creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 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

dCollection

工學碩士 學位論文

복합재료 REPAIR 시 EXTRA STRUCTURAL PLY 적층 방법에 따른 REPAIR 성능에 대한 연구

A Study on the Repair Properties for Extra Structural Ply by Lay-up Method in Composites Repair

指導敎授 金 允 海

2011年 08月

韓國海洋大學校 大學院

材 料 工 學 科
曺 湧 植

本 論文을 조용식의 工學碩士 學位
論文으로 認准함.

委員長 문 경 만 印

委 員 배 창 원 印

委 員 김 윤 해 印

2011年 08月

韓國海洋大學校 大學院

목 차

Abstracts ---------- 1

제 1 장 서론 ---------- 3

제 2 장 복합재료의 성형 및 Repair방법 ---------- 4

2.1 복합재료의 성형방법 ---------- 4

2.1.1 HAND LAY-UP ---------- 5

2.1.2 SPRAY-UP ---------- 7

2.1.3 FILLAMENT WINDING ---------- 8

2.1.4 PULTRUSION ---------- 10

2.1.5 압축성형법 ---------- 12

2.1.6 RTM ---------- 14

2.1.7 VARTM ---------- 16

2.1.8 VACUUM BAG ---------- 18

2.2 복합재료의 손상 ---------- 20

2.2.1 복합재료 손상 개요 ---------- 20

2.2.2 복합재료 손상의 종류 ---------- 20

2.3 복합재료의 Repair 방법 ---------- 23

2.3.1 패치법 ---------- 24

2.3.1 스카프법 ---------- 25

2.3.2 스텝법 ---------- 26

제 3 장 재료 및 실험방법 ---------- 27

3.1 실험재료의 준비 ---------- 27
3.2 시험 계획 ---------- 29
3.3 시편의 제작 ---------- 31
3.4 실험 방법 ---------- 35
제 4 장 실험 결과 및 고찰 ---------- 38
4.1 Tensile Strength 결과 ---------- 38
4.2 Flexural Strength결과 ---------- 46
4.3 파단면 분석 ---------- 53
제 5 장 결론 ---------- 54
참고 문헌 ---------- 55

A Study on the Repair Properties for Extra Structural Ply by Lay-up Method in Composites Repair

JO YONG SIK
Department of Materials Engineering
Graduate School of
Korea Maritime University

Abstract

In modern society, technology of the mechanical equipment, automotive industry, air craft, vessels and accelerated operating system are rapidly developing. So, the energy conservation system by new materials as part of the strength of materials, light weight, high functionality will be needed.

Development of new materials which have excellent property has been attracted the attention of fiber-reinforced composite materials which have high strength, light weight, corrosion resistance.

In this study we proposed the more effective repairing method to access the repair of composite materials.
We used the three different extra structural ply method for example, stepped stacking, patch stacking and overlap stacking.

As a result, this repaired composite materials as defect, the overlap stacking method is the effective one it repaired.

제1장 서론

현대 사회의 급속한 과학 및 기술의 발전에 따라 산업 전반의 기계설비와 자동차, 선박, 항공기 등의 작동조건이 고속화, 고하중화 되고 있으며, 에너지 절약 및 신소재 개발의 일환으로 재료의 고강도, 경량화, 내열화 등의 고기능성을 갖춘 재료의 개발이 추진되고 있다.

이러한 새로운 특성을 개발하는 면에서 복합재료가 관심을 받고 있으며 이 복합재료 중 섬유강화 복합재료는 높은 비강도, 비강성, 경량성, 내식성 등의 특성으로 인해 크게 각광을 받고 있으며 응용분야 또한 늘고 있다.

일반적으로 복합재료 구조의 수리기술에 관한 체계적인 연구는 드물다. 그 이유는 다음과 같다.

1. 복합재료 자체를 수리할 기회 자체가 적다.
2. 수리부위의 강도 보증은 설계 개발시의 하중이나 제작도면을 기준으로 이루어지고 있기 때문에 제작업체에서 관련 데이터를 공개하지 않는다.
3. 일반적으로 발생되는 손상정보는 제작업체에 모두 모이며, 이런 정도는 동일한 기종에 참고자료가 되며 다음 개발을 위해 중요한 데이터가 되기 때문에 2.와 동일한 이유로 공개하지 않는다.

이에 현재 실생활에서 많이 사용되고 있지만 보편화는 되어 있지 않는 복합재료의 충격이나 부주의에 의한 손상에 대한 효과적인 Repair 를 위한 Extra Structural Ply의 적층 방법에 대해 알아보고자 한다.

제2장 복합재료의 성형 및 손상, REPAIR 방법

2.1 복합재료의 성형방법

복합재료란 두 가지 이상의 소재를 조합하여 그 각각의 소재들보다 더 우수한 성질을 가지는 재료를 말한다. 이런 복합재료들을 성형하는 방법들은 아래와 같다.

- HAND LAY-UP
- SPRAY-UP
- FILAMENT WINDING
- PULTRUSION
- SMC(Sheet Molding Compound)
- RTM(Resin Transfer Molding)
- VARTM(Vacuum Assisted Resin Transfer Molding)
- VACUUM BAG

2.1.1 HAND LAY-UP

복합재료 성형법 중 가장 오래되고 이 사용되는 공법으로 몰드위에 매트와 수지를 이용하여 손으로 적층하여 경화 시켜 제품을 만드는 방법으로 크기가 큰 제품을 비롯하여 가장 손쉽게 이용할 수 있는 공법이다.

FRP(섬유강화 복합재료, Fiber Reinforced Plastic)공법 중 가장 오래되었으며, 미려한 제품을 얻을 수 있다는 장점이 있으나 작업자의 숙련도에 의해 제품의 품질이 크게 영향을 받는다.

제품의 강도는 타 공법에 비해 높지 않으며 복잡한 형상도 만들 수 있다는 장점이 있다.

일반적으로 사용되는 보강재는 유리섬유매트(glass fiber chopped strand mat) 및 직조로빙(woven roving)이 있으며 기지재로는 폴리에스테르, 비닐에스테르, 에폭시 수지등이 널리 이용된다.

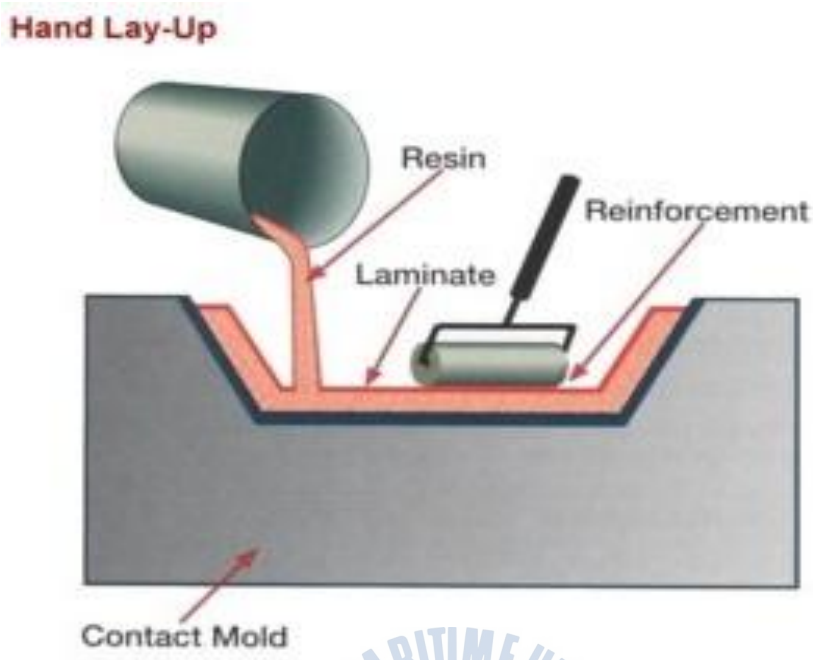


Fig.2.1 Hand Lay-up Process

2.1.2 SPRAY-UP

몰드에 이형제를 도포한 후 유리섬유와 수지의 혼합물을 SPAY GUN으로 몰드 표면에 일정한 두께가 될 때까지 뿌려 성형한다. HAND LAY-UP보다 생산성이 높고 이음매가 없으나 설비 비용이 높다. 수지함유량은 70% 내외로 기계적 강도가 낮은 문제점이 있다..

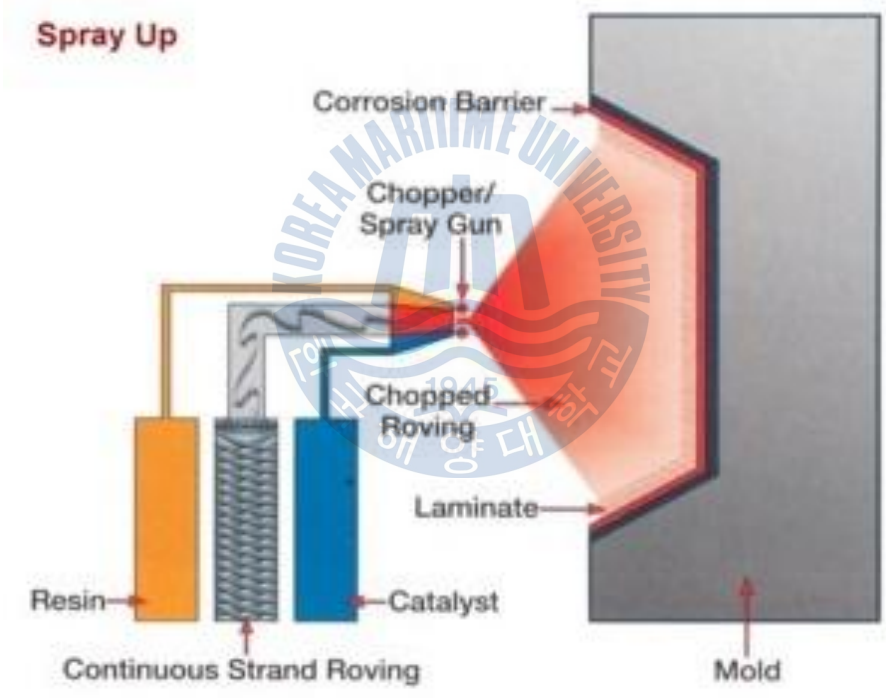


Fig.2.2 Spray-up Process

2.1.3 FILAMENT WINDING

수지가 함침된 연속섬유를 회전하는 심축 위에 감아서 주로 파이프나 압력용기, 로켓 모터 케이스 등과 같은 축대칭 복합재료 구조물을 제작하는 방법이다. 필라멘트 와인딩(Filament Winding)성형은 심축의 회전속도와 섬유의 공급위치를 이동시키는 캐리지(carriage)의 속도를 조절하여 일정한 와인딩 각도와 패턴(pattern)으로 수지가 함침된 연속섬유를 심축에 감을 수 있는 성형기를 이용한다. 와인딩 각도는 심축의 방향과 거의 일치하게 감는 축방향 와인딩에서 축에 거의 수직으로 감는 원주방향 와인딩까지 심축 회전속도와 캐리지 이동속도 비에 따라 조절된다. 와인딩 방법에는 수지를 섬유에 함침시키는 시기에 따라 습식 와인딩법과 건식 와인딩법으로 구분되는데, 습식 와인딩법은 와인딩하는 과정에서 섬유가 수지 함침용기(resin bath)를 통과할 때 수지가 함침되어 바로 심축에 감기는 방법이며, 건식 와인딩법은 이미 수지가 섬유에 함침되어 경화가 일부 진행된 단계로 된 프리프레그 로빙(prepreg roving)이 심축에 감기는 방법이다. 설계상의 두께까지 와인딩 되면 심축을 와인딩기에서 떼어내어 경화로 안의 회전축에 설치하여 회전시키면서 경화시킨다.

와인딩된 제품을 경화 사이클(cure cycle)에 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 체인구동형이었으나 최근에는 다축운동이 가능한 컴퓨터 제어 성형기가 개발되어 많이 사용되고 있다.

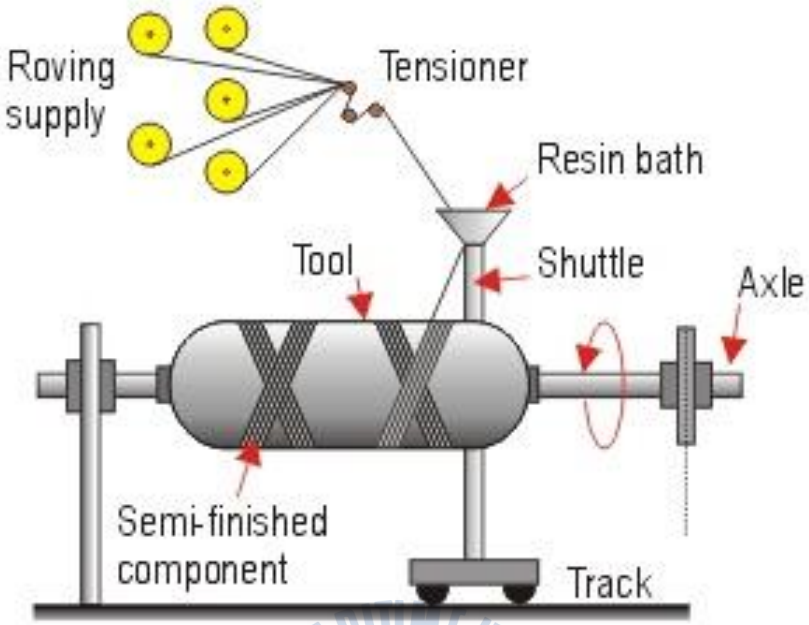


Fig.2.3 Filament Winding Process

2.1.4 PULTRUSION(인발 성형)

인발성형은 연속섬유에 수지를 함침시켜 단면이 일정한 형상을 지닌 가열된 금형을 통하여 경화시키면서 연속적으로 제품을 성형하는 방법으로 긴 튜브, 봉 및 채널 등과 같이 길이방향으로 동일한 단면을 가진 제품을 제조하는 데 사용된다. 인발성형은 보강섬유 스풀(spool), 수지 함침통(resin bath), 가열 금형, 인발기 및 절단기 등으로 구성된다. 보강섬유 스풀로부터 공급되는 보강섬유가 수지 함침통을 거치면서 보강섬유에 수지가 함침된다. 수지가 함침된 보강섬유는 가열된 금형을 통과하면서 복합재료의 형상이 유지됨과 동시에 경화되며, 금형을 빠져 나온 복합재료 제품은 절단기에 의하여 원하는 길이만큼 절단되어 최종 완성된다.

인발성형에 있어서 가장 핵심적인 기술로는 수지 배합기술, 섬유분포 제어기술, 금형온도 제어기술 및 내식성 등과 관계있을 뿐만 아니라, 수지 함침성 등과도 매우 밀접하다. 성형된 제품의 섬유 분포가 균일해야 강도를 높일 수 있으므로 섬유분포 제어기술은 무엇보다 중요하며, 이를 위하여 섬유 가이드 장치를 잘 설계하여야 한다.

인발성형은 다른 성형법에 비하여 생산성이 높으며 금형의 온도제어는 생산성과 기계적 특성에 크게 영향을 미치므로 매우 중요한 기술이다. 금형의 온도에 따라 금형 내에서의 경화도 변화가 달라지며 최대 경화도에 도달하기까지의 시간이 변하게 된다. 열경화성 수지인 경우 경화될 때 일반적으로 수지가 수축하게 되는데 최대 경화도에 이르는 시간이 빠르면 금형의 입구 쪽에서 경화가 모두 이루어지므로 당기는 힘의 상대적으로 줄고 최대 경화도까지 도달하는 시간이 늦을수록 금형출구 쪽에서 경화가 완성되므로 당기는 힘은 상대적으로 증가된다. 당기는 속도는 결국 금형의 온도와 당기는 힘 등을 고려하여 결정되므로 생산성 향상을 위해서 당기는 속도가 가능한 빠를 수 있도록 금형의 온도 및 당기는 힘을 조절하는 기술이 무엇보다 중요하다고 할 수 있다.

인발성형의 특성상 길이방향의 섬유배열 밖에 할 수 없는 기

존 기술의 단점을 보완하여 섬유의 각도를 다양하게 성형할 수 있는 기술개발에 관심을 모으고 있다. 그리고 수지의 점도가 매우 높기 때문에 수지함침이 용이하지 않은 열가소성 수지 복합재료의 인발성형을 위하여 테이퍼진 금형을 이용, 강제적인 압력을 가하여 수지를 함침시키면서 성형하는 열가소성 수지 복합재료의 인발성형 기술개발이 급속히 연구되고 있다.

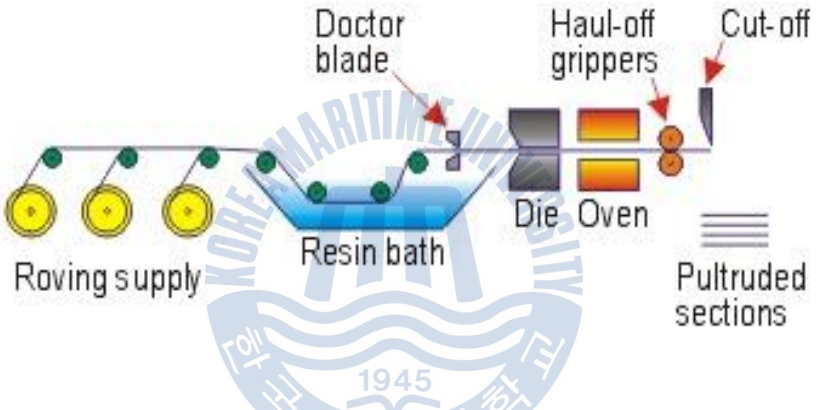


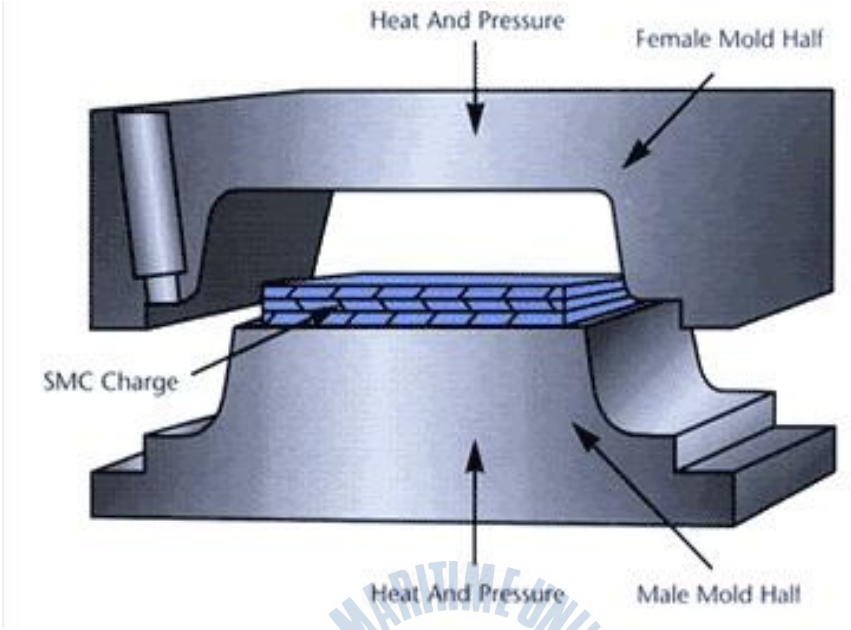
Fig.2.4 Pultrusion Process

2.1.5 압축성형법(Compression Molding)

제품의 대량생산에 많이 사용되는 성형방법으로 압축성형법을 들 수 있는데 이것은 복합재료 원재료를 가공하여 중간형태의 재료인 프리프레그(prepreg)를 만든 뒤 금형에 넣고 합력과 열을 가하여 성형하는 방법으로 그 중간 재료의 형태에 따라 SMC(Sheet Molding Compound) 또는 BMC(Bulk Molding Compound) 성형법이라고 부른다. SMC는 보강섬유에 페이스트(paste)를 함침시켜 유연성이 있는 박판 형태로 만든 것으로서 이것을 금형에 넣고 프레스로 약 4 ~ 12 MPa로 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 낮아지는 단점이 있다.



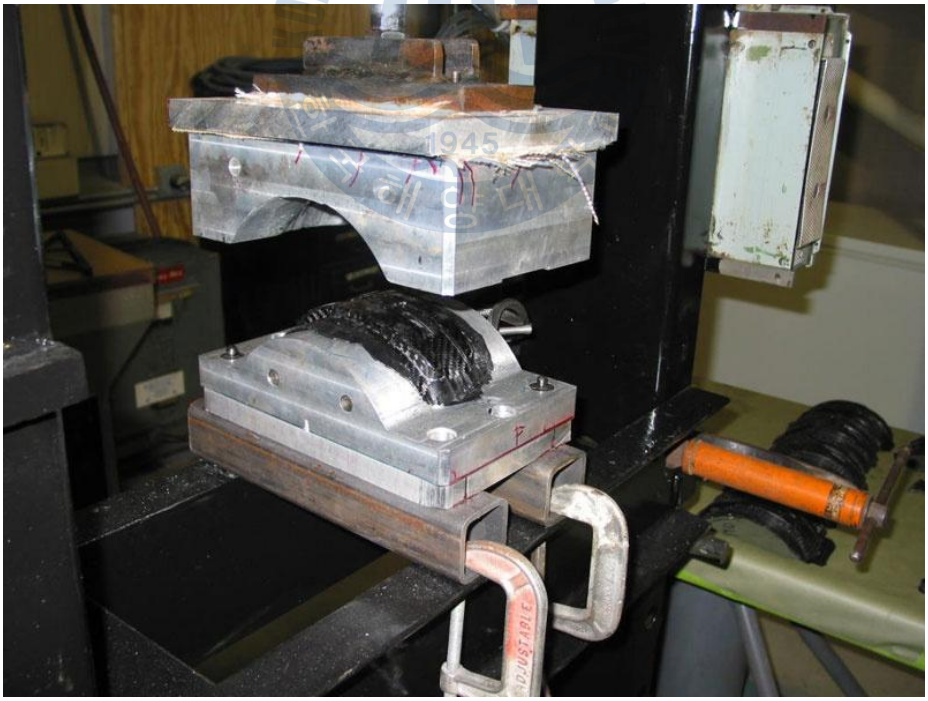
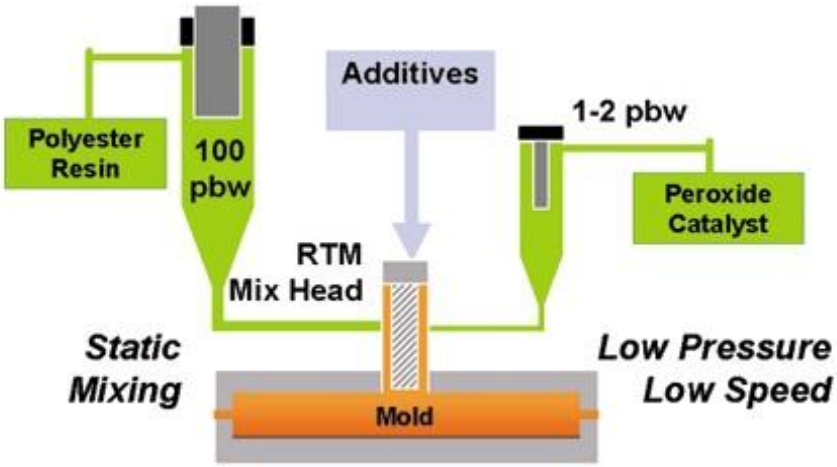


Fig.2.5 SMC Process

2.1.6 RTM(Resin Transfer Molding)

복합재료를 이용한 제품의 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. 그 밖에도 빠른 경화반응 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 성형에 주로 사용되는 반면, 단섬유 뿐만 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. RTM성형법은 다른 공정에 비하여 상대적으로 낮은 압력과 진공에 의하여 성형되므로 양질의 제품생산을 가능하게 할 수 있으며, 약 50% 수준의 비교적 높은 섬유 함유율과 제작시간이 빠른 장점이 있다.



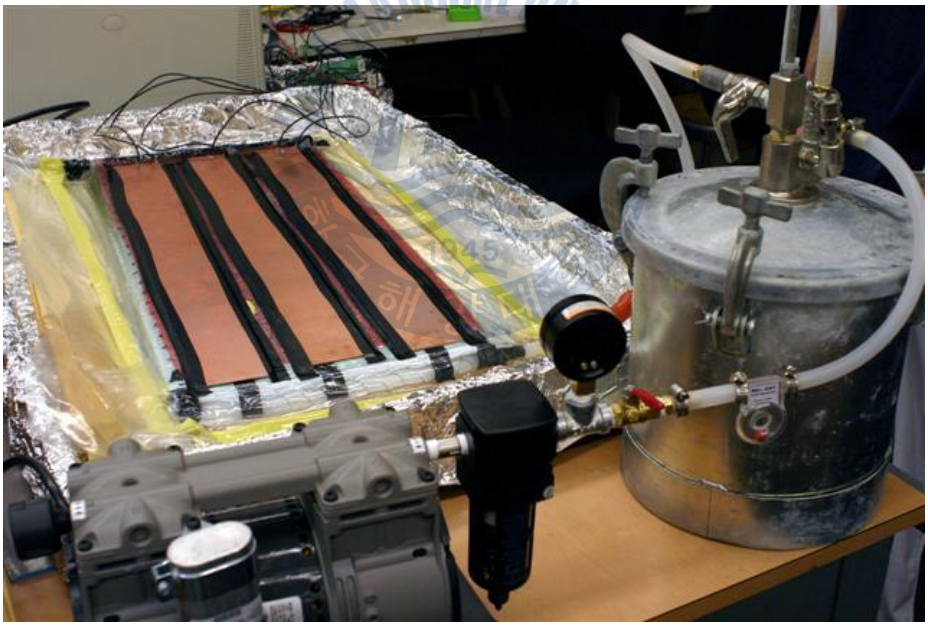


Fig.2.6 RTM Process

2.1.7 VARTM(Vacuum Assisted Resin Transfer Molding)

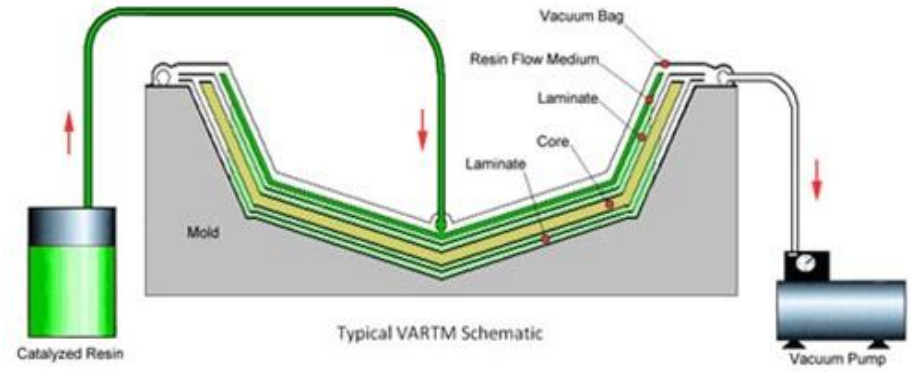
VARTM은 RTM과 비교해서 더욱 대형이며 생산 대수가 적은 성형품에 적합한 공법이다. 그리고 고품질과 높은 섬유함유율(60~70%)을 가지며, 복잡한 형상의 복합재료 구조물의 제작이 가능한 closed mold기술이다. VARTM공법에 의한 대형 복합재료 구조물의 수지 주입이 가능한 것은 주로 구조물의 형상, 사용재료, 주입장치, 주입방법의 요소에 의해 결정 된다.

이 공정에서 프리폼은 한쪽의 몰드와 또 다른 쪽의 진공백 사이에서 성형 된다. 진공은 프리폼과 몰드의 결합을 위하여 적용 되며 두가지 목적을 가진다.

첫 번째 목적은 프리폼을 압축하기 위하여 대기압인 몰드 내부의 압력을 낮추어 몰드 내부에 존재하는 공기와 주입되는 수지에 포함되어 있는 기공을 제거하여 완성된 구조물 내의 결함을 제거하기 위해서이고, 좋은 특성을 가지는 복합재료를 만들기 위해 요구되는 높은 섬유 함유율을 위해서이다.

두 번째 목적은 몰드 내부의 압력이 몰드 외부의 대기압 보다 낮게 되어 몰드에 장착되어 있는 수지 주입부로부터 프리폼을 통하여 열경화성 수지가 원활하게 주입될 수 있도록 하기 위해서이다.

한번 수지가 함침된 프리폼은 최종의 복합재료 부품이 만들어지도록 적절한 경화 온도 사이클 하에서 경화된다. 이 공정에서 몰드로부터 복합재료 제품을 탈형하게 되면 제품이 완성된다.



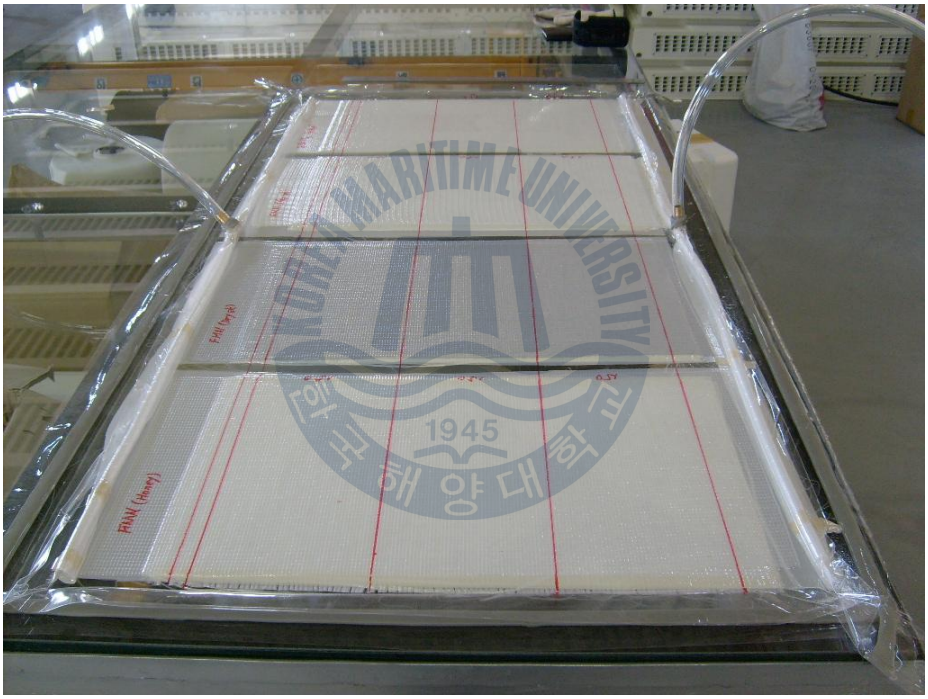


Fig.2.7 VARTM Process

2.1.8 VACUUM BAG PROCESS

진공백(Vacuum bag) 성형은 오토클레이브를 이용하여 복합재료를 제작하는 방법을 말한다.

오토클레이브란 열과 압력을 동시에 가할 수 있는 장비이며, 오토클레이브를 이용한 성형법은 보강섬유와 수지의 혼합물을 진공백(Vacuum bag)으로 밀폐시킨 후 백 내부를 진공상태로 만들고 백 외부로부터 압력을 가하여 요구되는 형상과 성질을 만족하는 제품을 성형하는 방법이다. 프리프레그를 이용하며 곡률이 있는 항공기 부품의 생산에 가장 적합한 방법으로 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.

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

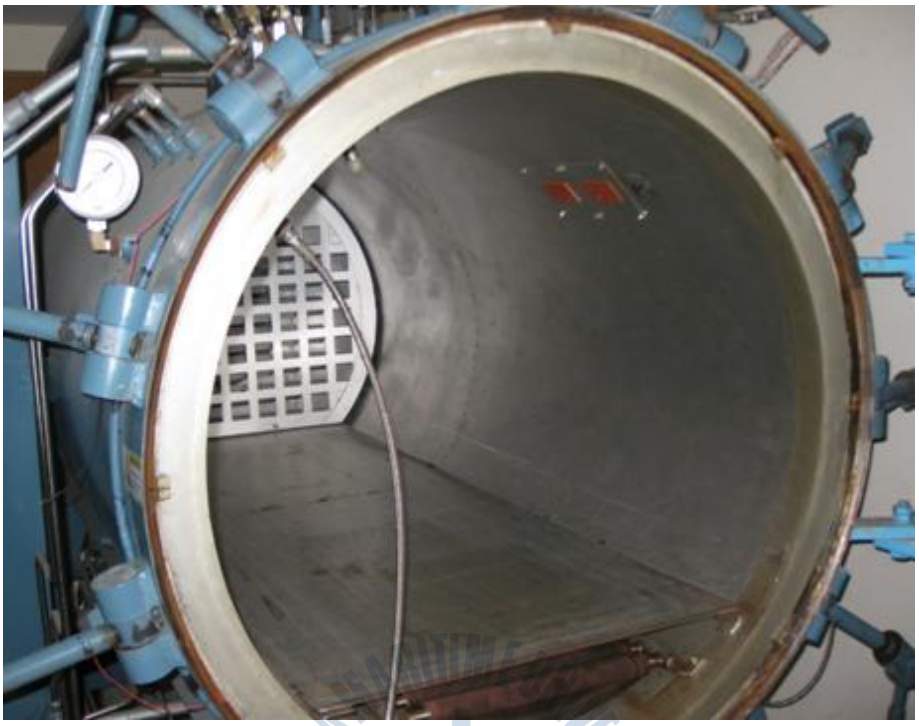


Fig.2.8 Auto Clave

2.2 복합재료의 손상

2.2.1 복합재료의 손상 개요

복합재료는 일반적으로 손상의 정도에 따라 간단한 절차에 의해 교정될 수 있는 무시할 수 있는 손상, 표면, 연결부위, 코어에 대한 손상으로 수리가능 손상, 수리 한계를 초과하는 손상으로 수리 불가능 손상으로 크게 3종류로 나뉘며 일반적인 손상의 종류는 다음과 같다.

2.2.2 손상의 종류

1) 코스매틱 결함(Cosmatic defect)

구조물을 지탱하고 있는 강화 섬유들에 손상을 입히지 않고 표피에만 발생한 결함을 말한다. 이 결함은 취급도중의 Chipping이나 스크래치에 의해서 발생되며 부품의 강도에는 영향을 미치지 않고 외관상의 문제로 수리한다.

2) 충격 손상(Impact damage)

외부 물질에 의해 부딪히거나 충격을 받은 경우 발생하는 손상으로 경미한 것에서부터 수리 불가능한 것까지 다양하다. 가장 일반적인 원인으로 운송, 저장중의 부주의한 취급이나 부품의 모서리 부분을 적당한 보호장치로 보호하지 않고 방치해 두는 경우 발생한다.

3) 박리 손상(Delamination damage)

강화섬유의 층이 서로 분리되거나 샌드위치 구조에서 코어재료가 분리되면서 일어난다. 이는 섬유 내의 수분, 충격 등 여러 가지 원인으로 발생할 수 있다.

박리가 발생되면 종종 다른 종류의 손상도 동반하게 되는데 특히 충격 손상을 동반하며 이는 문제를 더욱 복잡하게 만든다.

4) 균열(Crack)

금속재료의 균열과 마찬가지로 복합재료에서도 균열이 발생

한다. 균열이 최상층의 페인트 혹은 기지 재료층에만 있고 내부 강화 섬유까지는 침투하지 않는 경우와 강화섬유를 지나 내부 코어 재료까지 전파되는 경우도 있다. 내부 크랙의 경우 육안으로 발견하기 힘들다.

5) 홀 손상(Hole damage)

홀 손상은 충격 손상, 조립 작업시 과도한 토크가 부하된 경우 패스너(fastener)가 탈착되어 발생하게 된다. 잘못되거나 부적절한 위치에 만들어진 홀, 불필요한 홀 등은 홀 손상으로 분류된다.

6) 정전기에 의한 손상(Static electricity damage)

샌드위치 구조물의 외부 표면에 형성되는 정전기는 여타의 인접된 전도 물질로의 전기적 이동이 발생하면 구조물 외부표면에 국부 연소작용을 일으켜 미세한 구멍을 만드는 데 이는 수분 흡수 경로로 되어 또 다른 손상의 원인이 된다.

Fig.2.9 Impact Damage

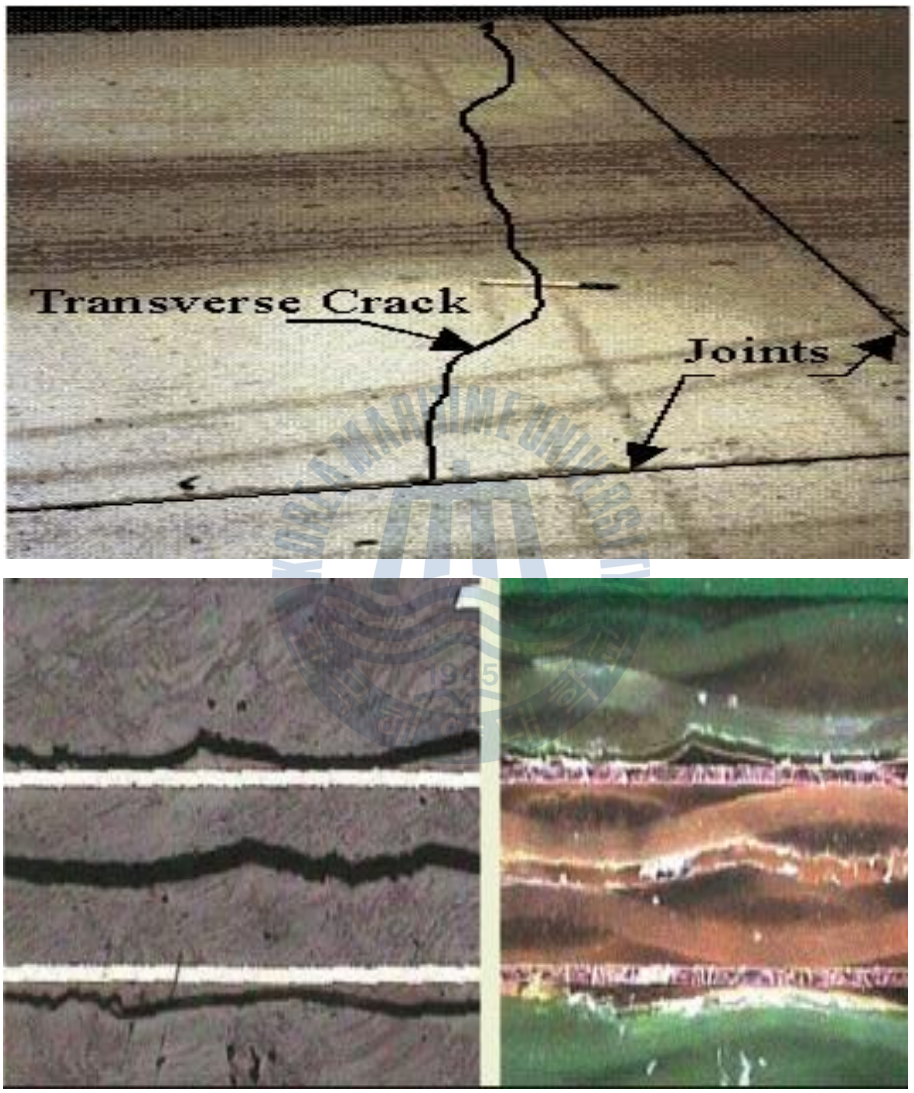


Fig.2.10 Crack and Delamination

2.3 복합재료의 Repair 방법

복합재료는 높은 비강성과 비강도로 인하여 주로 경량화가 필요한 구조물로 사용되기 때문에 하중을 지탱할 수 있는 높은 구조강도를 유지하여야 한다. 따라서 복합재료의 repair는 원래의 강도와 최대한 비슷한 강도까지 회복하게 만드는 것이 중요하다. 대표적인 복합재료의 repair 방법은 아래와 같다.

2.3.1 패치법

패치법(patch)은 손상된 부위를 수직으로 적출하고 원래의 적층과 동일한 패턴으로 보수층(repair pile)을 적층 한 뒤 아래, 위 또는 양면에 추가로 보강적층을 하여 Repair하는 방법이다.

작업이 단순하며 빠른 Repair가 가능하고 특별한 기술을 요구하지 않기 때문에 일반적으로 사용되는 Repair방법이나 모든 레이어(layer)가 동일한 지점에서 끊어진 상태이기 때문에 repair 이후에도 취약부위가 지속적으로 남아있게된다.

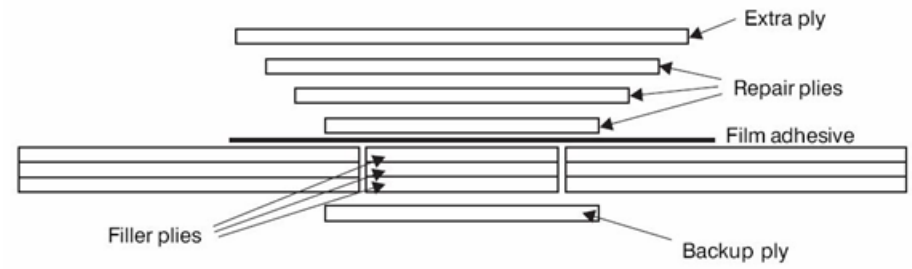


Fig.2.11 Patch Repair Process

2.2.2 스카프법

스카프(scarf)법은 손상된 부위를 적출하고 수직 또는 각진 형태의 적출 부위를 스카프 가공하여 원래의 층과 동일한 패턴으로 Reapir구간을 적층한 뒤 추가로 보강패치를 적층하여 성형하는 방법이다.

적층된 각 레이어가 일정한 거리를 두고 연결되기 때문에 패치법에 비해 높은 연속성을 가지며 이로 인해 강도 회복이 우수하다. 스텝법에 비해 가공이 용이하고 정밀한 가공기술을 요구하지 않는다. 가공 후 평탄한 repair면을 얻을 수 있지만 패치법에 비하여 넓은 면적에 대하여 가공하고 보수부위가 넓어 좁거나 얇은 부분에 적용하기가 어렵다. 스카프 가공으로 비스듬한 면에 보수층이 적층되기 때문에 표면이 매끄럽지 못할 수도 있다.

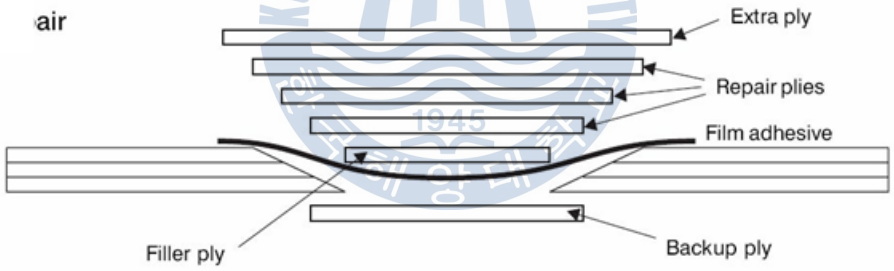


Fig.2.12 Scarf Repair Process

2.2.3 스텝법

스텝법(step)은 스카프 보수법과 비슷하지만 적층된 각 레이어를 계단처럼 단차를 가지도록 가공하여 보강하는 Repair 방법이다.

적층된 각 층이 일정한 거리를 두고 완벽하게 일치하도록 연결되기 때문에 패치 수정법에 비해 연속성이 월등히 높으며 강도회복이 가장 우수하다. 구조물과 보강층이 완벽히 일치하기 때문에 표면이 가장 우수한 상태를 유지할 수 있다. 그러나 패치법에 비하여 넓은 면적에 대하여 가공하기 때문에 repair 부위가 넓어서 좁은 부위에는 적용하기 어렵고 적층된 모든 층에 대하여 가공을 하기 때문에 많은 시간과 정밀한 가공기술을 필요로 한다.

Fig.2.13 Stepped Repair Process

제3장 재료 및 실험방법

3.1 실험재료

복합재료의 repair시 기계적 강도를 측정하기 위하여 본 실험은 프리프레그(prepreg)에 오토클레이브를 이용한 진공 백 성형(Vacuum Bag process)을 이용하였다.

프리프레그는 동우 인터내셔널 Black resin glass prepreg를 사용하였으며 오토클레이브는 ASC 사의 장비를 사용했다.

프리프레그 접착제로는 Adhesive Technologies 사의 ADR240/ADH341을 사용하였다.

Table 1 Mechanical Properties of the Adhesive

Resin	Density (g/cm^3)	Tensile Strength (MPa)	Elastic Modulus (GPa)	Elongation at Break (%)
ADR240	1.1	83	3.6	9

Table 2 Specification of the Auto clave

VOLT	220V/3상	INSIDE FAN	1HP x 180 A1
TANK SIZE	1250 x 1820	VACUUM BOX	1HP x 300ℓ/min
PRESSURE	6 kg/cm^3	INSULATION	300℃ glasswool 100t
TEST PRESSURE	10 kg/cm^3	CONTROL BOX	550W x 1500H x 320B
TEMPERATURE	300℃	HEATER CAPACITY	36kW

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

3.2 시편제작

Repair시 Extra Structural Ply(이하 ESP라 한다)의 적층방법을 3가지로 적용하였다.

1) Patch 적층

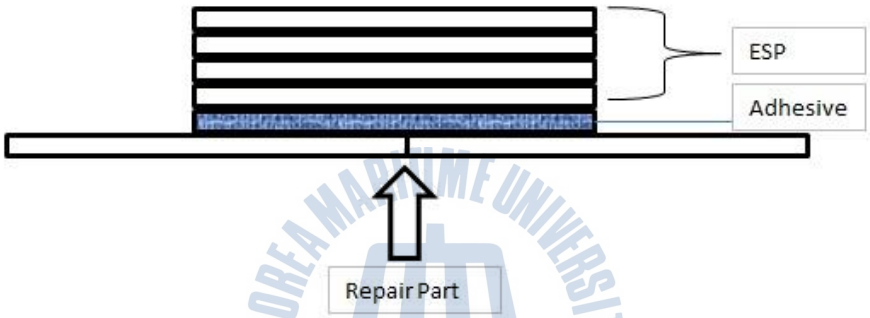


Fig.3.1 Patch Stacking Process

2) Stepped 적층

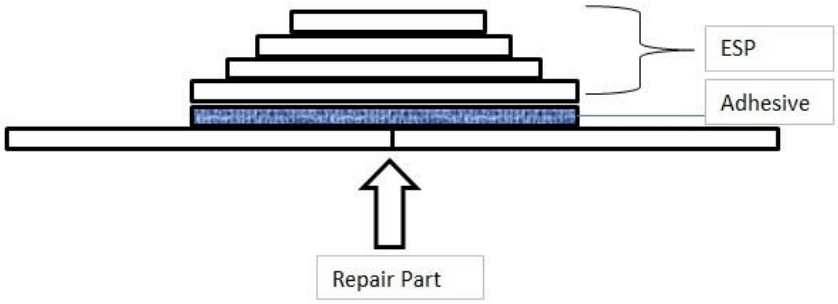


Fig.3.2 Stepped Stacking Process

3) Overlap 적층

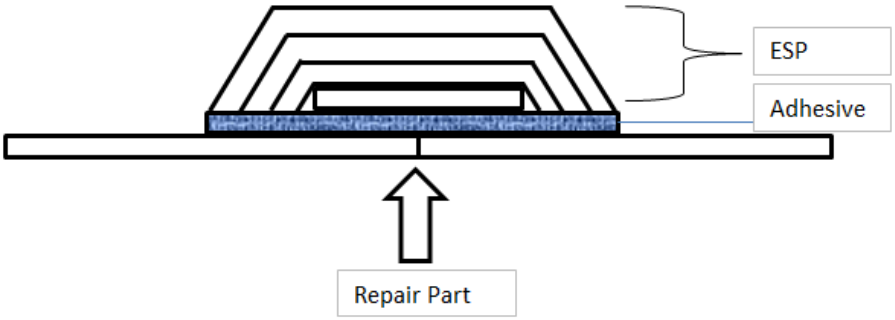
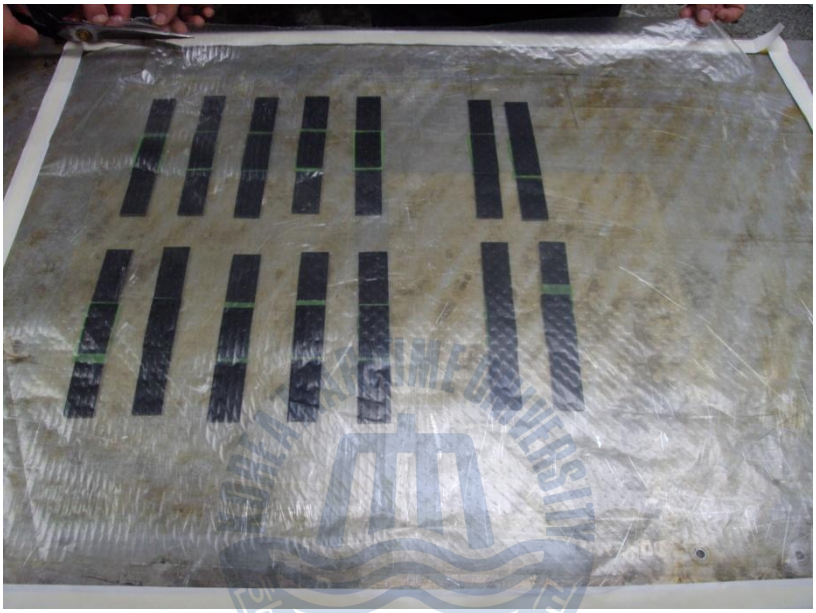


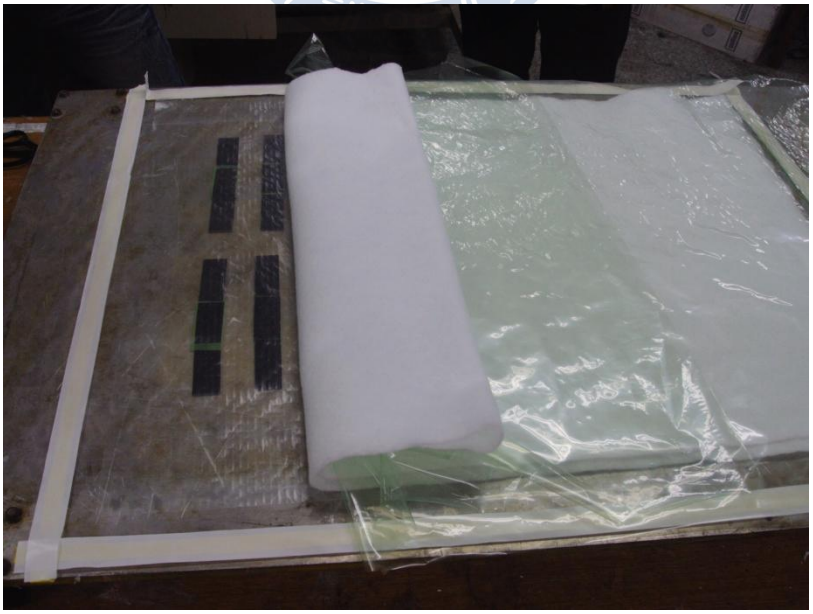
Fig.3.3 Overlap Stacking Process

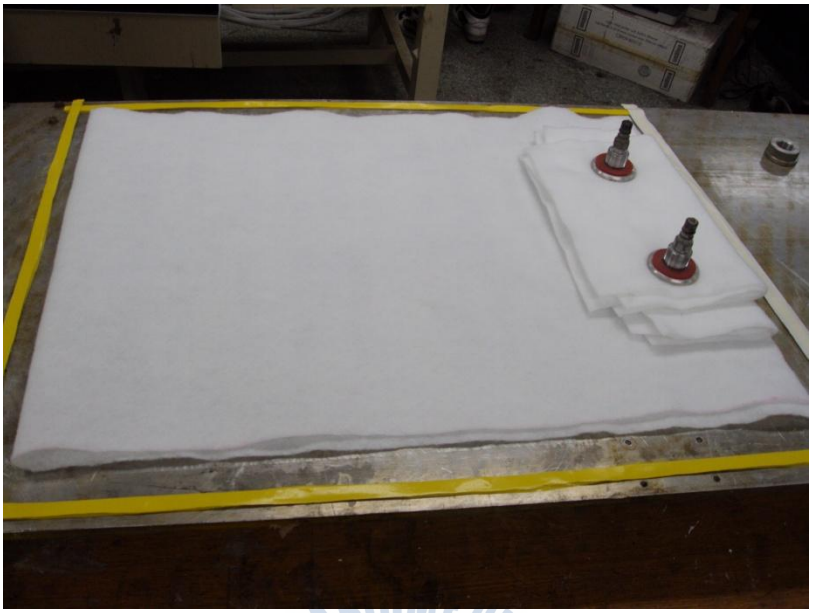
각각의 적층 방법에 대하여 7개의 시편을 제작하여 ASTM D 3039 인장시험 방법으로 Tensile strength를 측정하였다.

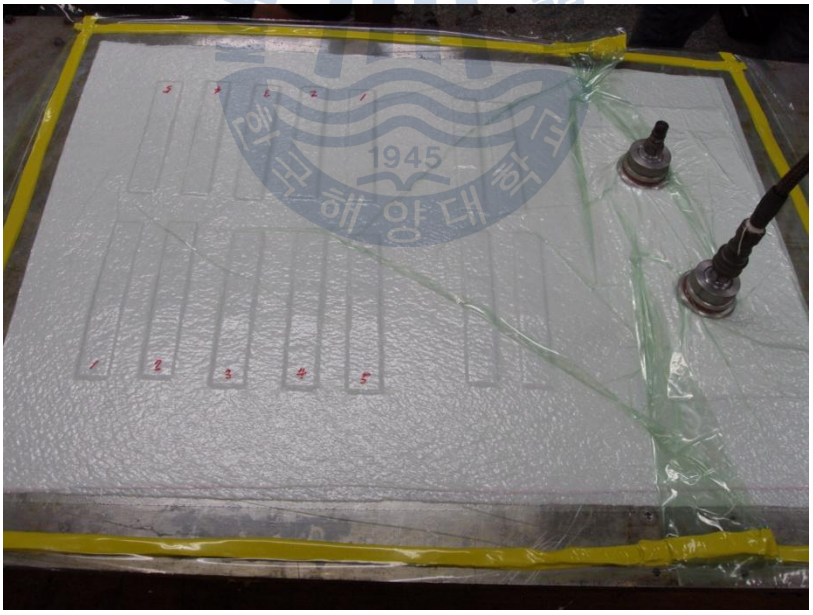
3.3 시편준비

시편은 ASTM D 3039 / D 3039M의 조건에 따라 제작하였으며 1차로 오토클레이브에서 성형된 시편의 중심을 절단 한 다음 adhesive로 repair부분을 고정 및 접착시킨 다음 다시 오토클레이브에서 3시간 동안 가압 하였다.

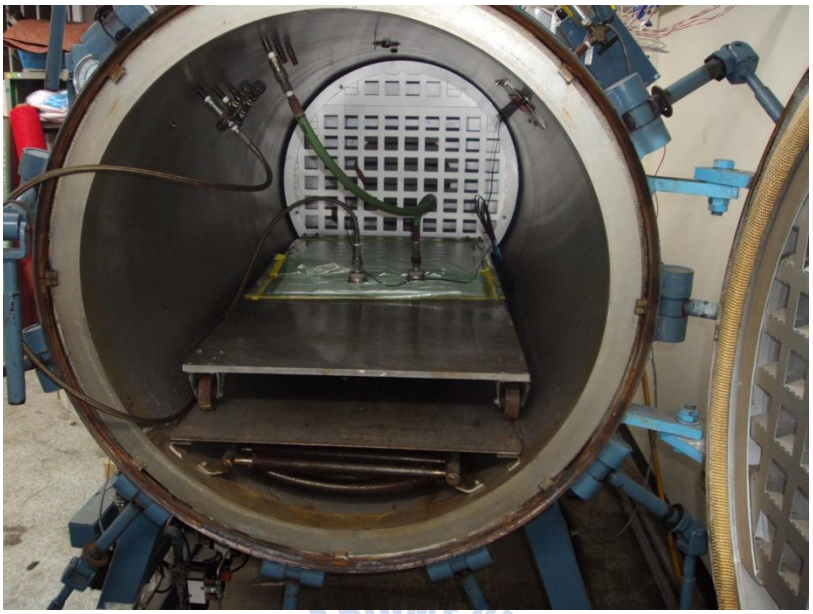








1945 한국해양대학교



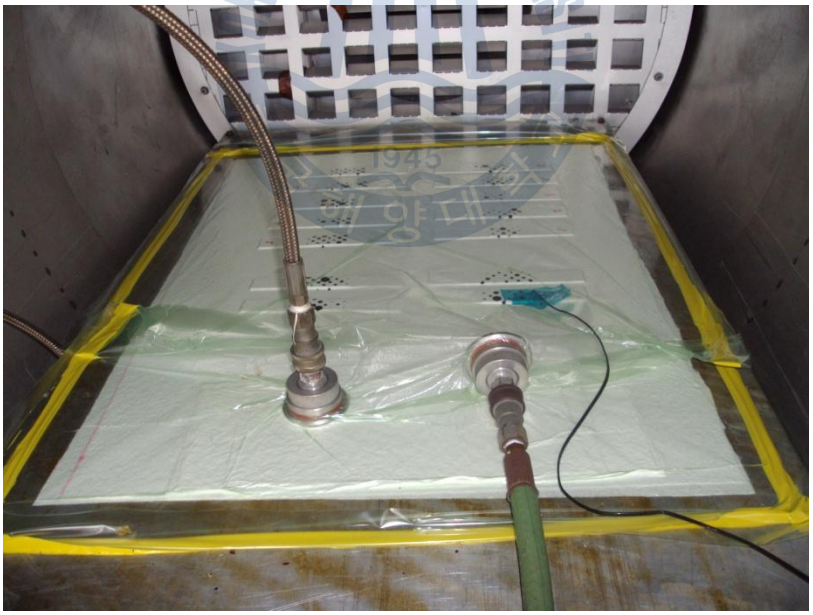


Fig.3.4 Specimen Configuration

DRAWING NOTES:

1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
2. ALL DIMENSIONS IN INCHES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:

.X	.XX	.XXX
±.1	±.03	±.01

3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ±.5°.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO -A- WITHIN ±.5°.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 64√ (SYMBOLOGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROINCHES.)
5. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO -A-, OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
6. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

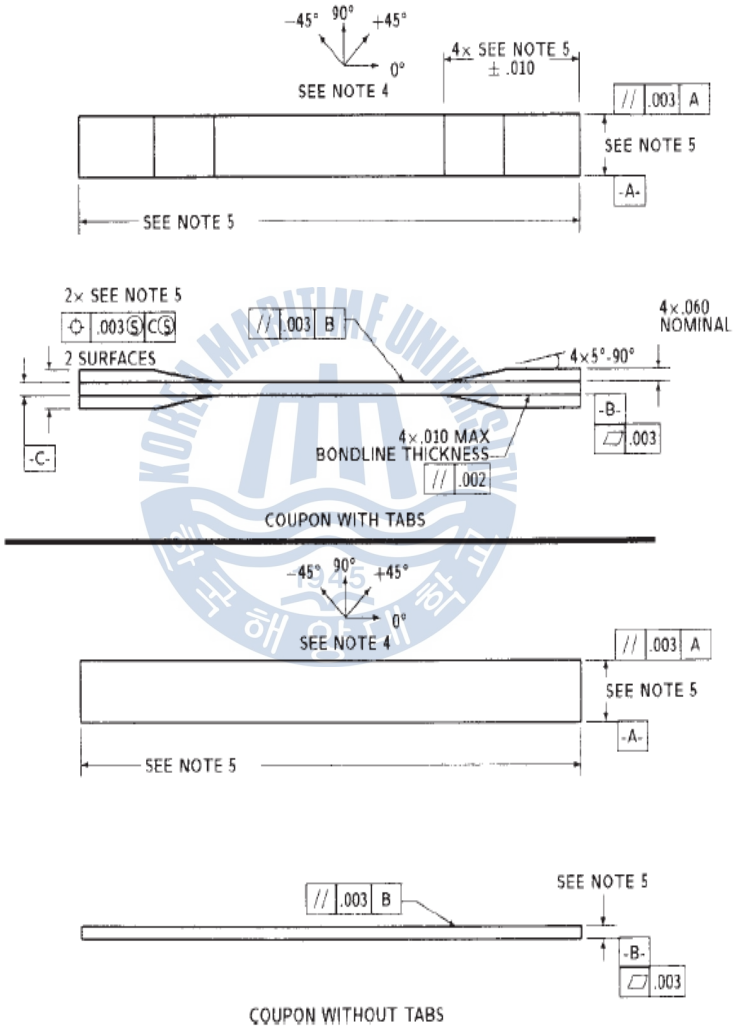


Fig.3.5 Tensile Specimen Drawing(ASTM D 3039)

Table 3 Tensile Specimen Geometry Requirement(ASTM D 3039)

Tensile Specimen Geometry Requirements

Parameter	Requirement
Coupon Requirements:	
shape	constant rectangular cross-section
minimum length	gripping + 2 times width + gage length
specimen width	as needed[A]
specimen width tolerance	±1 % of width
specimen thickness	as needed
specimen thickness tolerance	±4 % of thickness
specimen flatness	flat with light finger pressure
Tab Requirements (if used):	
tab material	as needed
fiber orientation (composite tabs)	as needed
tab thickness	as needed
tab thickness variation between tabs	±1 % tab thickness
tab bevel angle	5 to 90°, inclusive
tab step at bevel to specimen	feathered without damaging specimen

Table 4 Tensile Specimen Geometry Recommendation(ASTM D 3039)

Tensile Specimen Geometry Recommendations[A]

Fiber Orientation	Width, mm [in.]	Overall Length, mm [in.]	Thickness, mm [in.]	Tab Length, mm [in.]	Tab Thickness, mm [in.]	Tab Bevel Angle,°
0° unidirectional	15 [0.5]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	56 [2.25]	1.5 [0.062]	7 or 90
90° unidirectional	25 [1.0]	175 [7.0]	2.0 [0.080]	25 [1.0]	1.5 [0.062]	90
balanced and symmetric	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—
random-discontinuous	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—

3.4 실험방법

복합재료 repair시 복합재료의 기계적 특성을 평가하기 위하여 인장시험을 하였다. 시험은 ASTM D 3039 / D 3039M의 조건에 따라 수행하였다. Repair시 적층 방법에 따라 시험별로 7개씩의 시편을 제작하였고 측정된 결과값의 최고와 최저치를 제외한 나머지 5개 시편에 대한 결과값의 평균치를 취하였다. 시험에 사용된 장비는 Kyung-Do 사의 Universal Test Machine (모델명: KDMT - 156)을 사용하였고, Cross head speed는 관련 규격에 따라 인장시험은 2mm/min로 설정하였다.

Fig.3.6 KDMT - 156

제4장 실험 결과 및 고찰

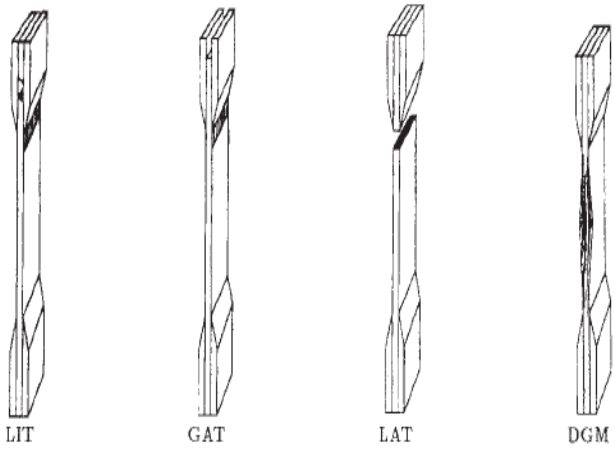
4.1 Tensile strength 결과

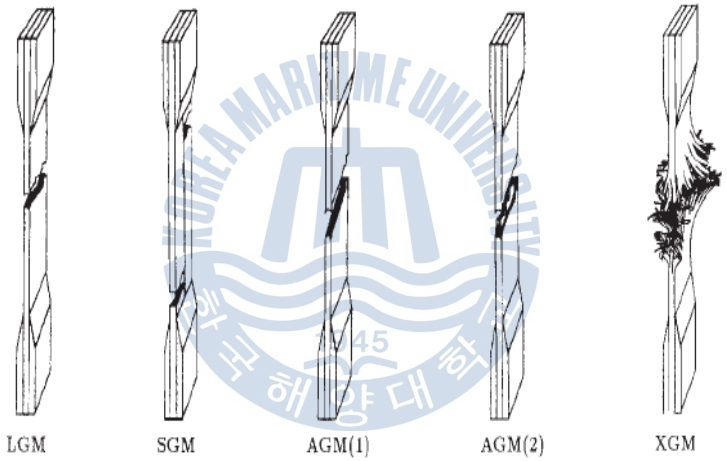
각기 다른 3가지의 방법의 Repair 에 따라 인장시험편을 제작하여 인장시험을 실시한 결과 Tensile Strength를 분석해 보면 Overlap 적층 시 다른 실험 방법들 보다 결과값이 우수한 것을 알 수 있었다. 이는 overlap 적층법이 하중 분산이 잘 되기 때문에 Repair 후의 인장강도에서도 차이가 나는 것으로 사료된다.

Stepped 적층법은 Patch 적층법과 Overlap 적층법과 접착면적은 같으나 상부 적층 ply 면적이 작아지면서 인장하중을 첫 번째 Ply에서 대부분 받으면서 가장 쉽게 파괴가 발생하였다. 이런 부분에서 Stepped 적층법이 Patch 적층법보다도 인장강도가 낮게 나온 것으로 판단된다.

이런 결과는 접촉 면적의 넓이가 동일할 때 적층부에서의 하중 분산이 Repair 성능에 차이를 나타냄을 알 수 있다.

Fig.4.1 Tensile Strength Test





First Character

Failure Type	Code
Angled	A
edge Delamination	D
Grip/tab	G
Lateral	L
Multi-mode	M(xyz)
long. Splitting	S
eXplosive	X
Other	O

Second Character

Failure Area	Code
Inside grip/tab	I
At grip/tab	A
<1W from grip/tab	W
Gage	G
Multiple areas	M
Various	V
Unknown	U

Third Character

Failure Location	Code
Bottom	B
Top	T
Left	L
Right	R
Middle	M
Various	V
Unknown	U

Fig.4.2 Tensile Specimen Geometry Recommendation(ASTM D 3039)

인장 시험을 통하여 Tensile strength 를 구하였으며 각 시편의 편차는 157 MPa에서 186 MPa까지 나타났다. 복합재료의 파단은 금속의 인장 파단에서 나타나는 네킹(necking) 현상과는 달리 복합재료의 특징인 이방성에 의한 양상을 뚜렷하게 나타내고 있다. 기준 시편으로 사용한 Reference 시편의 인장강도를 ASTM 3039 시험방법으로 측정하였다. Fig.4.3 는 이 값들의 결과값이다.

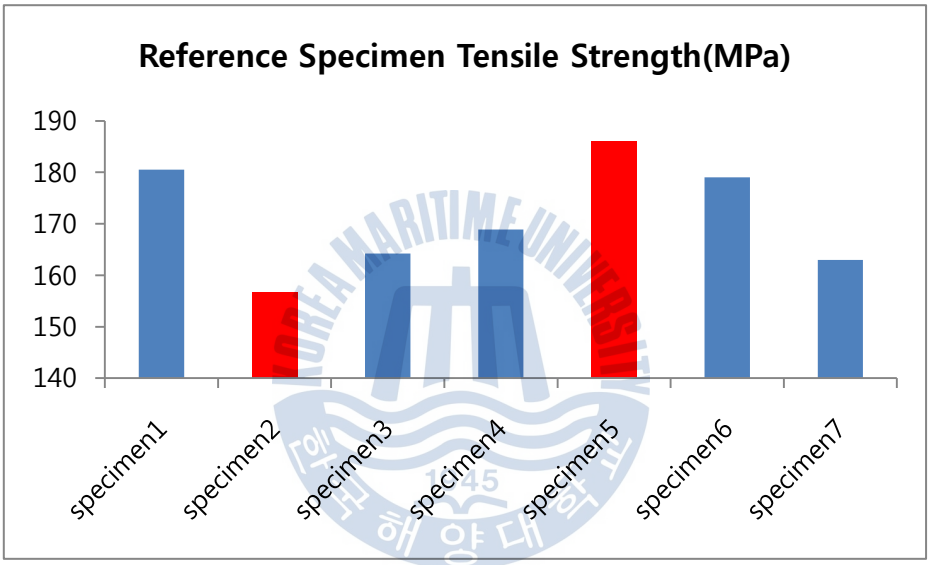


Fig.4.3 Reference Specimen Result

1) Patch 법

Fig.4.4 에는 Patch법 시험편의 Tensile Strength 값을 나타내었다. 시험방법은 Reference 시험편과 동일하고 인장 강도 회복률은 약 56% 를 보였다.

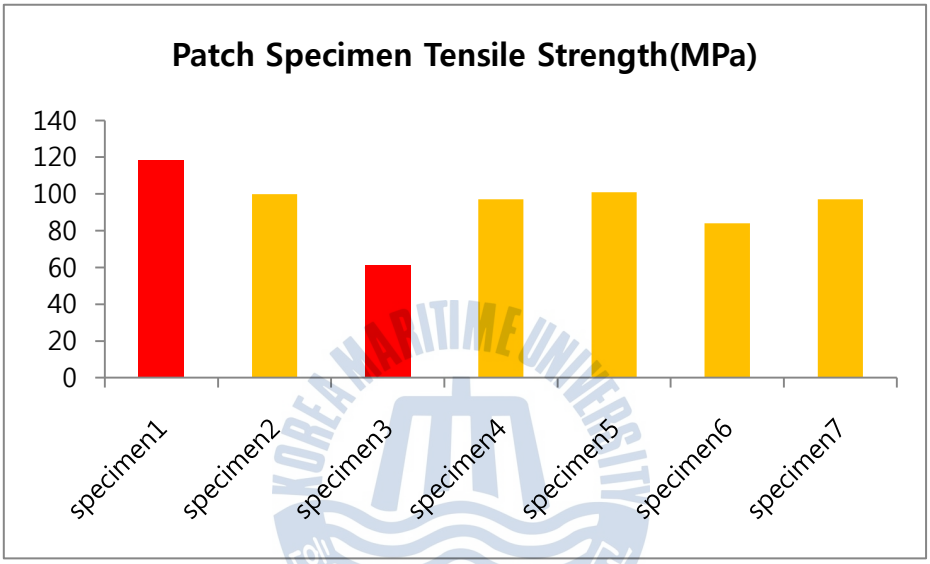


Fig.4.4 Patch Specimen Result

2) Stepped 법

Fig.4.5 에는 Stepped법 시험편의 Tensile Strength 값을 나타내었다. 시험 방법은 동일하고 인장강도 회복률은 약 35%를 보였다.

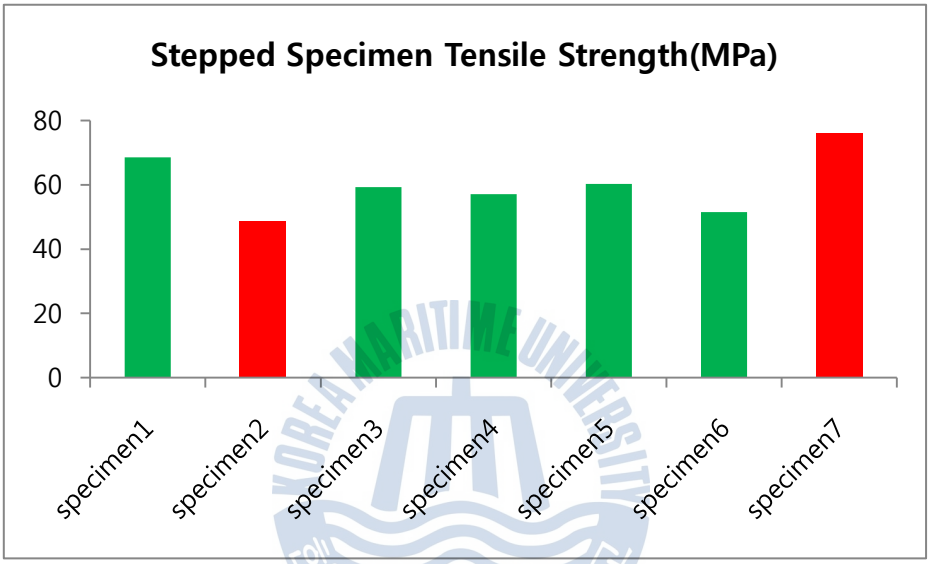


Fig.4.5 Stepped Specimen Result

3) Overlap 법

Fig.4.6 에는 Overlap 법 시험편의 Tensile Strength 값을 나타내었다. 인장강도 회복률은 약 72% 를 보였다.

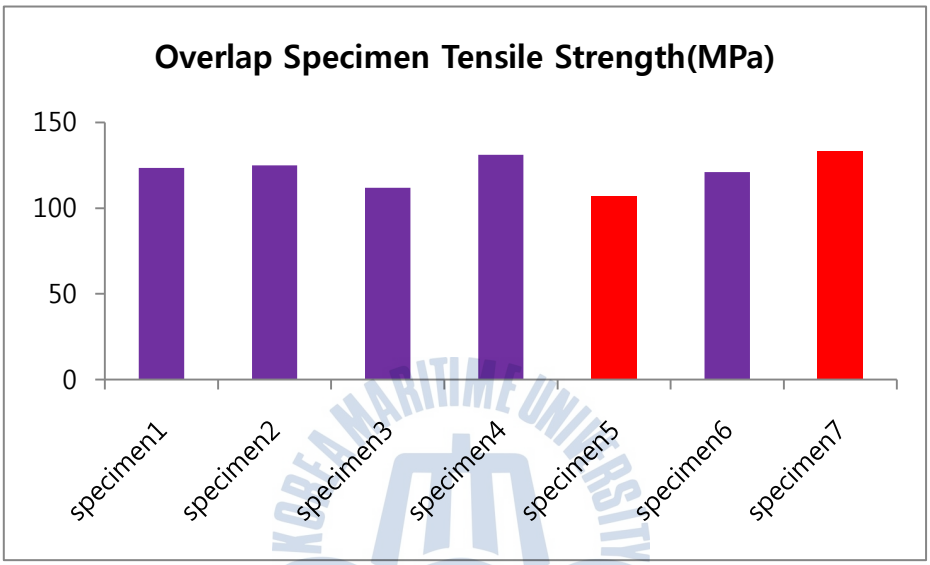


Fig.4.6 Overlap Specimen Result

Fig 4.7에서는 각 시편들의 최대값과 최소값을 제외한 시편들의 평균값을 나타내었다. 인장 강도 회복률이 가장 높은 시편은 Overlap 법으로 Stepped 법으로 Repair를 한 시편보다 2배 이상의 인장강도 회복률을 보였다. 이는 각 Repair 방법이 접촉면적은 같으나 Extra structural ply의 적층 방법에 따라 Tensile strength의 회복이 다름을 알 수 있었다.

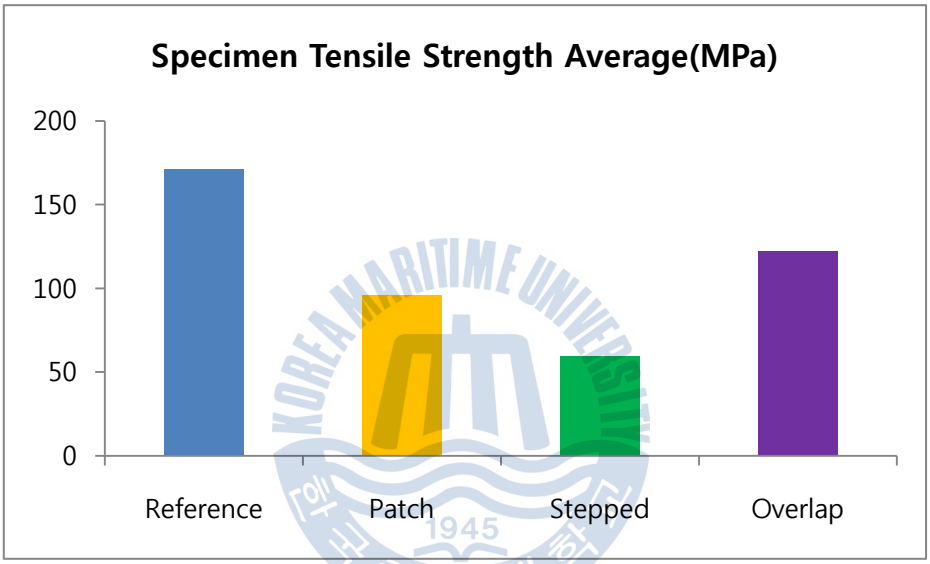


Fig.4.7 Specimen Tensile Strength Average

4.2 Flexural strength 결과

오토클레이브에 의해 제작된 시편에 대한 3점 굽힘 시험에 의해 측정된 flexural strength는 아래 Fig.4.10~13과 같다. Reference 시편의 경우 파단되지 않고 박리현상이 일어나면서 구부려진 상태에서 멈추었으나 Repair 한 후 시편들은 절단면에서 그대로 접합면이 파단되는 현상을 보였다.

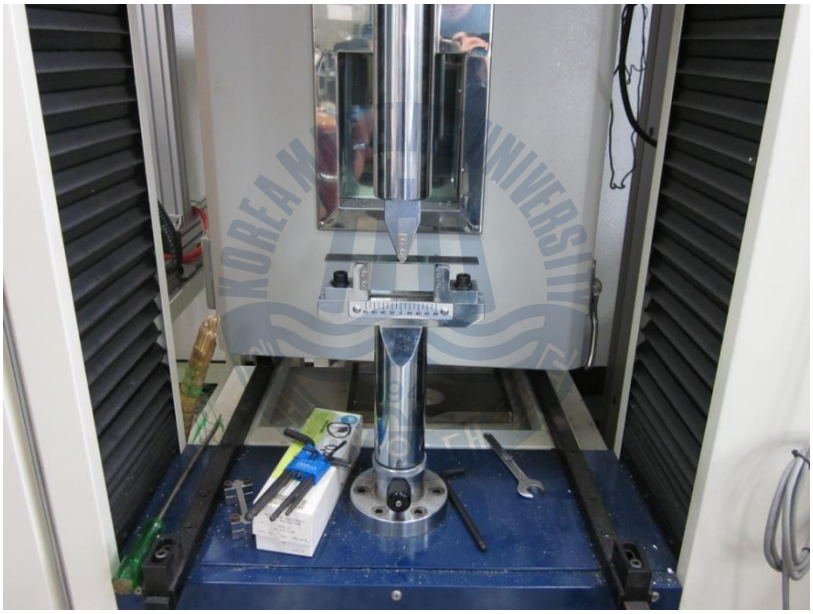


Fig.4.8 Flexural Strength Test

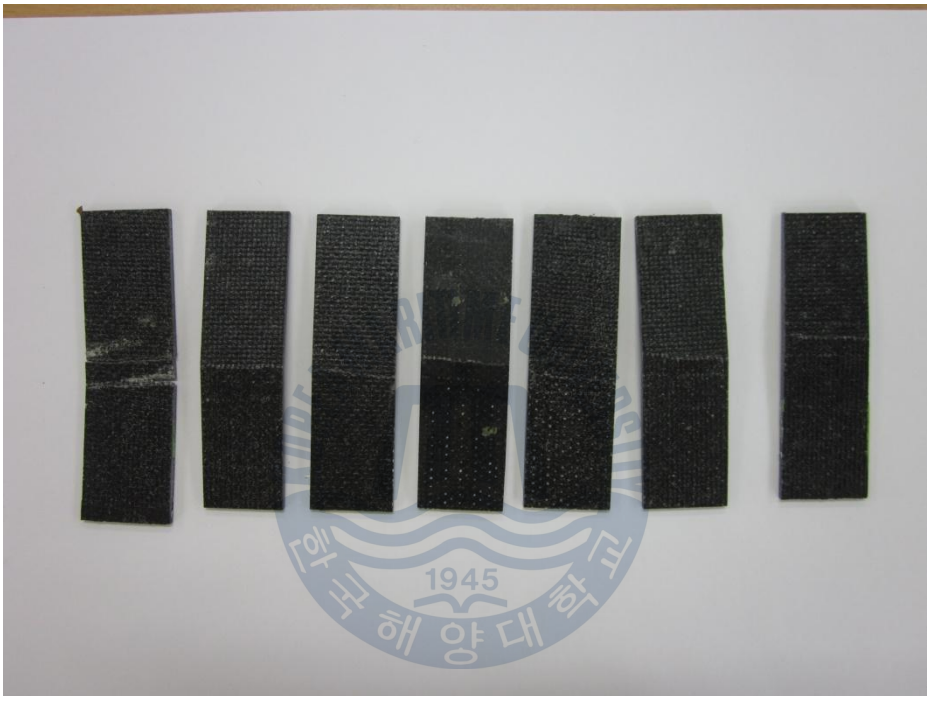


Fig.4.9 Flexural Strength Specimen

인장 시험을 통하여 Flexural strength 를 구하였으며 각 시편의 편차는 1306 MPa에서 2508 MPa까지 나타났다. Fig.4.10는 이 값들의 결과값이다.

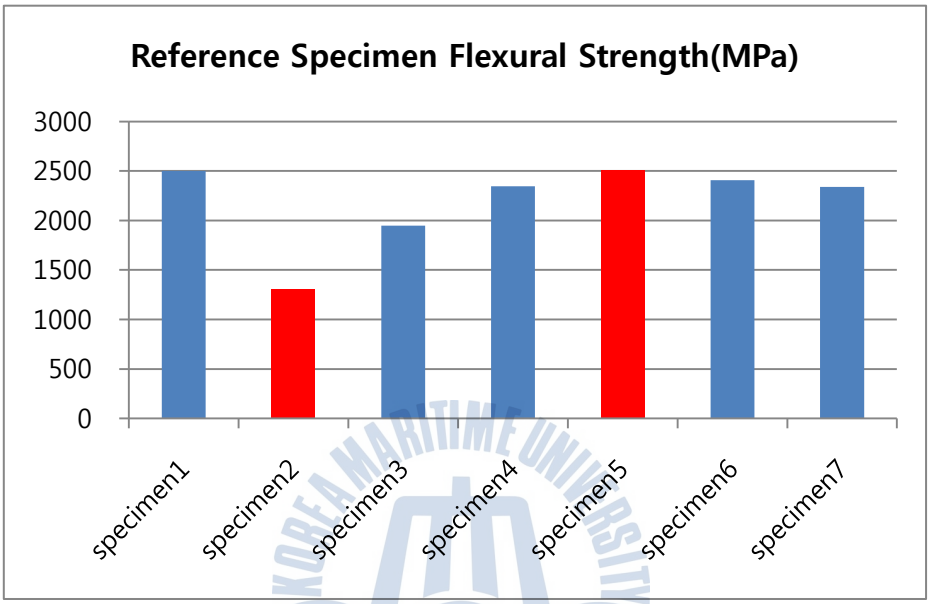


Fig.4.10 Reference Specimen Flexural Strength

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

1) Patch 법

Fig.4.10 에는 Patch법 시험편의 Flexural Strength 값을 나타내었다. 시험방법은 Reference 시험편과 동일하고 강도 회복률은 약 14% 를 보였다.

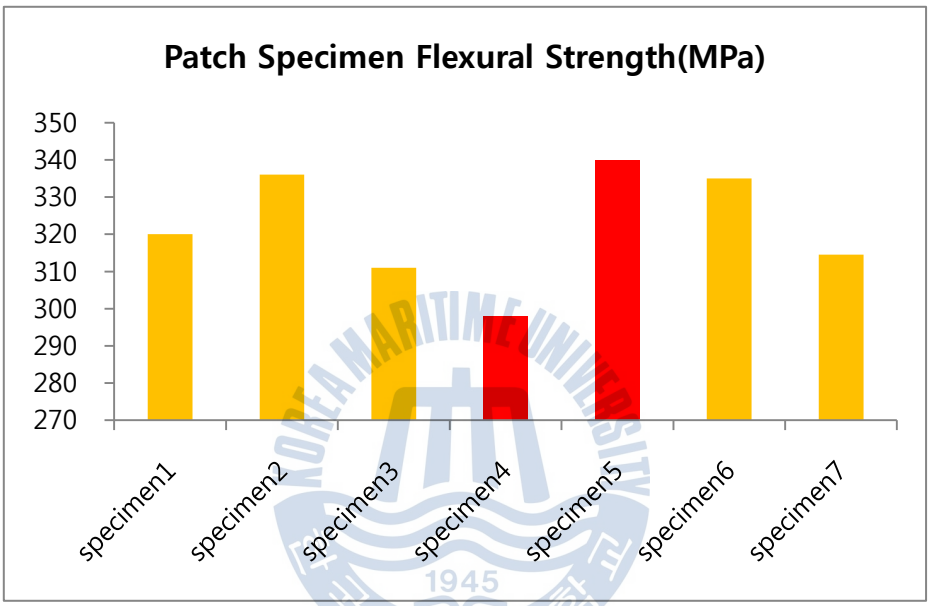


Fig.4.10 Patch Specimen Flexural Strength

2) Stepped 법

Fig.4.11 에는 Stepped법 시험편의 Flexural Strength 값을 나타내었다. 시험 방법은 동일하고 인장강도 회복률은 약 12%를 보였다.

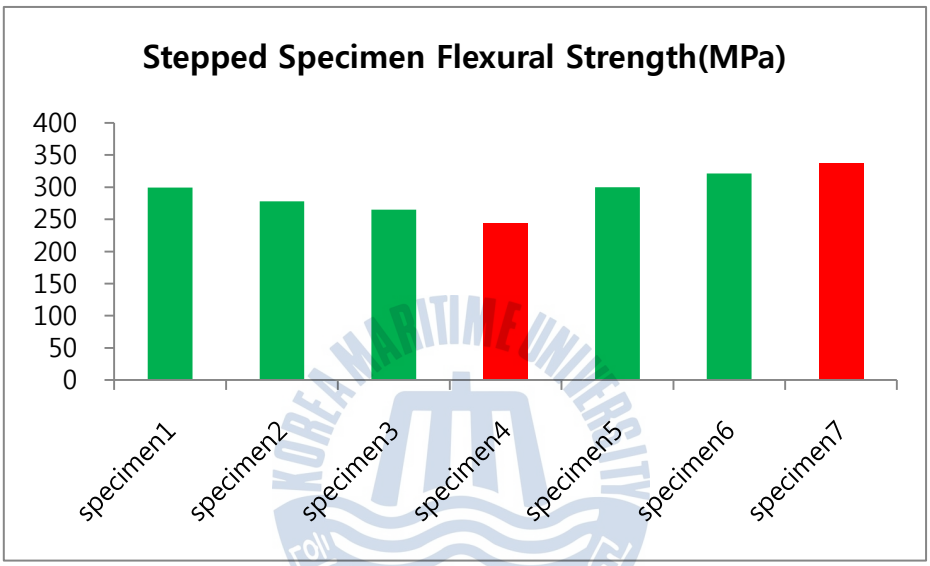


Fig.4.11 Stepped Specimen Flexural Strength

3) Overlap 법

Fig.4.12 에는 Overlap 법 시험편의 Tensile Strength 값을 나타내었다. 인장강도 회복률은 약 16% 를 보였다.

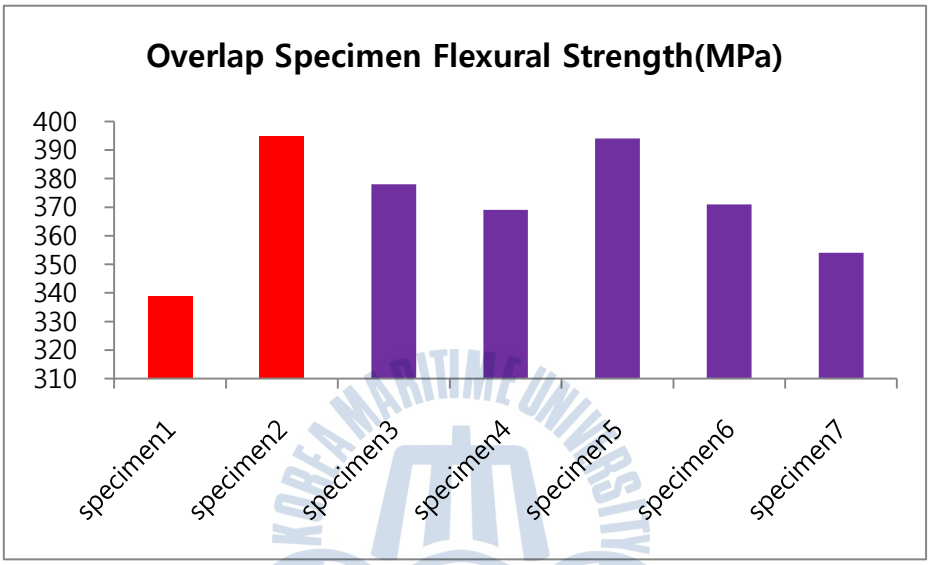


Fig.4.12 Overlap Specimen Flexural Strength

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학

Fig 4.13에서는 각 시편들의 최대값과 최소값을 제외한 시편들의 평균값을 나타내었다. Flexural strength 회복률이 가장 높은 시편은 Overlap 법이나 Stepped 법과 Patch 법과 큰 차이가 없는 회복률을 보였다. 이는 각 Repair된 시편의 경우 Flexural strength는 회복이 낮음을 알 수 있다.

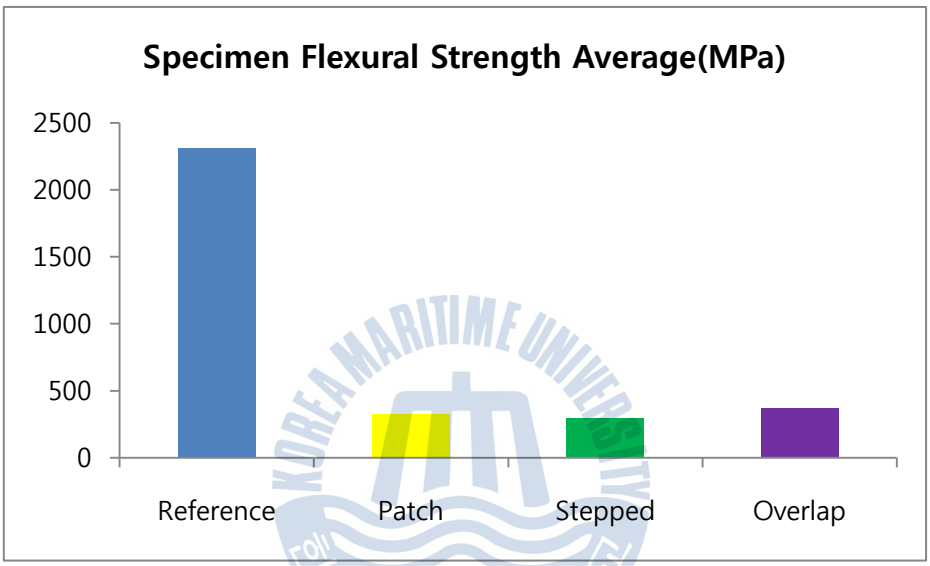


Fig.4.13 Specimen Flexural Strength Average

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

4.3 파단면 미세구조

파단 된 인장시편의 미세구조를 Fig. 25에서 보여주고 있다. 섬유와 아주 밀집되어 있으며 수지와 섬유간의 결합이 조밀하게 되어 있음을 보인다. 파단부에서는 섬유와 수지간에 결합이 떨어져 박리 현상이 생김을 보여준다.

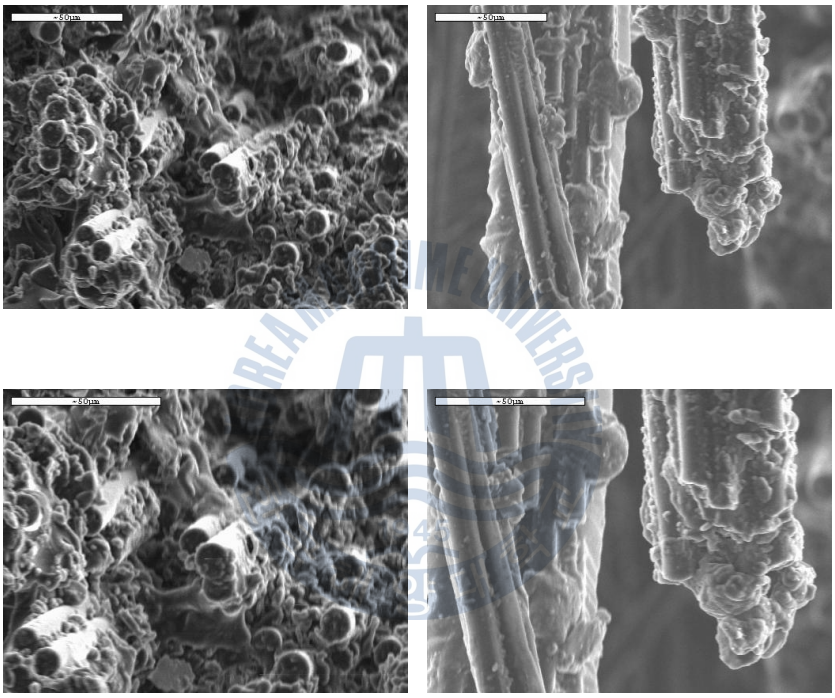


Fig.4.14 Micrographs of Specimens(X 750, X 1000)

제 5 장 결론

본 연구에서는 복합재료 Repair시 Extra structural ply의 적층 방법에 따른 인장강도 및 굽힘강도 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 본 연구에서는 접촉 면적이 동일하지만 repair 적층방법이 다른 3가지의 시편을 Prepreg 와 오토클레이브를 이용하여 제작하였고 ASTM D 3039의 실험방법으로 인장 실험과 굽힘 실험을 실시하여 비교하였다.

(2) Patch 적층법과 Stepped 적층법으로 Repair 시 접착면에 대하여 보았을 때 접착면은 유사한 조건이며 Patch 적층이 Stepped 적층보다 적층면이 더욱 두껍게 보강되어 높은 인장강도를 보임을 알 수 있었다.

(3) Overlap 적층은 단계별로 하중이 분산되어 가장 높은 인장강도회복을 보였다. Repair시 Extra structural ply는 Overlap 적층법을 사용하여 실시하는 것이 가장 우수한 강도회복을 나타냄을 확인할 수 있었다.

(4) 그러나 Flexural strength의 경우에는 Reference 시편의 경우에는 박리현상에 의한 변형이 발생하고 Repair시편들의 경우 절단면의 파단이 발생하여 정확한 비교가 되지 않았다. 복합재료의 Repair 후에는 굽힘 강도에 대한 회복은 크게 나타나지 않음을 알 수 있었다.

참고문헌

(1) 엄수현, VaRTM에 의해 製作된 하니컴 샌드위치 構造物의 機械的 特性 評價, 석사학위 논문

(2) Marissen, R. and Vogelsang, L.B., 1981, “Development of a New Hybrid Materials: ARALL”, the International SAMPE Meeting, C8

(3) 김윤해, 한중원 공저, 복합재료학, 효성출판사

(4) 양영호, 홍석렬 공저, 최신기계재료, 선학출판사 (5) Engineered Materials Handbook, Composite, ASM International Vol.1

(5) 전의진, 이우일, 윤관준, 김태욱 공저, 최신 복합재료, ㈜교학사

(6) C.D Rudd, University of Nottingham, “Resin Transfer Molding and Structural Reaction Injection Molding” ASM handbook Vol.21 Composites,

(7) 정연운, 라미네이트와 하니콤 샌드위치 구조물의 강도 특성에 미치는 Thermal aging의 영향, 석사학위 논문

(8) 김정석, 복합재 철도차량 차체의 유지보수기법, 한국복합재료학회지, 제 17권 제 6호, 한국복합재료학회

(9) 이대길, 신소재의 Reliable joining 및 Repair기술, 기계저널, 제 44권 제6호, 대한기계학회

(10) 김위대, 김종진, 복합재 패치를 이용한 노후항공기의 중앙균열 보수에 관한 연구, 한국항공우주학회지, 제 27권 제8호, 한국항공우주학회

(11) 조영대, 복합재료 보수 시 접착면적과 스카프 앵글에 따른 강도회복에 대한 연구, 박사학위 논문

(12) Alex B. Harman, Chun H. Wang. “Improved design methods for scarf repairs to highly strained composite aircraft structure; Composite structures, Vol. 75, Elsvier

(13) Baker A.A, “Composite materials for aircraft structures”, American institute of aeronautics

(14) Gary Savage, Mark Oxley, “Repair of composite structures on formula 1 race cars”, Engineering failure analysis, Vol. 17
(15) 김정식, 패치 보수된 샌드위치 복합재 적층판의 압축시 강도회복 평가, 한국철도학회 논문집, 제 12권 제 1호
(16) T.B. Breitzman, E. V. Iarve, B.M.Cook, G.A.Schoeppner,R.P.Lipton, “Optimization of a composite scarf repair patch under tensile loading”, Composites Part A, Elsevier
(17) Hart-Smith L.J, “ Adhesive-bonded scarf and stepped-lap joints”, NASA CR-112237
(18) ASTM D 3039, “Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials”.

KOREA MARITIME UNIVERSITY
1945
한국해양대학교

감사의 글

먼저 회사 생활에 바쁘다는 핑계로 너무나도 부족한 저를 배려와 지도를 해 주신 김윤해 지도교수님께 머리 숙여 깊은 감사를 드립니다. 언제나 저에게 아낌없는 쓴 소리와 조언을 해주시는 영대형도 감사드립니다. 이제 장가가시길 바랍니다. 그리고 복합재료 실험실 동훈이, 성원이, 매주 늦은 시간에 학교에 와서 도와 달라는 부탁에 군말 없이 많은 도움을 준 석진이 외 실험실 식구들 에게도 감사 드립니다.

STX중공업 선재품질보증팀 주광돈 팀장님 이하 팀원 여러분 지난 2년간의 배려에 감사 드립니다.

마지막으로 본의 아니게 늘 주말에 혼자서 나를 기다려준 영원한 나의 편 아내 고현영씨와 아들 연채 감사하고 사랑합니다.