

# 실리카 폼을 이용한 자동차용 탄소섬유강화복합재의 인성 강화

임 성 목<sup>1)</sup> · 유 재 상<sup>2)</sup> · 이 원 오<sup>1)\*</sup>

전남대학교 기계공학부<sup>1)</sup> · 한국과학기술연구원 구조용 복합소재 연구센터<sup>2)</sup>

## Toughness Enhancement of Carbon Fiber Reinforced Composites for Automobile using Silica Fume

Sungmook Lim<sup>1)</sup> · Jaesang Yu<sup>2)</sup> · Wonoh Lee<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>School of Mechanical Engineering, Chonnam National University,  
77 Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju 61186, South Korea

<sup>2)</sup>Mutifunctional Structural Composite Research Center, Korea Institute of Science and Technology (KIST),  
92 Chudong-ro, Bongdong-eup, Wanju-gun, Jeonbuk 55324, South Korea

(Received 2018.09.18 / Accepted 2018.11.27)

**Abstract** : The age of electric vehicle is coming. One of the most important problems to be solved for popularization of electric vehicle is fuel economy. To increase fuel economy of electric vehicles, it is necessary to improve the performance of the battery or the car body should be lighter than now. To solve the problem of the car body, change the car body's material to carbon fiber reinforced composites can be an excellent answer. However, the part made from carbon fiber reinforced composites is vulnerable to accidents due to their high brittleness. In this study, ductile silica fume was added into the carbon fiber composites to enhance toughness. To examine this, various amounts and sizes of silica fume were considered and the toughness enhancement was examined by performing tensile tests.

**Key words** : Carbon fiber reinforced composite, Toughness reinforcement, Silica fume, Electric vehicle, Car body

### 1. 서 론

석유자원은 고갈을 향해 달려가고 있고, 해수면의 높이와 지구의 평균온도는 계속해서 상승하고 있다. 이에 따라 각 분야에서는 이를 타개할 방법을 모색하고 있으며, 자동차 업계에서는 석유 연료를 이용한 자동차를 대신할 전기자동차에 집중하고 있다. 그러나 전기자동차는 해결해야 할 많은 문제를 가지고 있는데 그 중 한 가지는 내연기관 자동차와 비교하여 한 번 충전했을 때 많은 거리를 이동하지 못한다는 것이며, 이는 전기자동차의 대중화를 가로막는 큰 걸림돌이다.

사용자가 불편을 느끼지 않을 만큼 충분한 전기자동차 충전소를 건설하는 것은 복잡한 문제를 가지고 있기에 매우 오랜 시간이 소요될 것으로 예상되며, 이에 따라 빠른 시일 내에 내놓을 수 있는 해결책은 전기자동차의 연비 향상이다. 전기자동차는 배터리에 저장된 동력으로 주행을 하는데, 연비를 향상시키기 위해선 배터리의 성능 개선과 전기자동차의 무게 절감이 필요하다. 자동차의 무게를 절감하기 위해선 현재 차체를 만드는 데 사용되고 있는 철강이나 알루미늄 합금 대신 다른 재료를 이용하여 만들어야 하는데 그 중 가장 각광받는 재료는 탄소섬유강화복합재(Carbon fiber reinforced plastic composites, CFRP composites)

\*Corresponding author, E-mail: wonohlee@jnu.ac.kr

이다. CFRP는 높은 비강도와 비강성을 가지고, 피로 수명이 길며 환경 안전성이 우수하기 때문에 항공, 국방, 자동차스포츠 등 다양한 산업 스포츠 등에 널리 이용되고 있으며<sup>1)</sup>, 질량은 알루미늄에 비해 약 65%, 강도는 약 5배를 보이는 재료로써, 철강이나 알루미늄 합금을 대신하여 차체를 만들기에 적합한 재료로 주목받고 있다<sup>2)</sup>. 그러나 CFRP는 매우 높은 취성을 가지고 있어 보다 안정적인 차체의 재료로 사용되기 위해선 해당 부분에 대한 개선이 필요하다.

본 연구에서는 그 점에 주목하여 CFRP의 인성을 향상시키고자 한다. CFRP를 제작할 때 다른 재료를 혼합하면 기계적 물성을 조절할 수 있다는 것을 이용하여 다양한 크기 및 함량의 실리카 품이 함유된 CFRP를 제조하였고, 인장시험을 통해 인성의 향상 정도를 분석하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실리카 품

실리카 품은 전기아크로에서 고순도의 코크스를 사용하여 실리콘 메탈이나 페로실리콘 합금을 생산하는 과정에서 고순도 석영이 환원되어 얻어지는 부산물이다<sup>3)</sup>. 실리카 품을 산업에 사용하는 예시는 실리카 품을 시멘트에 첨가할 때 시멘트 입자 사이로 들어가 조적이 치밀해지며 이로 인해 콘크리트가 고강도화되며<sup>4,5)</sup>, 실리카 품을 콘크리트에 첨가 할 때 압축강도와 휨강도가 증가하는 긍정적인 결과를 보였다<sup>6)</sup>. 현재 고성능의 건축 자재를 만들기 위해 실리카 품이 첨가제로 이용되고 있는 것에 착안하여, 본 연구에서는 CFRP 복합재 제조 시에 실리카 품을 함께 적용하여 복합재의 인성을 증대시키고자 한다.

### 2.2 실리카 품 함유 CFRP 제작

#### 2.2.1 실리카 품의 첨가

실리카 품을 첨가할 때 주요 제어 변수는 평균 입자 크기 및 첨가되는 실리카 품의 함량비다. 여기서 함량비는 첨가할 실리카 품의 질량과 복합재의 질량의 비율로 정의한다. 또한, 실리카 품은 층 사이에 삽입하기 때문에 복합체의 적층수를 고려하여 (전체질량)/(적층수)로 분배한다. 실리카 입자 크기와 함량비가 CFRP의 물성에 어떠한 영향일 미치는지 알아보기 위

Table 1 Type of Silica fume

	Size [nm]	Amount of Silica fume [wt%]
1	100(±20)	1
2	700(±100)	1
3	100(±20)	2
4	700(±100)	2

하여 입자 크기는 100(±20)nm, 700(±100)nm 두 종류를 사용하였고, 실리카 품의 함량비는 1 wt%, 2 wt%를 선택하여 Table 2와 같이 총 4종류의 실리카 품을 복합재 제조 시 첨가하였다.

#### 2.2.2 CFRP 제작

CFRP는 필라멘트 원사 또는 직조물을 이용하여 사용 목적에 따라 다양한 방법으로 제조된다. 본 연구에서는 탄소섬유 직물 사이에 손쉽게 다른 재료를 첨가할 수 있는 공정 중 하나인 프리프레그를 이용한 방법을 선택하였다.

CFRP를 제작하기 위해서 스테인리스 판, 프리프레그, 브리더, 이형천, 이형제, 진공필름, 진공튜브, 진공펌프, 트랩, 실란트 테이프 및 실리카 품을 고르게 첨가시켜 줄 수 있는 메쉬가 필요하다. 스테인리스 판은 몰드 또는 프리프레그 적층을 위한 기저판으로 사용되며, 실란트 테이프의 부착을 고려하여 복합체의 크기보다 약 2 cm 정도 크게 준비하고, 프리프레그는 냉동보관 상태이므로, 저온 크랙을 막기 위해 상온에 노출시켜 해동시킨 후 설계상 요구 규격에 맞추어 재단한다. 브리더는 프리프레그의 크기와 동일하게 재단하고 이형천의 경우 프리프레그와 다른 재료가 접촉하지 않도록 프리프레그 보다 약 1~2 mm 크게 재단한다. 그리고 탈형의 효율을 높이기 위해 이형천에 이형제를 적신 후 상온에서 충분한 시간동안 건조시킨 후 사용한다.

프리프레그 적층의 기반이 되는 스테인리스 판은 오염 제거를 위해 아세톤 세척 후 사용하며 스테인리스 판 위에 프리프레그를 적층 패턴에 따라 적층시킨다. 본 연구에서는 [0°<sub>20</sub>]으로 적층했으며 사용된 프리프레그는 SK 케미칼사의 UD 직물인 USN-200A를 이용했다. 그림 1과 같이 적층시 각 플라이 사이마다 계량된 실리카 품을 첨가하는 공정을 진행하는데 이 때 메쉬를 이용하여 고르게 분산시키는 것이 매우 중요하다.

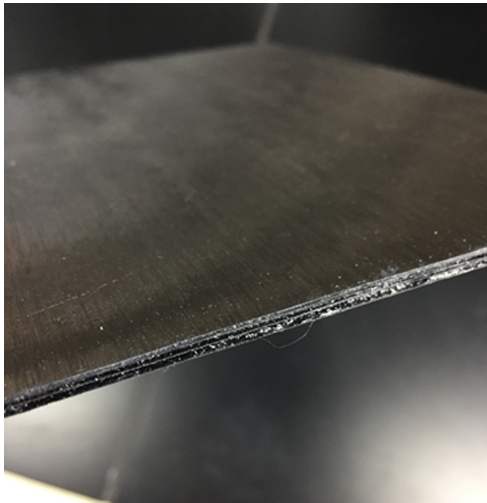


Fig. 1 Laminated prepreg with added silica fume

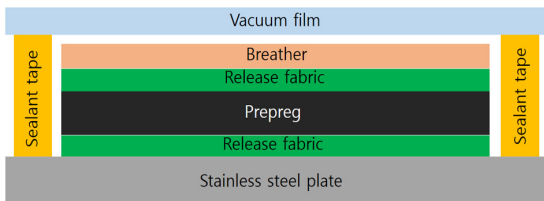


Fig. 2 Composite lamination

적층이 완료되면 그림 2에 도시한 것처럼 스테인리스 판에 건조가 완료된 이형천, 적층한 프리프레그, 이형천, 과잉수지 흡수를 위한 브리더를 차례로 적층한다.

적층을 마친 복합체를 진공압축 시키기 위해 진공튜브, 진공필름, 트랩, 진공펌프가 필요하다. 스테인리스 판에 부착한 실란트 테이프 위에 진공필름을 빈틈 없이 부착하는데, 이 과정 중 진공튜브를 삽입한다. 그리고 진공튜브의 끝단을 트랩에 연결하고 진공펌프를 작동시켜 진공필름 내부에 진공압을 형성시킨다. 펌프를 충분한 시간동안 작동시켜 진공상태를 만든 뒤 펌프를 끄고 약 5분 간 펌프의 게이지를 관찰하면서 압력 변동이 있는지 확인한다. 게이지의 압력이 상승할 경우 진공필름이 완벽히 밀폐가 되지 않았으므로 진공필름 및 실란트 테이프를 제거 후 다시 접착하고, 게이지의 변동이 없다면 진공 압력이 유지될 수 있게 진공튜브를 마감 후 절단한다. 적층이 완료된 복합체를 진공압축 시킨 뒤 그림 3에 도시된 것처럼 80℃로 예열한 오븐에서 80℃로 45분 이어서 125℃에서 2시간 45분 경화시킨 후 탈형한다.

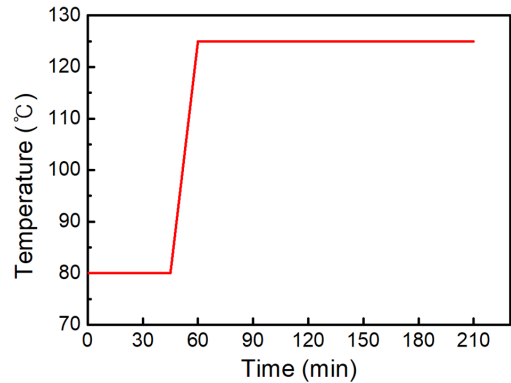


Fig. 3 Hardening cycle of CFRP

### 2.3 인장 실험

제조한 CFRP를 인장실험에 사용할 시편으로 크기는 2 x 20 cm이며, 두께는 2 mm인 시편을 Water Jet Cutter를 이용하여 각 CFRP당 3개 씩 제작하였다. 그 후 그림 4와 같이 인장 시험기그룹에 위, 아래 각각 5 cm씩 삽입하였고 시편의 정중앙에 신율계를 장치하여 실험을 진행하였다.

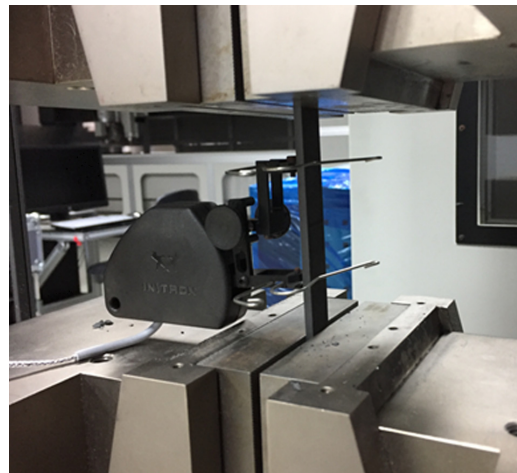


Fig. 4 Tensile testing machine and extensometer

## 3. 결과 및 고찰

Table 2는 아무것도 첨가하지 않고 제작한 CFRP 및 4종류의 실리카 폼을 첨가하여 제작한 CFRP의 인장 실험 결과를 나타내었다. 5개의 시편 모두 같은 응력 지점(740MPa)에 도달했을 때 파단이 이루어졌으나 변형률은 모든 결과가 아무것도 첨가하지 않은 CFRP

Table 2 Tensile test results

실리카 품	Stress [MPa]	Strain [%]	Curve area [MJ / m <sup>3</sup> ]
None	740	0.490	362.9
1. 1.0wt% 100(±20)nm	739	0.501	370.4
2. 1.0wt% 700(±100)nm	739	0.498	368.4
3. 2.0wt% 100(±20)nm	738	0.524	386.9
4. 2.0wt% 700(±100)nm	738	0.523	386.2

보다 높았다. 이를 통해 CFRP를 제작 할 때 실리카 품을 첨가한다면 인성을 향상시킬 수 있다는 사실을 알 수 있다.

또한 각 시편의 경우 변형률이 각각 다른데, 실리카 품의 입자 크기와 함량비에 따라 CFRP에 미치는 영향이 다르다는 것을 알 수 있다. 그림 5는 기존의 CFRP의 변형량을 기준으로 각 시편의 변형량의 증가량을 나타낸 그래프다. 2.0 wt%의 100(±20)nm의 실리카 품을 첨가하였을 때 가장 많은 증가가 있었고, 뒤를 이어 2.0 wt%의 700(±100)nm의 실리카 품을 첨가하였을 때 두 번째로 높은 증가량을 확인할 수 있었다.

이를 통해 변형량의 증가에 더 주효한 인자는 함량비이며, 더 많은 실리카 품을 첨가하였을 때 더 많은 변형이 일어난다는 사실을 얻었으며, 또한 실리카 품의 입자 크기에 따른 변형률 역시 미약하지만 차이를 보였고, 이는 더 작은 입자의 실리카 품을 이용하였을 때 더 나은 효과를 얻을 수 있다는 사실을 알 수 있었다. 그림 6은 기존의 CFRP와 실리카 품을 첨가한 CFRP의 인장실험 결과의 응력-변형률 곡선에서 파단까지의 넓이, 즉 인성을 비교한 그래프이다. 모든 시편에서 거

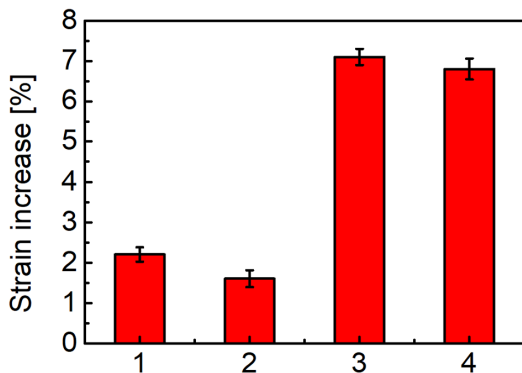


Fig. 5 Strain increase of modified CFRPs from pristine CFRP

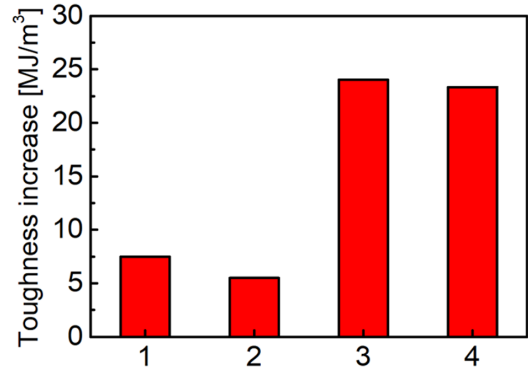


Fig. 6 Toughness increase of modified CFRPs from pristine CFRP

의 동일한 강도에서 파단이 일어났으며, 각각 다른 변형률을 보였기 때문에 변형률 증가량 그래프와 같은 양상을 보이고 있다. 이를 통해서 CFRP를 제조할 때 실리카 품을 첨가한다면 인성을 강화할 수 있다는 사실을 얻을 수 있으며, 높은 함량비와 작은 입자크기의 실리카 품을 이용한다면 이를 극대화 할 수 있다는 결론을 얻을 수 있다.

#### 4. 결론

CFRP를 제작할 때 프리프레그의 각 플라이 사이마다 실리카 품을 첨가하여 제작하면 강도의 저하 없이 인성을 강화할 수 있었다. 또한 실리카 품을 첨가할 때 실리카 품의 입자 크기보다는 함량비가 더 주효한 결과를 만드는 것을 알 수 있었다. 그러나 본 연구에서는 더 높은 효율을 이끌어내는 실리카품의 최적의 함량비와 입자 크기를 찾는 실험을 수행하지 않았기 때문에, 이를 토대로 최적의 조건을 찾는 연구가 수행되어야 할 것이다.

제작된 CFRP는 프리프레그를 [0°<sub>20</sub>]으로 적층하여 제작했고, 복합재료에서 가장 강한 물성을 보이는 섬유방향으로 인장실험을 진행하였기에 실험 결과에서 두드러지는 변화를 얻을 수 없었으며, 단지 실리카품의 첨가에 대한 효과와 실험에 사용된 변수의 영향에 대해서만 알 수 있었다. 그러나 산업에서 제작되는 CFRP는 본 연구와 같이 단방향으로 제작되는 것이 아닌, 여러 방향에서 가해지는 에너지를 고려하여 더욱 두껍고 다양한 각도로 적층되어 제작되기 때문에 그

렇게 제작된 CFRP는 더 높은 인성의 향상을 기대해 볼 수 있다.

## References

- 1) 고 등, 조재웅, “탄소 섬유 강화 플라스틱 샌드위치 복합재료의 충격특성에 관한 연구”, 한국기계기술학회지, 16(2) pp. 1339-1344, 2014.
- 2) 정선경, 하진욱, 고윤기, 박건배, 한규동, 손순근, “VA-RTM 공법과 고속 경화수지를 이용하여 제조된 탄소섬유강화 플라스틱 특성에 관한 연구”, 한국자동차공학회 추계학술대회 및 전시회, pp. 1238-1239, 2013.
- 3) 김상도, 윤경구, 한승연, 이겨레, “국산 저가형 실리카폼을 이용한 고성능 콘크리트의 물리적 특성 분석”, 산업기술연구, 37, pp. 32-36, 2017.
- 4) 이병호, 한천구, 김무한, “콘크리트의 특성에 미치는 실리카폼의 영향에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, 8(5), pp. 179-187, 1992.
- 5) T. H. Hsieh, A. J. Kinloch, K. Masania, J.Sohn Lee, A. C. Taylor, S. Sprenger, “The toughness of epoxy polymers and fiber composites modified with rubber microparticles and silica nanoparticles”, Journal of Materials Science, 45(5), pp. 1193-1210, 2010.
- 6) 이승태, 이승현, “실리카폼을 혼합한 시멘트 콘크리트의 역학적 특성 및 내구성”, Journal of the Korean Ceramic Society, 47(5), pp. 412-418, 2010.