

복합재료 부품 표면에 다양한 딴플을 형성하는 성형 방법

조치룡^{*,+}, 변길재^{*}A Study on the Processing Technique to form Various Dimples
on the Surface of Composite PartsC.R. Joe^{*,+}, Gill-Jae Byun^{*}

ABSTRACT

In this study, an economical and effective processing technique to form multiple dimples on the surface of a composite part, which are known to be useful to improve aerodynamic performance and heat dissipation. Forming dimples on the surface using molds is an expensive processing because forming multiple tiny positive spheres on the surface of the mold requires much time and effort. In this study, plates with multiple round holes are utilized as a core to form dimples on the carbon/epoxy composite skin covering the core. A vacuum bagging process is used to apply pressure on the surface while curing. Composite parts which have multiple dimples on the surface can be utilized in the field which needs high aerodynamic performance and heat dissipation ability such as high speed sports car bodies.

초 록

본 연구에서는 공기역학적 또는 열 전달에 유리한 형상인 딴플을 복합재료 제품의 표면에 다수 형성하는 경제적이고도 효과적인 성형방법을 개발하였다. 금형을 이용하여 제품의 표면에 다수의 딴플을 형성시키려면 몰드의 표면에 볼록한 반구형상을 가공하여야 하는데 이렇게 하려면 높은 금형 제작비가 소요된다. 본 연구에서는 다수의 원형 구멍이 뚫린 판재를 이용하여, 이의 표면에 복합재료 스킨을 입히면서 외부에서 압력을 가하여 딴플 형상이 표면에 자연스럽게 형성되도록 하는 방법을 개발하였다. 표면에 다수의 딴플을 갖는 복합재료는 공기저항을 줄이거나 방열효과가 필요한 고속 경주용 자동차의 외장 등으로 널리 응용 될 수 있을 것으로 사료된다.

Key Words : 카본 프리프레그(carbon prepreg), 샌드위치 복합재료(sandwich composites), 경주용 자동차(formular cars), 공기역학(aerodynamic)

1. 서 론

표면에 존재하는 딴플은 공기역학적으로 공기의 저항을 줄이는 데에 유용하게 사용되고 있다. 예를 들면, 골프공의 표면에 있는 딴플이다. Achenbach[1]는 표면의 거칠기가 구의

공기 저항력에 미치는 영향에 대하여 연구하였으며, Bearman and Harvey[2]는 표면에 딴플이 있는 경우 공의 공기 저항력을 측정하고 표면을 거칠게 한경우와 비교하는 연구를 행하였다. 이들의 연구로부터 낮은 레이놀즈 수에서는 표면이 거친 것과 딴플이 있는 것 모두 항력계수가 매끄러운 공과 별

접수: 2012년 11월 19일, 수정: 2013년 1월 29일, 게재승인: 2013년 2월 15일

* 창원대학교 메카트로닉스 기계설계공학과

*+ 창원대학교 메카트로닉스 기계설계공학과, Corresponding author(E-mail:jcr@changwon.ac.kr)

차이가 없었으나, 임계 레이놀즈 수를 초과하면 표면이 거친 공의 항력계수는 급증한 반면, 딥플이 있는 공의 항력계수는 거의 일정하게 유지되었음을 알 수 있다. 이같이 딥플을 갖고 있는 표면이 그냥 거칠게 성형된 표면에 비해 공기저항 측면에서 유리하므로 경제적인 방법으로 표면에 딥플을 형성할 수 있는 성형법이 개발되면 그 응용 범위가 넓을 것이다. 본 연구에서는 복합재료를 이용하여 표면에 다수의 딥플을 형성시키는 방법을 개발하였다.

복합재료는 높은 비강도 및 비강성도, 열적특성, 전기적특성, 내부식성, 내충격성, 피로특성, 부품 일체화의 용이성 등의 많은 장점을 가지고 있어서 우주 항공용 부품, 스포츠용품, 고속 주행용 포물러 카 등에 많이 사용되고있다. 또한 탄소섬유 강화 복합재료(CFRP)는 내약품성, 화학적 불활성 및 생체 친화성이 매우 우수하여 다양한 분야에서 응용이 가능하다.[3]

최근 이와 같은 CFRP를 외피층으로 하고 하니컴 코어를 심재로 하는 하니컴 샌드위치 복합재료 적용판이 많이 연구되고 있다. 이러한 샌드위치 복합재는 코어의 양면에 얇은 면재를 접합시켜 중립축에 대한 관성모멘트를 높게 하여 굽힘 강성을 증가시키는 것이 주된 특징이다. 이는 요구되는 구조물의 강도와 강성을 유지하면서 효율적인 경량화를 이룰 수 있다. 또한 고강도 및 고강성, 특히 하니컴 코어 두께로 인한 단면 2차 모멘트의 증가로 인한 큰 굽힘 강성, 높은 충격에너지 흡수 효과, 우수한 피로 저항 특성, 높은 단열, 내화 및 방음 효과를 갖는 구조 재료로서 항공 우주산업, 군수사업, 자동차, 건축 및 스포츠 용품 등에 다양하고 광범위하게 적용되고 있다.

이러한 샌드위치 복합재료는 경량 고강도로서 고속 주행용 포물러 카의 외장 부품으로도 많이 사용되고 있다. 이와 같이 고속 주행이 요구되는 경우에는 제품 표면의 공기저항이 큰 변수로 작용될 수 있다. 따라서 이러한 제품의 표면에 딥플을 손쉽게 형성시킬 수 있다면 그 응용범위가 상당히 넓을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 샌드위치 구조를 갖는 복합재료 부품의 표면에 딥플을 형성시키는 방법을 개발하였다. 우선 열가소성 수지 플레이트를 이용하고 그 표면을 카본/에폭시 복합재료로 입히는 과정에서 딥플을 형성시키는 방법을 고안하였다.

2. 성형의 기본 개념

열 가소성 수지는 다양한 형태의 제품을 대량으로 생산할 수 있는 재료이며 값이 싸다는 장점이 있다. 그리고 성형시에 가해지는 열에 의하여 어느 정도의 소성적 변형도 가능하다. 따라서 열가소성 수지로 된 플레이트에 Fig. 1과 같이 다수의 구멍을 내고 이의 표면에 복합재료 스킨을 입힌 뒤에 Fig. 2와 같이 외부에서 열과 압력을 가하면서 성형하면 자연스럽게 표면 딥플이 형성되게 된다.

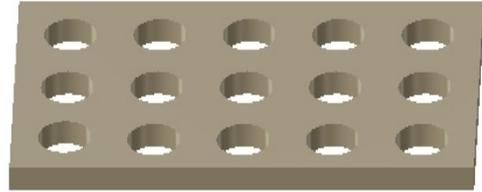


Fig. 1 Thermoplastic plate with multiple holes.

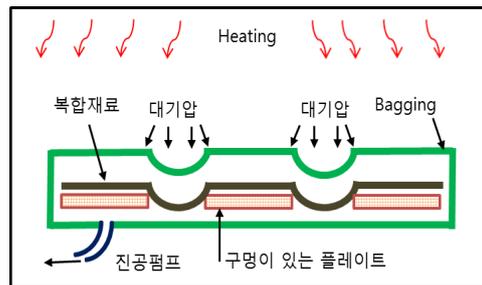


Fig. 2 Forming dimples using heat and pressure.

이러한 성형법에서는 열가소성수지와 복합재료 스킨 사이의 접착력 및 열가소성 수지에서 발생하는 Gas 량의 Control 기술이 중요한 요소가 되며 이에 관해서는 별도의 논문으로 연구결과를 발표 하고자 한다. 본 연구에서는 딥플의 성형 과정에 집중하고자 한다. 성형되는 딥플의 정확한 형상은 가해지는 열의 양과 가해지는 압력의 크기에 따라 정해지게 된다. 성형 전에 모든 조건을 입력하여 해석적으로 최종 형상을 예측하는 방법이 있겠지만 그러한 해석적 방법은 미래 또는 다른 연구자의 몫으로 남겨 두기로 하고, 본 연구에서는 실험적 방법으로 구멍의 크기와 성형조건을 변화시키면서 성형을 반복하여 원하는 형상을 얻었다.

3. 재 료

3.1 Carbon prepreg

본 연구에서 사용되는 복합재료는 카본 프리프레그(Carbon prepreg)로 이는 평직으로 직조된 WSN3K (SK 케미칼)을 사용하였으며 WSN3K에 대한 기본 정보는 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Specifications of WSN3K

	Thickness	Total Wt(g/m ²)	Fiber Areal Wt(g/m ²)	Resin Content(%)
WSN3K	0.227	336	198	41
Tensile Strength			450 kgf/mm ²	
Tensile Modulus			24×10 ³ kgf/mm ²	
Fiber Density			1.77 g/cm ³	
Resin Density			1.2 g/cm ³	

3.2 Thermoplastic Core

연구에 사용된 플레이트 재료는 Fig. 3과 같이 열가소성 수지 세 종류로 각각 Polymethylmethacrylate (PMMA), Acrylonitrile-Butadiene-Styrene resin (ABS), Polycarbonate (PC)를 사용하였다. 세 종류의 플레이트 재료는 비교적 강도가 높고 가격이 저렴한 장점을 갖고 있다.



Fig. 3 Photos of different types of thermoplastic.

세 종류 플레이트 재료의 인장강도와 굴곡강도 및 열 변형 온도를 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Specifications of thermoplastic

	Tensile Strength (kg/cm ²)	Flexural Strength (kg/cm ²)	Thermal Deformation temp(°C)
PMMA	670	1,100	90
ABS	480	670	120
PC	660	890	130

4. 제작 방법

4.1 Carbon Prepreg 경화 조건

본 연구에서는 복합재료 제조를 위한 카본 프리프레그 WSN3K의 최적 경화 조건을 찾기 위해 Table 3와 같이 세 가지 경화 조건을 비교 하였다.

Table 3 Different types of Curing Cycle

	WSN3K	Curing Cycle
A	6장(2T)	160°C 120min, 30°C 120min
B	6장(2T)	90°C 60min, 120°C 120min, 30°C 120min
C	6장(2T)	120°C 120min, 30°C 120min

A의 조건은 SK케미칼사에서 추천하는 조건으로 160°C 120min, 30°C 120min의 경화 사이클이다.

B의 조건은 일반적인 프리프레그 경화 조건으로 90°C 60min, 120°C 120min, 30°C 120min의 사이클을 가진다. 초기 90°C에서 60분 머무르는 이유는 잉여 수지의 유동으로 코어와 복합재료 간의 접착력을 향상 시키게 하기 하기 위해서 이다.

Table 4 Different types of plate

Diameter and type	Cross section of the plate	
(mm) Ø5,10, 20,40	A	
	B	
	C	
	D	

C의 120°C 120min, 30°C 120min 조건은 일반적인 Bisphenol-A계 경화 조건이다.

4.2 구멍의 형상

A 형상은 플레이트에 필요한 깊이만큼만 구멍을 판 것이다. B 형상은 구멍이 플레이트를 관통한 것이다. C 형상은 딥플에 가장 가까운 형상을 위한 것으로 원하는 딥플 형상으로 플레이트를 가공한 것인데, 가공상의 어려움이 있다. D 형상은 계단 형상을 가진 것으로 C와 같이 가공하는데 어려움이 있어서 플레이트 가공성을 높이기 위하여 시도하였는데 성형 결과는 기대에 못 미쳤다.

제품의 사용 용도에 따라 적절하게 구멍의 직경과 형상을 조합하여 사용할 수 있을 것이며, 본 연구에서는 성형성을 보기 위하여 몇 가지 조합들을 시행하였다.

4.3 복합재료 제조

본 연구의 복합재료는 VBM (Vacuum Bag Molding)법으로 제조되었다. 이형 처리된 몰드 위에 카본 프리프레그와 열가소성 수지 플레이트 재료, 카본 프리프레그, Bagging Film 순으로 적층 후 진공 상태로 만들고 복합재료 성형오븐 (TKP- 1000, Shin Han Industrial Electric Co.)을 통해 제품으로 제작하였다. 스킨에 사용된 프리프레그는 앞, 뒤로 각각 한 장씩 사용하였다.

경화 조건 확인을 위한 시편은 코어 재료 없이 카본 프리프레그를 6장 적층 하여 동일한 방법으로 제작 하였다.

5. 결과 및 분석

5.1 카본프리프레그 성형조건

카본 프리프레그의 최적 경화 조건을 확인하기 위하여 제조된 세 종류의 제품을 살펴보면, Table. 3의 A조건인 경우, 160°C에서 120분 경화를 시행하였고, 그 결과 Bagging Film이 높은 열로 인해 형상을 유지 하지 못하고 주름이 발생하였다. 이로 인해 주름 사이로 수지가 유입 되어 접착 면 사이의 수지 부족으로 프리프레그 사이의 접착력이 낮게 나왔다. 뿐만



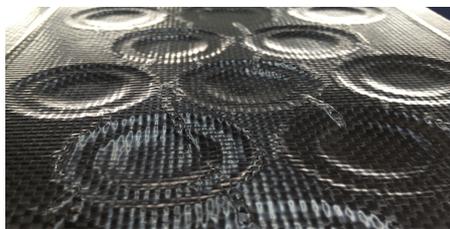
4-A



4-B



4-C



4-D

Fig. 4 Composites with 40 Ø holes.

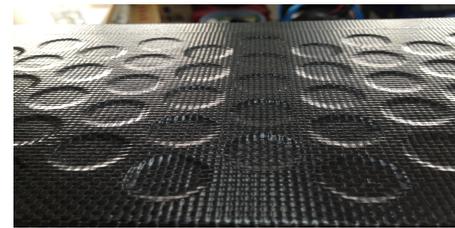
아니라, PMMA, ABS, PC의 경우 각각 90℃, 95℃, 130℃의 열 변형 온도를 가지므로 160℃의 경화 조건은 내부 코어 재료가 많은 변형이 일어날 수 있으며 일부 가스를 발생 시키게 되므로 적합하지 못하다고 판단 하였다.

B의 조건으로 제조된 시편을 제조 할 경우 세 종류 제품 중 가장 표면이 매끄럽고 접착이 우수한 제품을 만들 수 있었다. C의 경우 비교적 접착이 잘 이루어 졌으나 B의 조건에 비해 수지 부족으로 함침이 되지 않은 곳을 발견 할 수 있었다.

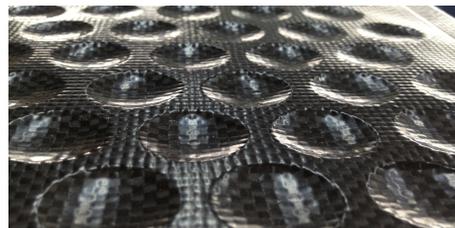
이와 같은 이유는 수지 주입 형태인 RTM 등의 성형법과 달리 B-Stage 상태의 프리프레그를 사용하는 VBM 공정에서는 프리프레그가 반경화 상태로 수지가 일정 온도에서 유동이 일어나 다른 층의 프리프레그와 접착이 되어야 한다. 하지만



5-A



5-B



5-C

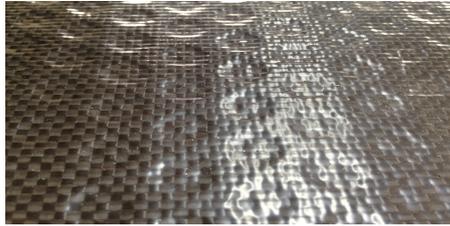
Fig. 5 Composites with 20 Ø holes.

유동을 생각하지 않고 경화를 한 A와 C의 경화 조건은 프리프레그 사이의 접착이 잘 이루어 지지 않고 경화가 이루어 지기 때문에 B 조건의 결과물보다 좋지 못하다. 이에 따라 본 연구의 카본 프리프레그 복합재료 제조 공정은 B 조건이 가장 좋다고 판단하였다.

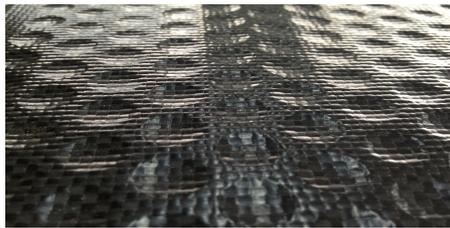
5.2 플레이트 재료에 따른 성형결과

재료에 따른 복합재료 제작 결과 ABS의 경우 접착력이 좋은 제품을 제작 가능하였으나 가스제어가 잘 되지 않을 경우는 접착이 잘 이루어 지지 않았다. PC의 경우 플레이트와 스킨 사이에 접착이 거의 이루어 지지 않은 상태였다. PMMA의 경우 스킨과 플레이트 재료의 접착이 잘 이루어 졌다. 이와 같은 이유는 90℃의 열 변형을 가지는 PMMA의 경우 Table 3 B의 90℃ 60분 유지 시에 열 변형을 일으키며 카본 프리프레그의 여분의 수지와 접착을 이루게 때문으로 사료된다. 일반적으로 PMMA에 높은 열을 가하면 다량의 가스를 발생 시키지만 120℃ 경화의 경우 가스를 거의 발생 시키지 않으며 접착력이 높은 복합재료 제품을 만들 수 있다.

따라서 본 연구에서는 PMMA를 플레이트 재료로 사용하였다.

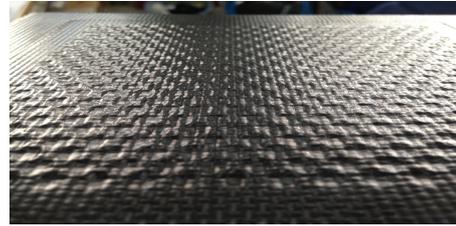


6-A

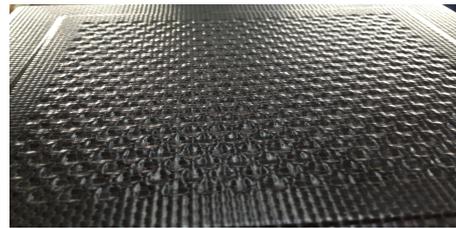


6-B

Fig. 6 Composites with 10 Ø holes.



7-A



7-B

Fig. 7 Composites with 5 Ø holes.

5.3 구멍의 형상에 따른 성형 결과.

구멍의 형상에 따른 성형 결과를 Fig. 4부터 Fig. 7까지 나타내었다. A와 B,C,D의 표기는 각각 Table 4의 구멍 형상과 같음을 의미한다.

Ø40mm의 구멍을 가진 PMMA 플레이트로 Table. 4의 형상대로 제작한 결과 4-A와 4-B, 4-C의 경우는 접착력이 좋은 제품을 만들 수 있었다. 반면 4-D의 경우는 앞쪽 프리프레그에서 주름이 발생하였다. 이와 같은 이유는 4-D와 같은 형상은 굴곡이 많아서 직조된 프리프레그의 변형 성이 부족하여 주름이 발생하는 것으로 판단된다. 따라서 D의 조건은 직각으로 직조된 프리프레그를 사용하여 제작하는 데에는 어려움이 있다고 판단하였다.

여기서, 성형 후 플레이트에 가공된 구멍들의 모서리가 얼마나 변형이 되었는지, 그리고 공간은 없는지 궁금하였으나 그것은 성형 온도 및 재료, 압력, 성형시간에 따라 변할 것이므로 어떤 특정한 경우 하나만을 놓고 일반화시키는 것 보다는 우선 본 연구에서는 외관을 위주로 성형방법을 제시하는 데에 국한하고자 한다.

20 Ø구멍을 가진 플레이트로 제작 결과 5-A와 5-B의 경우는 접착력이 좋은 제품을 만들 수 있었으며 5-C의 제품은 가장 덩플과 유사한 형태의 제품을 제작 가능하였다.

하지만 5-C의 경우에도 구멍 깊이가 깊어질수록 프리프레그 잉여 수지만으로는 접착이 어렵다는 것을 반복 실험으로 확인 하였다. 그 한계치에 관한 것도 흥미로운 연구과제일 것이다.

10 Ø의 플레이트로 제작한 결과 6-A의 경우 접착력이 높은 제품을 제작 가능하였다.

6-B의 경우 구멍의 형상은 Table 4의 B이지만 제품 제작 결과는 Fig. 5 C의 형태를 나타내었다. 열, 압력에 의해 모서리가

무너지기도 하였고 측면에 공간도 다소 있는 것으로 확인 되었다.

5 Ø의 플레이트로 제작한 결과 7-A의 경우 덩플 효과를 확인 가능한 접착력이 좋은 제품으로 제작 가능하였다.

7-B의 제작 결과 반구형 덩플이 성형되었으나 플레이트가 두꺼워 질수록 구멍 사이의 앞쪽 스킨과 뒤쪽 스킨이 접착되지 않는 현상이 발생 하였다. 플레이트 두께가 두꺼워지면 진공 압력 및 잉여수지만으로는 5Ø의 구멍 사이로 앞면과 뒷면의 프리프레그를 접착 시키기 어렵다는 것을 알 수 있었다. 이렇게 발생하는 내부 공간에 의한 강도저하 및 진동특성 변화에 대한 연구 및 이를 극복하기 위한 성형조건 연구 등도 향후 중요한 과제가 될 것이다.

6. 결론

본 연구에서는 공기역학적 또는 열 전달에 유리한 형상인 덩플을 제품의 표면에 다수 형성하는 경제적이고도 효과적인 성형방법을 제시하였다. 복합재료를 사용 함으로서 일반 금속을 이용한 공정으로는 경제성 있게 성취하기 어려운 형상을 손쉽게 성형할 수 있다는 점도 일반에게 소개하는 계기가 될 것으로 믿는다. 다수의 원형 구멍이 뚫린 플라스틱 플레이트를 이용하여, 이의 표면에 복합재료 스킨을 입히고 외부에서 압력을 가하여 덩플 형상이 표면에 자연스럽게 형성되도록 하는 방법을 사용하였다. 플레이트의 두께에 따라 성형성이 달라지며, 필요에 따라서는 관통된 구멍을 사용할 수도 있고 또는 일부만 파인 구멍, 그리고 구형으로 가공한 구멍 등이 사용될 수 있다. 사용하는 재료의 열화학적 물성과 사용 압력 및 가하는 온도에 따라 결과가 달라 질 수 있고, 또 구형 덩

플 만이 항상 요구되는 것은 아니므로 실제 적용하는 경우에는 사례에 따라 다른 조건들을 조합하여 최적의 형상이 나올 수 있도록 실험적 또는 해석적 방법을 사용하여야 할 것이다.

표면에 다수의 딥플을 갖는 복합재료는 공기저항을 줄이거나 방열효과가 필요한 고속 경기용 자동차의 외장 등으로 응용 될 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 2011-2012년도 창원대학교 연구비에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) Achenbach, E., "The effect of surface roughness and tunnel blockage on the flow past spheres," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 65, No. 1, 1974, pp. 113-125.
- 2) Bearman, P.W., and Harvey, J.K., *Golf ball aerodynamics*, *Aeronaut. Q.*, 1976, pp. 112-122.
- 3) Kim, K.S., and Park, S.J., "Technique Status of Carbon Fibers-reinforced Composites for Aircrafts," *Elastomers and Composites*, Vol. 46, No. 2, 2011, pp. 118-124.
- 4) Han, I.S., Kim, S.Y., Woo, S.K., Hong, K.S., and Seo, D.W., "Characteristics of Glass/Carbon Fiber Hybrid Composite Using by VARTM," *Journal of the Korean ceramic society*, Vol. 43, No. 10, 2006, pp. 607-612.
- 5) Jung, D.W., Kim, J.S., and Choi, N.S., "Fatigue Fracture Assessment of Honeycomb Composite Side-Wall Panel Joint for the KTX Tilting Car Bod," *Transactions of the KSME A*, Vol. 34, No. 1, 2010, pp. 55-60.
- 6) Kim, K.S., Shim, Y.S., Kim, B.J., Meng, L.Y., Lee, S.Y., and Park, S.J., "Present Status and Applications of Carbon Fibers-reinforced Composites for Aircrafts," *Korean Carbon Society*, Vol. 11, No. 3, 2010, pp. 235-242.

- 1) Achenbach, E., "The effect of surface roughness and tunnel blockage on the flow past spheres," *Journal of Fluid*