

# 수계의 정황을 고려한 적응형 수자원 관리 프로세스 개발

## Development of an Adaptive Water Resources Management Process Considering a River Basin's Context in Korea

강민구\*, 박승우\*\*, 김학관\*\*\*, 장태일\*\*\*, 이은정\*\*\*

Min Goo Kang, Seung Woo Park, Hak Kwan Kim, Tae Il Jang, Eun Jeong Lee

### 요 지

기후, 사회 및 경제 시스템, 사회적 선호도 등의 변화는 대상 시스템의 변화를 초래하며, 이에 따라 사업 추진과 사후관리의 불확실성은 커지게 된다. 이를 완화시키기 위해서는 대상 시스템에 대한 이해를 증진시키고, 단계별 평가결과와 여건들의 변화를 반영하여 계획과 대책을 수정 및 보완해야 하며, 이들의 원활한 수행을 위해서는 적절한 평가와 피드백이 필요하다. 본 연구에서는 국내 수자원 사업 관련 제반 여건들의 변화와 향후 변화에 대하여 전망하였으며, 설문조사를 통하여 국내 적응형 수자원 관리에 대한 필요성과 인식 상태를 파악하였다. 또한, 한강 수계의 수자원 관리에 적응형 관리 도입 필요성과 방안에 대하여 고찰하였으며, 이를 바탕으로 수계의 정황을 고려한 적응형 수자원 관리 프로세스를 개발하였다.

**핵심용어:** 적응형 관리, 수계, 수자원 관리, 프로세스

### 1. 서 론

수계나 유역 시스템을 구성하는 사회 및 경제, 기후 및 기상, 환경 및 생태계, 사용자, 제도 및 법률, 사용자, 토지 등과 같은 요소들은 인과관계와 피드백으로 연결되어 있으며, 이들의 변화는 수계의 수량, 수질, 자연재해, 쾌적성 등에 영향을 미친다. 수계 내에서 수행되는 수자원 사업과 수자원 운영 및 관리도 이들과 상호 영향을 미치며 진행된다. 특히, 수자원 사업은 사업 완료까지 장기간이 소요되며, 사업의 영향이 크고 범위가 넓으므로 사후관리에 대한 중요성도 높다. 또한, 사업 추진 기간 내에 새로운 기술이 도입될 수 있으며, 기후 변화, 사회 및 경제 시스템의 변화, 사회적 선호도의 변화가 발생할 수도 있다. 이와 같은 관련 시스템의 변화에 따라 사업 추진과 사후관리의 불확실성은 커지게 된다. 이를 완화시키기 위해서는 대상 시스템에 대한 이해를 증진시키고, 단계별 평가결과와 여건들의 변화를 반영하여 계획과 대책을 수정 및 보완해야 한다. 또한, 이들의 원활한 수행을 위해서는 적절한 평가와 피드백이 필요하다. 또한, 최근 발생하고 있는 수자원과 관련된 사회적 갈등들은 지역이기주의, 수자원 사업의 환경 및 생태계에 대한 영향, 사업 편익의 분배 문제 등에서 비롯되고 있다. 이러한 사회적 갈등의 원인은 사회적인 합의를 통한 수자원 이용과 관리의 목표, 목적, 원칙들이 수립되지 않았다는 것이며, 그 해결책을 찾는 데 어려움을 겪고 있다. 향후 수자원 개발과 관리는 관련 시스템이 복잡해지고, 여건들의 변화와 이들의 상호작용에 의해 불확실성이 더 커질 것으로 전망되고 있다. 따라서 수자원 사업의 원활한 진행과 사후 관리, 기존 시스템들과 조화, 새로운 패러다임과 환경의 변화에 대응할 수 있는 적응형 수자원 관리의 도입이 필요하다.

적응형 관리는 “행하면서 배운다”라는 관리전략이며, 대상 시스템에 대한 정확한 이해와 반응에 대한 지식이 없는 상태에서 사업을 추진하는 경우에 적용되고 있다. 수자원 사업과 관련된 여건들은 높은 불확실성을 가지고 있으며, 사회적 및 정치적 선호도에 따라 사업의 존재여부가 결정될 수 있

\* 종신회원-서울대학교 농업생명과학연구원 선임연구원·kmg901@hanmail.net

\*\* 정회원-서울대학교 농업생명과학대학 교수

\*\*\* 정회원-서울대학교 농업생명과학대학 박사과정

으며, 패러다임의 변화에 사업의 목표가 변경될 수 있다. 적응형 관리는 이와 같은 불확실성을 인식하고 단계별로 사업을 추진하면서 대상 시스템에 대한 이해를 증진시키고, 단계별 결과를 반영하여 계획과 대책을 수정 및 보완하면서 사업을 진행시키는 것이다. 적응형 관리는 현재 미국의 여러 지역에서 수자원 관리의 발전단계를 바꾸는데 적용이 되고 있다. 예를 들어, 플로리다 에버그레이드 생태시스템의 복원 프로그램, 루지애나의 해안 생태계 복원 계획, 미시시피강 상류와 미조리강 시스템의 관리 등을 포함해서 여러 지역의 생태계 및 수자원 관리에 적용되고 있다.

본 연구에서는 국내 수자원 사업 관련 제반 여건들의 변화와 향후 변화에 대하여 전망하였으며, 설문조사를 통하여 국내 적응형 수자원 관리에 대한 필요성과 인식 상태를 파악하였다. 또한, 한강 수계의 수자원 관리에 적응형 관리 도입 필요성과 방안에 대하여 고찰하였으며, 수계의 정황을 고려한 적응형 수자원 관리 프로세스를 개발하였다.

## 2. 수자원 관련 제반 연건 변화 및 향후 전망

국내에서는 경제 성장의 기반조성 일환으로 수자원 사업이 추진되어 왔으며, 사업 추진시 환경 및 생태계 보전에 대한 고려가 미비하여 최근 수량, 수질, 생태 환경 측면의 문제가 발생하고 있다. 수자원 분야의 계획 및 사업들은 하천법, 댐법, 환경정책기본법, 수질 환경 보전법 등에 근거하여 다양하게 추진되고 있으나, 수자원 관리는 수량과 수질 측면으로 이원화되어 진행되고 있다. 또한, 수자원에 관련된 국민들의 의식이 높아지고 요구 사항이 많아지고 있으며, 사회 및 경제 시스템과 관련된 새로운 패러다임이 등장하여 적용되고 있으며, 수자원 분야에 이의 반영이 필요해지고 있다. 그리고 도시화, 산업화에 의해 용수 사용 패턴이 변하고, 유역의 수문순환이 변하고 수질 및 생태 환경이 악화되고 있다. 기후 변화에 대한 인식이 높아지고 있으며, 홍수 및 가뭄 등의 자연재해 발생 빈도와 피해가 심해지고 있으며, 수자원과 관련된 사회적 갈등이 빈번히 발생하고 있다. 향후 수자원 분야에서는 수자원 이용의 목적이 다변화될 것으로 전망되고 있다. 또한, 수자원 개발과 관리와 관련된 패러다임의 변화와 이를 고려한 계획 및 운영 방법의 수정 및 보완이 필요하다. 이에 따라 새로운 수자원 거버넌스 구축과 정책 수립 및 시행 과정에 활발한 참여가 요구되고 있으며, 인구 변화, 가치 시스템 변화, 사회 및 경제 시스템, 생태계 시스템 등의 변화에 적응하는 수자원 관리가 필요하다. 또한, 기후 변화의 영향을 완화시키기 위한 관련 정책과 활동 및 수자원 분야에 대한 직접적인 영향에 대한 고려가 필요하며, 수자원 관련 갈등 증가 및 지역적 이기주의, 수자원 분야의 여건 변화를 고려한 법, 제도의 수정 및 보완이 요구되고 있다.

국내 수자원 현황과 수자원 계획 및 운영의 문제점과 개선 방법에 대한 여론조사를 한국수자원학회 회원 145명을 대상으로 실시하였다. 응답자들은 여름철 강우 집중, 지리 및 지형적 유출 특성, 비효율적인 수자원 개발과 관리 등 때문에 국내 가용 수자원량이 부족하다고 인식하고 있으며, 안정적 수자원 확보를 위해 체계적인 수자원 정책의 지속적 추진, 여건변화를 고려한 효율적 운영, 친환경적인 중·소규모 댐 개발 등이 필요하다는 의견을 가지고 있었다. 수자원 분야의 갈등 조정 및 원활한 사업 추진을 위해 주민들, 전문가, 환경 단체 등의 적극적인 참여가 필요하며, 여건변화에 대응하기 위해서는 기존 수자원 시설의 효율적인 운영 방안 재수립, 체계적인 계획 수립 및 시행, 법 및 제도의 조정을 통하여 환경 변화에 적응하는 것 등이 우선적으로 필요하다고 인식하고 있다. 홍수 피해 저감을 위해 홍수터 보존 및 관리, 하천 통수능력 증대, 홍수 설계 빈도 상향 조정, 하천변 토지이용 규제 등이 필요하며, 하천 환경 개선을 위해 체계적인 하천 관리 계획수립 및 지속적인 추진, 상류 수계에 대한 인위적인 개발 지양, 수변 구역 설정 및 관리 등이 필요함을 인식하고 있다.

### 3. 적응형 관리의 개념 및 적용 사례

적응형 관리는 “행하면서 배운다.”라는 관리전략이며, 대상 시스템에 대한 정확한 이해와 반응에 대한 지식이 없는 상태에서 사업을 추진할 경우에 적용되고 있다. 수자원 사업과 관련된 여건들은 높은 불확실성을 가지고 있다. 또한, 사회적 및 정치적 선호도에 따라 사업의 존폐여부가 결정될 수 있으며, 패러다임의 변화에 사업의 진행이 변경될 수 있다. 이와 같은 불확실성을 인식하고 단계별로 사업을 추진하면서 대상 시스템에 대한 이해를 증진시키고, 결과를 반영하여 계획과 대책을 수정 및 보완하면서 사업을 진행시킨다. 적응형 관리는 대상 시스템에 대한 정확한 정보가 없으며, 관련자들이 시스템에 대한 명확한 이해를 하고 있지 않은 상태에서 정책이나 프로젝트를 수행하는 경우에 일반적으로 적용된다. 수자원 사업 및 생태계 보존 사업에는 많은 관련자들이 포함된다. 여러 분야의 전문가, 시민단체, 지역민, 이해관계자, 중앙 및 지방 정부의 공무원 등이 참여하여 시스템에 대한 이해를 증진시키고, 이들 사이의 합의를 통해서 사업을 단계적으로 추진시킨다. 사후에도 기후 및 환경 변화에 의한 불확실성이 높기 때문에, 이러한 요인들의 변화에 따른 대상 시스템의 거동과 이해, 예측을 통해서 사업을 관리한다. 적응형 관리는 단계별로 피드백과 학습을 포함한다. 각 단계의 결과를 평가하고 자료 및 모형을 업데이트하여 다음 단계를 위한 학습과 예측을 실시한다. 이 과정에서 관련 여건들의 변화나 자연적 변화에 의해 목표나 비전을 달성하지 못하면 피드백하여 계획을 수정 및 보완하여 변화된 환경에 맞춰서 사업이 진행된다. 따라서 관리 목표, 관리 대상 시스템의 모형, 관리 행위의 선택 범위, 모니터링 및 결과의 평가, 결과의 학습과의 병합, 제도 및 기구 등이 적응형 관리를 수행하기 위한 필수 요소들이다. 적응형 관리는 미국의 여러 지역에서 수자원 관리의 발전단계를 바꾸는데 이용되고 있다. 적응형 관리는 플로리다 에버그레이드 생태시스템의 복원 프로그램에 적용되고 있다. 또한, 적응형 관리는 루지애나의 해안 생태계를 복원하는 계획의 핵심 개념이 되고 있다. 미국 공병단은 미시시피강 상류와 미조리강 시스템을 포함한 여러 지역의 관리 틀에 적응형 관리를 적용하고 있다. 또한, 수자원 관리가 복잡한 상호작용과 불확실한 결과를 수반하기 때문에 적응형 관리가 미국 공병단 수자원 사업 전체에 도입될 것으로 전망되고 있다(PAMRS, 2004).

### 4. 대상 수계 진단 및 적응형 수자원 관리 프로세스

한강 수계는 수자원 시설물의 신설, 상류 수계의 개발, 금강산댐 건설에 따른 수자원의 유역변경, 수질 및 생태계의 훼손, 수자원 이용 및 편익의 분배에 대한 사회적 갈등, 오염총량관리제의 실시, 수계 개발에 따른 홍수량 증가와 수질 악화 및 홍수 피해 증가 등의 문제가 발생하고 있다. 이들 문제들은 독립적으로 발생한 것이 아니고 상호 연관되어 있으며, 문제의 영향을 가중시키고 있다. 특히, 금강산댐 건설에 따른 수자원량의 감소는 팔당댐의 수질개선을 위한 다양한 활동의 결과를 반감시키고 있으며, 생태계의 변화와 훼손을 초래하고 있다. 또한, 소양강댐 상류의 고랭지 채소밭과 수계 개발에 의한 소양강댐의 탁수문제와 흙탕물 방류는 사회적인 문제가 되고 있으며, 수질 및 생태계에 악영향을 미치고 있다. 이와 같은 수자원 문제를 해결하기 위해서는 수계 차원에서 문제를 평가하고 이에 적절한 관리 방안을 수립해야 한다. 이들 문제들은 복잡하게 얽혀 있기 때문에 단계적인 해결과 대책에 대한 수계의 반응을 살펴가면서 계획 및 대책을 수정 및 보완할 필요가 있다. 이를 위해선 적응형 수자원 관리의 도입이 필요하며, 수계 관리, 홍수 관리, 유역 관리 측면에서 적응형 관리 프로세스를 적용할 필요가 있으며, 본 연구에서는 이들 프로세스를 적응형 관리 개념에 근거하여 개발하였다.

최근 수자원 개발과 관리의 의사결정 과정은 다분야적 접근을 요구하고 있다. 이는 수자원 문제를 파악하고 문제를 해결하기 위해서는 관련된 분야들을 모두 고려해야 한다는 것이다. 수자원 문제와

관련된 요인들로는 기후 변화와 같은 자연 시스템의 변화, 새로운 패러다임의 변화, 인구 증가와 경제 성장과 같은 사회 및 경제 시스템의 변화, 생태 시스템의 변화 등이 있다. 이들 요인들은 상호 작용에 의해 유역이나 수계의 상태를 변화시키며, 이러한 변화에 적응하기 위해서는 새로운 수자원 운영 방법이나 프로젝트가 개발되어야 한다. 그림 1은 기후, 사회 및 경제 시스템, 사회 패러다임, 생태계 등의 변화가 발생하거나 문제가 발생할 경우 수자원 분야에서 개발과 관리를 통하여 변화에 적응하고 문제를 해결하는 과정을 나타낸 것이다. 자연 및 사회-경제 시스템에 변화가 발생할 경우 수자원 및 생태계의 상태가 사회적 가치 기준과 생태적 기준을 만족하는가를 주기적으로 평가하고, 만족하지 않는 경우에는 이를 해결하기 위한 프로젝트가 추진된다. 이때에 이수, 치수, 환경 및 생태 등의 측면에서 문제를 파악하고 해결책을 찾게 된다. 또한, 적절한 대책을 수립하여 실행하며 주기적인 평가를 통하여 결과를 평가하고 문제가 발견되거나 여건이 변화했을 경우 계획을 조정 및 보완하여 재시행한다. 시행이 끝난 이후에도 주기적인 평가를 실시해야 하며, 변화된 여건에 적응해 가야 한다.

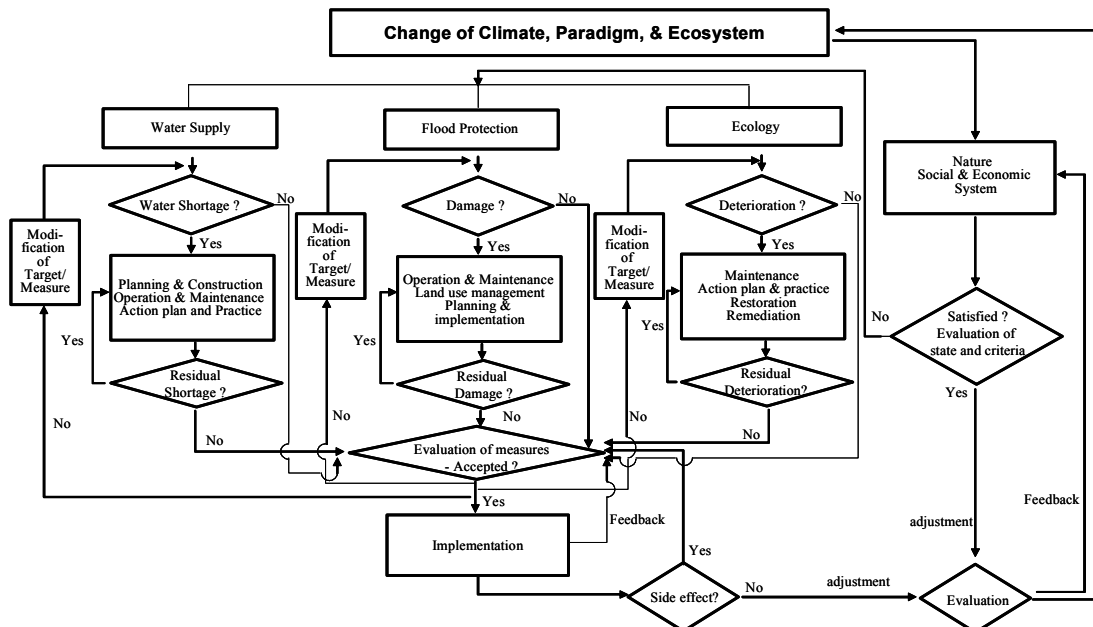


그림 1. 관련 여건의 변화에 따른 수자원 개발과 관리 사업의 적응 과정

수계 관리는 사회적인 합의를 통하여 관리 목표를 설정하고 이를 달성하기 위해 세부적인 목적들과 원칙들을 수립한다. 이들을 달성하고 준수하기 위하여 수계의 문제를 파악하고 대책을 수립하여 시행한다. 시행결과를 단계별로 평가하여 계획과 대책을 수정 및 보완한다. 그림 2는 적응형 수계 관리 프로세스를 구체적으로 나타낸 것이다. 수계 관리는 수계를 구성하는 자연 시스템이나 사회 및 경제 시스템, 가치 시스템의 변화에 의하여 수정되며, 이들의 변화는 수계와 관련 있는 상업, 농업, 공업, 문화, 어메니티 등의 변화를 초래하여 수계 관리에 영향을 미치게 한다. 수계 관리는 정치적 및 제도적 정황에서 수자원 정책이나 수자원 법률에 의해서 수행된다. 수자원 관련 정책 및 법률은 수자원 거버넌스에 의해서 수정 및 보완되며, 이들은 수자원 거버넌스의 형성에 영향을 미친다. 최근 수자원 거버넌스는 지역공동체, 중앙 및 지방 정부, 정부기관, 이해관계자, 전문가, 시민단체 등으로 구성되어 있다. 이들은 수자원 정책 및 법률의 제정과 수정을 실시하며 이를 위해서 수계의 자원, 제도, 거버넌스 등에 대한 평가를 실시한다. 평가결과를 반영하여 수자원 정책 및 제도를 수정한다. 이 프로세스는 주기적으로 실시되며, 실행결과를 반영하여 관련 정책 및 법률이 수정되고 실행 대책이 보완된다. 수계 관리의 실제 적용에서는 정치 및 제도적 정황에서 수립된 관리 목표, 목적, 원칙

들의 달성 및 준수 여부를 평가하고 이를 반영하여 관리 방법을 수정 및 보완하거나, 목적 및 원칙들을 수정한다. 그림 2와 같이 수자원 운영은 계획을 수립하고 물 관리 환경에 따라 수자원을 적응적으로 관리하고 운영결과를 모니터링한 후 이를 평가하여 다음 수자원 계획 및 운영에 반영한다. 또한, 수자원 운영 결과에 대한 주기적인 평가를 실시하여 수자원 운영의 목표 및 목적 달성, 원칙의 준수, 계획 및 실행을 평가하며, 이를 반영하여 이들을 수정 및 보완한다. 이 프로세스내의 평가는 정치 및 제도적 정황에서 실시되는 평가결과를 반영하며, 수자원 운영에 반영된다.

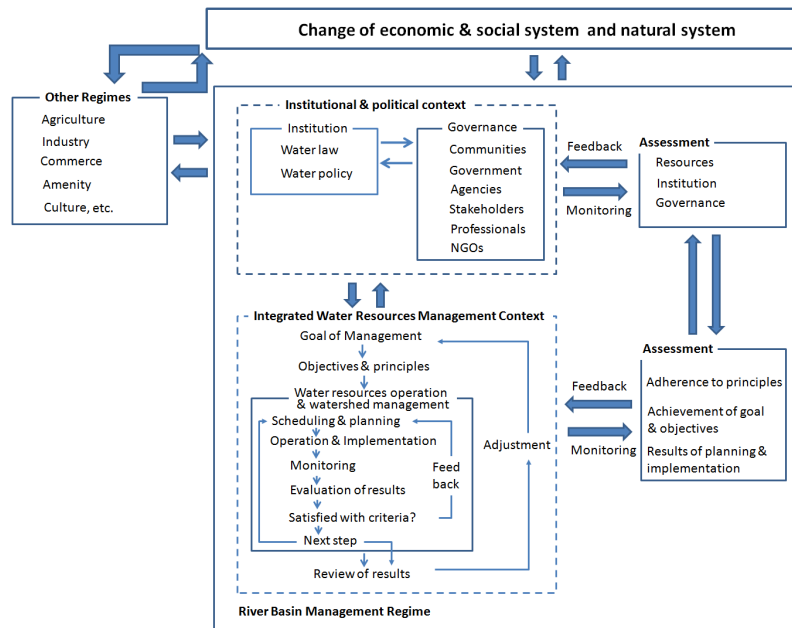


그림 2. 적응형 수계 수자원 관리 프로세스

## 5. 요약 및 결론

최근 발생하고 있는 수자원과 관련된 사회적 갈등들은 지역이기주의, 수자원 사업의 환경 및 생태계에 대한 영향, 사업 편익의 분배 문제 등에서 비롯되고 있다. 이러한 사회적 갈등은 사회적인 합의를 통한 수자원 이용과 관리의 목표, 목적, 원칙들이 수립되지 않았기 때문에 발생하고 있으며, 해결책을 찾지 못하고 있다. 향후 수자원 개발과 관리는 여건들의 변화와 이들의 상호작용에 의해 불확실성이 커질 것이며, 사회적 선호도와 기후의 변화는 수자원 운영에 영향이 클 것으로 전망되고 있다. 따라서 수자원 사업의 원활한 진행과 사후 관리, 기존 시스템들과 조화, 새로운 패러다임과 환경의 변화에 대응할 수 있는 적응형 수자원 관리의 도입이 필요하며, 효과적인 적응형 수자원 관리를 위해서는 수자원 관리의 목표 및 비전, 대상 시스템 모델, 비용 및 재정계획, 조사 및 평가, 참여 및 대표성, 법률 및 제도 등이 필요할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 2007년 한국건설기술연구원에서 시행한 학연 협력 연구에 의한 연구성과입니다.

## 참 고 문 헌

1. Global Water Partnership(2002). IWRM Toolbox: A Toolbox to support IWRM, Global water partnership secretariat, Stockholm, Sweden.
2. Panel on Adaptive Management for Resource Stewardship: PAMRS(2004). Adaptive Management for Water Resources Project Planning, The National Academies Press.