

# 신경망 학습 기법을 이용한 도로면 크랙 인식 알고리즘 개발에 관한 연구

## A Study on the Development of Pavement Crack Recognition Algorithm Using Artificial Neural Network

유 현 석\*  
Yoo, Hyun-Seok

이 정 호\*\*  
Lee, Jeong-Ho

김영석\*\*\*  
Kim, Young-suk

성낙원\*\*\*\*  
Sung, Nak-won

### 요 약

국내외에서는 크랙실링 공법의 이점 및 도로면 유지보수 공사의 위험 요소를 인식하여 90년대 초반부터 크랙실링 자동화 장비 개발을 위한 연구를 진행하여 왔다. 기존 문헌 고찰과 도로면 크랙실링 자동화 장비(Automated Pavement Crack Sealer; APCS)의 실험실 및 현장 실험 결과, 도로면에 존재하는 크랙 네트워크를 자동으로 탐지하고 모델링하는 과정의 속도와 정확성을 향상시키는 것은 개발된 크랙실링 자동화 장비의 실용화를 위해 매우 중요한 요인으로 인식되었다. 그러나, CCD 카메라를 통해 습득된 도로면 영상에서 크랙 네트워크를 완전 자동으로 인식하는 기술은 일반적인 영상 인식 분야에서 보다 외부 환경적인 요인으로 인해 낮은 인식률을 가지고 있다. 본 연구를 통해 기존에 개발된 APCS 머신비전 알고리즘의 경우 도로면 영상의 환경 요인에 의해 발생된 문제점들을 많이 해결하였으나 실용화 단계에서 요구되는 크랙 인식률에는 도달하지 못하였다. 따라서, 본 연구의 목적은 기존 APCS 머신 비전 알고리즘의 완전 자동화 방식 크랙 탐지 및 모델링 알고리즘의 문제점을 분석하고 신경망 학습 기법을 이용한 크랙 인식 알고리즘을 개발하는 것이다.

키워드: 신경망, 크랙 인식, 도로면, 크랙, 크랙 실링

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

국내 총 도로 연장은 97,252km(2003년 12월 기준)로써 이 중 포장도로는 총 도로 연장의 76.7%인 74,640km에 이르고 있다. 포장도로는 유지보수가 정기적으로 필요한 구조물로 매년 막대한 예산이 투입되는 국가기반 시설이다. 도로면 유지보수를 시행함에 있어 노면의 파손정도에 따라 다양한 공법의 사용이 가능하나 크랙실링(crack sealing)공법은 예방적 차원에서 도로면에 발생된 크랙을 초기에 효과적으로 보수할 수 있는 방법으로 널리 사용되고 있는 추세에 있다. 국외에서는 크랙실링 공법의 이점 및 도로면 유지보수 공사의 위험 요소를 인식하여 90년대 초반부터 크랙실링 자동화 장비 개발을 위한 연구를 진행하여 왔으며, 국내에서도 2001년부터 도로면 크랙실링 자동화 장비(Automated Pavement Crack Sealer; APCS)가 개발되어 현

장 실험을 마친 상태에 있다. 기존 문헌 고찰과 도로면 크랙실링 자동화 장비의 실험실 및 현장 실험 결과, 도로면에 존재하는 크랙 네트워크를 자동으로 탐지하고 모델링하는 과정의 속도와 정확성을 향상시키는 것은 개발된 크랙실링 자동화 장비의 실용화를 위해 매우 중요한 요인으로 인식되었다. 그러나, CCD 카메라를 통해 습득된 도로면 영상에서 크랙 네트워크를 완전 자동으로 인식하는 기술은 일반적인 영상 인식 분야에서 보다 낮은 인식률을 가지고 있다. 이는 도로면 영상의 특성상 미세한 명암차로 인해 도로면과 크랙을 분명하게 분리하기 어렵고, 도로면에 존재하는 다양한 노이즈 및 그림자, 기후 조건에 따른 환경 변화 등에 따라 인식률이 크게 영향을 받기 때문인 것으로 분석되었다. 한편, 본 연구를 통해 개발된 APCS 머신비전 알고리즘의 경우 도로면 영상의 환경 요인에 의해 발생된 문제점들을 많이 해결하였으나 실용화 단계에서 요구되는 크랙 인식률에는 도달하지 못한 실정이다. 따라서, 본 연구의 목적은 기존 APCS 머신 비전 알고리즘의 완전 자동화 방식 크랙 탐지 및 모델링 알고리즘의 문제점을 분석하고 신경망 학습 기법을 이용한 크랙 인식 알고리즘을 개발하는 것이다.

\* 학생회원, 인하대학교 건축공학과 석사과정  
\*\* 학생회원, 인하대학교 건축공학과 박사과정  
\*\*\* 정회원, 인하대학교 건축공학과 조교수, 공학박사  
\*\*\*\* 학생회원, 인하대학교 건축공학과 박사과정

## 1.2 연구의 범위 및 방법

신경망 학습 기법을 이용한 크랙 탐지 및 모델링 알고리즘의 개발을 위해 본 연구에서 수행한 연구의 범위 및 방법은 다음과 같다.

- 1) 국내에서 개발된 APCS 머신비전 알고리즘의 핵심 개념과 문제점을 분석하였다.
- 2) 신경망 학습 모델을 구성하고 실제 도로면 영상에서 추출된 객체 데이터를 기반으로 학습을 수행하였다.
- 3) 도로면 영상을 대상으로 학습된 신경망 모델과 기존 알고리즘과의 인식률을 비교, 분석하였다.

## 2. APCS 머신비전 알고리즘

기존에 개발된 APCS 머신비전 알고리즘은 그림 1과 같이 영상 획득, 크랙 탐지 및 모델링, 모체 제어 등 세 부분의 모듈로 구성되어 있다. 이 가운데 크랙 탐지 및 모델링 모듈은 디지털 영상처리 과정을 통해 도로면 영상에서 완전 자동으로 크랙을 탐지하고 모델링하는 핵심적인 역할을 담당한다. 완전 자동화 방식의 크랙 탐지 및 모델링 알고리즘은 그림 1과 같이 이진화 및 노이즈제거, 팽창 연산, 세선화, 크랙네트워크 맵핑, 에지 링킹의 6단계 영상처리 과정을 거쳐 도로면 영상에서 크랙을 탐지하고 모델링한다. 크랙 탐지 및 모델링 알고리즘에서 크랙 인식률을 좌우하는 핵심 알고리즘은 노이즈 제거 알고리즘이다.

APCS 머신비전 알고리즘 중 노이즈 제거 알고리즘은 특징 추출 기법(feature extraction)을 기반으로 설계되었다. 특징 추출 기법은 지문 인식이나 화상 인식 등에서 자주 사용되는 기법으로써 영상에서 물체(object)의 특징 값을 추출하여 정해진 판별 기준에 따라 원하는 물체를 분리하는 기법이다. 특징 추출 기법을 사용함에 있어 가장 중요한 두 가지 기준은 물체의 특징을 잘 나타내는 특성 값들을 추출하는 것과 분리된 특성 값을 원하는 목적에 따라 판별

하는 적절한 기준을 정하는 것이다. 기존 연구에서는 이진화된 영상으로부터 크랙의 특징을 추출하기 위해 라벨링 알고리즘(labeling algorithm)과 경계선 추적 알고리즘(edge tracking algorithm)을 사용하여 각각의 객체(object)로부터 평균 명도, 면적, 둘레, 직경, 둘레-면적 비율, 직경-둘레 비율, 원형도 등의 7가지 특징을 추출하였고 실험을 통해 크랙 객체와 노이즈 객체가 가지는 특성 값을 측정하여 크랙 판별 모델을 그림 2와 같이 정의하였다.

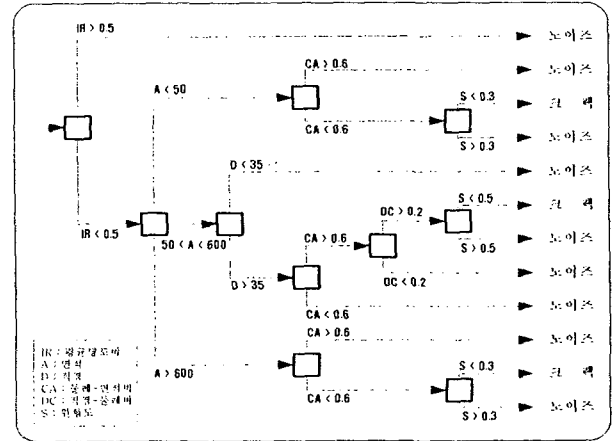


그림 2 크랙 판별 모델

그러나 기존 노이즈 제거 알고리즘의 문제점은 기존 크랙 판별 모델의 정확성이 낮다는 점이다. 기존 크랙 판별 모델이 실험 데이터에 의하여 크랙의 특징들을 정의하고 있지만 기본적으로 크랙의 특성은 비선형적으로 매우 복잡하게 구성되어 있으므로 통계적인 분석을 수행하기 어렵다. 즉, 기존 판별 모델이 비교적 많은 특성을 발견하여 적용하였음에도 불구하고 알고리즘 적용 결과 86.6%의 정확성을 나타낸 것은 기존 크랙 판별 모형의 부정확성 때문인 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 기존 연구의 문제점을 개선하기 위해 신경망 학습 기법을 적용하여 기존 크랙 판별 모델의 문제점을 해결하였다.

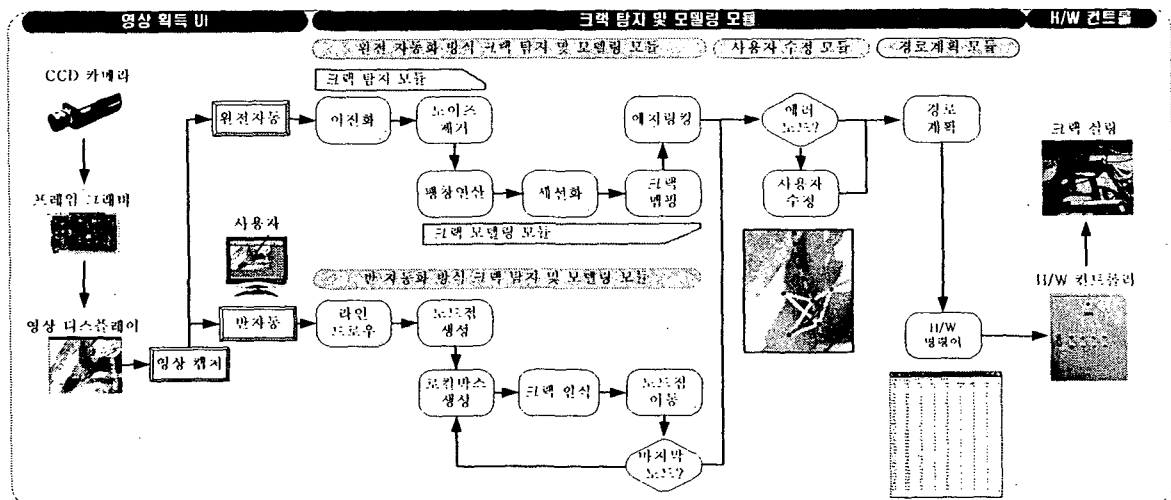


그림 1 APCS 머신비전 알고리즘

### 3. 신경망 모델링의 적용

#### 3.1 신경망 학습을 위한 입·출력 변수의 설정

신경망의 경우 모든 지식을 학습을 통해 신경망 스스로가 만들어가는 것이기 때문에 신경망 설계자가 가장 중요하게 고려해야 할 요소는 무엇을 어떻게 학습시킬 것인가를 결정하는 일이다(이상원, 1993). 본 연구에서 신경망 모델에 학습시킬 데이터는 이진화 영상에서 추출한 객체의 특성 값으로써 기존 연구에서 추출한 7가지 특성과 객체의 외곽 화소의 방향 분포를 지수로 나타낸 '방향분포지수' 특성 1개로 모두 8가지 특성이 신경망 모델의 학습 대상 데이터이다. 객체의 8가지 특성을 추출하기 위해 본 연구에서는 실제 도로면 영상 20장을 선정하였고, 해당 영상으로부터 모두 28,626개의 객체 데이터를 추출하였다. 하나의 객체 데이터는 8가지 특성 값으로 구성되어 있는데 추출된 객체 데이터 중 모든 특성이 동일한 중복 데이터와 면적 특성이 100이하인 데이터 22,524개를 삭제하고 6,102개의 객체 데이터를 최종 학습 데이터로 선정하였다. 객체 데이터의 각 특성들은 다양한 범위의 값을 가지고 있으나 해당 신경망의 경우 출력층의 범위가 0과 1 사이의 값을 가져야 하므로 각 특성들의 값을 최대 값으로 나누어 모든 특성 값이 0과 1사이의 값을 가지도록 데이터를 변환하여 입력하였고 목적 패턴은 크랙인 경우는 (1, 0)을, 노이즈인 경우는 (0, 1)을 입력하였다.

#### 3.2 신경망 모델링 및 데이터의 학습

본 연구에서는 크랙 판별 신경망 모델의 학습을 위해 오류역전파 알고리즘(error backpropagation algorithm)을 사용하였고 제어변수인 학습률은 0.7, 모멘텀 계수는 0.9를 사용하였다. 크랙 판별 신경망 모델은 그림 3과 같이 모두 4개층-입력층, 은닉층, 은닉층, 출력층-으로 구성되었고, 입력층 노드의 개수는 객체의 특성 수와 같은 8개이다. 은닉층은 각각 12개, 6개의 노드로 구성되었고 출력층은 2개의 노드(크랙과 노이즈)로 구성되었다.

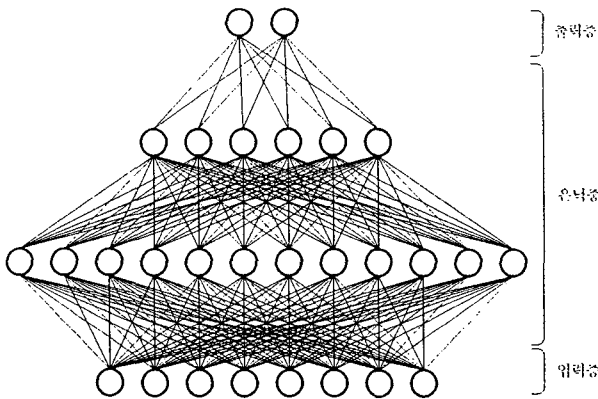


그림 3 크랙 판별 신경망 모델

본 연구에서는 모두 6,102개의 입력 데이터를 대상으로 모두 20,000회의 학습을 수행하여 오차가 0.0003 이하가 될 때 학습을 종료하도록 설정하였다. 그림 4는 크랙 판별 신경망 모델에 학습을 수행한 결과로써 약 5,000회의 학습을 수행하는 순간부터 오차율이 0으로 수렴하고 있음을 나타낸다.

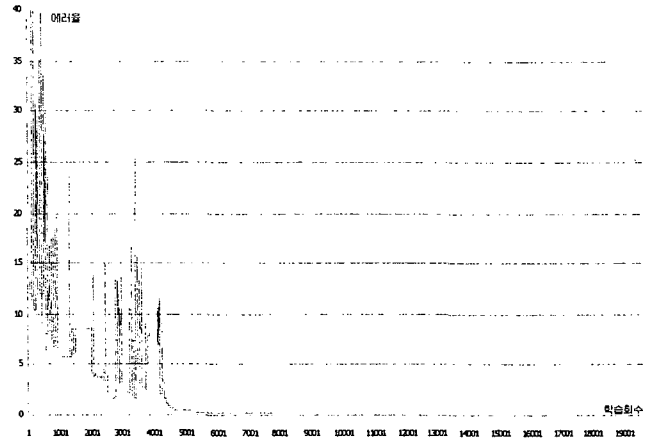


그림 4 오차곡선과 학습

### 4. 신경망 모델의 성능 분석

#### 4.1 성능 분석을 위한 테스트 환경

본 연구에서 개발된 크랙 판별 신경망 모델은 기존 APCS 머신비전 소프트웨어에 추가 모듈로 구현되었으며 환경 설정에서 기존 크랙 판별 모델과 함께 선택적으로 수행될 수 있도록 설계되었다. 개발된 신경망 학습 모형과 APCS 머신비전 소프트웨어는 Microsoft Visual C++ 6.0을 이용하여 제작되었다(그림 5). 본 연구에서는 크랙 실링 현장에서 촬영된 도로면 영상 45장을 대상으로 기존 연구 모델의 크랙 인식 능력과 신경망 모델의 인식 능력을 정확히 비교·분석하기 위해 같은 영상 조건하에서 테스트하였다. 테스트에 사용된 45개의 영상은 그림 6과 같이 1개의 현장에서 연속적으로 촬영된 영상으로써 기존 신경망 학습을 위해 사용된 20장의 영상과는 다른 영상이다.

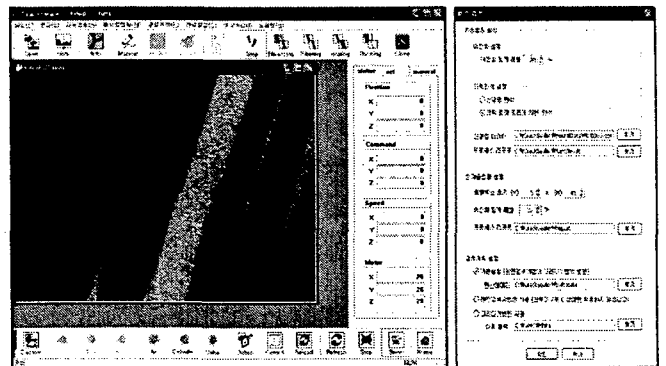


그림 5 APCS 머신비전 소프트웨어 및 환경설정창

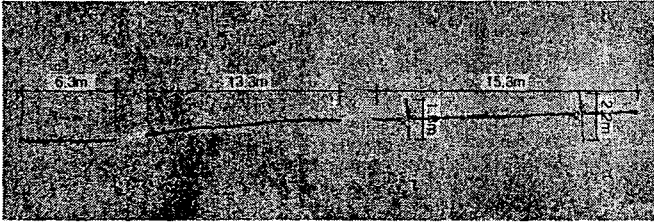


그림 6 도로면 영상 추출 구간

## 4.2 신경망 모델의 정확성 분석

본 연구에서는 신경망 모델의 정확성 측정을 위해 영상 단위와 객체 단위로 측정하였다. 영상 단위 측정은 한 장의 도로면 영상에 대하여 모든 객체를 완전하게 인식하는 경우에만 크랙 인식에 성공한 것으로 간주하는 방식이고, 객체 단위 측정은 추출한 모든 객체에 대해 인식에 성공한 객체의 수를 측정하는 방식이다.

기존 크랙 판별 모델과 신경망 학습에 의한 크랙 판별 모델의 정확성을 테스트한 결과(표 1), 영상 단위 인식률은 각각 71.11%와 95.55%인 것으로 측정되었고, 객체 단위 인식률은 각각 99.97%와 99.99%인 것으로 측정되었다. 한편, 크랙실링 자동화 장비 운영자는 1장의 도로면 영상에 하나의 인식오류라도 발생하면 매뉴얼 에디팅(manual editing) 과정을 수행하므로 실제 장비 운영자가 인식하는 알고리즘의 정확성은 영상 단위 인식률이다. 테스트 결과 신경망 학습에 의한 크랙 판별 모델을 사용함으로써 기존 모델에 비해 영상 단위 인식률이 24.44% 향상 되었다.

표 1 기존 모델과 신경망 모델의 정확성 측정 결과

영상 No.	추출된 객체수	인식 오류	
		기존 모델	신경망 모델
45(A)	100,440(B)	23(C)	3(C')
객체 단위 인식률 ((B-C)/B)		99.977%	99.997%
완전인식 영상 수 (D)		32	43
영상 단위 인식률 (D/A)		71.111%	95.556%

## 5. 결론

본 연구에서는 기존 크랙 인식 알고리즘의 정확성을 개선하기 위해 신경망 학습 모델을 구성하여 크랙 특성에 대

한 학습을 수행하였고, APCS 머신비전 소프트웨어를 이용하여 개발된 크랙 판별 신경망 모델의 정확성을 실험하였다. 본 연구를 통해 도출된 연구결과는 다음과 같다.

### 1) APCS 머신비전 알고리즘 분석

APCS 머신비전 알고리즘의 세부 구성과 핵심 알고리즘인 노이즈 제거 알고리즘의 개념을 분석하였고 기존 알고리즘의 문제점을 도출하였다.

### 2) 신경망 학습 변수의 설정 및 신경망 학습

본 연구에서는 실제 도로면 영상을 대상으로 8가지 특성을 추출하여 패턴 데이터로 입력하였고 신경망 학습 모델을 구성하여 신경망 학습을 수행하였다.

### 3) 신경망 모델링 정확성 분석

본 연구를 통해 개발된 크랙 판별 신경망 모델의 정확성은 영상 단위와 객체 단위로 인식률이 측정되었으며 기존 크랙 판별 모델에 비해 인식률이 24.4%(영상 단위) 향상된 것으로 분석되었다.

향후 상기와 같은 연구 내용을 바탕으로 본 연구에서 개발된 신경망 크랙 판별 모델의 정확성을 향상시킬 수 있는 방안에 대한 연구가 지속적으로 요구된다.

## 참고문헌

- 유현석, 이정호, 김영석, 김정렬(2004), "도로면 크랙실링 자동화를 위한 머신비전 알고리즘의 개발", 한국건설관리학회논문집 제 5권 제2호
- 이상원(1993), "Turbo C로 길들이는 학습하는 기계 신경망", Ohm사 한솔기획
- Haas, C.(1990). "A Model of Pavement Surfaces", Ph. D dissertation, Carnegie Mellon University Department of Civil Engineering.
- Kim, Y. S.(1997), "Man-machine Balanced Control for Automation of Infrastructure Crack Sealing", Ph. D dissertation, The University of Texas at Austin of Civil Engineering.

## Abstract

Crack sealing automation machines have been continually developed since the early 1990's because of the effectiveness of crack sealing that would be able to improve safety, quality and productivity. It has been considered challenging problem to detect crack network in pavement which includes noise (oil marks, skid marks, previously sealed cracks and inherent noise). It is required to develop crack network mapping and modeling algorithm in order to accurately inject sealant along to the middle of cut crack network. The primary objective of this study is to propose a crack network mapping and modeling algorithm using neural network for improving the accuracy of the algorithm used in the APCS. It is anticipated that the effective use of the proposed algorithms would be able to reduce error rate in image processing for detecting, mapping and modeling crack network as well as improving quality and productivity compared to existing vision algorithms.

**Keywords :** neural network, crack recognition, pavement, crack, crack sealing