

자연재해로 인한 기반시설의 간접 피해액 예측 연구 동향



김병일 안동대학교 토목공학과 조교수
김두연 경일대학교 건설공학부 조교수

1. 서론

전 세계적으로 자연재해로 인한 피해액은 지속적인 증가 추세를 보이고 있으며 우리 나라도 이러한 추세에서 벗어나 있지 않다. 그림 1은 1980년부터 2009년까지 국내에서 자연재해로 인한 직접 피해액을 Box plot으로 나타낸 것으로 최대값과 제3사분위값, 중앙값이 급격히 증가하고 있는 것을 확인할 수 있다.

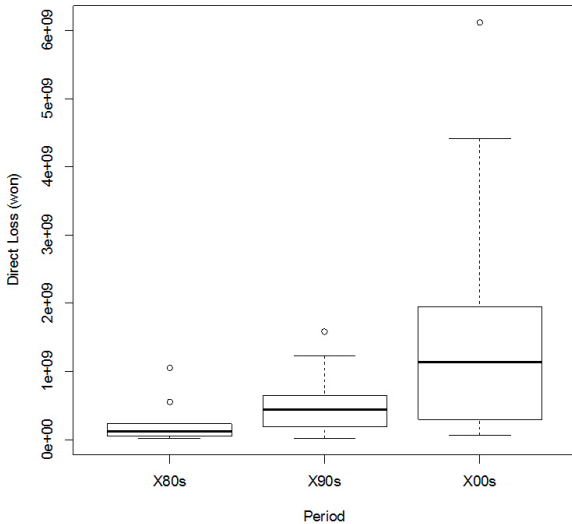


그림 1. 자연재해로 인한 연대별 직접 피해액

이 통계는 직접 피해액만 산정한 것으로 간접 피해액까지 고려하면 피해규모는 더욱 늘어날 것으로 추산된다. 간접 피해액은 직접 피해액의 최소 절반 이상에 이른다는 UNISDR(2014)의 분석을 그림 1에 적용하면 2000년대 직·간접 피해액의 최

대값은 9.2조(2002년)에 달하고 1980년대 1.6조(1987년)보다 무려 5.8배 증가한 것을 알 수 있다.

이러한 현상의 원인과 관련해 건설 분야에서는 대별되는 두 가지 인식이 존재한다. 하나는 기반시설을 물리적 네트워크로 보는 것이고, 다른 하나는 사회기술적 시스템으로 보는 것이다. 전자의 경우 피해액 증가의 주요 원인을 극한기후사상(extreme weather event)의 발생빈도 및 강도 증가로 본다. 그 결과 주어진 외력(즉, 극한기후사상) 아래 기반시설의 손상 정도를 평가하는 주제가 부상했다. 이 주제에 근거한 연구는 건설 재난 분야의 초기 연구의 바탕을 이루었으며, 다분히 역학적인 연구라 할 수 있는데 반해, 최근에는 후자의 인식에 근거해 전혀 다른 차원의 이해를 요구하는 주제가 부상하고 있다. 즉 기반시설 간의 물리적, 기능적, 및 논리적 상호의존성 강화에서 피해액 증가의 원인을 찾는 연구가 근래 들어 주목 받고 있다(Rinaldi et al, 2001; Cavallo and Noy 2010). 주어진 자연재해 시나리오 아래 직접 피해액을 산정하고 기반시설 간의 상호의존성을 바탕으로 직접적인 피해가 야기하는 간접 피해액을 추산하는 주제가 전형적이라 할 수 있다. 요약 하면, 기반시설을 물리적 네트워크로 인식하고 직접 피해액 산정에 무게를 두는 연구가 초기에 주목 받았다면 근래 들어 기반시설은 사회기술적 시스템이라는 인식에 근거해 간접 피해액 산정에 초점을 맞추는 연구가 부상하고 있다. 정확한 자연재해 피해액 예측은 대응 방안 마련의 경제적 근거(예, 홍수 피해액 예측에 근거해 댐 증고에 투입할 수 있는 최대 공사비 제시)가 될 수 있기 때문에 직접/간접 피해액을 막론하고 그 중요성이 지대하다 할 수 있다(Kim et al, 2014). 본 고에서는 최근 주목을 받고 있는 자연재해로 인한 간접 피해액 예측 관련 연구 동향을 방법론을 중심으로 간략히 소개하고자 한다.

II. 본론

2.1 기반시설 상호의존성

본격적인 논의를 진행하기 앞서 본 고에서 사용할 주요 용어들을 정의하고자 한다. 기반시설은 교통·수송 시설뿐만 아니라 에너지, 정보통신, 식·용수 등 국민생활이나 국가기능 유지에 필요한 물리적 요소를 모두 포괄한다. 직접 피해는 물적/인적 자원에 매개물 없이 가해지는 피해를 뜻한다. 간접 피해는 직접 피해로 인해 경제 활동의 중단 시 발생하는 2차적인 손실을 말한다. 예를 들어, 태풍으로 인해 발전소의 특정 시설이 파괴되었다고 하자. 이때 이 시설을 원상 복구시키기 위해 투입되는 비용이 직접 피해액이 되고, 복구 기간 동안 전기 생산이 중단됨으로써 발생하는 이윤 감소가 간접 피해액이 된다. 나아가 이 발전소에서 생산한 전기에 의존하는 공장 역시 같은 기간 동안 경제 활동이 중단될 것이고 이로 인한 손실 역시 간접 피해액이 된다. 만약 이 공장에서 생산하는 상품이 다른 생산 활동에 영향을 미친다면 또 다른 간접 피해가 유발된다. 이처럼 간접 피해는 확산되는 특징을 갖고 있으며 기반시설의 상호의존성이 높을수록 간접 피해액은 기하급수적으로 증가하게 된다.

기반시설은 점점 더 거대한 시스템으로 성장하는 경향을 갖는데 이 특성이 상호의존성으로 나타난다. 기반시설 건설에는 전문학적 매몰비용이 발생하게 되고 그 결과 경로 의존적 투자를 유발한다. 예를 들어, 서울부산 간의 도로가 기 건설되어 운영 중이고 부산 근교에 신도시를 건설할 예정이라고 하자. 이때 서울과 신도시를 도로망을 통해 연결하고자 한다면 서울부산 간의 기존 도로를 활용하고 부산신도시 간 신규 도로를 건설하는 것이 가장 경제적인 방안일 것이다. 이처럼 기반시설이 규모의 경제 실현을 위해 경로 의존적인 투자를 유발하게 됨에 따라 상호의존성이 점점 높아질 수밖에 없다. 한편 도시와 같은 과밀화된 지역에서는 신규 기반시설을 건설할 공간이 부족하기 때문에 현재 사용 중인 공간을 공유하게 되는데 이러한 현상 역시 물리적 상호의존성을 유발한다. 지하 공간에 상하수도 시설과 정보통신 시설이 공존하는 경우가 그러하다. 이처럼 기반시설간의 상호의존성이 높아짐에 따라 자연재해로 인한 기반시설의 피해액에서 간접 피해액이 차지하는 비중이 점차 높아지고 있다.

2.2 투입산출모형(Input-Output Model)

기반시설의 상호의존성에 근거해 자연재해로 인한 간접 피해액을 예측하기 위한 다양한 시도가 있었다. 그 중에서 가장

널리 활용되고 있는 모델링 프레임워크는 레온티에프(Wassily Leontief)의 투입산출모형이다. 이 방법론은 일정기간 동안 특정지역 내에서 발생하는 모든 거래 내역을 기록한 통계표를 활용해 최종 수요 부문의 수요변화가 중간재 생산 부문의 수요변화에 미치는 영향을 측정할 수 있다 (Santos 2006). 많은 나라에서 경제 구조 분석에 기초자료로 널리 활용하고 있으며 대한민국에서도 1960년부터 이를 사용하고 있다.

산업 간 상호의존성의 정도를 비교적 간명하게 나타낼 수 있다는 점이 투입산출모형의 가장 큰 장점이라 할 수 있다. 이를 활용해 자연재해로 인한 기반시설의 간접 피해액을 예측하기 위한 다양한 시도(Haimes and Jiang 2001; Cho et al. 2001)가 있었다. 하지만 투입산출모형은 산업 간의 선형적인 관계, 가격 변동에 경직, 자원 제약 불가 등 현실과 다소 괴리된 가정에 기초하고 있다는 근본적인 한계가 존재한다.

2.3 사회기반계정행렬(Social Accounting Matrix)

투입산출모형과 방법론 측면에서 유사한 모델링 프레임워크로 사회기반계정행렬이 있다. 이 방법론은 투입산출모형의 확장형으로 기본 가정 등이 동일하고 상대적으로 상세한 분석이 가능하다는 장점이 있으나 그만큼 더 많은 자료를 수집하고 분석해야 한다는 트레이드오프가 있다 (Cole 2004).

2.4 연산가능일반균형모형

(Computable General Equilibrium Model)

투입산출모형의 한계를 극복하기 위한 대안으로써 연산가능일반균형모형이 활용되기도 했다. 이 모형이 가진 (투입산출모형과 달리) 비선형적이며, 가격 변동에 대응이 가능하고, 투입 대체가 가능하다는 특징을 활용해 자연재해로 인한 기반시설의 간접 피해액 산정 연구(Boisvert 1992)가 수행되기도 했다. 하지만 이러한 유연성으로 인해 연산가능일반균형모형은 장기적 분석에 더 적합하고 재해와 같은 상대적으로 단기적인 상황에는 피해액을 과소 추정할 위험성이 있다는 지적이 있다 (Rose and Liao 2005). 상술한 세 가지 방법론의 장단점을 요약하면 표 1과 같다.

III. 결론

전술한 세 방법론은 모두 유량분석(flow analysis)의 일종으로 일정기간(즉, 재해 발생부터 복구까지의 시간)을 기준으로 파악된 경제변량의 흐름을 분석함으로써 자연재해로 인한 기

표 1. 자연재해 피해액 산정 방법론별 장단점

방법론	장점	단점
투입산출모형	<ul style="list-style-type: none"> • 단순한 구조 • 다양한 분석 기술 존재 • 모형의 수정 및 다른 방법론과 결합 용이 	<ul style="list-style-type: none"> • 선형적 구조 • 자원 제약 불가 • 가격 변동 경직
사회기반계정행렬	<ul style="list-style-type: none"> • 매우 세부적인 분석 가능 • 다양한 분석 기술 존재 • 모형의 수정 및 다른 방법론과 결합 용이 	<ul style="list-style-type: none"> • 방대한 자료 수집 • 선형적 구조 • 자원 제약 불가 • 가격 변동 경직
연산가능일반균형모형	<ul style="list-style-type: none"> • 비선형적 구조 • 자원 대체 가능 • 가격 변동 반응 	<ul style="list-style-type: none"> • 지나치게 유연한 구조 • 피해액 과소 추정

반시설의 간접 피해액을 효과적으로 예측한다. 하지만 다음과 같은 한계들을 여전히 내포하고 있다. 간접 피해는 확산되는 경향이 있고 현재와 같은 개방경제 체제 아래서는 국경이라는 관념이 그 피해를 차단할 수 없다. 또한 자연재해는 특정 국가에 국한해 발생하는 것이 아니고 여러 국가에 걸쳐 동시다발적 피해가 일어날 수 있다. 하지만 위 방법론들은 기본적으로 특정 국가의 지표들을 활용해 분석을 수행하기 때문에 재해의 보편성을 고려하지 못한다. 또 다른 문제점으로는 상술한 방법론들은 모두 공급자 측면의 피해만을 강조하고 있다는 것이다. 예를 들어, 생산 중단이 발생하는 경우 소비 제약 또한 동시에 발생할 수 있음에도 불구하고 특정 경제 주체에 국한된 분석이라는 한계가 있다. 이러한 한계들이 극복된다면 좀 더 정확한 간접 피해액 예측이 가능할 것이다.

참고문헌

Boisvert, R. (1992) "Indirect losses from a catastrophic earthquake and local, regional, and national interest." *Indirect Economic Consequences of a Catastrophic Earthquake*, 207-265.

Cavallo, E. and Noy, I. (2010) *The Economics of Natural Disasters: A Survey*. Inter-American Development Bank, Washington, D.C., United States.

Cho, S., Gordon, S., Moore II, J. E., Richardson, H. W., Shinozuka, M., and Chang, S. (2001) "Integrating transportation network and regional economic models to estimate the costs of a large urban earthquake." *Journal of Regional Science*, 41(1):39-65.

Cole, S. (2004) "Geohazards in social systems: an insurance matrix approach." *Modeling Spatial and*

Economic Impacts of Disasters, 103-118.

Hairnes, Y. Y. and Jiang, P. (2001) "Leontief-based model of risk in complex interconnected infrastructures." *Journal of Infrastructure Systems*, 7(1)1-12.

Kim, B., Shin, S. C., and Kim, D. Y. (2014) "Resilience assessment of dams' flood-control service." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 34(6):1919-1924.

Rinaldi, S. M., Peerenboom, J. P., and Kelly, T. K. (2001) "Identifying, understanding and analyzing critical infrastructure interdependencies." *IEEE Control Systems Magazine*, 21(6):11-25.

Rose, A. and Liao, S. Y. (2005) "Modeling regional economic resilience to disasters: a computable general equilibrium analysis of water service disruptions." *Journal of Regional Science*, 45(1):75-112.

Santos, J. R. (2006) "Inoperability input-output modeling of disruptions to interdependent economic systems." *Systems Engineering*, 9(1):20-34.

United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR) (2014) *2013 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*.

- 김병일 E-mail : bkim@anu.ac.kr
- 김두연 E-mail : duyonkim@kiu.ac.kr