

<연구논문(학술)>

## 랜덤상태의 E-유리 단섬유 강화 불포화 폴리에스터 기반 수지 복합재료의 물성 - E-유리 단섬유의 길이와 함량 및 적층수의 영향 -

박진명 · 박영광 · 이영희 · 서대경<sup>1</sup> · 이장훈<sup>1</sup> · 김한도<sup>†</sup>

부산대학교 유기소재시스템공학과, <sup>1</sup>DYETEC연구원

### Properties of Randomly Oriented Chopped E-glass Reinforced Unsaturated Polyester Based Resin Composite

#### -Effect of Length/Content of E-Glass Fiber and Number of Stacking-

Jin-Myung Park, Young-Gwang Park, Young-Hee Lee, Dae-Kyung Seo<sup>1</sup>, Jang-Hun Lee<sup>1</sup>  
and Han-Do Kim<sup>†</sup>

Department of Organic Material Science and Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

<sup>1</sup>Korea Dyeing and Finishing Technology Institute, Daegu, Korea

(Received: July 27, 2015 / Revised: September 10, 2015 / Accepted: September 22, 2015)

**Abstract:** To develop automobile parts, the unsaturated polyester based matrix resin(PR)/reinforcement(randomly oriented chopped E-glass fiber, GF) composites were prepared using sheet molding compound(SMC) compression molding. The effects of GF length(0.5, 1.0 1.5 and 2.0inch)/content (15, 20, 25, 30wt%) and number of ply(3, 4 and 5) on the specific gravity and mechanical properties of PR/GF composites were investigated in this study. The optimum length of GF was found to be about 1.0inch for achieving improved mechanical properties(tensile strength and initial modulus). The tensile strength and initial modulus of composites increased with increasing GF content up to 30wt%, which is favorable content range for SMC. The specific gravity, tensile strength/initial modulus, compressive strength/modulus, flexural strength/modulus and shear strength increased with increasing the number of ply up to 5, which is the maximum number of ply range for SMC. The effectiveness of ply number increased in the flexural strength > shear strength > compressive strength > tensile strength.

**Keywords:** unsaturated polyester based resin composite, randomly oriented chopped E-glass fiber, sheet molding compound(SMC) compression molding, automobile parts, fiber reinforced plastic

## 1. 서 론

복합재료는 크게 분산상인 강화재(reinforcement)와 매트릭스상(연속상)인 기지재(matrix)로 구성되어 있다. 기지재에 따라 고분자, 금속 및 세라믹(polymer, metal, ceramic) 복합재료로 분류되며, 강화재의 형

태에 따라서 층, 입자 및 섬유(layers, particles, fibers) 강화복합재료로 분류된다. 고분자 복합재료 중에서 대표적인 섬유강화 플라스틱(fiber reinforced plastic, FRP) 복합재료(composite)는 유리섬유, 탄소섬유 및 아라미드 섬유 등과 같은 섬유 강화재와 불포화 폴리에스터 및 에폭시 수지와 같은 열경화성 수지를 기지재로 구성되어 있다.

FRP복합재료의 경우 기지재인 수지는 아교처럼 섬유들을 함께 잡고 있어 보강섬유들 사이에 stress를 전달하고, 기계적 및 환경적인 손상으로부터 섬유를 보호하는 것이 주된 기능이며 강화재인 섬유

<sup>†</sup>Corresponding author: Han-Do Kim (kimhd@pusan.ac.kr)  
©2015 The Korean Society of Dyers and Finishers.  
All rights reserved. TCF 27-3/2015-9/165-174

의 중요한 기능은 축 방향으로 강도와 강인성을 부여하기 위하여 섬유는 길이를 따라 하중을 운반해주는 역할을 한다. 고분자 복합재료는 가벼우며, 높은 비강도 및 강성도, 내부식성, 내충격성, 우수한 피로특성, 부품 일체화의 용이성 등의 우수한 장점을 가지고 있다. 최근 산업기술의 고도화 및 정밀화에 따라 새로운 성능과 기능을 지닌 다양한 복합재료에 대한 연구와 개발이 이루어지고 있다<sup>1-3)</sup>.

복합재료의 성형 방법은 주로 그 기지재의 종류와 생산 제품의 형상에 따라서 전혀 다른 공정들이 채택된다. 복합재료의 성형 방법에는 (1)가장 기본적으로 널리 사용되는 오픈 몰드(open mold) 성형법: 핸드레이업(hand lay-up)/스프레이업(spray-up) 성형법, (2)고속 대량 생산에 사용되는 콤프레션 몰딩(compression molding) 성형법: 시트 몰딩 컴파운드(sheet molding compound, SMC)/BMC(bulk molding compound) 성형법, (3)빠른 경화 반응으로 생산성이 높은 성형방법인 RTM(resin transfer molding)/RIM(reaction injection molding)/RRIM(reinforced reaction injection molding), (4)긴 tube, rod 및 channel 등의 제품을 제조하는데 활용되는 펄트루전(pultrusion) 성형법, (5)필라멘트 와인딩(filament winding) 성형법, (6)오토클레이브(autoclave) 성형법 등이 있다<sup>4-7)</sup>. SMC는 불포화 폴리에스터와 스티렌 모노머, 저수축제, 충전제, 증점제, 라디칼 개시제, 촉매, 이형제 등이 배합된 페이스트(paste)에 약 25.4mm(linch) 정도의 유리섬유를 강화재로 혼합시킨, 점도가 높고 점착성이 없으며 반고체상의 얇은 시트 형태로 제작되는 것으로 상/하 금형 사이에 넣어 압력과 열을 가하여 성형하는 데 사용되는 재료이며, 일반적으로 이 재료를 사용하여 압축성형(compression molding)하는 성형법을 지칭하기도 한다<sup>8,9)</sup>. 특히 SMC 성형법은 기계적 강도가 뛰어나고 생산성이 우수하며 성형 시간이 비교적 짧고 대량 생산이 가능하기 때문에 고강도가 요구되는 복합재료 제품에서 가장 많이 이용되고 있으며, 이에 대한 활발한 연구 개발이 진행되고 있다<sup>10-12)</sup>.

불포화 폴리에스터 수지는 가장 널리 이용되는 열경화성 수지 중 하나로<sup>13,14)</sup>, 취급하기가 쉽고 낮은 점도와 뛰어난 기계적 및 전기적 성질, 내수성, 내산성 등의 특성을 지니고 있으며, 또한 경화 온도와 시간을 첨가제의 종류와 양에 따라 적절하게 조절할 수 있어서 SMC 성형 뿐만 아니라 다양한 복합재료 성형 공정에 용이하게 이용할 수 있는 장점을 지니고 있다.

유리 섬유(glass fiber, GF)에는 일반 용도에 가장 많이 사용되는 알칼리 금속 함유량이 1% 이하인 E-유리 섬유, 가격이 저렴하여 방음재료나 단열재료에 많이 사용되는 A-유리 섬유, 그리고 높은 기계적 강도가 요구되는 항공기나 로켓의 모터 케이스의 강화 재료에 사용되는 S-유리 섬유 등이 있다. 특히 SMC 산업에서 불포화 폴리에스터를 기지재로 사용하고 랜덤하게 배열된 E-유리 섬유(25-35%)를 강화재로 사용하여 치수안정성과 기계적 강도가 우수한 시트 재료가 제조되었다<sup>15)</sup>.

최근 자동차는 수요자들의 요구가 다양해짐에 따라 부대 장비가 늘어남으로 인하여 자동차 중량이 증가하게 된다. 그런데 이러한 중량 증가는 에너지 소비를 증가시켜 환경 문제를 야기 시키므로 부품의 경량화는 자동차 산업에서 필수적인 것이다. 자동차 차체의 경량화를 위해 주로 알루미늄 합금과 같은 비철금속류가 사용되거나, 요구되는 성능 및 기능을 지닌 고분자 복합재료가 이용되고 있다. 고분자 복합재료는 가볍고, 내부식성이 우수하고, 진동 및 충격 방지에 아주 효과적이므로 차체 외판, 외장 부품, 판 용수철(leaf spring) 부품 및 엔진 부품 등에 적용되기 시작하여 최근 그 이용이 크게 증가되고 있는 추세이다. 핸들, 각종 커버류, 탱크, 계기판, 페이스(fascia) 등 내외장재에 사용되는 일반 플라스틱 재료와는 달리 고분자 복합재료는 후드(hood), 도어, 트렁크, 리드(lid), 루프(roof) 등의 차체 외판에 주로 이용된다. 또한 범퍼, 엽상 스프링 및 도어의 임팩트 빔 같은 재료에 비강도 및 충격에너지 특성이 우수한 유리 섬유 강화 고분자 복합재료를 활용하는데 상당한 성과를 달성하고 있다<sup>16-18)</sup>.

자동차용 고분자 복합재료 중에서 랜덤 상태의 E-유리 단섬유 강화 고분자 복합재료(randomly oriented chopped E-glass reinforced polymer matrix composites)는 가격이 저렴한 장점 때문에 큰 하중의 지지가 요구되지 않는 자동차의 일반 부품에 널리 사용되고 있다.

섬유강화 복합재료에서 기계적 강도는 섬유 함량의 영향을 가장 많이 받는다고 보고되어 있다. Al-Maamori 등은 유리 섬유 함량(5, 10, 15, 20, 25wt%)을 증가시키는 경우 밀도, 전단 탄성률이 증가한다고 보고하였다<sup>19)</sup>. Lee 등은 섬유 함량(10, 15, 20, 25, 30vol%)을 증가시키는 경우 섬유 함량이 증가함에 따라 인장 탄성률과 굴곡 탄성률은 증가하나 인장강도는 섬유 함량 20vol%, 굴곡강도는 15vol%에서 최대 값을 나타내었다고 보고하고 있다<sup>20)</sup>.

Table 1. Materials for preparation of sheet molding compound

| Materials                        | Content(wt%) | Product    | Manufacturer                         |
|----------------------------------|--------------|------------|--------------------------------------|
| Resin(Unsaturated Polyester)     | 17.69        | VUP-1510   | CCP composite korea                  |
| Filler(CaCO <sub>3</sub> )       | 64.34        | OMYA carb5 | Omya korea                           |
| Low shrinking agent(Polystyrene) | 14.48        | PS         | Sewon chemical co. ltd.              |
| Releasing agent(Zinc stearate)   | 1.61         | DZ-974     | Boyoung chemical                     |
| Diluent(Styrene monomer)         | 0.97         | Styrene    | Sewon chemical co. ltd.              |
| Hardener(TBPB)                   | 0.48         | TBPB       | Chinasun specialty products co. ltd. |
| Wetting and Dispersion agent     | 0.32         | BYK9010    | BYK(Deuch)                           |
| Polymerization inhibitor         | 0.11         | PBQ(ST-S)  | Sewon chemical co. ltd.              |
| Glass fiber                      | 15~30        | R66A       | Owens corning Korea                  |

\* TBPB: tertiary butyl peroxybenzoate

섬유 길이가 기계적 성질에 미치는 영향에 대한 Boylan 등의 연구에 의하면 섬유 길이(0.5, 1.0, 2.0inch)가 증가함에 따라 인장강도와 탄성률은 증가하나, 파단신도에는 영향이 미미하였다고 보고하였다<sup>21)</sup>. Lee 등은 섬유 길이(5, 10, 15, 20, 25mm)가 증가할수록 인장 탄성률, 굴곡 탄성률 및 굴곡 강도는 아주 조금 증가하나 인장강도는 15~20mm가 가장 높은 값을 나타내었다고 보고하는 등 다양한 연구결과가 있다<sup>22)</sup>. 그런데 강화섬유의 길이와 함량 및 적층수(number of ply)가 기계적 성질에 미치는 영향에 대하여 체계적으로 연구한 경우는 찾아 보기가 쉽지 않다.

따라서 본 연구에서는 자동차용 부품 소재로 사용하기 위한 기초 연구로서 불포화 폴리에스터를 기지재로 사용하고 랜덤하게 배열된 E-유리 단섬유를 강화재로 사용하여 SMC 공정으로 유리 섬유 강화 고분자 복합재료를 제조할 때 E-유리 섬유의 길이와 함량 및 적층수가 섬유강화 복합재료의 기계적 특성에 미치는 영향을 연구하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험 재료

섬유강화 복합재료를 만들기 위해 기지재로 불포화 폴리에스터 수지(NORSODYNE VUP-1510, CCP COMPOSITES KOREA, specific gravity 1.13, acid value 17-30mgKOH/g, viscosity 1500-2000 mPa, solid content 65-69%)를, 강화재로 E-유리

섬유(R66A, Owens Corning Korea, 4800TEX, solid 1.20%, moisture Max 0.15%)를 사용하였다.

Table 1에 섬유강화 복합재료를 만들기 위해 사용된 불포화 폴리에스터 기반 수지의 조성 및 제품 정보를 나타내었다.

### 2.2 복합재료의 제조 및 경화

본 실험에서 사용한 섬유강화 복합재료는 SMC 공정으로 제작하였다. 사용한 SMC 장비는 독일 Schmidt & Heinzmann사의 제품(SMC production line)으로 가공폭 600-800mm, 포속 1.5-15m/min의 조건에서 성형하였으며, Figure 1에 SMC 장비의 모식도를 나타내었다.

불포화 폴리에스터 기반 수지(PR)/E-유리 단섬유(GF) 복합재료 제조는 먼저 불포화 폴리에스터와 스티렌 모노머, 저수축제, 충전제, 라디칼 개시제, 촉매, 이형제 및 증점제 등을 배합하여 상온에서 10000~25000cPs(spindle No.5, 20rpm) 정도의 점도에서 폴리에스터 기반 수지를 만들고 doctor box에 기지재를 위치시키고, 컨베이어 벨트를 이용하여 carrier film 상부에 기지재를 바른다. E-유리 섬유를 일정한 길이(0.5, 1.0, 1.5, 2.0inch)로 chopping하여 수지 위에 랜덤하게 뿌린 후 상층부에 위치한 carrier film으로 하층부와 합포하고 impregnation zone에서 적당량의 두께로 압착시켰다.

제조된 sheet는 1주일 동안 저장한 후 Hot press를 이용하여 원하는 규격으로 경화시켰다. SMC는 상하의 금형 사이에 넣어 압력과 열로 성형하는데,

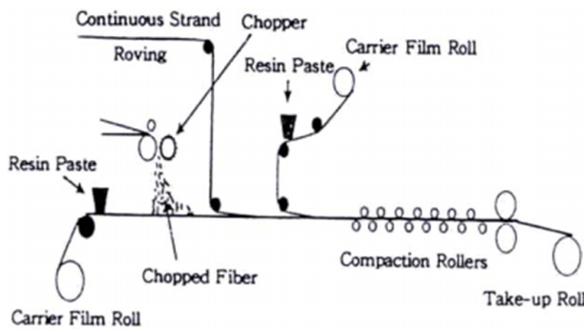


Figure 1. Schematic of a typical SMC apparatus.

본 연구에서는 120℃의 온도, 10MPa의 압력, 5분의 경화 시간의 조건에서 성형하였다. E-유리 단섬유 길이와 함량에 따른 복합재료의 두께는 1.5T (15mm), 적층수에 따른 복합재료의 두께는 4T (4mm)로 제작하여 사용하였다.

### 2.3 복합재료의 물성 평가

복합재료의 구조형상(morphology)는 주사형 전자현미경(SEM, S-3500N, HITACHI사, JAPAN)으로 분석하였다.

복합재료의 비중(specific gravity)은 ASTM D 792-13에 준하여 다음 식(1)으로 구하였다.

$$\text{Specific gravity} = \frac{W1}{W1 - W2} \dots\dots\dots(1)$$

Where, W1: Mass of specimen in air  
 W2: Mass of specimen and sinker(if used) in water

복합재료의 기계적 물성 평가를 위해 인장, 압축, 전단 및 굴곡 시험은 각각 ASTM D 3039/D 3039M, ASTM D 3410, ASTM D 2344, 및 ASTM D 790에 준하여 universal testing machine (UTM, INSTRON 5969, KOREA)를 사용하여 측정하였다. 인장 시험과 압축 시험은 시료의 신율이 낮아 정확한 측정을 위하여 시료 측면에 스트레인 게이지(strain gauge)를 부착하여 진행하였으며, crosshead speed는 각각 2mm/min, 1.5mm/min으로 하여 측정하였다.

전단시험은 지지 간격 14mm로 고정하고 crosshead speed는 1mm/min으로 하였으며, 굴곡시험은 지지 간격 50mm로 고정하였고 crosshead speed는 다음 식(2)에 의해 구해진 값을 사용하였다. 모든 측정값은 5번 측정하여 평균값을 사용하였다.

$$R = \frac{Z \times L^2}{6d} \dots\dots\dots(2)$$

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

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 E-유리 단섬유 길이에 따른 복합재료의 특성

Table 2에 불포화 폴리에스터 기반 수지와 강화재로 E-유리 단섬유를 사용하여 SMC 공정으로 만든 유리 섬유강화 복합재료의 시료명과 조성비를 나타내었다.

E-유리 단섬유 함량을 20wt%로 고정하고 길이 (0.5, 1.0, 1.5, 2.0inch)를 달리하여 복합재료를 제조한 후 자른 단면 부분의 SEM 분석 결과를 Figure 2에 나타내었다. 일정한 E-유리 단섬유 함량(20wt%)에서 연속상 수지에 E-유리 단섬유의 분산은 길이가 1.0inch까지는 높은 비표면적으로 인하여 잘 분산되어 있으므로 강화재인 E-유리 단섬유와 불포화 폴리에스터 연속상 수지의 상용성 또한 증가될 것으로 예상된다.

그러나 E-유리 단섬유 길이가 1.5 및 2.0inch로 보다 증가한 경우에는 섬유의 분산 상태가 균일하지 않고 뭉치어 있는 부분들이 나타남을 알 수 있었다. 따라서 골고루 잘 분산되어 있는 E-유리 섬유 길이 1.0inch를 고정하고 섬유의 함량 및 적층수가 복합재료 시트의 물성에 미치는 영향을 조사하였다.

E-유리 단섬유 함량을 20wt%로 고정하고 길이 (0.5, 1.0, 1.5, 2.0inch)를 달리하여 복합재료를 제조하여 E-유리 단섬유의 길이에 따른 복합재료의 비중 변화를 Table 2에 나타내었다. E-유리 단섬유를 함유하지 않은 불포화 폴리에스터 기반 수지 시료의 비중은 1.67이었으며, E-유리 단섬유의 길이가 0.5, 1.0, 1.5, 2.0inch인 복합재료의 비중은 각각 1.84, 1.84, 1.83 및 1.82를 나타내었다. 강화재로 E-유리 단섬유를 첨가하는 경우 섬유 길이에 관계없이 비중이 높게 나타나는 것은 E-유리 단섬유의 비중(2.50)이 높기 때문이다.

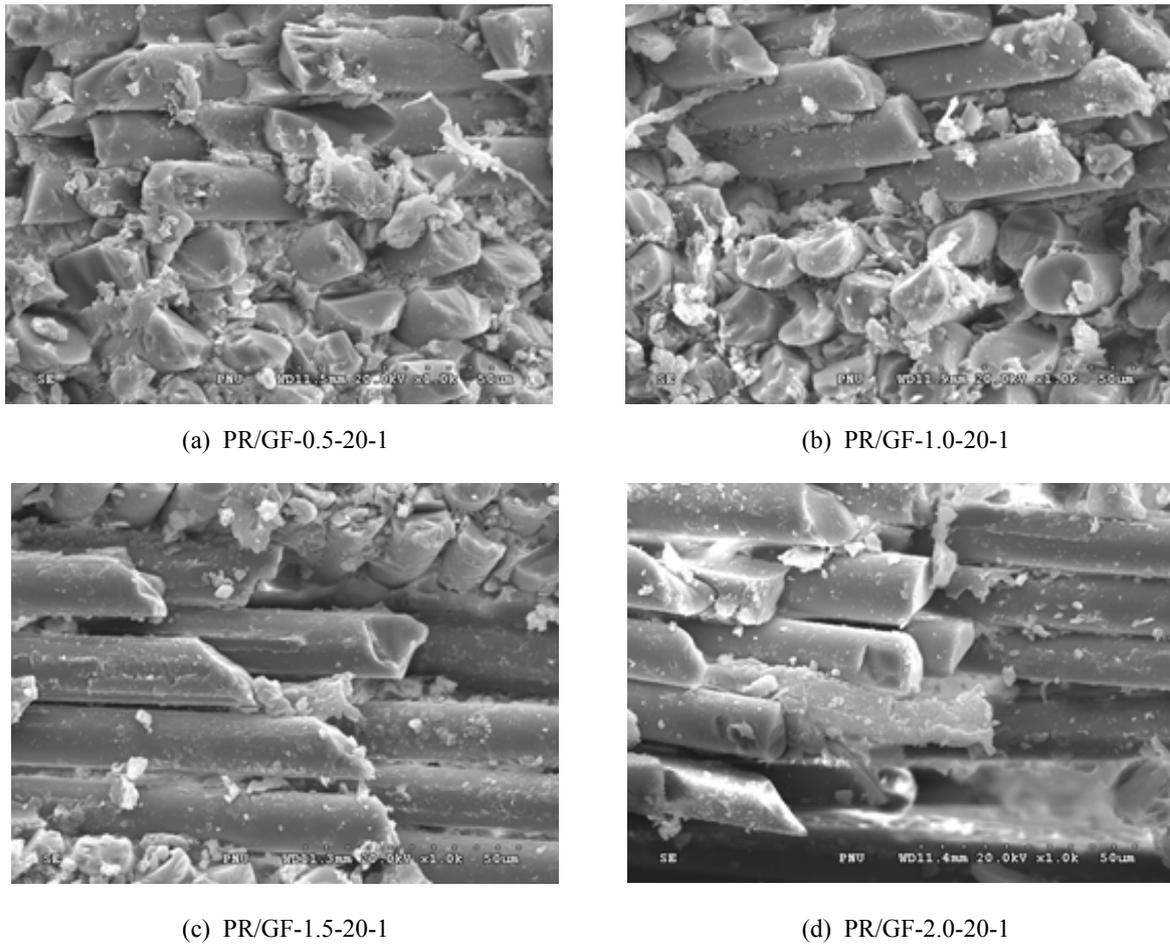


Figure 2. SEM micrographs of fracture surfaces of PR/GF composite sheet samples with various E-glass fiber length(x1000).

Table 2. Sample designation, composition and specific gravity of unsaturated polyester based resin(PR)/glass fiber(GF) composite sheets

| Sample designation | Composition         |               |              | Number of plies | Specific gravity |
|--------------------|---------------------|---------------|--------------|-----------------|------------------|
|                    | Matrix content(wt%) | E-Glass fiber |              |                 |                  |
|                    |                     | Length(inch)  | Content(wt%) |                 |                  |
| PR                 | 100                 | -             | -            | -               | 1.67             |
| PR/GF-0.5-20-1     |                     | 0.5           |              |                 | 1.84             |
| PR/GF-1.0-20-1     |                     | 1.0           |              |                 | 1.84             |
| PR/GF-1.5-20-1     | 80                  | 1.5           | 20           | 1               | 1.83             |
| PR/GF-2.0-20-1     |                     | 2.0           |              |                 | 1.82             |
| PR/GF-1.0-15-1     | 85                  |               | 15           |                 | 1.80             |
| PR/GF-1.0-20-1     | 80                  |               | 20           |                 | 1.84             |
| PR/GF-1.0-25-1     | 75                  | 1.0           | 25           | 1               | 1.88             |
| PR/GF-1.0-30-1     | 70                  |               | 30           |                 | 1.92             |
| PR/GF-1.0-30-3     |                     |               |              | 3               | 2.01             |
| PR/GF-1.0-30-4     | 70                  | 1.0           | 30           | 4               | 2.07             |
| PR/GF-1.0-30-5     |                     |               |              | 5               | 2.12             |

Table 3. Tensile properties of PR/GF composite sheets

| Sample designation | Tensile properties    |                      |                        |
|--------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|
|                    | Tensile strength(MPa) | Young's modulus(GPa) | Elongation at break(%) |
| PR                 | 7.2                   | 3.1                  | 0.66                   |
| PR/GF-0.5-20-1     | 8.9                   | 3.9                  | 0.57                   |
| PR/GF-1.0-20-1     | 22.7                  | 6.4                  | 0.49                   |
| PR/GF-1.5-20-1     | 20.2                  | 4.7                  | 0.52                   |
| PR/GF-2.0-20-1     | 13.9                  | 4.5                  | 0.49                   |
| PR/GF-1.0-15-1     | 15.7                  | 5.5                  | 0.55                   |
| PR/GF-1.0-20-1     | 22.7                  | 6.4                  | 0.49                   |
| PR/GF-1.0-25-1     | 26.3                  | 7.6                  | 0.45                   |
| PR/GF-1.0-30-1     | 33.4                  | 9.4                  | 0.37                   |
| PR/GF-1.0-30-3     | 39.1                  | 10.7                 | 0.34                   |
| PR/GF-1.0-30-4     | 43.3                  | 11.9                 | 0.32                   |
| PR/GF-1.0-30-5     | 45.7                  | 13.5                 | 0.30                   |

또한 연속상 수지에 대한 섬유의 분산상태도 비중에 영향을 미칠 것으로 예측된다. E-유리 단섬유의 함량이 20wt%로 고정된 경우 섬유의 길이가 0.5 및 1.0inch의 경우에는 비중이 거의 동일하게 증가하지만, 섬유의 길이가 1.5, 2.0inch로 증가하는 경우에는 0.5 및 1.0inch의 경우보다 비중이 약간 감소하는 경향을 나타내었다. 섬유 길이가 0.5 및 1.0inch인 경우에 보다 높은 비중을 나타낸 것은 기지재와 강화재가 균일하게 잘 섞여있기 때문으로 생각된다.

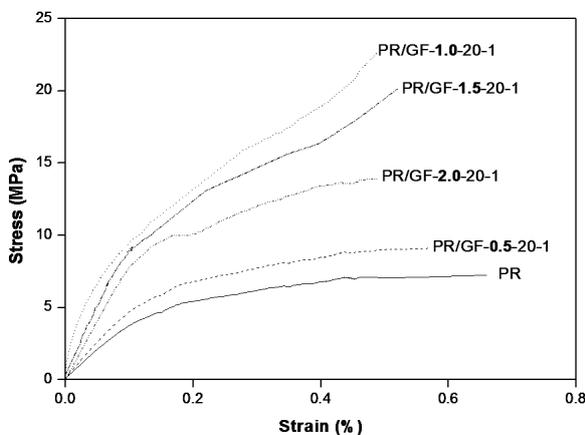


Figure 3. Stress-strain curves of PR/GF composite sheet (1ply) samples with various E-glass fiber length (0.5, 1.0, 1.5, 2.0inch) at a fixed E-glass fiber content(20wt%).

Figure 3은 E-유리 단섬유를 함유하지 않은 불포화 폴리에스터 기반 수지 시트 시료와 E-유리 단섬유의 함량을 20wt%로 고정하고 길이(0.5, 1.0, 1.5, 2.0inch)를 다르게 하여 제조한 복합재료의 응력-변형률(stress-strain) 관계 곡선이며, 그 결과를 Table 3 및 Figure 4에 나타내었다. E-유리 단섬유를 함유하지 않은 불포화 폴리에스터 기반 수지 시료의 경우 인장강도, 초기탄성률, 파단신도는 7.2MPa, 3.1GPa, 0.66%이었다. E-유리 단섬유 길이가 0.5, 1.0, 1.5 및 2.0inch인 경우 인장강도/초기탄성률/파단신도는 각각 8.9MPa/3.9GPa/0.57%,

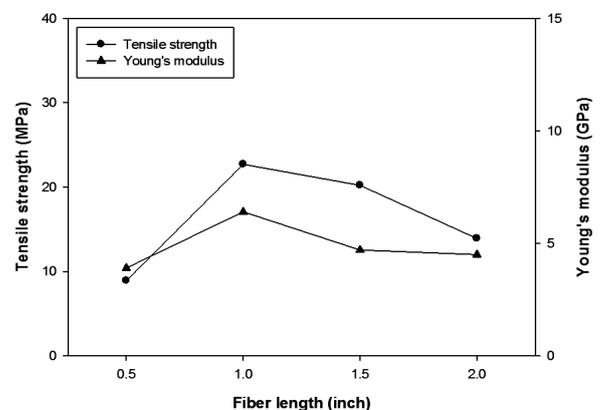


Figure 4. Effect of fiber length on the tensile strength/modulus of PR/GF composite sheet(1ply) samples at a fixed E-glass fiber content(20wt%).

22.7MPa/5.7GPa/0.49%, 20.2MPa/4.7GPa/0.52% 및 13.9MPa/4.5GPa/0.49%를 각각 나타내었다. 강화재로 E-유리 단섬유를 첨가하는 경우 섬유 길이가 1.0inch까지는 섬유 길이가 증가함에 따라 인장강도와 초기탄성률은 증가하고 반면 파단신도는 감소하였다.

그러나 1.0inch 이상의 섬유 길이에서는 섬유 길이 증가로 인장강도와 초기탄성률은 감소하는 경향을 나타내었다. E-유리 단섬유의 길이가 1.0inch의 경우 인장강도와 초기탄성률이 가장 높게 나타난 원인은 기지재 수지에 강화재 섬유가 균일하게 잘 섞이고 밀착되므로 강화 효과를 잘 나타내어 가장 적합한 길이이기 때문인 것으로 생각된다.

따라서 E-유리 단섬유 길이가 복합재료의 인장강도와 초기탄성률에 미치는 영향에서는 1.0inch가 가장 우수한 물성을 얻을 수 있는 최적의 섬유 길이임을 알 수 있었다.

### 3.2 E-유리 단섬유 함량에 따른 복합재료의 특성

앞에서 조사된 연속상 불포화 폴리에스터에 균일하게 잘 분산되는 적합한 섬유의 길이를 1.0inch로 고정하고 E-유리 단섬유 함량(15, 20, 25, 30 wt%)을 달리하여 복합재료를 제조하여 함량에 따른 비중 변화를 Table 2에 나타내었다. E-유리 단섬유를 함유하지 않은 불포화 폴리에스터 기반 수지의 경우 비중은 1.67이었으며, E-유리 단섬유 함량이 15, 20, 25, 30wt%인 복합재료의 비중은 각각 1.80, 1.84, 1.88 및 1.92를 나타내었다. 강화재 E-유리

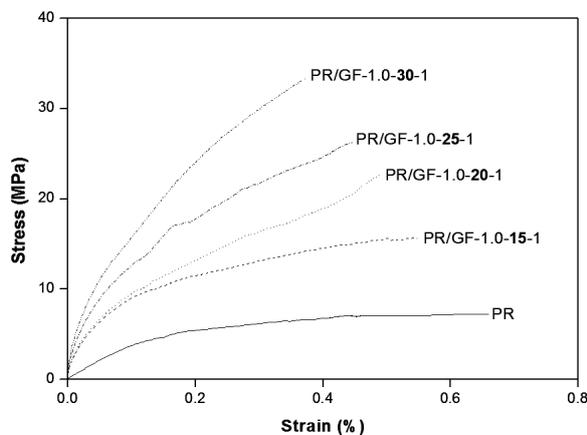


Figure 5. Stress-strain curves of PR/GF composite sheet (1ply) samples with various E-glass fiber content (15, 20, 25, 30wt%) at a fixed E-glass fiber length (1.0inch).

단섬유의 함량이 증가함에 따라서 비중은 거의 선형적으로 증가하는 현상을 나타내었다. 이는 비중이 보다 높은 강화재 유리 섬유(2.50)가 비중이 보다 낮은 기지재 수지(1.67)에 첨가되기 때문이다.

Figure 5는 E-유리 단섬유를 함유하지 않은 불포화 폴리에스터 기지 수지와 E-유리 단섬유 함량 (15, 20, 25, 30wt%)에 따른 복합재료의 응력-변형을 관계 곡선이며, 그 결과를 Table 3 및 Figure 6에 나타내었다. E-유리 단섬유를 함유하지 않은 불포화 폴리에스터 기반 수지 시료의 인장강도, 초기탄성률, 파단신도는 7.2MPa, 3.1GPa, 0.66% 이었다. E-유리 단섬유 함량이 15, 20, 25, 30wt%인 시료의 인장강도/초기탄성률/파단신도는 각각 15.7MPa/5.5GPa/0.55%, 22.7MPa/6.4GPa/0.49%, 26.3MPa/7.6GPa/0.45% 및 33.4MPa/9.4GPa/0.37%를 나타내었다. 특히 E-유리 단섬유를 첨가하지 않은 시료와 15wt%의 E-유리 단섬유를 함유한 복합재료 (PR/GF-1.0-15-1)의 인장강도/초기탄성률은 2.18/1.77배나 증가하여 E-유리 단섬유의 강화재로서의 특징을 잘 나타냄을 알 수 있었다. 또한 E-유리 단섬유의 함량이 증가할수록 인장강도와 초기탄성률은 증가하는 경향을 나타내었다.

본 연구에서 제조된 복합재료의 최대 E-유리 단섬유의 함량은 30wt%였다.

### 3.3 적층수에 따른 복합재료의 특성

일반적으로 복합재료의 물성은 강화재와 충전재의 종류, 함량, 제조 방법 및 조건에 따라서 다르게 나타난다.

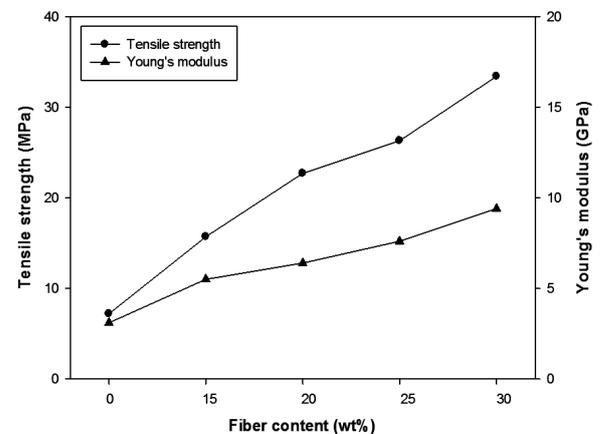


Figure 6. Effect of E-glass fiber content (wt%) on the tensile strength/modulus of PR/GF composite sheet (1ply) samples at a fixed E-glass fiber length (1.0inch).

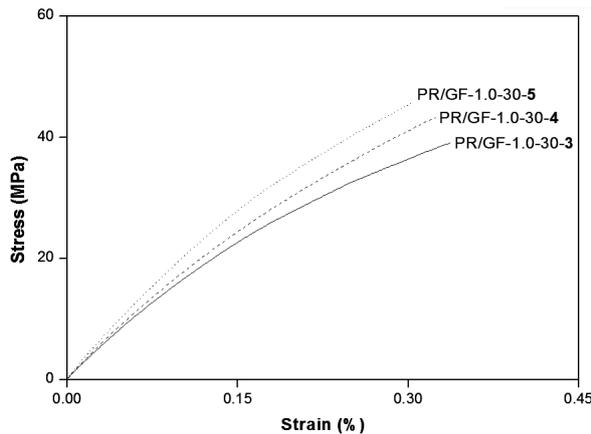


Figure 7. Stress-strain curves of PR/GF composite sheet samples with various number of stacking(3, 4, 5ply) at fixed E-glass fiber length and content(1.0inch, 30wt%).

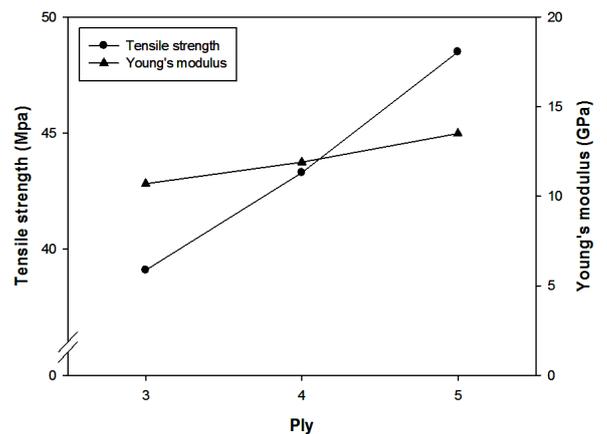


Figure 8. Effect of ply on the tensile strength/modulus of PR/GF composite sheet samples at fixed E-glass fiber length and content(1.0inch, 30wt%).

본 연구에서는 E-유리 단섬유의 길이와 함량을 1.0inch, 30wt%로 고정하여 복합재료의 적층수를 3, 4, 5ply로 달리하여 복합재료를 제조하여 적층수에 따른 복합재료의 비중 변화를 Table 2에 나타내었다. E-유리 단섬유를 함유하지 않은 불포화 폴리에스터 기반 수지 시료의 비중은 1.67이었으며, 복합재료의 적층수가 3, 4, 5ply인 복합재료의 비중은 각각 2.01, 2.07 및 2.12를 나타내었다. 적층수가 증가할수록 비중이 높게 나타나는 것은 적층수가 증가함에 따라 E-유리 단섬유 함량이 증가하기 때문으로 생각된다. 적층수가 증가함에 따른 비중 증가는 뒤에 고찰할 복합재료의 물성에 영향을 미칠 것으로 예측된다.

Figure 7은 적층수에 따른 복합재료의 응력-변형률 관계 곡선이며, 그 결과를 Table 3 및 Figure 8에

나타내었다. 3, 4, 5ply의 인장강도/초기탄성률/파단신도는 39.1MPa/10.7GPa/0.34%, 43.3MPa/11.9GPa/0.32%, 48.5MPa/13.5GPa/0.30%를 나타내었으며, 적층수가 증가할수록 인장강도와 초기 탄성률은 증가하였으며 파단신도는 아주 작지만 감소하는 경향을 나타내었다.

복합재료의 적층수가 압축강도, 압축 탄성률, 굽힘강도, 굽힘 탄성률 및 전단강도에 미치는 영향을 Figures 9-11에 나타내었으며, 그 결과를 요약하여 Table 4에 나타내었다.

3, 4, 5ply의 압축강도/압축 탄성률/굽힘강도/굽힘 탄성률/전단강도는 49.6MPa/6.6GPa/40.2MPa/4.5GPa/6.94MPa, 58.8MPa/7.9GPa/57.1MPa/5.1GPa/8.85MPa, 73.8MPa/8.4GPa/88.0MPa/5.8GPa/12.25MPa를 나타내었다.

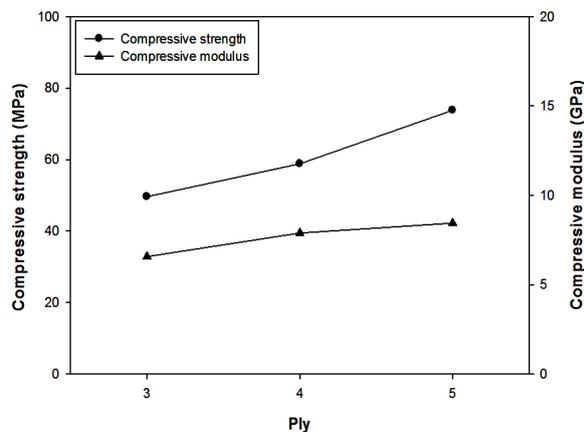


Figure 9. Effect of ply on the compressive strength/modulus of PR/GF composite sheet samples at fixed E-glass fiber length and content(1.0inch, 30wt%).

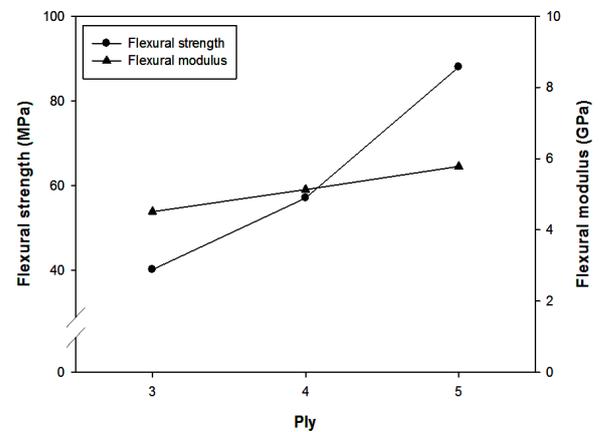


Figure 10. Effect of ply on the flexural strength/modulus of PR/GF composite sheet samples at fixed E-glass fiber length and content(1.0inch, 30wt%).

**Table 4.** Compressive strength/modulus, flexural strength/modulus and short-beam strength of PR/GF composite sheets

| Sample designation | Compressive strength (MPa) | Compressive modulus (GPa) | Flexural strength (MPa) | Flexural modulus (GPa) | Short-beam Strength (MPa) |
|--------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|
| PR/GF-1.0-30-3     | 49.6                       | 6.6                       | 40.2                    | 4.5                    | 6.94                      |
| PR/GF-1.0-30-4     | 58.8                       | 7.9                       | 57.1                    | 5.1                    | 8.85                      |
| PR/GF-1.0-30-5     | 73.8                       | 8.4                       | 88.0                    | 5.8                    | 12.25                     |

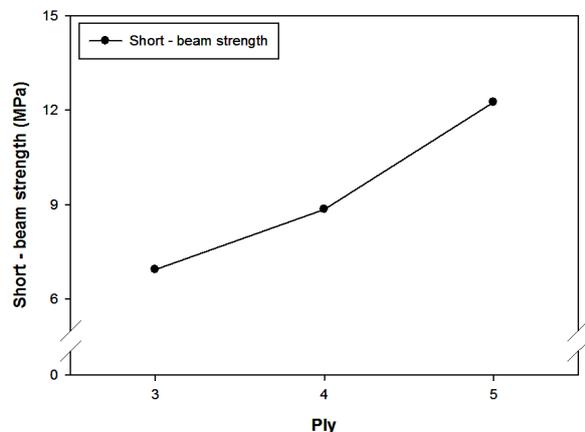
적층수가 증가할수록 이들 물성이 증가하는 것을 알 수 있었다. 이는 앞서 설명한 적층수의 증가에 따른 비중의 증가와 관련이 있는 것으로 생각된다. 그리고 4ply에서 5ply로 증가하는 경우에 강도 및 탄성률의 증가율이 3ply에서 4ply로 증가하는 경우보다 높은 것을 알 수 있었으며, 적층수에 따른 영향은 굴곡강도>전단강도>압축강도>인장강도의 순으로 크게 증가함을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구는 자동차용 부품소재로 사용하기 위하여 불포화 폴리에스터 기반 수지와 랜덤 상태의 E-유리 단섬유를 강화재로 사용하여 SMC 공정으로 복합재료를 제조하였다. 이 때 E-유리 단섬유의 길이(0.5, 1.0, 1.5, 2.0inch), 함량(15, 20, 25, 30wt%) 및 적층수(3, 4, 5ply)가 비중 및 기계적 성질에 미치는 영향을 조사하였다. 불포화 폴리에스터 기반 수지에 대한 E-유리 단섬유의 분산은 섬유 길이가 1.0inch까지는 잘 분산됨을 알 수 있었다.

E-유리 단섬유(1.0inch)의 함량이 30wt%까지 증가함에 따라서 비중, 인장강도, 초기탄성률은 거의 일정한 비율로 증가함을 알 수 있었다. 또한 적층수가 증가할수록 비중, 인장강도, 초기탄성률, 압축강도, 압축 탄성률, 굽힘강도, 굽힘 탄성률 및 전단강도는 증가하는 경향을 나타내었다. 강도 및 탄성률의 증가율은 3-4ply 구간에서 보다 4-5ply 구간에서 더 높게 나타남을 알 수 있었다. 적층수에 따른 강도에 대한 영향에서는 굴곡강도>전단강도>압축강도>인장강도의 순으로 보다 높게 나타남을 알 수 있었다.

본 연구에서는 불포화 폴리에스터 기반 수지의 유리 섬유강화 복합재료의 경우 E-유리 단섬유의 길이 1.0inch, E-유리 단섬유 함량 30wt%, 적층수 5ply일 때에 가장 우수한 물성(인장강도 45.7MPa, 초기 탄성률 13.5GPa, 압축강도 73.8MPa, 압축 탄성률 8.4GPa, 굴곡강도 88.0MPa, 굴곡 탄성률 5.8GPa, 전단강도 12.25MPa)을 나타내는 것을 알 수 있었다. 그리고 이러한 소재는 큰 하중의 지지가 요구되지 않는 자동차의 일반 부품소재용으로 사용할 수 있는 충분한 물성을 지닌 것을 알 수 있었다.



**Figure 11.** Effect of ply on the short-beam strength of PR/GF composite sheet samples at fixed E-glass fiber length(1.0inch) and content(30wt%).

#### 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 슈퍼소재기반기술개발사업(10042461, 슈퍼섬유소재 불소수지 코팅 및 열경화성 수지를 활용한 복합재료 제품화 기반기술개발)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

#### References

1. S. W. Koh and Y. S. Um, Tensile Fracture Behavior of Glass Fiber/Polypropylene Composites for Various Fiber Volume Fraction, *Bull. Korean Soc. Fish. Tech.*, **40**(2), 161(2004).

2. O. Kalny, R. J. Peterman, and G. Ramirez, Performance Evaluation of Repair Technique for Damaged Fiber-reinforced Polymer Honeycomb Bridge Deck Panels, *J. Bridge Eng.*, **9**, 75(2004).
3. M. S. Kang, H. S. Park, J. H. Choi, J. M. Koo, and C. S. Seok, Prediction of Fraction Strength of Woven CFRP Laminates According to Fiber Orientation, *The Korean Society of Mechanical Engineers*, **36**(8), 881(2012).
4. W. H. Han, S. G. An, J. W. Han, and J. W. Park, "High-Tech Materials", Korea Polytechnics, Seoul, pp.110-147, 2012.
5. B. S. Kim and B. S. Hwang, Processing of Fiber Reinforced Composite Materials, *Polymer Science and Technology*, **10**(1), 20(1999).
6. E. J. Jun, Processing Technology of Composite Materials, *The Korean Society of Mechanical Engineers*, **32**(11), 18(1992).
7. D. K. Seo, N. R. Ha, J. H. Lee, H. G. Park, and J. S. Bae, Property Evaluation of Epoxy Resin based Aramid and Carbon Fiber Composite Materials, *Textile Coloration and Finishing*, **27**(1), 11(2015).
8. S. H. Hwang, Y. C. Lee, and S. W. Lee, Curing Behaviors and Mechanical Properties of Styrene /Unsaturated Polyester System for Sheet Molding Compound, *Polymer(Korea)*, **19**(2), 170(1995).
9. G. B. Bae, S. G. Lee, H. J. Yoon, and J. D. Lee, Preparation and Characteristic of Sheet Molding Compound Using Unsaturated Polyester Resin with Low Profile Agent of Polystyrene, *Korean Chem. Eng. Res.*, **50**(3), 588(2012).
10. H. C. Chung, A Study on Preparation and Properties of Vinyl Ester Resin Adapted Hybrid SMC, M.S. Thesis, Chonbuk National University, 2010.
11. P. Vivek, Opportunity for Composite Materials in India: Sheet Molding Compound(SMC) Industry, *Polymer/Composites/Chemicals/Life Sciences Market*, **10**, 20(2010).
12. W. Li and L. J. Lee, Shrinkage Control of Low-profile Unsaturated Polyester Resins Cured at Low Temperature, *Polym. J.*, **39**, 5677(1988).
13. J. C. Lucas, J. Borrajo, and R. J. Williams, Cure of Unsaturated Polyester Resins 2, Influence of Low-profile Additives and Fillers on the Polymerization Reaction, Mechanical Properties and Surface Rugosities, *Polym. J.*, **34**, 1886(1993).
14. W. Li and L. J. Lee, Low Temperature Cure of Unsaturated Polyester Resins with Thermoplastic Additive III, Modification of Polyvinyl Acetate for Better Shrinkage Control, *Polym. J.*, **41**, 711(2000).
15. E. Melby and J. Castro, In *Comprehensive Polymer Science*, Allen, S. G. Ed., Pergamon Press, New York, 1989.
16. S. U. Khan, A. Munir, R. Hussain, and J. K. Kim, Fatigue Damage Behaviors of Carbon Fiber-reinforced Epoxy Composites Containing Nanoclay, *Compos. Sci. Technol.*, **70**, 2077(2010).
17. R. H. Dauskardt, R. O. Ritchie, and B. N. Cox, Fatigue of Advance Materials, *Adv. Mater. Process*, **7**, 26(1993).
18. W. Zhang, R. C. Picu, and N. Koratkar, The Effect of Carbon Nanotube Dimensions and Dispersion on The Fatigue Behavior of Epoxy Nanocomposites, *Nanotechnology*, **19**, 285709(2008).
19. M. H. A. Maamori, R. M. A. Alradha, and A. I. A. Mosawi, Mechanical Properties for Unsaturated Polyester Reinforcement by Glass Fiber using Ultrasonic Technique, *Int. J. of Multidisciplinary and Current Research*, **1**, 1(2013).
20. N. J. Lee and J. S. Jang, The Effect of Fibre Content on The Mechanical Properties of Glass Fibre Mat/Polypropylene Composites, *Composites Part A*, **30**, 815(1999).
21. 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, *J. Appl. Polym. Sci.*, **90**, 2557(2003).
22. J. H. Lee, J. K. Lee, and K. Y. Rhee, Effects of The Glass Fiber Characteristics on The Mechanical Properties of Thermoplastic Composite, *The Korean Society of Mechanical Engineers*, **24**(7), 1697(2000).