

프로파일 분석을 통한 아스팔트 콘크리트 포장 텍스처 크기 분석

Analysis of Texture Depth of Asphalt Pavement Based on Profile Analysis

박 대 옥 Park, Dae-Wook | 정회원 · 군산대학교 토목공학과 부교수 (E-mail : dpark@kunsan.ac.kr)

ABSTRACT

In this study, the profiles of asphalt pavements were measured using a lightweight profiler and depths of macrotexture were analyzed based on the measured profiles. Profiles on dense graded asphalt pavement, porous asphalt pavement, stone mastic asphalt (SMA) pavement, and base layer measured, and depth of macrotexture were calculated and analyzed. Profiles on the pavement that happened as asphalt mixture segregation were measured and depths of macrotexture were analyzed. The results showed that the depths of macrotexture of asphalt pavement were effectively calculated using the measured profiles, and the depths of macrotexture for different asphalt pavements were analyzed. The pavement areas which have asphalt mixture segregation were detected based on analysis of macrotexture depths.

KEYWORDS

macrotexture, profile, mean profile depth, profiler, asphalt mixture segregation

요지

본 논문에서는 경량 프로파일러를 이용한 프로파일을 측정하여 매크로 텍스처 크기를 산정하고 분석하였다. 밀입도, 배수성, SMA, 기층 포장에 대한 프로파일을 측정하여 포장에 사용된 골재에 의한 매크로 텍스처 크기를 분석하였으며, 재료분리가 일어난 지역의 프로파일을 측정하여 매크로 텍스처 깊이를 분석하였다. 본 연구 결과 프로파일 분석을 통하여 효과적으로 매크로 텍스처 크기를 산정할 수 있었으며, 아스팔트 혼합물 종류별로 텍스처 크기를 분석할 수 있었다. 또한, 매크로 텍스처 크기를 산정하여 분석함으로써 재료분리가 일어난 지역을 탐지할 수 있었다.

핵심용어

매크로 텍스처, 프로파일, 평균 프로파일 깊이, 프로파일러, 재료분리

1. 서론

일반적으로 매크로 텍스처는 아스팔트 콘크리트 포장 표면의 안정성 기능과 밀접한 관련이 있다. 매크로 텍스처는 아스팔트 콘크리트 포장의 표면에서 타이어와 직접적인 작용으로 인하여 마찰력 및 소음과 깊은 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 마찰력 감소로 인한 교통사고를 최소화 할 수 있도록 포장 표면은 충분한 마찰력과

배수 성능을 가져야 한다.

이러한 포장의 표면 마찰력은 표면조건(간극, 마모), 아스팔트 콘크리트 혼합물 특성(골재형태, 골재분포) 및 환경적인 요인에 의해 결정된다(Panagouli and Kokkalis, 1998). 충분한 미끄럼 저항성과 텍스처를 가지도록 아스팔트 콘크리트 혼합물 표층을 설계하고 관리하는 것이 비와 관련된 교통사고를 줄이는 방법이

될 수 있다(Hass et al., 1994). 또한 일정구간 연속적으로 매크로 텍스처의 크기를 분석하여 아스팔트 콘크리트 혼합물의 재료분리(asphalt mixture segregation) 판단에 효율적으로 사용하고 있다. 현재 사용하고 있는 시간적인 재료분리 유무는 시공사와 감독기관 사이에 많은 논쟁을 남길 수 있으므로 보다 객관적인 매크로 텍스처 분석이 필요하다. Flintsch 등(2003)은 레이저 프로파일러를 이용하여 프로파일을 측정하였으며, 매크로 텍스처 깊이를 분석하여 기존에 사용하고 있는 모래 패치 시험법(sand patch test)으로 구한 매크로 텍스처 깊이와의 관계를 분석하였다. 매크로 텍스처 크기와 미끄럼 지수 변화도(skid number gradient)가 비례하였으며, 재료분리가 일어난 지역을 효과적으로 판단할 수 있었다. Stroup-Gardner와 Brown(2000)은 재료분리를 판단하기 위하여 여러 방법을 이용하여 수행하였다. 특히, 레이저 프로파일러를 사용하여 평균 프로파일 깊이를 산출하였으며, 재료분리가 일어나지 않은 지역과 일어난 지역의 매크로 텍스처 크기비로서 재료분리가 일어나지 않은 지역, 작게 일어난 지역, 중간지역, 심한지역을 판단하는 기준을 마련하였다. 현재 경량 프로파일러와 같은 비접촉식 레이저 프로파일러를 이용하여 정밀하게 프로파일을 측정할 수 있으므로 매크로 텍스처 깊이 분석을 통한 아스팔트 콘크리트 포장의 안정성과 시공성능 모니터링에 효율적으로 이용할 수 있으리라 판단된다.

본 연구에서는 정확도와 정밀도가 높은 경량 프로파일러를 이용하여 아스팔트 콘크리트 포장 표층 프로파일을 측정하며, 텍스처 깊이 산정 알고리즘에 근거한 매크로 텍스처 깊이를 예측하였다. 배수성포장, SMA포장, 기층재료로 시공된 아스팔트 콘크리트 포장 표층의 프로파일을 측정하여 매크로 텍스처 깊이를 계산하며 산정된 포장 표층의 재료분리 여부를 판단 하였다.

2. 매크로 텍스처 크기 산정

레이저 프로파일러를 이용하여 프로파일을 측정하며, 측정된 프로파일을 분석하여 매크로 텍스처 깊이를 산출한다. 그림 1에 프로파일을 이용한 평균 세그먼트 깊이(mean segment depth)를 산정하는 개념도를 나타내었다. 그림 1과 같이 측정된 프로파일을 100±2mm 세그먼트로 나눈다. 각 세그먼트의 프로파일에 대한 선형회귀선을 결정하고 세그먼트의 각 프로파일 값에서 선형회귀선을 감하며, 이러한 절차를 통해 0 평균을 가

지는 세그먼트를 얻는다. 100mm 세그먼트는 두 개의 50mm의 세그먼트로 나누며, 두 개로 나뉜 프로파일의 최고값(peak value)을 결정하고 두 개의 최고값을 평균하여 평균 세그먼트 깊이를 산정한다. 전 측정 프로파일의 평균 세그먼트 깊이를 평균한 값이 평균 프로파일 깊이(MPD: mean profile depth)이다. 평균 프로파일 깊이는 2차원적인 깊이이므로 이를 3차원인 평균 텍스처 깊이(MTD: mean texture depth) 또는 예측 텍스처 깊이(ETD: estimated texture depth)로 변환한다(ASTM, 2005). 변환식은 다음과 같다.

$$ETD = 0.2 + 0.8MPD \quad (1)$$

여기서, ETD =예측 텍스처 깊이(mm),

MPD =평균 프로파일 깊이(mm).

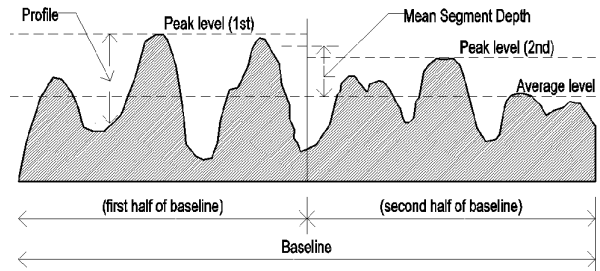


그림 1. 평균 세그먼트 깊이를 구하기 위한 절차(ASTM, 2005)

포장 표면의 텍스처는 젖은 포장의 마찰력, 소음, 물 튀김, 타이어 마모와 같은 타이어와 포장면간의 상호작용을 결정하는 도로포장 표면의 중요한 특성이다. 포장의 텍스처는 프로파일 파장에 따라 크게 마이크로텍스처, 매크로 텍스처, 메가 텍스처 등 3가지로 분류한다. 메가 텍스처 깊이의 상한선을 상회하는 파장의 포장 표면의 평탄성을 결정한다.

표 1. 파길이에 따른 텍스처 분류(Flintsch et al., 2003)

텍스처 분류	파길이(λ :mm)
microtexture	$\lambda < 0.5$
macrotecture	$0.5 < \lambda < 50$
megatecture	$50 < \lambda < 500$
roughness	$\lambda > 500$

그림 2에 마이크로 텍스처와 매크로 텍스처의 개념도를 나타내었다. 포장의 매크로 텍스처는 마찰력의 이력 요소(hysteresis component)과 포장으로부터 빠른 배

수를 할 수 있도록 한다. 마이크로 텍스처는 직접적인 타이어와 포장의 접촉과 마찰력의 부착요소(adhesion component)를 제공한다.

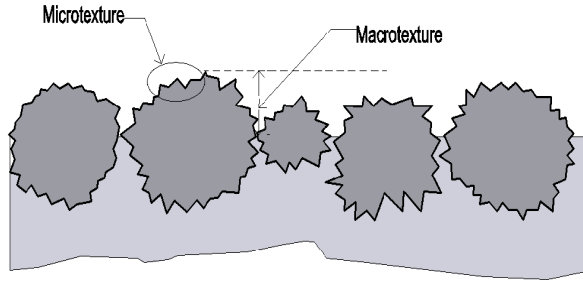


그림 2. Microtexture와 Macrottexture의 개념도

3. 프로파일 측정

다양한 포장의 매크로 텍스처를 측정하기 위하여 본 연구에서는 아스팔트 콘크리트 포장의 기층(표층 시공 전 측정), 밀입도, 배수성포장, SMA(stone mastic asphalt)의 표층을 각각 경량 프로파일러를 이용하여 측정하였다. 밀입도와 SMA 포장의 경우 공용기간이 약 6년 경과하였으며, 배수성 포장의 경우 시공 직후 프로파일을 각각 측정하였다. 본 연구의 아스팔트 콘크리트 포장에 사용된 골재 분포도는 표 2와 같다.

표 2. 아스팔트 콘크리트 종류별 골재분포

체크기	% 골재통과량				
	밀입도	SMA	배수성포장1	배수성포장2	기층
25	100	100	100	100	100
20	99.6	100	100	100	92.5
13	83.5	99.0	96.5	100	72.9
10	70.1	49.9	70.9	70.8	63.9
5	51.5	22.7	25.8	24.6	48.5
2.5	34.8	16.6	14.5	14.0	36.1
0.6	18.7	13.3	9.2	9.3	18.0
0.3	14.2	12.1	7.0	7.1	11.6
0.15	9.8	10.7	5.5	6.1	7.3
0.08	5.4	9.0	4.7	4.7	4.2

프로파일 측정은 경량 프로파일러를 사용하여 시행하였으며, 수직방향 정확도(accuracy in vertical direction)는 0.05mm이며, 수평방향 측정 샘플링 간격은 5mm이다. 매크로 텍스처 측정을 위하여 프로파일을 각 2회씩 측정하였으며, 두 측정 프로파일을 이용하여 Cross-correlation 함수에 근거하여 반복성을 평가하였다. 반복성은 동일지역에 대하여 동일 측정장비를 이

용하여 두 번 이상 측정하였을 경우 측정값간의 일치도로서 나타낸다(Karamihas, 2005). Cross-correlation 함수는 한 측정값이 다른 측정값에 의존정도를 나타내는 통계적 수치이다. 포장표면 프로파일의 반복측정에 대한 Cross-correlation 함수는 두 측정값을 동기화(synchronize)하고 일치정도를 측정하는데 유용하게 사용된다. 두 측정값의 포장 프로파일에 대한 Cross-correlation 함수는 식(2)와 같다(Karamihas, 2005).

$$R_{pq}(\delta) = \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{1}{L} \int_0^L p(x)q(x+\delta)dx \quad (2)$$

여기서, p 와 q 는 거리함수 x 에 대한 각각의 포장 프로파일의 측정값이며, Cross-correlation 함수 R 은 길이 L 인 두 프로파일 사이의 offset 거리 δ 의 연속함수로 존재한다. 프로파일의 실제거리는 아주 작고 일정간격으로 수집되기 때문에 길이 L 에 대한 적분함수로 표시되었다. 두 프로파일 사이에 상관계수(correlation coefficient)가 존재하며, 두 측정값 p 와 q 사이의 표준편차로 나누어 상관함수로 식(3)과 같이 나타낸다(Karamihas, 2005, 박대욱, 진정훈, 2010).

$$\rho_{pq}(\delta) = \frac{1}{\sigma_p \sigma_q} \sum_{i=1}^{i=N} p(x_i)q(x_i+\delta) \quad (3)$$

여기서, N 은 offset 거리 δ 에서 두 프로파일 사이에 공통적으로 존재하는 데이터 수이며, σ 는 각 프로파일의 표준편차이다. 두 프로파일이 정확하게 동일할 경우 $\rho=1$ 이며, 상관성이 없을 경우 $\rho=0$ 이다. 표 3에 측정 아스팔트 콘크리트 포장종류, 측정길이, 반복성을 요약하였다.

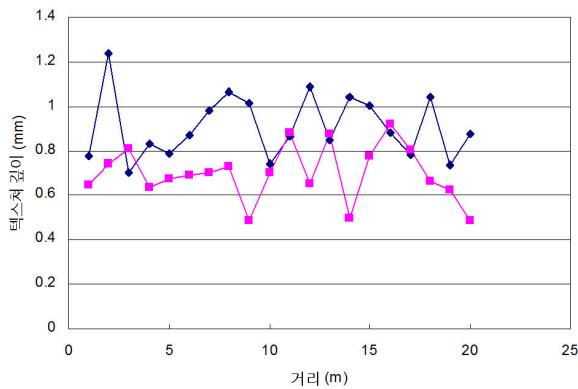
표 3. 아스팔트 콘크리트 포장 종류별 프로파일 측정

포장형태	구간	측정회수	측정길이(m)	반복성
밀입도	1	2	145	79.0
	2	2	95	80.1
SMA	1	2	95	87.5
	2	2	96	80.4
배수성포장	1	2	194	83.0
	2	2	170	83.7
아스팔트 콘크리트 기층	1	2	24	86.9

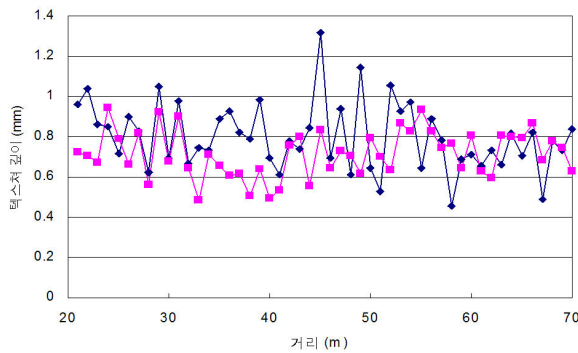
4. 텍스처 깊이 분석결과

본 장에서는 경량 프로파일러로 측정된 밀입도, SMA, 배수성 포장, 아스팔트 콘크리트 포장 기층에 대한 프로파일과 텍스처 깊이 산정 알고리즘을 이용하여 매크로 텍스처 깊이를 산정하였으며, 다른 포장 형태에 따른 매크로 텍스처를 비교·분석하였다.

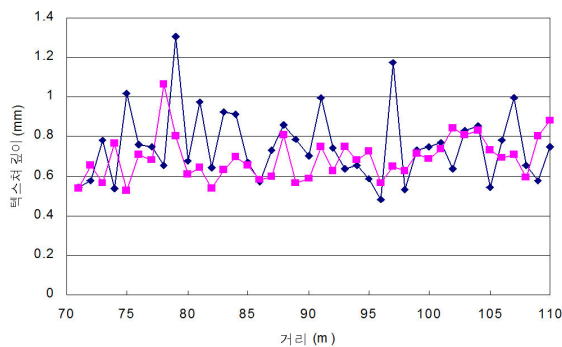
특히, 동일 아스팔트 콘크리트 혼합물을 사용한 배수성 포장 시공 시 1차선과 2차선의 골재크기가 눈에 띄게 다른 골재분포를 보이는 부분이 있어 텍스처 깊이를 산정하였으며, 그림 3에 나타내었다. 평균 프로파일 깊이(MPD)를 산정한 후 식(1)을 이용하여 3차원 텍스처 깊



(a) 1 ~ 20m



(b) 21 ~ 70m



(c) 71 ~ 110m

그림 3. 시공직후 텍스처 깊이 비교

이(ETD)로 변환하였다. 텍스처 깊이가 상이할 것으로 판단되는 부분의 텍스처 깊이가 그림 3과 같이 서로 다른 것을 알 수 있었다. 처음 시공부분 20m(0~20m), 50m(21~70m), 40m(71~110m)에 대하여 1차 시공에 비교하여 2차 시공의 텍스처 깊이가 작은 것으로 나타났다. 1차시공부분의 평균 텍스처 깊이는 20m는 0.91mm, 50m는 0.80mm, 40m는 0.75mm이다. 2차 시공부분의 평균 텍스처 깊이는 20m는 0.70mm, 50m는 0.72mm, 40m는 0.69mm이다. 평균 텍스처 깊이 비교에서도 나타나듯이 1차 시공에 비교하여 2차 시공의 평균 텍스처 깊이가 큰 것으로 나타났다.

그림 4에 아스팔트 콘크리트 포장 종류별 평균 텍스처 깊이를 나타내었다. 예상대로 SMA 포장과 배수성 포장의 텍스처 깊이가 밀입도와 아스팔트 콘크리트 기층과 비교하여 큰 것으로 나타났다. 호주의 텍스처 깊이에 의한 아스팔트 콘크리트 포장 분류에 의하면 SMA포장의 경우 0.7mm 이상, 밀입도는 0.4~0.8mm이다 (Mackey, 2007). 본 연구에서 산출한 밀입도와 SMA 포장의 텍스처 깊이는 호주의 분류기준과 일치한다.

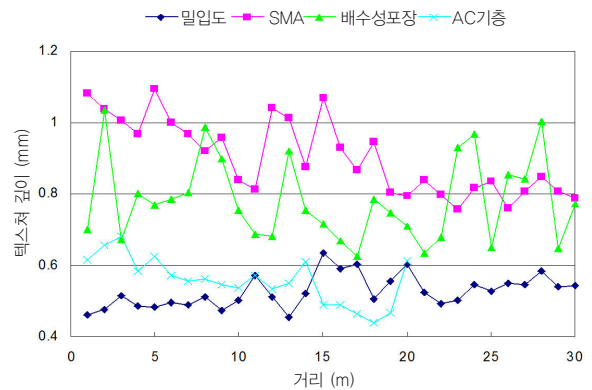


그림 4. 아스팔트 콘크리트 포장 종류별 텍스처 깊이

표 4에 본 연구에서 분석한 아스팔트 콘크리트 포장 종류별 프로파일 측정에 대한 평균 프로파일 깊이와 텍스처 깊이를 요약하였다.

표 4. 아스팔트 콘크리트 포장 종류별 텍스처 깊이 분석

포장형태	구간	측정회수	MPD(mm)	ETD(mm)
밀입도	1	1	0.40	0.52
		2	0.39	0.51
	2	1	0.41	0.53
		2	0.40	0.52
SMA	1	1	0.87	0.90
		2	0.85	0.88

	2	1	0.84	0.87
		2	0.84	0.87
배수성포장	1	1	0.59	0.68
		2	0.55	0.64
	2	1	0.63	0.70
		2	0.58	0.66
아스팔트콘크리트 기층	1	1	0.45	0.56
		2	0.43	0.54

아스팔트 혼합물 종류별 포장 표층 텍스처 깊이는 그림 4와 유사하게 SMA포장의 2구간의 평균 텍스처 깊이가 가장 컸으며, 배수성 포장, AC기층, 밀입도 포장 순으로 텍스처 깊이가 큼을 나타내었다. 또한, 표 3에서 보듯이 밀입도와 SMA의 텍스처 깊이의 반복성은 좋았으나 배수성 포장의 텍스처 깊이의 반복성은 밀입도와 SMA에 비하여 좋지 않은 것으로 나타났다. 이는 배수성 포장의 특성인 큰 공극이 많아 프로파일 측정에 영향을 받은 것으로 판단된다.

5. 결론

아스팔트 콘크리트 포장 표면의 텍스처 깊이를 분석하기 위하여 경량 프로파일러를 이용하여 포장 종류별 프로파일을 각 2회 측정하였다. 측정 정확도를 평가하기 위하여 Cross-correlation 함수를 이용하여 2회 측정 프로파일의 반복성을 평가하였다. 다양한 포장 표면의 텍스처 깊이를 비교·분석하기 위하여 밀입도, SMA, 배수성포장, 아스팔트 콘크리트 기층면의 프로파일을 측정하여 평균 프로파일 깊이를 산정한 후 텍스처 깊이로 변환하였다. 밀입도와 SMA 포장의 경우 시공 후 약 6년이 지났으며, 배수성 포장의 경우 시공 직후 프로파일을 측정하였다. 프로파일을 측정하여 텍스처 깊이를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 프로파일을 측정 정확도인 반복성 분석을 한 결과 반복성이 0.79 이상으로 비교적 양호한 측정이 이루어진 것으로 판단된다.
2. 배수성 포장의 경우 시공 직후 동일재료로 포설한 두 단면의 텍스처 깊이를 분석한 결과 1차 시공구간과 2차 시공구간의 텍스처 깊이가 다른 것으로 나타났으며, 또한, 아스팔트 콘크리트 혼합물 운반 차량 간에도 텍스처 깊이가 다른 것으로 판단된다. 이 연구를

보다 발전시켜 아스팔트 혼합물의 재료분리 탐색연구에 효과적으로 활용될 수 있으리라 판단된다.

3. 아스팔트 콘크리트 포장 종류별 텍스처 깊이를 분석한 결과 SMA포장의 텍스처 깊이가 가장 컸으며, 밀입도 포장의 텍스처 깊이가 가장 작았다.
4. 프로파일 측정간의 텍스처 깊이 산정의 반복성을 분석한 결과 밀입도와 SMA포장의 경우 반복성이 좋았으나 배수성 포장의 경우 반복성이 밀입도와 SMA포장에 비교하여 반복성이 좋지 않은 것으로 판단되었다. 이는 배수성 포장내의 큰 공극으로 인하여 텍스처 깊이의 반복성이 떨어진 것으로 판단된다.

향후 텍스처 깊이 연구를 진행하여 아스팔트 콘크리트 혼합물의 재료분리를 탐색할 수 있는 시스템을 구축할 수 있으며, 미끄럼저항성 및 소음과의 연관성을 연구하여 포장 안전성 기능 관리 기법의 향상을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 건설교통R&D정책·인프라사업 성능중심의 건설 기준 표준화 과제('06~'11)의 연구결과의 일부입니다.

참고 문헌

- 박대욱, 진정훈. 최소단면 보수지역의 평탄성 평가, *한국도로학회 논문집*, 제 12권 2호, 2010, pp. 123-127.
- ASTM. *Standard Practice for Calculating Pavement Macrottexture Mean Profile Depth. Annual Book of Standards*, Vol. 4.03. West Conshohocken, PA, USA, 2005.
- Flintsch, G. W., E. de Leon, K. McGhee, I. Al-Qadi Pavement Surface Macrottexture and Applications. *Journal of the Transportation Research Record*, No. 1860, 2003, pp. 168-177.
- Haas, R., R. W. Hudson, and J. Zaniewski. *Modern Pavement Management*. Krieger Publishing Company, Florida, 1994.
- Karamihas, S. M.. Critical Profiler Accuracy Requirements. *Research Report UMTRI-2005-24*, The University of Michigan Transportation Research Institute, Ann Arbor, Michigan, USA, 2005.
- Mackey, G. Road Surface Texture Measurement Recommended Investigatory levels. *Materials Group Technical Note 25*, Department for Transportation Energy and Infrastructures, Government of South Australia, 2007.
- Panagouli, O. K. and A. B. Kokkalis. Skid Resistance and Fractal Structure of Pavement Surface. *Chaos Solutions and Fractals*, Vol. 9, No. 3, 1998, pp. 493-505.

Stroup-Gardiner, M. and E. R. Brown. Segregation of Hot-Mix Asphalt Pavements. *NCHRP Report 441*, National Research Council. Washington, DC, 2000.

(접수일 : 2011. 8. 4 / 심사일 : 2011. 9. 5 / 심사완료일 : 2012. 4. 16)