

# LFT-D 시스템을 이용한 탄소 장섬유 열가소성 복합재의 제조 및 인장특성 분석

신유정\*, 정한규\*, 박시우\*<sup>#</sup>, 박동욱\*\*, 박열\*\*, 정진우\*\*  
<sup>\*</sup>한국섬유기계융합연구원, <sup>\*\*</sup>(주)동신유압

## Fabrication and Characterization of Carbon Long-Fiber Thermoplastic Composites using the LFT-D System

Yujeong Shin\*, Han-Kyu Jeung\*, Si-Woo Park\*<sup>#</sup>, Dong-Wook Park\*\*, Yeol Park\*\*, Jin-Woo Jung\*\*  
<sup>\*</sup>Korea Textile Machinery Convergence Research Institute, <sup>\*\*</sup>Dongshin Hydraulics Co., Ltd.

(Received 31 July 2017; received in revised form 7 September 2017; accepted 22 September 2017)

### ABSTRACT

Carbon-fiber-reinforced plastic (CFRP) composite materials have been widely used in various industrial fields because the design variables can be adjusted according to the application of the required structure. Thermosetting and thermoplastic resins are used as the base materials of CFRP composites for the lightweight construction of automotive components. Thermoplastics have several advantages such as no curing and recyclability compared to thermosetting resin. In this study, CFRP composites were made using the Long-Fiber Thermoplastic-Direct (LFT-D) process. The LFT-D process includes an in-line production system that directly impregnates a thermoplastic resin, extrudes the composite material, and molds it. This process increases the strength and decreases the molding time. The tensile strength characteristics on the mechanical properties of CFRP were analyzed according to the parameters of LFT-D based on thermoplastics. To analyze the properties of CFRP, the specimens were prepared based on the tensile test standard ASTM 3039 of composite materials.

**Key Words** : Carbon Fiber(탄소섬유), Thermoplastic(열가소성), Composite(복합재), Tensile Strength(인장강도)

### 1. 서 론

최근 자동차 산업은 세계적으로 이산화탄소 저감  
과 관련된 각종 규제 증가 및 연료 효율성에 대한  
요구가 높아짐에 따라 경량화가 차량의 설계 및 생  
산의 중요한 목표가 되고 있다<sup>[1]</sup>. 크게 3가지 분야

에서 자동차 경량화 연구가 활발히 진행되고 있  
으며 자동차 구조 합리화, 재료 치환, 자동차 제조 공  
법을 활용한 경량화로 나눌 수 있다. 상기 방법들  
중에 현재 주력 연구방향이라 할 수 있는 부분은  
신소재를 통한 경량화 방안으로 알루미늄, 마그네  
슘 등의 비철금속류를 이용하는 것과 고분자 복합  
재료를 이용하는 방법이 있다. 이 중 비철금속류를  
이용한 방법은 적용 소재가 유한하여 제한적이고  
가공이 어려워 상용화가 더디게 진행되고 있는 반  
면에 탄소섬유강화 복합재료는 이러한 단점이 적고

# Corresponding Author : siwoo@kotmi.re.kr  
Tel: +82-53-819-3137, Fax: +82-53-819-3119

경량화 효과도 높아 현재 자동차 산업에서 지속적인 연구가 수행되고 있다.<sup>[2-5]</sup>

탄소섬유강화 복합재료를 이용한 자동차 부품 생산 시스템 공법은 여러 가지가 있지만 특히, 성형 시간이 짧으면서도 구조용 부품 생산에 적합한 LFT-D(Long Fiber Thermoplastic-Direct) 시스템은 장섬유와 열가소성 수지를 직접 함침하여 복합재료를 압출한 후, 성형하는 인라인(in-line) 생산 시스템으로 성형시간을 획기적으로 단축시키면서 강도는 높일 수 있는 특징을 가지고 있다<sup>[6,7]</sup>. 통상적으로 복합재료의 정의는 성질이 서로 다른 두 가지 이상의 물질이 혼합되어 있으면서 각 성분이 원래의 성질을 그대로 가지고 있는 재료이다. 또한, 복합재료는 일반 금속재료에 비하여 비강도 및 비강성이 우수하고 좋은 피로특성과 높은 감쇠특성이 있으며 충격 에너지의 흡수능이 우수하다<sup>[8]</sup>. 하지만 이론적인 거동이 복잡하여 재료의 특성을 파악하는데 어려움이 있다.<sup>[9,10]</sup> 따라서 본 연구에서는 LFT-D 시스템을 적용한 탄소 장섬유 강화 열가소성 복합재에 대한 기계적 특성을 분석하기 위해 수지의 종류, 건조 및 진공펌프 사용유무, 프레스 가압력 등을 실험변수로 선정하였으며 제작된 시편에 대해 인장시험을 진행하였다. 이를 통해 LFT-D공법을 적용한 자동차용 부품의 생산을 위한 기초데이터로 활용하고자 한다.

## 2. LFT-D 시스템

Fig. 1의 LFT-D 시스템의 모식도와 같이 핵심부분은 크게 수지 압출부, 수지와 탄소섬유 혼합부, 탄

소섬유 feeding 및 cutting부, 예열장치, 이송로봇, 유압프레스, 금형으로 나눌 수 있다. LFT-D 시스템의 각 부분별 주요 용도와 특징은 다음과 같다. 수지 압출부는 수지 공급부를 포함하며 열가소성 수지를 일정한 양만큼 투입하고 용융된 수지를 압출하는 시스템이다. 수지와 탄소섬유 믹싱부에서는 용융된 수지와 적당한 사이즈로 컷팅된 탄소섬유를 혼합하는 시스템을 말하며 탄소섬유를 압출믹싱부에 투입하기 위한 feeding부와 고강도의 탄소섬유를 일정한 길이로 자를 수 있는 cutting 부로 구성 되어있다. 그 외에도 다이를 통해 토출된 컴파운드가 레일 이송 중 표면고화 및 응고하는 것을 방지하는 예열장치가 필요하며, 프레스의 정확한 지점까지 혼합물을 옮겨주는 자동 로봇시스템이 구성되어야 한다. 탄소섬유강화 복합재 금형은 탄소섬유와 수지의 유동성과 공정시간 단축을 위한 냉각 라인 설계까지 고려되어야 한다. Fig. 2는 실제 LFT-D의 사진이다.

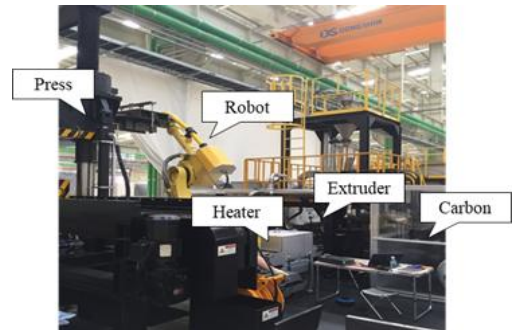


Fig. 2 LFT-D system

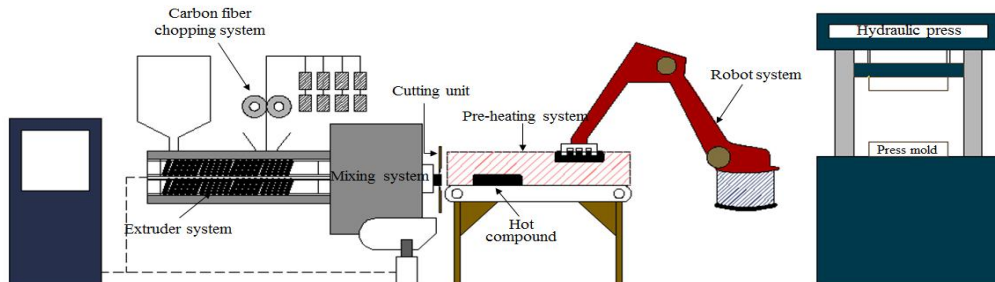


Fig. 1 Configuration diagram of In-Line LFT-D system

### 3. LFT-D 복합재 제조

#### 3.1 탄소 복합재 소재

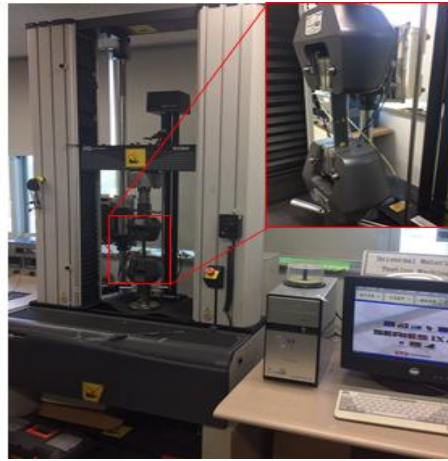
LFT-D 복합재를 성형하기 위해 사용된 강화섬유는 강성과 연신율이 뛰어난 탄소섬유소재(T700, Toray Co. )이고 그 기계적 성질은 Table 1과 같다. 본 실험에서 기지재는 열가소성 수지를 사용하였으며, 열가소성 수지는 최근 열경화성 CFRP 비해 내충격성, 높은 리사이클 비율 및 생산속도 향상 등의 장점으로 수요가 증가하고 있는 추세이다. LFT-D 시스템에 적용한 기지재는 열가소성 수지 중에서도 TPU(Polyurethane)와 PA6(Polyamide) 두 가지 종류를 사용하였으며, 각 수지에 대한 물성은 표 2에 나타내었다. 본 실험에서 사용된 TPU수지는 인장강도, 신율 등 타 고분자에 비해 물성이 우수하고 항공기나 자동차 제작에도 활용되고 있으며, PA6는 기계적 강도, 내열성, 내마모성, 난연성 등의 특성이 뛰어나 자동차 부품, 전기·전자부품, 기계부품, 건재부품, 의료용품, 가정용품 등 폭넓은 분야에 이용되고 있다<sup>[11,12]</sup>.

Table 1 Material properties of carbon fiber

Tensile strength (MPa)	Tensile modulus (GPa)	Strain (%)	Tex (g/1000m)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
4900	230	2.1	1650	1.8

Table 2 Material properties of thermoplastic resin

	TPU	PA-I	PA-II
Specific gravity(g/cc)	1.3 g/cc	1.08g/cc	1.14g/cc
Tensile strength(MPa)	56MPa	59MPa	81MPa
Density (kg/m <sup>3</sup> )	1280	1090	1140
Elongation	160%	250%	100%
Tear strength	29Mpa	88Mpa	123Mpa



(a) Tensile test machine and setting CFRP specimen



(b) Shape of LFT-D CFRP specimen

Fig. 3 Tensile test machine and dimension of CFRP specimen

#### 3.2 복합재 성형 및 인장강도 시험편

LFT-D 시스템의 히팅온도 조절기로 압출기의 구간별 설정 온도 구간에 도달할 수 있도록 한다. 설정 온도는 각 열가소성 수지별 용융점을 기준으로 설정하였으며, 압출기 상단에 설치된 호퍼를 통하여 탄소섬유를 공급하여 압출기 스크류를 통하여 일정 길이의 장섬유로 절단된다. 탄소섬유와 수지가 원활히 혼합될 수 있도록 회전수는 150rpm으로 선정하였다. 토출된 탄소섬유 복합체를 성형한 후 ASTM D3039 규격에 따라 인장시험 시편을 제작하였다. Fig. 3은 기계적 성질을 측정하기 위한 인장시험 장치와 인장시험 시편을 나타낸 것이다<sup>[13]</sup>.

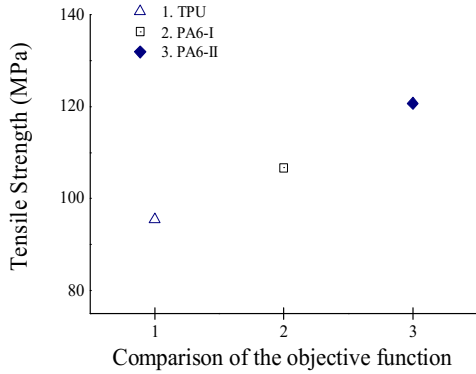


Fig. 4 A tensile strength variation with the resin type

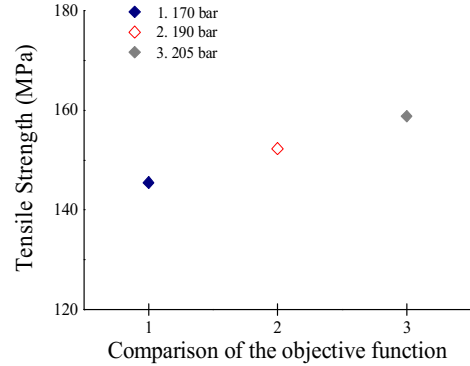


Fig. 7 A tensile strength variation with the press load

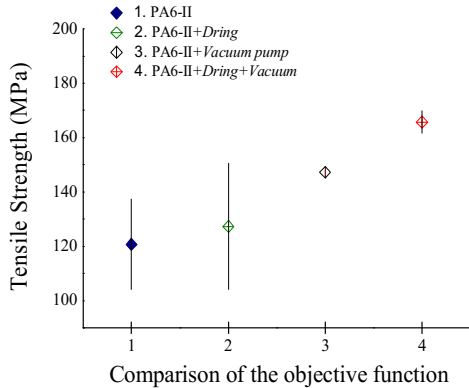


Fig. 5 A tensile strength variation using drying and vacuum



Fig. 6 Changes in Pore distribution of Using drying and Vacuum - Before (left) and After (right)

### 3.3 인장강도 시험

LFT-D공법을 이용한 탄소 장섬유 강화 복합재의 시편에 대한 인장시험 결과이다. Fig. 4는 수지에 따른 인장강도를 나타낸 것 이다. 기지재의 종류에 따른 인장강도를 비교했을 때 PA-II 시편이 가장 높게 나타났다. 나일론-6(PA6)의 그레이드(grade)에 따른 물성을 분석한 결과 고점도의 PA-I 대비 중 점도의 PA-II를 사용한 복합재의 인장강도가 증가한 것을 확인할 수 있었다. 이는 수지 점도의 영향으로 탄소섬유와 기지재 사이의 혼합성능이 개선되어 이종소재 간의 결합력이 증가한 것으로 판단된다. 기지재의 기계적 물성이 복합재 강도에 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 5는 수지 건조 및 진공펌프 사용 유무에 따른 인장강도를 나타낸 것이다. 수지를 100[°C]에서 24시간 동안 충분히 건조시키고 배럴 내 진공펌프를 적용하였을 경우 인장강도가 향상되었으며, Fig. 6과 같이 두 가지 조건을 모두 적용하였을 때 강도특성에 영향을 끼치는 요인인 시편 내 기공(void) 감소를 확인하였다. 또한, 진공펌프 사용에 따라 시편별 산포가 줄어드는 것을 두 가지의 진공펌프를 사용한 실험조건에서 모두 확인할 수 있었다.

**Table 3 Optimal conditions in LFT-D system**

Optimal conditions	Tensile strength (MPa)
- Resin : PA-II - Carbon fiber : 24K, 8bobbin, 40[Wt%] - Dry : 100°C(24hr) - Vacuum pump - Molding press : 205[bar] - Extruder speed : 150rpm - Water jet machining and Dry	184

성형 압력변화에 따른 인장강도의 영향을 분석하였다. 최대 회로압력 210bar까지 가능한 500ton급 프레스를 사용하여 시편을 제작하였으며 Fig. 7은 압축력이 증가할 때 시편의 인장강도 변화를 나타낸 그래프이다. 프레스 압축력을 증가시켰을 경우 시편의 인장강도가 증가되는 것을 확인할 수 있었다. 동일한 소재 및 압출기 내부 온도 조건에서 유동성이 양호하면 제품의 두께 방향으로 압축량이 증가하기 때문에 치밀한 구조를 갖는 것으로 판단된다. 인장시험 결과를 바탕으로 Table 3에서 설계인자를 조합하여 최적의 성형 조건을 나타내었으며, 인장강도는 184[MPa]로 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 탄소 장섬유 열가소성 복합재 제조에서 LFT-D 공법의 성형조건이 성형품의 기계적 물성인 인장강도에 미치는 영향을 실험을 통해 고찰하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 수지의 기계적 물성 특성은 복합재의 인장강도 특성에 영향을 미쳤다.
- 2) 인장강도 변화에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 수지건조와 진공펌프 사용 유무로 인장강도에 영향을 미칠 뿐 만 아니라 기공의 감소 및 산포가 작아지는 효과가 있었다.

3) 프레스 압축력이 20bar 증가할 때 마다 약 4[MPa]의 인장강도가 증가하였다.

4) LFT-D 시스템에 대한 인장강도 시험 결과를 바탕으로 수지 선정 및 건조, 배럴 내 진공펌프 사용, 프레스 압력 등의 설계인자를 조합하여 최적의 실험 조건을 제시하였다.

#### 후 기

“이 연구는 2014년도 산업통상자원부 및 산업기술 평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(‘10050990’).”

#### REFERENCES

1. Kim, K. Y., Kwak, S. H., Han, G. D., Park, J. S., Cho, J. H., Lee, C. H. and Kang, M. C., "Formability Evaluation of the Vacuum Resin Transfer Molding of a CFRP Composites Automobile Seat Cross Part," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 3, pp. 24-29. 2017.
2. Gole, G. S., Sherman, A. M., "Light Weight Materials for Automotive Applications," Materials Characterization, Vol. 35, No. 1, pp. 3-9. 1995.
3. Friedrich, K., Almajid, A. A., "Manufacturing Aspects of Advanced Polymer Composites for Automotive Applications," Applied Composite Materials, (in print) DOI: 10.1007/s10443-012-9258-7, 2012.
4. Chun, D. M., Ahn, S. H., "Change of Mechanical Properties of Injection-Molded Glass-Fiber-Reinforced Plastic (GFRP) According to Temperature and Water Absorption for Vehicle Weight Reduction", Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A, Vol. 37, No. 2, pp. 199-204, 2013.
5. Won, S. J., Li, C. P., Park, K. M., Ko, T. J., "The Exit Hole Burr Generation of CFRP with Ultrasonic Vibration," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 1, pp. 134-140. 2017.

6. Labatut, V., Mayers, J., Greene, T., "Discontinuous LFT composites for Structural aerospace applications", JET Composites Magazine, No. 96 pp. 38-40, 2015.
7. Markarian, J., "Long fiber reinforced thermoplastics continue growth in automotive", Plastics, Additives and Compounding, Vol. 9, pp. 20-22, 2007.
8. Oh, S. H., Choi, B. L., "A Determination of Design Parameters for Application of Composite Coil Spring in a Passenger Vehicle," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 12, No. 1, pp. 77-83. 2013.
9. Lee, D. W., "Mechanical and electrical properties of long carbon fiber reinforced thermoplastic composites", Ph. D. Thesis of ChungNam National University, pp. 30-31, 2013.
10. Bijsterbosch, H., Graymans, R. J., "Polymer 6-long glass fiber injection moldings", Polymer Composites, Vol. 16, No. 5, pp. 363-369, 1995.
11. Park, M. K., Park, S. W., "A study on the properties of the carbon long-fiber-reinforced thermoplastic composite material using LFT-D method", Journal of the Korea Academia-Industrial, Vol. 17, No. 5, pp. 80-85, 2016.
12. Do, V. T., Nguyen-Tran, H. D., Chun, D. M., "Effect of polypropylene on the mechanical properties and water absorption of carbon-fiber-reinforced-polyamide-6/polypropylene composite", Composite Structures, Vol. 150. pp. 240-245, 2016.
13. De Baerea, I., Van Paepegema, W., Quaresiminb. M., Degriecka. J., "On the tension-tension fatigue behaviour of a carbon reinforced thermoplastic part I: Limitations of the ASTM D3039/D3479 standard", Polymer Testing, Vol. 30, No. 6, pp. 625-632. 2011.