

# 딥러닝(Deep learning) 기술을 기반한 건설재료 특성 예측



김현환  
Texas State University  
/ 조교수  
k\_h82@txstate.edu



나일호  
한국석유공업  
/ 팀장  
brct0924@naver.com



윤지현  
Texas State University  
/ 박사과정  
yiy1@txstate.edu

## 1. 머리말 또는 서언

인류 발전의 역사 속에서 건설산업은 4차 산업혁명(4IR)의 도래를 촉발하면서 엄청난 변화의 정점에 서 있다. 인공지능, 로봇공학, 사물인터넷(IoT), 첨단 데이터 분석 등 첨단 기술의 융합으로 대변되는 획기적인 변화는 건설 분야를 비롯한 사회 곳곳으로 스며들고 있는 상황이다. 이러한 혁신의 물결 속에서 건설재료의 특성화는 르네상스를 맞이하고 있고 건설 프로젝트의 복잡한 태피스트리(tapestry)에서 재료를 어떻게 생각하고, 분석하고, 구현하는지의 본질을 재정의한다고 할 수 있겠다.

전통적으로 육체노동과 경험적 평가가 지배적이었던 건설 산업의 전통적인 규범은 디지털 정밀도와 지능형 시스템이 지배하는 새로운 시대로 바뀌고 있다. 기술과 건설재료의 결합은 단순히 효율성에 관한 것이 아니라 이는 건설 구조물의 DNA를 근본적으로 변화시켜 건물이 단순한 구조물이 아니라 살아 있고 적응력이 있는 존재임을 보장하는 것이다. 이 글에서 우리는 4차 산업 혁명이 건설재료의 특성 연구에 미치는 영향을 밝히고 혁신과 건축 환경 사이의 공생 관계를 탐구하는 여정을 시작하고자 한다.

## 2. 건설재료 분야에 4차 산업의 등장

4차 산업혁명은 디지털 기술, 인공지능, 로봇공학, 사물인터넷(IoT)의 원활한 융합으로 특징지어지는 분수령이다. 건설 영역에서 이러한 혁신적인 기술은 재료가 건축 프로젝트에 인식되고 평가되고 통합되는 방식의 본질에 있어 패러다임 전환을 조율하고 있다. 이러한 혁명적인 융합은 단순한 기술적 진화가 아니라 건설 환경을 근본적으로 재정의하는 것이다.

건설 부문에서는 이러한 첨단 기술이 재료의 수명주기 및 모든 측면에 침투하고 있어 그 영향이 뚜렷이 드러난다. 과거에 육체노동과 전통적인 방법론에만 의존하던 시대는 이미 지났으며 대신 우리는 스마트 시스템이 변화의 설계자가 되면서 기존의 관습에서 벗어나는 변형을 목격하고 있다. 이러한 지능형 시스템은 효율성의 매개변수를 재정의할 뿐만 아니라 지속 가능성의 수호자로 떠오르고 있으며 건설 프로젝트의 본질을 바꾸고 있다. 더욱이 스마트 시스템의 통합은 효율성, 지속 가능성 및 전반적인 프로젝트 결과를 응집력 있는 진행 내러티브로 결합하여 다양한 이점을 가져온다. 기술의 시너지 효과를 통해 건설 프로젝트에서 실시간 재료를 식별하고 정확한 분석 및 혁신적인 적용이 가능해졌음은 물론 건설 관행의 기존 경계를 뛰어넘어 기술이 단순한 도구가 아니라 건설 여정에서 없어서는 안 될 파트너가 되는 새로운 시대를 열게 되었다. 이러한 변화의 환경을 탐색하면서 건설 부문은 혁신의 도가니가 되었고 건설재료에 내장된 스마트 센서는 실시간 데이터 스트림을 제공하여 이전에는 상상할 수 없었던 수준의 통찰력을 제공하기도 한다. 뿐만 아니라 인공지능 알고리즘은 전례 없는 수준의 정확도로 패턴을 해독하고 재료 거동을 예측하며 건설 프로세스를 최적화한다. 또한 드론은 하늘을 날아 고해상도 데이터를 캡처하고 로봇 공학은 정밀한 비파괴 테스트를 수행하여 세심한 재료 분석의 새로운 시대를 예고하고 있는 시대이다.

본질적으로 스마트 시스템의 통합은 건설 내러티브를 재구성하는 전체적인 변화를 위한 촉매제라고 할 수 있겠다. 효율성 향상은 속도에만 국한되지 않고 자원 활용, 폐기물 감소 및 전체 프로젝트 지속 가능성 향상까지 확장되며, 전통적인 건설 모델은 모든 재료 선택이 데이터를 통해 정

보를 얻고 모든 결정이 건설 환경의 미래를 반영하는 역동적이고 반응이 빠른 생태계로 진화하고 있다.

### 3. 전통적인 건설재료 시험의 한계와 발전

건설재료 시험은 기본적으로 재료의 공학적 물리적 특성을 찾아내는 것에 의미를 두고 설계된다. 이를 바탕으로 우리 사회의 필요에 맞게 다양한 재료를 선택하고 적용하며 현재보다 더 나은 성능을 찾기위해 끊임없이 발전하고 있다. 하지만 재료의 공학적 특성을 알아내는 것이 말처럼 쉽지는 않은 작업이다. 우선 적절한 장비를 찾고 때에 따라 상상 이상의 시간과 수고를 소비해서 이에 맞는 표본을 준비해야하며 이러한 준비가 한순간에 허비되지 않도록 과정전체에서 가장 신중하게 시험을 진행해야한다. 여기서 상황을 더욱 힘들게 하는 것은 이러한 시험방법이 한가지가 아니라는 것이다. 기본적으로 모든 재료들은 성능을 발휘하기 위해서 고려되어야하는 여러 가지 변수들이 있으며 시험을 설계할때는 모든 변수가 반영되어야 한다. 이는 건설분야에서 재료가 쓰일 목적에 따라 다를 수 있는데 가장 순수한 단계에서는 재료에 가해질 하중과 재료가 노출되어질 온도, 그리고 잠재적으로 우려될 수 있는 화학적인 변화에도 대비가 되어져야한다. 앞서 언급한 전통적인 시험 방법들은 대개 이러한 변수들을 고려해서 발전했고 우리가 상상할 수 있듯이 그 시작은 현대와 비교하면 매우 원초적이었다. 문제는 원초적일수록 시험을 위해 준비해야하는 시간과 수고가 비례해서 늘어난다는 것이다.

산업의 발전과 더불어 기술과 학문의 발전을 이루면서 원초적일 수 있었던 시험법들은 점점 개선이 되어가면서 현대에 이를 수 있게 되었다. 그

리고 현대에는 인간의 한계를 넘는 기술들이 접목되어 재료의 특성을 파악하고 분석하는 단계까지 왔다. 이를테면 예전에는 광학현미경이 물질을 가시적으로 볼 수 있는 최고의 기술이었으나 현대에는 다른 차원의 기술들로 직간접적으로 재료의 상태를 이미지로 확인할 수 있게 되었다. 그리고 그 수준이 언제부턴가 친근하고 익숙해진 나노(Nano)사이즈의 이미지를 육안으로 받아볼 수 있는 경지까지 오르게 되었다. 이러한 현대 기술의 적용으로 연구자들은 원자력 현미경(AFM)과 같은 현대 장비를 사용하여 소규모로 재료의 표면을 육안으로 확인할 수 있게 되었다[Fischer et al, 2014]. 대개의 경우 원자력 현미경은 반도체의 실리콘 기판에 상장된 물질의 품질을 측정하기 위해 사용되어진다. 하지만 현대의 연구 트렌드가 서로 다른 영역을 받아들이고 이를 위해 도전하는 것이 보편화된 만큼 분야를 막론한 기술의 적용은 매우 활발하다. 이와 같은 일환으로 도로포장 재료의 주된 재료인 아스팔트 바인더의 표면을 원자력 현미경으로 관측하고 육안으로 볼 수 없었던 형상이나 패턴들을 전통적인 시험 값들과 상관짓는 것이 보편화된 연구 중 하나로 자리 잡았다. 실제 이전 연구에 따르면 원자 현미경으로 캡처한 이미지는 서로 다른 기계적 특성을 갖는 아스팔트 바인더의 이질적인 영역을 드러낼 수 있다는 결과들이 있다 [Kim et al, 2017]. 여러 연구에서 아스팔텐이 포함된 아스팔트 표면을 특성화하는 데 사용되는 특정 모양의 외관상 패턴을 평가하였으며[Jager et al, 2004]. 아스팔트 바인더 특성을 반영하기 위해 이러한 모양의 크기와 개수가 고려되기도 하였다. 일반적으로 그리고 전통적으로 아스팔트 바인더의 기계적 성능은 Superpave 바인더 테스트를 통해 평가되지만 이전 연구[Kim et al, 2017]에 따르면 원자 현미경 이미지를 통한 미세 구조

분석은 바인더 성능에 대한 통찰력을 제공할 것으로 기대되는 시기가 있었고 이를 기반으로 역청질 물질의 미세 구조를 조사하기 위해 원자 현미경을 적용하는 것은 상대적으로 새롭고 성장하는 분야로 부상했다. 하지만 이러한 새로운 진단 도구를 통해 얻은 미세형태에 관한 합리적인 결론을 내리기 위해서는 여전히 더 많은 지식과 관찰이 필요한 상황이다.

이처럼 첨단 기술의 적용으로 매우 작은 규모의 바인더 표면 분석이 긍정적으로 뒷받침되고 있음에도 불구하고 개인적인 편견 없이 결과를 가질 수 있는 표준화된 평가 방법이 없는 실정이다. 요즘시대에서의 인공 지능(AI)은 건설재료의 연구 분야에서 또 다른 혁신적인 힘으로 자리하고 있다. 기계 학습 알고리즘은 방대한 양의 데이터를 분석하여 복잡한 패턴을 식별하고 자재의 행동을 예측하며 건설 프로세스를 최적화하는 능력을 지닌다. 또한 이러한 알고리즘은 전통적인 분석 방법에서 감지하기 어려운 숨겨진 상관관계를 식별할 수 있게 되었다. 건설재료 특성화의 맥락에서 이 능력은 다양한 조건과 시나리오에서 재료의 특성과 거동을 예측하는 혁신적인 능력으로 전환된다. 본질적으로 건설재료의 특성화에서의 AI는 전통적인 패러다임을 초월하여 데이터 기반 의사 결정이 건설 산업의 중요한 기반 요소가 되는 시대를 열고 있다.

이러한 기술의 예로 딥러닝을 기반으로 하는 아스팔트 바인더의 AFM 이미지 평가 방법은 바인더 표면을 미세한 규모로 자동 평가하고 분석하는 유망한 도구로 보인다. 딥러닝은 이미지 분류 [Chan et al, 2015], 객체 감지 [Li et al, 2016], 이미지 회귀 [Liu et al, 2016]와 같은 응용과 관련된 많은 이미지에 성공적으로 적용되었다. 딥러닝 모델을 사용하는 장점은 더 많은 데이터를 사용할

수 있을 때 개선될 수 있다는 것이다[Perez et al, 2017]. 그들은 전통적인 컴퓨터 비전 작업뿐만 아니라 어떤 경우에는 인간의 능력도 능가한 모습을 보인다[Buetti-Dinh et al, 2019]. 게다가 딥러닝 모델의 성능은 일관되기 때문에 인가의 편견이나 선입견과 같은 주관적인 해석에서부터 자유로울 수 있다. 만일 그 성능이 일관되지 않다면 인간 전문가의 성과가 달라질 수 있다. 딥러닝 모델을 개발하여 유변학적 특성 예측에 적용한다면, 개발된 모델은 실무자의 능력 향상과 함께 자격을 갖춘 전문가의 의사결정 과정에 도움이 될 수 있다.

그림 1은 원자현미경으로 캡처한 이미지들을 보여주고 있다. 그림의 화살표를 따라 이미지를 관찰해보면 바탕색의 열은 정도와 사진들에 보이는 패턴이나 형상들이 일정하게 Low에서 High

로 이동할수록 비슷한 트렌드로 바뀌는 것을 느낄 수 있다. 여기서 주의 할 점은 글쓴이의 견해에서 이러한 결과를 갖게 된 게 아닌가 하는 것이다. 대상에 대하여 선입견을 갖게되면 이를 무시하고 분석하는 것은 결코 쉬운 일이 아니다. 그렇기에 기계학습이나 딥러닝을 통한 예측이 더욱 신뢰할 수 있다고 말할 수 있겠다.

그림 2는 원자 현미경의 이미지들을 프로세싱하고 학습시켜 이를 기반으로 Superpave 시험값을 예측한 결과이다. 총 네가지 모델이 사용되었으며 빨간색과 파란색이 겹칠 수록 더 일치하는 결과를 나타내는 것으로 해석할 수 있다. 위에 두가지 모델은 상대적으로 일치하는 경향을 보인 것으로 나타났으며 아래 두 모델에서는 학습후의 결과예측이 너무나도 다르게 나온 것을 확인 할 수 있다. 모든 모델이 만족할 만한 성능을 보이지

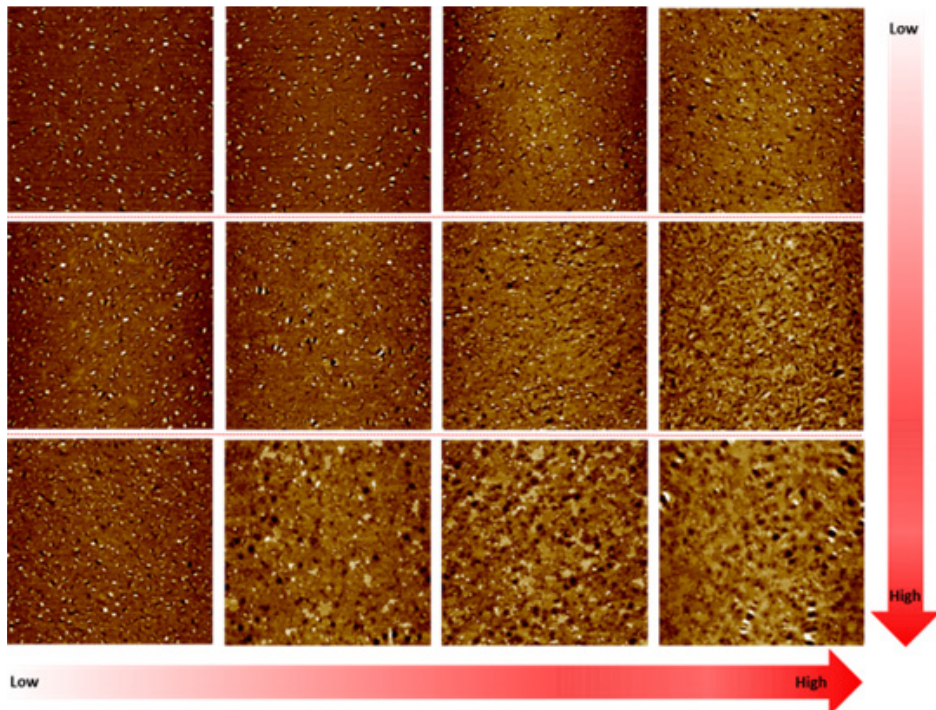


그림 1. 아스팔트 바인더의 원자 현미경 이미지

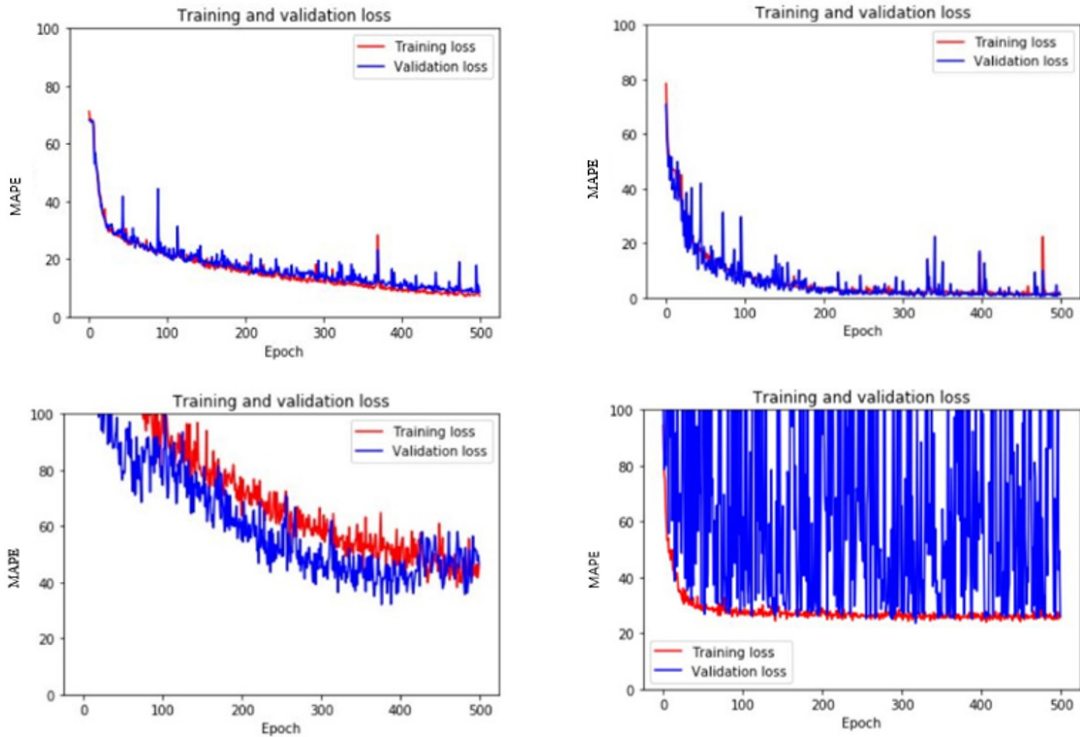


그림 2. 이미지 학습을 통한 특성 예측 결과

는 못하였지만 충분히 개선되고 발전할 수 있는 결과를 보였다. 그리고 이러한 결과를 통해 우리는 다양한 시험을 위하여 매번 다른 과정으로 시편을 준비하고 고도의 숙련도로 시험을 해야만 일정한 경향의 실험 결과들을 얻을 수 있었던 과거와 달리 하나의 장비에서 얻은 이미지를 가지고 여러 시험의 결과들을 예측할 수 있는 시대가 멀지 않았음을 알 수 있다.

#### 4. 마치면서 또는 결론

4차 산업혁명은 단순한 기술 변화 그 이상을 의미한다. 실제로 이는 건설 산업의 새로운 시대를 알리는 신호탄이라고 여겨진다. 이 변혁의 시대는 풍경을 근본적으로 변화시키고 있으며 건축 프로젝트에서 재료를 이해하고 특성화하며 궁극적으

로 사용하는 방법을 재정의하고 있는 것이다. 스마트 센서, 사물인터넷(IoT), 인공지능(AI), 드론, 로봇공학, 빌딩정보모델링(BIM) 등 첨단 기술의 융합으로 건설의 효율성은 물론, 또한 본질적으로 지속 가능하며 모든 것이 데이터에 의해 주도된다. 딥러닝 알고리즘으로 구동되는 인공지능은 이 데이터 분석에 지능 계층을 추가하여 예측 통찰력을 지원하고 프로세스를 최적화하며 재료 특성화에 대한 의사 결정을 향상시킨다. 이러한 기술을 수용하는 것은 단순히 변화하는 환경에 대한 대응이 아니라 건설산업의 미래를 위한 투자로 이어지는 것이다. 딥러닝 알고리즘 뿐만 아니라 스마트 센서, IoT, AI, 드론, 로봇공학, BIM의 통합은 재료의 특성화를 향상시키고 건설 부문 내에서 더 넓은 진화를 촉진할 것으로 기대된다. 이는 혁신을 촉진하고, 효율성을 향상시키며, 지속 가능

한 성장 궤도에 업계를 배치할 것이다.

앞으로 몇 년 동안 이러한 기술 발전은 의심할 여지없이 건설 관행에 더욱 뿌리 깊게 자리잡게 될 것이다. 이들이 지속적으로 발전함에 따라 이들의 집단적 영향력은 혁신의 선두주자로서 건설 산업의 입지를 더욱 공고히 할 것이다. 혁신적인 기술을 전체적으로 채택하는 것은 단지 필수 사항이 아니라 이는 건설의 미래 환경을 형성하고 보다 탄력적이고 효율적이며 기술적으로 진보된 산업을 위한 기반을 마련하는 전략적 움직임이다.

## 참고문헌

1. Fischer, H.R.; Dillingh, E.C.; Hermse, C.G.M. On the micro-structure of bituminous binders. *Road Mater. Pavement Des.* 2014, 15, 1–15.
2. Kim, H.H.; Mazumder, M.; Lee, S.J. Micromorphology and rheology of warm binders depending on aging. *J. Mater. Civil Eng.* 2017, 29, 04017226.
3. Kim, H.H.; Mazumder, M.; Torres, A.; Lee, S.J.; Lee, M.S. Characterization of CRM binders with wax additives using an atomic force microscopy (AFM) and an optical microscopy. *Adv. Civil Eng. Mater.* 2017, 6, 504–525.
4. Jager, A.; Lackner, R.; Eisenmenger-Sittner, C.; Blab, R. Identification of microstructural components of bitumen by means of atomic force microscopy (AFM). *PAMM* 2004, 4, 400–401.
5. Chan, T.H.; Jia, K.; Gao, S.; Lu, J.; Zeng, Z.; Ma, Y. PCANet: A simple deep learning baseline for image classification? *IEEE Trans. Image Process.* 2015, 24, 5017–5032.
6. Li, G.; Yu, Y. Deep contrast learning for salient object detection. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Las Vegas, NV, USA, 26 June–1 July 2016; pp. 478–487.
7. Liu, X.; Liang, W.; Wang, Y.; Li, S.; Pei, M. 3D head pose estimation with convolutional neural network trained on synthetic images. In *Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, Phoenix, AZ, USA, 25–28 September 2016; pp. 1289–1293.
8. Perez, L.; Wang, J. The effectiveness of data augmentation in image classification using deep learning. *arXiv* 2017, arXiv:1712.04621
9. Buetti-Dinh, A.; Galli, V.; Bellenberg, S.; Ilie, O.; Herold, M.; Christel, S.; Mariia, B.; Igor, P.; Paul, W.; Sand, W.; et al. Deep neural networks outperform human expert's capacity in characterizing bioleaching bacterial biofilm composition. *Biotechnol. Rep.* 2019, 22, e00321.