

산업용 심층여과 카트리지 필터

심 홍 섭·이 영 무·남 상 용*[†]·최 영 옥**

한양대학교 응용화학공학부, *경상대학교 나노신소재공학과, 공학연구원, 아이큐브 사업단, **한국생산기술연구원
융복합기술연구본부 섬유융합연구부
(2009년 6월 25일 접수, 2009년 8월 6일 수정, 2009년 8월 6일 채택)

Depth Cartridge Filter for Industrial Liquid Filtration

Hong Seop Shim, Young Moo Lee, Sang Yong Nam*[†], and Yeong Og Choi**

School of Chemical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

*School of Materials Science and Engineering, i-Cube Center, Engineering Research Institute, Gyeongsang National University,
Jinju 660-701, Korea

**Department of Convergent Textile Technology, Convergent Technology R&D Division, KITECH, Ansan, Gyeonggi 426-791,
Korea

(Received June 25, 2009, Revised August 6, 2009, Accepted August 6, 2009)

요 약: 심층형여과 카트리지필터는 반도체 등 전자재료, 식음료, 각종 안료, 페인트, 잉크 등의 공정용 카트리지 필터로서 널리 사용되고 있는 필터이다. 이러한 공정용 카트리지 필터의 여과특성과 심층형여과 카트리지 필터의 종류, 제조업체 및 전세계 시장동향을 살펴보고, 심층형여과 카트리지 필터의 고장사태현황 및 원인규명과 함께, 신뢰성평가 방법에 대하여 고찰하였다.

Abstract: Depth cartridge filters are widely used in various kinds of manufacturing process of industrial fields. This study focused on the explanation of depth and surface filtration mechanism, manufacture process and also survey its major company and market trend. Furthermore, the failure mode and major factor which can be occurred in use, and the reliability test of liquid cartridge filter were studied.

Keywords: liquid filter, cartridge filter, depth filter, sedimental filter

1. 서 론

산업의 복합화, 전문화에 따른 수많은 용도의 공정용수, 폐수 및 가정용 음료의 고청정도 요구가 증대됨에 따라 다양한 종류의 액체 필터가 요구되고 있으며, 특히 탈착이 용이한 카트리지 필터의 수요가 대폭적으로 증대되고 있다. 그러나, 오랜 기간 동안 공정용으로 사용되고 있는 섬유재료 정밀여과 카트리지 필터의 연구가 이루어지지 않아 국내 필터 산업의 경우 저가, 저용량 및 기능이 부족한 필터를 중소기업을 중심으로 제

조 판매되고 있는 실정이다.

섬유소재 정밀여과 카트리지의 주요성능을 증대시키기 위하여 많은 선진사의 경우에는, 섬유산업에서 오랜 기간 개발되어 사용되어온 잠재권축사(Potential shrinkable fiber), 복합사(conjugated fiber), 친수성, 친유성 섬유 등 다양한 섬유재료 개발과 필터 제조방식을 연구, 개발하여 왔다. 이러한 기능성 섬유로 인하여, 선진제품의 경우 제품의 성능을 좌우할 수 있는 제거효율, 사용시간을 나타내는 입자 포집량, 사용하는 공정온도에 대한 내열성 및 내구성이 국내필터와는 큰 차이를 보이고 있으며, 2차 성능인 필터의 청정도 등 제품의 제조현황도 큰 차이를 보이고 있다. 이러한 기술 복합화 현상

[†]주저자(e-mail : walden@gnu.ac.kr)

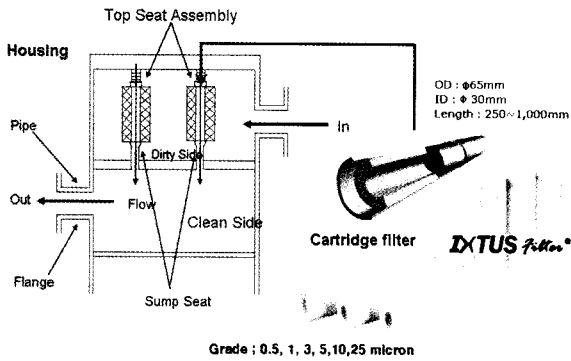


Fig. 1. The example of cartridge filter system.

은 필터 산업분야 뿐만 아니라 모든 산업 분야에 걸쳐서 나타나고 있는 현상이지만, 국내의 경우에는 이미 개발된 섬유제조 기술의 응용 및 개선 필요성이 절실한 상황이다.

정밀여과용 필터의 주요한 용도는 전자재료용 LCD 제조를 위한 확산판, 편광판 등의 유기물질의 박막코팅 공정 중에 미분산 입자 또는 오염물질의 제거를 위해 사용되고 있으며, 자동차산업에서는 자동차 전착도료용 도료의 미분산 안료의 제거 및 일정한 색상 유지관리를 위하여 오랫동안 사용되어 왔다. 최근의 식음료 공정에서는 특히, 차음료 제조 및 건강, 의약품 건강보조용 음료를 생산하기 위해서도 첨가된 다양한 한방재료 및 식품첨가물의 거대 입자 제거를 위하여 사용이 증대되고 있는 상황이다. 더욱이, 첨단 산업이라 일컬어지는 반도체의 wafer 가공을 위하여 사용되는 CMP (Chemical mechanical polishing or planarization) 슬러리의 회합된 거대 입자(1 micron 이상)의 제거 등 전자 재료관련 산업 뿐만 아니라 식음료, 안료, 잉크, 코팅관련 산업에 폭 넓게 사용되어지고 있다. 섬유재료 심층여과형 필터는 표면여과형 멤브레인 필터에 비하여 공극의 분포가 다양하며, 제거효율의 정밀도는 다소 떨어지지만, Fig. 1에 제시한 바와 같이 실제 사용되는 공정에서의 높은 밀도의 여과 입자의 선택적 투과능력이 표면여과형 필터에 비하여 탁월하다. 상기에서 열거된 다양한 공정분야 모두, 제거하고자 하는 입자와 공정에 필요한 입자는 대부분 비슷한 성분이거나 같은 성분으로, 화학적 성분으로 구분하기 어려우며, 저장 및 생산공정 중 물리적 회합 또는 화학적 결합을 통한 물리적 크기의 변화가 분리 필요성에 결정적 역할을 하게 됨에 따라서, 필터의 선택적 투과 성능이 매우 크게 요구되어 진다[1,2].

이러한 카트리지 필터는 이들 산업 제품의 품질과 생

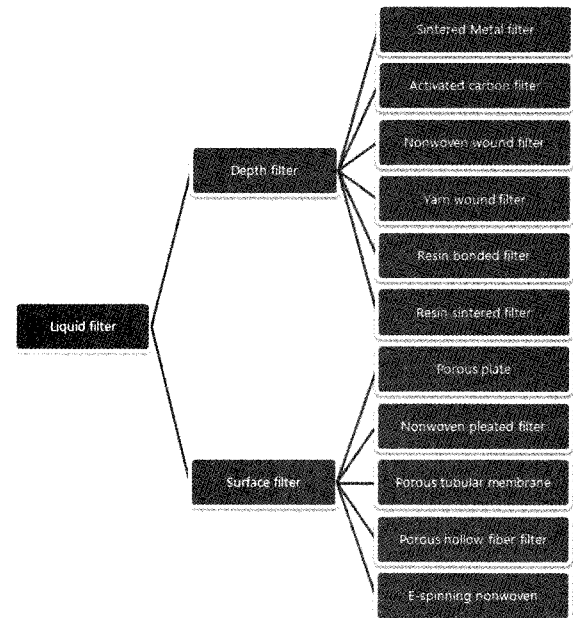


Fig. 2. The classification of liquid filters.

산성을 좌우하며, 따라서 제품의 가격결정에 매우 중요한 영향을 주고 있다.

대부분의 고성능 정밀여과용으로 외산 필터가 시장을 보유하고 있으며, 국산 필터는 작은 규모의 틈새시장에 집중되고 있는 실정이다. 이러한 이유에는 우선적으로, 국산 필터가 실제 시장에서의 짧은 검증기간 및 구매 사용자의 정확한 용도에 맞는 기술적 개발의 부족으로 인해 외산제품에 비해 중저가로 판매되고 있어 이에 대응을 위해 국산 제품의 신뢰성에 대한 검증, 평가 및 신뢰성 향상을 위한 기술 지원이 절대적으로 필요한 상황이다.

2. 심층여과필터의 정의

일반적으로 액체여과필터는 다양한 소재를 이용하여 여러 공법을 통해 제조되어지고 있으며, 이들의 구분은 Fig. 2에서와 같이 여과대상물질(주로 오염입자)의 여과가 어디에서 발생하는가에 따라(여과방식에 따라) 심층여과(depth filtration)와 표면여과(screen 또는 surface filtration)로 구분된다. Fig. 3에서 나타난 것과 같이 심층여과는 두께방향(depth)에 대해 밀도구배를 지니며 불규칙하게 배열된 섬유집합체에 포집대상 입자들이 포집되는 것에 반해 표면여과는 필터의 표면에서 입자여과가 발생된다. 심층여과필터란 표면여과필터에 비해 일정 두께의 여과층을 이용하여 기공의 크기 뿐만 아니



Fig. 3. Schematic of (a) depth filtration, (b) surface filtration.

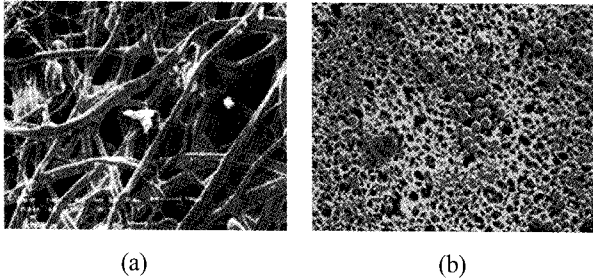


Fig. 4. The picture of filter media after filtration, (a) depth filter, (b) membrane filter (source of (b): membrane filter catalogue of Millipore company).

라 흡수, 흡착 메커니즘에 의하여 실제 구성된 기공의 크기 보다 더 작은 입도의 입자를 포집하는 형태의 여과메카니즘을 활용하는 것을 의미한다. Fig. 3에서와 같이, 기공의 크기에 의해서 물리적인 여과공정이 발생하는 표면여과에 비해서 여과효율이 일정치 않으나, 입자의 농도와 점도가 높은 여과공정에서는 상대적으로 긴 사용시간과 처리용량으로 인하여 표면여과 공정의 전 처리필터로서 많이 사용하고 있다. 통상적으로는 섬유 부직포 성상으로 이루어져 있으며, 가격이 상대적으로 저렴하다[2,3].

Fig. 4에서 나타난 것과 같이 심층여과필터에 포집된 입자는 표면의 불규칙하게 배열된 섬유구조 사이와 심층 부위에 모두 포집되어 여과 처리 공정이후에 포집된 입도를 명확하게 시각적으로 구분하기 곤란하지만(Fig. 4(a)), 표면여과 필터에서는 포집대상 물질이 필터 표면에서 여과되기 때문에 포집된 물질을 쉽게 확인할 수 있다.

Fig. 5에서는 이러한 심층여과 필터제품과 표면여과 필터제품의 구성 및 형태를 나타내었다. 그림에서 나타난 것과 같이 depth filter는 일정 두께의 부직포를 열과 압력 등을 이용하여 권취(winding)시켜 필터 외부층에서부터 내부층에 이르는 밀도의 구배를 주어 성형한다. 각 층별 섬유의 직경 또는 내부 구조 변화를 주어, 다양한 크기를 가지는 입자가 카트리리지필터의 단면을 통하여 여러 층에 걸쳐서 제거되어 진다. 한편, 표면여과 필터는 다층으로 구성된 여재를 빠른 표면 케이크(cake)

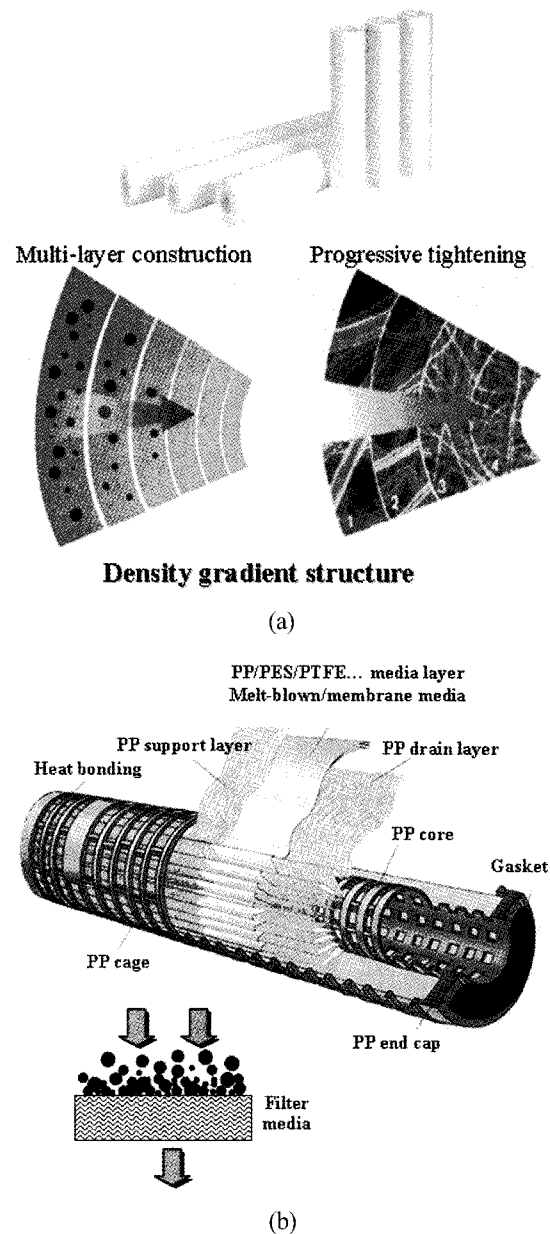


Fig. 5. Schematic of a multistage depth filter (a) and pleated surface filter (b) (source : (a) filter catalogue of Millipore company, (b) filter catalogue of Parker-hannifin company).

발생을 지연시키기 위하여 주름모양으로 접어서 표면적을 극대화하는 모양으로 필터를 성형하여 사용하고 있다.

3. 심층여과형 카트리리지 필터의 특성과 제조방법

심층여과형 카트리리지필터는 일반적으로 단섬유 부직포와 장섬유 부직포(스핀본드)를 감아서 만드는 방식과

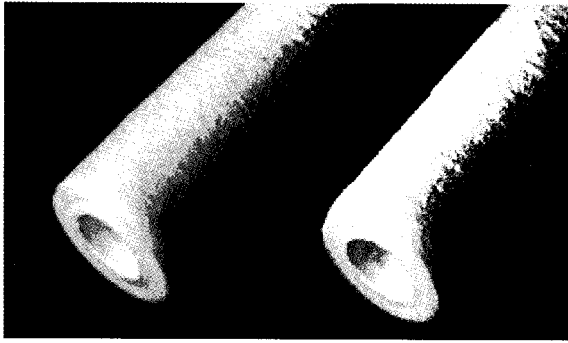


Fig. 6. The picture of Direct spinning filter (Pall filter, Profile®II Filter).

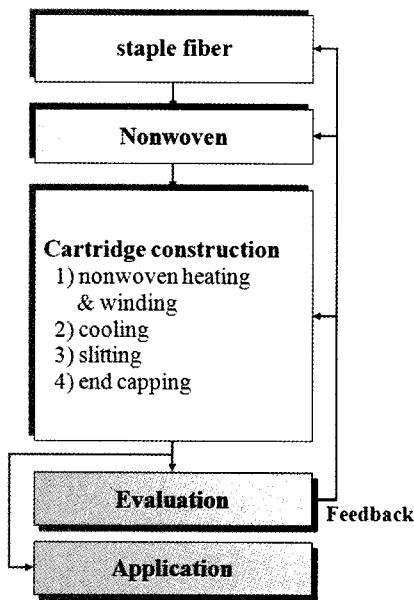


Fig. 7. Diagram of manufacture process of non-wound depth cartridge filter.

Fig. 6에서와 같이 melt-blown 공법에 의하여 직접 방사된 섬유를 회전하면서 권취하여 원통형으로 필터를 만드는 두가지 제조 방법이 있으나, melt-blown 방식은 방사된 섬유의 일률적인 권취공정이 매우 어려워, 선진국의 고성능제품과 후발개발회사의 저가제품으로 양분되어 있다. 심층여과형 카트리지 필터의 대표적인 제조 방법으로는 Fig. 7에 나타난 것과 같이 단섬유를 이용하여 부직포를 제조한 이후에 권취하여 카트리지 필터로 성형하는 것이 가장 일반적인 방법으로 산업용 또는 식음료 정수용 필터로 넓게 상용되고 있다.

그 중에서도 주식회사 이포어의 IXTUS® Filter 제품 등은 Fig. 8에서와 같이 sheath/core 이성분(bi-component) 섬유를 사용하여 sheath (PE)와 core (PP)의 융점

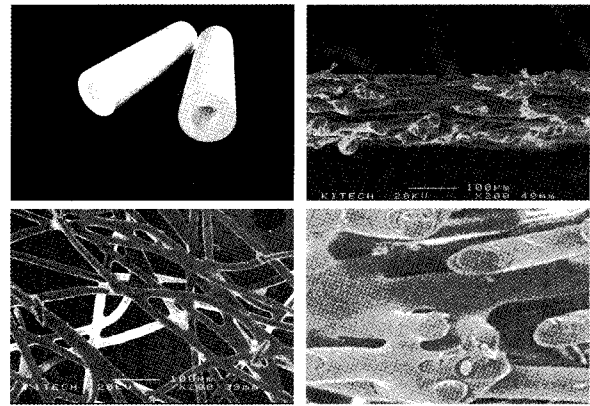


Fig. 8. The picture of fiber bonding in depth cartridge filter (IXTUS® filter, ePore company, Korea).

차이를 활용한 구성섬유간 inter bridge를 랜덤하게 형성하여 모래여과와 같은 구조적 유로(flow path)를 확보하여 유량을 최대화하는 동시에 층간 강한 결합력(anchor effect)으로 인하여 별도의 사출품(지지체) 없이 높은 내압성을 유지하고 있다. 또한, 내부 층부터 열용량제어를 통한 섬유의 굵기(섬도)를 선형적으로 제어하여, 밀도 구배 효과에 의한 단계적 입자제거로 제거효율과 사용수명(Life cycle)을 동시에 최적화하였다.

4. 국내외 관련기술 현황 및 시장 규모

4.1. 국내 기술 현황

섬유로 이루어진 depth형(심층여과형) 필터의 경우 국내에서는 상당히 오래전부터 개발되어 사용되어져 왔으나, 서브미크론(sub-micron) 및 마이크로 미크론(macro-micron) 크기의 입도를 조절하는 부분과 필터의 수명을 좌우하는 기능에 대해서는 연구가 상당히 미흡하였다. 심층여과형 필터를 일반 음용수용 필터의 1차 필터의 침전용 필터로 사용되어지고 있으나, 필터의 사용주기와 제거효율을 치밀하게 관리하고 있지 않는 실정이다.

또한, 식음료용 및 전자재료용 초박막형 코팅산업 및 액상의 입도 조절이 매우 중요한 자동차용 도료, 안료 등의 필터로 사용되고 있는 심층여과형 필터로는 직접 방사형 필터, 섬유상의 부직포로 이루어진 필터 및 사권취형 필터로 나눌 수 있는데, 대부분의 생산 비율을 차지하고 있는 사권취형 필터는 미세입도를 제거하기가 곤란하며, 현재 사용되고 있는 심층여과형 필터는 표면부분에서만 필터효과가 발생하여 본래 취지인 심층여과가 실제적으로 발생되고 있지 못하고 있다.

이러한 원인으로는, 첫째 필터의 원료가 되고 있는 부직포와 구성 섬유 소재의 성분 및 제조 방법의 연구가 미흡하여 필터의 구조적 결함을 극복할 수 있는 효과적인 방안이 모색되고 있지 못하다. 둘째로는 심층여과형 필터의 핵심인 단위 단면적 내의 섬유 및 부직포의 구조적 조직 변경과 밀도구배에 의한 입도제거 효율의 차별화를 이루지 못한 부분을 들 수 있다. 상기와 같은 원인으로 인하여 국내 기업 제품의 상당부분이 고정밀 및 고부가 가치 필터에 적용하고 있지 못하며, 따라서, 학계나 기업체 연구소에서 이 분야에 대한 연구가 절실한 실정이다.

4.2. 국외 기술 현황

대표적인 심층여과형 필터 제조업체인 일본의 Chisso filter, Daiwabo, 미국의 PALL, Entegris, GE waters, 3 M 등 부직포를 이용한 카트리지형 필터를 제작, 생산하는 기업은 세계적인 수준이다. 미국 Pall사 Profile[®] 제품의 경우, depth cartridge filter의 통상적인 낮은 제거효율을 99.98%까지 끌어올리는 동시에 극미세 섬유와 지지층섬유를 복합 방사하는 방법으로 많은 유효 유로를 확보하여 사용주기도 극대화하였다. 이러한 필터는 특히, 높은 농도의 나노입자 슬러리의 일부 미분산 또는 이물을 반드시 제거해야만 하는 전자재료 산업의 경우에 주요한 성능을 나타내어 많은 시장을 확보하고 있다.

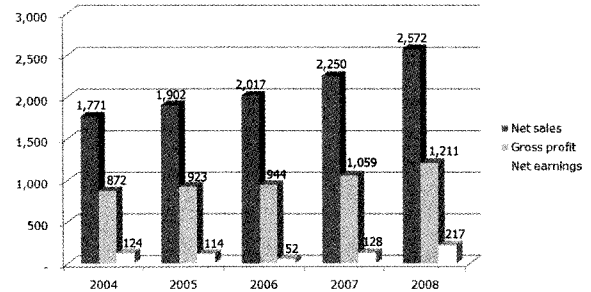
또한, 일본의 Chisso filter사의 경우, 공중합사를 이용하여 필터 제조시의 core형성 부분의 플라스틱 지지체 대신에 섬유로 구성하여 필터의 절단 가공 시에 발생할 수 있는 이물을 최소화 하였을 뿐만 아니라, 필터의 우수한 투수성 및 입자의 포집기능을 극대화하기 위하여 여과된 처리수의 흐름을 최적화하는 구조를 구성하였다. 이에 따라, 색상 및 입도 제거량과 효율이 매우 중요한 자동차용 전착도료 및 고기능성 안료와 첨가제의 필터효과에 우수한 성능을 나타내고 있다.

4.3. 시장규모

공정용 필터로 대변되는 카트리지필터의 국내시장규모는 정확한 자료를 추정하기는 매우 곤란하다. 실제로 삼성, LG 등 첨단산업을 이끌고 있는 전자재료사업의 경우, 사용되는 필터의 종류와 특징 또는 수량자체가 기업의 노하우와 밀접하게 연관이 있으며, 식음료산업의 경우에는 제품의 맛과 향을 좌우할 수 있어, 외부에 사용량과 사용여부에 대한 정보공개를 매우 꺼리고 있

Table. 1. The Market Volume of Liquid Cartridge Filter in Worldwide

	2007 year	2012 year
Worldwide market	USD 15.0 billion	USD 21.0 billion
Asian market	USD 1.3 billion	USD 2.0 billion



The rate of growth is 6% at 2005 year and 14.5% at 2008 year
Fig. 9. Pall's sales report for 5 years.

는 실정이다.

Table 1에서 나타낸 것과 같이, 2007년 세계시장의 경우, 액체용 카트리지필터의 시장규모가 약 US\$ 15 billion이며, 카트리지필터의 제조업체수도 GE, Pentair를 포함하여 약 10,000여 개 업체에 이른다고, 전문 시장조사기관인 Mcllvaines사는 보고하고 있다. 이 시장 보고서에 의하면, 향후 5년 간 연평균 시장성장율은 6%를 유지할 것으로 내다보고 있으며, 2012년 약 US\$ 21 billion에 도달할 것으로 예측하고 있다. 아시아시장은 2007년 US\$ 1.3 billion에서 2012년 US\$ 2 billion으로 성장할 것으로 예측하고 있다. 이러한 아시아에서의 시장 증가는 이미, Richard Mogg의 2001년도 태국시장 보고서에서 1998년 Baht 4.5 billion에서 2001년 Baht 7.4 billion으로 2배 가까이 성장한 것을 보고한 바 있다[4,5].

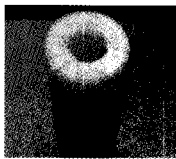



이러한 시장예측자료는 실제, 카트리지 필터사업의 선두주자인 Pall (미국)사의 영업실적 결과와도 일치하는데, Fig. 9에서 나타난, Pall사는 전자재료, 생화학관련 카트리지 필터 뿐만 아니라, 건설, 상수 공급을 위한 필터시스템으로도 매년 빠르게 시장을 확대하고 있다.

5. 심층여과 필터의 신뢰성 확보 중요성

5.1. 심층여과 필터의 국내 신뢰성 현황

국내 액체필터의 고성능, 고기능화 기술수준은 선진국대비 각각 60%, 50% 수준으로 기술수준이 매우 낮

Table 2. The Reasons of Several Failures in Cartridge Filter Use

Items	Phenomena	Major cause	Performance results
The change of End cap surface		<ul style="list-style-type: none"> • Nothing of end cap sealing • Bad Cutting process cause to bad surface of filter 	<ul style="list-style-type: none"> - leak - low removal efficiency - no increased pressure
Delamination		<ul style="list-style-type: none"> • Bonding process trouble • Bad raw material • Irregular temp. control in filter manufacture process 	<ul style="list-style-type: none"> - cause bonding trouble in end cap - abnormal flow rate & life time
Shrinking or Swelling		<ul style="list-style-type: none"> • Bonding process trouble • Chemical compatibility 	<ul style="list-style-type: none"> - leak - low removal efficiency
Deformation of corss section		<ul style="list-style-type: none"> • Boding process trouble • Plastic injection molding core trouble • Usage Trouble in using condition. 	<ul style="list-style-type: none"> - leak - dramatic increasing pressure

은 반면 전산업에 걸쳐 핵심부품산업으로 급속히 파급되고 있다. 그중에서도 심층여과형 필터의 경우 각종 산업의 기간 핵심 부품소재로 사용되고 있으나 이들에 대한 신뢰성 구축이 미비하여 관련기간 산업의 핵심부품 생산시 고장 발생률이 높고 제품 규격화 및 품질성능 저하로 수출하는 데 큰 어려움을 겪고 있다.

산업용 필터는 첨단산업의 부품소재로서 제품의 신뢰성 여부가 최종소비자의 구매욕구에 결정적 요인을 제공하고 있기 때문에, 소재 및 기술력을 바탕으로 한 미국, 일본, 호주, 네델란드 등이 오랜 기간 자국의 앞선 전자산업의 장막아래 새로운 부품소재의 시장을 독점하고 있는 것이 실정이다.

5.2. 심층여과 필터의 고장 사례

근대공업의 급진적인 발달에 따라 도료의 수요증대에 대처하기 위한 대량생산기술의 발전과 합성건성유의 기술발전 및 알키드 수지 도료와 같은 합성수지의 발전을 계기로 급격한 합성수지 화학공업이 계속 발달됨에 따라 새롭고 우수한 도료가 생산되고 있으며, 이러한 도료는 일반적으로 여러 성분으로 구성되어 있다. 주성분이 되는 전색제, 도료의 분산·건조·경화 등의 여러 성질을 향상시켜주는 도막형성부요소(塗膜形成副

要素), 도료를 칠하기 쉽게 하기 위해 사용하는 용제, 용도에 따라 첨가하는 착색안료(着色顔料)·체질안료(體質顔料)·방청안료(防鏽顔料)·발광안료(發光顔料)·시온안료(示溫顔料) 등의 여러 가지 특수안료 등으로 구성된다. 도료는 각 원료를 잘 혼합하여 만드는데, 제조의 열쇠는 바로 이 혼합기술에 있다. 제조공정은 균일하고 안정된 도료를 만들기 위하여 수지·안료의 분쇄·혼합에 에지 러너(edge runner)를 비롯하여 여러 가지 기계가 사용되고 있다. 하지만 기계만을 이용하여 도료를 제조할 경우 분쇄나 용해가 부족할 경우 자체가 이물질로 되어 색상의 균질성이나 도막 형성 시 미세기공(pin hole) 등의 불량발생의 원인이 되어 이를 해결하기 위하여 백필터 또는 카트리지필터를 이용한 여과공정이 요구되었다.

그러나 사용된 필터의 여과공정 중에, 공극을 형성하고 있는 섬유이 이동현상(migration)이나, 층간 결합력의 부족 또는 공극의 조밀도 변경으로 인하여 조기 막힘 현상이 발생하여, 잦은 교체로 인한 적절한 색상발현이 어려워지거나, 여과 공정의 진행에 따른 차압이 발생하여 필터의 변형 또는 수축으로 인하여 하우징과 필터의 결합력이 약해지는 현상이 발생되기도 한다. 이러한 오염원 누수(leak)현상은 최종 생산품의 입도조절

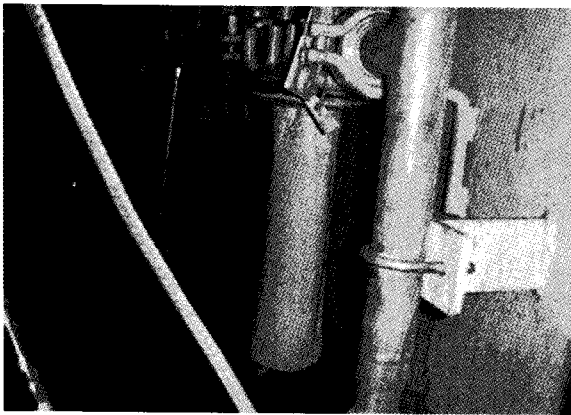


Fig. 10. The failure of cartridge filter in application of paint & coating industry.

의 실패로 확대되어 결국 자동차 페인트의 경우, 자동차 표면의 분화구 모양의 불량(crater)현상이 발생하여 제품 하자발생의 주요한 원인을 제공하고 있는 실정이다.

심층여과형 필터의 고장발생은 Table 2와 같이 end cap의 변형, 충전박리, 수축 또는 팽윤 그리고 필터가 운전 중 찌그러지거나 휘어지는 현상 등이 있다.

이러한 현상은 제품의 반복적인 on/off 동작에 따라, hydraulic stress로 인하여 필터의 치수변경으로 인한 오염원 누수(leak)가 발생되고 있으며, 부직포 원료의 이종 섬유 혼합에 기인한 단위면적당 혼섬 비율, 두께, 중량 편차로 인하여 필터제조를 위한 와인딩(winding) 작업 시에 층(layer)간 접합력 변동에 따른 효율, 유량, 내구성의 변화로 제품의 수명, 품질 성능 이상 발현으로 고장이 발생하고 있다. Fig. 10은 실제 페인트 및 코팅 산업에 응용 시 발생된 필터의 고장사례이다.

산업의 고도화에 따른 수많은 종류의 신규 공정이 생겨나며, 복합화 전문화가 되고 있다. 이러한 신규의 각종 전자재료, 화학, 식음료 공정이 생겨남에 따라 고정밀도를 갖으며, 고용량을 처리할 수 있는 안전한 여과시스템의 요구가 증대되고 있으며, 이러한 여과시스템에서 필수적인 카트리지 필터의 중요성은 점차 확대되고 있다.

과거의 여과공정에서 사용되던 카트리지형 필터는 여과성능의 중요성으로 인하여 실제 여과성능을 나타낼 수 있는 지속시간과 한계시간에 대해서는 보다 적극적인 연구가 소홀해왔었다. 이에 따라, 초기에 장착된 필터의 여과성능은 우수하였으나, 사용시간이 지속됨에 따른 성능저하로 인하여 사용 공정에서 많은 문제를 나타내고 있었으며, 이로 인하여 국내 시장에서 국산제품의 외면으로까지 확대되었다. 필터는 크게 역삼투막, 한

외여과막 및 정밀여과막으로 나눌 수 있는데, 초순수 제조를 위한 경우를 제외하게 되면, 정밀여과막의 사용이 여러 가지 용도에 폭 넓게 사용되고 있는 실정이다. 이러한 정밀여과시스템은 다른 종류의 필터와 달리, 하우스와 카트리지 필터로 크게 구분할 수 있으며, 이러한 하우스 시스템으로 인하여 발생할 수 있는 카트리지 필터의 손상 부분도 연구가 반드시 필요한 항목이다.

5.3. 신뢰성 확보를 위한 평가방법

일반적으로 카트리지 필터의 기본적 성능을 나타내는 평가 항목으로는 제거효율(removal efficiency), 유량(flow rate)에 따른 차압 특성, 포집능력(dust holding capacity)이 있다. 이러한 성능 지표는 초기 제품의 성능에 국한된 것으로, 이보다 중요한 것은 실제 주어진 환경에서 고장 없이 일정 기간 동안 원래의 성질을 유지하는 신뢰성이라 할 수 있다. 즉, 단기간에 실제 환경을 재현할 수 있는 가속시험을 통하여 제품이 실제 사용시 얼마만큼의 성능유지를 할 수 있는지가 관건이라 하겠다.

액체필터 카트리지에 대한 내구성 평가는 제품의 품질시험과 신뢰성 시험으로 이루어져 있으며, 신뢰성 시험은 카트리지 필터의 사용환경과 유사한 환경을 조성하도록 환경변화 시험을 거친 뒤 카트리지 필터의 성능변화를 측정하는 것이다. 이러한 신뢰성 평가 방법으로 2001년 제정된 “RS K 0004 비제균용 정밀여과 액체필터 카트리지” 시험방법이 있다[7].

비제균용 정밀여과 액체필터의 고장모드는 크게 두 가지로 나타날 수 있다. 첫째는 여과입자의 케이크(cake)형성으로 인한 필터기공의 조기 막힘과 이로 인한 차압 증가, 유량감소, 최종적인 여과성능의 상실이며, 둘째는 원수의 성상, 입자농도, 온도, 유량(압력)의 변화 등 사용 환경에 따른 필터의 물리화학적 여과특성 상실로 나눌 수 있는데, 이러한 고장에 영향을 미치는 실제 환경의 원인인자에 대한 분석과 규명이 이루어져야 한다. Tables 3과 4는 카트리지 필터의 고장현상과 그 원인 및 고장모드에 따른 시험항목에 대해 나타내었다.

일반적인 산업용 원수에 존재하는 1 μm 이하 입자를 99.98% 제거할 목적으로 사용되는 비제균용 정밀여과 액체필터 카트리지의 경우 Table 5에 명시된 시험항목에 따라 표시된 시료 수에 대하여 품질시험을 실시하여 표의 성능 수준을 만족해야 한다.

신뢰성 시험은 Table 6에 나타낸 바와 같이 필터를 간헐적인 스트레스 상황 하에서 온도와 압력을 변형시

Table 3. Requirements (stresses and performance) and Failure Modes/ Mechanisms Matrix

Failure modes/ mechanisms Requirements (Stresses and Performance)	Flow	ΔP	Turbidity	Pore size/ porosity	Leak	Weight	Specific resistance	microbe
Liquid flow rate	◎	◎	○					
Dust size & Concentration	◎	◎	◎					
Pore size & distribution	◇	○	◎				◇	
Integrity		○			○			◎
Viscosity		◎	○		◇			
Chemical compatibility				○				
Temperature	◇	◇			○	○		◇
pH		○			◇		○	◇
Pressure		○		◇				
Water extractables						○		

*Classification for reliability : ◎ very important, ○ important, ◇ normal

Table 4. Failure Modes/mechanisms and Test Method Matrix

Failure modes/ mechanisms	Test method	pore size test	flow rate, efficiency	filter leakage	water extractables	chemical compati- bility	Environ- mental stress	accelerated test
flow rate		○	○					◎
pressure drop			◎					◎
removal efficiency			○					◎
pore size		○					○	
leakage				◎			◎	
weight					○	○		
microbe				◇				

*Classification for reliability : ◎ very important, ○ important, ◇ normal

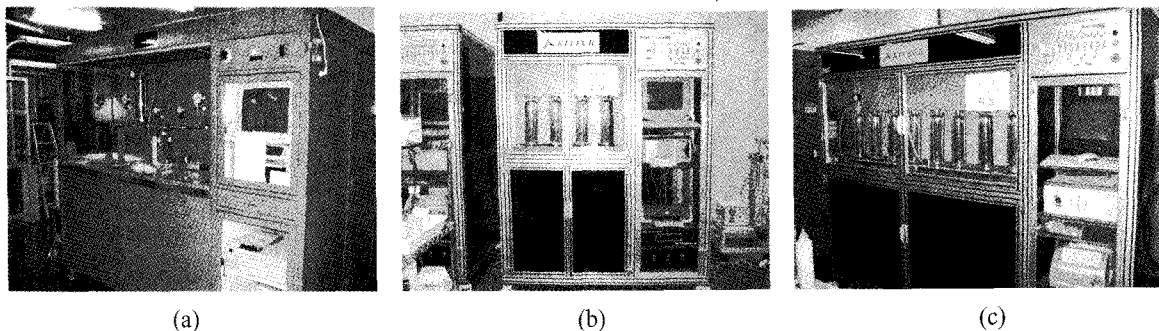


Fig. 11. Testing system for liquid cartridge filter (operated by KITECH, Korea); (a) Filter performance test stand (FTI), (b) Thermal stress resistance tester (ePore), (c) Hydraulic stress resistance tester (ePore).

키고, 인공적인 오수(bentonite)를 제조하여 카트리지 필터의 막힘현상을 가속화한 이후에 필터의 치수변화 및 효율, 유량 등 성능의 변화를 측정하는 것으로 내열 충격 시험, 내수 충격 시험, 여과내구성 시험으로 구분된다. 내열 충격 시험은 액체필터 카트리지에 가혹한 온도의 증기를 정해진 횟수만큼 반복하여 가한 후 성능

변화 유무를 시험하는 것이며, 내수 충격 시험은 가혹한 조건의 수압 및 온도(상온, 가열, 증기)를 필터 카트리지에 반복적으로 가하여 필터의 기계적인 강도변화를 시험하고, 여과 내구성시험은 고농도액을 고유량으로 통과시 포집량과 제거효율을 평가하는 것이다. 신뢰성 평가 후 Table 6의 성능치를 만족할 경우, 제균용

Table 5. Test Items and Requirements of Nonsterilized Liquid Microfilter Cartridge

Test items	Evaluation object		Standard value	Specimens required
	Cartridge filter			
	Nonwoven	Flat sheet		
Shape, dimension	○	○	actual measurement value	3
Max. pore size	-	○	actual measurement value	3
Integrity	-	○	actual measurement value	3
Flow rate	○	○	± 5%	5
Removal efficiency	○	○	over 99.98 %	5
Chemical compatibility	○	○	flow rate change: below ± 5% removal efficiency: over 99.98%	3
Oxidant outflow	○	○	No detection	3
Dust outflow	○	○	removal efficiency: over 99.98%	3
Fiber (lint) outflow	○	○	No detection	3
Water extractables	○	○	below 45 mg/cartridge	3

Table 6. Reliability Test of Nonsterilized Liquid Microfilter Cartridge

Test items	Test standard value	Specimens
Thermal stress	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensional change - length of long axial : within ± 0.5% - outer dia. of end cap : within ± 0.05% • Flow rate change : within ± 5% • Efficiency : over 99.98% 	3
Environmental stress test	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensional change - length of long axial : within ± 0.5% - outer dia. of end cap : within ± 0.05% • pressure drop change : 0 • Integrity test - bubble point : over actual value before test - gas diffusion rate : below - below actual value before test 	3
Accelerated test	<ul style="list-style-type: none"> • Dust arrestance : over 180 g/m² • Efficiency : over 99.98% 	3

정밀여과 액체필터 카트리지의 수명을 MTTF 3,000 시간(6개월)까지 신뢰수준 90%로 보장한다.

카트리지 필터 여재 기본 특성, 제품의 초기 성능 및 신뢰성 평가 관련 장치는 Fig. 11과 같으며, 한국생산기술연구원 산업용섬유기술지원센터(섬유소재신뢰성평가센터)에서 보유 및 운영하고 있다.

6. 결 론

심층형 카트리지 필터의 특성 및 고장사례와 평가방법에 대해서 간단하게 소개하였다. 공정용 여과시스템

으로 넓게 사용되는 카트리지 필터는 다양한 용도로 폭 넓게 사용 범위를 넓히고 있으며, 내화학성, 내구성 등이 우수한 유리섬유의 사용을 대체할 수 있는 친환경적인 소재의 개발 뿐만 아니라, 필터 제조공정의 개선 및 필터를 사용할 수 있는 시스템의 개발도 동시에 이루어져야만 하는 첨단 복합 시스템이다.

이러한, 카트리지 필터는 다양한 산업에서의 제조공정 상의 원가절감, 생산성증대, 제품의 성능향상 등 전반적인 생산제품의 주요특성에 영향을 줄 수 있다. 이러한 카트리지 필터 개선 및 개발은 실제 여과시스템의 적용을 위한 공정상에서 함께 연구되어야 하며, 전기,

전자, 식음료, 화학공정 등 다양한 산업과의 교류가 필수적으로 이루어진 상태에서 여과시스템 구성 및 여과해야 할 액체의 정확한 사전분석 방법 등이 반드시 연구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Z. Lin, G. Vasilopoulos, K. Adrian, R. Blum, and P. Friedman, "CMP filter Plugging Mechanisms and filter lifetime optimization", Chemical mechanical polish for ULSI multilevel interconnection conference, Feb. 19~20 (1998).
2. 환경산업용 섬유필터소재, KISTI (2004).
3. K. Scott, "Handbook of industrial membranes", 1st edition, 110 page, Elsevier advanced technology, Oxford, UK (1995).
4. K. Sutherland, "Filters and Filtration Handbook", Fifth edition, 18page, Elsevier Ltd. USA (2008).
5. R. Mogg, "Filtration and Separation Markets in Southeast Asia", *Filtration & Separation*, **39(7)** (2002).
6. "News from Mellvaine", *Filtration & Separation* **44(10)** (2007)
7. RS K 0004 Nonsterilized liquid microfilter cartridge, 산업자원부 (2002).