
우리나라의 上水道現況과 膜濾過淨水處理 技術



김 충 환 박사
(한국수자원공사 수자원연구소)

우리나라의 상수도현황과 막여과정수처리 기술

1. 머리말

1900년대 초에 수계전염병을 없앨 목적으로 처음으로 상수도가 도입된 이래 약 1세기가 지난 1999년 현재 급수인구는 4,095만명으로 보급률 86.1%, 1일 1인당 급수량 388ℓ이나, 면지역의 보급율은 25.1%로 시지역의 보급률 95.4%에 비교하여 상대적으로 저조한 실정이다. 수도의 형태에서는 간이상수도가 11,250개소로 광역상수도 및 지방상수도를 포함한 전체수도중에 95%정도를 차지하나, 처리수량은 우리나라의 수도생산수량의 약 2%에 불과한 등 규모면에서는 취약한 실정이다. 또한 처리공정은 정수처리시설을 가진 정수장 650여개소중 급속여과가 394개소, 완속여과 227개소로 57%가 급속여과이나 2,000 m³/일 미만의 소규모 시설에서는 급속여과가 50%로 상대적으로 완속여과의 비율이 높은 것으로 나타났다.

그러나 최근에는 원수의 수질악화 및 먹는물 수질기준의 강화 추세에 따라 급속모래여과를 중심으로 하는 기존의 정수처리공정으로는 양질의 수돗물 공급이 어려워 응집-침전-여과 공정과 연계한 활성탄 및 오존을 기본으로 하는 고도정수처리기술 등 새로운 정수처리공정의 도입이 필요한 정수장이 증가 추세에 있다. 최근 선진외국에서 막여과기술은 수도에서 話頭가 되고 있는 *Cryptosporidium* 등의 위생문제 해결을 위한 "제로 콤마 NTU의 저탁도 규제", 수도경영의 효율화를 위한 "절약형 수도기술"에 대응이 가능한 기술로서 소규모수도를 중심으로 실적이 증가하고 있는 추세에 있다. 또한 시설의 규모면에서는 '80년대 초반부터 수십~수만 m³/일 규모의 시설이 미국, 프랑스 및 일본을 중심으로 도입되고 있으나, 우리나라에서는 도입된 시설이 전무한 상태이어서 상대적으로 정수처리에 어려움을 겪고 있는 소규모시설을 중심으로 장래 도입이 기대되고 있다. 아울러 우리나라와 수도의 운영 및 현상이 비슷한 일본의 경우를 보면 수원수질의 악화, 수도시설의 노후화, 정수장 용지취득의 곤란 및 소규모수도의 기술자부족 등의 문제에 효율적으로 대처하기 위하여 유지관리가 용이한 막여과기술을 국가주도 (후생성, MAC 21 계획, '91~'93)의 연구개발을 통하여 도입하게 되었다. 이와 같은 막여과기술은 이미 선진외국에서 정수처리, 중수도 및 공업용수처리분야에 상용화된 기술이지만 우리나라에서는 중수도나 공업용수분야에서만 사용되고 있을 뿐 정수처리분야에서는 제도의 미정비와 더불어 설계기술 및 운영기술의 낙후로 도입이 지연되고 있는 실정이다. 우리나라에서 막여과 정수처리기술에 대한 연구개발 현황은 '90년대 중반부터 산·학·연을 중심으로 산발적으로 연구가 추진되었을 뿐, 국가주도의 집중적인 연구실적은 미비한 실정이었다. 그러나 2000년에 이르러 환경부주도의 환경기술개발사업에 일부 막여과기술의 개발이 포함되어 실용화를 목적으로 한 연구가 추진되고 있으며, 한국수

자원공사에서는 2000년부터 추진중인 수도기술선진화부문에 막여과공정 타당성조사 및 공정 개발이 포함되어 5개년 계획으로 추진 중에 있다. 따라서 본 稿에서는 먼저 우리나라의 수도현황을 파악하고 선진외국의 수도에 도입되어 있는 막여과기술에 대한 수도공학적 특징을 소개하여 막여과연구의 방향설정에 다소나마 보탬이 되고자한다.

2. 우리나라 상수도의 현황

우리나라의 수도에는 광역상수도, 지방상수도 및 간이상수도가 있다. 광역상수도는 국가·지방자치단체·한국수자원공사 또는 건설교통부장관이 인정하는 자가 2이상의 지방자치단체에 원수 또는 정수를 공급하는 일반수도를 말한다. 또한 지방상수도는 지방자치단체가 관할 지역주민·인근지방자치단체 또는 그 주민에게 원수 또는 정수를 공급하는 일반수도로서 광역상수도 및 간이상수도 외의 수도를 말한다. 간이상수도는 지방자치단체가 대통령령이 정하는 간이한 수도시설에 의하여 급수인구 100인 이상, 2,500인 이내에게 정수를 공급하는 일반수도로서 1일 공급량이 20 m³ 이상 500 m³ 미만인 수도 또는 이와 비슷한 규모의 수도로서 시장·군수가 지정하는 수도를 말한다.

2.1 보급현황

1999년 12월말 현재 우리나라에서는 표 1에 나타낸 것과 같이 상수도 급수 인구는 830개 급수구역(80시, 193읍, 557면)내에 전체인구의 86.1 %인 약 4,095만명이며, 시설용량은 1일 2,659 만m³이다.

표 1 우리나라의 연도별 상수도 보급현황

항 목	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99
총인구(만명)	4,457	4,508	4,551	4,597	4,643	4,688	4,717	4,754
급수인구(만명)	3,564	3,657	3,735	3,811	3,882	3,961	4,019	4,095
보급율(%)	80.0	81.1	82.1	82.9	83.6	84.5	85.2	86.1
시설용량(만톤/일)	1,879	2,010	2,097	2,184	2,291	2,396	2,569	2,659
1일1인당급수량(ℓ)	385	394	408	398	409	409	395	388

1일1인당 급수량은 388 ℓ로 92년 이후 가장 낮은 수준을 보이고 있는데, 이는 물 아껴 쓰기 운동의 전개와 노후수도관 교체 등으로 누수량이 감소하였기 때문인 것으로 분석된다. 지역규모별로 상수도 보급률은 표 2 및 표 3에 나타낸 것과 같이 7개 특·광역시의 상수도 보급율이 97.9%, 시지역이 95.4%, 읍지역이 74.0% 면단위 농어촌지역이 25.1%이다.

표 2 지역규모별 상수도 보급 수준 (1999년)

항 목	총인구 (천명)	급수인구 (천명)	보급율 (%)	시설용량 (천m ³ /일)	급수량 (천m ³ /일)	1일1인당 급수량(ℓ)
전 국	47,543	40,948	86.1	26,590	15,886	388
특광역시	22,950	22,462	97.9	15,324	9,200	410
시지역	15,018	14,326	95.4	8,756	5,367	375
읍지역	3,595	2,660	74.0	1,664	871	327
면지역	5,980	1,500	25.1	846	448	299

표 3 전국 상수도 보급현황 (1999년)

항 목	총인구 (만명)	급수인구 (천명)	보급율 (%)	시설용량 (천m ³ /일)	급수량 (천m ³ /일)	1일1인당 급수량(ℓ)
전 국	47,543	40,948	86.1	26,590	15,886	388
서울특별시	10,321	10,320	100.0	7,300	4,361	423
부산광역시	3,832	3,758	98.1	2,518	1,442	384
대구광역시	2,518	2,493	99.0	1,810	1,107	444
인천광역시	2,525	2,428	96.2	1,521	1,063	438
광주광역시	1,360	1,292	95.0	830	400	310
대전광역시	1,368	1,285	93.9	960	534	416
울산광역시	1,027	887	86.4	386	293	330
경기도	8,982	7,815	87.0	4,979	2,759	353
강원도	1,560	1,232	79.0	723	458	372
충청북도	1,498	1,050	70.1	543	363	346
충청남도	1,926	982	51.0	486	313	319
전라북도	2,015	1,458	72.4	1,119	708	486
전라남도	2,158	1,215	56.3	759	466	384
경상북도	2,820	1,914	67.9	1,124	714	373
경상남도	3,094	2,280	73.7	1,180	734	322
제주도	539	539	100.0	352	171	317

2.2 상수도의 규모현황

(1) 간이상수도

1999년 12월말을 기준으로 간이상수도를 이용하고 있는 인구는 표 4에 나타난 것과 같이 215만명으로 전체 인구의 4.5%, 전용상수도 인구는 27만명으로 0.6%, 소규모급수시설 이용 인구는 74만명으로 1.6%, 기타 우물 등을 이용하는 인구는 343만명으로 7.2%를 차지하고 있다.

표 4 간이·전용상수도 현황 (1999년)

항 목	이용인구(천명)					시설수(개소)				
	'95	'96	'97	'98	'99	'95	'96	'97	'98	'99
간이상수도	3,639	3,388	3,135	2,198	2,153	25,790	25,805	24,968	11,451	11,250
소규모급수시설	-	-	-	779	745	-	-	-	13,201	12,944
전용상수도	839	246	341	321	270	430	480	603	1,236	756
기타(우물등)	3,383	3,968	3,792	3,683	3,426	-	-	-	6,064	70

※ 소규모급수시설은 수도법 개정에 따라 '98년부터 종전의 간이상수도에서 별도로 구분하였음

(2) 지방상수도

우리나라에서 지방상수도는 급수인구 2,500인 이상 또는 1일 공급량이 500 m³ 이상인 상수도를 지방상수도라고 한다. 1998년 전국 각 지역의 급수용량에 따라 구분하면 표 5와 같다. 특히 500 m³ 이상인 지방상수도는 전체 486개소로 경기도지역이 98개소, 강원도지역이 55개소, 충청북도지역이 35개소, 충청남도지역이 44개소, 전라북도지역이 51개소, 전라남도지역이 42개소, 경상북도지역이 79개소, 경상남도지역이 90개소 및 제주도지역이 18개소로 나타났다.

표 5 수도사업체의 공정별 정수처리장 개수 (1998년)

항 목	급속여과	완속여과	간이처리	전체	2,000m ³ /일 이하(공급량)			
					급속	완속	간이처리	전체
전국	394	227	29	650	153	136	16	303
서울특별시	10	0	0	10	0	0	0	0
부산광역시	8	1	1	10	2	0	0	2
대구광역시	4	0	1	5	0	0	0	0
인천광역시	4	2	0	6	0	2	0	2
광주광역시	6	0	0	6	2	0	0	2
대전광역시	0	5	0	5	0	0	0	0
울산광역시	10	1	2	13	4	1	1	6
경기도	51	17	0	68	9	11	0	20
강원도	64	27	3	94	31	23	1	55
충청북도	45	8	0	53	29	5	0	34
충청남도	34	15	0	49	10	6	0	16
전라북도	26	3	10	39	13	2	8	23
전라남도	52	41	4	97	23	24	4	51
경상북도	22	85	2	109	3	50	0	53
경상남도	50	17	2	69	27	12	2	39
제주도	8	5	4	17	0		0	0

※ 급속: 급속모래여과, 완속: 완속모래여과

표 6 광역상수도의 세부 현황 (1999년)

구 분	정 수 장 명	시설용량 (천m ³ /일)	위 치	정수처리방식		수 원		준공년도
				급속 여과	1차 처리	댐	하천	
총 계	28	5,560	-	24	7			-
한 강 계 통	소 계	8	2,680	-	8	1		-
	수도권	6	2,360	-	6	1		-
	I·II	반월	190	안산시 부곡동	○		○	1단계 : '79. 6. 2단계 : '81. 12
	III·IV	와부	215	남양주시 와부읍	○		○	수도권III '89. 12
		성남	786	성남시 사송동	○		○	수도권IV '94. 4
	V	시흥	258	안산시 선부2동	○	○	○	
		수지	711	용인시 수지읍	○		○	'99. 12
	덕소	200	남양주시 와부읍	○		○		
	태백	황지	70	태백시 황현동	○		○	'89. 9
	일산	일산	250	고양시 대장동	○		○	(기준) '93. 3 (확장) '96. 12
낙 동 강 계 통	소 계	8	1,068	-	7	2		-
	울산	운산	341	울산시 울주군 운산면		○	○	(기준) '80. 12 (확장) '94. 12
	장원	반송	120	장원시 반송동	○		○	'89. 9
	사천	사천	121	진주시 나동면	○		○	'89. 5
	구미	구미	400	구미시 고아읍	○	○	○	(기준) '83. 12 (확장) '91. 12 (2단계) '97. 5
	거제	구천	20	거제시 신히읍	○		○	'87. 11
		연초	16	거제시 연초면	○		○	'80. 12
	운문댐	자인	40	경산시 자인면	○		○	
		운문	10	청도군 운문면	○		○	(운문댐) '96. 4
	금 · 섬 계 통	소 계	12	1,812	-	9	4	
금강		석성	300	부여군 석성면	○		○	'85. 1
청주		청주	290	청주시 성화동	○	○	○	'88. 1
		대덕	20	대전시 유성구 송강동	○		○	'77. 12(운휴)
여수		남수	240	여수시 평여동		○	○	'78. 5
		별량	45	순천시 별량면	○		○	'91. 8
섬진강		산성	90	정읍시 용동면	○		○	'93. 1
광주		화순	60	화순군 화순읍	○		○	'94. 12
군산		군산	130	군산시 내흥동		○	○	'94. 5
대북		대북	115	부안군 풍탄면		○	○	'94. 12
진주권		고산	150	완주군 고산면	○		○	'98. 12
부안댐		부안	87	부안군 변산면	○		○	'98. 4
보령댐		보령	285	보령시 웅천읍	○		○	'98. 11

2.3 상수도의 운영 및 수질 현황

(1) 상수도의 운영

운영주체 및 규모에 따라 분류하여 보면 광역상수도 22개소, 지방상수도 486개소, 간이상수도 11,250개소이며, 시설용량은 광역상수도 10,588 천 m^3 /일(1999년), 지방상수도 15,537 천 m^3 /일(1999년) 및 간이상수도 59,0481 m^3 /일(1998년)로 상수도의 개수로는 간이상수도가 대부분을 차지하여 아직 규모면에서는 취약한 실정이다. 처리공정은 정수장전체 시설용량 26,590천 m^3 /일 중 14.1%인 3,743천 m^3 /일이 고도정수처리이며, 응집, 침전, 모래여과 방식으로 20,455천 m^3 /일이 처리되고 있다. 1999년 12월말 현재 우리나라에서 상수도업무에 종사하는 사람은 총 16,915명으로 행정직 1,805명(10.7%), 기술직 3,813명(22.5%), 기능직 7,306명(43.2%), 청경 및 일용직 등이 3,991명(23.6%)으로 아직까지 상수도분야에서 기술직 직원이 차지하는 비율이 높지 않은 것으로 나타났다

1999년 전국의 평균 수도요금은 1 m^3 당 396.9원으로 생산원가 535.3 원/ m^3 의 74.1 % 수준이다. 수도요금은 1998년의 m^3 당 348.7원에서 396.9원으로 인상되었고, 생산원가(총괄원가)는 499.3원에서 535.3원으로 인상되어 현실화율은 69.8%에서 74.1%로 증가하였다. 전국지자체의 평균수도요금을 비교하면 강원도 홍천군이 1 m^3 당 744.1원으로 평균수도요금이 가장 높고, 전북 임실군이 1 m^3 당 222.6원으로 가장 낮은 것으로 나타났고, 시도별로는 경기도가 310.5원/ m^3 , 전북이 339.8원/ m^3 , 경남이 370.원/ m^3 1 등으로 비교적 낮은 편이며, 제주도가 516.9원, 부산시가 475.4원으로 비교적 높은 편이다. 이와 같이 지역별로 수도요금수준이 각기 다른 이유는 광역상수도에서 물을 공급받는지의 여부, 취수원 개발의 난이 정도, 취수원과 물공급지역과의 거리, 수돗물 생산시설의 규모, 정수처리 비용, 수도사업 경영능력 및 재정상태 등의 차이에 기인한다고 볼 수 있다.

(2) 상수도의 수질

환경부는 2000년 7월에 먹는물 수질기준을 개정하여 종래 45개 항목에서 클로로포름 및 보론 등을 추가하여 47개 항목으로 수질기준을 설정·운영하고 있으나 미국 등 선진국에 비하여 미흡한 실정으로 양질의 물을 원하는 국민들의 수요에 대처하고 수돗물에 대한 국민들의 불신을 해소하기 위하여 발암성물질인 비닐클로라이드등 20개의 미량유해물질을 감시항목으로 선정하여 지속적인 함유실태를 조사한 후 2002년에는 85개항목으로 수질기준을 단계적으로 강화할 계획이다. 1996년에 실시된 먹는물 수질검사에 의하면 1,137개소의 정수장중에서 23개소인 2.3 %가 수질기준을 초과하였고, 간이상수도는 590개소중 113개소인 19.2 %로서 간이상수도의 기준초과율이 상당히 높게 나타났다. 이들 기준초과시설의 대부분이 일반세균, 대장균군 및 질산성질소 등에 의한 것으로, 이러한 원인은 소독부실이나 시설물관리

등에 기인하는 것으로 나타났다.

아울러 상수수원의 1999년 현재 취수능력(시설용량)은 27,430m³/일로 하천표류수가 55.0%, 저수지수(호소수) 36.7%, 하천복류수가 6.5%, 및 지하수가 1.8%로서 상수원수의 약 92%를 하천 또는 호소수의 지표수로 이용하고 있다.

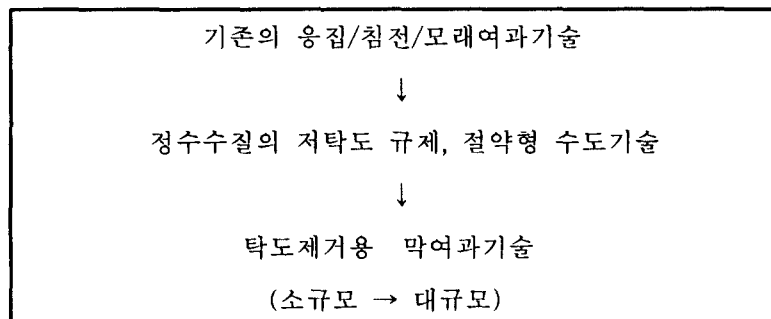
이러한 상수원의 수질은 대부분 I-II급수 수질을 유지하고 있으며, 498개 표류수 상수원 중 243개소(49%)는 I등급, 209개소(42%)는 II등급, 46개소(9%)는 III등급으로 나타났다.

3. 막여과 정수처리기술

3.1 도입배경

최근 선진 외국에서는 '80년대 초반부터 수십~수만 m³/일 규모의 시설이 일본, 미국, 프랑스를 중심으로 도입되고 있으나, 우리나라에서는 도입된 시설이 전무한 상태이어서 상대적으로 정수처리에 어려움을 겪고 있는 처리시설을 중심으로 장래 도입이 기대되고 있다. 특히 막여과기술은 최근 수도에서 話題가 되고 있는 *Cryptosporidium* 등의 위생문제 해결을 위한 "제로 콤마 NTU의 저탁도 규제", 수도경영의 효율화를 위한 "절약형 수도기술"에 대응이 가능한 기술로서 소규모수도를 중심으로 실적이 증가하고 있는 추세에 있다.

아울러 우리나라와 수도의 운영 및 현상이 비슷한 일본의 경우를 보면 수원수질의 악화, 수도시설의 노후화, 정수장 용지취득의 곤란 및 소규모수도의 기술자부족 등의 문제에 효율적으로 대처하기 위하여 유지관리가 용이한 막여과기술을 국가주도(후생성, MAC 21 계획, '91~'93)의 연구개발을 통하여 도입하게 되었다. 막여과기술을 도입함으로써 다음과 같은 이점을 기대하고 있으며, 현상의 수도에서 내포하고 있는 문제점을 막여과기술의 도입으로 어느정도 해결이 가능할 것으로 기대하고 있다.



- 수도기술자의 부족 → 유지관리가 쉬운 기술의 필요성
- 원수수질의 악화 → 안정성이 높은 정수처리기술의 필요성
- 용지부족 → 콤팩트한 설비의 필요성
- 응집제 첨가에 의한 슬러지 폐기문제 → 응집제 주입 저감기술의 필요성
- 건설공기의 장기화 → Pre-Fab (조립)기술의 필요성

3.2 기술의 비교

(1) 모래여과

모래여과 특히 급속모래여과는 20세기에 주정수공정으로서 널리 사용되어 왔다. 종래의 응집/침전/모래여과기술은 수 nm~수 μm 의 콜로이드현탁질에 알루미늄염등의 응집제를 첨가하여 응집시켜, 침전지와 여과지에서 분리하는 조작이다. 침전지에서는 1 cm/분 정도의 침강속도를 가진 크기로 성장한 플록을 제거하는 것이 가능하며, 보다 더 작은 입자는 모래여과에서 제거된다. 모래여과지에서 여층간격의 크기는 제거대상의 탁도성분 (점토입자, 세균, 작은 플록 등)보다도 상당히 크다. 모래여과지에서는 탁도성분이 여층공극을 흘러가는 사이에 모래의 표면에 충돌하거나 침전되어 모래에 부착제거된다. 모래층내에서 탁도성분의 감소는 모래층 깊이에 대한 指數현상으로 알려져 있다. 따라서 탁도를 10도에서 1도까지 감소시키기 위한 여층두께와 1도에서 0.1도까지 감소시키기 위한 여층두께는 같다.

특히 모래입자와 입자사이에는 백수십 μm 정도의 크기를 가진 공극이 있으며 60 cm정도의 여층중에는 작은 공극이 백단정도 직렬로 연결되어 있다. 침전지에서 제거되는 알루미늄플록의 제거효율은 수중의 불순물과 결합하는 기회의 대소에 따라, 모래여과에서는 모래표면에 접촉하여 제거되는 기회의 대소에 따라 결정되는 것으로 어떠한 경우에도 확실적인 제거조작으로 일정비율의 콜로이드성분이 제거되지 않고 남게 된다. 모래여과수 탁도와 세정빈도를 고려하여 모래여과지 유입수 탁도를 응집, 침전에 의해 1도까지 유지하는 것이 일반적이다. *Cryptosporidium*과 같이 내염소성병원미생물의 엄격한 분리의 관점에서 모래여과수의 탁도는 0.1도 (NTU)이하로 추천되고 있다. 또한 원수중에 1 cm^3 당 $10^6 \sim 10^7$ 개 정도의 입자가 있다면 처리를 통하여 $10^4 \sim 10^5$ 개정도 최대한 제거할 수 있다.

(2) 막여과 기술

정밀여과와 한외여과는 모래여과와는 전혀 다른 機構로 고액분리가 이루어지는 것으로 막여과는 분리크기보다 크기가 큰 물질을 막표면에 포속시키고, 분리경보다 작은 물질만을 통과시키는 것으로 분리에 명확한 한계가 있는 방법이다. 모래여과의 백수십 μm 정도의 크기를 가진 공극을 백단정도 직렬로 연결시켜 불순물을 확률적으로 제거하는 것에 비하여, 정밀여

과막 (MF)은 0.01~0.1 μm 정도의 입자를, 한외여과막 (UF)은 0.005~0.01 μm 이상의 입자가 수마이크로미터의 얇은막을 통과하면서 거의 제거된다. 그러나 막여과기술의 보급이 보다 더 확대되기 위해서는 높은 투과성을 가지는 막소재의 개발과 콤팩트한 막모듈의 설계에 의한 막여과시설의 건설비용 삭감, 장기간 항상 높은 막의 투과성을 유지하기 위하여 효과적인 전처리법과 물리세정법의 개발, 현장세정에 의한 약품세정의 간략화, 막에 의해 제거되지 않는 용해성분 (이취미물질, 농약성분, 부식질 등)에 대응하기 위하여 흡착이나 생물산화 등과의 조합에 의한 막여과시스템의 구축 등이 과제로 지적되고 있다.

수처리에 사용하는 대표적인 막을 분리경의 크기에 따라 분류하면 정밀여과 (Microfiltration, MF)막, 한외여과 (Ultrafiltration, UF)막, 나노여과 (Nanofiltration, NF)막, 역삼투 (Reverse Osmosis, RO)막의 4가지로 분류할 수 있으며, 이러한 막을 이용한 분리법의 개략은 표 7에 나타난 것과 같고, 막여과기술과 모래여과기술의 수도운영 인자에 대한 비교는 표 8에 나타난 것과 같다.

표 7 분리막의 명칭·종류 및 분류

항 목	막종류	분리크기	운전압력 (kgf/cm^2)	수도에서 제거대상물질
정밀여과법	정밀여과막 (MF막)	입 경 0.01 μm 이상	약 2 이하	부유물질, 콜로이드, 세균, 조류, 원충, 부식물질 등
한외여과법	한외여과막 (UF막)	분자량 1,000~300,000정도	약 3 이하	
나노여과법	나노여과막 (NF막)	분자량 최대 백 정도	약 2~15	THMFP, 농약, 취기물질, 경도성분 등

또한 분리막에는 시트형태의 평막 (Flat Type), 실형태로 중앙인 빈 중공사막 (中空絲膜, Hollow-fiber Type) 및 관형태의 관상막 (Tubular Type)으로 분류할 수 있다. 또한 이러한 막을 케이스에 넣은 케이싱수납형막과 막을 물속에 직접 침적시킨 침적형막이 있다. 통수방식에는 처리대상물질을 막의 외부에서 공급하는 외압식과 내부에서 공급하는 내압식이 있다. 여과방식에는 공급수 전량을 여과하는 전량여과방식 (Dead-end Flow)과 막면에 대하여 평형으로 물의 흐름을 만들어 현탁물질이나 콜로이드물질이 막면에 퇴적하는 것을 억제하여 여과하는 십자류여과 (Cross-flow)가 있다. 이러한 여러가지 막의 형태 및 여과조건은 처리대상물질의 성상이나 막의 특성에 따라 다르나, 일반적으로 수도에 가장 많은 실적이 있는 방식은 케이싱수납형 중공사막 및 전량여과방식이다. 막여과시스템의 중요설비인 막여과설비의 모습 (케이싱 수납형 중공사막)에는 그림 2 및 그림 3과 같다.

표 8 막여과기술과 모래여과기술의 수도운영 인자에 대한 비교

항 목	재래식법		막여과법
	급속여과	완속여과	
운전관리	원수의 수질에 대응한 고도의 기술이 필요	비교적 용이	용이, 기계부분이 자동화되어 있음
	모래교체가 필요 탁질의 누출관리가 필요 침전지의 청소가 필요	모래의 교체가 필요 모래Cut가 필요	막의 약품세정이 필요 막의 교환이 필요
응집제주입	원수의 수질에 따라 응집제의 양이 변함 응집제의 선정이 필요	필요없음	응집제를 주입하는 경우 엄밀한 관리가 필요없음 자동화가 가능
기술자	고도의 숙련된 기술자가 필요	특별히 고도의 기술자가 필요없음 모래Cut 기술자가 필요	고도의 기술자가 필요없음
유지관리비	약품비, 전력비 등의 관리비가 필요	모래Cut 이외의 특별한 경비가 필요없음	전력비, 약품비 이외의 막교환비가 필요

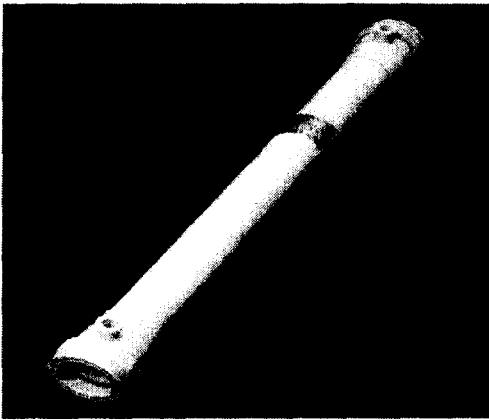


그림 2 케이싱 수납형 중공사막 (예)
(L110cm × Ø90mm)

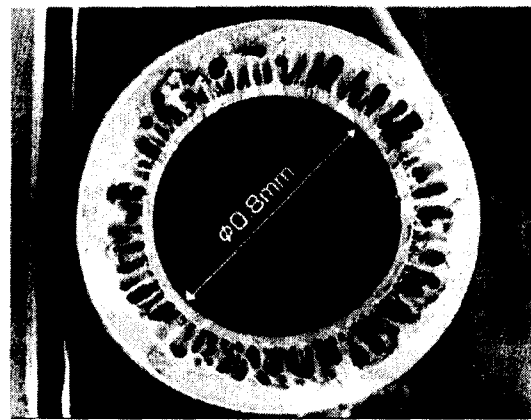
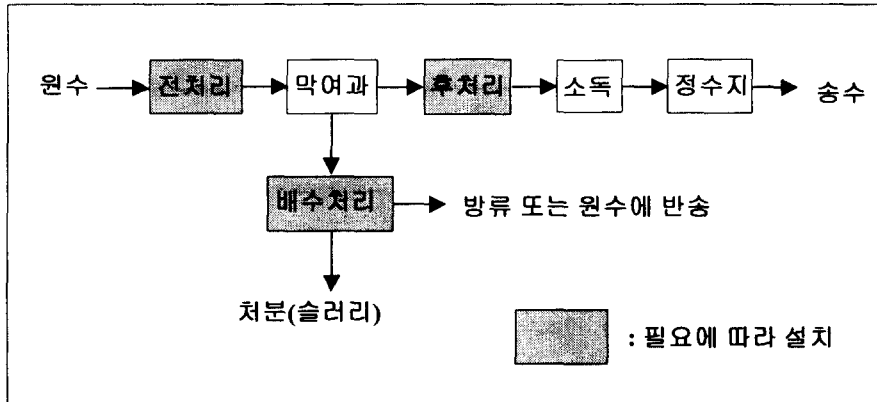


그림 3 중공사막의 단면도 (예)

막여과 정수처리시설은 다음과 같이 ① 전처리, ② 막여과, ③ 후처리, ④ 소독, ⑤ 정수지, ⑥ 배수처리 등의 공정으로 구성되어 있다. 그러나 전처리 및 후처리공정은 설계사상(設計思想)에 따라 두기도 한다.



4. 맺음말

1900년대 초에 수계전염병을 없앨 목적으로 처음으로 상수도가 도입된 이래 약 1세기가 지난 1999년 현재 급수인구는 4,095만명으로 보급률 86.1%, 1일 1인당 급수량 388ℓ이나, 1인당 지역의 보급율은 25.1%로 시지역의 보급률 95.4%에 비교하여 상대적으로 저조한 실정이다. 수도의 형태에서는 간이상수도가 11,250개소로 광역상수도 및 지방상수도를 포함함 전체수도중에 95%정도를 차지하나, 생산수량은 우리나라의 수도생산수량의 약 2%에 불과한 등 규모면에서는 취약한 실정이다. 또한 처리공정은 정수처리시설을 가진 정수장 650여개소중 급속여과가 394개소, 완속여과 227개소로 57%가 급속여과이나 2,000 m³/일 미만의 소규모 시설에서는 급속여과가 50%로 상대적으로 완속여과의 비율이 높은 것으로 나타났다.

아울러 상수수원의 1999년 현재 취수능력(시설용량)은 27,430m³/일로 하천표류수가 55.0%, 저수지수(호소수) 36.7%, 하천복류수가 6.5%, 및 지하수가 1.8%로서 상수원수의 약 92%를 하천 또는 호소수의 지표수로 이용하고 있다. 이러한 상수원의 수질은 대부분 I-II급 수 수질을 유지하고 있으며, 498개 표류수 상수원 중 243개소(49%)는 I등급, 209개소(42%)는 II등급, 46개소(9%)는 III등급으로 나타났다.

수처리에 사용하는 대표적인 막을 분리경(分離徑)의 크기에 따라 분류하면 정밀여과(Microfiltration, MF)막, 한외여과(Ultrafiltration, UF)막, 나노여과(Nanofiltration, NF)막, 역삼투(Reverse Osmosis, RO)막의 4가지로 분류할 수 있으나 탁도제거용으로는 정밀여과막이나 한외여과막을 사용한다. 수도시설로서 도입된 막여과 정수처리시설은 주로 막여과 및 소독공정으로 구성되어 있으나 원수의 특성 및 설계사상(設計思想)에 따라서는 전처리나 후처리 및 배수처리설비를 설치하기도 한다. 또한 막여과시설의 적용에서는 정수장 전체를 막여과시설로 대체 또는 기존의 응집/침전/급속모래여과시설에 적용하는 경우에는 급속여과

설비의 대체 및 막모듈의 침전지에 침적(沈積)등의 방법이 있다. 막여과처리수의 수질은 모래여과처리수와 비교하여 탁도, 대장균군 및 일반세균의 제거가 우수하고 안정하다는 것을 기대하여 도입하고 있다. 막여과기술은 재래식의 모래여과와 비교하여 특히 고도의 숙련된 기술자가 필요 없고 자동화가 가능하여 인력을 절감할 수 있다는 점등이 기존의 정수공정의 토목구조물 즉 "large, dull"개념에서 기계·전기장치 즉 "small, smart"개념으로의 전환을 가지고 오는 획기적인 기술로 인식되어, 현상의 수도에서 사회적으로 이슈화가 되고 있는 "원수오염", "기술자 부족", "물값의 현실화 미흡", "저효율 고비용" 등 수도운영에 대한 국면 전환기술로 막여과기술에 의한 정수처리가 사회적으로도 충분히 필요하다고 볼 수 있다.

선진외국에서는 *Cryptosporidium* 원충에 의한 리스크를 저감하기 위하여 탁도를 0.1 NTU (0.1度)로 유지할 것을 추천하는 등 저탁도 유지 추세에 있고, 우리나라에서도 2001년 7월부터는 현재의 1 NTU에서 0.5 NTU로 규제가 강화되는 추세에 있으나, 확실적인 제거조작으로 일정비율의 콜로이드성분이 제거되지 않고 남게 되는 모래여과기술로는 대처가 어려운 실정에 있다. 막여과기술은 일반적으로 제거 대상으로 하고 있는 탁도성분의 제거에는 분리 메카니즘의 특성에 따라 명확한 분리크기가 있기 때문에 탁도 농도에 대한 "外亂 (Turbulence)"이 있을지라도 안정적인 수질특성을 나타낸다. 또한 급속모래여과를 주축으로 하는 재래식공정은 구조물이 소규모화되어 갈수록 수리학적상사성의 결여로 약품주입관리 등에 애로가 발생하고 있는 반면, 막여과기술은 주로 무약품주입으로 운전하며 초기 개발단계에서 소규모로 개발되었기 때문에 단순히 펌프 및 막모듈의 부가만으로 Scale-up이 가능하여 규모에 관계없이 유지관리가 용이하고 안정적인 운전이 가능하다. 우리나라와 수도의 운영 및 현상이 비슷한 일본의 경우를 보면 수원수질의 악화, 수도시설의 노후화, 정수장 용지취득의 곤란 및 소규모수도의 기술자부족 등의 문제에 효율적으로 대처하기 위하여 유지관리가 용이한 막여과기술을 국가주도 (후생성, MAC 21 계획, '91~'93)의 연구개발을 통하여 설계 및 유지관리메뉴얼을 마련하여 1994년부터 도입하게 되었다. 또한 미국, 유럽은 국가 주도형의 연구는 없었지만 일부의 수도가 민영화되어 있기 때문에 제도적인 설계나 유지관리기준의 마련없이 '80년대 초부터 연구개발 및 도입이 시작되었다. 그러나 우리나라는 '90년대 초부터 산·학·연을 중심으로 산발적인 기초연구만 이루어 졌을 뿐 제도적인 미비로 수도시설로 적용된 예는 없으며, 우리공사에서 처음으로 막여과시설을 수도에 도입하기 위한 실용화를 목적으로 정수처리 기술선진화의 일환으로 연구개발을 추진중에 있다. 그러나 우리나라에서 막여과 정수처리시설을 도입하기 위해서는 외국에서 수도에 도입하기 위해 개발된 논리를 그대로 답습하여 도입하는 것으로는 곤란할 것이며, 비록 현재 상태에서 도입기술이 준비되어 있다고 하더라도, 제도가 미비하고 설계기준 및 유지관리도 마련되어 있지 않은 만큼, 수처리공학자들은 수도시설로 막여과공정을 도입하기 위한 다양한 분야에서 포괄적으로 기술 및 도입논리를 개발하기 위한 연구를 추진하여야 할 것으로 생각된다.

◇참 고 문 헌◇

1. 수도관리연보, 한국수자원공사, 1999
2. 상수도통계, 환경부, 1999, 2000
3. 환경백서, 환경부, 1999, 2000
4. 이목영 외, 상수도 계통의 지아디아 및 크립토스포리디움 검출기법 및 분포실태, 부산시 상수도 수질개선 대책 세미나, 91~119, 2000
5. 西原秀幸, 簡易水道事業における膜濾過淨水施設 導入の設計事例、水道協會雜誌, 68(6) 34-39, 1996
6. 眞柄太基, 水道淨水技術開發の課題と展望, 用水廢水, 34(10), 3~10, (1992)
7. 海外 膜利用型水道 技術レポト, 社團法人 水道淨水プロセス協會, 1993
8. 膜利用型新淨水システム開發研究, 社團法人 水道淨水プロセス協會, 1993
9. 第48回 全國水道研究發表會講演集, 日本水道協會, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000
10. 山崎幸則, 口和簡易水道における膜處理について, 日本水道協會雜紙, 69(9), 20~25, 2000
11. 綾日出教, 膜ろ過法 淨水處理への應用, 用水と廢水, 41(4), 10~16, 1999
12. 神和彦, 膜濾過施設の 運轉事例報告, 日本水道協會雜紙, 69(9), 10~12, 2000
13. 綾日出教, 膜分離による水處理の現狀, 水環境學會紙, 22(4), 242~247, 1999
14. 三羽克彦, クリプトスポリジウム對策用膜濾過施設の稼動狀況について, 日本水道協會雜紙, 69(9), 13~19, 2000
15. 渡邊義公, 膜を用いた淨水システム—特徴と現狀, 日本水道協會雜紙, 69(9), 2~9, 2000
16. 八木美雄, 水道における膜濾過技術の現狀について, 水環境學會紙, 22(4), 248~251, 1999
17. 水道のクリプトスポリジウム對策, きょうせい
18. J.G. Jacangelo, S.S. Adham, J.M. Laine, "Mechanism of Cryptosporidium, Giardia and MS2 virus removal by MF and UF" JAWWA, 87, 107~121, 1995
19. C. Drozd, J. Schwartzbrod, "Removal of Cryptosporidium from river water by cross-flow microfiltration : A pilot-scale study" Water science and Technology, 35 (11-12), 391~395(1997)
20. T. Hirata, A. Hashimoto, "Experimental assessment of the efficacy of microfiltration and ultrafiltration for Cryptosporidium removal" Water Science and Technology 38 (12), 103~107(1998)
21. AWWA Membrane Technology Research Commitee, "Commitee Report: Membrane Process", Reprinted from JAWWA, 90(6), 91~105, 1998

22. AWWA membrane technology research committee, "Committee report: membrane processes", J. AWWA, 90(6), 91~105, 1998
23. S. Chellam, C. A. Serra, M. R. Wiesner, "Estimation costs for integrated membrane systems", J. AWWA, 90(11), 96~104, 1998
24. S. S. Adham, J. G. Jacangelo, J. M. Laine, "Low-pressure membranes: assessing integrity", Journal AWWA, 87(3), 62~75, 1995.