

工學博士 學位論文

VaRTM 成形工法에 의해 製造된
尖端 複合材料의 物理的 · 機械的 特性評價 및
그 應用

Evaluation of the Physical and Mechanical Properties of
Advanced Composites by VaRTM Process and Its Application

指導教授 金 允 海

2006年 2月

韓國海洋大學校 大學院

材料工學科

孫 晋 浩

목 차

제 1 장 서론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 목표	5
1.3 복합재료 성형법	6
제 2 장 VaRTM 성형 공정 개발 과정	12
2.1 서론	12
2.2 성형법	16
2.3 장비 및 성형재료	19
2.4 VaRTM 성형 공정	21
2.5 VaRTM 성형법의 응용	32
제 3 장 VaRTM 공정용 고온 수지의 기계적 특성 평가	36
3.1 서론	36
3.2 재료와 제조	37
3.3 시편검사	39
3.4 실험결과	42
3.5 결론	48
제 4 장 VaRTM 공정과 핸드레이업 공정의 물리적·기계적 특성 평가	52
4.1 서론	52
4.2 CFRP란?	54
4.3 기계적 특성 평가	58
4.4 물리적 특성 평가	68
4.5 실험 결과 및 고찰	70
4.6 결론	88
제 5 장 VaRTM 공법에 의한 Rib boat 제작	89
5.1 서론	89
5.2 재료성형 및 Rib boat 제작	91
5.4 결론	104

제 6 장 총괄	105
참고문헌	107

Abstract

Composite materials are emerging as candidate materials for the industrial areas especially for the aerospace business due to the long fatigue life, their significant increase in elastic modulus and strength compared to conventional materials.

Especially, composites are expanding a using on transportation vehicles like automobiles, ships, and air crafts etc. The main factor of this expanding is high specific strength. It accords with object requiring high quality and efficient of energy. But manufacturing of element that was made of composite requires many raw materials and high tooling cost for special process, so we needs a reduction of these costs to make best efficient.

There are various process to fabricate the composites parts, such as autoclave process, RTM and SRIM, etc. These processes is not only cost so much for the metallic tools and the various equipments such as a hot press, an autoclave or a curing oven, but also to be very limited to their shape and size of the composites parts.

VaRTM (Vacuum assisted Resin Transfer Molding) process is introduced as the new process that can improve these problems as above. VaRTM process is adaptable enough for the aerospace industry because it can achieve the same or superior fiber volume fraction compared with autoclave process.

This study is conducted to show as follows.

1. The development of the processing method of VaRTM
2. The possibility with the evaluation of the properties of three kinds of candidates for high temperature resin which is using the composite part of air craft, will be used for this process to manufacture the composites parts of RIB boat with comparing the properties of hand lay-up process.
3. The evaluation of the physical properties and mechanical properties between VaRTM process and hand lay-up process
4. The adaption of the fabrication of RIB boat by using of VaRTM process.

In this experiment, we contrast strength between VaRTM and hand lay-up process. VaRTM process offers high quality the same as autoclave products, and applies with low cost like hand lay-up process. So, VaRTM process can practically apply for CFRP hull part of RIB boat. VaRTM process can offer high quality and low cost. This paper shows that VaRTM process is one of the most suitable processes for composite part of CFRP boat.

제 1 장 서론

1.1 연구 배경

근대적인 개념의 복합재료는 1940년대에 개발된 유리섬유 강화복합재료를 그 시발점으로 볼 수 있다. 1960년의 보론 섬유 개발을 시작으로 PAN (Polyacrylonitrile) 계 탄소섬유, 피치(pitch)계 탄소섬유, 아라미드(aramid), 알루미늄, 실리콘 카바이드 등 각종 고강도 섬유가 미국과 일본에서 차례로 개발되었다. 1970년대에는 각종 제조기법의 개발과 함께 낚시대, 골프채 등 스포츠 용품과 전투기의 2차 구조재로서 복합재료가 활용되기 시작했다. 금속복합재료, 세라믹 복합재료, 탄소/탄소 복합재료들도 이 무렵에 소개되었다.

복합재료는 서로 다른 성질을 갖는 두 가지 이상의 물질로 구성되어 각각의 물질에서는 기대할 수 없는 또는 각각의 특성이 크게 향상된 우수한 기계적 특성을 보이며 미시적보다는 거시적 구조단위로 구성된 것을 지칭한다. 복합재료는 보통 고인장성을 갖는 미세한 섬유를 이보다는 약하나 섬유를 지지하고 오부환경으로부터 q호하는 역할의 기지재료에 함침하여 만들어진다. 1)

복합재료의 구성요소로는 섬유(fiber), 입자(particle), 층(lamina), 모재(matrix)등이 있으며, 이러한 요소들로 구성된 복합재료는 일반적으로 층상 복합재료, 입자강화 복합재료, 섬유강화 복합재료 등으로 구분할 수 있다.

하지만 전통적으로 복합재료라 함은 고분자 복합재료를 말하며, 섬유강화 플라스틱, 섬유강화복합재료 등과 동등한 의미로 사용되고 있다. 이러한 복합재료를 국내에서는 1970년대 초반에 유리섬유의 개발을 기점으로 범용FRP(Fiber Reinforced Plastics) 산업이 시작되었고, 일부 방위산업 제품과 스포츠 레저 용품에 복합재료가 활용되어, 1987년에는 탄소섬유의 소비량이 약 200톤에 달하였다.

아라미드 섬유인 케블라의 개발, 탄소섬유의 국내생산에 이어 1988년에는 복합재료학회가 창립되어 산학연의 유기적인 개발능력을 집결하려고 노력하고 있다.

국내에서의 체계적인 FRP 사업의 발전은 군사적인 필요성에 의하여 시작되었

으며, 군사적으로 응용되는 FRP는 유리섬유강화 페놀수지 복합재료로부터 시작하여 탄소섬유강화 탄소복합재료 개발에 이르도록 크게 발전해 왔다.

또한 주요 FRP 부품을 제조하며, FRP 항공기의 경우도 설계와 제작까지 도달하였다. 하지만 외형적으로 발전된 것에 비하여 주요 핵심기술로서 기초재료의 원천개발 기술, 구조 해석기술, 부품 설계 기술, 핵심공정의 개발기술, 복합재료 고온정밀시험의 평가기술 등은 발전을 위한 초기 및 중간 단계에 머무르고 있다.

항공 산업을 중심으로 발달되어 온 복합재료 관련 기술이 오늘날 경량화 되고 고급화 되어가고 있다. 따라서 복합재료 관련 기술은 자동차 산업분야뿐만 아니라 모든 공업 분야에 널리 파급되고 있는 실정이다. 왜냐하면, 서서히 고갈되어 가는 화석연료를 절약하고 심각한 상태에 놓인 지구대기환경을 보호하기 위한 자동차, 철도차량 및 항공기 등의 운송수단의 경량화 추세는 현재 선진국에서 강력하게 추진되고 있으며 이를 해결하는 데는 복합재료의 사용이 필수적이며 복합재료의 사용이 점차 확대되어 가고 있다.²⁾

Fig. 1-1 및 Fig. 1-2와 같이 최근 항공기, 레저용 선박 및 군용 선박 등 각 부품의 본체 및 구조물 개발 시, 운용경비 절감 및 운용 성능 향상을 위해 선박의 무게 감소가 중요한 문제로 대두되고 있으며, 이를 만족시키기 위한 방안으로 지금까지 사용하고 있는 금속재료를 복합재료로 대체하여 경량화를 하는 추세이다.³⁾⁴⁾

선박 구조물에 복합재료를 사용하기 위해서는 실제 해상 환경 조건에서의 복합재료 거동에 대한 충분한 이해가 선행되어야 하며, 특히 실제 해상 환경 조건에서의 재료특성 감소, 점탄성 효과, 적층판(laminate)의 응력 집중, 정적 강도, 피로수명, 충격에 대한 손상 및 압축 강도 감소, 층간 분리(delamination) 발생 및 전파, 좌굴, 섬유 waveness 및 압축강도 감소, 섬유 파괴, 수지 균열 등을 고려하여야 한다. 또한 복합재료를 이용한 구조물 제작비용을 절감하기 위하여, 현재 널리 사용되고 있는 고비용의 항공기 부품제작에 사용되는 오토클레이브 성형 공정과 일반적인 공법인 핸드레이업 방법을 대체할 저비용 공정 기술 개발을 요구하고 있으며⁵⁾⁶⁾, 이러한 대표적인 공정이 VaRTM 성형 공정이다.

본 연구에서는 항공기에 적용되고 있는 진공을 이용하여 섬유가 적층되어 있는 금형에 수지를 주입하여 제품을 성형하는 오토클레이브 성형공법과 대비한 VaRTM (vacuum assisted resin transfer molding)공법을 이용하여 Rib Boat

를 제작하는 것을 최종적인 목표로 하였으며, 첨단 복합재료의 물리적, 기계적 특성을 평가 한 후, 피로특성과 비파괴시험을 실시하여 제반 특성을 평가 하였다. 그리고 적은 비용으로 고품질의 선박용 복합재료 부품을 생산하기 위한 방법 임을 증명하고자 하였다.

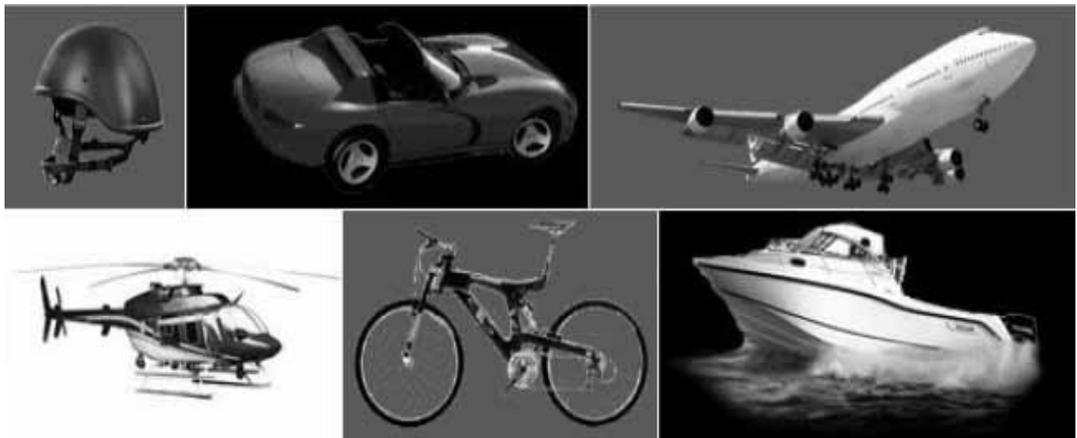
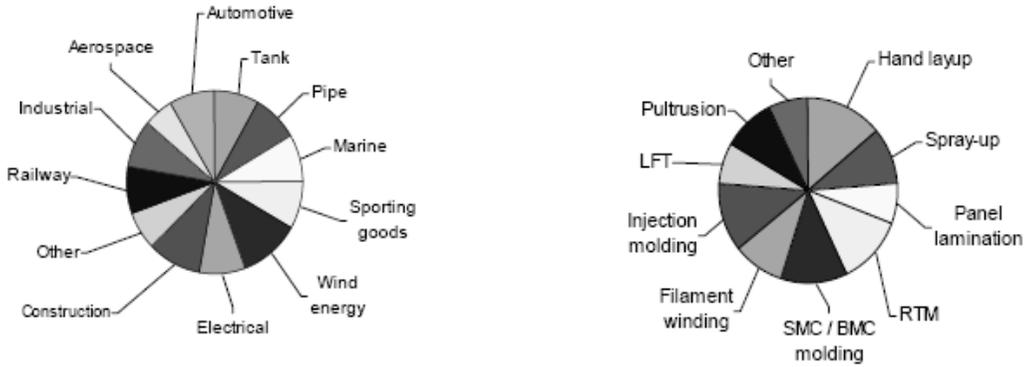


Fig. 1-1 Application of composite



Future growth markets

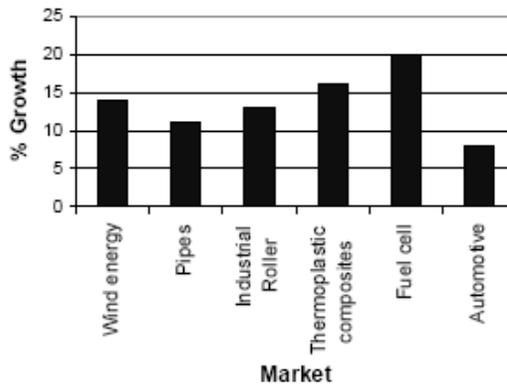


Fig. 1-2 Materials application on each industry

1.2 연구 목표

본 연구에서는 기존의 복합재료를 이용한 성형방법에는 핸드레이업 및 RTM(Resin transfer molding)공정이 일반적이지만 표면에 핀홀(Pin hole) 등의 결함이 많이 존재하고 있으며 압력을 가하지 않은 공정상의 한계로 중량당의 강도 및 강성이 우수하지 못한 실정이다. 이에 따라 고비용의 오토클레이브(Autoclave) 공정을 대체할 신기술로 VaRTM 성형 공정을 이용하여 선박의 선체 및 그의 의장품을 연구하고, 더불어 선박 구조물에 VaRTM 성형 공정을 하는 것이다.

이를 위해, 본 연구에서는 연구 대상으로서 기술적 난이도가 낮은 선박 2차 구조물(RIB boat)을 선정하였고 필요한 시험 및 방법은 다음과 같다.

1. VaRTM 성형 공정 개발 과정
2. VaRTM 공정의 고온용 수지 평가 및 연구
3. VaRTM 공정과 핸드레이업 공정의 물리적·기계적 특성 평가
4. VaRTM 공법에 의한 Rib boat 제작

1.3 복합재료 성형법⁷⁾

복합재료를 성형하는 방법은 여러 가지가 있으나 대표적인 것으로 고분자 물질을 기지로 하는 복합재료의 성형방법으로는 아래와 같다.

1.3.1 핸드레이업(hand lay-up) 성형법

핸드레이업 공법은 Fig. 1-3과 같이 강화재인 섬유를 적층하고 붓이나 롤러 등을 이용하여 수지를 함침 시키는 방법이다. 핸드레이업공법은 제조비용이 가장 저렴하고 공정이 쉬워 다양한 분야에 적용이 가능하다는 장점이 있다. 반면, 비강도, 비강성이 낮아 고품질의 제품 생산이 불가능하다. 그리고 인체에 유해한 작업환경 때문에 숙련공이 많지 않고 작업의 용이를 위하여 점도가 낮은 수지를 사용하는데 이는 기계적 강도의 저하로 나타난다.⁸⁾

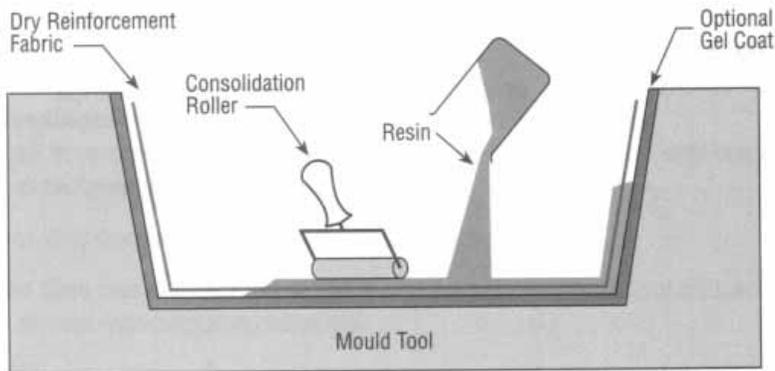


Fig. 1-3 Scheme of hand lay-up process

1.3.2 RTM 성형법

RTM은 성형품 구조 중에서 섬유로 구성되는 부분인 프리포움(preform)을 미리 제작 해두고, 그것을 금형에 장착해서 수지를 주입하는 것으로 복합재료를 성형하는 방법이다. 점도가 낮은 고분자상의 수지를 사용하면, 저압 0.7MPa 정도로 수지 주입이 가능하기 때문에 성형장치와 금형이 간단하게 되고 사출 성형이나 압축 성형에 비교해서 성형 비용을 절감할 수 있다. 또 성형원리를 보면, 리브(rib), 보스(boss), 코어(core) 등의 일체성형이 가능하기 때문에 안정한 품질의 성형품이 얻어지는 등, 지속적인 발전이 기대되는 성형방법이다.

1.3.3 VaRTM 성형법⁹⁾

VaRTM은 RTM과 비교해서 더욱 대형이며 생산 대수가 적은 성형품에 적합한 공법이다. 그리고 고품질과 높은 섬유함유율을 가지며, 복잡한 형상의 복합재료 구조물의 제작이 가능한 closed mold 기술이다.

VaRTM은 양쪽 면이 모두 금형으로 되어있는 RTM과 달리 한쪽 면의 금형과 진공백으로 금형을 이루고 압력차를 이용하여 금형 내부에 적층된 프리포움(preform)에 수지를 신속하게 함침시켜 복합재료 구조물을 성형하는 방법이다. VaRTM 공정은 진공의 힘을 이용하여 수지가 주입되면서 금형 내부의 기포를 배출시키며 대기압만큼의 힘으로 진공백 면을 통하여 수직의 압력이 가해져 제품 내부의 기공을 줄여주고 섬유 체적율을 높여준다.

VaRTM 공법은 RTM 및 오토클레이브(오토클레이브)공법에 비해 성형비용이 적게 들며, 핸드레이업 공정보다 더 좋은 품질의 제품을 생산 할 수 있다. 한번 수지가 함침된 프리포움은 최종의 복합재료 부품이 만들어지도록 적절한 경화 온도 사이클 하에서 경화되어진다. 이 공정은 몰드로부터 복합재료 제품을 탈형하게 되면 완전히 끝나게 된다. VaRTM의 개념도를 Fig. 1-4에 나타낸다.

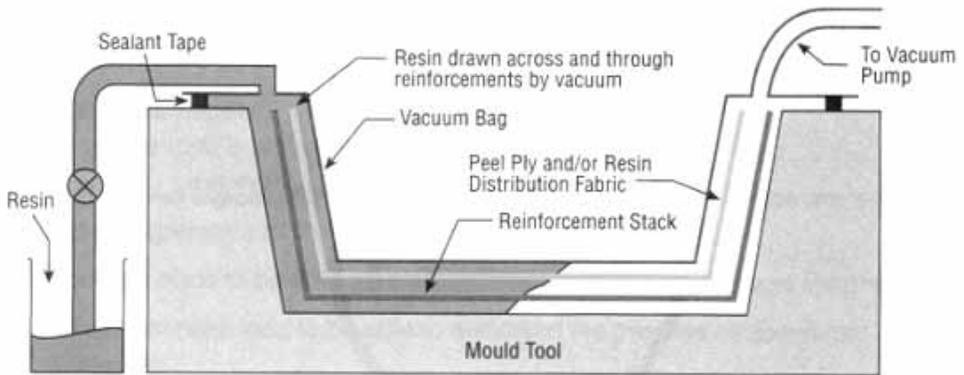


Fig. 1-4 Scheme of VaRTM process

1.3.4 오토클레이브 성형법

오토클레이브 시스템은 여러 가지 제품을 성형하기 위해 특정한 계획에 따라 압력 용기 내에서 발생하는 복잡한 화학반응을 말한다.

오토클레이브란 Fig. 1-5 에서와 같이 열과 압력을 동시에 가할 수 있는 가압로인데 고품위 항공기 최신 복합재료 부품의 관재 및 샌드위치 구조물은 대부분 이 공법을 이용 한다. 이 성형법은 그 크기가 아주 크거나 복잡해서 압축성형법으로는 제작 할 수 없으며, 제품 생산 수량이 많지 않아 금형제작이 어려운 경우에 사용 된다

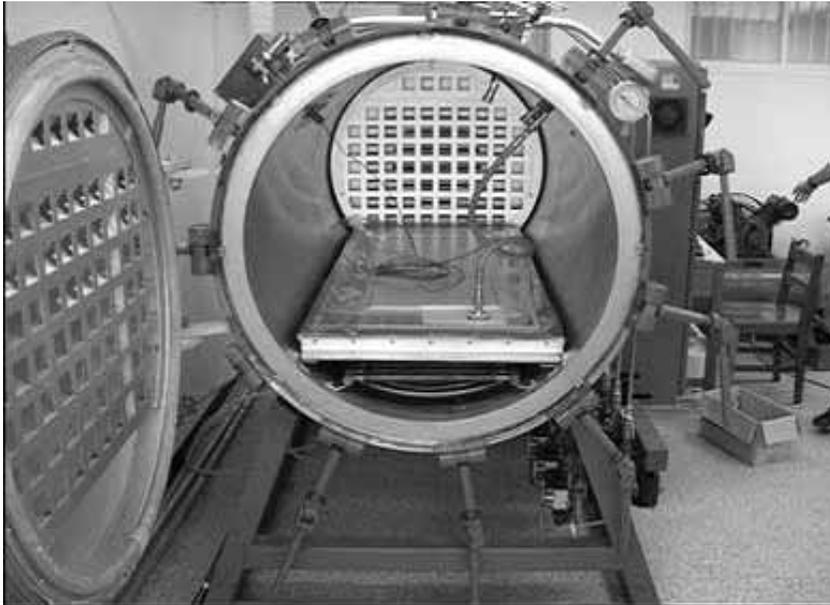


Fig. 1-5 Scheme of autoclave processing equipment

오토클레이브내 성형되는 제품류는 메탈 본딩, 섬유강화 에폭시 라미네이트, 열가소성 플라스틱 라미네이트, 메탈, 세라믹, 카본 매트릭스이며 이러한 성형물이 항공우주, 전기, 전자용 부품으로 사용된다.

오토클레이브 시스템은 특별한 작업공정 요건에 맞추어야 하며, 오토클레이브에 사용되는 작업공정에 필요한 구성장치는 아래와 같다.

1. 압력을 담고 가스를 흐르게 하는 장치
2. 가열하며 또 그것을 일정히 유지하고 그 발생장치를 포함하는 용기
3. 가스 흐름을 가압하는 보조장치류
3. 진공백으로 덮여진 성형제품에 진공압을 가하는 보조장치류
4. 작동 파라미터를 관리하는 부가 장치
5. 오토클레이브내 금형을 인입하는 이송 보조장치류 등이 있다.

1.3.5 SCRIMP 성형법

SCRIMP(Seaman Composite Resin Infusion Manufacture Process)는 1980년대 후반 미국에서 유연한 진공백을 이용한 저비용이면서 단면 몰드로 경량의 대형 복합재료 구조물을 제작하기 위하여 개발되어졌다. 이에 따라 손으로 수지를 함침 시키는 작업은 점점 줄어들게 되었다. 개인으로 시작한 SCRIMP 기술은 RTM의 한 형태이다. 단면 몰드는 유연한 진공백이 몰드의 형상에 맞게 섬유를 압축하게 되고 공기와 가스등을 제거하여 복합재료 구조물에 대하여 형상과 치수의 안정성을 제공하게 되었다.

이 공정에서 수지 이동을 위한 흐름으로 이루어진 네트워크는 유동 저항과 주입 시간을 줄이고 수지를 분포시키는 역할을 한다. 수지는 처음 진공압력에 의하여 수지 이동을 위한 흐름에 채워지고 다음으로 섬유 프리포움 속으로 퍼져나가게 된다.

일반적으로, SCRIMP는 5단계로 나눌 수 있다. 첫 번째, 몰드의 표면을 깨끗하게 청소하고 이형재를 도포하고 겔코트(gel coat)를 표면에 뿌려준다. 다음, 섬유 매트가 몰드에 놓이게 되고, 진공필름으로 덮는다. 진공 실런트 테이프(vacuum sealant tape)에 의해 진공 필름과 몰드 사이의 빈틈을 막고, 수지 주입구와 배출구를 만든다. 세 번째 단계에서는 몰드 내부는 진공으로

로 되고 진공 압력에 의해서 섬유 매트 속으로 수지가 주입된다.

몰드 내를 수지로 채운 후에 복합재 내부에서 고형화와 경화, 즉 수지경화 단계에 이르게 된다. 마지막으로 경화된 복합재는 몰드에서 탈형되고, 다음 단계를 시작하게 된다.

이 공법은 매우 간단하다. 수지 주입구와 배출구의 위치는 몰드가 완전하게 수지로 채워질 수 있도록 정확해야 한다. 몰드와 수지 온도는 수지가 주입되는 동안 수지의 겔화를 막기 위해서 반드시 고려되어야 할 사항이다. 그리고 섬유의 구조와 섬유 플라이의 순서 또한 양질의 제품을 얻는데 중요한 요인이 된다.

제 2 장 VaRTM 성형 공정 개발

2.1 서론

VaRTM 공정은 RTM에서 보다 발전한 형태의 공정으로 한쪽 면의 금형과 진공백(Vacuum Bag)을 사용하여 진공 상태에서 신속하게 수지를 함침시켜 복합소재 구조물을 성형하는 방법이다. VARI(Vacuum-Assisted Resin Injection), BLIP(Bladder infusion process), SCRIMP(Seaman Composite Resin Infusion Molding process) 등의 다양한 명칭으로 불린다.

기술적 관점에서 보면 RTM으로부터 유래되었으며, 생산 공정 면에서 보면 RTM에 경쟁적인 공정이고, SMC나 프리프렉성형법, 개방형 몰드 핸드레이업(Open mold hand lay-up)과 스프레이업(spray-up)에 대체 가능한 공법으로 볼 수 있다.

어떤 공정에 대해 비용적으로보다 효율적인 공정의 선택 기준은 제품의 생산량, 크기와 제품의 대칭성, 요구되는 비강도와 비강성 및 요구되는 표면처리 등이 있을 수 있다.

Fig. 2-1에 생산성과 효율성을 대비한 공정 선택기준을 도시하였다.

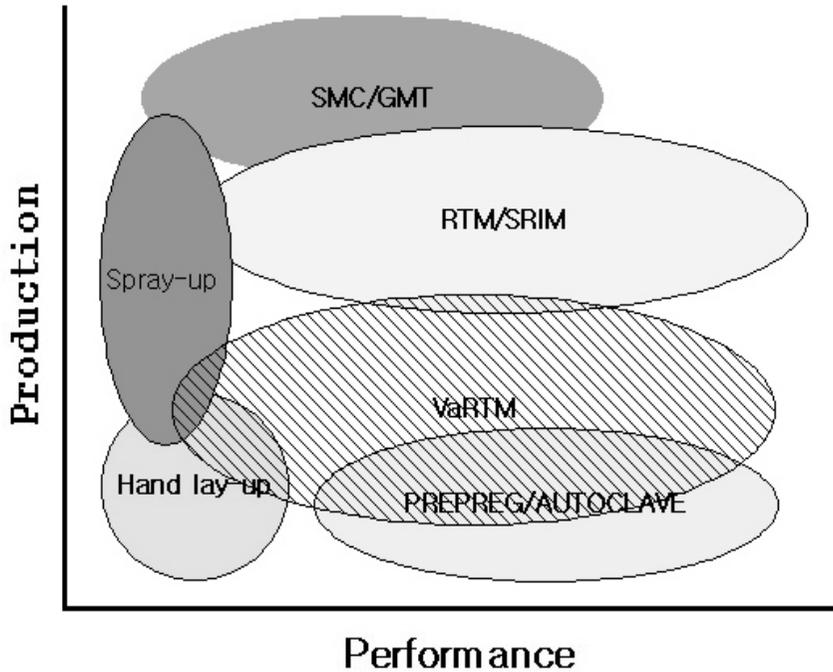


Fig. 2-1 Selection of effective process

섬유강화 복합재료를 제조하는 여러 가지 성형기법 중에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 오토클레이브 성형법은 보강섬유와 수지의 혼합물을 밀폐된 백(Bag)으로 싸 다음 백안에는 진공을 걸고, 백 바깥에는 압력을 가하여 원하는 형상과 특성을 가지는 제품을 성형하는 방법이며, Prepreg 를 이용하여 편평하거나 곡률이 있는 패널을 제조하는 항공기 부품 생산에 가장 적합하며 많이 사용된다. 오토클레이브의 균일한 압력과 온도의 조절은 경화 사이클에 따라 이루어지고, 장입되는 Laminate의 적층 및 제조 형상의 금형 설계가 중요하며, 작업속도가 느리고 대량 생산이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 오토클레이브 방법은 제품의 크기 제한을 덜 받으며 고가의 금형이 요구되지 않는 반면 백 재료가 일회성으로 소모되며 오토클레이브를 가열하는데 비용이 많이 든다. VaRTM은 이와 비교해서 더욱 대형이며, 생산 대수가 많은 성형품에 적합한 공법이다. 그리고 고품질과 높은 섬유함유율을 가지며, 복잡한 형상의 복합재료 구조물의 제작이 가능한 밀폐형 몰드 시스템(closed mold system)이다.

또한 이 기술 개발 이면에는 핸드레이업 과 스프레이업 의 스티렌 가스방출을 없앤다는 것이고 하나의 간단한 금형 시스템으로 밀폐형 몰드 시스템의 작업이 가능하다는 것이다. 이것은 개방형몰드(open-mold) 기술들에 걸쳐있는 내외 부적 환경적인 문제를 개선한 결과이다. 또 다른 잇점은 다음과 같다.

- (1) 라미네이트 품질 향상 : 더 좋은 수지함침과 더 높은 섬유함량
- (2) 제품물성의 일관성 향상 : 물성이 작업자의 숙련성에 덜 영향을 받음
이것은 디자인의 안전성 요인들을 낮출 수 있고, 디자인의 효율을 더 좋게 할 수 있다.
- (3) 자재사용을 더 줄임 : 핸드레이업과 스프레이업에 비해 더 적은 량의 수지가 사용되고, 제품 가장자리 외에 원자재의 소비를 줄임, 즉 over-spray를 방지하는 것이다.

VaRTM 성형법은 제품의 디자인, 공정의 조건, 작업자의 훈련 등이 필요하며, 작업자의 훌륭한 기술이 제품 결함을 방지하는데 필수적이다. 주요한 단점으로는 보강재를 레이업 하는데 발생한 실수들은 수지 주입 전 확인될 수 없다는 것이다. 이 기술의 단점을 살펴보면 다음과 같다.

- (1) 리스크의 민감성은 실패에 대한 우려로 공정을 어렵게 한다.
- (2) 고품질의 표면처리가 어렵다, 특히 얇고 두꺼운 부위를 동시에 가진 라미네이트 제품이 되었을 경우 더욱 그러하다. 전체 제품이 한 번에 성형되었을 때, 높은 반응열이 피크에 달하고 큰 성형 수축이 발생할 수 있고, 이는 프린트와 같은 선이 발생할 수 있다.
- (3) 쓰레기의 발생이 많다. 많은 부자재가 일회용으로 사용되고(필름, 실런트 테이프, 튜브, 호스, 밸브 등) 탈형 뒤 버려진다.



Fig. 2-2 Ship building process by VaRTM

Fig. 2-2는 CFRP 재료로 VaRTM 공정법으로 건조 중인 선박의 모습을 보여주고 있다.

선체의 각 부분에 보강재를 미리 설치 한 후 VaRTM 공정법으로 수지를 함침되고 있는 작업 공정이다.

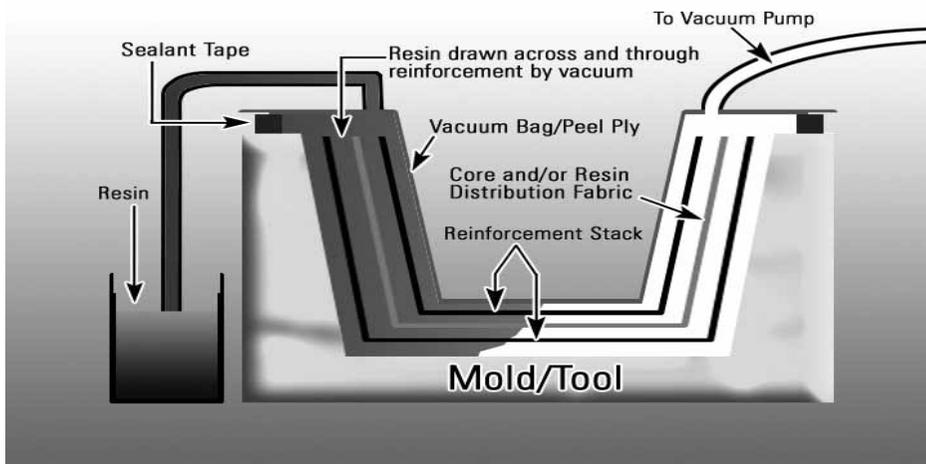
2.2 성형법

VaRTM에서 프리포움은 한쪽 몰드와 또 다른 쪽의 진공백 사이에서 성형되어진다. 이때 진공은 첫째로 프리포움을 압축하기 위하여 대기압인 몰드 내부의 압력을 낮추어 몰드 내부에 존재하는 공기와 주입되어지는 수지에 포함되어 있는 기공을 제거하여 완성된 구조물 내의 결함을 제거하기 위해서이고, 좋은 특성을 가지는 복합재료를 만들기 위해 요구되어지는 높은 섬유 체적 함유율을 위해 사용된다. 두 번째 목적은 몰드 내부의 압력이 몰드 외부의 대기압 보다 낮게 되어 몰드에 장착되어 있는 수지 주입부로부터 프리포움을 통하여 열경화성 수지가 원활하게 주입되어질 수 있도록 하기 위해서이다.¹⁰⁾

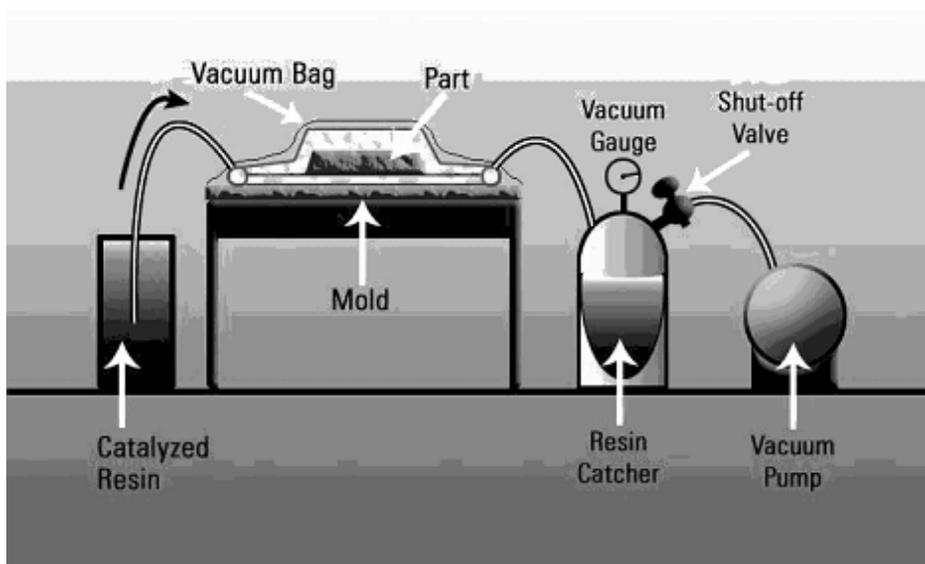
VaRTM 공법에 의한 대형 복합재료 구조물의 수지 주입이 가능한 것은 주로 다음 요소에 의해 결정되어진다.

- (1) 구조물의 형상
- (2) 구조물에 사용되는 재료
- (3) 주입 장치와 재료
- (4) 주입 방법

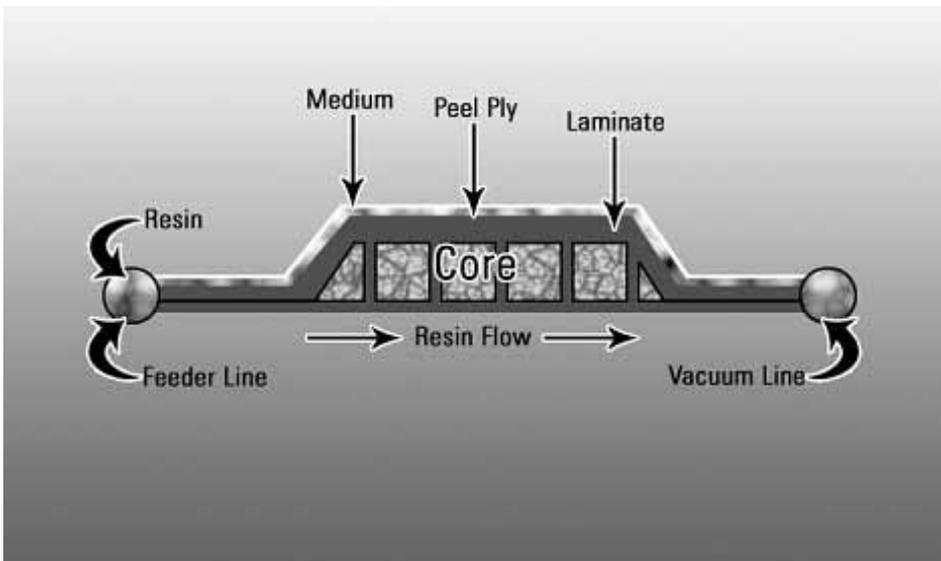
한번 수지가 함침 된 프리포움은 최종의 복합재료 부품이 만들어지도록 수지 특성에 적절한 경화 온도 사이클 하에서 경화되어진다. 경화반응이 끝난 이후 몰드로부터 복합재료 제품을 탈형하게 되면 공정은 완전히 끝나게 된다. Fig. 2- 3에 VaRTM에 대한 개념도를 나타내었다.



A) Schematic diagram of VaRTM



B) Infusion and its equipment



C) In case of honeycomb panel

Fig. 2-3 Schematic diagram of VaRTM process in detail

2.3 장비 및 성형 재료

(1) 금형 : 어떤 금형도 가능하나 진공을 유지하기 위해 금형이 밀봉 되어야 하고, 금형의 가장자리가 진공성형 위해 실린트나 얇은 셸이 고정되기 위한 여유 공간이 필요하고 이는 150mm 에서 250mm 정도가 필요하다.

(2) 장비: 진공펌프(컨트롤밸브가 장착됨), pressure transducer, 초음파 릭 크디텍터(Ultra sonic leak detector) 등이 있다.

(3) 수지(Matrix) : 공정에 일반적으로 사용되어지는 폴리에스테르 수지의 종류는 요구 성능, 치수 등에 의해 선택되어지지만 성형상에 필요한 점은 다음과 같다.

① 유리섬유에 충분히 함침될 수 있는 점도를 가진 것

강화재(유리섬유, 아라미드/ 탄소섬유 등)를 완전히 함침시켜야 한다

② 가사시간은 주입시간 이상인 것

③ 겔화로부터 최고 발열까지의 시간이 짧은 것

④ 경화 수축이 적고, 크랙의 발생이 없는 것

⑤ 상온 경화성이 좋은 것 - 금형을 완전히 채울 수 있어야 한다.

⑥ 경화나 응고가 되었을 경우 원하는 물리적 성질을 나타내야 한다.

또한 높은 성능의 제품을 생산할 경우에는 점성이 있는 에폭시 수지를 긴 사이클을 통해 사용하며, 생산성을 향상을 시키기 위해서 짧은 사이클을 요구하는 경우에는 점성이 낮은 비닐에스터(Vinyl Ester)나 우레탄 계통의 RTM 수지, 폴리카보네이트(Polycarbonate), 나일론 같은 열가소성 수지 등을 사용하는 경우도 있다.

(4) 섬유 : 강화재로는 유리섬유(E-glass, S2-glass), 아라미드 섬유 및 탄소섬유 등이 주로 사용되고 있으나 경우에 따라서는 합성섬유(폴리에스터) 또는 금속 등을 필요에 따라 적절한 방법 등으로 사용하기도 한다. 이 중에서 금

속은 구조의 일부분을 강화하는 목적으로 사용하는 경우가 대부분이며, 프리포
움에 삽입하기 전에는 수분이나 다른 환경에 의한 부식을 방지하기 위한 목적
으로 코팅을 하는 경우가 일반적이다. 강화 섬유의 형태로는 엉킨 것과 엉키지
않은 형태 즉, 무작위 매트와 2차원, 3차원으로 직조된 형태 등으로 나눌 수 있
는데, 이 중에서 무작위 매트는 연속이거나 단섬유로 무작위하게 접착물에 의
해서 느슨하게 합쳐진 것들로 구성되어진다. 다시 말해서 강화제의 큰 특징으
로서는 요구되어지는 형상의 프리포움으로의 제조가 쉬워야 한다는 것이다.

(5) 진공 백 부자재 : 이형필름, 진공필름, 실런트

(6) 수지 주입 부자재 : Fig. 2-4와 같은 수지주입 튜브, 연결튜브, flow
media, resin bath



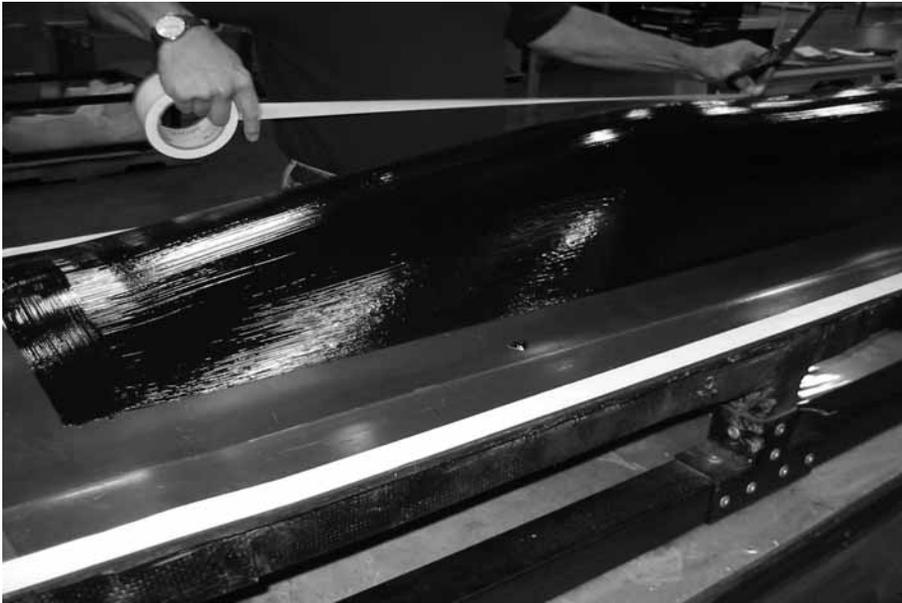
Fig. 2-4 Process materials

2.4 VaRTM 성형 공정

금형을 깨끗이 소제하여 준비하고 이형제와 겔코트 작업을 함으로서 성형을 위한 레이업 이 시작되면, Fig 2-5와 같은 공정과정으로 작업이 이루어진다.



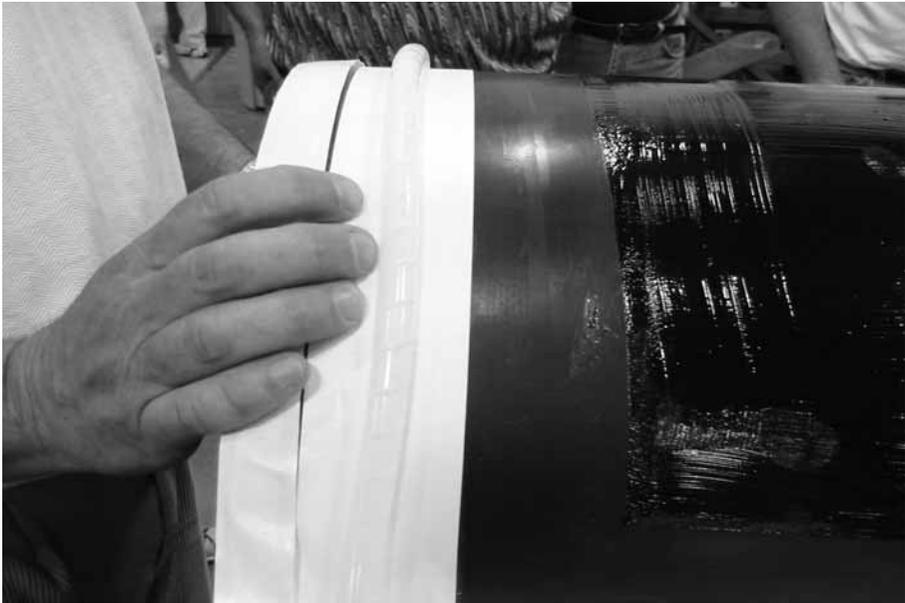
(1) Apply gel coat on molding.



- (2) Apply gel coat on mold's surface as 0.02 mm ~ 0.05 mm and dry them during 4 hrs on 20°C.



- (3) Apply polyethylene spiral tube on its part to keeping vacuum condition.



- (4) Apply spray adhesive on the edge part and install polyethylene spiral tube.



- (5) Apply carbon fiber on the mold which was applied gel coat.



(6) Application of apply carbon fiber on mold.



(7) Apply peel fly for keeping vacuum and releasing mold.



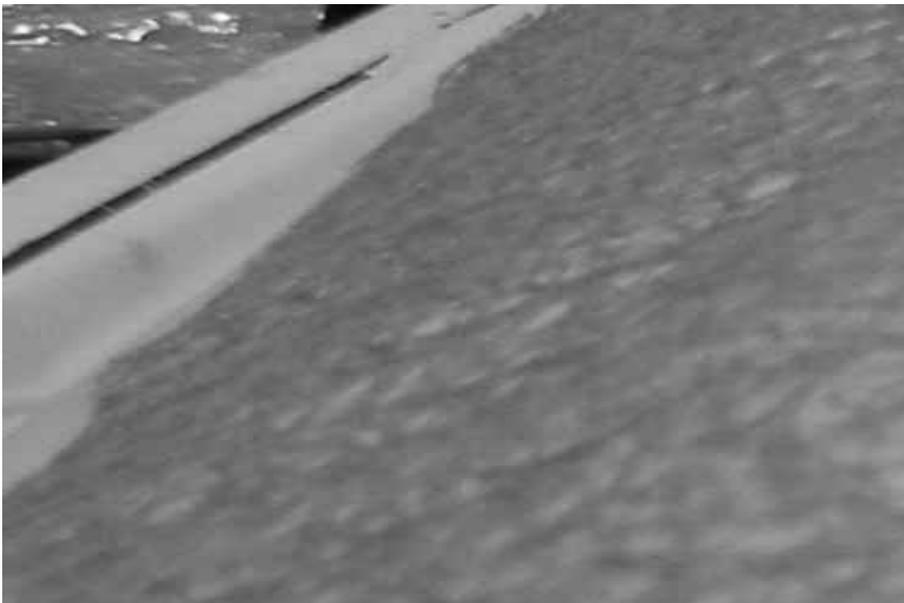
(8) Application peel ply.



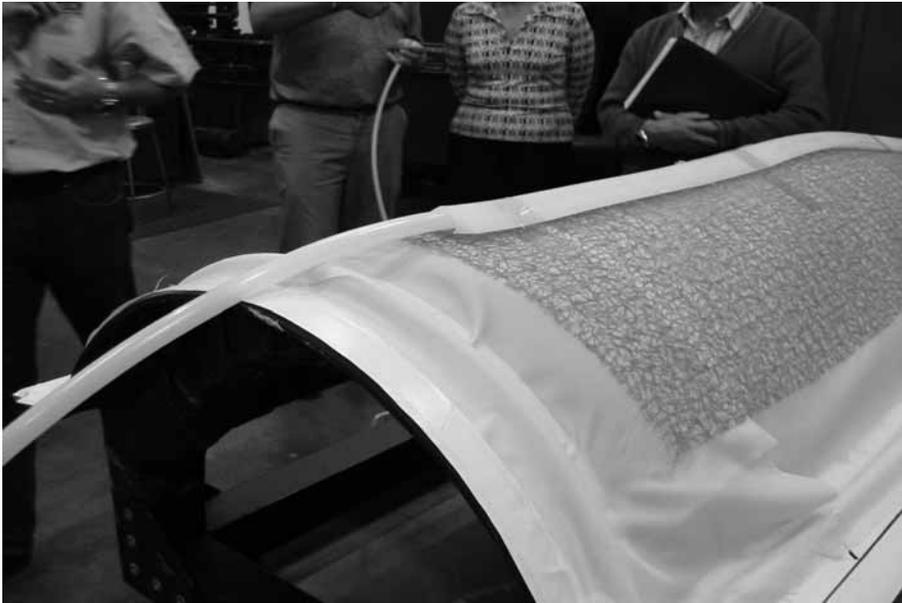
(9) Install resin flow (breather flow, resin distribution medium).



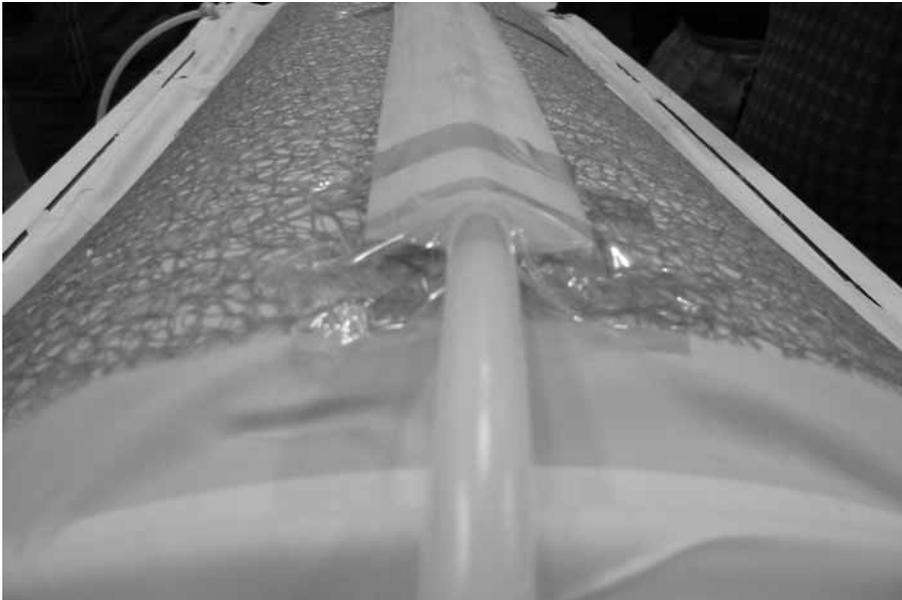
(10) Install resin flow tube (resin flow line).



(11) Install polyethylene resin tube.



(12) Apply Polyethylene resin tube.



(13) Install resin infusion line.



(14) Install multiple vacuum tube.



(15) Apply vacuum bag film and sealant tape.



(16) Connect vacuum tube and resin trap.



(17) Mixed resin and hardening agent .



(18) Infusion resin after checking vacuum condition.



(19) View of resin infusion.



(20) View of resin infusion to the mold.



(21) view of mold after hardening by VaRTM process

Fig. 2-5 VaRTM working processor

2.5 VaRTM 성형법의 응용

VaRTM성형법은 해양산업에서 오픈몰드 성형 시 발생하는 스티렌방출 (Styrene emission)을 줄이기 위해 개발되었으며, 오늘날 유리섬유로 보강된 폴리에스터 보트나 요트 등에 가장 성공적으로 적용된 성형법으로 평가되고 있다.

그러나 VaRTM 성형법은 해양 산업 쪽의 핸드레이업이나 Spray method를 단순히 대체하는 것 보다 더욱더 많은 응용이 가능하며, 오늘날 새로운 제품의 성형에서 실증되고 있다.

새로운 제품류의 범위는 유리섬유 솔라 셀 하우스로부터 탄소섬유 스텔스기까지 광범위하게 사용되고 있으며, Table 1에서 다양한 분야의 응용 들을 보여준다.

Table 1 Application of VaRTM process in various fields

Sector	Application
Marine	Hulls, decks, and hatches of yachts, hulls and decks of recreational boats
Transportation	Roof and floor of refrigerated container, automotive exterior body panels, train fronts
Aerospace	Rudder of small aircraft
Industrial	Fan blades, part for fish counting unit, toilet bowl, oil separator
Energy	Solar cell housings, wind turbine blade, electrical insulation materials
Inter structure	Lighting columns, bridge deck
Military	Hull of composite armored vehicle,

아래 Fig. 2-6, 2-7, 2-8은 VaRTM의 응용 중 Sailing Yachts 예를 나타내고 공정의 다양성이 나타내는 목적을 보여주고 있다.

가장 잘 알려진 용도로 항해용 요트의 선체 제작이다. 단순한 라미네이트구조나 샌드위치 구조의 선체 둘 다 사용된다. 하나의 대표적 예로 네덜란드 Conyplex 사의 17m짜리 항해용 요트 제작이다. 그 배 선체는 겔코트와 불포화폴리에스터, Multi-axial glass fiber 보강재이다.

금형 내 레이업위해 곡면형상의 발사코아가 사용되었고, 이는 슬릿형으로 되어 있다. 수지의 흡입은 단 한번으로 수행되었고 하나의 수지 주입탱크가 사용되었으며, 폴리아미드 진공필름과 수지 분산용 채널이 물고기 뼈와 같이 레이업 되었다.



Fig. 2-6 Laminating process



Fig. 2-7 Laminating process finished



Fig. 2-8 Resin infusion after lamination

Fig. 2-8에서 흰색의 유리섬유보강재가 아직 수지로 함침 되지 않았고, 수지 분산용 채널주위의 이미 함침된 어두운 부분과 명확히 구분되어질 수 있다.

이런 종류의 infusion은 단순히 하나의 수지탱크가 필요하며, 작업관리하기도 편하다. 진공흡입부위는 선체의 모든 플렌지를 따라서 위치해 있다.

Conyplex사는 이 공법을 통해 인건비와 싸이클 타임을 줄이게 되었고, 이 외에도 스티렌방출을 줄이고 더 좋은 품질을 달성할 수 있었다. 항해용 요트에 사용된 또 다른 일반적 용도는 텍크와 해치의 제작이다.

제 3 장 VaRTM 공정용 고온수지의 기계적 특성 평가

3.1 서론

최근 민간 항공기, 군용 항공기, 경주용 자동차 및 FRP 선박 등 전 산업에 걸쳐 새로운 기종 개발 시, 운용경비 절감 및 운용 성능 향상을 위해 동체의 무게 감소가 중요한 문제로 대두되고 있으며, 이를 만족시키기 위한 방안으로 지금까지 사용하고 있는 금속재료를 복합재료로 대체하여 경량화를 하는 추세이다. 이는 복합재료가 무게비 강도가 높고 피로하중에 잘 견디며, 적층각을 적절하게 조절함으로써 다양한 형태의 외부 하중에 대처할 수 있기 때문이다. 그러나 복합재는 실제 운행 환경조건에서 탄성계수, 정적강도 및 피로강도의 감소 등의 문제를 유발할 수 있다. 이들과 더불어 재료의 비 균일성에서 비롯되는 적층 분리, 섬유와 수지와의 분리, 수지 균열 등 파단 형태가 매우 다양하고 복잡하다.

본 연구에서는 VaRTM의 특성을 보다 상세히 검토하기 위하여 고온용 수지 및 유리섬유와 탄소섬유를 상대 비교하여 항공기의 특성을 고려한 ASTM 규격에 의거 기계적 특성 시험을 수행하였다.

3.2 재료와 제조

본 연구에 사용된 섬유는 유리섬유(B 9-3)와 탄소섬유(B 9-8)를 적용 하였다.

그리고 본 연구에 사용된 수지는 Table 3-1과 같으며 고온용 수지를 바탕으로 적용 하였다.

Table 3-1 Properties of each resin.

	H 34	C 6	E II
Compressive strength	111MPa	-	248MPa
Compressive modulus	5.2GPa	-	5.2GPa
Flexure strength	-	132MPa	124MPa
Flexure modulus	4.8GPa	3.3GPa	4.7GPa
Tensile strength	74MPa	75MPa	46MPa
Tensile modulus	4.6GPa	2.9GPa	4.7GPa
Viscosity	220~250 cps @50°C	200 cps @110°C	100 cps @110°C
Gel time	2.5~ 4hr @195°C	30 min @180°C	6.3 min@ 177°C

본 연구에 적용된 섬유층의 적층 형상은 Table 3-2과 같이 적용 하였다.

Table 3-2 Lay-up orientations for each laminate.

L/I	Test methods	Orientation
1	UNT(Un-notched Tensile) UNC(Un-notched Compression) Short beam shear Flexural	(0/90) _{10T}
2	In-plane shear	(+45/-45) _{10T}

본 연구에 사용된 실험 방법은 Table 3-3과 같으며 ASTM 규격을 적용 하였다.

Table 3-3 Test methods and test standards.

Standard	Test method	Designation
ASTM	UNT(Un-notched Tensile) ¹¹⁾	D3039
	UNC(Un-notched compression) ¹²⁾¹³⁾	D3410
	Short beam shear, flexural ¹⁴⁾¹⁵⁾	D790
	In-plane shear ¹⁶⁾	D3518

3.3 시편 검사

가. 비파괴 검사

성형 시편은 육안검사 및 NDI(C-scan) 검사를 Fig. 3-1과 같은 장치로 수행하여 시험 시편의 무결점을 확인하였다. C-Scan 검사를 하기 위해서는 미리 사이트에 약간의 결함을 집어넣고 작업을 수행하였다,

시편 Cutting을 수행하기 전에 평판의 원판 사이즈를 이용하여 C-Scan 검사를 수행하였으며, Fig. 3-2는 각 판넬의 C-scan 검사 결과를 나타내고 있으며, 시편제작용 판넬 모두 결함이 없음을 알 수 있었다



Fig. 3-1 C-scan equipment

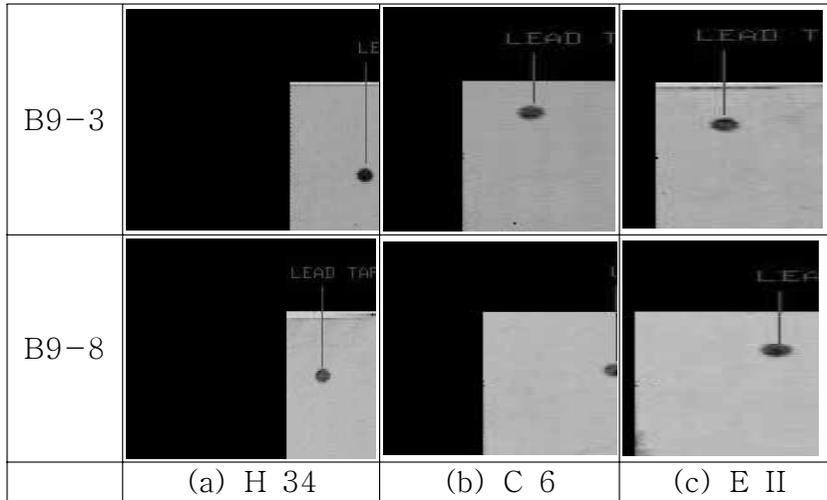


Fig. 3-2 Results of NDI for composites laminates.

나. DSC 검사

Fig. 3-3과 같이 Mettler Toledo사의 DSC822 시차열량분석기를 사용하여 각 수지에 대하여 상온에서 300℃ 까지 분당 10℃의 승온 속도로 스캔하였다.



Fig. 3-3 NDI(C-scan) differential scanning calorimeter

Table 3-4는 각 수지의 경화온도 및 시간 그리고 유리전이 온도를 나타내고 있다.

Table 3-4 Degree of cure and Tg of each resin.

Resin name	Initial temperature	Curing temperature	Curing time	Degree of curing	Tg
H34	50℃	176℃	2h	0.99	171℃
		176℃	30min	0.98	176℃
EII	121℃	176℃	3h	0.66	163℃
		176℃	6h	0.84	189℃
C6	121℃	176℃	2h	0.99	171℃
		176℃	30min	0.98	176℃

3.4 실험 결과

Table 3-5에 3종류의 수지에 대한 평활 시험편의 인장강도와 압축강도를 탄소섬유와 시험온도별로 비교 평가한 결과를 나타내었다.

Table 3-5 Mechanical properties of composites laminates fabricated by VaRTM with high temperature resins.(UNT,UNC)

Resin	Fabric	Test temp.	UNT		UNC	
			Strength (MPa)	Modulus (GPa)	Strength (MPa)	Modulus (GPa)
H34	Carbon	RT	470	54	841	8.5
		70°C	506	-	681	-
	Glass	RT	428	22	609	4.2
		70°C	387	-	540	-
C6	Carbon	RT	455	47	713	9.2
		70°C	470	-	578	-
	Glass	RT	392	21	689	5.1
		70°C	363	-	585	-
E II	Carbon	RT	460	48	841	8.9
		70°C	492	-	791	-
	Glass	RT	430	23	632	4.2
		70°C	362	-	627	-

먼저 H34 수지의 경우, 탄소섬유가 유리섬유보다 우수한 기계적 특성치를 나타내고 있으며 탄성률의 경우 인장, 압축 모두 유리섬유보다 2배 이상이 되고 있다.

먼저 실온에서의 탄소섬유와 유리섬유의 인장 및 압축강도의 차이를 보면 탄소섬유가 인장의 경우 약 10%, 압축의 경우 약 28% 정도 높게 나타나고 있다.

수지의 특성변화가 일어날 가능성이 있는 70°C의 경우, 탄소섬유의 인장강도는 유리섬유의 그것보다 약 24% 정도, 탄소섬유의 압축강도는 유리섬유의 그것보다 약 20% 정도 우수한 특성을 나타내고 있다. 이는 탄소섬유의 경우가 우수한 고온 특성을 가진 점을 잘 반영 하고 있다.

C6 수지의 경우, 탄소섬유가 유리섬유보다 우수한 기계적 특성치를 나타내고 있으며 탄성률의 경우 인장은 2.23배, 압축은 1.8배로 나타나 모두 유리섬유보다 약 2배가 되고있다.

먼저 실온에서의 탄소섬유와 유리섬유의 인장 및 압축강도의 차이를 보면 탄소섬유가 인장의 경우 약 16%,압축의 경우 약 3% 정도 높게 나타나고 있다.

수지의 특성변화가 일어날 가능성이 있는 70℃의 경우, 탄소섬유의 인장강도는 유리섬유의 그것보다 약 29% 정도, 탄소섬유의 압축강도는 유리섬유의 그것 보다 약 3% 정도 낮은 특성을 나타내고 있다. 전체적으로 고찰하면 탄소섬유의 경우가 우수한 고온 특성을 가진 점을 잘 반영 하고 있다.

EII 수지의 경우, 탄소섬유가 유리섬유보다 우수한 기계적 특성치를 나타내고 있으며 탄성률의 경우 인장, 압축 모두 유리섬유보다 2배 이상이 되고있다.

먼저 실온에서의 탄소섬유와 유리섬유의 인장 및 압축강도의 차이를 보면 탄소섬유가 인장의 경우 약 7%,압축의 경우 약 33% 정도 높게 나타나고 있다.

수지의 특성변화가 일어날 가능성이 있는 70℃의 경우, 탄소섬유의 인장강도는 유리섬유의 그것보다 약 36% 정도, 탄소섬유의 압축강도는 유리섬유의 그것 보다 약 26% 정도 우수한 특성을 나타내고 있다. 이는 탄소섬유의 경우가 우수한 고온 특성을 가진 점을 잘 반영 하고 있다.

Table 3-6에 3종류의 수지에 대한 평활 시험편의 In plane shear 강도와 Short beam 강도를 탄소섬유와 시험온도별로 비교 평가한 결과를 나타내었다.

Table 3-6 Mechanical properties of composites laminates fabricated by VaRTM with high temperature resins.(In plane shear, short beam shear)

Resin	Fabric	Test temp.	In plane shear		Short beam shear
			Strength (MPa)	Modulus (GPa)	Strength (MPa)
H34	Carbon	RT	191	13.9	58
		70°C	193	-	62
	Glass	RT	200	16.0	57
		70°C	204	-	57
C6	Carbon	RT	248	7.9	58
		70°C	211	-	51
	Glass	RT	184	8.0	55
		70°C	155		53
EII	Carbon	RT	226	14.4	67
		70°C	255	-	68
	Glass	RT	180	15.3	65
		70°C	206	-	64

먼저 H34 수지의 경우, 탄소섬유와 유리섬유는 비슷한 기계적 특성치를 나타내고 있으며 In plane shear탄성률의 경우 유리섬유가 1.5배 이상인 것을 알 수 있었다.

먼저 실온에서의 탄소섬유와 유리섬유의 In plane shear 및 Short beam shear의 차이를 보면 유리섬유가 In plane shear의 경우 약 5% 높게 나타나며, Short beam shear의 경우 탄소섬유가 약 2% 정도 높게 나타나고 있다. 수지의 특성변화가 일어날 가능성이 있는 70°C의 경우, 유리섬유의 In plane shear강도는 탄소섬유의 그것보다 약 5% 정도, 탄소섬유의 Short beam shear강도는 유리섬유의 그것 보다 약 9% 정도 우수한 특성을 나타내고 있

다. 이는 In plane shear강도에서는 유리섬유의 경우가 우수하며, Short beam shear강도인 경우 탄소섬유가 우수한 것을 잘 반영 하고 있다.

C6 수지의 경우, 탄소섬유가 유리섬유보다 우수한 기계적 특성치를 나타내고 있으며 In plane sheartan성률의 경우 탄소섬유와 유리섬유가 비슷한 것을 알 수 있었다.

먼저 실온에서의 탄소섬유와 유리섬유의 In plane shear 및 Short beam shear의 차이를 보면 탄소섬유가 In plane shear의 경우 약 35% 높게 나타나며, Short beam shear의 경우 또한 탄소섬유가 약 5% 정도 높게 나타나고 있다.

수지의 특성변화가 일어날 가능성이 있는 70℃의 경우, 탄소섬유의 In plane shear강도는 유리섬유의 그것보다 약 36% 정도, 유리섬유의 Short beam shear강도는 탄소섬유의 그것 보다 약 4% 정도 우수한 특성을 나타내고 있다. 이는 In plane shear강도에서는 탄소섬유의 경우가 우수하며, Short beam shear강도인 경우 탄소섬유와 유리섬유는 비슷한 것을 반영 하고 있다.

EII 수지의 경우, 탄소섬유가 유리섬유보다 우수한 기계적 특성치를 나타내고 있으며 In plane sheartan성률의 경우 탄소섬유와 유리섬유가 비슷한 것을 알 수 있었다.

먼저 실온에서의 탄소섬유와 유리섬유의 In plane shear 및 Short beam shear의 차이를 보면 탄소섬유가 In plane shear의 경우 약 26% 높게 나타나며, Short beam shear의 경우 또한 탄소섬유가 약 3% 정도 높게 나타나고 있다.

수지의 특성변화가 일어날 가능성이 있는 70℃의 경우, 탄소섬유의 In plane shear강도는 유리섬유의 그것보다 약 24% 정도, 탄소섬유의 Short beam shear강도는 유리섬유의 그것 보다 약 6% 정도 우수한 특성을 나타내고 있다. 이는 In plane shear강도 및 Short beam shear강도인 경우에는 탄소섬유의 경우가 우수한 것을 반영 하고 있다.

Table 3-7에 3종류의 수지에 대한 평활 시험편의 Flexural 강도는 탄소 섬유와 시험온도별로 비교 평가한 결과이며 섬유 함유율을 평가한 결과를 나타내었다.

Table 3-7 Mechanical properties of composites laminates fabricated by VaRTM with high temperature resins. (Flexural, volume)

Resin	Fabric	Test temp.	Flexural		V _f (%)
			Strength (MPa)	Modulus (GPa)	
H34	Carbon	RT	646	5.6	66.67
		70°C	658	-	
	glass	RT	599	2.9	66.02
		70°C	560	-	
C6	Carbon	RT	674	6.0	62.37
		70°C	697	-	
	glass	RT	599	3.6	62.62
		70°C	541	-	
EII	Carbon	RT	704	5.9	64.98
		70°C	720	-	
	glass	RT	664	3.8	65.04
		70°C	591	-	

먼저 H34 수지의 경우, 탄소섬유가 유리섬유보다 우수한 기계적 특성치를 나타내고 있으며 Flexural 탄성률의 경우 유리섬유보다 약2배가 되고있다.

먼저 실온에서의 탄소섬유와 유리섬유의 Flexural 강도의 차이를 보면 탄소 섬유가 약 9%정도 높게 나타나고 있다.

수지의 특성변화가 일어날 가능성이 있는 70°C의 경우, 탄소섬유의 Flexural 강도는 유리섬유의 그것보다 약 18% 정도 우수한 특성을 나타내고 있다. 이는 탄소섬유의 경우가 우수한 고온 특성을 가진 점을 잘 반영 하고 있다.

C6 수지의 경우, 탄소섬유가 유리섬유보다 우수한 기계적 특성치를 나타내고

있으며 Flexural 탄성률의 경우 유리섬유보다 약2배가 되고있다.

먼저 실온에서의 탄소섬유와 유리섬유의 Flexural 강도의 차이를 보면 탄소섬유가 약 13%정도 높게 나타나고 있다.

수지의 특성변화가 일어날 가능성이 있는 70℃의 경우, 탄소섬유의 Flexural 강도는 유리섬유의 그것보다 약 29% 정도 우수한 특성을 나타내고 있다. 이는 탄소섬유의 경우가 우수한 고온 특성을 가진 점을 잘 반영 하고 있다.

EII 수지의 경우, 탄소섬유가 유리섬유보다 우수한 기계적 특성치를 나타내고 있으며 Flexural 탄성률의 경우 유리섬유보다 약1.6배가 되고있다.

먼저 실온에서의 탄소섬유와 유리섬유의 Flexural 강도의 차이를 보면 탄소섬유가 약 6%정도 높게 나타나고 있다.

수지의 특성변화가 일어날 가능성이 있는 70℃의 경우, 탄소섬유의 Flexural 강도는 유리섬유의 그것보다 약 22% 정도 우수한 특성을 나타내고 있다. 이는 탄소섬유의 경우가 우수한 고온 특성을 가진 점을 잘 반영 하고 있다.

또한 섬유 volume은 H34의 경우 R/T조건 시 가장 우수한 것을 알 수 있었다.

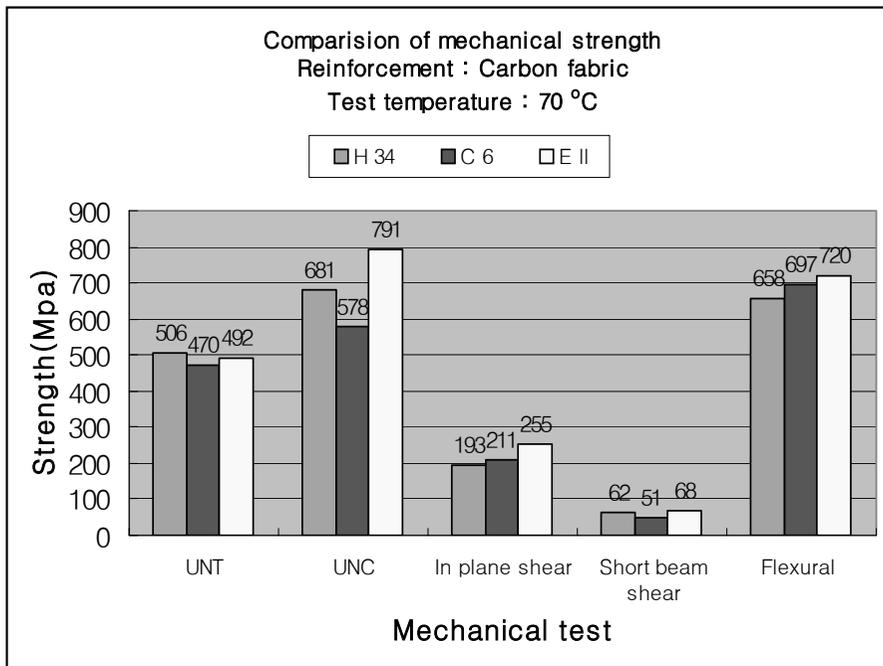
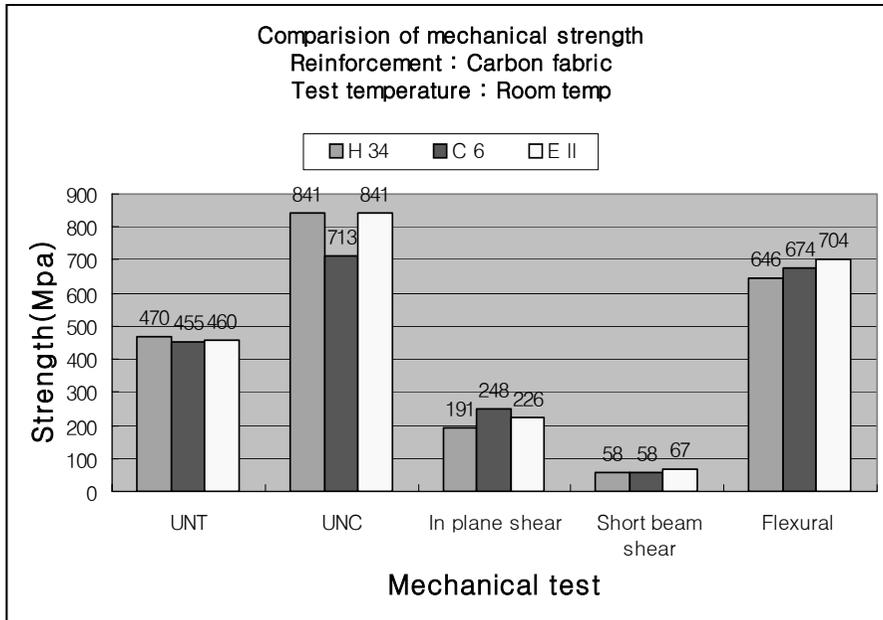
3.5 결론

Fig. 3-4는 본 실험의 결과를 종합정리 한 것으로, (a)에는 탄소섬유에 대한 결과를 실온과 70℃ 구분하여 나타내었으며 (b)에는 유리섬유에 대한 결과를 나타내었다.

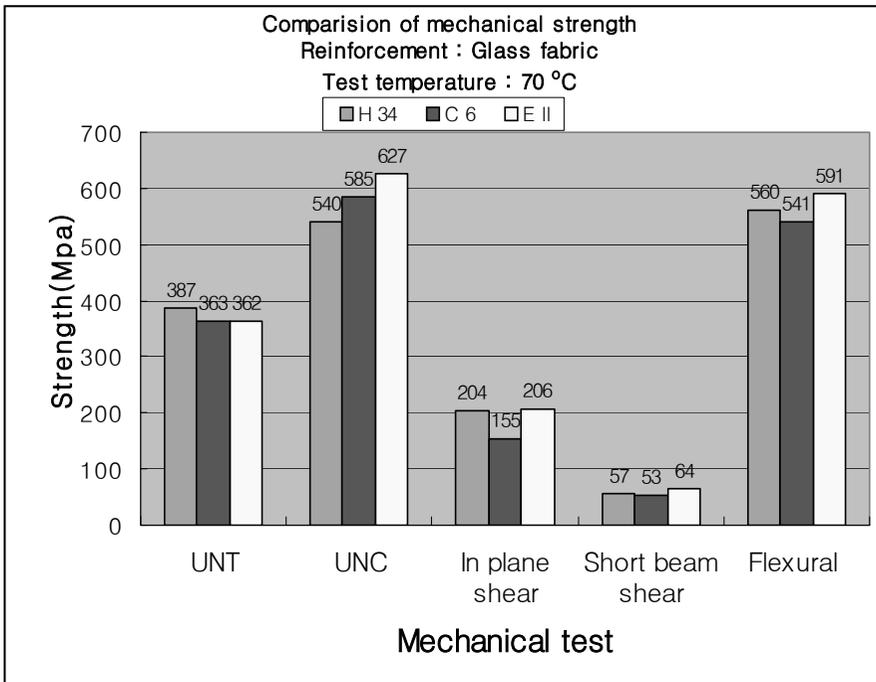
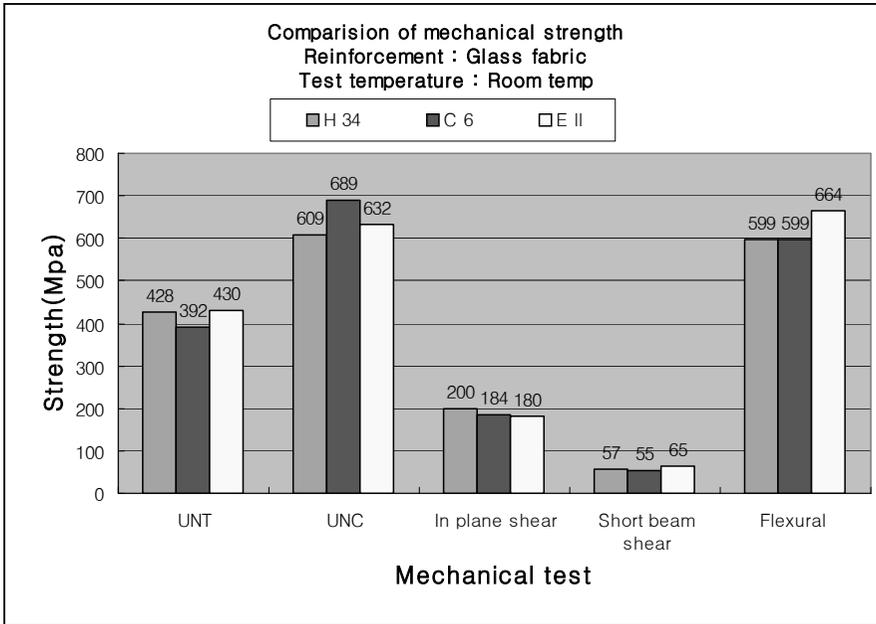
전체적으로 보면 탄소섬유가 우수한 특성을 보이며 특히 고온에서 그러하다.

3가지의 수지 중 H34 수지의 경우 탄소섬유와 상온에서의 경우 인장, 압축 In plane shear, short beam shear 및 Flexural 비강도가 우수한 것으로 나타났으며 섬유 함유율 또한 높게 나타남을 알 수 있었다.

지금까지 각 수지별 상세한 검토가 없이 사용되어져왔지만 이러한 고온용 수지의 특성을 잘 고려하여 사용 할 필요가 있음을 본 실험을 통해 확인 할 수 있었다.



(a) Carbon fiber + H 34, C 6 and E II



(b) Glass fiber + H 34, C 6 and E II

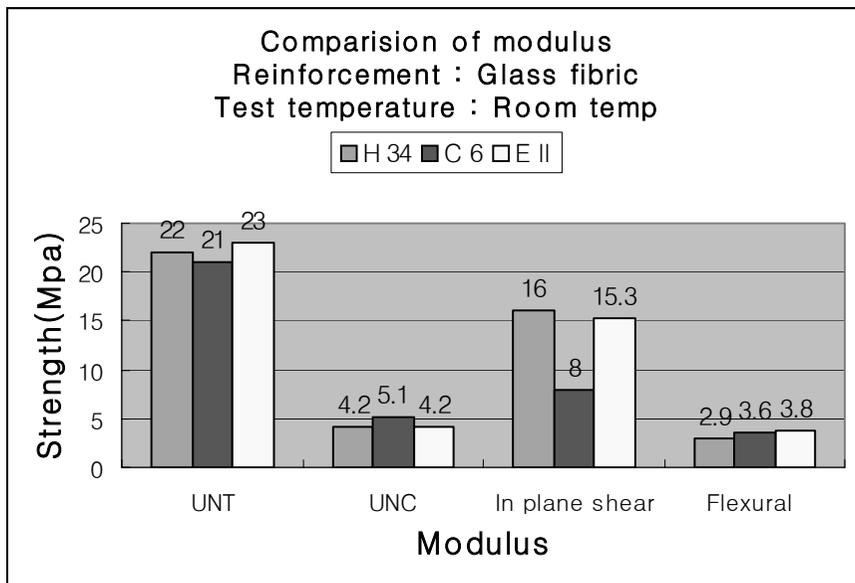
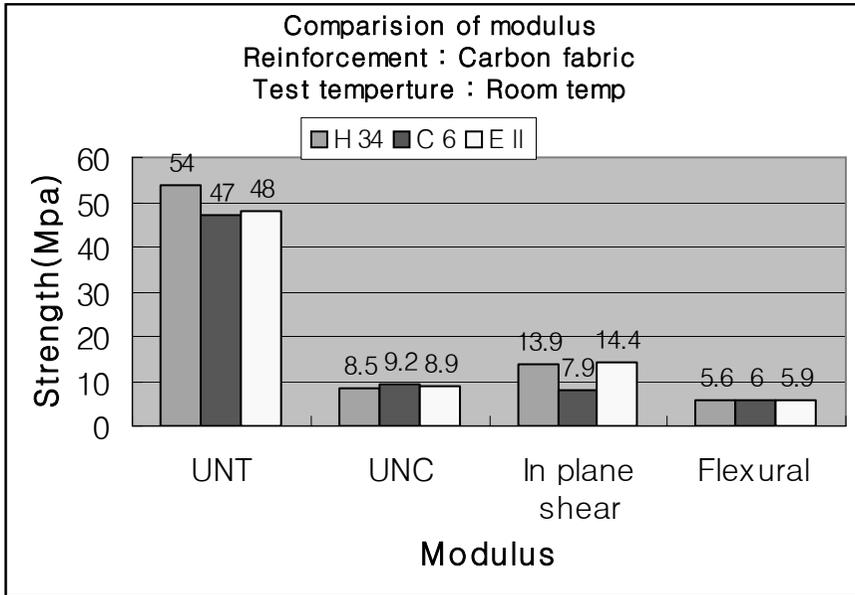


Fig. 3-4 Comparison of strength for laminates at room temperature and high temperature (70°C).

제 4 장 VaRTM 공정과 핸드레이업 공정의 물리적 · 기계적 특성평가

4.1 서론

섬유강화 고분자 복합재료는 고강도의 미세한 섬유를 고분자 기지재료에 함침시켜 만들어진다. 이때, 기지재료는 섬유를 지지하고 외부환경으로부터 보호하는 역할을 한다. 섬유강화 고분자 복합재료는 가볍다는 기본적인 장점 이외에 중량에 대한 강도비 및 탄성율이 크며, 해수나 화학물질에 대한 내식성, 내피로성이 우수한 특성을 갖고 있는 소재이다.

자동차 부품에 적용되고 있는 복합재료로서는 에폭시(epoxy), 폴리에스터(polyester) 등의 다양한 고분자 화합물에 탄소(carbon), 아라미드(aramid), 유리(glass) 섬유 등을 사용특성에 맞게 함침시켜 만든 고분자 복합재료가 가장 많이 사용되고 있다. 그러나 이러한 복합재료는 소재로부터 완제품에 이르는 성형 및 제조 공정에 대한 기술 개발과 설계 및 응용분야의 확대가 요구되고 있는 실정이다.

현재 전 세계적으로 스포츠카나 경주용 차량의 경우 차체 및 새시 등의 주요 구조물을 복합재료를 사용하여 제작하는 것이 일반화 되어 있다. 특히 F1(formula one) 경주용 자동차의 경우에 경량화를 위하여 차체의 34%가 복합재료로 이루어져 있다.

고성능 자동차의 경우에는 차량의 가격이 고가이기 때문에 복합재료의 제작 단가가 비싸더라도 제품의 품질이 우수한 오토클레이브 공법을 적용하고 있다. 한편, 일반적인 차량은 핸드레이업 및 RTM 공정을 이용하여 부품을 제작하고 있으나, 표면에 핀홀 등의 결함이 많이 존재하고 있으며 압력을 가하지 않은 공정상의 한계로 중량당의 강도 및 강성이 우수하지 못한 실정이다. 기아자동차에서 CFRP(carbon fiber reinforced plastics)와 하니컴 샌드위치 구조물을 이용한 스포츠카 엘란을 생산 판매하였으나 일반인들의 인식 부족과 높은 가격으로 인하여 성과를 이루지 못하였다. 17)

따라서 본 연구에서는 진공을 이용하여 섬유가 적층되어있는 금형에 수지를 주입하여 제품을 성형하는 VaRTM공법과 핸드레이업공법으로 제조된 시험편에 대한 기계적·물리적 특성을 비교 평가 하였다.

4.2 CFRP란?

CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)는 수지에 탄소섬유를 함침시켜 만든 복합재료로서 경량, 고강도, 내마모성, 내열성이 우수한 재료이다.

탄소섬유는 흑연섬유로도 지칭되며, 경량이면서 기계적 특성, 내열성 및 마찰 특성이 우수하고, 강성 및 피로강도가 높으며 열에 강하고 부식되지 않는다. 탄소섬유의 우수한 기계적 성질은 섬유를 구성하고 있는 탄소 원자들이 섬유방향으로 강한 공유결합을 이루고 있는데 기인하며, 그 성질은 원자들이 얼마나 잘 배열되어 있는가에 따라 달라진다.¹⁸⁾ 복합재료로서 관심의 대상이 되는 것은 탄소 원자가 육방정구조로 배열된 흑연화 구조로 되어있다는 점이다. Fig. 4-1에서 볼 수 있듯이 흑연구조는 각 평면층 방향 및 c-축 방향으로 각각 1000GPa, 35GPa 정도의 탄성율을 갖기 때문에, 높은 이방성을 나타낸다. Fig. 4-1에서 볼 수 있듯이 흑연구조는 각 평면층마다 최밀 충전된 형태를 취한다. 격자구조는 Fig. 4-1에 나타난 하나의 격자면만 보더라도 명확히 알 수 있다. 결합강도가 재료의 탄성계수 값을 결정하므로 층면에서 탄소 원자들 사이의 고강도 결합은 매우 높은 계수 값을 가지게 된다. 반면 이웃하는 층들 사이에서는 van der Waals 결합이므로 그 방향에 대해서는 낮은 계수 값을 나타낸다. 결국 탄소섬유의 경우 섬유 축을 따라 육각 평면의 고도의 규칙적인 배열성이 얻어지게 된다.¹⁹⁾

탄소섬유 강화 복합재료는 성형기술의 발달, 가격의 하락, 새로운 기지재료의 개발 등으로 인해 앞으로도 그 이용도가 많이 늘어나고 있는 추세이다.

Fig. 4-2, 4-3, 4-4, 4-5.에서 각 재료들의 상대적인 강도, 탄성률, 밀도 및 열팽창을 보여주고 있다.²⁰⁾

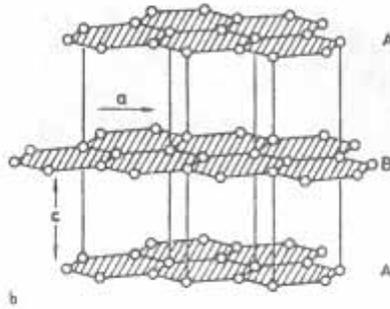


Fig. 4-1 Structure of carbon fiber.

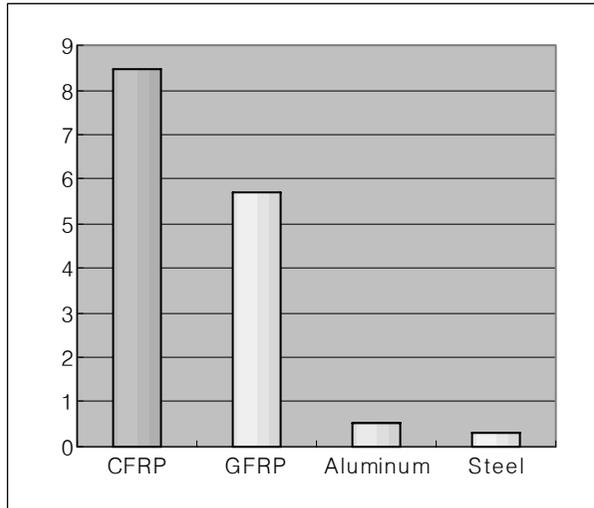


Fig. 4-2 Comparison of specific strength.

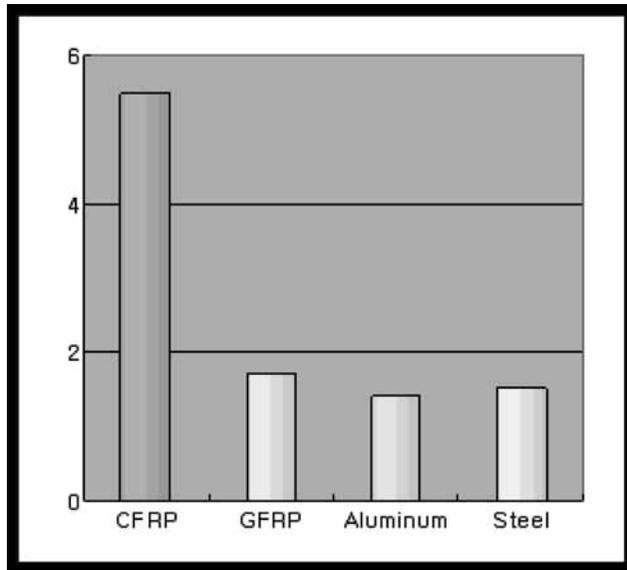


Fig. 4-3 Comparison of specific modulus.

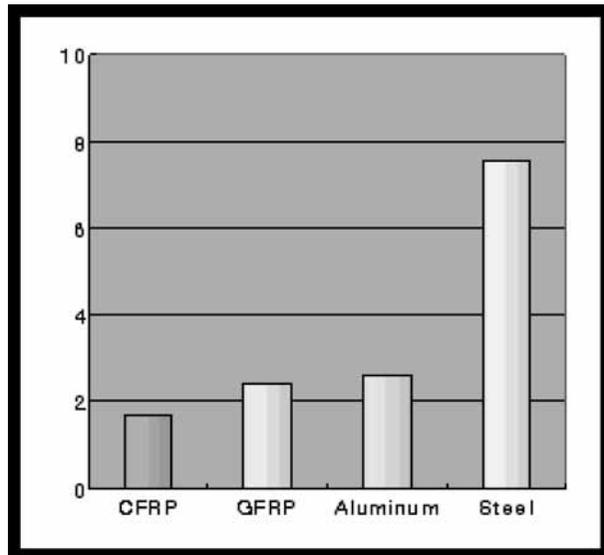


Fig. 4-4 Comparison of specific density.

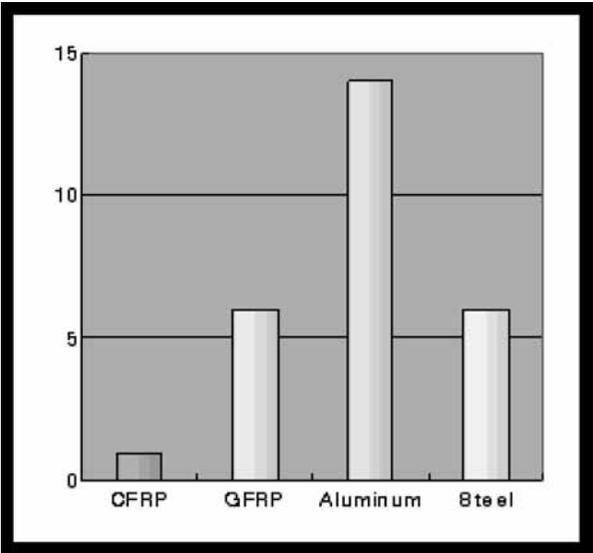


Fig. 4-5 Comparison of specific thermal expansion.

4.3 기계적 특성 평가

4.3.1 인장시험

Laminate에 대한 인장시험은 Eye size 5mm²로 직조된 탄소섬유 21플라이를 적층하여 H34 에폭시에 함침하여 ASTM D638 방법에 따라 Fig. 4-6 과 같이 핸드레이업, VaRTM의 공정으로 각 5개의 시편을 제작하였다. 1분당 1.2mm의 속도로 Fig. 4-7과 같이 시험을 행하였으며, 시험조건 및 시편 치수는 Table 4-1 과 같다.

인장시험을 실시하여 인장강도 및 인장탄성계수를 계산하는 방법은 다음과 같다.⁵⁾

Tensile stress/tensile strength

$$\sigma^{ts} = P_{max}/A \quad \dots\dots\dots 4-1$$

$$\sigma_i = P_i / A \quad \dots\dots\dots 4-2$$

σ^{ts} : ultimate tensile strength [MPa]

P_{max} : maximum load prior to failure [N]

σ_i : tensile stress at i-th data point [MPa]

P_i : load at i-th data point [N]

A : initial cross-sectional area

Tensile chord modulus of elasticity

$$E_{chord} = \Delta \sigma / \Delta \epsilon$$

E_{chord} : tensile chord modulus of elasticity [Gpa]

$\Delta \sigma$: difference applied tensile stress between the two strain points, [MPa]

$\Delta \varepsilon$: difference strain between the two strain points

Table 4-1 Condition of tensile test and dimension of specimen

Specimen	Carbon fiber Resin H34					
Stacking direction	[0/90]					
Test specification	ASTM D638					
Test temperature	Room temperature, dry					
Test speed	1.2 mm/min					
Unit : mm	T	W	WO	L	LO	R
Hand lay-up specimens	4.5	6.4	19.0	135.0	183.0	75.0
VaRTM specimens	3.0	6.4	19.0	135.0	183.0	75.0

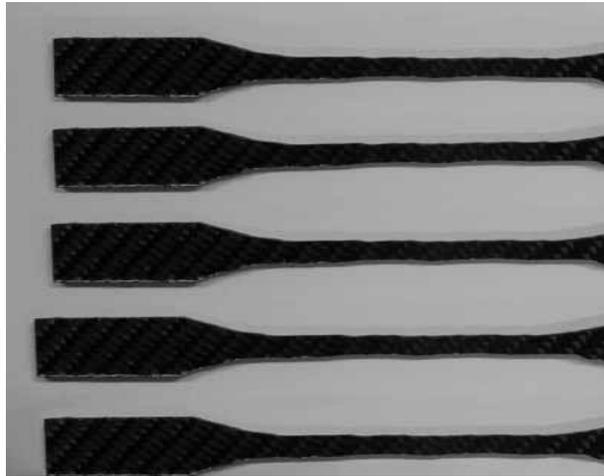


Fig. 4-6 The shape of tensile specimens

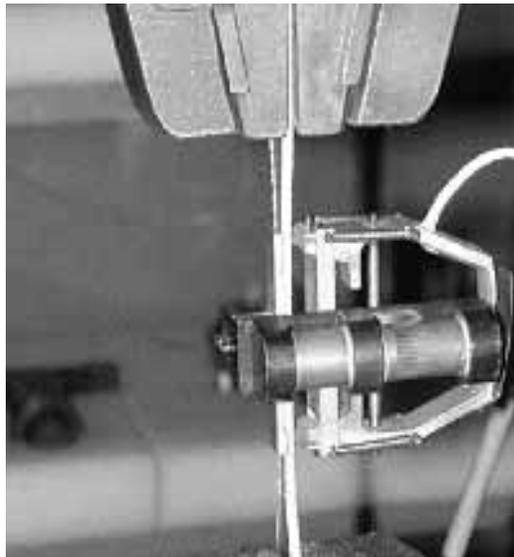


Fig. 4-7 Apparatus of tensile test machine

4.3.2 압축시험

Laminate에 대한 압축시험은 인장시험과 같은 방법으로 평판을 제작하여 ASTM D 695에 따라 Fig. 4-8과 같이 시편을 가공하였으며, Fig. 4-9와 같이 시험을 행하였으며, 시험조건 및 시편의 치수는 Table 4-2와 같다.

압축시험을 실시하여 압축강도 및 압축탄성계수를 계산하는 방법은 아래와 같다.⁶⁾

$$\sigma_{comp} = P_{max}/A \dots\dots\dots 4-3$$

σ_{comp} : compressive strength [MPa]

P_{max} : maximum compressive load [N]

A : the original minimum cross-sectional area

$$E_{comp}[\text{GPa}] = \text{stress/strain}$$

Table 4-2 Condition of compression test and dimension of specimen

Specimen	Carbon fiber Resin H34					
Stacking direction	[0/90]					
Test specation	ASTM D695					
Test temperature	Room temperature, dry					
Test speed	1.2 mm/min					
<p>The diagram shows a cross-section of a compression specimen. It has a central gauge section of width W and length G, and two grip sections of width WO and length LO. The specimen is thicker at the grip sections and tapers to a fillet with radius R at the transition between the grip and gauge sections. Arrows indicate the directions of the dimensions: T is thickness, W is gauge width, WO is grip width, G is gauge length, LO is total length, and R is the fillet radius.</p>						
Unit : mm	T	W	WO	G	LO	R
Hand lay-up specimens	4.5	12.7	19.0	38.1	79.4	38.1
VaRTM specimens	3.0	12.7	19.0	38.1	79.4	38.1

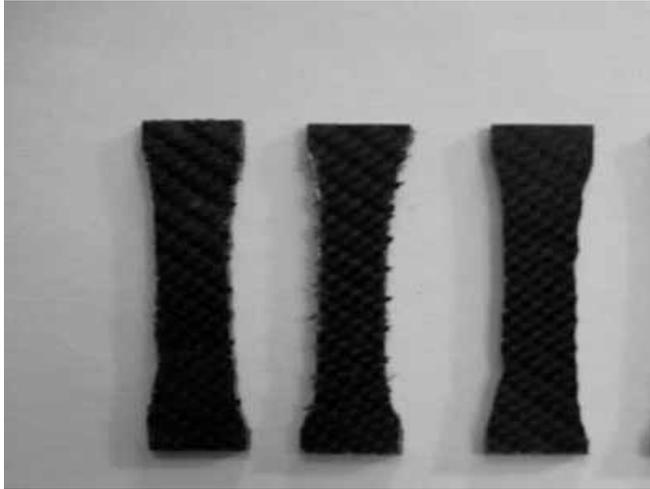


Fig. 4-8 The shape of specimens.



Fig. 4-9 Apparatus of compression test machine

4.3.3 Interlaminar shear test

Interlaminar shear strength는 인장시험과 같은 방법으로 평판을 제작하여 ASTM D 2344에 따라 Fig. 4-10과 같이 시편을 가공하였으며 Fig. 4-11과 같이 실험을 행하였다.

Short-beam test를 실시하고, 아래의 수식에 따라 interlaminar shear strength를 구할 수 있다. 시험조건 및 시험편 치수는 Table 4-3.과 같다.

$$F_{sbs} = 0.75 \cdot P_m / (b \cdot h) \dots\dots\dots 4-4$$

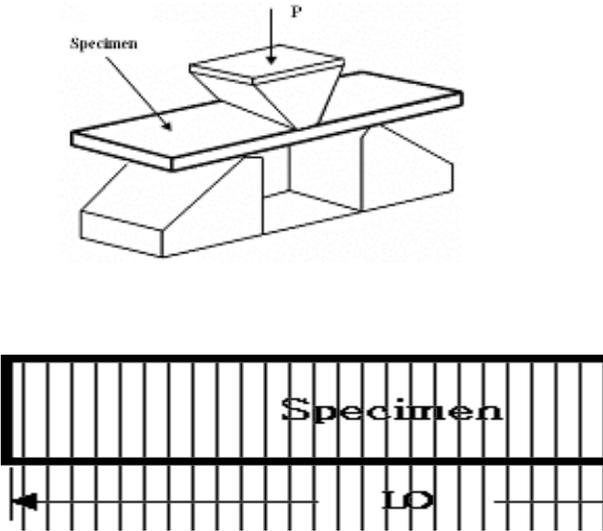
F_{sbs} : short-beam strength [MPa]

P_m : max load observed during the test [N]

b : measured specimen width [mm]

h : measured specimen thickness [mm]

Table 4-3. Condition of short-beam test and dimension of specimen

Specimen	Carbon fiber Resin H34		
Stacking direction	[0/90]		
Test specification	ASTM D2344		
Test temperature	Room temperature, dry		
Test speed	1.2 mm/min		
			
Unit : mm	T	W	LO
Hand lay-up specimens	4.5	6.3	98.0
VaRTM specimens	3.0	6.3	98.0

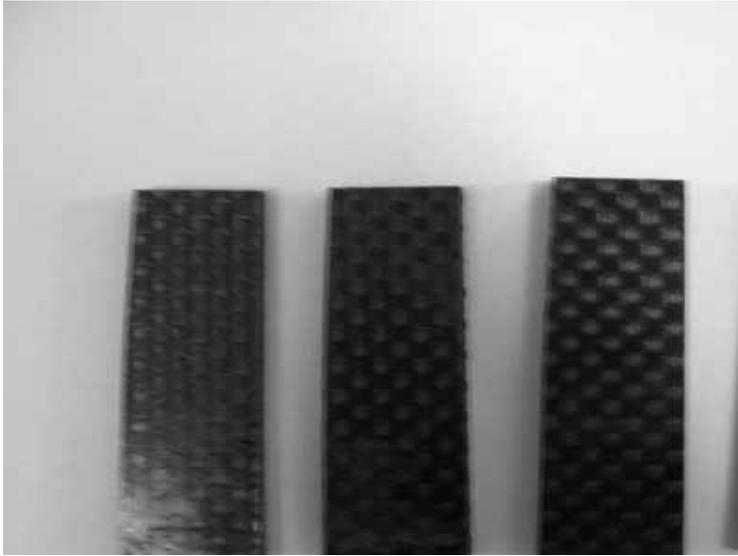


Fig. 4-10 The shape of specimens.

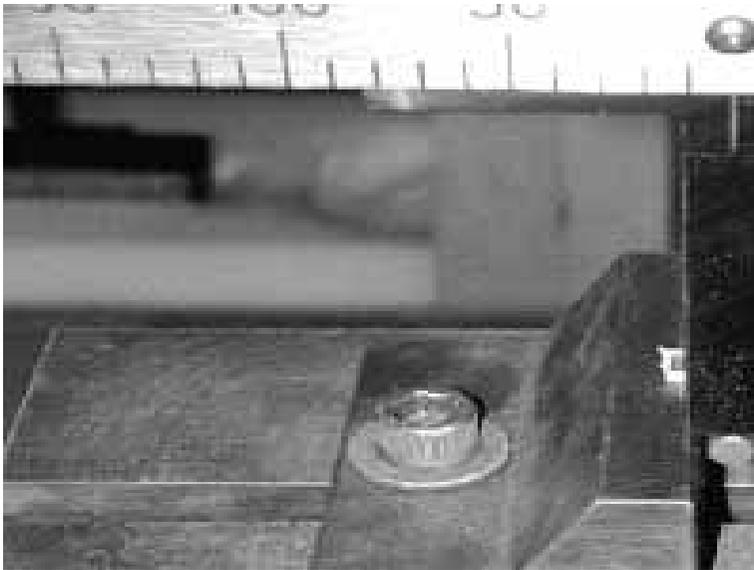


Fig. 4-11 Apparatus of short-beam test.

4.4 물리적 특성 평가

4.4.1 수지 함침율 측정

수지 함침율을 측정하기 위하여가로 3cm, 세로 3cm의 크기로 시험편을 자르고 무게를 측정한 뒤 60%의 질산 용액에 넣어 수지만 용해한 후 아세톤에 씻어서 섬유만을 따로 분리해내고, 세척 후 건조시킨 뒤 섬유의 무게를 측정하여 아래의 수식을 이용하여 수지 함침율을 측정하였다.

복합재료의 수지 함침율을 계산하는 식은 다음과 같다.

$$RC = \frac{(W_1 - W_2)100}{W_1} \dots\dots\dots \text{식 4-5}$$

RC : resin solid content, [%]

W_1 : weight of specimen, [g]

W_2 : weight of carbon fiber except resin, [g]

4.4.2 파단면의 미세구조 관찰

섬유의 적층된 상태를 관찰하기 위하여인장시편의 파단면을 VaRTM과 핸드레이업시편을 각각 100배와 1000배의 배율로 SEM사진을 촬영하였다.

4.4.3 표면 결함 측정

제품의 제조 시 표면에 발생하는 결함을 파악하기 위하여 평판 시편을 제작하여 사진을 찍은 후 1cm^2 의 면적에 발생한 직경 0.2mm이상의 결함을 측정하였다.

4.5 실험결과 및 고찰

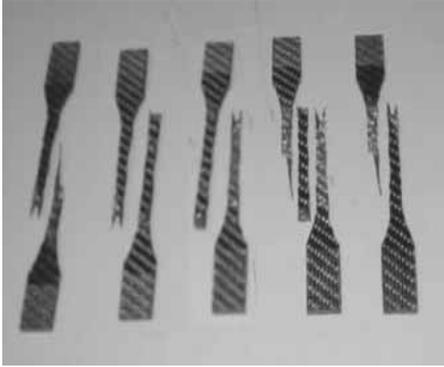
4.5.1 인장시험

핸드레이업, VaRTM 공정을 이용하여 제작한 시편의 인장강도와 탄성율을 측정된 결과는 Table 4-4와 같으며 핸드레이업공정으로 제작한 시편은 약 10%정도 낮은 강도를 나타내고 있다.

파단 양상은 Fig. 4-12에서와 같이 핸드레이업 공정으로 제작한 시험편에서만 파단에 이르기 전에 박리가 발생하였다. 이는 핸드레이업공정으로 제작한 시편이 VaRTM 공정으로 제작한 시편보다 층간 결합강도가 약하다는 것을 보여준다. 이러한 점들로 미루어보아 VaRTM 공정에서 성형 시에 작용하는 진공힘이 수지와 섬유간의결합을 강하게 하는 힘으로 작용하는 것으로 생각된다.

Table 4-4 Result of tensile test

Specimen no.	Hand lay-up		VaRTM	
	Strength (MPa)	Modulus (GPa)	Strength (MPa)	Modulus (GPa)
1	275	35	326	54
2	303	37	338	55
3	292	33	340	57
4	287	33	323	58
5	285	33	335	54
Average	289	35	332	56



Hand lay-up



VaRTM

Fig. 4-12 The shape of fractured specimens

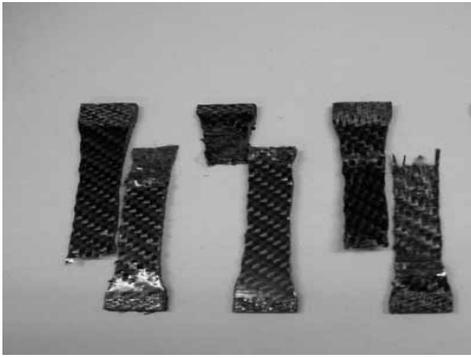
4.5.2 압축시험

압축시험의 결과는 Table 4-5와 같으며 인장시험과 마찬가지로 VaRTM이 약 10% 우수한 특성을 나타내고 있으며, 또한 핸드레이업으로 제작한 시편에서 파단 이전에 박리가 발생하는 것을 관찰할 수 있었다.

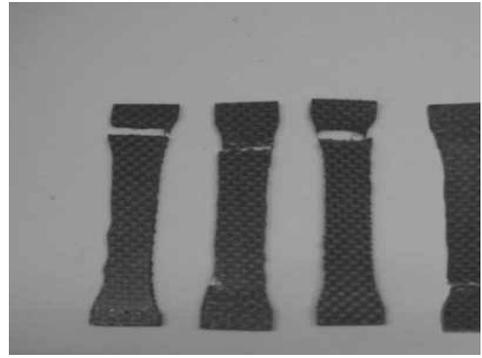
파단 된 시편의 형상을 Fig. 4-13에서 보여주고 있다.

Table 4-5 Result of compressive test

Specimen no.	Hand lay-up		VaRTM	
	Strength (MPa)	Modulus (GPa)	Strength (MPa)	Modulus (GPa)
1	541	55	597	49
2	530	57	602	49
3	493	52	652	62
4	499	48	591	52
5	510	52	610	49
Average	514	53	610	52



Hand lay-up



VaRTM

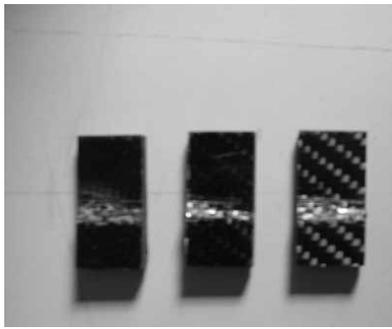
Fig. 4-13 The shape of fractured specimens.

4.5.3 Interlaminar shear test

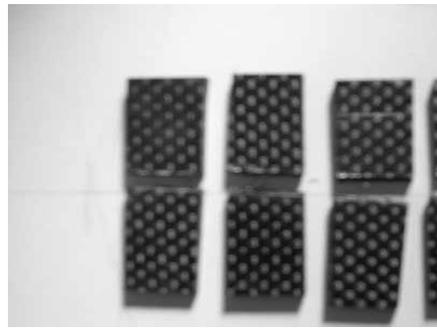
Interlaminar shear test의 결과를 Table 4-6.에 나타내었으며 Fig. 4-14.에서 파단 된 시편을 보여주고 있다. Interlaminar shear test에서도 VaRTM으로 제작한 시편이 약 14% 우수한 특성을 보이며, 핸드레이업으로 제작한 시험편에서 delamination이 더욱 뚜렷하게 나타나고 있다. Interlaminar shear strength가 tensile, compressive strength 보다 낮은 이유는 복합재료가 가지는 이방성에 의한 것으로 보인다.

Table 4-6 Result of interlaminar shear test

Specimen no.	Hand lay-up (MPa)	VaRTM (MPa)
1	52	61
2	48	57
3	46	55
4	45	60
5	49	60
Average	48	59



Hand lay-up



VaRTM

Fig. 4-14 The shape of tested specimens.

4.5.4 수지 함침율 측정

Fig. 4-15는 수지 함침율을 측정한 방법이며 핸드레이업 시편과 VaRTM 시편의 수지 함침률을 측정한 결과는 Table 4-7과 같다. 수지의 함침율을 측정한 결과 핸드레이업 공정으로 제작한 시편이 36.7wt %, VaRTM 공정으로 제작한 시편이 49.0wt %로 핸드레이업 공정에서 수지의 함침량이 증가되었음을 알 수 있었다. 이것은 VaRTM 공정 시 가해지는 진공압으로 인하여 한정된 양의 수지만이 함침되기 때문인 것이라 생각된다.

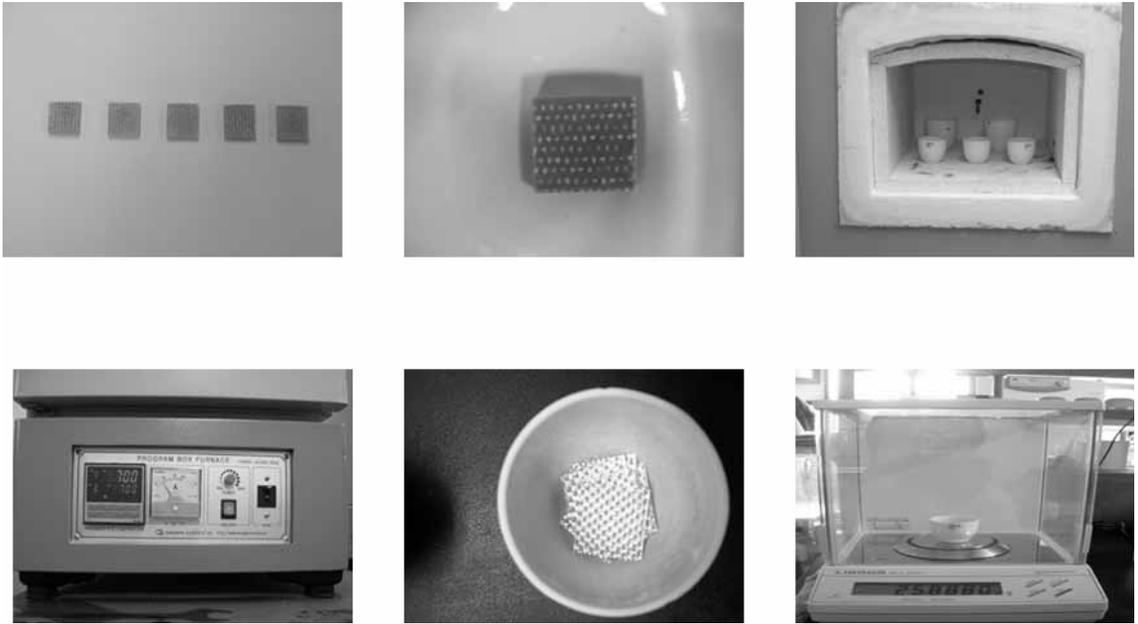


Fig. 4-15 Measuring of resin volume

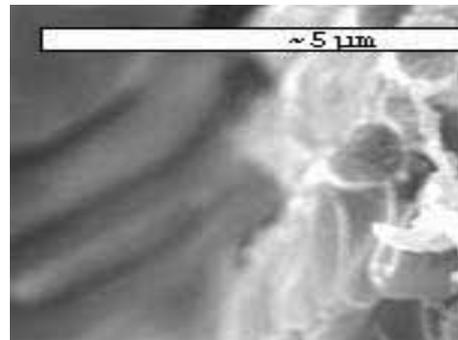
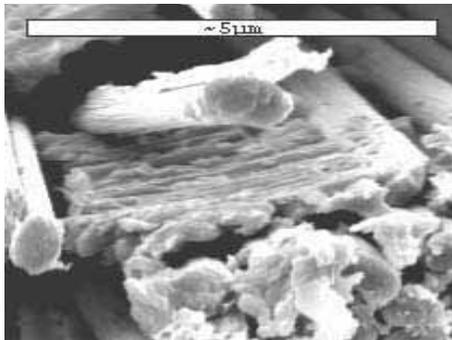
Table 4-7 Resin contents of specimen

Resin content	VaRTM	Hand lay-up
1	36.4%	48.7%
2	37.2%	50.1%
3	36.7%	48.3%
Average	36.7%	49.0%

4.5.5 파단면 미세구조

파단 된 인장시편의 미세구조를 Fig. 4-16에서 보여주고 있다.

VaRTM 시편이 핸드레이업 시편보다 섬유가 더욱 밀집하여 있으며, VaRTM 시편에서는 수지가 섬유에 부분적으로 붙어있으나 핸드레이업 시편에서는 섬유가 깨끗하게 풀 아웃(Full out) 되었음을 알 수 있다. 이것은 VaRTM 공정에서 섬유가 더욱 밀집하여 경화되며, 수지와 섬유간의 결합이 더욱 강하게 되었음을 보여준다.



Hand lay-up (X1000)

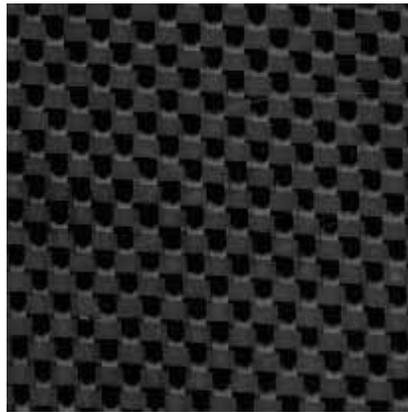
VaRTM (X1000)

Fig. 4-16 Micrographs of tested specimens.

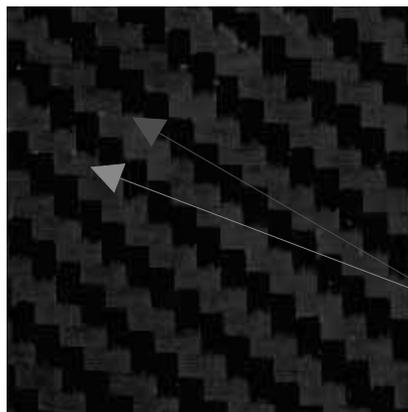
4.5.6 표면 결함 측정

시편의 표면을 찍은 사진을 Fig. 4-17에 나타내었다. 90도 방향으로 배열된 경사는 하얀색으로 나타나는 부분이며, 0도 방향으로 배열된 위사는 검은색으로 나타나는 부분이다. 사진에서 하얀 점은 핀홀등의 결함을 나타낸다.

VaRTM 시편의 표면에서는 결함을 거의 발견할 수 없었으나 핸드레이업 시편에서는 1cm^2 당 직경 0.2mm 이상의 결함이 평균 4개가 발견되었다.



VaRTM



Pin hall

Hand lay-up

Fig. 4-17 Surface of specimens

4.5.7 수분 함유량

선박 및 구조물은 외부에 노출 되거나 수중에 닿는 면적이 있으므로 수지 자체의 물성 또는 성형법에 따라 수분 함유량이 상이 하므로 그에 대한 비교 관찰을 Fig. 4-18,4-19,4-20,4-21과 같이 하였다.

수분함유량 측정용 시편은 복합재의 특성상 수분 함유의 지배인자가 수지가 주로 감당하므로 이에 대한 시편은 유리섬유를 보강재로 하여 제작 하였다.

핸드레이업 시편과 VaRTM 시편의 수분 함침율을 측정하기위하여 상온 조건 하 해수 및 담수에서 각각 10일 20일 30일 경과 후 평면시편과 노치시편의 중량을 시험하였고 그 결과를 Fig. 4-22,4-23에 나타내었다. 또한 Fig 4-24,4-25와 같이 수분을 함유한 각각의 시편에 대하여 ASTM D638에 의거하여 실시하였고 시편 두께는 실제 RIB Boat의 두께인 VaRTM 시편은 6mm, 핸드레이업인 경우 같은 적층수인 7.5mm를 적용하여 인장 및 압축강도를 측정한 결과 Table 4-8과 같은 결과를 보여주고 있다.

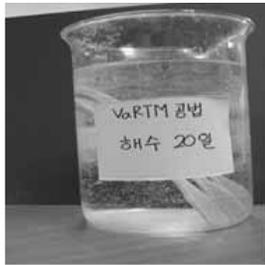


Fig. 4-18 VaRTM (smooth specimen) Temp.: 22°C



Fig. 4-19 VaRTM (notched specimen) Temp.: 22°C



Fig. 4-20 Hand lay-up (smooth specimen) Temp.: 22°C



Fig. 4-21 Hand lay-up (notched specimen) Temp.: 22°C

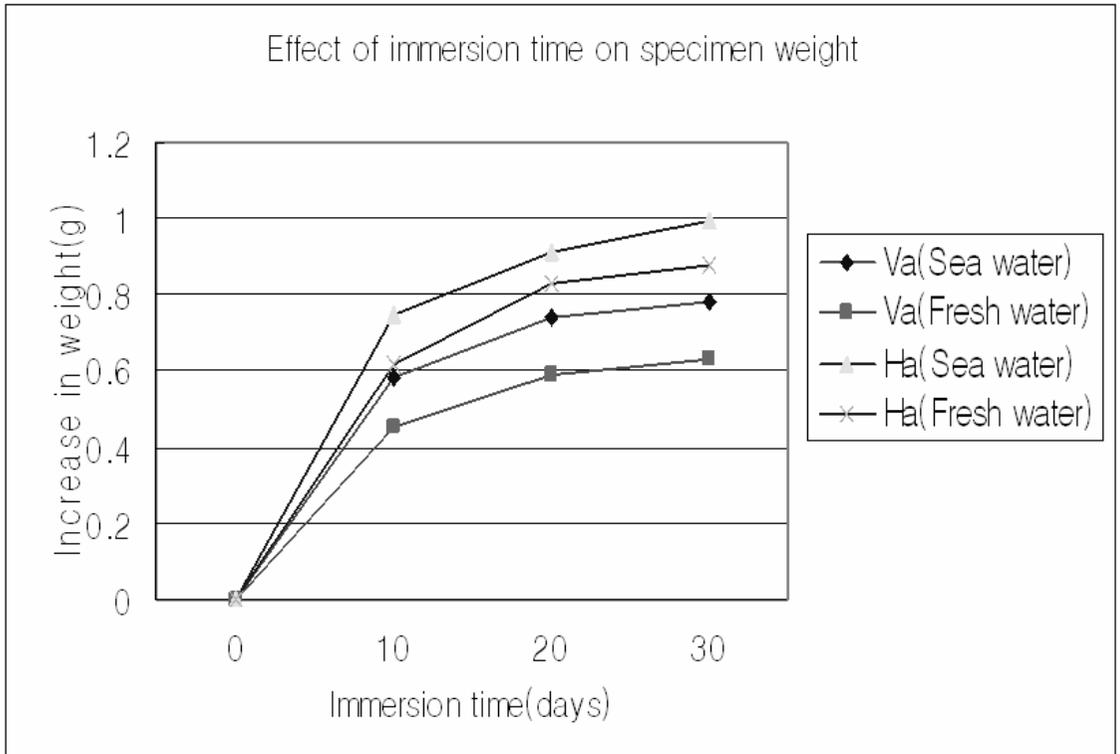


Fig. 4-22 Effect of immersion time on smooth specimen weight

Fig. 4-22에 평활시험편의 해수와 담수에 있어서 VaRTM 과 핸드레이업 시험편의 침지시간과 시험무게와의 관계를 나타내었다.

Fig. 4-22에서와 같이 평면 시험편의 경우 침지시간 이 길어질수록 각각의 시험편의 무게가 증가됨을 알 수 있었다.

VaRTM 공법에 의해 제작 된 시험편은 담수 중에서 중량이 가장 작은 증가를 보였으며 해수 중에서도 VaRTM 공법에 의해 제작 된 시험편은 핸드레이업공법 보다 중량이 작은 증가를 보였다.

중량 증가는 침수 후 10일 후 큰 증가를 보였으며 30일이 지난 후는 큰 차이가 없음을 발견 하였다.

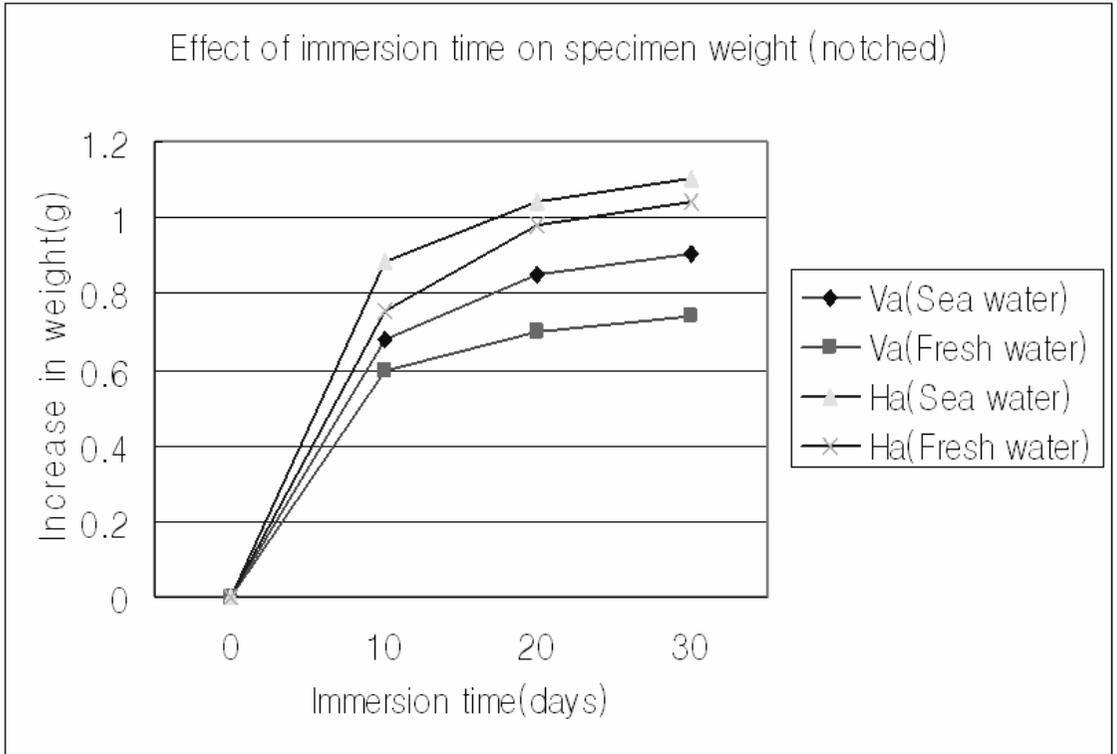
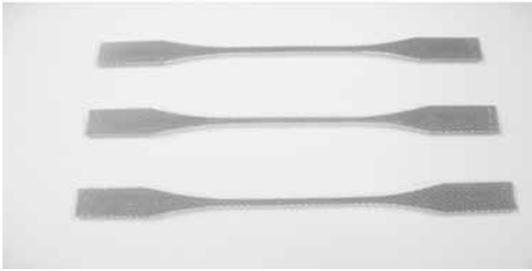


Fig. 4-23 Effect of immersion time on notched specimen weight

Fig. 4-23에서도 Fig. 4-22과 같이 Notched 시편에 대한 결과를 나타낸 것으로, 침지시간이 길어질수록 각각의 시편의 무게가 증가됨을 알 수 있었다.

VaRTM 공법에 의해 제작된 시편은 담수 중에서 중량이 가장 작은 증가를 보였으며 해수 중에서도 VaRTM 공법에 의해 제작된 시편은 핸드레이업공법보다 중량이 작은 증가를 보였다.

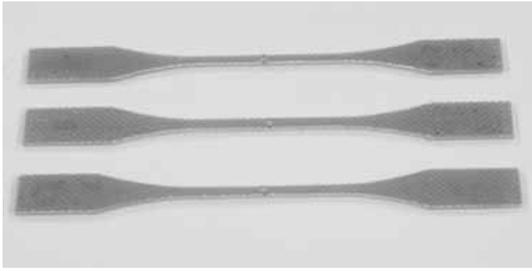
중량 증가는 침수 후 10일 후 큰 증가를 보였으며 30일이 지난 후에는 큰 차이가 없음을 발견하였다.



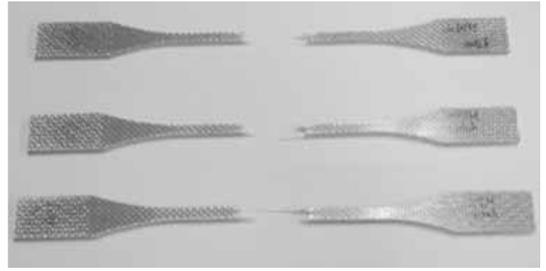
Smooth specimen before test



Smooth specimen after test

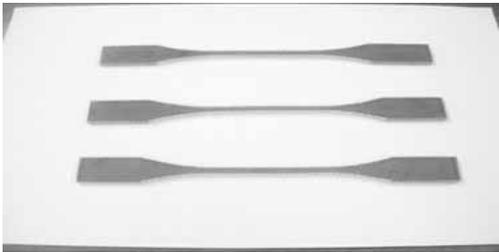


Notched specimen before test

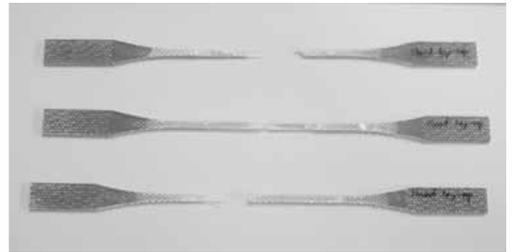


Notched specimen after test

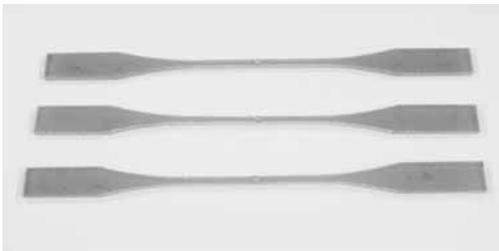
Fig. 4-24 VaRTM specimens



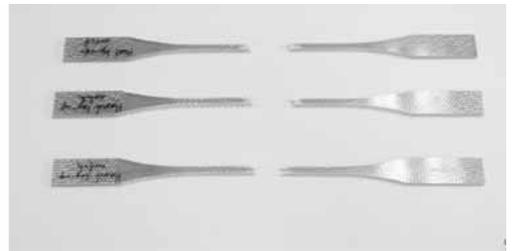
Smooth specimen before test



Smooth specimen after test



Notched specimen before test



Notched specimen after test

Fig. 4-25 Hand lay-up specimens

Table 4-8 Tensile strength

kinds Methods	Smooth specimen (MPa)	Notched specimen (MPa)
VaRTM	550	320
Hand lay-up	470	290

Table 4-8은 VaRTM 과 핸드레이업 시험편에 대해 침지 한 후 30일이 지난 시험편을 인장, 압축 시험 한 것을 나타내었다.

평활시험편과 노치시험편 모두 VaRTM공법이 핸드레이업 보다 우수 하다는 것을 발견 하였다.

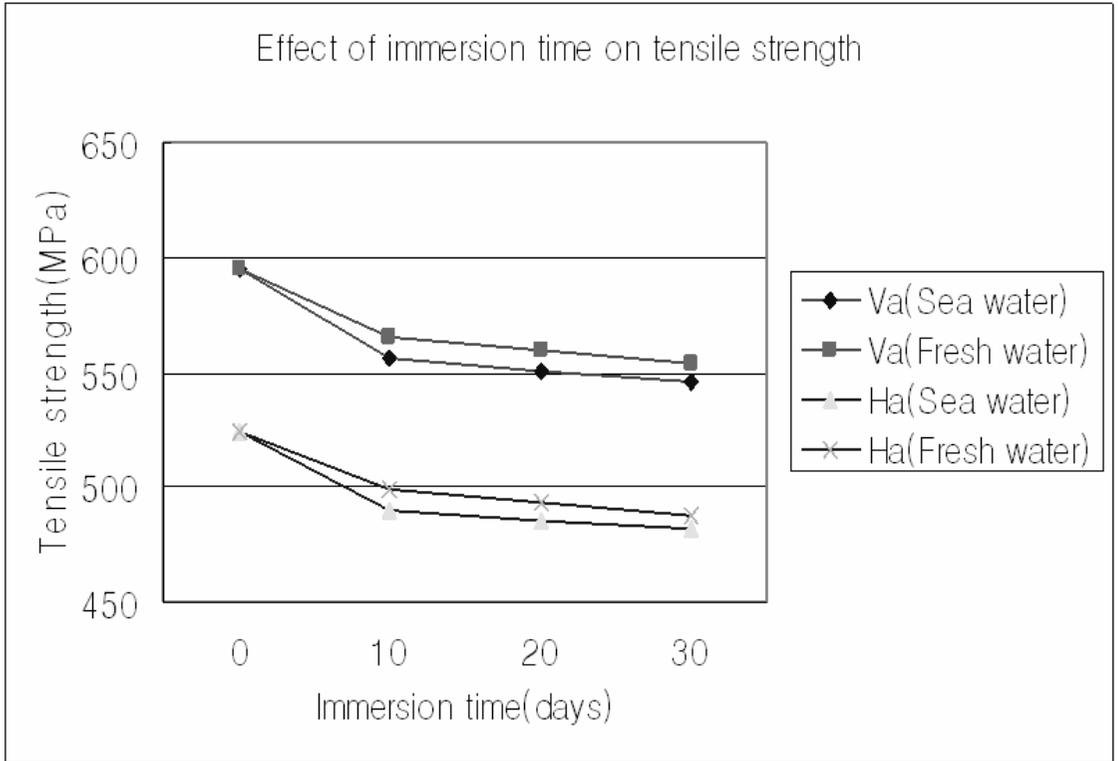


Fig. 4-26 Effect of immersion time on tensile strength
(in case of smooth specimen)

Fig. 4-26은 침지시간에 따른 평활시험편의 인장강도 변화를 해수와 담수에 대해 각각 나타낸 것이다.

침지일수의 증가에 따라 인장강도가 감소하는 경향을 나타내다가 30일이 지난 시점에서는 어느 정도 포화되어 가고 있음을 알 수 있었다.

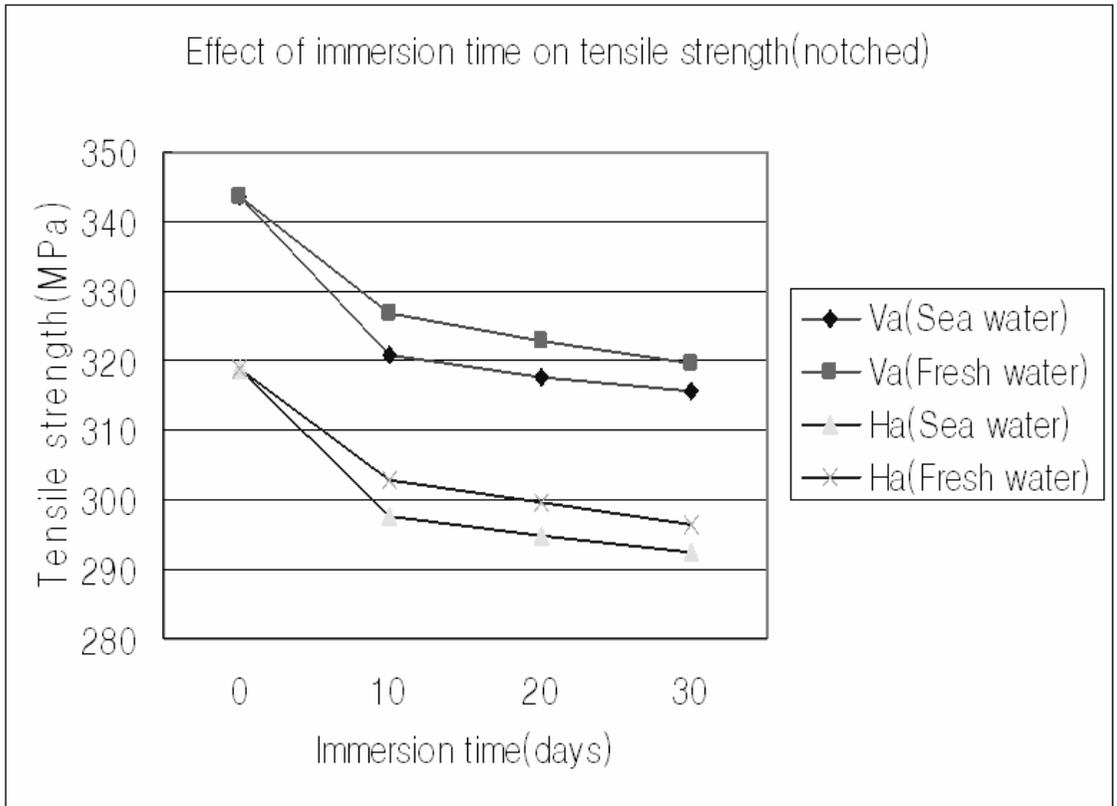


Fig. 4-27 Effect of immersion time on tensile strength(notched)

Fig. 4-27과 같이 노치 시험편에 대한 결과를 나타낸 것으로 평활 시험편과 유사한 경향을 나타내고 있다.

응력 집중에 의해 평활시험편에 비해 1/2정도의 강도밖에 얻어지고 있지 않다.

4-6 결론

1. VaRTM 시편이 핸드레이업 시편보다 약 12% 우수한 기계적 강도를 가지고 있는 것을 알 수 있었다..
2. 주사전자 현미경을 이용하여 과단된 시편의 미세구조를 관찰하여 수지와 섬유간의 함침 정도와 단위 면적당 섬유량과 섬유 배열상태를 시각적으로 확인하였고 시험 방법에 따라 계측기를 사용하여 핸드레이업 시편이 VaRTM 시편보다 수지의 함침율이 약 8~10% 높게 나타났다.
3. VaRTM 시편의 표면에서는 결함을 거의 발견할 수 없었으나 핸드레이업 시편에서는 1cm^2 당 직경 0.2mm 이상의 결함이 평균 4개가 발견되어 VaRTM 성형공법이 우수하다는 것을 알 수 있었다.
4. 침지시간에 따른 무게변화의 관계를 검토 한 결과 침지시간에 따라 무게는 대체적으로 증가하는 경향을 나타내었으며, 30일이 지나면 일정치로 포화됨을 알 수 있었다. 또한 VaRTM 시편과 핸드레이업 시편의 경우 VaRTM 시편의 담수의 경우 수분 함유율이 가장 적게 포화됨을 알 수 있었다.
5. 침지시간에 따른 인장강도의 변화를 구한 결과 침지시간에 따라 인장강도는 감소하는 경향을 나타냈으며 30일 이상 지나면 일정한 값으로 수렴함을 알 수 있었다. 이러한 현상은 평활 시험편 및 노치 시험편 모두 동일하였다.

제 5 장 VaRTM 공법에 의한 Rib boat 제작

5.1 서론

Fig. 5-1과 같이 Rib boat(Rigid inflatable boat)는 현재 레저 및 군사용으로 널리 사용되고 있다. 구조는 일반 보트와 고무보트의 형태를 가지고 있다.

고무보트는 선체 바닥까지 고무인데 비해 RIB 보트는 선체 바닥이 일반 보트와 같은 재질로 되어 있다.

고무보트의 경우 밑바닥도 고무이고 평평하므로 조파저항에 영향을 많이 받지만 RIB의 경우 선저가 일반 보트의 형태인 CFRP 또는 GFRP이며 주변만 고무보트의 형태를 이므로 고무보트에 비해 강도가 뛰어나고 선저의 형상이 일반 보트와 비슷하므로 조파 저항에도 더 유리하다.

즉, 선체 형상은 최대한 일반 보트의 형태로 만들면서 부력의 상당수는 고무보트의 원리를 이용하므로 운항성능은 고무보트보다 훨씬 뛰어나며 무게가 감소되어 같은 크기 및 무게의 일반 보트에 비해 경제적인 장점을 가지게 되는 것이다.

본 연구에서는 2, 3, 4장의 연구결과를 기초로 하여 아직 우리나라에서 전혀 시도되지 않았던 신소재와 새로운 성형공법을 이용하여 초경량의 고성능 RIB boat를 제작하는 것을 그 목표로 하였다.



Fig.5-1 Scheme of rib boat

5.2 재료 성형 및 Rib boat 제작

대부분의 해양 레저·스포츠 기소재는 섬유강화복합재료(GFRP, CFRP) 등에 의해 제작되고 있다. VaRTM 공법은 진공 상태에서 수지를 보강재에 주입하여 함침시키기 때문에 수지 내에 산재해 있는 기포를 제거할 수 있어 성형이 끝난 후 내부의 결함을 없앨 수 있고, 진공압을 이용하기 때문에 보강재와 기지재의 함유율을 조정 가능하기 때문에 최적의 상태로 성형이 가능하다. 그리하여 본 연구에서는 VaRTM 공법을 이용하여 더욱 신뢰성 있는 기자재를 제작하고자 한다. Fig. 5-2은 VaRTM 공법을 설명하고 있다.

Fig. 5 -2 View of VaRTM

5.2.1 선체 몰드 전처리

먼저 선체 몰드를 매끄럽게 하여 탈형이 용이하도록 전처리 하였다. Fig. 5-3, Fig. 5-4은 몰드의 전처리 과정과 전처리 완성된 몰드의 형상을 나타내고 있다. 전처리가 완료된 몰드는 건조실에 건조시켜 성형 시 결합이 없도록 한다.



Fig. 5-3 Preparation of rib boat mold



Fig. 5-4 Finished preparation of rib boat mold

5.2.2 선체 제작

본 연구에서는 Fig. 5-6과 같이 선체 제작을 시범 소형 선박의 금형을 이용하여 실제 선박 제조의 환경과 같은 조건 하에서 연구를 수행 하였다. 먼저 금형의 표면에 고품 이형제처리를 5회 실시하여 탈형을 용이하도록 하였다.

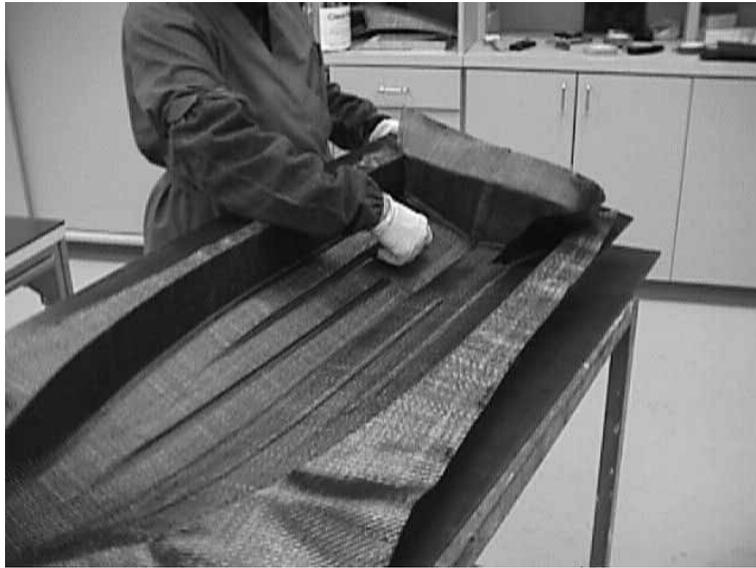
1. 금형 표면을 깨끗이 전처리 한다.
2. 섬유를 제품에 맞도록 재단하고 필요한 ply만큼 적층한다. 이 때 취약한 부분에는 섬유를 추가 적층하여 보강한다.
3. 탄소섬유를 금형에 적층한 모습을 보여주고있다.
4. 필플라이, 디스트리뷰션 미디엄을 적층한다.
5. 레진 플로우 채널과 실란트 테잎을 붙인다.
6. 진공 포트를 설치하고 진공백을 이용하여 배킹을 한다.
7. 배킹을 마친 모습을 보여주고 있다.
8. 수지를 주입하면 레진 플로우 채널로 먼저 흘러들어간다.
9. 바깥쪽에 설치된 레진 플로우 채널에서 중앙의 진공 포트쪽으로 수지가 함침된다.
10. 수지가 함침되어가는 과정을 보여주고있다.
11. 수지가 완전히 함침되어진 후 경화시킨다.
12. 경화가 완료된 후 탈형을 하여 Rib boat 선체를 제작하였다.



1. Mold release application.



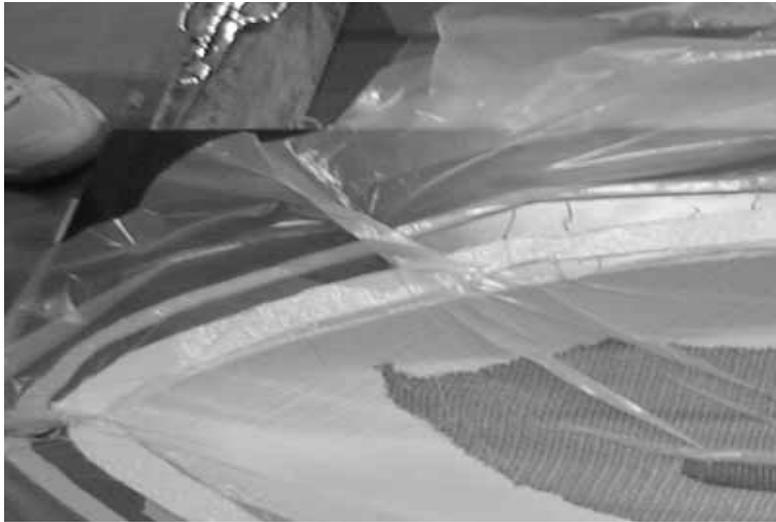
2. Apply carbon fiber.



3. Apply for carbon fiber.



4. Complete six ply lay-up.



5. Installation of resin flow n sealant tape.



6. Completion vacuum bag



7. resin flow



8. Resin infusion



9. Complete resin infusion



10. Removing vacuum bag after curing.



11. Removing the part from the mold.

Fig. 5-6 Fabrication for rib boat hull

본 실험에서 선체는 VaRTM 공법에 의해서 제작이 되었다. 먼저 몰드에 탈형을 용이하게 하기 위하여 고체 왁스를 10ply 정도로 표면 코팅을 하고 그 위에 액체 이형제를 도포하였다. 이형제가 마른 후에 선체의 페인팅 및 표면처리를 위하여 겔코트를 적층한다. 겔코트를 적층한 후에 실질적으로 선체의 형상을 형성하기 위한 탄소섬유 매트를 6ply 적층하였다. 탄소섬유 매트 위에는 VaRTM에 필요한 부자재로써 다른 부자재와 제품 간의 이형을 용이하게 하기 위한 peel ply를 적층하고 그 위에는 수지의 원활한 유동과 진공백 내부의 균일한 압력을 조절해 주는 resin flow를 적층한다. 수지의 균일한 분포를 위하여 resin feed coil을 몰드 가장자리에 놓고, 진공백을 형성하기 위하여 진공백 내부의 진공을 유지해 주는 sealant tape를 바르고 진공백 필름을 주름을 잡아가면서 sealant tape에 맞게 붙인다. 진공백 필름의 주름이 필요한 이유는 일반 라미네이트 제작 시는 2차원적인 형상이기 때문에 진공밖에 주름이 필요 없지만 본 Rib Boat제작과 같은 3차원적인 제품 성형 시는 몰드에 진공백 필름이 완전 접착하기 때문에 여분의 진공백이 필요하기 때문이다. 그리고 이 과정에서 수지의 주입구와 배출구를 형성해 준다. 이 모든 과정이 끝이 나면 수지 입구에 진공펌프를 연결하여 진공백 내부를 진공상태로 만들어 준다. 진공상태를 확인 한 후 수지 주입하여 수지의 경화가 끝나면 건조실에서 약1 시간 정도건조 시킨 후 제품을 탈형 시킨다. Fig. 5-7에서 실제 선체 제조 시 진공형성 과정을 나타내며 Rib boat의 탈형이 완성 된 모습은 Fig. 5-8과 같다.



Fig. 5-7 Finished view of rib boat



Fig.5-8 Finished view of original rib boat



Fig. 5-9 Sea trial test

Fig. 5-9와 같이 최종 완성된 Rib boat의 모습을 볼 수 있다. 길이 5.20m 폭이 2.00m인 Rib boat을 실제로 바다에 띄어 성능 테스트를 해본 결과 성공적인 결과를 얻었다.

5.3 결론

이상과 같은 기초실험 및 실제 보트제작을 수행한 결과 VaRTM 공법은 핸드레이업 공법에 비해 치수안정성과 함께 경량화, 고강도, 높은 섬유함유율, 그리고 결함의 최소화라는 다양한 장점과 함께 제작 비용의 감소화 및 운항 경비의 절감을 가져다 줄 수 있으므로 최신행 복합재료 성형법으로 그 우수성을 입증한 성형공법이라는 결론을 얻었다.

제 6 장 총괄

본 연구에서는 첨단 신소재와 새로운 성형공법을 응용하여 RIB boat를 제작 할 목적으로 기초실험과 특성 평가를 하였다.

선박의 경량화 및 제작비용 그리고 운용비용 절감을 위해 사용하는 복합재 구조물의 재료에 대하여 VaRTM의 특성을 보다 상세히 검토하기 위하여 고온용 수지 및 유리섬유와 탄소섬유를 상대 비교하여 기계적 특성 시험을 수행하였다.

또한 핸드레이업 성형공법과 VaRTM 공법에 의한 기계적, 물리적 성질을 비교 관찰하였으며, 특히 복합재 구조물 제작 공정 중에서 VaRTM 공정을 통해 선박을 제작하는 것을 중심으로 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. VaRTM 공정을 통하여 고온용 수지를 사용하여 탄소섬유와 유리섬유에 대한 기계적 특성을 실온과 70℃에서 구분하여 실험, 비교 한 결과 상온에서 탄소섬유가 인장, 압축 In plane shear, short beam shear 및 Flexural 비강도가 우수한 것으로 나타남을 알 수 있었다.

2. VaRTM 공정을 통하여 3가지의 수지 중 H34 수지의 경우 탄소섬유와 상온에서의 경우 인장, 압축 In plane shear, short beam shear 및 Flexural 비강도가 우수한 것으로 나타났으며 섬유 함유율 또한 높게 나타남을 알 수 있었다.

지금까지 각 수지별 상세한 검토가 없이 사용되어져왔지만 이러한 고온용수지의 특성을 잘 고려하여 사용 할 필요가 있음을 본 실험을 통해 확인 할 수 있었다.

3. 핸드레이업 시편과 VaRTM 시편을 주사전자 현미경을 이용하여 파단된 시편의 미세구조를 관찰하여 수지와 섬유간의 함침 정도와 단위 면적당 섬유량과 섬

유 배열상태를 시각적으로 확인하였고 시험 방법에 따라 각각의 계측기를 사용하여 핸드레이업 시편이 VaRTM 시편보다 수지의 함침율이 약 8~10% 높게 나타나는 것을 확인 하였다.

4. VaRTM 시편이 핸드레이업 시편보다 약 12% 우수한 기계적 강도를 가지고 있는 것을 알 수 있었다.

5. 침지시간에 따른 무게변화의 관계를 검토 한 결과 침지시간에 따라 무게는 해수, 담수 모두 각 시편마다 대체적으로 증가하는 경향을 나타내었으며, 30일이 지나면 일정치로 포화됨을 알 수 있었다. 또한 해수와 담수중에 VaRTM 시편과 핸드레이업 시편을 침지 한 경우 VaRTM 시편과 담수의 경우 수분 함유율이 가장 적게 포화됨을 알 수 있었다.

6. 침지시간에 따른 인장강도의 변화를 구한 결과 침지시간에 따라 인장강도는 감소하는 경향을 나타냈으며 30일 이상 지나면 일정한 값으로 수렴함을 알 수 있었다. 이러한 현상은 평활 시험편 및 노치 시험편 모두 동일하였다.

7. 기초실험을 기초로 하여 그 결과를 실제 보트제작에 적용하여 제작한 결과 VaRTM 공법은 핸드레이업 공법에 비해 치수안정성과 함께 경량화, 고강도, 높은 섬유함유율, 그리고 결함의 최소화라는 다양한 장점과 함께 제작 비용의 감소화 및 운항 경비의 절감을 가져다 줄 수 있으므로 최신형 복합재료 성형법으로 그 우수성을 입증한 성형공법이라는 결론을 얻었다.

참고 문헌

-
- 1) 한중원 권순철, 임철문, 최병근, 이세원, 김윤해, 항공기용 복합재료샌드위치 구조물의 오토클레이브 성형시 발생하는 결함 원인 분석과 그 최소화 방안, 복합재료 학회지 (2001) 2, 제14권, 제1호, p.22~29
 - 2) 김윤해, 한중원 공저, 복합재료학, 효성출판사, p.2~4
 - 3) Global Composites Market 2004-2010, E-Composites, Inc. Publication date, February 2005
 - 4) C. Soutis "Fibre Reinforced Composites in Aircraft Construction," UK Progress in Aerospace Sciences, Vol. 41 p.143-151, 2005
 - 5) Soo-Hyun Eum, et. al. "A Study on the Mechanical Properties of the Honeycomb Sandwich Composites made by VaRTM," Key Engineering Materials, Vol. 297-300, p.2746-2752, 2005
 - 6) C. Ulven, et. al. "Effect of Projectile Shape during Ballistic Perforation of VARTM Carbon/Epoxy Composite Panels," Composite Structures, Vol. 61, p. 143~150, 2003
 - 7) 김윤해, 한중원 공저, 복합재료학, 효성출판사, p.141~168
 - 8) R.J. Johnson, R. Pitchumani, 2003, "Enhancement of Flow in VARTM using Localized Induction Heating", Composites Science and Technology 63
 - 9) Tugrul Seyhan, et. al. "Artificial Neural Network (ANN) Prediction of Compressive Strength of VaRTM Processed Polymer Composites," Computational Materials Science, Vol. 34, p.99~105, 2005
 - 10) 엄수현, VaRTM에 의해 제작된 하니컴 샌드위치 구조물의 기계적 특성 평가, 석사학위논문, p. 21
 - 11) ASTM D3039, Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, (West Conshohocken, PA: American Society of Testing and Materials; 2000).
 - 12) ASTM D695, "Standard Test for Compressive Properties of Rigid Plastic
 - 13) ASTM D3410, Standard Test Method for Compressive Properties of Polymer Matrix Composite Materials with Unsupported Gage Section by Shear Loading
 - 14) ASTM D790, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials
 - 15) ASTM D2344, Standard Test Method for Apparent Interlaminar Shear Strength of Parallel Fiber Composites by Shortbeam Method
 - 16) ASTM D3518, Standard Test Method for In-Plane Shear Response of

Polymer Matrix Composite Materials by Tensile Test of a 645° Laminate

17) 조영대, VaRTM 공법용 이용한 CFRP의 기계적성질과 자동차용 엔진후드제작에
의 응용, 석사학위논문, p.3~4

18) 김윤해, 한중원 공저, 복합재료학, 효성출판사, p.31 ~ 32

19) Guide to composites, Courtesy of MG Rover, p. 51,52,57,

20) 김윤해, 한중원 공저, 복합재료학, 효성출판사, p.33 ~ 41