

# 상습침수지구 통합관리 시스템

## Integrated Management System on Frequently Flooded Areas

고진석, 지홍기\*, 이순탁\*\*

Jin Seok Ko, Hong Kee Jee, Soontak Lee

---

### 요 지

유역 특히 상습침수지구의 통합관리는 유역이라는 한정된 범위 내에서 물에 영향을 미치거나 물에 의하여 영향을 받는 모든 인간 활동과 자연현상을 통합적으로 고려하는 것이다. 이러한 관점에서 유역관리는 유역 차원에서 물을 경제적이고 공평하게 관리하고 분배하여 수자원에 대한 장기적이고 지속가능한 해결방안을 마련하는 것이다. 여기에는 정부, 시민사회 및 기업 행위자가 사회경제적 개발목표와 정책형성, 집행계획을 수립하는 것으로부터 시작된다. 유역관리를 위한 의사결정들은 행위자들과의 영향으로 수정되며, 이런 과정에서 토지와 수자원에서 분쟁이 발생하며, 수자원 관리자는 자연현상, 물 사용, 재정적, 인적자원 및 외부적인 요인으로 인해 목적을 달성하는데 부합하지 않을 수도 있다. 효과적인 유역관리를 위해서는 제약조건 하에서 수자원 관리자가 의사결정에 정보를 주고 주요 행위자들과 협력을 통해서 이루어 질 수 있다.

본 논문에서는 유역관리를 위한 의사결정을 행위자기반모형(Agent based Model, ABM)으로 이해하고자 하며, ABM은 유역관리의 이해당사자간의 정책과정을 도출하고 다양한 유역관리 대안을 평가하고 유역관리의 영향을 설명하는 모델이다. 본 모형은 관측자료를 통해 상향식 접근법으로 가능한 많은 세부사항을 모의할 수 있다. 분석과정은 자료의 수집, 모델 확립, 모델의 개발, 통계자료 수집 및 모델의 결과와 실제 시스템의 보충된 관측자료를 비교하는 검증 순으로 진행되며, 본 모델에서의 행위자는 과거의 행동으로부터 주위 환경의 반응하는 패턴을 확인하고 개발하며, 이러한 패턴은 정책들을 구별하기 위해서 이용되며, 이러한 과정에서 강화학습이 이루어진다. 이를 통해 행위자의 익숙한 방식의 합리적인 행동과 정책들의 상관관계를 평가할 수 있으며, 강화학습을 통해 실제적인 통계적인 모델이 가능하다.

**핵심용어 : 행위자기반모형, 유역관리, 강화학습**

---

### 1. 서론

유역 특히 상습침수지구의 통합관리는 유역이라는 한정된 범위 내에서 물에 영향을 미치거나 물에 의하여 영향을 받는 모든 인간 활동과 자연현상을 통합적으로 고려하는 것이다. 이러한 관점에서 유역관리는 유역 차원에서 물을 경제적이고 공평하게 관리하고 분배하여 수자원에 대한 장기적이고 지속가능한 해결방안을 마련하는 것이다. 여기에는 정부, 시민사회 및 기업 행위자가 사회경제적 개발목표와 정책형성, 집행계획을 수립하는 것으로부터 시작된다. 유역관리를 위한 의사결정들은 행위자들과의 영향으로 수정되며, 이런 과정에서 토지와 수자원에서 분쟁이 발생하며, 수자원 관리자는 자연현상, 물 사용, 재정적, 인적자원 및 외부적인 요인으로 인해 목적을 달성하는데 부합하지 않을 수도 있다. 효과적인 유역관리를 위해서는 제약조건 하에서 수자원 관리자가 의사결정에 정보를 주고 주요 행위자들과 협력을 통해서 이루어 질 수 있다.

본 논문에서는 유역관리를 위한 의사결정을 행위자기반모형(Agent based Model, ABM)으로 이해하고자 하며, ABM은 유역관리의 이해당사자간의 정책과정을 도출하고 다양한 유역관리 대안을

---

정회원 · 영남대학교 대학원 · 박사과정 E-mail: springtime@nate.com  
\* 정회원 · 영남대학교 건설시스템공학과 · 교수 E-mail: hkjee@yu.ac.kr  
\*\* 정회원 · 영남대학교 · 석좌교수 E-mail: leest@yu.ac.kr

평가하고 유역관리의 영향을 설명하는 모델이다. 본 모형은 관측자료를 통해 상향식 접근법으로 가능한 많은 세부사항을 모의할 수 있다. 분석과정은 자료의 수집, 모델 확립, 모델의 개발, 통계 자료 수집 및 모델의 결과와 실제 시스템의 보충된 관측자료를 비교하는 검증 순으로 진행되며, 본 모델에서의 행위자는 과거의 행동으로부터 주위 환경의 반응하는 패턴을 확인하고 개발하며, 이러한 패턴은 정책들을 구별하기 위해서 이용되며, 이러한 과정에서 강화학습이 이루어진다. 이를 통해 행위자의 익숙한 방식의 합리적인 행동과 정책들의 상관관계를 평가할 수 있으며, 강화학습을 통해 실제적인 통계적인 모델이 가능하다.

## 2. 통합홍수관리 시스템

통합홍수관리는 홍수관리를 위한 접근법의 통합을 촉진하는 과정이라고 할 수 있다. 이것은 유역에서의 토지와 수자원 개발을 통합한다. 홍수범람원에서 순편익을 최대화하고 인명손실을 최소화하는데 목적이 있다.

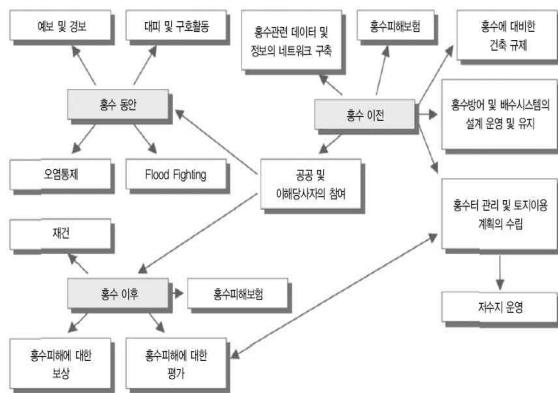


그림 1. Concept of Integrated Flood management

전략	내용
홍수저감	댐과 저수지 제방 전환 유역관리 하도개선
피해 취약성 저감	홍수범람원 규제 개발 및 재개발정책 시설물 설계와 위치 주택 및 건물 규제 홍수방지공 홍수예경보
홍수영향 완화	정보와 교육 재해대비 재난복구 홍수보험
범람원의 자연자원 보호	홍수범람원 구역화 및 규제

표 1. Strategies and options for flood management

통합홍수관리에서는 유역이 육지와 수계사이의 많은 상호작용과 유동이 있는 동적인 시스템이라는 것을 인식하고 있다. 통합홍수관리의 시작은 유역이 무엇이 될 것인가라는 시각이다. 지속가능한 인간생활을 통합하는 것은 시스템 전체의 거동을 확장기 위해서 기회를 입증해나가는 작업 방식을 찾는 것이다. 강에서 바다로 이동하는 물, 유사 및 오염물질들은 해안의 수킬로 떨어진 섬에 도달한다거나 유역전체를 덮을 정도로 아주 의미있는 결과를 보인다. 수계와 토양환경 사이의 상호작용의 변화로부터 발생하는 득실을 인정하면서 유역 전체의 기능을 개선하는 시도가 이행되어야 한다. 여기에는 개발과 홍수로 인한 손실의 균형이 요구된다. 인명손실을 줄이는 것이 첫째가 되어야 하며, 홍수로 인한 손실 저감의 목표는 결국 홍수범람원에서 최적 토지이용의 목적에 대해서 두 번째가 되어야 한다. 그리고 홍수손실의 증가는 일반적으로 홍수범람원의 효과적인 토지이용의 증가와 일치한다. 핵심요소는 (1) 전유역의 수문순환 관리, (2) 통합 토지 및 수자원관리, (3) 최적 복합대책의 적용, (4) 일반사회의 참여 보장 및 (5) 통합재해관리 적용 등이 있다.

### 3. Agent Based Model의 해석방법

#### 3.1 다중 행위자 시스템의 구축

다중 행위자시스템을 위한 행위자를 구성하는 최상의 방법이라고 인식되어지는 것은 없다. 다른 설계 구조는 시뮬레이션의 목적에 따라 장점들을 가지고 있다. 그럼에도 불구하고 모든 행위자 설계는 환경으로부터의 입력값들을 받아들이는 것, 이전 입력값들과 행위의 기억을 저장하는 것, 다음에 무엇을 진행해야 할지를 수립하는 것, 그리고 행위들을 수행하고 결과를 출력하는 것 등의 메카니즘을 포함하고 있다. 행위자 구성은 인공지능의 상징적인 패러다임의 근간과 신경망을 기초로한 비상징적 접근법으로 나누어 질 수 있으며, 여기에 약간의 혼용 MAS(Multi-Agent System)도 있다(Klíver, 1998).

##### (1) 행위자 구성 기법

###### - 생성 시스템

가장 간단하면서 효과적인 행위자 설계는 생성시스템을 활용하는 것이다. 생성시스템은 세 가지 요소로 구성되어 있다. 일련의 규칙(Set of Rules), 작업 기억(Working Memory) 및 규칙 수행(Rule Interpreter) 등이 그것이다. 규칙은 두 개의 부분으로 구성된다. 첫 번째는 규칙을 실행될 때 지정하는 조건이며, 두 번째는 그 규칙의 결과가 됨을 결정하는 행위 부분이다.

###### - 학습

생성시스템은 행위자들이 처한 환경을 학습할 수 있는 잠재성과 다른 행위자들을 통해 작업 기억에 수용된 지식을 추가함으로써 학습할 수 있다는 잠재성을 기반으로 하고 있다. 그러나 행위자 자신의 규칙들은 항상 변함이 없다. 핵심은 근본적인 학습능력을 가진 행위자를 배출하는 것이 바람직하다는 것이다. 앞에서 얘기한 보다 근본적인 학습은 환경변화에 적응하는 내부구조에서 일어난다. 여기에는 신경망과 유전자 알고리즘과 같은 진화 알고리즘 등 두 가지의 기법이 주로 사용된다.

###### - 행위자 환경

행위자는 항상 서로 다른 행위자들의 상호작용 네트워크로 구성된 사회환경을 모의함으로써 모델화가 될 수 있다. 그러나 가끔씩 행위자 위치에 제약조건을 둬으로써 물리적인 환경을 모델화할 때 유용하다. 일반적인 가정은 인접한 행위자들은 상호작용하기 쉽고 또는 멀리 떨어져 있는 행위자보다 영향을 더 많이 받을 수 있다.

이러한 종류의 모델들은 격자기반 Automata상에서 'on' 또는 'off'로 과정이 발생하는 기법을 사용함으로써 구성된다. 격자의 상태는 간단한 규칙의 운영을 통해 결정되어지며, 격자기반 Automata는 오직 인접한 격자의 상태 및 앞의 상태에 의존한다.

##### (2) 환경, 규칙 및 행위자 구축

그림 2에서와 같이 환경-규칙-행위(Environment-Rule-Agent, ERA)의 주요한 특징은 규칙과 일반자료를 통한 모델의 배경이 되는 환경과 개념적 수준에서 자신의 개인자료를 가진 행위자를 가지고 있다. 코드를 단순화하기 위하여 행위자는 직접적으로 의사소통하지 않고 항상 환경을 통해서만 소통이 이루어지도록 제안하였다. 코드를 간단하게 설계하는 목적과 함께 행위자의 거동은 외부 객체 즉 룰 마스터(Rule Master)에 의해서 정의되어진다. 이것은 행위자 인식의 추상적인 표현으로 해석될 수 있다. 생산 시스템, 분류기 시스템, 신경망 및 유전자 알고리즘은 룰 마스터를

수행하기 위한 모든 지원시스템이다. 여기에는 메타규칙(Meta-Rules)을 필요로 한다. 메타규칙은 규칙들을 수정하기 위해서 사용된다. 그러므로 룰 마스터 객체는 룰 메이커(Rule Maker) 객체와 연결되어 있으며, 룰 메이커의 역할은 학습과정을 모의함으로써 행위자의 행위를 지배하여 수정하는 것이다. 룰 마스터는 행위자 스스로로부터 규칙을 적용하여 필요 정보를 획득하기도 하며, 자료가 수집된 그리고 분배된 특별 행위자로부터 획득한다. 이와 비슷하게 룰 메이커는 룰 마스터와 상호작용하고 있다. 비록 이러한 코드구조는 복잡하게 보일수도 있지만 시뮬레이션을 수정할 때 이점이 있다. 그리하여 구조의 강직함은 귀중한 선명도의 근원이 된다.

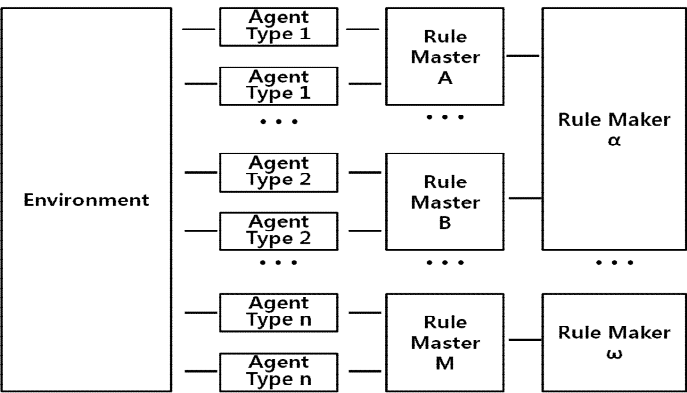


그림 2. The Environment-Rules-Agent framework to build agent based computational models

그림 2. The Environment-Rules-Agent framework to build agent based computational models

## 5. 결과

본 연구에서는 행위자기반 모형을 통해 자연환경과 이해관계자의 동적현상을 살펴보았으며, 이를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 본 모형은 상향식 접근법으로 가능한 많은 세부사항을 모의할 수 있으며, 분석과정은 자료의 수집, 모델 확립, 모델의 개발, 통계자료 수집 및 모델의 결과와 실제 시스템의 보충된 관측 자료를 비교하는 검증 순으로 진행됨. 행위자는 과거의 행동으로부터 주위 환경의 반응하는 패턴을 확인하고 개발하며, 이러한 패턴은 정책들을 구별하기 위해서 이용되며, 이러한 과정에서 강화학습이 이루어진다
- 2) 통합홍수관리를 위해 문제의 체계화(Problem Structuring), 모형의 체계화(Model Structuring) 및 영향분석(Imact Assessment and Analysis)로 구성하여 진행해야하며, 각 대안들의 정량적인 효과분석은 정성적 평가가 이루어져야 함. 이에 대한 정량화는 가치함수 구성과 가중치를 부여하였다. 정량화된 값과 다기준의사결정기법을 이용하여 대안의 종합적인 상대효과를 비교해야 함.
- 3) 특정한 지역관리를 운영하는 구조속에서 공간적으로 분산된 개개의 행위자를 기반으로 하여, 홍수관리 대안 결정에 영향을 주는 인자를 이해함으로써 정책 결정자들이 정책목적을 달성할 수 방안을 제시함.

## 참고 문헌

1. 김광섭(2010), “기후변화에 대비한 통합홍수관리 - 통합홍수관리의 필요성과 개념”, 국토 통권 344호 pp. 5~11, 국토연구원.
2. WMO · APFM(209), Integrated Flood Management Concept Paper.
3. Westervelt, J. D.(2002), Geographic Information Systems and Agent-Based Modeling. In Integrating Geographic Information Systems and Agent-Based Modeling Techniques for Simulating Social and Ecological Processes, ed. H. Randy Gimblett, 83-103. New York:

Oxford University Press.

4. Bell, K. O. and E. G. Irwin (2002), Spatially explicit micro-level modelling of land use change at the rural - urban interface. *Agricultural Economics*(27): 217-232.
5. Engelen, G., R. White and T. De Nijs (2003), Environment Explorer: Spatial Support System for the Integrated Assessment of Socio-Economic and Environmental Policies in the Netherlands. *Integrated Assessment*(4): 97-105.
6. Grelot, F., O. Barreteau and B. Guillaume (2005), SIGECORIS: An Agent based Simulator to explore collective flood management options. *Agent-Based Models for Economic Policy Design*, Bielefeld, Germany, ZIF, University of Bielefeld.
7. Terpstra, T. and J. M. Gutteling (2006), The public perception of flooding and flood risk. The effect of group discussions on risk perceptions. Enschede, Final Report of Interreg IIIb FLOWS Work Package 2D.