

아스팔트 도로포장 두께에 따른 열전도도 변화

김성겸*, 이관호**

*공주대학교 사회환경공학과

**공주대학교 사회환경공학과

e-mail:tjdrua0614@kongju.ar.kr

Thermal Conductivity according to Asphalt Pavement Thickness

Seong-Kyum Kim*, Kwan-Ho Lee**

*Dept. Civil & Environment Engineering, KongJu National University

**Dept. Civil & Environment Engineering, KongJu National University

요약

일반적으로 아스팔트 포장 파손 중 열에 의한 파손은 주변환경과 재료적요인에 의해 발생된다. 그 중 공학적으로 조절이 가능한 포장체의 재료적 요인으로는 열-물리적 인자(Thermophysical properties)과 포장체 표면의 인자(Surface property)으로 나뉜다. 이에 본 연구에서는 재료적 요인에 해당되는 아스팔트 포장의 배합종류와 포장두께를 변화하여 열전달 특성을 연구하였다. 여구에 사용된 샘플의 종류로는 일반적으로 사용되어지는 밀입도 아스팔트 혼합물 WC-2와 순환골재를 30% 치환 사용한 ReWC-2, 배수성 아스팔트 혼합물인 PA-13을 선회다짐기로 다짐 제작하였다. 샘플의 두께는 3, 5, 10cm에 대하여 열누적 실험을 진행하였다. 10cm 기준 열전도도는 WC-2는 1.27, PA-13는 0.91를 보였으며, 포장두께가 증가함에 따라 열전도도는 감소하는 경향을 나타냈다. 이러한 연구결과는 향후 아스팔트 포장의 열에너지 하베스팅에 유용한 기본 자료로 사용될 것이라 판단된다.

1. 서론

아스팔트 포장체의 온도는 태양에너지의 흡수 및 반사등에 영향을 주는 아스팔트 혼합물의 재료특성에 영향을 받고, 에너지 균형을 맞추게 된다. 이러한 아스팔트 포장체의 열전달 특성은 아스팔트 포장 시공을 위한 아스팔트 혼합물의 생산, 운반 및 시공 및 공용성능에 큰 영향을 준다. 아스팔트 포장체의 열적 거동을 평가하기 위해서 아스팔트 포장 표면에 발생하는 열전달 특성과 열역학적 특성에 대한 이해 및 이를 기반으로 한 열전달 특성치 평가가 매우 중요하다. 그러므로 아스팔트 포장체의 열에너지 자원화를 하기 위해 근본적으로 아스팔트 혼합물의 열전달 특성치 평가에 대한 연구 필요하다.

본 연구에서는 아스팔트 포장의 열에 의한 파손 모형개발 및 차후 열에너지 자원화에 근간이 되는 아스팔트 두께 변화에 따른 열전달 특성에 대한 연구를 진행하였다. 평가에 사용되진 혼합물의 입도는 일반적인 밀입도 아스팔트 혼합물 입도인 WC-2와 배수성포장 입도인 PA-13입도를 사용하였으며, 추가적으로 재활용 골재 사용 유무에 따른 변화를 평

가하기 위하여 WC-2입도에 재활용골재를 30% 치환한 혼합물에 대해서도 평가를 실시하였다.

2. 아스팔트 포장체의 열전달 매커니즘

일반적으로 태양열에너지의 전달은 복사, 전도, 대류로 나누어 이루어진다. 복사의 경우 매개체가 없는 경우 효율적으로 이루어지고 전도의 경우 물리적인 순환 또는 이동이 없는 경우 발생된다. 마지막으로 대류의 경우 기체 또는 액체를 매개로 전달이 이루어진다. 대부분의 아스팔트 포장체는 높은 열에너지를 가진 입자에서 낮은 열에너지를 가진 입자로 열에너지가 이동시키는 입자들 상호작용에 의해 발생하므로 아스팔트 포장체의 열전달은 대부분 전도에 해당된다.



[그림 677] Heat conduction through a section of asphalt pavement

아스팔트 포장체의 열전달은 [그림 1]과 같으며, Fourier's Theory를 적용하여 Eq. (1)과 같이 포장체의 열전달 속도(열유속)를 표현할 수 있다.

$$Q_x = -kA \frac{\Delta T}{\Delta X} = -kA \frac{(T_2 - T_1)}{\Delta X} \quad (1)$$

여기서, Q_x x길이에 대한 열유속, k 열전도도 (W/mK), A 포장체의 면적 (m²), $\Delta T/\Delta X$ 단면에 대한 열흐름 방향 온도구배 (K/m), T_2 포장체 하부 온도 (K), T_1 포장체 표면온도 (K).

3. 샘플제작 및 실험방법

실험에 사용되어진 아스팔트 혼합물의 기본 물성은 [표 1]와 같다. 입도는 밀입도 아스팔트 표층인 WC-2와 배수성 아스팔트 표층인 PA-13을 이용하였으며, 사용되어진 바인더는 WC-2의 경우 AP-3, PA-13의 경우 고분자 개질 아스팔트 (SBS PMA)를 사용하였다. 순환가열 아스팔트 혼합물 (re_WC-2)의 경우 첨가되는 골재에 30%를 순환 골재(구재 아스팔트 1.5%포함)로 대체해서 혼합하였으며, 바인더 첨가량은 중량대비 4.2%를 추가 혼합하였다.

[표 1] Property of Hot Mix Asphalts

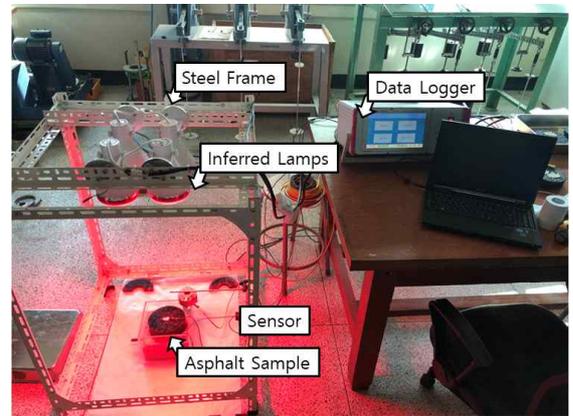
Type of HMA		WC-2	re_WC-2	PA-13
Sieve size(mm)				
passing (%)	20	100	100	100
	13	99.4	99.1	99.1
	5.0	63.2	26.1	26.1
	2.5	44.8	17.6	17.6
	0.6	22.2	8.2	8.2
	0.3	13.7	6.3	6.3
	0.15	9.9	5.1	5.1
	0.08	5.1	3.5	3.5
Optimum Asphalt Content(%)		5.6	5.7	4.6
Density (g/m ³)		2.361	2.364	2.013
Air void (%)		4.4	4.4	20.2

시편제작은 현장 다짐과 유사한 선회 다짐기를 이용하여 다짐각 1.25°, 다짐 압력 600kPa, 다짐속도 30회/mim로 [그림 2]과 같이 지름 150mm에 높이 50mm의 시편을 제작하였다.



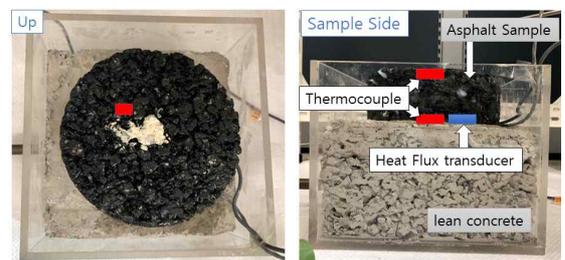
[그림 2] Asphalt Specimens

열에너지 누적에 따른 아스팔트 혼합물의 열전도 특성인자 값을 실시간으로 분석하고자 [그림 3]와 같은 시험 준비하였다. 시험에 적용된 적외선램프는 태양열에너지를 모사하였으며, 일사량계(Pyranometer)를 이용하여 실제 우리나라 여름철 가장 화장한 일사량(1000 W/m²)이 방사되는 위치에 설치하였다.



[그림 3] Laboratory Thermal Accumulation Test Setup

상부에서 적외선램프로 일사량을 가하여 바닥에 있는 아스팔트 시편에 열이 누적되는 구조로 준비하였다. 또한 아스팔트 시편 표면과 하부에 온도변화, 시편과 린콘크리트(Lean concrete) 사이의 열유속량, 아스팔트 표면에 가해지는 일사량을 실시간으로 측정할 수 있도록 세팅하였다.



[그림 4] Test Setup for Asphalt Sample

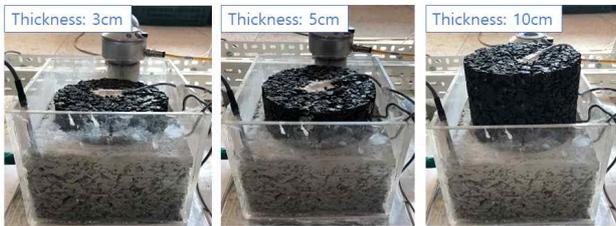
아스팔트 시편 하부에 린콘크리트 배합 슬래브

를 설치하여 일반적으로 사용되는 아스팔트 포장체 단면을 모형화하였다. 또한 [그림 4]과 같이 시편 중앙부에 열유속계와 온도센서를 부착하여 실시간으로 아스팔트 시편의 열전도도를 예측할 수 있게 하였다. 열전도도 산출 식은 아래와 같다.

$$k = \frac{H_f(t) * H_s}{T_s(t) - T_b(t)} \quad (6)$$

여기서, $H_f(t)$ 열 유속값 (W/m^2), H_s 시편의 높이 (cm), $T_s(t)$ 아스팔트 혼합물 상부온도($^{\circ}C$), $T_b(t)$ 아스팔트 혼합물 하부온도 ($^{\circ}C$)

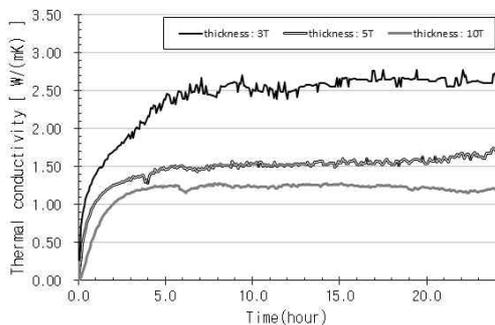
또한, 포장두께 변화에 따라 [그림 3]을 바탕으로 적외선 램프와 시편표면의 거리를 610mm로 세팅하여 실험을 진행하였다. [그림 5]은 높이 각각 다른 PA-13시편의 세팅 사진이다.



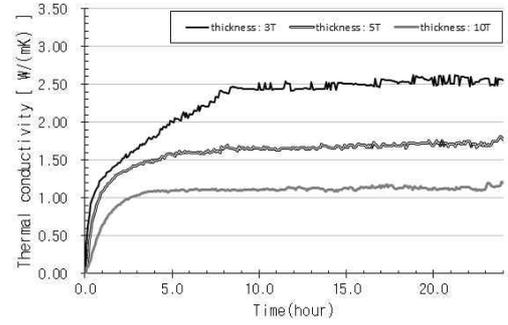
[그림 5] PA13 Sample Setup by Thickness

4. 실험결과

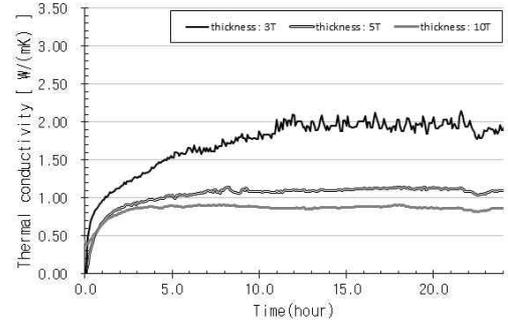
[그림7~6]은 각각 혼합물별 태양복사열이 지속적으로 가해질 경우 포장 두께에 따른 아스팔트 열전도도 그래프이다. 모든 시편의 종류에 대해서 포장 두께가 얇아질수록 열전도도는 크게 나타났으며, 대부분 10시간 이후에는 비교적 일정한 값에 수렴되는 열전도도를 나타내었다.



[그림 7] Thermal Conductivity versus Time for reWC2

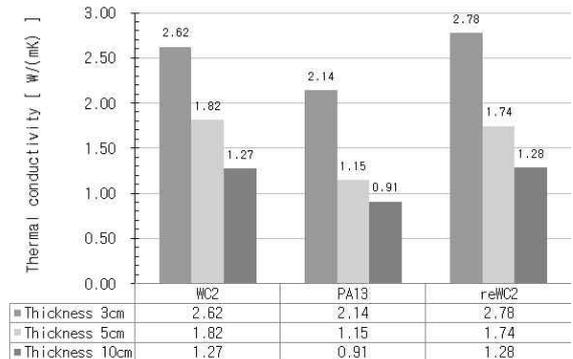


[그림 5] Thermal Conductivity versus Time for WC2



[그림 6] Thermal Conductivity versus Time for PA13

[그림 8]은 포장두께에 따른 열전도도 값을 정리한 막대그래프이며, [표 2]는 두께 3cm기준에서 열전도도 값의 감소량을 나타낸 표이다.

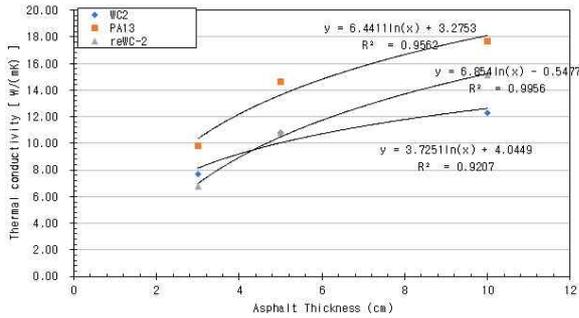


[그림 8] Thermal Conductivity versus Thickness

[표 2] Thermal Conductivity Result According to Thickness

Type	Thermal Conductivity (W/mk), (Thickness 3cm Reference reduction rate)		
	Thickness 3cm	Thickness 5cm	Thickness 10cm
WC2	2.62, (-%)	1.82, (30.8% ↓)	1.27, (51.5% ↓)
PA13	1.82, (-%)	1.15, (46.6% ↓)	0.91, (57.5% ↓)
reWC2	2.78, (-%)	1.74, (37.1% ↓)	1.28, (53.7% ↓)

감소량 추세는 WC2와 reWC2는 두께에 따른 감소량이 유사한 값을 나타냈으나 공극률이 높기 PA13의 경우 두께 3cm와 5cm에서의 증감 폭이 비교적 크게 나타났다. [그림 9]은 아스팔트 두께에 따른 최대 열전도도의 추세를 나타낸 그래프이다.



[그림 9] Thermal Conductivity versus Asphalt Thickness

참고문헌

- [1] 이관호, 김성겸, “태양열 에너지에 의한 아스팔트 포장의 열전달 특성”, 산학기술학회논문지, 제 21권 1호, pp. 717-724, 1월, 2020년.