기로 처리하는 경우가 많다.

또 벤츄리 스크러버를 사용하는 경우에는 상당히 큰 입자로부터 미세한 입자까지 처리할 수 있는 특징이 있지만 수중에 포집된 입자를 다시 처리 해야하는 문제가 생긴다.

<표4-1> 및 <표4-2>는 각종 집진장치 특성과 적용범위 및 주요 배출시설의 방지시설 적용 예를 나타낸 것이다. 또한 [그림4-1]은 일반적인 배출시설별 발생먼지의 입도분포를 나타낸 것이다.

<표4-1> 각종 집진장치 특성 및 적용범위

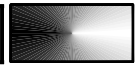
형 식	원 리	분리입경 (필요집진 입자경, μm)	집진율 (%)	압력손실 (mmH_2O)	1,000 m^3/min 처리시 기준		적용먼지 농 도 (g/m^3)	적용요건
					동력(kW)	소요수량(t/h)		
중력침강실	중력침강	>50		5-20				전처리 집진장치 로 사용할때
관성집진시설	관성	>20		35-50				"



형 식	원 리	분리입경 (필요집진 입자경, μm)	집진율 (%)	압력손실 (mmH_2O)	1,000 m^3/min 처리시 기준		적용먼지 농 도 (g/m^3)	적용요건
					동력(kW)	소요수량(t/h)		
cyclone	원심력	>10(대형) > 3(소형)	5-10 μm (대형)40-75 (소형)75-95	100-200	35-70	습식12-30	건식1-20 습식2-20	부착성이 강한 먼지는 사용불가
multi-cyclone	원심력	>2.55	95	100-200	35-70		1-20	"
venturi -scrubber	가습	>0.2	90-99	500-1,000	120-200	18-60	10이하	습식 cyclone과 병용 필요
bag filter	여과	>0.5(조 포) >0.1(극세포)	90-99	100-200	30-65		0.2-70 0.2-20	부착성이 강한 먼지 수분함량 이 많은 먼지 불가
전기집진시설	정전기	>0.05	90-99	5-25	20-60	습식0.9	2이하	종류에 제한

<표4-2> 주요 배출시설의 적용 방지시설과 배출오염물질

산업(공장)명	공정	오염물질						방지시설							
		먼지	SO _x	CO	NO _x	HC	기타	C	E.P.	Sc	B.H	E.S.	C.B.	기타	
1. Al. reduction plants	○ materials handling	×										×	×		
	○ anode and cathode	×				×		×					×		
	○ baking	×	×	×		×	F	×	×	×	×			×	
	○ pot charging	×	×	×		×	HF, CF ₄	×	×	×	×			×	
	○ metal casting	×		×			Cl ₂ , HCl			×		×			
2. asphalt batch plants	○ materials handling	×						×		×	×	×			
	○ drying	×					smoke	×		×	×	×	×	×	
3. cement plants	○ quarrying	×						×					×		
	○ dry processes	×						×				×	×		
	○ grinding	×						×				×	×		
	○ kiln operations	×	×	×	×	×	HCHO		×	×	×				
	○ clinker cooling	×						×					×		
	○ grinding & packaging	×						×					×		
4. coal preparation	○ materials handling	×						×					×		
	○ sizing	×						×					×		
	○ de-dusting	×						×			×	×			
	○ storing coal in piles	×													spray
	○ coal drying	×	×				H ₂ S, smoke	×		×		×			
5. coke plants	○ by-product ovens charging	×					smoke			×	×				
	○ pushing	×				×	smoke			×	×				
	○ quenching	×				×	NH ₃			×	×				
	○ by-product processing	×		×		×	H ₂ S		×	×			×		
6. fertilizer industry	○ phosphate fertilizer	×						×		×	×	×			
	○ hydrolysis of P ₂ O ₅						PH ₃ , P ₂ O ₅ , H ₃ PO ₄ mist			×				×	
	○ acidulation and curing						HF, SiF ₄			×					
	○ granulation	×								×	×	×			
	○ ammoniation						NH ₃ , NH ₄ Cl, SiF ₄ , HF	×	×	×	×				
	○ nitric acid acidulation				×		F compounds			×					
	○ ammonium nitrate reactor				×		NH ₃			×					
	○ prilling tower				NO ₃		NH ₄			×					



<표4-2계속>

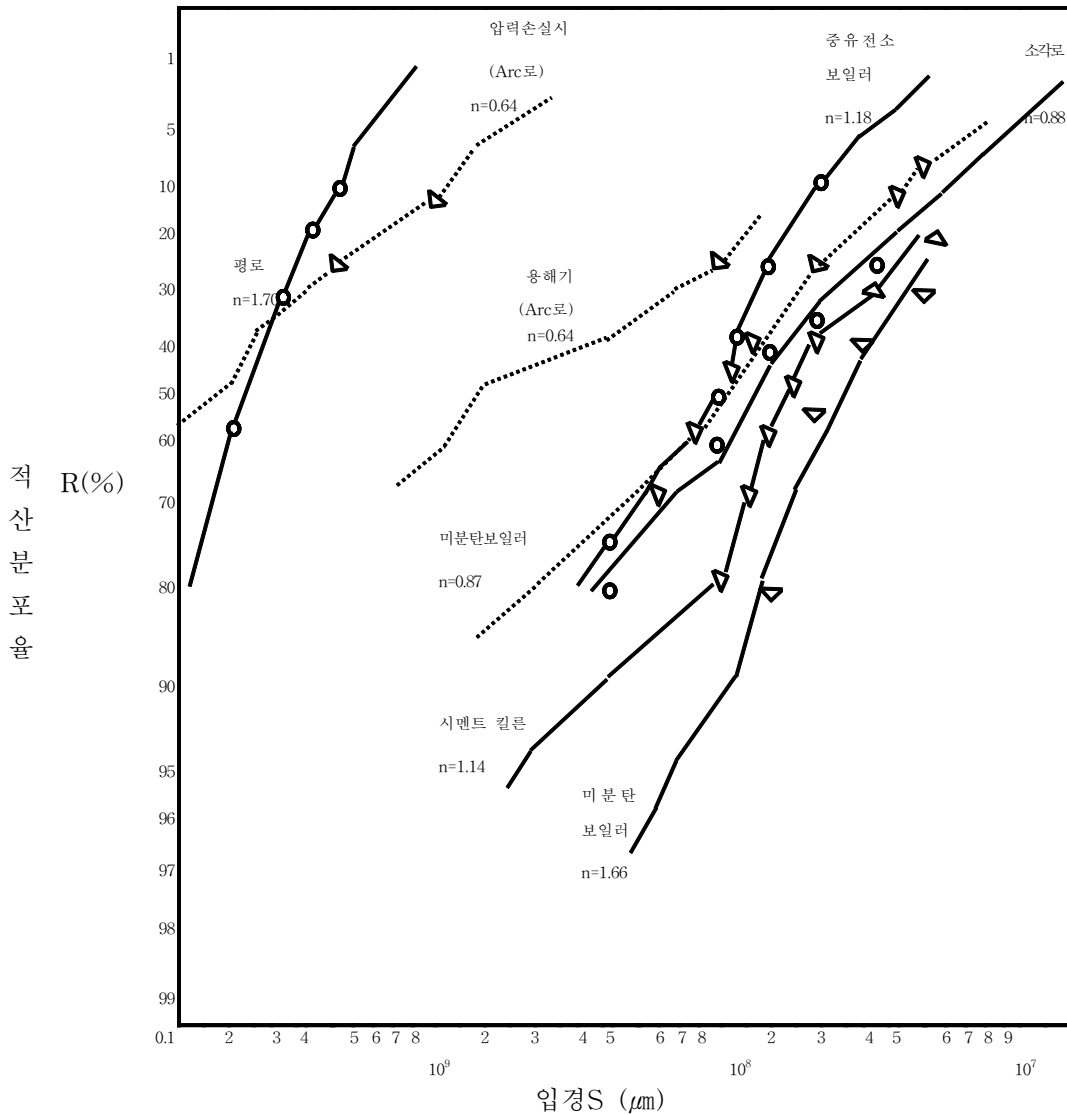
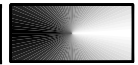
산업(공장)명	공정	오염물질						방지시설						
		먼지	SO _x	CO	NO _x	HC	기타	C	E.P.	Sc	B.H	E.S	C.B	기타
7. foundries iron- -iron - brass bronze -aluminum -zinc	○melting(cupola)													
	charging	×					smoke		×	×	×	×		
	melting	×					fume		×	×	×	×		
	pouring			×			mist		×	×	×	×		
	bottom drop	×					smoke		×	×	×	×		
	○melting													
	charging	×								×	×		×	
	melting	×					ZnO fume			×	×		×	
	pouring						P ₂ O fume			×	×		×	
	○melting	×					smoke			×	×	×		
	○melting													
	charging	×					smoke	×			×	×		
	melting						ZnO fume			×				
	pouring					×	mist						×	
8. municipal and industrial Incinerators	○magnetic puley	×						×			×	×		
	○coke-making ovens					×	smoke organic acid					×	×	
	○single chamber incinerators	×	×	×	×	×	HCHO, HCl			×			×	
	○multiple-chamber incinerators	×			×	×	smoke			×			×	
	○wood waste	×		×			smoke			×	×			
	○municipal incinerators 50-100tons/day	×	×	×	×	×	HCl, NH ₃ , HCHO organic acid	×	×	×	×		×	
9. nonferrous smelters, primary -copper -lead	○wood waste and industrial waste	×					smoke			×	×			
	○roasting	×	×				fume	×	×	×		×		S.C
	○reverberatory furnace	×	×				smoke	×	×	×		×		"
	○converters		×				"	×	×	×		×		"
	○sintering	×	×				"	×			×	×	×	"
	○blast furnace	×	×	×			"	×			×			cooling S.C
	○cross reverberatory furnace	×	×				fume	×	×	×	×	×		"
	○refining kettles	×	×								×	×		others

<표4-2계속>

산업(공장)명	공정	오염물질						방지시설						
		먼지	SO _x	CO	NO _x	HC	기타	C	E.P.	Sc	B.H	E.S.	C.B.	기타
-cadmium	○ roasters, slag, deleading fuming furnaces	×									×	×		S.C
-zinc	○ roasting	×	×						×	×		×		sumidifier acid plant
	○ sintering	×	×						×			×		
	○ calcining	×	×	×			ZnO fume				×	×		
10. Nonferrous Smelters, Secondary	○ blast furance and cupolas	×		×							×	×		cooling
	○ reverberatory furnaces	×					smoke			×	×	×		
	○ ctucible furnaces	×		×						×	×	×		cooling
	○ sweat furnaces	×					smoke				×	×	×	
	○ wire reclamation and autobody burning	×					smoke			×			×	
11. roofing plants asphalt saturators	○ felt or paper saturators	×					asphalt vapors		×	×	×	×		
	○ crushed rock or other minerals handling	×												
12. steel mills	○ blast furnaces	×		×			smoke	×	×	×			×	
	○ electric steel furnaces	×		×			"		×	×	×			
	○ open-hearth furnaces	×	×	×	×		"		×	×	×			S.C.
	○ basic oxygen furnaces	×		×			"		×	×				
	○ raw material storage	×												spray
	○ pelletizing	×						×			×			
	○ sintering	×	×		×			×		×	×			

방지시설

Sc. : scrubbers. F : flare or flaring B.H. : bag house
 C.B. : combustion. E.S. : exhaust system S.C. : settling chamber.
 C : cyclone. E.P. : electrostatic precipitator



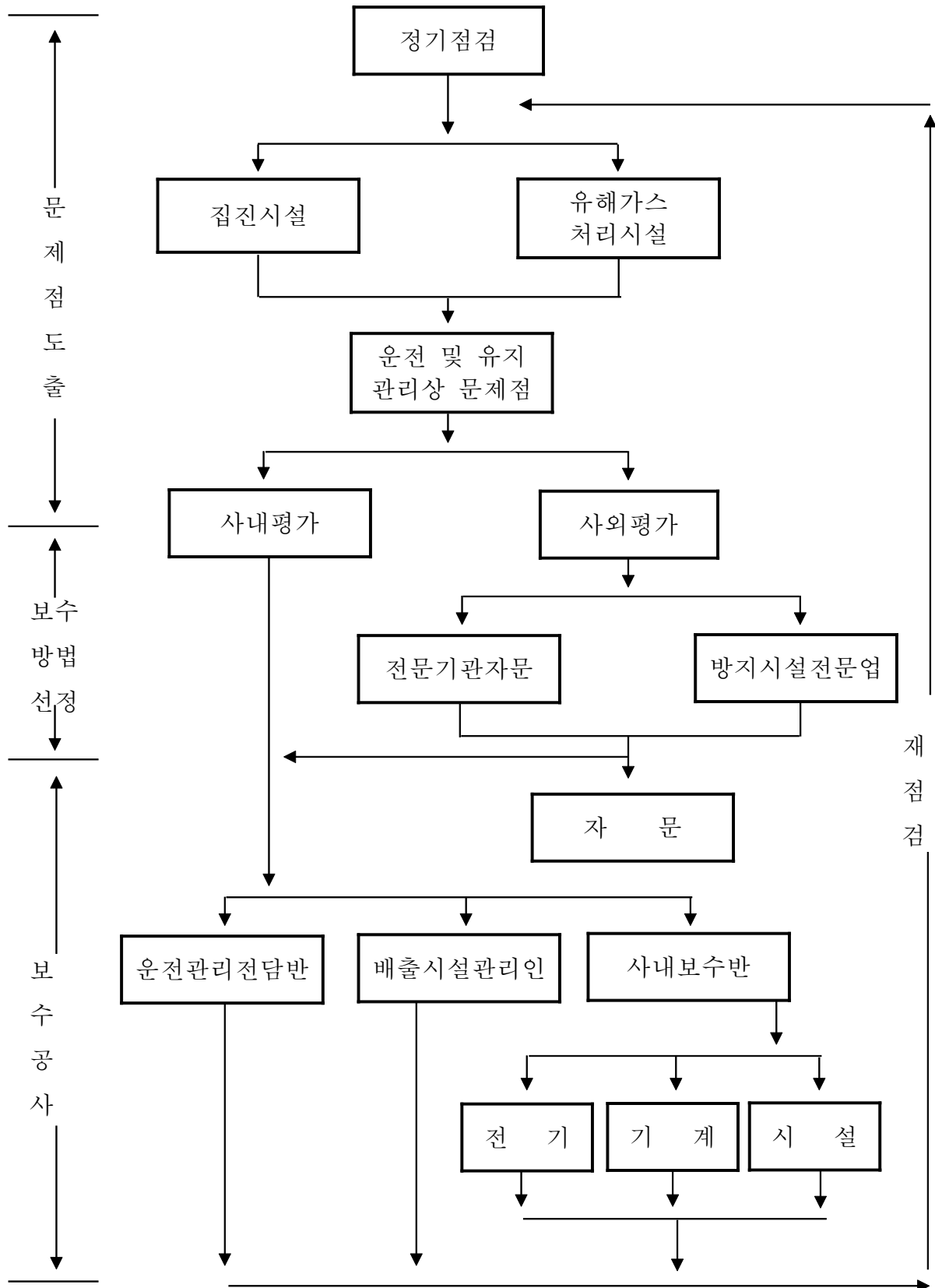
[그림4-1] 배출시설별 입도분포

II. 방지시설의 유지관리

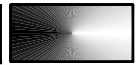
먼지나 배출가스의 상태는 그 오염물질 배출시설의 종류, 구조, 원재료 및 자연의 종류와 혼합화, 또는 연소방법이나 기타 작업조건 등에 따라 현저하게 변화하기 때문에 일정한 기능을 갖고 있는 방지시설이라 해도 input 조건의 변화에 따라 소정의 성능을 발휘하지 못하는 경우가 발생한다.

또한 설계상으로는 완전한 방지시설을 설치했다해도 장치의 결함이나 운전의 미숙, 유지관리의 잘못 등으로 기대만큼의 효과를 내지 못하는 경우도 있다. 따라서 방지시설의 효율적인 운전과 유지관리를 위해서는 체계적인 점검과 유지관리지침을 마련하여 이를 시행해 나가야 한다.

[그림4-2]는 일반적인 방지시설에 대한 유지관리 체계를 나타낸 것이다.



[그림4-2] 방z시설의 운전과 유지관리 체계



일반적으로 대기오염방지시설은 장치의 본체, 송풍기, 회분처리 및 수송장치, 세정수의 공급 및 방수처리장치, CO가스산화장치 및 방제장치, 가스냉각장치, 가스의 조습, 또는 조절장치, 집연설비, 각종 계측기, 제어장치 등으로 구성된다. 방지시설을 운전함에 있어서 최우선적으로 고려해야 할 사항은 안전정책과 방제 대책으로 이 안전과 방제가 확인되고난 다음에 방지시설의 조작을 시작해야 한다.

1. 공통적으로 고려하여야 할 사항

1) 시동시

- ① 안전장치, 방제장치, 냉각장치 또는 온도계, 압력계 등의 계측기의 작동 및 성능을 확인한다.
- ② 필요에 따라 연도 및 닥트에 잔류하는 폭발성 가스의 유무를 분석하여 확인한다.
- ③ 송풍기, 압축기, 전동기, 로타리 밸브, 에어로크댐퍼, 집진장치본체 등의 회전부의 상황을 확인한다.
- ④ 집진장치본체 및 닥트에 접속된 송풍기, 밸브, 댐퍼, 회수송장치 또는 맨홀, 핸드홀 등 접속부 기밀상태를 확인한다.
- ⑤ 송풍기용 전동기는 통상, 처리가스 온도에서 출력을 설계하고 있기 때문에 시동시에는 배출가스 밀도가 커져서 과부하가 될 우려가 많다. 따라서, 댐퍼를 줄여서 가동하고 점차로 댐퍼를 열어준다.

2) 운전시

- ① 집진장치의 운전시에는 특히 배출가스의 온도 및 압력손실, 사용 수량, 배수의 pH, 또는 연기 색깔의 양, 불량 등에 주의하여 운전한다.
- ② 운전 중 발생하는 사고로서는 마모, 부식 또는 발생로의 조건 상태 등에 따라서 폭발성 가스가 한계를 넘는 경우 폭발의 위험성이 있다.
- ③ 연료의 교체 및 혼소율을 변화할 경우 또는 원재료를 바꿀 경우에는 집진 상태에 큰 변화를 주기 때문에 교체 전후의 배출가스 온도, 압력손실, 소요시간 등을 기록해 둔다.

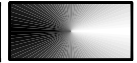
3) 정지시

- ① 배출가스 중에는 부식성, 유해성 또는 폭발성 가스를 포함하는 경우가 많으므로 오염물질 발생로의 조업을 정지후에도, 최소한 10~15분간은 방지시설을 (송풍기의 운전)을 계속하여 방지시설에 부착된 먼지를 완전히 떨어내고 배출가스에 의해서 일어나는 먼지의 부착 또는 부식을 방지하기 위하여 배출가스를 공기로 치환한 후 송풍기를 정지시킨다.
- ② 송풍기에 부착된 각종 전동기 등의 정지 또는 접지 등을 확인하고, 집진본체, 연도, 송풍기 회출장치 등의 먼지고착이나 막힘 여부를 점검하며 장기간 정지할 경우에는 되도록 먼지를 청소해 놓는다.
- ③ 안전장치, 냉각장치, 전동기, 회전기, 전기설비 등에 대해서는 그 작동을 점검하고 필요에 따라 보수해 놓는다. 또 맨홀, 핸드홀 등의 packing은 장기간 정지할 경우에는 교체하는 것이 바람직하다.
- ④ 압력계, 온도계, 차압계 기타 자동계측기에 대해서도 정기적인 정도 검사와 교정을 행한다.

2. 원심력 집진시설에서 고려해야 할 사항

1) 유지관리

- ① 장치내에 먼지 및 mist가 쌓이기 쉬운 부분은 주기적으로 청소를 해야 한다.
- ② 시설 내에서 부식 및 침식, 연결부, 용접부분 등이 파손으로 인한 공기 누출 및 유입이 없는지를 확인한다.
- ③ 시설 사양서를 비치하며, 가동시 설계사양대로 가동이 되는지를 가스량, 온도, 입·출구 속도, 먼지 부하 가동에 영향을 주는 모든 자료를 점검하여 확인한다.



2) 결함발생시 보수요령

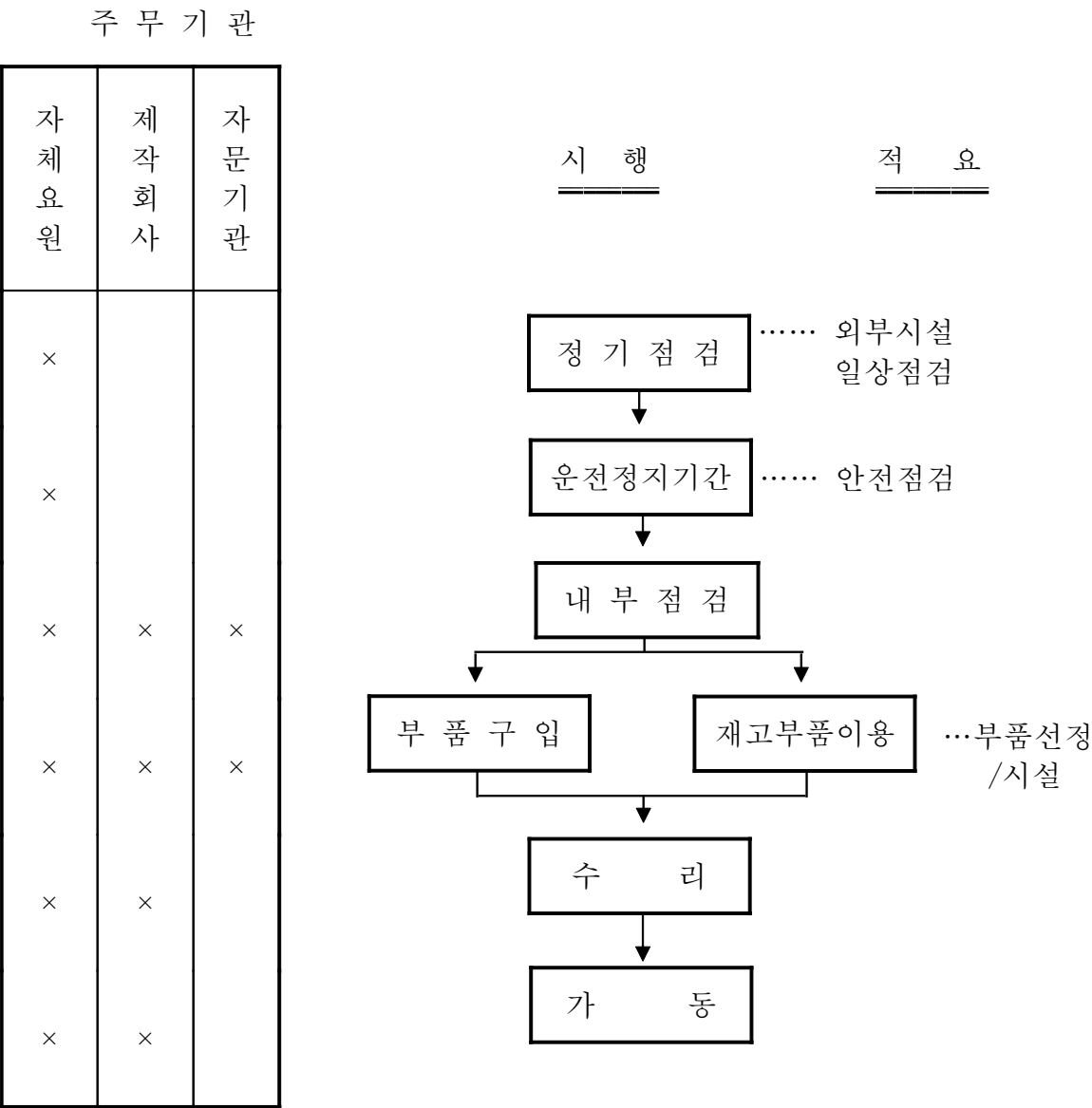
결 합	요 인	보 수 요 령
높은 압력강하	- cyclone내 및 닥트내의 막힘	- cyclone내의 체계적인 청소
분진의 재비산	- 호퍼에 분진의 과다 침적 - 공기 누출 및 유입 - 처리가스 용량의 부적당	- 호퍼부분의 청소 - 장치 내에 부식·침식되어 파손된 곳 보수 - 호퍼부분 출입구의 밀폐상태 점검 - 설계자에 의한 점검
송풍기의 비정상적 소음	- 진동 - 유동부분 소음 - 벨트 드라이브의 소음	- 송풍기 지지대의 고정상태 확인 - 윤활유 주유상태 확인 - 유동부분 연결상태 확인

3. 전기집진시설에서 고려해야할 사항

1) 유지관리

- ① 집진극에 집진층 두께가 6.4mm이상 되면 청소한다.
- ② 방전극 전선의 공기 고정대와 전선끝의 추(hanger weight)가 제자리에 있는지 점검하고 집진관의 중앙에 방전극선이 있는지를 점검.
- ③ 호퍼에 포집된 먼지의 재비산 여부 점검.
- ④ 응결로 인한 구조물의 부식과 외부공기의 유입을 점검한다.
- ⑤ 구조물의 전기연결부위가 완전한가를 점검한다.
- ⑥ 배전, 절선부위, 장관(bushing), 단자 등을 청소한다.
- ⑦ 스위치의 접속부위 청소 및 주유상태 확인
- ⑧ 추타기의 움직임이 원활한가를 모든 부품을 통하여 점검.

전기집진시설의 유지관리를 위한 연계체계는 [그림4-3]와 같다.



[그림4-3] 전기집진시설 유지관리체계

4. 여과집진시설에서 고려해야할 사항

- 1) 유지관리
- ① 여포의 손상과 연결결함 및 여포에 액적부착 여부 확인

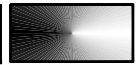
② 압력손실 점검

③ 장치의 파손 및 공기누출 점검

④ 시설구조

- 진동형 : 베어링 파손과 회전축 주유의 결함 여부 확인

- 압축 공기의 비정상적 소음 및 회전축 주유의 결함 여부 확인



⑤ 송풍기의 지지대 및 주유상태 점검과 비정상적 소음 확인

⑥ 댐퍼밸브의 작동 상태와 손상 여부 확인

⑦ baffle plate 부식 및 마모 확인

여과집진시설의 각 부분별 점검주기는 <표4-3>과 같다.

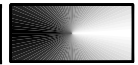
<표4-3> 여과집진시설의 각 부분별 정기점검 주기와 수리 소요시간

항 목	고장빈도	점검빈도	점검소요시간	소요시간
I. 내부표면여과				
1. 여포				
(1) 5" Ψ(14')	월간	월간	1.5~3시간/100포	10~30분/포①
(2) 8" Ψ(22')	"	"	2~4시간/100포	15~45분/포①
(3) 12" Ψ(30')	"	"	2.5~5시간/100포	20~60분/포①
2. 출입문 박킹	2~4년	"	5분/문	1시간/문
3. 여포청소장치				
(1) 진동기	6개월	"	5분/열	30분/열
(2) 역기류	2개년	"	15분	2시간
4. 집진계통				
(1) 스크류 콘베어	1~2개년	6개월	1시간	2~4시간
(2) 기밀기	1~2개년	"	30분	1~2"
(3) 발진기	2~3개년	"	1시간	8"
5. 배플판	4개년	1개년	30분	8"
6. 댐퍼변	2~3개년	월간	15분/변	1~24"
II. 외부표면여과				
1. 전여포	월간	월간	0.6시간/100포	6~10분/포
2. 여포청소장치				
(1) pulse jet	2개년	월간	2분/열	30분
(2) reverse air	2개년	"	"	30분
3. 출입문박킹	2~4개년	"	5"	1시간/문
4. 집진계통				
(1) 스크류 콘베어	1~2개년	6개월	1시간	2~4시간
(2) 기밀기	1~2개년	"	30분	1~2"
(3) 발진기	2~3개년	"	1시간	8"
5. 배플판	4개년	1개년	30분	8"
6. 댐퍼변	2~3개년	월간	15분/변	1~24"

주) 최소치 : 전체교환 소요시간, 최대치 : 부분교환 소요시간

2) 결함발생시 보수요령

결 함	요 인	보 수 요 령
- 1차 전압과 1차전류 및 침강실 전류불통 및 경보기 작동	- 과부하 - 전류제한 조절불량 - 휴즈절단 - 정전 - 회로차단기 고장	- 휴즈교환 - 전기회로 보수 - 화재회로판의 신호점검 - 전력회사 문의 - 차단기 교환
- 고전류의 스파크로 인한 과전류 제어기 이상	- 회로차단기 또는 용량의 부적합 - 회로과부하 조정기의 이상 - 1차전압, 전류의 회로조건이 불량	- 조정기 교환 - 1차 전압배선점검
- 1차 전류가 낮고 2차 전류가 높음	- 2차 전류 또는 회로 침강실의 회로 단선	- 배선, 고압회로, 배관과 보호대 점검 - 침강실의 호퍼, 배선, 접지스위치 고전압 격자와 전선의 이물부착 여부 및 절연체 파손여부 확인
- 비정상적으로 낮은 침강실 전류와 1차 전류의 스파크 발생	- 전류 또는 전압한계조절기 조절 불량 - 점화회로제어기 조절불량	- 전류와 전압, 한계조절기 점검 - 조절기를 최고로 고정하고 전류와 전압 한계제어기 점검
- 스파크계 이상	- 스파크 계측회로의 계속적인 접촉 - 스파크 계측기의 60C/S피크 계측 - 계기불량	- 적산전도계의 충전, 활성화 점검 - 재조정 - 교 환
- 스파크계의 고지침 (1차 전압높고 전류 불안정)	- PC-501의 조정불량 - 한계제어기 불량	- 재조정 - 교 환
- 스파크율, 전류, 전압 불통	- PC-501의 조정불량 - 고장 - 신호회로 불량	- 재조정 - 교 환 - 신호회로 점검
- 전류한계, 조절불능 (기타 조절기는 정상)	- 스파크율 또는 전압한계의 과제어 - 전류신호기 불량	- 최고 스파크율과 전압조절에서 운전되면 보수 - 최고 상태에서 가동되지 않으면 전압과 스파크율 조절 - 신호회로 점검

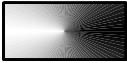


결 합	원 인	보수요령
높은 압력강하	<ul style="list-style-type: none"> - 여포청소체제의 불합리 - 여포 밀폐로 인한 포집기에서 먼지의 재비산 - 여포의 젖음 - 용량의 증가와 부적당한 설계로 인한 높은 공기여재비 	<ul style="list-style-type: none"> - 청소체제의 재점검 - A/C 비율을 낮춤 - 설계자에 의한 재점검 - 청정공기로 여포 건조 - 진공이나 습세적으로 여포청소 - gas량 점검 - 가능한 입구유량감소 - 설계자에 의한 재점검
비정상적인 낮은 압력강하	<ul style="list-style-type: none"> - 압력측정공의 막힘 - 마노메타의 파손 및 연결부의 이탈 	<ul style="list-style-type: none"> - 측정공을 통한 역통풍 - 먼지나 수분 응축으로부터 감지기의 보호 - 일시적으로 국소압력계 사용 - 조사 및 수리
연도배출	<ul style="list-style-type: none"> - 여포파손 - 여포 투과율 증가 	<ul style="list-style-type: none"> - 여포의 교환 - 여포 시험 - 청소시 소요동력 및 주기를 점검하고 가능한 소요동력을 낮춘다.
심한 편류	<ul style="list-style-type: none"> - 부적당한 닥트 균형 - 닥트 막힘 - 부적당한 팬위치 선정 	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템 재균형 - 청소 - 설계자에 의한 점검과 조정
비정상적 소음	<ul style="list-style-type: none"> - 진동 - 유동부분의 소음 - 벨트 드라이브의 소음 	<ul style="list-style-type: none"> - 송풍기 지지대의 고정상태확인 - 윤활유 주유상태 확인 - 유동부분 연결상태 확인

5. 세정집진시설에서 고려해야할 사항

1) 유지관리

- ① 압력강하를 측정하여 정상가동 여부 확인
- ② 분사노즐의 plugging(막힘) 현상을 점검
- ③ 장치내 마모 및 부식이 일어나기 쉬운 곳 (throat, 댐퍼, 밸브 등)의 점검
- ④ 분무액의 고형물은 분사 노즐의 분사를 방해하므로 분무액의 청소상태를 점검



세정집진장치의 수명과 유지관리기간은 <표4-4>와 같다.

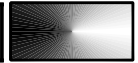
<표4-4> 세정집진장치의 수명과 유지관리기간

세정집진시설 내벽포장재 종류	압 력 손 실				기 체 특 성			적 용
	>30in.ΔP		<30in.ΔP		부식성	마모성	부식성과 마 모 성	
	수 명 <년>	보수소요 시 간	수 명 <년>	보수소요 시 간				
1.토석자기								
(1)silicon carbide	3~4	2명/1주	10	2명/1주	불량	우	양(약간부식)	-
(2)시멘트	1	2명/1주	4	2명/1주	불량	불량	양(약간부식)	-
2.고무	1	2명/1주	5	2명/1주	우	양	양	
	5	2명/2주	10	2명/2주	우	양	양	
3.플라스틱			일정치 없음	1일				
4.철판								
(1)탄 소	2~6	용접	6	용접	불량	가	가	Cl 적합
(2)316	2~6	"	6	"	우(산)	가	가-양	Cl 불가
(3)304	2~6	"	6	"	양(산)	가	양	SO ₃ 와 Cl불가
(4)inconel 625	2~6	"	6	"	양	양	양	
(5)hastology	2~6	"	6	"	양	양	양	

6. 가스흡수장치에서 고려해야할 사항

1) 유지관리

- ① 압력강하 확인
- ② 흡수액 교반기의 이상 유무 확인
- ③ 배액조 및 기액분리기의 침적물의 침적 여부 확인
- ④ 장치내 침식 및 부식 여부 확인
- ⑤ 파이프, 닥트, 흡수기, 연결부, 출입구 및 접합부분 등의 공기누출 및
접합상태 확인
- ⑥ 바이패스와 댐퍼 조절기 등을 점검하여 이상 유무 확인
- ⑦ pH미터, 밸브, 펌프 미터기 등을 점검하여 정상 운전 여부 확인
- ⑧ 닥트 및 파이프내의 침적물의 침적 확인
- ⑨ 알카리용액 사용시 설계에 의한 적정 pH를 수시로 측정한다.



3. 결함발생시 보수요령

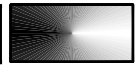
결함	보수요령
낮은 압력강하	<ul style="list-style-type: none"> - 설계서에 따른 가스 유량의 점검 - 송풍기 벨트 조정 - 설계서에 따른 입구 정압 점검
높은 압력강하	<ul style="list-style-type: none"> - 가스 누출 여부 확인 - 설계서에 따른 가스 흐름 점검 - 송풍기 벨트 조정 - 흡수시설내 청소
장치내 막힘	<ul style="list-style-type: none"> - 분무액에 고형물 제거
스크러버내 분진 침적	<ul style="list-style-type: none"> - 청정 분무액 살포 - 설계에 따른 가스 유량 점검 - 분무액량을 증가시킴
기액분리의 불충분	<ul style="list-style-type: none"> - 분무액량 감소 - 파손 부분 보수 - 처리 가스 유량 감소
plugging 현상	<ul style="list-style-type: none"> - 가스 세정액에 고형 물질 제거 - 유량을 증가시킴 - 노즐에 scale 및 이물질 제거
높은 압력 강하	<ul style="list-style-type: none"> - 가스의 누출 여부 확인 - 설계에 따른 가스 유량 점검 - 송풍기 벨트의 조정 - 송풍기의 rpm조정 - 스크러버내 청소 - 장치내 침적물의 침적 여부 확인
비정상적인 소음	<ul style="list-style-type: none"> - 송풍기의 고정 상태 확인 - 연결부 및 접합부의 연결 상태 확인 - 전동기의 윤활유 주유상태 확인 - 흡수시설의 정기적인 청소 - 유량을 증가시킴.

결 합	보 수 요 령
부적당한 분무액 살포	<ul style="list-style-type: none"> - 충전탑의 높이가 4-6ft마다 재살포기 설치 - header와 분무액 입구의 재배치 - 격자 역류 살포기를 사용
충전물 크기의 부적당	- 제조업자의 점검 의뢰
높은 속도	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 설비 옆에 또다른 tower를 설치 - 가능한 유량을 감소시킴.
낮은 속도	<ul style="list-style-type: none"> - 크기가 작은 충전물을 사용 - 재분사기 사용 - 공급수의 증가
기계장치	<ul style="list-style-type: none"> - 모든 기계의 고정상태를 확인 - 기계설치 장소의 적정성 확인 - 휘기 쉬운 장치에 보강제 사용
pH	<ul style="list-style-type: none"> - 적정 pH에 미달시 알칼리 보충 (설계에 의해 pH를 조절)

7. 흡착시설에서 고려해야 할 사항

1) 유지관리

- ① 흡착층 상부, 중앙, 하부의 흡착시료를 추출하여 흡착력을 정기적으로 점검
- ② 접합부, 덕트의 연결부, 여과실과 흡착층 등의 공기 누출 여부 확인
- ③ 흡착시설 전면에 여과 집진 장치가 설치된 경우 여과집진시설의 압력 강하 측정
- ④ 배출가스 유량의 균형을 위한 댐퍼의 조정
- ⑤ 흡착층 입출구 압력 손실 점검



2) 결함발생시 보수 요령

결 합	보 수 요 령
흡착기의 효율 저하	<ul style="list-style-type: none"> - 덕트 및 장치내 공기 유출 여부 확인 - 흡착물의 흡착력 검사
처리 가스량의 유량 변화	<ul style="list-style-type: none"> - 덕트에 부착된 유량계의 고장 여부 확인 - 처리가스 유량의 균형을 위한 댐퍼의 조정 - 설계자에 의한 전반적인 점검
출구 유량의 감소	<ul style="list-style-type: none"> - 흡착기 전면에 여과집진시설이 설치된 경우 여포 청소 및 교환 - 송풍기의 이상 유무 확인
비정상적 소음	<ul style="list-style-type: none"> - 장치의 고정 상태 확인 - 연결부 및 접합 부분의 파손 여부 확인