

적층 방향에 따른 F.R.P 구조강도특성에 관한 연구

고재용* · 배동균** · 윤순동***

* 목포해양대학교 해양시스템공학부, ** 목포해양대학교 대학원

*** 목포해양대학교 해양시스템공학부

A Study of Property F.R.P Structure Strength According to the Direction of Lay-up in the Small Ship

Jae-Yong Ko* · Dong-Gyun Bae** · Soon-Dong Yoon***

* Mokpo Maritime University, Faculty of Ocean System Engineering

** Graduate school of Mokpo Maritime University

*** Mokpo Maritime University, Faculty of Ocean System Engineering

Abstract : FRP(Fiber glass reinforced plastics) is compound with materials, which are created to combine each other materials, of which nature of mechanical and chemical are different. Even though the weight and the thickness are identic, its physical figure of characteristic changes with consisting of lay-up and work situation. It is also a method of creating after manufacturing of mould. It has feature that manufacturing of FRP runs parallel design of material with design of structure simultaneously. The rule of FRP structure is distinguished from the length of a ship and it is hard to catch the feature of structure mechanics due to identical formula and figure used for it regardless of the shape of a ship or the speed.

This studying, basing on a small FRP ship, will show the fundamental data needed to design of structure analysing the feature of intensity with direction, the method of Lay-up, and the characteristic of materials of FRP.

Key word : F.R.P, Moulded line, Isotropic material, Yield strength, Mat

요약 : F.R.P는 수지에 유리섬유를 적층하여 제작하는 방법으로 온도, 습도 등의 적층조건에 따라 기계적·물리적 특성치가 변화하며 구성성분의 함량에 따라 다양한 편차를 나타내는 특징이 있다. 강선이나 알루미늄선의 경우에는 선급의 규칙과 기타 관련규정에 적합한 규격치수의 철강재와 알루미늄을 구입하여 사용하면 되는데 반해 F.R.P는 성형을 제작하여 그 위에 유리섬유를 적층하여 건조하는 방법으로 강선 설계시의 강판의 선정 및 부재의 조합에 의한 설계방식과는 달리 재료설계와 구조설계를 동시에 행하여야 하는 특징으로 F.R.P선박의 관련 규칙은 강선에 비하여 설계자유도가 큰 반면 부재에 대한 구체적인 기준이 확정되지 못하고 잠정규정을 설정하여 사용하고 있다.

이에 본 연구에서는 선박의 길이가 12미터(M)급인 소형 F.R.P선을 기준으로 F.R.P의 재료적 특성과 강도 방향성에 따른 유리섬유의 기계적 특성을 조사하였으며 소형 F.R.P선박의 구조설계에 필요한 기초자료를 마련하였다.

핵심용어 : 합성수지강화 플라스틱, 성형, 등방성, 항복강도, 매트

* 정회원, kojy@mail.mmu.ac.kr, 061)240-7129

** kcdcbac@hanmail.net, 061)284-6684

*** 정회원, sdong@mail.mmu.ac.kr, 061)240-7058

1. 서 론

FRP(Fiber glass Reinforced Plastic)는 수지에 유리섬유를 적층하여 제작하는 방법으로 온도, 습도 등의 적층조건에 따라 기계적·물리적 특성치가 변화하며 구성성분의 함량에 따라 다양한 편차를 나타내는 특징이 있다.

강선(Steel)이나 알루미늄선(Aluminium)의 경우에는 선급의 규칙과 기타 관련규정에 적합한 규격치수의 철강재와 알루미늄을 구입하여 사용하면 되는데 반해, FRP는 성형(mould)을 제작하여 그 위에 유리섬유를 적층하여 건조하는 방법으로 강선 설계시의 강판의 선정 및 부재의 조합에 의한 설계방식과는 달리 재료설계와 구조설계를 동시에 행하여야 하는 특징으로 FRP선박의 관련규칙은 강선에 비하여 설계자유도가 큰 반면 부재에 대한 구체적인 기준이 확정되지 못하고 잠정규정을 설정하여 사용하고 있다.

이에 본 연구에서는 FRP 재료의 특성을 조사하며 외력의 방향에 따라 강도가 변화하는 이방성재료(Roving)와 등방성재료(Mat)의 결합방법 및 방향에 따른 강도 특성을 분석할 수 있도록 FRP 적층방법을 두가지 형태로 구분하며 적층판재의 강도 방향을 0°, 15°, 30°, 45°, 75°, 90°로 설정하여 변형상태 및 파괴 모드를 분석한다.

2. FRP 재료의 종류 및 특성

FRP선 건조에 사용되는 대표적인 주재료는 유리보강섬유와 폴리에스테르 수지가 있는데 이들 두 가지 재료는 단위면적의 중량, 화학적인 구성요소 등에 따라 다양한 종류가 있으나 본 연구에서는 한국공업규격의 형식승인을 인준한 제품으로 유리보강섬유는 한국오웬스코닝(주)사 제품을, 폴리에스테르 수지는 크레이벨리코리아(주) 제품을 선택하여 재료의 종류 및 특성을 비교 검토하였다. 그 특성에 대해서는 한국공업규격(KS)의 KSL 2313과 2327에 규정되어 있다.

2.1 초프매트(Chopped mat)

초프매트는 육조, 정화조, 물탱크, 선박 등의 제조에 사용되는 제품으로 유리섬유에 유기물이 부착되어 건조공정을 거쳐 3~5cm 길이로 절단되어 무방향으로 균일한 두께로 쌓아 접착제를 사용하여 압착된 부직포 형태로 제조된 제품으로 유리섬유의 방향성이 고르게 분산되어 있기 때문에 분포성이 우수하며 수지 내에서 함침이 빠르게 이루어져 수밀 형성에 유리하여 성형품에 경제적으로 사용할 수 있는 재료이다.

특히 초프매트를 로빙크로스의 층내에 삽입하여 층간 접착성을 향상시킬 수 있으며 중량은 450·600G/M²를 주로 사용한다.

2.2 로빙크로스(Roving cloth)

로빙크로스는 선박, 건축구조물, 토목용 보강재 등에 사용되는 제품으로서 로빙크로스를 직조하여 만든 두꺼운 직물로서

균일한 두께와 높은 강도가 요구되는 대형 FRP 구조물, 건축, 선박 등의 보강재로 사용되거나 유리섬유 길이방향에 대한 45°방향은 강도가 낮으므로 성형시 주의하여야 하며 층간의 접착력이 낮기 때문에 초프매트와 겸용하여 적층할 필요가 있다. 로빙크로스 570, 860은 초프매트와 마찬가지로 면적(m²)당 무게로 구별되며 로빙크로스 860은 수지 함침율이 비교적 낮은 편으로 대형 FRP선의 외판·갑판 등 부재의 두께를 증가시킬 필요가 있는 부분에 주로 사용되고 있다.

3. 강도 방향성에 따른 FRP의 물리적 특성

FRP선박 건조의 대표적인 특징은 선박의 성형(Mould)을 준비하고 그 위에 폴리에스테르 수지와 유리섬유재료의 층을 여러겹 적층하여 경화한 후 성형에서 떼어내는 방식으로 선체의 외관이 미려하며 비강도가 높고 강성이 낮기 때문에 강선 보다는 유연한 구조에 적합하다. 일반적인 초프매트(Mat)의 중량은 450G/M², 600G/M²로빙크로스(Roving cloth)의 중량은 570G/M², 860G/M²이 사용되고 있으나 본 연구와 관련하여 소형 FRP 선박의 건조에 주로 이용하는 유리 섬유(Mat : 450G/M², Roving : 570G/M²)를 이용하여 FRP 적층판의 인장시험을 실시하도록 하였다.

3.1 FRP 적층판 및 시험편 구성

보통 FRP의 강도를 말할 때는 유리섬유의 길이방향에 대해 잠정규정을 설정하여 사용하고 있으므로 재료의 특성 및 강도 해석에 많은 견해가 발생하고 있다.

본 연구에서는 방향에 따라 강도가 불변하는 등방성재료(Mat)와 강도가 불변하는 이방성재료(Roving)가 결합하여 만들어지는 재료의 특성을 고려하여 0°, 15°, 30°, 45°, 75°, 90°방향으로 인장시험편을 방향에 따라 각 4개씩 제작하였으며 규격은 FRP 구조규칙에 준하였다.

3.2 FRP 인장시험편

FRP 인장시험편은 4톤급(G/T) FRP어선의 선축 외판을 기준으로 설계하였으며 동일한 작업조건에서 제작하여 선반(Lathe)에서 시험편을 마무리함으로써 실험의 정밀도를 높이도록 하였다. 해상수산부의 FRP 구조규칙에 의하면 인장시험편의 표점간의 거리는 60±50mm, 표점간의 폭은 20~30mm, 표점부분의 반경은 60mm이상으로 되어있어 본 실험에 사용되는 인장시험편은 Fig.1과 같이 표점간의 거리는 65mm, 표점간의 폭은 30mm, 표점부분의 반경은 작업의 편리성 및 실험의 정확도를 위하여 118mm로 제작하였다. FRP 인장시험에 필요한 시험편은 4톤급(G/T) 선박의 선축외판의 두께와 동일하게 제작하였으며 A형은 M+R형 적층법으로 겔코우트(Gelcoat)층 바로 다음에는 초프매트를 적층함으로써 수밀성을 확보하며 또한, 선체 내부의 각종 부재, 격벽 등 2차 접착시 표면 접착성이 향상되도록 최종적층을 초프매트로 마무리 하는 방법으로 M+R+M+R+M+R+M(7층) 유리

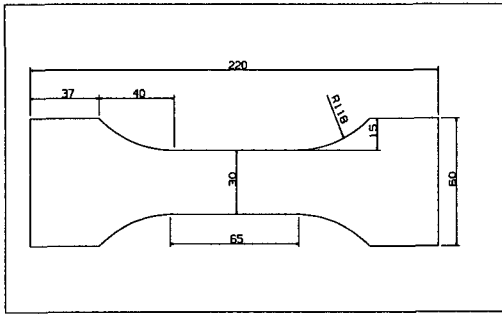


Fig.1 Configuration of tension test specimen(unit:mm)

섬유가 교번하여 적층하는 형식을 택하였다. B형은 2차 부재 및 의장품 적층시 사용되는 방법으로 A형 적층법과는 다소 차이가 있으나 겔코우트층 바로 다음에 쇼프매트를 연속적으로 4회 적층후 로빙크로스를 3회 연속 적층하는 M+M+M+M+R+R+R(7층) 방법으로 쇼프매트와 로빙크로스의 층간 구별을 나타냄으로써 A형과 B형에서의 FRP 재료의 특성을 확인하고자 하였다.

3.3 FRP 인장시험편의 특성

A형 적층방식으로 제작된 FRP 판재를 유리섬유의 길이방향(0°)으로 4개의 시험편을 제작하여 인장실험을 시행한 결과 Table 1과 같이 최대하중은 2139kg~1925kg으로 90°방향의 평균

Table.1 Tension test results of A- 0°

SPECIMEN NO	Max Load (kg)	Max Strength (kg/mm ²)	Max Disp (mm)	Yield Load (kg)	Yield Strength (kg/mm ²)	Elongation (%)
IA-0-01	2139.00	16.540	6.350	1073.00	8.297	13.20
IA-0-02	2119.00	16.082	10.280	1061.00	8.053	21.40
IA-0-03	1925.00	14.344	9.380	963.00	7.176	19.50
IA-0-04	2020.00	15.227	6.260	1016.00	7.659	13.00
Min	1925.00	14.344	6.260	963.00	7.176	21.40
Max	2020.00	16.540	10.280	1073.00	8.297	13.00
Average	2050.75	15.548	8.068	1028.25	7.796	16.78

최대하중 보다 약 28kg이 적은 것으로 나타나며 최대강도, 항복하중, 항복강도 또한 90°방향의 평균값보다 적게 나오고 있다. 각 항목의 평균값이 약 1%의 오차범위에 속하고 있어 실험의 결과치는 만족한 결과로 판정되나 최대변위와 연신율의 결과 값은 평균값의 약 20~30%의 오차범위에 속하므로 제외하였다.

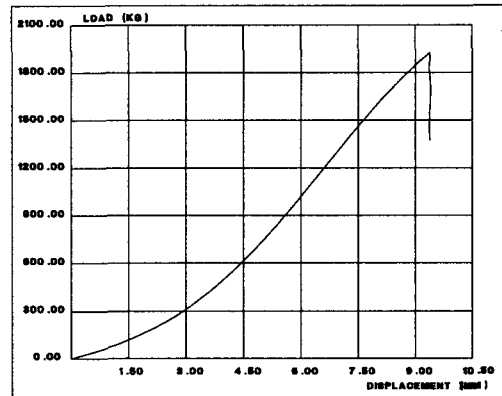


Fig.2 Load-deformation Diagram of IA-0-03

Fig.2는 IA-0-03의 인장시험 결과 값으로 유리섬유 적층판은 파괴가 발생할 때까지 항복점을 가지지 않고 탄성적으로 거동하며 항복과 최후 강도사이에서 소성부분이 나타나지 않고 있다. 하중-변형도 곡선은 Fig.2와 같이 제로 하중으로부터 파괴까지 거의 직선이나 0~600(kg)에서 아래부분으로 볼록한 형태는 인장시험기의 양쪽의 잡는 힘에 밀려서 나타나는 현상이다. FRP는 이방성재료(Roving)와 등방성재료(Mat)는 교번하여 적층하여야 강도가 높으며 강도 방향성에 따른 최대하중은 Fig.3과 같이 0°, 90°에서 가장 높으며 30°, 45°에서 가장 낮게 나오며 A형은 0°에서 90° 방향으로 변할 때 최대하중은 일직선에 가까우나 B형의 최대강도는 45°에서 급격히 줄어드는 형태로 가장 좋지 못한 경계조건을 형성하고 있으며 특히 B형 시험편의 45°방향에서 FRP 박리현상을 실험을 통하여 확인하였다.

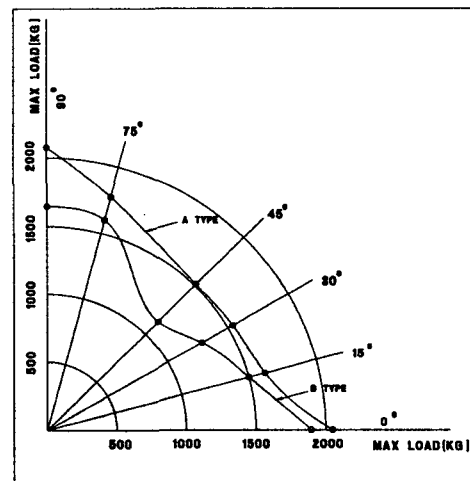


Fig.3 Maximum load of A&B specimens

A형 시험편의 인장시험의 결과는 최대하중은 90°방향을 기준으로 할 때 0°는 98%, 15°는 78%, 30°는 74%, 45°는 72%, 75°는 85%에 해당하며 B형 시험편의 인장시험의 결과는 0°방향을 기준으로 할 때 15°는 80%, 30°는 67%, 45°는 59%, 75°는 84%, 90°

는 86%, 에 해당하며 A형과 B형을 강도 방향성에 따라 비교하면 B형 시험편이 A형 시험편에 대하여 0°,15°는 92%, 30°는 83%, 45°는 74%, 75°는 90%에의 90°는 79%로 평균 10~25%가 적게 나타나고 있으며 A형, B형의 항복강도는 Fig.4와 같이 45°를 제외한 다른 각도에서는 비슷한 결과치를 나타내고 있으나 B형 45°의 최대강도A형 45°의 약 80%로 급격한 감소를 나타내고 있다. A형 시험편의 인장시험의 결과는 최대강도는 90°방향을 기준으로 할 때 0°는 96%, 15°는 80%, 30°는 75%

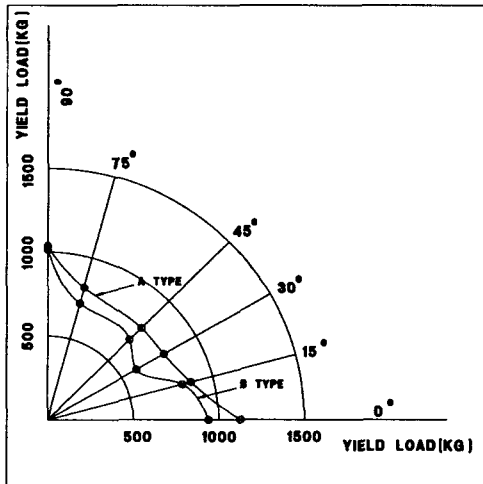


Fig.4 Yield load of A&B specimens

45°는 56%, 75°는 80%, 90°는 88%로 나타나고 있다. 이상과 같이 실험의 결과에 의하면 유리섬유의 강도방향성에 따른 물리적 변화는 0°, 90°에서 가장 좋은 결과치를 30°,45°방향에서 가장 낮은 결과치를 확인할 수 있었다.

최대하중, 최대강도, 항복하중, 항복강도는 각도의 변화에 따라 거의 일직선으로 변화하나 B형의 45°방향에서는 급격히 줄어들어 A형의 90°를 기준으로 할 때 약 20% 정도 줄어들었다.

4. FRP선의 적층 구성

FRP선의 일반적인 적층 방법은 수적층법(Hand layup)과 스프레이(Spray)식을 사용하고 있으나 대부분의 FRP 조선소에서는 수적층법을 이용하고 있으며 선급 및 FRP구조규칙에 의하면 적층시 유리섬유 함유율(중량비)을 초프매트는 30±3%, 로빙크로스는 50±3%를 표준으로 하고있다.

초프매트와 로빙크로스의 비율은 재료의 특성을 감안하여 수밀성과 층간 접착성의 향상이 필요한 부분에는 초프매트의 함량을 증가시키고, 인장강도, 충격강도 등이 요구되는 곳에는 로빙크로스의 함량을 추가하여 사용하는 방법을 사용하였다. 인장·굽힘실험의 실험의 결과에 따라 유리섬유 길이 방향의 30°,45°방향에서 최대하중, 최대강도, 항복하중, 항복강도는 급격히 줄어들어 최소의 결과치를 나타내므로 선체의 길이방향과 유리섬유 길이 방향이 30°,45°방향에서 겹치는 적층방법은 피하도록

하였으며 선박의 길이방향과 유리섬유의 방향을 0°,90°에 일치하도록 제1적층과, 제2적층으로 구별하여 적층 하도록 하였다.

FRP 적층판은 동일한 두께, 중량일지라도 강도의 방향성, 적층 방법에 따라 변화하는 물리적 특성치를 이용하여 4톤급(G/T) FRP 어선의 선체 외판 적층구성을 FRP구조규칙에 준하여 다음과 같이 계획되었다.

1차 적층 M+M+R+M (4층) (Mat : 450G/M², Roving : 570G/M²), 2차 적층 R+M+R+M (4층) (Mat 450G/M², Roving 570G/M²)

4.1 FRP선의 제 1적층

선박의 길이방향과 유리섬유가 90°방향인 방법으로 선박의 한쪽 현으로부터 선저를 거쳐 반대쪽에 이르는 적층방법으로 횡식이라 말할 수 있으며 적층방향은 선수에서 출발하여 유리섬유의 폭을 단위로 선미방향으로 진행한다. 적층작업은 우선, 겔코우트가 경화된 후 Fig.5와 같이 유리섬유의 분포성이 우수하며 수지의 함침이 좋은 초프매트를 연속 2회 적층 함으로써 수밀성이 확보 되도록 하며 2차 적층시 표면의 접착력이 향상 되도록 최종 층을 초프매트로 마감한다. 1차 적층(M+M+R+M)의 유리섬유는 초프매트 450, 로빙크로스 570을 이용하여 4층으로 구성하며 수지나 적층공정에 대한 특별한 고려가 없이 로빙크로스를 연속으로 적층 하면 층간정도를 저하시키고, 박리현상이 유발되므로 연속 적층은 피하도록 한다.

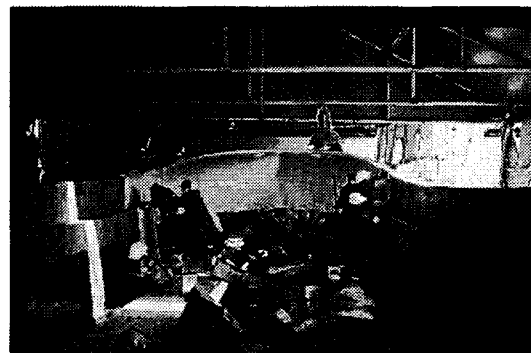


Fig.5 FRP Shell layout I

4.2 FRP선의 제 2적층

제 1차 적층방법과 반대의 공정으로 선박의 길이방향과 유리섬유가 0°방향인 방법으로 선미에서 선수로 향하는 종방향의 적층으로 불워크(Bulwark)에서 출발하여 유리섬유의 폭의 크기로 1차 적층과 반대방향으로 선미에서 선수까지 적층하는 방법이다. 1차 적층과 동일한 재료를 이용하여 R+M+R+M의 순서로 하며 로빙크로스 적층시 수지를 충분히 형면에 도포 함으로서 아래의 수지가 로빙크로스를 따라 스며 올라와 수지가 과잉이 되지 않도록 균일하게 도포 하여야 한다.

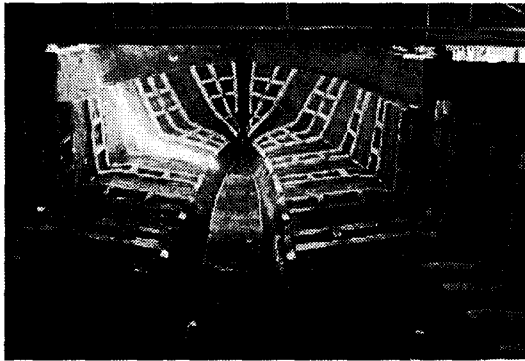


Fig.6 FRP Hull floor & frame

Fig 6은 2차 적층 공정후의 모습으로 적층작업은 4인이 한 조로 구성되며 먼저 한사람이 적층부위에 수지를 골고루 도포하며 다른 한 사람이 유리섬유를 부착하고 나머지 2명은 유리 섬유에 적당한 수지가 침투하면 탈포작업을 행하며 수지가 젤(Gel)화되면 백화현상을 일으키기 때문에 힘 조절에 유념토록 하여야 한다.

5. 결 론

FRP(Fiber glass reinforced plastics)는 기계적·화학적 성질이 서로 다른 재료가 조합하여 만들어지는 복합재료로서 중량과 두께가 동일하여도 적층구성과 적층방향, 작업조건 등에 따라 기계적, 물리적 특성치가 변화하는 특성을 지니고 있으며 인장·굽힘실험의 결과에 의하면 최대하중, 최대강도, 항복하중, 항복강도는 강도방향의 변화에 따라 거의 일직선으로 변화하나 적층방법에 관계없이 0°와 90°에서 가장 좋은 결과 값을 나타내며 30°와 45°방향에서는 급격히 줄어 최저값을 나타내며 항복점에서 파괴를 일으킬때 층간박리 현상은 초프매트와 로빙크로스의 접착부분에서 쉽게 일어나고 있어 적층작업시 유리섬유의 30°~45°은 고려하여야한다. 강(Steel)은 항복점이 명확하나 FRP는 명확치 않고 거의 직선적으로 신장하여 파단되며 소성변형 범위가 거의 없어 강도의 특성이 금속과 다르므로 외력을 받아 변형하는 상태나 파괴 모드의 구조 설계시 유한요소 해석에 의한 구조해석이 필요하다고 생각한다.

참 고 문 헌

[1] 김훈철 외, "소형어선 근대화에 관한 연구(I)(II)", 과학기술처, 한국기계연구원, 1983.4

[2] 서상원 외, "합성수지선의 설계 및 생산기술개발(I)(II)", 상공부, 한국기계연구원, 1991.12
 [3] 오병두 외, "중소형 FRP어선 개발(I)(II)", 과학기술처, 한국기계연구원, 1987.2, 1987.6
 [4] 손영일 외, "FRP 연안어선 설계 및 건조지침서, 수산청, 한국어선협회, 1994.3
 [5] 손영일 외, "FRP 연안어선 5종 개념 및 기본설계, 수산청, 한국어선협회, 1995.3
 [6] 日本小型船舶工業會 "FRP船 技術指導書(材料編)", 1978.7
 [7] 日本小型船舶工業會 "FRP제 선박의 선형 및 구조에 따른 제표준의 조사 연구", 1975.3
 [8] 竹弁三雄, "FRP선의 구조설계", 1976.3
 [9] 한국기계연구원, "FRP 어선의 결합구조 특성 조사연구 및 강도해석 연구", 1993.4
 [10] 이재욱 외, "보강 FRP 적층판의 강도해석연구", 상공부, 한국기계연구원, 1993.4
 [11] 한국기계연구원, "복합적층판의 좌굴강도 해석", 1988.
 [12] 홍석표, "FRP의 파괴강도에 관한 연구", 전남대학교, 1982.
 [13] 유형우, "섬유강화 플라스틱 복합재료의 프레스 성형에 관한 연구", 국민대학교 석사논문, 1992.
 [14] 최성현, "FRP의 기계적 성질에 관한 연구", 인하대학교 석사논문,
 [15] 해양수산부, "FRP 구조 및 검사기준", 2000.9
 [16] 丹羽誠 著, "FRP船의 建造技術", 1981.
 [17] 최낙경 외, "인력절감형 정치망어선 개발에 관한 연구", 산업자원부, 한국중소조선기술연구소, 1999.6
 [18] 강병운, "FRP선 현장기술(1)-(10)", 조선조합 회보, 1992.
 [19] 최낙경 외, "양식장 관리어선의 선형 개발에 관한 연구", 중소기업진흥청, 한국중소조선기술연구소, 2001.3
 [20] 김옥만, "섬유강화 복합재료의 기계적 성질에 미치는 환경요소 와 섬유배향상태의 영향", 석사논문, 1997.
 [21] 한국선급, "FRP선 구조 규칙", 1986.
 [22] 日本海上協會, "강화플라스틱규칙", 1984.
 [23] 이대길, "복합재료역학 및 가공론", 성안당 1993.
 [24] 이지환, 문창권, "복합재료", 원창출판사 1993.