

# 고성능 복합재료 RTM 성형용 2차원 프리폼 제조 기술 개발

## 2-Dimensional Preform Fabrication of RTM for High Performance Composites

정의민, 이상관, 엄문광, 변준형  
한국기계연구원 재료공정연구부 복합재료그룹

### 1. 서론

RTM의 주요 핵심기술중의 하나인 프리폼을 제조하는 방법으로는 수작업에 의한 cut-and place 법, 단섬유 보강재를 이용한 스프레이-업, 진공을 이용한 direct fiber preforming법, thermoforming용 바인더를 보강재의 표면에 균일하게 도포하여 열과 압력을 가하여 stamping하는 방법, 보강섬유를 원하는 형태로 재단하여 직조하는 textile preforming법이 있다. 특히 본 연구에서 적용한 stamping방법은 thermoforming용 바인더를 이용하므로 다양한 형상의 프리폼의 제조가 가능하고, 치수의 정밀도가 높으며 균일한 품질의 프리폼을 얻을 수 있다. 또한, 연속섬유 형태를 압축하여 사용하기 때문에 고섬유 체적율의 프리폼 제조가 가능할 뿐만 아니라 원재료의 낭비가 적고, trimming의 양이 최소화되는 장점이 있으므로 고성능 복합재료용 프리폼 제조에 textile 프리폼과 더불어 적합한 프리폼이라 할 수 있겠다.

Thermoforming용 바인더는 preforming 작업 전에 보강재에 도포하는 데 이 바인더는 다음 공정을 위한 취급이 용이하도록 보강재 ply들이 서로 접착할 수 있어야 하며, 주로 사용되는 형태는 분말 형태의 고분자 바인더가 일반적이다. 사용되는 고분자 바인더는 PE(polyethylene), PP(polypropylene)등과 같은 열가소성 수지와 고형분 형태의 epoxy수지 등이 있다. 고분자 바인더 농도의 최적화는 매우 중요한 요소로서, preforming과정에서 바인더의 양이 충분하지 않거나 균일하게 분산되지 않으면 취급이나 성형과정에서 형상의 변형이 발생할 수 있다. 반면 너무 많은 양의 바인더를 사용할 경우 보강재와 기지재료간의 계면 결합력을 약화시키는 역할을 하여 물성의 저하를 가져오

게 되므로 바인더 양의 최적화 및 균일 분산에 대한 연구가 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 프리폼을 제조하기 위한 공법들 중에서 많은 장점을 가지고 있는 thermoforming용 바인더를 이용하여 국내에서 생산되는 탄소섬유 직물을 사용해 프리폼 제조공정의 최적화를 연구하였다.

### 2. 본론

#### 2-1. 실험

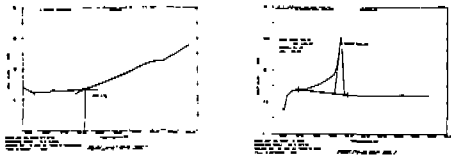
##### 2-1-1. 사용재료

열가소성 바인더를 이용한 Thermoformable fabric제조에 사용된 재료는 미진화학공업(주)의 폴리에틸렌(grade : 1524-w, 백색)와 유공 석유화학의 아이소타크틱 폴리프로필렌을 사용하였으며, 입자의 형태는 파우더상의 것을 사용하였다. 열경화성 바인더로는 에폭시 수지를 사용하였으며, 사용되어진 수지는 극도화학(주)의 YD-017을 사용하였다. 탄소섬유 보강재는 한국카본(주)의 평직구조를 지닌 areal weight가  $197\text{g}/\text{m}^2$  인 것을 사용하였다.

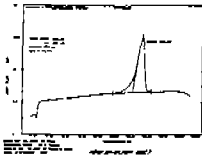
##### 2-2-2. 2-D 프리폼 성형

프리폼 성형을 위해 먼저 사용되어질 바인더 재료의 열특성을 알아보았다. 본 실험에 사용된 폴리에틸렌은 DSC의 열분석 그래프를 통해 약  $102^\circ\text{C}$ 의 용융온도를 나타내고 있음을 알 수 있었으며, 이를 통해 사용되어진 폴리에틸렌 파우더는 저밀도 폴리에틸렌임을 알 수 있었다. 또한, 폴리프로필렌은 전형적인 아이소타크틱 폴리프로필렌의 용융점인 약  $167^\circ\text{C}$ 의 온도를 나타내었으며, 에폭시 수지는  $123^\circ\text{C}$  영역에서 수지의 유리전이온도를

나타내었다. 각각의 바인더 재료에 대한 열분석 결과를 그림 1.에 나타내었다.



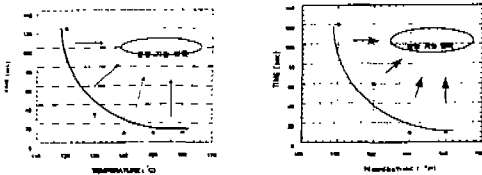
(a) 에폭시 바인더 (b) PE 바인더



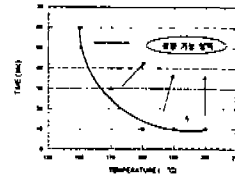
(c) PP 바인더

그림 1. 각각의 바인더에 대한 열분석(DSC) 곡선

탄소섬유직물에 대한 바인더로서의 성형성을 알아 보기 위해 온도에 따른 용착 정도와 시간, 압력의 변수를 통해 성형성을 확인하였다. 각각의 변수에 따른 성형 정도를 알아보면, 첫번째로 온도에 따른 용착의 정도는 그림 2.에 나와 있는 것과 같이 에폭시 바인더는 140℃ 이상에서의 조건에서, 폴리에틸렌의 경우 130℃이상의 온도에서 성형하는 것이 표면 용착의 정도가 좋게 나타났으며, 용융점 부근인 102℃에서는 60초 이내의 시간에서는 충분한 용착이 이루어지지 않았다. 폴리프로필렌의 경우는 180℃의 온도에서 성형하였다. 폴리프로필렌은 약 166℃의 용점을 가지고 있기 때문에 폴리에틸렌이나 에폭시에 비해서 성형 온도가 높다는 문제점이 있다.



(a) 에폭시 바인더 (b) PE 바인더



(c) PP 바인더

그림 2. 온도와 시간에 따른 성형 관계

이상의 실험 결과를 통해 열가소성 바인더는 용점보다는 약간 높은 온도에서 충분히 용착되어 질 수 있도록 조건을 잡아 주는 것이 유리할 것으로 생각되어진다. 이에 따라, 본 실험에서는 폴리에틸렌 바인더의 직물 표면 용착 조건을 120℃에서 60초간 용착하는 조건으로 진행하였으며 폴리프로필렌은 180℃, 에폭시 수지는 140℃에서 60초 정도의 성형 시간을 갖는 것이 충분한 용착이 이루어질 수가 있었다. 각각의 바인더에 대한 입자 크기, 적층 수, 농도의 변화에 따른 프리폼의 성형성과 표면을 관찰하였다. 바인더의 입자 크기에 따른 분류는 mesh를 이용하여 분리하였으며, 입자의 크기는 106 $\mu$ m, 78 $\mu$ m의 두 종류로 분리하였다. 농도는 1wt%, 3wt%, 5wt%의 세 종류로 적용하였으며, 적층 수는 3, 5, 10장으로 시행하였다.

Thermoformable fabric의 제조는 위에서 언급한 변수와 여러 변수에 대한 실험의 결과를 토대로 탄소섬유 직물 표면에 각 바인더의 충분한 용착을 위해 용점 이상의 온도에서 60초간 용착하였으며, 프리폼의 성형은 5kgf/cm<sup>2</sup>의 압력 조건에서 성형하였다.

### 2-2-3. RTM 성형

제작되어진 thermoformable fabric을 이용한 RTM 성형품 제조를 위해 다음의 방법을 이용해 preform을 제조하였다. Thermoformable 프리폼은 300mm × 300mm의 크기로 재단되어진 탄소섬유 직물의 표면에 성형성 확인을 위해 적용되어진 각 경우의 조건을 이용하여 성형하였으며, 각 조건당 동일하게 8장을 적층하였다. RTM 성형에 사용된 수지는 CIBA-GAIGY사의 LY564 에폭시 (bisphenol

-A계열) 수지를 사용하였으며, 경화제는 poly-amine계열의 것을 사용하였다. 일정량의 수지와 경화제를 계량하여 혼합시킨 후 1기압의 조건으로 진공 탈포를 시행하여 수지 내부의 기포를 제거하였다. 기포의 제거가 완료된 후, 질소압을 이용하여 수지를 주입하였다. 이때 수지 주입압은 5기압으로 시행하였다. 수지 주입이 완료되어진 후 그림 3의 경화사이클에 따라 경화공정을 진행하였다.

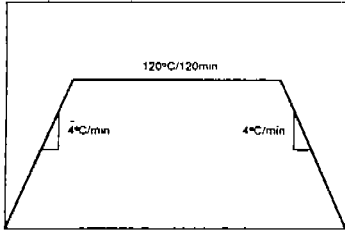


그림 3. LY-564/HY-2952 시스템의 경화 사이클

#### 2-2-4. Autoclave 성형

RTM성형품과 비교하기 위해 사용되어진 재료는 한국 카본(주)의 CF6638 탄소섬유/에폭시 프리프레그(평직)를 사용하였다. 250mm×250mm의 크기로 자른 후 2mm의 두께가 되도록 프리프레그를 8장 적층하여 성형하였다. Autoclave의 성형 사이클은 그림 4에 나타내었다.

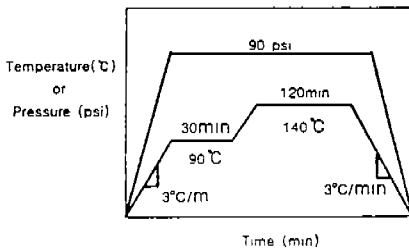


그림 4. Autoclave 경화 사이클

#### 2-2-3. 물리적, 기계적 특성 평가

##### 2-2-3-1. 단면 조직 관찰

성형되어진 오토클레이브와 RTM 성형품의 단면 조직을 관찰하기 위하여 각 성형품에서 샘플을 채취한 후 마운팅과 폴리싱 과정을 거쳐 조직을 관찰하였다. 조직 관찰은 광학 현미경을 이용하여

40배의 배율로 측정하였다. 단면 조직을 살펴보면, 오토클레이브와 바인더가 미처리되어진 RTM 성형품은 기공이 없이 성형이 잘 되어졌음을 알 수 있으며, 섬유 함량은 약 43% 정도로 나타났다. 바인더 처리를 한 성형품의 단면을 살펴보면 에폭시 바인더와 PE, PP바인더의 단면 구조가 많은 차이를 보이고 있음을 알 수 있었다.

##### 2-2-3-2. 층간전단강도

Binder의 종류와 농도 그리고 입자 크기에 따라 층간전단강도에 미치는 영향을 알아보기 위해 각 조건별로 시편을 채취하여 층간전단강도를 측정하였다. 시편은 ASTM D2344-84에 따라서 제작하였으며, 크기는 span-to-depth가 4:1인 경우를 적용하였다. 사용되어진 시험 장비는 인스트론사의 만능시험기(model : 4206)를 사용하였다. 시험은 시험기의 cross-head를 1.3mm/min의 일정한 속도로 움직여 시행하였으며, 결과는 cross-head의 이동 거리를 통해 변위량을 구하였으며, 시험기에 장착되어진 piezo type load cell(100kN)로부터 얻어진 파단 하중을 측정하여 층간전단강도를 구하였다.

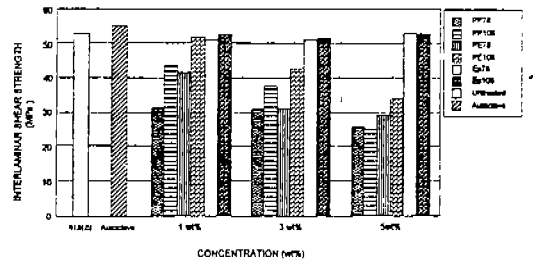


그림 5. 각각의 조건에 대한 층간 전단 강도

##### 2-2-3-3. 인장 특성

Binder의 종류와 농도 그리고 입자 크기에 따라 인장 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 각 조건별로 시편을 채취하여 인장 강도와 강성을 측정하였다. 시편은 ASTM D3039-76에 따라서 제작하였으며, 시편의 규격은 그림 6에 나타내었다. 사용되어진 시험 장비는 인스트론사의 만능시험기

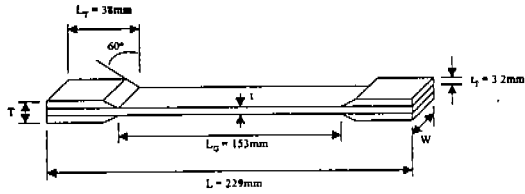


그림 6. 인장 시험편의 형상과 규격

(model : 4206)를 사용하였다. 시험은 시험기의 cross-head를 1mm/min의 일정한 속도로 움직여 시행하였으며, 결과는 시험편에 부착되어진 스트레인 게이지를 통하여 얻어진 변형값과 시험기에 장착되어진 piezo type load cell(100kN)로부터 얻어진 파단 하중을 측정하여 인장강도 및 강성을 구하였다.

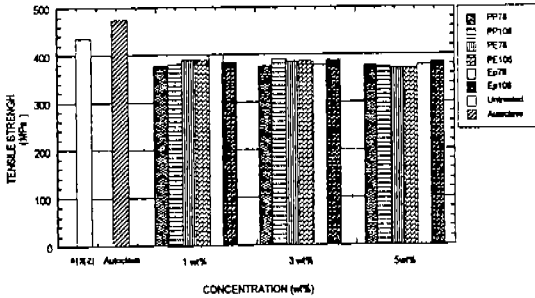


그림 7. 각각의 조건에 대한 인장 강도

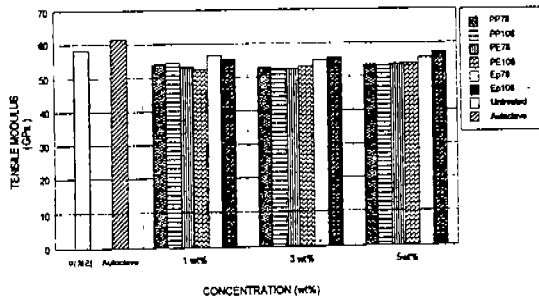


그림 8. 각각의 조건에 대한 인장 강성을

### 3. 결론

프리폼 제조공법들 중에 성형성에서 장점이 많은 thermoforming용 바인더를 이용한 스탬핑 공법을 개발하였다. 수행방법은 기존의 formable 직물을 분석과 자료 조사를 통한 바인더 재료를 선정

하여 국내에서 생산되는 탄소섬유 평직을 이용하여 프리폼의 국산화를 시도하였다. 최적 스탬핑 성형조건은 에폭시와 폴리에틸렌, 폴리프로필렌을 바인더 재료로 선택하여 성형온도, 성형압력, 성형시간, 적층 수, 두께등의 성형 변수별실험을 통하여 결정하였다. 최적의 바인더 농도를 결정하기 위하여 농도별로 RTM 성형품을 제조한 후, 중간전단강도 시험과 인장시험을 통해 최적화하였다. 그리고 RTM 성형품과 동일한 섬유체적을 갖도록 오토클레이브 성형품을 제조하여 중간전단 및 인장특성을 비교하였다. 바인더의 농도에 따른 결과에서는 에폭시 바인더 1wt%의 농도가 중간전단강도에서 가장 높은 값을 나타내었으며, 오토클레이브 성형품 강도의 약 90%를 나타내었다. 바인더의 입자 크기에 따른 결과에서는 입자의 크기가 작은 것보다는 큰 것이 중간전단강도와 인장특성에 좋은 물성치를 나타내었다.

### 참고문헌

1. M. J. Rhodes, "Principles of Powder Technology", John Wiley & Sons, 1990
2. Emery Miller, "Powder Coating", AFP/SME Powder Coating Division, 1987
3. Edith A. Turi, "Thermal Characterization of Polymeric Materials", Academic Press, 1983
4. M. P. S. F. Gomes, R. D. Hibberd & B. L. Davies, "Robotic Preforming of Dry Fiber Reinforcements", Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications, Vol. 19, No. 3, pp131-136, 1993
5. Barton, John M., "The Application of Differential Scanning(DSC) to The Study of Epoxy Resin Curing Reactions", Epoxy Resins and Composites I, Berlin and New York, Springer-Verlag, pp111-154, 1985