

〈論 文〉

SMC 압축성형재의 기계적 물성 및 특성에 관한 연구

김기택* · 임용택**

(1994년 3월 28일 접수)

A Study on Material Characterization and Mechanical Properties of SMC Compression Molding Parts

Ki-Taek Kim and Yong-Taek Im

Key Words : SMC(Sheet Molding Compounds), Compression Test(압축실험), Tensile Test(인장실험), Three Point Bending Test(3점 굽힘실험), SEM(Scanning Electron Microscope), Glass Fiber Orientation(유리섬유 배향성)

Abstract

An experimental study on material characterization and mechanical properties of SMC(Sheet Molding Compounds) compression molded parts was carried out. Simple compression test using grease oil as a lubricant was carried out to characterize flow stress of SMC at elevated temperatures. Two different mold temperatures, 130°C and 150°C and two different mold speeds, 15, 45 mm/min were used for preparing the specimen of SMC compression molded parts. Surface roughness, tensile, and 3-point bending tests were used to determine the effects of molding temperatures and speeds on mechanical properties of compression molded SMC parts. Orientation and distribution of glass fiber in the compression molded SMC parts were also investigated by photographing the burnt flat specimen and taking SEM(Scanning Electron Microscope) of cross-sectional T-shape specimen.

1. 서 론

현대 산업에서 고품질 복합재료의 활용이 증대되면서 이의 적용 분야도 광범위해지고 있다. 복합재료 가운데 특히 SMC(sheet molding compounds)는 중량에 비해 기계적 강도가 뛰어나며 생산성이 우수하여 경량 구조재료의 응용에 적합하다. 국내에서도 일반 육조, 물탱크, 체육관 의자 등에서의 적용은 이미 일반화되었으며 미국을 비롯한 유럽 등에서는 자동차의 내판 및 외관에 사용되고 있다. 최근에는 국내에서도 각종 환경 규제 및 경제성의

부각에 따른 차체 경량화의 필요성이 절실해짐에 따라 복합재료의 응용을 자동차 산업에 확대시키는 것을 검토하고 있는 실정이다.

실제 유리섬유강화 복합재료 또는 SMC를 이러한 구조재생산에 사용하려면 재료의 물성치 및 기계적 특성, 그리고 성형조건에 따른 특성변화 등에 관한 정확한 예측과 이들의 자료확보가 먼저 이루어져야 한다. 또한 SMC 압축성형재를 외장재로 사용할 경우 기계적 강도 뿐만 아니라 성형된 제품의 표면 거칠기와 광택 정도도 매우 중요하다. 특히 자동차 후드, 사이드 판넬, 트렁크 등의 외장재료의 응용에는 제품 표면의 거칠기와 광택 정도가 더 중요하게 고려될 수도 있다. 또한 강판을 이용한 자동차 외장재를 성형할 경우 기계적 강도를 높

*삼성종합기술원 CAD/CAM실

**정회원, 한국과학기술원 정밀공학과

이기 위해 보강재를 만들어 용접하여 사용하는 경우가 대부분이다. 만일 복합재료를 사용하여 외장재를 일체형의 구조로 만들 수 있다면 생산성을 높일 수 있다. 그러나 리브 등을 가진 일체형 외관재의 경우 복합재료 압축성형시 리브 위에 싱크마크(sink mark)와 같은 표면결함이 생길 수 있어 실용성에 치명적인 영향을 줄 수 있다. 따라서 이와 같은 결함을 줄이기 위해서는 재료의 거동에 대한 정확한 이해가 필요하다.

기존의 연구결과를 살펴보면 압축실험을 이용하여 Fan 등⁽¹⁾이 SMC의 물성치 측정을 하고 수치해석에 사용하여서 상부 금형의 중앙에 작용하는 압력값을 계산하고 이를 실험값과 비교하였다. Kau,⁽²⁾ Advani와 Tucker,⁽³⁾ Kamal과 Mutel⁽⁴⁾ 등은 SMC 압축성형재의 기계적 강도에 큰 영향을 미치는 섬유 방향성 예측을 위한 수치적 해석기법을 개발하였으며 Vaxman과 Narkis⁽⁵⁾는 섬유의 길이가 장입재의 점도 특성과 섬유의 방향성에 미치는 영향을 연구하였다. Tung⁽⁶⁾과 Farouk⁽⁷⁾ 등은 경화 시간, 금형온도, 금형압력의 변화가 성형품의 기계적 성질에 미치는 영향을 연구하였고 McEwen⁽⁸⁾은 성형제품의 표면 층에 남아있는 폴리에스테르, 폴리스티렌, 칼슘카보네이트 등의 상대분포를 측정하는 연구를 수행하였다. 이와 더불어 Smith와 Suh⁽⁹⁾는 싱크마크의 크기변화를 리브를 가진 보강재 일체형의 형상판재에서 형상의 상대적 치수비 및 리브형상의 변화에 따라 측정하였고 이의 예측을 위한 기하학적 상사모델을 제안하였다.

본 연구에서는 SMC 압축성형재의 기계적 물성치 및 특성을 검토하기 위해 압축성형시 고온에서의 SMC재료 거동을 묘사할 수 있는 유동 응력식을 단순 압축실험을 통해 알아내고자 하였다. 공정 변수를 달리하여 성형한 판재의 기계적 특성을 평가하기 위해서 성형된 시편의 표면거칠기 측정, 인장 및 3점 굽힘실험을 수행하였다. 또한 리브를 가진 보강재 일체형의 단면 형상판재의 싱크마크 형성 및 섬유의 분포, 그리고 리브 주위의 섬유배향 정도를 관찰하기 위해 시편의 해진을 태우고 난 뒤 사진을 찍거나 SEM(scanning electron microscope)을 이용하여 조직사진을 찍어 그 결과를 고찰하였다.

2. 실험

SMC 압축성형은 보통 금형의 온도를 120°C와

180°C 사이로 가열하여 수행한다. 따라서 성형중 재료의 거동을 살펴보기 위해서는 고온에서의 SMC재료의 거동을 묘사할 수 있는 유동응력식을 알아야 될 필요가 있다. 그러나 고온에서는 재료의 특성상 직접 압축실험을 수행하기 어렵기 때문에 본 물성치 평가실험에서는 세 온도 범위에서 압축실험을 행하고 실험결과를 외삽하여 고온에서의 유동응력식을 유추하였다. 실험에 사용한 금형온도는 20°C, 50°C, 75°C였으며, 금형속도는 15, 30, 45 mm/min로 변화시켜 단순 압축실험을 하였다. 실험에 사용한 SMC 원단은 섬유의 길이가 25.4 mm 이었고 28%의 섬유무게비를 갖는 class A급의 재료로 주식회사 애경화학에서 제공받았다.

시편 제작의 일관성을 유지하기 위하여 32.4 mm의 직경을 갖는 시편 제작용 커터(cutter)를 만들었으며, 초기 높이는 13 mm가 되도록 SMC 원단을 4장 적층하였고 실험후 최종 높이가 6 mm가 되도록 하였다. 초기 시편에 일정한 하중을 주어 시편내의 기공이 제거되도록 하였으며, 금형 표면과 시편에 작용하는 마찰을 줄이기 위해 윤활제로서 그리이스(Grease)유를 사용하였다. 압축실험에 사용된 프레스는 50 ton 유압식 만능시험기로 Shimadzu사에서 제작된 UH-50A였다.

SMC의 유동응력식은 유동응력, $\bar{\sigma}$, 변형률속도, $\dot{\epsilon}$ 를 이용하여 다음으로 가정하였다.

$$\bar{\sigma} = C(\dot{\epsilon})^m \quad (1)$$

$$\log(\bar{\sigma}) = \log C + m \log(\dot{\epsilon}) \quad (2)$$

위의 관계식에서 변형률속도 지수인 m 과 상수인 C 는 측정된 실험결과로부터 구하고자 하였다. 실제 압축실험에서는 SMC 원단을 4장 적층하여 실험을 하였고 층간의 미끄러짐과 최종 높이만큼 압축하였을 때의 단면적 계산이 어려우므로 재료를 비압축성으로 간주하여 계산하였다.

성형된 제품의 기계적 특성평가실험은 다음의 세 가지 경우로 나누어서 실험하였다. SMC가 자동차 외관 등의 미려한 외면을 필요로 하는 부분에 사용될 때에는 제품의 표면거칠기가 중요하므로 이를 고찰하기 위한 표면거칠기 측정실험, 그리고 SMC가 기존의 차체강판 등의 구조재에 사용될 경우를 위해, 인장실험과 3점 굽힘실험을 하였다.

SMC 압축성형재의 표면거칠기를 측정하기 위해 사용된 제품은 Class A급의 조성비로 만들어진 평판으로서, 실험 공정변수로는 금형온도를 130°C와

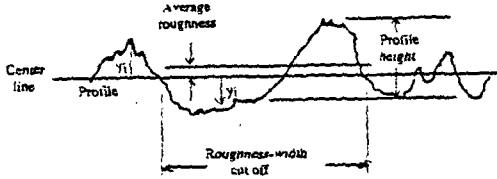


Fig. 1 Schematic diagram of surface profile measured by a stylus device showing some typical Y values with respect to the center line

150°C의 두가지 경우로 나누었으며 금형달림속도는 15 mm/min와 45 mm/min로 하였고 최종 제품의 두께를 3 mm로 하였다.

표면거칠기는 Fig. 1에서 보듯이 평균선에 대한 불규칙한 높이들로 측정된다. 이러한 측정치는 보통 마이크로미터로 표시되며 위치에따른 불규칙한 높이의 편차를 산술 평균하여 나타내었다. 본 실험에서 표면거칠기를 나타내는 AA는 다음과 같이 정의되었다.

$$AA = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (3)$$

여기서,

- y_i = 중심선으로부터의 수직거리
- n = 측정범위 내에서 취해진 측정개수

표면거칠기 측정장치로는 Mitutoyo사의 Model명 Sufstest-400을 사용하였으며 이 장치는 표면위를 일정한 속도로 지나가는 다이아몬드촉침이 직접 재료와 접촉하여 측정하도록 되어있다. 한번에 측정하는 길이는 4 mm이며 평판내에서 9곳을 측정하여 평균값을 구하였다.

인장 및 3점 굽힘실험은 최대 유효 하중이 150 kN인 Model명 Instron4206을 사용하였으며 시험시편은 ASTM규격^(10,11)에 맞게 Fig. 2와 같이 제작하였고 실험방법 및 측정회수 등도 ASTM규격에 맞춰 실험의 신뢰도를 높였다. 인장실험에서의 크로스헤드(cross head)의 속도는 0.5 mm/min으로 하였으며, 3점 굽힘실험에서의 크로스헤드의 속도는 평판 부분의 두께가 3 mm일 때는 1.2 mm/min, 7 mm일 때는 2.6 mm/min로 하였다. 인장실험시 하중변위 곡선을 구하기 위해 표점거리가 50 mm인 신장계를 부착하여 변위를 구하였으며 하중은 인장시험기의 토드셀로부터 구하였다.

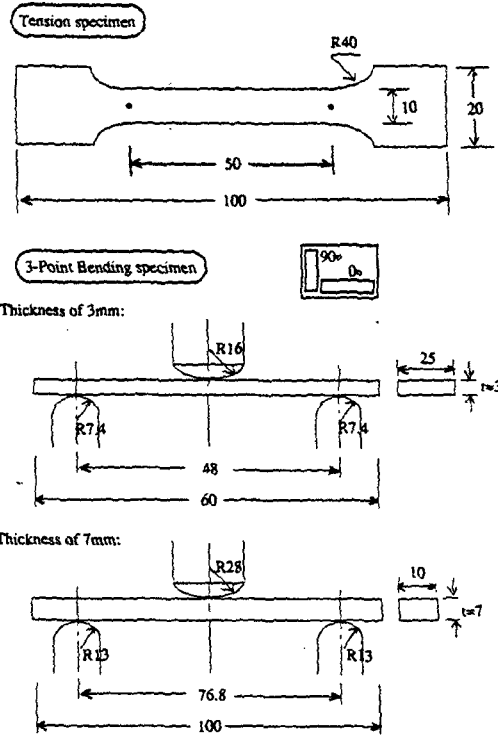


Fig. 2 Dimensions of testing specimens used for tension and 3-point bending tests in mm

시편은 금형온도가 130°C와 150°C, 금형달림속도는 15 mm/min과 45 mm/min, 평판 부분의 최종두께는 3 mm와 7 mm인 경우의 제품으로부터 제작하여 각 공정변수에 따른 기계적 특성을 알아보았다. 본 실험은 실온에서 행하여졌으며 실험 시편의 개수는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 각 경우에 대해 2차원 평면 변형상태에서 유동방향에 평행한 방향(0°)과 이에 수직인 방향(90°)으로 각각 5개씩 만들어 실험하였다.

3점 굽힘실험은 단순 지지보의 중간에 하중을 가하는 것으로 실험결과로부터 얻을 수 있는 기계적 성질로는 두께의 변화에 대한 최대 변형률(maximum strain in the outer fibers), 굽힘강도(flexural strength), 탄성계수(tangent modulus of elasticity) 등으로 이 값들은 각 공정변수에서 얻어진 값들의 평균값으로 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{최대 변형률} : r = 6Dd/L^2 \quad 4)$$

$$\text{굽힘강도} : S = 3PL/(2bd^2) \quad 5)$$

$$\text{탄성계수} : E_B = L^3g/(4bd^3) \quad 6)$$

여기서,

- r : 바깥섬유에서의 최대 변형률 값(mm/mm)
- D : 시편의 중간에서의 최대 변형률 값(mm)
- L : 받침길이(mm)
- d : 시편의 두께(mm)
- S : 시편의 중간에서의 최대 응력 값(MPa)
- P : 파손시 하중 값(N)
- b : 시편의 폭(mm)
- E_b : 탄성계수 값(MPa)
- g : 하중-변위곡선의 초기 직선부분의 기울기 값(N/mm)

마지막으로 평판부분의 최종 두께가 3mm일 때, 단면이 T형상인 시편의 리브 주위의 유동, 유리섬유분포 및 배향을 가속전압 20 kV를 사용하는 JEOL사의 Model-JSM840A, SEM을 이용하여 관찰하였다. SEM으로 관찰하기 위해 성형된 제품을 연삭기를 이용해 적절한 크기로 만든 다음, 금도금을 하여 전도성을 유지토록 하였다. 사용된 시편은 금형온도가 150°C, 금형달힘속도는 15 mm/min인 경우 성형된 제품으로부터 만들어졌다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3과 Fig. 4는 20°C와 75°C에서 금형속도에 따른 유동응력의 변화를 각각 나타내고 있다. 이 그림들을 보면 온도가 높을수록 유동응력이 낮게 나타나고 있을 뿐만 아니라 금형달힘속도를 빠르게 할 때 유동응력이 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 SMC 장입재가 압축될 때 금형온도가 증가함

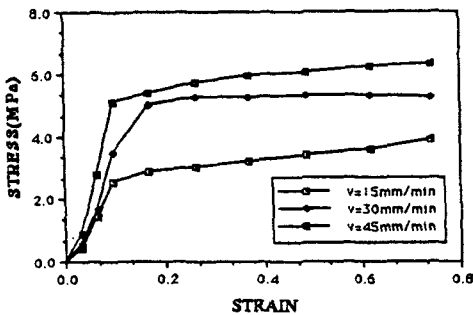


Fig. 3 Stress versus strain curves obtained from the compression test: mold temperature of 20°C, lubrication condition of grease oil on mylar sheet, charge diameter of 32.4 mm, and height of 13 mm

에 따라 시편으로의 열전달량이 더 많아짐으로, SMC 장입재의 점도가 계속 낮아져 유동이 더 원활하게 일어나게 되고 이에 따라 압축하중의 크기가 더 작아지기 때문이다.

Fig. 5는 상온에서 측정된 유동응력과 변형률 속도를 대수값(log scale)으로 변환하여 그린 것으로, 변형률속도 대수값이 -1.8에서 -1.0인 구간에서 그 관계가 거의 선형이 됨을 알 수 있다. 이와 같이 변형률속도 지수(m)와 상수(C)를 각 금형온도에서 계산한 후, 그 값들을 온도에 따른 함수로 만들어 유동응력식을 다음과 같이 구하였다.

$$\bar{\sigma} = C(T) (\dot{\epsilon})^{m(T)} \text{ (MPa)}$$

$$C(T) = 1.1108 \times 10^{-4} \exp(3546.6/T)$$

$$m(T) = 7.682 \exp(-800.48/T) \quad (7)$$

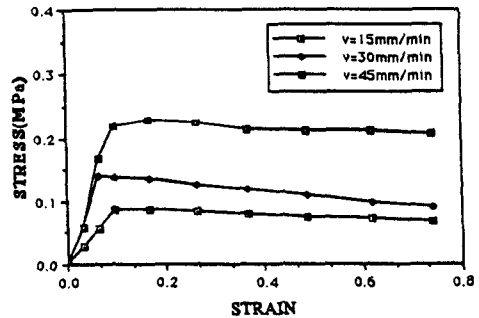


Fig. 4 Stress versus strain curves obtained from the compression test: mold temperature of 75°C, lubrication condition of grease oil on mylar sheet, charge diameter of 32.4 mm, and height of 13 mm

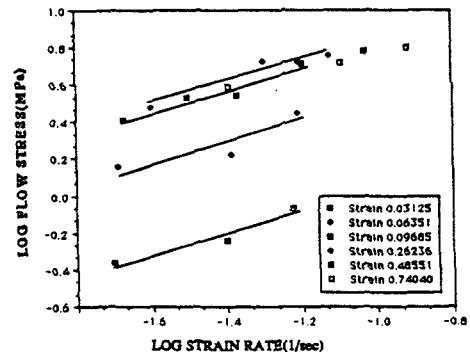


Fig. 5 Logarithmic flow stress versus strain rate curves obtained by compression test: mold temperature of 20°C, closing speed 15, 30, 45 mm/min, lubrication condition of grease oil on mylar sheet, charge diameter of 32.4 mm, and height of 13 mm

여기서, T 는 절대온도이다. 이 식을 이용하여 금형에 작용하는 압력과 하중을 슬랩식을 적용하여 계산한 결과를 실험에서 측정된 값과 비교하여 보았을 때 비슷한 결과를 얻었다.⁽¹²⁾ 따라서 이와같은 식으로 물성치를 얻어내는 것이 도움이 되는 것을 알 수 있었다.

Fig. 6은 금형닫힘속도를 45 mm/min으로 유지하고 금형온도를 바꿔 만들어진 제품의 표면거칠기를 나타낸 것으로 Fig. 6은 시편의 중심(center)과 가장자리(edge)에서 측정된 값의 산술평균을 나타내고 있으며, Fig. 7은 같은 위치에서의 최대 거칠기 값, R_{max} 를 나타내었다. 이 그림들을 살펴보면 본 실험조건에서 만들어진 시편의 표면거칠기는 $0.2 \mu m \sim 0.5 \mu m$ 에 분포하고 있음을 알 수 있다. 또한 이 그림들에서 보듯이 시편의 중앙부분에서는 매끄러운 표면을 얻었는데 가장자리에서는 중앙부분에 비해 매끄럽지 못한 표면을 얻었다. 이러한 이유를 살펴보면 다음과 같다.

상부 금형이 초기 장입재와 접촉한 후 압축을 하면서 유동을 일으킬 때 초기에 상, 하부 금형에 접촉하고 있던 부분에서의 SMC 장입재는 다른 부분보다 먼저 점도가 떨어지게 되고, 유동의 흐름이 극부적으로 발생하게 된다. 점차적으로 열전달이 중심부로 확산되면 중심부의 유동까지도 활발하게 된다. 초기에 금형과 접촉하고 있던 장입재의 중앙부는 최종 형상까지 계속해서 접촉하고 있는 반면, 최종 형상의 가장자리를 형성하는 부분은 열전달이 표면에서 중심부로 이동함에 따라, 유동에 의해 밖으로 밀려나온 부분들이 서로 결합한 것이라 할 수 있다. 따라서 생성된 제품의 중앙 부분과는 열적인 영향에 따른 생성과정이 다르게 되고, 이러한 이유 때문에 장입재 표면의 매끄러움 정도가 다르게 나타나는 것이다.

이러한 현상을 방지하기 위해서는 상부 금형이 내려와 하부 금형 위에 놓여져 있는 장입재와 접하기까지의 유지시간을 되도록 짧게 하여야 하며, 장입재가 금형내부를 완전히 채우기 전까지 극부적 경화가 일어나지 않도록 해야한다. 또한 경화가 일어날 때에는 금형온도와 압력이 일정하게 유지되도록 해야할 것이다. 경화가 완전히 끝날 때까지 일정한 금형온도와 압력을 유지시켜 주지 못하면 휘발성이 있는 스타이렌(styrene)의 증발때문에 표면에 작은 기공이 발생하거나 제품의 단면에 층간 균열이 발생할 수도 있다. 이러한 결합의 발생은 초

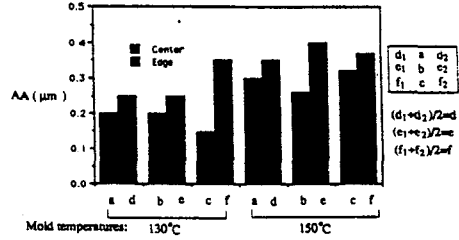


Fig. 6 Arithmetical average of measured surface roughness at center and edge locations at different mold temperatures:mold closing speed of 45 mm/min

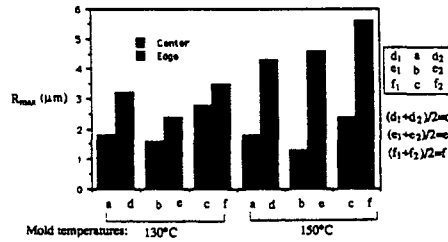


Fig. 7 Maximum roughness at center and edge locations at different mold temperatures:mold closing speed of 45 mm/min

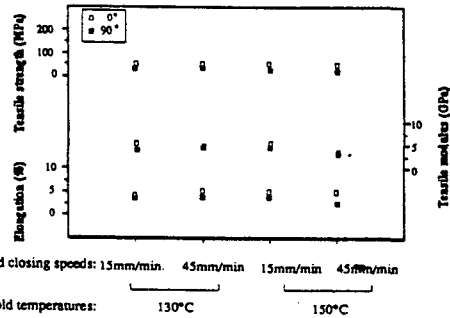


Fig. 8 Effect of different molding conditions on tensile properties with the thickness of 3 mm

기 시편의 제작시 재료 조성상의 문제와도 관련되므로, 결합을 줄이고 깨끗한 표면을 얻기 위해서는 초기 시편의 제작에서부터 각별한 신경을 써야할 것이다.

인장실험 결과로부터 최종시편의 두께변화에 따른 항복과 파단의 경우에 대해 각각 인장강도, 연신율, 그리고 탄성계수를 계산하였다. Fig. 8과 Fig. 9는 최종 시편의 두께에 따른 인장강도와 연신율, 그리고 탄성계수를 평정변수에 따라 그린 것이다. Fig. 8은 평판 부분의 두께가 3 mm인 경우

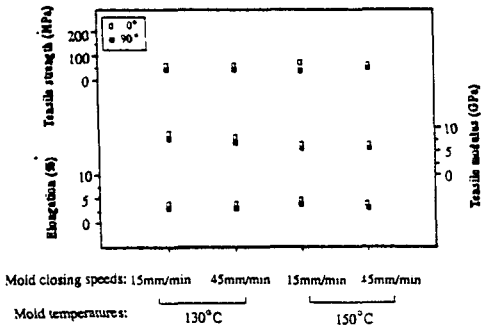


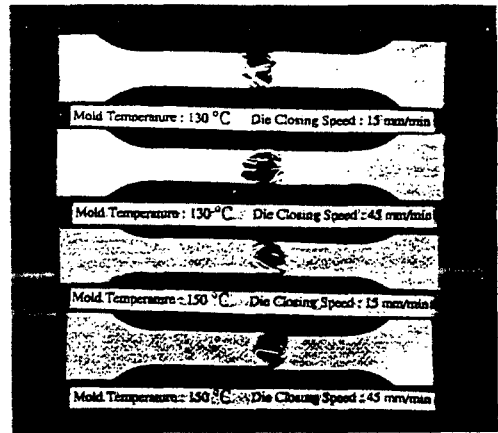
Fig. 9 Effect of different molding conditions on tensile properties with the thickness of 7 mm

의 결과로 항복시 인장강도는 26~62 MPa이었고, 연신율은 1.5~3.9%의 값이었다. 그리고 Fig. 9는 평균부분의 두께가 7 mm인 경우의 결과로 항복시 인장강도는 44~65 MPa이었고, 연신율은 3.7~4.9% 정도였다. 또한 SMC 압축성형재의 강성을 표시해 주는 탄성계수 값은 4~8 GPa의 값을 가짐을 알 수 있었다. 그리고 항복시 연신율은 20~27%였다.

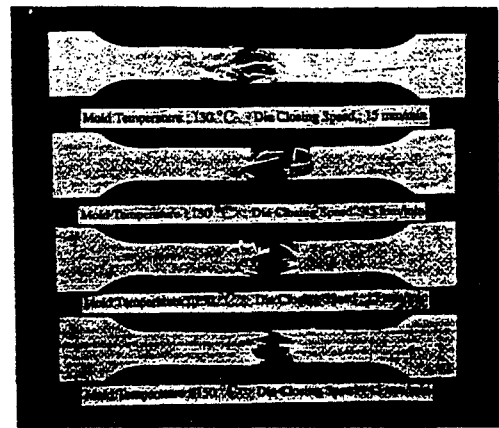
현재 자동차용 차체에 사용중인 강판에서 압연 방향에 대한 영향을 고려하기 위하여 0°, 45°, 90° 방향으로 시편을 제작하여 인장실험을 한 결과, 최대 인장강도는 300에서 450 MPa 사이의 값을 갖는다고 보고되어 있다.⁽¹³⁾ 따라서 본 실험결과에 따르면 SMC의 인장강도가 차체강판의 인장강도보다 7배 정도 작은 값으로 측정되었다.

또한 금형의 온도와 닫힘속도에 따른 최종 제품의 두께가 3 mm인 인장시편의 응력-변형률 선도를 비교해 보면, 본 실험조건에 의해 만들어진 SMC 압축성형재가 이방성을 나타낼을 알 수 있었다. SMC 재료의 연신율은 5%를 넘지 못하였으며, 0° 방향의 인장강도가 90°방향의 인장강도보다 더 큼을 알 수 있었다. 이로부터 SMC 유동은 초기 장입재가 2차원 평면변형상태로 놓여져 수지와 유리섬유가 한쪽 방향으로 유동을 하기때문에 유리섬유가 대체적으로 0°방향으로 평행하고 분포하고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 10에는 인장실험시에 인장시편이 끊어지는 모양을 보여주고 있다. 이 그림을 보면 표면 가까이 존재하는 섬유에서부터 하나씩 끊어지다가 갑자기 전체 시편이 끊어지는 경향을 보이고 있는데 이는 섬유강화 복합재료의 파단시 나타나는 일반적인 현상이다.



(a) t=3 mm



(b) t=7 mm

Fig. 10 Fractural tensile specimens obtained by the various tension tests with two different thicknesses

Fig. 11은 평균 부분의 두께가 3 mm일 때의 굽힘 강도값을 나타내 준 것으로 105~187 MPa의 값을 보이고 있으며, Fig. 12는 평균 부분의 두께가 7 mm일 때의 굽힘강도 값으로 94~158 MPa의 값을 보이고 있다. 3점 굽힘실험에서 얻은 최대 응력 값과 탄성계수 값을 비교해 보면 시편의 방향에 따른 값의 차이는 SMC 압축성형재가 방향성을 가지고 있음을 보여주고 있다. 또한 모든 공정변수에 대한 최대 응력 값은 0°방향의 값이 90°방향의 값보다 더 큼을 알 수 있다. 이 결과는 인장실험에서 나타난 경향과 일치한다.

이상의 기계적 특성실험에서 SMC 압축성형재가 방향성을 가짐을 알 수 있었다. 성형된 제품의 방향성은 수지에 함침되어 있던 유리섬유가 고온에서

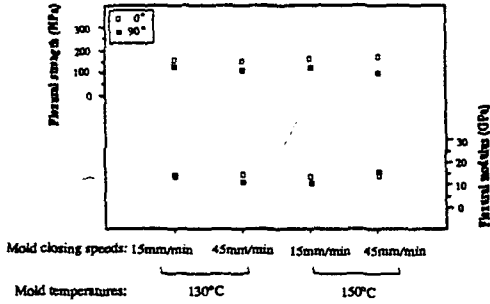


Fig. 11 Effect of different molding conditions on flexural properties with the thickness of 3 mm

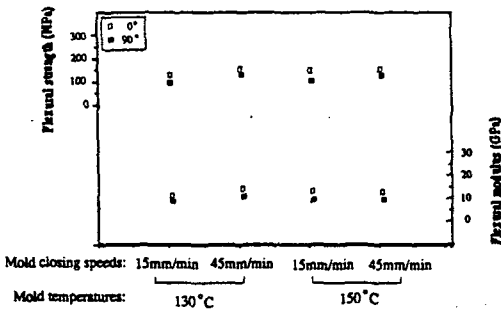


Fig. 12 Effect of different molding conditions on flexural properties with the thickness of 7 mm

의 압축공정 중에 수지와 함께 유동을 함으로써 생기게 된다. 이러한 SMC 압축성형체의 방향성을 시각적으로 관찰하기 위해 평판과 단면이 T-형상인 제품의 단면에서 섬유배향을 고찰하였다.

Fig. 13(a)은 압축성형공정 전의 초기 SMC장입재 내에서 유리섬유가 무질서하게 서로 엉켜져있는 상태를 보여주고 있다. 성형한 후의 평판 시편을 전기로에서 530°C로 20분간 가열한 후, 관찰하고자 하는 부위의 표면에서 수지를 제거하여 관찰한 그림이 Fig. 13(b), (c), (d)이다. Fig. 13(b)는 성형 후 중심부분에서의 섬유의 방향성을 보여주는 것으로 초기와 같이 무질서하게 형성되어 있음을 알 수 있다. 그리고 Fig. 13(c)은 유동이 흘러가는 방향(0°)에서의 유리섬유 분포를 보여주고 있다. 대체적으로 섬유가 유동방향으로 늘어서 있음을 알 수 있다. 또한 Fig. 13(d)는 유동이 금형의 벽면에 막혀 유리섬유가 모여있는 모습을 보여주고 있다. 전체적으로 볼 때 성형 전의 섬유는 무질서하게 서로 결합되어 있으며, 성형 후에는 유동방향으로 방향성을 가짐을 알 수 있다.

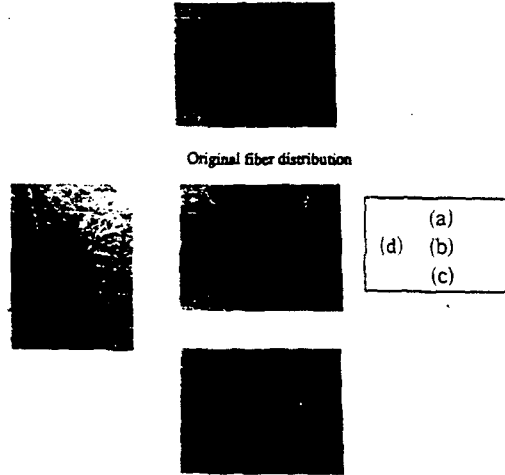


Fig. 13 Fiber distribution in flat plate obtained by compression molding: mold temperature of 150°C and mold closing speed of 15 mm/min



Fig. 14 SEM micrograph observing fiber distribution for square rib entrances: mold temperature of 150°C and mold closing speed of 15 mm/min

Fig. 14는 리브 주위에서의 섬유의 방향성 및 분포를 잘 보여주고 있다. 이 그림을 보면 모서리주위에서 섬유가 밀집된 섬유 충전지역이 형성되며, 모서리 반대면에서는 역삼각형 모양의 수지 충전지역이 형성됨을 알 수 있다. 리브의 중간지점에서는 유동이 모서리 양쪽에서 리브 안쪽으로 흐르기 때문에 반달모양의 섬유배향이 형성되는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

주어진 실험조건하에서 얻은 이상의 실험결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 단순 압축실험을 통해, 고온에서의 재료거동을 묘사할 수 있는 유동응력식을 만들었으며, 이

값은 공정의 수치해석시에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

(2) 기계적 특성평가를 위해 표면거칠기 측정, 인장시험, 3점 굽힘시험을 하였으며 성형공정 변수에 따른 기계적 특성을 평가하였다.

(3) 성형된 SMC 압축성형재는 방향성을 가지고 있으며 그 방향은 유동의 방향과 일치하였다. 리브를 가진 보강재 일체형 구조재의 경우 리브 모서리 부근에서 유리섬유가 밀집되어 섬유 충전지역을 이루었으며 반대면에서는 역삼각형 모양의 수지 충전지역이 존재하였다.

후 기

본 연구는 과학기술처와 한국과학재단의 연구지원사업에 의해 수행된 것으로 이에 관계자 제위께 감사드린다. 또한 SMC 재료를 무상으로 공급하여 주신 주식회사 애경화학 관계자 제위와 SEM 사진을 찍는데 여러모로 도와주신 한국과학기술원 재료공학과와 남수우 교수님과 SMC 시편제작을 위해 인장시험기 사용을 허락해 주신 정밀공학과와 허훈 교수님께 깊은 감사를 드린다.

참고문헌

- (1) Lee, L. J., Fan, J. D. and Im, Y. T., 1991, "Flow Analysis of Sheet Molding Compounds in Compression Molding," *Int Poly. Processing*, Vol. 6, No. 1, pp. 61~72.
- (2) Kau, H. T., 1987, "Determination of the Orientation of Short Glass Fibers in Sheet Molding Compound(SMC)," *Polymer Composites*, Vol. 8, pp. 82~93.
- (3) Advani, S. G. and Tucker, C. L., 1990, "A Numerical Simulation of Short Fiber Orientation in Compression Molding," *Polymer Composites*, Vol. 11, No. 3, pp. 164~173.
- (4) Kamal, M. R. and Mutel, A. T., 1989, "The Prediction of Flow and Orientation Behavior of Short Fiber Reinforced Melts in Simple Flow Systems." *Polymer Composites*, Vol. 10, No. 5, pp. 337~343.
- (5) Vaxman, A. and Narkis, M., 1989, "Short-Fiber-Reinforced Thermoplastics. Part III: Effect of Fiber Length on Rheological Properties and Fiber Orientation," *Polymer Composites*, Vol. 10, No. 6, pp. 454~462.
- (6) Tung, R. W., 1982, "Effect of Processing Variables on the Mechanical and Thermal Properties of Sheet Molding Compound," *Short Fiber Reinforced Composite Material*, pp. 51~63.
- (7) Farouk, A. and Kwon, T. H., 1990, "Effect of Processing Parameters on Compression Molded PMR-15/C3K Composites," *Polymer Composites*, Vol. 11, No. 6, pp. 379~386.
- (8) McEwen, D. J. and Newbould, J., 1991, "Effect of Molding Conditions on the Surface Composition of Sheet Molding Compound," *Polymer Composites*, Vol. 12, No. 5, pp. 315~319.
- (9) Smith, K. L. and Suh, N. P., 1979, "An approach toward the Reduction of Sink Marks in Sheet Molding Compound," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 19, No. 12, pp. 829~834.
- (10) "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics(Metric)," 1989, *ASTM*, D638-89.
- (11) "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unerinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials(Metric)," 1989, *ASTM*, D790M-86.
- (12) 김기택, 1994, "SMC 압축성형에서의 열 및 유동에 관한 연구," 한국과학기술원 석사학위논문, pp. 17~19.
- (13) 허훈, 한수식, 이충호, 최태훈, 최영준, 정재웅, 이기석, 1992, "차체성형용 압연강판의 기계적 물성 특성실험(물성실험 및 데이터베이스화)," 한국자동차공학회, '92년 추계학술대회는 문집, pp. 385~394.