

이미지프로세싱기법을 이용한 포장이미지의 특성과 노이즈제거를 위한 알고리즘 선정

Characteristics of Asphalt Pavement Images and Enhanced Algorithm for Noise Reduction

김 정 용* · 조 윤 호**

Kim, Jung Yong · Cho, Yoon Ho

Abstract

Pavement distresses are one of the most important data for pavement management systems. Inspection machines and its related programs have been used for operating tools in PMS developed in advanced countries. In Korea, imported machines and programs for the high price are utilized to get information of pavement condition from the field. This study is launched for developing the program which can detect cracks on asphalt pavement due to many drawbacks in current PMS operation such as improper maintenance work and long resting period when it was broken. The focus of this study is to define principles to analyze pavement surface with digital image processing techniques, to test property of pavement images and to suggest an algorithm that reduces noises at best. To test images, the camera attached on the Automatic Road Analyser(ARAN) was used. Through the FFT images, histogram and statistical values of pavement images, it was found that the images had many noises with high-frequency components against general images, and it was difficult to subdivide pavement images into background or crack. Through several testing with various filters for noise reduction, a 3×3 median filter was suggested to reduce noises effectively

Keywords : crack, pavement management system, image processing, median filter

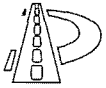
요 지

포장유지관리시스템에 있어서 포장표면 정보는 가장 중요한 인자 중의 하나이다. 따라서 일찍부터 선진국들은 자국의 현실에 알맞은 포장표면 조사장비와 프로그램을 개발하여 사용하고 있다. 국내의 경우 고가의 외국장비와 프로그램을 수입하여 사용하고 있으나 많은 문제점으로 인해 국산 장비와 포장표면 분석 프로그램 개발의 필요성이 대두되고 있다. 본 연구는 아스팔트 포장표면 분석 프로그램 개발을 위한 선행연구이다. 본 연구의 초점은 이미지프로세싱 기술을 이용한 포장표면 분석 원리를 규명하고 포장 이미지의 특성 및 포장이미지의 노이즈를 효과적으로 제거하기 위한 알고리즘을 실험하는 것이다. ARAN(Automatic Road Analyser)의 균열맵을 분석 샘플로 이용하였으며, 포장이미지의 통계적인 특성, 히스토그램, FFT(Fast Fourier Transform)영상을 분석하여 일반적인 이미지에 비해 노이즈와 고주파 성분이 많고, 배경과 균열 분리가 어려운 특성을 규명하였다. 또한 노이즈 제거를 위해 다양한 필터를 적용하여 실험한 결과 마스크 크기가 3×3인 중간값 필터가 가장 효과가 좋은 것으로 나타났다

핵심용어 : 균열, 포장유지관리시스템, 이미지 프로세싱, 중간값 필터

* 정희원 · 중앙대학교 건설환경공학과 석사

** 정희원 · 중앙대학교 건설환경공학과 조교수



1. 서 론

포장표면 자료는 포장 평가에 있어 가장 중요한 인자중의 하나로써 각종 포장유지관리시스템에서 수집·처리·분석되고 있다. 수집 방법으로는 두 세 명의 조사자가 도로의 측면을 걸어가며 포장 표면 정보를 스케치하는 수동식 방법과 안전성, 객관성 등의 문제를 해결하기 위해 차량이 도로를 고속으로 주행하면서 촬영한 포장표면 자료를 실내 분석하여 포장표면 정보를 얻고 있는 자동식 방법이 있다.¹⁾

국내의 경우 고가의 외국 장비와 관련 프로그램을 수입하여 사용하고 있으나, 세부기술이 공개되지 않아 향후 지속적으로 수입 의존적일 수밖에 없으며, 고장시 장기간의 유지보수 기간이 필요하여 실용성이 떨어지는 등 많은 어려움을 겪고 있다. 그리고 한국도로공사의 도로연구소에서는 포장표면 분석 프로그램을 자체 개발하였으나 아직 적용사례가 보고되지 않고 있다.

본 연구는 아스팔트 포장표면 분석 프로그램 개발에 앞서 이미지프로세싱 기술을 이용한 포장표면 분석 원리를 살펴보고 포장이미지의 특성 및 포장이미지의 노이즈를 효과적으로 제거하기 위한 알고리즘을 선정하였다.

2. 이미지 프로세싱

2.1 균열정보의 중요성

포장 표면의 파손(주로 균열)은 차량 반복하중이 가장 근본적인 원인이나 부적절한 포장 배합비와 포장 두께 및 다짐의 부족, 도로포장의 온도 변화 등에 의해 발생하게 된다. 균열이 발생되면 물이 침투하게 되고 포장구조체의 지지력을 약화시켜 포장 파손을 가속화시키는 결과를 초래하게 된다. 포장균열이 진전되면 승차감 및 안전성이

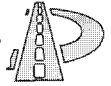
감소하고 보수비용이 기하급수적으로 증가하게 된다. 따라서 균열은 포장의 현재 공용성을 직관적으로 평가할 수 있는 중요한 요소이므로 포장관리시스템에 있어서 균열의 종류, 상태, 양을 측정하여 포장의 공용성지수 산정과 보수공법을 결정하는 의사결정의 기초자료로 사용한다. 표 1은 세계 각국의 균열정보의 측정 및 정량화 사례를 보여주는 것으로 개발기관에 따라 균열의 정도를 판단하는 기준이 조금씩 다른 것을 알 수 있다.²⁾

표 1. 균열 측정 및 정량화 사례
(After Paterson)

개발기관(방법)	지 수	정 의
텍사스 DOT	균열점수	면적점수: 0-0.50(0~30% 파손범위) 파손점수: 0-0.50(각 등급별)
AASHTO와 세계은행	파손정도와 양	파손면적율 1등급=1mm폭보다 작은 균열 2등급=1-3mm폭인 균열 3등급=3mm폭보다 큰 균열 4등급=3mm보다 크고 스펙링 현상이 일어난 균열
TRL(케냐 기준)	파손강도(intensity)	1평방미터당 균열 길이
SHRP-LT PP	종류, 파손정도, 양	균열종류, 파손범위(m ²), 종류별 파손등급(상, 중, 하)
PCI	포장 상태 지수	균열타입, 파손범위, 파손등급, 포장종류에 따라 다양한 deduct값을 파손등급(상, 중, 하)별 파손 면적 범위(crack density)로 산출하여 0-100사이의 값으로 변환사용

2.2 이미지 프로세싱의 원리

이미지 프로세싱(Image Processing)이란 영상에 담겨있는 정보들을 인간이 이해하기 쉽도록 수집, 획득, 정량화하는 과정을 통해 자동으로 영상 데이터를 처리하는 기술이다.³⁾ 일반적으로 디지털 영상 처리는 영상을 카메라나 스캐너를 사



용하여 전기적 신호를 통하여 얻은 후, 여러 가지 목적에 따라 컴퓨터 알고리즘을 적용하여 처리하는 과정을 거친다.⁴⁾

기본적으로 이미지 프로세싱 단계는 그림 1과 같이 영상 입력, 전처리, 분할, 특징 추출, 분류 및 정량화 등 크게 5단계로 나눌 수 있다.⁵⁾

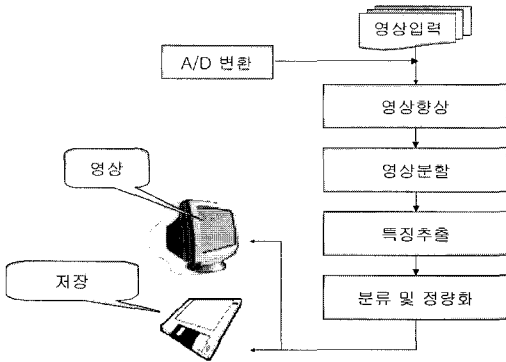


그림 1. 영상처리의 기본적인 처리단계

첫 번째 단계는 디지털 영상을 얻기 위한 영상 자료 획득 단계이다. 영상센서인 비디오나 스캐너가 필요하고 센서 출력신호를 디지털화하는 아날로그-디지털 변환기(A-D CONVERTER)가 필요하다. 디지털 영상이 얻어진 후 두 번째 단계인 영상향상 과정은 명암 대비도(contrast)를 개선하고, 노이즈를 제거하며 필요한 정보를 얻고자 하는 영역을 분리한다. 세 번째 단계는 영상의 분할이다. 입력 영상을 구성요소나 필요한 부분으로 나누는 것을 뜻한다. 네 번째 단계로서 특징 추출이란 영상 분할에서 얻은 정보를 바탕으로 정량적인 특징을 추출하는 것으로서 인식과 해석의 전 단계에서 처리된다. 그리고 분류 및 정량화 단계는 특징을 이용해서 분리된 물체를 주어진 기준에 따라 분류하고 길이와 폭 같은 정량적인 수치를 산출하는 단계이다.

2.3 포장 활용 사례

영상처리기술을 포장기술에 응용하기 위한 연구는 1960년대 이래로 30년 이상의 역사를 가지고 있으며 현재까지 많은 발전이 이루어져왔다.

2.3.1 국외 사례

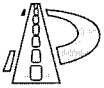
1983년 텍사스대학에서는 항공 촬영을 통해 CRCP의 균열폭의 변화를 관찰하기 위한 목적으로 낮은 해상도 문제를 해결하기 위하여 비운 뒤 포장영상을 촬영하여 분석하였다. 처리속도는 한 개의 영상을 처리하는데 9분이나 걸린 것으로 보고되었다.⁶⁾

1989년 텍사스 A&M대학의 Lytton은 아스팔트 포장의 균열을 검출하기 위해 영상의 통계치에 기초한 thresholding법을 제시하였다. 선형균열과 거북등 균열 샘플을 테스트 한 결과, 실시간 분석을 위한 처리 속도가 빠르며 다양한 포장의 반사율로 인한 영향을 줄일 수 있음을 확인하였다.⁷⁾

1990년에 캘리포니아 대학의 Ritchie는 인공지능(AI)이론을 응용하여 시스템을 개발하였으며,⁸⁾ 1994년에는 아스팔트 또는 콘크리트 포장의 비디오 이미지에서 균열을 인식하기 위해 전통적인 분류기와 신경망 분류기(traditional and neural classifiers)를 비교 평가하였다.

1992년에 캘리포니아 DOT의 Kirschke는 아스팔트 포장과 콘크리트 포장에 있어서 균열 채움 기계를 개발하였는데, 레이저를 이용하여 모은 400개의 이미지 샘플을 먼저 32×32픽셀크기의 타일로 나누는 뒤 각 타일의 히스토그램을 생성하여 균열을 확인할 수 있었다.⁹⁾

1992년에 Acosta는 비디오 촬영을 통해 얻어진 포장영상을 분석하는 저가의 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 비디오 플레이어를 통해 얻어지는 영상을 프레임별 영상을 평균화하여 노이즈를 제거한 뒤, 회귀분석을 기반으로 한 2단계 thresholding을 거쳐 특징을 추출하였다.¹⁰⁾ 또한 1995년에는 아스팔트 포장과 콘크리트 포장의 균



열을 분류하는 알고리즘인 클러스터 분류법을 이용하여 4단계 이상의 포장영상을 분석한 결과 인력조사와 5%미만의 차이를 보여주었다.¹¹⁾

1994년에 Lee는 공간 자동상관 함수를 이용하여 균열의 형태와 균열밀도를 측정할 수 있는 새로운 처리 과정을 개발하였다. 처리과정은 비디오 테이프로부터 균열영상을 입력한 후 평균값필터를 처리하여 노이즈를 제거한 뒤 영상의 평균 밝기값을 계산하고 샘플영상으로부터 optimal threshold가 결정되면 thresholding처리를 통해 영상의 배경과 균열을 분리한 다음, 자동상관 함수를 계산하여 균열의 형태와 밀도를 측정하는 순서로 되어있다.¹²⁾

1994년에 뉴멕시코대학에서는 8mm 캠코더와 486컴퓨터, 저가의 캡처보드 장비로 regression thresholding법을 적용하여 포장표면을 분석하였는데, 평균값과 표준편차에 의해 결정된 threshold 값을 사용하였다.¹³⁾

Polytechnic 대학에서는 수학적인 형태학에 기초한 이미지 분석 기술을 개발하고 실현가능성을 평가하였는데, 경험적인 방법을 통해 문턱치를 밝기값의 40%를 기준으로 보다 낮은 밝기값을 가진 픽셀을 균열로 분할하였다.¹⁴⁾

1995년에 유타주립대학의 Cheng은 퍼지이론 기반의 포장영상처리 기법을 소개하였고,¹⁵⁾ 1999년에는 앞선 연구를 더 진행하여 100개의 샘플을 바탕으로 Pun method와 Kapur method를 비교 테스트한 결과를 보여주었다.¹⁶⁾

1996년 알칸사스대학에서는 패턴인식을 위한 인공신경망 처리칩(artificial neural network microchip: Ni1000)이 내장된 컴퓨터 보드를 포장 표면의 균열인식 시스템에 적용하였는데, ROADRECON에 의해 이미지를 획득한 뒤 regression thresholding($T = \mu - 2.2\sigma$) method 처리를 하였다.¹⁷⁾

2.3.2 국내 사례

국내의 포장 균열인식 프로그램 개발 사례는 한국도로공사의 도로연구소주관 연구가 유일하였다.¹⁸⁾ 처리과정은 일반적인 영상향상, 영상분할의 전처리과정을 거쳐 균열량과 균열거리 등의 정량화 된 정보를 산출한다. 하지만 아직까지 인식율과 정확도 등에 관한 실제 적용사례가 없어 프로그램의 성능을 평가할 수 없었다.

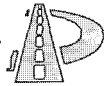
2.3.3 요약

포장에 사용되고 있는 균열인식 프로그램은 다양한 알고리즘이 여러 가지 조합을 통해 적용되어 왔다. 기본적으로 이미지 프로세싱의 4단계 방법을 따르고 있으며, 요약하면 표 2와 같다.

표 2. 각 모듈별로 사용되는 알고리즘

분 류	알 고 리 즘	
영상향상	선형필터	· 고주파통과 필터 · 평균화 필터
	비선형필터	· 중간값 필터
영상분할	Thresholding (문턱치화)	· Kittle법 · 2단계법 · 최적화법 · Otsu법 · 회귀분석법 · 릴랙세이션법 · 퍼지법 · Kapur법 · P-tile법(40%이하)
	Edge Detection (윤곽선검출)	· Sobel 마스크 · Kirch 마스크 · Laplacian 마스크
영상분류	· 히스토그램 프로젝트법 · 클러스터 분류법 · 자동상관함수 분류법 · 퍼지법 · 신경망법	

영상향상단계에서는 중간값 필터와 평균화 필터가 가장 많이 사용되고 있고, 영상분할단계는 회귀분석에 기반한 thresholding법이 가장 많이



적용되는 것으로 나타났다. 영상분류 단계에선 히스토그램 프로젝션법이 주로 이용되고 있으나, 최근에는 퍼지이론과 신경망이론이 도입되고 있다.

경부분의 픽셀수보다 작으며, 파손부분과 배경부분의 명암 대비(contrast)가 낮아 두 개의 분포는 대체로 비슷한 평균을 가진다는 점이다.¹⁹⁾

3. 포장표면이미지의 특성

본 절에서는 포장영상이 어떤 특성을 띄는지 확인하고 영상처리 단계에 적용할 수 있는 방안을 찾고자 하였다.

포장영상은 3개의 기본적인 특성을 가지고 있는데, 첫 번째 특성은 배경 부분 영상의 밝기값 범위가 넓다는 것이다. 또한 배경 부분의 영상이 파손부분의 밝기값을 포함하고 있어 배경부분만을 추출하기가 어렵다. 두 번째는 파손 포장의 히스토그램이 최빈값 사이에서 극대값이 많은 다봉성(multi-modal) 형태를 띤다. 그림 2는 ARAN의 영상이며, 그림 3은 ARAN영상의 히스토그램을 통해 다봉성의 특성을 확인한 것이다.

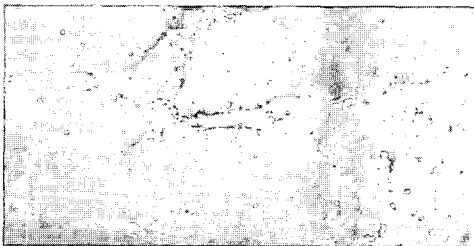


그림 2. ARAN의 포장파손 영상

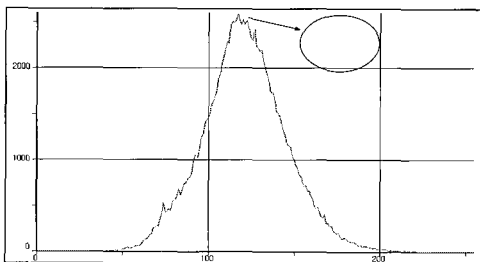
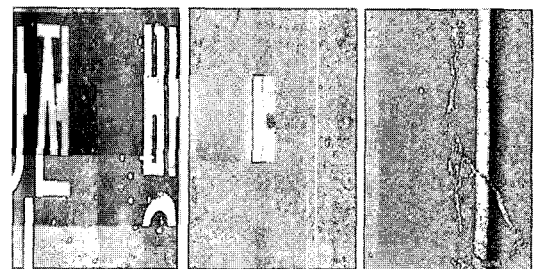


그림 3. ARAN영상의 히스토그램

세 번째는 일반적으로 파손부분의 픽셀수가 배

3.1 ARAN영상의 S/W적 특성

포장영상의 특성을 파악하기 위해 국토유지관리시스템에 사용되는 ARAN영상 중 4,381개의 아스팔트 포장영상을 수집하였다. 수집된 데이터는 972×3047크기의 해상도이며 손실압축형태인 JPG 포맷으로 ARAN의 균열맵으로 사용되는 영상이다. 샘플영상을 분석한 결과 몇가지 에러가 발생하였는데, 그 중 가장 대표적으로 그림 4의 (a)와 같은 거리 누적의 에러이다. 또한 두 개의 카메라를 통해 입력되는 영상을 합치는 과정에서 그림 4의 (b)와 같이 불필요한 영상이 더해진 것도 발견되었다. 그리고 캡처영상이 겹쳐진 부분의 뭉뚱화 현상, 그림 4의 (c)와 같이 차선부분의 밝기값 저하 현상, 균열 부분의 높은 밝기값 현상 등이 이용할 수 없는 자료가 상당수 발견되었다. 따라서 본 연구에서는 79개의 에러 없는 양호한 영상을 잘라내어 분석에 이용하였다.

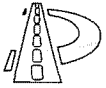


(a) 거리누적 에러 영상 (b) 영상중첩 에러 영상 (c) 균열 및 차선부의 밝기값 에러 영상

그림 4. ARAN영상의 에러형태

3.2 ARAN영상의 통계적 특성

표 3은 79개 샘플 영상의 통계치를 분석한 결과로서 256레벨의 영상 밝기값을 기준으로 할 때 전체 영상의 평균밝기값은 128.15로 나타나 일반



적인 영상에 비해 낮음을 알 수 있다.

표준편차는 24.35로 명암 대비도 또한 낮아 균열을 인식하기에는 어려움이 있음을 알 수 있다. 또한, 각 영상의 평균밝기값의 범위가 크지 않은 것을 보아 조명의 밝기가 일정한 것을 알 수 있다.

표 3. 샘플영상의 통계치

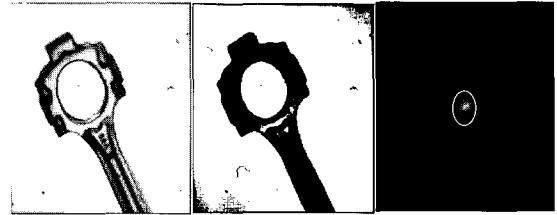
		최대값	최소값	총평균
평균값	균열영상	157.31	121.57	128.80
	정상영상	136.83	113.10	127.56
	총 합	157.31	113.10	128.15
표준편차	균열영상	41.61	17.55	26.54
	정상영상	40.92	13.54	22.32
	총 합	41.61	13.54	24.35

3.3 FFT영상의 특성

FFT처리한 영상의 경우 밝기값이 중심에서 외곽으로 분산될수록 고주파성분이 많음을 나타낸다. 노이즈가 많거나 에지가 많은 영상일 경우 고주파성분이 많아 밝기값이 FFT영상 전체에 분산되어 있다.

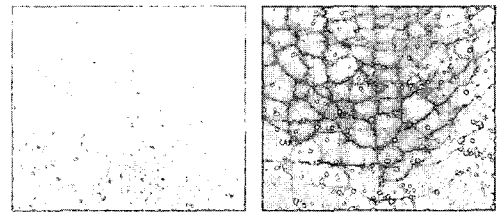
그림 5는 윤곽이 분명하고 노이즈가 없어 분할 단계에서 배경과 물체를 쉽게 분리해 낼 수 있는 영상인데, 이와 같은 영상을 FFT처리할 경우 영상 외곽부분은 고주파성분이 적고 중심의 저주파 부분이 영상정보 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다.

그러나 그림 6과 같이 포장파손영상과 정상영상 각각의 FFT영상을 비교한 결과 많은 노이즈로 인해 고주파성분과 저주파성분이 넓은 범위에 걸쳐 나타나는 특징을 찾을 수 있다. 따라서 포장 영상에 있어서는 배경과 균열을 분리하기가 매우 어렵고, 점을 뿌려놓은 듯한 스파이크 노이즈가 많음을 알 수 있다.

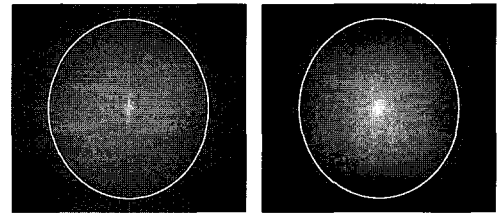


(a) 원영상 (b) 분할영상 (c) FFT영상

그림 5. FFT영상 특성 예



(a) 정상포장영상 (b) 파손포장영상



(c) 정상포장의 FFT영상 (d) 파손포장의 FFT영상

그림 6. FFT영상 비교

4. 노이즈 제거 알고리즘

영상처리분야에서 사용하는 영상개선 알고리즘은 표 4와 같이 크게 공간영역처리와 푸리에 변환을 통한 주파수영역처리로 나눌 수 있다. 공간영역처리의 경우는 점처리, 공간처리로 세분화시킬 수 있다.

4.1 주파수 영역 처리

주파수 영역 처리란 영상의 푸리에 변환을 계

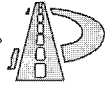


표 4. 영상향상 알고리즘 분류표

처리 영역	처리 대상	세부 단계	알고리즘	소프트웨어
공간 영역	점처리	명암대비 스트레칭 (contrast stretching)	-	선택적 사용
		히스토그램 균일화 (histogram equalization)	-	선택적 사용
		히스토그램 명세화 (histogram specification)	-	
		국부적 향상 (local enhancement)	-	
	공간 필터링	저주파통과필터 (lowpass filter)	average filter	Acosta, Lee, Cheng
		고주파통과필터 (highpass filter)	Sobel filter, Prewitt filter, Roberts filter	
비선형필터 (nonlinear filter)		median filter, rank filter, min filter, max filter	Lytton	
주파수 영역	필터링	저주파통과필터 (lowpass filter)	-	
		고주파통과필터 (highpass filter)	-	

산하고 그 결과에 필터 전달 함수를 곱하여 개선된 영상을 얻기 위해 역변환을 취하는 과정을 말한다. 이 방법에는 고주파통과 필터, 저주파통과 필터가 있는데 일반적으로 공간필터 처리와 비슷한 결과를 보여줄 뿐만 아니라 처리 속도와 구현상의 어려움을 이유로 포장영상에 적용된 예가 없어 본 연구에서 제외하였다.

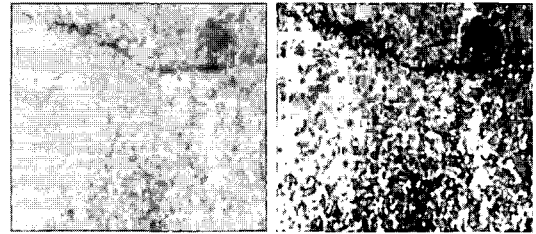
4.2 점처리

점처리 방법 중 가장 널리 알려지고 손쉬운 방법은 히스토그램 균일화와 명암 대비 스트레칭이다. 히스토그램 균일화는 출력 영상의 누적 히스토그램이 선형이 되도록 입력 영상의 밝기값을 변환하는 것을 의미한다. 너무 밝거나 어두운 영상 또는 밝기값이 어느 한편으로 치우쳐 있는 영상을 개선할 때 유용하게 사용되는데, 포장영상에

는 노이즈 제거시 선택적으로 적용될 수 있다.

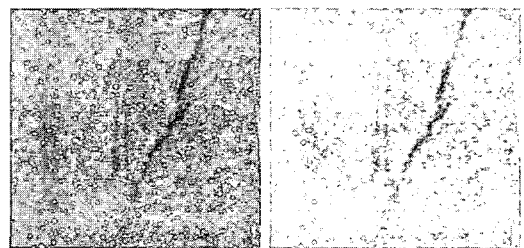
명암 대비 스트레칭은 낮은 명암 대비를 가진 영상의 밝기값 분포를 최대한 활용하도록 히스토그램을 펼치는 것인데 영상 향상 단계에서 많이 사용되며 포장영상에도 적용된 사례가 있다.²⁰⁾

그림 7은 히스토그램 균일화처리 예를 보여주는데 포장영상의 경우 오히려 노이즈를 증가시킬 수 있다. 또한 그림 8은 명암 대비 스트레칭처리를 적용한 예인데, 전체적인 영상의 대비도는 개선되지만 균열부의 밝기값에 관한 정보도 함께 변화되므로 인해 포장에 적용할 때는 어려움이 있을 것으로 판단된다.



(a) 히스토그램 균일화된 영상 (b) 히스토그램 균일화된 영상

그림 7. 히스토그램 균일화처리 예

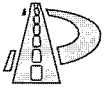


(a) 명암 대비 스트레칭전 영상 (b) 명암 대비 스트레칭된 영상

그림 8. 명암 대비 스트레칭처리 예

4.3 공간 처리

공간처리란 그림 9와 같은 영상내의 특정한 위치에서 마스크 아래에 있는 픽셀의 밝기값과 마스크 계수들간의 곱을 합한 것이다. 다양한 종류의 마스크가 있으나 3×3 마스크 처리가 노이즈



제거에 주로 사용된다. 일반적으로 저주파통과 필터로는 전체 영상을 흐리게 만드는 평균화 필터를 가장 많이 사용하나 포장영상 적용시 노이즈와 함께 균열부분의 정보가 같이 손실되는 현상을 보였다. 고주파통과 필터로는 소벨, 로버츠, 프리윗 필터 등이 있으나 이것은 아스팔트포장에 적용된 사례가 없어 본 연구에서는 제외하였다.

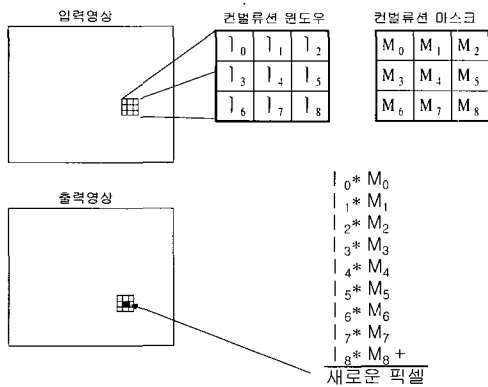


그림 9. 공간처리 방법

영상처리 과정에서 빈번히 사용되는 중간값 필터 처리를 그림 10과 같이 마스크 크기를 변화시키면서 실험하였다. 실험결과 3×3크기의 중간값 필터처리가 균열부분의 정보는 보전하고 영상내에서 고립되어 있는 스파이크 점을 없애 전체적인 노이즈를 가장 효과적으로 제거하는 것을 볼 수 있었다.

그러나 마스크 크기가 커짐에 따라 균열부위의 정보가 변화되어 그림 10의 (d)와 같이 균열과 경계부의 구분을 모호하게 되어 평균화 필터처리한 영상과 비슷한 결과를 보여주었다. 또한 영상분할 단계 후에도 많은 노이즈가 남아 있는 경우 5×5마스크의 중간값 필터를 적용하면 노이즈제거와 함께 균열부의 연결성을 향상시키는 결과를 발견하였다. 다음 표 5는 79개의 영상 중, 균열이 있는 37개 영상에 대하여 영상향상과 영상분할을 시행한 후, 검정색 픽셀 수에 대한 전체 픽셀 수

의 비율을 나타낸 것이다. 첫 번째는 영상향상 과정 없이 원영상의 thresholding을 통한 영상분할만을 적용한 경우이고, 두 번째는 3×3마스크를 이용하여 영상을 향상하고 영상분할을 적용한 경우이고, 세 번째는 두 번째 경우에 5×5마스크를 적용과정을 추가하여 2차 영상향상을 적용한 경우이다. 표 5에서 나타난 바와 같이 균열과 노이즈를 나타내는 검정색 픽셀의 비율은 약 0.1%~15% 사이에 존재하며, 그 픽셀 수는 영상분할만을 적용한 경우가 가장 많고 초기 단계에 3×3마스크를 이용하여 영상향상을 적용하고 마지막으로 5×5마스크로 영상향상 작업을 거친 경우가 가장 적은 것으로 나타나 영상향상 단계의 효과를 입증하였다.

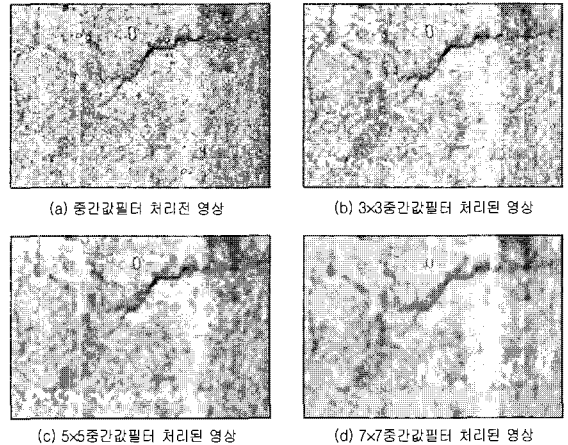
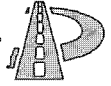


그림 10. 중간값필터 처리 예

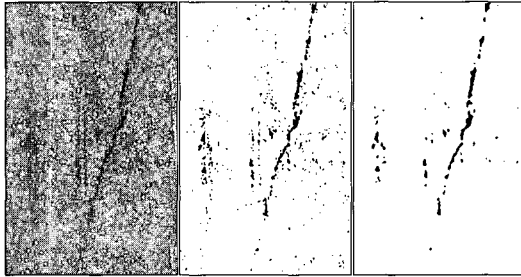
표 5. 처리과정에 따른 37개 영상의 픽셀 비

	1차 영상처리	2차 영상처리	3차 영상처리
평균	5.32326	0.93696	0.56878
최대	15.63761	7.33359	6.78442
최소	0.53935	0.11271	0.03244

그림 11은 3×3마스크를 이용하여 영상을 향상



하고 thresholding으로 영상을 분할한 후, 5×5마스크를 이용하여 노이즈를 제거하는 과정을 나타내고 있다.



(a) 1차 영상향상 (3×3중간값 필터) (b) 영상분할 (thresholding) (c) 2차 영상향상 (5×5중간값 필터)

그림 11. 5×5 중간값필터 적용 효과 예

5. 결론

본 연구에서는 포장이미지의 특성과 포장이미지상의 노이즈를 가장 효과적으로 제거하는 알고리즘을 찾기 위해, 문헌조사를 통해 이미지 프로세싱의 원리 및 활용 알고리즘을 분석하고 ARAN이미지를 이용하여 히스토그램, 평균밝기값, 표준편차 등의 이미지의 통계치, FFT이미지의 특성을 분석하였다. 그리고 포장에 사용되었던 각종 노이즈 제거 알고리즘들을 적용하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 포장표면 분석을 위해 이용되는 각종 프로그램들은 이미지 프로세싱의 4단계과정인 영상향상, 영상분할, 특징추출, 영상해석(분류 및 정량화) 단계를 따르고 있으며, 아스팔트포장의 경우 영상향상 알고리즘으로는 평균화필터와 중간값필터가 가장 많이 사용되고 있고, 영상분할은 thresholding기법, 영상해석은 히스토그램 프로젝트 선법을 주로 사용하고 있는 것으로 나타났다.

2) ARAN이미지의 경우 조명이 균일하나 일반적인 영상에 비해 평균밝기값이 낮은 것으로 분

석되었으며, FFT영상특성을 분석한 결과 스파이크노이즈가 많아 영상분할이 어려운 것으로 나타났다.

3) 포장이미지의 노이즈 제거 실험결과 3×3마스크 크기의 중간값필터가 스파이크 노이즈를 가장 효과적으로 제거하는 것을 보여주고, 영상분할 후 남아있는 노이즈 제거시 5×5마스크 크기의 중간값필터의 효과를 증명하였다.

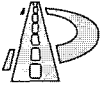
향후 인식율을 높이기 위하여, 필터링처리 후 남아 있는 노이즈, 즉 기름 및 타이어 자국, 흙먼지 등을 제거하기 위한 영상분류 알고리즘을 연구할 필요가 있으며, 아스팔트 포장뿐만 아니라 반사율이 높고 줄눈부처리가 필요한 콘크리트 포장에 대해서도 연구가 확대될 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 2000년도 중앙대학교 학술연구비에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 유인균, 최속양, "포장 관리 체계 구축을 위한 기본 연구", 책임연구과제보고서, 건기연 98-129, 한국건설기술연구원, 1998
- 2) William D. Paterson, *Proposal of Universal Cracking Indicator for Pavements*, TRR 1455, 1994
- 3) Gonzalez and Woods, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Publishing Company, 1992
- 4) Randy Crane, *A Simplified Approach to Image Processing*, Pritice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1997
- 5) 김희승, 영상인식, 생능출판사, 1998
- 6) C. H. Chien, W. N. Martin, A. H. Meyer, and J. K. Aggarwal, *Detection of Cracks on Highway Pavements*, CRT 3-8-80-256, MAY 1983
- 7) Paul Chan, Chip Soetandio, obert L. Lytton, *Ditress Identification by an Automatic Thresholding Technique*, *First International Conference on Application of Advanced Technologies in Transportation Engineer* San Diego, California, February, 1989



- 8) G. Ritchie, Mohamed Kaseko, and Behnam Bavarian. *Development of an Intelligent System for Automated Pavement Evaluation*. Stephen TRR 1311, 1990
- 9) K. R. Kirschke, and S. A. Velinsky. Histogram-based Approach for Automated Pavement-crack Sensing. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 118, No. 5, September/October, 1992
- 10) J. Adolfo Acosta, J. Ludwig Figueroa, and Robert L. Mullen. *Low-cost Video Image Processing System for Evaluating Pavement Surface Distress*. TRR 1348, 1992
- 11) J. Adolfo Acosta, J. Ludwig Figueroa, and Robert L. Mullen. *Algorithm for Pavement Distress Classification by Video Image Analysis*. TRR 1505, 1995
- 12) H. Lee and H. Oshima. New crack-imaging Procedure Using Spatial Autocorrelation Function. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 120, No. 2, March/April 1994
- 13) Koon Meng Chua, Ling Xu. Simple Procedure for Identifying Pavement Distress from Video Images. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 120, No. 3, May/June, 1994
- 14) Dimitri A. Grivas, Chakravarthy Bhagvati, Michael M. Skolnick, and B. Cameron Schultz. *Feasibility of Automating Pavement Distress Assessment Using Mathematical Morphology*. TRR 1435, 1994
- 15) Jaching Chou, Wende A. O'Neill, and Hengda Cheng. *Pavement Distress Evaluation Using Fuzzy Logic and Moment Invariants*. TRR 1505, 1995
- 16) H. D. Cheng, Jim-Rong Chen, Chris Glazier and T. G. Hu. Novel Approach to Pavement Cracking Detection Based on Fuzzy Set Theory. *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol. 13, No. 4, October, 1999
- 17) Audhakar Nallamothu and Kelvin C. P. Wang. *Experimenting with Recognition Accelerator for Pavement Distress Identification*. TRR 1536, 1996
- 18) 미끄럼저항 측정장치 개발, 한국도로공사 도로연구소, 1999
- 19) Haris N. Koutsopoulos, Ibrahim Ei Sanhour, and Allen B. Downey. Analysis of Segmentation Algorithms for Pavement Distress Images. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 119, No. 6, November/December, 1993
- 20) Vinod K. Kalikiri, Norman W. Garrick, and Luke E. K. Achenie *Image-Processing Methods for Automated Distress Evaluation* TRR 1994

(접수 : 2001. 9. 20)