

論文

연속섬유강화 플라스틱 복합재료의 압축성형성에 관한 연구
-제III보 : 압축성형성에 미치는 상관계수의 영향-

오영준* · 김이곤*

**A Study on the Compression Moldability for
Continuous Fiber-Reinforced Polymeric Composites**

-Part II : Effect of Correlation Coefficient on Compression Moldability-

Y. J. Oh* and E. G. Kim*

ABSTRACT

During the compression molding process of the continuous fiber-reinforced polymeric composites, two main problems such as fiber-matrix separation and fiber orientation are produced by the difference of flow velocity. Molded parts are lead to be nonhomogeneous and anisotropic. As the mechanical property of the products are dependent on the separation and orientation, it is important to research the fiber mat structure and molding condition. If the fiber mat structure is changed by the increment of needling, the separation decreases and after compression molding the orientation is easily aligned. As it were, the compression moldability is good. But the defects as tears, thin thickness are produced in the products. Therefore, it is important to clarify the moldability in relation to the usage of products and the expenses of produce on the actual process. Therefore we must make the measurement methods that can define the moldability of products.

In this research, the effects of the fiber mat structure($NP = 0, 5, 10, 25, 50$ punches/cm²) and the mold geometry($r_p = 1, 25, 50$ mm) on the moldability of products were discussed. We investigated the case of one-dimensional flow in order to obtain the degree of nonhomogeneity and the fiber orientation function. In result, we could gain the correlation coefficient of the continuous fiber-reinforced polymeric composites. Also we experimented on the cup-type compression molding which was appeared the wrinkle on the flange part by the complex stress condition in order to gain the degree of nonhomogeneity and area ratio. In result, the moldability of products was expressed as the correlation coefficient and area ratio.

초 록

섬유강화 플라스틱 복합재료를 압축성형할 때 발생하는 문제점은 유동 속도차에 의한 섬유와 모재의 분리 및 섬유 배향이다. 섬유의 분리·배향에 의해 성형품은 불균질해지고 이방성이 되어 기계적 특성 등에 영향을 미치게 된

*국민대학교 공과대학 기계·자동차공학부, 정밀정형 및 금형가공연구소

다. 그러므로 분리·배향에 영향을 미치는 섬유구조 및 성형조건을 연구할 필요가 있다. 니들펀칭횟수를 증가시켜 섬유구조를 변화시키면 모재와 강화재간의 합침성은 양호해지고, 압축성형후 섬유의 배향은 잘 이루어진다. 즉, 제품의 성형성은 좋아진다. 그러나 파단, 두께감소 등 결함이 발생할 수 있으므로 실제공정에서 제품의 용도, 생산비 등을 고려하여 제품의 성형성을 명확히 함은 중요하다. 또한, 제품의 성형성을 판단할 수 있는 척도가 마련되어야 한다.

본 연구에서는 성형품에 미치는 섬유구조(NP=0, 5, 10, 25, 50 punches/cm²) 및 성형조건($r_p=1, 25, 50\text{ mm}$)의 영향에 대해 연구하고, 나아가 제품의 성형성에 대한 정의 및 척도를 마련하였다. 일차원 평판 성형품에 대해 섬유함유율을 통해 불균질도를 구하고, 화상처리를 통해 섬유배향을 구한 후 이들의 상관관계를 나타내는 상관계수를 얻었다. 또한 컵형 압축 성형시 복잡한 응력상태에 의해 플랜지부에서 발생하는 주름현상을 불균질도 및 면적비를 통해 나타내었다. 결과적으로 제품의 성형성을 상관계수 및 면적비를 통하여 나타내었다.

1. 서 론

복합재료(Composite Materials)란 형태와 화학조성이 다른 2개 이상의 이질·이형 재료를 조합시켜 개개의 소재에서 얻을 수 없는 특성을 얻고 필요에 따라 우수한 성질을 가질 수 있는 재료를 말한다. 이러한 복합재료 중에서 비인장강도, 비탄성률이 높은 플라스틱 재료를 모재(Matrix)로 하고, 섬유화된 소재로 강화한 섬유강화 플라스틱 복합재료(Fiber Reinforced Plastics : FRP)가 있다.

이 재료는 다른 재료에 비해 비강도, 비강성 등이 우수하고 재생이 용이하여 항공기 및 자동차 산업 등에서 경량화 플라스틱 구조부재로서 널리 사용되고 있다. 또한, 일 방향 강화 등 필요에 따라 매트 구조를 설계할 수 있어 효율이 높으며, 고강도 재료를 만들 수 있기 때문에 단일 재료로는 기대할 수 없는 여러 우수한 특성을 가지고 있다. 또한 비중이 작아 구조 부품의 경량화에 유효하고 기계적 특성이 뛰어나며, 내식성 및 생산성이 뛰어나기 때문에 최근 자동차의 연비개선과 경량화의 추세에 힘입어 그 용도의 확대가 기대되고 있다.

섬유강화 플라스틱 복합재료의 성형법 중 압축성형법에 속하는 성형법은 일반적으로 합침성형과 유동성형으로 크게 구별된다. 합침성형은 유동성형과 비교하면 섬유길기와 섬유함유량을 크게 할 수 있으므로 강도와 강성이 비교적 높은 편이지만 생산성, 작업환경, 부품의 치수 정밀도, 성형부품의 균질성 등의 면에서 유동성형이 더 우수하다. 또 유동성형법은 금형 내에서 재료가 유동하므로 성형품의 두께 변화를 야기시킬 수 있다. 그러므로 성형의 자유도가 크고 복잡한 형상에 부품성형이 가능하므로 생산비도 낮아 고온유동 성

형에 대한 활용도가 더 크다.

섬유강화 플라스틱 복합재료는 주로 고온 유동성형법을 이용하여 부품을 성형하므로 두께의 변화가 있는 성형을 할 수 있으며, 저압성형과 대형제품 및 복잡한 형상의 가공이 가능하다. 그러나 모재인 플라스틱과 강화재인 섬유의 유동속도 차이에 의하여 분리 및 배향이 발생한다. 이로 인해 성형품은 불균질하게 되고 이방성이 되어 기계적 특성 등에 영향을 미치게 된다. [1], [2]

이러한 복합재료를 열간에서 압축 성형하는 경우의 분리 및 배향을 파악하기 위해서는 여러 가지 성형공정 인자들의 변화에 대한 금형 내에서의 충전상태, 강화재인 섬유의 배향 및 섬유함유율 분포 등의 예측 및 제어가 필요하다. 또한 나아가 실제적인 공정에서 성형공정 인자들이 제품의 성형성에 어떠한 영향을 미치는지 고찰함이 중요하다.

여기서 제품의 성형성이라 함은 얼마나 성형이 잘되는가를 나타내며, 강도, 특성 등 제품의 용도에 따라 요구되는 성질이나 제조공정에서 생산성이나 생산비 등을 고려하여 제품의 성형성을 명확히 함은 필수적이다. 특히 컵형 성형과 같이 복잡한 변형거동을 나타내는 판재 성형에서 원통형 용기를 압축 성형할 때, 원주방향으로 압축변형(circumferential compression) 및 축 방향으로 인장변형(tension) 등이 심하게 일어난다. 이로 인해 플랜지부와 측벽부에선 주름(wrinkles)이나 파단(tears)과 같은 결함이 종종 발생된다. 이것은 모재와 강화재간의 분리현상을 심하게 하고, 두께변화를 커지게 하므로 이러한 현상의 예측 및 최소화는 성형의 중요한 과제이다.

전보에선 성형공정 인자들이 제품의 성형성에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위하여 섬유매트 구조

및 제품의 형상 등을 변화시켜 성형품의 두께와 섬유 함유율 분포를 비교·검토한 결과를 보고하였다.[3] 본 연구에서는 소재개발과 제품의 최적설계를 위해 성형성의 정도를 판단할 수 있는 척도를 정의하고, 섬유 매트 구조, 성형조건, 재료 등 성형공정 인자들이 제품의 성형성에 어떠한 영향을 주는지 알아보았다.

2. 이 론

2.1. 압축비 R_{cr} 및 섬유함유율비 Q_{fr} [1]

재료의 초기 두께를 h_0 를 h 까지 압축한 경우의 압축비 R_{cr} 은

$$R_{cr} = 1 - \frac{h}{h_0} \quad (1)$$

섬유함유율비 Q_{fr} 은 q_{f0} 를 성형전의 중량 섬유함유율, q_f 를 성형후의 중량 섬유함유율이라고 할 때, 다음과 같이 정의하였다.

$$Q_{fr} = \frac{q_f}{q_{f0}} \quad (2)$$

2.2 불균질도 Γ [2] 및 배향함수 J [5],[6]

복합재료의 열간 압축성형시 모재는 액체로 강화재는 고체로 한 고액혼합류는 성형이 진행됨에 따라 유동속도 차이에 의해서 분리가 발생하며 이로 인하여 성형품은 불균질하게 된다. Fig. 1은 압축 성형후 성형품의 중심으로부터 거리변화에 따른 섬유함유율 분포를 나타낸 예이며, 압축 성형후 모재와 강화재간의 분리현상을 나타낼 수 있는 불균질도는 식(3)을 이용하여 구한다. 제품의 불균질 정도를 나타내는 불균질도 Γ 는 무차원 수이며, 0에 가까우면 성형품이 균질해짐을 의미한다.

$$\Gamma = \frac{\text{Shaded area}}{B} \quad (3)$$

섬유배향에서 성형품의 두께가 폭과 길이에 비해 매우 얇다면 섬유를 2차원 집합체로 취급할 수 있고, 섬유배향각 분포 $q(\theta)$ 는 식(4)과 같이 나타낼 수 있다.

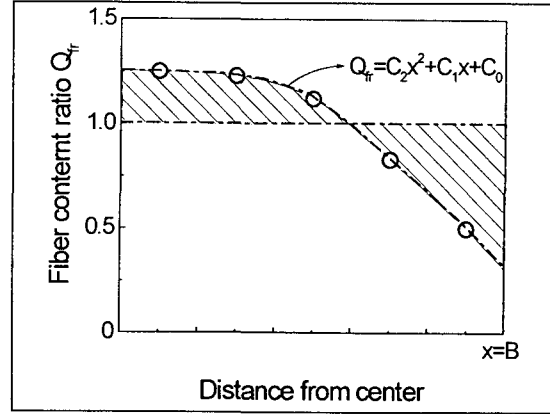


Fig. 1. Distribution of the fiber content ratio

$$q(\theta) = \pi^{-1} \cdot [(1-J) \cdot \cos^2 \theta / (1+J) + (1+J) \cdot \sin^2 \theta / (1-J)]^{-1} \quad (4)$$

여기서 J 는 Stein[4]등이 제안한 2차원 배향각 분포에 대한 배향함수로 식(5)와 같다.

$$J = 2 \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \cos^2 \theta q(\theta) d\theta - 1 \quad (5)$$

배향이 등방성인 경우 $J=0$, x 축 방향으로 배향된 경우는 $J=1$, y 축 방향으로는 $J=-1$ 이다.

본 연구에서는 섬유를 식별하기 위해 Yaguchi 등이 제안한 농도법을 사용한다.[7] Fig. 2 (a), (b), (c)는 X-선 사진에 대한 미소부분의 배향모델을 나타낸 것으로서 검은 부분은 섬유를 나타낸다.

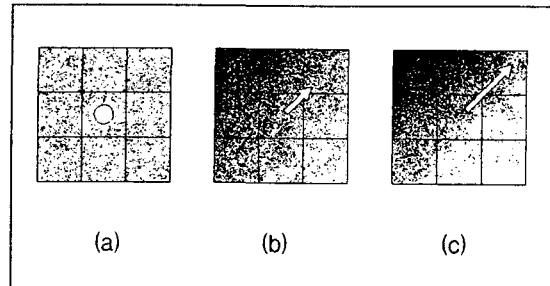
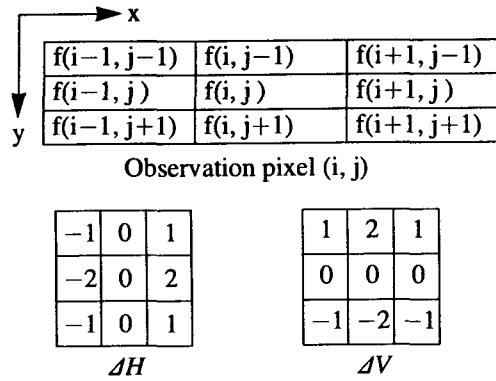


Fig. 2. Model of the minute part of the soft X-ray photograph
(a) Slightly orientation
(b) Medium orientation
(c) Highly orientation



$$\begin{aligned} \Delta H &= f(i+1, j-1) + 2f(i+1, j) \\ &\quad + f(i+1, j+1) - f(i-1, j-1) \\ &\quad + 2f(i-1, j) + f(i-1, j+1) \\ \Delta V &= f(i-1, j+1) + 2f(i, j+1) \\ &\quad + f(i+1, j+1) - f(i-1, j-1) \\ &\quad + 2f(i, j-1) + f(i+1, j-1) \end{aligned}$$

Fig. 3. Sobel operator of 3×3 pixel

Fig. 2 (a)는 중심과 주변의 농도차가 거의 없는 경우로서, 해당부분의 방향성도 없는 것을 알 수 있다. 농도차가 작은 경우 Fig. 2 (c)는 방향성이 강하다고 생각할 수 있다. 그러므로 농도차가 있는 경우는 농도차에 의해 섬유 배향각의 방향을 판단할 수 있다. 사진의 농도차로 물체의 윤곽선을 검출할 때에는 Fig. 3에 나타난 Sobel 오퍼레이터를 이용하여 유한 차분법에 의해 배향함수를 구한다.

2.3 면적비 Ar[8] 및 성형성

컵형 압축성형은 밑부에서 인장, 벽부에서 펴짐과 인장, 다이 반경부에서 굽힘 등의 복잡한 소성변형거동을 나타낸다. 성형시 다이 반경부와 플랜지부에서 원주방향으로 압축 변형이 심하게 일어나 주름이 발생하게 되고 벽부에선 축방향으로 인장응력에 의해 두께감소가 일어나게 된다. 특히 플랜지부에서 나타나는 주름현상은 제품의 성형성에 큰 영향을 미치게 된다.

Fig. 4는 본 연구에서 컵형 압축성형의 성형품을 나타낸 그림이다.

본 연구에서 성형성에 큰 영향을 미치는 주름의 정도를 나타내기 위하여 X-선 사진의 화상처리를 이용한 불균질도와 펀치 성형부의 표면적 A_1 과 플랜지부의

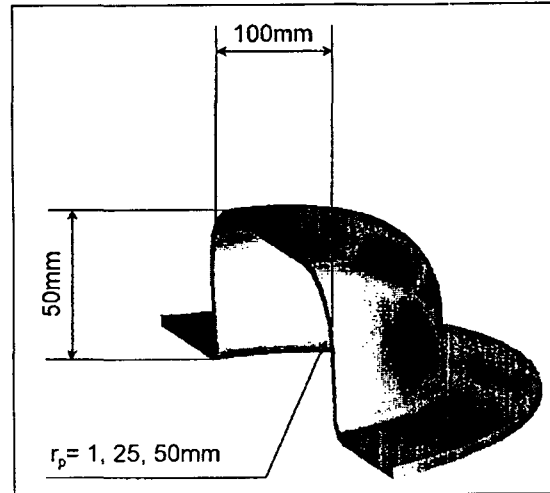


Fig. 4. Shape of cup-type compression molded part

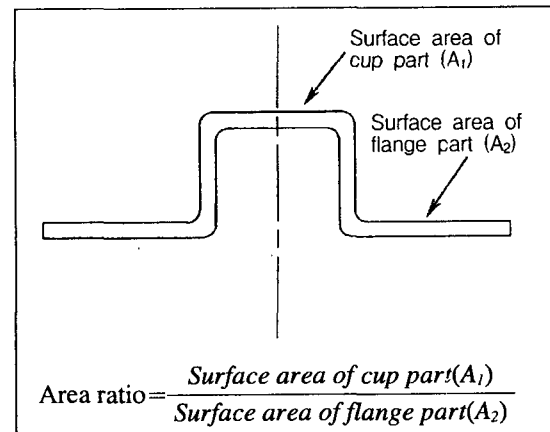


Fig. 5. Calculation of area ratio Ar

표면적 A_2 의 비로 나타낸 면적비 Ar을 제안하였다. Fig. 5에 면적비를 나타내었다. 여기서 A_1 은 드로잉력에 의한 변형을, A_2 는 재료와 금형의 마찰을 나타내므로 면적비는 주름의 정도를 나타낼 수 있다.

3. 실험

3.1. 압축성형품의 불균질도 I' , 배향함수 J 및 상관계수 C

본 연구에 사용된 소재는 유리섬유를 강화재로, 폴리프로필렌을 모재로 하는 복합판(FRTP)이다. 유리섬유

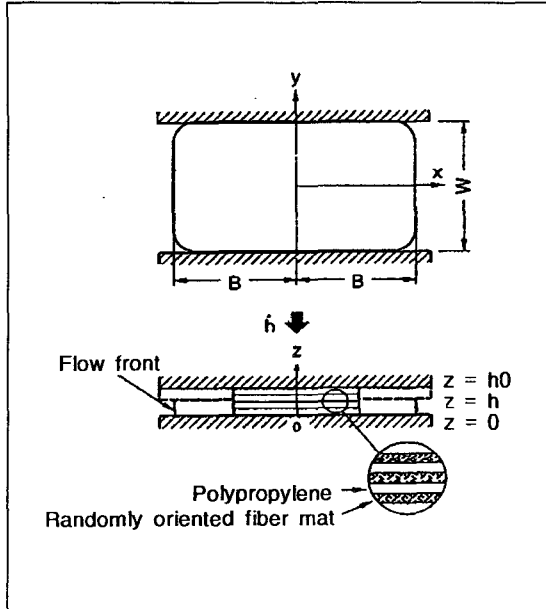


Fig. 6. Nomenclature for slab-shaped part compression molding

는 연속 스트랜드 매트(Continuous Strand Mat)이며, 니들펀칭 공정을 거친 후 60mm(폭)×70mm(길이)×3.8mm(두께), 섬유함유율 40wt%의 복합판을 제작하였다. 섬유구조를 변화시키기 위하여 단위 면적당 니들펀칭횟수 NP를 0, 5, 10, 25, 50 punches/cm²의 5가지로 변화시켰고, 여기에 폴리프로필렌을 가압·함침공정을 거쳐 시편을 제작하였다.

금형의 치수는 60mm(폭)×400mm(길이)이고, 시험편을 가열용 전기로(200℃)에서 약 20분간 가열하여 Fig. 6과 같은 공동(cavity)을 갖는 금형(200℃)에 충전하여 압축성형 하였다. 성형은 30ton 유압프레스를 사용하였으며 금형에는 열전대를 부착시키고 가열은 봉 및 판히터를 사용하여 균일하게 온도를 유지시켰다. 압축성형에 있어서 재료의 흐름을 폭 방향으로 구속하여 길이 방향으로만 되게 하였다. 그리고 압축비 R_{cr}를 0.21, 0.34, 0.47, 0.61, 0.74, 0.80의 6가지로 성형조건을 변화 시켰다.

Fig. 7은 섬유함유율을 측정하기 위한 시편과 배향함수의 측정부위를 나타낸 그림으로서 평균속도에 해당되는 B/2인 지점을 중심으로 50mm×50mm의 영역을 화상처리하여 섬유배향 분포를 구한다. 그리고 성형품의 중립면을 따라 10mm×10mm로 시편을 채취하여 섬유함유율을 구한다.

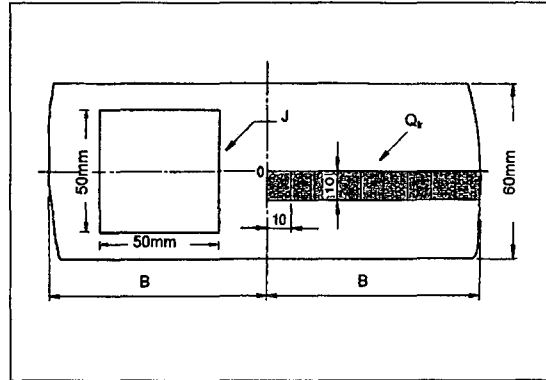


Fig. 7. Measurement areas for the orientation function J and fiber content ratio Q_r

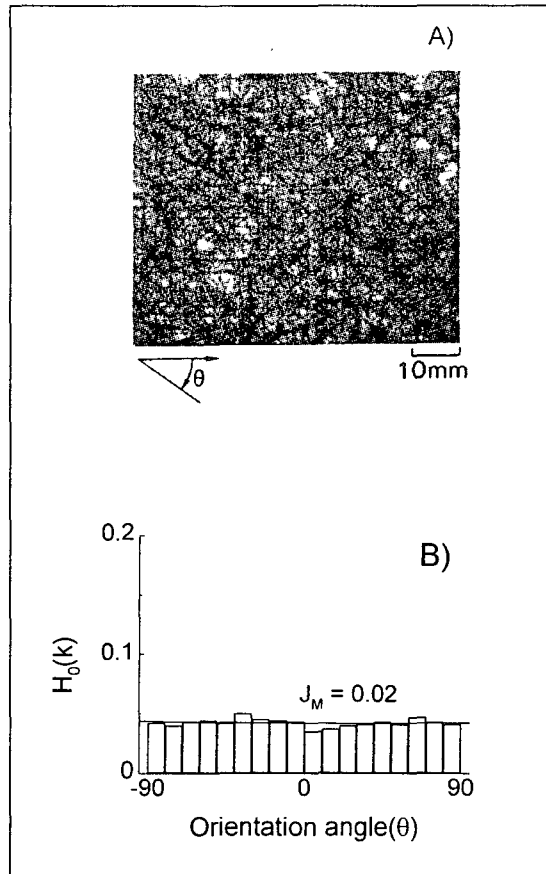


Fig. 8. Soft X-ray photograph and orientation function J before molding
A : Soft X-ray photograph X-sheet
B : Orientation function J

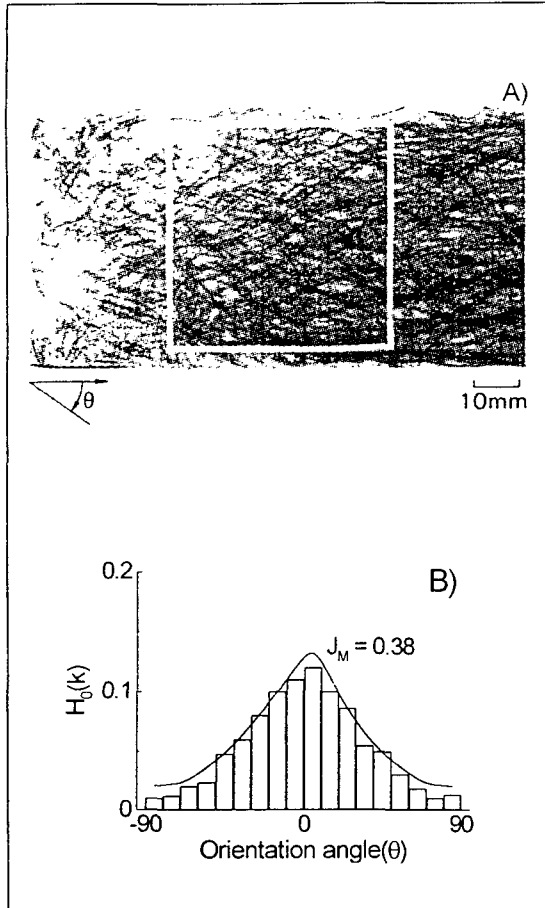


Fig. 9. Soft X-ray photograph and orientation function J after molding($R_{cr}=0.605$)
 A : Soft X-ray photograph of product
 B : Orientation function J

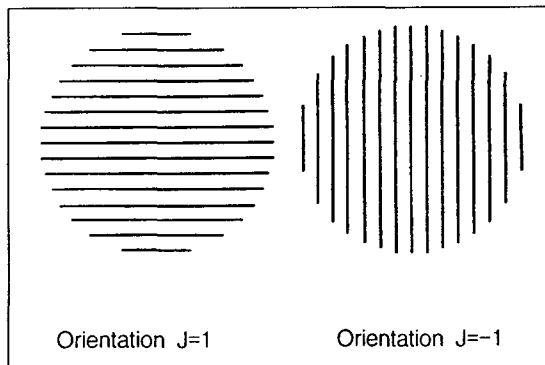


Fig. 10. Simulation figure for fibers

Fig. 8과 Fig. 9는 성형전과 성형후($R_{cr}=0.605$) 시편의 X-선 사진과 배향함수 J값을 나타낸 것이다. 여기서 보듯이 검은 부분이 강화재인 유리섬유이고 흰 부분이 모재인 폴리프로필렌이다. Fig. 10은 배향함수 $J=1, -1$ 일 때, 섬유의 배향을 도식적으로 나타낸 것이다. 섬유함유율비 분포 곡선으로부터 성형품 내의 섬유와 모재와의 분리의 척도인 불균질도 Γ 를 구할 수 있고, 배향함수와 상관관계에서 분리·배향의 상관계수 C를 구할 수 있다.

3.2. 컵형 성형품의 주름 및 성형성

컵형 성형은 매우 복잡한 응력상태를 나타내며 여러 가지 결함이 발견된다. 그 중 성형품의 플랜지부의 주름 현상은 성형성에 큰 영향을 미치게 된다. 이 현상의 주원인은 원주 방향의 압축응력이며, 주름의 정도는 니들 펀칭 횟수, 드로잉력, 재료와 금형의 마찰계수 등에 영향을 받는다. 그러므로 플랜지부에서 주름의 정도를 나타내기 위해 섬유함유율비 및 불균질도를 구해야 한다.

본 연구에서는 니들펀칭 횟수를 달리한 연속 섬유 매트를 사용하여 복합판($260mm \times 260mm \times 3.8mm$, 섬유함유율 : 40wt%)을 제작한 후 실험을 하였다. 그러나 주름이 불규칙적이고 미세하므로 플랜지부의 X-선 사진을 화상처리 하여 평균농도 Pf를 구하여 섬유함유율비 및 불균질도를 구하였다.[9]

Fig. 11은 섬유함유율을 구하기 위한 화상처리 영역을 나타낸 것이다. 성형품의 중심에서 10° 씩, 다이 코너부에서 반경방향으로 2cm의 시편에 대하여 화상처리 하였다. Fig. 12에서 보듯이 구간이 한정되긴 하지만 평균농도 Pf와 단위 면적당 섬유함유량 wf는 상관관계가 있음을 알 수 있다. 이 실험값은 최소자승법을 이용하여 다음 식(6)에 의해 성형품의 섬유함유량 wf를 계산할 수 있다.

$$wf = -\frac{1}{A} \ln \frac{Pf}{B} \quad (6)$$

여기서 A는 5.05, B는 290.06이고, Pf는 평균농도이다. A, B, Pf의 값은 섬유함유량, X-선 사진의 촬영조건, 현상조건, 필름과 인화지 종류 등의 영향을 받는다.

섬유함유율 q_f 는 다음 식(7)에서 화상처리에 의한 단위면적당 섬유함유량 wf에 의해 구한다.

$$q_f = \frac{wf'}{(h-wf'/\gamma_g) \times \gamma_p + wf'} \quad (7)$$

여기서 h 는 성형품의 판두께, γ_g 는 유리섬유의 비중량($2.5g/cm^3$), γ_p 는 폴리프로필렌의 비중량($0.9 g/cm^3$)이다.

따라서 비 파괴적인 화상처리법을 이용하여 섬유함유율비와 불균질도를 구할 수 있다. 또, 펀치 성형부의 표면적 A_1 과 플랜지부의 표면적 A_2 의 비로 나타낸 면적비를 구하였다.

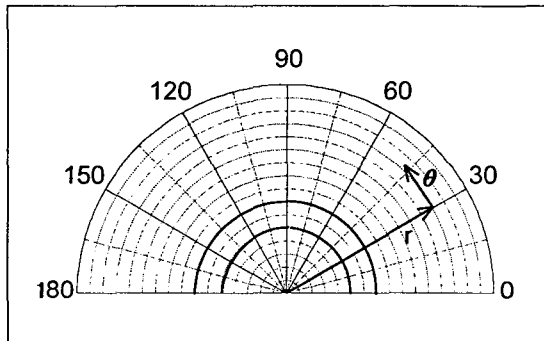


Fig. 11. Positions for measuring fiber content of cup-type molded specimen

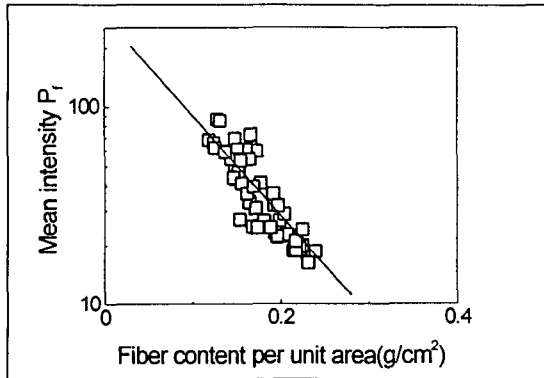


Fig. 12. Fiber and intensity

4. 결과 및 고찰

4.1 상관계수 C

Fig. 13은 니들펀칭 횟수의 변화에 따른 불균질도에 미치는 압축비의 영향을 나타낸 것이다. 이것은 압축비가 커짐에 따라 성형품의 변형이 커짐으로 불균질도가 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 14는 니들펀칭 횟수의 변화에 따른 배향함수에 미치는 압축비의 영향을 나타낸 것이다. 역시 성형품의 변형이 커지면 재료의 유동도 커짐으로 배향함수가 증가함을 알 수 있다.

결과적으로 불균질도는 니들펀칭 횟수가 많아짐에 따라, 압축비가 작아질수록 작아진다. 또 배향함수는 니들펀칭 횟수가 적어짐에 따라, 압축비가 작아질수록 작아진다.

니들펀칭 횟수를 0, 5, 10, 25, 50 punches/cm²로 섬유 구조를 변화시키고, 압축비를 0.21, 0.34, 0.47, 0.61, 0.74, 0.80의 6가지로 성형조건을 변화시켜 성형품의 성형성에 큰 영향을 미치는 모재와 강화재간의 분리현상이나 섬유의 유동상태 등을 나타낼 수 있는 불균질도 Γ 와 배향함수 J 에 대해서 알아 보았다. 그러

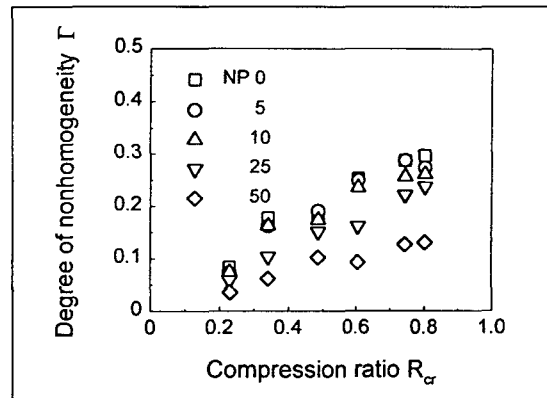


Fig. 13. Degree of nonhomogeneity Γ as function of compression ratio R_{cr}

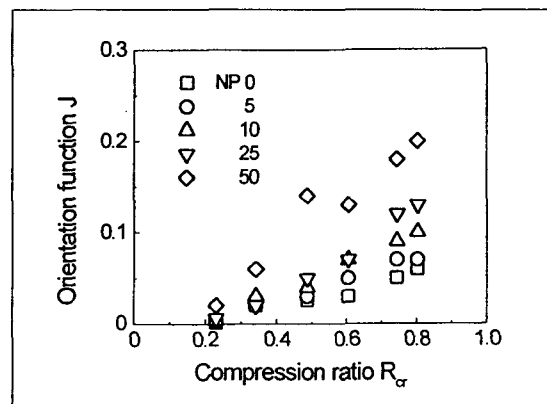


Fig. 14. Effects of compression ratio R_{cr} on orientation function J

나 이 분리와 배향은 별개로 일어나는 현상이 아니라 서로 불가분의 관계에 있다. Fig. 15는 니들펀칭 횟수의 변화에 따라 배향함수와 불균질도의 관계를 나타내었다. 여기서 보듯이 배향함수와 불균질도의 상관관계인 기울기를 상관계수 C로 정의하고 이를 구하였으며, 상관계수가 성형성의 척도가 됨을 알 수 있다. 니들펀칭 횟수가 많아짐에 따라 상관계수는 작아짐을 볼 수 있는데, 이것은 니들펀칭 횟수가 많아지면 함침이 양호하여 모재와 강화재간의 분리가 잘 일어나지 않고, 유동이 잘 되어 성형품의 성형성이 좋아짐을 의미한다. Fig. 16과 Table. 1에 니들펀칭횟수 변화에 따른 상관계수 C값을 나타내었다.

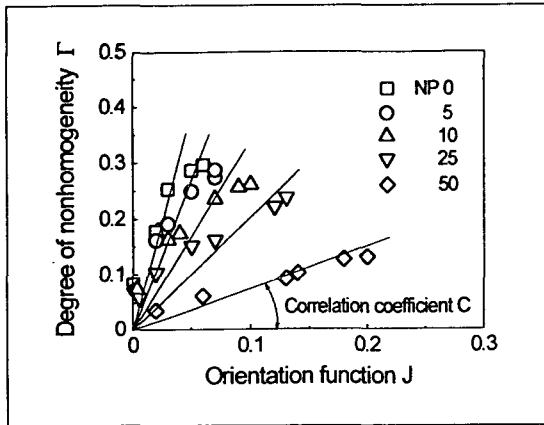


Fig. 15. Relationship between orientation function J and degree of nonhomogeneity Γ

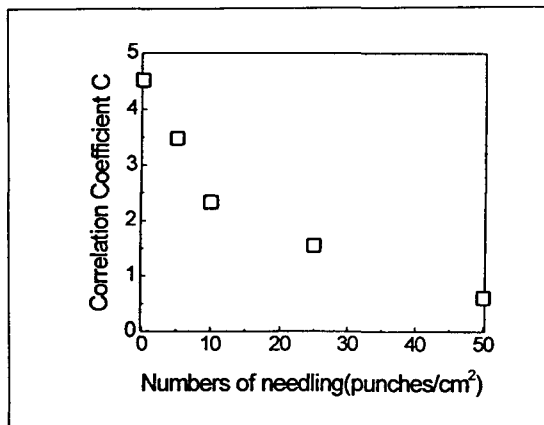


Fig. 16. Relationship between numbers of needling NP and correlation coefficient C

Table. 1 Correlation coefficient C

NP	0	5	10	25	50
Correlation Coefficient C	4.51	3.48	2.33	1.55	0.61

4.2 상관계수 C와 성형품의 성형성

본 연구에서는 주름의 정도를 나타내기 위해 오차를 줄일 수 있고 비 파괴적 방법인 화상처리를 통하여 불균질도 및 면적비를 계산하였다.

불균질도는 성형품의 플랜지부를 화상처리하여 평균 농도 값에 의해 구할 수 있는 섬유함율비를 이용하여 구하였다. 컵형 성형에서 주름의 정도는 니들펀칭 횟수, 펀치반경, 드로잉력, 재료와 금형의 마찰계수 등 여러 가지 요인에 영향을 받는다. 이중 성형시 펀치반경 및 드로잉력에 의한 변형과 재료와 금형의 마찰계수를 고려하여 주름의 정도를 표현한 것이 면적비 Ar이다. 이는 드로잉력에 의해 성형된 부분의 표면적 A₁과 플랜지부 A₂의 표면적의 비로 나타내는데 A₁은 성형에 의한 변형을, A₂는 재료와 금형의 마찰을 대표할 수 있다. 즉 A₁이 커지면 변형이 커져 주름이 많이 발생하고, A₂가 커지면 재료와 금형 사이의 마찰이 커져 주름의 발생이 적어짐을 의미한다. 그러므로 면적비는 주름의 정도를 나타낼 수 있는 효과적인 계수이다.

Fig. 17은 펀치반경의 변화에 따른 면적비에 미치는 니들펀칭 횟수의 영향을 나타낸다. 니들펀칭 횟수가 많을수록 펀치반경이 커질수록 면적비가 작아져 주름이 적게 발생한다.

Fig. 18은 펀치반경의 변화에 따른 불균질도와 면적비의 관계를 나타낸 것이다. 불균질도가 커지면 면적비가 증가하게 되며, 제품의 성형성에 큰 영향을 미치는 주름도 많아짐을 알 수 있다. Fig. 19는 펀치반경 변화에 따라 4.1절의 결과에서 볼 수 있었던 상관계수와 면적비의 관계를 나타내었다. 그림에서 보듯이 상관계수가 증가함에 따라 면적비도 증가한다.

펀치반경 변화에 따라 상관계수와 불균질도의 관계를 Fig. 20에서 볼 수 있으며, 상관계수가 증가하면 불균질도도 증가한다. 즉, 면적비와 불균질도가 증가하면 성형시 주름 등의 결함이 많이 발생하며, 성형성이 좋지 않다. 이때 상관계수도 증가하게 되므로 상관계수 역시 성형품의 성형성을 판단할 수 있는 효과적인 계수이다.

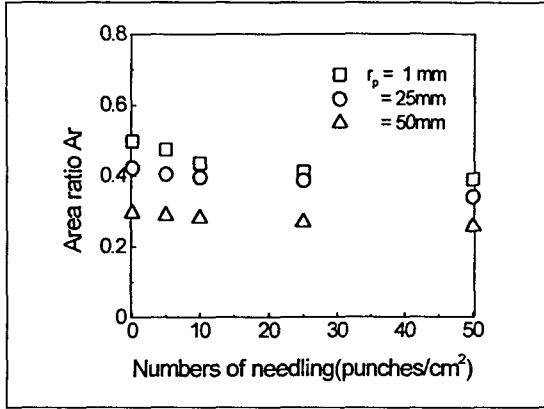


Fig. 17. Area ratio Ar as function of numbers of needling

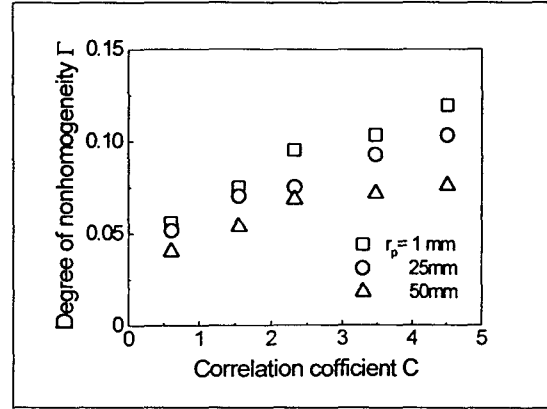


Fig. 20. Relationship between correlation coefficient C and degree of nonhomogeneity Γ

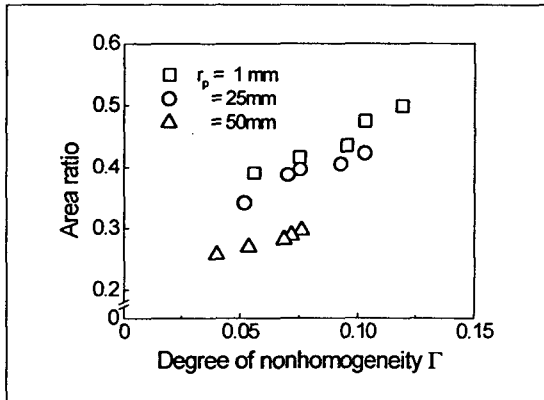


Fig. 18. Relationship between degree of nonhomogeneity Γ and area ratio Ar

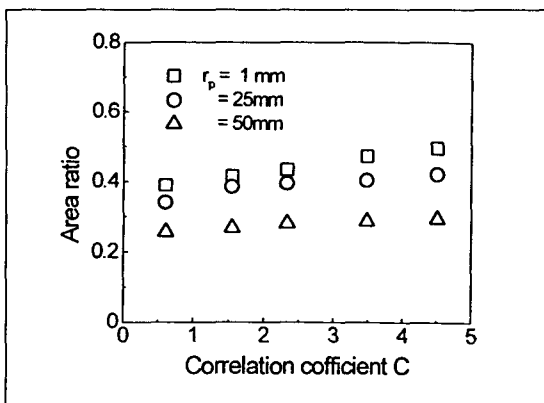


Fig. 19. Correlation coefficient C as function of numbers of needling

5. 결 론

본 연구에선 압축성형시 니들펀칭 횟수, 압축비, 편치반경 등과 같은 요인들이 제품의 성형성에 어떠한 영향을 미치는지 알아보았고, 성형성을 나타낼 수 있는 척도로 모재와 강화재간의 분리현상을 불균질도 Γ , 유동시 섬유 배향상태를 배향함수 J, 분리·배향의 관계를 상관계수 C, 컵형 성형시 주름의 정도를 면적비 Ar 등을 고찰하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 분리·배향의 관계를 나타내는 상관계수는 섬유 매트 구조에 변화를 주는 니들펀칭 횟수가 많아짐에 따라 작아진다.
2. 컵형 성형시 플랜지부에서 주름현상이 발생하는 데, 불균질도와 면적비는 이 현상의 정도를 판단하는 척도이다. 니들펀칭 횟수가 많아지고, 편치반경이 커짐에 따라 불균질도와 면적비는 작아진다.
3. 불균질도와 면적비는 결과 1.에서 얻어낸 상관계수와 비례관계를 갖는다.

후 기

본 연구는 정밀정형 및 금형가공 연구센터의 지원에 의하여 연구되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. H. Hojo, E. G. Kim and K. Tamakawa, "The Fibre Content Distribution of Compression Molded Long Fibre Reinforced Thermoplastic Products", *International Polymer Processing, Volume I*, 1987, pp. 60~65.
2. H. Hojo, H. Yaguchi, T. Onodera, E. G. Kim, "Simulation of Compression Molding with Matrix Fibre Separation and Fibre Orientation for Long Fibre-Reinforced Thermoplastics", *International Polymer Processing, Volume III*, 1988, pp. 54~61.
3. 오영준, 김형철, 김이곤, "연속섬유강화 플라 스틱 복합재료의 압축성형에 관한 연구 (제1보)", 한국복합재료학회 투고중
4. Stein, R. S., Stidham, S. N., "A Theory of Orientation Correlations in Crystalline Polymeric Solids", *Journal of Applied Physics*, Vol. 35, No. 1, 1964, pp. 42~46.
5. 山田國廣, 堀川 明, "2次元纖維集合體の確率 幾何", *纖維學會文集*, 37, 12, 1984, pp. 51~64.
6. 이동기, 유정훈, 김이곤, "장섬유강화 고분자 복합판의 압축성형에 있어서 섬유 분리와 배향의 상관관계에 관한 연구", *대한기계학 회논문집*, 제17권, 1993, 제1호, pp. 62~68.
7. H. Yaguchi, H. Hojo, D. G. Lee and E. G. Kim, "Measurement of Planar Orientation of Fibers for Reinforced Thermoplastics Using Image Processing", *International Polymer Processing, Volume X*, 1995, pp. 262~269.
8. M. HOU. "Stamp Forming of Fabric-reinforced Thermoplastic Composites", *Polymer Composites*, Vol. 17, No. 4, 1996, pp. 597~603.
9. 이동기, 矢口 仁, 조선형, 김이곤, "화상처리 에 의한 섬유강화 고분자복합재료의 섬유함 유량 분포측정", *대한기계학회논문집*, 제15 권, 제4호, 1991, pp. 1177~1183.