

DCNN 기반 콘크리트 성능평가 모델 개발 및 기대효과

KICEM

이상호 한양대학교 ERICA DuraBI 연구교수, mir0903@hanyang.ac.kr

안용한 한양대학교 ERICA 건축학부 부교수, yhahn@hanyang.ac.kr

김하영 아주대학교 금융공학과 조교수, hayoungkim@ajou.ac.kr

콘크리트 내구성 저하는 구조물의 노후화에 따른 부수적 현상이 아닌 경우, 구조물 전체에 악영향을 줄 수 있는 중요한 문제를 야기하게 된다. 따라서 콘크리트의 내구성 평가 및 예측은 오늘날 매우 중요한 연구분야로 인식되고 있다. 기존 비파괴 검사, 코어 채취 등을 통한 내구성 평가기술은 한계를 가지고 있다. 또한 이러한 한계를 극복하고자 이미지 프로세싱 기술을 적용한 연구들도 진행되었으나, 획득한 이미지를 해석하는데 문제를 가지고 있다. 이를 해결하고자 본 고에서는 차세대 기술로 평가받고 있는 DCNN(Deep Convolutional Neural Network) 기반 콘크리트 성능평가 시스템의 개념을 제안하고, 이를 토대로 다양한 건설산업의 난제를 해결하는 발판을 마련하는 것을 목적으로 한다.

DCNN 기반 콘크리트 성능평가 모델은 콘크리트 표면 이미지를 입력 데이터의 매개변수로 정의하고 DCNNs 기반 기계학습 알고리즘을 통하여 콘크리트 성능평가의 결과값이 출력 데이터로 도출될 수 있는 모델을 의미한다. 해당 모델은 콘크리트 성능평가 데이터베이스 구축 단계, DCNN 기반 콘크리트 특성별 성능평가 알고리즘 설계 단계, DCNN 기반 콘크리트 성능평

가 알고리즘 구현 단계로 구분된다.

본 모델이 성공적으로 개발된다면, 한국의 사회적 환경변화에 따라 발생한 건설구조물 유지관리 체계 상의 문제점을 해결할 뿐만 아니라, 건설구조물의 전 생애주기에 생산되는 다양한 데이터를 활용하여 향후 딥러닝 기법을 다양한 건설분야에 적용하는데 기여할 것으로 판단된다.

1. DCNN 개요

딥러닝 기법 중 하나인 Convolutional Neural Networks (CNNs)는 1988년 LeCun 이 제안한 구조로 필터간의 가중치를 공유(shared weights)하고, 서브샘플링(subsampling)을 포함한 네트워크 모델이다. CNNs은 끝 레이어에서 시작레이어까지 오차를 역전파(back propagation)하면서 각 레이어의 파라미터를 학습 시키는 다층 퍼셉트론(multi-layer perceptron)의 일종이다. 파라미터는 수많은 샘플 데이터로부터 높은 차원의 특징을 추출하기 위해 학습된다. 기존의 패턴 인식(pattern recognition)과는 달리 전이(shift), 스케일(scale), 왜곡(distortion)

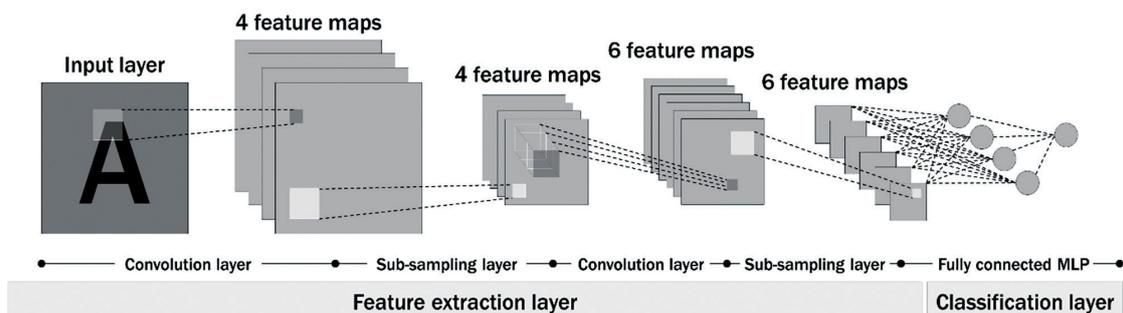


그림 1. DCNNs의 구조

에 불변한 특징을 스스로 추출하고, 추출된 특징 입력 영상으로 학습하고 네트워크를 테스트 하는 것이 CNNs의 장점 중 하나이다. 그림 1과 같이 CNNs은 두 개의 핵심 구조인 컨볼루션 레이어(convolution layer)와 풀링 레이어(pooling layer)가 반복적으로 배치하고, 최하단에 풀리커넥티드 레이어(fully-connected layer)가 위치한다. 컨볼루션 레이어와 풀링 레이어에서 특징을 추출하고, 풀리커넥티드 레이어에서 분류를 한다. 여기서 컨볼루션 레이어는 CNNs에서 핵심이 되는 레이어로 학습 과정에서 입력 영상을 가장 잘 분별하는 특징을 추출하는 필터(혹은 커널)를 생성한다. 이 때, 레이어의 특징 맵(feature map)에서 가중치 공유는 학습해야하는 파라미터 수를 줄여줌으로써 학습이 효율적으로 수행되도록 한다.

2. DCNN 기반 콘크리트 성능평가 모델 개요

DCNNs을 활용하여 콘크리트 성능평가 모델의 개념은 다음 그림 2와 같다. 그림 2에서 확인할 수 있듯이 본 연구에서 제안하고자 하는 콘크리트 성능평가 모델은 콘크리트 표면 이미지를 입력 데이터의 매개변수로 정의하고 DCNNs 기반 기계학습 알고리즘을 통하여 콘크리트 성능평가의 결과값이 출력 데이터로 도출될 수 있는 모델을 의미한다.

해당 모델은 크게 세 가지 단계로 개발될 수 있다. 첫번째는 콘크리트 성능평가 데이터베이스 구축 단계이다. DCNNs를 통해 기계학습 알고리즘을 실행하기 위해서는 입력 데이터와 이에 따른 결과값인 출력 데이터로 구성된 데이터베이스를 구축해야한다. 두 번째는 DCNN 기반 콘크리트 특성별 성능평가 알고리즘을 설계하는 단계이다. 해당 단계에서는 콘크리트 특성별로 DCNN의 입력 레이어, 풀리커넥티드 레이어, 컨볼루션 레

이어, 풀링 레이어 및 출력 레이어를 정의하고, 데이터 고도화 작업을 실시한다. 세 번째는 DCNN 기반 콘크리트 성능평가 알고리즘을 구현하는 단계이다. 즉 이미지를 통해 획득한 데이터 특성별 평가 모델을 하나의 DCNN 모델로 융합하고, 알고리즘을 최적화하는 단계이다.

각 단계를 세부적으로 살펴보면 다음과 같다. 다음 그림 3에서 확인할 수 있듯이 1단계는 콘크리트 성능 평가 데이터베이스 구축 단계이다. 본 모델에서는 기존 연구에서 초점을 맞추고 있는 공극, 강도, 염화물 확산계수를 콘크리트 성능에 영향을 미치는 주요 요인으로 정의하였다. 또한 실험을 통해 도출된 성능값과 콘크리트 시험체 표면 이미지 데이터와의 상관관계를 분석하여 콘크리트 성능평가 데이터베이스를 확보한다. 콘크리트 성능실험은 MIP, 강도, 촉진, 미세관측 등을 실시한다.

기존 수집된 실험자료 및 데이터는 각 시설물별 점검 필요성에 따른 분절된 자료로 강도, 공극률, 확산계수 등의 각각 개별적 요소에 대하여 평가한 데이터이다. 하지만 본 연구에서는 입력 데이터로 활용할 이미지 각각에 대하여 다양한 성능평가요인들과 성능실험결과를 모두 매칭하여 DCNN 기반으로 한 다각적인 성능평가 알고리즘을 개발한다.

다음 그림 4에서 확인할 수 있듯이 2단계는 DCNN 기반 콘크리트 특성별 성능평가 알고리즘을 설계하는 단계이다. 먼저 콘크리트 성능평가 모델 설계를 위한 데이터 특성을 분석한다. 즉 콘크리트 이미지 데이터를 토대로 특성별 데이터 분포를 도출하고, 데이터 시각화 분석을 실시한다. 다음으로 실험자료 및 출력 목표값 매칭을 위한 DCNN 모델의 데이터 전처리 및 증폭 시뮬레이션을 실시한다. 즉 획득된 데이터의 시각적 변형 및 왜곡 현상과 같은 노이즈를 제거하고 일관성 결여를 교정하고 신경망 모델 활용을 검증한다. 마지막으로 성능평가를 위한

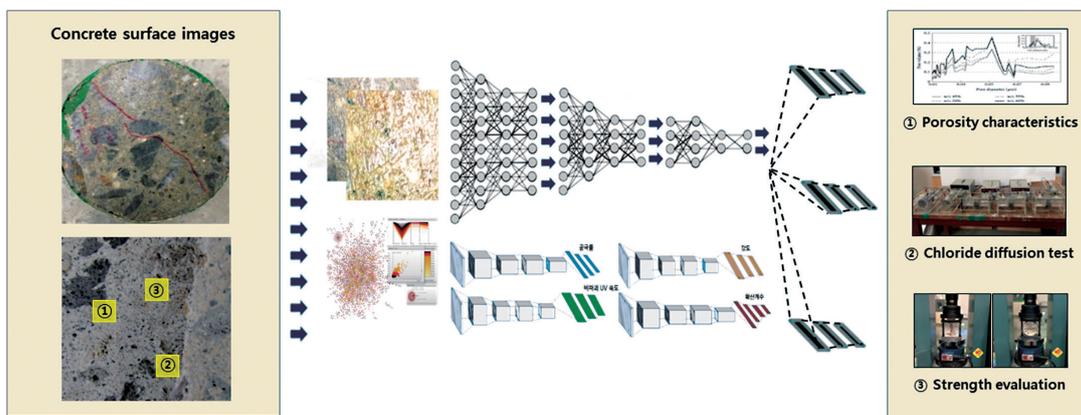


그림 2. DCNN 기반 콘크리트 성능평가 모델 개념

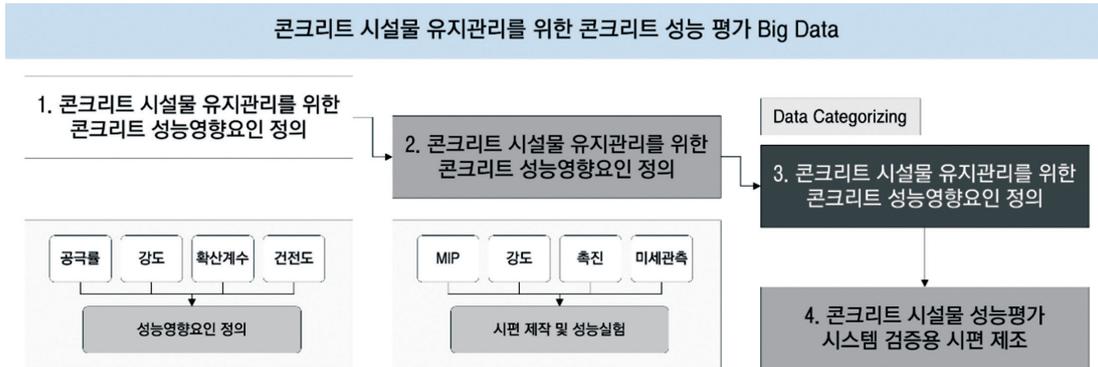


그림 3. 1단계 : 콘크리트 성능 평가 데이터베이스 구축

DCNN 모델의 입출력 정의 및 실험을 실시한다. 즉 DCNN 모델의 입력 데이터 구조, 형태 및 출력 형태를 정의하고, 연속 변수 범주를 확인하고, 데이터 구조를 설계한다. 이를 토대로 성능 목표값을 추적하기 위한 DCNN 모델의 신경망 구조를 설계한다.

다음 그림 5에서 확인할 수 있듯이 3단계는 DCNN 기반 콘크리트 성능평가 알고리즘을 구현하는 단계이다. 먼저 적용성 평가를 위한 DCNN 모델의 입출력을 최적화한다. 즉 데이터 특성별 모델을 하나의 DCNN 모델로 통합한다. 다음으로 성능목표값에 최적으로 접근하기 위한 DCNN 모델의 데이터 전처리 및 증폭을 최적화한다. 다음으로 통합된 DCNN 모델의 레이어 구조의 안정화를 위하여 DCNN모델의 신경망을 최적화한다. 마지막으로 콘크리트 표면 이미지와 성능 데이터간 상관성을 고도화하고 DCNN 모델의 알고리즘을 최적화한다. 이를 토대로 최종적으로 정확도와 처리속도가 높은 최적화된 DCNN 기반 콘크리트 통합 성능평가 알고리즘을 구현한다.

3. 모델 개발을 통한 기대효과

본 연구에서 제안하는 DCNN기반 콘크리트 성능평가 모델 개발을 통한 기대효과는 다음과 같다.

첫째, 현재 한국은 시설물의 안전관리에 관한 특별법 대상 시설물 중 30년 이상 시설물 비중은 2013년 9.5%에서 2023년 21.6%로 급증할 것으로 예상되고 있다. 또한, 2012년말 기준 15년 이상된 아파트는 전국 약 400만호로 노후 공동주택의 재고가 폭발적으로 증가함에 따라 유지관리비, 시설물 성능평가 비용 또한 증가할 것으로 예상된다. 하지만 한국에서는 시설물 유지관리 체계의 문제점이 다수 발견되고 있음에 따라 이에 대한 대응책을 마련해야 한다. 기본적으로 건설구조물 내구성 평가는 열화인자의 침투 및 강재부식 매커니즘 규명에서 출발해야 하며, 이를 효과적으로 분석할 방안을 도출하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서 제안하는 DCNN기반 콘크리트 성능평가 모델은 상대적으로 손쉽게 획득할 수 있는 이미지 데이터를 기반

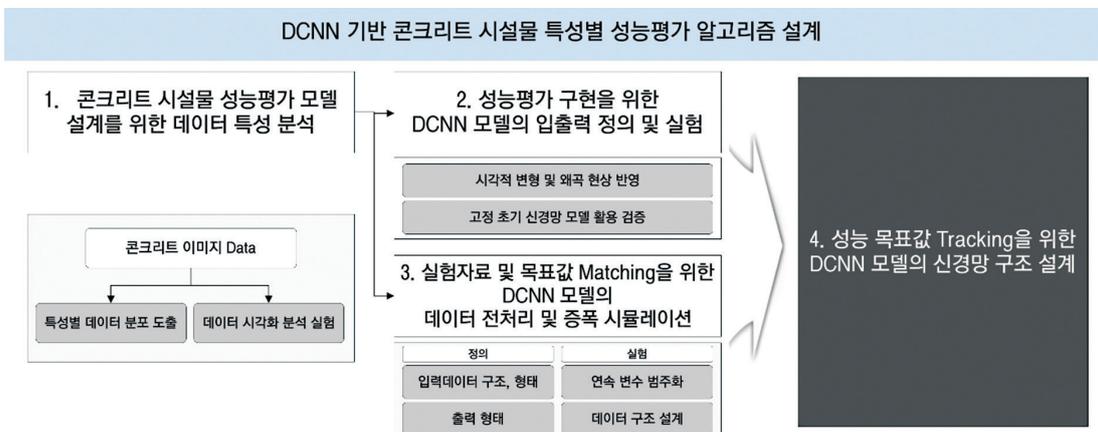


그림 4. Phase 2 : DCNN 기반 콘크리트 특성별 성능평가 알고리즘 설계

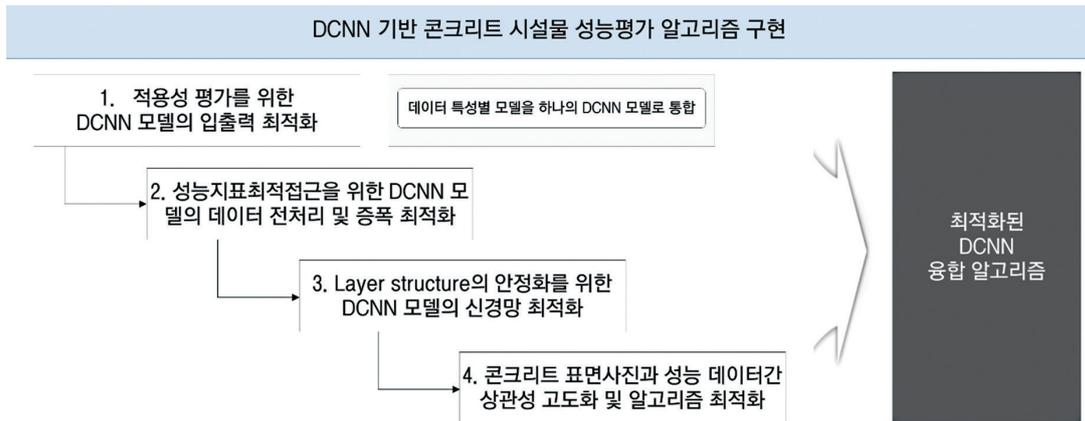


그림 5. Phase 3 : DCNN 기반 콘크리트 통합 성능평가 알고리즘 구현

으로 딥러닝을 적용한 차세대 콘크리트 성능평가기술이다. 이를 통해 정확도 높은 결과를 확보한다면, 기존 콘크리트 성능평가의 한계를 획기적으로 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

두번째, 본 논문에서 제안하는 DCNN기반 콘크리트 성능평가 모델은 콘크리트 성능 평가에 초점을 맞추고 있으나, 건설구조물의 전 생애주기에 생산되는 다양한 데이터를 활용하여 향후 활용분야를 확대할 수 있는 유연성을 가지고 있다. 딥러닝은 기본적으로 입력 데이터와 이에 따른 출력 데이터가 많을수록 정확도가 높아진다. 이는 마치 인간이 삶을 살아가는 동안 축적된 다양한 경험을 바탕으로 의사결정을 내리는 것과 동일하다. 즉 딥러닝에서 핵심적인 부분은 빅데이터 구축 수준이 매우 중요하다. 이러한 관점에서 가까운 시일내에 딥러닝이 적용가능한 분야는 부동산 가치 산정이나 건축물 에너지 관리 분야로 판단된다. 건축물 에너지의 경우, 센서를 통하여 초단위로 각 건물의 에너지 사용량을 확보할 수 있으며, 부동산의 경우, 다양한 건축물에 대하여 관련 데이터가 방대하게 구축되어 있다. 이외에도 과거부터 수행된 다양한 시공사례, 설계사례 등을 활용하여 공정계획, 공사비 관리, 자원투입관리 및 최적 설계분야까지 딥러닝 적용가능분야는 굉장히 넓을 것으로 판단된다.

4. 결론

한국의 경우 급속한 경제성장에 의해 80~90년대 다수의 건설구조물이 시공되었다. 이는 최근 한국의 건설 구조물의 유지관리 중요성이 강조되는 가장 대표적인 이유이다. 이러한 관점에서 콘크리트는 대부분 건설 구조물에 활용되는 주요 자재임과 동시에 구조물 안정성을 책임짐에 따라 콘크리트 내구성 평

가 기술은 매우 중요하다. 건설구조물 내구성 평가 및 설계기술은 열화인자의 침투 및 강재부식 메커니즘 규명에서 출발해야 한다. 이러한 관점에서 콘크리트의 열화인자와 내구성 간의 관계를 간편하게 평가할 수 있다면 발전된 평가 기술 개발이 가능할 것으로 판단된다.

이러한 관점에서 본 모델의 의의는 사회적 환경 변화와 더불어서 딥러닝이라는 첨단기술을 콘크리트 재료 분야와 융합하여 새로운 콘크리트 평가기술을 개발하고, 이를 시발점으로 해당 기술이 건설 구조물과 관련된 다양한 연구분야로 긍정적인 효과를 미치는데 있다.

물론 DCNN기반 콘크리트 내구성 평가기술 자체의 정확도가 어느 정도일지는 가늠할 수 없다. 실제로 공극과 같은 경우는 이미지 데이터를 활용한 연구가 존재함에 따라 유의미한 결과를 낼 수 있을 것으로 예상되나, 강도나 염화물 확산계수 평가의 경우, 실제로 DCNN을 통하여 평가가 가능할 지는 실제로 모델 검증을 실시해보야 확인이 가능할 것이다. 중요한 것은 딥러닝 기법을 활용하였다는 것이다. 즉, 딥러닝 기법은 결국 축적된 데이터 양에 대한 결과의 정확도가 달라진다. 본 연구를 통해 DCNN기반 콘크리트 내구성 평가 모델의 프로토타입이 개발되고, 부족한 부분이 있을 경우, 유의미한 결과를 도출하기 위한 추가적인 데이터를 확보하기 위한 방안을 모색한다면, 더욱 발전된 딥러닝 모델을 개발할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 데이터 확보는 다양한 센서 기술 및 지식 기반 데이터베이스를 통해 확보할 수 있음에 따라 다양한 기술 분야와 융합도 가능할 것으로 판단된다.