JOURNAL of the Korean Asphalt Institute Vol. 13, No. 2, 322-328, 2023
https://doi.org/10.22702/jkai.2023.13.2.26

pISSN: 2234-0785
eISSN: 2635-9553

Scientific Paper

초분광 영상을 이용한 아스팔트 포장 공용성 평가

정규동[1]* · 장진환[2] · 신성필[3] · 신정일[4]
[1]한국건설기술연구원 도로교통연구본부 수석연구원, [2]한국건설기술연구원 도로교통연구본부 연구위원,
[3]한국건설기술연구원 도로교통연구본부 수석연구원, [4]서울연구원 디지털도시연구실 부연구위원

Evaluation of asphalt pavement condition using hyper-spectral images

Kyu-dong Jeong[1]*, Jinhwan Jang[2], Sung Pil Shin[3] and Jung-il Shin[5]
[1]Senior Researcher, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology
[2]Research Fellow, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology
[3]Senior Researcher, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology
[4]Associate Research Fellow, Seoul Institute

***Corresponding author:** Tel. +82-31-910-0183, E-mail. kdjeong@kict.re.kr

Received: December 12, 2023; **Revised:** December 22, 2023; **Accepted:** December 26, 2023

ABSTRACT

The spectral characteristics were evaluated using cored samples collected from cracks on the asphalt pavement. Among the spectral index models, VISI2 and VISR2 had high significance. When the asphalt pavement crack was large, there was a significance of 0.9 or more compared to the sample without crack. Asphalt pavement was investigated using road survey vehicles and drone hyper-spectral cameras and the correlation was evaluated. As a result, rutting showed a relatively high correlation in the WBI model at 0.704, but the correlation was low in relation to IRI and cracks.

Keywords: Hyper-Spectral, VIS, Spectrometer, Pavement Condition, Drone

1. 서 론

도로 포장의 파손 중 소성변형과 종단평탄성은 공용년차가 증가할수록 변화량이 증가하는 선형관계를 나타내고 있으나, 균열은 일정시점에서 급격히 증가하는 것으로 나타났다(Cho et al., 2023). 따라서 도로 포장을 지속적으로 조사하여 포장상태를 평가하여야 도로를 적기에 유지보수할 수 있다. 일반적으로 포장 공용성은 전문 조사

© 2023 by Korean Asphalt Institute. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

장비 차량을 이용하여 도로 포장을 주행 후 소성변형, 균열, 평탄성 등을 분석하여 포장상태지수를 산출하여 평가한다. 그런데 이와 같은 방법은 고가의 조사장비로 차선별로 주행하여야 하므로 조사시간과 비용이 높은 단점이 있었다(Jeong et al., 2022). Lee et al.(2021)이 고가의 조사장비 대신에 휴대폰 카메라 이미지 기반으로 노면 평탄성 예측 알고리즘을 개발하는 등의 노력이 있었으나 실증 도로에 대한 검증 및 최적화가 되어 있지 않은 상태이다. 초분광 분석은 1987년 미국 항공우주국(NASA)에서 개발된 항공기용 초분광영상센서인 AVIRIS(Airborne Visible/InfraRed Imaging Spectrometer)와 함께 시작되었고, 2000년에는 초분광센서(Hyperion)를 탑재한 EO-1 실험위성이 발사되어 초분광 영상을 이용한 연구가 진행 중이다(Kim et al., 2005). 초분광영상은 휴대폰 카메라의 가시영역 보다 넓은 범위를 다양한 밴드수로 분할하여 정밀하게 분석할 수 있으며, 수종 분류, 수질분석 등에 사용되고 있다. 현재 아스팔트 포장과 관련하여 아스팔트 바인더의 종류 및 노화에 따른 분광특성과 실내 제작한 아스팔트 공시체의 커팅 전/후를 이용한 분광특성 차이에 대한 연구가 수행되었으며, 노화에 따라 반사율이나 분광지수의 차이가 있다고 하였다(Jeong et al., 2022).

본 연구는 아스팔트 포장에서 코어를 채취하여 분광특성을 분석하였으며, 조사차량에서 측정한 PCI와 드론에 장착한 초분광카메라를 이용하여 산출한 결과의 상관성을 분석하였다.

2. 연구 방법

2.1 분광특성 분석 방법

분광계를 이용한 재료의 분광특성을 분석하는 모델은 Table 1과 같았다. 여기서 ρ는 분광계 센서로 측정된 nm 단위의 파장을 의미한다. Jeong et al.(2022)에서 제시한 모델 중에 VIS(Visible Imaging Spectrometer) 1, 2와 WBI(Water Band Index)를 적용하였다. 또한, 375 nm와 595 nm 파장대를 이용하여 VIS3를 제안하여 분석하였다.

2.2 아스팔트 포장 코어를 이용한 평가

분광특성을 평가하기 위한 시료는 균열이 발생한 현장에서 코어를 채취하여 준비하였다(Figs. 1~3). 코어의 균열부에 균열실링이 검게 되어 있는 시료와 균열이 발생하여 2개 또는 3개로 나뉘어진 코어가 사용되었다.

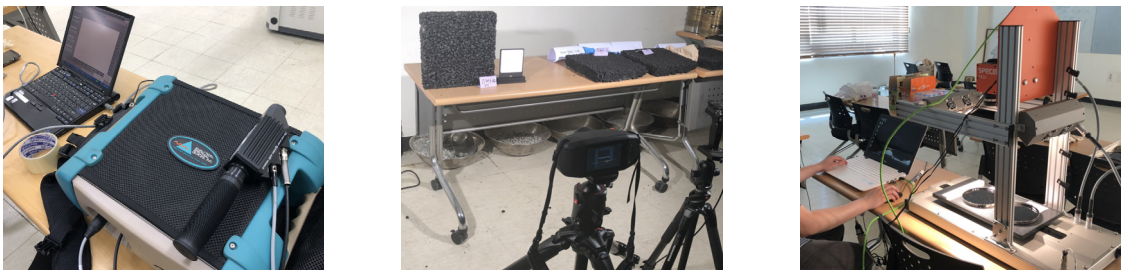
Table 1. Spectroscopic characteristics analysis model

Type	Model
VIS1(Visible Imaging Spectrometer 1)	$\mathrm{VISI1} = \left(\frac{\rho740-\rho460}{\rho740+\rho460}\right) \mathrm{VISR1} = \frac{\rho460}{\rho740}$
VIS2(Visible Imaging Spectrometer 2)	$\mathrm{VISI2} = \left(\frac{\rho830-\rho490}{\rho830+\rho490}\right) \mathrm{VISR2} = \frac{\rho490}{\rho830}$
VIS3(Visible Imaging Spectrometer 3)	$\mathrm{VISI3} = \left(\frac{\rho375-\rho595}{\rho375+\rho595}\right) \mathrm{VISR2} = \frac{\rho375}{\rho595}$
WBI(Water Band)	$\mathrm{WBI} = \frac{\rho899}{\rho967}$

Fig. 1. Coring

(a) Crack sealing (b) Crack (2) (c) Crack (3)

Fig. 2. Core specimen



(a) Spectromete (b)Hyperspectral camera (handy) (c)Hyperspectral camera (fixed)

Fig. 3. Spectrometer and hyperspectral camera (Jeong et al., 2022)

2.3 도로 조사차량을 이용한 PCI 산출

국내에서 개발된 아스팔트 포장 조사차량(PES; Pavement. Evaluation System)을 이용하여 Fig. 4와 같이 도로 포장 현장을 조사하였으며, 균열율, 소성변형 깊이, 종단평탄성을 산출하여 식 (1)에 따라 NHPCI를 산출하였다.

$$\mathrm{NHPCI} = 1/(0.33 + 0.003 \times X_{CR} + 0.004 \times X_{RD} + 0.0183 \times X_{IRI})^2 \quad (1)$$

여기서, X_{CR} = 균열율(%)

X_{RD} = 소성변형 깊이(mm)

X_{IRI} = 종단평탄성(m/km)

조사차량을 이용한 균열율, 소성변형, 종단평탄성은 10 m당 다음의 방법에 따라 측정되었다.

(1) 균열율: 도로 전체에서 발생한 균열을 검출하며, 선형균열일 경우 균열길이에 일정한 폭을 곱하여 면적을 산출하며, 균열면적의 전체 균열면적에 대한 비율을 계산

(2) 소성변형: 차량 통행으로 인한 도로의 변형깊이로써 좌우 휠패스 영역의 깊이 중 최대깊이를 계산

(4) 종단평탄성: 국제평탄성지수인 IRI를 산출하며, 차량이 80 km로 주행시 현가장치를 통해 측정되는 상하 변위 프로파일. 일반적으로 25 cm 간격의 종단 프로파일을 측정하고, 쿼터카 시뮬레이션(80 km 주행시 현가장치를 고려한 1개 바퀴의 상하 이동 모사)으로 계산한 프로파일의 합을 프로파일 길이로 나누어 1 km당 상하이동거리(m/km)로 계산

2.4 드론 초분광 카메라를 이용한 조사

드론 기체는 Fig. 5와 같이 중국 DJI의 회전익 드론인 Matrice 600 pro를 결합한 드론 플랫폼을 사용하였으며, 짐벌에 초분광센서를 장착하였다. 초분광센서는 Nano-Hyperspec 모델로 400~1,000 nm 파장 영역에서 영상 획득이 가능하며 최대 270개의 분광밴드를 취득할 수 있었다.

(a) road survey vehicle (b) pavement survey (c) survey result (crack)

Fig. 5. Evaluation of pavement performance

Fig. 5. Hyperspectral Sensor and Drone

드론으로 측정한 초분광 데이터를 도로 조사차량의 측정방법을 모사하기 위해 Fig. 6의 방법에 따라 다음과 같은 방법을 적용하여 분석하였다.

(1) 종단평탄성(IRI): 휠패스 영역을 25 cm 단위구간으로 분할하여 단위구간 이전/이후 영역의 데이터를 상호 비교하여 분석

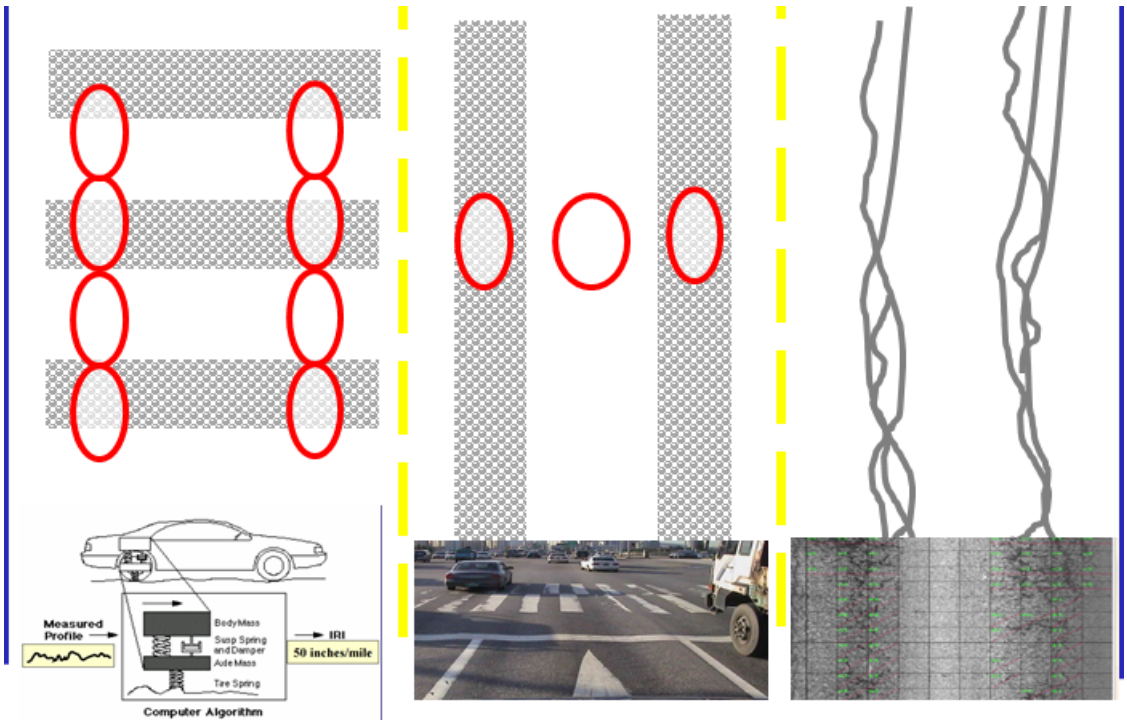
(2) 소성변형: 좌·우 휠패스 영역과 변형이 거의 일어나지 않는 도로의 중심부의 데이터를 비교하여 분석

(3) 균열율: 도로 전체에서 발생한 균열로써 분석 영역의 전체 데이터를 비교하여 데이터 검출

3 결과 및 고찰

3.1 아스팔트 포장 코어 분석 결과

도로에서 균열 발생 부분과 균열실링된 부분을 코어로 채취하여 측정한 초분광 측정값을 모델식에 따라 Table 2와 같이 분석하였다. 초분광 파장 분석 모델에 따른 경향 분석결과 양호한 부분과 비교하여 균열이 있으면 지수값이 낮아지는 경향이었다. 시험결과 분석시 Table 2 구분 명칭 및 의미는 Core(현장채취코어), Cr2(2조각균열시편), Cr3(3조각균열시편), Se(균열 실링 처리 시편), N(양호부분), B(실링시편 검은 밴드부), Cr(균열), wCr(큰 균열)이었다. 구분 명칭을 예로 설명하면 Core-Cr2Se-N은 코어시편 중에 2조각균열이 발생하고, 균열부에 실링



(a) IRI (b) Rut depth (c) Crack

Fig. 6. Analysis of drone hiper-spectral data

Table 2. Hiper-spectral index of asphalt concrete specimens

Type	VISI1	VISR1	VISI2	VISR2	VISI3	VISR3	WBI
Core-Cr2Se-N	0.133	0.766	0.132	0.767	0.200	0.669	0.987
Core-Cr2Se-B	0.109	0.803	0.095	0.826	0.166	0.716	0.997
Core-Cr2-N	0.142	0.754	0.132	0.770	0.188	0.687	0.990
Core-Cr2-Cr	0.117	0.791	0.110	0.802	0.154	0.734	0.996
Core-Cr2-wCr	0.132	0.767	0.130	0.770	0.167	0.715	0.993
Core-Cr3-Cr	0.070	0.877	0.072	0.873	0.086	0.855	0.999

Table 3. Significance probability of Hiper-spectral index

Type		VISI1	VISR1	VISI2	VISR2	VISI3	VISR3	WBI
Core-Cr2Se-N	Core-Cr2Se-B	0.034	0.032	0	0	0.086	0.001	0.001
Core-Cr2-N	Core-Cr2-Cr	0.034	0.039	0.061	0.071	0.010	0.012	0
Core-Cr2-N	Core-Cr2-wCr	0.399	0.457	0.900	0.991	0.168	0.194	0
Core-Cr2-N	Core-Cr3-Cr	0.011	0	0.025	0.001	0.006	0	0

Table 4. Correlation coefficient using hyper-spectral analysis model

Type	VIS1	VIS2	VIS3	WBI
IRI	0.179	0.060	0.178	0.159
Rutting	0.262	0.417	0.472	0.704
Crack	0.228	0.235	0.326	0.279

처리된 시편의 양호 부분을 시험한 결과이다.

그리고, Table 3과 같이 초분광지수를 균열여부에 따라 분류하여 F-검정 후 이에 따라 등분산 또는 이분산 T-검정을 하여 유의확률을 평가하였다. 이 결과 가장 분별력이 높은 분석 방법은 VISI2, VISR2 등이었다.

3.2 도로 조사차량 및 드론 초분광 비교 결과

초분광 분석모델을 이용하여 IRI, 소성변형, 균열율 등을 계산하고 조사차량을 이용한 조사결과와 비교 평가하였다. 이 결과 Table 4와 같이 소성변형은 WBI 모델이 0.704로 비교적 높은 상관성을 나타냈다. 그러나 IRI, 균열은 모든 분석 방볍이 상관성이 낮았다.

4. 결 론

아스팔트 포장의 공용성에 대한 특성을 분광계와 초분광 카메라로 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 분광계를 이용하여 도로 포장의 균열에 따른 분광특성을 VIS(Visible Imaging Spectrometer) 분광지수로 평가한 결과 VISI2, VISR2가 유의성이 높았다. 다만 균열은 작은 균열보다는 큰 균열이 0.9 이상의 유의성이 있었으며, 그 외에는 차이가 크지 않았다.
2. 도로 조사차량 및 드론 초분광 카메라를 이용하여 도로 포장을 조사하고 상관성을 평가한 결과 소성변형은 WBI 모델이 0.704로 비교적 높은 상관성을 나타냈으나, IRI와 균열과 관련하여 상관성이 낮았다.
3. 향후 보다 많은 현장에서 비교 분석하여 실용성을 높이기 위한 연구와 드론과 초분광 카메라를 이용시 도로 인근의 건물과 가로수에 의한 그늘 등에 의해 측정 결과의 왜곡이 발생하며, 도로의 곡선이 많을수록 측정이 어려운 문제점이 있으므로 이를 고려한 개선 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 22TBIP-C158845-03).

참고문헌

Cho, Y. and Bae, S. (2023). “Analysis of Pavement Performance Data for Determining the Initial Application of Preventive Maintenance of Pavements”, Journal of the Korean Society of Road Engineers, 25(5), pp. 93-100.

Jeong, K.-D., Jang, J., Shin, S.P. and Shin, J.-I. (2022). “A basic study on the correlation between asphalt pavement aging and hyperspectral image”, Journal of the Korean Asphalt Institute, 12(2), pp. 327-334.

Kim, S.H., Lee, K.S., Ma, J.R. and Kook, M.J. (2005). “Current status of hyperspectral remote sensing:principle, data processing techniques, and applications”, Korean Journal of Remote Sensing, 21(4), pp. 341-369.

Lee, Y.J. Jeon, S.I. and Kim, R.E. (2021). “A Computer-vision-based classification of road surface roughness grade using Machine Learning Techniques”, Journal of the Korean Asphalt Institute, 23(4), pp. 75-81.