

## 탄소/현무암 섬유강화 하이브리드 복합재료의 성형과 기계적 특성 평가

이진우\* · 김윤해\*<sup>†</sup> · 정민교\* · 윤성원\* · 박준무\*

### Fabrication of Carbon/Basalt Hybrid Composites and Evaluation of Mechanical Properties

Jin-Woo Lee\*, Yun-Hae Kim\*<sup>†</sup>, Min-Kyo Jung\*, Sung-Won Yoon\*, Jun-Mu Park\*

**ABSTRACT:** Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP) has strong and superb material properties, especially in mechanical and heat-resisting aspects, but the drawback is its high price. In this study, we made a hybrid composite using carbon fiber and basalt fiber, which is expected to attribute to its strong material properties and its financial benefits. We found out that the higher the content of basalt fiber included, the lower the intensity, and carbon's intensity contents of 80% showed the similar intensity level as that of CFRP. Besides it was possible to get a better mechanical properties using the composite that included the mixed fiber, instead of using a composition of separate fibers filed.

**초 록:** 탄소섬유 복합재료는 내열성 및 우수한 기계적 특성을 가지고 있는 우수한 재료이지만 가격이 비싼 결점이 있다. 따라서 본 연구에서는 높은 기계적 강도를 가지며, 가격이 비싸지 않은 재료의 개발을 위해 탄소섬유에 현무암 섬유를 첨가하여 하이브리드 복합재료를 제작하였다. 현무암 섬유의 함유 비율이 높아질수록 강도는 감소하였으며, 탄소의 강화재 비율이 80% 정도에서 CFRP와 유사한 강도를 얻을 수 있었다. 또한 섬유 각각을 적층하여 복합재료를 제작하는 것 보다 섬유사를 혼합시켜 제작한 복합재료에서 더 우수한 기계적 특성을 얻을 수 있었다.

**Key Words:** 하이브리드 복합재료(hybrid composite materials), CFRP(carbon fiber reinforced plastic), 현무암섬유(basalt fiber), 기계적 특성(mechanical property), 체적함유율(volume fraction)

#### 1. 서 론

항공 우주분야로부터 해양 분야와 광범위한 산업분야 그리고 일상용품에 이르기까지 새로운 특성을 지닌 재료가 요구되고 있으며, 이 개발을 위해 끊임없는 연구가 진행되고 있다. 새로운 재료 즉 신소재란 특정한 목적을 위해서 개발된 것으로, 기능이나 응용분야가 다른 새로운 재료를 말한다. 그 중 하나인 복합재료는 기존의 금속재료에 비해 비강도가 높고 비강성이 우수하고 내식성이 좋으며, 섬유강화재의 적층방향 및 적층순서의 변화에 따른 유동적인 이방

성을 가진다. 이로 인한 적절한 기계적특성을 갖는 재료를 유연하게 제작할 수 있는 장점을 가지고 있어 항공우주, 자동차 해양선박 분야 등의 이용이 매년 증가하고 있다[1,2].

복합재료에 사용되는 무기섬유에는 탄소섬유가 대표적이다. 탄소 섬유는 고강도, 고탄성률, 높은 열전도도, 낮은 열팽창계수 및 고온에서의 기계적 물성이 우수할 뿐만 아니라 내부식성, 내약품성 등 여러 우수한 물성을 갖고 있는 첨단복합재료다[3]. 이러한 우수한 특성을 가지고 있어 항공 우주산업, 자동차 등 다양한 분야에 사용되고 있으나 가격이 비싸기 때문에 산업적인 적용이 제한적이다.

Received 2 July 2013, received in revised form 17 December 2013, accepted 26 December 2013

\*한국해양대학교 재료공학과

<sup>†</sup>한국해양대학교 재료공학과, Corresponding author (E-mail: [yunheak@hhu.ac.kr](mailto:yunheak@hhu.ac.kr))

이에 반해 현무암 섬유(Basalt Fiber)는 천연 현무암을 원료로 사용하며, 제조공정이 간단하고, 친환경적이며 광역 온도 범위에서 사용이 가능한 고성능 산업용 섬유로서 기술계의 관심이 커지고 있다[4]. 또한 Jongsung Sim[5], Qiang Liu[6], Tamas Deak[7] 등은 현무암 섬유의 기계적인 특성은 탄소섬유 보다는 낮고 보편적인 유리섬유인 E-Glass보다는 우수하다는 연구결과를 발표하였다.

하이브리드 섬유강화 복합재료는 두가지 이상의 강화섬유나 기지로 구성된 복합재료이다. 따라서 서로 다른 강화섬유의 혼합에 의하여 타 섬유의 각각의 단점을 보완하며, 장점을 부각시키는 하이브리드 효과가 발생하여 섬유강화 복합체의 성능을 향상시킬 수 있다. 보통의 경우, 고가이지만 고강도 및 고강성의 탄소섬유와 상대적으로 낮은 강성 및 강도의 유리섬유 또는 케블라 섬유 등을 하이브리드 섬유강화 복합체의 섬유로 사용한다[8-10]. 하이브리드 섬유강화 복합체는 가격, 무게 및 다양한 기계적 특성을 섬유의 비율 및 적층방법에 따라 조절이 가능하여 최근에는 다양한 구조물에 적용이 검토되고 있다[11-13]. 따라서 본 연구에서는 우수한 기계적 특성을 보이는 탄소섬유와 가격적으로 탄소섬유에 비해 저렴하지만 우수한 특성을 보이는 현무암 섬유를 혼합하여 만든 탄소/현무암 하이브리드 섬유의 강도를 평가하였으며, 하이브리드 복합재료의 구조용 재료로서의 응용가능성도 확인하였다.

## 2. 재료 및 실험방법

### 2.1 재료준비

탄소섬유(Carbon Fiber)는 PAN(polyacrylonitrile) 또는 석유정제 부산물인 Pitch를 약 1000~2500°C의 고온에서 탄화시킨 고순도 탄소결정의 섬유를 지칭하며, 섬유를 구성하는 탄소 원자의 결정구조 때문에 매우 강한 강도를 가지게 된다. 본 연구에서 사용된 탄소섬유는 국내의 SK 케미칼에서 판매하고 있는 섬유(SK-N300)를 사용하였고 기본 물성은 Table 1과 같다. 현무암 섬유는 국내의 모기업에서 사용되는 제품을 사용하였고 기본 물성은 Table 2와 같다.

**Table 1.** Physical properties of the carbon fiber used for experiments

Tensile strength (MPa)	Density (g/m <sup>3</sup> )	Elastic modulus (MPa)	Diameter (μm)
4694	300	262200	11~15

**Table 2.** Physical properties of the basalt fiber used for experiments

Tensile strength (MPa)	Density (g/m <sup>3</sup> )	Elastic modulus (MPa)	Diameter (μm)
992	380	7600	8~15

### 2.2 시편제작 및 평가방법

섬유강화 복합재료의 제작 공법에는 핸드레이업(Hand lay-up), VARTM, Infusion, Autoclave process, 필라멘트 와인딩(Filament winding), Vacuum bagging법이 있으며, 본 연구에서는 VARTM 공법과, 핸드레이업 공법으로 적층 후, Vacuum bagging 공법을 이용하여 압력을 가하여 시편을 제작한 후 두 공법 모두 80°C 오븐에서 경화시켰다. 시편에 사용된 수지는 국도화학의 에폭시수지(YD-128)를 이용하였다. 시편의 기계적 특성 평가는 ASTM D 3039의 조건에 따라 Kyung-Do 사의 Universal Test Machine을 이용하여 인장 강도를 측정하였고 시편의 개수는 시험데이터의 정확성을 위해 각의 제작법에 따라 최소 20개 이상의 시편을 측정 한 후 평균값을 도출하였다. 기계적 특성 시험을 실시한 후 섬유와 수지의 계면 결합성을 확인하기 위하여 파단면 주위를 절단한 후 SEM(Scanning Electron Microscopy)을 이용하여 관찰 하였다. 또한 성형 공정에 따른 섬유의 함량이 기계적 물성에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해 KS M ISO 1172 규격에 맞춰 연소법을 사용하여 섬유의 함량을 측정하였다. 각각의 시편을 5 g 이내의 무게로 절단한 후 용기에 담아 105°C로 맞춰진 건조 오븐에서 건조 시켰다. 건조가 완료되면 질량을 재어 기록하고 625°C의 전기로에서 가열 하였다. 마지막으로 연소 후의 잔존물이 담긴 용기의 질량을 측정하여 기록하였다. 섬유의 함량은 아래의 식에 따라 계산 되었다.

$$M_{fiber} = 100 \times \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \quad (1)$$

여기서,  $m_1$ : 건조된 용기만의 초기 질량(g)

$m_2$ : 건조된 시편이 담긴 용기의 질량(g)

$m_3$ : 연소 후 잔존물과 용기의 질량(g)

## 3. 시험 결과 및 고찰

### 3.1 성형 공정에 따른 기계적 특성

Fig. 1은 각각의 공정에 따라 제작된 시편의 강도를 보여 주고 있다. 각 성형 공정에 대한 기계적 특성 시험의 결과를 분석해 보면, 모든 경우에서 Hand lay-up으로 적층 후, Vacuum bagging 공법으로 제작된 섬유강화 복합재료의 강도가 평균 50 MPa 정도 우수한 것을 확인할 수 있었다. 이는 VARTM 공법의 단점을 Hand lay-up으로 적층 후 Vacuum bagging 공법이 보완해주는 효과를 보인 것으로 사료된다. VARTM 공법은 제작시의 분위기 온도와 경화 온도에 따라 영향을 많이 받는다. 특히나 겨울철과 같은 저온의 환경에서는 수지의 주입이 원활히 이루어지지 않을 뿐더러 이로 인해 수지 함침 및 경화 역시 잘 되지 않아 기계적 특성이 저하된다. 따라서 본 실험에서는 분위기온도  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 유지하였다. 반면, Hand lay-up으로 Wet-prepreg를 만들어 적

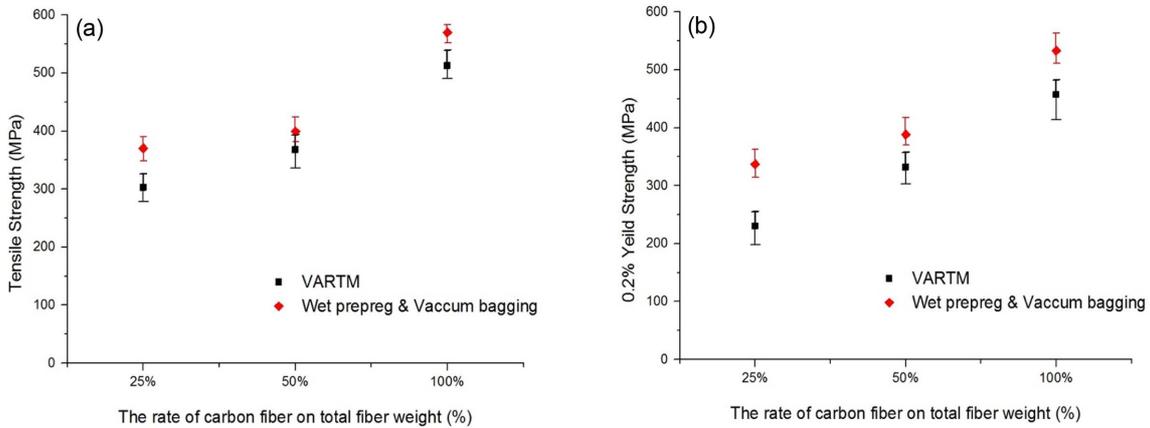


Fig. 1. Mechanical properties of carbon/basalt hybrid composites according to the different manufacturing. (a) Tensile strength, (b) 0.2% Yield strength

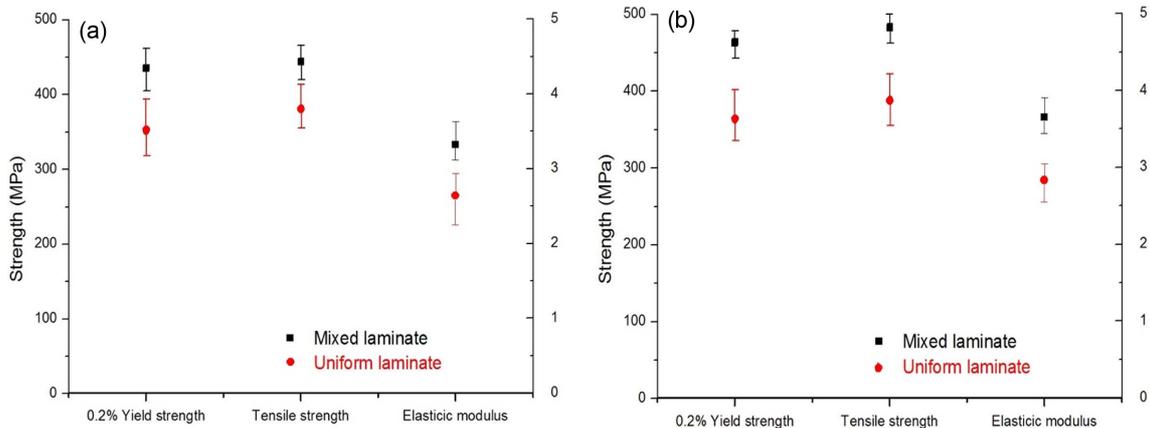


Fig. 2. Mechanical properties of carbon/basalt hybrid composites according to the different fabrication. (a) carbon weight percent = 25%, (b) carbon weight percent = 50%

층한 후 Vacuum bagging 공법의 경우에는 섬유를 직접 함침 시킨 후 진공 분위기를 만들어 함침이 충분하게 되었고 경화 과정에서 오븐을 사용해 일정한 압력과 함께 열을 주어 계절과 주변 환경의 영향을 적게 받아 높은 기계적 특성을 보인 것으로 판단된다.

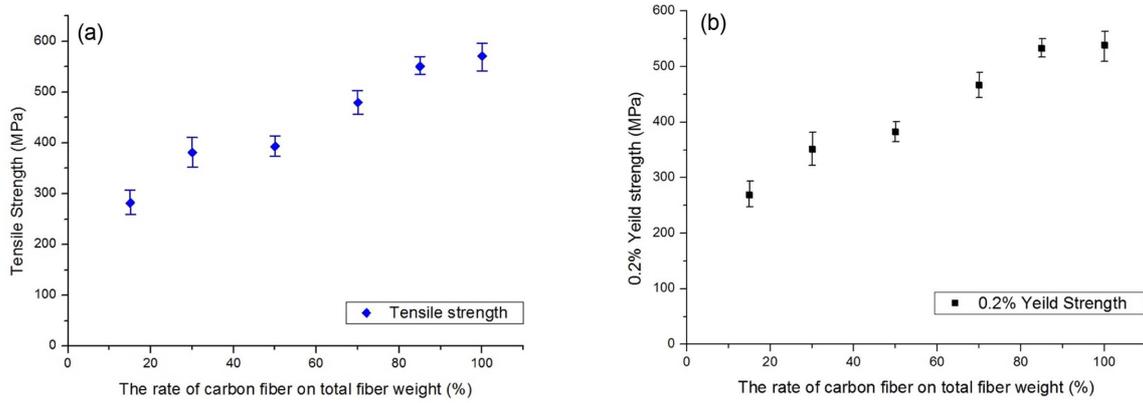
3.2 성형 적층 방법에 따른 기계적 특성

적층패턴에 따라 제작된 시편의 강도를 Fig. 2에 나타내고 있다. 적층 패턴에 따른 기계적 특성을 파악하기 위해 탄소 섬유와 현무암섬유의 적층 방법을 달리하여 시편을 제작하였다. Mixed laminate의 경우 탄소섬유사와 현무암섬유사의 배열을 불균일하게 적층하여 여러 시편의 평균을 구하여 결과 값을 얻었다. Uniform laminate의 경우, 탄소섬유 직물 사이에 현무암섬유 직물을 적층하여 평균값을 구하여 결과 값을 얻었다. 결과를 분석해 보면, Mixed laminate의 경우, Uniform laminate보다 평균 70 MPa 정도 높은 기계적 특성을 보였다. Mixed laminate에서는 기계적 물성이 우수한 탄소섬유가 현무암섬유 사이에 적층되어 파단이 되기 전까지

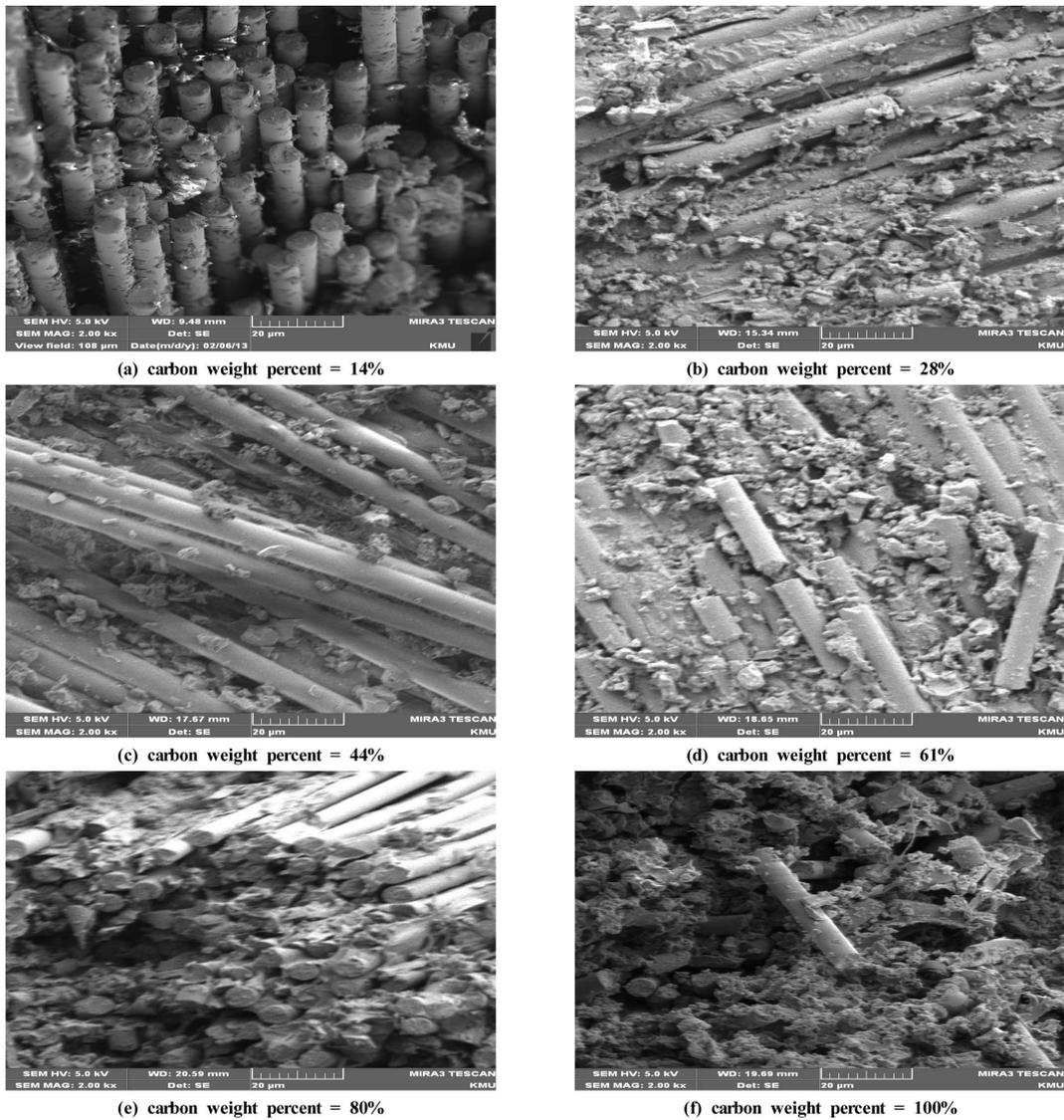
섬유사이의 하중전달을 하는 역할을 하여 우수한 기계적 특성을 보인 것으로 판단된다. Uniform laminate에서는 탄소섬유 사이의 현무암섬유가 상대적으로 우수한 탄소섬유의 기계적 특성 값까지 견디지 못하고 파단되어 기계적 특성이 낮으며 각기 다른 섬유간의 층간 박리현상이 많이 발생하여 강도의 하락에 크게 영향을 미친 것으로 사료된다.

3.3 탄소 함유율에 따른 기계적 특성

탄소/현무암 하이브리드 섬유강화 복합재료의 탄소 함유율에 따른 기계적 특성을 Fig. 3에 나타내었다. 탄소섬유의 함유율은 섬유강화재의 체적비율만을 계산하였다. 시험 결과를 분석한 결과, 탄소함유율이 증가할수록 인장강도가 높아짐을 확인할 수 있었다. 마찬가지로 탄소함유율이 증가하면 항복강도 또한 증가함을 알 수 있었다. 탄소함유량이 증가하여 100% 탄소섬유강화 복합재료 시편의 경우 가장 높은 인장강도를 보였고 탄소함유율이 85%인 경우에도 약 550 MPa로 100% 탄소섬유와 가까운 수치의 인장강도를 보여 탄소섬유강화 복합재료를 대체 할 수 있을 것으로 사료된다.



**Fig. 3.** Effect of carbon weight percent on the mechanical properties of carbon/basalt hybrid composites. (a) Tensile strength, (b) 0.2% Yield strength



**Fig. 4.** Fracture morphologies for the carbon/basalt hybrid composites following variable carbon weight percents

### 3.4 파단면 분석

탄소함유율에 따른 수지와 섬유계의 계면에서의 파괴 형태와 결합력을 관찰하기 위하여 인장시험을 통해 파단된 시편의 파단면을 주사전자현미경(SEM:Scanning Electron Microscope)으로 관찰하였다. Fig. 4는 탄소함유율에 따른 각 시편의 파단 형상을 보여주고 있다. 일반적으로 섬유강화복합재료의 고유한 파괴양상인 취성파괴를 보이고 있으며, 탄소의 체적 함유량이 증가할수록 섬유와 수지의 결합 정도가 증가하고 있으며, 반대로 탄소의 체적 함유량이 감소할수록 수지가 제 역할을 하지 못하여 섬유의 수지결합력이 감소하여 발생하는 뽑힘현상(Pull-out)이 많이 발생하는 것을 알 수 있었다. 이로 인해 탄소의 체적 함유량이 증가할수록 시편의 강도가 향상되는 것으로 사료된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 우수한 특성을 보이는 탄소섬유와 유리섬유보다 기계적 특성에서 우수하며 탄소섬유보다 가격적으로 저렴한 현무암섬유를 이용하여 하이브리드 복합재료를 제작하여 제작 공법, 적층 방법, 하이브리드 복합재료의 탄소 체적 함유율에 따른 기계적 특성을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) VARTM으로 탄소/현무암 하이브리드 복합재료를 제조할 경우 온도와 습도 등 작업 조건에 따라 많은 영향을 받았으며 이로 인해 제작 시기에 따른 불균일한 기계적 특성을 보였고, 일정한 데이터를 얻는데 어려움이 있었다. 이에 반해 Hand lay-up으로 적층 후 Vacuum bagging 공법을 이용하여 제작된 시편은 VARTM으로 제작된 시편보다 우수한 기계적 특성을 보였고 신뢰 높은 결과 값을 얻을 수 있었다.

2) 탄소/현무암 하이브리드 복합재료를 제작할 경우, 섬유사를 혼합하여 적층하였을 경우 각각의 섬유로 제작된 제작물을 혼합하여 제작한 시편 보다 나은 물성을 확인할 수 있었고, 이는 섬유사를 혼합하여 만든 시편이 그렇지 않은 시편보다 층간 박리현상이 덜 일어났기 때문으로 사료된다.

3) 탄소의 함유율이 증가할수록 기계적 특성이 우수하였으며, 탄소함유율이 80% 정도의 경우 탄소섬유만으로 제작된 복합재료와 비슷한 특성을 보였다. 따라서 탄소섬유의만으로 제작하는 경우 보다 원자재 가격을 절감할 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2012년도 중소기업 기술개발지원사업(No. S2046151)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

## 참고문헌

1. Noh, H.S., and Koh, S.W., "A Study on the Fracture Toughness of Glass-Carbon Hybrid Composites," *Bulletin of the Korean Society of Fisheries Technology*, Vol. 28, No. 3, 1992, pp. 295-305.
2. Kim, G.S., and Park, G.S., "The Influence of Water Environment on the Mechanical Properties of Carbon/Epoxy Reinforced Composite Materials," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 17, No. 2, 1993, pp. 52-59.
3. Ha, H.S., Kim, D.K., Park, I.S., Lim, Y.S., and Yoon, B.I., "Effects of the Length of Carbon Fiber on the Wear Properties of Carbon/Carbon Composites," *Korean Journal of Materials Research*, Vol. 3, No. 3, 1993, pp. 292-299.
4. Kim, Y.H., Yoon, S.W., Yang, D.H., Lee, J.W., Ha, J.C., and Bae, C.W., "The Mechanical Property Difference Depending on the Fabrication Process in Basalt Fiber Reinforced Composites," *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, Vol. 9, 2012, pp. 1379-1385.
5. Sim, J.S., Park, C.W., and Moon, D.Y., "Characteristics of Basalt Fiber as a Strengthening Material for Concrete Structures," *Composites : Part B*, Vol. 36, 2005, pp. 504-512.
6. Qiang, L., Montgomery, T.S., Richard, S.P., and Anne-Marie, M., "Investigation of Basalt Fiber Composite Aging Behavior for Applications in Transportation," *Polymer Composite*, 2006, pp. 475-483.
7. Tamas, D., Tibor, C., Miroslava, M., and Jiri, M., "Manufacturing and Testing of Long Basalt Fiber Reinforced Thermoplastic Matrix Composites," *Polymer Engineering and Science*, 2010, pp. 1-9.
8. Han, I.S., Kim, S.Y., Woo, S.K., Hong, K.S., and Seo, D.W., "Characteristics of Glass/Carbon Fiber Hybrid Composite Using by VARTM," *Journal of the Korean Ceramic Society*, Vol. 43, No. 10, 2006, pp. 607-612.
9. Kim, J.H., Park, J.K., Jung, K.H., and Kang, T.J., "Mechanical and Thermal Properties of Phenolic Composite Reinforced with Hybrid of Carbon Fabrics," *Journal of the Korean Society for Composite Materials*, Vol. 20, No. 4, 2007, pp. 18-24.
10. Jung, W.K., Ahn, S.H., and Won, M.S., "Spring-back in GFR / CFR Unsymmetric Hybrid Composite Materials," *Journal of the Korean Society for Composite Materials*, Vol. 18, No. 6, 2005, pp. 1-8.
11. Park, B.S., and Kang, T.J., "On the Mechanical Properties and Thermal Stability of Carbon / Kevlar Interply Hybrid Composites," *Journal of the Korean Society for Composite Materials*, Vol. 10, No. 4, 1997, pp. 86-92.
12. Yoon, S.H., and Hong, C.S., "Investigation of Interlaminar Fracture Surfaces in Graphite / Epoxy Composite Material under Mixed - Mode Deformations," *Journal of the Korean Society for Composite Materials*, Vol. 1, No. 1, 1988, pp. 1-9.
13. Kim, C., Kang, T.J., Lee, S.K., and Yoon, Y.J., "Study on the Mechanical Properties of Kevlar/Spectra/Glass Interply Hybrid Composites," *Journal of the Korean Society for Composite Materials*, Vol. 8, No. 3, 1995, pp. 36-48.