

〈論 文〉

SMC의 물성치 평가에 관한 연구

정진호* · 한영원* · 임용택*

(1995년 4월 6일 접수)

A Study on Material Characterization of SMC

Jin-Ho Jeong, Young-Won Hahn and Yong-Taek Im

Abstract

SMC (Sheet Molding Compound), a thermoset composite material which consists of unsaturated polyester resin, fiberglass strands, fillers, and various chemical additives for curing agent, has been widely used in fabrication of structural components. The mechanical properties of molded SMC parts are strongly dependent on material flow results during compression molding process, while such flow in molds is affected by material characteristics. For numerical simulation of SMC molding process, estimation of material property of SMC must be accomplished. In this study, flow resistance of SMC was estimated through a simple compression test using a lubricant with grease oil under the constant strain rate condition at various temperatures and the result was compared with other material data available in the literature. The accuracy of the experimentally determined flow resistance was tested by finite element analyses of compression molding of SMC. Simulation results were compared with experimental results under the plane strain condition.

Key Words : SMC (Sheet Molding Compound), Material Characterization, Compression Molding, Simple Compression Test

1. 서 론

섬유강화 복합재료는 비강도, 비강성이 높아 산업용 재료로 최근 응용이 늘고 있다. 열경화성 수지를 모재로 유리섬유, 충

진재, 화학 첨가제 등을 혼합해 증점시킨 SMC (sheet molding compound)는 일반 고분자 복합재료의 장점을 고루 가지고 있을 뿐 아니라 열가소성 고분자 복합재료에 비해 치수 안정성과 기계적 강도가 우수하며, 압축성형공정을 통해 대량 생산이 가능하기 때문에 구조용 재료로 많이 사용되고 있다.

SMC를 성형하기 위해서는 일반적으로

*한국과학기술원 기계공학과

130~150°C 정도로 예열시킨 금형에 적절한 크기의 장입재를 올려 놓아 상부 금형에 압력을 가하여 경화를 시킨다. 이 때 SMC 장입재는 성형이 일어나는 동안 금형으로부터의 열전달에 의해 점도가 현저히 감소하여 마치 액체와 같은 유동을 하게 되고, 이로 인해 소재 내의 유리섬유 및 충전재, 그 밖의 첨가제들이 갖던 초기의 불균일한 분포가 금형 내의 수지 유동에 따라 방향성을 이루기도 함으로써 성형된 제품의 품질 및 기계적 특성은 공정 중의 유동양상에 큰 영향을 받는다. 따라서, SMC의 성형성 및 성형된 제품의 기계적 특성의 평가와 예측은 공정이 진행되는 동안 SMC 장입재의 유동양상을 정확히 파악함으로써 가능하다. 이를 위해 지금까지 압축성형공정을 수치적으로 모사하기 위한 수학적 모델에 관해 많은 연구가 진행되어 왔다. 그러나, 압축성형이 일어나는 동안에 수반되는 재료의 거동을 수치적으로 모사하기 위해서는 재료의 물성치를 확보하는 것이 매우 중요하다.

보통의 고분자 재료의 물성을 측정하기 위해서는 모세관 점도계 (capillary rheometer)와 원추 및 평판 유동 점도계 (cone and plate flow viscometer), 단순 전단 유동 점도계 (simple shear flow viscometer) 등⁽¹⁾이 주로 사용되는 데, 이들 점도계들은 유리섬유와 같은 보강재가 없는 액상 소재의 물성평가에 적합하다. SMC의 경우, 상온의 장입재는 젤상태의 판상으로 가공되어 있어 점도가 매우 높으며, 보통 25.4 mm 정도의 짧은 유리섬유가 보강재로 내재되어 있기 때문에 이와 같은 점도계를 적용하여 물성을 측정하기는 어렵다. 따라서, Silva-Nieto 등⁽²⁾은 SMC의 물성평가를 위해 점성, 탄성, 그리고 항복요소의 세가지 항을 조합한 물성방정식모델을 도입하고, 평행판 플라스토미터 (parallel plate plastometer)를 이용해 20°C와 160°C에서 일정 속도로 압축 실험을 수행해 SMC의

유동특성을 고찰하였으며, 실험결과를 이용해 20°C에서의 물성방정식을 구하였다. 그러나, 도입된 물성방정식이 온도의 영향을 고려하지 못함으로써 단일온도인 20°C에서의 물성을 평가할 수는 있었으나 실제 공정에서와 같이 장입재의 온도가 변화하는 경우에는 적용할 수 없었다. Lee 등⁽³⁾은 소재를 비압축성의 균질한 연속체로 간주해 평판 압축 유동 점도계 (flat plate squeeze flow rheometer)를 이용한 압축 실험을 일정한 속도 하에서 수행해 유동저항을 전단 변형률 속도와 온도의 함수로 결정하고, 동시에 Brookfield 디지털 점도계 (digital viscometer)를 사용하여 정상 상태에서의 수지의 점도를 구하였다. 실험에서는 압축에 사용된 평판의 표면에 사포를 붙여 평판에서의 고착조건을 유지하였다. 실험적으로 구한 재료의 유동저항을 평가하기 위해 SMC 압축성형공정을 열강점소성모델을 이용하여 수치해석을 수행하고, 해석된 평판 중심에서의 압력값을 실험값과 비교하였다. 이들 값의 비교로부터 상온의 등온조건에서는 두 결과가 잘 일치하나 비등온조건 하에서는 실험값보다 계산값이 훨씬 큰 것을 알 수 있었으며, 이는 유동저항이 적절하게 측정되지 않았기 때문이다. 따라서, 이를 보완하기 위해 Cho 등⁽⁴⁾과 Kim 등⁽⁵⁾은 장입재와 평판 사이의 마찰에 의한 영향을 줄이기 위해 평판을 그리이스 오일 (grease oil)로 윤활한 평판 압축 실험을 통해 SMC의 물성치를 측정할 바가 있다. 이들 실험조건에 따르면 Cho 등은 장입재를 30, 50, 65°C로 가열하고 단열재를 붙인 상온의 평판을 이용하여 일정한 속도로 압축 실험을 수행하였으며, Kim 등은 장입재를 상온으로 두고 평판을 50, 75°C로 가열하여 일정한 속도로 압축 실험을 수행하였다. 일정한 속도로 압축 실험을 수행할 경우, 변형률 속도가 장입재의 두께 감소에 따라 변화하고, 또한 장입재와 평판 사이의 열전달에

의해 재료의 물성치가 변화하므로 고온에서의 실제 재료의 거동을 모사하기에는 이들 실험 결과가 제한적이었다.

본 논문에서는 지금까지 제시되었던 물성치들을 비교 검토하여 보다 나은 물성치를 제시하고자 하였다. 장입재가 100°C 이상인 경우, 액체와 같이 유동을 하므로 100°C 미만에서는 압축 실험 결과를 이용하고, 100°C 이상의 경우에는 Lee 등⁽³⁾이 구한 물성치를 이용하여 SMC의 유동응력값을 구하였다. 압축 실험에서는 일정한 변형률 속도 (0.005, 0.01, 0.05, 0.1/s) 하에서 장입재와 평판을 28, 45, 60, 75°C로 가열하여 실험을 수행하였다. 이 때 평판과 장입재 사이에는 그리이스 오일을 사용하여 마찰에 의한 영향을 줄였다. 장입재 물성치에 대한 변형률 속도의 영향을 알아보기 위해 일정한 속도로 압축 실험한 결과와도 비교하였으며, 구해진 물성치를 이용하여 수치 해석을 수행하고, 계산 결과를 실험값과 비교함으로써 구해진 물성치를 평가하였다.

2. SMC 압축 실험

SMC의 물성치를 평가하기 위한 실험에 앞서 본 연구에서 결정할 물성방정식의 모델링을 하였다. Silva-Nieto 등⁽²⁾과 Lee 등⁽³⁾의 SMC 압축 실험 결과 및 고찰로부터 SMC가 항복응력을 가짐을 알 수 있었으며, 본 논문에서는 이러한 실험 결과를 토대로 SMC의 물성방정식을 다음식과 같이 항복응력을 가지며, 온도와 변형률, 그리고 변형률 속도의 함수로 표현되는 열점소성 재료로 모델링하였다.

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_0 + C(T) \cdot \bar{\epsilon}^{n(T)} \cdot \dot{\bar{\epsilon}}^{m(T)} \quad (1)$$

여기서, $\bar{\sigma}$ 는 유동응력, $\bar{\sigma}_0$ 는 항복응력, $C(T)$ 는 온도에 따른 응력 계수이고, $n(T)$ 와 $m(T)$ 는 온도의 함수로 표현되는 변형률 민감 지수와 변형률 속도 민감 지수이

다.

식(1)의 $\bar{\sigma}_0$, $C(T)$, $n(T)$, 그리고 $m(T)$ 를 결정하기 위해 압축 실험을 수행하였다. 유동응력에 미치는 변형률, 변형률 속도, 그리고 온도의 영향을 평가하기 위해 변형률 속도를 0.005, 0.01, 0.05, 그리고 0.1/s로 유지하고, 각 변형률 속도에서 금형 및 시편의 온도를 28, 45, 60, 그리고 75°C의 각 4가지 경우로 나눠 실험을 수행하였다. SMC가 실제 성형 시에 약 130~150°C 정도의 고온에서 압축이 이루어지는 것을 감안할 때, 물성 평가 실험 시에도 100°C 이상의 고온에서 실험을 수행하여야 하나 SMC가 100°C 이상의 고온에서는 점도가 크게 낮아져 마치 액체와 같은 유동을 하는 이유로 압축 실험을 수행할 수 없었기 때문에 최고 실험 온도를 75°C로 제한하였다.

실험에 사용된 프레스는 Shimadzu사의 Model UH-50A 50 ton 유압식 만능 시험기였으며, 원하는 온도로 상·하부 금형을 가열하기 위해 1개당 100 W의 용량을 가지는 상·하 각 4개씩의 히터봉으로 구성된 온도 조절기를 제작하여 금형에 장착하였다.⁽⁶⁾ 실험에 사용한 SMC 시편은 유리섬유가 30%의 무게비를 갖는 A급 (Class A)의 자동차 외판용 소재로서, (주)LG화학으로부터 제공받았으며, 압축 실험을 위한 원통형 초기 시편은 Fig. 1과 같이 초기 높이와 직경이 각각 9 mm와 32.4 mm가 되도록 4장의 SMC 판재를 적층하여 제작하였다.

실험하는 동안에는 초기 시편의 온도를 금형의 온도와 같게 하기 위해 LTD (Lenton Thermal Designs)사의 Eurotherm 8189 전기로를 사용하여 SMC 시편을 원하는 온도로 가열하였고, SMC 시편이 원하는 온도로 예열되었는지를 확인하기 위해 지름이 0.25 mm인 K-타입 (chromel-alumel) 열전대를 SMC 시편에 장착하였다. 금형의 온도를 측정하기 위해서는 지름

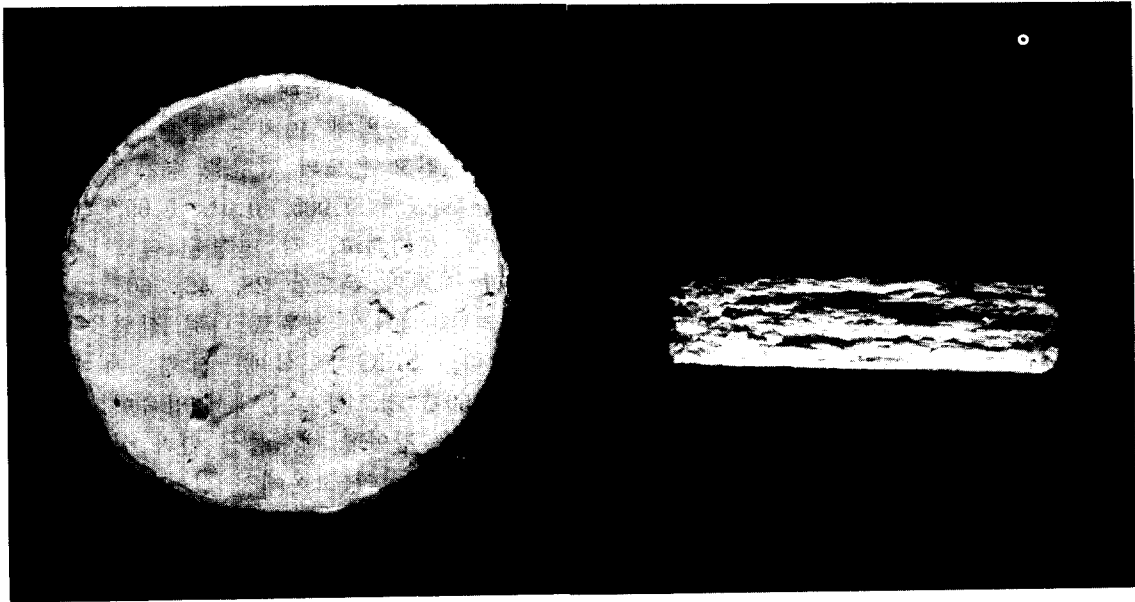


Fig. 1 Top and side views of the initial 4-layer cylindrical SMC charge with a diameter of 32.4 mm and height of 9 mm

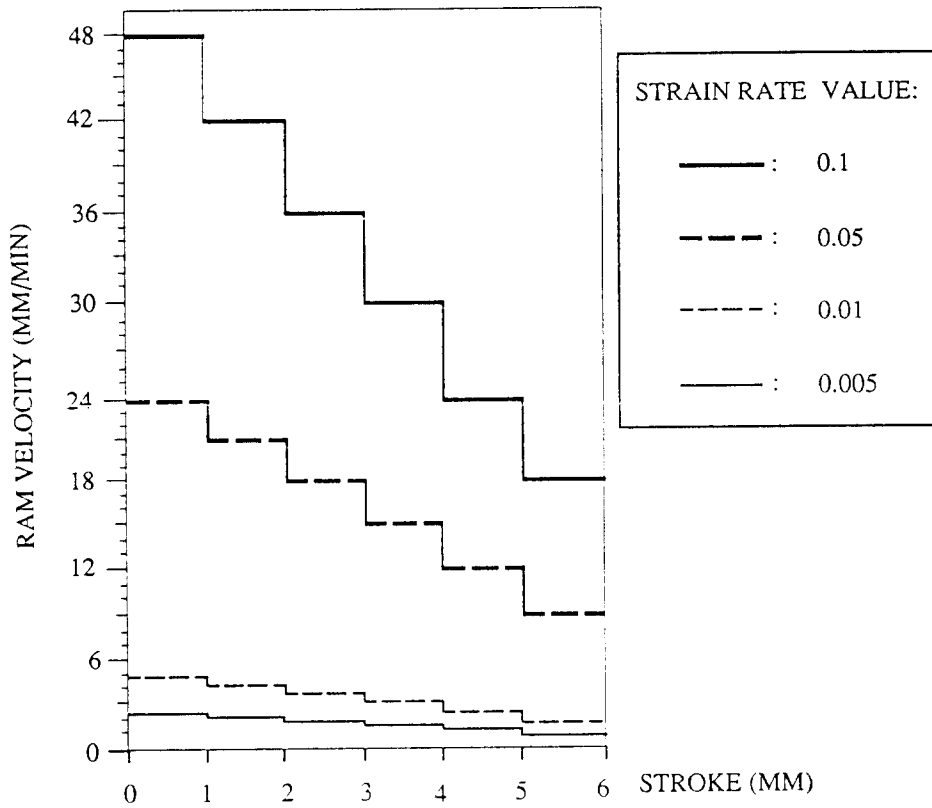


Fig. 2 Velocity profiles applied during compression tests

이 0.25 mm인 *J*-타입 (iron-constantan) 열 전대를 사용하였고, 실험하는 동안 변형률 속도를 비교적 일정하게 유지하기 위해 Fig. 2와 같이 1 mm의 압축 변위마다 금형 단힘속도를 수동으로 변화시켰다.

실험중, 금형표면과 시편 사이의 마찰에 의한 영향을 줄이기 위해서는 그리이스 오일을 윤활제로 사용하였다.

Fig. 3과 Fig. 4에는 Fig. 1에 보인 초기 시편을 단순 압축 실험한 후 변형된 SMC

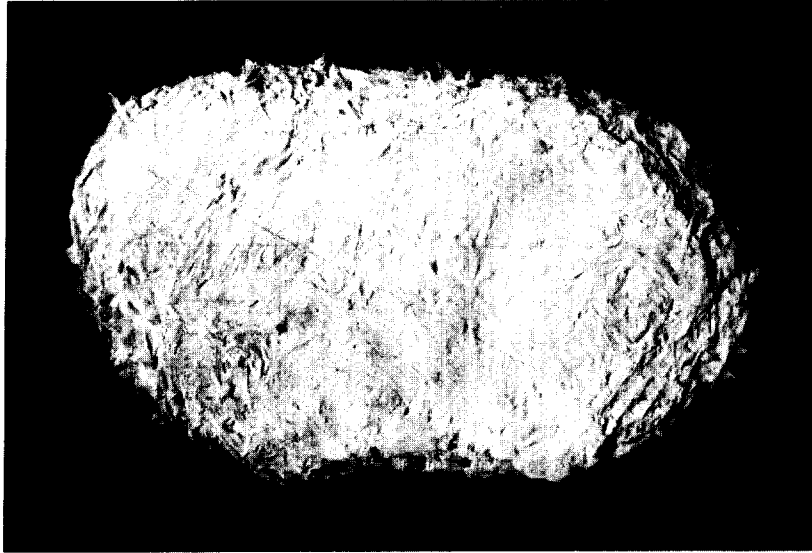


Fig. 3 Deformed shape of SMC with inter-laminar slip after simple compression test with initial cylindrical charge diameter of 32.4 mm and height of 9 mm

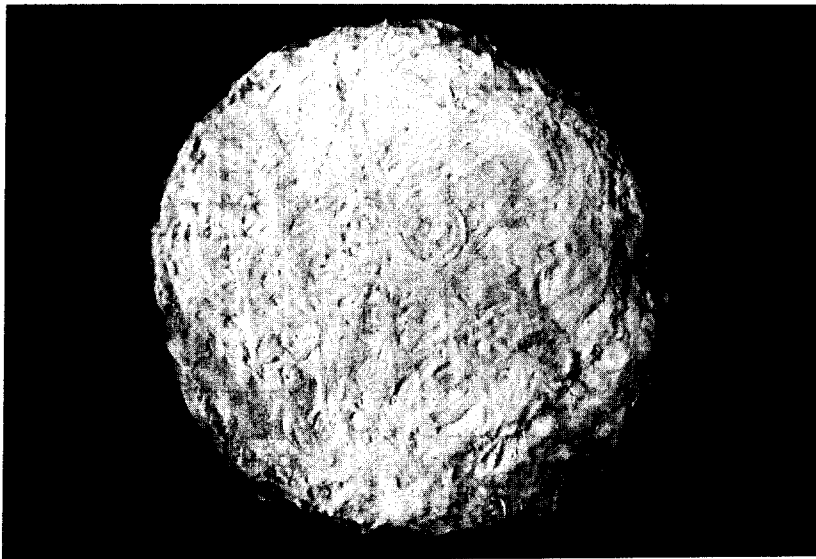


Fig. 4 Uniform radial deformation of SMC after simple compression test with initial cylindrical charge diameter of 32.4 mm and height of 9 mm

시편을 보였다. Fig. 3의 압축된 시편으로 부터 압축이 일어나는 동안 적층된 면들을 따라 층간 미끄러짐이 발생하였음을 알 수 있었고, 이러한 층간 미끄러짐이 일어난 경우에는 압축 변위에 따른 하중 및 압력을 정확히 측정할 수 없기 때문에 실험 시, 적층된 SMC 시편이 층간에서 미끄러지지 않도록 초기 시편의 제작에 각별한 주의를 기울여야 한다.

본 실험에서는 초기 시편을 적층한 후, 실험 전에 미리 층간 압밀이 이루어지도록 0.5~1.0 mm 정도의 변위를 압축시켰다.

Fig. 4에는 초기 시편의 압밀이 잘 이루어져 압축력에 의해 반경방향으로 비교적 균일한 변형을 한 압축된 시편의 형상을 보였다.

실험을 통해 각 변형률 속도와 온도에서 얻은 하중-변위 선도로부터 응력-변형률 관계를 구하였으며, 응력과 변형률 속도의 대수로그를 취한 선도에서 각 변형률에 따라 주어진 데이터들을 보간하여 $C(T)$ 와 $n(T)$, 그리고 $m(T)$ 를 결정하였다. Fig. 5(a)~(d)에는 일정 변형률 속도에서 압축 실험을 통해 측정된 하중-변위 선도를 각

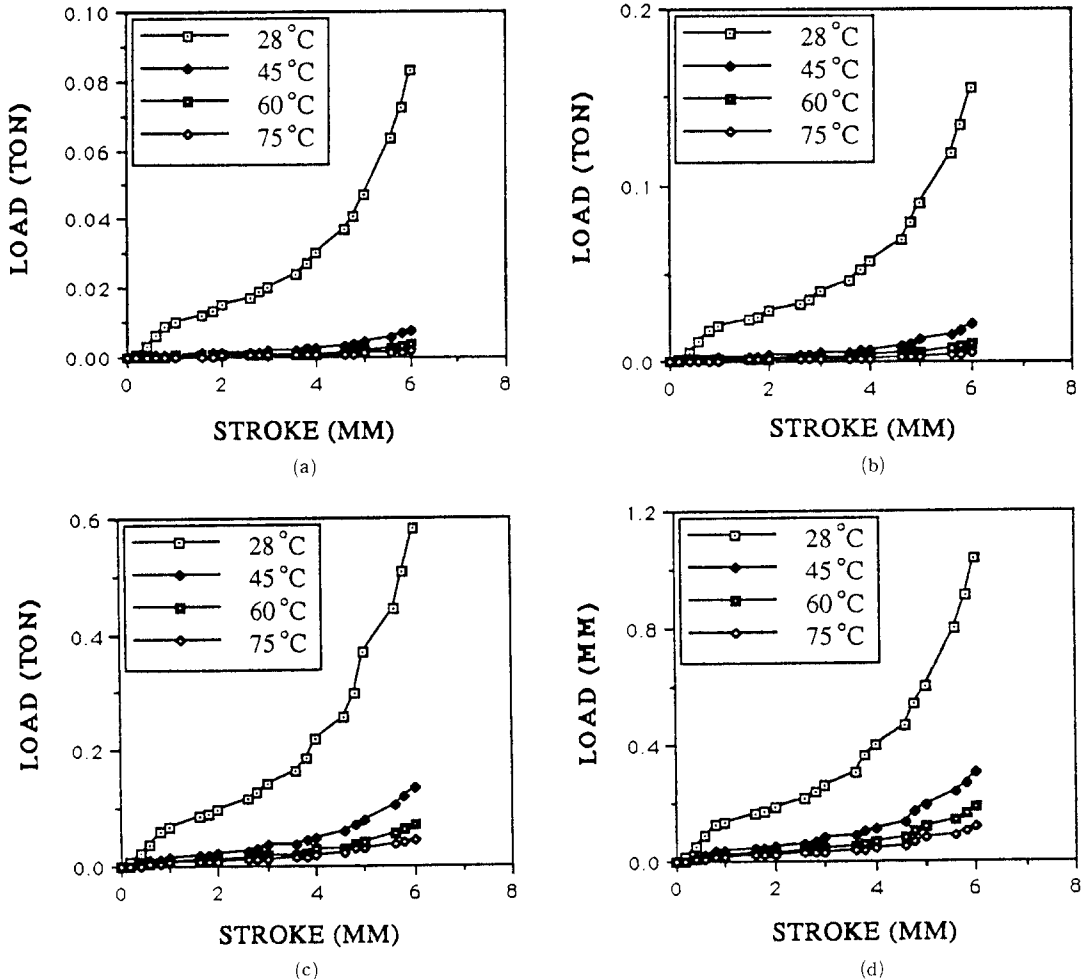


Fig. 5 Load vs. stroke curves obtained from simple compression tests at various strain rates: (a) 0.005/s, (b) 0.01/s, (c) 0.05/s, and (d) 0.1/s.

실험온도에 따라 보였으며, Fig. 6(a)~(d)에는 측정된 하중-변위 선도로부터 구한 응력-변형률 선도를 각 변형률 속도에 따라 보였다.

Fig. 6으로부터 온도가 올라감에 따라 유동응력값이 현저히 감소하며, 변형률 속도가 줄어들수록 따라 일정한 값으로 수렴하는 것을 알 수 있었다. 또한, 이 그림들로부터, 각 온도에서 압축 초기의 상태를 제외하면 변형률의 증가에 따른 유동응력의 변화가 거의 없음을 알 수 있었으며, 이를 통해 식(1)의 변형률 민감 지수를 0으로 결정할 수 있었다.

Fig. 7(a)~(d)에는 각 온도에서 변형률 속도와 응력의 로그-로그값의 변화량을 나타냈다. 이 그림들로부터 각 실험 온도에서 그래프의 기울기가 변형률의 변화에 영향을 받지 않고, 변형률 속도 민감 지수가 일정한 값을 가짐을 알 수 있었으며, 온도가 높아짐에 따라 그래프의 기울기가 커짐으로써 소재의 거동이 변형률 속도에 더 민감해 짐을 알 수 있었다.

변형률 민감 지수가 0인 결과와 식(1)의 항복응력이 온도와 변형률 속도의 함수이며, (3) 100°C 이상의 고온에서는 SMC의 수지의 점도가 크게 감소하여 수지와 유리섬

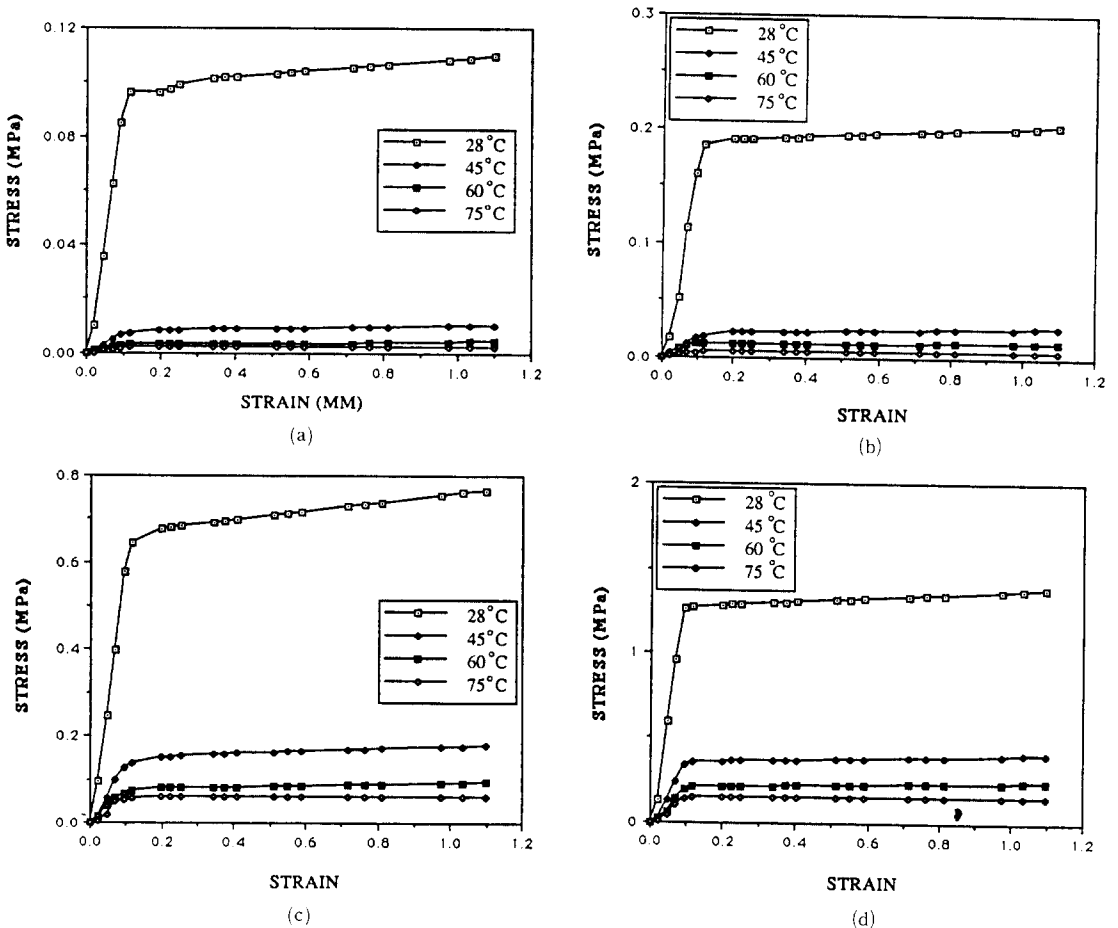
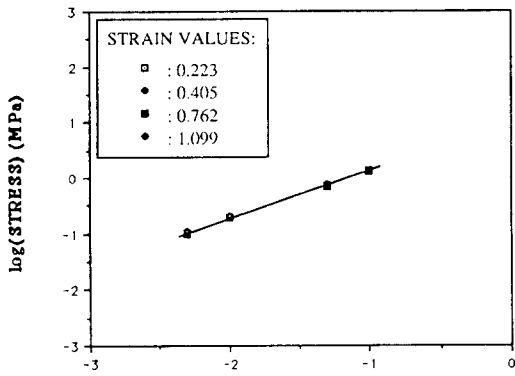
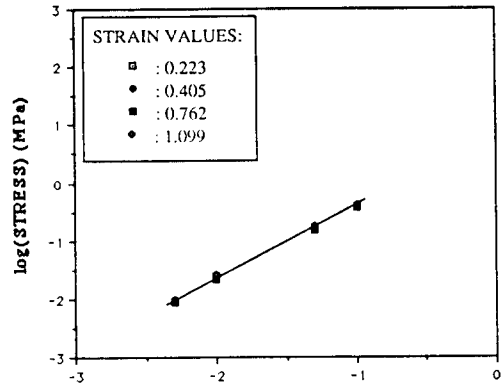


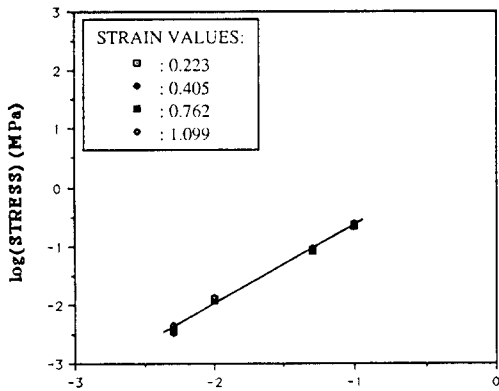
Fig. 6 Stress vs. strain curves obtained from simple compression tests at various strain rates : (a) 0.005/s, (b) 0.01/s, (c) 0.05/s, and (d) 0.1/s.



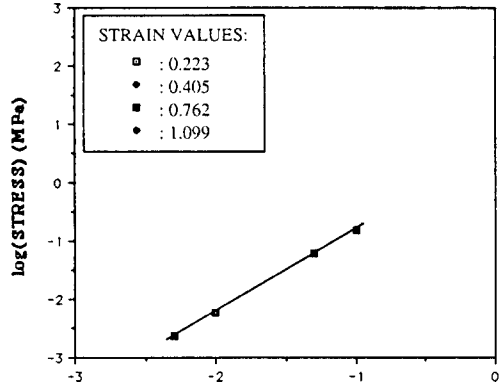
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 7 Logarithmic stress vs. strain rate curves obtained from simple compression tests at various temperatures: (a) 28°C, (b) 45°C, (c) 60°C, and (d) 75°C.

유 사이의 상대운동이 유동응력에 영향을 미치지 못하고, 이로 인해 100°C 이상의 고온에서는 SMC가 수지의 특성에 관련한 일정 유동응력에 수렴함을 고찰함으로써, 식 (1)의 물성방정식을 다음과 같이 정리하였다.

$$\bar{\sigma} = C(T) \cdot \dot{\epsilon}^{m_R(T)},$$

$$m_R(T) = m_o + m(T). \quad (2)$$

여기서, m_o 는 고온에서의 일정 항복응력값에 관련한 상수이다.

m_o 를 결정하기 위해서는 Lee 등⁽³⁾이 평균 압축 유동 점도계를 사용해 SMC의 유

동응력을 측정된 실험결과를 이용하였다. SMC가 갖는 고온에서의 항복응력값을 결정하기 위한 기준 온도로서 120°C를 선택하였고, 본 압축 실험에서 사용한 변형률 속도들을 평균한 0.03/s의 변형률 속도를 Lee 등⁽³⁾이 SMC의 유동응력을 측정된 실험결과에 기준값으로 이용함으로써, SMC가 갖는 고온에서의 항복응력값을 0.008 MPa로 결정하였다.

이상의 결과로부터 구해진 SMC의 물성치는 다음과 같다.

$$C(T) = 0.009086 \cdot \exp(2100.3/T),$$

$$m_R(T) = 1.41817 - 1.5174 \times 10^{-9} \cdot \exp(5944.4/T), \quad (3)$$

또한, 기술된 바와 같이 변형률 속도를 일정하게 유지하여 구한 위의 물성방정식을 비교, 평가하기 위한 목적으로 Fig. 1에 주어진 크기의 장입재를 26, 45, 75°C의 등온 상태에서 10, 30, 50 mm/min의 세 가지 일정한 속도로 각각 압축 실험하고, 100°C 이상 고온에서의 유동응력은 실험한 온도 범위에서 구한 결과를 외삽하여 물성치를 구하였다. 이렇게 결정된 물성방정식을 보이면 다음과 같다.

$$C(T) = 2.97 \times 10^{-5} \cdot \exp(3794.4/T),$$

$$m_R(T) = 4.281 \cdot \exp(-647.41/T). \quad (4)$$

3. 물성치의 비교 및 평가

앞서 본 실험을 통해 제안된 SMC의 물성치를 문헌상에 주어진 물성치들과 비교, 평가하였다.

Lee 등⁽³⁾은 SMC의 물성치를 다음과 같은 유동응력을 갖는 모델식 (5)로 제안하였다.

$$\bar{\sigma} = 1.7321 \cdot [\bar{\sigma}_y + \eta_o \cdot \dot{\epsilon}^{0.07}] \text{ (MPa)},$$

$$\bar{\sigma}_y = 0.05321 \cdot \exp\left[3010.9 \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{295}\right)\right] \text{ (MPa)},$$

금형단힘속도가 2.54 mm/min인 경우 :

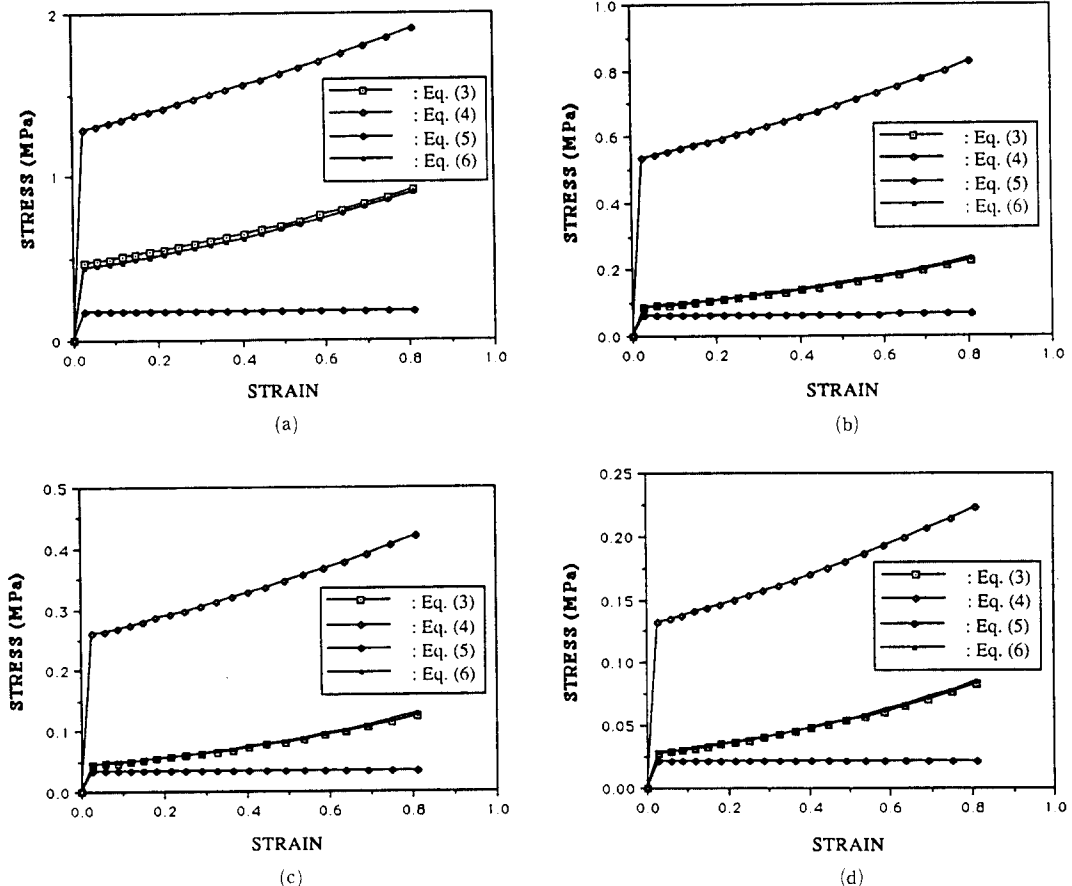


Fig. 8 Comparison of the stress vs. strain curves obtained from various material characteristic equations at various temperatures: (a) 28°C, (b) 45°C, (c) 60°C, and (d) 75°C.

$$\eta_o = 0.1356 \cdot \exp \left[8809.0 \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{295} \right) \right] \quad (s^{0.07} \text{ MPa}),$$

금형단힘속도가 50.8 mm/min인 경우 :

$$\eta_o = 2.5537 \cdot \exp \left[8809.0 \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{295} \right) \right] \quad (s^{0.07} \text{ MPa}). \quad (5)$$

여기서, $\bar{\sigma}_y$ 는 초기 항복응력이고, η_o 는 초기 점도이다.

또한, Cho 등은 압축 실험을 사용해 물성평가 실험을 수행하여 다음과 같이 열점소성 모델에서의 계수를 결정하였다.⁽⁴⁾

$$C(T) = 8.213 \times 10^{-4} \cdot \exp(2182.325/T),$$

$$m_f(T) = 1.45 - 2.5145 \times 10^{-9} \cdot \exp(5775.838/T). \quad (6)$$

Fig. 8(a)~(d)에는 각 물성치들의 응력-변형률 선도를 실험이 수행된 각 온도에서 2.54 mm/min의 일정한 속도로 압축하였을 때, 식(3)~(6)으로부터 계산한 값을 비교해 보았다. 이 그림들에서 주어진 응력-변형률 선도를 비교해 보면, 일정 변형률 속도 하에서 실험한 결과 (식(3))와 일정 속도하에서 압축 실험을 수행해 Cho 등⁽⁴⁾이 제안한 물성치 (식(6))는 거의 유사한 값을 가지며, Lee 등⁽³⁾이 제안한 물성치 (식(5))는 이들보다 낮은 값을 가짐을 알 수 있었다. 또한, 일정 속도로 압축 실험한 결과를 사용해 고온에서의 유동응력을 외삽해 구한 물성치 (식(4))의 경우는 같은 온도와 변형률에서 본 연구에서 구한 물성치와 Cho 등⁽⁴⁾이 제안한 물성치보다 3배 이상 큰 유동응력값을 가졌다.

이러한 응력-변형률 선도의 비교와 함께 평판형상의 SMC 압축성형공정 중의 금형충전과정을 본 연구에서 구한 물성치와 Cho 등⁽⁴⁾이 구한 물성치를 사용해 해석하고, 그 결과를 같은 조건에서의 실험 결과와 비교함으로써, 본 연구에서 구한 물성치

를 평가하여 보았다. 또한, T-형상단면의 SMC 압축성형공정을 본 연구에서 구한 물성치를 사용해 해석하고, 실험 결과와 비교함으로써 평가된 물성치의 실용성을 평가하였다. 실험에는 가로 127 mm, 세로 101 mm의 평판 단면을 갖는 금형과 같은 크기를 갖는 평판단면의 중심에 폭 6.35 mm, 깊이 9.8 mm의 리브가 있는 금형을 각각 사용하였다. 실험 시, 상·하부 금형을 장착하고, 압축하중을 가하기 위해 단순 압축 실험 시 사용하였던 50 ton 유압식 만능시험기를 사용하였다. 초기 SMC 시편의 형상은 가로 76.7 mm, 세로 101 mm, 높이 11 mm의 직육면체가 되도록 하여 세로 방향의 길이가 하부 금형의 세로 길이와 같게 함으로써 평면 변형률 상태를 유지하였다. SMC 장입재가 하부 금형 위에 놓인 후, 상부 금형면이 SMC 장입재의 상면에 닿기까지의 유지시간은 10초로 하였으며, 초기 시편의 온도는 27°C, 상·하부 금형의 온도는 150°C로 서로 다르게 함으로써 압축성형공정이 비등온 상태가 되도록 하였다. 또한, 금형단힘속도는 15 mm/min으로 하였다. 해석 시, 모든 공정조건은 실험 시의 조건과 같게 적용하였으며, 상·하부 금형면과 SMC 장입재 사이의 마찰을 고려하기 위해 일정전단 마찰조건을 적용하였고, 마찰전단계수 m_f 는 0.1로 가정하였다.

Fig. 9에는 평판형상의 압축성형공정을 유한요소 해석해 구한 압축변위에 따른 하중변화를 실험치와 비교하여 보았다. 이 그림으로부터 본 연구에서 구한 물성치와 Cho 등⁽⁴⁾이 제안한 물성치를 사용해 해석한 결과가 실험 결과와 잘 일치함을 알 수 있었다. 최종 단계에서의 계산된 하중과 압축변위가 실험 결과와 차이를 보이는 이유는 유한요소 해석 시, SMC를 비압축성으로 가정하였으나, 실제 초기 장입재가 적층된 소재 사이의 공간이나 장입재 내부의 기공 등에 의한 압축성을 가지기 때문이다.

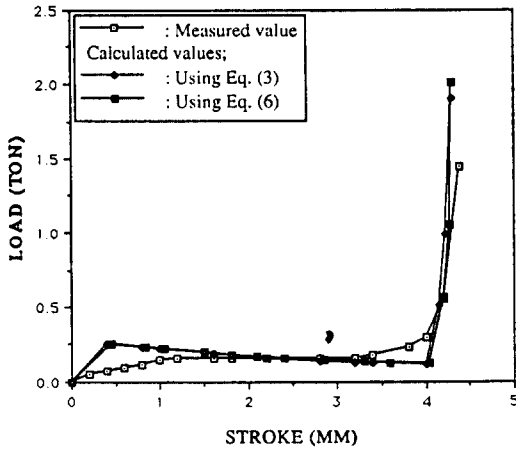


Fig. 9 Comparison of load between measured and calculated values during flat plate SMC compression molding with molding temperature of 150°C and mold closing speed of 15 mm/min (initial charge thickness of 11 mm and final molded part thickness of flat portion of 6.5 mm)

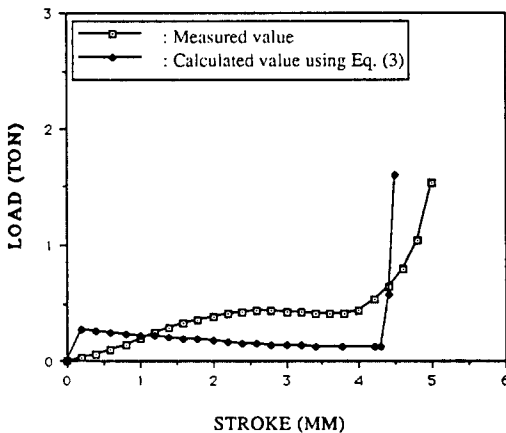


Fig. 10 Comparison of load between measured and calculated values using Eq.(3) during SMC compression molding of cross-sectional T-shape with molding temperature of 150°C and mold closing speed of 15 mm/min(initial charge thickness of 11 mm and final molded part thickness of flat portion of 6.0 mm)

T-형상단면의 압축성형공정을 해석하고, 실험치와 비교한 Fig. 10으로부터 본 연구를 통해 제안한 물성치를 사용해 유한요소 해석한 결과와 실험 결과가 비교적 잘 일치

하는 양호한 결과를 보임을 알 수 있었으며, 본 연구를 통해 구한 SMC의 물성치가 실제 공정의 수치해석에 유용하게 사용될 수 있음을 확인하였다.

또한, 해석 결과를 따로 보이지는 않았으나 압축 실험 결과를 외삽하여 구한 물성치를 사용한 경우는 본 연구에서 구한 물성치를 사용한 경우에 비해 같은 조건에서 하중의 크기를 3배 정도 크게 계산하였다.

4. 결 론

SMC의 물성을 평가하기 위해 압축 실험을 수행하여 SMC의 유동응력을 온도와 변형률 속도의 함수로 결정하였다. 또한, Lee 등⁽³⁾과 Cho 등⁽⁴⁾이 제안한 물성치, 그리고 일정 속도 하에서 압축 실험을 수행하고, 외삽을 통해 구한 물성치들을 이용해 본 연구에서 구한 물성치를 비교, 평가하였다.

이상의 비교 및 평가로부터 압축 실험 시, 일정 변형률 속도를 유지하는 방법과 일정 속도를 유지하는 방법이 결과적으로 큰 차이가 없음을 알 수 있었으며, 실험한 온도범위에서의 압축 실험 결과를 외삽하여 물성치를 구하는 경우에는 유동응력을 과대하게 평가함을 알 수 있었다. 따라서, SMC의 물성치를 평가하기 위해서는 100°C 미만의 경우에는 원활한 운할조건 하에서 압축 실험한 결과를 이용하고, 고온의 경우에는 수지의 점도를 측정하여 구하는 것이 더욱 정확한 물성값을 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 결정된 물성치는 앞으로 SMC 압축성형공정 설계 시의 공정변수 확보를 위한 유한요소해석 등에 유용하게 쓰일 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 상공자원부와 한국과학재단의

연구지원사업과 삼성중공업, 현대자동차, 제일모직, (주)LG화학, 화신산업의 연구지원에 의해 수행된 것으로 이에 관계자 제위께 감사드린다.

참고문헌

- (1) Tadmor, Z. and Gogos, C. G., 1979, Principle of Polymer Processing, John Wiley & Sons, New York, pp. 524~533.
- (2) Silva-Nieto, R. J., Fisher, B. C., and Birley, A. W., 1981, "Rheological Characterization of Unsaturated Polyester Resin Sheet Molding Compound," Poly. Engng. Sci., Vol. 21, No. 8, pp. 499~506.
- (3) Lee, L. J., Fan, J. D., Kim, J., and Im, Y. T., 1991, "Flow Analysis of Sheet Molding Compound in Compression Molding," Int. Poly. Processing, Vol. 6, pp. 61~72.
- (4) 조재호, 김낙수, 1993, "SMC 압축성형에 관한 해석적 연구," 대한기계학회 춘계학술대회 논문집(1), pp. 256~261.
- (5) 김기택, 임용택, 1994, "SMC 압축성형재의 기계적 물성 및 특성에 관한 연구," 대한기계학회논문집, 제18권, 제9호, pp. 2396~2403.
- (6) 김기택, 정진호, 임용택, 1994, "SMC 압축성형의 열 및 유동에 관한 실험적 연구," 대한기계학회논문집, 제18권, 제9호, pp. 2386~2395.