

수치영상처리에 의한 아스팔트 포장노면의 균열 검출

The Extacting Crack in Asphalt Concrete Pavement by Digital Image Processing

장 지 원*
Jang, Ji-Won

要 旨

최근 자동차보유대수 천만대를 상향하는 교통수요의 증가와 중량화로 인해 균열로 대표되는 도로포장의 파손이 심화되고 있으며 도로노면의 유지보수비용이 증가함에 따라 효율적인 도로포장의 관리에 대한 관심의 목소리가 점차 높아지고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 수치사진측량기법과 수치영상처리기법을 적용하여 도로노면에 발생하는 균열에 대한 정밀측정을 실시하여 균열정보획득을 위한 본 연구의 적용가능성을 검토하고 이를 기반으로 객관적이며 효율적인 도로노면측정을 꾀하고자 하였다. 균열폭의 산정결과 비교적 높은 정확도의 성과를 획득할 수 있었으므로 포장도로의 노후화 평가 및 보수·보강공사를 위한 계획입안자료로서 활용가능하리라 사료된다.

ABSTRACT

Recently, damage of pavement represented by crack is depened by the increase of traffic demand up to ten million and wight, and interest about the efficient management of pavement is being increased gradually according to the growth of maintenance expense of road surface. In this study, the possibility of application for acquisition of crack information was tested by appling DCRP and digital image processing technique and measuring crack on road surface precisely. Based on this, objective and efficient road surface measurement was planned and done. Measuring crack width, acquire result of comparative high accuracy. So, it is considered that it can be utilized as plan draft data for deterioration estimation and repair reinforcement work of pavement.

1. 서 론

도로는 크게 연성 포장인 아스팔트 포장 도로와 강성 포장인 시멘트 콘크리트 포장 도로로 구분되며 우리나라의 경우 약 90%를 차지하고 있다. 아스팔트 포장 도로는 주행차량의 충격하중을 흡수·전달

하여 하부 기층 및 노상에 분산시킴으로써 주행성이 좋고 소음이 감소하여 쾌적한 주행을 가능케 하는 고급 포장 재료이며 시멘트 콘크리트 포장에 비해 시공성 및 주행성 등 많은 장점을 가지고 있으나, 최근 자동차보유대수 1000만대를 상향하는 교통수요의

* 목포대학교 토목공학과 교수

증가와 증량화 그리고 기후조건 등의 작용으로 노후 화됨에 따라 지속적인 노면상태의 변형이 발생하게 되고 이로 인해 조향성, 주행성, 안정성 및 쾌적성이 저하되어 결국에는 교통안전과 소음 그리고 사회간접 비용 지출의 증가를 초래하게 된다. 또한 이러한 하자는 시간의 경과함에 따라 빠른 속도로 진행하여 구조물의 안정성 저하는 물론이고 막대한 인적·물적 피해를 가져올 수 있다. 그러므로 안정성을 저해하는 각종 요소들에 대한 정밀 분석과 이를 토대로 한 안정성 검토 및 보수대책의 수립은 필수적이라 할 수 있으며 시기적절하고 효과적인 보수를 통해 구조물의 수명과 품질을 향상시키고 더 나아가 인적·물적 피해를 사전에 방지할 수 있도록 해야 할 것이다.

아스팔트에 발생하는 균열은 차량의 반복하중이나 건조수축, 온도변화에 따른 체적변화 등으로 인해 발생하게 되며 발생한 균열은 우수나 이물질이 침투할 경우, 하부층의 지지력 약화, 과다한 스폴링, 블로우업 등의 파손으로 진전되어 포장의 공용성을 현저히 저하시키는 요인이 된다. 그러므로 이러한 문제를 근본적으로 해결하기 위해서는 발생된 균열부위로 우수나 이물질에 의한 2차 파손이 발생하기 전에 균열의 보수가 이루어져야 하는데 이러한 보수의 필요 여부는 균열폭의 크기에 따라 결정되므로 균열폭의 효율적인 측정 및 조사방법이 필요하게 된다. 현재 균열폭의 측정은 현미경을 이용한 육안조사가 대부분인 실정이며 이 방법은 막대한 양의 도로연장에 대해서 지속적으로 균열폭을 측정하여 포장상태를 관리하기에는 시간과 비용이 많이 소요된다. 또한 이러한 방법에 의해

획득된 데이터는 측정부의 위치결정이 어렵고 데이터의 기록과 저장에 있어 대부분 측정자의 수작업에 의해 이루어지게 되므로 측정 자료의 객관성의 확보가 어렵고 작업의 효율성 역시 상당히 떨어지게 된다. 그리고 이러한 자료를 이용하여 균열의 진행여부의 판단한다는 것은 실질적으로 문제성을 내포하게 되므로 기존의 측정방법을 개선하고 객관적이며 과학적인 측정을 유도하고 작업의 효율성을 증진시킬 수 있는 측정방법으로 본 연구에서는 아스팔트 도로노면을 대상으로 수치영상을 획득하여 이들의 처리에 의한 측정 기법을 제시하고 균열폭의 정밀측정 및 균열매핑을 실시하여 균열의 보수·보강 및 안정성 검토의 기초 자료를 제공하고자 하였다.

2. 측정시스템 구성 및 보정

영상으로부터 균열을 추출하고 이를 이용하여 균열정보의 획득을 위해서는 양질의 영상획득이 우선시 되어진다.

사진측량에서는 필름기반 측정용 카메라와 측정용 디지털 카메라가 일반적으로 이용되고 있으며 이들로부터 획득한 영상은 공히 고정확도의 측정이 가능하다. 그러나 전자의 경우 영상획득의 안정성과 정확도의 향상을 기대할 수는 있으나 획득한 필름의 수치화 작업을 위해서는 고가의 포토스캐너가 이용되어야 하며 스캔과정에서 발생하는 오차에 대한 보정작업이 수반되어야 하는 실정이며 후자의 시스템의 경우 직접적인 방법에 의해 수치영상의 획득이 가능하여

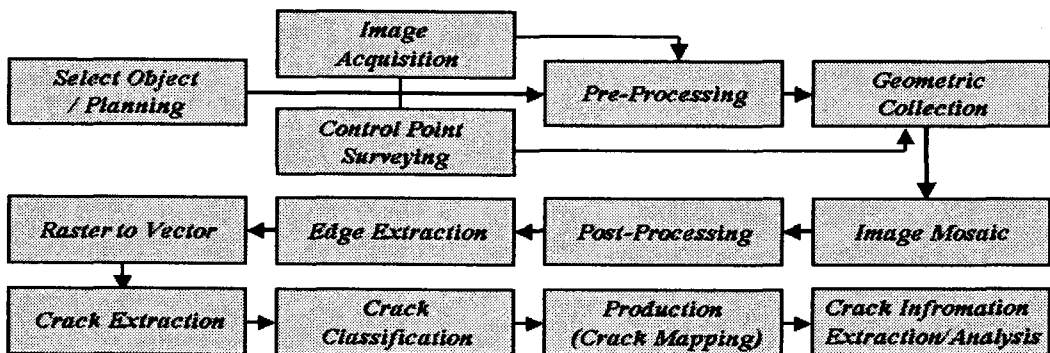


그림 1 연구흐름도

수치화과정에서 발생할 수 있는 문제점을 해결할 수는 있으나 시스템 구성을 위한 비용이 많이 소요된다. 그러므로 본 연구에서는 대상체에 대한 수치영상의 직접적 획득이 가능하며 시스템의 구성과 비전문가들의 활용에 있어 편의성을 부여하기 위해 비측정용 디지털 카메라를 선정하여 적용하고자 하였으며 카메라 렌즈의 결함으로 인해 발생할 수 있는 정확도의 저하를 방지하기 위해 정밀보정작업과정을 수행하였다.

2.1 측정시스템 구성

본 연구에서 사용한 디지털 카메라는 Fuji S1pro Digital Camera로서 이 시스템은 비측정용이다. FinePix S1pro 디지털카메라는 3040×2016화소(600만 화소 이상)의 정밀 CCD를 탑재하고 있으며 크기는 일반 35mm film과 거의 같은 23.3mm×15.6mm의 대형 CCD이다. 본 카메라에 장착한 렌즈는 AF 28-300MM 185D Zoom Lens로서 미세한 균열의 측정시 대 축적의 영상의 획득을 위한 것이다. 그리고 본 시스템은 카메라와 컴퓨터를 USB Cable에 의해 인터페이스를 실현하여 카메라의 모든 조작을 컴퓨터상에서 핸들링 할 수 있도록 하였으며 촬영된 영상은 현장에서 실시간 디스플레이 하여 영상의 상태를 확인하고 저장할 수 있도록 구성하였다. 그림 2는 카메라의 외양을 나타낸 것이다.

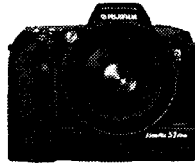


그림 2 FinePix S1-pro Digital Camera

2.2 렌즈보정

줌렌즈는 초점거리가 연속적으로 변화하므로 검정을 위해서는 초점거리범위 및 단계별 렌즈세팅범위의 결정이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 초점거리 범위가 28-300mm인 줌렌즈를 사용하였으며 각각 28, 35, 50, 70, 100, 200, 300mm로 설정하여 초점거리에 따라 독립적으로 실험적 방법인 연직선(plumb line) 검정방법을 이용하여 검정이 이루어질 수 있도록 계획하였다. 이를 위해 3×4.5m 크기의 강재를 이용하여 검정판(calibration plate)(그림 3)을 제작하고 와이어를 이용하여 촬영방향에 직각이 되도록 조정하여 고정하였으며 검정판 표면에 2cm크기의 정방형 격자를 형성하여 연직선으로 이용하였다.

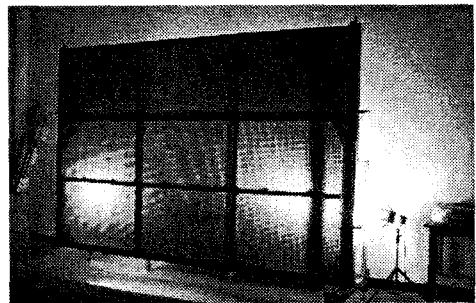


그림 3 calibration plate

검정을 위한 영상의 획득에 있어 각 초점별 화각의 결정을 위해 LM guide를 사용하였으며 검정판과 LM guide가 연직수평의 상태가 되도록 조정하기 위해 각도 조절기와 정확한 촬영거리의 유지를 위해 선형이동장치를 장착하였다.

영상은 5.0m의 촬영거리에서 고정하여 초점범위 전체에 걸쳐 7매의 영상을 획득하였으며 획득된 영상들에 대하여 영상좌표의 측정 정확도 향상을 위해 부화소 위치측정기법을 적용하여 각각의 영상좌표를 획득하였다. 획득된 영상좌표와 초기 설정한 초점거리를 이용하여 각 plumb line에 대한 θ (원점으로부터 직선까지의 radial distance)와 ρ (임의 직선을 직각으로 이등분하는 선과 Y축 사이의 각)를 관측방정식으로부터 구하여 각 세팅별 방사방향과 접선방향에 대한 왜곡계수를 산출하였다. 표 2는 렌즈 왜곡계수를 각 초점

표 1 FinePix S1pro digital camera 재원

Camera	Fuji FinePix S1 Pro Interchangeable-lens SLR-type digital camera with Nikon F mount
CCD sensor	23.3×15.6mm Super CCD
Image File Size	3,040×2,016pixels/2,304×1,536pixels/ 1,440×960pixels, TIFF-RGB, TIFF-YC, JPEG
Storage Media	Slot No.1: SmartMedia Card(3.3V, 2MB to 64MB) Slot No.2: CompactFlash Card typeII.
Interface	USB, Video Out

표 2 렌즈왜곡계수

(단위 : $\times 10^{-6}$ mm)

	Focal Length Setting						
	300mm	200mm	100mm	70mm	50mm	35mm	28mm
k_1	-67.45608791	-71.33794425	-97.32913101	-98.81422647	-72.51276666	-42.69713580	-29.8113375
k_2	0.16656763	0.11994109	0.11944934	0.25117813	0.35691010	1.55795924	0.09872789
k_3	-0.00057673	-0.00048788	-0.00039149	-0.00125353	-0.00146235	-0.00614019	-0.00026575
p_1	30.92505707	10.46174799	-19.01475803	-12.33964679	-40.36877622	-22.84831042	-40.58044468
p_2	-44.65792165	-81.96913401	-87.22144618	-94.54164132	-35.42153951	-19.2598024	-42.99151517
p_3	0.11996092	0.7753387	0.93468260	0.52863585	2.51485073	-3.85546942	0.01336345

k_1, k_2, k_3 : coefficients of radial lens distortion
 p_1, p_2, p_3 : coefficients of tangential lens distortion

거리별 렌즈세팅에 따라 산출한 결과이다.

3. 아스팔트 균열매핑

3.1 실험계획 및 영상획득

본 연구를 위해 설정한 작업루틴을 토대로 아스팔트 도로노면에 발생한 균열을 대상으로 균열폭으로 대표되는 균열정보를 획득하고 이의 측정정확도의 검증 및 매핑을 실시하였다. 대상노면은 성주군내의 30번 국도를 선정하였으며 이 노면에는 도로의 종방향을 따라 3mm에서 최대 15mm의 균열이 다양하게 발달되어 있다. 본 연구에서는 도로종방향을 따라 발달한 3mm이상의 균열을 대상으로 하였으며 조사구간 중 균열이 최대량 발생한 10m구간을 샘플링하여 측정을 실시하였다. 촬영에 이용된 시스템은 이미 렌즈검정에 의해 시스템 보정을 수행한 Fuji사의 FinePix S1pro Digital Camera(3040×2016 pixels)를 이용하였으며 초점거리는 28mm로 고정하고 촬영거리 1.8m를 유지하였다. 이는 대상으로 하는 3mm의 균열의 획득을 위해 수치영상에서의 한 화소의 피복범위가 미세한 균열부분 까지도 판별할 수 있도록 촬영거리별 1화소의 피복면적을 계산하여 촬영계획을 수립한 것이다. 영상은 총 10개의 영상을 획득하였으며 이들은 영상처리 후 접합을 위해 진행방향으로 약간의 중복지역을 설정하여 촬영을 수행하였다. 지상에서의 촬영이 이루어지므로 카메라의 각도가 90°를 유지할 수

있도록 특수 제작된 카메라 거치대를 이용하였으며 이는 수평방향과 수직방향의 각도조절이 가능하도록 제작되어 있다. 그림 4는 대상구간에 대해 촬영된 영상을 나타낸 것이다.

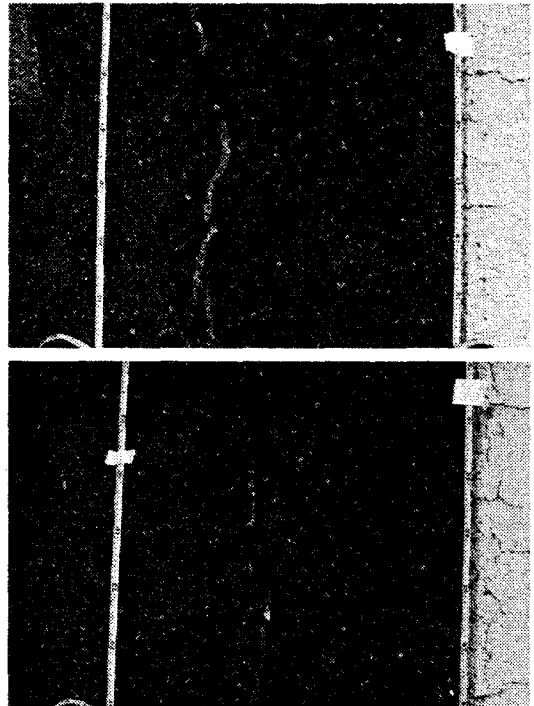


그림 4 아스팔트 균열 영상

3.2 영상전처리 및 기하보정

Loading	Pre-processing	Geometric Correction	Post-Processing
Raw Images Control Surveying Data	Adjustment Contrast & Brightness - Histogram Stretching - Image Enhancement - Image Bright Matching	Image to Map Correction	· Noise Removal · Image Resampling · Image Mosaic

그림 5 영상처리과정

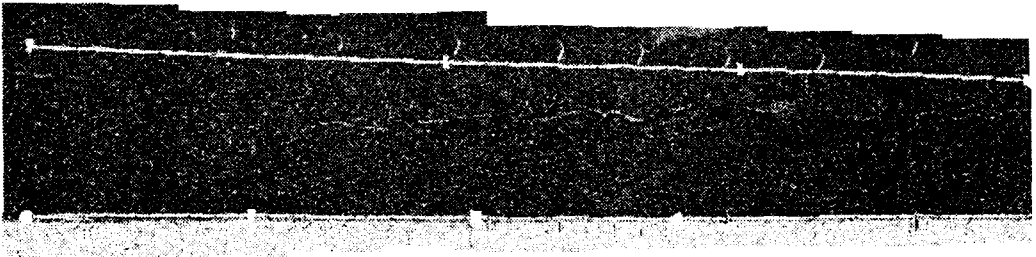


그림 6 기하보정영상의 모자이크

획득한 영상에 대해 선형과 배경과의 대조를 명확히 하므로써 선형의 추출률을 높이고 추출 정확도의 향상을 도모하고자 전처리(pre-processing)과정을 수행하였다. 우선 획득된 영상들에 대해 각각의 히스토그램 분석을 통해 밝기값의 분포양상을 확인하고 Image Enhancement 및 Sharpening 등의 전처리 과정을 수행하여 영상의 질적 향상을 도모하였다. 이렇게 전처리를 가한 영상에는 촬영조건과 시스템의 특성에 따른 기하학적 왜곡요소들을 포함하고 있으므로 이들 기하학적 오차를 제거하여야 한다. 이에 획득한 영상에 대해 각각 기준점성과를 이용하여 영상과 대상공간좌표와의 상관성을 형성함으로써 기하학적 오차를 제거하였다. 이때 기하보정을 위한 기준점은 대상 표면에 미리 마킹을 실시하고 각각의 마킹포인트간의 상대적 거리를 관측하여 이용하였으며 기하왜곡요소의 결정을 위한 보정식 1차 선형변환식을 이용하였다. 그리고 1차 선형변환을 위한 기준점은 각 영상에서 인식이 명확하고 전체적인 분포를 고려하여 최소 4점에서 최대 6점이 되도록 선택하였으며 이때 영상과의 정합오차는 0.3mm이하가 되도록 하였다. 그리고 영상재배열의 크기는 에지의 추출시 최소 균열폭으로 규정된 균열이 1화소 이상으로 표현되도록 하기 위해

0.05mm로 설정하여 기하보정을 수행하였다. 그림 5는 영상기하보정단계를 간단히 도시한 것이다. 표 3은 각 영상의 기하보정시 이용한 기준점 및 표준편차를 나타낸 것이며, 그림 6은 위의 과정을 통해 기하학적 보정을 수행하고 영상간 집합을 실시한 영상을 나타낸 것이며 모자이크 처리된 영상은 추후 시설물의 안전진단을 위한 외관조사 기초자료로도 활용될 수 있을 것이다.

3.3 균열 추출

수치영상으로부터 대상물을 추출하는 것은 영상내에 있는 특징을 명확하게 하고 윤곽을 정밀하게 결정하는 요소에 의해 좌우되는 것으로 이 중 가장 핵심이 되는 것은 영상으로부터 필요한 정보만을 정확하게 추출하는 부분이다. 이러한 처리 분야를 광역적 의미에서 경계선추출(Edge Detection)과 영상분할(Image Segmentation)로 정의하고 있으며 각종 연산자(Operator)에 따라 상이한 결과영상을 나타내게 된다.

본 연구에서는 균열로 대표되는 윤곽선을 배경과 분리하여 추출하기 위해 2차미분값을 이용한 라플라

수치영상처리에 의한 아스팔트 포장노면의 균열검출

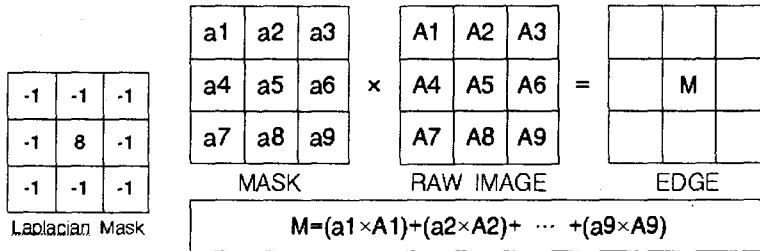


그림 7 라플라시안 연산자(Laplacian operator)

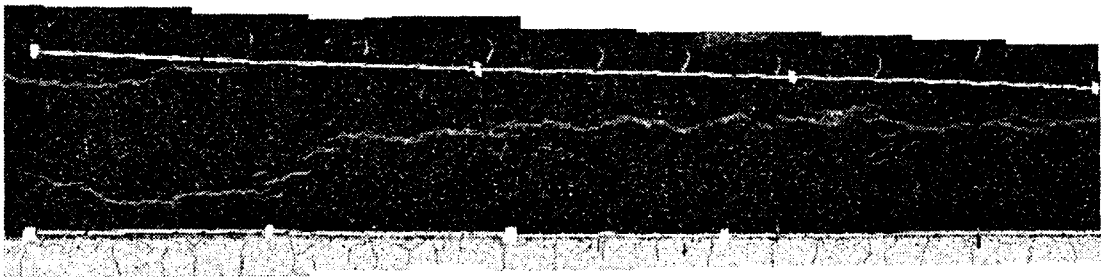


그림 8 영상과 균열의 중첩

시안 연산자(Laplacian operator)(그림 7) 알고리즘을 이용하였다.

추출된 균열은 벡터라이징 전용 소프트웨어를 이용하여 자동으로 벡터화 하였으며 일부 불완전한 구간에 대해서는 수동적 방법에 의해 수정 및 보완하였다. 그림 8은 기하보정에 의해 획득한 영상과 윤곽선추출에 의해 획득한 균열을 중첩하여 나타낸 것이다. 추출된 선형으로부터 균열폭을 측정하였다. 균열의 폭의 경우 벡터화에 의해 획득된 균열방향과 직각을 이루는 가상의 선형을 형성하여 선형을 이루는 화소의 개수와 단일픽셀크기 또는 단일픽셀대각크기를 이용하여 곱하므로써 산출하였다. 이때 균열의 곡선구간에 있어서는 곡선의 변화율이 최대인 점을 추출하고 이 점에 접하는 가상의 접선을 생성하여 이에 직각을 이루는 방향을 설정하므로써 곡선부 균열폭을 산정하였다.

균열폭의 측정은 조사대상 구간 중 균열폭의 크기가 다양하게 나타나는 10개 지점을 선정하여 측정을 실시하였다. 그리고 영상으로부터 획득한 균열폭의 정

확도검증을 위해 균열폭 측정에 활용되고 있는 균열폭측정현미경(Peak 2034-40)과 마이크로미터를 이용하였으며 미세균열은 균열폭측정현미경으로 측정하고 비교적 큰 균열의 경우에는 마이크로미터를 이용하여 영상에서 측정된 동일한 지점에 대해 균열폭을 측정하였다.

표 4는 총 10개 지점에 대한 균열폭의 측정 결과를 나타낸 것으로 영상으로부터 획득한 성과는 기존의 측정도구를 이용하여 획득한 측정성과 비교하여 약 0.6mm이하의 편차를 보이며 매우 근접한 결과를 보이고 있음을 알 수 있다.

3.4 균열매핑

벡터화된 균열정보들의 편집에 의해 대상노면에 대한 균열분포도를 작성하였다. 측정된 균열크기는 일정크기 구간별로 분류하였으며 이를 색상별 상관관계를 형성하여 균열분포도를 작성하였다. 이때 일정크기별로 분류된 균열은 각각 레이어를 달리 설정하므로써 이의 활용과 관리에 효율성을 기할 수 있도록

하였다. 그림 10은 대상노면에 발달한 균열에 대하여

표 4 균열폭측정 정확도 검증 (단위: mm)

	Proposed Method	Existing Method	Deviation
1	8.755	9.2	-0.445
2	3.255	3.5	-0.245
3	5.325	5.7	-0.375
4	9.725	9.6	0.125
5	6.125	6.7	-0.575
6	10.555	11.0	-0.445
7	12.465	12.8	-0.335
8	4.885	4.7	0.185
9	3.985	4.3	-0.315
10	7.745	8.0	-0.255

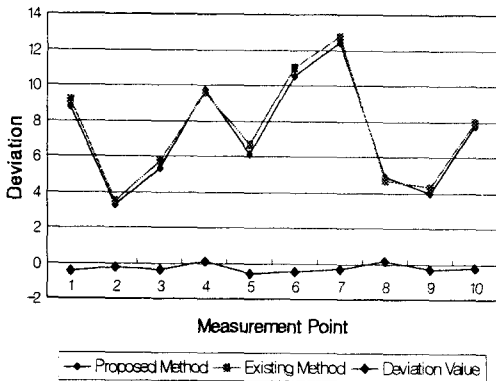


그림 9 균열폭측정 정확도 검증

작성한 균열분포도를 나타낸 것이다.

4. 결 론

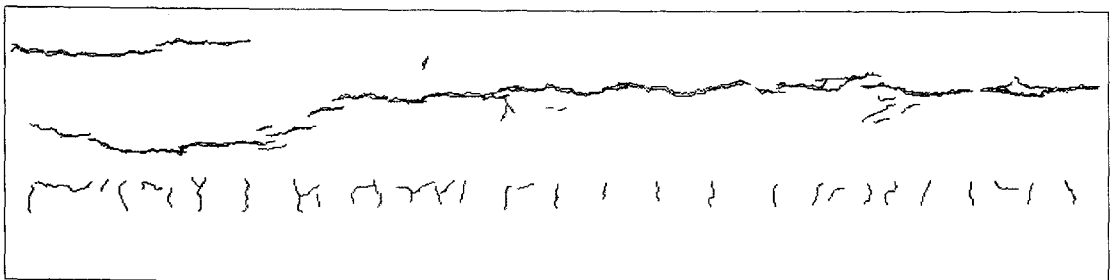


그림 10 대상노면의 균열분포도

본 연구는 포장도로노면에 자연적·물리적인 작용에 의해 발생하는 균열의 조사를 위해 수치영상처리 기법을 적용하고 이 기법의 적용가능성을 검증한 것으로 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 균열을 포함한 포장도로노면 대한 균열폭 측정에 있어 수치영상처리 기법의 적용가능성과 측정 정확도의 점검을 위해 기존의 균열측정장비로부터 획득한 동일지점의 측정성과와의 비교 분석 결과 0.3mm내외의 매우 근접한 성과를 획득할 수 있었으므로 실 균열추출에 적용가능하리라 판단된다.
2. 본 연구내용을 기초로 균열추출을 위한 수치영상처리 작업루틴을 설정할 수 있었으며 균열분포도를 효율적으로 제작할 수 있었다. 또한 균열분포도의 제작과 관리에 있어 균열식별의 편의성을 도모하고, 균열 조사시 균열의 크기에 따라 전체적인 분포양상과 빈도의 분석을 효율적으로 수행할 수 있었다.
3. 균열분포도 작성에 있어 측정자의 주관적인 개입을 최소화함으로써 균열측정의 정확도 향상 및 객관성유지를 도모할 수 있었으므로 시설물안전성 평가의 기본자료 구축에 현행 균열조사방법의 한계를 극복하고 이를 대체할 수 있는 조사방법으로 제안할 수 있으리라 사료된다.

참고문헌

1. 강준목, 배상호, “윈도우 환경을 이용한 수치사진 측량 시스템 구축”, 대한토목학회지, 제19권 III-2호, pp325~334, 1999.
2. 김수겸, 장유정, “에지의 구조적 정보를 이용한 에

- 지추출”, 정보처리논문지, 제3권 5호, pp. 1337-1347, 1996.
3. 윤희천, “렌즈왜곡보정이 3차원 위치해석의 정확도에 미치는 영향”, 충남대학교 석사학위논문, 1989.
 4. 장동혁, “Visual C++를 이용한 디지털 영상처리의 구현.”, PC Advance, 1999.
 5. 고지훈, 서영찬, “이미지프로세싱을 이용한 도로포장의 균열폭 측정에 관한 연구”, 한국도로포장공학회 논문집, 제4권 2호, pp.32-42, 2002.
 6. Masaharu OZAWA, “Crack Situation Grasp of Digital Image Method”, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol.XXXII, Part 5, pp.779-782, 1998.
 7. Takeshi Doihara, Kazuo Oda, Tsuyoshi Kondo, Masayoshi Obata, Yoshizumi Yasuda, “A Purposive Vision Approach to Concrete Crack Inspection: Automated Registration and Crack Measurement in Multi-resolution Image Acquisition”, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol.XXXII, Part 5, pp.684-689, 1998.
 8. Georgopoulos,A.; Loizos,A.; Flouda,A. “Digital image processing as a tool for pavement distress evaluation”, ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, v.50 no.1, 1995, pp.23-33)
 9. Huertas, A., Medioni, G., “Detection of Intensity Changes with Subpixel Accuracy Using Laplacian-Gaussian Masks.”, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell, PAMI-8(5), PP.651-664, 1986.
 10. Marr, D., Hildreth, “Theory of Edge Detection.”, Proc. Roy. Soc. London, Ser.B, 207, pp.187-217, 1980.
 11. 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.