

## 콘크리트 구조물에서의 열전모듈 거동에 관한 기초연구

### Fundamental Study of the Behavior of Thermoelectric Module on Concrete Structure

임치수 Lim, Chisu  
이재준 Lee, Jaejun

전북대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail : limchisoo@naver.com)  
정희원 · 전북대학교 토목공학과 조교수 · 교신저자 (E-mail : lee2012@jbnu.ac.kr)

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** The purpose of this paper is to investigate the application of thermoelectric technology to concrete structures for harvesting solar energy that would otherwise be wasted. In various fields of research, thermoelectric technology using a thermoelectric module is being investigated for utilizing solar energy.

**METHODS :** In our experiment, a halogen lamp was used to produce heat energy instead of the solar heat. A data logger was used to record the generated voltage over time from the thermoelectric module mounted on a concrete specimen. In order to increase the efficiency of energy harvesting, various factors such as color, architecture, and the ability to prevent heat absorption by the concrete surface were investigated for the placement of the thermoelectric module.

**RESULTS :** The thermoelectric module produced a voltage using the temperature difference between the lower and upper sides of the module. When the concrete specimen was coated with an aluminum foil, a high electric power was measured. In addition, for the power generated at low temperatures, it was confirmed that the voltage was generated steadily.

**CONCLUSIONS :** Thermoelectric technology for energy harvesting can be applied to concrete structures for generating electric power. The generated electricity can be used to power sensors used in structure monitoring in the future.

#### Keywords

*Thermoelectric module, energy harvesting, temperature difference*

Corresponding Author : Lee, Jaejun, Assistant Professor  
Department of Civil Engineering, Chonbuk National University,  
567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Chonbuk, 54896, Korea  
Tel : +82.63.270.2427 Fax : +82.63.270.2421  
E-mail : lee2012@jbnu.ac.kr

International Journal of Highway Engineering  
http://www.ksre.or.kr/  
ISSN 1738-7159 (print)  
ISSN 2287-3678 (Online)  
Received Aug. 25, 2015 Revised Aug. 27, 2015 Accepted Oct. 01, 2015

## 1. 서론

최근 경제 발전과 함께 화석원료 소비량 증가로 인해 에너지 자원의 고갈과 지구 온난화와 같은 기상이변이 전 세계적으로 이슈화되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 해결책으로 친환경적인 풍력, 태양열, 조력등과 같은 신재생 에너지라는 분야의 기술에 많은 관심을 가지고 있으며, 이에 따라 산업의 각 분야에서는 신재생 에너지를 적용시켜 적극적인 활용을 위한 방안을 강구하고 있다. 건설 토목 분야에서도 현재 주로 운송수단의

기능만을 수행하고 있는 도로 구조물과 일반적인 구조물의 대부분을 차지하는 콘크리트에 신재생 에너지를 접목시키기 위한 연구를 계속해서 진행하고 있다.

이와 같이 현재 이슈가 되고 계속해서 연구가 진행되고 있는 신재생 에너지 분야에서도 열을 에너지원으로 하여 전기를 생산하는 Thermo electric Module(열전모듈)을 이용한 발전은 버려지는 폐열을 에너지원으로 전기에너지를 생산하고 또 설치 시 반 영구적으로 사용이 가능하다는 장점이 있어 크게 주목받고 있다. 특히

의료·자동차와 같이 고온의 폐열을 이용할 수 있는 분야에서는 많은 기술 발전을 이뤄내고 상용화에 성공했지만, 현재까지는 열전모듈의 낮은 에너지 변환효율을 이유로 건축 토목 분야에 적용하기에는 많은 제약이 있어 작은 온도차이에서도 일정 수준의 전력을 확보할 수 있는 방향으로 연구가 진행되고 있다.

Hasebe 외 3인은 여름과 같은 계절에 아스팔트 포장에 70°C까지 상승하고 이렇게 고온으로 상승한 도로는 열섬효과를 발생시켜 주변온도까지 높아진다는 점에 중점을 두고 도로 주변의 강이나 호수의 물을 인접해 있는 도로에 냉각수로 공급하여 도로표면 온도상승을 방지하는 동시에 열전모듈을 통해 전력을 생산하는 방법에 대한 연구를 수행하였다.

국내에서도 이러한 열전모듈을 이용한 발전을 도입하기 위한 연구가 계속해서 진행되고 있다.

Jo 외 3인은 국토의 면적에서 많은 비중을 차지하고 있으며, 주변에서 발생하는 열을 흡수하는 특성이 있는 아스팔트 포장 도로를 열전발전의 열 에너지원 관점으로 접근하여 전기에너지를 생산하는 방안에 대한 연구를 수행하였다.

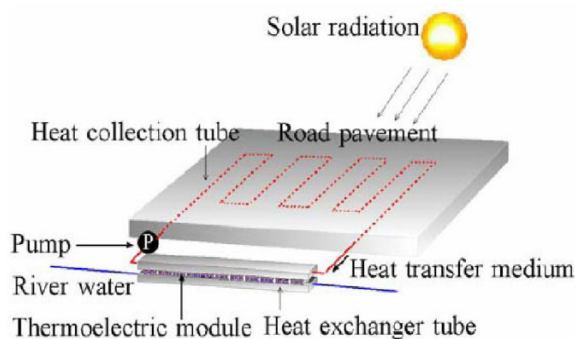


Fig. 1 Concept of the RTEC System (Hasebe et al., 2006)

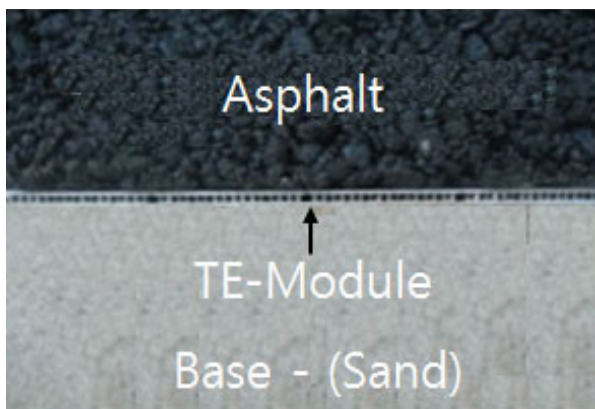


Fig. 2 TE-Module Embedded in the Asphalt Pavement and Ground Floor (Jo et al., 2011)

## 2. 열전모듈(Thermoelectric Module)

열전모듈은 다수의 P형 반도체와 N형 반도체가 접합되어 있는 구조로 이루어져 있는데 여기서 P형, N형의 반도체는 각각 전기적으로는 직렬, 열적으로는 병렬로 연결되어 있다(Kim et al., 2013). 이러한 열전모듈은 한 면에 온열 또는 냉열이 가해지면 제백효과에 기인하여 전력을 생산하게 된다. 제백효과란 P형과 N형의 양극으로 구성된 단자가 온도차에 의해 전류의 흐름이 발생하여 전압이 생성되는 것을 말한다(Piao et al., 2014).

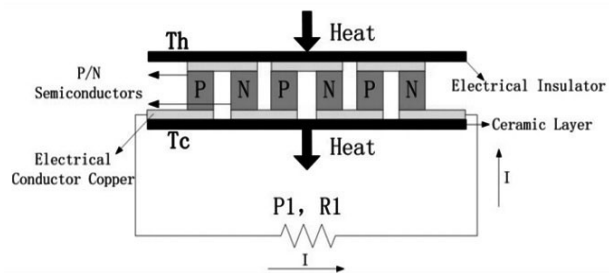


Fig. 3 Operate Model for a TE-Module. The Semiconducting P/N Junctions(Connected in Series) Generate Electricity due to Temperature Gradient. (Chang et al., 2013)

## 3. 열전기술을 이용한 국내 기술 동향

현재 국내에서는 열전기술의 적용을 위해 여러 분야에 걸쳐 연구가 진행되고 있다. 최근 자동차 분야에서는 내연기관에 투입되는 에너지의 70% 이상이 버려진다는 점에 초점을 맞춰 내연기관의 폐열을 회수해 열전모듈과 접목하여 배터리 충전회로를 구성하는 방법에 대한 연구를 진행하였다(Kim, 2013). 이와 같이 열전모듈을 다양한 분야에 적용시키고, 열전효율을 높이기 위한 연구가 계속해서 진행되고 있으며 이러한 연구를 통해 기존 열전변환에너지의 단점인 낮은 에너지 변환효율을

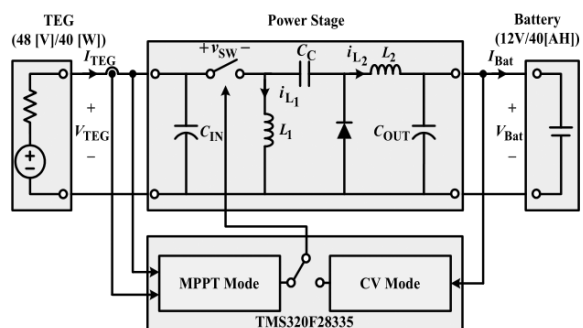


Fig. 4 Battery Charging System using a TE-Module (Kim et al., 2013)

극복할 수 있을 거라 예측된다.

#### 4. 실험방법

본 연구에서는 Fig. 5에서 설명하고 있는 장비를 이용하였다. Fig. 5(a)는 실험에 사용된 TE-Module(열전모듈)과 데이터로거이다. 열전모듈은 국내 P사의 55×52mm의 단면적을 갖는 HMG-7550모델을 사용하였으며, 실험진행 중 열전모듈에서 생성된 전압은 A사의 정·동적 Data-Logger를 통해 1.5분을 기준으로 측정 및 수집하였다.

본 실험에서는 280×280×70mm 크기의 모르타르 시편을 사용하였으며 에너지원이 되는 태양열은 할로겐램프를 통해 모사했다. 또한 실험 시 온도와 습도에 대하여 일정한 조건을 유지하기 위해 앵글과 아크릴 판으로 조립된 실험체를 제작하고 실험체 내부에서 실험을 실시하였다. Fig. 5(b)는 실험 전경을 나타내고 있다.



(a) TE Modulue and Data Logger



(b) Front View of Set-Up

Fig. 5 Experimental Set Up

#### 5. 실험결과

##### 5.1. 표면 반사재료 도포 시 열전특성

기존 실험을 통해 할로겐램프가 모르타르 시편에 열을 가했을 때, 시간이 경과함에 따라 시편이 열을 흡수하여 일정시간 이후에는 열전모듈의 온열부와 냉열부의 온도차이가 감소하고 이에 따라 생산 전압 또한 계속해서 감소하는 경향을 파악할 수 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 알루미늄과 같은 비 투과성 물질을 모르타르 시편에 덮어줌으로써 할로겐램프에서 방출되는 열을 반사시켜 열전모듈의 온열부와 냉열부의 온도 차이를 유지하는 방안을 도출했다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 6처럼 박막형식의 알루미늄 호일을 모르타르 시편의 상부 표면에 도포한 상태로 실시하였다. 실험결과와 Fig. 7에 나타나 있는 바와 같이 두 가지 경우에 대하여 매우 다른 경향을 나타냈다. 알루미늄 호일을 도포한 경우는 열전모듈의 외부케이스링 설치 또는 시편내부 관입과 같이 열을 가둬 일정 생성전압을 유지하는 방법이 아니었음에도 불구하고 최대 전압 생산 이후에도 생산량이 소폭 감소했지만, 일정 생산량을 계속해서 유지했다. 이는 알루미늄 호일을 시편 외부에 도포하게 되면 할로겐램프에서 방출된 열이 시편내부로 흡수되는 것을 방지하여 열전모듈에 가해지는 온·냉열부의 온도 차이를 계속해서 유지해준다는 것을 나타낸다.

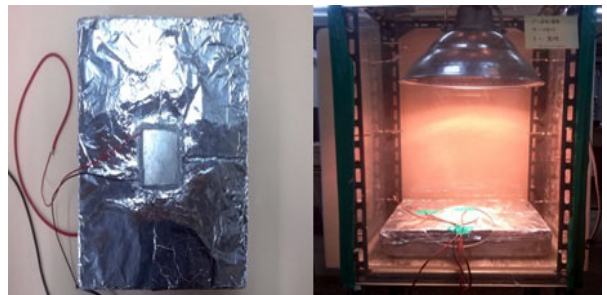


Fig. 6 Aluminum Foil Coated with a Mortar Specimens

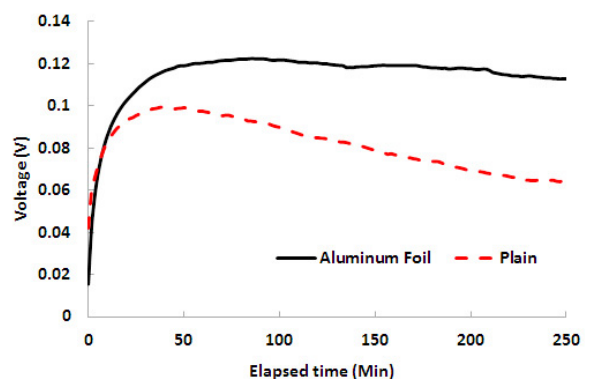


Fig. 7 Generated Voltage between Aluminum Foil and Plain

## 5.2. 외부 아크릴케이싱 면적에 따른 열전특성

열전모듈을 도로 구조물에 적용시켜 반 영구적으로 사용하기 위해서는 열전모듈의 외부에 케이싱을 설치하는 방법 및 구조물 내부로 관입시키는 방법과 같이 모듈을 외부의 충격으로부터 보호할 수 있는 방안을 고려해야 한다. 본 연구에서는 열전모듈이 콘크리트 구조물 내부에 설치되지 않고 구조물의 외부에 설치된다고 가정하여 열전모듈의 외부에 설치되는 원형케이싱의 단면적 크기가 열전모듈의 발전효율에 미치는 영향을 파악하기 위한 실험을 실시하였다. 케이싱은 아크릴을 이용하여 제작하였으며 각 케이싱의 높이는 100mm로 고정하였고, 직경은 각 80mm와 140mm로 설정하였다. Fig. 8은 설치된 실험의 모식도이다.

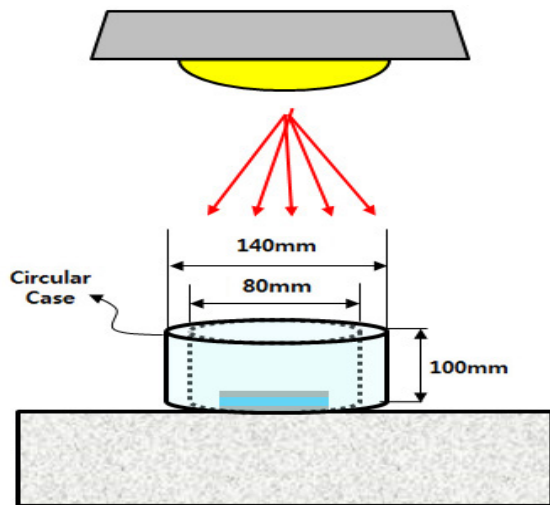


Fig. 8 Experimental Schematic Diagram using a Circular Casing

원형 아크릴 케이싱의 면적에 따른 실험결과는 Fig. 9와 같다. 실험결과 케이싱의 면적이 전압발생의 경향에 큰 영향을 주지는 않았으나, 직경을 80mm로 한 아

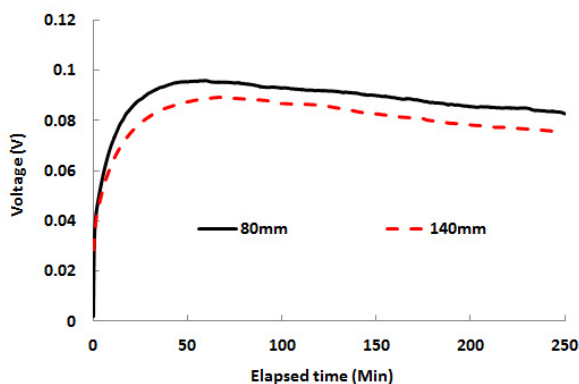


Fig. 9 Voltage Generated as a Result of the Diameter

크릴 케이싱이 250분 동안 생산된 전압에서 미소한 차이로 더 높은 효율을 나타냈다. 이는 케이싱의 면적이 적정 수준 이상으로 커지면 오히려 발전효율 측면에서 더욱 불리하게 작용할 수 있다는 것을 나타낸다. 따라서 열전모듈을 실제 구조물의 외부에 적용시키고, 효율적으로 사용하기 위해서는 열전모듈의 크기에 따른 케이싱 적정 단면적 선정이 매우 중요할 것이라는 것을 의미한다.

## 5.3. 투과성 물질과 비 투과성 케이싱의 열전특성

앞선 실험과는 반대로 열전모듈이 콘크리트 구조물 외부에 설치되지 않고 구조물의 내부에 설치된다고 가정하여, 이 실험에서는 Fig. 10과 같이 열전모듈을 모르타르 시편내부에 관입시킨 상태에서 모듈의 상부면을 비 투과성 물질인 알루미늄과 투과성 물질인 유리로 각각 압착시킨 상태에서 생산 전압량을 비교하였다. Fig. 10의 (a)는 모듈의 하부에 2mm의 알루미늄판을 붙인 상태에서 시편내부로 관입시키고, 시편의 상부면을 투과성 물질인 유리로 마감한 상태이며, Fig. 10(b)는 (a)와 동일한 조건에서 상부면을 비 투과성 물질인 알루미늄판으로 마감한 상태이다.

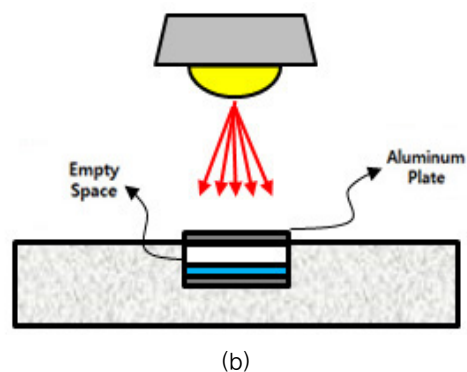
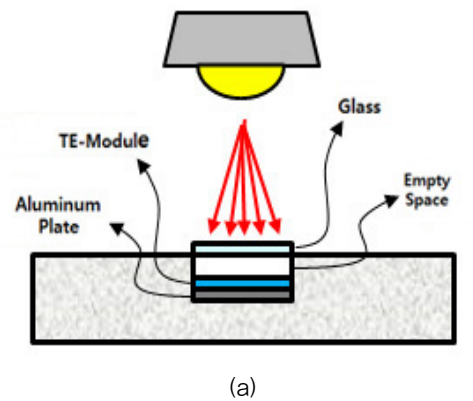


Fig. 10 Schematic Diagram using a Permeability and Non-permeability Materials

실험은 약 250분 가량 진행되었으며, 생산된 전압은 1.5분을 기준으로 평균값을 측정했다. 각각의 실험에 대한 발생전압의 결과는 Fig. 11에 도시되어 있는 그래프와 같은 경향을 나타내었다. 실선은 상부면에 유리를 압착시킨 상태에서 진행된 실험의 측정시간-생성전압 그래프이며, 점선은 알루미늄을 압착시킨 상태의 결과를 나타낸다. Fig. 11에 도시되어 있는 바와 같이 동일한 조건에서 발생하는 전압의 생성 경향은 비슷하였지만 발전량에서 많은 차이를 보였다. 투과성 물질인 유리를 모듈의 상부에 위치시켰을 때 특정 시간에서 최대 생성되는 전압의 양이 약 4.5배 정도 높은 것으로 나타났다. 이는 유리와 같은 투과성 물질은 열을 흡수하여 열전모듈의 온열부에 효과적으로 열을 전달하지만 알루미늄과 같은 비 투과성 물질은 열 흡수를 방해한다는 것을 나타낸다. 따라서 모듈을 구조물 내부에 관입시켜야 할 경우에는 방호대책으로 투과성 물질을 사용하는 것이 발전효율 측면에서 더 효과적이라는 것을 나타낸다.

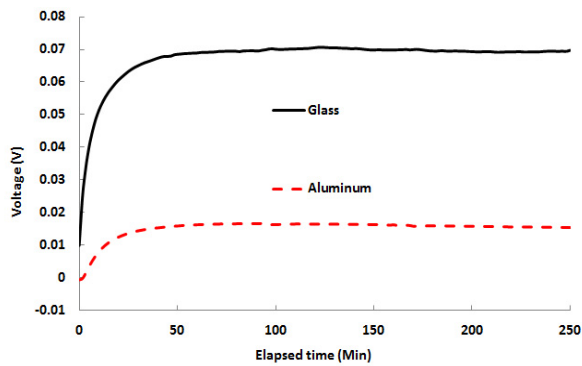


Fig. 11 Generated Voltage

#### 5.4. 저온에서의 발전거동

앞선 실험은 할로겐램프를 통하여 열을 방출하고 열전모듈의 온열부에 열을 흡수시켜 전압을 생성하는 방식으로 수행되었다. 그러나 열전모듈의 발전효율을 극대화시키기 위해서는 저온에서의 발전거동을 파악하는 것도 매우 중요하다고 판단되어, 항온·항습조와 같이 일정하게 저온을 유지할 수 있는 장치에 실험체를 설치한 후,  $-5^{\circ}\text{C}$ 의 조건에서 생산되는 전압을 측정하였다. 실험체는 Fig. 13과 같이 모듈의 저온조건에서의 기본적인 발전거동의 특성을 파악하기 위해 케이싱 또는 내부 관입없이 열전모듈에 기본적인 2mm의 알루미늄 판을 압착시킨 상태에서 시편의 표면에 위치시켰다.



Fig. 12 Constant Temperature-Humidity Controller

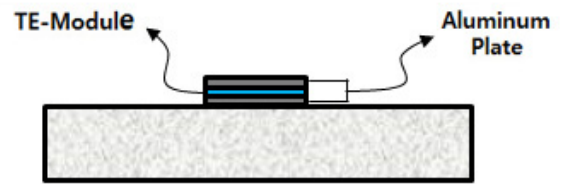


Fig. 13 Schematic Diagram of Specimen

Fig. 14는 실험 진행 중 측정된 온도데이터를 도시한 그래프로, 실험 초기 약 60분까지는 상온을 유지하고 이후  $-5^{\circ}\text{C}$ 까지 떨어지는 과정에서 대기와 모르타르 시편의 표면과 내부 온도를 나타낸다. 영하의 조건에서 생산된 전압은 Fig. 15에 도시된 바와 같다. 실험초기에는 모듈의 양면에 온도차이가 발생하지 않아 전압 또한 생산되지 않았지만 이후 온도가  $-5^{\circ}\text{C}$ 에서 유지되면서 전압이 발생하기 시작하였다. 상대적으로 전압의 크기는 할로겐램프를 이용한 상온에서의 발전량보다는 미미했지만, 실험 결과를 통해서 저온·영하의 온도에서도 지속적인 전력의 생산이 가능할 것이라 판단된다.

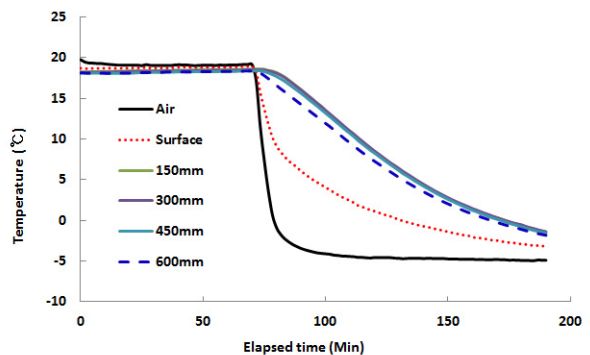


Fig. 14 The Measured Temperature

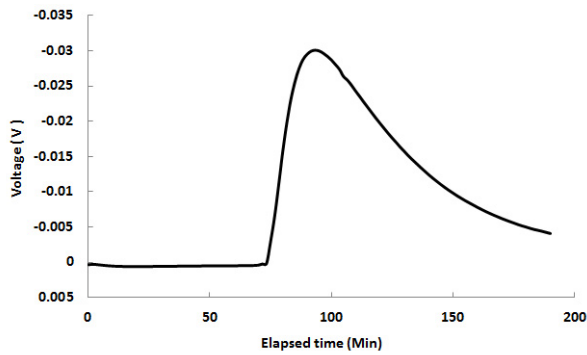


Fig. 15 The Generated Voltage at a Low Temperature

## 6. 결과

본 연구는 신재생에너지의 일환인 열전변환을 원리로 하는 열전모듈을 도로 또는 토목구조물에 적용하기 위한 실내실험에 대한 결과를 정리했다.

1. 열전모듈을 구조물의 외벽과 같이 외부에 설치 시 구조물 내부의 온도 상승을 방지할 수 있는 반사재료를 도포하면 모듈을 통한 발전량을 향상시킬 수 있다는 것을 확인하였다.
2. 열전모듈의 케이싱 설치 시, 모듈의 크기에 따른 적절한 면적의 케이싱을 설치해야 하며, 과도한 면적을 갖는 케이싱은 발전효율, 경제적인 측면에서 매우 불리하다는 것을 알 수 있었다.
3. 열전모듈을 내부로 관입시키는 경우에 대해서는 상부표면을 투과성 재료로 도포하는 것이 모듈의 온열

부로 효과적인 열전달이 가능해 발전 측면에서 더 효율적이라는 것을 확인할 수 있었다.

4. 저온·영하의 온도에서 발전거동 특성을 파악하기 위해 온도가 (+)에서 (-)로 떨어지는 과정을 모사해 발전량을 측정하였으며, 결과적으로 상온과 비교했을 때 미소한 양이지만 꾸준한 전력의 생산이 가능하다는 것을 확인하였다.

## 감사의 글

본 논문은 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원의 교통물류사업인 “온실가스 배출 최소화를 위한 친환경 포장도로 연구”의 연구지원으로 수행되었으며 이에 관계자 분들께 감사드립니다.

## REFERENCE

- Hasebe, M., Kamikawa, Y and Meiarashi, S, (2006). Thermoelectric Generators using Solar Thermal Energy in Heated Road Pavement. 2006 International Conference on Thermoelectrics, pp. 697-700.
- Jo, Byungwan., Lee, Dukhee., Lee, Dongyoon., and Lee, Changsub, (2011). A study on the development of Green Road System for Heat Energy Harvesting. Journal of the Korean Society of Road Engineers, Vol. 13, pp. 87-96.
- Kim, Dongyun., Kim, Suhan., Seo, Sungyo., Choi, Byungcho, (2014). Thermoelectric Generators-Based 30W Battery Charge for Automobile. 2013 Conference on information and control systems, pp. 147-148.
- Piao, Chang-Hao., Teng, Qing., Wu, Xing-Yi and Lu, Sheng, (2014). Study of Energy Harvesting System Based on the Seebeck Effect. International Conference on Advances in Science and Technology(ICAST), pp. 45-50.