

工學碩士 學位請求論文

VARTM 공법을 이용한 CFRP의 기계적
성질과 자동차용 엔진후드제작에의 응용

**Mechanical Properties of CFRP by VARTM Process and
Practical Application to Automobile Engine Hood**

指導教授 李 柄 雨

2005年 2月

韓國海洋大學校 大學院

材 料 工 學 科

曹 永 大

本 論文을 曹永大의 工學碩士 學位論文으로 認准함.

主審：	工學博士	金 永 植	印
委員：	工學博士	李 成 烈	印
委員：	工學博士	李 柄 雨	印

2005年 2月

韓國海洋大學校 大學院

材料工學科

曹 永 大

목차

Abstract	1
제1장 서론	2
제2장 CFRP의 정의 및 제조공법	4
2.1 CFRP의 정의	4
2.2 복합재료의 제조공정	8
제3장 실험방법	13
3.1 기계적 특성평가	13
3.1.1 인장시험	13
3.1.2 압축시험	17
3.1.3 Interlaminar shear test	20
3.2 물리적 특성평가	23
3.2.1 수지함침율 측정	23
3.2.2 파단면의 미세구조 관찰	24
3.2.3 표면 결함분포 측정	24

제4장 실험결과 및 고찰	25
4.1 Hand lay-up 공법과 VARTM 공법에 의한 CFRP의 기계적 특성의 차이	25
4.2 Hand lay-up 공법과 VARTM 공법에 의한 CFRP의 물리적 특성의 차이	29
제5장 자동차용 CFRP 엔진후드 제작	35
	37
제6장 결론	41
참고문헌	43
감사의 글	

Abstract

Composite materials were mainly used in aviation field but today it changes into a general industry. Especially composites are expanding a using on transportation vehicles like automobiles, ships, and aircrafts. The main factor of this expanding is high specific strength. It accord 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.

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 automobile engine hood.

VARTM process can offer high quality and need low cost. This paper shows that VARTM process is one of the most suitable processes for composite part of automobile.

제 1 장 서론

과거 항공산업을 중심으로 발달되어온 복합재료 관련 기술이 오늘날 경량화되고 고급화 되어가고있다. 따라서, 복합재료 관련 기술은 자동차산업분야 뿐만 아니라 모든 공업분야에 널리 파급되고있는 실정이다. 왜냐하면, 서서히 고갈되어가는 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.

복합재료는 서로 다른 성질을 갖는 두 가지 이상의 물질로 구성되어 각각의 물질에서는 기대할 수 없는 기계적 성질 또는 다른 기능성의 성질을 복합재료화에 의해 크게 향상시킨 재료를 말한다. 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 갖고있는 소재이다.

자동차 부품에 적용되고 있는 복합재료로서는 에폭시(epoxy), 폴리에스터(polyester) 등의 다양한 고분자 화합물에 탄소(carbon), 아라미드(aramid), 유리(glass) 섬유 등을 사용 특성에 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 요구되고있는 실정이다.

현재 전세계적으로 스포츠카나 경주용 차량의 경우 차체 및 새시 등의 주요 구조물을 복합재료를 사용하여 제작하는 것이 일반화 되어있다. 특히 F1(formula one) 경주용 자동차의 경우에 경량화를 위하여 차체의 2/3가 복합재료로 이루어져 있다.

고성능 자동차의 경우에는 차량의 가격이 고가이기 때문에 복합재료의 제작 단가가 비싸더라도 제품의 품질이 우수한 오토클레이브 공법(autoclave process)을 적용하고 있다. 한편, 일반적인 차량은 hand lay-up 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.

따라서 진공을 이용하여 섬유가 적층되어있는 금형에 수지를 주입하여 제품을 성형하는 VARTM(vacuum assisted resin transfer molding)공법을 이용한 자동차용 engine hood를 제작하고, 적은 비용으로 고품질의 자동차용 복합재료 부품을 생산하기 위한 방법임을 증명하고자 하였다.

제 2 장 CFRP 의 정의 및 제조공법

2.1 CFRP의 정의

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

탄소섬유는 흑연섬유로도 지칭되며, 경량이면서 기계적 특성, 내열성 및 마찰특성이 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.¹⁾ 복합재료로서 관심의 대상이 되는 것은 탄소 원자가 육방정구조로 배열된 흑연화 구조로 되어있다는 점이다. Fig. 1.에서 볼 수 있듯이 흑연구조는 각 평면층 방향 및 c-축 방향으로 각각 1000GPa, 35GPa 정도의 탄성율을 갖기 때문에, 높은 이방성을 나타낸다. Fig. 1.에서 볼 수 있듯이 흑연구조는 각 평면층마다 최밀 충전된 형태를 취한다. 격자구조는 Fig. 1.에 나타난 하나의 격자면만 보더라도 명확히 알 수 있다. 결합강도가 재료의 탄성계수값을 결정하므로 층면에서 탄소 원자들 사이의 고강도 결합은 매우 높은 계수값을 가지게 된다. 반면 이웃하는 층들 사이에서는 van der Waals 결합이므로 그 방향에 대해서는 낮은 계수값을 나타낸다. 결국 탄소섬유의 경우 섬유축을 따라 육각 평면의 고도의 규칙적인 배열성이 얻어지게 된다.²⁾

탄소섬유 강화 복합재료는 성형기술의 발달, 가격의 하락, 새로운 기지재료의 개발 등으로 인해 앞으로도 그 이용도가 많이 늘어나고 있는 추세이다.¹⁾

Fig. 4,5,6,7.에서 각 재료들의 상대적인 강도, modulus, 밀도 및 열팽창을

보여주고 있다.¹⁾

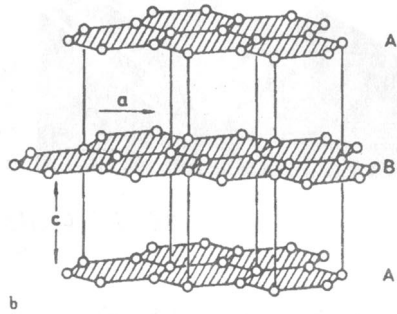


Fig. 1. Structure of carbon fiber.¹⁾

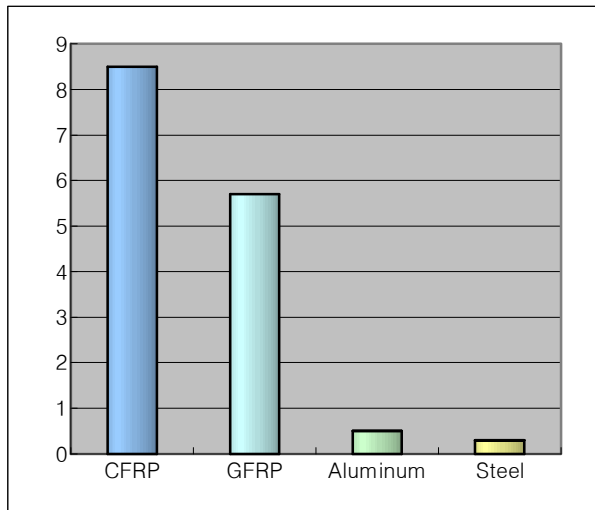


Fig. 2. Comparison of specific strength.¹⁾

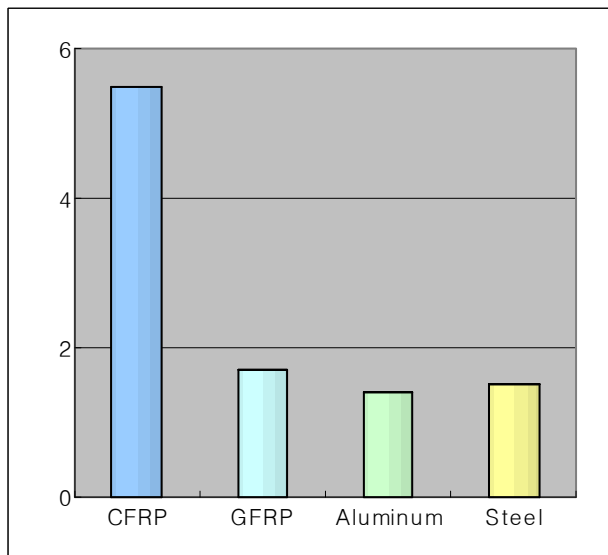


Fig. 3. Comparison of specific modulus.¹⁾

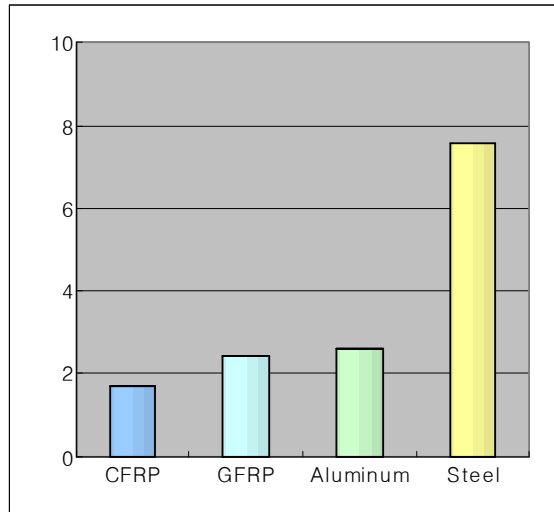


Fig. 4. Comparison of specific density.¹⁾

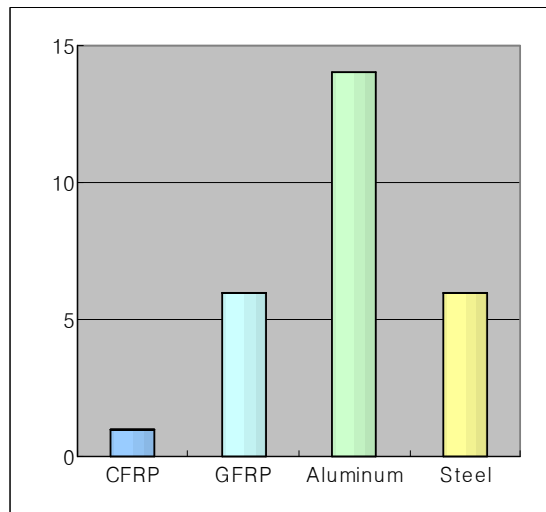


Fig. 5. Comparison of specific thermal expansion.¹⁾

2.2 복합재료 제조공정

2.2.1 Hand lay-up

Hand lay-up 공법은 강화재인 섬유를 적층하고 붓이나 롤러 등을 이용하여 수지를 함침 시키는 방법이다. Hand lay-up 공법은 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.⁴⁾

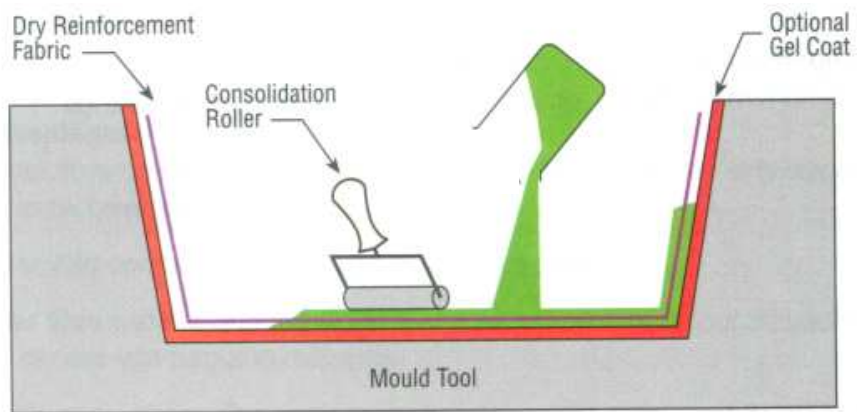


Fig. 6. Scheme of hand lay-up process.²⁾

2.2.2 VARTM

VARTM(Vacuum Assisted RTM)은 양쪽면이 모두 금형으로 되어있는 RTM과 달리 한쪽 면의 금형과 진공백으로 금형을 이루고 압력차를 이용하여 금형 내부에 적층된 preform에 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 체적을 높여준다. VARTM 공법은 RTM 및 autoclave 공법에 비해 성형비용이 적게 들며, Hand lay-up 공정보다 더 좋은 품질의 제품을 생산 할 수 있다.

이 공정에서 preform은 한쪽의 몰드와 또 다른 쪽의 진공백 사이에서 성형 되어진다. 진공은 preform과 몰드의 결합을 위하여 적용되어지며 두 가지 목적을 가진다.

첫번째 목적은 preform을 압축하기 위하여 대기압인 몰드 내부의 압력을 낮추어 몰드 내부에 존재하는 공기와 주입되어지는 수지에 포함되어있는 기공을 제거하여 완성된 구조물 내의 결함을 제거하기 위해서이고, 좋은 특성을 가지는 복합재료를 만들기 위해 요구되어지는 높은 섬유 체적 함유율을 위해서이다.

두번째 목적은 몰드 내부의 압력이 몰드 외부의 대기압보다 낮게되어 몰드에 장착되어 있는 수지 주입부로부터 preform을 통하여 수지가 원활하게

주입되어질 수 있도록 하기 위해서 이다.³⁾

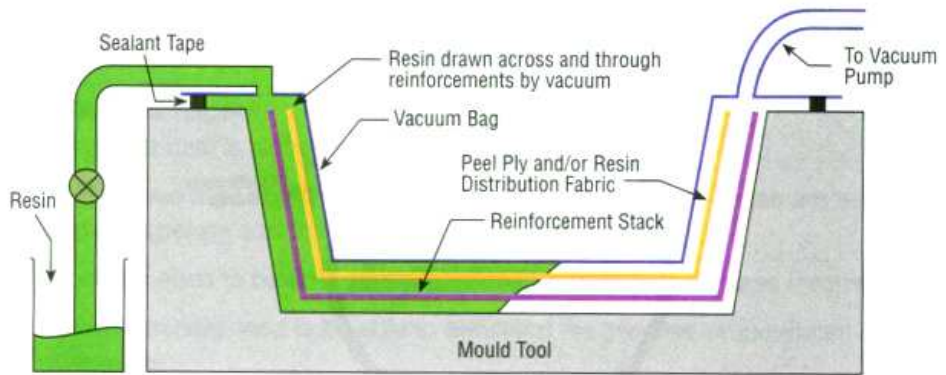


Fig. 7. Scheme of VARTM process.²⁾

제 3 장 실험방법

3.1 기계적 특성 평가

3.1.1 인장시험

Laminate에 대한 인장시험은 TB Carbon사의 eye size 5mm²로 직조된 탄소섬유 21플라이를 적층하여 국도화학의 KBR 1729 에폭시에 함침하여 ASTM D638에 따라 Fig. 8.과 같이 hand lay-up, VARTM의 공정으로 각 5개의 시편을 제작하였다. 1분 당 1.2mm의 속도로 Fig. 9.와 같이 시험을 행하였으며, 시험조건 및 시편 치수는 Table 1. 과 같다.

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

* *Tensile stress/tensile strength*

$$\sigma^{ts} = P_{max}/A$$

$$\sigma_i = P_i/A$$

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*

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

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 1. Condition of tensile test and dimension of specimen

Specimen	Fiber (carbon fabric : TB carbon) Resin (epoxy KBR 1729 : Kookdo chemical)					
Stacking direction	[0/90]					
Test specification	ASTM D638					
Test temperature	Room temperature, dry					
Test speed	1.2 mm/min					
<p>The diagram illustrates a tensile specimen with a central gauge section of length L and width W. The specimen has grip sections of length LO and width WO. The fillet radius at the transition between the gauge section and the grip is denoted by R. The width of the grip section is also labeled as G.</p>						
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. 8. The shape of specimens.

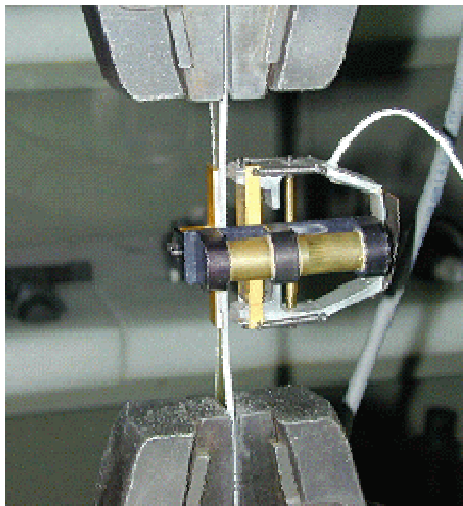


Fig. 9. Apparatus of tensile test.

3.1.2 압축시험

Laminate에 대한 압축시험은 인장시험과 같은 방법으로 평판을 제작하여 ASTM D 695에 따라 Fig. 10.과 같이 시편을 가공하였으며, Fig. 11.과 같이 시험을 행하였으며, 시험조건 및 시편의 치수는 Table 2.와 같다.

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

$$*\sigma_{comp} = P_{max}/A$$

σ_{comp} : compressive strength [MPa]

P_{max} : maximum compressive load [N]

A : the original minimum cross-sectional area

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

Table 2. Condition of compression test and dimension of specimen

Specimen	Fiber (carbon fabric : TB carbon) Resin (epoxy KBR 1729 : kookdo chemical)					
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 test specimen. It is a rectangular bar with a central grip section. The total length is labeled LO. The width of the grip section is labeled G. The width of the specimen at the ends is labeled WO. The thickness of the specimen is labeled T. The radius of the grip section is labeled R. The width of the specimen in the grip section is labeled W. The specimen is shown being compressed between two plates, with arrows indicating the direction of force.</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. 10. The shape of specimens.

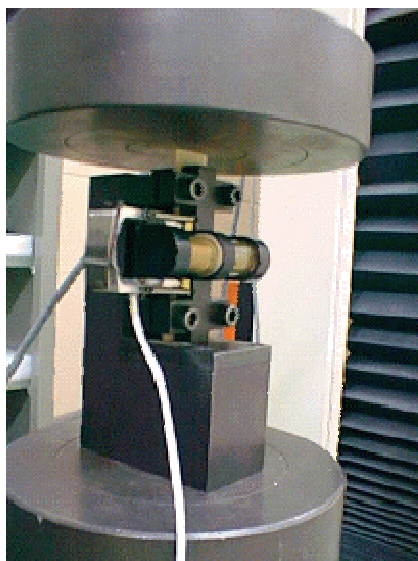


Fig. 11. Apparatus of compression test.

3.1.3 Interlaminar shear test

Interlaminar shear strength는 인장시험과 같은 방법으로 평판을 제작하여 ASTM D 2344에 따라 Fig. 12.와 같이 시편을 가공하였으며 Fig. 13.과 같이 실험을 행하였다.

Short-beam test를 실시하고, 아래의 수식에 따라 interlaminar shear strength를 구할 수 있다. 시험조건 및 시험편 치수는 Table 3.과 같다.⁷⁾

$$* F_{sbs} = 0.75 \cdot P_m / (b \cdot h)$$

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

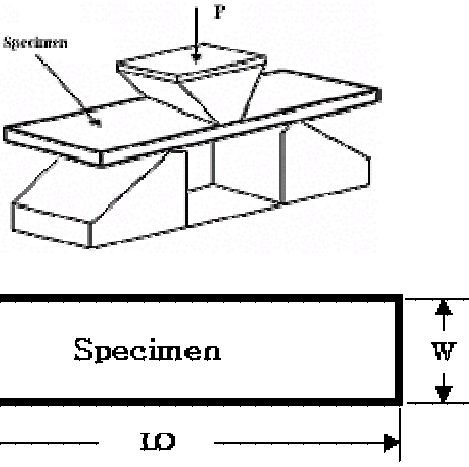
Specimen	Fiber (carbon fabric : TB carbon) Resin (epoxy KBR 1729 : kookdo chemical)		
Stacking direction	[0/90]		
Test specification	ASTM D2344		
Test temperature	Room temperature, dry		
Test speed	1.2 mm/min		
 <p>The diagram illustrates the short-beam test setup. The top part shows a specimen being tested on a fixture with a load P applied. The bottom part shows a rectangular specimen with length LO and width W.</p>			
Unit : mm	T	W	LO
Hand lay-up specimens	4.5	6.3	98.0
VARTM specimens	3.0	6.3	98.0



Fig. 12. The shape of specimens.

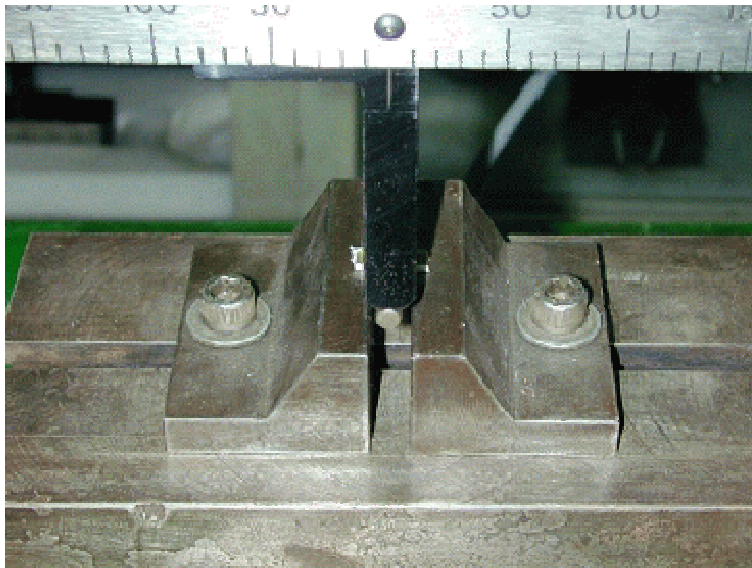


Fig. 13. Apparatus of short-beam test.

3.2 물리적 특성 평가

3.2.1 수지 함침율 측정

수지 함침율을 측정하기 위하여 가로 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.

$$* RC = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \cdot 100$$

RC : resin solid content, [%]

W_1 : weight of specimen, [g]

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

3.2.2 파단면의 미세구조 관찰

섬유의 적층된 상태를 관찰하기 위하여 인장시편의 파단면을 VARTM과 hand lay-up시편을 각각 100배와 1000배의 배율로 SEM사진을 촬영하였다.

3.2.3 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.

제 4 장 실험결과 및 고찰

4.1 Hand lay-up 공법과 VARTM 공법에 의한 CFRP의 기계적 특성의 차이

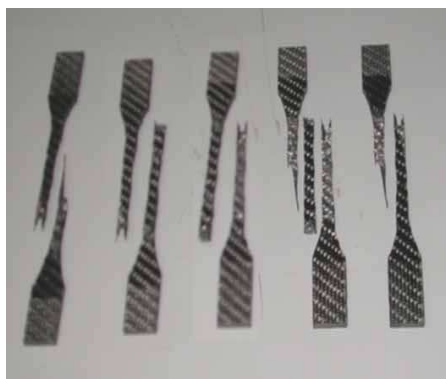
4.1.1 인장시험

Hand lay-up, VARTM 공정을 이용하여 제작한 시편의 ultimate tensile strength와 modulus를 측정한 결과는 Table 4.와 같으며 hand lay-up공정으로 제작한 시편은 약 10%정도 낮은 강도를 나타내고 있다.

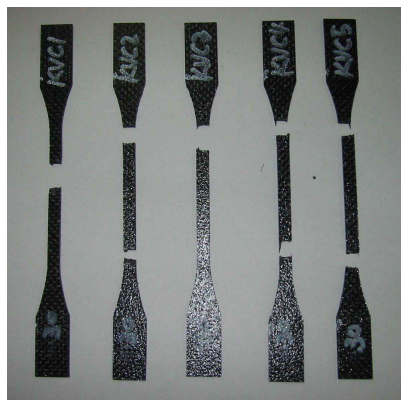
파단 양상은 Fig. 14.에서와 같이 hand lay-up 공정으로 제작한 시험편에서만 파단에 이르기 전에 delamination이 발생하였다. 이는 hand lay-up 공정으로 제작한 시편이 VARTM 공정으로 제작한 시편보다 층간 결합강도가 약하다는 것을 보여준다. 이러한 점들로 미루어보아 VARTM 공정에서 성형 시에 작용하는 진공힘이 수지와 섬유간의 결합을 강하게 하는 힘으로 작용하는 것으로 생각된다.

Table 4. Result of tensile test

Specimen no.	Hand lay-up		VARTM	
	Strength (MPa)	Modulus (GPa)	Strength (MPa)	Modulus (GPa)
1	268.6	35.7	326.7	54.7
2	303.7	37.4	338.2	52.1
3	292.4	33.1	340.6	57.9
4	287.3	31.8	323.4	58.4
5	323.5	38.5	328.1	59.4
Average	295.1± 28	35.3± 3	331.4± 9	56.5± 4



Hand lay-up



VARTM

Fig. 14, The shape of tested specimens.

4.1.2 압축시험

압축시험의 결과는 Table 5.와 같으며 인장시험과 마찬가지로 VARTM이 약 10% 우수한 특성을 나타내고 있으며, 또한 hand lay-up으로 제작한 시편에서 파단 이전에 delamination이 발생하는 것을 관찰할 수 있었다.

파단된 시편의 형상을 Fig. 15.에서 보여주고 있다.

Table 5. Result of compressive test

Specimen no.	Hand lay-up		VARTM	
	Strength (MPa)	Modulus (GPa)	Strength (MPa)	Modulus (GPa)
1	541.2	55.5	597.2	49.7
2	530.8	57.9	602.6	38.0
3	493.7	52.7	652.4	62.4
4	499.2	38.3	451.3	52.1
5	563.1	31.6	618.5	50.8
Average	525.6±37	47.2±15	588.4±137	50.6±12



Hand lay-up



VARTM

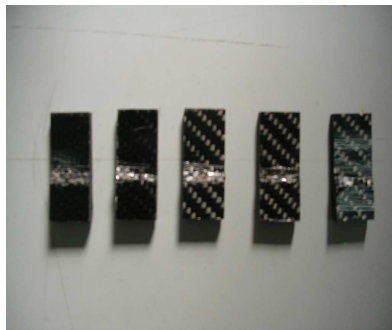
Fig. 15, The shape of tested specimens.

4.1.3 Interlaminar shear test

Interlaminar shear test의 결과를 Table 6.에 나타내었으며 Fig. 16.에서 파단된 시편을 보여주고 있다. Interlaminar shear test에서도 VARTM으로 제작한 시편이 약 14% 우수한 특성을 보이며, hand lay-up으로 제작한 시험편에서 delamination이 더욱 뚜렷하게 나타나고 있다. Interlaminar shear strength가 tensile, compressive strength 보다 낮은 이유는 복합재료가 가지는 이방성에 의한 것으로 보여진다.

Table. 6. Result of interlaminar shear test

Specimen no.	Hand lay-up (MPa)	VARTM (MPa)
1	52.3	61.7
2	48.0	57.8
3	46.5	55.4
4	44.6	60.1
5	57.1	56.5
Average	49.7 ± 7.4	58.3 ± 3.4



Hand lay-up



VARTM

Fig. 16. The shape of tested specimens.

4.2 Hand lay-up 공법과 VARTM 공법에 의한 CFRP의 물리적 특성의 차이

4.2.1 수지 함침율 측정

Hand lay-up 시편과 VARTM 시편의 수지 함침율을 측정한 결과는 Table 7.과 같다. 수지의 함침율을 측정한 결과 hand lay-up 공정으로 제작한 시편이 36.7wt%, VARTM 공정으로 제작한 시편이 49.0wt%로 hand lay-up 공정에서 수지의 함침량이 증가되었음을 알 수 있었다. 이것은 VARTM 공정 시 가해지는 진공압으로 인하여 한정된 양의 수지만이 함침되기 때문인 것이라 생각된다.

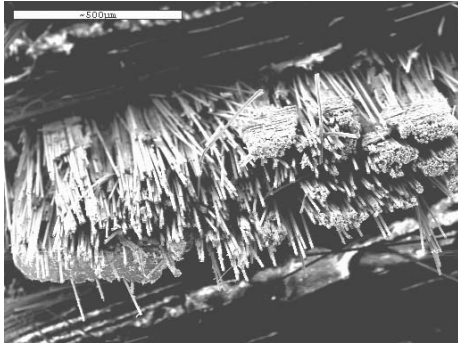
Table 7. Resin contents of specimen

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%

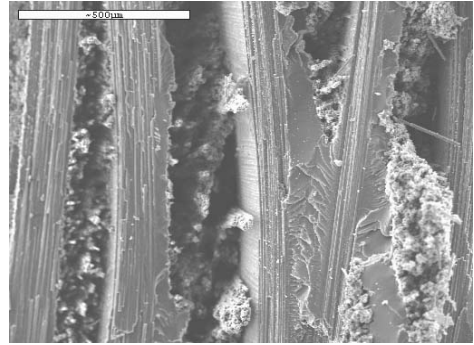
4.2.2 과단면 미세구조

과단된 인장시편의 미세구조를 Fig. 17.에서 보여주고 있다.

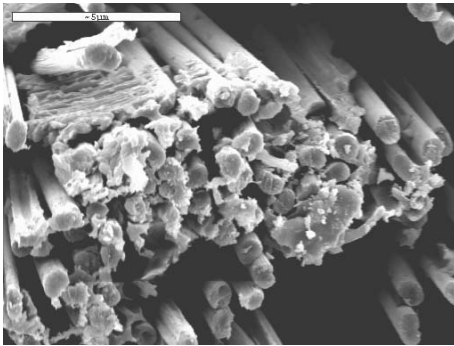
VARTM 시편이 hand lay-up 시편보다 섬유가 더욱 밀집하여 있으며, VARTM 시편에서는 수지가 섬유에 부분적으로 붙어있으나 hand lay-up 시편에서는 섬유가 깨끗하게 풀아웃 되었음을 알 수 있다. 이것은 VARTM 공정에서 섬유가 더욱 밀집하여 경화되며, 수지와 섬유간의 결합이 더욱 강하게 되었음을 보여준다.



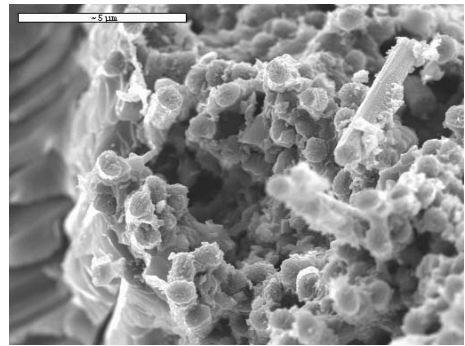
Hand lay-up (X100)



VARTM (X100)



Hand lay-up (X1000)



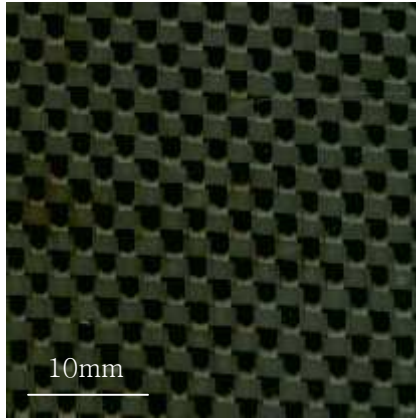
VARTM (X1000)

Fig. 17. Micrographs of tested specimens.

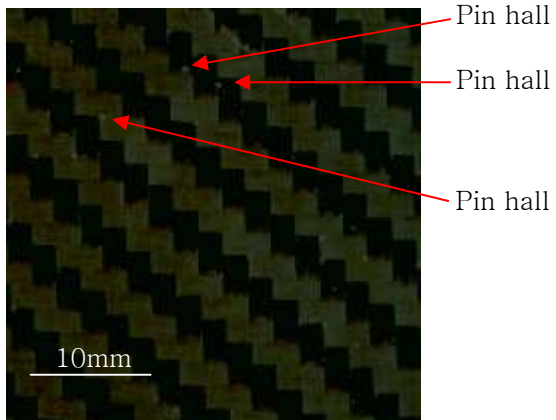
4.2.3 표면 결함 측정

시편의 표면을 찍은 사진을 Fig. 18.에 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 hand lay-up 시편에서는 1cm^2 당 직경 0.2mm 이상의 결함이 평균 4개가 발견되었다.



VARTM



hand lay-up

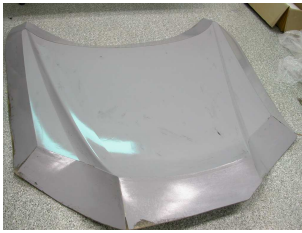
Fig. 18. Surface of specimens.

제 5 장 성형공정 및 제작

본 연구에서는 유리섬유 매트와 폴리에틸렌 수지를 이용하여 hand lay-up으로 제작한 금형을 이용하였다.

Fig. 19.에서 보여주는 공정은 다음과 같다.

- ① 먼저 금형의 표면에 고품 이형제처리를 5회 실시하여 탈형을 용이하도록 하였다.
- ② 섬유를 제품에 맞도록 재단하고 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 엔진후드를 제작하였다.



①



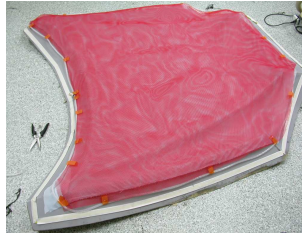
②



③



④



⑤



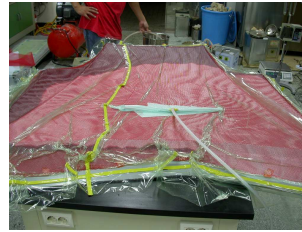
⑥



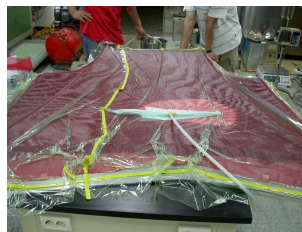
⑦



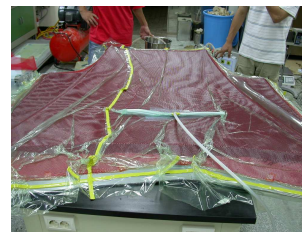
⑧



⑨



⑩



⑪



⑫

Fig.1 9. Manufacturing process for CFRP engine hood.

제 6 장 결론

본 연구에서 VARTM 및 hand lay-up 공법을 이용하여 제작한 시편의 특성을 비교 평가하였다. 그 결과는 다음과 같고, VARTM 공정을 이용하여 CFRP 자동차용 엔진후드를 제작해 보았다.

- 1) VARTM 시편이 hand lay-up 시편보다 약 10% 우수한 기계적 강도를 가지고 있으며, 과단전에 delamination이 발생하였다. 이는 VARTM 시편의 층간 결합강도가 더 높기 때문이라 생각된다.
- 2) Hand lay-up 시편이 VARTM 시편보다 수지의 함침율이 약 10% 높게 나타났다. 이는 강도증가에 기여하는 섬유 함침율이 낮다는 것을 의미하며 이로 인해 hand lay-up 시편이 강도가 낮게 나타나는 것이라 생각된다.
- 3) 현미경 사진에서 VARTM 시편에서 섬유가 더 밀집해있으며, 수지와 섬유가 더욱 잘 결합하고 있음을 관찰할 수 있었다.
- 4) Hand lay-up 시편에서는 표면에 1cm^2 당 4개의 결함이 발견되었으나 VARTM 시편에서는 표면의 결함을 발견하기가 힘들었다.

- 5) VARTM 공정을 이용하여 적은 비용으로 우수한 기계적 성질을 가지며 미려한 표면을 가진 자동차용 엔진후드를 제작할 수 있었다.

참고문헌

- (1) 김윤해, 한중원 공저, 복합재료학, 효성출판사, p 31~32, 40~41, 2001.
- (2) Guide to composites, Courtesy of MG Rover, p 51,52,57,58.
- (3) 엄수현, “VARTM에 의해 제작된 하니컴 샌드위치 구조물의 기계적 특성 평가”, p 21, 학위논문.
- (4) R.J. Johnson, R. Pitchumani, 2003, “Enhancement of Flow in VARTM using Localized Induction Heating”, Composites Science and Technology 63.
- (5) ASTM D638, “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics”.
- (6) ASTM D695, “Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics”.
- (7) ASTM D2344, “Standard Test Method for Short-Beam Strength of Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates”..

감사의 글

먼저 지금까지 올바른 사람이 되도록 가르쳐주시고, 늦은 시기에도 공부를 할 수 있도록 해주신 부모님과 항상 오빠를 믿어준 사랑스러운 동생에게 짧은 글을 빌어 감사의 마음을 전합니다.

부족한 제가 석사과정을 마칠 수 있도록 후원해주시고, 용기를 잃지 않도록 격려해주신 김윤혜 교수님, 지식보다는 삶의 지혜와 예절을 가르쳐주신 김영식 교수님, 끝까지 좋은 논문으로 완성되도록 애정을 가지고 지도해주신 이성열 교수님, 바쁘신 와중에도 지도교수를 맡아주시고 끝까지 학업을 마칠 수 있도록 도와주신 이병우 교수님께 진심으로 감사를 드립니다.

그리고, 항상 인자하신 모습으로 저에게 도움을 주신 대한항공 한중원 부장님, 함께 실험을 하면서 많은 것을 가르쳐주신 대한항공 김국진 차장님, 실제 현장에서 필요한 많은 실험을 할 수 있도록 도와주신 제트코리아 최병근 사장님, 마음껏 실험을 할 수 있도록 도와주신 제트코리아 최병수 부장님, 교수님이 계시지 않은 동안 학생들을 신경 써주신 에이스산업 박종태 사장님께 감사의 인사를 드립니다.

항상 후배의 어려움을 들어주고 격려를 아끼지 않았던 정연운, 윤상필, 권순철, 이정주, 임철문 선배님과 고생을 아끼지 않고 저를 도와주었던 후배 엄수현, 우병훈, 임지한, 배성열, 변우홍 군에게 고맙다는 인사를 드리고 싶습니다. 그리고, 항상 옆에서 선후배의 관계를 넘어 형과 동생처럼 지내며 집떠나 공부하는 저에게 힘을 주었던 외형이형, 영준이형, 돈원이, 양선이, 희정이, 선정이 에게도 감사의 말을 전합니다.

바쁘다는 핑계로 자주 연락하지 못하여도 항상 같은 마음으로 말없이 후원해준 어릴적 친구 현용이, 인혁이, 보승이, 성민이, 철진이, 승걸이, 희경이, 혜진이에게 고맙다는 인사를 드립니다.

짧은 몇마디 말로 그간 도움을 주신 분들에게 감사의 뜻을 충분히 전하지 못하지만 앞으로 살아가는 모습으로 인사를 대신하고자 합니다. 그간 지켜봐 주셔서 감사합니다.