

기후변화와 우리나라 수자원¹⁾

권 지 향²⁾

건국대학교 환경공학과

서 론

우리가 살고 있는 지구가 다른 행성과 다른 가장 큰 이유는 풍부한 물을 가지고 있다는 점이다. 전체 지구의 70%는 물이 차지하고 있고 육지 부분은 약 30% 정도에 불과하다. 하지만 이렇듯 많은 물 중에서 우리가 자원으로 이용할 수 있는 것은 생각보다 많지는 않다. 지구에 존재하는 물의 약 97%가 바닷물이고 나머지 3%만이 담수이기 때문이다. 담수 중에서도 약 70%는 빙하 형태로 존재하고 있다. 따라서 인간이 이용할 수 있는 자원, 즉 수자원은 전체 물의 약 0.9% 정도로 3천5백만km³뿐이다.

수자원으로서의 물의 양을 결정하는 기본적인 변수는 강수이다. 물은 자연의 구조에 의해서 끊임없이 지구상을 순환하고 있다. 고체에서 액체로, 액체에서 기체로, 기체에서 액체로 변화하는 자연경로를 수문학적 순환(hydrologic cycle)이라고 한다. 물은 태양의 에너지를 받아서, 해양의 표면이나 호소의 수면 그리고 식물의 잎새 등에서 증발하여 대기 중의 수증기가 되고, 대기 중에서 응결하여 비나 눈 등으로 되어 지상으로 내린다. 다시 지표수나 지하수가 되어 해양으로 유출된

다. 그러므로 물은 바다, 대기, 땅표면, 땅속에 존재하게 된다. 이러한 물의 수문학적 순환은 상당한 거리를 이동하게 되고 강우는 실제 지표 담수의 유일한 공급원이라 할 수 있다.

따라서 수자원의 수요와 공급은 강수의 작은 변동에도 매우 민감하다. 우리나라 강수의 약 45%는 지표와 식생에서 증발산을 통하여 대기 중으로 손실되고 나머지 중의 일부를 인간이 이용할 수 있다. 그런데 증발산량은 강수에 크게 영향을 받지 않기 때문에 강수량이 평년보다 30% 적게 내린다면 실제로 우리가 이용할 수 있는 수자원은 평년보다 상당히 작을 수 밖에 없다. 그러므로 지표수 유출에 주로 의존하는 수자원 공급량은 강수의 변동에 크게 영향을 받을 수밖에 없다(김 승, 2000).

이러한 이유로 세계적인 기후변화가 우리나라 강수에 영향을 미친다면 이에 따른 수자원 현황에 어떤 변화가 올 것인지 또 우리는 어떻게 대처하는 것이 현명한 지를 생각해 보아야 한다.

우리나라 수자원의 현황 및 특성

우리나라는 여름철 호우나 태풍 등으로 강

1)Climate Change: Impact on Water Resources in Korea

2)KWEON, Ji-Hyang, Konkuk University, Department of Environmental Engineering

수량이 풍부한 나라라고 생각하기 쉽다. 실제 연평균 강수량은 1,274 mm로 세계 평균의 약 1.3배 정도이다. 이러한 수치만 보면 우리나라가 물이 부족한 나라로 보기 어렵지만 인구가 밀집한 여건상 1인당 강수량은 세계평균의 약 1/11 수준이다(그림 1). 뿐만 아니라 강수량이 계절적, 시간적, 지역적 편차가 심하여 수자원 관리상 매우 불리한 조건에 있다. 특히 여름철에는 연강수량의 약 2/3이 집중되어 홍수를 유발하고 평시에는 하천수량이 부족하여 물 공급에 애로를 겪

고 있다.

우리나라의 수자원 현황을 살펴보면 수자원총량은 연간 1,267억 톤에 달하고 있으나 이 중 45% 정도는 대기 증으로 증발하고 하천으로 유출되는 양은 전체의 55%에 불과하다. 하천에 유출되는 수량 중에서도 단지 33% 정도만이 평상시에 이용될 뿐이고 나머지 67%는 홍수시에 바다로 유출된다. 따라서 우리나라의 연간 수자원 총량 1,267억 톤 중 실제 이용 가능한 양은 지하수와 지표수를 포함하여 전체의 24%인 301억 톤

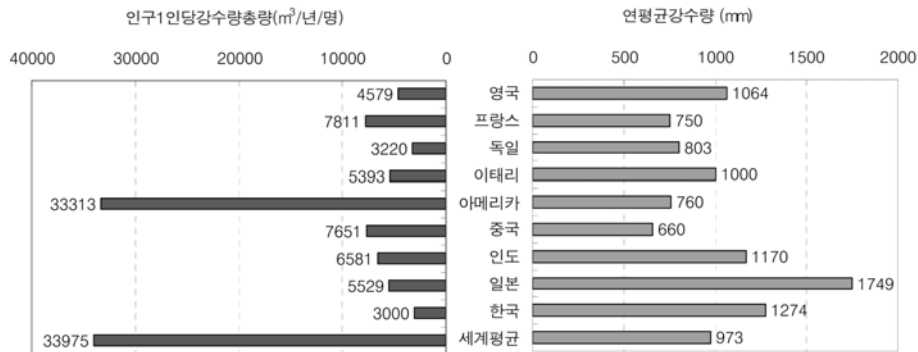


그림 1. 세계 각국의 강수량 총량과 연평균 강수량.

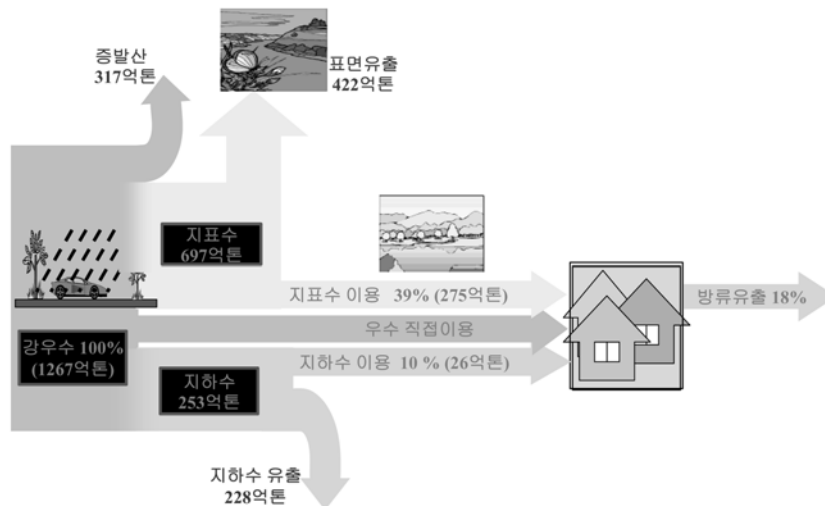


그림 2. 우리나라 수자원 이용현황 (참고자료: 2000년 물관리 통계 자료집, 수질개선기획단).

에 불과하다. 특히 수자원의 대부분을 차지하는 지표수의 이용은 약 275억 톤 정도이다(그림 2).

결국, 우리나라의 하천은 국토의 70%가 산지로 되어 있는 지리적인 조건과 기상적인 조건이 어울려서 특유의 성질을 가지고 있다. 즉, 하천의 유로가 짧은 편이고 하상구배가 급하며 하상계수 역시 크다. 하상계수는 하천의 특정 지점에서 연간 최대유량과 최소유량의 비로 정의된다. 따라서 하천의 하상계수가 큰 경우에는 연간 하천 유량의 변동이 커서 이수, 치수, 환경 등 하천의 3대 기능 모두에 부정적으로 작용한다. 치수라 함은 하천의 기능 중 물의 양을 조절하는 기능으로서 홍수 정도를 조절하는 능력을 가장 크게 의미하며 기타 하폐수의 배수나 지하수의 함양과 배제에 대한 역할을 말한다. 이수라 함은 하천의 또 다른 기능으로서 용수를 공급해 주거나 수력발전 및 어업과 같이 산업에 이용됨으로써 사람에게 이로운 기능을 말한다. 또, 환경기능은 사람 뿐만 아니라 자연에게 공히 중요한 역할을 하는 것으로서 자연보전이 친수공간으로 이용되는 기능을 말한다. 이러한 하천의 기능에 아주 많은 영향을 끼치는 것이 바로 하상계수인데 우리나라의 하천은 다른 나라에 비해 하상계수가 상대적으로 무척 큰 편이어서 수자원인 하천을 이용하는 데 이수 측면이나 치수측면에서 아주 어려움이 크다는 것을 알 수 있다(표 1).

표 1. 우리나라와 외국하천의 하상계수(한국수자원공사, 1996)

하천명	하상계수	하천명	하상계수
한강	390	테임즈강(런던)	8
낙동강	260	세느강(파리)	34
금강	300	라인강(독일)	16
섬진강	320	비이천(일본)	271

기후변화와 수자원과의 관계

지구의 기후변화는 여러 인자들의 상호관계 속에서 일어난다. 다시 말해 대기, 해양, 지표면, 생태계 그리고 다양한 인간 활동의 상호관계 속에서 규정된다고 할 수 있다. 전체 지구의 기후에 인간의 활동이 미치는 영향은 미미했었으나 근대화와 산업화를 거치면서 인간 활동에 의한 영향이 점점 커지고 있는 상황이다. 특히, 최근 전 세계적으로 또는 우리나라에도 나타나고 있는 큰 홍수와 가뭄의 연속, 폭설 등의 이상 기후의 징후와 현상은 자연적인 요인보다 인간에 의한 인위적인 요인에 의한 것일 수도 있다는 점에서 문제점을 가지고 있다.

우리나라 주요지역에서 연평균 기온의 증가 패턴을 분석한 내용을 보면 1961년 부터 2004년 까지 전국적으로 기온이 증가한 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다(황 등, 2005). 특히 1991년과 2004년 사이의 증가 폭은 상대적으로 크고 겨울철의 기온상승이 여름철 보다 두드러진다는 점이 특징이었다. 이러한 주요 지역의 기온변화는 측정지점을 주요 도시로 선택하고 있기 때문에 도시화에 따른 열섬현상으로서 국지적인 현상일 수도 있다. 혹은 우리나라 전체의 기후변화에 기인할 수도 있다.

연속적인 자료의 축적을 통해서 우리나라 전체적인 기후변화를 좀 더 체계적이고 과학적으로 밝힐 수 있는 자료의 축적이 시급한다.

기후변화에 의해 발생하는 직접적인 자연적 재앙은 바로 홍수와 가뭄, 혹은 폭설과 같이 물의 양에 관계되는 것으로 수자원의 이용과 밀접한 관계가 있다. 강수량은 기온보다 상대적으로 소규모의 대기운동에 더 많은 영향을 받기 때문에 강수량의 변화는 기온의 변화보다 시간적으로 공간적으로 훨씬

표 2. 서울지점 연강수의 통계특성

대상연도	기록년수	평균	표준편차	최대값	최소값
1770-1990	213	1216 mm	376 mm	2582 mm (1821년)	370 mm (1901년)

편 복잡하게 진행된다. 1770년부터 1990년까지 213년 동안 서울 연강수량의 통계특성을 살펴보면 변동성이 아주 크다는 것을 알 수 있다(한국과학기술연구원, 1995)(표 2). 연평균강수량의 통계 특성을 살펴보면 표준편차가 평균값의 31%를 차지하고 있으므로 안정적으로 수자원을 공급하기 위해서는 전체 평균의 약 50% 정도 수준의 강수를 예상하고 수자원 계획을 세워야 하는 어려움이 생기게 된다. 따라서 이상 가뭄이나 이상 홍수의 잦은 발생에 따른 연평균강수량의 심한 편차는 앞으로의 수자원 공급 계획을 수립하는 데 많은 영향을 미칠 수 있음을 나타낸다.

이상홍수가 수자원 공급에 미치는 영향

최근 10여 년 동안 우리나라 뿐만 아니라 전 세계적으로 전례 없는 홍수가 범람하고 있다. 1987년에는 금강유역에서, 1990년에는 남한강 유역에서, 또 1996년에는 임진강에서 대홍수가 발생하였다. 또한 1998년 8월에는 기습적인 국지호우가 기록적인 강우강도를 가지고 전국적으로 발생하였다. 또 1999

년에는 700 mm가 넘는 강우가 임진강 유역 전반에 내려 연천댐이 붕괴되고 문산 등지가 침수되는 큰 홍수피해를 보았다. 이와 같은 극심한 홍수현상은 우리나라에만 국한된 것이 아니라 유럽, 미국, 중국 등 전 세계적으로 일어나고 있는 상황이다.

최근 발생하는 홍수피해는 주로 게릴라성 호우 형태의 강우 특성에 말미암고 있다. 표 3에 나타난 바와 같이 1998년의 강우기록은 기존에 존재하던 강우의 최대값들을 전부 초과하였다는 점에서 게릴라성 집중 호우 형태이다. 예를 들어 기존 한강의 1시간 최대값은 118.6 mm이었는데 1998년의 홍수 때 서울의 경우 146 mm로서 기존 한강의 1시간 최대 값을 훨씬 뛰어넘는 강우 기록을 남겼다. 또한 한강은 1시간 최대 값으로 보아 1998년 강우강도 면에서 3순위에 머물러 있다. 1998년 한 해에 전국적으로 기존의 강우기록을 한꺼번에 갱신하는 일이 벌어진 것이다(김 승, 2000). 현재 경험하고 있는 시간에 따른 홍수특성의 변화는 이제까지 경험하지 못했던 새로운 현상이다. 따라서 기존의 수자원 이용계획으로는 위와 같은 이상홍수에 제대로 대응하지 못할 수 밖에 없다. 전에 비해 강우량이 전반적으로 증가하였고 전체적인 홍수체적이 증가하였다. 그로 인해 이제까지 우리나라 수자원 공급시설의 대부분을 차지하고 있었던 다목적댐에 의한 홍수조절 능력이 상대적으로 저하되었다. 사실상 지금까지는 홍수를 대비하기 위해서 대규모 댐이나 빗물펌프장에 의존하여 왔다. 그러나 이상 홍수시에는 댐은 더 이상 댐의 구실을 하지 못한다. 오히려 비가 많이 오면 넘쳐서 터질까봐 물을 빼내기에 바쁘다. 이

표 3. 1998년 대홍수시 발생한 지속기간별 최대강우 (김 승, 1998)

	1시간 최대	3시간 최대	24시간 최대
1순위	162 mm 추부 (금강)	286 mm 강화 (기상청)	620 mm 강화 (기상청)
2순위	147 mm 금산 (금강)	236 mm 의정부 (한강)	489 mm 팔당 (한강)
3순위	146 mm 팔당 (한강)	224 mm 청옥산 (한강)	428 mm 청옥산 (한강)

경우 하류에서는 오히려 댐 건설로 더 피해를 보게 된다. 빗물 펌프장도 설계빈도 이상의 비가 오면 그 피해는 오히려 더 커진다. 한마디로 우리나라 수자원 정책은 변화되어가는 기후와 이에 수반되는 강우량 및 강우특성 변화에 따라 변화되어야 할 시점에 와 있다고 판단된다.

어떤 대책이 가능할까?

1999년에는 1996년, 1998년에 이어 기록적인 홍수를 겪었다. 강우는 계절성 호우의 특성을 보였다. 1991년과 2004년 사이에 주요 도시지역의 온도는 약 0.5°C에서 1°C 정도의 증가를 보였다. 이러한 변화의 원인은 기후변화 때문일 것이라고들 한다. 한 가지 말할 수 있는 것은 현재 발생하고 있는 자연현상 중에서 우리가 이해하고 있는 부분이 극히 일부분이라는 것이다. 기후변화의 원인에 대해서도 구체적인 설명이 어렵고, 더욱이 전망에 대해서도 불투명한 상황이다. 하지만 분명한 것은 강우특성이 변화하고 있으며 이는 수자원의 이용 및 공급에 큰 영향을 미치므로 이에 대한 대책을 마련해야 한다는 점이다.

우선, 기존과는 다른 대책이 필요하다고 판단된다. 현재 운영되고 있는 우리나라의 대표적인 수자원 공급시설의 대부분은 다목적댐이다. 수자원의 효율적 개발과 관리를 위한 1960년대 한강 유역 조사사업을 시작으로 1999년 현재 전국에 10개의 다목적댐과 5개의 하구둑이 건설되어 있다. 다목적댐은 용수공급과 홍수 조절 등의 여러 가지 면에서 편의를 제공하고 있지만 이에 부수적으로 따르는 환경 및 생태계의 파괴라는 부정적인 면도 존재한다. 따라서 기존의 다목적댐 건설을 늘리는 것은 새로운 대책이 되지 못한다. 더욱이 전에 비하여 강우량이 전

반적으로 증가함으로써 다목적댐의 홍수조절능력이 상대적으로 저하되어 있다. 홍수빈도, 안전율, 여유고 등 홍수를 방어하는 시설물의 설계에 관한 기술 기준들이 현재의 강우특성을 반영하고 있지 못하다는 점도 있다. 수자원은 인간 활동과 자연계에 복잡한 역할을 수행하기 때문에 수자원에 이용에 있어서 강우량과 같은 기후변화에 상당한 영향을 받는 다목적댐 건설이외에 다양한 형태의 접근이 필요하다. 앞으로의 기후변화에 대처할 수 있도록 수자원이 효율적으로 관리되고 있는 지 또 효율적으로 이용되고 있는 지를 점검해 보아야 한다.

그러기 위해서는 전 세계적인 기후변화가 우리나라 수자원에 미치는 영향이 어떠한지 예측 및 파악하고 이를 평가할 수 시스템 등에 대한 체계적인 연구가 필요하다. 세계 기후변화는 지역적인 물이용에 지대한 영향을 미치게 되어 있다. 현재 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로써 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단에서 수행하고 있는 통합 수자원관리기술 사업 중 기후변화에 의한 수자원 영향 예측 및 평가시스템 구축 사업이 세종대학교에서 진행되고는 있다. 이 사업은 기후 변화 시나리오의 불확실성을 평가하고 동아시아 및 한반도 지역의 기후변화가 어떻게 진행될 것인가를 예측하고, 또 관측자료를 기초하여 기후변화가 수자원에 미치는 영향을 통계적으로 평가하려는 연구 목적을 가지고 있다. 세계적인 기후변화가 지역적 하천의 흐름이나 가뭄과 홍수와 같은 자연재해의 빈도 및 정도에 미치는 영향을 통계적인 방법 등을 이용하여 과학적으로 판단하여야 한다. 따라서 앞서 언급한 체계적인 연구 사업이 좀 더 활발히 진행되고 이를 통해서 구체적인 영향을 파악하고 이에 기초하여 합리적인 대책을 수립해야 한다고 본다.

표 4. 용수수급계획과 예비율 (출처: 수자원장기종합계획)

구분	1994년	2001년	2011년
용수수요량(억톤)	301	337	367
용수공급량(억톤)	324	351	398
댐공급량(억톤)	93	112	156
여유량(억톤)	23	14	31
예비율(%)	7.7	4.2	8.5

기후변화에 의해 수자원의 공급이 불안정해지는 경우를 가정하여 좀 더 안정적인 용수공급 대책이 필요하다. 현재 건설된 다목적댐은 1967년 부터 1968년 까지 발생한 가뭄기간을 기준으로 계획된 것이다. 하지만 이 가뭄은 1900년대를 전후한 가뭄과 비교해서 극심하다고 할 수 없는 가뭄이었다. 만약 전 세계적인 기후 변화로 말미암아 극심한 이상 가뭄이 발생한다면 다음 표 4에 제시된 1996년에 수립한 용수공급계획은 차질을 빚을 수밖에 없다. 따라서 기상조건과 유역의 수문정보를 이용한 정확한 중장기 가뭄예측 기술등의 개발을 통해서 비상시의 용수확보와 다목적댐의 비상용수 공급에 대한 시나리오 등이 마련되어 있어야 한다. 특히, 강우 편중이 시간적으로 또 지역적으로 편차가 큰 우리나라의 경우 2년 정도의 이상기후가 연속적으로 발생하여 가뭄이 지속된다면 그 피해는 상상할 수 없을 정도일 것이다. 지역별로 또 수계별로 수자원의 공급지장으로 인한 경제적 파급효과를 미리 추정하여 대비하여야 할 것이다(심, 2000).

마지막으로, 이상 가뭄과 홍수와 같은 자연재해로 말미암아 생기는 수자원 확보의 불확실성 등을 줄이기 위해서는 다양한 수자원 공급방안이 강구되어야 한다. 특히 강우량에 직접적으로 반응하지 않는 다양한 수원의 확보가 필수적이다. 예를 들면, 해안 및 도서지역을 대상으로 해수담수화를 추진할 수도 있다. 또한 지하수나 우수 등의 적절한

이용을 통해 수자원을 효율적으로 사용할 필요가 있다.

지하수의 장점은 값이 싸고 환경파괴가 적으며, 오염과 자연재해 등으로부터 상대적으로 안전하다는 장점이 있다. 인공함양이나 침투성 포장재의 이용 등을 통하여 물을 저수하여 이용하면 이수 뿐만 아니라 치수면에서도 효과를 도모할 수 있다. 그러나 지하수원은 통제가 어려우며 일단 오염이 발생하면 처리하기가 어려운 단점이 있다. 특히 지하수의 취수는 자연 및 인공함양과 균형을 이루는 것이 매우 중요하다. 무분별한 취수는 지하수를 고갈시키고 장기적으로 지반침하의 위험을 안겨준다. 따라서 효율적인 지하수관리 시스템을 구축하여 지하수관리를 강화하고 대체 수자원으로 역할을 감당할 수 있는 방안을 모색하여야 한다. 지하수의 자연적 함양을 증가시키기 위해 최근에는 침투성 포장의 설치가 권장되고 있다. 하지만, 도로는 포장면 밑에 여러 층의 단단한 층이 있고 침투속도는 포장 및 여러 층중에 가장 침투속도가 작은 층의 속도와 관계가 있다. 따라서 표면에 물이 잘 빠지는 시설을 했다고 해서 도로전체가 물이 잘 침투되는 것이 아니다. 따라서 비가 많이 올 때는 침투효율이 떨어질 수밖에 없다. 그러므로 자연함양을 돕기 위해 도로나 기타 포장면의 침투성을 확보하는 다양한 방안이 모색되어야 할 것이다.

우수의 이용은 직접적으로 저류하거나 유출을 억제하는 효과가 있으며 결과적으로 물절약과 수질오염을 줄일 수 있는 다목적 이용이 될 수 있다. 독일 베를린의 재개발 지역의 사례가 이러한 우수 이용의 최대 효과를 잘 나타내고 있다. 아파트의 옥상은 풀을 심고 빗물을 저류하고, 저류된 빗물은 아파트 단지 중앙에 있는 연못에서 이용하는 것이다. 현재 서울대학교내 빗물연구센터에서

는 이러한 빗물 이용의 합리성을 강조하고 지역의 특성을 살려서 빗물을 모아두어 천천히 흘러 나가도록 하는 여러 가지 방안을 제시하고 있다. 빗물모으기 방법으로 논이나 밭의 웅덩이나 산지의 계곡에 만든 작은 보와 같이 싼 저류방법부터 학교나 공원 밑의 저류조나 건물의 저류조, 터널 저수조 같이 비싼 저류방법 까지 여러 가지 종류의 빗물 모으는 방법이 있을 수 있다. 우수이용의 활성화, 침투성 포장재 사용의 증가, 자연 및 인공함양을 통한 지하수 충전 등 다양한 방법을 통해서 수자원 확보의 다양성을 확보하고 자연재해 등에 의한 피해를 최소화 할 수 있는 방법 등에 대한 강구가 절실하다고 본다.

결 론

“수자원과 전력의 예비 기능을 비교해 보면 두 경우 모두 절약을 통해서 수요관리를 할 수 있다. 전력은 쉽게 보관할 수 없으나, 수자원은 댐이나 지하수 함야를 통하여 많은 양을 보관하였다가 사용할 수 있으니 앞날의 부족을 예상하여 장기적으로 대비할 수 있는 여유가 있다. 그러나 공급측면에서는 강우 특성으로 수자원이 더 불확실하고 위험도가 크며, 가뭄과 같은 단기적인 상황이 발생하면 대책이 거의 없는 셈이다. 물이나 전기가 원활하게 공급되지 못할 경우에는 두 경우 모두 주거생활이나 산업활동에 막대한 영향을 미치게 되나, 무엇보다도 물은 생존과 직결된 중요한 문제라 할 수 있다(심, 2000).” 기후변화가 수자원에 미치는 영향은

인용된 문장에서 나타나듯이 인간의 생존과 직결되어 있다. 전 세계적인 기후변화가 정말로 있느냐 없느냐에 대해서 확실한 것은 없지만 생존과 직결되어 있는 수자원에 지대한 영향을 미칠 수 있다는 점을 생각하면 지금보다도 더 적극적이고 포괄적인 방법의 대책이 필요하다고 생각된다.

참고문헌

- 건설교통부. 1996. 수자원장기종합계획(1997~2011).
- 김 승. 1998. '98 대홍수의 특성과 홍수피해 조사 조사보고서. 한국수자원학회.
- 김 승. 2000. 물 위기의 시대 우리나라 수자원 정책 중 우리나라 수자원 정책의 문제점과 대안. 도서출판 환경정의.
- 김동하 · 강선홍 · 구자용 · 독고석 · 손진식 · 송지현 · 이형집. 2004년. 상수도공학. 사이텍 미디어.
- 수질개선기획단. 2000년. 물관리통계자료집.
- 심명필. 2000. 물 위기의 시대 우리나라 수자원 정책 중 21세기 수자원공급정책의 과제와 방향. 도서출판 환경정의.
- 토목공학연구회 역. 2004년. 그림으로 된 수리학. 도서출판 일광.
- 한국과학기술연구원. 1995. 기후변화가 한반도에 미치는 영향과 지구 환경관련 대책 연구(II). 과학기술처. pp. 48-74.
- 환경정의시민연대 엮음. 2000년. 물 위기의 시대 우리나라 수자원정책. 도서출판 환경정의.
- 황순진 · 신재기. 2005년. 기후변화와 담수생태계. 자연보존 130: 48-57. 한국자연보존협회.