



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

폴리프로필렌/유리 혼합직조 섬유 복합재료
기계적 특성에 관한 기초 연구

A Foundation Study on the Mechanical Properties of
Polypropylene/Glass Hybrid Fiber Composites



2016年 07月 25日

韓國海洋大學校 大學院

材 料 工 學 科

申 錫 鎭

本 論文을 申錫鎭의 工學碩士 學位
論文으로 認准함.



委員長 文 慶 萬 (인)

委 員 李 晋 宇 (인)

委 員 金 允 海 (인)

2016年 07月 25日

韓國海洋大學校 大學院

목 차

List of Tables	iii
List of Figures	iv
Abstract	vi
1. 서 론	1
2. 재료 및 실험 방법	4
2.1 섬유강화복합재료(FRP)의 성형법	4
2.1.1 Hand lay-up	5
2.1.2 Spray-up	6
2.1.3 Filament winding	6
2.1.4 SMC	8
2.1.5 RTM	9
2.1.6 VaRTM	10
2.1.7 Autoclave	11
2.2 실험재료	12
2.2.1 폴리프로필렌 섬유	12
2.2.2 폴리프로필렌 섬유의 적용 분야	16
2.2.3 시편의 제작	18
2.3 실험방법	26
2.3.1. 폴리프로필렌 섬유의 적용 분야	26
2.3.2 시편의 제작	34
3. 실험 결과 및 고찰	36
3.1 기계적 특성 분석 결과	36

3.2 환경 특성 분석 결과	49
4. 결론	54
참고문헌	56



List of Tables

Table 1 Property of polypropylene fiber and inorganic fiber	3
Table 2 Property of fiber for tests	22
Table 3 Property of resin for tests	22
Table 4 Type of specimens	25



List of Figures

Fig. 1 Selection of effective process	4
Fig. 2 Hand lay-up process	5
Fig. 3 Spray-up process	6
Fig. 4 Filament winding process	7
Fig. 5 SMC process	8
Fig. 6 RTM process	9
Fig. 7 VaRTM process	10
Fig. 8 Autoclave process	11
Fig. 9 Structure of the propene	13
Fig. 10 Structure of the polypropylene	13
Fig. 11 Application of polypropylene fibers	17
Fig. 12 Image polypropylene and glass fibers	21
Fig. 13 Hand lay-up procedure	23
Fig. 14 VaRTM procedure	24
Fig. 15 Condition and dimension of each test specimens	30
Fig. 16 Images of method for each test	32
Fig. 17 SEM apparatus	33
Fig. 18 Moisture absorption test	35
Fig. 19 Comparison of mechanical property for each process	38
Fig. 20 Result of the tensile test	40
Fig. 21 Result of the short beam test	42
Fig. 22 Result of the charpy impact test	44
Fig. 23 Micrographs of tested specimens	48
Fig. 24 Relationship between water content and immersion time	50

Fig. 25 The tensile strength behavior by the moisture-absorption and recovery	52
Fig. 26 The rate of the diminution of tensile strength by the moisture absorption and recovery	53



A Foundation Study on the Mechanical Properties of Polypropylene/Glass Hybrid Fiber Composites.

Shin, Seok Jin

Department of Marine Equipment Engineering
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

Abstract

The uses of fiber-reinforced composite materials is increasing as substitutes for metals and their research and development are active in aerospace, shipbuilding/ocean, leisure and sports industries because they have large specific strength and specific stiffness, excellent chemical resistance and formability. However, their weak toughness, vulnerability to impact, and deterioration by environmental conditions such as moisture need to be improved and many studies are being conducted in this area.

In this study, polypropylene/glass fiber reinforced composite panel that is weaved with a mixture of polypropylene fibers and glass fibers with such characteristics as high elongation of short fibers, high ductility, anti-fouling, and hydrophobicity by giving them directional property. Then mechanical and environmental tests were carried out with specimens fabricated with this composite panel and its applicability to shipbuilding and ocean leisure industries was evaluated through a comparison with existing glass fiber

reinforced composite materials.

Mechanical tests confirmed that specimens fabricated with polypropylene/glass-mixed woven fibers had higher tensile strength and 3-point bending strength compared to the single glass-fiber specimen. Environmental tests showed that the polypropylene/glass-mixed woven fiber specimen had a higher water absorption, but a lower deterioration of properties due to water absorption and better recovery of properties by drying than the single glass-fiber reinforced composite material did.

The results of this experiment verified the excellence of the polypropylene/glass-mixed woven fiber-reinforced composite material compared to the existing glass fiber-reinforced composite material. However, the forming process needs to be changed to improve the weak interfacial bonding, and the properties of the composite material itself could be improved through mixed weaving with other fibers after development. Maximizing of the advantages of polypropylene fibers and overcoming their shortcomings will improve their applicability to the shipbuilding, ocean leisure, and other industries, and increase the value of polypropylene fibers in the composite material market.

KEY WORDS: Composite 복합재료, Polypropylene Fiber 폴리프로필렌 섬유, Hybrid Fiber 혼합직조 섬유, Mechanical test 기계적 특성, Water absorbtion 수분 흡수, Foundation Study 기초연구

제 1 장 서 론

1940년대부터 GFRP가 개발되고 상용화 됨에 따라 소재들의 복합화를 위한 기술은 더욱 더 진화해왔다. 현시대에서의 복합재료의 정의는 장단점이 있는 두 소재를 강화재, 기지재의 관계로 성형공정에 따라 결합시킴으로써 서로의 단점을 보완하고, 장점을 부각시켜 소재 각각의 것 보다 물성을 향상시키도록 설계된 재료를 말한다. 이러한 복합재료 중에서도 섬유강화플라스틱(FRP; Fiber Reinforced Plastics)은 비강도와 비강성이 크고, 내화학성이 좋으며 성형성이 우수하여 지금까지 우주항공산업, 조선 및 자동차, 스포츠 관련 레저용품산업 등에 지속적으로 사용되어 온 금속재료를 대체하는 소재로서 그 사용량이 계속적으로 증가하고 있는 추세이다.

또한 지구에서 서서히 고갈되어 가는 화석연료를 절약하고 심각한 상태에 놓인 지구 대기환경을 보호하기 위한 친환경적 산업의 추구는 현재 선진국에서 강력하게 추진되고 있고 자동차, 철도차량 및 항공기 등의 운송수단의 경량화를 통한 연비향상 등의 요구조건을 만족시키기에 경량성을 최대 장점으로 하는 복합재료의 사용은 필수적인 것으로 판단된다.

섬유강화복합재료(Fiber Reinforced Plastics; 이하 FRP라고 한다)는 모재인 레진과 강화재인 강화섬유로 구성된다. 모재로 사용되는 수지는 열경화성 수지와 열가소성 수지로 분류되며, 강화재의 경우 아라미드 섬유(aramid fiber), 현무암 섬유(basalt fiber), 유리 섬유(glass fiber), 탄소 섬유(carbon fiber) 등이 있으나, 가격 경쟁력이 우수한 유리섬유와 성능이 뛰어난 탄소섬유가 주강화재로써 사용되고 있다. 유리섬유와 탄소섬유는 다기능성을 요하는 산업군에 높은 비강도, 부식특성을 적용하여 사용되고 있으나 인성(toughness) 특성이 취약하고, 충격에 약한 경향을 보이는 것이 지적되어¹⁾

사용처에 따른 한계가 존재한다.

현재까지의 FRP 적층판 충격에 관한 연구는 그 메커니즘 자체에 관한 연구로 치우쳐져 있으며, 혼합 적층을 통한 FRP 적층판의 Hybrid화 등과 같은 연구는 진행되고 있으나, 그조차도 사용빈도수가 높은 재료만을 행하고 있어, 다양한 재료상의 변화를 통한 기존 FRP 적층판의 내충격성 부여와 관련된 연구의 필요성이 대두되고 있는 실정이다.²⁾³⁾

폴리프로필렌 섬유 (polypropylene fiber)는 나프타(naphtha)의 부산물 혹은 에틸렌의 부산물을 통해 얻어지는 프로필렌을 Ziegler-Natta촉매와 접촉시켜 구조성을 가진 폴리프로필렌으로 중합하고, 이를 용융, 방사하여 제작하며, 비중이 낮고 방오, 방수 특성을 가져 각종 위생 소재, 여과제, 레저 의류 등 다방면에 산업에서 사용되고 있다⁴⁾.

마이크로 스케일의 폴리프로필렌 섬유(polypropylene micro-fiber)를 특정 방식으로 방적할 경우 방적 방식에 따라 단섬유 폴리프로필렌 (polypropylene single-fiber)과 비교하여 인장강도, 충격저항 등의 물성이 대폭 강화된 폴리프로필렌 섬유를 얻을 수 있다. 최근에는 특정 물성에 대한 향상을 목표로 공정방식을 변경하여 제작된 폴리프로필렌 섬유를 시트 형태로써 제조 시 삽입하여 물성의 향상을 꾀하는 연구가 증가하고 항공, 의료, 해양 산업 등에서의 적용에도 관심이 높아지고 있다.

따라서 본 연구에서는 기본적으로 폴리프로필렌 섬유와 섬유의 직조과정에 폴리프로필렌 섬유에 유리섬유를 방향성을 주어 삽입/혼합 직조한 폴리프로필렌/유리 혼합직조 섬유를 사용 하여 섬유강화 복합재료를 제작하여 대표적인 상용 강화재인 유리섬유와 비교 분석 하고자 한다.

섬유강화 복합재료 시편은 Hand lay-up과 VaRTM 성형법을 이용하였고, 강화재-기지재 간의 접합성을 비교하기 위하여 여러 종류의 기지재를 이용

1) 선형섭, 2001, pp.629-636

2) 임광희, 2002, pp.835-842

3) Ishai. O, 1990, pp.319-337

4) 五十嵐明, 2010, pp196-198

하여 섬유강화 복합재료를 제작 했다.

폴리프로필렌과 폴리프로필렌/유리섬유 혼합직조 섬유강화 복합재료의 기계적 특성을 분석하기 위해서 인장시험(tensile test), 압축시험(compression test), 3점 굽힘 시험(3 point short beam test), 충격시험(impact test)을 실시하여 유리섬유 강화 복합재료와 비교하여 기계적 특성을 분석 하였다.

또한 환경 열화 인자 중 수분/습기에 따른 열화를 분석하기 위해 항온수조에서 흡습시험을 진행하였고, 흡습에 따른 기계적 열화 저항성 측면에서의 향상 가능성 또한 유추하여 폴리프로필렌/유리 섬유강화 복합재료의 시장 적용의 타당성 및 산업 적용의 적절성을 검증 해보고자 한다.

Table 1 Property of polypropylene fiber and inorganic fiber

Fiber	Density (g/cm ³)	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Elongation at Break (%)
Polypropylene	0.84	667	15	9.5
E-glass	2.5	2000~3500	70	2.5
S-glass	2.5	4570	86	2.8
Basalt	2.8	3100~4840	85~95	3.15
Aramid	1.4	3000~3150	63~67	3.3~3.7
Carbon	1.7	4000	230~240	1.4~1.8

제 2 장 재료 및 실험 방법

2.1 섬유강화복합재료(FRP)의 성형법

복합재료의 성형에는 다양한 종류의 재료들이 여러 형태로 사용되고 있다. 사용 재료의 종류 및 형태에 따라 성형 공법 및 성형 조건이 달라지며 성형품의 물성에도 큰 차이가 있다⁵⁾.

각 성형법에 대한 보다 효율적인 공정선택의 기준은 제품의 생산량, 크기와 형상의 대칭성, 보강섬유의 비강도와 비강성 및 표면처리 여부, 수지와와의 결합성 등을 들 수 있다. Fig. 1에서는 생산성과 효율성을 고려한 공정선택 기준을 도시하였다.

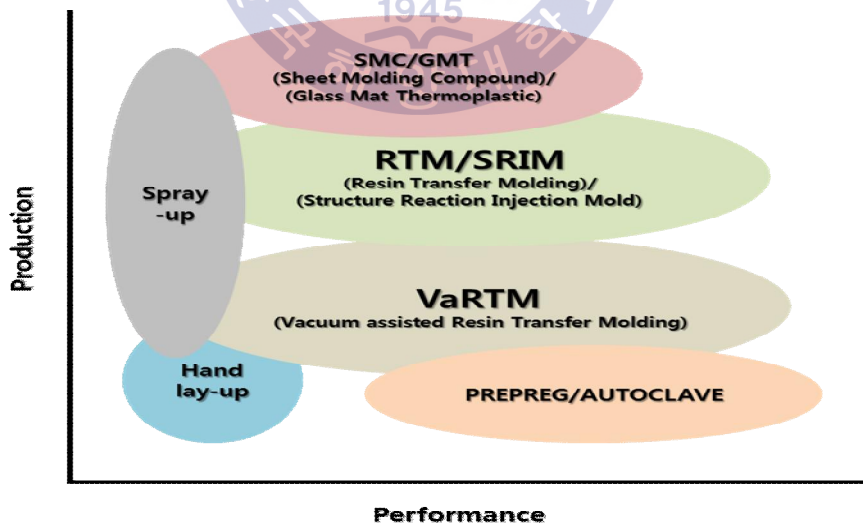


Fig. 1 Selection of effective process

5) 윤성원, 2011, p.18

2.1.1 Hand lay-up

인력을 이용한 간단한 공정이나 비중이 높은 성형법이다. 강화재(Reinforcement)를 한 층씩 몰드(Mold) 위에 적층하고 기지재료인 수지를 롤러 등의 도구를 사용하여 작업자가 직접 손으로 함침 시키면서 성형하는 방법으로 상온에서 이를 경화시켜 원하는 강도 값을 얻는다.

FRP(섬유강화 복합재료, Fiber Reinforced Plastic)공법 중 가장 오래되었으며, 미려한 제품을 얻을 수 있다는 장점이 있으나 작업자의 숙련도에 의해 제품의 질이 크게 영향을 받는다. 제품의 강도는 타 공법에 비해 크지 않으며 복잡한 형상도 만들 수 있다는 장점이 있다. 일반적으로 사용되는 강화재(Reinforcement)는 유리섬유매트(glass fiber chopped strand mat) 및 직조로빙(woven roving)이 있으며 기지재(Matrix)로는 폴리에스테르 수지, 비닐에스테르, 에폭시 등이 널리 이용된다. Fig. 2는 Hand lay up 성형법의 모식도를 나타내고 있다.

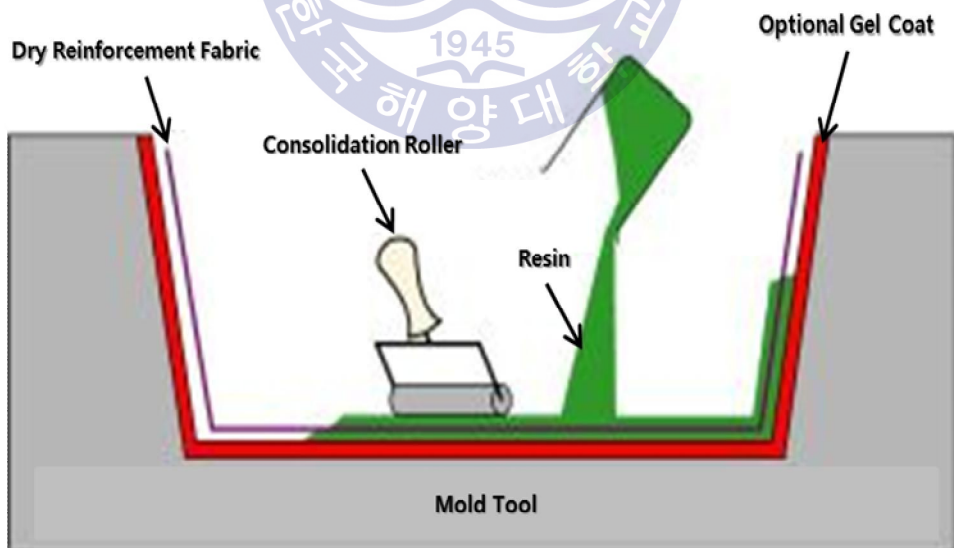


Fig. 2 Hand lay-up process

2.1.2 Spray-up

몰드에 이형제를 도포한 후 유리섬유와 수지의 혼합물을 Spray gun으로 몰드 표면에 일정한 두께에 이를 때까지 뿌려 성형한다. Hand lay-up보다 생산성이 높고 이음매가 없으나 설비비용이 고가이다. 수지함유량은 70% 내외이다. Fig. 3은 Spray-up공정의 모식도를 나타내고 있다.

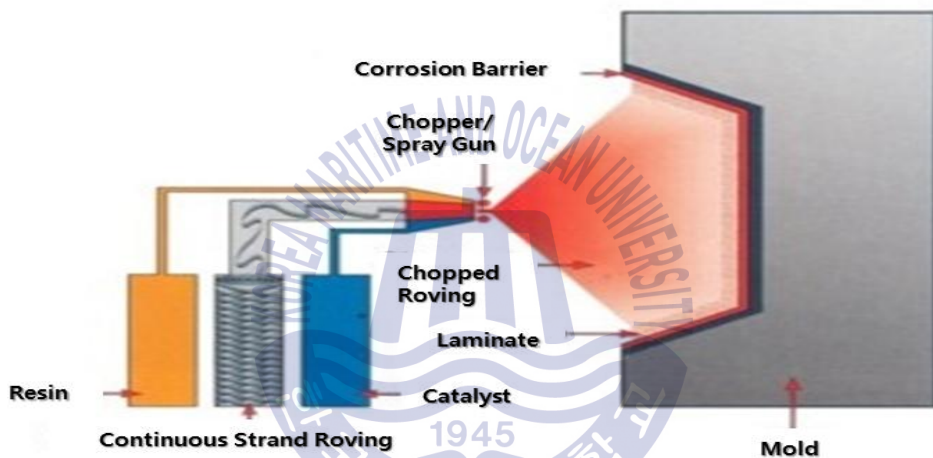


Fig. 3 Spray-up process

2.1.3 Filament Winding

수지가 함침된 연속섬유를 회전하는 심축위에 감아서 주로 파이프나 압력 용기, 로켓 모터 케이스 등과 같은 대칭 복합재료 구조물을 제작하는 방법이다.

필라멘트 와인딩 성형은 심축의 회전속도와 섬유의 공급위치를 이동시키는 캐리지(carriage)의 속도를 조절하여 일정한 와인딩 각도와 패턴으로 수지가 함침된 연속섬유를 심축에 감을 수 있는 성형기를 이용한다. 와인딩 각

도는 심축의 방향과 거의 일치하게 감는 축 방향 와인딩에서 축에 거의 수직으로 감는 원주방향 와인딩까지 심축 회전속도와 캐리지 이동속도 비에 따라 조절된다. 와인딩 방법에는 수지를 섬유에 함침 시키는 시기에 따라 습식 와인딩법과 건식 와인딩법으로 구분되는데, 습식 와인딩법은 그 과정에서 섬유가 수지 함침용기(resin bath)를 통과할 때 수지가 함침되어 바로 심축에 감는 방법이며, 건식 와인딩법은 이미 수지가 섬유에 함침되어 경화가 일부 진행된 단계로 된 프리프레그 로빙(prepreg roving)을 심축에 감는 방법이다. 설계상의 두께까지 와인딩 되면 와인딩 된 심축을 와인딩기에서 떼어내어 경화로 안의 회전축에 걸로 회전 시키면서 경화시킨다. 와인딩된 제품을 경화 사이클에 따라 경화시킨 후에 심축을 탈형시키고 필요에 따라 표면을 가공하는 과정이 일반적인 필라멘트 와인딩 성형과정이다.

필라멘트 와인딩 섬유로는 표면이 특수 처리된 유리섬유를 주로 사용한다. 기지재로는 에폭시, 폴리에스테르, 비닐에스테르 수지가 주로 사용된다. 초기에는 주로 성형기의 형상이 선반형태의 체인 구동형이었으나 최근에는 타측운동이 가능한 컴퓨터 제어 성형기가 개발되어 사용되고 있다. Fig. 4는 Filament Winding 공정의 모식도를 나타내고 있다.

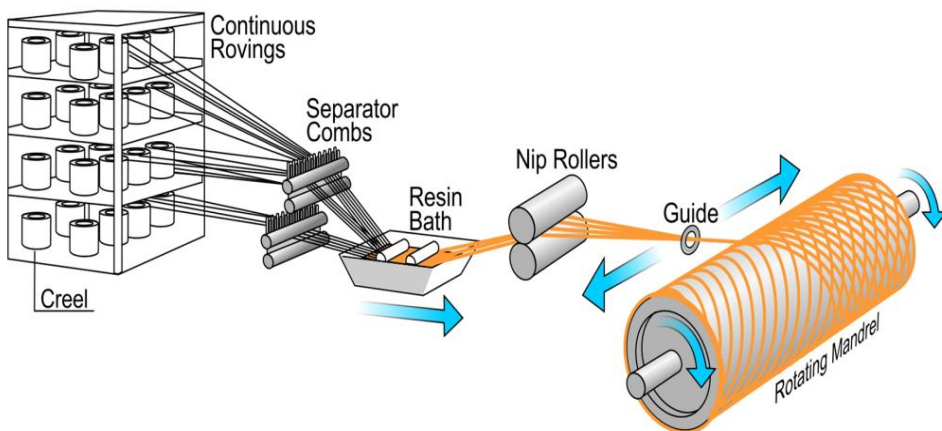


Fig. 4 Filament winding process

2.1.4 SMC(Sheet Molding Compound)

대량생산에 많이 사용되는 성형방법으로 압축성형법을 들 수 있는데 이것은 복합재료 원재료를 가공하여 중간형태의 재료인 프리프레그를 만든 뒤 금형에 넣고 합력과 열을 가하여 성형하는 방법으로 그 중간 재료의 형태에 따라 SMC(Sheet Molding Compound) 또는 BMK(Bulk Molding Compound) 성형법이라고 부른다.

SMC는 보강섬유에 페이스트를 함침시켜 유연성이 있는 박판 형태로 만든 것으로서 이것을 금형에 넣고 프레스로 약 4~12MPa로 가압하고 금형을 120~180 ℃로 가열하여 제품을 생산한다. SMC성형에는 고압이 사용되므로 금형 및 프레스의 가격이 비싸지만 성형시간이 비교적 짧아 대량생산에 적합한 공법이다.

BMC는 SMC와 유사하나 그 형태가 박판 대신에 덩어리(bulk)형태로 되어 있어 복잡한 3차원 형상의 성형에 적합하다. 하지만 연속 보강섬유를 사용할 수 없어서 강도가 떨어진다는 단점이 있다. Fig. 5는 SMC(Sheet Molding Compound)공정의 모식도를 나타내고 있다.

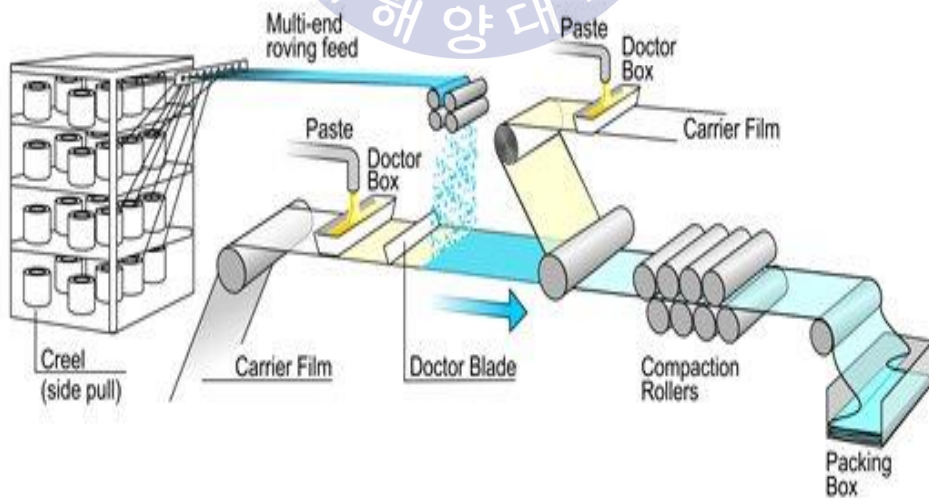


Fig. 5 SMC process

2.1.5 RTM(Resin Transfer Molding)

복합재료의 고속 대량생산 방법으로 SMC, BMC 등이 많이 응용되어 왔으나 장비 및 금형의 가격이 비싸서 생산량이 많지 않거나 또는 설계가 자주 변경되는 경우에는 경제성의 문제로 적용이 어려웠다. 그밖에도 빠른 경화 반응 때문에 높은 생산성을 갖는 고분자 기지 복합재료 제조방법으로 RIM(Reaction Injection Molding), RRIM(Reinforced Reaction Injection Molding), RTM(Resin Transfer Molding)등을 들 수 있다. RIM이나 RRIM 등은 단섬유 복합재료 서형에 주로 사용되는 반면, 단섬유뿐만 아니라 장섬유 보강 복합재료 성형에도 가능한 RTM은 원하는 형상의 금형 안에 보강섬유 프리폼(preform)을 넣고 주입구를 통하여 수지를 금형 안에 주입한 후 금형 안을 진공으로 유지하면서 열과 압력을 가해 성형하는 것이다. RTM 성형법은 다른 공정에 비하여 상대적으로 낮은 압력과 진공에 의하여 성형되므로 양질의 제품생산을 가능하게 할 수 있으며, 비교적 높은 보강섬유 함유율(약 50%)과 빠른 제조시간의 장점이 있다. Fig. 6은 RTM(Resin Transfer Molding)의 모식도를 나타내고 있다.

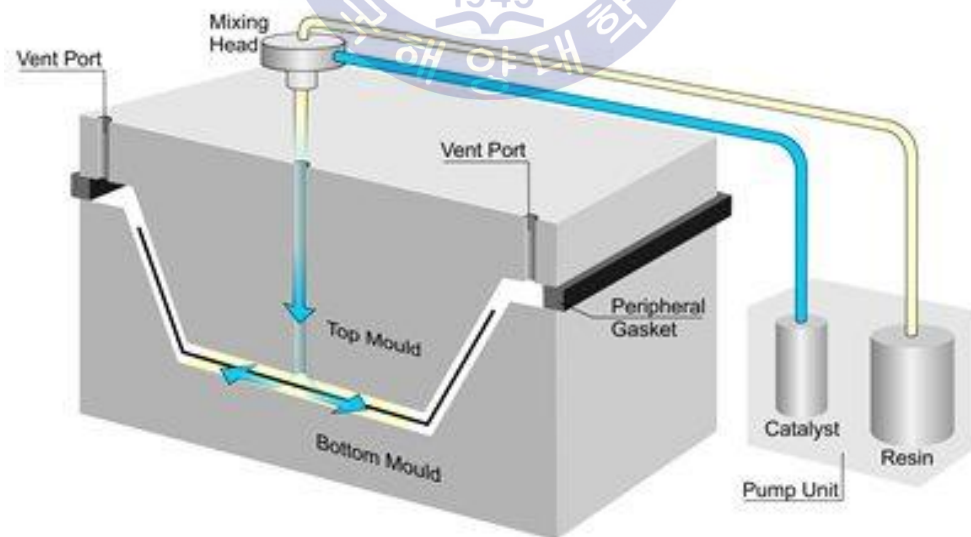


Fig. 6 RTM process

2.1.6 VARTM(Vacuum Assisted Resin Transfer Molding)

VARTM은 RTM과 비교해서 더욱 대형이며 생산 대수가 적은 성형품에 적합한 공법이다. 그리고 높은 섬유함유율(60~70%)과 고품질의 특징을 가지며, 복잡한 형상의 복합재료 구조물의 제작이 가능한 closed mold기술이다. VARTM공법에 의한 대형 복합재료 구조물의 수지 주입이 가능한 것은 주로 구조물의 형상, 사용재료, 주입장치, 주입방법의 요소에 의해 결정 된다. 이 공정에서 프리폼은 한쪽의 몰드와 또 다른 쪽의 진공백 사이에서 성형 된다. 진공을 사용 하는 목적은 아래와 같다.

첫 번째, 프리폼을 압축하기 위하여 대기압인 몰드 내부의 압력을 낮추어 몰드 내부에 존재하는 공기와 주입되는 수지에 포함되어있는 기공을 제거하여 완성된 구조물 내의 결함을 제거하는 목적을 가진다. 이는 기공을 제거 함으로써 섬유함유율을 높이기 위함이다.

두 번째, 몰드 내부의 압력이 몰드 외부의 대기압 보다 낮게 되어 몰드에 장착되어 있는 수지 주입부로부터 프리폼을 통하여 열경화성 수지가 원활하게 주입될 수 있도록 하는 목적을 가진다. Fig. 7은 VaRTM의 모식도를 나타 내고 있다.

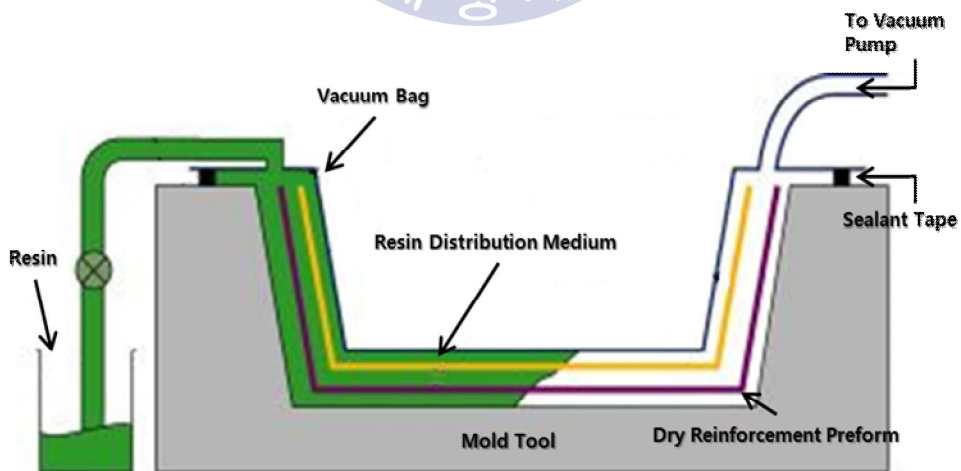


Fig. 7 VaRTM process

2.1.7 Autoclave

진공백(Vacuum bag) 성형이라고도 하는 이 공정은 오토클레이브를 이용하여 복합재료를 제작하는 방법을 말한다. 오토클레이브란 열과 압력을 동시에 가할 수 있는 가압로로, 오토클레이브를 이용한 성형법은 보강섬유와 수지의 혼합물을 백(bag) 으로 밀폐 시킨 후 백 내부를 진공상태로 만들고 백 외부로부터 압력을 가하여 요구되는 형상과 성질에 만족하는 제품을 성형하는 방법이다. 곡률이 있는 항공 부품의 생산에 가장 적합한 방법으로 항공/우주 분야에 많이 적용되고 있다.

오토클레이브를 이용한 성형은 대형 부품을 제작할 수 있을 뿐만 아니라 고품질을 얻을 수 있고 형태가 서로 다른 부품들도 동시에 성형할 수 있다. Fig. 8은 Autoclave 공정의 모식도를 나타내고 있다.

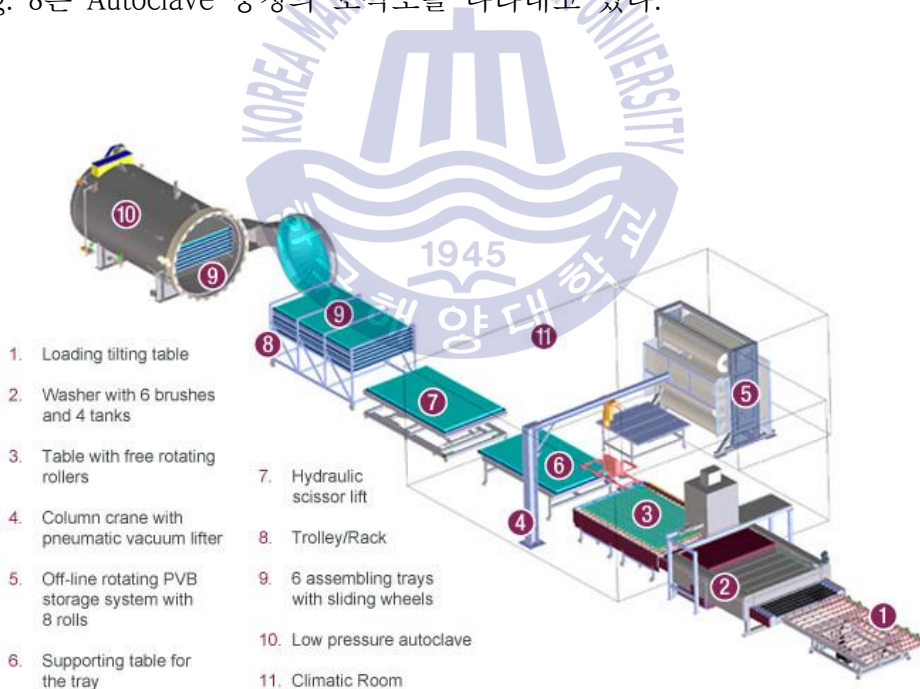


Fig. 8 Autoclave process

2.2 실험재료

2.2.1 폴리프로필렌 섬유 (Polypropylene single fiber)

폴리프로필렌은 폴리머산업을 선도한 최초의 입체 중합체로써 1970년대 Natta가 융합을 성공하여 지금까지 다방면에 산업에 사용되고 있다. 이를 용융, 방사시켜 제작하는 폴리프로필렌 섬유는 소재 고유의 특성으로 인해 각종 위생 소재, 여과제, 레저 의류 등 다방면에 산업에서 사용되고 있다. 최근에는 특유의 저온안정성, 고인성의 특성이 부각되어 항공, 의료, 해양 산업 등에서의 적용에 관심이 높아지고 있다.

폴리프로필렌은 단어에서 알 수 있듯이 프로필렌의 연속체라고 볼 수 있다. 프로필렌은 석유화학공장에서 나프타를 분해 할 때 에틸렌과 함께 생기며, 프로필렌을 지글러-나타 촉매를 사용하여 약 70℃, 5atm 상태에서 중합하여 폴리프로필렌이 형성된다.

폴리프로필렌은 Isotactic 구조를 가지며, 메틸기가 같은 방향으로 정연하게 배열되어 있다. (Fig. 10) 녹는점은 165℃ 이고, 결정도가 크지만 성형 후에는 70%이하로 저하된다. 탄소와 수소만으로 이루어져 있기 때문에 전지적 특성이 우수하며, 폴리에틸렌, PVC, 폴리스타이렌과 함께 4대 범용 수지의 하나로써도 사용 된다. 비용과 환경면에서도 매우 유리하다는 장점 역시 가지고 있다.

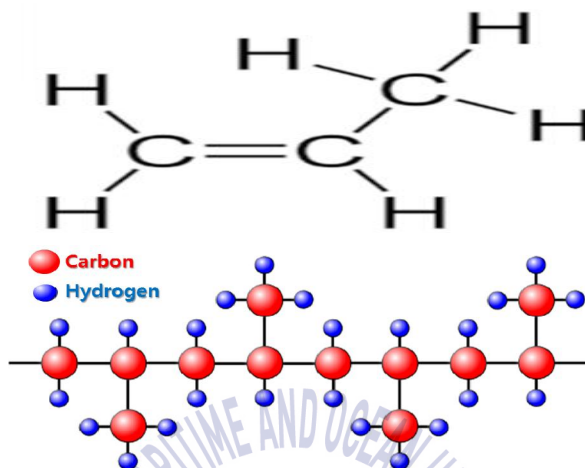


Fig. 9 Structure of the propene



Fig. 10 Structure of the Polypropylene

폴리프로필렌 섬유는 극세섬유(micro scale fiber) 혹은 그 이상의 폴리프로필렌 섬유를 일정비율로 꼬거나 화학적 처리를 통하여 제작한다. 열처리, 부여장력, 꼬임수, 처리 분위기 등에 따라 그 물성이 변화되는 특성을 가지며 이러한 응용성에 의해 자동차, 항공, 해양, 건축, 우주, 레저 산업에 사용되고 있다. 주요 특징은 다음과 같다.

a. 유연성

피로에 매우 유동 적이며, 오랜 시간 구부림이나 접힘에 부러짐 없이 견딜 수 있다.

b. 소수성

소수성을 가지며, 수분율이 0.1% 이하이다. 이러한 특성으로 인해 수분으로 인한 열화 저항력이 높으며 화학 저항력이 우수하여 솔벤트, 및 산성, 염기성 조건에서의 사용이 가능하다.

c. 우수한 유전율

유전율 및 손실계수가 극히 낮아 (유전율 2.2, 유전손실인자 0.0009) 레이돔, 안테나, 위성 등 고가치 산업에 적용 가능성이 제시된다.

d. 댐핑 특성 (Damping)

에너지를 분산시켜 진동 감소에 도움을 주는 댐핑 특성을 가지고 있다.

e. Low Temperature Stability (저온 안정성)

저온에서 열지 않고 극도로 단단해 지며 취성 천이를 위한 연성을 가지지

않는다.

f. Ductile (연성)

인성 손실 없이 변형 하지 않는 연성의 특징을 부여할 수 있다.

g. Impact resistant (충격 저항)

상당한 양의 에너지를 빠르게 분산시키기 때문에 높은 충격강도를 가진다.



2.2.2 폴리프로필렌 섬유의 적용 분야

폴리프로필렌섬유는 이탈리아의 나타 박사가 발명하여 초기 의류산업에 사용 되다가 여러 나라로 전파되어 각국에서 각기 관심분야에 맞춰 활발히 연구되고 있다. 폴리프로필렌섬유와 같은 화학섬유의 사용은 현재 산업용 섬유 중 10% 정도의 비율을 차지하고 있으며, 국내에서의 수요도 점차 증가하고 있다.

폴리프로필렌섬유는 그 특징에서도 알 수 있듯이 복합재료에 사용되는 일반 섬유에 비해 인장강도가 취약하나, 높은 연성을 가지고 있어 인장력에 의한 파괴가 아닌 소성변형을 하게 되어 섬유강화 시멘트와 섬유강화 복합재료의 적용이 가능하다. 또한 낮은 비중과 물을 흡수하지 않는 특성은 해양 산업 및 수상 레저 스포츠 분야에 적용 할 수 있으며 높은 충격 저항과 에너지를 분산시키는 댐핑 특성은 항공 및 자동차 분야 등 다음과 같이 다양한 분야에 적용이 가능하다. Fig. 11은 폴리프로필렌 섬유의 적용 분야를 나타낸 그림이다.

항공기 복합재료 보강재

해양/수산용 복합재료 보강재

생활 및 스포츠

군사용품 및 안전 보호구

우주산업 복합재료 보강재

콘크리트 강화섬유, 고강도 복합재

고충격 경량화 자동차 부품

저온 환경 사용 부품 및 구조재



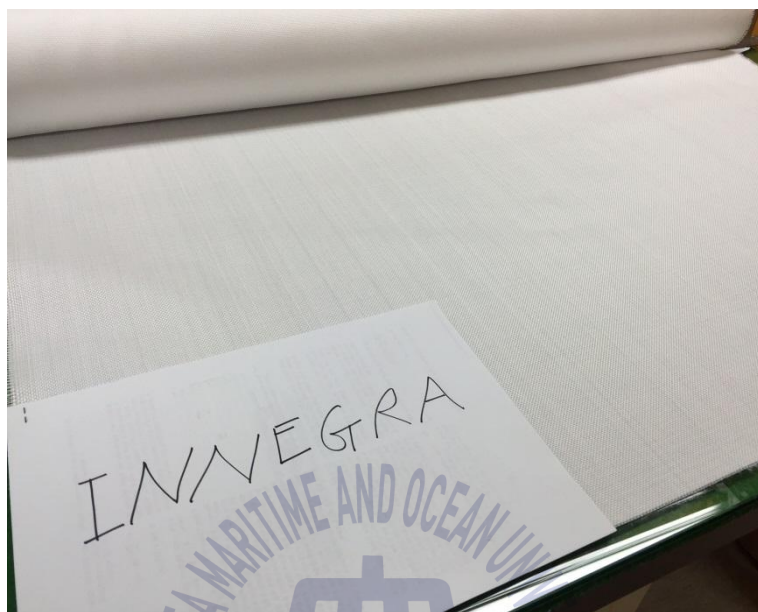
Fig. 11 Application of polypropylene fibers

2.2.3 시편의 제작

폴리프로필렌 섬유강화 복합재료의 기계적 강도를 측정하기 위하여 본 실험에서 필요한 실험재료를 준비하였다. 폴리프로필렌 최적의 보강재와 기지재 학인을 위해 보강재로 쓰이는 폴리프로필렌 섬유는 INEGRA Technologies사의 Polypropylene과 Polypropylene/Glass hybrid 평직(Plain)으로 제작된 페브릭을 사용하였고 물성 비교를 위해 같은 제작 상태의 유리섬유 페브릭을 선택하였다. Fig. 12 에 실제 사용된 섬유의 사진을 나타내었다.

또한 기지재로는 Hand Lay-up과 VaRTM 공정에 사용하기 위해 Resoltech사의 열경화성수지인 에폭시 Resoltech 1050/1053과 국도화학의 KFR 120/KFH548, 폴리에스테르 수지인 CCP composites사의 LSP-8020B를 사용하였다. Table 2와 Table 3은 실험에 사용된 섬유와 수지의 물성을 보여준다.

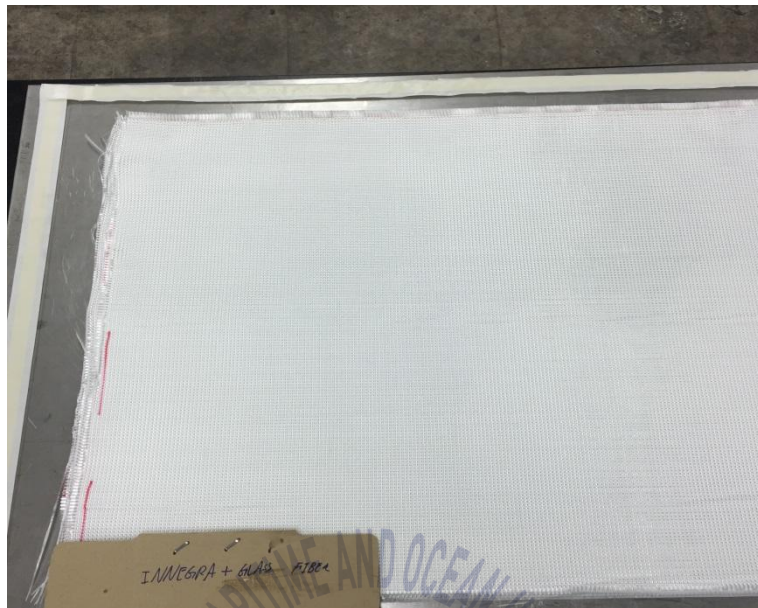
본 연구에서는 가장 보편적인 섬유강화복합재료 제법인 Hand lay-up과 VaRTM으로 시편을 제작 하였다. Hand-lay up 시험편의 경우 섬유에 수지를 함침 시킨 후 이물질이 묻지 않도록 이형 필름을 붙이고, 완전 경화와 안정적인 물성을 위해 진공 후 80℃ 오븐에서 만 하루 동안 경화 시켰다. 실제 성형 작업의 모습과 작업 순서를 단계별로 Fig. 13에 나타내었다 VaRTM 시편 또한 80도 오븐에서 만 하루 동안 경화 시켰으며, 실제 성형 작업의 모습과 작업 순서를 단계별로 Fig. 14에 나타내었다.



(a) Polypropylene fiber (Plain)



(b) Polypropylene fiber (Plain)

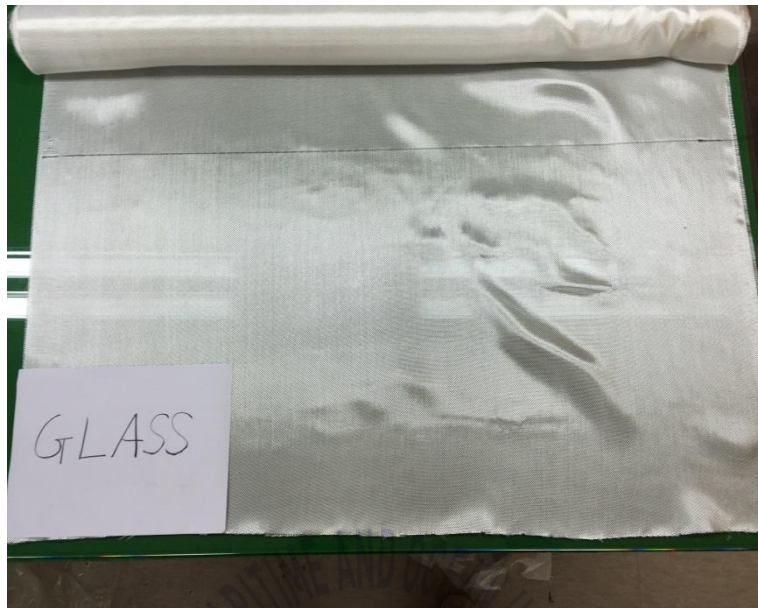


(c) Polypropylene/Glass hybrid fiber (Plain)



(d) Polypropylene/Glass hybrid fiber (Plain)

-Continued-



(e) Glass fiber (Plain)



(f) Glass fiber (Plain)

Fig. 12 Image of polypropylene and glass fibers

Table 2 property of fiber for tests

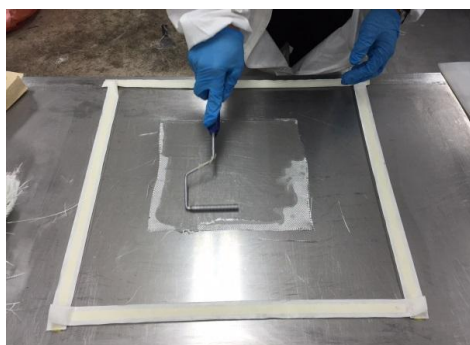
Fiber	Density (g/cm ³)	Tensile Strength (MPa)	Elastic Modulus (GPa)	Elongation at Break (%)
Polypropylene (Plain)	0.84	667	15	9.5
Glass (Plain)	2.5	3,450	75	4.70

Table 3 property of resin for tests

Resin	Density (g/cm ³)	Tensile Strength (MPa)	Elastic Modulus (GPa)	Elongation at Break (%)
RESOLTECH 1050	1.1	60	3.3	8.0~10.0
KFR 120	1.0~1.2	70~80	3.1~3.3	7.9~8.1
LSP-8020 B	1.05~1.15	52	4.1	10.0~12.0



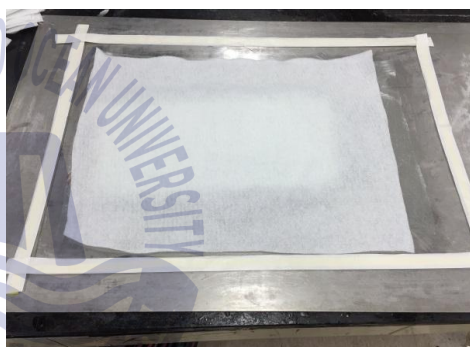
(a) Release coating



(b) Fiber Lay-up & impregnation of resin



(c) Perforation film



(d) Breather



(e) Vacuum bagging



(f) Oven cure

Fig. 13 Hand lay-up procedure

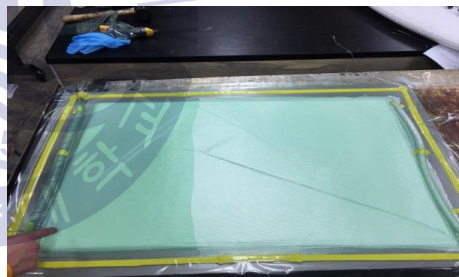
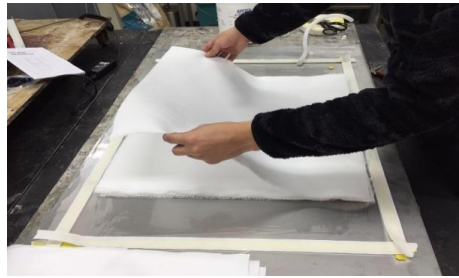
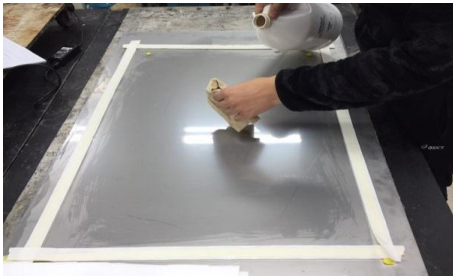


Fig. 14 VaRTM procedure

폴리프로필렌 섬유의 적용과 연구는 광범위하게 진행 되었으나, 폴리프로필렌 섬유강화 복합재료의 기초 물성에 대한 연구와 자료는 미비하거나 부족했다. 본 연구에서는 최적의 폴리프로필렌/유리 혼합직조 섬유 강화 복합 재료를 제작하기 위한 기지재 선택과 다양한 폴리프로필렌/유리 혼합직조 섬유 강화 복합재료 물성의 비교를 아래와 같은 종류의 시편을 제작했다.

Table 4 Type of specimens

No.	Fiber	Resin	Method of process
1	Polypropylene/Glass hybrid fiber	LSP-8020 B	Hand lay up/Vacuum
2	Polypropylene/Glass hybrid fiber	KFR 120	Hand lay up/Vacuum
3	Polypropylene/Glass hybrid fiber	RESOLTECH 1050	Hand lay up/Vacuum
4	Glass fiber	RESOLTECH 1050	Hand lay up/Vacuum
5	Polypropylene/Glass hybrid fiber	LSP-8020 B	VaRTM
6	Polypropylene/Glass hybrid fiber	KFR 120	VaRTM
7	Polypropylene/Glass hybrid fiber	RESOLTECH 1050	VaRTM
8	Glass fiber	RESOLTECH 1050	VaRTM

2.3 실험방법

2.3.1 기계적 특성 실험

폴리프로필렌 강화복합재료와, 폴리프로필렌/유리섬유 강화복합재료, 유리섬유 강화복합재료의 기계적 특성을 평가하기 위하여, 인장, 압축, 3점 굽힘, 충격 시험을 실시하였다. 인장, 압축 및 3점 굽힘 시험에는 Kyung-Do 사의 Universal Test Machine (모델명:KDMT-156; 이하 UTM)이 사용되었고 거리에 대한 하중을 측정하고 수식을 통해 각각의 물성을 계산하였다. 충격시험의 경우 Tinius Olsen사의 샤르피 충격 시험기를 통해 시편에 파괴 시 발생하는 에너지 흡수량을 측정하였다. Fig. 15에 각 시험의 시편 조건을 나타내었다.

- 인장 시험 (Tensile Test)

폴리프로필렌 섬유의 함유에 따른 인장강도(Tensile Strength)를 도출하기 위해 인장 시험을 실시하였다. 시험은 상기 UTM에 인장 시험용 지그(Jig)를 장착하고, ASTM D 5766규격에 따라 케이스 별로 7개의 시편을 5mm/min의 시험 속도(Cross head speed)로 진행하였다.

- 3점 굽힘 시험 (3Points Short beam test)

고장력 폴리프로필렌 섬유의 함유에 따른 변형 저항이나 굽힘 파단강도 (Short beam strength)를 도출하기 위해 3점 굽힘 시험을 실시하였다. 3점 굽힘 시험은 상기 UTM에 압축 시험용 지그(Jig)를 장착하고, ASTM D 2344 규격에 따라 케이스 별로 7개의 시편을 2mm/min의 시험 속도(Cross head speed)로 진행하였다.

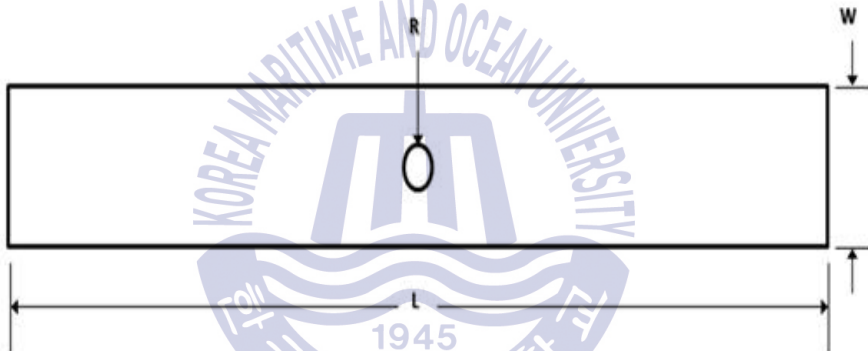
- 충격 시험 (Charpy Impact test)

시편에 파괴 시 발생하는 에너지 흡수량을 도출하기 위해 ASTM D 6110에 따라 케이스 별로 7개의 시편에 충격시험을 실시하였다.

- 파단면 분석

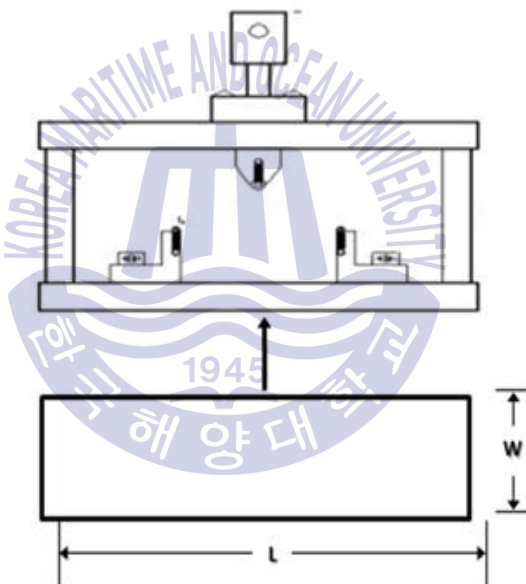
기계적 특성 시험을 실시한 후 섬유와 수지의 파단 및 접합을 확인하기 위하여 파단면 주위를 절단한 후 SEM(Scanning Electron Microscopy)을 이용하여 관찰 하였다. 사용 장비는 Tescan사의 MIRA-3 이며, 분석은 각 케이스별 인장 시편의 파단면을 채취하고, 백금 코팅 전처리작업을 거쳐 진행하였다. 분석에 사용 된 장비 사진을 Fig. 17에 나타내었다.



Specimen	Polypropylene& Glass (Plain)	Polypropylene (Plain)		
	Glass (Plain)	N/A		
Stacking direction	[0°, 90°]			
Standard	ASTM D 5766			
Temperature	Room temperature, dry			
Test Speed	5 mm/min			
				
Unit : mm	T	L	W	R
Dimension	3	250	36	6

(a) Condition of tensile test and dimension of tensile specimen

-Continued-

Specimen	Polypropylene& Glass (Plain)	Polypropylene (Plain)	
	Glass (Plain)	N/A	
Stacking direction	[0°, 90°]		
Standard	ASTM D 2344		
Temperature	Room temperature, dry		
Test Speed	1 mm/min		
			
Unit : mm	W	L	T
Dimension	6	18	3

(b) Condition of short-beam test and dimension of short-beam specimen

-Continued-

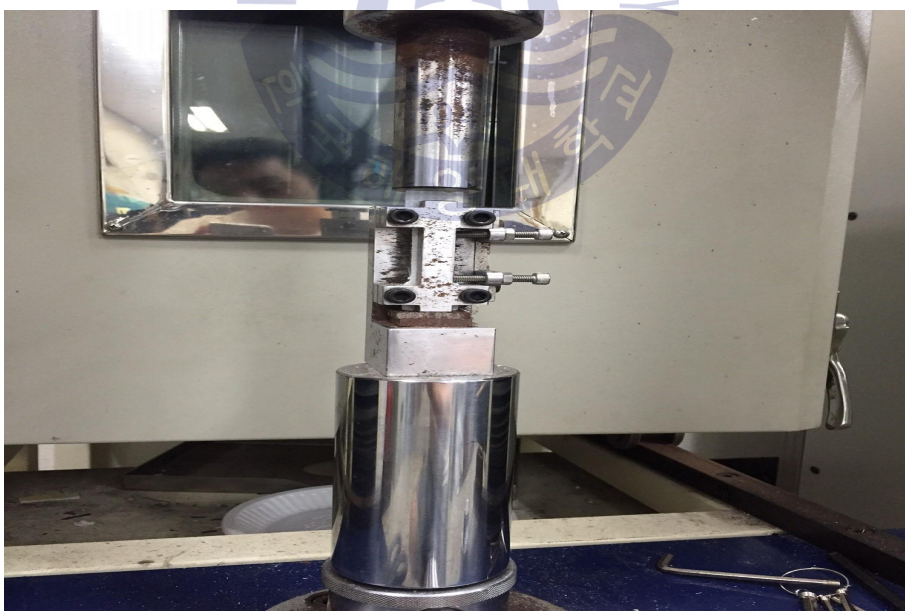
Specimen	Polypropylene& Glass (Plain)	Polypropylene (Plain)	
	Glass (Plain)	N/A	
Stacking direction	[0°, 90°]		
Standard	ASTM D 6110		
Temperature	Room temperature, dry		
			
Unit : mm	L	W	T
Dimension	125	10	12.7

(c) Condition of impact test and dimension of impact specimen (Charpy)

Fig. 15 Condition and dimension of each test specimens



(a) Tensile test



(b) Compressor test

-Continued-



(c) 3Points short beam test



(d) Charpy Impact Test

Fig. 16 Images of method for each test

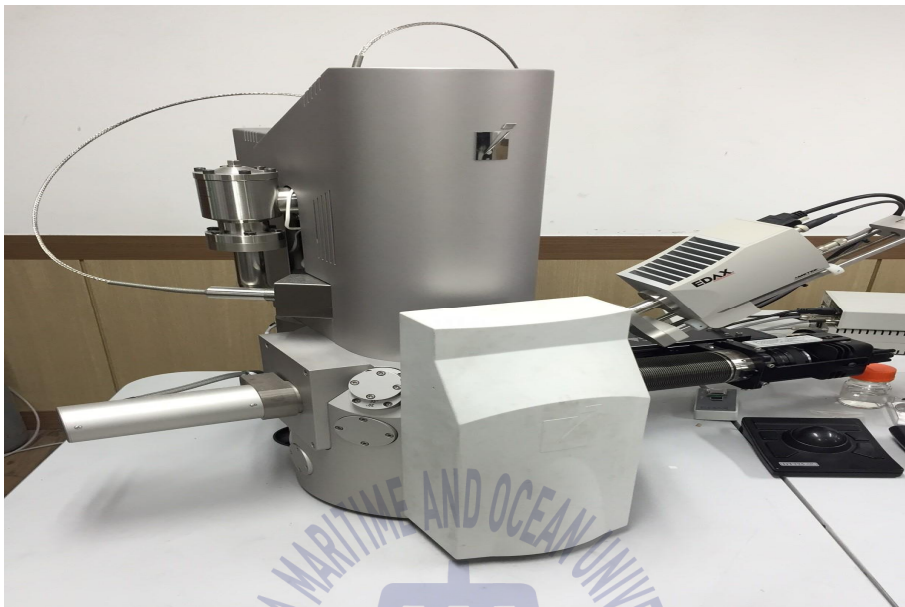


Fig. 17 SEM apparatus

2.3.2 환경 특성 실험

섬유강화 복합재료에서 수지의 환경에 대한 열화기구는 광산화, 열산화, 열균열, 고에너지 방사손상, 가수분해열화, 전기기계부식 등으로 다양하다. 섬유강화 복합재료가 온도, 수분, 자외선, 염분등의 환경인자에 장시간 노출 되면 강도와 강성 등의 기계적 특성, 열분석 특성 치수와 질량 등의 물리적 특성이 변하게 된다. 특히, 섬유 강화 복합재료가 수분/ 습기 환경에 노출 될 경우, 그 재료에 심각한 변형을 일으킬 수 있다. 그 결과 재료의 강성, 강도와 같은 기계적 성질 뿐만 아니라 열적특성 역시 저하되므로 재료의 물성저하는 심각한 수준에 이를 수 있다⁶⁾.

본 연구에서는 폴리프로필렌/유리 강화 섬유 복합재료의 수분/습기에 대한 환경 열화를 분석하기 위해 흡습 시험을 진행 하였고, 쿠폰 시편을 사용 하여 재료의 확산계수와 일정시점에서의 흡습율을 구하였다. 쿠폰 시편은 신뢰성 확보를 위해 7개를 준비 하였고, 초기 무게가 일정한 값이 될 때까지 $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ 오븐에서 미리 건조 후 상온에서 냉각 한 후 초기 무게를 측정하였다. 무게 측정 후 $80\pm 2^{\circ}\text{C}$ 항온수조에 침지하여 60일 동안 변화를 통해 확산계수와 흡습율의 변화를 관찰 하였다.

흡습에 의한 기계적 물성 열화를 분석하기 위해 인장 시편을 사용하여 흡습에 따른 인장 강도의 변화를 분석 하였다. 인장 시편은 각 일차별로 (1/2/3/5/7/10/15/20/25/30/40/50/60/80/100 일) 14개 씩 총 210개를 준비 하였다. 섬유강화 복합재료의 수분 흡수로 인한 기계적 물성 열화는 건조를 통해 일정 수준 회복이 가능하기 때문에 열화와 회복에 대해 분석하기 위해 인장시험편을 2배수로 준비 했다. 쿠폰 시편과 같이 $80\pm 2^{\circ}\text{C}$ 항온수조에 10 일 침지 중 일차별로 14개의 시편을 꺼내어 7개의 시편은 건조 없이, 나머지 시편은 $80\pm 2^{\circ}\text{C}$ 오븐에서 24시간 건조한 후 ASTM D 5229에 따라 인장 시험을 진행 하였다.

6) 김국진, 2007, pp.3~5

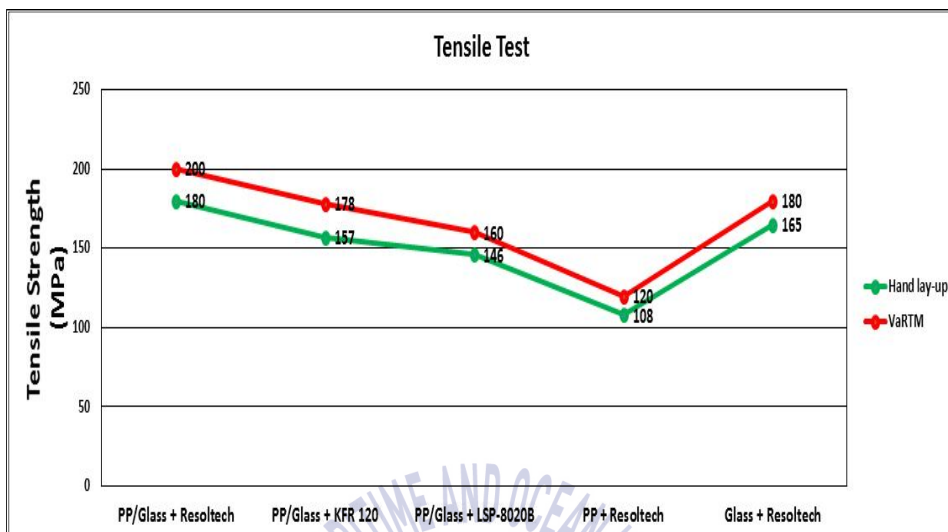


Fig. 18 Moisture absorption test

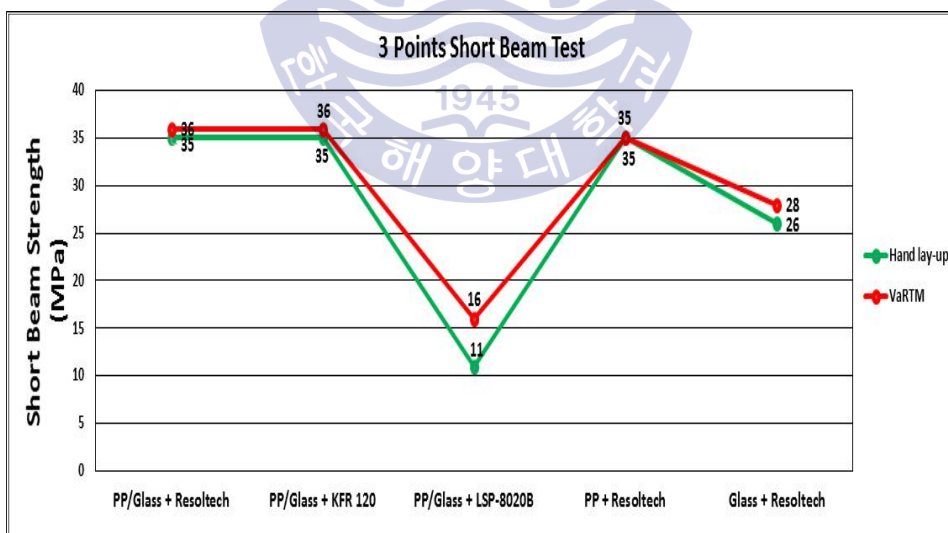
제 3 장 실험 결과 및 고찰

3.1 기계적 특성 분석 결과

각 성형법에 따른 시편의 기계적 특성 결과를 분석해보면 인장강도와 3점 굽힘의 경우 폴리프로필렌/유리 혼합지고 섬유와 Resoltech 에폭시 수지로 제작된 시편의 강도가 우수하고, 충격 에너지의 경우 미세하게 폴리프로필렌/유리섬유 혼합직조 섬유와 Resoltech 에폭시 수지로 제작된 시편이 높았으나 단일 유리섬유 제작된 시편과 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. 공정에 따른 시험의 결과를 Fig. 19에 나타내었으며, 두 공정의 양상은 비슷하나 VaRTM공정의 물성치가 전체적으로 Hand lay-up 보다 높게 나오는 것을 확인할 수 있었다. 이는 Hand lay-up 공정으로 제작한 시편이 VaRTM 공정으로 제작한 시편보다 섬유의 함유율이 떨어져 나타나는 현상으로 사료 된다.

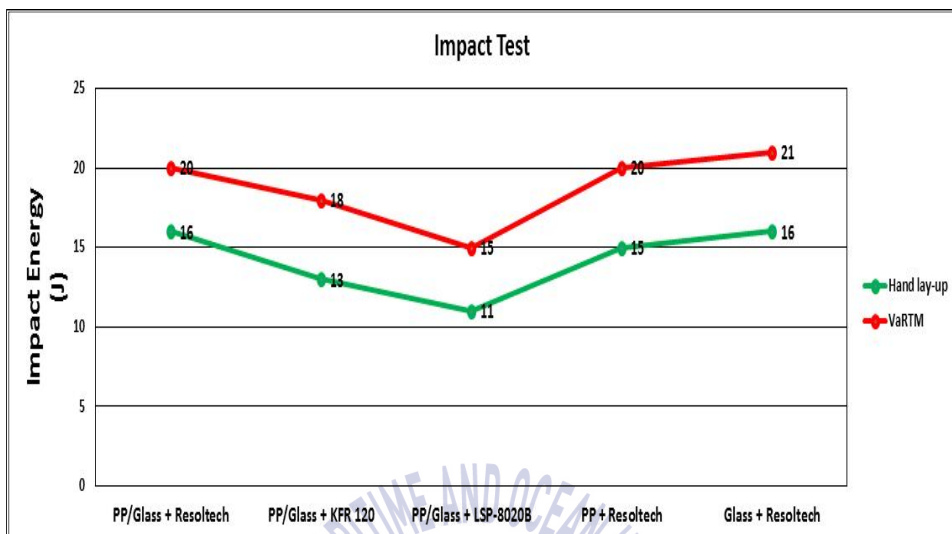


(a) Comparison of tensile strength for each process



(b) Comparison of short beam strength for each process

-Continued-



(c) Comparison of impact energy for each process

Fig. 19 Comparison of mechanical property for each process

- 인장 강도

인장 강도는 측정된 변형량에 따른 인장 하중을 측정한 뒤 식 (1)을 통해 계산 하였고, 케이스별 7개의 시편 중 최대/최소치를 제외한 나머지 5개 시편에 대한 결과 값의 평균치를 취하였다.

$$\sigma_t = \frac{W_{max}}{A_0} \quad (1)$$

여기서, σ_t : 인장강도(최대)

W_{max} : 최대인장하중

A_0 : 초기단면적

케이스별 시편의 인장강도 시험 결과를 Fig.20에 나타내었다. 단독 섬유 인장 강도의 경우 유리섬유를 기지재로 사용한 시편이 폴리프로필렌을 사용한 시편보다 높은 값을 나타내었다. 폴리프로필렌/유리 혼합직조 시편의 경우 유리섬유를 사용한 시편보다 높은, 약 200MPa의 평균 강도를 가지며 3종의 시편 중 가장 높은 값을 나타내었다. 이는 폴리프로필렌 섬유의 미세 구조가 결함의 이동을 억제하며 유리섬유에 가해지는 하중을 균일하게 분산시켜 발생 된 현상으로 사료 된다.

폴리프로필렌 섬유가 함유된 시편의 경우 1차 파단 후 하중이 지속적으로 가해져 2차 파단이 발생하는 현상이 발견되었는데, 이는 폴리프로필렌 섬유가 가지는 높은 연성이 1차 파단 후 완전 파단을 지연시켜 추가 하중에 의해 파단이 되어 발생하는 현상으로 사료 된다.

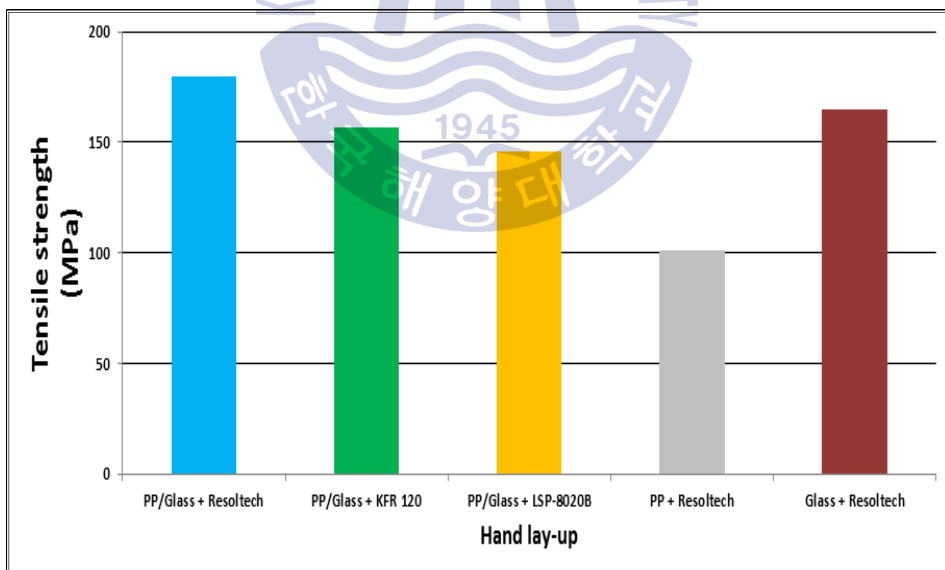
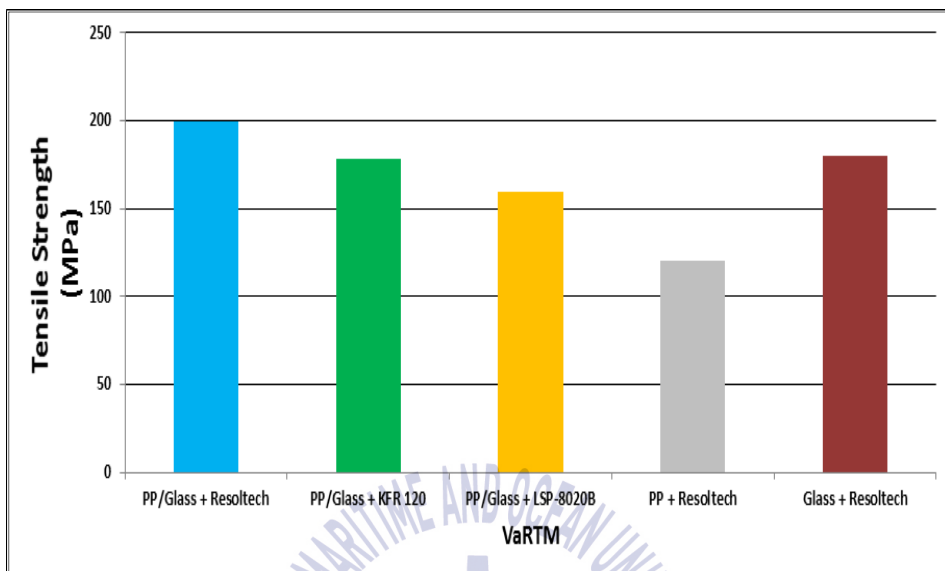


Fig. 20 Result of the tensile test

- 3점 굽힘 강도

3점 굽힘 강도는 측정된 변형량에 따른 압축 하중을 측정한 뒤 식 (2)를 통해 계산 하였고, 케이스별 7개의 시편 중 최대/최소치를 제외한 나머지 5개 시편에 대한 결과 값의 평균치를 취하였다.

$$F^{sbs} = 0.75 \times \frac{P_m}{(b \times h)} \quad (2)$$

여기서, F^{sbs} : 굽힘 강도

P_m : 최대 굽힘 하중

b : 시편의 폭

h : 시편의 두께

3종의 강화재 및 공정에 대한 3점 굽힘 강도 시험 결과를 Fig.21 에 나타내었다. 폴리프로필렌 섬유 및 유리섬유를 혼합직조한 강화재를 사용한 시편이 평균 굽힘강도 37.2MPa로 가장 높은 값을 나타내었다. 폴리프로필렌 섬유를 단독으로 사용하여 제작한 시편의 경우 시험 장비에서 측정 가능한 파단 변위를 초과하는 값을 가져 추가적인 측정이 불가능 하였다. 폴리프로필렌/유리 혼합직조 섬유 시편의 경우 역시 1차적으로 유리섬유부에서의 파단이 발생한 후 한계거리 이상으로 변형이 진행되었으며, 폴리프로필렌이 함유된 두 시편 모두 가해지는 하중을 제거하자 초기형상으로 회복되는 현상이 발생하였다. 이는 폴리프로필렌의 높은 연신율에 기초한 결과로 사료된다.

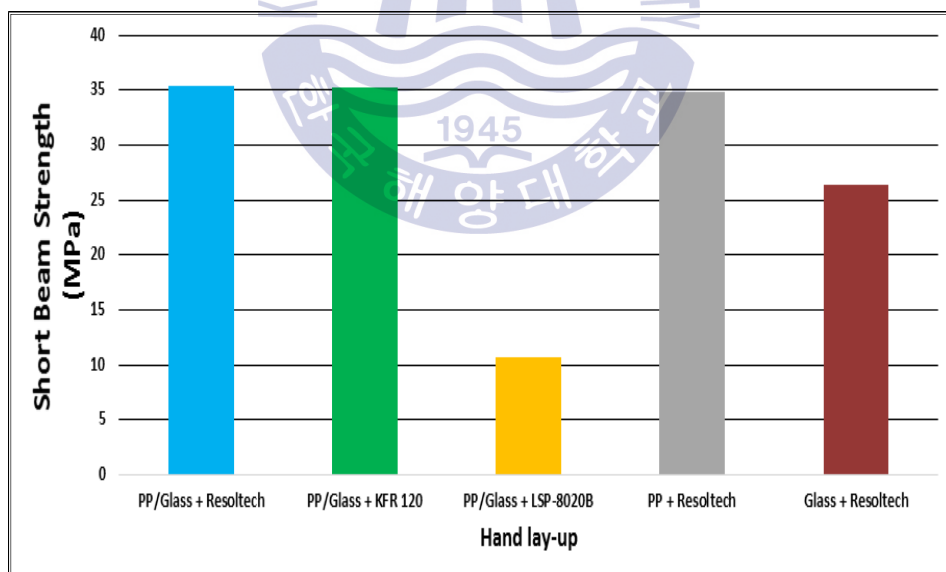
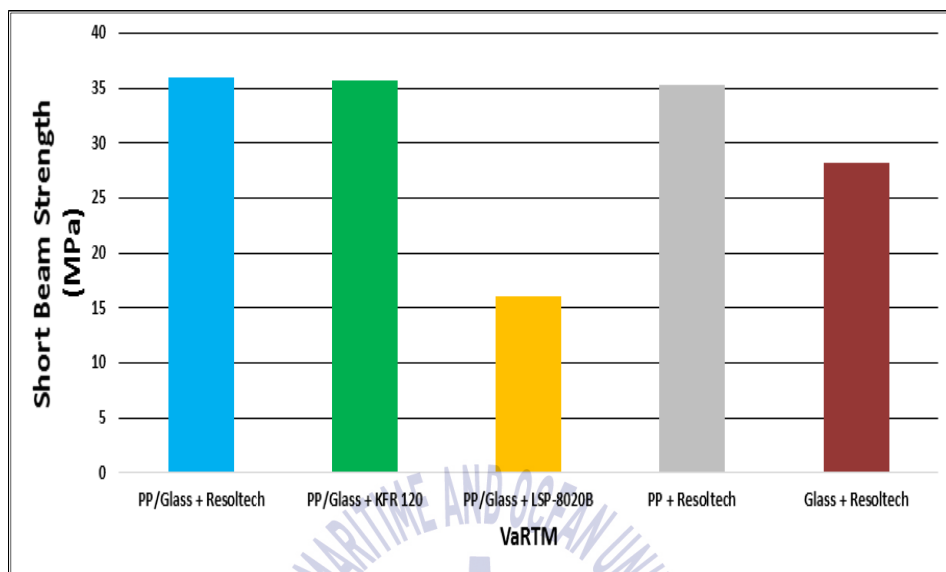


Fig. 21 Result of the short beam test

- 충격 강도

충격 강도는 측정된 케이스별 7개의 시편 중 최대/최소치를 제외한 나머지 5개 시편에 대한 결과 값의 평균치를 취하였다.

케이스별 시편의 충격 시험 결과를 Fig.22 에 나타내었다. 인장강도, 3점 굽힘 시험과 같이 Hand lay-up보다 VaRTM 공정으로 제작한 시편이 모든 케이스에서 충격 에너지가 높게 나오는 것을 확인 할 수 있었다. 또한, 단일 유리섬유 시편이 폴리프로필렌/유리 혼합직조 시편에 비해 높은 충격 에너지를 가지지만 그 차이가 크게 나지 않음을 확인 할 수 있었다. 이는 폴리프로필렌 섬유를 기지재와 혼합하여 복합재료로 제작 하면 섬유 자체의 특성인 충격 저항과 댐핑 특성이 충격 에너지 흡수에 큰 영향을 주지 못하기 때문이며, 복합재료의 충격 에너지는 기지재의 특성에 의해 좌우되기 때문 이라고 사료 된다.



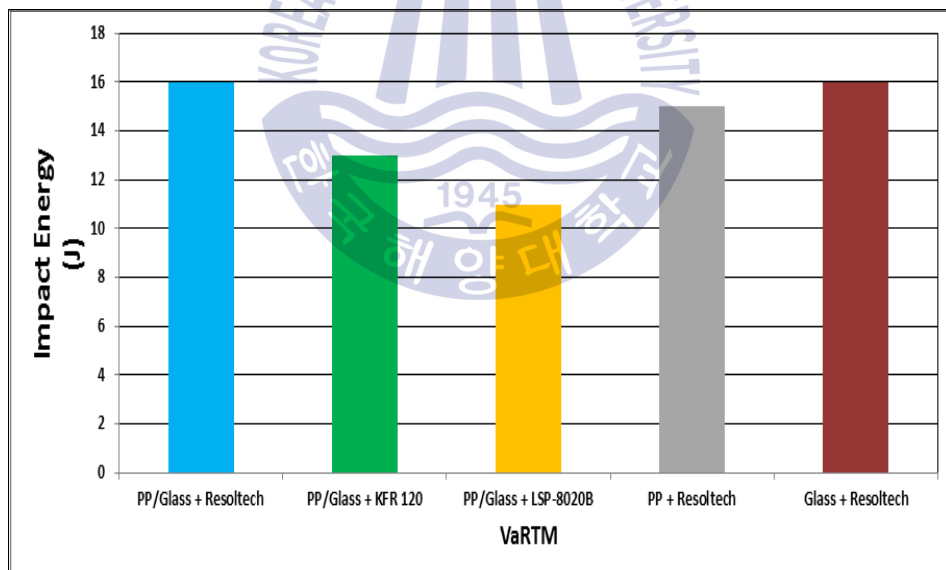
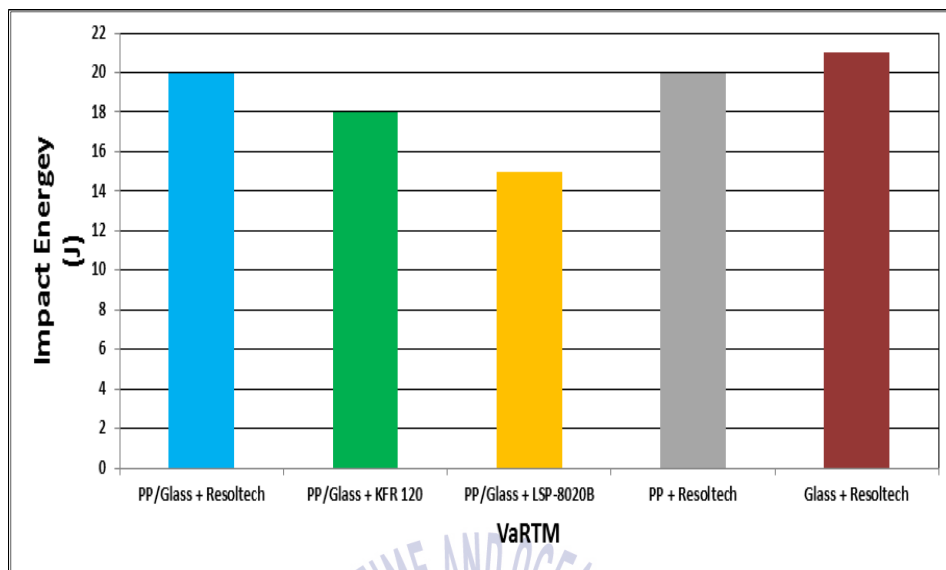
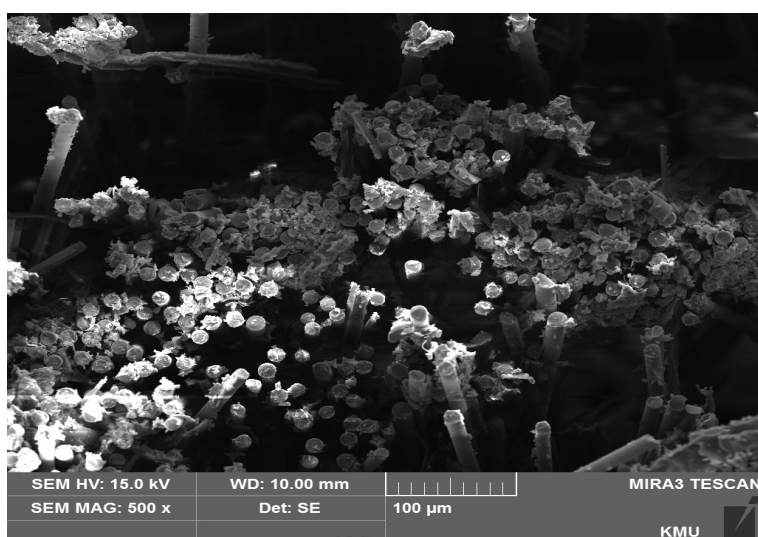


Fig. 22 Result of the charpy impact test

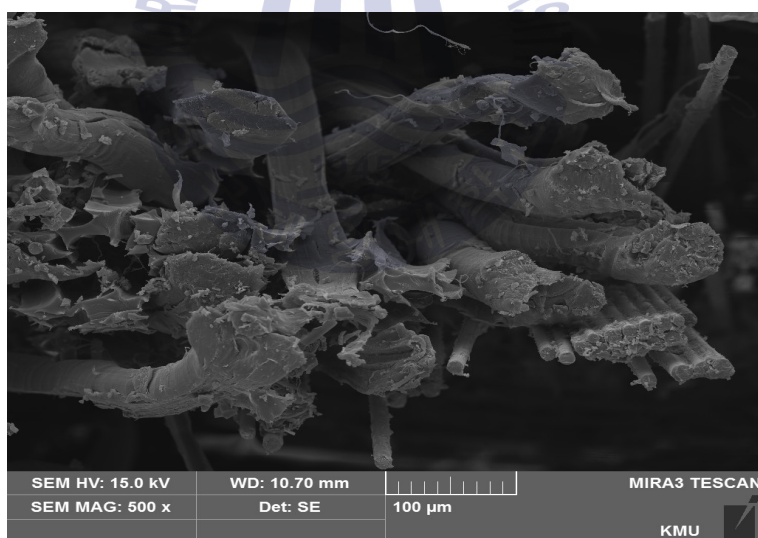
- 파단면 분석 결과

기계적 특성 분석을 통해 폴리프로필렌/유리 섬유강화 복합재료와 유리 섬유강화 복합재료의 강도를 비교 할 수 있었다. 인장, 3점 굽힘시험의 경우 폴리프로필렌/유리 섬유 강화복합재료의 강도가 우수하며, 충격시험의 경우 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. 이러한 현상을 자세하게 규명하기 위해 각 케이스별 시편의 파단면을 관찰 하였다. Fig.23 각 케이스별 시편의 파단면을 주사 전자 현미경(SEM)으로 살펴본 사진이다. 그림을 보면 유리섬유와 수지와의 계면 결합력이 우수해 파단 된 섬유 표면에 수지가 다량 묻어 있는 것을 확인 할 수 있었다. 폴리프로필렌 섬유가 포함 된 나머지 4개의 시편에도 풀 아웃 현상은 없었으나, 유리섬유에 비해 수지의 분포가 적을 것으로 보아 계면 결합력은 유리섬유만 사용 된 시편이 더 우수한 것으로 사료된다.



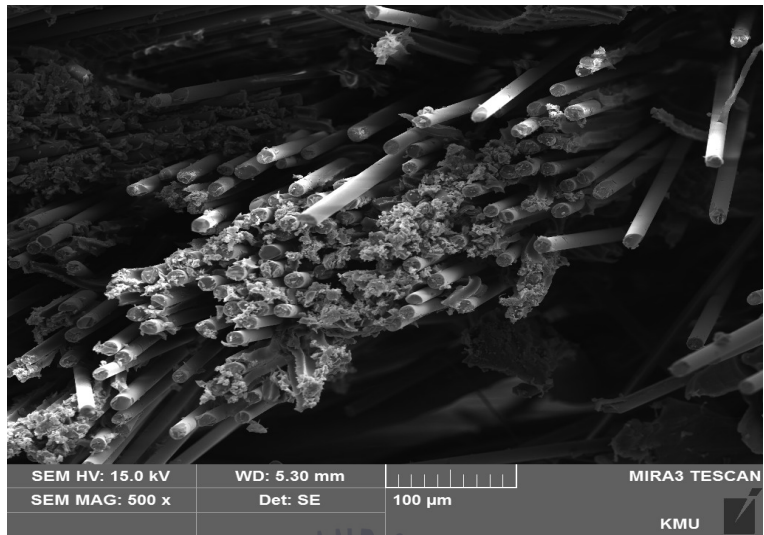


(a) Polypropylene/Glass + Resoltech

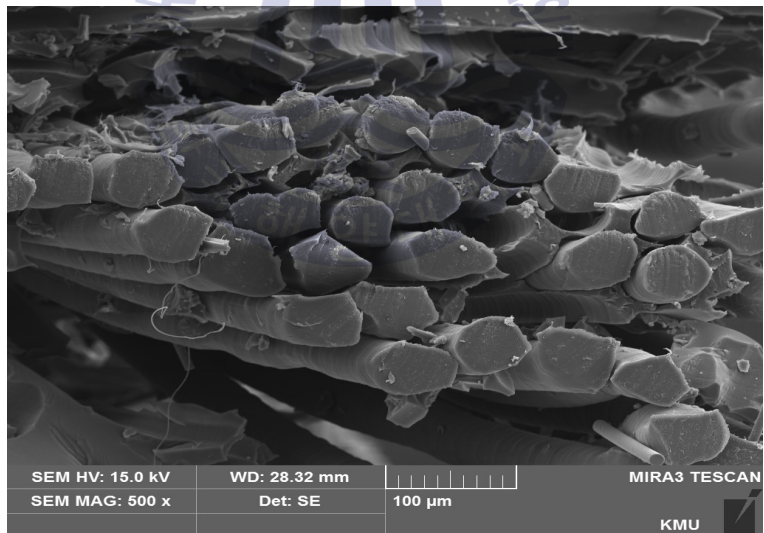


(b) Polypropylene/Glass + KFR120

-Continued-

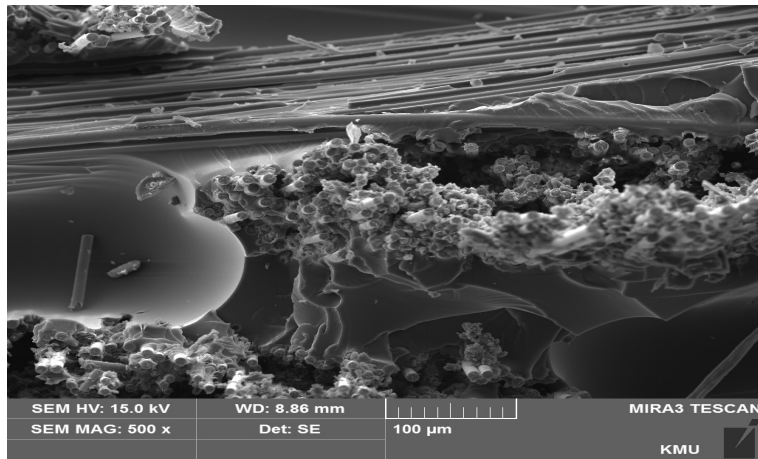


(c) Polypropylene/Glass + LSP-8020 B



(d) Polypropylene + Resoltech

-Continued-



(d) Glass + Resoltec

Fig. 23 Micrographs of tested specimens



3.2 환경특성 실험 결과

- 수분 흡수 거동

흡습 실험 시작 후 10일 동안은 유리섬유강화 복합재료와 폴리프로필렌/유리 혼합직조 섬유 강화 복합재료 모두 급격하게 수분 흡수율이 증가 했고, 10일 이후 수분 흡수율이 조금씩 완만하게 바뀌는 것을 확인 할 수 있었다. 또한, 두 케이스 모두 80일 이후 흡수율이 증가와 감소를 반복하게 되는데 이는 수분 흡수 포화상태로 인해 더 이상 수분을 흡수 할 수 없는 상태인 것으로 사료 된다.

총 100일 동안의 두 케이스의 수분 흡수 거동을 분석한 결과, 유리섬유강화 복합재료는 6.18%, 폴리프로필렌/유리 혼합직조 섬유 강화 복합재료는 7.13%로 수렴하여 유리섬유 복합재료의 수분 흡수율이 0.95% 낮은 것을 확인 할 수 있었다. 유리섬유강화 복합재료의 수분 흡수율이 낮은 이유는 수지와 섬유간의 계면 결합력이 폴리프로필렌/유리 혼합직조 섬유 강화복합재료보다 우수하기 때문으로 사료된다. 두 케이스 수분 흡수 거동을 아래 Fig.24에 나타내었다.

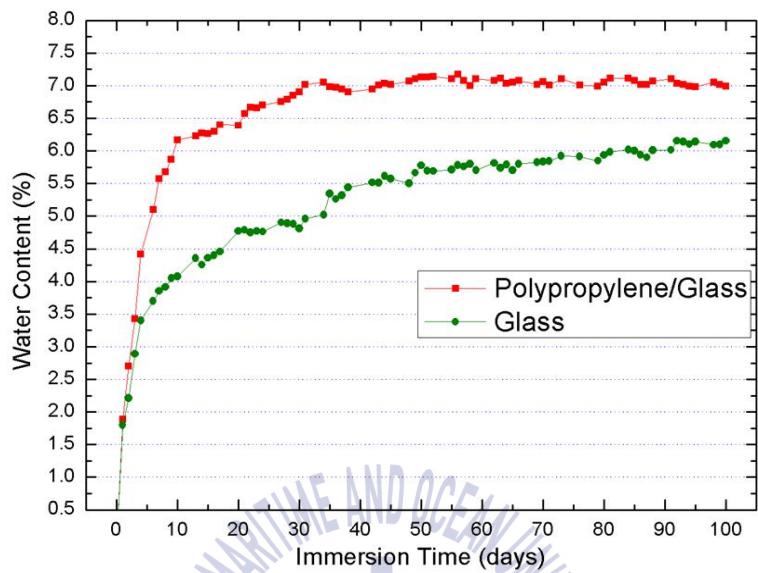
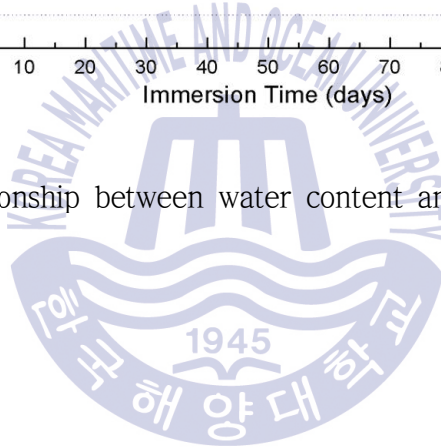


Fig. 24 Relationship between water content and immersion time



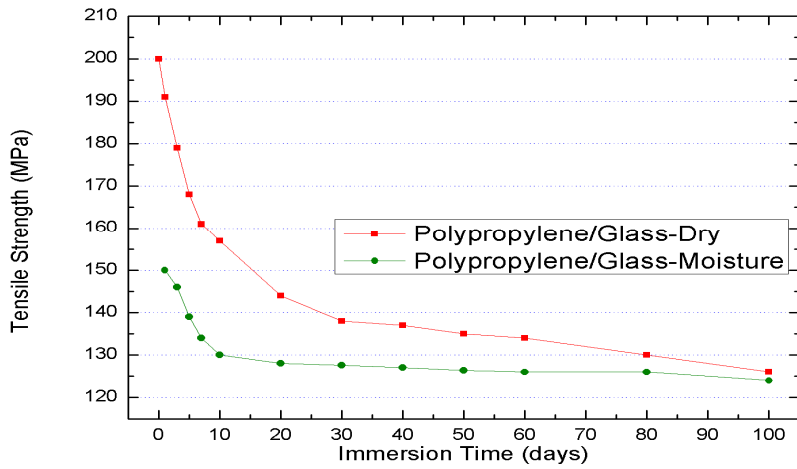
- 흡습에 의한 기계적 물성 열화와 회복

폴리프로필렌/유리 혼합직조 섬유강화 복합재료와, 유리섬유강화 복합재료 두 케이스 모두 침지 시간의 경과에 따라 인장강도는 감소했고, 흡수 거동과 유사하게 침지 후 10일 동안 급격하게 감소했다. 두 케이스 시편의 침지 100일 경과 후 인장강도 감소는 폴리프로필렌/유리 혼합직조 섬유강화 복합재료가 0.40%, 유리섬유 강화 복합재료는 0.60%였다.

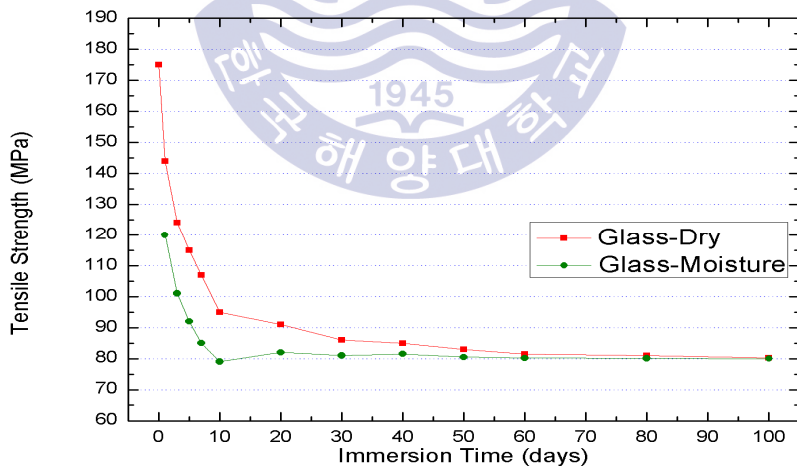
인장강도의 회복은 침지 시간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 나타냈다. 폴리프로필렌/유리 혼합직조섬유강화 복합재료는 80일 후, 단일 유리섬유강화 복합재료는 60일 후 건조에 의한 회복 현상이 나타나지 않는 것을 확인할 수 있었다. Fig.25는 폴리프로필렌/유리 혼합직조 섬유강화 복합재료와 단일 유리섬유강화 복합재료 시편의 수분 흡수와 회복에 따른 인장강도 변화를 나타내고 있고, Fig.26은 두 종류의 섬유강화 복합재료 시편의 흡수와 회복에 따른 인장강도 감소율을 나타내고 있다.

폴리프로필렌/유리 혼합직조섬유강화 복합재료의 흡수율이 유리섬유강화 복합재료 보다 높았음에도 흡습에 의한 인장강도 감소가 작고, 회복 일수가 길었던 이유는 수분 환경 내에서의 열화 매커니즘에 따라 수분의 침투가 진행될 때 강화재 내부까지 수분의 침투가 진행⁷⁾되는 다른 소재와 달리 폴리프로필렌 섬유 표면층의 방오특성과 소수성으로 인해 강화재 내부로 침입되는 물 분자가 극히 적어, 기지재 및 강화재와의 계면에서만 수분으로 인한 열화가 진행된 것으로 사료된다.

7) Kim, Y.H., 2011, pp.10-14

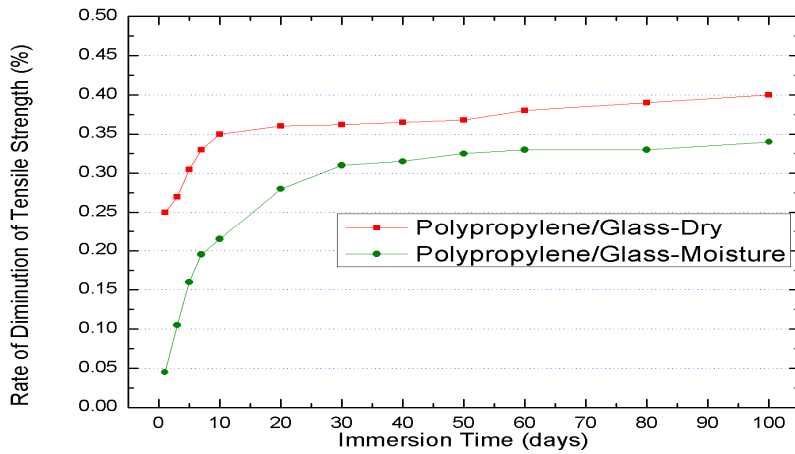


(a) Effect of immersion time on polypropylene/glass specimen' s tensile strength

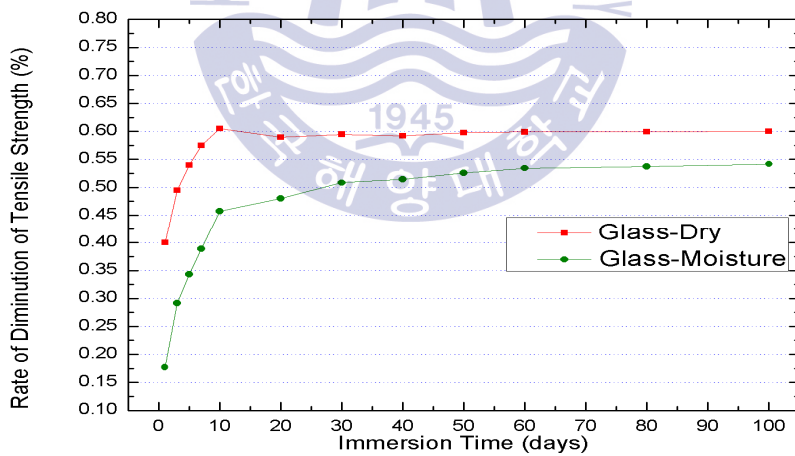


b) Effect of immersion time on glass specimen' s tensile strength

Fig. 25 The tensile strength behavior by the moisture-absorption and recovery



a) Polypropylene/Glass specimen's rate of the diminution of tensile strength by the moisture-absorption and recovery



b) Polypropylene/Glass specimen's rate of the diminution of tensile strength by the moisture-absorption and recovery

Fig. 26 The rate of the diminution of tensile strength by the moisture-absorption and recovery

제 4 장 결 론

본 연구에서는 우수한 특성을 가진 폴리프로필렌 섬유와 유리섬유의 혼합직조를 통해 복합재 시편을 VaRTM 과 Hand lay up 공법을 통해 제작하여 기계적 시험을 통한 물성 분석, 파단면 분석, 흡습 시험을 통한 환경특성 분석 등을 시행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 폴리프로필렌/유리 혼합직조 섬유로 제작한 시편의 경우 단일 유리 섬유로 제작한 시편과 비교하여 20MPa 가량 높은 인장강도가 측정되어 가장 높은 값을 기록하였다. 이와 같은 현상은 함유된 폴리프로필렌 섬유가 2차적인 기지재의 역할을 하여, 에너지를 저장하고 유리섬유에 균일한 하중을 부과하여 발생한 것으로 사료된다.

2. 3점 굽힘 시험의 경우 폴리프로필렌/유리 혼합직조 섬유 사용한 시편이 평균 굽힘강도 37.2MPa로 가장 높은 값을 나타내었다. 이는 기지재 및 유리섬유 부에서 1차적인 파단이 발생한 후 폴리프로필렌 섬유의 단독 연신이 발생한 것으로 판단되며 응력-변형률 선도에서 또한 1차 파단이 발생하는 시점과 섬유의 단독 연신이 발생하는 구간이 관찰되었다. 이러한 현상은 폴리프로필렌 섬유와 기지재 간 계면 접합이 원활하게 이루어지지 않아 심화된 것으로 판단되며, 계면 접합력이 향상 될 경우 1차 파단의 발생을 지연 시킬 수 있을 것으로 사료된다.

3. 충격 시험의 경우 폴리프로필렌/유리 혼합직조 섬유를 사용한 시편이 단일 유리섬유 시편에 비해 높은 충격 에너지를 나타내었으나 그 차이 값이 크지 않았다. 이는 기지재가 폴리프로필렌 섬유와 원활한 접착을 이루지 못하여 각각

의 층들이 단독으로 파단되어 발생한 것으로 사료된다.

4. 파단면 분석 결과 단일 유리섬유강화 복합재료가 폴리프로필렌/유리 혼합직조 섬유강화 복합재료에 비해 수지와의 접합성이 높은 것으로 나타났다. 폴리프로필렌 섬유가 함유된 시편의 경우 기지재와의 계면이 분리된 현상을 발견할 수 있었고, 이는 폴리프로필렌 섬유가 단독으로 연신되어 기지재와의 박리가 발생하고, 하중이 제거되어 회복된 것으로 사료된다.

5. 흡습 시험 결과 폴리프로필렌/유리 혼합직조 섬유강화 복합재료 시편이 단일 유리섬유강화 복합재료에 비해 시간에 따른 수분 흡수율은 높았지만, 인장강도의 감소와 건조에 의한 회복율이 더 높음을 확인 할 수 있었다. 이는 폴리프로필렌/유리 혼합직조 섬유와 기지재의 계면 접합력이 단일 유리섬유에 비해 약하기에, 비교적 많은 물 분자의 침투가 일어났지만, 폴리프로필렌 섬유 고유의 소수성 특성으로 인해 강화재의 열화에 대한 저항이 유리섬유에 비해 높았기 때문에 나타난 결과로 사료된다.

위 연구를 통해 폴리프로필렌/유리섬유 혼합직조 섬유강화 복합재료의 장점과 단점을 확인 할 수 있었다. 기계적 특성 실험을 통해 확인한 유리섬유와 유사한 물성, 흡습 실험을 통해 확인한 소수성의 특성과 섬유 고유 특성인 낮은 비중은 지속적인 기술의 발달 및 단점 보완이 이루어진다면 해양 플랜트 및 구조물, 레저스포츠 적용에 충분한 가능성이 있다고 사료된다.

가장 큰 단점인 섬유와 기지재간의 계면 접합력은 기지재의 개발과 제작 공정의 변화 및 새로운 공정 개발로 극복 할 수 있을 것이며, 이러한 단점의 극복은 복합재료 시장에서 폴리프로필렌 섬유의 가치를 더욱 더 높여 줄 것으로 사료된다.

참고문헌

Reference

선형섭, 김진환, 오상협., 2001. 취성재료의 편칭가공을 위한 충격장치 개발 및 편칭기구 해석. 대한기계학회 Vol. 25, No. 4, pp. 629-636.

임광희, 2002, CF/Epoxy 적층판의 충격손상거동에 관한 연구, 대한기계학회논문집 A권 제 26권 제5호, pp.835~842

Ishai. O., Shragi A., 1990, Effect of Impact Loading on Damage and Residual Compressive strength of CFRP Laminated Beams, Composites Struc., 14-4 pp.319~337

五十嵐明, 木野内 渡, 2010, ポリプロピレン繊維, 繊維學會誌, 66(6), pp.196~198

윤성원. 2011. 벨러스트 파이프에 적용하기 위한 현무암섬유 복합재료의 기계적 특성에 관한 연구. 석사학위논문. 부산:한국해양대학교

김국진, 2007. 초경량 섬유강화 복합재료의 물리적/기계적 특성평가를 통한 흡습 메커니즘의 구명. 박사학위논문. 부산:한국해양대학교

Kim, Y.H. et al., 2011. The Effect of Moistures Absorption and Gel-coating Process on the Mechanical Properties of the Baslat Fiber Reinforced Composite, International Journal of Ocean System Engineering, pp.9-15.

Bibliography

이진우. 2016. 나노 입자에 의한 탄소섬유 강화 복합재료의 층면계면특성에 관한 연구. 박사학위논문. 부산:한국해양대학교

문창권, 구자삼, 1997. 흡습에 의한 FRP의 내구성에 관한 연구. 한국해양공학회지 제11회, pp.48-56.

INNEGRA TECHNOLOGIES, 2008. Unique Microstructural Features of Innegra High Modulus Polypropylene Fibers, United State: INNEGRA TECHNOLOGIES.

김혁 등, 1995. 흡습효과가 섬유강화 고분자 복합재료의 압축,굽힘 잔류강도에 미치는 영향. 한국해양공학회지 제 9회, pp.133-140.

김원근, 문창권, 1999. 적층형 탄소섬유 복합재료의 기계적 성질에 미치는 수분 환경의 영향. 한국해양공학회지 제13회, pp.63-74.

SHEN. C.H. & GEORGE S.SPRINGER., 1976. Moisture Absorption and Desorption of Composite Materials. J.COMPOSITE MATERIALS, Vol.10.

최영민. 2013. 수분환경에서 탄소섬유/에폭시 복합재료의 내구성에 대한 나노입자의 영향. 석사학위논문. 부산:부경대학교

P.V. Joseph., Kuruvilla Joseph., & Sabu Thomas., 1999. Effect of processing variables on the mechanical properties of sisal-fiber-reinforced polypropylene composites. Composites Science and Technology, 59, pp.1625-1640.

A.M.Alhozaimy., P.Soroushian., & F.Mirza., 1996. Mechanical Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete and the Effects of Pozzolan Materials. Cement & Concrete Composites, 18, pp.85-92

P.K, Mallick, 2014. FIBER REINFORCED COMPOSITES (Materials, Manufacturing, and Design). 3rd Ed. CRC Press Taylor & Francis Group: New York

김윤해, 이진우, 박준무, 정민교. 2013. 탄소 및 현무암 섬유 강화 복합재료의 흡습에 의한 기계적 특성 열화. 한국해양공학회지

강영구. 2010. VaRTM 공정을 이용한 복합재료 성형 시 이물질에 의한 Void 형성에 관한 연구. 석사학위논문. 부산:한국해양대학교

Na, H.Y. Yeom, H.Y. Yoon, B.C. & Lee S.J., 2014. Cure behavior and chemorheology of low temperature cure epoxy matrix resin. Polymer(Korea), 38(2), pp.171-179

Park, J.J. & Lee, J.Y., 2011. Dispersion technology of layered silicate nanoparticles. Bulletin of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, 24(11), pp.3-14

Joo, Y.H. Sim, J.H. Jeon, Y.J. Lee, S.U. & Sohn, D.W., 2013. Opening and blocking the inner-pores of halloysite. Journal of the Royal Society of Chemistry, 49, pp.4519-4521

Sohn, M.S., 2000, Impact Damage Characterization of Carbon Fiber/Epoxy Composites with Multi-layer Reinforcement, Composite B, Vol 31, pp. 681-691

이병언, 2013, 자기 강화형 폴리프로필렌을 이용한 섬유 금속 적층판의 성형성에 관한 수치해석적 연구, 한국소성가공학회, 제22권, 제3호, 제141호, pp.150-157

이방연, 2013, 폴리프로필렌 섬유로 보강된 하이볼륨 플라이애시 시멘트 복합재료의 성능 향상 기법, 한국구조물진단유지관리공학회, 17(3) pp.118-125