



## 이미지프로세싱을 이용한 도로포장의 균열폭 측정에 관한 연구

Measurement of Crack Width of Pavements Using Image Processing

고지훈\* · 서영찬\*\*

Ko, Ji Hoon · Suh, Young Chan

### ABSTRACT

The cracks in the pavements result from drying shrinkage, temperature change, repeated traffic loadings and so on. The reduction of soil support, spalling and many local failures are caused by water and incompressible foreign materials infiltrated into the cracks. In order to reduce this kind of problems, the crack width must be controlled and managed by the accurate measurement. The current method is a visual survey using a microscope, which requires traffic blocking. The purpose of this study is to find the best condition to measure accurate crack width using automated pavement condition survey equipment running at the similar speed as other vehicles. In this study, pavement surfaces are filmed on an enlarged scale by the camera with a zoom lens, and then the proper focal distance is determined according to the crack width through a pilot survey. The conditions for measurement of the accurate crack width using the image processing technique are suggested by comparing crack widths surveyed using a microscope in the field with those computed by various factors in the image processing program, STADI-2. In conclusion, the camera with a focal distance of 75mm could detect crack range of 0.5mm~1.2mm in width with an accuracy of 80 % for CRCP. The camera with a focal distance of 12.5mm could detect crack range of 1.8mm~3.3mm in width with an accuracy of 90% for asphalt pavement.

**Keywords :** crack width, image processing, STADI-2, CRCP, asphalt pavement

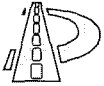
### 요 지

포장은 건조수축이나 온도변화 또는 차량의 반복하중 등으로 인하여 균열이 발생하게 된다. 발생된 균열 부위로 우수의 침입 및 비압축성 물질이 침투하여 하부층의 지지력 저하, 과다한 스폴링, 2차 균열 등의 파손이 발생하게 된다. 이런 문제점을 해소하기 위해서는 균열폭을 제한하여 관리해야하며 이것은 정확한 균열폭 감지를 필요로한다. 현재의 측정방법은 공간적, 시간적으로 많은 제약을 받는 현미경을 이용한 육안조사가 전부인 실정이다. 본 연구의 목적은 망원렌즈를 장착한 자동포장상태 조사장비를 사용하여 도로에서 주위차량과 비슷한 속도로 주행하면서 가장 정확한 균열폭을 감지할수 있는 조건을 찾는 것이다. 본 연구는 모의조사를 통하여 균열폭 크기에 따른 카메라 초점거리를 결정하고 망원렌즈를 부착한 카메라로 노면을 확대 촬영한 자료를 이미지프로세싱 프로그램인 STADI-2에서 여러 가지 factor를 사용하여 산출된 균열폭과 현장조사를 통하여 현미경으로 실측한 균열폭을 비교분석한 결과, 이미지프로세싱을 이용한 최적 균열폭 감지조건을 제시하였다. 연구결과 CRCP(연속철근콘크리트포장)에서는 카메라 초점거리 75mm를 사용하여 균열폭 0.5mm~1.2mm일때 정확도 80%이상으로 측정 가능했으며 아스팔트포장에서는 카메라 초점거리 12.5mm를 사용하여 균열폭 1.8mm~3.3mm에서 90%의 정확도로 균열폭을 감지할 수 있었다.

**핵심용어 :** 균열폭, 이미지프로세싱, STADI-2, CRCP, 아스팔트포장

\* 정회원 · 한양대학교 첨단도로연구센터 연구원 031-400-4238(E-mail: go99@shinbiro.com)

\*\* 정회원 · 한양대학교 한양대학교 부교수 031-400-5155(E-mail: suhyc@hanyang.ac.kr)



## 1. 서론

포장은 차량의 반복하중이나 진조수축, 온도변화에 따른 체적변화 등으로 인해서 균열의 발생을 피하기는 어렵다. 발생한 균열로 우수나 이물질이 침투할 경우, 하부층의 지지력 약화, 과도한 스펀링, 블로우업 등의 파손으로 진전되어 포장의 공용성을 현저히 저하시킨다<sup>(1)</sup>.

근본적으로 이런 문제를 해결하기 위해서는 발생한 균열부위로 우수나 이물질에 의한 2차 파손이 생기기 전에 균열을 보수하여야 한다. 균열의 보수필요 여부는 균열폭의 크기에 따라 결정되는데 이를 위해서는 효율적인 균열폭 조사방법이 필요하게 된다<sup>(2)</sup>. 현재 균열폭 측정은 현미경을 이용한 육안조사가 대부분인 실정이며 이 방법은 막대한 양의 도로연장에 대해서 지속적으로 균열폭을 측정하여 포장상태를 관리하기에는 시간이나 비용이 너무 많이 소요된다. 또한 교통을 통제 한 상태에서 조사를 실시해야 하기 때문에 교통량이 많은 도심부나 고속도로에서는 측정자체가 매우 어렵다.

본 연구의 목적은 자동포장상태 조사장비(그림 1)를 이용하여 도로에서 주위 차량과 비슷한 속도로 주행하면서 정확한 균열폭을 감지하기 위한 첫 단계로서 망원렌즈(그림 2)를 이용한 균열폭 감지의 최적 조건을 찾는 데 있다. 자동장비에 의한 균열폭 측정은 기존의 조사방법인 육안조사보다 일관성있는 결과를 산출할 수 있으며 시간과 비용을 상당히 단축시킬 것으로 기대된다.

## 2. 연구방법

본 연구에서는 정확한 균열폭 측정을 위하여 망원렌즈를 부착한 카메라로 노면을 확대 촬영하여 비디오에 저장한 후, 이미지프로세싱 프로그램인 STADI-2를 이용하여 분석하였다. 비디오에 저장된 이미지를 이용해 균열내부의 폭을 측정하

기 위해서는 포장표면의 몇 가지 조건을 제약할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 정확한 균열내부의 폭을 측정하기 위해서 스펀링이 과도하게 발생된 균열이나 모래, 이물질이 균열내부에 많이 있는 경우, 포장표면이 노면마킹이나 바퀴자국 등으로 더러워진 경우는 분석에서 제외하였다.

연구의 내용은 아스팔트 및 연속철근콘크리트(CRCP)포장에서 망원렌즈를 장착한 자동포장상태 조사장비를 이용하여 다양한 균열폭 범위(0.2~16mm)의 샘플을 수집하여 이미지프로세싱에 의한 균열분석 프로그램, STADI-2로 비교 분석함으로써 정확하게 균열폭을 감지할 수 있는 조건을 찾는 것이다. 조사시 현미경을 이용한 조사위치와 카메라로 조사한 위치를 일치시켜 비교 분석의 신뢰도를 높이고자 조사장비의 운영속도는 정지나 서행으로 하여 조사하였다. 이미지프로세싱에 의한 균열폭 측정에서 차량의 속도에 대한 영향은 대부분이 카메라의 성능에 따라 좌우되는데 본 연구에서 사용된 카메라는 차량의 속도에 따라 화질이 거의 영향을 받지 않기 때문에 정지 및 서행에서 조사함으로써 육안조사 자료와의 비교분석시 신뢰도를 높이고자 하였다.



그림 1. 자동포장상태조사장비  
(ARIA : Automated Road Image Analyzer)

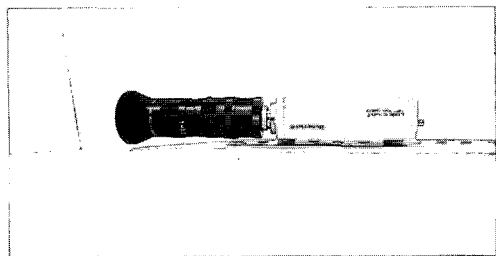


그림 2. 75mm 망원렌즈를 장착한 카메라

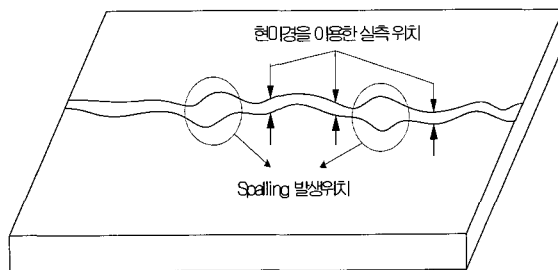


그림 4. 현미경을 이용한 실측위치

### 3. 균열폭 측정

#### 3.1 기존의 균열폭 측정방법

기존의 균열폭 측정은 현미경을 이용하여 노면의 균열을 육안으로 직접 확인하여 측정하는 방법(그림 3)을 주로 이용하고 있다<sup>(3)</sup>. 이 방법은 막대한 양의 도로연장에 대해서 지속적으로 균열폭을 측정하여 포장상태를 관리하기에는 시간이거나 비용이 너무 많이 소요하게 되며 교통을 통제 한 상태에서 조사를 실시해야하기 때문에 공용중인 도로에서는 측정자체가 거의 비현실적이다.

본 연구에서 사용되는 현미경(그림 3)은 PIKA SEIKO PSM-60을 사용하였으며 이것은 0mm~1.6mm까지 0.02mm 단위로 측정가능한 기구이다. 현미경을 이용한 균열폭 측정방법은 동일 균열에 대하여 스폐링이 없는 구간을 대상으로 3회 측정 후 평균을 사용하였다(그림 4).

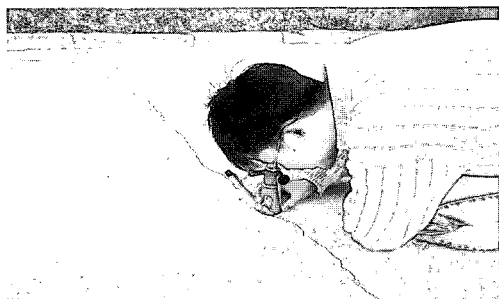


그림 3. 현미경을 이용한 균열폭 측정

#### 3.2 새로운 균열폭 측정방법

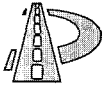
##### 3.2.1 자동장비를 이용한 균열폭 조사

시간적, 공간적 제약을 많이 받는 기존 현미경 측정방법에 비해 새로운 균열폭 측정방법은 망원 렌즈를 장착한 자동장비를 이용하여 도로에서 주위의 차량과 비슷한 속도로 주행하면서 노면의 균열을 카메라로 촬영함으로써 조사시간 단축과 교통흐름을 방해하지 않는 장점이 있고 또한 조사되는 자료는 비디오로 저장한 후 이미지프로세싱을 이용하여 분석함으로써 분석결과의 일관성을 유지할 수 있다<sup>(4)</sup>.

본 연구에서 사용한 자동장비는 노면촬영을 위한 2대의 카메라, 1대의 전방 카메라, 평탄성 조사를 위한 3개의 laser, 소성변형 측정을 위한 30개의 초음파 센서 그리고 분석을 위한 workstation으로 되어 있으며 최대 80km/hr로 주행하면서 조사가 가능하다. 균열폭을 상세 조사하기 위해서 기존의 카메라에 장착된 4mm 렌즈 대신 75mm 렌즈를 부착하여 사용하였다.

##### 3.2.2 이미지프로세싱 (STADI-2)

STADI-2는 비디오 화면을 이미지 프로세싱을 이용하여 포장상태를 분석하는 프로그램이다. 이 프로그램은 카메라나 저장된 비디오 테이프의 이미지를 주요 입력 자료로 사용하며 출력 자료로는



한 이미지 내의 중, 횡방향 균열의 길이와 면적을 산출한다. 그림 5, 6은 STADI-2에서 분석하는 과정을 나타낸 것이며 그림 7은 이미지프로세싱 과정을 나타낸 것이다.

본 연구에서는 포장노면을 비디오 테입에 저장한 다음 STADI-2 프로그램을 사용하여 횡방향 균열에 대하여 길이와 면적을 사용하여 균열폭을 산출하였다. STADI-2에서 정확한 균열폭을 산출하기 위해서는 노면의 상태나 균열폭 범위, 빛의 양에 따라서 filter value, minimum pixel length, line connection parameters 조절함으로써 균열을 정확하게 인식하게 된다<sup>(5)</sup>.

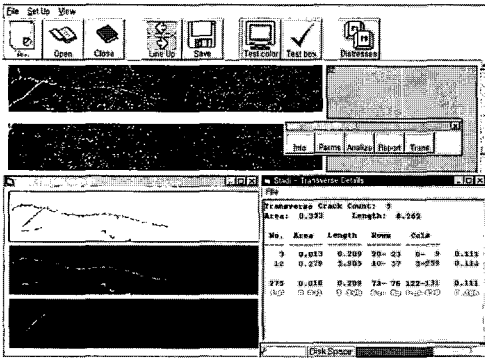


그림 5. 표면결함상태 분석결과

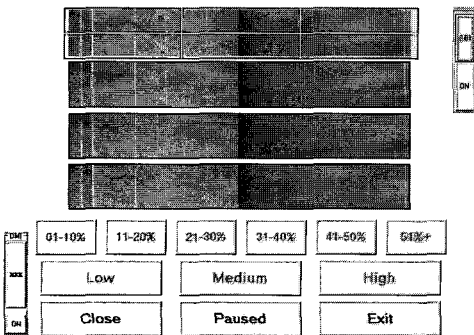


그림 6. 표면결함 촬영 및 분석

### (1) Filter value

Filter value는 STADI-2에서 균열의 길이나 면적을 결정하는데 가장 중요한 factor로 분석대상 이미지의 빛의 양이나 균열의 형태, 주위의 noise에 따라서 적절한 값을 사용하여 균열을 정확하게 감지하기 위한 factor 이다.

이 factor는 1~127의 값을 가지며 낮은 수치일수록 균열은 정확하게 나타나나 주위의 noise 또한 증가하게 되고 높은 값을 가질수록 noise는 감소하게 되나 균열의 형태는 희미해지게 된다.

### (2) Filtered image parameter

Filter value에 의해서 변환된 2 bit 이미지는 실제 균열과 다소의 noise를 포함하게 된다. 이때 실제의 균열과 noise를 구분할 수 있는 알고리즘이 필요한데 이것이 minimum pixel length factor이다. 이 값은 noise를 판단할 수 있는 최소 길이를 나타내는 것으로 이 값보다 긴 pixel 조합은 전부 균열로 판단되는 것이다. 이 값이 크게 되면 noise는 많이 줄어들게 되지만 균열까지 없어질 수 있으며 값이 너무 작다면 균열은 전부 나타나지만 noise까지 균열로 인식하게 된다.

### (3) Line connection parameters

일반적으로 한 이미지에서 균열은 다양한 두께를 가지고 있으며 때로는 균열폭이 너무 작아 이미지프로세싱 알고리즘으로는 각 균열이 서로 연결되었다고 보기가 힘든 경우도 있다. line connection 알고리즘은 한 이미지의 균열이 서로 동일한 균열로써 인식하기 위한 것으로 서로 떨어진 균열의 끝부분에서 다른 균열의 끝부분을 찾고 이들을 하나의 균열로 연결하는 것이다.

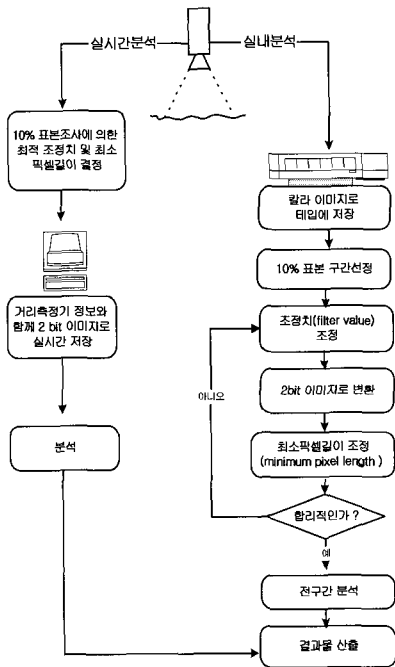
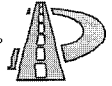


그림 7. 이미지 프로세싱 과정

## 4. 균열폭 조사

### 4.1 조사개요

균열폭 측정을 위해 조사대상구간이 설정되면 먼저 조사구간의 대략적인 포장상태정보 즉, 포장의 종류, 발생된 균열폭 범위 등을 알아야 한다. 이때 균열폭을 상세조사하기 위해서 망원렌즈의 초점거리에 따른 노면의 확대 촬영이 필요한데 이것은 과연 “얼마나 노면을 확대시켜 촬영할 것인가?”를 결정하기 위해서이다. 본 연구에서는 먼저 모의조사를 실시하여 적정 카메라 초점거리를 제시하였다. 카메라의 초점거리가 결정되면 조사구간에 대해서 조사가 실시되고 조사된 자료를 이용하여 이미지프로세싱의 과정을 통해 결과가 산출된다. 그림 9는 조사과정을 나타낸 것이다.

### 4.2 모의조사

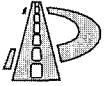
현장의 균열은 포장의 종류에 따라서 다양한 균열 폭을 가지고 있다. CRCP의 경우는 대체적으로 1mm 이하의 균열폭 범위를 가지며 무근철근콘크리트포장(JCP)이나 아스팔트포장의 균열은 1mm 이상의 균열폭이 대부분이다<sup>(6)</sup>. 모의조사는 이와 같은 포장의 종류나 균열의 범위를 미리 조사함으로써 균열폭 범위에 맞는 카메라의 초점거리(배율)를 사용하여 정확한 균열폭을 감지하기 위해서 실시하였다.

카메라의 초점거리를 결정하는 방법은 중이에 모의균열을 그려 카메라로 찍은 후 이미지 프로세싱을 사용하여 분석한 결과와 모의균열폭을 비교분석하여 결정하였다. 분석에 사용된 모의 균열폭은 0.1mm부터 20mm이며 카메라의 초점거리는 75mm, 30mm, 20mm, 12.5mm를 사용하여 다양하게 분석하였다. 그림 8은 카메라 초점거리 12.5mm로 촬영한 5mm 모의균열을 나타낸 것이다.

그림 10, 11, 12는 모의 균열을 다양한 카메라 초점거리로 촬영하고 이것을 이미지프로세싱하여 산출된 결과를 비교한 그래프이며 표 1은 카메라 초점거리에 따라 측정 가능한 균열폭 범위와 촬영되는 실제 노면의 크기를 나타낸 것이다.

카메라 망원렌즈의 초점거리에 따른 균열폭 측정 결과, 초점거리 75mm를 사용한 경우, 균열폭 1.5mm 이하에서 정확한 균열폭을 감지하였다. 이것은 CRCP와 같이 평균 균열폭이 1mm 이하인 곳에서는 초점거리 75mm를 사용하여 조사해야 한다는 것을 의미한다. 아스팔트포장의 경우는 균열폭이 1mm 이상으로 균열폭 범위가 다양하게 산재해 있기 때문에 초점거리 75mm, 30mm, 20mm 보다는 12.5mm를 사용함으로써 더 정확한 균열폭을 도출할 수 있는 것으로 판단되었다.

그림 10, 11, 12에서 보면 각 카메라 초점거리에 따라 감지 가능한 최대 균열폭(예, 초점거리 75mm에서는 1.5mm) 이상에서는 균열폭 감지가 어려운 것으로 나타나는데 이것은 확대 촬영된 균열폭이 과다하게 넓을 경우, STADI-2에서는



균열로 인식하지 않고 패칭이나 다른 파손으로 인식하게 때문에 균열폭이 정확히 감지되지 않는 것이다.

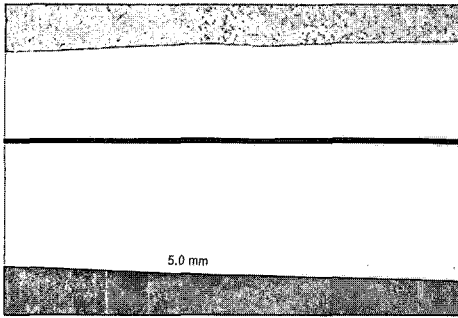


그림 8. 모의 균열의 예

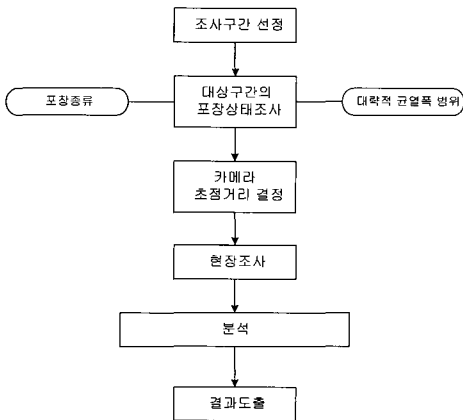


그림 9. 조사 및 분석과정

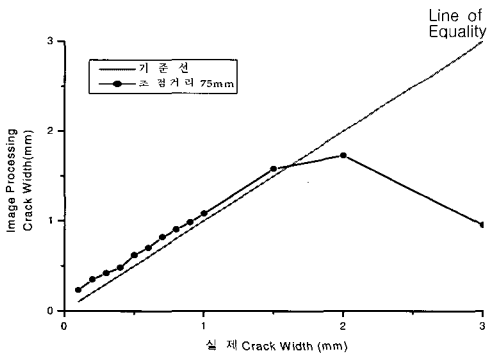


그림 10. 망원렌즈의 초점거리 75mm와 모의 균열폭과의 비교

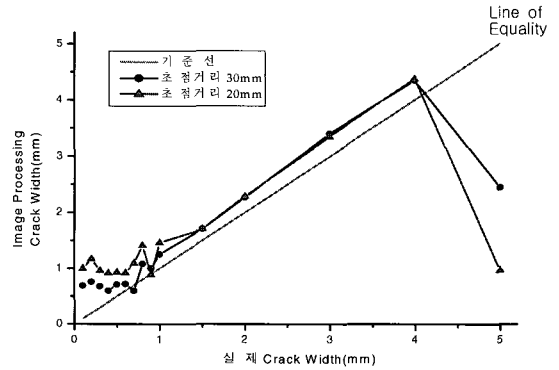


그림 11. 망원렌즈의 초점거리 30mm, 20mm와 모의 균열폭과의 비교

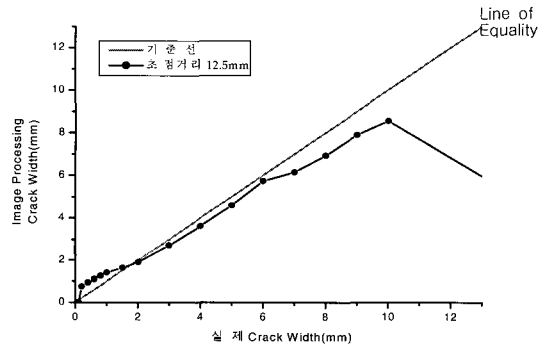


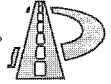
그림 12. 망원렌즈의 초점거리 12.5mm와 모의 균열폭과의 비교

표 1. 망원렌즈의 초점거리에 따른 측정 가능한 균열폭 범위 및 실제 촬영되는 노면크기

초점거리(단위:mm)		75	30	20	12.5
측정 가능한 균열폭 (mm)	최소	0.1	0.5	0.9	1.0
	최대	1.5	4	4	10
촬영되는 실제 노면크기 (cm)	가로	6.5	16.1	24.3	35.0
	세로	2.2	5.9	8.8	13.3

### 4.3 본조사

조사구간은 CRCP로는 경부고속도로 서울요금



소 앞을 선정하였으며 아스팔트포장은 안산시 사동의 일부구간을 선정하여 조사하였으며 날씨는 흐린날을 선택하여 그림자나 강한 햇빛에 의한 영향을 최소화하였다.

조사대상 콘크리트포장의 균열폭은 0.1mm~1.5mm 사이로 예상되어 모의조사에서 판단된 최적의 망원렌즈 초점거리인 75mm를 사용하였으며 아스팔트포장의 경우 대체적으로 2mm~15mm 이하의 균열폭이 산재해 있어 초점거리 12.5mm를 사용하여 샘플을 수집하였다.

현미경을 이용한 실측위치와 조사차량이 촬영한 위치를 최대한 일치시켜 비교 분석시 정확도를 높이기 위해 조사는 조사차량이 정지 및 서행하는 상태에서 실시하였다. 이것은 실제적으로 차량의 속도에 대한 이미지프로세싱의 영향은 단지 촬영하는 카메라의 성능에 좌우되며 조사장비에 부착된 카메라라는 차량의 속도에 대한 균열폭 측정의 민감도는 거의 없는 것으로 나타났기 때문이다.

## 5. 분석 및 결과

### 5.1 분석과정

현장조사에서 수집된 자료는 이미지프로세싱 프로그램인 STADI-2를 이용하여 분석하였다. 분석은 filter value와 minimum pixel length를 다양하게 하여 현미경을 이용한 균열폭 실측치와의 오차가 가장 작은 filter value와 minimum pixel length를 결정하는 것이다.

### 5.2 Filter Value 값에 따른 균열폭의 정확도

#### 5.2.1 연속철근콘크리트포장(CRCP)

카메라 초점거리 75mm를 사용한 CRCP에서 현미경을 사용한 실측치와 filter value에 따른 균열폭 변화를 비교한 결과 0.3mm 이하의 미세한

균열폭에서는 대부분이 50% 이상의 오차를 발생하였다. 이것은 모의조사에서 실시한 초점거리 75mm 망원렌즈의 측정 범위에 속하지만 실제 현장의 여러가지 조건 즉, 조명의 형태, 사용된 골재, 미세한 스펙링 정도 등으로 인하여 초점거리 75mm를 사용하여 이미지프로세싱 분석을 하기에는 무리가 있었다. 따라서 0.3mm 이하의 미세한 균열폭에 대해서는 초점거리 75mm보다 더 확대 촬영해야 정확한 균열폭 자료를 산출할 수 있는 것으로 판단된다.

0.5~0.9mm 사이의 균열폭은 filter value 80에서 오차가 10% 미만으로 상당히 정확하게 균열폭이 측정되었으며(그림 13) 균열폭 1.1~1.2mm에서는 filter value 60에서 오차 10% 미만으로 측정 가능한 것으로 나타났다(그림 14). 균열폭 1.6mm이상에서는 filter value 60에서 최소오차가 35% 이상으로 나타났으며 이것은 모의조사의 결과 초점거리 75mm로 측정 가능한 범위를 벗어났기 때문에 오차가 많이 발생된 것이다. 그림 13과 그림 14는 CRCP에서 filter value에 따른 현미경을 이용한 실측치와 분석된 결과의 오차를 비교한 것이다.

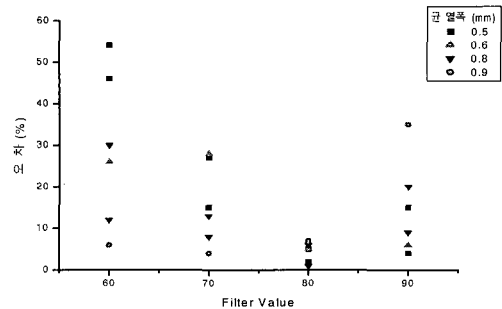


그림 13. Filter value에 따른 균열폭 측정오차 (초점거리 75mm, 균열폭 0.5~0.9mm)

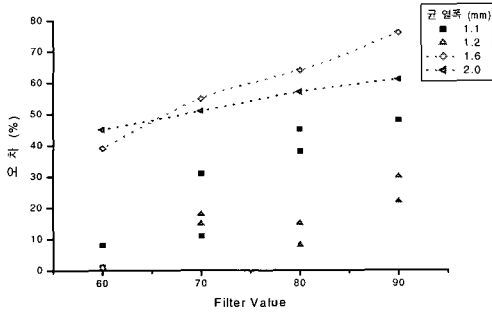
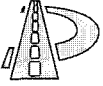


그림 14. Filter value에 따른 균열폭 측정오차 (초점거리 75mm, 균열폭 1.1~2.0mm)

### 5.2.2 아스팔트포장

카메라 초점거리 12.5mm를 사용한 아스팔트포장에서 filter value에 따른 실측치와 이미지프로세싱에 의해 분석된 균열폭을 비교한 결과 filter value 80에서 1.8~3.3mm의 균열폭에 대해서 오차가 10% 미만으로 나타났다(그림 15).

그림 15는 아스팔트포장에서 filter value에 따른 현미경을 이용한 실측치와 분석된 결과의 오차를 비교한 것으로 A와 B의 경우, 균열내에 모래나 이물질이 있는 상태로 이물질이 없는 균열보다 filter value값을 낮게 설정함으로써 실측치와 비슷한 경향을 보이거나 정상적인 균열에 비해서 일관성있는 filter value가 산출되지 않는다는 것은 이물질의 종류에 따라서 빛을 반사하는 정도가 다르기 때문에 이미지프로세싱을 이용한 분석에서는 무리가 있음을 알 수 있었다.

## 5.3 Minimum Pixel Length 값에 따른 균열폭의 정확도

### 5.3.1 연속철근콘크리트포장(CRCP)

그림 16, 17은 CRCP에서 minimum pixel length에 의한 실측치와 분석된 균열폭을 비교한

결과를 나타낸 것으로 0.5~0.9mm 사이의 균열폭에 대해서는 minimum pixel length 12에서 오차가 10%미만으로 측정되었다. 균열폭 1.1~1.2mm에서는 minimum pixel length 25~30 사이에서 오차 20% 미만으로 나타났다. 균열폭 1.6mm 이상에서는 카메라 초점거리 75mm의 측정범위 이상으로 minimum pixel length값과는 상관없이 40~60%의 오차를 보였다.

### 5.3.2 아스팔트 포장

그림 18은 아스팔트포장에서 minimum pixel length에 의한 실측치와 분석 균열폭을 비교한 결과로 minimum pixel length 8에서 1.8~3.3mm의 균열폭에 대한 측정오차가 10% 미만으로 나타났다. 그림 18에서 A와 B는 균열내에 모래나 이물질이 있는 상태를 나타낸 것으로 이물질이 빛을 반사하는 정도에 따라서 다른 minimum pixel length를 사용하여야 한다.

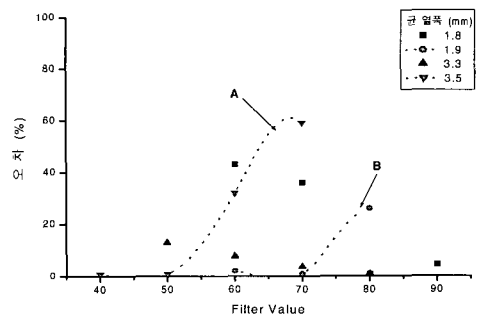


그림 15. Filter value에 따른 균열폭 측정오차 (초점거리 12.5mm, 균열폭 1.8~3.5mm)



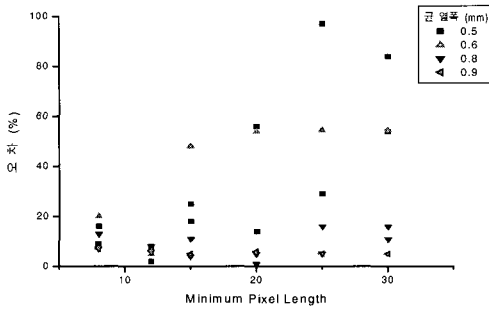
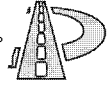


그림 16. Minimum pixel length에 따른 균열폭 측정오차 (초점거리 75mm, 균열폭 0.5~0.9mm)

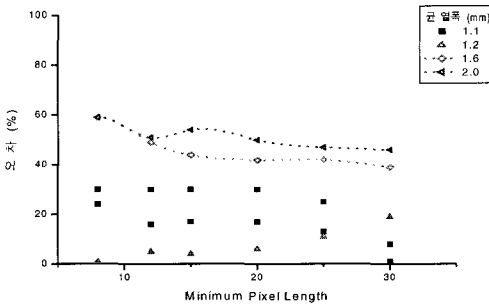


그림 17. Minimum pixel length에 따른 균열폭 측정오차 (초점거리 75mm, 균열폭 1.1~2.0mm)

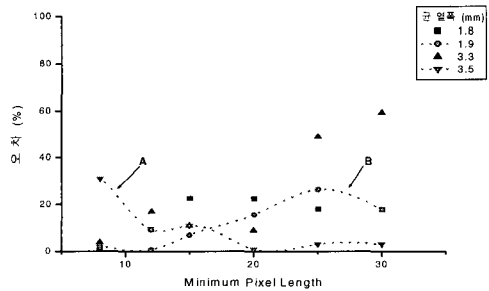
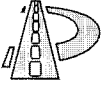


그림 18. Minimum pixel length에 따른 균열폭 측정오차 (초점거리 12.5mm, 균열폭 1.8~3.5mm)

## 6. 결 론

이미지프로세싱을 이용한 균열폭 측정 연구결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 카메라 초점거리는 모의조사 결과 폭이 0.1~1.5mm정도인 균열에 대해서는 초점거리 75mm를 사용하고 균열폭 범위 1~10mm인 경우에는 초점거리 12.5mm가 균열폭 측정에 적당한 것으로 나타났다.
- (2) 적정 filter value는 카메라의 초점거리와 대략적인 균열폭의 크기에 따라 달라진다. 즉, 카메라의 초점거리 75mm를 사용하여 측정한 0.5~0.9mm의 균열폭은 filter value 80, 1.1~1.2mm의 균열폭은 filter value 60에서 실측치와의 오차가 10% 이내에서 측정이 가능하였다. 초점거리 12.5mm를 사용하여 측정한 1.8~3.3mm의 균열폭은 filter value 80에서 오차 10%이내에 측정이 가능하였고 균열 내 이물질을 포함하고 있는 경우는 이물질이 없는 경우보다 filter value값을 낮게 하여야 정확성을 높일 수 있는 것으로 나타났다.
- (3) 적정 minimum pixel length의 경우 즉, 카메라의 초점거리 75mm를 사용하여 측정한 0.5~0.9mm의 균열폭에는 minimum pixel length 12에서 실측치와의 오차가 10%이내였으며 1.1~1.2mm의 균열폭에는 minimum pixel length 25~30에서 오차가 20%이내에서 측정이 가능하였다. 초점거리 12.5mm를 사용하여 측정한 1.8~3.3mm에서는 minimum pixel length 8에서 오차가 10%이내에 측정이 가능하였다.
- (4) 본 연구에서 이미지프로세싱을 이용한 균열폭 측정에서 추천하는 방법은 균열폭 0.4~4.0mm의 균열에 적용하는 것이 바람직한 것으로 나타났다. 0.3mm 이하의 균열에서는 균열폭이 너무 작아 이미지프로세싱으로 균열폭을 측정하기는 무리가 있



으며 균열폭 4mm이상은 대부분이 균열내부에 이물질이 과다하게 있기 때문에 포장 표면 촬영에 의한 균열폭 측정은 어려운 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 논문은 한국과학기술부, 한국과학재단에서 지원한 첨단도로연구센터의 연구수행결과입니다.

### 참고문헌

1. 건설교통부, 도로 포장유지보수 실무편람, 1999.
2. AASHTO, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*, Washington DC, 1993.
3. SHRP, *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Project*, SHRP-P-338, Washington DC, 1993.
4. Mohajeri M.(Jerry) H. and Patrick J. Manning, "*ARIA : An Operating System of Pavement Distress Diagnosis by Image Processing*", TRR 1311, Transportation Research Board, 1991, pp120~130.
5. MHM Associates, INC., *ARIA Pavement Surface Video Imaging & Crack Analysis Software STADI-2 Manual*, 1997.
6. 한국도로공사, "CRCP의 거동과 균열발생에 관한 연구", 도로연 94-15-8, 1994.

(접수 : 2001. 12. 26)