장섬유강화 플라스틱 복합재의 압축성형 공정에 관한 연구

-점도에 미치는 니들펀칭의 영향-

송기형*, 조선형**, 이용신*

A Study on Compression Molding Process of Long Fiber Reinforced Plastic Composites

-Effect of Needle Punching on Viscosity-

K. H. Song, S. H. Jo and Y. S. Lee

Key Words : Fiber-Reinforced Polymeric Composites(섬유강화 고분자 복합재료), Compression Molding(압축성형), Parallel plate plastometer(평행판 가소도계), Shear rate(전단속도), Viscosity of Pseudoplastic Fluid(의소성 점도), Needle punching(니들펀칭)

ABSTRACT

Compression molding was specifically developed for replacement of metal components with composites. As the mechanical properties of the products are dependent on the separation and orientation, it is important to research the fiber mat structure and molding conditions. In this study, the effects of the fiber mat structure(NP= 5, 10, 25punches/cm^2) and the mold closure speed($\dot{h}$=0.1, 1, 10mm/min) on the viscosity of composites were discussed. The composites is treated as a Non-Newtonian power-law fluid. The parallel-plate plastometer is used and the viscosity is obtained from the relationship between the compression load and the thickness of the specimen.

1. 서 론

강화재의 구조를 갖는 복합재를 열간에서의 압축성형시의 유동 특성을 파악하기 위해서는 여러 가지 성형공정 인자와 금형 및 금형내 재료간의 상관 관계에 대한 예측 및 제어가 필요하다. 또한 보다 실제적인 유동상태를 알기 위해서 복합재의 점도측정이 불가결하며, 성형조건의 최적화를 위해 각종 성형조건 및 복합재의 구조와 점도와의 관계를 명확히 확립하는 것은 매우 중요하다[1]. 본 연구에서는 섬유 구조의 변화를 위해 니들펀칭의 회수를 다르게 한 유리섬유를 강화재로, 폴리프로필렌을 모재로 하는 복합판을 제작하여 압축비와, 압축속도를 변화시켜 그때의 하중과 성형품의 두께를 측정하여 점도를 계산하였다. 그리고 장섬유로 강화된 복합판의 점도에 미치는 니들펀칭의 영향을 고찰하였다.

* 국민대학교 기계자동차 공학부
** 동서울대학 기계공학부

2. 이 론

재료를 Fig.1 과 같은 평행판 사이에 끼우고 하중 F_c 를 가해서 초기두께 h_0 에서 h 까지 압축할 때 다음과 같은 가정을 세운다[2]. 재료는 (1) 의소성 유체이며 (2)비압축성이다 (3) 물체력 및 관성력은 무시한다 (4) 평행판과 재료는 밀착해서 미끄러지지 않는다 (5) 시험편의 두께는 다른 치수에 비하여 얇기 때문에 1 차원 문제로 취급한다. 이러한 가정하일 때 연속 방정식은

$$xW\dot{h} = 2\int_0^{h/2} Wv_x\,dh \quad \cdots\cdots (1)$$

여기에서 v_x 는 x 방향의 속도, $\dot{h} = \frac{dh}{dt}$ 로 압축속도이다. 그리고 운동량 방정식으로부터

$$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial x} \quad \cdots\cdots (2)$$

재료가 n 승 지수법칙을 따르는 의소성 유체로

가정하였으므로 레오로지 방정식은

$$\tau_{zx} = K\left(-\frac{\partial v_x}{\partial z}\right)^{n_c} \quad \cdots\cdots (3)$$

여기에서 K 는 구조점도이고, $n_c\,(1\rangle n_c\rangle 0)$ 는 복합재의 구조점도지수이다.

식 (2)와 식 (3)을 τ_{zx}에 대해 정리해서 양변을 같게 놓고 풀면 속도 v_x 는

$$v_x = \frac{n_c\left(\frac{h}{2}\right)^{1+1/n_c}}{n_c+1}\left(-\frac{1}{K}\frac{dp}{dx}\right)^{1/n_c}\left\{1-\left(\frac{2z}{h}\right)^{1+1/n_c}\right\} \quad (4)$$

식 (4)를 식 (1)에 대입하여 압력 P 를 구하면 다음과 같이 된다.

$$P = \frac{\dot{h}^{n_c}}{h^{2n_c+1}}\left(\frac{2n_c+1}{n_c}\right)^{n_c}\frac{2^{n_c+1}K}{n_c}+1\left(B^{n_c+1}-x^{n_c+1}\right)+P_{atm} \quad (5)$$

식 (5)에서 P_{atm} 은 대기압이므로 이후 무시한다. 이 압력 P에 면적 V/h를 곱해서 하중 F_c 를 구하고, 양변에 대수를 취하면

$$\log F_c = \log\left\{\dot{h}^{n_c}\left(\frac{2n_c+1}{n_c}\right)\frac{K}{n_c+2}\left(\frac{1}{W}\right)^{n_c+1}V^{n_c+2}\right\}-3(n_c+1)\log h \quad \cdots\cdots (6)$$

여기에서 W 는 폭, V 는 체적이다. 식(6)에서 $\log F_c$ 와 $\log h$ 를 그림으로 그리면 기울기 $3(n_c+1)$ 인 직선을 얻는다. 이 그림으로부터 구조점도 지수 n_c 가 구해지고 식(6)으로부터 구조점도 K를 구할 수 있다.

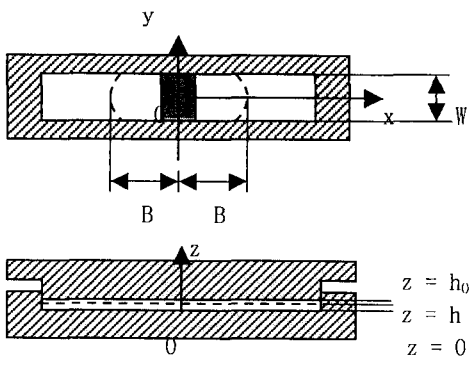


Fig. 1. Nomenclature for slab-shaped part press molding

한편 점도 μ는

$$\mu = K\cdot\dot{\gamma}^{n_c-1} \quad \cdots\cdots (7)$$

여기에서 전단속도 $\dot{\gamma}$는 재료의 두께 방향에 관해서 일정하다고 하면

$$\dot{\gamma} = \frac{v}{2W}h^{-3}\dot{h} \quad \cdots\cdots (8)$$

그리고 식 (1), (2), (3)을 이용하여 모재인 플라스틱의 속도 v_m 을 구해서 모재의 평균속도 $\bar{v}_m$를 구하면

$$\bar{v}_m = \int_0^{h/2} v_m dz = \frac{\dot{h}}{h}X \quad \cdots\cdots (9)$$

가 되며, 성형전의 두께 h_0 인 시험편을 두께 h 까지 압축하였을 때 압축비는 다음과 같다.

$$R_{cr} = 1-h/h_0 \quad \cdots\cdots (10)$$

3. 실 험

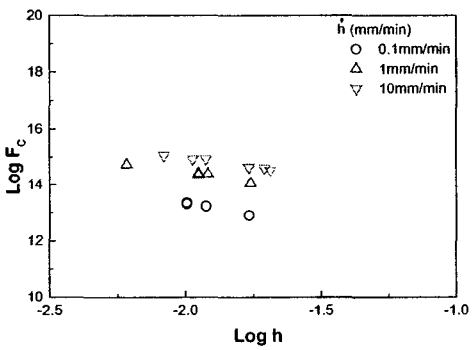
본 연구에서 사용된 소재는 유리섬유를 강화재로, 폴리프로필렌을 모재로 하는 복합판(FRTP)이다. 유리섬유는 베트로텍스㈜제의 연속 스트랜드 매트(Continuous Strand Mat)이며, 니들펀칭에 사용된 펀칭기는 니들 수 5750 needle/m·working width 이고, 유효작업 폭이 600mm 인 독일 DILO-Needle Loom, type OD II6 이며, 니들펀칭 공정을 거친 후 섬유함유율 40wt%의 복합판을 제작하였다. 섬유구조를 변화시키기 위하여 단위 면적당 니들 펀칭 횟수 NP(punches/cm^2)를 5, 10, 25 의 3 가지로 변화시켰다.

복합판의 1 차원 압축성형은 만능인장압축시험기(일본 Shinkoh 제품, TOM/5000X 형, 최대 Crosshead speed 1300mm/min)로, 성형시 하중측정은 압축하중전용 로드셀(CAS Co.제품, model CC-5 load cell, capacity 5,000Kgf)과 하중측정전용 인디케이터(CAS Co.제품, model CI-5010A indicator)로 하였다. 시험편의 크기는 50 × 70mm 이며 압축시 압축속도(0.1, 1, 10 mm/min)와 압축비를 각각 3 가지로 변화하였다. 시험편을 가열용 전기오븐(온도 : 200°C)에서 약 20 분간 가열하여 그림 1 과 같은 캐비티를 갖는 금형(70 × 340mm)에 충전하고 폭 방향은 구속을 하여, 길이 방향으로만 유동이 되도록 성형하였으며, 금형에 열전대를 부착하여 성형간 온도를 200°C 로 유지하여 각 성형 조건에 따른 하중값을 측정하였다.

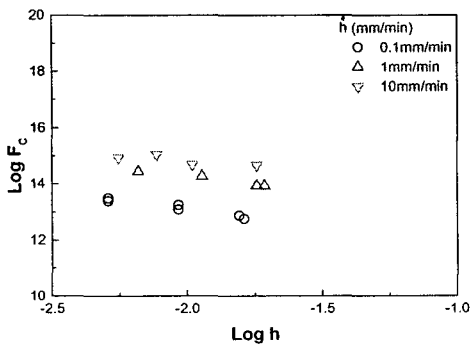
4. 결과 및 고찰

Fig.4 의 (a)~(e)는 복합재를 소정의 두께로 압축한 후 이때의 하중과 두께를 측정하고 대수를 취하여 성형품의 두께와 압축하중과를 니들펀칭 횟수별로 나타낸 그림이다. 이들 그림에서 동일한 니들펀칭횟수인 경우 압축속도가 빠르면 대체적으로 압축하중은 증가하고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상이 나타나는 이유는 압축속도가 빠를 수록 복합재의 유동에 필요한 힘이 크기 때문이다.

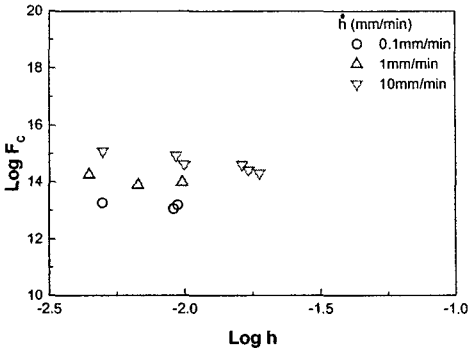
또한 니들펀칭횟수의 영향을 살펴보면, 동일한 압축속도인 경우 니들펀칭횟수가 많으면 강화재인 섬유간의 결속력 저하로 말미암아 하중이 적게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이들 그림의 기울기로부터 복합재의 구조점도지수 n_c 를 구하였으며, 이 n_c 로부터 식(6)을 이용하여 복합재의 구조점도 K 를 구하였다.



(a) NP 5 회



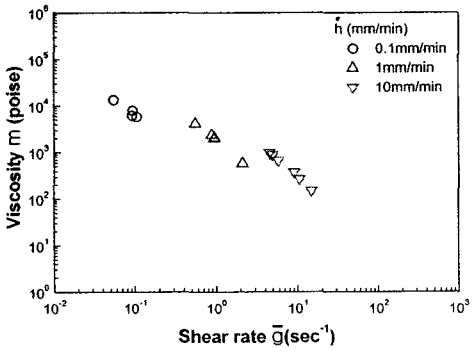
(b) NP 10 회



(c) NP 25 회

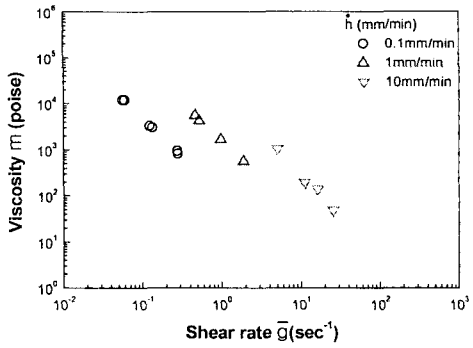
Fig. 2. Relationship between Log F_c and Log h

Fig. 3. (a)~(c)는 Fig. 2. 에서 구한 복합재의 구조점도지수 n_c 를 이용, 식 (6), (7), (8)에서 구한 구조점도 K, 전단속도 $\dot{\gamma}$ 를 사용하여 각각의 니들펀칭횟수별로 복합재의 점도 μ 와 전단속도 $\dot{\gamma}$ 와의 관계를 나타낸 그림이다. Fig. 3. (a)~(c)에서 복합재의 점도 μ 는 압축속도의 영향과 니들펀칭횟수의 영향을 동시에 받아 변화하고 있음을 알 수 있으며, 이러한 현상은 Fig. 2 의 결과로부터 초래된다고 할 수 있다. 그리고 Fig. 3 으로부터 실험에 사용된 복합재가 처음에 가정했듯이 전단속도가 작을 때 유동저항이 크며 전단속도의 증가와 더불어 점도가 감소하는 의소성 유체의 성질을 보임을 알 수 있다.

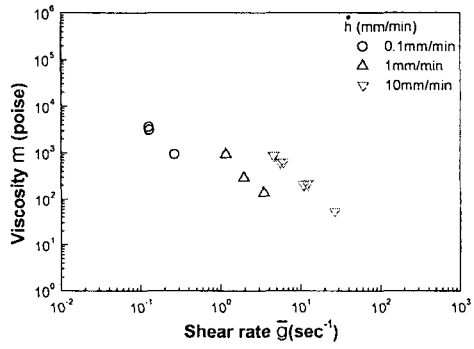


(a) NP 5 회

Fig. 3. Effect of shear rate $\dot{\gamma}$ on viscosity μ



(b) NP 10 회



(c) NP 25 회

Fig. 3. Continued

5. 결 론

적도인 점도에 미치는 성형인자와 재료인자의 영향을 파악하기 위하여 복합판내 섬유층에 대한 니들펀칭횟수를 달리하여 복합판을 제작하였고, 평행판 플라스토미터를 이용하여 점도를 측정하였다. 그 주요 내용을 정리하면 다음과 같다.

(1) 니들펀칭의 횟수가 증가하면 섬유사이로의 함침은 양호하나 섬유끼리의 구속력이 떨어져 유동저항의 척도인 점도는 저하된다.

(2) 전단속도가 작을 때 유동저항이 크며 전단속도의 증가와 더불어 점도가 감소하는 의소성 유체의 거동에도 니들펀칭횟수의 영향이 있다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 R02-2000-00300)지원으로 수행되었음

참고문헌

(1) Hojo, H., Kim,E.G., Yaguchi, H. and Onotera, T., 1988, "Simulation of Compression Molding with Matrix-Fiber Separation and Fiber Orientation for Long Fiber-Reinforced Thermoplastics", Intern. Polymer Processing, Vol. 3, pp. 54-61.

(2) R. Whiting and P. H. Jacobsen, 1979, "The Evaluation of Non-Newtonian Viscosity Using a Modified Parallel-Plate Plastometer", J. of Material Science, Vol. 14, pp. 307-311.