

— 보고서 —

일본의 정수처리 실증 및 검증 Plant 운영실태

— Report —

Report on Operation System of Pilot and Demo Plant for Water Treatment in Japan

김성한* · 김화수

Kim, Sung-Han* · Kim, Hwa-Soo

한국수자원공사 수도관리처

1. 머리말

2003년 말 현재 우리나라에서는 969개 급수구역(84시, 209읍, 676면) 내에 전체 인구의 89.4%인 약 43백만 명이 상수도를 공급받고 있고, 상수도시설용량은 일 28,462천 m^3 이며 1인 1일당 급수량은 96년 이후 가장 낮은 수준인 359 l 로 이는 절수기 설치와 물 절약운동의 전개 등으로 물 사용량이 줄고 노후 수도관 교체 등으로 누수량이 감소하였던 것으로 분석된다. 또한 정수장 전체 시설용량 28,462천 m^3 중 고도처리시설을 갖춘 정수장의 시설용량은 4,958천 m^3 (17.4%), 급속여과방식의 정수장 시설용량은 21,919천 m^3 (77.0%), 완속여과방식의 정수장 시설용량은 748천 m^3 (2.7%), 간이처리방식의 정수장 시설용량은 837천 m^3 (2.9%)으로 대부분 전통적 처리방식으로 수돗물을 생산공급하고 있는 실정이다. 한편, 오염된 먹는 물이나 음식물을 통해 발생하는 질병은 인간이 갖는 전체 질병의 80%를 차지한다고 하며, 특히 세계보건기구(WHO)에서 전 세계 병상의 50% 정도가 물과 관련된 환자라고 밝히고 있듯이 오염되지 않는 안전한 물은 전 세계적으로도 가장 중요한

문제가 되고 있다.

우리나라 수도는 산업화와 경제발전에 따른 물 수요를 맞추기 위한 수원의 확보와 시설의 확충에 주력해왔으나 이제부터는 다양한 수질오염물질의 완벽한 처리, 건강에 대한 소비자들의 관심에 적극적으로 부응하는 깨끗하고 안전한 수돗물 관리뿐만 아니라 나아가 맛있는 물을 생산·공급해야 할 시점에 이르렀다. 반면, 세계적으로는 WTO의 서비스시장 개방논의, ISO/TC224에서 진행되고 있는 상하수도서비스 표준화, 다국적 물 기업들의 세계시장 선점 추세 등 상하수도 사업을 둘러싼 환경의 변화를 감안할 때 167개 지방자치단체별로 운영됨으로써 규모의 영세성, 전문인력의 미확보, 수량 및 수질의 불균형 등 상하수도사업의 비효율적 문제가 내재된 국내수도산업은 내외부적인 위기에 직면해 있다고 해도 과언은 아니다. 이러한 내외부적인 물 시장 환경여건 하에서 우리나라 물 시장의 50%를 점유하고 있는 한국수자원공사는 물 전문기관으로서의 선도적 역할수행이 필요하며 지방상수도 효율화사업의 활성화를 통해 고객중심의 물 서비스 향상과 국내수도사업을 선도함은 물론 이를 토대로 해외시장에 진출할 수 있는 세계적인 물 기업으로 거듭나기 위해 노력하고 있다.

*Corresponding author Tel: +82-42-629-2803, FAX: +82-42-629-2849, E-mail: kimsh@kowaco.or.kr (Kim, S.H.)

이를 위하여서는 선진외국에 비하여 열악한 정수처리기술과 경영의 효율성을 개선하기 위한 집중적이며 전략적인 연구개발이 필요하며 국내외 연구진들과의 교류·협력을 통한 연구의 활성화, 다양한 정수처리 응용기술을 활용한 Hybrid공정 개발, 대외협력의 활성화, 상하수도 종사자들의 전문적인 교육 등을 수행할 수 있는 연구 및 교육시설이 필요하다는 것은 수도사업자뿐 아니라 정부, 학계 및 산업계에 이르기까지 공감대가 조성되어 있다. 따라서 한국수자원공사 수자원연구원내에 '국제상하수도교육센터' 건립사업이 차질 없이 추진되고 있으며, 이 센터 신축구조물의 완벽한 시공은 물론 각종 설비구축 업무에 만전을 기하고자 우리보다 앞서가고 있는 일본의 동경 일원에 위치하고있는 정수처리 실증플랜트 및 검증플랜트 운영실태를 조사하였으며 조사단 구성은 현재 우선시행공사는 이미 착수되었고 본 공사 설계 진행중에 있는 국제상하수도교육센터 건립공사 시공과정에서 나타날 문제점을 사전에 조사하여 Bench Marking 할 수 있도록 각 직종별 실무자급으로 구성하였다. 따라서 『일본의 정수처리 실증 및 검증플랜트 운영실태조사 보고서』가 수도분야 모든 관계자들에게 다소나마 참고가 되길 바란다.

2. 일본의 정수처리 실증 및 검증 Plant 운영 실태

2.1. 일본 국립보건의료과학원의 정수처리 연구

일본 국립보건의료과학원의 전신(前身)은 국립공중위생원으로서 2002년 4월에 국립감염연구소, 병원관리연구소 등과 통합하여 수도공학부 등 15개 부와 1개의 센터로 구성되었다. 우리 조사단이 직접 접촉한 부서는 수도공학부로 부서의 업무는 수도계획, 갈수·지진·수질오염사고 등에 대하여 위기관리대책, 수돗물의 화학물질과 미생물에 의한 오염으로 건강 Risk 평가와 관리, 원수보전과 새로운 정수기술, 수원에서 급수장치까지의 종합적인 수돗물 품질관리 업무를 수행하는 곳이다. 수도공학부의 조직은 수도계획실, 수질관리실, 시설공학실 등 3개실로 구성되어 있으며 주요 연구분야는 수질관리에 관한 연구, 병원성미생물의 제어에 관한 연구, 미량유해화학물질의 평가와 제어에 관한 연구, 정수처리기술에 관한 연

구, 급수장치의 관리에 관한 연구 및 국제협력 분야에 관하여 조사·연구하고 있다.

수도공학부에서의 교육은 정수처리 이론, 고도정수처리, 관로분야 등에 대하여 3일에서 길게는 2주 정도의 교육과정이 있으며, 1개월 또는 1년이상과정의 수도분야 전반적인 장기교육과정과, 2주 내지 1개월 정도의 수도정책코스, 원생동물(*Cryptosporidium*, *Giardia*)에 대한 2주 정도의 교육과정 등을 검토 중이다. 건물 내에 있는 Plant의 규모는 1,000m³/일 규모로서 최신기술의 적용연구 위주로 하고 있으며, Plant에서 사용되는 물은 우물물과 수돗물을 탈염처리한 후 원수의 특성을 실험목적에 맞도록 그때그때 바꾸는 즉, 인공적으로 제조하여 사용할 예정이다. 또한 실험실에는 정수처리분야(기존정수처리, 고도정수처리, 막여과), 관로분야(설비, 관로)로 나누어서 실험시설을 설치하였다.

수도공학부 정수처리실험동의 Plant 내부 여과장치의 일부분으로서 연구원들이 실험 중 육안으로 볼 수 있도록 투명하게 실험설비를 설치하였다. Plant 운영과 관련한 연구과제는 병원성미생물제어관련연구, 정수처리기술, 급수장치관리에 대한 연구 등이 있다. 정수처리에서 염소내성, 또는 병원성 미생물중 대표적인 원생동물인 *Cryptosporidium*을 제거대상 목적으로 연구하고, 강우 등의 기상상황에 따라 원수 내에 있는 *Cryptosporidium* 농도와와의 관계를 연구하는 것이다. 구체적으로는 여과처리시에 *Cryptosporidium*의 *Oocyst*와 각종 조류의 제거특성을 비교 평가하였고, *Cryptosporidium*의 제거 대체지표로서 녹조류를 이용하여 유효성을 각종 실험으로 확인하고있으며, 현재는 강우시 하천수에 존재하는 *Cryptosporidium* 및 *Giardia*의 농도변화를 조사중이다. 정수처리 기술관련 연구는 막여과공정 중심으로 연구하고 있으며, 원수수질을 고려한 정수처리의 최적화와 적절한 정수시설의 운전관리방법에 대해 연구하고 있다. 연구성과로는 원수수질에 최적화된 각종 정수기술의 적용가능성과 구체적 적용방법, 문제점 등을 진단하고 기존 정수처리 최적화방안을 구체적으로 조사하고 있다.

그밖에는 Nano(NF)막 여과의 Fouling에서 칼슘과 알루미늄과의 관계를 검토 중에 있고, 대규모실험장치를 필요로 하지 않는 평가기법을 검토하여 장기적 운전에 안전성과 신뢰성을 확보하는 부분에 대하여



Fig. 1. 일본 국립보건연구과대학원 정수처리 Pilot Plant 내부.

연구중이다. 또한 고분자 응집제의 사용방법의 표준화와 알루미늄계 응집제 주입을 최적화방법을 검토하고 있으며, 급수장치관리에 대한 연구는 역류방지 기능강화를 위하여 역류방지 밸브들의 시험·관정과 관로의 오점합 문제, 특정정수기에서의 내압성능기준 위반 등을 확인하는 시험장치를 확보하여 실 제품을 검증(합격, 불합격판정은 아님)하는 시험·연구를 수행하고있다.

Pilot plant 및 Demo plant 기계설비용 측정장치와 실험결과분석실이 있고, 각종 실험실은 급수장치실험실, *Cryptosporidium* 및 미생물시험실, 정수수질실험실, 미량물질실험실을 갖추고 있으며, 급수장치실험실에서는 수충격 한계성능시험, 내한성능 및 내구성 시험, 내압성능시험, 수도꼭지 수밀성시험, 부압과과성능시험을 실시하고 있으며, *Cryptosporidium* 및 미생물시험실에서는 대장균, 일반세균 및 각종 조류시험을 하고있다. 정수수질실험은 Nano(NF)막 성능시험실, 생물막 시험실, 염소농도저하시험실이 있고, 미량물질실험실에서는 무기화합물, 농약 및 의약품관련 시험, 소독부산물과 1,4다이옥산 등 유기화합물시험, 중금속물질시험 등 다양한 성능시험 수행하며 감시제어방법은 처리계통별로 현장제어반에서 자동조작 하고있다. 앞으로 연구발전방향에 대해서는 수질, 화학물질 평가, Risk관리, 소규모 급수시설에 대한 연구, 현장에 대한 문제점 해결 위주로 연구를 수행할 계획 이다.

2.2. 여과막 성능실험 Plant 운영

키누타카미(上) 정수장은 1928년부터 운영하여 동

경도 북부 4개 구에 수돗물을 공급하고 있으며, 키누타시모(下) 정수장은 1923년부터 운영하기 시작하여 세타가야구 등 2개 구에 수돗물을 공급하고 있다. 시설의 구성은 총 6지의 완속여과지와 2지의 배수지로 구성하고 정수시설능력은 키누타가미 정수장은 114,500m³/일이고 키누타시모 정수장은 70,000m³/일이다. 이 두 정수장의 수원은 타마강에 의존하고 있으며 타마강 하류 하천복류수를 직립형 집수정 일정 깊이에 집수면적을 최대한 넓히기 위해 방사형 집수관을 매설하여 취수하므로 호우나 태풍의 영향이 적고 탁도는 약 5도(3NTU 정도)로 매우 낮은 특징이 있다.

강변여과수는 원수의 탁도가 낮아서 장기간 강변의 대수층에 체류시켜 자체정화능력을 이용하여 원수 중의 오염물질을 상당량 저감시킨 후 취수하는 방식으로 하천변에서 깊은 우물형식 집수정을 이용하거나 원수를 인공함양 시킨 후 취수하는 것이 강변여과수이다. 키누타카미 정수장도 강변여과의 원리처럼 수원은 하천 표류수이고 복류수로 취수하며, 취수정까지 도달하는 시간을 길게 하여(약 50~100일) 지층을 통과하는 동안 토양에 의한 흡착과 미생물에 의한 분해, 그리고 빛과 공기가 없는 상태에서 세균과 박테리아를 사멸하게 하여 양질의 원수를 확보하는 방법으로 일반적인 수돗물은 원수 수질기준 3급수 이상의 원수를 약품투입과 응집, 침전공정에 오존 및 활성탄 흡착시설을 첨가한 고도정수처리 공정을 채택하여 수돗물을 생산하고 있으나, 강변여과수는 화학약품 첨가와 고도정수처리공정 없이 양질의 수돗물을 생산할 수 있다.

키누타정수장은 막여과 도입계획을 수립하고 기본설계를 거쳐 실험 중에 있으며, 막여과 도입의 배경은 탁도가 낮고 자동화·효율화로 인력을 절감할 수 있고 테러 등에 대비하여 위기관리가 가능하며, 시설면적을 작게 차지할 수 있기 때문이다. 또한 취수원(타마강 복류수)의 수질자료에서 맛·냄새물질이 검출되지 않았고, 완속여과 만으로도 충분하기 때문에 막여과공법을 선정하였다.

2004년 5월부터 2005년 2월까지 5개의 막 제조사별로 Pilot plant를 설치하여 여과막의 성능, 세정방법 및 처리 Process 등에 대해 검증하여 최적 막여과 공정을 선정 한 후 일본의 막기술협회 및 수도기술연구

센터로부터 수도용 막장치인증을 받아 설계 및 시공에 들어갈 계획을 세우고 있다. 막여과 Pilot plant는 500m³/일 규모로 5개사가 Plant를 가동 중에 있으며 원수 → 분수정 → 차아염소산나트륨 처리 → 망간여과 접촉기 → 분배수조까지 Process의 공통과정을 거친 후 개별 5개사의 막여과 공정을 거쳐 현재는 원수로 재순환시켜 처리하고 있다. 위 Process 중에서 망간여과 접촉기를 설치한 이유는 과거에 망간이 유입되어서 망간접촉조를 거치게 하였으나 최근에는 검출이 안되고 있다는 관계자의 설명이다.

또한, 소석회(수산화칼슘)설비는 수돗물의 pH를 조정하기 위하여 완속여과지 이후에 용해된 소석회를 투입하고 있으며, 수돗물의 pH는 약 7.0 정도를 유지하고 있다. 5개의 막 제조사별 막 종류로는 MF(정밀여과), UF(한외여과) 등의 막이 선정되어 검토 중이며 막 Fouling 여부의 감지에 대해서는 1년 동안 시험한 결과 막 파손 등의 문제는 없었으며, 유지관리 상에도 문제가 없었으나 본 시설에는 막파손 및 기타 사고를 대비하여 다중경보시스템(입자측정 또는 초음파센서 등)을 설치하여 자동감지 할 예정이라고 한다.

동경도 수도국은 완속여과방식으로 운영해오던 세타가야구에 위치한 키누타정수장에 막여과를 도입하기 위해 2004년 2월부터 수처리실험 Plant에서 사용할 5종류의 막을 선정하였으며, 각각의 종류는 다음과 같은 특징을 갖는다.

- 1) 아사히화성은 0.1 μ m의 MF막(인증번호154호)을 사용하며, 재질은 폴리불소화비닐덴, 막형식은 중공사이다.
- 2) 다이센 Membrane System은 분획분자량 150,000의 UF막(인증번호152호)을 사용하며, 재질은 초산셀룰로즈, 막형식은 중공사이다.
- 3) 토레이사는 아사히화성과 유사한 0.1 μ m의 MF막(인증번호151호)을 사용하며, 재질은 폴리불소화비닐덴, 막형식은 중공사이다.
- 4) 일동전공사는 다이센 Membrane System과 유사한 분획분자량 150,000의 UF막(인증번호 138호)을 사용하며, 재질은 폴리불소화비닐덴, 막형식은 스파이럴형 평막이다.
- 5) 가이시사는 0.1 μ m의 MF막(인증번호 146호)을 사용하며, 재질은 세라믹, 막형식은 모노리식이다.

이들 5개사의 막형식은 일본 막분리 기술진흥협회의 '수도용정밀여과막모듈 및 한외여과막모듈규격인증' 및 재단법인 수도기술연구센터의 '수도용막여과장치인증'을 2004년 3월말까지 취득한 것 중에서 '수도용막여과장치인증' 중의 유속에 근거한 것으로서 유속이 큰 순서로 5개사를 선정하였다.

동경도 수도국은 1년간 5개사의 막여과시스템을 Plant 규모로 운전성능과 유지관리의 용이성 등에 대한 검증을 거쳐 2005년에는 키누타정수장에 급수용 막여과시스템을 본격 도입하게 된다. 현재 5개사의 운영결과를 취합중이며 모두 99% 이상의 회수율을 가진 것으로 나타났다. 앞으로 내압 혹은 외압식의 장단점과 Fouling 현상을 최소화하는 한편 Fouling의 조기진단과 용이한 보수관리가 도입의 중요한 요소가 될 것으로 전망하고 있다.

2.3. Hybrid 정수처리 성능실험 Plant 운영

타마가와정수장은 1970년대에 주변지역의 인구집중, 산업화에 따른 취수원인 타마천의 원수수질 오염이 심각해짐에 따라 음용으로서의 급수를 중지하고 공업용수를 주로 공급하고 있다. 공급재개를 위한 최적의 정수처리 공정개발을 위한 Demo Plant 규모의 정수처리실험을 진행 중이다. 실험시설의 설치목적은 타마가와 정수장의 재가동을 위한 기술적 문제의 검토, 정수처리시의 각종 문제해결, 직원의 정수처리 기술수준향상을 위한 시스템개선사업으로 추진하고 있으며 성능실험 plant의 4가지 조사·실험과제는

- 첫째, 고도정수처리실험(오존산화처리특성, 촉진산화처리법)
- 둘째, 대체응집제실험(정수처리특성, 배수처리특성)
- 셋째, 탈질소실험(전기투석법의 처리효과, 운전관리특성 등)
- 넷째, 막여과실험(막여과정수처리외에 특히 슬러지농축 특성조사)

으로 선정하여 1996년부터 추진해오고 있으며 특히, 타마가와정수장은 취수지점의 퇴사와 수질오염(C급) 등으로 공업용수 공급 중에 있으며 현재수질은 B급으로 향상되었으나 대장균문제가 해결될 경우 음용수로서의 수돗물공급재개를 위하여 위와 같이 4가지 집중 조사·실험과제를 선정하여 대학연구기관 등과 연계하여 Demo Plant scale의 연구기술개발을 진행중이

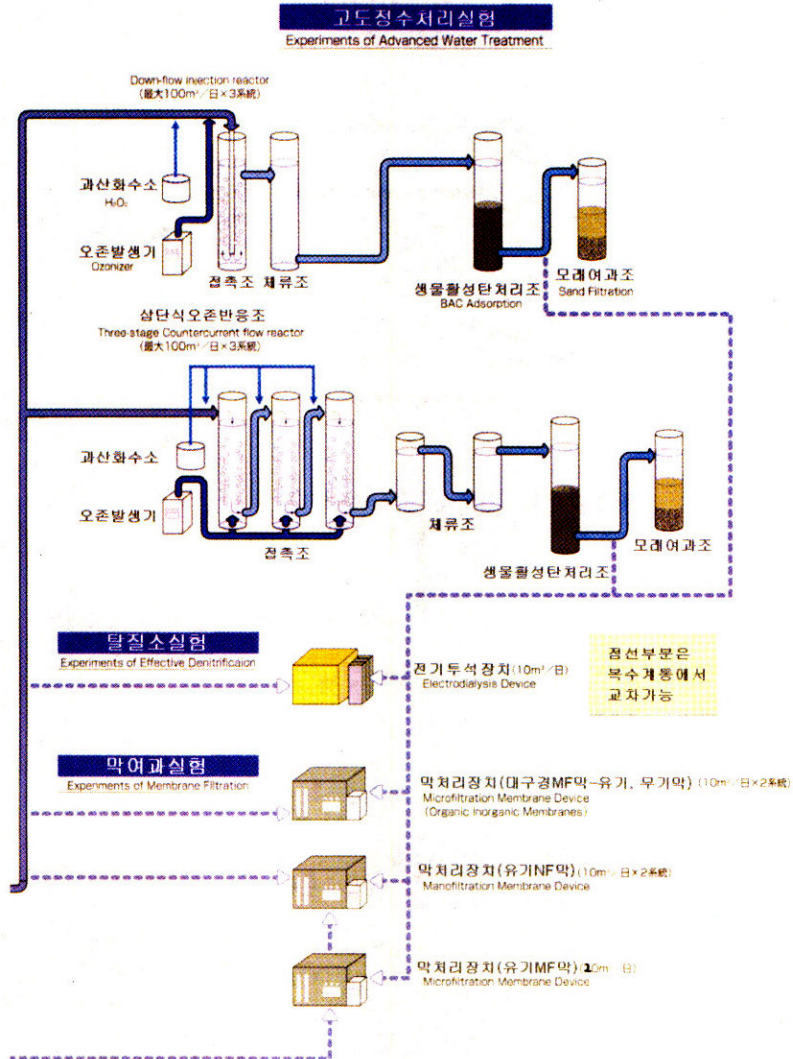


Fig. 2. 타마가와정수장에서 실시중인 고도정수처리 실험모식도.

며 일부 과제는 종료된 상태이다.

첫째, 고도정수처리실험의 도입배경은 동경도 수도국의 방침중 하나인 '장래 100% 고도정수처리를 통한 수도공급'의 일환으로 고도정수처리의 고효율화를 추진하는 것이다. 고도정수처리시설 중 오존처리의 경우 하강관식 오존반응조와 상류삼단식 오존반응조를 서로 비교할 수 있도록 설치되어 있으며, 하강관식은 외관과 내관 이중구조로 1단으로만 구성되며 하나의 접촉조 속에서 오존의 반응효율을 최대화하기 위해 위에서 아래로 오존이 고유속의 압력을 받아 내려오는 동안 수중에서 오존이 용해되는 시간을

단축시키는 방식으로 접촉조 5분과 체류조 7분으로 운영되고있으며, 상류삼단식은 오존발생기를 통과한 오존이 3개의 오존접촉조 바닥에서 올라와 각각 4분씩 12분 동안 반응하여 유기물을 산화시키는 방식으로 유지관리가 용이한 점이 있다. 지금까지의 운영결과, 하강관식 오존반응조에서는 상류삼단식보다 오존가스가 신속히 용해되어 반응이 빨라졌다. 또한 AOP 공법(오존가스+과산화수소수)은 오존산화만으로 처리하는 것 보다 OH Radical에 의거 처리하는 AOP공법이 산화력이 강하고 곰팡이냄새를 신속히 분해할 수 있었다. 오존접촉과 체류조를 거친 후 생물활성탄

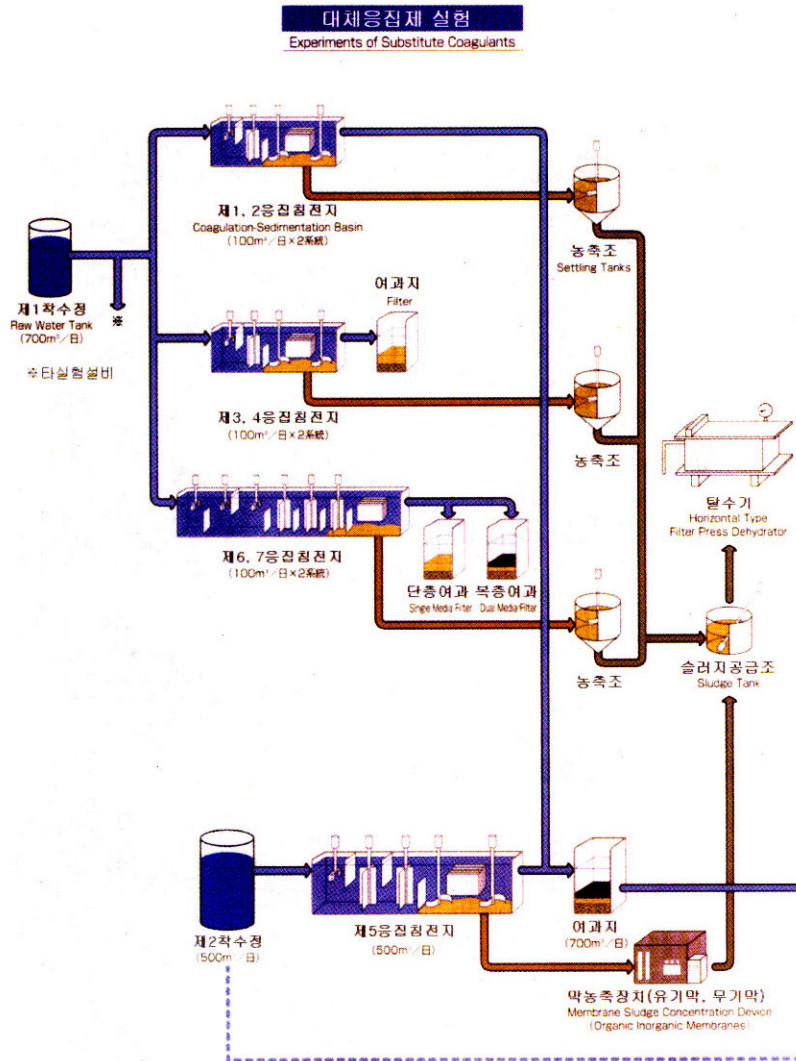


Fig. 3. 타마가와정수장에서 실시중인 대체응집제 실험모식도.

처리를 거쳐 마지막으로 모래여과를 한 후 정수로 보내도록 동경도 수도국 수처리규정에 명시되어 있다.

둘째, 대체응집제에 관한 연구는 현재 일본의 경우 대부분 알루미늄성분인 폴리염화알루미늄(PAC)을 사용하고 있으나, 효율을 증진하기 위하여 철염응집제 및 폴리실리카와 같은 응집제의 수처리 효율을 연구하고 있다. 세계보건기구에서는 알루미늄의 인체 위해성 문제를 고려하여 알루미늄 기준(0.2mg/l 이하)을 강화한다고 하였지만 현재까지 특별한 기준강화는 없는 상태이다. 대체응집제 분야는 알루미늄이 온이 뇌신경계에 미치는 영향을 고려하여 기존의

PAC사용을 대체할 수 있도록 철을 주성분으로 한 응집침전처리 실험을 진행하고 있다. 그 중 염화제이철, 폴리실리카철(실리카배합비율 0.25~3%)을 투여하여 기존의 PAC 성능과 비교하였다.

연구결과는 기존의 PAC와 유사한 탁도 제거효과를 가지며 최종 모래여과에서 대부분의 탁도 제거가 가능하였다. 한편, 모래여과에서는 폴리실리카철의 실리카 배합비율이 낮을수록 모래여과지의 막힘현상이 잘 일어나지 않아 수명이 긴 효과를 나타내었다. 그리고 침전물에서 생겨나는 정수장 발생슬러지의 양은 폴리실리카철의 실리카 배합비율이 낮을수록 적어

지는 것으로 나타났다.

셋째, 탈질소시험의 목적은 당초 타마가와정수장 원수의 암모니아성질소 농도가 높아(다른 하천보다 1.5배 이상 높음) 처리가 필요한 실정이었으며, 현재는 질산성질소가 높아 생물학적처리를 위한 공법으로 탈질소실험을 하였다. 따라서 질산성질소 혹은 이온류의 제거를 위해서 전기투석장치를 시험가동하고 있으며, 질산성질소 제거원리는 양이온만을 통과하는 막과 음이온만이 통과되는 막을 다중교차 배열하여 그 가운데 물을 흘려보내어 막의 양끝에 직류전기를 흘려 각 막에서 양이온과 음이온을 제거하는 방법이다.

예를 들어, 양이온은 음극으로 이동하여 (+)막은 통과하지만 (-)막은 통과되지 못하고, (+)막과 (-)막 사이에 머물게 된다. 음이온은 그 반대의 전극에 모이게 되어 특정이온이 체류된 것과 농축된 물이 나뉘게 되어 특정극성의 이온제거가 가능한 방식이다. 전기투석장치의 도입으로 50~60%의 질산성질소를 제거할 수 있다.

넷째, 막여과 실험은 기존의 수처리 방법을 대체할 수 있는 고효율의 막 재료로서 미세공이 열린 막으로 여과하는 방법을 주로 시험하고 있었다. 실험은 크게 두 가지로 나눌 수 있으며 하나는 정수처리실험에서 사용하는 막으로 대구경 MF막(1 μ m 및 2 μ m 두 종류), MF막(구경 0.1 μ m), NF막(분획분자량 65와 150 두 종류)이고, 또 하나는 폐수처리실험에 사용되는 막으로 MF막(0.1 μ m 및 0.5 μ m 두 종류)에 대한 실험으로서 실험결과는

- 1) 고도정수처리 뒤에 오는 모래여과 대신에 대구경 MF막을 사용하여 탁도물질이 효과적으로 제거되었다.
- 2) 응집침전+모래여과 대신에 MF막의 사용으로 탁도물질이 효과적으로 제거되었으나, 유기물 제거효과는 낮았다.
- 3) 고도정수의 오존처리+생물활성탄 대신에 NF막을 사용하면 유기물 제거효과가 탁월하며, 분획분자량 65인 NF막에서는 질산성질소의 제거가 가능하다.
- 4) 침전지에서 배출되는 슬러지를 농축하기 위해 MF막을 사용하면 겨울에도 3% 이상으로 농축이 가능하여 탈수기의 효율도 상승되는 것으로

나타났다.

이와 같이 동경도 수도국의 막 도입배경에서 키누타정수장의 막 도입배경과는 달리 응집제 대신 막사용, NF막에 의한 고도처리, 모래여과대신 대구경 MF막 적용이 주목적이며 막 농축장치는 계절과 수온에 관계없이 농축가능한 점이 있으나 비용이 문제가 될 것으로 예상하고있었다.

2.4. 대용량 막여과 기술개발

재단법인 일본의 수도기술연구센터는 e-water 프로젝트의 기술개발연구를 실질적으로 총괄하고 있으며 요코하마시 카와이 정수장 등에서 수행중인 제 1연구 그룹의 테마인 대용량 막여과 기술개발부분을 소개하였다. 대표적인 막여과 실증 Plant의 실험내용은 다음과 같다.

2.4.1. 미쯔비시레이온 등 연합그룹시스템

막여과 실증플랜트의 목표는 1) 온라인 약품세정에 따른 안전운전, 2) 기존정수장의 부분변경으로 설치면적 최소화 추진, 3) 배수처리설비의 부담을 고려한 고회수율 달성, 4) 단위처리당 환경영향부하를 기존막여과 설비이하로 저감, 5) 리사이클 가능한 모듈 설계와 재활용 시스템 제안 등이다. 실험결과 99.9%의 회수율을 달성하였으며 온라인 약품세정공정을 성공적으로 운영하고 있고 초고속 부상분리장치를 도입하여 원수조의 배수를 감시조에 받아 초고속 부상분리장치에 연결하여 무기계응집제, 고분자응집제를 첨가하여 Floc을 부착시키고 이를 고속분리 하였는데 처리수의 탁도는 5도를 상정해서 운영하였다.

2.4.2. 일본가이시, JFE엔지니어링 등 연합그룹시스템

막여과 실증플랜트의 목표는

- 1) 토털시스템으로서 안정성, 처리성 향상
- 2) 전처리방법검토
- 3) 물리세정배수의 처리방법 검토
- 4) 약품세정방법개발 및 무약품 세정방법 검토
- 5) 고효율 대용량 막처리 기술제안 등이다.

운영결과, 99.9%의 회수율을 달성하였으며, 운영비를 톤당 50원 이하로 절감하였고, 약품세정 빈도도 저감하였다.

2.4.3. 유아사코퍼레이션 등 연합그룹시스템

관상 MF 막모듈을 사용하여 대용량 여과막 시스템을 검토하였으며 플랜트의 목표는 1) 고효수율 2) 대형모듈의 막여과유속을 하루 5m 이상 3) 막여과 유량은 400m³ 이상 4) 동력비를 0.1kWh/m³ 이하로의 저감이다. 실험결과 2단계 관상 MF 막모듈의 도입으로 99.9%의 높은 회수율을 달성하였으며 온라인 막 Fouling 검출방법과 대책을 확립하였고 하루 10만m³ 규모의 정수장을 건설할 경우의 건설·운영경비를 산정하였다.

2.4.4. 신일본제철 등 연합그룹시스템

초산셀룰로오스를 막모듈로 사용하고 있으며 5m 이상의 고유속과 99.9% 이상의 고효수율을 유지하고 있었다. 플랜트는 정수계 2계열(3.5m² 모듈 2개)과 회수계 1계열(0.5m² 모듈 1개)로 구성되어 있으며 정수계 및 회수계 모두 친수성이 높고 투수성이 우수하며 오염되기 어려운 초산셀룰로오스의 중공사를 사용하였으며 내압식이다. 실험결과 낮은 농도의 약품제정이 가능하였으며 응집제를 사용하지 않고 운영이 가능한 점과 UF막으로 바이러스의 제거에도 높은 효과를 나타내었다.

2.4.5. 토레이사 등 연합그룹시스템

막여과 모듈에 PVDF MF막을 2기를 사용하고 있는 이 시스템은 배수량의 저감과 대규모시설에 적합한 운전관리방법의 확립을 목적으로 1) 고효수율, 2) 온라인 약품제정법 확립, 3) 막파단 검지방법의 확립이라는 목표로 운영하였다. 실험결과 사용수량은 300~500m³/일 이었고, 유속은 2m, 2단막 여과실험에서는 사용수량이 8~11m³/일, 막모듈은 고탁도 대응 MF막을 사용하였다. 막과파 감지방법은 탁도와 미세입자를 관찰하는 간접법과 직접법을 확립하여 실증실험 중에 있었다.

공통적으로 5개사는 막에 대한 모형 Plant 운영시 맛·냄새에 대한 대책으로 막여과에 의해 맛·냄새를 제거할 수 없으므로 전단에 분말활성탄 및 입상활성탄을 설치하여 제거하고, 조류에 대한 대책으로 규조류를 제거하기 위하여 응집제 PAC를 주입하거나 스트레이너를 전단에 설치하여 제거한다. 또한 막여과 공정 운영시 전처리공정에서 응집제를 투입하였을 경

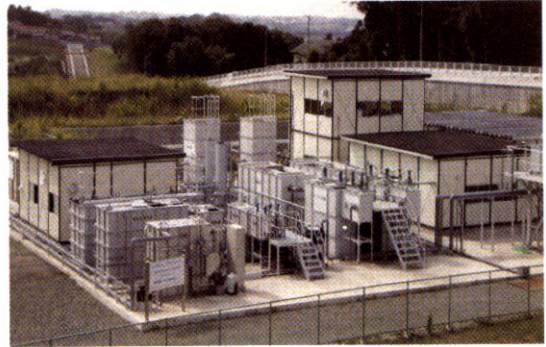


Fig. 4. Demo Plant를 이용한 정수처리 Total System 개발

우 막운영 시간을 증가시킬 수 있었고, 수질도 일부 개선된 것으로 나타났다.

3. 동경도 수도국 교육연구센터 건립현황

동경도 수도국은 현재 수운영센터내에 연수원이 있을 뿐, 본격적인 인재 양성시설이 없었다. 따라서 '개발 연수센터'는 수도사업을 담당하는 기술직원의 육성, 실전능력향상과 수도기술을 계승할 목적으로 설립을 추진하고 있으며 수도시설의 실증실험과 교육을 함께 할 수 있도록 추진하고 있다.

건축물 총면적은 68,000m²(20,570평)의 지하 1층, 지상 3층 건물로서 기존의 완속여과지 부지를 활용하였으며 시설상부에는 태양광발전패널을 설치하고 육상은 녹화사업을 실시하여 환경친화적 구조로 설계되었다. 건축공사는 2004년 1월에 개시하여 2005년 3월에 완공하였으며, 시설규모는 철근콘크리트구조로서 인접한 주거지 일조문제와 완속여과지에 건설하는 점을 고려하여 건물높이는 14미터 이하로 계획하였다. 부속시설로는 실험동(560m²), 교육동(3,000m²), 창고(100m²), 화장실 등이며 지붕에 태양전지 패널을 설치하게 된다.

타마가와 정수장내에 있는 기존실험 실증플랜트는 원수수질 특성상 토사 및 오염물질로 인하여 B급유역(대장균농도와 질산성질소 높음)으로 기존시설로는 처리할 수 없기 때문에 고도정수처리시설 실험(오존산화처리특성, 촉진산화처리법), 대체응집제 실험(정수처리특성, 배수처리특성), 탈질소실험(전기투석법의 처리효과, 운전관리특성 등), 막여과실험(정

수처리외에 특히 슬러지농축 특성조사)만을 위해

- 1) 이산화염소에 의한 응집개선과 유기물의 분해성에 관한 실험을 위한 응집지(Enhanced coagulation),
- 2) 침전지(경사판, DAF),
- 3) 여과지(급속여과의 고속화에 관한 기술개발, 다층, 단층, 상향류 여과에 대한 연구),
- 4) 소독(대체소독제의 소독효과와 소독부산물의 평가에 관한 실험, 대체소독제의 사용으로 인한 변이원성의 발현 및 영향평가 실험),
- 5) 기존정수처리시스템과 막여과 프로세스의 조합에 관한 연구 등에 대하여 실험을 할 수 있도록 하는 등 다양한 실험, 실습을 할 수 있도록 설치할 계획이다.

4. 국제상하수도교육센터 설계 및 시공시 고려 사항

4.1. 건축 및 정수처리 분야

일본에서 최근 신축된 콘크리트 구조물의 경우 유광 노출콘크리트면 그대로 마감처리 하고 별도의 도장 없이 면 처리함으로써 친환경적인 느낌을 줄뿐만 아니라 관리측면에서도 비용절감 등 좋은 점은 있으나, 완벽한 품질관리가 필요하므로 정밀 설계 및 시공법 등을 도입하여 신축건물 설계 · 시공 시 반영 필요가 있다.

- 정수장은 최근 도입된 고도정수처리(오존, 입상활성탄)건축물의 경우 구조물의 균열 및 누수가 전혀 없는 상태를 미루어 볼 때 철저한 시공관리를 통해 양호한 품질을 유지해야 할 것이다.
- 일본의 대규모 정수처리 실험실 및 실험장치는 경제적으로 원활한 원수수급을 위하여 대부분 정수장에 위치하고 있으며 국립보건의료과학원 같이 소규모 시설에 대해서만 수돗물 또는 지하수를 사용하여 실험용수를 제조하고 있어 이에 대한 상세한 검토가 필요하다. 특히, 국립보건의료과학원은 실험대상 원수를 제조할 수 있도록 원수제조에 필요한 설비를 갖추고 있었다. 따라서 여러 가지 원수에 대한 정수처리 실험을 위해서는 필수적으로 원수제조에 관련된 설비를 설치하여야 할 것이다.

- 정수처리 실험설비는 각종 공정처리를 조합할 수 있도록 구성되어야 할 것이다. 특히, 새로운 공정의 도입이 가능토록 약간의 여유 공간을 확보해 둘 필요가 있다.
- 모형 및 실증 Plant의 막 모듈 등 각종 설비들은 투명한 재료를 활용하여 정수처리 상태를 육안으로 쉽게 관찰할 수 있도록 할 필요성이 있다.

4.2. 기계, 전기 및 계측분야

- 실험실내 설비는 장기적인 안목에서는 흐름에 부합되는 연구를 수행하기 위한 설비를 설치해야 하므로 설비의 부착 및 탈착이 용이하도록 구성해야 한다.
- 실험실에는 비교적 유체를 대상으로 실험을 수행해야 하므로, 배수용 Pit를 반드시 구비하고, 실험실내 설비가 물에 의한 피해를 입지 않도록 설비가 안치되는 곳에는 반드시 안치대를 구비하여야 한다.
- 제어를 위한 설비의 구축시에는 현장반에서 제어할 수 있도록 제어용 Panel을 실험실에 구비토록 하고 기계설비는 동력을 필요로 하는 경우가 많으므로 실험실내에는 전원 Source Power를 구비하며 설비의 용량에 맞는 동력이 인입될 수 있도록 해야 한다.
- 모형 Plant와 설비분야의 감시제어시스템(TEST용, 성능분석장비)구성은 교육원의 현장교육이 가능하도록 고려할 필요가 있다.
- 수질실험실은 실험테이블이 2~3열씩 배치되고 물을 직접 접촉하는 곳으로 전기 안전사고 및 근무자의 편의를 고려하여 각 실험기기들의 전원 콘센트는 천정에 이동레일식으로 시설함이 타당할 것으로 판단된다.

5. 맺음말

일본 동경일원에 소재하고 있는 정수처리 실증 및 검증 Plant 운영실태조사결과를 종합하여 현재 한국수자원공사가 추진 중에 있는 국제상하수도교육센터 구축업무에 Bench marking하되 각 기술분야별로 센터 건립 설계 및 시공업무에 고려 할 사항을 잘 정리하여 적용 할 예정이며, 방문기관중 기술교류가 필요한

기관은 지속적으로 관계를 유지할 계획이다. 그 외 설계사 및 시공사 관계자의 견학은 자체적으로 실시할 것을 권고하여 센터 건립과정에서 발생될 시행착오를 최소화하는 관계자의 적극적인 노력이 필요하다. 한편, 센터건립관계자 외에도 수도업무관계직원들에게도 적지 않은 도움이 될 것으로 기대하며 이번 일본의 정수처리 실증 및 검증설비 관련시설과 관계기관을 대상으로 방문한 결과를 다음과 같이 요약하였다.

- 1) 국제상하수도교육센터신축과 관련된 정수처리 설·검증 Plant 운영실태를 실지 조사함으로써 현재시행 중에 있는 센터의 설계·시공분야업무에 크게 도움이 될 것으로 확신한다.
- 2) 현재 일본의 수도기술의 수준 및 개발방향을 개괄적으로나마 파악할 수 있었으며, 일본의 정수처리기술 개발·보급은 사전 실·검정실험을 필히 수행한 후에 본 시설구축단계로 진행되고 있었다.
- 3) 일본 또한 우리 나라와 마찬가지로 원수수질의 악화와 더불어 안전하고 맛있는 물에 중점을 두

고 있었으며 오존과 활성탄흡착에 의한 고도처리시설을 확대하고 있었다.

- 4) 고도처리설비가 있는 건물은 부지면적을 고려하여 수직적으로 배치하였고 전체 건축물 외관은 대규모 공산품제조공장과 같은 건축구조물은 물론 기타 구조물의 품질관리는 최고수준으로 평가받을 수 있을 만큼 정교하게 시공하고 있었다.
- 5) 막여과 기술의 확대·보급을 위한 실·검증 Plant에 의한 실험 및 연구가 이미 끝났거나 막바지단계에 있었으며 일본의 막여과시설 보급 전망으로 볼 때 막여과가 단순히 수질개선차원을 넘어 Conventional한 정수시스템의 혁신적인 전환의 개념으로 볼 수 있었다.
- 6) 일본은 약 13년 전부터 정부(후생노동성: 우리나라 환경부와 노동부)주도로 학계, 수도사업자, 민간기업이 공동으로 재단법인을 설립하여 각종 Project(우리나라의 Eco-Star Project와 유사)의 수도 기술개발에 박차를 가하고 있었다.
- 7) 향후에도 막여과기술을 포함한 고도처리시설의 대규모화기술연구개발에 중점을 두고 있었다.