

# 영상 기울기에 기반한 도로 노면 균열 검출 방법

## Asphalt Pavement Detection Method Based On Image Gradient

구교범\* , 손수국\*\*

Ku, Kyobum · Shon, Sugoog

### 1. 서론

도로 포장의 과학적인 유지 관리를 위해 포장유지관리시스템(Pavement Management System)의 도입이 이루어지고 있다. 포장유지관리시스템은 노면의 상태를 분석하고 도로의 유지 보수에 대한 계획을 수립할 수 있는 시스템이다. 현재 유지되고 있는 대부분의 포장유지관리시스템은 전문가가 직접 도로에 나가 노면의 상태를 판단하고 시스템에 입력하도록 설계되어 있다. 그러나, 포장 도로의 총 연장이 2001년 12월 현재 약 70,146km에 이르는 현재의 실정과 앞으로 포장 도로의 증가분을 고려할 때, 전체 노면에 대한 전문가의 직접 조사는 비효율적일 뿐만 아니라, 체계적인 포장유지관리시스템의 유지도 어려울 것이다. 이러한 문제 때문에, 최근 포장도로 노면에 대한 자동 측정 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 시스템에서 가장 문제가 되고 있는 부분이 노면의 균열 분석 시스템이다.

기존의 영상 처리를 이용한 균열 분석 방법들을 살펴보면 다음과 같다. 임계값을 이용한 방법은 가장 고전적인 영상 처리 방법으로 영상의 밝기 값 분포를 분석하여 균열이 가지는 밝기 값 대역을 찾아낸 뒤, 이 대역 이외의 밝기 값을 갖는 부분을 제거하는 방법으로, 비교적 빠른 수행속도를 갖지만, 균열의 밝기 값 대역에 존재하는 다른 영역들을 걸러낼 수 없다는 문제점이 있다. 질감을 이용한 방법은 도로 노면이 갖는 무늬를 분포함수 등을 이용하여 정의하고 정의된 분포에서 벗어나 있는 화소들을 균열로 인식하는 방법이다. 이 방법은 비교적 좋은 성능을 보이기는 하지만, 균일하지 않은 도로 노면의 무늬에 대한 분포함수나 균열 탐색에 대한 임계조건을 계산하는데 많은 어려움이 있고, 분포함수를 계산하더라도 계산량이 많아서 대량의 작업에는 적합하지 않다는 단점이 있다.

본 논문에서는 대량의 도로노면 영상으로부터 자동으로 균열을 탐색하는 방법을 제안하고자 한다. 제안하는 방법은 3단계로 처리된다. 첫 번째, 전 처리단계로 균열이 강조되도록 영상을 조정하고, 두 번째, 영상의 기울기 값을 이용하여 균열 예상 후보를 탐색한 뒤, 탐색된 균열 예상 후보에 대하여 허프 변환(Hough transform)을 수행하여 연결성을 가지고 있는 균열 예상 후보를 추출하여 균열로 인식한다.

### 2. 영상 기울기 기반 균열 탐색 기법

#### 2.1 전처리

도로 노면의 영상은 외부 조도, 노면의 상태, 그림자 등에 의해 밝기 값 분포, 잡음의 정도, 균열의 분포에 많은 영향을 받는다. 그러므로, 자동적인 균열 탐색을 위해서는 입력되는 노면 영상을 분석하여 자동으로 균열 탐색에 적합한 상태로 처리를 해주는 과정이 필요하다. 일반적으로 이와 같이 노면의 잡음 성분을 제거하기 위해서는 메디안 필터와 같이 기준 화소 주변의 밝기 값 분포에서 중간 값을 취하여 대표 밝기 값으로

\* 비회원 · (주)비전넷 주임연구원 · 공학석사 · 02-564-6488(E-mail:usedtobe@visionnet.co.kr)

\*\* 정회원 · (주)비전넷 연구소장 · 공학박사 · 02-564-6488(E-mail:sshon@visionnet.co.kr)

사용하는 방법을 사용한다. 그러나 이와 같은 방법은 노면 영상에서와 같이 잡음성분이 심한 영상에서는 잡음의 제거보다 균열과 같은 필요성분의 손상이 심해 적용이 어렵다는 단점이 있다. 본 논문에서는 이와 같은 일반적인 필터링을 노면 영상에 적합하도록 개선한 전처리 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 균열 예상 부위의 주변의 평균 밝기 값을 이용하여 영상을 보정하고 균열을 탐색을 보조한다.

제안하는 방법은 먼저 기준화소의 주변에서 대표 밝기 값을 취하고, 기준화소의 밝기 값과 비교하여 낮은 경우, 즉 균열일 가능성이 있는 화소는 그대로 남기고, 밝기 값이 높거나 같은 경우에는 균열이 아니므로, 영상의 최대 밝기 값으로 보정하여 균열을 강조한다. 제안하는 방법에서는 연산 속도와 보정되는 정도를 비교하여 그림 2와 같이 기준화소의 주변을 화소의 수직 수평 프로파일 방향으로 정의하였다. 그림 3은 이렇게 보정된 균열 영상을 보이고 있다.

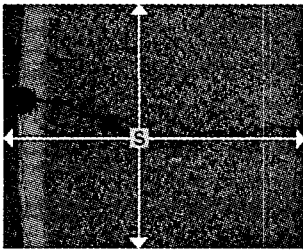
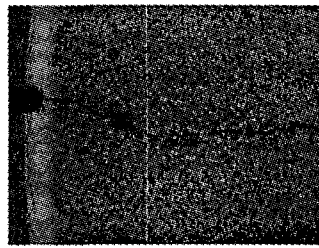
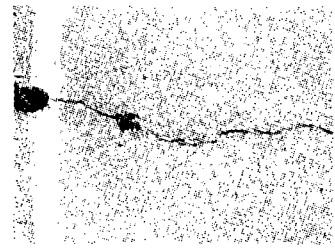


그림 5 수직 수평방향  
프로파일



(a) 원영상



(b) 보정영상

그림 6 제안하는 전처리 방법에 의해 보정된 영상의 예

## 2.2 균열 탐색

균열 탐색 단계에서는 영상의 기울기를 이용하여 남아 있는 잡음을 제거하고, 블록 허프 변환을 이용하여 직선 형태를 띠는 균열 부분을 탐색한다. 이후, 모폴로지 연산 등을 이용하여 가까운 곳에 존재하는 균열들을 연결시켜서, 최종적인 균열 영상을 얻는다.

2.1에서 제안한 균열 보정을 수행하면, 노면영상에는 원 영상에 비해 균열 부분이 강조되기는 하지만 일부 노면의 무늬와 균열 부분이 남는다. 여기서 블러링(Blurring)과 영상 기울기 기반의 영상처리 방법을 적용하여 균열 후보를 추출한다. 본 논문에서는 가우시안 분포를 갖는 연산자를 이용한 가우시안 블러링과 소벨 연산자(Sobel operator)를 사용하였다.

균열 부분은 노면에 비해 확연히 어두운 부분으로 나타나지만, 그 외의 기름 등과 같은 노면의 자국과는 유사한 밝기 값으로 나타난다. 그러므로, 균열 후보를 추출하면, 실제 노면의 균열뿐만 아니라 노면의 자국을 제거하기 위해서는 밝기값 정보 이외의 특성을 이용하여 균열과 분리하여야 한다. 일반적으로 균열은 선 형태의 모양을 띠고 있으므로 허프 변환을 이용하여 균열만을 추출한다.

$y=ax+b$ 는 일반적인 1차원 직선 식을 보이고 있다. 이와 같은 직선 식에서  $x$ ,  $y$ 는  $xy$ 공간의 두 축을 나타내고,  $a$ ,  $b$ 는 각각 기울기와  $y$  축 절편 값을 나타낸다. 이와 같은 식으로 정의되는 임의의  $x'$ ,  $y'$  집합은  $xy$  공간상에서 하나의 직선으로 나타난다. 이러한 집합을  $a$ ,  $b$ 를 두 축으로 하는  $ab$ 공간에 투영을 시키면,  $xy$ 공간상의 한 직선이  $ab$ 공간의 한 점으로 투영되고,  $xy$ 공간상의 한 점은  $ab$ 공간의 한 직선으로 나타난다. 이러한 원리 때문에  $xy$  공간상에서 한 직선을 이루고 있는 점들은 모두  $ab$ 공간의 한 점을 지나게 된다. 그러므로, 그림 5에서와 같이 노면 영상에서 균열 후보로 추출된 모든 점들을 허프 변환하면, 이 중 직선의 형태로 배열된 화소들은 모두 그 자신의 직선 식에 의해 정의되는 한 점을 지나게 된다.

주어진 균열 후보 영상을 임의의 크기를 갖는 블록으로 나눈 뒤, 각각의 블록에서 직선의 형태를 보이는 균열 화소와 그렇지 않은 잡음 화소에 대해 허프 변환을 수행하면, 각각의 화소는 허프 공간에 하나의 직선



으로 변환이 된다. 블록내의 모든 화소에 대해 허프 변환을 완료하면, 허프 공간상에서 하나 이상의 직선이 만나는 모든 점에 대해 그룹화를 하여, 가장 많은 직선이 지나는 그룹을 블록의 방향성을 정한다. 이때, 블록의 방향성 그룹을 지나는 직선의 개수와 나머지 그룹의 모든 직선의 개수를 비교하여, 집중 현상을 보이는 것으로 판명되면, 해당 블록에는 균열이 있는 것으로 판단하고, 해당 그룹의 대표점을 역허프 변환하여 균열 후보 영상과 대응되는 점들을 균열로 평가하고, 그 이외의 점들을 잡음으로 평가한다. 추출된 각 균열들의 연결화소 개수가 임계치 이하인 것들을 제거하여 최종적인 균열 영상을 획득한다. 그림 4는 원 영상과 추출된 균열 영상을 보이고 있다.

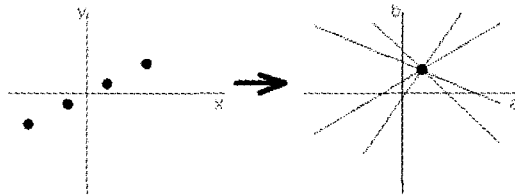
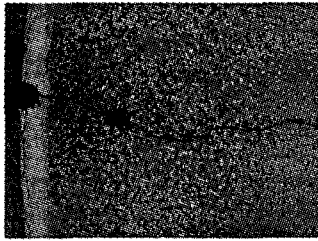


그림 7 직선을 이루는 점들의 허프 변환 예



(a) 원 영상 (b) 균열 영상그림

그림 8 원영상과 균열 영상

### 3. 실험 및 결과

제안하는 영상 분석 방법의 효율성을 검증하기 위하여 주식회사 비전넷에서 개발한 노면 상태 측정 시스템인 ARIS I을 40~60km 정도의 속도로 주행하면서, 설치된 Panasonic WV-CP464 CCD 카메라를 이용하여 촬영된 도로 영상을 Bandits Frame Grabber를 이용하여, 640\*480의 해상도를 갖는 영상으로 캡처한 뒤, 이 영상의 균열을 분석해 보았다. 그림 5는 주식회사 비전넷에서 개발한 노면 상태 측정 시스템인 ARIS I을 보이고 있다. ARIS I에서는 그림 6과 같이 차량의 후방에 장치된 2개의 CCD카메라를 이용하여 주행 중 노면의 영상을 실시간으로 촬영할 수 있다.



그림 9 (주)비전넷 ARIS I - 노면 상태 측정 시스템 (차량)

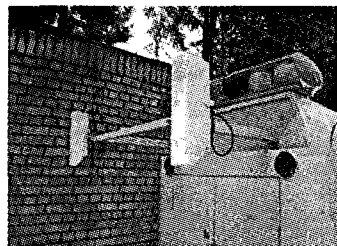


그림 10 ARIS I의 후방에 장치된 CCD 카메라

그림 7, 8, 9는 제안하는 방법을 이용하여 균열을 검출한 예제를 보이고 있다. 그림 7과 같이, 촬영 시 충분한 조도를 이용하여 촬영을 한 경우에는 만족할 만한 균열 검출 결과를 얻을 수 있었고, 그림 8, 9와 같이 충분한 조도를 얻을 수 없거나 불분명한 균열이 발생하는 경우에도 비교적 좋은 결과를 얻을 수 있었으나, 일부 균열이 누락되거나 균열이 끊어지는 현상이 발생하였다.

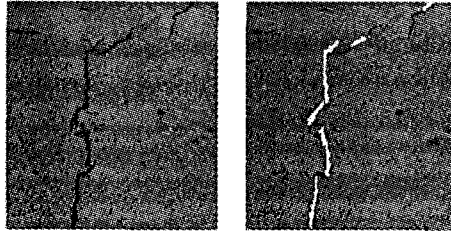


그림 11 균열 검출 예제

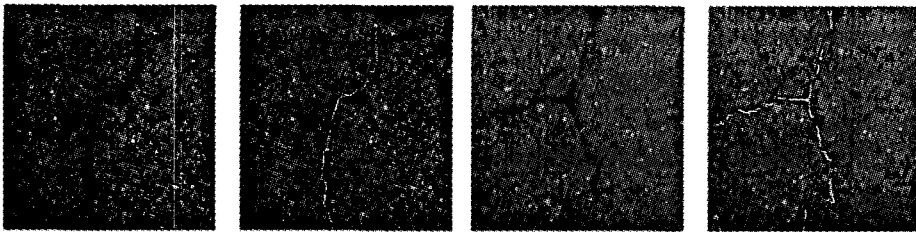


그림 12 조도가 부족한 경우의 검출 예제

그림 13 불분명한 균열의 검출 예제

#### 4. 결론

본 논문에서는 포장유지관리시스템(Pavement Management System)을 위한 노면 상태 측정 시스템 구성의 핵심 기술인 균열 탐색 방법을 제안하였다. 제안된 방법에서는 노면의 조도, 그림자 등의 영향을 최소화하여 하는 전처리 방법을 수행하고, 영상의 밝기값 기울기와 허프 변환을 이용하여 균열을 탐색한다. 주식회사 비전넷에서 개발한 노면 상태 측정 시스템인 ARIS I을 이용하여 촬영된 영상에 대하여 균열 검출을 시험하여, 제안된 방법의 효율성을 검증하였다. 현재, 좀더 효율적인 균열 자동 검출을 위한 지능적 전처리 방법과 균열탐색 이후, 잘못된 균열검출 결과를 검증하여 자동으로 제거 또는 연결하는 후처리 방법에 대한 연구를 진행 중에 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 2001년 건설기술연구원에서 지원한 산학연 연구개발사업의 연구수행 결과입니다.

#### 참고문헌

1. 통계청(2001), "도로현황자료"
2. 김정용, 조운호(2001), "이미지프로세싱기법을 이용한 포장이미지의 특성과 노이즈제거를 위한 알고리즘 선정", 한국도로포장공학회 학회지, 제 3권 4호
3. Rupen Meylani, Aypyn Ertuzun, Aytul Ercil(1996), "Texture Defect Detection using the Adaptive two-dimensional lattice filter," Proceedings of IEEE ICIP, Vol. 3.
4. Lan Li, Paul Chan, Robert L. Lytton(1991), "Detection of thin cracks on noisy pavement images," Transportation Research Record 1311