

수계의 지속가능한 홍수관리를 위한 적응형 홍수 위험도 관리 프레임워크 개발

Development of a Framework of Adaptive Flood Risk Management for Sustainable Flood Management in River Basins

강민구*, Ximing Cai**
Min Goo Kang, Ximing Cai

요 지

최근 이상기후와 도시화에 의해 홍수 피해가 크게 증가하고 있으며, 기후 변화는 이에 대한 불확실성을 가중시키고 있다. 이를 저감시키기 위해서는 경제, 사회, 환경, 법 및 제도 측면을 고려하면서 홍수피해를 최소화하고, 홍수피해로부터 빠르게 회복시키기 위한 대책을 수립해야 한다. 본 연구에서는 홍수 관리와 관련된 여건들의 변화와 전문가들에 대한 설문조사 결과를 토대로 적응형 홍수 관리 프로세스를 개발하였다. 또한, 이를 시행하기 위하여 홍수관리의 목표, 목적, 원칙, 전략, 참여 등을 고려한 홍수 위험도 관리 프레임워크를 개발하였다.

핵심용어: 수계관리, 홍수 위험도 관리, 프레임워크, 프로세스, 적응형 관리

1. 서 론

최근 세계 여러 곳에서 기후변화, 이상기후, 도시화 등에 의해 대규모 홍수피해가 빈번하게 발생하고 있다. 예를 들어, 2005년 미국에서는 허리케인 카트리나로 인해 714 명의 인명 피해와 280억 달러의 재산 피해가 발생한 바가 있으며, 2007년에는 인도, 방글라데시 등을 비롯한 동아시아 몬순 기후대에서 발생한 홍수로 막대한 재산 및 인명 피해가 발생하였다. 국내에서도 2002년, 2003년에 태풍 루사와 매미에 의해 각각 약 5조억 원과 4조억 원에 이르는 재산 피해가 발생한 바가 있다. 또한, 2006년에는 태풍 에위니아와 장마전선에 의해 발생한 홍수로 인하여 약 1조 8,000억 원의 재산 피해가 발생한바가 있으며, 2007년 제주도에서 태풍 나리로 인해 발생한 홍수는 약 1,300억 원의 재산 피해를 초래하였다. 이와 같은 홍수피해는 이상 집중 호우, 홍수를 고려하지 않은 도시 개발과 하천관리의 부실, 효과적인 재난관리 시스템의 미비 등에 의해 증폭되었다.

최근 지구의 평균기온이 증가하고 있다는 사실이 계속 발표되고 있으며, 이의 위험성에 대해서 세계 기구들이 경고하고 있고, 각국은 이에 대한 대책을 강구하고 있다. 기후변화로 인한 해수면 상승은 연안의 해일 피해를 증가시키고, 열대성 저기압 세력을 강화시켜 강력한 태풍과 심각한 홍수피해를 유발할 것으로 예상되므로 이를 고려한 홍수관리가 필요하다. 홍수피해 증가의 원인 중에는 도시화와 하천 주변 용지의 고도 이용도 포함된다. 도시화는 특정지역에 인구가 밀집하여 오염부하의 배출량이 증가하여 수질저하를 초래한다. 또한, 도시의 팽창과 건물의 밀집화는 불투수면적의 증가와 홍수량의 증가, 침투 유출량의 증가, 집중시간의 감소, 기저 유출량의 감소를 초래하며, 홍수에 취약한 지역을 증가시켜 홍수 피해 발생빈도를 증가시킨다. 이와 같은 원인들에 의한 홍수피해를 저감하기 위해서는 적절한 구조적, 비구조적 대책을 수립해야 한다. 이들 대책들은 지역 특성을 고려하여 선정되어야 하며, 이들을 통합적으로 시행하여 경제적 효율성, 사회적 공정성, 환경 보전성 등을 달

** 중신회원·서울대학교 농업생명과학연구원 선임연구원·kmg901@hanmail.net

** 비회원·University of Illinois at Urbana-Champaign 토목환경공학과 조교수

성해야 한다. 홍수 위험도는 발생한 홍수의 규모 및 빈도와 이에 대한 방어시스템의 취약성으로 나타낼 수 있으며, 이를 계획, 설계, 운영 등에 적용하여 홍수를 관리할 수 있다. 홍수 위험도는 기후 변화, 사회 및 경제 시스템의 변화, 생태계 변화, 가치 시스템의 변화 등에 따라 변경된다. 따라서 관련 여건들의 변화를 반영하여 홍수 위험도의 기준을 재설정하고 변화된 여건에 적응하여 홍수관리를 실시해야 하므로 적응형 관리의 도입이 필요하다.

본 연구에서는 수계의 지속가능한 홍수관리를 위한 적응형 홍수 위험도 관리 프레임워크를 개발하였다. 이를 위하여 홍수 관리와 관련된 여건들의 변화와 전문가들에 대한 설문조사 결과를 분석하였으며, 이를 반영하여 대책들을 시행하기 위한 적응형 홍수관리 프로세스를 개발하였다. 또한, 이를 시행하기 위하여 홍수관리의 목표, 목적, 원칙, 전략, 참여 등을 고려한 홍수 위험도 관리 프레임워크를 개발하였다.

2. 수계의 지속가능한 홍수관리

2.1 통합 수자원 관리와 홍수관리

최근 이상 강우와 대규모 태풍이 빈번히 발생하고 도시화에 의해 홍수량이 증가하여 홍수에 의한 경제적인 피해가 증가하는 경향을 보이고 있다. 이러한 경향은 지구온난화에 의해 해수 온도 및 해수면이 상승하여 계속 증가할 것으로 전망되고 있다. 이와 같은 자연 시스템 및 사회 및 경제 시스템의 변화에 따른 홍수피해의 증가는 기존 홍수 관리 패러다임의 변화를 조장하고 있으며, 이상 강우의 빈번한 발생으로 홍수관리의 불확실성이 커짐에 따라 기존 홍수조절 시설물만으로는 홍수관리가 어려워지고 있다. 지속가능한 홍수 관리는 환경 및 생태계 보전과 미래 세대와의 균형을 고려하면서 경제적으로 효율적인 방법으로 홍수 피해를 최소화하고, 홍수 관리의 혜택을 사회적으로 공평하게 받을 수 있게 하는 것이다. 이와 같은 홍수 관리를 실시하기 위해서는 세부 목표 및 목적, 원칙을 수립하고 이를 달성하기 위한 여러 가지 대책 개발과 효과적인 적용이 필요하다.

통합 수자원 관리(Integrated Water Resources Management, IWRM)는 수자원 분야의 지속가능성을 확보하기 위한 방법론 중의 하나이다. 홍수 관리는 통합 수자원 관리의 주요 분야들과 관련되어 있으며, 통합 수자원 관리를 통하여 해결하려는 문제들 중의 하나이다. 홍수 피해를 저감하기 위해서 관련 자원을 통합하여 효율적으로 운영하고자 하고 있다. 이는 홍수 방어, 완화, 사전 준비, 대응, 복구 등을 포함하는 홍수 위험 관리를 전반적인 사회 위험관리 시스템에 병합하여 홍수로 인한 피해를 최소화하고 빠른 복원을 홍수관리의 목적으로 한다. 이를 달성하기 위하여 통합 홍수 관리(Integrated Flood Management, IFM) 개념이 도입되고 있으며, 이것은 전체적인 수문순환 관리, 토지와 수자원의 통합 관리, 적합한 전략들의 조합적 적용, 참여 보장, 통합 재난 관리의 적용 등과 같은 5개의 요소를 적용하여 홍수를 관리한다.

2.2 국제 기구 및 각국의 홍수 관리

UN의 재난저감을 위한 국제전략(ISDR)에서는 통합 수자원 관리 체계 내에서 홍수 관리를 실시할 것을 제안하고 있다. 이 기구에서는 홍수 관리는 생태계를 고려하면서 사회 및 경제적 이윤을 최대화 시키려는 통합 수자원 관리의 중요한 요소 중의 하나로 고려하고 있으며, 홍수 관리 대책들은 통합 수자원 관리의 원리들에 기반하여 마련되어야 하며, 지속가능한 실천들이 뒤따라야 한다고 주장하고 있다. 또한, 홍수 피해 위험에 처해 있는 지역에 필요한 홍수 대책은 지속가능한 것이어야 하며, 지역의 특성을 고려해서 적절한 해결책을 마련할 것을 권고하고 있다.

미국의 홍수 관리 정책은 지방정부에게 홍수를 관리하도록 하는 것에서 구조적 대책에 대해서는 연방정부가 책임지는 방향으로 바뀌고 있다. 구조적 및 비구조적 대책들을 통합 수자원 및 수계 관리 맥락에서 다른 수자원활동들에 병합시키고 있다. 또한, 홍수 관리를 위해서 구조적

및 비구조적 대책을 조합하여 사용하며 이를 연방 정부가 주도하며, 지방정부가 공유하도록 하고 있다. 미시시피강의 하류에서는 홍수 종합 계획에 기반하여 홍수조절과 수운의 목적을 달성하기 위한 수계관리 활동이 수행되고 있다. 그리고 환경과 레크리에이션 요구를 만족시키기 위해서 통합적 접근이 수계관리에 적용되고 있다.

일본은 태풍에 의한 피해를 해년 마다 겪어 오고 있기 때문에 홍수조절을 위하여 하천을 개발하고 관리해왔다. 일본에서는 하천법에 근거하여 구조적 방법과 비구조적 방법을 혼합하여 자연재해를 효율적으로 감소시키고 있다. 특히, 재해완화를 위해서 위험 관리는 필수적이며, 모든 이해 관계자, 정부, 시민단체, 지역민들이 참여하여 국가적, 지역 및 지방적, 가족적 차원에서 문제를 해결하려고 한다. 최근 일본에서는 홍수관리를 통합수계관리의 일환으로 추진하고 있으며, 과거에 행정관서의 주도로 이루어져왔으나 최근에는 지역민, 이해관계자, 시민단체들이 강한 파트너십을 형성하여 대책의 선정과 유지 및 관리의 시간계획 수립에 참여하고 있다.

영국에서는 도시화와 기후변화에 따른 홍수피해의 증가를 인식하고 이에 대한 대책을 수립하고 있다. 도시화와 홍수터의 용도 전환으로 인해 유출패턴이 변하고, 유출량이 증가하여 우수관에 대한 압력이 증가되었으며, 배수가 불량하게 유지되거나 과소하게 설계된 지역에서 홍수 위험이 증가하였다. 이와 같은 홍수 위험은 기후변화 때문에 가중되고 있으며, 홍수 관리의 패러다임 변화를 요구하고 하고 있다. 이에 근거하여 최근 영국에서 제시되고 있는 대책들은 하천복원의 일환으로 하천과 홍수터를 다시 연결하고 생태계 서비스를 복원하는 것에 초점이 맞춰지고 있다. 또한, 스코트랜드에서는 지속가능한 홍수 관리의 개념을 정립하고, 목적과 추진 원칙들을 수립하여 추진하고 있다.

3. 홍수 관리에 대한 설문조사 결과 분석

기후 변화, 사회 및 경제 시스템의 변화, 사회 구성인의 가치관의 변화, 생태계 변화 등과 같은 수자원과 관련된 제반 여건들이 변함에 따라 홍수관리에도 과거와 다른 패러다임이 적용되어야 한다. 본 연구에서는 2007년에 실시된 박승우 등의 “적응형 수자원 관리와 수자원 정책에 관한 설문조사”의 결과를 분석하였다. 이 설문조사의 결과를 종합해 보면, 많은 응답자가 홍수 피해 증가의 원인으로 기후 변화와 이상 기후를 꼽고 있으며, 피해 증가에 대한 대책으로 하천의 홍수터 보전 및 관리, 하천 통수능력 증대, 홍수 설계 빈도 상향 조정, 하천 주변의 토지이용 규제 등을 고려할 수 있다는 의견을 제시하였다. 상류지역에 대한 토지이용에 대하여 강력한 규제가 필요하며, 홍수량 저감에 효과가 있기 때문에 적합한 대안을 수립하여 도시화의 영향을 줄이도록 해야 한다는 의견을 제시하고 있다. 상습 침수 피해 지역에 대한 관리 대책으로 이 지역에 거주하는 주민들을 이주시키고 하천의 일부나 저류지로 활용하거나 댐, 홍수 조절 댐, 저수지, 천변 저류지 등을 건설하여 피해 저감하는 방법을 제시하였다. 수해 방지를 위해 적극적인 투자에 의한 구조적 및 비구조적 대책의 실행, 중장기적인 계획 수립 및 지속적인 정책의 추진 등이 필요하다는 의견도 제시되었다. 홍수 피해 저감 사업들의 사후 평가 주기는 3년이나 5년 마다 실시하는 것이 적절하다는 의견을 제시하였으며, 홍수 관련 사업의 평가, 사업에 대한 새로운 지침 작성, 사업의 평가 기준 설정에 대한 주기에 대하여 3년이나 5년 마다 실시하는 것이 적절하다는 의견을 제시하였다. 홍수 방어 대책 수립, 위험도, 평가 기준 설정에 전문가, 시민단체, 이해관계자들의 참여에 대하여 많은 응답자들이 이들의 참여가 필요하다고 응답하였으며, 일부 응답자들은 분야를 구분하여 선별적인 참여가 필요하다는 의견을 제시하였다. 홍수 관리의 효율성을 높이기 위해서는 통합 홍수 관리 체계의 완비 및 수자원 시스템의 통합관리, 체계적인 홍수 관리 계획의 수립 및 지속적인 시행이 필요하다는 의견을 제시하고 있다. 하천 주변의 농경지를 저류지로 사용하

는 것에 대하여 농민들에게 홍수 피해에 대한 보조금을 지원하거나 정부가 매입하여 홍수기간에 저류지로 활용이 가능하다는 의견이 많았으며, 천변 저류지는 홍수 저감 효과가 적으므로 다른 대안을 찾아서 적용해야 한다는 의견도 있었다.

4. 적응형 홍수 위험도 관리 프로세스의 개발

4.1 홍수 위험도 관리의 필요성

위험도 관리(Risk Management)는 시스템의 상태를 위험도를 사용하여 파악하고, 시스템에 영향을 미치는 위험도를 저감시키기 위해서 실행될 수 있는 대책들의 결과가 적절한 기준을 만족하는가를 평가하며, 위험도를 저감시키기 위한 대책을 실행하고 이의 결과를 모니터링하여 평가하는 것이다. 위험도 관리는 기후 변화나 사회-경제 시스템의 변화에 의해 변하는 재해의 영향을 리스크를 사용하여 정량적으로 제시할 수 있다. 따라서 홍수 관리와 같이 불확실성이 큰 재난 관리의 위험 분석, 저감 전략 수립, 시행 결과의 분석 등에 적용이 되고 있다. 홍수 위험도 관리는 기존 시스템의 운영(operation), 홍수 피해 저감 대책의 계획(planning), 홍수저감 시설의 설계(design) 등과 같이 세 가지로 구분이 가능하다. 기존 시스템의 운영에 의한 홍수 위험도 관리는 기존의 구조적 및 비구조적 대책을 유지 및 개선하여 홍수에 대비 및 대응하며, 피해를 복구하여 홍수 위험을 저감시키는 것이다. 홍수 피해 저감 대책을 계획할 경우의 위험도 관리는 새로운 시스템을 만들거나 변경할 경우, 새로운 홍수 피해 완화 대책을 수립할 경우에 위험도 관리를 하는 것이다. 홍수 저감 시설을 설계할 경우의 위험도 관리는 시설물의 세부적인 제원과 형상에 의해 저감될 수 있는 위험도를 관리하는 것이다.

4.2 위험도 관리에 기반한 적응형 홍수 관리

홍수 위험도 저감을 위한 계획을 수립하고 시행하기 위해서는 그림 1과 같이 먼저 수계의 홍수 관리에 대한 목표를 수립해야 한다. 홍수관리의 목표는 다른 분야들을 고려하여 수계차원에서 수립되어야 하며, 수계의 지속가능성을 향상 시켜야 한다. 이를 바탕으로 목표를 현실화시킬 수 있는 홍수 관리의 목적과 원칙을 수립한다. 또한, 목적 달성과 원칙 준수 여부를 평가하기 위해서 지표나 지수를 사용하는 평가 시스템을 개발한다. 이와 같은 수립된 평가 체계를 사용하여 수계의 홍수관리 상태를 평가하고, 이를 반영하여 대책을 수립한다. 홍수 위험도를 저감시키기 위한 대책을 계획하기 위해서는 먼저 현재의 위험을 확인하고, 홍수 피해의 규모와 발생확률을 예측하기 위한 발생확률 분석과 취약성 분석이 필요하다. 이를 위해서 극한 사상이 발생할 확률, 사회 및 경제, 환경에 대한 영향이 계산되어야 하며, 극한 사상에 대한 위험도가 산정된다. 예상되는 위험도를 저감할 수 있는 다양한 대책에 대한 위험도를 산정하고 다른 평가 기준과 비교하여 적절한 대책을 선정한다. 적절한 대책 선정을 위한 홍수 위험도의 기준은 전문가, 이해관계자, 시민단체, 실무자 등의 참여에 의해서 사회-경제 시스템, 자연 시스템, 가치 시스템들을 고려하여 결정된다. 실행된 대책들에 대한 평가가 주기적으로 이루어져야 하며, 설정된 위험도 기준을 달성하기 위하여 대책이 수정 및 보완되어 한다. 또한, 관련된 여건들이 변화하게 되면 이에 적응해야 한다. 이와 같은 절차에 의해서 홍수 관리가 수행되며, 적절한 대책이 개발된다. 또한, 그림 1과 같은 프로세스에 관련자들이 참여해서 보다 효과적인 홍수 관리를 위해 노력해야 한다. 이와 같은 홍수 위험도 관리를 위해서는 기상 예측 시스템, 자료 저장 및 처리 시스템, 모형 시스템, 사용자 접근 시스템 등이 필요하다. 이들 시스템들은 쌍방향이어야 하며, 쉽게 업데이트가 가능해야 하고, 여러 가지 시나리오를 적용해 볼 수 있도록 유연해야 한다. 이와 같은 요구 사항을 만족시키기 위해서 GIS가 사용될 수 있다. 다양한 주제도를 만들고 중첩시켜 홍수 흐름과 피해지역을 예측하고 운영 계획을 수립하는데 활용이 가능하다. 또한, 다양한 시각화

기술들을 이용하여 수계나 하천의 상태를 의사결정자, 비상 복구 팀, 지역민들에게 알리는데 사용할 필요가 있다.

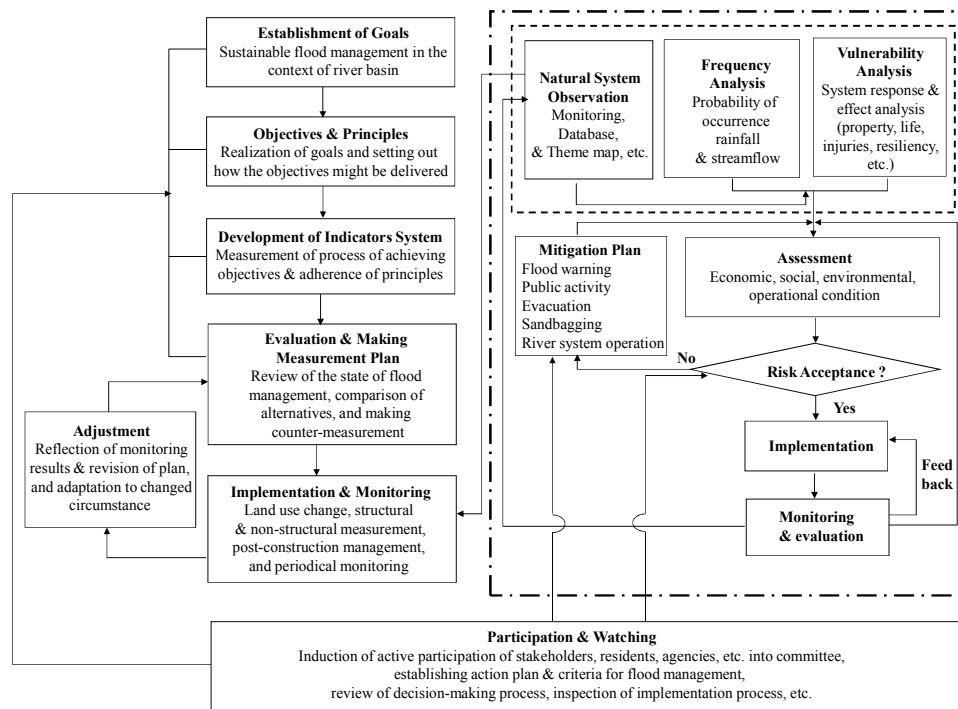


그림 1. 참여를 고려한 적응형 홍수 위험도 관리 프레임워크

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 수계의 지속가능한 홍수관리를 위한 적응형 홍수 위험도 관리 프레임워크를 개발하였다. 지속가능한 홍수 관리는 환경 및 생태계 보전과 미래 세대와의 균형을 고려하면서 경제적으로 효율적인 방법으로 홍수 피해를 최소화하고, 홍수 관리의 혜택을 사회적으로 공평하게 받을 수 있게 하는 것이다. 이와 같은 홍수 관리를 실시하기 위해, 국제기구에서는 홍수 위험도 관리를 도입할 것을 권장하고 있으며, 선진국들에서는 구조적 및 비구조적 대책들을 통합 수자원 및 수계 관리 맥락에서 다른 수자원활동들에 병합시키고 있다. 또한, 지역민, 이해관계자, 시민단체들이 강한 파트너십을 형성하여 대책의 선정과 유지 및 관리의 시간계획 수립에 참여하고 있으며, 기후 변화에 의해 가중되고 있는 홍수 위험에 따른 패러다임의 변화를 모색하고 있다. 이를 반영하여 본 연구에서는 전문가, 이해관계자, 시민단체, 실무자 등의 참여와 사회-경제 시스템, 자연 시스템, 가치 시스템들의 변화를 고려하여 홍수 관리 대책을 선정하고, 대책의 시행결과를 주기적으로 평가하여 프로세스에 반영시키는 적응형 홍수 위험도 관리 프로세스를 개발하였다.

사 사
"이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임"(KRF-2006-352-D00191)

참고 문헌

1. 권원태(2007). 세계 기후의 미래 전망-KMS Symposium 2007: Global warning and its socio-economic impacts, 한국기상학회, pp. 33-47.
2. Werritty A.(2006). Sustainable flood management: oxymoron or new paradigm, Area, 38(1), pp. 16-23.