

GIGA급 클린룸용 ULPA필터

이 글에서는 클린룸의 최근 실제적 상황을 소개하고, 공기 중 분자상 오염물질의 발생문제가 해결된 에어 필터(Air Filter)를 소개하여 AMC의 오염에 의한 불량문제를 해결하고자 한다. **김정호**

클린룸, 특히 LSI 및 LCD의 생산용 클린룸에 있어서는 입자오염에 의한 불량이 크지만 공기 중의 분자상 오염물질(AMCs : Airborne Molecular Contaminants)로 인한 오염의 불량도 점차 커지고 있다. 최근의 실제적 상황을 소개하고, AMC의 발생문제가 해결된 Air Filter를 소개하여 AMC의 오염에 의한 불량문제를 해결하고자 한다.

클린룸에서의 입자상 물질과 가스상 물질의 농도

기존 클린룸에서의 입자상 물질과 가스상 물질의 농도는 다음 그림 1과 같이 표시된다.

그림 1에는 보론(Boron)과 유기물의 농도가 나타나 있다. 클린룸 중의 가스상 물질의 농도는 입자상 물질의 농도와 비교할 때 극히 작게 나타나 있다. 여기에서 가스의 원천은 외기 중의 것과 기

타의 것으로 구분된다. 기타의 것은 클린룸의 바닥재, 벽체, 천장 등의 구성자재 및 생산공정에서 발생하는 것 등으로 추정된다. 그리고 입자상 물질을 제거하기 위하여 사용하는 HEPA, ULPA 필터에서도 가스상의 물질이 발생되고 있다.

입자상 물질은 HEPA, ULPA 필터에 의하여 효과적으로 제거되지만 가스상 물질은 물리흡착, 화학흡착의 원리를 이용한 케미컬 필터(Chemical Filter)에 의하여 제거가 가능하게 되었다. 케미컬 필터와 ULPA 필터의 병행 사용은 가스상 물질과 입자상 물질의 제거가 가능하게 되었다. 케미컬 필터로부터의 입자오염을 피하기 위해서는 케미컬 필터의 하부에 ULPA 필터를 설치할 필요가 있게 되었다. ULPA 필터에서 가스상 오염물질이 발생할 경우에는 가스상 오염물질의 제거가 안 되므로 가스상 오염물질 발생의 문제가 없는 GIGA Filter Series를 개발하게 되었다.

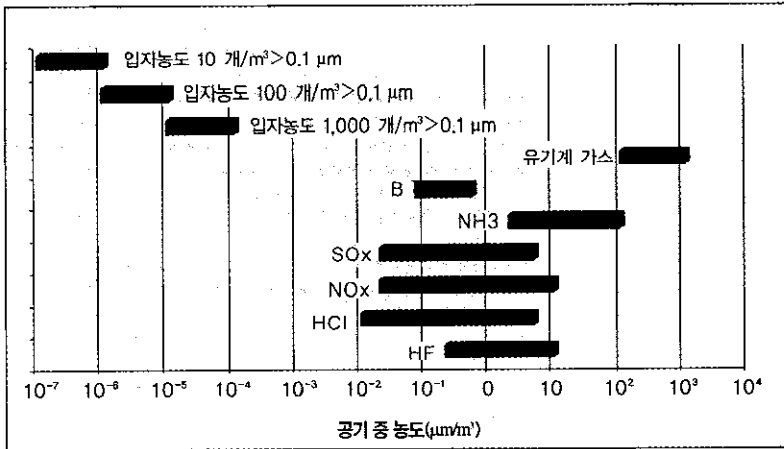


그림 1 클린룸의 공기질

• 김정호 / 한국캠브리지필터(주), 공장장 · 이사 / e-mail : cfkansan@chollian.net

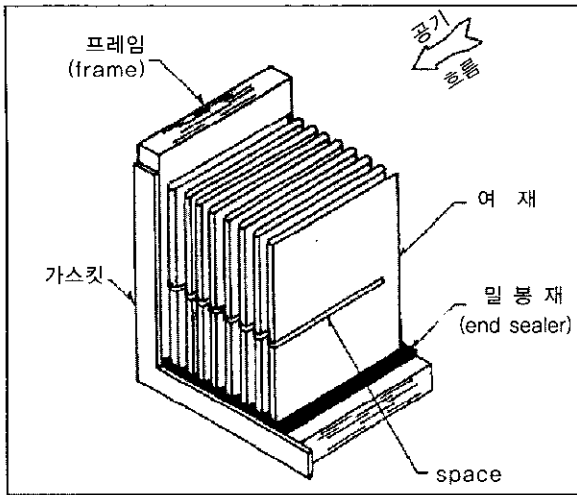


그림 2 Mini-pleat Type Filter

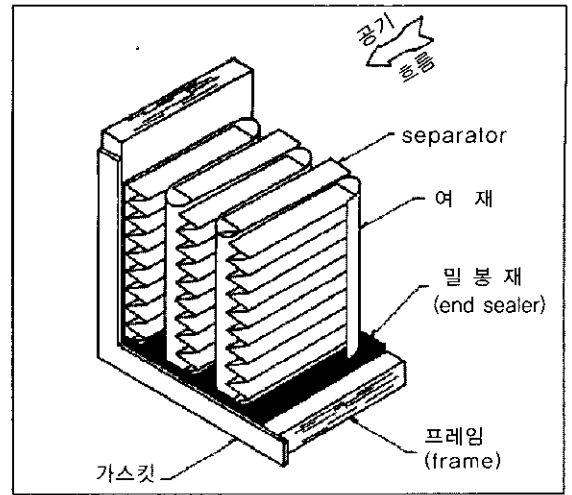


그림 3 Separator Type Filter

에어 필터의 구성재료로부터 발생하는 가스상 물질

에어 필터의 구조

에어 필터는 그림 2에 표시한 Mini-pleat Type Filter와 그림 3에 표시한 Separator Type Filter로 대별된다. 어느 쪽이든 여재(濾材)는 절곡한 구조이며, 공기는 여재를 통과할 때 입자상 물질이 여과된다. Mini-pleat Type은 여재에 실처럼 수지를 미세하게

밀착시켜 공기의 흐름을 유도하고, Separator Type은 절곡한 여재 사이에 Seat를 폴게이트로 가공한 Separator를 삽입하여 공기의 흐름을 유도한다.

Mini-pleat Type Filter는 여재의 절곡 간격을 미세하게 함이 가능하므로 가볍고 부피가 작은 장점이 있다. 제조장치 등 클린부스 등에 용이하게 사용된다. 또한 Separator Type은 절곡 폭이 깊어 내압성이 우수한 구조이므로 대풍량 처리가 필요한 외조기 등

난류방식의 클린룸에 용이하게 사용된다. 또한 Separator Type은 필터의 출구 측 풍속분포의 균일성이 우수하므로 특히 층류가 요하는 데 용이하게 사용된다. 이외에 여재 자체에 엠보싱된 여재를 절곡한 필터도 있는데 엠보싱 부분의 미세균열의 문제로 입자 누설의 위험성이 있으므로 최종 필터로는 사용되지 않는다.

에어 필터의 구성재료

에어 필터를 구성하는 외곽물,

여재, Separator, Space, 밀봉재, 가스킷(Gasket) 등의 재료는 내열성, 내식성(耐蝕性), 내약품성 등의 요구에 따라 각종 재질이 결정된다. 그 예를 표 1에서 나타내고 있다.

LSI 및 LCD 제조의 클린룸, 제조장치 등에는 통상 유리 섬유(Glass Fiber) 또는 PTFE의 여재, 알루미늄 Separator 또는 Hot-melt Space를 사

부재	프레임	여재	Separator
재질	· 합판(Plywood) · 도금강판 · 알루미늄 · 스테인리스 · 발포 PVC	· 유리섬유 부직포 · 폴리프로필렌 정전 부직포 · PTEE 멤브레인	· 종이 · 알루미늄 · 폴리프로필렌 · 폴리에스터 · 스테인리스
부재	Space	밀봉재	가스킷
재질	· 유리 실 · 유리 섬유 부직포 · Hot-melt 수지 · 폴리아미드(황갈색) · EVA(백색)	· 우레탄수지 · 네오프렌고무 · 에폭시수지 · 실리콘 · 세라믹	· 네오프렌고무 · 우레탄고무 · 실리콘고무 · 불소고무 · EPDM

Separator Type(150°)				Filter Type	Mini-pleat Type(65°)			
중량		폭로면적		비율의 기준	중량		폭로면적	
g	%	m ²	%	부재 / 단위	g	%	m ²	%
2,100	22	26 (≒3,500)	30 (99.8)	여재 (유리 섬유)	1900	34	24 (≒3,250)	79 (99.8)
2,400	25	60	69 (1.7)	Separator (알루미늄)	-	-	-	-
-	-	-	-	Space (폴리아미드)	950	17	5.7	19 (0.2)
860	8.8	0.36	0.41	End Seal (우레탄)	380	6.8	0.16	0.53
15	0.15	0.004	0.005	Side Seal (클로로프렌고무)	15	0.27	0.004	0.01
4,300	44	0.72	0.83	프레임 (알루미늄)	2,300	41	0.34	1.1
70	0.72	0.02	0.02	가스킷 (EPDM)	70	1.2	0.02	0.07

안정된다. 일단 HF와 한 번 반응하면 HF가 없는 분위기 속에서도 고농도의 보론이 계속하여 방출된다.

2) 인

유기인은 플라스틱의 가스

용한 Filter Pack을 알루미늄재의 외곽틀에 우레탄 접착제로 밀봉한 필터를 사용한다. 이들의 구성재료별 필터 유닛 당 구성비율은 표 2에 나타나 있다.

중량은 외곽틀이 커면 커지고, 여과되는 공기접촉면적은 여재의 압력손실과 상관된다. H610 mm × W1,220 mm의 Filter Unit 1개 당 여재의 절곡된 면적은 24~26 m²이고 여재를 구성하고 있는 유리섬유의 표면적은 3,000 m² 이상이 된다.

되는 HF 증기와 반응하여 BF₃를 발생하게 된다. 또한 HF 등의 부식성 가스가 없는 경우는 공기 중의 수분과 반응하여 보론 가스가 발생하게 된다.

통상 클린룸의 분위기로 HF 증기가 없는 경우에도 ULPA 필터의 사용 초기에는 150~500 ng/m³ 정도의 보론 가스가 발생된다. 보론 가스의 발생은 서서히 감소되어 수개월 및 1년 정도 후에는 50~150 ng/m³로 감소하여

난연제 등에 함유되어 있고 광범위하게 사용되어 클린룸 중에도 종종 검출되고 있다. 에어 필터의 구성재료 중 우레탄 접착제는 난연제로서 유기화합물이 많이 함유되어 있어, 1992년도에 미국에서 문제가 발생된 적이 있다. 또한 난연제로서 유기인이 첨가되지 않은 우레탄 접착제도 있다. 이소시아나염(Isocyanate)을 합성하기 위하여 첨가한 촉매제 및 안정제에 유기인 합성물이 함유

에어 필터의 구성재료로부터 발생하는 가스상 물질

1) 보론

에어 필터의 구성재료로부터 발생하는 가스상 물질의 대표적인 물질은 여재에서 발생하는 보론(Boron)이다. 보론은 에어 필터의 여재에 사용된 붕규산 유리 섬유에 B₂O₃가 10% 전후 함유되어 있다. 보론은 웨이퍼 세척에 사용

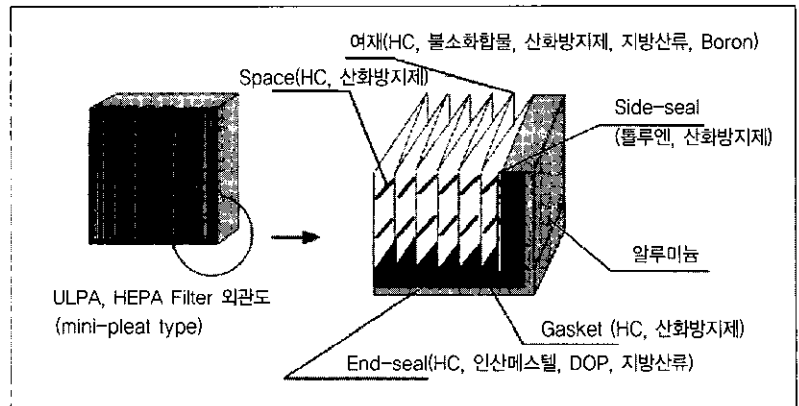


그림 4 에어 필터의 구성재료와 발생물질

된 경우도 있으므로 주의를 요한다.

3) 유기물

필터의 밀봉제 및 Space에 사용된 접착제는 유기물이 있다. 또한 유리 섬유 여재도 Binder에 5~7%의 유기물이 함유되어 있다. 이들의 유기물은 기능성을 유지하기 위하여 첨가하고, 산화방지제, 가스제를 함유하게 되어 여기에서 Out-gas가 나와 필터에서 검출된다. 유기물을 구성하는 성분자신도 사용 중에 가스화되어 나오는 경우가 있다. 그림 4에서 에어 필터의 구성재료에서 발생하는 주요한 가스성분을 정리하였다.

GIGA Filter Series

가스상 오염물질의 저감방법

1) 보론의 제어

에어 필터에 있어서의 보론 제어 방법은 지금까지 다음의 네가지가 사용되어 왔다.

- ① Polypropylene Electric 여재
- ② 유리 섬유+Coating제 여재
- ③ Boronfree 유리 섬유 여재
- ④ PTFE 여재

①의 방법은 Boron은 Zero 상태로 억제되나 유기섬유를 사용하였기 때문에 유기물의 발생이 많아 결점이 계속 남게 되고 Electric 전하가 사용 중에 서서히 소실되어 포집효율의 저하 문제가 발생되고 있다.

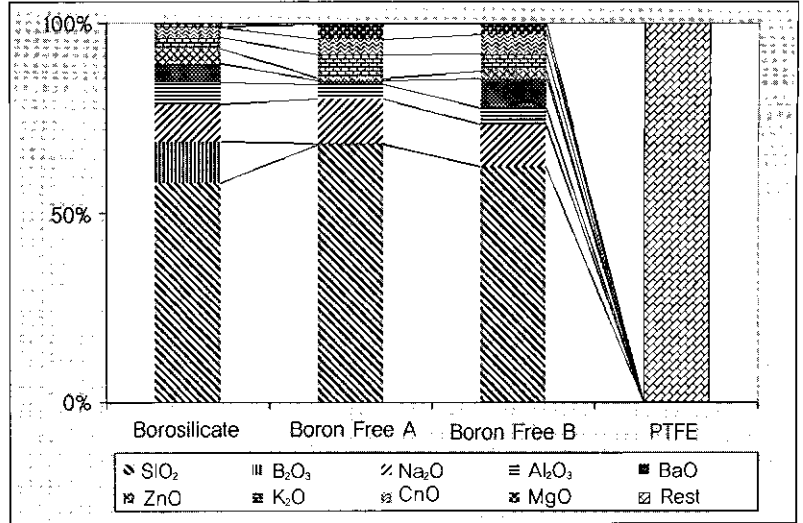


그림 5 섬유 구성물

②의 방법은 Coating제를 섬유에 균일하게 Coating하는 어려움이 있고 Coating되지 않은 부분도 있어 서서히 보론이 발생하는 문제가 있다.

③의 방법은 당초 고순도 실리카 마이크로 파이버를 사용하여 제품화를 시행하였으나, 수급의 어려움이 있으며, 고가이므로 실제로는 사용되지 않고 있다. 종래 에어 필터용 유리섬유에 B₂O₃를 첨가한 이유는 에어 필터 여재의 섬유가 미세하면 압력손실이 증가되어 고평집효율이 된다. 유리의 융점을 저하시켜, 미세한 긴 섬유를 생산하기 위함이었다. GIGA Master 및 Glass GIGA에 사용한 유리섬유는 B₂O₃ 기능을 다른 성분으로 보충하여 개발한 유리섬유를 사용한다. B₂O₃ 함유량은 0.15% 이하로서 1/70 이하로 제어하였다.

④ PTFE GIGA에 사용하는 PTFE 여재는 보론의 함유가 없으며, 또한 다른 약품이 첨투되어도 문제가 없도록 만전을 기하였다. PTFE의 여재 자신은 유연성이므로 Pleating 가공성을 위하

여 보충제로서 유기섬유의 부직포를 사용하였다. 화재에 약하며, 연소시 유독한 불소화합물 발생의 공포감이 있다. 어떠한 광범한 분야에서도 사용은 가능하나 추천은 불가능하다. 다행히도 유리섬유의 여재와 비교하면 섬유경이 미세하고 저압력 손실 ULPA 필터의 제작이 가능하다. 저압력 손실 및 소형화가 요구되는 제조장치용의 필터로는 최적이다. 그림 5는 종래의 필터와 GIGA Filter Series에 사용된 여재의 함유성분을 나타내고 있다.

2) 유기물의 제어

유기인과 초기의 각종 유기물은 전술한 필터의 구성재료에 다량 함유되어 있고 유기계의 가스상 물질을 발생시키고 있다. 유기계의 가스 성분은 고농도로 공기 중에 존재하여도 웨이퍼에는 거의 흡착되지 않는 성분이며, 공기 중의 농도가 저하되어도 선택적으로 웨이퍼에 흡착되는 성분이었다.

이들은 우레탄수지 밀봉제, Hot-melt Space, Glass 여재의

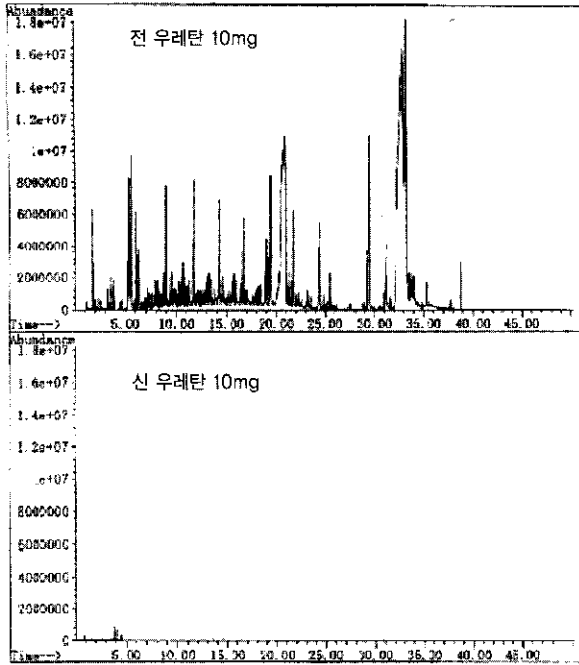


그림 6 End Sealer의 분석비교

가열발생가스	개량 전	개량 후
합계	100	1.60
인산에스테르	100	N.D
BHT(산화방지제)	100	0.44
프탈산에스테르	100	0.48
실록산류	100	N.D

Binder, PTFE 여재의 보충제, Separator의 표면처리제 등에서 웨이퍼에 흡착되기 쉬운 성분을 적극 제거하고, 기능상 나쁜 영향이 적은 대체품을 사용하여 웨이퍼에 흡착되는 유기물을 감소시키는 데 성공하였다. 그림 6과 표 3에 개량된 우레탄수지의 가스상 물질을 나타내고 있다.

유기물에 있어서 특히 영향이 큰 것은 산화방지제, 실록산, 인산에스테르, 프탈산에스테르의 감소로 인한 효과가 크다.

저감효과

보론 및 유기물의 저감효과를

알기 위하여 그림 7에 표시한 장치로 필터로부터 발생하는 보론 가스 및 유기물을 측정하였다.

1) 보론의 발생량

그림 8은 에어 필터로부터 발생하는 보론 가스 발생량 데이터를 나타낸다.

이 데이터는 그림 7에서 표시한 실험장치를 이용하여 H610×W610의 필터에 0.4 m/sec의 바람을 통과시키면서 필터 상류와 하류의 공기를 집진장

치(Impinger) 중의 초순수에 샘플링하여 ICP-MS로 분석하여 필터에서 발생하는 보론 가스를 측정할 것이다. 종래 필터의 보론

발생량은 340 ng/m³임에 비하여 GIGA Filter Series로부터 발생하는 보론 가스 발생량은 5 ng/m³ 이하로 검정되었다.

2) 유기물의 발생량

그림 9는 그림 7의 시험장치중에서 24 시간 방치한 후 웨이퍼의 산화막에 흡착된 유기물을 TD-GC-MS로 분석한 결과이다.

GIGA Master, Glass GIGA, PTFE GIGA의 다른 점은 여재가 다르고 그 외의 재료는 전부 동일한 것을 사용하였다. 여재의 영향이 대단히 큼을 알 수 있었다.

케미컬 필터

클린룸의 건축에 있어 건축자재로부터의 발생가스가 제어되어야 하며, 클린룸으로 도입하는 각종 장비로부터의 발생가스도 제어되어야 한다. GIGA Filter Series의 성능이 제대로 발휘하기 위해서는 기존 클린룸은 케미컬 필터를 설치하여 사용할 필요가 있다. 케미컬 필터는 활성탄

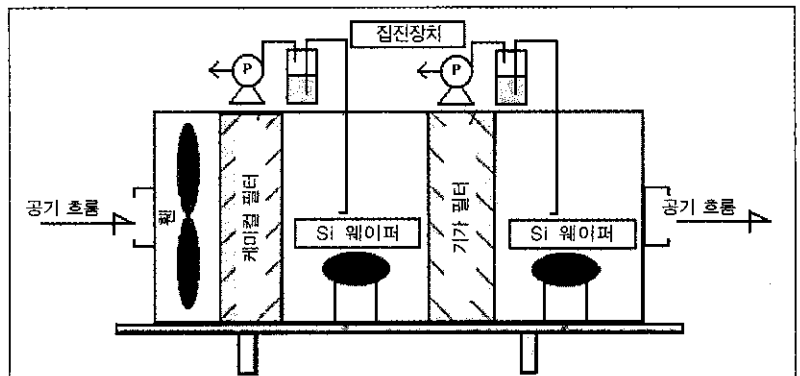


그림 7 필터로부터 발생하는 보론 가스 측정장치

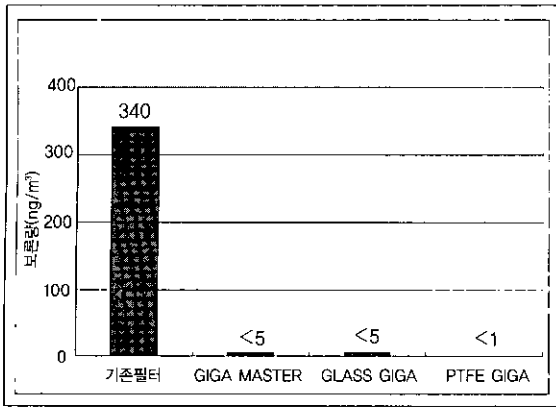


그림 8 보론 발생률

Pallet, 활성탄소섬유, 제오라이트 등의 Base에 NH₃ 등 알칼리계 가스를 제거할 경우에는 H₃PO₄를, SO_x, NO_x 등의 산성 가스를 제거할 경우에는 K₂CO₃, CaCO₃, KMnO₄ 등을 첨착한 것이 일반적으로 사용된다.

또한 이온교환섬유, 이온교환수지로 산성가스, 알칼리성가스를 제거하는 것도 있다. 산계 또는 알칼리계 가스의 제거는 화학흡착으로 한다. 화학반응에 의거 가스가 흡착체에 고정화되므로 일반적으로 재방출의 문제가 없다. 유기계의 가스는 물리흡착에 의거 제거되므로 재방출에 주의하여야 한다. 케미컬 필터와 GIGA Filter Series의 필터를 결합시켜 설치함으로써 공기의 유입됨과 동시에 입자상 물질, 가스상 물질이 감소된다. 필터로부터 발생가스가 감소되므로 결과적으로 케미컬 필터의 수명이 연장된다. 그림 10은 케미컬 필터와 GIGA Filter Series를 결합하여 설치한 사례를 나타내고 있다.

FFU(Fan Filter Unit)

국소적 청정공기가 필요한 경

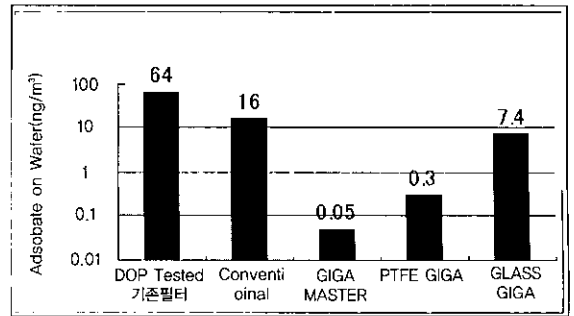


그림 9 실리콘 웨이퍼에 흡착된 유기물의 양

우 제조장치 내의 청정화는 GIGA Filter Series와 케미컬 필터를 결합한 FFU(Fan Filter Unit)가 유효하다. 그렇지만 팬(Fan)의 모터, 제어기반, 베어링의 그리스, 케이싱의 도장 등은 유기가스의 발생원이 되므로 공기의 흐름으로부터 팬을 격리하는 방법이 고려되어야 한다.

풍속 Balance 검사

필터의 풍속 Balance 검사는 풍속시험장치에 필터를 삽입하여 3차원 풍속계로 필터 당 9~15 Point의 풍속을 측정하여 산술평균한 값과 최고치, 최저치의 값의 차이율을 계산하여 Balance를 확인한다. IES-RP-CC-002-86

에 의하면 관리 기준치는 평균값의 ±20%이나 당사의 기준치는 다음 표 4와 같이 보다 양호하게 관리하고 있다.

클린룸 내의 분자상 오염물질(AMCs)의 제어는 아직 초기단계에 있다. 클린룸에 사용하는 재료의 선정을 우선하고 케미컬 필터를 사용하여 청정한 환경을 만든다 하여도 사용하는 제조장치에 설치하는 필터가 인산에스테르, 프탈산에스테르를 대량 함유하고 있는 경우가 종종 있다. 또한 필터의 원재료, 제조환경에도 각종 오염 요인이 내재하고 있다. 이러한 오염 요인을 제거하여 안정한 품질의 GIGA Filter Series를 개발하였으며, 계속하여 필요한 성능에 만족을 주도록 노력하겠습니다.

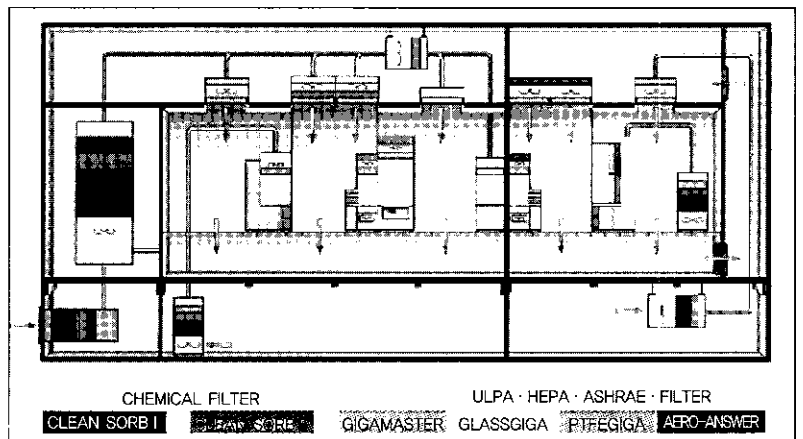


그림 10 케미컬 필터와 GIGA Filter Series를 결합하여 설치한 사례

Model:FFU-2LBA-572.1167.120					
0.36	0.32	0.37	0.38	0.35	0.38
0.33	0.33	0.36	0.36	0.31	0.34
0.37	0.36	0.41	0.37	0.37	0.38
평균풍속 (m/sec)	합계	6.45	평균	0.358	
기류오차	최대	14.5%			
	최소	13.4%			
시험 방법	· 필터면에서 Sensor 300 mm 이격 · 3차원 풍속계 사용				

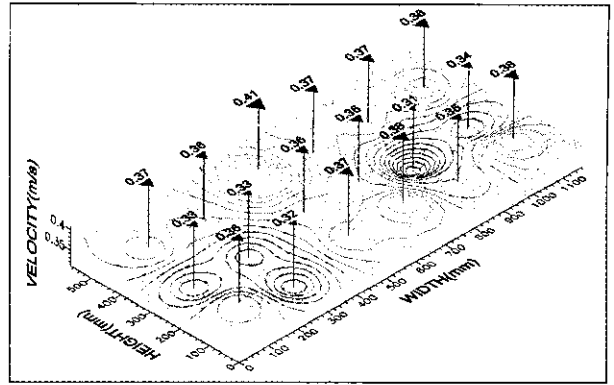


그림 11 기존 Separator Type의 풍속 Balance 현황

Model:FFU-2T-572.1167.120					
0.36	0.32	0.29	0.30	0.37	0.30
0.33	0.33	0.31	0.30	0.31	0.32
0.37	0.36	0.31	0.36	0.32	0.32
평균풍속 (m/sec)	합계	5.61	평균	0.311	
기류오차	최대	18.9%			
	최소	13.1%			
시험 방법	· 필터면에서 Sensor 300 mm 이격 · 3차원 풍속계 사용				

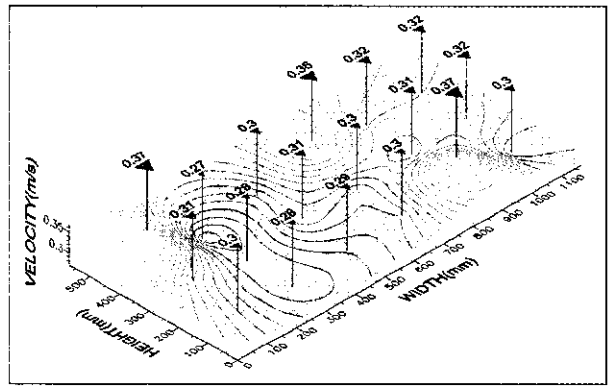


그림 12 Mini-pleat Type의 풍속 Balance 현황

Model:FFU-2T-572.1167.120L					
0.36	0.32	0.28	0.24	0.25	0.26
0.33	0.33	0.26	0.29	0.29	0.27
0.37	0.36	0.25	0.25	0.27	0.27
평균풍속 (m/sec)	합계	4.76	평균	0.264	
기류오차	최대	9.8%			
	최소	9.0%			
시험 방법	· 필터면에서 Sensor 300 mm 이격 · 3차원 풍속계 사용				

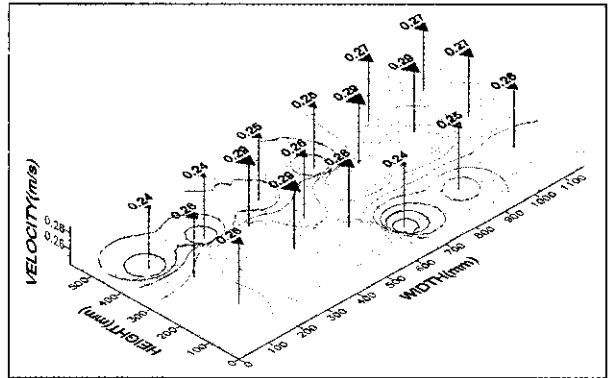


그림 13 Mini-pleat + Laminator Type의 풍속 Balance 현황

제품명	IES 관리기준치	당사 기준치	판정 결과
기존 Separator Type	평균치: ±20%	평균치: ±15%	*측정 Data 참조
Mini-pleat Type	평균치: ±20%	평균치: ±15%	*측정 Data 참조
Mini-pleat+Laminator Type	평균치: ±20%	평균치: ±15%	*측정 Data 참조