상수도 배 · 급수 관망개선을 위한 기술개발 방안

우 형 민 |
한국수자원공사 수자원연구원
상하수도연구소 선임연구원
paulose@chol.com

1. 서론

환경부에서는 국민이 안심하고 마실 수 있는 깨끗한 수돗물 공급을 위해 수돗물 생산 및 공급체계 전반에 대한 혁신적인 제도개선 및 정보공개 확대 등을 주요내용으로 하는 「수돗물 수질개선 종합대책」을 수립하였다(환경부, 2005). 이미 선진국에서는 원수부터 수도꼭지(From Source to Tap)까지 단계별 수질관리 강화로 다중방어체계(Multi-Barrier System) 구축과 테러 및 수질오염사고에 대비한 위기관리 능력 강화를 통한 안전성 확보와 국민에게 정보공개를 통한 수돗물에 대한 신뢰성 향상에 막대한 노력을 쏟고 있다.

수돗물의 신뢰도에 관하여 실시된 한 조사에서 응답자의 79.4%가 수돗물에 대하여 '신뢰한다' 고 답하였으나, 있는 그대로 마신다는 응답은 2.1%에 불과했다. 대다수가 끓여 먹거나 정수 또는 생수, 약수, 지하수 등으로 식수를 대용한다고 답을 하였다(환경부, 2004). 수돗물 자체에 대한 질적 안정성과 우수성에 대해서는 인정을 하지만, 그대로 마시기에는 왠지 찜찜하다고 한다. 정수장의 원수는 신뢰하면서도 막연히 불안해서라든가 냄새가 나서, 건강에 나쁠 것 같아서, 물맛이 나빠서, 녹물이 나와서 등의 응답이고 보면 음용수로의 불신은 물의 수송과정이 문제라고 하겠다. 정수장에서 생산된 깨끗한 물을 소비자에게 제대로 운반하기 위한 관망의 과학적인 설치 및 유지관리 체계가 미흡하고 수리 및 수질정보가 부족하여 땅속을 흐르는 물이 과연 깨끗할 까 하는 의심이 드는 것이다.

2. 관망분야 기술동향

2.1 기술개발의 필요성

그림 1은 상수도 관망시스템 공급체계를 모식도로

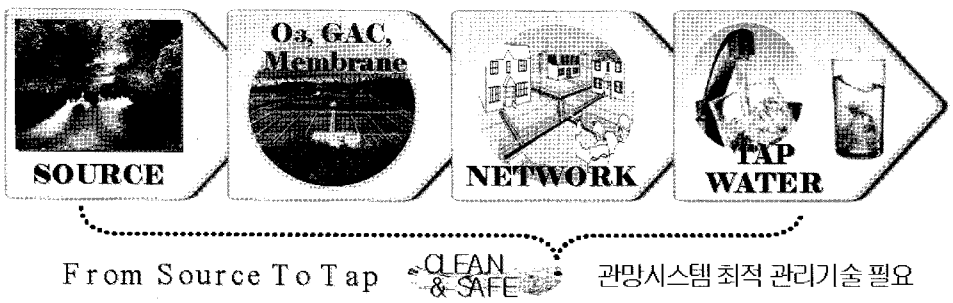


그림 1. 상수도 관망시스템 공급체계 모식도

나타내었으며, 상수도 관망시스템이란 정수장에서 생산된 물이 정수장을 떠난 이후부터 관로를 통하여 각 가정의 수도꼭지까지 공급하는 전반의 시스템을 의미하고 있으며, 이러한 상수관망은 관로, 펌프 및 밸브 등이 조합된 매우 복잡한 네트워크 시스템으로 되어 있다. 상수도 관망시스템은 각각의 기능 및 역할에 따라 크게 송수관로(Water Transmission Pipeline), 배 · 급수 관망(Water Distribution Network), 그리고, 급수장치(Water Service Installation)로 구분한다. 이들 구분된 영역에서 각각의 구성요소들이 다른 모든 구성요소에 영향을 주기 때문에, 시스템의 효율적 운용 및 관리를 위해서는 시스템 전체에 대한 정확한 이해와 분석이 요구된다.

상수관로의 역할은 수돗물의 양과 질에 대한 사회적인 요구수준이 증가함에 따라 매우 높아지고 있으나 실제 상수도 관망을 정비하여 운영 및 유지관리하는 환경은 매우 열악한 것이 현실이다. 이는 상수도 수요량이 급격히 증가되어 상수도 시설의 신설 및 확장사업이 계속되고 있으나, 계속된 신설 및 확장사업과는 달리 시설 및 수량의 유지관리에 대해서는 별다른 관심이 없었던 이유가 있으며, 구조적인 문제로 기 매설된 관로의 노후화와 이에 따른 통수능 저하, 체류시간의 증대로 인해 관로가 원래 담당했던 기능을 제대로 수행하지 못하는 것이 주된 원인이라고 할 수 있다. 이러한 관로의 성능 저하는 누수 및 관로의 파손으로 인한 급수중단, 지역적 · 시간적 수압불량 및 수량부족, 녹물을 비롯한 수질의 악화 등 구조적 · 기능적 문제를 사회 곳곳에서 야기하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 기술개발이 사회적으로 매우 중요한 문제로 대두되고 있다. 정부에서도 이러한 상수도 관망시스템에서의 문제를 인식하고, 급 · 배수 관망의 기능을 회복하기 위해 해마다 막대한 예산을 들여 노후관 교체공사를 실시하고 있지만, 노후관 교체공사만으로 수돗물에 대한 신뢰를 회복하기에는 어려움이 많은 것인 현실이다. 이는 현실적으로 한번에 모든 수도관을 교체하기에는 예산, 시간 및 민원을 포함하여 많은 어려움이 있어 실제로 해마다 노후관 교체공사를 통하여 교체되는 부분은 전체의 일부분이라고 할 수 있다. 또한, 현재의 용수공급 방식은 배수지 운영 근무자의 경험에만 의존하여 공급하고 있어 수송에너지의 절감측면에서는 전혀 고려가 되고 있지 않다. 물론 지금까지 이에 대한 중요성과 필요성이 인식이 되어 학계에서 여러 가지 형태의 연구가 수행되었지만, 국내에서는 실용화된 기술이 없는 것이 문제이다.

2.2 기술격차 비교

상수도 관망분야의 현재 기술위치는 선진국의 연구사례를 바탕으로 우리실정에 맞는 상수관로 유지관리 기법의 개발을 시도하고 있는 실정으로, 최근 일부 광역시를 중심으로 이에 대한 필요성을 인식하여 상수도 운영관리 시스템 구축의 시도는 하고 있지만 배급수 관망시스템에 관한 제대로 된 운영관리 시스템은 아직 미구축 단계이다. 이는 관로 정보에 대한 자료관리 미비와 관망관리의 중요성에 대한 인식 부족, 지방자치단체의 부실한 상수도 운영체계 등이 그 원인이라고 할 수 있다. 그림 2는 선진국에서의 상수도 관망시스템 분야의 기술발전 방향을 나타내었다. 1980년대에는 수량관리 체계정비를 바탕으로 하여 최근에는 수질오염 다중 방어체계를 구축하여 철저한

그림 2. 선진국의 상수도 관망분야 기술발전 방향

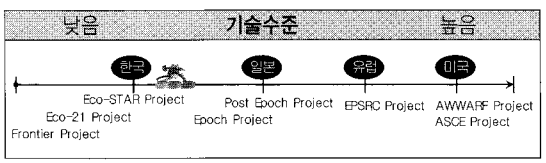


그림 3. 대표적 상수도 관망분야 기술개발 프로젝트

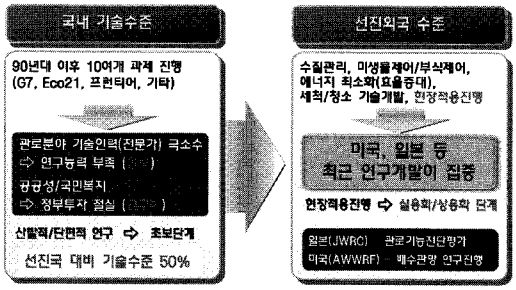


그림 4. 선진국와의 기술격차

수질의 안전성을 확보하는 방향으로 나아가고 있다. 이러한 기술개발의 발전은 대규모 국책 프로젝트를 기반으로 하여 진행되었는데, 그림 3과 4에는 이러한 대규모 기술개발 프로젝트와 선진국과의 기술격차를 비교하였다.

2.3 개발기술 도출

관망시스템 최적관리를 위하여 우리나라 관로의 현황과 문제점을 분석하고 이를 해결하기 위해 필요한 과제가 무엇이며 기수행 및 수행중인 과제의 검토를 통해 요소기술을 발굴 선정하여 그림 5에 제시하였다. 각 기술에 대한 개별 검토를 수행하고 선진외국 기술동향과 수준, 시장 동향 및 기술개발의 시급성 등을 고려하여 국내 관로시스템의 설계 및 운영/유지관리상의 문제점을 해결하기 위한 기술을 평가하여 우선순위화하여 기술우선순위 결과를 표 1에 나타내었다.

국내 상수관로분야는 지하에 매설되어 각종 정보의 습득과 파악이 어려워 타 분야에 비해 기술개발투자 우선순위에서 제외되어 온 것이 현실이다. 그러나 선진외국에서는 지하에 매설되어 밝혀지지 않는 문제점들의 발굴을 위하여 각종 첨단기술과 IT 기술을 관로시스템의 유지관리 및 운영에 도입, 활용하고 있으며, 이를 통하여 분석된 진단평가 결과를 반영하여 시스템 전반에 걸친 개선과 개량 등의 공법개발에 박차를 가하고 있다.

그러므로 우선적으로 개발되어야 할 사항으로 신규 건설될 관망의 설계기술에 앞서 기존 매설되어 있는 관로의 기능을 합리적으로 평가하고 효율적으로 개선/개량하여 당초 건설시 및 미래에도 시설의 기능을 충분히 발휘 할 수 있도록 유지시켜줌으로써 향후 선진외국으로부터 국내 수도시장의 보호와 각종 환경규제로부터 대응할 수 있는 체계를 갖추는 것이 우선 시급한 것으로 분석되었다.

우리나라의 상수관망 관리 선진화를 위해서 단기는

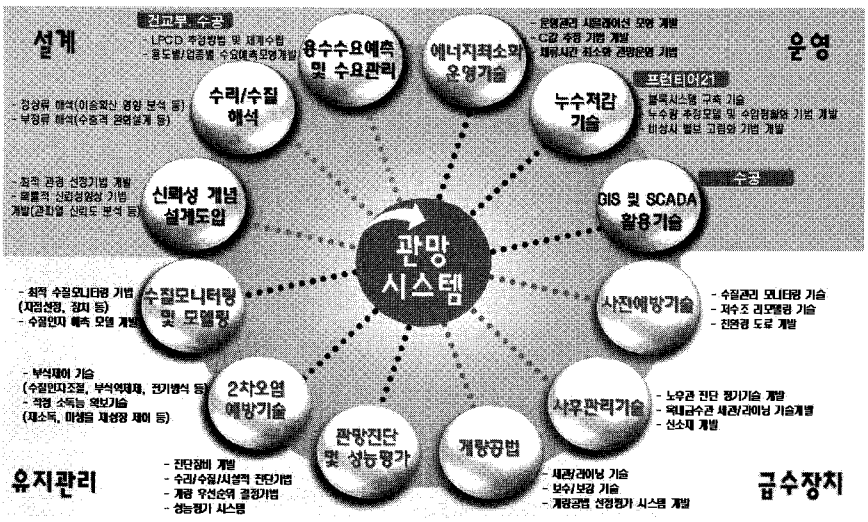
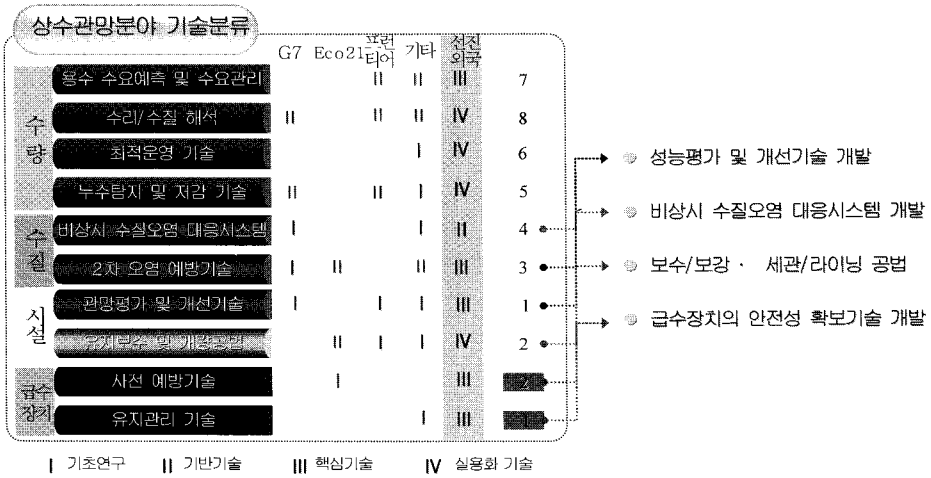


그림 5. 관로분야 응용기술 분류

표 1. 기술우선순위 선정결과



깨끗한 수도관 유지를 위한 기반기술 개발, 중기는 상수관망시스템 운영관리 실용화기술 개발, 장기는 상수관망 종합관리시스템 개발로 목표를 설정하고 국내 수도시장은 물론 미래부가가치 창출을 위한 수출 가능한 고도기술 개발로 세계시장의 경쟁력을 확보할 수 있는 기술의 개발이 필요하다. 우선 관망시스템 기반기술로서 관망의 성능평가 및 개선기술, 고급 수질 유지관리 기술, 그리고 관망의 최적운영 기술이 있으며, 이러한 기술의 실제 현장적용을 통하여 전체 시스템에서의 성능향상을 도모하여야 한다. 또한, 관망에 대한 각종 정보의 생성을 위한 수리, 수질 및 시설관련 추정모델의 개발이 필요하며 최종적으로는 통합시스템으로서의 관망시스템의 도입과 적용이 필요하다. 전체 시스템에서의 상수도 관망을 조명하여 설계 및 운영기술의 개발, 유지관리 기술의 개발, 급수장치 사전예방 및 사후유지관리 기술의 개발이 필요하다.

3. 관망분야 기술개발 방향

3.1 종합적 관망성능평가 및 개량기술

관망시스템은 사회기반시설 및 사회 기간시설로써 의 중요한 역할을 담당하고 있으며 자산가치 또한 엄청난 액수가 된다. 이러한 시설을 얼마나 효율적으로 관리하느냐가 중요한 과제라 판단된다. 사람도 자신의 건강상태를 전문가인 의사를 통해 진단하고 치료를 받아 건강하게 삶을 유지하는 것과 같이 상수관망도 과학적이고 체계적인 기법과 전문가에 의해 성능평가와 문제점 개선기술을 도입하여야 경제적인 효과뿐만 아니라 국민이 요구하는 안전한 수돗물에 대한 기대를 충족시킬 수 있을 것이다.

관망의 성능평가 및 개량기술과 관련하여 선진외국에서는 이에 대한 다양한 연구를 진행하고 있으며, 각 나라별로 그 나라의 특성에 맞는 성능평가 인자와 개량기술을 제시하고 있다. 성능평가 및 개량기술은 크게 성능평가 기술과 개량기술로 구분할 수 있다. 성능평가는 평가에 필요한 기준과 척도, 그리고 방법이 필요하다. 상황을 조사하고 분석하여 수행목표 수준을 설정하며, 나아가 목표수준을 달성하기 위한 개선방안을 제시하는 것이 주요한 내용이다. 표 2는 미국, 일본, 유럽, 그리고 한국의 성능평가 관련 기술동향을 나타내었다.

미국에서는 미국수도협회 연구재단(AWWARF)의 지원하에 1995년부터 체계적으로 배수관망 시스템의 성능평가에 대하여 연구가 시작되었다(Deb et al.,

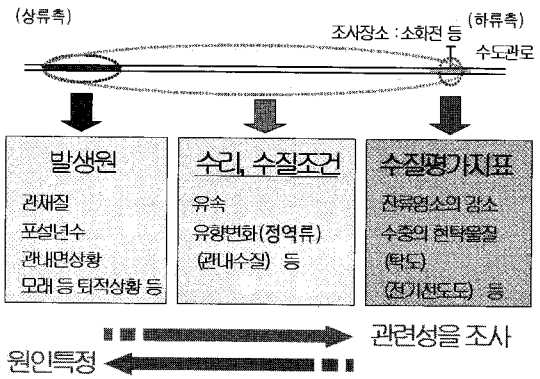
미국 AWWA	일본 JWRC	유럽 IWA	한국
◉ 4개 대항목(수압/유량의 적정성, 수질의 적정성, 서비스신뢰도, 서비스만족도) 으로 나누어 종합적 성능평가 ◉ 사례: Distribution system performance evaluation, AWWA RF, 1995	◉ 관망의 면적개념에서 성능평가 ◉ 5개 대분류(건전성, 신뢰성, 긴급성, 효율성, 충실성), 총 39개항목 ◉ 사례: 도송수배수시스템의 평가매뉴얼, 일본수도관로기술센터(JPRC), 1998	◉ 7개 대항목(수자원관리, 인력관리, 물리적, 운전관리, 서비스품질, 경제성지표)으로 나누어 성능평가, 총 133개항목 ◉ 사례: Performance indicators for water supply service, IWA, 2000	◉ 직/간접진단 등을 통한 노후도 특성을 중심으로 분석 ◉ 점수평가법 일부적용, PNN모델개발 등 ◉ 점적,선적인 관망진단, 성능평가기법은 전무한 실정

표 2. 국내 · 외 상수관망 성능평가 기술동향

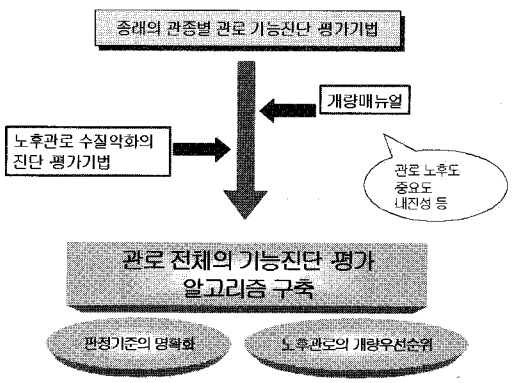
1995). 관망의 성능은 적정성, 신뢰성, 효율성의 세가지 관점에서 평가하여 현재까지 정립되어 있지 않았던 배수시스템의 성능평가의 기준과 척도, 평가를 수행하기 위한 절차를 제시하였다. 일본의 경우에는 일본수도협회(Japan Water Works Association) 및 수도기술연구센타(Japan Water Research Center)에서 소비자의 요구에 기초한 상수도 서비스를 향상시킬 목적으로 상수도 도 · 송 · 배수시스템을 재평가하고, 시스템을 개선하기 위한 대책방안을 검토하기 위한 목적으로 평가방법 등을 표준모델로 제시하였다(그림 6 참조). 유럽의 IWA는 2000년도에 수자원관리 지표, 인력관리 지표, 물리적인 지표, 운전관리 지표, 서비스품질 지표 및 경제성 지표의 총 6가지 대분류 하에 133가지의 성능지표를 개발하여 제시하였다.

국내에서의 상수도 관망 유지관리 분야에 대한 연구로는 "수도관 개량을 위한 의사결정시스템 개발(한국건설기술연구원, 1995)", "대구시 수도정비 기본계획 수립을 위한 송 · 배수시설의 기술진단 평가시스템 구축방안 연구(대구시/한국건설기술연구원, 2000)", "상수도관로의 부식 및 노후도 예측모델 개발(한국건설기술연구원, 2002)" 등이 초보적인 상태로 국한되어 연구한바 있다. 그러나 국내의 경우에는 일부 학술논문에 대한 연구가 수편 정도 발표되었지만 실용화를 위한 연구는 전문한 상태이다(대한상하수도학회, 2003).

환경부에서는 향후 매 5년마다 기술진단이 의무화



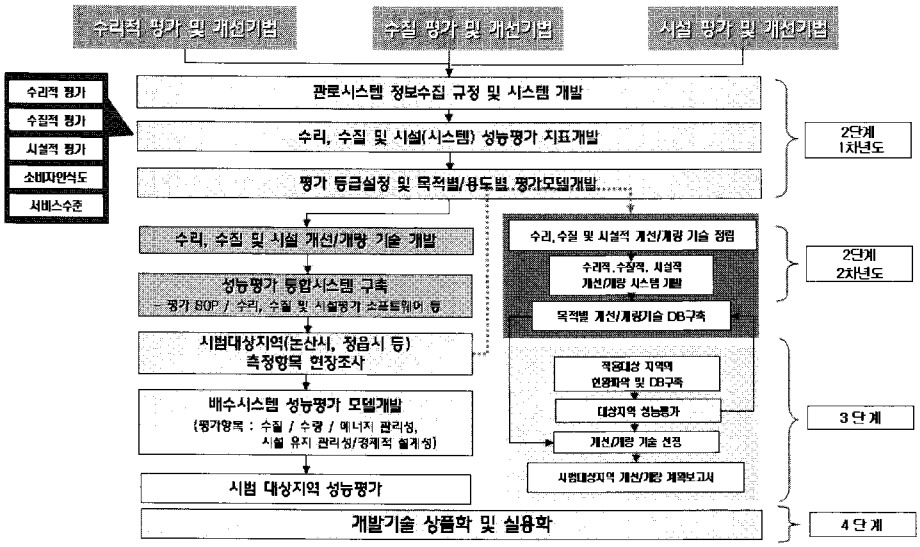
〈노후관로 수질악화 진단평가〉



〈관종별 기능진단 방법〉

그림 6. 노후관로 진단평가 기법(일본의 예)

그림 7. 상수관망 성능진단 기법(Eco-STAR Project)



되어 있는 정수장과 같이 상수도관망에 대한 정기적인 기술진단을 실시토록하고 진단 결과를 반영한 시설계획 수립 · 시행을 의무화 할 계획이다. 따라서 과학적 · 효율적인 관망의 진단을 위한 지표, 항목, 조사방법 및 절차 등의 표준화가 필요하다. 이러한 관망의 종합적인 성능평가를 위해서는 관망정보수집규정(PICR)개발과 이를 활용한 관망 성능평가 모델개발이 필수적이다(그림 7참조).

3.2 비상시 수질오염 대응시스템

비상시 수질오염 대응시스템은 관망시스템의 오염을 사전에 감지하여 오염원을 배출하는 대응시스템을 구축하여 수질오염에 대한 영향을 최소화하는 기술을 의미한다. 아직 전세계적으로 비상시 수질오염 대응시스템에 관하여 완전히 정립된 체계는 없으며, 각 요소기술이 개발되고 있는 단계라고 할 수 있다. 그림 8에서는 비상시 수질오염 대응시스템에 필요한 기술을 나타내고 각 요소기술에 관한 연구동향을 나타내었다.

관망시스템에서 외부 오염물질 유입으로 인한 오염원을 추적하기 위하여, 우선적으로 유체의 흐름방향에 대한 최단경로 분석이 이루어져야 한다. 관로내의 흐름은 절점 간 동수두 차이로 움직이며, 이로 인해 관망 네트워크는 방향성을 가지게 된다. 따라서 관망해석을 통해 관내를 흐르는 물의 유속이 결정되면, 체류시간을 계산할 수 있으며 최단 경로 추적 이론에 기초한 네트워크 모델을 이용하여 추적을 수행한다. 상수관망시스템에서 발생한 수질오염사고의 피해범위를 줄이기 위한 기술은 차단밸브를 이용한 오염지역의 단수와 오염물질의 배출을 위한 관 세척(flushing) 기법으로 구분할 수 있다. Yohe와 Gittelman (1986)은 맛과 냄새 문제가 발생하면 가장 합리적인 해결 방법은 해당지역에 대규모 관 세척을 실시하는 것이라고 주장했다. 국내에서 플러싱에 대한 연구는 아직 활발히 진행되지 않고 있으며, 최근 수도협회와 서울시를 중심으로 하여 플러싱에 관한 현장시험을 실시한 사례가 있다.

3.3 상수관로 유지관리 기술

정수장에서 먹는 물 수질 기준을 만족하는 물을 공

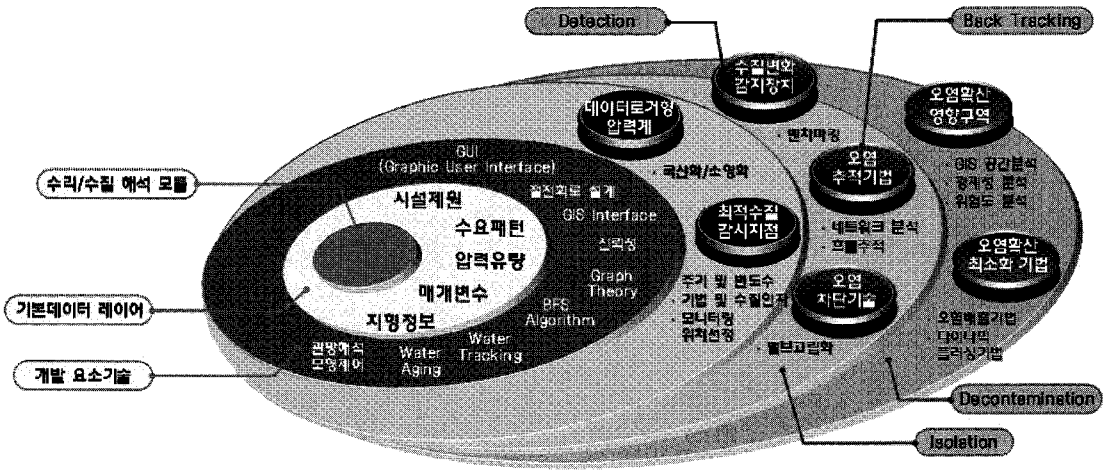


그림 8. 비상시 수질오염대응시스템 연구동향

급한다 하더라도 상수관망 내에는 필연적으로 스케일이나 슬라임 등으로 비롯된 녹 발생 문제 등이 생기게 된다. 이러한 오염 문제를 해결하기 위해서는 상수관을 교체하는 방법과 세관/라이닝 등의 유지관리 방법이 있다. 선진국의 경우 상수도관의 효율적인 운영관리를 통하여 세관/라이닝 기술이 비교적 계획적이고 효율적으로 진행되어 자원의 절약, 에너지 절감을 이룰 수 있고, 상수도관 교체에 비해 엄청난 소요비용 절감 등의 효과를 거두고 있다.

국내의 상수도관로 개량사업은 상수도 역사가 오래된 대도시 지역을 중심으로 하여 주로 관로의 경과년수에 따른 노후도와 민원에만 치중한 관로 개량이 실시되고 있어 한정된 예산 내에서 효율적이지 못한 것이 사실이다. 개량사업은 누수 방지, 파손사고 방지, 적수 등 탁수 방지, 통수능력 저하방지, 특히 안정성 향상 등을 목적으로 하여 실시되고 있다. 그러나 대부분의 지자체에서는 관로 개량이 계획적으로 실시되지 않고 있으며, 수도사업체가 상수도관로의 장해, 사고가 발견되면 임시방편으로 수리, 보수를 실시하고 있는 곳이 많은 실정이다.

현재까지는 관로의 파손이나 누수발생시 적용되는 보수공법이 있으나 이는 굴착 후 관의 일부를 잘라낸 후 교체하거나 밴드를 사용하여 고정하는 관외면 누수 보수 공법이 주를 이루고 대부분 굴착으로 인한 어려움이 매우 크다. 국내의 경우에도 누수 발생 후 이를 대처하기보다는 누수가 발생될 우려가 있는 지점에 대해 사전에 보수가 가능하고 비굴착으로도 보수/보강이 가능한 기술 개발이 매우 시급하다고 볼 수 있다.

3.4 급수장치 기술개발

수도꼭지 이전의 급수라인 단계에서 보면, 급수장치(저수조, 옥내급수관 등)는 수요자에게 수돗물을 공급하는 최종단계에 위치하고 있기 때문에, 급수관내에서 수질적인 안전성이 확보되지 않으면, 상수원수가 아무리 깨끗하고 정수처리단계에서 안전한 수질이 생산된다 하더라도 수질적으로 안전한 물의 공급은 어렵게 된다.

현재 급수장치는 제도적 관리에서 벗어나 있어 수질관리의 사각지대에 머물고 있다. 또한, 건축물 신축시 저수조용량 축소 또는 설치 폐지 문제도 아직 관련규정이 정비되지 않고 있는 실정이다. 게다가 일단 건축물이 지어지고 난 후에는 급수관의 관리가 이

루어지지 않아, 수돗물 수질관리에서 병목지점으로 지적되고 있다. 특히, 수돗물의 수질평가는 최종 수도꼭지에서 평가를 받기 때문에 정부나 지자체에서 급수장치의 문제를 개별 수용가에게만 맡겨둘 수 없는 현실적인 문제가 있다.

더불어 그동안 대부분의 수질관리 기술이 정수장에 치중하고 있으며, 이제 지하에 매설된 상수관로의 수질관리 기술이 개발되기 시작하고 있어, 급수장치의 유지관리를 위한 기술 개발은 매우 낙후된 실정이다.

따라서, 최근 출범한 수처리선진화 사업단의 Eco-STAR 상수관망 분야에서는 송수/배수 관망 뿐만 아니라 건축물내 급수장치에 대한 유지관리 기술 개발에도 박차를 가하고 있다.

4. 결 론

현재 우리나라 수도관 총연장은 124,468㎞로서, 도수관로가 1,384㎞로 1.1%, 송수관은 5,923㎞로서 4.8%, 배수관은 56,795㎞로서 45.6%, 급수관은 60,366㎞로 48.5%를 차지한다. 또한, 상수도 보급률은 89.1 % 로 일부 도서산간 지역을 제외한 도시지역의 경우 거의 100%에 가까운 보급률을 보이고 있다(환경부, 2004). 이는 상수도 관망분야의 기술개발 목표가 신규 상수도 관망의 설치보다 기존 관망의 관리에 초점을 맞추어 과학적 관망관리 기술을 개발하여야 함을 의미한다. 이를 위해서는 관망시스템을 수리, 수질, 시설의 종합적인 관점에서 평가하는 기술이 필요하다. 충분한 양을 공급하여야 하고, 안전한 물을 공급하여야 하며, 지속적인 시설의 유지관리가 이루어질수 있도록 종합적인 시스템 성능평가가 필수적이다. 또한, 관망에서의 정보수집 방법 및 기술정립이 필요하다. 관망시스템은 대부분 땅속에 매설되어 있어 현장 자료 취득이 어려우며, 관망시스템의 특성상 여러 지점에서 동시에 측정되는 자료가 많이 필요한데 실제 현장에서는 이와 관련된 장비 및 기술이 부족한 것이 현실이다. IT기술을 활용한 관망정보 수집 기술과 모니터링 기술개발이 필요하다. 상수도 관망시스템 분야는 기초학문이 아니라 응용학문이며 따라서 현장에서의 경험이 매우 중요하다. 이러한 관망분야의 기술개발을 선도하기 위해서는 전문가 및 인력양성이 필요하므로 관산학연의 유기적인 협력을 통하여 인력양성에 적극 힘써야 할 것으로 판단된다.

먹는 물 관련 산업의 세계시장은 정수기술 분야가 현재 15조원이고, 2010년에는 175조원으로 예상되며, 관망분야 기술의 시장규모는 1996년 13조원, 2006년 130조원으로 추정되고 있다. 2002년도 기준 관망분야의 국내 시장규모는 상수도관련 총 세출액 중 확장 및 개량 공사비 1조 3,824억원에서 관망분야가 50%인 약 7,000억원이며, 유지관리비 1조 6,272억원 중 20%인 약 3,000억원을 포함하면 총규모는 1조원 이상에 이를 것으로 추정된다. 향후 지속가능한 개발에 따른 에너지 효율화, 물 보존 및 관리 기술 등의 확대, 향후 상수도사업의 민영화에 따른 시설분야의 투자확대에 따라 관망관련 산업은 매년 약 15% 이상의 성장율을 기록할 것으로 기대되며 2011년에는 약 2조7,000억원의 시장규모가 형성될 것으로 추정된다.

이러한 환경에서 고품질 수돗물 공급을 위한 설계 · 운영 · 유지관리 시스템은 대규모 관로시설뿐만 아니라 급배수관망 및 건축물내 옥내배관의 성능개선과 수질향상에 필요한 기반기술로서 국내수도사업의 국제경쟁력 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 이를 위하여 관망정보획득용 소규모 감시 및 제어시스템, 성능평가 및 개선기법, 소독능 확보기술, 개량공법 선정 전문가시스템 등의 기술개발을 통하여 친환경적 상수도 공급시스템이 완성된다면 설계 및 운영관리의 효율화를 꾀할 수 있다.