

논문 2014-51-10-33

# 아스팔트 도로의 포트홀 검출 방법

## ( Pothole Detection Method in Asphalt Pavement )

김 영 로\*, 김 태 형\*\*, 류 승 기\*\*

( Young-Ro Kim<sup>Ⓞ</sup>, Taehyeong Kim, and Seungki Ryu )

### 요 약

본 논문에서는 다양한 특징점들을 이용하여 아스팔트 도로의 포트홀을 검출하는 방법을 제안한다. 포트홀 검출에서의 분할, 후보, 결정 단계 들은 특징점 들의 특성에 따라 추출된 값들에 의해 처리된다. 분할 단계에서는 히스토그램과 형태학 필터의 단합 연산을 이용하여 포트홀 검출을 위한 어두운 영역을 추출한다. 후보 단계에서는 포트홀 후보 영역을 정하기 위하여 크기, 밀도 등 다양한 특징점들을 이용하여 포트홀 후보 영역을 추출한다. 또한 마지막 결정 단계에서는 후보 영역과 배경 영역과의 특징점들의 비교를 통해서 후보 영역이 포트홀 여부를 판단한다. 실험 결과, 제안하는 방법이 기존 포트홀 검출 방법 보다 향상된 결과를 보이고 포트홀과 유사한 형태들과 구분하는 향상된 결과를 보인다.

### Abstract

In this paper, we propose a pothole detection method in asphalt pavement using various features. Segmentation, candidate, and decision steps of pothole detection are processed according to the values which are derived from feature characteristics. Segmentation step, we use histogram and closing operation of morphology filter which extracts dark regions for pothole detection. Candidate step, we extract candidate regions of pothole using various features such as size, compactness, etc. Finally, decision step, candidate regions are decided whether pothole or not using comparison of pothole and background's features. Experimental results show that our proposed pothole detection method has better results than existing methods and good performance in discrimination of pothole and similar patterns.

**Keywords :** Feature, pothole, detection, segmentation, morphology.

## I. 서 론

포트홀은 아스팔트 도로의 구조적인 결함을 알리는 중요한 단서이다. 따라서 포트홀을 신뢰할 수 있게 검

출이 필요하다. 그러나 사람이 수동으로 검출하고 평가하는 방법은 많은 시간과 비용이 소요된다.

포트홀을 검출하는 다양한 방법들이 제안되었다. 진동<sup>[1]</sup>, 3D 복원<sup>[2]</sup>, 그리고 영상<sup>[3]</sup>을 기반으로 한 방법들이 있다. 진동을 이용한 방법은 직접적인 접촉과 도로의 연결 부위 등의 잘못된 검출 등으로 인하여 신뢰할 수 있는 접근 방법이 될 수 없다. 3D 복원 방법은 고비용의 레이저 스캐너를 이용하기 때문에 효율적이지 못하다. 영상 기반 방법은 영상을 획득하여 분석함으로써 포트홀을 검출한다. 이 방법은 잡음 등으로 인한 왜곡된 신호에 따라 정확한 검출을 하기 어려울 수 있다.

본 논문에서는 다양한 특징점들을 이용하여 포트홀 검출하는 방법을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 분할,

\* 평생회원, 명지전문대학 컴퓨터정보과  
(Dept. of Computer Science and Information,  
Myongji College)

\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 SOC성능연구소  
(SOC Research Institute, Korea Institute of  
Construction Technology)

Ⓞ Corresponding Author(E-mail: foryoung@mjc.ac.kr)

※ 본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(포트홀-프리 스마트 품질단말장비 개발, 2014-0219)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

접수일자: 2014년08월22일, 수정일자: 2014년08월30일  
게재확정: 2014년09월30일

후보, 결정 단계로 나뉜다. 각 단계 들은 특징점 들의 특성에 따라 추출된 값들에 의해 처리된다. 분할 단계에서는 히스토그램과 형태학 필터의 단합 연산을 이용하여 포트홀 검출을 위한 어두운 영역을 추출한다. 후보 단계에서는 포트홀 후보 영역을 정하기 위하여 크기, 밀도 등 다양한 특징점들을 이용하여 포트홀 후보 영역을 추출한다. 또한 마지막 결정 단계에서는 후보 영역과 배경 영역과의 특징점들의 비교를 통해서 후보 영역이 포트홀 여부를 판단한다. 기존의 방법들과 비교하여 새로운 특징점들을 이용함으로써 신뢰할 수 있는 포트홀 검출 알고리즘을 제안한다.

## II. 기존 포트홀 검출 알고리즘

기존 포트홀 검출 방법에서는 다음과 같은 시각 특성을 포트홀이 가지고 있다고 가정한다.

- 그림자
- 타원 모양
- 포트홀 내부 텍스처가 주변의 포장 도로보다 거침

기존 검출 방법은 크게 3 단계로 나뉜다<sup>[3]</sup>. 첫 번째 단계로, 이진 영상으로 만드는 영상 분할이 있다. 칼라 영상을 그레이 영상으로 만들고 미디언 필터링을 이용하여 잡음을 제거한다. 그리고 Histogram shape-based thresholding 방법<sup>[3, 5]</sup>을 이용하여 이진 영상으로 분할한다. 이때 영상 분할은 다음 식과 같이 포트홀의 포함될 수 있는 영역과 배경 영역으로 나눌 수 있다.

$$B_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{if } I_{i,j} < T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

여기서  $B_{i,j}$ 는 분할된 이진 영상의 화소값을 나타내며,  $I_{i,j}$ ,  $T$ 는 각각 입력 영상의 화소값, histogram shape-based thresholding 방법의 임계값을 나타낸다. 이밖에도 이진 영상을 만드는 방법들에는 maximum entropy<sup>[4]</sup>, Otsu<sup>[6]</sup> 방법 들이 있다. 두 번째 단계로, 이진 영상에서 모양을 추출한다. 이때 다음과 같은 특성들을 가지고 있는 영역들은 제거한다.

- 직선 모양
- 영상 외곽에 붙어 있는 영역

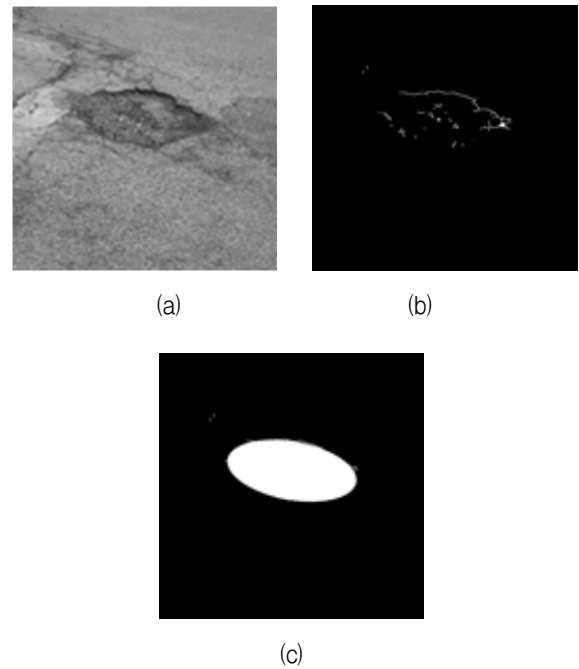


그림 1. (a) 원영상, (b) 세선화, (c) 타원형 피팅  
Fig. 1. (a) Original image, (b) Thinning, (c) Elliptic fitting.

또한 포트홀이 타원형의 형태를 가진다고 가정하고 완전한 타원형을 가지지 못하고 일부 그림자만 가진 포트홀로 의심되는 영역은 타원형 형태의 영역으로 만든다. 이를 위하여 다음 그림과 같이 형태학 필터를 이용한 세선화와 타원형 피팅 방법을 사용한다.

마지막 단계에서는 다음과 같이 전 단계에서 포트홀로 가정되는 영역과 배경영역과의 표준편차를 비교하여 검출한다.

$$R_{i,j} = \begin{cases} \text{pothole} & \text{if } Std_e > Std_b \\ \text{no pothole} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

여기서  $R_{i,j}$ 는 영역  $R$ 의 내부 영역  $i,j$ 위치의 화소를 의미하며,  $Std_e, Std_b$ 은 각각 추출된 영역의 표준편차, 배경 영역의 표준편차를 의미한다. 기존 방법<sup>[3]</sup>에서는 표준 편차의 비교를 더욱 두드러지게 하기 위하여 Leung-Malik<sup>[7]</sup>, Schmid<sup>[8]</sup> 등의 spot filter를 적용한 결과 영상의 표준 편차를 포함하여 비교한다.

그러나 기존 제안한 검출 방법의 특성들만으로 실제 도로에서 생기는 다양한 포트홀의 검출을 할 수 없다. 포트홀을 타원형으로만 가정한 것은 잘못된 검출을 가져올 수 있으며 포트홀 내부 영역이 주변 배경 영역 보다 표준 편차가 크다는 가정은 잘못된 결과를 얻을 수 있다. 따라서 제안한 방법은 주변 영역과 포트홀로 추

정되는 영역의 다양한 특징점들을 비교함으로써 보다 정확한 검출을 할 수 있도록 한다.

### III. 제안하는 검출 방법

본 절에서 영상을 분할하고, 영상정보를 이용하여 특징점(feature)들을 추출하고, 이에 따라 분할된 영역들을 비교하여 후보 영역에서 검출하고자 하는 포트홀 영역을 판단하는 영상 정보를 이용한 포트홀 검출 방법을 제안한다.

본 논문에서 특징점 기반 포트홀 검출 방법은 입력 영상을 경계가 있는 영역들로 나누는 분할(Segmentation)부, 특징점들을 이용하여 후보 영역을 정하는 후보(Candidate)부, 특징점 정보에 따라 후보 영역과 주변 영역을 비교하여 포트홀 영역 검출하는 결정(Decision)부로 나뉜다. 분할(Segmentation)부, 후보(Candidate)부, 결정(Decision)부 등 각 부들이 동작하기 전에 필요한 파라미터들을 초기화한다. 입력 영상 화소의 최대값은 화소의 비트수에 따라 설정한다. 따라서, 8비트일 경우, 255로 설정한다. 분할 부의 결과 영상은 이진 영상으로 화소의 비트수는 1이고 값은 0과 1로 결정된다.

분할부는 입력영상의 히스토그램을 이용하여 이진영상을 만들어 포트홀과 주변 영역을 분할할 수 있도록 한다. 이때 이진 영상을 생성하기 위하여 histogram shaped thresholding 방법, Otsu 방법, maximum entropy 방법 등을 이용할 수 있다. 다음 식과 그림 2와 같이 입력 영상을 받아 이진 영상으로 만든다.

$$S_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{if } I_{i,j} < T_h \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

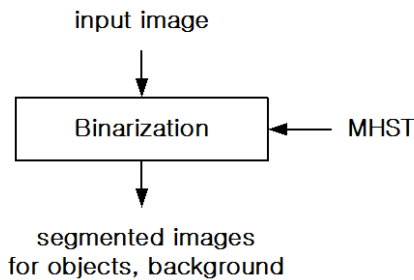


그림 2. 분할부  
Fig. 2. Segmentation part.

여기서  $S_{i,j}$ 는 이진 영상의 화소값을 나타내며,  $I_{i,j}$ ,  $T_h$ 은 각각 입력 영상, 이진 영상을 위하여 사용하는 히스토그램 임계값을 나타낸다.

후보부는 그림 3과 같이 분할부에서 얻은 이진 영상에서 포트홀로 추정되는 후보 영역을 추출한다.

후보부에서 먼저 잡음을 제거하기 위하여 미디언 필터<sup>[9-10]</sup> 등을 사용한다.

$$M_{i,j} = \text{Median}(I_{i,j}) \quad (4)$$

그 다음 형태학(morphology) 필터의 닫힘(closing) 연산을 이용하여 영역의 윤곽의 손상된 부분을 복원하고 조각 부분을 제거한다.

$$M'_{i,j} = M_{i,j} \cdot SE \quad (5)$$

여기서 SE는 structure element를 의미하며,  $\cdot$ 는 닫힘(closing) 연산을 나타낸다. 닫힘 연산은 팽창(dilation), 침식(erosion) 연산으로 이루어진다.

그 다음 size, compactness, ellipticity, linearity, 등 특징점들을 이용하여 후보 영역을 추출한다.

$$C = \begin{cases} 1, & \text{if } S(M'_{i,j}) > T_s \text{ and } C(M'_{i,j}) > T_c \text{ and etc.} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

여기서  $T_s$ ,  $T_c$ , 는 각각 size, compactness의 임계값을 나타낸다. 다양한 후보 영역을 추출하기 위하여 다양한 특징점들을 추가할 수 있다. 포트홀 영상의 형태를 구분하기 위해서는 이에 따른 특징점들을 이용하여 포트홀의 후보 영역을 구해야 한다. 위와 같이 후보들을 구하고 정확한 포트홀 영역을 검출하기 위하여 후보영역을 개선(refinement)한다. 특징점들을 이용해서 구한 초기 후보들은 완전한 크기의 포트홀 영역을 나타내지 않을 수 있다. 그림자(shade), 얼룩, 패치 등 다양하고 완전하지 않은 후보들을 포트홀 영역인지 아닌지 판단하기 앞서 후보 영역을 다음과 같이 특징점들을 이용하여 개선한다. 완전하지 않은 영역은 다음 수식에 따라 판단하여 convex hull 연산 또는 elliptic fitting 연산을 함으로써 개선된 후보 영역을 얻는다.

$$C' = \begin{cases} \text{result of convex hull operation, if } \text{Con}(C_{ij}) > T_{con} \text{ and } C_c \in C \text{ and } C(C_{ij}) > T_c \text{ and etc.} \\ C, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

여기서  $T_{con}$ ,  $T_c$  는 각각 convexity, compactness의 임계값

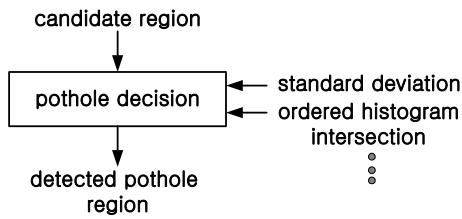


그림 4. 결정부  
Fig. 4. Decision part.

을 나타내고,  $c_c$ 은 center position을 나타낸다. 그림 3에서와 같이 특징점들을 이용하여 후보영역을 개선하여 포트홀과 더욱 유사한 개선된 후보 영역을 만든다.

결정부는 그림 4와 같이 후보부에서 최종 얻은 개선된 후보영역과 주변 영역과 비교를 하여 포트홀인지 아닌지 판단한다.

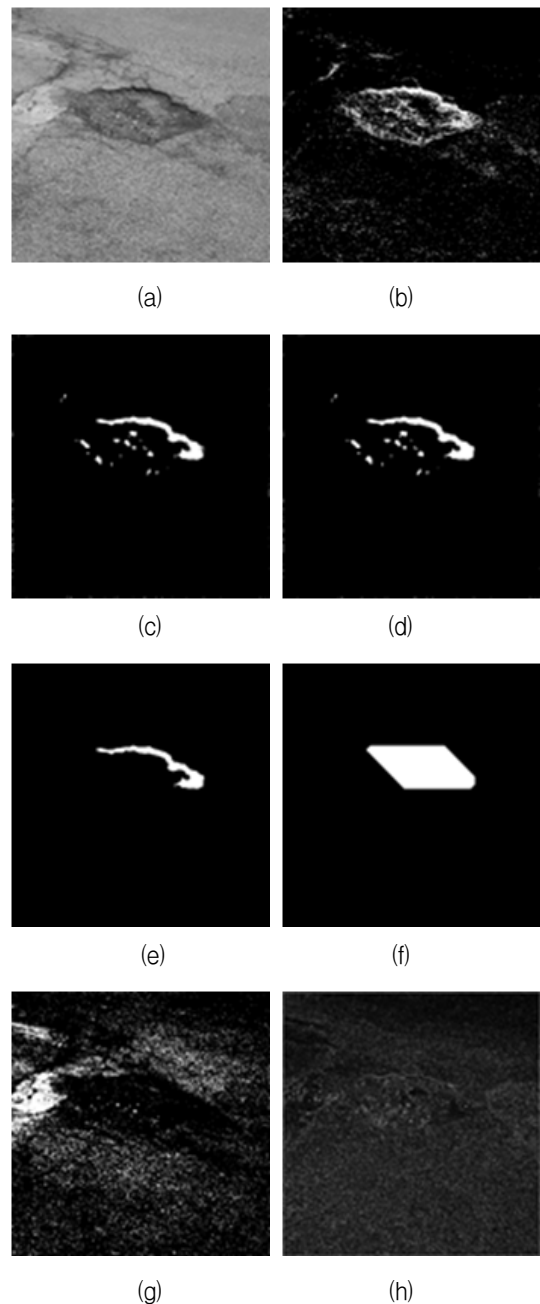
이때 판단하기 위하여 표준편차(standard deviation), 히스토그램 등의 특징점들을 사용한다. 특히 본 알고리즘에서는 히스토그램에서 정렬된 히스토그램 교차(ordered histogram intersection) 특징점을 사용함으로써 기존 방법들이 얼룩, 패치, 조명, 그늘 등과 포트홀과 구분하지 못한 것을 구분할 수 있다. 따라서 포트홀로 잘못 검출하는 오류를 피한다. 히스토그램 교차 방법은 영상의 유사도를 측정하는 방법이다. 그러나 잡음, 밝기의 변화에 문제가 발생하나 정렬된 히스토그램 교차 방법을 사용하면 이와 같은 변화를 해결하고 유사도를 측정할 수 있다. 따라서 포트홀 검출에 적용함으로써 주변 영역과 후보 영역의 유사함을 판단할 수 있다.

$$OHI(h, h') = \sum_i^n \min(oh_i, oh'_i) \quad (8)$$

여기서  $oh_i, oh'_i$ 는 각각 후보 영역과 주변 영역의 정렬된 히스토그램을 나타낸다. 다음 수식과 같이 표준 편차가 임계치보다 작거나, 후보영역과 배경영역 간의 화소 값들의 정렬된 히스토그램 교차값이 1에 가까우면 후보 영역은 배경 영역과 유사하므로 포트홀이 아니라고 판단한다. 또한 소벨 연산을 통한 값들을 이용하여 정렬된 히스토그램 교차값도 1에 가까우면 후보 영역과 배경 영역이 유사하다고 판단하여 포트홀이 아니라고 판단한다.

$$P = \begin{cases} \text{non-pothole region,} & \text{if } Std_c < T_{std} \text{ or } (OHI(h_c, h_n) > T_o \text{ and } OHI(h'_c, h'_n) > T'_o) \\ & \text{and } (Outregion_{std} - Innerregion_{std}) < T'_{std} \\ & \text{and } (Outregion_{ave} - Innerregion_{ave}) > T_{ave} \\ \text{pothole region,} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

여기서  $Std_c$ 는 개선된 후보 영역의 표준편차를 나타낸다. 그리고  $T_{std}, T_o, T'_o$ 는 각각 표준편차, 정렬된 히스토그램 교차에 대한 임계치, 소벨 연산 값들에 대한 정렬된 히스토그램 교차의 임계치를 나타낸다. 또한  $Outregion_{std}, Innerregion_{std}$ 는 그림 5(i), 그림 5(j)에서 보이는 바와 같이 개선된 후보영역의 외곽과 내부의 표준편차를 각각 의미한다.  $Outregion_{ave}, Innerregion_{ave}$ 는 각각 개선된 후보 영역의 외곽과 내부의 평균을 의미한다. 다음 그림은 제안하는 알고리즘을 적용하여 각 단계의 결과 영상을 보인다.



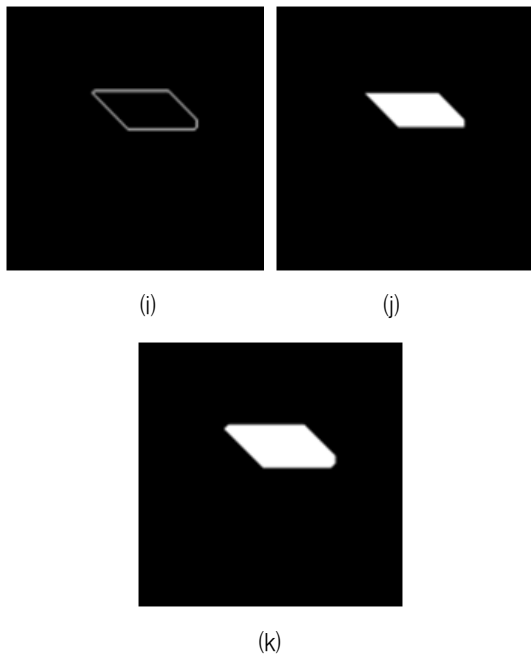


그림 5. 제안하는 알고리즘의 각 단계별 결과 영상  
 (a) 원영상 (b) histogram based thresholding  
 (c) median filtering (d) closing (e) candidate  
 (f) refinement (g) modified Histogram based  
 thresholding (h) Sobel (i) outer region (j) inner  
 region (k) detected region

Fig. 5. Result images  
 (a) Original image (b) histogram based  
 thresholding (c) median filtering (d) closing  
 (e) candidate (f) refinement (g) modified  
 Histogram based thresholding (h) Sobel (i) outer  
 region (j) inner region (k) detected region.

IV. 실험결과

제안하는 알고리즘 포트홀 검출 결과와 기존 알고리즘<sup>[3]</sup>과의 검출 성능을 비교하기 위하여 포트홀을 포함한 아스팔트 영상들과 포함하지 않은 아스팔트 영상들을 실험의 테스트 영상들로 사용하였다. 그림 6은 실험에 사용하는 30개의 테스트 영상들에서 일부 영상을 보여준다. 제안하는 알고리즘의 임계치는 실험적으로 각 임계치가 가장 적합하게 다양한 포트홀과 유사 형태를 비교하여 구별할 수 있도록 값을 정하였다.

다음 그림 7은 실험 영상에서 제안하는 알고리즘으로 포트홀을 검출한 결과를 나타낸다.

그림 7에서 보이는 바와 같이 제안하는 알고리즘은 대부분 정확히 포트홀을 검출하는 것을 알 수 있다. 아스팔트 도로에서 콘크리트 도로로 변하는 위치에서 포

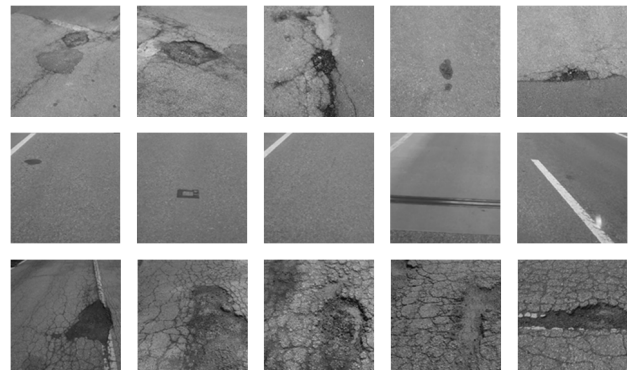


그림 6. 실험 영상  
 Fig. 6. Test images.

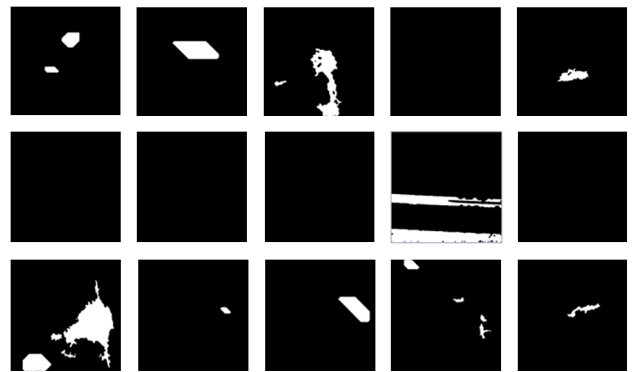


그림 7. 포트홀 검출 영상  
 Fig. 7. Detected pothole image.

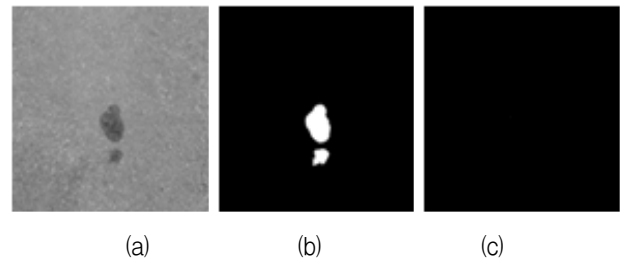


그림 8. 포트홀 검출 결과. (a) 원영상, (b) 기존 방법<sup>[3]</sup>,  
 (c) 제안하는 방법  
 Fig. 8. Pothole detected results, (a) Original image,  
 (b) Existing method [3], (c) Proposed method.

트홀을 잘못 검출하는 결과를 보였으나 추후 결정부에 콘크리트에 해당하는 특징점을 추가하여 제거할 수 있다. 또한 영상에 따라 커다란 포트홀의 전체를 검출하지 못하고 포트홀의 일부 영역만을 후보 영역으로 추출하여 포트홀의 일부분만을 검출하는 결과를 보였다. 다음 그림 8과 같이 얼룩 영상은 기존 알고리즘에서는 포트홀로 검출하나 제안하는 알고리즘은 포트홀로 검출하지 않는다.

그림 8에서 얼룩을 나타내는 후보 영역의 표준편차

는 22.23, 22.98이다. 배경 영역의 표준편차는 16.81이다. 따라서 표준편차를 이용하는 기존 방법<sup>[3]</sup>에서는 실제 얼룩인 후보 영역이 배경 영역보다 큰 표준 편차를 가지므로, 후보 영역을 포트홀로 판정하여 검출하는 오류를 갖게 된다. 제안하는 방법은 수식 8에서 보이는 바와 같이 특징점들로 후보영역의 표준편차, 정렬된 히스토그램 교차, 후보영역의 외곽, 내부 영역간의 표준편차, 평균 차이를 사용함으로써 정확한 포트홀 검출을 보인다. 다음 표 1은 각 실험 영상의 포함하는 포트홀 개수, 특징과 검출 결과를 나타낸다. non-pothole은 얼룩, 패치, 크랙과 같은 형태를 의미한다. 그림 9는 30개의 실험 영상들에서 기존 방법<sup>[3]</sup>과 제안하는 방법이 잘못 검출 또는 잘못 미검출하는 개수를 나타낸다. 값이 0이면 정확한 검출로 판단한다. 기존 방법<sup>[3]</sup>과 제안하는 방법을 비교하기 위하여 영역 분할과 후보 영역 추출하는 부분은 동일한 조건으로 하고 판단하는 조건만을 각각 제안하는 방법에 따라 다르게 적용하였다.

정확한 검출 성능을 나타내기 위하여 실험 영상에서 다음과 같은 개수를 구한다.

표 1. 각 실험 영상의 포트홀 개수, 특징, 검출 결과  
Table 1. Number of detected pothole.

no. of image	pothole	non-pot hole	existing method [3]				proposed method			
			TP	FP	TN	FN	TP	FP	TN	FN
1	2	1	2	0	1	0	2	0	1	0
2	1	2	1	0	2	0	1	0	2	0
3	2	1	2	0	1	0	2	0	1	0
4	2	0	0	0	0	2	2	0	0	0
5	2	0	1	0	0	1	2	0	0	0
6	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
7	0	2	0	0	2	0	0	1	1	0
8	0	2	0	0	2	0	0	0	2	0
9	0	9	0	4	5	0	0	2	7	0
10	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
11	0	2	0	0	2	0	0	0	2	0
12	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
13	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
14	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0
15	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0
16	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
17	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
18	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
19	1	3	0	0	3	1	0	0	3	1
20	3	1	1	0	1	2	2	0	1	1
21	5	1	4	0	1	1	5	0	1	0
22	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
23	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
24	2	0	2	0	0	0	2	0	0	0
25	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
26	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
27	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0
28	2	0	1	0	0	1	2	0	0	0
29	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
30	3	0	2	0	0	1	3	0	0	0

- TP(True Positive): 정확하게 포트홀인 것을 검출
- FP(False Positive): 잘못하여 포트홀로 검출(포트홀 아닌 것을 포트홀로 판단)
- TN(True Negative): 정확하게 미검출(포트홀 아닌 것을 아닌 것으로 판단)
- FN(False Negative): 잘못하여 미검출(포트홀인 것을 아닌 것으로 판단)

다음 표 2는 기존 방법 [3]과 제안하는 방법의 검출 성능을 나타낸다.

여기서 accuracy는  $((TP+TN)/(TP+FP+TN+FN))$ 을 의미한다.

또한 precision은  $(TP/(TP+FP))$ 를 recall은  $(TP/(TP+FN))$ 을 나타낸다. 즉 accuracy는 전체적으로 포트홀이든 비슷한 영역이든 정확하게 구분되는 것을 나타낸다. precision은 포트홀로 검출한 것 중에서 실제 포트홀일 확률을 의미한다. recall은 포트홀 중에서 포트홀로 검출된 확률을 나타낸다. 표 2에서 보이는 바와 같이 기존 알고리즘과 비교하여 포트홀을 정확하게 검출하는 것을 알 수 있다. 특히 포트홀과 유사형태 즉 패치나 얼룩일 경우 기존 알고리즘의 특징점은 표준편차로는 구

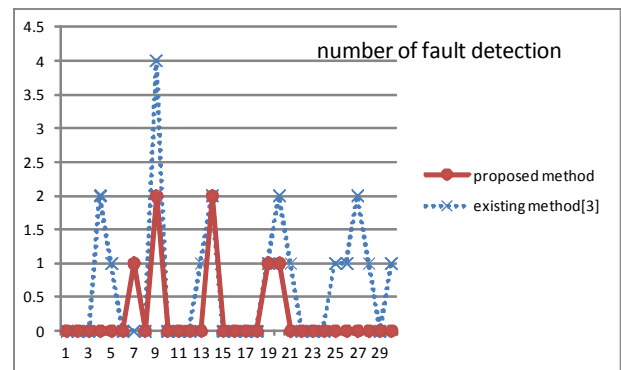


그림 9. 실험 영상에서 포트홀 잘못 검출 개수  
Fig. 9. Number of fault detection.

표 2. 검출 성능  
Table 2. Detection results.

	Existing method [3]	Proposed method
Total TP	19	29
Total FP	8	5
Total TN	29	32
Total FN	12	2
Accuracy	71.6%	91.0%
Precision	70.4%	85.3%
Recall	61.3%	93.5%

별할 수 없다. 그러나 제안하는 알고리즘은 정렬된 히스토그램 교차, 후보 영역의 내·외곽 표준 편차, 평균 등의 특징점들을 사용함으로써 보다 정확하게 포트홀을 검출할 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서 다양한 특징점들을 이용하여 포트홀 검출하는 방법을 제안하였다. 기존 알고리즘은 표준 편차와 같은 단순한 특징점을 이용하여 포트홀과 유사 형태를 구별하지 못한다. 그러나 제안하는 알고리즘에서는 다양한 특징점을 이용하여 정확하게 구별하여 포트홀을 검출한다.

제안하는 포트홀 검출에서의 분할, 후보, 결정 단계들은 특징점들의 특성에 따라 추출된 값들에 의해 처리된다. 실험 결과, 제안하는 방법이 기존 포트홀 검출 방법 보다 향상된 결과를 보이고 포트홀과 유사한 패치, 얼룩, 크랙 등의 형태들과 구분하는 향상된 결과를 보인다.

## REFERENCES

- [1] J. Eriksson, L. Girod, B. Hull, R. Newton, S. Madden, H. Balakrishna, "The pothole patrol: using a mobile sensor network for road surface monitoring," Proceeding of the 6th international conference on Mobile systems, applications, and services, pp. 29-39, 2008.
- [2] K. T. Chang, J. R. Chang, and J. K. Liu, "Detection of pavement distresses using 3D laser scanning technology," Computing in Civil Engineering, pp. 1-11, 2005.
- [3] C. Koch and I. Brilakis, "Pothole detection in asphalt pavement image," Advanced Engineering Informatics, vol. 25, no. 3, pp. 507-515, 2011.
- [4] R. S. Adhikari, O. Moselhi, and A. Bagchi, "Image-based retrieval of concrete crack properties," Journal of the International Society for Geotechnology, vol. 11, no. 2, pp. 315-321, 2012.
- [5] G. W. Zack, W. E. Rogers, and S. A. Latt, "Automatic measurement of sister chromatid exchange frequency," J. Histochem. Cytochem. vol. 25, no. 7, pp. 741-753, 1977
- [6] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, vol. SMC-9, no. 1, pp. 62-66, Jan. 1979.
- [7] T. Leung and J. Malik, "Representing and recognizing the visual appearance of materials using three-dimensional textons," Int. J. Comput. Vision, vol. 43, pp. 29-44, 2001
- [8] C. Schmid, "Constructing models for content-based image retrieval," in Proc. of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, vol. 2, pp. 39-45, 2001
- [9] Young-Ro Kim and Sung-Soo Dong, "Noise Estimation Using Edge Detection," Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, vol. 50, no. 5, pp. 281-286, 2013.
- [10] Seung-Chan, Jeong-Moon Byun, and Gyeonghwan Kim, "A time recursive approach for do-interlacing using improved ELA and motion compensation based on hi-directional BMA," Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, SP, vol. 41, no. 5, pp. 87-97, 2004.

저 자 소 개



김 영 로(평생회원)

1993년 고려대학교 전자공학과  
학사

1996년 고려대학교 전자공학과  
컴퓨터공학 석사

2001년 고려대학교 전자공학과  
컴퓨터공학 박사

2001년~2003년 삼성전자 시스템LSI 책임연구원  
2003년~현재 명지전문대학 컴퓨터정보과 교수  
<주관심분야 : 신호 및 영상처리, 멀티미디어 통신>



김 태 형(정회원)

2012년 3월~현재 한국건설기술  
연구원 첨단교통연구실  
박사후연구원

2002년 9월~2007년 7월 Turner-  
Fairbank Highway  
Research Center(FHWA)  
연구원

2011년 8월 University of Maryland 공학박사(교  
통공학전공)

2000년 2월 경상대학교 대학원 도시공학 석사

<주관심분야 : ITS, 최적화, 물류, 시뮬레이션>



류 승 기(정회원)

1994년 4월~현재 한국건설기술  
연구원 도로교통연구실  
연구위원

1999년 2월 충북대학교 대학원  
박사(전기공학)

1992년 2월 충북대학교 대학원  
석사(전기공학)

1990년 2월: 충북대학교 공과대학 전기공학과 학사  
<주관심분야 : ITS, U-city, 건설 IT 융합>