

딥러닝이 BIM에 제시하는 새로운 패러다임 변화 탐구

Exploring New Paradigms with Deep Learning for BIM

구본상 교수
서울과학기술대학교

Koo, Bonsang Professor
SEOULTECH University

With the advent of the 4th Industrial Revolution, Building Information Modeling (BIM) has gained further significance in the Architecture/Engineering/Construction (AEC) industry. However, BIM still faces important shortcomings when viewed as a truly 'intelligent system,' as it does not allow full expression of element behavioral relationships and is limited in inferencing new knowledge from existing semantics. BIM also requires extensive modeling and constant management of updates throughout the lifetime of actual projects. Such requirements have hampered its adoption in the field to replace two-dimensional CAD-driven work practices. Deep learning, a subset technique of Artificial Intelligence, has the potential to alleviate many of the manually intensive tasks required to use and manage BIM today. The author suggests three main areas in this regard. First, use supervised learning approaches, such as CNN, to automatically distinguish between BIM elements, and thereby check for BIM model integrity and consistency. Secondly, unsupervised learning, namely can be used to generate detailed BIM elements and thus automate LOD generation. Finally, reinforcement learning techniques may be used to learn from simulations and thus optimize construction work sequences. Such adoptions, when realized, have the promise to exponentially improve the productivity of BIM model generation and management, and thus expedite BIM as the main driver for the shift to a data-driven paradigm in our industry.

서론

4차 산업혁명 시대의 도래와 함께 건설 산업에서는 Building Information Modeling(이하 BIM) 기술의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 보스턴 컨설팅 그룹(Boston Consulting Group) 및 맥킨지(Mckinsey & Company)가 2017년에 각각 발행한 보고서에는 건설산업의 생산성 혁신을 위한 디지털 전환(Digital Transformation)을 강조하고, 이 때 BIM이 건설사업의 생애주기에서 디지털 정보의 저장소 및 협업 매개체로서 중추적 역할을 할 것으로 전망하였다.

그러나 정작 국내 건설 산업 내에서는 BIM의 도입이 더딘 실정이다. BIM을 실무에 적용하기 위한 여러 애로 사항이 현실적으로 남아 있기 때문이다. 특히 BIM 모델 생성, 정합성 검토, 모델 상세화, 이종 모델 연동 등, BIM 모델 운용에 따르는 작업은 많은 인력과 시간 투입을 요한다. 더불어, 기존 2차원 도면 기반의 업무와 BIM에 대한 추가 업무 중복으로 이중 비용이 발생하는 데, 이는 특히 중소 규모의 설계사나 시공사에게 부담으로 작용한다.

4차 산업혁명의 핵심 기술 중 하나가 인공지능이다. 인공지능은 명시적 코딩에 기반하지 않고 주어진 데이터의 학습을 통해 패턴을 찾아 주어진 문제를 해결한다.

본 저자는 4차 산업혁명의 중점 기술 중 하나인 인공지능이 이런 BIM의 현실적 제약을 해결할 돌파구를 마련해 줄 것이라 사료되며 기대하는 바이다. 특히 인공지능 기법 중 딥러닝(Deep Learning)은 이미지나 영상을 비롯한 3차원 정보를 구분하고 인식하는 능력에서부터 스스로 자동 생성하는 단계로 까지 발전하고 있다.

따라서, 본 고에서는 딥러닝 기술이 BIM 모델 운용의 지능화에 어떻게 활용될 수 있을지, 그 잠재력과 미래 가능성을 살펴 보고자 하였다. 우선 BIM의 학술적 및 실무적 한계를 짚어보고, 인공지능 기술 중 딥러닝의 주

된 기능을 소개하였다. 이후 BIM과 관련된 애로사항들을 딥러닝 기술이 어떻게 극복 내지 보완할 수 있는지를 전망하였다. 마지막으로 이런 기술의 실제 적용을 위해 준비해야 할 사항들을 제시하였다.

지능적 시스템으로서 BIM의 한계

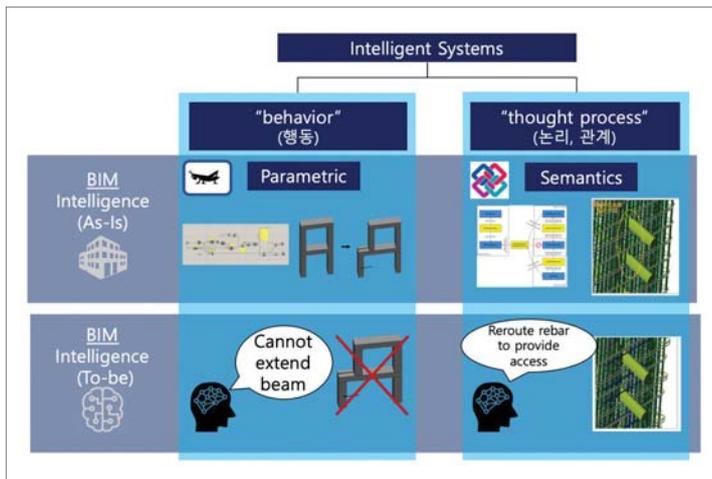
BIM 기술은 기존 2차원 도면 및 CAD에 기반한 건설 정보 관리 방식에 따른 다양한 문제를 개선하는데 큰 기여를 하고 있다. 3차원 기반으로 설계 정합성 검토 및 시공성 분석을 가능케 할 뿐 아니라 협업 방식과 전체 사업 정보 연계성 향상에도 큰 영향을 미치고 있다.

그러나, BIM의 실무 적용은 국내외에서 아직 어려움이 많은 실정이다. BIM 모델링 작업에 대한 부담감이 높고 모델 업데이트 및 관리 등 일련의 작업 대부분이 수동으로 이뤄지고 있다.

이런 측면에서 Block and Sacks(2019)는 BIM의 필요성을 인지하는 동시에 아직 ‘지능적 시스템(Intelligent System)’으로 갖춰야 할 조건은 충족 못한다고 지적하였다. 지능적 시스템은 관심 영역의 엔티티(Entity)에 대한 고유 행동(behavior)을 표현하고 엔티티 간의 논리 관계 및 추론이 가능해야 하는데(Russell et al., 2016), BIM은 이

런 맥락에서 아직 부족하다는 것이다. 일례로, BIM은 패러메트릭 모델링이 가능하여 특정 부재의 변형이 인근 부재에 미치는 영향을 규정할 수 있다. 그러나, 부재 간의 위배 관계는 탐지하지는 못한다. 예를 들어, <그림 1>과 같이, BIM 모델 내에서 일 개 기둥을 이동 시키면 이와 연계된 보가 따라오거나 길이가 늘어난다. 그러나 기둥의 이동이 과다하면 보 길이가 너무 길어져 구조적으로 불안정해지는데 이런 제약까지 지능적으로 파악하고 위배 사항을 알려주지는 못한다. 또한 시멘틱스(semantics)를 표현할 수 있으나 이를 통한 추론까지 하지는 못한다. 즉, 두 기둥이 보를 받치는 관계를 표현할 수는 있으나, 보가 안전하려면 기둥이 두개 필요하다는 추론까지 하지 못한다. 이런 지능적 한계 때문에 BIM 모델에 대한 변경 내지 업데이트가 아직까지는 대부분 수동으로 이뤄져야 한다.

Block and Sacks(2019)는 최근에 등장한 인공지능 기술을 BIM에 접목시키면 지능적 시스템으로서 한 걸음 다가갈 수 있을 것으로 전망하였다. 본 저자 또한 이런 지능적 결합이 인공지능을 통해 보완될 것으로 사료되며, 더 구체적으로 딥러닝에서 그 가능성을 제시해보고자 하였다.

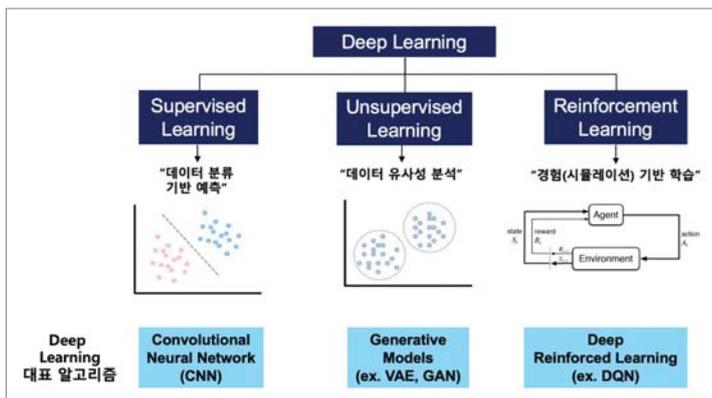


<그림 1> 지능적 시스템으로서 BIM의 한계

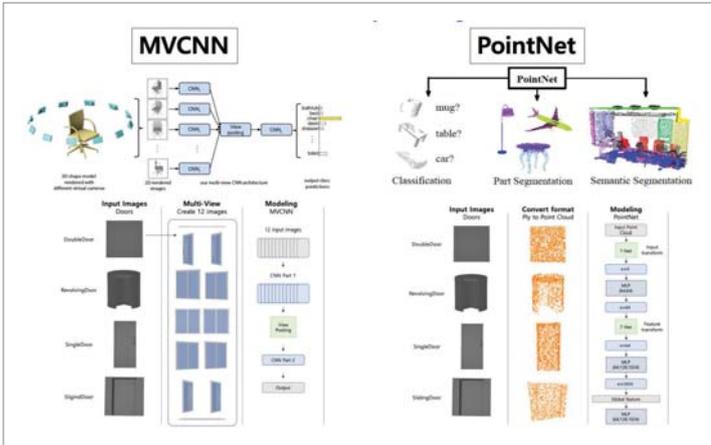
딥러닝의 정의 및 분류

딥러닝은 머신러닝(machine learning)과 더불어 광의의 인공지능을 가능케 하는 학습 알고리즘의 하나로 정의될 수 있다. 머신러닝 학습 모델 중 뉴럴네트워크(Artificial Neural Network, ANN)는 신경 세포인 뉴런(neuron)을 추상화한 것으로, 시냅스의 결합으로 네트워크를 형성한 인공 뉴런이 학습을 통해 시냅스의 결합 세기를 변화시켜, 문제 해결 능력을 가지는 모델 전반을 가리킨다<그림 2>.

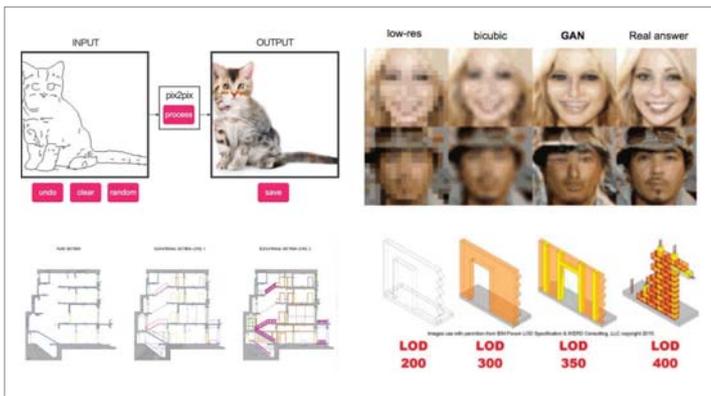
ANN은 여러 개의 뉴런이 결합된 레이어 또는 층을 기본 단위로 하며 이때 층을 두껍게 쌓기 시작하면 이를 딥뉴럴네트워크(Depth Neural Network, DNN)라 한다. 층이 두꺼워지면서 생기는 ‘경사 사라짐 문제’(vanishing gradient problem)가 해결되고(Hochreiter and Schmidhuber, 1997), 최근 컴퓨터 메모리 및 GPU 기반 연산 속도의 증폭과 하둡(Hadoop), 아파치(Apachi)와 같은 빅데이터 처리 기술의 등장으로 예측 정확도가 타 학습 모델보다 월등히 높은 성능을 보이게 되었다. DNN은 활용 목적에 따라 층 간의 연결 형태와 두께를 변형할 수 있는데, 이렇게 구축된 개별 DNN을 통틀어 딥러닝이라 명명하여 구분하고 있다.



<그림 2> 딥러닝의 학습 분야 및 대표 학습 모델



<그림 3> BIM 부재 분류에 활용한 딥러닝 학습 모델



<그림 4> 딥러닝 GAN 활용한 도면 상세 및 BIM LOD 자동 생성

딥러닝은 머신러닝과 마찬가지로 지도학습, 비지도학습 및 강화학습으로 나눌 수 있으며, 딥러닝 모델의 연구 개발로 각 분야별 전용 학습 모델이 구축되었다.

지도학습의 경우 대표적으로 합성곱신경망(Convolutional Neural Network, CNN) 및 순환신경망(Recurrent Neural Network, RNN)을 들 수 있는데, CNN은 이미지 및 영상 해석에, RNN은 자연어처리에 특화된 모델들이다. 비지도학습에는 생성적 적대 신경망(General Adversarial Network, GAN)이 대표 모델로 부상하였는데, 이를 통해 관심 대상과 유사한 이미지나 영상을 새로이 생성하는 것이 가능해진다. 마지막으로 강화학습은 데이터에 의존하지 않고 가상 시뮬레이션 공간에서 시행착오를 반복하며 학습을 하는 경험 기반 모델로서 Q-learning과 DQN을 합친 (Deep Q-learning Network, DQN) 방식이 대표적이다.

딥러닝 적용 사례 및 가능성

본 장에서는 상기 소개한 지도학습, 비지도학습 및 강화학습 딥러닝 모델들이 BIM 모델링, 정합성 검토 및 시뮬레이션 등에 적용될 수 있

는 방법들을 제시하였다.

지도학습 사례: BIM의 IFC 정합성 검토

딥러닝 기반 지도 학습을 BIM에 활용할 수 있는 방법으로서 BIM 모델의 국제 표준 데이터 포맷과의 정합성 검토를 들 수 있다.

Industry Foundation Classes(IFC)(ISO 16739)는 BIM 정보를 중립적이고 개방적인 포맷으로 제공해 줌으로서 BIM 소프트웨어 간 정보의 교환을 가능케 해주는 중추적 역할을 담당하고 있다. 그러나 실제 IFC를 활용할 때 정보의 무결성(Integrity)이 보장되지 않는 문제가 존재한다. IFC는 건설 관련 다수 도메인에서 필요로 하는 객체 및 관계 정보를 유연하게 표현할 수 있도록 설계되어 있는데, 이런 범용성 때문에 데이터 교환 시 오류 및 누락에 취약한 모습을 보인다(Eastman et al., 2009).

이에 대한 문제 중 하나는 BIM 부재와 IFC 엔티티 간 매핑의 정합성을 검토할 필요가 있다. 예를 들어, BIM 도구 내에서 규정된 벽체나 창문이 IFC 엔티티인 IfcWall 및 IfcWindow로 제대로 부여됐는지를 확인할 필요가 있는 것이다. 규모가 큰 BIM 모델의 경우 부재 개수가 무수히 많아지기에 이를 수동으로 일일이 검토하기 현실적으로 어려워지며, 이에 따라 BIM 모델의 품질에 문제가 생길 수 있다.

본 저자는 딥러닝 기반으로 이런 문제를 해결하고자 하였다. 즉, 개별 BIM 부재의 기하 특성을 학습하여 부재 식별을 자동화하고 이를 통해 IFC 엔티티와의 매핑 정합성을 검증하는 방식이다. 구체적으로 Multi-view CNN(MVCNN)(Su et al., 2015)과 PointNet(Qi et al., 2017)의 두 가지 기하학적 딥러닝 기법을 사용했다 <그림 3>.

MVCNN은 3차원 객체를 다각도에서 촬영한 복수의 2차원 이미지를 기반으로 해당 객체를 인식하는 모델이며, PointNet은 해당 객체를 3차원 점군(Point Cloud)으로 변환하여 객체 인식을 수행한다. 이들을 13개 건축 부재(벽체, 문, 창호, 계단, 난간 등)를 구분하도록 학습 시켰으며 그 결과 0.92 이상의 분류 정확도(Accuracy)를 얻을 수 있었다. 몇가지 형상이 매우 유사한 객체를 제외하고 대부분의 부재를 종류별로 올바르게 분류할 수 있는 것이다.

본 학습 모델의 정확도를 더 높이면 향후 특정 BIM 모델이 주어졌을 때 개별 부재에 대한 IFC 매핑의 정합성을 자동으로 점검할 수 있게 될 것이다. 이는 사업 중 설

계 및 시공 기업 들 간 모델 공유 시에도 유용하게 쓰여질 수 있을 뿐 아니라, 준공 BIM 모델의 납품 시 최종 검토에도 활용될 수 있다. 이처럼 딥러닝 모델 적용을 통해 수동으로 진행되던 BIM 무결성 확인 작업이 자동화될 수 있는 것이다.

비지도학습 사례: BIM 모델 LOD 자동 상세화

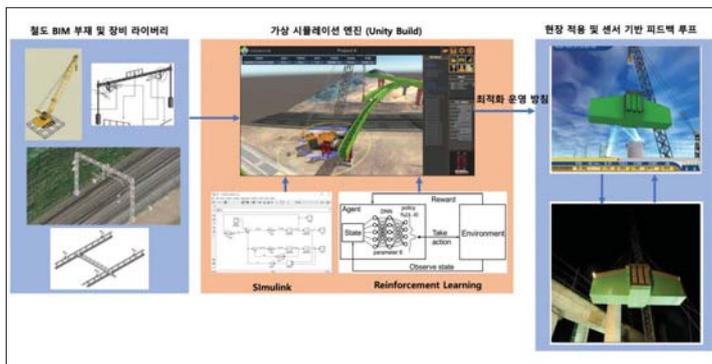
앞서 소개한 대로 딥러닝 모델 중에는 GAN이 있다. GAN은 두 개의 뉴럴네트워크, 즉 분류모델(Discriminator)과 생성모델(Generator) 간의 적대적 경쟁을 통해 생성 모델이 실제 대상과 분별하기 어려울 정도의 유사한 대상을 모방할 수 있도록 구축한 학습 모델이다. 이 과정을 통해 GAN은 관심 대상을 분류를 하는 것이 아니라 새로운 모델을 생성하게 된다.

본 기술 역시 BIM 모델링 작업 향상에 잠재력을 갖추고 있는데, 대표적으로 BIM 모델의 상세 수준(Level of Development, LOD) 자동 생성이다(그림 4). BIM 모델 사용시 사업의 단계별 진행에 따라 더 높은 LOD를 요구하게 된다. 이상적으로는 낮은 레벨의 LOD로 구축된 BIM 모델을 기반으로 높은 LOD의 모델을 작업해야 연계성도 갖춰지고 모델링 작업을 최소화할 수 있다. 그러나, 실제 현장에서는 각 LOD별로 BIM 모델을 새로이 구축하고 있어, BIM 활용 중 품이 많이 요구되는 작업이다.

여기서 GAN 모델을 학습 시켜 LOD를 자동으로 생성할 수 있다면, BIM 효율을 획기적으로 높일 수 있을 것으로 기대한다. 또한 앞서 4.1절의 BIM 정합성 검토 기술과 병합한다면, BIM 모델의 연계성 및 LOD의 무결성도 자동 체크가 가능할 것이다. 이의 실현을 위해서는 GAN 기술의 학습 방식도 중요하지만, BIM 부재의 LOD별 사례를 갖춘 충분한 데이터 세트와 LOD에 대한 일관되고 표준화된 분류 기준이 중요할 것이다.

강화 학습 사례: BIM 기반 시공 시뮬레이션

상기 두 방식이 학습에 필요한 데이터를 대량으로 요구하는 이슈가 존재하는 반면, 강화학습은 가상 시·공간에서 시뮬레이션을 통해 학습하는 경험(experience)기반 학습 기법이다.



<그림 5> 강화학습 활용한 건설 현장 최적 운영 계획 지능적 생성

2015년 2차원 기반의 아케이드 게임에 적용하여 반복 학습을 통해 인간보다 높은 점수를 얻는 것으로 주목을 받았다(Minh et al., 2015). 또한 이세돌을 이겨 유명세를 탄 딥마인드의 알파고(AlphaGo)를 강화학습으로 훈련된 알파제로(AlphaZero)가 단 3일만의 학습 후 승리한 놀라운 성과를 거둬 그 잠재력을 인정 받았다.

강화학습은 주로 제조업 분야에서 개별 로봇의 자율 운행 분야에 적용되고 있다. 이보다 한단계 나아가 최근에는 멀티 에이전트(multi-agent) 기반 강화 학습이 발전되고 있어, 다수 에이전트 간 상호 협력 학습이 가능해지고 있다.

건설 분야에서는 인력 및 장비가 복합적으로 얽혀져 있는 시공 현장 운영 계획 수립에 활용이 가능할 것으로 보인다(그림 5). 현재 시공 시뮬레이션을 위해 4D BIM이 활용되고 있으나, 이는 공정을 3차원으로 가시화하는 수준에서 벗어나지 못한다. 강화학습을 시공 현장 시뮬레이션에 적용하면, 수많은 공정과 장비의 운영 조합을 학습하여, 이로부터 최적 공정 계획이 수립되고, 궁극적으로 진정한 자율 시공이 이뤄질 수 있을 것이다. 뿐만 아니라, 부재 및 장비의 중력 및 동적 범위와 같은 물리적 제약을 가상에서 구현할 수 있는 Unity와 같은 게임엔진과 연계시키면 공정의 안전성 여부도 사전에 검토할 수 있을 것이다.

빅데이터 구축 방법

딥러닝 기술이 유효하기 위해서는 빅데이터 구축이 전제되어야 하며, 건설 산업에서는 단기적으로 양질의 데이터 획득이 인공지능 기술 적용에 가장 큰 걸림돌이 될 것으로 예상된다.

데이터 획득 및 관리는 비단 건설 분야 뿐 아니라 타 분야에서도 4차 산업 혁명의 실질적 구현을 위한 핵심 요건으로 인식되고 있다. 데이터에 관련한 부족 및 데이터 전처리의 문제가 상존한다. 관심 영역에 대한 분석을 위해 데이터가 부족한 것도 문제지만, 획득한 데이터 분석을 위해 이를 구조화, 분류 및 태깅하는 데이터 전처리 작업 또한 실제 품이 많이 들어가기 때문이다. 최근 인공지능 분야에서는 전자는 ‘전이 학습(transfer learning)’, 후자는 ‘액티브 학습(active learning)’이라는 학습 모델 기법으로 제시하고 있다.

전이 학습은 범용적 데이터를 기반으로 훈련된 딥러닝 모델을 관심 영역 데이터로 추가 훈련시켜 특화 시키는 방식이다. 즉, 관심 영역에 대한 데이터가 불충분할 경우 활용할 수 있는 방법으로서 건설 분야에서 활용할 수

있는 유효한 방법이다. 일례로, 범용 장비나 기계 이미지로 훈련된 모델에 건설용 장비 이미지로 추가 학습시켜 줌으로서 부족한 데이터를 보완하면서 높은 예측 정확도를 내는 방식이다.

액티브 학습은 준지도학습(semi-supervised learning)기법을 확장한 개념으로 다량의 데이터 전처리 필요 시 우선 일부 데이터만 레이블링하여 이를 기반으로 딥러닝 모델을 학습 시킨 후, 나머지 데이터는 딥러닝 모델이 직접 자동 분류하게 하는 기법이다. 건설 분야의 각종 이미지, 영상, 텍스트 등의 레이블링에 유용하게 활용한다면 데이터 전처리 작업 시간을 획기적으로 단축할 수 있을 것이다.

맺음말

본 고에서는 BIM 모델 구축 및 관리 향상을 위한 인공지능 딥러닝 기술의 적용 방안과 발전 방향을 제시하였다. 구체적으로 BIM 모델의 정합성 검토, BIM 모델의 LOD 자동 생성 및 상세화, 시공 단계 BIM 시뮬레이션 기반 공정 계획 최적화를 제시하였다. 이외에도 BIM 위주의 건설 사업 관리 시 요구되는 모델링 및 검토 작업에서 인공지능을 활용할 수 있는 여러 방안이 나올 것으로 기대한다. 이들 연구를 통해 현재 존재하는 BIM의 실무적 애로사항들이 인공지능의 도움으로 조속히 해소되길 바란다.

인공지능 기술은 명시적 코딩으로 규칙을 일일이 명시하는 것이 아니라, 데이터로부터 일반화된규칙을 추론하는 것이다. 따라서 인공지능은 주어진 솔루션 내에서 최적값을 찾는데 멈추지 않고, 사람이 고려하지 못한, 새로운 솔루션까지 제시할 수 있는 것이 최대 강점이다. 따라서 본 고에서는 BIM을 대상으로 논고를 국한시켰으나, 디자인, 설계, 엔지니어링, 시공 및 유지관리 등 각 전문분야 별로 폭넓게 적용되어 4차 산업 혁명 도입을 앞당기는 지능화 도구로 활용되기 바란다. 🌐

참고문헌

1. Hochreiter, S.; Schmidhuber, J. "Long Short-Term Memory". *Neural Computation*, 9 (8) (1997) 1735–1780.
2. Bloch, Tanya, and Rafael Sacks. "Comparing machine learning and rule-based inferencing for semantic enrichment of BIM models." *Automation in Construction* 91 (2018): 256–272.
3. Russell, S. J., & Norvig, P. *Artificial intelligence: a modern approach*. Malaysia; Pearson Education Limited, (2016).
4. C. Eastman, J. Lee, Y. Jeong, J. Lee, Automatic rule-based checking of building designs, *Automation in Construction* 18 (8) (2009) 1011–1033.
5. H. Su, S. Maji, E. Kalogerakis, E. Learned-Miller, Multi-view convolutional neural networks for 3d shape recognition, *International Conference on Computer Vision* Santiago, Chile (2015)



Koo, Bonsang

Professor
SEOULTECH university

연세대학교 토목공학과 학사 및 스탠포드대학교 건설사업관리 전공으로 박사과정을 마치고 미국에 건설 전문 컨설팅회사인 SPS사에서 근무하였다. 국내에서는 한국건설산업연구원에서 연구위원으로 경력을 쌓았으며, 현재 서울과학기술대학교 건설시스템공학과에서 건설사업관리 전공 부교수로 재직중이다. BIM 기반 설계 및 시공 프로세스 혁신 연구 및 과제를 다수 수행하였으며 최근 인공지능 및 빅데이터 기술을 BIM과 연계하는 차세대 스마트 건설 연구를 수행하고 있다.

Bonsang Koo graduated from Yonsei University and received his doctorate from Stanford University in construction engineering management. He worked as a consultant for SPS, a company focused on BIM and Lean implementation. He has also worked as a research fellow at CERIK, a research think tank for the Korean construction industry. He is currently a professor at Seoul National University of Science and Technology. His research interests include BIM adoption in the design and engineering of infrastructure and building assets. More recently, he has focused on applying Artificial Intelligence and Big Data techniques to improve BIM modeling and management approaches.