아스팔트 포장열을 활용하여 에너지 하베스팅을 위한 기초적인 연구

A Preliminary Study of Energy Harvesting Technology from Asphalt Pavement

이재준* · 안지환** · 이진범*** · 권수안****

Lee, Jae-Jun · An, Ji-Hwan · Lee, Jun-Beom · Kwon, Soo-Ahn

1. 서 론

21세기 첨단 IT시대에 살면서 우리 주변에서는 필수품이 되어버린 휴대폰, 노트북, 휴대용 게임기, MP3, 디지털 카메라 등의 휴대용 전자제품을 널리 사용하고 있다. 이러한 제품의 에너지 공급원으로 지금까지는 전지가 주로 사용되고 왔다. 최근에는 이러한 전자제품에 에너지 공급원에 대해서 많은 연구가 진행되고 있는 것이 주위 환경으로부터 에너지를 수확하여 전력으로 변환하는 에너지 하베스팅 기술에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.(1) 에너지 하베스팅 기술은 주변에서 소비되거나 미활용되는 환경에너지 또는 자연에너지, 충격에너지 등을 흡수하여 에너지 하베스팅 소자를 이용하여 전기에너지로 변환하여 사용하는 환경 재생형 에너지원 생산기술을 말한다.(1)

지구온난화가 전세계적으로 이슈화되면서 지구온난화의 주요인인 이산화탄소 배출을 감소하기 위한 노력이 진행되고 있다. 이산화탄소 가스배출을 줄이기 위한 녹색정책이 진행되면서, 친환경적인 에너지 생산방법 및 관련된 연구들이 많이 추진되고 있다. 아래 표 1은 다양한 신재생에너지(태양, 풍력 등)와 에너지 하베스팅에 관한 기술을 여러 가지 항목별로 비교하여 정리해 설명해 주고 있다.

도로분야에서 에너지 하베스팅 기술이 최근 이스라엘과 미국등 선진국을 통해서 초기연구가 진행되고 있다. 차량 하중에 의해 발생되는 충격에너지를 전기에너지로 전환하는 기술과 도로에 흡수된 태양열 에너지를 활용하고자 하는 연구들이 진행 중에 있다. 최근 국가 기간시설물로 건설된 도로는 단지 물류 수송을 위해 사용되어진다는 개념을 벗어나 새로운 신재생 에너지를 생산 할 수 있는 인프라로서 관심을 가지게 되면서, 기존의 석유에너지에 의한 자원고갈 또는 환경 오염등 다양한 문제점을 해결 할 수 있는 대체 신재생 에너지 생산기술을 적용 할 수 있는 공간으로서 경제적, 환경적 거대한 잠재력을 가지고 있다. 그러므로, 이러한 공간에 적용 가능한 핵심 기술개발이 필요하다.

본 논문에서는 국내 도로포장의 90%를 차지하는 아스팔트 포장이 낮시간동안 흡수한 태양열 에너지를 열전소자를 이용하여 전기에너지로 변환 할 수 있는 시스템을 개발 가능성을 알아 보기 위해 수행한 기초적인 연구 내용을 소개하였다. 지금까지 낭비되었던 친환경 태양열 에너지를 효율적으로 활용할 수 있는 방법을 개발하며 국토의 1.04%를 차지하는 도로에서 태양열을 흡수한 포장체로부터 에너지 하베스팅을 할 수 있는 방법에 관한 기초연구를 수행하였다.

* 정회원 · 한국건설기술연구원 · 수석연구원 · 031-910-0350(E-mail:yijaejun@kict.re.kr)
** 정회원 · 한국건설기술연구원 · 전임연구원 · 031-910-0407(E-mail:jenix@kict.re.kr)
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 · 전임연구원 · 031-910-0386(E-mail:ohnewhara@kict.re.kr)
**** 정회원 · 한국건설기술연구원 · 연구위원 · 031-910-0174(E-mail:sakwon@kict.re.kr)

2. 연구 방법

그림 1은 일반 국도 아스팔트 포장체의 내부 온도를 위치마다 24시간동안 측정한 결과를 보여주고 있다. 포장체 하부로 내려갈수록 태양열을 흡수하는 양이 적기 때문에 포장체 온도가 내려감을 알 수 있었으며, 5cm 위치에서 포장체 온도가 가장 높음을 알 수 있었다. 또한, 국내에서 가장 널리 사용되고 있는 포장 보수 공법으로는 5cm 덧씌우기가 일반적으로 사용되고 있다. 본 연구에서는 가로 30cm, 세로 30cm, 두께 5cm 일반 밀입도 아스팔트 콘크리트 시편을 실내에서 제작하여 사용하였다. 제작된 시편 하부에 열전소자를 설치하여 태양열에 의한 포장체 온도 상승에 따른 에너지 발생량을 측정하였다.

표 1. 기술 비교표 [2]

	Wind	Solar	Geothermal	Hydropower	Coal	Oil&Gas	Energy Harvesting
Payback, years**	12~30	20~30	10~20	12~15	15~20	10~13***	4~8*
Reliable	☒	☒	☑	☑	☑	☑	☑
Clean	☑	☑	☑	☑	☒	☒	☑
Mature Technology	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☒
Development Availability	☒	☒	☒	☒	☑	☑	☑
Implementation in urban areas	☒	☑	☒	☒	☒	☒	☑
Low maintenance cost	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☑
successful operates in Northern area	☒	☒	☑	☑	☑	☑	☑
Preserves environment in original state	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☑

* Depending on the volume of traffic
** Assuming revenue from consumer of 10¢ per kWh
*** Assuming revenue from consumer of $60 per barrel

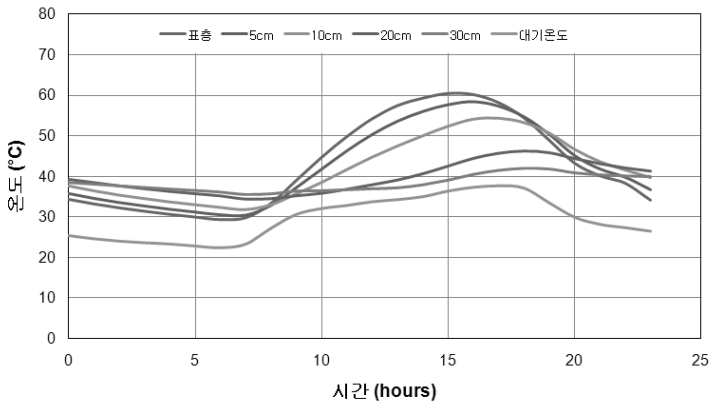


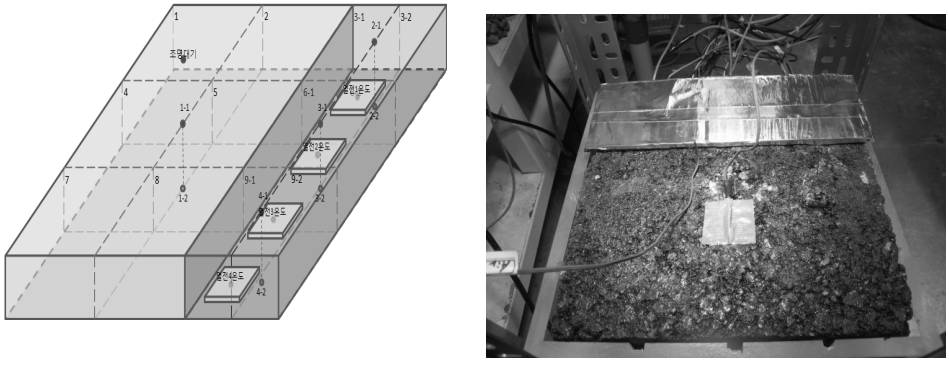
그림 1. 아스팔트 포장체 깊이별 온도 분포도(24시간)

2.1 열전효과 및 열전소자

열전효과(thermoelectric effect)는 포괄적으로 열에너지와 전기에너지의 상호작용을 말하는 것으로 열전효과의 종류로는 제베크효과(seebeck effect)와 펠티에효과(peltier effect)가 있다. 제베크효과는 두 종류의 금속을 고리모양으로 연결하고, 두 점 사이에 온도차를 주면 기전력이 발생하여 전류가 흐르는 현상을 말한다. 제베크효과 원리로 만들어진 것이 열전소자(thermoelectric device)이며 이는 양단의 온도차가 생겼을 때 전기를 만들어낸다. 그림 2는 본 연구에 사용된 열전소자로 크기는 가로 5cm, 세로 5cm, 높이 5mm의 규격을 가지고 있으며, 4개의 소자를 이용하여 온도차이에 따른 전기 발생량을 데이터 로거를 통해서 측정하였다.

2.2 열전 실험 장치

그림 1에서 나타난 것과 같이 포장체 열이 높은 곳은 태양의 직사광선을 직접 받는 표층부와 가까울수록 태양열을 효율을 가장 높일 수 있다. 표층부로부터 5cm 이하가 표층부 온도와 가장 근사함을 알 수 있었다. 본 연구에서는 5cm 이하에 열전소자를 매설하여 Energy Harvesting을 하고자한다. 표층부 5cm에 에너지 하베스팅을 위한 열전소자를 매설할 경우 차량 주행시 발생되는 하중에 의해 손상을 입을 염려가 있기 때문에, 차량 하중이 가해지지 않는 길어깨 부위를 활용하여 에너지 하베스팅을 하기 위한 기초연구를 수행하고자 한다. 본 실험을 위하여 그림 2와 같이 5cm 아스팔트 시편을 이용하였으며, 태양을 모사하기 위해 할로겐 램프를 사용하여 시험체 표면(위치 1-1)에 열을 가하였으며, 그림 2에서 도식화 된 것과 같이 오른쪽 부분(위치 3, 6, 9)은 태양열 차단을 하여 길어깨 부분을 모사하였다. 일반적으로 길어깨 부분은 주행차선보다 태양광에 노출되는 시간이 적거나 없기 때문에 윗면에 차단막을 설치하여 태양으로부터 직사광선을 차단하는 시스템을 구축하였다. 표면 최고 온도는 50℃로 유지하도록 하였으며, 경과시간에 따른 조명으로부터 수직 아래 부분의 아스팔트 시편의 표면과 아스팔트 하부 온도를 측정하였으며, 길어깨 부분 위치에서 3곳에서 상부와 하부 온도를 측정하였으며, 그림 2에서 나타낸 것처럼 길어깨 부분에서 열전소자를 매설하여 발생되는 전력량을 데이터 로거를 이용하여 측정하였다.



(a) 열전 모듈 시험체 조감도 (b) 테스트 시편 전경

그림 2. 길어깨 부위 열전 소자 테스트 전경

3. 실험결과

3.1 아스팔트 포장 온도차이에 의한 전기 생산 가능

그림 3은 20시간동안 측정된 실내 테스트용 포장체 온도 측정 결과를 보여주고 있다. 램프빛을 직접 받는 부분과 받지 않는 부분의 온도차이가 크게 발생하는 것을 보여주고 있으며, 램프 직사광선을 받는 포장체 하부 온도보다도 램프빛을 받지 못하는 표층의 온도가 낮음을 알 수 있었다. 그림 4은 위치별 시험체의 상·하부 온도차를 정리한 것이다. 현장의 길어깨 위치 모사한 부분(햇빛을 받지 않는 부분)에서의 표층과 하부의 온도차는 1℃ 내외로 아주 적었으나, 태양열을 받는 부분에서의 표층과 하부의 온도차는 10℃ 이상 발생함을

알 수 있었다.

그림 5는 길어깨 부분(직사광선을 받지 않는 곳)에 매설된 열전소자에서 발생되는 전력량을 보여주고 있다. 태양광이 직접 받는 곳으로부터 가까운 거리에 위치한 열전소자(2.3번 위치)에서 다소 많은 전력량이 발생 됨을 알 수 있었으며, 태양열이 비춰지는 곳에서 먼거리일수록 발전되는 전력량이 적음을 보여 주고 있다. 직접 태양을 받지 않는 길어깨 부분이지만, 미흡하나마 전력량은 계속 발생함을 알 수 있었다. 600분(10시간) 경과 후부터는 발생되는 전력량이 일정함을 보여주고 있다.

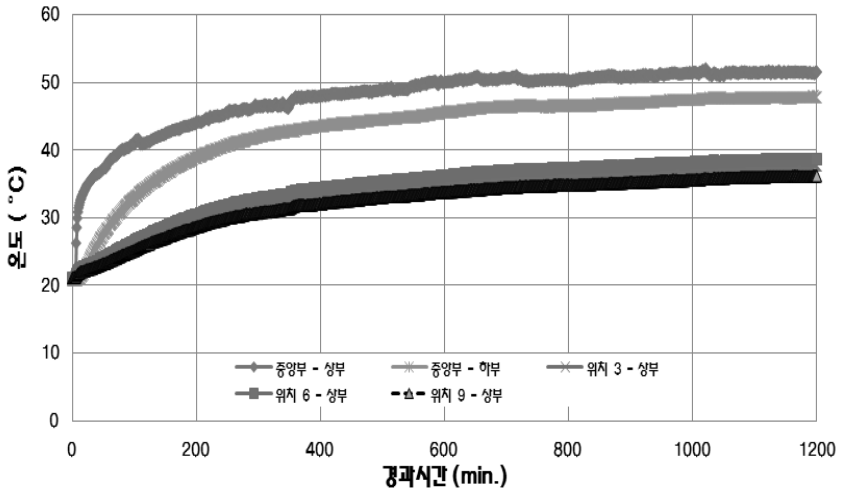


그림 3. 포장체 온도 측정 결과

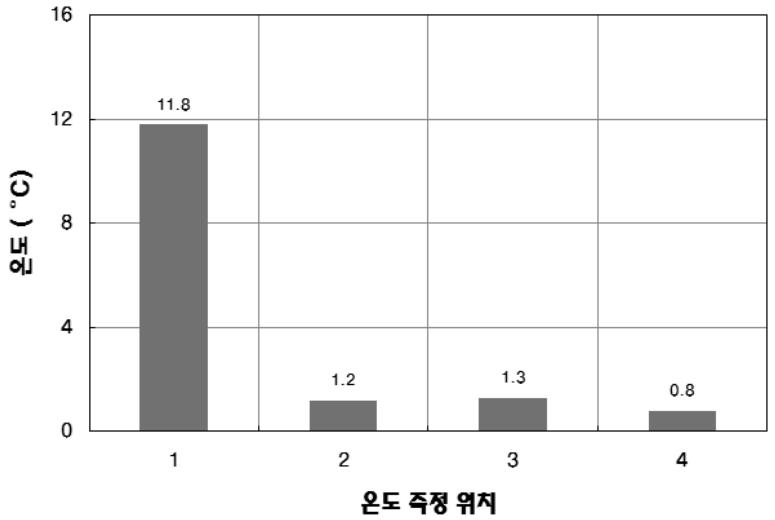


그림 4. 포장체 온도 측정 결과

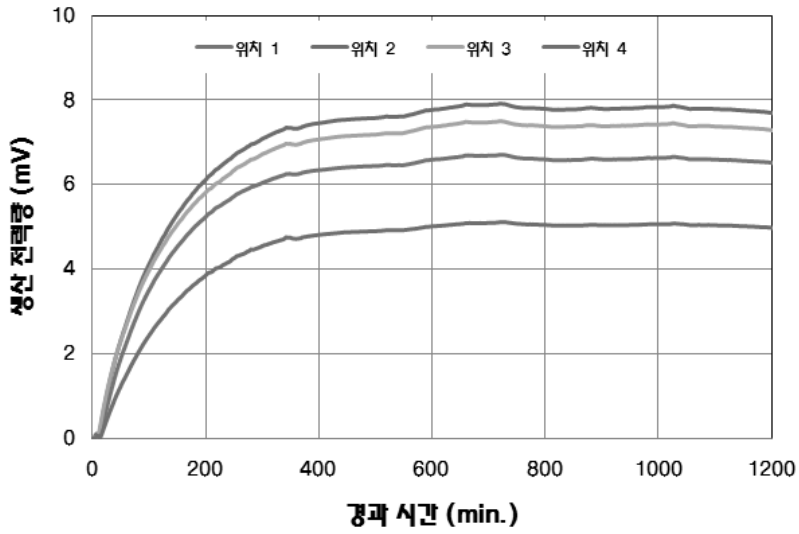


그림 5. 포장체 온도 측정 결과

4. 결 론

도로포장체에서 실현가능한 에너지 하베스팅 연구의 일환으로 태양열을 흡수한 도로포장체의 열을 활용하기 위한 열전효과를 활용한 에너지 하베스팅 적용을 위한 기초연구의 결과는 다음과 같다.

1. 햇빛에 직접 노출되지 않는 조건에서도 열전소자를 사용할 경우, 미세한 온도차에 의해 발생되는 전력량을 측정할 수 있었다.
2. 길어깨 부분에 열전소자를 활용한 에너지 생산시스템을 설치할 경우, 가능한 태양열에 노출되는 곳과 가까운 곳에 설치를 해야 많은 전력을 생산 할 수 있음을 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 한국건설기술연구원 시드사업 연구과제 결과의 일부입니다.

참고 문헌

1. 유병곤, (2008) MEMS 기술을 이용한 에너지 하베스팅 기술, 전자통신동향분석 제 23권 제 6호 2008년 12월, p48~58
2. http://www.innowattech.co.il/images/pdf/brochure.pdf
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric_effect