

국내 가정용 정수기 필터의 특성 분석에 관한 연구

조재익¹ · 김길태² · 안영철[†]

(원고접수일 : 2013년 2월 26일, 원고수정일 : 2013년 4월 22일, 심사완료일 : 2013년 5월 16일)

A study on characteristics of filters for domestic household water purifier

Jae-Ik Cho¹ · Gil-Tae Kim² · Young-Chull Ahn[†]

요약: 물 부족 국가인 우리나라는 정수를 위한 설비시설을 확보하는 것이 무엇보다 중요하다. 그럼에도 불구하고 잦은 수질오염사고와 최근의 구제역으로 인한 가축 매몰지의 침출수 문제 등은 엄격한 수질 관리의 필요성을 다시 한 번 깨닫는 계기가 되었다. 현재 가정용 정수기는 4단계 또는 5단계 정수처리 시스템을 적용하고 있으며 각 단계는 Sediment filter, Pre-carbon filter, UF/RO membrane filter, Post-carbon filter로 구성되어 있고 5단계는 Ceramics filter를 마지막 단계에 추가하여 구성하고 있다. 본 연구는 국내 가정용 정수기 필터의 물리적 특성을 파악하는 것이며 6개 사의 시제품을 통하여 분석하였다. 필터의 표면과 형상의 관찰은 SEM 분석을 통하여 이루어졌으며 Sediment filter, UF membrane filter, RO membrane filter의 기공의 크기는 30~47 μm , 0.005~0.5 μm , 0.025~0.25 μm 의 분포를 보였고 활성탄의 비표면적은 622 ~ 1,308 m^2/g 의 분포를 보였다.

주제어: 수처리 필터, 압력손실, 멤브레인, 바이러스, 활성탄

Abstract: It is important to establish water treatment technologies for drinking water because Korea belongs to water-stressed country. Leachate from recent incident of foot-and-mouth disease has become an opportunity to be aware of the need to manage water quality. Water purifiers are adopted to four or five steps of filtration process. Each steps are composed of a sediment filter, a pre-carbon filter, an UF or a RO membrane filter and a post-carbon filter. And additionally a ceramic filter can be used as a final stage. In this study, operational conditions in each steps are examined and characteristics of each filters are investigated. SEM analysis is used for filter surface and shape investigation using 6 commercial samples. Pore sizes of the sediment filter, the UF membrane filter, and the RO membrane filter are 30~47 μm , 0.005~0.5 μm , and 0.025~0.25 μm , respectively. Specific surface areas of activated carbons are ranged from 622 to 1,308 m^2/g .

Keywords: Water filter, Pressure loss, Membrane, Virus, Activated carbon

1. 서 론

이미 널리 알려진 바와 같이 우리나라는 향후 물 부족이 예상되는 국가[1]로 분류되어 양질의 수자

원 확보와 유지관리가 필요함에도 불구하고 1990년 낙동강 폐놀 유출사고 및 최근 구제역으로 인한 가축 매몰지의 침출수[3] 문제까지 크고 작은

[†] Corresponding Author: Department of Architectural Engineering, Pusan National University, San 30, Jangjeondong, Keumjunggu, Busan, 609-735, Korea, E-mail: ycahn@pusan.ac.kr, Tel: 051-510-2492

¹ Department of Architectural Engineering, Pusan National University, E-mail: ericmartin@pusan.ac.kr, Tel: 051-510-7604

² Land & Housing Institute, E-mail:gtkim1@lh.or.kr, Tel:042-866-8495

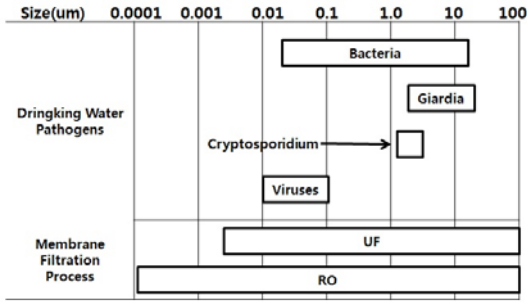


Figure 1: Filtration application guide for pathogen removal [2]

수질오염 사고가 빈번히 발생하고 있다. 이러한 수돗물에 대한 불신은 수돗물을 대체할 수 있는 정수기 산업이 성장하게 된 계기가 되었으며 국내 정수기 시장은 2007년 약 9,700억원에서 2009년말 기준으로 1조 6,000억원 규모로 성장하고 있으며, 보급률은 2010년 말 기준으로 54.3%에 이르고 있다[4].

물속에는 천연유기물질을 비롯한 수많은 이온성 물질, 화학물질은 상수처리 과정에서 완전히 제거가 되지 않고 일부 남아서 새로운 오염물질을 발생시키는 원인물질로 작용을 하게 된다. 그중 천연 유기물질은 응집제나 소독제의 요구량을 증가시키고 소독 부산물을 발생시키며 이는 인체에 흡수되어 암을 야기하는 발암물질로도 작용을 하게 된다. 또한 Figure 1에 나타낸바와 같이 수중에 존재하는 바이러스의 경우 0.02-0.09 μm , 박테리아는 0.4-1.4 μm 정도의 크기를 가지며 구제역 침출수 때문에 발생이 우려되는 탄저균은 4~8 μm 정도의 크기를 가지고 있다. 바이러스 같이 크기가 매우 작은 부유물질은 일반 여과에 의해서는 거의 처리가 되지 않으며 내성이 강한 낭종(Cyst)을 형성하여 물속에서 장기간 존재함으로써 건강을 위협하는 물질이 되고 있다. 이러한 미량의 오염물질을 제거하기 위하여 막여과(Membrane Filtration) 방법이 사용되고 있으며 종류에 따라 정밀여과막(MF, Microfiltration), 한외여과막(UF, Ultrafiltration), 나노여과막(NF, Nanofiltration), 역삼투막(RO, Reverse Osmosis)으로 분류된다. 프리도니아(Freedonia Group) 보고서[5]에 따르면, 멤브레인(Membrane)의

Table 1: Component of water filter system

Sample	Sediment filter	Pre-carbon filter	UF/RO membrane filter	Post-carbon filter	Ceramic filter
A	O	O	RO	O	X
B	O	O	UF	O	X
C	O	O	UF	O	X
D	O	O	UF	O	X
E	O	O	UF	O	O
F	O	O	RO	O	X

세계 시장 규모는 1997년 12억 달러에서 2007년 33억 달러 규모로 연평균 11% 성장 하였으며 2017년 멤브레인 시장은 전체 규모가 76억 달러로 예상되고 있다. 최근에는 과거 절반가량을 차지하던 MF 멤브레인의 비중이 점차 감소하고 UF와 RO 멤브레인의 비중이 높아지고 있으며 제약/의료, 2차전지, 음식료 등의 분야에까지 수요가 증가하고 있다. 현재 국내 가정용 정수기 시장에서도 UF와 RO 멤브레인 방식이 주류를 이루고 있다. UF의 멤브레인의 경우 약 0.01 μm 이하의 입자까지도 제거할 수 있지만 이온성 물질의 제거성능이 떨어지며, RO 멤브레인의 경우 0.0001 μm 의 기공을 통해 바이러스는 물론 이온성 물질들까지 여과가 가능하지만 몸에 이로운 미네랄 성분까지 함께 제거되는 문제점을 가지고 있다. 그리고 이러한 수처리 필터들은 여과 시 상당히 큰 압력을 필요로 하며 에너지 소비를 증가시키는 원인이 되기도 한다.

그러므로 본 연구에서는 시중에 상용화 되어있는 정수기용 필터 시스템의 운전조건 및 특성을 분석하고 향후 고효율 저압손의 필터시스템 개발을 위한 자료로 활용하고자 하였다.

2. 필터 재료 및 특성 분석

2.1 실험재료

국내 가정용 정수기의 현황을 분석하기 위해 시중에 판매되고 있는 시제품 중 UF 멤브레인 방식과 RO 멤브레인 방식의 각각의 필터를 검체로 선정하여 진행하였으며 Table 1에 분석에 사용된 6개사의 필터시스템을 구분하여 나타내었다. 이중 5개사의 필터시스템은 침전필터(Sediment Filter), 멤브

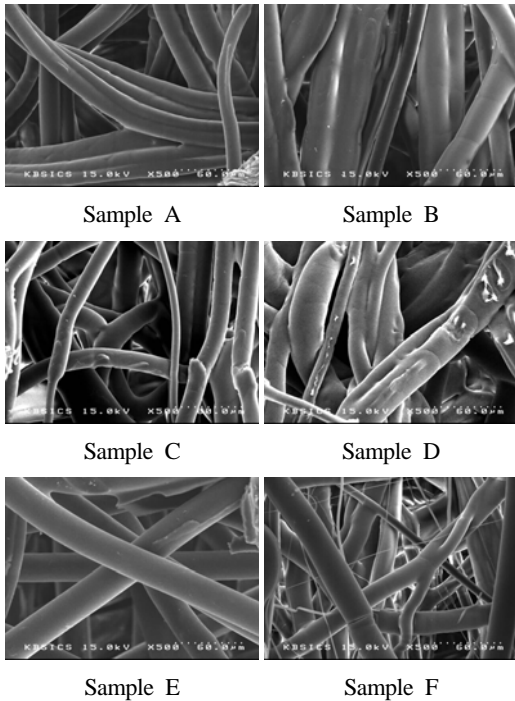


Figure 2: SEM photos of sediment filters

레인 필터, 그리고 2개의 활성탄 필터로 구성된 4 단계의 정수 필터 시스템을 채택하고 있었고 나머지 1개 사는 세라믹 필터를 추가하여 저수조에 저장된 정수된 물의 오염을 방지하는 목적으로 사용하고 있었다.

2.2 필터의 형상분석

침전필터의 각 샘플은 카트리지로 제작되어 설치되는 형태이며 필터의 바깥지름은 39~43.5 mm, 안쪽 지름은 20~21 mm, 높이는 205~225 mm의 범위로 구성되어 있다. Figure 2는 6개사의 샘플별 침전필터의 표면을 전자현미경(Hitachi, S-4200)을 이용해 촬영한 사진이다. 정수 처리과정에서 비교적 큰 크기의 모래, 철 및 기타 토양성분 등을 제거하며 동시에 미세한 입자 또한 여과함으로써 후단필터로 유입되는 오염물의 부하를 저감시켜 미세 기공이 막히거나 손상 되어 수명이 단축되는 것을 차단하는 역할을 한다. 형태적으로 메이커별로 큰 차이는 없었으며 직경이 수 μm ~ 10 μm 정도의 섬유들로 구성되어 있음을 확인할 수 있다.

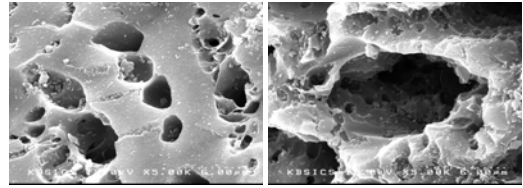


Figure 3: SEM photos of a pre-carbon filter

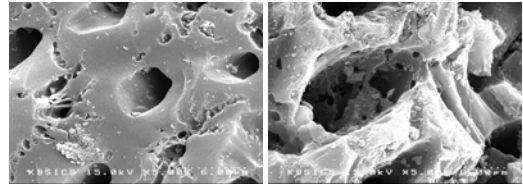


Figure 4: SEM photos of a post-carbon filter

Figure 3과 Figure 4는 Pre-carbon 필터와 Post-carbon 필터를 구성하는 활성탄 표면을 나타낸 것으로 각 사에서 사용한 활성탄은 모두 야자각탄이며 전자현미경을 통한 형상 분석결과는 모두 유사한 형태를 보이고 있다. 사진에서 보여 지는 수 μm 의 매크로 기공과 수~수백 nm의 마이크로 기공을 통해 물속에 잔존해 있는 잔류염소 및 각종 유기화합물을 흡착하여 여과시킴과 또한 물속에 있는 냄새 유발 물질을 제거하는 역할을 한다. 활성탄의 흡착성능의 지표가 되는 비표면적(Autosorb-1, Quantachrome)을 분석한 결과 A사의 Pre-carbon 필터의 경우 776 m^2/g , Post-carbon 필터의 경우 622 m^2/g 로 6개사의 제품 중 가장 작은 비표면적을 가지고 있었으며 반면 B사의 Pre-carbon 필터는 1,308 m^2/g , Post-carbon 필터는 1,226 m^2/g 로 가장 높은 값을 보였다. 높은 비표면적을 가진 제품일수록 흡착성능이 우수한 고급 활성탄으로 분류된다.

Figure 5에는 정수처리 과정의 핵심 부분인 UF/RO 멤브레인 필터의 표면 형상을 나타내었다. 샘플 B, C, D, E는 UF 멤브레인 필터를 사용하고 있으며 샘플 A, F는 RO 멤브레인 필터를 사용하고 있다. 이 필터들은 수십 ~ 수백 nm의 크기를 가진 기공성 필터로 저분자량의 물질과 고분자 및 콜로이드 상태 물질을 분리하는 역할을 한다. RO 멤브레인 필터의 경우 A사는 약 0.4 m^2 의 여과면적을 가지고 있으며 F사는 약 0.5 m^2 의 여과면적을 가지고 있다. UF 멤브레인 필터는 중공사막 방식으로

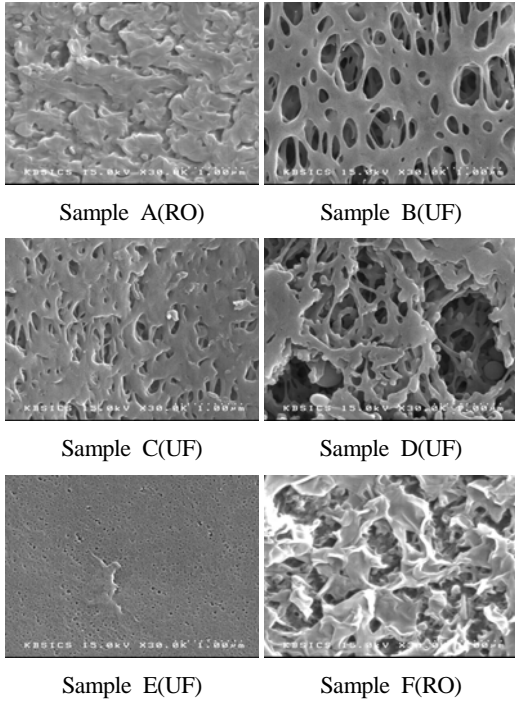


Figure 5: SEM photos of UF/RO membrane filters

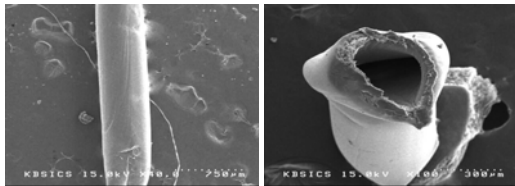


Figure 6: SEM photos of an UF membrane filter

가느다란 튜브 모양의 필터 섬유가 500~600개 정도 고리를 이루며 필터를 형성하고 있다. Figure 6에는 대표적으로 C 샘플에 대한 중공사막 1개 섬유의 사진을 나타내었으며 외경은 약 500 μm 정도이고 두께는 약 60 μm , 내경은 약 380 μm 로 구성되어 있음을 확인할 수 있다.

2.3 필터 기공분석

각각의 필터의 물리적 여과 특성을 파악하고자 전자현미경 사진을 이용하여 기공의 크기를 분석하였으며 평균 기공 크기는 선행연구[6]를 참조하여 3개의 섬유에 접하는 원을 그려 100개의 원을 샘플링 하여 평균 크기 분포를 계산하였다. 전자현미경을 이용하면 입자의 2차원의 투영면적을 관찰

Table 2: Pore sizes of each filters

Type	Pore size(μm)
Sediment filter	30 ~ 47
UF membrane filter	0.05 ~ 0.5
RO membrane filter	0.025 ~ 0.25

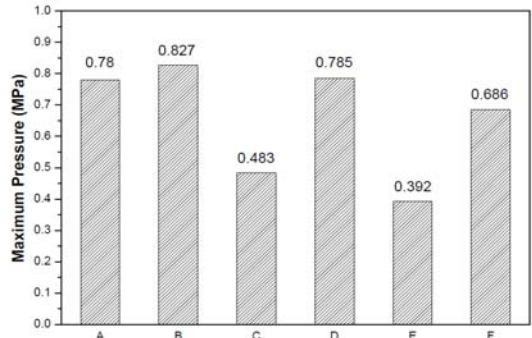


Figure 7: Maximum operating pressure of filter modules.

하고 여러 가지의 단일입도를 얻을 수 있다. 입도의 종류에는 투영면적을 반으로 나누는 선분의 길이(d_m)인 Martin 입경과 투영면적과 동일한 넓이를 가지는 원의 지름(d_A)에 상당하는 넓이상당입경 그리고 투영면적의 가장자리에 접하는 가장 긴 선분(l_{max})인 Feret 입경이 있다. 본 연구에서는 Feret 입경을 통하여 통계적 평균입도를 결정하였으며 전자현미경을 통해 침전필터와 UF 및 RO 필터 표면의 기공을 샘플링 하여 평균 크기 분포를 계산하였다.

Table 2는 각 필터의 평균기공의 크기 분포를 나타낸 것으로, 침전필터의 경우 평균 30~47 μm , UF 멤브레인 필터는 0.05~0.5 μm , RO 멤브레인 필터는 0.025~0.25 μm 의 분포를 나타내고 있다.

2.4 필터의 운전조건 분석

Figure 7~9는 각각의 필터 샘플에 대한 운전조건을 나타내고 있으며 최대 허용 압력, 최대 유량 및 최대 여과 가능 수량을 나타내고 있다. Figure 7은 필터 모듈의 최대사용압력을 나타내며 막 모듈의 구조나 성능을 손상시키지 않고 연속적으로 사용할 수 있는 최대압력을 말한다.

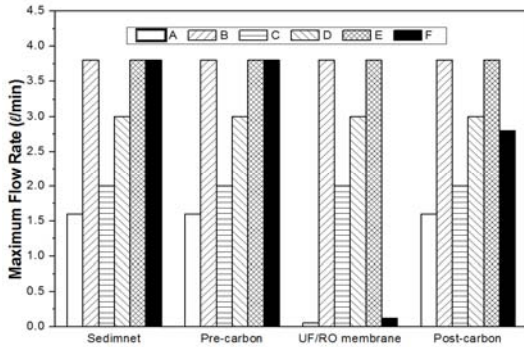


Figure 8: Maximum flow rate of water filters

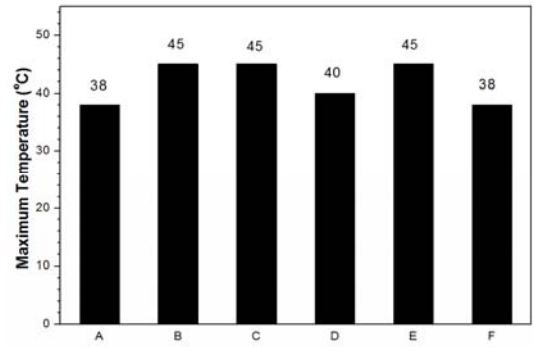


Figure 10: Maximum temperature of water filters

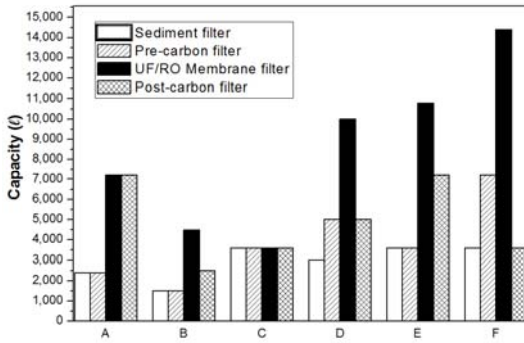


Figure 9: Capacity of water filters

각각의 필터를 살펴보면 E사의 제품이 0.392 MPa로 가장 낮으며 B사의 제품이 0.827 MPa로 가장 높은 압력조건에서 운전이 가능한 것으로 나타났다. 추후 실험을 통한 단위면적당 압력손실 값에 대한 분석이 필요할 것으로 생각한다.

Figure 8의 분당 최대정수유량 그래프를 살펴보면 B, C, D, E사의 제품들은 필터의 종류와 상관없이 3.8 l/m, 2 l/m, 3 l/m, 3.8 l/m의 일정한 정수유량의 값을 가졌으며 F사의 RO 멤브레인 필터는 0.12 l/m, Pre-carbon 필터는 2.8 l/m, 그 외의 필터는 3.8 l/m의 정수유량의 수치를 나타내었다. A사의 RO 멤브레인 필터의 경우 0.052 l/m로 가장 낮은 정수유량의 수치를 나타내었고 그 외의 필터는 1.6 l/m의 정수유량의 값을 가지고 있었다. RO 멤브레인 필터의 최대정수유량이 UF 멤브레인에 비하여 상당히 작기 때문에 사용자에게 원활한 정수공급을 위해서는 정수의 저장을 위한 물탱크가

필수적인 것으로 판단된다.

Figure 9는 유효정수량을 나타내고 있으며 유효정수량이란 정수필터가 유입수를 통한 오염물질들을 제거할 수 있는 정수량으로서 필터의 수명과 필터의 교체주기를 산정하는 기준이 되고 있다. 침전필터의 경우 E, F사의 제품이 3,600 l로 가장 높은 유효정수량을 가지고 있었고 Pre-carbon 필터는 F사의 제품이 7,200 l, Post-carbon 필터의 경우 E사의 제품이 7,200 l, RO 멤브레인 필터는 F사의 제품이 14,400 l로 다른 필터에 비해서 상대적으로 높은 유효정수량을 가졌다.

Figure 10은 최대 사용온도를 나타내고 있으며 필터 모듈의 성능을 손상시키지 않고 사용할 수 있는 최대온도를 말한다. 유입수의 온도가 운전범위를 넘어서게 되면 용해도가 감소하는 용질이 생기게 되고 용해도가 감소할 경우 막의 공극 내에 흡착되어 막 오염을 일으키게 된다.[7] B, C, E의 제품은 45 °C이내의 원수 온도에서 최적의 여과 성능이 보장되며 A, C의 제품은 38 °C이내의 원수 온도에서 사용이 가능한 것으로 조사되었다.

각 필터의 재질을 살펴보면 6개사 공통적으로 폴리프로필렌 재질의 침전필터와 야자각탄 계열의 입상 활성탄을 사용하고 있었으며, UF 멤브레인 필터는 Polysulfone, Polyethersulfone의 재질을 RO 멤브레인 필터는 Polyamide와 Polysulfone의 재질을 사용하고 있는 것으로 분석되었다. Table 3은 각 제조사별 필터의 운전조건을 나타낸 표이다.

Table 3: Operating condition of each filters according to manufacturer

	Maximum Operating Pressure (MPa)				Maximum Flow Rate (l/min)				Capacity (ℓ)				Material				Maximum Temperature (°C)			
	1	2	3*	4	1	2	3*	4	1	2	3*	4	1	2	3*	4	1	2	3*	4
A	0.78				1.6 0.052 1.6				2,400 7,200				P.P A.C P.A, P.S A.C				38			
B	0.827				3.8				1,500 4,500 2,500				P.P A.C P.S A.C				45			
C	0.483				2				3,600				P.P A.C P.S A.C				45			
D	0.785				3				3,000 5,000 10,000 5,000				P.P A.C P.E A.C				40			
E	0.392				3.8				3,600 10,800 7,200				P.P A.C P.S A.C				45			
F	0.686				3.8 3.8 0.12 2.8				3,600 7,200 14,400 3,600				P.P A.C P.A A.C				38			

1: Sediment filter, 2: Pre-carbon filter, 3: UF membrane filter, 3*: RO membrane filter, 4: Post-carbon filter

P.P: Polypropylene, A.C: Activated carbon, P.A: Polyamide, P.S: Polysulfone, P.E: Polyethersulfone

3. 결론

본 연구에서는 낮은 압력손실과 에너지효율을 높일 수 있는 필터개발을 위하여 국내 가정용 정수기 필터의 사용현황과 특성을 파악하고 분석하고자 하였다.

1) 국내 가정용 정수기 필터 사용현황을 분석한 결과 대부분의 정수처리과정은 4단계의 정수처리 시스템을 적용하고 있었으며 그 구성은 침전필터, Pre-carbon 필터, UF/RO 멤브레인 필터, Post-carbon 필터로 이루어져 있다.

2) 침전필터는 모래나 녹, 철 등의 큰 오염입자들을 걸러내고 Pre-carbon 필터를 통하여 물속의 잔류 염소 성분을 1차적으로 제거하며 UF/RO 멤브레인 필터를 통하여 미립자의 중금속, 발암물질, 미생물 등을 여과시키게 된다. 그 후 여과된 물은 Post-carbon 필터를 통과하며 잔류염소와 미생물을 다시 한 번 여과하여 수중의 잔존 오염물질을 완벽히 제거하는 구조이다.

3) 평균 기공크기는 침전필터의 경우 30~47 μm, UF 멤브레인 필터는 0.025~0.25 μm의 분포를 가지고 있으며, Pre-carbon 필터와 Post-carbon 필터에는 비표면적이 각각 776~1,309 m²/g, 622~1,226 m²/g인 아자각계열의 입상활성탄이 사용되고 있었다.

4) 운전 압력조건은 0.392~0.827 MPa로 다양하였

으며 작동 온도범위는 38~45 °C로 나타났다.

후기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(NRF-2011-0008529)

참고문헌

- [1] Minister of Land, Transport and Maritime Affairs, http://www.mltm.go.kr/USR/policyData/m_34681/dt1.jsp?search=물&srch_dept_nm=&srch_dept_id=&srch_usr_nm=&srch_usr_titl=Y&srch_usr_cntnt=&search_regdate_s=&search_regdate_e=&size=10&s_category=p_sec_3&p_category=&lcmspage=1&id=226, Accessed February 20, 2013.
- [2] M. Echegaray, Membrane Filtration and Water Desalination, USA: Wexford, 2008.
- [3] Ministry of Environment, http://www.me.go.kr/web/286/me/common/board/detail.do?boardId=notice_02&decorator=me&idx=183061, Accessed February 20, 2013.
- [4] Korea Water Purifier Industry Cooperative, http://211.47.151.18:8002/comun/archives_view.

aspx?tbl=BOARD10&mode=&searchtype=&searchstr=&idx=2049, Accessed February 20, 2013.

- [5] ImFact, Status of the Water Industry and Business Prospects, ImFact Publishing Co., Korea, 2011.
- [6] S. H. Jung, A Study on the Filtration Characteristics of Electro-positively Charged Nano-fiber Filter in Water, M.S. thesis, Department of Mechanical Engineering, Pusan National University, Korea, 2005.
- [7] J. D. Kim, Evaluation of Optimal Operating Condition for Water Treatment using Microfiltration System, M.S. thesis, The University Seoul, Korea, 2008.