

Fabric 형태에 따른 열가소성수지 적층복합재료의 성형성

신익재*·이동주*

(2003년 1월 2일 접수, 2003년 6월 20일 심사완료)

Formability of Thermoplastic Laminar Composite depending on the Types of Fabric

Ick-Jae Shin and Dong-Joo Lee

Key Words: Formability(성형성), Press Consolidation Technique(압밀법), PET/Glass Fabric Laminar Composite(PET/유리직물 적층복합재료), Thickness Distribution(두께분포), Area Ratio of Blank(블랭크 면적비), Intra-ply Shear Angle(층내 전단각)

Abstract

Three-dimensional formability of the thermoplastic laminar composite was studied according to manufacturing conditions. Five different types of the plain weave fabric were used as reinforcement with PET matrix. The square blank was made by press consolidation technique and formed in the type hemisphere. B-factor defined as the ratio of width of yarn and distance between yarns was used as the factor of formability in the type of plain weave fabric. The formability of PET/Glass fabric laminar composite was estimated in terms of forming rate and B-factor with the thickness distribution, area ratio of blank, and intra-ply shear angle. The thickness distribution across hemisphere was strongly affected by the B-factor, forming rate and blank thickness. The area ratio of blank was increased with B-factor, forming rate and blank thickness. Also, it was found that the intra-ply shear angle depends on the B-factor and forming rate.

1. 서론

최근에는 섬유강화 열가소성 복합재료가 전통적인 시트 성형 공정과 이와 유사한 제조공정을 개발시키는 잠재력을 제공하고 있다.^(1~3) 연속섬유 시트는 실제적으로 섬유방향으로는 신장(extensibility)을 허용하지 않고 변형의 지배적인 형태는 섬유방향의 45°에서 전단현상으로 나타난다.^(4,5) 그러나 섬유방향에서의 신장은 불연속섬유에서는 가능하고 섬유의 종횡비(length-to-diameter ratio)가 크기만 하면 고상 재료의 물성은 적당하게 연속섬유 시스템으로부터 변

경될 수 있다. 하지만 고온에서 복합재료는 기지재료가 녹는점 부근에서 액체상태로 전환되면서 재료특성의 예측을 어렵게 한다. 더욱이 다층 상태에서는 각 층의 변형이 서로 영향을 주기 때문에 적층순서(stack sequence)나 각 층의 섬유 방향이 적층복합재료의 재료거동이나 기계적 물성에 중요한 변수로써 작용한다. 이렇게 여러 가지 변수와 온도 증가에 따른 섬유 강화 복합재료의 재료거동에 대한 이해가 부족하지만, 최근 연구는 기존의 진부한 제조공정에 이러한 복합재료의 변수를 적용하여 상당한 진전을 이루고 있다. 복합재료는 사용하기 위해 적층의 형태로 구성되며 이러한 적층은 재료의 성형에 있어 보강재의 직조형태나 적층순서 따라 주름(wrinkle)은 피할 수 없는 문제로 대두되었다.^(6~10)

이에 본 연구는 기존의 연구가 직조의 형태나 적층순서 등을 고려한 것과는 달리 Plain Weave Fabric이라는 한가지 직조형태를 선택하였고, 이들을 구성하는 Yarn의 폭과 간격을 주요인자로

* 회원, 영남대학교 대학원 기계공학과

† 책임저자, 회원, 영남대학교 기계공학부

E-mail : djlee@yu.ac.kr

TEL : (053)810-2469 FAX : (053)813-3703

결정한다. 그리고 적층두께, 성형속도까지 고려함으로써 열가소성수지 복합재료의 성형성을 면밀히 연구하고자 한다.

이와 더불어 경제적이며 기계적 성질이 우수하여 여러 공학분야에 다양하게 대량으로 사용되고 있는 Polyethylene-Terephthalate(PET)를 이용하여 고기능성 복합재료로 개발하여 응용시키고자 한다. 일반적으로 PET재료는 가공온도가 높고, 분자구조에 따라 기계적 물성에 많은 차이가 있으며, 가공조건의 범위(processing window)가 좁기 때문에 가공 상 다소 문제점이 있다. 그러므로 섬유강화 열가소성수지 복합재료를 만드는 제조공정인 압밀법(press consolidation technique)⁽³⁾을 적용하여 유리섬유의 한 형태인 Plain Weave Fabric을 적용한 시트를 성형한다. 이들을 이용하여 3차원 성형성 평가를 위한 반구형 성형 시험을 실행하고 본 재료가 가지는 특성인 보강재의 형태, 성형속도, 적층수에 의한 블랭크 두께에 대해 어떠한 성형성을 가지는지를 평가하는데 있다.

2. 블랭크 제작 및 성형성 평가

2.1 블랭크 제작

시편제조를 위한 제작공정으로 압밀법을 적용하였고 공정동안 온도, 압력과 시간을 변화시키면서 제품을 생산하였다. 지금까지 압밀법의 최적화를 위하여 예열장치와 프레스의 온도, 압력, 진공 및 시간의 변화에 따르는 다양한 실험을 행하였다. 본 연구에서 사용할 재료는 도레이세한(주)에서 생산된 필름형태의 열가소성수지인 PET를 기지재료로, 보강재는 한국화이버(주)의 Plain Weave Fabric 형태의 유리섬유로 Table 1과 같이 5가지 보강재료를 사용하였다. 이들 중 609, 635, 650은 Warp와 Weft 방향에서의 Yarn의 개수가 다르므로 동일하게 모든 형태에 대해서 짝수로 적층하였다.

압밀법에서의 예열, 압밀, 응고 단계의 성형조건은 Table 2와 같고, 이는 각종 실험을 통해 얻어진 최적 값이다.⁽¹¹⁻¹³⁾ 블랭크의 체적함유량은 약 30%이고, 두께는 1.1 및 1.5mm로 제작하였다. 그리고 크기 및 형태는 160 × 160mm의 정사각형으로 제작하였다. 블랭크 홀딩(holding)은 홀더를 블랭크 위에 올려놓고 변위만 구속시켰다.

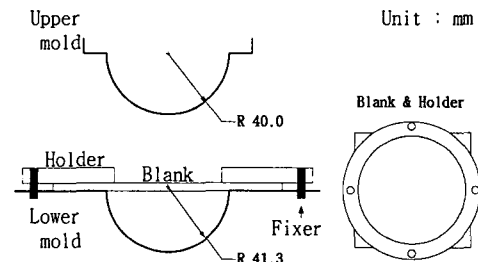


Fig. 1 Schematic of equipment for hemisphere forming

Table 1 Description for plain weave fabric

Type	Count(Yarns/In.)		Weight (g/m ²)	Thickness (mm)
	Warp	Weft		
609	20	10	54	0.09
612	18	18	132	0.12
618	18	18	197	0.18
635	17	14	337	0.35
650	10	8	529	0.50

3차원 성형품의 제조를 위해 예열장치에서의 예열과 1차 압밀단계에서 평판 형태의 반 압밀(semi-consolidated) 복합재료를 성형하고 3차원 성형성을 평가하기 위한 블랭크를 제작하였다. 그리고 제작된 블랭크를 3차원 금형이 설치되어 있는 프레스에서 2차 압밀과 냉각을 통해 유리섬유 강화 열가소성수지 복합재료의 성형성을 평가하였다. Fig. 1은 3차원 반구형(hemisphere)의 제품을 만들기 위한 금형의 계략도로 제품의 두께가 1.3mm가 되도록 설계하였다. 또한 제품의 성형후 금형에서의 분리를 용이하게 하기 위하여 테프론(Teflon® PTFE) 코팅을 하였다.

2.2 성형성 평가

열가소성 수지 복합재료의 제조공정인 압밀법과 여러 가지 성형에 대한 다양한 변수를 설정하여 반구형과 같은 3차원 형상의 성형품을 제조하고 이를 통해 성형성을 연구하였다. Plain Weave Fabric 형태의 재료에 대해서 제조공정상의 성형속도, 보강재료의 형태, 블랭크 두께를 변화시켜 다양한 상태에서의 성형성을 조사하였다. 판재의 3차원 성형성은 성형된 제품의 두께분포가 얼마만큼 균일한가에 달려있다. 성형성은 형상이 복잡하게 굴곡지거나 유입되는 깊이의 정도에 따라

Table 2 The processing parameters of press consolidation technique

Pre-heating		Consolidation			Solidification	
		Step I	Step II		(cooling)	
Pre-heating unit		Press				
Pre-heating temp.(°C)	Pre-heating time(min)	Pressing time(sec)	Mold temp. (°C)	Pressing time(sec)	Pressing force(kN)	Cooling rate (°C/min)
290	12	10	Upper:140 Lower:260	15	125	20

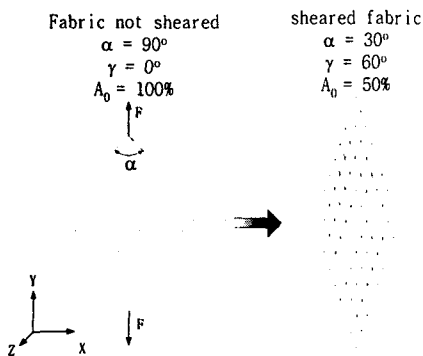


Fig. 2 Fabric intra-ply shear deformation after forming

서 주름이나 찢어짐이 생기기 때문에 제품전체의 두께가 균일하게 분포되는가를 평가하는 것이 중요한 평가 방법이다.

보강재가 Fabric 형태일 때는 성형 시 섬유 방향인 0° 와 90° 로는 신장이 아주 작지만 45° 방향으로는 전단변형이 일어난다. 이것은 정사각 형태의 블랭크로 열 성형하였을 때의 최종적인 블랭크의 형상을 보면 플린지 부분이 45° 방향의 모서리 부분은 유입이 거의 없고 섬유방향으로는 유입이 커서 빨려 들어간 것을 볼 수 있었다.

주름 표면은 Fabric내의 층내 전단(intra-ply shear)에 의해 부분적으로 줄일 수 있다. 그러므로 적당한 전단은 주름의 형성을 피할 수 있다. 전단각은 Fig. 2와 같이 $\gamma = 90^\circ - \alpha$ 로 정의되며 여기서 α 는 섬유방향인 0° 와 90° 의 사이 각이다. 그리고 면적은 $A_1(\gamma) = A_0 \cos \gamma$ 이고, A_0 는 α 가 90° 일 때의 초기면적이다. 전단에 의해서 x/y 평면내에서 재료의 거동이 생기며, 체적불변에 의해 z방향으로의 두께는 면적의 축소와 함께 증가한다.⁽⁴⁾ 그러므로 완성된 성형품에서의 전단변형에 의한 전단각을 측정함으로써 성형 전후의 성형품의 주름의 발생으로 인한 두께 변

화를 고려하여 성형성을 평가할 수 있다.

성형성 평가 방법으로는 먼저 Image Analysis Program(Image-Pro V3)으로 반구형 성형품 중에서 각각의 변수에 대하여 대칭성이 좋은 것 중 3개를 선정하였다. 그리고 그것을 각각 1/8등분하여 4개의 시편을 다시 선정하여 측정하였고 이들을 평균하여 데이터를 산출하였다. 성형품 두께는 디지털 버니어 캘리퍼스(정밀도 1/100mm)로 측정하고 그 분포를 평가하였다. 성형전후의 블랭크형상의 투영면적과 45° 방향에서의 임계 층내 전단각(critical intra-ply shear angle)을 Image Analysis Program을 이용하여 측정하였다. 특히, 전단각을 측정하기 위해서 열풍기를 이용하여 측정부위의 기지재를 녹여 보강섬유의 형태가 보이게 하였다.

보강재료로 사용하는 Plain Weave Fabric 형태의 종류로는 Fig. 3과 같이 609, 612, 618, 635, 650이다. 이들의 특성을 결정 짓는 인자로서 Yarn의 폭과 간격을 사용하였다. 이들 재료에 대한 성형성을 평가기 위하여 Warp 방향 Yarn의 폭(W_w)과 Yarn과 Yarn 사이(W_d)의 비를 Band factor(B-factor)로 정의하였고 그들의 값은 Table 3과 같다. B-factor가 1에 가깝다는 것은 Yarn의 폭이 커져서 Yarn사이의 간격이 거의 없음을 나타낸다. 그리고 이러한 인자의 결정은 현재 생산되고 있는 Plain Weave Fabric의 형태에서만 적용된다.

성형평가는 Fig. 4와 같이 중심에서 75mm까지 5mm간격으로 0° 와 45° 방향에서 각각 16군데에서 두께와 층내전단각을 측정하였다. 두께분포, $X = t_f/t_0$ 로 정의하고 t_f 는 중심에서부터 75mm까지의 16군데 측정부분의 두께이고, t_0 는 반구중심의 두께이다. 그리고 측정된 두께분포의 표준편차(standard deviation, S.d.(X))를 구해 그 차이를 평가해본다.

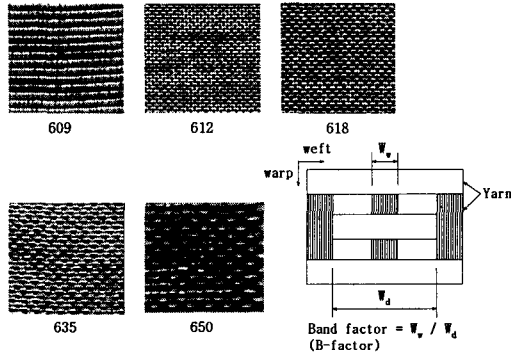


Fig. 3 Photograph of plain weave fabrics and definition of B-factor

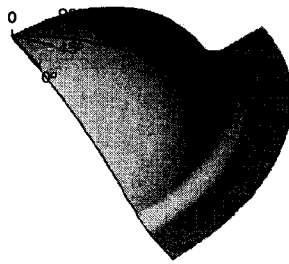


Fig. 4 Schematic of a quarter of hemisphere after forming

Table 3 B-factor value for various glass fabrics

Type of Fabric	609	612	618	635	650
B-factor	0.1	0.3	0.45	0.55	0.7

성형속도에 있어서는 100, 300mm/min으로 정하였고 보강재의 형태는 B-factor에 따라 평가하였다. 적층두께는 금형의 제품설계두께 1.3mm보다 얇고 두꺼운 블랭크 두께 1.1mm와 1.5mm에 대해서도 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 두께분포

평판 형태의 사각 블랭크를 반구형 성형품으로 제작하였다. 블랭크의 두께를 약 1.1과 1.5mm의

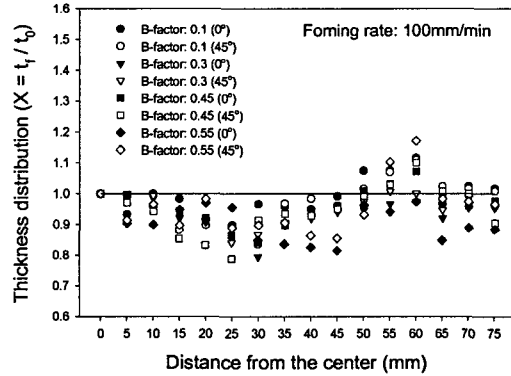


Fig. 5 Thickness distribution as a function of B-factor for 100mm/min of forming rate and 1.1mm of blank thickness

두 가지로 반구형 성형을 하여 보강재의 B-factor와 성형속도에 따른 성형품 두께분포의 변화를 조사해 보았다. 먼저 두께 1.1mm의 반구형 제품의 성형성을 평가하였다. 여기서는 B-factor 0.7은 블랭크 두께가 최소 1.5mm이므로 제외시켰다. Fig. 5는 성형속도 100mm/min 일 때의 B-factor에 따른 두께분포를 반구의 중심에서부터 75mm되는 곳까지 측정된 것이다. B-factor가 커질수록 변화가 더 심하다는 것을 알 수 있다. 또한 성형속도가 증가할수록 두께의 변화가 커졌다. 이러한 두께변화의 정확한 비교를 위하여 통계학적인 방법으로 표준편차를 사용하여 그 정도를 분석하여 보았다.

Figs. 6-7은 표준편차를 나타낸 것이다. 먼저 B-factor에 대해서는 0.3부터 0.7까지는 증가하는 추세를 보이나, 0.1에서는 0.3과 비슷한 값을 보이고 있다. 0.1이 이러한 경향을 보이는 것은 성형 시 층내에 생기는 전단에서 섬유 이동이 가장 용이하여 주름을 최소화 할 수 있다는 예상과는 다른 결과이다. 실질적으로 블랭크 제조 공정상 B-factor가 0.1인 보강재를 블랭크로 만들기 위해서는 Table 4와 같이 다른 것들에 비해 상당히 많은 양을 적층시켜야 하고 Fig. 3에서 보았듯이 Yarn의 폭이 작아 섬유의 정렬상태를 0°와 90°를 유지하기가 어렵고 성형품의 두께 균일도가 우수하지 않는 것을 알 수 있었다.

성형속도에 대해서는 속도가 증가할수록 편차가 커지고 B-factor가 작은 것이 속도차이에 대한 편차의 차이가 작은 것으로 나타났다.

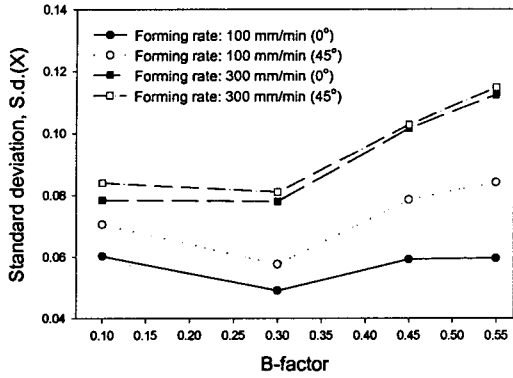


Fig. 6 Standard deviation as a function of B-factor for 1.1mm of blank thickness

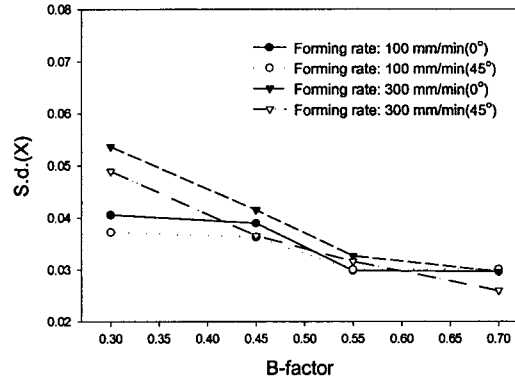


Fig. 8 Standard deviation as a function of B-factor for 1.5mm of blank thickness

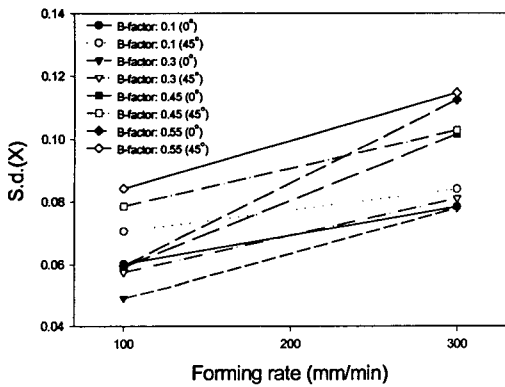


Fig. 7 Standard deviation as a function of forming rate for 1.1mm of blank thickness

Table 4 Number of glass fabric for each blank thickness, t

(unit : ply)

B-fac. t	0.1	0.3	0.45	0.55	0.7
1.1mm	12	5	4	2(1.0mm)	
1.5mm		10	6	4	2

섬유배열 방향에서의 편차는 전단이 생기는 45° 에서가 0° 보다 큰 것을 알 수 있는데 이는 성형초기에는 45° 방향에서 전단이 일어나면서 주름을 방지하지만 임계 전단각(critical shear angle)을 지나면서 섬유간의 이동이 억제되는 잠

김(interlocking)현상이 생겨 주름이 형성되기 때문이다. 또한 B-factor가 클수록 성형속도가 늦을수록 0° 와 45° 의 차이가 크다.

다음은 적층량과 블랭크 두께의 효과를 분석하기 위해 Table 4와 같이 보강재의 수량을 조정하여 1.5mm의 블랭크를 제작해 보았다. 그리고 블랭크 두께 1.1mm에서의 결과를 바탕으로 B-factor 0.1은 적층수의 증가로 인해 블랭크 제작에서 있어서도 두께 균일도가 저조하고 섬유 정렬에 있어서도 용이하지 않으므로 0.1을 제외한 4가지에 대하여 성형성을 평가하였다.

Figs. 8-9에서 보듯이 표준편차 값이 1.1mm 블랭크와는 달리 B-factor와 성형속도의 면에서 현저하게 줄어든 것을 알 수 있다. 이는 블랭크의 두께가 두꺼워지면서 적층수가 증가하지만 성형압력이 충분히 가해지면서 나타난 결과이다. 블랭크의 두께가 두꺼워지면 성형압력이 충분히 가해진다는 장점도 있지만 성형 시 적층수가 많아 층내전단과 더불어 층간(interply)의 분리(debonding) 현상이 나타남으로 섬유의 배열이 초기 블랭크 제작 시와 동일하지 않아 성형성이 나빠질 수 있다.

B-factor가 커짐에 따라 편차가 낮아지고 있고 성형속도에 대해서는 속도가 빠를수록 편차가 커지나 1.1mm와는 달리 B-factor가 작은 것만 편차의 차이가 있고 나머지는 거의 없음을 알 수 있다. 그리고 섬유배열 방향에서의 편차는 전체적으로 0° 와 45° 가 거의 비슷한 값을 가진다.

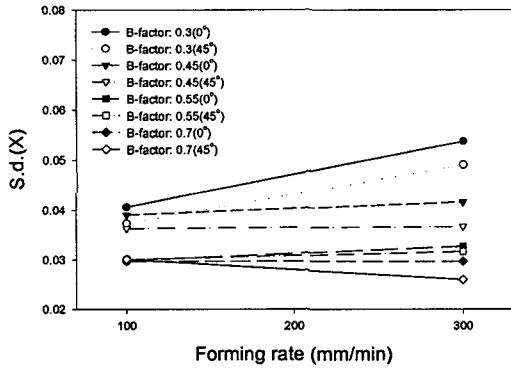


Fig. 9 Standard deviation as a function of forming rate for 1.5mm of blank thickness

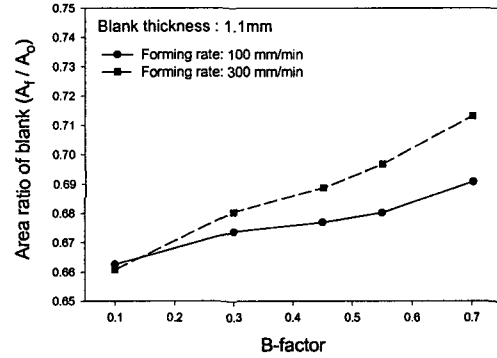


Fig. 11 Area ratio of blank as function of B-factor

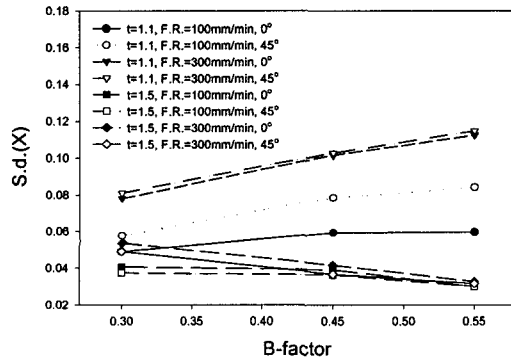


Fig. 10 Comparison of standard deviation between 1.1 and 1.5mm of blank thickness as functions of B-factor and forming rate

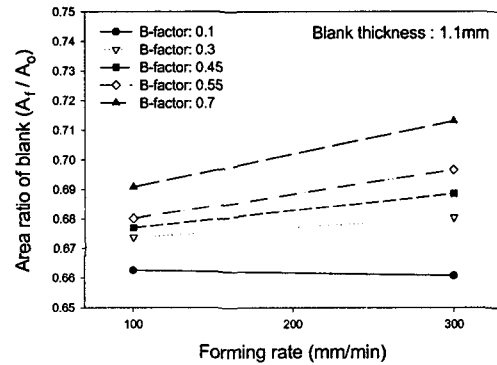


Fig. 12 Area ratio of blank as function of forming rate

Fig. 10은 1.1과 1.5mm 블랭크의 표준편차를 비교한 것인데, 확연히 1.5mm가 1.1mm보다는 두께 균일성이 있는 것을 알 수 있다. 또한 1.5mm에서는 B-factor가 증가할수록 두께균일성이 우수해진다. 이는 1.1mm에서와는 다른 현상이다. 이것은 블랭크의 두께가 두꺼워지면서 적층수가 증가했기 때문에 성형압력을 충분히 받는 반면 층간의 분리현상으로 인해 성형상태가 나빠진 것으로 평가된다.

3.2 블랭크 면적비

압밀법에 의해 제작·가공된 사각 블랭크를 성형성 평가를 위해 3차원 반구형 제품을 성형하였다. 그리고 성형 후에 최종 블랭크 형상을 투영하여 그 면적을 조사하여 보았다.

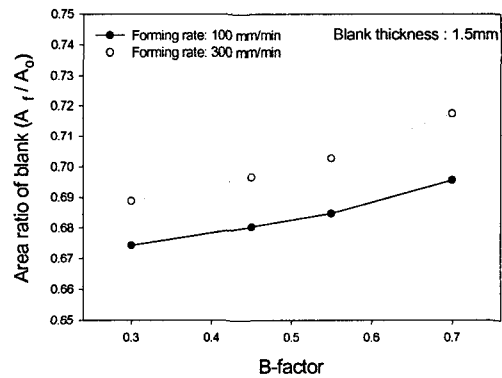


Fig. 13 Area ratio of blank as function of B-factor

블랭크 면적비(area ratio)는 성형후의 반구형 블랭크의 투영된 면적을 성형전의 사각 블랭크의 면적으로 나눈 것으로 정의하였다.

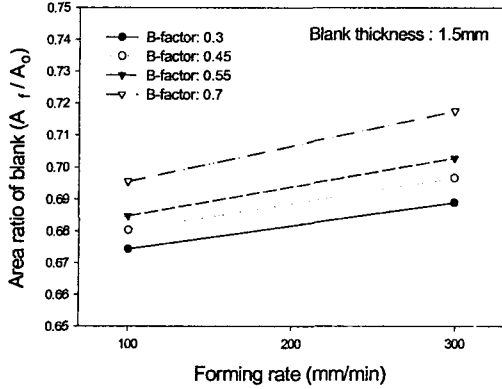


Fig. 14 Area ratio of blank as function of forming rate

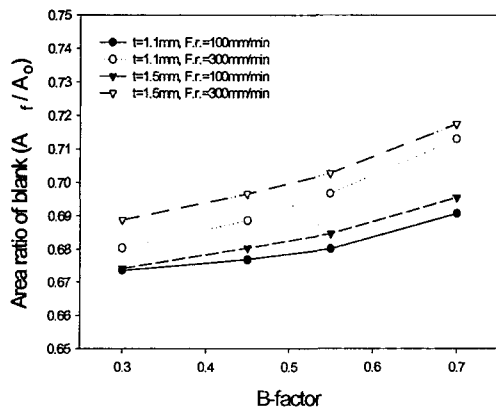


Fig. 15 Comparison of area ratio between 1.1 and 1.5mm of blank thickness as a function of B-factor

Figs. 11-12는 두께가 1.1mm 블랭크의 면적비를 나타낸 것이다. B-factor의 값이 증가할수록 면적비는 증가하고, B-factor가 증가할수록 성형속도에 영향이 커짐을 알 수 있다. Figs. 13-14는 1.5mm 블랭크에서의 면적비의 변화로 1.1mm일 때와 비슷한 경향을 보이고 있다. 그리고 1.1과 1.5mm를 비교하여 보면, Figs. 15에서 보듯이 B-factor가 증가하고 성형속도가 빠를수록, 그리고 블랭크 두께가 두꺼울수록 면적비가 커지는 경향을 보이고 있다. 위에서 언급한 블랭크의 면적비에 대한 것은 다음절에 기술될 층내 전단각과 연관이 있고 Fabric 형태의 유리섬유가 가지는 특성이다.

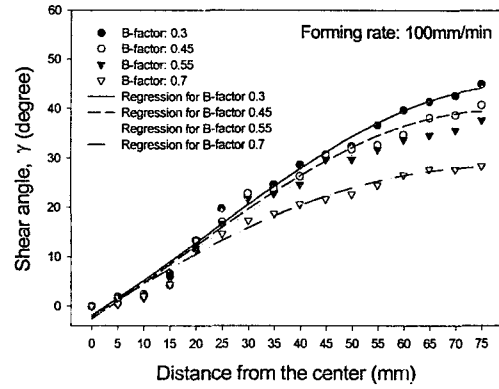


Fig. 16 Shear angle as a function of B-factor for 100mm/min of forming rate and 1.5mm of blank thickness

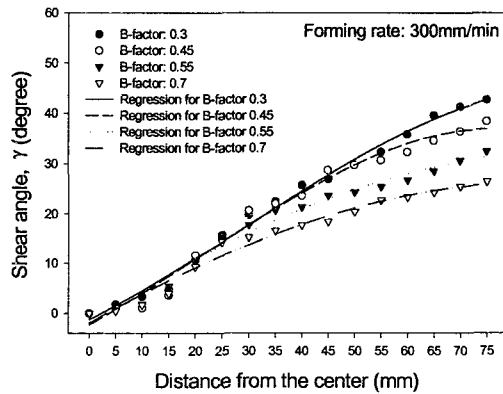


Fig. 17 Shear angle as a function of B-factor for 300mm/min of forming rate and 1.5mm of blank thickness

3.3 층내 전단각

성형성을 평가하기 위하여 45° 방향에서 Warp와 Weft가 이루는 각을 측정하여 전단각을 평가하였다. 먼저 블랭크 두께 1.5mm에서의 측정값인데, Figs. 16-17은 측정각에 의해서 전단각을 계산하여 나타낸 것으로 성형속도 100과 300mm/min에서 비슷한 경향을 보이나 전단각의 크기는 100이 300mm/min보다 전체적으로 크다. 반구의 중심에서부터 멀어질수록 전단각이 커지며, 그 정도가 B-factor가 작은 것이 증가치가 커지는 것을 볼 수 있다. 측정된 전단각에서 최대값은 측정부위 중 반구의 중심에서 가장 먼 곳에서 일어난다.

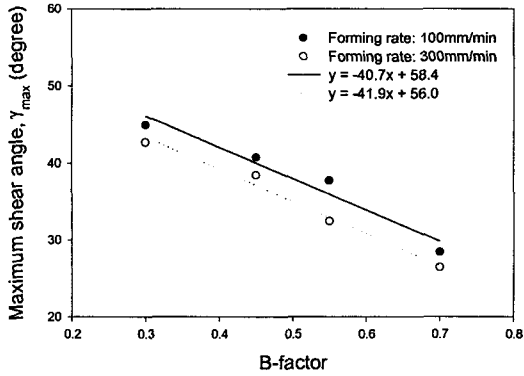


Fig. 18 Maximum shear angle as functions of B-factor and forming rate for 1.5mm of blank thickness

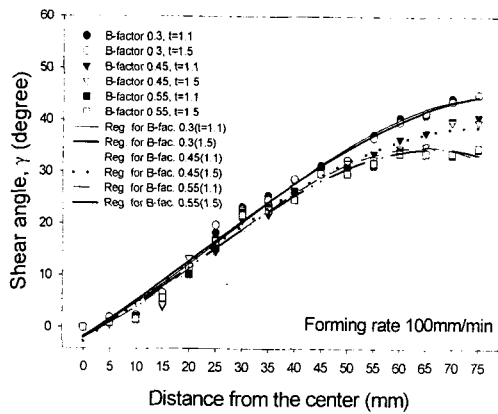


Fig. 19 Comparison of shear angle between 1.1 and 1.5mm of blank thickness as a function of B-factor

Fig. 18은 최대 전단각이 B-factor가 작을수록, 성형속도가 늦을수록 커지는 것을 보여주고 있다. 또한 성형속도가 100과 300mm/min의 차이가 일정함을 보여주고 있어 성형속도에 대한 전단각 차이는 모든 B-factor에 대해 일정함을 보였다. 이러한 결과를 블랭크의 면적비와 연관지어 보면 전단각이 가장 큰 B-factor 0.3과 성형속도 100mm/min에서 면적비가 가장 작아 전단현상이 성형후의 면적에 영향을 미침을 알 수가 있다.

Fig. 19는 블랭크 두께 1.1mm와 1.5mm의 전단각을 비교한 것인데, 거의 비슷한 값을 가진다는 것을 알 수 있다. 그러므로 블랭크 두께가 1.1mm

일 때의 표준편차와 연관지어 보면 성형압력이 충분히 가해지지 않은 상태에서는 B-factor가 작을수록 전단각이 커지고 이로 인해 주름을 방지함으로써 표준편차가 낮아져 두께의 균일도가 높아지는 것으로 나타났다.

4. 결과

본 연구에서는 열성형 시 Fabric 형태의 섬유가 보강된 가소성수지 적층복합재료에 대하여 3차원 성형성 평가를 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 두께분포: 블랭크 두께가 1.1mm일 때는 B-factor와 성형속도가 증가할수록 변화가 커지며 B-factor가 작은 것이 성형속도 차이에 대한 편차의 차이가 작은 것으로 나타났다. 그리고 섬유배열 방향에서의 편차는 전단이 생기는 45°가 0°보다 커지고 B-factor가 클수록, 성형속도가 늦을수록 0°와 45°의 차이가 크다. 그러나 블랭크 두께가 1.5mm일 때는 전체적인 표준편차는 현저하게 줄었으나 B-factor와 성형속도에 대한 경향은 상이했다. 먼저 B-factor가 증가하면서 편차가 오히려 감소하였고, 성형속도에서는 B-factor가 가장 작은 것만 차이가 있고 나머지는 변화가 없었다. 그리고 섬유배열 방향에서의 편차는 0°와 45°보다 거의 비슷한 값을 가진다. 이러한 현상은 블랭크의 두께가 두꺼워지면서 적층수가 증가했기 때문에 성형압력을 충분히 받는 반면 층간의 분리현상으로 인해 성형상태가 나빠진 것으로 평가된다.

(2) 블랭크 면적비: B-factor가 증가하고 성형속도가 빠를수록 그리고 블랭크 두께가 두꺼울수록 면적비가 커지는 경향을 보였다. 또한 B-factor가 증가할수록 성형속도에 영향이 커짐을 알 수 있었다.

(3) 층내 전단각: 반구의 중심에서부터 멀어질수록 섬유의 이동이 커져 전단각이 커지고 성형속도에 관계없이 모든 B-factor에 대해 비슷한 경향을 보였다. 그리고 B-factor가 작은 것이 중심으로 부터의 증가치가 커지는 경향을 보였다. 이것은 블랭크의 면적비와 연관되어 전단각이 가장 큰 B-factor 0.3과 성형속도 100mm/min에서 면적비가 가장 작아 전단각이 성형 후 면적에 영향을 미친다는 것을 알 수가 있었다.

두께분포와 전단각의 결과에서 나타나듯이 블랭크 두께가 1.1mm에서 성형압이 크게 작용하지 않을 때는 전단각이 큰 것이 주름 형성을 방지하여 두께분포를 균일하게 하지만, 1.5mm에서는 전단각에 크게 의존하지 않는 것으로 나타났다.

후 기

이 연구는 2002년도 영남대학교 자유공모과제의 지원 및 BK21사업에 의해 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) Bersee, H. E. N. and Beukers, A., 2002, "Diaphragm Forming of Continuous Fiber Reinforced Thermoplastics: Influence of Temperature, Pressure and Velocity on the Forming Upilex-R® Diaphragms," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 33, pp. 949-958.
- (2) Krebs, J. Friedrich, K. and Bhattacharyya, D., 1998, "A Direct Comparison of Matched-die versus Diaphragm Forming," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 29, pp. 183-188.
- (3) Andersent, T. Logstrup, 1997, "Development of a Rapid Press Consolidation Technique for Continuous Fibre Reinforced Thermoplastic Composites," *Proceeding of 18th Risø International Symposium on Materials Science*, pp. 237-244.
- (4) Breuer, U., Neitzel, M., Ketzner, V. and Reinicke, R., 1996, "Deep Drawing of Fiber-Reinforced Thermoplastic: Wrinkle Formation and Their Reduction," *Polymer Composites*, Vol. 17, No. 4, pp. 643-647.
- (5) Murtagh, A. M. and Mallon, P. J., 1995, "Shear Characterization of Unidirectional and Fabric-Reinforced Thermoplastics Composites for Pressforming Applications," *Proceedings of The 10th ICCM*. Whistler, Vancouver.
- (6) Lim, T. C., Ramakrishna, S. and Shang, H. M., 1999, "Axisymmetric Sheet Forming of Knitted Fabric Composite by Combined Stretch Forming and Deep Drawing," *Composites: Part B*, Vol. 30, pp. 495-502.
- (7) Nakamura, Y. and Ohata, T., 1998, "The Effect of Newly Developed Blank Holder on Press Forming of Glass-Cloth Reinforced Thermoplastic Sheet," *Key Engineering Materials*, Vol. 137, pp. 40-46.
- (8) Qin, S., Shang, H. M., Tay, C. J. and Mo, J. X., 1996, "An the Extent of Stretching during Deep Drawing," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 59, No. 4, pp. 386-390.
- (9) Ramakrishna, S., Hamada, H., Cuong, N. K. and Maekawa, Z., 1995, "Mechanical Properties of Knitted Fabric Reinforced Thermoplastic Composites," *Proceedings of The 10th ICCM*, Vol. 4, pp. 245-252.
- (10) Allard, R., Charrier, J. M., Ghosh, A., Marangou, M., and Ryan, M. E., Shrivastara, S. and Wu, R., 1986, "An Engineering Study of The Thermoforming Process: Experimental and Theoretical Consideration," *Journal of Polymer Engineering*, Vol. 6, p. 363.
- (11) Shin, I. J., Kim, D. Y. and Lee, D. J., 2000, "Crystallinity and Mechanical Properties of Glass Fiber Reinforced Thermoplastic Composites by Rapid Press Consolidation Technique," *Key Engineering Materials*, Vols. 183-187, pp. 1171-1176.
- (12) Lee, Dong-Joo and Shin, Ick-Jae, 2002, "Effects of Vacuum, Mold Temperature and Cooling Rate on Mechanical Properties of Press Consolidated Glass Fiber/PET Composite," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 33, Issue 8, pp. 1107-1114.
- (13) Ick-Jae Shin, Dong-Joo Lee and Hong-Gun Kim, 2002, "Optimal Manufacturing Conditions of Glass Fiber Reinforced PET Matrix Composites by Rapid Press Consolidation Technique," *Trans. of KSME, A*, Vol. 26, No. 5, pp. 813-821.