



고품질 수돗물 공급을 위한 관망시스템 최적관리기술 개발

글 안효원 _ 한국수자원공사 국제상수도연구소장

1. 서론

“수돗물을 그대로 마셔도 되나?” 2004년도 실시된 한 조사에서 수돗물의 신뢰도에 대한 물음에 대하여 79.4%가 ‘신뢰한다’고 나타났으나, 반대로 그대로 마신다는 시민은 2.1%에 불과했다. 대다수가 끓여 먹거나 정수 또는 생수, 약수, 지하수 등을 식수로 대용한다고 답을 하였다. 수돗물 자체에 대한 질적 안정성과 우수성에 대해서는 인정을 하지만, 그대로 마시기에는 왠지 찝찝하다고 한다. 신문지상에서 보도되는 수돗물 수질사고가 수돗물에 대한 수질 안전성에 대한 불신을 키워온 것이 현실이다. 정수장의 원수는 신뢰하면서도, 막연히 불안해하러든가, 냄새가 나서, 건강에 나쁠 것 같아서, 물맛이 나빠서, 녹물이 나와서 등의 응답이고 보면 음용수로의 불신은 물의 수송과정이 문제라고 하겠다.

이에 대한 대책으로 환경부에서는 선진외국에 비해 크게 낙후되어 있는 원천기술의 확보 및 핵심요소기술의 개발을 통하여 수돗물의 질적 안전성을 확보하기로 하였으며, 지난해 9월 선택과 집중의 원칙에 따라 시장성·성공가능성이 높은 유망 환경기술의 발굴·추진과 수처리기술의 상용화 촉진 및 국제경쟁력 제고를 위해 2011년까지 6.5년 동안 총 1,240억(정부출연금 650억원 + 민간참여금 590억원)을 투자하는 수처리선진화사업단(Eco-STAR : Eco Science-Technology Advancement Research Project)를 추진하게 되었다. 이는 2011년까지 세계 5위권의 환경기술 수준에 진입하기 위해 시장성과 성공가능성이 높은 유망기술을 전략적으로 개발하는 사업이다. 상수원으로 유입되는 하수, 폐수에 대한 철저한 관리와 처리는 물론, 정수된 수돗물의 공급과정까지도 감시하는 전주기적 물 순환(Water Cycle)에 대한 체계적인 관리와 이를 가능케 하는 선진 환경기술을 개발하는 것이 주요한 목표이다. 중대형 막분리 고도 정수처리시스템 개발 및 상용화 등 7개 분야

10개 중과제와 27개 세부과제로 구성되고 총 63개 기관이 참여하게 된다.

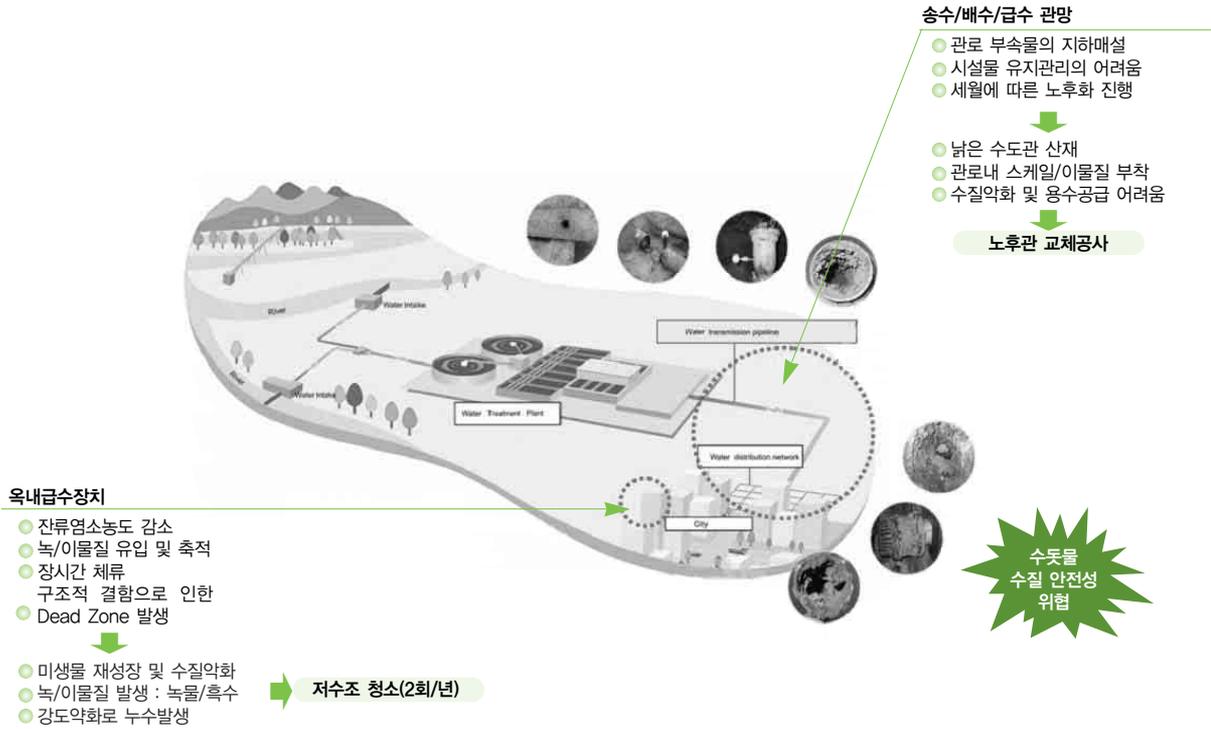
한국수자원공사는 상수 관망분야 총괄 주관기관으로 ‘상수관망의 최적 설계 및 수질관리 기술 개발’ 분야에 참여하여 용수 공급 시스템, 즉 관망시스템의 최적관리 기술을 개발하고자 하며, 이를 통해 고품질의 수돗물의 고급수질 유지를 위한 수도관망 설계 및 운영관리 기술을 개발하여 최적화된 설계 및 운영관리 기술을 통한 수질·수량·수압이라는 상수도의 3대 목표를 달성하고자 한다.

2. 현황 및 문제점

지금까지 우리나라에서는 상수도 수요량의 증가에 따라 신규 및 확장사업이 계속되고 있으나, 계획의 일관성이 부족한 상태에서 건설된 관로시설은 노후화의 진행에 따라 통수능이 저하되거나, 사수부(Dead Zone)과 같은 정체구역의 출현 등 체류시간의 증대로 인한 관로의 성능저하는 누수 및 관로의 파손으로 인한 급수 중단, 지역적·시간적 수압불량 및 수량부족, 녹물을 비롯한 수질의 악화 등 구조적·기능적 문제를 사회 곳곳에서 야기하고 있다.

현재 땅속 지하 곳곳에는 녹슬고 낡은 수도관이 산재되어 있어 수질악화의 위협이 항상 존재하고 있다. 정부에서는 급배수 관망의 기능을 회복하기 위해 해마다 막대한 예산을 들여 노후관 교체공사를 실시하고 있지만, 현실적으로 한번에 모든 수도관을 교체하기에는 예산, 시간 및 민원을 포함하여 많은 어려움이 있어 실제로 해마다 노후관 교체공사를 통하여 교체되는 부분은 전체의 일부분이다. 가정으로 공급되는 옥내 급수장치에 경우에는 있어서는 년 2회의 저수조 청소만을 법으로 강제하고 있을 뿐이다.

이러한 문제 해결을 위한 첫 번째 과정이 송수 및 급배수과정



▲ 관로시설의 현황과 문제점

에 대한 성능평가와 설계기술의 개발로서 관망분야의 합리적 이고 한국적 실정에 적합한 평가지표 및 이를 바탕으로 한 상수관망의 설계기술 개발은 수돗물의 안전한 수질유지에 보다 과학적인 기법을 제시할 수 있을 것이다.

즉, 지형적 조건 등을 고려한 압력의 균등화 및 가압시설의 효율적 운영을 통한 물 이동 에너지, 즉 전력비 절감을 목적으로 하는 최적설계 개념의 도입이라 할 수 있다. 이는 수량의 안정적 공급과 수질의 안전성을 확보하기 위한 것으로 실무자의 경험에만 의존하여 운영하는 것이 아니라 수송에너지의 절감을 고려 최적화 기법의 도입 등 운영관리를 고려한 설계기술의 개발을 통하여 관로운영의 효율화를 도모하여야 할 것이다. 선진 외국에서는 상수도관망의 설계 최적화를 위해 많은 노력을 기울여 왔으며, 공공기반시설이라는 특수성 때문에 정부로부터 많은 연구비의 지원이 이루어 졌다. 그 예로 AWWARF의 경우에는 최근 5년간 이 분야의 연구가 집중되고 있으며, 일본의 경우에도 수처리 및 상수관망 분야가 동일한 비율로 연구되고 있음을 관련 자료에서 쉽게 발견할 수 있다.

반면, 우리나라의 기술수준은 선진 외국에 비해 20년 이상 뒤 떨어져 있는 실정으로 특히, 관련 엔지니어링사의 영세성 및 경영자의 기술개발 의지의 부족 등으로 관련 기술의 개발이 매우 힘든 실정이므로 미국이나 일본과 같이 정부에서의 적극적인 연구투자가 요망되는 분야라 판단된다.

(1) 상수관망 분야

| | 현황 및 문제점 | 당면과제 |
|----|--|----------------------------------|
| 수량 | 에너지 고비용·저효율 구조 - 설계 및 시공불량 - 노후 스케일에 의한 통수능 감소 | 에너지 최소화 설계 및 운영기술 개발 |
| 수질 | 수돗물 2차오염 문제 - 미생물 재성장 등 수질악화 - 적정 속도능 확보 어려움 | 적정 속도능 확보 기술 개발 |
| 시설 | 유지관리 기술낙후 - 업체난립·기술저하 - 유지관리 공법 기준 미비 | 관로 개량공법 개발 (보수/보강 기법, 세관/라이닝 기법) |

▲ 상수관망 분야의 현황 및 문제점과 당면과제

(2) 옥내급수장치 분야

| | 현황 및 문제점 | 당면과제 |
|----|--|----------------------------|
| 체계 | 수질관리 사각지대 - 법/제도 관리체계 미비 - 유지관리 기술부재 | 건축물 내 수질 모니터링 시스템 개발 |
| 수질 | 수질오염 상존 - 수돗물 장기체류 - 이물질 등에 따른 수질악화 | 저수조 리모델링 기술 개발 |
| 시설 | 녹물 발생 - 재질 노후화 - 교체시공 어려움 | 옥내급수관 신소재 개발 및 진단/개량 공법 개발 |

▲ 옥내급수장치 분야의 현황 및 문제점과 당면과제

3. 주요연구내용

지하에 매설되어 있는 관로시설은 현재의 상태를 정확히 판단하기는 쉽지 않다. 또한 일정기간의 경과에 따라 기능이 약화된 관로는 관 자체의 물리적 결함으로부터 누수와 파손 등으로부터 경제적 손실을 발생시키기도 한다.

따라서 이를 예방하기 위한 방법으로 매설된 관로의 현재 상태를 정확히 진단하고 그 상태에 따라 관로시설을 복원하기 위한 보수/보강공법의 도입이 필요하다. 관로의 상태를 파악하고 이를 정량적으로 평가하는 일은 관로의 본래 기능을 수행토록 하기 위하여 교체를 해야 하는지, 아니면 부분보수 또는 세척 또는 라이닝과 같은 갱생을 해야 하는지, 그리고 부분보수 또는 갱생을 한다면 어떤 방법으로 접근해야 하는지, 더 나아가서는 교체는 언제 해야 하는지 등 상수관로의 상태에 따른 구체적인 대응방안을 수립할 수 있다.

이러한 기술의 종합적 결합은 상수도 시설물 관리와 배급수과정에서의 누수현황을 분석하고 효율적인 자원의 관리를 도모할 수 있으며, 배수의 균등화 및 안정화를 통해 한정된 자원의 효율적 관리와 TOC(Total Overhead Cost)의 절감을 꾀할 수 있다. 특히, 본 과업에서 개발코자 하는 고급 수질유지를 위한 관망 운영관리기술은 관망 전반에 걸쳐 적정 잔류염소, 소독부산물, 미생물 등 주요한 수질항목을 모니터링하고, 이를 기술적으로 해석·예측할 수 있는 모델을 개발하며, 관말까지 최적의 소독능을 유지하기 위한 2차 소독기법을 개발하는 것이다. 이와 동시에 송배수 관로 부식으로 인한 2차오염을 예방하기 위하여 정수장에서 적용가능한 부식성 수질 자동제어시스템 및 부식억제제 복합공정을 통하여 부식을 예방하는 기술이다.

최종적으로는 수량적인 관망해석 기술과 수질모델을 연계함으로써 실시간으로 수질을 측정하고 예측할 수 있는 첨단 관망관리기술을 개발하게 된다. 이러한 기술개발이 완료되어 실제 적용되면 동 분야에서 세계 최고수준의 기술을 보유하게 되어 우리나라가 관망수질관리에 선도적 역할을 수행할 것으로 기대된다.

(1) 에너지최소화 설계 및 운영기술

에너지 최소화 기술은 수요자가 필요로 하는 양질의 충분한 물을 공급할 수 있도록 관로를 통한 물의 이동에 따른 에너지로서 전력비를 절감하기 위한 설계 및 운영 기술로, 수학적 프로그래밍 틀에 의한 최적화 기법 적용 및 기존 모형의 한계성 극복을 위한 새로운 설계기술의 개발하여 관망의 운영시 소구

모 압력·수질 감시설비와 연계한 최적 설계 및 운영 알고리즘 도출하고자 한다.

(2) 소독능 확보기술

소독능 확보기술은 수질관리 최적화를 통하여 관로내 최적 소독능(잔류농도유지, 소독부산물 최소화)을 유지함으로써 수질 안전성을 확보하는 것으로 관로내 소독제, 소독부산물, 생물막에 대한 모니터링이 선행되어야 하고, 이를 기술적으로 해석, 예측할 수 있는 모델을 개발하고 이와 동시에 정수장과 연계한 관로내 2차 소독기법과 체류시간을 최소화할 수 있는 관망운영시스템을 개발하고자 한다.

(3) 부식방지를 위한 수질제어 기술

부식방지를 위한 수질제어 기술은 미국과 유럽 등에서 부식제어를 위하여 pH, Alk., 경도 등의 수질인자를 조절하고 있는 기술을 국내에 도입하기 위하여 현장 적용 및 검증 연구를 수행하고자 한다. 기존 차세대 핵심환경기술개발 사업 1단계 연구를 통하여 기초연구성과는 확보되어 있지만, 이를 현장에 직접 적용하기 위해서는 현장 적용 시험 등의 연구가 필요하며, 이를 통하여 부식제어에 의한 적수 발생현상을 감소시키고, 관의 잔존 수명을 연장함으로써 관 교체비용을 절감할 수 있다.

(4) 상수관로 개량공법 선정시스템

개량공법 선정평가 전문가시스템은 관로 개량시 관종 및 관상태에 따른 진단을 통해 최적의 공법을 선택할 수 있는 근거를 제공하기 위한 기법으로 상수도관로의 효율적이고, 경제적인 유지관리를 위해서는 무엇보다도 관로상태에 따른 보수 또는 개량에 대한 판단기준의 설정과 확립, 그리고 이를 통한 보수 또는 세척 및 라이닝과 같은 갱생, 그리고 교체 등을 포함한 개량공법의 실제 적용성 여부 판단, 그리고 이를 통하여 상태에 따라 상수도관로 본래의 기능을 가능하게 할 수 있는 개량공법(세관, 라이닝, 교체 등) 선정평가 전문가시스템을 개발하는 기술이다.

(5) 관망 성능평가 및 개선기법

관망의 성능평가는 상수도 서비스를 향상시킬 목적으로, 관로 계통의 공급 지속성(단수), 수질의 안전성, 경제적 공급 등 관망의 수리, 수질 및 시설에 대한 기준을 설정, 관망의 안전성, 안정성, 건전성 및 신뢰성 등을 지표화하고 정량화시키는 작

업으로, 성능평가를 통하여 관망의 문제점 도출과 개선대안을 찾을 수 있으며, 상수관망의 구조, 운영, 재질, 지형 및 기후조건, 토질조건 등 평가로 설계시 반영하여 수도물의 양적·질적, 시설평가에 대한 과학적인 기법 제시 및 국내 실정에 적합한 평가지표 도출하고자 한다.

(6) 보수·보강 공법 개발

현재 관로의 유지관리를 위한 보수·보강 공법은 관내 취약부분 즉, 굴곡이 크거나 곡관부의 경우 보수·보강이 어려우며, 설비노후로 인해 관로 부속류의 기능이 악화되어 있다. 또한, 관 연결부의 녹 발생 및 지반침하로 인해 누수 및 이탈 현상이 발생하므로, 이를 개선하기 위해서 로봇을 이용한 보수·보강 기술, 부단수 기법을 이용한 보수·보강 기술, 관연결부 부분 보수·보강 기술을 개발하고자 한다.

(7) 세관·라이닝 공법 개발

세관·라이닝 기술 및 연구 미비로 인해 관망 오염으로 인한 적수 등의 탁수 발생 및 민원이 발생하고 있으며, 상수관망 오염시 관망 교체로 인한 비용 및 에너지가 낭비되고 있다. 이는 국내 현황 및 오염 수준에 맞는 고품질 세관·라이닝 공법이 미비하므로 세관·라이닝 기술에 관한 현황파악을 통하여 세관·라이닝 공법 개발 및 오염 수준에 따른 최적 운전 공법 개발하고자 한다.

(8) 건축물내 수질모니터링 시스템 개발

건축물내 상수도시설의 부적절한 수질관리로 수질악화가 진행되어 이물질, 흐린 물, 잔류염소가 기준치에 미달하므로 2차 오염 문제를 발생시킨다.

따라서 건축물내 상수도시설의 수질모니터링이 필요하며, 건축물내 상수도시설의 제도적 장치를 마련하여 체계적으로 관리하여야 한다.

(9) 저수조 리모델링 기술 개발

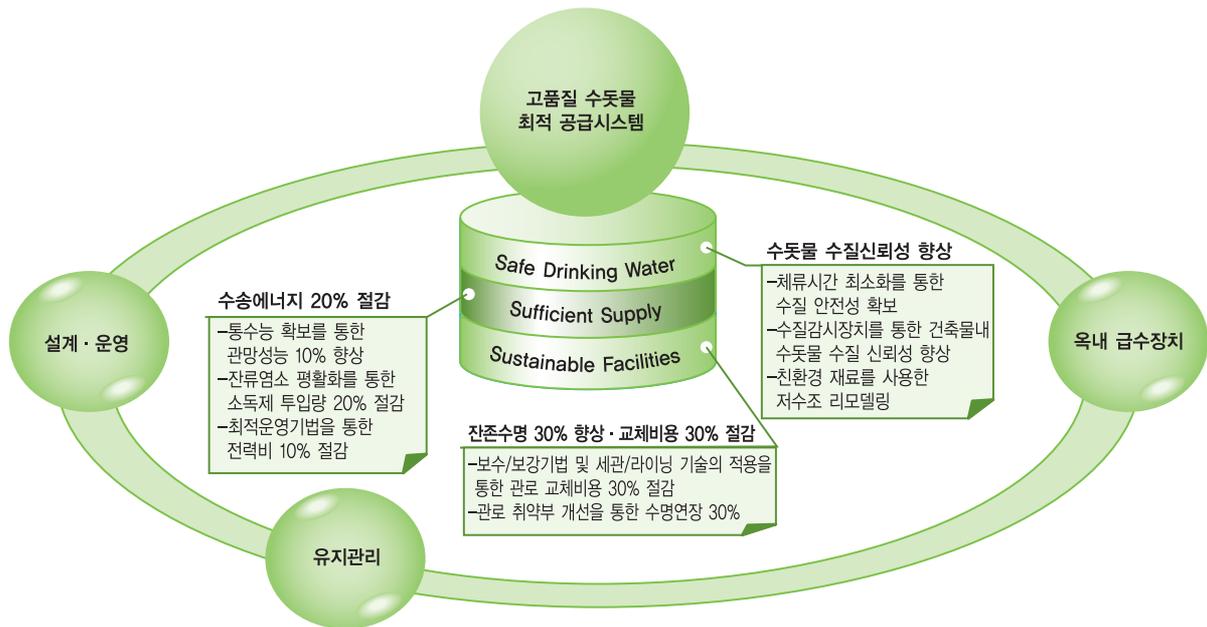
건축물내 상수도시설의 진단 및 평가기술이 비과학적이거나 체계적으로 적용되지 못하기 때문에, 저수조 시설 및 수질관리 기술의 낙후되어 있으므로, 건축물내 상수도시설의 진단 및 평가 기술을 개발하고, 수질안전성 확보를 위한 저수조 리모델링 기술을 개발하여 건축물내 상수도 시설에 대한 수질의 신뢰도를 증진시키고자 한다.

(10) 옥내급수관 신소재 개발

옥내급수관으로 사용된 아연도강관을 대체할 수 있는 신소재를 개발하고자 한다.

(11) 옥내급수관 진단·개량 공법 개발

옥내급수관으로 사용되는 소형관에 적용할 수 있는 진단기법·개량공법을 개발하고자 한다.



▲ 관망시스템 연구과제의 최종목표

4. 최종목표

연구과제의 목표는 수송에너지 20% 절감, 관 잔존수명 30%향상·관 교체비용 30% 절감, 수돗물 수질신뢰성 향상으로, 첫째 관로를 통한 수송과정에서의 안정성 확보와 수송에너지를 절감하기 위한 기술로 에너지최소화 설계 및 운영기술, 관망 성능평가 및 개선기법, 상수관로 개량공법 선정시스템을 개발하는 것이며, 둘째 수돗물 수질안전성과 약품투입량을 절감하기 위한 기술로 적정 소독능 확보 기술, 부식방지를 위한 수질 제어 기술개발을 통하여 적정 잔류염소농도의 유지, 소독부산물의 저감 및 관내 생물막의 형성을 억제코자 한다(총 4단계의 단계별 연구개발 계획은 다음 페이지의 도표 참조).

5. 연구추진체제

한편 앞에서 제시된 과제와 목표를 달성하기 위하여 주요연구 테마를 중심으로 하여 총 4개 주관기관으로 업무를 분장하였다. 제 1주관인 한국수자원공사가 설계 및 운영관리 분야를 담당하고 있으며 총괄주관을 맡기로 하였다. 제 2주관은 국내 최대의 수도관련 보수·보강 전문업체인 수자원기술(주)가 유지관리 분야를 담당한다.

제 3주관은 국내 최대의 건설관련 국책 연구기관인 한국건설기술연구원이 맡아서 옥내 급수장치중 건축물내 수질모니터링 시스템과 저수조 리모텔링 기술 개발을 수행한다. 제 4주관은 (주)비즈탑으로 한국과학기술원을 위탁기관으로 하여 옥내급수장치의 신소재 개발, 개량공법, 진단장비 개발을 추진한다.

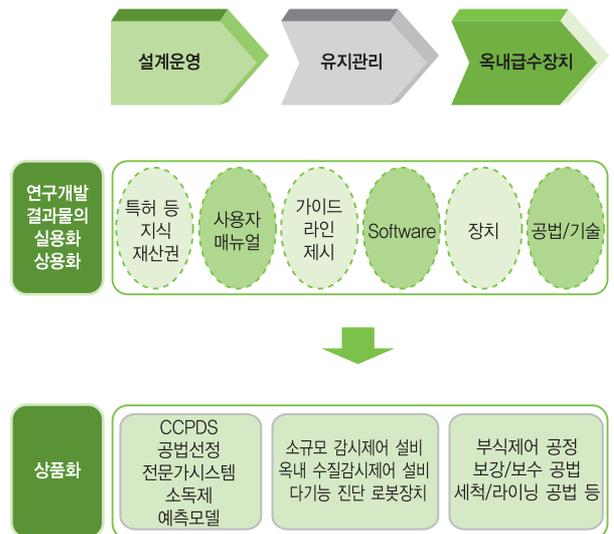
6. 기대효과

먹는 물 관련 산업의 세계시장은 정수기술 분야가 현재 15조 원이고, 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, 본 연구개발 종료지점 7년 후인 2011년에는 약 2조7,000억원의 시장규모가 형성될 것으로 추정된다.

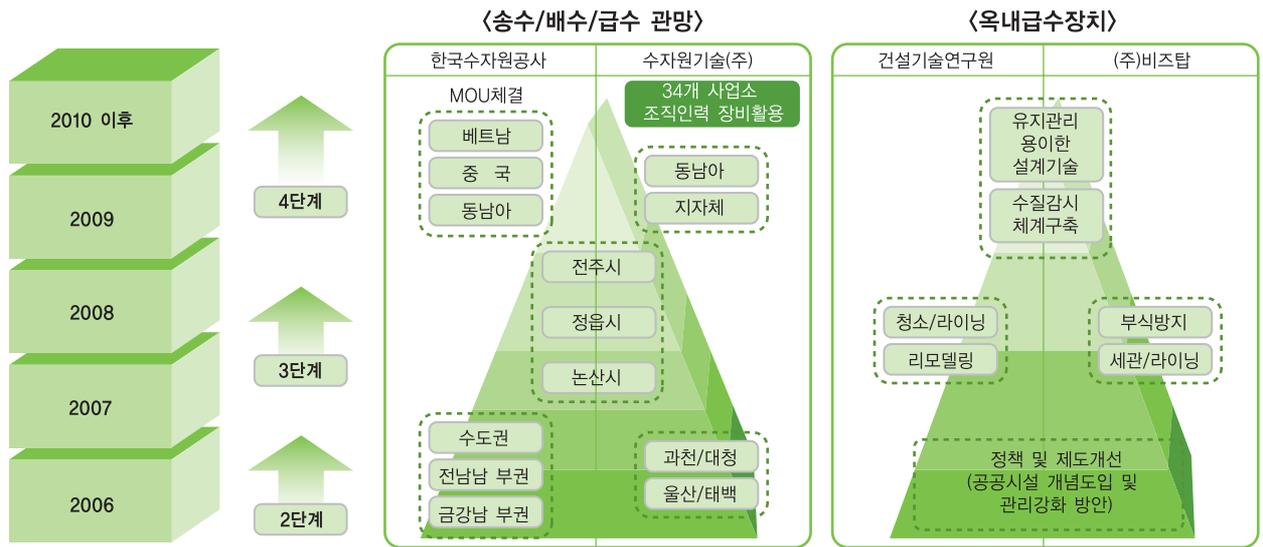


▲ 연구개발 결과물의 세계시장 진출

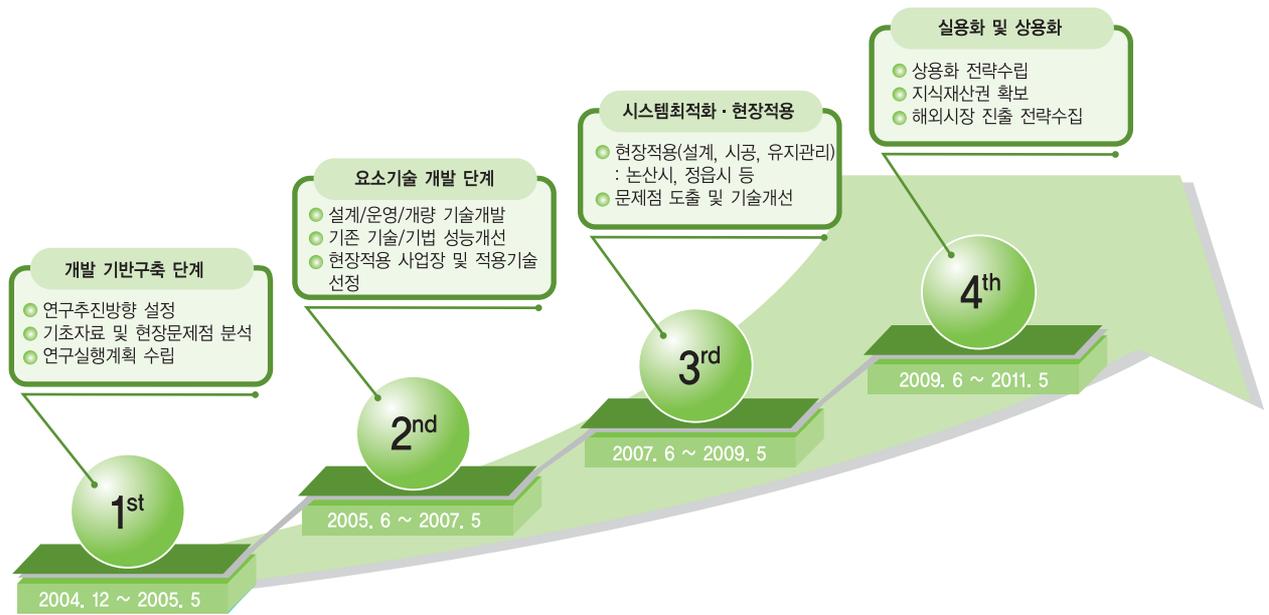
이러한 환경에서 본 연구에서 개발될 고품질 수돗물 공급을 위한 설계·운영·유지관리 시스템은 대규모 관로시설뿐만 아니라 급배수관망 및 건축물내 옥내배관의 성능개선과 수질 향상에 필요한 기반기술로서 국내수도사업의 국제경쟁력 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 이를 위하여 관망정보 획득용 소규모 감시 및 제어시스템, 성능평가 및 개선기법, 소독능 확보기술, 개량공법 선정 전문가시스템 등의 기술개발을



▲ 연구개발 결과물의 활용



▲ 주관기관별 연구개발 계획



▲ 단계별 연구개발 계획

통하여 친환경적 상수도 공급시스템이 완성되므로 설계 및 운영관리의 효율화를 꾀할 수 있다.

본 연구에서 개발되는 각종 기술의 활용주체는 상수도시설의 건설, 운영 및 유지관리를 담당하고 있는 한국수자원공사, 지자체 상수도 실무자를 포함하여 개량공법, 재료 및 시공업체와 공동주택 건설업체, 건축물 리모델링 업체, 급수설비 업체, 수처리 관련 업체 등으로 매우 폭 넓은 사용자 계층이 형성되어 성숙기에 들어서 있다.

또한 본 연구를 통하여 개발될 기술은 장치 및 S/W 등으로 나

타하며, 특히·건설신기술·환경신기술로 사업화를 통하여 환경시장의 활성화를 도모할 수 있을 뿐만 아니라 고용인력의 창출 효과도 가져올 수 있을 것이다. ☺