

연속섬유강화 플라스틱 복합재료의 컵형 압축성형성에 관한 연구

오영준*, 김형철**, 조선형***, 김이곤*

* 국민대학교 ** 인천전문대학 *** 대유전문대학

A Study on the Cup-Type Compression Molding for Continuous Fiber-Reinforced Polymeric Composites

Y. J. Oh*, H. C. Kim**, S. H. Jo***, E. G. Kim*

* Kookmin University, ** Incheon Junior College, *** Daeyeu Tech. College

Abstract

During a compression molding of continuous fiber reinforced composites, the separation of matrix and fiber is caused by the flow of the molding process. As the characteristics of the products are greatly dependent on the separation, it is very important to clarify the separation in relation to molding condition, degree of needle punching and mold geometry. In this paper, the effects of the mold geometry and the needle punching number on the degree of nonhomogeneity are studied.

Key Words : Continuous Fiber Reinforced Polymeric Composites, Cup-Type Compression Molding, Needle Punching, Fiber Mat Structure

1. 서 론

금속재료에 비해 비강도, 비강성 및 내식성 등이 우수하고 열경화성 수지에 비해 재생이용이 용이한 열가소성 섬유강화 고분자 복합재료는 항공기 및 자동차 산업 등에서 경량화 플라스틱 구조부재로서 자리잡아 가고 있으며, 모재인 플라스틱의 용점 이상의 온도로 가열하여 열간에서 압축성형 하는 것이 일반적인 성형법이다. 이러한 소재를 열간에서 압축성형하는 경우에는 유동 속도차에 의해 모재와 강화재의 분리가 일어남은 물론 섬유층간의 미끄럼 발생으로 성형품은 불균질하고 이방성인 성질을 지니게 되며 코너부가 존재하는 성형품인 경우에는 특히 섬유함유율의 분포상태가 더욱 불균일하게 된다.

압축성형된 섬유강화 복합재료의 섬유함유율은 각종 물성치의 지표가 되는 가장 기본적인 인자로서 사용될 수 있으므로, 제품의 기하학적인 변화 등과 같은 성형조건과 섬유층의 구조변화에 기인하는 니들 펀칭 횟수와 같은 재료요인 등이 성형품의 섬유함유율 분포에 미치는 영향에 대해서 고찰하고 더 나아가 예측·제어하는 것은 뛰어난 성형품을 얻는데 있어서 매우 중요하다. 섬유강화 플라스틱 복합재의 성형법 중에서 곡면을 갖는 성형품에 관한 연구는 다이어프램(diaphragm)성형법을 이용하여 반구형상의 성형품에 대한 두께와 곡면부위의 잔류응력에 대한 연구^{(1)~(5)}나, 오토클래브(autoclave)법을 이용한 성형 시간과 수지의 경화반응 등에 관한 연구^{(6)~(9)}들은 많이 있다.

그러나 열간 압축성형법을 이용하여 컵형 성형품에 대한 코너부 반경변화 및 니들펀칭 횟수의 변화에 따른 두께와 섬유함유율 분포에 대하여 고찰한 예는 거의 없는 실정이므로 본 연구에서는 연속 장섬유 매트에 대한 니들펀칭 횟수를 달리하여 복합판을 제작한 후, 펀치와 다이의 반경을 변화시켜 고온 압축

성형 하였을 때 일어나는 불균질도와 성형품의 두께를 측정하여 비교하고, 이에 미치는 금형 코너부의 반경 및 니들펀칭 횟수의 영향에 대해서 검토한 결과를 보고한다.

2. 실험

2.1 복합판의 제작 및 압축성형

복합판의 제작에 사용한 연속섬유는 베트로텍스(주)제의 연속 스트랜드매트(Continuous Strand Mat, 450 g/m^2)이며, 니들펀칭 공정을 거친 후 복합판으로 사용하였다. Fig. 1은 일반적인 복합재의 제조공정을 나타내었다. 본 실험에서 이용한 니들펀칭 공정에 이용한 펀칭기는 니들 수 $5750 \text{ needle/m} \cdot \text{working width}$ 이고, 유효작업 폭이 600mm인 독일제 DILO-Needle Loom, type ODII6이다.

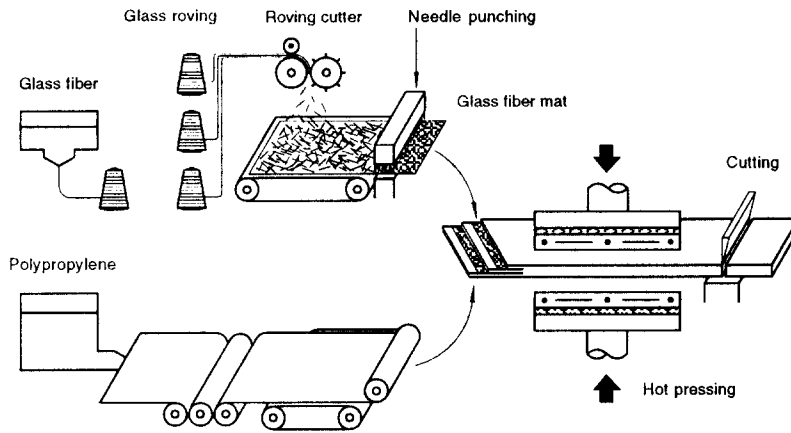


Fig. 1 Schematic illustration of manufacturing process for fiber composites.

모재는 임팩트 코폴리머(호남정유제, 두께 0.2mm)계의 폴리프로필렌을 사용하였으며, 가압장치는 열프레스를 사용하였고, 프레스의 상하에 열전대를 부착하여 200°C 에서 균일하게 가열·가압한다. 이 때 수지가 섬유사이로 용이하게 함침이 되도록 약 20~30분간 가압과 함침의 공정을 거듭하였다. 이 가압·함침 공정에 이용한 금형의 개략도를 Fig. 2에 나타내었다.

복합판 내 섬유와 모재와의 분리에 의해서 일어나는 불균질도에 미치는 성형품 코너부 반경 및 니들펀칭의 영향을 고찰하기 위하여 사용한 재료는 실험실에서 제작한 복합판으로서 섬유함유율은 40wt%이고, 이 재료를 $200\text{mm}(\text{폭}) \times 290\text{mm}(\text{길이}) \times 3.9\text{mm}(\text{두께})$ 의 직사각형으로 절단하여 시험편으로 하였다. 시험편을 가열용 전기로(200°C)에서 약 20분간 가열하여 Fig. 3과 같은 캐비티를 갖는 금형(200°C)에 충전하여 압축성형을 하였다. 압축성형은 30ton 유압프레스를 사용하였으며 금형에는 열전대를 부착시키고 가열은 봉 및 판히터를 사용하여 균일하게 온도를 유지시켰다. Table 1은 압축성형에 이용한 금형의 펀치와 다이의 크기를 나타낸 표이다.

Table 1. Dimensions of the compression molding mould

Mould No.	$r_p(\text{mm})$	$r_d(\text{mm})$
1	1	4
2	25	28
3	50	53

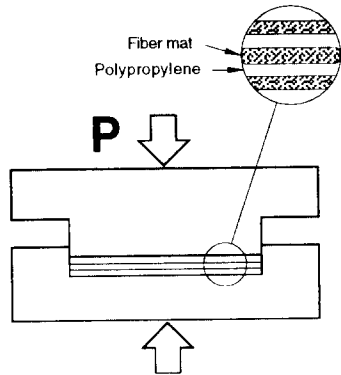


Fig. 2 Illustration of continuous fiber reinforced polymeric composites impregnation process.

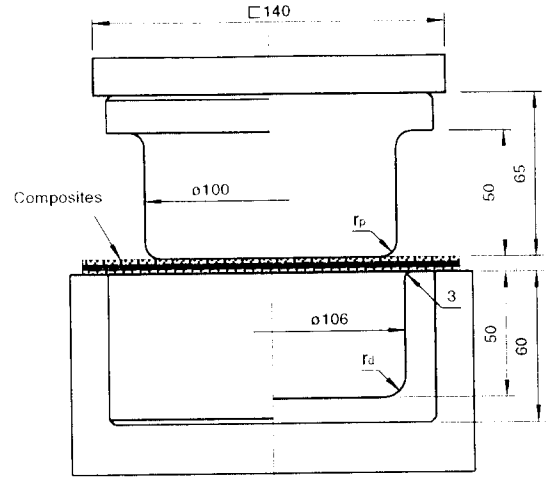


Fig. 3 Cup-type compression molding mould.

재료를 Fig. 3과 같이 금형사이에 끼우고 하중을 가했을 때 섬유를 고체 모재를 액체로 한 고액 혼상류는 성형이 진행됨에 따라서 섬유와 모재와의 유동속도 차이에 의해서 분리가 생기며 이로 인하여 성형품은 불균질하게 된다. 섬유함유율비 Q_f 은 성형전후의 중량섬유 함유율을 이용하고, 이 Q_f 분포 곡선으로부터 성형품내의 섬유와 모재와의 분리의 척도인 불균질도 I 를 구할 수 있다¹⁰⁾.

불균질도를 구하기 위한 시험편의 연소는 시험편의 중립면에서 x, y축을 따라서 10mm×10mm를 채취하여 연소용 전기로 내 600℃에서 20분간 가열 연소하고, 연소전후의 무게를 천평으로 측정하여 섬유함유율분포를 구하였다. 이 섬유함유율 분포로부터 섬유함유율비와 불균질도 I 를 구하였다. 그리고 성형전후의 성형품에 대한 두께를 측정하여 두께의 비 $T_r = (t/t_0)$ 를 구하였으며 Fig. 4에는 섬유함유율비 Q_f 과 두께의 비 T_r 의 측정을 위한 시험편을 나타내었다.

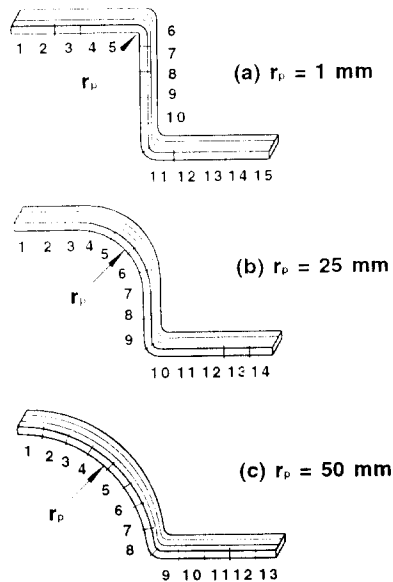


Fig. 4 Positions for measuring Q_{fr} and T_r of specimen .

3. 결과 및 고찰

니들펀칭 횡수와 코너부의 치수변화를 변화시킬 때 성형품의 중심으로 부터의 거리변화에 따른 성형품의 두께의 비를 Fig. 5 (a)~(c)에 나타내었다. 니들펀칭 횡수의 의미는 단위면적당의 니들통과 횡수이기 이므로 이 횡수가 적은 NP5인 경우보다는 NP50인 경우가 모재의 함침상태가 양호하고 따라서 두께의 변화도 크게 나타남을 알 수 있다. 이 그림에서 펀치의 반경 r_p 가 적은 경우에는 성형품의 직선부와 곡선부의 교차가 심하게 나타나고 있으므로 두께의 비 T 의 변화도 r_p 가 적은 경우가 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 니들펀칭 횡수가 적은 경우에는 함침상태가 양호하지 못하기 때문에 압축성형 후의 두께의 변화도 적게 나타나고 있다.

성형품내의 섬유함유율분포에 미치는 중심으로 부터의 거리의 영향을 니들펀칭 횡수와 펀치의 반경 별로 Fig. 6에 나타내었다. 이들 그림에서 펀치의 반경이 적은 $r_p=1$ 인 경우가 $r_p=50$ 인 경우보다도 섬유함유율 분포가 심하게 변화하고 있음을 알 수 있고, 니들펀칭 횡수가 적은 NP5인 경우가 가장 변화의 폭이 큰 것을 알 수 있다. 이것은 r_p 가 적을수록 큰 형상변화로 인하여 복합재내에 함유되어 있는 섬유함유율의 큰 변화를 가져오는 것으로 생각할 수 있다. 또한 니들펀칭 횡수가 많으면 수지의 함침상태가 양호하게 되므로 적은 r_p 일지라도 섬유함유율의 변화가 적게 나타나고 있으며, 큰 r_p 일지라도 니들펀칭 횡수가 적으면 Q_f 의 변화가 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

Fig. 7은 압축성형된 성형품내 섬유와 모재와의 불균질함의 척도인 불균질도 Γ 에 미치는 니들펀칭 횡수의 영향을 r_p 의 변화에 대해서 나타내었다. 니들펀칭 횡수가 증가하면 불균질도는 감소하고 있으며, $r_p=50$ 인 경우가 가장 적은 Γ 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

장섬유로 강화된 복합재의 강화재 구조를 변화시키는 니들펀칭 공정을 한 후 이 복합재를 이용하여 성형성을 검토하기 위하여 접형상으로 압축성형을 한 후 비교검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 성형품의 두께의 비 T 은 반경 r_p 가 작고, 니들펀칭 횡수 NP가 적은 경우의 변화의 폭이 크다.
- (2) 압축성형품의 섬유함유율비 Q_f 의 변화는 니들펀칭 횡수 NP가 많고 반경 r_p 가 큰 경우가 적다.
- (3) 성형품의 불균질함의 척도인 Γ 는 니들펀칭 횡수가 증가하면 감소하며, 펀치반경이 적은 성형품일수록 성형품의 Γ 는 증가한다.

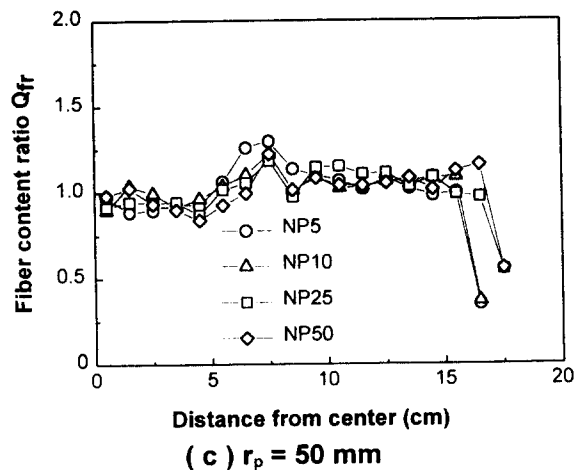
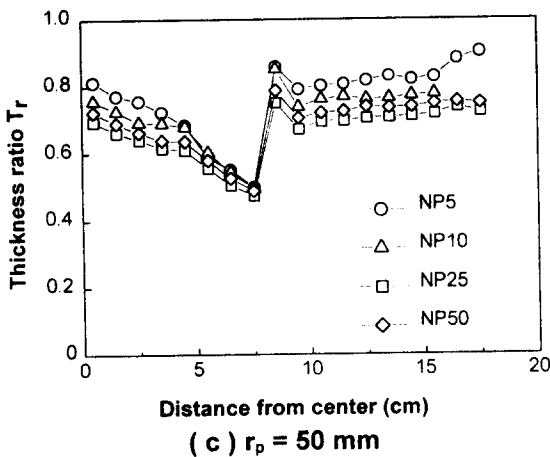
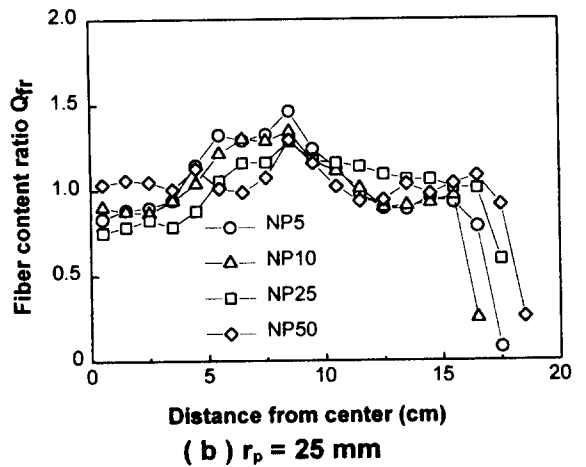
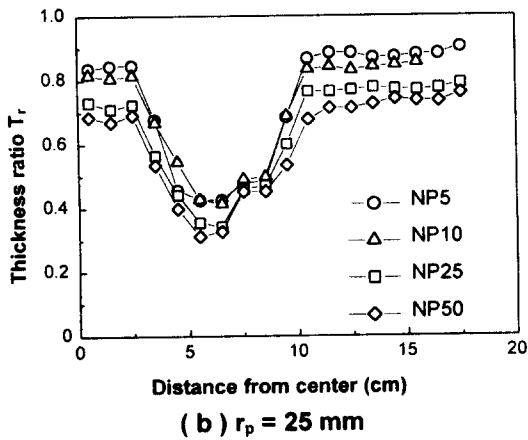
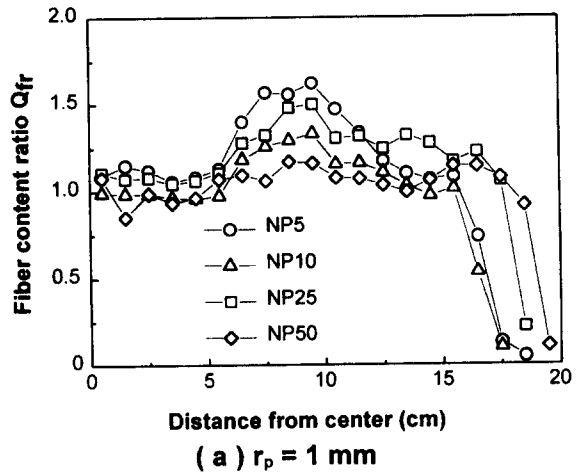
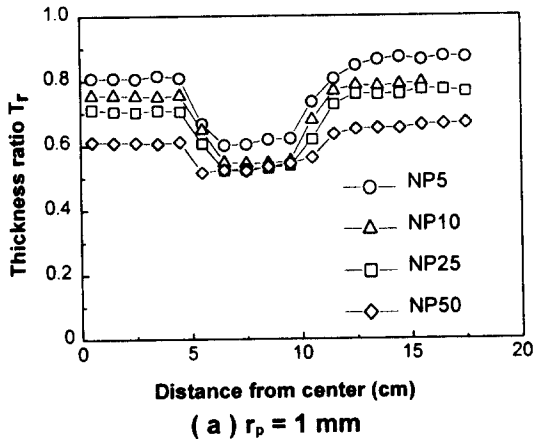


Fig. 5 Variation of thickness ratio T_r as a function of distance from center.

Fig. 6 Variation of fiber content ratio Q_{fr} as a function of distance from center.

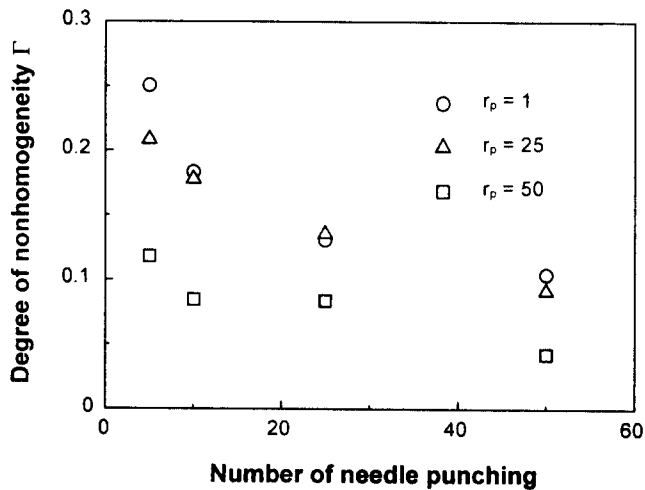


Fig. 7 Relationship between needle punching number and degree of nonhomogeneity Γ .

참고문헌

- (1) T. J. Chapman, J. W. Gillespie Jr, R. B. Pipes, J.A.E. Manson and J. C. Seferis, 1990, "Prediction of process induced residual stresses in thermoplastic composites", *J. Compos. Mater.*, 24, June. p. 616
- (2) J. E. Lawrence, R. K. Okine, 1990, "Blow molding and thermoforming of plastics", *Proc. 5th A. S. C. Tech Conf.* p. 50.
- (3) S. D. Gilmore and S. I. Guceri, 1990, "Solidification in anisotropic thermoplastic composites", *Polym. Compos.*, 11, p. 406.
- (4) N. Zahlen and J. M. O'Neill, 1989, "Design and fabrication of composite components : The spring-forward phenomenon", *Composites*, 20, p. 77.
- (5) R. K. Okine, 1989, "Analysis of forming parts from advanced thermoplastic composite sheet materials", *J. Therm. Compos. Mater.*, 2, p. 50.
- (6) P. J. Mallon and C. M. O'Bradaigh, 1988, "Development of a pilot autoclave for polymeric diaphragm forming of continuous fibre reinforced thermoplastics", *Composites*, 19, p. 37-47.
- (7) C. M. O'Bradaigh and P. J. Mallon, 1989, "Effect of forming temperature on the properties of polymeric diaphragm formed thermoplastic composites", *Compos. Sci. Technol.*, 35, p. 235.
- (8) C. M. O'Bradaigh, P. J. Mallon and R. B. Pipes, 1987, "Effect of forming temperature on the properties of polymeric diaphragm formed APC-2 components", *Center for Composite Materials Report No. 87-57*, University of Delaware.
- (9) C. M. O'Bradaigh, P. J. Mallon, 1988, "Design and Manufacture of a Composite Trailer", *Center for Composite Materials Report No. 88-08*, University of Delaware.
- (10) Hojo, H., Kim, E. G., Tamakawa, K., 1987, "The Fibre Content Distribution of Compression Molded Long Fibre-Reinforced Thermoplastic Products", *International Polymer Processing*, Vol. 1, Issue 2, pp. 60-65.