MAR. 2023 | VOL. 7

딥러닝 건축연구소 뉴스레터

The newsletter of Deep Learning Architecture Research Center

Table of Contents

- 인사말 - 2
- 연구소 소개 -3
- 특집기사 - 4
  - 기계학습을 위한 기초지식(4): 차원 축소를 위한 특성 선택 / 이승혜, 이재홍 - 4
  - 하이퍼레저 프로젝트: 오픈소스 블록체인 개발 프레임워크 / 김형균, 정광복 - 6
- 연구소개 - 8
  - Topology optimization using super-resolution image reconstruction methods / 이승혜, Qui X. Lieu, Thuc P. Vo., 강주원, 이재홍 - 8
  - Deep Learning-Based Automated Generation of Material Data with Object-Space Relationships for Scan to BIM / 김소현, 정광복, 홍태훈, 이재홍, 이재욱 - 9
- 연구소 소식 - 10
- 연구원 동정 - 12

인사말

<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 산업혁명이 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 건축공학 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(4): 차원 축소를 위한 특성 선택

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

1. 서론

기계학습 모델의 복잡도를 줄이고 과대적합(overfitting)을 피하는 방법 중 하나는 차원 축소(dimensionality reduction)이다. 차원 축소는 크게 특성 선택(FS: feature selection)과 특성 추출(FE: feature extraction)으로 나눌 수 있다. 특성 선택은 원본 특성에서 일부를 선택하는 것으로 모델의 복잡도를 감소시켜 모델의 성능을 향상시키고 처리속도를 증가시킬 수 있다. 이와 다르게 특성 추출은 일련의 특성에서 얻은 정보로 새로운 특성 조합을 만드는 것이다.

특성(feature)은 관련성(relevance)와 중복성(redundancy)에 따라 아래와 같이 크게 네 가지로 나눌 수 있다[1].

- strongly relevant
- weakly relevant, but non-redundant
- weakly relevant, and redundant
- irrelevant

결론적으로 특성 선택의 과정은 관련성을 최대화하고 중복성을 최소화하는 특성을 선택하는 것을 최종 목표로 삼는다.

특성 선택은 **정적 데이터(static data)**를 선별하는 정적 특성 선택(static feature selection)과 **스트리밍 데이터(streaming data)**를 선별하는 스트리밍 특성 선택(streaming feature selection)으로 나눌 수 있다[2]. 이 중 스트리밍 데이터는 실시간으로 취득되는 다중매체 파일로 대용량으로 유입되는 데이터의 차원을 축소하고자 최근 주목받고 있다.

본 기사에서는 특성 선택의 종류를 알아보고 목표로 삼고 있는 데이터의 차원 축소를 위해 적절한 방법을 찾을 수 있는데 도움이 되고자 한다.

2. 정적 특성 선택

정적 특성은 크게 **flat feature**와 **structural feature**로 나눌 수 있는데 flat feature는 독립적인 반면에 structural feature는 그래프(graph), 트리(tree), 그룹(group)의 형태를 띤다.

2.1 Flat features

독립적인 flat feature를 선택하기 위해 **Filter model, Wrapper model, Embedded model**을 사용할 수 있다[3]. Filter 기법은 특성과 종속 변수(결괏값) 간의 연관성(relevance)을 측정하여 선택하며 Wrapper 기법은 기계학습 모델의 예측 정확도 측면에서 가장 좋은 성능을 보이는 특성을 순차로 나열한다. Embedded는 기법은 두 기법의 장점을 취하여 학습모델 자체에 특성 선택 단계를 결합한 방식을 취한다. <표 1>은 각 범주의 대표적인 방법을 나열한 것이다.

〈표 1〉 Flat feature를 위한 특성 선택 기법

Type	Method
Filter models	• Fisher score (scoring algorithm) • Information theory based methods • ReliefF and its variants • PGVNS • FCBF • FAST • CVNS
Wrapper models	• Recursive feature elimination
Embedded models	• CART • ID3 • C4.5 • Random Forest • Lasso • Elastic Net • SVM

2.2 Structural features

본 범주에서는 특성을 규제 관계가 있는 그룹(혹은 그래프나 트리) 처럼 다루어 특성 선택 과정을 진행한다. 그래프는 일부 개채가 링크로 연결되어 있는 형식을 갖는 구조를 의미하며 그룹 구조는 그래프 세트에서 매우 유용한 정보를 갖는 하위 그래프로 추출한 형태이다. 트리 구조에서의 특성은 계층 형태로 구성되어 연결된 노드 집합으로 사용된다. <표 2>에 각 유형에 포함되는 특성 선택 기법을 나열하였다.

〈표 2〉 Structural feature를 위한 특성 선택 기법

Type	Method
Graph structure	• Laplacian lasso • Graph-guided fused lasso(GFLasso) • GOSCAR
Group structure	• Group lasso • Sparse group lasso
Tree structure	• Guided tree group lasso

3. 스트리밍 특성 선택

유의할 점은 스트리밍 데이터와 스트리밍 특성은 구분되어야 한다는 것이다. 스트리밍 데이터는 전체 특성의 개수는 고정되어 있으나 후보 인스턴스(instance)의 수는 동적으로 변화한다. 이에 비해 스트리밍 특성은 인스턴스의 수가 고정되어 있고 특성의 개수가 변화한다. SNS에 매일 업데이트 되고 있는 특성(예: 신조어 및 약어)을 예로 들 수 있다.

스트리밍 특성 선택은 크게 Single feature selection과 Group feature selection으로 나눌 수 있으며 아래 표는 스트리밍 특성 선택을 위한 방법을 나열하였다.

〈표 3〉 스트리밍 특성 선택을 위한 기법

Type	Method
Single feature selection	• Grafting • Alpha investing • OSFS • Fast-OSFS • SAOLA • OS-NRRSAR-SA • DIA-RED
Group feature selection	• GFSSF • Group-SAOLA • OGFS

4. 결론

본 기사에서는 기계학습 모델의 SS차원 축소를 위한 특성 선택 기법을 알아보았다. 목표로 삼는 데이터의 특징을 파악하여 적절한 특성을 선택하는 것이야말로 학습 모델을 예측하기 전 수행되어야 하는 중요한 과정이라 할 수 있다.

참고문헌

[1] Yu, L., & Liu, H. (2004). Efficient feature selection via analysis of relevance and redundancy. The Journal of Machine Learning Research, 5, 1205-1224.

[2] AlNuaimi, N., Masud, M. M., Serhani, M. A., & Zaki, N. (2020). Streaming feature selection algorithms for big data: A survey. Applied Computing and Informatics, 18(1/2), 113-135.

[3] Saeys, Y., Inza, I., & Larranaga, P. (2007). A review of feature selection techniques in bioinformatics. bioinformatics, 23(19), 2507-2517.

하이퍼레저 프로젝트: 오픈소스 블록체인 개발 프레임워크

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

1. 서론

하이퍼레저 프로젝트(Hyperledger Project)는 IBM에서 제공하는 오픈소스 블록체인 네트워크 개발 프레임워크이다. 블록체인 기술을 기반으로 기업에서 필요한 안전성, 신뢰성, 확장성을 고려하여 설계되었으며, 기업 간의 거래를 보다 안전하고 효율적으로 처리할 수 있도록 도와준다. 하이퍼레저는 기업의 비즈니스를 위해 개발된 만큼 데이터 보안을 위해 퍼블릭 블록체인이 아닌 프라이빗 블록체인을 사용하고 있으며, 스마트 컨트랙트(Smart Contract)를 사용하여 거래를 자동화하고, 거래 이력을 블록체인에 안전하게 저장할 수 있다. 하이퍼레저는 분산화된 네트워크를 사용하여 중앙화된 관리 체계와는 달리 다수의 참여자들이 네트워크를 관리하고 운영할 수 있으며 이를 통해 거래의 신뢰성과 투명성을 보장할 수 있다. 또한 하이퍼레저는 모든 참여자가 거래 정보를 공유해야 하는 것이 아니라, 거래에 참여할 수 있는 권한을 부여하는 기능을 제공하여 거래의 안전성을 높이고, 기업 간의 비즈니스 모델에 따라 다양한 권한 설정이 가능하게 한다.

하이퍼레저 프로젝트는 현재 금융, 제조, 유통, 의료 등 다양한 산업에서 활용되고 있다. 예를 들어 금융 분야에서는 거래 과정에서 발생하는 데이터를 안전하게 저장하고, 스마트 컨트랙트를 사용하여 거래 자동화 및 감사 업무를 수행되고 있다. 제조 분야에서는 제품 생산, 유통 및 품질 관리 등에 활용되고, 의료 분야에서는 환자의 개인 정보와 건강 기록과 같은 중요한 데이터를 안전하게 보호하고, 데이터 공유와 거래를 관리하기 위해 사용된다.

하이퍼레저는 프레임워크와 도구로 나누어지는데, 하이퍼레저 프레임워크는 분산 노드에서 실행되는 스마트 컨트랙트(체인코드)를 지원하며, 블록체인 네트워크의 보안성과 신뢰성을 보장한다. 또한, 하이퍼레저 도구는 프레임워크를 보다 쉽게 사용할 수 있도록 도와주는 도구들이다. 이러한 도구는 하이퍼레저 네트워크의 구축, 스마트 컨트랙트의 개발 및 배포, 모니터링 및 관리 등의 작업을 보다 간편하게 수행할 수 있도록 도와준다. 본 기사에서는 하이퍼레저의 대표적인 프레임워크와 도구에 대해 알아보도록 하겠다.

2. 하이퍼레저 프레임워크

2.1 하이퍼레저 패브릭(Hyperledger Fabric)

하이퍼레저 프레임워크 중 가장 대표적인 프레임워크인 하이퍼레저 패브릭은 높은 확장성과 유연성을 지닌 분산 노드 네트워크에서 실행되는 분산 원장 기술을 제공한다. 이를 통해 기업 간 거래를 보다 안전하고 효율적으로 처리할 수 있다. 하이퍼레저 패브릭은 컨소시엄 네트워크를 통해 다수의 기업이 함께 블록체인을 운용할 수 있도록 지원하며, TLS(Transport Layer Security), PKI(Public Key Infrastructure), MSP(Membership

Service Provider)등 다양한 암호화 기술과 보안 메커니즘을 제공하여 네트워크의 안전성과 신뢰성을 보장한다.

2.2 하이퍼레저 소투스(Hyperledger Sawtooth)

하이퍼레저 소투스는 스마트 컨트랙트 플랫폼으로, 분산 원장을 처리하는데 있어 높은 확장성과 성능을 지닌다. 이를 통해 기업에서는 높은 수준의 보안성과 신뢰성을 지닌 블록체인 네트워크를 구축하고 운영할 수 있다. 하이퍼레저 소투스는 분산원장 기술로 이더리움 가상머신(Ethereum Virtual Machine)을 사용하므로 이더리움에서 개발된 스마트 컨트랙트를 일부 수정하여 사용이 가능하다. 따라서, 스마트 컨트랙트를 오직 패브릭에서만 사용가능한 체인코드의 형태로 구현하는 하이퍼레저 패브릭보다 다양한 블록체인 기반 애플리케이션을 개발할 수 있다는 장점이 있다.

3. 하이퍼레저 도구 (Hyperledger tool)

3.1 하이퍼레저 캘리퍼(Hyperledger Caliper)

하이퍼레저 캘리퍼는 하이퍼레저 네트워크의 성능 측정을 위한 도구이다. 캘리퍼는 트랜잭션 처리 성능 측정을 위한 벤치마크 테스트를 지원하며, 다양한 블록체인 플랫폼에 대한 성능 비교 분석도 가능하다. 또한 캘리퍼는 다양한 네트워크 환경에서 테스트를 수행할 수 있고, 실제 환경에서 발생하는 다양한 상황을 시뮬레이션하여 성능 측정 결과를 분석할 수 있다.

3.2 하이퍼레저 익스플로러(Hyperledger Explorer)

하이퍼레저 익스플로러는 하이퍼레저 네트워크를 모니터링하고 분석하기 위한 웹 기반 도구이다. 하이퍼레저 익스플로러를 사용하면 네트워크에 연결된 블록체인 노드들의 정보, 트랜잭션 정보, 체인코드 정보, 블록 정보 등 다양한 정보를 쉽게 확인할 수 있다.

하이퍼레저 익스플로러는 하이퍼레저 패브릭, 하이퍼레저 소투스 등 다양한 하이퍼레저 프로젝트에서 사용할 수 있다. 또한, 다양한 쿼리 기능을 제공하여 네트워크에서 발생하는 데이터를 쉽게 검색하고 분석할 수 있다. 이를 통해 네트워크의 성능 개선 및 문제 해결에 도움을 준다.

4. 결론

본 기사에서는 오픈소스 블록체인 개발 프레임워크인 하이퍼레저 프로젝트에 대해 알아보았다. 하이퍼레저 프로젝트는 본 기사에서 소개한 프레임워크와 도구 이외에도 20개 이상의 프로젝트로 구성되어 있으며, 전 세계의 다양한 기업과 기관들이 참여하고 있다. 미래에는 블록체인 기술의 발전과 함께 하이퍼레저의 역할도 더욱 중요해질 전망이다.

참고문헌

[1] Li, D., Wong, W. E., & Guo, J. (2020, January). A survey on blockchain for enterprise using hyperledger fabric and composer. In 2019 6th International Conference on Dependable Systems and Their Applications (DSA) (pp. 71-80). IEEE.

[2] Mohammed, A. H., Abdulateef, A. A., & Abdulateef, I. A. (2021, June). Hyperledger, Ethereum and blockchain technology: a short overview. In 2021 3rd International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA) (pp. 1-6). IEEE.

[3] Yang, R., Wakefield, R., Lyu, S., Jayasuriya, S., Han, F., Yi, X., ... & Chen, S. (2020). Public and private blockchain in construction business process and information integration. Automation in construction, 118, 103276.

[4] Kamilaris, A., Fonts, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2019). The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. Trends in Food Science & Technology, 91, 640-652.

Topology optimization using super-resolution image reconstruction methods

이승혜 / 세종대학교 딥러닝 건축연구소 / 조교수 / seunghye@sejong.ac.kr
Qui X. Lieu / Ho Chi Minh City University of Technology / Lecturer
Thuc P. Vo. / La Trobe University / Associate Professor
강주원 / 영남대학교 / 교수
이재홍 / 세종대학교 딥러닝 건축연구소 / 교수 / jhlee@sejong.ac.kr

■ 연구요약

본 연구에서는 해당 구조의 메쉬(mesh)를 더 미세하게 나누지 않고도 초고해상도(super-resolution)의 형상을 얻을 수 있는 새로운 형상 최적화(topology optimization) 기법을 제안하였다. 기존의 형상 최적화 기법에서는 저해상도(low-resolution) 이미지를 Solid Isotropic Material with Penalization (SIMP)과 Optimality Criteria (OC) 기법을 사용하여 형상최적화를 수행하였다면 본 연구에서 제안한 기법은 훈련된 기계학습 모델을 형상 최적화 프로세스 안에 결합하여 형상을 재구성하도록 한다. 재구성의 의미는 형상 최적화 프로세스의 각 반복과정에서 이미지를 고해상도로 변환하고 이를 다시 저해상도로 변환하였을 때 기존의 형상 최적화 기법에서 얻은 이미지 보다 개선된 형상을 얻을 수 있다는 것이다. 다양한 예제를 통해 제안된 기법의 효과를 입증하였으며 개선된 최종 형상을 확인할 수 있었다. 무엇보다 super-resolution image reconstruction 기법을 사용한 본 연구의 방법은 기존의 형상 최적화에 가치있는 혁신을 가져다 줄 것이다.

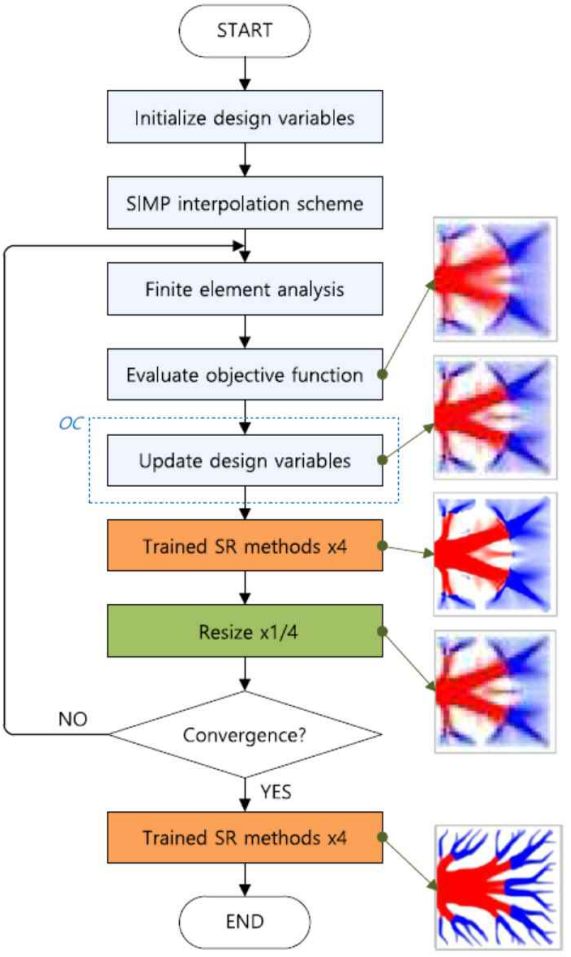


그림1. Flowchart of the proposed method using trained SR networks in inner loop

Deep Learning-Based Automated Generation of Material Data with Object-Space Relationships for Scan to BIM

김소현 / 세종대학교 딥러닝 건축연구소 / 박사 / thgus960221@sju.ac.kr
정광복 / 세종대학교 딥러닝 건축연구소 / 조교수 / kbjeong7@sejong.ac.kr
홍태훈 / 연세대학교 건축공학부 / 교수 / hong7@yonsei.ac.kr
이재홍 / 세종대학교 딥러닝 건축연구소 / 교수 / jhlee@sejong.ac.kr
이재욱 / 세종대학교 딥러닝 건축연구소 / 교수 / jaewook@sejong.ac.kr

■ 연구요약

기존의 Scan-to-BIM 자동화 기술은 형상 정보를 중점적으로 다루기 때문에, 재료정보를 생성하기 위해서는 여전히 많은 시간과 비용이 소모되는 한계가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 연구는 형상 및 재료정보를 동시에 고려한 Scan-to-BIM 자동화 방법을 제안하였다. 3D 레이저 스캐너로 취득한 포인트 클라우드와 파노라마 이미지로부터 딥러닝 기반의 semantic segmentation을 통해 형상 및 재료 정보를 인식한다.

인식한 두 정보를 병합한 후, Dynamo를 사용하여 재료정보가 포함된 BIM 객체를 자동으로 생성한다. 이때, BIM 객체에 포함될 재료정보의 정확도를 높이기 위하여 object-space relationships를 적용하였다. 그 결과, 적용 전 대비 48.66%의 정확도가 향상되었다. 본 연구에서 제안한 방법은 기존 건축물의 형상정보뿐만 아니라 재료정보를 반영하여 BIM 모델을 자동으로 생성할 수 있으며, as-built BIM 모델의 활용성 증진에 기여할 수 있다.

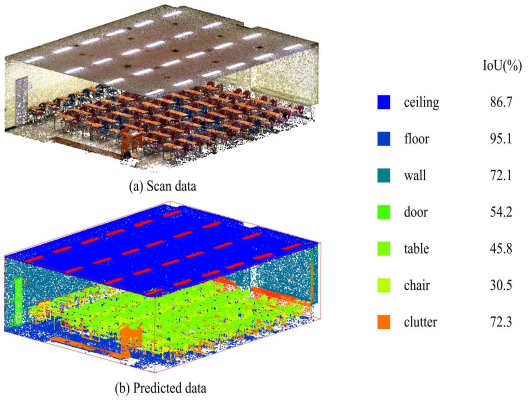


그림 1. Semantic segmentation results using PointNet model: (a) scan data; and (b) predicted data

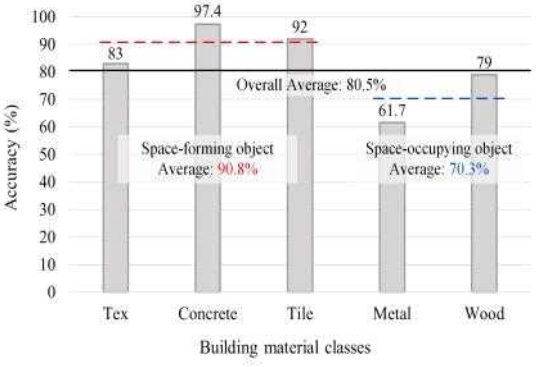
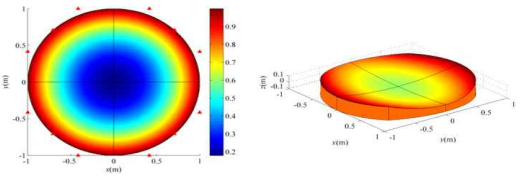


그림 2. Accuracy of semantic segmentation by material

■ 과제수행 현황

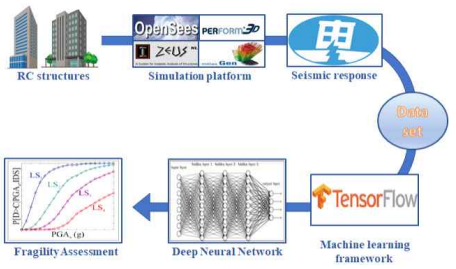
▶ **과제명: 확장유전알고리즘기반 위상최적화를 이용한 구조물 형상설계**

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



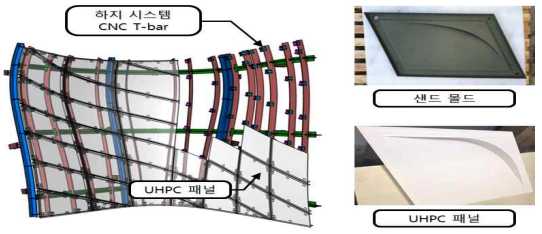
▶ **과제명: DNN기반 위험도 알고리즘생성을 통한 중저층 취약건축물의 보강전과 후의 내진성능 실증 연구**

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



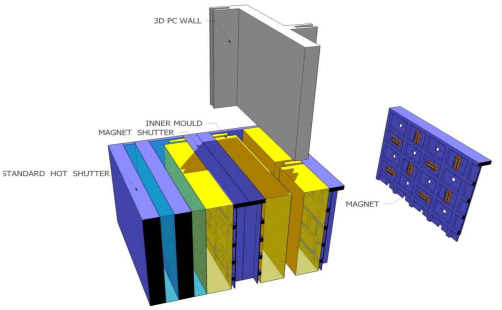
▶ **과제명: 유한요소해석 모델링을 통한 몰드와 UHPC 비정형패널의 설계 기준 개발**

- 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: 지진방재 분야 전문인력 양성사업**

- 연구책임자: 이기학 교수
- 지원기관 및 지원사업: 행정안전부 지진방재분야전문인력양성사업
- 연구기간: 2022.09.01. - 2024.08.31

▶ **과제명: 지역특성을 고려한 지진재해 지역위험도 평가기술 개발**

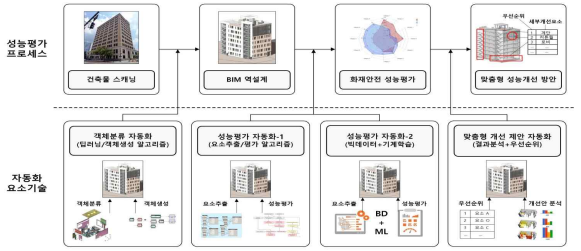
- 연구책임자: 이기학 교수
- 지원기관 및 지원사업: 행정안전부 국립재난안전연구원 재난안전 공동연구 기술개발사업
- 연구기간: 2022.05.21. - 2025.12.31

▶ **과제명: 국내 석축형 문화재의 비파괴검사를 통한 내부채움재 검토와 정밀 유한요소해석을 통한 동적거동 특성 연구**

- 연구책임자: 이가윤 박사후연구원(이기학 교수)
- 지원기관 및 지원사업: 한국연구재단 창의·도전연구기반지원사업
- 연구기간: 2022.06.01. - 2024.02.28

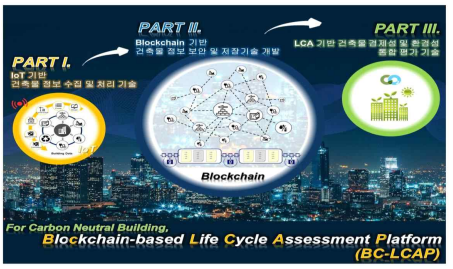
▶ **과제명: 기계학습 기반 BIM 역설계를 활용한 건축물 화재안전 성능평가 자동화 기술 개발**

- 연구책임자: 이재욱 교수
- 지원기관 및 지원사업: 연구재단 중견연구사업
- 연구기간: 2020.03.01 - 2025.02.28



▶ **과제명: 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

- Kim, S., Jeong, K., Hong, T., Lee, J., and Lee, J. (2023) "Deep-learning-based automated generation of material data with object-space relationships for San-to-BIM" Journal of Management in Engineering.
- Le-Duc, T., Nguyen-Xuan, H., & Lee, J. (2023). A finite-element-informed neural network for parametric simulation in structural mechanics. Finite Elements in Analysis and Design, 217, 103904.
- Mai, H. T., Truong, T. T., Kang, J., Mai, D. D., & Lee, J. (2023). A robust physics-informed neural network approach for predicting structural instability. Finite Elements in Analysis and Design, 216, 103893.
- Tang, H., & Lee, J. (2023, March). Chaotic enhanced teaching-based differential evolution algorithm applied to discrete truss optimization. In Structures (Vol. 49, pp. 730-747). Elsevier.
- Lee, S., Lieu, Q. X., Vo, T. P., Kang, J., & Lee, J. (2023). Topology optimization using super-resolution image reconstruction methods. Advances in Engineering Software, 177, 103413.
- Mai, H. T., Lee, S., Kim, D., Lee, J., Kang, J., & Lee, J. (2023). Optimum design of nonlinear structures via deep neural network-based parameterization framework. European Journal of Mechanics-A/Solids, 98, 104869.
- Nguyen, N. V., Phan, D. H., & Lee, J. (2023). On the transient performance of agglomerated graphene platelets-reinforced porous sandwich plates. Thin-Walled Structures, 183, 110316.
- Mai, H. T., Mai, D. D., Kang, J., Lee, J., & Lee, J. (2023). Physics-informed neural energy-force network: a unified solver-free numerical simulation for structural optimization. Engineering with Computers, 1-24.

■ 학술대회 참석

▷ 2022년 KIBIM Symposium

- 참석자: 참석자: 정광복 교수, 박준우, 김소현, 김형균, 정준호.
- 일시: 2022.12.09.(금).
- 장소: 서울대학교 호암교수회관 컨벤션센터 무궁화홀.

2022년 KIBIM Symposium