

SMC 압축성형재의 기계적 물성 및 특성에 관한 연구

김 기 택*, 정 진 호**, 임 용 택**

*: 삼성종합기술원 CAD/CAM실

** : 한국과학기술원 정밀공학과

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

Ki-Taek Kim*, Jin-Ho Jeong**, Yong-Taek Im**

* CAD/CAM Division, Samsung Advanced Institute of Technology

** Department of Precision Engineering and Mechatronics,

Korea Advanced Institute of Science and Technology

Abstract

An experimental study on material characterization and mechanical properties of SMC(Sheet Molding Compounds) compression molding 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, 45mm/min were used for preparing the specimen of SMC compression molding 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.

Key Words: SMC(Sheet Molding Compounds), Compression Test, Tension Test, Three Point Bending Test

1. 서론

최근 고품질 복합재료의 생산기술 발달 및 단가절감에 힘입어 이를 응용한 적용 분야도 광범위해지고 있다. 사용되는 복합재료 가운데 특히 SMC(Sheet Molding Compounds)는 중량에 비해 기계적 강도가 뛰어나고 생산성이 우수하여 경량 구조재료의 응용에 적합하다. 국내에서는 일반 주설장비 등을 SMC를 사용하여 생산하고 있으며 미국을 비롯한 유럽 등에서는 경량화를 위해 자동차의 내판 및 외판에까지 사용하고 있다. SMC를 이러한 구조재생산에 사용하려면 재료의 물성치 및 기계적 특성, 그리고 성형조건에 따른 특성변화 등에 관한 정확한 예측과 SMC 압축성형재를 외장재로 사용할 경우를 위해 제품의 표면 거칠기와 광택 정도 등의 자료확보가 먼저 이루어져야 한다.

이를 위해 본 연구에서는 SMC 압축 성형재의 기계적 물성을 고찰하기 위해 압축 성형 시 고온에서의 SMC재료 거동을 묘사할 수 있는 유동 응력식을 단순 압축 실험을 통해 알아내고자 하였으며 공정변수의 변화에 따른 표면정도를 알아보기 위해 성형된 시편의 표면 거칠기를 측정하였고 기계적 특성을 평가하기 위해 인장 및 3점 굽힘 실험을 수행하였다.

2. 실험

SMC 압축성형은 보통 120°C와 180°C사이의 고온에서 수행된다. 따라서 성형 중 SMC 장입재의 거동을 살펴보기 위해서는 고온에서의 유동 응력식을 알아야 될 필요가 있다. 그러나 고온에서는 재료의 특성상 직접 압축실험을 수행하기 어렵기 때문에 본 물성 평가 실험에서는 세가지 온도에서 압축실험을 행하고 실험결과를 외삽하여 고온에서의 유동응력식을 유추하였다. 실험에 사용한 금형 온도는 20°C, 50°C, 75°C였으며, 금형 속도는 15, 30, 45mm/min로 변화시켰다.

SMC의 유동 응력식은 유동 응력, $\bar{\sigma}$, 변형률 속도, $\dot{\epsilon}$ 를 이용하여 다음으로 가정하였다.

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

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

성형된 제품의 기계적 특성평가 실험은 다음의 세가지 경우로 나누어서 실험하였다. SMC가 자동차 외판 등의 미려한 외면을 필요로 하는 부분에 사용될 때에는 제품의 표면 거칠기가 중요하므로 이를 고찰하기 위한 표면 거칠기 측정 실험, 그리고 SMC가 기존의 차체 강판 등의 구조재에 사용될 경우를 위해, 인장 실험과 3점 굽힘 실험을 하였다.

SMC 압축 성형재의 표면 거칠기를 측정하기 위해 45mm/min의 금형단힘속도, 130°C와 150°C의 두가지 금형온도에서 최종두께가 3mm로 성형된 제품을 사용하였다. 표면 거칠기는 평균선에 대한 불규칙한 높이들로 측정되어지며 위치에따른 불규칙한 높이의 편차를 산술 평균하여 나타내었다. 본 실험에서 표면 거칠기를 나타내는 AA는 다음과 같이 정의되었다.

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

여기서, y_i , 중심선으로부터의 수직거리, n , 측정 범위내에서 취해진 측정 갯수.

인장 및 3점 굽힘 실험은 최대 유효 하중이 150kN인 Instron4206을 사용하였으며 시험시편은 ASTM규격^{(1),(2)}에 맞게 Fig.1과 같이 제작하였고 실험방법 및 측정횟수 등도 ASTM규격에 맞춰 실험의 신뢰도를 높였다.

3점 굽힘 실험은 단순 지지보의 중간에 하중을 가하는 것으로 실험 결과로부터 얻을 수 있는 기계적 특성으로는 두께의 변화에 대한 최대 변형률(Maximum strain in the outer fibers), 굽힘 강도(Flexural strength), 탄성 계수(Tangent modulus of elasticity) 등으로 이 값들은 다음과 같이 계산하였다.

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

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

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

여기서, r , 바깥섬유에서의 최대 변형률값 (mm/mm), D , 시편의 중간에서의 최대 변형

값 (mm), L, 받침 길이 (mm), d, 시편의 두께 (mm), S, 시편의 중간에서의 최대 응력 값 (MPa), P, 파손시 하중값 (N), b, 시편의 폭 (mm), E_B , 탄성계수값 (MPa), g, 하중-변위 곡선의 초기 직선부분의 기울기값 (N/mm).

3. 결과 및 고찰

Fig.2는 20°C에서 측정된 유동 응력과 변형률 속도를 대수값(Log scale)으로 변환하여 그린 것으로, 변형률 속도 대수값이 -1.8에서 -1.0인 구간에서 그 관계가 거의 선형이 됨을 알 수 있다. 이와 같이 변형률 속도지수(m)와 상수(C)를 각 금형 온도에서 계산한 후, 그 값들을 온도에 따른 함수로 만들어 유동 응력식을 다음과 같이 구하였다.

$$\begin{aligned}\bar{\sigma} &= C(T) (\dot{\epsilon})^{m(T)} \quad (\text{MPa}), \\ C(T) &= 1.1108 * 10^{-4} \exp(3546.6/T), \\ m(T) &= 7.682 \exp(-800.48/T).\end{aligned}\tag{7}$$

여기서 T는 절대 온도이다.

이 식을 이용하여 금형에 작용하는 압력과 하중을 슬랩식을 적용하여 계산한 결과를 실험에서 측정된 값과 비교하여 보았을 때 비슷한 결과를 얻었다⁽³⁾. 따라서 이와같은 식으로 물성치를 얻어내는 것이 도움이 되는 것을 알 수 있었다.

Fig.3은 금형단속도를 45mm/min으로 유지하고 금형 온도를 바꿔 만들어진 제품의 표면 거칠기를 나타낸 것으로 시편의 중심(Center)과 가장자리(Edge)에서 측정된 값의 산술 평균을 나타내고 있으며, Fig.4는 같은 위치에서의 최대 거칠기, R_{max} 를 나타내었다. 이 그림으로부터 본 실험조건에서 만들어진 시편의 표면거칠기는 0.2 μm ~ 0.5 μm 에 분포하고 있음을 알 수 있었다.

인장 실험 결과로부터 최종 시편의 두께 변화에 따른 인장 강도, 연신율, 그리고 탄성계수를 계산하였다. Fig.5는 평판 부분의 두께가 3mm인 경우로 항복 시 인장 강도는 26 ~ 62MPa, 연신율은 1.5 ~ 3.9%, 탄성계수는 3 ~ 7GPa의 값이었다. Fig.6은 평판 부분의 두께가 7mm인 경우로 항복시 인장 강도는 44 ~ 65MPa, 연신율은 3.7 ~

4.9%, 탄성계수는 5 ~ 10GPa이었다.

현재 자동차용 차체에 사용중인 강판에서 압연 방향에 대한 영향을 고려하기 위하여 0°, 45°, 90°방향으로 시편을 제작하여 인장 실험을 한 결과, 최대 인장 강도는 300에서 450MPa사이의 값을 갖는다고 보고되어 있다⁽⁴⁾. 따라서 본 실험 결과에 따르면 SMC의 인장강도가 차체 강판의 인장 강도보다 7배 정도 작은 값으로 측정되었다.

Fig.7은 두께가 3mm일 때의 굽힘 강도값을 나타내 준 것으로 105 ~ 187MPa의 값을 보이고 있으며, Fig.8은 평판 부분의 두께가 7mm일 때의 굽힘 강도값으로 94 ~ 158MPa의 값을 보이고 있다.

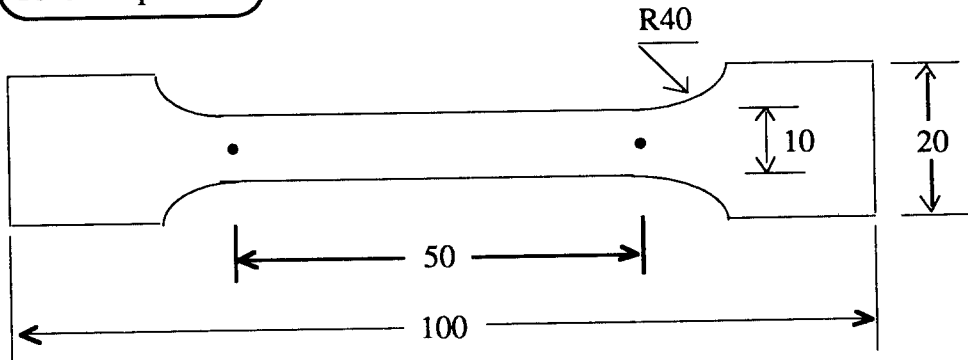
4. 결 론

- (1) 단순 압축 실험을 통해, 고온에서의 재료 거동을 묘사할 수 있는 유동 응력 식을 만들었으며, 이 값은 공정의 수치 해석 시에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.
- (2) 기계적 특성 평가를 위해 표면 거칠기 측정, 인장 실험, 3점 굽힘 실험을 하였으며 성형 공정 변수에따른 기계적 특성을 평가하였다.

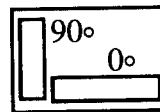
5. 참고 문헌

- (1) "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics (Metric)," 1989, ASTM, D638-89.
- (2) "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials (Metric)," 1989, ASTM, D790M-86.
- (3) 김기택, 정진호, 임용택, 1994, "SMC Compression Molding에서의 열 및 유동에 관한 연구(II)," 대한기계학회 춘계학술대회 논문집(I), pp 404-407.
- (4) 허훈, 한수식, 이충호, 최태훈, 최영준, 정재웅, 이기석, 1992, "차체성형용 압연 강판의 기계적 물성 특성실험(물성 실험 및 데이터 베이스화)," 한국자동차 공학회 추계학술대회 논문집, pp 385~394.

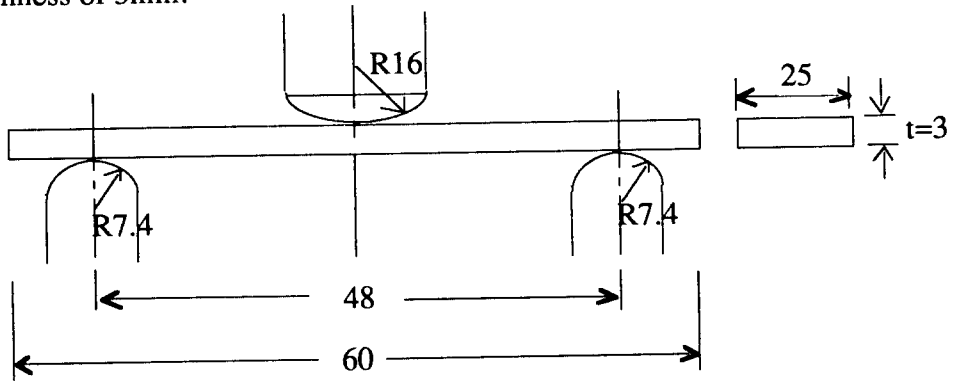
Tension specimen



3-Point Bending specimen



Thickness of 3mm:



Thickness of 7mm:

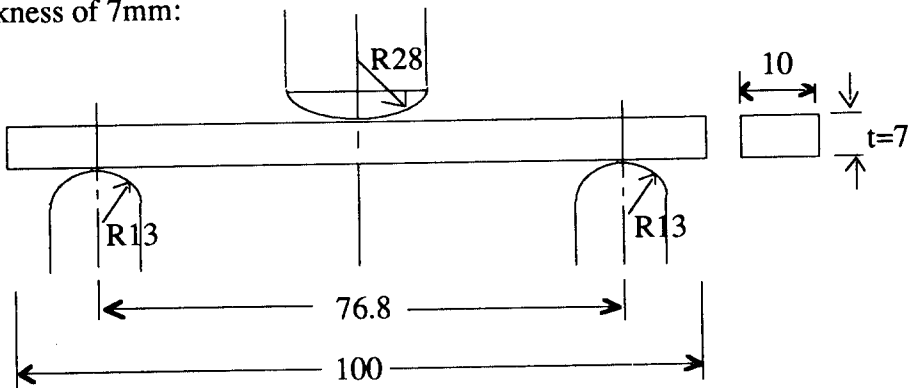


Fig.1. Dimensions of testing specimens used for tension and 3-point bending tests.

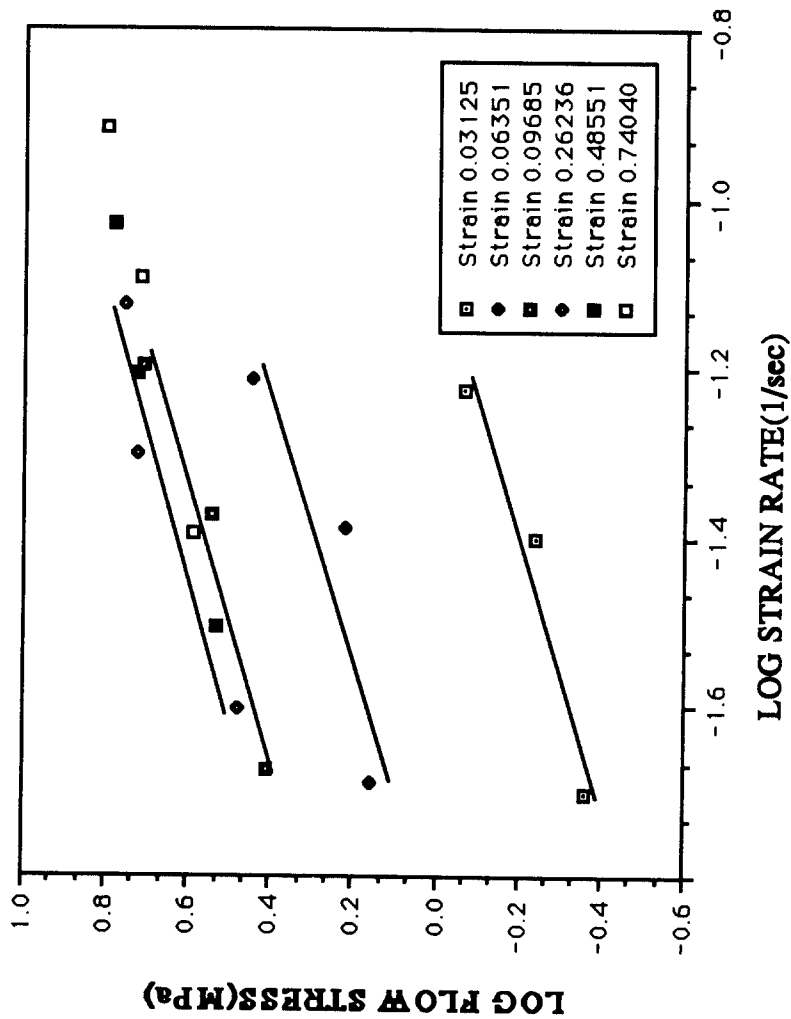


Fig.2. Logarithmic flow stress versus strain rate curves obtained by compression test: mold temperature of 20 °C , closing speed of 15, 30, 45mm/min, lubrication condition of grease oil on mylar sheet, charge diameter of 32.4mm, and height of 13mm.

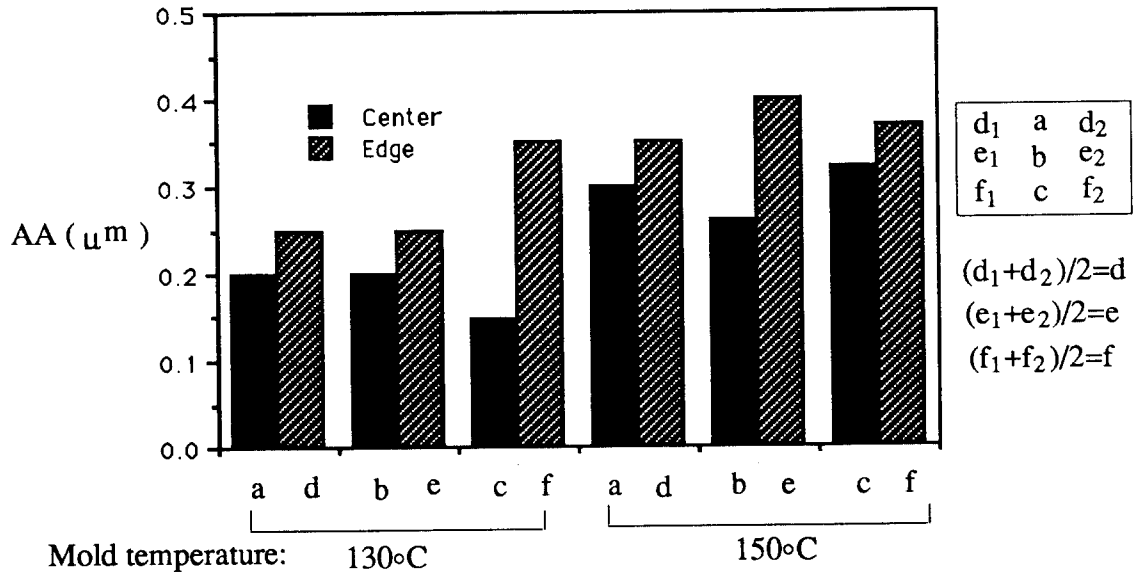


Fig.3. Arithmetical average of measured surface roughness at center and edge locations at different mold temperatures: mold closing speed of 45mm/min.

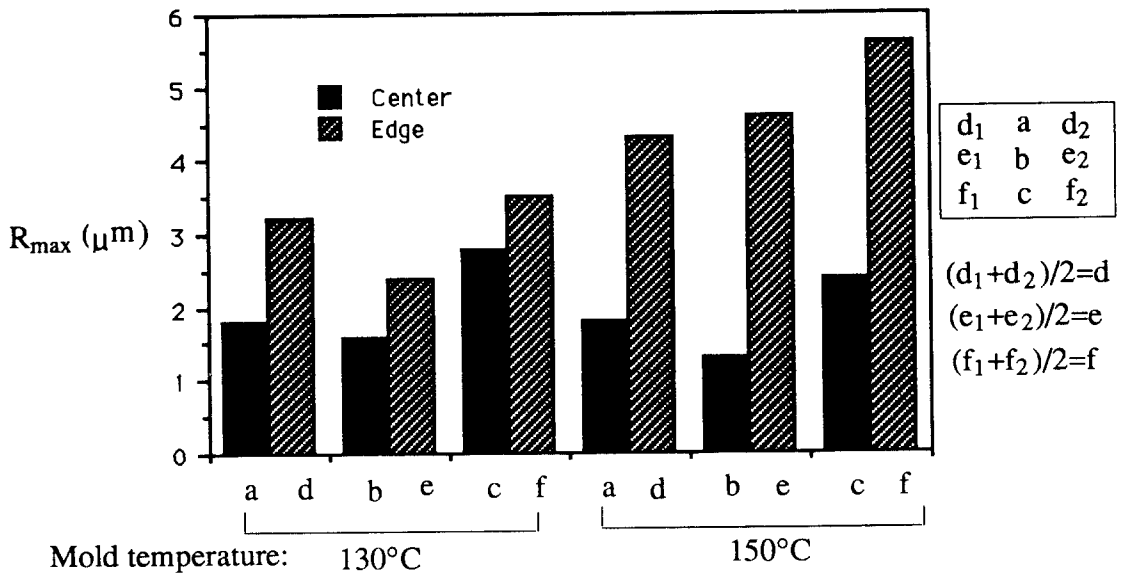
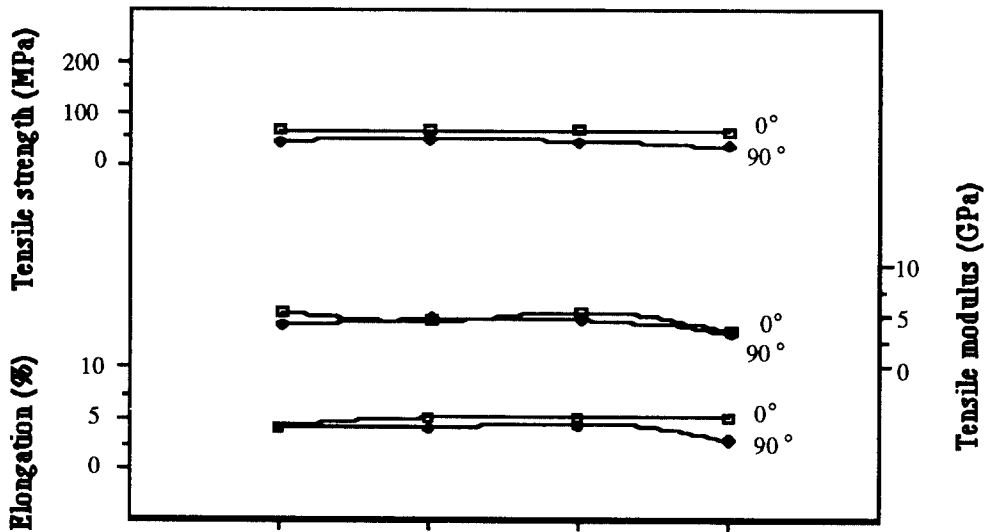
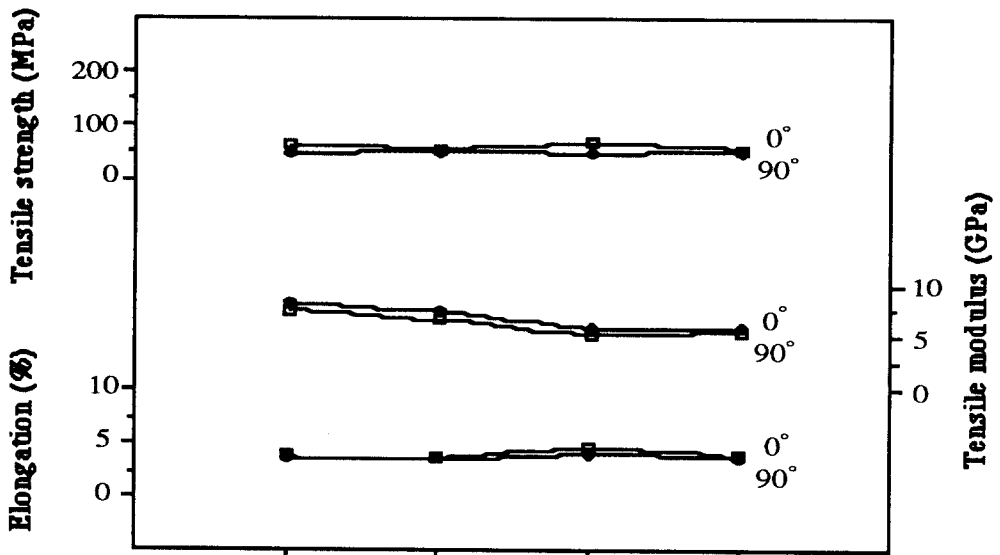


Fig.4. Maximum roughness at center and edge locations at different mold temperatures: mold closing speed of 45mm/min.



Mold closing speed: 15mm/min 45mm/min 15mm/min 45mm/min
Mold temperature: 130°C 150°C

Fig.5. Effect of different molding conditions on tensile properties with the thickness of 3mm.



Mold closing speed: 15mm/min 45mm/min 15mm/min 45mm/min
Mold temperature: 130°C 150°C

Fig.6. Effect of different molding conditions on tensile properties with the thickness of 7mm.

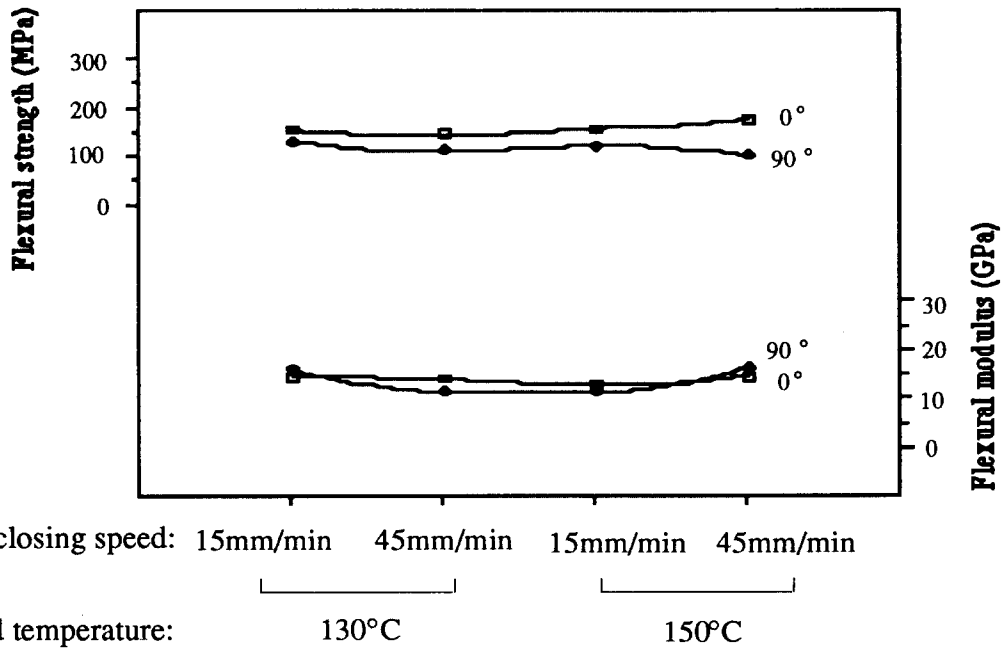


Fig.7. Effect of different molding conditions on flexural properties with the thickness of 3mm.

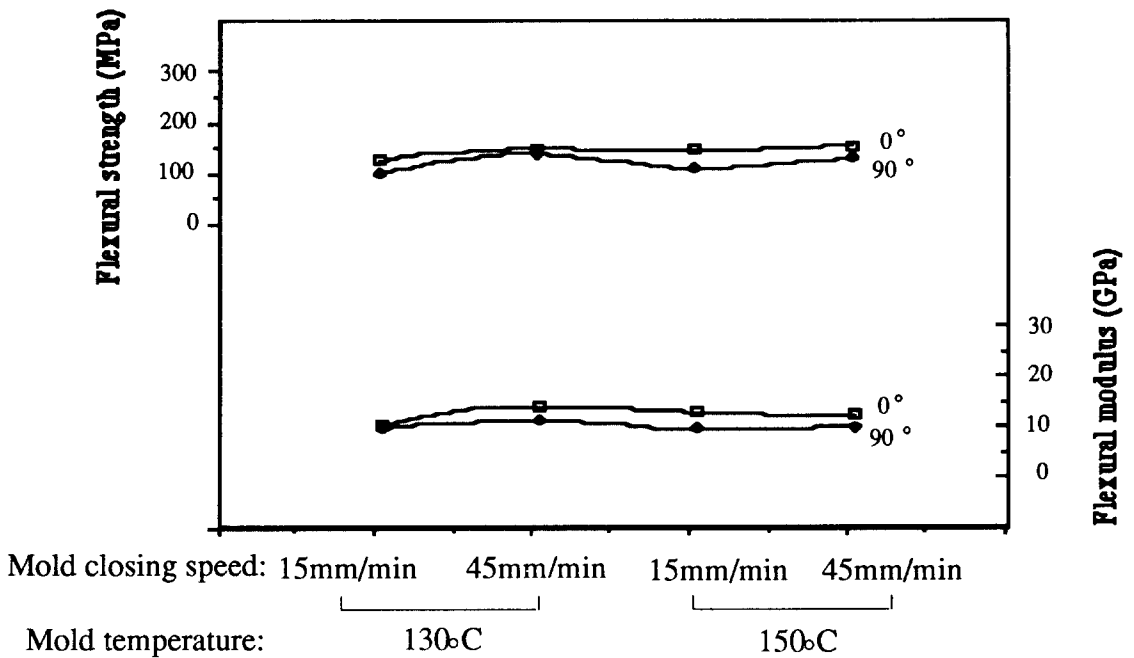


Fig.8. Effect of different molding conditions on flexural properties with the thickness of 7mm.