

3차원 프로파일 데이터 및 도로포장 균열 깊이 변화량에 따른 도로포장의 균열검출 노이즈 제거 기법 성능분석

김연태¹, 이문섭^{2*}

¹한국건설기술연구원 도로교통연구본부 · 인하대학교 토목공학과,

²한국건설기술연구원 도로교통연구본부

Performance analysis of crack detection noise removal technique of road pavement according to 3D profile data and road pavement crack depth variation

Yeon-Tae Kim¹, Moon-Sup Lee^{2*}

¹Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Civil Engineering Inha University

²Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약 본 연구에서는 도로포장 3차원 프로파일 데이터의 노이즈 제거 기법과 객체의 특징을 부각하는 방법에 대해 연구하였다. col 노이즈 제거 기법을 적용한 경우 종방향의 균열이 부각되게 표현할 수 있었다. 특히 종방향의 성질을 지니는 미세균열을 두드러지게 표현할 수 있었다. val 노이즈 제거 기법을 적용한 경우 횡방향의 균열이 부각되게 표현할 수 있었다. 특히 cal 노이즈 제거 기법과 마찬가지로 횡방향의 성질을 지니는 미세균열을 두드러지게 표현할 수 있었다는 점에서 col, val 노이즈 제거 기법을 유의하다고 판단하였다. 따라서 두 기법의 장점을 이용하여 관계식을 도출해내었고 관계식을 적용하여 3차원 데이터의 노이즈를 제거하지만 종방향 균열과 횡방향 균열을 부각되게 하는 3차원 데이터 표출 방식을 도출할 수 있었다. 이 외에 pan, diagonal, All around 노이즈 제거 기법은 도로표면의 실제 높낮이가 등고선의 형상으로 표현하였다. 이는 실제 표면상의 높낮이가 변화하는 구간이 임계값을 넘는 부분임을 예상할 수 있는데 3차원 레이저 스캔 카메라에서 획득하는 3차원 데이터는 측정된 깊이 영역에 대한 상대적인 비를 흑백 영역으로 0~255의 범위 내에 변화값으로 표현하기 때문에 나타나는 한계점이라고 판단되었다.

Abstract This research studied the noise removal technique of the road pavement 3D profile data and the method of highlighting the characteristics of the object. When the col noise removal technique was applied, the longitudinal cracks were expressed prominently. In particular, microcracks with longitudinal properties were expressed remarkably. When the val noise removal technique was applied, it was possible to express the cracks in the transverse direction to emphasize. In particular, it was found that the col and val noise removal techniques were significant as they were able to remarkably express microcracks with lateral properties similar to the cal noise removal technique. Therefore, a relational expression was derived using the strengths of the two techniques. Moreover, a three-dimensional data expression method was derived that removes the noise of the 3D data by applying the relational expression but emphasizes the longitudinal and lateral cracks. In addition, in the pan, diagonal, and all-around noise removal techniques, the actual height of the road surface is expressed in the shape of a contour line. It is expected that the section in which the height changes on the actual surface exceeds the threshold. It was found to be a limiting point that appears because it is expressed as a change value.

Keywords : Pavement, Profile, Crack, Derivative, 3D Depth

본 논문은 국토교통부의 연구비지원(과제명:2021년 도로포장관리시스템(PMS) 운영업무대행)으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Moon-Sup Lee(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

email: truepath@kict.re.kr

Received October 6, 2021

Revised December 6, 2021

Accepted March 4, 2022

Published March 31, 2022

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 도로포장관리 분야에서 3차원 공간 정보에 대한 연구가 활발하게 진행되고 응용기술들도 같이 성장하고 있다[1,2]. 특히 기존 3차원 데이터에서 추가적인 정보를 추출하기 위해 영상처리, 기계학습 등 기술들을 이용하여 기존에 인간이 하던 일들을 점진적으로 소프트웨어로 대체하여 자동화 하고 있는 실정이다[3]. 현재 도로 포장 관리 분야에서 기존에 도로 노면의 이미지를 육안으로 분석하는 작업을 영상처리 기법을 통한 자동화 분석 기술로 점차 대체하고 있으며 3차원 정보를 이용한 정밀 분석 연구가 진행되고 있다.

그러나 이러한 데이터 분석은 원하는 특징이 부각될 수 있도록 사전적인 데이터 처리 작업이 필요하다. 한 예로, 깊이센서를 통해 측정한 3차원 원본 데이터를 시각화 할 때 포함되어 있는 노이즈로 인해 식별하고자 하는 특징을 찾아내는 것이 불가능한 경우가 있다. 또한 3차원 형상의 특징은 깊이 변화와 연관성을 갖고 있고, 3차원 데이터의 노이즈는 깊이와는 무관한 성질을 지니고 있다. 이는 깊이 변화에 무관한 데이터를 정제하는 것이 곧 노이즈를 제거하는 것과 같다는 의미로 판단할 수 있다[4].

따라서 본 연구에서는 3차원 도로포장 데이터의 깊이 변화량에 대해 임계처리 방식을 적용해 노이즈를 제거하고 균열 등의 특징을 부각하는 알고리즘을 제안하고 이에 대한 균열검출 성능을 분석하고자 한다. 이를 기반으로 향후 기술을 고도화하여 도로포장의 균열이나 파손부를 검출하는 데에 활용하거나 시각화된 자료를 기반으로 도로포장의 상태를 육안으로 평가하는 데 활용할 수 있다.

2. 본론

2.1 연구개요

회색조 이미지에서 한 픽셀의 값은 주변 픽셀과 높은 유사성을 보인다[5]. 즉, 경계영역과 노이즈 간의 구별이 어렵다. 이 경우 노이즈는 제거하며 검출하고자 하는 객체의 특징 및 질감만을 남기기 위해서는 일종의 임계처리 방식이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 도로포장 3차원 데이터 상에서 나타나는 깊이 데이터 값 사이의 변

화량을 활용해 3차원 데이터 상에서 균열의 특징을 부각하여 각 특징에 따른 균열검출 결과를 시각화하여 분석하고자 한다.

Fig. 1은 본 연구의 연구방법 절차이다. 균열을 검출하기 위한 인공지능 모델을 학습 후 도로표면 이미지 데이터와 도로표면의 3차원 깊이정보 데이터를 병합하여 최종적인 균열정보를 추출하였다. 3차원 깊이정보 데이터만 사용하지 않고 2차원 이미지 데이터와 함께 병합한 이유는 다음과 같다. 3차원 깊이정보 데이터는 Fig. 2와 같이 도로포장 전수조사 차량을 통해 획득하게 되는데 외부 조도의 영향에 따라 데이터의 품질이 고르지 못한 경우가 있다. 또한 2차원 이미지 데이터만 사용할 경우가 오거나 그림자영역에 걸친 경우 이미지 데이터의 품질이 좋지 않은 경우가 있다. 따라서 균열의 연속성을 보장할 수 없기 때문에 2차원 정보와 3차원 깊이정보를 함께 병합하여 균열을 추출하였고 본 연구에서는 3차원 깊이정보의 노이즈 변화에 따른 균열검출 현황을 비교분석하고자 한다.

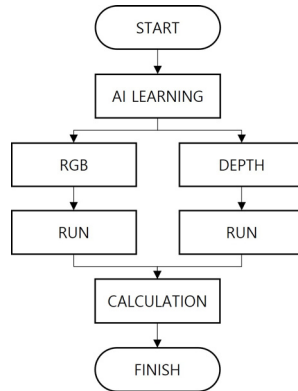


Fig. 1. Research Method

2.2 도로포장 3차원 데이터 획득

현재 도로를 관리하는 방법으로는 Fig. 2와 같이 3차원 레이저 스캔을 장착한 도로포장 조사차량을 통해 3차원 깊이정보 데이터와 영상데이터를 획득하고 이를 분석하고 있다. 이 때, 획득된 조사 데이터는 Fig. 3 (a)와 같이 이미지 데이터를 획득하고 Fig. 4와 같이 CSV 형식으로 깊이정보 데이터를 획득한다. 이때 깊이변화의 상대적인 변화정도에 따라 0~255의 흑백값을 제공한다면 Fig. 3 (b)와 같이 이미지 형식으로 가시화할 수 있다.



Fig. 2. Road pavement survey vehicle equipped with 3D laser scanning camera

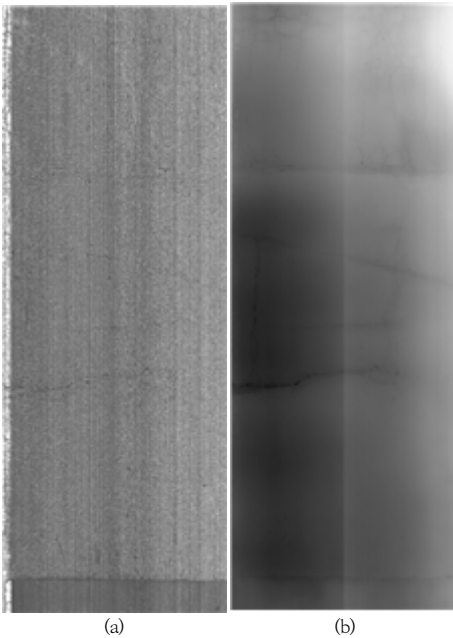


Fig. 3. Image conversion result of road pavement data
(a) Road pavement data in 2D image
(b) Road pavement data in 3D image

도로포장 조사과정을 통한 육안평가 분석과정에서는 도로 표면의 파손부 검출을 위해 표면 정보를 정확하게 수치화할 필요가 있다. 이를 위해서 1mm 간격으로 획득 되는 도로포장 노면에 대한 3차원 데이터와 2차원 데이터를 Fig. 3 (a) 이미지와 같이 RGB 이미지 형태와 Fig. 3 (b) 이미지와 같이 이진화 이미지 형태로 변환하여 분석한다.

A1	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	00000	18.00000	18.00000	18.00000	18.00000	18.00000	18.00000	18.00000	18.00000	18.00000	18.00000	18.00000	18.00000	18.00000	18.00000	18.00000	18.00000	18.00000

Fig. 4. CSV Data File of Pavement 3D Data

변환하는 과정에서 Fig. 3 양측의 이미지와 같이 증상을 기점으로 좌우의 현저한 차이가 발생할 수 있다. 이는 도로포장조사 과정에서 센서의 위치가 달라졌기 때문에 발생하는 기계적인 한계점이다. 따라서 좌우의 데이터를 보정하는 작업이 별도로 요구된다.

2.3 도로포장 3차원 프로파일 데이터의 노이즈 제거 기법 비교

획득한 도로포장 3차원 데이터에 대한 노이즈 제거 변화량을 파악하기 위해서 Python을 통해 Pandas Data Frame으로 픽셀과 픽셀 값 간의 비교가 가능하도록 하였다[6,7]. 5가지 제거 기법을 통해 기준 픽셀의 데이터와 주변 픽셀간의 변화량을 측정하였고, 변화량 값과 임계값의 상하 여부를 비교한 데이터를 재구축하여 Matplotlib을 사용해 데이터를 가시적으로 표출하였다. 다시 말해서 정확한 도로포장 3차원 데이터의 노이즈를 제거하는 기법을 (1) col 비교 알고리즘, (2) val 비교 알고리즘, (3) pan 비교 알고리즘, (4) diagonal 비교 알고리즘, (5) All_around 비교 알고리즘까지 5가지로 분류하여 노이즈 제거 정도를 비교하고 향후 발전 가능에 대한 의견을 제시하였다.

2.3.1 col 노이즈 제거 기법

col 노이즈 제거 기법은 임의의 지점에 대한 깊이값과 주변의 깊이값을 비교하는 방법이다. 임의의 지점에서 나타나는 유의한 변화는 도로표면의 균열이나 파손부와 같은 노면의 변화로 판단할 수 있다. 이때 좌우를 기준으로 시각화하였다. 각 비교할 지점이 없는 가장 오른쪽 픽셀과 왼쪽 픽셀을 비교하여 임계치 이상 현저한 차이가 나타나는 경우 특징을 부각하였고 현저한 차이가 발생하지 않는 경우 비교군에서 제외하였다. 그 결과는 아래 수식 (1)과 같다.

$$|a_{i,j} - a_{i,j+1}| < Cv \quad (1)$$

2.3.2 val 노이즈 제거 기법

val 노이즈 제거 기법은 col 노이즈 제거 기법과 동일하게 임의의 지점에 대한 깊이값과 주변의 깊이값을 비교하는 방법이다. 임의의 지점에서 나타나는 유의한 변화는 도로표면의 균열이나 파손부와 같은 노면의 변화로 판단할 수 있다. 이때 상하를 기준으로 시각화하였다. 각 비교할 지점이 없는 가장 상층의 픽셀과 다음 하단의 픽셀을 비교하여 임계치 이상 현저한 차이가 나타나는 경우 특징을 부각하였고 현저한 차이가 발생하지 않는 경우 비교군에서 제외하였다. 그 결과는 아래 수식 (2)과 같다.

$$|a_{i,j} - a_{i+1,j}| < Cv \quad (2)$$

2.3.3 pan 노이즈 제거 기법

pan 노이즈 제거 기법은 임의의 지점 균열 깊이값과 상하좌우 지점의 깊이값을 비교하는 방법으로 각 지점별 변화량의 절대값의 총합으로 비교하였다. 수식 (3)은 이에 대한 것으로 임의의 지점과 상하좌우 지점의 비교 수식으로 각각의 변화량 값의 절대값 총합과 임계값의 상하 여부를 판단하는 것을 의미한다. 또한 비교 픽셀값이 없는 각각의 마지막 지점들은 비교군에서 제외하였다.

$$|a_{i,j} - a_{i,j+1}| + |a_{i,j} - a_{i+1,j}| + |a_{i,j} - a_{i,j-1}| + |a_{i,j} - a_{i-1,j}| < Cv \quad (3)$$

2.3.4 diagonal 노이즈 제거 기법

diagonal 노이즈 제거 기법은 임의의 지점 균열 깊이값과 대각 지점을 비교하는 방법으로 각 지점별 변화량의 절대값의 총합으로 비교한다. 수식 (4)는 이에 대한 것으로 임의의 지점과 대각 지점의 비교 수식으로 각각의 변화량 값의 절대값 총합과 임계값의 상하 여부를 판단하는 것을 의미한다. 또한 비교 지점의 깊이값이 없는 각각의 끝 지점들은 비교군에서 제외하였다.

$$|a_{i,j} - a_{i+1,j+1}| + |a_{i,j} - a_{i+1,j-1}| + |a_{i,j} - a_{i-1,j+1}| + |a_{i,j} - a_{i-1,j-1}| < Cv \quad (4)$$

2.3.5 All around 노이즈 제거 기법

All around 노이즈 제거 기법은 임의의 지점 균열 깊이값과 All around 지점을 비교하는 방법으로 각 지점별 변화량의 절대값의 총합으로 비교한다. 수식 (5)는 이에 대한 것으로 임의의 지점과 All around 지점의 비교 수식으로 각각의 변화량 값의 절대값 총합과 임계값의 상하 여부를 판단하는 것을 의미한다. 또한 비교 지점의 깊이값이 없는 각각의 마지막 지점들은 비교군에서 제외하였다.

$$|a_{i,j} - a_{i+1,j+1}| + |a_{i,j} - a_{i+1,j}| + |a_{i,j} - a_{i+1,j-1}| + |a_{i,j} - a_{i,j+1}| + |a_{i,j} - a_{i,j-1}| + |a_{i,j} - a_{i-1,j+1}| + |a_{i,j} - a_{i-1,j}| + |a_{i,j} - a_{i-1,j-1}| < Cv \quad (5)$$

3. 노이즈 제거 기법 적용 결과

3.1 col 노이즈 제거 기법 적용 결과

col 노이즈 제거 기법을 이용해 노이즈를 제거했을 때에 대한 결과는 Fig. 5와 같다. col 노이즈 제거 기법의 특성 상 좌우를 기준으로 임계값 이상 현저한 차이가 나는 경우 특징이 부각되기 때문에 종방향의 균열이 이미지 상에서 부각되어 표현되었다. 특히 좌측 중앙의 선형 균열과 우측 상단의 미세균열 중 종방향의 성질을 가지고 있는 균열이 부각되었다.

3.2 val 노이즈 제거 기법 적용 결과

val 노이즈 제거 기법을 이용해 노이즈를 제거했을 때에 대한 결과는 Fig. 6와 같다. val 노이즈 제거 기법의 특성 상 상하를 기준으로 임계값 이상 현저한 차이가 나는 경우 부각되기 때문에 횡방향의 균열이 이미지 상에서 부각되어 표현되었다. 횡방향 균열은 도로 상에서 차량의 주행방향과 수직으로 이루어지기 때문에 종방향 균열과 달리 심각한 파손으로 번질 위험이 있다. 따라서 횡방향 균열을 부각하여 표현한다는 점에서 유의하다고 할 수 있다.

3.3 pan 노이즈 제거 기법 적용 결과

pan 노이즈 제거 기법을 이용해 노이즈를 제거했을 때에 대한 결과는 Fig. 7과 같다. 이때 표면의 많은 노이즈들이 사라진 것을 육안으로 확인할 수 있다. 그러나 원본 도로포장 노면에 대한 3차원 데이터에서 확인할 수

있는 균열까지 대부분 사라진 것을 확인할 수 있다. 또한 등고선 형태의 새로운 노이즈가 생긴 것을 확인할 수 있는데 이는 임의의 지점에 대한 상하좌우 지점 각각의 변화량 값의 절대값 총합의 임계값을 넘는 부분이 도로표면 상에서 실제 높낮이가 변하는 변화영역을 예상할 수 있다. 그 이유로는 도로포장의 분석을 위해 사용하는 3차원 레이저 스캔 카메라에서 획득하는 CSV 형식의 3차원 데이터는 측정된 깊이 영역에 대한 상대적인 비를 흑백 영역으로 0~255의 범위 내에 변화값으로 표현하기 때문에 이러한 현상이 나타난 것으로 판단된다.

3.4 diagonal 노이즈 제거 기법 적용 결과

diagonal 노이즈 제거 기법을 이용해 노이즈를 제거했을 때에 대한 결과는 Fig. 8과 같고 diagonal 기법 또한 등고선 형태의 새로운 노이즈가 생긴 것을 확인할 수 있다.

3.5 All around 노이즈 제거 기법 적용 결과

All around 노이즈 제거 기법을 이용해 노이즈를 제거했을 때에 대한 결과는 Fig. 9와 같고 pan, diagonal 기법과 마찬가지로 등고선 형태의 노이즈가 생긴 것을 확인할 수 있다.

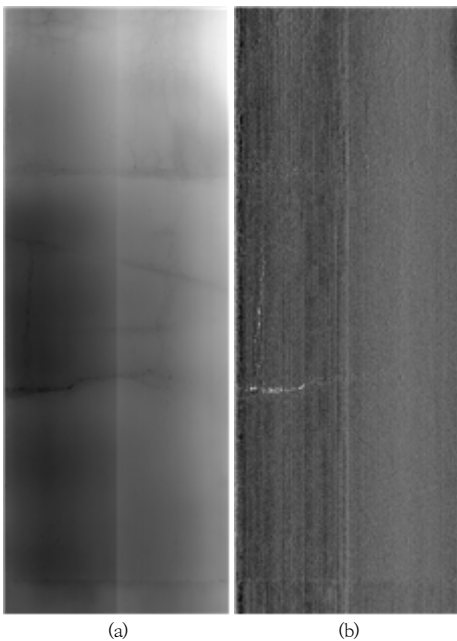


Fig. 5. col comparison image
(a) Road pavement data in 3D image
(b) Result of applying col noise removal technique

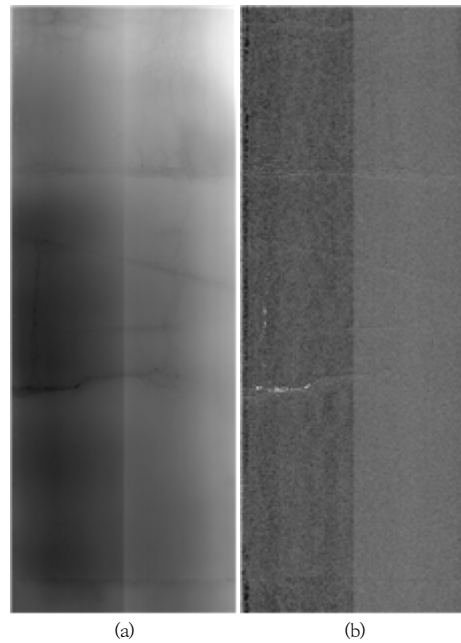


Fig. 6. val comparison image
(a) Road pavement data in 3D image
(b) Result of applying val noise removal technique

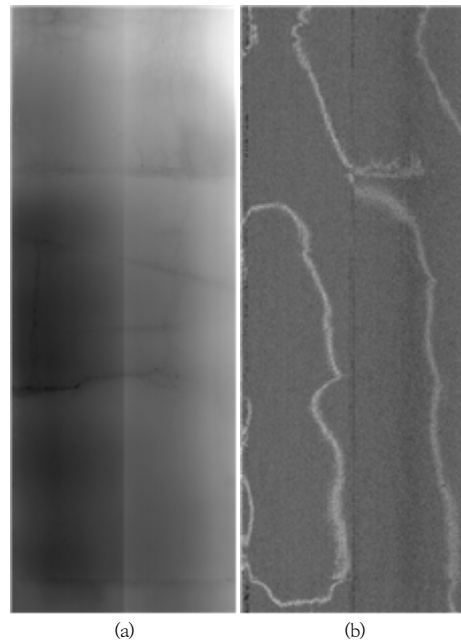


Fig. 7. pan comparison image
(a) Road pavement data in 3D image
(b) Result of applying pan noise removal technique

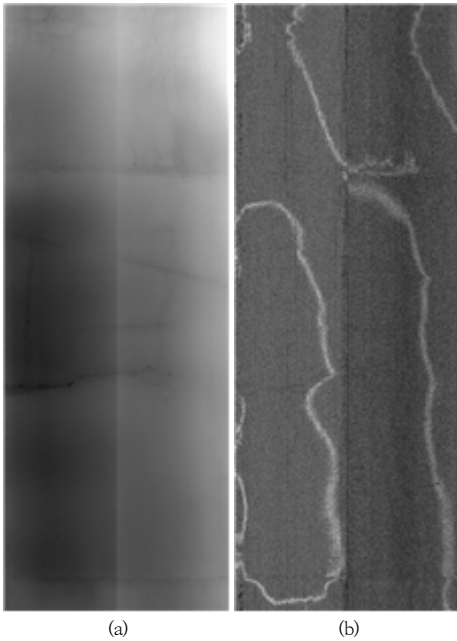


Fig. 8. diagonal comparison image
 (a) Road pavement data in 3D image
 (b) Result of applying diagonal noise removal technique

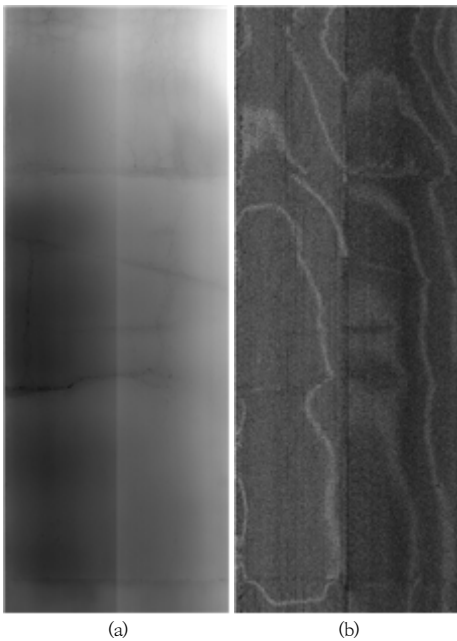


Fig. 9. All around comparison image
 (a) Road pavement data in 3D image
 (b) Result of applying All around noise removal technique

4. U-net 학습

4.1 U-net 학습

본 연구의 노이즈 제거 기법을 비교하기 위한 방법으로 기법별 균열검출 성능을 비교하였다. 균열을 검출하기 위해 U-net 인공지능 모델을 사용하였다. U-net 인공지능 모델은 U자 형태의 Encoder와 Decoder 네트워크로 구성되어 있으며 Encoder로 VGG 16 모델을 활용한다. 해당 인공지능 모델을 사용하여 균열인 확률이 있는 픽셀을 0과 1사이 값으로 표현하고 균열 영역에 대한 마스크를 생성하였다.

인공지능 모델 학습을 위해 Fig. 3 (a)와 같은 가로 세로 기준 약 10,000 * 3,404 픽셀 크기의 도로이미지를 사용하였다. 도로이미지 500장을 기준으로 1,024 * 1,024 픽셀 사이즈로 분할하였다. 이후 최종 검수과정을 거쳐 5,000장의 학습데이터를 활용하였다. 전체 데이터의 80%를 학습데이터(4,000장)로 선정하고 전체 데이터의 20%를 검증데이터(1,000장)로 구분하였다. 학습데이터는 직접 육안으로 균열의 경계를 판단하여 Fig. 11과 같이 가공하였다.

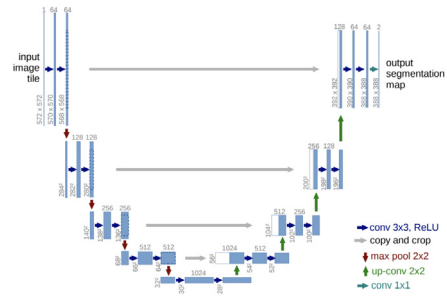


Fig. 10. U-net Architecture

이후 총 4,000장의 학습데이터를 기준으로 epoch는 30으로 설정하여 학습을 진행하였다. 학습된 U-net 알고리즘을 활용해 도로이미지를 분석할 경우 균열로 추정되는 영역에 대해 마스크가 출력된다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 3 (a)와 같은 도로이미지를 통해 마스크를 추출한 영역과 Fig. 3 (b)와 같은 이진화이미지를 통해 마스크를 추출한 영역의 교집합을 균열영역으로 추정하여 균열을 검출하였고 이 결과를 이용해 각 기법들을 비교하였다.

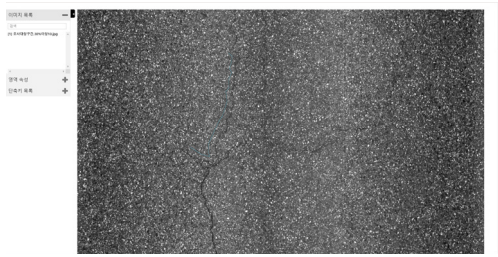


Fig. 11. Crack Labelling

4.2 U-net 결과

본 연구를 통해 학습된 U-net 모델을 이용해 5가지 노이즈 제거 기법을 이용해 만든 이미지데이터의 균열을 검출하였다. 추출된 균열영역의 마스크에 대한 균열을 객관적으로 분석하기 위해 가로 세로 기준 약 10,000 * 3,404 픽셀 크기의 도로이미지에 대해 가로 세로 기준 300 * 300 픽셀 크기의 격자로 분할하여 균열을 분석하였다. 이는 도로실무현장에서 사용하고 있는 방법으로 도로이미지 당 균열을 결과를 취합하여 사용하기에 매우 적합한 방법이다.

가로 세로 기준 300 * 300 픽셀 크기의 격자로 영역을 구분하였을 때 총 408개의 영역이 생성되었고 격자 검수법 기준에 맞추어 해당 데이터의 총 균열율을 산정하였다. 이후 분석이 완료된 결과를 GT(Ground Truth)로 두고 균열율을 비교하였다. 아래 Fig. 12부터 Fig. 16은 각 기법 별 균열을 검출하여 마스크를 추출한 것과 이에 대한 균열을 산정한 것에 대한 결과이다. Fig. 12 col 노이즈 제거 기법의 경우 3차원 데이터의 이진화 변환결과와 마찬가지로 종방향의 균열이 부각되어 나타났다. 특히 좌측 상단과 중앙의 종방향 균열을 많이 검출한 것을 볼 수 있는데 노이즈의 영향으로 예상된다.

Fig. 13 val 노이즈 제거 기법의 경우 col 노이즈 제거 기법과 반대로 횡방향 균열에 대한 검출이 주를 이루었다. 이미지가 중앙을 기점으로 좌우의 대칭이 맞지 않는 것을 볼 수 있는데 이는 상기 언급했다시피 센서의 위치가 달라졌기 때문이다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 이미지와 깊이정보를 함께 분석해야 한다.

Fig. 14 pan 노이즈 제거 기법의 경우 균열율이 급격하게 낮아진 것을 확인할 수 있다. 이것은 노이즈의 제거를 넘어 균열 영역 또한 제거되었음을 의미한다. 육안으로 보아도 보이는 대다수의 균열들을 검출하지 못한 것을 확인할 수 있다.

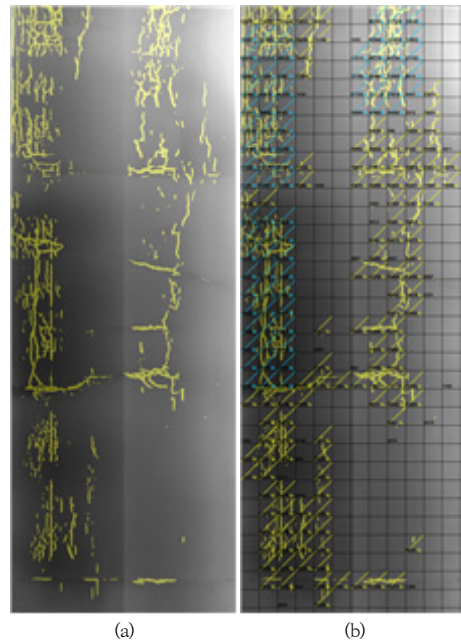


Fig. 12. col comparison Analysis Result
(a) Crack detection result
(b) Grid analysis result

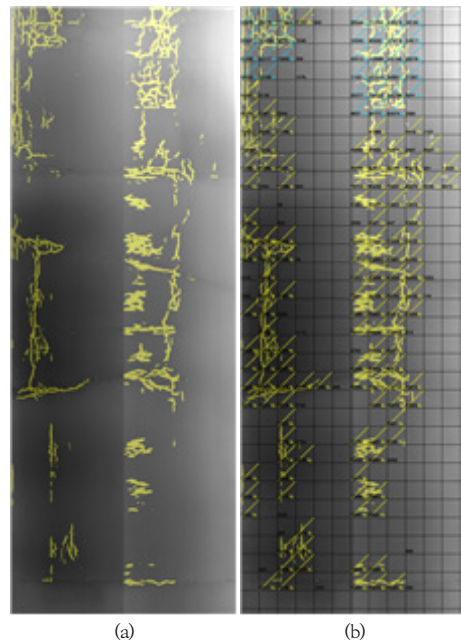


Fig. 13. val comparison Analysis Result
(a) Crack detection result
(b) Grid analysis result

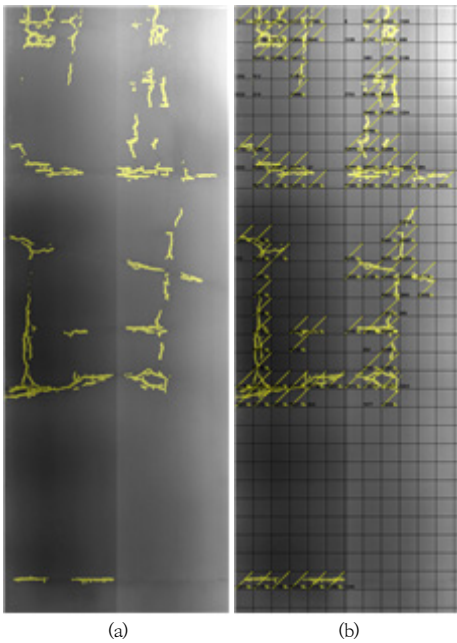


Fig. 14. pan comparison Analysis Result
(a) Crack detection result
(b) Grid analysis result

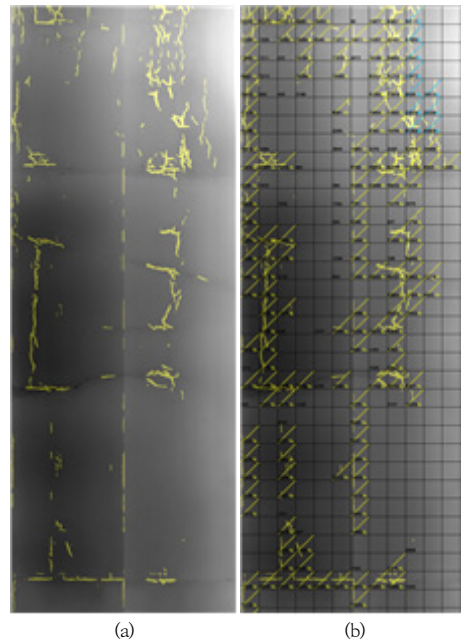


Fig. 16. All around comparison Analysis Result
(a) Crack detection result
(b) Grid analysis result

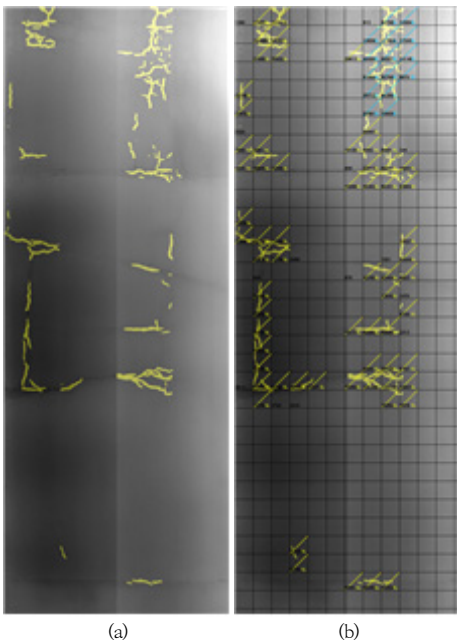


Fig. 15. diagonal comparison Analysis Result
(a) Crack detection result
(b) Grid analysis result

Fig. 15 diagonal 노이즈 제거 기법과 Fig. 16 All round 노이즈 제거 기법 또한 대다수의 균열들을 검출하지 못한 것을 확인할 수 있다.

4.3 연구 결과

도로포장 조사 분석을 통해 획득되는 도로포장 노면에 대한 이미지 데이터와 3차원 데이터는 외부환경의 영향으로 인해 데이터의 품질이 낮아질 수 있기 때문에 단일의 데이터만으로 도로포장 조사분석을 진행하기에는 어려움이 있다. 또한 외부의 다양한 영향으로 인해 균열이나 파손부 등 특징이 보이지 않는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 두 개의 데이터를 같이 분석해야 정확하고 객관적인 분석결과를 도출할 수 있다.

본 연구에서는 도로포장 조사분석을 위해 인공지능 모델을 이용해 균열을 검출하였다. 도로이미지 데이터의 균열검출 영역과 3차원 데이터의 이진화이미지에 대한 균열검출 영역을 병합하여 균열을 추출하였고, 3차원 데이터에 5가지 노이즈 제거 기법을 사용하여 각 성능들을 비교분석하였다.

연구 결과는 다음과 같다. col 노이즈 제거 기법을 적용한 경우 종방향의 균열을 부각하여 표현할 수 있었다. 특히 종방향의 성질을 지니는 미세균열을 두드러지게 표

현할 수 있었다.

val 노이즈 제거 기법을 적용한 경우 횡방향의 균열을 부각하여 표현할 수 있었다. 특히 cal 노이즈 제거 기법과 마찬가지로 횡방향의 성질을 지니는 미세균열을 두드러지게 표현할 수 있었다는 점에서 col, val 노이즈 제거 기법이 균열을 검출하기에는 적합하다고 판단하였다.

이 외에 pan, diagonal, All around 노이즈 제거 기법은 3차원 데이터를 이진화이미지로 변환하였을 때 도로표면의 실제 높낮이가 등고선의 형상으로 표현되었다. 이는 실제 표면상의 높낮이가 변화하는 구간이 임계값을 넘는 부분임을 예상할 수 있는데 3차원 레이저 스캔 카메라에서 획득하는 3차원 데이터는 측정된 깊이 영역에 대한 상대적인 비를 흑백 영역으로 0~255의 범위 내에 변화값으로 표현하기 때문에 나타나는 한계점이라고 판단된다.

4.4 적용 방안

5가지 노이즈 제거 기법을 비교하고 향후 발전 가능성에 대한 방안을 제시하였다. 연구 결과 col, val 노이즈 제거 기법이 가장 유의미한 결과를 나타내었다. 따라서 두 가지 기법의 장점을 이용하여 종방향과 횡방향의 특징을 함께 부각시킬 수 있는 관계식을 도출해내었고 아래 수식 (6)과 같다. 또한 이에 대한 3차원 데이터 이진화 결과는 Fig. 17과 같다. 이를 통해 외부 환경으로 인한 노이즈가 제거되고 도로표면의 선형균열과 미세균열이 두드러지게 부각시키는 것을 기대할 수 있다.

$$(|a_{i,j} - a_{i,j+1}| < Cv) \cup (|a_{i,j} - a_{i+1,j}| < Cv) \quad (6)$$

수식 (6)을 통한 3차원 이미지 데이터 이진화 변환 이후 본 수식의 성능을 비교해보기 위해 마찬가지로 인공지능 모델을 이용해 균열을 검출해보았을 때의 결과는 아래 Fig. 18과 같다. col 노이즈 제거 기법의 장점과 val 노이즈 제거 기법의 장점을 이용해 종방향과 횡방향의 균열의 특징을 부각시키고 이 외의 노이즈를 제거하는 결과를 나타내었다. 특히 대각방향의 균열 검출 효과가 우수함을 나타내었다.

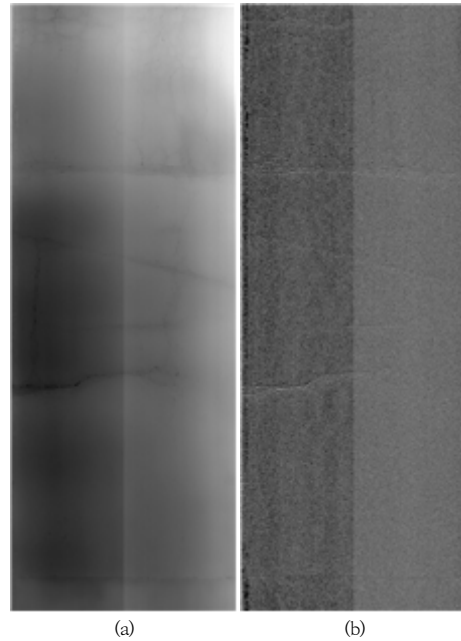


Fig. 17. col+val comparison image
(a) Road pavement data in 3D image
(b) Result of applying col+val noise removal technique

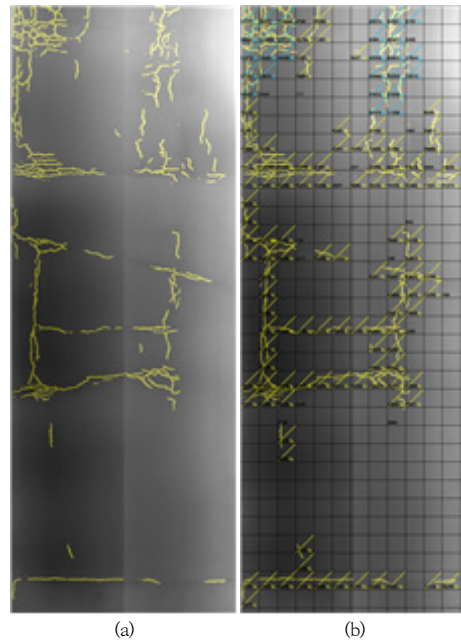


Fig. 18. col+val comparison Analysis Result
(a) Crack detection result
(b) Grid analysis result

5. 결론

5.1 결론 및 향후 연구과제

4차 산업혁명과 함께 토목 및 건설 분야에서도 차세대 기술을 활용한 자동화 기술에 관심이 증가하고 있다. 본 연구에서는 이에 맞춰 도로포장 조사 분석을 위해 수집 되는 도로포장 데이터를 조사 분석 할 때 외부 환경으로 인한 데이터의 문제점을 해결하기 위해 2차원 도로이미지 데이터와 3차원 깊이 데이터를 융합한 뒤 인공지능 기술을 이용해 균열을 검출하는 방법을 제안하였다. 또한 노이즈 제거 기법을 적용하여 3차원 깊이 데이터의 노이즈를 제거하여 균열검출의 성능을 높이는 연구를 진행하고 이에 대한 비교분석을 통해 최종적으로 노이즈를 제거하는 수식을 산출하였다.

이를 통해 균열이나 파손부 등 객체의 특징을 부각하여 표출할 수 있으므로 육안 분석을 통한 도로 분석 과정의 정확성을 높이는 데에 활용할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 부각된 균열이나 파손부의 특징을 통해 인공지능 모델의 학습 데이터로 사용하거나 별도의 가공 과정 없이 균열을 산정하는 데에도 사용할 수 있을 것으로 예상된다. 하지만 본 연구는 제한된 환경 내에서 단일의 데이터를 분석했기 때문에 본 연구를 기반으로 노이즈 제거 수식을 고도화하기 위해서는 다양한 환경에서 다수의 도로이미지 데이터와 3차원 데이터를 기반으로 비교 분석하며 연구해야 할 필요성이 있다.

도로포장 분석의 정확성과 향후 인공지능 기술 접목을 위해서 3차원 데이터의 노이즈 제거 기법은 필수적으로 요구된다. 하지만 3차원 데이터를 기반으로 한 도로포장 파손부 검출의 노이즈 제거 기법은 아직까지 기초 단계이기 때문에 본 연구를 기반으로 활발히 연구되어 고도화된 전처리 기법이 연구되기를 바란다. 마지막으로 향후 도로포장 분야의 자동화 기술 트렌드에 맞춰 본 적용 방안과 같이 효과적인 노이즈 제거 혹은 객체 부각 알고리즘이 다양하게 개발되어 도로포장 산업이 빠르게 성장하기를 기대한다.

References

[1] L. Zhang, F. tang, Y. D. Zhang, and Y. J. Zhu, "Road crack detection using deep convolutional neural network", in Int. Conf. on Image Processing (ICIP). IEEE, pp.3708-3712, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ICIP.2016.7533052>

[2] M. H. Lee, K. W. Nam, and C. W. Lee, "Crack Detection on the Road in Aerial Image using Mask R-CNN" Journal of the Korea Industrial Information Systems Research, vol. 24, no. 3, pp.23-29, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.9723/jkisi.2019.24.3.023>

[3] J. S. Lee, S. H. Hong, I. S. Park, J. S. Bae et al, "Automated Algorithm for Removing Clutter Objects in MMS Point Cloud for 3D Road Mapping", Sensors, MDPI, Vol. 20, No. 15, 4076, 2020.
DOI : <https://doi.org/10.3390/s20154076>

[4] T. A. Nguyen, W. S. Song, J. Y. Hwang, M. C. Hong, "An Adaptive Noise Detection and Removal Algorithm Using Local Statistics for Salt-and-Pepper Noise", The Institute of Electronics and Information Engineers conference, The Institute of Electronics and Information Engineers, pp.849-850, 2009.
<http://scholarworks.bwise.kr/ssu/handle/2018.sw.ssu/27993>

[5] Pu, Y., Wang, W., Zhou, J. et al. "Fractional differential approach to detecting textural features of digital image and its fractional differential filter implementation", Science in.China Series. F : Information Sciences 51, 1319-1339, 2008.
DOI: <http://doi.org/10.1007/s11432-008-0098-x>

[6] Sunghwan Joo, Taesup Moon, "Regularizing Neural Image Denoiser for Multiplicative Noise", The Institute of Electronics and Information Engineers conference, The Institute of Electronics and Information Engineers, pp.1373-1376, 2018.
<https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07516054>

[7] R. Garnett, T. Huegerich, C. Chui, "A universal noise removal algorithm with an impulse detector", IEEE Transactions on image processing, Vol.14, No.11, pp.1417-1754, 2005.
DOI: <http://doi.org/10.1109/TIP.2005.857261>

김 연 태(Yeon-Tae Kim)

[정회원]



- 2012년 3월 : 인하대학교 토목공학과(공학사)
- 2014년 3월 : 인하대학교 토목공학과(공학석사)
- 2019년 3월 ~현재 : 인하대학교 토목공학과(박사과정)

• 2015년 4월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 전임연구원

<관심분야>

도로포장관리시스템(PMS), 차선도색, 균열분석 등

이 문 섭(Moon-Sup Lee)

[정회원]



- 2001년 2월 : 강원대학교 지역기반공학(공학사)
- 2003년 2월 : 강원대학교 지역기반공학(공학석사)
- 2010년 2월 : 강원대학교 지역기반공학(공학박사)

- 2002년 12월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 연구위원

<관심분야>

도로포장관리시스템(PMS), 차선도색, 균열분석 등