

CF&GF Hybrid Prepreg 적층 패턴에 따른 Z-Spring의 기계적 물성 향상에 관한 연구

김정근*, 최선호*, 김영근**, 김홍건*,***, 곽이구*,***,#

*전주대학교 탄소융합공학과, **(주)에스모터스, ***전주대학교 기계자동차공학과

Enhancing the Mechanical Properties of Z-Spring by Implementing CF&GF Hybrid Prepreg Lamination Patterns

Jeong-Keun Kim*, Sun-Ho Choi*, Young-Keun Kim**, Hong-Gun Kim*,***, Lee-Gu Kwac*,***,#

*Department of Carbon Convergence Engineering, JEONJU UNIV.,

**S-Motors Co., Ltd,

***Department of Mechanical and Automotive Engineering, JEONJU UNIV.

(Received 11 December 2020; received in revised form 28 December 2020; accepted 01 January 2021)

ABSTRACT

In vibration-free vehicles such as limousine buses, the vibration is minimized by installing an air spring instead of the leaf spring used in the existing freight cars to prevent the damage to the loaded cargo from shocks generated during movement. In the existing vehicles, steel structures support the air spring system. This study was aimed at replacing the steel structures used in the Z-spring by carbon fiber and glass fiber reinforced plastics. In addition, the mechanical properties (elastic modulus, tensile strength, and shear strength) of carbon fiber and glass fiber prepreg were derived using specimens molded with the corresponding prepreg. The final goal was to develop a material lighter than the conventional steel material but with enhanced mechanical properties. Although the CF prepreg exhibited excellent mechanical properties, the production cost was extremely high. To overcome this limitation, hybrid composites with GF prepreg were examined, which are expected to be promising future materials.

Key Words : Hybrid Composites(하이브리드 복합소재), Uni-Directional Prepreg(단방향 프리프레그), Lamination Pattern(적층 패턴), Mechanical Properties(기계적 물성), Vibration-Free(무진동)

1. 서 론

최근 국내 산업이 발달하고 소득 수준이 높아지면서 반도체, 의약품, 고가 시험 장비 등의 고가물품 운반을 위한 무진동 소형 승합차가 주목을 받고

있다. 무진동 차량은 기존의 화물차에 사용되는 판스프링을 대신하여 리무진 버스와 같이 에어스프링(Air-Spring)을 장착하여 진동을 최소화하고 이동시 발생하는 충격으로부터 적재된 화물의 손상 및 파손을 막아주기 위한 차량을 일컫는다. 또한 좌우 Leveling으로 높이를 일정하게 유지할 수 있도록 하며, Lateral Load가 적용되어 옆 방향으로의 치우침을 방지하고 Protection 적용으로 Brake Air를 보호

Corresponding Author : kwac29@jj.ac.kr

Tel: +82-63-220-3063, Fax: +82-63-220-3161

하고, Shockabsorber 적용으로 굴곡이 심한 도로에서 에어스프링을 보호, 탑승자의 승차감과 운전의 안정화를 이루어주는 차량이라고 할 수 있다. 이런 차량에 사용되는 에어스프링 시스템을 지지해주는 역할을 현재 강철 구조재가 하고 있으며 따라서 본 연구에서는 Z-Spring에 사용되는 강철 구조재를 Carbon Fiber와 Glass Fiber 강화 플라스틱으로 복합 재료화하고자 하는 연구를 수행하였다^[1-4].

또한 이러한 연구를 수행하기 위하여 CF(Carbon Fiber) 및 GF(Glass Fiber) Prepreg의 기계적 물성치(탄성계수, 인장강도, 전단강도)를 해당 Prepreg로 성형한 시편으로 물성을 확보하고자 하였다^[5-8]. 최종적으로 Z-Spring에 기존의 강철 소재에 비해 더 경량화율을 높이고 기계적 물성이 향상된 Hybrid 복합소재를 개발하고자 하였다. 또한 본 연구에서는 생산단가가 높은 CF Prepreg 소재의 단점을 보완하기 위하여 GF Prepreg를 함께 적용한 하이브리드 복합소재(Hybrid Composites)에 대한 개발을 착수하고 이에 대한 결과를 고찰하였다.

2. Hybrid 복합재의 제조

Hybrid 복합재의 제작은 Autoclave에 의해 수행되었으며 CF Prepreg는 T-300 소재(1 ply 두께 = 0.2 mm)를 사용하였고 GF Prepreg는 UD 570 소재(H사, 1 ply 두께 = 0.5 mm)를 사용하였다. Autoclave 성형은 Fig. 1의 조건으로 적층된 Prepreg를 30분 동안 상온에서 80°C까지 승온 후 60분 동안 온도를 유지하고 30분 동안 140°C까지 승온 후 60분 동안 온도를 유지하는 방법을 선택하였다. Fig. 2는 Prepreg를 적층하는 과정과 Autoclave에 적층된 Prepreg를 넣어 성형하는 과정을 사진으로 나타낸 것이다. CFRP는 17 ply($t = 3.4$ mm), GFRP는 8 ply($t = 4.0$ mm)를 UD 0° 패턴으로 적층하여 인장강도(ASTM D 3039), 전단 강도(ASTM D 5379)를 측정 및 분석하였으며, Hybrid 판상 또한 CF 1 ply & GF 7 ply($t = 3.7$ mm)와 CF 1 ply & GF 7 ply & CF 1 ply ($t = 3.9$ mm)를 UD 0° 방향으로 적층하여 인장 강도(ASTM D 3039), 압축 강도(ASTM D 6641), 굴곡강도(ASTM D 790)를 측정하여 물성을

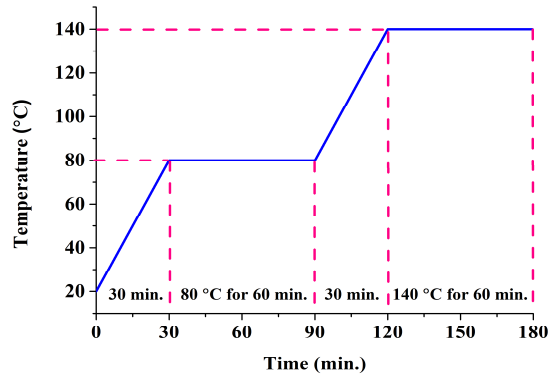


Fig. 1 Graph of time & temp. conditions in autoclave

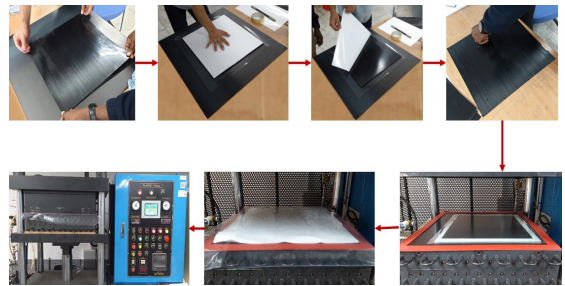


Fig. 2 Process of stacking prepreg & molding in autoclave

측정하여 Hybrid 복합재의 기계적 특성에 대하여 분석하고자 하였다^[9-12].

3. 복합재의 기계적 물성 시험 결과

3.1 CFRP의 기계적물성

CF Prepreg 17 ply($t = 3.4$ mm)를 UD 0° 패턴으로 적층하여 각각 인장 (ASTM D 3039) 및 전단 시편(ASTM D 5379)으로 가공하였으며 해당 결과를 Fig. 3, 4 및 Table 1, 2에서 확인할 수 있다. UD 0° CFRP 인장시험 결과 인장강도 평균 976.96 MPa, 인장탄성률 평균 69.45 GPa을 나타내었으며 전단시험의 경우 전단강도가 평균 72.38 MPa, 전단탄성률 2.96 GPa로 나타났다.

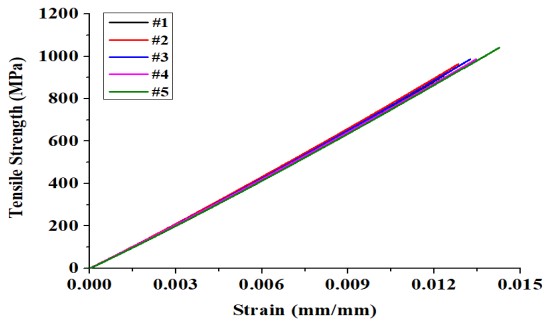


Fig. 3 Graph of tensile strength of CFRP(UD 0°)

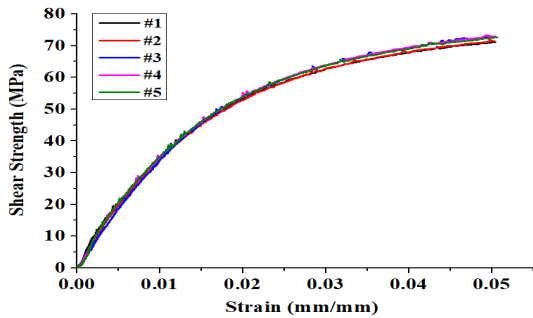


Fig. 4 Graph of shear strength of CFRP(UD 0°)

Table 1 Results of tensile test of CFRP(UD 0°)

Specimen No.	Tensile Strength (MPa)	Tensile Modulus of Elasticity (GPa)
#1	906.72	69.98
#2	963.57	70.91
#3	986.98	69.51
#4	987.06	69.06
#5	1040.48	67.78
AVR	976.96	69.45
Std. Dev.	48.35	1.16

Table 2 Results of shear test of CFRP(UD 0°)

Specimen No.	Shear Strength (MPa)	Shear Modulus of Elasticity (GPa)
#1	71.08	3.03
#2	71.88	3.03
#3	72.96	2.68
#4	73.31	3.00
#5	72.67	3.06
AVR	72.38	2.96
Std. Dev.	0.90	0.16

3.2 GFRP의 기계적물성

GF Prepreg 8 ply($t = 4.0$ mm)를 UD 0° 패턴으로 적층하여 CFRP 시편과 동등한 규격에 의거하여 인장 및 전단 시험을 실시하였다. 그 결과 Fig. 5, 6과 Table 3, 4를 통해 확인할 수 있듯이, 인장강도 평균 904.88 MPa, 인장탄성률 평균 28.64 GPa을 나타내었고, 전단강도 평균 62.33 MPa, 전단탄성률 평균 3.54 GPa을 나타내었다. 3.1의 CFRP의 결과와 비교 하였을 때 CFRP가 GFRP보다 인장강도 7.3 % 증가, 전단강도 13.8 % 증가하는 결과를 나타내었으며 CFRP 시편이 기계적 강도면에서 GFRP보다 우수함을 확인할 수 있었다. 이는 Prepreg 내의 강화재인 Carbon Fiber 강도가 Glass Fiber 강도보다 우수하며 Prepreg를 통한 시편 가공에도 적용됨을 확인할 수 있다.

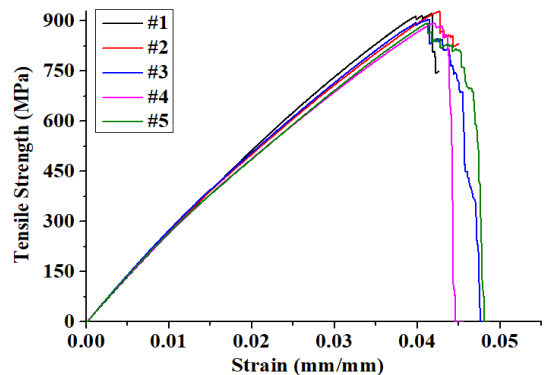


Fig. 5 Graph of tensile strength of GFRP(UD 0°)

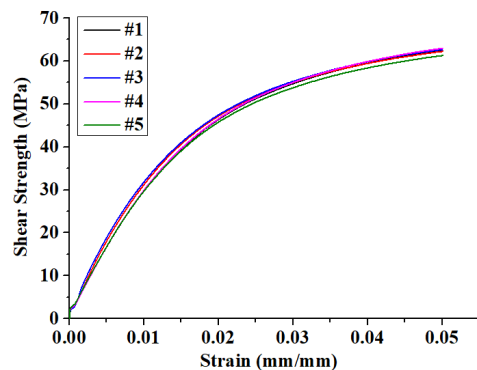


Fig. 6 Graph of shear strength of GFRP(UD 0°)

Table 3 Results of tensile test of GFRP(UD 0°)

Specimen No.	Tensile Strength (MPa)	Tensile Modulus of Elasticity (GPa)
#1	921.70	27.97
#2	929.05	28.94
#3	903.97	29.23
#4	893.23	28.25
#5	893.26	28.84
AVR	904.88	28.64
Std. Dev.	16.89	0.52

Table 4 Results of shear test of GFRP(UD 0°)

Specimen No.	Shear Strength (MPa)	Shear Modulus of Elasticity (GPa)
#1	62.47	3.4
#2	62.25	3.9
#3	62.67	3.9
#4	62.98	3.3
#5	61.29	3.2
AVR	62.33	3.54
Std. Dev.	0.64	0.34

3.3 CF&GF Hybrid 복합재의 기계적물성

Hybrid 복합재의 경우 각각 CF 1 ply&GF 7 ply($t=3.7\text{mm}$, 1-7 Hybrid)와 CF 1 ply&GF 7 ply&CF 1 ply($t=3.9\text{mm}$, 1-7-1 Hybrid)를 UD 0° 방향으로 적층하여 Autoclave로 성형하여 가공하였고 인장 강도 (ASTM D 3039), 압축 강도(ASTM D 6641), 굴곡강도(ASTM D 790)를 측정하여 데이터를 비교, 분석하였다. Fig. 7, 8과 Table 5는 해당 1-7 Hybrid 시편의 인장강도를 분석한 데이터이다. 분석 결과 Fig. 7, 8에서 볼 수 있듯이 해당 시편에 CF 및 GF Prepreg가 복합적으로 적층되어 있기 때문에 중간 시험 과정에서 그래프가 급속히 떨어지는 구간이 확인된다. 이 구간에서 1 ply가 적층되어 있는 CF

Prepreg 부분이 단층되며 이후 GF Prepreg가 적층된 부분이 단층되는 현상을 나타내었다. 그리고 1-7 Hybrid보다 1-7-1 Hybrid 시편이 1 ply의 CF Prepreg의 영향에 의해 인장강도가 2.2 % 정도 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 압축 강도의 결과는 Fig. 9, 10과 Table 6에서 볼 수 있듯이 1-7 Hybrid보다 1-7-1 Hybrid 시편이 1 ply의 CF Prepreg의 영향에 의해 압축 강도가 9.8 % 정도 증가하였다. 굴곡강도의 경우에도 Fig. 11, 12와 Table 7에서 보듯이 1-7 Hybrid보다 1-7-1 Hybrid 시편이 9.3 % 정도 굴곡강도가 증가함을 확인하였다. 그러나 GFRP의 경우(GF Prepreg 100%)보다 11.3 % 정도 감소된 경향을 나타내었는데 이는 같은 소재로 구성되었을 경우 계면간의 네트워크가 강하여 기계적 물성 향상에도 기여한 것으로 판단된다.

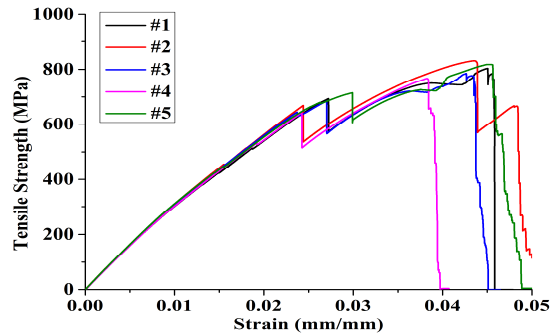


Fig. 7 Graph of tensile strength of 1-7 hybrid composites

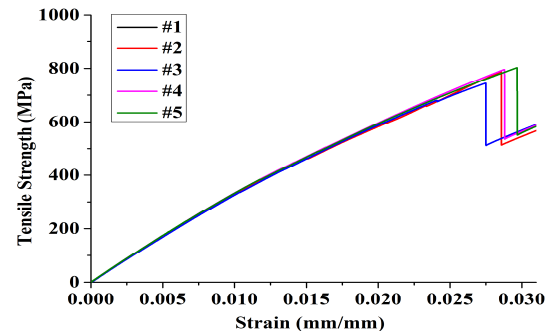


Fig. 8 Graph of tensile strength of 1-7-1 hybrid composites

Table 5 Results of tensile strength of 1-7&1-7-1 hybrid composites

Specimen No.	Tensile Strength (MPa)		Tensile Modulus of Elasticity (GPa)	
	1-7	1-7-1	1-7	1-7-1
#1	784.31	803.93	34.08	31.76
#2	788.37	831.21	33.98	32.55
#3	744.87	785.72	33.72	32.38
#4	796.31	767.68	34.52	32.09
#5	803.33	817.92	34.47	32.67
AVR	783.22	801.29	34.17	32.29
Std. Dev.	26.28	25.254	0.38	0.370

Table 6 Results of compressive strength of 1-7&1-7-1 hybrid composites

Specimen No.	Compressive Strength of 1-7 Hybrid (MPa)	Compressive Strength of 1-7-1 Hybrid (MPa)
	#1	583.09
#2	501.72	513.23
#3	471.33	499.07
#4	482.55	532.52
#5	439.06	598.17
AVR	495.55	549.67
Std. Dev.	53.96	49.084

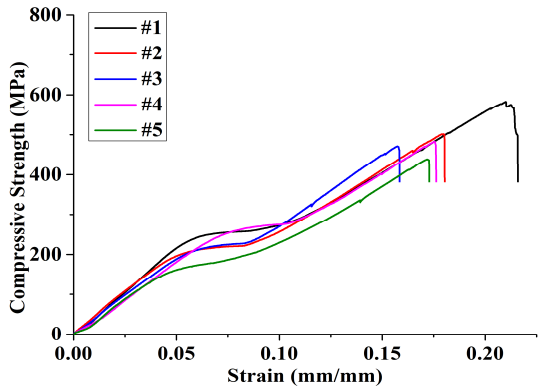


Fig. 9 Graph of compressive strength of 1-7 hybrid composites

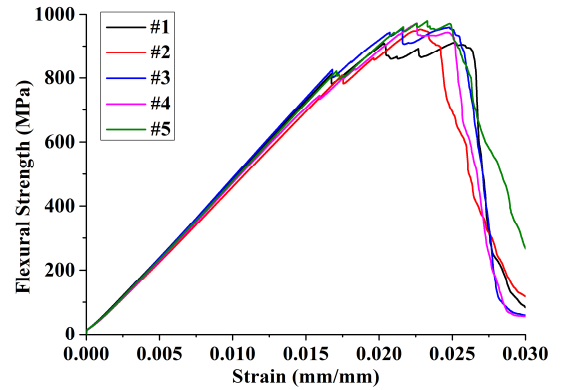


Fig. 11 Graph of flexural strength of 1-7 hybrid composites

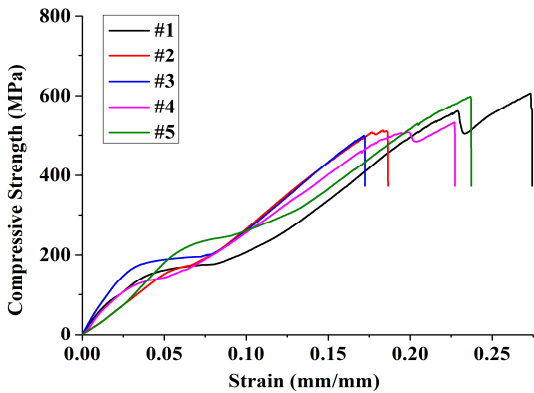


Fig. 10 Graph of compressive strength of 1-7-1 hybrid composites

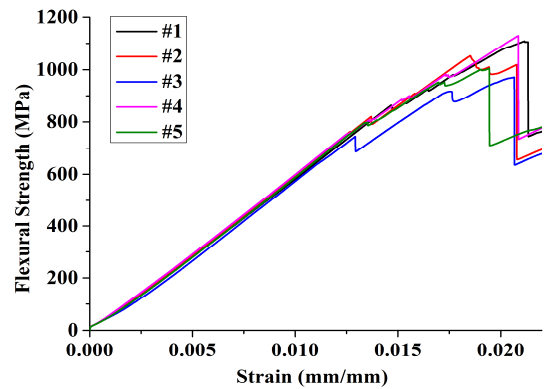


Fig. 12 Graph of flexural strength of 1-7-1 hybrid composites

Table 7 Results of flexural strength of 1-7& 1-7-1 hybrid composites

Specimen No.	Flexural Strength of 1-7 Hybrid (MPa)	Flexural Strength of 1-7-1 Hybrid (MPa)
#1	911.06	1108.94
#2	952.79	1052.57
#3	959.21	970.54
#4	972.29	1129.67
#5	979.72	1004.03
AVR	955.01	1053.15
Std. Dev.	26.755	67.464

4. 결 론

CFRP와 GFRP를 각각 Prepreg를 이용한 Autoclave에 의한 성형 공법으로 시편을 가공하여 기계적 물성(인장, 전단강도)을 데이터화하였다. 이후 CF Prepreg와 GF Prepreg를 Hybrid화하여 적층시킨 시편에 대하여 추가적으로 기계적 물성(인장, 압축, 굴곡강도)을 도출하였으며 해당 결과를 통해 다음과 같은 결론을 확인하였다.

- 1) CFRP의 경우 GFRP에 비해 인장강도 7.3%, 전단강도 13.8% 향상된 물성을 나타내어 CF Prepreg의 함량이 높으면 해당 소재의 기계적 물성이 향상됨을 확인하였다. 그러나 생산 단가 면에서 경쟁력을 확보하기가 어렵다고 판단하여 GF Prepreg를 추가 적층시킨 1-7 Hybrid와 1-7-1 Hybrid 복합체에 대한 연구에서 추가적인 연구를 진행하였다.
- 2) Hybrid화 하여 기계적 물성을 도출한 결과 인장강도값을 비교하였을 때 1-7 Hybrid의 경우 CFRP 보다 19.83 %, GFRP보다 12.44 % 정도 감소하였고 1-7-1 Hybrid의 경우 CFRP보다 17.98 %, GFRP보다 11.44 % 감소된 결과를 나타내었다. 이는 Hybrid화 되었을 경우 같은 소재의 Prepreg로만 구성이 되었을 경우보다 계면 간의 네트워크가 상대적으로 약하게 형성되는 것으로 판단된다.

- 3) Z-Spring을 CF Prepreg으로만 제작하게 되는 경우 생산 단가 상승이라는 단점을 갖고 있다. 그러나 우수한 기계적 물성도 확보하고 생산 단가도 낮출 수 있는 GF Prepreg를 사용한다면 차후 미래의 소재로서의 Hybrid Composite이 될 것으로 판단된다. 결론적으로 이를 적용한 Z-Spring 역시 추가적인 연구를 통한 Hybrid 제품으로써 개발이 기대된다.

후 기

“이 논문은 정부의 재원으로 2019년도 중소벤처기업부(No. P0010022) 및 2016년도 한국연구재단(No. 2016R1A6A1A03012069)의 지원을 받아 수행된 결과임.”

REFERENCES

1. Kastensson, Å., “Developing Lightweight Concepts in The Automotive Industry: Taking on The Environmental Challenge with The Sånätt Project”, Journal of Cleaner Production, Vol. 66, pp. 337-346, 2014.
2. Sakundarini, N., Taha, Z., Abdul-Rashid, S. H., Ghazila, R. A. R., “Optimal Multi-Material Selection for Lightweight Design of Automotive Body Assembly Incorporating Recyclability”, Materials & Design, Vol. 50, pp. 846-857, 2013.
3. Hwang, J. J., Wang, D. Y., Shih, N. C., “Development of A Lightweight Fuel Cell Vehicle”, Journal of Power Sources, Vol. 141, Issue 1, pp. 108-115, 2005.
4. Dohmann, F., Hartl, Ch., “Hydroforming - A Method to Manufacture Light-Weight Parts”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 60, Issues. 1-4, pp. 669-676, 1996.
5. Zhang, J., Chaisombat, K., He, S., Wang, C. H., “Hybrid Composite Laminates Reinforced with Glass/Carbon Woven Fabrics for Lightweight Load Bearing Structures”, Materials & Design,

Vol. 36, pp. 75-80, 2012.

6. Thwe, M. M., Liao, K., “Durability of Bamboo-Glass Fiber Reinforced Polymer Matrix Hybrid Composites”, *Composites Science and Technology*, Vol. 63, Issues. 3-4, pp. 375-387, 2003.
7. Safri, S. N. A., Sultan, M. T. H., Jawaid, M., Jayakrishna, K., “Impact Behaviour of Hybrid Composites for Structural Applications: A Review”, Vol. 133, pp. 112-121, 2018.
8. Velmurugan, R., Manikandan, V., “Mechanical Properties of Palmyra/Glass Fiber Hybrid Composites”, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 38, Issue 10, pp. 2216-2226, 2007.
9. Alrefaei, Y., Dai, J., “Deflection Hardening Behavior And Elastic Modulus of One-Part Hybrid Fiber-Reinforced Geopolymer Composites”, *Journal of Asian Concrete Federation*, Vol. 5, No. 2, pp. 37-51, 2019.
10. Mishra S., Mohanty, A. K., Drzal, L. T., Misra, M., Parija, S., Nayak, S. K., Tripathy, S. S., “Studies on Mechanical Performance of Biofibre/Glass Reinforced Polyester Hybrid Composites”, *Composites Science and Technology*, Vol. 63, Issue 10, pp. 1377-1385, 2003.
11. Kim, J., “A Simple Method to Produce Fiber Metal Laminates with Enhanced Mechanical Properties Using An Ethylene Vinyl Acetate (EVA)-Based Adhesive Film”, Vol. 43, No. 2, pp. 295-301, 2019.
12. Oh, C. J., Park, S. D., Han, D. C., Kwac, K. S., “Preparation And Thermal Properties of Aliphatic Network Polyester-Silica Composites”, *Polymer(Korea)*, Vol. 34, No. 5, pp. 424-429, 2010.