

## 새로운 패러다임을 반영한 통합수자원계획의 국내 적용방안

고 의 환 (한국수자원공사 수자원연구부장)

최 병 만 (한국수자원공사 수자원조사부장)

박 재 영 (한국수자원공사 유역조사과장)

1. 서 론
  2. 지속가능한 개발과 통합 수자원관리
  3. 우리나라의 중·장기 수자원조사계획 수립 현황
    - 3.1 유역조사
    - 3.2 수자원장기종합계획
    - 3.3 중·장기 조사계획의 성과
  4. 수자원계획의 방법론 비교
    - 4.1 전통적 공급계획
    - 4.2 최소-비용 계획
    - 4.3 통합자원계획
    - 4.4 종합물관리
  5. 통합자원계획의 수립
    - 5.1 통합자원계획의 특징
    - 5.2 통합자원계획의 수립절차
  6. 외국의 통합자원계획 추진사례
    - 6.1 미국 캘리포니아주
    - 6.2 미국 캔사스주 위치타 시
  7. 우리나라의 수자원조사계획에의 적용방안
  8. 결 론
- 참고문헌

## 1. 서론

수자원은 국민생활의 향상과 산업 발전, 식량의 안정적 생산을 위한 필수적인 자원이며, 수자원사업은 국가 또는 지역사회 발전의 밑거름이 된다. 이러한 수자원사업의 원활한 추진을 위하여 수립하는 수자원계획은 물을 얼마나 합리적이고 효율적으로 개발, 이용 및 보존해 나갈 것인가를 제시하는 중요한 역할을 한다.

오늘날 많은 환경문제 중 인간의 생명과 활동을 가장 심각하게 위협하고 있는 것이 수자원과 관련된 문제일 것이다. 크게 수량과 수질문제로 나눌 수 있는 수자원문제는 대부분의 개발도상국들이 빈곤퇴치와 경제문제를 해결하기 위한 생활, 공업, 농업용수 확보를 위한 개발 정책에 초점을 맞추는 것이 일반적 경향이나, 성장과 공급에 치중한 국가들도 경제성장 달성의 반대 급부로 수질악화라는 환경문제에 봉착하게 된다. 우리나라도 예외는 아니어서 이미 수량과 수질관리에 많은 어려움을 겪고 있다.

즉, 과거의 물 문제가 양적인 물 문제였다면, 지구 온난화, 세계적인 기후변화와 맞물린 현재와 미래의 물 문제는 양과 질 모두의 문제에 봉착해 있으며, 가뭄과 물 부족, 홍수, 수질오염, 물 분쟁을 심화시키고 있다. 아직도 일부 다목적댐과 광역상수도의 비수혜 지역에서는 극심한 가뭄으로 매년 고통을 받고 있고, 우리 나라의 도시는 가뭄과 홍수에 취약한 구조를 갖고 있다. 하천수질에 대한 개선책이 매년 제시되고 있지만 실질적인 개선이 되지 않고 있는 실정이다. 이러한 상황에 비추어 볼 때, 국민의 삶의 질 향상과 직결된 물문제는 범국가적인 이슈로 대두될 것이 자명하다.

종래의 수자원계획은 주어진 용수 수요에 대처할 수 있는 충분한 공급 능력의 확보를 위한 공급시설 확충에 중점을 두었다. 그러나 이러한 공급위주의 계획은 도시 수요자들의 급증, 환경에 대한 관심 고조, 공급증가에 소요되는 비용 급등, 동일수자원에 대한 다양한 용도간의 경쟁, 수질관리의 고비용, 정치적·제도적 규제의 변화, 고조되는 자원 보존 윤리, 물 공급기관들의 역할에 대한 공공의 인식의 변화, 그리고 미래에 대한 불확실성 등에 의한 물 공급의 사회적 비용의 급증 등으로 인하여 국가 수자원계획 및 관리에 많은 어려움에 직면하게 하였다. 이러한 변화된 상황에 슬기롭게 대처하지 못할 경우 우리나라는 수자원 공급의 장기적인 신뢰도 확보실패에 따른 국가적인 재난위기로까지 치달을 수 있으므로 현시점에서 수자원계획의 패러다임이 어떤 형태로든 전환되어야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 그동안 우리 나라의 중·장기 수자원계획의 현황을 돌이켜 보고, 수요관리 방안의 도입, 환경문제, 새로운 보조수자원 고려, 향후 수요증가에 대한 불확실성 증대 등을 고려한 선진국의 통합수자원계획의 수립 과정을 살펴보고 공급과 수요측 모든 가용자원의 효율적 이용, 환경보전, 주민참여와 다양한 의견 수렴, 수자원 개발·관리를 위한 사회적 비용의 최소화 등을 골자로 한 통합 자원계획(IRP; Integrated Resources Planning) 기법의 국내 수자원조사계획에의 적용 방안을 제시코자 한다.

## 2. 지속가능한 개발과 통합 수자원관리

1992년 6월 환경과 개발에 관한 유엔회의에서 「환경과 개발에 관한 리우선언」 등을 채택하면서 ‘지속가능한 개발(Sustainable Development)’ 개념을 전세계적으로 추진하기로 결정하게 되었다. 여기에서 ‘지속가능한 개발’이란 발전으로 상징되는 ‘개발’과 환경보전을 대변하는 ‘지속가능성’이라는 두 개념을 합친 것으로 어느 쪽에도 치우치지 않고 균형되게 양자를 다같이 선으로 여기고 추진하자는 것을 의미한다.

지속가능한 개발은 「환경 및 개발에 관한 세계위원회」의 “Our Common Future”라는 보고서에서 최초로 개념을 정립하여 사용하였다. 이 보고서에서는 “미래세대의 필요를 충족시킬 능력을 저해하지 않으면서 현세대의 필요를 충족시키는 것”이라고 정의하고 있다. 이것은 첫째로 환경의 수용능력(Carrying Capacity)에는 한계가 있다는 것을 인정한 것이고, 둘째로 공평성(Equity)을 강조하여 현 세대가 이 수용능력을 많이 쓰게되면 미래세대는 피해를 입게되므로 그들에게 피해를 입히지 않을 정도로 현 세대가 사용하여야 한다는 것을 강조하고 있다. 이후 여러 사람들에 의해 이 개념은 발전되고 다듬어졌으며 환경의 수용능력, 공평성(또는 분배적 정의, Distributive Justice)과 배분적 효율(Allocative Efficiency)이라는 세 가지 요소를 사용하여 “환경의 수용능력과 그 한계를 인정하고 세대간, 세대내 그리고 생명체간의 공평하게 그 능력을 나누어 사용하고 주어진 양적 한계 속에서 배분적 효율의 증진을 통해 인간의 복리후생을 증진시키는 것”으로 정의되게 되었다 (박희경, 1998).

그러나 이러한 개념은 상당히 추상적이어서 개발계획 수립에 실제 적용을 위해선 보다 구체적인 원칙이나 지표가 제시되어야 한다. 이를 달성하기 위한 지표로서의 지속가능성(sustainability)은 물리적·기술적 측면 외에도 다음과 같이 재정, 사회, 제도 및 환경적 측면에서 구분할 수 있다.

- 기술적 지속가능성 : 수요와 공급간의 조화
- 재정적 지속가능성 : 비용회수
- 사회적 지속가능성 : 인구, 수요의 안정화, 지불의사
- 제도적 지속가능성 : 시스템을 계획, 관리, 운영하는 능력
- 환경적 지속가능성 : 장기적인 부정적, 회복 불가능한 영향 배제

이에 따라 “물이용자들에게 필요한 시기와 장소에 필요한 량의 공급을 보장”하는 종래의 공급지향적 개념의 수자원관리는 “수자원을 계획, 개발, 보존 및 관리에 필요한 일련의 기술적, 경제적, 법적, 제도적, 운영 관리의 총체적 행위”(Savenije, 1996)를 뜻하는 수요-공급 공통 지향적인 새로운 개념으로 전환하게 되었다.

현대의 ‘통합수자원관리(IWRM: integrated water resources management)’는 이러한 새로운

개념의 수자원관리를 기반으로 지표수와 지하수, 수량과 수질을 고려한 자연과 인공의 수자원시스템을 포함하며, 농업, 용수공급, 수력발전, 내륙 주운, 어업, 위락, 자연보존 등 국가경제 전 분야의 물이용자들(이해 당사자들)의 이해관계를 반영하게 된다. 따라서 사회적, 법적, 제도적, 재정적, 환경적 국가 물관리 목적과 제약조건을 형성하여, 상·하류의 상관성, 유역단위 분석, 유역간 물이동 등 물자원과 수요의 공간적 변화를 고려하게 된다.

수자원관리의 중요한 축을 차지하는 수자원 계획의 핵심은 지속가능한 양질의 환경을 원하는 지역주민의 요구에 부응하고, 국가/지역 경제 개발을 뒷받침할 수 있도록 물과 관련된 각종 수요와 공급간의 균형을 추구하게 된다.

### 3. 우리나라의 중·장기 수자원조사계획 수립 현황

#### 3.1 유역조사

수자원조사계획의 꽃이라 할 수 있는 유역조사는 고도의 기술력과 경험에 추가하여 창의성을 요하는 수자원 전문기술분야이다. 우리나라의 경우 60년대 후반부터 UNDP/FAO, USBR, 미공병단 등 선진국 전문기술진의 도움으로 한강을 비롯한 4대강 유역조사를 시행하였고, 당시의 경험을 토대로 80년대 이후에는 추가적인 유역조사와 다목적댐 타당성조사 사업을 독자적으로 수행해 왔다. 2000년대 초에 들어선 현재 한강과 낙동강 유역조사가 시행중에 있으며, 2002년도부터 금강유역조사가 계획되어 있다.

#### 3.2 수자원장기종합계획

정부는 그 동안 장기적인 물 수급 전망과 동시에 수자원의 개발·공급 및 관리 계획, 홍수재해 방지계획, 하천의 다목적 이용계획, 수자원조사 및 기술개발계획 등의 수립을 위하여 <표 1>과 같이 「수자원장기종합계획」을 추진해 왔으며, 계획기간별 주요 내용은 다음과 같다.

〈표 1〉 수자원장기종합계획의 연혁

구 분	계획기간	수립년도	계획 기조
수자원개발 10개년계획	1970~1980	1965	다목적댐 개발
수자원장기종합개발계획	1981~2001	1980	댐개발 및 치수
수자원장기종합계획	1991~2011	1990	수자원개발 및 관리
수자원장기종합계획(수정·보완)	1997~2011	1996	환경친화적 수자원개발
수자원장기종합계획 (Water Vision 2020)	2001~2020	2001	건전한 물활용과 친근한 물환경조성

##### 3.2.1 수자원개발 10개년 계획(1970년대)

수자원개발 10개년 계획은 수자원개발의 장기 비전과 정책목표를 조속히 정립하기 위하여 1965년초 부터 성안되었다. 우리 나라의 경제개발에 필요 불가결한 용수수요 증대에 대

저할 수 있도록 개발대상 지역의 주요 수계에 대하여 치수와 이수 및 수력에너지 개발 등을 위한 다목적댐 개발 계획을 주축으로 하는 이 계획은 건설부 수자원국이 창설된 이듬해인 1966년에 경제계획의 전략부문인 식량증산을 위한 한발 방지, 공업화를 위한 용수공급, 홍수량 절감에 의한 국토의 유효이용과 생산증대 및 민생안정 도모, 첩두전력 공급 면에서의 대용량 저수지를 가진 수력발전소 건설, 실업인구 흡수를 위한 고용 효과 등에 목표를 두었다.

주요 성과로는 이·치수 위주의 수자원개발, 소양강댐 등 대규모 다목적댐 개발 시작, 수도권 I 단계 등 광역 용수공급체계 구축 시작, 한강 홍수통제소 설치 등 수계별 홍수에 경보 시스템 구축 시작, 하천개수사업 추진 등을 들 수 있다.

### 3.2.2 수자원장기종합개발계획(1980년대)

제 2차 국토종합개발계획과 연계, 낙후된 치수 방재시설의 조속한 확충과 정비를 통하여 민생을 안정시키고 국가의 경제사회 발전과 국민생활 향상, 산업기반조성 등 국토의 효율적 이용을 도모하기 위하여 1981년부터 2001년까지 21년간 장기적 수자원계획을 수립하게 되었다. 본 계획의 기본목표는 첫째, 용수의 안정적 공급을 위하여 합천댐을 비롯한 8개의 다목적댐과 2개의 용수전용댐, 2개의 하구둑을 건설하여 댐 공급량을 33억 $m^3$ 에서 2001년까지 127억 $m^3$ 으로 증대, 둘째, 재해를 경감하고 국민생활의 안정을 도모하기 위하여 30%인 하천개수율을 2001년까지 70%로 제고하며 셋째, 정부의 탈석유정책에 부응하여 수력에너지를 1,202천kW에서 2001년까지 4,102천kW로 증대하는 것으로 충주댐 등 대규모 다목적댐 개발 지속, 광역 용수공급 체계의 전국적 확대, 수계별 치수사업을 시작 등이 주요 성과이다.

### 3.2.3 수자원장기종합계획(1990년대)

이 계획은 2000년대 우리 나라의 경제전망과 국민 생활수준 향상에 따라 물 문제에 대한 국민적 요구가 급격히 증대될 것이므로, 이에 효율적으로 대처하기 위하여 수자원의 합리적인 개발과 효율적인 이용·관리방안을 수립하기 위한 것으로써 용수의 안정적 공급, 홍수재해의 방지, 새로운 수자원 활용사회의 형성, 수력에너지 개발, 유역단위의 수자원의 종합관리 등 5개의 기본목표로 설정하였다. 주요 성과는 대규모댐에서 중규모댐 개발로 전환, 안성천, 형산강 등 중소수계 홍수예경보 시스템 도입, 하천정비시 하천환경관리 개념의 도입, 지하수관리 제도의 도입 등이다.

한편, 제 3차 국토종합개발계획 수정에 따라 1996년 12월에 21세기를 대비한 수자원의 개발·공급·관리에 관한 장기적, 종합적 정책방향과 청사진을 제시하기 위하여 기존의 계획을 대폭 수정·보완한 수자원장기종합계획(1997~2011)을 수립하였다. 이 계획은 전국적

용수공급의 안정화 추진, 홍수 재해방지 및 쾌적한 수변환경 조성, 수자원 관리의 합리화 및 조사·연구의 활성화를 3대 기본목표로 설정하였다.

### 3.2.4 수자원장기종합계획(2000년대)

1996년 12월에 수자원계획에 대한 수정·보완이 이루어 졌으나, 최근 급격하게 변화된 주변여건에 적극적이고 효율적으로 대응하기 위하여 과거와는 다른 새로운 인식과 목표 아래 수자원계획을 수립하여야 할 필요성이 제기되었다. 또한 1999년 하천법의 전면 개정에 의해 수자원장기종합계획이 법정계획화 됨으로써 새로운 위상과 체계가 요구됨에 따라 종합적이고 포괄적인 수자원계획에 대한 요구가 증대되었다.

이에 따라 제4차 국토계획에 맞추어 2020년을 목표년으로 하는 수자원장기종합계획(Water Vision 2020)을 새롭게 수립하게 되었다. 이 계획의 특징으로는 공급위주의 개발 정책에서 건전한 물활용과 수요관리를 포함한 지속 가능한 수자원 개발 및 관리 정책 제시, 하천정비 위주의 선(線)개념 홍수관리대책에서 유역차원의 면(面) 개념 종합치수대책으로 전환, 인간중심의 수자원 계획에서 인간과 자연생태계가 공존하는 진정한 의미의 수자원종합계획으로 전환, 용수수요 부족은 수요관리와 효율적인 관리로 우선 충당하고 나머지에 대하여 최소한의 신규개발을 추진, 수자원 공급 및 운영 정책에서 수요관리 절감량을 반영한 용수수급 계획을 수립하고, 수요관리의 실천력을 높이기 위한 지속적인 가용 수자원 및 물 이용량 모니터링 시스템 구축전략 제시 등을 들 수 있다. 특히, 이 계획과정을 통해서 수자원은 물론 환경 부문에 종사하고 있는 전문가, 시민단체회원 등을 대상으로 한 자문, 설문조사 실시 및 인터넷 Web-site를 통한 의견 수렴을 거치는 등 수자원계획 수립시 정부,물관리기관, 시민단체 및 국민이 함께 참여하는 합의 형성을 위한 제도적 기반을 구축하려는 노력이 시도되었다.

## 3.3 중·장기 조사계획의 성과

이러한 중·장기 유역조사 및 수자원장기종합계획을 토대로한 우리나라의 수자원 개발은 1960년대부터 조국의 근대화를 위한 경제개발의 토대를 마련하고 매년 반복적으로 겪는 홍수와 가뭄피해를 극복하고 식량 자급의 문제를 근본적으로 해결하기 위한 정부 정책으로 생, 공, 농업용수 전용 댐을 비롯하여 대규모 다목적 댐 개발이 추진되어 왔다. 이에 따라 2000년말 기준 다목적 댐 12개, 하구둑 5개, 발전전용댐 10개, 생공용수 전용댐 16개, 저수용량 1천만<sup>m</sup> 이상 농업용 저수지 26개에서 개발된 수자원의 총 저수용량은 162억<sup>m</sup>, 유효저수용량 112억<sup>m</sup>으로 사업효과는 홍수조절 25억<sup>m</sup>, 용수공급 148억<sup>m</sup>, 발전시설용량 2,544MW를 확보하게 되었다.

1960년대 이후, 국가주도의 수자원장기계획 수립을 토대로 한 수자원개발은 국가 경제성장의 견인차 역할과 가뭄 해소 및 홍수재해의 경감 측면에서 성공적인 정책으로 평가받아야 한다. 그러나 근래 들어 지구생태적 문제를 비롯하여 환경보존 등 사회문제에 대한 국민의식이 높아짐에 따라 다양한 시민환경단체가 결성되어 정부정책에 영향력을 행사하는 참여민주주의의 신장과 시장경제로의 이념적 전환에 능동적으로 적응하지 못한 데서 오는 수자원정책 추진의 차질은 앞으로 풀어 가야할 새로운 과제라고 하겠다.

특히 영월댐을 계기로 제기된 개발론과 보존론의 대립에 따라 일부에서 공급위주의 정책이 세계적인 고도성장을 이루는데 기여한 점은 인정되나 물 낭비를 조장하는 개발위주의 정책이 우리사회를 고비용, 저효율 사회로 만들었다고 비판하는 등 정부의 수자원계획에 대한 불신감이 제기되기도 하였다.



## 4. 수자원계획의 방법론 비교

대부분의 수자원시설 계획은 규모와 정도면에서 많은 차이가 있지만 대체로 전통적 공급계획(traditional supply planning), 최소-비용계획(least-cost planning), 통합자원계획(integrated resource planning) 및 종합 물관리(total water management) 등 네 가지 방법론으로 발전해 왔다. 이 발전과정에서 전 단계의 방법론이 갖고 있는 우수한 점은 그대로 계승하는 한편 후속계획에서는 새로운 문제나 가능성 있는 대책들을 모두 포함하여 계획에서 다루도록 하였다.

### 4.1 전통적 공급계획(traditional supply planning)

전통적 계획은 공급의 안정성 확보와 위험도 최소화에 중점을 두고 있다. 수자원시설에 의한 전통적 공급계획은 시설의 소유권과 물자원의 대한 조절·통제, 내부시스템 및 재정 계획 수립 과정에 대한 신뢰도, 비용 최소화 목표 및 고도의 시스템 확실성 확보 측면에서 종래의 전력시설에 대한 계획 수립과 별 차이가 없다. 단지 물의 경우에는 소유권과 지하수 취수 제한과 같은 자원의 조절이 제약요인이 되는 반면에 전력분배의 경우에는 플랜트, 송전선로 등과 같은 운송시설에 대한 소유권에 더욱 중점을 두게 된다.

전통적 계획에서는 세 가지의 주된 관심사항이 있는데 첫째, 수요예측값이 주어짐으로써 통합적인 공급관리와 수요관리 조건을 고려하지 않는다. 둘째, 일반대중과 외부전문가 및 정부 조정관 등의 참여가 배제된 상태에서 시설계획을 위한 수요분석과 공급 대안의 평가 과정이 비공개적으로 이루어지며, 최종 성과에 대한 검토 또는 승인을 얻는 단계에서만 공개된다. 셋째, 전통적 계획은 시설물 전체를 고려하기 보다는 개별 시설물에 한정시키는 경향이 있다. 전통적인 의사결정 과정은 광범위한 이해당사자 뿐만 아니라 자원확보의 대안에 대한 전문가들의 참여를 배제하는 배타적인 방법으로 일단 시설계획이 수립되면 추진과정에서 변경할 수 있는 여지가 거의 없다.

다른 공공시설과 같이 수자원시설도 계획과정이 수원 개발, 저류 및 수처리, 송수 및 배분을 위한 신뢰성있는 시설 계획과 공급시설의 유지관리에 중점을 두고 있다. 용수공급계획은 일반적으로 장래 수요를 예측한 후 산정된 수요량에 예비율을 고려하여 공급계획을 수립한다. 이러한 과정은 단지 새로운 공급측면의 대안에만 초점을 두고 수요관리와 보존 측면은 별도의 프로그램에 위임하는 분산적인 계획법이라 할 수 있다.

## 4.2 최소-비용 계획(least-cost planning)

공급 과다, 부정확한 수요예측, 환경측면에 대한 소홀 등으로 인하여 비용이 증가되어 결과적으로는 사업비 상승 문제가 제기되면서 1980년대에 전력시설의 경제적 측면의 통제를 위한 하나의 중요한 수단으로 최소-비용계획이 대두되었다. NARUC(National Association of Regulatory Utility Commissioners)은 최소-비용계획을 다음과 같이 정의하고 있다.

‘최소-비용계획은 장래 증가하는 수요와 공급, 수요측면의 다양한 변화를 고려한 시설물 운영에 대한 분석을 통하여 국민에게 용수공급 서비스를 제공할 수 있는 최적의 방안을 결정하는 것이다. 아울러 고객에게 신뢰성있는 서비스 제공, 경제적 안정성, 시설투자에 대한 합당한 수익, 환경 보호, 요금지불의 공정성, 사업비 최소화 등을 보장할 수 있는 대한 방안을 모색한다. 최소-비용계획은 신뢰성, 수익성, 가격의 적정성 등 세가지 이해관계가 균형을 이루게 하며, 계획의 각 구성인자에 포함된 위험도, 불확실성에 대해서는 면밀한 검토가 이루어진다.’

이 정의에 의하면, 최소-비용계획은 가격, 요금, 생산비용(용량과 운영 포함) 최소화에 중점을 두고 있는데, 여기에서 비용의 최소화를 현재의 고객, 미래의 고객, 시설관리자, 사회 전체 중 누구의 입장에서 고려하고 있는가에 의문의 여지가 남는다.

최소-비용계획은 비용을 최소화하고 불확실성과 변화하는 주변 경제환경을 감안하여 융통성있는 계획을 수립하기 위하여 공급과 수요측면의 모든 대안에 대하여 광범위한 평가를 한다. 비용 최소화, 자원의 다원화, 위험도 관리 및 융통성이 이 방법의 특징이다.

최소-비용계획에서는 공급관리와 수요관리에 대하여 강제적으로 검토하고, 건설에 앞서 시설의 용량 확장사업에 대해서도 의무적으로 승인을 얻도록 권장하고 있다. 또한, 최소-비용계획은 공급시설의 결정에 있어서의 중요한 문제점들에 대하여 정책입안자를 교육시키고 장기 전략계획 수립시 시설물계획을 검토하는 데에도 이용된다.

전통적 공급계획과는 달리 최소-비용계획에서는 수요를 조절할 수 있는 것으로 간주한다. 수요관리는 부하관리, 보전, 가격정책 등을 통해 신규 시설투자의 필요성을 없애거나 유예하는 계획을 수반하고 있으며, 공급관리는 증가하는 수요와 신규시설 투자를 만족시킬 수 있는 가장 효율적인 방법을 결정하는데 중점을 둔다.

수요감소에 영향을 주는 모든 수요관리 대책은 현재의 시설로부터 공급을 받고 있는 고객과 이용자가 감소됨에 따라 공급관리에 영향을 미치게 된다. 즉 전통적 계획과는 달리 공급시설의 용량을 줄이거나 변경하는 것도 대안이 될 수 있다. 전력계획에서는 기존자원을 유용하게 이용하고 보전함으로써 전력생산에 있어 “negawatt”라는 용어까지 나오게 되었다.

최소-비용계획이 나오면서 기존의 용수공급 시설계획은 수요관리에 익숙하지 않고 인접 시설간의 유기적인 협조 부족, 최소비용 개념에 대한 혼란 및 자원보호와 같은 목표의 비

포함 등으로 인하여 복잡한 양상을 띄게 되었다. 기존의 전통적 계획을 선호하는 입안자들은 최소-비용계획이 적어도 공급의 안전도 확보측면에서는 매우 위험하다는 견해를 보이고 있다. 그러나 최소-비용계획 옹호론자들은 과다시설로 인한 수익성 저하 위험성 등 종래의 계획이 갖고 있는 여러형태의 위험성을 실질적으로 감소시킬 수 있다는 점에서 반대입장을 제기하였다.

### 4.3 통합자원계획 (IRP : integrated resources planning)

<표 2>에서 보는 바와 같이 통합자원계획은 미국에서 1980년대 말 산업비용구조의 근본적인 변화의 결과로 나타나게 되었다. 1800년대 말부터 1970년대 초까지 전력사업의 규모의 경계는 판매량이 증가함에 따라 공정의 단위비용이 감소하였으나, 1970년대에 연료와 건설비용이 증가하고 환경문제가 대두됨에 따라 전기요금이 현저하게 증가하기 시작했다. 또한, 공공사업주, 관리자, 수요자들은 산업발전과 증가되는 환경문제 해결을 위해 에너지 비용을 안정화시키면서 환경에 미치는 악영향을 최소화시키기 위하여 여러가지 임시방편적인 방법들이 계획되었으나, 이러한 것은 결과적으로는 자원의 과다 사용을 유발시켰다. 이러한 흐름속에서, 수요측 관리(demand-side management)는 전력회사에 있어서 중요한 전략으로 등장하게 되었다. 수요자들이 소비형태를 바꿀 것이라는 인식은 이용의 변화를 촉진하기 위한 부하관리 프로그램을 낳게 하였고 계획과정에서 이와 같은 프로그램을 고려하도록 하는 규제 조항으로까지 이어졌다. 에너지 공급회사들에서의 성과로 인해 자원계획은 공익사업 계획의 한 요소가 되었다. 오늘날 적어도 미국의 43개 주에서 전력 수급 계획시 통합자원계획을 사용할 것을 요구하거나 시행 또는 고려 중이며 최근에는 천연가스산업에서도 경제적 문제로 인해 통합자원계획을 도입하기 시작했다.

통합자원계획은 수자원공급시설에 대한 새로운 역할과 책임을 의미한다. 통합의 의미는 환경·기술·공중보건·재정·요금·사회·경제적 측면의 고려사항들이 모두 계획과정에 반영되어야 하며, 계획을 위한 자료와 정보가 수자원시설의 관리 업무(시설운영관리, 재무관리, 환경관리, 연구개발, 경제발전, 대중 참여 등)와 서로 유기적으로 연계되어야 한다.

IRP는 최소-비용계획 보다 더 포괄적인 개념이지만, 두 계획 모두 상호 부합적인 의미를 갖고 있으며 교환적으로 이용된다. 실제로 IRP는 최소-비용 통합자원계획(least-cost integrated resource planning)으로 사용하는 경우도 있다.

〈표 2〉 미국 전력사업 변천과 통합자원계획 도입 경위

구 분	현 황
1970년대 초반이후	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 대규모 석유위기에 의한 연료비 상승 및 전력수요 성장 둔화</li> <li>· 대규모 발전설비 이용률 하락(고정비 상승)과 환경문제 대두</li> <li>· 규제위원회는 필요수의 승인에 엄격한 기준 적용</li> <li>· 인플레이와 금리 상승으로 전력회사 경영압박 및 투자 위험 증대</li> </ul>
1978년 이후	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 국가에너지법 제정으로 기저부하용 발전소 사용연료 제한, 열병합, 소수력 발전사업 허용 및 부하관리 시행</li> <li>· 발전부문의 경쟁체제 도입, 부하관리 비용 회수에 따른 재무압박, 구입전력 가격 결정상의 문제점 발생</li> <li>· 위험 회피를 위한 전력회사의 설비투자 기피</li> </ul>
1992년 이후	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 에너지정책법 제정으로 모든 전력회사에 통합자원계획의 적용의무화, 송전설비에 대한 무제한 접근 허용, 수요관리 시행 강화</li> <li>· 판매부문의 경쟁체제 도입</li> </ul>

자료 : 한국전력공사 전력경제처, 1997

최소-비용계획처럼 IRP는 수요관리가 비용 효율이 높고 다양한 자원선택이 가능하다는 점을 강조하여, 보다 광범위한 의미에서 IRP는 수요관리가 비용 조절과 오염 방지 등 다목적의 정책 목표를 달성하는데 도움이 된다고 인식하고 있다. 최근에 전문가들은 IRP가 불확실성과 위험도까지도 대처할 수 있으며 궁극적으로는 환경보호로부터 경제개발까지의 장·단기적인 사회적 요구를 다루는 데에도 이용할 수도 있다고 주장하고 있다. 분석을 거친 후 선정된 자원과 대안계획에 제시되어 있는 시나리오를 통해서 평가자는 주어진 자원의 조합이 시설, 환경 및 사회에 얼마나 영향을 미치는가 대하여 판단하는데 도움을 받는다. 또한 IRP는 시간(단기, 장기) 및 공간(국가, 지역)을 대상으로 하여 자원의 통합화를 모색할 수도 있다.

이러한 통합수자원계획은 수자원시설계획을 타 용수공급시설, 하수처리시설, 에너지 시설, 국가 및 지역개발계획, 유역계획, 국가 및 지역의 수자원계획 및 정책 등 외부의 계획과도 연계하여야 한다. 수자원 분야에 있어서 특별히 중요한 문제는 시설물 선택에 제약조건이 될 수 있는 다양한 정부정책과 수자원시설 계획간의 연관성이다. 따라서 수자원시스템을 관리하는 기관간 더 나은 유기적인 협력 체제가 구축이 필요하며, 이를 지원하는 더욱 공개된 참여적 의사결정과정의 설정되어야 한다.

#### 4.4 종합물관리(total water management)

1990년대의 수량과 수질관리와 관련 종합물관리라는 개념이 두드러지게 표출되었다. 이 방법은 수자원정책 수립시 사회 전 부문의 참여를 통해서 수자원을 인간과 환경을 위해서 최대로 잘 관리해야 한다는 철학을 반영한다. 엄격한 의미에서 종합물관리가 일반적인 계획수립의 의미와는 다르지만 포괄적으로는 IRP의 기본이론을 갖고있다고 볼 수 있다. 미국 수도협회(AWWA)의 백서에서는 “종합물관리란 물을 무한자원에서 유한자원으로 용수공급의 패러다임을 전환하는 것이다”라고 제시하고 있다 (Beecher, 1995).

종합물관리는 수자원산업에 있어서 책임감, 일관성있는 수자원정책, 유역과 생태계 관리, 수자원 보존, 수자원관리의 의사결정에 있어 대중과 정치적 지원의 중요성 등과 같은 아이디어를 수용할 수 있도록 방안을 모색한다. 종합물관리는 수자원을 자연계와 사회속의 다양하고 복합적인 시스템의 일부로 인식하며, 물, 에너지 및 토지이용계획 등을 포괄하는 통합자원계획과 견해를 같이한다.

## 5. 통합자원계획의 수립

미국 수도협회(AWWA)에서는 통합자원계획을 “전통적이면서도 혁신적인 것으로 모든 범위의 공급측·수요측의 가용 자원들을 효율적으로 이용하며, 환경보전의 요소를 충분히 반영하고 공중의 적극적인 참여를 유발하여 물 관리에 대한 각계각층의 의견을 합리적으로 수렴하여 수자원개발과 관련된 사회적 비용을 최소화하고 지속가능성을 확보하기 위한 목적으로 개발된 계획방법”이라고 정의하고 있다.

즉, 통합자원계획은 기왕의 공급시설 증설 만을 고려하는 계획에서 벗어나 수요측과 공급측의 비용을 통합 비교하여 물의 생산성을 높일 수 있는 수요관리 방안, 환경문제, 새로운 대체 및 보조 수자원의 고려와 함께 향후 수요증가에 대한 불확실성 등을 총체적으로 고려하는 계획으로 이 방법의 특징과 계획 수립절차는 다음과 같다.

### 5.1 통합자원계획의 특징

통합자원계획과 종래의 전통적인 공급계획은 고려하는 자원 대안, 자원 관리, 계획의 범위, 과정 및 논점 등에서 많은 차이를 보이고 있다. <표 3>과 같이 자원대안의 경우 전통적인 계획은 댐과 광역상수도과 같은 집중화되고 단일화된 대안만을 선정하는 데 반해, 통합자원계획에서는 기존의 대안과 함께 수요관리 등 대안을 다양화시키며 공공기관, 소비자, 소유자 등 다양한 이해당사자로 자원 관리를 분산화하고 있다. 또한, 전통적인 계획에 비하여 평가 기준과 계획논점을 고려하는 범위를 넓히고, 보다 투명하고 열린 계획 과정을 추구한다.

우리나라의 중·장기 수자원개발계획에 이러한 통합자원계획의 도입이 필요하게 된 주된 변화 요인을 살펴보면 다음과 같다.

#### 가. 공급 위주 정책의 패러다임 전환

지난 40여년 동안 우리나라의 수자원 개발정책의 근간은 댐과 광역상수도 건설을 통한 용수 공급안이었으며, 이 방안은 장래 증장기 용수공급계획에 있어서도 주류적인 기능을 담당해 왔다. 그러나, 최근에 들어서 댐과 광역상수도를 통한 용수공급방안은 양적인 증설 문제 뿐만 아니라 수질오염 심화에 따른 수원확보의 문제를 나타내고 있다. 인구의 증가, 1인1일급수량의 증가, 수도 보급률의 증가, 공업단지면적의 증가, 농지의 수리안전을 제고와 하천수질 개선 및 자정능력확보를 위한 하천유지용수 증가 등 증가하는 용수수요를 지표수에만 의존하기에는 수량적으로 한계가 있으며, 댐 적지의 소진, 보상비의 상승 등으로 새로운 댐 건설을 위한 비용은 지속적으로 상승하고 있다. 인구증가와 공업화에 따른 오염

새로운 패러다임을 반영한 통합수자원계획의 국내 적용방안

부하 증가로 인한 하천 수질의 악화는 수원의 확보를 더욱 <표 3> 전통적인 계획기법과 통합수자원계획의 비교 (Beecher, 1995)

기 준	전통적 계획	통합수자원계획
○ 계획 지향점		
- 자원 대안	· 다양성 부족 · 공급 대안만 고려	· 다양성 및 효율성 · 공급대안, 수요대안 고려
- 자원 소유	· 중앙 집중적	· 분산화(공공기관, 소비자, 소유자 등)
- 계획 범위	· 단일 목적(공급능력 증가)	· 다목적, 다목표
- 평가 기준	· 공급안정성 최대화 · 비용 최소화	· 가격조정, 위기관리, 환경보호, 지역사회 보존 등 다목적 기준
- 자원 선택	· 특정대안을 기반으로 수행	· 혼합된 대안 개발을 기반으로 수행
○ 계획 과정		
- 과정 성격	· 폐쇄적, 유연하지 못하고 내부지향적	· 개방적, 유연하고 외부지향적
- 판단 및 선호도	· 불명확	· 명확
- 갈등 관리	· 보수적인 분쟁해결 방법	· 여론의 공감대 형성
- 이해당사자 정체성	· 공공기관, 소비자	· 다양한 이해관계자
- 이해당사자 역할	· 논쟁자	· 참여자
○ 계획 이슈		
- 공급의 안정성	· 최우선순위	· 의사결정 변수
- 환경의 질	· 계획의 제약조건	· 계획의 목적
- 비용 고려범위	· 직접 비용	· 직접비용에 환경 및 사회적 외부영향을 고려한 직,간접비용
- 가격의 역할	· 비용회수의 수단	· 소비를 조절하는 경제적인 수단
- 효율성	· 운영시 고려요소	· 자원의 대안
- Trade-offs	· 숨기거나 무시	· 공개적으로 명시
- 위험 및 불확실성	· 없애거나 감소	· 분석하고 관리

어렵게 만들고 있다. 우리나라의 평균 하수처리율은 2000년말 현재 70.5%이고, 2005년엔 80%로 높일 전망이다. 다목적댐 상류의 하수처리율은 1998년 현재 26.8%이고, 2005년에는 69.1% 달성을 목표로 하고 있다. 그러나, 오염부하의 증가에 비하여 환경기초시설의 확충은 부족한 실정이며, 또한 1994년 낙동강폐놀오염사건이 발생함으로써 국민들의 수돗물에 대한 불신이 높아졌다. 하천표류수에 대한 상수원의 의존도가 높은 우리나라의 상황을 고려할 때, 수질문제는 수원확보 및 깨끗한 수자원의 확보에 큰 영향을 미치고 있다.

#### 나. 체계적인 수요관리의 도입 필요성 증가

수요관리는 공급 비용의 증가에 따른 자연스런 움직임으로 받아들여 질 수 있다. 수요관리는 부하관리와 소비절약으로 크게 구분된다. 수요관리를 이용하여 낭비적 요소의 물사용을 배제하고 보다 효율적인 물사용 및 물수급계획을 도모할 수 있다. 수요관리는 물관리 정책의 중요한 수단이며, 향후 수자원 개발의 일부 대안이 될 수 있다. 수요관리는 통합자원계획과 같은 체계적인 수자원관리의 틀에서 사업효과를 평가할 수 있는 모니터링 체계를 구축하면서, 지속적으로 개선시켜 나가야 할 것이다.

#### 다. 불확실성의 증가

지구온난화를 포함한 작금의 기후변화는 미래의 수자원 공급의 불확실성을 높이고 있다. 기후변화가 미칠 영향은 현시점에서 더 자세히 규명되어야 하며, 이에 대한 대책도 마련되어야 한다. 미래의 불확실성에 대한 대비를 위하여 현재의 물 수요 및 사용형태에 대한 보다 신중한 조사가 필요하다. 즉, 물 수요 및 사용형태에 대한 보다 정확한 정보는 물부족시 대처능력을 향상시킬 것이다. 이러한 수요예측과 물 사용형태에 대한 정보는 통합자원계획의 틀 안에서 보다 효율적으로 다루어 질 수 있다.

#### 라. 체계화된 주민참여 과정의 확립 필요성 증가

2장에 기술한 바와 같이 1992년 리우환경회의에서 '환경적으로 건전하고 지속가능한 개발'(ESSD) 개념이 제기되면서 개발과 보전에 대한 개념의 제시되었고 이에 대한 국민적 관심이 증대되고 있다. 이미 2000년대 물부족 위기론이 대두되면서 안정적인 수량확보와 수질보전에 대한 국민의식이 고조되고 있으며 아울러 시민환경단체의 활동도 증대되고 있다. 수자원계획에 체계화된 주민참여 과정의 시급한 확립을 통하여, 이러한 국민의식의 변화를 수용하는 것이 시대적 상황이다.

## 5.2 통합자원계획의 수립절차

### 가. 정책 목표 및 평가기준의 정의

<그림 1>에 제시된 전체적인 계획입안과정의 첫 단계로 우선 통합자원계획은 계획 초기, 수자원 계획과 관련된 각 이해관계자들과 합의하여 정책 목적을 도출하고, 각 대안들의 정책목적과의 부합성을 평가하기 위한 평가기준을 설정하게 된다. 정책목적은 물 공급자들이 자원계획의 수립과정을 통해서 달성하려는 목표를 정의한다. <그림 2>와 같이, 동일한 물관리 기관 내에서도 목적이 신뢰도와 비용, 환경 영향 등에 따라서 충돌할 수 있다. 즉, 높은 신뢰도(예상부족량 적음)를 달성하기 위해서는 비용이 많이 들게 되며, 낮은 비용으로는 낮은 신뢰도(예상부족량 많음)를 달성할 가능성이 높다. 즉, 높은 신뢰도와 낮



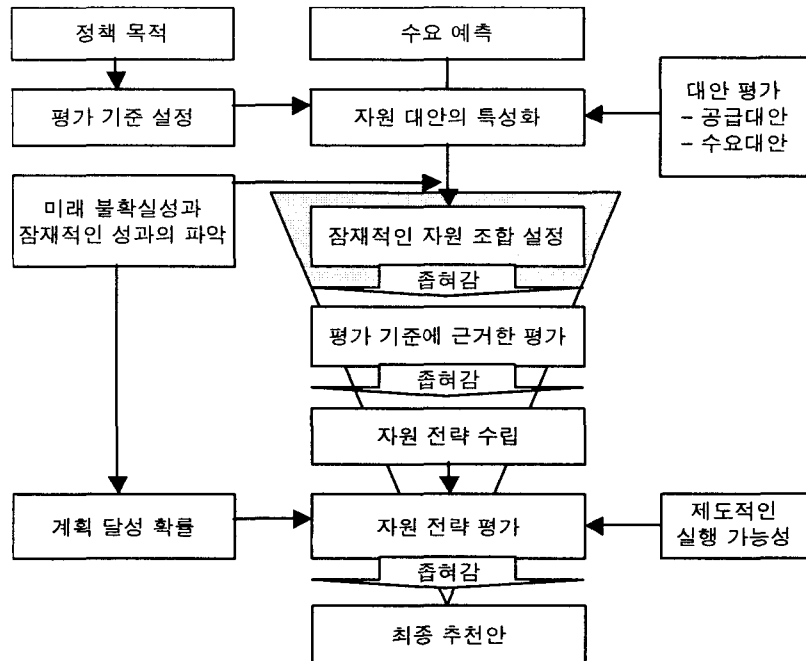
은 비용은 충돌하므로 적절한 타협점이 찾아 져야 하며, 이러한 문제는 환경문제, 주민참여, 유연성확보 등의 문제들에서 발생할 수 있다.

#### 나. 수요 예측

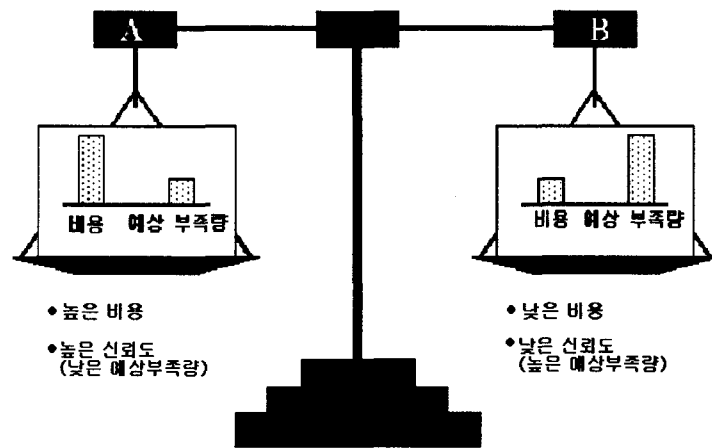
기존의 전통적 공급계획방법에서도 수요예측은 자원의 양을 파악, 요구되는 수요에 부응한 공급자원의 개발을 하기 위해서 매우 중요하였다. 통합자원계획 과정에서 수요 예측은 확보해야 되는 공급대안 설정을 위한 자원의 필요량 파악 이외에도 수요관리의 측면에서도 매우 중요하게 다루어지며, 상충되는 목적간의 균형을 맞추는 도구로 사용된다. 따라서, 수요예측 과정에서 발생할 수 있는 불확실성은 가능한 한 명확하게 언급을 하여 자원전략의 개발과정에 포함될 수 있도록 해야 한다. 수요관리 자원의 적절한 조합을 개발하기 위해서는 지리적인 면, 소비자 계층, 수요의 최종용도의 분석에 초점을 둔, 보다 자세한 수요예측을 필요로 한다. 이러한 수요 예측 모델은 시계열 분석형 예측, 계량 경제형 예측, 최종 수요에 의한 예측으로 크게 구분 할 수 있다. 현재 국내에서는 시계열 분석형 예측에서 계량 경제형 예측으로의 전환 단계이다. 비용과 자료 수집의 곤란함으로 인하여, 수요관리를 위하여 계량 경제형 예측을 사용하고 있으나, 보다 효율적인 수요관리를 위해서는 특정소비 계층의 최종용도와 물소비량을 고려하는 “최종수요에 의한 예측”을 하는 것이 바람직하다.

#### 다. 공급측 자원과 수요측 자원 대안의 선정 및 심사단계

통합자원계획의 특성 중 하나는 공급측 안과 마찬가지로 수요측 안을 자원으로 취급한다는 것이다. 대안평가를 위해서는 우선적으로 공급측과 수요측에서 각각 댐 건설이나 수요관리 프로그램개발과 같은 여러 가지 자원대안들을 설정한다. 각각 공급대안과 수요대안별로 선별하는 과정이 있으며, 확보해야할 자원의 양을 충족시키도록 대안들을 조합한 후, 대안들을 여러 가지 형태로 조합한 것이 정책목적에 얼마나 잘 부합하는지를 평가기준에 맞추어 검토한다. 이 단계에서는 공급대안과 수요대안별로 이루어지는 별도의 평가를 수행하게 된다.



〈그림 1〉 통합자원계획 수립의 과정



〈그림 2〉 신뢰도와 비용간의 절충

라. 불확실성에 대한 고려

불확실성은 미래의 수요나 자원 개발에 중요한 영향을 주므로, 기관의 시설이나 자원의 결정에 영향을 미치게 된다. 불확실성으로 인한 실제의 결과는 예측할 수가 없기 때문에 가능한 결과에 대한 대책을 수립할 수 있는 지침이 마련되어야 한다. 이러한 불확실성에 대한 대책 수립을 위해서는 계획과정과 결과에 중요한 영향을 줄 수 있는 요인을 우선적으로 파악하여야 한다.

미래의 위험도에 대한 분석을 하기 위해 <표 4>와 같이 민감도 분석, 시나리오 분석, 확률분석, 의사결정 분석과 같은 네 가지의 방법을 사용하며, 어느 특정 기법만을 선택하기 보다는 평가목적에 따라 몇 가지 기법을 혼합하여 사용하기도 한다.

<표 4> 위험성 평가의 주요기법

구분	개요	목적	조건
민감도 분석	· 주요한 가정(수요 예측, 건설소요시간, 규제조항 등)이 변할 때에 자원계획에 미치는 효과를 분석	· 자원전략의 실제결과에 영향을 미칠 중요한 변수들을 확인	· 자원조합안내 특별히 민감한 변수들에 대해서는 기존의 가정을 재검토 · 예상되는 변화의 정도를 지정하여 설득력있는 자원전략이 개발될 수 있도록 추가연구의 수행 필요
시나리오 분석	· 각각의 시나리오는 가정에 따른 특별한 값들의 집합에 근거를 두며, 각 시나리오는 독립적으로 분석됨	· 이러한 분석을 통한 종합적인 결과를 통해서 계획자는 분석결과에 대한 완전한 상황 파악 가능	· 분석대상 시나리오 선정에 유의 - 다룰 수 있는 정도의 수 - 대표성 - 실현가능성 - 완벽함
확률 분석	· 이산 혹은 연속확률분포가 불확실성을 묘사하는데 이용	· 가정들로부터 얻을 수 있는 가능한 결과값들은 확률론적으로 설명 가능	· 관련 자료수집의 축적 필요
의사결정 분석	· 의사결정도(decision trees)를 이용	· 여러가지의 자원전략과 관련된 모든 불확실성이 낳은 결과의 이해를 목적으로 함	· 각각의 불확실성을 명확하게 규명하고, 어느 정도 그것을 정량화할 필요가 있음 · 서로 대치되는 대안들이나 상반되는 목적들 그리고 통합자원계획을 규정해주는 다수의 참여자들을 효과적으로 다룰 수 있음

마. 통합자원계획안의 수립

개발된 개개의 공급·수요안들을 이용하여 예측된 수요를 만족하도록 대안들을 조합하게 된다. 조합된 안은 설정된 정책목표와 평가기준에 맞추어 평가 및 선별과정을 거쳐 기관의 정책목적에 가장 잘 부합하는 계획안을 결정하게 된다. 예측된 수요를 만족하도록 대안들을 조합하는 방법은 크게 수요측 대안의 우선적 고려, 공급측 대안의 우선적 고려, 공급측 대안과 수요측 대안의 동시 고려로 구분할 수 있다.

#### 바. 제도적 장치의 마련

수요관리 대안의 원활한 수행을 위해서는 법적, 행정적 장애 요인을 파악하고 이를 극복하기 위한 제도적인 개선이 필요하다. 민간 참여의 과정의 체계화, 생산원가에도 미치지 못하는 물값의 현실화 등과 같은 제도적인 개선이 필요하며 장애 요인으로서의 개선 뿐만 아니라, 절수기기의 설치 의무화 같은 제도적인 지원도 필요하다.

#### 사. 주민 참여

정부, 수혜자와 함께 주민의 참여는 계획의 초기 단계에서부터 이루어지며, 앞의 과정이 이루어지는 필요한 모든 단계에서 공중 참여를 통하여 정보를 공유하며 지역주민의 다양한 의견을 수렴해 나가야 한다. 이러한 대중참여의 대상과 규모는 관련지역의 요구수준과 검토대상 자원에 대한 관심도에 따라 정해진다. 기술적인 부분에 대한 초안은 정부와 전문가 집단에 의하여 작성되고, 지역주민은 지역의 이해관계와 관련되는 사항을 검토하며 통합자원 계획과정에 참여하게 된다.

## 6. 외국의 통합자원계획 추진사례

수자원 분야에의 통합자원계획 도입은 전 세계적으로도 아직 초기 단계로, 통합자원계획이라는 명칭을 가지고 수자원 정책에 체계적인 변화를 모색한 것은 최근의 일이다.

현재 미국 등 일부국가의 물관리기관에서 수자원분야에 도입하고 있는 통합자원계획이나 수요관리의 사례들을 <표 5>에 요약하였다. 통합자원계획은 아직 많은 사례들이 보고되고 있지 않으나, 통합자원계획의 중요한 요소인 수요관리 부분에 있어서는 여러 나라들에서 적극적으로 시행되고 있다. 본 장에서는 이중 미국 캘리포니아주와 캔사스주의 통합자원계획 적용사례를 소개한다.

<표 5> 수자원 분야에서의 통합자원계획의 적용

국 가	년 도	주 요 내 용
미 국	1998	Guidelines for water conservation plan(EPA)
	1995	Kansas주 IRP 계획
	1995	Nevada주 IRP 계획
	1995	California주 IRP 계획
일 본	1987	절수형 도시창조를 생각하는 간담회 설치(동경)
영 국	1993	Nnational water demand management centre 설립(환경청) - NRA 직원 훈련 및 물 아껴쓰기 정책의 근간이 되는 보고서 발간
캐나다	1993	물 보존 계획(water conservation plan) 수립 - 물보존 자문단(advisory group on water conservation at federal facilities; WCFE)

### 6.1 미국 캘리포니아주

남부 캘리포니아 주는 5,200평방마일의 면적에 약 1,600만의 인구가 살고 있으며, 300개 이상의 정부 공공기관과 민간회사에서 물을 공급하고 있다. 이중 The Metropolitan Water District of Southern California(MWDSC)이 주 공급자의 역할을 담당하고 있다. MWDSC는 수요증가, 물 공급업체간의 경쟁에 의한 자원 확보의 불확실성, 과도한 투자에 의한 낭비 등 변화하고 있는 환경에 대응하기 위하여 통합자원계획의 도입을 계획하게 되었다.

이 지역은 경제 성장으로 인하여 1980년대 기간중 매년 300,000명 이상의 인구가 증가하였으며, 향후 25년 동안 매년 200,000명 이상이 증가할 것으로 예상됨에 따라 물 수요도 계속 증가할 것으로 예측되고 있다. 한편 콜로라도강을 수원으로 물을 공급하는 업체간의 경쟁으로 인한 안정적인 물 공급의 불확실성 때문에 물 공급시설에 대한 추가적인 투자가

없을 경우 향후 15년에서 20년 사이에 수요를 충족시킬 수 있는 공급능력이 부족할 것으로 전망되었다. 또한, 많은 물 공급업체들이 독자적으로 시설투자계획을 수립함으로써 필요 이상의 과잉투자로 인한 경제적 손실이 예상되었다. 이에 따라 수요 증가에 부응한 적절한 용수확보를 위하여 종래의 수자원계획보다 많은 대안을 포괄적으로 고려할 수 있는 통합자원계획을 도입하게 되었다.

### 6.1.1 정책목표 및 평가기준

통합자원계획의 수행의 목적이자 목표로서 신뢰도, 허용성, 수질, 공급원의 다양화, 유연성이 설정되었다.

#### 가. 신뢰도(reliability)

예측 가능한 수문학적 조건하에서 최종 소비 단계의 수요를 충분히 만족시키는 것에 대한 확신을 말한다. 기본적으로는 25년 계획기간동안에는 98%의 신뢰도를 설정하고 있다. 본 사례에서 최종 대안 선정후 신뢰도 평가를 수행한 결과 향후 10년동안에는 가장 나쁜 수문학적 조건과 지하수 개발과 중수도 활용에 대하여 보수적인 가정 하에서도 지역의 물 공급을 100% 신뢰할 수 있음을 나타내었다. 이것은 매년 물 부족이 발생할 확률이 2%가 된다는 의미라기보다는, 25년동안에 발생하는 최대 가뭄에 대하여 98%의 신뢰도를 나타내며, 10년동안에 발생하는 최대 가뭄에 대해서는 100%의 신뢰도를 나타낸다는 것을 의미한다.

#### 나. 허용성(affordability)

허용성은 소비자가 수자원 개발에 따른 수도요금의 상승에 대한 수용도를 의미한다. 따라서, 통합자원계획에서 제시되는 안에 따른 상승되는 수도요금에 대한 조사가 먼저 이루어져야 한다. 또한 다른 지역 물값과의 비교, 다른 공공기본요금(전력, 가스, 전화)과 수도요금의 차이, 지역 소비자들의 극심한 가뭄을 피하기 위한 지불의사(willingness to pay)를 파악해야 한다. 그 결과 MWDC의 평균 비용은 10년 동안 \$0.405/m<sup>3</sup>보다 작게 유지되며, 향후 25년동안 연 평균 \$40억의 비용을 필요로 하지만, 평균 원가는 단지 매년 4%만 증가할 것으로 나타났다. 이것은 전술한 모든 평가 항목을 만족하게 된다. 따라서, MWDC는 허용 가능한(affordable) 물 공급서비스를 제공하며 경쟁력을 유지할 것으로 나타났다.

#### 다. 수질

여기서 말하는 수질은 강, 하천의 수질보다는 소비자에게 공급되는 물의 수질을 말한다. MWDC의 경우, 주요 물 공급방법으로 타지역에서 도수된 물(imported water<sup>1)</sup>)을 사용한다. 그러나 주요 공급원인 Colorado River Aqueduct와 State Water Project의 수질 차이가 심하다.

SWP 공급수에 비하여, CRA 물은 높은 염도(혹은 총TDS 농도)를 나타냄에 따라 적절한 공급 수질 유지를 위하여, SWP와 CRA의 적절한 혼합이 필요하였고, 이를 위한 SWP의 충분한 확보가 필요하였다.

#### 라. 공급원의 다양화(diversity of supply)

MWDSC는 통합자원계획 과정을 통하여, 추가적인 수자원의 확보와 관련되는 많은 위험요소를 확인하였다. 파악된 위험요소로는 자원 개발에 대한 투자가 예상만큼 성공을 거두지 못하거나, 지진과 같은 비상상태가 있다. “당신의 모든 계란을 한 바구니에 담지 마라” 격언에 따라, 타지역에서 도수한 물에만 전적으로 의존하는 것이 아니라, 개발비가 더 높을 수 있는 지역내 자체 수원 개발(지하수, 중수도 등)을 고려한 균형있는 수자원계획을 수립, 수자원 공급원의 다양화 함으로서 위험도를 줄인다.

#### 마. 유연성(flexibility)

Stranded investments<sup>2)</sup>의 위험을 최소화 시켜야 한다. stranded investments를 최소화하는 것은 미래의 상황 변화에 대해 적응할 수 있게 한다. 유연성을 증진시키기 위해, 지하수 저장과 물이동(water transfer)의 대안을 고려할 수 있다. 이것은 가뭄 기간동안의 공급 신뢰도를 높이면서, 평균 및 풍수년 기간동안에 불필요한 공급 개발을 억제함으로써 전체적인 비용을 줄이면서, 수요 변화에 유연하게 대처할 수 있게 된다.

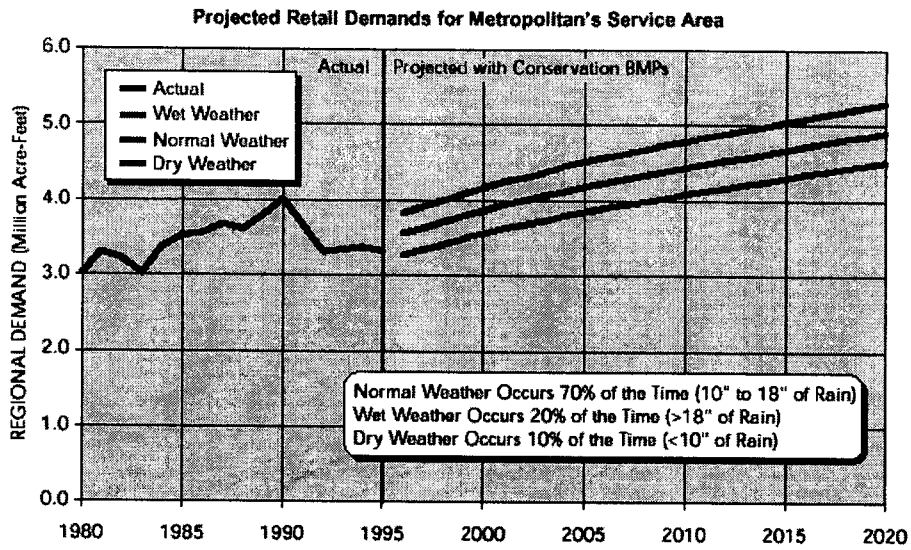
### 6.1.2 수요예측

캘리포니아주에서는 장래 수요예측을 위하여 계량경제학적 모델인 MWD-MAIN을 사용하고 있는데, 이 모델은 IWR-MAIN을 근간으로 한 것이다. 예측에 사용된 항목은 인구통계, 가구 수, 주택 구성, 소득, 산업 구조, 지역 경제성장, 절수 등이 있다. 장래 수요는 70년간의 캘리포니아의 기상자료를 근거로 하여 예측을 하였는데, 기후에 따라서 수요가 ±7% 이상의 변화를 보이고 있다. 모형분석에 의한 용수 수요예측 결과는 <그림 3>과 같다.

신뢰성 있게 미래 수요를 충족시키는 자원 계획을 수립하기 위해, MWDSC는 건기동안 확보가능한 자원 공급량의 평가를 <표 6>과 같이 수행하여, 예측된 수요와의 차이를 산정함으로써 추가로 확보되어야 할 양을 산정하였다. 예를 들면, 2000년에는 절수효과를 고려한 수요는 52.8억 m<sup>3</sup>, 공급 가능량은 39.1억 m<sup>3</sup>으로서 13.7억 m<sup>3</sup>을 부족한 추가로 확보해야 함을 알 수 있다.

1) Southern California의 3개의 imported water conveyance systems (SWP, CRA, and Los Angeles Aqueducts)이 있다.

2) stranded investments : 수요의 변화로 인하여 궁극적으로 필요하지 않게 된 시설에 대한 비용



<그림 3> California 주의 용수수요 예측

<표 6> 건기동안 확보 가능한 수자원의 양

(단위 : 백만m<sup>3</sup>/년 )

구 분	2000년	2010년	2020년
○ 수요량 (절수 효과 고려)	5,279	5,982	6,624
○ 공급 가능량	3,910	3,922	3,959
- Locally Developed Supplies:	1,690	1,751	1,764
· Local Groundwater & Surface Production	222	256	284
· Water Recycling & Groundwater Recovery			
- Imported Supplies:	271	308	308
· Los Angeles Aqueduct Supply	925	863	863
· Colorado River Aqueduct	802	740	740
· State Water Project			
○ 과잉부족량	1,369	2,060	2,665

### 6.1.3 대안 개발

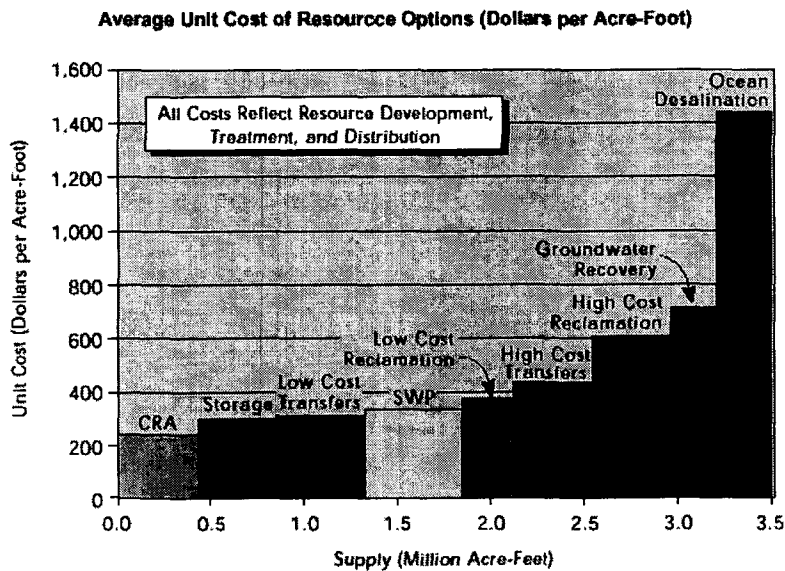
#### 가. 공급 대안

공급 대안으로서는 <그림 4>에 나타난 바와 같은 자원대안들을 고려하였다. 각 자원 대안의 평가 시에는 대안별 수자원 확보량에 한계가 있으므로, 단위비용과 확보량을 같이 고



려하였다. <그림 4>에 나타난, CRA는 Colorado River Aqueducts를, SWP는 State Water Project를 각각 의미한다. 단위비용과 확보량의 측면 이외의 각 대안별 특성은 다음과 같다.

CRA의 경우, 대안들 중 가장 경제적으로 물을 공급할 수 있는 방법으로 CRA에 의한 자원 확보에 많은 노력을 기울여야 함을 나타낸다. SWP는 CRA에 비하여 수질이 좋으므로 소비자들에게 좋은 수질의 물을 공급하기 위해서 SWP와 CRA물을 혼합하여 공급하는 방안을 선정하였고, 좋은 수질의 확보를 위하여 일정량 이상의 SWP의 확보가 필요하다. 물 이동과 저수량의 경우에는 우기에 물을 저장하고 건기에 사용함으로써 유연성을 확보하고 공급능력의 과잉 확보를 피하기 위한 대안으로써 의의를 가지고 있다. 선택된 최종 대안인 뒤에서 다루어지는 통합계획안의 수립과정 중의 <표 11>에 나타나 있다.



<그림 4> 각 대안별 평균 단위 비용 (Dollars per Acre-Foot)

#### 나. 수요 대안

통합수자원계획과정에서 평가되어지는 절수 정책은 오랜 기간동안 절약을 할 수 있는 비용 효과적인 장기 프로그램의 실행을 포함한다. 이 사례에서는 물 값 조정 방법은 단기적인 대책으로 보았다. 장기적인 절수 프로그램으로서는 초 절수형 양변기, 저유량 샤워헤드, 절수형 조정기술과 같은 프로그램을 고려하였다. 1991년 9월에 수도권과 다른 주요 물 기관, 환경단체 및 시민단체들이 절수실천 서약(Memorandum of Understanding Regarding Urban Water Conservation Best Management Practices : BMPs)에 서명하여 실행 중에 있다. BMPs는 장기간의 비용 효과적인 절수 프로그램으로서 주요 요소로는 절수를 위한 신축 건축물에 대한 기존 건축물의 개선, 물 사용에 대한 감사와 인센티브 프로그램, 누수방지,

계량, 절수요금제(conservation pricing), 조경에 대한 절수기준 설정, 대중교육 및 정보제공이 있다.

BMPs에 대하여 <표 7>과 같이 각 프로그램의 형태별로 비용범위를 산정하고, 프로그램의 시행정도를 고려하여 절약 평가량을 <표 8>과 같이 산정하였다. 적극적인 절수방안으로는 MWDC가 화장실 및 샤워헤드 교체 프로그램, 조경 프로그램, 상업용수와 공업용수 절약 프로그램, 누수 방지를 실행하기 위해 투자하는 것이고, 반면에 소극적인 프로그램은 건설 기준, 규약, 가격정책과 같은 것을 말하며 MWDC로부터의 재정적인 지원을 필요로 하지 않는다.

<표 7> 절약 BMP(Best Management Practice)의 수행을 위해 평가된 비용

프로그램의 형태	비용 범위(\$/m <sup>3</sup> )	프로그램의 형태	비용 범위(\$/m <sup>3</sup> )
저유량 샤워헤드 교체	0.12 - 0.20	대단위 잔디밭(turf area) 감사	0.28 - 0.49
초 절수형 변기 교체	0.24 - 0.32	누수 탐지/수리	0.20 - 0.28
생활용수 사용 조사 및 감사	0.24 - 0.41	상업적/공업적 절약	0.24 - 0.53

<표 8> BMP(Best Management Practice)에 의한 잠재 절수량

(단위 : 백만m<sup>3</sup>/년)

프로그램의 형태	Year 2000	Year 2010	Year 2020
현재 시행중인 프로그램	308	308	308
소극적인 프로그램	99	179	234
적극적인 프로그램	210	423	545
합 계	617	910	1,087

주) 1) 소극적인 프로그램은 장래의 법률개정, 가격정책을 나타낸다.

2) 적극적인 프로그램은 장래의 MWDC에 의한 재정적인 지원을 포함한다.

현재 시행중인 프로그램은 BMP에 의거하여 시행하며 시행중인 소극적 프로그램과 적극적 프로그램별 절수효과의 차이는 BMP의 실행 정도에 달라진다. 적극적인 프로그램은 절수 기기의 보급 확대를 위하여 MWDC에 의한 무료배급이나 리베이트 프로그램과 같은 재정적인 지원이 이루어지기 때문에 소극적인 프로그램보다 절수효과가 높게 나타난다. 적극적인 프로그램의 일부로서, MWDC는 지자체가 절수형 변기나 저유량 샤워헤드의 보급과 같은 절수 프로그램에 대한 투자를 지원하는 절수 신용 프로그램(CCP :Metropolitan's Conservation Credits Program)을 도입하고 있다.

### 6.1.4 통합자원계획 수립 과정

통합자원계획의 구체적인 대안을 두 단계로 나누어 검토하였다. 1단계에서의 주된 목적은 전체적인 정책을 형성하기 위해, 비교 가능한 자원 대안들의 조합인 자원 대안 구성(resource mixes)의 초기 개발과 분석이었다. 세부적인 대안들을 조합한 종합적인 대안은 <표 9>와 같이 외부 의존형 자원 구성(Import Emphasis Mix), 지역개발형 자원 구성(Local Emphasis Mix), 중립적인 자원 구성(intermediate strategy)과 같이 3가지 형태로 제시되었다. 모든 자원 조합은 같은 수준의 공급 신뢰도를 만족되도록 설정되었으며, 대안별 차이점은 비용, 위험도, 수질에 대한 영향이다.

1 단계의 결론은 1994년 6월 IRP 회의(assembly)에 의해 도출되었다. 지역개발형 자원 구성은 비용이 많이 들고, 외부 의존형 자원 구성은 제도상의 위험도가 매우 커서 기각되었다. Southern California 의 적절한 자원 계획으로 중립적인 자원 구성을 선정하였다. 2 단계에서는 <표 10>에 나타난 바와 같이, 1 단계에 설정된 중립적인 자원 구성의 세부적인 자원 대안 구성을 좀더 구체적으로 설정하고 평가하는 작업을 수행하였다. 최종 선정된 자원의 구성은 <표 11>과 같다. 이 과정에서 지역주민의 의견을 폭넓게 수용하기 위하여 보다 개방적이고 참여적인 과정을 거쳤다.

<표 9> 1단계에서의 자원 대안 구성

대 안	지역 개발형	외부 의존형	중립형
절 수	BMPs의 실행을 넘어선 매우 적극적 지역투자	최대한의 BMPs 실행	최대한 실행
중수도, 지하수 충전, 해수담수화	매우 적극적인 지역 투자	현 공급능력만 유지	중간 수준의 투자
지하수 저장	매우 적극적인 지역 투자	최대한의 실행	중간 수준의 투자
콜로라도강 대수로	최대한의 CRA 활용	적극적인 투자	최대한의 활용
State Water Project	최소한의 투자	적극적인 투자	중간 수준의 투자
Water transfers	최소한의 투자	적극적인 투자	-

<표 10> IRP의 전체 과정

구 분	기 간	주 요 내 용
I 단계	'93. 6. - '94. 5.	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 이슈와 목적을 정의</li> <li>· 평가 기준의 개발</li> <li>· 잠재적인 자원 대안의 파악</li> <li>· 대략적인 자원 대안 구성의 개발 (외부 의존형, 지역개발형, 중립적인 자원 구성)</li> </ul>
II 단계	'94. 6. - '95. 5.	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 중립적인 자원 구성이 더욱 수정됨</li> <li>· 개방적이고 참여적인 과정을 거침</li> </ul>

〈표 11〉 Southern California주의 수자원 구성

(단위 : 백만 m<sup>3</sup>/년)

건조 기후동안의 공급량	2000년	2010년	2020년
○ Locally Developed Supplies:			
· 지역 생산 (Local Production)	1,764	1,825	1,887
· 물 재활용 (Water Recycling)	333	444	555
· 지하수 회수 (Groundwater Recovery)	49	62	62
· 지역 지하수 저장 생산 (Local Groundwater Storage Production)	308	370	407
○ Metropolitan's Regional Supplies:			
· Colorado River Aqueduct	1,480	1,480	1,480
· State Water Project	925	1,136	1,665
· MWD Storage & Water Transfers	419	604	567
<b>Total Demand with Conservation BMPs</b>	<b>5,279</b>	<b>5,982</b>	<b>6,624</b>

### 6.1.5 불확실성에 대한 고려

California 주의 경우에는 <표 12>와 같은 형태로 각 대안별로 계획에 영향을 미칠 수 있는 불확실성이나 위험도를 내포하는 요소를 파악하고, 그러한 요인으로부터 유발될 수 있는 상황과 대비책을 설정함으로써 불확실성을 극복하려 하였다. 즉, <표 12>와 같이 절수 BMP의 개발과 관련된 불확실성을 극복하기 위하여, 기존 자료 확립을 위한 개선된 기술의 채택, 공격적인 대중 캠페인 지원 등을 검토, 실행하게 된다. 또한, 대안들의 조합을 통한 자원 대안 구성이 불확실한 기후변동에 대하여 수요를 만족하는 지를 평가하기 위하여 IRPSIM이라는 전산 프로그램을 사용하였다. 기후변동은 과거 70년간의 자료를 이용하였으며, 전산 프로그램을 이용한 시뮬레이션은 수요를 모두 만족시키는 것으로 나타났다.

〈표 12〉 절수 BMP의 개발과 관련된 잠재 위험도

잠재 불확실성/위험도	가능 결과	불확실성 극복 수단
절수 평가: 절수 평가가 과장되거나 계획과 다름	절수 총량 감소	기존 자료 확립을 위한 개선된 기술
시장 침투: 물 공급자 혹은 사용자가 절수기기를 채용하지 않을 가능성	절수 총량 감소	공격적인 대중 캠페인 지원 및 가격동기 부여
기준 필요성: 배관기준이나 다른 절수 법령이 채용되지 않을 가능성	절수 총량 감소	배관기준이나 절수법령 채택을 위한 공적, 사회적 지원 촉진

### 6.1.6 민간참여 과정

통합자원계획의 과정은 수요관리와 참여자를 필요로 하는데, 이것은 Metropolitan의 직접적인 제어를 받지 않아 관리 및 통제가 어렵다. 그러나, 수요관리는 수자원을 확보하는 경제적인 방법이므로, 이것을 실행하기 위해서는 높은 수준의 합의와 협조가 필요하다.

<그림 5>에 통합자원계획 참여과정을 나타내었다. 그림에서와 같이, 계획 과정은 3개의 주된 그룹으로부터의 조언을 필요로 했다. ① Metropolitan 담당부서, ② 통합자원계획 실무추진 그룹(the IRP Workgroup), ③ 시민 단체 (interested members of the public including representatives from the environmental, agricultural, business, and civic communities)

다양한 필요성과 기관사이의 협정(intitutional arrangements) 때문에, 계획은 주된 이해관계자들을 포함하는 참여적이며 열린 과정을 통해 성공할 수 있다. 이러한 과정은 크게 통합자원계획 실무추진그룹(IRP workgroup), 지역모임(regional assemblies), 포럼 및 워크숍(public forums and member agency sponsored workshops)을 통하여 이루어 졌다.

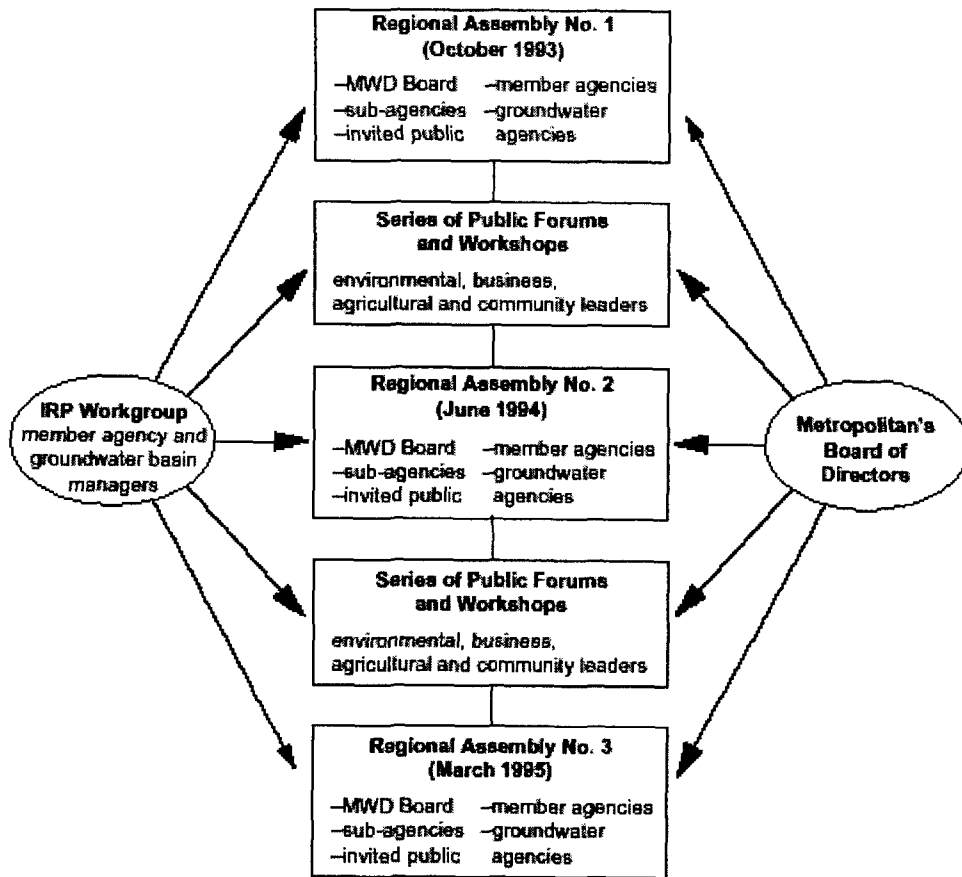
## 6.2 미국 캔사스주 위치타 시

### 6.2.1 도입 배경

Whichita시는 인구 약 400,000명의 도시로서, 현재의 물공급 능력으로는 2010년 이후의 물 수요를 충족시킬 수가 없기 때문에 새로운 수원의 확보가 필요하였다. 이에 대한 대안으로서 시는 160km 이상 떨어진 Milford Reservoir에서 물을 공급받는 것을 계획하였다. 그러나 높은 개발비용, 사회적, 환경적, 정치적인 반대 등에 따라 지역의 수자원에 대한 재평가를 실시하였다. 재평가는 현재의 지역의 수자원 개발이 한계에 도달해 있음을 나타내었고, 이러한 문제 해결을 위하여 기존 계획방법보다 넓은 시각을 가지고 문제 해결을 추구하는 통합자원계획의 도입을 검토하게 되었다.

### 6.2.2 정책 목표 및 평가 기준

Whichita 시의 경우에는 통합자원계획의 일반적인 과정과는 다소 차이를 보인다. 계획에서의 중요하게 고려한 요소로는 다음과 같은 사항들이 있었다. 이수 안전도는 1930년대에 서 1950년대 사이에 기록된 가뭄 기간동안에 수요를 만족시킬 수 있는 정도를 조사하였다.



〈그림 5〉 통합자원계획 참여 과정

- 수요와 물 사용량의 조절에 필요한 절수
- 저수량, 수질관리를 위한 방법을 결정하기 위해 현재의 지표수나 지하수 평가
- 장래의 물 수요를 충족하기 위해서 기존의 댐, 광역상수도, 지하수를 제외한 중수도, 수요관리, 빗물의 대수층 충전 등에 의해 확보되는 물에 대한 평가
- 물 공급을 보충하기 위해 모든 가용한 수자원을 최적화 시킬것
- 여러 가지의 다른 형태의 물을 이용함에 있어서 발생할 수 있는 위험도나 신뢰도를 고려할 것
- 중요한 수혜자나 관리기관 그 외에 다른 물 사용기관이라든지 공공이용자들과의 만남

### 6.2.3 수요 예측

<표 13>은 Wichita시의 용도별로 2050년까지의 수요량을 예측한 것을 나타낸 것이다.

단위이용자의 물 사용과 1인당 물 사용량은 절수를 시행하거나 절수가 없을 경우에 대하여 각각 계산되어 진다. 이러한 수요예측을 위하여, 과거 물 사용량에 대한 회귀분석을 수행하였다.

〈표 13〉 용도별 평균 물 사용량

구 분	물 사용량 (단위 : m <sup>3</sup> /일)		
	1990년	2050년	
		절수 비고려	절수 고려
가정용	1,003	1,325	1,022
영업용	5,678	8,933	8,024
산업용	163,891	195,685	176,003
잔디 용수	6,813	4,580	4,334
소방용	< 189,250	378,500	378,500
골프장관리	151,400	151,400	151,400
공공기관	9,614	10,712	10,712
용수공급시설	< 189,250	757,000	757,000

## 6.2.4 대안 개발

### 가. 공급대안

#### ① 기존 수자원에 대한 평가

현재 수원지는 Equus Beds Wellfield와 Cheney Reservoir로서 이 물을 Little Arkansas River와 Arkansas River의 저류시설로 이동시킨다. 저류지의 일차적인 목적은 도시에 물을 공급하는 것이며, 이차적인 목적은 Ninnescah River에서 발생하는 홍수를 조절하는 것이다. 수자원의 재평가를 위하여 다음과 같은 사항을 고려하였다.

- 수량과 수질에 대한 평가 : 향후 지하수위 저하를 감안하여 미리 대책을 마련하고 지하수에 함유되어 있는 염소량을 측정하여 사용상에 문제가 없도록 해야 한다.
- 기존 수원에 대한 관리 강화 : 1993년에 Whichita 시는 용수 공급원인 Cheney Reservoir에 대한 관리계획을 수립하였는데, 그 목적은 저류지로서의 기능을 연장시키고 수질을 향상시킨다는데 있다. 저류시설들에 문제가 있어서 물 공급에 지장이 발생함으로써 이에 대한 철저한 관리가 필요하다.

#### ② 새로운 수자원의 확보 방안 강구

기존 및 잠재적인 수자원이 그 양적인 면에서 거의 한계에 달하자 Whichita시에서는 수요 충족을 위해서 기존자원외에 새로운 공급자원을 모색하게 되었다. 기존자원으로는 하천이나 지표수 저류시설, 지하수 등을 들 수 있으며, 새로운 자원으로는 다음과 같은 것을

고려하였다.

- 공원이나 골프장용으로 폐수를 재이용하는 것
- 홍수시 Cheney Reservoir에 저류된 물을 이용하는 것
- 염류가 어느 정도 섞인 물을 이용 가능하도록 수질을 향상시키는 것
- 많은 양의 염류가 섞인 물을 저염수로 처리하는 것

나. 수요 대안

13%와 25% 절수율을 목표로하는 두가지 절수 프로그램을 검토하였는데, Whichita시는 수자원계획의 보수성과 실제 적용성에 대한 신뢰성 등을 감안하여 13%의 절수 프로그램을 시행하기로 하였다. 가정 용수의 경우 <표 14>에서와 같이 절수기기를 설치하지 않은 가정, 절수기기를 설치한 가정 1 (1995 이전 주택), 절수기기를 설치한 가정 2 (1995 이후 주택), 옥외 절수기기를 설치한 가정(잔디 용수)과 같이 4가지 세부 그룹으로 구분하였다. 절수기기를 설치한 가정 1과 2는 신축건물에 대한 절수기기 설치가 의무화된 1995년을 기준으로 하여, 각각 1995년 이전(신축건물에 대한 절수 기기 설치 의무화 전)에 건축되었으나, 절수기기로 교체된 한 가정과 1995년 이후에 건축되어 절수기기를 설치한 주거지로 구분되어 진다. 낮은 수준과 높은 수준의 절수 프로그램의 형태에 따라, 소비자 세부그룹별로 절수효과를 다르게 추정하고 있다. 절수 기기를 설치한 가정 1(1995 이전 주택)은 낮은 수준의 프로그램에 대해서는 해당 세부그룹의 70%가 절수 기기를 설치한다는 가정, 높은 수준의 프로그램은 90%가 절수 기기를 설치한다는 가정에 근거를 두고 있다.

<표 14> 대안별 2050년까지 예상되는 절수량

구 분	절수 프로그램			
	low level		high level	
	%	백만m <sup>3</sup> /일	%	백만m <sup>3</sup> /일
· 절수 기기를 설치하지 않은 가정	10	24	15	36.7
· 절수 기기를 설치한 가정 1(1995년 이전 주택)	20	9.8	28	13.6
· 절수 기기를 설치한 가정 2(1995년 이후 주택)	31	6.4	63	13.2
· 옥외 절수기기를 설치한 가정(잔디용수 등)	5	5.3	12	12.5
· 공업용수	10	4.5	30	14.0
· 상업용수	10	12.5	25	31.4
· 도매판매자	10	6.8	15	10.2
합 계		69.3		131.2

6.2.5 통합자원계획 수립과정

대안들에 대한 평가를 위하여 대안별로 <표 15>와 같은 형태로 정리하여, 대안들에 순위



를 정하여 대안을 설정하였다. <표 15>에는 사례에서 검토되어진 총 27개의 대안 중 3가지만을 제시하였다. 대안들에 대한 다각적인 평가는 수자원 확보량 이외에도 각 대안별 특성을 파악할 수 있다. 또한 계획된 대안의 실행과 관련된 법률적, 환경적 장애요인을 파악함으로써, 계획의 실행성을 높일 수 있다. 선정된 대안별 신뢰도를 평가하기 위하여 1930년대에서 1950년대의 가뭄 기간동안 선정된 대안이 수요를 만족시킬 수 있는지를 평가하였다.

이와 같은 과정을 통하여 최종 선정된 대안들은 <표 16>에 정리된 바와 같다. 과도하게 사용한 지하수의 보전을 위하여, 현재에 비하여 2050년에는 지표수에 대한 의존도가 높아짐을 알 수 있다.

### 6.2.6 불확실성에 대한 고려

자원 대안의 실행과 관련된 불확실한 요소를 제거하기 위하여 <표 15>와 같이 정책, 환경, 법률, 수질과 관련된 사항을 고려하였다. 이러한 과정을 통하여, 대안별로 향후 계획 실행의 장애요소들을 파악하였다. 그리고, 이런 장애 요소 극복을 위하여, 지역, 주, 연방의 관련기관의 계획과정에서부터의 참여에 높은 우선 순위를 둠으로써, 원활한 계획의 승인을 도모하였다.

<표 15> 각 자원 대안별 평가 순위

대안	Kanapolis Reservoir (기존시설)	Little Arkansas River supply to water treatment plant	수요관리(절수)
건설비용(백만\$)	69	21	23
수자원 확보량 (mil gal)	200,800	880,000	279,000
원가(\$/mil gal)	344	23	77
장점	신뢰성이 높음	· 정수장과 가까움 · 낮은 건설비용 · 높은 가용 유량	· 비용 절감 · 일 최대사용량을 줄임 · 자원 보전
단점	수질 문제, 수리권 획득이 어려움	수질이 나쁨	-
정책/정치적인 측면	물 이동법 다른 도시와의 마찰	통합 물사용 권한 필요	-
법률적인 측면	추가적인 수리권 획득 필요	추가적인 수리권 획득 필요	-
환경적인 측면	-	-	-
수질	주기적으로 높은 염소농도가 보고됨	양호	-
우선순위	대안에서 제외	2	1

〈표 16〉 2050년의 공급원의 사용 비율

공 급 원	현재 사용 비율 (%)	2050년 사용 비율 (%)
지 표 수		
· Cheney Reservoir	40	37
· Little Arkansas River	0	12
지 하 수		
· Equus Beds Wellfield	60	11
· E&S Wellfield	첨두부하시 사용	12
· Gilbert-Mosley Wellfield	0	2
· Reserve Wellfield	0	4
· Local Wellfield	0	22

### 6.2.7 민간 참여 과정

Kansas 주의 경우, 과도한 개발비용을 투자하여 새로운 수원을 개발하는 것에 대하여 시민들의 반대가 있었으며, 이러한 반대가 통합자원계획을 수립하는 원동력으로 작용하였다. 관계당국에 대한 시민 및 언론의 신뢰가 높아, 별도의 공식적인 시민 위원회는 조직되지 않고 시에서 계획을 수립하였다. 행정기관(시, 주, 연방정부)과 컨설턴트, 개별적으로 관심 있는 시민들은 계획에 공헌하였으며, 공식적인 시민 위원회를 조직하지 않은 것에 대하여 반대는 없었다.

## 7. 우리나라의 수자원조사계획에의 적용방안

현재 국내 수자원개발 여건이 미국의 1970년대 전력산업과 같은 어려움에 직면하고 있으며, 이러한 어려움은 앞으로 가중될 전망이다. 가중되는 입지난, 보상비의 증가 등에 의한 수자원개발의 경제성 악화, 수요성장 및 수요예측, 기후변화 등에 의한 물 수요 및 공급에 대한 불확실성 증가, 물관리 관련 지자체의 역할증가, 민영화 등에 의한 기존 물 산업의 구조개편 및 경쟁의 증가, 환경에 대한 관심의 고조, 환경보전의 중시, 환경규제의 강화 등으로 인한 환경관련 비용의 증가, 그리고 주민의식의 고조, 단체활동의 증가 등으로 수자원개발에 대한 공중참여 요구 등이 최근의 수자원환경을 둘러싸고 있는 대표적인 문제점이라고 하겠다. 이와 같은 어려움을 극복하고 수자원개발의 사회적 비용을 최소화하고 우리 나름대로의 지속가능성을 확보하기 위해서는 <그림 6>에 제시된 바와 같이 위에 언급된 모든 사항들을 조직적이고 효율적으로 검토하고 결정을 내릴 수 있는 통합수자원계획 방안을 도입할 필요가 있다.

사회, 경제적 측면에서의 효율성을 극대화하면서 환경적으로 지속가능한 수자원개발을 해 나가려면 한국형 통합수자원계획의 개념을 정립한 뒤 현재 시행 중이거나 앞으로 수행될 유역조사나 수자원장기종합계획 등의 중·장기 수자원조사계획 실무에 수용가능한 것부터 점진적으로 적용시켜 나가야 할 것이다. <그림 7>은 현행 유역조사사업 수행의 총괄적 흐름도를 제시하고, <그림 8>은 각각 한국형 통합수자원계획의 시행절차를 예시하고 있다.

### 가. 목표설정

앞으로의 수자원계획은 이미 복잡한 시스템을 구성하고 있는 기존 시설물과 신규계획 시설물을 통합적으로 고려한 유역단위 개발계획을 수립하게 된다. 따라서 수자원계획과 관리, 재평가 문제는 상당히 밀접한 연관성을 갖게 되므로 계획대로 운영관리 따르기가 아닌 실시간 유역시스템 운영환경을 전제로 한 수자원계획의 목표설정과 전략수립이 요구된다.

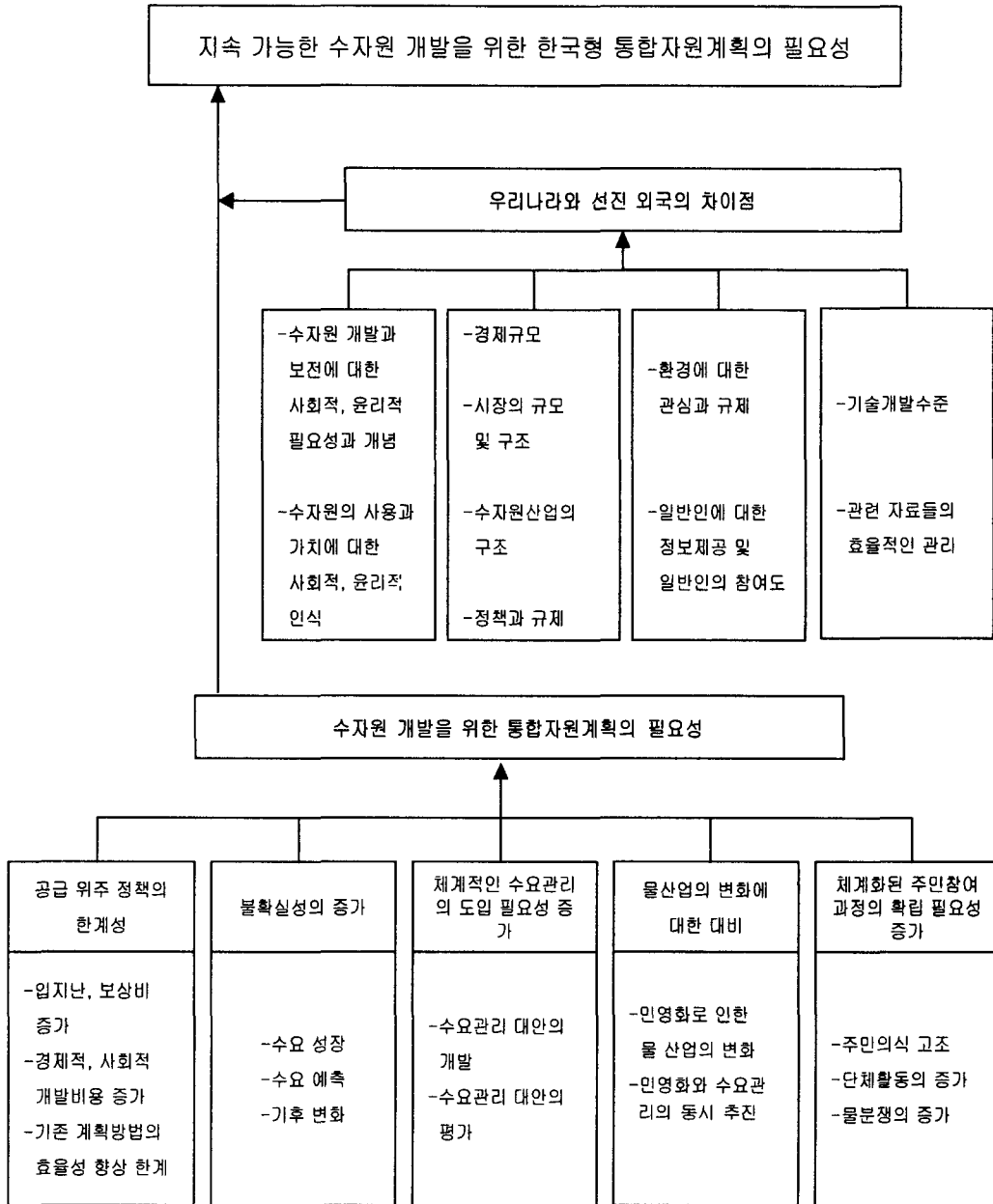
### 나. 수요예측 및 유역 물수지 분석

<그림 7>의 수문조사, 이수현황조사 등을 통하여 파악한 유역내 물 이용 가능량과 함께 좀 더 정확하고 합리적으로 추정된 수요예측 결과를 토대로 물수지 분석으로 계획 목표연도별 유역내 물 부족량의 공간적 평가를 수행한다.

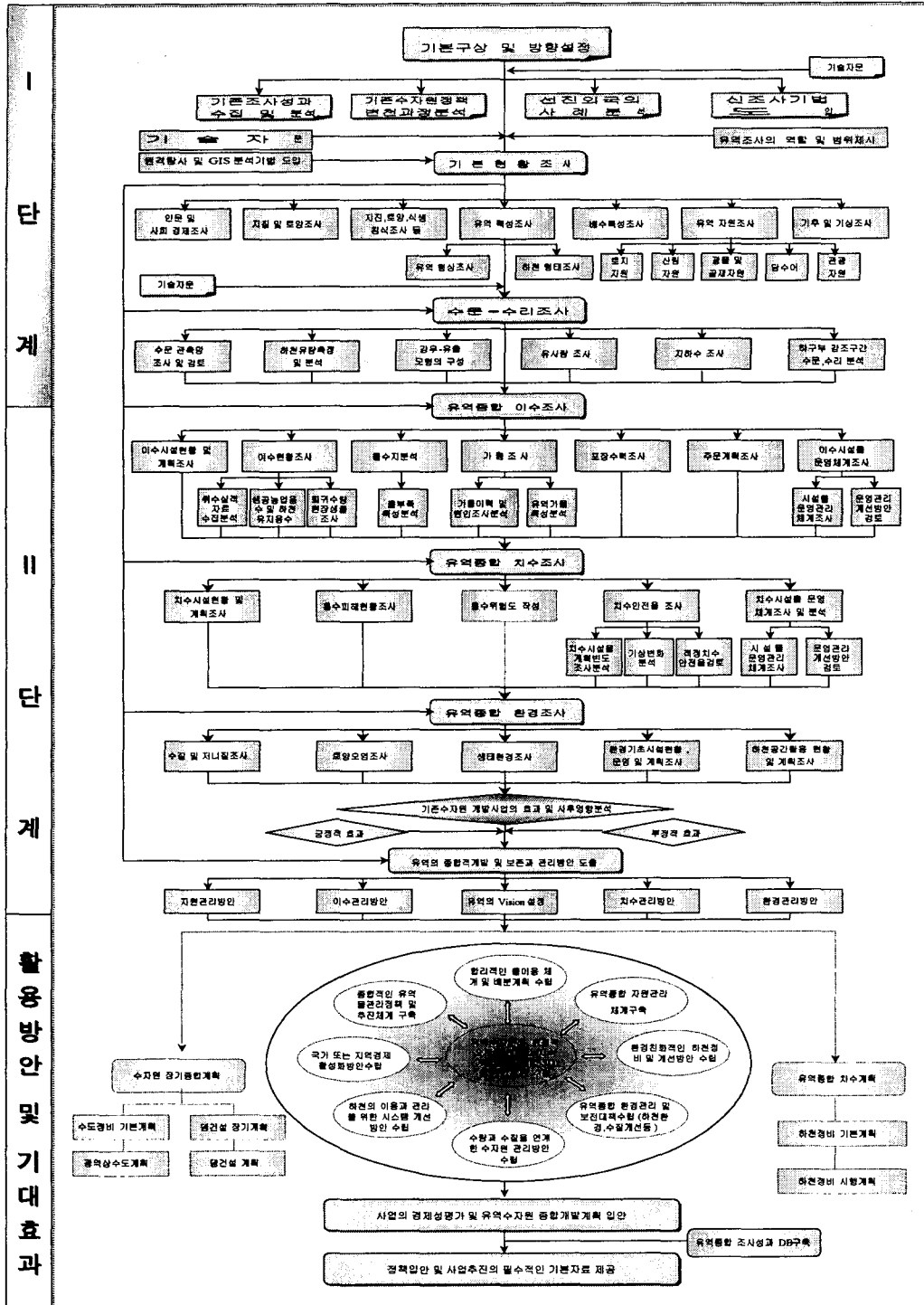
### 다. 환경문제 및 불확실성 고려

유역하천환경의 변화 추이를 조사해서 현재 및 장래의 유역 수자원환경의 건전성(soundness)을 평가, 예측한다. 특히 하천경관 유지나 수변공간의 이용 등 하천의 환경적 기

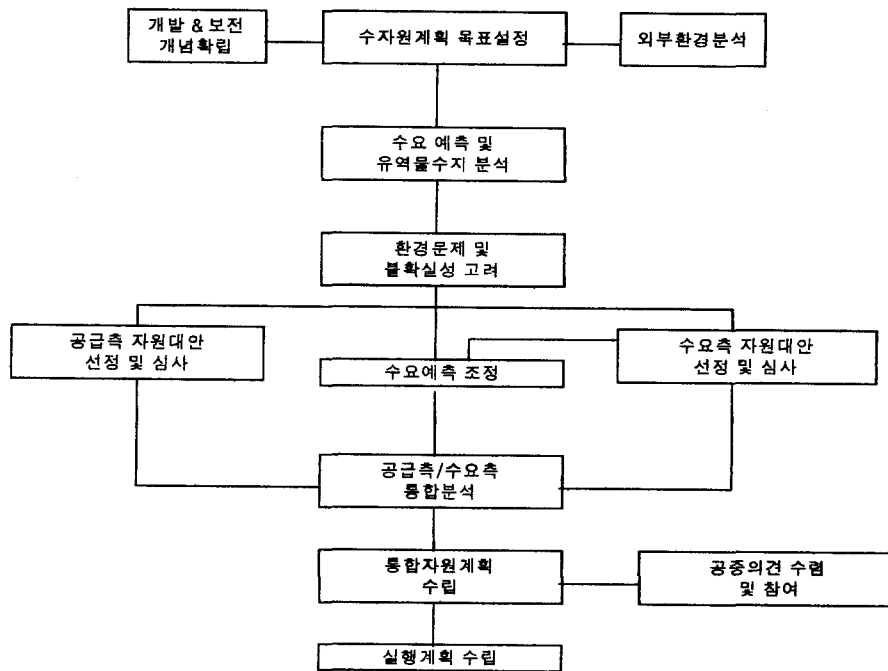
능을 유지하기 위한 하천유지유량의 보장에 대한 검토가 전술한 유역 물수지 분석과 맞물려 시행되어야 할 것이다. 또한 극심한 가뭄에 대비한 유역 수자원공급의 장기적 안전도 확보와 관련, 수요예측 등 주요분야의 미래의 불확실성을 반영한 계획 수립이 필요하다.



〈그림 6〉 우리나라 특성에 맞는 통합자원계획의 필요성



〈그림 7〉 유역조사사업 과업수행흐름도(총괄)



〈그림 8〉 통합유역수자원계획 시행 절차

라. 공급 및 수요측 자원대안 검토 및 통합 분석

그 동안의 공급측만을 중점적으로 고려한 기존의 개발 방안을 지양하고 장래의 물 부족량에 대비하기 위해서 요금 및 제도개선을 통한 부하관리와 절수를 통한 수요관리 방식에 의한 물사용 절감량 공급측 대안 검토와 함께 반영한다.

공급측 대안 검토시 수량과 수질을 고려한 유역 저수지군의 운영 효율을 높이는 비구조적인 방안과 함께 기존댐의 용도전환 및 저수용량 재배분, 댐 증고 등 재개발 방안, 이용 가능한 지하수와 지표수의 연계운전을 통한 합리적인 개발 방안들이 신규댐 건설, 대체 및 보조 수자원개발과 함께 다각적으로 검토되어야 한다.

유역의 물이용 환경과 수요조건에 따라 도출된 각각의 공급 및 수요측 대안들의 조합으로 구성된 다양한 시나리오들이 상호 비교, 평가하여 최적의 대안들을 선정해 나간다.

마. 공중참여를 통한 통합자원계획 수립

이러한 통합수자원 계획수립 과정에서 날로 고조되는 지역 주민들의 참여의식을 감안하고 주민의견 수렴을 위한 노력이 요구된다. 즉, 도출된 다양한 수요/공급 자원 대안들에 의한 시나리오를 구성하고, 선정하는 과정에서 정부와 물관리기관, 유역내 지자체 및 수자원, 환경 전문가 집단과 함께 지역주민의 의견을 수렴하고 합의를 도출, 수자원계획에 반영하기 위한 좀 더 적극적인 노력을 통해서 국민과 지역주민의 신뢰성 회복이 가능할 것이다.

## 8. 결론

새로운 개념의 수자원 계획은 서로 상충되는 개발과 보전의 논리 사이에서 조화를 찾고, 첨예하게 엇갈리는 잠정적 이해당사자간의 갈등을 계획 단계에서부터 조정해 나감으로서 가장 바람직한 개발과 운영계획에 대한 다양한 계층의 주민과의 지역적 합의를 기반으로 수립되어야 한다.

따라서 유역조사나 수자원 장기종합계획과 같은 중장기 조사계획 입안시 대상지역의 공급과 수요측의 모든 가용 방안과 자원들을 종합적으로 고려하고, 유역 수 환경의 보전을 위한 제요소와 수자원의 장기적 안정적 공급을 저해하는 불확실성을 반영하여, 지자체와 지역주민의 적극적인 참여를 토대로 수행함으로써 수자원 개발 및 공급의 사회적 비용을 최소화하면서 환경적인 지속가능성을 유지해 나가는 통합 수자원계획을 보다 적극적으로 지혜롭게 적용해 나가야 할 것이다.

## 참고문헌

- 고익환, “수공이 구축해 나가야 할 국가 물관리 시스템”, 수자원 제 360호, 1997.12..
- 건설교통부, 한국수자원공사, “수자원정책·관리 개선방안 연구, 2000. 5.
- 건설교통부, “수자원장기종합계획(2001~2020)”, 2001.7.
- 박희경, “지속가능한 수자원 개발을 위한 통합자원계획도입의 필요성”, 대한토목학회지 제 46권 9호, 1998.9, pp.36-45.
- 심명필, “우리나라의 바람직한 수자원관리 방안”, 한국수자원학회지 제 34권 2호, 2001.3, pp12-25.
- 최영송, 고익환, “바람직한 유역 물관리 시스템 구축방향”, 한국수자원학회지 제 30권 6호, 1997.12, pp 71-74.
- 일본 토목연구소, “21세기의 물순환·국토관리를 위한 하천기술정책”, 제 2차 하천기술개발 5개년 계획, 일본 국토교통성, 1999.9.
- Agenda 21, “The Rio Declaration on Environment and Development”, the United Nation Conference on Environment and Development(UNCED), Rio de Janeiro, Brazil, June 1992.
- Beecher J.A., “Integrated Resources Planning Fundamentals”, Journal of American Water Works Association, June 1995.

Savenije, H.G., "Water and Environmental Resources Management - How to cope with our ever increasing demands?", Annual Conference of the Korea Water Resources Association, Gangneung, Korea, May 1996.