

## 수지 및 탄소섬유 함유량에 따른 C-SMC 복합재료 물성 연구

# Study on Properties of Carbon Sheet Molding Compound(C-SMC) according to Resin and Carbon Fiber Ratio

### \*Corresponding author

Jin-Seok Bae  
(jbae@knu.ac.kr)

서대경, 양석곤, 김기영<sup>1</sup>, 박민기<sup>1</sup>, 박대규<sup>2</sup>, 이은하<sup>2</sup>, 김용태<sup>3</sup>, 배진석<sup>4\*</sup>  
다이텍연구원, <sup>1</sup>일성기계공업주식회사, <sup>2</sup>한국섬유기계융합연구원, <sup>4</sup>㈜거광이엔지,  
<sup>4</sup>경북대학교 섬유시스템공학과

Dae-kyung Seo, Suk-gon Yang, Ki Young Kim<sup>1</sup>, Min Gee Park<sup>1</sup>, Dae-gyu Park<sup>2</sup>,  
Eun-ha Lee<sup>2</sup>, Yong-tae Kim<sup>3</sup> and Jin-Seok Bae<sup>4\*</sup>

Korea Dyeing and Finishing Technology Institute(DYETEC), Daegu, Korea

<sup>1</sup>Ilung Machinery Co. Ltd, Gumi, Korea

<sup>2</sup>Korea Textile Machinery Convergence Research Institute, Gyeongsan, Korea

<sup>3</sup>Geokwang ENG. Co. Ltd, Jincheon, Korea

<sup>4</sup>Department of Textile System Engineering, Kyungpook National University, Daegu, Korea

Received\_November 15, 2020

Revised\_December 14, 2020

Accepted\_December 21, 2020

### Textile Coloration and Finishing

TCF 32-4/2020-12/245-254

© 2020 The Korean Society of  
Dyers and Finishers

**Abstract** The sheet molding compound composite has been applied divers section. This paper reports processing of carbon fiber reinforced thermosetting composite with diverse resins and which was composed of chopped carbon fiber (30~60 wt%). Normally the paste that the viscosity is over 15,000 cps has been used in traditional Sheet molding compound (SMC) machine. In this research, SMC machine was designed to make Carbon-sheet molding compound (C-SMC) prepreg which was composed with low viscosity resin (1,800~2,500c ps increase up to 10,000 cps after aging). In order to confirm the optimal processing condition. Mechanical strength tests including tensile test, shear test, impact test, flexural strength test were conducted on C-SMC composites. Plus we identified the correlation between the mechanical properties and prepreg processing condition (carbon ratio and applied resin).

**Keywords** carbon sheet molding compound(C-SMC), prepreg, tensile stress, impact test, flexural strength, delamination

## 1. 서 론

복합재료는 단일소재로 보유할 수 없는 고유의 특성을 나타내는 소재로 다양한 분야에서 중요하게 사용<sup>1)</sup>되고 있으며 여러 가지 복합재료 성형방법 중 SMC(Sheet molding compound) 성형법이 있다.

현재 SMC공법은 자동차 및 우주산업뿐만 아니라 다양한 산업 분야에 적용된 복합재료 공법 중 하나이다. 초기 SMC공법은 불포화 폴리에스터 및 유리섬유를 활용하여 건축용 천장재, 욕실천장, 물탱크 등에 적용되었으며 치수안정성과 안정적인 기

계적 강도를 지닌 시트 재료를 생산하였다<sup>2)</sup>. 현재는 성형성 및 기계적 물성을 보완하여 건축분야뿐만 아니라 앞서 언급한 자동차 Hood, Trunk, Fender 부품을 중심으로 확대<sup>3)</sup>되고 있으며, 우주산업의 내·외장재에도 적용되고 있다.

SMC 프리프레그에는 폴리에스터 수지와 추가적으로 저수축제 및 충전제로 사용되는 필러(CaCO<sub>3</sub>), 증점제, 경화제(TBPB, Tertiary butyl peroxybenzoate), 희석제(Styrene monomer), 이형제(Zink stearate), 폴리스티렌, 개시제 등이 첨가된다.

SMC 공정상 물성에 영향을 미치는 탄소섬유 함유량<sup>4)</sup>과 더불어 프리프레그 제작 단계에서 섬유내부로 매트릭스를 잘 침투시키고 Void 및 층간전단특성과 층간파괴인성 등 기계적 특

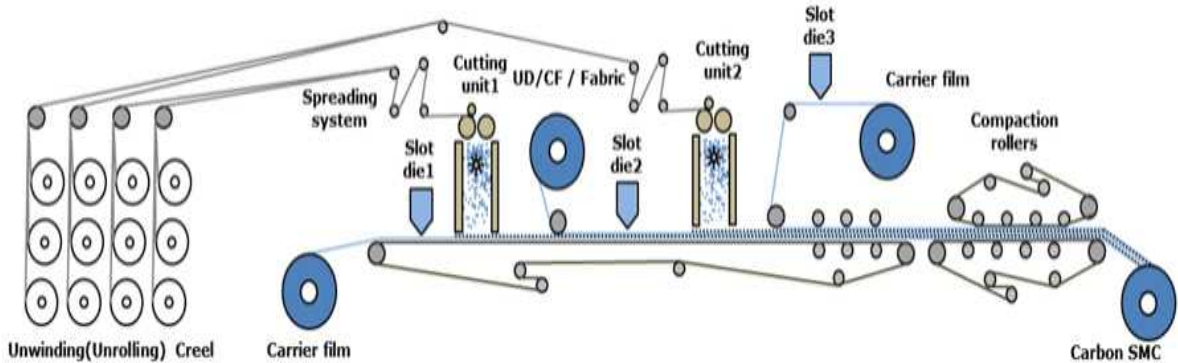


Figure 1. Schematic of a carbon sheet molding compound machine.

성을 저하시키는 기공<sup>2)</sup>을 제거하기 위해 대개 초기점도가 열가소성수지에 비해 낮은 수지가 사용된다.

일반적으로 C-SMC에 사용되는 수지는 불포화 폴리에스터, 비닐에스터이며 가격적으로 저렴하며 성형시간이 짧은 장점이 있다. 하지만 낮은 기계적인 물성과 수분에 대한 저항성이 취약하여 적용 분야가 제한적이다. 에폭시 수지와 탄소섬유를 활용한 C-SMC 제품은 높은 기계적 물성과 내열성, 내부식성이 우수하여 자동차 및 우주산업 하이테크 산업 이외에 선박, 건설 등에 적용되고 있다<sup>5)</sup>. 기존 에폭시를 개량하여 경화시간이 짧은 속경화형 에폭시와 저비중 SMC, 저비중 속경화 SMC, 하이브리드 SMC, 친환경 바이오 SMC 등이 개발되고 있다<sup>6)</sup>.

Figure 1과 같이 본 연구에서 활용된 C-SMC 설비는 일정

기계공업주식회사의 설비로 3개의 수지 주입구가 설치되어 있으며 커팅 롤러를 통해 0.5~2.0inch의 일정한 길이로 잘려진 단섬유가 2개 구간(Cutting unit 1, 2)에서 랜덤하게 수지 위에 뿌려지게 된다. C-SMC 프리프레그는 사용하는 수지에 따라 2~7일간 숙성단계를 거치면 고온-고압 프레스 성형공정(2차 공정)에 적합한 수준의 점도 값을 가지게 된다. 제작된 프리프레그를 적층하여 사용하는 수지에 따라 대개 120~200°C의 프레스 공정을 통해 성형할 수 있다<sup>7)</sup>.

에폭시 수지는 성형성을 높이기 위하여 원료 배합 공정 시 경화제를 포함하여 증점제, 이형제, 탈기제 등이 적정한 비율로 혼합된다. 제작된 C-SMC 프리프레그는 초기에는 흐름성이 높지만 aging 공정을 거쳐 경화공정 시 점도가 10,000 cps 수준

Table 1. SMC resin make-up

| Epoxy resin                      |              | Vinyl ester                    |              | Unsaturated polyester               |              |
|----------------------------------|--------------|--------------------------------|--------------|-------------------------------------|--------------|
| Ingredient                       | Content(wt%) | Component                      | Content(wt%) | Component                           | Content(wt%) |
| EPTRAC06605<br>(Epoxy)           | 82           | RF5000<br>(Vinyl ester)        | 80           | VUP-1510<br>(Unsaturated Polyester) | 48.4         |
| EKTRAC06624<br>(Hardner)         | 9.0          | A171<br>(Low profile additive) | 6.5          | OMYA carb5<br>(Filler)              | 29.6         |
| EKTRAC06612<br>(Hardner)         | 6.6          | 9076<br>(Wetting agent)        | 2.6          | PS<br>(Low shrinking agent)         | 13.6         |
| HELATRAC06087<br>(Release agent) | 1.6          | 9065<br>(Release agent)        | 2.2          | DZ-974<br>(Releasing agent)         | 3.3          |
| A560<br>(Degassing agent)        | 0.8          | CBA109<br>(Stabilizer)         | 0.9          | Styrene<br>(Diluent)                | 2.7          |
|                                  |              | TBPB<br>(Hardner)              | 1.3          | TBPB<br>(Hardner)                   | 1.6          |
|                                  |              | MgO 40%<br>(Thickner)          | 6.5          | BYK9010<br>(Dispersion agent)       | 0.6          |
|                                  |              |                                |              | PBQ<br>(Inhibitor)                  | 0.2          |

**Table 2.** Designation of C-SMC sheet specimens

| Resin                  | Carbon fiber composition(wt%) |        |        |        |
|------------------------|-------------------------------|--------|--------|--------|
|                        | 30                            | 40     | 50     | 60     |
| Epoxy                  | EP-30                         | EP-40  | EP-50  | EP-60  |
| Vinyl ester            | VE-30                         | VE-40  | VE-50  | VE-60  |
| Unsaturated poly ester | UPE-30                        | UPE-40 | UPE-50 | UPE-60 |

에 도달하게 된다. SMC 복합재료는 성형시 섬유의 체적비와 배열방향에 따라 물성 변화에 영향을 받는다<sup>8)</sup>.

본 연구에서는 모든 샘플의 섬유 배열방향은 랜덤하게 배열하였으며 에폭시, 비닐에스터, 불포화 폴리에스터에 함침시킨 탄소섬유 함유량을 30~60 wt% 조건으로 시편을 제작 후 제품의 물성분석을 연구하였다.

일반적으로 탄소섬유 비율이 높을수록 인장특성을 포함한 전체적인 강도가 향상되었다. 하지만 강화재 비율이 일정 수준 이상으로 높아지면 매트릭스와와의 함침성에 문제가 생기며 이로 인해 프레스 공정시 다수 마이크로 크랙이 발생하게 된다. 이는 복합재료의 박리(Delamination)와 성능저하에 영향<sup>9)</sup>을 미친다.

## 2. 실험

### 2.1 시료 및 시약

#### 2.1.1 수지(매트릭스)

본 연구에 사용되는 수지는 에폭시(Hexion, USA), 비닐에스터(Polynt, Italy), 불포화 폴리에스터(CCP composite, Korea)가 사용되었다. 각 수지별 포물레이션 조건은 Table 1과 같다.

**Table 4.** Cutting speed and pump speed according to CF ratio

|                      |            | CF ratio by prepreg (wt%) |      |      |      |     |
|----------------------|------------|---------------------------|------|------|------|-----|
|                      |            | 30                        | 40   | 50   | 60   |     |
| Cutting speed (rpm)  | Cutter 1,2 | 28.1                      | 37.5 | 46.9 | 56.3 |     |
|                      | Slot 1     | 405                       | 540  | 680  | 810  |     |
|                      | Slot 2     | Pump speed (rpm)          | 255  | 340  | 430  | 510 |
|                      |            | Slot 3                    | 405  | 540  | 680  | 810 |
| CF contents (wt%)    |            | 30                        | 40   | 50   | 60   |     |
| Resin contents (wt%) |            | 70                        | 60   | 50   | 40   |     |
| Thickness (mm)       |            | 8                         | 8    | 8    | 8    |     |

**Table 3.** SMC process condition according to resin

|                           | SMC process |    |     |
|---------------------------|-------------|----|-----|
|                           | EP          | VE | UPE |
| Line speed (m/min)        | 2           | 2  | 2   |
| Compaction pressure (bar) | 5           | 5  | 5   |
| Resin heating temp (°C)   | 40          | -  | -   |
| Compaction hemp (°C)      | 60          | -  | -   |
| Slot die temp (°C)        | 40          | -  | -   |

### 2.1.2 강화섬유

이전 연구에서 유리섬유 길이에 따른 SMC 복합재료의 물성 평가를 연구하였으며 1 inch 복합재료 제품이 성형시 가장 적합한 것을 확인하였으며<sup>10)</sup>, 본 연구에서 사용한 탄소섬유 (12K-T700, Toray, Japan)의 길이는 1 inch로 설정하였다.

### 2.2 시편 제작

본 연구에서는 Table 2와 같이 사용하는 수지 3종과 탄소섬유 함유량 조건에 따른 물성 분석을 진행하였다. 사용된 수지는 에폭시, 비닐에스터, 불포화 폴리에스테르이며 탄소섬유 함유량은 30, 40, 50, 60 wt%로 총 12개 샘플을 제작하여 기계적 물성 연구를 진행하였다.

#### 2.2.1 프리프레그 제조 공정

C-SMC 프리프레그를 제조하기 위해 각 샘플별 공정 조건을 설정하였다.

C-SMC 공정 스피드와 임프레그네이션존(Impregnation zone)

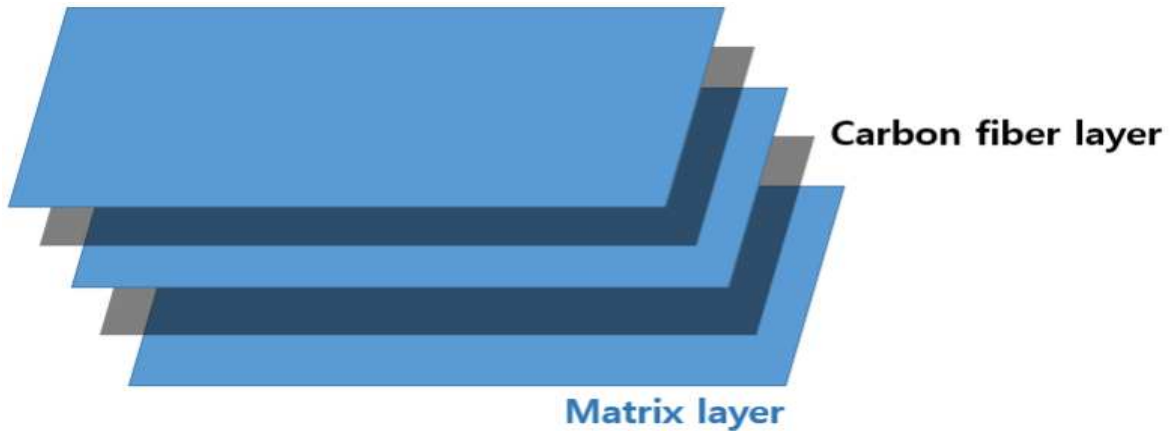


Figure 2. The layer composition of carbon-SMC prepreg.

에서 콤팩션 롤러(Compaction roller)의 압력은 모든 샘플에 동일하게 적용하였다. 사용한 수지와 탄소섬유간 최적의 함침 조건을 구현하기 위하여 C-SMC 설비 파트별 온도 조건을 Table 3과 같이 설정해 주었다. 2개의 커팅롤러와 3개의 슬롯다이 코터를 활용하여 프리프레그를 제작하였으며 제조공정에서 Figure 2와 같이 이형필름위에 레진과 탄소섬유가 순서대로 올려지는 방식이다.

각 샘플의 탄소섬유 비율을 조절하기 위하여 커팅 롤러의 속도를 설정하였으며 슬롯 다이 코터로부터 주입되는 수지의 토출량을 조절하여 Table 4와 같이 프리프레그의 탄소섬유와 레진의 비율을 맞추었다. Table 5는 제조된 프리프레그의 숙성조건을 나타내었다.

### 2.2.2 Hot-press 공정

본 연구에서 최적의 경화조건을 설정하기 위하여 DSC 분석을 진행하였으며 각 수지의 열적 특성은 Figure 3과 같다.

Hot-press 공정 시 제조된 C-SMC 프리프레그는 금형 사이즈에 해당하는 200mm x 200mm로 재단하여 SMC시트 4장을 0°, 90°, 0°, 90° 방향으로 적층하여 고온 고압 프레스 성형을 진행하였다. 등온 조건은 20°C~250°C까지 10°C/min 속도로 승온하였으며 Figure 3과 같은 열적 거동과 수지별 엔탈피(J/g)를 확인하였다.

Table 5. Aging conditions of each specimens

|                 |                | EP | VE | UPE |
|-----------------|----------------|----|----|-----|
| Aging condition | Temp(°C)       | 20 | 40 | 30  |
|                 | Duration(days) | 7  | 2  | 7   |

여러 경화조건에서 제작된 열경화 플라스틱의 엔탈피 값으로 나누어 최적의 경화도 조건을 확인하였으며, 계산된 결과를 토대로 Table 6과 같이 각 수지의 특성에 맞는 경화조건을 설정하였다.

### 2.3 물성 분석

#### 2.3.1 비중 테스트

SMC 시트의 비중은 ASTM D792법에 준하여 25°C, 습도50% 조건에서 측정하였으며 모든 샘플의 무게는 1~5g(시편 사이즈 10mm x 10mm)로 준비하였다. 각 샘플별 시료 10개를 채취하여 평균값 및 편차를 계산하였다. 사용한 기기는 METTLER TOLEDO(XSE204, USA)이다.

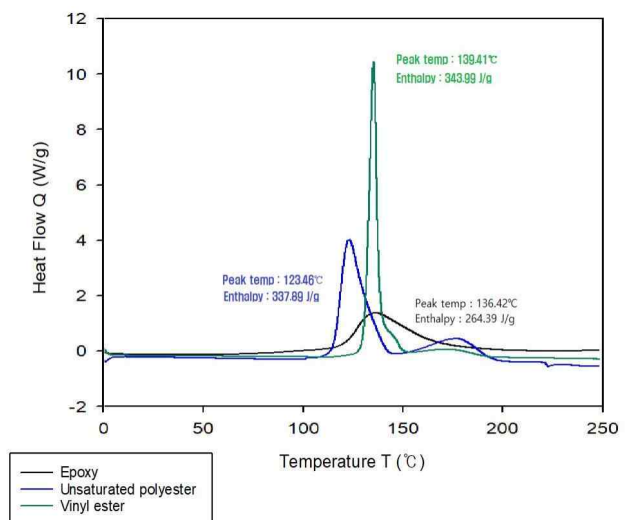


Figure 3. DSC image of epoxy, UPE and VE resin with each hardener.

**Table 6.** Curing conditions of each specimens

|                              |                                 | Curing condition |     |     |
|------------------------------|---------------------------------|------------------|-----|-----|
|                              |                                 | EP               | VE  | UPE |
| 1st process<br>(Pre-heating) | Temp (°C)                       | 80               | -   | -   |
|                              | Time (s)                        | 40               | -   | -   |
|                              | Pressure (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 80               | -   | -   |
| 2nd process<br>(Heating)     | Temp (°C)                       | 145              | 145 | 120 |
|                              | Time (s)                        | 180              | 180 | 300 |
|                              | Pressure (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 80               | 80  | 80  |

**2.3.2 인장강도 테스트**

SMC 시트의 기계적 물성을 확인하기 위하여 인장강도 테스트를 행하였으며 ASTM D638을 준용하여 인장강도 테스트를 진행하였다. 시험편 사이즈는 250mm x 25mm이며 두께는 3mm로 준비하였다. 사용된 기기는 INSTRON 5969 (INSTRON®, USA)이며 파지거리는 75mm, 5mm·min<sup>-1</sup>의 정속인장시험을 진행하였다.

**2.3.3 굴곡강도 테스트**

굴곡강도 테스트는 ASTM D790법에 준하여 3점 굴곡시험으로 진행하였다. 속도는 1.7mm·min<sup>-1</sup>이며 지지대 길이는 48mm이다. 굴곡강도 테스트는 식(1)에 의해 값을 계산하였으며, 사용된 기기는 UTM 5969(INSTRON®, USA)이다.

$$R = Z \times L^2 / 6d \tag{1}$$

Where,

R: Rate of crosshead motion(mm/min)

L: Support span(mm)

d: Depth of beam(mm)

Z: Rate of straining of outer fiber(mm/mm/min), Z shall be equal to 0.01

**2.3.4 충격강도 테스트**

충격강도 테스트는 KS M ISO 179-1을 준용하여 샤르피 충격강도 테스트를 진행하였다. 진자 에너지는 15J로 완전 파괴 시 값을 측정하였다.

**2.3.5 층간전단강도 테스트**

층간 전단강도 테스트는 ASTM D2344법에 준하여 진행하였다. 시험기기는 UTM 5969(INSTRON®, USA) 설비이며 파지거리는 12mm로 고정시켰으며 시험속도는 1mm·min<sup>-1</sup> 속도로 진행하였다.

**2.3.6 SEM 분석**

SEM 분석은 복합재료 시편의 섬유와 수지간 함침성을 확인

**Table 7.** Standard deviation and average of density on C-SMC specimens

| Resin | Carbon content | C-SMC density               |                    |                             |                    |                             |                    |                             |                    |
|-------|----------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|
|       |                | 30%                         |                    | 40%                         |                    | 50%                         |                    | 60%                         |                    |
|       |                | Density (g/m <sup>3</sup> ) | Standard deviation | Density (g/m <sup>3</sup> ) | Standard deviation | Density (g/m <sup>3</sup> ) | Standard deviation | Density (g/m <sup>3</sup> ) | Standard deviation |
| EP    |                | 1.315                       | 5.41               | 1.365                       | 6.41               | 1.411                       | 7.33               | 1.468                       | 15.4               |
| VE    |                | 1.324                       | 24.21              | 1.348                       | 27.44              | 1.378                       | 19.52              | 1.438                       | 35.14              |
| UPE   |                | 1.384                       | 16.12              | 1.401                       | 30.75              | 1.481                       | 22.54              | 1.521                       | 42.84              |

**Table 8.** Tensile properties of C-SMC specimens

|        | Tensile property       |                       |                         |
|--------|------------------------|-----------------------|-------------------------|
|        | Tensile strength (MPa) | young's modulus (GPa) | Elongation at break (%) |
| EP-30  | 116.4                  | 19.6                  | 0.669                   |
| EP-40  | 140.4                  | 22.2                  | 0.908                   |
| EP-50  | 160.5                  | 27.5                  | 0.552                   |
| EP-60  | 193.1                  | 34.1                  | 0.709                   |
| VE-30  | 89.2                   | 22.8                  | 0.408                   |
| VE-40  | 95.8                   | 25.4                  | 0.470                   |
| VE-50  | 104.9                  | 27.9                  | 0.468                   |
| VE-60  | 87.7                   | 25.2                  | 0.663                   |
| UPE-30 | 73.5                   | 17.6                  | 0.518                   |
| UPE-40 | 76.4                   | 15.8                  | 0.435                   |
| UPE-50 | 85.3                   | 19.2                  | 0.655                   |
| UPE-60 | 79.3                   | 17.5                  | 0.617                   |

하기 위하여 복합재료 시편의 단면을 분석하였다. 사용된 기기는 SU8220(Hitachi corp, Japan)이다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 비중

에폭시, 비닐에스터, 불포화 폴리에스터를 활용한 탄소섬유 복합재료의 비중을 측정하였다. 프리프레그를 제작하기 위하여 포몰레이션 작업을 마친 에폭시, 비닐에스터, 불포화 폴리에스터의 비중은 각각 1.152cm<sup>3</sup>, 1.170cm<sup>3</sup>, 1.185cm<sup>3</sup>이며 탄소섬유는 1.84cm<sup>3</sup>이다.

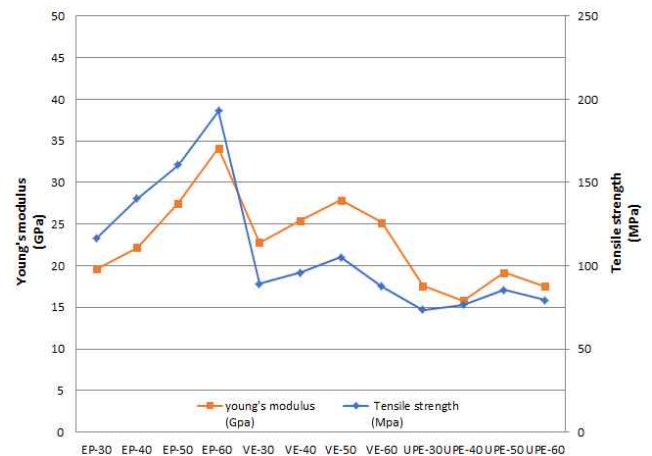
Table 7과 같이 C-SMC 복합재료의 비중은 불포화 폴리에스터, 에폭시, 비닐에스터를 활용한 C-SMC 복합재료 순서였으며 탄소섬유 함량이 많을수록 모든 샘플의 비중은 높아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 수지에 비해 높은 비중을 가지는 탄소섬유 함량 증가로 인한 것이며 각 조건별 10개 샘플에 대한 표준편차 측정 결과 에폭시에 비해 비닐에스터 불포화 폴리에스터의 편차가 다소 높게 나타남을 확인하였다. 이는 탄소섬유와 에폭시 수지간 균일한 함침 및 도포에서 비롯된 것으로 확인된다.

#### 3.2 기계적 특성 분석

##### 3.2.1 인장강도 분석

본 연구의 인장 특성은 Table 8 및 Figure 4와 같다. 인장

강도, 비강도, 인장탄성을 그리고 비탄성율은 대체적으로 에폭시 수지를 활용한 시료가 가장 높게 나왔으며, 다음 비닐에스터, 불포화에스터를 활용한 C-SMC 복합재료 순이다. 특히 각 시료의 최대값과 최소값을 비교해보면 EP-시료의 경우 65.8% 증가, VE-시료는 17.2% UPE-시료는 16%이다. 이는 에폭시 수지와 탄소섬유간 결합성에 의한 수지 분산과 함침성이 우수하여 공극 발생을 최소화한 것으로 사료된다. 반면 비닐에스터, 불포화 폴리에스터 C-SMC 시료는 탄소섬유 함량이 50%일 때 최고치를 보이며 60wt%일 때 오히려 감소하는 경향을 보였는



**Figure 4.** Tensile properties of C-SMC specimens.



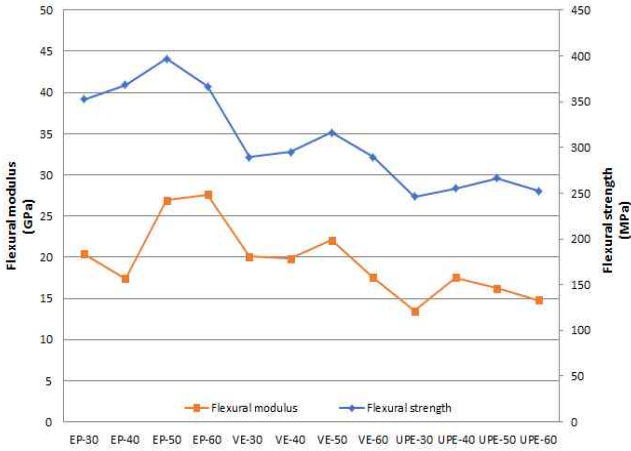


Figure 5. Flexural properties of C-SMC specimens.

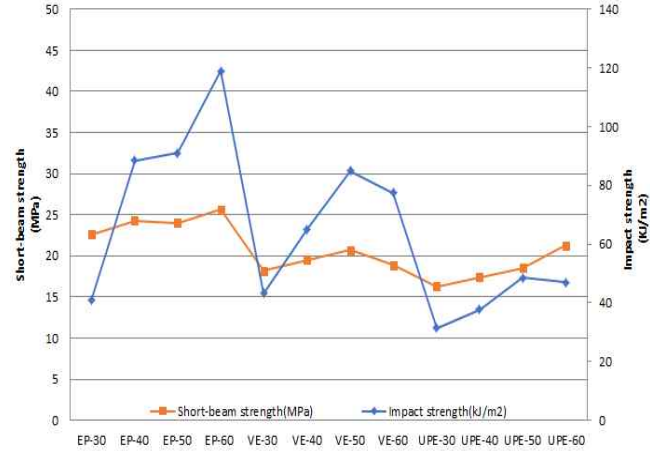
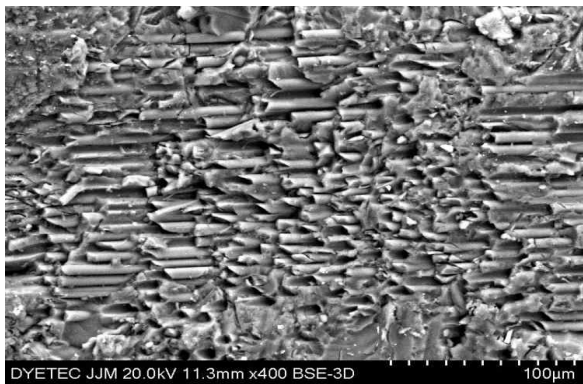


Figure 6. The result of compressive test and short-beam test.

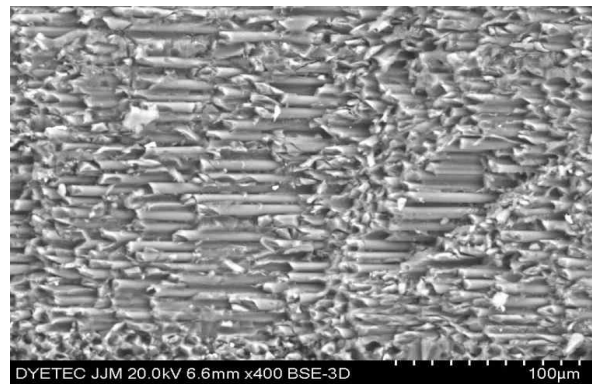
데 이는 비닐에스터 및 불포화 폴리에스터는 탄소섬유와의 결합성이 다소 떨어져 함침이 이뤄지지 않았으며 이는 다수의 공극 및 Delamination 발생으로 강도가 떨어지는 것으로 판단된다. 반면 에폭시는 EP-60에서 가장 높은 인장특성을 나타내는 것을 확인하였다.

### 3.2.2 굴곡강도 분석

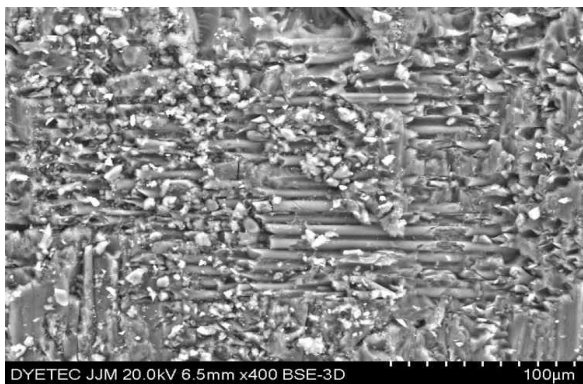
각 시료의 굴곡강도 테스트 결과는 Figure 5와 같다. 에폭시, 비닐에스터, 불포화 폴리에스터를 활용한 복합재료 시료 모두 탄소섬유 함량이 50%일 때 가장 높은 굴곡강도 값을 나타내며 60wt%일 때 감소하는 경향을 보인다. 굴곡탄성률 값은



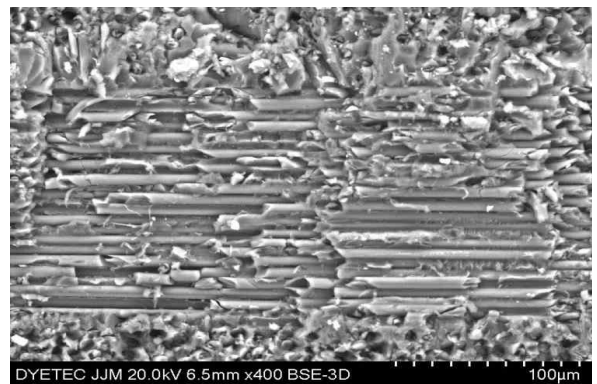
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 7. Cross-section image of EP/CF sheet; (a) EP-30, (b) EP-40, (c) EP-50, (d) EP-60(400 x).

에폭시는 EP-60 시료가 27.6GPa, 비닐에스터는 VE-50 시료가 22.1GPa, 불포화 폴리에스터는 UPE-40 시료가 17.5GPa로 최대값을 보인다. 에폭시 C-SMC 시료가 가장 높은 이유는 인장강도 물성 결과 값과 비슷한 이유로 수지의 원활한 분산과 탄소섬유와의 함침성에 의한 것으로 사료된다. 이 같은 이유는 3.3 형태학적 분석의 단면 SEM 사진을 통해 확인할 수 있다.

### 3.2.3 충격강도 및 전단강도 분석

충격강도 결과는 앞서 제시된 인장 특성, 굴곡 특성과 유사한 특성을 보인다. Figure 6와 같이 에폭시를 활용한 시료의 충격강도 역시 에폭시를 활용한 C-SMC 시료가 가장 높은 값을 보인다. 그 다음 비닐에스터, 불포화 폴리에스터 C-SMC 시료 순이며, 에폭시를 활용한 C-SMC 복합재료는 탄소섬유 함량 60wt%, 비닐에스터와 불포화 폴리에스터 C-SMC 시료는 탄소섬유 함량 50wt%일 때 가장 높은 값을 보인다.

에폭시 수지는 탄소섬유와 우수한 함침특성으로 인해 매트릭스와 탄소 섬유간 높은 결합성을 가지며 이는 큰 전단 저항력을 제공하기 때문이다. 반면 강도가 낮은 비닐에스터와 불포화 폴리에스터는 약한 결합력과 작은 접촉 면적으로 생긴 공극 발생으로 설명될 수 있다.

### 3.3 C-SMC의 형태학적 분석

Figure 7은 에폭시 수지를 활용한 C-SMC 복합재료의 단면 시료이며 Figure 8과 Figure 9는 각각 비닐에스터 그리고 불포화 폴리에스터를 활용한 C-SMC 복합재료의 단면 SEM 사진이다.

Figure 7의 에폭시 수지를 활용한 샘플의 단면 형상과 Figure 8을 비교하였을 때, Figure 8의 비닐에스터 SMC 시료 일부영역에서는 함침성이 양호하게 보였으나 탄소섬유 분포율이 40wt%, 60wt%인 시료 b, 시료 d에서 함침성이 양호하지 못한 점을 확인하였으며 이는 복합재료 물성에 영향을 미친 것으로 사료된다.

Figure 9의 불포화 폴리에스터를 활용한 C-SMC 제품의 경우 탄소섬유 함량이 40wt%인 시료 b에서 미세 Delamination을 확인할 수 있었으며 이 또한 기계적 물성에 심대한 영향을 미친 것으로 사료된다. 이 외 다른 시료 또한 섬유-수지간 함침성에 문제가 있는 것으로 보인다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 기존의 SMC 설비를 이용하여 연구되었던 불

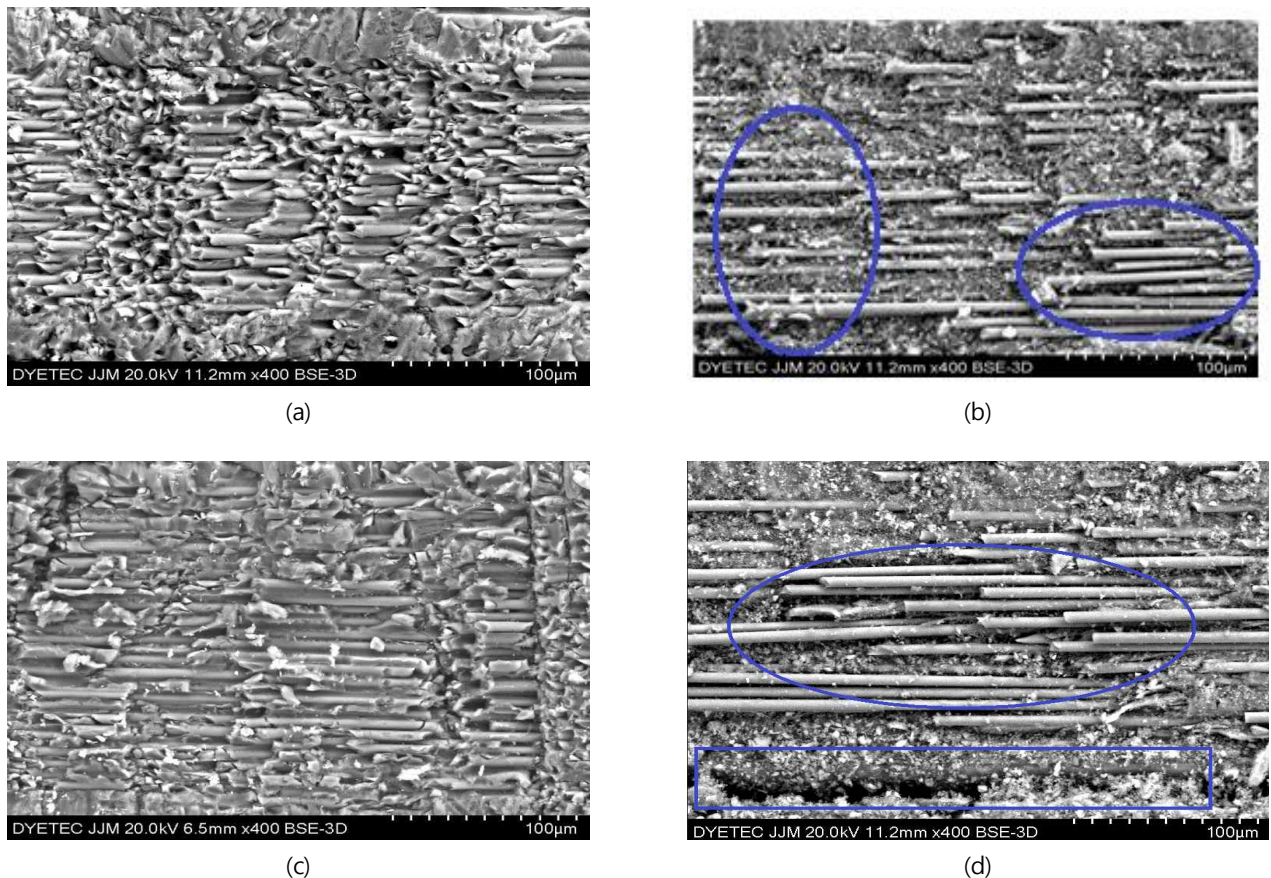


Figure 8. Cross-section image of VE/CF sheet; (a) VE-30, (b) VE-40, (c) VE-50, (d) VE-60(400 x).



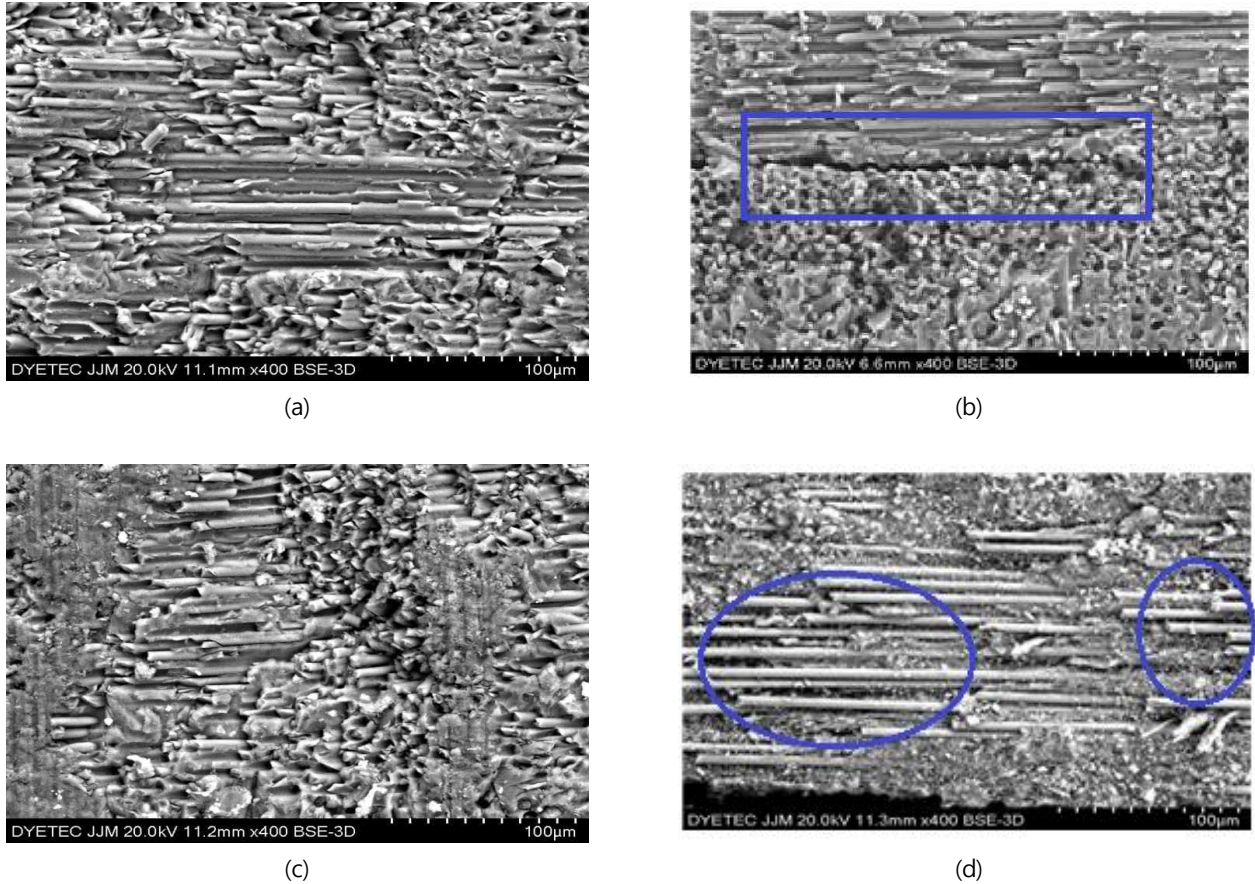


Figure 9. Cross-section image of UPE/CF sheet; (a) UPE-30, (b) UPE-40, (c) UPE-50, (d) UPE-60(400 x).

포화 폴리에스터 C-SMC 시트가 가진 물성을 극복하기 위하여 에폭시를 활용한 탄소섬유 C-SMC 시트를 제작하였다. C-SMC 복합재료 제작에 앞서 프리프레그를 제작하였으며 탄소섬유 함량은 30wt%, 40wt%, 50wt%, 60wt%로 설정하였다. 그리고 사용한 수지는 에폭시, 비닐에스터, 불포화 폴리에스터로 총 12종의 샘플에 대한 물성 비교 연구를 진행하였다. 각 샘플에 대한 기계적 물성 결과 대체적으로 에폭시를 활용한 EP-SMC의 물성이 가장 높게 나왔으며 그 다음 비닐에스터(VE-SMC), 불포화 폴리에스터(UPE-SMC) 순이었다. 이것은 에폭시 수지가 비닐에스터, 불포화 폴리에스터에 비해 탄소섬유와의 우수한 결합력과 에폭시 수지가 가진 특성으로 인해 수지-탄소섬유간 우수한 함침성을 가지며, 이는 복합재료 제조시 공극발생을 줄여 기계적 강도에 영향을 미친 것으로 알 수 있다.

EP-SMC는 탄소섬유 함량이 30wt%, 40wt%, 50wt%, 60wt% 순으로 강화재 함량에 따른 기계적 물성이 증가되었으며 60wt%까지 탄소섬유와 에폭시 수지간 함침성에 문제가 없는 것으로 여겨진다. 비닐에스터와 불포화 폴리에스터 샘플 또한 에폭시 수지와 같이 탄소섬유 함량이 증가할수록 기계적 물성이 높아지는 경향을 보이거나 대체적으로 탄소섬유 함량이 50wt%일 때 가장 높은 물성치를 보였다. 이는 각 시료의 SEM 단면사진을 확인해보면 탄소섬유 함량이 60wt%인 VE-60과

UPE-60 제품은 탄소섬유의 함량과다로 수지의 함침성이 양호하지 못하며, CF함량이 50%에 대비하여 60% 샘플인 VE-60, UPE-60의 비중 표준편차 값은 상승하였고, 불포화 폴리에스터의 경우 VE-50과 비교하여 VE-60은 50% 가까이 상승한 것으로 확인된다. 이는 탄소섬유의 분산성 및 수지-탄소섬유간 함침성이 좋지 못하며 일부 영역에서는 탄소섬유 뭉침 현상이 발생한 것으로 해석된다. 이런 현상은 기계적 강도에 영향을 미친 것으로 사료된다. 추가적으로 UPE-40, VE-60 샘플에서는 Delamination도 확인되었다.

### 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 산업기술혁신사업 기계산업핵심기술개발사업(20007239, 고속 생산 Carbon SMC 시스템 실증)의 지원을 받아 수행하였습니다.

### References

1. A. B. Cherian and E. T. Thachil, Block Copolymers of Unsaturated Polyesters and Functional Elastomers, *J. Appl.*

- Polym. Sci.*, **94**(5), 1956(2004).
2. E. Melby and J. Castro, "In Comprehensive Polymer Science", Allen S. G. Ed., Pergamon Press, New York, 1989.
  3. G. B. Bae and S. G. Lee, Preparation and Characteristic of Sheet Molding Compound using Unsaturated Polyester Resin with Low Profile Agent of Polystyrene, *Journal of the Korean Chem. Eng. Res.*, **50**, 588(2012).
  4. L. Abrams, Powder Coating of Sheet Molding Compound(SMC) Body Panels, *Journal of Polymer Composites*, **22**(5), 702(2001).
  5. S. H. Yoon and J. K. Jang, Evaluation of Void Content in Carbon Fiber/Epoxy Composites Manufactured by Different Manufacturing Process, *Journal of the Korea Society of Propulsion Engineers*, **21**, 32(2017).
  6. G. Mahajan and V. Aher, Composite Material: A Review over Curren Development and Automotive Application, *International Journal of Scientific and Research Publications*, **2**(11), 1(2012).
  7. S. Boylan and J. M. Castro, Effect of Reinforcement Type and Length on Physical Properties, Surface Quality, and Cycle Time for Sheet Molding Compound (SMC) Compression Molded Parts, *Journal of Applied Polymer Science*, **90**, 2557(2003).
  8. M. A. Laribi and S. Tamboura, Microstructure Dependent Fatigue Life Prediction for Short Fibers Reinforced Composites: Application to Sheet Molding Compounds, *International Journal of Fatigue*, **138**, 1(2020).
  9. Z. Jendli and F. Meraghni, Macromechanical Analysis of Strain Rate Effect on Damage Evolution in Sheet Molding Compound Composites, *Compos A Appl. Sci. Manuf.*, **35**, 779(2004).
  10. J. M. Park and Y. G. Park, Properties of Randomly Oriented Chopped E-glass Reinforced Unsaturated Polyester Based Resin Composite, *Textile Coloration and Finishing*, **27**, 165(2015).

## Authors

- 서대경** DYETEC연구원 전임연구원  
**양석곤** DYETEC연구원 책임연구원  
**김기영** 일성기계공업주식회사 부사장  
**박민기** 일성기계공업주식회사 실장  
**박대규** 한국섬유기계융합연구원 본부장  
**이은하** 한국섬유기계융합연구원 전임연구원  
**김용태** (주)거광이엔지 전무이사  
**배진석** 경북대학교 섬유시스템공학과 교수