

새천년 수자원 비전 - 수자원 통합관리 -

김 송 (한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구위원)

1. 수자원 패러다임의 변화
2. 전지구 용수사용 현황과 전망
3. 우리나라 용수사용 현황과 전망
 - 3.1 수자원부존량 현황과 전망
 - 3.2 우리나라의 용수수요 현황
 - 3.3 재생가능한 수자원 현황
 - 3.4 수질현황
 - 3.5 지하수 이용 현황
4. 우리나라 용수수요와 공급전망
5. 수자원의 통합관리
6. 맺음말

1. 수자원 패러다임의 변화

수자원 개발은 세계 곳곳에서 인류문명의 발생과 함께 자연에 대한 인류의 취약성을 극복하기 위하여 지역적인 특성을 가지고 꾸준히 추진되어 왔다. 인류의 취약성은 자연현상 예측의 어려움에 기인했다. 예측이 불가능한 강의 흐름과 강수로부터의 취약성을 줄이기 위하여 담수자원을 취하고, 저장하고, 정화하고, 이송하는 방안을 오랫동안 찾아왔다. 따라서 오래전부터 농업문명은 강우와 유출을 손쉽게 그리고 안정적으로 취할 수 있는 곳에서 형성되었다. 관개수로의 건설로 농부들은 먼 곳에서 물을 끌어다가 점차적으로 건조한 지역에서까지 농사를 지을 수 있게 되었으며, 오랜 생육기간의 작물도 경작할 수 있게 되었다. 한편, 근대적인 산업사회는 도시의 성장으로 점점 더 먼 곳에서 물을 끌어와야 했으므로 토목공학과 수문학의 발전을 필요로 하게 되었다. 이에 따라 우리의 근대적인 산업사회는 홍수통제, 용수공급, 수력발전 그리고 관개를 위하여 이전에는 없었던 거대한 공학 프로젝트의 건설을 가져왔으며, 이로 인하여 수문순환은 획기적인 변화를 가져왔다.

이와 같은 추세가 새로운 천년을 맞이하면서 변화하고 있다. 담수자원과 인간 용수수요의 동적관계가 변화하고 있다. 이와 같은 변화는 여러 차원에서 찾아 볼 수 있다. 우리는 이제까지 용수 공급을 지표수 또는 지하수와 같은 단일 주수원에 의존해 왔으나 이제는 대체수자원과 같은 새로운 공급방안을 찾아 다변화하고 있다. 여기에 생태 가치를 연계하는 것이 수자원정책에서 갈수록 강조되고 있다. 이와 같이 새로운 차원의 수자원정책이 싹을 키워가고 있는 것은 사실이나 전통적인 물서비스로서 인간의 기본적인 요구를 충족시키는 것도 재강조되고 있다. 이와 같은 추세로 전통적으로 밀접한 관계에 있었던 경제발전과 물사용의 연결은 의식적으로 절단되고 있다.

수자원의 공급은 아직까지도 댐건설이나 지역간 물이동과 같은 전통적/물리적 계획방법에 절대적으로 의존하고 있는 것이 사실이다. 그러나 이같은 전통적 해결책에 대한 반대는 날이 갈수록 거세지고 있다. 이에 따라 새로운 대규모 건설이나 지역간 물이동을 필요로 하지 않으면서 용수수요를 충족시키기 위한 새로운 방법을 절실히 필요로 하고 있다. 점점 더 많은 용수 공급자와 계획기관이 관심의 초점을 전통적/물리적 방법에서 새로운 방법으로 옮기려고 하고 있다. 수자원 이용 효율의 증진, 수요관리 대안의 시행, 사용자간 용수재배분 등을 통하여 용수수요 전망치를 줄임으로써 장래 수요를 만족시키려고 노력하고 있다. 용수부족의 심각해짐에 따라 식량전문가들의 관심이 수자원의 가용도에 쏠리면서 식량과 물과의 관계에도 초점이 모아지고 있다. 그러나 이와 같은 수자원 계획방법에 대한 변화는 전지구적인 것은 아니며 변화가 추진되고 있는 지역에서조차 아직도 내적인 반대에 직면해 있다. 그렇지만 우리나라 국민을 포함한 인류의 물사용에 대한 인식이 바뀌고 있는 것은 부인할 수 없는 엄연

한 사실이다.

2050년의 우리나라 수자원의 화두는 효율적인 수자원의 관리가 될 것이며, 그것은 수자원의 통합 관리로 달성될 수 있을 것이다. 지구기후의 변화, 용수수요의 증가, 대규모 수자원개발의 어려움 등이 복합적으로 작용하여 2050년에는 우리나라 국민의 삶이 가뭄과 홍수에 더 많은 영향을 받게 될 것이다. 사회시스템은 현재보다 더 심한 가뭄이나 홍수가 발생한다고 해도 피해를 최소화할 수 있도록 가뭄/홍수에 대한 내구성이 강화된 구조로 바뀔 것이며, 지표수/지하수, 수량/수질, 지역간 수자원의 통합관리를 통하여 수자원의 문제는 극복될 수 있을 것이다.

2. 전지구 용수사용 현황과 전망

전지구에 대한 담수자원의 가용도와 수질은 많은 관심을 받고 있다. 세계의 물문제를 논하려면 우선적으로 세계의 수문순환을 통한 물의 흐름과 저장량을 이해해야 한다. 인류의 복지증진과 생태계의 건전성과 기능 그리고 경제와 정치까지도 모두 물이 얼마나, 언제, 어디에서 가용한가에 달려있기 때문이다. 그러나 지구 수문순환에서 수자원의 가용도와 자연적인 변화는 상당부분이 아직 알려지지 않은 채로 있다. 이같은 불확실성과 계속적으로 변하는 국경은 지역과 국가별 수자원 가용도와 수리권의 파악을 어렵게 하고 있다. 그러나 최근 인공위성 기술의 발전과 정보기술의 발전으로 수문순환을 모니터링하고 수자원 가용도 정보를 수집하는 것이 전에 비하여 용이해졌다.

물의 가용도 또는 사용에 대한 정량적 척도와 정의

수자원에 대한 정량적인 특성을 추정하기 위하여 여러가지 다른 측정치나 지표가 사용된다. 그중에서 가장 일반적인 계량치는 전체 물에 대한 절대적인 부피를 나타내는 것이며, 상대적 계량치는 수자원의 부피를 인구, 면적 또는 경제지표 등 다른 표준으로 정량화하여 나타내는 것이다.

가장 일반적인 물에 대한 절대적인 계량치는 부피이다. 따라서 호소나 지하수의 크기는 km^3 또는 리터 또는 갤론 등으로 나타낼 수 있다. 상대적 또는 비례적인 계량치는 물의 양이나 흐름의 크기를 면적이거나 인구(per capita)의 비례로 보여주는 것이다. 예를 들면 km^3/km^2 , $\text{m}^3/\text{인}/\text{년}$ 같은 단위이다. 일반적으로 면적에 대한 값은 변하지 않으나 인구에 대한 값은 계속적으로 변한다. 지구수문순환의 변화때문이 아니라 인구증가때문이다.

1900년의 세계인구에 대한 유출은 30,000m³/인/년이었으나 2000년에 대한 같은 수치는 7,000 m³/인/년으로 감소했는데, 이것은 물관련 문헌에서 자주 쓰이는 사용(use), 필요(need), 취수(withdrawal), 수요(demand), 소비(consumption), 소비사용(consumptive use) 같은 용어에 혼란이 많다. 따라서 이들의 해석이나 서로 다른 연구결과를 비교할 때 상당한 주의를 요한다.

취수(withdrawal)는 어떤 수원에서 인간의 필요때문에 제거된 양을 가리킨다. 이중의 일부는 수량과 수질이 변동된 채 원래의 수원으로 복귀될 수 있다.

소비사용(consumptive use) 또는 소비(consumption)는 수원에서 제거되어 증발되었거나, 염수대(鹽水帶)로 손실(sink)되었거나 또는 오염되어 회복이 불가능하므로 같은 유역에서 재이용할 수 없는 물이다.

물사용(water use)은 자주 오해를 유발하거나 제대로 사용된다고 해도 나타내는 정보가 부정확하다. 경우에 따라서는 소비사용(consumptive use)으로 또는 취수(withdrawal)의 의미로도 쓰인다.

필요(need) 또한 주관적일 수 있지만, 대개는 어떤 특별한 목적 또는 요구를 충족하는 최소한의 양을 가리킨다. 경우에 따라서는 용수사용자 입장에서 물의 요구량을 나타내기도 한다.

수요(demand)는 사용자가 요청했거나 필요로 하는 양을 나타내지만, 수요는 어떤 특정한 목적으로 만족하는 데 필요한 최소량과는 하등의 관계가 없다.

지난 세기동안 수자원 기반시설을 획기적으로 확충할 수밖에 없었던 이유는 세가지를 들 수 있다. 첫째는 인구의 증가이며, 둘째는 생활수준의 향상 그리고 셋째는 관개농업의 확대이다. 1900년부터 2000년 사이에 세계의 인구는 16억명에서 60억명으로 증가했고 관개면적은 5천만 ha에서 2억6천7백만 ha로 폭발적으로 증가하였다. 이들 요인과 다른 요인들의 영향으로 담수의 취수량은 지난 100년 동안에 7배나 증가하였다.

20세기 들어 수자원계획은 인구, 1인당 물수요, 농업생산, 경제생산성수준 등 변수의 예측이

나 예측된 값의 이용에 초점을 맞춰왔다. 이같은 전망은 장래 물수요 전망을 추정하는 데 사용되고 이와 같은 수요를 충족하기 위해서는 어떤 시스템 또는 구조물이 필요한가를 검토하는 데 사용되어 왔다. 결과적으로 전통적인 수자원 계획은 장래 물수요를 변수로서 전망하든지 또는 상대적 또는 계량적인 물수요의 분석과는 독립적으로 현재의 용수수요 추세를 연장하여 전망해왔다. 이같은 전망은 실제에서는 지역적인 용수가용도의 추정치와는 별개로 수행되는 경우가 많았다. 그리고 계획에서는 이와 같은 이상적인 수요전망과 예상되는 공급과의 명백한 차이를 어떻게 연계할 것인가에 대한 대안들을 개발하여 제안하는 것으로 구성되어 있다.

캘리포니아 수자원 계획이 이와 같은 접근방법의 예이다. 캘리포니아는 1957년부터 매 수년마다 수계획을 제시해 왔는데 가장 최근에는 1998년에 제시하였다. 1998년에 제시한 것은 이전에 제시한 것과 양식과 접근방식에서 유사하다. 거의 일정한 1인당 물사용량을 인구증가와 연계하여 물수요를 전망하였다. 캘리포니아주 수자원국은 2020년의 수자원 문제나 정책은 현재와 거의 같을 것이라고 결론지었다. 농부들은 거의 같은 규모의 농지에서 같은 종류의 작물을 경작할 것으로 가정되었다. 증가하고 있는 도시인구는 상대적으로 미약한 물사용기술과 효율의 변화를 가지고 현재의 물사용 양식을 계속할 것으로 예상되었다. 수변생태계의 물사용은 현재와 같거나 감소할 것으로 전망되었다. 그리고 전체 수요는 첫번째 수자원계획부터와 마찬가지로 가용한 공급을 수십억 m³ 초월할 것으로 전망하였다.

전 지구를 범위로 한 대부분의 모든 수자원전망은 비슷한 접근 방법을 사용하였고 비슷한 결론에 도달하였는 바, 많은 전문가들이 미래에 엄청난 물부족을 걱정하고 있다. 세계 일부 지역에서는 이와 같은 물부족이 이미 넓게 확장되어 있고 해가 갈수록 새로운 문제지역들이 추가되고 있다. 그러나 한가지 분명한 것은 초창기 거의 모든 사람들이 실제보다도 물부족을 상당히 과다하게 전망했다는 것이다. 이와 같은 사실은 물시나리오 작성자들이 사용했던 전통적인 방법들에서는 뭔가 실제 세계를 반영하는 동적인 사실들이 반영되지 않고 있다는 것을 시사하고 있다. 25개이상의 서로 다른 지구 취수량 전망치를 실제와 비교한 결과(Gleick(2000) "The World Water 2000-2001" p. 43)를 보면, 거의 모든 초창기 전망치는 사용량이 과거 증가율대로 계속되거나 그 이상으로 증가할 것으로 가정함으로써 심하게 과다 추정하였다. 1990년대의 실제 취수량은 30년 전 전망치의 반에 불과했다. 이와 같은 부정확한 전망은 전통적인 방법론의 개선이 필요하다는 것을 말해주고 있다.

1960년대에 그리스의 수문학자 Nikitopoulos가 2000년도의 전지구 취수량을 전망한 바 있다(Gleick(2000), "The World Water 2000-2001" p. 44). 그는 연평균 생활, 공업, 농업 용수를 1인당 필요량을 기준으로 하여 인구증가 추정치와 연계함으로써 미래의 취수량을 구하였다.

그는 모든 인간의 생활수준을 미국과 동일하게 가정하였는데, 생활용수와 공업용수 소비를 각각 500 liters per capita per day (lpcd)로 보았다. 농업용수 사용은 1인당 필요농지를 700m²로 가정하고 강우와는 별도로 1,000 mm/year의 용수가 필요하다고 가정함으로써 700m³/person/year가 필요하다고 추정하였다. 따라서 2000년도에 1인당 필요한 물은 약 1,065m³/person 또는 6,730km³로 추정하였다.

최근 Gleick(1997)이 전망한 전지구 취수량은 이보다는 훨씬 적다. 그는 2025년의 전지구 취수량을 4,495km³로 전망하였는데, 이 중에서 농업용수는 2,930km³, 공업용수 1,000km³, 생활용수 340km³, 그리고 저수지 증발은 225km³이다. 그는 생활용수를 추정하면서 두 가지 가정을 하였는데, 첫째는 세계 모든 인구가 적어도 기본적인 필요량(50 lpcd)을 충족한다는 것과, 둘째는 1990년 현재 기본량 이상을 사용하고 있는 지역에서는 물사용효율을 현재 서유럽 수준(약 300 lpcd)으로 개선할 것이라는 것이다. 농업용수는 각 지역의 특정 식생활 양식을 바탕으로 추정되었다. 그는 북미와 유럽의 1인당 육류소비 감소를 가정하고 개발도상국의 전반적인 칼로리 소비 증가를 가정하였다. 2025년에는 모든 지역의 1인당 하루 칼로리 소비량을 2500kcal로 가정하였다. 현재 3000kcal 이상을 소비하고 있는 지역은 2500kcal 수준으로 다이어트가 보편화될 것으로 가정하였다. 특이할 만한 것은 칼로리 생산감소에 비하여 물사용량이 획기적으로 감소한다는 사실이다. 그것은 물사용 강도가 높은 식량(예를 들면 육류)생산이 감소하기 때문이다. 이와 같은 이유로 북미의 경우 현재 식량생산에 필요한 5,000 lpcd가 3,500 lpcd 수준으로 감소될 수 있을 것으로 전망하였다. 이 이외에도 관개효율, 작물, 관개면적의 변동을 고려하였다. 이와 같은 칼로리 소비감소를 고려하더라도 2025년의 농업용수 수요는 크게 증가할 것으로 추정하였다. 이같은 증가는 인구증가 때문에 불가피할 것으로 보았다. 그는 미래의 공업 및 상업용수 수요는 현재와는 상당히 다를 것으로 예상하였다. 그는 에너지 기술의 변화, 물사용효율의 증가, 산업체계의 변화 등을 주요 이유로서 제시하였다. 또한 재순환 용수사용의 증가로 인한 공업용수 감소의 가속화를 예상하였다. 또한 개발도상국 국가들이 산업화가 되면서 고효율 기술 단계로 단번에 진입할 가능성도 언급하였다. 산업화가 된 국가에서는 물사용효율의 증가와 산업체계의 조정으로 공업용수 사용량이 상당량 감소할 것으로 예측하였다. 이와 함께 개발도상국가들의 도시용수 수요는 적어도 100 m³/person/year 이상이 될 것으로 예상하였다. 이와 같은 가정과 예측으로 2025년 공업용수의 수요는 1000km³/year로서 1990년 수준과 비슷할 것으로 예상하였다. 1인당 공업용수 사용량은 거의 모든 국가에서 크게 감소할 것이나 아시아나 아프리카 그리고 남미에서는 증가할 것으로 예상하였다. 사용 효율의 개선에도 불구하고 2025년 대부분 국가의 공업용수 사용효율은 1990년대 일본이나 캘리포니아 수준에 도달하지 못할 것으로 예측하였다.

3. 우리나라 용수사용 현황과 전망

3.1 수자원부존량 현황과 전망

수자원부존량은 자원으로 이용할 수 있는 수자원의 최대량이다. 우리나라(남한)의 경우 외국으로부터 유입되는 수자원을 무시할 수 있으므로 강수량으로 가정할 수도 있다. 물론 현실적으로 사용가능한 수자원의 최대량은 수자원부존량에서 증발산이나 침투손실 등을 제외한 것이다. 그렇지만 절대적인 수자원부존량은 강수에 좌우되므로 우선 강수현황을 살펴보자.

우리나라 강수량은 결코 적은 편은 아니나 좁은 국토에 과다한 인구를 가지고 있어 1인당 강수량은 절대적으로 부족하여 우리나라는 물부족 문제가 발생할 수밖에 없는 환경적인 여건을 가지고 있다. 우리나라의 연평균 강수량(1969~1998)은 내륙의 경우 1,271mm, 주요 8개 도서(제주도, 울릉도, 강화도, 안면도, 진도, 완도, 남해도, 거제도)를 포함할 경우 1,283mm이고 연강수 총량은 1,276억 m³이다. 아래 그림에 나타낸 것과 같이 외국의 경우 연중 강수량의 분포가 대개는 일정한데 우리나라의 경우는 연강수량의 2/3가 홍수기인 6~9월에 집중하고, 갈수기인 11~4월까지의 강수량은 연강수량의 1/5에 불과하여 물 관리가 매우 어렵다. 강수총량 측면에서는 세계 연평균 강수량 973mm의 약 1.3배이나 1인당 강수총량은 약 2,835m³로 세계의 강수총량 34,000m³의 1/12에 불과하다.

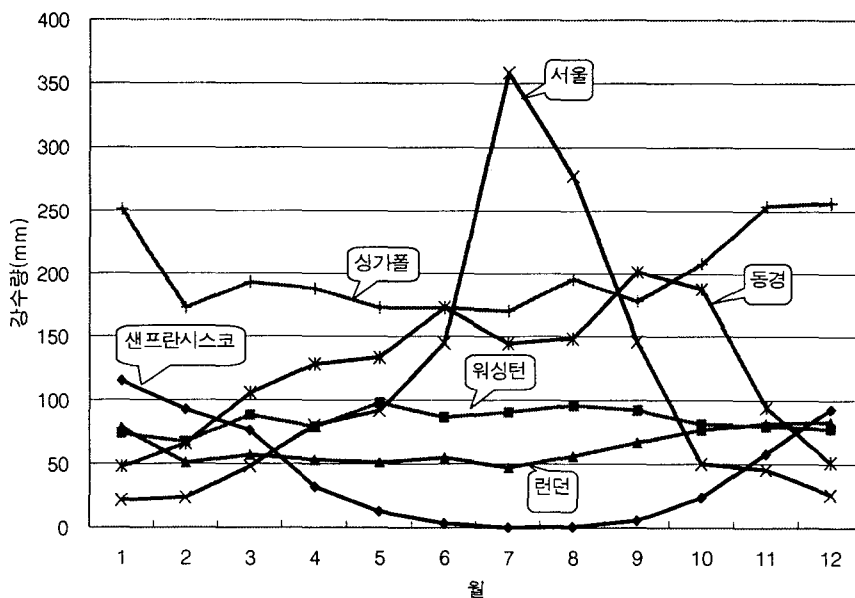


그림 3.1 세계 주요 도시별 월강수량

우리나라의 연평균강수량의 두드러진 특징은 2~3년을 주기로 큰 폭으로 변한다는 것이다. 따라서 우리나라의 수자원은 빈번한 홍수와 가뭄의 피해에 취약할 수밖에 없다. 더욱이 1960년대 이후 이 경년변화의 폭은 해가 갈수록 증폭되고 있다. 이러한 추세는 최근 10년간 4번(1990, 1996, 1998, 1999)의 대홍수, 3년동안(1994~1996) 지속된 가뭄으로 나타나고 있다. 이와 같은 경년변동의 증폭이 어떤 원인에 기인하는 것인지는 아직 밝혀지지 않았다. 지구온난화에 따라 한반도를 포함한 전지구의 기온이 지속적으로 상승하고 있는 것은 부인할 수 없는 사실이나 이로 인하여 강수변동이 증폭되고 있다는 것은 아직 입증되지 않았다. 그러나 우리나라에서 홍수와 가뭄이 심해지고 있다는 것은 엄연한 사실이며 앞으로도 이러한 현상은 심화될 가능성이 있기 때문에 국가차원의 대비가 필요하다고 판단된다.

1905년부터 1998년까지 94년동안의 연평균강수량의 추세에서 특별한 현상을 찾기는 어렵다. 만일 장기적인 변동을 선형으로 표시하면 약간의 증가추세에 있다. 그러나 그 증가 정도가 매우 미약하고 통계적으로도 유의하지 않으므로 이러한 선형증가 추세만으로 우리나라의 장래 강수량이 증가한다고 추정하기는 곤란하다.

결론적으로 우리나라의 강수량은 2~3년 주기를 갖고 큰 폭으로 변하고 있으며 장기적으로 특별한 추세를 찾기는 어렵다. 다만 최근 30년에 걸쳐 이러한 변동의 폭은 커지고 있어 장래 심각한 홍수와 가뭄의 발생가능성이 높다고 전망된다. 2050년의 강수는 양적인 측면에서는 현재와 비슷할 것으로 추정될 수 있으나 변동폭은 과거보다는 클 것으로 추정될 수 있다.

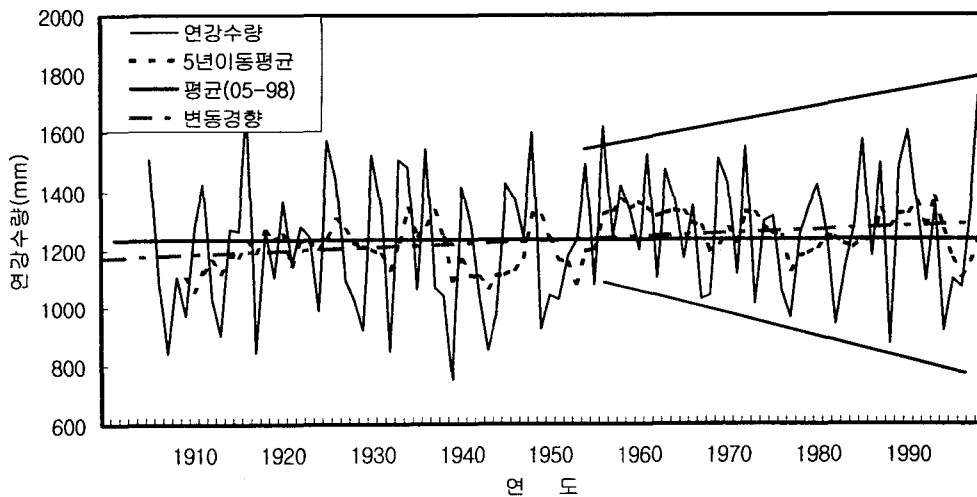


그림 3.2 우리나라 연평균 강수량의 경년변화 (1905~1998)

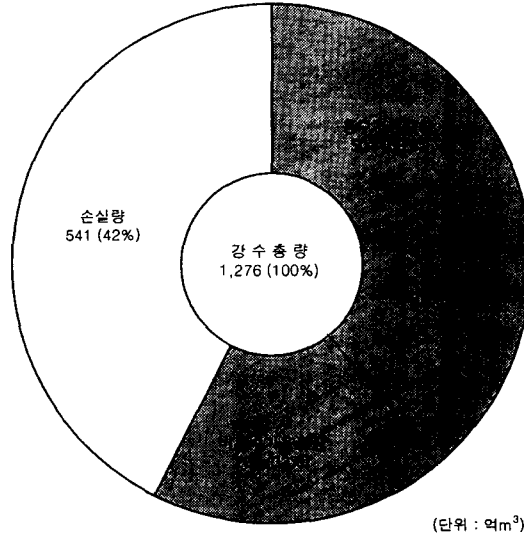


그림 3.3 연평균 수자원부존량(1969~1998)

우리나라의 연평균유출량은 연강수량의 약 58%인 735억m³이다. 나머지 42%는 증발산을 통하여 대기중으로 손실된다. 1969~1998년 동안의 연유출량은 최저 503억m³, 최고 1,149억m³로서 최고치는 최저치의 2배보다도 많다. 연유출 중에서 68%는 홍수기에 유출되고 나머지 32%인 234억m³는 비홍수기에 유출되는데, 이 기간동안에는 하천유지용수를 제외하면 실제 가용수량이 용수수요에 비하여 심각하게 부족하다. 연중 하천유황이 불안정하고 유량계수(최대유량과 최소유량의 비)가 300~400 정도로서 외국에 비해 10배의 크기를 가지고 있다.

2050년에 우리나라의 연평균유출량을 전망하기는 어렵다. 만일 강수량이 현재와 같은 수준을 유지하고 지구기후변화로 기온이 증가하면 증발산이 증가하므로 유출은 감소할 것으로 추정된다. 그러나 현재 시점에서 2050년 우리나라의 유출특성이 현재와 판이하게 다를 것으로는 보기 어려우며, 다만 강수의 변동폭이 커지면 유출도 이에 따라 변동폭이 커져 홍수와 가뭄의 심각도를 더해갈 수 있을 것으로 추정된다.

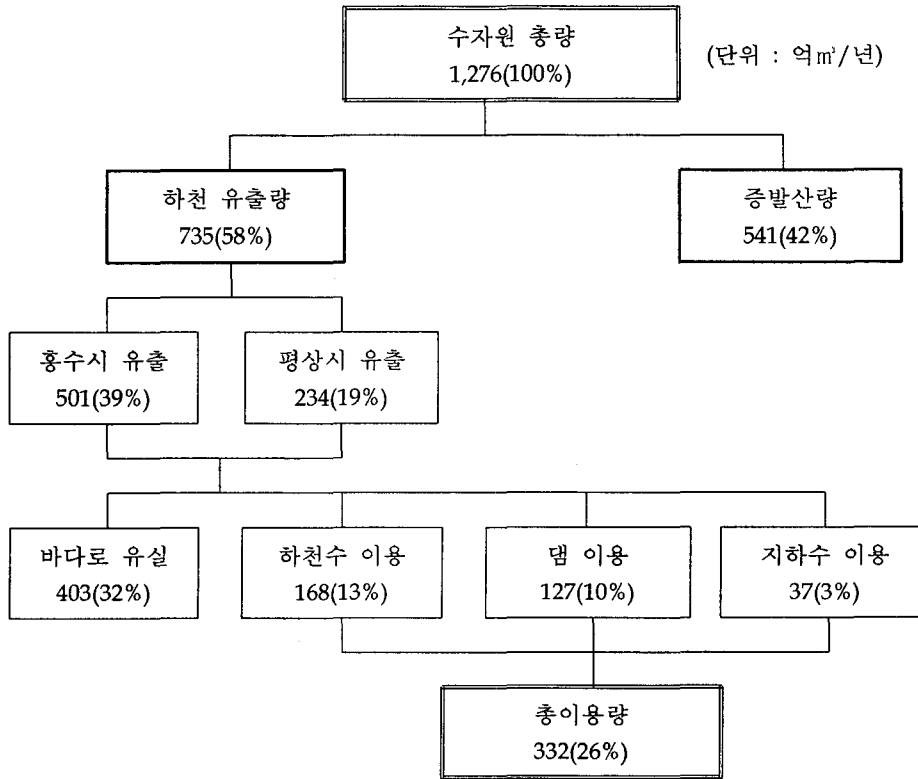


그림 3.4 수자원의 부존량 및 이용현황('98)

3.2 우리나라의 용수수요 현황

우리나라의 연간 수자원 수요는 1998년을 기준으로 332억 m³이다. 이 중에서 생활용수가 22%, 공업용수가 9%, 농업용수가 47% 그리고 유지용수가 22%를 차지한다. 이 중에서 51%는 하천수의 직접공급으로, 38%는 댐용수의 공급으로 그리고 나머지 11%는 지하수의 공급으로 충족된다.

우리나라의 용수수요는 산업화가 시작된 60년대 이후 폭발적으로 증가하였다. 용수수요 총량은 1965년 51억 m³에서 1998년 332억 m³으로 지난 33년동안 6.5배로 증가하였다. 그 중에서도 생활용수 수요는 2.3 m³에서 73 m³로 무려 32배나 증가하였으며 공업용수는 약 7배, 농업용수는 3.5배가 증가하였다. 이와 같은 폭발적인 증가추세는 1990년대 후반기 이후 현저히 완화되고 있는 것이 사실이지만 아직 증가추세가 정체나 감소추세로 바뀐 것은 아니라고 판단된다.

표 3.1 우리나라 수자원총량과 용도별 이용량의 경년변화

연도 구분	1965년	1980년	1990년	1994년	1998년
수자원 총량	1,100	1,140	1,267	1,267	1,276
총 이용량	51.2(100%)	153(100%)	249(100%)	301(100%)	332(100%)
생활용수	2.3(4%)	19(12%)	42(17%)	62(21%)	73(22%)
공업용수	4.1(8%)	7(5%)	24(10%)	26(8%)	29(9%)
농업용수	44.8(88%)	102(67%)	147(59%)	149(50%)	158(47%)
유지용수	-	25(16%)	36(14%)	64(21%)	72(22%)

3.3 재생가능한 수자원 현황

우리가 고갈시키지 않고 지속적으로 사용할 수 있는 수자원을 '재생가능한 수자원(renewable water resources)'으로 부르고 있으며 국가별 물부족을 가늠하는 지표로 사용하고 있다. 우리나라의 경우 이 양은 강수량에서 증발산량을 제외한 나머지 값으로 가정할 수 있다. 하천물을 사용하든지 지하수를 사용하든지 만일 이 값보다 더 많이 사용한다면 우리의 수자원은 결국 고갈될 수밖에 없다.

1998년을 기준으로 우리나라의 재생가능한 수자원은 735억m³이다. 이 양은 강수량에서 증발산을 제외하여 추정할 수 있다. 유역별로는 한강과 낙동강이 재생가능한 수자원총량의 약 45%를 차지하고 있으며 나머지 5대강이 나머지 18%를 차지하고 있다.

재생가능한 수자원으로 판단할 때 우리나라는 극심한 물부족 국가이다. 우리나라의 경우, 건설교통부가 1996년에 수립한 수자원장기종합계획 자료에 따르면, 재생가능한 수자원은 697억m³/년이다. 그런데 물을 쓰는 주체는 인간이므로 인구수로 나누어 보면 우리나라에서 1인당 1년간 최대한 사용할 수 있는 양은 평균 1,472m³이다(표 3.2). ESCAP(아시아 태평양 경제사회이사회)이 조사한 아시아 28개국의 1인당 1년 평균은 4,143m³년이므로 우리나라는 아시아 평균의 35%인 셈이다.

국가별 현황과 전망을 비교해보면 우리나라의 사정은 상당히 심각함을 인식할 수 있다. 인구가 우리와 비교할 수 없게 많은 중국은 2,295m³, 서부 아시아 건조지대의 아프가니스탄은 2,543m³이다. 우리가 자주 비교 대상으로 하고 있는 일본도 우리의 3배에 해당되는 4,374m³이다. 동부 아시아 국가 중에서 이 값이 2,000m³미만인 나라는 우리나라뿐이다. 미국에서 발간되는 National Geographic 1998년도 10월호에서도 1인당 재생가능 수자원량을 국가별로

제시했는데, 불행히도 우리나라는 서부아시아 사막국가를 제외하고 아시아에서는 유일하게 심각하게 물이 부족한 국가로 표시되어 있다.

우리나라의 1인당 재생가능한 수자원은 2025년정도까지는 감소하지만 그 이후는 호전되는 것으로 전망되어 있다. 그 이유는 인구증가가 2025년 이후부터는 감소추세로 전환될 것으로 예측되고 있기 때문이다. 북한의 경우는 2025년까지 급격한 감소되지만 그 이후는 감소추세가 완화될 것으로 전망되어 있다.

2050년에 통일된 한국의 1인당 재생가능한 수자원은 북한이 인구에 비하여 국토가 남한에 비하여 상대적으로 넓으므로 현재보다 증가할 것으로 전망된다. 그러나 북한의 경제수준이 향상되면서 용수수요가 증가할 것을 고려하면 물부족은 현재보다 오히려 훨씬 심해질 것으로 전망된다.

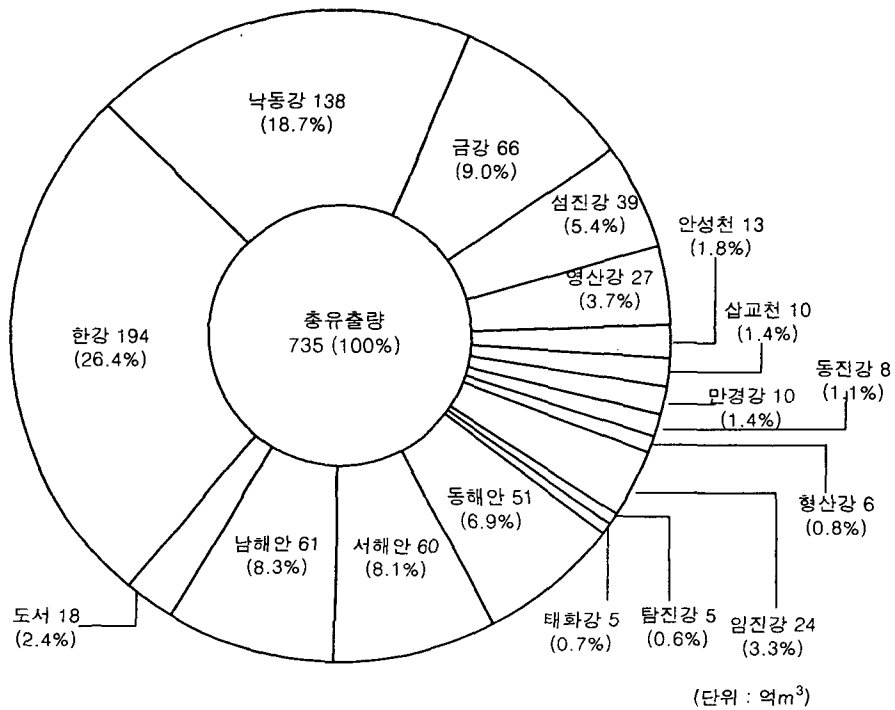


그림 3.5 한국의 연평균 유출량 (재생가능한 수자원)

표 3.2 국가별 1인당 물이용가능량 전망(m³/인/년)

국 가 명	1950	1995	2025	2050
아프가니스탄	5,582	2,543	1,105**	815*
방글라데시	56,411	19,936	13,096	10,803
캐나다	211,181	98,667	79,731	79,803
중국	5,047	2,295	1,891	1,846
이집트	2,661	936*	607*	503*
이디오피아	5,967	1,950	807*	517*
프랑스	4,734	3,408	3,279	3,392
독일	2,501	2,096	2,114	2,459
인도	5,831	2,244	1,567**	1,360**
이스라엘	1,709	389*	270*	235*
일본	6,541	4,374	4,508	4,993
쿠웨이트	1,053**	95*	55*	47*
사우디아라비아	1,421**	249*	107*	76*
수단	16,757	5,766	3,287	2,569
영국	1,403**	1,222**	1,193**	1,209**
미국	15,702	9,277	7,453	7,130
한국	3,247	1,472**	1,258**	1,268**
북한	7,062	3,302	2,230	2,038

주) * : 물기근국가(water scarcity), ** : 물압박국가(water stress)

자료: 조용완, 이명섭, 최병만, "댐개발에 의한 용수의 공급," 댐개발과 자연환경 보전, 제18회 댐기술 심포지엄 논문집, 한국대담회, 1998, pp. 1-41.

우리나라는 물이 부족한 만큼 물의 사용강도가 매우 높다. 1996년에 수립된 건설교통부의 '수자원장기종합계획'에 따르면, 우리는 1년동안에 최대한 쓸 수 있는 연평균 재생가능한 수자원량 697억m³ 중에서 301억m³을 사용한다. 이 중에서 64억m³는 유지용수이므로 이를 제외하면 실제 사용량은 237억m³이다. 따라서 실제사용량을 재생가능한 수자원량으로 나누어 용수이용률을 산정하면 34%이다(표 3.3). 국제연합은 이 이용률을 가지고 국가의 '물 스트레스'(water stress) 정도를 구분하고 있다. 이용률이 10% 미만이면 물 스트레스는 문제가 안되며 10%~20% 수준이면 보통 정도로서 물의 가용 여부가 일반적인 제한 요소로 작용하게 된

다. 20%~40% 수준이면 물 스트레스는 보통보다 높은 수준으로서 수요와 공급의 집중적인 관리가 필요하다. 이 단계에서는 인간과 수생태계 사이의 적절한 물 배분이 필요하며, 물사용 효율을 높이기 위하여 GNP의 상당부분이 물관리에 투자되어야 한다. 40%가 넘으면 심각한 물부족 현상이 나타난다. 이 단계에서는 고갈되어 가는 지하수 사용과 염수(鹽水)의 처리 사용에 수자원을 점점 더 의존하게 된다. 따라서 이 단계에서는 수요와 공급을 관리하기 위한 비상대책이 필요하다. 40%가 넘는 사용행태는 환경적으로 지속될 수 없으며 물부족은 경제발전의 제한요소로 작용한다(United Nations Department for Policy Coordination and Sustainable Development, 1997, Global Change and Sustainable Development: Critical Trends). 우리나라의 용수이용률은 평균 34%로서 수요와 공급에 대한 집중적인 물관리가 필수적인 단계에 와 있다. 그러나 이 수치는 평균일 뿐이며 섬진강 유역을 제외한다면 대부분 유역들은 이미 위험수준인 40%를 훨씬 초과한 상태이다. 특히 이용률이 50%를 초과한 중소유역에서는 지속적으로 수질이 악화되어 가고 있다.

표 3.3 유역별 연평균 강수량, 유출량 및 용수이용현황

유역	연평균 강수량 (mm)	연평균 유출량 (백만m ³)	유출 계수	용수이용현황(백만m ³)					이용 율 (%)	1인당 연평균 용수 이용량 (m ³ /인.년)
				생 활 용 수	공 업 용 수	농 업 용 수	하천유 지용수	계		
한 강	1,286.0	19,385	0.57	2,540.9	595.4	1,758.8	3,059.0	7,954.1	41.0	479.0
낙동강	1,166.0	13,946	0.49	1,278.0	229.8	3,431.5	1,419.2	6,358.5	45.6	1,117.5
금 강	1,269.0	6,205	0.49	330.7	93.4	1,844.9	946.1	3,215.1	51.8	1,109.0
영산강	1,319.0	2,588	0.57	157.8	44.8	924.5	315.4	1,442.5	55.7	877.8
섬진강	1,414.0	3,831	0.54	32.8	7.9	742.6	173.4	956.7	25.0	2,073.8
안성천	1,277.0	1,244	0.57	149.4	50.8	476.8	25.2	702.2	56.4	513.6
형산강	1,087.0	648	0.51	75.7	66.4	248.3	72.5	462.9	71.4	780.5
삽교천	1,254.0	1,212	0.55	54.3	10.0	587.0	94.6	745.9	66.5	1,277.6
만경강	1,279.0	1,084	0.54	115.3	67.6	499.2	63.1	745.2	68.7	775.0
동진강	1,314.0	699	0.53	22.3	10.4	458.5	15.8	597.0	85.4	2,045.6
기 타	1,319.3	14,676	0.60	1,234.3	650.8	3,937.9	48.9	5,891.9	40.0	452.3
전 국	1,274.0	65,427	0.55	5,991.5	1,827.3	14,910.0	6,233.2	28,962.0	44.3	650.0

*자료: 수자원자료집, 1996, 수자원장기종합계획('91-2011) 보고서, 1990.

2050년에 우리나라의 물스트레스 평균 수준은 현재보다는 약간 낮을 것으로 전망된다. 향후 대규모 수자원개발은 상당한 제한을 받을 것이며, 물관리 효율의 증가로 용수사용량이 감소할 것이기 때문이다. 그러나 수도권을 비롯한 인구집중 지역은 다른 유역으로부터 물을 공급받지 않는 한 심각한 물부족에 시달리게 될 것이며, 물스트레스도 40%를 훨씬 초과할 것이다.

3.4 수질현황

60년대 이후 경제발전에 따라 주요 수계의 중상류에 도시와 산업단지가 개발되고 인구가 집중됨에 따라 수질이 악화되기 시작한 이래 오염이 심화되어 왔다. 그 이유는 용수사용량이 폭발적으로 늘어감에 따라 하천의 유지유량이 줄어든 반면에 오염된 회귀수의 하천유입량이 늘었기 때문이다. 특히 갈수기에는 유지유량이 부족하여 하천의 자정능력이 낮아져 오염된 회귀수가 정화될 수 없기 때문에 오염정도가 악화되어 왔다.

그러나 이제 우리나라 4대강 주요지점의 수질은 개선되는 추세에 와있다. 1993년~1995년 기간동안 발생한 가뭄이 수질에 절대적인 영향을 미쳐 수질이 악화하였으나 1997년 이후에는 환경기초시설의 확충으로 전반적으로 수질이 회복세로 돌아서고 있다.

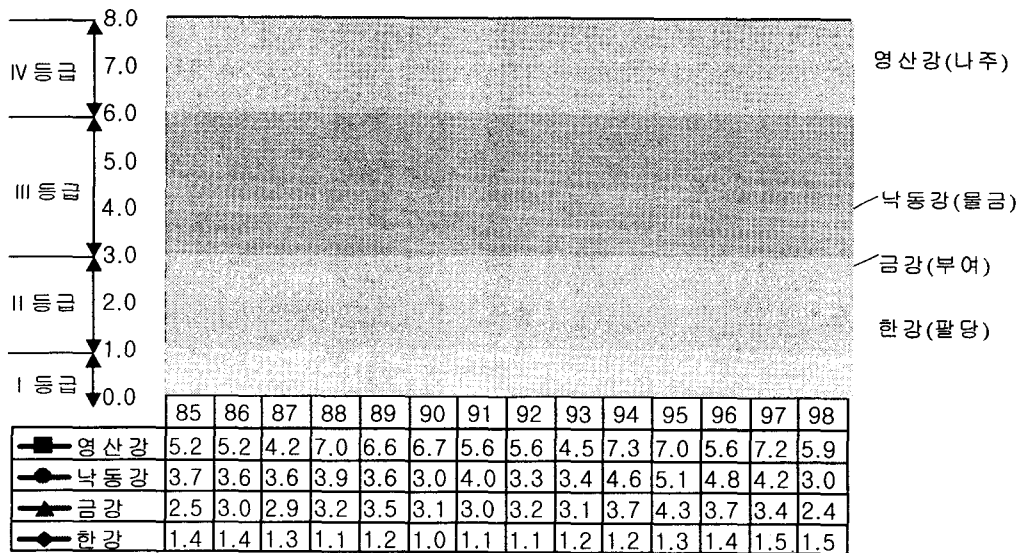


그림 3.6 연도별 수질변화 추이 (환경부, 2000, 환경백서 p. 383-385).

한강수계의 팔당상수원은 전년도와 동일한 BOD 1.5ppm 수준을 나타내고 있고, 낙동강의 물금상수원은 전년에 비해 크게 개선된 3.0ppm, 금강의 대청상수원은 1.0ppm, 영산강권역의 주암상수원은 0.8ppm으로 I 급수 수준을 보이고 있다.

전국 하천 195개 구간의 수질환경기준 달성률(달성구간수/목표설정구간수)을 보면, 1991년에 12.8%에 불과하던 것이 1998년에는 31.8%로 크게 향상되고 있는 것을 알 수 있다. 금강이 55.3%로 환경기준달성률이 가장 높고 그 다음이 한강, 낙동강, 영산강의 순으로 나타났다 (환경부, 2000, 환경백서, p. 385).

우리나라의 수질환경기준 달성률은 1998년에 31.8%로 최근 크게 향상되었는데, 일본의 경우 1974년에 약 50%였는데 매년 지속적으로 향상하여 1997년에는 약 80%를 유지하고 있다 (Environmental Agency Government of Japan, 1999, Quality of the Environment in Japan 1999, p. 26). 만일 우리나라의 수질환경기준 달성률이 일본과 같이 매년 1%이상 증가될 수 있다면, 2050년도 우리나라 수질기준 달성률은 일본과 같이 약 80% 수준에 도달 할 수 있을 것이다.

3.5 지하수 이용 현황

1998년을 기준으로 연간 지하수 이용량은 약 37억m³로서 최근 급격한 증가추세에 있다. 1994년에는 26억m³이었던 사용량이 1996년에는 29억m³, 1998년에는 37m³억으로 5년동안 40%이상 증가하였다. 이와 같은 급격한 증가는 지하수 이용량의 증가뿐만 아니라 과거에 파악되지 못했던 지하수 사용량이 이제야 파악되고 있는 데서도 찾아 볼 수 있을 것으로 판단 된다.

지하수 이용량은 우리나라의 수자원 전체 이용량(332억m³/년)의 약 11%를 차지한다. 이 비율은 미국(20%), 프랑스(19%), 일본(20%) 등과 비교할 때 상대적으로 낮은데, 그 이유 중의 하나는 지질구조상 대수층(2~30m)이 얇아 대규모 지하수 개발이 어렵기 때문이다. 미국의 경우를 보면, 지하수 대수층이 평균 60m이며, 두꺼운 곳은 수백m로 우리보다 월등히 깊다.

지하수는 현재는 토지소유권의 일부로서 공개념적으로 규제되고 있으나, 앞으로는 공공자원이므로 관리될 것으로 예상된다. 또한 지표수 위주의 용수공급방식이 다변화되면서 지하수가 지표수와 같이 용수공급원으로서 자리잡게 될 것이다. 특히 장기간 가뭄을 대비한 비상용수 공급원으로서 지하수의 중요성은 시간이 갈수록 부각될 것이다. 이러한 추세에 따라 물부족 지역중 지하수 개발이 유망한 동해안 및 형산강 유역 등에서는 지하수를 취수원으로 하는 광역상수도가 운영될 수 있을 것이다.

2050년에 있어서 지하수는 지표수와 같은 비중을 가지고 관리될 것이다. 지하수로부터 공

급될 수 있는 총량은 현재의 11% 수준에서 적어도 50%정도는 증가할 것으로 추정된다. 지하수는 공급의 안정성이 지표수에 비하여 월등히 높기 때문에 극심한 가뭄시 비상공급원으로 사용하기 위하여 대대적인 개발이 추진될 것이며, 평상시에도 이 중 일부는 수질 및 시설관리를 위하여 지속적으로 사용될 것이다.

4. 우리나라 용수수요와 공급전망

1996년에 수립된 수자원장기종합계획(1997-2011)에 의하면, 2011년의 용수수요는 1994년보다 66억m³이 늘어난 367억m³으로 22% 증가할 전망이다. 생활용수가 20%, 공업용수가 50% 그리고 농업용수가 1%, 하천유지용수가 13% 증가할 전망이다. 이 증가율은 전체적으로 매년 평균 약 3%에 해당된다. 그런데 우리가 인식해야 것은 이와 같은 전망은 수요라는 사실이며, 실제 사용량은 아니라는 것이다.

우리나라의 경우 수문관측 체계의 미흡으로 수요와 실제 사용의 차이를 명확하게 규명하지 못하고 있으며, 수요를 실제사용량을 바탕으로 추정하지 못하고 있다. 따라서 우리의 전망치에는 상당한 불확실성이 포함되어 있다고 판단된다.

수자원전망과 관련된 우리나라의 사회·경제적 여건은 인구가 2000년에는 0.77%, 2010년에는 0.42%, 2020년에는 0.13%로 완만하게 증가할 것으로 예상되며, 2020년까지는 실질경제가 성장하고 지역개발사업과 신규 주택의 신축 등이 예상되어 신규 용수수요는 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.

그러나 신규공급원 개발은 상당히 어려울 것으로 전망된다. 사회·경제적 제한요소로 인한 어려움 때문에 신규개발이 어려워 하류지역의 용수부족이 우려되며, 수원지 주변 주민의 반대, 개발자체에 대한 지방자치단체간 이해대립, 개발행위에 뒤따르는 환경파괴 등에 대한 우려로 신규개발에 어려움 가중될 것으로 전망된다. 그러나 중앙정부 주도의 사업추진에 따른 문제점이 보완되고, 개발자가 쾌적하고 맑은 생활환경 조성과 자연보존에 대한 요구를 최대한 수용하며, 신규 수자원개발시 지자체가 적극 참여하여 이에 따른 이익을 보장받을 수 있는 여건을 조성할 경우에는 신규 수자원 개발이 가능할 수도 있다고 판단된다.

기존 용수원 공급여건은 상당히 악화될 것으로 전망된다. 극심한 가뭄과 홍수의 빈발로 적기공급에 차질을 가져올 수 있으며, 기존 관거의 노후화로 인한 누수 및 수질악화로 인한 수돗물에 대한 불신이 우려되며, 대체용수원으로서 지하수의 효용성이 저하될 수 있으며 효율적인 수자원관리를 위한 물 통합관리에 대한 요구가 집중될 것으로 전망된다. 수자원 관련 분쟁이 심화될 것이며 신규 상수도 수요의 증가에 따른 효율적 용수분배방안 요구된다.

신규 수자원개발이 어려워짐에 따라 수요관리 정책이 지속적으로 시행될 것이다. 2000년 현재 제시되어 있는 정부의 수요관리대책으로서는 2000년 7월 수립된 물절약 종합대책을 들 수 있으며, 이 계획으로 2006년까지 총 7억9천만m³을 절수할 수 있을 것으로 전망된다 (표 3.2). 이 계획은 상수도 중심으로 짜여져 있으나 농업용수가 전체 용수사용의 45%를 차지하고 있는 점을 고려하여 수자원 전반에 대한 수요관리대책의 수립과 추진이 현실적에서 절실하게 요구된다. 외국의 경우와 지구 전체에 대한 전망치를 고려할 때 우리나라도 수요관리를

통하여 향후 20년동안 전체 용수수요의 10%이상 절약할 수 있을 것으로 전망된다.

치수 및 하천환경에서는 방재와 하천환경을 조화시킨 하천정비 요구가 지속적으로 증대될 것이다. 수질오염 및 독극물 사고의 위험도가 높아짐에 따라 수질오염원을 근본적으로 저감하기 위한 오염총량제, 물이용분담금제도 등이 확대 시행될 것이다. 또한 지구기후변화에 따른 홍수량의 증가로 기존 및 신설 농업용 저수지에 홍수조절기능 부여의 필요성이 제기될 것이다. 수자원의 친수공간활용에 대한 요구는 지속적으로 증대되어 수변공원, 물놀이관련 레크리에이션에 대한 수요가 점증할 것으로 예상된다.

유역권별로는 다음과 같은 사항들이 전망된다. 공통사항으로서는 기개발된 수자원시설을 효율적으로 이용하기 위한 사업이 적극적으로 추진될 것이며, 최소한의 필요량을 공급하기 위한 신규수자원 개발은 지속적으로 추진될 것이다. 이제까지는 하도에 국한되었던 치수정책이 0유역전반에 대한 치수특성을 고려하여 추진될 것이며, 이상홍수발생에 따라 기존 수리시설물의 안전도가 강화될 것이다. 특히, 자연친화적 하천환경의 보전 및 복원이 활발하게 추진되어 하천생태계 복원을 통한 하천의 고유기능이 복원되고 유역권별 통합관리를 통한 산·하천·연안의 유기적 연계가 가능하게 될 것이다.

한강권역에서는 수도권내의 국지적 용수부족에 따른 수급 대책이 필요할 것이다. 경기북동부권에서는 전원형도시 개발에 따라 추가적인 상수도 시설이 필요할 것이며, 경기북서부권에서는 인천을 비롯한 서해안 지역의 용수부족에 대비한 공급원의 확보가 필요할 것이다. 또한 남북통일과 교류의 활성화에 따른 신규 용수수요가 급증할 것이며 이에 따른 용수공급대책의 마련이 필요할 것이다. 특히, 임진강 유역에 대해서는 남북한이 수자원을 공동개발하여 이용하게 될 것이다. 강원북부권에서는 국지적 물 부족 해소를 위한 물 공급구역의 광역화가 진행될 것이며, 동해안지역에서는 물 부족 해소를 위한 기존 시설의 효율적 이용이 추진될 것이다.

낙동강권역의 경북북부권에서는 안동, 영주, 문경, 예천 등의 유교문화권의 종합적 개발로 수질악화 문제가 제기될 수 있으며 이에 대한 방지 대책 수립이 필요할 것이다. 경북중서부권에서는 신규 수자원의 개발보다는 구미공업단지 등에 대한 중수도시설의 확대보급, 용수의 절약을 통하여 신규수요에 대응하게 될 것이다. 특히 하류지역에 위치한 대구광역시의 취수원 수질악화 방지를 위해서 환경기초시설이 지속적으로 확충될 것이다. 대구권에서는 섬유산업의 용수수요증대에 대비한 용수재활용이 필수적 수단으로 등장하게 될 것이며, 금호강 합류지점이하의 수질악화방지를 위한 오염총량제가 철저히 실시될 것이다. 경북동부권에서는 국토종합개발 계획에서 제시된 환동해축상 포항공업단지의 공업용수확보를 위하여 중수도, 해수단수화계획이 추진될 것이다. 경남북부권은 거창군, 합천군 등이 속해 있는 지역으로서 비

교적 수자원이 풍부한 지역으로서 부산, 경남 하류지역의 맑은 물 공급을 위한 중·소규모댐 개발과 유역내 용수 이전이 요구될 것이다. 경남동부권에서는 태화강유역에 위치한 울산지역의 생·공용수의 안정적 공급대책이 필요하게 될 것이며 수질개선을 통한 용수원 확보가 요구될 것이다. 부산권에서는 낙동강 수질악화에 따른 안정적 용수원 확보 대책이 요구될 것이다.

금강권역의 대전권에서는 용수수요가 지속적으로 증가할 것이며 대청댐 계통의 광역상수시설의 효율적 운영이 필요할 것이다. 전북동부권은 문화관광산업의 입지에 따른 공급대안이 필요하게 될 것이며, 전북북부권에서는 용담댐을 통하여 군산, 전주권에서 안정적으로 용수를 공급받을 수 있게 될 것이다. 기타 서해안 개발이 활발하게 추진됨에 따라 서산시, 대천시 등을 비롯한 서해안 지역의 용수수요가 급증할 것이며 안정적 용수원을 확보하기 위한 정책이 요구될 것이며, 불안한 해안 도서지역의 용수원을 다변화하는 방안도 필요하게 될 것이다.

영산강 및 섬진강권역의 전남북서부권에서는 광주광역시를 비롯한 인근 지역에서 용수수요가 증가할 것이며 필요한 생·공용수의 안정적 공급을 위한 광역 용수공급망의 확보가 필요하게 될 것이다. 전남남서부권에서는 농업용수의 효율적 이용을 통한 생활용수의 추가적 확보가 필요할 것이다. 전북중부권은 섬진강 유역의 상류에 위치하여 권역내 용수공급을 위한 소규모저수지 개발이 요구될 것이다. 기타 해안지역으로서 광양만권에서는 국제자유무역기능 확충 및 배후도시의 성장에따른 용수수요에 대처할 수 있는 새로운 공급원의 개발과 용수원 다변화가 요구될 것이다.

5. 수자원의 통합관리

2000년 현재 우리나라는 수자원 문제에 있어서 진퇴양난의 곤경에 처해 있다고 할 수 있다. 용수수요는 지속적으로 증가하고 있으나 증가하는 용수수요를 충족시킬 방안을 찾지 못하고 있다. 댐건설을 통하여 용수공급을 늘릴 경우, 우리나라의 용수이용률은 더욱 높아져 물스트레스는 더욱 높아질 수밖에 없다. 수질은 하수처리장이 건설된다고 해도 용수사용의 증가에 따라 회귀수가 증가하기 때문에 외국과 같이 개선될 것으로 전망하기는 어렵다. 또한 악화될 하천환경의 복원 비용을 감안한다면 수자원공급비용은 천문학적으로 증가하게 될 것이다. 그렇다고 증가하고 있는 용수수요를 충족시키지 못하거나 최소한의 수질을 유지하지 못할 경우, 용수부족 또는 수질 문제가 모든 경제활동을 제약하는 요인으로 작용하여 경제전반에 심각한 부정적인 영향을 주게 될 것이다.

이러한 혼란은 적어도 10년이상 지속될 것이며 2050년 정도에는 우리나라 실정에 맞는 수자원확보 방안이 여러 단계의 시행착오를 거쳐 정착되게 될 것이다. 이 방안은 아마도 수자원의 통합관리를 바탕으로 추진될 것이다. 수자원은 현재와 같이 지역단위가 아니라 대유역 전체를 대상으로 통합되어 관리될 것이다. 지표수와 지하수도 통합되어 관리될 것이며, 수량과 수질도 통합되어 관리될 것이다. 또한 수자원공급과 하수처리도 통합되어 계획되고 관리될 것이다.

6. 맺음말

2000년 현재 우리나라는 수자원 문제에 있어서 진퇴양난의 곤경에 처해 있다고 할 수 있다. 용수수요는 지속적으로 증가하고 있으나 증가하는 용수수요를 충족시킬 방안을 찾지 못하고 있다. 댐건설을 통하여 용수공급을 늘릴 경우, 우리나라의 용수이용률은 더욱 높아져 물스트레스는 더욱 높아질 수밖에 없다. 수질은 하수처리장이 건설된다고 해도 용수사용의 증가에 따라 회귀수가 증가하기 때문에 외국과 같이 개선될 것으로 전망하기는 어렵다. 또한 악화될 하천환경의 복원 비용을 감안한다면 수자원공급비용은 천문학적으로 증가하게 될 것이다. 그렇다고 증가하고 있는 용수수요를 충족시키지 못하거나 최소한의 수질을 유지하지 못할 경우, 용수부족 또는 수질 문제가 모든 경제활동을 제약하는 요인으로 작용하여 경제전반에 심각한 부정적인 영향을 주게 될 것이다.

이러한 혼란은 적어도 10년이상 지속될 것이며 2050년 정도에는 우리나라 실정에 맞는 수자원확보 방안이 여러 단계의 시행착오를 거쳐 정착되게 될 것이다. 이 방안은 아마도 수자원의 통합관리를 바탕으로 추진될 것이다. 수자원은 현재와 같이 지역단위가 아니라 대유역 전체를 대상으로 통합되어 관리될 것이다. 지표수와 지하수도 통합되어 관리될 것이며, 수량과 수질도 통합되어 관리될 것이다. 또한 수자원공급과 하수처리도 통합되어 계획되고 관리될 것이다.