

# 고성능 여과용 섬유소재 기술

손 성 군

디엔에프

## 1. 서 언

인구증가와 산업화 등에 의한 수질오염 등으로 세계 수자원 수요는 점차 고갈되어가고 있으며 현재 세계인구의 40%를 점유하고 있는 약 80개국에서 심각한 물 부족 현상을 보이고 있다. 또 2025년이 되면 세계인구가 83억명으로 늘어나게 되고 물 수요 역시 기하급수적으로 증가해 21년마다 2배 정도씩 늘어날 것이라는 예측이 나오고 있으며, 1998년 2월 23일~29일까지 뉴욕에서 소집되었던 유엔 지속개발위원회에서도 세계 물위기와 이에 따른 보건문제에 대한 심각성에 대해 대책을 숙의한 바 있다. 여기에 참석한 각국 대표들은 향후 10년 동안 관개 및 수리시설 등에 약 6000억달러 이상을 투자해야 할 것이라는 의견과 함께 국제적, 국가간, 공사(公私)간 협력을 통한 물 고갈 현상을 조속히 해결해야 한다고 강조하였다.

이처럼 세계 각국은 향후 수자원 고갈에 대처하기 위한 대책마련에 고심하고 있다. IBRD도 향후 10년 동안 수자원개발비로 약 300~400억 달러를 지원할 계획에 있다. 그러나 산업화가 진행되면서 수질은 점차 악화되어가고 있고, 이에 따른 수자원 개발비도 기하급수적으로 증가해 관련기술의 개발이 뒤따르지 않고서는 양질의 수질을 얻을 수 없는 상황에까지 이르게 되었으며, 그 정도는 갈수록 심해질 것으로 예상된다. 더구나 생활수준 향상으로 최근 들어서는 음용수의 고급화를 추구하고 있는 현

실적인 요구가 강해지게 되었고, 이에 대처하기 위해 일본과 미국 및 유럽지역의 선진국들은 보다 효율적이고 경제적인 정수처리공정 개발에 자금과 인력을 투입하여 연구에 열중하고 있다.

본고에서는 수처리 분야에 있어서 섬유소재에 의한 필터개발이 어디까지 와있고 또 향후 어떠한 방향으로 흘러갈 것인지를 간단히 짚어보기로 하였다.

## 2. 수처리용 필터기술

### 2.1. 수처리용 필터의 분류

환경산업에 있어서, 특히 수처리 분야에 있어서는 필터를 이용한 오염물질 제거 정화처리기술과 미생물을 이용한 바이오 분해 정화처리기술을 미래 기술로 간주해 놓고 있다. 이는 수처리 공정에 있어서 화학약품을 사용함으로써 야기되는 또 다른 문제점이 지적되면서 이 방법 역시 결코 환경친화적이지 못하다는 지적과 함께 여기에도 무약품 정화처리방식을 적용해야 한다는 주장에 따른 것으로 보고 있다. 이에 따라 최근은 바이오 처리기술은 물론 필터분야에 있어서도 최첨단 기술들이 속속 개발되어 현장에 응용되고 있다.

수처리에는 크게 물 속에 들어있는 고형물질을 제거하는 전처리 여과공정과 이후 유기물이나 이온성 물질을 제거하는 생물학적 처리공정으로 둘로 나눌 수 있다. 여기서 필터를 사용하는 공정은 바로 여과공정으로 여기에는 일반 고형체 상태로 존

재하는 SS(solid state: 부유물질)를 제거하는 정밀 여과장치(micro filter)가 있으며, 보다 작은 미립자를 제거하는 UF(ultra filter)와 NF(nano filter) 및 이온성의 미네랄까지 제거할 수 있는 R/O(reverse osmosis) 멤브레인 필터 등 다양한 필터들이 있다.

각 입자 사이즈별 필터사용 예를 보면 다음 Figure 1과 같다.

## 2.2. 최근 필터기술 동향

선진국들의 수처리공정에 대한 연구방향은 대체적으로 다음의 두가지 방향으로 나누어 볼 수 있다. 첫째는 음용수에 잔존하는 미량의 유해성 유기물의 효율적인 제거방법에 관한 것이며, 둘째는 2차 환경오염을 유발시키는 공정을 개선하여 순수 여과만에 의해 처리하려고 하는 경향이 있다. 다시 말하면, 기존의 정수처리방법인 응집·침전·여과공정에서 다량의 슬러지가 발생함은 물론 응집제인 황산반토( $Al_2SO_4 \cdot nH_2O$ )의 과량주입에 의한 잔류 알루미늄과 염소 소독과정에서 발생할 수 있는 트리할로메탄, 그리고 최근 들어서 세계적 관심이 집중되고 있는 내 소독성 미생물의 인체유해성 문제에 대한 심각성에 대처할 만한 기술개발이 줄을 잇고 있다는 것이다.

따라서 이러한 제반 문제점을 개선하기 위해 다양한 각도에서 개발이 이루어져 왔으며, 그중 가장 두드러진 것이 MF(microfilter)와 UF(ultrafilter), NF(nanofilter) 및 RO(reverse osmosis) 등을 사용하는 기술로, 미국과 일본 등 전 세계 선진국들을 중심으로 관련기술개발에 총력을 기울이고 있다. 그러

나 분리막에 의한 정수처리 기술은 처리수질과 미생물의 제거성능 등의 모든 기술적인 측면에서 기존의 응집, 침전, 여과, 소독공정보다 우월하지만 초기의 시설투자비가 많이 소요되며 잦은 막의 오염(fouling)으로 자주 세정해야 하는 단점을 안고 있기 때문에 이런 단점을 개선할 수 있는 기술개발이 이루어지지 않고는 실용화가 어려운 실정이다.

미국의 경우 지표수 처리규정(SWTR)이 발표된 이래 상수원에서 발생하는 내소독성 미생물(Giardia lamblia, Cryptosporidium parvum) 제거에 MF와 UF를 이용하는 기술개발에 연구를 집중하였으며, 하루 5백만갤런을 처리하는 미국 최대의 음용수공장인 San Jose 수도사업장 내의 소규모 구조토 여과설비를 지난 1994년 2월에 과감히 정밀여과장치(MF) 설비로 교체한 바 있고, 지금도 성공적으로 운영되고 있는 것으로 알려지고 있다.

호주의 경우 MF를 이용한 정수처리시스템은 맥택에서 개발한 CMF(continuous micro filter)를 이용하고 있으며, 이 정밀여과장치는 flexible 중공사막을 이용한 것으로 0.2 $\mu$ m까지 여과가 가능하고 역세정시 공기압에 의해 필터 bag을 부풀리기 때문에 역세정이 가능한 정밀여과장치로 알려져 있으나, 역세정시 공기압을 불어넣어 세정하기 때문에 한번 막힌 세공(細孔)은 잘 뚫리지 않아 막 수명이 2~3년으로 다소 짧으며 장치비가 매우 높다는 것이 단점으로 작용하고 있다.

일본의 경우는 MF와 UF를 이용한 정수처리시스템 개발 프로젝트인 "MAC 21 Project"를 통해 해당 기술개발에 주력해 왔다. 이 프로젝트에서 밝혀진 내용은, 0.1 $\mu$ m의 MF를 사용할 경우에는 초기 응집과정을 거쳐야 하지만 0.1~0.05 $\mu$ m의 MF를 사용한 경우는 초기 응집과정을 생략해도 고급 음용수를 제조할 수 있다는 것이다. 또 이 연구결과에서 알 수 있었던 것은 처리 세공크기가 0.5~1 $\mu$ m 이상인 구조토 여과장치에 의한 무약품 소규모 정수시설 개발은 다소 어렵지 않겠느냐 하는 것이다. 따라서 앞으로 개발해야 할 무약품 소규모 정수시설로

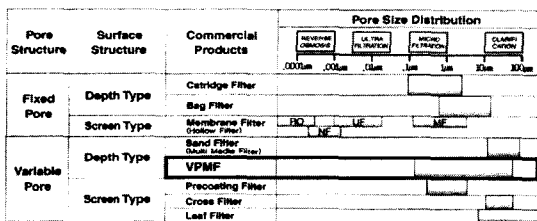


Figure 1. 입자 사이즈별 필터사용.

Table 1. 각종 정수처리 방법과 파생되는 문제점

| 수처리방법                     | Pore size                  | 발생되는 문제점  | 원인   | 인류에의 영향                 |
|---------------------------|----------------------------|---|--|-------------------------|
| 기존방법<br>(응집·침전·모래여과·염소소독) | 10~20 $\mu$ m<br>(모래여과 기준) | 다량의 슬러지   | 오염도에 따른 응집제 사용량  | 매립지 감소                  |
|                           |                            | 잔류 알루미늄   | 과량의 황산반토사용   | Alzheimer's Disease 원인  |
|                           |                            | 내소독성 미생물 (Giardia lamblia, Cryptosporidium parvum) 잔류 | 내소독성 세균 크기 3~12 $\mu$ m, 여과기 세공크기 20~30 $\mu$ m로 여과기 통과됨 | 설사, 고열 동반의 수인성 전염병 발병원인 |
|                           |                            | 트리할로메탄 발생   | 과량의 염소사용   | 발암성 물질                  |
| 규조토 여과방법                  | 0.5~1 $\mu$ m              | 다량의 슬러지   | 30ppm 이상시 역세주기 급격히 증가                                    | 매립지 감소                  |
| 분리막 방법                    | 0.1 $\mu$ m이하              | 여과막 오염에 의한 효율감소 및 maintenance 어려움(filter교체에 따른)       |  |                         |
| 섬유필터                      | 0.08~0.1 $\mu$ m           | 역세에 의한 flux 회복을 우수. 예상되는 문제점 없음.                      |  |                         |

MF와 UF를 이용한 방법이 보다 효율적임을 강조하고 있다. 그러나 현재 분리막 방법에서 가장 문제시되고 있는 것은 막 오염에 의한 여과효율감소와 이에 따른 막 세정 및 교환 등의 maintenance 문제로, 이를 개선하기 위해서는 여과시 막 오염을 최대한 줄이거나, 오염된다 하더라도 역세정 효율이 우수한 분리막 개발이 최대 쟁점으로 떠오르고 있다.

이런 요구에 부응해서 다양한 기술을 적용한 제품들이 속속 개발되고 있으나 세공 크기나 역세효율에 대해서는 아직 개선해야 할 부분이 많다. 지금까지 소개된 역세 효율이 우수한 분리막중 기술적으로나 여과 및 역세의 효율적인 측면에서 비교적 우수하다고 평가되는 제품으로는 일본(주)KUBOTA가 개발해 1998년 9월부터 업체에 소개하고 있는 Kubota filcera(세라믹 막 여과장치: 특허출원)가 있다. 이 장치는 공칭세공 크기가 0.1 $\mu$ m로 대장균과 탁도의 한계치 이하이기 때문에 응집·침전·급속 여과 과정을 거치지 않고서도 그 이상의 수질을 확보할 수 있는 것으로 알려지고 있으며, 미세 공기를 동시에 원수와 함께 공급하기 때문에 막의 오염이 적고 오염시 세정이 용이하다는 것이 장점으로 작용하고 있어서 고도 정수처리설비에도 응용할 수 있는 우수한 장치로 평가되고 있다. 따라서 향후 이 장치를 적용하는 설비가 늘어날 것

로 예상되나 아직은 이 장치를 적용하고 있는 업체가 별로 없고 이 장치의 구입가격이 기존 장치의 5배 이상이기 때문에 본격 적용시기에 대해서는 아직 회의적인 것으로 보고 있다.

이처럼 필터기술은 미국, 호주, 캐나다, 일본 등에 기술력이 집중되어 있다. 역세척이 가능한 제품으로 미국의 Fitrax의 BMF, 호주의 Memtec의 CMF, 일본 미쯔비시의 MF, 캐나다의 Zenon 필터 등이 대표적이고 기술적인 측면과 경제적인 측면에서 볼 때 CMF와 미쯔비시의 MF가 여과성능과 역세척성능이 우수한 반면, 초기시설비 및 운영비용이 다른 제품에 비해 높다는 것이 단점으로 작용하고 있다.

한편 여과방식을 보면 가변세공구조를 하고 있는 필터로 BMF와 Leaf 필터가 있지만 모두 역세척 효율이 떨어지고 micro fiber를 이용한 기술은 아직 개발되어 있지 않다. 이에 세계 각국은 마이크로 필터의 역세척 효율을 높이기 위한 연구를 계속해서 진행 중에 있으나 멤브레인을 이용한 필터에 있어서의 막오염을 방지하기 위한 기술개발과 효과적인 막세정기술 개발에만 힘쓰고 있는 실정이다.

### 2.3. 국내의 필터기술 동향

한편 국내의 경우 수자원 역시 수질오염과 인구

Table 2. 각종 정수 필터

| 항 목    | BMF          | CMF                    | 미쯔비시 MF                   | Leaf 필터        |
|--------|--------------|------------------------|---------------------------|----------------|
| 여재형태   | 여과캔들         | flexible중공사막(membrane) | membrane                  | leaf plate     |
| 여과방식   | 가변세공구조       | 고정세공구조                 | 고정세공구조                    | 가변세공구조         |
| 여과정도   | 5~50 $\mu$ m | 0.2 $\mu$ m            | 0.1 $\mu$ m, 0.45 $\mu$ m | 20~100 $\mu$ m |
| 역세척효율  | 중            | 중상                     | 중                         | 중              |
| 시설비용   | 중            | 상                      | 중                         | 중              |
| 운영비용   | 하            | 중                      | 상                         | 하              |
| 모듈만 판매 | 불가능          | 불가능                    | 가능                        | 가능             |

증가로 인해 그 심각성은 갈수록 심화되고 있다. 유엔국제인구행동연구소가 집계한 내용에 따르면, 1990년 현재 국내 1인당 물 사용 가능량이 1700m<sup>3</sup> 이하로 물 부족국가에 속하고 있으며 21세기에 들어서면 더욱 줄어들어 1000m<sup>3</sup> 이하가 되는 물 기근국가로 전락할 것이라는 예측이 나온바 있다. 더구나 최근 들어 선진국과 마찬가지로 생활수준이 향상되면서 음용수의 고급화를 추구하게 됨에 따라 수자원 확보에 총력을 기울여야 한다는 의견이 각계각층으로부터 쏟아져 나오고 있고, 이에 대응하기 위해 각종 정수처리기술 개발이 정부와 학계 및 각 기업체를 중심으로 활발히 이루어지고 있다.

국내의 정수처리기술 개발방향은 고성능 수처리제 개발이나 미생물 후 소독기술 개발, 관로내에서의 2차오염 방지기술 개발, 활성탄이나 오존 또는 광촉매산화공정의 최적화에 의한 고도정수처리기술 개발(이상 G-7 환경공학기술과제), 응집·혼화공정의 최적화, 응집제 투입량 자동결정 시스템의 개발(이상 수자원공사 개발과제) 등 기존의 정수처리공정에 대한 공정기술개발이나 단위조작기술개발로 요약할 수 있다. 그러나 기존의 정수처리공정은, 이미 앞서 언급했듯이 수처리제 개발이나 투입량의 최적화, 또는 미생물의 소독기술 개발정도의 개선만 가지고는 극복하기 어려운 문제점이 많다고 판단된다. 따라서 이러한 근본적인 문제점을 해결할 기술개발이 선행되지 않고서는 보다 악화되어가고 있는 수자원에 대처할 수 없으며 음용수의 고급화를 가져올 수 없다고 보는 시각이 많다.

국내의 마이크로 필터 기술수준은 열악한 상황이다. 연간 수천억원대의 수입품에 의존하고 있는 실정이다. 최근의 수질오염의 가속화 현상과 물부족 사태를 해결하기 위해 물 재사용법안이 통과되면서 마이크로 필터의 수요는 폭발적으로 증가할 것으로 국내 필터산업의 부흥이 예상되고 있지만 이들 제품은 선진국의 과거 기술이나 일반제품의 대체개발이나 모방생산에 치우치고 있어서 여전히 기술적인 격차를 안고 있는 실정이다.

현재 멤브레인 필터의 경우는 새한에서 RO(reverse osmosis: 역삼투법) 멤브레인 개발에 성공해 국내 수요의 약 70%이상을 충족시키고 있어 국내 환경설비비 절감에 크게 기여하고 있으며, UF(ultra filtration: 한외여과법)의 경우는 효성이나 SK, 코오롱 등이 개발하여 정수기 시장에 활발히 적용하고 있다. 그러나 MF(micro filtration: 정밀여과법)는 새한의 MF 제품이 약간의 시장을 점유하고 있는 상황으로 아직까지는 대부분 수입에 의존하고 있는 실정이다. 그러나 MF는 멤브레인 필터에 비해 저가이며 고도의 기술을 필요로 하지 않는다는 이유로 개발활동에 다소 소홀했던 것은 사실로, 이에 따라 국내의 제품은 전통적으로 사용해온 모래여과기와 카트리지 필터 등이 주를 이루고 있고 micro fiber를 이용한 필터는 (주)거룡엔필텍의 VPMF를 제외하고는 전혀 없는 것으로 알려져 있다.

### 3. 섬유소재를 이용한 수처리용 필터기술

섬유 소재를 이용한 수처리용 필터는 국내외적으로 가장 많이 이용하고 있고 이중 가장 대표적인 것이 카트리지 필터로, 주로 5 $\mu$ m 이상의 부유물질 여과에 사용하기 때문에 수처리에 있어서의 전처리공정에 가장 많이 이용하고 있다. 그밖에 섬유소재를 이용한 고정도 수처리용 필터로는 특히 일본과 한국을 중심으로 속속 개발되어 소개되고 있기 때문에 본 항에서는 최근에 개발된 대표적인 섬유필터를 중심으로만 간단히 비교 소개해 보겠다.

### 3.1. 카트리지 마이크로필터

섬유 소재를 이용한 필터는 전통적으로 카트리지 마이크로필터(MF)를 중심으로 활발히 개발되어 왔으며, 지금도 가장 많이 사용하고 있는 것이 이 필터이다. 그러나 카트리지 MF는 5 $\mu$ m 이상의 부유물질 외에는 제거능력이 떨어지고 세공이 자주 막히기 때문에 수시로 교환해 주어야 하는 단점을 안고 있으나 가격이 저가라는 장점 때문에 가장 많이 선호하고 있다.

필터 재질은 주로 폴리프로필렌이나 폴리에틸렌 섬유소재로 제작 형태는 화이버를 규격별로 굵기를 달리해 적층으로 감거나 부직포를 맡아서 사용하고

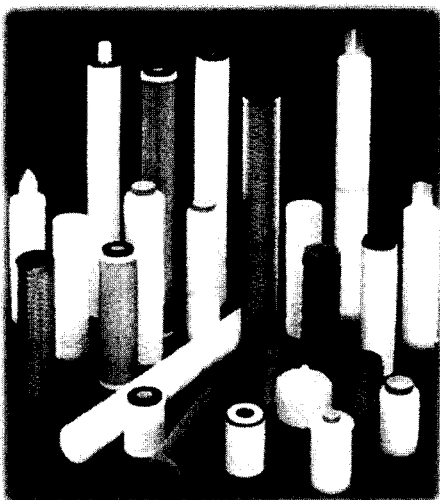
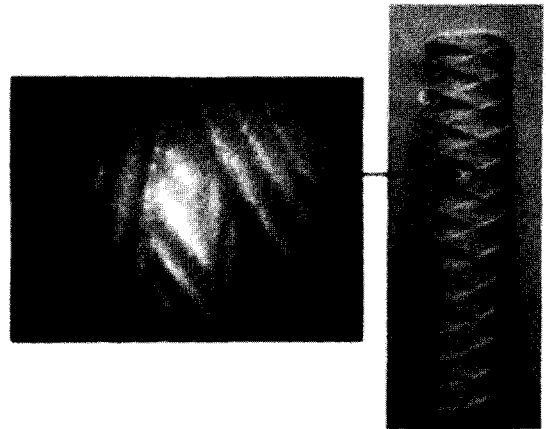
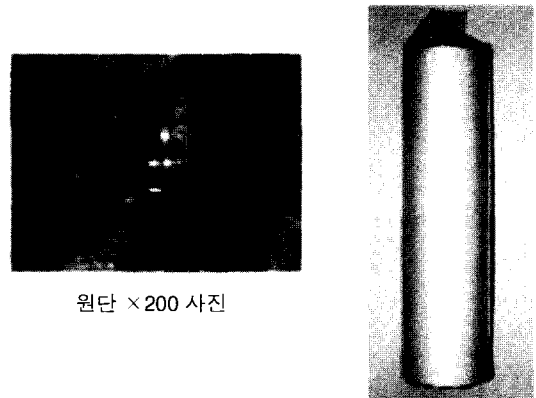


Figure 3. 각종 카트리지 필터들.



제품사진

Figure 4. 화이버 5 den 사용.



원단  $\times$  200 사진

Figure 5. 약3~50 den 부직포 사용.

있다.

이 필터의 역사는 가장 오래된 것으로 제조 방법도 이미 잘 알려져 있고 특별한 기술을 요하지 않기 때문에 본 항에서의 구체적인 사항은 언급하지 않기로 하겠다.

### 3.2. 트위스트형 화이버 필터

섬유를 상하 타래형태의 다발로 묶어 상하 화이버를 고정시키고 여과시 전체를 비틀어 세공을 작게 한 다음 여과하고 부유물질에 의해 세공이 막히면 이를 풀어 세정수와 공기를 불어넣어 세정하는



Figure 6. 트위스트형 화이버필터.

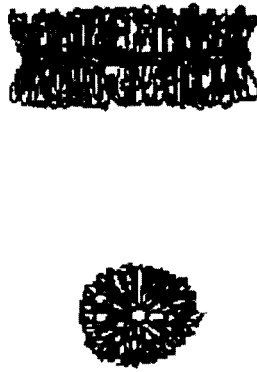


Figure 7. 고습도치형 섬유필터.

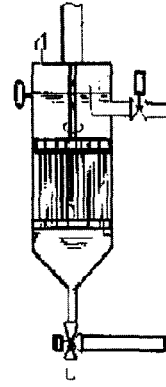


Figure 8. 동력형 가변세공 섬유필터.

방법을 택하고 있다(特開平9-15514). 섬유소재를 이용한 가변세공(variable pore structure) 필터로서는 가장 초기의 것으로, 장점으로는 역세 시간이 짧고 조작이 용이하다는 점을 들 수 있으나, scale up이 어렵고, 대용량의 경우 세공구조가 균일하지 않아 여과효율이 떨어지며 여재(화이버) 단락시 치명적으로 여재로서의 기능을 수행할 수 없으며 별도의 동력이 필요하다는 단점이 있다(Figure 5). 이 역시 여과 정밀도는 5 $\mu$ m 수준에 머물고 있어 현장 적용 사례가 그리 많지 않은 것으로 알려져 있다

### 3.3. 고습도치형 화이버 필터

글자 그대로 다공원통 주변에 화이버를 다수 심어 고습도치형을 하고 있으며, 수중여과 방식에 이용하고 있다(特開平4-244205). 여과시 밖으로부터 안으로 압력을 걸면 화이버가 누우면서 세공이 형성되고, 역세시 반대로 안쪽에서 바깥쪽으로 역세수와 공기를 불어넣어 세정하면 화이버가 바로 서면서 세정된다(Figure 6). 고속여과 대응으로 취급이 용이하고 심층여과가 되어 여과효율을 향상한다는 장점이 있으나 scale up이 어렵고 대용량의 경우 세공구조가 불균일해 여과효율이 떨어지며, 역세효율 또한 좋지 않다는 단점을 안고 있다. 또 세공 구조에 한계가 있으며, 수명이 짧다는 점도 있어 현장 적용이 많지 않다.

### 3.4. 동력형 가변세공 화이버 필터

flexible한 micro fiber를 일정한 길이로 잘라 원통형으로 성형시킨 후에 양단의 holder에 부착시켜 압력용기의 상하부 플랜지에 결합시킨 구조를 갖게 하고, 상부 filter holder를 아래로 압축한 후 수직방향으로 여과하는 형태를 취하고 있다(特公平4-11906). 역세시에는 상부 홀더를 위로 들어 올려 화이버를 이완시킨 후 아래로부터 역세수와 공기를 불어넣어 필터를 세정한다(Figure 7). 이 방법 역시 취급이 용이하나 scale up이 어렵고 대용량의 경우 세공이 불균일 함은 물론 역세효율도 나쁘다. 또 별도의 동력이 필요하다는 단점이 있으며, 압착을 강제로 시키기 때문에 압착시에 섬유밀도가 불균일할 우려가 있어 여과효율이 떨어진다. 현재 현장 적용이 거의 없는 상태이다. 화이버는 20 den를 사용, 여과 입경은 5 $\mu$ m 한 모델에만 한정하고 있다.

### 3.5. Non Holder 방식의 가변세공 화이버 필터

앞서 언급한 동력형 가변세공과 유사한 구조를 하고 있으나 상부에 화이버를 지지할 수 있는 holder가 없다는 것이 특징이다(特開平1-304011, 오르가노(주)). 여과시 상부로부터 원수를 주입하면 원수 압력에 의해 화이버가 압착되어 세공구조가 되면 여과가 이루어지며, 역세시에 하부로부터 역세수와 공기를 주입하면 화이버가 해체되면서 역세가 이루어



Figure 9. 무홀더 가변세공 화이버필터.

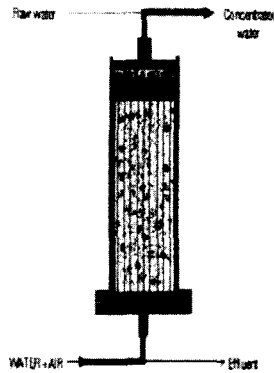


Figure 10. VPMF (가변세공정밀여과장치)역세상태.

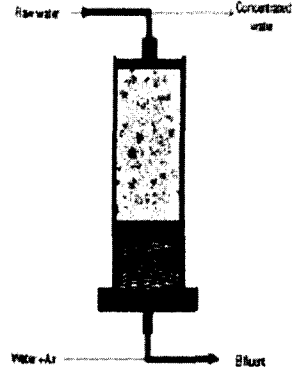


Figure 11. VPMF (가변세공정밀여과장치)여과상태.

어진다. 이 필터는 취급이 간단하고 심층여과 방식으로 고속여과에 대응할 수 있으며 별도의 동력을 사용하지 않는다는 장점이 있으나 화이버가 쉽게 엉겨 점차 역세효율이 저하하기 때문에 수명이 단축되며, 대용량의 경우에 있어서도 세공의 균일성을 얻을 수 없어 여과효율 또한 크게 떨어지는 단점을 안고 있다(Figure 8). 이 역시 여과입경은  $5\mu\text{m}$ 에 한정되어 있고, 현장 적용 사례도 일본내 5건 미만으로 알려져 있다.

### 3.6. VPMF(가변세공 정밀 여과장치)

VPMF(variable porestructure micro filter)는 한국의 (주)거통엔필텍에서 개발한 섬유소재 필터로, 마이크로화이버를 이용한 섬유소재로서는 세계에서 처음으로, 국내는 물론 일본(特許3131190)과 미국 등에 특허를 보유하고 있으며, 그 성능이 입증되어 국내에는 100여 군데, 일본에는 5개소 정도의 실적을 가지고 있고 점차 적용이 확대되고 있다.

형태를 보면, 화이버 다발을 일정한 길이로 잘라 상하판 holder에 고정시킨 후 상판 holder는 자유단으로 놓아두고 하판 holder만 하판 플랜지에 고정된 구조를 가지고 있다. 상부로부터 여과 원수가 유입되면 수류에 의해 상판 holder가 서서히 내려오면서 화이버를 압착하게 되는데, 이 때 수류에 의한 압착이기 때문에 화이버 압착밀도가 균일하게

이루어지며, 완전 압착이 되면 여과공정에 들어가게 된다.

역세의 경우는 다른 가변세공 여과장치와 마찬가지로 하부로부터 역세수와 공기를 불어넣으면 상판 holder가 부력에 의해 점점 부상되어 화이버가 해체되며 이 때 역세가 이루어진다.

심층여과 방식으로 여과효율이 좋고 화이버가 엉기지 않아 역세효율 또한 좋아 현장적용사례가 많으나, 이 필터 역시 대용량 설계시 세공 균일성이 떨어지기 때문에 일정한 크기로 규격화해 대용량의 경우 다수 개를 설치해야 하는 관제로 설비비나 관리면에서 다소 부담으로 작용하고 있다. 그러나 여과 입경(세공)을 화이버 굵기에 따라 달리하기 때문에 다양한 모델을 가지고 있다는 것이 다른 섬유소재 필터에는 없는 주요 특징이다. 여과 입경은  $20\sim 0.05\mu\text{m}$ 까지 규격화된 모델을 제작하고 있으며, 각각의 여과 입경에 따라 5 den으로부터 0.2 den까지의 마이크로화이버를 사용하고 있다. 대략 화이버의 denier 수와 여과 입경이 일치하는 현상을 보이고 있어, 현재 0.05 den 마이크로화이버 사용에 의해 UF 수준인  $0.05\mu\text{m}$ 까지 여과가 가능한 VPMF 개발을 추진하고 있다.

### 3.7. 불형 섬유필터

화이버를 불 형태로 가공한 섬유필터도 개발해

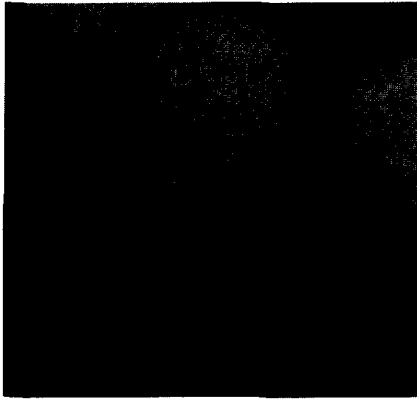


Figure 12. 미쯔이광산의 바이오블.

활용하고 있다. 일본의 미쯔이(三井)광산의 바이오블과 한국 종합공해가 대표적이다. 일본 미쯔이광산의 불형 필터 바이오블은 약 15 den의 아크릴화 이버를 중앙 결속시킨 형태를 취하고 있고 직경도 33mm로 한국 종합공해의 15mm에 비해 2배 이상이 되어 SS 성분의 내부 침투시 탈락이 어렵고 역세정 시간도 길다는 단점을 안고 있다.

한편 한국의 종합공해에서는 이러한 단점을 보완해 직경 15mm로 20 den의 PP 화이버를 중앙결속시킨 형태를 취하고 있으며, 여과 방법도 일본 미쯔이광산이 부상여과 방식을 취하는 것과는 달리 여재(濾材)를 여과기 안에 충전한 다음 압력으로 동력에 의해 불을 찌그러진 형태로 압착해 세공이 형성되면 여과 원수를 상부로부터 하부로 압력이송시킴으로서 여과가 이루어진다. 화이버 형태의 여과 시스템을 그대로 적용한 것으로 여과효과는 매우 높으며, 역세시에는 압력을 풀고 하부로부터 역세수를 주입해 세정하는 형태를 취하고 있다.

### 3.8. 중공사막

중공사막(中空糸膜 : hollow fiber filter)이란 가운뎃가 비어있는 섬유라는 의미로, 실 형태의 막 표면에 미세한 구멍(0.1~0.4 $\mu$ m)이 있어 이를 통해 오수 중의 오염물질을 완벽하게 여과할 수 있는 침단의 초정밀 필터이다.

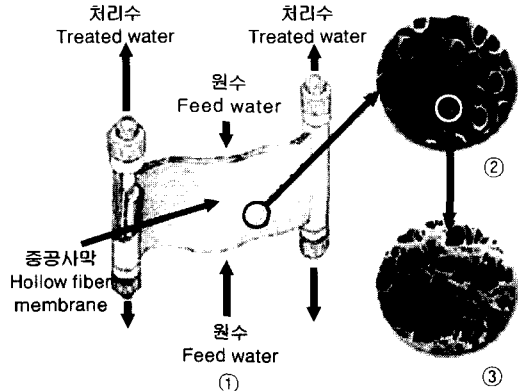


Figure 13. 중공사막 구조.

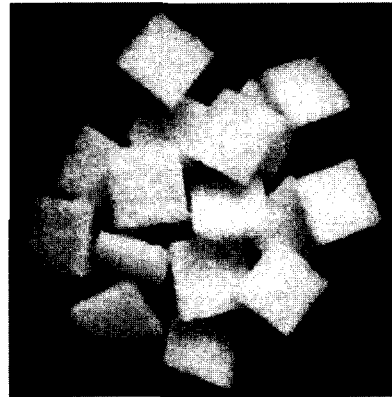


Figure 14. 石垣의 특수섬유필터.

이는 열연신법에 의해 제조된 polyethylene 제작시 중공사막 표면을 친수성이 되도록 코팅해 오탁이 심한 수질에 대해서도 막 면에 오탁물 부착 및 퇴적이 최소화되도록 제작되었다.

처음 일본 미쓰비시레이온의 중공사막 기술을 응용한 여과장치가 1980년경부터 실용화가 시작되어, 초기단계에서는 병원수술실용 무균수 세정장치, 원자력발전소의 터빈복수여과장치, 반도체공장의 초순수 필터, 가정용 정수기 등에 채용 보급되었고, 그 후 자동역세기구나 조침지형 중공사막 filter elements의 개발로 연마액의 회수나 하천수와 같은 고탁도수의 여과에도 적용 가능하게 되어 “침지식 막분리공법”이나 활성슬러지의 직접여과까지 응용범위가



점차 넓어지고 있다.

### 3.9. 그밖의 섬유필터

섬유소재를 이용한 필터는 그동안 수많은 시행착오 끝에 섬유소재가 필터에 최적이라는 인식이 확산되면서 다양한 형태의 필터들이 개발되어 적용되고 있다. 앞에서 서술한 여러 형태 외에도 마이크로화이버를 스폰지 형태로 특수 가공한 필터(일본, 유니타카의 마리모)가 있는가 하면, 직물 자체나 부직포를 그대로 필터로 사용하는 경우도 있다. 또 부직포 섬유재료를 일정 크기로 특수 가공한 섬유필터(일본, 石垣(이시가끼))도 있다. 이 필터는 일정 용기내에 섬유필터를 넣고 용기 하부로부터 여과원수를 주입해 필터가 부상하면서 상부측으로 물리게 되고 이것이 필터 역할을 해 부유물질을 걸러주게 된다. 이 방법의 장점은 불형 섬유여재와 마찬가지로 상향류식이기 때문에 하부로 중량이 많이 나가는 SS(solid state) 물질이 침전되어 필터 수명을 연장하고 고속여과에 대응할 수 있다는 장점이 있으나, 필터 내부로 침투한 부유물질 세정이 어렵고 이로 인한 미생물 번식 우려가 있다는 단점을 안고 있다.

## 4. 여과용 섬유소재의 물리화학적 특성

여과용 섬유소재로는 아크릴을 시작으로 폴리에스터와 나일론, 면, 폴리프로필렌(PP) 등 매우 다양하다. 그러나 여과용 섬유소재를 선택할 때에는 각각 소재에 대한 특성을 충분히 이해한 후 적용 분야에 맞는지 확인해야 한다. 단순히 기능만을 중시한 선택의 경우에는 현장 적용시 나타나는 다양한 문제점을 해결할 수 없는 상황에 직면할 수 있기 때문이다. 보통 대부분의 섬유소재들은 음용수 여과의 경우 별다른 문제점을 드러내지 않으나 물이 오염되어 있는 경우에는 오염원이 무엇이냐에 따라 섬유소재에 치명적인 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 따라서 본 항에서는 섬유소재가 갖고 있는 각

각의 물리 화학적 특성들이 수처리용 필터로서 어떠한 영향이 있는지를 알아 보았다.

### 4.1 유리 전이온도

보통 처리수 온도는 상온을 유지한다고 하나, 계절에 따라, 또는 처리수가 어느 공정에서 배출되느냐에 따라 온도가 큰 폭으로 변하기 때문에 섬유소재 선택에 신중을 기해야 한다. 예를 들면, 폴리프로필렌의 경우 유리전이온도가 47°C 범위로 낮아, 처리수 온도가 하절기의 경우 40°C 전후를 기록하게 되는데, 이 경우 이 소재로 만든 필터는 반복 사용하게 되면서 기능이 크게 저할 수밖에 없다. 대개 여과공정에서 화이버 필터의 경우는 압착상태를 유지한 상태로 여과가 이루어지고 있어서, 장시간 이 온도에서 압착되어 있다가 후 역세척 공정에서 압력을 풀어도 형태 회복이 어려워지기 때문이다. 따라서 처리수 온도 범위가 어느 정도 인지를 사전에 인지해 이에 맞는 섬유소재 필터를 선정해 주어야 한다.

### 4.2 오염특성

공장폐수나 도시하수 등에는 유기물에서 무기물에 이르기까지 다양한 오염원들이 함유되어 있다. 따라서 섬유소재가 나일론과 같이 오염이 잘되는 경우는 필터 수명에 영향을 줄 뿐 아니라, 오염원이 유기물일 경우에는 미생물 번식의 원인이 되어 필터 수명을 더욱 짧게 하고, 처리수에 대한 미생물 재오염을 가중시키는 결과를 가져올 수 있다.

### 4.3 친수특성

합성섬유소재의 경우는 표면이 소수특성을 지니고 있다. 따라서 여과시 화이버 표면에 수화(hydration) 현상이 생기게 되어 유속이 빨라진다. 또한 소수성 섬유소재의 경우 여과시 섬유표면에 나노수준의 초미세 기포가 부착되어 처리속도를 더욱 향상시킨다는 보고도 있다. 그러나 이 경우 세공이 커져 여과정밀도가 떨어지는 결과를 가져온다.

반면 친수성의 경우 물분자와 섬유소재와의 인력 때문에 유속이 떨어지는 반면 세공이 작아져 여과 정밀도가 상승한다고 알려져 있다.

#### 4.4. 화이버 충전밀도

화이버 필터의 경우 화이버 충전밀도와 유속 및 여과 정밀도와는 큰 상관관계를 가지고 있다. 화이버 충전밀도가 크면 유속이 느려져 여과 정밀도가 크게 향상한다. 또 화이버 충전 밀도를 일정하게 하고 화이버 충전층을 높게 하면 유속은 거의 변함이 없으나 여과 효율 및 정밀도가 크게 향상한다. 즉 섬유 굵기와 여과 정밀도와는 상관관계는 매우 크지만, 충전밀도와 충전층을 적절히 조화시키면 high flux의 고효율 고정밀 섬유필터를 제작할 수 있다. 그러나 경제성 면이 뒤따르기 때문에 화이버 굵기도 고려해야 한다.

#### 4.5. 굵기(denier)

화이버 필터의 경우 화이버 굵기와 여과 정밀도(세공)와는 직접적인 관계가 있다. 대략 유속과 경제성 면을 고려한 최적 설계의 경우 화이버 denier 수와 여과 정밀도는 비례하는 것으로 나타나고 있다. 다시 말하면, 5 den 화이버의 경우 5 $\mu$ m 이상의 입자를 제거할 수 있고, 0.1 den의 경우는 0.1 $\mu$ m 이상의 입자를 제거할 수 있으나, 0.3 den 이하의 마이크로화이버의 경우는 충전밀도에도 크게 영향을 미치기 때문에 0.1 $\mu$ m까지는 0.3 den로 커버할 수 있는 것으로 나타나고 있다.

#### 4.6. 내마모성

화이버의 내마모성은 섬유소재 필터의 수명에도 직접적인 영향을 미친다. 즉 반복되는 압착 이완 과정에서 화이버간 마찰을 고려, 내마모성을 고려한 소재선택은 필수로 작용하고 있다.

#### 4.7. 영률

화이버 필터의 경우 역세기 역세수와 공기를 불

어떻게 되는데, 이 때 공기에 의한 적당한 충격이 필요하다. 이 과정에서 화이버 길이방향으로 충격이 가해지고, 특히 상판홀더가 부착된 VPMF의 경우는 상당히 강한 충격을 받게 되는데, 이 때 영률이 작은 화이버의 경우는 쉽게 단사가 되어 필터 수명에 단축된다. 이 경우 방사과정에서 연신을 많이 준 화이버를 사용하면 개선된다.

#### 4.8. PH

각 섬유소재별로 PH에 대한 영향이 각각이다. 따라서 처리수 PH 특성에 맞는 섬유소재 선택은 필수이다.

### 5. 결론

섬유소재 필터기술이 향후 어떠한 방향으로 가게 될 것인지, 원사업체들에 의해 좌우될 것으로 보고 있다. 이는 현 단계에서 개발되어 있는 섬유소재만을 사용하고 있기 때문으로 생각되는데, 향후 섬유소재가 갖고 있는 취약성을 개선해 나간다면 보다 고정도의 수처리용 필터 개발은 좀더 용이해질 것으로 내다보고 있다.

앞서 언급했듯이 수처리용 필터에 필요한 섬유소재의 물리화학적 특성은 제각각으로, 만능 필터보다는 각 분야에 맞는 적당한 소재를 선택하는 것이 중요하다는 점은 이미 강조한 바 있다. 그러나 현 단계에서 여과용 섬유소재로서 해결해야 할 과제는 많다. 우선 현 수준에서의 화이버에 대한 물성향상은 기본이나, 현재까지 필터시장에 소요되는 물량이 적은 관계로 화섬업체들의 적극적인 참여가 아쉬운 상황이다.

또 고정도 필터를 위한 0.05 den 수준의 마이크로화이버 개발이 우선되어야 한다. 그러나 이 경우 최소한의 내마모성과 영률이 보장되어야 한다는 것을 전제로 하나, 지금까지 수준에서 고강도 화이버 개발은 다소 어려울 것으로 보고 있다. 간혹 거미줄 섬유와 같은 고강도 섬유개발이 되었다 하더

라도 우선은 경제적인 면을 고려하지 않으면 안되기 때문이다.

그밖에 이온성 물질 제거를 위한 전도성 화이버 필터개발도 추진되어야 할 것이다. 현 단계에서 전도성 화이버에 의한 필터기술은 영국의 British technology group Ltd.가 처음인데, 이 필터는 카본 블랙 전도성 아크릴 화이버를 충전하고 그 상하에 전장을 강하게(430~4290 V) 걸어 줌으로써 단순히 유체의 흐름특성을 높여 flux 효율을 높여보려는 시

도에 그친 것으로 알려져 있다.

제타전위를 이용하는 이온성물질(콜로이드 등) 제거 시도는 유럽과 일본 및 미국 등지에서 지금도 수많은 시도를 거듭하고 있고, 그 역사는 100여년을 넘고 있지만 아직 그렇다할 성과를 거두지 못하고 있는 것이 현실이다. 따라서 전도성화이버를 이용한 새로운 개념의 필터개발도 추진되어야 할 것이며, 현재 일본이 5개년 사업으로 2001년부터 개발을 시도하고 있는 것으로 전해지고 있다.

**약 력**



**손 성 군**

- 1986. 전북대 화학과(학사)
- 1986. 3-1992. 10. 유니온 물산(주), (주)소명산업 근무
- 1992. 10-1996. 9. 한국염색정보기술사 근무
- 1996. 10-2002. 6. (주)거룡엔필텍 근무
- 2002. 10-현재. 디엔에프 대표이사 (411-721) 경기도 고양시 일산구 백석동 백송마을 806동 1503호
- 전화: 031)908-8643. Fax: 031)908-8644
- e-mail: sohnsk@hanafos.com