

# 고온용 Filter bag 재질비교

정 연 홍  
<고어코리아>

## 1. 개 요

본 Report는 고온용 Filter Bag의 최근 동향에 대한 기술적 이해를 제공하는데 목적이 있다. 이를 위하여 해외 시멘트 산업에서의 실제 고온용 Membrane bag 적용 사례를 들어 그 효용성을 살펴 보기로 하고 특별히 260℃ 이상의 운전온도에서 사용되는 고온용 Bag중 SUPERFLEX에 대해서도 언급하기로 한다. 이 제품은 Cement/ Lime kiln 배가스 처리공정, 폐기물 연소공정(생활폐기물, 산업폐기물, 병원 감염성 폐기물 포함) 및 기타 고온 Gas 처리 분야에 널리 이용되고 있다.

전통적으로 시멘트 산업에서는 Kiln 배가스를 처리함에 있어 전기 집진기(ESP) 또는 구형 Reverse Air Bag house를 사용해 왔다. Pulse-Jet Bag House는 설비가 제공하는 설치 부지감소의 장점에도 불구하고 Filter bag의 잦은 교체가 야기하는 비효용성, 비경제성 등으로 인식되어 오랫동안 간과되어 왔다. 그러나 최근에는 SUPERFLEX를 포함하는 다양한 Filter Media의 등장 및 Bag House관리능력 향상으로 신뢰할 만한 수준의 Pulse-Jet Bag Filter가 광범위하게 선정, 사용되고 있다.

## 2. 서 론

Bag Filter 기술은 Air Pollution Control (APC) 설비로서 최초로 도입된 이래 괄목할 만한 수준의 발전을 이룩하여 왔다. 새로운 Reverse

Air/Pulsejet 기술이 20년 이상 시멘트 업계에 광범위하게 사용되던 Shake/구형Reverse Air 기술을 대체하였고 이에 따라서 적절한 고온용 Filter media의 선정은 효과적인 Bag Filter 관리에 있어서 가장 중요한 과제로 등장하게 되었다.

Pulse-Jet filter는 짧은 Duration time동안 5-7 kg/cm<sup>2</sup>의 고압의 압축공기를 이용하여 Pulsing을 함으로써 성능을 유지한다. Pulsing의 주기는 Dust load에 따라 다르지만 Dust load가 높은 조건에서는 매분단위일 수가 있다. Pulse-Jet Bag Filter에서 Cleaning주기가 매 5 min이라고 가정할 때 연간 Pulsing횟수는 약 100,000회가 될 것이다.

내열성을 가지고 있는 Fabric가운데에서 Fiberglass Fabric은 가장 값싼 재질중의 하나이다. 그러나 Fiberglass 자체는 매우 부서지기 쉬워서 일반적으로는 Fiber에 Lubricating Coating (대개, PTFE, Graphite 및 Carbon으로 Coating 처리함)을 처리하여 사용하고 있다. Conventional Filter Bag은 Depth Filtration 원리에 근거하고 있으며 이것은 Dust가 Filter Media의 층(層)중에서 포집됨을 의미한다. 이렇게 층중에 포집된 Dust는 Pulsing과정에서 Fiberglass의 Coating막을 손상시킬 것이다. 일단 Coating막이 손상되기 시작하면 Fabric Yarn이 절단되면서 매우 급격하게 Fabric fail이 일어나게 될 것이다. MIT Flex Machine을 이용하여 Conventional Fiberglass Fabric의 Flex Resistance를 측정해 보면 겨우 30,000 cycles일 정도로 짧다. 따라서 당연히 Pulse-Jet Bag House에서 짧은 내구성을 보인다. 그 수명은 해외는 많은 사례를 조사하여

보았을 때 대략 1년 이내이다. 결과적으로, 이러한 일반 Fiberglass Filter는 이제 시멘트 산업에서 더 이상 사용이 되지 않고 있는 것이 관례이다.

### 3. 다양한 고온용 Filter fabric의 비교

아래 Table은 다양한 고온용 Filter의 성질을 보여준다.

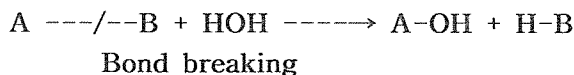
아래의 Table에서 볼 때 Amid/Imide계열 Felt는 낮은 내가수분해성을 갖고 있으며 Fiberglass보다 Cost가 상대적으로 높다. PPS는 일반적으로 양호한 내구성과 Filtration efficiency를 갖고 있다. 그러나 사용가능 Oxygen 범위는 매우 제한적(산소농도 13% 이하 사용권장)이다. 또한 Fiberglass보다 Cost가 상대적으로 높다.

PTFE felt/fabric은 양호한 Flex property와 내화확성을 가지고 있지만 Cost가 아주 높다.

### 4. Hydrolysis

Hydrolysis는 "수분의 화학적 흡수"라고 정의할 수 있으며, 물분자에 의해 Filter Fiber의 화학적 결합이 끊어지는 상태의 화학적 반응의 일종이다.

화학적으로는 다음과 같이 요약 할 수 있다.



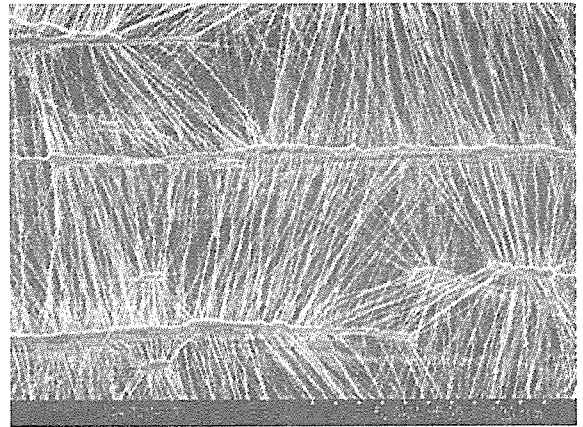
이런 가수분해는 모든 Bag Filter의 잠재적인 위험요소이다. Hydrolysis의 정도는 명백히 Fiber근처의 Moisture의 양에 좌우된다. 이 Moisture는 두가지 원인으로부터 올수 있다. 첫번째는 대기로부터 오는 것이고 두번째는 연소화과정에서 발생하는 수소가 수분으로 전환될 때이다. 연소된 Gas는 Dust와 함께 Bag House로 흘러 들어가고 이 Gas는 상당한 양의 수분을 포함하고 있다. 수분이 높으면 그만큼 가수분해의 가능성이 커진다고 할 수 있다. 다음으로 중요한 변수는 온도이다. 일반적으로 온도가 높을수록 수분을 포함할 가능성이 크다. 온도가 상승하면 수분과 Fiber의 반응 가능성이 커진다. 만약, 어떤 특정온도에서 공기가 포함하고 있는 수분보다 많은 양의 수분이 있다면 이 수분은 쉽게 액화될 것이고 응축이 발생할 것이다. 따듯한 공기는 더 많은 Moisture를 포함할 가능성이 있고 이 따듯한 공기가 냉각되면 응축이 발생한다. 일반적으로 Fiberglass는 Moisture를 전혀 흡수하지 않기 때문에 Hydrolysis의 가능성이 전혀 없다. 그러나 현재 국내에서 많이 사용되고 있는 P-84의 경우 기본적으로 가수분해의 문제점을 가지고 있기 때문에 Moisture가 낮고 사용온도가 낮은 곳에서 제한적으로 사용되어 질수 있으나, Kiln과 같이 높은 온도조건에서 자주 온도 Down의 상황이 발생( 예: 조업단축에 의한 shut down 및 함수량이 많은 Mill system의 잦은 Mill 가동/정지)하는 곳에서는 추천할 만한 재질이 아니라 할 수 있다.

Table 1. 고온용 Filter의 성질

Filter Media	연속운전온도(℃)	내 Hydrolysis性 (내가수분해성)	내Oxygen性 (내산화성)
PPS felt	190	Good	Poor
Polyamide felt	204	Poor at high temp & moisture	Good
Polyimide felt	260	Fair at high temp & moisture	Good
Teflon-B Fiberglass fabric	260	Good	Good
PTFE fabric/felt	260	Good	Good

Table 2. 1week후 PE Fiber의 Tenacity 감소 %

온도(°C)	상대습도			
	10%	20%	40%	60%
80	0.1	0.2	0.62	1.4
100	0.5	1	3	7
120	2.5	5	15	34
140	14	30	40	



<그림 1> 제 4세대 Membrane 구조

## 5. Fail된 P-84의 Test 사례

- 1) Test 동기  
Lime kiln에서 3-4개월 사용된 P-84가 기계적 강도저하로 Bag손상 발생.
- 2) Test 방법  
손상된 Bag시료와 미사용 시료 동시 Test에 의한 성능 저하정도 비교
- 3) Test 항목
  - Mullen Burst Test(ASTM D3786)
  - FTIR ( Fourier Transform Infra Red) Spectroscopy Test : Polymeric material내 각종 화학원소의 존재 여부 확인.
- 4) Test 결과
  - a) Mullen Burst(kPa)
    - Used : 552/345
    - New: 3792/3620/3482
  - b) FTIR Analysis

## 6. SUPERFLEX Fabric

당사에 의해서 독자적으로 개발된 고온용 Filter Media인 SUPERFLEX는 260°C까지의 고온에서 사용가능하다. Cement산업 뿐만이 아니라 Lime kiln, Alkali bypass, Incinerator, Coal fired boiler, Metallurgical process등에 광범위하게 사용된다.

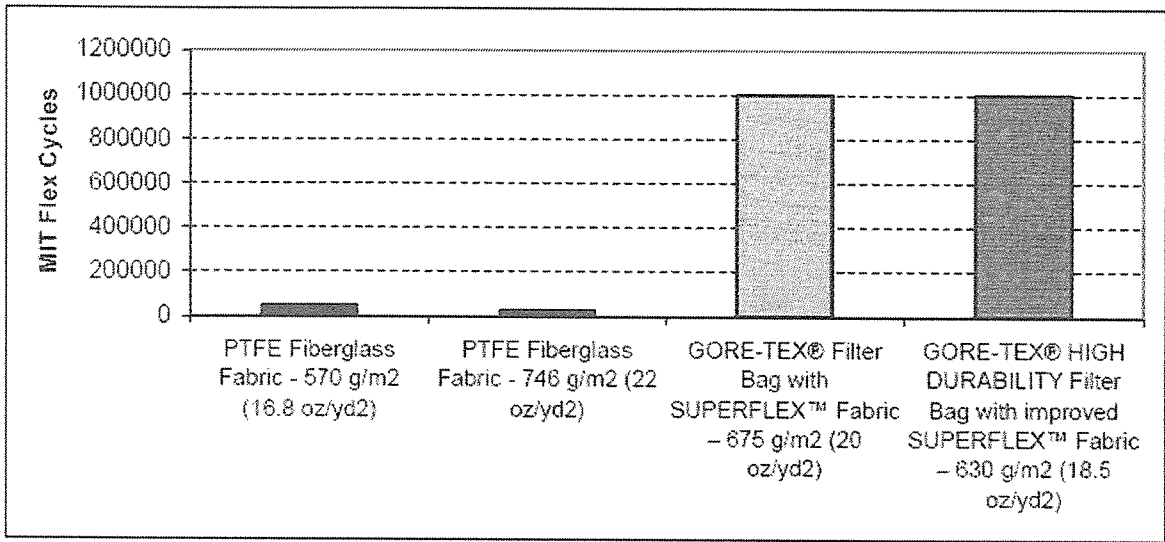
전세계의 다양한 응용분야에서 12년 이상 성공적으로 사용되고 있으며 긴내구성을 보장하는

지수인 MIT Test(Mechanical flex fatigue)에서 매우 우수한 성능을 보이고 있다. 이는 SUPERFLEX만의 독특한 Weaving pattern과 PTFE Fiber가 혼재된 SUPERFLEX Yarn에 기인하고 있다.

이 제품은 ISO 9002에 의해 Certify되어 있다. 또한 SUPERFLEX에는 당사의 제4세대 Membrane이 적용되어 있다. 이 제4세대 Membrane은 아주 균일한 직경의 수많은 소섬유(Fibril)로 이루어져 있어 시간의 경과에 따른 차압 상승을 최소화 시켜준다. Pilot Plant에서 Test해 본결과 3개월 운전후의 Permeability는 최초대비 약 10%의 감소를 보일 뿐이었다. 대략 이전의 제3세대 Membrane에 비해서 차압은 약 20% 낮고 Air flow는 15% 향상된다는 보고가 있다.

## 7. FLEX ENDURANCE TEST

MIT Flex Tester는 Fabric의 내굴곡성을 Test하기위한 장비이다. 이 Test 방법은 ASTM Standard D-2176-69에 의해 규정된다. MIT Folding Endurance Machine은 Massachusetts 工大의 Vanneur Bush 박사에 의해 개발되었다. 이 MIT Machine은 현재 ASTM( American Society for Testing Materials)과 The Technical Association of the Pulp & Paper Industry에서 공인 장비로 사용되고 있다. Flex Test는 Fiberglass bag의 굴곡에 의한 성능저하



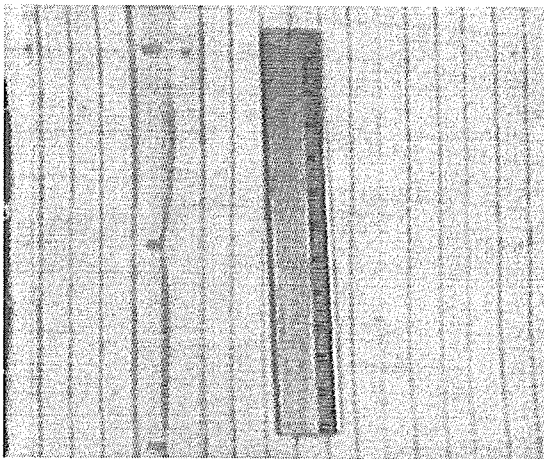
<그림 2> 각종 Fiberglass 제품군의 MIT Flex Cycles비교

를 측정하기 위한 표준 방법으로 사용된다.[USA EPA 문서 인용] Test를 위하여 15mm W × 140 mm L의 시편이 준비된다. 준비된 시료는 분당 175회의 속도로 양방향 135°각도로 Double fold를 반복하며 진행된다. 장비에는 Counter가 부착이 되어 있어 Double folding의 횟수를 Count하며 시료가 Fail이 되면 Count를 중지한다. 이 Test는 SUPERFLEX의 장점을 극명하게 보여준다. SUPERFLEX는 Double fold cycle test에서 1,000,000 cycles이상에서도 견재함을

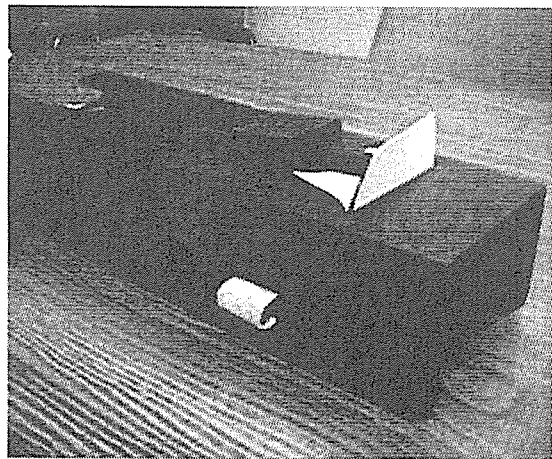
보여준다. 16.8 oz/yd2 Teflon-B Fiberglass는 약30,000 cycles수준이다. SUPERFLEX는 이 16.8 oz/yd2 Teflon-B Fiberglass의 약 20배 수준이다.

Bag House내에서 Fiberglass filter media는 장기보관 중 발생하는 Folding effect 와 운전중 Cage wire주변에서의 반복적인 물리적 변형에 의해 문제가 된다.

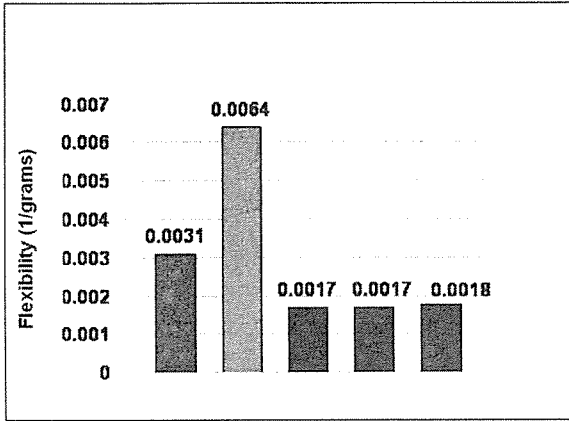
Fabric의 Flexibility를 측정하기 위한 또 다른 방법은 Handle-O-Meter test로서 이장치는



<그림 3> Cage wire부위에서의 F/G 안쪽면 진행상태



<그림 4> SUPERFLEX의 Handle-O-Meter test



<그림 5> 235°C에서의 Flexibility 비교

Fabric의 유연성을 측정하기 위한 ASTM의 공식 장비로 사용되고 ASTM D6828-02에 의해 Test Procedure가 정의된다. 이 Test는 Fabric의 3 Point bend test이다. 뻣뻣함의(Stiffness) 정도를 gr단위로 표시하고 이수치의 역수가 Flexibility이다. 특히, 이 Flexibility는 Room

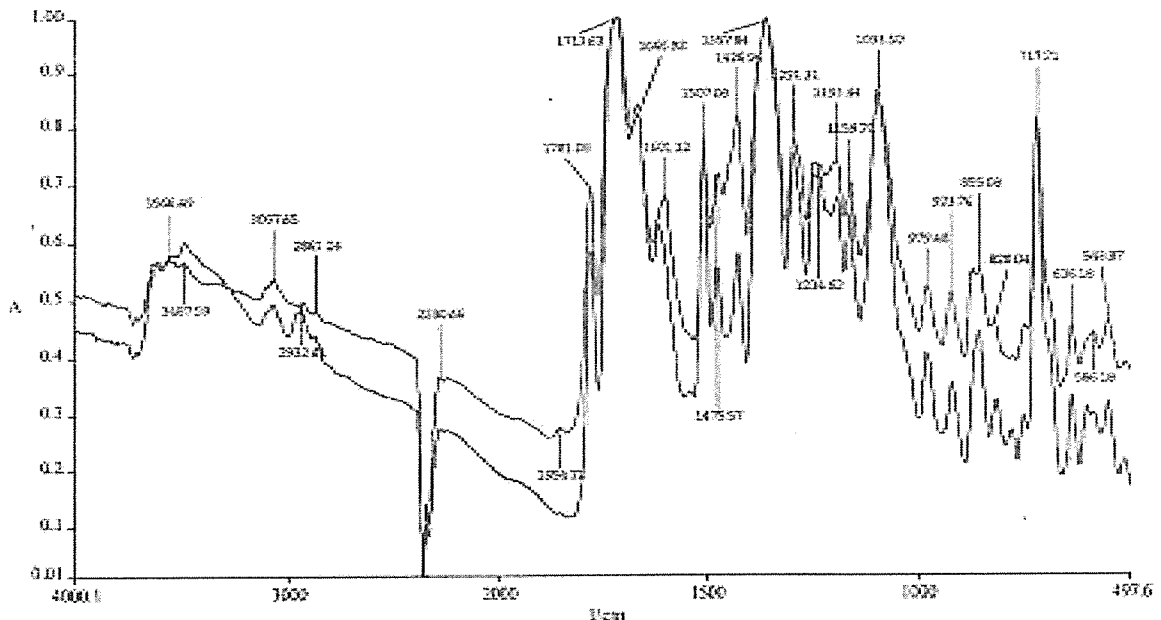
Temperature에서는 Bag 재질간 차이가 그렇게 많이 나는 것은 아니지만 실제 사용온도 조건에서는 Bag 재질간에 현저한 차이가 발생한다.

### 8. 결론

지금까지 우리는 현재 국내에서 사용되는 고온용 Filter Bag중 간과하기 쉬웠던 여러가지 문제점들을 살펴보았다. 올바른 Filter Media의 선택은 안정적인 공정운영의 매우 중요한 요소이며 각 Filter Media가 갖고 있는 장, 단점을 세밀하게 파악하여 선택하는 지혜가 필요하다 하겠다. 일반적으로 Filter Bag재질 선정시 최우선적으로 고려되는 수명 대비 경제성 이외에

- 1) 안정적인 차압지속 여부
- 2) 운전중 Trouble에 의한 Maintenance 정도 등도 고려되어야 할 요소이다.

Figure 1. FT-IR spectra of ex-service P84 (white Fabric (blue spectra) and of new fabric (black)



<그림 6> P-84의 FTIR SPECTRA

Pulse-Jet 용 Bag Filter 에서 SUPERFLEX Fabric은 다음과 같은 장점을 갖고 있다.

- 1) 여과속도 1.3 - 1.5 m/min
- 2) 5년 이상의 수명
- 3) Maintenance 시간 감소 및 비용절감

4) 낮은/일정한 Pressure drop을 통한 안정적인 공정운영 및 전력비 절감

5) 낮은(적은) 압축공기 사용을 통한 Filter Bag Cleaning으로 Air Utility 사용량 절감 등을 들 수 있다.

Table 3. Cement Kiln에서의 SUPERFLEX 적용사례

Plant	Unit	A	B	C	D
Location	India	India	India	USA	USA
Air volume	M3/hr	324,000	230,000		261,380
A.C.R	m/min	1.26	1.48	1.18	1.25/1.42
Inlet Dust Load	g/m3	120	30	706	
B/H type		Pulse Jet	Pulse Jet	Pulse Jet	Pulse Jet
Cleaning 방법			On-line	Off-line	Off-line
Bag Size	mm	140*4500	119*6400	127*6095	130*4500
Bag Q'ty	Ea	2250	1400	1425	1904
Results					
Bag life	Months	> 59	67	84	
Emission	Mg/Nm3	0 -	Avg 4.57		
Max. ΔP	mmH2O	90-95	100-125	130	130
Pulse pressure	Kg/cm2	3 -	Low pressure High Vol		3-3.5

Table 4. SUPERFLEX 주요 납품처

Country	Company	Country	Company
Brazile	Lafarge社 外4	Mexico	Cemax/Cementos Anahuac社 外4
France	Holderbank/Ciment d'Origny社 外3	Venezuela	Cemax Vencemos
USA	TXI Pacific Custom Materials社 外18	Canada	St. Marys Cement 社 外2
UK	Lafarge Blue Circle社 外 2	Peru	Cementos Andino
Australia	Holderbank Pacific Lime	Belgium	CBR
Spain	Holderbank Hisalba社 外1	Japan	Sumitomo
Fiji	Fiji Industries	,India	ACC 社 外4
Korea	Hanil Cement社 外4	UAE	Ras Al Khaimah