

Water Security의 개념



김 중 훈 ▶
고려대학교 사회환경시스템공학과 교수
jaykim@korea.ac.kr

1. 서론

2006년 11월 24일 환경부에서 주최한 “물산업 육성 5개년 추진계획 수립연구 결과발표 공청회”에 따르면, 2003년 기준 국내 물산업 분야의 국내전체시장 규모는 10조 9천억원으로 이 중 상수도분야는 5조 1천4백억원(전체 물산업 시장의 47%)을 차지하고 있다. 또한, 세계적으로도 상수도산업분야의 시장규모는 2003년 기준 349조6천억원으로 향후 매년 5.5%씩 성장하여 2015년의 세계 물산업 규모는 1,600조 원에 달하는 황금시장이 형성될 것으로 전망하고 있다. 정부에서는 이렇듯 막대한 규모의 예산이 사용되는 물산업을 효율적으로 육성하기 위해 “물산업 강국 구현”을 목표로 하여 6개 중점과제와 33개 세부실행과제를 수립하였으며, 국민의 건강 및 생활과 직접적으로 연결되는 상수도 산업의 효율 극대화를 위해 33개 세부과제 중 28개 과제에서 상수도사업의 경영체

계, 제도 및 기술혁신분야를 포함시켰다.

이와 같은 물산업 규모의 확대는 인간생활과 직결된 “물”에 대한 중요성과 관심증대를 단편적으로 나타내고 있다. 하지만 이를 다른 시각으로 바라보면, 인구증가와 생활수준 향상에 따라 보다 안전한 물의 수요증가가 예측되지만 지구상에 존재하는 “물”은 제한된 양으로 존재하며 소비자가 원하는 양질의 용수 공급은 장차 더 어려워 질 것이 예상된다는 것이다. 즉, 더 이상 “물”이 주위에서 쉽게 얻을 수 있는 대상이 아닌 이윤추구도 가능케 하는 중요한 재화로 인식되고 있다는 사실이다.

현재 국내 상수도 인프라의 시설용량은 2004년 기준 2,315만(4,418만명)으로 국민 대다수가 상수도시설에 의해 용수를 공급받고 있다. 그러나 많은 용수 공급시설이 70~80년대에 건설되어 20년 이상 경과된 노후관이 국내 전체 상수도관망의 17%를 차지하여 누수로 인한 경제적 손실이 연간 5,400억에 달하고 있으며, 노후로 인해 발생한 2차오염으로 소비자의 불신이 만연된 상태이나, 지자체의 재정 및 투자유인 부족으로 투자가 지연되고 있는 현실이다. 또한 최근 빈번하게 발생하는 기상 이변으로 인한 물부족 문제의 중요성은 전세계적인 이슈로 대두되고 있으나 국내의 경우 개발적지가 감소하고 환경단체의 반대 등으로 지표수의 추가 개발이 어려운 실정이다.

표 1. 2003년 현재 물 산업 분야별 시장규모(단위 : 조원, (%))

구 분	합 계	상수도	하수도	폐 수	생 수	정수기	기 타
국 내	10.9	5.14	4.05	0.97	0.19	0.41	0.12
	(100.0)	(47.3)	(37.2)	(8.9)	(1.7)	(3.8)	(1.1)
세 계	829.7	349.6	122.4	209.6	6.5	2.5	139.1
	(100.0)	(42.1)	(14.7)	(25.3)	(0.8)	(0.3)	(16.8)

*출처 : “물산업 육성 5개년 추진계획 수립연구 결과발표 공청회” 자료집 (2006.11. 환경부)

이와 같은 문제점에 대응하고자 정부에서는 상수도 관망 유지관리시스템구축, 새로운 소독기술 도입의 확대적용 및 유수율 제고 투자 유인을 통한 물 수요 관리의 강화와 같은 개선방안을 골자로 하여 미래형 상수도 관망관리 체계의 구축을 통한 상수도인프라의 획기적 개선을 추진 중에 있다. 그러나 정부에서 추진 중인 상수도인프라 개선방향 중 반드시 고려할 중요한 사항이 “Water Security”의 개념이다.

“Water Security”는 인간생활과 직결된 용수의 안전 및 안정적 공급을 보장하기 위한 일련의 모든 사항을 다루는 개념이다. 유사한 개념으로 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition)시스템에 대한 연구가 국내에서도 진행 중에 있으나, “Water Security”에서는 상수관망, 펌프장, 취수장, 정수처리장, 하수처리장 등과 같이 용수를 공급하기 위한 시설물과 이들 시설물을 설계하고 운영하기 위한 기술 등 일반적으로 용수공급과 관련된 기본적인 내용들은 물론이고, 용수공급과 관련된 법안, 정책, 관리체계, 관리기관 및 관리시스템 등과 같은 구조적, 비구조적 장치를 포괄적으로 포함한다. 즉, “Water Security”는 보다 광범위한 의미의 SCADA 기술이라고 할 수 있다. 실제로 이와 관련된 사항들은 국내외의 많은 연구와 개발로 인해 효율적인 기술이 개발되었다. 그러나 문제는 언급된 여러 사항 중 하나라도 문제가 있는 경우 용수공급은 원활하지 않을 것이며, “Water Security”의 개념은 최종적인 소비자가 안전한 용수를 안정적으로 공급받을 수 있도록 고려해야할 모든 것들을 포함하는 개념이다.

효율적인 “Water Security”의 구현은 광대한 범위의 내용을 포함하므로 개인적인 차원이 아닌 국가적인 차원에서 대비하여야 할 사항이다. 하지만 국내에서는 부분적인 연구만 진행되고 있는 실정으로 본 기사를 통해 “Water Security”의 개념을 소개하고자 한다.

2. 위협받는 용수공급시스템

2005년 11월 중국 지린성에서 발생한 화학공장 폭발은 중국 동북3성과 러시아 극동지역의 식수원인 송화강 일대를 오염시켰다. 그 결과 인구 1000만 명의 헤이룽장성 하얼빈시와 하바로프스크시에 4일간 단수조치와 비상사태 선포가 이루어져 도시기능 마비를 초래하였다. 국내의 경우에도 국립환경과학원의 “환경 중 의약품질 노출실태 조사(40개 지점) 최종보고서(2007)”에 따르면, 국내 4대강 유역 하천수에서 조사대상 의약품질 17종 중 아세트아미노펜(진통제)과 트레메소트림(항생제) 등 인체용 항생제 7종과 설파메톡사졸 등 동물용 항생제 6종, 총 13종의 의약품질이 검출됐다. 이 중 미국의 FDA에서 하천수의 생태계 무영향 농도로 간주하는 기준치($1\mu\text{g/L}$ 이하)를 초과한 항생제는 7개 지점에서 나온 린코마이신과 이부프로펜(인체 소염제), 설파메타진(동물용 항생제) 등 3종으로 검출 농도는 이부프로펜이 최고 $3.528\mu\text{g/L}$, 린코마이신 $2.657\mu\text{g/L}$, 설파메타진 $1.546\mu\text{g/L}$ 등으로 미 기준치를 3배 이상으로 초과한 것으로 나타났다. 특히 하수 및 폐수처리를 마친 방류수에서 13종의 의약품질이 검출되었으며, 현재의 처리시설로는 의약품질을 처리가 완벽하지 않은 것을 의미한다. 정부에서는 검출된 항생제 농도가 생태계에 상당한 영향을 미칠 수준은 아니라고 판단하고 있으나 실제 인체에 미치는 영향이 어느 정도 인지는 쉽게 판단할 수 있는 문제가 아닐 것이다.

수원지의 수질뿐만 아니라 실질적으로 용수를 공급하는 용수공급시설도 위협받고 있다. 상수도관을 비롯한 통신, 전기, 가스 등의 많은 시설들이 지중에 매설되어 있으며, 상수관의 파손사고는 대부분 다른 시설물의 공사와 연관되어 있다. 지난 2000년 4월 부산시 가야동 도로공사현장에서는 직경 150mm의 상수도관이 파손되어 4시간동안 20만 가구의 급수가 중단되었으며, 1997년 서울 방배동 지하철공사 현장의 600mm 밸브 파손은 11시간 동안 6만가구의 수도물 공급을 중단시켰다. 이 외에도 많은 상수관 파손

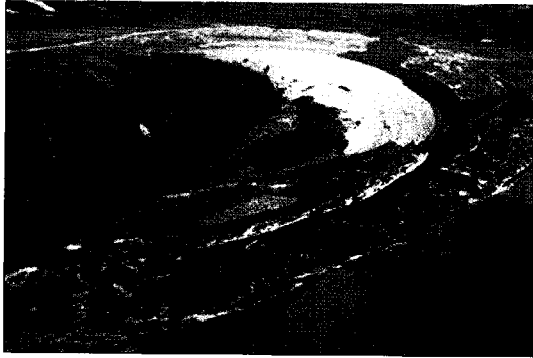


그림 1. Toxic Pollution in Harbin, China

사고가 비효율적인 지중시설물 관리로 인해 발생하여 시민 불편을 초래하였다.

한편, 지난 2007년 1월 20일, 리히터규모 4.8의 지진이 동해안 강릉에 발생하였다. 강릉 지진은 한반도 육지와 해상을 통틀어 역대 8번째(공동) 규모로, 육상만을 따진다면 4번째로 강도가 센 지진이었다. 지진 전문가들은 그동안 지진 안전지대로 여겨졌던 우리나라에서도 최근 규모가 크고 작은 지진이 잇따라 발생하고 있는 만큼 체계적인 지진 및 해일 대책을 세워야 한다고 지적하고 있다. 도심지역에 발생하는 지진은 동시다발적인 상수관 파괴를 가져올 것이며 이 경우 제한된 복구시스템을 보유한 국내에서는 그 피해를 예측하기 힘들 정도로 심각한 문제를 가져올 것이다.

최근 들어 인제로 인한 사고피해는 점차 대형화되고 있으며 기상이변 등으로 인한 자연재해의 양상 또한 점차 대형화되고 발생빈도는 증가하고 있다. 일반적으로 지진, 태풍, 해일 등과 같은 자연재해는 피해

규모가 크며 피해지역이 광범위하게 발생하고, 재해 발생 당해연도뿐만 아니라 그 이후 장기간에 걸쳐 직간접적으로 국가경제에 심각한 영향을 미친다. 특히 우리나라는 경제발전, 도시화, 산업 고도화 및 시설비용의 증대로 재해피해 규모가 매년 증가하는 추세에 있다(2002년 태풍 루사 : 약 6조원 정도의 직접피해와 약 9조의 복구비 소요).

즉, 지진, 화재, 해일 등과 같이 빈번하게 발생하는 사고, 재해, 재난에 노출된 용수공급시스템은 더 이상 안전하지 않으며, 사고, 재해, 재난에 대한 용수공급시스템의 재해관리가 효율화·선진화되지 않는 경우 재해피해규모가 국민생활에 치명적인 수준까지 이를 수 있다는 것이다. 특히 국내의 경우 상수도망의 광역화로 인해 광역상수도망에 발생하는 사고는 그 파급효과의 위험성을 증대시키고 있다. 광역상수도 이외의 소규모 상수시설에도 문제는 증가하고 있다.

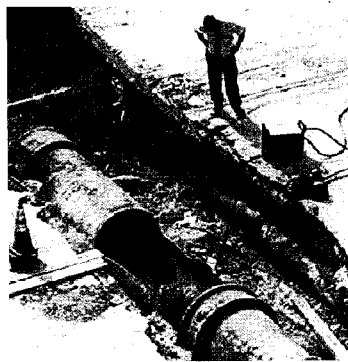
2006년 환경부와 국립환경과학원의 조사 결과에



Cambridge City, USA



Chelsea, USA



Baltimore, USA



Seoul, Korea

그림 2. Pipe Break

따르면 마을상수도 79개소 등 지하수 93개소를 조사한 결과 경기도 이천시 대월면 마을상수도의 우라늄 농도는 1,640으로, 미국의 음용수 기준치 30보다 50배 이상 초과한 것을 비롯하여 지하수 4개소 중 한 곳이 우라늄과 라돈 등의 방사선 물질에 오염돼 마실 수 없는 상태인 것으로 나타났다. 하지만 이 가운데 한 곳의 마을상수도만 사용 중단됐을 뿐 나머지는 안내문 게재와 폭기(aeration) 장치만을 설치한 채 계속 사용 중인 것으로 확인됐다. 현재 국내 음용수 수질기준에는 방사성물질의 함유기준은 제정되지 않은 상태이나, 섭취 시에 폐암과 위암을 유발하는 물질인 라돈 등에 국민이 노출되어 있다는 것은 큰 문제일 것이다.

3. Water Security 관련 국내외 연구동향

그동안 국내외 많은 분야에서 효율적인 용수공급과 관련된 연구와 기술개발이 이루어졌으나, 이 내용을 포괄적으로 포함한 “Water Security”의 개념은 미국에서 시작되었다. 미국은 1974년 안전하고 원활한 용수공급을 위해 SDWA(Safe Drinking Water Act)를 마련하였고, SDWA에 의거 USEPA(United States Environmental Protection Agency) 설립하였다. USEPA는 1974년 이후 자연재해나 사고, 테러 등에 대비하여 용수보호 대책에 대한 꾸준한 연구를 수행하였다. 특히, 2001년 9.11 테러 이후, 테러에 대비하기 위해 OHS(Office of Homeland Security)를 설립하고 관련법안(Public

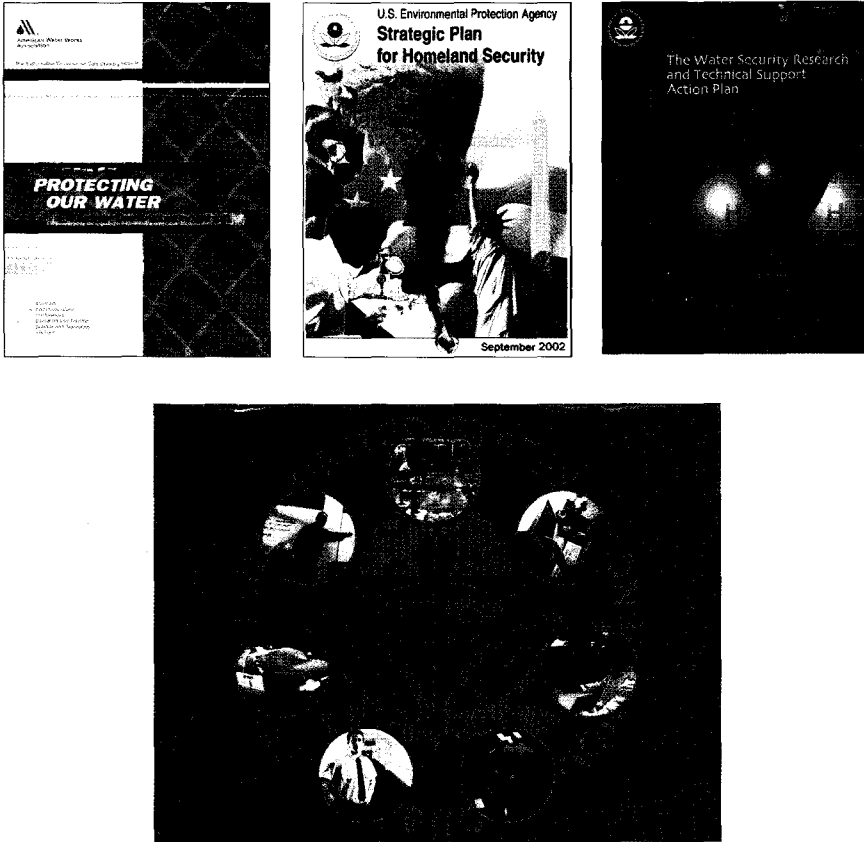


그림 3. Water Security in USA

Health Security and Bioterrorism Preparedness and Response Act of 2002) 등을 마련하며, 국가차원에서 용수보호 대책을 마련하였다. 미국에서 활발하게 연구 개발이 진행 중인 “Water Security”의 개념은 용수공급시스템을 관리하는 컴퓨터시스템에 대한 사이버테러의 대비책까지 다룰 정도로 포괄적인 내용을 다루고 있으나, 연구중심이 테러에 집중되어 있고, 용수공급체계도 국내와는 차이가 있어 국내적용에는 별도의 연구가 필요할 것이다.

유럽의 경우 대부분의 국가가 상수원의 수질환경이 열악하며, 여러 나라가 동일 상수원을 사용하는 경우가 빈번하다. EU(European Union) 출범이전부터, 상수원 보호 및 용수공급에 대한 많은 연구를 진행하였으며, EU 출범이후 체계적인 용수공급시설의 관리시스템을 개발하였다.

국내에서는 상수원 보호, 상수원 수질관리 및 정수 관련 문제에 대한 연구는 많이 진행되었으나, 용수공급시스템의 위험관리를 포함한 “Water Security”의 통합적 개념에 대한 연구는 전무한 상태이다. 국내에서는 상수원 수질자동측정망에 대한 시스템은 어느 정도 구축된 상태이며, 상수도관망 통합관리시스템(SCADA)도 초기 단계에 대한 연구와 실지역 적용이 진행된 상태이다. 그러나 용수공급시스템의 위험성 및 취약성, 상수도관망시스템의 오염예방 및 위험관리 등과 같은 포괄적 개념의 “Water Security”와 통합적인 연구는 매우 미비한 실정이다.

최근 한국건설기술연구원에서 용수공급시스템의 관리를 위한 상수도 통합관리시스템(SCADA)을 개발하였으나, 일부지점에 대한 수량, 수압측정과 몇몇 물질에 대한 수질측정만 이루어지는 초기 단계의 시

시스템으로 수원지상황, 정수장 상황, 전체 상수도관망 상황을 모니터링하고, 위험상황 발생시 조기경보 및 위기대처 의사결정과 같은 통합적인 시스템구축이 시급한 단계이다.

4. Water Security in Korea

물은 수원지에서 시작하여 취수, 도수, 정수, 송수, 배수 및 급수의 과정을 거쳐 최종적인 소비자에게 공급되며, 사용된 물은 하수관거와 하수처리시설을 거쳐 다시 수원지로 방류된다. “Water Security”는 이 모든 것이 유기적으로 연계되어 최종적인 소비자가 안전한 용수를 안정적으로 공급받을 수 있도록 고려하여야 한다.

“Water Security”와 관련되어 가장 활발한 연구 및 기술개발이 이루어지고 있는 미국에서는 테러에 대비한 내용들이 주를 이루고 있지만, 용수공급을 위한 구조적, 비구조적 사항 등이 전반적으로 포함되어 안전한 용수공급을 위한 연구가 이루어지고 있다. 따라서 이들 내용을 참고하여 국내 실정에 적합한 “Water Security”의 내용을 정리하면 다음과 같은 것들이 있을 수 있다.

4.1 수원지의 수량 확보 및 수질 확보

가. 수원지의 수량 및 수질 모니터링

- 수원지 용수공급량 및 가뭄분석
- 기온, 비점오염원 등에 의한 수원지 수질 예측
- 독성물질에 의한 수원지 오염분석
- 수원지 상황(가뭄, 수온 등)에 따른 취약시기 (dangerous period) 정보
- 수원지 모니터링을 통한 조기경보시스템 개발

나. 수원지의 수량 및 수질 확보를 위한 유지 관리 체계의 구축

- 수원지 수량 확보 및 가뭄대책 방안
- 수원지의 수질유지 방안
- 수원지의 취약시기 관리방안(수질검사 항목 추가 등)

다. 위험상황 긴급 대책 체계의 구축

- 비상 급수원 개발 방안
- 자연정화 및 약품처리 방안
- 오염물질 투입 시 정수 약품 확보 방안

라. 테러용 독성물질에 대한 연구

- 미생물학적 오염원, 화학적 오염원, 방사능 오염원

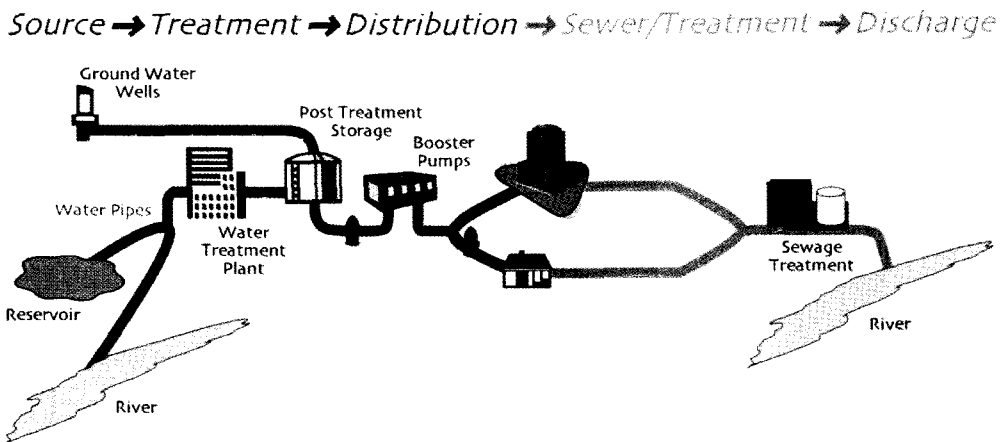


그림 4. Cycle of Water

마. 발생가능한 차세대 오염원(Biological, chemical, radiological)에 대한 연구

- 국내 및 해외 관련기관과의 연계 방안 (오염원에 대한 정보 공유)

4.2 용수공급시스템의 오염 예방 및 위험상황 관리방안

나. Water Security 위험 가능성에 대한 연구

가. 용수공급시스템의 안전성, 취약성 분석

- 위험상황의 가능성 : 테러, 자연재해, 사고 등
- 오염원 조사 : 테러, 공장 폐수, 수질악화, 이상이변 등

나. 용수공급시스템 내 오염물질의 이송, 확산에 대한 연구

- 오염 위험지대 조사
- 오염지하수의 상수도 유입 가능성 분석
- 산업시설 파괴 시 발생 가능한 오염원 분석

- 용수공급시스템의 수리학적 해석기법의 확립
- 용수공급시스템에서의 수질 변화 및 오염원 전이분석

다. 조직 체계 및 제도, 관련법 개선방안 연구

다. 용수공급시스템의 모니터링 및 경보체계 수립

- 법 제도 개정
- Water security를 위한 전문기관(ex. EPA)의 설립

- 용수공급시스템의 위험상황 및 수질감시 모니터링시스템
- 용수공급시스템의 위험상황 및 수질감시 결과에 대한 조기경보시스템
- 용수공급시스템의 안전관리 시스템

- 대 테러에 대한 관리조직 보호 프로그램
- 테러, 사고발생시 각 기관의 연계 방안
- 테러대비 물 분배 시스템 보호설비 체계 수립
- 비상자금 확보방안 수립

라. 상수관망시스템의 위험상황 및 오염원 처리 대책 수립

라. 보건, 응급(구급)체계의 수립방안 연구

- 관로 및 시설물 파괴시 보수 및 통제 방안
- 관망 내 오염원 정화 및 통제 방안
- Control and Isolation Valves의 최적위치 선정

- Bio-terrorism에 대비한 공중보건 보호방안 연구
- 비상구급체계의 수립방안

마. 통합 SCADA시스템의 개발

- 수원지-소비자 사이의 모든 경로를 관리하는 통합 SCADA시스템
- 용수공급시스템관련 통합 D/B 관리 방안
- SCADA시스템 사이버테러에 대한 연구

위에 언급된 내용들 외에도 “Water Security”에 포함되어야 할 사항이 있을 것이며, 여기서 제안된 내용이 “Water Security”의 전체 내용을 대표한다고 하기에는 무리가 있을 것이다. 현재 국내외에서 용수 공급시스템과 관련된 많은 기술들이 개발되거나 개발 중에 있지만, 대부분 독립적으로 개발되어 그 효용이 높지 않은 실정이다. 궁극적인 “Water Security” 기술은 다양한 첨단기술의 복합을 통해 개발이 가능할 것이다. 그러나 현재 개발 중이거나 완료된 상수도 관련 기술들은 각각의 기술들이 연계되어 상호 보완할 때 기술의 효용이 증가할 것이며 본 기사에서 소개하는 “Water Security”의 개념이 도입될 때 그 효

4.3 비구조적 대책 및 방안의 연구

가. Water Security System 연계체계 수립

- 국가 전역에 걸친 시스템의 연계 방안

율이 극대화될 것이다. 즉, “Water Security”의 포괄적인 개념을 바탕으로 현재 개발되어 활용되고 있는 기술을 보다 발전시키고 추가적인 기술을 개발하여 연계한 미래지향적 용수관리시스템이 개발된다면, 현재까지 개발된 정수처리기술 및 관련기술의 효과 최대화가 얻어질 수 있을 것이다. 더 나아가, 효율적인 용수공급시설 관리를 통한 막대한 국가예산의 절감과 보다 안전하고 안정적인 용수공급을 통한 국민 복지의 향상을 기대할 수 있을 것이다.

5. 결 언

최근 도시지역 인구 증가 및 산업 밀집에 따른 급수량 증가와 환경오염의 증가로 인해 국민의 복지를 위해 공공 목적 하에 실시되는 상하수도사업 분야에 대한 대응기술 개발을 위해 지속적인 투자가 확대되는 시기이다. 상수도사업의 경우 2004년 현재 국내 상수도보급률은 90.1%(2004 상수도통계)로 신규 관망의 설치에서 기존 상수도네트워크의 효율증대와 유지관리로의 의식전환이 이루어지고 있으며, 하수도사업의 경우 2003년 현재 하수도 보급률은 70%로 지속적인 하수관거 보급 사업과 더불어 노후관거 정비, 처리장 증설 및 효율 향상을 위한 사업을 추진하고 관련 시설물 통합운영방안을 모색하고 있다.

이에 따라 정부는 2010년까지 차세대환경핵심기술개발사업 추진, 지역환경기술센터 등 환경 R&D에 1,300억원 규모의 투자를 계획(2005, 차세대사업추진계획, 환경정책실)하였으며, 최근 5년간 환경부의 하수도사업 투자 비용은 10조 9,786억원, 2006년부터 향후 10년간 약 26조원 규모의 환경부 하수도사업 중기 투자계획을 수립(2004, 하수도사업 중기투자계획, 환경부)하였다. 또한, 상하수도 정보화 장기종합계획(2001~2010년)에 따라 상하수도 업무의 정보화를 통한 시설관리 및 관련 행정의 효율성을 도모(2001, 상하수도정보화 장기종합계획, 환경부)하고, 환경부 주도하에 지속적인 관거 정비사업을 추진하고

국외 선진기술의 도입뿐만 아니라 선도적 기술 개발을 위하여 막대한 비용 투자를 계획하고 있다.

그러나 정부 주도하에 이루어진 상하수도 관련 현행 투자 현황 및 계획들은 연구개발보다는 대부분 관거 보급률의 확대 및 관련 시설물의 증/신설에 집중되어 있고, 관련 사업 및 연구는 정수 및 하수처리 시설을 비롯한 개별 시설물 설계 및 운영상의 효율 향상에 국한되어 있다. 그나마 예정된 상하수도 정보화 장기종합계획 등과 같은 정부의 연구개발 투자는 관련 시설물의 모니터링 및 데이터 획득의 틀에서 크게 벗어나지 않는 등 원천기술 확보에 미흡한 실정이다. 더욱이, 관련 시설물의 설계, 증설, 신설 등 정비사업에 있어서 투자효율을 높이기 위해서는 이를 설계하고 관리하기 위한 통합시스템 구축이 필수적이며, 예산의 효율적 사용을 위해서는 향후 연구개발 분야에 대한 구체적인 투자계획의 수립이 시급히 이루어져야 할 것이다. 또한, 오늘날 인재(人災)에 의한 사고뿐 아니라 전 세계적으로 지진, 쓰나미, 태풍 등과 같은 기상이변으로 인한 재해가 급증하고 있다. 이러한 재앙은 미연에 방지하는 것이 최선이겠으나, 일단 발생되었을 경우 용수공급 중단을 초래하며, 이는 국민 건강, 나아가 국가 안위를 위협한다. 용수공급의 안전성과 안정성 확보를 위한 용수공급시스템의 효율적 관리 및 운용기술은 매우 중요한 문제이며, 개인적인 차원이 아닌 국가적인 차원에서 대비하여야 할 사항이다.

본 기사에서는 안전한 용수의 안정적 공급을 위한 “Water Security”의 개념을 소개하였으며, 앞에서도 언급하였듯이 “Water Security” 기술은 다양한 첨단기술의 복합을 통해 확보가 가능하며, 다루어야 할 많은 분야를 포함하고 있다. 이어지는 세 개 기사에서는 “Water Security” 기술에 필수적으로 포함되어야 할 많은 분야 중에서 용수공급시설과 관련된 분야와 수질확보 관련 분야인 “상수관망의 안정적 유지관리를 위한 의사결정시스템”, “안정적 용수공급을 위한 상수관망의 운영방안” 및 “수질분야 Water Security 확보방안 기술”을 소개하였다. ●