

도시 시스템 과학과 물리적 디자인의 융합: 도시 레질리언스를 위한 다이나믹 시뮬레이션 기술

- The Integration of Urban System Science and Physical Design: Dynamic Simulation Technologies for Urban Resilience

곽윤신

가천대학교 도시계획·조경학부 조교수

1. 서론

생태학자 Holling(1973)이 레질리언스를 내외부적 변화에 저항하여 시스템을 지속시키는 수용력의 척도로 정의한 이래로, 그의 정의는 현대 도시계획의 이론적 분기점으로 여겨지고 있다. 이제 도시 시스템에서 레질리언스를 구축해야 한다는 것은 본질적으로, 변화와 '함께 생활'하기 위한 적응의 과정이어야 한다(Folke, 2006; Liao, 2012). 그러나 레질리언스의 개념을 도시 공간에 적용하는 것은 여전히 어려운 일이며, 특히 체계적이고 비체계적인 접근이 복합적으로 요구되는 물리적 계획 및 설계에서는 더욱 어렵다(Woodward, 2008; Kwak et al., 2021). 실제 회복력 있는 도시공간을 조성하기 위해 분명히 인지해야 할 것은, 도시 시스템에서 증가하는 불확실성은 점점 더 정교하고 효율적인 간학문적 접근방식을 요구하고 있다는 것이다(Milburn and Brown, 2003; Alberti, 2017; Kwak et al., 2021).

도시 시스템의 복잡성은 특정한 학문적 관점으로는 구축된 접근법으로 연구(또는 이해)될 수 없다(Pan et al., 2018). 결합한 인간-환경 시스템(coupled human-natural systems)에 내재하는 역동성(dynamics)을 탐구하기 위해서는 융복합적인 학제 간 접근법이 요구된다(Alberti and Marzluff, 2004). 학자들은 회복력 있는 도시를 만들기 위해서는 생태, 지리, 공학, 사회경제학과 같은 여러 분야 간의 협업 및 협력이 필수적으로 포함되어야 한다고 주장한다(Pickett et al., 2004; Cerra, 2016). 그들은 인간과 환경 프로세스의 복잡한 상호작용은 학제 간 접근을 통해 가장 잘 다루어지며 그래야만 역동성과 불확실성에 관한 통합적 이해가 가능하다고 주장한다(Alberti, 2007; Ramaswami et al., 2012).

마찬가지로, 조정설계 분야—특히 도시지역에서—레질리언스를 목표로 할 경우, 창의적 아이디어를 기반으로 하는 설계와 과학 기반의 다각적 탐구를 융합하는 간학문적 접근이 요구된다. 멀티스케일의 도시환경 이슈를 다루기 위해서 조정설계는 복잡성을 이해하고 불확실성에 대비하며 역동적 시스템의 잠재력을 표현할 필요가 있다(Cerra, 2016). 하지만 레질리언스를 위한 설계 가이드가 점점 더 요구되고 있음에도, 조정설계 분야에서 적용에 대한 지식은 과학의 그것에 미치지 못하고 있다. 즉 오래된 설계와 과학 간의 간극은 여전히 채워지지 못하고 있으며 여기에 레질리언스라고 하는 시스템적 담론마저 (기후변화와 도시화라는 글로벌 이슈를 포함하여) 부가되고 있는 것이다(Milburn and Brown, 2003; Cerra, 2016; Kwak et al., 2021). 레질리언스를 위한 조경은 체계적 지식을 물리적 적용으로 전환하는 학제 간 노력이어야 한다. 이를 위해 조경의 아이디어와 설계는 창작 과정에서 다양한 관점과 시각으로 평가되고 검증되어야 한다.

경험적이고 근거 기반의 (또는 분석적인) 설계가 필요한 상황이 증가하고 있음에도, 그러나 여전히 많은 조경가들은 미적 감각, 정치적 성향 또는 예술적 영감과 같은 암시적 지식을 기반으로 설계 의사결정을 내린다(Milburn and Brown, 2003; Chen, 2013). 복잡한 조경적 이슈를 더욱 체계적인 접근방식으로 다루고자 하는 열망이 있지만, 과학적 근거(예를 들어, 모델링)와 디자인 창작의 융합은 여전히 어려운 작업이다. 도시과학의 학자들(도시 생태학, 지리학 및 지역계획학)은 복잡한 동적 상호작용과 피드백을 도시 시스템의 이해를 위한 중요한 요소로 오랫동안 인식해왔다. 많은 학자들은 보다 회복력 있는 (혹은 지속가능한) 도시 시스템을 만들기 위한 융합적 접근의 필요성에 동의한다(Pickett et al., 2004; Gibbons et al., 2018; Gu et al., 2018). 하지만 시스템의 역동성을 탐구하는 레질리언스 과학과 물리적 실천(즉, 물리적 계획 및 설계)을 연결하는 적용사례는 극히 제한적이다.

본 박사논문은 현대 조경에서 레질리언스를 위한 설계가 도시 시스템 과학에 관한 이해를 토대로 해야 한다고 제안한다. 이를 위해서는, 도시 역동성을 충분히 깊고 복잡하게 분석해야 하지만 동시에 설계자에게 유용하고 실용적이며 이해하기 쉬운 정보를 생산할 수 있는 융복합적 접근방식이 필요하다고 주장한다. 본 논문은 정량적 정보와 다이나믹 모델링 시스템이 설계과정에서 적극적으로 융합된 과학기반의 설계 프로세스를 도모하는 다양한 방법론을 탐구한다. 궁극적으로, 도시 역동성에 대한 거시적 과학을 미시적인 물리적 설계에 연결함으로써 보다 회복력 있는 조정계획설계 솔루션을 위한 체계적인 프로세스를 구축하는 데에 기여하고자 한다.

2. 논문의 구성 및 연구방법

본 논문은 일리노이대학교의 Landuse Evolution and impact Assessment Model(LEAM) 연구실에서 필자의 주도로 수행된 연구들을 모아놓은 것으로, 해외 학술저널에 게재되거나 제출된 7개의 논문과 미국조경교육협회(CELA)에서 발표된 프로시딩을 포함한다. 논문에 포함된 사례 연구는 McHenry County(IL)를 위한 사회수문모델링, Sangamon County(IL)를 위한 사회경제 모델링, Chicago(IL)의 그린인프라 모델링, 일리노이 전 지역의 태양열 에너지 개발 적합성 분석, 그리고 한국의 신도시 대상의 도시열섬 분석 등이다. 논문의 Chapter 2는 조경 맥락에서의 레질리언스 이론을 탐구하기 위해 기존

문헌을 검토한다. 이 검토를 통해 레질리언스 과학에 대한 우리의 이해에서 주요한 세 가지 간극을 찾아내고 이 간극을 메우기 위한 포괄적인 프레임워크를 제안한다. Chapter 3는 멀티스케일에서의 도시 복잡성 및 역동성의 이해와 그 중요성을 탐구하기 위해 두 개의 정량 연구를 포함한다. 먼저, 도시열섬 현상을 시계열적으로 평가하면서 도시 스케일에서의 복잡성과 레질리언스를 논의한다. 이를 위해, 원격탐사 기술, 머신러닝 및 통계 분석을 포함하는 다양한 방법론을 사용하여, 도시 및 조경계획 과정에서의 적용을 평가한다. 다음으로, 일리노이주의 태양열 에너지 개발 잠재력에 대한 적합성 분석을 사용하여 광역 스케일의 분석이 미시적인 적용 및 사이트 컨텍스트적 설계 의사결정에 유용하게 활용될 수 있음을 보여준다. 이 분석은 계획지원시스템(planning support system: PSS) 도구로 일리노이주 정부(Illinois Dept. of Natural Resources)에 제공되어 해당 정보가 실용적으로 어떻게 활용되고 유용할지 보여준다. Chapter 4에서는 도시 역동성 및 복잡성과 조경설계 및 계획 과정과의 관계를 보여주기 위한 세 가지 융합된, 공간적으로 명시적인 모델링 시스템을 개발한다. 각각의 연구에서는 생태계 서비스, 사회수문학, 도시 사회경제 개발을 탐구한다. 첫 번째 연구에서는 토지이용 변화에 따른 그린인프라 수요를 시뮬레이션하는 융합 모델을 개발한다. 시카고 지역을 위한 Multi-Criteria Decision Analysis(MCDA) 모델을 LEAM과 결합하여 동적인 그린인프라 수요의 지리적 특성을 이해한다. 두 번째 연구에서는 McHenry County의 지역개발과 표면 우수유출 변화 사이의 영향을 시뮬레이션하기 위해 '양방향' 동적 모델링 프로세스를 개발한다. Gridded Surface Subsurface Hydrologic Analysis(GSSHA)와 LEAM을 공간적으로 명시적인 모델로 융합하여, 복잡한 모델링이 크로스 스케일(cross-scaled)의 회복력 있는 지역개발 및 우수관리를 위한 참신하고 실용적인 정보를 생성할 수 있음을 나타낸다. 마지막으로, Sangamon Regional Economic Input-Output Model(SREIM)을 LEAM과 연결하여 지역적인 투입-산출 모델을 개발하여, 상세한 사회경제적 역동성 및 컨텍스트적 경제집적 효과를 분석한다. 모델의 공간적 명시성을 통해 비전문가 실무자(예: 디자이너)가 쉽게 이해할 수 있는 커뮤니케이션 도구를 제공한다. 논문의 마지막 장인 Chapter 5에서는 본 논문이 포함하는 교육적 가치와 조경교육에 대한 방향성 및 잠재적 기여도를 논의한다. 이 장에서는 도시 시스템 과학이 물리적 설계 창작과 효과적으로 융합되는 방법을 조정 스튜디오를 통해 실험한다. 두 개의 대학원 스튜디오(LA537)를 진행한 경험과 간단한 설문조사를 활용하여 레질리언스 과학과 디자인의 융합이 조경교육에서 중요한 구성 요소가 될 수 있음을 주장한다.

3. 결론

본 논문은 도시 레질리언스를 달성하는 데 필요한 도시 역동성의 여러 측면을 연구하고, 복잡한 도시 시스템 과학과 물리적(설계) 솔루션을 연결하기 위해 PSS 기반의 통합 모델링 시스템을 개발하고, 과학과 디자인의 능동적 융합을 위한 프레임워크를 제안하며, 스튜디오 환경에서 이러한 아이디어를 실험하여 교육적 함의를 도출하였다. 방법론적 접근에서 실용성 및 조경교육까지, 본 논문은 복잡한 시스템적 연구를 물리적 휴먼스케일로 연결하는 데 강력한 잠재력을 지닌 조경 분야에 기여하는 것을 목표로 한다. 조경가가 도시 시스템의 불확실성에 전략적으로 반응하고 건조환경(built environment)에서 점진적으로 레질리언스를 추구하는 데 도움이 되고자 한다. 본 논문이 레질리언스 연구를 분석적 단계에서(다이내믹 시뮬레이션 및 분석) 설계 적용 단계로 이동시키고 복잡한 도시 이슈에 대한 현실적인 해결책을 제시하는 과정적 시각을 열어 줄 것을 기대한다. 궁극적으로, 본 논문을 통해 조경분야의 학자들이 보다 시스템적인 시각을 장착하고 레질리언스 있는 설계 솔루션을 위해 간학문적 지식에 접근하는 데에 이바지하고자 한다.

요약하면,

- 복잡한 도시 이슈를 레질리언스 맥락에서 다루기 위해서는 도시 역동성의 여러 측면을 검토하기 위한 분석적 접근방식이 필요하다.
- 조경설계 창조 과정에서 레질리언스 개념을 적용하기 위해서는 시스템적 과학과 물리적 설계를 융합해야 한다. 하지만,
- 과학과 디자인 간에는 융합을 어렵게 만드는 본질적인 간극이 있다.
- 공간적으로 명시적인 다이내믹 모델링 시스템은 깊이 있는 시공간적 도시 역동성을 탐색할 뿐만 아니라, 설계가에게 유용하고 실용적이며 이해하기 쉬운 멀티스케일의 정보를 제공할 수 있다.
- 복잡한 모델링 및 정보의 활용성과 실용성을 증진하기 위해서는 모델은 설계가에게 접근이 용이해야(accessible) 한다.
- Accessible한 PSS 기반 모델링 시스템은 학제 간 의사결정을 촉진하는 하나의 해답일 수 있다.
- 도시 시스템 과학과 물리적 설계의 융합은 현대 조경이 레질리언스 있는 솔루션을 추구하기 위해 주요하게 고려해야 할 방법의 하나다.
- 가장 중요한 것은, 융합이 조경교육에 근본적으로 자리 잡고 과학-설계 간극을 채우는 데에 장기적인 교육적 노력 수반되어야 한다는 것이다.

참고문헌

1. Alberti, M.(2017) Simulation and design of hybrid human-natural-technological systems. *Technology|Architecture + Design* 1: 135-139.
2. Alberti, M.(2007) Ecological signatures: The science of sustainable urban forms. *Places* 19: 56-60.
3. Alberti, M. and J. M. Marzluff(2004) Ecological resilience in urban ecosystems: Linking urban patterns to human and ecological functions. *Urban Ecosystems* 7: 241-265.
4. Cerra, J. F.(2016) Inland adaptation: Developing a studio model for climate-adaptive design as a framework for design practice. *Landscape Journal* 35: 37-56.
5. Chen, Z.(2013) The Role of Research in Landscape Architecture Practice. Ph. D. Dissertation, Virginia Tech.
6. Folke, C.(2006) Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change* 16: 253-267.
7. Gibbons, L., S. Cloutier, P. Coseo and A. Barakat(2018) Regenerative development as an integrative paradigm and methodology for landscape

- sustainability. *Sustainability* 10: 1910.
8. Gu, Y., B. Deal and L. Larsen(2018) Geodesign processes and ecological systems thinking in a coupled human–environment context: An integrated framework for landscape architecture. *Sustainability* 10: 3306.
 9. Holling, C. S.(1973) Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4: 1.
 10. Kwak, Y., B. Deal and G. Mosey(2021) Landscape design toward urban resilience: Bridging science and physical design coupling sociohydrological modeling and design process. *Sustainability* 13: 4666.
 11. Liao, K. H.(2012) A theory on urban resilience to floods–A basis for alternative planning practices. *Ecology and Society* 17.
 12. Milburn, L. A. S. and R. D. Brown(2003) The relationship between research and design in landscape architecture. *Landscape and Urban Planning* 64: 47–66.
 13. Pan, H., B. Deal, Y. Chen and G. Hewings(2018) A reassessment of urban structure and land–use patterns: Distance to CBD or network–based? — Evidence from Chicago. *Regional Science and Urban Economics* 70: 215–228.
 14. Pickett, S. T. A., M. L. Cadenasso and J. M. Grove(2004) Resilient cities: Meaning, models, and metaphor for integrating the ecological, socio–economic, and planning realms. *Landscape and Urban Planning* 69: 369–384.
 15. Ramaswami, A., C. Weible, D. Main, T. Heikkila, S. Siddiki, A. Duvall, A. Pattison and M. Bernard(2012) A social–ecological–infrastructural systems framework for interdisciplinary study of sustainable city systems. *Journal of Industrial Ecology* 16: 801–813.
 16. Woodward, J. H.(2008) Envisioning resilience in volatile Los Angeles landscapes. *Landscape Journal* 27: 97–113.