

공기청정기의 신기술

김 광 영
(주)신성기연 연구소장/박사

1. 서 론

최근 산업화와 자동차 증가에 따른 대기오염의 심화, 건축물의 과도한 기밀, 공기조화시설의 불량등에 의한 실내의 절대환기량 부족, 여러가지의 건축자재 및 연소기구로 부터 발생하는 실내공기오염원등에 기인되는 Sick Building 증후군이 확대되고 있다. 전시 예술품, 역사유물의 부식, 유해작업장의 환경개선, 특수첨단산업분야의 공기질제어등의 분야에 있어서도 고효율의 복합기능을 가지는 공기청정기술의 필요성이 날로 증대되고 있다.

공기청정기는 그 대상으로 하는 공기오염물질의 성질, 농도, 실의용도, 규모, 구조, 관리상의 관점으로부터 여러종류가 있다. 표 1에 공기오염물질의 종류에 따른 제거방법을 나타낸다.

지금까지 일반적으로 사용되어온 공기청정기의 기술을 요약하면, 가스물질의 제거를 위해서는 아황산가스, 유화수소등과 같은 친수성가스에 대해서는 미세한 물방울(수적)과 습식애어필터의 수막등에 의해 물에 흡수시켜 제거시키는 습식방식과, 무수한 마이크로 기공에 의한 비표면적이 큰 활성탄, 활성백

표 1. 공기오염물질의 종류와 그 제거방법

종 류	제거방법
가스물질	용해법, 흡착법, 흡수법, 연소법 (직접연소법, 촉매산화법)
부유분진	중력침강법, 원심력, 관성분리법, 세정분리법, 여과집진법, 정전집진법
세 균 류	여과법, 가열살균법, 연소법, 오존살균법, 자외선살균법

토, 제오라이트등의 흡착제에 의해 가스물질을 매질중에 물리적, 화학적으로 제거시키는 흡착방식이 있다. 가스종류에 따라 흡착능력이 다르며, 탄산가스, 일산화탄소 등에는 별로 효과가 없으나 아황산가스, 유화수소등에 대해서는 유효하다. 입자상의 흡착제를 충전시킨 캐비넷방식과 흡착제를 담지시킨 섬유상의 필터등이 사용되고 있다.

부유분진의 제거기술은 전치필터 중성능필터등에 의한 여과집진방식과 압력손실등을 저감하기 위한 정전집진방식 및 정전필터등이 많이 사용되고 있다.

미생물의 살균방법으로서는 에어필터에 의한 여과방식 및 정전집진방식에 의한 직접포

집방법이 있으며 공기중 또는 포집된 미생물을 자외선조사와 산화력이 강한 오존을 발생시켜 살균시키는 방식이 최근에 사용되고 있다.

종래의 공기청정기에는 이상의 방법과 기술등이 복합적으로 적용되어 있으나 그중에서도 가장 일반적인 방식으로 전치필터, 정전필터, 활성탄담지필터등을 채용한 것을 들 수 있으나, 유해가스 및 취기제거상에서는 효율이 낮으며 수명도 짧은 문제점이 있다.

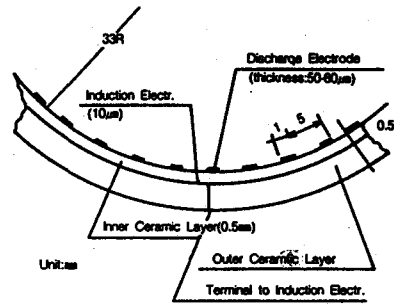
또 최근에는 코로나방전에 의해 이온을 직접 발생시켜 실내의 공기중의 대전입자를 전기적으로 중성화시키거나 전기력에 의해 부유분진을 응집 거대화시켜 제거하는 방식도 보편화 되는 추세이다.

본고에서는 최근 공기청정기의 신기술로서 주목을 받고 있는 고주파연면방전에 의한 플라즈마 화학처리(Surface Discharge Induced Plasma Chemical Process(SPCP))기술을 이용하여 유해가스(산성가스, 유기가스, 중금속 Fume, 악취등)를 고효율 복합적으로 분해 제거하는 건식방식의 기술과 산화·환원·중화반응에 의한 화학흡착기술을 이용한 Chemical Filter방식의 신기술에 관해 소개한다.

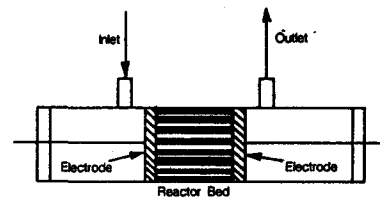
2. 고주파 연면방전에 의한 플라즈마 화학처리(SPCP)기술

2.1 SPCP기술의 개요

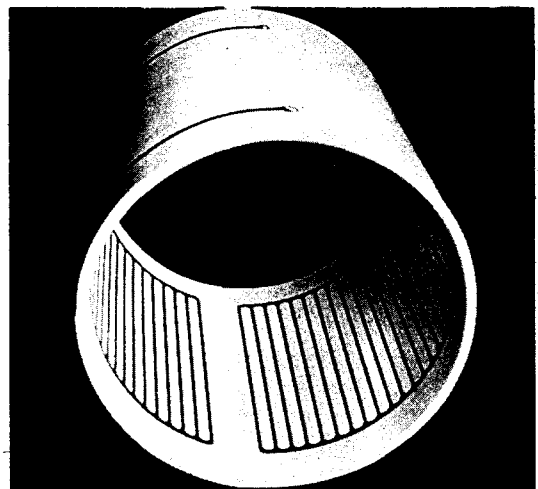
그림 1과 같이 고순도 알루미나 화인세라믹(92%)의 절연층상에 매우 얇게 설치한 탱그스텐 선형태의 방전극과 평면형태의 유도전극 사이에 주파수 8~15kHz 교류전압 4~6kVpeak을 인가시켜서 그림 2와 같이 선상방전극에서 부터 절연층의 표면에 이르는 다



(a) 실린더 형상



(b) Packed-bed 형상



(c) 실린더 형상의 SPCP소자

그림 1 SPCP 소자의 개요 및 사진

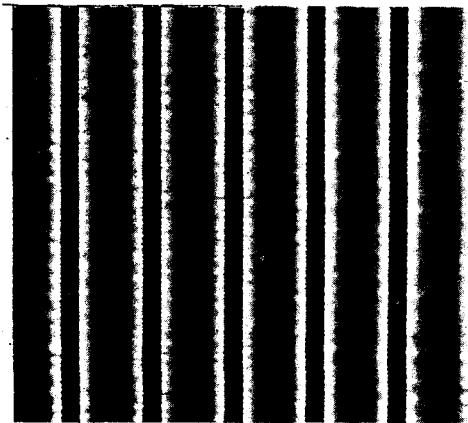


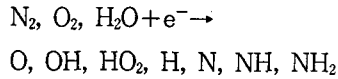
그림 2 SPCP소자의 Streamer상의 Nanosecond Pulse 방전 모양

수의 스트리머(Streamer)상의 교류방전을 발생시켜 비평형 플라즈마를 생성시킨다. 이 방전은 진전속도가 매우 빠른 스트리머상 나노세컨드 펄스(Nanosecond Pulse)방전으로 교류전압의 1/2사이클만의 일정기간 펄스방전이 발생하며, 그 외의 기간은 방전이 일어나지 않는 휴지기간이 되어, 소위 간헐적인 나노세컨드 펄스방전이 일어나게 된다.

이때 질량이 작은 전자는 가속되어서 전계로부터 에너지를 얻어 온도가 상승하지만, 질량이 큰 이온과 분자는 가속되지 않아 온도가 낮은 상태로 있다.(이와 같은 플라즈마를 비평형 플라즈마 또는 저온 플라즈마라고 한다)

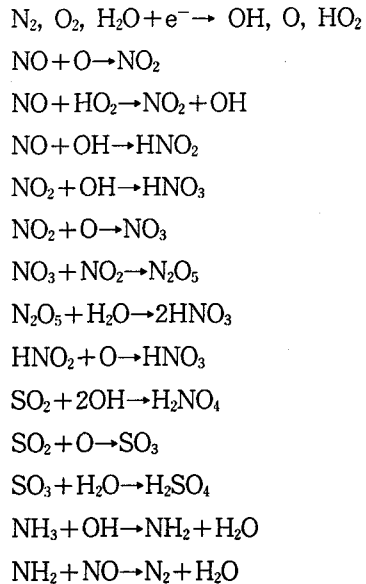
온도가 높은 전자가 분자와 충돌하면, 질량이 상대적으로 작기 때문에 「에너지보존법칙」과 「운동량보존법칙」에 따라 전자에너지의 대부분은 가스분자의 내부에너지 즉, 궤도전자의 에너지레벨을 변화시키는데 이용된다. 이때 해리·여기·전리 등의 프로세스를 통해서 화학적으로 활성을 가지는 다량의 자유기

(Active Free Radicals)를 상온·상압에서 다음과 같이 생성시킨다.



이와 같은 자유기의 작용에 의해

- 1) NO_x, SO_x의 산화
(산화생성물은 암모니아 첨가에 의해 고체미립자로 전환시켜서 처리함)
- 2) 중금속 증기(수은, 카드뮴, 비소 등)의 고체산화물 전환
- 3) 각종 유기가스 및 악취의 분해·제거 등의 처리를 효율적이며 경제적으로 가능하게 한다. NO_x, SO_x, NH₃의 산화반응식은 다음과 같다.



2.2 SPCP System의 개요 및 성능

당 System은 크게 유해가스의 SPCP처리

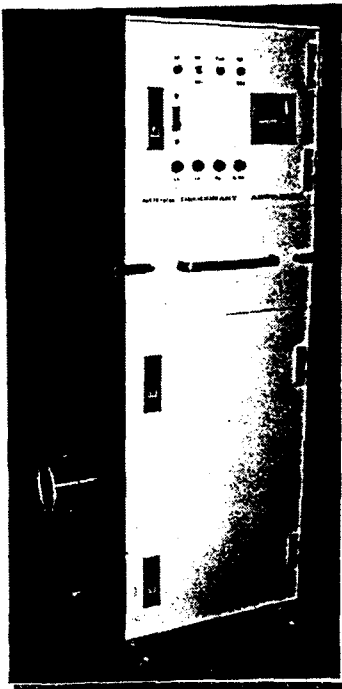
부, 산화고체물과 잔류가스(O₃포함)의 포집 분해를 위한 필터·촉매부, 유해가스를 흡인하는 Blower로 구성되어 있다. (그림 3)

SPCP적용에는 직접처리방식(Direct Mode Treatment)과 간접처리방식(Indirect Mode Treatment)의 2가지가 있다. 직접방식은 자유기의 화학반응이 일어나는 연면플라즈마 영역내에 유해가스를 직접 통과시켜 처리하는 것이며, 간접방식은 요구되는 자유기를 생성시킬 수 있는 캐리어가스(Carrier Gas)를 연면플라즈마 영역을 통과시켜, 그때 생성되는 자유기를 유해가스의 주류에 혼입시켜 처리하는 것이다.

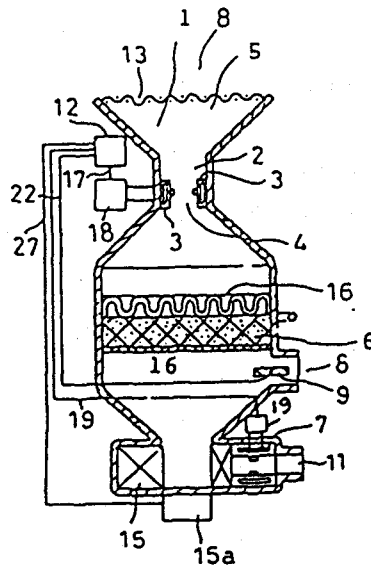
표 2. SPCP에 의한 반도체 클린룸의 열배기의 유해가스 분해·제거율

(ppb)

Ion 분류	Li	Na	NH ₄	K	Cl
처리전	0.18	33.94	565.90	11.73	415.5
처리후	<0.05	18.66	1.3	9.4	42.5
Ion 분류	NO ₂	Br	NO ₃	HPO ₄	SO ₄
처리전	33.4	1.3	23.2	85.5	240.8
처리후	1.5	<0.1	3.4	<0.1	21.4



(시작품의 사진)



(시작품의 기본도)

- 1 : Venturi
- 2 : Throat Part
- 3 : SPCP Elements
- 4 : Radical-Active Region
- 5 : Air Inlet
- 6 : Catalyzer
- 7 : SPCP Elements for Ozone Fumigation
- 8 : Air Intake for Fumigation-Mode Operation
- 9 : Flapper
- 11 : Clean Air Outlet
- 12 : Timer
- 13 : Prefilter
- 15 : Suction Fan
- 15a : Fan Motor
- 16 : Mini-Pleats Filter
- 17-27 : Lead Wires
- 18 : HF-HV Power Supply
- 19 : HF-HV Power Supply

그림 3 처리동향 250CMH의 Package Type의 SPCP System

간접방식의 경우에는 자유기의 활성시간이 십수초인 N자유기외에는 ms로 매우 짧기 때문에 고효율로 유해가스를 분해하기 위해서는 아주 빠른 속도로 공급되어야 한다. SPCP 소자의 설계 및 실제 적용상에 있어서, 캐리어가스(Carrier Gas)와 유해가스 종류, 유해가스 농도, 생성되는 자유기의 종류, 반응후의 생성물 및 제거방법, 온도와 압력, 적용방식(직접, 간접)등에 유념해야 한다. 예를 들면, NO에 과도한 산화반응이 일어나면 NO₂의 강산성가스가 생성되며, N₂로 부터 NO가 생성되기 때문이다. 환원성 N자유기의 경우에도 과도한 반응에 의해 O₂로 부터 NO가 생성된다.

표 2에 그림 3의 처리풍량 250CMH의 Package Type의 SPCP System을 이용하여 클린룸 내에서 관리 대상이되는 이온성분들에 대해 Impinger방식(D. I. Water용해방식)에 의해 클린룸 배기가스의 처리 전·후의 농도를 나타낸다. 결과에서 알 수 있듯이, 여러 가스 성분에 대해 동시분해·제거가 고효율로 가능하다는 것을 보여주고 있다. Na, K, Cl이온에 대해서는 NaCl, KCl의 염류파티클이 포집되지 않고, D.I.Water에 직접 용해되었기 때문에 실제보다 분해 제거율이 낮게 평가된 것이다.

그림 4~13에 SPCP System의 NO_x, 프레온(CFC113), Trichloroethylene, Aceton, Isopropyl alcohol, Toluene의 분해율 시험결과를 나타낸다. 이상의 결과로 부터 SPCP기술은 SO_x, NO_x, 유기가스, 악취등의 여러유해가스의 분해·제거에 탁월하며 종래기술이 안고 있는 성능상의 한계극복과 저렴한 초기투자, 낮은 공간점유율, 저렴한 운전비, 용이한 유지관리 등의 장점을 가지고 있다.

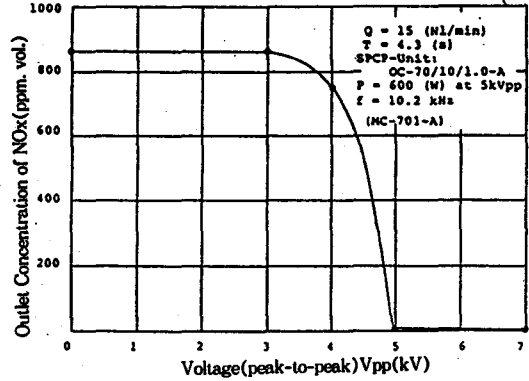


그림 4 N₂캐리어가스에 대한 SPCP의 DeNOx성능

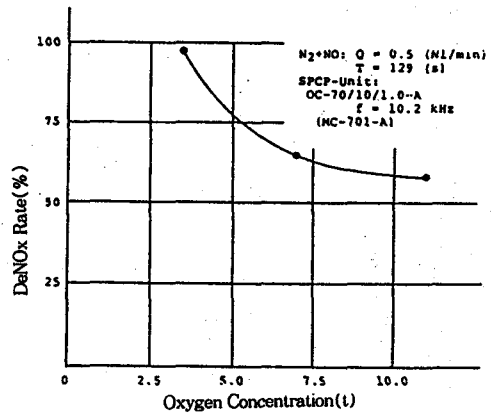


그림 5 DeNOx에 대한 O₂의 영향

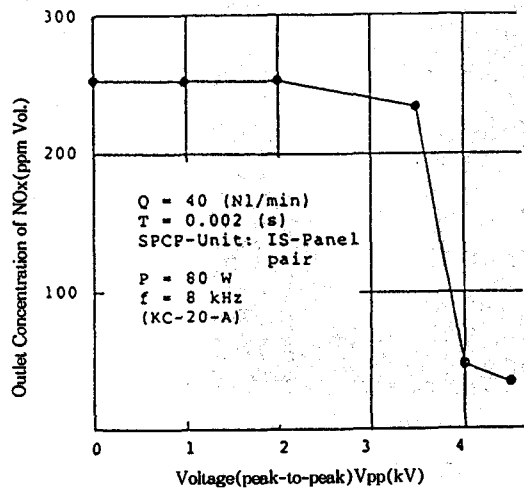


그림 6 Air/N₂/NO에 대한 SPCP의 DeNOx 성능

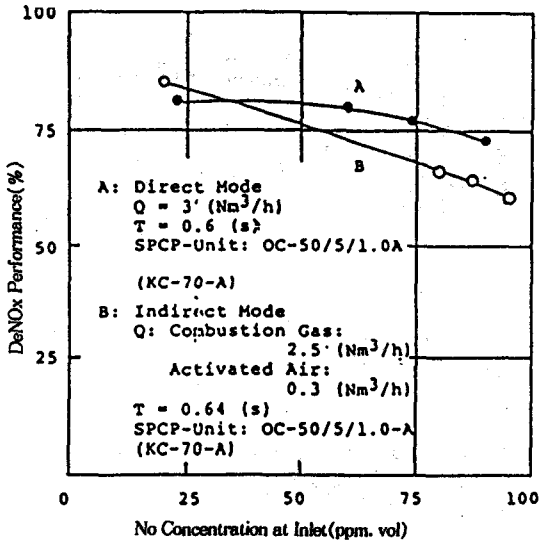


그림 7 대연소시의 직·간접방식에 따른 SPCP의 DeNOx 성능 비교

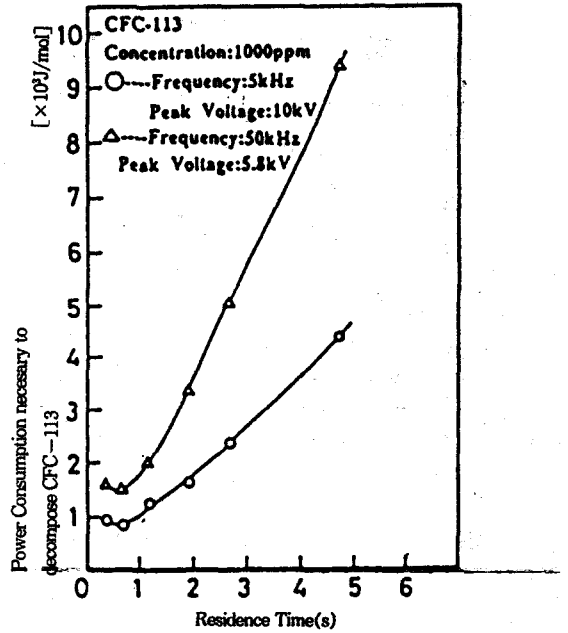


그림 9 CFC 113의 SPCP처리에 대한 에너지 소모량

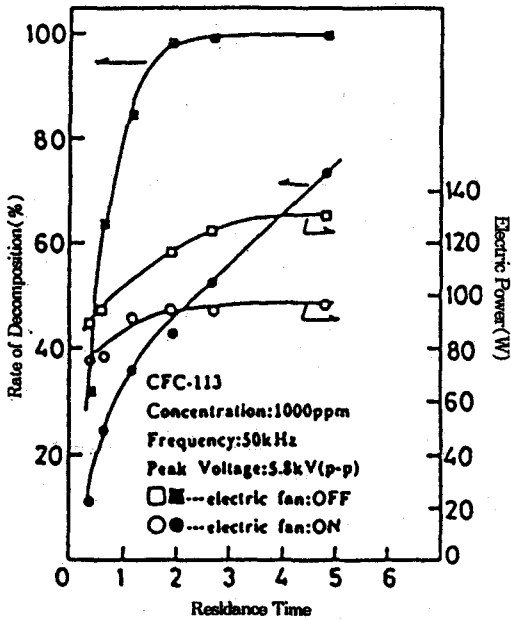


그림 8 SPCP소자의 Cooling Fan의 ON/OFF에 따른 CFC 113의 분해율

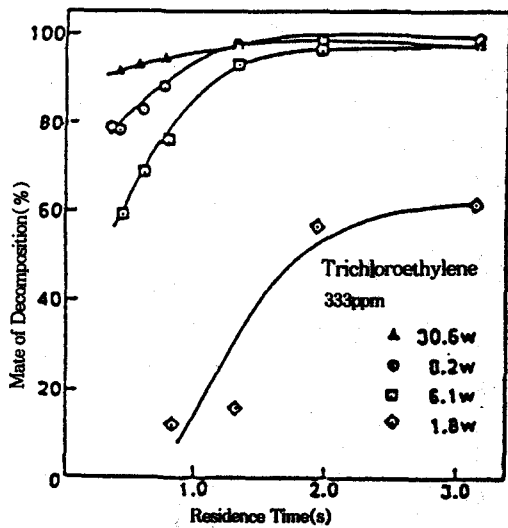


그림 10 Trichloroethylene(333ppm)의 SPCP 분해율

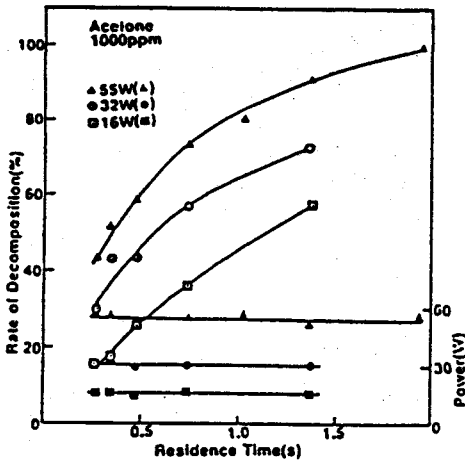


그림 11 Acetone(1000ppm)의 SPCP 분해율

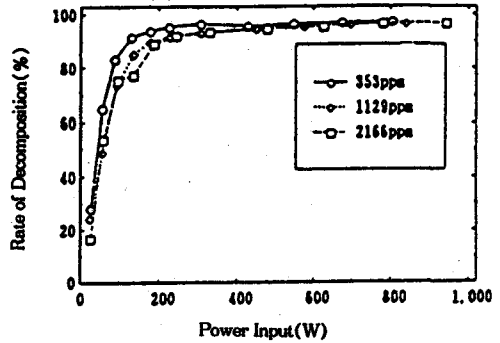


그림 13 SPCP 인가 전력에 따른 Toluene의 분해율 (Tres=9s)

3. Chemical Filter 기술

유해가스 및 악취에 의한 공해는, 그 대부분이 다수의 물질에 의한 복합작용이라는 것은 잘 알려져 있다. 그러나 사람의 악취에 대한 감지치(감지하게 시작하는 취기농도)가 매우 낮기 때문에 지금까지 효과적인 제거방법이 없었으며 그 대책 마련이 곤란했다.

종래의 물리적 흡착에 의한 활성탄으로는 ppm레벨에서 적용 가능한 경우도 있었지만, ppb레벨이 되면 흡착효율이 떨어지며, 수명도 짧아지고 또한 탈착에 의한 역효과의 염려가 있어서 사용상에 상당한 주의가 요구되었다. 이에 반해 본고에서 소개하고자 하는 Chemical Filter는 산화·환원·중화반응을 이용한 화학흡착제로서 ppb레벨의 가스처리에 있어서 효능이 높다.

3.1 유해가스의 정화 메카니즘

Chemical Filter의 유해가스의 제거메카니즘은 다음과 같다.

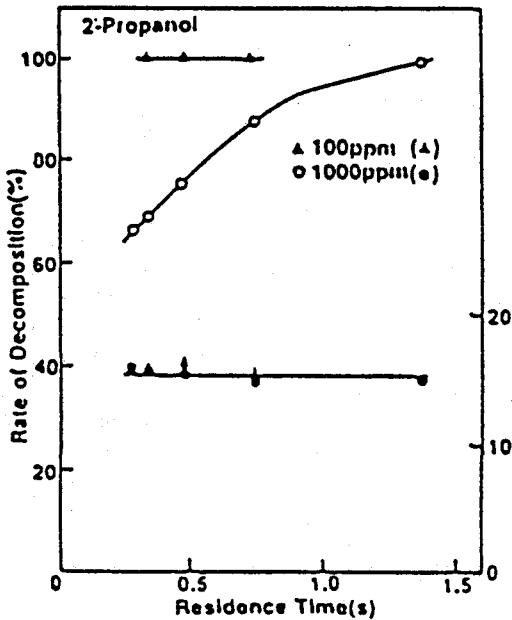
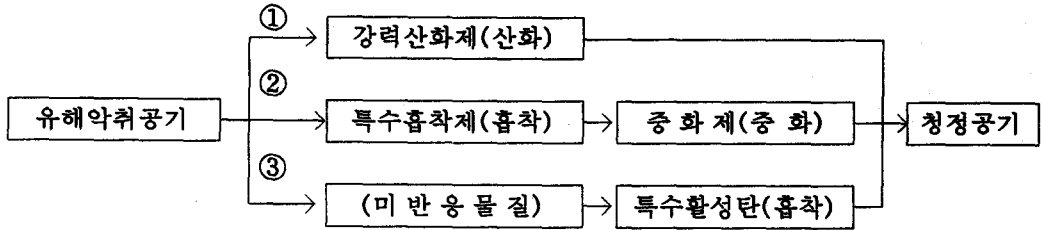


그림 12 Isopropylalcohol (100, 1000ppm)의 SPCP 분해율



- ① 유해, 악취 물질은 공기중의 수분과 함께 강력 산화제와 산화반응을 일으켜, 산화물질로 고정되어 지든가, 또는 무취 물질로 분해된다.
- ② 한편, 암모니아 등의 극성가스는 특수 처리된 제오라이트 및 활성탄에 흡착되며 함침되어 있는 중화제에 의해 염기성 물질은 중화물질로 고정되어 진다.

- ③ 강력산화제와 반응하지 않은 유기산(초산·약산류)의 악취와 같이 산화되지도 취기가 남아 있는 물질은 활성탄에 의하여 완전히 제거되어 청정한 공기로 된다.

Chemical Filter의 유해가스와의 화학적인 반응은 표 3과 같다.

표 3. Chemical Filter의 유해가스와의 화학적 반응

분 류	명 칭	분 자 식	PureLite와 악취, 유해가스의 반응
유해가스	일산화질소	NO	$NO + KMnO_4 \rightarrow KNO_3 + MnO_2$
	이산화질소	NO ₂	$3NO_2 + KMnO_4 + KOH \rightarrow 3KNO_3 + MnO_4 + H_2O$
	이산화유황	SO ₂	$3SO_2 + 2KMnO_4 + 4KOH \rightarrow 3K_2SO_4 + 2MnO_2 + 2H_2O$
암모니아 (아민) 계 가스	암모니아	NH ₃	$3NH_3 + H_3PO_4 \rightarrow (NH_4)_3PO_4$
	토리메칠아민	(CH ₃) ₃ N	$(CH_3)_3N + 2KMnO_4 \rightarrow 3G + 2MnO_2 + H_2O + KOH + CO_2$
	토리에칠아민	(C ₂ H ₅) ₃ N	$(C_2H_5)_3N + 4KMnO_4 \rightarrow (C_2H_5)_2NK + 4MnO_2 + H_2O + 3KOH + 2CO_2$
악취가스	유 화 수 소	H ₂ S	$3H_2S + 2KMnO_4 \rightarrow 3G + 2MnO_2 + 2H_2O + 2KOH$
	메칠멜캄탄	CH ₃ SH	$CH_3SH + 2KMnO_4 \rightarrow CH_3 + SO_3K + 2MnO_2 + KOH$
	유 화 매 칠	(CH ₃) ₂ S	$3(CH_3)_2S + 4KMnO_4 + 2H_2O \rightarrow 3(CH_3)_2SO_2 + 4KMnO_4 + 4KOH$
	유 화 시 매 칠	(CH ₃) ₂ S ₂	$3(CH_3)_2S_2 + 10KMnO_4 + 2H_2O \rightarrow 6CH_3SO_3K + 10MnO_2 + 4KOH$
	포름알데히드	HCHO	$3HCHO + 2KMnO_4 + KOH \rightarrow 3HCOOK + 2MnO_2 + 2H_2O$
	아세트알데히드	CH ₃ CHO	$3CH_3CHO + 2KMnO_4 + KOH \rightarrow 3CH_3COOK + 2MnO_2 + 2H_2O$
	아쿠로레인	CH ₂ =CHCHO	$3CH_2=CHCHO + 4KMnO_4 + 2H_2O \rightarrow 3CH_2C(OH)COOK + 4MnO_2 + KOH$
	에 탄 올	C ₂ H ₅ OH	$3C_2H_5OH + 4KMnO_4 \rightarrow 3CH_3COOK + 4MnO_2 + KOH + 4H_2O$
	페 놀	C ₆ H ₅ OH	$C_6H_5 + 2KMnO_4 \rightarrow KOOCCH=CHCH=CHCOOK + 2MnO_2 + H_2O$
	기 타	스 칠 렌	C ₆ H ₅ CH=CH ₂
초 산		CH ₃ COOH	$CH_3COOK + KOH \rightarrow CH_3COOK + H_2O$

표 4. Chemical Filter의 종류(일본의 N사)

Grade	A2	Cl	E	E2	E3	F	O2	K	KF
Color	White	White	Red Purple	Red Purple	Red Purple	White	Black	Black	Red Purple
Outer diameter(mm)	3φ	Crushed	3φ	3φ	3φ	3φ	3φ	Crushed	Granulated
Length(mm)	10±5		10±5	10±5	10±5	10±5	10±5		
Apparent specific gravity (g/ml)	0.6-0.7		0.8 0.9	0.5 0.6	0.55 0.65	0.8-0.9	0.4-0.5	0.4-0.5	0.5-0.6
Object gas	Acid gases, etc. of Hydrochloric acid, Sulfuric acid, Sulfuric acid, Nitric acid, Hydrofluoric acid, phosphoric acid, Acetic acid, Aqua acid,	Carbon dioxide	Sulfur compounds Such as Hydrogen sulfide, Methyl mercaptan, Methyl sulfide, Sulfur dioxide, Methyl disulfide, etc.	Sulfur compounds Hydrogen sulfide, Methyl mercaptan, Methyl sulfide, Sulfur dioxide, Methyl disulfide, Nitrogen Oxide, etc.	Alkaline gases such as Ammonia, Amine, Caustic potash, Caustic soda, Quicklime, Slaked lime, etc	Ozone, Chlorine, Organic solvent, Nitrogen dioxide, Hydrogen peroxide, Acetic acid, etc.	Organic solvent, Acetic acid, etc.	Ethylene, Hydrogen sulfide, Sulfur dioxide etc.	
Style of packing	15 kg (Box)		15kg (Box)	10kg (Box)	15kg (Box)	15kg (Box)	10kg (Box)	15kg (Box)	15kg (Box)

3.2 Chemical Filter의 종류와 물리적 특성

의 Chemical Filter의 종류 및 조성을 나타낸다

표 4, 5에 일본의 대표적인 제조사인 N사

Chemical Filter의 정화능력은 표 6과 같다.

표 5. Chemical Filter의 조성에 (일본의 N사)

Grade	E3		O2	
조성비 (%)	활성알루미나	50	활성한	40
	실리카졸	20	(탄소90%이상)	
	벤토나이트	10	이산화망간촉매	30
	과망간산칼리	5	벤토나이트 외	30
	기타성분	15		

표 6. Chemical Filter 1g으로 정화가능한 공기량

(가스농도 1ppm)

가 스	공기량 (m³)	가 스	공기량 (m³)	가 스	공기량 (m³)
암 모 니 아	166.7	아 세 트 알 데 히 드	43.5	트 리 메 틸 아 민	14.3
이 산 화 질 소	88.3	에 탄 율	21.3	스 칠 렌	10.6
아 황 산 가 스	43.5	유 화 메 칠	21.3	유 화 수 소	42.4
일 산 화 질 소	28.6	메 칠 멜 캄 탄	14.3	이 유 화 메 칠	8.0

3.3 Chemical Filter의 성능

조건에서 시험한 Chemical Filter의 성능과 수명을 그림 14~21에 나타낸다. 그림 22에 Chemical Filter 방식의 System의 예를 나타낸다

SO₂, NO₂, NH₃, H₂S에 대해 처리풍량 10m³/min, 면속도 0.4m/s, 온도 25°C, 습도 70%의

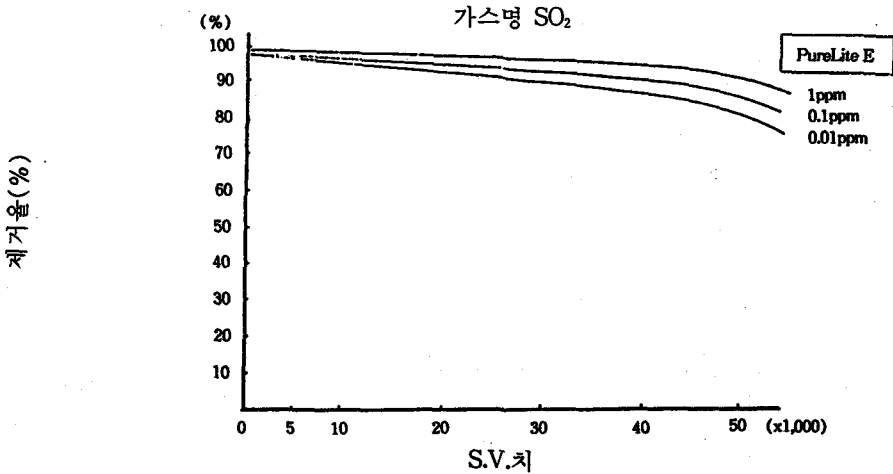


그림 14 S.V치에 따른 SO₂ 제거율

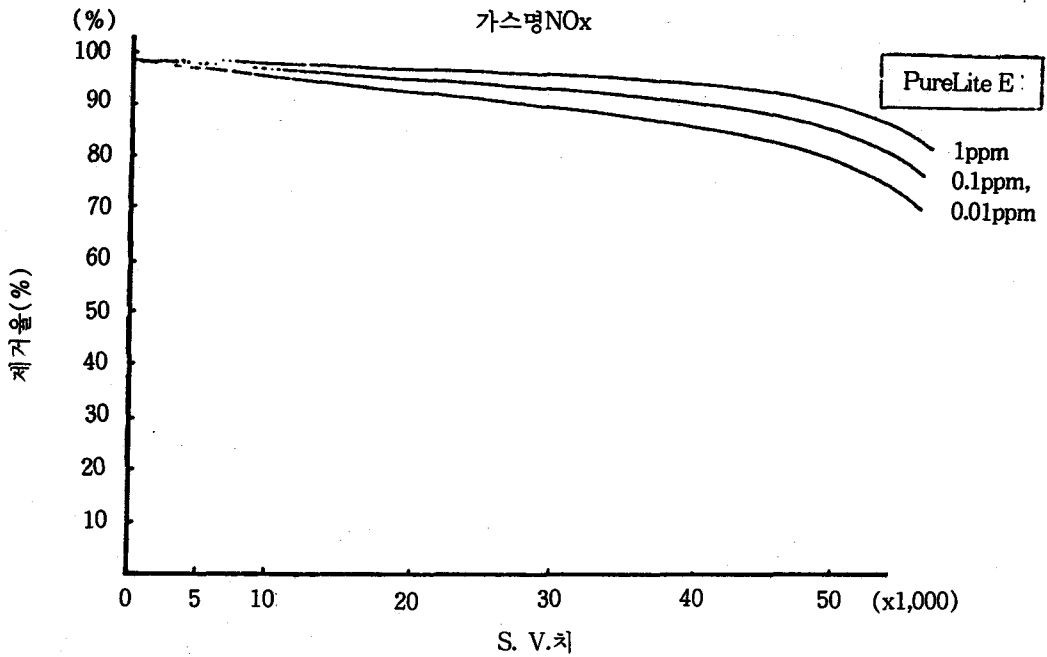


그림 15 S.V치에 따른 NOx 제거율

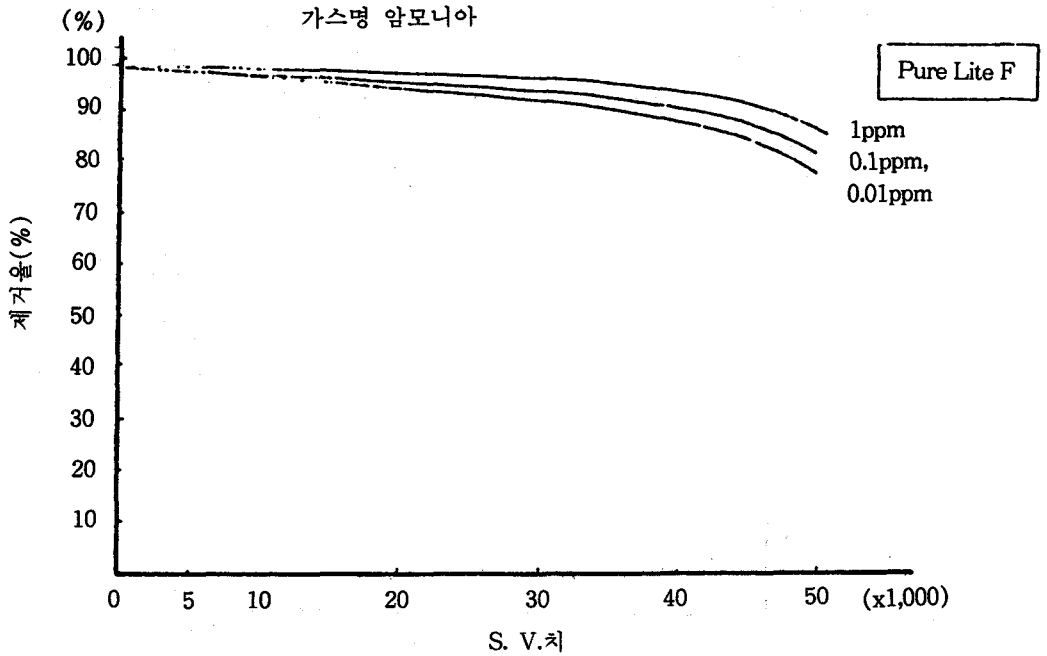


그림 16 S.V.치에 대한 NH₃ 제거율

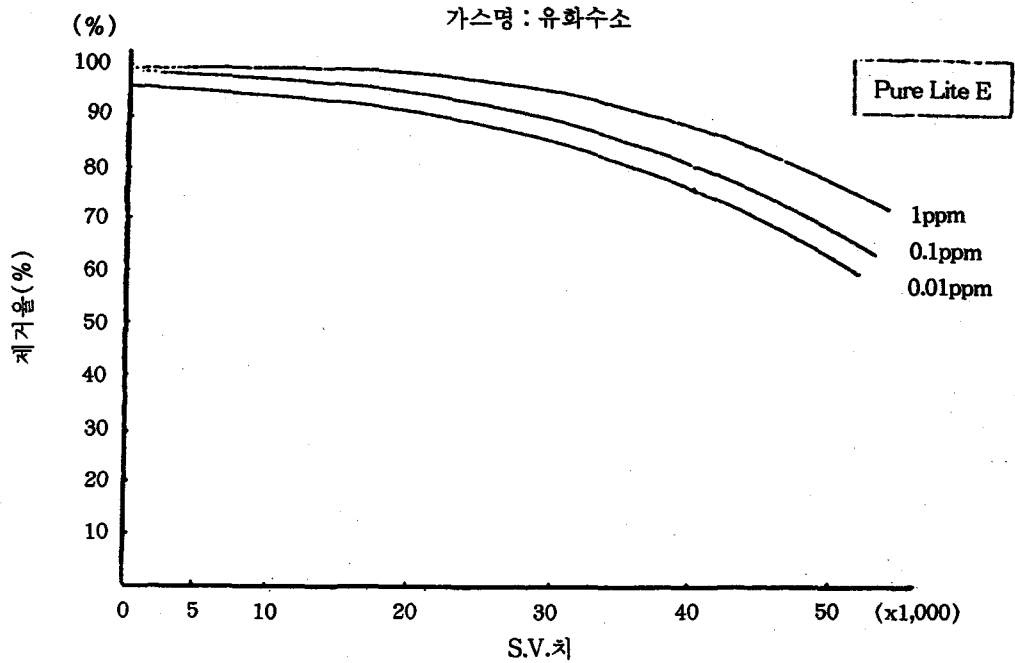


그림 17 S.V.치에 따른 H₂S 제거율

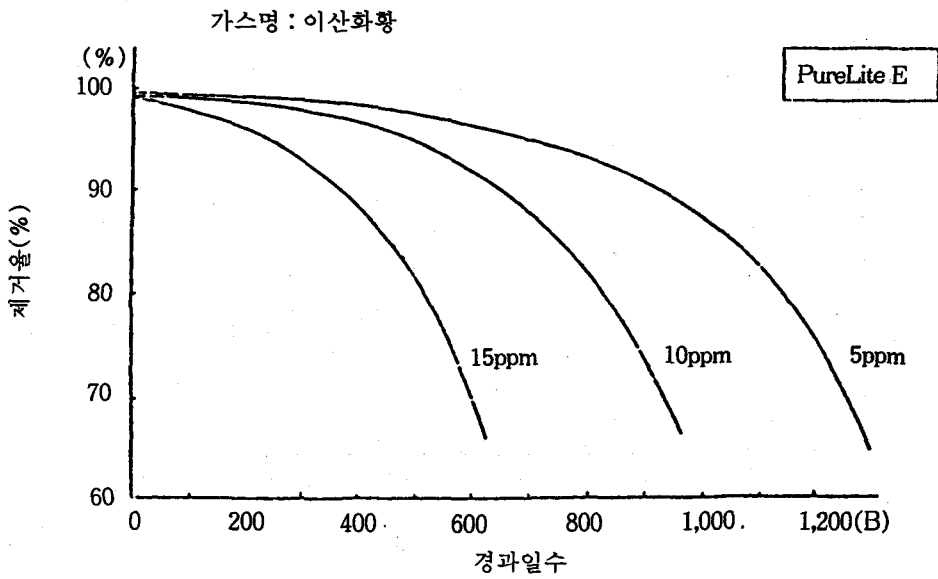


그림 18 경과일수에 따른 SO₂ 제거율

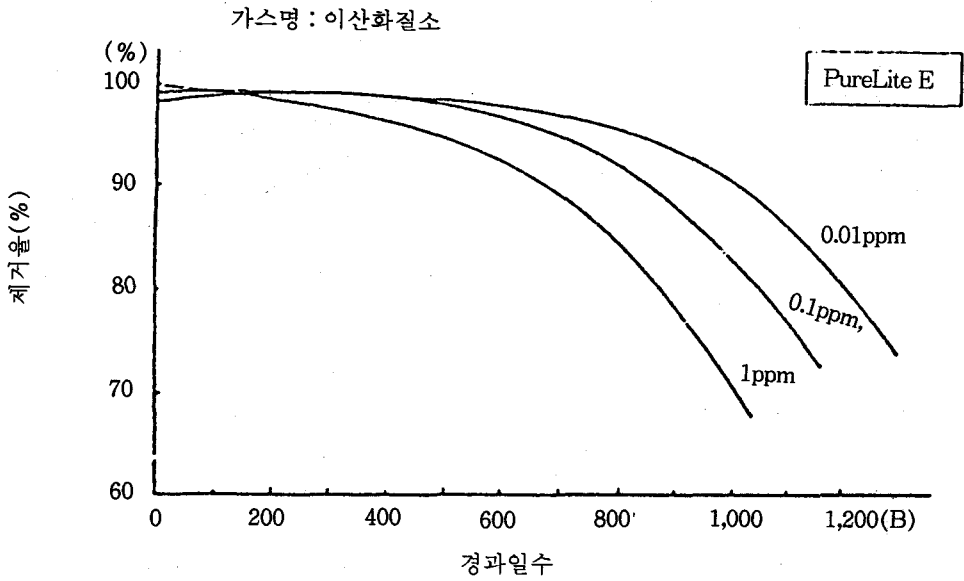


그림 19 경과일수에 따른 NO_x 제거율

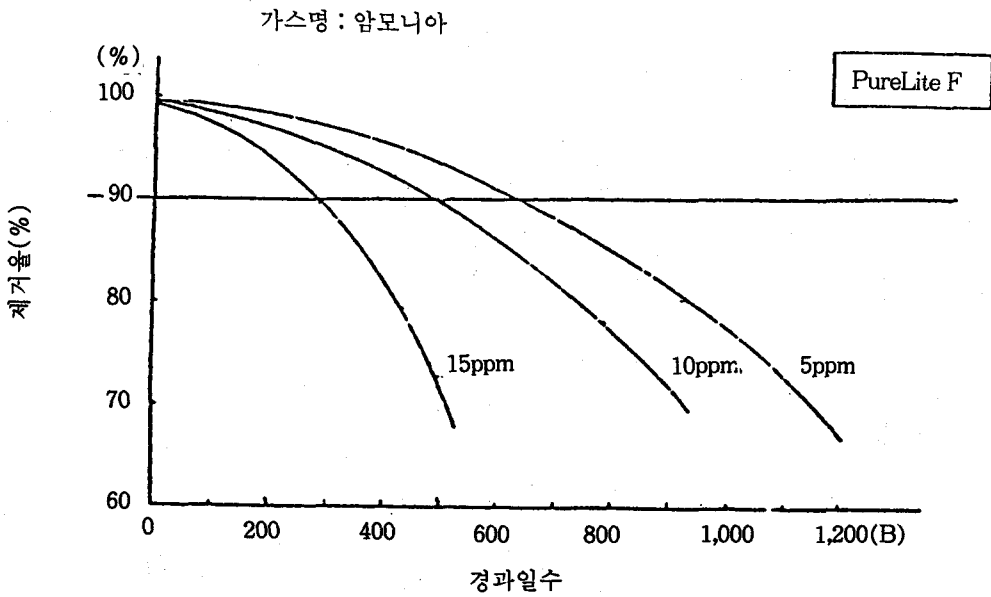


그림 20 경과일수에 따른 NH₃ 제거율

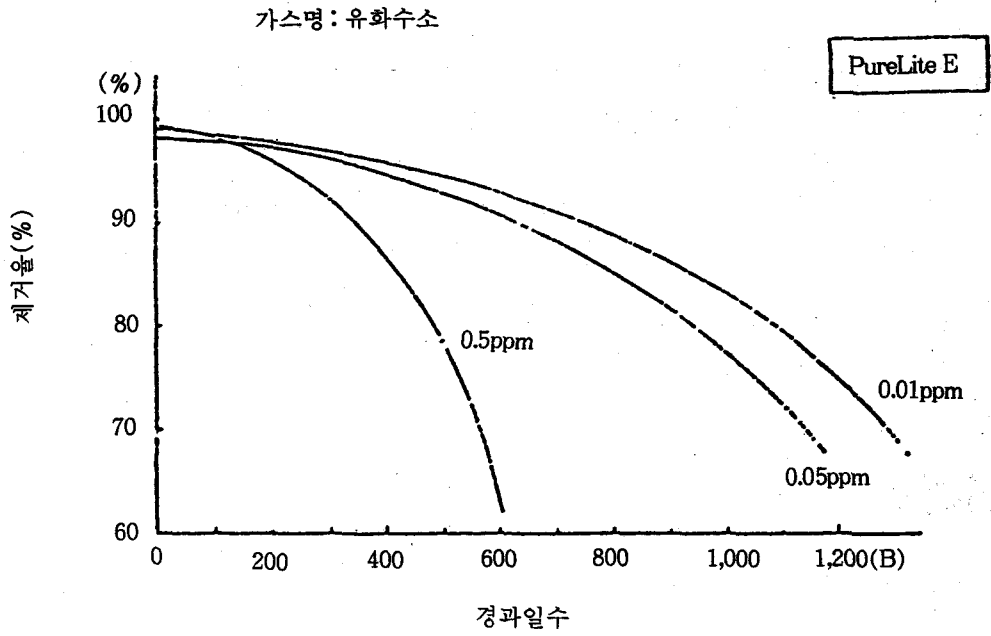


그림 21 경과일수에 따른 H₂S 제거율

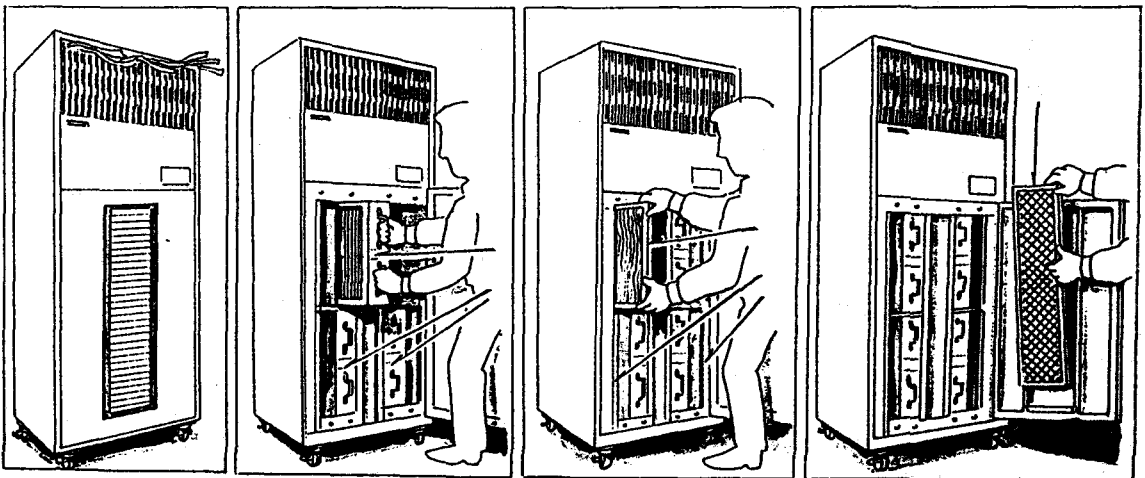


그림 22 Chemical Filter 방식의 공기청정기의 예

4. 결 론

실내의 공기환경은 대기오염의 심각화와 건축물의 과도한 기밀화, 건축자재의 다양화, 에너지절약에 의한 환기횟수 감소 등에 의해 복잡화된 양상을 띄고 있으며, 생활수준의 향상에 따른 건강위생에 대한 인식제고와 함께 관심이 증대되고 있다.

이러한 배경하에 본고에서는 최근 관심이

증대되고 있는 공기청정기의 신기술로서 고주파 연면방전에 의한 플라즈마 화학처리 기술과 Chemical Filter 기술에 관해 소개했다. 이러한 기술들을 종래의 공기청정기 기술에 부가시키면, 특히 유해가스와 악취제거등에 유효하며, 유해환경의 작업장, 의료시설, 반도체 등의 첨단산업분야 등에 고효율 복합기능의 공기청정기술로서 충분히 활용될 수 있다.

■ 국내 기술분류체계 完成

기술계획의 수립이나 기타 과학기술활동 등을 전체적으로 조감하고 합리적인 자원배분 및 관리·평가 등에 기여할 수 있는 기술분류체계(기술계통도)가 국내 처음 완성돼 국내 과학기술발전에 획기적인 전기가 마련됐다.

과학기술정책관리연구소(STEPI)는 9일 과기처의 93년도 특정연구개발사업의 연구기획 및 관리·평가사업에 관한 연구의 일환으로 약 5백명의 과학기술자들의 자문을 거쳐 다가오는 21세기에 전개될 기술고도화 사회에 대비한 미래지향적 관심에서 기술분류작업을 완료해 이를 발표했다.

이번 기술분류체계의 완성으로 국가에서 추진하고 있는 기술개발사업의 중복성을 피할 수 있는 것은 물론 효율적인 자원배분을 위한 기술계획수립과 연구개발과제의 연계성을 크게 높일 수 있을 것으로 예상된다.

또 기술분류표상에 연구개발목표와 기술의 대책들을 체계적으로 정리함으로써 정부나 기업의 합리적인 연구개발계획 수립이 가능할 것으로 보이며, 기술분류표상의 요소기술의 평가를 통해 우선순위에 따른 기술개발투자로 한정된 자원의 활용을 극대화하는 데 크게 기여할 수 있을 것으로 전망된다.

이번에 완성된 기술분류체계는 기술분류대상을 정보, 전자, 통신분야, 기계, 설비분야, 소재, 공정분야, 생명과학분야, 에너지, 자원분야, 환경, 지구, 과학분야등 6대분야로 나누어 각 분야별로 6단계까지 총 1만1천2백31개의 가짓수로 분류했다.