

연속섬유강화 플라스틱 복합재료의 반구형 압축성형성에 관한 연구

임용진* · 오영준* · 김이곤*

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

Y. J. Lim*, Y. J. Oh*, E. G. Kim*

Key Words: Hemisphere-Type Compression molding(반구형 압축성형), Initial Area(초기 면적), Numbers of Needling(니들 편침 횟수), Continuous Fiber Reinforced Polymeric Composites(연속섬유강화 플라스틱 복합재료), Fiber mat structure(섬유구조)

Abstract

During a hemisphere-type compression molding, the wrinkles are caused by complex stress condition. It is very important to clarify the degree of wrinkles in order to have good products. In this paper, the effects of numbers of needling and initial area on the degree of wrinkles are studied. the degree of wrinkle is expressed as nonhomogeneity.

1. 서 론

복합재료 중 고분자 기지 재료와 강화 섬유가 혼합된 섬유 강화 고분자 복합 재료는 금속재료에 비해 비강도, 비강성 등이 우수하고, 열경화성 수지에 비해 재생이 용이하여 항공기 및 자동차 산업 등에서 가장 널리 사용되는 경량화 플라스틱 구조부재이다. 대표적인 성형공정으로는 압축성형(Compression Molding), 사출성형(Injection Mold-

ing), 오토클레이브 성형(Autoclave Molding, SMC성형, RMT성형 등)이 있다. 이러한 성형법은 생산성, 작업환경, 부품의 치수, 정밀도, 성형부품의 균질성 등의 면에서 매우 우수한 유동 압축성형은 금형 내에 성형 재료를 놓고 압축하여 제품을 생산하는 생산 공정으로 재료의 장입, 압축, 냉각(경화), 탈형의 4단계 과정으로 이루어져 있다. 또한 유동성형법은 금형내 재료가 유동하므로 성형품의 두께변화를 야기 시킬 수 있다. 그러므로 성형의 자유도가 크고, 복잡한 형상 부품성형이 가능하므로 생산비도 낮아 고온 유동성형에 대한 활

* 국민대학교 기계·자동차공학부

용도가 크다. 이러한 압축성형 중 편평한 판재를 원통형이나 반구형 제품으로 가공하려면 편치로 소재를 다이 공동부로 밀어 넣는 덮드로잉 작업을 해야한다. 덮드로잉으로 가공되는 제품은 음료캔, 주방기구, 용기, 싱크대, 자동차 판 등이다. 주로 금속가공에 많이 쓰이지만 최근 들어 섬유강화 플라스틱 복합재료에 적용함으로써 자동차 범퍼, 비행기 등 경량화와 견고함이 요구되는 신소재 개발에 사용되고 있다.

일반적으로 반구형 덮드로잉 성형을 할 때, 원주 방향으로 압축변형(circumferential compression) 및 축 방향으로 인장변형(tension) 등이 심하게 일어남으로 인해 플랜지부와 축벽부에서 생기는 주름(wrinkles)과 파단(tears)과 같은 결함이 생긴다.⁽¹⁾ 반구형 압축성형에서 이러한 결함은 성형성에 큰 영향을 미치게 되는데 성형성을 판단하기 위해 플랜지부의 주름현상에 대한 고찰이 필요하다. 그러나 주름이 불규칙적이고 미세하므로 시편 채취시 오차가 발생하는 연소실험보다는 플랜지부의 X-선 사진을 화상처리하여 섬유함유율비 및 불균질도를 구하였다.⁽¹⁾ 본 연구에서는 반구형 압축성형 및 섬유와 모재간의 불균질함으로 인한 결함의 원인을 여러 성형조건인자에 따라 실험하여 분석한 결과를 보고한다.

2. 실험

2.1 복합판의 제작 및 압축성형

복합판의 제작에 사용된 강화재는 유리섬유이며 모재는 폴리프로필렌을 사용하였다. 유리섬유는 한국 베트로텍스(주)의 연속 스트랜드 매트(Continuous Strand Mat, S5435)이다. 여기에 섬유구조를 변화시키기 위하여 단위 면적당 니들펀칭횟수 NP(punches/cm²)를 0, 5, 10, 25, 50, 75회 6가지로

변화시켰다. 이 공정에 사용된 펀칭기는 니들 수 5750 needle/m · working width이고, 유효작업 폭이 600mm인 독일 DILO-Needle Loom, type ODII6이다. 회전수는 150rpm이며 전진속도(m/min)는 펀칭수가 5, 10, 25, 50, 75회일 때 8.98, 4.49, 1.79, 0.89, 0.45로 하였다.

가압장치는 열프레스를 사용하였고, 초기면적 A₀은 48400, 67600, 90000mm²의 정사각형으로 하여, 프레스 상하에 열전대를 부착 200°C로 가열하여 20여분간 서로 잘 합침시켜 복합판(두께: 3.8mm, 섬유함유율: 40wt%)을 제작한다.

제작된 유리섬유강화 플라스틱 복합판을 가열용 전기로(200°C)에서 약 20분간 가열하여 금형(20°C)에 충전하여 압축성형하였다. 성형은 30ton 유압프레스를 사용하였으며 금형에는 열전대를 부착시키고 가열은 봉 및 팬히터를 사용하여 균일하게 온도를 유지시켰다.

2.2 제품의 주름 및 성형성

반구형 압축성형시 성형품의 플랜지부에서 주름(wrinkles)이 발생하는데, 이 현상의 주원인은 원주방향의 압축응력에 의해서이며, 주름의 정도는 니들펀칭횟수, 드로잉력, 재료와 금형의 마찰 등에 영향을 받는다.

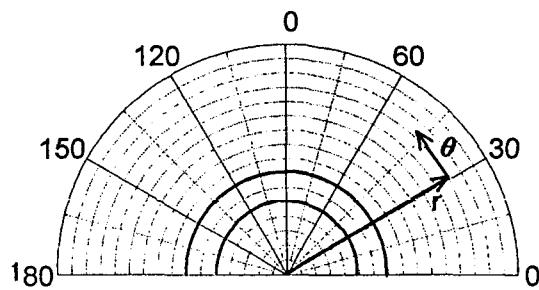


Fig. 1 Positions for measuring fiber content of cup-type molded specimen.

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 주름이 발생하는 성형품의 플랜지부에 대한 soft X-선 사진농도를 이미지 스캐너에 의해 인식하고, Sobel operator에 의하여 농도정보를 컴퓨터로 처리하여 평균농도를 구하여 섬유함유율비 및 불균질도를 구하였다.^{(2),(3)}

성형품의 X-선 사진에서 폴리프로필렌 사진농도는 무시하고 유리섬유 사진농도만으로 섬유함유량을 결정한다. 촬영조건은 모두 동일하게 하였으며 성형품의 농도정보를 수치데이터로 0-250사이에서 읽어 컴퓨터로 처리하였다.

Fig. 2에서 보듯이 임의의 구간에서 실제시편과 사진을 채취하여 단위 면적당 섬유함유량 wf 과 평균농도 P_f 를 조사해보았을 때 상관관계가 있음을 알 수 있었다. 이 실험값은 최소자승법을 이용하여 다음 식(1)에 의해 성형품의 섬유함유량 wf' 를 계산할 수 있다.

$$wf' = -\frac{1}{A} \ln \frac{P_f}{B} \quad (1)$$

A, B, P_f 의 값은 섬유함유량, X-선 촬영조건, 현상조건, 필름과 인화지 종류 등의 영향을 받는다. 이 식은 실제 동일제품의 표본시편을 채취하여 단위면적당 섬유함유량(g/cm^2)을 구하고 이를 X-선 사진의 동일위치에서 농도값 P_f 값을 구하여 관계식을 세운 후 위의 공식과 비교하여 $A (=5.86)$, $B (=537.03)$ 값을 구한다. 섬유함유율 q_f 은 다음 (2)식을 이용하여 화상처리에 의한 단위 면적당 섬유함유량 wf' 를 대입하여 구한다.

$$q_f = \frac{wf'}{(h - wf'/\gamma_g) \times \gamma_p + wf'} \quad (2)$$

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

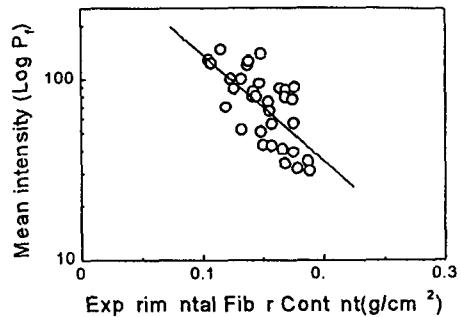


Fig. 2 Fiber and Intensity

3. 실험결과 및 고찰

니들펀칭 횟수와 초기면적에 변화를 주었을 때 성형품의 플랜지부 위치변화에 따른 섬유함유율비 Q_{fr} 를 Fig. 3(a)-(f)에 나타내었다. Fig. 3(e), (f)와 같이 니들펀칭횟수가 많을 때 위치변화에 따라 섬유함유율비의 변화가 크지 않다는 것을 알 수 있다. 이는 니들펀칭으로 인해 섬유구조의 손상으로 평면에 대한 섬유간의 구속력이 구속력이 작아지기 때문이며 75회 이상의 니들펀칭횟수에서는 주름현상이 크게 발생하지 않았다. 하지만 성형시 제품을 지탱해주는 힘이 감소하여 측벽부의 인장력에 의해 파단(tears) 현상이 나타났다. Fig. 3(a)에서와 같이 니들펀칭을 하지 않았을 때는 불균질성이 커져 제품의 성형성에 큰 문제가 있는 것으로 드러났다. 특히 반구형 성형품과 같이 주름이 잡히는 성형에 있어서는 주름이 있는 곳은 섬유가 뭉쳐있고, 없는 곳은 거의 플라스틱만 존재하는 진동형의 그래프가 그려진다. 또, 초기면적 A_0 가 커짐에 따라 섬유함유율비의 변화가 적어진다. 즉 주름 현상의 발생이 적어진다. 이는 초기면적이 커지면, 재료와 금형 사이의 마찰이 커지고 드로잉력에 의한 플랜지부에서의 압축응력이 작아짐으로 이러한 현상이 일어난다.

Fig. 4는 불균질도 Γ 에 미치는 니들핀칭횟수의 영향을 초기면적 A_0 의 변화에 대해서 나타내었다. 보듯이 불균질도는 니들핀칭횟수가 감소하고, 초기 면적이 작아짐에 따라 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 초기면적이 증가할수록 재료와 금형간의 마찰력이 증가하고 플랜지부의 압축응력이 작아지기 때문이다. 마찰 면적이 커지면 재료의 흐름에 의해 접성력이 증가하여 블랭킹 훌더와 같이 재료를 불잡아주는 역할을 하여 주름발생을 억제해 주기 때문이다.

4. 결 론

연속섬유로 강화된 복합재의 성형성을 검토하기 위해 강화재 구조를 변화시키는 니들핀칭 공정을 한 후 이 복합재의 초기면적을 다르게 하여 반구형 형상으로 압축성형을 한 후 비교·검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 반구형 압축성형품의 플랜지부에 대한 섬유함유율비 Q_{fr} 의 변화는 니들핀칭횟수가 적을수록, 초기면적이 작을수록 커진다.

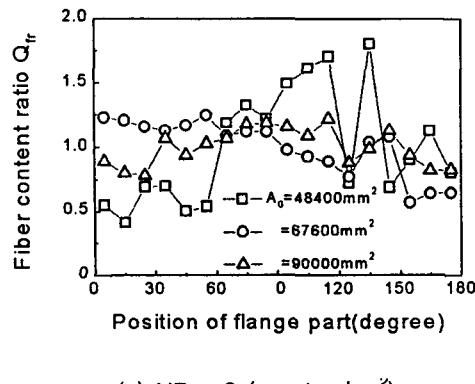
(2) 성형품의 불균질함의 척도인 불균질도 Γ 는 니들핀칭 횟수가 증가하면, 감소하고, 초기면적이 작을수록 증가한다.

참고문헌

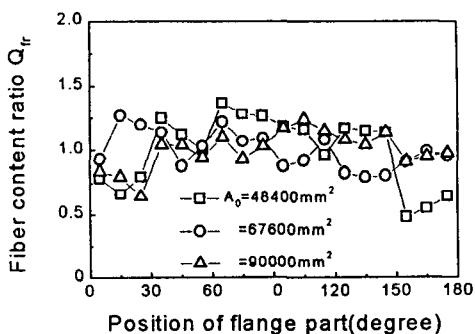
- (1) 오영준, 김형철, 김이곤, “연속섬유강화 플라스틱 복합재료의 압축성형성에 관한 연구 (제1보)”, 한국복합재료학회 토고중
- (2) H. Yaguchi, H. Hojo, D. G. Lee and E. G. Kim, “Measurement of Planar Orientation of Fibers for Reinforced Thermoplastics

Using Image Processing”, International Polymer Processing, Volume X, 1995, pp. 262~269.

- (3) 이동기, 矢口 仁, 조선형, 김이곤, “화상처리에 의한 섬유강화 고분자복합재료의 섬유함유량 분포측정”, 대한기계학회논문집, 제15권, 제4호, 1991, pp. 1177~1183.

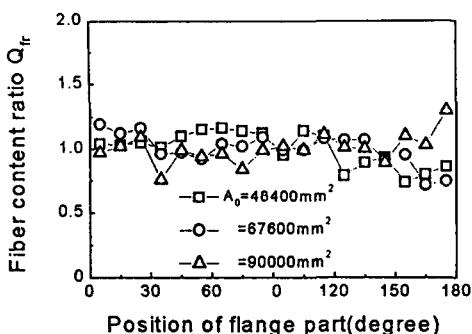


(a) $NP = 0$ (punches/ cm^2)

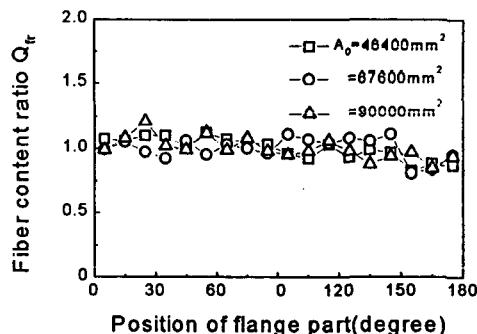


(b) $NP = 5$ (punches/ cm^2)

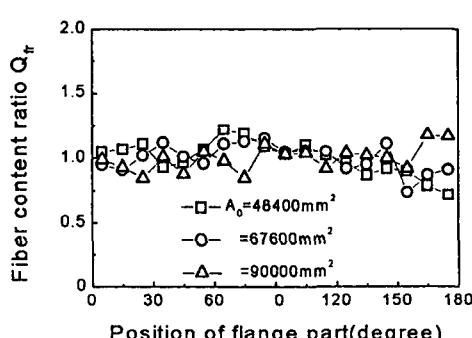
Fig. 3 Variation of fiber content ratio Q_{fr} as a function of position of flange part.



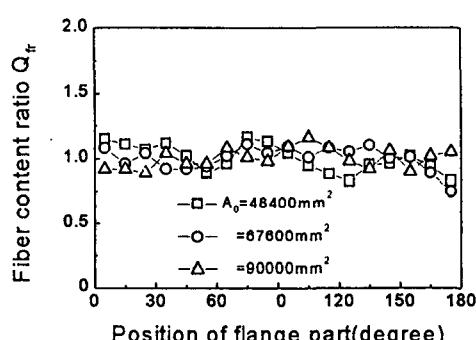
(c) $NP = 10$ (punches/cm²)



(f) $NP = 75$ (punches/cm²)



(d) $NP = 25$ (punches/cm²)



(e) $NP = 50$ (punches/cm²)

Fig. 3 (Continued)

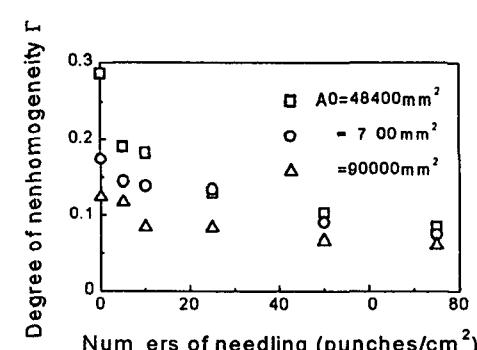


Fig. 4 Relationship between numbers of needling and degree of nonhomogeneity Γ .