

한중 시스템다이나믹스가 물 환경보호에서의 응용 비교연구

유향란(서울대학교)

I. 서론

물은 모든 생명의 근원이자 인간의 생존에 있어서 반드시 필요한 요소이다. 뿐만 아니라 물은 생활용수, 산업용수, 농업용수, 관개용수, 발전자원 또는 관광자원 등 여러 용도로 이용되는 자원의 일종으로서 경제 개발의 필수 요소이기도 하다. 이처럼 물은 용도가 다양한 공공재로서의 특성을 가지고 있기 때문에 물의 효율적인 그리고 환경 친화적인 이용이 절실히 요청되고 있다. 이와 같은 개발에 있어서의 효율성과 환경에 있어서 보호정책은 “친환경적이고 지속 가능한 개발” 또는 “지속 가능한 개발”(Environmental-ly Sound and Sustainable Development)이라고 알려져 있는 국제법적 명제일 뿐 아니라 한국에 있어서도 개발과 환경정책에 관한 기본적인 정책으로 인정되고 있다.¹⁾

본 연구는 한국과 중국에서 시스템다이내믹스 방법론이 물 환경 보호차원에서는 어떻게 이용되고 있는지 또한 그 발전 가망이 어떠한지를 알아보고자 하였다.

II. 시스템다이내믹스

시스템다이내믹스 방법론은 1961년 MIT의 Jay Forrester에 의해 처음 창안된 것으로 대부분의 실제 시스템의 중요한 특징인 매우 높은 동적 복잡성을 체계적으로 구현하는 데에 큰 장점이 있어 사회학, 공학, 생태학 등 여러 학문영역에 걸쳐 시스템의 장기적인 동태분석을 위한 중요한 도구로 사용되고 있다(이상은 등, 2006). 또한 시스템다이내믹스는 현상을 파악하고 의사를 결정할 때에 빠지기 쉬운 단선적 사고의 위험을 없애고 사회현상을 동적으로 파악하여 시간에 따른 정확한 예측을 가능하게 한다(김도훈외, 1999).

III. 중국

중국은 육지수자원이 상대적으로 부족한 나라이다. 중국 수자원의 특징을 보면 첫째, 1인당 수자원량이 적다. 중국의 1인당 수자원량은 겨우 2500m³로 세계 평균치의 1/4밖에 되지 않는다. 인구의 증가와 경제의 발전에 따라 더욱 많은 도시와 지역에 물 부족현상이 일어날 것이다. 둘째, 수자원의 공간분포가 불균형하다. 공간적으로 볼 때 지표수의 분포는 장강이남의 남방에 많고 그 이북의 북방에 적다. 시간적으로 강우량의 연간분포도 불균형하다.

1) 소병천, 물 관리법의 제정 필요성과 그 방향 및 내용, 환경법연구, 25-2.

물이 부족한 북방지구에는 연강우량의 대부분이 여름에 집중되어 있어 물의 축적이 용이하지 않아 전 년의 대부분 시간 내에 물 부족 현상이 발생하고 있다.²⁾)

오랜 시간 동안 중국의 지속 가능한 사회경제건설발전에 있어서 물 관련 문제가 많았는데 그 중에서도 수자원문제가 가장 큰 문제로 나타나고 있었다.

수 환경자원이 이렇게 소중함에도 불구하고 수 환경보호에 관한 연구는 아주 적은 실태이다. 연구는 주로 도시 물 환경오염과 제어, 도시 물 환경용량, 도시오수처리와 회수 등 몇 가지 면에만 집중되고 있다.

몇 가지 사례를 들어보자.

중국 河南성 洛陽시를 연구대상지역으로 郭懷成 등(1988)이 연구를 진행하여 도시 수 오염제어시스템의 특징을 분석하고 洛陽시의 도시배출오염자시스템의 시스템다이내믹스모형을 구축하였다. 이 모델은 8개의 수평변량을 핵심으로 모두 157개의 매개변수와 변량을 선택하였고 이 모델에 대해 유효성검사를 진행하였으며 이 모델의 실제응용에서 6개의 決策점과 決策변수그룹을 決策변수로 선정하여 차례로 6개의 정책방안을 결정하였다. 모의 결과에서 비교적 우수한 정책방안을 정책결정기관들에 선택방안으로 제공하였다. 그 외에 郭懷成 등(1995), 達慶利 등(1995)은 도시 물 환경시스템의 특징을 분석하여 도시 물 환경과 지속 가능한 발전의 연구방법을 제출하여 도시 물 환경과 사회, 경제를 종합적으로 발전시키는 방안을 연구하였으며 또한 물 환경 적재력을 통하여 각 정책방안에 대해 평가를 진행하였다.

西安建築科技대학교의 李梅는 青海성 西寧시를 연구대상지역으로 도시 오수 리사이클 시스템에 대한 분석과 모델예측을 하였다. 첫째, 이용 가능한 물의 가격은 오수의 回用에 영향 주는 아주 중요한 요인이다. 수자원가치이론의 연구에서 일상적인 수자원과 이용 가능한 수자원의 가치분석비교를 진행하여 수자원의 지속 가능한 이용과 지역의 지속 가능한 발전각도에서 수자원의 가치론 연구영역을 넓힘으로써 경제학적으로 이용 가능한 수자원의 가치를 토론하여 이용 가능한 수자원가격의 수학적 모델을 건립하여 이용 가능한 물의 가격이 오수 回用에 주는 영향을 연구하였다. 둘째, 이용 가능한 오수 回用 시스템모형을 구축 및 영향 주는 주요 요소들을 분석하였고 오수 回用의 목적과 용도에 근거하여 이용 가능한 오수 回用의 가능성과 回用 시스템을 분석하였다. 셋째, 미래 사회경제발전이 수자원에 대한 수요량을 예측하고 가뭄지역과 물 부족 지역의 수자원위기 및 수자원 이용 가능한 잠재력을 분석하여 이용 가능한 오수 回用이 지역국민경제발전과의 연관성을 밝혀내고 오수 回用에 영향 주는 인자 및 인자들과의 정량관계를 분석하여 도시 오수의 재생 가능한 시스템의 발전상황과 발전추세를 예측하였다. 이러한 방법과 방안들은 정책결정기관들에 유력한 과학적인 의거를 제공해준 것이다.

대만국립중산대학교 해양환경공학연구소(Marine Environment and Eng-ineering)의 陣函馨연구팀은 시스템다이내믹스 방법론 STELLA를 이용하여 感潮하천의 물 관리 및 수질

2) 노청석, 중국의 수질오염에 관한 법적 규제.

모델을 구축하였다. 본 모델은 수 처리섹터, 전송섹터, 수질섹터3가지 섹터로 구성되었다. 수 처리 섹터는 주로 感潮하천의 수위와 유량변화를 측정하는 것이고 전송섹터는 물에 용해된 물질이 시공간적인 변화에 따라 변화하는 것을 측정하는 것이며 수질섹터는 이 하천의 수질변화가 생화학적 반응 및 숙명적인 변화에 따른 변화를 측정하는 것이다. 본 모델은 전반적인 환경기술과 사회 및 경제의 종합적인 연구에 유력한 역할을 하였으며 또한 담수하천의 조류 및 오염상황을 이해할 수 있게 할뿐만 아니라 여러 가지 개선방안을 예측하는 효과평가 도구로서 정책결정기관에 수질선택의 개선방안에 참고적인 의거를 제공함으로써 경제발전의 목적에 부합되고 동시에 환경보호의 원칙을 지키는 균형적인 사회발전의 정책을 만들 수 있게 하였다.

IV. 한국

이상은 등(2007)은 시뮬레이션 기법을 통하여 수도사업이라는 시스템을 통합적으로 분석할 수 있는 방법론을 제안하고 더 나아가 제안한 방법론이 각종 사업성과를 개선하기 위한 전략을 도출하기 위해 어떻게 활용될 수 있는가에 대한 질문을 특정사례를 중심으로 논의하였다. 구축된 모델은 실제 시스템을 구조적으로도, 통계적으로도 잘 묘사할 수 있으며 시뮬레이션과 민감도 분석을 통해 장래 사업성과를 예측하고 현재의 문제들에 대한 의사결정에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단되었으며 결론적으로 동 방법론은 수도사업의 전망 예측 및 의사결정에 있어서 유용성을 갖는 것으로 판단되었다.

이상은 등(2007)은 한국의 가장 큰 도시인 서울시와 부산시의 연도별 자료를 교차하여 검증하였다. 도시계획의 중요한 기능인 물 공급을 효과적으로 하기 위해서는 장기적인 물 수요 예측기법이 더욱 개선되어야 한다는 필요성에 의해 시스템다이내믹스 방법론을 활용하여 동적 모델을 구조화하고 기존의 모델에 비해 다소 정교한 예측곡선을 제시할 수 있음을 증명하였다.

김신결 등(2006)은 서울지역을 연구대상지역으로 하였고 자료는 서울시 통계연보와 상수도 통계연보(1999-2002)를 참조하였으며 우선 물 수요와 관련된 인자들을 물 수요섹터, 산업섹터, 인구섹터로 구분하여 시스템다이내믹스를 이용하여 장래의 물 수요량을 추정한 후에 원단위 모델과 비교를 진행하였다. 2003년을 기준으로 서울시의 상수도는 6개의 정수사업소와 11개의 수도사업소로 구성되었고 1일 생산능력은 570만 m^3 이다. 결론적으로 시스템다이내믹스는 기존의 방법인 원단위법보다 다양한 사회변동특성을 고려한 결과로서 특히 IMF시기의 물 수요량의 급감을 잘 추정하였다. 또한 장래의 물 수요량을 예측한 결과 경기, 물가지수의 변동에 따라서는 큰 변동을 보여주고 고용환경의 변화에 따라서는 상대적으로 적은 변동을 나타냈다는 결론을 얻었다.

V. 결론

한국과 중국은 서로 인접된 국가로서 생태환경도 서로 영향을 주는데 특히 중국의 생태환경이 한국에 미치는 영향이 더 크다. 몇 년이래, 양국은 이미 생태환경영역에서 아주 효과적인 협력을 펼쳐가고 있다.

1992년 한·중 수교 이후 양국의 우호적인 협력은 정치, 경제, 사회, 문화 등 각 분야에서 매우 빠른 발전을 가져왔다. 특히 양국의 임업분야 협력발전은 엄청 빠른 속도로 발전하고 있어 그 전망이 크다. 양국의 협력분야에서 일부분은 시스템다이내믹스를 이용하여 진행한 연구도 있다. 예를 들면 중한해양과학공동연구센터의 “해양 생태시스템다이내믹스” 분야의 연구사업이 그 중의 하나이다. 그러나 아직은 양국의 생태환경문제가 많이 존재하는데 비하여 시스템다이내믹스의 이용은 별로 많지 않다. 따라서 이는 한번 기대해 볼만한 과제이기도 하다.

[참고 문헌]

- 김도훈, 문태훈, 김동환. 시스템다이나믹스. 1999, 대영문화사.
- 김신걸, 변신숙, 김영상, 구자용. 시스템다이나믹스법을 이용한 서울특별시의 장기물 수요예측. 상하수도학회지, 2006, 20(2), pp.187-196.
- 이상은, 김현옥, 박현. 시스템다이나믹스를 이용한 투명성의 수도사업에 대한 영향 분석. 상하수도학회지, 2006, 20(4), pp.605-616.
- 이상은, 박혜연, 박희경. 수도시스템 사업성과의 통합적 분석을 위한 시스템다이나믹스 방법론 적용. 상하수도학회지, 2007, 21(1), pp.55-73.
- 이상은, 최동진, 박희경. 시스템다이나믹스를 이용한 도시 물 수요 장기예측의 동적 모델 연구. 상하수도학회지, 2007, 21(1), pp.75-82.
- 郭懷成等, 系統動力學在城市水污染控制規劃中的應用, 1989, 10(3), pp.13-22.
- 郭懷成等, 洛陽城市水污染控制系統研究, 地理學報, 1988, 43(4), pp.318-327.
- 郭懷成等, 城市水環境與社會經濟可持續發展對策研究, 環境科學學報, 1995, 15(3), pp.363-369.
- 達慶利等, 區域水環境經濟系統的建模原則和方法, 系統工程理論與實踐, 1995, 12, pp.1-5.
- 李梅, 城市污水再生回用系統分析與模擬預測, 西安建築科技大學博士論文, 2003. 10.
- 陣函馨, 以系統動力學建立感潮河川水理與水質模式, 國立中山大學海洋環境及工程學系研究所.