

서프보드 적용을 위한 하이브리드 복합재료의 열적 특성

김윤해* · 이진우* · 박창욱* · 박수정**

*한국해양대학교 재료공학과

Thermal Characteristics of Hybrid Composites for Application to Surfboard

Yun-Hae Kim*, Jin-Woo Lee*, Chang-Wook Park* and Soo-Jeong Park*

*Material engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea

KEY WORDS: Surfboard 서핑 보드, Carbon heater 탄소발열체, Composite 복합재료, Thermal characteristic 열적 특성, Leisure 여가

ABSTRACT: Today, carbon fibers are used as heating elements. Carbon fibers are generally used to reinforce composite materials because they are lightweight and have a high strength and modulus. Carbon fiber reinforced composite materials are used for aerospace, automobile, and wind turbine blade applications. This work explored the possibility of using carbon fiber reinforced composite materials as self heating materials. The temperatures of the carbon fiber reinforced composites were measured. These results verified that the carbon fiber reinforced composite materials could be used as heating elements. A glass fiber was laminated using various methods. The thermal characteristics of the composites were evaluated. This confirmed that the generation of heat varied according to the lamination thicknesses of the carbon fiber and glass fiber. As the number of carbon fiber laminations increased, the heat-generating temperature increased. In contrast, as the number of glass fiber laminations increased, the amount of heat decreased. The generation of heat and ability to remain warm could be controlled by controlling the carbon fiber and glass fiber laminations.

1. 서 론

서핑과 같은 해양에서 행해지는 지구성 운동은 인체에 많은 영향을 끼친다. 환경온도에 대한 인체의 반응 기전 중 대표적인 몇 가지 반응으로 체온과 체액성분의 변화를 들 수 있다. 두 가지 반응 모두 인체의 대사에 매우 중요하며 체온이 33°C 이하 또는 44°C 이상이면 매우 치명적인 결과를 초래한다. 뿐만 아니라 체액성분 역시 우리 몸의 구성과 생명활동의 매개체로서의 역할을 하며, 체액의 구성 성분중 하나인 면역세포 및 성분도 생명활동을 유지하기 위한 매개체로서 그리고 외부로부터 침입한 병원체로부터 우리 몸을 보호하는 역할을 한다. 특히, 상대적으로 온도가 낮은 해양환경에서의 장시간 서핑을 하는 경우 사용자가 체온을 유지하기 어렵고, 이에 따라 신체가 부정적으로 변하는 원인이 되기도 한이에 다. 따라 체온을 유지해 줄 수 있는 전용 슈트 혹은 다른 장치에 의한 체온유지가 필수적이다 (Lee, 2002; Ok, 2006). 탄소 섬유는 우수한 열적, 전기적 성질과 내식성 등 물리적으로 우수한 특성을 가지고 있기 때문에 발열

체로 널리 사용 되고 있다.

특히 탄소 발열체는 기존의 니크롬선을 이용한 발열체 보다 효율이 우수하며, 니크롬선 발열체에서 나오는 전자파의 감소 뿐만 아니라 천연재료로부터 인체에 유용한 원적외선의 방출 등이 보고되고 있다(Kim et al, 2013; Jin et al, 2006; Bae et al, 2003). 서핑보드의 내부 충진재로 사용되는 발포 경질 플라스틱은 최고사용온도가 약 70~110°C 정도로 (Jun, 2013) 탄소 발열체와 직접 접촉 시, 순간적인 고온 상승에 의해 손상될 위험성을 갖고 있다. 한편, 유리섬유 복합재료는 강재에 비해 낮은 열 전달율을 갖는 특성을 산업에 적용하여 단열재 등 다양한 산업 분야에 단열물질로 사용되고 있다(Jang et al, 2013; Ahn et al, 2013).

따라서 본 연구에서는 서프보드의 내부에서 체온을 유지하기 위한 발열특성을 갖는 탄소섬유와 발포 경질 플라스틱재에게 직접적인 열전달을 막아 줄 방열체인 유리섬유를 다양한 방법으로 적층하여, 탄소섬유의 적층두께에 따른 발열특성 및 유리섬유의 적층 두께에 의한 방열효과를 확인하여 탄소섬유와 유리섬유로

Received 28 May 2014, revised 13 August 2014, accepted 19 August 2014

Corresponding author Jin-Woo Lee: +82-51-410-4966, zenith1179@naver.com

© 2014, The Korean Society of Ocean Engineers

구성된 하이브리드 복합재료의 열적 특성을 평가하였다.

2. 실험방법

2.1 시편 제작

하이브리드 복합재료 시편의 열적특성을 평가를 위한 전기 인가 장치로 탄소섬유 프리프레그 사이에 구리전극을 Fig. 1과 같이 삽입하였고, 방열특성을 평가하기 위해 적층된 탄소섬유 및 구리전극 판 위에 유리섬유를 종류별로 적층하였다. 적층방법에 따른 하이브리드 복합재료의 적층된 시편의 개수와 시편은 Table 1과 같이 명명하였다. 적층된 섬유는 평직으로 재직된 유리섬유(G218-EPC) 및 탄소섬유(1321P-EPC) 프리프레그를 이용하였고, 물성을 Table 2에 나타내었다. 탄소, 유리 섬유 프리프레그를 이용하여 진공오븐 120℃에서 2시간동안 경화시킨 후 150

Table 1 Naming of hybrid composites.

Amount of carbon pre-preg sheet	Amount of glass pre-preg sheet				
	0	1	2	3	4
2	A-0	A-1	A-2	A-3	A-4
4	B-0	B-1	B-2	B-3	B-4
6	C-0	C-1	C-2	C-3	C-4
8	D-0	D-1	D-2	D-3	D-4

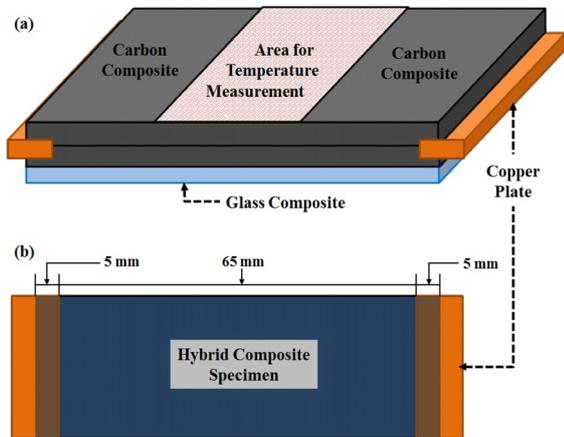


Fig. 1 The measuring sample for temperature measurement. (a) schematic of fabrication (b) size of test specimen

Table 2 Material specification of glass and carbon prepreg.

construction	Yarn type	Density (Count/inch)		FAW, Dry [g/m ²]	Thickness [mm]	Total weight [g/m ²]	Total thickness [mm]	Width [mm]	R/C [%]		
		Warp	Fill							Warp	Fill
1321p-EPC	Plain	3k	3k	13	13	209±12	0.25±0.025	367	0.26±0.025	1020	43
G218-EPC	satin	G75 0/1	G150 0/1	64±2	26±2	207±12	0.18±0.025	365	0.20±0.025	1020	35

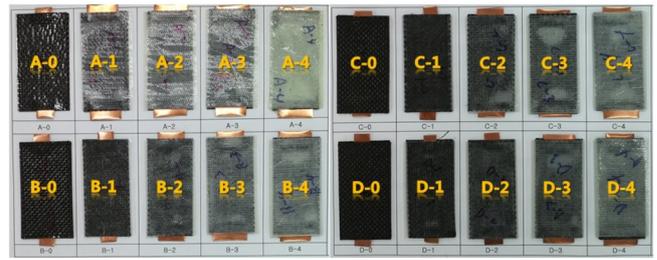


Fig. 2 The specimen of hybrid composites for temperature measurement

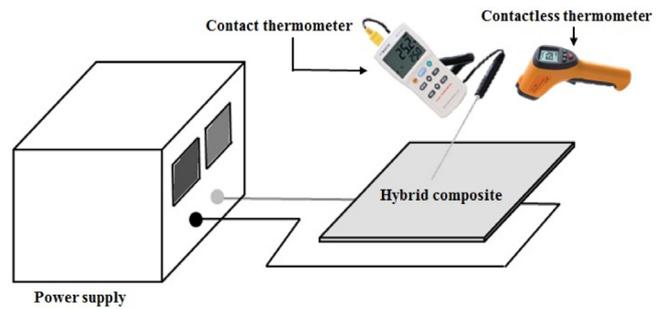


Fig. 3 The specimen of hybrid composites for temperature measurement

℃에서 2시간 동안 후경화 시켜 350m×750m 크기의 Carbon/Glass/Epoxy 하이브리드 시편을 제작하여 Fig. 2와 같이 완성하였다.

2.2 열적 특성 평가

제작된 하이브리드 복합재료의 열적 특성을 평가하기 위하여 전압과 전류를 고정 시킬 필요가 있다. 모든 시편에서 약 13V에 1.2A의 출력을 보였기 때문에 전압 13±1V, 전류 1.2±0.1A로 수행하였다. 줄의 법칙에 따르면 저항에 흐르는 전류에 의해서 매 초 발생하는 열량은 전류의 제곱과 저항의 곱에 비례한다. 이때, 발생한 열을 줄열 또는 저항 열이라고 한다. 줄의 법칙을 수학적으로 표현하면 열량 H , 전류 I , 저항 R , 시간 t 로 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$H = I^2 R t = I V t \tag{1}$$

열적 특성을 평가 시험하기 위하여 Fig. 3의 시험 장치를 사용하였다. 평가의 정확성을 높이기 위해 다수의 접촉식 온도계

를 온도 측정 부분에 부착하였고, 비접촉식 온도계를 이용하여 확인하였다. 특히, 김명수 등의 연구결과에 의하면 구리전극이 삽입된 탄소섬유 복합재료에서는 구리전극의 가장자리에서 저항에 의한 발열이 다른 부분보다 높게 나타나는데, 이는 구리전극과 복합재료의 경계에서 접촉저항의 증가로 저항에 의한 발열이 다른 부분보다 높게 발생하기 때문이다 (Kim et al, 2013). 따라서 이러한 발열에 의해 구리전극의 경계부에서 온도가 급격히 올라가는 현상이 발생하였으며, 본 연구에서는 양끝단의 전극과 가장 먼 중심부분에서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

카본 프리프레그를 2장, 4장, 6장, 8장으로 변화시켜 각각을 상온에서 6분 (360초) 동안 10초 간격으로 측정하였다. 신뢰성 있는 데이터 측정을 위하여 접촉식 온도계와 비접촉식 온도 측정계를 이용하여 발열체의 온도를 측정하였다. Fig. 4에는 탄소섬유 위에 유리섬유를 적층하여 유리섬유의 적층된 수에 따른 하이브리드 복합재료 발열체의 온도 변화를 나타내었다. A₀, B₀,

C₀, D₀ 시편은 유리섬유를 적층하지 않았고, X₁, X₂, X₃, X₄는 1~4장 까지 유리섬유의 적층수를 변화시켜 실험하였다. 그림을 통해, 탄소섬유의 적층수가 증가할수록 발열이 증가함을 알 수 있고, A~D까지의 하이브리드 복합재료 발열체 시편에서 유리섬유의 적층수가 증가 할수록 표면에서 발열되는 온도가 낮아지는 경향을 보였다. 이러한 경향으로 보아 탄소섬유의 적층수가 증가하면서 탄소의 함유량이 증가하기 때문에 발열체 내의 비저항 값이 높아진다.

발열체 내의 비저항 값이 높아지기 때문에 발열 온도가 증가하게 된다. 또한 유리섬유의 적층수가 증가함에 따라 표면에서의 발열 온도가 낮아지는 것은 유리섬유가 탄소섬유에서 표면으로 방출시키는 열을 차단시키는 역할을 한다. 유리섬유의 적층수가 많아질수록 방출되는 열의 양 또한 감소하여 발포 경질 플라스틱에 직접적인 열전달을 막아주고, 탄소섬유 내의 열전도 특성이 좋아 질 것이라 유추된다. 탄소섬유의 적층수, 함유량과 탄소섬유 위의 유리섬유의 적층수의 조절에 따라 표면 발열 특성과 열 전도 특성을 조절 할 수 있다. 사용 용도에 따라 표면의 온도와 열 전도 특성의 조절이 가능하므로 여러 산업에

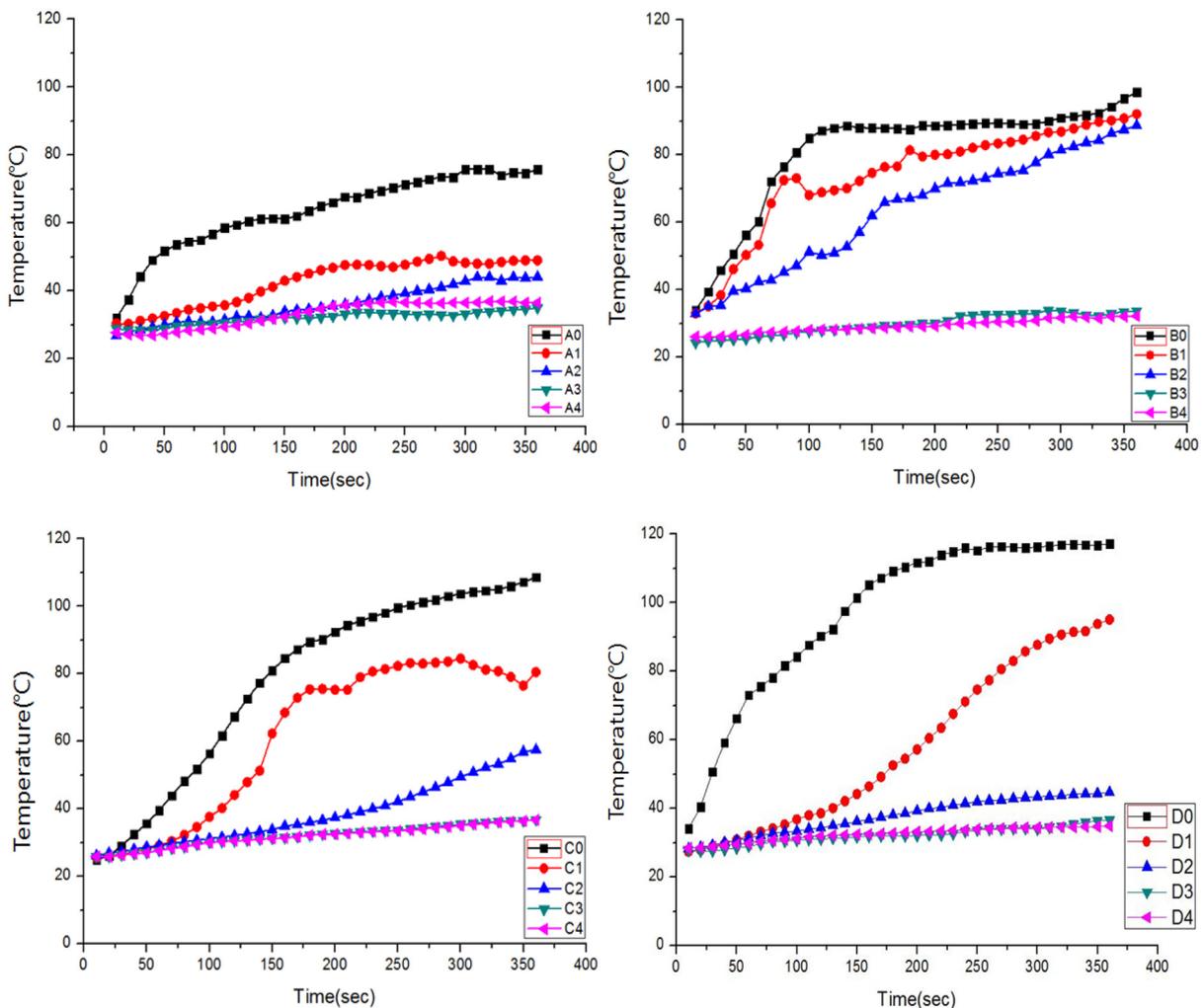


Fig. 4 Effect of number of laminated glass fiber

응용이 가능할 것이다. 서퍼보드의 경우 X₂의 경우가 가장 적합한 결과 치를 나타내었다. X₃, X₄를 제외한 모든 조건에서 40°C 이상의 표면 발열 특성을 나타내며, 발열과 열 전도 특성을 모두 만족시키는 값을 나타내었다.

한편, 탄소 프리프레그의 적층 수에 따른 온도 변화를 T/T_{max} 를 이용하여 온도 상승률에 따른 그래프를 Fig. 6에 나타내었다. 또한, Fig. 4의 온도상승곡선을 이용하여 측정된 데이터의 최고 온도의 반에 도달하는 시간, 즉 $t_{1/2}$ 로부터 열확산 계수를 아래 식을 이용하여 열확산 계수를 계산하였다 (Kim et al, 1999).

$$\alpha = \frac{1.37 * L^2}{\pi^2 * t_{1/2}} = \frac{0.1388 L^2}{t_{1/2}} \quad (2)$$

이때, L은 시편의 두께이고, 단위는 mm 이다.

Fig. 5는 X₀~X₄까지의 열확산계수(α)를 나타내었다. A시편은 최고 온도의 반에 도달하는 시간이 너무 빠르기 때문에 A시편을 제외한 시편에 대한 열확산 계수를 나타내었다. 모든 시편에서 유리섬유의 적층수가 많을수록 열확산 계수가 커지는 경향을 보아, 유리 섬유가 표면으로 방출되는 열을 감소시키고 주위로 열을 전달하는데 큰 역할을 한다고 판단된다. 또한, 탄소섬유의 적층수가 많아질수록 열확산계수가 높아지는 것으로 보아 방출되는 양 뿐만 아니라 주위로 열을 전달하는 특성 또한 향상된다.

Fig. 6에 온도상승곡선과 열확산계수(α)를 나타내었다. 유리섬유의 적층 없이 탄소섬유만의 발열특성을 분석하였다. 열확산 계수는 A (2장)와 B (4장)는 $1.87 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$, $1.80 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$ 로 비슷하게 계산되었고, C (6 장)와 D (8 장)는 각각 $9.7710^{-3} \text{m}^2/\text{s}$, $16.89 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$ 으로 계산되었다. 열확산 계수가 C시편 즉, 탄소 프리프레그의 적층수가 6장 이상이 되었을 때, 열확산 계수가 급격히 증가하여 높은 열전도도를 가지고 있다고 할 수 있다. 온도상승 곡선을 고려하였을 때, 약 180초 (약 3분)까지 온도 상승률의 기울기가 높아지다가, 그 이후 점점 온도 상승률의 기울기가 낮아진다.

Fig. 7에 시편의 온도와 열확산계수가 가장 높은 D시편에 대하여 T/T_{max} 를 이용하여 온도 상승률에 따른 그래프와 각각의

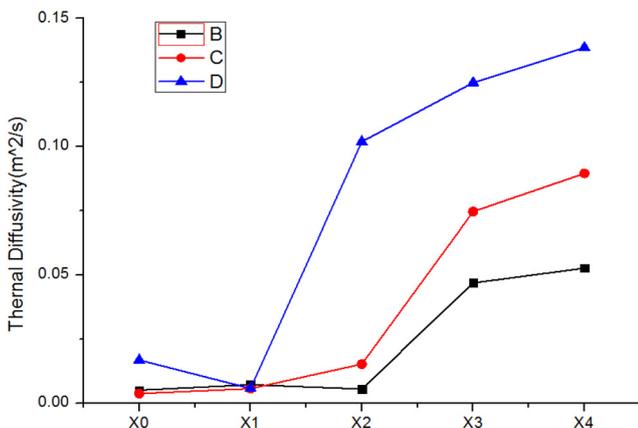


Fig. 5 Thermal diffusivities of hybrid composites

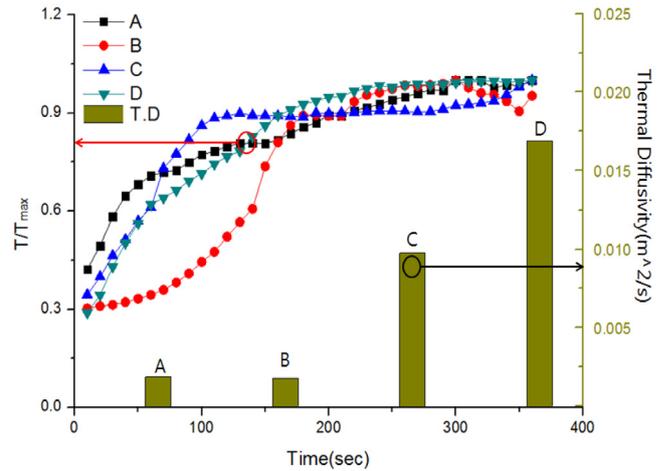


Fig. 6 Temperature profile on the front side of specimens and Thermal diffusivities of X0

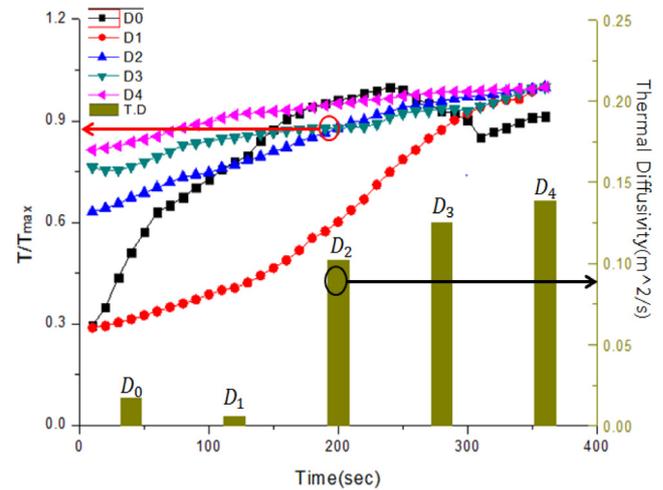


Fig. 7 Temperature profile on the front side of D specimens and Thermal diffusivities of D specimens

열확산 계수를 나타내었다. 온도 상승률은 유리섬유가 적층되지 않은 D₀를 제외하면 유리섬유가 적층수가 많을수록 온도 상승률이 더 높게 측정되었고, 열확산 계수 또한 높게 나타났다. 이러한 경향으로 보아 유리 섬유는 표면으로 방출되는 열을 감소시키는 대신 주위로 열을 전달하는 역할을 한다는 것을 다시 한 번 확인할 수 있다.

열확산 계수는 D₂에서 급격히 커졌다. 유리섬유가 두 장 이상 적층되었을 때 주위로의 열을 전달하는 특성이 강해졌다. Fig. 4를 보았을 때 D₁일 때 온도는 많이 올라갔지만, 온도 상승률과 열확산 계수는 굉장히 낮은 것을 알 수 있다. 최고 온도까지의 온도 상승률과 열확산 계수가 상대적으로 너무 낮기 때문에 D₁ 즉, 유리섬유가 한 장 적층된 탄소 섬유 발열체를 산업에 응용하기에는 어려울 것으로 판단된다. 반대로, D₂는 온도, 온도 상승률, 열확산계수가 모두 고르게 좋은 특성을 보이고 있으므로 유리섬유가 2장 적층된 탄소 섬유 발열체가 다양한 산업에 응용하기 적합한 재료로 판단된다.

4. 결 론

본 논문에서는 서프보드의 내부에서 체온을 유지하기 위한 발열특성을 갖는 탄소섬유와 발포 경질 플라스틱재에 직접적인 열전달을 막아 줄 방열체인 유리섬유를 다양한 방법으로 적층하여, 탄소섬유의 적층두께에 따른 발열특성 및 유리섬유의 적층 두께에 의한 방열효과를 확인하여 탄소섬유와 유리섬유로 구성된 하이브리드 복합재료의 열적 특성을 평가하였다.

(1) A, B, C, D는 각각 $1.87 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$, $1.80 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$, $9.7710^{-3} \text{m}^2/\text{s}$, $16.89 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$ 로 계산되었다. 열확산 계수가 C시편 즉, 탄소 프리프레그의 적층수가 6장 이상이 되었을 때 열확산 계수가 급격히 증가하였다. 탄소 프리프레그의 적층수가 6장 이상이 되었을 때 좋은 열전도도를 가지게 된다.

(2) 유리섬유를 적층하지 않은 A₀, B₀, C₀, D₀ 시편의 온도 변화 실험을 통하여 발열의 온도가 증가하는 것을 알 수 있었다. 이것은 탄소섬유의 적층수가 증가하면서 탄소의 함유량이 증가하고 발열체내의 비저항 값이 높아지기 때문에 발열 온도가 증가하게 된다고 볼 수 있다.

(3) 유리섬유의 적층수를 1~4장 까지 변화시켜 방열특성을 실험한 결과, 유리섬유의 적층수가 많아 질수록 방열되는 열의 양이 감소하여 발포 경질 플라스틱에 직접적인 열전달을 막아주고, 탄소섬유 내의 열 전도 특성이 좋아 질 것으로 판단된다.

(4) 탄소섬유의 적층수, 함유량과 유리섬유의 적층수의 조절에 따라 표면 발열 특성과 열 전도 특성을 조절 할 수 있으므로, 여러 산업에 응용이 가능할 것이다.

후 기

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2013년도 산학협력 기술개발사업(No. C0102098)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

References

Ahn, S.H., Ha, Y.S., Moon, C.K., 2013. Electrofusion Joining Technology for Polyethylene Pipes Using Carbon Fiber.

- Journal of Ocean Engineering and Technology, 27(5), 93-98.
- Bae, K.Y., Lee, K.S., Kong, T.W., Chung, H.S., Jeong, H.Y., Chung, H.T., 2003. A Study on Application of Warm Air Circulator by Using the Carbon Heating Element with Particle Type. Journal of the Korean Society for Power System Engineering, 7(4), 31-37.
- Jang, S.J., You, Y.C., Kim, H.R., Yun, H.D., 2013. Effect of Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP) Shear Connector's Shape on Inplane Shear Strength of Insulated Concrete Sandwich Panels. Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, 17(4), 9-17.
- Jin, Z.H., Shim, K.J., Kong, T.W., Jeong H.M., Chung, H.S., 2006. A Study on the Temperature and Electrical Characteristics of Carbon Heater. Journal of the Korean Society for Power System Engineering, 10(1), 71-76.
- Jun, S.J., 2013. Study on the improvement of the resilient materials for noise reducing. Degree of master, Han Yang University, Seoul, Korea.
- Kim, H.Y., Kim, P.W., Hong, S.H., Kim, Y.C., Yeh, B.H., Jung, B., 1999. Analysis of Thermal Conductivities of Carbon/Phenolic and Silica/Phenolic Ablative Composites by Laser Pulse Method. Journal of composites research, 12(3), 75-83.
- Kim, M.S., Kong, K.G., Kim, N.R., Park, H.W., O.Y. Park, Y. B Park, M. Y Jung, S. H Lee, S. G Kim, 2013, Experimental and Numerical Study of Heating Characteristics of Discontinuous Carbon Fiber-Epoxy Composites, Journal of composites research, 26(1), 72-78.
- Lee, W.Y., 2002. Skin Temperature and Body Fluid Changes during a Distance Running in Different Ambient Temperatures. Degree of Doctor, Kook-Min University, Seoul, Korea.
- Ok, D.P., 2006. Effective of the Usage of Wetsuits and Its Impact to the Windsurfer's Body Temperature Changes to Prevent the Buildup of Fatigue Chemicals Which can Lead to the Windsurfers' Muscle Fatigue and Injuries. Degree of Doctor, Busan University, Busan, Korea.