FRP 어선설계를 위한 적층판의 물리적 성질

인하대학교 공과대학
선 박 해 양 공 학 과
교 수 이 재 욱
부교수 김 기 성

1. 서언

FRP적층판은 유리섬유 기재와 수지와의 조합 및 그 공작법에 의해서 기계적 특성이나 물리적 특성이 변화하는 것이다. 설계자가 그 설계에 적합한 조합비율(유리섬유와 수지)을 선정하는 것이지만, 적층 작업자는 그 조합된 비율에 의해서 얻어질 수 있는 물성을 100%발휘하고 설계자가 의도하는 바를 실현시키기 위하여 그 변동 요소를 충분히 이해하고 작업하지 않으면 안된다.

구조 부재로써의 FRP를 설계할 때, 그 설계 data는 금속인 경우의 handbook이나 data집과 같이 완비되어 있지 않다. 1973년에 미국의 Gibbs & Cox사가 종합적인 선체용 FRP적층판에 대한 설계특성을 미국내의 대표적인 pleasure boat의 외판에 대한 data를 시작으로 하여 정부 발표의 관련문헌이나, 공업 관련 연구소의 data 등 아주 많은 분량의 data를 선별 분류하여 작성하였다. 여기에서 취급한 data는 정적 특성만을 고려한 것으로서 모든 data는 도표화되어서 종래의 일반적인 수치로 표시되어 있는 것보다 이해하기 쉬울뿐 아니라, 적층판에 대해서 예상되는 물성치의 범위도 나타냈다.

물성치는 적층판의 유리 함유율을 parame-ter로 하여 표시하였고, 다음과 같은 특징이 있다.

① 유리 함유율과 물성치사이에는 근사적으로 선형적인 관계가 있다.

② 유리 함유율은 유리 기재 구성의 설계에 크게 의존하지만 작업관리가 정확하게 행해진다면 적층공장에서 간단히, 더욱이 정확하게 관리할 수 있다.

최근 일본에서 얻은 data를 미국의 것과 비교하여 본 결과, 유리 함유율 사이의 관계가 크게 벗어나고 있는 것 외에는 대체로 잘 일치하고 있음을 보였다.

유리 구성과 유리 함유율과의 사이에서 이렇게 미국과 일본간의 많은 차이가 나는 것은 다음과 같은 이유에 의한 것이라 사료된다.

① 오늘날 일본의 대형 성형품 적층공장에서는 작업성을 우선하여 수지를 선정하는 일이 많고, 비교적 점도가 낮고 침투성이 양호한 수지를 사용하고 있기 때문에 유리 함유율은 크게 된다.

② 일본의 적층기술에 대한 지도가 두께를 고려하지 않고 강도 우선적인 지도로 행해져 왔기 때문에, 유리 함유율이 높은 적층판이 우수한 적층판이리라는 잘못된 관념을 심어 주어서 기초재료 구성에 가장 적합한 유리 함유율의 관념을 잃어버리게 한다.

③ 여기에 취급된 data가 거의 test용으로 작성된 것이어서 실험대 위에서 test piece로써 적층되었거나 또는 외판 수직부의 연장으로써 적층되었으므로 남는 수지의 잔류가 거의 없다는 것이다.

국내에서는 일부 FRP조선소나 복합재료 생산업자들이 위와같은 FRP에대한 물리적 특성을 실험을 수행하여 간헐적으로 수집한 자료가 있으나, 미국이나 일본에서와 같이 체계적인 실험이 수행되지도 못하였을 뿐만 아니라 기존의 소규모의 자료조차도 수집정리가 되지못하여 FRP선박의 설계시에는 일본이나 미국의 data에 의존하였다. 이는 국내 생산 재료의 특성이나 제조공정을 고려하지 못하였기 대문에 설계자료로서는 부적합할 수도 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 국내 자료의 축적을 위한 최초의 시도로써 국내 FRP선박 제조의 선두주자인 조선소(주식회사 강남)에서 각종 시험에 대한 시편을 제작하여 외국에서 행한 시험과 동일한 시험을 수행하여, 국내의 FRP 복합재료의 물성을 확인하여 FRP선박의 설계자료를 제시하고자 한다.

본 연구에서 행한 실험 결과에 의하면 미국이나 일본의 결과와 대부분 잘 일치하고 있으며, 실험 결과에 있어서의 일반적인 문제점은 상기 일본의 실험 결과에서 지적한 사항과 유사하게 나타났으며, 더욱 큰 문제점으로서는 예산과 시간의 제약에 의한 제한된 시험편에 한한 시험을 수행하였기 때문에, 앞으로 각 조선소별(즉, 재료별 또는 기능별 등)다양한 설계조건에 대한 더 많은 시험이 수행되어야만 더욱 신뢰성이 우수한 설계자료가 얻어 질 수 있으리라 판단된다.

FRP적층판은 이방성 판이므로 이같은 조건으로부터 긴쪽 방향의 특성치의 비교만을 고려하면, 오늘날 실제 사용하기에는 지장이 없다고 생각된다.

실제로 roving cloth의 0° 방향과 90° 방향인 이방성은 오늘날에 있어서는 매우 적어졌고 0° 방향에 비교해서 90° 방향의 강도 저하는 5~10% 이하이다. 또, 주응력 방향도 명확하지 않은 구조인 경우 45° 방향의 물성을 고려하는 것도 효과는 적을 것이다. 따라서 아래에 나타낸 모든 data는 긴쪽방향(섬유방향)의 data(일부는 90° 방향의 것도 구별하지 않고 plot했다.)를 주로 한 것 만으로 나타 내었다.

압축강도에 관해서는 일본의 자료는 매우 적다. 또 일반적으로 선체구성 부재는 압축으로 인해 파괴되기 이전에 거의 좌굴되어 버리기 때문에 특별히 강한 구조인 경우 외에는 고려할 필요는 없다.

다음 절에서 설명하는 실험결과에 대한 그림에서 미국의 Gibbs & Cox사의 결과는 상한선, 하한선과 평균치를 실선으로 표시했고, 일본에서의 실험결과는 원(circle)으로 표시했으며 본 연구의 실험결과는 가위표(x)로 나타냈다.

2. 적층판의 물리적 성질

2.1 유리 기재 구성과 유리 함유율

MR구성에서 전 glass양에 대한 R(roving)이 차지하는 비율 ΣR/Σ(M+R)이 적층판의 유리 함유율을 좌우한다. 따라서 적층판의 강도 설계를 수행하는 데는 그 roving율을 결정하는 것부터 시작해야만 한다. 탈포용 roller나 주걱을 사용해서 성형한 적층판의 평균적인 유리 함유율로써 Gibbs & Cox사가 나타낸 것은 mat부의 유리 함유율을 25%, roving cloth부를 50%로 계산한 수치에 가깝지만, 일본에서 최근의 예로는 mat부 30% roving cloth부 55%로 계산한 것보다 약간 큰 유리 함유율을 나타내는 것이 많은 것 같다.

일본에 있어서도 수년 전까지는 미국에 있어서의 평균치 이상의 적층을 행하기 위해서는 상당한 숙련이 필요했지만, 지금은 초보자라도 쉽게 높은 유리 함유율의 적층을 할 수 있게 되었다. 또한 국내에서의 적층 기술 수준도 소규모의 FRP조선소를 제외하고는 대부분 미국이

나 일본의 기술과 동일한 수준이라고 판단된다.

이것은 대형 성형품 공장이 작업능률을 중시해서 침투성이 좋고, 점도가 낮은 수지를 요구하기 때문에 일반적으로 stylene分이 많은 수지가 공급되는 이유라 생각된다.

이런 수지를 사용한' 적층판은 두께가 감소해 굽힘하중에 대한 부담능력이 저하 될 뿐 아니라, 깨지기 쉬운 적층품이 되고 수지 수축이 크게 되며 경련첨화(경화제+촉매의 gel화)가 심하게 되는 등 결점이 있다는 것을 알아야 한다. Fig. 1에 Gibbs& Cox가 보여주는 미국에 있어서의 평균적인 적층품(파선)과 25%, 50%, 계산치, 30%, 55% 계산치(실선)과 함께 최근 일본의 선체용 적층품의 예를 나타냈다.

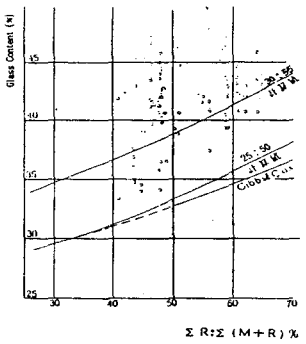


Fig. 1 Glass Content vs Roving Cloth Ratio

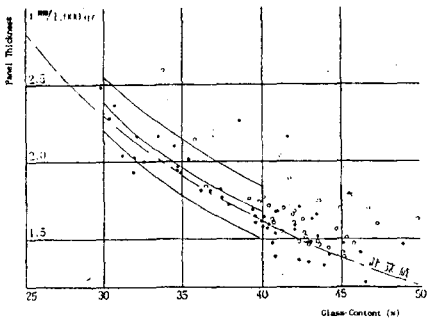


Fig. 2 Glass Content vs Panel Thickness

2.2. 유리 함유율과 두께

유리 함유율과 적층판의 두께와는 이론적으로는 1:1의 대응을 갖는다. 그러나 실제로는 수지와 유리에 비중의 차가 있기도 하고, 내부에 공동이 생기기도 하기 때문에, 실측 치수는 다소의 차이가 있을 수 있다.

Fig. 2에 유리 1,000gr/m²당의 두께를, glass비중 2.54 수지비중 1.23으로 계산한 값(쇄선)과 Gibbs & Cox의 MR적층품의 평균치, 최대치, 최소치 곡선(실선)과 실측치를 나타낸다. 즉 실측치의 대부분은 gelcoat, 두께(0.3~0.5㎜)를 포함하는 것이지만, 어느것이나 4,000~8,000gr/m²정도의 판이기 때문에 단위 중량당의 두께에 대한 영향은 작다. Gelcoat가 없는 것은 흑점으로 표시되어 있다.

2.3 유리 함유율과 비중

적층판의 비중도 당연히 유리 함유율과 1:1의 대응을 반드시 지니는 것으로 한다.

Fig. 3에는 계산치(쇄선), Gibbs & Cox의 평균치, 최대치, 최소치 곡선(실선)과 실측치를 나타낸다. 실측치는 다소 가벼운 것이 많이 있다.

2.4. 유리 함유율과 인장강도

인장강도는 파단하중을 시험편의 원래 단면적으로 나눈 값이 된다. 인장력을 받는 부재를 설계할 경우에는 인장강도를 안전율로 나눈 허용응력을 구하고, 인장력을 허용응력으로 나눈 부재의 단면적을 구한다.

Gibbs & Cox사에서 얻은 인장강도의 평균치 또는 상한, 하한과 실측치와의 비교를 Fig. 4에 나타낸다. 일본의 실험 결과에서는 미국의 상한 이상의 값을 나타내는 것도 약간 있으나 잘 일치하고 있고 Gibbs & Cox사의 평균치를 설계에 사용하여도 지장이 없다. 또한 본 연구의 실험 결과에 의하면 인장강도는 미국과 일본의 결과를 훨씬 상회하여 미국의 상한선 이상임을

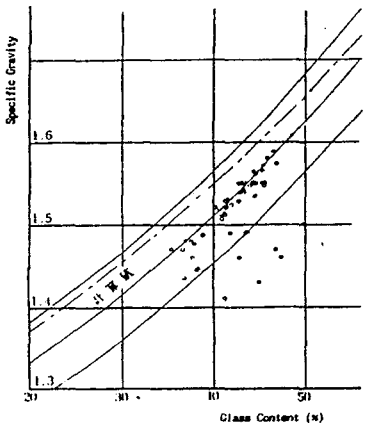


Fig. 3 specific Gravity

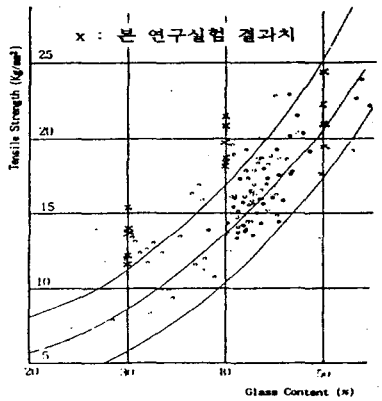


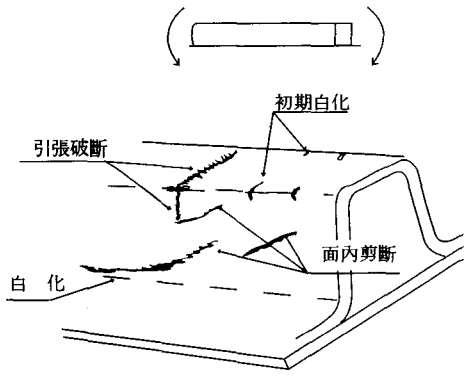
Fig. 4 Tensile Strength

보인다. 특히 유리 함유율이 30%와 40%에서는 아주 우수한 결과를 보인다.

선체 부재가 단순인장으로부터 판단되는 예는 극히 적다. girder의 힘을 수반하는 파괴의 예에서 비중이 낮은 foam재를 심재로 한 hat girder는 일반적으로 web가 좌굴에 저항하여 상층부(top)의 인장응력은 크게 되지 않으나 심재에 목재와 같은 탄성율이 FRP에 가까운 재료를 사용한 hat girder는 판측에 압축(hat girder)이나 인장과 휨을 받는 경우 때때로 hat top에 인장파단이 일어난다. 이와같은 심재를 단순한 성형용 심재로 사용한 경우에 대한 심재의 접목은 쉽게 실현되고 구조용 심재로 사용되고 있는 경우에는 휨 파단을 함께 수반하는 것이 보통이다. hat top의 인장파단은 우선 corner부에 호상(縞狀)의 백화(白化)를 발생하고 나아가서 top plate를 횡단하는 백화로 진행하고 마침내는 인장파단을 한다. 이 경우에 web는 면내 전단, 또는 인장파단과 면내 전단의 복합 파괴를 한다. 인장파단은 압축에 비하여 일반적으로 백화의 폭이 넓은 파단면에 절단된 유리섬유가 길게 노출된다.

2.5 유리 함유율과 인장 탄성율

인장시험에 대한 탄성율은 하중-신장 선도의



Hat Girder 상부가 인장인 경우의 굽힘 파괴

시작되는 직선부분으로부터 직선부분에 대응하는 하중의 차를 이것에 대응하는 신장의 차로써 나누어서 계산한다. 이 경우, 하중의 차는 하중을 시험편의 원래 단면적으로 나눈 값의 차이고 신장의 차는 하중하의 신장측정에 사용된 두가지 정점사이의 길이의 증가량을 원래 길이로 나눈 값이 된다.

인장력을 받는 부재의 변형량을 계산하기 위해서 사용하지만 FRP의 탄성율은 강의 1/21, 알미늄 합금의 1/7정도이고, 목재와 매유 유사한 값을 같는다.

강도의 높은 비율에는 지극히 변형량이 크므로 특별히 주의하지 않으면 않된다.

Fig. 5에 Gibbs & Cox사에서 얻은 평균치 또는 상한, 하한과 실측치와의 비교를 나타낸다. 인장강도는 거의 같은 모양으로 일치하고 있다.

2.6 유리 함유율과 휨 강도

휨 강도는 3점 휨에 의한 시험편이 파단한 경우의 하중으로부터 계산한 시험편의 최대응력이고 다음과 같게 산출한다.

$$\sigma_B = \frac{3p\ell}{2bt^2}$$

p : 판단 하중(kg)

ℓ : 지점간 거리(㎜)

b : 시험편의 폭(㎜)

t : 시험편의 두께(㎜)

FRP적층판은 필히 안쪽과 바깥쪽이 대칭이 아니기 때문에 그 강성도 바깥휨과 안쪽의 휨에 의한 차이가 있다. 특히, 압축측에 roving cloth를 사용한 것은 휨 강성이 낮기 때문에 부재 설계를 할 때 최대응력이 압축측에서 나온 것인지, 인장측에서 구한 것인지를 살펴서 설계하지 않으면 안된다. 또한, 버틸 수 있는 휨 moment는 휨 강성에 두께의 자승을 곱한 것에 비례하기 때문에 휨 부재 설계에 대해서는 유리 함유율을 높게 하는 것이 유리하다고 말할 수 없으므로 주의를 요한다.

압축측에 roving cloth를 놓으면 휨에 약하고 roving cloth가 압축으로부터 좌굴하므로 이것을 mat로 둘러 쌓으므로써 roving cloth가 안정된 강도를 발휘하도록 한다. 인장측의 mat층이 두꺼울 때는 압축층 roving cloth의 좌굴보다 먼저 인장측 최외층 mat의 인장응력이 파단력을 넘어서 파단된다. 압축측 roving cloth는 그 후에 좌굴한다.

이와같이 하여 인장측의 건전한 최외층은 roving cloth, 압축측의 건전한 최외층의 mat 등, 그리고 나서 인장측 RM의 동시 파단 순서로 진행한다.

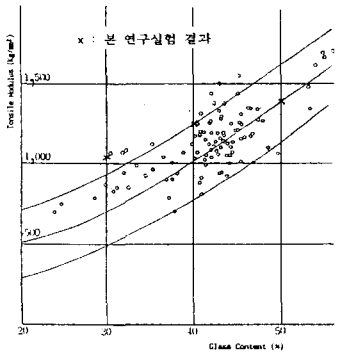


Fig. 5 Tensile Modulus

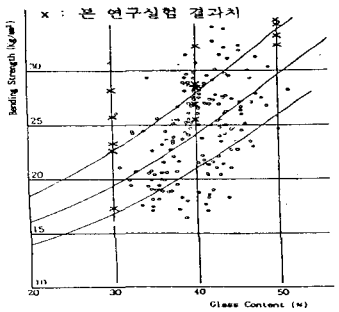


Fig. 6 Bending Strength
(Compressive side with roving cloth)

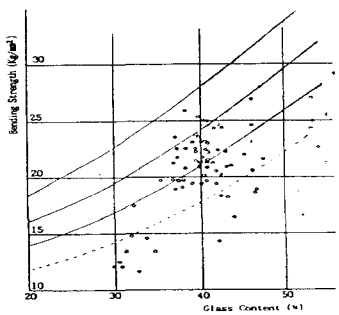
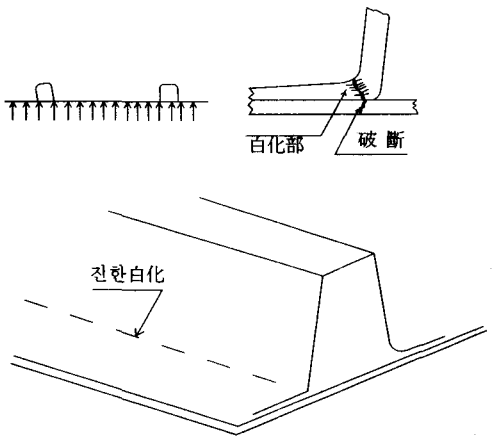


Fig. 7 Bending Strength
(Compressive side with mat)



진한 白化 선저외판의 충격굽힘 피로

이상의 파단은 정적 휨에 의한 파단 과정이지만, 충격적인 휨이 가해지면 압축측이 예를 들어 mat로 구성되어 있어도 압축측으로부터 백화(白化)가 진행한다.

이것이 되풀이 된다면 백화는 점점 깊이 방향으로 진행되며, 마침내 균열이 발생하여 인장측 표면에 도달한다.

이러한 백화 현상은 선저 외판의 균열의 대부분을 차지하고 있으며 보통 frame, 종보강재(longitudinals)또는 격벽 등의 둘레의 외판 panel 주위의 긴 변의 중앙 부근으로부터 손상이 진행한다.

Fig. 6에 Gibbs & Cox사에서 얻은 평균치나 상한, 하한과 압축측이 roving cloth로 되어 있지 않는 것의 실측치를 비교한다. 인장시험 성적에 비한다면 먼저번이 큰 이유는 인장강도보다 휨 강성에서 적층결함(수지층, 기포, 이물질 부착 등)의 영향이 크기 때문이다. Fig. 7에서는 roving cloth를 압축측에 놓은 실측치를 나타낸다.

Gibbs & Cox는 구별한 값을 나타내지는 않았으나 실측치는 일반적으로 Gibbs & Cox사의 하한선을 중심으로 분포하고 있다. 큰 결함이 없는 것은 한쌍의 쇄선에 대해서 하한 값을 고려한 것이 좋다. 본 연구에서도 Gibbs & Cox사와 같이 압축측과 인장측을 구분하지 않았으나 상기와 유사한 결과를 얻었다.

2.7 유리 함유율과 휨 탄성율

굽힘 시험에 대한 하중-휨 곡선의 초기치선 부분의 구배에서 계산한 탄성계수가 다음의 식으로부터 산출된다.

$$E = \frac{l^3 m}{4bt^2}$$

m : 하중 휨 곡선의 초기치선 부분에 대한 증분을 휨의 증분으로 나눈 것.

기타의 기호는 휨 강성의 계산과 같다.

휨 탄성계수도 목재와 같은 정도의 크기를 갖기 때문에 휨을 받는 판의 하중에 대하여 휨을 같게 잡도록 한다면, 목재와 같은 치수가 필요하고, 비중은 목재의 약 3배 이기 때문에 중량은 3배가 되도록 된다. 결국 휨을 제한하지 않으면 안되는 갑판이나 널판지(상판)에는 목재나 sandwich panel을 잘 사용하는 것을 고려하지 않으면 안된다. 휨 탄성율에 대해서는 휨 강성과 같이 바깥휨과 안쪽휨에 의한 차가 분명하지 않기 때문에 Fig. 8의 Gibbs & Cox사에서 구한 평균치나 상한 하한과의 비교를 표시했다.

하한치 이하의 sample이 많은 것은 적층 결합의 영향에 있다.

2.8 유리 함유율과 압축강도 또는 압축 탄성율

일본에서 행한 압축시험 data는 극히 적어서 Gibbs & Cox사의 자료와 비교한 것은 불충분하기 때문에 Fig. 9에 압축강도, Fig. 10에 압축 탄성율에 대한 Gibbs & Cox사에서 얻은 평균치 또는 상한 하한값을 나타냈다.

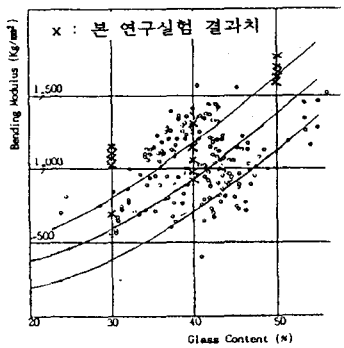


Fig. 8 Bending Modulus

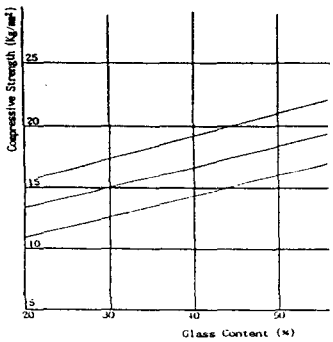


Fig . 9 Compressive Strength

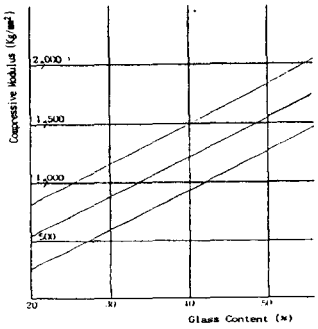
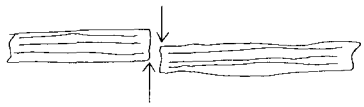


Fig. 10 Compressive Modulus

2.9 유리 함유율과 직각 전단 강도

적층판의 면에 직각으로 작용하는 전단력에 대한 강도에서는 우편의 그림에 나타낸 것처럼 전단된다. Fig. 11는 Gibbs & Cox사에서 얻은 평균치나 상한 하한과 일본에서 행한 실험치와 본 연구에서 행한 결과를 보였다. 직각 전단 강도에서도 본 연구의 결과가 일본이나 미국의 결과보다 훨씬 우수함을 보인다.



직각전단의 전형적인 것은 FRP판에 취부된 구조물에 외력이 가해질 때의 파괴이다.

예를 들면 shaft bracket가 충격을 받을 때 취부 bolt의 nut washer주위에서 갑판이 전단된다. 전단에 대항하는 것은 전단되는 길이와 판두께의 곱이기 때문에 wsher는 충분히 대형의 것, 될 수 있는 대로 각각의 washer를 일체로 한 裏當今을 사용하는 쪽이 좋다. 충돌이나 좌초 등에 의한 깨진 구멍도 직각전단을 주로 하지만, 이 경우는 휨을 받고 있기 때문에 깨진 구멍으로부터 상당히 떨어진 부분까지 층간전단을 발생시키므로 주의를 요한다.

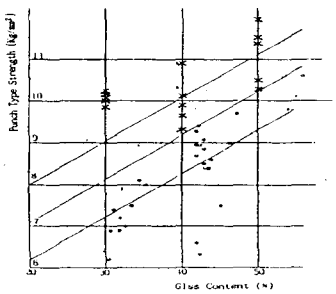
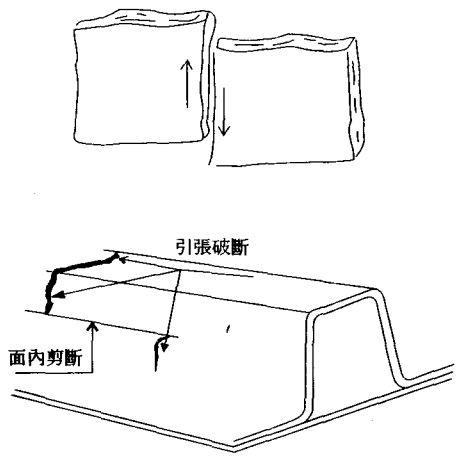


Fig. 11 Punch Type Shear Strength

2.10 유리 함유율과 면내 전단강도

면내 전단 강도는 우편의 그림과 같은 적층판의 면내에 작용하는 전단력에 대한 강도이다. Gibbs & Cox는 면내 전단강도는 유리 함유율에 무관하고 평균치 7.7kg/㎟, 상한 8.4kg/㎟, 하한 7kg/㎟라고 말하고 있지만, 면내 전단도 유리 섬유를 전단하고 있기 때문에 전단 면적당의 유리섬유수가 강도에 영향을



Hat Girder 상부의 인장의 경우 굽힘파괴

미치고 유리 함유율이 큰 것은 면내 전단 강도도 큰것이라고 생각되어 진다. 연관성을 찾아보기 위한 충분한 data는 매우 드물다.

Hat girder가 top인장 휨에 파단하는 경우, hat girder의 web는 면내 전단을 받아서 파괴된다. Top파단부로 부터 web를 비스듬하게 면내 전단을 시켰을 때 top파단부로부터 대략 수직으로 web높이의 약 1/2까지 인장 파단하고 거기로부터 수평으로 면내 전단이 발생하며 그 끝단 부근으로부터 수직으로 인장 파단하는 경우도 있다.

2.11 유리 함유율과 층간전단 강도

적층판을 두께방향으로 분할한다고 하면 전단력에 대한 강도에 대하여 Gibbs & Cox사는 유리 함유율에 무관하고 0.7~1.0kg/㎟정도라고 말하고 있다.

공업적으로는 R적층보다도 R의 사이에 mat를 삽입하는 것으로써 층간 전단강도가 향상된다고 알려져 있다. 다시 말하면, MR적층의 층간 전단강도는 상기의 값보다 큰것이라고 판단된다.

층간 전단강도는 확립된 시험방법에 의하여 평가되어진 것은 거의 없다. 실제 파괴기구는 시험방법에 의하여 재현시켜 얻을 수는 없는 성질의 것이라고 생각되어진다. 많은 경우에 층간 전단파괴의 대부분은 전단과 동시에 인장만의 요소를 다분히 포함하고 있는 것이라고 생각되어지고 mat는 이 외의 인장만에 의한 초기의 파괴를 지배하며 또한 그 전달을 방지하기 쉬운 성질로 되어 있다고 생각되어 진다. 층간 전단강도는 결함의 존재에 따라서 큰 폭으로 저하된다고 생각된다. 특히 수지층의 존재는 새로운 시험편에 의한 시험에서는 결함이 분명하지는 않지만 반복 외력을 받는 것에 의한 그 부분에 crack이 발생하고 전단강도를 극단적으로 저하시킨다.

선체 구조에 나타난 층간전단의 전형적인 것에는 외판의 격리와 L자형 이은부분(hat girder flange를 포함)의 격리가 있다. 외판의 격리는 많은 외판 lap부 등의 결함으로부터 발생한 격리가 roving cloth면에 존재하는 결함과 연결되어 발생하고, 또 lap부에 의하여 외층의 mat가 전단한다면, 파랑에 의해서 떼어 놓는 힘이 작용하므로 넓은 면적의 박리가 일어나는 것이라고 생각된다. 그렇게 시작된 결함은 lap부의 roving cloth의 끝부분의 공작 불량이 주 원인이며, 이 부분에 rasin pocket이 단속이 존재한다면, 반복된 외력으로부터 이 부분이 또다시 파괴되는 순서로 층간전단이 진전된다.

L형 이음부는 2차의 접착으로 되어서 원래 접착은 약하다. 이 경우 flange부를 taper지도록 하여 보통, 혹은 내층 mat를 지정 폭으로 끝내고 다음으로 roving cloth를 그 위에다 지정폭 만큼 펴고 끝내서 최후의 mat를 그 위에 지정 폭 만큼 펴는 일이 행해져야 한다. 이와 같이 한다면 roving cloth가 직접 경화면에 적층되고 올과 올사이에 많은 rasin pocket이 발생하게 되고 피로를 받는다면 극단적으로 층간 전단강도가 저하한다. 또, 이 roving cloth의 단말처리에 결함이 있으면 거기로부터 간단하게 최외층 mat가 절단하고 flnage부의 박리로 진전한다.

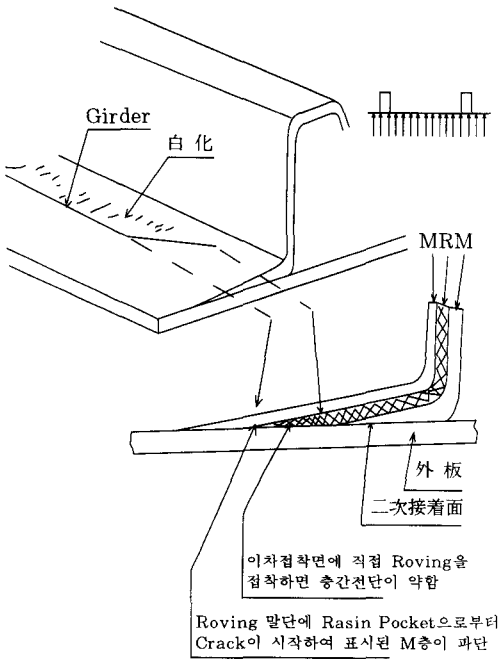


Table 1 Fatigue Strength vs Stylene Content

	Stylene 첨가량(%)	0	5	10	20	30	40
G Type (선박용)	수축률(%)	7.0	7.4	7.8	8.7	9.6	10.4
	인장강도 (kg/㎟)	3.6	4.8	4.8	4.1	3.9	2.0
	굽힘강도 (〃)	11.4	9.9	8.5	7.1	7.2	7.2
	굽힘탄성계수(〃)	42.0	40.7	40.8	40.9	38.4	40.1
	충격치 (kg-cm/㎠)	3.3	2.2	2.1	2.4	2.3	2.4
	열변형온도 (℃)	87	87	85	85	86	86

2.12 충격 강도

정량적으로 논술한 것만의 자료는 없다. 모아전 data로 부터는 유리 함유율과 충격 강도와의 사이의 연관성으로 간주할 수는 없다. 일반적으로 말하여 rasin spray를 행한 것은 약간 충격 강도가 낮은 것으로 된다. 이것은 spray시에 공기중의 수분을 끌어 넣기 때문이라고 생각할 수 있다.

Stylene 첨가량이 높은 수지를 사용한 경우는 수지의 수축을 일으키기 쉽고 또한 충격치의 저하가 크다고 생각될 수 있지만 주형중에 의한 것과 같은 수지 하나만의 시험결과에 대한 일 예를 나타낸다. base rasin은 stylene monoma가 약 31%를 포함하는 것으로 된다.

Stylene 첨가량이 30%를 넘기면 충격치의 저하가 두드러지는 것으로 알려져 있다.

2.13 인장 피로 강도

MR구성 적층판의 피로 시험 성적은 아직 발표되어 있지 않다.

1971년에 일본 소형선박공업회에서 행했던 인장 피로 시험은 〔(mat #600+Roving cloth #830)×3(ply)〕, 유리 함유율이 약 50%의 것으로 되어 있지만, 그중 무결함인 시편이나 소기포가 들어있는 시편의 성적을 Fig. 12에 나타낸다. 이것은 다음의 두가지 식으로 근사가 가능하다.

$1.22\sigma_B - 3.5\log_{10}N \quad 10^3 \le N \le 10^5$

$0.62\sigma_B - 0.5\log_{10}N \quad N \ge 10^5$

σ_B= 인장파단강도

N` = 반복횟수

인장피로의 백화(白化)는 우선 roving cloth의 인장 방향, roving cloth의 주위로부터 발생하고 다음으로 종횡 roving cloth의 정항상(井桁狀)을 에워싸는 원형 백화로 진전하여 그것으로부터

확대하고 연속된 전면적인 백화로 된다. 더욱 진전한다면 roving층의 박리로 되고 다음으로는 전층을 통하여 파단한다.

백화(白化)는 동일응력 level의 전체에 걸쳐서 이동되기 때문에 단순인장 피로를 받는다면 백화의 면적은 상당히 넓게 되거나, girder의 휨에 의한 인장피로는 휨 moment가 최대의 위치에서 발생하므로 그것보다 넓은 범위의 백화는 수반하지 않는다.

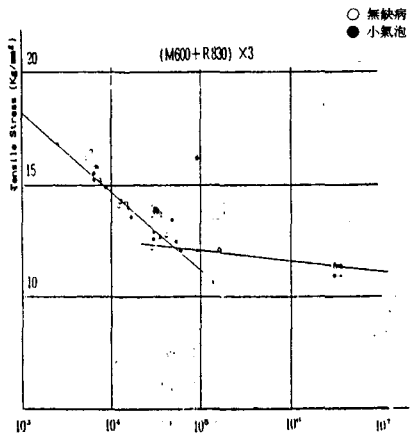


Fig. 12 Tensile Fatigue Strength

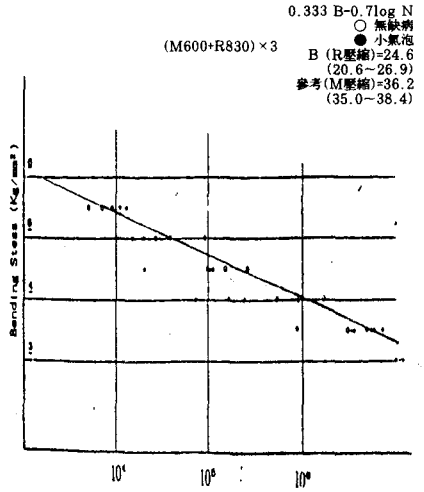


Fig. 13 Bending Fatigue Strength Bending Stress (kg/mm²)

2.14 휨 피로 강도

1972년에 일본 소형선박공업회에서 행했던 양쪽이 흔들리는 휨 피로 시험은 (Mat#600-+Roving#830)×3ply은, 유리 함유율이 약 46%의 것으로 되어 있으나 그중 무결함의 시편 또는 소기포가 있는 시편의 성적을 Fig. 13에 나타냈다.

무결함의 것에 대해서는 다음의 식으로 근사시킬 수 있다.

$0.333\sigma_B - 0.7\log N$

σ_B = 굽힘파단강도(R압축)

N = 반복횟수

소기포가 있는 시편은 인장 피로에서는 결함이 없는 시편과는 차가 있는 것으로 간주됐지만, 휨 피로에서는 명확하게 피로강도의 저하가 나타난다. 이것의 피로강도의 근사식은 각각 단 하나의 예에 대한 시험결과로부터 얻은 것이므로 단순히 참고로 하고 그대로 설계에 사용하는 값은 아니다.

정적 휨 파괴는 일반적으로 층간전단을 수반하는 것도 있으나 선저 외판의 충격 수압에 의한 휨 피로파괴의 경우는 층간전단을 수반하지 않는 백화부에 비교적 좁은 파괴를 한다. 압축측의 백화로부터 시작하여 인장측의 관통부는 순수한 백화를 수반하지 않는 균열을 한다.

3. 결 언

① FRP적층판은 강도가 높은 반면 탄성율이 극히 낮다. 설계에 대해서는 이 성질에 주의하지 않으면 않된다. 휨을 제한하지 않으면 안되는 부재, 예를 들면 갑판과 상판 등의 목재, sandwich panel 등을 잘 이용하여야 한다.

② 선체의 부재로서의 적층판은 설계하중에 견디어야 한다. 그러기 위해서는 단순히 강도가 높을 뿐만 아니라, 적당한 두께를 갖는 적층판이 되어야 한다.

단위 폭에 대한 적층판이 저항해야 할 하중은 아래식으로 계산된다.

인장력 : $P = \sigma_t \cdot t$

휨 monent : $M=(1/6)\cdot\sigma_b \cdot t^2$

③ 유리 기재 구성이 결정된 경우 설계 유리 함유율보다 실제의 유리함유율이 높다면, 인장 부재는 강하지만 휨 부재는 약하게 된다. 파랑 충격을 받는 선저 외판 등은 특히 유리 함유율이 높게 되지 않도록 주의해야 한다.

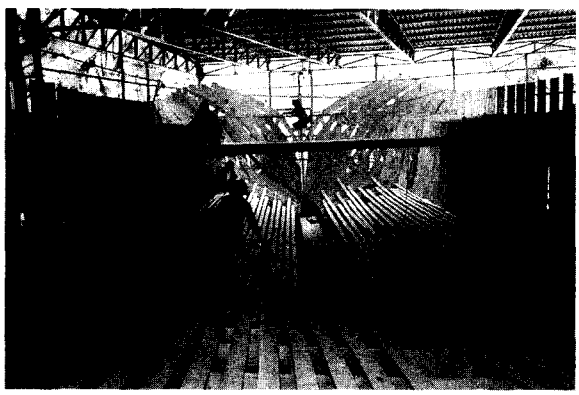
④ 유리 함유율은 유리 기재 구성에 좌우되지만 적층시의 수지 점도에 대한 영향이 크기 때문에 작업장의 온도 관리, 수지의 선정이 중요하다.

⑤ 적층 결함, 특히 층간에 있는 수지층, 수지 pocket, 기포, 이물 부착 등은 피로강도, 충격강도를 현저히 저하시킨다. 특히 피로를 받는 적층판의 층간 전단강도는 결함의 존재에 의해서 현저하게 저하된다.

⑥ 공업적으로는 R적층보다도 R사이에 M을 넣은 것이 보다 더 층간 전단강도는 향상된다고 생각되어지기 때문에 층간전단의 위험이 있는 부분에서는 lap을 포함시켜 R과 R의 직접 적층을 피하고, R의 lap에는 M의 tape를 삽입하여 시공한다.

참 고 문 헌

1. Gibbs & Cox Inc, "Marine Design Manual for Fiber Glass Reinforced Plastics", MacGraw-Hill, 1960.
2. 日本小型船舶工業會, "FRP船 技術指導書(材料編)", 1978. 7.
3. Whitney, J.M. et al, "Experimental Mechanics of Fiber Reinforced Composite Materials, Reviced Ed.", The Society for Experimental Mechanics, 1984.
4. 오병두 외, "합성수지어선의 설계 및 생산기술 개발에 관한 연구(Ⅰ)", 의 중간보고서 부록 -FRP구조재료의 물성연구-, 위탁연구기관 인하대학교, 1991. 8.30

후 기

본 연구는 1991년도 상공부에서 시행한 공업기반기술 사업인 "합성수지 어선의 설계 및 생산 기술 개발에 관한 연구(총괄 연구책임자 : 한국기계연구소 오병두)"의 일부로서 인하대학교에서 수행한 결과임을 밝힌다.