

## 수자원의 지속가능한 개발 방향에 관한 연구

이 동 료 (한국건설기술연구원 수자원연구그룹장)

최 시 중 (한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원)

1. 서 론
  2. 지속가능한 개발의 개념
    - 2.1 지속가능한 개발에 대한 국제적 정책 흐름
    - 2.2 수자원 시스템의 지속가능한 개발의 개념
  3. 지속가능한 개발 지표 조사 및 분석
    - 3.1 지표의 정의 및 필요성
    - 3.2 지표의 구성체계 및 요건
    - 3.3 지표의 개발현황
  4. 지속가능한 개발 가이드라인 검토
    - 4.1 물리적 기반시설의 설계, 관리, 운영
    - 4.2 환경과 생태계
    - 4.3 경제와 재정
    - 4.4 제도와 사회
    - 4.5 보건과 복지
    - 4.6 계획과 기술
  5. 지속가능한 가이드라인에 의한 수자원의 개발 사례 평가
  6. 지속가능한 수자원 개발 방향과 과제
  7. 결 론
- 참고문헌

## 1. 서론

최근 우리 나라에서는 수자원의 개발과 보전의 두 가지 상반된 요구가 조화롭게 해결되어 된다는 인식이 강조되고 있지만 동전의 양면과 같이 대립과 모순의 관계로 나타나고 있다. 영월댐 건설의 중단과 새만금 간척사업을 계기로 개발과 환경보전에 대한 찬반논쟁이 가속화되고 있고 앞으로도 개발에 대한 논쟁은 더욱 심화되어 갈 것으로 예상된다. 이와 같은 배경은 환경보전에 대한 의식의 제고로 그 동안 강조되어온 개발에 대한 우려와 후세대들에 대한 고려에서 기인하고 있다. 그러나 개발과 환경보전은 어느 한쪽에 치우치지 않고 균형있게 추구하는 것이 현세대와 후세대 서로를 위한 방향일 것이다. 이와 같은 논리가 최근 전세계적으로 논의되고 있는 지속가능한 개발의 개념이다.

지속가능한 개발은 1987년 Brundtland 보고서에서 “후세대의 요구를 충족시킬 수 있는 능력과 여건을 손상시키지 않는 범위에서 현세대의 요구를 충족시키는 개발”이라고 최초로 정의되었고, 이 후 지속가능성이라는 개념은 계속 발전되면서 분야별로 구체화되고 있다. 오늘날의 지속가능한 개발은 지역의 경제, 환경, 생태계의 조화를 이루며 발전하는 것을 의미한다. 지속가능한 개발에 대한 국제적인 논의는 1972년 인간환경에 대한 UN 스톡홀름회의에서 시작되었으며 1992년 브라질 리우데자네이루에서 개최된 유엔경제개발위원회(United Nations Council for Economic Development, UNCED)의 지구정상회담으로 이어졌다. 이 회의에서는 지속가능한 개발을 위한 기본원칙인 리우선언과 세부실천계획으로서 의 제21을 채택하였다.

수자원시스템의 개발과 관리는 지속가능한 개발의 중요한 부분이다. 지속가능한 수자원 시스템이 없이는 지속가능한 개발의 성공은 어려울 수 있다. UNCED 및 여러 회의에서 수자원 개발과 관리에 대한 광의적인 의미에서의 몇가지 지침과 원리를 정의했다. 그러나 이들은 특정 지역의 수자원과 수자원 사업의 설계, 운영 및 관리에 적용할 정도로 뚜렷한 개념 정립은 아니었다. 또한, 여러 국제적인 회의에서도 특정 지역의 계획과 결정에 도움을 줄 수 있는 몇가지의 지침을 제공하는 정도이다.

현재 수자원의 공급과 수요 문제에 대한 연구와 분석에 이용할 수 있고, 수자원의 계획, 설계와 운영에 도움을 줄 수 있는 질적 및 양적으로 우수한 도구들이 있다. 수자원 기술자들은 연구와 경험을 통해 많은 도구들을 제공하여 왔다. 하지만, 시간에 따라 수자원시스템의 조건과 목표는 변화한다. 최적으로 설계된 시스템도 현재와 미래의 조건을 충족시켜 주기 위해 재평가되어야 하고 변경되어야 한다. 또한, 사회의 새로운 목표와 요구를 충족시켜주기 위해 새 방법들을 개발하여야 한다. 이러한 새로운 요구 중의 하나가 지속가능성의 달성이다. 지속가능한 목표를 충족시키기 위해서는 자연과 사회의 상호작용에 대한 충분한 이해가 필요하다.

지속가능성의 중요성은 단일목적 혹은 다목적 사업을 보다 통합적으로 여러 분야의 제 휴로 이루어져야 한다는 것에 있다. 수자원 개발은 단지 기술과 경제적인 것만이 아닌 보다 넓은 사회적 요구와 서로 연계하여 계획과 관리가 이루어져야 한다. 수자원기술자는 통합적이고 지속가능한 수자원 개발과 관리를 해야 한다. 또한 수자원시스템은 사회시스템을 바꾸는 중요한 부분으로 인식되어야 하며 시스템은 현재뿐만 아니라 예측치 못할 미래의 요구와 목적에도 적합하도록 설계되고 관리되어야 한다. 시스템은 극한 상황(가뭄, 홍수 등)에도 대처할 수 있도록 탄력적이어야 한다. 만약 극한 상황에 의해 피해를 입었다면 탄력적인 시스템에서는 적은 노력과 비용으로도 복구할 수 있을 것이다.

수자원 개발에 대한 지속가능성에 대한 많은 논의가 있었음에도 불구하고 수자원의 지속가능한 개발의 정의가 추상적이고 광범위하여 이를 정량화하기는 어려운 실정이다. 이로 인하여 지속가능한 수자원 개발의 목표달성을 어렵게 하고 있으며, 지속가능한 개발이 실무에 적용되는 방향도 명확화 되지 않고 있다. UNESCO(United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization)는 미국토목학회와 공동으로 수자원 시스템 설계 및 관리에 적용된 지속가능성의 개념에서 발생하는 많은 이슈들을 검토하여 제시하였다(Loucks 등, 1999). 본 연구에서는 Loucks 등(1999)이 제시한 수자원 시스템의 지속가능성 기준과 문헌 연구를 통하여 수자원 개발 입장에서 지속가능한 개발 개념이 무엇이며 어떤 방법이 있는지를 기술하는 것이다. 또한, 지속가능한 개발의 개념에 근거한 지표들을 이용하여 수자원의 지속가능한 개발을 위해 앞으로 무엇을 해야 하는가에 대한 방향을 살펴보는 것이다.

## 2. 지속가능한 개발의 개념

### 2.1 지속가능한 개발에 대한 국제적 정책 흐름

1972년 인간환경에 대한 UN 스톡홀름회의(United Nations Stockholm Conference on the Human Environment)에서 지속가능한 개발에 대한 논의가 시작되었다. 또한, 지속가능한 개발은 1970년대 중반 유엔환경계획(United Nations Environmental Programme, UNEP)의 에코개발(Ecodevelopment)과 1980년대 초반에 국제자연보전협회(International Union for Conservation of Nature, IUCN)에서 발표한 세계보전전략(World Conservation Strategy)으로 구체화되었다. 1987년 3월 세계환경개발위원회(World Commission on Environment and Development)는 인류가 나아가야 할 기본전략을 담은 브룬트란트 보고서(Brundtland Report)로 알려져 있는 “우리 공동의 미래(Our Common Future)”를 발표하였고, 이 보고서에서 인류의 지속적인 발전을 위한 기초개념으로서 “지속가능한 개발(Sustainable Development)”을 제시하였다. 지속가능한 개발의 개념은 인간이 모든 문제해결의 중심이며, 후세대를 배려하는 개념에 기초하고 있으며, 현세대의 자원과 환경의 개발이 과도하게 이루어져 후세대의 번영을 위협하지 않도록 진행되는 개발을 의미한다. 그리고 최근 정치·경제·사회 등 전 분야 정책수립시 가장 우선적으로 고려해야 할 기초개념이 되고 있다.

이후 1992년 6월 브라질 리우데자네이루에서 개최된 유엔경제개발위원회(UNCED)의 지구정상회담(Earth Summit)에서 지속가능한 개발에 대한 국제적 논의가 이루어졌다. 이 회의에서는 지속가능한 개발을 위한 기본원칙인 리우선언과 세부실천계획으로서 의제21을 채택하였다. 의제21의 제18장에서는 담수자원의 질과 공급의 보호를 위한 통합 수자원의 개발, 관리 및 이용의 필요성이 강조되었다. 또한, 담수부문의 계획분야로 수자원의 통합적 개발과 관리, 수자원 평가, 수자원·수질 및 수생태계의 보호, 음용수 공급과 하수처리, 수자원과 지속가능한 도시개발, 지속가능한 식량생산과 지역개발을 위한 수자원, 수자원의 기후변화 영향을 제시하였다.

리우선언 및 의제21의 이행상황을 검토하기 위해 유엔경제사회이사회(ECOSOC) 산하에 지속개발위원회(CSD)를 설치하였고, 기후변화협약, 생물종의 다양성과 유전자원의 보전을 위한 생물다양성협약에 서명하였고, 산림보호 및 개발에 관한 기본원칙인 산림원칙성명을 채택하였다. 1992년 리우환경회의 이후 지난 5년간의 지구환경보전을 위한 각국의 노력을 평가하고, 향후 5년간의 이행전략을 논의하기 위한 유엔환경특별총회가 1997년 6월 유엔본부에서 개최되었다. 이 회의에서는 산림보호, 핵폐기물 관리 등 일부분야에 있어서는 진전이 있었으나, 전반적으로 환경악화 및 자원고갈 현상이 심화되고, 특히 개도국에 대한 재정지원 및 기술이전이 미흡하다는 점에 인식을 같이하면서, 그 간 지구환경보전을 위한 각

국 및 국제사회의 노력을 평가하였다. 또한, 선진국의 대개도국 재정지원 및 기술이전 등 이행수단을 강화하고, 소비패턴, 산림, 해양 등 향후 이행이 특히 필요한 중점 추진분야를 선정한 “의제21 향후이행계획서”를 채택함으로써, “의제21” 이행에 대한 각국 및 국제사회의 관심을 더욱 촉구하였다. 이 회의에서는 1992년 리우회의에서 채택한 리우선언 및 의제21에 대한 국제사회의 지난 10년간의 추진실적을 종합평가하고, 2002년 이후 지속개발 전략을 마련하기 위해 리우회의 10주년이 되는 2002년에 세계환경정상회의(일명 Rio+10)를 개최하기로 결정한 바 있다. 이 회의의 목표와 중점 논의분야로서, 대다수의 국가들은 정부 및 모든 이해당사자가 지속가능한 개발을 위해 수행한 성과의 종합평가, 의제21에 포함되어 있지 않은 리우회의 이후 새로 대두된 과제 및 그러한 과제들을 다루기 위해 추가적으로 취해야 할 대책 및 수단의 명확화, 2002년 회의결과의 효과적 조치, 의제21의 이행증진을 위한 실천계획, 지속가능한 개발을 증진하기 위한 유엔시스템의 능력강화를 위한 대책 마련 등을 제시하고 있다.

우리나라가 위치한 아시아·태평양(아·태)지역도 지역적으로 광범위하고 역내 국가들의 경제발전 정도 및 관심분야가 상이하여 협력에 필요한 공감대를 형성하는데 어려움이 있다. 그러나, 역내 국가의 급속한 경제성장에 따른 환경과 개발의 조화를 위해 정보, 기술 및 경험의 교류 등 역내 국가들간의 협력 필요성은 날이 갈수록 증대되고 있다. 아·태지역 차원에서 지속가능한 개발 논의는 아시아와 태평양지역이 경제재건 및 개발을 촉진하고, 관련 기술정보의 전파 및 기술지원 등 역내 경제문제에 관하여 유엔경제사회이사회(ECOSOC)의 기능을 보좌하기 위하여 1947년 유엔총회 결의로 설립된 아·태경제사회이사회(ESCAP)가 주도하고 있다.

아·태경제사회이사회(ESCAP)의 5개 위원회 중 1998년 4월 설립된 “환경 및 천연자원 개발위원회”가 아·태지역 차원의 의제21 이행전략 수립 및 후속조치 사업을 수행하고 있다. 환경분야에 있어서 ESCAP의 역할은 범지구적 목표인 지속가능한 개발을 지역차원에서 성취할 수 있는 방안 강구와 이행에 있다. 이를 실현하기 위하여 ESCAP는 매 5년마다 “환경과 개발 각료회의”를 개최하고 있으며, 동 각료회의에서 아·태 지역 환경협력회 지침이 될 5년간의 지역행동계획을 채택하고 있다.

## 2.2 수자원 시스템의 지속가능한 개발의 개념

지속가능한 수자원 개발을 기술할 때 다음과 같은 자연, 현세대 및 후세대에 대한 광의적인 검토 또는 관점을 포함하고 있다(Loucks 등, 1999).

- 자 연 : 강-대수층-하구의 시스템과 이들 환경과 생태계는 각자가 소유한 자연적인 권리로서 가치를 가지고 있다는 관점. 따라서 이들의 자원, 서식지, 생물의 다양성을 지키기 위해 노력해야 됨.

- 현대 : 현재 살고 있는 사람들은 수자원시스템에서 얻고자하는 요구를 가지고 있다는 인식. 이들 요구와 목표는 지역에 따라 다르지만 유역내 또는 여러 유역간의 사람들 사이에 존재하는 삶의 질 격차를 감소시키는 방향으로 이동해야 함. 수자원의 관리의 형평성과 공평성의 정도를 향상시킬 수 있는 방향에서 이루어져야 함.
- 후세대 : 우리의 후세대는 적어도 현대가 누리는 경제, 환경, 삶의 질과 같은 수준을 누려야 한다는 관점. 현재 수자원시스템의 개발과 관리에 대한 활동이 후세대의 요구와 목표를 달성하기 위하여 취할 수 있는 선택권들을 훼손시키지 않아야 됨.

“지속가능성”이란 단어는 시간의 흐름에서 어떤 상황 또는 조건의 연속 또는 지속을 의미하지만 “개발”은 상황 또는 조건을 개선하려는 변화의 의미가 있다. 따라서 지속가능한 개발은 건전한 방향으로 개선이 지속된다는 관점이 될 수 있다.

개선은 변화를 수반한다. 그러나, 사회의 개선 또는 사회가 만들어낸 시스템의 개선은 변화, 대체 및 교체의 과정에 대한 적응에 의해 이루어질 수 있다. 특정 생산품, 기술, 공학 구조물 또는 심지어 사회제도들의 변화없는 지속적인 존재는 지속가능한 개발의 필요조건이 아니다. 반대로 이들의 변화가 지속적인 개발에 필요하다. 지속가능한 경제는 지속적인 적응, 창조 및 혁신, 인간의 복지와 환경에 대한 새지식, 새기술 및 새로운 운영 정책의 시행에 의해서만 실현된다. 수자원시스템도 예외는 아니다.

우리는 변화하는 요구를 충족시키거나 상대적으로 쉽고 최저비용에 의한 신기술을 이용하여 변화 또는 변형될 수 있는 성분들을 가진 시스템을 설계 및 개발함으로써 지속가능한 개발에 기여할 수 있다. 그러나, 시스템이 변화될 때 이전 시스템의 일부 특성 또는 시스템의 변화에 의한 환경적 영향은 사라지거나 다른 것들로 대체될 수도 있다. 예를 들어 자연생태계의 일부가 경제적 행동이나 자원으로 이용됨으로써 다른 것들을 생산할 수도 있고 새로운 지식이나 문화와 같은 무형의 것들로 변화될 수도 있다. 하지만, 불행하게도 재생불가능한 자원을 소비함으로써 현재의 가치보다 더 좋은 것을 생산할 것이라는 결정은 어렵다.

지속가능한 개발의 광의적 해석들은 목표 달성을 위한 정확한 대책의 제시를 어렵게 하는 원인이다. 또한, 이들은 지속가능성 성취의 과정 결정을 위한 작업도구를 찾는 데 어려움을 준다. 이런 어려움은 수자원 계획과 관리에서 적절한 지속가능성과 지속가능한 개발에서 더 유용한 정의를 위해 보다 많은 노력이 필요하다는 것을 보여준다.

일반적으로 여겨지는 지속가능한 개발의 정의는 없다. 그러나 지속가능성은 결국 사회복지의 향상에 주안점을 두고 있는 것은 명확하다. 시간에 따른 사회복지의 향상은 현재와 미래에 수자원에 대한 사회적 요구와 다목적 기능을 가능한 최대로 충족시킬 수 있는 수자원시스템 없이는 일어날 수 없다. 이들 요구는 지역에 따라 다양할 것이다. 각 지역의 요구는 전통적인 하천수와 저류량의 이용뿐만 아니라 해당 지역의 수문학적 환경에 의존

하는 사회, 문화 및 생태 시스템의 보호와 개선 등이 포함된다. 이와 같은 정의와 시각에서 Loucks 등(1999)은 다음과 같이 지속가능한 수자원 시스템을 정의하였다.

지속가능한 수자원시스템은 시스템의 생태, 환경 및 수문학적 건전성을 유지하면서 현재와 미래의 사회 목표에 충분히 기여하기 위하여 설계 및 관리되는 시스템이다.

이와 같은 정의는 Brundtland 보고서에서 제시한 “후세대의 요구를 충족시킬 수 있는 능력과 여건을 손상시키지 않는 범위에서 현세대의 요구를 충족시키는 것”과는 약간 다른 개념이다. 하천유역 또는 지역 규모에서 현세대의 요구가 경제, 환경, 사회적 비용을 수용할 수 있는 능력보다 더 크다면 현세대는 물론이고 후세대 요구 충족도 불가능할 수 있다. 따라서 공급관리와 같이 수요관리가 중요하다.

더욱이 현재 우리가 미래를 조명할수록 미래의 필요 또는 요구가 무엇인가를 추정하는 어려움이 증가되기 때문에 현재의 필요 충족을 위하여 행해지는 것들이 무엇이든 재생가능한 수자원 시스템을 악화시키지 않도록 보장하는 것이 우리의 의무임은 분명할 것이다. 후세대가 최소한 현재 우리가 수행하는 것과 같은 정도의 수자원 시스템을 기대한다고 가정하면 현 시스템의 악화는 미래의 필요가 무엇이든 이를 충족하기 위한 후세대의 능력을 경감시킬 것이다. 시스템 악화를 예방하는 것은 허용 가능한 비용과 신뢰성에서 원하는 수량과 수질을 제공하기 위한 수자원 시스템의 수용능력과 함께 인류복지의 유지와 향상을 위하여 필요한 생태, 사회 및 문화 시스템 지원하기 위하여 시스템의 수용능력에 따르는 것이다.

그러면 우리가 가지고 있는 수자원 시스템의 지속가능성을 어떻게 증가시킬 수 있는가? 시스템을 악화시키지 않고 어떻게 현세대와 후세대의 필요를 최대한 충족시킬 것인가? 이들에 대한 결정에는 단지 전문가가 아니라 모든 사람이 반드시 참여해야 한다. 시간에 따라 수자원 시스템의 설계와 관리를 위해 행한 결정은 공개되어야 한다. 이들 정보의 제공은 전문가의 일이다. 조건과 기대치가 변화하는 것처럼 우리의 결정도 변화할 것이다. 시간의 변화에 따른 수자원 시스템의 지속가능한 개발은 우선순위와 목표에 따라 이들 변화를 수용해야 한다.

### 3. 지속가능한 개발 지표 조사 및 분석

#### 3.1 지표의 정의 및 필요성

지표란 여러 부문의 관측 값 중에서 현상을 가장 잘 설명해줄 수 있는 대표적인 값을 일정기준에 따라 선정한 것을 의미하며 관련된 정보를 정량화하여 복잡한 현상을 쉽게 이해할 수 있도록 단순화한다. 지속가능개발지표(Sustainable Development Indicators: SDIs)는 국가 구성요소의 세가지 중심축인 경제, 환경, 사회 요소 가운데 대표성이 있는 일부를 개관함으로써 현재와 미래에 영향을 미치는 정보를 확보하여 지속가능성 정도를 평가하는 수단으로도 이용된다.

지속가능한 발전이 새로운 패러다임으로 등장하면서 자연환경 및 생태계 보전을 전제로 사회 각 분야의 다양한 수요를 충족시켜 주기 위한 여러 정책과 계획이 수립되었지만 현실 적용은 매우 미흡한 실정이다. 따라서 계획된 목표를 성취하고 부문별 원활한 실행을 위해서는 이를 평가할 수 있는 지표의 개발이 선행되어 현 사회의 지속가능성 정도와 진행되고 있는 방향, 추진상의 문제점을 진단할 수 있어야 한다. 이런 지표는 경제지표나 환경지표와 같은 전통적 단일지표와 비교해 볼 때 다소 생소한 개념이나, 개발과 보전의 조화를 통한 안정적 성장을 목적으로 하는 지속가능한 개발이 세계적으로 통용되면서, 이의 실현을 위한 효과적인 평가도구와 실행척도로써 지속가능개발지표에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 환경문제의 중요성에 대한 수량화가 가능하다고 할 때, 수량화된 환경 관심도는 정책의 우선 순위를 결정하는데 중요한 정보를 제공하고 광대한 양의 정보를 단순화하고 계량화하며 그 의미를 전달하는데 유용한 도구이다.

지속가능한 개발지표 활용의 예로 OECD에서 개발된 환경지표들은 그림 1과 같이 환경 성과를 검토하는데 정기적으로 이용된다. 이들 지표들은 경제와 환경의 의사결정 통합을 모니터링하고 환경정책을 분석하고 그 결과를 평가하기 위하여 유효한 방법이다. 또한, 이들 지표는 보다 폭 넓은 지속가능한 개발에 대한 보고의 목적에도 기여한다.



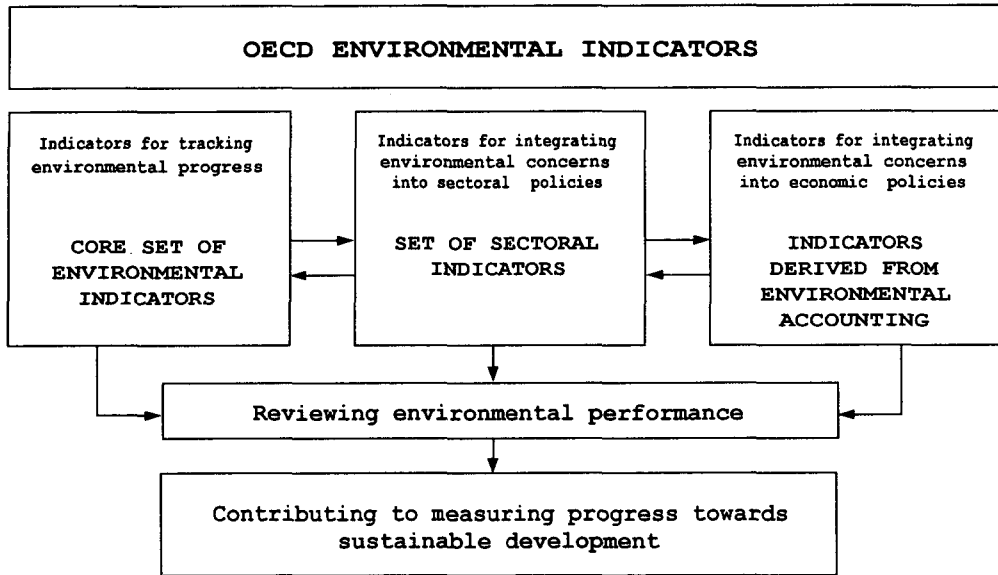


그림 1. OECD 지표의 활용

### 3.2 지표의 구성체계 및 요건

지속가능발전지표의 기본체계로서 UNCS(United Nations Commission on Sustainable Development)에서 제시한 DSR(Driving force - State - Response) 구조와 OECD의 PSR(Pressure - State - Response) 구조가 있다.

DSR 구조는 환경과 경제의 복잡한 연계를 능동적으로 반영하는 구조를 가지고 있어 경제활동과 환경사이의 인과관계를 밝히고 지속가능한 개발을 추진하는데 중요한 정보를 제공한다. 추진력(Driving force)은 환경상태에 변화를 일으키는 원인을 나타내며 경제활동, 정부정책, 경제·사회·문화 요소 등 지속가능개발에서 환경에 긍정적, 부정적 영향을 주는 요인들을 모두 포함한다. 상태(State)는 추진력에서 생기는 생물다양성과 기후변화 등과 같은 환경 조건의 변화이며, 지구 전체에서 다양한 시간적, 공간적 규모를 가지고 있으나 경제활동만이 환경오염원이 아니기 때문에 환경매개물 중 경제가 차지하는 비중을 고려하여 정책에서 그 중요도를 평가하는 작업이 필요하다. 반응(Response)은 환경에서 실제 또는 인식된 변화와 시장신호(Market signal)에 대한 사회와 정책결정자의 반응을 의미한다.

PSR 구조는 압력(Pressure), 상태(State), 반응(Response)의 지표인데 압력지표는 환경부하의 크기와 같은 인간과 환경과의 관계를 나타내며, 상태지표는 지역의 녹지, 물, 생물 등 기반으로서의 자연 그 자체를 반영하며, 반응지표는 환경오염을 저감시키기 위한 인간의 활동을 제시한다. 이 구조는 그림 2와 같다.

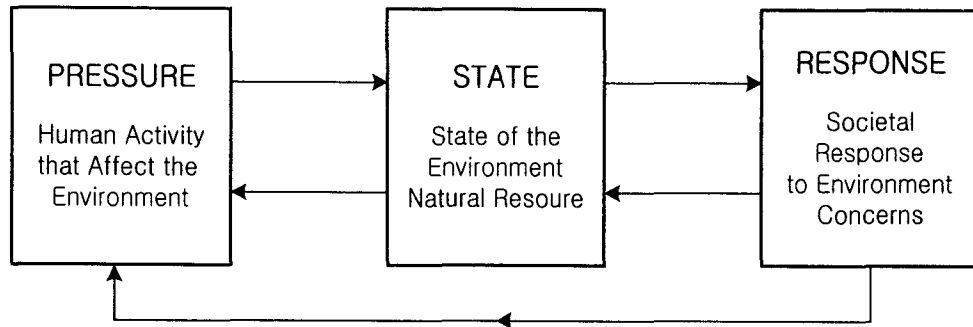


그림 2. PSR(Pressure-State-Response) 구조

PSR 체계 중 압력(Pressure)지표는 인간활동, 과정 그리고 지속가능한 개발에 영향을 주는 다양한 요인을 나타내는 지표로 DSR 구조에서의 추진력(Driving force)지표와 대체되는 개념이다. PSR 구조에서 대응지표를 압력 및 상태지표와 비교할 때 이들 지표의 역사는 짧고 개념상으로는 자료의 가용성 측면에서 미비한 점이 많은 실정이다. 그러나 PSR 구조는 지표들 간의 연결을 강조하고 의사결정을 돕는 장점을 가지고 있으며 이 구조를 통해서 일반대중은 환경과 다른 이슈를 서로 연결하여 알 수 있다.

지속가능한 지표는 이용 측면에서 단순하고 해석이 쉬워야하며 신뢰성, 적절성과 효용성을 갖춰야한다. 이상적인 지표의 요건으로서는 다음과 같은 기준을 만족해야 한다(윤하연, 1999).

- 현실을 적절히 반영할 수 있도록 대표성이 있어야 한다.
- 관심영역에 대한 다양성을 보여줘야 한다.
- 지역적 특성에 대한 형평성이 있어야 한다.
- 과학적이고 객관적인 타당성이 있어야 한다.
- 해석하기 단순하고 쉬워야 한다.
- 규칙성을 갖고 갱신됨으로써 시간경과 따른 추세를 보여줘야 한다.
- 가능한 한 비가역적 추세에 관한 초기경고를 줘야 한다.
- 환경이나 경제변화에 민감해야 한다.
- 쉽고 합리적으로 이용가능하며 충분히 문서화 또는 알려진 자료에 기초하여야 한다.
- 비교되는 목표수준이나 지침을 가져야 한다.

### 3.3 지표의 개발현황

지속가능성 개념을 도입하면서 지속가능성을 평가하고 측정하기 위해 세계 여러 국가와

국제기구는 지표를 개발하기 위해 많은 노력을 해 왔다. 이들 국가와 국제 기구는 목표와 목적에 맞게 많은 지표개발의 접근 방법을 사용하고 있으며, 이에 따라 지표의 종류도 차이가 있다. OECD와 UNCSD 같은 국제기구는 지표를 개발하고 여러 국가들에 적용하여 국가별로 비교 가능하도록 지표들에 대한 정보를 제공하고 있다.

개발된 지표를 살펴보면 OECD는 18개의 환경지표와 15개의 사회·경제 지표로 구분되는 33개의 지표들을 개발하여 회원 국가들에 대해 분석하였으며, UNCSD는 여러 지표들 중 자료 수집 가능성이 높은 9개의 경제지표, 14개의 사회지표, 21개의 환경지표, 2개의 제도지표로 총 46개의 지표들을 개발하여 분석하였다.

미국, 영국, 캐나다 등 여러 개별 국가들은 자국의 지속가능 개발지표를 만들어 지속가능한 개발을 위해 노력하고 있다. 이들 국가들의 지표를 살펴보면, 국제기구에서 개발된 지표뿐만 아니라 자국의 지속가능한 개발을 위해 중요하다고 생각되어지는 여러 지표들을 협의를 통해 개발하였다. 이들 지표들은 여러 분야별로 구분되기도 하고, 단일 체계로 구분되기도 한다.

OECD(1998), UNCSD 및 미국에서 개발된 지표들의 사례는 다음과 같다.

## (1) OECD

1993년에 PSR 체계에 기초하여 개발된 지표를 발표한 이후 1998년에 발표한 “Toward Sustainable Development“에 33개의 지표들을 소개하고 분석하였다. 회원 국가들의 오염부담을 줄이고, 환경과 경제정책을 통합하고, 지역공동체 같은 일반사회와의 협력을 강화시키는 전략을 추진하기 위해 구축된 이 지표들은 정기적으로 환경성과를 검토할 때 사용되기도 하며 경제와 환경적 의사결정의 통합을 모니터링하고 환경정책을 분석하고 그 결과를 측정하는데 유용한 방법으로 사용되기도 한다. 또한, 지속가능 개발을 보고하는 더 광범위한 목적으로도 사용될 수 있다.

OECD의 지속가능개발지표들은 국가간의 합의된 지표 집합을 사용하여 가장 설득력이 있으며 포괄적인 지표로서 세부 항목들의 종류가 다양하고 타 지표의 항목들을 상당수 포함하고 있다.

### ① 환경지표

- 기후변화 관련 지표 : 에너지 사용으로 인한 이산화탄소 발생량, 온실가스의 대기중 농도
- 오존층 파괴관련 지표 : 오존층 파괴물질, 성층권 오존층 두께
- 대기질관련 지표 : SO<sub>x</sub>와 NO<sub>x</sub> 배출, 대기질
- 폐기물관련 지표 : 폐기물 발생, 폐기물 재활용
- 수질관련 지표 : 하천수질, 폐수처리

- 수자원관련 지표 : 연간 1인당 물이용 가용량, 수도공급비용
- 삼림 자원관련 지표 : 삼림 자원의 사용정도, 삼림 면적
- 어류 자원관련 지표 : 국가별 어획량, 세계적 어획량
- 생물다양성관련 지표 : 멸종류, 보호지역
- ② 사회-경제적 지표
  - GDP와 인구관련 지표 : GDP, 인구증가와 밀도
  - 소비관련 지표 : 개인 소비, 정부 소비
  - 에너지에 관련 지표 : 에너지 생산량, 에너지 구조, 에너지 가격
  - 수송관련 지표 : 육상교통, 육상교통 시설물, 연료가격과 세금
  - 농업관련 지표 : 질소 및 인계 비료의 사용량, 가축밀도, 농약사용량
  - 지출관련 지표 : 오염감소와 처리비용, 원조

## (2) UNCS D

UNCS D는 1995년부터 DSR 체계를 이용하여 지표를 개발하기 시작하였으며 1997년에 지속가능개발 지표 46개를 발표하였다. 이 지표들은 정보 제공 차원에서 유럽의 국가들이 위주가 되어 선정되었고 자료가 수집되었으며 경제지표 9개, 사회지표 14개, 환경지표 21개, 제도지표 2개로 구성되어 있다. 각 지표들은 정의, 추세를 나타내는 그래프, 지표선정에 대한 이유, EU의 데이터를 설명하는 그래프, 관측된 추세에 대한 설명의 형태로 설명되고 있다. 또한, 이 연구에서는 참여 국가들의 지속가능성 데이터들을 국가별로 비교하여 제시하고 있다.

- ① 환경지표 : 일인당 GDP, 일인당 연간 에너지 소비량, GDP 중 환경보호지출 비중, GDP의 투자분배, 재생가능 에너지 소비, 외국 직접 투자, GDP 중 생산부분분배, 에너지자원의 기대활용년수, GDP 중 총공식개발보조
- ② 사회지표 : 인구증가율, GDP 중 총보건관련비용 비율, 도시지역 인구비율, 순 이민율, 미취업율, 도시인구 성장률, 출생률, 남성근로자 100명당 여성비, 일인당 면적, 유아사망율, 평균 남성 임금 대 여성비율, 일인당 자동차연료소비, 기대수명, 인구밀도
- ③ 환경지표 : 오존층파괴물질 소비, 연간지하수/지표수 오염, 폐기물관리비용, 지구온난화가스, 일인당 경작지 면적, 폐기물 재사용/재활용비율, SO<sub>2</sub>, 토지사용변경, 산림지역변경, NO<sub>x</sub>, 농업에서의 에너지 사용, 목재채취 집약도, 대기오염저감 비용, 농업에서의 비료사용, 산림관리비용, 일인당 용수 사용량, 농약사용. 위협받는 생물종, 폐수처리, 산업·생활폐기물의 발생, 보호지역면적 비율
- ④ 제도지표 : GDP 중 R&D 투자비율, 100가정당 주전화선수

### (3) 미국

미국은 1993년에 지속가능한 개발에 대한 대통령 자문회의를 설립하여 꾸준한 지표개발에 노력하여 왔으며 1998년에 지속가능한 개발의 여러 가지 측면과 관련된 40개의 지표를 발표하였다. 이것은 서로 다른 종류의 지표들을 함께 발표함으로써 지속가능성의 통합된 특성 전달이 가능할 수 있게 해 주었다는데 의의가 있다.

이 지표들은 국제기구 OECD, UNCSD의 지표에 대부분의 항목들이 포함되며 이 외에도 핵연료, 예술과 레크리에이션 등과 같은 국지적인 지표들이 포함되어 있다. 따라서, 일부 지표들은 미국의 상황에만 적용 가능한 것들도 있다.

- ① 경제지표 : 자본자산, 인플레이션, 미취업율, 노동생산성, GDP단위당 R&D 비율, 주택 소유비율, GDP대비 연방부채비율, 국내 제품, 주택양호상태, 수입분배, 일인당 지출, 1인 GDP당 에너지 소비, 일인 GDP당 물질소비
- ② 환경지표 : 취수량의 재생가능한 비율, 지표수 수질, 지구온난화가스, 주요지역 생태 면적, 수산자원, 슈퍼펀드지역 파악과 관리, 생물오염, 외래생물종, 도시의 대기질, 사용된 핵연료의 양, 농토의 사용목적변경, 야외 레크리에이션활동, 성층권오존상태, 토양 부식비율, 지구온난화대응지표, 목재성장 및 제거비율
- ③ 사회지표 : 인구, 미혼모출산, 범죄율, 이혼가정자녀수, 등급별 교육수준, 기대수명, 교육자훈련 및 자격요건, 예술과 레크리에이션 참여, 교육달성도, 자선활동시간 및 펀드, 가난한 인구수

### (4) 기타

위에서 언급한 OECD와 UNCSD 같은 국제기구와 미국 이외에도 많은 기구와 국가들은 지속가능한 개발 지표를 개발하기 위해 노력하고 있다. 지표개발작업은 이처럼 작성의 목적이나 방법에 따라 국가별로 상이한 체계로 분류되고 지표체계에 포함 되어야 할 부분들의 분류항목도 조금씩 차이가 나고 있다. 더욱이 동일한 하위 부문내에서도 문제를 보는 시각에 따라서 선정된 지표의 종류가 다르게 제시되고 있다. 또한 어떤 부문을 더 반영하는 지표를 필요로 하느냐에 따라서도 지표의 생산은 달리 발전될 수 있다. 그러므로 지표 개발의 목적에 적합하게 자료를 이용하려면 지표작성체계의 도입뿐만 아니라 지표를 선정하는 기준이나 요건, 과정, 그리고 그 지표의 활용과 해석과정이 신중하고 적합하게 이루어져야 할 것이다.

환경지표에 관한 연구는 활발히 이루어지고 있는 반면에 수자원시스템 지표 연구는 그렇지 못한 실정이다. 최근 중국에서는 지속가능한 수자원시스템의 개발에 관한 지표로 표 1과 같은 것들을 이용하고 있다.

표 1. 지속가능한 수자원 개발 평가를 위한 지표

유 형	지 표	방 식
1. 수자원 조건	1. 1인당 수자원량	수자원 총량/인구
	2. 농지당 수자원량	수자원 총량/농지 면적
2. 수자원 개발	3. 지표수 개발의 정도	지표수 공급량/지표수자원
	4. 지하수 개발의 정도	지하수 공급량/지하수자원
	5. 수자원 개발의 정도	총 수자원 공급량/수자원 총량
	6. 수자원 개발의 잠재성	(이용가능한 지표수-지표수 공급량)/이용가능한 지표수
	7. 지하수 개발의 정도	(이용가능한 지하수-지하수 공급량)/이용가능한 지하수
	8. 저류 시설 용량	저장된 물공급용량/지표수 공급용량
	9. 1인당 물 공급량	총 물공급량/인구
3. 수자원 이용	10. 농업용 관개 기준량	농업용 관개용수이용량/관개 농지 면적
	11. 공업용수 이용의 소비율	(공업용수 이용량-공업 폐수 방류량)/공업용수 이용량
	12. 생활용수 이용 기준량	생활용수 이용량/인구
	13. 단위수량당 곡물 수확량	곡물 수확량/곡물 수확에 대한 관개용수 이용량
	14. 단위수량당 공업 생산량	공업생산량의 가치/공업용수이용량
	15. 주민 수입에 따른 물값 비율	물값/주민 수입
	16. 단위 물 이용당 GDP	GDP/총 물이용량
4. 물 절약	17. 공업용수 이용의 탄력성	공업용수의 이용 성장률/공업 생산의 가치 성장률
	18. 가능한 농업 용수 절약의 탄력성	(실제적인 관개 기준량-추정된 관개 기준량)/실제적인 관개 기준량
5. 폐수 방류	19. 청정 수자원의 비율	평가된 하천 구간의 길이-오염된 구간의 길이/평가된 하천 구간의 길이
	20. 오염 부하	COD/총 하천유출량

## 4. 지속가능한 개발 가이드라인 검토

본 장에서는 물과 환경 자원의 개발과 관리에 종사하는 전문가에 의해 지속가능한 개발을 위하여 작성된 일부 가이드라인을 검토하였다. 이들 가이드라인은 전 세계의 다양한 연구소 및 정부기관에서 제시된 것들이다. 이하에 제시될 가이드라인은 아시아, 호주, 유럽 및 북아메리카에서 개발된 것들이다. 이들 가이드라인은 환경의 질과 환경생태계를 보전하는 동시에 자연 및 인적 자원을 효과적으로 관리 및 이용하는데 주안점을 두고 있으며, 생태, 환경 및 수문학적 건전성을 유지하면서 현재와 미래의 사회 목표에 충분히 기여할 수 있도록 수자원 시스템의 설계 및 관리를 지원하기 위하여 개발되었다. 가이드라인은 6개의 주제로 제시되어 있으며 수자원 엔지니어, 계획자와 수자원 시스템의 지속가능성을 증진시킬 책임이 있는 다른 전문가들의 수행해야될 목표가 된다(Loucks 등, 1999).

### 4.1 물리적 기반시설의 설계, 관리, 운영

수자원 시스템의 계획, 설계 및 관리를 위하여 다음과 같은 가이드라인이 수행되어야 한다.

- 모든 측면에서 유효하고 효율적이며 확고하게 시스템을 설계, 관리한다.
- 토지이용 변화에 적응할 수 있고 과도한 건설비용이 소요되지 않는 시스템을 만든다.
- 수자원 사업의 시행, 운영, 유지, 관리는 시스템이 담당해야될 역할에 대한 전문지식을 가장 많이 가지고 있는 전문가들이 수행하여야 하며, 이들은 기술과 지식을 지속적으로 향상시킬 기회를 가져야 한다.
- 인간의 행동과 활동에 의해 장기적으로 담수의 저장과 흐름의 건전성과 회복의 탄력성의 손상을 방지하여야 한다.
- 시스템의 정상적인 기능이 실패할 경우 회복의 탄력성을 가져야한다. 즉 시스템의 모든 성분들은 과도한 기능의 손상 없이 대체되고 수리할 수 있어야 한다.
- 저수지의 유효저수용량이 지나치게 감소하지 않도록 설계 및 운영해야하며 상류지역을 보다 효율적으로 관리해야 한다.
- 자연 또는 인위적인 재난과 수요, 공급, 토지이용 및 기후의 변화에 대처하기 위하여 적절한 사전 대책과 훈련받은 인원을 확보해야 한다.
- 변화하는 조건과 목표에 적응하면서 시스템의 성능을 감시하고 여러 기준에 의해 시스템 성능을 평가하여 성능을 향상할 수 있도록 시스템을 관리한다.
- 시스템은 재생가능한 수자원을 보전해야하고 시스템의 지속가능한 공급을 위하여 물 이용을 제한한다.
- 시스템은 재생불가능한 수자원을 보전하고 필요시 재순환과 재이용을 시행한다.

- 공급관리와 연계하여 수요관리를 수행한다.

## 4.2 환경과 생태계

지속가능한 수자원 시스템의 계획, 설계 및 관리에서 환경과 생태계에 관련된 가이드라인은 다음과 같다.

- 수자원 시스템을 설계하고 운영할 때는 수량과 함께 수질도 고려해야 한다.
- 시공간적으로 변화할 수 있는 수질의 최소수준을 만족하도록 유지해야 한다.
- 환경과 생태계에 대한 부정적인 영향이 장기간 비가역적이거나 역영향이 누적되지 않아야 한다.
- 수중 및 범람원 생태계의 건전성을 유지하고 복원하기 위한 충분한 수량을 보장하여야 한다.
- 환경에 대한 순영향과 역영향을 평가 및 감시해야하고 역기능적 영향을 경감하기 위한 대책을 수립하여야 한다.
- 자연환경에서 시스템이 주는 영향을 수용할 수 있도록 하여 자연환경에 주는 피해를 최소화해야 한다.
- 오염과 부적합한 토지이용으로부터 지표수와 지하수의 집수 지역 또는 유역을 보호해야 한다.
- 수자원 시스템에 연계된 자연생태계와 토지를 보호하고 복구해야 한다.
- 유역에서 난개발과 같은 행위에 의한 인위적인 토양 침식을 제거해야 한다.
- 심미적인 환경을 보호하고 향상시켜야 한다.
- 지속적인 생활의 기반을 형성하는 자연 생태계의 상호종속성과 다양성을 유지해야 한다.
- 인간 활동에 의한 변화를 수용할 수 있는 환경의 한정된 능력을 인정하고 존중해야 한다.
- 환경에 대한 역영향을 예방하고 최소화하기 위해 공학시설의 설계와 운영에서 에너지 효율성의 보전과 환경적인 목표와 검토를 수행하여야 한다.
- 특정 상황에서 요구되는 자연 환경과 생태계를 복구하고 유지하기 위한 조치가 있어야 한다.
- 개발후의 환경변화에 대한 감시 계획이 수립되어야 하고 이들 감시 결과로서 운영방향에 대한 조정이 이루어져야 한다.
- 인간 활동에 대한 생물학적 시스템의 반응은 예측하기 힘들기 때문에 환경에 초래되는 결과를 고려하여 오류를 허용한 안전성을 확보해야 한다.



### 4.3 경제와 재정

지속가능한 수자원 시스템의 계획, 설계 및 관리는 경제와 재정이 고려되어야 한다.

- 시스템 사업의 전 유효기간에 직·간접적인 환경 비용을 충분히 검토해야 한다.
- 공평하고 효율적인 방법으로 모든 자원 개발과 관리 사업의 전 유효기간에 소요된 비용을 회복해야 한다.
- 사회는 수자원 시스템에 의해 제공되는 서비스를 지원해야하고 이에 상응하는 비용을 지불해야 한다.
- 수자원 사업의 성능을 지속적으로 운영하고 감시하기 위한 충분한 재정의 확보가 필요하다.
- 에너지 소비와 같은 시스템 운영비용을 가능한 많이 줄여야 한다.
- 모든 시스템의 비용과 이익은 이용자들에게 공평하게 분배되어야 한다.
- 공학적인 행위의 경제적인 평가는 환경의 질과 관련된 비용과 이익을 포함해야 한다.

### 4.4 제도와 사회

지속가능한 수자원 시스템의 계획, 설계 및 관리에서 제도와 사회에 관련된 가이드라인은 다음과 같다.

- 수자원 관리와 사용에서 분쟁을 관리하기 위한 유효한 조치사항을 수립해야 한다.
- 시스템의 계획, 시행 및 관리는 관련된 모든 이해당사자를 포함하여 충분히 많은 사람들이 참여하는 민주적인 수자원 계획과 결정과정을 실행해야 한다.
- 수자원 계획과 관리에 있어서 전문가와 대중은 이들의 참여와 상호작용에 영향을 줄 수 있는 정치, 경제, 과학 및 사회적 쟁점들에 대한 폭넓은 이해를 가져야한다.
- 지속가능한 방법으로 수자원시스템을 계획 및 건설하고 운영하기 위한 정치력과 지도력을 형성해야 한다.
- 미래의 국제적 분쟁에 대한 가능성을 최소화해야 한다.
- 불필요한 비용과 법정소송 없이 이해당사자들 사이의 분쟁에서 수용할 수 있는 해법에 도달할 수 있도록 지원할 제도적 절차를 만들어야 한다.
- 책임 있는 기관이 시스템의 계획, 관리 및 감시와 변화된 상황에 적응할 수 있는 능력을 가질 수 있도록 해야한다.
- 사업의 실행, 개발 및 운영에 참여하는 지역공동체의 권리의 보장과 장려가 필요하다.

## 4.5 보건과 복지

지속가능한 수자원 시스템의 계획, 설계 및 관리에서 보건과 복지에 관련된 가이드라인은 다음과 같다.

- 모든 사람이 건강을 유지할 수 있는 최소한의 물공급은 보장되어야 한다.
- 시스템에 의한 주민들의 이주가 초래하는 모든 사회적 역영향과 물부족, 홍수 또는 독성물질 오염 등에 의해 시스템의 정상적인 기능유지 실패에 따른 정신적인 스트레스를 최소화하고 사회적 문화유산을 보전하고 보호해야 한다.
- 건축, 공학, 역사, 문화, 고고학적 그리고 과학적 가치를 가진 지역, 구조물과 이들과 함께 생활시스템의 가치를 인정하고 유지해야 한다.
- 시스템 계획, 설계 및 운영에 있어서 매우 우수하고 유일하며 희귀한 모든 자연자원과 시스템을 보호하고 보전해야 한다.
- 모든 계획, 정책 및 행동이 사회적 안전, 인간의 건강과 형평성에 대해 직·간접 또는 장·단기적인 차원에서 초래될 결과를 평가하고 검토해야 한다.

## 4.6 계획과 기술

지속가능한 수자원 시스템의 계획, 설계 및 관리에서 계획과 기술에 관련된 가이드라인은 다음과 같다.

- 계획은 본래 여러 분야의 학제간 협력으로 이루어진다는 인식해야 한다. 또한, 비구조물적 해법과 장기적인 차원에서 선택대안의 영향검토를 포함한 선택할 수 있는 모든 관련 대안평가를 수반해야 하며, 보전의 목표가 설계기준에 부합되도록 해야 한다.
- 수자원 가용총량, 이용량, 수질 등 개개에 관련된 모든 자료를 수집하고 이용할 수 있도록 해야 한다.
- 수자원 시스템에 관련된 자료를 지속적으로 개선해야 하며, 시스템의 데이터베이스와 요구에서 변화를 반영할 수 있는 운영규칙을 향상한다.
- 가능하다면 구조물적 해법보다 비구조물적 해법을 선택한다.
- 미래에 자원을 이용하기 위한 선택권들을 유지하여야 한다.
- 지속가능성 기준을 평가하는데 있어서 각 기준의 한계를 인식해야 한다. 또한, 계획이 지역의 생활 조건 및 환경과 공존할 수 있도록 시스템의 계획과 관리에서 모든 지역 이해당사자들의 참여 필요성을 인식해야 한다.
- 계획과 설계의 단계에서 변화하는 사회적 요구를 충족시키기 위해 필요한 시스템의 이용에 있어서는 잠재적인 미래의 변화를 고려해야 한다.
- 계획은 위험관리가 가능해야 되며 이를 위해 주기적으로 보완해야 한다. 또한 실패가

발생할 때 초래되는 결과를 처리할 대책의 준비가 필요하다.

- 재생불가능한 수자원 이용에 대한 대안개발과 폐기물의 최소화와 재순환을 통한 재생불가능한 자원의 현명한 이용을 촉진 및 시행한다.
- 시스템의 건설 기간과 후에 원재료와 에너지를 가능한 최소한 소비하여 시스템의 유익한 목표를 달성할 수 있어야 한다.
- 계획 수립 및 의사결정 과정에서는 단기계획의 반응과 함께 장기계획의 달성을 검토한다.
- 모든 계획 수립 및 의사결정 과정에서 동식물은 존재의 권리와 함께 인간의 복지와 건강을 위하여 필수적이라는 것을 인식하면서 현세대와 후세대의 질적인 생활목표를 포함한다.

## 5. 지속가능한 가이드라인에 의한 수자원의 개발 사례 평가

4장에서는 세계 각국의 정부와 전문가 조직에서 제시한 지속가능한 개발의 가이드라인에 대하여 기술하였다. 본 장에서는 실제 수행된 수자원개발사업의 국제적 사례를 통하여 당시 사회의 당면 목표를 달성하기 위하여 수행된 시스템에 대한 지속가능성의 증가 또는 저해 상황을 기술하였다. 이들은 지속가능성 가이드라인에 따라 수행되거나 반대로 수행된 사례로 제시되어 과거에 수자원시스템을 계획, 설계 및 관리한 사람들의 결정에 의해 수행된 사업들을 후세대가 판단할 수 있는 정보로 활용할 수 있을 것이다. 그러나 이들 사업들에 대한 기술이 해당사업들의 사전 또는 사후평가는 아니지만 시간의 흐름에 따라 목표가 변하기 때문에 이들 과거 사업들은 지속가능한 가이드라인이라는 새 시각으로 검토할 수 있다. 과거의 많은 결정들이 이루어졌을 때 지속가능성을 중요한 목표로 고려되지 않았다. 다음에 제시될 사업에 현재의 지속가능성의 기준을 적용하여 이들이 적정하게 수행되었는가에 대한 판단을 간단히 제시된 정보를 통하여 살펴볼 수 있을 것이다. 보다 상세한 내용은 Loucks 등(1999)을 참조할 수 있다.

### 1) 아랄해(South Central Asia)

이 사업은 이랄해의 물을 관개목적으로 사용하기 위한 것이다. 이 사업이 진행되면서 아랄해의 바닷물을 지나치게 사용한 결과로 아랄해와 그 유역은 점점 말라갔고 생태계의 변화를 야기하는 소금은 평지뿐만 아니라 주위의 농경지와 목초지로 흘러 들어갔다. 이런 변화들은 지속적인 어업을 불가능하게 하였고 지역의 동물 감소를 유발시켰다. 또한, 농작물들을 점점 줄어들게 하였고 목장은 습지로 변하게 했으며 인간의 보건에 악영향을 주었다.

이 지역은 확실한 환경정책이 동반된 개발이 필요한 사례중의 하나이다. 아랄해는 지속가능성을 고려한 해법이 필요하다. 아랄해에 발생하는 보건문제와 같은 악영향은 아마도 개발 이익을 능가할 수도 있으며 이는 계획이 수립되었을 때 예상되었을 것이다. 이 사업을 통해 경제적, 사회적 이익은 얻었을 수 있었겠지만 후세대에게 주는 것은 이익보다 희생이 더 클 것이다. 사람들은 환경, 생태계 그리고 다른 장기간의 지속가능성 문제를 고려하기 전에 사회에서의 단기간의 생계와 편리함을 추구한다. 이것은 시간과 공간을 초월하여 지속가능성과 공평성과 관련된 형평성문제를 일으킨다.

### 2) Ogallala 대수층(USA)

Ogallala 대수층은 미국중서부의 8개 주에 걸쳐있으며, 면적은 174,000 mile<sup>2</sup>에 이른다. 또한, 이 대수층은 미국에서 가장 큰 지하수량을 저장하고 있으며, 대수층의 두께는 평균적으로 약 200 ft에 달한다. 이들 지역은 높은 생산력을 가진 토지와 온화한 기후를 가지고

있어 많은 양의 농작물을 생산해내는 지역으로 Ogallala 대수층의 지하수를 관개용수로 이용하는 사업이 수행되었다.

Ogallala 대수층은 미국 전역의 관개용수로 수십년동안 사용할 양을 가지고 있지만 채수하는 양이 함양되는 양보다 5배나 많기 때문에 지속적으로 대수층 용량은 감소해 왔고 펌핑 기술이 발전함에 따라 채수량도 점점 증가하여 대수층의 지하수면은 점점 고갈되어갔다. 이 사업은 재생가능한 자원의 소비속도가 재생속도를 넘어서는 안 된다는 것을 보여주고 있다.

### 3) 사하라 사막의 지하수 개발(Libya)

1974년 Libya에서 4단계로 이루어진 Great Man-Made River Project를 시작했다. 이 사업은 많은 양의 물을 사막 깊은 곳에서 펌핑하여 먼 거리의 농경지로 보내고 생활용수, 그리고 도시용수로 사용될 목적이었다.

현재, 대수층이 무한한 공급을 해 준다면 이 사업은 Libya의 증가하는 물 요구를 저비용으로 충족시켜 줄 가장 효율적인 방법 중의 하나일 수 있다. 그러나 대수층의 물은 한계가 있기 때문에 장기적인 측면을 고려할 때 경제적으로 많은 문제점이 있었다. 이 사업에서는 Libya의 수자원시스템의 장기간 지속가능성을 증가시키기 위해서는 물의 재사용을 늘리고 사용의 효율성, 해수의 담수화, 농업의 안정성을 개선시키는 대책을 고려해야만 할 것이다.

### 4) 라인강의 복원(Europe)

라인강 유역은 9개의 유럽국가에 걸쳐 분포하며, 1986년 11월 상류에 화학물질이 방류되어 수중생태계의 많은 부분이 파괴되었다. 이를 복구하기 위해 일년 후에 Rhine Action Plan이 시작되었다. 이 사업은 라인강의 전체 생태계를 복구하는 것이 주된 목적이며 부가적인 목표는 안전한 식수를 제공하고 유사의 질을 개선시키는 것이다.

이 사업을 통해 강을 통한 운송의 효율성과 수력발전과 홍수방지 증가를 꾀하였다. 이로 인해 휴양, 홍수조절, 수질향상을 얻고자 하였다. 하지만, 이 사업은 연어와 같은 회귀성 어류의 산란 장소를 없애거나 혹은 산란장소에 더 이상 도달하지 못하도록 만드는 등 생태학적 변화를 일으켰기 때문에 생태학적인 고려가 부족하였다.

### 5) 다뉴브강 유역의 복원(Europe)

다뉴브강 유역은 중앙유럽의 핵심 지역에 위치하며 강의 본류와 주요 지류에 홍수조절 제방을 설치하였다. 이 구조물은 저수지에 영양물과 침전물을 가두어 농음으로써 침전물의 이송의 변화를 일으키며, 자연정화과정의 효율성을 떨어뜨렸다.

공학적인 시설물을 통해 강의 자원을 조절하고 이용하는 데 있어서 중요한 기회를 제공할 수 있는 반면에 중요한 경제 활동과 환경, 지속가능한 관리의 균형을 이루기 어렵게

한다는 것을 보여주는 실례이다. 현재 다뉴브강은 여러 산업으로부터의 배출되는 폐기물의 점원 및 비점원 오염물로부터 심한 고난을 겪고 있기 때문에 수질을 보호하기 위해 강 주변의 여러 나라들은 환경관리 활동에 참여하고 있는 실정이다.

#### 6) 북해와 발트해 오염(Europe)

북해는 많은 폐기물을 생산해내는 선진 산업국가들로 둘러싸여 있어 오염문제가 심각하다. 오염으로부터 발생하는 가장 큰 위험들은 침전물이 퇴적하고, 물의 정화능력이 떨어지고, 영양물농도와 생물의 생산력이 높아지는 것이다. 비록 북해가 철저히 장기적인 처리가 필요할 만큼 병들었지만 이것만으로 해결은 어려울 것이다. 접경국가에서는 폐기물의 배출 감소에 대한 협정을 이끌어내어 배출을 감소해야 하며 바다로의 배출의 영향을 증명할 오염원순환을 예측하는 모형을 만들어야 할 것이다.

발트해는 북해와 유사하며 주위에 산업화된 나라들로 둘러싸여 있다. 이곳은 인간 활동으로부터 야기되는 부영양화가 문제가 되고 있다. 비록 과도한 어업이 주요 문제이지만 대구어종의 감소와 근해 어장의 구성의 변화는 또한 부영양화 과정과 연관되어 있다. 그 영향은 생태계의 기능과 공급을 감소시킨다. 게다가 부영양화는 침전물과 식품에 축적된 독소와 오염물을 넓게 방출한다. 이로 인해 많은 바다동물들이 악영향을 받고 있으며 어떤 동물들은 멸종의 위협을 받고 있다.

#### 7) 카라치의 Orangi 파일럿 사업(Pakistan)

1980년대 초 존경받는 지역공동체의 창시자인 Akhter Hameed Khan은 Karachi의 빈민가의 환경 개선사업을 시작했다. 개선사업에 대한 문제점은 거리에 가득찬 분비물과 폐수로 인한 이동의 어려움과 건강의 위협이었다. 이를 해결하기 위한 대책은 전통적인 하수처리 시스템 사업이었지만 지역주민들은 이를 위한 자금의 확보가 어려웠다. 지역주민의 요청에 의해 Khan에게 시에서 더 부유한 지역의 개발 지원과 같이 Karachi Development Authority(KDA)에 개발을 요청하였지만 이는 불가능하였다.

결국 Khan은 지역공동체와 함께 다른 대안을 찾기로 하였고, 첫 번째로 한 일은 정부발표는 바뀌지 않다는 통념에서 벗어나게 하는 것이었다. 외부의 적은 자본을 가지고 Orangi Pilot Project(OPP)를 시작하였다. 주민들이 원했던 것은 지불할 수 있는 수준으로 비용을 경감하는 것과 하수처리 시스템을 제공하고 운영할 조직을 만드는 것이었다. 기술적인 면에서는 OPP의 건축기사와 엔지니어의 업적은 주목할만하고 혁신적이었다. 지역주민들의 노동력 제공과 부정부패의 방지 덕분에 가정의 화장실과 하수도 및 거리의 지하 하수도의 비용은 가구당 50\$이하로 매우 저렴하였다.

관련 단체의 업적 역시 인상적이었다. 또한 OPP의 간부들은 촉매의 역할을 했다. 간부들은 거주민들에게 공중위생의 이점과 기술적 해결 가능성에 대해 설명하였고, 연구를 수행

하였고 기술적 지원을 제공하였다. 각각의 가정들은 사업비용을 분담하였고 건설에 참가하였으며 하수를 관리할 위원회의 구성원을 선출하여 하수 시스템을 관리하였다.

부분적으로 하수시스템 자산 가치의 증가의 원인도 있지만 초기 사업의 성공은 눈덩이 식 모금(snowball)효과에 의해 창출된 사업에 의해 달성되었다. 단체의 증가로 인해 OPP의 힘이 커졌으며 이로 인해 간선하수도의 건설에 대한 자본을 제공하도록 당국을 설득할 수 있었다.

이 연구는 이익을 획득하고 비용을 지불할 해당 이해당사자들이 참여한 아래로부터의 문제해결방식(bottom-up)을 보여준다. 이와 같은 조건들은 지속가능한 시스템 개발과 관리, 유지에 필요조건이다.

#### 8) Great Lakes 유역을 관리하기 위한 생태적 관점(Canada and USA)

Great Lakes는 캐나다와 미국의 경계에 위치한다. Great Lakes는 국제적인 수역이기 때문에 이들의 관리와 건전성들은 공식적인 다수의 위임장에 의해 이루어졌다. 위임장 중의 하나는 Great Lakes 유역에 대한 생태선언이다. 이 선언은 세계에서 가장 큰 담수시스템의 환경적 건전성과 경제적 활력을 발전 및 지속하기 위한 미래의 행동 수칙이다. 또한 이 선언은 다른 유역과 하천유역을 어떻게 관리하는지에 대한 모형을 제공할 것이다. Great Lakes의 생태선언의 일부분은 지속가능성과 관계가 있으며 다음과 같다.

- 유역 생태시스템의 생태학적 과정과 자원을 보호하고 복원하고 지속하기 위한 생태적 접근이 채택되어야 한다. 또한, 유역 생태시스템은 인간 활동, 자연자원 및 생태학적 과정은 통합된 전체의 일부이며 완전한 상호 종속적이라는 이해 위에서 기초를 두어야 한다.
- 실행 가능한 최대정도까지 Great Lakes 유역 생태계 오염을 중지시켜야 한다. 이것은 Great Lakes 유역 생태계의 물, 공기, 그리고 토양으로의 오염물 배출의 제거와 경감, 독성물질 배출의 금지, 모든 난분해성 독성물질 배출의 제거에 의해 이루어질 것이다.
- Great Lakes 유역 생태계는 수확가능한 자원, 건강한 생태계를 위한 사회적 요구를 충족하기 위한 레크레이션의 기회와 이와 관련된 이익, 건강에 좋은 음식, 가공되지 않는 재료, 레크레이션 그리고 경제적 생계의 수단에 최대한 기여를 제공하는 재생 가능한 자원의 자급형 공동체를 지원해야 한다.
- 가맹국들은 생태계의 건전성과 본연의 상태와 인간공동체의 경제적 복지 사이의 상호 종속성을 인식해야 한다. 또한, 그들은 생태계의 보호가 유역내 경제활동에서 필수 불가결한 부분이라는 것을 확인시켜 주기 위한 필요대책들을 수행해야 한다.
- 산업은 강도 높은 환경의 보전, 안전 기준과 원리를 유지해야 한다.

- 공공기관, 개인 사업과 시민들은 Great Lakes 유역 생태계의 경제 및 생태학적 복지를 위한 우선하는 것이 에너지 보전이라는 것을 인식해야 한다.

이 원리의 목표 중 몇몇은 상충되기 때문에 모든 목표를 만족하기는 불가능하므로 원리 사이의 균형이 필요하다. 사람과 조직은 그들의 행동이 생태계에 미치는 영향에 대해 더 많이 생각해야 하고, 환경, 생태학, 경제 및 사회적 목표 사이에 균형을 맞추어야 한다.

### 9) Aesthetics and the Olympus Dam (USA)

Colorado의 Estes Park에 있는 Olympus Dam은 관개지역과 도시에 용수를 공급한다는 관점에서는 성공한 경우이다. 하지만, 미적 관점에서 Olympus Dam은 단지 콘크리트와 철강 덩어리이고, 관광객에게는 아름다운 산과 계곡의 전면에 위치한 별거벗은 인공바위 제방으로 비쳐진다. 지금의 댐위치 보다 하류에 더 작은 규모로 같은 역할을 하고 경제적으로 저비용으로 보이지 않는 곳에 건설할 수 있는 위치가 있었다. 정치적 압력으로 인해 현재의 위치로 선정되어 미적 측면에서는 성공을 거두지 못했다. 이런 정치적 압력은 미에 흥미가 없거나 지속가능성 측면을 사람들에게서 나온 것이다. 하지만, 오늘날 더 많은 사람들의 참여를 통해 결정이 이루어졌다면 댐의 위치 및 설계에 다른 결정을 내렸을 것이다.

### 10) 대중의 압력과 Central Utah Project (USA)

Central Utah Project(CPU)는 관개와 수력발전을 목표로 한 수자원개발사업이다. 이 사업은 중도에 자본의 부족으로 중지되었다. 시민들의 반대에 의해 정부의 재정지원이 중단되었기 때문이다. 결국 이 사업은 개인기업에 의해 새로운 계획과 설계로 재편성되었다. 이는 대중의 압력 때문에 변경된 사업의 예이다. 계획과 설계 과정에서 대중의 참가를 제외할 수 없다는 것을 인식하게 해 준다.

### 11) Water supplies in Tchelo Djegou (Niger)

Tchelo Djegou은 반유목의 지역이다. 이 지역은 1970년대 초에 물과 펌프를 이용한 수자원개발사업을 시작했다. 새로운 물공급으로 인해 사람들은 강과 계곡이 아닌 다른 곳으로 이동하였지만 시간이 지나면서 펌프의 성능이 떨어지고 유지비가 마을 재정을 초과함에 따라 펌프를 포기하고 강과 계곡으로 다시 이동하게 되었다. 이 사업은 많은 양의 투자와 기술지원이 없었기 때문에 실패한 경우로서 지속가능한 개발을 위해서는 투자와 기술지원이 꼭 필요하다는 것을 보여준다.



### 12) 수력발전댐 건설(Malaysia)

Malaysia에 댐이 건설되므로 인해 많은 양의 전력을 생산해낼 수 있었다. 정부는 에너지 요구를 충족시켜주기 위해 이 댐은 꼭 필요하다고 생각하였지만 일부분만이 Malaysia에서 사용하고 나머지는 이웃나라로 보내졌다. 어떤 사업이 수행될 때 연관된 비용과 편익분석이 이루어진다. 또한 이 사업을 통해 결정자들은 결정을 내릴 때 지속가능성을 고려한 장기간 혹은 단기간, 경제적, 환경적, 생태학적, 사회적 영향을 고려해야 한다는 것을 보여준다.

### 13) Columbia 강의 적응적 관리(USA)

이 곳도 다른 큰 강과 마찬가지로 생태계와 관련하여 지역적 단체와 충돌이 발생했다. 수력발전용 댐을 건설하였을 때 건설에 따른 중요한 환경적 손실을 가져 왔다. 이 지역에서 댐 건설 후 생태계가 변화하였고, 이런 변화는 어업이나 농경의 물사용에도 압박을 가하였다. 이 문제를 해결하기 위해 국가와 개인으로 이루어진 공동경영자들이 생태계를 관리하였다. 그들은 습지를 복구하였고 물 급수 시스템을 개발하였으며 물새들의 서식지도 제공할 수 있게 설계되었다. 이 서식지의 설계는 거위 등에게 받은 농작물의 피해를 줄여 주었고, 레크레이션과 교육의 기회를 증가시켰다. 이런 복잡한 생태계에 대한 인간의 상호작용은 적당한 관리와 해결방법에 의해 지속가능한 미래에 대한 움직임을 유도하였다. 또한 적당한 관리는 자연자원에 대한 정책을 구체화시켰다.

이 사업을 통해 통합관리와 새로운 지식의 획득으로 복잡한 문제를 해결할 수 있다는 것을 보여주는 것이다.

### 14) Kissimmee 강의 복원(USA)

이 지역에 1951년 홍수조절을 위한 사업이 시작되었고 그 결과로 서식지의 파괴, 수질악화 등의 자연자원 가치의 손실을 초래했다. 이에 대한 대중의 검토가 높아지면서 강과 유역을 복원하기 위한 다양한 활동이 시작되었다. 이 복잡한 시범 복원사업은 Florida주가 지원하였으며 관할 수자원관리기관이 강과 범람원 생태계의 복구를 위해 노력하였다. 운하의 되메움과 운하로부터의 흐름의 방향을 바꾸기 위해 설치한 웨어를 통해 모자이크식 서식지와 수리학적 흐름을 재건함으로써 서식지의 복잡함과 다양성이 증가하였고, 습지의 초목이 복원되었으며, 물고기 및 물새의 양이 증가하였으며 수질이 향상되었다. 이 사업은 Kissimmee강의 복원라는 성공을 가져왔다. 또한, 이 사업은 각 기관의 협력적인 공제휴작업을 통해 이룩한 훌륭한 사례이다.

### 15) Hula Valley Project(Israel)

Hula 호수와 높은 Israel이 정착할 당시 모기로 인한 말라리아가 넓게 퍼져있었다. 마른 땅을 생산적인 농경지로 바꾸고 모기로 인한 말라리아를 박멸할 계획으로 'conquer the

swamp' 사업을 시작하였다. 계획자, 엔지니어 및 대중은 열광적으로 이 사업을 지지하였다. 하지만, 시간이 지남에 따라 땅의 침전, 경작의 어려움, 부영양화 등의 많은 문제점이 발생되었고 이런 문제점들로 인해 사업의 재평가를 하게 하였다. 이런 상황과 계획에 대한 연구는 지역 일부에서의 원래상태의 자연 생태계를 보전, 농업 및 소득산출활동(관광객)이라는 세가지의 주요 목적을 가지고 실행되었다.

여러 사람들의 참여로 행해진 다목적 연구는 타협된 해결책을 가진 새로운 계획을 채택하면서 끝이 났다. 지난 사업으로 인해 매마른 지역을 다시 범람시켰고 새로운 운하와 저수지가 건설되었으며 배수지역은 토탄덩어리 땅의 습기를 유지시키기 위해 변하였다. 또한 새로운 관리 계획이 진행되었다.

과거의 사업이 엔지니어와 계획자에 의해 이루어졌다면 새로운 사업은 모든 사람의 참여와 새로운 다목적 계획의 방법으로 이루어졌다. 오늘의 이해와 목표와 방법은 다음날 새로운 것으로 대체될 수 있고 계획은 변경될 수 있다. 따라서, 진전되고 적합한 계획은 지속가능한 개발을 이끌어낼 수 있다. 새로운 정보와 목표와 사회적, 정책적 환경에 대한 불가변성은 사업의 지속가능성을 저해시킬 수 있다.

#### 16) Milwaukee story(USA)

수인병은 부적절한 공중위생으로부터 발생한다. Milwaukee에서 1993년 원생동물에 의해 수인병이 발생하여 많은 사람들이 전염되고 죽었다. 이런 수인병들을 통해 담수시스템에 대한 보다 높은 이해가 수질과 인간 위생 유지에 꼭 필요하다는 것을 일깨워주었다. 식수가 수인병에 감염될 가능성이 있기 때문에 당국에서는 Milwaukee보다 더 큰 뉴욕에 여과장치를 설치할 것을 명령했다. 뉴욕은 만약 물공급에 있어서 수인병을 야기시킬 수 있는 유역에 대한 상태를 조절할 수 있다면 여과장치가 꼭 필요한 것은 아니라고 주장했다. 다시 말해, 목장으로부터의 유출을 조절하고 수질보호구역으로 정할 수 있는 발전된 농지 관리가 필요하다는 말이다. 만약 그렇게 된다면 여과장치에 드는 많은 돈을 절약할 수 있을 것이다.

#### 17) Damming the Mekong(SE Asia)

Mekong강은 남부 아시아를 통해 여러 나라로 흐르고 있으며 강에 대한 개발은 지역적 분쟁으로 인해 수십년간 한정되어 왔었다. 최근에 충돌이 감소하면서 여러 목적으로 사용될 Mekong의 자원을 개발하기 위해 많은 투자가 이루어지고 있다. 이곳의 잠재적인 이익은 지속가능하며 환경적, 생태학적 위험도 배제할 수 없다. 댐이 건설된다면 현재의 비옥한 땅과 물고기의 서식지는 붕괴될 것이며 하류의 부식이 증가하는 등 악영향이 발생할 수 있다. 이런 상황에서는 Nam Pong강에 건설된 댐의 영향을 조사하는 것이 흥미로울 수 있다. Nam Pong 사업은 수력발전과 관개용수를 위해 건설되었다. 이 사업은 많은 이익과

악영향의 예상치 못한 두가지 결과를 가져왔다. 저수지가 생물반응조 역할을 하면서 저수지에서의 어업이 발전하였다. 물고기 생산의 경제적 이익은 수력발전의 이익보다 더 큰 것이다. 그러나, 이 사건에 대한 충분한 계획 부족은 이 지역으로 모여든 어부들에게 만족할 만한 생활, 경제조건을 마련해주지 못했다. 또한 관개용수의 유용성에도 불구하고 댐 건설로 인한 새로운 조건과 기회에 대한 지식과 정보가 없었기 때문에 농부들은 전통적인 방법으로 농작물을 재배하였다. 이로 인해 수입은 감소하지 않았지만 복지는 감소하고 사람들의 건강은 악화되는 것처럼 보였으며 하천제방의 부식과 수로의 막힘, 그리고 수리학적 기계의 작동을 방해하고 통수능을 감소시키는 수중식물의 큰 증가라는 악영향을 가져왔다.

### 18) Volts from the Volta River (Ghana)

Volta River 댐은 1960년대 초에 알루미늄을 생산하기 위한 동력을 제공 목적으로 건설되었다. 정부는 환경적, 생태학적인 영향을 고려하지 않고 경제적인 이익만을 고려하여 댐을 건설하였다. 이는 유역의 삶의 수준을 향상시켰고 저수지의 물고기 생산을 증가시켜 어부와 그 가족들을 유역으로 모이게 하였다. 하지만, 이 어부들과 그 가족들에 의해 지역적 환경을 붕괴되었다. 이에 대한 대책으로 재정착 계획과 농경 계획이 실행되었지만 제대로 성과를 거두지 못했다. 그 이유는 변화에 대한 농부들의 반대, 정부에 대한 지나친 의존, 자립에 대한 의지 결여, 신구세대의 대립, 수인병, 그리고 수중식물의 증가 등이다.

이상의 사례에서 제시한 수자원 개발 사례를 지속가능성 가이드라인 관점에서 살펴볼 때 두가지 결론을 내릴 수 있다. 첫째, 수자원을 사용하는 현세대를 위해 지금 할 수 있는 최상의 행동은 미래에도 최상이라고 생각할 수 없다는 것이다. 현재와 미래의 목표는 같을 수 없기 때문에 현재의 목표 사이, 그리고 현재와 미래의 목표 사이에는 균형이 있어야만 한다.

또 다른 결론은 우리가 현재 최상이라고 생각되어지는 것들은 기대했던 것만큼 좋은 결과를 가지고 오지는 않는다는 것이다. 다양한 환경, 생태, 경제, 수문 및 사회적 영향뿐만 아니라 미래에서 원하는 것들에 대한 예측 능력은 항상 최적일 수는 없을 것이다. 따라서 시간이 지남에 따라 시스템의 조정과 개선이 필요하다. 위에서 보여준 사례연구 또한 모든 경우에 현재뿐만 아니라 후세대에는 조정이 필요할 것이다. 따라서 과거에 행해졌던 것들이 현재의 목표를 만족시킬 수 없고, 현재에 행해진 것들이 후세대들이 원하는 것을 만족시킬 수 없을 수 있기 때문에 수자원시스템은 환경적, 경제적, 사회적 조건의 변화에 적응할 수 있어야 하며, 다양한 요구와 목표 및 조건에 적응할 수 있도록 설계되고 관리해야 한다. 이것은 시스템을 지속가능하게 할 우리의 의무이다. 또한 물리적 기반구조물의 설계와 관리, 운영에 대한 지속가능성 가이드라인은 계획자나 엔지니어가 필요한 적응성과 시스템 지속가능성을 증가시키는 방향으로 제공되어야 한다.

## 6. 지속가능한 수자원 개발 방향과 과제

### 1) 한정된 수자원과 지속가능성

이 지구상에 존재하는 물의 양은 약 14억 km<sup>3</sup>이나 되지만 이중에 약 2.5%만이 담수이고 그 중 약 0.3~0.4%만이 재이용할 수 있으며 이들 대부분은 증발하거나 지하 대수층으로 스며든다. 또한 일년에 40,000 km<sup>3</sup>의 재생할 수 있는 물이 유출된다. 만약 이것을 지구에 살고 있는 50억~60억 인구에 배분한다면 매일 20m<sup>3</sup>의 재생할 수 있는 신선한 물을 사용할 수 있다. 이 양은 현재 필요하거나 이용하는 양의 10배에 가깝다. 따라서, 사람들은 지구는 물이 부족하지 않다고 생각되어진다. 이것은 지속가능한 개발의 관점에서 물에 대한 심각한 고려가 없기 때문이다. 2/3가 물인 지구에서 물이 풍부하다는 착각은 인구의 증가로 인해 점차적으로 이용할 수 있는 신선한 물이 부족해진다는 사실을 잊게 만든다.

현재 많은 지역에서 인구가 급속도로 증가함에 따라 필요한 물이 부족하게 되었다. 아프리카의 대부분과 중동, 그리고 아시아의 여러 지역, 라틴 아메리카, 그리고 동유럽이 그 부분에 해당한다. 이용할 수 있는 물의 제한은 지구전체의 문제가 아닌 아직까지는 지역적인 수준이다.

### 2) 재정적 한계와 지속가능성

지속가능한 수자원사업 개발의 문제점은 항상 재정적 한계라는 것이다. 재정은 건설, 유지 및 운영뿐만 아니라 계획과 운영에 대한 연구에도 꼭 필요하다. 시간과 재정은 충분한 자료를 기초로 한 설계계획에 매우 유용하지만 불행하게도 많은 계획들은 불충분한 경제, 수문, 기후자료에 기인하여 개발되어져야만 했다. 이러한 조건에서 지나친 손실 없이 미래의 범위까지 적용할 수 있는 견고한 시스템을 설계하는 것이 중요하다. 수자원시스템의 운영은 사업의 유지, 운영을 위해 재정이 꼭 필요하다. 또한 시스템의 지속가능한 운영은 기초와 유지에 필요한 재정에 의존한다. 이에 대해 정부주도의 수자원시스템도 존재하지만 많은 경제학자들은 민영화된 수자원시스템을 추천한다. 세계도처에는 충분한 재정을 가진 민영회사가 많은 사업과 시스템을 개발하고 관리하는 반면에 민영화된 수자원 관리가 되지 않은 지역은 효과적이고 충분한 개발과 운영이 이루어지지 않을 수도 있다.

지속가능한 수자원시스템 운영을 위해 필요한 자본을 얻는 하나의 방법은 적당한 물가격을 통해서이며 그 중 '사용자 지불(user pays)' 원리는 자연자원을 개발하고 사용하는 행위에 적용할 수 있다. 시스템이 공공이던지 민영이던지 수자원시스템에 필요한 재정을 제공하지 않는다면 그 시스템은 지속가능한 개발과 관리가 이루어질 수 없을 것이다.

### 3) 시간과 공간 규모 문제

물과 같은 변동하고 공급에 불확실성을 가진 자원의 개발과 관리에 수반된 지속가능성의 정의는 변동성을 고려해야 한다. 지속가능한 개발은 개개인의 삶의 질이나 아주 좁은 지역의 환경과 생태계의 질이 분, 일, 월 및 년의 연속적인 시간규모에서 개선해야 한다는 것을 의미하지 않는다. 또한 공급과 소비의 자연적 변동은 삶의 수준을 저해시킴으로써 지속가능한 개발을 저해할 수 있으므로 수자원시스템의 지속가능성은 이런 변동을 고려해야 하며 서로 다른 규모에 대한 과정의 상호작용 이해능력에 의존한다. 다시 말해, 인간 문명의 생존은 지구 전체뿐만 아니라 지역규모의 지속가능성을 달성하는 능력에 의해 결정될 수 있다는 것이다.

지역에서의 공학적 이론과 경험은 대부분 물에 대한 요구를 충족시켜주는 방향을 제시한다. 따라서 공학자와 과학자들은 그런 요구를 만족시키도록 시스템을 설계하도록 노력해야 한다.

### 4) 물 공급, 수요관리 및 인구증가 문제

인구가 증가하고 생활수준이 증가함에 따라 세계의 많은 지역에서는 물에 대한 소비가 증가하게 되었다. 이로 인해 자연이나 공학기술 개발만으로는 그것을 감당할 수 없게 되었고 모든 사람의 이익과 시스템이 상태를 고려하지 않고 법적 압력과 미리 정해진 분배와 운영정책을 사용함으로써 사회적 효율성과 지속가능한 물의 사용분배를 저해하였다.

지속가능성을 높이기 위한 방법으로써 하수의 재이용을 올바르게 관리한다면 환경의 붕괴를 감소시킬 수 있다. 따라서 개개인의 물의 소비가 증가하는 도시들은 인간의 건강, 수자원, 환경을 보호하는 차원에서 하수를 수집, 처리해서 재이용해야 한다. 재이용은 경제적으로 효과적이며 하수를 그대로 방류하지 않고 처리를 하여 방류함으로써 보다 담수의 생성에 도움을 줄 수 있지만 처리수의 사용하는 데에는 건강에 대한 공포와 증가되는 비용의 두 가지 장애물이 있다.

### 5) 수질과 보건 문제

수질이 악화되면 물의 가치, 즉 유익한 이용을 할 수 없다. 따라서 수질 향상을 위해 하수처리가 필요하다. 하수처리는 어떤 지역과 그들의 문화와 경제에 적합해야 하며 현재 많은 지역에서는 산업용수를 점차적으로 하수를 처리하여 이용하고 있다. 수질 관리를 보다 지속가능하게 할 지침은 다음과 같다.

- 인구-수요 조절과 제도 개혁
- 효과적인 비용 개선을 위한 인센티브제도 시행
- 수질의 향상과 하수처리를 통한 이익에 대한 정보를 사회 모든 사람들에게 교육

- 물과 하수처리 시설의 운영과 유지에 대한 교육
- 비용회수 방법 선택과 향상된 감시 체계
- 비점원 오염물 조절과 폐수의 재순환

모든 물 공급에 있어서 가장 중요한 것은 음용수의 사용이다. 음용수 공급개발은 새로운 수자원을 개발하거나 필요에 따라 수처리를 하거나 먼 곳의 물을 운반하거나 효과적으로 물을 배분하는 것을 포함한다. 또한 바닷물이나 지하염수의 담수화를 통하여 얻을 수도 있다. 그러나, 이 기술은 비교적 고비용이 소요되기 때문에 물이 아주 부족한 곳이나 탈염과정에서 많은 에너지를 소비하기 때문에 에너지가 싼 곳에서 가능하다. 많은 큰 도시들은 강 또는 지역적인 지하수로부터 물을 공급받았지만 대부분의 수질이 악화되었기 때문에 더 이상 물이 충분하지 않다. 이로 인해 이런 도시들은 먼 거리의 저수지나 대수층으로부터 수로나 터널을 통해 물을 이송함으로써 공급받았다.

수질에 대한 위협요소를 측정할 수 있는 방법은 종종 필요하지만, 재정의 부족과 부적절한 지역 관리 때문에 그 효과가 떨어진다.

#### 6) 지하수 관리와 이용 문제

많은 발전된 지역은 지표수를 직접 사용하기에는 깨끗하지 않기 때문에 오염물질, 질병 유발물질, 불순물을 제거할 수처리가 필요하며 가정용수나 농업용수에 보다 많은 지하수를 이용하고 있다. 따라서, 지속가능한 지표수 공급이 가능하더라도 지하수가 일반적으로 식수로 사용되고 있다. 지하수는 채수 속도 이상으로 함양되지는 않으므로 지속가능하다고 볼 수 없기 때문에 채수의 양과 시간에 대한 분석이 필요하며 펌핑같은 비용문제에 대한 연구가 필요하다.

대수층 위의 지역은 농경, 산업 및 도시발전을 통해 오염물을 생성하며 이는 지하로 스며들어 현재 많은 지역의 지하수는 오염으로부터 위협을 받고 있다. 지하수개발의 부적절한 분석, 기술의 부족, 부적절한 제도와 같은 지하수에 대한 잘못된 평가로 인해 지하수나 심지어는 대수층에 많은 손실을 주고 있다. 따라서 지하수를 보전하기 위해서는 광범위한 보호가 필요하다.

가장 이상적인 방법은 지표수와 지하수의 연계이용이다. 이는 수자원의 지속가능한 이용을 가능하게 할 수 있게 한다. 또한 지하수의 지속가능한 관리는 수자원관리 중 가장 어렵고 복잡한 것 중에 하나이기 때문에 이에 대한 지속적인 연구와 개발이 필요하다.

#### 7) 환경보호 문제

수자원관리와 환경보호는 분리할 수 없는 문제이며 지속적인 수자원관리를 위해 오염된 환경을 치유함과 동시에 환경보호를 병행해야 한다. 환경치유 방법 중 하나는 오염된 환경

을 치유하는 비용을 오염원자가 지불하도록 하는 것이다. 많은 자원으로부터의 오염물질이 수자원으로 방출된다면 그것을 확인하기가 힘들고 오염자를 적발하기도 힘들 뿐더러 오염수를 치유할 수 있을 정도의 재정적 여유도 없기 때문에 현재에는 많은 어려움이 있다. 하지만, 미래에서는 오염자가 비용을 지불할 수 있는 제도를 만들 수 있도록 인도해야 한다. 만약 생산된 오염을 치유하기 위해 비용을 현세대가 지불한다면 환경오염을 억제할 수 있다.

오염수를 처리하는 것은 환경과 공공위생에 매우 중요한 일이다. 환경오염방지는 잠재하는 오염 행위를 제거하는 것을 의미하며 지하수에 있어서의 보호는 비점원오염 조절이 매우 중요하다. 비점원오염원에 오염되면 지하수의 대수층은 지속적인 시간과 돈이 투자된 조사 없이는 치유하기가 어렵다.

#### 8) 수력 에너지 문제

수력은 이용할 수 있는 에너지 중 깨끗한 것이며 풍부한 수자원과 적당한 지형이 존재한다면 생산할 수 있다. 하지만, 불행하게도 수력은 비록 혁신적이더라도 에너지 집약적인 지역에서는 생산되는 양이 적기 때문에 에너지 필요량의 일부만만을 제공할 수밖에 없다. 하지만, 수력발전의 가장 중요한 점은 전기를 효율적으로 사용할 수 있게 운영과 계획의 유연성을 제공할 수 있다는 것이다.

#### 9) 농업 및 산업 소비 문제

물 사용배분은 농업 및 산업의 소비량만이 아닌 모든 물 소비를 고려하여 결정되어야 한다. 그 중 관개시스템은 장기간 지속유지될 수 있도록 설계되어야 하며 이를 위해 배수시설이 필요하다. 이 배수시설은 수질의 변화와 같이 유해한 결과를 도출시킬 수 있으므로 이에 대한 연구가 필요하다.

#### 10) 운송 및 홍수방지 문제

내륙주운은 가장 효과적인 운송방법이다. 여러 운송 방법중 수로는 환경에 영향을 끼칠 수 있으므로 홍수와 융설, 큰 강우로부터의 위협을 보호하고 제방 침식을 감소시키도록 설계되어야 한다.

#### 11) 저수지 용량과 운영 문제

저수지와 지하수는 적절한 공간, 시간적 분배를 이룰 수 있게 해 주는 등 많은 이익을 제공할 수 있는 반면에 환경과 사회에 나쁜 영향을 줄 수도 있다. 동식물에 대한 생태학적 악영향과 지역 주민의 이주, 지역의 벌목과 홍수, 다른 환경문제 등이 그것이다.

저수지는 사회, 경제 발전의 중요한 역할을 하며, 농업관개를 도와주고 물과 에너지의 원활한 공급에 의존하는 산업과 인간의 기초를 제공할 수 있다. 이런 저수지의 지속가능성

을 증가시키기 위해 계획단계에서 모든 이익과 악영향에 대해 연구가 이루어져야 하며 후세대의 요구와 목표를 만족시켜 주기 위해 설계와 운영에 있어서 저수지 건설은 견고해야 한다.

#### 12) 자연재해 문제

홍수, 가뭄, 지진, 화산, 사이클론 같은 극한 상황은 자주 일어나는 것은 아니지만 큰 경제적 손실을 가지고 올 수도 있고 사회구조 붕괴나 발전을 저해시킬 수 있다. 수자원 전문가는 물과 관련된 극한 상황에 대해 인간의 안전을 보장해야 하는 책임이 있으며 잘 발달된 재해 관리 계획이 있다면 극한 상황으로부터의 피해를 줄일 수 있을 것이다.

#### 13) 자연과 인공환경 문제

지속가능한 시스템 계획의 원리는 수자원시스템이 가능한 자연적 삶 과정에 적게 방해하는 것이다. 지속가능한 개발을 하기 위해 만들어진 인공적인 환경은 그 지역의 기후조건과 조화를 이루어야 하고, 사람들이 이익을 창출할 기회를 제공해 주어야 한다. 이를 위해서는 인간과 자연 사이의 상호작용을 이해해야 한다. 환경수문학의 발전과 이용은 지역의 식물과 동물의 수문학적 상호작용을 결정해 주며 이런 모형들은 수문학 현상의 변화에 따른 자연 생태학적 시스템에서의 변화를 예측할 수 있게 해준다.

#### 14) 능력형성 문제

지속가능한 시스템 설계와 운영은 지역에서 이용할 수 있는 능력 형성에 의존한다. 능력형성은 지속가능한 발전에 있어서 가장 필수적이고 중요한 장기간의 요소 중의 하나이다. 지속가능한 수자원개발에서 또 하나의 중요한 요소는 지역 사람들이 능력이 있어야 할뿐만 아니라 수자원 시스템에 대한 책임감을 가지고 있어야 한다는 것이다.

#### 15) 변화의 필연성

지속가능한 시스템의 계획, 설계, 관리에서 필수적인 것은 사회의 요구 또는 소망과 물 공급 시스템에서의 변화에 대한 예측과 함께 이런 변화를 수용해야만 한다. 여기에서의 변화는 사회의 요구와 욕구의 변화에 기인한 시스템 구성의 변화와 물공급의 변화를 의미한다. 또한 지속가능한 수자원 시스템은 기후변화에도 적응할 수 있어야 한다.



## 7. 결론

본 연구에서는 Loucks 등(1999)이 제시한 수자원 시스템의 지속가능성 기준과 문헌연구를 통하여 수자원 개발 입장에서 지속가능한 개발 개념이 무엇이며 어떤 방법이 있는지를 기술하였다. 또한, 지속가능한 개발의 개념에 근거한 지표들을 이용하여 수자원의 지속가능한 개발을 위해 앞으로 무엇을 해야 하는가에 대한 방향을 살펴보았다. 이를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

지속가능한 수자원시스템의 계획과 관리에 대한 문제가 주어지면 전문가 개개인은 이에 대한 충분한 해답을 줄 수 없지만 다양한 전문가, 관심을 가지는 대중, 자원 관리자, 정책 결정자들의 참여로 보다 높은 수준의 지속가능성을 이루기 위해 무엇을 해야 하는지에 대한 좀 더 명확히 이야기할 수 있을 것이다. 지속가능성을 높이기 위해 우리가 해야 할 일과 그것을 위해 얼마나 많은 비용과 노력이 필요하며 그것을 누가 지불할 것인가를 결정하는 것이 우리의 과제이다. 이에 대한 구체적인 논의가 필요하며 수자원시스템의 결정자 뿐만 아니라 관심을 가지는 모든 사람들의 참여에 의해 이루어져야 한다.

지속가능한 개발을 위하여 무엇을 해야 할 것인가를 결정하는 과제는 수자원 계획과 관리에 있어서 중요한 의무이며 어떻게 수자원과 관련된 환경자원을 개발하고 관리할 것인지를 결정하는 것도 중요하다. 여기서 관리는 현세대의 요구뿐만 아니라 후세대의 요구도 충족시켜주어야 한다. 후세대와 현세대의 요구를 만족시키기 위해 어떤 방향으로 수자원을 개발하고 관리할 것인가를 결정한 후에 그 요구를 만족시키기 위한 구체적인 연구가 수행되어야 한다. 또한, 지속가능성은 기술, 생태학, 사회, 정치 조직을 통합하는 과정을 의미하며 이 과정을 이루기 위해 많은 노력을 해야 한다.

수자원관리자는 개발을 위해 지속가능성 과제에 대한 검토가 필요하며 가능한 현세대와 후세대의 요구와 기대를 예측하기 위해 보다 개선된 방법을 강구해야 한다. 우리는 후세대와 그들의 다음 세대의 요구와 기대를 만족시켜주기 위해 보다 발전된 방향을 제시할 수 있는 방법을 개발하고 이용해야 하며, 현재와 미래 뿐 아니라 어떤 세대의 여러 사람들 사이의 자원 이용과 소비의 균형을 고려할 때 이익과 비용의 양과 배분을 결정할 보다 향상된 방법들도 제시해할 것이다.

## 참고문헌

1. Daniel P. Loucks 등(1999), Sustainability Criteria for Water Resources Systems.
2. ESCAP(1997), Guidelines on Water and Sustainable Development : Principles and Policy Options.
3. ESCAP(1997), Sustainable Development of Water Resources in Asia and the Pacific : an Overview.
4. OECD(1998), Towards Sustainable Development : Environmental Indicators.
5. 박희경(1998), 지속가능한 개발을 위한 통합자원계획 도입의 필요성.
6. 박희경(1999), 지속가능한 개발을 위한 건설공학적 Guideline의 수립에 관한 연구.
7. 박희경(1999,2000), 지속가능한 개발을 위한 실천과제 : 물절약
8. 윤하연(1999), 인천광역시 환경지표의 개발과 적용
9. <http://www.pcsd.go.kr>
10. <http://www.un.org/countries/asia.html>