

기후변화에 대응한 서울시 물관리 전략

2008. 4. 21 제10호

김영란 / 서울시정개발연구원 연구위원

김갑수 / 서울시정개발연구원 선임연구위원

〈 목 차 〉

요약

- I. 기후변화에 취약한 서울시 물환경
- II. 물관리를 위한 외국의 노력
- III. 지속가능한 물관리체계 구축을 위한
서울시 전략

요 약

도시화로 인한 기후변화는 열섬현상, 강우편중, 가뭄 등으로 서울의 물순환계의 이상 징후를 표출하고 있다. 서울의 기온은 지난 40년간 1.5℃ 증가하여 지난 100년간 세계 평균 상승치인 0.4~0.8℃의 2.5배 이상으로 급격히 상승하였다. 이는 고밀 개발로 인한 녹지 감소, 도로 포장률 증가, 하천 친수공간 감소 등으로 도시환경의 건조화가 가속화되었기 때문이다. 또한 불투수면의 증가로 지하수 수위가 낮아지고, 하천으로 물이 유입되지 못한 결과 하천의 건천화가 초래되는 등 기후변화에 의한 물순환계의 악화는 이미 현실화되고 있다.

집중호우시에는 지표면으로 일시에 빗물이 유출됨으로써 하천변이나 저지대는 상습적으로 침수피해를 겪고 있다. 또한 지하수 수위와 용천수 고갈로 인한 하천의 유량 감소는 각종 수질보전대책에도 불구하고 한강을 비롯한 36개 하천의 수질 개선을 어렵게 하고 있다. 더욱이 2000년대 이후 갈수기와 홍수기가 증가함에 따라 기존의 물관리정책을 취약하게 만들고 생활환경을 악화시키고 있어, 물순환을 통한 물관리정책의 패러다임 전환이 시급하다.

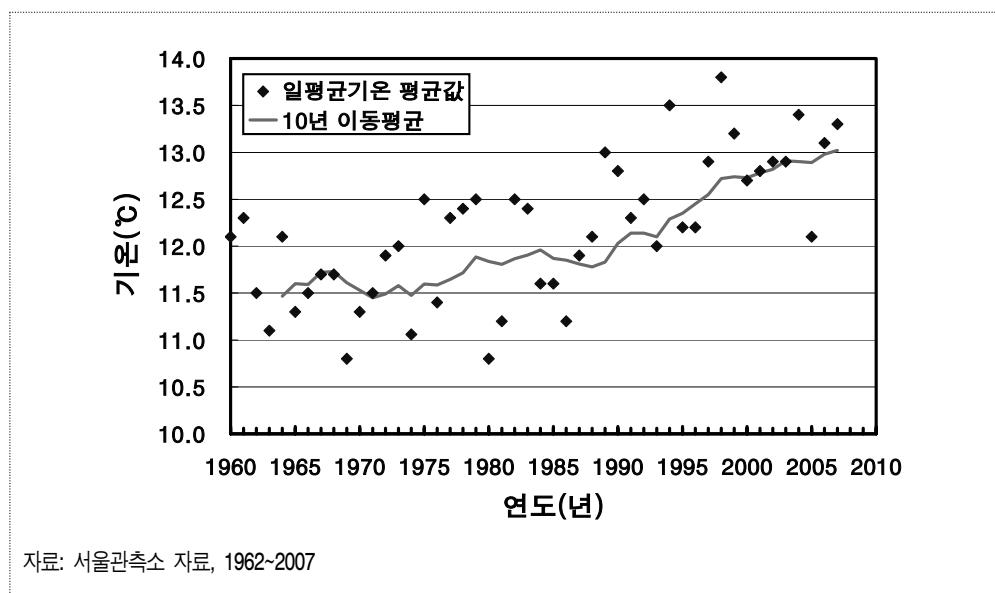
예상할 수 없는 기후변화에 대응하고 후손에게 지속가능한 물 자원을 물려주기 위해, 앞으로 서울시의 물관리정책은 친환경 물순환 회복정책으로 방향을 전환해야 한다. 즉, 지표면의 증발산량이 많은 물순환체계로 전환하여 도시 자체가 기온조절 기능을 가지고 증발작용이 원활하게 이루어지도록 한다. 또한 물재생용수(고도처리수)를 제3의 물산업으로 육성하여 높은 상수도 의존율을 낮추고 안정적인 수자원으로 확보한다.

친환경 물순환체계를 회복하기 위해서는 우선 불투수면으로 덮여진 지표면을 침투면으로 개량하여 지표면유출량을 현재 연강우량의 48%에서 1960년대 수준인 9%로 저감한다. 건조해진 도시를 쾌적한 생활환경으로 조성하기 위해서는 옥상녹화, 빗물 이용 및 빗물저류시설을 통해 증발산량을 연강우량의 27%에서 46%로 증가시킨다. 친수공간을 조성하고 건천화된 하천에 물이 흐르게 함으로써 시가지의 증발산 면적을 30% 이상 확보한다. 또한 용수 대부분을 외부수원에서 공급받는 광역 상수도 의존율을 84%로 완화하고 물재생용수와 빗물 등을 적극 이용하여, 자체적으로 물위기 조절 능력을 확보하도록 한다. 특히 물재생용수는 서울의 물자립도를 높이기 위한 유효한 수자원으로서의 위치를 부여해, 상수와 하수 다음으로 제3의 물산업 대상용수로 지칭할 필요가 있다.

I. 기후변화에 취약한 서울시 물환경

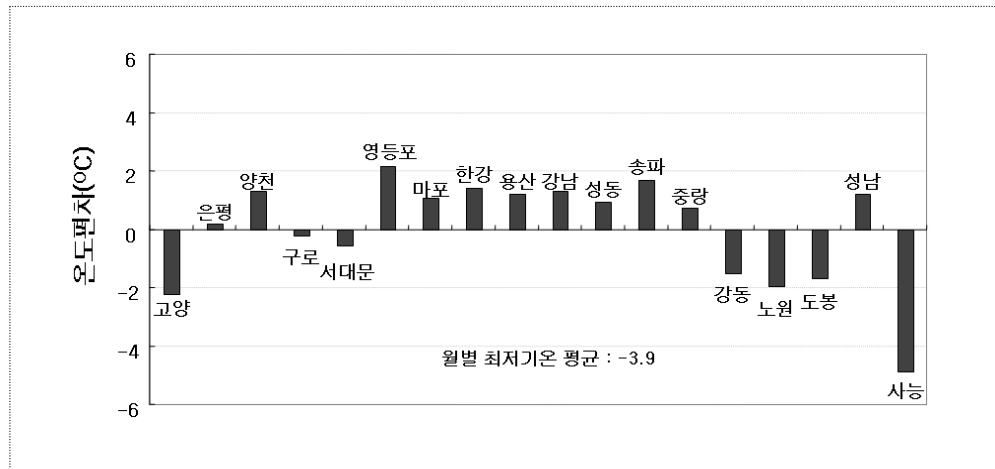
건조해지는 도시환경

- 연평균기온의 지속적 증가: 11.5℃(1960년대) → 13.0℃(2000년대)
- 서울의 기온은 1960년대의 11.5℃에서 현재 13.0℃로 1.5℃가 증가
- 도시화로 인한 녹지 감소, 지표면 포장률 증가, 하천 친수공간 감소는 여름철 열섬현상 등 도시 생활환경의 건조화를 가속



[그림 1] 서울시 연도별 일평균기온 변화

- 외곽지역보다 높은 서울의 기온: 영등포와 경기도 사능의 기온차는 8℃
- 도시화로 인한 녹지 감소, 도로 포장률 증가, 하천 건천화 등으로 서울은 주변 외곽지역과 다른 도시기후를 형성
- 영등포의 최저기온은 경기도 남양주시의 사능보다 약 8℃ 높아 도시화로 인한 기온상승 현상이 뚜렷

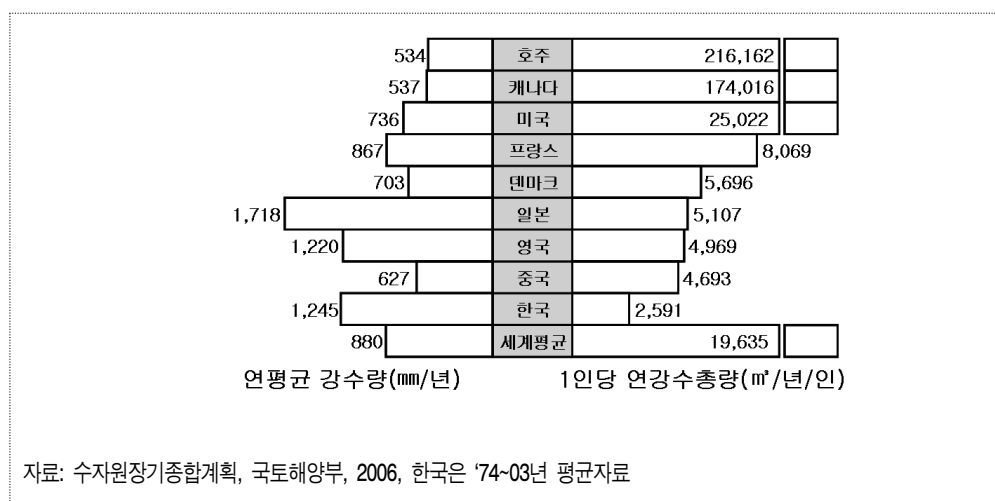


[그림 2] 2006년 1월 서울시와 외곽지역 1일 최저기온 분포 비교

이용가능한 수자원량의 감소

□ 1인당 수자원량은 세계 평균의 1/8에 불과

- 우리나라의 연평균 강수량은 1,245mm로 세계 평균의 1.4배지만, 1인당 강수량은 높은 인구밀도로 인해 연간 2,591m³으로 세계 평균의 약 1/8에 불과



[그림 3] 세계 평균과 비교한 우리나라의 강수량 및 1인당 강수량

- 1인당 이용할 수 있는 수자원량(연평균 자연하천유출량/인구)은 1,493^{m³}에서 2025년에 1,340^{m³}으로 감소할 것으로 전망

<표 1> 우리나라 연간 1인당 이용가능한 수자원량에 대한 전망

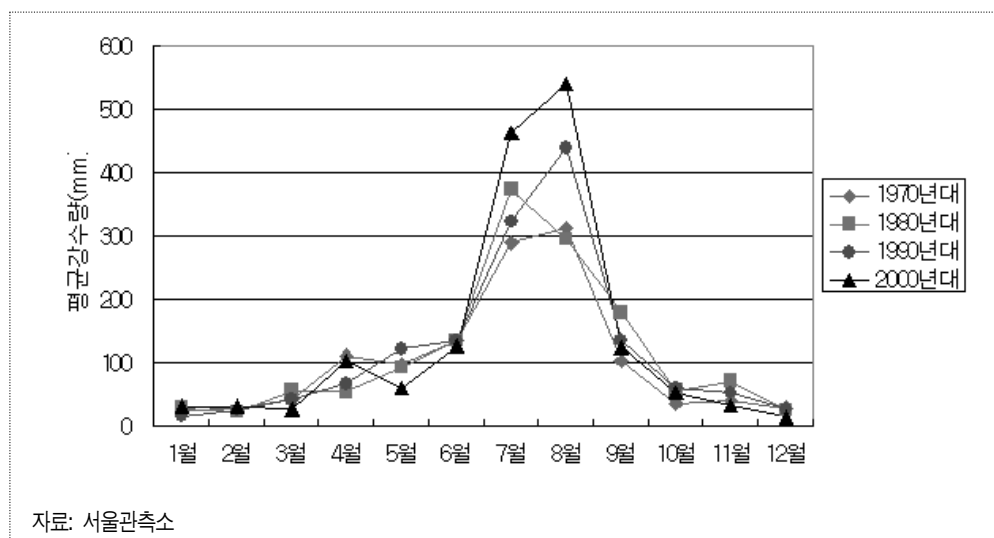
구분	2002년	2005년		
		최저인구 전망	중간인구 전망	최대인구 전망
인구(천명)	46,740	50,650	52,065	53,407
1인당 가용수자원량(㎡)	1,493	1,378	1,340	1,307

자료: 국제인구행동연구소(PAI) 보고서, 2002

편중되는 강수량과 홍수피해 증가

□ 기후변화에 따라 강수량 편중현상 가중

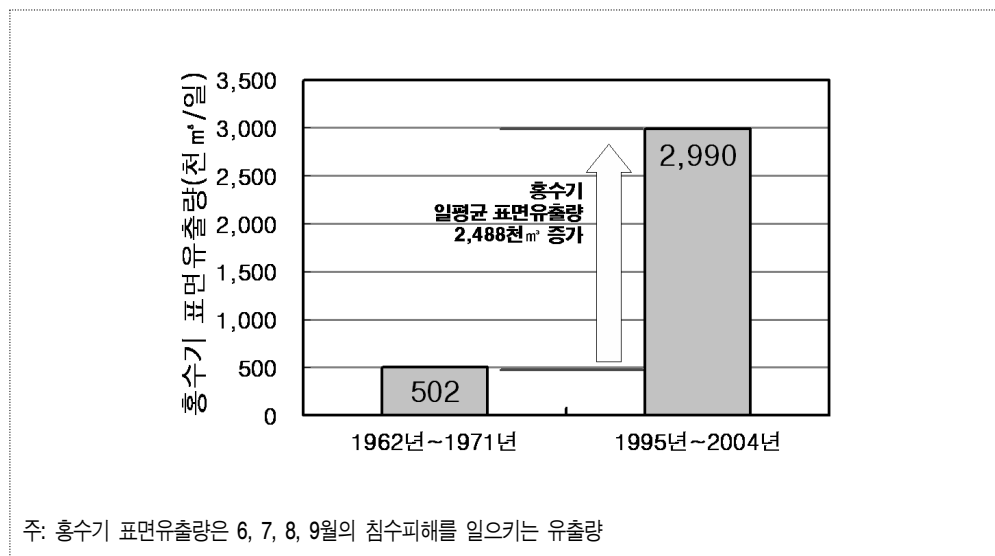
- 강수량은 평수기와 갈수기에 감소하는 반면 홍수기에 집중되는 경향이 뚜렷
- 강수량 집중현상으로 홍수기 침수피해와 갈수기의 물부족 위기 발생



[그림 4] 서울시 월별 강수량 발생현황

□ 홍수기의 지표유출량의 증가로 침수피해가능성 증가

- 지표유출량은 1960년대의 평균 502천^{m³}/일에서 현재는 2,990천^{m³}/일로 거의 6배 정도 증가하여 침수피해 가중
- 서울시는 최근 20년간 네 번의 큰 홍수피해가 발생하여 시민의 생명과 재산에 큰 손실 초래



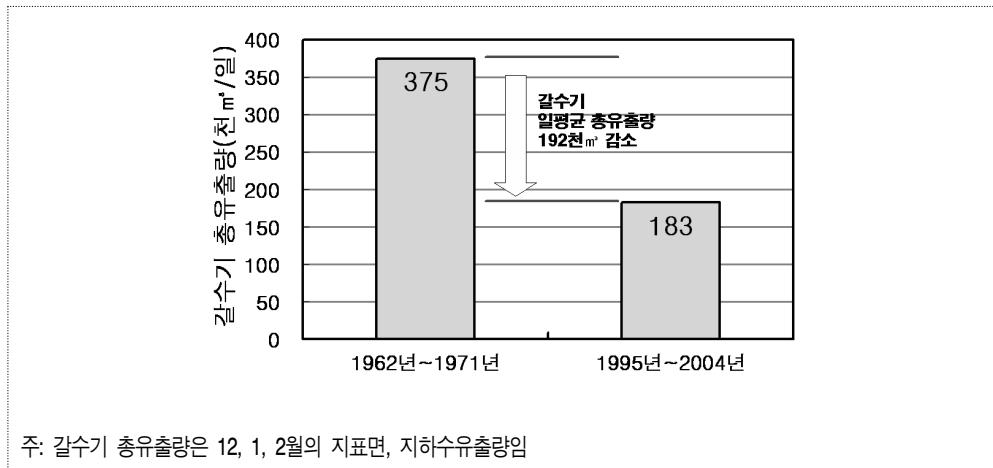
[그림 5] 1960년에 대비 최근 2000년대의 홍수기 표면유출량 증가량

하천의 건천화로 생태환경 악화

□ 36개 하천 중 24개 하천이 물이 흐르지 않는 건천

- 홍수기 강우량 편중현상과 갈수기의 하천유입량 감소로 건천현상 심화
- 갈수기 강수량은 감소하여 시민이 접촉할 수 있는 친수공간 소멸
- 불투수면으로 변한 지표면으로 강우시 빗물이 땅속으로 침투하지 못한 결과 지하수 수위가 낮아져 하천으로 물이 유입되지 못함.

- 일평균유출량은 1960년대의 375천^{m³}/일에서 현재는 절반으로(183천^{m³}/일) 감소하여 하천에 물이 흐르지 않고 시민의 휴식공간이 사라짐.



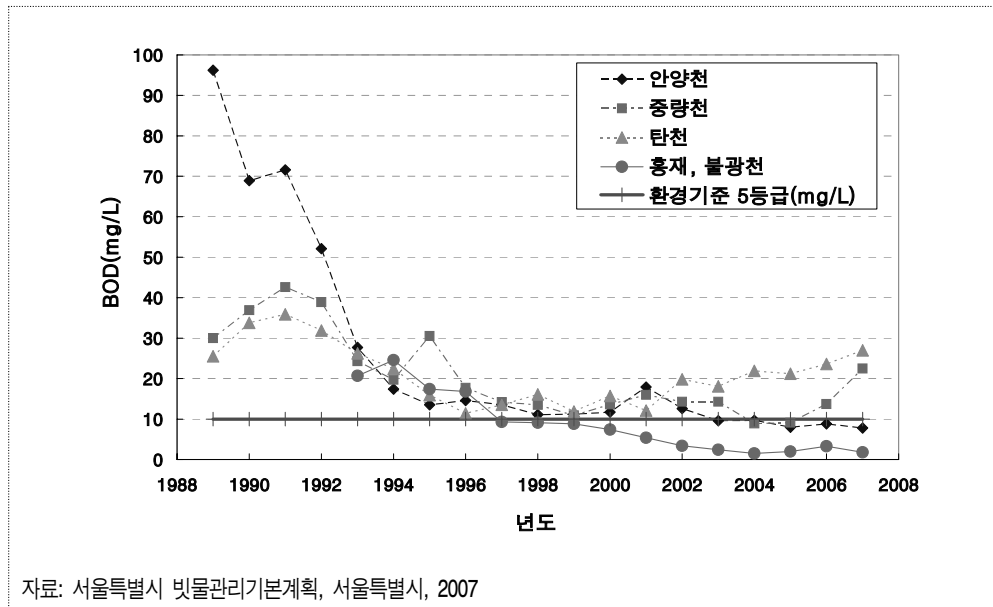
[그림 6] 1960년에 대비 최근 2000년대의 갈수기 총유출량 감소량



[그림 7] 서울시 물이 흐르지 않는 하천

- 꾸준한 수질 개선 노력에도 불구하고 하천 수질환경 기준 초과
 - 환경부가 제시한 '물고기가 뛰놀고 아이들이 먹 감을 수 있는 물환경 조성'이라는 목표 달성을 위해서는 하천 수질이 청계천 수질 3.0mg/L 정도 수준으로 회복할 필요

- 중랑천과 탄천의 수질은 각각 22.5mg/L, 27.0mg/L로, 수질환경 기준 10mg/L을 훨씬 초과

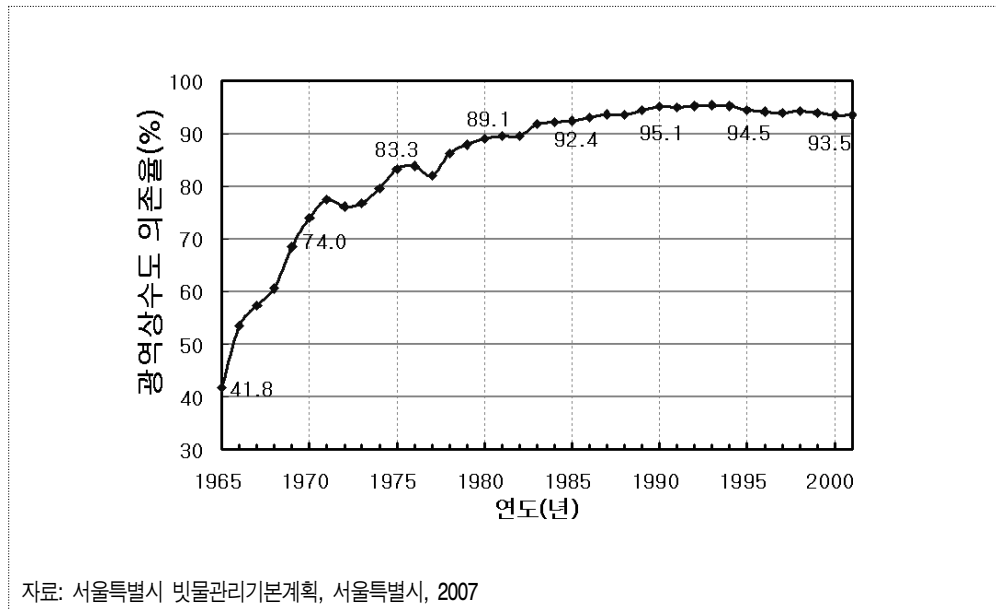


[그림 8] 중랑천, 탄천, 안양천, 홍제·불광천의 연도별 수질 변화

낮은 물자립도에 대한 서울시민의 인식 부족

□ 광역 상수도 보급으로 물부족 위기에 대한 인식 부족

- 국가별 1인당 연간 재생 가능한 수자원량을 기준으로 할 때 우리나라는 130위(2005년 기준)로 물부족국가
- 그러나 한강수원에 의한 광역 상수도 보급률이 100%에 달하여 물부족 위기에 대한 시민 인식이 부족하고 물관리 필요성을 느끼지 못함.
- 생활용수의 상수도 의존율이 93.5%로 지나치게 높은 상황
- 생활용수는 대부분 상수도를 이용하고 있으며 의존율은 1965년에 41.8%에서 2000년에 93.5%로 크게 증가



[그림 9] 서울시 광역 상수도 의존율 변화

- 낮아지는 지하수 수위로 비상용수 급수원으로 기능 약화
- 상수도 대체용수로 서울시가 자체적으로 확보할 수 있는 지하수, 중수도, 빗물 등이 이용되고 있으나 6.5% 미만으로 외부용수 공급량에 비해 극소량
 - 지하수이용량은 상수도 보급율 증가에 의해 1996년에 47,313천^{m³}/년에서 2003년 35,854천^{m³}/년으로 감소
 - 지하수 수위는 불투수면 증가에 따라 빗물이 침투되지 못하고 지하개발에 의하여 1996년보다 9cm 낮아짐.

<표 2> 서울시 지하수 수위 변화

구분	1996년	2003년
지하수 이용량(천 ^{m³} /년)	47,313	35,854
지하수 수위(E.L., m)	12.32	12.23

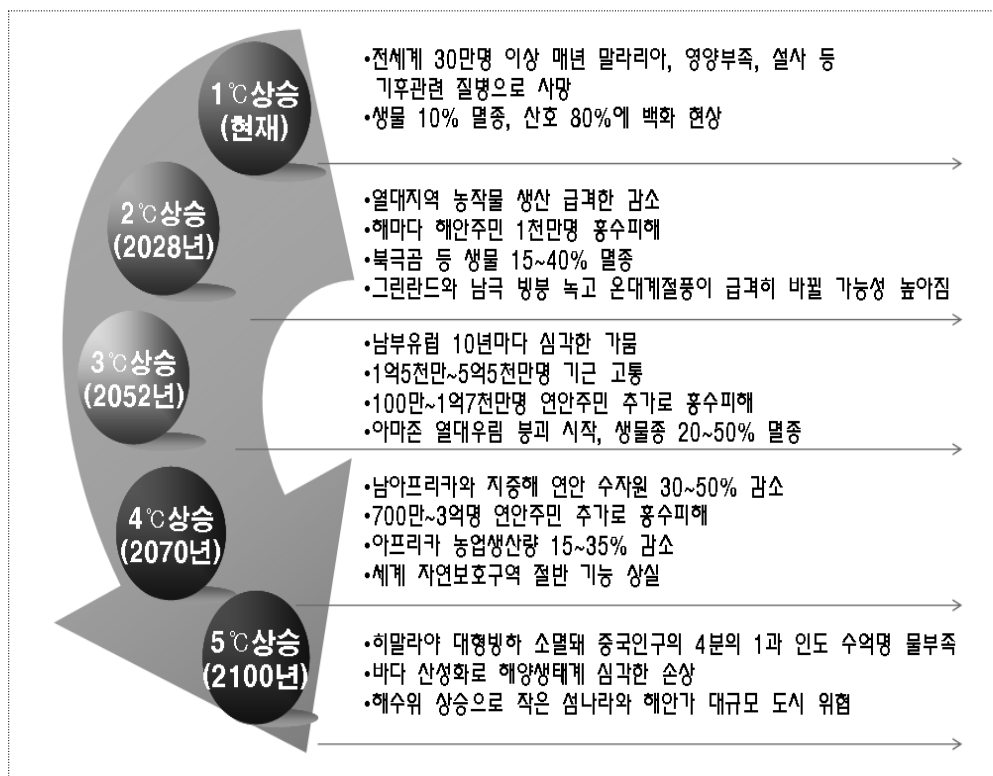
자료: 서울특별시 지하수 관리계획, 서울특별시, 2006

II. 물관리를 위한 외국의 노력

지구촌 생명을 위협하는 기후변화

□ 계속되는 기후변화

- 20세기 100년간 전 지구 연평균 지표면 온도는 약 0.4~0.8℃ 정도 상승
- 1990~2100년 동안 평균 지표면 온도는 1.4~5.8℃ 정도 오르고 해수면은 9~88cm 상승할 것으로 전망(국토해양부, 제16회 물의 날 자료, 2007)
- 니컬러스 스톤의 기후변화의 경제학 보고서(2006)에서는 앞으로 기온이 현재보다 2028년 2℃, 2052년 3℃, 2070년 4℃, 2100년 5℃ 상승해 홍수피해와 물부족 현상은 심각해질 것으로 예측

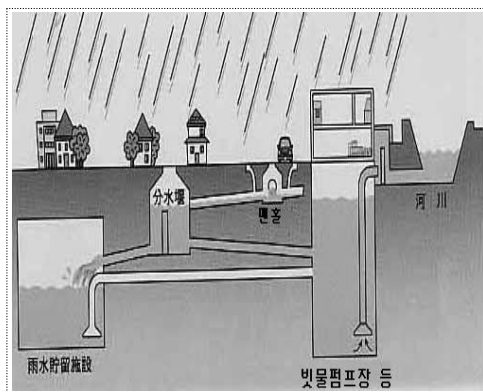


[그림 10] 기후변화에 따른 세계 재해

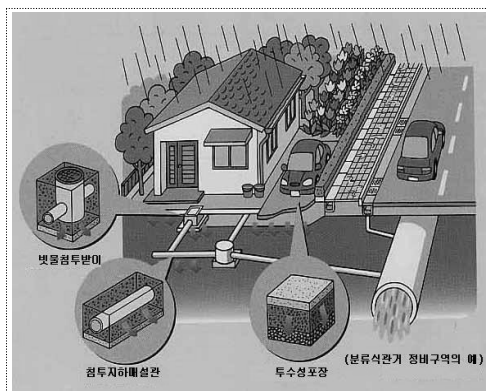
강우량 관리를 위한 외국 물관리 전략

□ 일본의 집중 강수량 조절 전략

- 강우시 우수유출 저감에 의한 강우 관리에 주력
 - 1960년대 하천법과 도시계획법을 제정하여 우수유출 저감시설(우수저류 시설 및 우수침투시설) 설치 및 정비에 대한 기본체계 구축
 - 1980년대에는 도시의 우수유출 저감시설 설치사업을 본격적으로 확대하여 도시 침수피해 해소를 위해 하천과 하수도를 연계한 종합 우수대책 추진



[그림 11] 도시의 우수저류시설 설치



[그림 12] 주택지 침투시설 설치

- 물순환 재생 시스템으로 하천유량 확보와 지하수 함양 유도
 - 개발지역별로 우수저류시설 및 침투시설의 도입 타당성을 검토하여 설치 수준을 정함

<표 3> 일본의 물순환회복을 위한 우수저류시설 및 침투시설 설치수준 결정

설치수준	설치장소 선정의 기본방침	주요 설치대상 토지
표준형	공공, 공익시설용지에 한정(공단의 집합주택 포함)	공원, 교육시설, 집합주택 등
노력형	일반 독립주택 대상	일반주택, 구획도로
이상형	설치가 가능한 모든 대상	도시지역, 근린지역 등

□ 미국의 도시강우 관리

- 홍수터 관리와 도시호우 관리로 구분하여 홍수량 관리에 주력
 - 홍수터 관리는 대규모 홍수발생 시 지침을 제시하고 하천변 개발행위를 규제
 - 도시호우 관리는 도시에서 개발로 인해 증가하는 우수유출량을 저감하는 것으로, 개발행위 제한과 저류 및 침투시설 설치 등에 관하여 제시
 - 소규모 우수지, 건습식 우수지, 하수관거내 저류, 주차장 저류 등 시설 설치
- 주정부 및 지방자치단체 조례를 통한 강우 관리와 오염 관리
 - 수질오염 관리에 큰 관심을 가지고 우수저류 기술 적용
 - 대표적 기준으로 호우관리조례, 맑은물 규칙, 습지규칙 등을 제정

물 재이용을 통한 물확보 노력

- 물부족국가 대부분이 국가 생존을 위하여 하수처리수 재이용사업을 추진
 - 물부족국가 대부분이 하수처리수를 기존 수자원의 대체 수원으로 생활용수, 농·공업용수, 하천유지용수로 활용
 - 싱가포르의 상수원수 75%를 말레이시아에서 수입하는 실정으로, 재이용사업(NEW-WATER Project)을 적극 추진. 공업용수 및 간접 음용수로 이용
 - 우리나라도 물재생용수 이용 확대를 위해 환경부에서 시범사업을 적극 추진 중이나, 서울은 대체용수 이용실적이 전무한 실정
 - 물재생용수 이용은 00년 2.9% → 03년 5.4% → 06년 7.7%로 꾸준히 증가

<표 4> 외국의 하수처리수 재이용 현황

구분	미국(Florida)	싱가포르	호주	이스라엘	쿠웨이트	한국(서울 ¹⁾)
재이용률	52%	6.7%	7.3%	10.0%	15.0%	7.7%(0.0%)

주: 서울시는 하수처리수 재이용률의 처리장 내 이용률은 1.6%이며 도시대체용수로 이용하고 있지 않음.

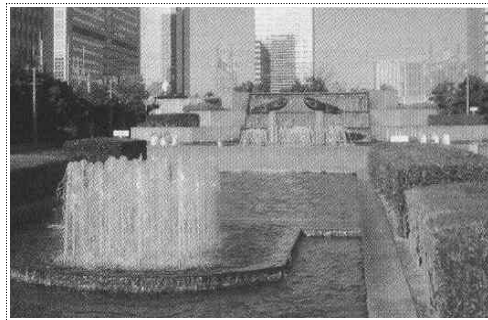
자료: 하수처리수 재이용 가이드북, 환경부, 2007

□ 하수처리수 재이용을 통한 일본의 친환경 도시 조성 노력

- 일본은 하수처리수를 화장실, 환경용수, 공업용수, 농업용수로 이용
 - 2004년 기준으로 매년 하수처리수 19,369만 m^3 를 재이용하며, 이 중 하천 유지용수로 31%, 도시 내 수경용수로 23.1%를 이용
 - 도시 내 수경용수로 공급된 하수처리수는 열섬현상 완화역할 수행



[그림 13] 도시 열섬현상 완화용수로 이용



[그림 14] 하천 유지용수로 이용



[그림 15] 도시 수경용수로 이용



[그림 16] 차량 세척용수로 이용

□ 빗물 이용에 의한 상수 이용량 저감

- 일본은 공공기관, 학교, 주택에 빗물 이용시설을 설치하여 대체용수로 사용
 - 옥상녹화의 정원용수는 일사량이 많은 여름철 실내온도를 낮추어 에너지 절감효과가 있으며, 수경용수는 주변기온을 조절하여 열섬현상을 완화
- 지진 및 재해발생 시 소방용수와 비상음용수로 활용

Ⅲ. 지속가능한 물관리체계 구축을 위한 서울시 전략

『21세기 물(Blue Gold)의 시대』에 대응한 친환경 물순환 회복정책으로 방향 전환

- 친환경 물순환 체계를 회복하여 강우손실율을 1960년대로 개선: 빗물침투 시설, 빗물이용시설, 빗물저류시설 설치를 통해 2000년대 48% → 1960년대 9%로 강우손실율 저감

친환경 물순환 회복을 위한 개선량

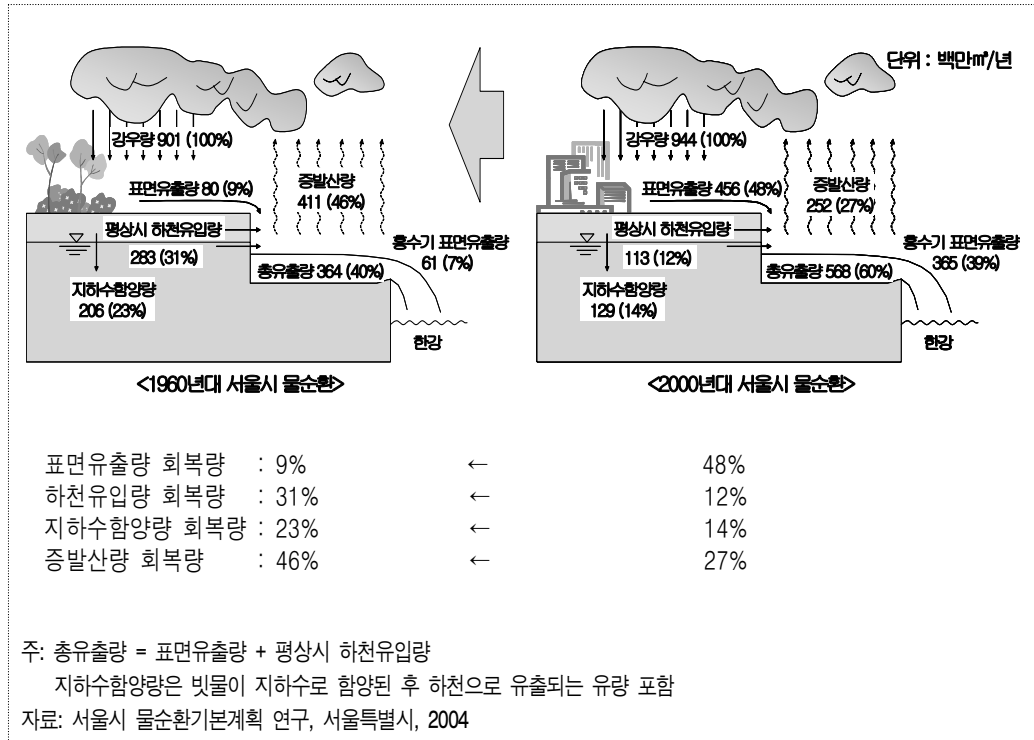
- ① 표면유출량 회복량 : 연 강우량의 48%(2000년대) → 9%로 개선
- ② 하천유입량 회복량 : 연 강우량의 12%(2000년대) → 31%로 개선
- ③ 지하수함양량 회복량 : 연 강우량의 14%(2000년대) → 23%로 개선
- ④ 증발산량 회복량 : 연 강우량의 27%(2000년대) → 46%로 개선

- 친환경 물순환체계를 구축하여 국제도시 위상에 걸맞은 친환경도시로 변모
 - 강우시 빗물이 즉시 땅속으로 스며들도록 불투수면을 침투면으로 교체
 - 계절별로 집중되는 강우에 대처하고 홍수피해로부터 시민을 안전하게 보호하기 위해 침수지역의 빗물저류시설을 확대
- 건조한 도시환경을 윤택하고 쾌적한 생활환경으로 전환
 - 지표면의 증발산량이 많은 물순환체계로 전환
 - 도시 자체가 기온조절 기능을 가지고 증발작용이 원활하게 이루어지도록 증발산면적 및 친수공간을 확보

- 대체용수 공급체계 구축에 의한 높은 광역 상수도 의존율 개선: 광역 상수도 의존율을 93.5% → 84.4%로 개선
 - 상수도만큼 깨끗하지 않아도 되는 물이용 용도는 중수도, 물재생용수(고도처리수), 빗물 등의 대체용수로 이용
 - 대체용수의 공급 네트워크 마련과 이용에 대한 혁신적인 인센티브 제공
 - 제3의 물산업 육성의 대상 용수로 물재생용수 공급사업 적극 추진

친환경 물순환으로 회복

- 1960년대보다 5배 이상 손실되고 있는 강우량 관리대책 필요
 - 1960년대 물순환 수준으로 지하수함양량, 표면유출량 유지정책 필요
 - 현재 표면유출량 손실량은 1960년대 비해 31% 손실
 - 지하수함양량은 1960년대 비해 9% 손실
 - 불투수면을 빗물침투가 가능하게 개량하여 지하수함양량 복원
 - 친환경 물순환을 회복하기 위해 불투수면적을 강우시 빗물을 땅속으로 스며들게 하는 침투면적으로 전환
 - 우선적으로 공공기관, 공원 및 학교에 빗물침투시설을 설치하고 점차적으로 일반 건축물 및 주택으로 확대 보급
- 빗물저류시설을 설치하여 침수피해로부터 안전한 지역 조성
 - 홍수량을 처리하기 위한 빗물저류시설 설치사업의 장단기계획 추진
 - 공공시설, 공원 및 학교에 빗물저류시설 확대 설치



[그림 17] 서울시 친환경 물순환 회복



[그림 18] 서울시 친환경 물순환 회복

생활환경의 건조화 완화

□ 지표면 증발산량을 증가시켜 대기중 수분량 증대: 시가지의 증발산면적을 30% 확보

- 수분 증발작용 촉진에 의한 도시기온 조절기능 강화
 - 대기 중 수분이 1960년대 46%에서 현재 27%로 감소하고 도시기온의 상승함에 따라 생활환경이 건조하게 변하고 열섬현상 심화
- 시가지에 인공수로와 분수 등 수경공간을 적극 조성
 - 남산 등 주요 산책로에 물이 흐르는 실개천 조성
 - 광장, 길 등에 물의 역동성을 느낄 수 있는 수경공간 조성
- 재개발과 신개발지역에 증발산면적과 친수공간 설치를 의무화

일본의 주요도시 기온조절

주요 대도시의 증발산면적으로 수면, 녹지, 나지 등을 합계한 면적을 구하고 기온차이의 최대치를 열섬강도로 하여 증발산면적과의 상관성 분석한 결과, 증발산면적이 커짐에 따라 열섬강도가 저하하고 대체로 30% 이상이 되면 도시의 기온차이가 4℃ 정도로 안정되는 것으로 나타남. 대도시의 증발산면적을 최저 30%이상 확보하도록 하고 있음.

- 지역별 주기적인 살수용수 살포
 - 고도처리수, 빗물, 중수도 등 물재생용수를 시가지 살수용수로 살포하여 뜨거운 지표면 온도 조절

□ 건천화된 하천을 물이 풍부한 하천으로 회복: 1일 301,800㎥의 물재생용수를 하천유지용수로 공급

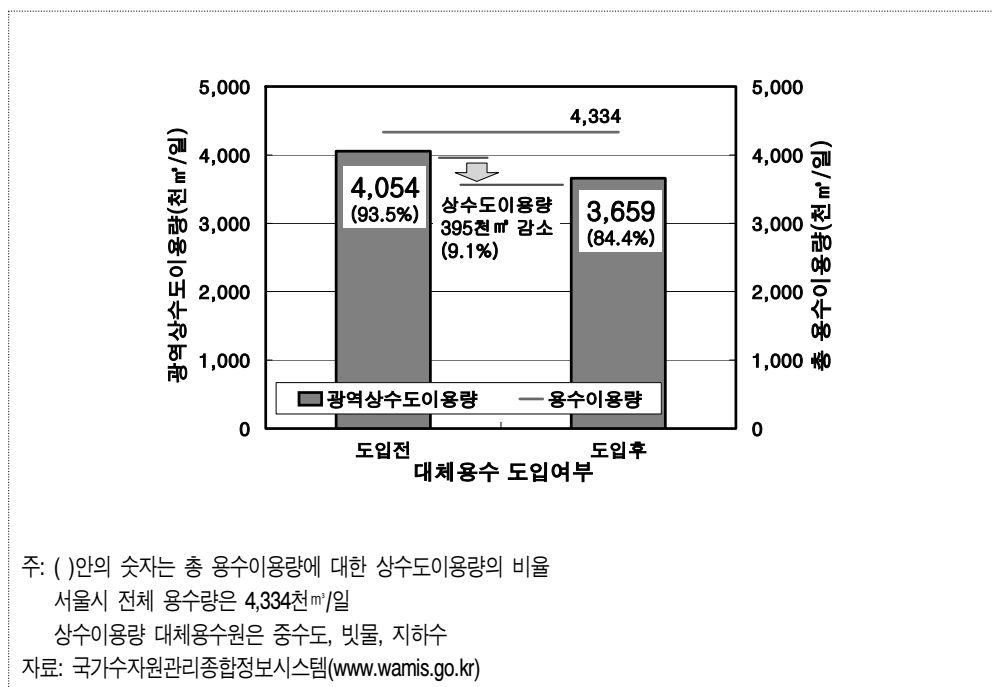
- 중랑, 탄천, 난지, 서남 물재생센터의 물재생용수를 하천수질에 맞게 3차 처리하여 하천유지용수로 공급하여 상시 물이 풍부한 하천환경 조성
- 하천이 물고기가 노니는 하천환경으로 회복되기 위해서는 1일 총 301,800^{m³}의 물 공급이 필요하며, 각 하천에 2,500^{m³}/일~42,000^{m³}/일의 유지유량 공급 필요
- 재개발, 뉴타운개발, 대형 건축물의 지하 개발 시 발생하는 지하수유출수를 하천유량으로 활용
- 개발지역이나 건축물 지하에서 발생하는 지하수유출수는 인근 하천에 우선 유입시켜 물 흐름을 유지



[그림 19] 서울시 건천화된 하천의 복원에 필요한 유지용수량

지속가능한 물이용체계로 전환

- 전량 상수도공급 체계에서 벗어나 이용 용도에 맞는 선택적 물이용 체계 구축
 - 중수도, 빗물, 지하수 등을 대체용수로 활용하여 상수도 의존율을 84.4%로 완화
 - 물을 효율적으로 이용하고 오염 부하량을 줄이기 위하여 신축 건축물에 중수도를 설치, 화장실용수와 청소용수로 활용하여 상수사용량을 감소
 - 빗물을 수자원으로 확보하고 조경용수, 청소용수, 살수용수 등으로 적극 활용하기 위해 가정용 주택 빗물이용시설 보급 지원
 - 업종별 상수도요금을 점차적으로 현실화하여 가정용, 영업용, 업무용에 대한 대체용수의 가치 확보 및 이용량 증가



[그림 19] 서울시 대체용수 이용에 따른 광역 상수도 의존율 감소

- 제3의 물산업의 대상 용수원으로 물재생용수 공급 및 재이용 적극 추진
 - 물재생용수(물재생센터의 고도처리수)는 정부가 추진하는 상수와 하수 다음으로 제3의 물산업(The 3rd Water Industry) 대상 용수원으로서 국내외 타지역에서는 하천유지용수, 공업용수, 농업용수, 생활용수로 활용
 - 외부 수자원을 확보하기 어려운 도시에서 깨끗하게 처리된 물재생용수는 유효한 수원으로 최적
 - 국내외 물재생용수 이용률이 6.7~52.0%인 반면에 서울의 재이용률은 0%
 - 물재생용수는 상시 변화없이 안전하게 확보할 수 있으므로 서울의 물자립도를 높이는 유효한 수자원으로 위상을 부여하고 도시용수로 적극 이용

김영란 | 서울시정개발연구원 연구위원

02-2149-1159

yrkim@sdi.re.kr

김갑수 | 서울시정개발연구원 선임연구위원

02-2149-1152

sportkim@sdi.re.kr