

# 태양광 패널 적용 방열용 탄소소재의 제조 및 열전달 수치해석

박헌수\*, 강철희\*\*, 김홍건\*\*\*, #

\*전주대학교 탄소융합공학과, \*\*전주대학교 기계공학과, \*\*\*전주대학교 기계자동차공학과

## Numerical Analysis of Heat Transfer and Fabrication of Carbon Material for Heat Dissipation in Solar Panel

Hun-Su Park\*, Chul-Hee Kang\*\*, Hong-Gun Kim\*\*\*, #

\*Department of Carbon Convergence Engineering, Jeonju University, \*\*Department of Mechanical Engineering, Jeonju University, \*\*\*Department of Mechanical and Automotive Engineering, Jeonju University

(Received 24 December 2019; received in revised form 5 November 2019; accepted 17 November 2019)

### ABSTRACT

This analysis demonstrates the effective removal of heat generated from a solar panel's output degradation factor solar cells (the solar panel's output deterioration factor), and solves the problems of oxidation and corrosion in existing metal heat sinks. The heat-dissipating test specimen was prepared using carbon materials; then, its thermal conductivity and its effectiveness in reducing temperatures were studied using heat transfer numerical analysis. As a result, the test specimen of the 30g/m<sup>2</sup> basis weight containing 80% of carbon fiber impregnated with carbon ink showed the highest thermal conductivity 6.96 W/(m K). This is because the surface that directly contacted the solar panel had almost no pores, and the conduction of heat to the panels appeared to be active. In addition, a large surface area was exposed to the atmosphere, which is considered advantageous in heat dissipation. Finally, numerical analysis confirmed the temperature reduction effectiveness of 2.18°C in a solar panel and 1.08°C in a solar cell, depending on the application of heat dissipating materials.

**Key Words** : Solar Panel(태양광패널), Heat Dissipation(방열), Carbon Material(탄소소재), Numerical Analysis(수치해석)

### 1. 서 론

일반적으로 태양광 발전 과정에서 빛 에너지의 일부는 열에너지로 바뀌어 태양전지의 패널의 온도를 증가

시키게 되며 패널의 셀 온도가 1°C가 증가할수록 0.45%의 출력저하 현상이 발생하게 된다.

기존의 경우 이러한 현상을 해결하고자 스프링클러를 이용한 고압수 분사를 통해 직접적으로 태양광 패널을 냉각시키거나 태양광 패널에 금속 히트싱크를 부착하여 공랭방식으로 냉각시키는 방법을 사용하고 있다.

# Corresponding Author : [hkim@jj.ac.kr](mailto:hkim@jj.ac.kr)

Tel: +82-63-220-2613, Fax: +82-63-220-3161

하지만, 스프링클러 방식은 별도의 설비가 필요하며 일정 주기 마다 분사해야하는 번거로움이 있으며 산간지역이나 도심과 떨어져 있는 장소의 경우 냉각수에 대한 공급이 원활하지 않으며 수막에 의한 빛의 굴절은 발전효율을 야기하게 되어 제한적으로 사용할 수밖에 없다.

또한, 금속 히트싱크 방식의 경우 열전도율이 높아 우수한 방열특성을 갖지만 외부환경에 오래 노출되어 수분과 공기로 인한 산화로 성능이 저하되고 결국 히트싱크로서의 기능을 상실하게 되는 문제점을 가지고 있다<sup>1)</sup>.

따라서, 최근에는 열전도도, 전기전도도, 기계적 특성 및 성장 조건이 우수한 탄소나노소재가 코팅체로서 다기능성을 구현할 수 있고 표면적이 넓어 방열소재로서 각광받고 있다.

이에 본 논문에서는 기존의 방법을 대체하여 태양광 패널의 출력 저하 요인을 해결하고자 태양전지에서 발생하는 열을 효과적으로 제거할 수 있도록 그래파이트, 산화그래핀, 탄소부직포, 탄소잉크와 같은 반응성이 낮고 마모, 굽힘, 구부러짐 등에 강한 탄소소재를 이용하여 다양한 형태의 복합재를 제조하고 이에 대한 열전도율을 분석하고자 한다.

또한, 태양광 패널의 설계 및 측정된 열전도율 값을 적용하여 ANSYS 프로그램을 이용한 열전달 수치해석을 진행함으로써 적용하고자 하는 방열 소재의 두께에 따라 태양광 셀에 발생하는 온도를 분석하여 방열소재로서 효율 향상에 대한 역할을 예측하고자 한다.

## 2. 열전달 이론

### 2.1 전도(Conduction) 지배방정식

전도는 상대적으로 에너지를 많이 가진 입자에서 에너지를 적게 가진 인접한 입자로 입자간의 상호작용에 의해 에너지가 전달되는 현상이며 이는 고체, 액체, 기체에서 모두 발생하게 되고 액체와 기체에서는 불규칙적으로 운동하는 분자들의 충돌(Collision)과 확산(Diffusion)에 의해 발생하게 된다.

또한, 열 고체의 경우 격자모형 내부의 분자에

의한 진동과 자유전자의 이동에 의해 에너지전달로 인하여 나타나고 매질을 통해 전도되는 열의 전도율은 매질의 형상, 두께, 재질 그리고 매질에서의 온도차에 따라 다르게 나타난다. 이러한 에너지 전달은 식 (1)과 같은 푸리에의 법칙(Fourier's Law of Heat Conduction)으로 나타낼 수 있다<sup>6-8)</sup>.

$$q_x = -k \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

$q_x$  : x방향에 대한 열 플럭스 [ $W/m^2$ ]

$k$  : 열전도도 [ $W/m \cdot K$ ]

$T$  : 절대온도 [ $K$ ]

### 2.2 대류(Convection) 지배방정식

대류는 고체면의 주위에서 이동하는 액체 혹은 기체 사이에서 발생하는 열전달이며 전도와 유체운동(Fluid Motion)이 복합된 형태로 나타나며 유체운동이 빠를수록 대류열전달의 효과도 증가하게 된다.

유체 운동이 없는 상태라면 고체와 유체사이에는 순수한 전도만 발생하고 유체의 거시적 운동은 고체와 유체 사이의 열전달을 강화시키게 된다. 이러한 대류 열전달은 각각 온도가 다른 고체와 이동하는 유체 사이에서 전달되게 되며 이는 식 (2)와 같은 뉴턴의 냉각법칙(Newton's Law of Cooling)으로 나타낼 수 있다<sup>6-8)</sup>.

$$q = h(T_s - T_f) \quad (2)$$

$q$  : 열 플럭스 [ $W/m^2$ ]

$h$  : 대류열전달계수 [ $W/m^2 \cdot K$ ]

$T_s$  : 표면온도 [ $K$ ]

$T_f$  : 주변 유체온도 [ $K$ ]

여기서 대류 열전달 계수는 유체의 열전도도 등의 물성에 영향을 받지만 물질의 고유 특성이 아니며 유동 패턴에 큰 영향을 받게 되며 일반적으로

액체의 대류열전달계수는 동일한 유동 패턴의 기체의 계수보다 크다.

### 3. 탄소 복합재의 제조 및 시험방법

#### 3.1 산화그래핀과 그래파이트 적용 시험편

산화그래핀(Graphene Oxide)은 통상적인 Modified Hummer's Method<sup>[9]</sup>를 참고하여 합성하였으며 10g의  $K_2S_2O_8$ 과 10g의  $P_2O_5$ 를 50ml의 황산용액에 첨가하고 90°C에서 24시간동안 교반하여 완전 용해시켰다. 이후 12g의 그래파이트 파우더를 용액에 첨가하고 80°C에서 24시간동안 교반하였다.

해당 혼합물을 2차 증류수에 희석하고 원심분리기를 이용하여 상층액이 pH 7이 될 때까지 중화하였으며 얻어진 고형물은 상온에서 24시간 동안 건조시켰다. 고형물 60g과  $KMnO_4$ 를 460 ml의 황산에 첨가하고 35 °C에서 12시간 동안 교반하였으며 이를 증류수에 희석시킨 뒤 50ml의  $H_2O_2$ 를 첨가함으로써 밝은 갈색의 용액을 얻었다.

산화그래핀은 원심분리기를 이용해 수집되었고 염산과 이차증류수를 이용하여 수차례 세척하였으며 산화그래핀 파우더는 3일 동안 동결 건조하였다. 또한, 산화그래핀과 그래파이트를 6:4의 질량비로 하여 사슬구조를 유지하기 위하여 Vitamin C를 첨가하고 음파분쇄기로 1시간동안 처리하여 균질한 분산액을 얻었다.

최종적으로 분산액을 90°C에서 2시간동안 교반함으로써 Paste를 얻고 이를 태양광 패널의 가장 하단에 위치하는 TBS(Tedlar Back Sheet) 위에 Drop-Wise 방식으로 첨가하여 오븐에서 50°C 24시간 동안 건조한 뒤 50mm×50mm 사이즈로 샘플링하여 1종의 시험편을 제조하였다<sup>[9-11]</sup>.

#### 3.2 탄소 부직포 적용 시험편

탄소 부직포에 사용된 소재는 길이 6mm의 직경 8um의 분산용 사이징 처리가 된 Carbon Fiber와 길이 4mm 직경 10um의 유기소재인 PE(Polyethylene)이고 두 소재의 바인딩 역할을 수행하는 접착제는 Xanthangum을 사용하였다. 이는 습식방법으로 제조

하였으며 탄소섬유와 PE섬유를 각각 증류수에 1차 분산을 하고 Xanthangum은 교반기를 사용하여 50°C의 온도조건에서 600rpm의 속도로 5시간 동안 완전 분산을 시켰다.

또한, 분산된 탄소섬유, PE, Xantahngaum을 혼합한 상태에서 2차 분산을 진행하였으며 습식 초지기 장치 내부에 이를 유입시켜 0.8bar의 진공압을 유지시킨 상태에서 70Mesh의 조밀 원형망에 진공압을 해제시켜 걸러지도록 하고 이를 24시간동안 대기조건에서 건조시킨 뒤 프레스를 이용하여 10분간 60MPa의 압력조건으로 압착시켜 50mm×50mm 사이즈로 샘플링 하였다.

이때의 시험편은 Carbon Fiber와 PE가 5:5비율로 평량  $30g/m^2$ ,  $60g/m^2$ ,  $90g/m^2$ 의 시험편과 8:2 비율의 평량  $30g/m^2$  시험편 총 4종을 제조하였다.

#### 3.3 탄소 잉크 적용 시험편

앞서 제조한 산화그래핀과 그래파이트로 제조된 슬루션과 카본잉크를 혼합하여 교반 작업을 진행하여 Paste 형태로 제조하였으며 이를 TBS위에 Drop-Wise 방식으로 첨가하여 오븐에서 50°C 24시간 조건으로 건조를 하고 1종의 시험편을 제조하였다<sup>[12-14]</sup>.

또한, 카본잉크를 탄소섬유 함유 80%와 평량  $30g/m^2$ 으로 제조된 탄소부직포에 Bar Coating 방법으로 한쪽 면을 함침시킨 뒤 오븐에서 40°C, 24시간의 조건으로 건조하여 탄소복합재를 제조하였다.



Fig. 1 Specimen with carbon ink (Left : Graphene Oxide@Graphite@Carbon Ink, Right : Carbon Nonwoven Fabric@Carbon Ink)

### 3.4 시험방법

열전도도 측정의 경우 스웨덴 HOT DISK Co., Ltd. 의 TPS-2500S 모델로 측정하였으며 ISO22007 규격에 의거하여 진행하였고 측정방식의 경우 Thin Film 형태를 고려하여 Slab Type으로 진행하였으며 사용된 센서는 7577, 5465이다.

Probing Depth는 15mm, 측정시간은 샘플에 따라 10~20sec를 적용하였으며 Temperature Increase값과 Temperature Difference값이 안정적으로 나타나 결과의 신뢰성이 우수하다고 판단하였다.

SEM(Scanning Electron Microscope) 측정의 경우 대한민국 COXEM Co., Ltd의 CS-200TA 모델로 분석을 진행하여 형태 배열에 대한 분석 및 시험편의 제조성을 확인하였으며 최대 5000배까지 측정하였으며 함침된 단면과 시험편의 절단면에 대하여 분석하였다.



Fig. 2 Thermal conductivity meter(TPS-2500S, HOT DISK, Co., Ltd.)

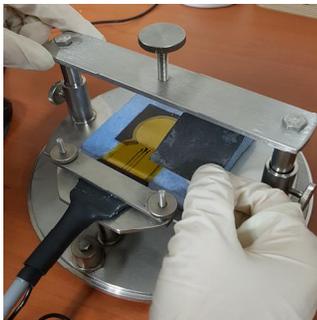


Fig. 3 Thermal conductivity measurement

### 4. 시험결과 및 고찰

산화그래핀과 그래파이트가 합성된 시험편의 경우  $3.00 W/m \cdot K$ 의 열전도율 값을 보였으며 탄소부직포의 경우 평량이 증가함에 따라 각각  $1.77 W/m \cdot K$ ,  $1.24 W/m \cdot K$ ,  $1.05 W/m \cdot K$ 로 점차 낮게 나타났고 탄소섬유 함량이 80%의 경우  $2.57 W/m \cdot K$ 의 열전도율 값을 보였다.

탄소부직포의 경우 평량이 증가하게 되면 분산성이 비교적 분산성이 떨어지게 되고 PE의 양이 증가함에 따라 오히려 탄소섬유 간의 접촉점의 발생량이 줄어들어 위와 같은 값을 나타낸 것으로 판단되며 동일 평량에서 탄소섬유의 양이 증가할 경우 접촉점의 발생량 또한 증가하여 전기전도도의 향상과 더불어 열전도도가 함께 증가하는 것으로 판단된다.

Table 1 Results of thermal conductivity (Graphene Oxide@Graphite, Carbon Non Woven Fabric)

Type of Samples	Thermal Conductivity ( $W/m \cdot K$ )
Graphene Oxide@Graphite	3.00
Carbon Non Woven Fabric (Basis Weight : $30g/m^2$ , Carbon Content : 50%)	1.77
Carbon Non Woven Fabric (Basis Weight : $60g/m^2$ , Carbon Content : 50%)	1.24
Carbon Non Woven Fabric (Basis Weight : $90g/m^2$ , Carbon Content : 50%)	1.05
Carbon Non Woven Fabric (Basis Weight : $30g/m^2$ , Carbon Content : 80%)	2.57

Table 2 Results of surface resistance (using Carbon Ink)

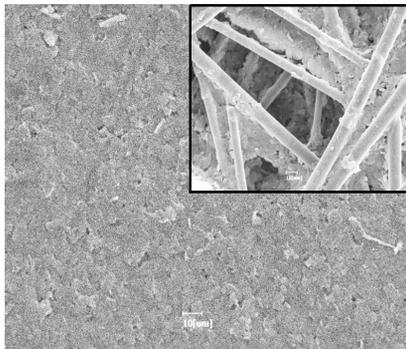
Type of Samples	Thermal Conductivity ( $W/m \cdot K$ )
Graphene Oxide@Graphite@Carbon Ink	4.10
Carbon Non Woven Fabric@Carbon Ink ( $30g/m^2$ )	6.96

탄소잉크가 함유된 산화그래핀, 그래파이트가 혼합 시험편의 경우  $4.10 W/m \cdot K$ 의 열전도도 값을 보였으며 카본잉크를 첨가함으로써 약  $1.1 W/m \cdot K$ 이 향상되었다.

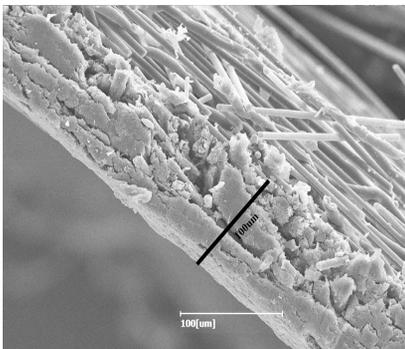
또한, 탄소부직포 중 열전도율이 가장 높게 나타난 탄소섬유 함량 80%의 평량  $30g/m^2$ 의 시험편의 경우 탄소잉크를 함침시킨 뒤  $6.83 W/m \cdot K$ 로 기존보다  $4.26 W/m \cdot K$ 가량 높게 나타났다.

열전도도가 가장 높게 나타난 탄소잉크 적용 탄소 부직포 샘플에 대하여 SEM을 통해 표면을 관찰하였으며 함침면의 경우 TBS와 직접적으로 닿는 면으로서 기공이 적으며 Cross-Sectional 이미지를 통해 약  $100\mu m$  깊이까지 함침이 되어있는 것을 확인하였다.

또한, 함침이 되지 않은 반대면의 경우 대기중에 노출되는 표면적이 상대적으로 넓어 열 방출이 원활하게 된 것으로 판단된다.



(a) Deposition Surface



(b) Cross Sectional Area

Fig. 4 SEM Image(Carbon Non Woven Fabric@Carbon Ink)

## 5. 태양광 패널 설계 및 열전달 수치해석

### 5.1 3-D 모델링

열전도도 시험 측정을 통해 가장 높은 값을 나타낸 탄소잉크가 함침된 탄소부직포의 열전도율 값( $6.83 W/m \cdot K$ )을 방열용 탄소복합재로 적용하여 태양광 패널의 열전달 수치해석을 진행하고자 3D 설계 프로그램인 CATIA를 이용하여 모델링하였다.

패널의 구성인 프레임, 유리, 밀봉재(EVA Film), 태양광 셀, TBS 중 해석의 계산 부하와 모델의 단순화를 위하여 프레임과 유리는 설계에서 제외하였다.

TBS에 적용되는 탄소잉크 함유 부직포의 경우 적용 유무와 두께에 따른 방열 특성을 확인 하고자 탄소잉크 함유 부직포가 없는 경우(Original Model)와 두께가 0.1mm, 0.25mm, 0.5mm, 1mm인 경우 총 5가지 타입으로 설계를 하였다<sup>[15-18]</sup>.

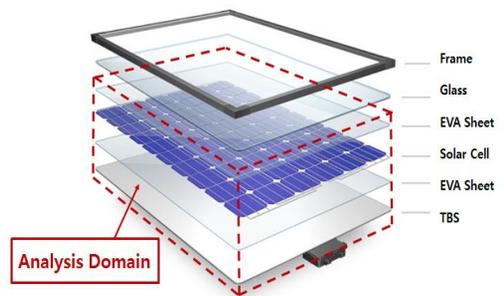


Fig. 5 Thermal conductivity measurement

Table 3 Specification of solar panel

Type	Size(mm)
Panel	360 x 380
Solar Cell	150 x 150 x 0.4
EVA Film	360 x 380 x 0.8
TBS	360 x 380 x 0.05

### 5.2 물성치 및 경계조건

태양광 패널의 내부 소재의 각각의 온도 특성을 파악하고자 Layer를 구분하였으며 EVA Film, 태양광 셀, TBS의 경우 실제 제품의 열전도도 측정값을 적용하였으며 자동 격자 매쉬 조건으로 설정하였다.

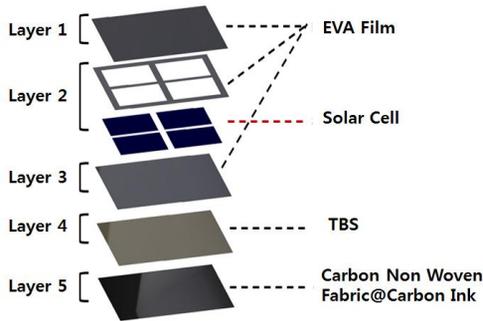


Fig. 6 Layer separation of solar panels

Table 4 Mesh condition by model

Type	Thermal Conductivity ( $W/m \cdot K$ )
EVA Film	0.24
Solar Cell	148
TBS	0.16
Carbon Non Woven Fabric@Carbon Ink	6.97

Table 5 Number of nodes and elements according to each model

Model Name	Nodes Number	Elements Number
Original	2,009,917	1,234,021
0.1mm	1,544,382	1,204,147
0.25mm	1,955,275	1,204,643
0.5mm	2,901,390	1,241,460
1.0mm	4,780,219	3,020,398

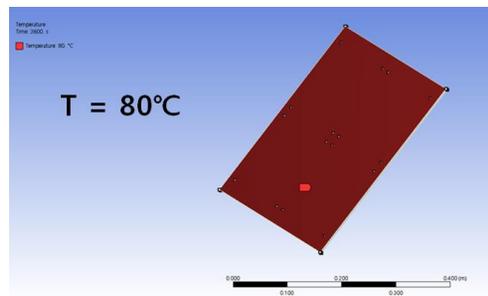
태양광 패널의 열원은 실제 여름철 태양광 패널에서 측정되는 80°C의 온도조건을 열원으로 주었으며 외기온도는 34.4°C, 대류조건인 경우 자연대류를 모사하고자 산간지역이나 고지대에 위치한다고 가정하여 2.8m/s의 풍속으로 적용하였으며 이를 식 (3)에 적용하여 대류 열전달계수  $11.2 W/m^2 \cdot K$  도출하여 적용하였다<sup>[8]</sup>.

$$h = 2.8 + 3v \quad (3)$$

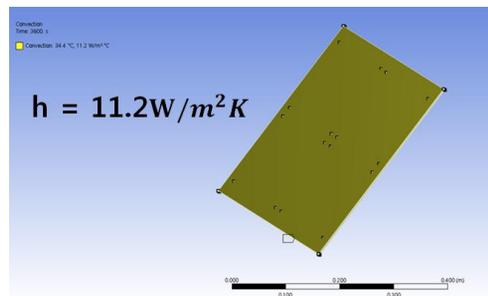
$h$  : Convective Coefficient [ $W/m^2 \cdot K$ ]

$v$  : Wind Speed [ $m/s$ ]

이를 통해 각 탄소잉크가 함유된 탄소부직포의 적용의 유무 및 두께 변화에 따른 모델들의 패널 전체의 평균 열 유속과 태양광 셀에서 발생하는 열 유속량에 대하여 분석하였으며 각 모델의 Layer에서 측정되는 온도 및 태양광 셀의 온도 변화 분석을 진행하였다.



(a) Heat source



(b) Convective coefficient

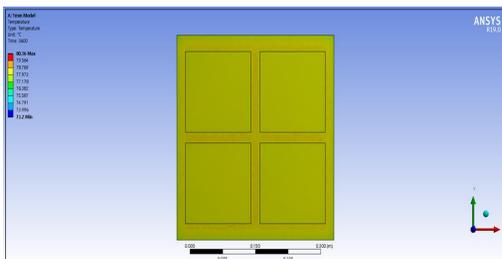
Fig. 7 Boundary condition of solar panel

이를 통해 각 탄소잉크가 함유된 탄소부직포의 적용의 유무 및 두께 변화에 따른 모델들의 패널 전체의 평균 열 유속과 태양광 셀에서 발생하는 열 유속량에 대하여 분석하였으며 각 모델의 Layer에서 측정되는 온도 및 태양광 셀의 온도 변화 분석을 진행하였다.

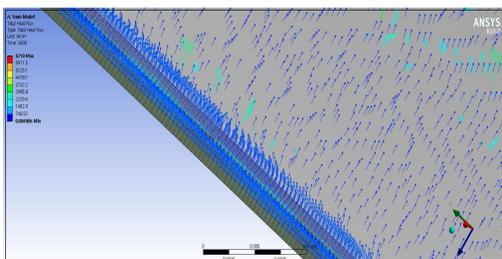
## 6. 해석결과 및 고찰

해석 결과, 태양광 패널의 전체 평균 열 유속의 경우 방열용 탄소복합재가 없는 경우  $115.87 \text{ W/m}^2$ 에서 두께 1mm 적용 시 최대  $578.74 \text{ W/m}^2$ 로 두께 변화에 따라 점차적으로 증가하였으며 이 중 태양광 셀의 경우 합침된 탄소부직포가 없을 경우는  $1642 \text{ W/m}^2$ 로 두께 0.1mm을 적용하여도  $3488 \text{ W/m}^2$ 로 크게 증가하여 두께 1.0mm에서 최대  $6718 \text{ W/m}^2$ 의 결과값을 나타냈다.

이는 방열용 탄소복합재의 유무와 두께 변화에 따라 방열효과가 발생함으로써 태양광 패널의 전체 열 유속에 대한 영향을 끼치며 특히, 태양광 셀의 높은 열전도도에 의하여 가장 크게 열 유속의 변화가 발생함을 알 수 있었다.



(a) Temperature



(b) Heat flux

Fig. 8 Results of finite element analysis

Table 6 Results of heat flux

Model Name	Heat Flux ( $\text{W/m}^2$ )	
	Solar Cell	Panel
Original	164.2	115.87
0.1mm	3488	263.36
0.25mm	4095.1	320.78
0.5mm	5662.9	422
1.0mm	6718	578.74

Table 7 Results of temperature for each layer

Model Name	Layer Number	1 (mm)	2 (mm)	3 (mm)	4 (mm)	5 (mm)
	Original		80	79.45	79.45	78.91
0.1mm		80	79	78.6	76.81	76.78
0.25mm		80	78.97	78.49	76.77	76.77
0.5mm		80	78.91	78.38	76.77	76.73
1.0mm		80	78.79	78.3	76.73	76.73

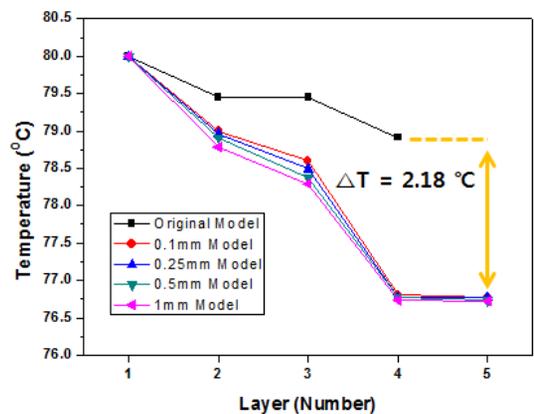


Fig. 9 Tendency for temperature in each layer

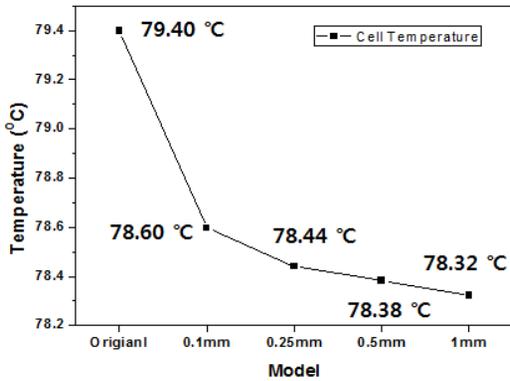


Fig. 10 Temperature change of solar cell according to model

태양광 패널의 각각의 Layer의 온도 변화에 대한 해석 결과, 방열용 탄소복합재의 유무에 따라 Layer 1에서 Layer 4로 갈수록 점차적으로 온도하락 폭이 증가하였으나 두께에 따른 변화는 0.2°C 이내의 근소한 차이를 보였으며 패널 내에서 방열용 탄소복합재가 없는 경우와 두께 1mm를 적용할 경우 TBS(Layer 4) 소재가 최대 2.18°C의 온도 차이를 나타냈다.

또한, 실제 태양광의 출력에 영향을 끼치는 태양광셀 부분에 대한 온도의 해석 결과, 태양광 패널의 전체 온도와 유사하게 방열용 탄소복합재의 두께 변화에 따른 경향은 크지 않았으며 방열용 탄소복합재가 없을 시 79.40°C, 두께 1mm 적용 시 78.32°C로 1.08°C의 온도 차이를 보여 약 0.486% 가량의 태양광의 효율 증가를 보일 것으로 판단된다.

이와 같이 방열용 탄소복합재의 적용 유무와 두께 변화에 따라 태양광 셀의 열유속 변화는 크게 변화하지만 태양광 셀을 감싸고 있는 EVA Film과 하단에 부착되는 TBS의 낮은 열전도도에 의하여 대기로의 열 방출을 방해하고 있는 것으로 판단된다.

## 7. 결론

본 논문은 태양광 패널의 출력저하 요인인 태양전지에서 발생하는 열을 효과적으로 제거하고 기존의 금속 히트싱크의 산화부식의 문제점을 대체하고 자 탄소소재를 이용하여 방열소재를 제조하고 이에 대한 열전도도 분석과 소재 적용 시 발생하는 온도

저감 효과를 열전달 수치해석으로 분석하였다.

1. 탄소소재를 이용한 방열 소재 제조의 경우 산화 그래핀과 그래파이트, 탄소부직포의 평량과 탄소의 함유량에 따른 시험편 및 탄소 잉크를 적용하여 제조하였으며 최종적으로 탄소잉크가 함침된 탄소섬유 함유80%, 평량 30g/m<sup>2</sup> 탄소부직포 시험편이 열전도도 6.96 W/m·K로 가장 높은 값을 나타냈다.
2. SEM분석 결과, 함침면의 경우 TBS와 직접적으로 닿는 면으로서 기공이 거의 발생하지 않아 TBS의 소재에 발생하는 열에 대한 전도가 해당 소재로 활발하게 이루어지는 것으로 판단되며 Cross-Sectional 이미지를 통해 약 100um의 깊이까지 함침이 되어 있는 것을 확인하였는데 이는 나머지 함침이 되지 않은 면이 대기중에 노출되어지는 표면적이 상대적으로 넓어 열 방출에 있어서는 유리한 것으로 판단된다.
3. 최종 선정된 방열 소재를 태양광 패널의 설계에 물성값을 적용하여 열전달 수치해석을 진행하였으며 방열소재의 두께에 따라서는 큰 온도 차이를 보이지는 않았으나 소재의 적용 유무에 따라 Solar Cell에서 최대 1.08°C의 차이값을 보였으며 이는 약 0.486%의 효율 증가를 나타낸다. 또한, 태양광 패널의 TBS에서는 최대 2.18°C의 온도차이를 보여 전반적으로 태양광 셀을 비롯한 태양광 패널 전체에 온도 저감 효과를 볼 수 있었다.

## 후 기

“이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2016R1A6A1A03012069).”

## REFERENCES

1. Kang, C. H., “Numerical Study on the Heat Dissipation of Solar Photovoltaic Module,” A Thesis for a Master’s, Jeonju University, Republic of Korea, 2019.
2. Tian, Y., Zhao, C. Y., “A Review of Solar Collectors and Thermal Energy Storage in Solar

- Thermal Applications,” *Applied Energy*, Vol. 104, pp. 538-553, 2012.
3. Chow, T., “A Review on Photovoltaic/thermal Hybrid Solar Technology” *Applied Energy*, Vol. 87, No. 2, pp. 365-379, 2010.
  4. Mousazadeh, H., Keyhani, A., JavadI, A., Mobli, H., Abrinia, K., Sharifi, A., “A Review of Principle and Sun Tracking Methods for Maximizing Solar Systems Output” *Energy Reviews*, Vol. 13, No. 8, pp. 1800-1818, 2009.
  5. Sarver, T., Qaraghuli, A. A., Kazmerski, L. L., “A Comprehensive Review of the Impact of Dust on the Use of Solar Energy: History, Investigations, Results, Literature, and Mitigation Approaches,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 22, pp. 698-733, 2013.
  6. Zalba, B., Marin, J. M., Cabeza, L., Mehling, H., “Review on Thermal Energy Storage with Phase Change: Materials, Heat Transfer Analysis and Applications” Vol. 23, No. 3, pp. 251-283, 2003.
  7. Maghami, M. R., Hizam, H., Gomes, C., Radzi, M. A., Rezadad M. I., Hajjighorbani, S., “Power Loss due to Soiling on Solar Panel : A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 59, pp. 1307-1316, 2016.
  8. Lee, Y., Tay, A. A. O., “Finite Element Thermal Analysis of a Solar Photovoltaic Module” *Energy Procedia*, Vol. 15, pp. 413-420, 2012.
  9. Syed N. A., Nidhi S., Lailesh, K., “Synthesis of Graphene Oxide(GO) by Modified Hummers Method and its Thermal Reduction to Obtain Reduced Graphene Oxide(rGO),” *Graphene*, Vol. 6, No. 1, pp. 1-18, 2017.
  9. Peng, L., Xu, Z., Liu, Z., Wei, Y., Sun, H., Li, Z., Zhao, X., Gao, C., “An Iron-based Green Approach to 1-h Production of Single-layer Graphene Oxide,” *Nature Communications*, Vol. 6, No. 5716, 2015.
  10. Geim, A. K., “Graphene: Status and Prospects,” *Science*, Vol. 324, No. 5934, pp. 1530-1534, 2009.
  11. Celzard, A., Mareche, J. F., Furdin, G., “Modelling of Exfoliated Graphite,” *Progress in Materials Science*, Vol. 50, No. 1, pp. 93-179, 2005.
  12. Pei, H., Brian, D., “Inkjet Printing Ultra-large Graphene Oxide Flakes,” *2D Materials*, Vol. 4, No. 2, 2017.
  13. Li, S., Fitri, K., Wei, G., Weihong, D., Takuya, H., Katsumi, K., Morinobu, E., Pulickel M. A., “Effect of High Temperature Thermal Treatment on the Structure and Adsorption Properties of Reduced Graphene Oxide,” *Carbon*, Vol. 52, pp. 608-612, 2013.
  14. Xin, G., Yao, T., Sun, H., Scott, S. M., Shao, D., Wang, G., Lian, J., “Highly Thermally Conductive and Mechanically Strong Graphene Fibers,” *Science*, Vol. 349, No. 6252 pp. 1083-1087, 2015.
  15. Cho, Y. T., Jung, Y. G., “Technology for Efficiency Enhancement of Crystalline Si Solar Cell using Nano Imprint Process” *The Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 12, No. 5, pp. 30-35, 2013.
  16. Chun, T. K., Ahn, Y. C., “Study on Relation between Surface Roughness and Heat Absorption Capability of Materials for Solar Collector,” *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 12, No. 5, pp. 76-85, 2013.
  17. Chun, T. K., Yang, Y. J., Lee, K. H., Ahn, Y. C., “Study on Performance Comparison for Solar Collectors with Single Evacuated Tube using Surface Treatment and Commercial Double Evacuated Tube,” *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 12, No. 5, pp. 149-156, 2013.
  18. Savliov, C. M., Salvi, D. A., B, D., “High Freqeucny Electromagnetism, Heat Transfer and Fluid Flow Coupling in Ansys Multiphysics”, *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, Vol. 41, No. 4, pp. 5-17, 2006.