

JUNE. 2022 | VOL. 4

딥러닝 건축연구소 뉴스레터

The newsletter of Deep Learning Architecture Research Center



Table of Contents

- 인사말 - 2
- 연구소 소개 - 3
- 특집기사 - 4
 - 기계학습을 위한 기초지식(1): 클러스터링 기법 소개 / 이승혜, 이재홍 - 4
 - 3D Reconstruction의 활용 사례 소개 / 김형균, 정광복 - 6
- 연구소개 - 8
 - Force density-informed neural network for prestress design of tensegrity structures with multiple self-stress modes / Duy T.N. Trinh, 이승혜, 강주원, 이재홍 - 8
 - Seismic performance evaluation of vibration attenuation wireway-pulley system using the FE analysis / 이기학 - 9
- 연구소 소식 - 10
- 연구원 동정 - 12



<DLARC 연구소장 이재홍 교수>

안녕하십니까?

‘딥러닝 건축연구소(Deep Learning Architecture Research Center (DLARC))’는 2010년 한국연구재단(NRF)의 프로젝트로 최초 설립된 이후, 건축 공학 분야에서 새로운 도전에 대응하기 위한 지식의 경계를 넓혀가고 있습니다.

특히, 2016년 세계 경제 포럼에서 4차 산업혁명¹⁾이 주창되면서, 전 세계는 인공지능, 빅데이터 등 첨단기술의 발전을 예고하였으며, 건설산업 역시 이러한 급격한 변화의 흐름 속에서 신속한 대응의 필요성이 증가하고 있습니다.

이러한 세계적인 패러다임의 변화 속에서, ‘딥러닝 건축연구소’는 딥러닝 기반 아키텍처 엔지니어링 기술을 장려하고 개발하는 데 전념하는 독보적인 다학제 연구소로 성장하고 있습니다.

이를 위해, 본 연구소는 딥러닝 건축 공학 관련 연구의 최고 수준의 연구진 주도로 새로운 원천기술의 개발하고 있습니다. 이와 더불어, 국내·외 최고 수준의 대학 및 각계 산업체와의 협력을 통해 응용 기술 개발을 수행하고 있습니다.

딥러닝 건축 분야의 최신 연구 동향뿐만 아니라, 산업계 소식을 알리고, 본 연구소의 다양한 연구활동을 알리기 위하여 ‘DLARC 뉴스레터’를 발간하게 되었습니다. 특히, ‘DLARC 뉴스레터’를 통해서 독자 여러분들이 연구소의 다양한 연구성과 및 연구 활동을 이해하시는 데 도움이 되시기를 바라며, 앞으로도 본 연구소에 많은 관심과 조언을 부탁드립니다. 감사합니다.

세종대학교 딥러닝 건축 연구소장

이재홍 교수

연구소 소개

■ 연구소 연혁

- ▷ 2010년 08월 : 한국연구재단 기초연구실육성사업 지원 “IT 기반 FREE FORM 건축 기초연구실” 과제 수주
- ▷ 2010년 08월 : 기초연구실육성사업 기반 [FREE FORM 건축연구소] 설립
- ▷ 2010년 09월 : 기초연구실육성사업 과제 시작
- ▷ 2015년 08월 : 기초연구실육성사업 과제 종료
- ▷ 2017년 07월 : [딥러닝 건축연구센터] 명칭변경
- ▷ 2017년 09월 : 이재홍 연구센터장 “2017년도 국가연구개발 우수성과” 선정
- ▷ 2019년 12월 : [딥러닝 건축연구소] 명칭변경
- ▷ 2021년 09월 : [딥러닝 건축연구소] 공식 영문 홈페이지 개설
- ▷ 2021년 09월 : [딥러닝 건축연구소] 공식 뉴스레터 창간호 발행

■ 연구소 조직도 및 참여 인력

딥러닝 건축연구소는 딥러닝 건축 공학기술 개발 목표를 달성하기 위해, 연구소장을 중심으로 총 4개의 연구분야에 관한 연구를 수행하고 있습니다.



기계학습을 위한 기초지식(1): 클러스터링 기법 소개

이승혜 / 세종대학교 딥러닝 건축연구소 / 조교수 / seunghye@sejong.ac.kr

이재홍 / 세종대학교 딥러닝 건축연구소 / 교수 / jhlee@sejong.ac.kr

1. 서론

기계학습(machine learning)을 각자의 분야에 적용하기에 앞서 보유하고 있는 데이터(data)를 올바르게 분석할 수 있는 적합한 학습모델의 선정이 가장 중요하다 할 수 있다. 기계학습은 크게 지도학습(supervised learning)과 비지도학습(unsupervised learning), 강화학습(reinforcement learning)으로 나눌 수 있다. 확보한 데이터세트(dataset)를 사용하여 모델을 훈련(training)시킨 후 훈련된 모델을 통해 새로운 데이터를 예측하는 지도학습과 달리 비지도학습은 데이터세트를 유사성이 높은 군집(cluster)으로 군집화(clustering)(혹은 클러스터링)한다. 비지도학습은 정답 레이블(label)이 없으므로 학습모델 스스로가 입력 데이터를 기반으로 군집화하고 그 군집을 대표할 수 있는 대표점을 찾는 것이 목표이다. 본 기사는 기계학습을 위한 기초지식을 정리하는 것의 일환으로 클러스터링 기법에 대해 서술한다. 클러스터링은 비지도학습의 대표적인 방법이지만 지도학습 과정에서도 입력변수를 전처리(pre-processing)하기 위해 비지도학습을 사용하기도 한다. 본 기사에서는 클러스터링에 국한하여 서술하며 다양한 기법을 소개하고자 한다.

2. 클러스터링의 다양한 유형

클러스터링 기법은 다양한 관점으로 분류할 수 있지만 크게 분할 군집화(partitioning clustering)¹⁾, 계층 군집화(hierarchical clustering)²⁾, 밀도기반 군집화(density-based

clustering)³⁾, 격자기반 군집화(grid-based clustering)⁴⁾, 모델기반 군집화(model-based clustering)⁵⁾으로 나눌 수 있다⁶⁾.

2.1 Partitioning clustering

분할 군집화 알고리즘은 비계층적 군집화라고도 하며 사전에 군집의 수를 정하여 대상들이 군집에 할당되도록 하는 것으로 대표적으로 k-means 기법이 있다. k-중심 군집화(k-centroid clustering)의 일환인 k-means 이외에도 k-median, k-medoid 기법도 비슷한 맥락의 기법이라할 수 있다. 이 때 k는 예상되는 군집(클러스터)의 수를 의미하며 뒤에 붙는 means, median, medoid는 해당 데이터와 클러스터의 중심까지의 거리를 측정할 때 사용하는 평균, 중앙값, 메도이드를 뜻한다. 분할 군집화에는 이외에도 PAM, CLARANAS, CLARA, FCM, FCMdC, Fanny 등의 기법이 있다.

2.2 Hierarchical clustering

계층 군집화 알고리즘은 계층적 트리(tree)를 이용하여 개별 개체들을 순차적, 계층적으로 유사한 그룹으로 군집화를 수행한다. k-means의 경우와 다르게 군집수를 사전에 지정하지 않으며 적절한 수준에서 파생되는 트리의 가치를 조절하여 군집을 형성하는데 이를 덴드로그램(dendrogram)이라한다. 이를 위해서 모든 개체들 간의 거리(distance)나 유사도(similarity)가 사전에 계산되어야 한다. 계층 군집화에는

BIRCH, CURE, ROCK, CHEMELEON algorithm, Linkage algorithm, Leaders-Subleaders, Bisecting k-Means, Echidna, Diana, Agnes 등이 있으며 주로 계층을 분할 혹은 병합하는 단계에서 군집화의 품질을 저하할 수 있는 문제점을 극복하기 위해 고안되어 왔다.

2.3 Density-based clustering

밀도기반 알고리즘은 ‘동일한 클래스에 속하는 데이터는 서로 근접하게 분포할 것이다.’라는 가정에 기반한다. 밀도(density)는 한 데이터의 거리반경(Eps) 내에 있는 데이터포인트 수를 의미하며 각 포인트의 밀도는 거리반경을 어떻게 설정하느냐에 따라 달라지게 된다. 가장 대표적인 밀도기반 알고리즘은 DBSCAN이며 이외에도 OPTICS, DBCLASD, DENCLUE, Spectral method, Subtractive method, Mean shift 기법 등이 소개되었다.

2.4 Grid-based clustering

격자기반 군집화는 객체 공간을 격자구조로 이루어진 유한개의 공간으로 만든 후 데이터 포인트 대신 대응하는 격자구조 내의 셀을 이용하여 군집화를 수행한다. 계층적 군집화가 트리를 생성하는 비용 때문에 대용량 데이터에 비효율적인 것과 다르게 격자기반 군집화는 데이터 객체수에 독립적이며 각 차원의 셀의 수에만 의존하기 때문에 처리속도가 빠르다 할 수 있다. 격자기반 군집화 알고리즘은 STING, WaveCluster, CLIQUE, OptiGrid 등이 있으며 이 방법 위에도 고차원 공간에서의 군집화 문제를 효율적으로 해결하기 위한 방안으로 다양한 기법들이 소개되고 있다.

2.5 Model-based clustering

모델기반 군집화 기법은 각 군집의 모델을 가정하고 주어진 모델과 가장 잘 맞는 데이터를 찾는 것으로 데이터 포인트의 공간적 분포를 반영한 질량함수를 구축함으로써 군집의 위치를 지정한다. 여기서 모델이라는 것은 우리가

가정하는 어떠한 형태나 구조 또는 수식을 의미하는데 equal volume spherical model, unequal volume spherical model, unconstraint model, elliptical model, diagonal model 등을 예로 들 수 있다. 모델 기반 군집화에는 EM, COBWEB, CLASSIT, SOMs 기법들이 있으며 이외에도 GMM, ART 등이 소개되었다.

3. 결론

본 기사에서는 다양한 클러스터링 기법을 소개하였다. 모든 기법들을 한 번에 이해하기에는 불가능하기 때문에 충분히 시간을 가지고 접근하는 것이 중요하다. 또한 수많은 최신기법이 지속적으로 발표되고 있으므로 지속적으로 파악하고 관심을 갖는 것이 필요하다.

참고문헌

- [1] Jain, A. K. (2010). Data clustering: 50 years beyond K-means. *Pattern recognition letters*, 31(8), 651-666.
- [2] Murtagh, F., & Contreras, P. (2012). Algorithms for hierarchical clustering: an overview. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 2(1), 86-97.
- [3] Kriegel, H. P., Kröger, P., Sander, J., & Zimek, A. (2011). Density-based clustering. *Wiley interdisciplinary reviews: data mining and knowledge discovery*, 1(3), 231-240.
- [4] Liao, W. K., Liu, Y., & Choudhary, A. (2004, April). A grid-based clustering algorithm using adaptive mesh refinement. In *7th workshop on mining scientific and engineering datasets of SIAM international conference on data mining* (Vol. 22, pp. 61-69).
- [5] Foggia, P., Percannella, G., Sansone, C., & Vento, M. (2009). Benchmarking graph-based clustering algorithms. *Image and Vision Computing*, 27(7), 979-988.
- [6] Ghosal, A., Nandy, A., Das, A. K., Goswami, S., & Panday, M. (2020). A short review on different clustering techniques and their applications. *Emerging technology in modelling and graphics*, 69-83.

3D reconstruction의 활용사례 소개

김형균 / 세종대학교 건축공학과 / 석박사통합과정 / hgkim@sju.ac.kr
정광복 / 세종대학교 딥러닝 건축연구소 / 조교수 / kbjeong7@sejong.ac.kr

1. 서론

컴퓨터 비전(computer vision)과 컴퓨터 그래픽스(computer graphics)의 분야 중 하나인 3D reconstruction은 실존하는 물체의 2D 이미지 및 영상으로부터 3D 모델을 구축하는 기술이다. 3D reconstruction은 포인트 클라우드 모델(point cloud model), 메쉬 모델(mesh model), 기하학 모델(geometric model)로 이루어지며, 그 중에서도 포인트 클라우드 모델이 가장 기본적인 형태이다. 최근에는 드론 장비로 취득한 영상정보를 3D reconstruction 기술로 분석하여 디지털 트윈(digital twin)을 구성하는 시도가 진행되고 있다. 이러한 배경 아래에서, 본 기사에서는 3D reconstruction의 기본적인 기법과 건설 분야에서의 활용사례에 대해 소개하고자 한다.

2. 3D reconstruction methods

2.1 Active method

Active method를 이용한 3D reconstruction은 레이저 스캐너와 같은 장치를 사용하여 데이터를 생성하므로 데이터 취득이 어렵다는 단점이 있다. 반면, active method는 주변 환경에 따른 영향력이 적으므로 신뢰도가 높은 장점이 있다.

2.2 Passive method

Active method 기반 3D reconstruction과 달리, passive method를 이용한 3D reconstruction은 레이저와 같은 추가적인 장

치를 사용하지 않고 자연적인 빛에 의존하여 데이터를 생성한다. 이로 인해, passive method는 상대적으로 데이터 취득이 상대적으로 쉬운 반면, 주변의 환경에 따라 취득한 데이터의 신뢰도가 일정하지 않다는 단점이 있다.

3. 건설산업 3D reconstruction 활용사례

3.1 Virtual Singapore

싱가포르 국립 연구재단과 프랑스 다국적 소프트웨어 회사인 Dassault Systèmes이 협력하여 진행한 Virtual Singapore 프로젝트는 싱가포르 전역에 존재하는 건물, 도로, 구조물, 인구, 날씨 등을 3D 데이터로 변환하여 디지털 트윈으로 구현하였다. 이를 이용하여, 교통 체증, 도심지의 풍향, 인파의 흐름 등 도심지에서 생길 수 있는 다양한 변화뿐만 아니라, 일조량에 따른 건축물에 설치된 태양광 발전량 분석을 수행할 수 있다.

3.2 Virtual Seoul(S-Map)

2017년 네이버 랩스는 3D reconstruction 기술을 보유한 스타트업 기업 '에피폴라'를 인수하였다. 그 이후, 2020년 17일간 촬영한 25,463장의 항공사진에 대한 이미지 프로세싱을 통해, 서울시 내의 605km², 약 60만 동의 건물들을 3D 모델로 구현하였다. 이렇게 구축한 3D 모델을 소방플랫폼과 연계하여(IoT 소방 시설물 + virtual Seoul), 화재안전관리 및 시민안전지원체계 강화 등에 활용할 수 있다. 또한, 수도권기상청 바람장 정보, 바람길 시뮬레

이선, 저열섬 도시계획, 산사태, 홍수 발생 예측 시뮬레이션 등 도시환경문제 해결, 새로운 건축물 건설 및 도로 건설 시 기존 도시에 미치는 영향 등을 분석할 수 있다.

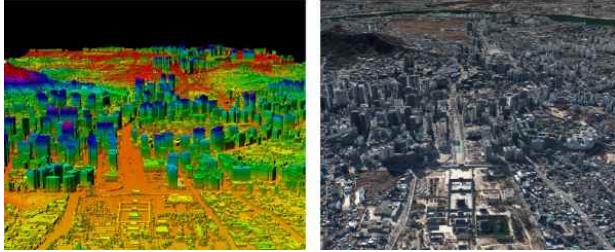


그림 1. 서울시 3D 모델

3.3 전주 LX 스마트시티

전주 LX 스마트시티는 전주시가 한국국토정보공사와 2018년 8월 업무협약을 체결하여 시작한 프로젝트이다. 2019년 7월 효자4동, 5동 약 16km³을 시범모델로 구축 완료하였으며 2024년까지 구축 완료를 목표로 하고 있다. 본 프로젝트는 공간정보를 활용하여 3차원 객체모델로 구축한 이후, 행정자료, 통계, 도시현상 등을 IoT와 연계한 디지털 통합정보체계를 만들고자 한다. 이러한 디지털 통합정보체계를 통해 도시문제를 예측, 분석, 진단하고 그에 맞는 해결책을 찾는데 활용하고자 한다.

4. 결론

본 기사는 3차원 복원기술인 3D reconstruction에 대해 알아보았다. ‘Virtual Singapore’, ‘Virtual Seoul’, ‘전주 LX 스마트시티’의 사례에서 살펴본 바와 같이, 3D Reconstruction 기술은 디지털 트윈 구축에 중심적인 역할을 하고 있다. 향후 연구 개발을 통해 3D reconstruction 기술이 발전한다면, 더욱 정교하고 다양한 현상을 분석할 수 있는 디지털 트윈 구축이 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Ma, Z., & Liu, S. (2018). A review of 3D reconstruction techniques in civil engineering and their applications. *Advanced Engineering Informatics*, 37, 163-174.
- [2] Jain, A. K. (2010). Data clustering: 50 years beyond

- K-means. *Pattern recognition letters*, 31(8), 651-666.
- [3] Yiwei Jin, Diqiong Jiang, Ming Cai (2020). 3D reconstruction using deep learning: a survey. *communications in Information and systems*. 389 -413
- [4] Gobeawan, L., Lin, E. S., Tandon, A., Yee, A. T. K., Khoo, V. H. S., Teo, S. N., ... & Poto, M. T. (2018). MODELING TREES FOR VIRTUAL SINGAPORE: FROM DATA ACQUISITION TO CITYGML MODELS. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42.
- [5] Moons, T., Van Gool, L., & Vergauwen, M. (2010). 3D reconstruction from multiple images part 1: Principles. *Foundations and Trends® in Computer Graphics and Vision*, 4(4), 287-404.
- [6] 이관도 (2021) 지자체 디지털트윈 활용 및 시사점 : 전주 시 사례
- [7] 정영준, 조일연, 이정우, 김범호, 이성호, 임창규, ... 안주혁. (2021). Digital Twin technology for Urban Policy Making (A Case Study of Policy Digital Twin of Sejong City). *Electronics and Telecommunications Trends*, 36(2), 43-55.

Force density-informed neural network for prestress design of tensegrity structures with multiple self-stress modes

Duy T.N. Trinh / 세종대학교 딥러닝 건축연구소 / 박사과정 / tntduy.hcmus@gmail.com

이승혜 / 세종대학교 딥러닝 건축연구소 / 조교수 / seunghye@sejong.ac.kr

강주원 / 영남대학교 건축학부 / 교수 / kangj@ynu.ac.kr

이재홍 / 세종대학교 딥러닝 건축연구소 / 교수 / jhlee@sejong.ac.kr

■ 연구요약

본 연구에서는 텐세그리티(tensegrity)의 형상탐색(form-finding)을 위한 효과적인 기법 FDINN(force density-informed neural network)을 제안하였다. FDINN기법은 텐세그리티의 형상 정보를 입력으로 받는 신경망(neural network)로 이루어져 있으며 최적의 자기응력(self-stress)상태의 힘밀도(force density)를 결과로 도출한다. 신경망 내의 완전연결계층(fully connected layers)은 각 연결의 가중치를 업데이트하면서 각 부재의 자기응력 값을 예측한다.

본 기법은 physics-informed neural

networks을 기반으로 하며 데이터셋을 사용한 훈련과정을 요하지 않는다. 신경망의 마지막 부분에서는 텐세그리티 형상의 안정성 여부를 평가하여 결과를 도출하기 때문에 유효한 텐세그리티 형상을 얻을 수 있다. 더욱이 제안된 기법은 다중 자기응력 상태를 갖는 텐세그리티의 형상탐색 과정에 효율적이며 텐세그리티 시스템의 어떠한 그룹 정보나 SVD 과정 없이 각 부재의 힘밀도 값을 도출한다. 다수의 예제를 통해 제안된 기법의 효율성을 입증하였으며 각각 유효한 결과를 도출하는 것을 확인할 수 있었다.

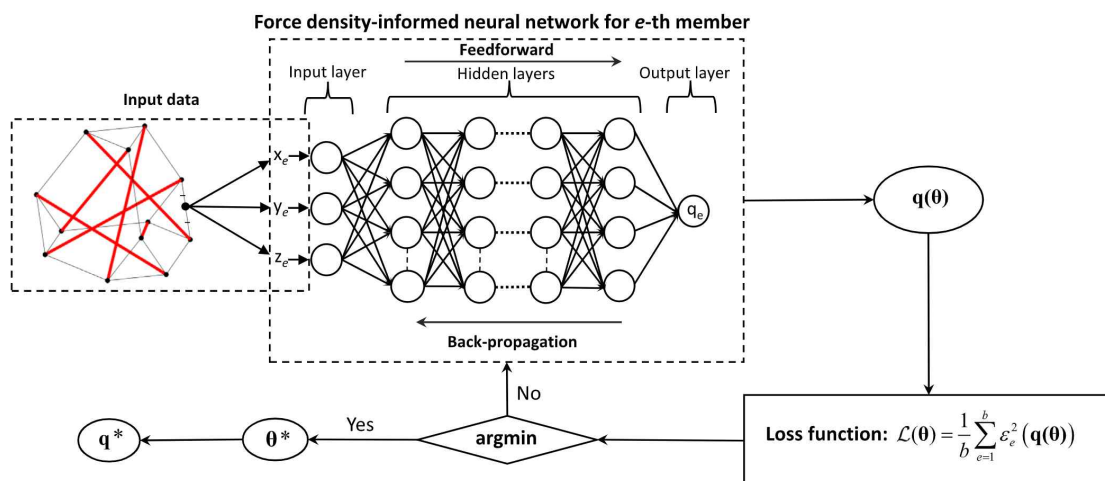


그림1. Force density-informed neural network

Seismic performance evaluation of vibration attenuation wireway-pulley system using the FE analysis

이기학 / 세종대학교 건축공학과 / 교수 / kihaklee@sejong.ac.kr

■ 연구요약

천장형 조명설비의 내진성능 향상을 위해 2방향 와이어와 풀리로 구성된 새로운 조명지지구조를 개발하였다. 본 논문에서는 수치적 접근 방식을 이용하여 풀리형 와이어웨이시스템의 내진성능을 검증하였다. 개발된 와이어웨이시스템의 물리적 특성에 맞는 이론 모델을 제안하였으며, 이는 인장력이 작용하였을 때의 와이어와 풀리 구간 사이의 마찰계수를 계산하는데 활용되었으며 이는 풀리형 와이어웨이 시스템을

을 나타내는 유한요소해석모델에 적용되었다. 해석모델을 이용하여 풀리형 와이어웨이시스템의 지진응답을 기존 조명지지구조인 단방향 와이어시스템의 지진응답과 비교하였다. 풀리의 적용은 마찰 효과뿐만 아니라 에너지 흡수 용량을 증가시키며, 피크 응답 후 최대 변위 및 진동이 현저하게 감소하는 것을 보여주었다. 따라서, 개발된 와이어웨이시스템은 지진에 의한 진동과 전기 장비의 손상을 최소화할 수 있음을 보여준다.

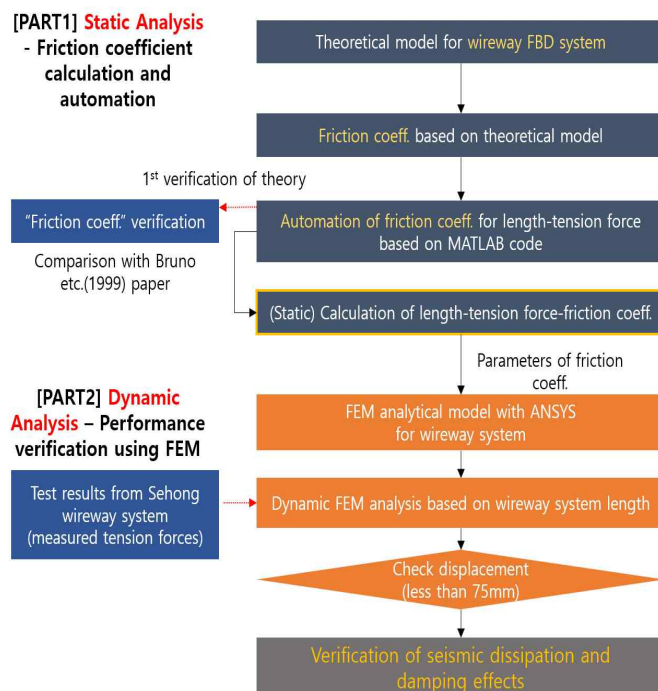
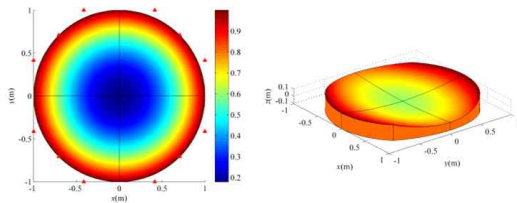


그림1. Flow chart of this study

■ 과제수행 현황

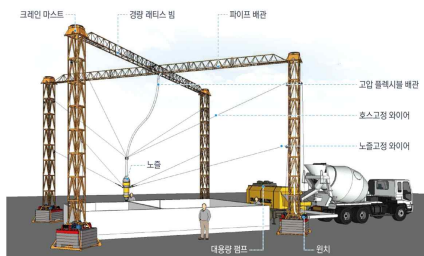
▶ 과제명: 확장유전알고리즘기반 위상최적화를 이용한 구조물 형상설계

- 연구책임자: 이재홍 교수
- 지원기관 및 지원사업: 한국연구재단 개인연구지원사업(중견연구)
- 연구기간: 2015.05.01. - 2024.02.29



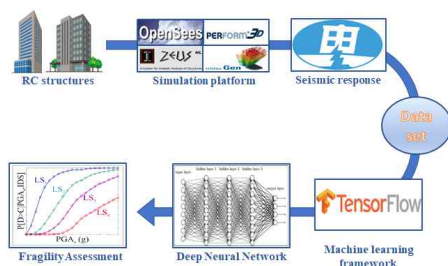
▶ 과제명: 병렬 케이블 로봇기반 건축물용 3D프린팅 기술

- 연구책임자: 이재홍 교수
- 지원기관 및 지원사업: 한국연구재단 기초연구실지원사업
- 연구기간: 2017.06.01. - 2023.02.28



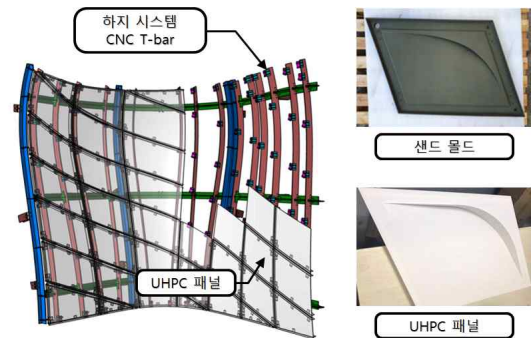
▶ 과제명: DNN기반 위험도 알고리즘생성을 통한 중저층 취약건축물의 보강전과 후의 내진 성능 실증 연구

- 연구책임자: 이기학 교수
- 지원기관 및 지원사업: 한국연구재단 개인연구지원사업(중견연구)
- 연구기간: 2020.03.01 - 2025.02.28



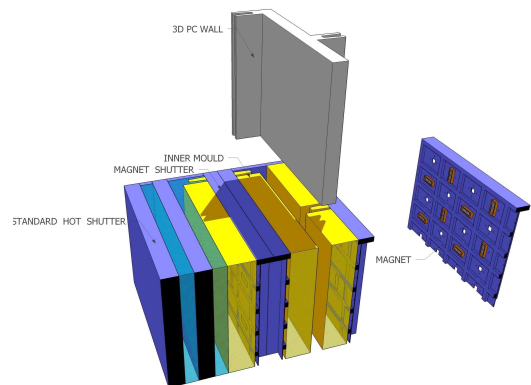
▶ 과제명: 유한요소해석 모델링을 통한 몰드와 UHPC 비정형패널의 설계 기준 개발

- 연구책임자: 이기학 교수
- 지원기관 및 지원사업: 국토교통과학기술진흥원 국토교통기술사업화지원
- 연구기간: 2021.04.01 - 2023.12.31



▶ 과제명: 인양 및 시공을 고려한 3차원 PC벽체의 유한요소해석 설계기술 및 인공지능기반 최적 알고리즘 개발

- 연구책임자: 이기학 교수
- 지원기관 및 지원사업: 국토교통과학기술진흥원 국토교통기술사업화지원
- 연구기간: 2021.04.01 - 2023.12.31



▶ 과제명: 지역특성을 고려한 지진재해 지역위험도 평가기술 개발

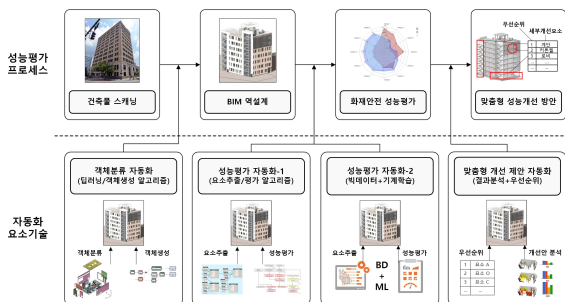
- 연구책임자: 이기학 교수
- 지원기관 및 지원사업: 행정안전부 국립재난안전연구원 재난안전 공동연구 기술개발사업
- 연구기간: 2022.05.21. - 2025.12.31



- ▶ 과제명: 국내 석축형 문화재의 비파괴검사를 통한 내부채움재 검토와 정밀 유한요소해석을 통한 동적거동 특성 연구
- 연구책임자: 이가운 박사후연구원(이기학 교수)
 - 지원기관 및 지원사업: 한국연구재단 창의·도전연구기반지원사업
 - 연구기간: 2022.06.01. - 2024.02.28



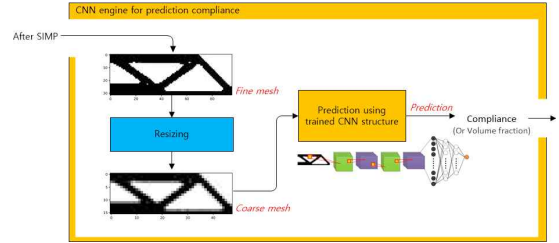
- ▶ 과제명: 기계학습 기반 BIM 역설계를 활용한 건축물 화재안전 성능평가 자동화 기술 개발
- 연구책임자: 이재욱 교수
 - 지원기관 및 지원사업: 연구재단 중견연구사업
 - 연구기간: 2020.03.01 - 2025.02.28



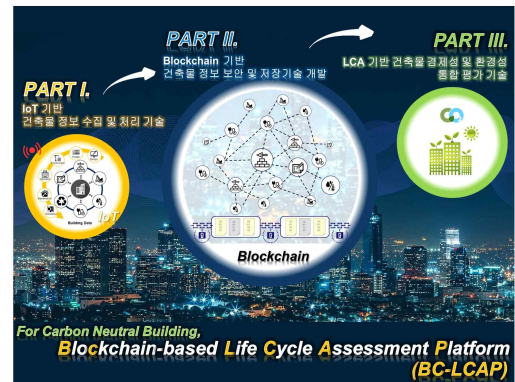
- ▶ 과제명: 딥러닝 기술을 사용한 구조 해석 및 설계 기법 개발
- 연구책임자: 이승혜 교수
 - 지원기관 및 지원사업: 연구재단 신진연구

지원사업

- 연구기간: 2018.03.01. - 2023.02.28



- ▶ 과제명: 블록체인 기반 건축물 전과정평가 플랫폼 개발
- 연구책임자: 정광복 교수
 - 지원기관 및 지원사업: 연구재단 이공분야 기초연구사업 기본연구
 - 연구기간: 2021.06.01 - 2024.02.29



■ 논문 게재 성과

- Nguyen, N. H., Abellán-García, J., Lee, S., Garcia-Castano, E., & Vo, T. P. (2022). Efficient estimating compressive strength of ultra-high performance concrete using XGBoost model. Journal of Building Engineering, 52, 104302.
- Trinh, D. T., Lee, S., Kang, J., & Lee, J. (2022). Force density-informed neural network for prestress design of tensegrity structures with multiple self-stress modes. European Journal of Mechanics-A/Solids, 94, 104584.
- Quoc To Bao, Kihak Lee, Sung-Jig Kim and Jiuk Shin. (2022). Quantifying Effect of Post-Tensioned Bars for Precast Concrete Shear Walls. Sustainability, 14(10), 6141.
- Khoa Vo Anh Pham, Khoa TanNguyen, Tuan Anh Le, Kihak Lee. (2022). Investigation of impact behavior of innovative non-curing steel fiber geopolymer composites. Case Studies in Construction Materials, 16, e01011.
- Moon, A Hae, Shin, Jiuk, Lim, Chang Gue, Lee Kihak. (2022). Finite Element Analysis Study of CJS Composite Structural System with CFT Columns and Composite Beams. Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, 26(2), 71-82.
- Lim, Chang Gue, Shin, Jiuk, Moon, A Hae, Kim, Yong Nam, Lee, Kihak. (2022). Experimental Study of the Seismic Performance of CJS Hybrid Structural Systems Connected to the CFT Column. Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, 26(2), 83-93.
- Park, J., Kim, J., Lee, D., Jeong, K., Lee, J., Kim, H., and Hong, T. (2022).

Deep-Learning based Automation of Scan-to-BIM with Modeling Objects from Occluded Point Clouds. Journal of Management in Engineering, 38(4), 04022025.

- Yeom, S., Kim, H., Hong, T., and Jeong, K. (2022). Analysis of ways to reduce potential health risk from ultrafine and fine particles emitted from 3D printers in the makerspace Indoor Air, 32(5), e13053.

■ 학술회의 참석

▷ 2022년도 한국생태환경건축학회 춘계학술발표대회

- 참석자: 정광복 교수, 김소현, 이지민, 최창순, 김형균, 정준호
- 일시: 2022.5.13.(금)
- 장소: 한국과학기술회관 국제회의장
- 주제: 그린 디지털시대에 대응하는 건축



한국생태환경건축학회 2022년도 춘계학술발표대회 참석

▷ 2022년도 한국콘크리트학회 봄 학술대회

- 참석자: 이기학 교수, 이가윤, 진수민
- 일시: 2022.5.11.(수) ~ 2022.5.13.(금)
- 장소: 제주 신화월드
- 주제: 안전한 건설, 콘크리트부터