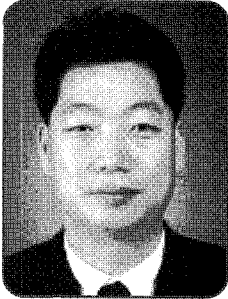
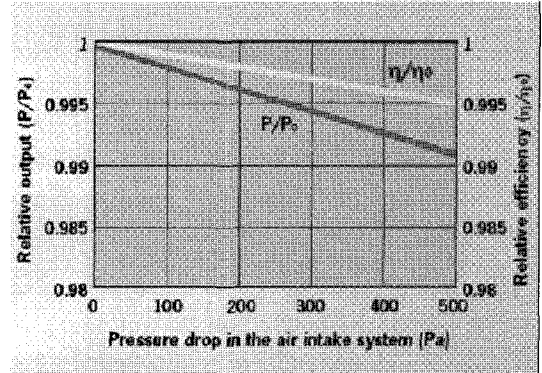


Gas Turbine Intake Air용 신개념 Depth Loading Filter



한국필터텍(주)
 필터사업부 산업용필터팀
 부장 김용권
 Tel : (02)2185-0061



[표 1] Air Intake System에서의 압력 손실에 의한 전력 산출 및 효율의 손실

1. 서론

Turbine intake에 흡입되는 공기 중의 미세 먼 Gas Turbine Blade 표면에 Dust Cake를 형성하고 부식을 유발시켜 Gas Turbine 및 Compressor의 운전 및 전력 생산 효율에 영향을 주는 가장 중요한 요소이다. 특히, 특정 지역의 대기 중에 존재하는 먼지나 오염 물질에 따라서 적절한 Air Filter의 선정은 Gas Turbine의 수명, 효율 및 성능을 결정하는 중요한 요소이다.

2. 본론

■ Air Filter의 중요성

Gas Turbine과 컴프레서에 사용되는 Air Filter의 주목적은 Gas Turbine Blade의 손상을 예방하기 위함이다.

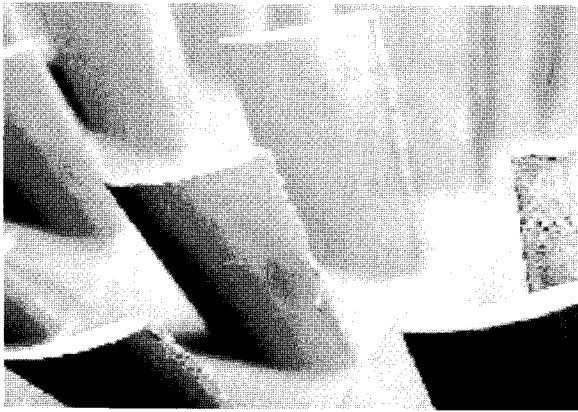
실제 사용되는 현장에서 Air Filter는 고효율의 필터 성능이 요구되는 동시에 낮은 압력 손실 및 긴 수명을 요구 받기도 한다. 표1은 공조 시스템에서의 Gas Turbine 운전 능력 및 효율이 Air intake system내의 압력 손실에 좌우될 수 있음을 보여준다. 표에서 알 수 있듯이 고효율의 Air Filter를 장착한다고 가정하면, 유출 먼지는 적어지게 되어 컴프레서를 덜 오염시키는 반면에, 높은 압력 손실을 유발하여 Gas Turbine의 전력 생산을 감소시킨다. 또한, 높은 포집 효율로 인하여 필터 수명을 단축시키게 되므로 효율과 압력 손실의 적절한 분배가 중요하다 할 수 있다.

필터 교체 주기가 시스템 정비 일정에 따라 1년에 한번 교체할 경우, 필터의 사용주기는 가장 중요한 요소가 된다. 또한, 필터 교체 시 Gas Turbine은 반드시 정지되어야 하므로 압력 손실의 급격한 증가로 정비일 이전에 필터를 교체해야 할 경우 운전 정지에 따른 높은 비용이 발생된다.

그러므로 필터는 높은 신뢰성이 요구된다. 즉, 필터를 구성하는 Media가 해빙기, 장마 등 장기간 수분에 노출되어 젖어있다 하더라도 필터 원단에 손상이 있어서는 안 된다. 그리고 Turbine의 가동 시 Surge에 따른 흡입 공기의 역류 시에 손상을 받아서도 안 된다.

최적의 필터 시스템 선정은 아래와 같다.

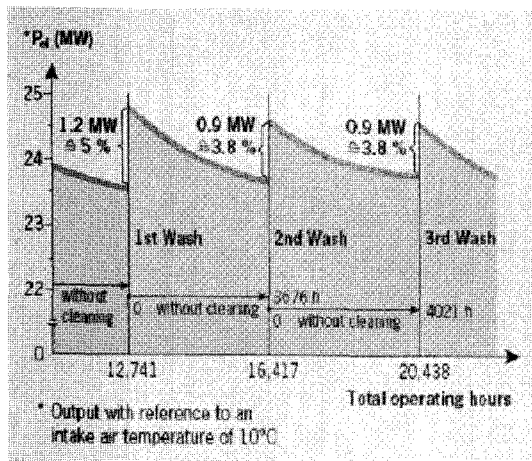
- 필터 원단과 재료의 선정,
- 요구되어지는 공기 청정도와 Gas Turbine 설치 장소의 대기질 조건에 따른 Pre필터에서 Final필터까지의 조합
- 광범위한 기상 조건에서도 필터 부식이 되지 않게 하는 것,
- Air Filter가 비 이상적인 스트레스를 받는다 하더라도 파열에 대한 안전을 보장하도록 하는 것,
- 지속적인 제품의 높은 품질 유지 성능.



[그림 1] 6MW Gas Turbine의 Blade상의 누적 먼지층

■ 공기 중의 먼지 입자에 의한 손상

[그림 1]은 6 MW Gas Turbine Rotor Blade상의 dust caking을 보여준다. [표 2]에 25 MW Gas Turbine이 3,676시간과 4,021시간 동안의 2회 운전 기간 동안의 컴프레서 오염으로 인한 Gas Turbine의 성능 감소를 나타내고 있다. 세척 공정을 거칠 경우 매년 높은 효율로 복원하게 되어서 Gas Turbine의 운전시 컴프레서의 오염 제거에 효과적임을 보여준다.



[표 2] 오염된 컴프레서에 의한 전력 산출 손실 및 세척 후의 전력 산출 회복

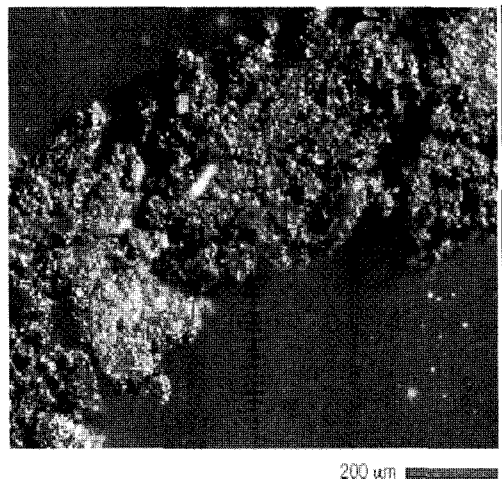
Gas Turbine이 닫혀 있을 경우, 세척은 크게 두 가지 방법이 있다. 오프 라인의 경우 Blade를 적셔줌으로써 Blade의 축적된 먼지를 제거해주는 반면에, 온라인 세척은 컴프레서에 세척 액을 분사하여 주는 방식이다. 오프 라인 세척 시에는 시간 소비가 필요하게 되어 비용 집약적이고, 온라인 세척이 운전 중에도 가능하다 하더라도 오프 라인이 온라인보다 더 효율적이다. Gas Turbine이 세척 공정에서 오프 라인이 되면 25 MW

Gas Turbine이 5번의 세척 공정 중에 125,000kwh를 덜 생산하게 됨을 [표 2]에서 볼 수 있다.

Damage	Particle size range	Gas turbine	Turbo-compressor
Erosion	> 5 - 10 μm	●	●
Fouling and resultant unbalance and reduced air mass flow	appr. 0.1 - 5 μm	●	●
Fouling of the intercoolers and down-stream system components	appr. 0.1 - 5 μm		●
Wet corrosion	appr. 0.1 - 5 μm	●	●
High-temperature corrosion	appr. 0.1 - 5 μm	●	
Clogging of cooling air sifs	from 0.1 μm	●	

[표 3] Gas Turbine의 손상

[표 3]에서는 손상 Turbomachinery의 패턴과 관련 먼지 입자 크기와의 중요하고 전형적인 연결 고리를 나타내었다. 5 μm 입자 또는 그 이상의 입자는 컴프레서 Blade를 연마하는 영향을 나타내며 Air Filter는 그 입자를 완전하게 제거하는 역할을 해야 한다. 5 μm 이하의 먼지는 Air flow의 Cross sectional area를 감소시킬 뿐만 아니라 Blade 형태를 변형시키면서 Blade상의 먼지 축적을 야기한다. 이러한 Factor에 의하여 첫 번째 컴프레서의 효율을 감소시키고, 두 번째 Air flow의 양 또한 감소하게 된다. Gas turbine의 경우 이러한 영향으로 효율 감소 및 전력 생산 Output이 현저히 감소될 수 있다.

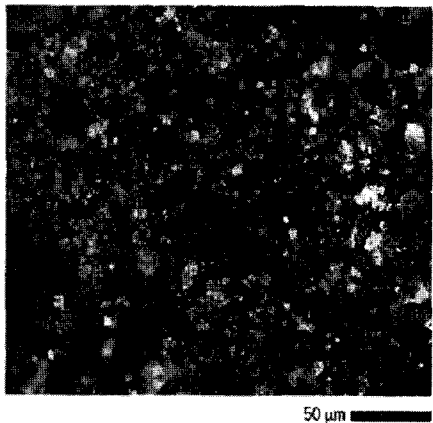


[그림 2] 광학 현미경 사진 : 대형Gas Turbine의 Blade상의 오염 물질

그러한 이유로 Air Filter는 5 μm 이상 입자뿐만 아니라 5 μm 이하 입자까지도 집진 할 수 있어야 하나, 집진 능력의 상승은 필수적으로 Gas Turbine 산출 전력에 역효과를 낼 수 있는 필터의 증가된 압력 손실을 수반하게 된다.

[그림 2]는 고효율의 Filter(2 μm 입자 또는 그 이상의 입자에 대한 집진 효율은 100%이다)가 장착된 100 MW 급의 대형 Gas Turbine Blade상의 축적 입자에 대한 확대 사진이다. 검색색 먼지는 높은 비율의 그을음을 가리킨다. 표에서 나타나듯이 2 μm 이하의 먼지는 기본적으로 서로 뭉치는 경향이 있음을 알 수 있다.

[그림 3]은 흡입 Air Filter 없이 가동한 Gas Turbine Blade의 축적된 먼지 입자를 보여준다. 조각에서 관찰되는 translucence는 지구 표면의 침식에서 발생하는 자연적인 입자이다. 이러한 입자가 5 μm 를 초과하면 Blade 위의 먼지 축적 및 Blade 자재에 침식을 야기하게 된다.



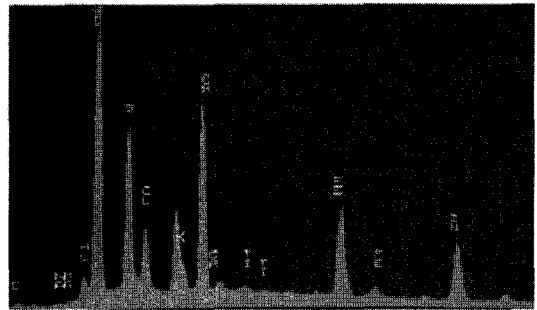
[그림 3] 광학 현미경 사진 : Air Filter가 없는 Gas Turbine의 Blade에서 채취한 먼지 사진

[표 4]는 Roll필터(Pre filter)만 단독으로 장착된 50 MW Gas Turbine에서 발견된 Blade상의 축적 먼지에 대한 EDX사진이다. 실리콘에 대한 높은 수치는 대부분이 5 μm 입자보다 큰 자연 발생 먼지의 존재를 보여주며, 유황 수치는 연소 결과물(그을음)을 가리킨다. Gas Turbine에 유입된 5 μm 이상 먼지는 Blade에 치명적인 마모를 야기한다.

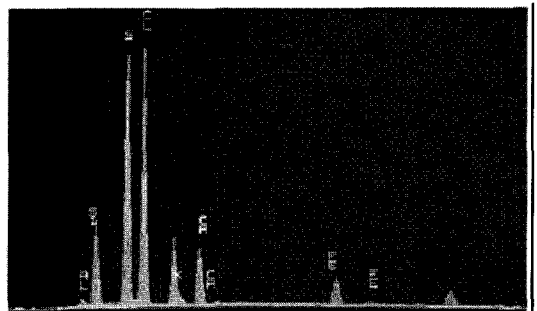
Gas Turbine Intake에 장착된 Pocket Filter(중성능Filter)의 극세사 층에 대한 EDX분석([표 5])은 특히 황산과 연소 성분이 함유된 먼지가 집진 되어 있음을 보여준다. 자연 발생 먼지 입자 비율은 이미 Pre필터에서 집진 되었기 때문에 낮으며, 2 μm 보다 작은 입

자 중 황산은 가장 두드러지게 발견된다.

이러한 분석은 고효율 필터의 필요성을 보여준다. Roll필터(Pre filter) 등 저 효율의 필터 사용은 Blade 재료의 부식이 예방되어 지지 않으며 Gas Turbine의 요구되어지는 공기 청정질을 달성할 수 없다. 반대로 Pocket Filter는 2 μm 보다 큰 먼지의 완벽한 집진능력 및 더 작은 먼지까지 집진할 수 있는 능력을 보여준다.



[표 4] EDX분석 : Roll필터(Pre filter)가 장착된 Gas Turbine의 첫 번째 Rotor Blade에서 채취된 오염 먼지 분석



[표 5] EDX분석 : Gas Turbine에 사용된 Pocket Filter의 극세사층 분석

■ Air Filter의 종류

(Surface Filtration vs Depth-loading Filtration)

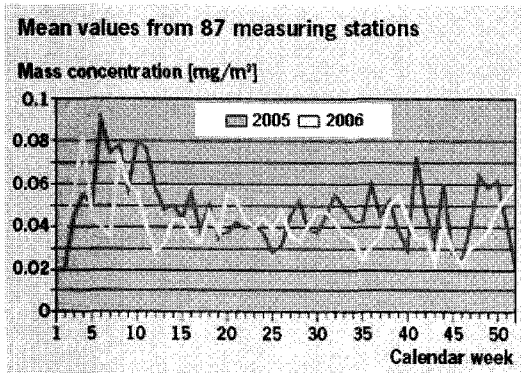
Laminar Air Flow를 형성하는 Air에서 [Re (레이놀즈수 : Laminar Flow와 난류의 경계 값) < 1] 압력 손실은 필터 여재의 단면적에 비례하여 발생한다. 하지만 $Re > 1$ 에서의 Air는 불 균일하게 압력 손실이 상승한다. 이를 비용 효율 측면을 고려하지 않는다면, 필터 여재 면적을 최대화한 필터를 설치하는 것이 필요하다.

국내에서 사용되어지는 대표적인 Gas Turbine Intake Filter는 Cartridge Filter라고 불리는 원통형 Filter이다.

이러한 Cartridge Filter에 적용되어지는 대표적인 Media는 Cellulose를 주체로 한 Paper 원단이 대부분이며, 특히 일정 차압이 System내에 도달하였을 때

High Pressure로 Pulsing을 하는 Pulse Jet Cleaning 방식이다. 이러한 Pulse Jet Cleaning 방식의 Filter들은 대부분 점착성 먼지가 많은 환경에 설치되어 있는 Gas Turbine 적용에 적합하다고 언급되어 왔다. 그러나 실제로 점착성 먼지를 가지고 있는 대부분 지역(해안가, 열대 등)에서 이를 Pulsing으로 Cleaning 한다는 것은 매우 어렵다. 왜냐하면 점착성으로 인한 먼지는 여재에 더 단단하게 달라 붙게 되는데 이는 압력 손실을 거꾸로 상승하게 되는 현상을 발생시킨다.

압력 손실을 감소하기 위한 시도로써 빈번하게 Pulsing을 하게 되는데 이는 기계적인 힘에 의해서 미세 먼지가 여재로 통과되게 만든다. 즉, 오염된 연료가 Gas Turbine에 흘러가게 되는 결과를 초래한다.



[표 6] 2005년, 2006년도의 독일의 대기 먼지 농도

[표 6]은 2005년 과 2006년 독일의 87개 위치에서 매주마다 먼지 농도를 측정된 평균값을 나타낸다. 그 중 2005년도에 특정 지역의 최고 평균값은 $0.19\text{mg}/\text{m}^3$ 이었다.

위와 같은 낮은 농도의 수치는 Dust cake형성이 필터 여재에 형성될 수 없으므로 Pulse-jet dust removal효과가 이 곳에서는 무의미 하다.

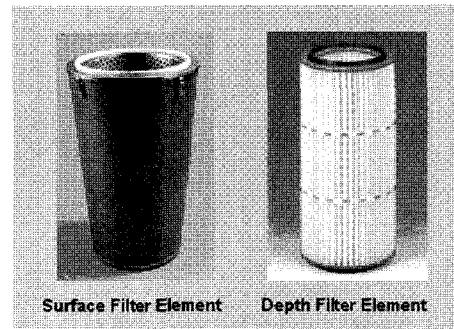
이러한 단점을 극복하기 위하여 지난 수년간 Depth Loading Filter에 대한 연구 개발이 이루어 졌으며, 특히 Filter를 구성하는 Media의 연구가 활발히 진행되어왔다.

이러한 연구 결과 합성섬유를 주체로 하는 Depth Loading Filter의 개발이 성공적으로 이루어 졌으며, 실제 적용에서도 Paper를 사용한 Cartridge Filter에 비하여 우수한 성능, 내구성을 나타내고 있다.

[표 7]은 Gas Turbine Intake에 사용되는 Surface Filtration과 Depth Filtration의 비교를 보여주고 있다.

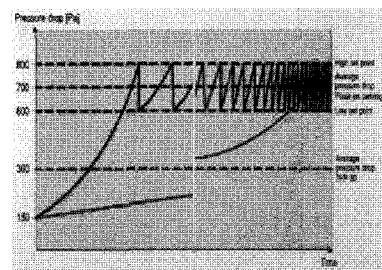
합성부직포 Filter 여재를 사용한 Depth Loading Filters	Paper 여재를 사용한 Surface Loading Filters
<ul style="list-style-type: none"> 부직포 Filter Media의 높은 공극률 및 비교적 Bulky한 구조로 인한 낮은 압력 손실 유지 적정한 Filter 수명 창출을 위한 Voluminous, 밀도 구배의 Media 적용으로 높은 먼지 포집량 구현 Filter Media의 전체적인 먼지 포집으로 Maintenance-Free 의 System 운용 가능 	<ul style="list-style-type: none"> Paper Filter Media의 낮은 공극률 및 Flat한 구조로 인한 낮은 압력 손실 유지 Pulse-Jet을 위한 Dust Cake 형성이 빠르게 이루어져야하기 때문에 대기 먼지의 농도가 높은 지역에 주로 사용 다습한 환경이나 안개, 해빙기에는 먼지입자가 Filter Media 표면에 응집하여 Pulse-Jet Cleaning이 거의 불가능함

[표 7] Surface Filtration과 Depth Filtration 비교



[그림 4] Surface Filter Element 및 Depth Loading Filter Element의 실제사진

[표 8]은 실제 Intake System에 사용된 Surface Filtration과 Depth Filtration의 압력 손실 차이를 나타내어준다.



[표 8] 압력 손실 비교 : Surface와 Depth Filtration

일반적으로 Depth Loading Filter를 사용한 경우, 평균 차압이 360Pa, Surface Filter는 700Pa로 현저한 차이를 보이며, 이를 전력 생산력인 측면에서 보면 0.5%의 생산 차이를 보인다.

이를 전력량으로 비교하면,

(100 MW Gas Turbine을 1년 8,000hrs 운전 했다고 가정한 경우)

100 MW × 0.005 = 0.5 MW의 추가 전력이 생산되며, 8,000시간 가동하면 0.5 MW × 8,000hrs = 4,000,000 kwh의 총 전력 생산이 증가됨을 알 수 있다.

3. 결론

일반적으로 합성섬유 여재를 사용한 Depth Loading Cartridge를 사용할 경우 이점은 아래와 같다.

- 대기중 먼지가 Sticky하거나, 또는 먼지의 농도가 많지 않아 Pulse-Jet Cleaning의 효과가 없는 경우에도 그 효과가 탁월하다.
- 합성섬유를 사용한 부직포 원단은 높은 습기에 침

해 받지 않으며, 그 강도를 영속적으로 유지한다.

- 다습한 지역(해빙기, 해안가) 또는 고농도의 점도가 있는 경우(황사철)의 장착 시에도 압력 손실의 염려가 없다.
- 강한 기계적 강도의 부직포 Media를 사용하여 Filter Element에 Outer 지지 철망이 필요 없이 장착 및 사용 편리성이 극대화 되어 있다.
- Depth Filtration용 Filter를 장착할 경우, 평균 압력 손실은 Surface Filtration Filter 사용시 보다 약 1/2의 감소를 보이며, 이는 전력 생산 증가로 생산성 향상을 이룰 수 있다.

Microgrid를 이용한 신에너지 지역집중 실증연구

* 본 자료는 일본 열병합발전센터 자료에서 발췌·번역한 것임

1. 머리말

근년 지구온난화문제, 에너지문제, 환경문제가 일본 뿐 아니라 지구 전체의 큰 과제로 되었다. 그러나 일본의 지구온난화에 대한 대처는 순조롭다고 할 수 없고 금후 온실가스의 배출 삭감을 규정한 국제공약, 더구나 2008년 7월의 북해도 정상회담이 닦아 올수록 대처의 중요성이 증가되고 있다.

지구의 온난화나 에너지문제의 해결책으로 화석연료를 사용하지 않는 신에너지가 기대되고 있다. 그러나 풍력발전이나 태양광발전 등의 자연변동 전원은 발전량이 안정되지 않으므로 계통측에 영향을 줄 가능성이 지적되고 금후 대규모의 도입 보급을 위해서는 이 과제의 극복이 큰 열쇠가 된다. 이 과제 극복기술로 연구하고 있는 것이 Microgrid 기술이다. Microgrid는 한정된 Area를 대상으로 자연변동 전원과 기타 연료전지나 바이오매스발전, 전력 저장장치 등을 조합하여 IT기술 등

을 활용하고 이들을 효과적으로 제어함으로써 계통측에 영향을 억제하면서 환경성, 경제성, 에너지의 공급 신뢰성 등을 향상시킬 분산형 에너지공급시스템이다.

2. 신에너지 실증연구의 개요

2-1 Aichi Expo의 실증연구(2003~2005년도)

Aichi Expo의 실증연구에서는 박람회의 Thema인「자연의 叡智」 「순환형사회」를 구현화하는 시스템으로서 지구규모의 과제인 CO₂ 배출 삭감이나 고효율화, 지역순환형 에너지를 추구하는 실증연구를 실시하여 환경 부하 저감·순환형 사회의 구축에 공헌하고 박람회를 통하여 본 실증연구의 대처에 관한 정보를 발신하는 등, 하나의 이벤트로 개최하였다. 참가자는 기간 중 3만인을 초과하였다. 박람회 회장에 구축한 신에너지 Plant의 개관을 [그림-1]에 표시하였다.