

유리섬유와 유리버블에 의한 Sheet Molding Compound 강도의 시너지 효과

노예지* · 이용철** · 황태원*†

Synergistic Effect in Mechanical Properties of Sheet Molding Compound via Simultaneous Incorporation of Glass Fiber and Glass Bubble Fillers

Ye Ji Noh*, Yong Cheol Lee**, Taewon Hwang*†

ABSTRACT: Sheet molding compound (SMC) is one of the most economical fiber reinforced composite fabrication processing for automotive applications. In this study, we studied the optimum formulation for the production of SMC which shows low specific gravity without lowering the mechanical properties by using glass bubble (GB) which is a low specific gravity filler and glass fiber (GF) as a reinforcing material. The tensile strength increased with the increase of the GF in the SMC, and the specific gravity decreased with the increase of the GB. The synergistic effect of improving the mechanical properties as the specific gravity is lowered is found in the optimum formulation. The synergy effect was confirmed by the internal structure analysis that the dispersion effect of the crack propagation of the GB and the improvement of the binding force between the fiber and the matrix due to the incorporation of the GB.

초 록: 섬유강화 복합재료 제조 방법 중 sheet molding compound(SMC)는 자동차에 적용 가능성이 가장 높은 소재이다. 본 연구에서는 저비중 필러인 유리버블과 강화재인 유리섬유를 사용하여 물성이 저하되지 않으면서 낮은 비중을 나타내는 SMC의 제조를 위한 최적의 배합비에 대해 연구하였다. SMC 내부에 유리섬유의 혼입량이 증가할수록 강도가 향상하였고, 유리버블의 혼입량이 증가할수록 비중이 낮아졌다. 최적의 배합에서는 비중이 낮아지면서 물성이 향상되는 시너지 효과가 나타남을 발견하였다. 이러한 시너지 효과는 유리버블의 크랙 전파의 분산 효과와 유리버블의 혼입에 따른 섬유와 매트릭스의 결합력의 향상에 기인한 것임을 내부구조 분석을 통해 확인하였다.

Key Words: 시트 몰딩 컴파운드(Sheet molding compound), 복합재료(Composite materials), 유리버블(Glass bubble), 기계적 특성(Mechanical properties)

1. 서 론

최근 지구온난화와 이산화탄소의 배출 등 환경 문제가 제기됨에 따라 자동차 배기가스에 대한 규제가 점차 강화되고 있는 추세이다. 대표적인 규제가 CAFÉ(corporative

average fuel economy)로 2025년까지 5년마다 20~30%씩 자동차 연비 규제가 강화된다. 이러한 메가 트렌드에 발맞춘 해결책으로 자동차의 경량화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 자동차를 경량화 하기 위해서는 크게 기능과 장비들을 줄여 차체를 소형화하는 방법과 경량 소재를 사용

Received 17 August 2017, received in revised form 15 January 2018, accepted 5 February 2018

*Automotive Composite Division, Dongsung Corporation

*†Automotive Composite Division, Dongsung Corporation, Corresponding author (E-mail: twhwang99@idongsung.com)

**SECO R&D Center, ECOPLASTIC

하는 방법이 있다. 차체를 소형화하는 방법은 사용자들이 원하는 니즈를 충분히 만족시키기 어려울 수 있기 때문에 경량 소재를 적용하는 방법이 상대적으로 더 주목 받고 있다. 경량화를 위한 소재로는 섬유강화 복합재료가 주목되고 있으며 그 중에서 SMC 공법이 활발히 적용되고 있다[1].

SMC는 수지, 섬유 강화재, 충전제와 다양한 첨가제로 이루어진 sheet상의 복합재료이다. 수지의 종류에는 불포화 폴리에스터, 에폭시, 페놀릭 등이 있으며, 이 중 불포화 폴리에스터 수지는 빠른 반응 시간, 낮은 가격과 우수한 기계적 특성으로 SMC에 주로 적용된다. 유리섬유는 1인치 E-type의 유리섬유를 가장 일반적으로 사용하며 치수 안정성과 우수한 기계적 특성을 나타낸다. 또한, 일반적으로 보통 중량비로 25~35%의 섬유를 함침 시킨다. 충전제는 비기능성과 기능성으로 분류하는데 비기능성 충전제의 대표적인 예는 탄산칼슘으로 비용 절감 목적으로 사용하며 기능성 충전제의 대표적인 예는 수산화 알루미늄과 유리버블로 각각 난연성과 경량화 특성을 향상시킨다[2,3].

SMC는 우수한 탄성률, 치수 안정성, 내부식성, 성형성 등의 장점뿐만 아니라 가격도 저렴하여 그 수요가 점차 증가하고 있다[4,5]. 그러나, 최근에는 현재의 비중보다 더 낮은 비중이 요구되고 있어, 이를 실현시키기 위한 연구가 진행되고 있다. SMC의 비중을 낮추기 위해서는 비중이 낮은 유리버블을 혼입하여 제조하는 방법이 있다. 본 연구에서는, 유리버블과 유리섬유의 하이브리드를 통해 기계적 물성을 유지하면서 비중을 낮추는 방법에 대해 연구하였다.

2. 실험

2.1 재료

불포화 폴리에스테르는 Maleic anhydride와 Propylene glycol이 1:1.05로 혼합되어 있으며 Polynt사에서 제공받았다. 저수축제로 포화폴리에스터(Chembase Co., Ltd.), 개시제로 t-butyl peroxybenzoate(TBPB, 동성코퍼레이션), 억제제로 p-benzoquinone(PBQ, Chembase Co., Ltd.), 내부이형제로 Zn-stearate(Sinwon Industrial Co., Ltd.), 증점제로 MgO(라텍코리아) 등을 사용하였다.

유리섬유는 Jushi Group Co., Ltd.에서 제공하는 E-Glass

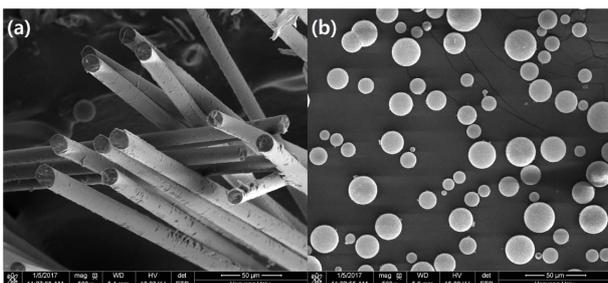


Fig. 1. SEM images of glass fiber (a), glass bubble (b)

Table 1. Formulation of sheet molding compound

Sample	Glass Fiber	Glass Bubble	Matrix
F0B0	0	0	100
F8B0	8	0	92
F16B0	16	0	84
F24B0	24	0	76
F18B6	18	6	76
F12B12	12	12	76
F6B18	6	18	76
F0B24	0	24	76
F0B16	0	16	84
F0B8	0	8	92

Assembled Roving으로 Fig. 1(a)와 같이 평균 길이 25.4 mm, 직경 10~13 μm의 grade를 사용하였고, 비중은 2.4이다.

유리버블은 3M에서 제공하는 S38HS grade를 사용하였다. 비중이 0.38이고, Fig. 1(b)와 같이 입자 사이즈가 15~75 μm 인 속이 빈 구 형태로 되어 있다.

2.2 제조방법

SMC 컴파운드는 섬유와 증점제를 제외한 수지, 첨가제 등을 Table 1에 따라 배합하고 32°C가 도달할 때까지 혼입한 후, 증점제를 넣고 1분동안 혼입하였다. 이 컴파운드는 Fig. 2와 같이 carrier film에 뿌려지고 그 위에 단섬유가 함침되어 sheet상의 복합재료를 제조하였다. Sheet는 40°C에서 24시간동안 증점시킨 후, press를 이용하여 150°C에서 3분동안 성형하였다.

2.3 분석

SMC 시편의 인장시험은 ASTM-D638 시험법에 따라 가공하여 총 5개의 시편을 Universal Testing Machine(UTM, UT100, 엠티디아이)을 사용하여 상온에서 인장속도 5 mm/min의 조건으로 측정 후 평균값을 구했다. 비중은 Matsuhaku사의 비중 측정기(GP-300E)를 이용하여 측정하

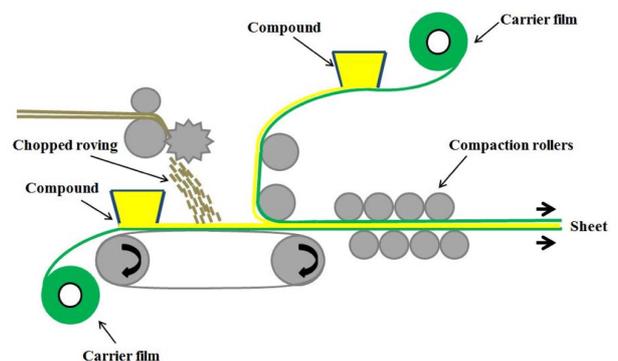


Fig. 2. Schematic of a typical SMC process

였다. SMC 시편의 단면은 Field Emission Scanning Electron Microscopy(FE-SEM, Nova NanoSEM 450, FEI Corp)을 이용하여 10.0 kV에서 관찰하였다. 복합재료 내에서 유리섬유와 유리버블 간의 3차원 네트워크를 평가하기 위해 X-ray Micro CT 시스템(Skyscan1172, Bruker)을 측정하였다.

3. 실험 결과

유리섬유와 유리버블의 함량에 따른 시편의 인장강도와 비중 결과를 Fig. 3(a)에 나타내었다. 유리섬유의 함량이 증가할수록 인장강도가 증가하면서 비중이 증가하여 보강효과가 크다는 것을 알 수 있었다. 반면, 유리버블의 함량이 증가할수록 보강효과는 미미하고, 비중이 감소하여 경량화 효과가 존재함을 확인할 수 있다. 유리섬유가 18%와 유리버블이 6%가 혼입된 F18B6이 가장 우수한 인장강도를 나타내었으며, 이는 유리섬유만 24%가 포함되어 있을 때보다 높은 강도이면서 낮은 비중을 나타내어 시너지 효과가 존재함을 확인하였다.

Fig. 3(b)는 유리섬유와 유리버블 함량에 따른 시편의 인장탄성과 비중 결과를 나타내었다. 인장탄성 결과도 인장강도와 유사한 경향을 보였고, 특히 유리섬유 18%, 유리버블 6%가 혼입된 F18B6이 가장 높은 값을 보였으며, 비중 또한 유리섬유만 24% 포함된 시편보다 낮았다. 이로부터 유

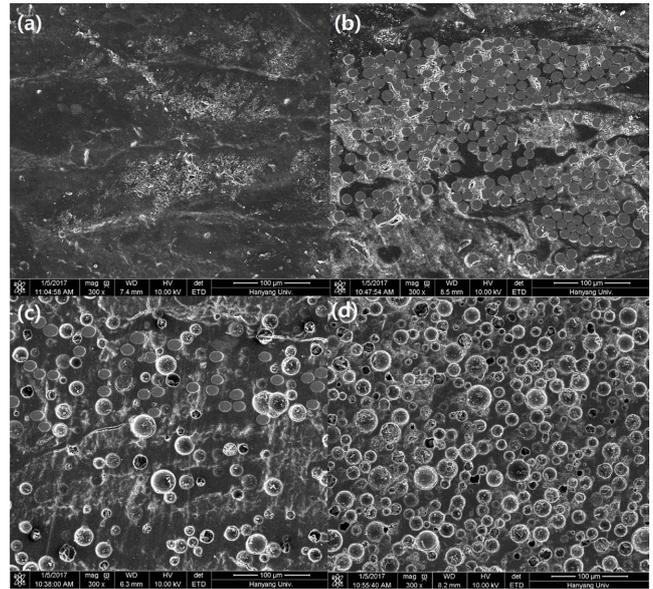


Fig. 4. SEM images of F0B0 (a), F24B0 (b), F18B6 (c), F0B24 (d)

리섬유와 유리버블의 혼입으로 인장탄성 결과에서도 하이브리드 효과가 나타남을 확인하였다.

Fig. 4는 Table 1에 표시된 F0B0, F24B0, F18B6, F0B24 시편의 SEM 이미지를 나타냈다. Fig. 4(a)의 이미지에서 확인할 수 있는 것과 같이, SMC에서 일반적으로 나타나는 현상으로 열경화성 수지와 열가소성 저수축제의 상분리 현상이 일어난 것을 알 수 있다[6]. Fig. 4(b)의 이미지를 통해 섬유와 수지의 함침이 잘 되어 있음을 확인할 수 있었다. Fig. 4(c)에서 유리섬유와 유리버블이 고르게 분포되어 있음을 확인할 수 있었고, 유리섬유가 유리버블보다 함량에 높음에도 불구하고 유리버블의 비중이 작아 더 많은 입자가 분포되어 있음을 확인할 수 있었다. Fig. 4(d)를 보면 알 수 있듯이, 유리버블이 균일하게 분포되어 있음을 확인할 수 있었다.

유리버블과 유리섬유가 혼입된 복합재료의 시너지 효과의 원인을 분석하기 위해 Micro-CT로 측정한 이미지를 Fig. 5에 나타내었다. F24B0과 F18B6을 비교했을 때, F18B6의 매트릭스는 비중이 낮은 유리버블에 의해 더 충전된 것을 확인할 수 있었다. 이러한 형태학적 특성에 의해 F18B6의 인장강도가 더욱 향상 되었다고 판단된다. 이전 연구에 따르면 매트릭스 내에 혼입된 유리버블은 크랙 전파를 분산시키는 효과가 있음이 보고된다[7-9]. 즉, 유리버블의 혼입이

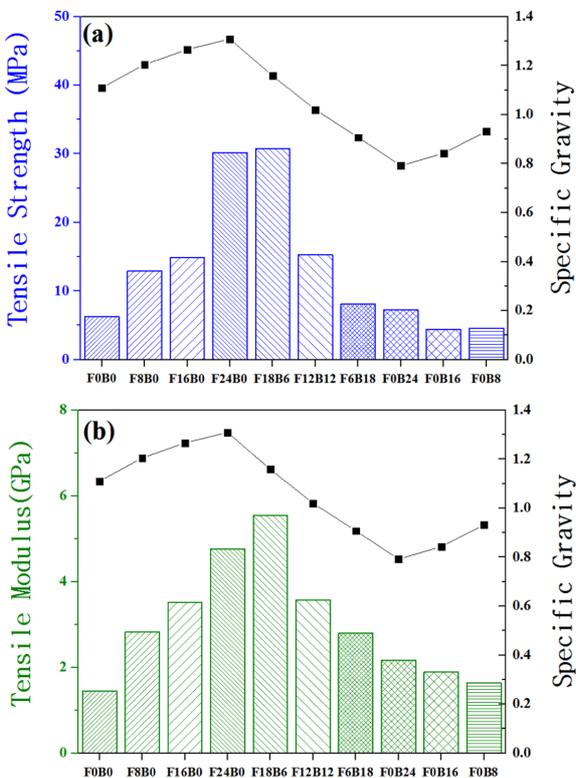


Fig. 3. Mechanical properties and specific gravity of sheet molding compound

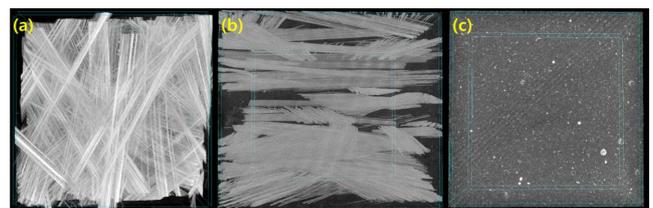


Fig. 5. Micro CT images of F24B0 (a), F18B6 (b), F0B24 (c)

섬유와 매트릭스의 결합력이 향상된 주요 원인이라고 판단되며 이는 매트릭스 내에서 변형 에너지를 분산시키고, 섬유 주변의 계면 층에서 응력 집중을 감소 시켜 섬유가 매트릭스와 분리되는 것을 막아 인장물성이 증가하였다고 판단된다[9,10]. 또한 F0B24는 유리버블이 고르게 잘 분산된 것을 보여준다.

4. 결 론

SMC는 우수한 물리적 특성과 경제성으로 그 수요가 점차 증가하고 있으나, 최근에는 현재의 비중보다 더 낮은 비중이 요구되고 있다. 본 연구에서는 유리섬유와 유리버블의 하이브리드를 통해 SMC의 기계적 특성을 유지하면서 비중을 낮추는 방법에 대해 연구하였다. 유리섬유와 유리버블의 혼입비가 최적화된 SMC의 인장강도 및 탄성률이 동량의 유리섬유만 혼입한 SMC 보다 더 우수한 것을 확인하였다. 유리섬유와 유리버블의 동시 혼입에 의한 SMC 인장 특성에 대한 시너지 효과를 SEM 및 마이크로 CT 등에 의해 측정된 내부구조 이미지를 통해 분석하였다. 매트릭스 내에 혼입된 유리버블의 크랙 전파의 분산효과와 유리버블의 혼입에 따른 섬유와 매트릭스의 결합력의 향상에 의해 시너지 효과가 발생하였다. 결론적으로 SMC에 혼입된 유리섬유와 유리버블의 조성 최적화로 비중이 낮아지면서도 기계적 특성이 저하되지 않는 SMC를 개발하였고, 이러한 소재는 자동차용 경량화 부품에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

1. Kim, E.K., Lee, Y., and Hwang, S.-H., "A Study on Preparation of Fast Cure and Low Density SMC," *Journal of Korean Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 7, No. 3, 1996, pp. 511-517.
2. Kia, H.G., *Sheet Molding Compounds Science and Technology*, Hanser/gardner Pub. Inc., Ohio, USA, 1993.
3. Boylan, S., and Castro, J.M., "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*, Vol. 90, No. 928, 2003, pp. 2557-2571.
4. Mehta, G., Mohanty, A.K., Thayer, K., Misra, M., and Drazal, L.T., "Novel Biocomposites Sheet Molding Compounds for Low Cost Housing Panel Applications," *Journal of Polymers and the Environment*, Vol. 13, No. 2, 2005, pp. 169-175.
5. Kraemer, A., Lin, S., Brabandt, D., Böhlke, T., and Lanza, G., "Quality Control in the Production Process of SMC Lightweight Material," *Procedia CIRP*, Vol. 17, 2014, pp. 772-777.
6. Li, W., and Lee, L.J., "Shrinkage Control of Low-profile Unsaturated Polyester Resins Cured at Low Temperature," *Polymer*, Vol. 39, No. 23, 1998, pp. 5677-5687.
7. Hussain, M., Nakahira, A., and Niihara, K., "Mechanical Property Improvement of Carbon Fiber Reinforced Epoxy Composites by Al₂O₃ Filler Dispersion," *Materials Letters*, Vol. 26, No. 3, 1996, pp. 185-191.
8. Ogasawara, T., Ishida, Y., and Kasai, T., "Mechanical Properties of Carbon Fiber/fullerene-dispersed Epoxy Composites," *Composites Science and Technology*, Vol. 69, No. 11-12, 2009, pp. 2002-2007.
9. Jiang, Z., Zhang, H., Zhang, Z., Murayama, H., and Okamoto, K., "Improved Bonding between PAN-based Carbon Fibers and Fullerene-modified Epoxy Matrix," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 39, No. 11, 2008, pp. 1762-1767.
10. Piggott, M.R., "Why Interface Testing by Single-fibre Methods Can be Misleading," *Composites Science and Technology*, Vol. 57, No. 8, 1997, pp. 965-974.