



자산관리개념에 의한 도시홍수 방어 대책: 비구조물적 대책의 중요성



김 상 욱
강원대학교 토목공학과 조교수
sukim70@kangwon.ac.kr

1. 들어가며

사회적·물리적 양상의 변화를 반영하는 도시화는 거주민의 이주, 도시인구 증감에 따른 물 수요의 증감, 강수나 해수면 상승 등을 포함한 기후변화적 요소 및 법과 제도의 변화 등과 같이 상대적으로 점진적인 요소들과 급작스런 자연재해의 발생, 경제적 상황의 변동, 및 특정지역에 대한 토지이용의 변화와 같은 급진적인 요소들에 의해 진행되는 것이 일반적인 형태이다.

특히 최근의 기후변화로 인한 수자원의 변동에 대한 기존 홍수방어 시스템을 포함한 수자원관리시스템의 관리방향의 변화는 지속가능성(Sustainability) 개념의 도입을 기반으로 하고 있다. Bruntland(1987)에 의하면 지속가능성이란, 미래의 후손들이 그들의 수요를 충족시키기 위해 별도의 노력이 필요하지 않도록 현 세대의 수요를 조절하는 일련의 행위로 규정한 바 있다. 즉 지속가능성을 자산관리 측면에서 보면, 미래 후손들이 가용한 자산을 크게 손실시키지 않도록 현재의 자산을 관리하는 일련의 활동으로 볼 수 있다.

홍수방어 시스템을 포함한 포괄적인 수자원 시스템의 지속가능성을 달성하기 위해서 가장 중요한 요소는 회복탄력성(Resilience) 개념을 활용하는 것이다

(Carpenter et al., 2005; Walker and Salt, 2006; Folke, 2002). 수자원 시스템의 관리요소는 전형적으로 수자원 그 자체뿐만 아니라, 환경적 요소, 공학적 요소, 경제적 요소 및 사회적 요소와 같은 많은 하위 시스템으로 구성되어 있다. 따라서 수자원 시스템의 회복탄력성을 고려하기 위해서는 수자원 시스템을 구성하는 하위 시스템의 구성요소들이 가지고 있는 자산의 최신 현황을 파악하는 것이 중요하다.

기존의 관리방법과 회복탄력성 개념을 이용한 관리방법의 가장 큰 차이점은 기존의 방법이 특정 시스템을 구성하는 하위 시스템을 각각 독립적으로 파악하여 관리하는 개념인 데 반해, 회복탄력성 개념에 의한 관리방법은 하위 시스템들을 단순히 더하는 것이 아닌 본질적으로 통합함으로써 관리한다는 것이다.

회복탄력성에 대한 구체적인 분석 범위는 1) 변화 범위에 대한 회복탄력성 분석, 2) 홍수와 같은 시스템의 특정 저감요인의 발생 이후의 시스템의 반응과 회복에 대한 회복탄력성 분석, 3) 외부요인에 대한 적응 관리요인에 대한 회복탄력성으로 크게 나누어 볼 수 있다. 이와 같이 회복탄력성 개념을 활용한 시스템의 대응능력에 대한 분석은 하위 시스템의 지속적인 변화에 대한 모니터링과 이에 대한 피드백을 기본 요소로 충족시켜야 하기 때문에 특정 시간이나 공간에 고정된 분석방법이기 보다는 항상 유연한 변화가 가능한 과정으로 이해될 필요가 있다(Rammel and van Den Berg, 2003).

이와 같은 요소들에 의해 진행되는 도시화에 의해 나타나는 현상들의 미래예측에는 상당히 많은 불확실성이 포함되는 것이 당연하다. 그러나 기존의 도시화 사례를 홍수의 회복탄력성(Resiliency)측면에서 살

퍼보면 홍수에 강한 방식으로 도시화가 진행되는 경우도 있고 반대로 홍수에 취약한 방식으로 도시화가 진행되는 경우도 존재한다. 따라서 기존의 도시화 사례로부터 홍수에 대한 회복탄력성 확보를 위한 비구조물적 요소를 살펴봄으로써, 도시화의 미래 진행방향에 관한 바람직한 경향을 파악할 수 있을 것이며, 회복탄력성과 같은 새로운 개념을 도시홍수방어를 위한 주요 개념으로 정립함으로써 경제·사회·문화 등 인간생활과 관련된 많은 요소들에 도시화에 대한 새로운 가치를 창출할 수 있을 것으로 판단된다.

이 글에서는 주로 홍수에 대한 위험도 경감과 홍수에 강한 도시기능의 확보를 위해서 각종 자산(Assets)이 어떤 방식으로 계획 및 관리되어야 하는지와 함께 관리측면에서의 회복탄력성 개념의 적용과정을 기술하였다.

2. 자산 관리의 정의 및 원칙

‘자산(Asset)’이란 개인·법인·국가 등이 소유하고 있는 유·무형의 재화나 권리와 같은 구체적인 실체를 의미하며, ‘재산(Property)’보다 넓은 개념이다. OECD(Organization of Economic Cooperation and Development)는 ‘자산 관리’를 공학적 원칙과 건전한 상업 활동을 포함한 경제행위의 조합을 통해 개인 또는 대중의 기대를 만족시키기 위한 의사결정과정의 체계적이고 융통성 있는 통합과정으로 정의한 바 있다.

바람직한 자산 관리는 특정정보를 제공하는 방식이나 경로에 대한 인식을 심화시켜 감에 따라 얻어질 수 있으며, 보다 효율적인 자산관리를 위한 분석적 수단을 사용함으로써 미래의 수요에 대한 자산 관리 방향을 결정할 수 있다. 즉 자산 관리 계획의 목적은 점진적인 자산의 증감, 규제적 요건의 변화, 이해당사자 기대치의 변화나 기후변화 등과 같은 요소를 사전에 파악함으로써 미래에 필요한 수요를 예측하고, 미래에 필요한 현재의 자산을 어떤 방식으로 운용할

지를 체계적으로 분석하는 것이다.

치수관리자(Flood-risk manager)는 특정 관리 체계에 의해 제공되거나 생산되는 치수관련 정보를 이용하여 이를 방지할 수 있는 보유 자산을 운용하여야 한다. 특히 홍수관리를 위한 자산의 운용에 있어서는 도시홍수 방지를 위한 구조물·비구조물적 기반 시설의 대응현황을 포함하여 특정지역의 지형적·기후적 인자들과 홍수피해간의 시기적 관계 등에 대한 정보가 필수적이기 때문에 도시홍수 방지를 위한 자산관리 계획의 수립은 공간적으로 분할되어 수립되는 경향이 있다. 따라서 홍수방지를 위한 자산 관리의 목적은 미래에 발생할 수 있는 홍수방지에 필요한 다양한 수요를 공학적인 절차 및 지속적인 모니터링을 통해 분석하고, 그 결과를 활용하여 현재에 확보하고 있는 홍수방지를 위한 유·무형의 자산(도시홍수 방지를 위한 구조물적 시설과 비구조물적 대응체계 등)을 향후 어떻게 운용할지를 결정함으로써, 궁극적으로 개인 또는 대중의 기대에 해당하는 ‘홍수로부터의 안전’을 보장하는 것이다.

이와 같은 자산 관리는 다음과 같은 네 가지의 요소로 구분될 수 있는데, 이 요소들의 상호 관계 및 정보 수집을 통한 의사결정 시스템과의 관계를 [그림 1]에 나타내었다.

- 자산 평가 및 모니터링(Performance monitoring): 특정 자산의 활용목적, 목표설정, 성능 지표, 관련 자료의 수집 및 정보조사
- 위험도 평가(Risk assessment): 실패가능성의 분석, 실패 요인분석
- 의사 결정(Decision making): 중재 또는 조정 요인의 분석, 우선순위 결정 및 최적화
- 계획의 이행(Implementation): 우선순위 높은 조정안의 실행, 지속적인 모니터링

(1) 자산평가 및 모니터링

도시홍수 관리시스템의 성능을 평가하기 위해서는

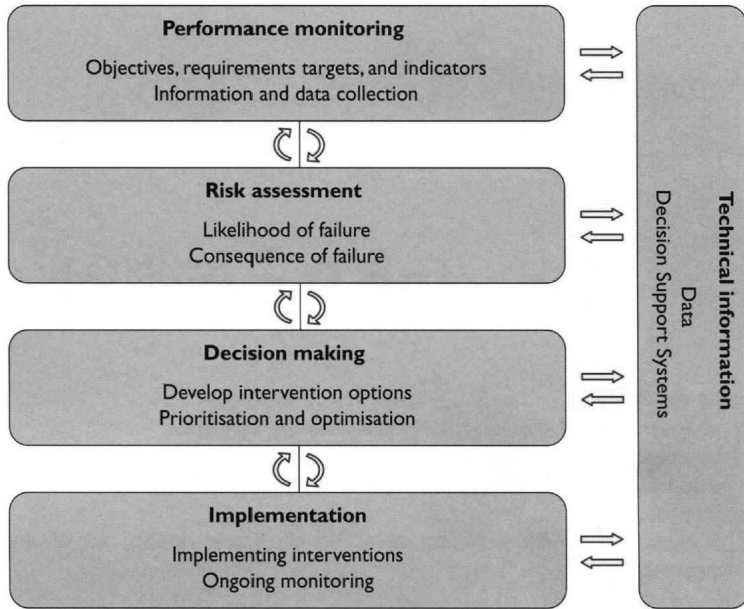


그림 1. 자산 관리의 순환과정 (Zevenbergen, C. et al., 2011)

먼저 시스템의 목표성능(Required performance)이 결정되어야 하며, 이는 정책적 목표나 개인·조직·특정 이해당사자의 요구사항과 같은 요인별 분석을 통해 시스템의 설계용량(Design capacity)으로 정량화 되어 표시될 필요가 있다. 시스템의 성능을 평가하기 위한 분석방법은 크게 ‘고정값(Fixed value)’을 사용하는 방법과 ‘가변 성능 범위(Variable performance criterion)’를 사용하는 방법이 있으나, 가변 성능 범위를 사용하는 방법은 여러 가지 조정안에 대한 비용과 편익을 활용한 다양한 최적화 기법을 적용할 수 있다는 측면에서 장점이 있다. 특정 시스템 또는 자산의 개선 목표(Target)는 설계용량과 현 시스템 또는 자산의 현황의 차이로 표현될 수 있으며, 이는 주로 ‘성능지표(Performance indicator)’에 의해 결정될 수 있다.

도시홍수 방어시스템의 경우는 현재 또는 미래에 나타날 수 있는 홍수위험도와 같은 정량적 지표가 사용될 수 있다. 또한 이와 같은 평가가 객관적으로 수행되기 위해서는 도시홍수 관리시스템으로부터 제공되는 다양한 정보와 자료가 필수적이며, 이와 같은 자료는

수리·수문학적 정보(Hydraulic and Hydrologic information), 상하수도를 포함한 환경적 정보(Environmental information), 구조물 성능저하와 관련된 정보(Structural information on deterioration), 운영 및 유지관리 정보(Operational information including maintenance)로 크게 구분될 수 있다.

(2) 위험도 평가

위험도 평가는 도시홍수 관리 시스템이나 시스템의 요소들의 성능 붕괴와 관련된 점을 신뢰도 평가기법을 이용하여 평가하는

과정이다. 위험도는 성능붕괴가 발생하는 가능성 추정하는 작업과 그 원인을 분석하는 작업으로 분석될 수 있다. 도시홍수 관리시스템에 대해서는 홍수와 같은 수리·수문적 요인, 오염·교통마비·홍수로 인한 손실과 같은 환경적 요인 및 사회적 요인, 운영비용의 발생과 같은 운영적 요인에 대해 위험도 평가를 시행할 필요가 있다. 또한 발생원인의 분석도 해당 원인별로는 그 원인을 분석할 필요가 있는데, 여기서는 부적절한 수리·수문적 설계와 같은 요인, 특정 구조물의 붕괴와 같은 구조물적 요인과 운영 및 유지관리의 부적절에 인한 운영적 요인으로 구분하여 원인을 분석해야 한다.

위험도 평가에서 가장 중요한 부분은 시스템을 붕괴시키는 원인을 외부적 요인(External factor)과 내재적 요인(Internal factor)으로 구분하는 것이다. 외부적 요인이란 설계용량을 초과하는 강우의 발생과 같이 시스템의 붕괴가 시스템 자체의 원인보다는 기상학적 요인 등에 의해 시스템이 붕괴되는 경우를 의미하며, 내재적 요인이란 시간에 따른 시스템 성능의 저하 및 부적절한 시스템의 운영과 같은 시스

템 자체의 원인에 의해 시스템이 붕괴되는 경우를 의미한다.

특정 도시홍수 관리시스템의 최종적인 평가는 취약성(Fragility or Vulnerability)지표를 통해 정량적으로 산정될 필요가 있으며, 취약성 지표는 시스템에 부과되는 부정적 요인에 대한 특정 시스템의 방어 능력을 의미하고 이는 전문가 시스템이나 확률론적 이론을 바탕으로 하는 특정 신뢰도 기법의 적용을 통해 기술될 수 있다.

(3) 의사 결정

의사 결정의 목표는 다양한 대안 또는 조정안(Intervention)들을 여러 이해 당사자들로부터 수집하고, 이 대안들의 위험도와 비용을 고려하여 각 중대안 중 가장 최적의 대안을 결정하는 것이다. 객관적인 의사 결정을 위해서는 기술적 측면의 고려와 함께 경제적 측면의 분석도 함께 수행되어야 하며, 시스템의 운영적 요인이나 유지관리 측면의 비용과 함께 최종 대안의 예산투입 가능성에 대해서도 함께 평가해야 한다.

의사 결정에 있어서는 경제적 분석이 중요한데, 경제적 분석은 크게 비용-편익 분석(Cost-benefit analysis)과 비용-효과 분석(Cost-effectiveness analysis)으로 구분될 수 있다. 비용-편익 분석은 경제적 비용과 편익을 화폐단위를 이용하여 정량적으로 표시하는 기법이다. 이와 달리 비용-효과 분석은 쉽게 정량화되기 어렵거나 화폐단위로의 환산이 용이하지 않은 조정안들의 효과를 분석하는 경우에 이용된다. 비용-효과 분석에서 다양한 조정안에 대한 효과는 화폐단위가 아닌 특정한 별도의 단위를 통해 정량화되며, 이를 활용하여 비용-편익 분석에서와 유사한 절차를 통해 최종적인 각종 조정안들의 효과를 계량되는 데, 여기에는 특정한 가중치가 활용되며 주로 최종적인 결과를 각각의 조정안들의 순위로 표시하는 것이 일반적이다. 특히 기반시설들의 대안들을 분석함에 있어서는 생애주기비용(Life cycle cost)을 반

드시 고려할 필요가 있다.

의사 결정에 있어 가장 어려운 부분은 최종 대안에 대한 이해당사자들의 합의이다. 예를 들어 같은 세금을 정부에 내고 있음에도 불구하고 특정 지역 거주민들을 위한 도시홍수 관리시스템의 개선을 위해 정부가 많은 예산을 지출한다면 이 사업의 혜택과 관계없는 지역에 거주하고 있는 주민들은 해당 사업에 대한 합의도가 높지 않을 것이다. 이와 같은 문제는 근본적인 해결은 어려우나, 도시홍수 관리시스템의 의사 결정을 위한 부 목적(Secondary objective)로 다룸으로써 해결할 수 있는 체계를 구축함으로써 일정 부분 해소할 수 있다.

(4) 계획의 이행

이행단계에서는 최종적으로 선정된 대안을 채택하고 필요한 예산을 구성하여 집행함으로써 시스템의 성능을 제고시키게 된다. 이행의 단계에서 가장 중요한 부분은 특정 사업의 이행은 시스템 제고의 마지막 단계가 아니라는 점이다. 즉 제고된 시스템은 다시 특정 목표의 수립을 통해 이제까지의 단계와 같은 방식으로도 또 다시 시스템의 성능을 증가시키거나 필요한 경우 감소시키는 순환과정에 있다. 그러므로 이행 단계에서 가장 중요한 부분은 점검이다. 즉 제고된 시스템의 성능을 주기적으로 점검하여 만족할 만한 성능이 유지되고 있는지를 모니터링 할 필요가 있으며, 지속적으로 관련 자료를 수집하고 관리함으로써 언제든지 새로운 자산 관리 과정이 시작될 수 있도록 유지되어야 한다.

3. 도시홍수 위험도 관리에 있어서의 회복탄력성 평가

불확실한 요소가 많이 포함되어 있는 홍수 위험관리를 위해서는 시스템 접근론(System approach)을 사용할 필요가 있는데, 시스템의 기능유지를 위한 회



복탄력성은 크게 ‘복구 탄력성(Restorative resilience)’와 ‘적응 탄력성(Adaptive resilience)’로 구분될 수 있다. 일반적으로 홍수위험도의 관리에 있어서는 두 가지의 탄력성 중에서 주로 복구 탄력성에 대한 개념을 적용하는 경우가 많은데, 이러한 복구 탄력성을 평가하기 위한 지표들은 주로 시스템에서 빠른 변화 양상을 일으키는 변수들에 대한 분석을 나타내게 된다. 네덜란드에서는 ‘진폭(Amplitude)’, ‘점진성(Graduality)’, ‘회복률(Recovery rate)’의 세 가지 변수를 사용하여 홍수위험도의 관리에 대한 복구 탄력성을 평가한 바 있는데, 세 가지 변수들을 보다 상세히 기술하면 다음과 같다.

- 진폭: 특정 요인(주로 외부적 요인)에 대한 시스템 반응의 진폭은 어떤 극한강우로 인해 발생할 수 있는 예측가능한 손실의 강도(Severity)를 나타낸다. 즉 특정 요인으로 발생될 수 있는 재해의 범위 또는 심도로 볼 수 있으며, 주로 년평균 피해액 또는 특정 홍수로 인한 사상자, 건물파괴의 수 등의 크기로 기술된다.
- 점진성: 특정 요인에 대한 시스템의 점진성은 외부적 요인의 발생크기에 따른 시스템의 손실 정도의 시간적 반응요인을 나타낸다. 즉 시스템에 작용한 외부적 요인이 적었음에도 불구하고 급작스럽게 피해가 발생하였다면 이 시스템은 낮은 점진성을 가진 시스템으로 파악될 수 있으며, 반대로 외부적 요인이 크에도 불구하고 점진적으로 피해가 발생되었다면 높은 점진성을 가진 시스템으로 표현될 수 있다.
- 회복률: 회복률은 시스템에 외부적 요인이 작용하여 시스템 고유의 기능이 저하되는 경우 얼마나 빠르게 시스템이 고유의 기능으로 회복될 수 있는지를 나타낸다. 홍수위험도의 관리에 있어서 회복률은 주로 회복률에 영향을 미치는 수리·수문·구조물적인 물리적 요소, 경제적 요소 및 사회적 요소에 관한 지표들을 정성적으로 방법으로 평가된다.

특성 홍수위험도 관리 시스템의 회복 탄력성은 진폭이 작고, 점진성이 크고, 회복률이 높을수록 회복 탄력도가 높은 시스템으로 규정될 수 있다. 복구 탄력성이 시스템에 빠르게 영향을 미치는 요인들에 대한 시스템의 반응을 나타내는 척도를 나타내는 반면, 적응 탄력성은 시스템에 느리게 영향을 미치는 요인들에 대한 시스템의 복원력을 나타내는 척도로 활용된다. 호주에서는 ‘범위(Scope)’, ‘적시성 및 비용(Timeliness and cost)’, ‘외부 조건(External or contingent condition)’, ‘내부 조건(Internal or coordination condition)’의 네 가지 변수들을 활용하여 적응 탄력성을 나타낸 바 있다. 적응 탄력성을 만족할 정도의 수준으로 제고하기 위해서는 경제·사회적인 부가적인 시스템에 의해 주어지는 다음과 같은 중요한 제약조건이 존재하고 있음을 인식하고 이들을 고려하여 적응 탄력성의 실행 정도를 결정할 필요가 있다.

- 홍수위험도를 가중시키는 잠재적 추진요소(Driver)에 대한 인식과 고려
- 적응전략이 유효하다는 신뢰의 확산
- 홍수방어 가용자원의 인적·물적 변화 가능성에 대한 인식
- 제도적·규제적 요소의 변화 가능성 인식
- 변화하는 요소들에 대한 개인 또는 특정 조직의 민감도에 대한 인식

4. 나가며: 구속적 전략에서 탄력적 전략으로의 전환 필요성

과거 세계 각국에서의 홍수위험도 관리는 전통적으로 ‘사일로식 사고방식(Silo thinking)’에 의해 다루어져 왔다. 사일로식 사고방식이란 통합적 사업단위의 하위에 개별적 사업 단위들이 존재하는 경우, 개별 사업단위별로 자신의 사업 단위만의 사업에만 관심을 가지고 다른 사업단위의 사업은 전혀 고려하

지 않는 사고방식을 말한다. 그러나 이러한 전통적 사고방식은 현대에 들어서 사업단위 별 마찰이나 중복사업으로의 투자 등 많은 단점을 들어내면서 한계에 다다랐고, 특히 기후변화와 같이 전체 사업에 영향을 미칠 수 있는 인자들의 영향이 중요해 지면서 더더욱 한계를 나타내게 되었다. 사업단위를 추진하기 위한 구체적인 전략의 수립에 있어 사일로식 사고방식은 '구속적 전략(Entrapment strategy)'로 명명되어 사용되는 경우가 많은 데, 이와 같은 구속적 전략은 사업을 추진하기 위한 개별적 전략들 사이의 장벽이 되기도 한다.

최근 들어 진행되고 있는 사일로식 사고방식의 탈피를 위한 사업 추진에 대한 사고 방식의 변화는 궁극적으로 기존의 구속적 전략을 '회복탄력적 전략(Resilient strategy)'으로 전환(Transition)시키고 있다. 회복탄력적 전략의 적용에 있어 가장 중요한 요소는 구속적 전략에 의한 사업의 추진은 주로 구조물적인 사업추진에 의존하는 특성이 강하였던 반면에 회복탄력적 전략의 적용에 있어서는 비구조물적인 요소를 기반으로 한다는 것이다.

그러나 앞서 언급한 구속적 전략에서 회복탄력적 전략으로의 전환은 짧은 기간에 발생할 수 있는 문제가 아닌 특정 사안을 바라보는 인식의 틀이 전환되어

야 가능하므로, 중간적인 형태인 전환과정을 거치게 된다. 전환과정에서 가장 중요한 요소는 구속적 전략에 지나치게 의존하고 있는 사업단위의 벽을 어떻게 효율적으로 허물고 통합할지에 대한 고려이며, 이 과정의 성사여부에 따라 얼마나 빠르게 탄력적 전략이 적용될 수 있는지의 여부가 달려있다고 해도 과언이 아니다. 이 전환과정에서는 제고시키고자 하는 시스템을 구성하고 있는 인자의 현재 인적·물적 요소의 가용력을 기초로 시스템의 용량(Capacity)를 평가하는 일이 주된 사업이 되며, 이를 주도할 수 있는 특정 권자(Champion)가 전환과정을 주도하게 된다.

마지막으로 회복탄력적 전략에서는 특정 대안을 조정하기 위한 효과를 경제·사회적으로 분석하고 합의하는 과정이 전략의 수립과정에서 가장 중요한 요소가 되기 때문에 사업단위를 구성하는 전체 구성원의 합의가 가장 핵심요소가 된다고 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대 홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 🍷

참고문헌

1. Brundtland, G.H. (1987). Our common future. Oxford University Press, Oxford, UK.
2. Carpenter, S.R., Westley, F., Turner, M.G. (2005). "Surrogates for resilience of social-ecological systems." *Ecosystems* 8, pp. 941-944.
3. Folke, C. (2002). Resilience and sustainable development: Building adaptive capacity in a world of transformations. Scientific background paper on resilience for the process of the world summit on sustainable development on behalf of the environmental advisory council to the Swedish government. Sweden Ministry of the environment. Accessed council to the Swedish.
4. Rammel, C., van Den Berg, J. (2003). "Evolutionary policies for sustainable development." *Ecological Economics* 47, pp. 121-133.
5. Walker, B, Salt, D. (2006). Resilience thinking: sustaining ecosystems and people in a changing world. Island Press, Washington D.C.
6. Zevenbergen, C., Cashman, A., Evelpidou, N., Pasche, E., Garvin, S., Ashley, R. (2011). Urban flood management, CRC Press.